

流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点

# 第3回国際評価報告書(2010年度)

Tohoku University Global COE Program

World Center of Education and Research for Trans-disciplinary Flow Dynamics



はじめに

東北大学グローバル COE プログラム「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」がスタートして、2 年半を経過致しました。

このプログラムの目的は、前 21 世紀 COE プログラム「流動ダイナミクス国際教育研究拠点」で得られた拠点形成の実績を踏まえて、「若い人材が国際交流活動を通して将来、研究、教育、産業、社会といったそれぞれの分野で中核的な指導者となるように、教育すること」ならびに、「人類が直面する様々な問題（地球温暖化・エネルギーや食糧の不足・飢餓・貧困等）や、フロンティア分野の学問と技術課題（先端医療・ライフサイエンス・宇宙・航空・海洋分野等）に果敢に挑戦して、解決策を見出して行くこと」にあります。

2010 年 11 月に開催した 7th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2011) では世界 22 カ国 241 名の外国人を含めて総勢 749 名(一昨年の参加者の約 2 倍)の参加者を迎え、盛況のうち開催することができました。ICFD が国際的にも広く認知された国際会議として、また一つ上のステージに到達できたのではと思っております。

また、平成 20 年度「グローバル COE プログラム」採択拠点中間評価においては、「A 評価」を頂き、文部科学省 HP においても、「特に優れている拠点」として本拠点が紹介されましたことは、関係者の結束した努力によりこれまでの教育(「国際若タケノコ発掘」「国際出る杭伸ばす」「国際インターンシップ」「国際回遊教育」等)、研究(4 つの「流動融合研究分野」、5 つの「融合フロンティアプロジェクト」等)活動の成果を高く評価頂いたことを深く感謝するとともに、今後の教育及び研究面での活動をより一層活発なものとしたいと考えております。

このたび 2011 年 2 月 17 日、海外からの 3 名を含む 6 名の著名な研究・教育者をお招きして「第 3 回国際評価委員会」を開催し、平成 22 年度の成果を検証していただきました。

今回の「国際評価委員会」では、いくつかの当 GCOE の今後の重要な努力目標や課題をご教示いただきました。これらを踏まえまして、関係者さらに一層努力いたし、この GCOE を真に「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」として、確立してまいる所存でございます。

今後ともご支援・ご指導を賜りますようお願い申し上げます。

平成 23 年 3 月 4 日

東北大学グローバル COE プログラム

「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」

拠点リーダー 圓山 重直



# グローバル COE プログラム国際評価委員会資料

## 平成 22 年度活動報告書

1. 国際評価委員会 委員名簿 .....	1
2. 国際評価委員会 実施の概要 .....	2
3. 評価と提言 .....	3
3.1 委員長総括コメント .....	3
3.2 平成 22 年度活動報告 .....	4
3.3 評価委員からのコメント .....	13
3.4 あいさつと謝辞 .....	14
4. 評価委員会説明資料 .....	16
4.1 GCOE プログラム全体に関する報告 資料 .....	16
4.2 JSPS による中間評価に関する報告 資料 .....	22
4.3 GCOE 流動融合分野研究報告 資料 .....	24
4.4 GCOE 融合フロンティアプロジェクトの報告（代表例） .....	27
4.4.1 「次世代環境適合型航空機の研究」 資料 .....	27
4.4.2 「ナノ・マイクロプロセス」 資料 .....	28
4.5 国際交流に関する報告 資料 .....	31
4.6 オータムスクールに関する報告 資料 .....	33
5. 東北大学グローバル COE「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」 拠点の概要 .....	34
5.1 目 標 .....	34
5.2 拠点形成計画の概要 .....	35
5.3 事業推進担当者・研究協力者 .....	36
5.4 運営図 .....	37
5.5 「グローバル COE プログラム」（平成 20 年度採択拠点）中間評価報告 .....	38
5.5.1 中間評価概要について .....	38
5.5.2 中間評価結果 .....	39
5.5.3 文部科学省「グローバル COE プログラム」 【特に優れている拠点】紹介 .....	41
6. 主な活動 .....	42
6.1 拠点形成プログラム .....	42
6.1.1 運営委員会 .....	42
6.1.2 グローバル・オペレーション・オフィス（GOO）会議 .....	42
6.1.3 教育委員会 .....	42
6.1.4 研究委員会 .....	43

6.1.5	国際交流委員会	43
6.1.6	企画室会議	45
6.1.7	国際評価委員会	45
6.1.8	全体会議（研究交流会）	45
6.1.9	国際会議の開催	46
6.1.10	研究支援者の採用	49
1)	博士研究員ポストドクトラルフェロー	49
2)	国際出る杭伸ばす特別研究生	49
3)	研究支援リサーチ・アシスタント	50
4)	基本支援リサーチ・アシスタント	51
5)	国際宇宙大学派遣	52
6)	国際若タケノコ発掘プログラム採択者一覧	52
6.2	研究活動	54
6.2.1	融合分野総括	54
6.2.2	情報流動融合分野	56
6.2.3	反応流動融合分野	68
6.2.4	ナノ流動融合分野	74
6.2.5	極限流動融合分野	84
6.2.6	GCOE 融合フロンティアプロジェクト総括	97
6.2.7	流動ダイナミクスと医療の融合	99
6.2.8	原子力発電プラントの流動誘起損傷のメカニズム解明と評価	103
6.2.9	次世代環境適合型航空機の研究	110
6.2.10	ナノ・マイクロプロセス	113
6.2.11	エネルギー・環境	118
6.3	教育活動	125
6.3.1	国際的人材育成プログラム	125
1)	国際若タケノコ発掘プログラム	125
2)	国際出る杭伸ばす教育プログラム	128
3)	グローバル回遊教育プログラム	128
4)	国際高等研究教育院との連携	129
5)	ジョイントラボ連携国際インターンシップ	130
6)	国際宇宙大学派遣	133
7)	HOPE ミーティング派遣	133
8)	学生企画/運営国際会議・シンポジウム	134
9)	学生交流研究発表会	137
10)	流動ダイナミクス知の融合「博士学生セミナー」	138
11)	保全サマースクール 2010	139
12)	ELyT School in Sendai – Autumn 2010	140

13)	英語研修会 (English Conversation Class) .....	142
14)	ダブルディグリー共同教育 .....	142
15)	高度イノベーション博士人材育成センターとの連携 .....	142
16)	若手研究者国際会議派遣 .....	142
17)	流体科学分野横断セミナー .....	143
18)	客員教授による実践教育 .....	144
7.	国際連携活動プログラム .....	145
7.1	国際連携拠点の活用 .....	145
7.1.1	リエゾンオフィスセッションの概要及び今後の方針 .....	145
7.2	日仏ジョイントエリートラボの支援 .....	146
7.3	流動ダイナミクス国際融合ジョイントラボラトリー (FLOWJOY) .....	146
7.4	リエゾンオフィスを通じた主な国際交流実績 .....	149
8.	事業推進担当者の取り組みと実績 .....	154
9.	研究協力者の取り組みと実績 .....	283
10.	博士研究員ポストドクトラルフェローの取り組みと実績 .....	337
11.	国際出る杭伸ばす特別研究生の取り組みと実績 .....	363
12.	国際宇宙大学派遣学生の取り組みと実績 .....	387
13.	研究支援リサーチ・アシスタントの取り組みと実績 .....	389
14.	基本支援リサーチ・アシスタントの取り組みと実績 .....	426



## 1. 国際評価委員会 委員名簿

氏名	役職
◎井上 孝太郎	(独)科学技術振興機構 上席フェロー
Behnia, Masud	シドニー大学大学院 教授
藤井 孝藏	(独)宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 副所長 宇宙輸送工学研究系 教授
Shin, Hyun Dong	韓国科学技術院 機械工学科 教授 燃焼技術研究センター長
戸田 三朗	東北放射線科学センター 理事
Zhang, Xing	清華大学 工程熱物理研究所 教授

◎ 委員長

## 2. 国際評価委員会 実施の概要

### I 実施日程

1. 日 時：平成 23 年 2 月 17 日（木）15：00-18：00
2. 場 所：東北大学流体科学研究所 COE 棟 3F セミナー室
3. 出席者

#### ○評価委員

井上 孝太郎（（独）科学技術振興機構上席フェロー）、  
Behnia, Masud（シドニー大学大学院教授）、  
藤井 孝藏（（独）宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所副所長）、  
Shin, Hyun Dong（韓国科学技術院 教授）、  
戸田 三朗（東北放射線科学センター理事）、  
Zhang, Xing（清華大学教授）

#### ○被評価者

圓山 重直拠点リーダー、高木 敏行サブリーダー、中野 政身、中橋 和博、石本 淳、  
太田 信、丸田 薫、笹尾 眞實子、三浦 隆利、升谷 五郎、西山 秀哉、小林 秀昭、  
小原 拓、宮本 明、水崎 純一郎、徳山 道夫、寒川 誠二、小玉 哲也、徳増 崇、  
大林 茂、福西 祐、浅井 圭介、澤田 恵介、伊藤 高敏、橋爪 秀利 各事業推進担当者  
白井 敦、江原 真司、竹島 由里子、青木 秀之、佐藤 岳彦、三浦 英生、寒川 誠二、  
湯上 浩雄、米村 茂、畠山 望、三木 寛之、佐藤 一永、大平 勝秀、渡辺 豊、小宮 敦樹、  
伊賀 由佳 各研究協力者

#### ○オブザーバー

和田 直人特任教授、齋藤 文男特任教授

### II 議事運営

司 会 太田 信 准教授（事業推進担当者）

- (1) 流体科学研究所 所長挨拶（流体科学研究所 早瀬 敏幸所長）
- (2) 委員長選出・委員長挨拶（委員長）  
委員長に井上委員を選出した。
- (3) GCOE プログラム全体に関する報告（圓山 重直拠点リーダー）
- (4) JSPS による中間評価に関する報告（圓山 重直拠点リーダー）
- (5) GCOE 流動融合分野研究報告（高木 敏行拠点サブリーダー）
- (6) GCOE 融合フロンティアプロジェクトの報告（代表例）
  - 1) 「次世代環境適合型航空機の研究」（大林 茂プロジェクトリーダー）
  - 2) 「ナノ・マイクロプロセス」（寒川 誠二プロジェクトリーダー）
- (7) 国際交流に関する報告（高木 敏行国際交流担当）
- (8) オータムスクールに関する報告（和田 直人特任教授）
- (9) 質疑応答
- (10) 評価委員による報告
- (11) 謝辞（圓山 重直拠点リーダー）

### 3.評価と提言

#### 3.1 委員長総括コメント

井上委員長：

お役目上、少し全体的な話をさせていただきます。今日お話があったのはグローバル COE 全体の話と研究の話、それからオータムスクールも含めた国際交流の3つだったと思います。

まず、グローバル COE の全体についてですが、最初のほうで紹介がありましたように、中間評価で非常に高い評価を受けましたが、高い評価を受けた理由は良くわかります。全体的には、やはり成果が挙がっているということと、仕組みが非常に工夫されて努力されているということ。その2点で評価されたと思うのです。ただこれも1年近く前の話で、ここで安心してはいられない。最後に圓山先生の決意表明があるのかもしれませんが、これからも安心して頑張りたいと思います。

これからあと2年間あるわけですが、この整った仕組みをベースにして、やはり成果を挙げて着実に刈り取りをしていくことが大切です。それから、グローバル COE が終わった後どうしていくかということをよく考えていかなければならないと思うのです。

それからもう1つ、中間評価はよかったのですが、常にグローバル COE プロジェクト全体の目標を原点に立ち戻って内容を見直し、これからのことを考えていただきたいと思います。

グローバル COE とは何だろうと思うのですが、1つ目は学生にとって魅力がある拠点になっているかどうかということです。学生にとって魅力ある拠点というのは教え方がうまいとか、教育カリキュラムが整っているとか、そういう教育の面と、設備がどうかということ、それから国際経験が積めるとか、あるいは卒業後の進路としてなかなかいいところへ行けそうとか、いろいろあります。ただ、それ以上に大事なのはやはり優れた成果を出す魅力のある研究者・指導者がそこにいるかどうかということだと思うのです。これが非常に重要だと思います。

2つ目は、いまの話に関連して、研究者にとって魅力ある拠点なのかどうかということです。研究環境、設備、資金の話が先ほどありましたが、こういうことと、研究者が伸び伸びと研究できる雰囲気や環境が整っているかどうか。今日伺っていますと、この流体研自体の中にレベルの高い研究者が周りにたくさんおりますし、また運営もそれなりに厳しいところもあるかもしれませんが、全体的には自主的に動いている。それぞれの研究者が自主性を持っている。自分たちの思い通りにやっている雰囲気があって、そのへんは大変良いと思います。

3つ目は、産業界や企業にとって魅力ある拠点になっているかどうか。産学連携ということが重要視されています。これからはこういう工学部を中心とした教育機関が産業界とどうやって手を組んでいくかが非常に重要な問題です。先ほど研究のペースの問題もありましたが、やはりこの分野は産業界から、資金獲得も含めて連携を進めていくことが大事なので、産業界にとって魅力ある拠点にしていくことが大事だと思います。

4つ目。きょうはこれを最後に言いたかったのですが、社会や国にとって魅力があるかということなのです。国や社会にとってこういう教育研究の拠点が必要であって、しかも有用



であるということを十分認識してもらう必要があるし、またそういう方向へ持っていかなければいけない。それで、ポスト・グローバル COE というと、自立ということも考えなければいけないのですが、それと同時にやはり私は、国としてこういう分野に引き続きバジェットを投入して支援をしたくなるような、そういう拠点にしていくということ。それが No. 1 グローバル COE としての責務ではないかと思うのです。だから成果を十分挙げると同時に、国に対して、社会に対してそういうアピールをしていくことが私は必要、あるいはそういう役割を持っていると思います。

それからもう 1 つ、きょうはあまり説明がなかったのですが、これはと思うような国際共同研究、国際プロジェクトに参画するということにもう少し力をいれてもいいのではないかと思います。そういう国際的な活躍の場を増やしていただくということなのです。以上が、雑駁な評価で申し訳ありませんけれども、申し上げたいことです。

### 3.2 平成 22 年度活動報告

- |                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| (2) GCOE プログラム全体に関する報告 | } PPT 資料として P16～に掲載 |
| (3) JSPS による中間評価に関する報告 |                     |

#### (4) GCOE 流動融合分野研究報告

○高木 いま圓山先生からお話をいただいた中で、それぞれの当プログラムに参加している先生方を 4 融合分野という形で、その中に入って研究をさせていただいているということがございました。先生方が大勢いらっしゃって、それぞれ最先端の研究をしていると。大切なことは、良い研究をすることで、そうすると良い学生が来るし、良い研究者が国際的に集まるということだと思います。

きょうは 4 融合分野の中からそれぞれお 1 人ずつの研究内容を OHP でいただいておりますので、それを紹介させていただきます。

まず中橋先生の CFD に関するテーマで、次世代 CFD の手法として期待されている Building-Cube Method をお話しさせていただきます。ここに現代の CFD ということを書いてございますけれども、現代とは'90 年代からいまということになりますが、大規模計算がかなりできていますが、より大きいものをやろうとすると、いままでのやり方では限界があるでしょう。

特に、格子生成数が 1 億点というとんでもない数になり、格子をつくるだけでも大変な時間がかかってしまう。そういう意味では、将来、そのためには新しい方法で格子をつくっていかねばならない。そういうことがこのテーマになっています。

'70 年代は境界適合型の構造が使われていました。その後は、非構造格子がメインになって、中橋先生のところで格子も、それを使って作られているということで、いままで計算できなかったものができるようになった。しかしながら、構造格子ではなくて非構造格子では大規模なものが難しいだろうということでお考えになったのが Building-Cube Method です。立方体の中に直交格子があって、それを組み合わせることで格子をうまく作成して、かつアダプティブにメッシュを小さくすることができると。そういうことで研究をしておられます。

そのうちの計算結果のいくつかお見せします。これは飛行機のタイヤの部分の流れの計算をしてられる。昨日、ちょうど修士論文の判定会議があったので、私も読ませていただきながら勉強していたのですが、すごく大規模な計算をしていて精度は上がっているということが分かります。そういう意味ではこの **Building-Cube Method (BCM)** で大規模な格子生成が極めて早い時間でできるということが大きなメリットになっているということです。

それに併せて高精度で高解像度なソルバーができて、直交格子構造を生かしてメモリー量が小さくなることで極めて大きな計算ができるということ。それから、並列計算機に向いているだろうとがあげられます。例えば、キューブごとに計算機を割り当てることができる。これが新しいこれからの **CFD** の方向の1つになってくるのだらうと思います。

次に、笹尾先生の研究でございます。笹尾先生のところでは、ヘリアック型磁気閉じ込めの核融合実験装置をお持ちになっていて、これは比較的小型の装置ですが。密度も、いま国際共同プロジェクトとして開発が進められております **ITER** に比べると何ケタか小さいのですが、そこで研究される内容は大きな装置のプラズマの制御の研究にも大いに役に立っています。ここでご紹介されているのは、1つには電子放出型の電極ですが、これを入れることでプラズマの流れを変えることができることを証明している。いわゆる磁場の中に電極を入れているかたちです。

ここでは横軸が時間で、縦軸にプラズマの中の上と下の流れの速度を表わしている。その差を取っていますが、その場合にこのコイルの電流を変えることで、実際に流れの比を変える、すなわち、回転を変えることができる。すなわち、非線形の粘性がでてくることを明らかにしているのです。ここでは、**Z** が位置になっていますけれども、違うところで見ても電流を増やすことで実際に回転が変わっている様子が出てきている。それを実験的に実証しています。

先ほど話しましたがけれども、いまフランスのカダラッシュで **ITER** が国際的な計画で進められていて、2019 年から臨界になることになっていますけれども、笹尾先生のご研究はパラメーターは小さいのですが、実際に方法論がそういうものに生かされていて、それに大変貢献している結果になっています。笹尾先生ご自身もイーターの設計に参加しておられるということもありますし、大学院生が実際にイーターの計画の中で設計や、実験に加わっています。

次に、ナノ流動融合分野の小原先生の研究をご紹介します。ヘテロ構造を持つ液体気体膜界面の熱運動特性ということです。われわれのグローバル **COE** では、いろいろな研究者がおられます。メカニクスに沿ってやっておられる方、あるいは徳山先生のようにポテンシャルのダイナミクスでやっておられる方がおられますが、小原先生は分子動力学を使って研究しています。

それで2つの例をいただいております。計算をした結果になりますけれども、脂質の二重層、二重膜の異方性と熱伝導を明らかにしています。ここに脂質の分子構造が書かれていま

すけれども、2本の足があって、こちらが親水性でこちらが疎水性になっているのですが、水と水との間に膜をつくる。単層膜と単層膜が水の中にある状態をシミュレーションしていることになります。

この中の熱伝導、熱の変化を計算した例になりますが、この単層膜の間にちょうど疎水性の端が当たっているところで極めて熱伝導が悪くなっているということを世界で初めて明らかにしたと聞いております。そういう意味で、単層膜の方向には熱伝導は極めて良いのですが、それに直交する方向には極めて悪いということが明らかになったということです。

最近も多くの研究が行われていると聞いておりますが、SAM：自己組織化単分子膜ということで、金の上にアルカンの鎖を載せている。自己組織化でできてくるのですが、この末端の部分がそのままであるか、あるいはOH基を付けているかということで親水性になったり疎水性になったりする。温度の変化が出ておりますが、疎水性、つまり何もしなければ温度のギャップができています。親水性にすれば熱抵抗が大幅に減ることを予見しているといえます。

最後に極限熱流動融合分野で、橋爪先生がやっておられるマイクロ波を用いた配管減肉広域一括探傷技術の開発についてお話しさせていただきます。流動がつくる損傷がいろいろあります。例えば原子力プラントですとFAC：流動加速型腐食、あるいは、LDI：流滴衝撃型壊食と呼ばれているもの、等があります。

原子力プラントの保全のために、保温材を剥がして一点一点を見ています。実際はこの配管の上に保温材がかぶっていて、それが減肉で薄くなって破れたのが2004年の美浜3号機事故です。そういうものを、できれば全体を見たいという事業者の要望があります。そういう場合に現在研究されているものが2つあって、1つは超音波を使うガイド波で、長いところを保温材を剥がさずに見ましようという方法。2つ目は橋爪先生がやっておられるマイクロ波の方法です。一種の導波管を利用して、傷や減肉がある場合には電磁波の状況が変わるということを見て、ある意味でスクリーニングとして使える実験と解析をされています。

この結果を見せていただいて私もびっくりしたのですが、これは電磁波解析をした結果で、横軸に周波数を取っています。こういう場合は出てきた現象の解釈が大変大事になりますが、極めて実験と解析がよく合っていると思います。実験と解析の結果が出ていますが、減肉位置が特定できるようになっている。実験で明らかになっているのは、減肉位置で明確な振動のピークが出ていることで、どこに傷があるかが分かるということで今後極めて楽しい研究分野だと思います。大規模な配管でこういうものが使われていけば配管系の信頼性が上がってくると考えています。

以上、4研究内容について紹介させていただきました。

#### (5) GCOE 融合フロンティアプロジェクトの報告

○太田 続きまして、GCOE 融合フロンティアプロジェクトの報告として、代表例の「次世代環境適合型航空機の研究」を、大林茂プロジェクトリーダー、お願いいたします。

○大林 それでは、「次世代環境適合型航空機の研究」プロジェクトから報告させていただ



きます。メンバーはお手元の資料にあると思いますので省略いたします。

プロジェクトのキーワードは **Sustainable Mobility** ということで、持続可能な運輸交通手段を考える。われわれの場合は特に航空宇宙でそれを考えるということを目指しております。そのためのブレイクスルーとしては「計測融合シミュレーション」というものを考えています。このプロジェクトを立ち上げたときは、環境適合型飛行機はあるけれども、環境適合型ロケットはあまりないだろうと思いロケットは入れていませんでした。しかしその後、「実はロケットが環境適合型になるのです」という話があり、ハイブリッドロケットなども話題になってきています。

航空機で環境適合性とは具体的にどういう数値目標になっているかを少しご紹介したいと思います。現在わが国では **YS-11** 以来約 40 年振りといわれる **MRJ** というリージョナルジェットの開発が進んでおります。2013 年の終わるか 2014 年の初めには運航が開始される予定になっております。この航空機は、燃費は 26% 向上、騒音レベルを現在の航空機より 10 デシベル低減ということで環境適合性をうたっております。

しかし、ヨーロッパでは 2020 年に燃費を 50% 向上、騒音は半減する。あるいは、アメリカですと 2025 年以降ですけれども、燃費を 70% 向上、騒音は 60 デシベル低減します。60 デシベルも低減してしまったらまるで車のプリウス並みの音しか出ないのではないかと思われ、それがどんな飛行機なのかわかりませんが、非常に高い目標を掲げて研究開発を進めています。

**MRJ** の開発には東北大学も **CFD** の技術でかかわってまいりましたけれども、ここで使われた技術は巡航状態、つまり設計ポイントでの最適設計というものです。今後一層の環境適合性を高めるために必要なのは、非定常状態をも含んだ最適設計。すなわち、巡航状態だけではなくて離着陸、旋回、あるいは突風に遭うといったところまで含めて最適設計ができる技術が必要であろうと考えています。そのためにわれわれが考えているのが **CFD** と **EFD** 「実験流体力学」の融合、計測融合シミュレーションというものです。

計測融合シミュレーションの例はどんなものかと言いますと、シミュレーションとは初期値に境界域を与えるとほぼ一意に計算できるわけですが、例えば空港で飛行機が飛ぶと後方乱気流、つまり飛行機から出る渦ができます。これは理想状態ではもちろん計算できるわけですが、現実の空港では、その日の大気の初期条件あるいは飛行機が飛んでいるときの境界条件をリアルタイムで手に入れることはできません。したがって現実のシミュレーションはできないわけですが、それをなんとかやろうということです。

これは仙台空港で電子航法研究所 (**ENRI**) というところが、レーザーを利用したドップラーライダーという装置を置いておりまして、それで航空機の離陸した後の大気の状態を計測することができます。この計測データを基にシミュレーションの初期値を最適化することによって、そのときの大気の流れを再現するということをやります。ここに流れているムービーがその計算の一例ですけれども、渦の挙動が、風がなければ滑走路に向かって真っすぐ落ちて行きますが、風があると横に流れていくようなことを再現することができます。

もう一例として、ハイブリッド風洞というアイデアがあります。ここに示しているのは 2 次元の実験例ですけれども、ここに角柱がありまして、カルマン渦という交互に渦が出る現

象があります。この実験とリアルタイムでシミュレーションできる程度に格子を粗くしてしまえば、こうした現実とは合わない流れしか計算できません。そこで、この角柱の側面で採った圧力データを計算に付加することによって、実は風洞の流れを非常に精度よく再現することができます。こうした技術を開発しております。

下に小さく書いてありますけれども、これはまだ2次元ですので、今後は流体研にある風洞を使って3次元の動的風洞試験を行います。通常の風洞では、模型は支持で支えられて静止していて風が吹いてくるわけですが、その支持をロボットアームに代えて模型が非定常に運動する状況で非定常の風洞試験を行い、その計測データを基に計測流動シミュレーションによって精密なシミュレーションを行うという技術をつくっていく計画です。

その他の活動ですが、先ほどから紹介されております国際会議において、継続的にオーガナイズドセッションを開催しております。ハイブリッドロケットに関しては澤田教授と JAXA 宇宙科学研究所の嶋田先生とで海外から多くの方をお呼びして、非常にレベルの高いディスカッションをされています。航空のほうでもドイツから気象の専門家の方をお呼びして、気候に対して航空輸送というものがどういうインパクトがあるのかという話題を紹介いただいたりして、さまざまなディスカッションを行っております。

われわれのプロジェクトの報告は以上です。

○太田 引き続き、「ナノ・マイクロプロセス」に関しまして、寒川誠二プロジェクトリーダーから報告をいただきたいと思います。

○寒川 「ナノ・マイクロプロセス」ということでプロジェクトリーダーをさせていただきますが、私以外のメンバーとしては、石本先生、徳増先生、佐藤先生、米村先生、三木先生と全て非常に若い准教授クラスの先生方でありまして、何も言わずとも精力的に研究を進めていただいております。そういうプロジェクトが一番いいのではないかと考えております。

いったい何をやっているのかといいますと、ナノ・マイクロ流動のベーシックリサーチとしては、まず最初にエネルギー粒子流のジェネレーション。例えばプラズマ、あるいはスラッシュジェットなどを生成する技術を開発しまして、そういうエネルギー粒子と無機・有機いろいろな固体材料表面との相互作用を実験的あるいは計算シミュレーションで予測する。その結果に基づきまして、主に半導体、MEMS、いろいろなデバイス、それから、医療応用というものについて役に立つような技術を輩出していくことが目的になっております。

具体的なテーマとしては、私自身は従来からプラズマプロセスをやっているのですが、その問題点を解決する中性の粒子ビームというものを提案しておりまして、それを使ったプロセスや表面とのインターアクションをやっています。それから、佐藤先生が大気圧プラズマというものを使っております。最近、大気圧プラズマは大気中で高エネルギー状態をつくって、表面をいろいろ解析したり処理するのに非常に有効なプロセスとして注目を集めておりますが、特に医療応用ということで、佐藤先生はいま精力的に海外とも共同してやられております。その辺のお話を簡単に紹介したいと思います。

それから、石本先生はスラッシュジェットという高エネルギー粒子の形成方法を提案して

おります。それを私が若干お手伝いさせていただきまして、半導体分野のプロセスに応用しようとしています。非常に良い成果が出てきております。それから、モデリングというところでは、徳増先生は分子動力学で表面の化学反応のモデリング、米村先生はプラズマなど物理的なモデリングが得意な先生でありまして、そういう計算手法を使った実験方向付け・評価というものをさせていただいております。もう1つは三木先生ですけれども、三木先生のところで独自に開発されたダイヤモンドの CVD 技術を駆使しまして、超低摩擦係数の表面をつくる研究をされています。

こういうことで、ナノ・マイクロの領域における高エネルギーの粒子とその表面とのインターアクションを中心に研究を進めているということです。

簡単に研究を紹介していきますが、プラズマというのは真空中にガスを入れて電場をかけてやると簡単に放電するという、それから簡単に高エネルギーの粒子をつくることができる。イオンやエキサイトラジカルのようなものをつくって、非常に低温であります。表面で化学反応を促進することができるので、特に半導体を中心にいろいろな分野で使われています。

ここに、プラズマ中に発生する紫外線や荷電粒子というのは、半導体デバイスの表面に損傷を与えることが問題になっておりまして、私はそれを解決する1つの手法として中性粒子ビームという、プラズマの中で高エネルギー粒子をつくってやり、それを加速してこういうカーボン製のアパーチャーを通してやると中性化されて、エネルギーは持っているのですが電荷を持たない、あるいはこのプラズマ中で発生する紫外線をカットできるような状況をつくることできる。

そういうものを使っていろいろと超高精度な加工をしてやりますと、これは1個の粒が10 ナノ・メートルぐらいのサイズなのですが、現在そういうものを使っていままでない量子ドットを用いた太陽電池、変換効率が50%程度になるようなものを目指して研究開発をしているということです。

次は、石本先生のマイクロナノ・スラッシュジェットですが、半導体プロセスの中で、加工のマスクとして有機材料をパターン化したマスクを使うのですが、それを加工した後に除去する工程で従来はプラズマを使っていたのです。しかし、先ほど言いましたようにプラズマを使うと表面に損傷を与えること、さらに、加工するとき表面が変質してしまうと酸素のラジカルで除去しようとしても残ってしまいます。それに対して、ダメージなしで効率よく有機材料を除去できる方法として石本先生が提案しているのがスラッシュジェットであります。ここに窒素を流して微細固体窒素粒子スプレーという状態をつくってやり、シリコン基盤上のポリマー材料に吹き付けてやると、物理的な衝撃だけでは取れないのですが、超高熱流速効果による熱収縮、つまり最初は非常に高い温度でそれからマイナス200℃ぐらいまで冷やしてやって、その熱収縮を使うことによってすごくポリマー材料が取りやすくなる。さらに、このジェットを超音波で振動させてやると、さらに効率良くレジストが取れるという現象を発見されたということで、半導体分野でもいま非常に注目されております。ヨーロッパのIMECが主催する学会などに採択されていろいろ議論を進めている話を聞いています。



次は佐藤先生ですが、大気圧プラズマです。メディカルアプリケーションの一例として、生体あるいは医療器具などの表面の滅菌に使われることが精力的に世界中で検討されています。その中でいま佐藤先生がやっているのは、大気圧プラズマで発生する活性種の中でOHというラジカルを使ってやると、100℃以下の低温で滅菌できるという技術を開発されています。これはどういうところに応用できるかというところ、ポリマー材料でつくられている耐熱性のない医療器具の表面の滅菌に非常に有効なのです。実験的にも100℃以下で滅菌ができるということを発見されまして、いま実用化に向けて研究を進めているところです。

これは三木先生がやられている多結晶ダイヤモンドフィルムの表面をポリシングしてやり、パーシャルな平坦性を出している。ある程度凹凸をコントロールしてやると表面の摩擦係数がある回転数以上になるとすごく低くなる現象が発見されました。それを米村先生と共同でそのメカニズムを研究しています。マクロな凹凸があるようなダイヤモンド表面の微細化学構造によって高い圧力が発生して浮上するような気体潤滑現象というものがあるということを明らかにされたということです。

最後は徳増先生の分子動力学でございますが、固体高分子系燃料電池の中のミクロな流動現象というものをシミュレーションしております。燃料電池の中の水分の蒸発現象、触媒の上での水素の乖離吸着現象、水分の輸送現象などをモデル化しております。実際の燃料電池の中の輸送現象はかなり複雑なのですが、それらを1つ1つ解き明かして総合的に解析することによって、将来的には高効率な燃料電池を提案していくことを目標に研究を進めております。

#### (6) 国際交流に関する報告

○高木 われわれの拠点は世界拠点ですので、やっていることは全て国際的であると自負しておりますけれども、特にその中でいくつかのトピックをお話しさせていただきたいと思っております。

われわれのところでは、前の21世紀COEから引き継いでいるところがございます。リエゾンオフィスの世界の6カ所に展開していて、それがコアになってその周りの大学あるいは周りの国とネットワークをつくらうということで、マルチステージ国際ネットワークを形成しています。そこを通じて共同研究も、共同教育もするということになります。国際会議あるいはワークショップなどもなるべくそういうところと一緒にやるということで、かなりの人間が参加しています。

大学は、いわゆる学術交流協定をいろいろな世界の大学と結んでいますし、機械系、流体科学研究所を含めていろいろなところとお付き合いがあります。それは協定だったりお付き合いだったりしてそういうところと連携をしようとしております。それから、先生方が研究活動になるべく発信するように国際会議やワークショップを開催しています。先ほどの圓山先生のお話にありましたが、学生もなるべくこういうものを使って外へ出そうということをしております。

まず国際共同研究ですが、トピックとしてはエリートラボラトリーのことをここに書いてございます。エリートラボラトリーと言いますのは、東北大学とフランス。リヨンの2つの

大学、ECL と INSA-Lyon ですが、CNRS からお金をもらって、バーチャルですがジョイントラボラトリーを作っています。その中でいくつかの研究テーマが走っているということで、流動科学に関連してこのようなテーマの共同研究が進んでいます。流動ダイナミクス国際融合ジョイントラボラトリー（FLOWJOY）というのは、流体科学研究所の中の仕組みを使って、流体科学研究所の先生方が中心になって、ほかの大学と、やはりバーチャルではありませんがジョイントラボラトリーを作って研究をしています。もちろん、この中にはドクターコースの学生あるいは修士課程の学生も入って、一緒に国際交流活動を兼ねて実施しているわけです。

それから、国際共同教育ということで、1 つは共同研究の中に学生と一緒に巻き込んでいくことがあります。これは実践教育となります。それから、学生に自分たちで企画をさせて国際会議の 1 つのセッションを任せるというのも、長くやっていて成果が出ている。今年初めてやったのですが、中国と韓国と日本の学生が参加して原子力発電プラント保全のサマースクールを開催しています。そのほか国際宇宙大学にも参加していますし、さらに JSPS の HOPE ミーティングにも出ている。そのように一人の学生を 2 回以上海外へ出そうということでグローバル回遊教育研究のようなこともしています。

それからもう 1 つのポイントはインターンシップを積極的に進めているということがあります。日本の学生さんはなかなか外へ出なくなると新聞等に出ていまして若干われわれも心配しているところがあります。今年 7 人、あるいは 8 人になるかもしれませんが、学生が出て行っている。それから受け入れは比較的順調に進んでいて、1 カ月から 6 カ月の間でここに示すような学生さんに来てもらっているということです。それ以外にも若手の研究者を海外の国際会議に出るように支援しています。

先ほど圓山先生の紹介の中に、ICFD の 2010 年に 700 人を超える参加者があったというお話がありましたが、そこでは ICFD の中でリエゾンオフィスの活動についてパネルディスカッションをしています

それから、アジアの大学との交流が大事であるということで、学術交流協定を結んでそれを活用しているということ。それから先ほどの保全のスクールをアジアの学生に来ていただいてやっている。あるいはインド等から学生を採用しています。アジアはわれわれにとって大変大事な相手ですので、これからも進めていきたいと思います。いわゆる東北大学デーでグローバル COE の展示をしたりしているということもございます。

それから、来週になるのですが、すぐ隣の片平さくらホールで、先ほど言いましたエリートラボのワークショップを開催します。フランスから 40 人ぐらいの研究者・学生が来ることになっていまして、ここに書いてあるようなセッションでやります。もちろんこれは、われわれのグローバル COE だけではなくて東北大学と相手側の 2 つの大学や CNRS との共同で開催します。東北大学から多くの方々が参加して、われわれも中に入ってやるというかたちで進めます。

2011 年度の重点事項ということですが、幸いにもわれわれのやってきたことに対して肯定的な評価を得たということがありますので、大きく変わる必要はないのだろうと思っています。これまでやってきたことをさらに発展するようなかたちで国際共同教育研究を推進し

ていきたいと思っています。それから、ICFD をこれから自立できるような会議にしていける。それとサマースクールをやって若い人たちをどんどん教育していきたいと思っています。さらに、アジアの大学との交流を進めていきたいと考えています。

#### （７）オータムスクールに関する報告

○和田 オータムスクールにつきまして簡単にご報告いたします。フランス、リヨンの University of Lyon は、2つのグランズエコールであります、ECL と INSA-Lyon を中心とする大学の連合体なのですが、そこと共同で昨年 10 月 24 日から 11 月 3 日の間、東北大学片平キャンパスで行いました。来た学生はリヨンから 19 名、そのほかにオーストラリア、ロシア、スウェーデン、中国から各 1 名の合計 23 名。内訳は博士課程の後期が 11 名、前期が 12 名と半々ぐらい。東北大学からも博士課程の大学院生が 7 名参加しました。

カリキュラムの内容は、まず日本の文化・歴史を東北大学の太田先生に講義していただき、それから東北大学、ECL、INSA-Lyon の教授 7 名による学術講義を行いました。それから研究室見学とセミナー、学生自身による研究内容の発表と全体討論。これは学生たちにとっては結構プレッシャーになるのですが、それもやりました。あとは女川原発、そして新幹線のメンテナンスセンターがここから近いので見学に行き、最後に先ほどの国際学会にも参加するという盛りだくさんなスケジュールでございました。来た人たちはだいたいこんな感じでした。これは女川原発の中で撮った写真でございまして、左右にいるのは原子力発電所の方々です。

今回のオータムスクールは、昨年の東北大学リヨン・サマースクールに続いて 2 回目ですので、われわれの事業として定着したかなと思います。今回、学生の日本文化体験等に関しては、お金の出し方が難しいのでフランス大使館から支援をいただき非常に役立ちました。カリキュラムは非常に密度が濃かったので、学生たちが自由に街に出て体験するなどの時間はあまりなく、このあたりがこれからの課題だと思います。あとで表が出ますけれども、参加者には非常に満足してもらったということでございました。

フランスの場合には、博士課程の後期といいますと、われわれのところの博士課程の後期とだいたい同じなのですが、マスターコースはほとんど大学を出たばかりの学生なので、そのへんが一緒に扱うと難しい点もあります。こうした点、今後検討して行きたいと思っています。

今年（平成 23 年度）は、フランスのリヨンにもう一度 9 月に行こうと思っております、東北大学の参加学生を募るのに、ここ（東北大学）にはグローバル COE が 12 個ありますので、そこから博士課程中心に学生を連れていこうかと。ただ、マスターの学生もいたほうがバラエティーがあって活性化しますので、修士の学生も何らかのかたちで一緒に行ってもらいたいと思っています。

これは終わったあとで学生からアンケートを取った結果なのですが、字が小さいので個別には見られないのですが、23 名全員が非常によかったと言っておりまして、特にアカデミックレクチャーがよかったと。今回はフランスなどでも機械系の学生が多いわけですが、そこにニュートリノサイエンス、あるいは地球物理学、天文学などの先生の講義なども入れまして、更に太田先生の脳科学とか、今回来た学生達が普段はあまり馴染んでいない講義を多く

取り入れたわけですが、学生たちは意外にもこうした講義にも非常に高い興味を示しました。

それから、東北大学は設備も非常によく、全体の雰囲気がいよゐとほめられまして、われわれとしては少し安心し、また自信も深めました。

### 3.3 評価委員からのコメント

○太田 これから評価委員による報告をお願いしたいと思います。最初に Behnia 先生お願いします。

○Behnia 委員： As I have previously said, in the area of achievements and quality of research GCOE has been very successful. This was also shown by the official ranking data that Maruyama-sensei mentioned. I therefore believe that GCOE should be congratulated for its achievements. And, as Maruyama-sensei said in answering my question, GCOE needs to continue on the same path and do more of the same good things. In a sense the formula for its success is very simple.

○太田 それでは次に、藤井先生をお願いします。

○藤井委員： 先ほど申し上げましたが、研究のレベルという意味では全く問題なく良くやっておられると考えます。文科省が高い評価をされたというのもうなずけます。疑う余地はないでしょう。

融合の話についてですが、融合の拠点の概要と目標のところに多国間研究融合とか、異文化融合であるとか、書かれていて、実際にいろいろな活動をすごくやられているので、あるの意味では十分成功を収められるだろうと思います。

ただ、その中でいくつか思うことがあります。先ほど圓山先生が分野を横断した融合で成果を出すのはなかなか難しいと、また、特定の目的を設定するのは大学では難しいということを言われました。そうであってもやはり、融合の大きな効果は期待したいところです。いわゆるコンバージング・テクノロジーといわれているようなものがあって、そういうものは先生方が頭を寄せ合ってブレインストーミングをする中で生まれる可能性があると思うのです。結果として出てこなくても仕方ないけれど、是非その努力はやっていただきたいなと思います。

○太田 では、Shin 先生、お願いします。

○Shin 委員： 私はコメントはございませんけれども、長い間プロジェクトリーダーをやっている圓山先生は答え方が非常にうまくなれまして尊敬しております。普通はこういうプロジェクトをすればだいたい体を壊したり、みんなからいろいろ言われて非常に困る立場になるのですが、こんなに元気なのを見るとリーダーの資格が十分にあるなと思います。それは冗談ですが、初めに計画を見たときにはいろいろなスケールの流れ場を応用して、いろいろな分野を融合していくということを打ち出しておられたのですが、結局、予想しなかった結果も出て来ています。中身をもう少し調べてみてもいいかと思います。



○太田 次に戸田先生、お願いします。

○戸田委員： 私はこの評価委員の中では、大学の中にどっぷりと浸かったスタッフの1人でございましたから、そういう意味では完全に外側の視点からの評価ができるかどうかという自分自身で心配な点があります。そうは行っても、いまやっております仕事も外の仕事ではなく、そういった視点も勉強しておりますので、そこから少し、きょうの GCOE でお伺いしたことと、それから見させていただいた報告書などを見て感じたことをいくつか申し上げたいと思います。

一つは教育という面で、非常に多岐にわたってインターナショナルにやられていますので、特にこれについて申し上げることはないと思います。

それから、研究面で、融合というお話がありましたが、融合の中で言えばこれは大学の先生方、私も感じているわけですが、それぞれの個人は非常にアクティビティーとアイデンティティーを持っておられるのは事実ですけれども、1つは融合をするためには、異分野やそういったものもその個人が取り込んで、それを新しい違う分野として生み出せるかどうかということにかかっているわけです。そういうことがありますので、GCOE でのこういう場と言うのは、私はそういう研究をしている先生方個人に対しては、非常にいい場を提供するいいチャンスであるということと理解しております。ですから、そういう意味でぜひとも融合もする力を持って、それを基にして生み出した成果をこの報告書の中に、先ほどのような徹底したサーベイのもとに提示していただけると、本当に素晴らしいものになるのではないかと考えております。

○太田 Zhang 先生、お願いします。

○Zhang 委員： 私はきょうは質問ばかりしていて、先ほどもいろいろ申し上げたのですが、きょういろいろとご報告を伺って、まず研究と教育との国際拠点になっていることはもう間違いない。私もいろいろなところで評価委員会をやっていますが、皆だいたい全部が定性的に評価されています。何か方法を考えて定量的に、研究成果を評価する方法はないものか。例えば研究はいろいろテーマが、あるいは小さいテーマから領域までの研究もありますし、人のまねをしている研究から少し改良するまで、またオリジナルな発想からやっている研究もあります。ユニークな研究成果を評価するシステムを東北大学の GCOE で作ってみてはいかがでしょうか。

### 3.4 あいさつと謝辞

東北大学流体科学研究所長 早瀬 敏幸 あいさつ

本日は大変お忙しい中、国際評価委員会の皆さまには、「グローバル COE プログラム国際評価委員会」に、ご出席いただきまして誠にありがとうございます。

本グローバル COE は工学研究科、医工学研究科、多元物質科学研究所、未来科学技術共

同研究センター、原子分子材料科学国際研究機構および流体研の協力で運営されております。関係部局を代表いたしまして一言挨拶をさせていただきます。

本グローバル COE も今年で 3 年目、ちょうど中間の年を迎えております。あとで圓山リーダーからご説明があるかと思いますが、先日の中間評価では大変高い評価をいただいて、われわれも喜んでおります。ただ一方では、先般の事業仕分けで、グローバル COE 事業自体が大変厳しい評価になっていることも事実だと思います。われわれとしましては、グローバル COE に何が求められているのかをしっかりと認識して後半の 2 年間に成果を挙げていきたいと考えております。

本日、評価委員の先生方におかれましては、ぜひ忌憚のないご意見をお寄せいただきたいと思ひます。また、グローバル COE はあと 2 年の期間ですけれども、終了後につきましても関係部局で協力しながら考えていきたいと思ひております。本日はどうぞよろしくお願いいたします。

拠点リーダー 圓山 重直 謝辞

井上先生をはじめ委員の先生方、お忙しいところいろいろ貴重なご提言をいただきましてありがとうございました。それから事業推進担当者、研究協力者の先生方もご参加いただきまして大変ありがとうございました。

いま井上委員長のほうから、残りの 2 年間で刈り取りをしっかりとやって、きちっと伸ばしなさいというお言葉をいただきました。これは結構つらいのですが、中間評価でわっと頑張っていたので、それをずっと 2 年間続けるのはつらいのですが、でもやはりそれはやらないといけないと思ひます。それから、各層の学生、社会、産業界にとって魅力的なことをやるというのは、やはりやらなければいけないのですが、われわれは先ほど言ったように中間のところで独りよがりなことをやっていただけでは駄目なので、そこをどのようにアピールしていくのかは非常に重要だと思ひています。あといくつかの貴重なご提言をいただきましたので、残りの 2 年間、その方向をもう 1 回整理させていただいて、われわれとしても今後の活動に役立てさせていただきたいと思ひますので、今後ともご支援のほどよろしくお願いいたします。以上でございます。本日は本当にありがとうございました。



## 4. 評価委員会資料

### 4.1 GCOEプログラム全体に関する報告



# 流動ダイナミクス 知の融合教育研究世界拠点

World Center of Education and Research for  
Trans-disciplinary Flow Dynamics

## 国際評価委員会資料

平成23年2月17日

## 出席者

### 1. 外部評価委員

Behnia, Masud	シドニー大学工学部 教授
藤井 孝蔵	独立行政法人宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 副所長
井上 孝太郎	独立行政法人科学技術振興機構 上席フェロー
Shin, Hyun Dong	韓国科学技術院機械工学科 教授 燃焼技術研究センター長
戸田 三朗	東北放射線科学センター理事
Zhang, Xing	清華大学工程熱物理研究所 教授

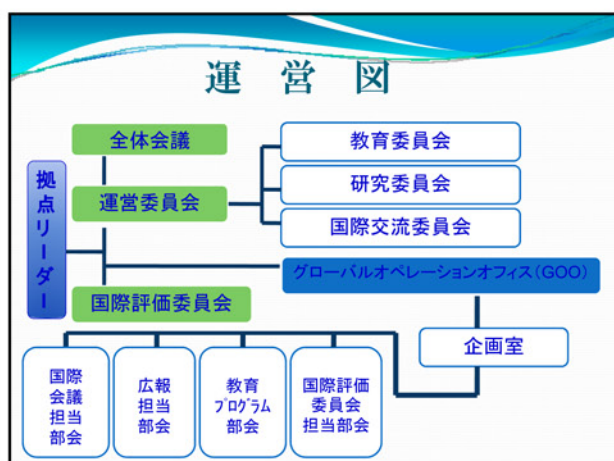
### 2. 事業推進担当者・研究協力者 外

AGENDA 次 第		
15:00-15:05	流体科学研究所 所長あいさつ	早瀬敏幸所長
15:05-15:10	(1)委員長選出・委員長あいさつ	委員長
15:10-15:30	(2)GCOEプログラム全体に関する報告	圓山重直拠点リーダー
15:30-15:40	(3)JSPSによる中間評価に関する報告	圓山重直拠点リーダー
15:40-15:50	(4)GCOE流動融合分野研究報告	高木敏行拠点サブリーダー
15:50-16:10	(5)GCOE融合フロンティアプロジェクトの報告(代表例)	
15:50-16:00	1)「次世代環境適合型航空機の研究」	大林茂プロジェクトリーダー
16:00-16:10	2)「ナノ・マイクロプロセス」	寒川誠二プロジェクトリーダー
16:10-16:20	(6)国際交流に関する報告	高木敏行国際交流担当
16:20-16:30	(7)オータムスクールに関する報告	和田直人特任教授
16:30-16:45	休 憩	
16:45-17:15	(8)質疑応答	
17:15-17:55	(9)評価委員による報告	
17:55-18:00	(10)謝 辞	



事業推進担当者名		
拠点リーダー (流体流動融合分野)	圓山 重直 Shigenao MARUYAMA	流体科学研究所・教授
サブリーダー (ナノ流動融合分野)	高木 敏行 Toshiyuki TAKAGI	流体科学研究所・教授
情報流動融合分野	中野 政伸 Masami NAKANO 中嶋 和博 Kazuhito NAKAHASHI 石本 淳 Jun ISHIMOTO 太田 信 Makoto OHTA	流体科学研究所・教授 工学研究科航空宇宙工学専攻・教授 流体科学研究所・准教授 流体科学研究所・准教授
反応流動融合分野	丸田 薫 Kaoru MARUTA 堀江 直貴 Naomichi HOSOKAWA 三浦 隆利 Takatoshi MIURA 井谷 五郎 Goro MASUYA 西山 勇哉 Hideo NISHIYAMA 小林 光昭 Hidetoshi KOBAYASHI	流体科学研究所・教授 工学研究科量子エネルギー工学専攻・教授 工学研究科化学工学専攻・教授 工学研究科航空宇宙工学専攻・教授 流体科学研究所・教授 流体科学研究所・教授
ナノ流動融合分野	小原 拓 Taku OHARA 宮本 明 Akira MIYAMOTO 水崎 純一 Junichi MIZUSAKI 堀江 道夫 Michio HOSOKAWA 寒川 誠二 Seiji SAMUKAWA 小玉 哲也 Tetsuya KODAMA 堀江 隆 Takashi HOSOKAWA	流体科学研究所・教授 流体科学研究所・教授 多元物質科学研究所・教授 分子材料科学高等研究機構・教授 工学研究科航空宇宙工学専攻・教授 工学研究科航空宇宙工学専攻・教授 工学研究科航空宇宙工学専攻・教授
極限流動融合分野	大林 茂 Shigeru OHAYASHI 福西 祐 Yu FUKUNISHI 浅井 圭介 Keisuke ASAI 青田 恵介 Keisuke SAWADA 伊藤 高敏 Takatoshi ITO 橋爪 秀利 Hidetoshi HASHIZUME	流体科学研究所・教授 工学研究科機械システムデザイン工学専攻・教授 工学研究科航空宇宙工学専攻・教授 工学研究科航空宇宙工学専攻・教授 流体科学研究所・教授 工学研究科量子エネルギー工学専攻・教授

研究協力者名		
情報流動融合分野	白井 敦 Atsushi SHIRAI 江原 真司 Shinji EBARA 竹島 由里子 Yuriko TAKESHIMA	流体科学研究所・准教授 工学研究科量子エネルギー工学専攻・准教授 流体科学研究所・講師
反応流動融合分野	青木 秀之 Hideyuki AOKI 佐藤 岳彦 Takahiko SATO	工学研究科化学工学専攻・准教授 流体科学研究所・准教授
ナノ流動融合分野	三浦 英生 Hideo MIURA 湯上 浩樹 Hiroo YUGAMI 米村 茂 Shigeru YONEMURA 島山 望 Nozomu HATAYAKAWA 三木 夏之 Hiroyuki MIKI 佐藤 一太 Kazuhisa SATO	工学研究科付属エネルギー安全科学国際研究センター・教授 工学研究科機械システムデザイン工学専攻・教授 流体科学研究所・准教授 工学研究科応用化学専攻・准教授 工学研究科・講師 多元物質科学研究所・助教
極限流動融合分野	大平 勝秀 Katsuhide OHIRA 渡辺 豊 Yutaka WATANABE 内一 哲哉 Tetsuya UCHIMOTO 遊佐 崇季 Noritaka YUSA 小宮 教雄 Atsuki KOMIYA 伊藤 由規 Yuka IGA	流体科学研究所・教授 工学研究科量子エネルギー工学専攻・教授 流体科学研究所・准教授 工学研究科量子エネルギー工学専攻・准教授 流体科学研究所・助教 流体科学研究所・助教



## 平成22年度の主な活動

- 国際会議の開催
- 研究支援者の採用
- 国際的人材育成
  - 国際若タケノコ発掘プログラム
  - 国際出る杭伸ばす教育プログラム
  - グローバル回遊教育プログラム
  - 国際高等研究教育院との連携
  - ジョイントラボ連携国際インターンシップ
  - 国際宇宙大学派遣
  - HOPEミーティング派遣
  - 学生企画/運営国際会議・シンポジウム
  - 学生交流研究発表会
  - 流動ダイナミクス知の融合博士学生セミナー
  - 保全サマースクール2010
  - ELyT School in Sendai - Autumn 2010
  - 英語研修会 (English Conversation Class)
  - ダブルディグリー共同教育
  - 高度イノベーション博士人材育成センターとの連携
  - 若手研究者国際会議派遣
  - 流体科学分野横断セミナー
  - 客員教授による実践教育

これらの研究者像

## 国際会議の開催

日時	会議名	場所	参加者
H22.11.1~3	Seventh International Conference on Flow Dynamics	仙台国際センター	749名 (うち外国人241名)
H22.11.2~4	International Seminar on Maintenance Science and Technology for Nuclear Power Plants	仙台国際センター	110名 (うち外国人 20名)
H22.11.14~16	2010 Swiss -Japanese Scientific Seminar: Intracranial Stents - Medical Engineering and Vessel Biology	University of Zurich (スイス)	50名 (うち外国人 40名)
H23.2.21~22 (予定)	GCOE, IFS-Tsinghua University Joint Workshop:2011	清華大学 (中国)	—
H23.2.22~24 (予定)	ElyT Workshop	東北大学	—
H23.2.23 (予定)	Multi Disciplinary / Multi-Objective Optimisation Workshop	ドイツ	—
H23.2.28~3.2 (予定)	The 4 <sup>th</sup> Discussion Meeting on Glass Transition	東北大学	—

## 5<sup>th</sup> International Conference on Flow Dynamics Nov. 17-19, 2008

参加者 346名、内外国人108名(17カ国)

## ICFD2009 Sixth International Conference on Flow Dynamics

平成21年11月4日~6日 ホテルメトロポリタン仙台  
参加者 448名 内外国人157名(16カ国)

## ICFD2010 Seventh International Conference on Flow Dynamics

平成22年11月1日~3日 仙台国際センター  
参加者 749名 内外国人241名(22カ国)





## グローバル巡回教育プログラム

### 工学研究科ナノメカニクス専攻 D3 木村 祐人氏

派遣機関1:コロラド州立大学(フォートコリンズ、アメリカ)

平成21年6月1日～平成21年8月15日

派遣機関2:デュッセルドルフ大学(デュッセルドルフ、ドイツ)

平成23年1月16日～平成23年2月5日

派遣機関3:コロラド州立大学(フォートコリンズ、アメリカ)

平成23年2月6日～平成23年3月17日

### COEフェロー(PD) Zahurul Fuadi氏

派遣機関1:Ecole Centrale de Lyon(リヨン、フランス)

平成22年10月14日～平成22年10月30日

派遣機関2:シンガポール国立大学(シンガポール)

平成23年1月29日～2月19日

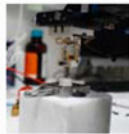
### 工学研究科バイオロボティクス専攻 D2 解 社朗氏

派遣機関1:INSA-Lyon(リヨン、フランス)

平成22年2月25日～平成22年3月27日

派遣機関2:西安交通大学(西安、中国)

平成23年3月17日～平成23年4月30日



## 平成22年度若手研究者国際会議派遣

16名 派遣

### ジョイントラボ連携国際インターンシップ

平成22年度派遣学生

韓国	韓国機械研究院 1名
アメリカ	Massachusetts Institute of Technology 1名
フランス	Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique 1名
スウェーデン	KTH 1名
フランス	Centre Antoine Lacassagne 1名
ドイツ	RWTH Aachen University 1名
中国	北京理工大学 1名

流体研支援による平成22年度若手タケノコ国際(修士)派遣学生

ドイツ	RWTH Aachen University 1名
ドイツ	ミュンヘン工科大学 1名
フランス	INSA-Lyon 1名

## 平成22年度受入学生

イラン	Shabid Bahonar University of Kerman 1名
ポーランド	Warsaw University of Technology 1名
イタリア	"Federico II" University of Naples/Italian Aerospace 1名
韓国	Seoul National University 1名
フランス	Ecole Centrale Lyon 1名
オーストラリア	The University of Sydney 1名
中国	Tsinghua University 1名
インド	Indian Institute of Technology Guwahati 1名



## 国際宇宙大学派遣(国際宇宙大学スペース・スタディーズ・プログラム)

須藤 真珠氏(航空宇宙工学専攻D1)

期 間:平成22年6月18日～8月29日

場 所:International Space University(フランス)



## 学生企画/運営国際会議・シンポジウム

日 時	会 議 名	場 所
H22.6.17～6.18	The 5th Tohoku University-Seoul National University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle	東北大学 流体科学研究所
H22.8.2～8.4	グローバルCOE航空宇宙流体科学サマースクール	草津温泉リゾート (群馬県吾妻郡草津町)
H22.11.1～11.3	The Sixth International Students/Young Birds Seminar on Multi-scale Flow Dynamics	仙台国際センター
H22.11.7～11.11	The 11th Japan-Korea Students' Symposium - Fast Ion Transport in Solids and Through Interfaces - The Related materials and Phenomena	ソウル(韓国)

## The Sixth International Students/Young Birds Seminar on Multi-scale Flow Dynamics

- グローバルCOEのRA学生がオーガナイザーを務め自主的に企画運営
- 9カ国から過去最高の109件もの発表
- Students/Young Birds Friendship Night
- 教員による審査に加えて、学生同士で審査を行い表彰する

### 【BEST AWARD】教員審査

7-13 Ms. Tae Hattori (The University of Sydney, Australia)

7-22 Mr. Francisco Palazon (Ecole Centrale Lyon, France)

### 【OUTSTANDING AWARD】学生審査

7-13 Ms. Tae Hattori (The University of Sydney, Australia)

7-43 Ms. Hitomi Anzai (Tohoku University, Japan)





### The 11<sup>th</sup> Japan-Korea Students' Symposium - Fast Ion Transport in Solids and Through Interfaces - The Related Materials and Phenomena -



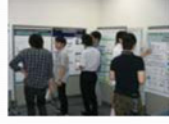

- ▶今年で11回目
- ▶シンポジウムの運営、プロシーディングスの作成、資金獲得、旅行の手配に至るまで全て学生が自主的に行う
- ▶日本側4研究室24名、韓国側ソウル大学及び韓国科学技術院 5研究室32名 合計56名での大規模開催
- ▶高い英語能力だけでなく、高い専門性、広い視野そして高い人間性を持った人材育成



### 学生交流研究発表会

○第3回流動ダイナミクス国際若手研究発表会  
平成22年7月26日 10件発表

- ▶学生が主体的に運営
- ▶学生同士で発表に対するピアレビューを行い、表彰する
- ▶自分の研究を見つめ直し、今後の研究に生かす
- ▶異分野の研究内容を深く理解→複眼的な人材育成
- ▶優秀発表者上位3名がGCOE全体会議において発表を行う(特別奨励費として研究費を配分)

### 流動ダイナミクス知の融合「博士学生セミナー」

本企画は、学生が提案し、若手研究者が支援して実現

○夏季流動ダイナミクス知の融合「博士学生セミナー」  
平成22年7月16日～17日  
講師：山田豊氏（東洋エンジニアリング株式会社 代表取締役社長）  
「Globalization in Engineering and Human Capital - Its Dynamics and Human Capital」

高木敏行教授（東北大学）  
「電磁現象を用いた機能性材料や非破壊評価の研究」




### 保全サマースクール2010

平成22年7月19日～23日 東北大学流体科学研究所COE棟 他

目的：我が国を含むアジア諸国における原子力保全に関わる若手育成に資することを目的とする。

東北大学、東京大学、大阪大学、神戸大学の学生計8名および中国 南京航空航天大学、清華大学、華北電力大学、西安交通大学の学生計6名、韓国 成均館大学の学生1名の、3カ国15名の学生が参加した。

講義(座学)、学生発表、女川原子力発電所見学、東北大学内研究室の見学及び研究室における実習などを実施。

学生発表では、2回目以降は座長も学生に努めさせるなど、自主的な運営を行なった。

使用言語：英語




### ELyT School in Sendai - Autumn 2010




平成22年10月24日～11月3日 (使用言語:英語)

昨年フランス リヨンで開校したTohoku Lyon Summer Schoolに次いで2度目の試みである。フランスの著名大学であるInstitut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA-Lyon)、Ecole Centrale de Lyon (ECL)の2大学との協力の下に、和田直人特任教授を中心として開催した。

フランスからは19名、オーストラリア、スウェーデン、中国、ロシアの協定校から各々1名の合計23名の大学院生を招聘、また、東北大学からも多くの大学院生が参加。



著名教授による学術講演、参加学生による研究発表と大学・研究室紹介、研究室セミナー参加、女川原子力発電所、JR東日本新幹線車両センターの見学等を実施。

23名全ての学生達から、「Excellent」との評価が得られた。

その他学生の意見：「自分の研究分野とは全く異なる分野の講義を受けてインスパイアされた」、「他の学生の研究発表を聞き討議に参加する事で刺激になった」、「東北大学の研究環境の素晴らしさに感激した」、「関係者の努力に感動し感謝したい」。

平成23年度9月にリヨンで再度開校する予定である。

### 英語研修会 (English Conversation Class)

平成22年8月～10月 東北大学流体科学研究所 COE棟

将来、様々な分野で世界のリーダーシップをとって活躍する為には、自分の考えを明瞭・迅速に形成して表現し、相手方やその場全体の考え方や進行状況を正確に理解・把握し、その上で、皆が納得・賛同する方針や計画を適切に提示して全体をリードしていくことを英語で行う必要がある。

こうした観念から今年度から英語研修会を開いた。

1回目から3回目: Basic Conversation

4回目と5回目: Presentation about himself/herself and discussions among the students

6回目から8回目: Debate

9回目と10回目: Training of Chairmanship and Presentation



## 平成23年度の予定

➤ Eighth International Conference on Flow Dynamics

2011年11月9日(水)～11日(金)

松島のホテル社観及びビーの坊で開催

➤ 平成23年度各種プログラム採択

➤ 国際宇宙大学派遣 予定

➤ 2011年9月 ELyT School をリヨンにて開催予定

外



## 4.2 JSPSによる中間評価に関する報告

平成22年6月29日

**流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点**  
World Center of Education and Research  
for Trans-disciplinary Flow Dynamics

**東北大学**  
**流体科学研究所**

工学研究科  
(航空宇宙工学専攻、  
機械システムデザイン工学専攻、  
量子エネルギー工学専攻、  
化学工学専攻)

医工学研究科  
多元物質科学研究所  
未来科学技術共同研究センター  
原子分子材料科学高等研究機構

1/32

**運営状況**

2/32

**人材育成プログラム進捗状況**

- 1) 国際若タケノコ発掘プログラム: 学内外41名の応募、18名採択
- 2) 研究支援RA採用: 37名応募、21名採用
- 3) 基本支援RA採用: 45名採用
- 4) 国際出る杭伸ばす教育プログラム: 9名応募、5名採用
- 5) グローバル回遊教育研究プログラム: ポスドク1名派遣
- 6) 国際高等研究教育院との連携: 2名採択
- 7) ジョイントラボ連携国際インターンシップ: 10名派遣、11名受入
- 8) 国際宇宙大学派遣: 毎年1名派遣
- 9) 学生企画/運営国際会議・シンポジウム: 各種会議等を10回開催
- 10) 学生交流研究発表会: 年2回開催
- 11) 若手研究者国際会議派遣: 27名派遣
- 12) 流体科学分野横断セミナー: 9回開催
- 13) 客員教授による実践教育: 14名(内外国人7名)招聘
- 14) 東北大学・リヨンサマースクール: リヨンにて開催20名派遣
- 15) JSPS:HOPEミーティング派遣: 1名採択派遣
- 16) ELYT Lab ワークショップ: フランスAnnecyにて12名派遣
- 17) 流動ダイナミクス知の融合博士合宿セミナー: 2回開催、28名参加
- 18) 高度イノベーション博士人材育成センターとの連携: 講演会、参加奨励

3/32

**学生の受賞・発表論文数その他の成果**

学生が関連した受賞60件  
(平成20年～平成21年)

バネシ・メディ(岡山教授)「JQSRT Top 25 Hottest Articles」採択  
矢戸文彦(三浦隆利教授)「(社)化学工学会 化学工学会2007年度優秀論文賞」  
陣内修哉(寒川誠二教授)「応用物理学会論文賞(JJAP論文賞)」  
国内外の学会等での受賞その他 総計57件

事業推進担当者の所属する研究室のP0および学生の学術論文数  
(平成20年～平成21年)

256件  
(うち143件査読付)

ノーベル賞受賞者と(HOPEミーティングにて) 国際宇宙大学派遣 ICFD2009 受賞式

4/32

**COEより支援を受けた博士課程後期学生の進路状況**

海外で活躍している修了生の殆どは、国際インターンシップを経験しており、本拠点の国際的な人材を育成するプログラムの成果となっている

海外大学/研究機関就職先 NASA、アイオワ大学、フロリダ大学、ワイオミング大学(米国)、ドイツ航空宇宙センター、Leibniz Institute for Applied Geophysics(ドイツ)、フランス航空宇宙研究所(フランス)、MDA(カナダ)、Korea Institute of Energy Research(韓国)、吉林大学(中国)、University of Sharjah (UAE) ほか

国内大学・研究機関就職先 (独)宇宙航空研究開発機構、(独)産業技術総合研究所、(独)科学技術振興機構、東北大学、早稲田大学、大阪大学、大阪府立大学、上智大学、北海道工業大学、名古屋工業大学、日本大学、東京農工大学、岡山大学、岩手大学、宮城大学、東北文化学園大学、ほか

企業就職先 トヨタ自動車(株)、(株)豊田中央研究所、(株)本田技術研究所、三菱航空機(株)、(株)日立製作所、JFEエンジニアリング(株)、ボッシュ(株)、東芝(株)、三洋電機(株)、日鉄金属(株)、石油資源開発(株)、出光興産(株)、テルモ(株)、NECトキン(株)、(株)日立プラントテクノロジー、日立電線(株)、東洋電化工業(株)、(株)フェローテック、(株)デンソー、(株)ミツトヨ、サイバネットシステム(株)、東急建設(株)技術研究所、(株)ソフトウェアクレイドル、共生資源研究所(株)ほか

COEより支援を受けた  
博士課程後期学生の進路状況  
(H15～H21)

86名

海外・国内民間企業 40%  
国内研究機関・大学 41%  
海外研究機関・大学 10%  
その他 9%

5/32

**研究拠点の業績**

査読学術論文数 / 招待講演数	
事業推進担当者が発表した査読学術論文数	330件
招待講演数	61件

**主な学術関係の受賞**

国際的学術賞 4件	「Kenneth Harris James Prize, Institute of Mechanical Engineers」他3件
文部科学大臣表彰・科学技術賞 1件	・国内学会賞 23件

**この拠点形成計画に関連した研究費等**

研究課題	120件	総額	1,928,750 (千円)
------	------	----	----------------

**東北大学の科研費採択件数 機械工学で全国1位(平成22年度)**

海外の他大学等との共同研究の実施状況			
	H19年度	H20年度	H21年度
大学・研究機関	38	46	46
企業	3	2	3

**流体科学研究所の評価**

- ・ 共同利用・共同研究拠点に採択された(理系単独部局新規は2拠点のみ)
- ・ 大学評価・学位授与機構評価で、研究活動の状況・研究成果の状況共に最高評価を受けた(本学では21部局のうち2部局のみ)

6/32

## 中間評価結果

7/32

### ◇グローバルCOEプログラム委員会における評価(公表用)

#### (総括評価)

現行の努力を継続することによって、当初目的を達成することが可能と判断される。

#### (コメント)

大学の将来構想と組織的な支援については、「研究中心大学を目指し、国際的に通用する指導的人材を育成する」という大学の将来構想に整合しており、多様な若手人材育成のためのプログラムは補完的によく機能し、また、流動ダイナミクス分野における国際教育研究拠点としての実績も着実にあげている。大学の本拠点に対する支援も、事業推進支援や人的支援、総長裁量経費の投入など、計画的、組織的になされていると評価できる。

拠点形成全体については、教育・研究を通じて多国間国際交流の枠組みを構築、実施しており、教育面、研究面ともに当初の計画通りの成果をあげている。また、本拠点とリヨン大学グループが中心となる国際共同研究、教育は実質的な効果をあげており、大学の国際競争力の向上に寄与していることは高く評価できる。

人材育成面については、国際ジョイントラボ、流体科学分野横断セミナー、学生が企画・運営する高いレベルの国際会議など、多彩なプログラムが用意されている。それらを用いての研究活動を中心とした指導体制が構築され、よく機能しており、若手研究者の論文発表や受賞などの成果も当初計画通りにあがっていると高く評価できる。

研究活動面については、世界に配置したリエゾンオフィスを拠点として多数の多国間共同プロジェクトを実施するなど、この分野の国際的拠点として世界的に認識される状況になっていること、また本拠点が主催する「流動ダイナミクスに関する国際会議」は、この分野の世界レベルの国際会議として定着しつつあることは高く評価できる。

今後の展望については、現在の研究を通じた人材育成の仕組みは十分に機能しており、引き続き該当分野での高い国際的評価、国内評価が期待される。

8/32

文部科学省HP「グローバルCOEプログラム委員会平成20年度採択拠点中間評価について」  
(参考)グローバルCOEプログラム 平成20年度採択拠点中間評価「特に優れている拠点」概要”の中で  
特に優れている拠点としてP3で紹介されました。

[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/koutou/globalcoe/\\_icsFiles/afieldfile/2011/01/07/1301052\\_02\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/globalcoe/_icsFiles/afieldfile/2011/01/07/1301052_02_1.pdf)

グローバルCOE プログラム 平成20年度採択拠点中間評価  
【特に優れている拠点】概要

#### 【機械、土木、建築、その他工学】

H01「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」  
東北大学流体科学研究所

国際ジョイントラボ、流体科学分野横断セミナー、学生が企画・運営する高いレベルの国際会議など、多様な教育プログラムが実施され、それらを用いての研究活動を中心とした指導体制が構築され、若手研究者の論文発表や受賞などの成果に結び付いている。

研究活動面では、世界に配置したリエゾンオフィスを拠点として多数の多国間共同プロジェクトを実施するなど、この分野の国際的拠点として世界的に認識される状況になっている。

また、本拠点が主催する「流動ダイナミクスに関する国際会議」は、この分野の世界レベルの国際会議として定着しつつあり、本拠点とリヨン大学グループが中心となる国際共同研究・教育も実質的な効果をあげており、大学の国際競争力の向上に寄与している。

9/32



### 4.3 GCOE流動融合分野研究報告

World Center of Education and Research for Transdisciplinary Flow Dynamics  
Tohoku University Global C.O.E. Program

## GCOE流動融合分野研究報告

情報流動融合分野  
中橋和博: 次世代CFDとしてのBuilding-Cube Method  
反応流動融合分野  
笹尾真貴子: 核融合磁場閉じ込め装置におけるプラズマ流の制御  
ナノ流動融合分野  
小原拓: ヘテロな構造を持つ液体・液体膜・界面の熱・運動量輸送特性  
極限流動融合分野  
橋爪秀利: マイクロ波を用いた配管減肉広域一括探傷技術の開発

World Center of Education and Research for Transdisciplinary Flow Dynamics  
Tohoku University Global C.O.E. Program

## 情報流動融合分野

### 中橋和博: 次世代CFDとしてのBuilding-Cube Method

### 次世代CFDを目指した研究

現在のCFD  
・大規模制流流れ等には信頼性が無い  
・形状に忠実な格子生成に時間を要する

スパン性能は10年で1000倍

現状CFDの課題を、次世代スパン性能を活かす革新アルゴリズムの次世代CFD開発で解決

70s to 80s  
① 形状に忠実な格子生成 (CFDによる制流)  
② 形状に忠実な格子生成 (CFDによる制流)  
③ 形状に忠実な格子生成 (CFDによる制流)

90s to Today  
Future aircraft analysis / design  
TAS-Code  
TAS-Codeは航空機設計等に活用されているが、更に高度な解析には新たな革新が必要

Potential Flow Calculation  
④ 航空機・船舶・建築物の流体力学解析  
⑤ 航空機・船舶・建築物の流体力学解析  
⑥ 航空機・船舶・建築物の流体力学解析

Building-Cube Method  
a block-structured Cartesian grid approach  
次世代CFDの開発で、航空機・船舶・建築物の流体力学解析への貢献

World Center of Education and Research for Transdisciplinary Flow Dynamics  
Tohoku University Global C.O.E. Program

## 情報流動融合分野

### 次世代CFD: Building-Cube Method

従来のCFDでは不可能な複雑形状に対する大規模格子を高速に生成

全てのCubeに同じ格子点数を使うことで次世代大規模並列計算機に対応

バック・テア  
Torque Link  
Wheel Cap  
Cube状小領域を計算空間に積み上げる  
Cube内には等間隔の高密度直交格子で高精度計算  
1億点近くの格子をPCで数分以内で生成  
航空機・船舶・建築物の流体力学解析

World Center of Education and Research for Transdisciplinary Flow Dynamics  
Tohoku University Global C.O.E. Program

## 情報流動融合分野

### 次世代CFD: Building-Cube Methodの開発

- 高速な超大規模格子生成  
・現在主流のCFDでは格子生成に数時間 → より大規模格子でも数分  
・現在主流のCFDでは扱えない複雑形状も可能にする。
- 高精度なソルバー  
・直交格子の低メモリ・低演算量により大規模計算を可能に  
（現状CFDの格子点数は数百万点 → 数千万、数億の格子点数）  
・直交格子により空間高精度・高精度計算が可能  
（現状の非構造格子CFDは空間2次精度 → 3次～6次）  
・Cubeサイズを場所により変更することで解精度を可変にする  
・浸透境界法 (Immersed Boundary Method) により移動・変形境界問題
- 大規模計算への対応  
・全てのCubeの格子点数は同じにして大規模並列計算を容易に  
・Cubeと直交格子により、計算格子と計算結果データの圧縮
- アルゴリズムの単純化により、ソフトの維持・高度化・拡張を容易に
- 航空機の脚からの空力騒音予測等でBCMの有用性を示す

World Center of Education and Research for Transdisciplinary Flow Dynamics  
Tohoku University Global C.O.E. Program

## 反応流動融合分野

### 笹尾真貴子: 核融合磁場閉じ込め装置におけるプラズマ流の制御

### 2.2.3 反応流動融合分野

### CONTROL OF PLASMA FLOW ON Magnetic Confinement Fusion Device; Tohoku University-Heliac

Major Radius  $R_0$ : 48 cm  
Minor Radius  $a$ : 6 cm  
Magnetic Field  $B_0$ : 0.3 T  
Working Gas: He ( $1.2 \times 10^{-2}$  Pa)  
Plasma Production: Alternate ohmic heating ( $f = 18.6$  kHz)  
Electron density:  $\sim 1 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$   
Electron temperature:  $\sim 20 \text{ eV}$

◆ TU-Heliac is a helical axis stellarator  
◆ The hot-cathode is inserted horizontally into the plasma  
◆ The plasma driving force is controlled with the hot-cathode biasing  
◆ The plasma temperature or density is measured with Langmuir probe or microwave interferometer  
◆ The plasma flow velocity is measured with mach probe

Flux Surface  
Center Conductor Coil  
Hot Cathode  
Power Supply  
Insulator  
Voltage Source  
Mach Probe  
A-B Cross Section

World Center of Education and Research for Transdisciplinary Flow Dynamics  
Tohoku University Global C.O.E. Program

## 反応流動融合分野

### CONTROL OF PLASMA FLOW BY Magnetic island with perturbation field coils

Two pairs of external perturbation field coil were used in this experiments at the toroidal angle  $\phi = 90^\circ$  and  $270^\circ$

External perturbation field coil current  $I_{\text{ext}}$  is 3.6 kA. The radial component of the perturbation field produces  $B_r/B_0 = 5.7 \times 10^{-3}$  at the rational surface ( $n/m = 5/3$ ).

The flow velocity at  $t = 8 \sim 10$  ms depended on the magnetic island width.

The flow velocity decreased with increasing the island width.  
→ A damping force by magnetic island act on plasma flow

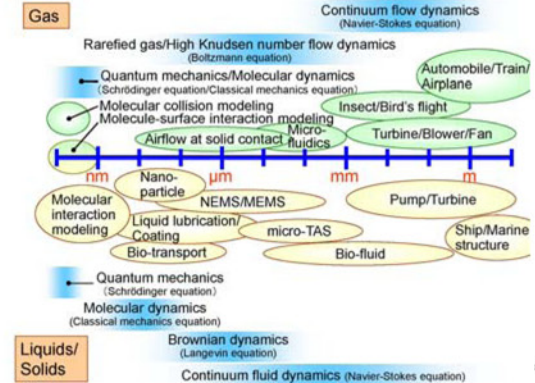
Magnetic Island  
Time (ms)  
 $t = 8$  [msec]  
 $I_{\text{ext}} [\text{kA}]$

## 笹尾研究室の国際熱核融合実験炉 ITER計画への参画・貢献

- ITER計画(2019年~2039年 フランスカダラッシュで運転)の目標【プラズマ温度10keV以上、密度 $10^{20}/m^3$ 以上、プラズマ保持時間300秒以上】達成の為に、**プラズマの回転により閉じ込め改善をする必要がある。**
- 笹尾研究室では立体磁気軸構造のトラス型プラズマ閉じ込め装置東北大学ヘリアック装置を用いてこの**プラズマ回転と閉じ込め改善のメカニズム**を検討しており世界的に注目されている。
- 笹尾教授はITERに取り付ける計測機器のデザイン・設計戦略策定に参加している。
- 昨年同研究室の大学院生1名がフランスに滞在しITER計画に携わった。

## ナノ流動融合分野

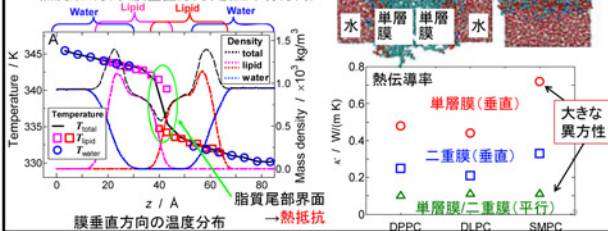
小原拓:ヘテロな構造を持つ液体・液体膜・界面の熱・運動量輸送特性



## ナノ流動融合分野

### 脂質二重膜の異方性熱伝導

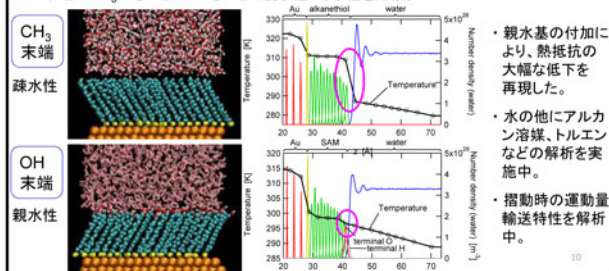
- 重要性
  - 細胞膜のモデル
  - 生体内輸送現象・潤滑現象の要素構造
  - バイオチップやリボソームカプセルなどナノバイオ材料として活用
- 3種類の脂質分子種
  - DPCC(16,16), DLPC(12,12), SMPC(18,14)
- 熱流束2方向(膜垂直方向、膜面平行方向)



## ナノ流動融合分野

### SAM(自己組織化単分子膜)による界面修飾

- 重要性
  - 強力かつ柔軟な界面修飾手法。様々な分子で研究開発が進んでいる。
  - 分子スケールで均質なコーティング膜
  - 熱・運動量輸送特性は未解明。設計資料の蓄積が必要。
- 金表面にアルカンチオールでSAMを形成することを想定。溶媒は水。
- 末端がCH<sub>3</sub>のものとして親水性・疎水性を比較。



## 極限流動融合分野

橋爪秀利:マイクロ波を用いた配管減肉広域一括探傷技術の開発

### マイクロ波を用いた 配管減肉広域一括探傷技術の開発

#### 背景・目的

- 原子力プラントなどの配管系における、FAC、LDI、SCC等、内部腐蝕に起因する配管劣化事象の発生。
- 既存技術(ex.超音波探傷法)は局所的な検査であり、長大かつ複雑な配管系全体の漏れのない検査のためには、多大な費用、工期が必要
- 広域一括探傷によるスクリーニング技術開発の必要性

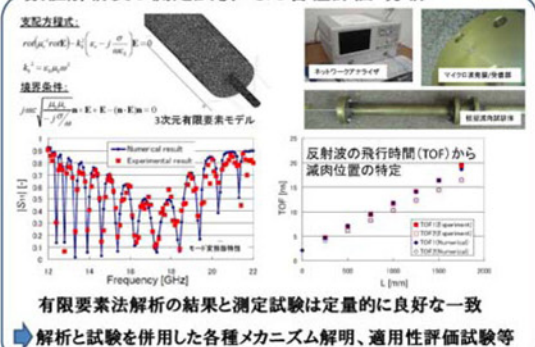
#### マイクロ波を用いた配管探傷

- 配管を導波管とみなし、配管内部を伝播するマイクロ波の反射及び透過挙動、およびそれらの周波数依存性から、管内壁面の異常状態を検出・評価。
- 遮断周波数以上のマイクロ波は導波管内を無損失で伝播できるため、広域の一括探傷が可能。
- 管内を伝播するマイクロ波を用いるため、管接合部(溶接部等)の影響を受けづらい。



## 極限流動融合分野

### 数値解析及び測定試験による各種評価・分析

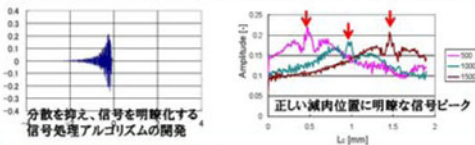


有限要素法解析の結果と測定試験は定量的に良好な一致

解析と試験を併用した各種メカニズム解明、適用性評価試験等

### 配管減肉の検出と位置特定

マイクロ波伝播速度の周波数依存性(分散)→長距離測定時の信号の劣化



### 成果まとめと今後の予定

- ✓ 反射マイクロ波から、配管内壁面に発生した減肉の検出および位置特定を行う手法の開発と、実験室レベルでの妥当性検証。
- ✓ マイクロ波の分散を抑えるための信号処理アルゴリズムの開発と、数値解析及び探傷試験信号を用いたその有効性実証。
- ✓ 2m強(実験室スペースの関係で最長2m程度に制限)の直管内壁に加工した人工部分減肉の検出、及び推定誤差10mm程度での位置特定に成功。
- ✓ くだらかな端部を有する減肉に対しても同様に検出及び評価が可能であることを確認。
- ✓ 大口径配管、曲がり管等への適用。
- ✓ LDI, SCCのようなより局所的かつ微小なきずへの適用性検討。



大規模構造物の配管系健全性向上に対する大きな貢献の可能性

13



#### 4.4 GCOE融合フロンティアプロジェクトの報告(代表例)

##### 4.4.1 「次世代環境適合型航空機の研究」

### 「次世代環境適合型航空機の研究」プロジェクト

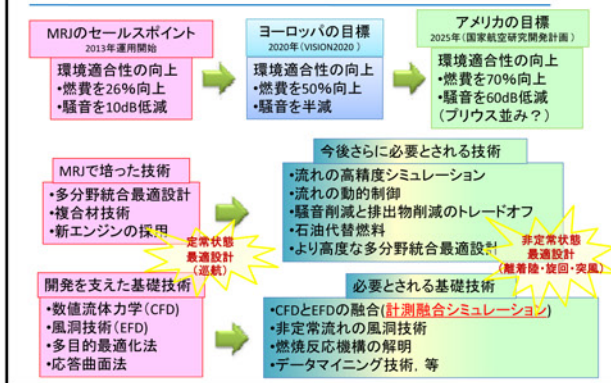
メンバー: 大林 茂  
中橋和博  
升谷五郎  
福西 祐  
浅井圭介  
澤田恵介  
丸田 薫  
鄭信 圭  
竹島由里子

#### Sustainable Mobility(持続可能な運輸・交通)

本プロジェクトでは、鉄道並みの利便性を持つ次世代環境適合型航空機(宇宙機)を研究することを目指して、**計測融合シミュレーション**によるブレークスルー追求を行い、以下の4課題に挑戦する。

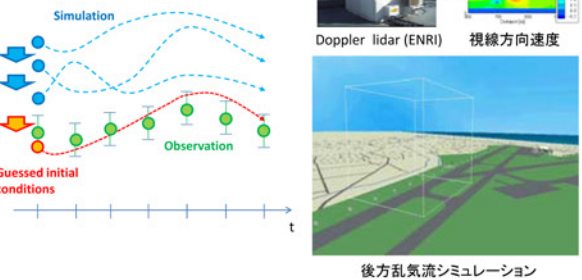
- ・ 低コスト開発技術: 仮想環境で飛行実証を可能にする技術
- ・ 低騒音・低燃費技術: 革新的の空力形状による騒音・燃費の低減
- ・ 飛行安全技術: 最先端の情報通信技術を利用して安全に飛行する技術
- ・ 超音速複葉翼理論: 2枚の翼で衝撃波を相殺する技術
- ・ ハイブリッドロケット技術

#### MRJの次世代機に必要な技術



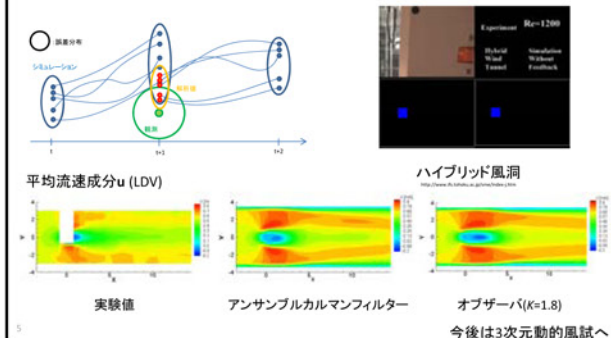
#### 計測融合シミュレーション(データ同化) - 非逐次型 -

##### 4次元(空間+時間)変分法



#### 計測融合シミュレーション(データ同化) - 逐次型 -

##### アンサンブルカルマンフィルター (Ensemble Kalman Filter: EnKF)



#### その他の活動

##### ・ GCOE主催「第7回流動ダイナミクスに関する国際会議(ICFD)」

##### － OS1「Fluid Dynamics Aspects of Environmentally Advantageous Hybrid Rockets」

- ・ 澤田教授+JAXA宇宙科学研究所嶋田教授
- ・ 海外から5件の招待講演(米国2名、フランス1名、イタリア2名)
- ・ 外国6件(台湾)、国内11件の計17件
- ・ 環境適合性・安全性に優れたハイブリッドロケットは、将来の有人ロケットのエンジンとしても期待

##### － OS2「Aviation Research in Aspects of Environment」

- ・ 浅井教授+JAXA研究開発本部渡辺氏+大林
- ・ 海外から4名の招待講演(ドイツ1名、米国1名、韓国2名)
- ・ 海外から4件、国内10件(うち1名は招待講演)、計14件
- ・ 航空輸送の気候へのインパクト、将来航空機概念、次世代CFD技術の開発、空力騒音問題、計測融合シミュレーション(データ同化)など

#### 4.4.2 「ナノ・マイクロプロセス」

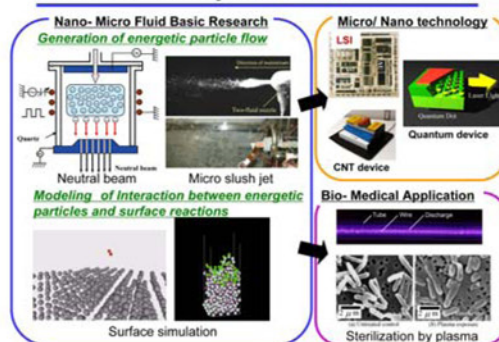
### G-COE Frontier Project — Nano- Micro Process —

Seiji Samukawa  
Project Leader of Nano-Micro Process  
IFS, Tohoku University

(Member)

Jun Ishimoto, Takashi Tokumasu, Takehiko Sato,  
Shigeru Yonemura, Hiroyuki Miki

### GCOE Frontier Project —Nano-Micro Process—

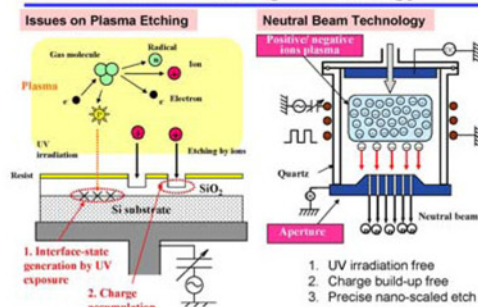


### GCOE Frontier Project —Nano-Micro Process—

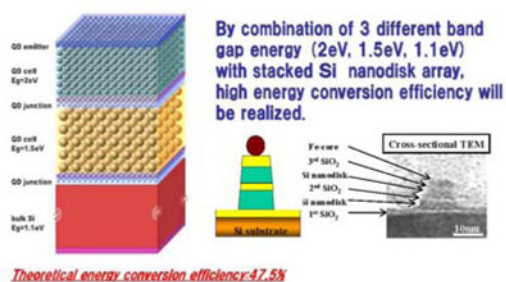
1. Neutral Beam Process for Nano Structure fabrication (Samukawa)
2. Development of the practical atmospheric plasma and its analysis (Sato, Samukawa)
3. Development of Micro-Nano Slush Jet System and its application to nanodevice (Ishimoto, Samukawa)
4. Surface analysis and modeling (Tokumasu, Yonemura, Samukawa)
5. Tribological behaviour of the partly polished CVD diamond coatings (Yonemura, Miki)

Intelligent control of nano-scaled surface process in energetic particle flow

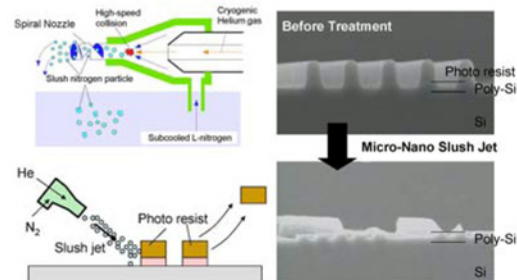
### Issues on Plasma Etching Process and Neutral Beam Etching Technology



### =Quantum Dot Multijunction Solar Cells=

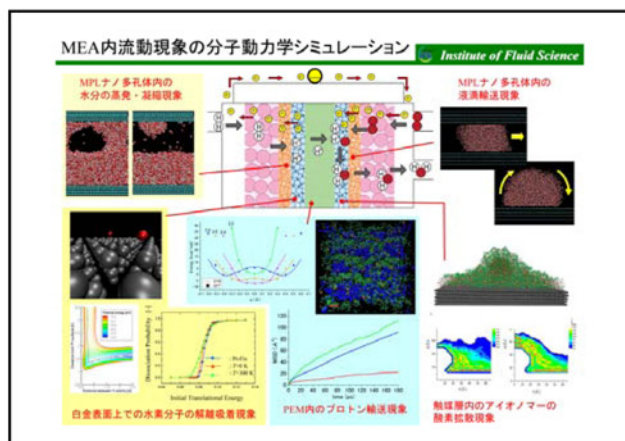


### Development of Ashing-Less Resist Removal-Cleaning System Using Micro-Nano Slush Jet









#### 4.5 国際交流に関する報告



World Center of Education and Research for Transdisciplinary Flow Dynamics  
Tohoku University Global CSR Program

### 2010年度 国際交流活動

1. 基本方針
2. 国際共同研究
3. 国際共同教育
4. 国際宇宙大学・インターンシップ・国際会議派遣
5. オータムスクール: ElyT School in Sendai – Autumn 2010 (別途)
6. ElyT Annual Workshop in Sendai 2011 (2011年2月仙台)
7. 国際交流活動 2011年の重点事項



World Center of Education and Research for Transdisciplinary Flow Dynamics  
Tohoku University Global CSR Program

### 国際交流活動の基本方針

- マルチステージ国際ネットワークによる国際共同教育・研究の推進 (学術交流・国際会議等約60回、延べ参加者人数 約1,100人以上)
- 東北大学全学、同機械系、流体科学研究所 との連携
- 国際会議、ワークショップの積極的な実施




知の融合流動ダイナミクス教育研究の国際拠点確立と発展



World Center of Education and Research for Transdisciplinary Flow Dynamics  
Tohoku University Global CSR Program

### 2010年 国際共同研究


国際共同研究プロジェクト	研究
ElyT Lab (フランスECL, INSA-Lyon, CNRS および東北大学の共同研究組織) による共同研究プロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bio Tribology of Catheters</li> <li>• Non-Destructive Evaluation and Mitigation</li> <li>• Heat and Mass Transfer Properties of Biological Surface Morphologies</li> <li>• Radiative Properties of Complex Engineering Systems</li> <li>• Nano-Scale Modeling of Tribological Interfaces</li> <li>• Tribology-based Design Strategies for Advanced Carbon Coatings</li> </ul>
流動ダイナミクス国際融合ジョイントラボラトリー (FLOWJOY) プロジェクト (3件)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Development of Design Exploration Method for Real-World Design Problem</li> <li>• Measurement of Radiative Properties in Micro-Nano Structure</li> <li>• Functionality Design of the Contact Dynamics</li> </ul>



World Center of Education and Research for Transdisciplinary Flow Dynamics  
Tohoku University Global CSR Program

### 2010年 国際共同教育

- 国際共同研究へ学生を積極的に参加させる事による実践教育
- 国際会議における学生セッション等の主宰により経験を積ませる教育
  - ICFD 「Young Birds Seminar on Multi-scale Flow Dynamics」
  - 流動ダイナミクス国際若手研究発表会
- オータムスクール (ElyT School in Sendai – Autumn 2010) 開校
- 原子カプラント保全サマースクール (Maintenance Science Summer School in Sendai – July 2010) 開校
- 国際宇宙大学・グローバル回遊教育研究・HOPEミーティング等への派遣
- GCOE国際インターンシップ派遣
- 国際会議への積極的派遣



World Center of Education and Research for Transdisciplinary Flow Dynamics  
Tohoku University Global CSR Program

### 2010年インターンシップ派遣/受け入れ・国際宇宙大学等派遣・国際学会派遣

内容	人数	国
国際インターンシップ留学生派遣 (1~6ヶ月)	7	米国、韓国、フランス、スウェーデン、中国、ドイツ
国際インターンシップ留学生受け入れ (1~6ヶ月)	8	イラン、ポーランド、インド、韓国、フランス、中国、イタリア、オーストラリア
国際宇宙大学派遣 (2ヶ月)	1	フランス Strasbourg
JSPS HOPEミーティング派遣 (3月、3日間)	1	東京 (アジア各国から学生約100人参加予定)
若手研究者国際会議派遣	14	オーストリア、シンガポール、米、仏、ドイツ



World Center of Education and Research for Transdisciplinary Flow Dynamics  
Tohoku University Global CSR Program

### Liaison Office Session at ICFD2010 (November 3, 2010)

- ICFD2009で各Liaison Office 代表者がパネeldiscussion
  - Professor Masud Behnia, The University of Sydney
  - Dr. Victoria Timchenko, University of New South Wales
  - Professor Alexander Vasiliev, Moscow State University
  - Professor Jae-Hung Han, KAIST
  - Professor Livin Moveleanu, Syracuse University
  - Ms. Marie-Pierre Favre, Vice-President, INSA-Lyon
  - Professor Fredrik Lundell, KTH Royal Institute of Technology
  - Professor Toshiyuki Takagi, Tohoku University
  - Professor Makoto Ohta (Chair), Tohoku University
- 各大学との研究教育活動状況を紹介、学生からの要望に対する意見交換、今後の取り組みを討議





### アジアの大学との交流の拡大 (学術交流・学生受け入れ/派遣・ワークショップ)

- 2010年度も重点的に実施した。  
韓国浦項工科大学、シンガポール国立大学との学術交流協定締結(東北大学)
- 中国清華大学、華北電力大学、韓国成均館大学等からの学生が参加してのMaintenance Summer Schoolを仙台で開校
- インドIIT GuwahatiおよびSRM大学の学生・教員の「国際若タケノコ発掘プログラム」選抜試験実施。1名採用
- 引き続き2011年度もベトナム、タイ、インドネシア、ロシア等との交流の拡大を目指す。
- 東北大学全体の活動(「東北大学デイ」等)に合わせて効率的に交流実施

7



### ElyT Annual Workshop in Sendai 2011 (2011年2月22日～24日, 仙台)

フランスECL, INSA-Lyon, CNRSと東北大学で組織する研究組織ElyT Labが毎年開くワークショップを今年は仙台で開催。

Opening Session (ElyT Labの紹介)

Plenary Lecture by Professor Kingo Itaya, Tohoku University on "Atomic Scale Surface and Interface Analysis by STM".

"Surface and Interface"

"Tribology"

"Durability and Reliability in Energy and Transportation"

"Bio-science and Engineering"

"Industry – University – District Solidarite" (産学連携に関するセッション)

"Micro and Nano Scale Materials and Devices"

"Flow Dynamics, Heat Transfers and Microfluidics"

8




### 国際交流活動 2011年度の重点事項

- 国際共同教育・研究の推進  
ElyT Labや Liaison Officeの積極活用による教育研究の展開
- “流動ダイナミクスの情報発信”としてのICFD2011の開催
- “共同教育の場”としてElyT School in Lyon – Summer 2011(仮称)の開校
- サマースクールや学術交流等を通じてアジアの大学との交流の拡大

9

## 4.6 オータムスクールに関する報告



World Center of Education and Research for  
Transdisciplinary New Dynamics  
Tokyo University of Science

**ElyT School in Sendai – Autumn 2010**  
(オータムスクール)


- ・フランスリヨンのUniversity of Lyonとの協同で、平成22年10月24日～11月3日の間、東北大学片平キャンパスにて開校
- ・フランスUniversity of Lyonより19名の他、オーストラリア、ロシア、スウェーデン及び中国から各1名の合計23名の大学院生(博士課程後期11名、前期12名)を招聘。東北大学の大学院生7名も参加。
- ・【日本文化・歴史に関する東北大学教授による講義】【東北大学、INSA-Lyon及びECLの教授による学術講義】【東北大学の研究室見学とセミナー体験】【学生自身による研究内容発表と全体討議】【東北電力女川原発とJR新幹線メンテナンスセンター見学】【流動ダイナミクスに関する国際学会ICFD2010参加と発表】等のカリキュラムを持った。
- ・学生同士の交流、日本文化の一端の体験、山寺ツアー等。



World Center of Education and Research for  
Transdisciplinary New Dynamics  
Tokyo University of Science

**ElyT School in Sendai – Autumn 2010**  
(オータムスクール)






World Center of Education and Research for  
Transdisciplinary New Dynamics  
Tokyo University of Science

**ElyT School in Sendai – Autumn 2010**  
(オータムスクール)

- ・今回のオータムスクールは、昨年平成21年度フランスリヨンで開校した「東北リヨンサマースクール」に続く第2回であり、当GCOEの事業として定着した。今回、学生の日本文化体験等に関しては、フランス大使館の支援が大いに役立った。
- ・カリキュラムは相当密度が高く、その分学生達が「街中に出て見学・体験したり、日本人と交流する」機会は限られてしまった。「東北大学院生とのより幅広い交流」も次回の課題である。
- ・終了後の参加学生による評価は、23名全員が「Excellent」。
- ・特にフランスの場合、博士課程後期と前期では経験や学問に対する考え方に差が大きく一律に扱うには難しい点もあり、今後要検討。
- ・平成23年度は、フランスリヨンで9月に開校する。東北大学の参加学生については、「各GCOE派遣の博士課程後期学生」中心で計画する。



World Center of Education and Research for  
Transdisciplinary New Dynamics  
Tokyo University of Science

**ElyT School in Sendai – Autumn 2010**  
(オータムスクール)

Valuation by the Students of ElyT School Sendai – Autumn 2010, October 24 – November 3, 2010.  
Students Attended From University of Lyon, France, 12 Master Course students, 7 Doctoral Course students.  
From Australia, Sweden, China and Russia, One Doctoral Course student each. Total of 23 students.  
Students responded to the Questionnaire: 23

	Excellent	Good/Useful	Not so Good	Unsatisfied
Valuation of ElyT School as a Whole	23	0	0	0
<small>* Everyday was very much satisfied and inspired * Many of the Master Course students from France say they like to come back to Tohoku University as Internship students.</small>				
Valuation of Professor's Academic Lecture (By Professors Ohnishi, Maruyama, Osumi, Otani, Goto, Inoue, Shoji, Kabea and Cavallé)	23	0	0	0
<small>* Almost all the professors are evenly valued as "the students are very much interested, enjoyed and inspired by the lectures." * The lectures by Professors Inoue and Otani were rather new to the students, but they said they were inspired by the lectures. * From Naoto Wada) None of the students were doing off during the lectures. That was an amazing and surprising experience to me.</small>				
Valuation/Opinion of Students Presentations and Discussions	18	5	1	0
<small>* Many students say, "more time for Doctoral students and less time for Master Course students." * Many students say, "It was very interesting to listen to the presentations of other students in different areas."</small>				
Tour of Onagawa Nuclear Power Plant and JRI East Shiro-Nakano Maintenance Center	22	0	1	0
<small>* Many say, "it was too short for the tour of the power plant." * Many say, "the tour of JRI Center was really enjoyable and interesting."</small>				
Impression of Tohoku University (They toured I Fluid Science, I Material Research Professor Esashi Lab, ECCLAB and T.U. Museum. They visited the labs of Professors Maruyama, Tanaka, Goto, Osumi, Shoji and Kazuyuki Yoshida, and participated in the laboratory seminars.)	22	1	0	0
<small>* They say, "the research labs are very well-equipped" * Some say, "they are so impressed by the level of the research conducted at Tohoku University." * Some say, they are impressed by Tohoku University foundation policies of "Research First" and "Open-door to everyone." * Some say, "we studied a lot and are inspired a lot for planning our future. Thank you Tohoku University!"</small>				

## 5. 東北大学グローバル COE「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」拠点の概要

### 5.1 目標

流動ダイナミクスは、エネルギー、地球環境、ライフサイエンスなど、人類が直面する諸問題に密接に関連する総合学術領域である。本グローバルCOE は、21世紀COEプログラム「流動ダイナミクス国際研究教育拠点」で築いた実績を基礎にして、それを大幅に拡大・充実させて、流動ダイナミクス教育研究の世界拠点として確立・発展するものである。

つまり、流動ダイナミクスを基軸に置き、情報科学、化学工学、医工学との異分野融合、これまで形成してきた国際ネットワークを活用した多国間研究融合、多面的な価値観を理解できる国際的な異文化融合などの知の融合によって、流動融合分野の基礎学理を構築すると共に、国際連携フロンティアプロジェクト研究推進によりイノベーション科学技術領域を創成し、総合学術領域としての流動ダイナミクスの研究教育世界拠点を確立することを目的とする。

また、これまで構築した国際ネットワークをマルチステージ国際ネットワークに昇華させ、国内外から優秀な人材を募集する国際若タケノコ発掘プログラム等により、博士課程人材を集める。国際出る杭教育等の教育プログラムと、国際ジョイントラボやフロンティアプロジェクトの研究活動を通じて、国際水準を凌駕する学問的能力と強靱な精神力を身につけて、学術分野のみならず広く国際社会における中核的人材として、独創的な成果を持続的に生み出してゆく将来の流動ダイナミクス世界コミュニティでリーダーシップを発揮できる人材を育成する。



## 5.2 拠点形成計画の概要

本拠点では、リエゾンオフィスを設置した基幹交流機関【モスクワ大学（ロシア）、ニューサウスウェールズ大学（オーストラリア）、シラキウス大学（アメリカ）、韓国科学技術院（KAIST）（韓国）、INSA-Lyon（フランス）、王立工科大学（KTH）（スウェーデン）】と、その他の交流実績のある研究機関を加えたマルチステージ国際ネットワークを構築する。

これらの研究機関を拠点とし、研究者間の研究交流を基本にした国際ジョイントラボの枠組みを戦略的に展開・活用して高いレベルの実質的な国際共同研究を充実させる。この国際ネットワークの国際共同研究を通じて、流動ダイナミクスと異分野学術領域との融合、多国間研究融合による新しい流動融合分野を創成し、融合フロンティアプロジェクトを推進し、若手の研究者の人材交流や、国際インターンシップ学生が加わって研究を担うことにより世界最高水準の研究成果の創造と人材の育成を促す。

「教育目的」の達成のために、若手研究者の多様な「教育支援プログラム」を運用するとともに、マルチステージ国際ネットワークを中心として、「ジョイントラボ連携国際インターンシップ」では、本学「井上プラン」による海外インターンシップ制度とも連携し、相互補完的に濃厚な交流の機会を与えているおり、「国際サマースクール」、「国際宇宙大学派遣」及び「東北大学国際高等研究教育院との連携」等を通じて、国際感覚・独創的発想力・リーダーシップを身につけさせる。

特に、本拠点独自のプログラムでは、修士の段階から国内外に学生を公募し、博士入学前に人材育成プログラムに採択する「国際若タケノコ発掘プログラム」によって、博士課程学生の国際誘致を積極的に行い、国内外から優秀な博士課程人材を集めて人材育成を図っている。また、前 21 世紀 COE の「出る杭伸ばす教育」プログラムを発展させ、融合領域の学術創成にかなう国際的若手人材を育成する「国際出る杭伸ばす教育プログラム」を実践する。これら教育プログラムに参加する学生は、修士博士一環コースの選択と早期修了を奨励し、博士修了後のポスドク期間に複数国際インターンシップを経験させる「グローバル回遊教育研究プログラム」に参加させるなど、多文化融合の価値観を理解できる国際的なエリート育成を進める。

「研究目的」達成のために、事業推進担当者と研究協力者を「情報流動融合分野」、「反応流動融合分野」、「ナノ流動融合分野」および「極限流動融合分野」の 4 つの研究分野に配置して、これらが相互に連携・協力して弾力的・横断的な運営を目指している。

また、流動ダイナミクスの持つ優れた実践力と迅速性等を生かして、人類が直面する様々な問題の解決に資するため、昨年度より 5 つの「GCOE 融合フロンティアプロジェクト」を立ち上げた。それらは、「流動ダイナミクスと医療の融合」、「原子力発電プラントの流動誘起損傷のメカニズム解明と評価」、「次世代環境適合型航空機の研究」、「ナノ・マイクロプロセス」および「エネルギー・環境」である。各プロジェクトには、事業推進担当者、研究協力者が適切に配置され、連携・協力しながら研究を進めており、後に述べるように着実に成果をあげつつある。

こうした「教育」「研究」目的達成のために、リエゾンオフィスを設置した大学等を国際交流拠点として位置づけ、これに、各事業推進担当者等が持つ様々な国際ネットワークを結びつけてマルチステージ国際ネットワークを構築して、これを通じて、「グローバル回遊教育研究」、「ジョイントラボ国際共同研究」等を着実にを行い、また、日常の交流を活発・積極的におこなうことにより、本 GCOE の「教育」「研究」目標の達成を目指す。



### 5.3 事業推進担当者

2011 年 1 月現在

#### 拠点リーダー（極限流動融合分野）

圓山 重直 Shigenao MARUYAMA 流体科学研究所・教授

#### サブリーダー（ナノ流動融合分野）

高木 敏行 Toshiyuki TAKAGI 流体科学研究所・教授

#### 情報流動融合分野

中野 政身 Masami NAKANO 流体科学研究所・教授  
 中橋 和博 Kazuhiro NAKAHASHI 工学研究科航空宇宙工学専攻・教授  
 石本 淳 Jun ISHIMOTO 流体科学研究所・准教授  
 太田 信 Makoto OHTA 流体科学研究所・准教授

#### 反応流動融合分野

丸田 薫 Kaoru MARUTA 流体科学研究所・教授  
 笹尾 眞實子 Mamiko SASAO 工学研究科量子エネルギー工学専攻・教授  
 三浦 隆利 Takatoshi MIURA 工学研究科化学工学専攻・教授  
 升谷 五郎 Goro MASUYA 工学研究科航空宇宙工学専攻・教授  
 西山 秀哉 Hideya NISHIYAMA 流体科学研究所・教授  
 小林 秀昭 Hideaki KOBAYASHI 流体科学研究所・教授

#### ナノ流動融合分野

小原 拓 Taku OHARA 流体科学研究所・教授  
 宮本 明 Akira MIYAMOTO 未来科学技術共同研究センター・教授  
 水崎 純一郎 Junichiro MIZUSAKI 多元物質科学研究所・教授  
 徳山 道夫 Michio TOKUYAMA 原子分子材料科学高等研究機構・教授  
 寒川 誠二 Seiji SAMUKAWA 流体科学研究所・教授  
 小玉 哲也 Tetsuya KODAMA 医工学研究科医工学専攻・教授  
 徳増 崇 Takashi TOKUMASU 流体科学研究所・准教授

#### 極限流動融合分野

大林 茂 Shigeru OBAYASHI 流体科学研究所・教授  
 福西 祐 Yu FUKUNISHI 工学研究科機械システムデザイン工学専攻・教授  
 浅井 圭介 Keisuke ASAI 工学研究科航空宇宙工学専攻・教授  
 澤田 恵介 Keisuke SAWADA 工学研究科航空宇宙工学専攻・教授  
 伊藤 高敏 Takatoshi ITO 流体科学研究所・教授  
 橋爪 秀利 Hidetoshi HASHIZUME 工学研究科量子エネルギー工学専攻・教授

#### 研究協力者

##### 情報流動融合分野

白井 敦 Atsushi SHIRAI 流体科学研究所・准教授  
 江原 真司 Shinji EBARA 工学研究科量子エネルギー工学専攻・准教授  
 竹島 由里子 Yuriko TAKESHIMA 流体科学研究所・講師

##### 反応流動融合分野

青木 秀之 Hideyuki AOKI 工学研究科化学工学専攻・准教授  
 佐藤 岳彦 Takehiko SATO 流体科学研究所・准教授

##### ナノ流動融合分野

三浦 英生 Hideo MIURA 工学研究科付属エネルギー安全科学国際研究センター・教授  
 湯上 浩雄 Hiroo YUGAMI 工学研究科機械システムデザイン工学専攻・教授  
 米村 茂 Shigeru YONEMURA 流体科学研究所・准教授  
 畠山 望 Nozomu HATAKEYAMA 工学研究科応用化学専攻・准教授  
 三木 寛之 Hiroyuki MIKI 流体科学研究所・講師  
 佐藤 一永 Kazuhisa SATO 多元物質科学研究所・助教

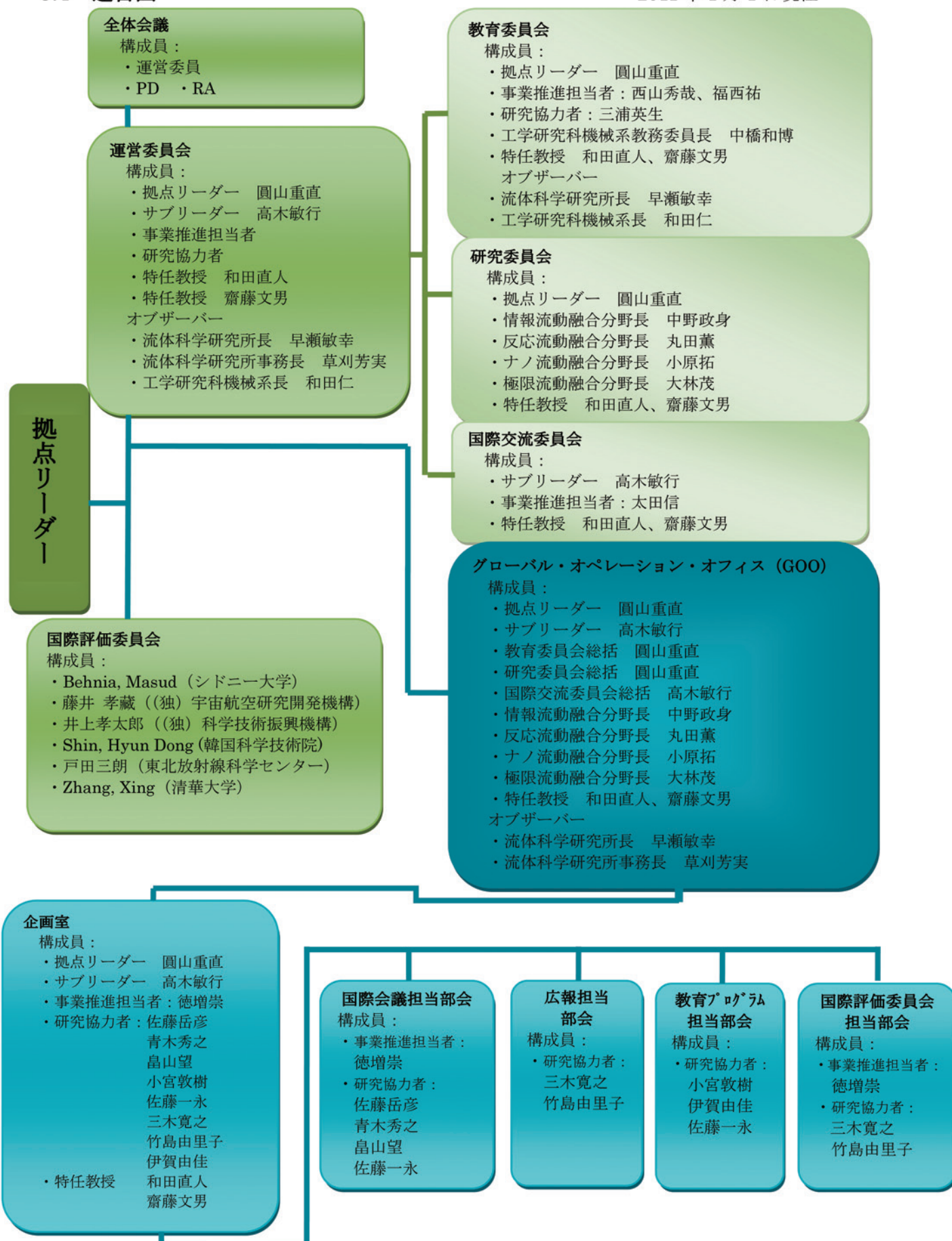
#### 極限流動融合分野

大平 勝秀 Katsuhide OHIRA 流体科学研究所・教授  
 渡辺 豊 Yutaka WATANABE 工学研究科量子エネルギー工学専攻・教授  
 内一 哲哉 Tetsuya UCHIMOTO 流体科学研究所・准教授  
 遊佐 訓孝 Noritaka YUSA 工学研究科量子エネルギー工学専攻・准教授  
 小宮 敦樹 Atsuki KOMIYA 流体科学研究所・講師  
 伊賀 由佳 Yuka IGA 流体科学研究所・助教



## 5.4 運営図

2011 年 1 月 1 日現在



## 5.5 「グローバル COE プログラム」(平成 20 年度採択拠点) 中間評価報告

### 5.5.1 中間評価概要について

#### 「グローバル COE プログラム」 (平成 20 年度採択拠点) 中間評価概要について

独立行政法人日本学術振興会

##### 中間評価の目的

本事業では、補助金によるグローバル COE プログラム事業の進捗状況等を専門家や有識者により確認し、事業の効果的な実施を図り、拠点形成の目的が十分達成されるよう適切な助言を行うとともに、国際的に卓越した教育研究拠点として真に将来の発展が見込まれるかを評価し、あわせて、拠点形成の目的が十分達成されるよう適切な助言、平成 23 年度の補助金の配分等に厳格に行うこと等を目的として、事業開始 2 年経過後に中間評価を実施しています。

##### 中間評価の時期

グローバル COE プログラムに採択された各教育研究拠点(以下、「各拠点」という。)の補助事業について、2 年経過後に中間評価、補助事業終了後に事後評価、必要に応じてフォローアップを実施します。

##### 中間評価委員

評価を担当する委員の構成は、次のとおりとします。

- ① 各拠点の選定に係る審査状況、審査経過等を熟知している専門家や有識者
- ② 各拠点の選定に携わっていない者で、専門的観点から高い知見を有する専門家や有識者

##### 中間評価の実施および評価方法

補助事業の進捗状況や達成度等の評価を行うに当たり、当該評価の公平さ、信頼性を確保し、実効性のある評価を実施するために、評価要項を定めています。  
分野別審査・評価部会において書面及びヒアリング・合議評価により実施されます。

##### 中間評価の反映

グローバル COE プログラム委員会は、文部科学省が行う今後の施策の展開に資するため、個々の拠点形成プログラムの評価結果を文部科学省に報告します。  
また、拠点形成の推進に向けて適切な助言を行うために、各拠点に対しこの評価結果を通知(開示)します。

##### 中間評価調書等 提出期間

平成 22 年 4 月 20 日(火) (17 時必着)

##### 中間評価ヒアリング 実施日・場所

平成 22 年 6 月 29 日(火) 独立行政法人日本学術振興会

##### 中間評価審査 通知・公表

平成 23 年 1 月 7 日(金)

## 5.5.2 「グローバル COE プログラム」(平成 20 年度採択拠点) 中間評価結果

機 関 名	東北大学	拠点番号	H01
申請分野	機械、土木、建築、その他工学		
拠点プログラム名称	流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点		
中核となる専攻等名	流体科学研究所		
事業推進担当者	(拠点リーダー名) 圓山 重直 外 24 名		

### ◇グローバルCOEプログラム委員会における評価(公表用)

#### (総括評価)

現行の努力を継続することによって、当初目的を達成することが可能と判断される。

#### (コメント)

大学の将来構想と組織的な支援については、「研究中心大学を目指し、国際的に通用する指導的人材を育成する」という大学の将来構想に整合しており、多様な若手人材育成のためのプログラムは補完的によく機能し、また、流動ダイナミクス分野における国際教育研究拠点としての実績も着実にあげている。大学の本拠点に対する支援も、事業推進支援や人的支援、総長裁量経費の投入など、計画的、組織的になされていると評価できる。

拠点形成全体については、教育・研究を通じて多国間国際交流の枠組みを構築、実施しており、教育面、研究面ともに当初の計画通りの成果をあげている。また、本拠点とリヨン大学グループが中心となる国際共同研究、教育は実質的な効果をあげており、大学の国際競争力の向上に寄与していることは高く評価できる。

人材育成面については、国際ジョイントラボ、流体科学分野横断セミナー、学生が企画・運営する高いレベルの国際会議など、多彩なプログラムが用意されている。それらを用いての研究活動を中心とした指導体制が構築され、よく機能しており、若手研究者の論文発表や受賞などの成果も当初計画通りにあがっていると高く評価できる。

研究活動面については、世界に配置したリエゾンオフィスを拠点として多数の多国間共同プロジェクトを実施するなど、この分野の国際的拠点として世界的に認識される状況になっていること、また、本拠点が主催する「流動ダイナミクスに関する国際会議」は、この分野の世界レベルの国際会議として定着しつつあることは高く評価できる。

今後の展望については、現在の研究を通じた人材育成の仕組みは十分に機能しており、引き続き該当する分野での高い国際的評価、国内評価が期待される。



## 「グローバル COE プログラム」平成 20 年度採択拠点中間評価資料

機 関 名	東 北 大 学
拠点のプログラム名称	「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」
中核となる専攻等名	流体科学研究所、工学研究科 航空宇宙工学専攻、機械システムデザイン工学専攻
事業推進担当者	(拠点リーダー) 圓 山 重 直 教 授 外 24 名

### 【拠点形成の目的】

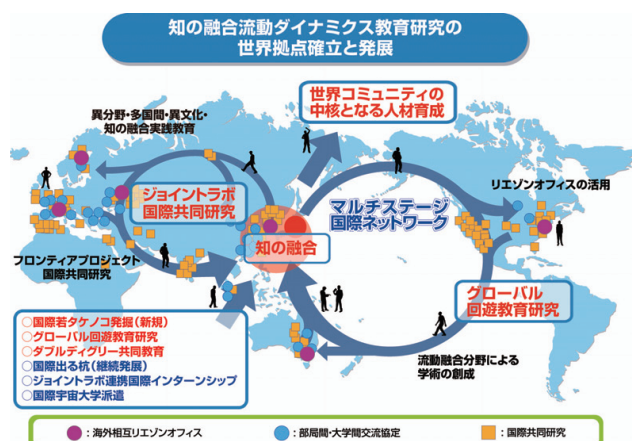
流動ダイナミクスは、エネルギー、地球環境、ライフサイエンスなど、人類が直面する諸問題に密接に関連する総合学術領域である。本グローバルCOEは、21世紀COEプログラム「流動ダイナミクス国際研究教育拠点」で築いた実績を基礎にして、それを拡大・充実させて、**流動ダイナミクス教育研究の世界拠点として確立・発展**するものである。つまり、流動ダイナミクスを基軸に置き、他分野との融合と、国際ネットワークを活用した多国間研究融合によって、流動融合分野の基礎学理を構築すると共に、国際連携フロンティアプロジェクト研究推進により、総合学術領域としての流動ダイナミクスの研究教育世界拠点を確立する。

また、これまで構築した国際ネットワークをマルチステージ国際ネットワークに昇華させ、国内外から優秀な人材を募集する国際若タケノコ発掘プログラム等により博士課程人材を集める。国際ジョイントラボや融合フロンティアプロジェクトの研究活動を通じて、多面的な価値観を理解できる国際的な異文化融合などの知の融合を目指し、国際水準を凌駕する学問的能力と強靱な精神力を身につけて、学術分野のみならず広く国際社会における中核的人材として、独創的な成果を持続的に生み出してゆく将来の**流動ダイナミクス世界コミュニティでリーダーシップを発揮できる人材を育成**する。

### 【拠点形成計画及び進捗状況の概要】

#### 拠点形成計画

リエゾンオフィスを設置した6カ所の基幹交流機関・交流協定を締結している48機関・国際共同研究を実施している研究者等で**マルチステージ国際ネットワーク**を構築する。国際ジョイントラボの枠組みを戦略的に展開・活用して高いレベルの**実質的な国際共同研究を充実させる**。流動ダイナミクスと異分野学術領域との融合で新しい流動融合分野を創成し、融合フロンティアプロジェクトを推進する。これらの国際共同研究を通じて、若手の研究者の人材交流を実施し、国際インターンシップ学生が加わって研究を担うことにより**世界最高水準の研究成果の創造と人材の育成を目指す**。



#### 人材育成計画進捗状況

若手研究者の多様な「教育支援プログラム」を運用するとともに、マルチステージ国際ネットワークを中核とした「**ジョイントラボ連携国際インターンシップ**」では、本学「**井上プラン**」による海外インターンシップ制度とも連携し交流の機会を与えている。さらに、「**国際サマースクール**」、「**国際宇宙大学(ISU)派遣**」及び「**東北大学国際高等教育院との連携**」等を通じて、国際感覚・独創的発想力・リーダーシップを身につけさせている。特に、本拠点独自のプログラムとして、修士の段階から国内外に学生を公募し、博士入学前に人材育成プログラムに採択する「**国際若タケノコ発掘プログラム**」によって、博士課程学生の国際誘致を積極的に行い、国内外から優秀な博士課程人材を集めて人材育成を図っている。また、前 21 世紀 COE の「出る杭伸ばす教育」プログラムを発展させ、融合領域の学術創成にかなう国際的若手人材を育成する「**国際出る杭伸ばす教育プログラム**」を実践している。これら教育プログラムに参加する学生は、修士博士一環コースの選択と早期修了を奨励し、ポスドク期間に複数国際インターンシップを経験させる「**グローバル回遊教育研究プログラム**」に参加させるなど、多文化融合の価値観を理解できる国際的な人材育成を進めている。

#### 研究活動進捗状況

事業推進担当者と研究協力者を「情報流動融合分野」、「反応流動融合分野」、「ナノ流動融合分野」及び「極限流動融合分野」の **4 つの流動融合研究分野**に配置して、これらが相互に連携・協力して弾力的・横断的な運営を目指している。

また、流動ダイナミクスの持つ優れた実践力と迅速性等を生かして、人類が直面する様々な問題の解決に資するため、平成 21 年度より5つの「**融合フロンティアプロジェクト**」を立ち上げた。さらにマルチステージ国際ネットワークを構築して、東北大学とリオン大学群で**ジョイントラボを立ち上げた**。これを組織的に活用し、「**グローバル回遊教育研究**」、「**ジョイントラボ国際共同研究**」等の国際共同研究を活発・積極的におこなうことにより、本 GCOE の**国際研究教育拠点確立目標の達成**を目指している。



### 5.5.3 文部科学省「グローバル COE プログラム」【特に優れている拠点】紹介

#### グローバルCOE プログラム 平成20年度採択拠点中間評価 【特に優れている拠点】 概要

##### 【機械、土木、建築、その他工学】

H01「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」

東北大学流体科学研究所

国際ジョイントラボ、流体科学分野横断セミナー、学生が企画・運営する高いレベルの国際会議など、多様な教育プログラムが実施され、それらを用いての研究活動を中心とした指導体制が構築され、若手研究者の論文発表や受賞などの成果に結び付いている。研究活動面では、世界に配置したリエゾンオフィスを拠点として多数の多国間共同プロジェクトを実施するなど、この分野の国際的拠点として世界的に認識される状況になっている。

また、本拠点が主催する「流動ダイナミクスに関する国際会議」は、この分野の世界レベルの国際会議として定着しつつあり、本拠点とリヨン大学グループが中心となる国際共同研究・教育も実質的な効果をあげており、大学の国際競争力の向上に寄与している。

文部科学省 HP「グローバル COE プログラム」（平成20年度採択拠点）中間評価について  
“(参考1) グローバル COE プログラム 平成20年度採択拠点中間評価「特に優れている拠点」概要” の中で特に優れている拠点として P3 で紹介されました。

[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/koutou/globalcoe/\\_icsFiles/afieldfile/2011/01/07/1301052\\_02\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/globalcoe/_icsFiles/afieldfile/2011/01/07/1301052_02_1.pdf)

## 6. 主な活動

### 6.1 拠点形成プログラム

#### 6.1.1 運営委員会

設置目的：人事、予算、その他運営に関する重要事項を審議決定するため、全体会議終了後、隔月開催を原則とし定期的に行う。

開催日	審議事項
平成22年 5月14日	平成22年度GCOE実行予算（案）及び平成22年度秋季GCOE博士研究員の募集に関する審議外
平成22年 7月26日	GCOE中間評価概要報告及び平成22年度（秋季）リサーチ・アシスタント等の募集、国際インターンシップに関する審議外
平成22年 9月17日	平成22年度予算執行状況及び平成22年度秋季GCOE博士研究員・リサーチアシスタント等の採択に関する審議外
平成22年11月19日	第7回・第8回流動ダイナミクスに関する国際会議報告及び平成22年度予算の執行、平成23年度各種募集に関する審議外
平成23年 1月24日	平成23年度予算編成の基本方針（案）及び平成23年度GCOE博士研究員の採用、平成22年度予算執行状況に関する審議外
平成23年 3月22日	震災の為、延期

#### 6.1.2 グローバル・オペレーション・オフィス（GOO）会議

設置目的：GCOE 運営に関わる実質的な審議機関とし、意思決定する。必要の都度、随時開催する。

開催日	議題事項
平成22年 5月10日	平成21年度GCOE実績報告、平成21年度GCOE収支決算報告及び平成22年度予算基本方針概要に関する審議外
平成22年 7月20日	GCOE中間評価ヒアリングについての概要報告及び第7回流動ダイナミクス国際会議に関する審議外
平成22年 9月13日	平成22年度秋季募集の選考・採択及び第7回流動ダイナミクス国際会議に関する審議外
平成22年11月15日	平成23年度各種プログラムの募集及びKAISTリエゾンオフィス、平成22年度予算に関する審議外
平成23年 1月17日	平成23年度予算編成の基本方針（案）及び第8回流動ダイナミクス国際会議に関する審議外
平成23年 3月 7日	平成23年予算編成の概要及び23年度のGOO会議等の日程に関する審議外

#### 6.1.3 教育委員会

設置目的：各種プログラム採択（注1）等に関する審議決定する。必要の都度、随時開催する。

##### ○教育委員会

開催日	審議事項
平成22年 8月18日	平成22年度秋季「研究支援RA」の採択、国際若タケノコ発掘プログラムの採択、インターンシップ受入期間延長申請の際の確認
平成22年12月17日	平成23年度日本学術振興会（グローバル COE）の補充採用の採択に関する審議外
平成22年 2月 4日	平成23年度各種教育プログラムの採択、「国際出る杭特別研究生」既採択者の平成22年度の成果報告と評価及び「国際若タケノコ発掘プログラム」の既採択者で、「国際出る杭 特別研究生」に併願した博士課程前期学生のヒアリングと審査

○教育委員会（メール会議）

開 催 日	審 議 事 項
平成22年 4月21日	インターンシップ受入1名採択
平成22年 5月18日	インターンシップ派遣1名採択
平成22年 5月27日	インターンシップ受入1名採択
平成22年 6月 1日	教育委員会構成員変更
平成22年 6月 2日	国際若タケノコ発掘プログラム1名採択
平成22年 6月 7日	インターンシップ派遣1名採択
平成22年 6月 8日	インターンシップ受入1名採択
平成22年 6月16日	インターンシップ派遣1名採択
平成22年 6月18日	インターンシップ派遣1名採択
平成22年 7月 6日	平成22年度秋季募集要項・申請書（案）
平成22年 7月 8日	インターンシップ派遣1名採択
平成22年 7月22日	インターンシップ受入1名採択
平成22年 7月23日	研究支援RA1名採択
平成22年 7月26日	インターンシップ受入1名採択
平成22年 8月31日	若手研究者国際会議派遣4名採択
平成22年 9月14日	国際若タケノコ発掘プログラム支援候補者の報告
平成22年 9月21日	国際若タケノコ発掘プログラム1名採択
平成22年10月 8日	国際若タケノコ発掘プログラム1名採択の可否
平成22年10月12日	若手研究者国際会議派遣1名採択
平成22年10月28日	インターンシップ派遣1名採択
平成22年11月 5日	平成23年度各種教育支援プログラムの募集要項・申請書（案）
平成22年11月15日	インターンシップ派遣1名採択
平成22年12月 9日	インターンシップ派遣1名採択
平成23年 1月 6日	グローバル回遊教育プログラム派遣1名採択
平成23年 1月21日	グローバル回遊教育プログラム派遣1名採択
平成23年 2月 2日	インターンシップ派遣1名採択
平成23年 2月 4日	インターンシップ派遣1名採択
平成23年 2月22日	グローバル回遊教育プログラム派遣1名採択

（注1）基本支援 RA、研究支援 RA、国際出る杭伸ばす特別研究生、国際インターンシップ（派遣・受入）、若手研究者国際会議派遣、国際高等教育院連携 GCOE 特別研究生、国際若タケノコ発掘プログラム

#### 6.1.4 研究委員会

設置目的：グローバル COE 博士研究員等に関する審議決定する。必要の都度、随時開催する。

開 催 日	審 議 事 項
平成22年 8月 5日	平成22年度（秋季）グローバルCOE博士研究員の採択
平成23年 2月 2日	平成22年度グローバルCOE博士研究員の成果報告及び平成23年度グローバルCOE博士研究員の採択審査

#### 6.1.5 国際交流委員会

設置目的：GCOE の拠点形成計画の1つである世界拠点確立のため、流体科学研究所 国際交流推進室と連携して、マルチステージ国際ネットワークを活かした①流動ダイナミクスと異分野学術領域との融合、②多国間研究融合による新しい流動融合分野の創成、③国際連携フロンティアプロジェクト研究の推進を柱とした、国際ジョイントラボ共同研究、

国際交流関係の業務を支援する。

○国際交流委員会及び国際交流推進室

開催日	審議事項
平成22年 4月 2日	国際交流推進室の役割分担、2010年度活動案等

○国際交流委員会及び国際交流推進室（メール・現地会議・活動報告）

開催日	審議事項
平成22年 4月 8日～16日	流動ダイナミクス国際融合ジョイントラボラトリー募集。
平成22年 4月 16日	フランスSaint-Gobain社Dr. Roux一行が東北大学訪問
平成22年 4月 28日	流体科学研究所博士前期課程学生会学発表促進プログラム募集。
平成22年 5月 15日～21日	イタリアミラノ工科大学の大学院生について「国際若タケノコプログラム」採択可否の判定試験
平成22年 5月 31日	流動ダイナミクス国際融合ジョイントラボラトリー採択通知。
平成22年 7月 2日	韓国浦項工科大学大学間学術交流協定及びシンガポール国立大学大学間学術交流協定の更新につき、メール審議。
平成22年 7月 7日～10日	韓国KAERIの研究生について「国際若タケノコプログラム」採択可否の判定試験
平成22年 7月 18日～23日	中国、韓国、日本より大学院生十数名を招聘し、Maintenance Summer Schoolを開校
平成22年 9月 6日～11日	インドIITグワハティの大学院生について「国際若タケノコプログラム」採択可否の判定試験
平成22年 9月 9日	ドイツカールスルーエ工科大学との大学間学術交流協定締結及び、それに伴うカールスルーエ大学流体力学研究所との部局間学術交流協定終結、及び中国吉林大学との大学間学術交流協定更新及び世話部局の変更につき、メール審議。
平成22年 9月 27日～10月 1日	インドチェンナイSRM大学の助教授につき「国際若タケノコ発掘プログラム」採択可否の判定試験
平成22年 9月 30日	パリ第6大学（ピエール・マリー・キュリ）との大学間学術交流協定更新について
平成22年10月 13日～16日	中国アモイ大学での「東北大学デイ」に参加しGCOE・東北大学に関してPR
平成22年10月 24日～11月 3日	ELyT School in Sendai – Autumn 2010 を開校。フランス、中国等より博士課程前・後期大学院生23名が参加
平成22年10月 25日～11月 2日	ElyT School in Sendai-Autumn2010を開催。INSA-Lyon, ECL, KTH, モスクワ国立大学、シドニー大学及び清華大学から計22名の学生が参加。
平成22年11月 1日	International Conference on Flow Dynamics において、リエゾンオフィス責任者と今後の共同研究・共同教育について議論した。
平成22年11月 2日	第7回リエゾンオフィスセッションを開催。
平成22年11月 4日	第2回流体研運営委員会にて国際連携活動の報告。
平成22年12月 1日	スウェーデン王立工科大学大学間学術交流協定更新につき、メール審議。
平成22年12月中旬	グリーティングカード送付。
平成23年 1月 6日	フランスエコールセントラル5校との大学間学術交流協定更新につ



	き、メール審議。
平成23年 2月22日～24日	ELyT Annual Workshop in Sendai 2011を片平キャンパスさくらホールにて開催。フランス等より研究者・関係者50名が参加。また、東北大学をはじめ日本より90名超が参加。

#### 6.1.6 企画室会議

設置目的：ワーキンググループ的な位置づけとし、タスク毎に企画・実行を行う。  
本年度は、タスクごとに担当者が不定期で会議を行った。

#### 6.1.7 国際評価委員会

国内外の大学・民間の有識者 6 名による外部評価委員会を設置し、毎年本拠点の運営体制、教育活動、研究活動、国際協力活動に関する評価を受ける。  
なお、評価結果については、国際評価報告書として平成 23 年 5 月に発行する予定である。

#### 平成 22 年度開催

日 時 平成 23 年 2 月 17 日（木）

場 所 COE 棟 3F セミナー室

委 員 Behnia, Masud	シドニー大学工学部 教授
藤井 孝藏	(独)宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 副所長 宇宙輸送工学研究系 教授
井上 孝太郎	(独)科学技術振興機構 上席フェロー
Shin, Hyun Dong	韓国科学技術院 機械工学科 教授 燃焼技術研究センター長
戸田 三朗	東北放射線科学センター 理事
Zhang, Xing	清華大学 工程熱物理研究所 教授

#### 6.1.8 全体会議（研究交流会）

設置目的：全員参加の研究交流会とする。原則 2 か月に 1 回開催する。

- (1) 平成22年5月14日  
研究グループ毎の研究発表、GCOE博士研究員1名、リサーチ・アシスタント1名並びに国際出る杭伸ばす教育特別研究生1名の研究発表。
- (2) 平成22年7月26日  
研究グループ毎の研究発表、「第3回流動ダイナミクス国際若手研究発表会」上位3名による研究発表。（特別奨励費として研究費を配分）
- (3) 平成22年9月17日  
研究グループ毎の研究発表、GCOE博士研究員1名、リサーチ・アシスタント1名の研究発表並びに国際インターンシップ派遣学生1名の派遣報告
- (4) 平成22年11月19日  
研究グループ毎の研究発表、国際宇宙大学スペース・スタディーズ・プログラム参加報告、国際インターンシップ受入学生1名の受入報告、国際出る杭伸ばす教育特別研究生1名の研究発表
- (5) 平成23年1月24日  
国際インターンシップ派遣学生1名、国際インターンシップ受入学生1名、リサーチアシスタント1名並びに研究グループ毎の研究発表

(6) 平成23年3月22日  
震災により延期

### 6.1.9 国際会議の開催

GCOE 主催国際シンポジウム/国際ワークショップを 7 件開催した。

#### (1) Seventh International Conference on Flow Dynamics

第 7 回流動ダイナミクスに関する国際会議

日 時 平成 22 年 11 月 1 日～3 日

場 所 仙台国際センター

参加者 749 名（うち外国人 241 名）



#### 基 調 講 演



Kozo Saito (University of Kentucky, USA)  
“Hitozukuri and Monozukuri: Centuries’ Old Eastern Philosophy to Seek Harmony with Nature”



Dimos Poulikakos (ETH Zurich, Switzerland)  
“Toward Green IT: Petaflop Supercomputers Cooled with Warm Water Combine Microcooling Technologies with Waste Heat Reuse and Set a New Norm”



Javad Mostaghimi (University of Toronto, Canada)  
“Radio Frequency Thermal Plasma: The Cutting Edge Technology in Production of Single-Walled Carbon Nanotubes”



<i>General Session</i>		オーガナイザー
GS1	General Session on Multi-Scale Flow Dynamics	中野 政身、佐藤 岳彦
<i>Organized Sessions</i>		
OS1	Fluid Dynamics Aspects of Environmentally Advantageous Hybrid Rockets	嶋田 徹、澤田 恵介
OS2	Aviation Research in Aspects of Environment	大林 茂、浅井 圭介、渡辺 重哉
OS3	Advanced Control of Smart Fluids and Fluid Flows	中野 政身、福西 祐

OS4	Flow Dynamics in Fluid Machinery	井小萩 利明、山本 悟、能見 基彦
OS5	Molecular and Nanoscale Phenomena in Fluids and Interfaces	小原 拓、芝原 正彦
OS6	Flow Dynamics in Thermal Science & Technology	圓山 重直、小原 拓
OS7	The Sixth International Students/Young Birds Seminar on Multi-scale Flow Dynamics	西尾 悠、山本 元貴、清水 康智、水崎 純一郎、佐藤 一永、小宮 敦樹、伊賀 由佳
<i>Planned Sessions</i>		
PS1	Workshop on Sustainable Atomization and Spray Technology (AFI/TFI-2010)	石本 淳
PS2	Workshop on Functional Plasma Flow Dynamics and its Systems	西山 秀哉、奥野 喜裕、田中 学
PS3	International Seminar on Maintenance Science and Technology for Nuclear Power Plants	高木 敏行、橋爪 秀利
PS4	4 <sup>th</sup> Functionality DEsign of the COntact Dynamics: (DECO2010)	高木 敏行、三木 寛之、J. Fontaine
PS5	IFS Collaborative Research Forum (AFI/TFI-2010)	石本 淳
PS6	Liaison Office Session	高木 敏行、太田 信



(2) International Seminar on Maintenance Science and Technology for Nuclear Power Plants

日 時 平成 22 年 11 月 2 日～4 日

場 所 仙台国際センター

参加者 110 名（うち外国人 20 名）

主な特別講演者

Jack Grobe (U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), USA)

Peter Arthur (Institute of Nuclear Power Operations (INPO), USA)

Satoru Nakai (Japan Atomic Energy Agency, Japan)



(3) 2010 Swiss-Japanese Scientific Seminar: Intracranial Stents –

Medical Engineering and Vessel Biology

日 時 平成 22 年 11 月 14 日～16 日

場 所 University of Zurich (スイス)

参加者 50 名 (うち外国人 40 名)

主な招待講演者

Prof. Pedro Lylyk (Eneri, Argentina)

Dr. Noriko Tomita (Tohoku University, Japan)



(4) GCOE, IFS-Tsinghua University Joint Workshop-2011

日 時 平成 23 年 2 月 21 日～22 日

場 所 清華大学 (中国)

参加者 65 名 (うち外国人 55 名)

主な招待講演者

Prof. Xing Zhang, (Uni. of Tsinghua, China)

Prof. Shigenao Maruyama (Uni. Of Tohoku, Japan)

Prof. Liang Xingang (Uni. of Tsinghua, China)



(5) ELyT Workshop

日 時 平成 23 年 2 月 22 日～24 日

場 所 東北大学

参加者 141 名 (うち外国人 50 名)

Plenary Lecturers

Prof. Kingo ITAYA (Tohoku University, Japan)

Prof. Yves BRECHET (INPG, France)



(6) Multi-Disciplinary /Multi-Objective Optimisation Workshop

日 時 平成 23 年 2 月 23 日

場 所 ドイツ

参加者 57 名 (うち外国人 53 名)

主な招待講演者

Dr. Markus Olhofer (Honda Research Institute)

Dr. Domenico Quagliarella (CIRA)

Dr. Jean-Antoine Desideri (INRIA)

(7) The 4<sup>th</sup> Discussion Meeting on Glass Transition

日 時 平成 23 年 2 月 28 日～3 月 2 日

場 所 東北大学

参加者 38 名 (うち外国人 12 名)

主な招待講演者

Prof. Andreas Meyer (Institute of Materials Physics in Space German Aerospace

Prof. Peter Harrowell (The University of Sydney, Australia) Center, German)

Prof. Paola Gallo (Physics Department "E. Amaldi", Università Roma Tre, Italy)



(8) その他

1) Super Computing 2010

日 時 平成 21 年 11 月 13 日～19 日

場 所 Ernest N. Morial Convention Center (アメリカ)



#### 6.1.10 研究支援者の採用

##### 1) 博士研究員ポストドクトラルフェロー

趣旨：本 GCOE に関連する研究テーマを遂行する若手研究者をホームページにより、国際公募し、競争的環境で研究を自発的に行うことを体験させ、本 GCOE での研究成果をベースに世界で活躍できる研究者を育成している。

平成 22 年度は 3 名の応募に対し 2 名採択、4 名が更新された。

氏 名	研究課題
富田 典子	Development of Functional Biomodelling with Mechanical and Physiological Properties
山下 博	Experimental and Computational Analyses of the Supersonic Biplane for the Realization of the MISORA
Zahrul Fuadi	Study of Frictional Sound
Melanie Kuhn	Oxygen Nonstoichiometry and Crystal Structure of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-d}$ SOFC Cathode Materials
Mehdi Baneshi	Radiative Properties of Complex Materials for Design and Control of Engineering Systems
Arunabhram Chutia	Fluid Dynamics in Chemically Modified Carbon Nanotubes with Organic and Biological Polymers

##### 2) 国際出る杭伸ばす特別研究生

学生が主導的に研究を実施する機会を与えることにより、将来世界最先端の研究成果をあげることのできる先導的人材やプロジェクトマネージャーとして活躍する人材を育成することを目的とする。（特別奨励費として研究費を配分）

審査方針は、以下の通りである。

- 研究テーマ等が流動ダイナミクス拠点形成に資するものであること。
- 研究計画が具体的であり優れており、学生が自発的に研究を遂行できる能力を持っていること。
- 学部・大学院での成績、研究発表歴等は評価の対象となる。
- 研究業績が優れており、学術の将来を担う優れた研究者となることが十分期待できる学生を優先的に採用する。
- 研究が本 GCOE の事業推進担当が行う国際共同研究プログラムの一環であるか、もしくは国内他大学等との国内共同研究プロジェクトである場合には優先的に扱う。とくに、本 GCOE マルチステージネットワーク参加大学との国際共同研究に携わる学生を優先的に考慮する。
- JAXA、JAEA 等、本 GCOE で枠組みを作っている機関との共同研究プログラムに従事する予定の学生は優先的に考慮する。

平成 22 年度は、8 名応募のうち 1 名が採択された。若タケノコ発掘プログラムより 1 名採択、3 名は更新（うち 1 名海外若タケ）となっている。

氏 名	所属・学年	研究課題	指導教員	備考
中山 雅野	工学研究科航空宇宙工学専攻・D2	解剖学的異方性を考慮した脳組織モデルと脳外科手術シミュレーション	内山 勝	
坂井 玲太郎	工学研究科航空宇宙工学専攻・D1	流体と物体運動の連成計算法の構築による航空機のデジタル飛行解析	中橋 和博	若タケノコプログラム
和田 章良	工学研究科ナノメカニクス専攻・D2	中性粒子ビーム流動現象の制御とカーボンナノチューブ表面との相互作用	寒川 誠二	
解 社娟	工学研究科バイオロボティクス専攻・D2	Enhancement of Eddy Current Testing Sizing Technique for Stress Corrosion Cracks 流動現象によって生じる構造物内の欠陥の渦電流探傷法による検出とサイジング	高木 敏行	若タケノコプログラム
鄭 善鎬	工学研究科化学工学専攻・D2	実験融合計算化学による自動車触媒反応ダイナミクスの解明と革新的触媒設計への挑戦	宮本 明	

### 3) 研究支援リサーチ・アシスタント

優秀な研究教育者となるための経験と実績の場を提供するため、指導教員の指導の下に、主に流動ダイナミクス研究推進のための研究補助業務に専念する博士課程後期学生を公募により採用している。

審査方針は、以下の通りである。

- 研究テーマ等が流動ダイナミクス拠点形成に資するものであること。
- 指導教員推薦書、学部・大学院での成績、研究発表歴等は評価の対象となる。
- 研究が本 GCOE の事業推進担当者が行う国際共同研究プログラムの一環であるか、もしくは国内他大学等との国内共同研究プロジェクトである場合には優先的に扱う。とくに、本 GCOE マルチステージネットワーク参加大学との国際共同研究に携わる学生を優先的に考慮する。
- JAXA、JAEA 等、本 GCOE と共同研究の枠組みを作っている機関との共同研究プログラムに従事する予定の学生は優先的に考慮する。

平成 22 年度は 27 名応募に対し、12 名採択された。若タケノコ発掘プログラムより 8 名採択となっている。(うち 1 名海外若タケ)

	氏 名	所属・学年	指導教員	副指導教員	備考
1	河 宗秀	工学研究科航空宇宙工学専攻・D3	大林 茂		
2	小水内 俊介	工学研究科航空宇宙工学専攻・D2	内山 勝		
3	岡田 佳都	工学研究科航空宇宙工学専攻・D2	永谷 圭司		若タケノコプログラム
4	加藤 博司	工学研究科航空宇宙工学専攻・D1	大林 茂		若タケノコプログラム
5	大木 健	工学研究科航空宇宙工学専攻・D1	永谷 圭司		

6	K.S.N. Abhinav Kumar	工学研究科航空宇宙工学専攻・D1	浅井 圭介		
7	落合 直哉	工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D3	井小萩 利明		
8	西尾 悠	工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D2	福西 祐		
9	張 柱鏞	工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D1	西山 秀哉		若タケノコブ ログラム
10	大川 啓	工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D1	福西 祐		
11	木村 祐人	工学研究科ナノメカニクス専攻・D3	徳山 道夫		
12	張 志宇	工学研究科ナノメカニクス専攻・D3	閻 紀旺	西山 秀哉	
13	李 貞徹	工学研究科ナノメカニクス専攻・D1	高 偉	澤田 恵介	若タケノコブ ログラム
14	洪 承模	工学研究科量子エネルギー工学専攻・D1	渡辺 豊		若タケノコブ ログラム
15	豊田 篤	情報科学研究科システム情報科学専攻・D3	大林 茂		
16	小原 健	情報科学研究科システム情報科学専攻・D1	橋本 浩一	石本 淳	若タケノコブ ログラム
17	佐藤 功人	情報科学研究科情報基礎科学専攻・D2	滝沢 寛之	中橋 和博	若タケノコブ ログラム
18	柳 昌昊	医工学研究科医工学専攻・D3	太田 信		
19	韓 笑波	医工学研究科医工学専攻・D1	太田 信		
20	信太 宗也	医工学研究科医工学専攻・D1	太田 信		若タケノコブ ログラム

#### 4) 基本支援リサーチ・アシスタント

優秀な研究教育者となるための経験と実績の場を提供するため、指導教員の指導の下に、主に流動ダイナミクス研究推進のための研究補助業務に専念する博士課程後期学生を公募により採用している。

平成 22 年度は 18 名が採択された。

	氏 名	所属・学年	指導教員	副指導教員
1	野村 勇樹	工学研究科航空宇宙工学専攻・D2	内山 勝	
2	李 成基	工学研究科航空宇宙工学専攻・D1	内山 勝	
3	森澤 征一郎	工学研究科航空宇宙工学専攻・D1	大林 茂	
4	李 栄敏	工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D3	小野 崇人	
5	山本 元貴	工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D3	井小萩 利明	
6	何 亮	工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D1	小野 崇人	
7	清水 信	工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D1	湯上 浩雄	
8	水谷 公一	工学研究科ナノメカニクス専攻・D3	厨川 常元	西山 秀哉
9	村田 直一	工学研究科ナノメカニクス専攻・D2	三浦 英生	高木 敏行

10	PHAN ANH TUAN	工学研究科ナノメカニクス専攻・D2	桑野 博喜	升谷 五郎
11	五十嵐 誠	工学研究科ナノメカニクス専攻・D1	寒川 誠二	
12	磯野 晋	工学研究科ナノメカニクス専攻・D1	米村 茂	
13	金 于載	工学研究科ナノメカニクス専攻・D1	高 偉	澤田 恵介
14	張 金婭	工学研究科ナノメカニクス専攻・D1	桑野 博喜	升谷 五郎
15	呉 美瑛	環境科学研究科環境科学専攻・D2	川田 達也	水崎純一郎
16	申 有哲	環境科学研究科環境科学専攻・D1	川田 達也	水崎純一郎
17	小澤 桂	医工学研究科医工学専攻・D1	太田 信	
18	清水 康智	医工学研究科医工学専攻・D1	太田 信	

#### 5) 平成 22 年度 国際宇宙大学派遣 平成 22 年度 1 名採択

世界 30 カ国から第一線の研究者が参加する国際宇宙大学スペース・スタディーズ・プログラムは独自の教育プログラムを有し、本 GCOE の目的と合致した教育理念を掲げている。本 GCOE の目的達成に向けて、国際宇宙大学への学生派遣を行っている。

平成 22 年度は 1 名採択された。

氏 名	所属・学年	指導教員	副指導教員
須藤 真琢	工学研究科航空宇宙工学専攻D1	永谷 圭司	

#### 6) 国際若タケノコ発掘プログラム採択者一覧

国内外の優秀な博士課程後期学生を早期に大規模に獲得するためのインセンティブプログラム。

#### 【学内】

➤ 平成 20 年度 学内 27 名の応募に対し、12 名採択された。

氏 名	所属・学年	採用予定	指導教員	副指導教員
松原 慶典	工学研究科航空宇宙工学専攻	H21.4 国際宇宙派遣採用	滝田 謙一	
河 勝元	工学研究科航空宇宙工学専攻	H22.4	浅井 圭介	
信太 宗也	医工学研究科医工学専攻	H22.4 国際高等採用	太田 信	
小原 健	情報科学研究科システム情報科学専攻	H22.4 研究支援 RA 採用	橋本 浩一	石本 淳
黒瀬 健介	情報科学研究科応用情報科学専攻	H22.4	田所 諭	大林 茂
坂井 玲太郎	工学研究科航空宇宙工学専攻	H22.10 出る杭採用	中橋 和博	
佐藤 功人	情報科学研究科情報基礎科学専攻	H21.4 研究支援 RA 採用	小林 広明	中橋 和博
張 柱鏞	工学研究科機械システムデザイン工学専攻	H22.10 研究支援 RA 採用	西山 秀哉	



加藤 博司	工学研究科航空宇宙工学専攻	H22.4 研究支援 RA 採用	大林 茂	
鶴山 尚大	工学研究科航空宇宙工学専攻	H21.4 研究支援 RA 採用	吉田 和哉	
岡田 佳都	工学研究科航空宇宙工学専攻	H21.4 研究支援 RA 採用	永谷 圭司	
李 貞徹	工学研究科ナノメカニクス専攻	H22.4 研究支援 RA 採用	高 偉	澤田 恵介

➤ 平成 21 年度 学内 10 名の応募に対し、5 名が採択された。

氏 名	所属	採用予定	指導教員	副指導教員
安西 眸	工学研究科バイオロボティクス専攻	H23.4	太田 信	
トレス・アルバ レス・ファン・ フェリペ	工学研究科機械システムデザイン工学専攻	H23.4	圓山 重直	
菅井 文仁	工学研究科航空宇宙工学専攻	H23.4	内山 勝	
江目 宏樹	工学研究科機械システムデザイン工学専攻	H23.4	圓山 重直	
櫻田 健	情報科学研究科応用情報科学専攻	H23.4	田所 諭	大林 茂

➤ 平成 22 年度 学内 2 名の応募に対し、1 名が採択された。

氏 名	所属	採用予定	指導教員	副指導教員
藤田 昂志	工学研究科航空宇宙工学専攻	H24.4	永井 大樹	

#### 【学外】

➤ 平成 20 年度 海外から 2 名の応募に対し、1 名採択された。

氏 名	所属	採用予定	指導教員	備 考
解 社娟	工学研究科バイオロボティクス専攻	H21.4 出る杭採用	高木 敏行	西安交通 大学出身

➤ 平成 21 年度 海外から 2 名の応募に対し 0 名の採択となった。

➤ 平成 22 年度 海外から 4 名の応募に対し、3 名採択された。

氏 名	所属	採用予定	指導教員	備 考
T.M. Iftakhar Uddin	工学研究科機械システムデザイン工学専攻	H23.4	圓山 重直	Politecnico di Milano出身
洪 承模	工学研究科量子エネルギー工学専攻	H22.10 研究支援 RA 採用	渡辺 豊	KAIST出身
Chilukoti Hari Krishna	工学研究科機械システムデザイン工学専攻	H23.4	小原 拓	IIT Guwahati 出身

平成 21 年度は海外から 2 件の応募があり、海外での試験を行ったが採択には至らなかった。不合格者の中には IIT（インド国内での入学競争倍率 100 倍）の学生も入っているなど、厳正な試験を行い選考している。

## 6.2 研究活動

### 6.2.1 融合分野総括

「流動ダイナミクス」は、宇宙・環境・食糧・ライフサイエンス・医療・産業/経済活動を支える技術等、人類の生活と直面する諸問題に密接に関連した学問・技術を扱う「総合学術領域」であり、空間的には、太陽光輻射、台風、大気流、海洋流、火山活動といった巨大スケールから、分子、原子、電子、イオンの挙動等、ナノ・ピコスケールまでをカバーしている。また時間的にも、電子やイオンビーム、分子の挙動のように、数ピコ秒内で起きる流動から転移するガラス内での物質流動のように、1,000 年単位の時間がかかる流動まで、幅広い分野をカバーしている。

本プログラムでは事業推進担当者を 4 つのグループに分け、上述のような多岐にわたる流動現象を詳細に、かつ包括的に解明するとともに、おのおのの分野が相互に連携をとって弾力的、総合的な運営がなされるべく組織されている。

具体的にこれら 4 つのグループは、大規模流動データのビジュアルアナリティックスを確立し流動ダイナミクスの研究や先端技術開発に資する**情報流動融合分野**、エネルギーや流動について更に深く探求し新しい利用形態を創出する**反応融合流動分野**、革新的なナノデバイス・技術の開発とナノスケールでの流動ダイナミクスの解明を目指す**ナノ流動融合分野**、そして、流動のマクロ発現機構の解明により具体的課題の解決策を提言する**極限流動分野**であり、各分野の平成 22 年度における具体的な研究の実績は次の通りである。

**情報流動融合分野**では、「マイクロ・ナノ粒子分散系 ER 流体の創製・評価とそのマイクロフルードパワーシステム (MFPS) への応用」、「先進 MR 流体および MR コンポジットの創製・評価とそのダンパおよび振動制御への応用」、「ホールトーン自励発振現象の解明とアクティブ制御」、「次世代 CFD としての Building-Cube Method の研究」、「タービンプレード熱負荷数値解析のための流体・熱伝導連成計算手法」、「マイクロソリッド利用型超高熱流動束混相冷却システムの開発」、「ステント周りの血流数値解析」、「傾斜遠心顕微鏡を用いた培養血管内皮細胞上における HL60 細胞の挙動解析」、「脈診の科学的検証」、「高熱流動束下における高温溶融塩の伝熱特性」、「ペブル充填管を用いた高プラントル数流体流れの伝熱促進」および「大規模粒子系視覚解析支援環境の構築」等の研究を行い、夫々成果を上げている。

**反応流動融合分野**では、「核融合磁場閉じ込め装置におけるプラズマ流の制御」、「燃料過濃反応場におけるカーボンブラック凝集体生成機構の解明」、「超音速燃焼器内に垂直噴射した気体燃料と空気の乱流混合現象の解明」、「プラズマ援用による反応性マイクロバブルジェットの機能性と水質浄化」、「大気圧プラズマ流による化学種の生成輸送機構」および「燃料多様化に向けた大規模炭化水素燃料の低温酸化反応機構の解明と応用」等の研究を行い成果を上げている。

**ナノ流動融合分野**では、「量子論に基づくマルチスケール計算化学の創成と応用」、「高度情報処理技術と非破壊検査技術を融合した電気化学デバイスの信頼性評価」、「ソフト円盤におけるポテンシャルの堅さが流動ダイナミクスに与える影響の解明」、「ナノクラスタ金属を含む非晶質炭素コーティングにおける導電性と接触の制御」、「オンウエハーモニタリング技術の研究」、「脂質二重膜で形成される水孔の形成」、「燃料電池膜電極接合体(MEA)内部のナノスケール物質輸送現象の解明」、「ヘテロな構造をもつ液体・液体膜・界面の熱・運動量輸送特性」、「多元素系拡散解析によるナノ微細分散組織の制御と耐熱合金の開発」、「2次元周期微細構造による波長選択性熱放射を用いた水蒸気改質促進」、「ボルツマン方程式の数値解法に関する研究」および「国際宇宙ステーションによるナノスケルトン創製の計算化学シミュレーション」等の研究を行い、夫々成果を上げている。

**極限流動融合分野**では、「永久塩泉による海洋深層水湧昇と海洋表層緑化に関する研究」、「振動はく離する極限状態流れにおけるはく離領域を計測する手法の開発」、「火星大気風洞を用いた低レイノルズ数空気力学の研究」、「酸化剤旋回型ハイブリッドロケット燃焼室内流れ場の数値解析」、「マイクロ波を用いた配管減肉広域一括探傷技術の開発」、「未固結地層フラクチャリング技術とメタンハイドレート開発への応用」、「スラッシュ流体の固液二相管内流動・伝熱特性に関する研究」、「高温高圧水環境での流れ加速型腐食におけるCrの作用機構」、「電磁超音波試験に基づく流動誘起減肉の定量的評価」、「旋回キャビテーションの伝播方向に関する研究」、「超音速複葉翼理論の研究」および「国際連携研究による実用化設計探索手法の開発」等の研究を行い、夫々成果を上げている。

## 6.2.2 情報流動融合分野

グループリーダー：中野 政身

メンバー：

事業推進担当者：中橋 和博、石本 淳、太田 信

研究協力者：白井 敦、江原 真司、竹島 由里子

平成 22 年度は以下の 12 件のテーマに関して研究を実施した。

### (1) マイクロ・ナノ粒子分散系 E R 流体の創製・評価とそのマイクロフルードパワーシステム (MFPS) への応用 (中野 政身)

E R 流体(Electro-Rheological Fluid)は、電場印加によって粘性（厳密には、降伏せん断応力）を数ミリ秒のオーダーで可逆的かつ連続的に変化する機能性を示すスマート流体である。液圧系の作動流体として E R 流体を用いることによって、バルブ・アクチュエータなどの可動部を全く用いずに電極対を設置するだけで E R 流体の流量や圧力を制御できることから、本研究では、E R 流体を作動流体とするマイクロフルードパワーシステム(Micro Fluid Power System:MFPS)の構築を目的に、視覚障害者の情報伝達手段の一つである点字表示システムを開発している。本年度は、そのアクチュエータ駆動部の弾性体として従来のメタル製のマイクロベローズに替えて、0.02mm 厚のポリウレタン膜を用いることにより、E R 流体の供給圧を 533kPa から 238 kPa に低減し E R バルブの小型化を達成している。E R 流体点字表示システムは、図 1 に示すように、2つの E R バルブ（間隙：0.3mm）と可動部であるポリウレタンダイヤフラムからなる 3 ポートマイクロアクチュエータを構築し、その 6 個のアクチュエータダイヤフラム上に触知ピンを装着して点字板上に 6 個の触知ピンを表示するように構成されている。E R 流体としては、スルホン化重合体マイクロ粒子を分散した E R 流体を用いて点字表示を実現している。

さらに、より微細な流路でも使用可能な作動流体として、300nm の  $\text{TiO}_2$  (Anatase) のナノ粒子 E R 流体を創製し、E R 効果も比較的高く、時間的にも安定した E R 効果の得られるナノ粒子 E R 流体を開発できた（図 2）。

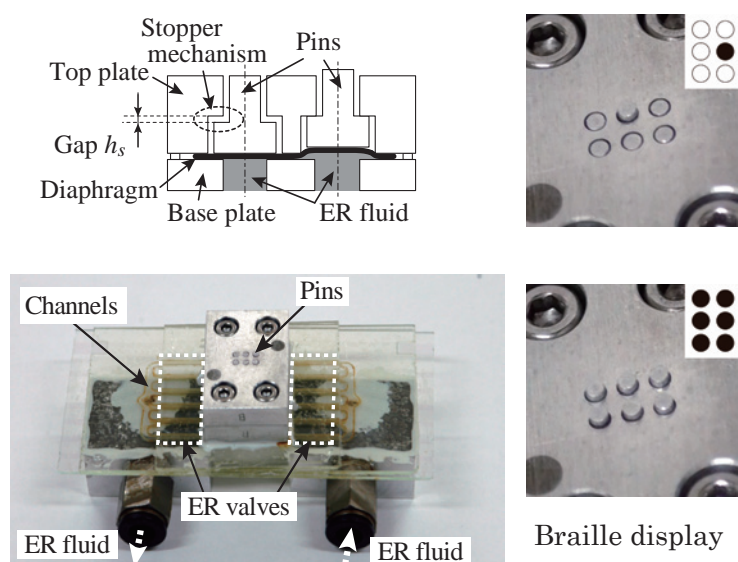


図 1：6 個の触知ピンを駆動するダイヤフラム E R アクチュエータからなる点字表示部と表示した点字

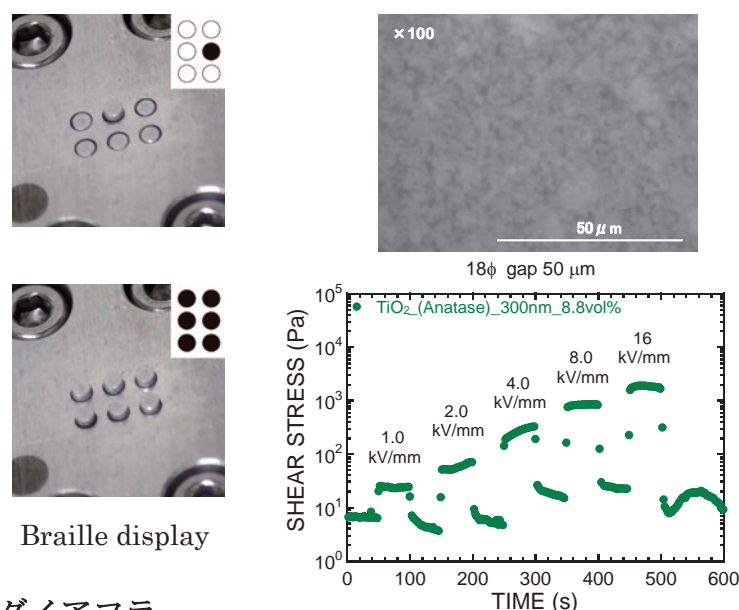


図 2：ナノ粒子 E R 流体の E R 効果と粒子分散状態の顕微鏡観察



- [1] T. Tsujita, M. Kobayashi, M. Nakano : Design and Development of a Braille Display Using Micro Actuators Driven by ER Suspension, International Journal of Applied Electromagnetic and Mechanics, Vol.33, No.3-4 , pp.1661-1669, October 2010.
- [2] T. Tsujita, K. Yoshida, M. Nakano : Braille Display System Driven by Micro-Diaphragm ER Actuators, Proc. of the Seventh Int. Conf. on Flow Dynamics (7<sup>th</sup> ICFD2010), Sendai Japan, pp.282-283, November 2010.
- [3] K. Tanaka, R. Akiyama, M. Nakano : Flow Behavior and Micostructure of Electro-Rheological Nano-Suspensions based on Titanium Dioxide Nano-Particles, Proc. of the Seventh Int. Conf. on Flow Dynamics (7<sup>th</sup> ICFD2010), Sendai Japan, pp.286-287, November 2010.

(2) 先進MR流体およびMRコンポジットの創製・評価とそのダンパおよび振動制御への応用 (中野 政身)

MR (Magneto-Rheological Suspension)は、磁場に反応してその粘性を大きく変化することができるスマート流体である。本研究では、このスマート流体の車両サスペンションや建築構造物の免震・制振装置への応用を目指し、MR流体そのものと、MR流体を多孔質材に含浸させたMR流体コンポジット、さらには強磁性体粒子をゴム材に混入したMRゴムコンポジットを創製している。本年度は、これらの磁場反応性スマート流体のMR効果の向上を目指して研究展開を行った。その結果、**図3**に示すように、MR流体コンポジットに関しては、多孔質材や接触材の材質等によっては、MR流体自身のMR効果の1.5倍程度のせん断応力を発生することを見出した。また、MRゴムコンポジットに関しては、ゴム硬化時に磁場を印加して磁性粒子の配向制御を施すことによってせん断滑り時の誘起せん断応力を大きくすることを明らかにした。

また、地震時の停電時にも信頼性をもって作動するMR流体を使ったダンパとして、電気的な制御系を一切使わずに、永久磁石を用いてダンパ変位によって磁気回路が開閉し、かつダンパ速度の正負によって開閉するチェックバルブを活用して、変位×速度の正負によって減衰力が可変するパッシブ式MR流体ダンパ (**図4**)を開発して、その建築構造物の免震制御への有効性を実証している。

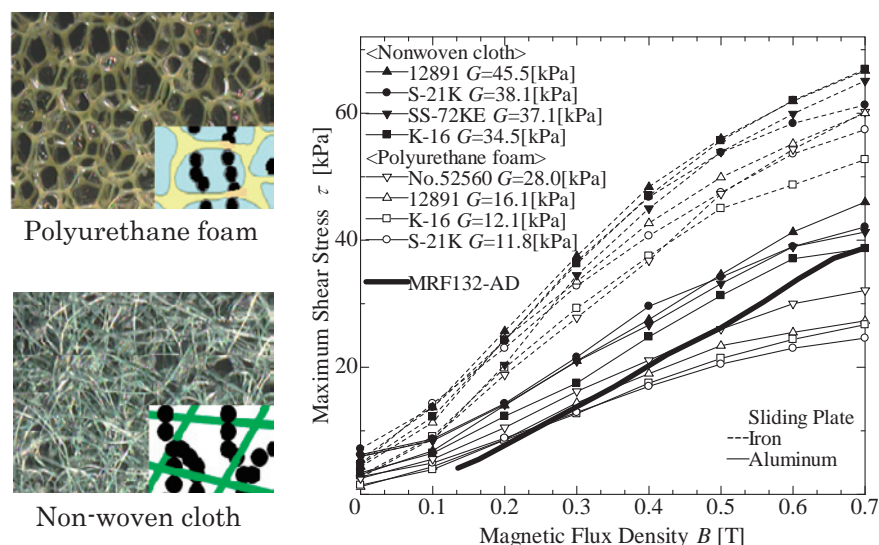


図3：多孔質体（ポリウレタンフォーム、不織布）にMR流体を含浸させたMR流体コンポジットのMR効果

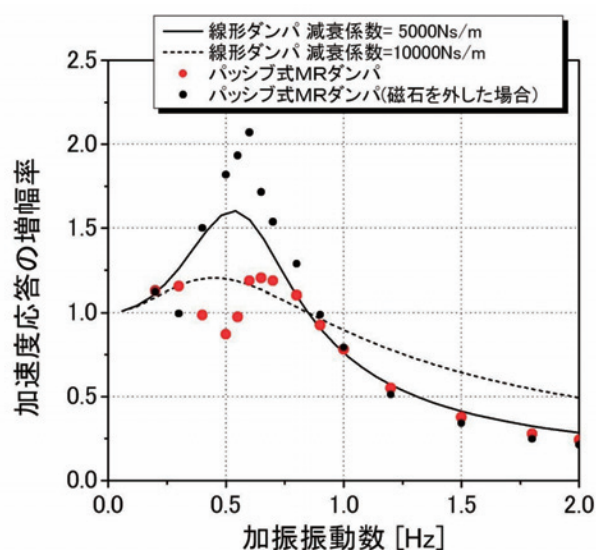
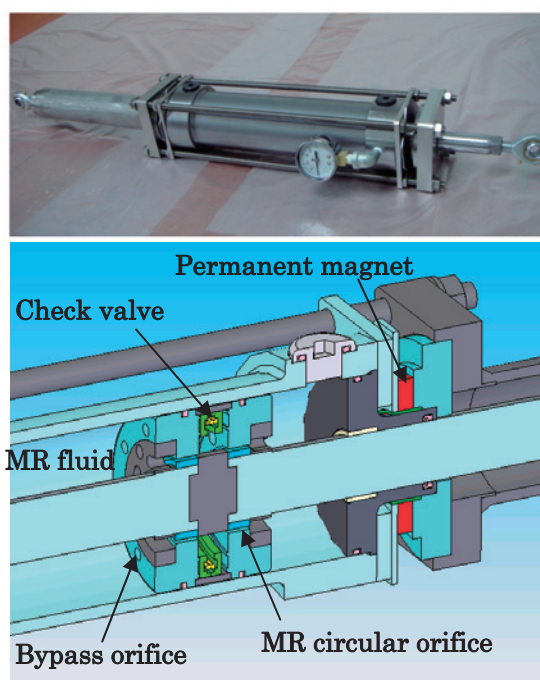


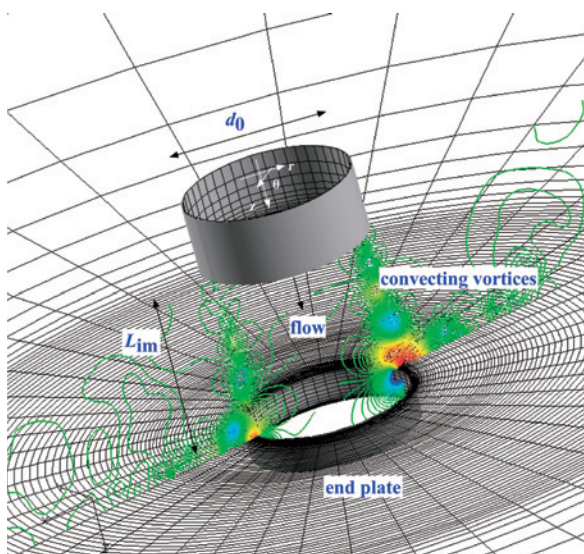
図4：変位×速度に依存して減衰特性の変化するパッシブ式MRダンパとその免震制御性能

- [4] M. Nakano : Towards MR Composites with Enhanced Shear Stress, The 12<sup>th</sup> Int. Conf. on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions (ERMR2010), Philadelphia, USA, p.1, August 2010. (Plenary Lecture)
- [5] 中野政身 : MR流体コンポジットの開発とその応用, フルードパワーシステム, 第42巻1号, pp.41-45, 2011年1月, (解説)
- [6] M. Murakami, M. Sakai, M. Nakano : Damping and Response Characteristics of Passive Type MR Damper, International Journal of Applied Electromagnetic and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.911-917, October 2010.
- [7] 村上貴裕, 中野政身 : パッシブ式MRダンパを用いた振動制御, フルードパワーシステム, 第42巻1号, pp.37-40, 2011年1月. (解説)

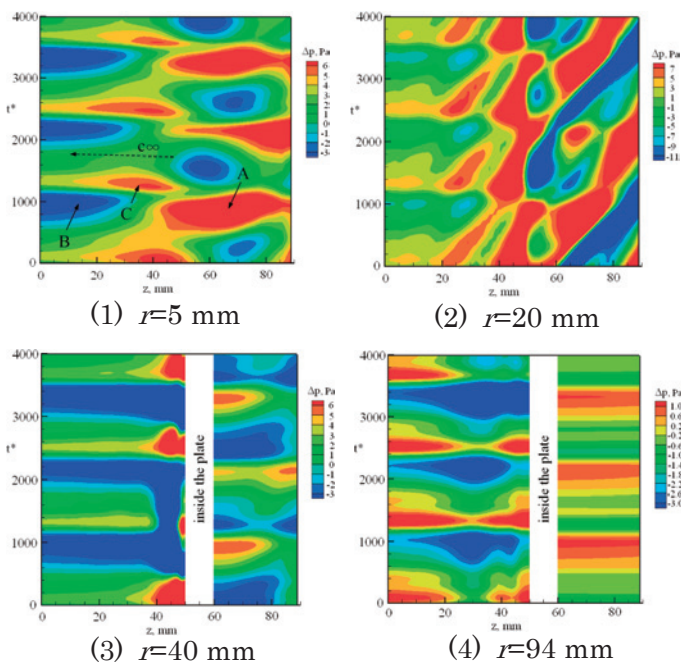
### (3) ホールトーン自励発振現象の解明とアクティブ制御 (中野 政身)

円形空気噴流が同軸同径の穴の開いた平板に衝突して発生する噴流の自励発振現象をホールトーン現象と呼び、ダクト内サイレンサ、マフラー、バルブなど様々な工学的分野において発生して問題となっている。本研究では、このホールトーン現象を対象に、図5に示すように、直接数値シミュレーション(DNS)によって現象を数値的に再現し、噴流せん断層に形成される組織的渦構造の平板エッジへの衝突とそれに伴う圧力波の上流への噴流内部伝播やその圧力波の発生メカニズムを明らかにし、更には、噴流の軸非対称モードの不安定性の発生なども示唆している。これらの知見は、今後の自励発振系の抑制のためのアクティブ制御法の提案に寄与する。

- [8] K. Matsuura, M. Nakano : Direct Numerical Simulation of a Hole-Tone Feedback System, CD-ROM Proceedings of 3<sup>rd</sup> Int. Conf. on Jets, Wakes and Separated Flows (ICJWSF 2010), Cincinnati, Ohio USA, p.6, September 2010.



(a) ホールトーン現象の DNS 結果 ( $d_0=50$  mm,  $L_{lim}=50$  mm,  $U_0=10$  m/s)



(b) 各半径方向位置  $r$  における圧力波の伝播過程

図 5：直接数値シミュレーション(DNS)によるホールトーン現象の再現

[9] K. Matsuura, M. Nakano : Direct Numerical Simulation of Instability Processes in a Hole-Tone Feedback System, Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics (7<sup>th</sup> ICFD2010), Sendai Japan, pp.98-99, November 2010.

#### (4) 次世代 CFD としての Building-Cube Method の研究 (中橋 和博)

計算機性能の向上を見越した次世代 CFD として提案している Building-Cube Method (BCM)について、格子生成および並列ソルバーの開発、高精度ソルバー開発を進めるとともに、航空機の脚周りの非定常流れの解析を行い、そこから発生する空力音について、格子解像度や実験値との比較検討を進めた。これに平行して、データ圧縮法を非定常流れにも拡張した。

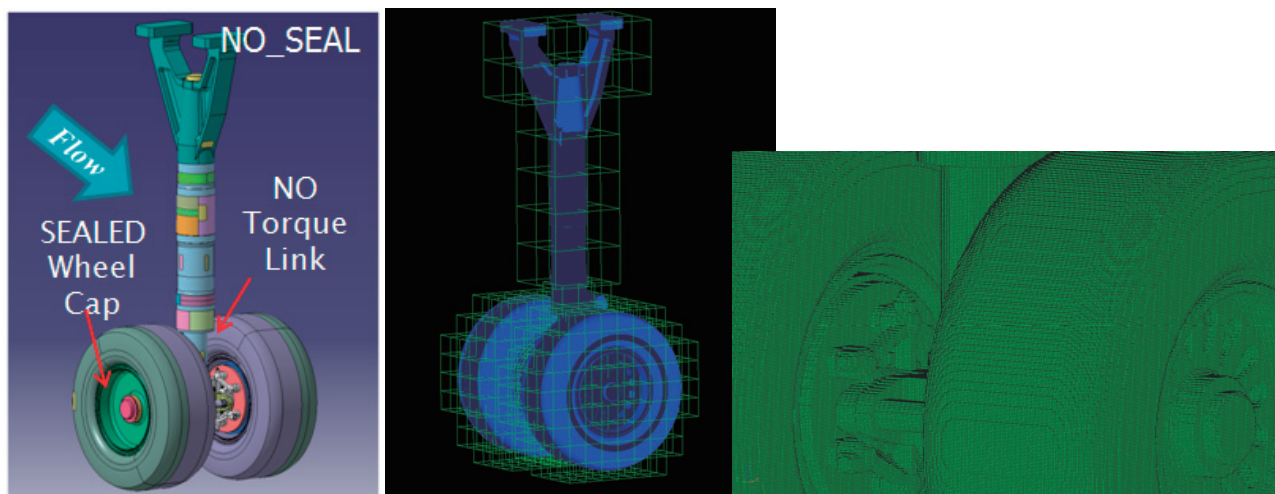


図 6：JAXA 脚モデル形状、格子ブロック図、およびタイヤ付近の表面格子



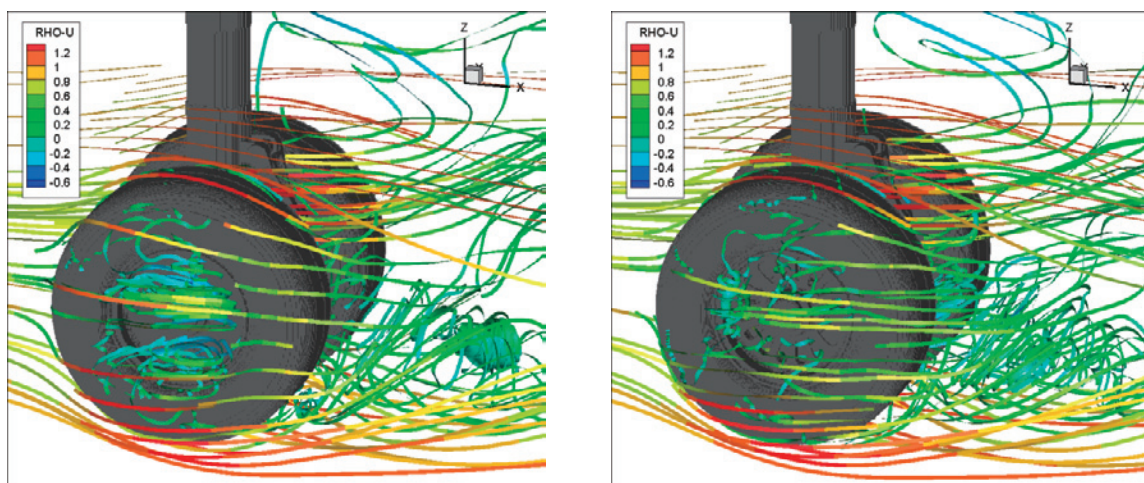


図 7 : JAXA 脚モデルのホイールの違いによる流線比較、(左は穴無し、右は涙状穴有り)

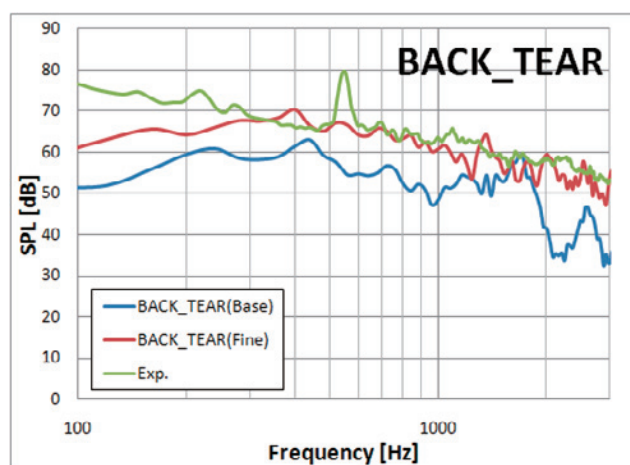


図 8 : JAXA 脚モデルの音圧比較

- [10]H. Onda, R. Sakai, D. Sasaki, K. Nakahashi: Unsteady Flow and Aerodynamic Noise Analysis around JAXA Landing Gear Model by Building-Cube Method, AIAA 2011-1081, 49<sup>th</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting, Orlando, FL, Jan. 2011.
- [11]N. Ishikawa, D. Sasaki, K. Nakahashi : Large-Scale Distributed Computation Using Building-Cube Method, AIAA 2011-754, 49<sup>th</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting, Orlando, FL, Jan. 2011.
- [12]R. Sakai, H. Onda, D. Sakai, K. Nakahashi, : Data Compression of Large-Scale Flow Computation for Aerodynamic/Aeroacoustics Analysis, AIAA-2011-1135, 49<sup>th</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting, Orlando, FL, Jan. 2011.
- [13]T. Ishida, S. Kawai, K. Nakahashi : A High-Resolution Method for Simulations with Cartesian Mesh Method, AIAA-2011-1296, 49<sup>th</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting, Orlando, FL, Jan. 2011.

(5) タービンブレード熱負荷数値解析のための流体・熱伝導連成計算手法 (中橋 和博)  
 非構造格子 CFD ソルバーTAS-code に流体・熱伝導連成計算手法を組み込み、検証計算として比較的単純な形状のタービン静翼の連成計算を行った。2次元計算において、得られた翼表面温度分布と熱伝達率分布を実験値と比較して、境界層の乱流遷移位置の予測モデルを入れることで良く傾向を捉えている知見を得た。



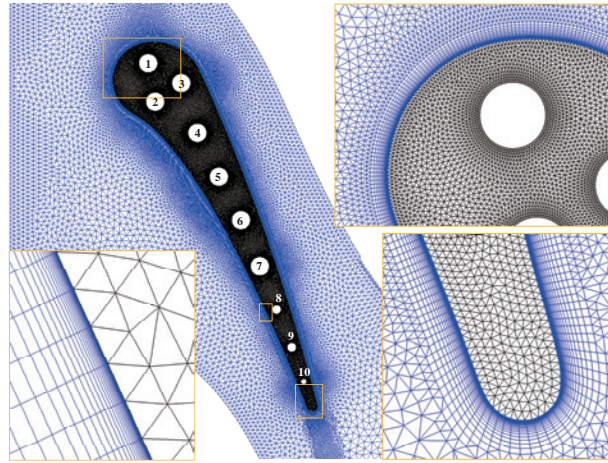


図 9 : 冷却タービンの流体・熱伝導連成計算のための計算格子

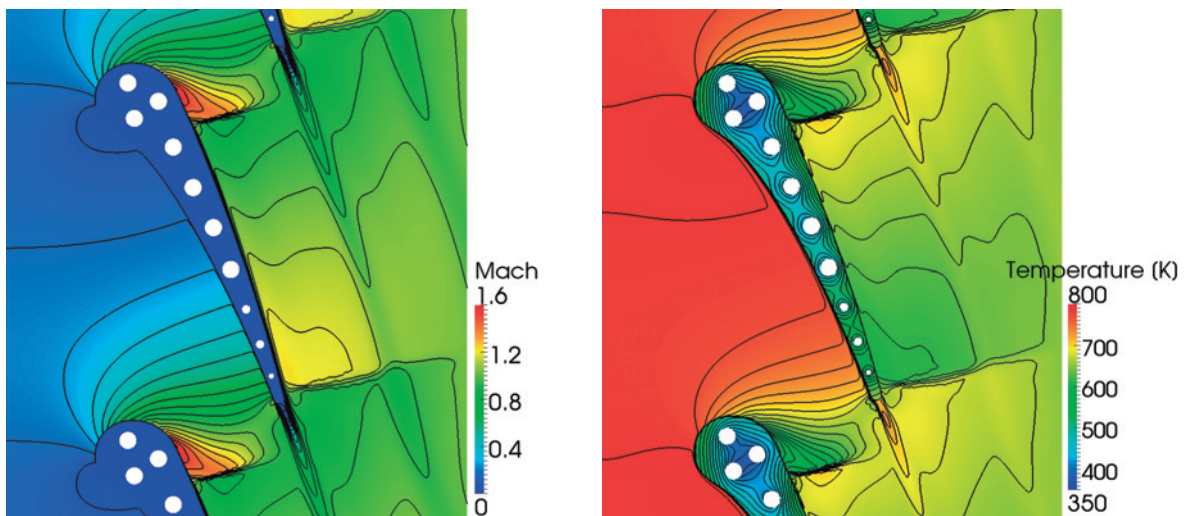


図 10 : 冷却タービンの流体・熱伝導連成計算のマッハ数分布と静温分布

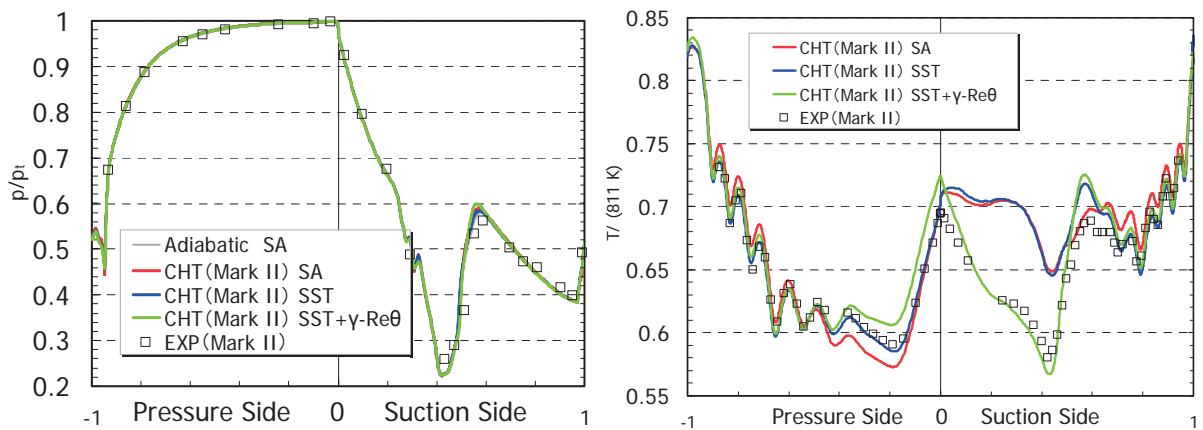


図 11 : 冷却タービンの流体・熱伝導連成計算の表面圧力分布と温度分布

- [14] T. Yoshiara , D. Sasaki , K. Nakahashi : Numerical Prediction of Cooled Turbine Blade Thermal Load Using Conjugate Heat Transfer, ICFD, Sendai, Nov. 2010.
- [15] T. Yoshiara , D. Sasaki , K. Nakahashi : Conjugate Heat Transfer Simulation of Cooled Turbine Blades Using Unstructured-Mesh CFD Solver, AIAA-2011-498, 49<sup>th</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting, Orlando, FL, Jan. 2011.

(6) マイクロソリッド利用型超高熱流束混相冷却システムの開発 (石本 淳)

次世代の半導体部品やコンピュータチップに発生する局所熱流束は  $10^6 \text{ W/m}^2$  を越え、総パワーは 300W に達し、原子炉炉心の発熱密度をも超えようとしている。さらに発熱密度は従来よりも高くなるため近い将来には核融合炉並の発熱密度に至るとさえ予測されている。本研究は、以上の困難を打破しうる  $10^6 - 10^7$  レベルの超高熱流束の冷却性能を有する新型混相電子冷却システムを開発することを主目的とする。超高熱流束混相冷却を可能にする冷媒として新たに微小固体窒素粒子からなるマイクロソリッド窒素の高速噴霧流を用いる。今年度は、マイクロソリッド粒子の高精度粒子計測が可能な PIA 融合計測システムを開発した。その結果、微細固体窒素噴霧流の界面不安定からソリッド粒子が形成されるメカニズムを明らかにし、超高熱流束効果を達成する際に必要となる最適粒径制御法に関する基礎データを得た。

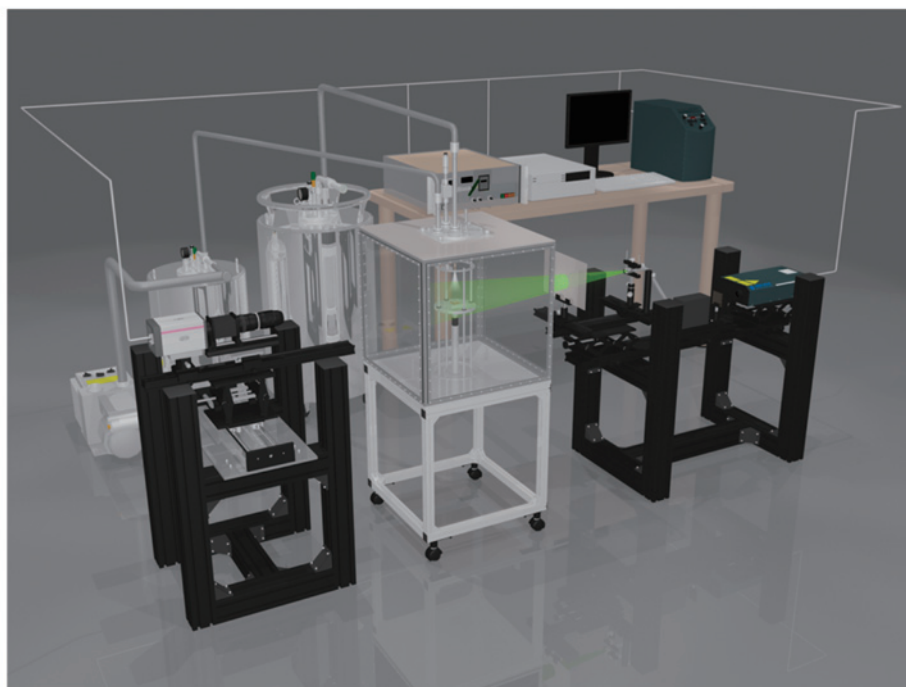


図 1 2 : マイクロソリッド粒子 PIA 融合計測システム

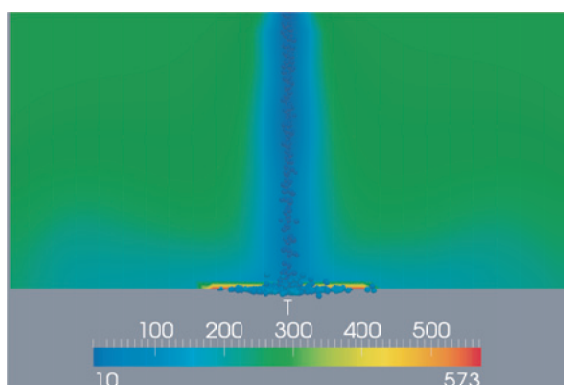


図 1 3 : 加熱平板に衝突するマイクロソリッド粒子の超高熱流束冷却効果に関する融合計算結果

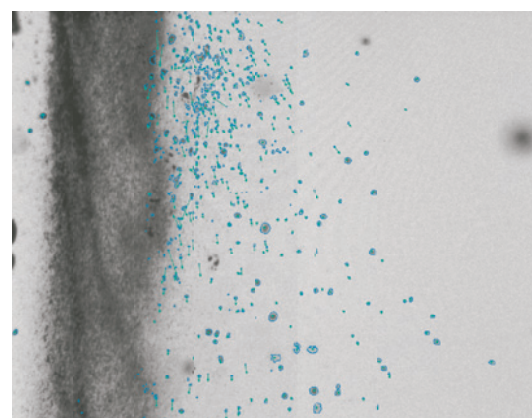


図 1 4 : マイクロ PIA 計測により得られたマイクロソリッド粒子生成の流速分布解析

### (7) スtent周りの血流数値解析 (太田 信)

一昨年度より、情報流動融合分野のアウトプットの適用例の 1 つとして、流動現象と可視化の融合を目指し、血管内医療デバイス周りの可視化による流れ情報の直感的取得について、研究を進めている。

具体的には、血管内医療デバイスであるstent周りの血流数値解析を、流体科学研究所未来流体情報創造センターのリアライゼーションワークスペースにて、3D 可視化することにより、直感的にstentの最適位置を認識することの可能性の有無、その理論的構築およびデータ集積を目的としている。このような手法が可能になれば、現在行われているようなstentの最適化計算に時間を費やすことなく計算時間を大幅に短縮でき、急性の患者に対して最適なstentとstent位置を提示できるようになるものと考えられる。

昨年度までに実形状患者血管データにストラットを最適な箇所留置することが可能になった。本年度は、実形状stentデータと実形状患者血管形状データを使用して、これまでに得られた最適なstent位置にstentを留置した場合を再現し、比較検討を行った。図15は、stentストラット及びstentを留置した場合のメッシュ状態である。図16に、ストラットとstentを留置した場合の比較結果を示す。この結果より、stentの留置位置によってはストラット1本の効果と同様の効果のみしか得られず、stentの留置位置が重要であることが分かった。さらに、stentストラットには、流入方向を変化させる効果およびstent表面での流速の減少効果の2つが考えられることが示唆された。

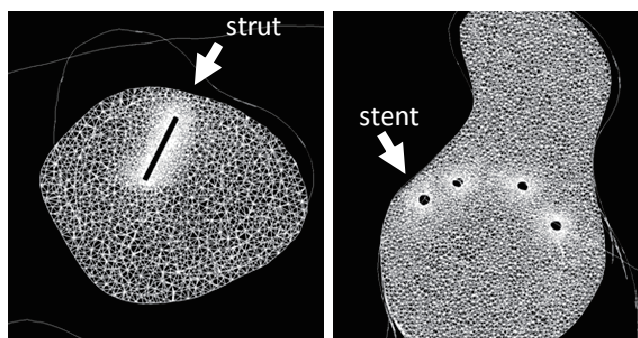


図15：ストラットおよびstent周りの解析メッシュ

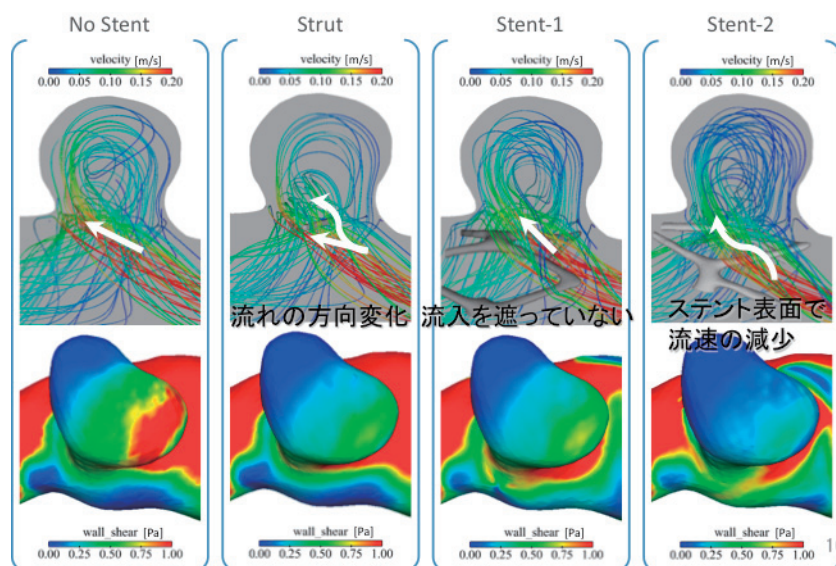


図16：ストラット設置およびstent位置による動脈瘤内の流れの状況の変化



(8) 傾斜遠心顕微鏡を用いた培養血管内皮細胞上における HL60 細胞の挙動解析 (白井 敦)

好中球は、白血球の中で最も多数を占める血球で、人体の免疫機構において病原菌等の侵入に対して最前線で戦う細胞である。この好中球は、細静脈に多数存在し、その血管表面を転がりながら移動することが知られている。一方、血管の内表面は血管内皮細胞に覆われており、血流のせん断応力によって流れ方向に配向することが知られている。これまで、血管内皮表面上を転がる好中球の挙動に関して、血球表面と内皮細胞表面との接着分子の影響に注目した研究は数多く行われてきたが、血管内皮の表面形状が血球の挙動に与える影響については注目されてこなかった。血管内皮細胞は配向によって伸長するとともにその高さを減ずるが、核のある中央部で  $3\text{--}5 \times 10^{-6}\text{m}$  の高さがあり、直径が約  $1 \times 10^{-5}\text{m}$  の血球にとっては、血管内皮の凹凸が無視できない大きさである。そこで、本研究では、傾斜遠心顕微鏡 (図17) を用いて、ガラス平板上に培養した正常ヒト臍帯静脈内皮細胞 (HUVEC) 上における好中球のモデル細胞として広く用いられる HL60 細胞の挙動を解析した。その結果、HL60 細胞が HUVEC の核を避けるように移動する様子が観察された (図18)。また、HUVEC の配向の有無およびその方向によって血球の移動速度ベクトルの分布に変化がみられることが明らかになった。

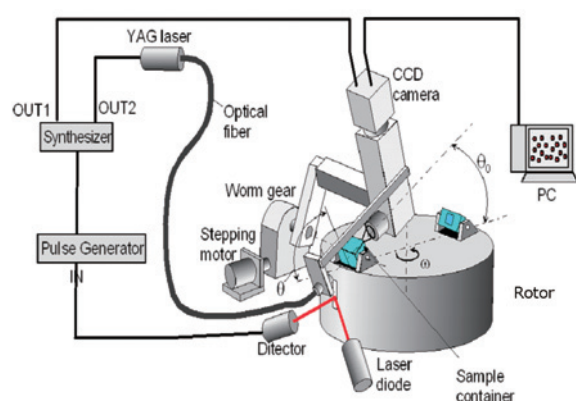


図17: 傾斜遠心顕微鏡模式図

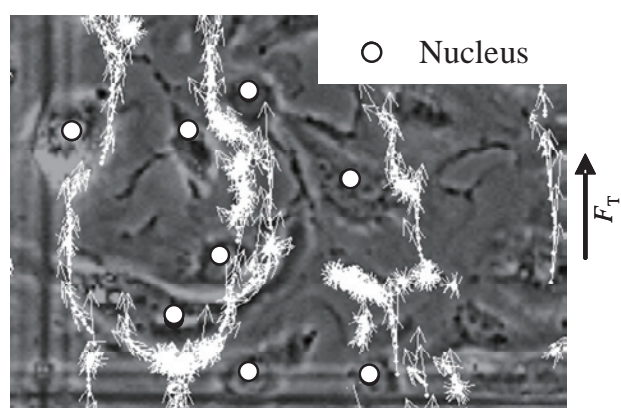


図18: HUVECの核を迂回するHL60の軌跡

- [16] A. Shirai, T. Hayase : A Stabilization Technique of Wobbly Images taken by the Inclined Centrifuge Microscope, CD-ROM Proc. of 6th World Congress of Biomechanics Abstracts, pp. 598, 2010
- [17] Haruka Uranuma, Atsushi Shirai, Toshiyuki Hayase : Experimental Study on Effect of Direction of Endothelial Cells' Orientation on Motion of HL60 Cells, Proceedings of Seventh International Conference on Flow Dynamics, pp. 620-621, 2010.
- [18] Hiroki Sato, Atsushi Shirai, Toshiyuki Hayase : Observation of Velocity of Antibody-modified HL60 Cells on Glass Plates using the Inclined Centrifuge Microscope, Proceedings of 4th East Asian Pacific Student Workshop on Nano-Biomedical Engineering, pp. 62-63, 2010.



### (9) 脈診の科学的検証 (白井 敦)

脈診とは中国伝統医療の一つで、手首の橈骨動脈に指を当て、押し当てる力を変えながら指に当たる脈波の特徴から病変を推定するものである。本手法は、非侵襲で簡便な手法であり、近年の医療費の増大に伴って、代替医療の一つとして注目を集めている。しかし、脈診による診断は長年の経験に基づくものであり、その科学的根拠は明らかになっていない。そのため、本研究では、腕部血管系の一次元血流モデル(図19)を構築し、これを用いて、指の押し当てに伴う計測脈波の変化を解析した。血管チューブ側、供給圧力脈波の平均値および振幅を変化させて解析を行った結果、押し当てに伴う脈波振幅の変化から血管堅さの指標であるスティフネスパラメータ推定の可能性を示唆した。また、これと平行して、シリコーンゴムで作成した手首モデルを用いて、PVDF フィルムセンサによる脈波計測システムの構築を行った(図20)。現在、本システムを用いて、脈波計測実験を行っている。

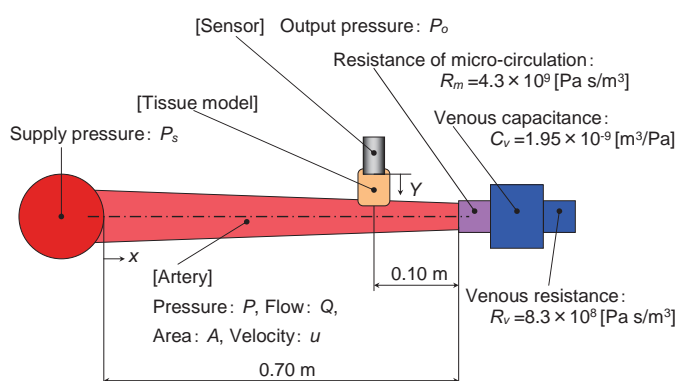


図 19 : 腕部血管系血流モデル

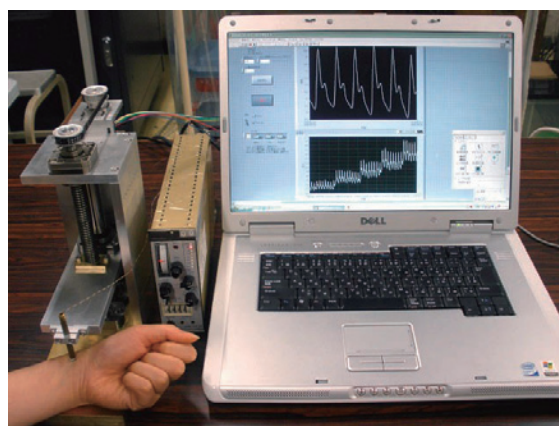


図 20 : 脈波計測システム

### (10) 高熱流束下における高温溶融塩の伝熱特性 (江原 真司)

核融合炉において、核エネルギーの発生から熱エネルギー変換に至る熱流動システムをいかに構築するかは、動力炉開発の最重要課題であり、その意味で燃料であるトリチウムの増殖、除熱によるエネルギー輸送、中性子の遮蔽の3つの役割を担うブランケットの研究開発は核融合発電システムの中核をなすものである。数種類あるブランケットの形式のうち、溶融塩 Flibe ( $\text{LiF}$  と  $\text{BeF}_2$  の混合塩) を冷却材兼トリチウム増殖材として用いる Flibe ブランケットは、その機能性とシンプルな構造から商用炉での使用が期待されているが、Flibe は高プラントル数流体であるため伝熱性能が悪い、また磁場下での高速流動では電気分解により腐食性の高いフッ素ガスを発生するという欠点を有する。

本研究では、低速流れにおいても高熱負荷除去が期待されるペブル充填管(図21)を採用し、Flibe 模擬溶融塩を用い、核融合炉第一壁で想定される  $1\text{MW/m}^2$  の熱除去を実証することを目的としている。ペブル充填管においては流路内の流れが複雑化し数値予測が難しくなることに加え、高熱流束下では管内で大きな温度差が生じ、物性値の温度依存性による、一般流体の経験式との不一致が生じる可能性がある。そのため高熱流束下での溶融塩の伝熱特性を評価する必要がある。実験には高温溶融塩流動試験装置である Tohoku-NIFS Thermofluid (TNT) loop(図22)を用い、 $200\sim 300^\circ\text{C}$ 程度で試験を行っている。



図 2 1 : ペブル充填管

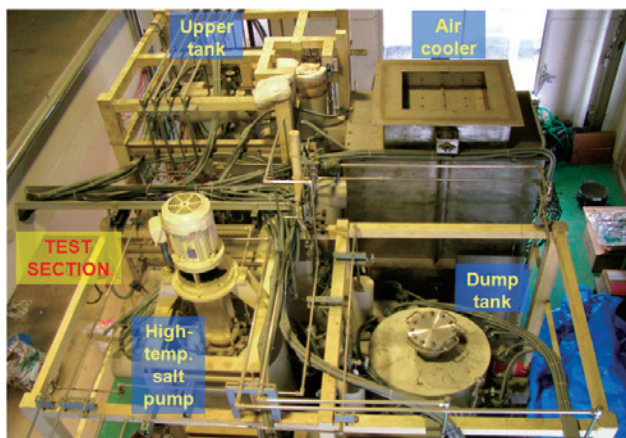


図 2 2 : TNT ループ概観

[19] 渡邊篤史, 江原真司, 橋爪秀利: Flibe 模擬熔融塩を用いた高熱流束除去に関する研究, 日本原子力学会東北支部第 34 回研究交流会講演要旨集, pp. 89, 仙台, 2010 年 12 月

(1 1) ペブル充填管を用いた高プラントル数流体流れの伝熱促進 (江原 真司)

核融合炉の原型炉ブランケットとして核融合科学研究所を中心に研究が進められている Flibe ブランケットは磁場下での電磁力学流体力学効果による圧力損失が軽微であるなど多くの利点を有するが、Flibe の融点が高く流路壁として用いられる構造材上限温度を考慮すると熱的な設計裕度が低いなどの欠点もある。Flibe の融点はその構成成分である LiF と BeF<sub>2</sub> の組成比を変化させることで低くなることが分かっているが、その際同時に Pr 数が大幅に増大し、Flibe の冷却性能の観点からは非常に厳しくなることが予想される。

本研究では高プラントル数流体の伝熱促進法としてペブル (球) 充填管を用い、その伝熱性能を実験的に検証するものである。円管や環状流路にペブルを充填することで冷却材の流路を複雑化し、流体の混合、乱流促進及び局所的噴流状流れによる温度境界層の攪拌が期待できる。図 2 3 はペブル充填円管における円管内径 (D) とペブル直径 (d) の比、ペブル材質を真鍮、SUS、ポリプロピレンに変化させたときの平均熱伝達率と空隙内平均流速の関係であり、小さいペブル ( $D/d = 3$ ) ほど熱伝達率が大きくなることを示している。これら実験結果からペブル充填管では平滑管と比べ数倍高い熱伝達率となることが分かっているが、ペブル直下の淀み点におけるホットスポットの出現 (図 2 4) や圧力損失の増大など別の問題も生じるため、得失を総合的に判断しブランケット設計に反映する必要がある。

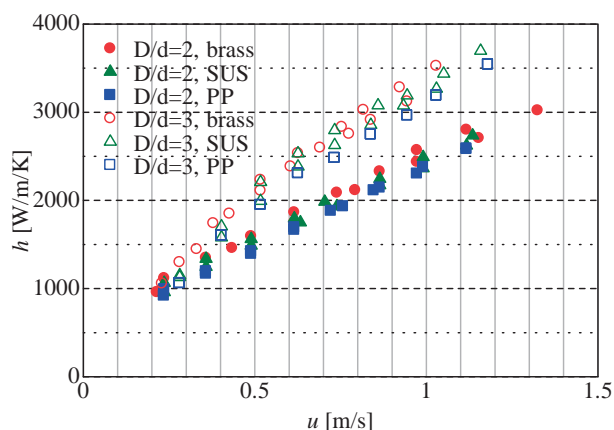


図 2 3 : ペブル充填管の空隙内平均流速と平均熱伝達率との関係

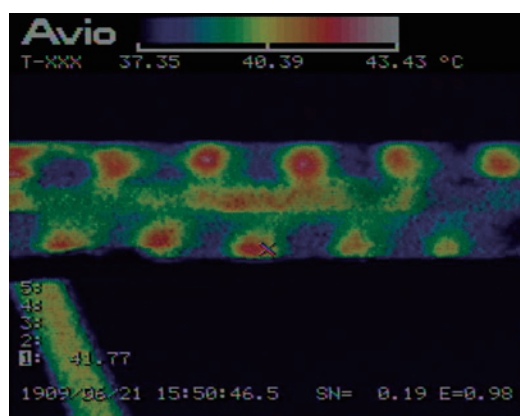
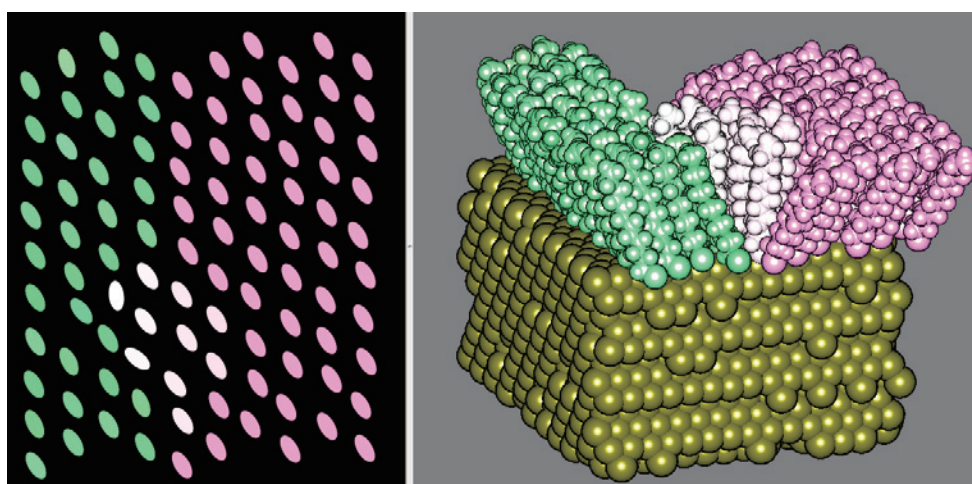


図 2 4 : ペブル充填管表面温度分布

- [20] 清水克矢, 江原真司, 橋爪秀利, 結城和久, 相良明男: ペブル充填管における高プラントル数流体の伝熱流動実験, 第 47 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, vol. II+III, pp.373, 札幌, 2010 年 5 月
- [21] 清水克矢, 江原真司, 橋爪秀利: 球充填環状流路を用いた高 Pr 数流体の伝熱促進に関する実験, 熱工学コンファレンス講演論文集, No. 10-25, pp. 237, 長岡, 2010 年 11 月
- [22] K. Shimizu, S. Ebara: H. Hashizume, Heat transfer experiments using a high Pr number fluid flowing in sphere-packed pipe for flibe blanket design, 19th Topical Meeting on the Technology of Fusion Energy, Las Vegas, Nevada, USA, Nov. 2010.

(1 2) 大規模粒子系視覚解析支援環境の構築 (竹島 由里子)

自己組織化単分子膜 (SAM: Self-Assembled Monolayer) は、金属やシリコンの表面を修飾することによって、界面の熱抵抗を低減させるなどといった表面特性を改善に利用されている。SAM の表面特性を理解する上で、膜分子の配置や局所的な揺らぎに対する膜構造への影響の解析が重要である。そこで本研究では、直感的かつ対話的に膜分子の配置が可能な分子配置支援環境の開発を行っている。一般的に利用されている 2 次元ディスプレイ内で 3 次元空間上の分子配置を変更するのは困難であることや、分子の操作方向が限定されることから、2 次元空間上に膜分子を投影した楕円グリフを操作することによって、分子の位置や姿勢の制御を実現した。ここで、3 次元空間上の粒子配置結果を並置することにより、系全体の空間配置を理解しながら、分子操作を行うことが可能となった。また、大規模粒子系の解析に対応可能にするため、粒子配置の 3 次元表示では、ビルボードを用いた高速な描画手法を採用している。これに加えて、解析後の粒子の状態を可視化するために、高速な描画手法および精度の高い描画手法の 2 種類を併用することにより、描画速度を一定に保ちながら、より精度よく粒子を描画する時間重視レンダリングを実現した。これにより、対話的な視覚解析支援環境における粒子系解析が可能となった。



(a) 膜分子操作画面

(b) 3 次元可視化画面

図 2 5 : 自己組織化単分子膜操作インターフェース



### 6.2.3 反応流動融合分野

グループリーダー：丸田 薫

メンバー：

事業推進担当者：笹尾 眞實子、三浦 隆利、升谷 五郎、西山 秀哉、小林 秀昭

研究協力者：青木 秀之、佐藤 岳彦

#### (1) 核融合磁場閉じ込め装置におけるプラズマ流の制御

分担：笹尾

エネルギー源としての核融合の実現のためには高温(10keV 以上)、高密度 ( $10^{20}/\text{m}^3$  以上) の重水素・3重水素プラズマを十分な閉じ込め時間を有して保持しなければならない。しかし、プラズマを加熱すればするほど閉じ込めが悪くなることがわかり、核融合の研究は予想以上に困難な道を歩んでいたが、1980 年代に、プラズマ自身が自ら閉じ込めの悪い状態 (L モード) から脱却し閉じ込めの良い状態 (H モード) に遷移することが発見された。

本研究では、立体磁気軸構造のトーラス型プラズマ閉じ込め装置である東北大学ヘリアック装置を用いて、この H モード遷移のメカニズム解明とプラズマ流制御の研究を行っている。すなわち、電子放出型のバイアス電極をプラズマ中に挿入し、能動的に電場を形成して、 $\mathbf{j} \times \mathbf{B}$  によるプラズマ流を生成する。この時、流れの駆動力はイオン粘性と背景粒子との荷電交換による摩擦力の 2 項からなるダンピング力とバランスするところで、流速(マッハ数)が決まる。イオン粘性はプラズマ粒子軌道と衝突頻度により評価でき、あるマッハ数で極値を持つことから、極値を超えて駆動力を増加していくと、バランス点が高い流速値に遷移することが解明できた。

さらに、能動的なプラズマ流の制御のために、磁気島 (磁力線が島のような独立した構造を持つ場所) をプラズマ周辺に作り、図 1 (a)に示されるような Mach プロブを用いてプラズマ流を計測し、磁気島のダンピング力への効果を評価した。図 1 (b)に、横軸に磁気島の大きさ、縦軸にプラズマ流の大きさを取り、磁気島のダンピング力への影響を示す。図 1 (b)から磁気島が大きくなるに従って、プラズマ流が減少していることが解る。磁気島はプラズマ流に対してダンピング力となる効果があることが解った。

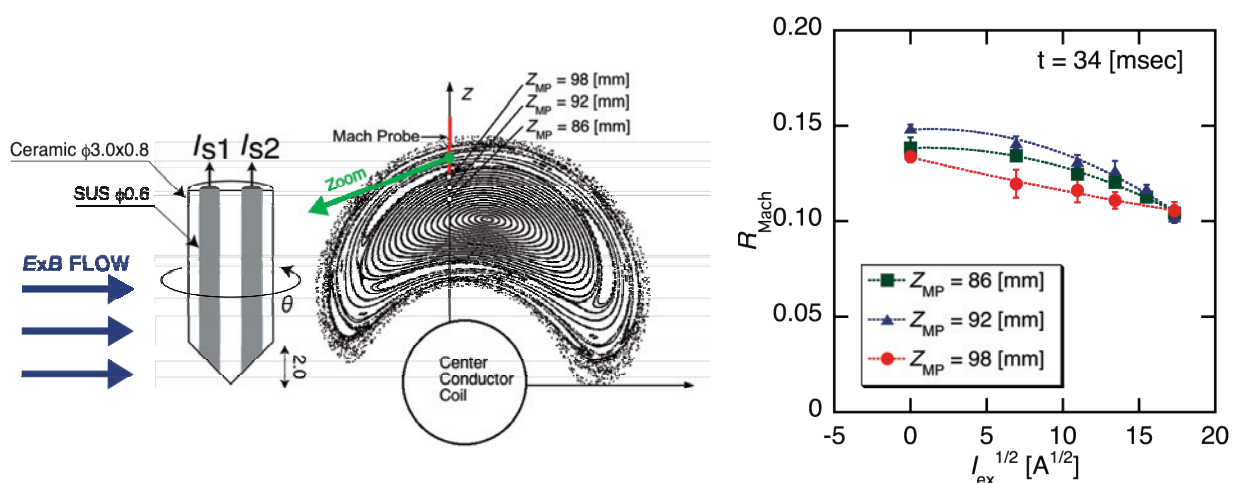


図1 図1 (a) Mach プロブにより、トーラス型プラズマのポロイダル方向プラズマ流の流速の計測 (b) ポロイダル方向プラズマ流の流速と磁気島によるダンピング力依存性



## (2) 燃料過濃反応場におけるカーボンブラック凝集体生成機構の解明

分担：青木、三浦

カーボンブラック(以下 CB)はタイヤの原料として大量合成されているが、その凝集体形状の発現機構は未解明である。本年度はアルミナ製反応炉を用い、ベンゼン熱分解によるCB生成実験を行い、炉内温度がCBの一次粒子径および凝集体形状に及ぼす影響を検討した。液体ベンゼンに窒素を通気させ、ベンゼン飽和蒸気を得た後、窒素で希釈することで、1.0 vol%の原料ガスを得た。このガスを電気炉で加熱した内径の異なる反応管( $\phi 11, 16, 20$ )に流通させ、反応管内の最高ガス温度を1473~1673Kで変化させて、得られたCBを捕集し、TEMで画像を取得した。画像解析により凝集体の最大長、対角幅、投影面積、周囲長および包絡面積を測定し、凝集体形状を球状、楕円状、棒状および枝発達型の4種類に分類した。図2に各炉内温度および管径において生成したCBの平均一次粒子径を示す。炉内温度の上昇および滞在時間の増加にともない平均一次粒子径は小さくなった。図3に各炉内温度および管径において生成したCBの凝集体形状分類結果を示す。滞在時間が短い条件(a)では炉内温度が高くなるに従って凝集体形状は複雑化した。また、滞在時間が比較的長い条件(b)および(c)では炉内温度の上昇とともに凝集体は単純化した。また、図4に1673Kにおいて生成したCBの凝集体形状分類結果を示す。これらの結果から考察した結果、炉内温度が高い場合ほど粒子核生成の促進により一次粒子径が小さく複雑な凝集体が生成され、滞在時間が長い場合ほど焼結により凝集体が単純化し、一次粒子径が増加する傾向があることが示唆された。以上より、CB凝集体形状を設計する上で有用な情報を確認することができた。

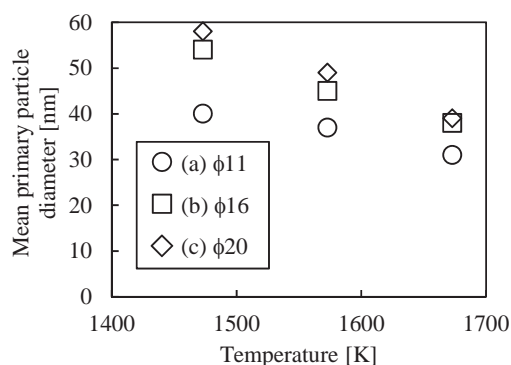


図2 平均一次粒子径の変化

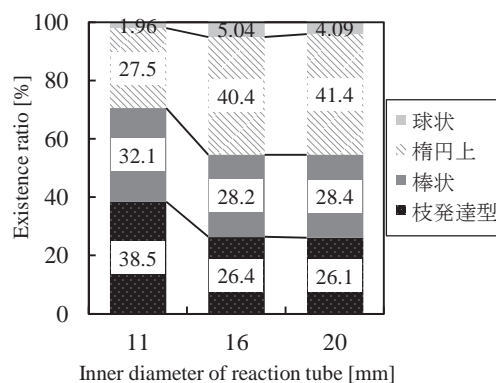


図4 1673Kにおける凝集体形状の存在割合

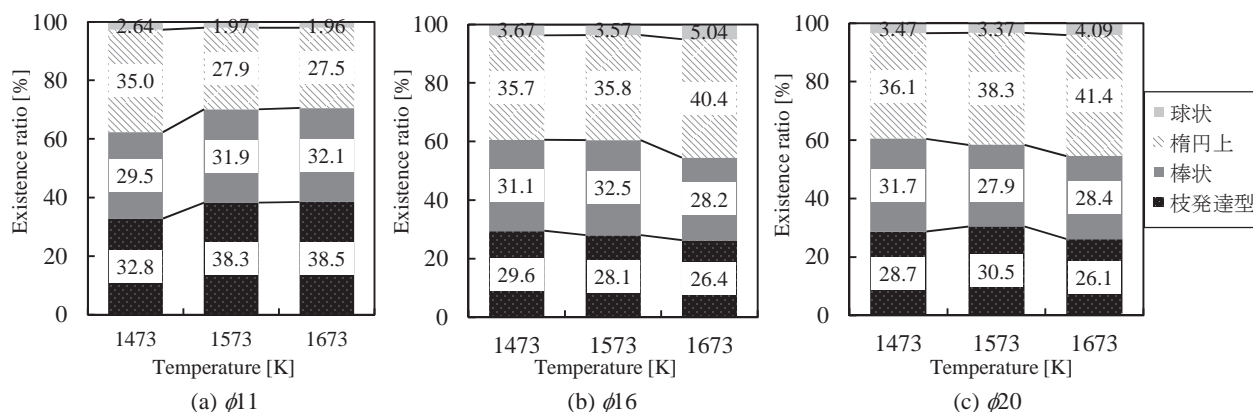


図3 凝集体形状の傾向

(3) 超音速燃焼器内に垂直噴射した気体燃料と空気の乱流混合現象の解明  
分担：升谷

- ステレオ粒子画像速度計測法(SPIV)による超音速境界層の乱れ測定

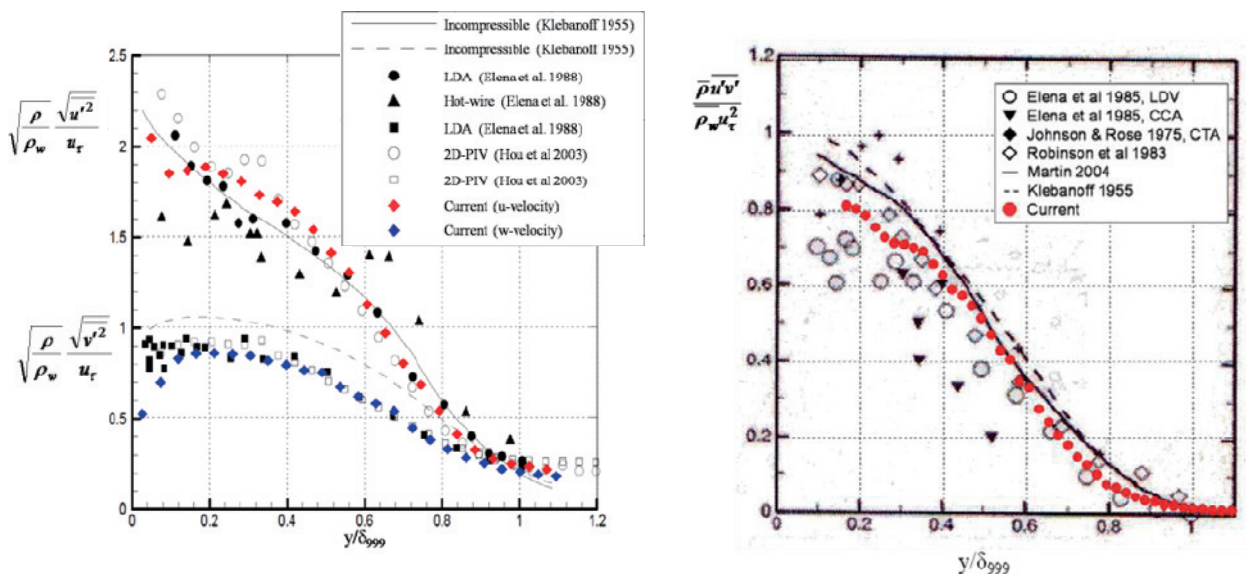
超音速噴射流れ場で SPIV による速度変動計測の定量的な妥当性を検証するために、マッハ2超音速風洞壁面境界層内の速度変動の自己相関及び相互相関を計測し、他の方法を含む従来の実験結果と定量的に一致することを確認めた。図5に、速度変動の主流方向成分  $u'$  (◆)及び垂直方向成分  $v'$  (◆)の自己相関並びに、それらの相互相関(●)の測定結果を、他の研究者の測定結果と併せて示す。

- SPIV 計測による乱流物質輸送流束の計測

主流側のみ及び噴流側のみにはトレーサ粒子を混入させて SPIV による速度測定を行い、これらの条件付き速度データから、噴射流体の乱流輸送流束を測定する方法を開発し、Large Eddy Simulation (LES)による計算結果と比較を行っている。

- 超音速噴射流れ場の大規模乱流構造の LES 解析

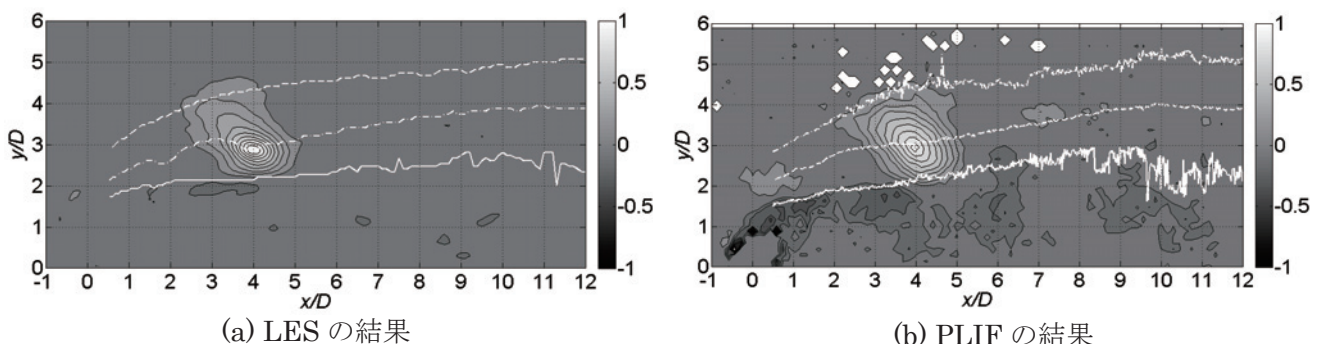
超音速流に壁面から垂直に気体を垂直に噴射する流れ場の LES 解析を行い、平均濃度場のみならず、濃度変動の空間2点相関で表される大規模構造も、平面レーザ誘起蛍光法(PLIF)による噴射気体濃度計測結果と良く一致することを示した(図6)。さらに瞬時の噴流気体分布や渦構造等と混合の関係について考察を行った。



(a)  $u'$  及び  $v'$  の自己相関

(b)  $u'$  と  $v'$  の相互相関

図5 超音速境界層の速度変動の自己相関及び相互相関



(a) LES の結果

(b) PLIF の結果

図6 超音速噴射流れ場の乱流混合の大規模構造 (LES と PLIF の比較)

(4) プラズマ援用による反応性マイクロバブルジェットの機能性と水質浄化  
分担：西山、高奈

非平衡空気プラズマ流による燃焼促進や環境浄化応用のための基礎資料を提供することを目的とし、特に高温・高圧下での非平衡空気プラズマにおけるラジカル生成過程の圧力依存性を明らかにした。本研究により、大気圧下では窒素の解離度が高いほど電子エネルギーが高くなることを示した。また、ボルツマン方程式により得られた電子衝突反応係数を用いてプラズマ化学反応計算を行い、生成される高活性化学種寿命を定量的に評価するとともに、高温・高圧下での反応過程を明らかにした。さらに、雰囲気圧力や温度が酸素ラジカルやオゾンなどの高活性化学種の生成・寿命に及ぼす影響を明らかにした。その結果、酸素ラジカルは、圧力が高いほど寿命が短く、より急激に濃度が減少することが明らかとなった。また、放電により生成された酸素ラジカルの濃度は、温度が高いほど減少し、またその減少量は圧力が高いほど小さいことが示された。

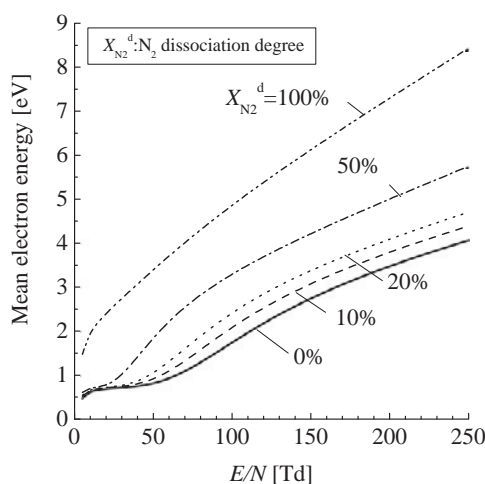


図7 窒素の解離度が電子の平均エネルギーに与える影響

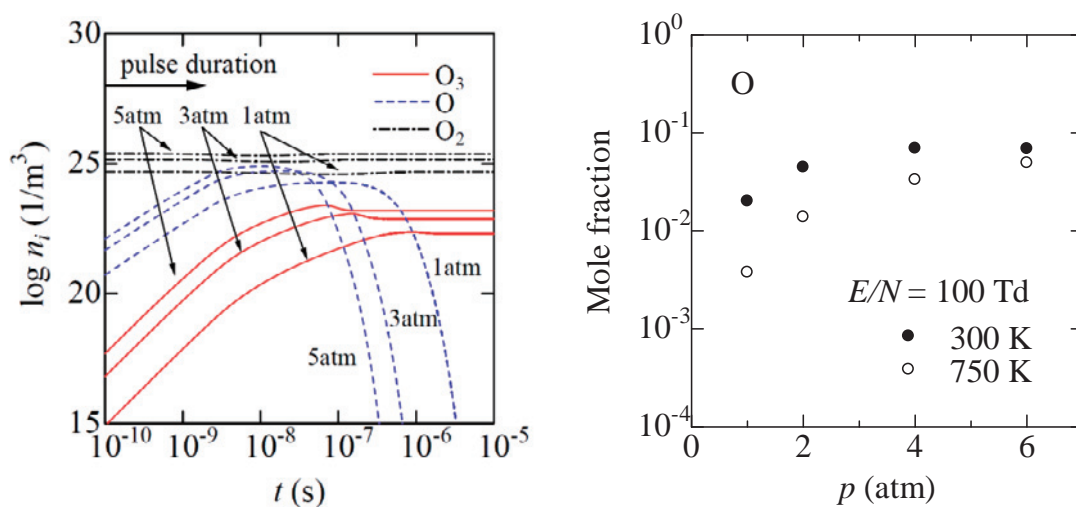


図8 雰囲気圧力および温度が酸素ラジカルおよびオゾンの生成に与える影響

## (5) 大気圧プラズマ流による化学種の生成輸送機構

担当：佐藤

近年、新型インフルエンザ等の病原性微生物による感染症が世界規模で起こっており、大きな社会問題となっている。大気圧低温プラズマ流を利用した殺菌技術や医療分野への応用は、感染症のリスクを低減するため、安全かつ簡便に取り扱える新たな滅菌技術として期待されている。従来用いられている高压蒸気滅菌法では、 $121^{\circ}\text{C}$ 、2気圧の条件で滅菌するため、低耐熱性医療器具への適用ができない等の問題がある。また、低温滅菌法である酸化エチレングス滅菌では、残留ガスによるアレルギーの発生や滅菌時間の長時間化などの問題が、また過酸化水素プラズマ滅菌法においても残留ガスや高コストといった問題がある。大気圧水蒸気を用いて $100^{\circ}\text{C}$ で滅菌が可能になれば、滅菌可能な医療機器も格段に多くなる上、安全かつ滅菌容器の形状を自由にできるなど大きなメリットがある。

そこで、本研究グループでは、大気圧水蒸気を利用し $100^{\circ}\text{C}$ で滅菌を行う手法の可能性について検討し、滅菌因子であるOHラジカルの生成機構について明らかにした。プラズマは、ワイヤ電極を管内に接地電極を管外壁に設置し、ワイヤ電極に高電圧を印加して発生させた。図9(a)に大気圧水蒸気100%を導入した管内に発生させたプラズマ発光の管断面写真を示す。プラズマは、ワイヤ電極から管壁に向けて形成される。図9(b)にOHラジカルの発光領域を示すが、プラズマ発生部と概ね一致していることが明らかになった。次に、2次元軸対称、3流体2温度モデルによりストリーマの進展を数値解析すると、図10に示すように電子数密度分布とOH数密度分布が概ね一致していることから、OHラジカル生成は水分子と電子の衝突による解離が1つの因子であることが示された。

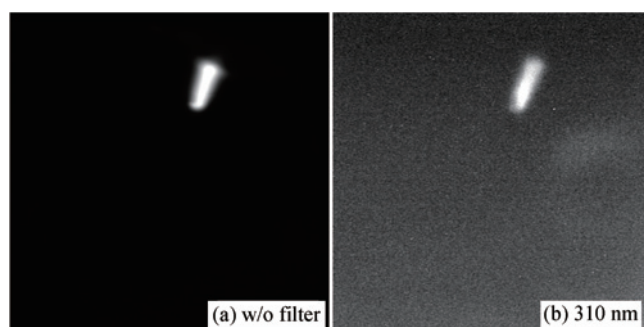


図9 (a) 大気圧水蒸気プラズマ流の可視化写真. ワイヤ電極から管壁に向けてプラズマが形成されている. (b) OH ラジカルの発光分布. 中心波長 310 nm, 半値幅(FWHM) 10 nm のフィルターを通して撮影した.

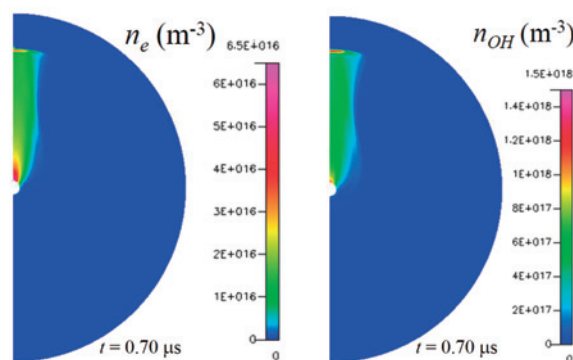


図10 ストリーマ進展の数値解析結果. 電子数密度分布とOH数密度分布.



(6) 燃料多様化に向けた大規模炭化水素燃料の低温酸化反応機構の解明と応用  
担当：丸田

化石燃料から、合成燃料やバイオ燃料へのシフトが世界的規模で進むことが予想される。自動車用内燃機関、発電・航空用ガスタービンなど、現代の高度に最適化された燃焼器は、燃料ごとに異なる着火・燃焼特性に非常に敏感である。特に低温酸化反応特性は、着火・燃焼特性に重要な影響を及ぼすため、その高精度な反応モデリングが求められている。しかし従来法では低温酸化反応からの発熱のため温度・圧力を厳密に制御しながらその特性を計測することが困難であった。本研究グループでは、独自の温度分布制御型マイクロフローリアクタを開発し、これにより温度域ごとに反応を分離しその特性を詳細に検討する手法の開発に成功した。本手法と大規模化学反応を含むスーパーコンピューティングを併用し、大規模炭化水素燃料の燃焼化学反応機構、特に低温酸化反応機構の構築と検証技術を確立しつつある。本年度は、ガソリンの燃焼特性を代表する標準燃料である  $n$ -ヘプタンやイソオクタンを対象とした常圧および高圧場での研究を実施した。その結果、低温～高温域にわたって分離された反応帯の特性に基づいて、ガソリンの着火燃焼特性として世界中で用いられているオクタン価を予測できるなど、あらゆる液体燃料の普遍的な着火燃焼特性の定量化手法構築に成功した。この成果はいち早く各方面の注目を集め、平成 22 年末には、技術移転によって燃料特性測定装置としての実用化を行っている。((株) IHI 検査計測により市販化)

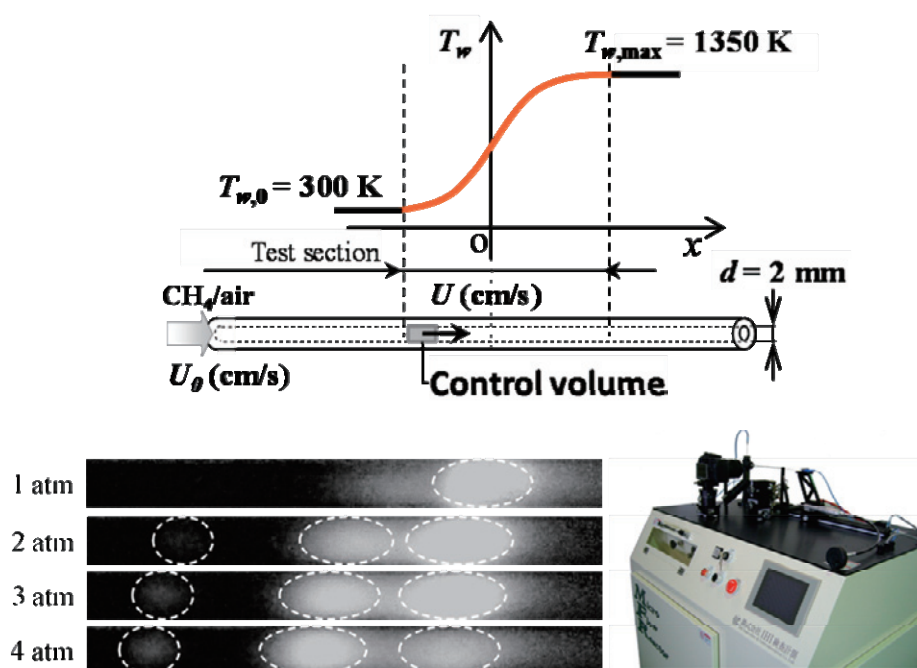


図 11 温度分布制御マイクロフローリアクタによる低温酸化反応分離 ( $n$ -ヘプタン) および市販化された燃料の着火燃焼特性測定装置

#### 6.2.4 ナノ流動融合分野

グループリーダー：小原 拓

メンバー：

事業推進担当者：宮本 明、水崎 純一郎、徳山 道夫、高木 敏行、寒川 誠二、小玉 哲也、徳増 崇

研究協力者：三浦 英生、湯上 浩雄、米村 茂、畠山 望、三木 寛之、佐藤 一永

##### (1) 量子論に基づくマルチスケール計算化学の創成と応用

分担：宮本

貴金属触媒、トライボロジー、各種電池、半導体、二酸化炭素吸蔵技術、生体分子など、さまざまな材料や現象を対象として、ホールやエレクトロン、原子、分子、そしてメソ・マクロの連続体レベルと階層的に流動現象を解析することのできる、マルチスケール計算化学手法の開発を行っている。ミクロ領域では大規模計算が可能な超高速化量子分子動力学法、メソ領域では多孔質構造材料設計のための多孔質シミュレータなどを基本プログラムとして、材料に応じた物性値を算出し、マクロシミュレータへの入力とすることでマルチスケール化を実現している。低コストでありながら高効率なことで注目されている、色素増感太陽電池（DSSC）に本手法を適用した例を図1に示す。ミクロ・メソ領域の材料物性を理論的に求め、それに基づいてデバイス電圧特性など実測と直接比較できるデータを算出する手法となっている。本研究により、特に、これまでマクロ特性への影響を把握することが困難であったメソ構造に対して、材料設計指針が得られるようになった。

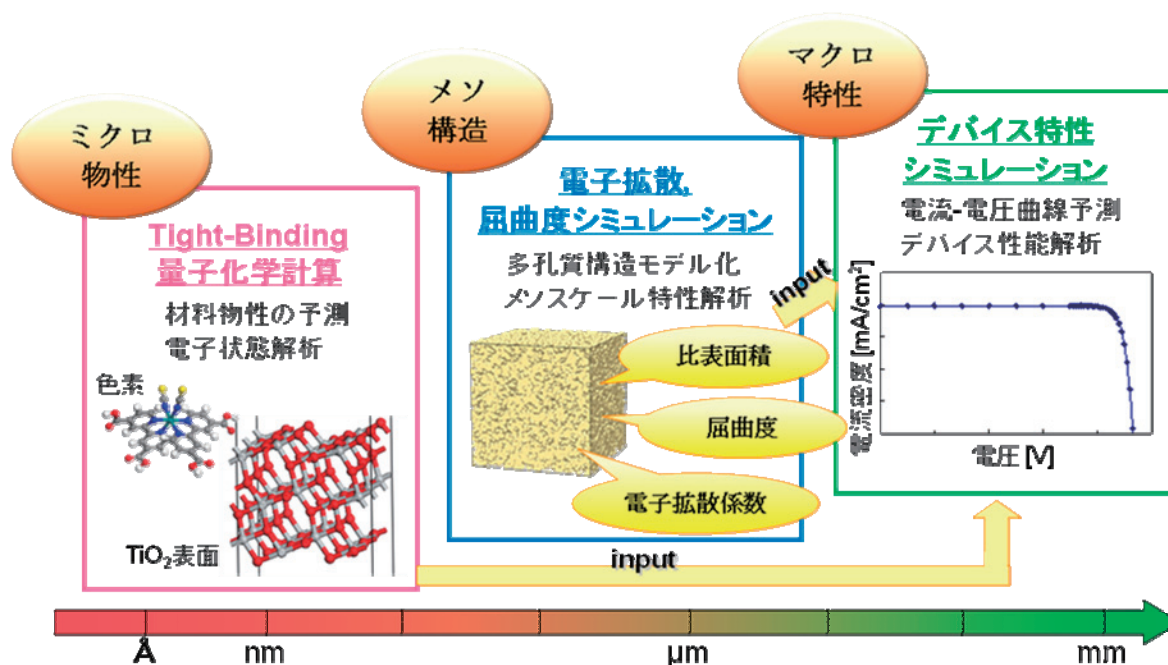


図1 色素増感太陽電池マルチスケール計算化学シミュレーション

(2) 高度情報処理技術と非破壊検査技術を融合した電気化学デバイスの信頼性評価  
分担：水崎純一郎、佐藤一永

電気化学変換デバイスは電池や各種センサーとして様々な分野で利用されている。今後、自動車や家庭用に普及が進むためには、性能のみならず信頼性や耐久性の飛躍的向上が望まれる。そのためには、充/放電時や発電時のデバイス内部の状況を観察することが必要である。一方、イオンや電子が流動している内部の状況を電気化学的手法以外で診断することはこれまで困難であった。この問題に対して、固体酸化物燃料電池を対象に電池内部から発生する超音波を検出することに成功した。また、得られた信号を高度な情報処理技術で可視化することに世界に先駆けて成功した。今後、リチウムイオン電池等のデバイスにも適用し、一般的な測定手段になるようにしたい。

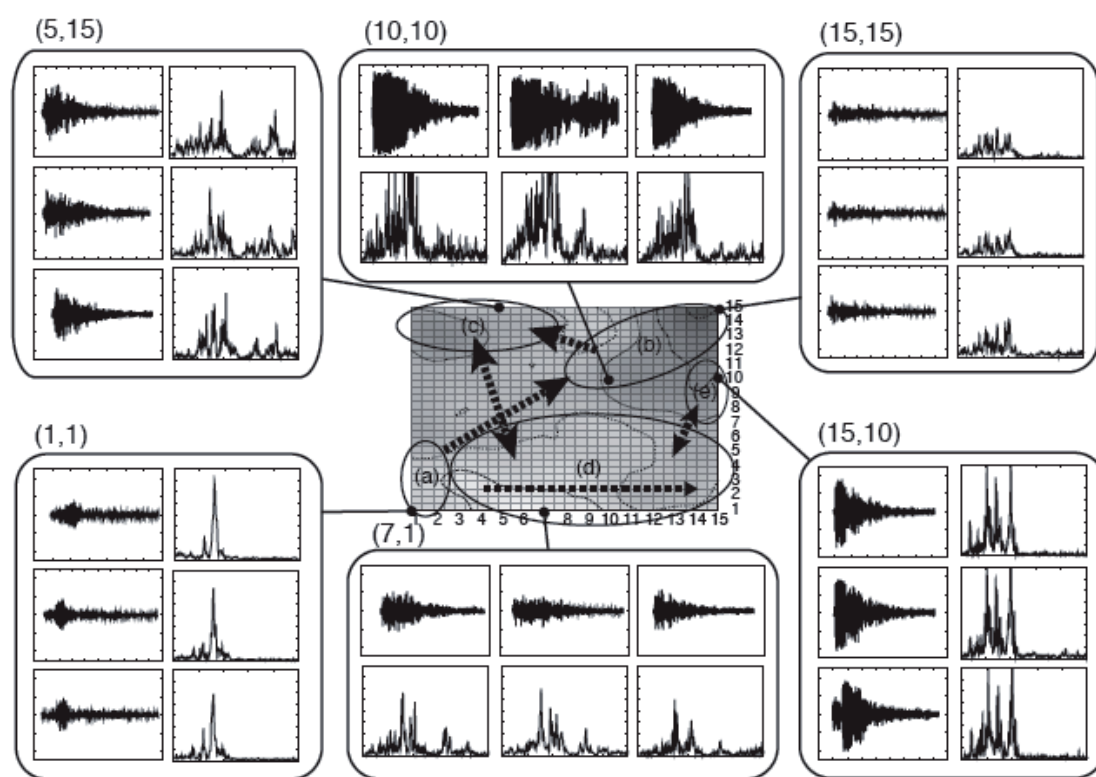


図 2 固体酸化物燃料電池のガスシール材の破壊信号マップ例

(3) ソフト円盤におけるポテンシャルの堅さが流動ダイナミクスに与える影響の解明  
分担：徳山

近年、石英ガラスのみならず、バルク金属ガラスやコロイドガラスなど、結晶と異なる優れた特性を持つ新奇なガラス材料が開発され、今後も新たなガラス形成物質を合成することによってさらなる新材料開発の期待が高まっている。このガラス化の過程では、液体状態から、結晶化を避けてガラス化する途中の過冷却液体状態の流動ダイナミクスが非常に重要と

なるにもかかわらず、ガラス転移近傍のダイナミクスがいまだ未解明であるため、ガラス形成過程の制御も経験則に頼るところが大きい。そこで、本研究では、ソフト円盤のポテンシャルの堅さの違いが液体状態から、過冷却液体状態において、どのように流動ダイナミクスに影響を与えるのかを明らかにした。図に示した長時間自己拡散係数の面積分率依存性からわかるように、液体状態から弱い過冷却液体状態では、ポテンシャルの堅さは流動ダイナミクスに定性的な影響を与えない。一方で、強い過冷却液体状態からガラス状態にかけてはポテンシャルの堅さを反映し、ポテンシャルが柔らかくなるとフラジイルガラスの傾向から外れていくことがわかった。この結果は、物質の違いによるポテンシャルの堅さの違いはフラジイルガラスなどの特性に関係していることを示唆しており、今後のガラス形成過程のより高精度な制御の基礎データとなる。

Yayoi Terada, Michio Tokuyama, “Long-Time Self-Diffusion of Two-Dimensional Soft Disks in Liquid and Weak-Supercooled State”, submitted to proceedings of 2010 Materials Research Society Fall Meeting (2010).

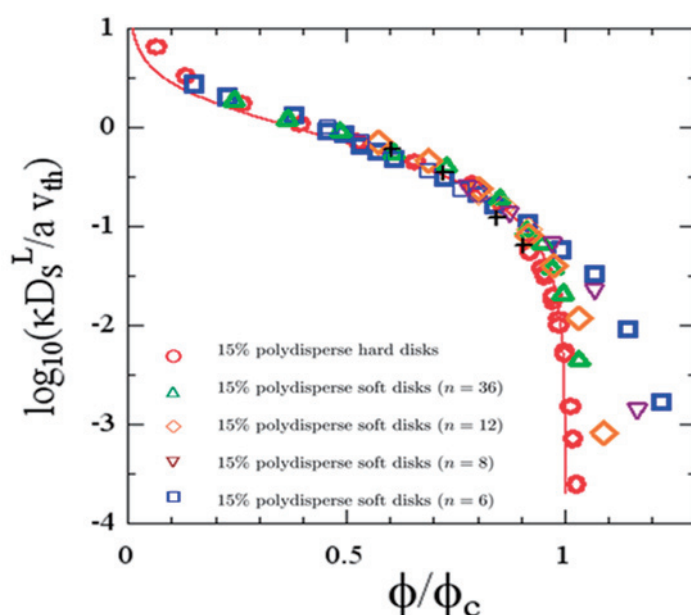


図3 ポテンシャルの堅さ  $n$  の変化に対する長時間自己拡散係数の体積分率依存性。直線は tokuyama の平均場理論。

#### (4) ナノクラスタ金属を含む非晶質炭素コーティングにおける導電性と接触の制御 分担：高木、三木

本研究では非晶質炭素膜による高温、低温、高真空、生体環境などの環境に適応可能な先進的コーティング技術の確立を目指している。今年度は、形状記憶合金(SMA)に製膜した非晶質炭素コーティングの特性評価を行った。SMA は形状記憶効果や超弾性等の優れた機能性を有する材料である。特に NiTi 系 SMA (Nitinol)は形状回復力や回復歪み量、疲労強度



の面で優れるため、人工歯根や人工関節、ステント、ガイドワイヤ等の医療機器材料として実用化されている。しかし、Nitinol の体内留置に起因する Ni イオン溶出によるアレルギー反応が問題とされ、その抑制が求められている。本研究グループではこれまでに Ni イオン溶出抑制効果のある非晶質炭素 (DLC) にタングステン(W) を添加した W-DLC 膜を Nitinol に製膜し、金属添加により密着力が向上し、さらに膜の疲労限界をも向上することを見出している。今年度は、Nitinol に製膜した W-DLC 膜の生体アクチュエータ材料としての有効性を検証するために、密着性試験及び繰り返し曲げ特性試験を行った、その結果、膜の密着力を定量的に評価し、従来にはなかった生体適合性を有する Nitinol を用いた機械システムの設計指針を確立することができた。

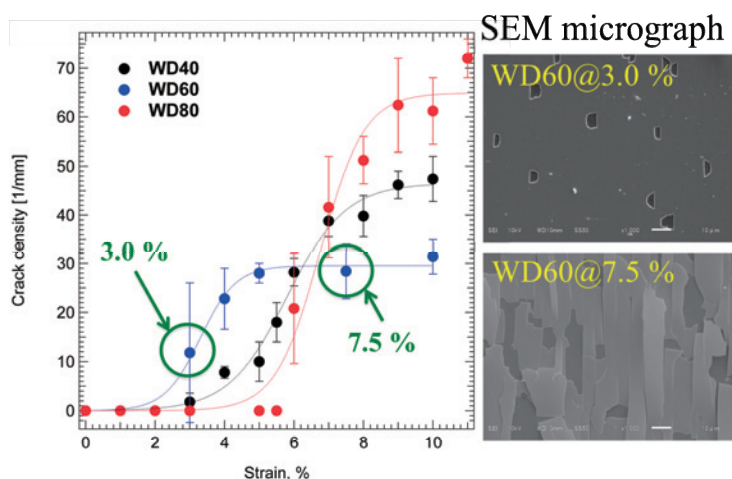


図 4 SEM micrograph images and crack density vs applied strain of W-DLC/TiNi

## (5) オンウエハーモニタリング技術の研究

分担：寒川

プラズマプロセス、ビームプロセスおよび原子分子操作プロセスにおいて、ミクロに表面に入射する活性種のエネルギー、種類、反応生成物、導電性などのセンシングを行うオンウエハーモニタリングシステムの研究を行っている。オンウエハーモニタリングで得られたデータを基にリアルタイムプロセス制御や表面反応解析およびモデル化を行い、インテリジェント・ナノプロセスを実現する。本年度は JST、A-STEP の支援を受けて紫外線センサ、電荷蓄積センサ、イオン軌道センサの 3 種のセンサと計算 (シミュレーション) を融合して、プラズマ損傷およびエッチング形状予測が可能なオンウエハーモニタリングシステムを完成させ、みずほ情報総研により事業化を実現した。また、本年度はプラズマ気相成長プロセスにおける紫外線照射量を元にしたダメージ発生予測にも挑戦し、世界で初めて薄膜堆積中のダメージの予測にも成功した。今後、このシステムを更に発展させ、プラズマプロセスにおけるプラズマ固体相互作用に関するプロセス予測システムを構築する。

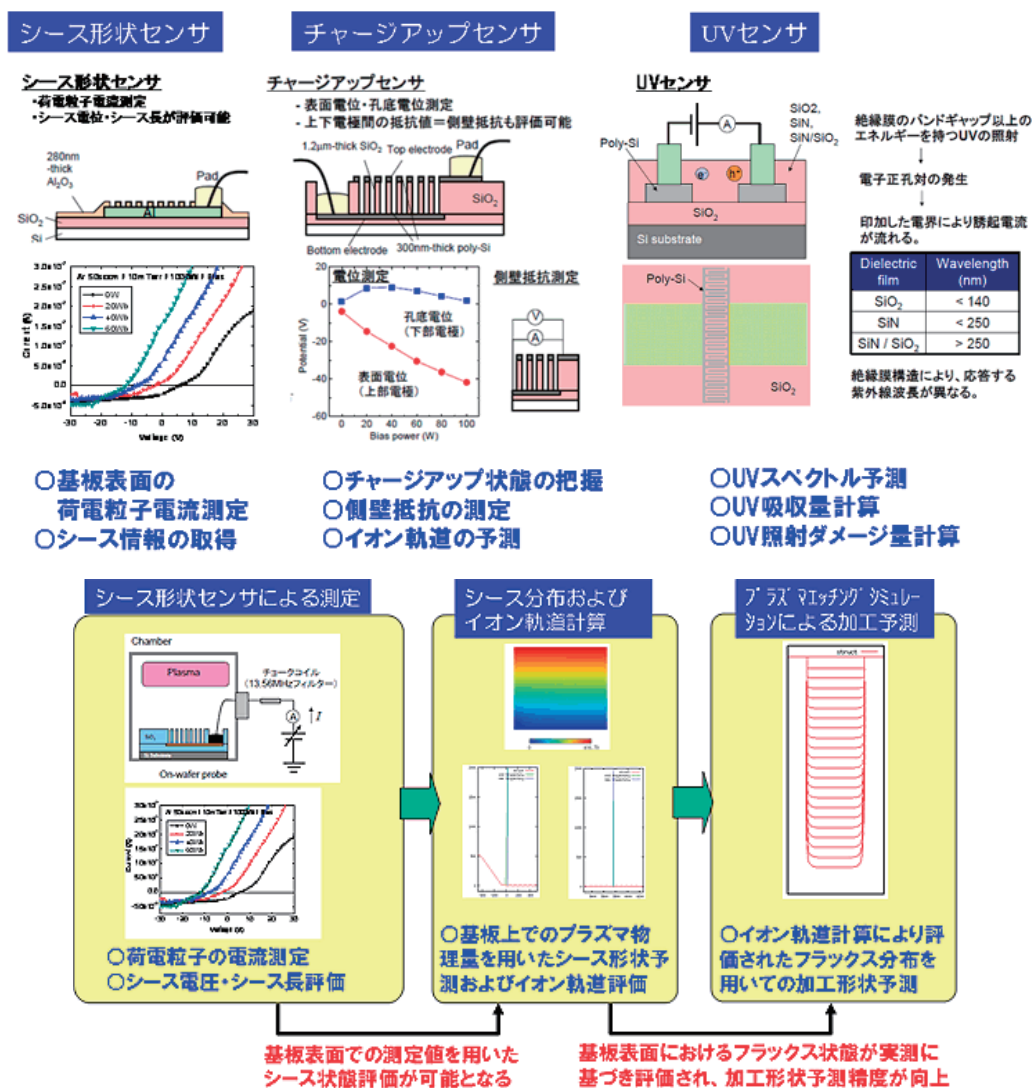


図5 オンウェハーモニタリングシステム

(6) 脂質二重膜で形成される水孔の形成  
 分担：小玉

Koshiyama K, Yano T, Kodama T.  
 Self-Organization of a Stable Pore Structure in a Phospholipid Bilayer.  
 Phys. Rev. Lett. 105, 018105 (2010)

非定常、非平衡の分子動力学シミュレーションを使用して、安定的に脂質二重膜に自己形成される水孔の形成過程を明らかにした。sonoporation によって膜の透過性が変化し水分子が膜に導入されるものと仮定し、膜の疎水性領域に水分子を挿入した状態を初期条件にした。ある一定数以上の水分子を膜の疎水性領域に挿入すると、機械的・電氣的な外力が作用せずとも、水で満たされる水孔が数ナノ秒以内に形成される。初期の水分子の数を増やすことで孔の形成の確率を高めることができ、ある条件では、脂質分子はミセルに類似の形状をとることが示された。

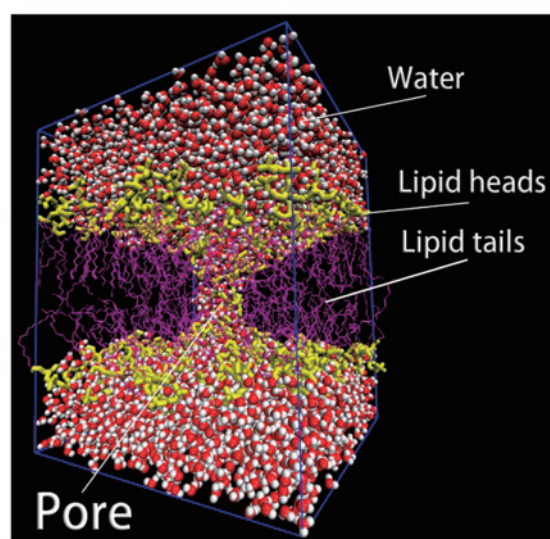


図 6 A snapshot of a stable pore structure penetrating a phospholipid bilayer from a molecular dynamics simulation of a bilayer initially including water molecules.

(7) 燃料電池膜電極接合体(MEA)内部のナノスケール物質輸送現象の解明  
分担：徳増

燃料電池の膜電極接合体(Membrane Electrode Assembly, MEA)内部のプロトン、水、酸素輸送能力は固体高分子形燃料電池の性能を決める非常に重要な因子であるが、その流動現象はナノスケールの構造により支配されており、通常の連続体理論では解析できない。本研究では、この流動現象を分子動力学法を用いてシミュレートし、そのナノスケールの輸送特性に関する知見から次世代の燃料電池の設計指針を得ることを目的として解析を行っている。今年度は、カーボンに担持された白金を覆うアイオノマーの酸素透過能力を解析するシミュレータを構築し、その解析を行った。図 7 にその概要図を示す。アイオノマーの含水率が増加すると、アイオノマー内に水クラスターが形成され、アイオノマー間の結合力が強くなる。その結果、白金表面を覆うアイオノマーの膜厚が大きくなり、酸素透過が著しく阻害されることが確認された(図 8)。

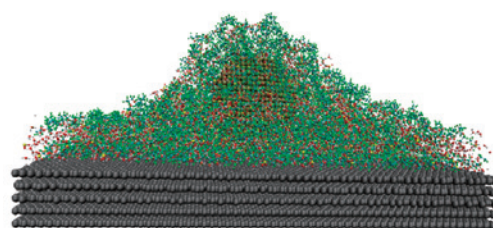


図 7 カーボンに担持された白金を覆うアイオノマー



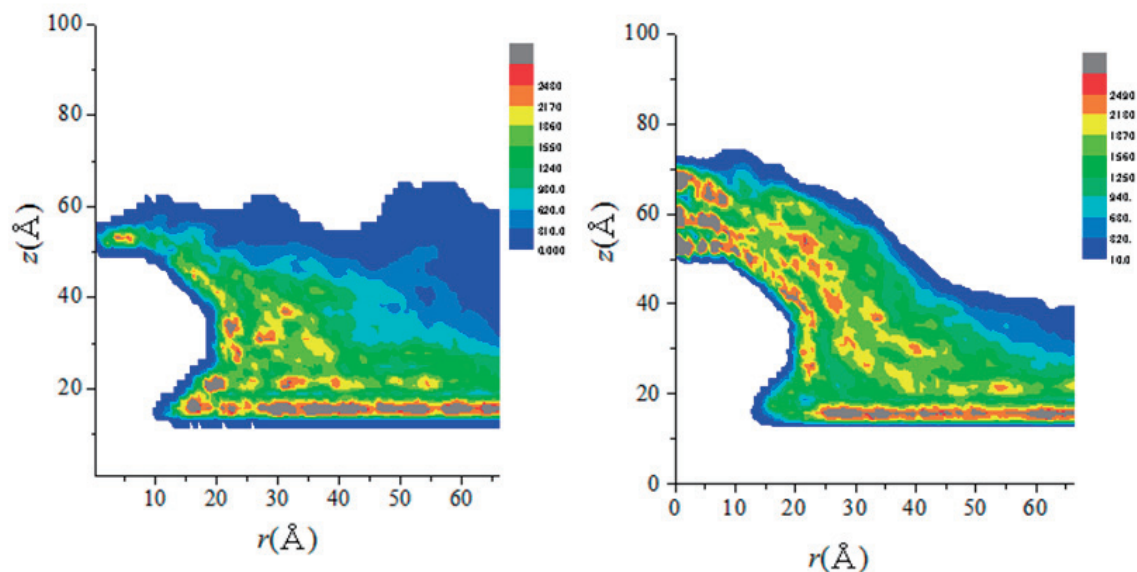


図 8 白金粒子を覆うアイオノマーの密度分布 (左)含水率=0, (右)含水率=7

(8) ヘテロな構造をもつ液体・液体膜・界面の熱・運動量輸送特性  
分担：小原

固体・液体中の熱伝導は、分子間の相互作用による古典力学的エネルギーの伝搬がマクロに集積されたものであるが、本 GCOE における研究により、鎖状ポリマーにおいては鎖長の増大と共に分子内の強固な共有結合によるエネルギーの伝搬（分子内エネルギー伝搬）が分子間のエネルギー伝搬に卓越し、例えば直鎖アルカンの場合には、分子量数百程度で空間中における

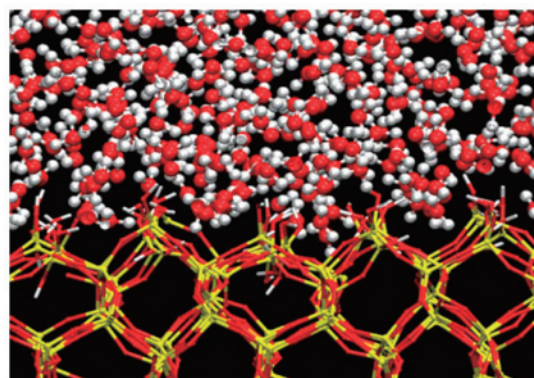


図 9  $\text{SiO}_2$ －液体水界面

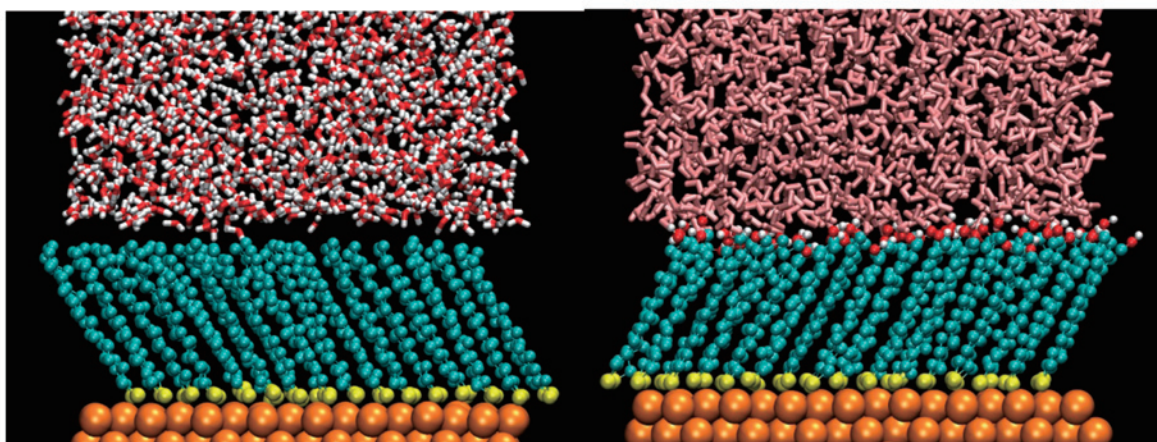


図 10 金－SAM－液体水界面。(左)疎水性 SAM 末端基の場合、(右)親水性 SAM 末端基の場合



熱エネルギーの伝搬を支配する最大の因子となることが明らかとなった。ポリマー分子の自己組織化により形成された液体膜や SAM（自己組織化単分子膜）、あるいは固液界面近傍の液体等に見られる非一様な構造においては、分子の配向が一定の制限を受けて特定の方向に揃うことから、分子内エネルギー伝搬がその方向にのみ作用し、熱伝導に異方性が発現するなど、特異な輸送特性が予想される。このような現象を、ナノリソグラフィや表面修飾など応用において重要な各種の系について解析し、その特性を明らかにする研究を継続している。

## (9) 多元素系拡散解析によるナノ微細分散組織の制御と耐熱合金の開発 分担：三浦

地球温暖化防止に貢献するためには、日本の炭酸ガス排出量の約 34% を占める火力発電プラントからの排出削減が必須課題となっている。このためには、ガスタービンの燃焼ガス温度を上昇させ、化学反応の熱効率を向上させることが有効である。現在の火力発電における燃焼ガスの最高温度は約 1450℃ であり、これを 1700℃ に上昇できれば炭酸ガスの排出量を約 50% 低減できるものと期待されている。しかし、タービン翼に使用されている耐熱合金では高温環境で長時間使用されると材料強度が著しく低下し、急速破断を引き起こす危険性があることが明らかになった。そこでタービン動翼用耐熱合金の高温損傷メカニズムを量子分子動力学解析技術を応用して解明し、次世代ガスタービン用耐熱合金開発の設計指針を確立する研究を推進している。

この高温損傷は、ナノスケールで合金中に分散された組織が、高温環境でタービン運転中に負荷されるひずみと添加元素の相互作用に基づく異方的な特定元素の増速拡散挙動により崩壊することで進行することを明らかにしたことから、合金を構成する多元素系の原子拡散挙動の支配メカニズムを量子分子動力学解析手法を応用して解明するとともに、拡散制御に有効な添加元素を探索し、高耐熱化を図る新添加元素を提案した。さらに、薄膜積層構造試験片を用いてその拡散制御効果を実証した。

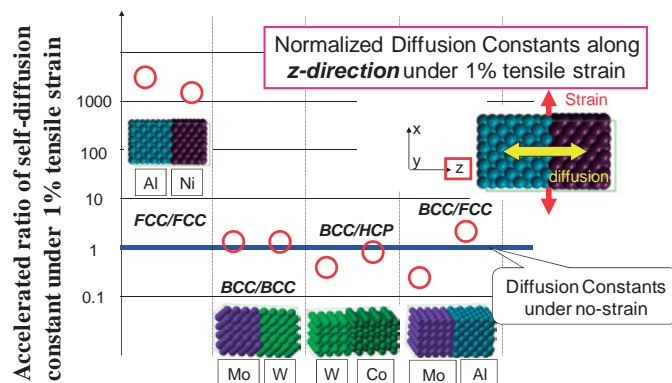


図 11 ひずみ誘起原子拡散増速現象の異相界面構造依存性の解析例

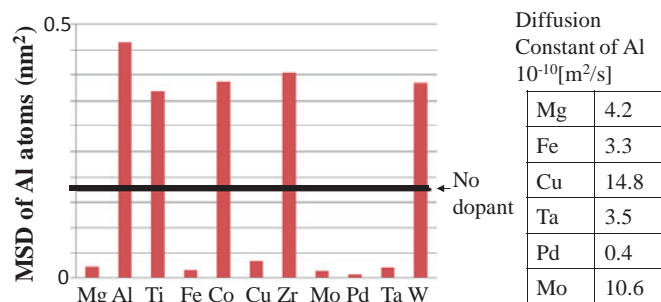


図 12 Al 原子のひずみ誘起拡散現象に及ぼす添加元素の影響解明解析例

## (10) 2次元周期微細構造による波長選択性熱放射を用いた水蒸気改質促進

分担：湯上

表面微細構造やフォトニック結晶は、光学分野のみならず熱放射スペクトルを制御する手法として注目されており、熱光起電力発電や熱化学反応など様々な分野への応用が期待されている。我々は、2次元周期微細構造を有する波長選択エミッタを作製し、任意の波長域で放射率を選択的に上げる波長選択性熱放射を用いることで、メタン及び水蒸気の赤外吸収帯で強い熱放射を発生させることにより、水素製造効率の向上を目指す研究を行っている。これまで、周期 $\Lambda$ が異なる2種類の波長選択エミッタを用いた実験において、メタン吸収帯に熱放射を共鳴させた場合、非共鳴状態に比べて約4倍の水素発生量が観測された。定量的な評価により、波長選択性熱放射を用いた量子共鳴により、メタン分子が高い振動エネルギー準位に励起され、水蒸気改質反応が促進したと考えられる。

参考文献 Y. Maegami et. al, Appl. Phys. Lett., 97, 231908 (2010).

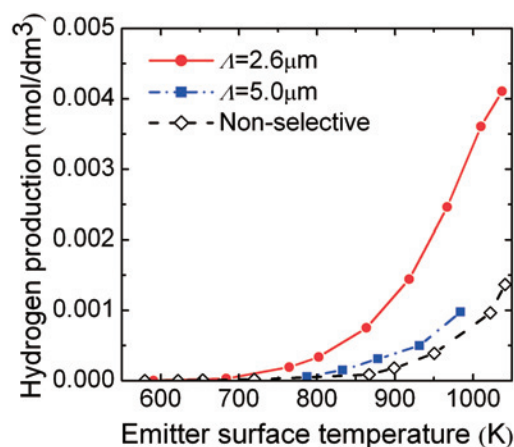
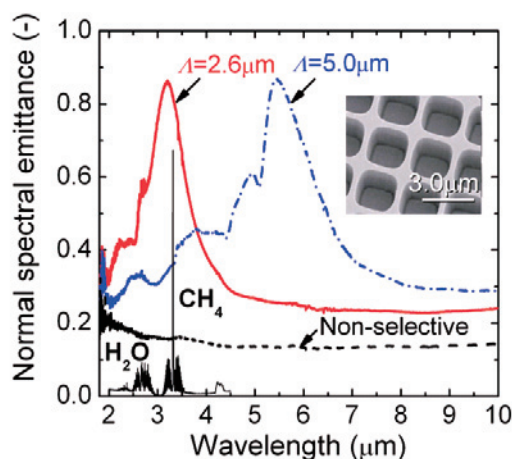


図 13 異なる周期の選択エミッタからの単色放射率      図 14 水素生成量のエミッタ温度依存性

## (10) ボルツマン方程式の数値解法に関する研究

分担：米村

研究費：運営交付金、GCOE 研究費他

希薄流など、ボルツマン方程式の数値解法として広く DSMC 法が用いられている。DSMC 法ではシミュレーション分子の速度を統計平均することにより、流速、圧力、温度を求めるため、MEMS/NEMS 周りの流れのように、分子速度と比較して低速な流れを取り扱うには大きな統計誤差が問題となる。また個々の分子間衝突を取り扱うために、時間ステップを分子の平均自由時間よりも小さく設定する必要がある、大気圧下では計算負荷が大きくなる。本研究ではボルツマン方程式の衝突項を分子間衝突の累積効果による外力として表す理論に基づく新たな数値解法(Kinetic Force Method)を研究している。その特長から、時間ステップは分子の平均自由時間に制限されず、また、一つ一つのシミュレーション粒子自身が分布関数を持つため、DSMC 法と比較して少ない粒子数でなめらかな分布関数を得ることができる。下に計算結果を示す。半無限平板と無限平板で挟まれた流路の空気を下面の無限平板を運動させることにより吸い出す問題を考える。両面間の距離は平均自由行程の 10 倍である。Kinetic Force Method によって DSMC 法と良好に一致する結果が得られた。Kinetic

Force Method で用いられた粒子数は DSMC 法で用いられた粒子数の 1/10 程度である。

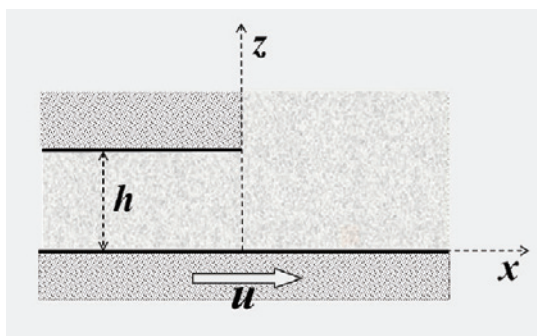


図 15 下面の運動による空気の吸い出し  
( $h = 600 \text{ nm}$ ,  $u = 10 \text{ m/s}$ )

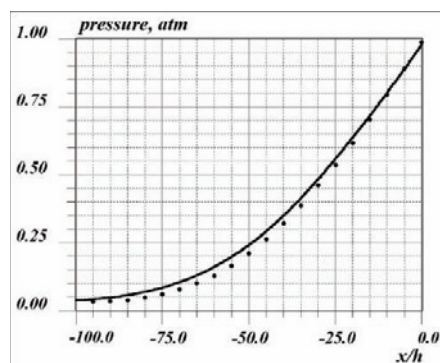


図 16 両面間の圧力分布  
(点 : Kinetic Force Method, 実線 : DSMC)

(11) 国際宇宙ステーションによるナノスケルトン創製の計算化学シミュレーション  
分担：畠山

研究費：宇宙航空研究開発機構他

JAXA、東京理科大学、資生堂との共同プロジェクトとして、国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」にて第一回宇宙実験が行われた、「チタニアナノスケルトン材料の創製」に関して、マルチスケール計算化学手法を用いた研究を進めている（図 17）。数 nm の細孔を持つメソポーラスのチタニアアナターゼ結晶材料の合成について、細孔拡大を目的に導入した油性膨潤剤が重力の影響を受けた結果、細孔や壁膜構造が変化することが、地上対照実験との比較により明らかとなった。膨潤剤の種類や量の最適化を行い、今年予定されている第二回宇宙実験の実験条件設定に反映させている。

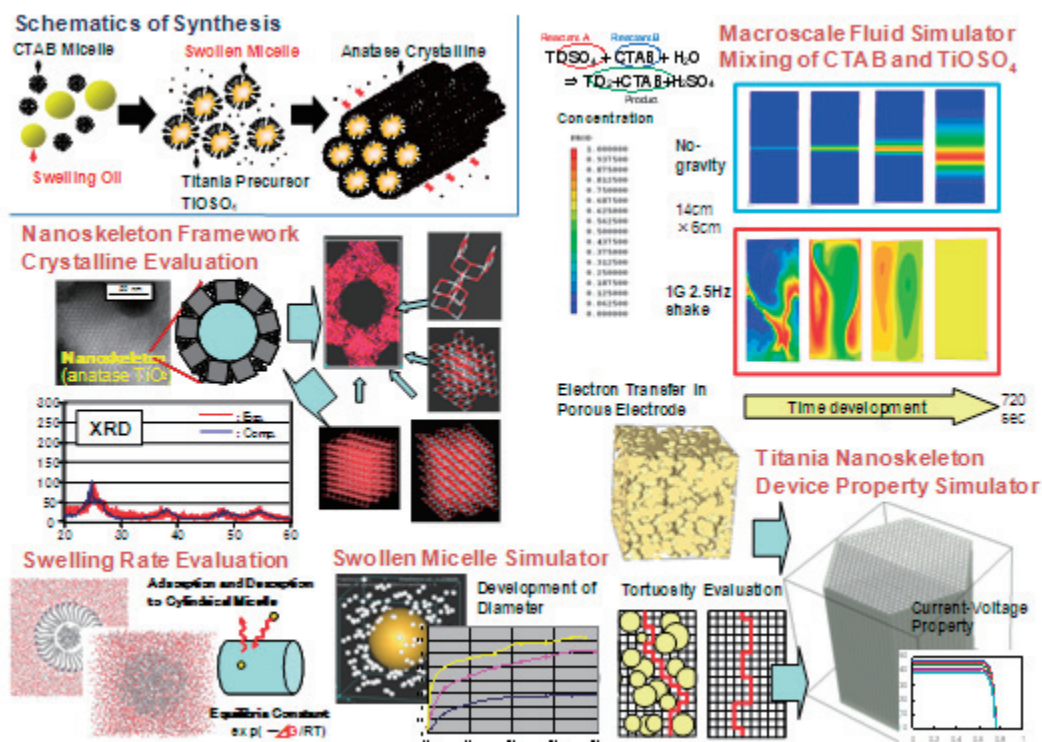


図 17 ナノスケルトン創製マルチスケール計算化学シミュレーション



### 6.2.5 極限流動融合分野

グループリーダー：大林 茂

メンバー：

事業推進担当者：圓山 重直（拠点リーダー）、福西 祐、浅井 圭介、澤田 恵介、  
伊藤 高敏、橋爪 秀利

研究協力者：大平 勝秀、渡辺 豊、内一 哲哉、遊佐 訓孝、小宮 敦樹、伊賀 由佳

#### 1. 研究テーマ：永久塩泉による海洋深層水湧昇と海洋表層緑化に関する研究

- ・担当者：圓山重直、小宮敦樹
- ・主な成果をあわす図

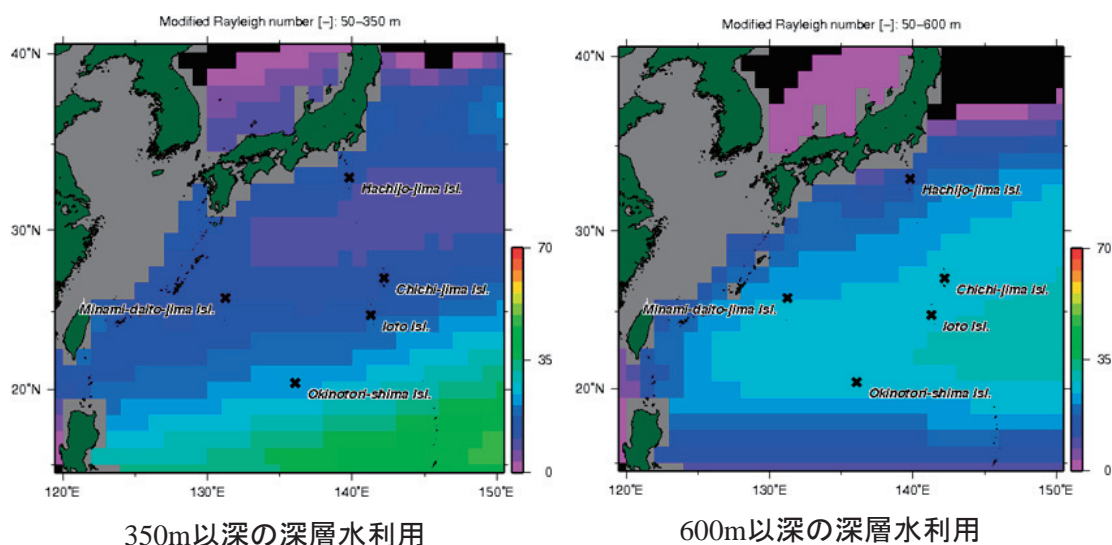


図 1 日本近海におけるラピュタ計画の可能性  
(暖色：可能性大 寒色：可能性小)

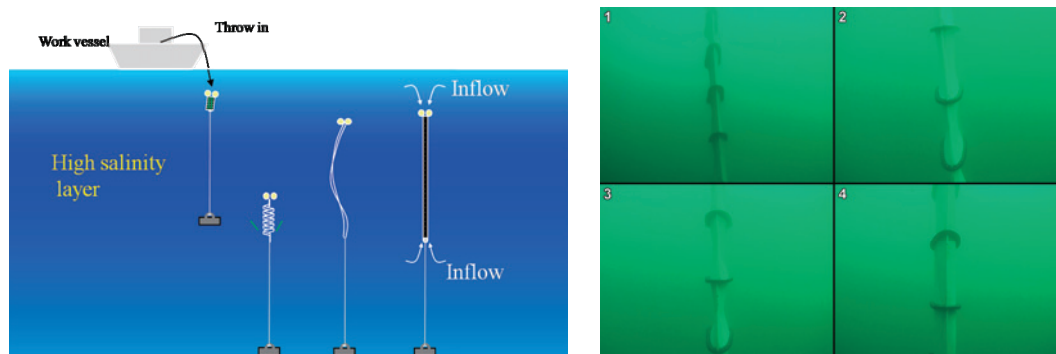


図 2 アンカー型パイプの設置展開

#### ・主な活動

中緯度域に分布する海洋砂漠と称される海洋栄養塩の少ない海域に、栄養分に富む海洋深層水の汲み上げを大規模に展開し、その海域を局所的に富栄養化することで海洋の森を作る可能性（ラピュタ計画）を実験的・解析的に検討する。また、この大規模海洋深層水汲み上げが環境にどのような影響を与えるかを検討する。図 1 は海洋表層水と深層水の温度差で定



義されるレイリー数分布を示しており、海洋深層水湧昇の可能性を示す指標となる。600m以深の深層水利用が高い可能性を有していることが分かる。図2はアンカー型パイプの設置展開の概略図と、実際に海洋で行ったフィールド実験の様子を示している。パイプの伸長後、ゴムリブの復元力によりパイプが膨らみ、低塩分濃度層の海水をパイプ内に吸引できることが分かる。

## 2. 研究テーマ：振動はく離する極限状態流れにおけるはく離領域を計測する手法の開発

- ・担当者：福西祐
- ・主な成果を表す図：

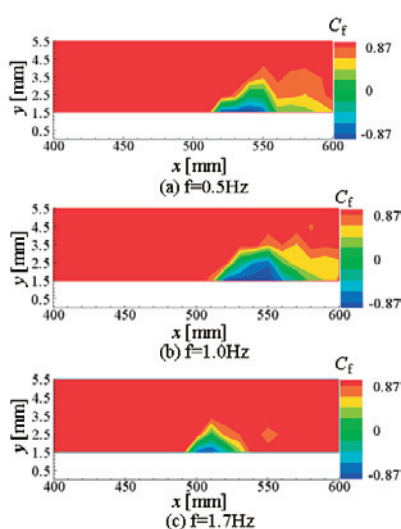


図 3  $t/T=0$

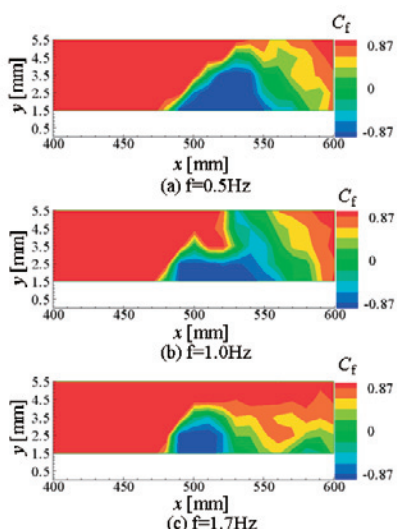


図 4  $t/T=0.5$

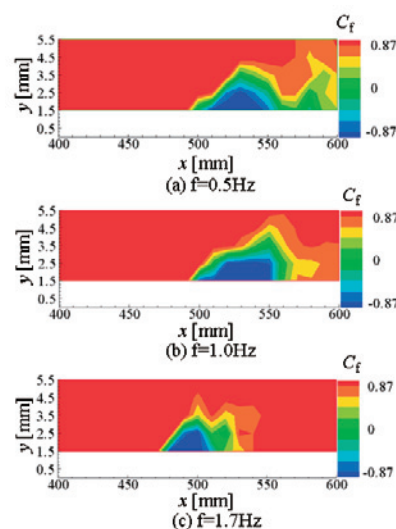


図 5  $t/T=0.86$

- ・主な活動

振動はく離する極限状態の流れにおけるはく離領域を正確に計測するのは通常は困難であるが、その手法の開発を行った。流れに逆圧力勾配を与え、さらにモーター駆動により一つの面を振動させることで、はく離が非定常に変化する極限状態を風洞の測定部に作り出した。さらに図3～図5に示されるとおり、振動するはく離領域の挙動を詳細に捉えることに成功した。

## 3. 研究テーマ：火星大気風洞を用いた低レイノルズ数空気力学の研究

- ・担当者：浅井圭介、永井大樹、沼田大樹、安養寺正之（D3、JSPS 特別研究員（GCOE 推薦））

・主な成果をあわす図

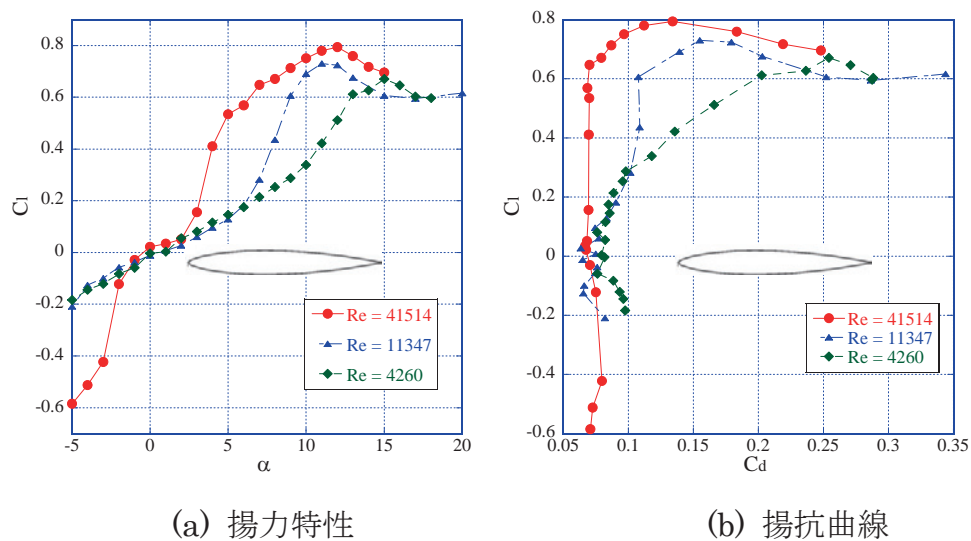


図 6 NACA 翼の空力特性に対するレイノルズ数の影響

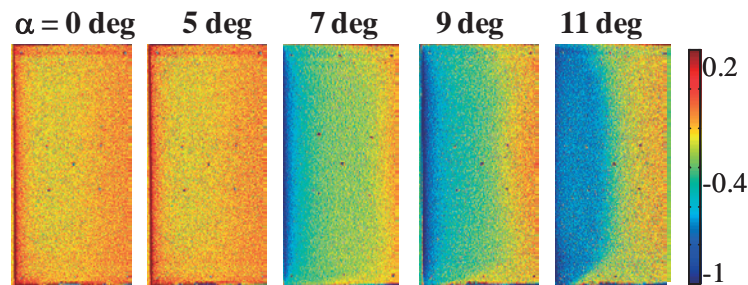


図 7 迎角による圧力分布 ( $C_p$ ) の変化  
(NACA-0012-34 翼,  $Re=1.1 \times 10^4$ ,  $M=0.21$ )

・主な活動

火星大気風洞 (Mars Wind Tunnel [MWT])は火星飛行機の大気飛行状態を模擬することのできる低密度風洞で、 $10^4$ から $10^5$ までの低レイノルズ数、 $0.7$ を超えるマッハ数での翼型実験を行う能力を有している。火星飛行機開発の基礎となる翼型データを取得することを目的に本年度から 5%平板翼、NACA0012-34 翼型を始めてとする翼型の風洞実験を開始した。模型に働く空気力と圧力分布の計測には、新たに開発した 2 分力天秤と感圧塗料 (Pressure-Sensitive Paint [PSP]) を用いた。本研究ではレイノルズ数とマッハ数を独立で変化させた実験を行い、火星飛行機の飛行条件における翼型の空力特性に対するこれらのパラメータの影響に焦点をおいて実験を行った。その結果、翼型の揚力傾斜や抗力特性の変化が剥離泡のサイズやせん断層の遷移の有無に強く影響されること、また、圧縮性にはせん断層を安定化し、乱流への遷移を遅らせる作用があることなど、従来の風洞実験では明らかにできなかった新しい知見を得ることができた。

#### 4. 研究テーマ：酸化剤旋回型ハイブリッドロケット燃焼室内流れ場の数値解析

- ・主担当者： 澤田恵介 (航空宇宙工学専攻)
- ・主な成果を表す図

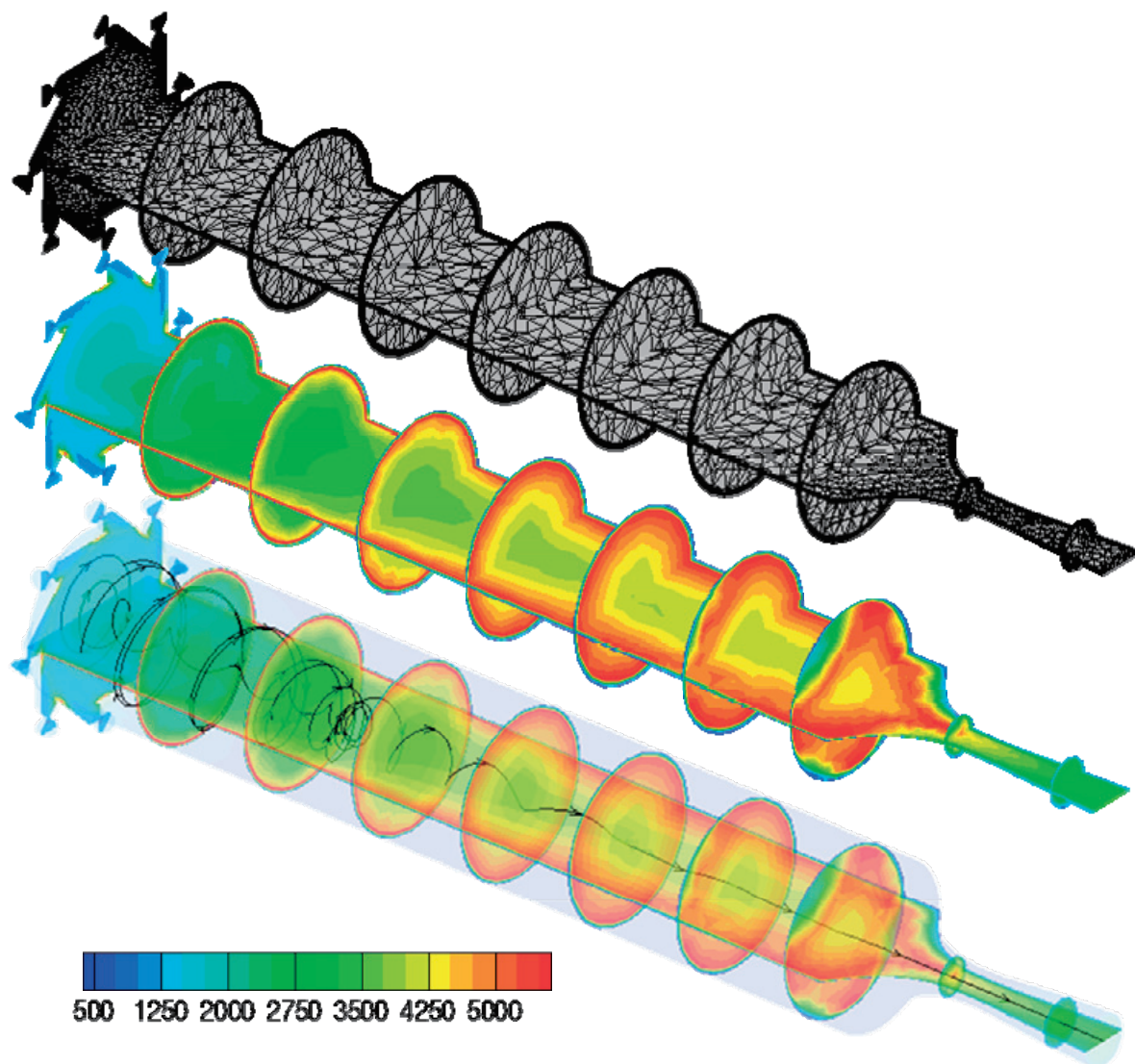


図 8 酸化剤旋回型ハイブリッドロケット燃焼室内流れ場の数値解析結果.  
上段：非構造計算格子、中段：温度分布、下段：逆流域を示す流線

#### ・主な活動

固体燃料と液体酸化剤を組み合わせたハイブリッドロケットに関する基礎的な研究が国内の研究拠点で個別に進められてきたが、2008 年度に JAXA/ISAS に研究 WG が設置され、国内研究者の組織化が進められている。現在、WG では超小型衛星(～100kg)を太陽同期軌道に打ち上げ可能な低コスト低環境負荷の多段式ハイブリッドロケット開発を目指して、様々な基盤技術のレベルアップを追及している。本研究は、固体ロケット燃料の表面後退速度向上を目指して首都大学東京のグループが開発中の酸化剤旋回型燃焼器内流れ場の数値シミュレーションを行い、数値シミュレーション技術の向上と最適設計に用いるツール開発を目



指している。

現実的な酸化剤注入方式に対応させるために、図上段に示すように非構造格子で計算領域を離散化している。8本の注入管から燃焼室内に入った酸化剤と熱分解して固体燃料表面から噴出した燃料ガスの燃焼を模擬するために、酸化剤( $O_2$ )、燃料ガス( $C_4H_6$ )および燃焼ガス( $CO_2+H_2O$ )の3種類のガスを導入して、一段総括型の酸化反応を平衡気体の仮定の下で解いた。固体燃料表面に発達する境界層内で拡散燃焼するために、固体表面に細かな格子を配置している。また、非構造格子を用いた計算の空間精度を高めるために、不連続ガレルキン法に基づくソルバーを用いた。図の中段に燃焼室内流れ場の温度分布を示す。端板側の上流域では壁面境界層内部で燃焼反応が生じ、高温領域が境界層内部に生じている。中流域で徐々に壁面から内部に高温の燃焼ガスが入り込み、ノズル入り口付近の最下流域では高温の燃焼ガスが中心軸まで広がっている様子が見られる。ノズルに入った気流はスロートで超音速となり、下流側の拡大ノズル部分でさらに膨張するために気流温度が急速に低下している。図の下段は燃焼室端板から中間領域にかけて形成される逆流域を通る流線の例を示している。端板側では高速の旋回で生じる遠心力と圧力勾配が釣り合うために壁面で圧力は高く、中心軸の圧力は低くなる。このため、壁面に沿って下流側には順圧力勾配が、中心軸に沿っては逆圧力勾配が生じるために端板側の中心軸に沿って端板に向かう逆流域が形成される。なお、端板表面では旋回流速が粘性効果で減少するため遠心力と圧力勾配のつり合いは成立せず、側壁に沿って中心軸に向かう2次流が形成される。

このように燃焼室内旋回流の特徴を定性的に捉えているが、燃焼ガスの温度が5000Kを超えており高すぎる。実際の燃焼室内流れ場の気流温度は3000Kを超えない。計算の気流温度が上昇したのは、中間生成種を考慮していないためである。現在、中間生成種を考慮した化学平衡モデルに切り替える準備を進めている。今後、実験側と協力しながら定量的な数値シミュレーションの実現を目指す。

#### 5. 研究テーマ：マイクロ波を用いた配管減肉広域一括探傷技術の開発

- ・担当者：橋爪秀利、遊佐訓孝
- ・主な成果を表す図

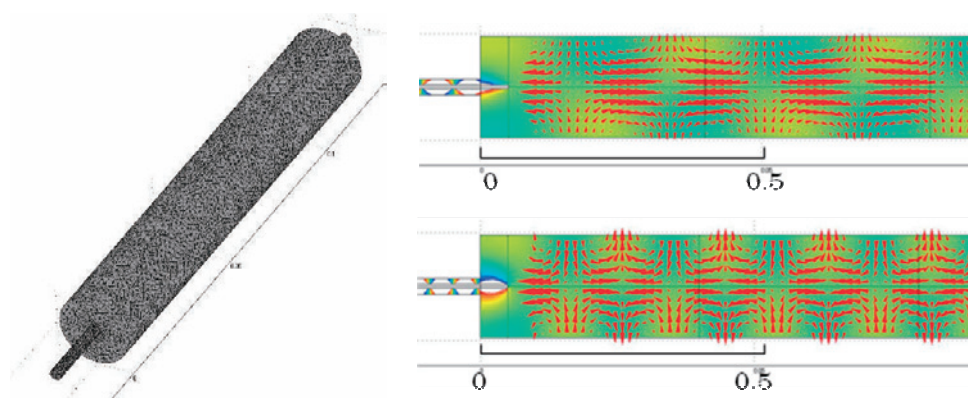


図 9 管内マイクロ波伝播挙動解析（左：3次元有限要素モデル、右：管内電磁場）



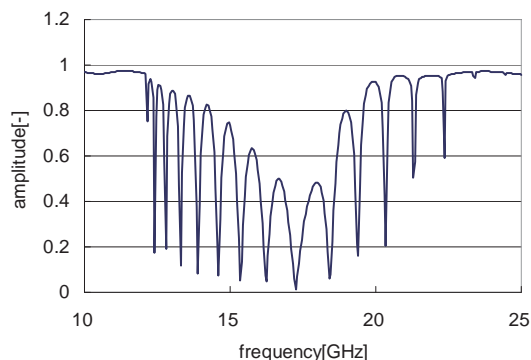


図 10 反射電磁波強度周波数依存性

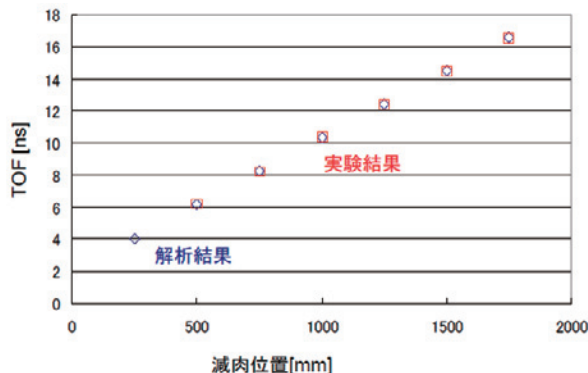


図 11 減肉位置評価試験結果

#### ・主な活動

原子力プラントにおいて配管の減肉は重要な経年劣化事象の一つと位置づけられており、早期の発見と評価、そしてそれに基づく適切な保全活動の実施は不可欠である。しかしながら、既存技術を用いて長大かつ複雑な配管系をもれなく検査することは多大な保全コストが必要であり、広域一括検査が可能である新技術の開発が強く望まれている。本研究はこのような背景に鑑みて実施されているものであり、配管内部に伝播するマイクロ波の反射及び透過の挙動から、配管の広域一括検査、より具体的には配管内壁面に発生した減肉の検出と位置特定、そして大まかな形状評価を行うというものである。本年度研究においてはまず、3次元有限要素法解析により管内電磁波伝播挙動の詳細分析を実施し（図 9）、配管減肉を検出及び評価するための適切な入射条件等を明らかとした（図 10）。また、数値解析により得られた知見に基づき構築した試験システムを用いた検証試験を実施し、人工的に加工された理想形状の減肉のみならず、より自然な形状の減肉に対しても当技術が十分に適用可能であることを確認した（図 10）。

### 6. 研究テーマ：未固結地層フラクチャリング技術とメタンハイドレート開発への応用

#### ・担当者：伊藤高敏

- ・ 主な成果をあわす図

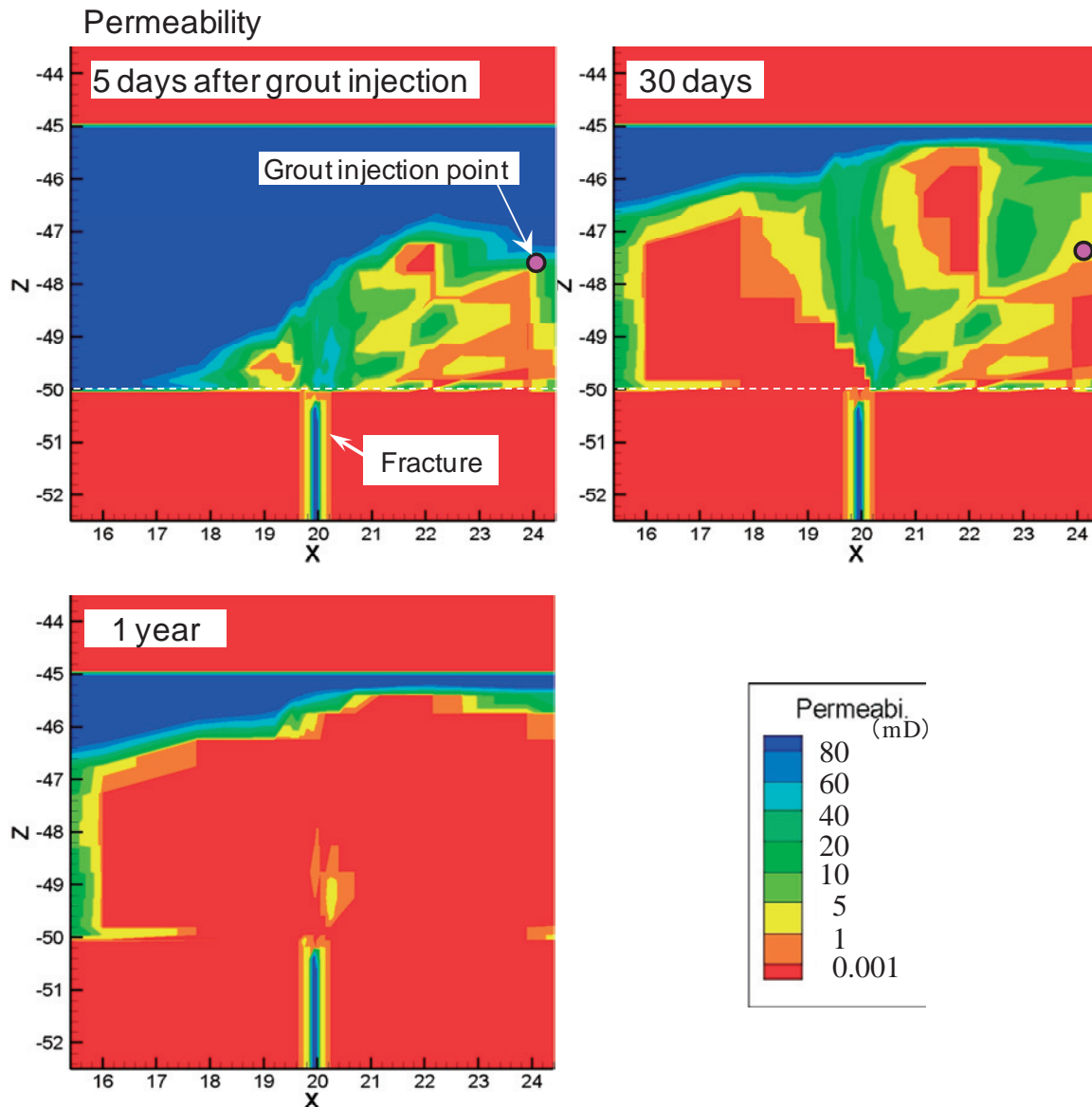


図 12 原位置反応法による漏洩箇所修復プロセスの数値シミュレーション結果

- ・ 主な活動

地球温暖化対策の切り札とされる CO<sub>2</sub> 地中貯留では、地下に注入された CO<sub>2</sub> が浮力で上昇するのをキャップロックと呼ばれる天然のバリアーで防ぐ。しかし、CO<sub>2</sub> の粘性は非常に小さいためにキャップロックにあるわずかな欠陥を通して漏洩する可能性は否定できない。その対策として、別途注入する溶液（反応性グラウト）と漏洩した CO<sub>2</sub> との反応生成物で間隙を埋めて漏洩を修復する方法（原位置反応法）を提案して検証を行っている。その一環として、原位置反応過程の数値シミュレーション法を構築し、実規模での挙動を予測することに成功した。

7. 研究テーマ：スラッシュ流体の固液二相管内流動・伝熱特性に関する研究

・担当者：大平勝秀

・主な成果をあらわす図

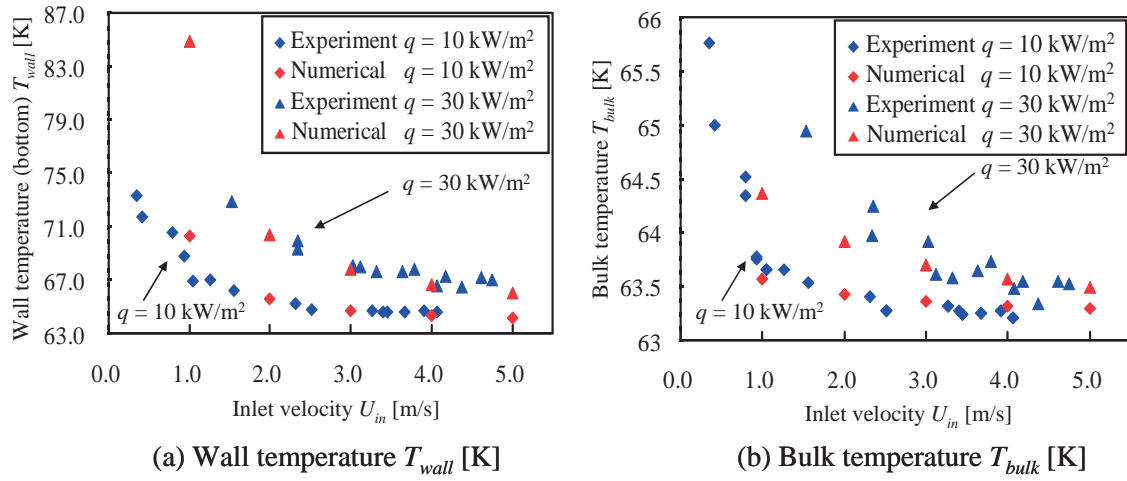


図 13 管壁およびバルク温度分布の数値解析結果と実験結果との比較

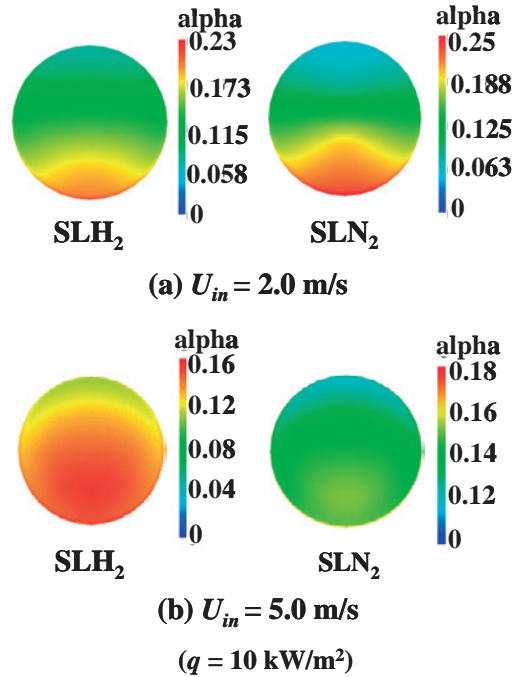


図 14 熱流束  $10 \text{ kW/m}^2$  における管断面での固相率分布（数値解析結果）

- ・主な活動

極低温液体水素中に固体水素粒子が混在する固液二相スラッシュ水素(SLH<sub>2</sub>)を利用する高効率水素エネルギーシステムの開発を行っている。図 13 は入口流速を変化させた場合の水平伝熱管内を流動するスラッシュ窒素(SLN<sub>2</sub>)の管壁およびバルク温度の数値解析結果と実験結果の比較を示す。高熱流束(30 kW/m<sup>2</sup>)かつ低流速(1 m/s)のバルク温度を除き、良い一致を示しており、熱伝達係数が精度良く推定可能となった。図 14 は流動・伝熱時のスラッシュ水素とスラッシュ窒素の低流速および高流速での管内固相率(alpha)分布の数値解析結果を示す。伝熱が無い場合と同様に、スラッシュ水素の場合、比較的low流速でも流路底部に固体粒子が集中しにくくなり、高流速ではより同心円状に固体粒子が分布する。固液の密度比がスラッシュ水素の方が小さく、また、液体水素の粘性も小さいため、スラッシュ窒素と比較して低流速で均質流となり易い。ポンプ動力低減に寄与する管内圧力損失低減効果がスラッシュ窒素では均質流で現われる実験結果を既に報告しており、スラッシュ水素の場合、圧力損失低減効果がより低速で出現する結果を得た。

## 8. 研究テーマ：高温高压水環境での流れ加速型腐食における Cr の作用機構

- ・担当者：渡辺 豊
- ・主な成果を表す図

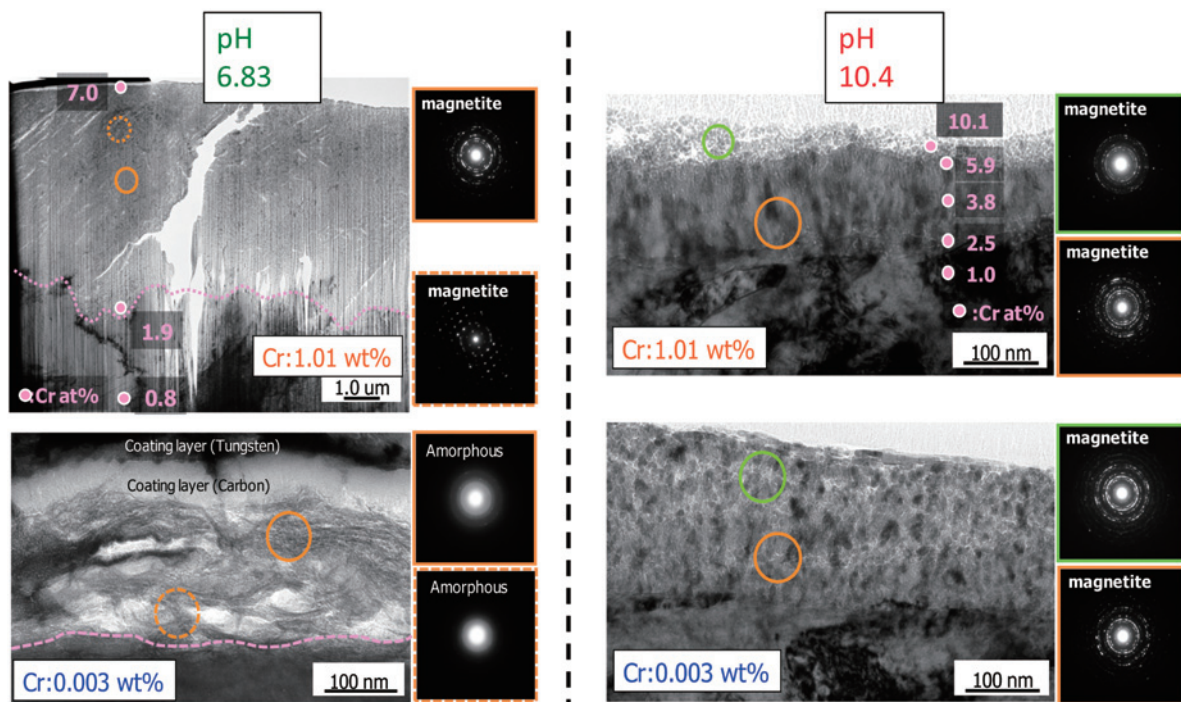


図 15 流れ加速型腐食において形成された皮膜の断面 TEM 観察像



- ・主な活動

炭素鋼配管の流れ加速型腐食（Flow Accelerated Corrosion: FAC）は、軽水炉の冷却水バウンダリーの信頼性に大きな影響を及ぼす重要な経年劣化現象である。FAC による配管減肉速度を支配する主要因子のうち、鋼中に含まれる微量な Cr ならびに環境水 pH の効果を実験により調べるとともに、減肉メカニズム究明の一環として鋼材表面に形成される酸化皮膜の特徴を調査した。Cr フリー鋼の皮膜は欠陥が多いのに対して、微量 Cr 含有鋼には、緻密（欠陥が少ない）な皮膜が形成されること、また、表面に近いほど皮膜中の Cr 濃度が高いことなどの特徴が明らかとなった。

## 9. 研究テーマ：電磁超音波試験に基づく流動誘起減肉の定量的評価

- ・担当者：内一哲哉
- ・主な成果を表す図

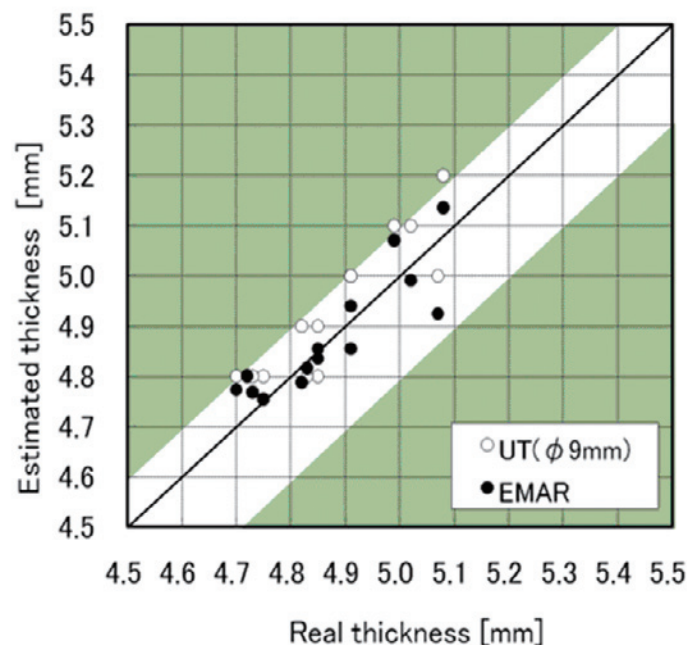


図 16 実機模擬減肉試験体の測定結果

- ・主な活動

原子力・火力発電設備において、流れ加速型腐食や液滴衝撃エロージョンなどによる配管減肉の管理方法が課題となっている。電磁超音波共鳴法は、高い評価精度を有することから材料の弾性定数や板厚の測定に適用されている。試験体内の定在波による共鳴周波数に着目して評価することから通常、平板等の単純形状を有するものを対象とする。本研究では、電磁超音波共鳴法を用いて配管減肉の定量的評価を試みた。そのために、複雑な共鳴スペクト

ルから共鳴周波数を同定する信号処理法を検討した。最後に得られた信号処理法を用いて、二相流模擬減肉試験装置を用いた模擬減肉試験体を測定評価した。図 16 は、本手法による肉厚の測定結果であり、誤差の標準偏差が 0.06mm という高い精度で評価が可能であることが示された。

#### 10. 研究テーマ：巡回キャビテーションの伝播方向に関する研究

- ・担当者：伊賀由佳
- ・主な成果をあらわす図

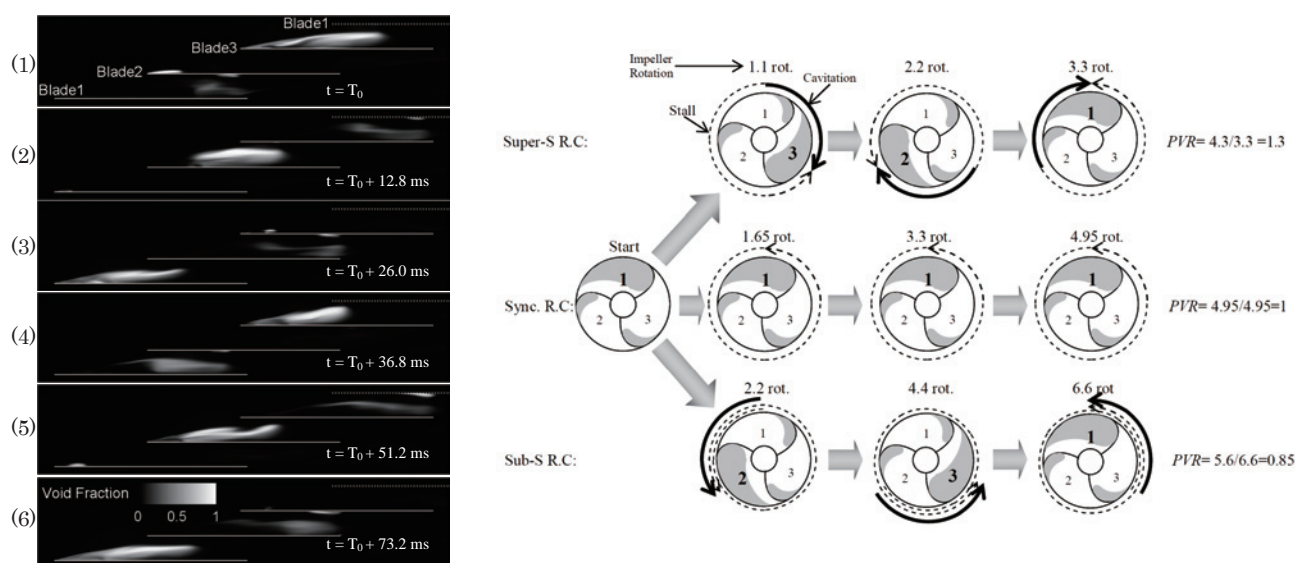


図 17 超同期巡回キャビテーションの様相（左図）と 3 種の巡回キャビテーションの伝播メカニズムの模式図（右図）

#### ・主な活動

液体ロケットターボポンプでは、通常の回転流体機械とは逆向きの伝播方向を持つ不安定現象が発生する。これは、超同期巡回キャビテーションと呼ばれ、その伝播のメカニズムはこれまでわかっていなかった。また、液体ロケットターボポンプでは、圧力低下に伴い、巡回キャビテーションは超同期→同期→亜同期の順に発生し、それらの伝播速度は不連続的に切り替わることが実験的に知られている。本研究では、巡回キャビテーションの発生順と、切り替わり時の伝播速度の不連続性について、統一的に説明できるメカニズムを提案した。本研究は、アメリカ航空宇宙学会の推進機部門の国際誌 *Journal of Propulsion and Power* に掲載予定である。

# 11. 研究テーマ：超音速複葉翼理論の研究

- ・担当者：大林、浅井、中橋、山下(GCOE フェロー)
- ・主な成果をあわす図

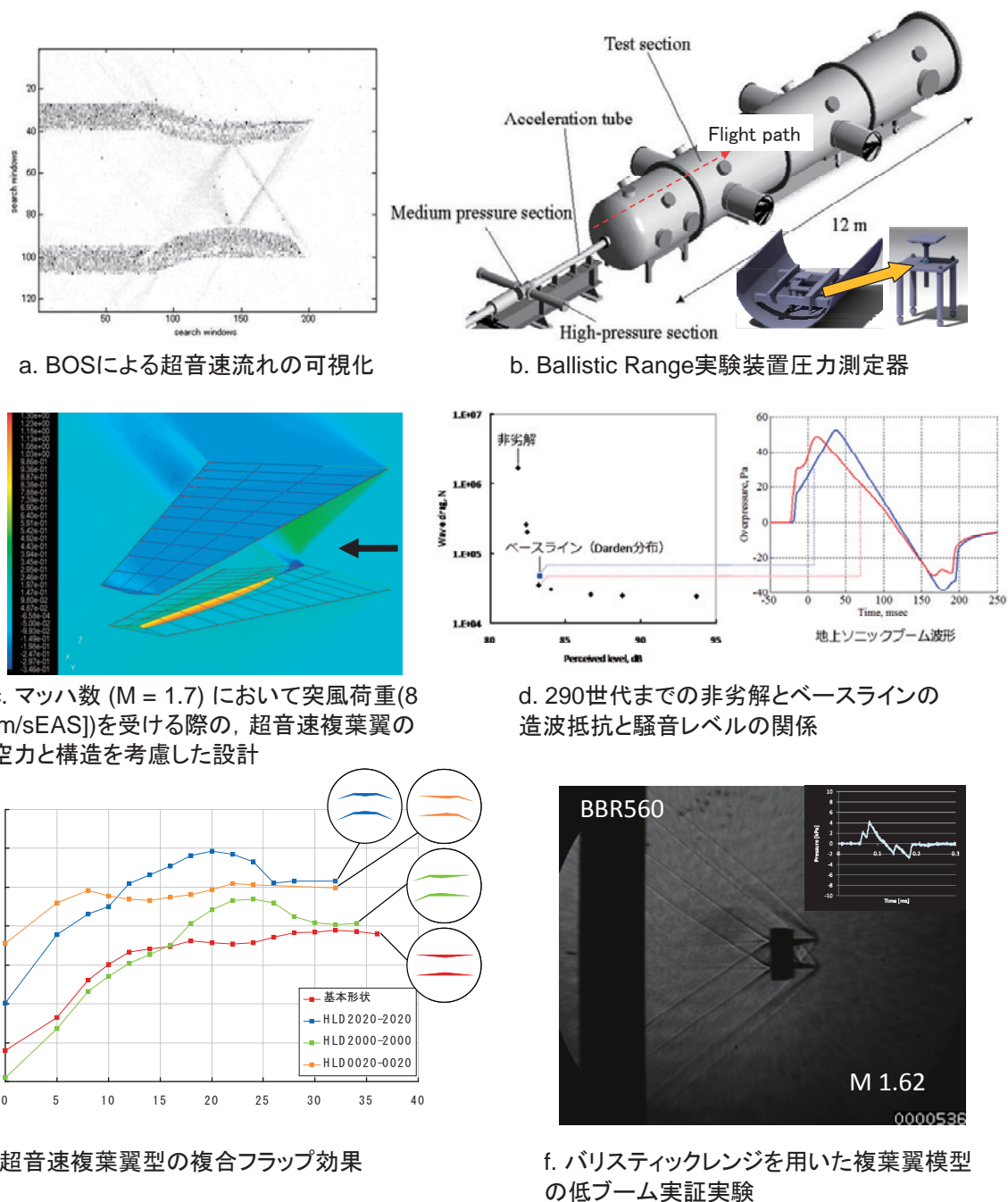


図 18 超音速複葉翼に関する計算・実験融合研究成果

## ・主な活動

超音速機開発における重要課題であるソニックブーム騒音の解決を目標に定め、超音速複葉機の機体成立性に関する研究や飛行実証技術の構築に取り組んでいる。大林や中橋が開発

した数値計算手法および最適化手法を用い、複葉超音速機の概念設計を進めている。また浅井や山下は本グループの実験を担当し、亜音速から超音速まで幅広いマッハ数で実験を行っている。数値計算の実証に加えて、屋外飛行実証実験で必要となる計測技術の構築にも取り組んでいる。以下、本年度の研究成果を紹介する。

図 18a は超音速複葉翼の衝撃波干渉を **Background-Oriented Schlieren (BOS)** 法を用いて可視化した結果である。BOS 解析により簡易光学系によって超音速複葉翼から発生する圧縮・膨張波が可視化可能であることを示した。本手法を発展させ、屋外超音速飛行実験において大気中を伝播するソニックブームの定量計測を目指す。図 18b は東北大学流体科学研究所所有の **Ballistic Range** と設計された近傍場圧力測定装置を示す。本装置の上板には圧力センサーが取り付けられており、超音速飛行する模型直下の近傍場圧力波形を測定することができる。今後、実験装置の信頼性を検証するとともに超音速機の研究開発に活用する。図 18c はマッハ数  $M_\infty = 1.7$  において突風荷重 (8[m/sEAS]) を受けた際の、超音速複葉翼の空力と構造を考慮した設計例である。想定される飛行プロファイルを作成し、それに適した構造設計を進めている。図 18d は 290 世代までの非劣解とベースラインの造波抵抗と騒音レベルの関係を示す。最適化に適したソニックブーム騒音レベル評価方法を開発し、騒音レベルと造波抵抗の最小化を行った結果、ベースラインより優れた解が得られた。図 18e は超音速複葉翼の翼型を翼弦 30% 長で折り曲げた高揚力形状について、東北大学所有の低乱熱伝達風洞実験により揚力特性を得た結果である。超音速複葉翼におけるフラップの効果が明らかになるとともに、上翼下翼共に前縁と後縁を 20° 折り曲げた形状で最大揚力係数が約 2.5 まで上昇することが確認された。図 18f は名古屋大学所有のバリスティクレンジを用いた複葉翼模型の超音速自由飛行実験の可視化結果と、計測された圧力波形を示している。モデルごとの計測波形を比較することで低ブーム性能を実証に取り組んでいる。以上得られた成果を踏まえ、超音速複葉翼実験機の飛行実証実験へ向けた機体設計を進める。

## 12. ジョイントラボラトリー：国際連携研究による実用化設計探索手法の開発

- ・担当者： 大林、中橋、鄭、佐々木
- ・主な活動

2011 年 2 月にドイツ・航空宇宙研究所 (DLR) ブランシュバイクにて **MultiDisciplinary/Multi-Objective Optimisation Workshop** を開催、イタリアトリエステ大学、フランス ONERA・INRIA、オランダ NLR、イタリア CIRA 等のヨーロッパの航空宇宙関係の研究所、三菱重工ヨーロッパ、ホンダヨーロッパ、エアバス等のメーカーから代表者が参加して、最適化と可視化を利用した設計探索について議論を行う。



## 6.2.6 GCOE 融合フロンティアプロジェクト総括

6.2.1 総括 でも触れたように、「流動ダイナミクス」は宇宙・環境・エネルギー・食糧・ライフサイエンス・医療・産業経済活動の為の技術等、人間の生活に密接に関連する広範な学問分野で、「純粹基礎理論」から「先端技術としての活用」までを扱う「総合学術領域」である。従って「流動ダイナミクス」は単に「学問的に基礎物理現象を解明する」という立場にとどまる事はなく、その広い応用範囲と実戦的突破力を用いて人類が直面する様々な問題を解決し、文明の進化と高い福祉の実現のために、得られた研究成果や知見を積極的に活用して行く必要がある。

上記の観点から本 GCOE では昨年度、5つの「**GCOE 融合フロンティアプロジェクト**」を立ち上げ、本 GCOE に所属するの全ての研究者（事業推進担当者と研究協力者）が、例外なく、1つ以上のプロジェクトに参加することにした。それらは、癌治療法に流動ダイナミクスの知見を融合・導入する「**流動ダイナミクスと医療の融合**」プロジェクト、原子力発電プラントの保全・安全運転に関して、流動ダイナミクス研究で得られる最新の研究成果と技術をもって対応する「**原子力発電プラントの流動誘起損傷のメカニズム解明と評価**」プロジェクト、鉄道並みの利便性を持つ航空機の開発を目指す「**次世代環境適合型航空機の研究**」プロジェクト、広くナノ・マイクロ領域における流動現象を深く追求し具体的にデバイス・プロセスの実現につなげる「**ナノ・マイクロプロセス**」プロジェクト、そして、本 GCOE でも特に多くの研究者が関わっている「**エネルギーと環境の問題**」に関して、既存エネルギーの有効活用、核融合や新エネルギーの可能性についての検討、更には水質浄化等の環境問題について総合的な検討を行う「**エネルギー・環境**」プロジェクト である。

「**流動ダイナミクスと医療の融合**」プロジェクトでは今年度、1) 現遺伝子の発現可視化技術の確立、2) 傾斜遠心顕微鏡を用いた HL60 細胞の挙動解析、3) レーザー治療における生体組織内の光伝播・熱伝導連成解析、および、4) 微小血管バイオモデルの開発を行い成果を上げた。

「**原子力発電プラントの流動誘起損傷のメカニズム解明と評価**」プロジェクトでは今年度、1) 軽水炉炭素鋼配管の流れ加速型腐食における鋼材成分および水質複合効果の評価、2) 減肉の可視化によるメカニズムの検討、3) 配管減肉の高精度オンラインモニタリングに関する研究、4) 原子力発電所における配管減肉予測システムの開発に関する研究、および、5) 配管実働ひずみの遠隔計測システムの開発に関する研究 を行い成果を上げた。

また、原子力発電プラントの安全運転・保全に関する国際連携活動を精力的に展開し、6) 2010 年 7 月に東北大学で、中国、韓国、日本からの博士課程学生合計 15 名を招聘し、「保全科学サマースクール (Maintenance Science Summer School 2010)」を開催、7) 2010 年 11 月の ICFD2010 開催に合わせて、世界 8 カ国から 110 名参加のもと、仙台国際センターで「原子力発電所のための保全科学と保全技術に関する国際セミナーを開催、さらに、7)

「原子力発電所のための保全に関する国際共同研究」をフランス、韓国、ハンガリーおよび中国の協定校等との間で精力的にすすめた。

「次世代環境適合型航空機の研究」プロジェクトでは、鉄道並みの利便性を持つ次世代環境適合型航空機と、飛躍的に環境適合性を高めるハイブリッドロケットの研究を精力的に進めることにしており、ICFD2010 では、1) Fluid Dynamics Aspects of Environmentally Advantageous Hybrid Rockets についてと、2) Aviation Research in Aspects of Environment についてとの2つのオーガナイズドセッションを開催して国内外から数多く参加者を得て、発表と討議を行った。また研究面では、3)「キャビティ空力音の受動的抑制における渦構造の役割の解明」、および、4「ハイブリッド風洞に対するアンサンブルカルマンフィルターの適用」の研究を行い成果を上げた。

「ナノ・マイクロプロセス」プロジェクトでは今年度、1)「オンウェアモニタリングシステムによる高精度プラズマ加工プロセス制御」、2)「微細固体窒素粒子ジェット利用型アッシングレス半導体スーパー洗浄システムの開発」、3)「大気圧水蒸気プラズマ流による滅菌法の開発」、4)「燃料電池内部の物質輸送現象に関する研究」、および、5) 研磨多結晶ダイヤモンド膜における摩擦特性の摺動速度依存度評価」の研究を行い成果を上げている。

「エネルギー・環境」プロジェクトでは今年度、1)「ナノヘテロ界面を利用した高出力密度、長時間作動型電気化学デバイスの開発」、2)「革新的燃料電池マルチスケール計算化学シミュレーション」、3)「水素エネルギーの輸送・貯蔵媒体としてのスラッシュ流体の管内流動・伝熱特性」、4)「LNG ポンプに発生するキャビテーションの熱力学的効果に関する研究」、5)「水素漏洩のリスク回避のためのセンシングに基づく換気制御」、6)「流動点効果を目指したバイオマス燃料(BDF)の高機能化」、および、7)「水質浄化を目指した光化学反応・プラズマ援用によるマイクロバブルジェットの高機能化」等の研究を行い成果を上げた。

### 6.2.7 GCOE 融合フロンティアプロジェクト

「流動ダイナミクスと医療の融合」プロジェクト

グループリーダー：圓山 重直

メンバー：小玉 哲也、太田 信、畠山 望、白井 敦、小宮 敦樹

本プロジェクトでは、ハイパーサーミアなどの温熱療法に代表される癌治療法に関して、流動ダイナミクスと医療の融合を目指した取り組みを行っている。流体科学・熱科学の観点から、癌細胞への血流量評価、癌細胞の転移メカニズムの解明や診断を行い、また凍結・温熱療法を用いて、熱物性値の評価による癌治療・診断法の確立を目指している。本年度は癌遺伝子の発現と微小血管バイオモデルの製作と血管内での細胞の挙動、および癌治療に用いられるレーザー治療法における生体組織内伝熱解析に焦点をおき、研究を遂行してきた。

#### (1) 癌遺伝子の発現可視化技術の確立

本研究では、ナノバブルと超音波を用いたがん遺伝子治療法の開発を目的に、PET イメージング用レポーター遺伝子である NIS 遺伝子をナノバブルと超音波でマウス骨格筋に導入し、その発現を小型半導体 PET(Fine-PET)で可視化した。Fine-PET の FOV の中心空間分解能は 0.8mm である。NIS 遺伝子はヨウ素を取り込む働きがあり、本研究では東北大学サイクロترون RI センターで製造したヨウ素 124 を使用した。図 1 左(L)は正常マウスの骨格筋に NIS 遺伝子を導入し、その発現を PET で観察し、図 1 左(R)はコントロールである。図 1 右(L)は炎症性疾患マウスであり、図 1 右(R)はコントロールである。

本実験では、ナノバブルと超音波によって NIS 遺伝子を導入し、その発現を PET で可視化することができた。本研究手法は将来の臨床試験に応用されるものと期待される。

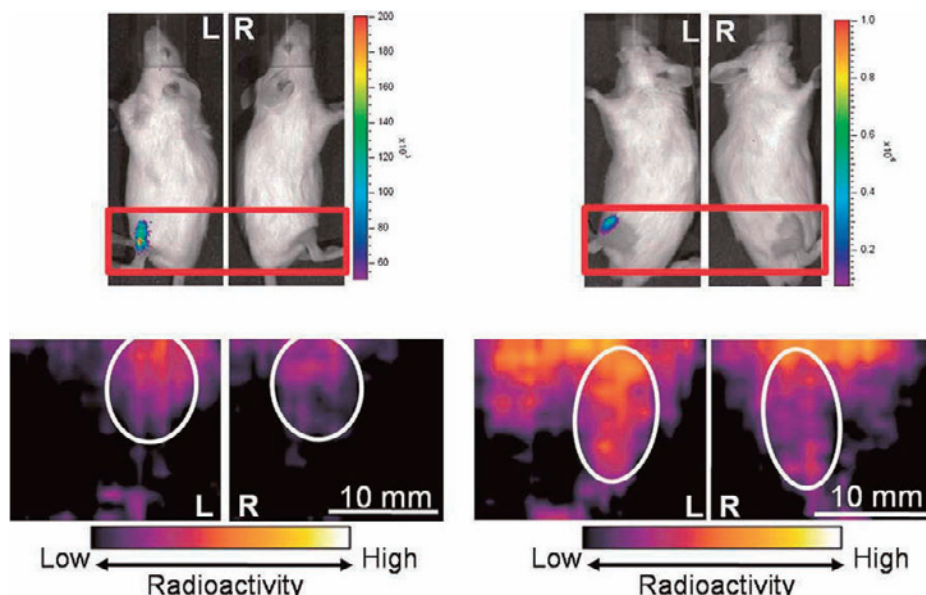


図 1 PET による可視化結果

#### (2) 傾斜遠心顕微鏡を用いた HL60 細胞の挙動解析

好中球は、白血球の中で最も多数を占める血球で、人体の免疫機構において病原菌株の侵入に対して最前線で戦う細胞である。この好中球は細静脈に多数存在し、その血管表面を転

がりながら移動することが知られている。一方、血管の内表面は血管内皮細胞に覆われており、血流の専断応力によって流れ方向に配向することが知られている。これまで、血管内皮表面上を転がる向中球の挙動に関して、血球表面と内皮細胞表面との接着分子の影響に注目した研究は数多く行われてきたが、血管内皮の表面形状が血球の挙動に与える影響については注目されてこなかった。本研究では、図 2 に示す傾斜遠心顕微鏡を用いて、ガラス平板上に培養した正常ヒト臍帯静脈内皮細胞 (HUVEC) 上における好中球のモデル細胞として広く用いられる HL60 細胞の挙動を解析した。その結果、図 3 に示すように HL60 細胞が HUVEC の核を避けるように移動する様子が観察された。また、HUVEC の配向の有無およびその方向によって血球の移動速度ベクトルの分布に変化がみられることが明らかになった。

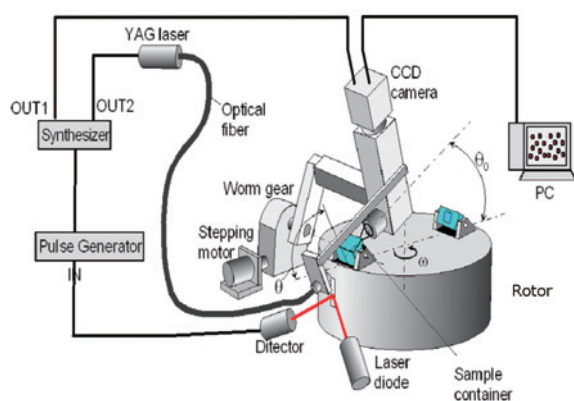


図 2 傾斜遠心顕微鏡模式図

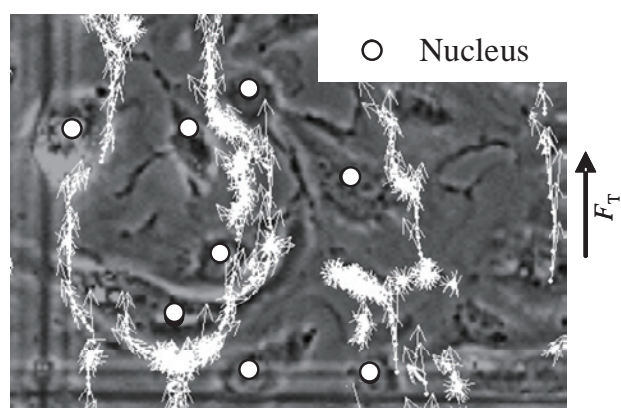


図 3 HUVEC の核を迂回する HL60 の軌跡

### (3) レーザー治療における生体組織内の光伝播・熱伝導連成解析

本研究では、レーザーによるハイパーサーミアを想定し、癌治療等に使用されている波長  $1.064 \mu\text{m}$  の YAG レーザーに着目して、生体組織がレーザー治療時にどのような温度挙動を示すかを数値解析により評価した。また、生体組織表面を効果的に冷却すれば、過熱を防いだ状態で内部のみを温度上昇させることができると予測できることから、対流による冷却を考え、熱伝達係数が表面組織温度に与える影響について考察した。本研究ではモデルを厚さ  $50 \text{ mm}$  の均一組織とし、物性値は皮膚の値を用いた。熱伝導解析における境界条件は皮膚表面を断熱および熱伝達境界条件とし、生体組織深部は温度一定 ( $37^\circ\text{C}$ ) とした。出力、照射時間の違いによる温度分布を図 4 に示す。通常の条件でレーザー加熱を行うと、出力  $1 \text{ W/cm}^2$  では表面付近の温度が  $70^\circ\text{C}$  を超えてしまうため、火傷を起こしてしまう危険性が高いことが分かる。次に組織表面を強制対流により水冷した場合の温度分布を図 5 に示す。最高温度点は組織内部に存在し、組織表面は対流熱伝達によって低温が維持されているという結果が得られた。

YAG レーザーを用いたレーザー治療において、レーザーの出力・照射時間を調節することで、生体深部の組織を治療に適した温度に制御できることが期待される。



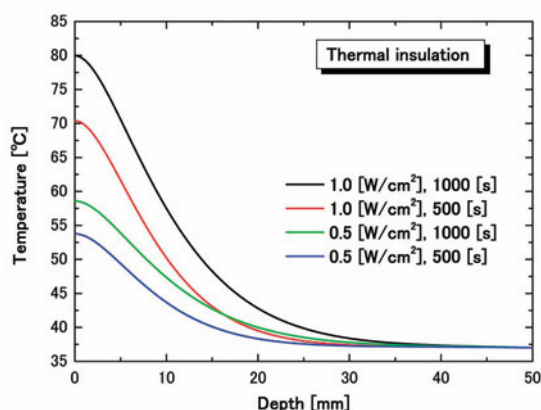


図 4 YAG レーザー出力による  
生体組織内温度分布

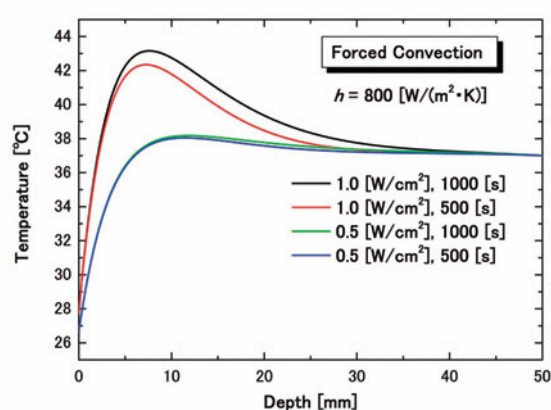


図 5 表面強制対流冷却時における  
生体組織内温度分布

#### (4) 微小血管バイオモデルの開発

本年度は微小血管の原型となる狭窄モデル、特に血管変形能(各部位でのコンプライアンス)の違う血管バイオモデルを PVA-H(ポリビニルアルコールハイドロゲル)を用いて作製する加工法の開発を行った。PVA は様々な血管の粘弾性と表面の摩擦係数を再現できる材料であり、注目されている。

図 6 は、70%狭窄を起こした血管モデルの画像であり、赤色の部分が狭窄部であり、狭窄部は他の血管部より約 20%動的弾性率が高い状態となっている。図 7 は、そのマイクロ CT による 3 次元再構築図であり、再構築された形状の精度は、金型の形状から 5%以内に収まっており、非常に高精度に再構築できたと考えられる。

これらの加工法の開発は、今後微小血管の形状開発の要素技術となり、微小血管形状と物性が細胞(特にがん細胞)の移動(転移)に与える影響を調べるのに重要となると考えられる。

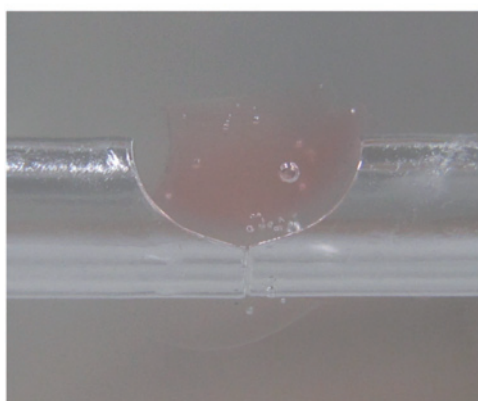


図 6 70%狭窄血管モデル(血管の  
直径は 4mm)

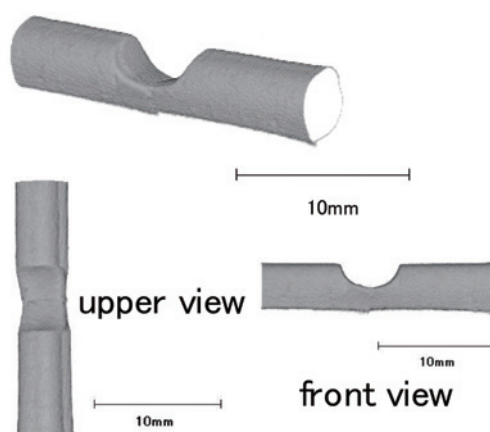


図 7 血管モデルのマイクロ CT に  
よる 3 次元再構築画像

## 参考文献

Y. Watanabe, S. Horie, Y. Funaki, Y. Kikuchi, H. Yamazaki, K. Ishii, S. Mori, G. Vassaux, T. Kodama, Delivery of Na/I symporter gene into skeletal muscle by using nanobubbles and ultrasound: Visualization of gene expression by positron emission tomography, *Journal of Nuclear Medicine*, Vol.51 (2010), pp.951-958.

A. Shirai and T. Hayase, A Stabilization Technique of Wobbly Images taken by the Inclined Centrifuge Microscope, 6th World Congress of Biomechanics Abstracts, (2010), pp.598 CD-ROM.

H. Uranuma, A. Shirai and T. Hayase, Experimental Study on Effect of Direction of Endothelial Cells' Orientation on Motion of HL60 Cells, *Proceedings of Seventh International Conference on Flow Dynamics*, (2010), pp.620-621.

H. Sato, A. Shirai and T. Hayase, Observation of Velocity of Antibody-modified HL60 Cells on Glass Plates using the Inclined Centrifuge Microscope, *Proceedings of 4th East Asian Pacific Student Workshop on Nano-Biomedical Engineering*, (2010), pp.62-63.

## 6.2.8 GCOE 融合フロンティアプロジェクト

「原子力発電プラントの流動誘起損傷のメカニズム解明と評価」プロジェクト  
 グループリーダー：高木 敏行

サブリーダー：内一 哲哉、遊佐 訓孝

メンバー：橋爪 秀利、江原 真司、石本 淳、小原 拓、三浦 英生、伊賀 由佳、渡辺 豊

### 1. 流動誘起減肉のメカニズム解明と評価

原子力発電設備の管理において、冷却材の流れによって加速される損傷を制御することは重要な課題である。本プロジェクトでは特に配管減肉に着目して、その合理的な管理に必要なメカニズムと評価に関する取り組みを行なった。配管減肉現象は、流動と材料との相互作用により生ずるものであり、そのメカニズムを解明するためには、流動研究と材料劣化研究との融合が必要である。さらに、材料と流体とのミクロな界面現象から配管システムの流動に至るまでの様々なスケールで議論を行なう必要がある。本プロジェクトにおいては、様々な分野の研究者が参加し、以下に示す要素研究とその統合に関する取り組みを行なった。

#### 1) 軽水炉炭素鋼配管の流れ加速型腐食における鋼材成分および水質複合効果の評価

・担当者：渡辺 豊

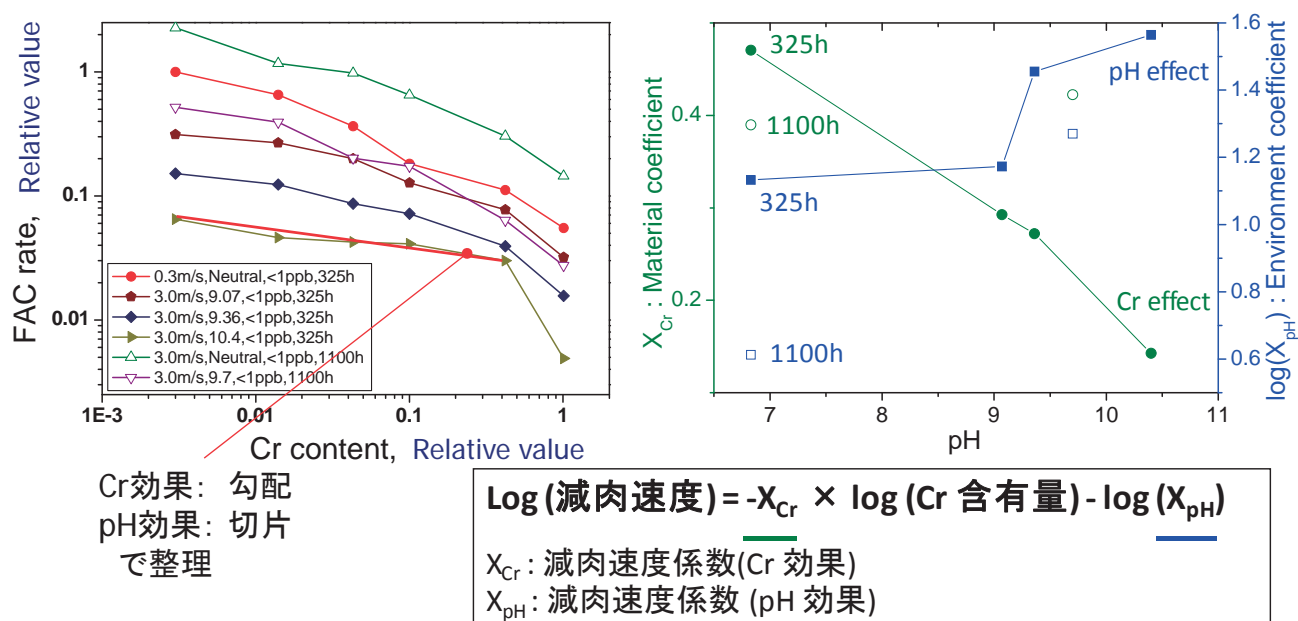


図1 Cr 効果及び pH 効果が減肉速度に及ぼす影響とその実験式

炭素鋼配管の流れ加速型腐食（Flow Accelerated Corrosion: FAC）は、軽水炉の冷却水バウンダリーの信頼性に大きな影響を及ぼす重要な経年劣化現象である。FAC による配管減肉速度の主要因子である鋼中に含まれる微量な Cr ならびに環境水 pH について、それらの複合効果を実験により調べた。これらのパラメータ影響は、図1中に記載されている実験式によって整理できることが分かった。

## 2) 減肉の可視化によるメカニズムの検討

主担当者：江原真司、橋爪秀利

近年重要視されている流動起因の配管減肉は大きく分けて二つある。流れ加速型腐食（FAC）と液滴衝突エロージョン（LDI）である。前者は主に液単相流による減肉で、後者は気液二相流での液滴による減肉であり、両者ともオリフィスやエルボ等の流れが複雑となる配管要素近傍で生じることが多々報告されている。

FAC の研究ではエルボ等の組み合わせとその要素への流入条件に着目し、生じる複雑乱流場を PIV 可視化計測により詳細に解析を行っている。図 2 は S 字二段エルボレイアウトにおける二段目エルボでの可視化結果を示しており、流入条件としては発達乱流、偏流、旋回流を用いた場合の乱流エネルギー分布である。いずれの流入条件の場合にもエルボ腹側において高速領域が現れ、また図のように乱れの大きい領域が現れることが分かった。

LDI の研究では、液滴がどのように生成されるかに着目し、特にオリフィス近傍配管内の液膜からの液滴生成に着目し、高速度カメラを用いた可視化実験を行っている。液膜厚さや気流速度と生成液滴径の関係など、現象の定量的な解明はまだこれからの課題であるが、オリフィス上流・下流での生成メカニズムは実験により明らかとなった。

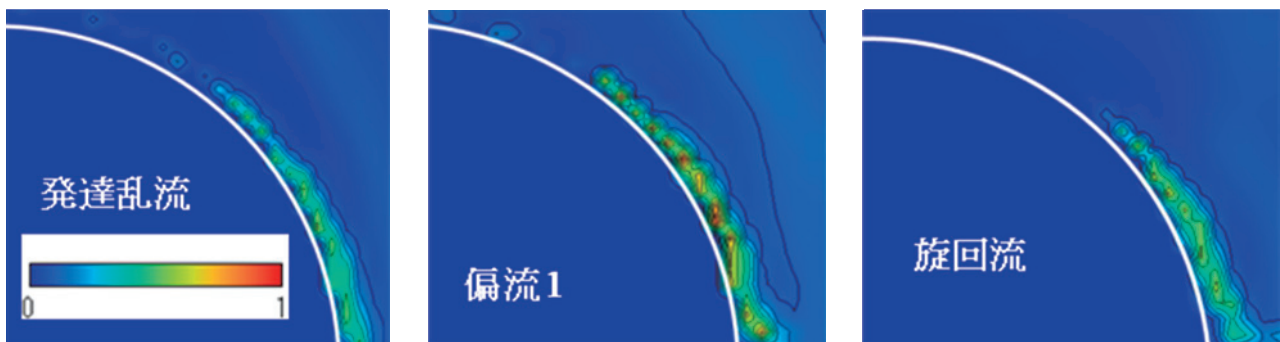


図 2 流入条件を変えた時の S 字二段エルボの二段目エルボ腹側での乱流エネルギー分布

## 3) 配管減肉の高精度オンラインモニタリングに関する研究

主担当者：高木敏行、内一哲哉

配管減肉現象のメカニズムの議論のためには、減肉を非破壊評価法に基づいて、連続的にかつ高精度に評価する必要がある。電磁超音波共鳴法は、非接触で配管肉厚を高精度に評価できることから、高温環境における配管減肉のオンラインモニタリングに適している。本研究では、300℃の高温環境に耐えうる電磁超音波探触子を開発し、実機に近い条件で稼働する減肉試験ループのオンラインモニタリングに適用した。

図 3 は、東京電力株式会社・二相流模擬減肉試験装置の配管減肉のモニタリング結果を示したものである。減肉試験の条件は、配管材質 STPT370、50A sch80、内径 49.5mm、外径 60.5mm、公称肉厚 5.5mm であり、温度 165℃、流速 4m/s、溶存酸素濃度 < 1ppb である。2 ヶ月で 0.2 mm 程度進展した微小な減肉を安定的に評価できることが示された。

## 4) 原子力発電所における配管減肉予測システムの開発に関する研究

主担当者：石本 淳、伊賀由佳

原子力発電所における配管レイアウトは非常に複雑であり、様々な流動条件で配管内を冷却水が循環していることから、現在のところ減肉現象を事前に予測あるいは未然に防止する



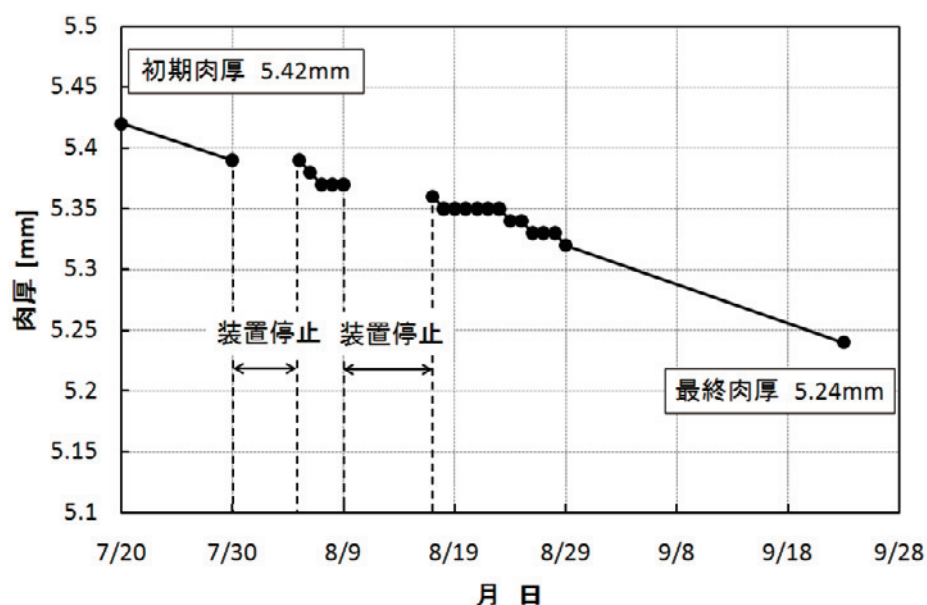


図3 電磁超音波共鳴法による配管肉厚のオンラインモニタリング

ことは非常に困難である．本研究は，原子力発電所の配管系と高速熱流動をスーパーコンピュータ上に再現し，トラブルの発生箇所・原因を事前に予測するシステムを確立することを目的とする．本システムの実用化により，原子炉保守・点検に要する時間的・人的コストは大幅に軽減化し，極めて安全性の高い原子力発電の運用が可能になると言える．

本年度実施した数値計算結果より，蒸気流の湿り度が上昇した場合，オリフィス下流は超音速流れになり，テーパ型 オリフィスでは流速の急激な上昇が起こる可能性があることが明らかとなった．図4は、本システムにより得られた原子力エルボー配管内液滴粒径分布の一例である。

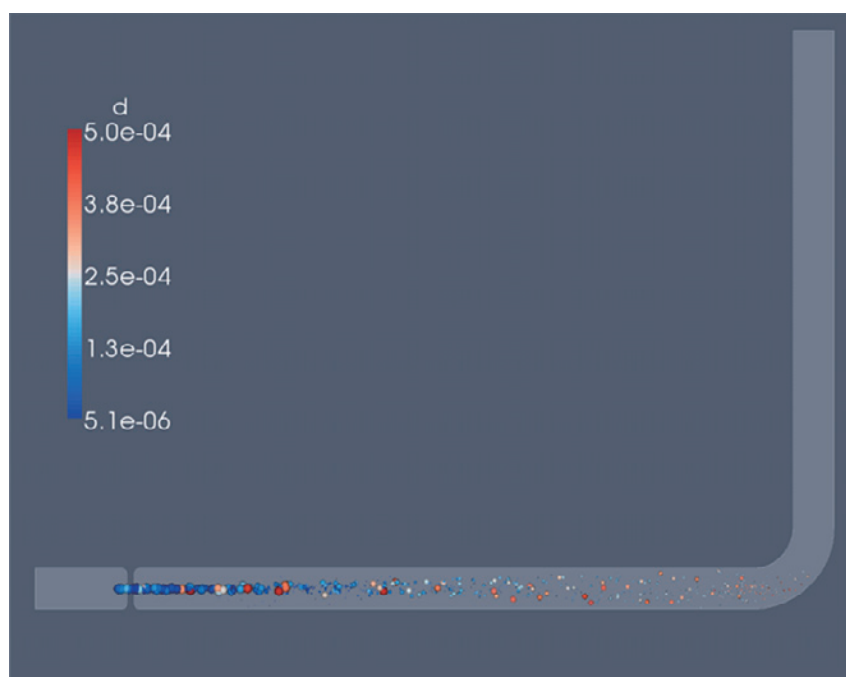
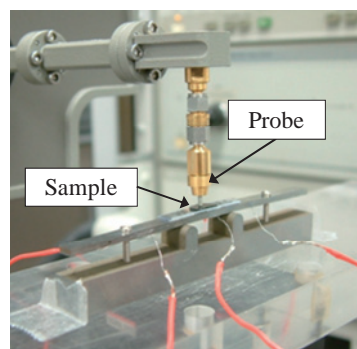
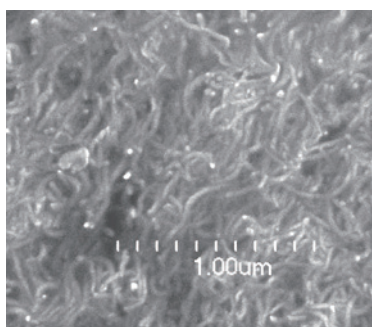


図4 原子力エルボー配管内液滴粒径分布

## 5) 配管実働ひずみの遠隔計測システムの開発に関する研究

主担当者：三浦英生

電磁ノイズが厳しい環境でも実動負荷ひずみを実時間で遠隔モニタリングする技術としてカーボンナノチューブ(CNT)を応用した超高感度ひずみセンサの開発を推進している。多層カーボンナノチューブを樹脂中に分散させた複合材料の高周波インピーダンスがひずみにより著しく変動することを明らかにした。測定された直流抵抗成分の最大ゲージ率は約400である。本年度は、周波数99.5 GHzのマイクロ波を応用し、一軸ひずみ負荷によるインピーダンス変化を非接触計測可能であることを実証した。図5は熱硬化性のエポキシ樹脂中のカーボンナノチューブ分散状態の観察例とマイクロ波を応用した非接触インピーダンス変動計測システムの外観図である。



(a)エポキシ樹脂中のCNT分散状態観察例 (b)マイクロ波応用インピーダンス計測系

図5 実動ひずみの遠隔モニタリングシステムの基本要素

## 2. 国際連携活動

### 1) 保全サマースクール

主担当者：高木敏行、遊佐訓孝

我が国を含むアジア諸国における原子力保全に関わる若手育成に資することを目的として、「保全科学サマースクール2010 (Maintenance Science Summer School 2010)」と題したサマースクールを、2010年7月19日(月)から25日(金)にかけ、本グローバルCOEプログラム「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」の共催により、東北大学流体科学研究所において開催した。

本サマースクールは、原子力分野における人材育成を目的として、日中韓の大学院学生を対象として実施したものである。サマースクールの参加者は、南京航空航天大学 Aeronautical Science Key Lab for Smart Material and Structures から博士課程学生1名、清華大学 School of Aerospace から博士課程学生3名、華北電力大学 School of Nuclear Science and Engineering から博士課程学生1名、西安交通大学航空航天大学から博士課程学生1名、韓国の成均館大学 School of Mechanical Engineering から博士課程学生1名、神戸大学システム科学専攻から修士課程学生1名、東京大学原子力国際専攻から博士課程学生1名、大阪大学マテリアル生産科学専攻から博士課程学生1名、東北大学エネルギー安全科学国際研究センターから研究員1名、東北大学量子エネルギー工学専攻から博士課程学生(社会人)及び研究員各1名、東北大学流体科学研究所から博士課程学生及び修士課程学生各1名、の計15名であった。国内外からの参加者数は、ほぼ半々ではあるが、国内大学からの参加者8名中4名は中国からの留学生であり、参加者の国籍としては日本4名、中国1

0名、韓国1名である。

サマースクールの内容は、主として、講義（座学）、学生発表、女川原子力発電所見学、そして東北大学内研究室の見学及び研究室における実習とした。図6にサマースクールの様子を示す。参加者の共通言語が英語であるため、全ての講義、発表、アナウンス、課題などは英語にて行った。

講義は、大学、電力事業者、電力研究所から7名の講師をお招きし、保全科学の全体像と、保全科学を構成する重要要素である、材料、検査、補修それぞれについての講義を行った。これらの講義は特に参加者からの評価が高く、サマースクール後実施したアンケートの結果では、約半数の参加者が最も有益だったものとして講義を挙げていた。

学生発表は、自身の研究を他の参加者に説明するというものであった。質疑応答にも十分な時間を取った。2回目以降は座長も学生に務めさせるなど、自主的な運営を行わせることとした。初回はかなりの戸惑が感じられたが、日を迫うに従って議論が活発となり、また司会進行もスムーズになってゆくなど、明らかな変化を見て取ることができた。

女川原子力発電所見学は東北電力株式会社殿のご協力を得て、サマースクールの中日である7月21日に実施した。本見学はこれまでに原子力発電所を訪れたことがなかった約半数の参加者にとっては、特に印象深かったようである。

研究室見学及び研究室実習は、東北大学の庄子研究室、小川研究室、高木研究室にて行った。参加者全員で3研究室を見学した後、翌日に研究テーマが比較的近いと考えられる研究室において、約1時間半の実習及び研究に関する議論を行った。

以上に加えて、参加者間の親睦を深めることを目的としたWelcome Party、加茂綱村太鼓経験、東北大学史料館と魯迅の階段教室訪問、Farewell Party等をサマースクール期間中に行った。また、Farewell Party後は学生のみで別途打ち上げを行ったようである。本サマースクールを通じて、参加者間の交流が今後も続くようであれば主催者側としても望外の喜びである。



図6 サマースクールの様子

## 2) 原子力発電所のための保全科学と保全技術に関する国際セミナー

主担当者： 高木敏行、橋爪秀利

原子力発電設備の保全の重要性は国の内外で高まりつつある。原子力発電設備の保全は、冷却材の流動ダイナミクス、構造材料、検査技術に関する知を融合させることによりはじめて、新しい展開をはかることが可能となる。また、保全に関する研究および技術に関して国



際的に連携する動きが、日本保全学会を中心に展開されつつある。以上の背景から、原子力発電所のための保全科学と保全技術に関する国際セミナーを2010年11月2日（火）から4日（木）の3日間、宮城県仙台市の仙台国際センターにおいて本グローバルCOEプログラムと日本保全学会との主催で開催した。世界8カ国から110名の参加のもと、3件の特別講演と13件の招待講演があった。

国際セミナーは、宮健三日本保全学会会長による歓迎の辞を皮切りに世界の各地域からの専門家による「保全」に関する着目点について講演があった。まず米国NRCとINPOから保全の中心課題の1つと考えられる、プラントシステムの「安全性」と「経済性（稼働率、保全コスト）」の関係を如何にバランスさせるかという課題への提言をはじめ、欧州、中国、韓国の各国における原子力発電への取り組み状況と保全への課題が報告された。また、保全活動を支える最も重要な保全技術の1つとして、インド、ドイツ、米、韓、日などの専門家より検査技術と材料技術についての報告があり、更なる技術の高度化に向け、今後どのように取り組むべきかについて議論があった。その上で、近い将来、保全に関する学術的、技術的テーマについて専門的に議論する国際的な場を設置するための議論などがあり、これらを踏まえてパネルディスカッションで総括の議論が活発に行われた。その結果、2012年に東京で第一回の国際会議（ICMST：International Conference on Maintenance Science & Technology for Nuclear Power Plants）を開催すること、そのために国際組織委員会を設置することを決議し閉幕した。



Jack Grobe 氏による基調講演



パネルディスカッション

図7 会議の様子

### 3) 原子力発電所のための保全に関する国際共同研究

フランス国立応用科学院リヨン校、韓国成均館大学校、ハンガリー科学アカデミー、中国西安交通大学との共同研究を実施した。フランス国立応用科学院リヨン校とは、本学とリヨン大学群とのジョイントラボラトリープログラム ELYT との連携により、応力腐食割れに関する共同研究（渡辺 豊）、高温材料の非破壊評価に関する研究（高木敏行、内一哲哉）を進めた。韓国成均館大学校とは、原子力構造材料の表面劣化に関する評価について、超音波試験と渦電流試験を融合させる観点から共同研究を実施した（高木敏行、内一哲哉）。ハンガリー科学アカデミーとは、配管減肉の検査について現在有効な検査手法が存在しない補



強板付き T 字管の新しい検査法について共同研究を実施した。磁気的手法によりその可能性を見いだした。中国西安交通大学とは、東北大学（高木敏行、内一哲哉）と関西電力株式会社の 3 者による構造材料の新しい歪み評価の開発に関する共同研究を開始した。

#### 平成 22 年度の主な成果（査読付き論文）

- 1) 浦山良一、内一哲哉、高木敏行電磁超音波・渦電流複合プローブの高温環境モニタリングへの適用に関する検討、日本機械学会論文集、76 巻、765 号、A 編、pp.587-593、(2010)
- 2) R. Urayama, T. Uchimoto, T. Takagi, and S. Kanemoto, Quantitative Evaluation of Pipe Wall Thinning by Electromagnetic Acoustic Resonance, E-Journal of Advanced Maintenance (EJAM), Vol.2 No.1, p.25-p.33 (2010)
- 3) M. Ohnishi, K. Ohsaki, Y. Suzuki, K. Suzuki, and H. Miura, Nanostructure Dependence of the Electronic Conductivity of Carbon Nanotubes and Graphene Sheets, Proc. of the ASME 2010 IMEC&E (IMECE2010), IMECE2010-37277, (2010), pp.1-7.
- 4) Y. Watanabe, H. Abe, T. Miyazaki, EFFECT OF MATERIAL FACTORS ON FAC RATE AND CHARACTERISTICS OF OXIDE LAYER, Proceedings of 2010 ASME Pressure Vessel and Piping Division Conference, July 18-22, (2010), Bellevue, Washington, USA, (CD-ROM), PVP2010-25584.

### 6.2.9 GCOE 融合フロンティアプロジェクト

「次世代環境適合型航空機の研究」プロジェクト

グループリーダー：大林 茂

メンバー：中橋 和博、升谷 五郎、福西 祐、浅井 圭介、澤田 恵介、丸田 薫、鄭 信圭、  
竹島 由里子

エネルギー・環境問題と科学技術のあり方は、21 世紀の重要なキーワードとなりつつある。本プロジェクトでは、航空宇宙分野における新しい環境技術の開発を目指している。具体的目標として、鉄道並みの利便性を持つ次世代環境適合型航空機と、飛躍的に環境適合性を高めるハイブリッドロケットの研究を進めるものである。

今年度は、GCOE が主催する国際会議「第 7 回流動ダイナミクスに関する国際会議 (ICFD)」において、2つの OS を企画したので、その内容を報告する。また個別の研究 2 件報告する。

#### 1) OS1 「Fluid Dynamics Aspects of Environmentally Advantageous Hybrid Rockets」

この OS は、JAXA 宇宙科学研究所の嶋田教授と澤田が共同でオーガナイズしたもので、前年の第 6 回 ICFD に引き続いての開催である。今回から本プロジェクトの一部として実施し、海外から 5 名の招待者を招聘した。我が国のハイブリッドロケット研究は多くの研究拠点で個別に推進されてきたが、2008 年度に JAXA 宇宙科学研究所の研究 WG としてハイブリッドロケットに関する研究 WG が正式に発足し、国内研究者の組織化が進められている。今回の OS はこの研究 WG に所属する研究者あるいはその学生の成果発表に加えて、海外におけるハイブリッドロケット研究の第一人者に講演していただき、海外の開発状況の確認や我が国のハイブリッドロケット研究の課題洗い出しを図るとともに、海外との新たな共同研究の布石を打つものである。

5 名の招待者は、米国 2 名、フランス 1 名、イタリア 2 名である。これに加えて、台湾からも参加者を迎え、本 OS では外国 6 件、国内 11 件の計 17 件の発表を数えた。また、本 OS の最後に参加者全員による Wrap up が開催され、ハイブリッドロケット OS の総括を行った。ここでは特に米国の参加者より、固体ロケットに対するハイブリッドロケットの環境適合性の話題が提供され、白熱した議論が行われた。固体ロケットでは推力を増すためにアルミ微粒子をはじめ様々な添加物が燃料に配合されているが、甲状腺異常などを引き起こす人体に有害なものも含まれていることから、米国においても環境適合性に優れるハイブリッドロケットが注目されているとのことである。さらに、スペースシップ 1 の推進器としてハイブリッドロケットが利用されて以来、TNT 換算でゼロとなるハイブリッドロケット固体燃料の固有の安全性が注目されるなど、将来の有人ロケットのエンジンとして期待されている。

ハイブリッドロケットの研究では、燃料後退速度が大きな WAX 燃料や GAP 等の高エネルギー燃料の利用、酸化剤旋回流や多点酸化剤注入による燃焼効率の向上、あるいはそれらに係る理論的基盤や数値解析手法の構築、さらに最適化手法を用いた概念設計方法の整備が精力的に進められている。さらに、ハイブリッドロケット研究 WG の今後の目標として、50kg 程度の超小型衛星を太陽同期軌道に打ち上げることが可能な環境適合型低コストハイブリッドロケットシステムの開発が掲げられている。各国のハイブリッドロケット開発状況や研究の進捗状況がよく分かった今回の OS は、我が国のハイブリッドロケット研究の進展に大変有意義であり、また、今後も各国の研究者との密接な連携を進めるうえで極めてタイムリーなものとなった。

## 2) OS2「Aviation Research in Aspects of Environment」

この OS は JAXA 研究開発本部の渡辺重哉氏と浅井・大林が共同でオーガナイズしたもので、東北大学 JAXA 研究協力協定に基づく共同研究の一環として実施された。本 OS の目的は、航空輸送の環境に対するインパクトを測り、必要とされる技術を議論することである。航空輸送量は今後 15 年程度で現状の 2 倍となることが予想されており、環境へのインパクトが、絶対量としても、他の輸送機関に対する相対量としても大きくなることが予想されている。持続可能な社会へ向けて、新しい技術革新が求められている。

本セッションでは、海外からの招待講演者がドイツ 1 名、米国 1 名、韓国 2 名、国内の招待講演者が 1 名であり、これに国内からの一般講演 9 件の発表があった。ドイツからは、航空輸送の気候へのインパクトを明らかにするこれまでの研究成果が報告され、米国からは 25 年後に実用化されるであろう航空機概念に対する研究成果が報告された。韓国からは、分散推進機構を持つ翼と胴体形状をブレンドした BWB 形状の検討と、ヘリコプターロータの最適設計が報告され、国内からは超音速複葉翼理論の提唱者である楠瀬博士よりこれまでの研究成果が総括された。

一般講演においても、ビルディングキューブ法による次世代 CFD 技術の開発から空力騒音問題への適用、計測融合シミュレーション（データ同化）、ソニックブームの実在大気伝播、レーザー・プラズマの応用、水素燃料を利用した超音速機など、最先端の話題が報告され、海外の招待講演者らと、活発な討論を行った。航空輸送のインパクト見据え、必要な技術を議論する上で、大きな成果となった。

## 3) 研究テーマ：キャビティ空力音の受動的抑制における渦構造の役割の解明

- 担当者：福西祐
- 主な成果を表す図：

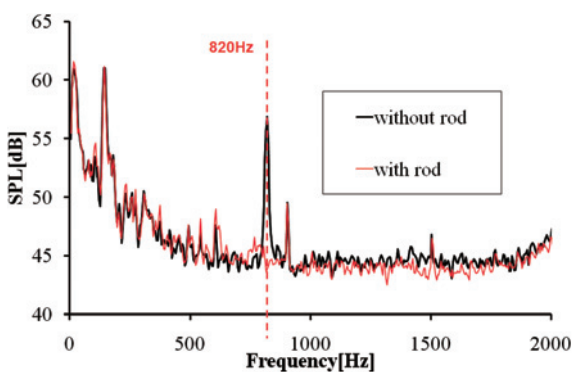


図1 キャビティ音の抑制効果

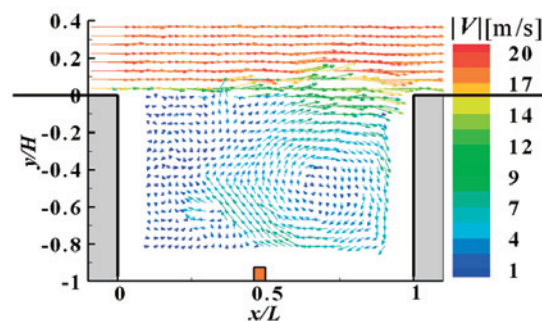


図2 キャビティ内の速度ベクトル

次世代航空機では離着陸時の騒音抑制も当然求められることを念頭に、航空機の車輪格納庫などで発生するキャビティ空力音の抑制を目指している。当研究グループではキャビティの底面に角棒を設置することでキャビティ内部の流れを変化させ、効率的に騒音を抑制することにすでに成功しているが、そのメカニズムは不明であった。(図1) 本研究における精密な計測により、制御時には角棒によって生じた渦構造によってせん断層が上方に押し上げられ、フィードバックループの形成が妨げられることが原因であることが明らかとなった。(図2)

- 4) 研究テーマ：ハイブリッド風洞に対するアンサンブルカルマンフィルターの適用
- 担当者：大林茂、浅井圭介
  - 主な成果を表す図：

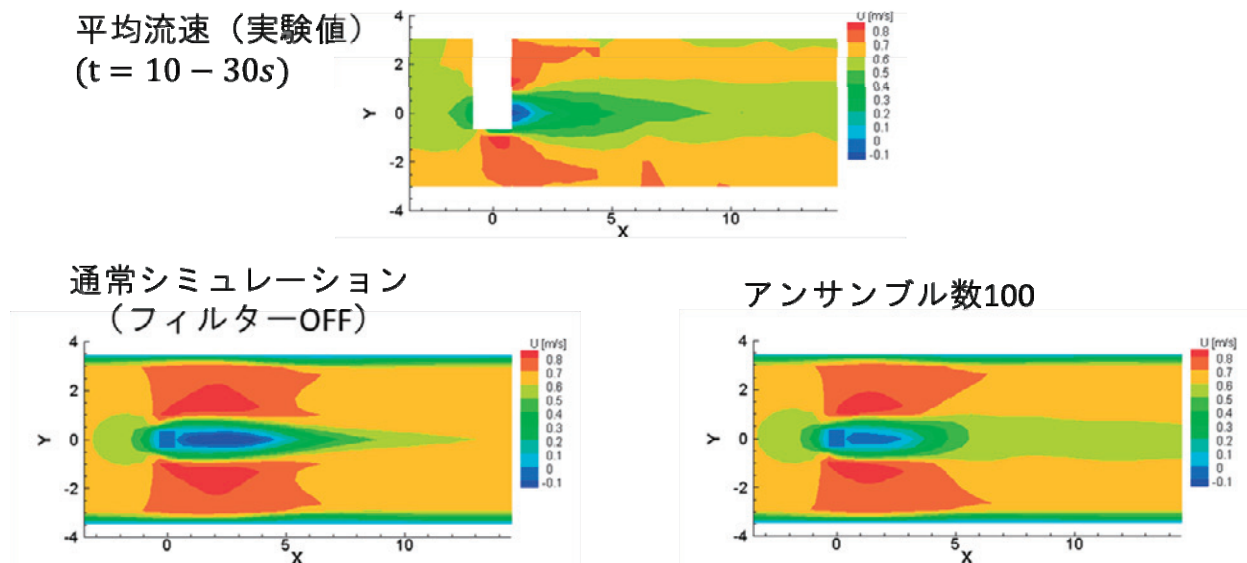


図3 角柱周りのカルマン渦流れの平均速度場の実験と同化計算の比較

本研究では、ハイブリッド風洞に対してデータ同化手法であるアンサンブルカルマンフィルターを適用した。ハイブリッド風洞とは、東北大学早瀬らによって提案されたもので、角柱を対象とした風洞実験を行い、それによって得られる角柱表面の圧力計測値を、角柱を対象とする数値解析にフィードバックし、数値解析の精度向上を試みたものである。本研究ではフィードバックを行う代わりに、データ同化手法を用いた。データ同化は1990年代から気象海洋の分野で発展を遂げてきた実験と数値シミュレーションを融合する手法である。図3より、アンサンブルカルマンフィルターの適用により、物体後流の低速度域がより実験に近く再現され、計算精度が向上していることがわかる。今後、航空宇宙分野でも、実験とシミュレーションの融合により、より高精度な非定常シミュレーションを行える可能性があることが確かめられた。



## 6.2.10 GCOE 融合フロンティアプロジェクト

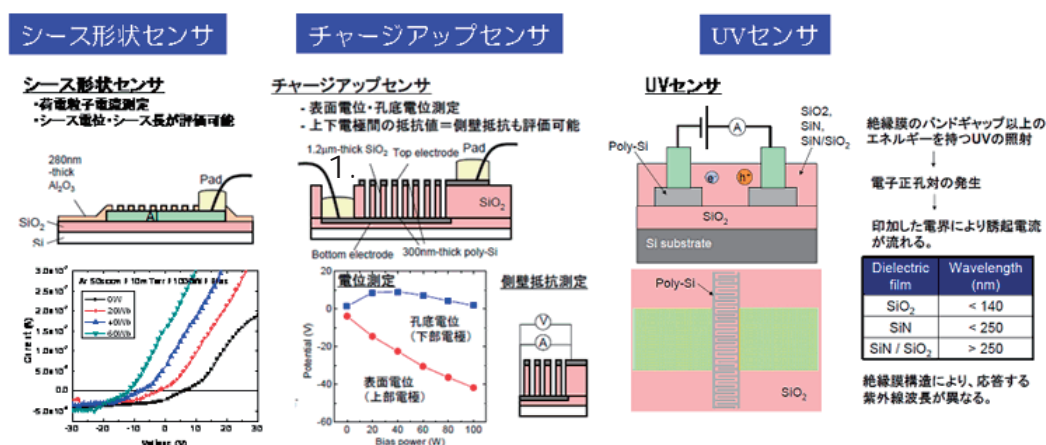
「ナノ・マイクロプロセス」プロジェクト

グループリーダー：寒川 誠二

メンバー：石本 淳、徳増 崇、佐藤 岳彦、米村 茂、大竹 浩人、三木 寛之

### (1) オンウエハーモニタリングシステムによる高精度プラズマ加工プロセス制御 (寒川)

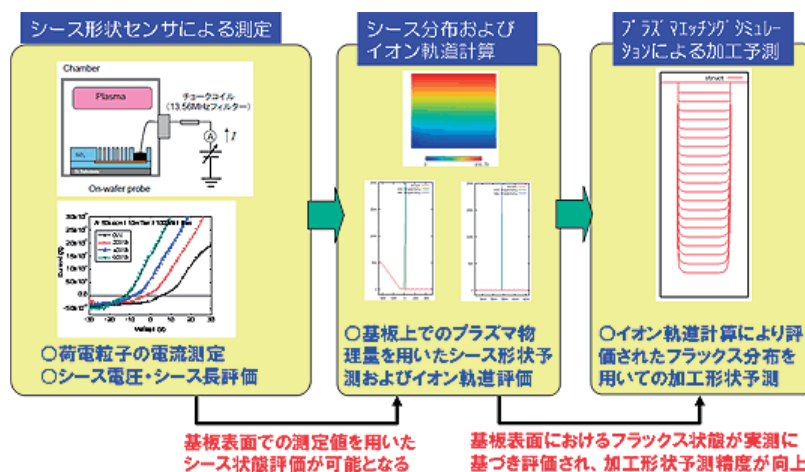
プラズマプロセス、ビームプロセスおよび原子分子操作プロセスにおいて、ミクロに表面に入射する活性種のエネルギー、種類、反応生成物、導電性などのセンシングを行うオンウエハーモニタリングシステムの研究を行っている。オンウエハーモニタリングで得られたデータを基にリアルタイムプロセス制御や表面反応解析およびモデル化を行い、インテリジェント・ナノプロセスを実現する。本年度はJST、A-STEPの支援を受けて紫外線センサ、電荷蓄積センサー、イオン軌道センサーの3種のセンサーと計算（シミュレーション）を融合して、プラズマ損傷およびエッチング形状予測が可能なオンウエハーモニタリングシステムを完成させ、みずほ情報総研により事業化を実現した。また、本年度はプラズマ気相成長プロセスにおける紫外線照射量を元にしたダメージ発生予測にも挑戦し、世界で初めて薄膜堆積中のダメージの予測にも成功した。今後、このシステムを更に発展させ、プラズマプロセスにおけるプラズマ固体相互作用に関するプロセス予測システムを構築する。



- 基板表面の荷電粒子電流測定
- シース情報の取得

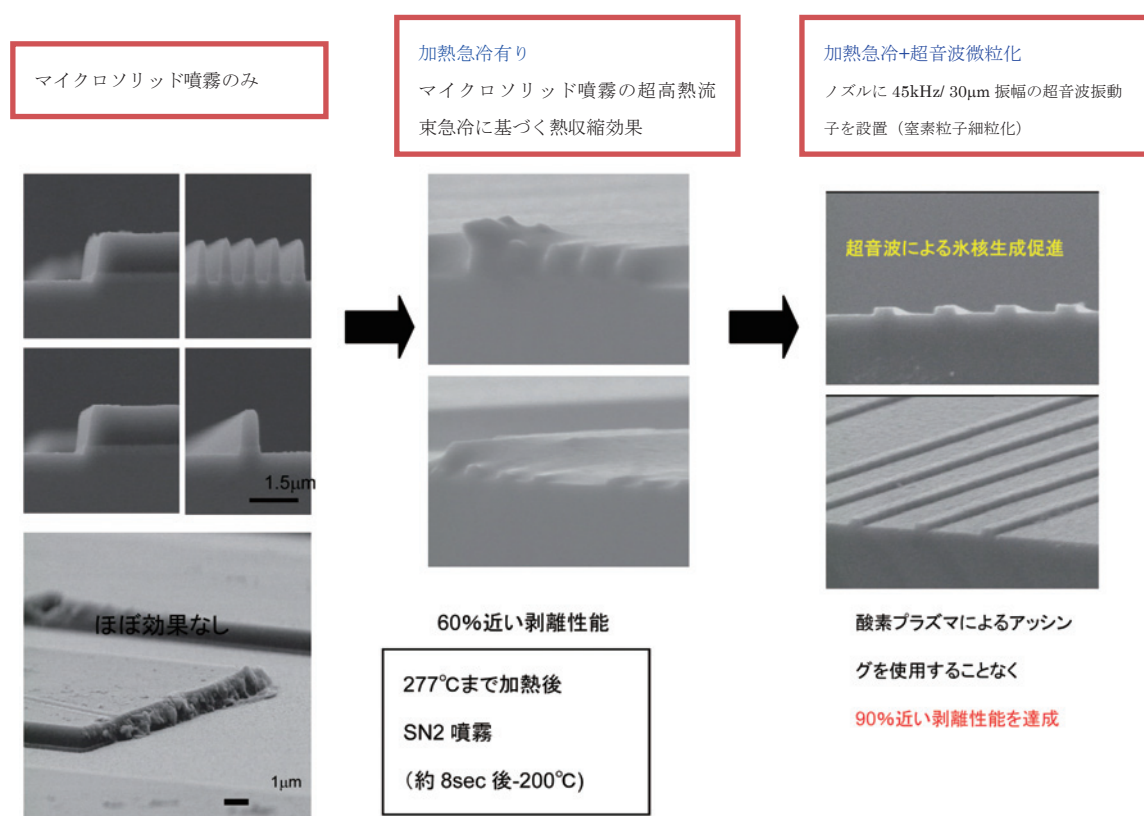
- チャージアップ状態の把握
- 側壁抵抗の測定
- イオン軌道の予測

- UVスペクトル予測
- UV吸収量計算
- UV照射ダメージ量計算



## （２）微細固体窒素粒子ジェット利用型アッシングレス半導体スーパー洗浄システムの開発（石本）

微細固体窒素粒子噴霧の超高熱流束急冷に基づくレジスト熱収縮効果を利用した新型の半導体レジストはく離・洗浄法を開発した。マイクロソリッド噴霧の衝突による物理力と超高熱流束急冷による熱収縮の相乗効果を利用することによりフォトリジストを一部分はく離することに成功した。さらに、超音波微粒化による氷核生成・固体窒素粒子微粒化効果を付加することにより、フォトリジストの 90%程度をはく離することに成功した。

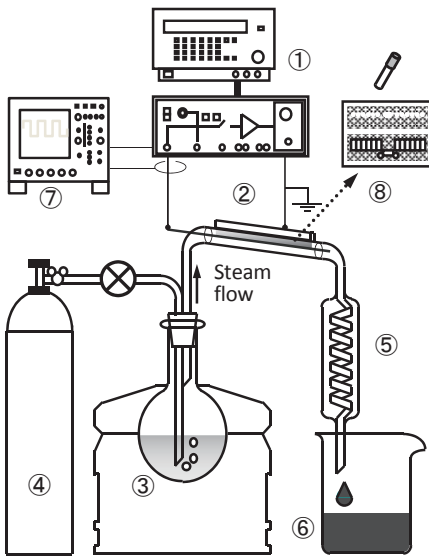


## （３）大気圧水蒸気プラズマ流による滅菌法の開発（佐藤）

近年、大気圧低温プラズマ流を利用した殺菌技術や医療分野への応用は、感染症のリスクを低減するため、安全かつ簡便に取り扱える新たな滅菌技術として期待されている。医療用滅菌法は高圧蒸気滅菌、酸化エチレンガス滅菌、過酸化水素ガスプラズマ滅菌などが挙げられるが、高圧蒸気滅菌法では、121℃、2気圧以上の条件で滅菌するため、低耐熱性医療器具への適用ができない等の問題がある。また、低温滅菌法である酸化エチレンガス滅菌では、残留ガスによるアレルギーの発生や滅菌時間の長時間化などの問題がある。また、過酸化水素プラズマ滅菌法では、高濃度の過酸化水素を利用するため、残留した過酸化水素やプラズマを利用するため高コストになるといった問題がある。大気圧水蒸気を用いて100℃

で滅菌が可能になれば、滅菌可能な医療器具も格段に広がる上、安全かつ滅菌容器の形状を自由にできるなど大きなメリットがある。

そこで、大気圧水蒸気を利用し100℃で滅菌を行う手法の可能性について検討し、滅菌の効果について検証した。実験装置は、図1に示すように、電気ヒーターで水蒸気をフラスコ内に発生させ、電極が設置されている石英管に導入する。石英管の内部にはワイヤ電極が設置され、管外壁を覆う接地電極との間に高電圧を印加し、ワイヤ電極から管内壁に向けてプラズマを生成する。滅菌の検証は、病院等で利用されているバイオインジケータ装置を用いた。これにより、*Geobacillus Stearothermophilus* 芽胞菌の5桁低減を検証可能である。図2に滅菌結果を示す。図中の－は滅菌完了を、＋は滅菌未了を意味する。これより、十分高い効果ではないが、水蒸気中にプラズマを生成することで100℃、大気圧で滅菌が可能であることが示された。



1. Power supply  
2. Discharge tube  
3. Steam generator system  
4. Gas cylinder  
5. Condenser  
6. Condensed water  
7. Oscilloscope  
8. Bio-indicator device

図1 実験装置

Applied voltage $V$ (kV)	Frequency $f$ (kHz)	Sterilization time $t_s$ (min)	Sterilization result
16	3	30	+ + -
16	3	40	+ + -
18	3	40	+ - -

図2 滅菌結果

#### (4) 燃料電池内部の物質輸送現象に関する研究 (徳増)

次世代の燃料電池の小型化、高性能化、低コスト化に対する設計指針を提示することを目的として、燃料電池内部のプロトン、水、酸素の輸送現象の解析を行っている。燃料電池内部にはナノスケールの構造が至る所に見られ、この構造内を流れる流体の輸送現象は通常の連続体理論では解析できず、その原子、分子としての挙動に着目した解析をおこなわなければならない。

その一例として、パーフルオロスルホン酸系高分子膜内部のプロトン輸送を分子動力学法を用いてシミュレートし、そのナノスケールの輸送特性について解析を行った結果を示す。この研究では、水-オキシニウム間のプロトンホッピング(Grotthus Mechanism)による移動を考慮したシミュレータの構築とそれを用いたプロトンの拡散係数の評価を行っている。

図 1 には、オキソニウムイオンの方向別の平均二乗変位(MSD)を示す。この図より、高分子膜をある方向に配列すると、水分子ネットワークは異方性を有して構成され、その結果、オキソニウムイオンの輸送能力にも異方性が生じることが確認できる。また図 2 には含水率 (Nafion 内の  $\text{SO}_3^-$  に対する水分子の比:  $\lambda$ ) が 3 と 9 における高分子電解質膜内部の水分分布を示す。この図からも、含水率が小さい状態では水分子クラスターのネットワーク構造が切れ切れになっているが、含水率が増加すると、主鎖の伸びる方向に水分子のネットワーク構造が構成されていることが確認される。

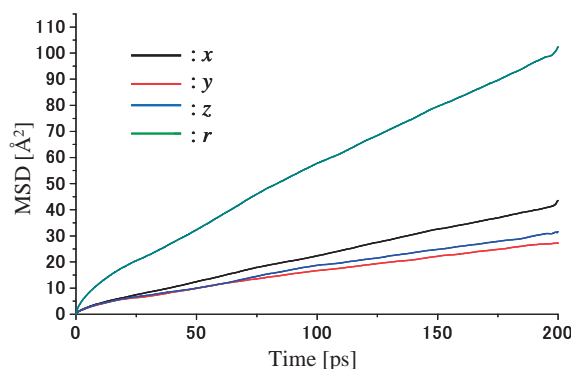


図 1 オキソニウムイオンの方向別の平均二乗変位

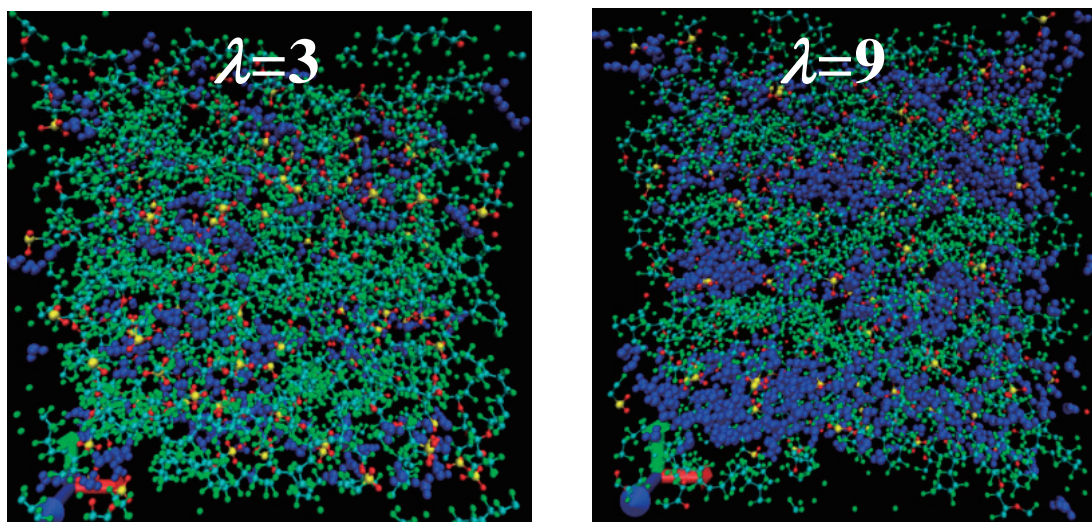


図 2 高分子膜内部の水分子の分布。(左)含水率=3, (右)含水率=9

#### (5) 研磨多結晶ダイヤモンド膜における摩擦特性の摺動速度依存性評価 (三木)

化学気相合成法 (Chemical Vapor Deposition: CVD) によって作製される多結晶ダイヤモンド膜は優れた耐摩耗性を有することから固体潤滑剤としての応用が期待されている。一般に CVD によって作製された多結晶ダイヤモンド膜は表面が粗く、摩擦係数が高くなる傾向があるため、CVD ダイヤモンド膜の機械摺動部への適用には平滑な表面が必要であるが、ダイヤモンドは非常に硬く、研磨には適していない。我々は、比較的容易に平滑な表面に加工することができるダイヤモンド膜を提案し、その応用技術に関する研究を進めている。提



案しているダイヤモンド膜を半鏡面状に研磨することによって耐摩耗性を維持しつつ低摩擦化が可能である。さらに、ダイヤモンド膜と相手材の相対速度がある程度（ $\sim 2$  m/s）以上に大きくなると急激に摩擦係数が低下することが知られている。この現象は米村等との共同研究により、モンテカルロ直接(Direct Simulation Monte Carlo :DSMC)法を用いた数値解析を行い、これらの速度依存性と摩擦係数の低下が研磨ダイヤモンドと相手材の間隙を流れる気体分子によって生じる上向きの力（揚力）に起因していることを明らかにしている。

本研究は半鏡面研磨した CVD ダイヤモンド膜の低摩擦から零摩擦への機構解明を目指している。今年度は、研磨ダイヤモンド膜と相手材の摩擦特性の摺動速度依存性を定量的に評価することを目指した。

Fig.1 は測定に用いた試験機の模式図である。この装置を用いて摩擦係数の速度依存性を評価した結果を Fig.2 に示す。摺動試験は荷重を  $0.25$  N に固定し、摺動速度を  $0.19 \sim 2.6$  m/s と連続的に変化させ、摩擦係数を測定した。摺動速度  $1.0$  m/s 以下では摩擦係数が  $0.3$  程度と高いが、 $2.0$  m/s 以上では摩擦係数が  $0.2$  以下に減少した。これは、基板とピンの接触部近傍の気体の流れ速度が大きくなることによって生じる上向きの力（揚力）が相対速度の増加に伴い大きくなることによって、ピンにかかる見かけの荷重が減少したためであり、潤滑状態が境界潤滑から混合潤滑に遷移したものと考えられる。以上を考えれば、さらに摺動速度を増加させることによって流体潤滑状態へ摺動形態が遷移し、大きな揚力により摩擦係数非常に小さくなることが期待できる。また、汎用摩擦試験機を用いることによって摩擦低減効果が示されたことから、直動軸受や回転機構などの構造においても研磨ダイヤモンド膜の低摩擦すべり機構の有用性を示すことができた。

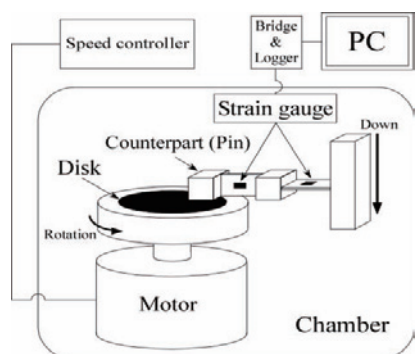


Fig. 1 Schematic illustration of tribological testing equipment

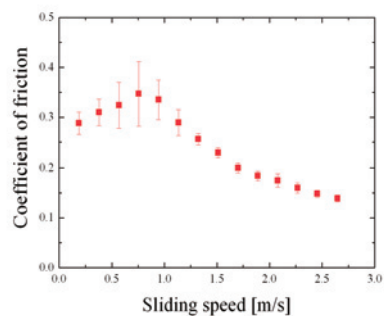


Fig. 2 Sliding speed dependence on partly polished diamond film

### 6.2.11 GCOE 融合フロンティアプロジェクト

#### 「エネルギー・環境」プロジェクト

グループリーダー：中野 政身

メンバー： 笹尾 眞實子、水崎 純一郎、西山 秀哉、三浦 隆利、宮本 明、小原 拓、  
伊藤 高敏、大平 勝秀、青木 秀之、佐藤 一永、湯上 浩雄、伊賀 由佳

本プロジェクトでは、特に、CO<sub>2</sub>削減などの環境問題への対応の観点から、既存エネルギーの有効活用・核融合エネルギー・新エネルギーの可能性について総合的な検討を行う。特に、核融合エネルギーや、新エネルギーとしての燃料電池、バイオマスエネルギーなどの製造、高効率利用、インフラ整備などに関わる問題に関して、プロジェクトメンバー間で討論を積み重ねることにより、将来のあるべき姿について提言するとともに、研究面での協力・連携を積極的に取り進めることにより、流動ダイナミックスという観点から「エネルギー・環境」の新技術の開発と最適化への寄与を目指す。

平成 22 年度は、以下の 7 件の具体的な研究テーマについて研究を実施した。

#### <燃料電池関連>

(1) ナノヘテロ界面を利用した高出力密度、長時間作動型電気化学デバイスの開発（水崎 純一郎、湯上 浩雄、井口 史匡、八代 圭司、佐藤 一永）

太陽電池・リチウムイオン電池・燃料電池をはじめとする電気化学変換デバイスはエネルギー変換効率が極めて高く、リチウムイオン電池等の 2 次電池は得られた電気エネルギーを効率よく蓄えることが可能であることから、サステナブル社会の実現に向けて重要な役割を果たすことが期待される。分散型電源のためのエネルギー変換デバイスとして考えた場合、10 年以上の高い信頼性・耐久性が求められるため、セラミックス機能性材料を中心とした全固体型を実現することが望まれる。本研究では、小型電気化学デバイスを MEMS 技術と動的なひずみを利用することにより開発することを目的としている。今年度は、限られた条件ではあるがナノヘテロ界面を利用した微小なハニカム型のパターン電極(図 1)と MEMS 技術を利用した微小なデバイス構造(図 2)を作製することに成功した。

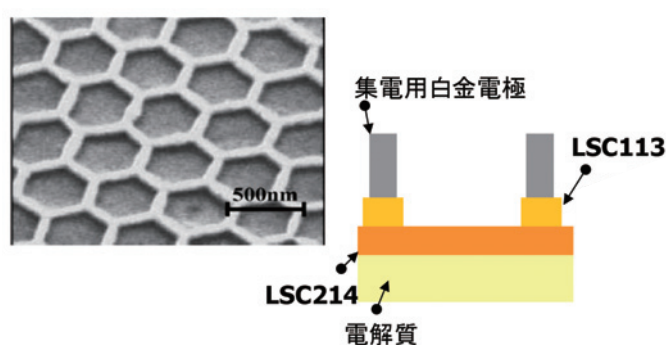


図 1： ナノヘテロ界面効果を導入した新規電極構造（水崎グループ）

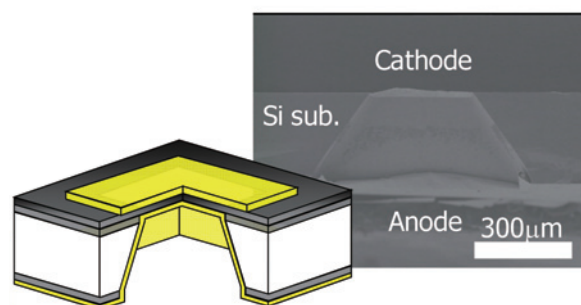


図 2： MEMS 技術に基づく中低温作動マイクロ SOFC（湯上グループ）

- [1] H. Yugami, K. Kubota, F. Iguchi, S. Tanaka, N. Sata, M. Esashi : Micro solid oxide fuel cells with perovskite-type proton conductive electrolytes, Proceedings of PowerMEMS2010, pp199-202, 2010.
- [2] K. Yashiro, Y. Goya, K. Sato, J. Mizusaki : Microstructure evolution of the cathode for solid oxide fuel cells under pseudo-operating condition, The 2010 Gordon Conference

on Solid State Studies in Ceramics “Fundamental Phenomena in Energy Applications”, USA, New London, 2010.8.15-20.

- [3] F. Iguchi, K. Kubota, S. Tanaka, N. Sata, M. Esashi, H. Yugami : Micro Solid Oxide Fuel Cells with Perovskite Type Proton Conductive Thin Electrolytes, Solid State Protonic Conductors 15 (SSPC-15), Santa Barbara, USA, 2010.

## (2) 革新的燃料電池マルチスケール計算化学シミュレーション (宮本 明)

環境問題に対応する新エネルギーとして期待されている一方、性能・耐久性の面で更なる高性能化が求められている、固体高分子形燃料電池 (PEFC) に対して、システム全体の最適化を行うためのマルチスケール計算化学手法の開発を進めている (図3)。分子スケールについては大規模量子化学計算手法、メソスケールでは多孔質構造シミュレータを用いて、過電圧特性など実測と比較できるデータを理論的に算出する手法である。本研究によって、燃料電池内部で起こる様々な現象について、現象の根本的な理解や性能評価が可能となっている。

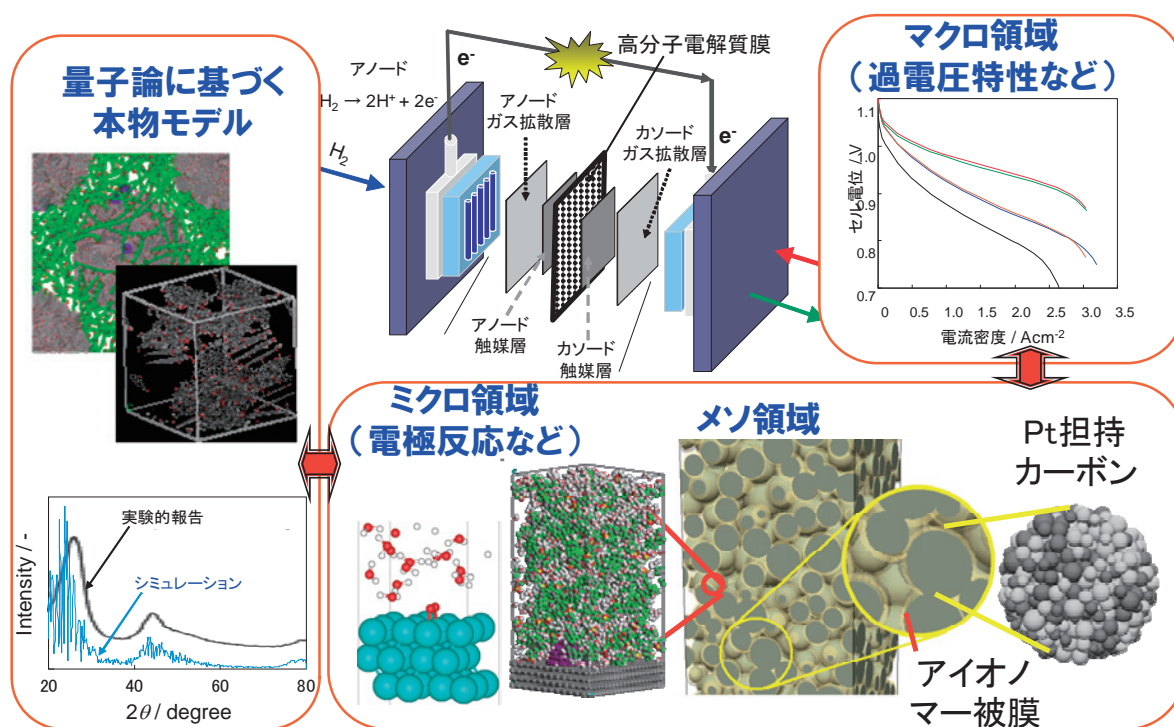


図3：燃料電池マルチスケール計算化学シミュレーション

## (3) 水素エネルギーの輸送・貯蔵媒体としてのスラッシュ流体の管内流動・伝熱特性 (大平勝秀)

極低温液体水素中に固体水素粒子が混在する固液二相スラッシュ水素(SLH<sub>2</sub>)を利用する高効率水素エネルギーシステムの開発を行っている。これまで行ってきた円管と同様、実用性の高い矩形管の流動特性について研究を行った。図4は入口流速を変化させた場合の水平矩形管内を流動するスラッシュ水素およびスラッシュ窒素(SLN<sub>2</sub>)の固体粒子速度分布および固相率(alpha)分布の数値解析結果を示す。円管の場合は重力の影響により低流速において非均質流となり易いが、矩形管の場合は低流速においても均質流に近い流れとなっている。

(重力の影響が少ない)。ポンプ動力低減に寄与する管内圧力損失低減効果が、円管では均質流で現われる実験結果を既に報告しており、矩形管の場合、圧力損失低減効果がより低速で出現する結果を数値解析により得た。

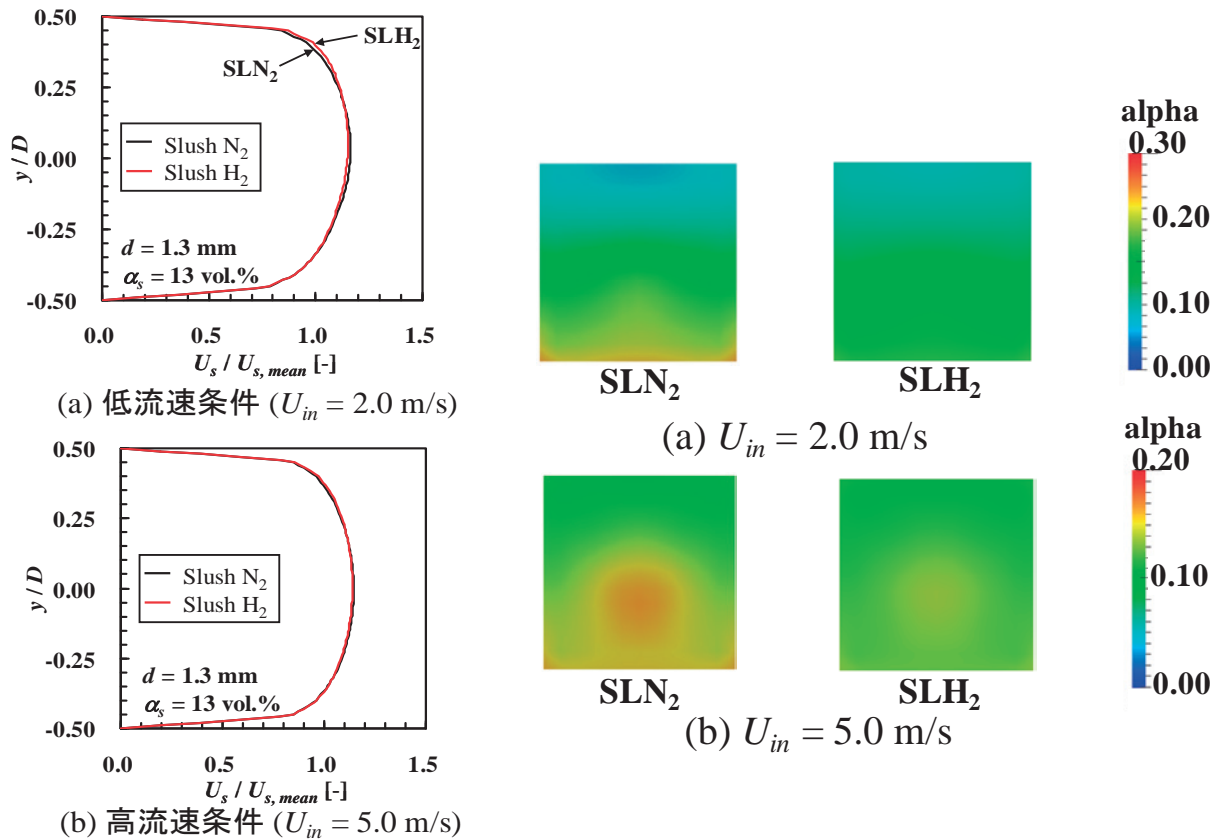


図 4： 矩形管断面での流速分布（左）と固相率分布（右）の数値解析結果

[4] 大平勝秀：水平管内を流動するスラッシュ窒素の圧力損失低減現象，低温工学，Vol.45，No.11，pp.484-492，2010.

(4) LNG ポンプに発生するキャビテーションの熱力学的効果に関する研究（伊賀由佳）

CO<sub>2</sub> や SO<sub>x</sub> 等の環境影響成分の排出を飛躍的に低減できるクリーンなエネルギー源として脚光を浴びている液化天然ガス（LNG）の、ガス田採取から、大量輸送のための液化、運搬船による輸送、遠隔地の受入れ基地への供給という一連のサプライチェーンでは、移送ポンプ、昇圧ポンプ、循環ポンプ、スプレーポンプ、荷役ポンプと呼ばれる数多くのポンプが使用されており、インフラ整備の際には NPSH に対するポンプ性能の低下点（キャビテーション性能）を知る必要がある。LNG は極低温流体であるため、ポンプでキャビテーションが発生した際には熱力学的効果が発生する。キャビテーションの熱力学的効果とは、キャビテーションが発生する際の潜熱の移動により、キャビティ近傍の温度が低下し、それに伴い飽和蒸気圧が低下することによって蒸発が起これにくくなり、結果的にキャビテーションの発生を抑制するという、ポンプにとって好ましい効果と考えられており、一般に液温が高いほど顕著に現れる。しかし、そのメカニズムが未解明であるため、それを数値的に予測することは未だ難しい。熱力学的効果を伴う LNG ポンプのキャビテーション性能を数値シミュレーションで予測できれば、ポンプの開発期間や開発コストを削減することができ、安価なインフラ整備によってクリーンエネルギーの普及に役立つものと期待できる。そこで本研



究では、極低温キャビテーションの熱力学的効果の解明と数値モデルの構築を目指し、本年度は、極低温流体として汎用的な液体窒素を対象とし、三枚羽根軸流ポンプを模擬した三枚周期平板翼列に発生するキャビテーションの数値解析を行った。蒸発に伴う潜熱の移動を考慮した相変化モデルを用いることにより、熱力学的効果によるキャビティ体積の抑制とキャビテーション性能の向上を定性的に再現した。次年度は、熱力学的効果に及ぼすキャビテーションの非定常性の影響について解析を行う予定である。

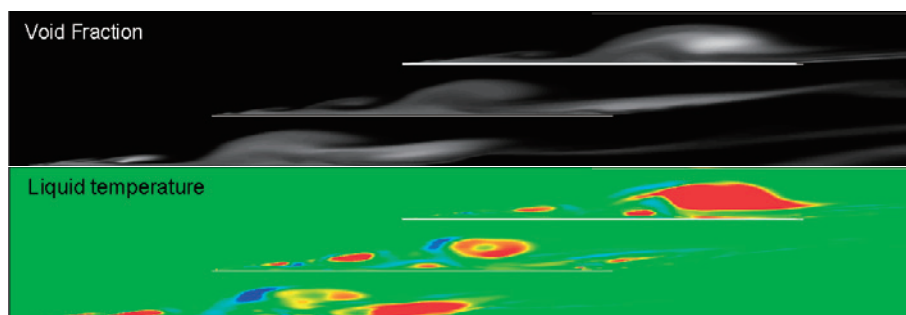


図5：液体窒素(77.6K)に発生するキャビテーションの様相（上）と相変化に伴う液相の温度分布

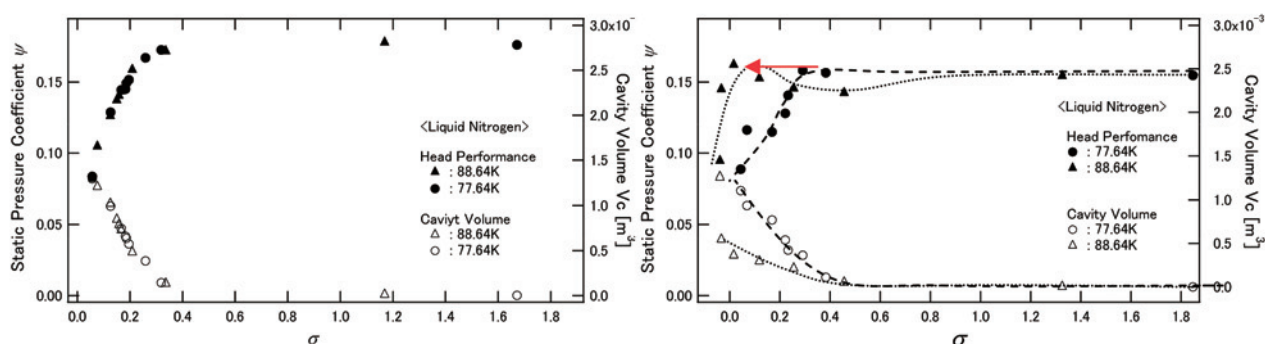


図6：揚程とキャビティ体積変化の等温計算結果（左）と極低温相変化モデルによる結果（右）

#### （5）水素漏洩のリスク回避のためのセンシングに基づく換気制御（中野 政身）

駐車場やガレージなどにおいて、今後の車両として期待される燃料電池車や水素燃料車などの車両から水素燃料が漏洩した際の漏洩水素ガスの排気の問題は、水素爆発などのリスク回避の観点から非常に重要なものとなる。本研究では、部分的な開口部を有する空間内で水素が漏洩した際、漏洩した水素を天井近くに設置した水素センサにより検知し、その水素センサからの情報に基づいて漏洩流量を予測して、天井に設けたファンの換気流量を制御して適正に水素ガスを排気する強制換気方法について、数値シミュレーションに基づいて検討している。図7に示すように、部分開空間としては右側の壁（ガレージであれば入口シャッターが開放してある場合に相当）が全面開放してある場合を対象としている。この場合のファンの天井への設置位置は、開口部と反対側の左側天井中央位置が種々の水素ガス漏洩位置に対して効果的であるということの数値シミュレーションから見出した。その換気位置において、漏洩水素流量  $Q_{in}$  と種々の漏洩位置に対して漏洩水素ガスの室内での分散が発生せず適切に換気される換気流量  $Q_{ex}$  の関係（図7(b))を求めて、水素センサから予測した漏洩水

素流量とその関係から換気流量を制御する方法を採用している。その結果、図 8 に示すように種々の漏洩位置および漏洩流量に対して、水素ガスの室内での分散がなく適切な換気制御が実施されており、有効な強制換気手法を提案できた。

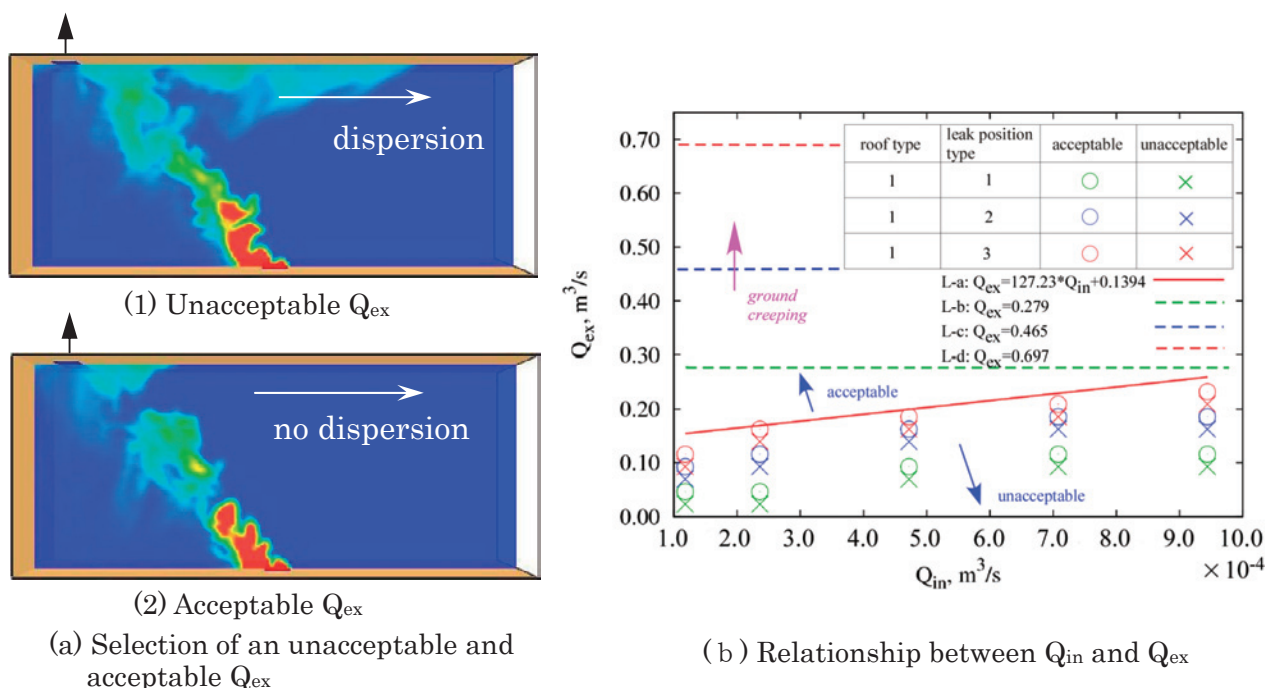


図 7：部分的な開口部（右壁全面）がある空間内で水素が漏洩した際の適切な排気が行われる漏洩流量  $Q_{in}$  と換気流量  $Q_{ex}$  との関係（数値シミュレーションによる）

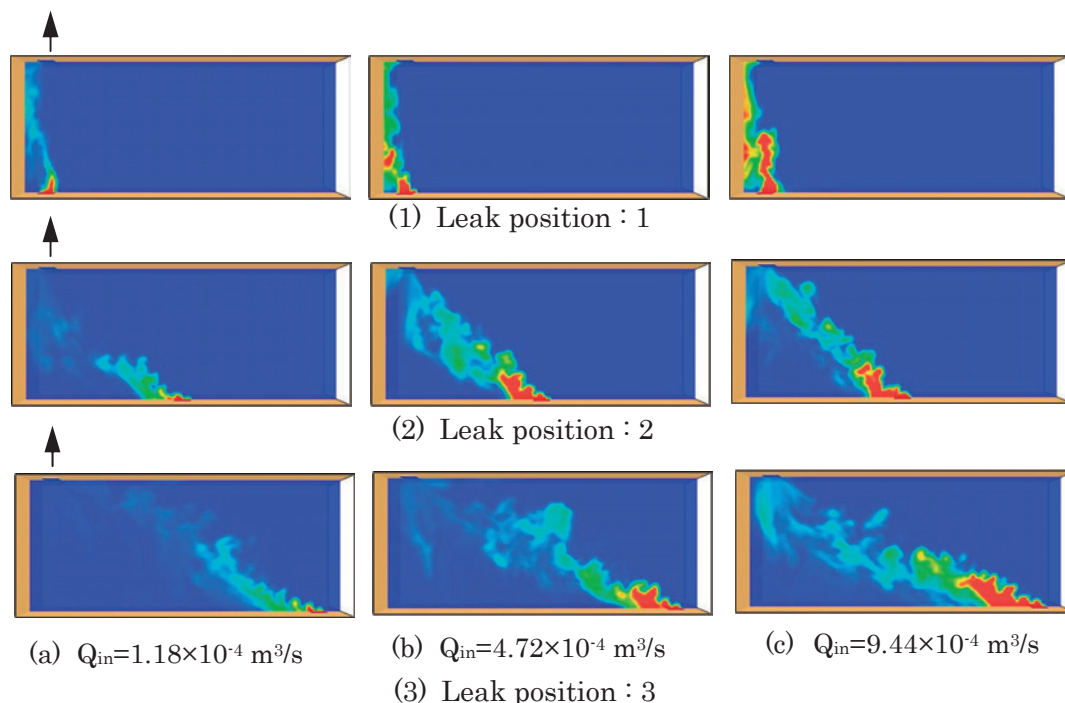


図 8：部分的な開口部（右壁全面）がある空間内で水素が漏洩した際の漏洩流量予測センシングに基づく水素ガスの強制換気制御の数値シミュレーション結果（ $t=50 \text{ s}$ ）

[5] K. Matsuura, M. Nakano, J. Ishimoto: The Sensing-Based Risk Mitigation of Leaking

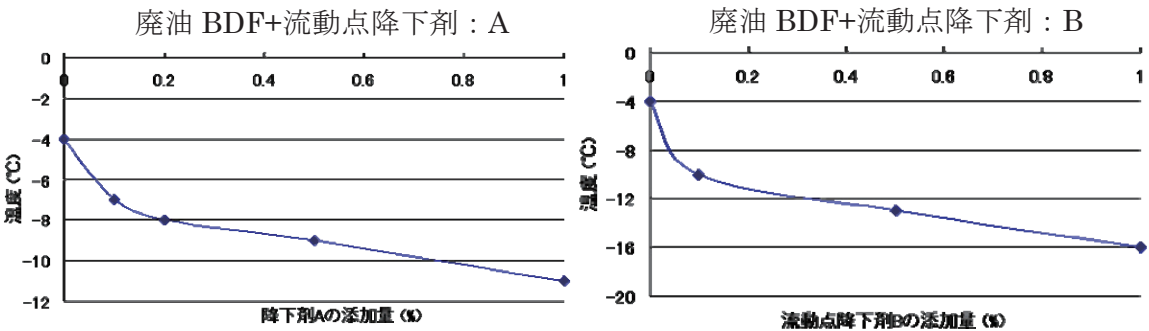
Hydrogen in a Partially Open Space by Forced Ventilation, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.35 , pp.4776 -4786, March 2010.

- [6] K. Matsuura, M. Nakano, J. Ishimoto : The sensing-based high-fidelity risk mitigation control of hydrogen dispersion in a partially open space, CD-ROM Proceedings of 10<sup>th</sup> Int. Conf. on Clean Energy (ICCE-2010), Famagusta, North Cyprus, p. 8, September 2010.
- [7] K. Matsuura, M. Nakano, J. Ishimoto : Sensing-Based Smart Ventilation Control of Leakage Hydrogen Jet in a Partially Open Space, Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics (7<sup>th</sup> ICFD2010), Sendai Japan, pp.276-277, November 2010.

<バイオマスエネルギー関連>

(6) 流動点降下を目指したバイオマス燃料 (BDF) の高機能化 (中野政身)

バイオマスエネルギーの一つであるバイオディーゼル燃料 (Bio Diesel Fuel: BDF) のディーゼルエンジンの低温環境下 (寒冷地) での利用拡大のために、BDF の流動点を降下させる流動点降下剤の開発を実施し、その効果を評価した。廃食油由来 BDF、菜種油 BDF、パーム油 BDF の三種の BDF について、試作したポリアクリレート重合物の重合度が異なる 2 種 (A, B) の流動点降下剤の効果をその添加量を変えて測定した。その結果を図 9 に示す。流動点降下剤 A, B ともに、廃食油由来 BDF および菜種油 BDF に対しては著しい流動点降下作用が認められるが、飽和系のパーム油 BDF に対しては効果がそれほどでもない。今後ますます増加するパーム油系 BDF に対してより効果のある流動点降下剤の開発が必要となる。



BDF	添加剤の種類	重合物の添加濃度					
		0%	0.1%	0.2%	0.5%	1.0%	2.0%
廃油BDF	A	-4℃	-7℃		-9℃	-11℃	
	B	-4℃	-9℃		-13℃	-16℃	
菜種油BDF	A	-12℃	-20℃		-22℃	-23℃	-25℃
	B	-12℃	-24℃		-26℃	-29℃	
パーム油BDF	A	10℃			6℃	6℃	6℃
	B	10℃	8℃		6℃	6℃	

図 9 : 各種油脂由来 BDF に対する流動点降下剤 A, B の効果

<環境浄化関連>

(7) 水質浄化を目指した光化学反応・プラズマ援用によるマイクロバブルジェットの高機能化 (西山 秀哉)

省電力型誘電体バリア放電により生成された高活性空気を内包したマイクロバブルに紫外線を照射することにより、気液界面あるいはマイクロバブル内での化学反応を促進させ、これによりマイクロバブルジェットを化学的に高機能化することに成功した。また、紫外線を照射した高活性マイクロバブルジェットによるメチレンブルー溶液の脱色試験を異なるマイクロバブル発生装置を用いて行い、溶液脱色に対するマイクロバブル発生方式や溶液 pH の影響、紫外線の波長依存性を明らかにすることにより、高機能マイクロバブルジェットの水質浄化応用のための基礎資料を提供した。

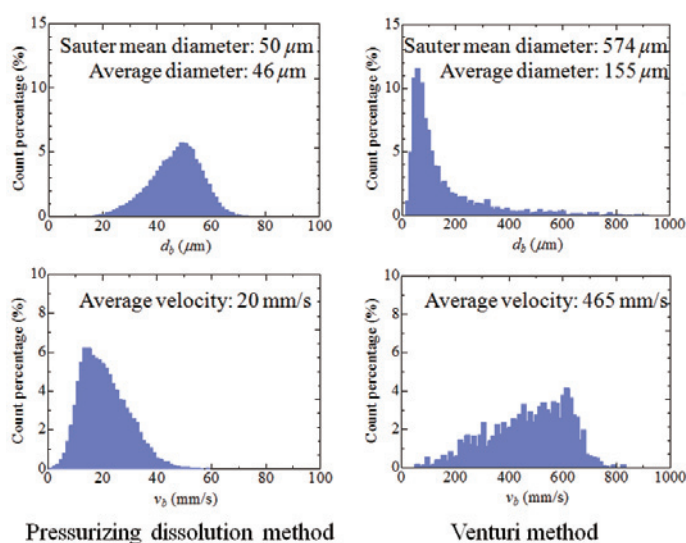


図 10 : 加圧溶解方式およびベンチュリー方式で発生させたマイクロバブルの気泡径および速度分布

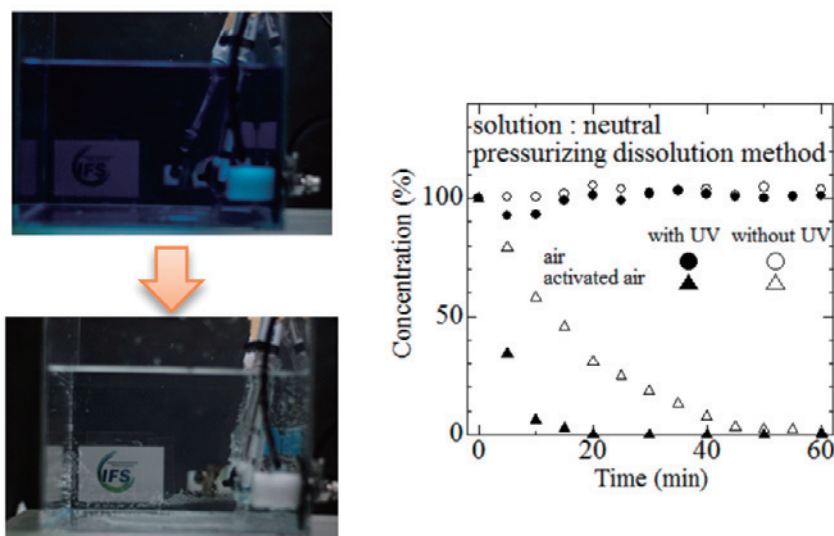


図 11 : 紫外線照射によるマイクロバブルジェットの高機能化とメチレンブルー溶液の脱色性能

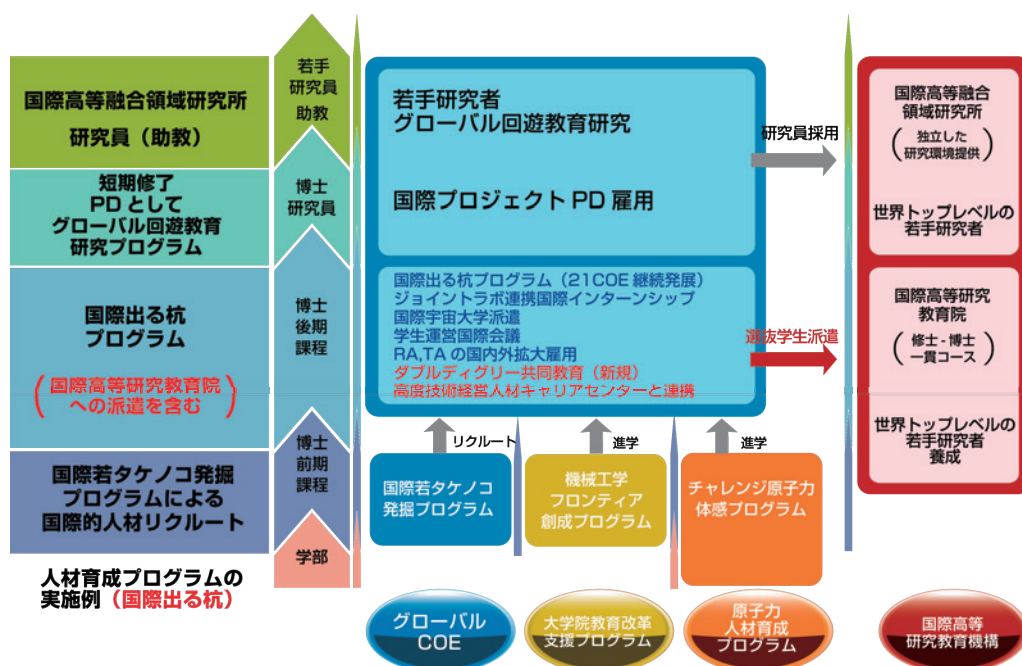


## 6.3 教育活動

### 6.3.1 国際的人材育成プログラム

流動ダイナミクスを基軸とした異分野との融合、多国間研究融合、異文化融合の教育研究活動を通じて、下記の人材を育成する。

- (1) 流動ダイナミクスと異分野との融合により、イノベーション科学技術フロンティアを創成できる独創的人材。
- (2) 複数の国に開設する国際ジョイントラボでの研究、博士ダブルディグリープログラム、国際インターンシップにより世界を回遊し、多面的な価値観を身に付けた国際的な異文化融合人材。
- (3) 世界標準を凌駕する学問的能力に加えて、複数の学術領域や多国籍の幅広い視点と人的ネットワークを涵養した、将来の流動ダイナミクス世界コミュニティの中核となる人材。



#### 1) 国際若タケノコ発掘プログラム

国内外の優秀な博士課程後期学生を早期に大規模に獲得するためのインセンティブプログラムを創設した。本 GCOE の教育プログラムに対して、博士課程後期課程入学の 1 年以上前に入学後の権利を約束し、入学試験はその後各専攻で実施して、合格した学生に対して支援を行うものである。この対象者は東北大学の学生だけでなく、国内外の他大学からも募集する。特に、リエゾンオフィス等の拠点を通じての募集に加え、シンガポール、インド、ロシア、中国等の優秀な修士課程の学生に対して、担当教員が海外に出向き面接等の試験を実施する。フランス ECL、INSA-Lyon やモスクワ大学、インド IIT の学生を対象として修士学生に積極的に働きかける。本 GCOE 内に選考委員会を設けて、筆答試験を含めた厳正な選考を行う。採択者は 6.1.10 6) (P52) のとおりである。

## 2) 国際出る杭伸ばす教育プログラム

前 21 世紀 COE の出る杭伸ばす教育を発展させたもので、自立性を持った学生に対して、RA としての支援に加えて研究費を与えて、さらに能力を向上させることを目的としている。また、国際インターンシップに積極的に派遣させ、博士終了後 PD としてグローバル回遊教育研究に参加させる。採択者は 6.1.10 2) (P49) のとおりである。

## 3) グローバル回遊教育プログラム

「グローバル回遊教育研究プログラム」は、ポスドク等の若手研究者を文化が異なる複数の国に滞在して、研究のみならず人の交流や文化の習得を目指し、異文化融合の機会を与えることにより、国際的に広い視点と心を持った若手研究者を養成することを目的とした本 GCOE 独自の制度である。

特に、早期博士号取得を促し PD として 2 ヶ所以上の国際拠点等の研究機関に長期滞在するよう推奨し、PD 等の若手研究者にも適用することによって、プログラム終了後に国外の研究機関でも通用し、国際的にリーダーシップを取れる人材を育成することを期待し、本 GCOE PD の Zahrul Fuadi 氏、RA の木村 祐人、解 社娟の 3 名が採択された。

氏 名： 木村 祐人（工学研究科ナノメカニクス専攻 D3）

### ① 派遣機関と受入先教員、および期間

派遣機関 1：コロラド州立大学（フォートコリンズ、アメリカ）

受入先教員：Grzegorz Szamel 教授

派遣期間：平成 21 年 6 月 1 日～平成 21 年 8 月 15 日

派遣機関 2：デュッセルドルフ大学（デュッセルドルフ、ドイツ）

受入先教員：Hartmut Löwen 教授

派遣期間：平成 23 年 1 月 16 日～平成 23 年 2 月 5 日

派遣機関 3：コロラド州立大学（フォートコリンズ、アメリカ）

受入先教員：Grzegorz Szamel 教授

派遣期間：平成 23 年 2 月 6 日～平成 23 年 3 月 17 日

### ② 研究課題

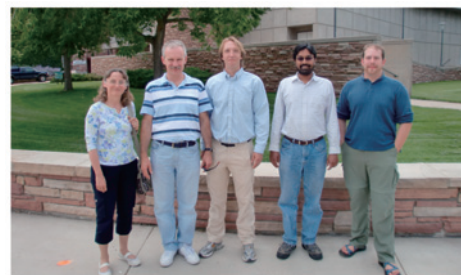
ガラス転移点付近の過冷却液体のダイナミクスを記述するための主要な理論の一つであるモード結合理論の数値計算結果と、分子動力学法によるシミュレーションの結果を比較することで理論の抱える問題点を詳細に検討し、さらにガラス転移現象を理解するための統一的な理論の構築を目指す。

### ③ 成果報告

#### ③-1 コロラド州立大学

訪問先である Grzegorz Szamel 教授のグループは理論とシミュレーションを用いてガラス転移現象および過冷却液体の研究に取り組んでいる。

平成 21 年 6 月から 8 月にかけて、コロラド州立大に滞在し、二成分金属ガラス系におけるモード結合理論の数値計算プログラムについて主に同グループの Flenner 博士と議論を行いながら開発を行った。



このプログラムは派遣者が本格的に理論の研究に取り組むきっかけとなり、また後に理論の改良方法を提案するための基礎的な手段となる、大きな成果であった。また理論の改良法するために当時行っていた計算に関して Szamel 教授と議論し、いくつかのコメントを頂いた。

平成 23 年 2 月から 3 月にかけては、現在行っているモード結合理論の数値計算と分子動力学法によるシミュレーションの比較、および新たに開発した理論の改良法について議論を行い、また将来的な共同研究の可能性についても話し合う予定となっている。

### ③-2 ハインリッヒ・デュッセルドルフ大学

デュッセルドルフ大学は古くは医療系大学として長い歴史を有し、現在は総合大学として運営されている。その理論物理研究所において Theoretische Physik II はソフトマター分野の理論的研究の部門である。ソフトマター分野は統計物理学の大きな応用分野の一つであり、生物物理の基礎として重要な位置づけにある。



Hartmut Löwen 教授のグループは世界的に見てもこの分野で活発に研究を行っているグループの一つであり、他の研究機関に幅広いコネクションを有している。

今回の滞在期間中、研究所のセミナーで発表する機会を得、モード結合理論の数値計算と、分子動力学法によるシミュレーションの比較に関する成果を発表した。モンテカルロシミュレーションを行っている研究者から計算機実験や計算方法についてのコメントを頂き、大きな成果を得た。また、Löwen 教授や、研究室の研究者・学生達との議論を通じて、ソフトマター分野に関する見識を広げることができるとともに、在籍している研究者や学生の出身地はドイツ国内に加えて、オランダやトルコの欧州各国や、日本などのアジア各国まで多彩であり、国際的な人的ネットワークの構築という観点からも大きな成果であった。

氏 名： Zahrul Fuadi (流体科学研究所 COE フェロー (PD))

#### ① 派遣機関と受入先教員、および期間

派遣機関 1： Ecole Centrale de Lyon (リヨン、フランス)

受入先教員： Hassan Zahouani 教授

派遣期間：平成 22 年 10 月 14 日～平成 22 年 10 月 30 日

派遣機関 2： シンガポール国立大学 (シンガポール)

受入れ先教員： Sinha Sujeet Kumar 教授

派遣期間：平成 23 年 1 月 29 日～2 月 19 日

## ② 研究課題

摩擦音、マイクロマシンの摩擦・摩耗および振動に及ぼす表面テクスチャの影響に関する研究

## ③ 成果報告

### ③-1 Ecole Centrale de Lyon

接触面剛性は、摩擦音などの様々な接触による事象を制御するパラメータの一つである。接触面剛性を制御する方法の一つとして、表面のテクスチャがある。Ecole Central de Lyon、LTDS(Laboratory of Tribology and System Dynamics)では、Zahouani 教授の研究室において、接触面剛性に及ぼす表面テクスチャの影響を、高弾性体であるシリコンを用いて評価した。接触面剛性の測定には Zahouani 教授の研究室にある測定機器(図 1)によって行われた。

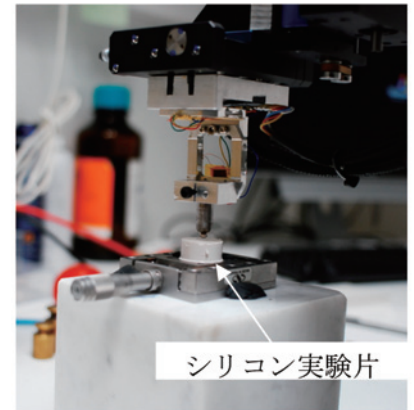


図 1. 接触面剛性測定機器

この研究室は触覚に関する研究で非常に有名であり、Zahouani 教授との議論をきっかけに、彼の測定方法に関する知見を本研究に導入することとなった。この共同研究の結果は、平成 23 年 2 月 22-24 日に仙台で開催される 2011 Elyt ワークショップで発表される予定である。

### ③-2 シンガポール国立大学

Sujeet Kumar Sinha 教授は MEMS などマイクロシステムの潤滑機構に関する研究を積極的に行っている研究者であり、平成 21 年の京都にて開催された WTC (World tribology congress)にて Sujeet 教授と会い、本研究についてディスカッションをしている。Sujeet 教授は、複合皮膜を用いて摩擦を減少させ、マイクロシステムの寿命を向上させるナノ潤滑方式を提案している。一方、派遣者は、表面テクスチャは、接触面における摩擦特性に大きな影響を与えることが明らかにしており、MEMS 等への応用が期待される。表面テクスチャが潤滑性能を向上させるか否かを調べるのは非常に意義深く、この共同研究では、マイクロマシンの接触面にテクスチャを施し、摩擦、摩耗および振動に及ぼす影響を調査する予定である。

氏 名： 解 社娟（工学研究科バイオロボティクス専攻 D2）

#### ① 派遣機関と受入先教員、および期間

派遣機関 1：INSA-Lyon（リヨン、フランス）

受入先教員：Joël Courbon 教授

派遣期間：平成 22 年 2 月 25 日～平成 22 年 3 月 27 日

派遣機関 2：西安交通大学（西安、中国）

受入先教員：陳振茂 教授

派遣期間：平成 23 年 3 月 17 日～平成 23 年 4 月 30 日



## ② 研究課題

構造材料のクリープ損傷のモニタリングに関する研究

## ③ 成果報告

### ③-1 INSA-Lyon

INSA-Lyon では Courbon 教授が所長を務める MATEIS と東北大学とは、日仏ジョイント・ラボラトリー ELyT

(Engineering and Science Lyon Tohoku) において、Durability, Reliability in Energy and Transportation の分野で共同研究を実施している。同教授のグループでは、アコースティック・エミッション(AE)法と超音波探傷法と高温環境試験法を研究していて、研究レベルの高さが世界的に認知されており、同グループの Stéphanie Deschanel 博士の指導の下、アコースティック・エミッション法の試験の手法、および試験片の高温環境試験を学んだ。



MATEIS の建物

ここで学んだアコースティックエミッションを用いた高分子の非破壊評価法は、研究を進めているパルス渦電流探傷法の信号処理に非常に役立っている。

その後は、実験に加え、パルス渦電流を用いた非破壊評価の高速シミュレーションに取り組んでおり、その成果をまとめて IEEE の Transactions on Magnetics に投稿している。

### ③-2 西安交通大学

INSA-Lyon で行った研究活動の次のステップとして、西安交通大学では、実験結果を用いた逆問題について取り組む予定である。手法は異なるが、電磁現象を用いた非破壊評価についての権威である陳教授のもとで学ぶことで、派遣者のオリジナルな手法として完成すれば、博士論文での重要な部分になることが期待される。

## 4) 国際高等研究教育院との連携

東北大学で設置した国際高等研究教育院に、本 GCOE 枠を設定し、所属する学生の中で優秀な者を選抜した上で、国際高等研究教育院と同等の支援を行って、その正規学生として、グローバルな視点と学際融合領域の研究ができる複眼的・多角的視野を持ち創造的な人材を育成する。

# 5) ジョイントラボ連携国際インターンシップ

国際ジョイントラボを推進している研究プロジェクトを中心として、博士課程学生を海外の共同研究先に派遣する。また、相手先の学生を受け入れて共同研究を推進する。グローバル・オペレーション・オフィスで強力に支援することで、研究者の負担を軽減する。

本プログラムとの関連性、研究計画、国際共同研究として適切かどうか、等につき審査を行い、派遣、受入ともにインターンシップ開始前後に2回インタビューを実施し、趣旨の理解、報告の方法等についてガイダンスを行っている。また、派遣学生には、派遣先から週報を送信させ、研究の進捗状況、生活面での安全の確認などにも配慮している。全学生にインターンシップ終了後、成果報告書と終了レポートの提出を義務づけている。レポートは本GCOEのホームページに掲載している。

また、定期的に開催している全体会議（研究交流会）において滞在中の成果を報告することを義務付け、国際会議において派遣先での成果を報告、もしくは博士論文の一部として活用することを求めている。

## ○平成22年度インターンシップ派遣学生一覧

学生氏名	学年	派遣先	研究課題	期間	指導教員
李 貞徹 工学研究科ナノメカニクス専攻	D1	韓国機械研究院 韓国	超精密流体軸受け運動誤差のナノメートル計測	6月22日～ 7月22日	高 偉 (工学部)
藤井 宏之 工学研究科ナノメカニクス専攻	D2	Massachusetts Institute of Technology アメリカ	金属ガラスにおける過冷却液体の動的挙動に関する計算機実験および理論	9月5日～ 12月4日	徳山道夫 (WPI)
Chuantao Zang 情報科学研究科システム情報科学専攻	D2	Institut National de Recherche en Informatique et Automatique フランス	3D Model-Based Tracking Systems	2011年 1月10日～ 2月23日	橋本浩一 (工学部) 副指導教員 石本淳 (流体研)
西尾 悠 工学研究科 機械システムデザイン工学専攻	D2	KTH スウェーデン	回転系における曲がり管内の流れとその安定性	2011年 1月10日～ 3月1日	福西祐 (工学部)
渡邊 夕紀子 医工学研究科医工学専攻	D3	Transporter in Imaging and Radiotherapy in Oncology, Centre Antoine Lacassagne フランス	超音波とナノ・マイクロバブルを用いた分子導入法によるがん早期診断法の開発：SPECTによるNIS遺伝子の発現観察	2011年 1月13日～ 2月25日	小玉哲也 (医工学)

坂井 玲太郎 工学研究科 航空宇宙工学専攻	D1	RWTH Aachen University ドイツ	Building-Cube Method による高レイノルズ数流れ計算	2011年 2月21日～ 3月5日	中橋和博 (工学部)
山本 元貴 工学研究科 機械システムデザイン工学専攻	D3	北京理工大学 中国	Clark-Y翼形まわりのキャビテーション流れの実験的研究	2011年 2月25日～ 3月12日	井小萩利明 (流体研)

○流体研支援による平成 22 年度若タケノコ国際インターンシップ（修士）派遣学生一覧

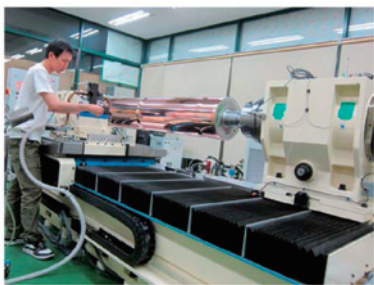
学生氏名	学年	派遣先	研究課題	期間	指導教員
坂井 玲太郎 工学研究科 航空宇宙工学専攻 (GCOE国際若タケノコ発掘プログラム、国際出る杭特別研究生)	M2	RWTH Aachen University ドイツ	Building Cube法へのLES導入に関する研究	8月3日～ 9月27日	中橋和博 (工学部)
菅井 文仁 工学研究科 航空宇宙工学専攻 (GCOE国際若タケノコ発掘プログラム採択者)	M2	ミュンヘン工科大学 ドイツ	遠隔双腕宇宙ロボットによる運動物体把持	9月1日～ 9月30日	内山勝 (工学部)
江目 宏樹 工学研究科 機械システムデザイン工学専攻 (GCOE国際若タケノコ発掘プログラム、国際出る杭特別研究生)	M2	INSA-Lyon フランス	Measurement of Radiative Properties in Micro-Nano Structure	9月27日～ 11月6日	圓山重直 (流体研)

※若タケノコ発掘プログラム採択者（M2）のインターンシップ派遣については、平成 22 年度から流体科学研究所の支援により実施している。

○平成 22 年度インターンシップ受入学生一覧

学生氏名	大学名・国名	研究課題	期間	受入教員
Lari, Khosro (Mr.)	Shabid Bahonar University of Kerman イラン	Theoretical radiative methods for solving Radiative Transfer Equation in three dimensional enclosures with complex geometries in order to thermal analysis of combined radiative-conductive systems	4月2日～ 12月28日	圓山重直 (流体研)
Laniewski-Wolk, Lukasz (Mr.)	Warsaw University of Technology ポーランド	Kriging based multiobjective optimization and statistical analysis of results	4月5日～ 7月20日	大林茂 (流体研)
Emiliano Iuliano (Mr.)	"Federico II" University of Naples / Italian Aerospace イタリア	Advanced geometry parameterization, reduced order modeling, multidisciplinary optimization	5月2日～ 7月15日	大林茂 (流体研)
Chae-hyoung Kim (Mr.)	Seoul National University 韓国	Stereoscopic-PIV measurement and combustion characteristics by the upstream pre-heating with a plasma-jet torch	6月1日～ 8月29日	升谷五郎 (工学部)
Alice Barthel (Ms.)	Ecole Centrale Lyon フランス	Heat transfer in green house covered with semi-transparent films	7月17日～ 1月18日	圓山重直 (流体研)
Tae Hattori (Ms.)	The University of Sydney オーストラリア	Three-dimensional simulation of natural ventilation flows in a semi-confined enclosure with a line/point heat source using large eddy simulation models	8月1日～ 11月7日	圓山重直 (流体研)
LiQiang ZHONG (Mr.)	Tsinghua University, 中国	Evaluation of creep damage of high Cr ferritic steels by EMAT-EC dual probe	10月3日～ 3月20日	内一哲哉 (流体研)
Ramchandra Prabhakar CHOPADE (Mr.)	Indian Institute of Technology Guwahati インド	Validation of the numerical work done so far with the experimental study and taking up new cases for numerical study on boundary design of radiant furnaces for desired thermal conditions	10月29日 ～ 12月31日	圓山重直 (流体研)





#### 6) 国際宇宙大学派遣

世界30カ国から第一線の研究者が100人程参加する国際宇宙大学スペース・スタディーズ・プログラム（SSP）は独自の教育プログラムを有し、学生の国際的視野や学際性の修得、高いリーダーシップ性の育成を目的にしている本GCOEの教育理念と合致している。東北大学では1990年より継続して学生を派遣し大きな成果を上げてきたこともあり、本GCOEの目的達成に向けて、国際宇宙大学への学生派遣を行った。



平成22年度 1名 派遣

氏名：須藤 真琢（航空宇宙工学専攻 D1）

期間：平成22年6月18日～8月29日

場所：International Space University、フランス

#### 7) HOPE ミーティング派遣

「HOPE ミーティング」は日本学術振興会（JSPS）の主催で行われ、アジア・太平洋地域から選抜された優秀な大学院生を対象として、ノーベル賞受賞者などの世界の知のフロンティアを開拓した人々との対話、同世代の研究者との交流、さらには人文社会分野の講演や芸術プログラムを通じて、科学者としてより広い教養の涵養と人間性の陶冶を図り、彼らが将来のアジア太平洋地域の科学研究を担う研究者として飛躍する機会を提供するものである。

今年度は、3月7日(月)～11日(金)の5日間、グランドプリンスホテル新高輪において「Art in Science」をテーマに学んだ。

このHOPE ミーティングは、当GCOEの「大学院生が広い視野を持って学際分野を積極的に切り拓き、将来国際的に活躍するリーダーとなるよう教育する、」との方針に適うものであり、今後とも、機会を捉えて積極的に参加する予定である。

平成22年度 1名 派遣

氏名：岡島 淳之介（機械システムデザイン工学専攻 D3）

期間：平成23年3月7日～3月11日

場所：グランドプリンスホテル新高輪（東京都港区）

#### 8) 学生企画/運営国際会議・シンポジウム

学生が企画・運営する国際会議を開催し、英語での発表討議能力を養成しながら研究組織運営とリーダーシップの訓練を行う。

#### ○The 5<sup>th</sup> Tohoku University – Seoul National University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle

平成 22 年 6 月 17 日～18 日 東北大学

東北大学グローバル COE と韓国ソウル大学 BK21 が共同主催する The 5<sup>th</sup> Tohoku University - Seoul National University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle が、6 月 17 日～18 日の 2 日間、東北大学で開催された。本ワークショップは 2006 年から始まって今年 5 回目を迎え、このワークショップを通じて東北大学流体科学研究所とソウル大学機械航空工学部ではたゆまぬ学術交流を行っている。

東北大学からは教員 9 人、学生 11 人、ソウル大学からは教員 3 人、学生 11 人が参加し、参加総数は 34 人（うち外国人 19 人、韓国・コソボ）となった。今年は超音速複葉翼型の空力性能、太陽光を利用した無人機、燃焼解析、計算流体力学（CFD）の技法など多様な分野からの 22 編の論文が発表され、活発な論議を通じて参加者は各分野の研究動向を把握し検証することができた。ワークショップ後の野外での夕方晚餐でも、お互いの研究と興味のある分野に関する積極的な討論と交流が行われた。



#### ○グローバル COE 航空宇宙流体科学サマースクール

平成 22 年 8 月 2 日～4 日 草津温泉リゾート（群馬県吾妻郡草津町）

本 GCOE プログラムが主催となり、東北大および JAXA、東京大、名古屋大、鳥取大教員・院生の研究交流を目的としたサマースクールが開催され、合計 32 名（うち外国人 2 名、2 名）の参加者が集まった。東北大のみならず、他の研究機関、大学から講師をお招きし、特別講演及び学生による発表とディスカッションを行った。主な講演者は以下のとおりである。



- ・中村氏（JAXA 研究開発本部 数値解析グループ）「JAXA 研開本部の数値計算研究紹介」
- ・石向氏（JAXA 研究開発本部 数値解析グループ）「乱流非定常数値解析」
- ・下山氏（東北大学）「応答曲面近似・データインヅを併用した高効率多目的ハブ設計最適化」

最新の研究成果、技術から普段馴染みのない内容にと多岐に渡ったご説明いただいたので非常によい励みになった。また学生の発表では、多くの専門家による異なる視点からの鋭い質問やアドバイスがあり、学生達にとってとてもよい刺激になった。

○ The Sixth International Students / Young Birds Seminar on Multi-scale Flow Dynamics  
平成 22 年 11 月 1 日～3 日 仙台国際センター

本 GCOE の RA 学生がオーガナイザーを務め自主的に企画運営するという特徴を持つ本国際セミナーは、ICFD の中心的なセッションにまで成長した。今回は、博士課程の西尾悠氏、山本元貴氏、清水康智氏の 3 名がオーガナイザーを務めた。世界における会議の認知度の高まりも相まって日本、フランス、ロシア、オーストラリア、中国、台湾、イタリア、ドイツ、韓国の 9 カ国から過去最高の 109 件もの発表があり、朝早くから夕方まで 3 日間に渡り発表が行われた。発表者は学生、院生、ポスドクなどの若手研究者に限定し、ショートオーラルプレゼンテーションとポスターセッションを組み合わせで行った。特に今回は、ポスター発表時間を大幅に増やし、十分な議論ができるように配慮した。以前は、日本人同士になると日本語の議論が多く見られたが、今回は、ほとんどのやり取りが英語でなされていた。これも、学内での事前の発表練習や研究内容の議論が研究室を越えて学生・若手研究者間で盛んに行われていたためであると考えられる。本会議は参加人数も内容も一流の国際会議にも引けをとらないレベルにまで成長した。

また、Students/Young Birds Friendship Night と称して、本国際会議に出席した全学生を対象とした Students/Young Birds Friendship Night を開催した。GCOE プログラムで海外インターンシップ等を経験した先輩も参加して、当時およびその後の活動についてパワーポイントで紹介があり、大いに盛り上がった。これも 21 世紀 COE や GCOE プログラムによる国際的・先導的人材育成への効果の表れであると考えられる。



Students/Young Birds Friendship Night でのひとこま

昨年に引き続き、教員による審査に加えて、学生同士で審査を行い表彰する制度も継続した。これにより、学生同士の議論の中身が一段と深くなった。

教員による審査で決定した優秀な研究発表者 2 名については、第 2 日目のバンケットにおいて表彰した。バンケット参加者全員の前で圓山代表から表彰状が授与され祝福されたことは、受賞者にとって大きな励みとなった。GCOE プログラムにおいて国際経験と広い視野を持った人材育成は重要な柱の一つである。本 GCOE 国際会議において、運営、発表、表彰、交流を通して、その一旦を担うことができた。

【BEST AWARD】教員審査

(バンケットにおいて表彰：写真)

- 7-13 Ms. Tae Hattori  
(The University of Sydney, Australia)  
7-22 Mr. Francisco Palazon  
(Ecole Centrale Lyon, France)



最優秀賞を受賞した Tae Hattori 氏

【OUTSTANDING AWARD】学生審査

- 7-13 Ms. Tae Hattori (The University of Sydney, Australia)  
7-43 Ms. Hitomi Anzai (Tohoku University, Japan)



○The 11<sup>th</sup> Japan-Korea Students' Symposium – Fast Ion Transport in Solids and Through Interfaces – The Related Materials and Phenomena -

平成 22 年 11 月 8 日～10 日ソウル

日韓学生シンポジウムは、2000 年から東北大学の水崎研究室とソウル大学の Yoo 研究室で行われているもので、今回で 11 回目である。開催国は毎年交互に持ちまわりで、今年は韓国のソウル大学で行われた。シンポジウムの運営をはじめ、プロシーディングの作成、開催するための資金獲得、そして旅行の手配に至るまで、全て学生が自主的に企画運営するという特徴を持つ。今回は、東北大学の渡邊秀貴氏、ソウル大学の Jakyu Chun 氏の 2 名がオーガナイザーを務めた。回数を重ねる毎に参加研究室と発表人数も増加し、日本側は 4 研究室 24 人、韓国側もソウル大学と韓国科学技術院 (KAIST) で 5 研究室 32 人、計 56 人の大規模開催となり、発表は口頭発表とポスター発表で行った。参加者に数名の学部生も加わったことで、全体のやる気は飛躍的に向上した。質問に窮した学生がいた際には学生同士でフォローし、お互いに納得するまで深く議論する様子が見られた。これは、本シンポジウムの初期には見られなかった光景であり、学生が本シンポジウムを毎年経験することで、高い英語能力だけでなく、高い専門性、広い視野そして高い人間性を持った人材育成の一旦を担うことができた。



口頭発表の様子



全体の集合写真

9) 学生交流研究発表会

○第 3 回流動ダイナミクス国際若手研究発表会

平成 22 年 7 月 26 日東北大学流体科学研究所 COE 棟

本 GCOE の RA 学生を対象とした研究発表会を開催した。学生が主体的に運営し、学生同士で発表に対するピアレビューを行い、表彰するという特徴を持っている。半期毎に自分の研究をまとめ、他の学生や教員から評価を受けることにより自分の研究を見つめ直し、今後の研究に生かすことを目的としている。

学会や集中講義に重なる忙しい時期であったにも関わらず、時間の合間をぬって 10 件の発表があった。また、発表できなかった学生や修士の学生も数名程度参加し、本 GCOE の RA 学生の志の高さを伺わせた。午前中にショートオーラルプレゼンテーションとポスターセッションを行った。上位 3 名は午後に行われた RA、教員が参加する GCOE 全体会議で発表し、教員からのアドバイスを受けることができる。第 3 回目であったこともあり、ショ



ートプレゼンテーションは研究背景から研究内容まで異分野の研究者にもわかりやすい発表が多く行われた。

ポスターセッションもセッション後に審査を行い、上位 3 名を掲示した。上位 3 名は固定することなくコンペごとに入れ替わっており、学生のモチベーションも高い。今後も、年 1 回、学生のモチベーション向上に向けた取り組みとして継続し、本 GCOE の RA に関わらず機械系の協力分野からの学生参加も受け入れ、新しい研究交流と研究の芽を育てる予定である。



### 第 3 回流動ダイナミクス国際若手研究発表会

平成 22 年 7 月 26 日（金）

<前半の部> ショートプレゼンテーションおよびポスター発表 発表者計 10 名

No.	発表者	題 目
P1	森澤 征一郎	非定常流れ場における情報探索手法の研究
P2	野呂 秀太	Boundary Layer Receptivity to the Outer Disturbances
P3	大川 啓	Relation between Waveforms of Piezo-Actuator Driving Signals and Exited Velocity Fluctuations inside a Flat-Plate Boundary Layer
P4	西尾 悠	Leading Edge Receptivity to periodic Disturbances Generated by an Oscillating Wing
P5	青柳 光裕	MHD Pressure Drop Characteristics in a Three-Surface-Multi-Coated Channel under a Strong Magnetic Field
P6	木村 祐人	Simulation Study of Dynamics of Cooperative Motion of Neighboring Atoms in Supercooled Liquid
P7	渡邊 秀貴	Analysis of Effective Reaction Zone and Degradation Mode of Ni-GDC Cermet Anode
P8	申 有哲	Thermal properties of perovskite-type $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$
P9	呉 美瑛	Material stability of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ for SOFC cathode
P10	落合 直哉	壁面近傍での単一気泡崩壊挙動と誘起衝撃圧の数値解析

<後半の部> 優秀発表者上位 3 名 GCOE 全体会議発表

発表順番	発表者	題 目
1	大川 啓	Relation between Waveforms of Piezo-Actuator Driving Signals and Exited Velocity Fluctuations inside a Flat-Plate Boundary Layer
2	木村 祐人	Simulation Study of Dynamics of Cooperative Motion of Neighboring Atoms in Supercooled Liquid
3	落合 直哉	壁面近傍での単一気泡崩壊挙動と誘起衝撃圧の数値解析



10) 流動ダイナミクス知の融合「博士学生セミナー」

博士課程大学院生が、専門とする学術分野のみでなく、産業・環境・社会・国際問題等に幅広く強い関心を持ち、複眼的視野を持って、積極的・着実かつ大胆に、自らの将来を切り拓いて行く事を支援する目的で、「博士合宿セミナー」を開催した。本企画は、学生が提案し、若手研究者が支援して実現されたものである。

同セミナーでは毎回、近郊の温泉旅館に一泊の合宿形式で、本学教員、産業人、企業の経営者・現役管理職、経営や国際問題の専門家等を講師として招き、講演と質疑応答を行う。更に、学生が自分の所属する研究室の概要、自分の研究内容の紹介及び、参加者全員による質疑応答を行う。博士課程の大学院生が、幅広い知識と経験を持つ有識者・先輩と胸襟を開いて語り合いかつ議論する、こうしたいわば「ワークショップ」を持つことにより、「視野を大きくし、落ち着いて、着実に、かつ積極的に」思考して、自らの将来を拓いて行く事を期待している。今年度は下記の日程で行った。

○夏季流動ダイナミクス知の融合「博士学生セミナー」

平成 22 年 7 月 16 日～17 日 松島

平成 22 年度の「夏季博士合宿セミナー」は、博士課程大学院生が 10 研究室から 12 名と教員 7 名が参加して「かんぽの宿松島」で開催した。

先ず 16 日の午後には、東洋エンジニアリング株式会社代表取締役社長 山田 豊氏から、「Globalization in Engineering and Human Capital – Its Dynamics and Human Capital」の講演をいただいた。東北大学の先輩でもある山田社長は、日本を代表するエンジニアリング会社のトップとして数々の大型国際プロジェクトに携わって来た経験から、「グローバルな大型プロジェクトを事故なく予定通りに完成させるために必要なマネジメントは何なのか？」を詳細に、また、熱く語られた。「インドの製油所プロジェクト」「シンガポールのエチレンプラントプロジェクト」等の具体例を引き合いに「国際的なプロジェクトのダイナミズムと求められる人財」に関するお話は、まさに当 GCOE の指向している人材育成の方向そのものでもあり、深い感銘を受けると共に、大きな励ましともなった。



同日夜は、山田社長を含めて教員と学生がこれまでの経験や将来の希望につき膝つき合わせて懇談し親交を深めた。

17日朝には当 GCOE サブリーダーでもある、東北大学流体科学研究所 高木敏行教授より、「電磁現象を用いた機能性材料や非破壊評価の研究」の講演をいただき、この分野の最先端の研究・開発事情につき勉強した。また、高木先生より「現在の研究テーマを定めるまでに自分が歩んだ道のり」について興味深く参考となるお話を伺った。

セミナーの最後に参加した学生各人が「研究生生活の現状と将来の希望」につき披歴し、これに教員全員も加わって「今後為すべき仕事・努力の方向」について話し合った。



#### ○冬季流動ダイナミクス知の融合「博士学生セミナー」

平成 22 年 3 月 11 日 東北大学流体科学研究所

「冬季博士合宿セミナー」は、博士課程大学院生が 12 研究室から 20 名と教員 5 名が参加して本学 COE 棟セミナー室にて開催した。

今回のセミナーは、元宇宙航空研究開発機構 藤森義典氏および東北大学エネルギー安全科学国際研究センター 三浦英生教授をお招きし、「官」および「学」の視点から若手研究者に向けた講演をいただいた。

藤森氏からは「叡智の創造を目指すには」との題目で、世界レベルで研究活動を展開する上で最も重要なことはヒューマン・ネットワークであることを強調された。氏自身、諸外国との協調を図ってプロジェクトを円滑に進めていった経験を豊富にお持ちであり、それらを通して、ネットワークのあり方を説明された。聴講学生からは、ヒューマン・ネットワークの構築と維持についてどのようにすればうまくいくのか等の質問が相次いだ。



三浦教授からは「研究開発におけるリーダーシップとは」との題目の下、大型プロジェクトのような研究開発ではどのような人間像が望まれるかについて、講演をされた。しかしながら講演開始 10 分ほどの 14:46 に東日本大震災が起き、会場騒然となったが、エネルギー安全科学のプロフェッショナルである三浦教授の的確な指示により、建物の外に全参加者を避難誘導することができた。その後の震災の状況は各社報道のとおりであるが、負傷者を 1 名も出すことなく誘導できたことは大きかった。

大震災により、今回のセミナーは中途半端に終わってしまった。4 月中旬に差し掛かる今日でも大学の機能は完全復活していなく、特に学生については自宅／実家待機となっており、今後は学生のケアを含めたセミナーの開催をすべきである、と開催者は考えている。環境が落ち着き、無事にセミナーを開催できる日が来たら、改めて会を催す予定である。

#### 11) 保全サマースクール 2010

平成 22 年 7 月 19 日～23 日 東北大学流体科学研究所 COE 棟他

本 GCOE は、日本保全学会、東北大学と共同し、我が国を含むアジア諸国における原子力保全に関わる若手育成に資することを目的として、本年 7 月 19 日～23 日の間、東北大学流体科学研究所において「保全サマースクール 2010」を開催した。



このサマースクールには、日本国内からは、東北大学、東京大学、大阪大学、神戸大学の学生計 8 名、中国からは南京航空航天大学、清華大学、華北電力大学、西安交通大学の学生計 6 名、そして韓国からは成均館大学の学生 1 名の、3 カ国計 15 名の学生が参加した。

原子力プラント全体の保全活動を学ぶことを目的として、講義（座学）、学生発表、女川原子力発電所見学、そして東北大学内研究室の見学及び研究室における実習と、盛り沢山の内容であった。

講義の題目と講師の方々は以下のとおりである。

- From design for performance to design for maintenance（法政大学 宮野廣客員教授）
- Application of a cold-spray technique into repair for degraded and damaged parts of materials（東北大学 小川和洋准教授）
- Stress corrosion cracking of austenitic alloys in high temperature water（東北大学 Qunjia Peng 准教授）
- The outline of the maintenance at the Onagawa NPP（東北電力 音喜多諭氏）
- Pipe wall thinning management and evaluation methods（電中研 稲田文夫氏）
- Nondestructive testing for nuclear power plants（東北大学 内一哲哉 准教授）
- Maintenance in Japanese Nuclear Power Plants（東北大学 青木孝行 客員教授）

学生発表は、自身の研究を他の参加者に説明するというもので、質疑応答にも十分な時間を取り、また 2 回目以降は座長も学生に務めさせるなど、自主的な運営を行わせた。

女川原子力発電所見学では、女川原子力発電所全体に関する説明、原子炉建屋及びタービン建屋内部の見学、実損傷事例の見学、そして質疑応答と、密度の濃い内容であった。

研究室見学及び研究室実習は、東北大学の庄子研究室、小川研究室、高木研究室にて行った。参加者全員で 3 研究室を見学した後、翌日に研究テーマが比較的近いと考えられる研究室において、約 1 時間半の実習及び研究に関する議論を行った。

（なお、この保全サマースクール 2010 の様子については 6.2.8 GCOE 融合フロンティアプロジェクト 2. 国際連携活動（P106）にも詳しく記している。）



## 12) オータムスクール：ELyT School in Sendai – Autumn2010

平成 22 年 10 月 24 日～11 月 3 日 東北大学流体科学研究所 COE 棟

本GCOEは、平成22年10月24日から11月3日の11日間、フランスの2つのグランゼコールECLとINSA-Lyonを中心とするUniversity of Lyonから19名、オーストラリア、スウェーデン、中国、ロシアの協定校から夫々1名の合計23名の大学院生（博士課程後期11名、同前期12名）を招聘し、また、東北大学からも多くの大学院生が参加して、片平キャンパスを中



心に、 オータムスクール:ELyT School in Sendai – Autumn 2010を開校した。 なお、このオータムスクールは、昨年フランスリヨンで開校したTohoku Lyon Summer Schoolに次いで2度目の試みである。（使用言語：英語）

同オータムスクールは以下の様なプログラムで構成された。

- ・ 日本の歴史・文化の講義（東北大学 大西仁教授）
- ・ 学術講義（東北大学圓山重直教授、大隅典子教授、大谷栄治教授、後藤孝教授、井上邦雄教授、庄子哲雄教授、ECL Philippe Kapsa教授、INSA-Lyon Jean-Yves Cavaille教授）
- ・ 学生によるPresentations and Discussions
- ・ 東北大学の研究施設見学
- ・ 学生の東北大学研究室セミナー参加
- ・ 日本文化の体験（加茂綱村太鼓の実演と講習、休日の山寺行）
- ・ 東北電力女川原子力発電所とJR東日本新幹線総合車両センターの見学
- ・ 流動ダイナミクスに関する国際会議ICFD2010への参加・発表等



このオータムスクールを通じて学生達は多くの点を吸収したが、それらは、1) 日本の歴史・文化、また日本人に関して理解を深めた、2) 学術講義は極めて幅広い科学・工学分野にまたがって行われ、学生達の教養・常識を涵養し、彼等の将来の進路選択に大きく役立つ、3) 学生自身が自分研究の研究内容について発表し、また全員討議に参加したことは、彼等の今後の研究活動のための大きな経験となった、等である。

オータムスクール終了後に調査した結果では、23名全ての学生達から、このオータムスクール：ELyT School in Sendai – Autumn 2010について、「Excellent」との評価が得られた。また、「日本の歴史・文化の一部に触れられて楽しかった」、「自分の研究分野とは全く異なる分野の講義を受けてインスパイアされた」、「他の学生の研究発表を聞き討議に参加する事で刺激になった」、「東北大学の研究環境の素晴らしさに感激した」、「関係者の努力に感動し感謝したい」、「今後インターンシップ等で是非もう一度訪れたい」等の感想が寄せられた。

本GCOEは、毎年フランスと仙台で交互にこのオータムスクールを開校する予定であり、2011年度は再度リヨンで9月を開くことにしている。



### 13) 英語研修会 (English Conversation Class)

平成 22 年 8 月～10 月東北大学流体科学研究所 COE 棟

本 GCOE では「流動ダイナミクスを基軸とした異分野との融合、多国間研究融合、異文化融合の教育研究活動を通じて人材を育成する」事を目指しており、これらの人材が将来、様々な分野で世界のリーダーシップをとって活躍してくれる事を期待している。こうした際、「単に英語がある程度読める、話せる、書ける」というのでは不十分で、「自分の考えを明瞭・迅速に形成して表現し、相手方やその場全体の考え方や進行状況を正確に理解・把握し、その上で、皆が納得・賛同する方針や計画を適切に提示して全体をリードして行く」事を「英語で行う」必要がある。



こうした観点から今年度より GCOE 英語研修会 (English Conversation Class) を開き、若手研究者および博士課程後期大学院生の要望に応える事にした。講師はベテランの Mr. Thomas Duane Mandeville にお願ひし、8 月から 10 月の間に 1 コマ 2 時間で 10 コマの研修会を持った。1 回目から 3 回目は Basic Conversation、4、5 回目は Presentation about himself/herself and discussions among the students、6 回目から 8 回目は Debate、そして 9 回目と 10 回目は Training of Chairmanship and Presentation を中心テーマに研修した。

今回の研修の参加者は 7 名（助教 1 名、博士課程後期大学院生 6 名）であり、各人の英語の現状レベルには差があったが、10 回の研修をこなす間に、夫々英語の会話力が格段に向上し、自信がついた様子が顕著となった。

こうした研修会は継続性が大切なので、平成 23 年度も開講する予定である。

### 14) ダブルディグリー共同教育

ダブルディグリー共同教育に積極的に参加し、ダブルディグリー取得の支援を行う。

### 15) 高度イノベーション博士人材育成センターとの連携

センターの高度技術経営塾の聴講を強力に推奨することによって、国際感覚と経営感覚を兼ね備えた高度人材育成を推進し、博士課程後期修了後に、民間企業等でも活躍できる人材を育成する。

### 16) 若手研究者国際会議派遣 平成 22 年度 15 名

若手研究者が自らの研究成果を海外で開催される国際会議において発表し、海外の多くの研究者と意見を交換し学ぶ機会を与え、将来、国際プロジェクトマネージャーとして活躍する人材育成を目的とする。

#### 平成 22 年度若手研究者国際会議派遣リスト

派遣者名	職名 学年	学会名	学会開催地	開催期間
河 宗秀	D3	SAE 2010 World Congress	デトロイト アメリカ	4/13-4/15
頼 晨光	D3	SAE 2010 World Congress	デトロイト	4/13-4/15

			アメリカ	
阿部 博志	助教	2 <sup>nd</sup> International FAC Conference on Flow Accelerated Corrosion	リヨン・ブロン フランス	5/4-5/7
藤井 宏之	D2	Liquids out of Equilibrium	シドニー オーストラリア	7/12-7/16
小宮 敦樹	講師	COSPAR2010	ブレーメン ドイツ	7/19-7/24
小澤 桂	D1	6 <sup>th</sup> World Congress on Biomechanics	シンガポール	8/1-8/6
伊藤 悟	助教	Applied Superconductivity Conference 2010	ワシントン D. C. アメリカ	8/1-8/6
中村 寿	助教	The 33 <sup>rd</sup> International Symposium on Combustion	北京 中国	8/1-8/6
富田 典子	ポス ドク	Microscopy & Microanalysis	ポートランド アメリカ	8/1-8/5
八代 圭司	講師	The 2010 Gordon Conference on Solid State Studies in Ceramics	ニューロンドン アメリカ	8/15-8/20
辻田 哲平	助教	The 12 <sup>th</sup> International Conference on Electrorheological (ER) Fluids and Magnetorheological (MR) Suspensions	フィラデルフィア アメリカ	8/16-8/20
竹野 貴法	助教	5 <sup>th</sup> International Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials (NANOSMAT-5)	ランス フランス	10/19-10/21
三木 寛之	講師	5 <sup>th</sup> International Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials (NANOSMAT-5)	ランス フランス	10/19-10/21
佐藤 一永	助教	The International Conference on Experimental Mechanics (ICEM2010)	Kuala Lumpur マレーシア	11/29-12/1
沼田 大樹	助教	49 <sup>th</sup> AIAA Aerospace Sciences Meetings Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition	オーランド、 アメリカ	1/4-1/7

#### 17) 流体科学分野横断セミナー

若手教員・博士課程学生が集まって、時間の制約等に捕われず自由なムードで分野を横断した議論と情報交換を行い、流体科学/流動ダイナミクスに関する幅広い知識と考え方を養うため、流体科学分野横断セミナーを企画開催した。

第 51 回/平成 22 年 4 月 6 日

発表者： 松浦 一雄 助教（東北大学国際高等融合領域研究所・助教）

題 目：「乱流を伴ったマルチスケール・マルチステージシナリオに対する異分野融合予測科学の展開」

第 52 回/平成 22 年 8 月 6 日

発表者： Mr. Zachary Holman (University of Minnesota・博士課程学生)

題 目： "Plasma-synthesized germanium and silicon nanocrystals for solar cells"

第 53 回/平成 22 年 10 月 14 日

発表者： Michel Quintard 教授 (Institut de Mechanique des Fluides de Toulouse・教授)

題 目： "Reactive transport in porous media: upscaling problems"

第 54 回/平成 22 年 11 月 22 日

発表者： 川野 聡恭教授 (東北大学流体科学研究所・客員教授)

題 目： 「MEMS 技術による新しい人工内耳の開発： プロジェクト HIBIKI」

第 55 回/平成 23 年 1 月 19 日

発表者： 川野 聡恭教授 (東北大学流体科学研究所・客員教授)

題 目： 「制限ナノ空間における量子・分子流動ダイナミクスの学理構築  
-電子デバイスの数値設計-

#### 18) 客員教授による実践教育

流体科学研究所の客員教授ポストを本 GCOE 事業推進に充て、若手研究者、学生の実践的研究・教育指導を行う。平成 22 年度は、国内 4 名、外国人 3 名の客員教授から教育を受けた。

平成 22 年度

国内客員教授

青山 剛史 ((独) 宇宙航空研究開発機構研究開発本部数値解析グループ 研究領域リーダー)

平成 22 年 4 月 1 日～平成 22 年 9 月 30 日

青木 孝行 (日本原子力発電 (株) 部長)

平成 22 年 4 月 1 日～平成 22 年 9 月 30 日

平井 秀一郎 (東京工業大学炭素循環エネルギー研究センター 教授)

平成 22 年 10 月 1 日～平成 23 年 3 月 31 日

川野 聡恭 (大阪大学大学院基礎工学研究科機能創成専攻 教授)

平成 22 年 10 月 1 日～平成 23 年 3 月 31 日

外国人客員教授

陳 振茂 (西安交通大学航天航空学院 教授)

平成 22 年 7 月 8 日～平成 22 年 9 月 7 日

Hui Meng (ニューヨーク州立大学バッファロー校 教授)

平成 22 年 10 月 1 日～平成 23 年 3 月 31 日

Gabor Vértesy (ハンガリー科学アカデミー 科学顧問)

平成 22 年 10 月 20 日～平成 22 年 12 月 16 日



## 7. 国際連携活動プログラム

### 7.1 国際連携拠点の活用

国際共同教育、国際共同研究を通じて若手研究者の教育を行い、本研究拠点の国際的地位のさらなる向上を目指して国際連携活動を進めている。現在、モスクワ大学(ロシア)、ニューサウスウェールズ大学(オーストラリア)、シラキウス大学(アメリカ)、韓国科学技術院(KAIST)(韓国)、INSA-Lyon(フランス)、王立工科大学(KTH)(スウェーデン)には、相手国(大学)側にリエゾンオフィスが存在し、それぞれの機関が管理運営を行っている。これらのスペースは国際ワークショップ開催のための会議などに利用され、国際交流拠点としての役割を担っている。

GCOEプログラムでは、この拠点を活かしたネットワークに、各事業推進担当者が持つ様々な国際ネットワークを結びつけるマルチステージネットワークの構築を目指している。具体的には、各研究者は、積極的に多層の国際ネットワークを結びつけることで、多国間国際交流を実現している。

一方で、前21世紀COEプログラムから継承している「流動ダイナミクスに関する国際会議」において、リエゾンオフィスの特別セッションを開催し、世界各国のリエゾンオフィス代表者を招いて、世界ネットワークの実質的な枠組みの構築や、運用について議論している。

昨年度まで、日仏間のサマースクールの実施、リエゾンオフィスの活動報告及びその成果を基にした各機関への周知を行ってきた。特に、日仏間のサマースクール(2009年9月1日～12日)は多くの学生間交流を実現し、本GCOEの教育プログラムに多大な好影響を与えた。

リエゾンオフィスセッションでは、学生と教員との対話集会形式を初めて実施し、国際交流における学生からの反応を共有することで、今後の国際交流活動へフィードバックする体制を整えた。

INSA-LyonやECLと東北大学によるジョイントラボラトリー(ELyTラボラトリー)については、年に一度のannual meetingを行っており、今年度は2月に東北大学で行う予定である。

また、流体科学に関わる国際研究教育拠点として、流動ダイナミクスに関連して世界的に活躍できる若手人材の育成を推進する方針に基づき、博士前期(修士)課程の学生が国際的な場で発表する経験と実績を積む機会を与えるために、海外での発表のための渡航を支援する制度を設けた。本年度上半期に6名の修士学生が本支援を受けた。

さらに、流体科学研究所とフランス、イタリア、ギリシャ、アメリカ、オーストラリア、カナダ、イギリス、韓国、インドの間にジョイントラボラトリー(FLOWJOY)を設立し、3件の国際共同研究プロジェクトを推進している。このように、本年度はこれまでの国際連携をもとに本GCOEを中心とした研究・教育ハブを強化した。

#### 7.1.1 リエゾンオフィスセッションの概要及び今後の方針

2010年11月2日(木)17:00–18:30まで行われたリエゾンオフィスセッションでは、リエゾンオフィス代表者が集まり、それぞれの大学とその活動を紹介すると共に、学生との対話集会形式を初めて行い、リエゾンオフィス責任者に対する学生からの要望やGCOEを通じた国際交流事業に対する評価について話し合った。その結果、国際交流による学生間のパイプ構築が、学生から高く評価された。また生活構築の苦労などの問題点も共有され、各国のリエゾンオフィス責任者のホストとしての役割が明確になった。さらに、2010年度のサマースクールが東北大学・仙台で開催され、外国人への生活に対する日本側の対応の良さも評価された。

## 7.2 日仏ジョイントエリートラボの支援

ELyT LabはEngineering and Science Lyon Tohoku Laboratoryの略で、東北大学と国立中央理工科学学校リヨン校(ECL)および国立応用科学院リヨン校(INSA-Lyon)との共同研究・共同教育がフランスのCNRSのLIA事業である。5分野24のグループから構成され、活動を行っている。本機関からは6グループが参加し、高木教授はリサーチコーディネータとして参加している。6グループの内訳は以下のとおりである。

B1 (T)	Bio Tribology of Catheters <i>BioCath</i>	Vincent Fridici、 Makoto Ohta
R1	Non Destructive Evaluation & Mitigation <i>NDE &amp; Mitigation</i>	Joël Courbon、 Tetsuya Uchimoto
F1	Heat and Mass Transfer Properties of Biological Surface Morphologies <i>BioHeatMassTransf</i>	Benoit Pier、 Atsushi Shirai
F2	Radiative Properties of Complex Materials for Design and Control of Engineering Systems <i>RadiativMat</i>	Rodolphe Vaillon、 Shigenao Maruyama
T2 (F)	Nano-Scale Modeling of Tribological Interfaces <i>NaSMoTI</i>	Philippe Vergne、 Takashi Tokumasu
T4	Tribologically-based Design Strategies for Advanced Carbon Coatings <i>CarbonCoat</i>	Julien Fontaine、 Hiroyuki Miki

2010年10月23日よりオータムスクールを本学で実施した。その報告は既に述べた通りである。各研究者は、研究者(スタッフ)レベルの交流の短、中期的(1カ月)滞在のみならず、両国における学生の短中期的滞在なども積極的に行なわれた。さらに、国際会議における共同発表など研究成果の共同周知のみならず、博士論文発表の副査に入るなど、国際共同研究、国際共同教育が積極的に行われた。2011年2月22日からはAnnual Workshopを本学で行う予定である。

以上のように、本活動は極めて広範囲に、かつ多種に渡っており、本GCOEプロジェクトにおいても様々なプロジェクトで活動を支援し、その成果は本GCOEの目標である国際共同研究、国際共同教育の実現に大きく役立っていると言える。

## 7.3 流動ダイナミクス国際融合ジョイントラボラトリー (FLOWJOY)

平成19年度、流動ダイナミクス国際融合ジョイントラボラトリー (FLOWJOY) が流体科学研究所に設置された。その目的は、流体科学に関する国際拠点研究機関として、流動ダイナミクスに関する融合的な世界的人材育成のため、海外リエゾンオフィス等を通じたマルチネットワークによる国際共同研究・国際教育プログラムを推進することである。委員会は、早瀬敏幸所長を委員長とし、高木敏行教授、大林茂教授、内一哲哉准教授、太田信准教授の計5名で構成されている。FLOWJOYの事務は、流体科学研究所国際交流推進室で行い、本GCOEでは必要なサポートを行っている。

なお、流体科学研究所の支援でジョイントラボラトリー棟が建設(2010年3月竣工)され、国際共同研究の一層の進展が期待される。

平成 22 年度は、以下の 3 件のプロジェクトが採択された。

プロジェクト名：国際連携研究による実用化設計探索手法の開発

Development of Design Exploration Method for Real-World Design Problem by International Collaborations

	氏 名	所 属	職 名
研究組織	大林 茂 (PL) 中橋 和博 鄭 信圭 下山 幸治 佐々木 大輔	流体科学研究所 工学研究科 流体科学研究所 流体科学研究所 工学研究科	教授 教授 准教授 助教 助教
	C. Poloni V. Pediroda K. Giannakoglou  A. Meade K. Srinivas D. Zingg K. Knowles E. Naylor J. Han K. Lee D. Haroon	University of Trieste University of Trieste National Technical Univ. of Athens Rice University University of Sydney University of Toronto Cranfield University Cambridge University KAIST Pusan National University Institute for Infocomm Reserach	教授 助教授 教授  教授 教授 教授 教授 研究員 助教授 助教授 研究員
プロジェクト研究の概要	<p>輸送は経済の基本であると同時に、地球温暖化の主要因になっている。これらの問題点を解決するためには、輸送機関の最適設計による効率改善が不可欠である。このジョイントラボは、多目的最適探索、データマイニング、データ融合および融合計算技術の国際連携研究を推進し、輸送機器、ターボ機械および航空宇宙を主な適用分野として効率改善を図り、経済成長・地球温暖化問題の解決を図る。さらに、開発された技術の適用分野としては、医療応用などその他の流体分野も視野に入れる。</p> <p>研究実施計画（研究目的を達成するための研究計画・方法等）</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3次元プリンタを利用した設計の信頼性向上 3次元プリンタから作製されるモデルで実験を行い、そのデータをCFDデータと融合を行うことで設計の信頼性向上を図る方法の研究開発を行う。</li> <li>国際ワークショップの開催 機械学習アルゴリズムを中心にした国際ワークショップを開催してデータマイニング手法に関する議論を行い、設計探索手法の高度化に役立てる。</li> </ol>		
使用する主な研究設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スーパーコンピュータ</li> <li>・大規模データ処理装置兼グラフィックスサーバ</li> <li>・3次元プリンタ</li> </ul>		
研究期間	平成 22 年 4 月 1 日～平成 23 年 3 月 31 日		

プロジェクト名：マイクロ・ナノ構造体のふく射物性測定

Measurement of Radiative Properties in Micro-Nano Structure

	氏 名	所 属	職 名
研究組織	圓山 重直 櫻井 篤 小宮 敦樹	東北大学流体科学研究所 新潟大学工学部 東北大学流体科学研究所	教授 助教 講師
	Vaillon Rodolphe Masud Behnia Mishra Subhash Chandra	INSA de Lyon The University of Sydney Indian Institute of Technology	研究員 教授 教授
プロジェクト研究の概要	表層にマイクロ・ナノ構造およびナノ粒子層を有した機能性反射板を製作し、そのふく射特性を解明する。ナノ粒子群の数密度や粒径分布をパラメータとした数値解析を行い、可視から近赤外における波長領域での波長選択性を有する反射特性を制御する構造を検討する。反射板の特性は数値解析で評価し、あわせてナノ粒子を用いて試験反射板を製作し、実験的にもふく射反射特性データを取得する。そのために可視光から近赤外領域の分光光度が計測可能な光度計を使用する。		
使用する主な研究設備	赤外分光光度計（流体研ジョイントラボラトリー棟） 紫外・可視分光光度計（流体研極限熱現象研究分野）		
研究期間	H22.4.1－H23.3.31		

プロジェクト名：接触境界面におけるナノメカノ流動ダイナミクス

Functionality DEsign of the COntact dynamics: DECO Laboratory)

	氏 名	所 属	職 名
研究組織	高木 敏行 内一 哲哉 三木 寛之 竹野 貴法	東北大学流体科学研究所 東北大学流体科学研究所 東北大学流体科学研究所 東北大学国際高等研究機構国際高等融合領域研究所	教授 准教授 講師 助教
	足立 幸志 Zahrul Fuadi	東北大学工学研究科 東北大学「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」	准教授 博士研究員
	Julien Fontaine Sandrin Bec Michel Belin Boyko Stoimenov 後藤 実	国立中央理工科学学校リヨン校 国立中央理工科学学校リヨン校 国立中央理工科学学校リヨン校 国立中央理工科学学校リヨン校 国立中央理工科学学校リヨン校 (宇部工業専門学校 准教授)	准主任研究員 主任研究員 研究技師 博士研究員 特別研究員
プロジェクト研究の概要	信頼性と耐久性に優れた機械システムの設計には従来の「形と材料の設計」に加え「接触面の設計」のコンセプトが必要である。「接触面の設計」とは、低摩擦・低摩耗といった機構部としての要求に加え、導電性やセンシングなどの付加機能あるいは接触境界面を物理・科学的に制御することによって新しい概念のモニタリング手法を開発することを意図している。本プロジェクトは H21 年度に開始され、個々の課題について研究グループ全体で取り組んでいる。科研費基盤 B（研究代表者：高木、導電性硬質材料の評価）との連携を図り研究を推進している。		



	本プロジェクトは接触面におけるナノ・ミクロレベルの流動ダイナミクスを人間の感覚領域であるマクロスケールの事象へと展開し、新しい機械システムを提案するものである。継続研究（2年目）である H22 年度は、導電性硬質炭素膜における移着層の形成と導電性・摺動特性の定量的評価、摩擦音と材料の相関評価手法の検討などより具体的な課題に取り組む予定である。
使用する主な研究設備	薄膜強度評価装置、微小領域X線回折装置、原子間力顕微鏡、超音波顕微鏡、段差・表面粗さ・微細形状測定機、摩擦力・接触電気抵抗試験機（流体研） 導電性同時評価摩擦摩耗試験機、導電性原子間力顕微鏡、超高真空摩擦摩耗分析装置、分析透過電子顕微鏡（Ecole Centrale de Lyon） Ball-on-Disk 型摩擦試験機、真空用Ball-on-Disk 型摩擦試験機、摩擦音測定装置、真空摩擦試験装置（東北大工学部）
研究期間	H22.4.1－H23.3.31

#### 7.4 リエゾンオフィスを通じた主な国際交流実績

##### ○ニューサウスウェールズ大学・シドニー大学との交流実績

・2010年8月1日から2010年11月7日まで、シドニー大学の服部多恵氏が GCOE のインターンシップ学生として流体研に滞在した。

・2010年8月28日から9月1日まで、圓山重直教授、小宮敦樹講師がシドニー大学を訪れ海洋深層水に関する数値計算の議論を行った。

・2010年9月23日から9月27日まで、流体研小宮敦樹講師が珪藻内マイクロチャンネルにおける物質移動に関する共同研究打合せのため、ニューサウスウェールズ大学を訪問した。

・2010年10月25日から11月2日まで、ELyT School in Sendai-Autumn 2010 に参加するため、シドニー大学の Mehdi Aghaeimeybodi 氏が流体研に滞在した。

・2010年11月1日から11月3日まで仙台国際センターで開催された「第7回流動ダイナミクスに関する国際会議（The 7th International Conference on Flow Dynamics）」にシドニー大学 Masud Behnia 教授、ニューサウスウェールズ大学 Victoria Timchenko 博士が出席し、リエゾンオフィスセッションにおいて、講演、ディスカッションを行った。また、ニューサウスウェールズ大学の Gary Rosengarten 博士も出席し、共同研究成果を発表した。

##### ○モスクワ国立大学との交流実績

・2010年9月9日から9月13日まで、流体研の高木敏行教授がモスクワ国立大学を訪問し、日露学長会議・東北大学モスクワ事務所開所記念式典に出席した。また、今後の共同研究・教育について議論した。

・2010年10月25日から11月2日まで、ELyT School in Sendai-Autumn 2010 に参加するため、モスクワ大学の Victor Shutov 氏が流体研に滞在した。

・2010年11月1日から11月3日まで、仙台国際センターにて開催された「第7回流動ダイナミクスに関する国際会議 (The 7th International Conference on Flow Dynamics)」に、Alexander Vasiliev 教授が出席し、リエゾンオフィスミーティングにて講演、ディスカッションを行った。また、同会議には Olga Volkova 助教が出席し、講演を行った。

#### ○スウェーデン王立工科大学 (KTH) との交流実績

・2010年10月25日から11月2日まで、スウェーデン王立工科大学のMarkus Pastuhoff氏がElyT School in Sendai – Autumn 2010に参加するため流体研に滞在した。

・2010年11月1日から11月3日に仙台国際センターにて開催された「第7回流動ダイナミクスに関する国際会議 (The 7th International Conference on Flow Dynamics)」に、スウェーデン王立工科大学のFredrik Lundell准教授が出席しリエゾンオフィスミーティングにて講演・ディスカッションを行った。

・2011年1月27日から2月28日まで、工学部福西研究室の西尾悠氏 (D2) が KTH に、GCOE インターンシップで滞在した。

#### ○シラキュース大学との交流実績

・2010年6月14日から7月31日まで、シラキュース大学の Nowak Morgan Arthur 氏が流体研の太田研究室に滞在し、拍動流が脳動脈瘤内の血流に与える影響に関する共同研究を行った。

・2010年6月20日から6月26日まで、シラキュース大学の樋口博教授が流体研に滞在し、今後の国際交流の推進について議論するとともに、太田研究室と拍動流が脳動脈瘤内の血流に与える影響に関する共同研究を行った。

・2010年11月1日から11月4日まで、仙台国際センターにて開催された「第7回流動ダイナミクスに関する国際会議 (The 7th International Conference on Flow Dynamics)」へシラキュース大学の Liviu Movileanu 教授が出席し、共同研究の成果を発表するとともに、リエゾンオフィスセッションにて講演、ディスカッションを行った。

・2010年11月26日に、早瀬敏幸教授がシラキュースを訪問し、シラキュース大学の Eric Spina 副総長、Mark Glauser 副工学部長、Achille Messac 学科長と今後の交流について議論を行なった。

・2011年1月15日より3月23日まで、JSPS PD フェロー(太田研究室)の富田典子博士がシラキュースを訪問し、シラキュース大学の Liviu Movileanu 教授を訪れ、膜タンパク質を用いたバイオモデルの共同研究を行った。

・2011年3月19日より23日まで、太田信准教授がシラキウスを訪問し、シラキウス大学の Liviu Movileanu 教授とともに、「頭脳循環を活性化する若手研究者海外派遣プログラム」に関する打ち合わせを行う予定であったが、東日本大震災の影響で延期となった。

#### ○韓国科学技術院（KAIST）との交流実績

・2010年11月1日から3日まで、仙台国際センターにて開催された「第7回流動ダイナミクスに関する国際会議（The 7th International Conference on Flow Dynamics）」に、KAIST の Jae-Hung Han 教授が出席し、リエゾンオフィスミーティングにて講演・ディスカッションを行った。

・2010年11月10日から11日まで、GCOE 圓山拠点リーダーと齋藤特任教授が韓国科学技術院（KAIST）を訪問し、GCOE の現状を説明し GCOE 各種プログラムとの連携強化およびリエゾンオフィスの今後の運営について打ち合わせを行うとともに、圓山拠点リーダーが"Mass Transfer and Fluid Dynamic Measurement Under Microgravity"について講演を行った。

・2011年1月4日から6日まで、韓国科学技術院の極低温研究室に流体研小宮敦樹講師が訪問し、微小重力環境を用いた日本の実験施設に関する講演を行うとともに、極低温流体の微小重力下における挙動解明実験に関するディスカッションを Sangkwon Jeong 教授と行った。

#### ○フランス国立応用科学院（INSA-Lyon）とフランス中央理工科学学校リヨン校（ECL）の交流実績

・2010年5月7日に流体研の高木敏行教授が INSA-Lyon において非破壊評価法に関する共同研究打合せを実施した。

・2010年6月1日から6月9日まで、流体研の徳増崇准教授が INSA-Lyon にて、ナノスケールの潤滑機構に関する研究打合せを行った。

・2010年6月1日から8月28日まで、ECL の Francisco Palazon 氏が、研究所等研究生として流体研の高木研究室に滞在した。

・2010年6月18日から6月25日まで、流体研の三木寛之講師が ECL にて、動的圧縮せん断力を利用した粉末の常温固化プロセス及び固体潤滑機能層の創出に関する共同研究を行った。

・2010年7月17日から2011年1月17日まで、ECL の BARTHEL Alice 氏が GCOE インターンシップ学生として流体研圓山研究室に滞在した。

・2010年8月16日から9月7日まで、流体研の小助川博之氏が ECL にて、ステント合金と PVA ハイドロゲルの摩擦特性に関する共同研究を行った。

- ・2010年9月26日から10月1日まで、流体研の徳増崇准教授が INSA-Lyon にてナノスケールの潤滑機構に関する研究打合せを行った。
- ・2010年9月27日から11月8日まで、流体研の江目宏樹氏が INSA-Lyon に、GCOE インターンシップで滞在した。
- ・2010年10月14日から10月30日まで、GCOE 研究員の ZHRUL FUADI 氏が ECL にて、流動ダイナミクス国際融合ジョイントラボラトリー「接触境界面におけるナノメカノ流動ダイナミクス」に関する共同研究を行った。
- ・2010年10月24日から11月2日まで ECL の Vincent Fridrici 氏が PVA ゲルとメディカルデバイスの摩擦に関する共同研究のため、流体研の太田研究室に滞在した。
- ・2010年10月25日～11月2日まで ElyT School in Sendai-Autumn2010 を開催し、INSA-Lyon より Prof. Jean-Yves Cavaille 他計2名の教授および計2名の国際交流担当者、また ECL より Prof. Philippe Kapsa 他計2名の教授が出席した。INSA-Lyon、ECL、KTH、モスクワ大学、シドニー大学及び清華大学から計22名の学生が参加した。
- ・2010年11月1日から3日まで仙台国際センターにて開催された「第7回流動ダイナミクスに関する国際会議 (The 7th International Conference on Flow Dynamics)」へ、INSA-Lyon の Prof. Jean-Yves Cavaille、Ms. Marie-Pierre Favre、Ms. Nina Arnesen、ECL の Prof. Philippe Kapsa が出席し、講演、ディスカッション等を行った。
- ・2010年10月30日～11月7日にエコールセントラルリヨン校の特別研究員(宇部高専 准教授) 後藤実博士が接触境界面におけるナノメカノ流動ダイナミクスに関する共同研究ならびに仙台国際センターで開催された第7回流動ダイナミクスに関する国際会議における招待講演のため流体研に滞在した。
- ・2010年11月1日～11月9日にエコールセントラルリヨン校の Julien Fontaine 研究員が炭素膜の機能性向上に関する共同研究ならびに仙台国際センターで開催された IFS Collaborative Research Forum (AFI/TFI-2010)に参加し公募課題として採択された「Tribological Behavior and Electrical Contact Resistance of Metal-Containing DLC Coating for Electrically Conductive Tribo-elements」について共同研究の成果の発表のために流体研に滞在した。
- ・2010年11月1日～11月3日にエコールセントラルリヨン校の Francisco Palazon 氏が接触境界面におけるナノメカノ流動ダイナミクスに関する共同研究ならびに仙台国際センターで開催された第7回流動ダイナミクスに関する国際会議に参加し、H22年度公募共同研究課題として採択された「Tribological Behavior and Electrical Contact Resistance of Metal-Containing DLC Coating for Electrically Conductive Tribo-elements」について共同研究の成果を発表のために流体研に滞在した。
- ・2010年11月16日～21日に流体研の三木寛之講師が極限環境において利用可能な炭素系薄膜の摺動性と導電性の特性評価に関する共同研究のため、エコールセントラルリヨン校に滞在した。



・2010 年 12 月 11 日～14 日に流体研の内一哲哉准教授が、高温材料の非破壊評価に関する共同研究の打ち合わせのために、INSA-Lyon を訪問した。平成 23 年度の共同研究計画について合意した。

・2011 年 3 月 28 日～29 日に流体研の高木敏行教授が INSA-Lyon を訪問し、ELyT ラボの今後の進め方、今後の人的交流について議論する予定であったが、東日本大震災の影響で延期となった。

## 8. 事業推進担当者の取り組みと実績



氏名 圓山 重直

所属 流体科学研究所・教授（工学博士）

専門 伝熱工学

研究課題

マイクロ・メガスケール熱流動現象の解明

E-mail: maruyama@ifs.tohoku.ac.jp

Tel: 022(217)5243

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

事業推進担当者の研究分野では、熱流動に関するマイクロスケールからメガスケールの現象の解明とその応用について取り組んできた。マイクロスケールでの高精度伝熱制御可能なクライオプローブ、ハイパーサーミア機器の開発および温熱治療器の製作・検討を行ってきた。またマイクロ構造におけるふく射輸送方程式を解き、波長選択性を有した機能性膜の開発も行っている。海洋緑化計画（ラピュタ計画）では、メガスケールの流動現象の解明のために、マリアナ海域及び沖ノ鳥島での海洋実験を模擬した大規模数値シミュレーション、および深層水汲み上げメカニズムの解明を行い、海洋でのパイプ展開方法を検討している。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

#### <国際会議>

名 称：The 7<sup>th</sup> International Conference on Flow Dynamics

主催団体：GCOEプログラム「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」

開 催 国：日 本

開催期間：2010.11.1 ～ 2010.11.3

役 割：General Chair

名 称：GCOE, IFS-Tsinghua University Joint Workshop

主催団体：GCOEプログラム「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」

開 催 国：中 国

開催期間：2011.2.21 ～ 2011.2.22

役 割：議長

#### <招待講演>

講 演 先：[22nd International Conference on Parallel Computational Fluid Dynamics 2010]

講演題目：Possibility of Parallel Computing in Radiative Heat Transfer in Complex Systems

講 演 日：2010.5.17

講 演 先：University of Sydney Australia

講演題目：Creating Forest in Ocean Desert Using the Perpetual Salt Fountain -Laputa Project-

講 演 日：2010.8.30

講 演 先：KAIST Korea

講演題目：Flow Dynamics in Nano and Micro Systems, Mass Transfer and Fluid Dynamic Measurement Under Microgravity

講 演 日：2010.11.10

講演 先：上海交通大学 中国

講演題目：Creating Forests in Ocean Deserts Using the Perpetual Salt Fountain-Laputa Project

講演 日：2011.02.23

講演 先：第309回講習会「熱・流体エネルギーシステムのフロンティア技術を学ぶ」ークリーンエネルギー利用技術の最新動向ー 大阪市

講演題目：熱工学の基礎-持続可能社会に向けたエネルギー利用の基礎知識

講演 日：2010.09.16

講演 先：日本機械学会2010年度年次大会 名古屋

講演題目：流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点

講演 日：2010.09.05

講演 先：第309回講習会「熱・流体エネルギーシステムのフロンティア技術を学ぶ」ークリーンエネルギー利用技術の最新動向ー 大阪市

講演題目：ふく射伝熱の基礎と最前線

講演 日：2010.09.16

講演 先：第48回日本人工臓器学会大会（JSAO2010） 仙台

講演題目：形状記憶合金を用いた人工心筋の可能性

講演 日：2010.11.18

講演 先：第48回飛行機シンポジウム

講演題目：21世紀COE、グローバルCOEによる国際的人材育成事例の紹介と展望

講演 日：2010.11.30

講演 先：東北大学工学部機械工学科 昭和35年卒業生 卒業50周年記念同窓会 熱海

講演題目：ラピュタ計画～海洋深層水で海洋砂漠に森を作る～

講演 日：2010.11.29

## 平成22年度の研究業績

### 【研究内容】

#### 1.LAPUTA計画（海洋緑化計画）

海洋深層水を海面付近に湧昇させるメガスケール海洋実験の実施およびそれを模擬した数値計算を行った。種々の乱流モデルを用いた計算を行い、栄養分が豊富に含まれる深層水は表層展開・散布され、海洋牧場の実現が大いに期待できることが分かった。また、海域でのパイプ展開方法の検討を行い、実際に内湾実験を行うことにより、パイプの海洋内での拡張・展開の様子を観察した。これにより、実際の海域でのパイプ展開に関する具体的な方法およびコスト面での問題点を評価した。

#### 2. 熱電素子を用いた伝熱制御と医療機器への展開

ペルチェ素子を用いることで精密温度制御を実現し、医療機器への展開を図ってきた。冷却／温熱治療機器を開発し、臨床試験を通して機器の性能評価を行うとともに、種々の手術（施術）に対してどのような温度特性を有する機器が適当であるかの検討を行ってきた。また、マイクロチャネル内沸騰熱伝達を利用したクライオプローブの製作を行い、生体深部の局所冷却器の実用化に向けた温度制御の実験的研究も行ってきた。

#### 3. ミストによるふく射伝熱制御基礎実験の実施

大気中の液滴群を通過するふく射伝播を制御すべく、ミストの発生機構に関する実験を行ってきた。ピントル型の噴霧発生機構を用い、生成されたミストの粒径分布およびその空間的分布を高速度カメラで観察することにより、発生の特性を定性的に評価した。また、ふく射伝熱および対流伝熱を考慮した計算コードの開発を行い、炉などの高温場での伝熱制御について評価を行っていくことを検討している。

#### 4.波長選択性を有した機能性膜の開発

ふく射エネルギー伝播の観点から、可視領域の太陽光反射を低減し、かつ近赤外領域の反射を増加させる機能を有する機能性膜の開発を行ってきた。数値解析により膜に混入するナノ粒子群の最適粒径分布・粒子密度を求め、また膜厚の評価をしてきた。併せて、機能性膜を独自に製作し、そのふく射特性を計測することで実験的に評価を行ってきた。

#### 【学位論文指導（主査）】

##### 博士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 岡島 淳之介  
「Phase Change Phenomena and Heat Transfer in a Microchannel and Their Application to Biological Cooling System (マイクロチャネル内の相変化伝熱現象と生体冷却システムへの応用)」

##### 修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 江目 宏樹  
「ナノ粒子群を用いた機能膜のふく射伝熱制御に関する研究」
2. 機械システムデザイン工学専攻 トレス アルバレス ファン フェリ ペ  
「A Study of Measurement of Mass Diffusion Coefficients in Multicomponent Solutions (多成分系における物質拡散係数の測定に関する研究)」
3. 機械システムデザイン工学専攻 眞下 央  
「高精度伝熱制御による温熱治療と生体組織の熱物性測定に関する研究」
4. 機械システムデザイン工学専攻 渡邊 幹仁  
「海洋深層水湧昇における海域条件の検討とその実用化に関する研究」

#### 【学位論文指導（副査）】

##### 修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 鈴木 涼介  
「エタノールロケットエンジンの冷却構造に関する研究」
2. 航空宇宙工学専攻 玉村 大道  
「ループヒートパイプの始動過程に関する実験的研究」

#### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. S. Maruyama, A. Komiya: Infrared Radiative Properties of Thin Polyethylene Coating Pigmented With Titanium Dioxide Particles , Journal of Heat Transfer Vol. 134, No.2 (2010.2), pp023306-1~12
2. 小宮敦樹、円山重直、守谷修一：タンパク質物質拡散現象における広域緩衝液の影響評価、熱物性 (2010.2.28)第24 巻1 号15 頁-20  
Atsuki Komiya, Shigenao Maruyama, Shuichi Moriya : Evaluation of the Influence of Universal Buffer Solution on Diffusion Phenomena of Protein , Japan Journal of Thermophysical Properties , Vol.24 No.1(2010.2.28), pp.15 -20
3. A. Sakurai, S. Maruyama, K. Matsubara, T. Miura, M. Behnia : An Efficient Method for Radiative Heat Transfer Applied to a Turbulent Channel Flow , Journal of Heat Transfer Transactions of the ASME, Vol. 132 (2010.2), p023507-1~023507-7
4. 山家智之、白石泰之、三浦英和、馬場敦、井街宏、早瀬敏幸、円山重直、柴田宗一、三引義明、大沢上、佐藤尚： ナノテクノロジーを応用したテーラーメイド人工心筋、東北医誌122 (2010)、65-70 頁
5. J. Okajima, A. Komiya, S. Maruyama; Boiling heat transfer in small channel for development of ultrafine cryoprobe, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol.31, issue6 (2010), pp1012-1018
6. 江目宏樹、メディ・バネシ、小宮敦樹、円山重直；波長選択性を有した TiO<sub>2</sub> ナノ粒子群機能膜のふく射特性に関する研究、熱物性 Vol.24, No.4 (2010.11)、177-182 頁 H. Gonome, M. Baneshi, A.



Komiya, and S. Maruyama; Radiative Properties of Wavelength Selection Coatings Pigmented with TiO<sub>2</sub> Nanoparticles, Japan Journal of Thermophysical Properties Vol.24, No.4, (Nov. 2010), pp177-182

7. S. Maruyama, S. Takashima, J. Okajima, A. Komiya, T. Seki and T. Yambe; Thermal Therapy and Evaluation by a Precise Temperature Control Device, Heat Transfer-Asian Research Vol.40 Issue 2, (March 2011), pp114-124
8. 小宮敦樹、守谷修一、小針達也、小坂誠二、仲野是克、円山重直: ピストンクーリングチャネル内流動の可視化, 自動車技術会論文集 Vol.42 No.1(Jan. 2011), 149-154 頁  
A. Komiya, S. Moriya, T. Kobari, S. Kosaka, Y. Nakano, S. Maruyama; Visualization of Flow Pattern in Piston Cooling Channel, Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan, Vol.42 No.1 (Jan. 2011), pp149-154
9. A. Sakurai, S. Maruyama, and K. Matsubara; The Radiation Element Method Coupled with the Bioheat Transfer Equation Applied to the Analysis of the Photothermal Effect of Tissues, Numerical Heat Transfer, Part A, 58, (2010), pp625-640

#### 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Journal of Heat Transfer
2. Japan Journal of Thermophysical Properties
3. Journal of Heat Transfer Transactions of the ASME,
4. 東北医誌
5. International Journal of Heat and Fluid Flow
6. Japan Journal of Thermophysical Properties

#### 【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. S. Maruyama, H. Mashimo, A. Komiya, T. Seki and T. Yambe; Thermal Therapy by the Abdominal Heater Utilizing Heat Transfer Control Technique, The 15<sup>th</sup> International Congress of Oriental Medicine, Makuhari, (2010.2.26-28), pp230-
2. 江目宏樹、Mehdi BANESHI、小宮敦樹、円山重直: TiO<sub>2</sub> ナノ粒子群機能膜のふく射特性に関する研究、日本機械学会東北支部第45期総会・講演会 講演論文集、仙台市(2010.3.)46頁～47頁  
Hiroki GONOME, Mehdi BANESHI, Atsuki KOMIYA, Shigenao MARUYAMA ; A Study of Radiative Properties of Functional Coatings Pigmented with TiO<sub>2</sub> Nanoparticles , Sendai (2010.3.) pp.46-47
3. 渡邊幹仁、矢吹崇、小宮敦樹、円山重直: 海洋実験及び海洋観測データによる永久塩泉の可能性、日本機械学会東北支部第45期総会・講演会 講演論文集、仙台市(2010.3.)50頁～51頁  
Mikihito WATANABE, Takashi YABUKI, Atsuki KOMIYA, Shigenao MARUYAMA: Possibility of Upwelling by Perpetual Salt Fountain Based on Ocean Experiments and Analysis of Ocean Observation Data, Sendai (2010.3.) pp.50-51
4. S. Maruyama: Nano-Scale Radiative Heat Transfer for Large Scale Environmental Issues, Proceedings of JOINT INTERNATIONAL SYMPOSIA ON 3rd MICRO & NANOTECHNOLOGY and MICRO/NANOSCALE ENERGY CONVERSION & TRANSPORT-2010 (2010.3.21-24), Seoul, Korea , p19
5. 櫻井篤、松原幸治、円山重直、乱流中におけるふく射輸送現象に関する基礎的研究、第47回日本伝熱シンポジウム講演論文集、2巻、札幌（2010.5.26-28）385-386 頁. A. Sakurai, K. Matsubara, S. Maruyama, Fundamental Study of Radiative Transfer in a Turbulent Flow, 47th National Heat Transfer Symposium of Japan, Vol.2 , Sapporo, (2010.5.26-28), pp.385-386.
6. 酒井清吾、馬場友彦、円山重直、単分散霧粒子の成長速度を考慮した夜間大気ふく射伝熱数値解析、第47回日本伝熱シンポジウム講演論文集、2巻、札幌（2010.5.26-28）389-390 頁.  
S. Sakai, T. Baba, S. Maruyama, Numerical Study of Radiative Heat Transfer in Nocturnal Atmosphere Taking into Account Growth Rate of Monodisperse Fog Particles, 47th National Heat Transfer Symposium of Japan, Vol.2, Sapporo (2010.5.26-28), pp.389-390.

7. 円山重直、長山岳史、小宮敦樹、ナノ粒子散布による地球温暖化防止策の提案と粒子の最適化、第47回日本伝熱シンポジウム講演論文集、2巻、札幌(2010.5.26-28) 393-394頁. S. Maruyama, T. Nagayama, A. Komiya, Control of Global Warming by Dispersing Nanoparticles and Estimation of Optimum Particle, 47th National Heat Transfer Symposium of Japan, Vol.2, Sapporo (2010.5.26-28), pp.389-390.
8. 岡島淳之介、武田洋樹、小宮敦樹、Sangkwon Jeong、円山重直、極細クライオプローブ内における冷媒の沸騰伝熱過程の解析、47回日本伝熱シンポジウム講演論文集、1巻、札幌(2010.5.26-28) 179-180頁. J. Okajima, H. Takeda, A. Komiya, S. Jeong, S. Maruyama, Analysis on boiling heat transfer process of refrigerant in ultrafine cryoprobe, 47th National Heat Transfer Symposium of Japan, Vol.1, Sapporo (2010.5.26-28), pp.179-180.
9. 武田洋樹、岡島淳之介、小宮敦樹、相場節也、円山重直、皮膚凍結手術における組織致死温度の測定と評価、第47回日本伝熱シンポジウム講演論文集、1巻、札幌(2010.5.26-28) 171-172頁. H. Takeda, J. Okajima, A. Komiya, S. Aiba, S. Maruyama, Measurement and estimation of lethal temperature of skin tissue in cryosurgery, 47th National Heat Transfer Symposium of Japan, Vol.1, Sapporo (2010.5.26-28), pp.171-172.
10. M. Baneshi, S. Maruyama, A. Komiya, The effect of copper and copper oxide pigment particles on aesthetic and thermal characteristics of pigmented coating, 47th National Heat Transfer Symposium of Japan, Vol.3, Sapporo (2010.5.26-28), pp.577-578.
11. S. Maruyama; Possibility of Parallel Computing in Radiative Heat Transfer in Complex Systems, 22nd International Conference on Parallel Computational Fluid Dynamics 2010, (PARALLEL CFD 2010) Kaohsiung, Taiwan (2010.5.17-21) p29, CD-ROM
12. M. Baneshi, S. Maruyama and A. Komiya; Aesthetic and Thermal Performances of Black Cupric Oxide and Titanium Dioxide Nano-Particulate Coatings, Proceedings of the 6th International Symposium on Radiative Transfer (RAD-10), Antalya, Turkey (2010.6.13-19) CD-ROM
13. Atsuki Komiya, Juan F. Torres, Junnosuke Okajima, Shuichi Moriya, Shigenao Maruyama, Masud Behnia; AN INVESTIGATION OF CONCENTRATION DEPENDENCY OF MASS DIFFUSION COEFFICIENTS IN MULTI-COMPONENT DIFFUSION, Proceedings of the 14th International Heat Transfer Conference IHTC14, (2010.8.8-13), Washington, DC, USA, CD-ROM
14. Junnosuke Okajima, Shigenao Maruyama, Hiroki Takeda, Atsuki Komiya, Sangkwon Jeong; COOLING CHARACTERISTICS OF ULTRAFINE CRYOPROBE UTILIZING CONVECTIVE BOILING HEAT TRANSFER IN MICROCHANNEL, Proceedings of the 14th International Heat Transfer Conference IHTC14, (2010.8.8-13), Washington, DC, USA, CD-ROM
15. Tilek Abera, Steven W. Armfield, Masud Behnia, Shigenao Maruyama, Atsuki Komiya; NUMERICAL STUDY OF 3D NONLINEAR DISTURBANCE GROWTH IN TRANSITIONAL NATURAL CONVECTION, Proceedings of the 14th International Heat Transfer Conference IHTC14, (2010.8.8-13), Washington, DC, USA, CD-ROM
16. 小宮敦樹、守谷修一、小針達也、小坂誠二、仲野是克、円山重直; ピストンクーリングチャネル内流動の可視化、自動車技術会学術講演会前刷集 No.156-10, 小倉(2010.9.29-10.1)、17-22頁 Komiya, S. Moriya, T. Kobari, S. Kosaka, Y. Nakano, S. Maruyama; Visualization of Flow Pattern in Piston Cooling Channel, 2010 JSAE Annual Congress (Autumn) Proceedings No.156-10, Kokura(2010.9.29-10.1), pp.17-22
17. 円山重直; 形状記憶合金を用いた人工心筋の可能性、人工臓器 Vol.39 No.2 2010、第48回日本人工臓器学会大会予稿集(2010.11.18-11.20)、S38頁
18. 小宮敦樹、眞下央、岡島淳之介、高橋一郎、円山重直; 点接触式熱物性測定法を利用した軟質材料及び液体の熱物性測定、第31回日本熱物性シンポジウム(2010.11.17-19)、福岡市、講演論文集 CD-ROM(A204)  
A. KOMIYA, H. MASHIMO, J. OKAJIMA, I. TAKAHASHI, and S. MARUYAMA; MEASUREMENT OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF SOFT MATERIALS AND LIQUIDS USING JOINT-CONTACT METHOD OF MEASUREMENT OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES, The 31st Japan Symposium on Thermophysical Properties, (2010.11.17-19), Fukuoka, CD-ROM(A204)
19. A. Komiya and S. Maruyama

The Abstract of the 38th Committee on Space Research (COSPAR10), CDROM G01-0041-10.  
Evaluation of the Effect of Gravity Force on Transient Mass Diffusion Fields  
2010.7.20

20. A. Komiya, M. Watanabe, T. Yabuki and S. Maruyama  
Proceedings of the 21st International Symposium on Transport Phenomena, CDROM 146.  
Effect of Eddy Diffusivity on the Upwelling Flow Rate of Perpetual Salt Fountain  
2010.11.5
21. T. Yabuki, S. Maruyama, M. Watanabe and A. Komiya  
Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics, pp.118-119.  
Oceanic Productivity Enhanced by Perpetual Salt Fountain during Ocean Experiments -  
Estimation based on Remote Sensing and Numerical Simulation
22. J. Okajima, A. Komiya and S. Maruyama  
Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics, pp.496-497.  
The Effect of Capillary Tube on Cooling Performance of Ultrafine Cryoprobe  
2010.11.1
23. T. Hattori, S. W. Armfield, M. P. Kirkpatrick, S. Maruyama and A. Komiya  
Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics, pp.512-513.  
Numerical Study of a Transitional Natural Ventilation Flow Driven by a Line Source Plume  
with Varied Reynolds Number and Prandtl Number  
2010.11.1
24. M. Baneshi, S. Maruyama and A. Komiya  
Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics, pp.614-615.  
Spectral Radiative Properties of a Polymer Coating Containing Nano-Micro Bubbles  
2010.11.2
25. K. Lari, M. Baneshi, A. Komiya and S. Maruyama  
Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics, pp.630-631.  
Numerical Study of Natural Convection Taking Into Account Radiation between Walls  
2010.11.3
26. R. P. Chopade, S. C. Mishra, P. Mahanta, S. Maruyama and A. Komiya  
Proceedings of the Tenth International Symposium on Advanced Fluid Information and  
Transdisciplinary Fluid Integration, pp.62-63.  
On Location of a Load in a Radiant Furnace for Uniform Thermal Conditions Using REM2 and  
Micro-Genetic Algorithm 2010.11.2
27. N. Yamada, A. Sakurai, A. Komiya and S. Maruyama  
Proceedings of the Tenth International Symposium on Advanced Fluid Information and  
Transdisciplinary Fluid Integration, pp.72-73.  
Energy Transfer Simulation and Analysis on Mega-Scale Environment  
2010.11.2
28. 眞下央・円山重直・小宮敦樹・関隆志・山家智之  
第10回日本伝熱学会学生発表会講演論文集, 7-8頁.  
高精度腹部温熱制御機器による温熱治療の評価  
2010年5月7日
29. 庄司衛太・小宮敦樹・円山重直  
第10回日本伝熱学会学生発表会講演論文集, 9-10頁.  
位相シフト干渉計を用いた自然対流場の温度分布測定  
2010年5月7日

#### 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. Junnosuke Okajima, Atsuki Komiya, Shigenao Maruyama  
Boiling Heat Transfer in Small Channel for Development of Ultrafine Cryoprobe  
International Journal of Heat and Fluid Flow, issue6(2010)vol.31, 1012-1018(査読あり)
2. Junnosuke Okajima, Shigenao Maruyama, Hiroki Takeda, Atsuki Komiya, Sangkwon Jeong

COOLING CHARACTERISTICS OF ULTRAFINE CRYOPROBE UTILIZING  
ONVECTIVE BOILING HEAT TRANSFER IN MICROCHANNEL

Proceedings of the 14th International Heat Transfer Conference IHTC14,  
(2010.8.8-13), Washington, DC, USA

3. Atsuki Komiya, Juan F. Torres, Junnosuke Okajima, Shuichi Moriya,  
Shigenao Maruyama, Masud Behnia  
AN INVESTIGATION OF CONCENTRATION DEPENDENCY OF MASS  
DIFFUSION COEFFICIENTS IN MULTI-COMPONENT DIFFUSION  
Proceedings of the 14th International Heat Transfer Conference IHTC14,  
(2010.8.8-13), Washington, DC, USA
4. A.Komiya, J. F. Torres, J. Okajima, S. Maruyama  
MEASUREMENT OF THE CONCENTRATION DEPENDENCY OF MASS  
DIFFUSION COEFFICIENTS IN AQUEOUS BINARY SOLUTIONS BY  
PHASE-SHIFTING INTERFEROMETER  
The Ninth Asian Thermophysical Properties Conference \_ATPC 2010, Beijing, China
5. 小宮敦樹、眞下央、岡島淳之介、高橋一郎、円山重直  
点接触式熱物性測定法を利用した軟質材料及び液体の熱物性測定  
第31回日本熱物性シンポジウム，福岡市、講演論文集 CD-ROM(A204) 2010.11月
6. 岡島淳之介、武田洋樹、小宮敦樹、Sangkwon Jeong、円山重直  
極細クライオプローブ内における冷媒の沸騰伝熱過程の解析  
47回日本伝熱シンポジウム講演論文集vol.1 pp179-180 2010.5月
7. 武田洋樹、岡島淳之介、小宮敦樹、相場節也、円山重直  
皮膚凍結手術における組織致死温度の測定と評価  
第47回日本伝熱シンポジウム講演論文集vol.1 pp171-172 2010.5月

【本人の受賞・特許等】

○平成22年（1月～12月）

1. 液体二酸化炭素輸送システムおよび液体二酸化炭素拡散方法  
(Liquid Carbon Dioxide Transportation System and Liquid  
Carbon Dioxide Diffusion Method)  
登録番号：特許第4568837号  
登録日：2010.8.20
2. 冷凍手術装置およびその温度制御方法  
(Cryosurgery Apparatus and Method for Controlling Temperature)  
登録番号：特許第4608652号  
登録日：2010.10.22

【学生の受賞・特許等】

○平成22年

受賞者：庄司衛太

受賞名：日本伝熱学会東北支部優秀プレゼンテーション賞

受賞日：2010年5月7日

組織名：日本伝熱学会東北支部

受賞者：眞下央

受賞名：日本伝熱学会東北支部優秀プレゼンテーション賞

受賞日：2010年5月7日

組織名：日本伝熱学会東北支部

受賞者：眞下央

受賞名：日本熱物性学会学生ベストプレゼンテーション賞

受賞日：2010年11月17日

組織名：（社）日本熱物性学会



受賞者：岡島淳之介  
受賞名：優秀プレゼンテーション賞  
受賞日：2010年5月26日  
組織名：（社）日本伝熱学会

受賞者：岡島 淳之介  
年月日：2011 年 3 月 22 日  
受賞名：工学研究科長賞  
組織名：東北大学  
研究題目：Phase Change Phenomena and Heat Transfer in a Microchannel and Their Application to Biological Cooling System

受賞者：高橋 佑弥  
年月日：2011 年 3 月 22 日  
受賞名：工学部長賞  
組織名：東北大学  
研究題目：ウォーターミストによる熱遮断のための噴霧ノズルに関する研究

受賞者：江目 宏樹  
年月日：2011 年 3 月 25 日  
受賞名：三浦賞  
組織名：東北大学  
研究題目：ナノ粒子群を用いた機能膜のふく射伝熱制御に関する研究

#### 【学生の研究費の獲得】

○平成22年（1月～12月）  
獲得者：岡島淳之介  
名 称：特別研究員奨励費  
期 間：2010年度

#### 【本人のマスコミ発表等】

○平成22年（1月～12月）  
名称(\*\*新聞等)：河北新報  
期間(年.月.日)：2010.7.31  
内容：楽しい理科の話2010-不思議の箱を開けよう 前編

名称(\*\*新聞等)：日経産業新聞  
期間(年.月.日)：2010.8.20  
内容：環境のリバース・トリレンマ・浪費に増税、省エネ投資

名称(\*\*新聞等)：日経産業新聞  
期間(年.月.日)：2010.9.14  
内容：不便にするエコ・小型車・公共交通を優先

名称(\*\*新聞等)：FM仙台(Date-FM)：77.1MHz・5kW  
期間(年.月.日)：2010. 10.31 19:55 - 20:00  
内容：カウントダウン トウ ジムフェスタに出演  
東北大学の萩ホールの紹介

氏名 高木 敏行



所属 流体科学研究所・教授（工学博士）

専門 知的流動評価学

研究課題

ダイヤモンド系薄膜による機能性の発現と評価及び流動誘起損傷の非破壊評価

E-mail: takagi@ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5248

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

ナノ流動融合に関わる流動ダイナミクスに関して、ダイヤモンドやダイヤモンドライクカーボン膜と金属の間の摺動で低摩擦が発生する現象について、そのメカニズム、最適な表面の状態についてナノ・マイクロ流動ダイナミクスという観点で研究を進めている。

今年度については、GCOE主催の第7回ICFDにおいて、オーガナイズドセッション”4th Functionality DDesign of the COntact Dynamics: (DECO2010)”を企画するなどこの研究分野の先進的研究を展開している。

極限流動融合に係わる流動ダイナミクスに関して、原子力発電プラントにおける流動現象が引き起こす損傷についての電磁現象にもとづく非破壊評価法に関して研究を進めた。

さらに、アジア諸国における原子力保全に関わる博士課程学生・若手研究者を対象とし、2010年7月19日～25日にGCOE主催による“Maintenance Science Summer School 2010”を開催し、さらにGCOE主催の第7回ICFDにおいて特別企画として2010年11月2日～4日に“International Seminar on Maintenance Science and Technology for Nuclear Power Plants”を開催した。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

＜国際会議＞

会 議 名：Maintenance Science Summer School 2010

日 時：2010年7月19日～2010年7月25日

場 所：東北大学流体科学研究所

参 加 人 数：15 名（うち外国人 11 名）

発 表 件 数：7

役 割：実行委員長

会議の概要：我が国を含むアジア諸国における原子力保全に関わる若手育成のための講義、発表、見学、実習

会 議 名：Seventh International Conference on Flow Dynamics

日 時：2010年11月1日～2010年11月3日

場 所：仙台国際センター（仙台）

参 加 人 数：749名（うち外国人241名）

発 表 件 数：412

役 割：CEO

会議の概要：流動ダイナミクスに関する研究開発の最先端についた議論した。

会 議 名：International Seminar on Maintenance Science and Technology for Nuclear Power Plants

日 時：2010年11月2日～2010年11月4日

場 所：仙台国際センター（仙台）

参 加 人 数：115 名（うち外国人20名）

発 表 件 数：16

役 割：実行委員長

会議の概要：保全科学の構築に向けて、保全科学の概念、劣化メカニズム、検査手法の現状と今後の方向について議論した。

会 議 名：Annual Workshop of ELyT Laboratory

日 時：2011年 2月22日～2011年 2月24日

場 所：さくらホール（仙台）

役 割：オーガナイザー

会議の概要：日仏国際共同研究組織 ELyT Laboratory の成果発表を行い、今後の方向性について議論した。

#### <招待講演>

講 演 先：The KSNT's 30th Anniversary Conference (韓国)

講演題目：Research Activities of Nondestructive Testing for Nuclear Power Plants in Japan (Keynote)

講 演 日：2010.5.13

講 演 先：8th International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components(ドイツ)

講演題目：Nondestructive Testing Research Activities of Nuclear Power Plants in Japan (Keynote)

講 演 日：2010.9.29

講 演 先：International Seminar on Maintenance Science and Technology for Nuclear Power Plants (ISMST)(日本)

講演題目：Proposal for an International Forum on Maintenance Science and Technology (Keynote)

講 演 日：2010.11.3

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

平成20年度より開始した、国際融合ジョイントラボラトリー” (Functionality DEsign of the COntact dynamics: DECO Laboratory) ナノクラスタ金属を含む非晶質炭素コーティングにおける導電性と接触の制御”のプロジェクトリーダーとして関連する複数の国際共同研究を実施した。詳細は以下の通りである。

1.金属を分散した非晶質炭素薄膜を作製し、良導電性低摩擦現象の定量的評価を実施した。

①ナノサイズの銅クラスタを含有する非晶質炭素薄膜において、金属を主成分とする移着層の荷重依存性を明らかにし、良好な導電性を導き出す低摩擦移着層の形成過程を明らかにした。

②ナノサイズの炭化ケイ素を分散した非晶質炭素薄膜を汎用構造材上に成膜し、いわゆるランニングインと呼ばれるなじみ過程を必要としない非常に低い摩擦特性を見出し、定量的評価を実施した。

以上、非晶質炭素薄膜に金属を分散させることにより摺動摩擦が低減され、導電性や耐摩耗性を発現可能であることを定性的に示した。

2.強磁性形状記憶合金材料の物性評価を実施し、構造相変態を定量的に評価することにより磁気的特性と形状記憶効果の関係性を評価した。ロシアChelyabinsk State University Vasiliy Buchlnikov教授が2010年7月10日～20日の期間本所に滞在し共同研究を実施、またロシア科学アカデミーVladimir Khovailo博士が平成22年11月に開催されたICFD2010において共同研究の成果を発表した。

3.国立中央理工科学学校リヨン校の Julien Fontaine 博士が ICFD2010 “4th Functionality DEsign of the COntact Dynamics: (DECO2010)” に参加し共同研究の成果を発表した。また、平成23年2月には Annual Workshop of ELyT Laboratoryの開催を支援し、Julien Fontaine 博士と三木寛之講師が導電性炭素薄膜に関する国際共同研究の成果を発表した。

原子力発電プラントにおいて、流動現象や環境が助長する損傷の電磁現象にもとづく非破壊評価法について先進的な研究を進めた。詳細は以下の通りである。

#### 1. 原子力発電設備の構造材料の非破壊評価

##### (1) 流動誘起損傷の非破壊評価

原子力発電設備の経年化にともなう課題の1つである流動誘起減肉や液滴衝撃の新しい減肉評価法として、励磁制御型渦電流探傷法と電磁超音波－渦電流複合プローブを提案し、その有効性を検討した。前者の励磁制御型渦電流探傷法については、プローブ構造および励磁方式を検討し、現在有効な検査法が存在しない2重板下の流動誘起減肉の検査の可能性を示した。後者の電磁超音波－渦電流複合プローブについては、超音波と渦電流の相補性を示し、2種類の検査法の融合による評価の信頼性を検討している。また、減肉の傾向監視のための高温モニタリングを実施し、実際環境適用性と高精度の厚さサイジング性を示した。

##### (2) 損傷前の材料劣化診断

応力腐食割れ (SCC) は、原子力発電設備における代表的な損傷であり、その発生の予測と制御は難しく、割れの発生に至る前の材料劣化を検知し、損傷発生を未然に回避するための研究が重要である。SCC の分岐構造と充填酸化物を考慮した電磁モデルを検討し、深さサイジングへの適用を行う。また、閉じたき裂の超音波非線形応答に関するモデルと Ni 基合金溶接部の異方性に関するモデルの検討を行い、深さサイジングの高精度化を行った。

その他、当該年度の学会発表等については別途添付する。

#### 【学位論文指導（主査）】

##### 博士論文

###### 1. 汪 朋飛

Tribo-layer and Adsorbed Gas for Super-low Friction of Carbon Nitride Coatings in Inert Gas Environment (不活性ガス雰囲気下での窒化炭素膜の超低摩擦のためのトライボレイヤと吸着ガスに関する研究)

##### 修士論文

###### 1. 大瀧 啓太郎

渦電流探傷試験による応力腐食割れの定量的評価のための電磁応答モデルに関する研究

###### 2. 大野 威

金属ナノクラスタを含むDLC膜の創成とひずみセンサとしての機能性評価

###### 3. 筒井 淳司

無潤滑条件下における気相合成多結晶ダイヤモンド膜の低摩擦特性評価

#### 【学位論文指導（副査）】

##### 修士論文

###### 1. 澤谷 岳堯

炭素繊維強化プラスチックを用いた低摩擦システムのための接触面創成に関する研究

#### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. T. Takagi, T. Takeno, H. Miki, Metal-Containing Diamond-Like Carbon Coating as a Smart Sensor, Materials Science Forum 638-642, pp. 2103-2108 (2010).
2. Oleksandr Stupakov, Toshiyuki Takagi, Tetsuya Uchimoto  
Alternative magnetic parameters for characterization of plastic tension  
NDT & E International, Vol.43, No.8, pp.671-676, (2010.1).
3. Taishi Okita, Toshiyuki Takagi  
Analytical Solutions of Electromagnetic Fields from Current Dipole Moment on Spherical Conductor in a Low-Frequency Approximation  
Communications in Theoretical Physics, Vol.53, No.1, pp.149-155, (2010.1).
4. Ryoichi Urayama, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi



Application of EMAT/EC dual probe to monitoring of wall thinning in high temperature environment

International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.1317-1327, (2010.1).

5. Hiroyuki Miki, Takeshi Okuyama, Shingo Kodaira, Yun Luo, Toshiyuki Takagi, Tomoyuki Yambe, Takeshi Sato  
Artificial-esophagus with peristaltic motion using shape memory alloy  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.1-2, pp.705-711, (2010.1).
6. Shejuan Xie, Zhenmao Chen, Toshiyuki Takagi  
Development of a novel fast solver for the direct current potential drop method and its verification with nondestructive testing of metallic foam  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.1253-1260, (2010.1).
7. Atsushi Tsutsui, Hiroyuki Miki, Takanori Takeno, Toshiyuki Takagi  
Development of partly polished polycrystalline diamond films on steel substrates for slider applications  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.1629-1634, (2010.1).
8. Katsuhiko Yamaguchi, Kenji Suzuki, Osamu Nittono, Toshiyuki Takagi  
Domain wall displacement simulation for deformed micro magnetic clusters  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.1-2, pp.103-110, (2010.1).
9. Go Yamamoto, Mamoru Omori, Toshiyuki Hashida, Hisamichi Kimura,  
Effects of Sintering Additive on Mechanical Properties of Alumina  
Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering, Vol.4, No.3, pp.460-469, (2010.1)
10. Takeshi Ohno, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi  
Evaluation of electrical properties of metal-containing amorphous carbon coatings for strain sensor application  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.1-2, pp.665-671, (2010.1).
11. Hiroyuki Shiota, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi  
Evaluation of fatigue strength of Me-DLC coating on NiTi shape memory alloy for medical applications  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.947-952, (2010.1).
12. Ryota Oikawa, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi, Ryoichi Urayama, oshiyuki Nemoto, Shigeru Takaya, Satoshi Keyakida  
Evaluation of susceptibility to stress corrosion cracking based on non-linear eddy current method  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.1303-1308, (2010.1).
13. Toshihiro Yamamoto, Toshiyuki Takagi, Tetsuya Uchimoto  
Extraction of crack indications from ECT signals using signal phase characteristics of a multi-coil probe  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.1179-1184, (2010.1).
14. Takanori Takeno, Takeshi Ohno, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi  
Fabrication of copper-nanoparticle embedded in amorphous carbon films and their electrical conductive properties  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.935-940, (2010.1).
15. Vladimir Khovaylo, Gor Lebedev, Dmitry Zakharov, Victor Koledov, Evgeniy Perov, Vladimir Shavrov, Makoto Otsuka, Vladimir Pushin, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi

- Imprinting Bias Stress in Functional Composites  
JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol.49, No.10, pp.100212-, (2010.1).
16. Keitaro Ohtaki, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi  
Material characterization of cast irons with an EMAT/EC dual probe  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.1135-1141, (2010.1).
  17. Toshiyuki Takagi, Takanori Takeno and Hiroyuki Miki  
Metal-containing Diamond-like Carbon Coating as a Smart Sensor  
Materials Science Forum, Vol.638, pp.2103-2108, (2010.1).
  18. Gabor Vertesy, Tetsuya Uchimoto, Ivan Tomas, Toshiyuki Takagi Takagi  
Nondestructive characterization of ductile cast iron by magnetic adaptive testing  
Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol.322, pp.3117-3121, (2010.1).
  19. Ryoichi Urayama, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi, Shigeru Kanemoto  
Quantitative Evaluation of Pipe Wall Thinning by Electromagnetic Acoustic Resonance  
E-Journal of Advanced Maintenance, Vol.2, No.25-33, pp.25-33, (2010.1).
  20. Go Yamamoto, Ji Won Suk, Jinho An, Richard D. Piner, Toshiyuki Hashida, Toshiyuki Takagi, Rodney S. Ruoff  
The influence of nanoscale defects on the fracture of multi-walled  
Diamond & Related Materials, Vol.19, No.7-9, pp.748-751, (2010.1).
  21. 山本 剛, 大森 守, 相沢 養市, 橋田 俊之, 高木 敏行  
ナノ界面制御によるカーボンナノチューブ/アルミナ複合材料の作製とその機械的特性評価(機械的特性に及ぼす焼結助剤の影響評価)  
日本機械学会論文集, Vol.76, No.764, pp.416-418, (2010.1).
  22. 山本敏弘、高木敏行、内一哲哉  
渦電流探傷試験における信号位相を利用した検出信号からのき裂指示の抽出  
日本機械学会論文集(A編), Vol.76, No.761, pp.117-125, (2010.1).
  23. Gabor Vertesy, Tetsuya Uchimoto, Ivan Tomas, Toshiyuki Takagi  
Temperature Dependence of Magnetic Descriptors of Magnetic Adaptive Testing  
IEEE Transactions on Magnetics, Vol.46, No.2, pp.509-512, (2010.2).
  24. 大野威, 竹野貴法, 三木寛之, 高木敏行  
歪みセンサへの応用を目指したタングステンを含む非晶質炭素膜の特性評価  
日本機械学会論文集, Vol.76, No.762, pp.268-274, (2010.2).
  25. Go Yamamoto, Mamoru Omori, Toshiyuki Hashida, Hisamichi Kimura, Toshiyuki Takagi  
Effects of Sintering Additive on Mechanical Properties of Alumina Matrix Composites Reinforced with Carbon Nanotubes  
Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering, Vol.4, No.3, pp.460-469, (2010.3).
  26. Oleksandr Stupakov, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi  
Magnetic anisotropy of plastically deformed low-carbon steel  
Journal of Physics D: Applied Physics, Vol.1, pp.1-7, (2010.4).
  27. Takanori Takeno, Shingo Abe, Koshi Adachi, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi  
Deposition and structural analyses of molybdenum-disulfide(MoS<sub>2</sub>)-amorphous hydrogenated carbon (a-C:H) composite coatings  
Diamond & Related Materials, Vol.19, pp.548-552, (2010.5).
  28. 浦山良一、内一哲哉、高木敏行  
電磁超音波-渦電流複合プローブの高温環境モニタリングへの適用に関する検討  
日本機械学会論文集, Vol.76, No.765, pp.587-593, (2010.5).
  29. Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi, Toshihiko Abe  
Electromagnetic Nondestructive Evaluation of Graphite Structures in Flake Graphite Cast Iron.  
Materials Transactions, Vol.51, No.6, pp.1114-1119, (2010.6).
  30. Vladimir Khovaylo, K.P. Skokov, O. Gutfleisch, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi, Takeshi Kanomata, Victor Koledov, Vladimir Shavrov, G. Wang, E. Palacios, J. Bartolome, R. Burriel  
Peculiarities of the magnetocaloric properties in Ni-Mn-Sn ferromagnetic shape memory alloys  
Physical Review B, Vol.81, No.21, pp.214406-, (2010.6).

31. 塩田浩之, 竹野貴法, 三木寛之, 高木敏行  
繰り返し曲げ試験による形状記憶合金上に作製したタングステンを含むDLC膜の疲労評価  
日本機械学会論文集, Vol.76, No.766, pp.745-748, (2010.6).
32. 三木寛之, 奥山武志, 小平真吾, 羅 雲, 高木敏行, 山家智之  
形状記憶合金を用いた人工食道アクチュエータの蠕動運動特性評価  
日本機械学会論文集, Vol.76, No.766, pp.1560-1566, (2010.6).
33. 筒井淳司, 三木寛之, 竹野貴法, 高木敏行  
鋼材基板に作製した研磨多結晶ダイヤモンド膜の摩擦特性評価  
日本機械学会論文集, Vol.76, No.766, pp.1639-1644, (2010.6).
34. 若生仁志, 阿部利彦, 高木敏行  
超合金上に成膜したダイヤモンド薄膜の密着性に及ぼす硝酸処理の影響  
表面技術, Vol.61, No.7, pp.516-521, (2010.7).
35. 大瀧啓太郎, 内一哲哉, 高木敏行  
電磁超音波一渦電流プローブを用いた鋳鉄の非破壊材質評価  
日本機械学会論文集, Vol.76, No.767, pp.968-975, (2010.7).
36. Taishi Okita, Toshiyuki Takagi  
Impedance analysis of circular coils on double-structured axisymmetrical cylinders with different conductivities and permeabilities  
European Physical Journal-Applied Physics, Vol.52, No.1, pp.2010124-, (2010.10).
37. 若生仁志, 阿部利彦, 高木敏行  
表面研磨した超合金上に成膜したダイヤモンド薄膜の密着性  
表面技術, Vol.61, No.12, pp.829-833, (2010.12).
38. Gabor Vrtesy, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi, and Ivan Toms  
Nondestructive inspection of ductile cast iron by measurement of minor magnetic hysteresis loops  
Materials Science Forum, Vol. 659, pp.355-360. (2010).

#### 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）37件

#### 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. Shejuan Xie, Zhenmao Chen, Toshiyuki Takagi  
Development of a novel fast solver for the direct current potential drop method and its verification with nondestructive testing of metallic foam  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.1253-1260, (2010.1).
2. Atsushi Tsutsui, Hiroyuki Miki, Takanori Takeno, Toshiyuki Takagi  
Development of partly polished polycrystalline diamond films on steel substrates for slider applications  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.1629-1634, (2010.1).
3. Takeshi Ohno, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi  
Evaluation of electrical properties of metal-containing amorphous carbon coatings for strain sensor application  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.1-2, pp.665-671, (2010.1).
4. Takanori Takeno, Takeshi Ohno, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi  
Fabrication of copper-nanoparticle embedded in amorphous carbon films and their electrical conductive properties  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.935-940, (2010.1).

5. Keitaro Ohtaki, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi  
Material characterization of cast irons with an EMAT/EC dual probe  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.1135-1141, (2010.1).
6. 大野威, 竹野貴法, 三木寛之, 高木敏行  
歪みセンサへの応用を目指したタングステンを含む非晶質炭素膜の特性評価  
日本機械学会論文集, Vol.76, No.762, pp.268-274, (2010.2).
7. 筒井淳司, 三木寛之, 竹野貴法, 高木敏行  
鋼材基板に作製した研磨多結晶ダイヤモンド膜の摩擦特性評価  
日本機械学会論文集, Vol.76, No.766, pp.1639-1644, (2010.6)
8. 大瀧啓太郎, 内一哲哉, 高木敏行  
電磁超音波渦電流プローブを用いた鋳鉄の非破壊材質評価  
日本機械学会論文集, Vol.76, No.767, pp.968-975, (2010.7)
9. Shejuan Xie, Toshiyuki Takagi, Tetsuya Uchimoto and Takeshi Sato  
Evaluation of pipe wall-thinning of nuclear power plants using pulsed eddy current testing method  
2010 Annual ELyT Workshop, France, 2010.3.14-16, pp.27-28
10. Shejuan Xie, Toshihiro Yamamoto, Toshiyuki Takagi, Tetsuya Uchimoto  
Pulsed ECT Method for Evaluation of Pipe Wall-Thinning of Nuclear Power Plants Using Magnetic Sensor  
The 15th International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation, pp.7-8, (2010.6).
11. 塩田 浩之, 竹野 貴法, 三木 寛之, 高木 敏行, 佐藤 武志  
形状記憶合金へのDLCコーティングと金属添加による密着性の改善  
日本機械学会東北支部第45期講演会, 仙台市, 2010.3.12, Vol.2010-1, pp.18-19.
12. Shejuan Xie, Toshiyuki Takagi, Tetsuya Uchimoto  
Defects sizing using a pulsed eddy current testing method for local wall-thinning Evaluation  
日本保全学会 第7回学術講演会, pp.300-304, (2010.7).
13. 大瀧 啓太郎, 内一 哲哉, 高木 敏行, 遊佐 訓孝, 竹田 陽一  
渦電流探傷試験による応力腐食割れの深さサイジングに対するき裂分岐構造と充填酸化物の影響評価  
日本保全学会 第7回学術講演会, pp.617-620, (2010.7).
14. Takeshi Ohno, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi  
Fabrication of strain sensor utilizing tungsten-doped amorphous carbon  
21th European Conference Diamond, Diamond-like Materials, Carbon Nanotubes and Nitrides  
Abstracts of DIAMOND 2010, (2010.9).論文番号:[P1.11]
15. Takanori Takeno, Hiroyuki Shiota, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi, Yun Luo  
Quantitative evaluation of adhesion strength of tungsten-containing diamond-like carbon coatings on NiTi shape memory alloy  
21th European Conference Diamond, Diamond-like Materials, Carbon Nanotubes and Nitrides, Hungary, 2010.9
16. 大野 威, 竹野 貴法, 三木 寛之, 高木 敏行  
タングステンを含む非晶質炭素膜の作製と歪みセンサとしての機能性の検討  
日本機械学会2010年度年次大会  
日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, Vol.1, pp.321-322, (2010.9.6).
17. Masanori Iwaki, Shingo Obara, Shuichi Watanabe, Takahiro Takeno, Hiroyuki Miki and Toshiyuki Takagi  
Concurrent Use of Diamond-like Carbon Coating and Multiply-alkylated Cyclopentane for Vacuum Lubrication  
Seventh International Conference on Flow Dynamics, pp.760-761, (2010.11).
18. Shejuan Xie, Toshiyuki Takagi, Tetsuya Uchimoto and Zhenmao Chen  
Development of efficient simulation solver for pulsed eddy current testing method  
Seventh International Conference on Flow Dynamics, pp.698-699, (2010.11).



19. Takeshi Ohno, Yecheng Wang, Takanori Takeno Hiroyuki Miki and Toshiyuki Takagi  
Dynamic Strain Measurements using a Novel Metal-containing Amorphous Carbon Sensor  
Seventh International Conference on Flow Dynamics, pp.656-657, (2010.11).
20. Atsushi Tsutsui, Hiroyuki Miki, Takanori Takeno and Toshiyuki Takagi  
Effect of Sliding Speed and Microscopic Structured Surface on Friction Properties of  
Poly-Crystalline Diamond Films  
Seventh International Conference on Flow Dynamics, pp.702-703, (2010.11).
21. Takanori Takeno, Hiroyuki Shiota, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi, Yun Luo  
Carbon-based nanostructured coatings on NiTi shape memory alloy for biomedical applications  
3rd International Conference on Intelligent Robotics and Applications, ICIRA 2010, China,  
2010.11 Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial  
Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), Vol.6245, No.2, pp.742-753
22. 筒井淳司, 三木寛之, 竹野貴法, 高木敏行  
研磨CVDダイヤモンド膜における摩擦特性の摺動速度依存性評価  
第24回ダイヤモンドシンポジウム  
第24回ダイヤモンドシンポジウム講演要旨集, pp.26 -27 , (2010.11.17)
23. 若生仁志, 阿部利彦, 高木敏行  
超合金上に成膜したダイヤモンド薄膜の密着性に及ぼす硝酸処理の影響  
表面技術, Vol.61, No.7, pp.516-521, (2010.7).査読:あり
24. 若生仁志, 阿部利彦, 高木敏行  
表面研磨した超合金上に成膜したダイヤモンド薄膜の密着性  
表面技術, Vol.61, No.12, pp.829-833, (2010.12).査読:あり

#### 【本人の受賞・特許等】

○平成22年（1月～12月）

受賞名：総長教育賞

受賞日：2011年3月25日

#### 【本人のマスコミ発表等】

○平成22年（1月～12月）

原子力発電所のための保全科学と保全技術に関する国際セミナーを開催  
(2010年11月10日、電気新聞掲載)



氏名 中野 政身

所属 流体科学研究所・教授（工学博士）  
専門 流体制御工学  
研究課題 ナノ・マイクロ機能性流体の創製・評価と先進流体制御デバイス・システムの創成  
E-mail: m-nakano@fmail.ifs.tohoku.ac.jp  
Tel: 022(217)5878

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

事業推進担当者の研究分野では、ナノ・マイクロ粒子分散系電磁レオロジー流体（ER流体、MR流体、MRコンポジット等）の創製・評価とその先端応用、衝突空気噴流自励発振系の発振と騒音発生機構の解明とその能動制御法、および水素漏洩のリスク回避のためのセンシングに基づく強制換気制御法に関する研究に取り組んできた。サブミクロン粒子を分散したナノER流体を創製し、そのマイクロギャップにおけるレオロジー特性を流動モルフォロジーと関連づけて評価して、より高性能で時間的に安定なER効果を示すナノER流体を開発している。また、マイクロ粒子分散系ER流体で駆動されるポリウレタン膜を利用した6個のダイアフラム型マイクロアクチュエータからなる点字表示部をフォトリソグラフィ法によって製作し、より低圧駆動を実現した点字表示システムを開発している。磁場に反応して粘性の変化するMR流体に関しては、新規MR流体の創製とその機能性の評価と同時に、多孔質体にMR流体を含浸させたMR流体多孔質コンポジットやゴムに強磁性体粒子を分散したMRゴムコンポジットを創製し、より高いMR効果を発揮することとそれぞれのコンポジットの工学的に有意な特徴を明らかにした。MR流体の建築構造物の免震・制振装置への適用を目指して、永久磁石を用いてダンパ変位によって磁気回路が開閉し、かつダンパ速度の正負によって開閉するチェックバルブを活用して、変位×速度の正負によって減衰力が可変するパッシブ式MR流体ダンパを開発し、その建築構造物の免震制御への有効性を実証している。衝突空気噴流の自励発振に関する研究では、ホールトーン現象を対象とした直接数値シミュレーション（DNS）によって、噴流の自励発振現象のメカニズムを詳細に明らかにし、その能動制御への指針を提示している。さらに、水素燃料漏洩時の爆発などのリスク回避の観点から、部分的な開口部を有する空間内で水素が漏洩した際の漏洩水素センシングによる効果的な強制換気制御法について数値シミュレーションに基づいて検討を行っている。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

#### <国際会議>

名称: The 12th International Conference on ER Fluids and MR Suspensions (ERMR2010)  
主催団体: ERMR2010 Organizing Committee  
開催国: Philadelphia, USA  
開催期間: 2010.8.16 ~ 2010.8.20  
役割: Member of International Advisory Committee

#### <国際会議>

名称: The 7th International Conference on Flow Dynamics (7th ICFD2010)  
主催団体: Organizing Committee of 7th ICFD2010, Tohoku University Global COE Program  
“World Center of Education and Research for Trans-Disciplinary Flow Dynamics”  
開催国: Sendai, Japan  
開催期間: 2010.11.1 ~ 2010.11.3  
役割: Chair

#### <国際会議>

名称: The 7th International Conference on Flow Dynamics (7th ICFD2010)  
主催団体: Organizing Committee of 7th ICFD2010, Tohoku University Global COE Program

“World Center of Education and Research for Trans-Disciplinary Flow Dynamics”

開催国：Sendai, Japan

開催期間：2010.11.1 ～ 2010.11.3

役割：Member of International Scientific Committee

<国際会議、オーガナイズドセッション：OS>

名称：The 7<sup>th</sup> International Conference on Flow Dynamics (7<sup>th</sup> ICFD2010), OS: Advanced Control of Smart Fluids and Fluid Flows, GS: Multi-Scale Flow Dynamics

主催団体：Organizing Committee of 7<sup>th</sup> ICFD2010, Tohoku University Global COE Program  
“World Center of Education and Research for Trans-Disciplinary Flow Dynamics”

開催国：Sendai, Japan

開催期間：2010.11.1 ～ 2010.11.3

役割：OS Organizer

<講演会>

名称：第88期日本機械学会流体力学部門講演会

主催団体：日本機械学会流体力学部門

開催国：日本

開催期間：2010.10.30 ～ 2010.10.31

役割：実行委員長

<講演会、オーガナイズドセッション：OS>

名称：可視化情報学会 全国講演会in鹿児島, OS「機能性流体・ソフトマター及び油空圧流体のマルチスケール可視化」

主催団体：可視化情報学会

開催国：日本

開催期間：2010.10.7 ～ 2010.10.8

役割：OSオーガナイザー

<講演会、オーガナイズドセッション：OS>

名称：平成22年度秋季フルードパワーシステム講演会, OS「機能性流体」

主催団体：日本フルードパワーシステム学会

開催国：日本

開催期間：2010.12.2 ～ 2010.12.3

役割：OSオーガナイザー

<基調講演>

講演先：The 12th International Conference on ER Fluids and MR Suspensions (ERMR2010)

講演題目：Towards MR Composites with Enhanced Shear Stress

講演日：2010.8.19

<基調講演>

講演先：日本フルードパワーシステム学会平成22年度秋季フルードパワーシステム講演会in別府

講演題目：MR流体からMRコンポジットへ

講演日：2010.12.3

<招待講演>

講演先：The 7<sup>th</sup> International Conference on Flow Dynamics (7<sup>th</sup> ICFD2010), OS: Advanced Control of Smart Fluids and Fluid Flows

講演題目：Development of Micro-motor for MEMS Utilizing Novel Smart Polymer: II From Single Particle Rotation to Rotating Polymer Disk

講演日：2010.11.3

## 平成22年度の研究業績

### 【研究内容】

#### 1. マイクロ・ナノ粒子分散系ER流体の創製・評価とそのマイクロフルードパワーシステム(MFPS)への応用

ER流体(Electro-Rheological Fluid)は、電場印加によって粘性(厳密には、降伏せん断応力)を数ミリ秒のオーダーで可逆的かつ連続的に変化できる機能性を示すスマート流体である。液圧系の作動流体としてER流体を用いることによって、バルブ・アクチュエータなどの可動部を全く用いずに電極対を設置するだけでER流体の流量や圧力を制御できることから、本研究では、ER流体を作動流体とするマイクロフルードパワーシステム(Micro Fluid Power System:MFPS)の構築を目的に、視覚障害者の情報伝達手段の一つである点字表示システムを開発している。本年度は、そのアクチュエータ駆動部の弾性体として従来のメタル製のマイクロベローズに替えて、0.02mm厚のポリウレタン膜を用いることにより、ER流体の供給圧を533kPa から238 kPaに低減しERバルブの小型化を達成している。ER流体点字表示システムは、2つのERバルブ(間隙:0.3mm)と可動部であるポリウレタン膜ダイヤフラムからなる3ポートマイクロアクチュエータを構築し、その6個のアクチュエータダイヤフラム上に触知ピンを装着して点字板上に6個の触知ピンを表示するように構成されている。ER流体としては、スルホン化重合体マイクロ粒子を分散したER流体を用いて点字表示を実現している。さらに、より微細な流路でも使用可能な作動流体として、300nmのTiO<sub>2</sub>(Anatase)のナノ粒子ER流体を創製し、ER効果も比較的高く、時間的にも安定したER効果の得られるナノ粒子ER流体を開発できた。

#### 2. 先進MR流体及びMRコンポジットの創製・評価とそのダンパ及び振動制御への応用

MR(Magneto-Rheological Suspension)流体は、磁場に反応してその粘性を大きく変化することができるスマート流体である。本研究では、このスマート流体の車両サスペンションや建築構造物の免震・制振装置への応用を目指し、MR流体そのものと、MR流体を多孔質材に含浸させたMR流体コンポジット、さらには強磁性体粒子をゴム材に混入したMRゴムコンポジットを創製している。本年度は、これらの磁場反応性スマート流体のMR効果の向上を目指して研究展開を行った。その結果、MR流体コンポジットに関しては、多孔質材や接触材の材質等によっては、MR流体自身のMR効果の1.5倍程度のせん断応力を発生することを見出した。また、MRゴムコンポジットに関しては、ゴム硬化時に磁場を印加して磁性粒子の配向制御を施すことによってせん断滑り時の誘起せん断応力を大きくできることを明らかにした。また、地震時の停電時にも信頼性をもって作動するMR流体を使ったダンパとして、電気的な制御系を一切使わずに、永久磁石を用いてダンパ変位によって磁気回路が開閉し、かつダンパ速度の正負によって開閉するチェックバルブを活用して、変位×速度の正負によって減衰力が可変するパッシブ式MR流体ダンパを開発して、その建築構造物の免震制御への有効性を実証している。

#### 3. ホールトーン自励発振現象の解明とアクティブ制御

円形空気噴流が同軸同径の穴の開いた平板に衝突して発生する噴流の自励発振現象をホールトーン現象と呼び、ダクト内サイレンサ、マフラー、バルブなど様々な工学的分野において発生して問題となっている。本研究では、このホールトーン現象を対象に、直接数値シミュレーション(DNS)によって現象を数値的に再現し、噴流せん断層に形成される組織的渦構造の平板エッジへの衝突とそれに伴う圧力波の上流への噴流内部伝播やその圧力波の発生メカニズムを明らかにし、更には、噴流の軸非対称モードの不安定性の発生なども示唆している。これらの知見は、今後の自励発振系の抑制のためのアクティブ制御法の提案に寄与する。

#### 4. 水素漏洩のリスク回避のためのセンシングに基づく強制換気制御

駐車場やガレージなどにおいて、今後の車両として期待される燃料電池車や水素燃料車などの車両から水素燃料が漏洩した際の漏洩水素ガスの排気の問題は、水素爆発などのリスク回避の観点から非常に重要なものとなる。本研究では、部分的な開口部を有する空間内で水素が漏洩した際、漏洩した水素を天井近くに設置した水素センサにより検知し、その水素センサからの情報に基づいて漏洩流量を予測して、天井に設けたファンの換気流量を制御して適正に水素ガスを排気する強制換気方法について、数値シミュレーションに基づいて検討している。部分開空間としては右側の壁(ガレージであれば入口シャッターが開放してある場合に相当)が全面開放してある場合を対象としている。この場合



のファンの天井への設置位置は、開口部と反対側の左側天井中央位置が種々の水素ガス漏洩位置に対して効果的であるということの数値シミュレーションから見出した。その換気位置において、漏洩水素流量 $Q_{in}$ と種々の漏洩位置に対して漏洩水素ガスの室内での分散が発生せず適切に換気される換気流量 $Q_{ex}$ の関係を求めて、水素センサから予測した漏洩水素流量とその求めた関係とから換気流量を制御する方法を採用している。その結果、種々の漏洩位置および漏洩流量に対して、水素ガスの室内での分散がなく適切な換気制御が実施されており、有効な強制換気手法を提案できた。

### 【学位論文指導（主査）】

#### 博士論文

1. バイオロボティクス専攻 村上 貴裕  
「可変減衰特性を有するパッシブ式MRダンパの開発とその振動制御への応用」

#### 修士論文

1. バイオロボティクス専攻 吉田 圭佑  
「粒子分散系ER流体を用いた点字表示システムに関する研究」

### 【学位論文指導（副査）】

#### 修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 中島 潤之  
「Effect of Flow inside a Cavity on the Aerodynamic Noise Generation（キャビティ内の流れが発生する空力騒音に及ぼす影響）」
2. 航空宇宙工学専攻 太田 敦人  
「矩形管内を流動するスラッシュ流体の流動・伝熱特性に関する数値解析」

### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. M.A. Langthjem, M. Nakano  
Numerical Study of Hole-Tone Feedback Cycle Based on an Axisymmetric Formulation  
Fluid Dynamic Research, Vol.42, pp.1-26, (2010).
2. T. Murakami, M. Sakai, M. Nakano  
Study on the Development of Passive MR Damper with Displacement-Dependent Damping Characteristics  
Journal of Fluid Science and Technology, Vol.5, No.2, pp.86-97 (2010).
3. K. Matsuura, M. Nakano, J. Ishimoto  
The Sensing-Based Risk Mitigation of Leaking Hydrogen in a Partially Open Space by Forced Ventilation  
International Journal of Hydrogen Energy, Vol.35, pp.4776 -4786, (2010).
4. T. Tsujita, M Kobayashi, M. Nakano  
Design and Development of a Braille Display Using Micro Actuators Driven by ER Suspension  
International Journal of Applied Electromagnetic and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.1661-1669, (2010).
5. M. Murakami, M. Sakai, M. Nakano  
Damping and Response Characteristics of Passive Type MR Damper  
International Journal of Applied Electromagnetic and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.911-917, (2010).
6. K. Matsuura, M. Nakano, J. Ishimoto  
The sensing-based high-fidelity risk mitigation control of hydrogen dispersion in a partially open space  
CD-ROM Proceedings of 10<sup>th</sup> Int. Conf. on Clean Energy (ICCE-2010), Famagusta, North Cyprus, p.8, (2010).
7. K. Matsuura, M. Nakano  
Direct Numerical Simulation of a Hole-Tone Feedback System  
CD-ROM Proceedings of 3<sup>rd</sup> Int. Conf. on Jets, Wakes and Separated Flows (ICJWSF 2010),

Cincinnati, Ohio USA, p.6 , (2010).

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Fluid Dynamic Research
2. Journal of Fluid Science and Technology
3. International Journal of Hydrogen Energy
4. International Journal of Applied Electromagnetic and Mechanics
5. 「機能性流体を活用した次世代型フルードパワーシステムに関する研究委員会」研究成果報告書

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. Y. Hikichi, M. Nakano, T. Tsujita  
HYSCOM KNEE, a prosthetic knee joint with stance and swing control system utilizing compact MR fluid brake  
Abstracts of the 13<sup>th</sup> World Congress of the International Society for Prosthetic and Orthotics (13<sup>th</sup> ISPO), Leipzig, Germany, Abstract No.325, p.3, (2010).
2. T. Tujita, M. Nakano, K. Sase  
Development of a Compact Braille Display Using Diaphragm Actuators Controlled by ER Valves  
Abstracts Book of 12<sup>th</sup> International Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions (ERMR2010), Philadelphia, USA, p.1, (2010.8.16-20).
3. M. Nakano  
Towards MR Composites with Enhanced Shear Stress  
Abstracts Book of 12<sup>th</sup> International Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions (ERMR2010), Philadelphia, USA, p.1 , (2010). (Plenary Lecture)
4. Y. Hikichi, M. Nakano, T. Tsujita  
Prosthetic Knee Joint “HYSCOM KNEE” with Stance and Swing Motion Control System Utilizing a Compact MR Fluid Brake  
Abstracts Book of 12<sup>th</sup> International Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions (ERMR2010), Philadelphia, USA, p.1, (2010).
5. K. Matsuura, M. Nakano  
Direct Numerical Simulation of Instability Processes in a Hole-Tone Feedback System  
Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics (7<sup>th</sup> ICFD2010), Sendai Japan, pp.98-99, (2010).
6. M. A. Langthjem, M. Nakano  
The Influence of a Closed Cavity and a Tailpipe on the Hole-Tone Feedback Cycle  
Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics (7<sup>th</sup> ICFD2010), Sendai Japan, pp.270-271, (2010).
7. T. Nakanishi, M. Nakano, H. Tunokake  
Influence of Nozzle Shape and Ink Viscosity on Droplet Patterns from a Continuous Inkjet  
Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics (7<sup>th</sup> ICFD2010), Sendai Japan, pp.274-275, (2010).
8. K. Matsuura, M. Nakano, J. Ishimoto  
Sensing-Based Smart Ventilation Control of Leakage Hydrogen Jet in a Partially Open Space  
Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics (7<sup>th</sup> ICFD2010), Sendai Japan, pp.276-277, (2010).
9. T. Tsujita, K. Yoshida, M. Nakano  
Braille Display System Driven by Micro-Diaphragm ER Actuators  
Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics (7<sup>th</sup> ICFD2010), Sendai Japan, pp.282-283, (2010).
10. M. Zrinyi, M. Gadhvi, M. Nakano, T. Tsujita  
Development of Micro-motor for MEMS Utilizing Novel Smart Polymer: II From Single Particle Rotation to Rotating Polymer Disk

- Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics (7<sup>th</sup> ICFD2010), Sendai Japan, pp.284-285, (2010). (Invited)
11. K. Tanaka, R. Akiyama, M. Nakano  
Flow Behavior and Microstructure of Electro-Rheological Nano-Suspensions based on Titanium Dioxide Nano-Particles  
Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics (7<sup>th</sup> ICFD2010), Sendai Japan, pp.286-287, (2010).
  12. R. Tao, M. Nakano  
Viscosity Reduction of Diesel Fuel for Improving Fuel Atomization and Engine Efficiency  
Proceedings of the Tenth International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2010: IFS Collaborative Research Forum), Sendai Japan, pp.70-71, (2010).
  13. M. Nakano, T. Nakanishi, H. Tunokake  
Optimization of Nozzle Shape and Ink Viscosity Toward Uniform Droplet Formation of a Continuous Inkjet  
Proceedings of the Tenth International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2010: IFS Collaborative Research Forum), Sendai Japan, pp.114-115, (2010).
  14. K. Tanaka, T. Hira, R. Fukui, N. Nakagawa, R. Akiyama, M. Nakano, T. Tsujita  
Development and Flow Evaluation of Electro-Rheological Nano-Suspensions  
Proceedings of the Tenth International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2010: IFS Collaborative Research Forum), Sendai Japan, pp.126-127, (2010).
  15. M. Zrinyi, M. Gadhvi, M. Nakano, T. Tsujita  
Study on Micro-motor Utilizing Quincke Rotation of Novel Smart Polymers  
Proceedings of the Tenth International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2010: IFS Collaborative Research Forum), Sendai Japan, pp.132-133, (2010).
  16. M. A. Langthjem, M. Nakano  
Numerical and Experimental Research on Active Control of the Helmholtz Feedback Problem  
Proceedings of the Tenth International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2010: IFS Collaborative Research Forum), Sendai Japan, pp.140-141, (2010).
  17. 中野政身  
[自動車産業への応用を中心とした]電磁レオロジー流体の機能性と特徴～ER・MR流体およびMRコンポジット～  
技術情報協会「ER・MR流体」セミナーテキスト, pp.1-131, (2010).
  18. 中野政身 (編集, 分担執筆)  
「機能性流体を活用した次世代型フルードパワーシステムに関する研究委員会」研究成果報告書  
日本フルードパワーシステム学会, p.159, (2010).
  19. 中野政身 (分担執筆)  
R&P Committee 6「機能性流体のマルチスケール流動とシステム化に関する研究分科会」活動報告書  
日本混相流学会研究企画委員会, p.135, (2010).
  20. 中野政身  
機能性流体を核としたフルードパワーシステムの融合化に関する研究委員会  
日本フルードパワーシステム学会誌「フルードパワーシステム (電子出版緑陰特集号)」, Vol.41, No. E1号, pp.E56, (2010). (資料)
  21. 高野豊, 中野政身, 辻田哲平  
高いMR効果を示すMR流体スポンジコンポジットの研究開発  
日本機械学会東北支部第45期総会講演会講演論文集, No.2010-1, pp.226-227, (2010).
  22. 比良臣伸, 福井隆一, 中川のぞみ, 田中克史, 秋山隆一, 中野政身, 辻田哲平  
ナノ粒子分散系ER流体における流動挙動と微細挙動

- 日本レオロジー学会第37年会講演会講演要旨集, 東京, No.P16, (2010).
23. 渡部尚, 若生宏, 中野政身  
移動変形メッシュ手法を用いた逆止弁自励振動解析  
自動車技術会2010年春季大会学術講演会前刷集No.81-10, Paper No. 395-20105311, pp.27-30, (2010).
24. 辻田哲平, 中野政身, 佐瀬一弥, 吉田圭佑  
ER流体マイクロバルブで制御されるダイヤフラムアクチュエータを用いた小型点字表示システム  
JFPS平成22年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.109-111, (2010).
25. 中野政身, 戸塚厚, 矢崎利昭  
MR流体測定用磁場印加型平行円盤レオメータに関する研究開発  
JFPS平成22年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.118-120, (2010).
26. 中野政身, 高野豊, 辻田哲平  
MR流体コンポジットのMR効果の向上に関する研究  
JFPS平成22年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.124-126, (2010).
27. 中野政身, 高野豊  
MR流体コンポジットのMR効果とその向上に関する研究  
日本レオロジー学会第58回レオロジー討論会講演要旨集, pp.190-191, (2010).
28. 比良臣伸, 福井隆一, 中川のぞみ, 田中克史, 秋山隆一, 中野政身, 吉田圭佑, 辻田哲平  
ナノ粒子分散系ER流体の流動及び微細構造の評価  
日本レオロジー学会第58回レオロジー討論会講演要旨集, pp.130-131, (2010).
29. 中野政身, 高野豊, 稲場智亮  
MRゴムコンポジットのせん断モードMR効果とモルホロジー制御の可視化  
可視化情報, Vol.30, Suppl. No.2, 可視化情報全国講演会(鹿児島2010)講演論文集, pp.161-162, (2010).
30. 渡部尚, 若生宏, 中野政身  
逆止弁自励振動現象の実験および数値シミュレーションによる可視化  
可視化情報, Vol.30, Suppl. No.2, 可視化情報全国講演会(鹿児島2010)講演論文集, pp.165-166, (2010).
31. 松浦一雄, 中野政身  
Holetone自励振系の実験及びDNSによる可視化  
可視化情報, Vol.30, Suppl. No.2, 可視化情報全国講演会(鹿児島2010)講演論文集, pp.167-168, (2010).
32. 中西為雄, 中野政身, 角掛裕樹  
ノズル形状が及ぼす連続流型インクジェットの液滴生成パターンへの影響  
第88期日本機械学会流体力学部門講演会講演論文集, No.10-16, pp.33-34, (2010).
33. 松浦一雄, 中野政身, 石本淳  
水素噴流漏洩を伴う部分開放空間におけるセンシングに基づくリスク緩和制御  
第88期日本機械学会流体力学部門講演会講演論文集, No.10-16, pp.81-82, (2010).
33. 吉田圭佑, 中野政身, 辻田哲平, 田中克史  
マイクロギャップにおけるナノ粒子分散系ER流体のレオロジー・流動特性  
第88期日本機械学会流体力学部門講演会講演論文集, No.10-16, pp.177-178, (2010).
34. ランジェム・ミカエル, 中野政身  
ホールトーンフィードバックサイクルに関する数値解析: キャビティ部及び尾管の影響  
第88期日本機械学会流体力学部門講演会講演論文集, No.10-16, pp.293-294, (2010).
35. 松浦一雄, 中野政身  
ホールトーンフィードバックシステムにおける直接音解析  
第88期日本機械学会流体力学部門講演会講演論文集, No.10-16, pp.295-296, (2010).
36. 渡部尚, 若生宏, 中野政身  
移動変形メッシュ手法を用いた逆止弁自励振動解析  
第88期日本機械学会流体力学部門講演会講演論文集, No.10-16, pp.305-306, (2010).
37. 中野政身



MR流体からMRコンポジットへ

JFPS平成22年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.115-117, (2010). (基調講演)

38. 吉田圭佑, 辻田哲平, 中野政身

粒子分散系ER流体駆動ダイヤフラムアクチュエータを用いた小型点字表示システム

JFPS平成22年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.125-127, (2010).

39. M. A.ランジェム, 中野政身

Aeroacoustics of a silencer model

第30流力騒音シンポジウム概要集, pp.5, (2010).

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年 (1月～12月)

1. T. Murakami, M. Sakai, M. Nakano

Study on the Development of Passive MR Damper with Displacement-Dependent Damping Characteristics

Journal of Fluid Science and Technology, Vol.5, No.2, pp.86-97 (2010).

2. M. Murakami, M. Sakai, M. Nakano

Damping and Response Characteristics of Passive Type MR Damper

International Journal of Applied Electromagnetic and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.911-917, (2010).

3. Y. Hikichi, M. Nakano, T. Tsujita

HYSCOM KNEE, a prosthetic knee joint with stance and swing control system utilizing compact MR fluid brake

Abstracts of the 13<sup>th</sup> World Congress of the International Society for Prosthetic and Orthotics (13<sup>th</sup> ISPO), Leipzig, Germany, Abstract No.325, p.3, (2010).

4. Y. Hikichi, M. Nakano, T. Tsujita

Prosthetic Knee Joint “HYSCOM KNEE” with Stance and Swing Motion Control System Utilizing a Compact MR Fluid Brake

Abstracts Book of 12<sup>th</sup> International Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions (ERMR2010), Philadelphia, USA, p.1, (2010).

5. T. Tsujita, K. Yoshida, M. Nakano

Braille Display System Driven by Micro-Diaphragm ER Actuators

Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics (7<sup>th</sup> ICFD2010), Sendai Japan, pp.282-283, (2010).

6. 高野豊, 中野政身, 辻田哲平

高いMR効果を示すMR流体スポンジコンポジットの研究開発

日本機械学会東北支部第45期総会講演会講演論文集, No.2010-1, pp.226-227, (2010).

7. 辻田哲平, 中野政身, 佐瀬一弥, 吉田圭佑

ER流体マイクロバルブで制御されるダイヤフラムアクチュエータを用いた小型点字表示システム

JFPS平成22年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.109-111, (2010).

8. 中野政身, 高野豊, 辻田哲平

MR流体コンポジットのMR効果の向上に関する研究

JFPS平成22年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.124-126, (2010).

9. 中野政身, 高野豊

MR流体コンポジットのMR効果とその向上に関する研究

日本レオロジー学会第58回レオロジー討論会講演要旨集, pp.190-191, (2010).

10. 比良臣伸, 福井隆一, 中川のぞみ, 田中克史, 秋山隆一, 中野政身, 吉田圭佑, 辻田哲平

ナノ粒子分散系ER流体の流動及び微細構造の評価

日本レオロジー学会第58回レオロジー討論会講演要旨集, pp.130-131, (2010).

11. 中野政身, 高野豊, 稲場智亮

MRゴムコンポジットのせん断モードMR効果とモルホロジー制御の可視化

可視化情報, Vol.30, Suppl. No.2, 可視化情報全国講演会(鹿児島2010)講演論文集, pp.161-162, (2010).

12. 吉田圭佑, 中野政身, 辻田哲平, 田中克史  
マイクロギャップにおけるナノ粒子分散系ER流体のレオロジー・流動特性  
第88期日本機械学会流体力学部門講演会講演論文集, No.10-16, pp.177-178, (2010).
13. 吉田圭佑, 辻田哲平, 中野政身  
粒子分散系ER流体駆動ダイヤフラムアクチュエータを用いた小型点字表示システム  
JFPS平成22年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.125-127, (2010).

**【本人の受賞・特許等】**

○平成22年（1月～12月）

受賞名：日本機械学会流体力学部門「部門賞」

受賞日：2010年10月30日

受賞名：財団法人油空圧機器技術振興財団「学術論文賞」

受賞日：2010年5月19日

**【学生の受賞・特許等】**

○平成22年（1月～12月）

受賞者：村上貴裕

受賞名：財団法人油空圧機器技術振興財団「学術論文賞」

受賞日：2010年5月19日

氏名 中橋 和博



所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・教授（工学博士）  
専門 数値流体力学  
研究課題 航空機まわりの流れの数値計算法に関する研究数値流体力学の航空機空力設計への応用  
E-mail: naka@ad.mech.tohoku.ac.jp  
TEL: 022(795)6978

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

数値流体力学に関するアルゴリズム研究、およびその応用として旅客機などの解析と最適化研究について行い、博士後期学生の育成を進めている。数値流体力学は航空機や自動車開発には不可欠なツールとなり、その手法の高度化と設計応用を通じて若手育成を行っている。また、次世代の計算科学を担うための新規計算アルゴリズムの研究を鋭意進めている。

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

数値流体力学の航空機関係への応用では、失速特性を改善する翼型提案や新型旅客機の空力設計、ジェットエンジン内のタービン翼列の熱伝導・流体連成解析などを行った。また、将来の計算機の発達を念頭にした大規模計算のためのアルゴリズムの研究では、圧縮性および非圧縮性流体に対するソルバーの開発をするめるとともに、格子生成法の改良整備、データ圧縮法の開発を行った。また、その応用として航空機の脚からの空力音解析を行い、その精度評価などを進めた。

#### 【学位論文指導（主査）】

##### 博士論文

1. 航空宇宙工学専攻 石田 崇  
「Study of High-Order/High-Resolution Method for Flow Simulations with Cartesian Grid Method（直交格子法を用いた高次精度・高解像度計算に関する研究）」
2. 航空宇宙工学専攻 渡邊 昌俊  
「製品設計のための直交格子を用いた流体数値解析技術の研究」

##### 修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 坂井 玲太郎  
「Building-Cube Methodを用いた大規模流体計算におけるデータ圧縮法」
2. 航空宇宙工学専攻 石川 典由  
「Building Cube Methodを用いた流体大規模並列計算法に関する研究」
3. 航空宇宙工学専攻 松山 俊太郎  
「軽飛行機の失速特性改善のための空力最適設計手法」
4. 航空宇宙工学専攻 吉新 哲也  
「非構造格子CFDソルバーによる冷却タービン翼列の流体・熱伝導連成数値計算」
5. 航空宇宙工学専攻 恩田 博  
「航空機主脚まわりの流れと空力音の数値解析手法に関する研究」

#### 【学位論文指導（副査）】

##### 博士論文

1. 航空宇宙工学専攻 河 宗秀  
「Aerodynamic Analysis for the Development of a Low-Drag Pickup Truck（低抵抗ピックアップトラック開発のための空力特性解析）」

2. 航空宇宙工学専攻 安養寺 正之  
「Development of a Mars Wind Tunnel and Its Applications to Low Reynolds Number and High-Subsonic Airfoil Testing (火星大気風洞の開発と低レイノルズ数・高亜音速翼型試験への適用)」
3. 情報科学研究科 システム情報科学専攻 豊田 篤  
「Design and Free Flight Experiment of Low-Boom Supersonic Biplane Models (低ブーム超音速複葉翼模型の設計と自由飛行実験)」

## 修士論文

1. 機械システムデザイン専攻 Goit, Jay Prakash  
「Prediction of Transition Point by Pursuing Local Growth of Instability Waves (不安定波の局所成長を追跡する手法による遷移点の予測)」
2. 機械システムデザイン専攻 大江 宏昌  
「Control of Dynamic Flow Separation (非定常なはく離の制御)」
3. 航空宇宙工学専攻 塚野 孝俊  
「空力問題におけるニューラルネットワークを用いた簡易シミュレーションモデルの研究」
4. 航空宇宙工学専攻 平尾 一歩  
「低マッハ数圧縮性流れの数値解析」
5. 航空宇宙工学専攻 内海 雄紀  
「多重極解析を用いた低ソニックブーム超音速機の研究」
6. 航空宇宙工学専攻 宮内 空野  
「超音速複葉翼を用いた航空機の主翼構造重量評価」
7. 航空宇宙工学専攻 中井 賢太郎  
「航空機設計における構造非線形を考慮した空力弾性解析法の研究」
8. 航空宇宙工学専攻 姜 栄浩  
「高速・低燃費走行を目的としたレースカー翼の空力最適化」
9. 航空宇宙工学専攻 伊田 真悟  
「火星大気風洞による薄翼の低レイノルズ数空力特性の実験的評価」
10. 航空宇宙工学専攻 荻田 力  
「低レイノルズ数における3次元翼の非線形空力特性に関する研究」
11. 航空宇宙工学専攻 呉 健太  
「垂直カナードを持つ無人航空機の開発と飛行制御」

## 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. 高山央貴、佐々木大輔、中橋和博、田辺安忠、齋藤茂、“構造・非構造カップリングによるヘリコプター全機周りの流体数値計算”、日本航空宇宙学会論文集、第58巻、第681号、pp.277-284, 2010.
2. Ryotaro Sakai, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “Data Compression of Large-Scale Flow Computation Using Discrete Wavelet Transform,” AIAA Paper 2010-1325, 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting, Orlando, FL, January 2010
3. Shigenori Nishimoto, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “RANS Simulation around Airfoils using Building-Cube Method,” AIAA Paper 2010-710, 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting, Orlando, FL, January 2010
4. Ryota Yoneta, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “Aerodynamic Optimization of an Over-the-Wing-Nacelle-Mount Configuration,” AIAA Paper 2010-1016, 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting, Orlando, FL, January 2010
5. Noriyoshi Ishikawa, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “Large-scale Distributed Computation using Building-Cube Method,” USB Proceedings of Parallel CFD 2010, Kaohsiung, Taiwan, May 2010
6. Kazuhiko Komatsu, Takashi Soga, Ryusuke Egawa, Hiroyuki Takizawa, Hiroaki Kobayashi, Shun Takahashi, Daisuke Sasaki, Kazuhiko Nakahashi, “Parallel Processing of the Building-Cube Method on the GPU Platform,” USB Proceedings of Parallel CFD 2010, Kaohsiung, Taiwan, May 2010



7. Takashi Soga, Koki Okabe, Kazuhiro Komatsu, Ryusuke Egawa, Hiroyuki Takizawa, Hiroaki Kobayashi, Shun Takahashi, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, Akihiro Musa, "Performance of SOR Methods on Vector Processor SX-9," USB Proceedings of Parallel CFD 2010, Kaohsiung, Taiwan, May 2010
8. Kazuhiro Komatsu, Takashi Soga, Ryusuke Egawa, Hiroyuki Takizawa, Hiroaki Kobayashi, Shun Takahashi, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, "Efficient Data Management for the Building Cube Method using Cartesian Meshes on the GPU Platform," Proceedings of ISC10 (International Supercomputer Conference), Hamburg, Germany, May 2010
9. Ryotaro Sakai, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, "Large-Scale CFD Data Compression for Building-Cube Method Using Wavelet Transform," Abstract of Sixth International Conference on Computational Fluid Dynamics, pp. 198-199, St. Petersburg, Russia, July 12 – 16, 2010
10. T. Ishida, S. Kawai, K. Nakahashi, "A high-resolution method for flow simulations on block-structured Cartesian meshes," Abstract of Sixth International Conference on Computational Fluid Dynamics, pp. 198-199, St. Petersburg, Russia, July 12 – 16, 2010
11. Yasutada Tanabe, Shigeru Saito, Oki Takayama, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, "New Hybrid Method of Overlapping Structured Grids Combined with Unstructured Fuselage Grids for Rotorcraft Analysis," 36th European Rotorcraft Forum, Paris, France, September 2010
12. Daisuke Sasaki, Ryota Yoneta, Kazuhiro Nakahashi, "Over-the-Wing-Nacelle-Mount Configuration for Noise Reduction," ICAS Paper 2.1.0.2, International Congress on Aeronautical Sciences 2010, Nice, France, September 2010
13. Daisuke Sasaki, Yon-Joo Lee, Michitaro Hashiba, Oki Takayama, Kazuhiro Nakahashi, Yasutada Tanabe, Shigeru Saito, "A Hybrid Structured /Unstructured Mesh CFD Solver for Realistic for Helicopter Geometry," Proceedings of Heli Japan, Omiya, Japan, November 2010

#### 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. 日本航空宇宙学会論文集

#### 【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. Ryotaro Sakai, Hiroshi Onda, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, "Data Compression Method for Flow Computation Data Using Discrete Wavelet Transform," Proceedings of Seventh International Conference on Flow Dynamics Proceedings, Sendai, Japan, November 2010
2. Hiroshi Onda, Ryotaro Sakai, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, "Aeroacoustic Sound Analysis around JAXA Landing Gear Model by Building-Cube Method," Proceedings of 7th International Conference on Flow Dynamics, pp. 212-213, Sendai, Japan, November 2010
3. Tetsuya Yoshiara, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, "Numerical Prediction of Cooled Turbine Blade Thermal Load Using Conjugate Heat Transfer," Proceedings of Seventh International Conference on Flow Dynamics, pp. 628-629, Sendai, Japan, January 2010
4. Shuntaro Matsuyama, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, "Aerodynamic Optimization of an Airfoil for Mild-stall and Efficient General Aviation," Proceedings of Seventh International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, November 2010
5. 吉新哲也, 佐々木大輔, 中橋和博, "非構造格子CFDソルバーによる翼列の流体・熱伝導連成数値計算", 日本機械学会東北支部第45期総会・講演会, 仙台, 2010年3月
6. 佐々木大輔, 恩田博, 石田崇, 高橋俊, 中橋和博, "Building-Cube法によるJAXA主脚騒音模型の非定常流体解析", 第42回流体力学講演会／航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2010 CD-ROM講演論文集, 米子, 2010年6月
7. 坂井玲太郎, 佐々木大輔, 中橋和博, "直交格子積み上げ法による大規模流体計算データの圧縮に関する研究", 第42回流体力学講演会／航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2010 CD-ROM講演論文集, 米子, 2010年6月
8. 石川典由, 佐々木大輔, 中橋和博, "Building Cube Methodを用いた大規模並列計算に関する研究", 第42回流体力学講演会／航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2010 CD-ROM講演論文集, 米子, 2010年6月

9. 吉新哲也, 佐々木大輔, 中橋和博, “非構造格子CFDソルバーによる内部対流冷却翼列の流体・熱伝導連成数値計算”, 第42回流体力学講演会／航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2010 CD-ROM講演論文集, 米沢, 2010年6月
10. 松山俊太郎, 佐々木大輔, 中橋和博, “小型機主翼の失速特性改善に向けた空力最適設計手法”, 第42回流体力学講演会／航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2010 CD-ROM講演論文集, 米子, 2010年6月
11. 大木裕介, 佐々木大輔, 中橋和博, “ソニックブーム波形推算精度向上のためのShock Functionを用いた解適合細分化法”, 第42回流体力学講演会／航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2010 CD-ROM講演論文集, 米子, 2010年6月
12. 橋場道太郎, 佐々木大輔, 中橋和博, “直交格子ベースの全速度対応Eulerソルバーの開発”, 第42回流体力学講演会／航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2010 CD-ROM講演論文集, 米子, 2010年6月
13. 吉新哲也, 佐々木大輔, 中橋和博, “流体・熱伝導連成計算による冷却翼列の熱負荷予測”, 第88期日本機械学会流体力学部門講演会CD-ROM講演論文集, 米沢, 2010年10月
14. 坂井玲太郎, 恩田博, 佐々木大輔, 中橋和博, “ウェーブレット変換を用いた流体計算データ圧縮法”, 第88期日本機械学会流体力学部門講演会CD-ROM講演論文集, 米沢, 2010年10月
15. 恩田博, 坂井玲太郎, 佐々木大輔, 村山光宏, 山本一臣, 横川謙, “Building-Cube法によるJAXA主脚モデル周りの空力音解析”, 第88期日本機械学会流体力学部門講演会CD-ROM講演論文集, 米沢, 2010年10月
16. 恩田博, 佐々木大輔, 中橋和博, “Building-Cube 法を用いたJAXA 主脚モデルの詳細”, 第24回数値流体力学シンポジウムUSB講演論文集, 横浜, 2010年12月
17. 石川典由, 佐々木大輔, 中橋和博, “大規模並列計算に向けたBuilding Cube Method の拡張に関する研究”, 第24回数値流体力学シンポジウムUSB講演論文集, 横浜, 2010年12月
18. 西村康孝, 石田崇, 佐々木大輔, 中橋和博, “直交格子を用いた大規模格子生成”, 第24回数値流体力学シンポジウムUSB講演論文集, 横浜, 2010年12月
19. 高橋俊, 新井紀夫, 佐々木大輔, 中橋和博, “直交格子積み上げ法を用いた非圧縮流れの大規模数値解析”, 第24回数値流体力学シンポジウムUSB講演論文集, 横浜, 2010年12月
20. 中橋和博, “Building-Cube Methodの壁境界条件について”, 第24回数値流体力学シンポジウムUSB講演論文集, 横浜, 2010年12月

#### 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. T. Ishida, S. Kawai, K. Nakahashi, “A high-resolution method for flow simulations on block-structured Cartesian meshes”, Abstract of Sixth International Conference on Computational Fluid Dynamics, pp. 198-199, St. Petersburg, Russia, July 12 – 16, 2010
2. 佐々木大輔, 恩田博, 石田崇, 高橋俊, 中橋和博, “Building-Cube法によるJAXA主脚騒音模型の非定常流体解析”, 第42回流体力学講演会／航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2010 CD-ROM講演論文集, 米子, 2010年6月
3. 坂井玲太郎, 恩田博, 佐々木大輔, 中橋和博, “ウェーブレット変換を用いた流体計算データ圧縮法”, 第88期日本機械学会流体力学部門講演会CD-ROM講演論文集, 米沢, 2010年10月
4. 恩田博, 坂井玲太郎, 佐々木大輔, 村山光宏, 山本一臣, 横川謙, “Building-Cube法によるJAXA主脚モデル周りの空力音解析”, 第88期日本機械学会流体力学部門講演会CD-ROM講演論文集, 米沢, 2010年10月
5. 西村康孝, 石田崇, 佐々木大輔, 中橋和博, “直交格子を用いた大規模格子生成”, 第24回数値流体力学シンポジウムUSB講演論文集, 横浜, 2010年12月

#### 【本人の受賞・特許等】

○平成22年（1月～12月）

受賞名：JACM Award for Computational Mechanics

受賞年：H22年7月



氏名 石本 淳

所属 流体科学研究所・准教授（博士（工学））

専門 混相流体工学

研究課題 高機能性マイクロソリッド利用型混相流動エネルギー循環システムの創成

E-mail: ishimoto@fmail.ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5271

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

ナノテクノロジー、新エネルギー創成、エアロスペーステクノロジーなどの基幹研究分野においては、次世代水素利用技術開発や航空安全に関する高度情報集約技術が強く要求されている。特に、超高精細化・高度情報化が著しい近年の流体情報システムは異分野融合型の先進的サステナブル解析手法・最適設計手法の実現が必要不可欠となっている。

本GCOEプログラムにおいてはでは、超高分解能PIAレーザー計測と超並列分散型コンピューテーションに基づいたサステナブル異分野融合型研究に基づく先端流体解析手法の開発・体系化と次世代エネルギーに直結した混相流体応用機器の創成を行うための高度な専門教育と研究を行い、国際拠点の形成と若手研究者の養成に尽力している。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

1. 10th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration, AFI/TFI-2010, Nov. 1-3 (2010), Sendai, Miyagi, Japan, 実行委員長.
2. 第 88 期 日本機械学会流体工学部門 講演会, 実行委員幹事 [2010 年 10 月 30 日 (土), 31 日 (日), 山形大学工学部 (米沢市)]
3. 第 29 回 混相流学会年会講演会 2010 オーガナイズドセッション (OS-6 機能性流体のマルチスケール流動とシステム化) を企画 (オーガナイザー) [2010 年 7 月 17-19 日, 静岡大学 (浜松市)]
4. 7th International Conference on Flow Dynamics, Nov. 1-3 (2010), Sendai, Miyagi, Japan, 組織委員.
5. 日本機械学会東北支部 第 45 期総会・講演会 実行委員 [2010 年 3 月 12 日 (金), 東北大学工学部 (仙台市)]

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

#### 【マイクロ利用型超高熱流束混相冷却システムの開発】

次世代の半導体部品やコンピュータチップに発生する局所熱流束は  $10^6 \text{ W/m}^2$  を越え、総パワーは 300W に達し、原子炉炉心の発熱密度をも超えようとしている。さらに発熱密度は従来よりも高くなるため近い将来には核融合炉並の発熱密度に至るとさえ予測されている。

本研究は、以上の困難を打破しうる  $10^6 - 10^7$  レベルの超高熱流束の冷却性能を有する新型混相電子冷却システムを開発することを主目的とする。超高熱流束混相冷却を可能にする冷媒として新たに微小固体窒素粒子からなるマイクロスラッシュの高速噴霧流と、マイクロスラッシュ液体窒素固液二相流を用いる。

今年度は、マイクロスラッシュ噴霧による超高冷却熱流束の非定常計測が可能な試験装置を設計・製作した。その後、超高熱流束噴霧熱伝達特性に関する基礎実験を行い、噴霧流の 1) 直接接触による壁面熱伝達量、2) 高速衝突による強制対流熱伝達、3) 粒子融解潜熱に基づく熱伝達量に関する検討を行った。

#### 【マイクロ固体窒素噴霧利用型半導体洗浄システムの開発】

半導体ウェハレジストはく離性能評価に必要となるマイクロ・ナノスラッシュ粒子の高精度粒子計測が可能なPIA融合計測システムを開発した。その結果、スラッシュ噴霧流の界面不安定からスラ

スラッシュ粒子が形成されるメカニズムを明らかにし、スラッシュ超高熱流束効果を活用したレジスト熱収縮はく離を達成する際に必要となる最適粒径制御法に関する基礎データを得た。また、マイクロ・ナノスラッシュジェット衝突による物理的レジストはく離と超高熱流束急冷による熱収縮の相乗効果を利用し、フォトレジストの一部をはく離することに成功した。加熱無しの場合、レジストはく離には至らないことから、レジストはく離に及ぼす熱収縮効果の影響はかなり大きいことを明らかにした。

ウェハー加熱無しの場合、レジストはく離には至らないことから、レジストはく離に及ぼす熱収縮効果の影響はかなり大きいと言える。従来型のレジストはく離・洗浄システムにおいては、熱収縮効果を積極的に活用しようとする発想は存在しなかったが、本研究により初めてレジストの急速熱収縮効果に基づくSiO<sub>2</sub>膜からはく離と除去が可能であることを明らかにした点は本研究の大きな成果であると考えている。

### 【原子力発電所における配管リスクマネジメントに関する研究】

原子力発電所において最も多くトラブルが頻発し重大事故に直結する事象となりうるのが、配管系における減肉現象である。減肉とは高速流動・腐食（エロージョン・コロージョン）その他の要因により配管内部の材料組織が浸食され、配管に穴が開き、ついには破断に至る現象である。これは原子炉内配管が非常に複雑な形状を有し、なおかつ高温・高速という非常にシビアな条件で配管内流動が行われているからであり、現在のところ減肉現象を事前に予測あるいは未然に防止することは非常に困難である。本研究は、原子力発電所の配管系と高速熱流動をスーパーコンピュータ上に再現し、トラブルの発生箇所・原因を事前に予測するシステムを確立することを目的とする。本システムの実用化により、原子炉保守・点検に要する時間的・人的コストは大幅に軽減化し、極めて安全性の高い原子力発電の運用が可能になると言える。

本年度実施した数値計算結果より、蒸気流の湿り度が上昇した場合、オリフィス下流は超音速流れになり、テーパ型オリフィスでは流速の急激な上昇が起こる可能性があることが明らかとなった。

### 【高速現象を伴う高速液体噴霧微粒化に関する一体型シミュレーション技術の開発と各種ノズル融合設計手法の確立】

自動車用ガソリンエンジンインジェクターノズルあるいは液体燃料ロケットの液体酸素・水素ロケット噴射器（インジェクター）における極低温流体の液柱から液滴への分裂過程、キャビテーションを伴う噴孔上流の横方向流れを考慮した分裂過程、分裂を経て微粒化液滴形成に至るまで一連の気-液滴混相流動場に関し、LES-VOF法を用いた一体型非定常3次元混相乱流解析を行い、インジェクターノズル内液体微粒化メカニズムに関する詳細な数値予測を行っている。さらに微粒化ソルバーの改良を行い、自動車ガソリンあるいは液体ロケット用インジェクターノズルの複雑形状に適応しうるソルバーの開発をめざしている。実際の数値解析の実施に当たっては、大規模混相乱流を扱ったCFDであるのでスーパーコンピュータのスカラ並列コンピューティングと高速PCクラスターの融合並列計算による分散型コンピューティング手法を用い、さらに計測結果の分散型フィードバック処理を付加することにより融合解析結果の精度向上を図っている。

### 【学位論文指導（主査）】

#### 修士論文

1. マイクロ個体素噴霧流を用いた超高熱流束冷却と先端微粒化融合技術の開発  
(丹 大輔)

### 【学位論文指導（副査）】

#### 博士論文

1. マイクロチャネル内の相変化伝熱現象と生体冷却システムへの応用  
(岡島 淳之介)

#### 修士論文

1. 矩形管内を流動するスラッシュ流体の流動・伝熱特性に関する数値解析  
(太田 敦人)



【査読論文（査読付き国際会議論文を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. W.Lin, M.Doan, C.Moore, L.McNeil, T.B.Byrne, T.Ito and IODP Exp.319 Scientists  
Present-day Principal Horizontal Stress Orientation in the Kumano Forearc Basin of the Southwest Japan Subduction Zone Determined from IODP NanTroSEIZE drilling Site C0009  
Geophysical Research Letters, Vol.37, No.L13303, (2010), doi:10.1029/2010GL043158.
2. T.Ito, K.Satoh and H.Kato  
Deep Rock Stress Measurement by Hydraulic Fracturing Method Taking Account of System Compliance Effect  
Proceedings of the 5th International Symposium of In-situ Rock Stress, Vol.1, (2010), pp.43-50.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Geophys. Res. Lett.

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. 伊藤高敏, 山本晃司, 長久保定雄  
未固結地層フラクチャリング挙動解明のための実験的アプローチ  
第1回メタンハイドレート総合シンポジウム講演集, Vol.1, (2010), pp.135-138.
2. T.Ito  
Proposed Concept of In-situ Reaction Barrier to Remedy Leakage from Reservoirs of Geological CO2 Storage  
Proceedings of the 2nd International Symposium of Experimental-Integrated Computational Chemistry on Multiscale Fluidics, Vol.1, (2010), pp.55-56.
3. 伊藤高敏  
大水深海底下の地層を対象にしたフラクチャリング技術  
資源・素材学会平成22年度春季大会講演集, Vol.1, (2010), pp.129-132.
4. 田中秀宜, 伊藤高敏, 関根孝太郎, ティアンフ・スー  
CO2地中貯留層からの原位置反応法による漏洩修復と数値シミュレーションによる検討  
平成22年度石油技術協会春季講演会要旨集, Vol.1, (2010), p.143.
5. 神崇太, 伊藤高敏, 中塚善博, 山本晃司  
未固結地層フラクチャリング模擬実験のX線CTによる可視化  
平成22年度石油技術協会春季講演会要旨集, Vol.1, (2010), p.118.
6. T.Ito  
Measurement of Pressure and Flow Distribution in Fractured Geothermal Reservoirs at Few Km Deep  
Program & Abstract of G-COE Symposium 2010 Dynamic Earth and Heterogeneous Structure, Vol.1, (2010), pp.89-90.
7. T.Ito, S.Jin, S.Nagakubo, K.Yamamoto and H.Narita  
Laboratory Study on Hydraulic Fracturing in Unconsolidated Sands  
Program & Abstracts of International Symposium on Methane Hydrate Resources from Mallikto Nankai Trough, Vol.1, (2010), p.87, P-15.
8. 牧 紀幸, 伊藤高敏, 海江田秀志  
微小地震に基づく貯留層内の圧力伝播挙動評価方の客観性向上に関する研究  
日本地熱学会22年度学術講演会講演要旨集, Vol.1, (2010), B27.
9. 伊藤高敏, 山本晃司, 長久保定雄  
フラクチャリングによる未固結地層応力評価法の検討  
第2回メタンハイドレート総合シンポジウム講演集, Vol.1, (2010), pp.139-142.

10. T.Ito, A.Funato, H.Ito and M.Kinoshita

Determination of Stress State in Deep Subsea Formation by Combination of Hydrofracturing  
Test and Core Analysis: A Case Study in the Integrated Ocean Drilling Program (IODP)  
Expedition 319

Eos Transactions, AGU Fall Meeting Supplement, Vol.1, (2010), Abstract T13E-06.

**【本人の受賞・特許等】**

○平成22年（1月～12月）

受賞名：2010 Award for Research in Rock Mechanics

受賞日：2010年6月30日



氏名 太田 信

所属 流体科学研究所・准教授（博士（工学））

専門 生体流動工学

研究課題

脳動脈瘤用ステントの血流情報

E-mail: ota@fmail.ifs.tohoku.ac.jp

Tel: 022(217)5309

### 平成23年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

事業推進担当者の研究分野では、血流等に関する、特に医療機器が血流等に与える影響について、現象の解明とその応用について取り組んできた。血管の疾患部位を3次的に再構築することと、医療機器を高精度に3次的に再構築し融合する技術を開発し、血流数値解析を行っている。本年度は、RWS(流体科学研究所 未来流体情報創造センター)を用いた脳動脈瘤用ステントデザインについて血流阻害能力を付与した設計を中心に研究を展開した。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

名称：Swiss/Japan International Seminar on Medical Engineering Based on Vessel Biology

主催団体：JSPS, SNF, GCOEプログラム「流動ダイナミクス知の融合教育世界拠点」

開催国：スイス

開催期間：2010.11.14 ～ 2010.11.15

役割：オーガナイザー、座長、講演

#### <招待講演>

講演先：SIRIC International Symposium 2010

講演題目：Biomodel for Development of Intracranial Stent

講演日：2010.7.2

講演先：SIRIC International Symposium 2010

講演題目：Computational Simulation of Intracranial Stent using 3D visualization system

講演日：2010.7.2

講演先：6th World Congress of Biomechanics

講演題目：Simulations of Endovascular Treatment for Cerebral Aneurysm

講演日：2010.8.5

講演先：The 6th Beijing International Symposium on biomechanics

講演題目：Towards the Simulations of Endovascular Treatment for Cerebral Aneurysm

講演日：2010.8.27

講演先：Swiss/Japan International Seminar on Medical Engineering Based on Vessel Biology

講演題目：Development of in vitro system for intracranial stent evaluation

講演日：2010.11.15

講演先：第1回国際バイオレオロジーシンポジウム

講演題目：血管バイオモデルを用いたPIVによる瘤内コイル周りの血流解析

講演日：2010.6.3

講演先：第16回日本血管内治療学会総会

講演題目：脳動脈用ステントにおける流体力学的理論解析の試み

講演日：2010.7.24

講演先：J-BILAT 第5回セミナー

講演題目：欧州研究枠組みを利用して -FP6@neuroIST project-

講演日：2010.11.11

## 平成23年度の研究業績

### 【研究内容】

#### 1. 軟組織の力学的構造的再構築を行ったバイオモデリングの開発

軟組織が力学的構造的再構築されたバイオモデリングは、生体外にて医療機器開発や開発支援、機器を用いた術予測や術前訓練、さらには新たな医療方針支援に役立てることができる。本年度は組織的に硬さが変化するモデルを開発した。この開発によって、様々な病態の軟組織を模擬することができるようになった。

#### 2. 可視化情報を用いた脳動脈瘤用ステントの開発

脳動脈瘤付近では複雑な血流状態となっている。ステントなど医療機器にはその血流状態の把握が不可欠である。次世代のステントは血流を制御する機能を付加されたものを開発するのに、可視化情報を用いて行う手法を開発している。本年度は、ステントデザイン設計手法に応用し、血流を効果的に低下させるデザイン設計に着手した。

#### 3. コイル内の流れに関する研究

脳動脈瘤の治療としてコイルを留置する手法は低侵襲治療法として世界的には標準手法となっている。しかしながら、コイル内の流れは複雑で実験的にも捉えられているとは言えず、また過去の論文もほとんどない。本研究では、PIV手法にてはじめて流れを捉えることに成功した。本年度は模擬コイル開発にも着手した。

### 【学位論文指導（主査）】

#### 博士論文

##### 1. バイオロボティクス専攻 小助川博之

「Development of Blood Vessel Biomodel with Realistic Mechanical Properties and Geometrical Structures(血管の力学的特性と構造を再現したバイオモデルの開発)」

#### 修士論文

##### 1. バイオロボティクス専攻 安西 眸

「三次元可視化による脳動脈瘤用ステント周りの血流数値解析」

### 【学位論文指導（副査）】

#### 博士論文

##### 1. バイオロボティクス専攻 吉野大輔

「Study of Design and Evaluation of Self-Expanding Stents Suitable for Diverse Clinical Manifestation（広範な症状に適合する自己拡張型ステントの設計と評価に関する研究）」

#### 修士論文

##### 1. バイオロボティクス専攻 小泉遼

「疾患との関連性に着目した左心房内血流の数値解析」

##### 2. バイオロボティクス専攻 浦沼 晴香

「傾斜遠心顕微鏡による配向した血管内皮細胞上における好中球の挙動解析」

##### 3. 医工学研究科 大槻 学

「SPE素子を用いたセンサの開発に関する研究」

##### 4. 医工学研究科 加藤 宇海

「超音波計測融合血流シミュレーションの臨床応用に関する研究」



【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. K. Srinivas, A. Townsend, C.J.Lee, T. Nakayama, M. Ohta, S. Obayashi, T. Yamaguchi, Two-Dimensional Optimization of a Stent for an Aneurysm, Journal of Medical Devices, Vol.4, June, 2010, pp. 021003-1 - 021003-7
2. Toshio Nakayama, Shinkyu Jeong, Srinivas Karkenahalli, Makoto Ohta, Development of Stent Strut Pattern for Cerebral Aneurysm, Proceedings the 3rd ASME2010 3rd US-European Fluids Engineering Summer Meeting and 8th International Conference on Nanochannels, Microchannels and Minichannels, Aug.1-5, 2010, pp. FEDSM/ICNMM 2010, 30592
3. Hiroyuki Kosukegawa, Shuya Shida, Yoko Hashida, Makoto Ohta, Mechanical Properties of Tube-Shaped Poly (Vinyl Alcohol) Hydrogel Blood Vessel Biomodel, Proceedings the 3rd ASME2010 3rd US-European Fluids Engineering Summer Meeting and 8th International Conference on Nanochannels, Microchannels and Minichannels, Aug.1-5, 2010, pp. FEDSM/ICNMM 2010, 30892
4. Hitomi Anzai, Toshio Nakayama, Yuriko Takeshima, Makoto Ohta, The Effect of 3D Visualization on Optimal Design for Strut Position of Intracranial Stent, Proceedings the 3rd ASME2010 3rd US-European Fluids Engineering Summer Meeting and 8th International Conference on Nanochannels, Microchannels and Minichannels, Aug.1-5, 2010, pp. FEDSM/ICNMM 2010, 30591
5. Hayase, Hitoshi, Tokunaga, Koji, Nakayama, Toshio, Sugiu, Kenji, Nishida, Ayumi, Arimitsu, Seiji, Hishikawa, Tomohito, Ono, Shigeki, Ohta, Makoto, Date, Isao, Computational Fluid Dynamics of Carotid Arteries after Carotid Endarterectomy or Carotid Artery Stenting Based on Postoperative Patient-Specific CT Angiography and Ultrasound Flow Data, Neurosurgery, NEU-D-10-00097R, accepted
6. 富田典子, 安西睦, 安部和代, 太田信, 黄色ブドウ球菌 $\gamma$ ヘモリジンが形成するヘテロヘプタマー膜孔複合体の立体構造予測と分子配置解析, 顕微鏡 Vol.45 No.4 (2010) pp.223-228

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Journal of Medical Devices
2. Proceedings the 3rd ASME2010 3rd US-European Fluids Engineering Summer Meeting and 8th International Conference on Nanochannels, Microchannels and Minichannels
3. Neurosurgery
4. 顕微鏡

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

国際学会発表

1. N. Tomita, H. Anzai, K. Abe, M. Ohta, Analysis of Three-dimensional Structure and Subunit Mismatch in Staphylococcal  $\gamma$ -Hemolysin Heteroheptameric Transmembrane Pore, Microscopy and Microanalysis Vol.16, Supplement 2010, Expo Issue, Aug.1-5, 2010, pp.103-103
2. N. Tomita, H. Kosukegawa, M. Ohta, Modification of transparent poly(vinyl alcohol) hydrogel with extracellular matrix promotes effective cell adhesion for biomodeling, International Conference on Cellular & Molecular Bioengineering, Aug.1-5, 2010, pp.93-93
3. N. Tomita, H. Kosukegawa, M. Ohta, Development of Fundamental Techniques of Cell Adhesion on Transparent PVA-H for Biomodeling, 6th World Congress of Biomechanics, Aug.1-6, 2010, pp.483-483
4. N. Tomita, H. Anzai, K. Abe, M. Ohta, Molecular Architecture Analysis of Staphylococcal hemolysin Heteroheptameric Transmembrane Pore : Construction of Three-Dimensional Structure with Subunit Arrangement Mismatch Based on High-resolution Electron Microscopic Image, 6th World Congress of Biomechanics, Aug.1-6, 2010, pp.507-507
5. Kei, Ozawa, Koji Yamaguchi, Yukihiro Shibata, Toshio Nakayama, Yoko Hashida, Makoto Ohta, Analysis of Mechanical Properties and Microstructure for Development of

- Bone-Biomechanics, 6th World Congress of Biomechanics, Aug.1-6, 2010, pp.525-525
6. Syuya Shida, Hiroyuki Kosukegawa, Kanju Kuroki, Makoto Ohta, Development of Blood-Mimicking Fluid with Adjusted Refractive Index and Kinematic Viscosity for Applying to Particle Image Velometry, 6th World Congress of Biomechanics, Aug.1-6, 2010, pp.537-537
7. N. Tomita, H. Kosukegawa, Makoto Ohta, Cell Adherence on Transparent PVA-H Coated with Extracellular Matrix, 23th European Conference on Biomaterials, Sep. 11-15, 2010, pp. n3484
8. H.Kosukegawa, Y. Hashida, M. Ohta, Frequency-Dependence of Blood Vessel Biomodel Made of Poly(vinyl alcohol) Hydrogel, 23th European Conference on Biomaterials, Sep. 11-15, 2010, pp. h3586
9. Makoto Ohta, Hitomi Anzai, Toshio Nakayama, Computational Design of Intracranial Stent Using 3D Visualization System, Live International Neuroradiology Conference (In conjunction with the 7th ICS) Sep. 13-16, 2010, pp. 2145
10. Noriko Tomita, Hiroyuki Kosukegawa, Makoto Ohta, Development of Cell-Matrix Adhesion Techniques on Transparent PVA-H for Vessel Biomechanics, Seventh international Conference on Flow Dynamics Nov. 1-3, 2010, pp. 126
11. Yasumoto Shimizu, Kei Ozawa, Yoko Hashida, Makoto Ohta, Development of PVA-H Stenosis Model for PIV Measurement, Seventh international Conference on Flow Dynamics Nov. 1-3, 2010, pp. 572
12. Kei Ozawa, Yuji Katakura, Yukihiro Shibata, Toshio Nakayama, Yoko Hashida, Makoto Ohta, Mechanical Properties and Microstructure of Injected Biomechanics, Seventh international Conference on Flow Dynamics Nov. 1-3, 2010, pp. 584
13. Hitomi Anzai, Toshio Nakayama, Keiko Irie, Makoto Ohta, Analyzing Blood Flow in Bifurcated Artery with Cerebral Aneurysm Using Two Stents, Seventh international Conference on Flow Dynamics Nov. 1-3, 2010, pp. 570
14. Hiroyuki KOSUKEGAWA, Vincent FRIDRICI, Philippe KAPSA, Koshi ADACHI1, Makoto OHTA, Tribological study on metallic alloy used for stent against blood vessel biomodel, Swiss/Japan International Seminar on Medical Engineering Based on Vessel Biology, in Zurich, Swiss, Nov 15-16, 2010
15. Chang-Ho Yu, Shuya Shida, Kaoru Matsumoto, Makoto Ohta, PIV measured hemodynamic study with several stents in a cerebral aneurysm model, Swiss/Japan International Seminar on Medical Engineering Based on Vessel Biology, in Zurich, Swiss, Nov 15-16, 2010
16. Yasumoto Shimizu, Kei Ozawa, Yoko Hashida, Makoto Ohta, Development of PVA-H stenosis model, Swiss/Japan International Seminar on Medical Engineering Based on Vessel Biology, in Zurich, Swiss, Nov 15-16, 2010
17. Makoto Ohta, Hiroyuki Kosukegawa, Vincent Fridrici, Philippe Kapsa, Friction Properties of PVA-H for Biomodel and Steel Ball for Medical Devices, AFI/TFI 2010, Sendai, Miyagi, Japan, Nov 1-3, 2010
18. Toshio Nakayama, Shinkyu Jeong, Karkenahalli Srinivas, Makoto Ohta, Development of Stent for Cerebral Aneurysm based on Optimization, AFI/TFI 2010, Sendai, Miyagi, Japan, Nov 1-3, 2010
19. Noriko Tomita, Yoshiyuki Kamio, Makoto Ohta, Characterization of  $\gamma$ -Hemolysin on Liposome, AFI/TFI 2010, Sendai, Miyagi, Japan, Nov 1-3, 2010

#### 国内会議

1. 深作和明, 根来 真, 野田茂穂, 松本 薫, 太田 信, 奈良一成, 脳動脈用ブレブ部分の流れの数値解析とその血管撮影による検証, 第16回日本血管内治療学会総会, 2010年7月23-24, pp.52-52
2. 信太宗也, 小助川博之, 橋田葉子, 太田 信, 血管バイオモデル内流れのPIV計測のための疑似血液流体開発, 日本流体力学学会年会 2010, 2010年9月9日-11日 pp.217-217
3. Noriko Tomita, Kazuyo Abe, Hitomi Anzai, Makoto Ohta, 黄色ブドウ球菌 $\gamma$ ヘモリジンが形成するヘテロヘプタマー膜孔複合体におけるサブユニット配置解析, Subunit arrangement analysis of staphylococcal  $\gamma$ -hemolysin heteroheptameric transmembrane pore, 日本生物物理学会 第48回年会, 2010年9月20日-22日 pp. s-146 - s-147
4. 茅野 伸吾, 小野 勝範, 白鳥 和敏, 中田 充, 佐藤 和宏, 立花 茂, 梁川 功, 太田 信, 4次元CTに

よる新しい血量速度計測用の開発と基礎的検討, 日本放射線技術学会, 2010年9月22日, pp. 1068-1068

5. 橋田 葉子, 小助川 博之, 信太 宗也, 齊木 佳克, 松永 忠雄, 戸津 健太郎, 芳賀 洋一, 太田 信, 多機能なカテーテル評価のためのPVA-Hモデルを用いた循環路システムの開発, 日本人工臓器学会, 2010年11月18-20日
6. 小澤 桂, 山口 晃史, 片倉 裕司, 柴田 幸彦, 太田 信, 歯科インプラント手術トレーニング用骨バイオモデリングの力学的特性に関する研究, 日本人工臓器学会, 2010年11月18-20日
7. 清光 千早, 小助川 博之, 橋田 葉子, 太田 信, 壁厚制御されたPVA-H血管バイオモデルの開発, 日本人工臓器学会, 2010年11月18-20日
8. 太田 信, 安西 眸, 中山 敏男, Chang-ho Yu, フローダイバーターの脳動脈瘤ステント設計, SMAシンポジウム2010, 2010年11月26日
9. 富田 典子, 小助川 博之, 太田 信, 透明Poly (vinyl alcohol) Hydrogel バイオモデル上への血管細胞の効果的付着技術の開発, 日本バイオマテリアル学会, 2010年11月29-30日, pp.196
10. 中山 敏男, 鄭 信圭, Srinivas Karkenahalli, 太田 信, 最適化設計法による脳動脈瘤用ステントのストラットパターンの開発, 日本機械学会, 第23回バイオエンジニアリング講演会, 2011年1月8-9日, pp.251
11. Hiroyuki Kosukegawa, Vincent Fridrici, Philippe Kapsa, Boyko Stoimenov, Makoto Ohta, Friction Properties on Stent Metallic Alloy and Blood-vessel-like Soft Matter, 日本機械学会, 第23回バイオエンジニアリング講演会, 2011年1月8-9日, pp.17
12. 安西 眸, 中山 敏男, 入江 恵子, 太田 信, 血流数値解析の3次元可視化による効果的な脳動脈瘤ステント配置の予想, 日本機械学会, 第23回バイオエンジニアリング講演会, 2011年1月8-9日, pp.253
13. 入江 恵子, 太田 信, 中山 敏男, 安西 眸, 廣瀬 雄一, 松井 俊和, 未破裂脳動脈流の破裂リスクに関する3次元可視化システムを用いた経時的なCFD解析の試み, 第34回日本脳神経CI学会総会, 2011年2月3日, pp.44
14. 下 隼, 中山 敏男, 太田 信, 脳動脈瘤用ステントストラット位置が瘤内の血流に与える影響, 第7回生体工学と流体力学に関するシンポジウム, 2011年3月3日, pp.76-77
15. 三浦 幸久, 中山 敏男, 安西 眸, 太田 信, Porous Medium を用いた脳動脈瘤用フローダイバーステントのモデル化に関する検証, 第7回生体工学と流体力学に関するシンポジウム, 2011年3月3日, pp.74-75
16. 富田 典子, 阿部 和代, 安西 眸, 太田 信, ブドウ球菌成分性細胞崩壊毒素 $\gamma$ ヘモリジンが形成するヘテロヘプタマー膜孔複合体における分子配置ひずみの定量的解析, 日本農芸化学会2011年度大会, pp.281

#### 招待講演(国際)

1. Makoto Ohta, Hiroyuki Kosukegawa, Syuya Shida, Kei Ozawa, Noriko Tomita, Chang-Ho Yu, Biomodel for Development of Intracranial Stent, SIRIC International Symposium 2010, July 2, 2010, pp. 126-130
2. Makoto Ohta, Hitomi Anzai, Toshio Nakayama, Computational Simulation of Intracranial Stent using 3D visualization system, SIRIC International Symposium 2010, July 2, 2010, pp. 150-155
3. Makoto Ohta, K. Matsumoto, S. Shida, C. Kiyomitsu, H. Kosukegawa, N. Tomita, C. H. Yu, H. Anzai, T. Nakayama, Anne M. Robertson, Simulations of Endovascular Treatment for Cerebral Aneurysm, 6th World Congress of Biomechanics, Program, Aug.1-6, 2010, pp.96-96
4. Makoto Ohta, Towards the Simulations of Endovascular Treatment for Cerebral Aneurysm, The 6th Beijing International Symposium on biomechanics, Aug. 26-27, 2010, pp.35-36
5. Noriko Tomita, Cell adhesion on PVA-H for development of biomodel with biological response, International Mini Symposium for Biomechanics and Intracranial Stent, IFS, Tohoku University, Oct.20, 2010, pp.36-37
6. Makoto Ohta, Development of in vitro system for intracranial stent evaluation, Swiss/Japan International Seminar on Medical Engineering Based on Vessel Biology, in Zurich, Swiss, Nov 15-16, 2010

7. Noriko Tomita, Development of vessel biomodel with dynamic and biological properties by cell attachment on PVA-H, Swiss/Japan International Seminar on Medical Emgineering Based on Vessel Biology, in Zurich, Swiss, Nov 15-16, 2010

招待講演(国内)

1. 富田 典子, 安西 眸, 阿部 和代, 金子 淳, 神尾 好是, 太田 信, ブドウ球菌の2成分性毒素  $\gamma$ -ヘモリジン膜孔複合体における分子配置解析と立体構造予測, 日本顕微鏡学会 第66回学術講演会 発表要旨集, 2010年5月23-26, pp.36-36
2. 太田 信, 野田茂穂、深作和明、姫野龍太郎、松本薫, 血管バイオモデルを用いたPIVによる瘤内コイル周りの血流解析, 第1回国際バイオレオロジーシンポジウム、第33回日本バイオレオロジー学会年会プログラム集 pp.70-70
3. 太田 信、安西 眸、中山敏男, 脳動脈用ステントにおける流体力学的理論解析の試み, 第16回日本血管内治療学会総会, 2010年7月23-24, pp.39-39
4. 茅野伸吾, State-of-the-Art CT Imaging Techniques for Cerebrovascular Disease, 画像処理研究会, 平成22年9月22日
5. 太田 信, 欧州研究枠組みを利用して -FP6@neuroIST project-, J-BILAT 第5回セミナー, 平成22年11月9日
6. Makoto OHTA, Kenjiro OKUNO, Hitomi ANZAI, Toshio NAKAYAMA, The Effect of Computational Simulation on Endovascular Treatments of Cerebral Aneurysm, 2010年度 上智大学理工学部総合講座「ビジュアルゼーション(科学技術における応用)II」, 平成22年11月4日

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年 (1月～12月)

1. Hiroyuki Kosukegawa, Shuya Shida, Yoko Hashida, Makoto Ohta, Mechanical Properties of Tube-Shaped Poly (Vinyl Alcohol) Hydrogel Blood Vessel Biomodel, Proceedings the 3rd ASME2010 3rd US-European Fluids Engineering Summer Meeting and 8th International Conference on Nanochannels, Microchannels and Minichannels, Aug.1-5, 2010, pp. FEDSM/ICNMM 2010, 30892

【本人の受賞・特許等】

○平成22年 (1月～12月)

受賞名 : ICFD2010, Outstanding Award

受賞日 : 2010年11月3日

受賞名 : 日本放射線技術学会, 学術展示賞銅賞

受賞日 : 2010年10月15日

受賞名 : Microscopy and Microanalysis (MAM), outstanding submission

受賞日 : 2010年8月2日

【学生の受賞・特許等】

○平成22年 (1月～12月)

受賞者 : 安西 眸

受賞名 : ICFD2010, Outstanding Award

受賞日 : 2010年11月3日

受賞者 : 茅野伸吾

受賞名 : 日本放射線技術学会, 学術展示賞銅賞

受賞日 : 2010年10月15日

受賞者 : 富田典子

受賞名 : Microscopy and Microanalysis (MAM), outstanding submission

受賞日 : 2010年8月2日



**【学生の研究費の獲得】**

○平成22年（1月～12月）

獲得者：小助川博之

名 称：日本学術振興会特別研究員DC2

獲得者：小助川博之

名 称：東北大学国際高等融合

氏名 丸田 薫



所属 流体科学研究所・教授（博士（工学））

専門 燃焼学

研究課題 熱物質再生燃焼・マイクロ燃焼・ヒートポンプシステムにおける熱物質移動

E-mail: maruta@ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5319

#### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

反応流動融合分野における事業推進担当者として、反応を伴う流動現象を利用したエネルギー変換におけるエクセルギー効率向上を目指し、マイクロ燃焼、マイクロリアクタ技術の研究開発に取り組んだ。こうした活動を受け、燃焼分野で最も権威ある国際燃焼シンポジウム（第33回北京開催）において、マイクロ燃焼に関するPlenary lectureを行っている。

マイクロ燃焼の基礎研究から発した独自技術である温度分布マイクロリアクタを用いて、低温酸化反応の温度別反応帯可視化・反応経路解析、最低火炎温度特定に基づいてオクタン価測定に使用できる目処をつけた。その結果、同成果を技術移転することとなり、22年12月には株式会社IHI検査計測から計測器として実用化・市販される運びとなり、初号機が本田技術研究所に納入された。また国際宇宙ステーションにおける宇宙実験の候補テーマに、「燃焼限界の統一理論構築のための対向流実験」が採択され、原理検証のための航空機実験を実施し、仮説を検証する有用なデータが得られている。ロシア科学アカデミー、韓国エネルギー研究所から招聘した研究者との共同研究は、宇宙実験で予測される結果についての解析や、火炎の音響学的特性に関する基礎研究を継続中である。産学官連携では前年度に引き続き、炭化水素燃料の反応モデリング、自着火研究、また新たに表面反応研究などに関する案件を国内複数の自動車メーカー、また重工メーカーJAXAと進めた。高温空気燃焼技術に関する国際標準（ISO）策定のための社会活動では、日本が提案国となっているTC244国内対策委員長として活動を継続している。

#### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

<国際会議>

名 称：The 5th Tohoku University - Seoul National University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle

主催団体：GCOE&BK21

開催国：日本

開催期間：2010.6.17 ～ 2010.6.18

役割：共著者

名 称：The 33rd International Symposium on Combustion

主催団体：The Combustion Institute

開催国：China

開催期間：2010.8.1 ～ 2010.8.6

役割：Colluquium Co-chair,講演, 座長

名 称：Siberian workshop by Tohoku University and SB-RAS

主催団体：Tohoku University and SB-RAS

開催国：ロシア

開催期間：2010.9.8

役割：共著者

名 称：The Seventh International Conference on Flow Dynamics

主催団体：21世紀COEプログラム「流動ダイナミクス国際研究教育拠点」

開催国：日本

開催期間：2010.11.1 ～ 2010.11.3

役 割：Organizing Committee Member, 共著者

名 称：IFS Collaborative Research Forum (AFI/TFI-2010)

主催団体：Institute of Fluid Science, Tohoku University (AFI Research Center, TFI Research Center)

開催国：日 本

開催期間：2010.11.1 ～ 2010.11.3

役 割：共著者

名 称：15th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR2010)

主催団体：Russian National Committee on Theoretical and Applied Mechanics Siberian Branch of Russian Academy of Sciences

開催国：ロシア

開催期間：2010.11.1 ～ 2010.11.6

役 割：講演, 共著者

主催団体：Eighth Asia-Pacific Conference on Combustion

開催国：インド

開催期間：2010.12.10 ～ 2010.12.13

役 割：共著者

名 称：The 8th ASME-JSME Thermal Engineering Joint Conference (AJTEC2011)

主催団体：ASME and JSME

開催国：USA

開催期間：2011.3.13 ～ 2011.3.17

役 割：Organizing Committee Member, 共著者

#### <招待講演>

講演先：The 33rd International Symposium on Combustion

講演題目：Micro and mesoscale combustion

講演日：2010.6.3

講演先：15th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR2010)

講演題目：Microcombustion for studying multi-stage oxidation of hydrocarbon fuels

講演日：2010.11.1

## 平成22年度の研究業績

### 【研究内容】

前年までにマイクロ燃焼におけるweak flame現象を用いることで、代替燃料など、多様な燃料の化学反応特性を統一的に取り扱うことの出来る手法の開発に目処をつけていたが、この手法を、オクタン価の定義に使われている標準燃料に適用し、オクタン価計測が可能であることを示した。この結果を技術移転し、計測器として製品化され初号機が自動車メーカーの研究所に納入されている。燃焼過程におけるすす生成過程に対しても同手法の有効性を確認しすす生成過程の傾向評価および前駆体反応モデルの評価を行った。マイクロスケール燃焼に及ぼす熱音響不安定に関する研究も開始している。

### 【学位論文指導（主査）】

#### 修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 山本 晃  
「温度分布制御型マイクロフローリアクタによるn-ヘプタンの三段酸化反応特性およびその圧力依存性に関する研究」
2. 機械システムデザイン工学専攻 谷本 隆  
「温度分布制御型マイクロフローリアクタによるすす生成過程の研究」

## 【学位論文指導（副査）】

### 修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 小林 諒平  
「補助噴射によるロケット複合燃焼器の燃焼促進」
2. 航空宇宙工学専攻 野田 純司  
「高速燃焼実験における設備依存性の評価」
3. 航空宇宙工学専攻 染谷 拓  
「低級炭化水素系燃料の消炎に及ぼす NO および NO<sub>2</sub> の添加効果」
4. 航空宇宙工学専攻 大田原 佑樹  
「石炭改質模擬ガスにおける高圧乱流燃焼メカニズムに関する研究」
5. 航空宇宙工学専攻 小関 雅人  
「高温高圧下におけるアルコール系液体燃料の燃焼反応メカニズムに関する研究」
6. 機械システムデザイン工学専攻 島 史知  
「熱音響自励振動の臨界点近傍におけるエネルギー・エネルギー流計測」
7. 機械システムデザイン工学専攻 高尾 景  
「多段熱音響スターリングエンジン発電機」

## 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Hiroshi Oshibe, Hisashi Nakamura, Takuya Tezuka, Susumu Hasegawa and Kaoru Maruta  
Stabilized three-stage oxidation of DME/air mixture in a micro flow reactor with a controlled temperature profile  
Combustion and Flame, Vol.157, Issue 8, pp.1572–1580, (2010).
2. Aiwu Fan, Kaoru Maruta, Hisashi Nakamura, Sudarshan Kumar and Wei Liu  
Experimental investigation on flame pattern formations of DME–air mixtures in a radial microchannel  
Combustion and Flame, Vol.157, Issue 9, pp.1637–1642 (2010).
3. R. Fursenko, S. Minaev, K. Maruta, H. Nakamura, H. Yang  
Characteristic regimes of premixed gas combustion in high-porosity micro-fibrous porous media  
Combustion Theory and Modelling, Vol.14, Issue 4, pp.571– 581 (2010).
4. Dae Keun Lee, Hisashi Nakamura, Kaoru Maruta  
Theoretical Analysis of Flame Propagation in Meso-scale Tubes  
Proceedings of Eighth Asia-Pacific Conference on Combustion, pp.131, (2010).
5. Hisashi Nakamura, Akira Yamamoto, Mikito Hori, Takuya Tezuka, Susumu Hasegawa, Kaoru Maruta  
Zero-dimensional approach for repetitive ignition and stabilized multi-stage oxidation in a micro flow reactor with a controlled temperature profile  
Proceedings of Eighth Asia-Pacific Conference on Combustion, pp.282, (2010).
6. Mikito Hori, Akira Yamamoto, Hisashi Nakamura, Takuya Tezuka, Susumu Hasegawa and Kaoru Maruta  
Multi-stage reactions of PRF / air mixture in a micro flow reactor with a controlled temperature profile  
Proceedings of Eighth Asia-Pacific Conference on Combustion, pp.283, (2010).
7. Kaoru Maruta  
Micro and mesoscale combustion  
The 33rd International Symposium on Combustion, (2010), plenary lecture.
8. Akira Yamamoto, Hiroshi Oshibe, Hisashi Nakamura, Takuya Tezuka, Susumu Hasegawa and Kaoru Maruta  
Stabilized three-stage oxidation of gaseous n-heptane/air mixture in a micro flow reactor with a



controlled temperature profile

The 33rd International Symposium on Combustion, (2010).

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Combustion and Flame,
2. Combustion Theory and Modelling

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. 丸田 薫  
超燃焼研究委員会報告  
日本燃焼学会研究討論会, (2010).
2. 堀 幹人, 山本 晃, 押部 洋, 手塚 卓也, 長谷川 進, 中村 寿, 丸田 薫  
温度分布制御型マイクロフローリアクタにおけるPRF/空気予混合気の着火燃焼特性  
第47回日本伝熱シンポジウム講演論文集 Vol. I, pp. 37-38, (2010).
3. Akira Yamamoto, Hiroshi Oshibe, Hisashi Nakamura, Takuya Tezuka, Susumu Hasegawa, and Kaoru Maruta  
Three-stage Oxidation of a n-Heptane/Air Mixture in a Micro Flow Reactor with a Controlled Temperature Profile  
The 5th Tohoku University - Seoul National University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, pp.96-99, (2010).
4. Ryu Tanimoto, Takuya Tezuka, Susumu Hasegawa, Hisashi Nakamura, Kaoru Maruta  
Soot Formation Characteristics in a Micro Flow Reactor with a Controlled Temperature Profile  
The 5th Tohoku University - Seoul National University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, pp.106-109, (2010).
5. H. Nakamura, H. Oshibe, A. Yamamoto, M. Hori, T. Tezuka, S. Hasegawa, K. Maruta  
RON prediction of PRF using a micro flow reactor with a controlled temperature profile:  
Experiments and zero-dimensional computational model  
The 33rd International Symposium on Combustion, (2010).
6. D.K.Lee, T. Tezuka, H. Yang, H. Nakamura, S. Hasegawa, K. Maruta  
Flame burning regimes and acoustic sound emissions from DME-air premixed flames propagating in a meso-scale tube  
The 33rd International Symposium on Combustion, (2010).
7. R. Tanimoto, T. Tezuka, S. Hasegawa, H. Nakamura, K. Maruta  
Soot formation process in a micro flow reactor with a controlled temperature profile  
The 33rd International Symposium on Combustion, (2010).
8. M. Hori, A. Yamamoto, H. Oshibe, T. Tezuka, S. Hasegawa, H. Nakamura, K. Maruta  
Study on ignition and combustion characteristics of gaseous PRF/air mixtures in a flow reactor with a controlled temperature profile  
The 33rd International Symposium on Combustion, (2010).
9. R. Fursenko, S. Minaev, K. Maruta, H. Nakamura, H. Yang  
Characteristic regimes of premixed gas combustion in high-porosity micro-fibrous porous media  
The 33rd International Symposium on Combustion, (2010).
10. K. Takase, H. Nakamura, K. Maruta  
Correlations between low-stretched counterflow flame and flame ball under the CO<sub>2</sub> ambient  
The 33rd International Symposium on Combustion, (2010).
11. Hisashi Nakamura, Makoto Suto, Ryo Kasuya, Kaoru Maruta, Jeyadevan Balachandran  
Numerical estimation of heat diffusion characteristics of magnetite nanoparticles under

- intravital conditions  
12th International Conference on Magnetic Fluids, (2010).
12. Kaoru Maruta, Sergey Minaev  
Reacting flow in micro channels -Microcombustion-  
Siberian workshop by Tohoku University and SB-RAS, (2010).
  13. Hisashi Nakamura, Akira Yamamoto, Mikito Hori, Takuya Tezuka, Susumu Hasegawa, Kaoru Maruta  
Simple numerical modeling for repetitive ignition and stabilized multi-stage oxidation in a micro flow reactor with a controlled temperature profile  
Seventh International Conference on Flow Dynamics Proceedings, pp.434-435, (2010).
  14. Ryu Tanimoto, Takuya Tezuka, Susumu Hasegawa, Hisashi Nakamura, Kaoru Maruta  
Soot and Soot Precursor Formation Characteristics in a Micro Flow Reactor with a Controlled Temperature Profile  
Seventh International Conference on Flow Dynamics Proceedings, pp.510-511, (2010).
  15. Koichi Takase, Hisashi Nakamura and Kaoru Maruta  
A numerical study on near-limit flame ball and low-stretched counterflow flame under the CO<sub>2</sub> ambient  
Seventh International Conference on Flow Dynamics Proceedings, pp.518-519, (2010).
  16. Mikito Hori, Akira Yamamoto, Hisashi Nakamura, Takuya Tezuka, Susumu Hasegawa and Kaoru Maruta  
Weak flame response to various octane numbers of PRF/air mixture in a micro flow reactor with a controlled temperature profile  
Seventh International Conference on Flow Dynamics Proceedings, pp.640-641 (2010).
  17. Akira Yamamoto, Hiroshi Oshibe, Hisashi Nakamura, Takuya Tezuka, Susumu Hasegawa and Kaoru Maruta  
Pressure Dependence of Three-stage oxidation of n-Heptane in a Micro Flow Reactor with a Controlled Temperature Profile  
Seventh International Conference on Flow Dynamics Proceedings, pp.646-647, (2010).
  18. Roman Fursenko, Sergey Minaev, Kaoru Maruta and Hisashi Nakamura  
Parallel Computations on the Base of GPU for Modeling of Flame Balls Dynamics  
Proceedings of the tenth international symposium on advanced fluid information and transdisciplinary fluid integration, pp.50-51, (2010).
  19. Sergey Minaev, Roman Fursenko and Kaoru Maruta  
Inertial Effects in Nonlinear Models of Flame Front Evolution  
Proceedings of the tenth international symposium on advanced fluid information and transdisciplinary fluid integration, pp.64-65, (2010).
  20. Yevgeniy Bondar, Kaoru Maruta  
Numerical Studies of the Reacting Rarefied Flows in Tubes  
Proceedings of the tenth international symposium on advanced fluid information and transdisciplinary fluid integration, pp.102-103, (2010).
  21. Kaoru Maruta  
Microcombustion for studying multi-stage oxidation of hydrocarbon fuels  
International conference on the methods of aerophysical research Abstracts Part2, pp.161-162, (2010), invited lecture.
  22. Ye.A. Bondar, K. Maruta, M.S. Ivanov  
Numerical study of gas detonation by direct simulation Monte Carlo method  
International conference on the methods of aerophysical research Abstracts Part2, pp.22-23, (2010).
  23. 中村 寿, Aiwu Fan, Sergey Minaev, Evgeniy Sereshchenko, Roman Fursenko, 坪井 陽介, 丸田

薫

加熱された微小円管内における火炎分岐と負の燃焼速度

第48回燃焼シンポジウム講演論文集, pp.22-23, (2010).

24. Dae Keun Lee, Hisashi Nakamura, Kaoru Maruta

Flame Propagation Characteristics in Meso-scale Tubes

第48回燃焼シンポジウム講演論文集, pp.26-27, (2010).

25. 山本 晃, 押部 洋, 中村 寿, 手塚 卓也, 長谷川 進, 丸田 薫

温度分布制御型マイクロフローリアクタにおけるn-ヘプタン三段酸化反応の圧力依存性

第48回燃焼シンポジウム講演論文集, pp.236-237, (2010).

26. 谷本 隆, 手塚 卓也, 長谷川 進, 中村 寿, 丸田 薫

温度分布制御型マイクロフローリアクタによるすす前駆体の生成過程に関する研究

第48回燃焼シンポジウム講演論文集, pp.596-597, (2010).

27. 高瀬 光一, 中村 寿, 丸田 薫

消炎限界近傍におけるCO<sub>2</sub>希釈低伸長率対向流非予混合火炎とFlame ball に関する一考察

第48回燃焼シンポジウム講演論文集, pp.156-157, (2010).

28. 堀 幹人, 山本 晃, 手塚 卓也, 長谷川 進, 中村 寿, 丸田 薫

オクタン価変化に対する温度分布制御型マイクロフローリアクタ内Weak flameの応答

第48回燃焼シンポジウム講演論文集, pp.376-377, (2010).

#### 【学生の受賞・特許等】

○平成22年（1月～12月）

受賞者：押部 洋

受賞名：「日本機械学会若手優秀講演フェロー賞」

“温度分布制御型マイクロフローリアクタにおけるDMEの多段酸化反応”

日本機械学会

受賞日：2010年3月20日

受賞者：堀 幹人

受賞名：「日本燃焼学会 ベストプレゼンテーション賞」

“オクタン価変化に対する温度分布制御型マイクロフローリアクタ内Weak flameの応答”

日本燃焼学会

受賞日：2010年12月2日

#### 【本人のマスコミ発表等】

○平成22年（1月～12月）

1. 燃料特性評価装置「マイクロフローリアクタ」をIHIと共同開発、実用化に成功（自動車用エンジンのノッキングの起こりやすさの測定容易に）IHI, 東北大により同時プレスリリース（2010.12.20）
2. 日刊自動車新聞, 燃料の燃焼特性評価機器を開発（2010.12.22）
3. 化学工業日報, 自動車用エンジンのノッキング測定容易（2010.12.22）
4. 電気新聞, 燃焼特性評価装置 東北大と共同開発（2010.12.24）
5. 日経産業新聞, エンジン内部の異常燃焼を計測（2011.1.4）

氏名 笹尾 眞實子



所属 工学研究科量子エネルギー工学専攻・教授(工学博士) 専門 プラズマ、核融合、ITER, イオンビーム  
研究課題  
磁場閉じ込め核融合における計測とプラズマ流制御  
E-mail: mamiko.sasao@qse.tohoku.ac.jp  
Tel: 022 (795) 7925

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

事業推進担当者の研究分野では、(1)国際熱核融合実験炉(ITER)を始めとする核融合燃焼プラズマ実験における核燃焼維持のための計測機器の開発と、(2)立体磁気軸構造のトーラス型プラズマ閉じ込め装置である東北大学ヘリアック装置を用いて、この閉じ込め改善モード遷移のメカニズム解明とプラズマ流制御の研究を行っている。本年度は、(1)に関しては中性子計測法の開発として、日本原子力機構のJT60U実験のための中性子検出システムの高性能化、国際熱核融合実験炉のためのアルファ粒子計測のための高速ヘリウムビーム源の開発、国際熱核融合実験炉のための損失アルファ粒子計測法の開発をおこない、その中で国際リーダーシップをとった活動をおこなっている。(2)に関しては、東北大学ヘリアック装置において電子放出型のバイアス電極をプラズマ中の挿入し能動的に電場を形成して、 $\mathbf{j} \times \mathbf{B}$ に拠るプラズマ流を生成することにより、閉じ込め改善モード遷移のメカニズム解明とプラズマ流制御の研究を行っている。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

#### <国際会議>

名 称: The 5th Japan-Korea Seminar on Advanced Diagnostics for Steady-State Fusion Plasma  
主催団体: 自然科学研究機構核融合科学研究所、特定領域[プラズマ燃焼のための先進計測]  
開 催 国: 日本  
開催期間: 2010.8.26 ~ 2010.8.29  
役 割: オーガナイザー, Tutorial Lecture  
講演題目: M. Sasao, "Fusion Product Diagnostics",  
講 演 日: 2010.8.29

#### <シンポジウム>

名 称: Progress meeting on Burning Plasma Diagnostics  
主催団体: 特定領域[プラズマ燃焼のための先進計測、核融合エネルギーフォーラム計測サブクラスター]  
開 催 国: 日本  
開催期間: 2010.10.19 ~ 2010.10.19  
役 割: オーガナイザー、総合講演  
講演題目: Emittance Measurement of the He<sup>0</sup> Diagnostic Beam for Confined Alpha Measurements  
講 演 日: 2010.10.19

名 称: 科研費特定領域「プラズマ燃焼のための先進計測」及び  
核融合エネルギーフォーラム計測サブクラスター 合同シンポジウム,  
主催団体: 特定領域[プラズマ燃焼のための先進計測、核融合エネルギーフォーラム計測サブクラスター]  
開 催 国: 日本  
開催期間: 2011.2.2 ~ 2011.2.2  
役 割: オーガナイザー、総合講演  
講演題目: Report of Burning Plasma Diagnostics  
講 演 日: 2010.10.19



## 平成22年度の研究業績

### 【研究内容】

1. 核融合燃焼プラズマ実験における 中性子計測法の開発  
日本原子力機構のJT60U実験のための中性子検出システムの高性能化のための新方式の中性子ガンマ線弁別法を開発し、実際の測定に適用。高時間分解により周辺局在モードにおける高速イオンの挙動を明らかにした。また、今後の国際熱核融合実験炉(ITER)およびJT60SAのために、この中性子ガンマ線弁別法の自動化のための論理を開発し、実機に適用成功した。
2. 国際熱核融合実験炉(ITER)プロジェクトにおける核融合出力絶対測定法の研究  
絶対測定のために較正実験の評価と必要要件をあきらかにした。
3. 国際熱核融合実験炉(ITER)プロジェクトにおける損失アルファ粒子計測法の研究  
ITER実機における損失アルファ粒子の軌道を調査し、そのためのシステム設計、必要とされる中性子輸送計算を行った。
4. ビーム中性化法によるアルファ粒子計測法の開発  
多穴電極強集束ヘリウムビーム源においては、2Aのビームを20keVで引き出し、設計値の750 mmの位置での集束を確認した。この時のビーム径は約16 mmであった。この集束点でビームエミッタンスの精密測定を行った。その結果、ビームレットが重なり合っている点でも位相空間でのミクシングはなく、ビームレット間の相互作用が働かないことがわかった。
5. プラズマ流駆動による閉じ込め改善モード遷移メカニズム解明  
東北大学ヘリアック装置において電子放出型のバイアス電極をプラズマ中の挿入し能動的に電場を形成して、 $j \times B$ に拠るプラズマ流を生成し、プラズマ揺動との相関を調査した。  
また、磁気島を積極的にプラズマ中に生成し、プラズマ流と磁気島、それらとプラズマ揺動との相関を調査した。

### 【学位論文指導（主査）】

#### 博士論文

1. 量子エネルギー工学専攻 木 崎 雅 志  
「核融合アルファ粒子計測用  $\text{He}^0$ ビーム生成におけるエミッタンスに関する研究」

#### 修士論文

1. 量子エネルギー工学専攻 西内 嗣浩  
「核融合炉ダイバータ模擬のための再結合プラズマ生成に関する研究」
2. 量子エネルギー工学専攻 寺井 健祐  
「タンデム加速型小型中性子源開発のための荷電変換に関する研究」

### 【学位論文指導（副査）】

#### 博士論文

1. 同志社大学理工学研究科 MAGDALENO JR VASQUEZ  
Production and Transport of Low-energy Ion Beams for Thin Film Deposition  
(薄膜形成のための低エネルギーイオンビームの生成と輸送)

### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Electrode Biasing Experiment in the Large Helical Device,  
Proceedings of 23rd IAEA Fusion Energy Conference,  
([http://www-pub.iaea.org/MTCD/meetings/PDFplus/2010/cn180/cn180\\_BookOfAbstracts.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/meetings/PDFplus/2010/cn180/cn180_BookOfAbstracts.pdf)),  
EXC/P8-07  
S. Kitajima, H. Takahashi, K. Ishii, J. Sato, T. Ambo, M. Kanno, A. Okamoto, M. Sasao, S. Inagaki, M. Takayama, S. Masuzaki, M. Shoji, N. Ashikawa, M. Tokitani, M. Yokoyama, Y. Suzuki, T. Shimozuma, T. Ido, A. Shimizu, Y. Nagayama, T. Tokuzawa, K. Nishimura, T.

Morisaki, S. Kubo, H. Kasahara, T. Mutoh, H. Yamada, Y. Tatematsu and LHD experimental group

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. Fine-Structure Characteristics in the Emittance Images of a Strongly Focusing He+ Beam.[Review of Scientific Instruments,81(2),(2010),02B115-1～-3] Sasao M, Kobuchi T, Kisaki M, Takahashi H, Okamoto A, Kitajima S, Kaneko O, Tsumori K, Shinto K, Wada M.
2. Multi-channel neutron emission and triton burn-up measurement on JT-60U using Digital-Signal-Processors.[Plasma Fusion Res. Special Issue,(2010)] K. Ishii, K. Shinohara, M. Ishikawa, T. Okuji, M. Baba, M. Isobe, S. Kitajima, M. Sasao
3. Fast neutron-gamma discrimination on neutron emission profile measurement on JT-60U, [Rev. Sci. Instrum. 81, 10D334-1～-3 (2010)], K. Ishii, K. Shinohara, M. Ishikawa, M. Baba, M. Isobe, A. Okamoto, S. Kitajima, and M. Sasao
4. Strategy for the absolute neutron emission measurement on ITER, [Rev. Sci. Instrum. 81, 10D329-1～-3 (2010)], M. Sasao, L. Bertalot, M. Ishikawa, and S. Popovichev
5. Development and irradiation test of lost alpha detection system for ITER, M. Nishiura, T. Nagasaka, K. Fujioka, Y. Fujimoto, T. Tanaka, T. Ido, S. Yamamoto, S. Kashiwa, and M. Sasao, Rev. Sci. Instrum. 81, 10D313-1～-3 (2010)
6. Detection of lost alpha particle by concealed lost ion probe, A. Okamoto, M. Isobe, S. Kitajima, and M. Sasao, Rev. Sci. Instrum. 81, 10D312-1～-3 (2010)
7. Fusion product diagnostics planned for Large Helical Device deuterium experiment, M. Isobe, H. Yamanishi, M. Osakabe, H. Miyake, H. Tomita, K. Watanabe, H. Iwai, Y. Nomura, N. Nishio, K. Ishii, J. H. Kaneko, J. Kawarabayashi, E. Takada, A. Uritani, M. Sasao, T. Iguchi, Y. Takeiri, and H. Yamada, Rev. Sci. Instrum. 81, 10D310-1～-3 (2010)
8. Influence of H<sup>-</sup> velocity on H<sup>-</sup> extraction probability from a negative ion source, Y. Matsumoto, M. Nishiura, K. Shinto, H. Yamaoka, M. Sasao, and M. Wada, Rev. Sci. Instrum. 81, 02B701 (2010)
9. Measurements of beam ion loss from the Compact Helical System, D.S. Darrow , M. Isobe , Takashi Kondo , M. Sasao and the CHS group, [*Nucl. Fusion* 50 105009 (2010)]
10. Electrode Biasing Experiment in the Large Helical Device, Proceedings of 23rd IAEA Fusion Energy Conference, ([http://www-pub.iaea.org/MTCD/meetings/PDFplus/2010/cn180/cn180\\_BookOfAbstracts.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/meetings/PDFplus/2010/cn180/cn180_BookOfAbstracts.pdf)), EXC/P8-07  
S. Kitajima, H. Takahashi, K. Ishii, J. Sato, T. Ambo, M. Kanno, A. Okamoto, M. Sasao, S. Inagaki, M. Takayama , S. Masuzaki, M. Shoji, N. Ashikawa, M. Tokitani, M. Yokoyama, Y. Suzuki, T. Shimozuma, T. Ido, A. Shimizu, Y. Nagayama, T. Tokuzawa, K. Nishimura , T. Morisaki, S. Kubo, H. Kasahara, T. Mutoh, H. Yamada, Y. Tatematsu and LHD experimental group



氏名 三浦 隆利

所属 工学研究科化学工学専攻・教授（工学博士）

専門 プロセス工学

研究課題 液体の分裂及び流動反応プロセスの先導的研究

E-mail: miura@tranpo.che.tohoku.ac.jp

TEL: 022(795)7250

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

当反応流動融合分野では、粘性流体の流動から剪断力による分裂までのプロセス現象の解明について取り組んできた。粘性流体の固体壁面上の流動場を高精度観察し、流動パターンの分類を行い、その状態の具現化に向けて数値解析を行っている。また噴霧燃焼シミュレーションでは、エマルジョン滴内の水滴の自然対流による流動・凝集現象の解明のためにエマルジョン滴内流動数値解析を行うと共に、エマルジョン滴の再微粒化挙動をモデル化し噴霧燃焼特性を数値解析している。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

＜国際会議＞

名 称：Seventh International Conference on Flow Dynamics

主催団体：21世紀COEプログラム「流動ダイナミクス国際研究教育拠点」

開 催 国：日 本

開催期間：2010.11.1～2010.11.3

役 割：Organizing Committee Member

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

今年度は二次元軸対称自由液面解析コードの開発を実施した。実験においては、噴霧ノズル上の液膜表面流動状態を着色液体の濃淡から測定する方法を開発した。回転ノズル表面流動をVOF法により算出し、回転数や液流量の液膜厚さに及ぼす影響を定量的に把握した。現在、メッシュの妥当性や計算安定性について確認を進めるとともに、実験の高精度化を進めている。また静電場中の液滴の飛行プロセスに関しては、二方程式乱流モデルよりも高精度なLESによる解析を実施中である。

#### 【学位論文指導（主査）】

##### 博士論文

1. 化学工学専攻 鎌田 美志  
低品位液体燃料を対象とした噴霧燃焼シミュレーションに関する研究
2. 化学工学専攻 齋藤 泰洋  
VOF法を用いた気液流動解析の高度化に関する研究
3. 化学工学専攻 川上 理亮  
建築設備用の水素吸蔵合金タンクの設計に関する研究

##### 修士論文

1. 化学工学専攻 池内 慶  
電気集じん機内において電場が移動現象に与える影響に関する研究
2. 化学工学専攻 鈴木 芳行  
加熱過程におけるエマルジョン燃料液滴内部の混相流に関する研究
3. 化学工学専攻 平木 健一  
コークス微視構造に着目したコークス強度支配因子の解明
4. 化学工学専攻 安村 光太郎

噴霧塗装における噴霧粒子挙動の定量評価法の構築および数値解析手法の検討

5. 化学工学専攻 新山 智史

エマルジョン燃焼の炉内伝熱特性に関する研究

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Hirotatsu Watanabe, Yoshiyuki Suzuki, Takuji Harada, Yohsuke Matsushita, Hideyuki Aoki and Takatoshi Miura, An experimental investigation of the breakup characteristics of secondary atomization of emulsified fuel droplet, *Energy*, 35, pp. 806-813 (2010)
2. Ryo Watanabe, Tomoyuki Shindoh, Yohsuke Matsushita, Hideyuki Aoki, Takatoshi Miura, Katsuya Nishiwaki, Hiroshi Yamada, Okiteru Fukuda and Togo Yamaguchi, A Numerical Investigation of the Factors Influencing the Aggregate Shape of Carbon Black from the Furnace Process, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 43-(2), pp. 150-157 (2010)
3. Hirotatsu Watanabe, Yohsuke Matsushita, Hideyuki Aoki and Takatoshi Miura, Numerical simulation of emulsified fuel spray combustion with puffing and micro-explosion, *Combustion and Flame*, 157, pp. 839-852 (2010)
4. 平木健一, 林崎秀幸, 尾形知輝, 山崎義昭, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 福田耕一, 松平寛司, 剛体ばねモデルを用いた非接着構造存在コークスの破壊挙動解析, *鉄と鋼*, 96-(5), pp. 313-318 (2010)
5. 山崎義昭, 林崎秀幸, 上岡健太, 平木健一, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 鉄鉱石の配合によるコークスの微視構造変化が鉄内装型コークスの引張強度に及ぼす影響, *鉄と鋼*, 96-(9), pp. 536-544 (2010)
6. 鈴木芳行, 原田拓自, 庄子正和, 渡部弘達, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, エマルジョン燃料液滴における内部挙動可視化および界面活性剤が2次微粒化に及ぼす影響, *化学工学論文集*, 36-(6), pp. 557-565 (2010)
7. 川上理亮, 増田正夫, 前田哲彦, 丹下学, 中納暁洋, 高橋惇, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 建築設備用の統合型水素利用システムの開発 第1報－水素吸蔵合金タンクの最適設計, *空気調和・衛生工学会論文集*, 165, pp. 19-27 (2010)
8. Shin Ogasawara, Masatoshi Daikoku, Minori Shirota, Takao Inamura, Yasuhiro Saito, Kotaro Yasumura, Masakazu Shoji, Hideyuki Aoki and Takatoshi Miura, Liquid Atomization Using a Rotary Bell Cup Atomizer (Influence of Flow Characteristics of Liquid on Breakup Pattern), *Journal of Fluid Science and Technology*, 5, pp.464-474 (2010)
9. Y. Suzuki, T. Harada, H. Watanabe, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki and T. Miura, Visualization of aggregation process of dispersed water droplets and the effect of aggregation on secondary atomization of emulsified fuel droplets, The 33rd International Symposium on Combustion, 4F01, Beijing, China, August 1-6 (2010)

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. *Energy*
2. *Journal of Chemical Engineering of Japan*
3. *Combustion and Flame*
4. *鉄と鋼*
5. *化学工学論文集*
6. *空気調和・衛生工学会論文集*
7. *Journal of Fluid Science and Technology*

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. Y. Yamazaki, H. Hayashizaki, K. Ueoka, K. Hiraki, Y. Matsushita, H. Aoki and T. Miura, The Microscopic Investigation of the Effect of the Iron Ore Blending Ratio in Ferrous Coke on Strength Development Mechanism, International Symposium on Ironmaking for Sustainable Development 2010, pp. 68-71, Osaka, Japan, January 28-29 (2010)



2. K. Hiraki, H. Hayashizaki, Y. Yamazaki, Y. Matsushita, H. Aoki, T. Miura, K. Fukuda and K. Matsudaira, The Effect of Changes in Microscopic Structures on Coke Strength in Carbonization Process and Solution Loss Reaction, International Symposium on Ironmaking for Sustainable Development 2010, pp. 72-75, Osaka, Japan, January 28-29 (2010)
3. 池内慶, 梶山真嗣, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 青山光太郎, 安藤尋樹, 早津昌樹, 電気集じん機内において電場が粒子挙動に与える影響に関する検討, 第6回宮城化学工学懇話会先端研究発表会, A108, 仙台, 3月15日 (2010)
4. 田中翔, 渡邊圭介, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, ベンゼン熱分解によるすすの粒子成長に関する詳細化学反応機構を考慮した数値解析的検討, 第6回宮城化学工学懇話会先端研究発表会, A109, 仙台, 3月15日 (2010)
5. 安村光太郎, 齋藤泰洋, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 噴霧塗装を対象とした噴霧飛行過程において塗着効率に影響を与える因子に関する数値解析, 第6回宮城化学工学懇話会先端研究発表会, A110, 仙台, 3月15日 (2010)
6. 渡部諒, 小野公德, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 山田浩, 福田興照, 山口東吾, 粒子の焼結を考慮した凝集モデルを用いたカーボンブラックの凝集体形成に関する検討, 第6回宮城化学工学懇話会先端研究発表会, A111, 仙台, 3月15日 (2010)
7. 鎌田美志, 新山智史, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 液滴蒸発の数値解析におけるふく射モデルの比較・検討, 第6回宮城化学工学懇話会先端研究発表会, A112, 仙台, 3月15日 (2010)
8. 渡部諒, 小野公德, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 山田浩, 福田興照, 山口東吾, 粒子の焼結および融合過程がカーボンブラックの凝集体形状に及ぼす影響, 化学工学会第75年会研究発表講演要旨集, O103, 鹿児島, 3月18-20日 (2010)
9. 田中翔, 渡邊圭介, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 詳細化学反応機構を考慮したベンゼン熱分解によるすすの核粒子生成に関する数値解析的検討, 化学工学会第75年会研究発表講演要旨集, O105, 鹿児島, 3月18-20日 (2010)
10. 鎌田美志, 新山智史, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 噴霧燃焼シミュレーションのふく射モデルによる燃料液滴蒸発速度の比較, 化学工学会第75年会研究発表講演要旨集, O107, 鹿児島, 3月18-20日 (2010)
11. 安村光太郎, 齋藤泰洋, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 小笠原慎, 大黒正敏, 五十嵐貴之, 松山和樹, 城田農, 稲村隆夫, 回転噴霧塗装機の噴霧飛行過程における噴霧流解析を用いた塗着効率の低下因子の特定, 化学工学会第75年会研究発表講演要旨集, O119, 鹿児島, 3月18-20日 (2010)
12. 池内慶, 梶山真嗣, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 青山光太郎, 安藤尋樹, 早津昌樹, 電気集塵機内における粒子挙動の数値解析的検討, 化学工学会第75年会研究発表講演要旨集, O120, 鹿児島, 3月18-20日 (2010)
13. 奥村真彦, 照井光輝, 川上理亮, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 水素吸蔵合金の膨張に伴う充填層壁面の応力発現機構に関する実験的検討, 第10回日本伝熱学会学生発表会講演論文集, pp. 11-12, 仙台, 5月7日 (2010)
14. 児島芳徳, 鎌田美志, 星野雄将, 新山智史, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 超高压ディーゼル燃料インジェクタにおける噴霧特性に関する実験的検討, 第10回日本伝熱学会学生発表会講演論文集, pp. 13-14, 仙台, 5月7日 (2010)
15. 金井鉄也, 山崎義昭, 平木健一, 張曉清, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, mmオーダーの気孔を考慮したコークス強度低下因子の実験的検討, 第10回日本伝熱学会学生発表会講演論文集, pp. 15-16, 仙台, 5月7日 (2010)
16. 小野公德, 渡部諒, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 山田浩, 福田興照, 山口東吾, 昇温速度がカーボンブラックの性状に及ぼす影響に関する実験的検討, 第10回日本伝熱学会学生発表会講演論文集, pp. 17-18, 仙台, 5月7日 (2010)
17. 小野公德, 渡部諒, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 山田浩, 福田興照, 山口東吾, 生成条件がカーボンブラックの性状に及ぼす影響に関する実験的検討, 第47回日本伝熱シンポジウム講演論文集, SP108, 札幌, 5月26-28日 (2010)
18. 児島芳徳, 鎌田美志, 星野雄将, 新山智史, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 高速噴霧流を対象とした気液二相流解析手法に関する検討, 第47回日本伝熱シンポジウム講演論文集, H131, 札幌, 5月26-28日 (2010)

19. 鈴木芳行, 原田拓自, 渡部弘達, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 微小重力環境を用いた単一液滴蒸発実験における実験誤差に関する数値解析, 第47回日本伝熱シンポジウム講演論文集, B231, 札幌, 5月26-28日 (2010)
20. 鈴木芳行, 鎌田美志, 原田拓自, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, Euler-Euler法を用いたエマルジョン燃料液滴内部の混相流解析, 第7回宮城化学工学懇話会先端研究発表会, A108, 仙台, 8月30日 (2010)
21. 齋藤泰洋, 安村光太郎, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 小笠原慎, 大黒正敏, 城田農, 稲村隆夫, 非定常自由表面問題における定量的な数値拡散の評価, 第7回宮城化学工学懇話会先端研究発表会, A110, 仙台, 8月30日 (2010)
22. 齋藤泰洋, 安村光太郎, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 小笠原慎, 大黒正敏, 城田農, 稲村隆夫, 非定常問題における数値拡散の定量評価に関する一考察, 化学工学会第42回秋季大会講演要旨集, J104, 京都, 9月6-8日 (2010)
23. 鈴木芳行, 鎌田美志, 原田拓自, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, エマルジョン燃料液滴内部流動に関する数値解析, 化学工学会第42回秋季大会講演要旨集, J105, 京都, 9月6-8日 (2010)
24. K. Hiraki, H. Hayashizaki, Y. Yamazaki, T. Kanai, X. Zhang, M. Shoji, H. Aoki and T. Miura, Analysis of the Effect of Internal Defect on Coke Fracture Behavior by Rigid Bodies-Spring Model, The 27th Annual International Pittsburgh Coal Conference, 6-5, Istanbul, Turkey, October 11-14 (2010)
25. T. Kanai, Y. Yamazaki, K. Hiraki, X. Zhang, M. Shoji, H. Aoki and T. Miura, An Experimental Investigation of Factors Related to Coke Strength Degradation in Coke Milli-Structure, The 27th Annual International Pittsburgh Coal Conference, 48-2, Istanbul, Turkey, October 11-14 (2010)
26. Y. Yamazaki, K. Hiraki, T. Kanai, X. Zhang, M. Shoji, H. Aoki and T. Miura, An Experimental Study on the Effect of Metallic Iron Particles on Strength Factors of Coke after CO<sub>2</sub> Gasification Reaction, The 27th Annual International Pittsburgh Coal Conference, 48-3, Istanbul, Turkey, October 11-14 (2010)
27. Y. Kojima, Y. Saito, R. Sagawa, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki and T. Miura, Comparison of SMAC and SIMPLE for Unsteady Flow with Heat Transfer, 7th International Conference on Fluid Dynamics, pp. 450-451, Sendai, Japan, November 1-3 (2010) 査読なし
28. Y. Yamazaki, K. Hiraki, T. Kanai, X. Zhang, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki and T. Miura, The Effect of Metallic Iron Catalyst on Coke Microscopic Factor after Coke Gasification, 7th International Conference on Fluid Dynamics, pp. 480-481, Sendai, Japan, November 1-3 (2010)
29. Y. Saito, Y. Kojima, K. Yasumura, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki, T. Miura, S. Ogasawara, M. Daikoku, M. Shirota and T. Inamura, Comparison of SMAC and SIMPLE for Unsteady-state Fluid Flow over a Square Cylinder, 7th International Conference on Fluid Dynamics, pp. 502-503, Sendai, Japan, November 1-3 (2010)
30. K. Hiraki, H. Hayashizaki, Y. Yamazaki, T. Kanai, X. Zhang, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki and T. Miura, Fracture Analysis in Diametral-Compression Test of Coke using Rigid Bodies-Spring Model, 7th International Conference on Fluid Dynamics, pp. 504-505, Sendai, Japan, November 1-3 (2010)
31. Y. Suzuki, H. Kamata, T. Harada, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki and T. Miura, Numerical Investigation of Heat Transfer and Fluid Flow in Emulsified Fuel Droplet, 7th International Conference on Fluid Dynamics, pp. 506-507, Sendai, Japan, November 1-3 (2010)
32. S. Niiyama, H. Kamata, Y. Suzuki, Y. Kojima, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki and T. Miura, Combustion Characteristics of the Water/Kerosene Emulsified Fuel, 7th International Conference on Fluid Dynamics, pp. 508-509, Sendai, Japan, November 1-3 (2010)
33. K. Ikeuchi, M. Kajiya, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki, T. Miura, K. Suzuki, K. Aoyama, H. Ando and M. Hayatsu, Numerical Simulation of Particle Motion in Electrostatic Precipitator, 7th International Conference on Fluid Dynamics, pp. 528-529, Sendai, Japan, November 1-3 (2010)
34. S. Tanaka, K. Ono, K. Watanabe, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki, T. Miura, O. Fukuda, T. Yamaguchi and H. Yamada, Numerical Analysis of Carbon Black Production in Benzene Pyrolysis Using Detailed Reaction Mechanism and Discrete-Sectional Model, 7th International

Conference on Fluid Dynamics, pp. 666-667, Sendai, Japan, November 1-3 (2010)

35. K. Yasumura, Y. Saito, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki, T. Miura, S. Ogasawara, M. Daikoku, M. Shirota and T. Inamura, A Numerical Investigation of the Dominating Factor of Decreasing Transfer Efficiency with High Speed Rotary Bell-cup Atomizer, 7th International Conference on Fluid Dynamics, pp. 668-669, Sendai, Japan, November 1-3 (2010)
36. 小野公德, 矢中美紀, 田中翔, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 福田興照, 青木崇行, 山口東吾, 炉内温度がカーボンブラックの形態に及ぼす影響に関する実験的検討, 第37回炭素材料学会年会要旨集, 1PI23, 姫路, 12月1-3日 (2010)
37. 鈴木芳行, 鎌田美志, 原田拓自, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, エマルジョン燃料液滴の内部挙動および最適調製条件に関する数値解析的検討, 第48回燃焼シンポジウム講演論文集, B113, 福岡, 12月1-3日 (2010)
38. 児島芳徳, 鎌田美志, 齋藤泰洋, 新山智史, 佐川龍一, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, ハイスピードカメラによる超高压パルス噴霧における非定常流動の観察, 第48回燃焼シンポジウム講演論文集, P205, 福岡, 12月1-3日 (2010)

#### 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年 (1月～12月)

1. Hirotsu Watanabe, Yoshiyuki Suzuki, Takuji Harada, Yohsuke Matsushita, Hideyuki Aoki and Takatoshi Miura, An experimental investigation of the breakup characteristics of secondary atomization of emulsified fuel droplet, Energy, 35, pp. 806-813 (2010)
2. Hirotsu Watanabe, Yohsuke Matsushita, Hideyuki Aoki and Takatoshi Miura, Numerical simulation of emulsified fuel spray combustion with puffing and micro-explosion, Combustion and Flame, 157, pp. 839-852 (2010)
3. 平木健一, 林崎秀幸, 尾形知輝, 山崎義昭, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 福田耕一, 松平寛司, 剛体ばねモデルを用いた非接着構造存在コークスの破壊挙動解析, 鉄と鋼, 96-(5), pp. 313-318 (2010)
4. 山崎義昭, 林崎秀幸, 上岡健太, 平木健一, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 鉄鉱石の配合によるコークスの微視構造変化が鉄内装型コークスの引張強度に及ぼす影響, 鉄と鋼, 96-(9), pp. 536-544 (2010)
5. 鈴木芳行, 原田拓自, 庄子正和, 渡部弘達, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, エマルジョン燃料液滴における内部挙動可視化および界面活性剤が2次微粒化に及ぼす影響, 化学工学論文集, 36-(6), pp. 557-565 (2010)
6. 川上理亮, 増田正夫, 前田哲彦, 丹下学, 中納暁洋, 高橋惇, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 建築設備用の統合型水素利用システムの開発 第1報－水素吸蔵合金タンクの最適設計, 空気調和・衛生工学会論文集, 165, pp. 19-27 (2010)
7. Shin Ogasawara, Masatoshi Daikoku, Minori Shirota, Takao Inamura, Yasuhiro Saito, Kotaro Yasumura, Masakazu Shoji, Hideyuki Aoki and Takatoshi Miura, Liquid Atomization Using a Rotary Bell Cup Atomizer (Influence of Flow Characteristics of Liquid on Breakup Pattern), Journal of Fluid Science and Technology, 5, pp.464-474 (2010)

#### 【本人の受賞・特許等】

○平成22年 (1月～12月)

受賞名：第7回宮城化学工学懇話会先端研究発表会最優秀発表賞

受賞日：2010年8月30日

受賞名：第37回炭素材料学会年会ポスター賞

受賞日：2010年12月2日

#### 【学生の受賞・特許等】

○平成22年 (1月～12月)

受賞者：安村光太郎

受賞名：第7回宮城化学工学懇話会先端研究発表会最優秀発表賞

受賞日：2010年8月30日

受賞者：小野公德

受賞名：第37回炭素材料学会年会ポスター賞

受賞日：2010年12月2日

**【学生の研究費の獲得】**

○平成22年（1月～12月）

獲得者名：齋藤泰洋

名 称：科学研究費補助金特別研究員奨励費

**【本人のマスコミ発表等】**

○平成22年（1月～12月）

温泉排湯の熱 再利用,日本経済新聞(2011年2月15日)



氏名 升谷 五郎



所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・教授（工学博士）

専門 流体力学

研究課題

極超音速空気吸い込みエンジンの研究

E-mail: masuya@cc.mech.tohoku.ac.jp

TEL: 022(795)7006

## 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

事業担当者として、化学反応と融合した流れの代表例の一つである超音速気流中の混合・燃焼とその先進的計測法並びに数値シミュレーションによる乱流混合場構造に関する研究を進めた。特にステレオPIV（粒子画像速度計）による超音速乱流境界層の速度変動計測と他の手法による測定結果との比較・検証、ステレオPIVによる擬似衝撃波内噴射流れ場の平均及び変動速度場の測定・解析、条件付きPIV計測値を用いた噴射気体の乱流拡散流束評価、アセトン PLIF（平面レーザー誘起蛍光法）を用いた擬似衝撃波内の乱流混合場のスカラー構造解析、高速シュリレン画像解析に基づく乱流混合場の大規模構造の解析、超音速混合場のLES (Large Eddy Simulation)などに重点を置いて研究を進めた。ソウル国立大学との共同研究を継続し、先方の博士課程学生を本グローバルCOEのインターンシップで受入れて共同実験を実施した。

## 平成22年度の研究業績

### 【研究内容】

1. ステレオPIVによる超音速乱流境界層の速度変動計測と他の手法による測定結果との比較・検証  
本研究で用いたステレオPIVは、レーザー発光間隔が長いため、高速流で得られる統計量は時間平均ではなくアンサンブル平均と考えるべきである。また、検査範囲内の粒子群の移動を追うことから、同領域内の空間平均速度を計測していると考えられる。このような計測法で測定された変動速度データから求めた乱流強度やレイノルズ応力が、他の計測法で求めたものとどこまで定量的に比較できるかを検証するために、マッハ2.0の風洞壁面に発達した境界層において、ステレオPIVによる平均及び変動速度の3成分の計測を行った。得られた結果は、平均速度のみならず、各方向の乱流強度やレイノルズ応力の分布においても、他の計測法で求めた分布と定量的に一致し、本研究で用いたステレオPIVによって、定量的に比較可能な乱流統計データを求められることが検証された。
2. ステレオPIVによる擬似衝撃波内噴射流れ場の平均及び変動速度場の測定・解析  
上記1. で乱流計測への適用の妥当性を検証したステレオPIVにより、擬似衝撃波を伴う流れに対して壁面から垂直に噴射を行った流れ場の速度を計測し平均速度分布に加えて、従来ほとんど測定されていない乱れ強度、レイノルズ応力、変動速度の空間相関等を求め、乱流速度場の特徴と混合促進機構について解明を進めている。
3. 条件付きPIV計測値を用いた噴射気体の乱流拡散流束評価  
上述のPIVや後述のPLIFでは、それぞれ速度や噴射気体濃度の変動強度を求めることができる。しかし乱流拡散流束を表す濃度と速度の変動の相関は両手法を同時に適用しなければ求められず、それには多くの困難が伴う。これに代わる方法として、乱流混合が大規模な渦による拡散が支配的であり分子拡散は未だ進んでいないこと、PIV測定用トレーサー粒子が気流速度に完全に追従していることを仮定して、トレーサー粒子を主流と噴流の両方に混入した場合と噴流のみに混入した場合で測定された平均速度分布の差から乱流拡散流束を求める方法を提唱した。本法を適用して測定した超音速流中に垂直に噴射した気体の乱流拡散流束は、後述のLESによる計算結果と定性的一致のみならず定量的にも近い分布を示した。

#### 4. アセトン PLIFを用いた擬似衝撃波内の乱流混合場のスカラー構造解析

擬似衝撃波が存在しない場合と存在する場合について、噴射気体にアセトン蒸気を混入し、レーザーシートを照射することによって蛍光画像を取得し、それらの予備的な解析を行った。その結果、擬似衝撃波の存在により、平均的な噴流の貫通が促進するとともに噴流幅も増大すること、瞬間画像で噴流境界の大規模な凹凸が見られないこと、濃度変動の正の空間2点相関を取る領域が広くなり、その形状が主流方向に伸びた楕円形状となること等が観察された。

#### 5. 超音速流中への垂直噴射により形成される流れ場のLarge Eddy Simulation

超音速流中に壁から垂直に噴射した気体の混合を、Large Eddy Simulation (LES)で解析した。平均モル分率や濃度変動強度の分布がPLIFにより測定した結果と定量的に良く一致することを確認した後、噴流の風上側に形成される大規模構造について調べた。さらに、噴射気体が変わった場合の影響を調べた。

#### 6. プラズマトーチによる超音速流中に噴射した燃料の着火の研究

平衡プラズマを用いる研究では、プラズマトーチの作動気体としてメタン( $\text{CH}_4$ )を含む気体を用いた場合の着火特性を実験的に調べた。3次元的なレイノルズ平均ナビエ・ストークス方程式を用いて、着火の数値シミュレーションを行った。

また誘電体バリア放電により発生する電子温度のみ高い非平衡プラズマの着火能力を調べるため、超音速流中で誘電体バリア放電を発生させる実験を行った。

### 【学位論文指導（主査）】

#### 修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 浦本 翔平  
「超音速噴射流れ場の変動速度相関」
2. 航空宇宙工学専攻 高江 剛一  
「擬似衝撃波内に噴射した気体の混合特性の条件付きサンプリングによる評価」
3. 航空宇宙工学専攻 星野 貴久  
「コーナー・バンプを設けた矩形ダクト内に生じる擬似衝撃波」
4. 航空宇宙工学専攻 車田 健太郎  
「メタンを作動ガスに含むプラズマジェットによる着火の数値解析」
5. 航空宇宙工学専攻 染谷 拓  
「低級炭化水素系燃料の消費に及ぼすNOおよびNO<sub>2</sub>の添加効果」
6. 航空宇宙工学専攻 久保 貴裕  
「ロケット・ラムジェット複合サイクルエンジンのノズル特性について」
7. 航空宇宙工学専攻 小林 諒平  
「補助噴射によるロケット複合燃焼器の燃焼促進」
8. 航空宇宙工学専攻 鈴木 涼介  
「エタノールロケットエンジンの冷却構造に関する研究」
9. 航空宇宙工学専攻 永富 文也  
「RBCCデュアルモード作動時における燃料の混合に関する研究」
10. 航空宇宙工学専攻 野田 純司  
「高速燃焼実験における設備依存性の評価」

### 【学位論文指導（副査）】

#### 博士論文

1. 航空宇宙工学専攻 安養寺 正之  
“Development of a Mars Wind Tunnel and Its Applications to Low Reynolds Number and High-Subsonic Airfoil Testing (火星大気風洞の開発と低レイノルズ数・高亜音速翼型試験への適用)”

#### 修士論文

1. 機械システムデザイン専攻 谷本 隆

- 「温度分布制御型マイクロフローリアクタによるすす生成過程の研究」
2. 機械システムデザイン専攻 山本 晃  
「温度分布制御型マイクロフローリアクタによるn-ヘプタンの三段酸化反応特性およびその 圧力依存性に関する研究」
  3. 機械システムデザイン専攻 大江 宏昌  
“Control of Dynamic Flow Separation (非定常なはく離の制御)”
  4. 航空宇宙工学専攻 江波戸 翔一  
「DBDプラズマアクチュエータにおける誘起流れの数値的研究」
  5. 航空宇宙工学専攻 市橋 友  
「現実的状态方程式を用いたレーザー衝撃波伝搬の数値的研究」
  6. 航空宇宙工学専攻 大田原 佑樹  
「石炭改質模擬ガスにおける高圧乱流燃焼メカニズムに関する研究」
  7. 航空宇宙工学専攻 小関 雅人  
「高温高圧下におけるアルコール系液体燃料の燃焼反応メカニズムに関する研究」
  8. 航空宇宙工学専攻 田中 慎一  
「火星大気中のはく離流制御へのプラズマアクチュエータの適用」
  9. 航空宇宙工学専攻 吉新 哲也  
「非構造格子CFDソルバーによる冷却タービン翼列の流体・熱伝導連成数値計算」

#### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. H. Takahashi, H. Oso, T. Kouchi, G. Masuya, M. Hirota,  
Scalar Spatial Correlations in a Supersonic Mixing Flowfield  
*AIAA Journal*, Vol. 48, pp.443-452, (2010)
2. H. Takahashi, G. Masuya, M. Hirota  
Effects of Injection and Main Flow Conditions on Supersonic Turbulent Mixing Structure  
*AIAA Journal*, Vol. 48, pp.1748-1756, (2010)
3. Kenichi Takita, Akihiro Morinaga, Taku Someya  
Effect of a small amount of NO<sub>x</sub> on extinction limit of lean premixed counterflow flame  
*Paper presented at Thirty-Third Symposium (International) on Combustion*, (2010)
4. Chae-Hyoung Kim, In-Seuck Jeung, Byungil Choi, Toshinori Kouchi, Kenichi Takita, Goro Masuya  
Effect of fuel injection location on a plasma jet assisted combustion with a backward-facing step  
*Paper presented at Thirty-Third Symposium (International) on Combustion*, (2010)
5. Kenichi Takita, Keita Shishido, Kentaro Kurumada  
Ignition in a supersonic flow by a plasma jet of mixed feedstock including CH<sub>4</sub>  
*Paper presented at Thirty-Third Symposium (International) on Combustion*, (2010)
6. Yoshinori Matsubara, Kenichi Takita  
Effect of mixing ratio of N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> feedstock on ignition by plasma jet torch  
*Paper presented at Thirty-Third Symposium (International) on Combustion*, (2010)
7. H. Takahashi, S. Ikegami, G. Masuya, M. Hirota.,  
Extended Quantitative Fluorescence Imaging for Multicomponent and Staged Injection into Supersonic Crossflows  
*Journal of Propulsion and Power*, Vol. 26, pp. 798-807, (2010)
8. C. Kim, K. Sung, I. S. Jeung, B. Choi, T. Kouchi, G. Masuya  
Flowfield characteristics on a vent slot mixer in supersonic flow  
*Shock Wave*, Vol. 20, pp. 559-569, (2010)

#### 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. AIAA Journal
2. Journal of Propulsion and Power
3. Shock Wave

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. Takamasa Yamamoto, Yoshinori Matsubara, Kenichi Takita, Toshinori Kouchi  
Development of Ignition Enhance method by Using Non-equilibrium Plasma in High Speed Flow  
AJCPP2010-037, Asian Joint Conference on Propulsion and Power 2010, Miyazaki, Japan, (2010)
2. Pierre-Edouard A.A. Bossard, Kentaro Kurumada, Yoshinori Matsubara, Kenichi Takita  
Ignition Characteristics of Plasma Jet Using Ar-based Mixed Feedstock in Supersonic Flow  
AJCPP2010-022, Asian Joint Conference on Propulsion and Power 2010, Miyazaki, Japan, (2010)
3. Shohei Uramoto, Shinichiro Tsuru, Toshinori Kouchi, Goro Masuya  
Stereoscopic PIV Measurement of Supersonic Injection Flowfield and Its Error Analysis  
AJCPP2010-059, Asian Joint Conference on Propulsion and Power 2010, Miyazaki, Japan, (2010)
4. Yusaku Horikoshi, Koji Abe, Hidemi Takahashi, Toshinori Kouchi, Goro Masuya  
Effects of Injectant Species on Compressible Turbulent Scalar Mixing Structure  
AJCPP2010-106, Asian Joint Conference on Propulsion and Power 2010, Miyazaki, Japan, (2010)
5. K. Sasaya, J. Watanabe, T. Kouchi, G. Masuya  
Numerical Simulation of Pulsed Injection into a Supersonic Crossflow  
AJCPP2010-058, Asian Joint Conference on Propulsion and Power 2010, Miyazaki, Japan, (2010)
6. 鈴木涼介, 平岩徹夫, 富岡定毅, 升谷五郎  
高温高圧エタノールによる金属腐食の予備実験について  
日本航空宇宙学会北部支部2010年講演会・第11回際使用型宇宙推進系シンポジウム講演論文集,  
(2010), pp. 77-80
7. 松原慶典, 山本貴正, 岡崎慈, 河内俊憲, 滝田謙一  
誘電体バリア放電を用いた高速流中での着火促進技術の開発  
日本航空宇宙学会北部支部2010年講演会・第11回際使用型宇宙推進系シンポジウム講演論文集,  
(2010), pp. 115-120
8. 津留真一郎, 浦本翔平, 河内俊憲, 升谷五郎  
超音速噴射流れ場のステレオPIV計測  
日本航空宇宙学会北部支部2010年講演会・第11回際使用型宇宙推進系シンポジウム講演論文集,  
(2010), pp. 191-196
9. Chae-Hyoung Kim, In-Seuck Jeung, Byungil Choi, Toshinori Kouchi, Goro Masuya  
Correlation of Fuel Injection Locations and Combustion in Unheated Supersonic Flow  
The 5<sup>th</sup> Tohoku University-Seoul National University Joint Workshop on Next Generation Aero  
Vehicle, pp. 82-87, Sendai, Japan, (2010)
10. Byungil Choi, Koichi Take, Toshinori, Kouchi, Goro Masuya  
Stereoscopic PIV Measurement of a Transverse Jet into a Supersonic Flow with Pseudo-Shock  
Wave  
The 5<sup>th</sup> Tohoku University-Seoul National University Joint Workshop on Next Generation Aero  
Vehicle, pp. 88-93, Sendai, Japan, (2010)
11. 野島清志, 河内俊憲, 升谷五郎, 富岡定毅  
エジェクタ・ラムジェットの二次燃料分布  
1B11, 第42回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2010 CD-ROM講演  
集, (2010)
12. 渡部潤也, 河内俊憲, 滝田謙一, 升谷五郎  
超音速流における噴流の乱流混合のLES解析  
1E2, 第42回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2010 CD-ROM講演  
集, (2010)
13. 久保貴裕, 富岡定毅, 谷香一郎, 升谷五郎, 櫻中登  
複合サイクルエンジンのノズル特性について  
1E4, 第42回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2010 CD-ROM講演  
集, (2010)
14. 浦本翔平, 津留真一郎, 河内俊憲, 升谷五郎  
ステレオPIVを用いた超音速流れ場の境界層速度計測



2C3, 第42回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2010 CD-ROM講演集, (2010)

15. 河内俊憲, 升谷五郎

高速シュリーレンを用いた超音速噴流場のスペクトル解析

2C9, 第42回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2010 CD-ROM講演集, (2010)

16. 星野貴久, 河内俊憲, 升谷五郎

コーナー・バンプを設置した矩形ダクトにおける擬似衝撃波の安定性

1J11, 第54回宇宙科学技術連合講演会 CD-ROM講演集, (2010)

17. J. Noda, S. Tomioka, M. Izumikawa, C. P. Goynes, R. D. Rockwell, Jr., G. Masuya

Estimation of Vitiating Effects in Direct Connect Dual-mode Combustor

*Seventh International Conference on Flow Dynamics*, pp. 514-517, Sendai, Japan, (2010)

18. S. Uramoto, S. Tsuru, T. Kouchi, G. Masuya

Stereoscopic PIV Measurement of Supersonic Boundary Layer

*Seventh International Conference on Flow Dynamics*, pp. 522-523, Sendai, Japan, (2010)

19. J. Watanabe, T. Kouchi, K. Takita, G. Masuya

Large-Eddy Simulation of Compressible Mixing Layer

*Seventh International Conference on Flow Dynamics*, pp. 540-541, Sendai, Japan, (2010)

20. 滝田謙一, 松原慶典

プラズマ着火に及ぼすパルス周波数と印加電圧の影響

48回燃焼シンポジウム講演論文集, pp. 88-89, (2010)

21. 車田健太郎, 渡部潤也, 滝田謙一, 升谷五郎

メタンを作動ガスに含むプラズマジェットの高次元数値解析

第48回燃焼シンポジウム講演論文集, pp. 90-91, (2010)

22. 岡崎慈, 松原慶典, 山本貴正, 滝田謙一, 河内俊憲

超音速流中における誘電体バリア放電に及ぼす主流マッハ数の影響

第48回燃焼シンポジウム講演論文集, pp. 92-93, (2010)

23. 渡部潤也, 河内俊憲, 滝田謙一, 升谷五郎

超音速燃焼器における水素及びエチレン燃料の乱流混合課程のLES解析

第48回燃焼シンポジウム講演論文集, pp. 98-99, (2010)

24. 松原慶典, 滝田謙一

プラズマ化したメタン燃料の着火特性の数値解析

第48回燃焼シンポジウム講演論文集, pp. 136-137, (2010)

25. 西脇渉, 望月宏朗, 滝田謙一, 河内俊憲

エッジフレームの局所伸長率に及ぼすレイス数の効果

第48回燃焼シンポジウム講演論文集, pp. 150-151, (2010)

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年 (1月～12月)

1. Chae-Hyoung Kim, In-Seuck Jeung, Byungil Choi, Toshinori Kouchi, Kenichi Takita, Goro Masuya

Effect of fuel injection location on a plasma jet assisted combustion with a backward-facing step  
*Paper presented at Thirty-Third Symposium (International) on Combustion*, (2010)

2. Yoshinori Matsubara, Kenichi Takita

Effect of mixing ratio of N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> feedstock on ignition by plasma jet torch

*Paper presented at Thirty-Third Symposium (International) on Combustion*, (2010)

3. C. Kim, K. Sung, I. S. Jeung, B. Choi, T. Kouchi, G. Masuya

Flowfield characteristics on a vent slot mixer in supersonic flow

*Shock Wave*, Vol. 20, No. 6, pp. 559-569, (2010)

**【本人の受賞・特許等】**

○平成22年（1月～12月）

受賞名：流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム最優秀賞 流体力学部門

受賞月：2010年6月

**【学生の受賞・特許等】**

○平成22年（1月～12月）

受賞者：津留真一郎

受賞名：ベストプレゼンテーション賞

日本航空宇宙学会北部支部2010年講演会ならびに第11回再使用型宇宙推進系シンポジウム

受賞日：2010年3月10-11日

受賞者：渡部潤也

受賞名：学生プレゼンテーション賞

第42回流体力学講演会／航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2010

受賞日：2010年6月24－25日

受賞者：野島清志

受賞名：学生プレゼンテーション賞

第42回流体力学講演会／航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2010

受賞日：2010年6月24－25日

**【学生の研究費の獲得】**

○平成22年（1月～12月）

獲得者：渡部潤也

名 称：科学研究費補助金（特別研究員奨励費）

獲得者：松原慶典

名 称：科学研究費補助金（特別研究員奨励費）



氏名 西山 秀哉

所属 流体科学研究所・教授（工学博士）

専門 電磁流体工学

研究課題

プラズマ反応流動システム

E-mail: nishiyama@ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5260

#### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

電磁場に応答する機能性流体であるプラズマ流体に関して、ナノ・マイクロスケールで微粒子と衝撃波の干渉、あるいは、静電場によるナノ粒子の加速や輸送制御シミュレーションを行っており、ナノ・マイクロ粒子高速流動プロセスの高効率化に寄与している。また、磁気粘性流体では、管内壁粗さ構造、管断面形状、管弾性係数による磁場下でのMRプラグ性能解析を行っており、メカニカルデバイスや生体内流動制御の基礎資料を提供している。

反応流動融合分野に関しては、流体機能で、特にプラズマ化学反応性の視点から、省電力放電で空気からオゾンや酸素ラジカル等を含む高活性空気ジェットを生成し、実験と計算の統合解析デザインによる作動条件やプラズマトーチ形状の最適化を行っている。最近では、高圧下での非熱プラズマジェット生成の基礎実験と活性種寿命評価のための数値シミュレーションに着手している。最終的には、省エネで環境負荷が小さく、プラズマの化学反応性を活用した内燃機関エンジンの燃焼促進および紫外線照射により高機能化したマイクロバブルジェットの水質浄化を目指している。

#### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

1. 日本混相流学会機能性流体のマルチスケール流動とシステム化に関する研究分科会主査として、平成22年5月28日に30名ほどの参加者を得て研究会を開催し、東京工業大学と首都大学東京の教員から水中気泡内プラズマとその利用と粒子分散型機能性流体の流動構造に関する特別講演と、若手教員による講演および討議を行った。
2. 平成22年7月19日に浜松で開催された日本混相流学会年会講演会で「機能性流体のマルチスケール流動とシステム化」に関するオーガナイズドセッションを企画し、一般講演13件の発表があった。
3. 平成22年10月18日に東北大学イノベーションフェア2010 in仙台、産学官連携フェア2010みやぎに出展した。
4. 日本学術振興会と韓国共同プログラムで客員研究員として韓国のWoosuk大学からPark Sang-Kyu教授を平成23年1月11日～1月30日まで招へいし、ヒュンダイ工業との産学連携の紹介と液滴注入によるDC-RFハイブリッドプラズマ流動システムによるマイクロ粒子プロセスの高効率化に関する共同研究を実施した。
5. 平成22年8月6日にミネソタ大学から博士学生Zachary Holman氏が訪問し、第52回グローバルCOE分野横断セミナーでプラズマによる太陽電池用薄膜プロセスに関する講演を企画した。
6. 平成22年10月11日にロシア科学アカデミーシベリア支部のOleg P. Solonenko教授を招へいし、2次ガス注入によるDC-RFハイブリッドプラズマ流動システムの粒子球形化プロセスの高効率化に関して研究討議を行った。
7. 流体科学共同研究プロジェクトの一環として、インド科学大学航空工学科のD. Sivakumar講師、清華大学物理工学系He-Ping Li准教授と博士課程学生2名を東北大学外国人研究員として平成22年10月31日～11月3日まで招へいし、凝固を伴う溶融マイクロ液滴の衝突過程および粒子モデルと流体モデルの統合による大気圧プラズマ構造解析に関する研究討議を行った。研究成果を11月に仙台で開催されたThe 7th International Conference on Fluid DynamicsとAFI/TFI 2010で発表した。
8. 平成22年11月2日に開催されたThe 7th International Conference on Fluid Dynamicsで基調講演および大阪大学接合科学研究所と東京工業大学大学院総合理工学研究科創造エネルギー専攻と合同でPS2: Workshop on “Functional Plasma Flow Dynamics and its Systems”を企画し、カナダ、ロシ

ア、チェコ、中国、韓国からの招待講演を含む15件の講演があり、研究者同士の活発な質疑応答があった。また、修士院生の柴田智弘が国際学生セッションで1件発表した。なお、Journal of Fluid Science and TechnologyとJournal of Thermal Science and TechnologyのSpecial Issueに5件の推薦があった。

#### <招待講演>

講演先：電気学会新エネルギー・環境研究会

講演題目：機能性を活用したプラズマ流動システムのエネルギー・環境への応用

講演日：2010.8.27

講演先：大阪大学接合科学研究所

講演題目：プラズマ流動の学理と応用展開の研究戦略ならびにプラズマ流の機能性を活用した環境・エネルギーシステム

講演日：2010.10.14

講演先：(社)溶接学会特別研究会，第1回セミナー「材料プロセッシングに関わる可視化の最前線」

講演題目：プラズマ流動制御による微粒子・成膜プロセス

講演日：2010.10.14

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

1. マイクロ・ナノ粒子輸送および流動加工プロセスの静電制御  
コールドスプレイや歯科治療における超音速ジェットに注入したマイクロ・ナノ粒子の付着効率を向上させるために、コロナ放電による静電気力で粒子加速を活用したり、基板形状最適化によるキャビティ充填プロセス、また、プラズマチューブ内でマイクロ・ナノ粒子の輸送・攪拌のために数値シミュレーションと実験を行った。
2. 高圧下での空気－メタンプラズマ流の反応流動解析  
プラズマ燃焼促進のための基礎研究として、高圧下で空気－メタン混合プラズマ流に関し、反応速度係数を評価し、活性種の寿命を評価するために、反応流動モデリングと数値シミュレーションを行っている。
3. 放電と紫外光を用いたマイクロバブルジェットの高活性化と水質浄化  
強酸化作用のあるオゾンマイクロバブルジェットに内封し、発生方法や作動条件と気泡径、気泡速度、ボイド率の基本的特性を明らかにした。また、紫外光照射によるオゾンマイクロバブルジェットの高活性化を活用した水質分解浄化特性の検証実験も行った。さらには、多点バブルジェット内でパルスストリーマ放電により、界面にOおよびOHラジカルを発生させる検証実験を行っている。
4. 省電力型DC-RFハイブリッドプラズマ流動システムのマイクロ・ナノ粒子プロセスの高効率化  
アルゴンプラズマ流動システムを用いたアルミナの球状化や酸化チタン粒子粒径制御プロセスに関して、低電力で混合ヘリウムガス成分やその注入位置および供給ガス流量変動等、入口流動を制御し、マイクロ粒子球状化効率を向上させるための最適化実験を行った。
5. バイオマスガス化用アークシステムの最適化シミュレーション  
木くずをアークにより加熱分解するプロセスにおいて、精密な放射モデルを導入したアーク流動解析を行い、亜音速と超音速下での熱流動場およびエネルギー変換効率も求め、共同研究先であるチェコ科学アカデミープラズマ物理研究所の実機の実験と比較し、計算・実験統合解析モデルを提案した。また、修正型SIMPLE法とTVD-MUSCL法による比較も行った。
6. マイクロな溝構造を有する基板に衝突する凝固を伴う液滴の挙動  
MEMSやナノ・マイクロ加工表面での液滴衝突および液膜挙動を明らかにするために、インド科学大学航空工学科と共同研究を行い、特に溝構造による凝固過程の異方性を明らかにした。
7. 壁面干渉効果を伴うMR流体プラグ特性と磁性流体界面現象  
磁場下にある管内MR流体プラグによるメカニカルデバイスや生体内流動制御を目的として、壁面粗さ構造、管断面形状、管弾性係数や透磁率によるMR流体プラグ特性を実験的に明らかにした。特に人工血管等、生体材料を活用した次世代MR流体流動システムの構築を目指している。また、秋田県立大学と共同で変動磁場下での磁性流体界面現象および球状磁石－磁性流体系の衝突過程の実験も



開始した。

8. 清華大学と共同で、粒子モデルと流体モデルをハイブリッド化したモデルによる高周波大気圧グロー放電構造解析の研究も開始した。

### 【学位論文指導（主査）】

#### 修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 Juyong Jang  
「Thermofluid Dynamics and Control of a DC-RF Hybrid Multiphase Plasma Flow System  
(DC-RFハイブリッド多相プラズマ流動システムの熱流動と制御)」
2. 機械システムデザイン工学専攻 岩渕 豊  
「大気圧プラズマ流による気液界面現象と化学種輸送機構」
3. 機械システムデザイン工学専攻 長井 亮介  
「放電を伴う気泡流の生成と機能性評価」
4. 機械システムデザイン工学専攻 篠原 圭介  
「誘電体バリア放電による管内微粒子攪拌および搬送特性」

### 【学位論文指導（副査）】

#### 博士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 落合 直哉  
「Study of Numerical Prediction of Cavitation Erosion Based on Bubble Collapse Intensity (気泡崩壊強さに基づくキャビテーション壊食の数値予測法の研究)」
2. バイオロボティクス専攻 村上 貴裕  
「可変減衰特性を有するパンプ式MRダンパの開発とその振動制御への応用」

#### 修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 安良田 寛  
「パウダージェットデポジション法による酸化物系セラミックスの成膜とスプレー条件の最適化」
2. 機械システムデザイン工学専攻 伊藤 真澄  
「Incompressible SPH Simulation of a Flow Field in an Arc Weld Pool (アーク溶融池内流れの非圧縮SPHシミュレーション)」
3. 航空宇宙工学専攻 島倉 和也  
「MPD推進機に関する数値解析」
4. 航空宇宙工学専攻 新屋 優  
「水平矩形管内を流動するスラッシュ室素の流動・伝熱特性に関する実験的研究」
5. 航空宇宙工学専攻 田中 健嗣  
「一様磁場下における導電性流体準二次元流れの解析」
6. 航空宇宙工学専攻 千葉 真一  
「水平円管内を流れるスラッシュ室素の固定の融解を考慮した流動・伝熱特性」
7. ナノメカニクス専攻 森木 達夫  
「非剛体球流体における自己拡散の研究」
8. ナノメカニクス専攻 山本 直史  
「ナノスケール潤滑下における自己組織化単分子膜界面の輸送特性」

### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Jiri Jenista, Hidemasa Takana, Hideya Nishiyama, Milada Bartlova, Vladimir Aubrecht and Milan Hrabovsky  
Interna Parametric Study of Hybrid Argon-Water Stabilized Arc under Subsonic and Supersonic Regimes  
High Temperature Materials and Processes, Vol.29, No.1 (2010), pp.55-70.
2. Hidemasa Takana, Hong Yang Li, Kazuhiro Ogawa, Tsunemoto Kuriyagawa and Hideya

Nishiyama

Computational and Experimental Studies on Cavity Filling Process by Cold Gas Dynamic Spray

Journal of Fluids Engineering, Transactions of ASME, Vol.132, No.2 (2010), pp.021302-1-021302-9.

3. Hidemasa Takana, Juyong Jang, Junji Igawa, Tomoki Nakajima, Oleg P. Solonenko and Hideya Nishiyama  
Improvement of In-Flight Alumina Spheroidization Process Using a Small Power Argon DC-RF Hybrid Plasma Flow System by Helium Mixture  
Journal of Thermal Spray Technology, (2010), in press.
4. Seiichi Sudo, Daisaku Asano, Hidemasa Takana and Hideya Nishiyama  
The Dynamic Behavior of Magnetic Fluid Absorbed to Small Permanent Magnet in Alternating Magnetic Field  
Journal of Magnetism and Magnetic Materials, (2010), Available online 19 November 2010.
5. Hideya Nishiyama, Hidemasa Takana, Keisuke Shinohara, Kotoe Mizuki, Kazunari Katagiri and Mokoto Ohta  
Experimental Analysis on MR Fluid Channel Flow Dynamics with Complex Fluid-Wall Interactions  
Journal of Magnetism and Magnetic Materials, (2010), Available online 25 November 2010.
6. Jiri Jenista, Hidemasa Takana, Hideya Nishiyama, Milada Bartlova, Vladimir Aubrecht, Petr Krenek, Viktor Sember and Alan Maslani  
A Comparative Numerical Study of Hybrid-Stabilized Argon-Water Electric Arc  
Computer Physics Communications, (2010), in press.
7. 西山秀哉  
計算・実験統合解析によるナノ・マイクロ粒子プラズマ流動プロセスの制御  
混相流, 第24巻, 1号, (2010), 3-11頁.
8. Hideya Nishiyama, Hidemasa Takana, Keisuke Shinohara, Kotoe Mizuki, Kazunari Katagiri and Makoto Ohta  
Experimental Analysis on MR Fluid Channel Flow Dynamics with Complex Fluid-Wall Interactions  
Abstract Book of the 12th International Conference on Magnetic Fluids (ICMF12), (2010), pp.80-81.
9. Seiichi Sudo, Daisaku Asano, Hidemasa Takana and Hideya Nishiyama  
The Dynamic Behavior of Magnetic Fluid Adsorbed to Small Permanent Magnet in Alternating Magnetic Field  
Abstract Book of the 12th International Conference on Magnetic Fluids (ICMF12), (2010), pp.268-269.

#### 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. High Temperature Materials and Processes
2. Journal of Fluids Engineering, Transactions of ASME
3. 混相流
4. Abstract Book of the 12th International Conference on Magnetic Fluids (ICMF12)
5. Meta Centrum Year Book 2009, Prague: CESNET 2010

#### 【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. 西山秀哉, 高奈秀匡, 尾崎晃, 中嶋智樹  
高活性マイクロバブルジェットの機能性と液体分解特性  
日本機械学会東北支部第45期総会・講演会講演論文集, No.2010-1, (2010), 222-223頁.
2. Jiri Jenista, Hidemasa Takana, Hideya Nishiyama, Milada Bartlova, Vladimir Aubrecht, Petr Krenek, Milan Hrabovsky, Tetyana Kavka, Viktor Sember and Alan Maslani

A Comparative Numerical Study of Hybrid-Stabilized Argon-Water Electric Arc  
Abstracts of the Conference on Computational Physics (CCP2010), Poster P2-39, (2010), pp.350-351.

3. 柴田智弘, 尾崎晃, 高奈秀匡, 西山秀哉  
光化学反応とプラズマの援用によるマイクロバブルジェットの高機能化と液体分解特性  
日本混相流学会年会講演会2010講演論文集, (2010), 254-255頁.
4. 張柱鏞, 高奈秀匡, 西山秀哉  
混合ガスおよび供給ガス変動による省電力DC-RFハイブリッドプラズマ流動システムにおける球状化プロセスの高性能化  
電気学会新エネルギー・環境研究会資料, (2010), 49-53頁.
5. 高奈秀匡, 李紅岩, 小川和洋, 西山秀哉  
微粒子静電加速および基板形状最適化による超音速微粒子流動加工の高性能化  
電気学会新エネルギー・環境研究会資料, (2010), 55-60頁.
6. 西山秀哉, 高奈秀匡, 篠原圭介, 水木琴絵, 片桐一成, 太田信  
管内MR流体流動における壁面相互作用に関する基礎特性  
日本レオロジー学会第58回レオロジー討論会講演要旨集, (2010), 312-313頁.
7. 柴田智弘, 尾崎晃, 高奈秀匡, 西山秀哉  
高活性空気マイクロバブルジェットの液体分解特性と紫外線照射による高機能化  
日本機械学会第88期流体工学部門講演会講演論文集, No.10-16, (2010), 127-128頁.
8. Juyong Jang, 高奈秀匡, 西山秀哉  
省電力DC-RFハイブリッドプラズマ流動システムにおけるアルミナ球形化プロセスに与える供給ガス変動効果  
日本機械学会第88期流体工学部門講演会講演論文集, No.10-16, (2010), 163-164頁.
9. 篠原圭介, 高奈秀匡, 西山秀哉  
静電効果による管内反応性気体中の微粒子攪拌・搬送特性  
日本機械学会第88期流体工学部門講演会講演論文集, No.10-16, (2010), 165-166頁.
10. 須藤誠一, 高柳拓吉, 高奈秀匡, 西山秀哉  
球状磁石-磁性流体系のウオーターエントリー現象  
日本機械学会第88期流体工学部門講演会講演論文集, No.10-16, (2010), 167-168頁.
11. Seiichi Sudo, Daisaku Asano, Hidemasa Takana and Hideya Nishiyama  
Surface Disintegration of Magnetic Fluid Adsorbed to Small Magnet in Alternating Magnetic Field  
Proceedings of 7th International Conference on Flow Dynamics, (2010), pp.288-289.
12. Tomohiro Shibata, Akira Ozaki, Hidemasa Takana and Hideya Nishiyama  
Liquid Decomposition Characteristics by Activated Air Microbubble Jet with Photochemical Reaction  
Proceedings of 7th International Conference on Flow Dynamics, (2010), pp.552-553.
13. Hidemasa Takana, Yasunori Tanaka and Hideya Nishiyama  
Chemical Kinetic Study of Methane-Air Plasma Flow at High Pressure  
Proceedings of 7th International Conference on Flow Dynamics, (2010), pp.718-719.
14. Juyong Jang, Hidemasa Takana, Oleg P. Solonenko and Hideya Nishiyama  
Advancement of Powder Spheroidization Process Using a Small Power DC-RF Hybrid Plasma Flow System by Helium Mixture and Sinusoidal Gas Injection  
Proceedings of 7th International Conference on Flow Dynamics, (2010), pp.724-725.
15. Jiri Jenista, Hidemasa Takana, Hideya Nishiyama and Milan Hrabovsky  
Investigation of Supersonic Hybrid-Stabilized Argon-Water Arc for Biomass Gasification: A Comparative Numerical Study  
Proceedings of the 10th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2010), (2010), pp.54-55.
16. Hidemasa Takana, Yasunori Tanaka and Hideya Nishiyama  
Fundamental Study of Methane-Air Plasma Flow at High Pressure  
Proceedings of the 10th International Symposium on Advanced Fluid Information and

- Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2010), (2010), pp.56-57.
17. Deivandren Sivakumar, Kazunari Katagiri, Tomoki Nakajima, Hidemasa Takana and Hideya Nishiyama  
Investigation on Splats Formed from the Impact of Molten Tin Drops on Grooved Surfaces  
Proceedings of the 10th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2010), (2010), pp.104-105.
  18. Pei-Si Le, Zhi-Bin Wang, He-Ping Li, Cheng-Yu Bao, Hidemasa Takana and Hideya Nishiyama  
Simulations on a Radio-Frequency, Atmospheric-Pressure Glow Discharge Using an Integrated Kinetic-Fluid Model  
Proceedings of the 10th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2010), (2010), pp.142-143.
  19. Seiichi Sudo, Sohta Inomata, Daisaku Asano, Hidemasa Takana and Hideya Nishiyama  
Surface Oscillations of Magnetic Fluid Droplet Adsorbed to Magnetized Needlepoint in Alternating Magnetic Field  
Proceedings of the 10th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2010), (2010), pp.152-153.
  20. 西山秀哉  
計算・実験統合解析によるナノ・マイクロ粒子プラズマ流動プロセスの制御  
日本混相流学会R&P Committee 6 機能性流体のマルチスケール流動とシステム化に関する研究分科会活動報告書, (2010), 5-13頁.

#### 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. 省電力DC-RFハイブリッドプラズマ流動システムにおけるアルミナ球形化プロセスに与える供給ガス変動効果  
Juyong Jang, 高奈秀匡, 西山秀哉  
日本機械学会第88期流体力学部門講演会講演論文集, No.10-16, 163-164頁, (2010).
2. Advancement of Powder Spheroidization Process Using a Small Power DC-RF Hybrid Plasma Flow System by Helium Mixture and Sinusoidal Gas Injection  
Juyong Jang, Hidemasa Takana, Oleg P. Solonenko and Hideya Nishiyama  
Proceedings of 7th International Conference on Flow Dynamics, (2010), pp.724-725.
3. Improvement of In-Flight Alumina Spheroidization Process Using a Small Power Argon DC-RF Hybrid Plasma Flow System by Helium Mixture  
Hidemasa Takana, Juyong Jang, Junji Igawa, Tomoki Nakajima, Oleg P. Solonenko and Hideya Nishiyama  
Journal of Thermal Spray Technology, (2010), in press.

#### 【本人の受賞・特許等】

○平成22年（1月～12月）

高奈秀匡, 篠原圭介, 西山秀哉  
微粒子搬送装置及びこの装置を用いた微粒子の浄化方法  
特願2010-242718, 平成22年10月28日.

#### 【学生の受賞・特許等】

○平成22年（1月～12月）

受賞者：篠原圭介  
受賞名：日本機械学会第88期流体力学部門優秀講演表彰  
受賞日：2010年10月30日





氏名 小林 秀昭

所属 流体科学研究所・教授（工学博士）

専門 燃焼工学

研究課題

高圧燃焼、超音速燃焼、微小重力燃焼に関する研究

E-mail: kobayashi@ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5272

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

事業推進担当者の研究分野では、高温、高圧、超音速流、低酸素濃度等の多様な極限環境下における燃焼現象の解明、燃焼診断と予測、燃焼解析法の研究を行い、燃焼の高負荷特性や高温生成特性を生かした、航空・宇宙推進および環境適合型燃焼技術の高度化を目指している。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

＜国際会議＞

名 称：33rd International Symposium on Combustion

主催団体：The Combustion Institute

開 催 国：中国

開催期間：2010.8.1～2010.8.6

役 割：Silver medal committee

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

1. 高圧下におけるCO/H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>乱流予混合火炎に関する研究  
IGCCなどの石炭改質燃料を用い、かつCCSを目指したガスタービンの燃焼はのCOを主成分とする高温高温高圧下の乱流酸素燃焼であるが、その数値解析を検証する実験データはほとんど存在しておらず、本研究では流体科学研究所の高圧燃焼試験装置を用いて、CO/H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>予混合気に対する0.5 MPaまでの乱流火炎を安定化させることに成功した。
2. 乱流による酸素噴流拡散火炎の安定性制御に関する研究  
酸素燃焼は窒素酸化物を生成せず高温が得られる新しい燃焼技術であると同時に、燃料改質炉における要素技術の一つである。本研究では、燃料流中に酸素を噴射した酸素同軸噴流拡散火炎の火炎基部の安定性を乱流によって制御しようとする新しい考え方を提案し、酸素噴流火炎の火炎基部構造と安定性に及ぼす乱流効果を実験的に明らかにした。
3. 高温高圧下における充填層多孔体内乱流燃焼に関する研究  
多くの化学プラント装置ではペブル充填層が用いられているが、高温高圧下のペブル充填層における燃焼現象の詳細は知られていない。本研究では、1.0 MPa、493 Kまでの高温高圧下におけるペブル充填層内の火炎伝播現象を高圧燃焼実験により観測し、充填層内火炎伝播が乱流燃焼に支配されていることを明らかにした。
4. 超音速流における衝撃波と干渉する噴流火炎の三次元構造に関する研究  
超音速燃焼エンジン内では壁面から垂直に噴射させた水素噴流とエンジン内斜め衝撃波の干渉が保炎性能に影響を及ぼすと考えられる。本研究ではNO-PLIFおよび三次元数値解析により、水素噴流下流の形成される再循環流の構造と濃度場を明らかにし、保炎に支配的な流れの三次元構造を明らかにした。

### 【学位論文指導（主査）】

#### 修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 大田原 佑樹  
「石炭改質模擬ガスにおける高圧乱流燃焼メカニズムに関する研究」
2. 航空宇宙工学専攻 小関 雅人  
「高温高圧下におけるアルコール系液体燃料の燃焼反応メカニズムに関する研究」

### 【学位論文指導（副査）】

#### 修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 野田 純司  
「高速燃焼実験における設備依存性の評価」
2. 航空宇宙工学専攻 車田 健太郎  
「メタンを作動ガスに含むプラズマジェットによる着火の数値解析」
3. 航空宇宙工学専攻 染谷 拓  
「低級炭化水素系燃料の消炎に及ぼすNOおよびNO<sub>2</sub>の添加効果」
4. 航空宇宙工学専攻 浦本 翔平  
「超音速噴射流れ場の変動速度相関」
5. 航空宇宙工学専攻 谷本 隆  
「温度分布制御型マイクロフローリアクタによるすす生成過程の研究」
6. 航空宇宙工学専攻 山本 晃  
「温度分布制御型マイクロフローリアクタによるn-ヘプタンの三段酸化反応特性およびその 圧力依存性に関する研究」
7. 航空宇宙工学専攻 永富 文也  
「RBCC(Rocket Base Combined Cycle)のデュアルモード作動時における燃料の混合に関する研究」

### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. M. Jangi, H. Kobayashi  
Droplet Combustion in Presence of Airstream Oscillation: Mechanisms of Enhancement and Hysteresis of Burning Rate in Microgravity at Elevated Pressure  
Combustion and Flame, Vol.157 (2010), pp.91-105.
2. M. Jangi, B. Shaw, H. Kobayashi  
Thermal-drag and Transition from Quasi-steady to Highly-unsteady Combustion of a Fuel Droplet in the Presence of Upstream Velocity Oscillations  
Flow, Turbulence and Combustion, Vol.84 (2010), pp.97-123.
3. M. Kumagami, Y. Ogami, Y. Tamaki, H. Kobayashi  
Numerical Analysis of Extremely-rich CH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O Premixed Flames at High Pressure and High Temperature Considering Production of Higher Hydrocarbons  
Journal of Thermal Science and Technology, Vol.5 (2010) , pp.109-123.
4. M. Okuyama, S.Hirano, Y. Ogami, H. Nakamura, Ju. Y, H. Kobayashi  
Development of an Ethanol Reduced Kinetic Mechanism Based on the Quasi-steady State Assumption and Feasibility Evaluation for Multi-dimensional Flame Analysis  
Journal of Thermal Science and Technology, Vol. 5 (2010) , pp.189-199.
5. 門脇敏, 八幡将史, 小林秀昭  
エンタピー一定条件下における高温予混合火炎の固有不安定性に関する数値シミュレーション  
日本燃焼学会誌, 第52巻162号, (2010), pp.63-68.

### 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Combustion and Flame
2. Flow, Turbulence and Combustion
3. Journal of Thermal Science and Technology
4. 日本燃焼学会誌

### 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. M. Jangi, H. Kobayashi  
Droplet Combustion in Presence of Airstream Oscillation: Mechanisms of Enhancement and Hysteresis of Burning Rate in Microgravity at Elevated Pressure  
Combustion and Flame, Vol.157 (2010), pp.91-105.
2. M. Jangi, B. Shaw, H. Kobayashi  
Thermal-drag and Transition from Quasi-steady to Highly-unsteady Combustion of a Fuel Droplet in the Presence of Upstream Velocity Oscillations  
Flow, Turbulence and Combustion, Vol.84 (2010), pp.97-123.
3. M. Kumagami, Y. Ogami, Y. Tamaki, H. Kobayashi  
Numerical Analysis of Extremely-rich  $\text{CH}_4/\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$  Premixed Flames at High Pressure and High Temperature Considering Production of Higher Hydrocarbons  
Journal of Thermal Science and Technology, Vol.5 (2010) , pp.109-123.
4. M. Okuyama, S.Hirano, Y. Ogami, H. Nakamura, Ju. Y, H. Kobayashi  
Development of an Ethanol Reduced Kinetic Mechanism Based on the Quasi-steady State Assumption and Feasibility Evaluation for Multi-dimensional Flame Analysis  
Journal of Thermal Science and Technology, Vol. 5 (2010) , pp.189-199.

### 【本人の受賞・特許等】

○平成22年（1月～12月）

受賞名：社団法人日本機械学会 熱工学部門 講演論文表彰

受賞日：2010年10月30日

氏名 小原 拓



所属 流体科学研究所・教授（工学博士）  
専門 熱流体工学  
研究課題 分子スケール熱流体現象・界面現象の研究  
ナノスケール輸送現象の研究  
E-mail: ohara@ifs.tohoku.ac.jp  
TEL: 022(217)5277

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

分子スケールの構造をもつ流体やナノ構造物における液体・界面の輸送特性、あるいはバルク液体の熱流体物性を決定する分子スケールの輸送現象を、分子動力学シミュレーションを主な手法として解析した。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

#### <国際会議>

会 議 名： ASME-JSME Thermal Engineering Joint Conference  
開催期間： 2011年3月13日～17日  
主催団体： ASME, JSME  
役 割： Track Co-Organizer

会 議 名： International Conference on Fluid Dynamics  
開催期間： 2010年11月1日～2日  
主催団体： GCOE  
役 割： OS-5 & OS-6 Co-Organizer, JTST Special Issue Guest Editor

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

1. ポリマー液体の分子スケール構造と熱エネルギー伝搬機構  
各種直鎖アルカンのバルク液体について系統的な分子動力学シミュレーションを実施し、0.7程度の対臨界温度における飽和液について熱伝導率を計測した。この熱伝導率あるいは熱流束を構成する分子間／分子内エネルギー伝搬を解析し、高分子液体においてはバルク状態にあっても分子内のエネルギー伝搬が卓越することを明らかにして、分子の配向が偏向したヘテロな状態にある液体やソフトマターにあっては、非等方的な熱伝導が生じることを示唆する結果を得た。
2. 修飾された固液界面における熱抵抗を支配する分子動力学機構  
NEMSやナノフルイドなどナノスケール構造をもつ液体システムの熱輸送特性を支配する固液界面の熱抵抗について、特にSAMや固体微細構造による表面修飾の効果に着目して、分子動力学シミュレーションにより解析した。SAM末端基による親水性・疎水性の制御が極めて大きな効果を示し、特に親水基－溶媒水の組み合わせでは熱抵抗が著しく減少することや、固体表面における微細構造の大きさ・ピッチなどに最適値が存在することなどを明らかにした。
3. 脂質二重膜中のエネルギー・運動量伝搬機構  
水中で脂質分子が自己組織化する脂質二重膜は、生体細胞膜の分子モデルであるが、そのヘテロな構造における輸送機構と非等方的特性を解明することを目的として、せん断あるいは温度勾配下における運動量・エネルギー輸送特性を解析した。採用した計算モデルに対する熱伝導率・粘性係数や摩擦係数の計測値を確定し、同時に得られた分子構造の観察結果に基づいて、特に非等方性熱伝導率のメカニズムを考察した。さらに、摩擦係数を決定する運動量伝搬機構について結果をまとめつつある。



#### 4. 次世代コーティングの研究

様々な工業過程で重要なコーティングの高度化を目的として、シリコン基盤上のポリマー（アルカン）液体からなる分子動力学計算系を構築し、界面における熱抵抗やシリコン表面近傍のポリマー液体中におけるエネルギー伝搬特性を、ポリマー分子の配向など分子スケール構造と関連付けて解析する研究を開始した。

### 【学位論文指導（主査）】

#### 修士論文

1. ナノメカニクス専攻 小杉 直央  
「Si基盤上におけるポリマー液膜の構造と輸送特性」
2. ナノメカニクス専攻 山本 直史  
「ナノスケール潤滑下における自己組織化単分子膜界面の輸送特性」
3. ナノメカニクス専攻 泊川 晃  
「多孔質内のナノスケール気体流れに関する数値的研究」

### 【学位論文指導（副査）】

#### 修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 佐竹 正俊  
「Three-dimensional SPH Simulation of Incompressible Fluid Interacting with an Elastic Structure」
2. 機械システムデザイン工学専攻 江目 宏樹  
「ナノ粒子群を用いた機能膜のふく射伝熱制御に関する研究」
3. ナノメカニクス専攻 森木 達夫  
「非剛体球流体における自己拡散の研究」
4. ナノメカニクス専攻 吉田 大樹  
「高分子電解膜のプロトン伝導性に関する分子動力学解析」
5. 航空宇宙工学専攻 小松 孝好  
「DSMCを用いた熱化学非平衡流れ場計算に関する研究」
6. 航空宇宙工学専攻 猪瀬 啓介  
「熱硬化性樹脂の硬化反応特性に関する研究」

### 【査読論文（査読付き国際会議論文を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. D. Torii, T. Ohara and K. Ishida, Molecular scale mechanism of thermal resistance at solid-liquid interfaces (Influence of interaction parameters between solid and liquid molecules), Trans. ASME, J. Heat Transfer, Vol. 132, Issue 1, 012402, 2010.
2. タンチアユアン, 鳥居大地, 小杉直央, 菊川豪太, 小原拓, 長鎖ポリマー液体の熱伝導率: 分子間及び分子内エネルギー伝搬の寄与についての分子動力学的研究, 熱物性, Vol.24, No.3, pp.134-140, 2010.
3. 川口暢, 菊川豪太, 杵淵郁也, 八束真一, 小原拓, 松本洋一郎, 非平衡分子動力学法を用いた親水性末端基を有する自己組織化膜と水の界面熱抵抗の解析, 日本機械学会論文集C編, Vol.76, No.768, pp.1936-1938, 2010.
4. T. Nakano, G. Kikugawa, and T. Ohara, A molecular dynamics study on heat conduction characteristics in DPPC lipid bilayer, Journal of Chemical Physics, Vol.133, 154705, 2010.
5. G. Kikugawa, T. Ohara, T. Kawaguchi, I. Kinefuchi and Y. Matsumoto, Heat transfer characteristics at the SAM interface with water and alkane solvents, Proc. Joint International Symposia on 3rd Micro & Nano Technology and Micro/Nanoscale Energy Conversion & Transport - 2010, pp.116-118, 2010.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Transaction of ASME, Journal of Heat Transfer
2. 熱物性
3. 日本機械学会論文集C編
4. Journal of Chemical Physics

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. 新坂拓真, 竹島由里子, 菊川豪太, 小原拓, 藤代一成, 大規模粒子系の対話的可視化によるパラメータスタディ支援, 情報処理学会創立50周年記念（第72回）全国大会講演論文集, (DVD), 2010.
2. 菊川豪太, 小原拓, 川口暢, 杵淵郁也, 松本洋一郎, SAM-溶媒界面の熱輸送特性に対する親水性・疎水性の影響, 第47回日本伝熱シンポジウム講演論文集, Vol.III, pp.587-588, 2010.
3. 中野雄大, 菊川豪太, 小原拓, 脂質二重膜の熱伝導特性に対する炭化水素鎖長による影響, 第47回日本伝熱シンポジウム講演論文集, Vol.III, pp.601-602, 2010.
4. 竹島由里子, 新坂拓真, 菊川豪太, 小原拓, 藤代一成, 自己組織化単分子膜のための粒子配置設計支援システム, 第38回可視化情報シンポジウム講演論文集, pp.277-280, 2010.
5. 中野雄大, 菊川豪太, 小原拓, 脂質二重膜の熱輸送特性に対する脂質分子種の影響, 日本流体力学会年会2010講演論文集, p.111, 2010.
6. 菊川豪太, 小原拓, 川口暢, 杵淵郁也, 松本洋一郎, 自己組織化単分子膜の水溶媒界面における熱輸送特性, 日本流体力学会年会2010講演論文集, p.110, 2010.
7. 中野雄大, 菊川豪太, 小原拓, せん断流中における脂質二重膜の運動量伝搬特性に関する分子動力学的研究, 日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, Vol.8, pp.81-82, 2010.
8. 菊川豪太, 加藤惇平, 小原拓, 酸化物固体-溶媒界面における溶質移動に関する2次元自由エネルギー局面, 日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, Vol.8, pp.71-72, 2010.
9. 川口暢, 菊川豪太, 杵淵郁也, 八束真一, 小原拓, 松本洋一郎, 自己組織化膜修飾が固液界面熱抵抗に与える諸影響の分子論的解析, 日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, Vol.8, pp.69-70, 2010.
10. 中野雄大, 菊川豪太, 小原拓, 脂質二重膜の熱輸送特性に対するアルキル鎖界面の影響, 第2回マイクロ・ナノ工学シンポジウム講演論文集, pp.201-202, 2010.
11. 菊川豪太, 小原拓, 川口暢, 杵淵郁也, 松本洋一郎, 親水性および疎水性末端基を持つSAM-溶媒界面の熱輸送特性, 日本機械学会熱工学コンファレンス2010講演論文集, pp.259-260, 2010.
12. 芝原正彦, 小原拓, 微細構造によって誘起された局所非平衡性が固液界面エネルギー輸送に及ぼす影響, 日本機械学会熱工学コンファレンス2010講演論文集, pp.260-261, 2010.
13. M. Shibahara and T. Ohara, Effects of nanostructural geometry at a liquid-solid interface on the interfacial thermal resistance and liquid molecular non-equilibrium behaviors, Proc. 7th International Conference on Flow Dynamics, pp.366-367, 2010.
14. G. Kikugawa, T. Ohara, T. Kawaguchi, I. Kinefuchi and Y. Matsumoto, Heat transfer characteristics at the SAM interface of self-assembled monolayer with hydrophobic and hydrophilic termini and solvent, Proc. 7th International Conference on Flow Dynamics, pp.370-371, 2010.
15. T. Nakano, G. Kikugawa, T. Ohara, Molecular Momentum Transfer Characteristics of Liquid Behaviors in Shear Flows, Proc. 7th International Conference on Flow Dynamics, pp.368-369, 2010.
16. H. Berro, T. Tokumasu, T. Ohara, G. Kikugawa, N. Fillot and P. Vergne, Assessment of different thermostating techniques in the simulation of molecular lubrication, Proc. 10th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration, pp.128-129, CRF-47, 2010.

# 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. D. Torii, T. Ohara and K. Ishida, Molecular scale mechanism of thermal resistance at solid-liquid interfaces (Influence of interaction parameters between solid and liquid molecules), Trans. ASME, J. Heat Transfer, Vol. 132, Issue 1, 012402, 2010.
2. タンチアユアン, 鳥居大地, 小杉直央, 菊川豪太, 小原拓, 長鎖ポリマー液体の熱伝導率：分子間及び分子内エネルギー伝搬の寄与についての分子動力的研究, 熱物性, Vol.24, No.3, pp.134-140, 2010.
3. T. Nakano, G. Kikugawa, and T. Ohara, A molecular dynamics study on heat conduction characteristics in DPPC lipid bilayer, Journal of Chemical Physics, Vol.133, 154705, 2010.

氏名 宮本 明



所属 未来科学技術共同研究センター・教授（工学博士）

専門 分子材料設計学

研究課題

マルチスケール実験融合計算化学の創成と応用

E-mail: miyamoto@aki.che.tohoku.ac.jp

TEL: 022(795)7233

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

事業推進担当者の研究分野では、貴金属触媒、トライボロジー、各種電池、半導体、二酸化炭素吸蔵技術、生体分子など、さまざまな材料や現象を対象として、ホールやエレクトロン、原子、分子、そしてマクロな連続体レベルと階層的に流動現象を解析することのできる、マルチスケール実験融合計算化学の創成と応用に取り組んでいる。X線回折や中性子回折シミュレータ、またはラマン分光や赤外分光シミュレータなど、多様な機器計測シミュレータの独自開発を進めることにより、実験計測に則した「本物」の原子レベル構造を描き出す事が可能になってきている。これに大規模計算可能な超高速化量子分子動力学法を適用して得られるミクロレベルの特性を、メソ・マクロレベルの計算へボトムアップすることによって、実験計測と量子論を融合したマルチスケール実験融合計算化学の創成を目指している。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

#### <国際会議>

名 称：13th International Conference on Theoretical Aspects of Catalysis

主催団体：ICTAC-13 Organizing Committee

開 催 国：日本

開催期間：2010.6.21 ～ 2010.6.25

役 割：Honor Chairman

名 称：Seventh International Conference on Flow Dynamics

主催団体：グローバルCOEプログラム「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」

開 催 国：日本

開催期間：2010.11.1 ～ 2010.11.3

役 割：Organizing Committee

#### <招待講演>

講 演 先：13th International Conference on Theoretical Aspects of Catalysis (Matsushima, Miyagi, Japan)

講演題目：Computational Chemistry as Practical Solution to Industrial Problems: Present States and Future Prospects

講 演 日：2010.6.21

講 演 先：US-JAPAN-Korea-Taiwan Workshop “Long-term Impacts and Future Opportunities for Nanotechnology”(Tsukuba, Ibaraki, Japan)

講演題目：Enabling and investigative tools: theory, modeling, and simulation

講 演 日：2010.7.27

講 演 先：触媒学会セミナー（大分県大分市）

講演題目：活性点の解析に役立つキャラクターゼーション

講 演 日：2010.10.15

講 演 先：応用物理学会励起ナノプロセス研究会（大阪府堺市）

講演題目：固体内励起エネルギー移動に関する電子状態計算



講演日：2010.11.2

講演先：GSC Tottori 2010-II, International Symposium on Green and Sustainable Chemistry in Tottori (Tottori, Japan)

講演題目：Multi-level Computational Chemistry Methods for Green and Sustainable Chemistry

講演日：2010.11.13

講演先：科学技術未来戦略ワークショップ「次々世代二次電池・蓄電デバイス技術」（東京都千代田区）

講演題目：理論的計算化学から見た電池の可能性

講演日：2011.1.27

## 平成22年度の研究業績

### 【研究内容】

#### 1. 超高速化量子分子動力学法によるトライボロジーの研究

高機能かつ無リン・無硫黄の潤滑添加剤・磨耗防止剤の設計を目指して、ナノ摩擦界面における被膜形成過程などトライボケミカル反応を解明する手法として、超高速化量子分子動力学法に基づき、ミクロとメソ、マクロなど各レベルのシミュレータを統合した「マルチレベルトライボロジーシミュレータ」を開発している。シミュレーション結果と実験データを直接比較検討するために、基準振動解析および分子動力学法に基づくIRラマンスペクトルシミュレータと、界面潤滑剤の配向状態の解析を可能とする和周波発生SFGシミュレータを新たに開発した。比較対照とする実験データについては、トライボロジー実験研究において世界的な第一人者であるリヨン工科大学のJean Michel Martin教授から、データ提供とアドバイスを頂いた。その結果、実在系のエンジン添加剤について、シミュレーションによって各種実験結果が再現できていることを確認した。

#### 2. 固体高分子形燃料電池代替触媒の量子論に基づく研究

固体高分子形燃料電池(PEFC)は、高出力であることや低温で作動するなどの特長によって、モバイル用の動力源として期待されている。課題の一つである、低コスト化を実現するために、白金に代わる安価な代替触媒が求められている。そこで、高い触媒性能と耐久性を持つ白金-遷移金属合金触媒について、担体と電解質層を含む三相界面の大規模モデルを構築し、独自の計算化学シミュレーション手法を用いて解析を行った。本研究では白金-ニッケル合金触媒を取り上げ、触媒活性と関係の深い酸素還元反応(ORR)における中間体と合金触媒との結合や電子状態を計算した結果、ニッケルと合金化することによってO<sub>2</sub>のO-O結合の解離が早くなり、また中間体O原子やOH基とより弱く結合するため、ORRを促進することが示唆され、白金-遷移金属合金触媒の触媒性能向上メカニズムを明らかにすることができた。

#### 3. キャリア移動を考慮したルミネッセンス計算化学による発光材料の研究

有機発光素子の効率向上には、陰極/有機層界面における電子注入の制御が重要であるが、界面における分子の配向性や凹凸など、メソスケールの構造因子が電子注入に与える影響は未解明の問題である。そこで、新規にキャリア移動シミュレーション手法を開発し、Ca陰極から高分子青色発光材料poly-(9,9'-dioctylfluorene)(PDDO)への電子注入を解析した。ポリマー鎖の配向が界面に垂直なものと水平なもの二種類のCa/PDDO界面モデルを構築して、独自のtight-binding量子化学計算により電子状態を計算した。電子密度分布に従い、ミクロスケールキャリア移動シミュレーションを行った結果、垂直型モデルでは電子がPDDO主鎖内部にまで達しているが、水平型モデルではほとんど到達しておらず、分子配向性の影響は大きいということがわかった。また、メソスケールの凹凸構造についても、分子レベルの解析結果を用いたマルチスケールシミュレーションにより、Ca/PDDO主鎖間の距離の違いが、CaからPDDO鎖への電子注入に大きな偏りを与える可能性が示唆された。

#### 4. 色素増感型太陽電池のためのマルチスケールシミュレータの開発と応用

デザイン性がよく低コストである色素増感型太陽電池(DSSC)の計算化学による理論設計を目標として、色素分子の量子特性からメソスケールの多孔質電極構造まで考慮可能な、マルチスケールシミュレータを開発して解析を行った。無金属有機色素TA-St-CAについて本シミュレータにより解析を行った結果、従来のN3色素に対して色素吸着密度が2.26倍であり、これが優れた電流・電圧特性を示す理由の一つであ

ることを示すことに成功した。また、光電極における電極材 $\text{TiO}_2$ と導電膜材料界面での電圧損失を考慮すべく、ショットキー障壁を理論的に考慮できる改良を行って電流・電圧曲線を解析したところ、ショットキー障壁高さが $0.5\text{eV}$ より小さい導電膜材料が望ましいことが示唆された。さらに、メソレベル $\text{TiO}_2$ 電極構造について、新規規則性メソポーラス構造を提案してモデル化および計算を行った。単位体積当たりの色素吸着量が極大となることにより、細孔径が $4\text{nm}$ の場合に最も大きい電流密度が得られることが分かった。

### 【学位論文指導（主査）】

#### 博士論文

1. 応用化学専攻 大沼 宏彰  
「計算化学による $\text{Eu}^{2+}$ 付活蛍光体の結晶構造・電子状態・発光特性の関係性の解明と設計指針の提案」
2. 応用化学専攻 小野寺 拓  
「計算化学手法による自動車エンジン油添加剤のナノトライボロジーの解明を通じた環境配慮型添加剤の提案」
3. 応用化学専攻 Farouq Ahmed  
「Molecular Modeling of Supported Precious Metal Catalyst for the Reduction of Automobile Exhaust: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Study（自動車排ガス浄化のための貴金属触媒に関する分子論的研究：超高速化量子分子動力学法による検討）」

#### 修士論文

1. 化学工学専攻 金 桐賢  
「固体高分子型燃料電池白金－遷移金属合金触媒に関する理論的考察」
2. 化学工学専攻 山下 格  
「ルミネッセンス計算化学による有機ELの電極/有機層におけるキャリア移動シミュレーション」
3. 化学工学専攻 小野寺 真里  
「次世代色素増感太陽電池のための新規マルチスケールシミュレーション手法の開発」
4. 化学工学専攻 Wang Xiaolei（王 曉蕾）  
「Simulation of the Matrix Assisted Laser Desorption Ionization Mass Spectrum From a Given Oligosaccharide Structure（糖鎖構造からのマトリックス支援レーザー脱離イオン化法スペクトルの予測シミュレーション）」

### 【学位論文指導（副査）】

#### 修士論文

1. 応用化学専攻 鳥谷 和正  
「有機半導体への電子及び正孔注入に関する研究」

### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Kamlesh Kumar Sahu, Mohamed Ismael, Shah Md. Abdur Rauf, Ai Suzuki, Riadh Sahnoun, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Ramesh Chandra Deka, Carlos A. Del Carpio, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Applying Ultra-Accelerated Quantum Chemical Molecular Dynamics Technique for the Evaluation of Ligand Protein Interactions,” Medicinal Chemistry Research, 19(1), 1–10, (2010).
2. Takayuki Suehiro, Hiroaki Onuma, Naoto Hirotsuki, Rong-Jun Xie, Tsugio Sato, and Akira Miyamoto, “Powder Synthesis of Y- $\alpha$ -SiAlON and Its Potential as a Phosphor Host,” Journal of Physical Chemistry C, 114(2), 1337–1342, (2010).
3. Tasuku Onodera, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Development of a Quantum Chemical Molecular Dynamics Tribochemical Simulator and its Application to Tribochemical Reaction Dynamics of Lubricant Additives,” Modelling and Simulation in Materials Science and

- Engineering, 18(3), 034009(18 Pages), (2010).
4. Hiroaki Onuma, Hiroaki Tanno, Ai Suzuki, Riadh Sahnoun, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, Momoji Kubo, Ramesh Chandra Deka, Hiroshi Kajiyama, Tsutae Shinoda, and Akira Miyamoto, "Host Emission from BaMgAl<sub>10</sub>O<sub>17</sub> and SrMgAl<sub>10</sub>O<sub>17</sub> Phosphor: Effects of Temperature and Defect Level," *Journal of the Society for Information Display*, 18(3), 211–222, (2010).
5. Hiroaki Onuma, Itaru Yamashita, Kazumi Serizawa, Hiroaki Tanno, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Hiroshi Kajiyama, and Akira Miyamoto, "Quantum Chemistry and QSPR Study on Relationship between Crystal Structure and Emission Wavelength of Eu<sup>2+</sup>-Doped Phosphors," *Journal of the Society for Information Display*, 18(4), 301–309, (2010).
6. Chen Lv, Kei Ogiya, Ai Suzuki, Riadh Sahnoun, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, Ramesh C. Deka, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, "Quantum Chemistry Study on Absorption Spectra, Electronic and Electrical Properties of Organic Dye on Anatase(001)," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 10(4), 2434–2443, (2010).
7. Tasuku Onodera, Yusuke Morita, Ai Suzuki, Riadh Sahnoun, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, Ramesh C. Deka, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, "Tribochemical Reaction Dynamics of Molybdenum Dithiocarbamate on the Nascent Iron Surface: A Hybrid Quantum Chemical/Classical Molecular Dynamics Study," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 10(4), 2495–2502, (2010).
8. Kazumi Serizawa, Hiroaki Onuma, Hiromi Kikuchi, Kazuma Suesada, Masaki Kitagaki, Itaru Yamashita, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Hiroshi Kajiyama, and Akira Miyamoto, "Quantum Chemistry Study of Surface Structure Effects on Secondary Electron Emission in MgO Protecting Layers for Plasma Displays," *Japanese Journal of the Applied Physics*, 49(4), 04DJ14(4 Pages), (2010).
9. Itaru Yamashita, Kazumi Serizawa, Hiroaki Onuma, Ai Suzuki, Ryuji Miura, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Mark C. Williams, and Akira Miyamoto, "Development of Computational Method for Analysis of Carrier Transfer in Light-Emitting Polymers," *Japanese Journal of the Applied Physics*, 49(4), 04DK13(5 Pages), (2010).
10. Mari Onodera, Kei Ogiya, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, "Modeling of Dye-Sensitized Solar Cells Based on TiO<sub>2</sub> Electrode Structure Model," *Japanese Journal of the Applied Physics*, 49(4), 04DP10(6 Pages), (2010).
11. Tomaru Ogawa, Masayuki Miyano, Yasuhiro Suzuki, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, "A Theoretical Study on Initial Processes of Li-Ion Transport at the Electrolyte/Cathode Interface: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Approach," *Japanese Journal of the Applied Physics*, 49(4), 04DP11(6 Pages), (2010).
12. Shah Md. Abdur Rauf, Mohamed Ismael, Kamlesh Kumar Sahu, Ai Suzuki, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, "The Effect of R249S Carcinogenic and H168R-R249S Suppressor Mutations on p53-DNA Interaction, a Multi Scale Computational Study," *Computers in Biology and Medicine*, 40(5), 498–508, (2010).
13. Sunho Jung, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Akira Miyamoto, "An Elucidation of the Interaction Between Pt Particles and CeO<sub>2</sub> Surfaces Using Tight-Binding Quantum Chemistry Method," *Topics in Catalysis*, 53(7–10), 700–706, (2010).
14. Lifan Yang, Shozo Kinoshita, Teppei Yamada, Seiichi Kanda, Hiroshi Kitagawa, Makoto Tokunaga, Takayoshi Ishimoto, Teppei Ogura, Ryo Nagumo, Akira Miyamoto, and Michihisa Koyama, "A Metal-Organic Framework as an Electrocatalyst for Ethanol Oxidation,"

- Angewandte Chemie International Edition, 49(31), 5348–5351, (2010).
15. Takayoshi Ishimoto, Ryo Nagumo, Teppei Ogura, Takashi Ishihara, Boyeong Kim, Akira Miyamoto, and Michihisa Koyama, “Chemical Degradation Mechanism of Model Compound,  $\text{CF}_3(\text{CF}_2)_3\text{O}(\text{CF}_2)_2\text{OCF}_2\text{SO}_3\text{H}$ , of PFSA Polymer by Attack of Hydroxyl Radical in PEMFCs,” *Journal of the Electrochemical Society*, 157(9), B1305–B1309, (2010).
  16. Tasuku Onodera, Takanori Kuriaki, Shandan Bai, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Influence of Film Deposition Condition on Friction of Diamond-Like Carbon Film: A Theoretical Investigation,” *Tribology Online*, 5(3), 173–180, (2010).
  17. Farouq Ahmed, Md. Khorshed Alam, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Adsorption and Dissociation of Molecular Hydrogen on Pt/CeO<sub>2</sub> Catalyst in the Hydrogen Spillover Process: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Study,” *Applied Surface Science*, 256(24), 7643–7652, (2010).
  18. Md. Khorshed Alam, Farouq Ahmed, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Study of Reduction Processes over Cerium Oxide Surfaces with Atomic Hydrogen using Ultra Accelerated Quantum Chemical Molecular Dynamics,” *Applied Surface Science*, 257(5), 1383–1389, (2010).
  19. Tasuku Onodera, Yusuke Morita, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Fabrice Dassenoy, Clotilde Minfray, Lucile Joly-Pottuz, Momoji Kubo, Jean-Michel Martin, and Akira Miyamoto, “A Computational Chemistry Study on Friction of h-MoS<sub>2</sub>. Part II. Friction Anisotropy,” *Journal of Physical Chemistry B*, 114(48), 15832–15838, (2010).
  20. Ai Suzuki, Ryo Sato, Katsuyoshi Nakamura, Kotaro Okushi, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Mark C. Williams, and Akira Miyamoto, “Multi-Scale Theoretical Study of Sintering Dynamics of Pt for Automotive Catalyst,” *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 2(2), 337–345, (2010).
  21. Sunho Jung, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Large-Scale Quantum Chemical Molecular Dynamics Study on CO Oxidation Reaction on Precious Metal Surface,” *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*, 8, 272–274, (2010).
  22. Shah Md. Abdur Rauf, Kamlesh Kumar Sahu, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, and Akira Miyamoto, “Restoration of p53–DNA Interaction Loss upon R273H Mutation by CP-31398: An Ultra Accelerated Quantum Chemical Molecular Dynamics Approach,” *Medicinal Chemistry Research*, 6 Pages, (2010), Online First.

#### 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Med. Chem. Res.
2. J. Phys. Chem. B, C
3. Modell. Simul. Mater. Sci. Eng.
4. J. Soc. Inf. Display
5. J. Nanosci. Nanotechnol.
6. Jpn. J. Appl. Phys.
7. Comput. Biol. Med.
8. Top. Catal.
9. Angew. Chem. Int. Ed.
10. J. Electrochem. Soc.
11. Appl. Surf. Sci.
12. SAE Int. J. Fuels Lubr.
13. e-J. Surf. Sci. Nanotechnol.



## 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. “Applying Ultra-Accelerated Quantum Chemical Molecular Dynamics Technique for the Evaluation of Ligand Protein Interactions,” Kamlesh Kumar Sahu, Mohamed Ismael, Shah Md. Abdur Rauf, Ai Suzuki, Riadh Sahnoun, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Ramesh Chandra Deka, Carlos A. Del Carpio, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, *Medicinal Chemistry Research*, 19(1), 1–10, (2010).
2. “Powder Synthesis of Y- $\alpha$ -SiAlON and Its Potential as a Phosphor Host,” Takayuki Suehiro, Hiroaki Onuma, Naoto Hirosaki, Rong-Jun Xie, Tsugio Sato, and Akira Miyamoto, *Journal of Physical Chemistry C*, 114(2), 1337–1342, (2010).
3. “Development of a Quantum Chemical Molecular Dynamics Tribochemical Simulator and its Application to Tribochemical Reaction Dynamics of Lubricant Additives,” Tasuku Onodera, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 18(3), 034009(18 Pages), (2010).
4. “Host Emission from BaMgAl<sub>10</sub>O<sub>17</sub> and SrMgAl<sub>10</sub>O<sub>17</sub> Phosphor: Effects of Temperature and Defect Level,” Hiroaki Onuma, Hiroaki Tanno, Ai Suzuki, Riadh Sahnoun, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, Momoji Kubo, Ramesh Chandra Deka, Hiroshi Kajiyama, Tsutae Shinoda, and Akira Miyamoto, *Journal of the Society for Information Display*, 18(3), 211–222, (2010).
5. “Quantum Chemistry and QSPR Study on Relationship between Crystal Structure and Emission Wavelength of Eu<sup>2+</sup>-Doped Phosphors,” Hiroaki Onuma, Itaru Yamashita, Kazumi Serizawa, Hiroaki Tanno, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Hiroshi Kajiyama, and Akira Miyamoto, *Journal of the Society for Information Display*, 18(4), 301–309, (2010).
6. “Quantum Chemistry Study on Absorption Spectra, Electronic and Electrical Properties of Organic Dye on Anatase(001),” Chen Lv, Kei Ogiya, Ai Suzuki, Riadh Sahnoun, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, Ramesh C. Deka, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 10(4), 2434–2443, (2010).
7. “Tribochemical Reaction Dynamics of Molybdenum Dithiocarbamate on the Nascent Iron Surface: A Hybrid Quantum Chemical/Classical Molecular Dynamics Study,” Tasuku Onodera, Yusuke Morita, Ai Suzuki, Riadh Sahnoun, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, Ramesh C. Deka, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 10(4), 2495–2502, (2010).
8. “Quantum Chemistry Study of Surface Structure Effects on Secondary Electron Emission in MgO Protecting Layers for Plasma Displays,” Kazumi Serizawa, Hiroaki Onuma, Hiromi Kikuchi, Kazuma Suesada, Masaki Kitagaki, Itaru Yamashita, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Hiroshi Kajiyama, and Akira Miyamoto, *Japanese Journal of the Applied Physics*, 49(4), 04DJ14(4 Pages), (2010).
9. “Development of Computational Method for Analysis of Carrier Transfer in Light-Emitting Polymers,” Itaru Yamashita, Kazumi Serizawa, Hiroaki Onuma, Ai Suzuki, Ryuji Miura, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Mark C. Williams, and Akira Miyamoto, *Japanese Journal of the Applied Physics*, 49(4), 04DK13(5 Pages), (2010).
10. “Modeling of Dye-Sensitized Solar Cells Based on TiO<sub>2</sub> Electrode Structure Model,” Mari Onodera, Kei Ogiya, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, *Japanese Journal of the Applied Physics*, 49(4), 04DP10(6 Pages), (2010).
11. “A Theoretical Study on Initial Processes of Li-Ion Transport at the Electrolyte/Cathode Interface: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Approach,” Tomaru Ogawa, Masayuki Miyano, Yasuhiro Suzuki, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou,

- Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Japanese Journal of the Applied Physics, 49(4), 04DP11(6 Pages), (2010).
12. “The Effect of R249S Carcinogenic and H168R-R249S Suppressor Mutations on p53-DNA Interaction, a Multi Scale Computational Study,” Shah Md. Abdur Rauf, Mohamed Ismael, Kamlesh Kumar Sahu, Ai Suzuki, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Computers in Biology and Medicine, 40(5), 498–508, (2010).
  13. “An Elucidation of the Interaction Between Pt Particles and CeO<sub>2</sub> Surfaces Using Tight-Binding Quantum Chemistry Method,” Sunho Jung, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Akira Miyamoto, Topics in Catalysis, 53(7–10), 700–706, (2010).
  14. “Chemical Degradation Mechanism of Model Compound, CF<sub>3</sub>(CF<sub>2</sub>)<sub>3</sub>O(CF<sub>2</sub>)<sub>2</sub>OCF<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>H, of PFSA Polymer by Attack of Hydroxyl Radical in PEMFCs,” Takayoshi Ishimoto, Ryo Nagumo, Teppei Ogura, Takashi Ishihara, Boyeong Kim, Akira Miyamoto, and Michihisa Koyama, Journal of the Electrochemical Society, 157(9), B1305–B1309, (2010).
  15. “Influence of Film Deposition Condition on Friction of Diamond-Like Carbon Film: A Theoretical Investigation,” Tasuku Onodera, Takanori Kuriaki, Shandan Bai, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Tribology Online, 5(3), 173–180, (2010).
  16. “Adsorption and Dissociation of Molecular Hydrogen on Pt/CeO<sub>2</sub> Catalyst in the Hydrogen Spillover Process: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Study,” Farouq Ahmed, Md. Khorshed Alam, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Applied Surface Science, 256(24), 7643–7652, (2010).
  17. “Study of Reduction Processes over Cerium Oxide Surfaces with Atomic Hydrogen using Ultra Accelerated Quantum Chemical Molecular Dynamics,” Md. Khorshed Alam, Farouq Ahmed, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Applied Surface Science, 257(5), 1383–1389, (2010).
  18. “A Computational Chemistry Study on Friction of h-MoS<sub>2</sub>. Part II. Friction Anisotropy,” Tasuku Onodera, Yusuke Morita, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Fabrice Dassenoy, Clotilde Minfray, Lucile Joly-Pottuz, Momoji Kubo, Jean-Michel Martin, and Akira Miyamoto, Journal of Physical Chemistry B, 114(48), 15832–15838, (2010).
  19. “Large-Scale Quantum Chemical Molecular Dynamics Study on CO Oxidation Reaction on Precious Metal Surface,” Sunho Jung, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, 8, 272–274, (2010).
  20. “Restoration of p53–DNA Interaction Loss upon R273H Mutation by CP-31398: An Ultra Accelerated Quantum Chemical Molecular Dynamics Approach,” Shah Md. Abdur Rauf, Kamlesh Kumar Sahu, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, and Akira Miyamoto, Medicinal Chemistry Research, 6 Pages, (2010), Online First.

#### 【本人の受賞・特許等】

○平成22年（1月～12月）

受賞名：IMID 2010 Merck Awards

受賞月：2010年10月

**【学生の受賞・特許等】**

○平成22年（1月～12月）

受賞者：大沼宏彰

受賞名：IMID 2010 Merck Awards

受賞月：2010年10月

**【学生の研究費の獲得】**

○平成22年（1月～12月）

獲得者：大沼宏彰

名 称：日本学術振興会特別研究員(DC1)

期 間：平成22年4月～平成23年3月

獲得者：小野寺 拓

名 称：日本学術振興会特別研究員(DC1)

期 間：平成22年4月～平成23年3月

獲得者：鄭 善鎬

名 称：グローバルCOE「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」国際出る杭特別研究生

期 間：平成22年4月～平成23年3月

氏名 水崎 純一郎



所属 多元物質科学研究所・教授（工学博士）

専門 固体イオニクス

研究課題

固体内イオン流動ダイナミクス

E-mail: mizusaki@tagen.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5340

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

本事業担当者の分野では、八代圭司講師、佐藤一永助教との共同により、固体内のイオン移動・電子移動や界面物質移動現象など、固体内輸送現象の基礎を幅広く研究展開している。この基礎科学が関わる大きな技術分野は、高効率エネルギー変換システムとして極めて高い注目を集めている固体酸化物燃料電池(SOFC)である。平成20年度から始まった固体酸化物燃料電池開発支援のための基礎研究プロジェクトでは、欠陥平衡を軸とした熱力学と機械的安定性、及びその計測法に新たな展開が進んでいる。特に、本事業担当者等が開発している、アコースティックエミッション(AE)を利用した高温電気化学システム内部の作動条件下での異常発生検出法は、SOFCシステムの信頼性確保に重要な役割を果たすことが期待され、企業等の開発グループとの連携的な活動も活発に行われてきた。活発な研究活動が、スタッフ・学生、昨年度からGCOE博士研究員として加わったMelanie Kuhn博士等を中心に進められ、SOFC開発というニーズを指向した、固体内の欠陥構造と電子・イオン・機械物性の関連解明や欠陥平衡熱力学などの基礎科学の構築研究を加速している。

本事業担当者とソウル大学Han-Il Yoo 教授が構想し、平成12年度から毎年開催している日韓学生シンポジウムは、平成22年度には第11回を迎え、ソウル大学で開催された。出席者は当初の水崎研究室とYoo研究室に限定されていた構成から、日本側では東北大学の複数の部局から4研究室、韓国側からも複数研究機関の数研究室にわたり、参加者も60名近くなるなどの変化を始めており、大学院生達により通常の国際会議を凌ぐ活発で質の高い議論が展開されている。

なお、2011年3月11日に起きた東北地方太平洋沖地震のため、研究成果取り纏めを兼ねて計画していた3月中下旬の国際会議招待講演や学会発表に参加できない、あるいは学会自体が中止になるなどの事態が生じたことは遺憾であった。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

＜国際会議＞

名称：The 11<sup>th</sup> Korea-Japan Students' Symposium

主催団体：Department of Materials Science and Engineerig, SNU

Global COE program, "World Center of Education and Research for Trans-disciplinary Flow Dynamics"

開催国：韓国

開催期間：2010.11.7-11

役割：アドバイザー（会議は学生主催の形を取り、指導教員はアドバイザーとして見守る立場を取る）

＜招待講演＞

講演先：電気化学会第77回大会 富山大学

講演題目：（電気化学会武井賞受賞講演）固体イオニクス基礎科学における理論モデル構築・測定法開発とその燃料電池・センサー開発への展開

講演日：2010.3.30 （昨年度未掲載のため）

講演先：The 12th Asian Conference on Solid State Ionics (ACSSI-12), China, Wuhan,

講演題目：Kinetics of high temperature gas electrode reaction on solid oxide electrolyte 講演日：2010.5.5



講演先：日本学術振興会耐熱金属材料123委員会研究報告

講演題目：固体酸化物燃料電池概論

講演日：2010.7.12

講演先：ASIAN WORKSHOP ON SOLID STATE IONICS, Indonesia, Tangerang

講演題目：SOLID OXIDE FUEL CELLS(SOFC): CHARACTERISTICS, VARIETY, CURRENT STATUS AND FUTURE

講演日：2010.10.19

講演先：International Conference on Materials Science and Technology 2010, Indonesia, Tangerang

講演題目：KINETICS OF GAS ELECTRODE ON SOLID OXIDE FUEL CELLS AND EXPRESSION FOR CHEMICAL(NONFARADAIC) OVERPOTENTIAL

講演日：2010.10.21

講演先：The Second Regional Electrochemistry Meeting of South-East Asia, Thailand, Bangkok,

講演題目：Plenary lecture II (Electrochemistry for Energy) Solid Oxide Fuel Cell Electrode Reaction and the Butler-Volmer Type Current-Potential Relationship

講演日：2010.11.17

講演先：第4回みちのく電気化学セミナー&第42回セミコンファレンス「電気化学とエネルギー変換」, 天童市

講演題目：固体電解質系ガス電極反応

講演日：2010.12.13

講演先：7th Petite Workshop on the Defect Chemical Nature of Energy Materials

Storaas, Kongsberg, Norway,

講演題目：Gas-electrode reaction in solid electrolyte cells controlled by chemical process and Butler-Volmer-type equation

講演日：2011.3.15 (東北地方太平洋沖地震のため、海外出張できず未発表)

## 平成22年度の研究業績

### 【研究内容】

#### 1. 固体酸化物燃料電池の電極過程

固体酸化物燃料電池(SOFC)の電極での重要な反応である酸化物イオンの電子授受を介した水素や酸素ガスとの反応は、一般には電極・電解質・ガス相の3相が交わるところで起こる。そのため三相界面を増やす様な電極内の微細構造設計が重要になる。しかし、酸化物イオンと電子の双方が移動しやすい電子イオン混合導電性材料を電極に用いれば、電極表面での酸素授受で反応速度が決まるので、電極内部の微細構造の設計は不要になり、電極の長寿命化にも有利である。本年度は、代表的な混合導電体であるランタノーストロニウム-鉄-コバルト系材料について詳細な酸化物イオン拡散係数を計測した。その結果、従来は酸素空孔濃度によらず温度だけの関数であると考えられていた酸素空孔の移動度が、空孔濃度に強く依存することを発見した。基礎科学上および燃料電池設計上の何れからも重要な発見であり、現在、機構解明を進めている。

#### 2. 酸化物イオン導電体の相関係・欠陥平衡と輸送過程

SOFCの電解質は高いイオン導電性を有し長期安定であることが期待される。しかし、代表的な酸素イオン導電体である安定化ジルコニアやランタンガレートの仲間にも時間とともに劣化するものがあった。本年度は、低温で均一液相から合成する手法や雰囲気制御下での長時間処理、雰囲気制御高温微量天秤システムなどを用いてこれらの重要な電解質材料の相関係を調べ、従来信じられていたものとは異なる相関係を明らかにし、劣化の原因を解明することに成功した。

#### 3. 膜化と固体内イオン・電子輸送

SOFCは、2つの電極と電解質から成る単電池を膜状に作り、それを筒状・平板状など、様々な形態にし、さらに直手並列委組み合わせて構成される。従って、電池各部がミクロンレベルの膜で形成される。然るに、パルスレーザ蒸着法などで作製された導電性酸化物膜の物性がバルク材料と大きく異なること

がしばしば指摘されている。本研究室では従来から不定比組成の大きなコバルト系や銅系のペロブスカイト関連材料の膜について、不定比性との関連を念頭に研究を進めてきた。本年度は不定比組成の小さなランタニーストロニウム-マンガン系材料に着目し、ランタニーストロニウムの比・導電性・基板材料の相互関連を探究した。その結果、バルクの導電率が金属・半金属などの範疇に入るものが膜化により半導体化すること、その変化の大きさは歪みの大きさと対応すること等が明らかになった。新しい研究課題であり、燃料電池だけでなくセラミックスを利用した様々な素子の設計に密接なため、今後の展開が望まれる。

#### 4. 酸化物などの固体化合物内の欠陥平衡と力学特性

固体化合物は、温度雰囲気によって組成が定比組成から若干ずれる不定比組成を示し、同時に酸素イオン空孔、金属イオン空孔など、欠陥が生じる。また、電子導電性やイオン導電性も変化する。このとき、格子体積も変化し、同時にヤング率、破壊じん性など機械的特性も変化するはずである。このことはSOFCの安定性に密接に関係すると考えられる。しかし、不定比性と機械的性質の関係は従来殆ど研究されていない。この領域の研究を新たな課題として取り組み始めている。本年度はランタンゲレート、酸化セリウムなどの電解質材料とランタニーストロニウム-コバルト系酸素極材料を中心にデータ集積を進めた。

#### 5. アコースティックエミッション(AE)と信号処理技術開発による高温雰囲気制御下での装置“その場”診断の“見える化”

佐藤一永助教と阪大産研沼尾研究室が中心になって進めている。20cm平方程度の板状あるいは長さ数十cm程度の筒状などのセラミックス多層電気化学装置の何処で何時どの様な機械的問題が生じたかをAE信号とその連続的な信号処理から判断していく自動知能的システムの構築を目指している。より詳しい情報は佐藤一永助教の成果を参照されたい。

### 【学位論文指導（主査）】

#### 博士論文

##### 1. 機械システムデザイン工学専攻 丹羽 栄貴

High Temperature Function Design of Electron Conductive Oxide by Composition Control（電子導電性酸化物の組成制御による高温機能設計）

#### 修士論文

##### 1. 機械システムデザイン工学専攻 長良 良平

混合導電性セラミックス膜の高温電子物性

##### 2. 機械システムデザイン工学専攻 中山 翔太

ペロブスカイト型酸化物イオン伝導体の高温欠陥平衡と物性

##### 3. 機械システムデザイン工学専攻 湯山 哲史

低温合成を用いたジルコニア固溶体の相関係と添加物依存性

##### 4. 機械システムデザイン工学専攻 中野 一誠

ペロブスカイト型酸化物(La,Sr)(Co,Fe)O<sub>3</sub>の酸化物イオン拡散

### 【学位論文指導（副査）】

#### 修士論文

##### 1. 機械システムデザイン工学専攻 永井 将文

In-situラマン散乱分光法を用いた固体酸化物形燃料電池応力評価手法の開発とその適用

##### 2. 機械システムデザイン工学専攻 田村 奨

室温PLD法により作製したSrZrO<sub>3</sub>薄膜の結晶化プロセスの研究

##### 3. 機械システムデザイン工学専攻 山口 真矢

イオン導電性層状物質を用いた光エネルギー変換に関する研究秋山 博道

##### 4. 機械システムデザイン工学専攻 久保田 健介

ペロブスカイト型プロトン導電体を用いたマイクロSOFCの作製と発電特性

##### 5. 機械システムデザイン工学専攻 奥田 倫也

SOFC作動環境下におけるランタンマンガンナイト系カソード材料の機械的特性に関する研究

### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Satoshi Akoshima, Masatsugu Oishi, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki, Reaction kinetics on platinum electrode / yttrium-doped barium cerate interface under  $H_2$ - $H_2O$  atmosphere, Solid State Ionics, 181(3-4), 240-248(2010)
2. Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki, Structural analysis of  $La_{2-x}Sr_xNiO_{4+\delta}$  by high temperature X-ray diffraction, Solid State Ionics, 181(5-7), 292-299(2010)
3. Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki, Thermally-induced and chemically-induced structural changes in layered perovskite-type oxides  $Nd_{2-x}Sr_xNiO_{4+\delta}$  ( $x = 0, 0.2, 0.4$ ), Solid State Ionics, 181(8-10), 402-411(2010)
4. Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki, Electrical conductivity, Seebeck coefficient, and defect structure of oxygen nonstoichiometric  $Nd_{2-x}Sr_xNiO_{4+d}$ , Materials Chem. Phys., 122(1), 250-258(2010)
5. Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Tatsuya Kawada, Hiroo Yugami, Toshiyuki Hashida, Junichiro Mizusaki, Fracture process of nonstoichiometric oxide based solid oxide fuel cell under oxidizing/reducing gradient conditions, J. Power Source, 195, 5481-5486(2010)
6. Atsushi Unemoto, Atsushi Kaimai, Kazuhisa Sato, Naoto Kitamura, Keiji Yashiro, Hiroshige Matsumoto, Junichiro Mizusaki, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada, Electrical conduction and mass transport properties of  $SrZr_{0.99}Fe_{0.01}O_{3-\delta}$ , Solid State Ionics, 181(19-20), 868-873(2010)
7. 福井健一, 赤崎省悟, 佐藤一永, 水崎純一郎, 森山甲一, 栗原聡, 沼尾正行, 固体酸化物燃料電池における損傷過程の可視化 [in Japanese] Visualization of Damage Progress on Solid Oxide Fuel Cell, 日本機械学会論文集, A76(762), 223-232(2010)
8. Masatsugu Oishi, Satoshi Akoshima, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Tatsuya Kawada, Junichiro Mizusaki, Defect structure analysis of proton-oxide ion mixed conductor  $BaCe_{0.9}Nd_{0.1}O_{3-\delta}$ , Solid State Ionics, 181, 1336-1343(2010)
9. Shin-ichi Hashimoto, Yasuhiro Fukuda, Melanie Kuhn, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Junichiro Mizusaki, Oxygen nonstoichiometry and thermo-chemical stability of  $La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{1-y}Fe_yO_{3-\delta}$  ( $y=0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ), Solid State Ionics, 181, 1713-1719 (2010)
10. 水崎純一郎, 固体イオニクス基礎科学における理論モデル構築・測定法開発とその燃料電池・センサー開発への展開 (解説), 電化, 78(7), 625-(2010)

### 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Solis state ionics
2. J. Electrochem. Soc.
3. 日本機械学会誌
4. J. Power Source

### 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki, Structural analysis of  $La_{2-x}Sr_xNiO_{4+\delta}$  by high temperature X-ray diffraction, Solid State Ionics, 181(5-7), 292-299(2010)
2. Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki, Thermally-induced and chemically-induced structural changes in layered perovskite-type oxides  $Nd_{2-x}Sr_xNiO_{4+\delta}$  ( $x = 0, 0.2, 0.4$ ), Solid State Ionics, 181(8-10), 402-411(2010) 査読あり
3. Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki, Electrical conductivity, Seebeck coefficient, and defect structure of oxygen nonstoichiometric  $Nd_{2-x}Sr_xNiO_{4+d}$ , Materials Chem. Phys., 122(1), 250-258(2010)

氏名 徳山 道夫



所属 原子分子材料科学高等研究機構・教授（博士（理学））

専門 統計物理学

研究課題

水におけるガラス転移現象の研究

E-mail: tokuyama@fmail.ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5953

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

事業推進担当者の研究分野では、ガラス転移現象を示す様々な異なる体系（ $\text{SiO}_2$ 、剛体楕円体系、高分子鎖分散系等）の計算機実験を遂行し、徳山が提案しているガラス転移近傍での普遍的法則が適用出来ることを示し、第一原理からの理論構築に大いに寄与している。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

#### <国際会議>

名 称: The 3rd International Discussion Meeting on the Glass Transition

主催団体: 東北大学原子分子材料科学高等研究機構

開 催 国: 日本

開催期間: 2010.3.15～2010.3.16

役 割: 委員長

#### <講演>

講 演 先: The 3rd International Discussion Meeting on the Glass Transition

講演題目: Universality among diversely different glass-forming materials

講 演 日: 2010.3.15

講 演 先: Liquids out of Equilibrium

講演題目: Universality among diversely different glass-forming materials

講 演 日: 2010.7.12

講 演 先: The 2nd International Workshop on Glass-Forming Systems

講演題目: Universality in Self-Diffusion among Distinctly Different Glass-Forming Liquid

講 演 日: 2010.11.7

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

#### 1. コロイドの長時間自己拡散理論的モデルの構築

コロイド系における長時間自己拡散を説明する理論的モデルはいまだ存在しない。そこで、徳山は、一般に使われる斥力ポテンシャルの強さが距離の逆冪乗に比例するモデルに剛体芯を取り入れた新たなモデルポテンシャルを提案し、様々なタンパク質などのコロイドの長時間自己拡散係数の濃度依存性が定性的に説明できることを明らかにしつつある。

#### 2. ポテンシャルの堅さの長時間自己拡散への影響についての研究

ポテンシャルの堅さの違いにより、どのように長時間自己拡散係数の振る舞いに変化があるのかについて、徳山理論、および、大規模計算機実験によって、明らかにしつつある。

#### 【学位論文指導（主査）】

#### 博士論文

#### 1. ナノメカニクス専攻 鳴海 孝之

「Theoretical and Experimental Studies of the Correlation Functions in Supercooled Liquids



near the Glass Transition (ガラス転移点近傍の過冷却液体状態での相関関数についての理論および実験による研究)」

#### **修士論文**

1. ナノメカニクス専攻 小林 宣文

「ガラス転移点近傍での様々な過冷却液体のダイナミクスの平均場理論による解析および検証」

#### **【学位論文指導（副査）】**

#### **博士論文**

1. ナノメカニクス専攻 中野 雄大

「Molecular Dynamics Study of Transport Characteristics of Momentum and Thermal Energy in Lipid Bilayer Membranes (脂質二重膜の運動量・熱エネルギー輸送特性に関する分子動力学的研究)」

#### **修士論文**

1. ナノメカニクス専攻 加藤 惇平

「固液界面近傍の液体微細構造における物質輸送特性」

#### **【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】**

○平成22年（1月～12月）

1. Yayoi Terada and Michio Tokuyama;  
Lateral diffusion of magnetic colloidal chains confined in thin films and monolayer colloids  
Journal of the Physical Society of Japan 79, pp. 034802-1-6 (2010).
2. Yayoi Terada and Michio Tokuyama;  
Spatial Dimensionality Dependence of Long-Time Diffusion on Two- and Three-Dimensional Systems near Glass Transition  
Intermetallics, 18, pp.1834-1836 (2010).

#### **【学術雑誌・専門書等（査読あり）】**

○平成22年（1月～12月）

1. Journal of the Physical Society of Japan
2. Intermetallics

#### **【本人の受賞・特許等】**

○平成22年（1月～12月）

受賞名： The 12th International Conference on Magnetic Fluids (2010/8/1-5)にて  
Best Poster Award を受賞

受賞日：2010年8月5日

対 象：Yayoi Terada and Michio Tokuyama; Lateral Diffusivity of Binary Magnetic Monolayer Colloids and Chains Confined in Thin Films

#### **【学生の受賞・特許等】**

○平成22年（1月～12月）

受賞名：第3回流動ダイナミクス国際若手研究発表会 優秀賞

受賞年：平成22年7月26日

対 象：Yuto Kimura and Michio Tokuyama

Simulation Study of Dynamics of Cooperative Motion of Neighboring Atoms in Supercooled Liquid,

#### **【学生の研究費の獲得】**

○平成22年（1月～12月）

獲得者：木村 祐人

名 称：平成22年度グローバル COE 特別研究奨励費



氏名 寒川 誠二

所属 流体科学研究所・教授（工学博士）

専門 ナノプロセス工学

研究課題

E-mail: samukawa@ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5240

#### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

プラズマプロセス、ビームプロセスおよび原子分子操作プロセスにおいて、ミクロに表面に入射する活性種のエネルギー、種類、反応生成物、導電性などのセンシングを行うオンウエハーモニタリングシステムの研究を行っている。オンウエハーモニタリングで得られたデータを基にリアルタイムプロセス制御や表面反応解析およびモデル化を行い、インテリジェント・ナノプロセスを実現する。本年度は、新開発したシース形状センサを用いて、立体構造を持つデバイスの表面におけるシース形状を予測することに成功した。プラズマエッチング時に入射するイオンの軌道はシース形状に依存するため、エッチング形状予測において画期的なマイルストーンとなるべき成果である。

#### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

<招待講演>

講演先：Plasma Etch Users Group Meeting in Northern California Chapter of AVS (USA)

講演題目：Structure Designable Formation Technique of Super Low-K SiOCH Film by Neutral Beam Enhanced CVD

講演日：2010.

講演先：IBM Technical Vitality International Seminars (USA)

講演題目：Deposition and Surface Modification Processes for Future Nanoscale Devices

講演日：2010.

講演先：10th Asia Pacific Conference on Plasma Science and Technology (Korea)

講演題目：Structure Designable Formation Technique of Super Low-K SiOCH Film by Neutral Beam Enhanced CVD

講演日：2010.7.4

講演先：18th International Vacuum Congress (China)

講演題目：Ultimate top-down processes for future nano-scale

講演日：2010.8.23

講演先：18th International Vacuum Congress (China)

講演題目：Large-diameter Neutral Beam Source for Practical Low-damage Etching Processes

講演日：2010.8.25

講演先：応用物理学会春季講演会

講演題目：バイオテンプレート極限加工による均一・高密度・無欠陥・量子ナノ構造の形成と量子デバイスへの応用

講演日：2010.3.18

講演先：ナノオプティクス研究グループ第19回研究討論会

講演題目：超低損傷・中性粒子ビーム加工を用いた量子ナノ構造の形成

講演 日：2010.7.15

講演 先：日本学術振興会・結晶加工と評価技術第145委員会第123回研究会

講演題目：超低損傷・中性粒子ビーム加工を用いた量子ナノ構造の形成

講演 日：2010.

講演 先：応用物理学会秋季講演会

講演題目：超低損傷プラズマプロセスへの挑戦

講演 日：2010.9.14

講演 先：応用物理学会秋季講演会

講演題目：Two-Dimensional Si-Nanodisk Array Fabricated Using Bio-Nano-Process and Neutral Beam Etching for Realistic Quantum Effect Devices

講演 日：2010.9.15

## 平成22年度の研究業績

### 【研究内容】

次世代ナノスケールデバイスにおける高精度ナノプロセスを目指し、プラズマプロセス、ビームプロセスや原子操作プロセスにおける活性種（電子、正負イオン、原子・分子、ラジカル、光子）と物質との相互作用（エッチング、薄膜堆積、表面改質）に関する研究や、これら原子分子プロセスに基づいた先端バイオナノプロセスに関する研究を進めている。さらに、実験と計算（シミュレーション）を融合し、原子層レベルの制御を実現できるインテリジェント・ナノプロセスの構築を目指している。

以下に、代表的な研究テーマについて説明する。

#### 環境共生型プラズマプロセスの研究

環境に優しいプラズマプロセスの研究を行っている。地球温暖化係数が低く、紫外線照射量の少ないCF<sub>3</sub>Iガスを用いたプラズマにより、配線絶縁膜である低誘電率膜の低ラフネスエッチングに成功し、発生機構を明らかにした。また、NEDOプロジェクトに参画し、（独）産業総合研究所・太陽光発電研究センターと中性粒子ビームによる、高効率太陽電池向けのゲルマニウム薄膜形成を行った。

#### 3次元ナノ構造プラズマ・ビーム加工技術の研究

高効率低エネルギー正負イオン・中性粒子ビーム生成装置（マルチビーム生成装置）を開発し、正・負イオンおよび中性粒子の反応性の違いを明らかにし、高効率高選択表面反応（加工、堆積）の実現を目指して研究を行っている。また、中性粒子ビーム技術を用いて、デバイス加工において問題になるレジストのラフネス発生原因の解明や、MEMSデバイスにおける特性劣化機構についても明らかにした。

#### オンウエハーモニタリング技術の研究

プラズマプロセス、ビームプロセスおよび原子分子操作プロセスにおいて、ミクロに表面に入射する活性種のエネルギー、種類、反応生成物、導電性などのセンシングを行うオンウエハーモニタリングシステムの研究を行っている。オンウエハーモニタリングで得られたデータを基にリアルタイムプロセス制御や表面反応解析およびモデル化を行い、インテリジェント・ナノプロセスを実現する。本年度はシース形状センサを新しく開発し、エッチング形状異常の原因となるシース形状のゆがみを計測することに成功した。

#### バイオナノプロセスの研究

生体超分子（蛋白質、DNAなど）を用いた新しい微細加工技術（バイオナノプロセス）の研究を行っている。JST-CRESTプロジェクトで、バイオナノプロセスを用いた高効率の量子ドット太陽電池、量子ドットレーザーの開発を行っている。バイオナノプロセスによって形成された2次元シリコンナノディスクアレイからは発光が見られ、太陽電池材料として有望であることが示された。さらに、ナノディスク厚さを変化させることによる光学バンドギャップの制御にも成功した。

## 【学位論文指導（主査）】

### 博士論文

1. 和田 章良  
「超低損傷表面改質による高性能半導体デバイスの開発に関する研究」
2. 安原 重雄  
「半導体デバイスにおける超低誘電率層間絶縁膜形成に関する研究」
3. 市橋 由成  
「プラズマエッチングにおける損傷発生機構の解明とその抑制」
4. 佐藤 充男  
「プラズマその場観察によるプロセスコントロールに関する研究」
5. 松永範昭  
「LSI多層配線製造プロセスにおけるプラズマ損傷現象に関する研究」

### 修士論文

1. 佐々木 亨  
「中性粒子ビーム励起堆積技術による超低誘電率膜の形成に関する研究」
2. 戸村 幕樹  
「MEMSデバイスにおけるプラズマ誘起欠陥の影響に関する研究」
3. 吉田 大樹  
「高分子電解質膜のプロトン伝導性に関する分子動力的解析」

## 【学位論文指導（副査）】

### 博士論文

1. 小藤 直行  
「Ultra Fine Patterning of Photoresist by Control of Plasma Radiation-Induced Damage and Residual Stress (プラズマ照射誘起損傷と応力の制御によるフォトレジスト超微細加工に関する研究)」

### 修士論文

1. 岩淵 豊  
「大気圧プラズマ流による気液界面現象と化学種輸送機構」
2. 吉田 祐介  
「非線形微小振動子を用いたノイズ励起によるセンシング」
3. 加賀 利瑛  
「光電子制御プラズマCVDプロセスの基礎過程の研究」
4. 開 達郎  
「バンド変調構造を用いた金属ナノドット不揮発性メモリに関する研究」

## 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Shigeo Yasuhara, Toru Sasaki, Tsutomu Shimayama, Kunitoshi Tajima, Hisashi Yano, Shingo Kadomura, Masaki Yoshimaru, Noriaki Matsunaga, Seiji Samukawa, “Super-low- $k$  SiOCH film ( $k=1.9$ ) with extremely high water resistance and thermal stability formed by neutral-beam-enhanced CVD”, Journal of Physics D: Applied Physics, Vol.43, pp. 065203 (8pp), (2010)
2. Butsurin Jinnai, Seiichi Fukuda, Hiroto Ohtake, Seiji Samukawa, “Prediction of UV spectra and UV-radiation damage in actual plasma etching processes using on-wafer monitoring technique”, Journal of Applied Physics, Vol. 17, pp. 043302 (6pp), (2010)
3. Noriaki Matsunaga, Hirokatsu Okumura, Butsurin Jinnai, Seiji Samukawa, “Hard-Mask-Through UV-Light-Induced Damage to Low- $k$  Film during Plasma Process for Dual Damascene”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 49 pp.04DB06-1-04DB06-6 (2010)



4. Michio Sato, Hiroto Ohtake, Seiji Samukawa, “Novel Particle-Reduction System in Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition Process of Interlayer Dielectrics”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 49 pp.04DB13-1-04DB13-4 (2010)
5. Hiroto Ohtake, Seiichi Fukuda, Butsurin Jinnai, Tomohiko Tatsumi, Seiji Samukawa, “Prediction of Abnormal Etching Profile in High-Aspect-Ratio Via/Hole Etching Using On-Wafer Monitoring System”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 49 pp. 04DB14-1-04DB14-5 (2010)
6. Akira Wada, Keisuke Sano, Masahiro Yonemoto, Kazuhiko Endo, Takashi Matsukawa, Meishoku Masahara, Satoshi Yamasaki, Seiji Samukawa, “High-Performance Three-Terminal Fin Field-Effect Transistors Fabricated by a Combination of Damage-Free Neutral-Beam Etching and Neutral-Beam Oxidation”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 49 pp. 04DC17-1- 04DC17-5. (2010)
7. Chi-Hsien Huang, Makoto Igarashi, Susumu Horita, Masaki Takeguchi, Yukiharu Uraoka, Takashi Fuyuki, Ichiro Yamashita, Seiji Samukawa, “Novel Si Nanodisk Fabricated by Biotemplate and Defect-Free Neutral Beam Etching for Solar Cell Application”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 49 pp.04DL16-1-04DL16-5, (2010)
8. Maju Tomura, Chi-Hsien Huang, Yusuke Yoshida, Takahito Ono, Satoshi Yamasaki, Seiji Samukawa, “Plasma-Induced Deterioration of Mechanical Characteristics of Microcantilever”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 49 pp.04DL20-1-04DL20-4 (2010)
9. Butsurin Jinnai, Takuji Uesugi, Koji Koyama, Keusuke Kato, Atsushi Yasuda, Shinichi Maeda, Hikaru Momose, and Seiji Samukawa, “Improving plasma resistance and lowering roughness in an ArF photoresist by adding a chemical reaction inhibitor,” Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 43 pp. 465203 (6pp). (2010)
10. Tomohiro Kubota, Osamu Nukaga, Shinji Ueki, Masakazu Sugiyama, Yoshimasa Inamoto, Hiroto Ohtake, and Seiji Samukawa, “200-mm-diameter neutral beam source based on inductively coupled plasma etcher and silicon etching”, Journal of Vacuum Science and Technology A, Vol. 28 pp.1169-1174. (2010)
11. Butsurin Jinnai, Takuji Uesugi, Koji Koyama, Keusuke Kato, Atsushi Yasuda, Shinichi Maeda, Hikaru Momose, and Seiji Samukawa, “Decisive factors affecting plasma resistance and roughness formation in ArF photoresist”, Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 43 pp. 395204 (8pp). (2010)
12. Akira Wada, Kazuhiko Endo, Meishoku Masahara, Chi-Hsien Huang, and Seiji Samukawa, “Fabrication of Four-Terminal Fin Field-Effect Transistors with Asymmetric Gate-Oxide Thickness Using an Anisotropic Oxidation Process with a Neutral Beam”, Applied Physics Express, Vol. 3, 096502 (3pp). (2010)
13. Makoto Igarashi, Chi-Hsien Huang, Takashi Morie, and Seiji Samukawa, “Control of Electron Transport in Two-Dimensional Array of Si Nanodisks for Spiking Neuron Device”, Applied Physics Express, Vol. 3, 085202 (3pp). (2010)
14. Yoshinari Ichihashi, Yasushi Ishikawa, Ryu Shimizu, and Seiji Samukawa, “Mechanism of increase in charge-pumping current of metal-nitride-oxide-silicon-field effect transistors during thick dielectric film etching using fluorocarbon gas plasma”, Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol. 28, pp. 829-833. (2010)
15. Yoshinari Ichihashi, Yasushi Ishikawa, Ryu Shimizu, and Seiji Samukawa, “Effect of iodotrifluoromethane plasma for reducing ultraviolet light irradiation damage in dielectric film etching processes”, Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol. 28, pp. 577-580. (2010)
16. Xuan-Yu Wang, Chi-Hsien Huang, Yuzo Ohno, Makoto Igarashi, Akihiro Murayama, and Seiji Samukawa, “Defect-free etching process for GaAs/AlGaAs hetero-nanostructure using chlorine/argon mixed neutral beam”, Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol. 28, pp. 1138-1142. (2010)

# 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. Shigeo Yasuhara, Toru Sasaki, Tsutomu Shimayama, Kunitoshi Tajima, Hisashi Yano, Shingo Kadomura, Masaki Yoshimaru, Noriaki Matsunaga, Seiji Samukawa, “Super-low- $k$  SiOCH film ( $k = 1.9$ ) with extremely high water resistance and thermal stability formed by neutral-beam-enhanced CVD”, Journal of Physics D: Applied Physics, Vol.43, pp. 065203 (8pp), (2010)
2. Butsurin Jinnai, Seiichi Fukuda, Hiroto Ohtake, Seiji Samukawa, “Prediction of UV spectra and UV-radiation damage in actual plasma etching processes using on-wafer monitoring technique”, Journal of Applied Physics, Vol. 17, pp. 043302 (6pp), (2010)
3. Noriaki Matsunaga, Hirokatsu Okumura, Butsurin Jinnai, Seiji Samukawa, “Hard-Mask-Through UV-Light-Induced Damage to Low- $k$  Film during Plasma Process for Dual Damascene”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 49 pp.04DB06-1-04DB06-6 (2010)
4. Michio Sato, Hiroto Ohtake, Seiji Samukawa, “Novel Particle-Reduction System in Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition Process of Interlayer Dielectrics”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 49 pp.04DB13-1-04DB13-4 (2010)
5. Hiroto Ohtake, Seiichi Fukuda, Butsurin Jinnai, Tomohiko Tatsumi, Seiji Samukawa, “Prediction of Abnormal Etching Profile in High-Aspect-Ratio Via/Hole Etching Using On-Wafer Monitoring System”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 49 pp. 04DB14-1-04DB14-5 (2010)
6. Akira Wada, Keisuke Sano, Masahiro Yonemoto, Kazuhiko Endo, Takashi Matsukawa, Meishoku Masahara, Satoshi Yamasaki, Seiji Samukawa, “High-Performance Three-Terminal Fin Field-Effect Transistors Fabricated by a Combination of Damage-Free Neutral-Beam Etching and Neutral-Beam Oxidation”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 49 pp. 04DC17-1- 04DC17-5. (2010)
7. Chi-Hsien Huang, Makoto Igarashi, Susumu Horita, Masaki Takeguchi, Yukiharu Uraoka, Takashi Fuyuki, Ichiro Yamashita, Seiji Samukawa, “Novel Si Nanodisk Fabricated by Biotemplate and Defect-Free Neutral Beam Etching for Solar Cell Application”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 49 pp.04DL16-1-04DL16-5, (2010)
8. Maju Tomura, Chi-Hsien Huang, Yusuke Yoshida, Takahito Ono, Satoshi Yamasaki, Seiji Samukawa, “Plasma-Induced Deterioration of Mechanical Characteristics of Microcantilever”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 49 pp.04DL20-1-04DL20-4 (2010)
9. Butsurin Jinnai, Takuji Uesugi, Koji Koyama, Keusuke Kato, Atsushi Yasuda, Shinichi Maeda, Hikaru Momose, and Seiji Samukawa, “Improving plasma resistance and lowering roughness in an ArF photoresist by adding a chemical reaction inhibitor,” Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 43 pp. 465203 (6pp). (2010)
10. Butsurin Jinnai, Takuji Uesugi, Koji Koyama, Keusuke Kato, Atsushi Yasuda, Shinichi Maeda, Hikaru Momose, and Seiji Samukawa, “Decisive factors affecting plasma resistance and roughness formation in ArF photoresist”, Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 43 pp. 395204 (8pp). (2010)
11. Akira Wada, Kazuhiko Endo, Meishoku Masahara, Chi-Hsien Huang, and Seiji Samukawa, “Fabrication of Four-Terminal Fin Field-Effect Transistors with Asymmetric Gate-Oxide Thickness Using an Anisotropic Oxidation Process with a Neutral Beam”, Applied Physics Express, Vol. 3, 096502 (3pp). (2010)
12. Makoto Igarashi, Chi-Hsien Huang, Takashi Morie, and Seiji Samukawa, “Control of Electron Transport in Two-Dimensional Array of Si Nanodisks for Spiking Neuron Device”, Applied Physics Express, Vol. 3, 085202 (3pp). (2010)
13. Yoshinari Ichihashi, Yasushi Ishikawa, Ryu Shimizu, and Seiji Samukawa, “Mechanism of increase in charge-pumping current of metal-nitride-oxide-silicon-field effect transistors during thick dielectric film etching using fluorocarbon gas plasma”, Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol. 28, pp. 829-833. (2010)
14. Yoshinari Ichihashi, Yasushi Ishikawa, Ryu Shimizu, and Seiji Samukawa, “Effect of iodotrifluoromethane plasma for reducing ultraviolet light irradiation damage in dielectric film etching processes”, Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol. 28, pp. 577-580. (2010)

15. Xuan-Yu Wang, Chi-Hsien Huang, Yuzo Ohno, Makoto Igarashi, Akihiro Murayama, and Seiji Samukawa, “Defect-free etching process for GaAs/AlGaAs hetero-nanostructure using chlorine/argon mixed neutral beam”, Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol. 28, pp. 1138-1142. (2010)

**【本人の受賞・特許等】**

○平成22年（1月～12月）

受賞名：American Vacuum Society: Plasma Prize

受賞日：2010年10月19日

受賞名：応用物理学会論文賞（優秀論文賞）

受賞日：2010年9月14日

受賞名：STARC共同研究賞

受賞日：2010年8月29日

**【学生の受賞・特許等】**

○平成22年（1月～12月）

受賞者：寒川誠二、黄啓賢、五十嵐誠、浦岡行治、冬木隆、山下一郎、竹口雅樹

受賞名：応用物理学会論文賞（優秀論文賞）

受賞日：2010年9月14日

**【本人のマスコミ発表等】**

○平成22年（1月～12月）

日刊工業新聞(2010.9.22)2件



氏名 小玉 哲也

所属 医工学研究科医工学専攻・教授（工学博士，医学博士）

専門 ナノメディシン

研究課題

ナノ流動を利用したがんの診断法と治療法の開発

E-mail: kodama@bme.tohoku.ac.jp

TEL: 022(717)7583

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

事業推進担当者の研究分野では、ナノ流動を利用したがんの診断法と治療法の開発を推進してきた。特に、長期安定性ナノバブルの開発、バブルの組成の違いによる分子導入効率の比較、膀胱がん治療を目指した二重超音波照射法の研究をおこなった。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

#### <国際会議>

名称：2010 World Molecular Imaging Congress

主催団体：医工学研究科

開催国：日本

開催期間：2010.9.8-11

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

#### 1. 長期安定性ナノバブルの開発

ナノバブルと高周波超音波を組合せた腫瘍新生血管の三次元的な構造変化の抽出を目的に、長期安定性ナノバブルの開発をおこなった。従来のナノバブルの組成であるDistearoyl-Phosphocholine (DSPC)+Distearoyl Phosphoethanolamine (DSPE)-PEG-OMe にキトサンを加えることで、マウス体内に30分以上滞留するナノバブルを開発することに成功した。

#### 2. バブル物理的・化学的特性に基づく遺伝子導入効率の比較

ソノポレーション効率がバブルの物理的・化学的特性に依存することは知られていたが、系統だった研究はこれまで報告されてこなかった。本研究では、脂質ナノバブル、脂質マイクロバブル、アルブミンマイクロバブルを使用してマウス骨格筋への遺伝子導入効率の比較をおこなった。遺伝子導入効率はバブルの直径や表面電荷に依存せず、単位体積に含まれるバブルの個数に依存することが示された。

#### 3. 膀胱癌治療を目指した二重超音波照射法の研究

局所投与が有効な癌腫として膀胱癌が上げられる。本研究では、音圧の異なる二つの超音波を組合せた二重照射法によって膀胱壁への分子導入を試みた。膀胱口からナノバブルと蛍光分子を注入し、二重照射によって膀胱突相当部の粘膜に蛍光分子を導入することができた。同様にルシフェラーゼ遺伝子の発現を膀胱突相当部に見出すことができた。これにより、バブルと超音波を用いた膀胱癌遺伝子治療法の可能性を示した。

#### 【学位論文指導（副査）】

##### 修士論文

3件



【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Horie S, Watanabe Y, Chen R, Mori S, Matsumura Y, Kodama T.  
Development of localized gene delivery using a dual-intensity ultrasound system in the bladder.  
Ultrasound in Medicine and Biology. 2010;36(11):1867–1875.
2. Koshiyama K, Yano T, Kodama T.  
Self-organization of a stable pore structure in a phospholipids bilayer.  
Physical Review Letters.2010;105:018105-1 - 018105-4.
3. Fujisawa S, Arakawa H, Suzuki R, Kazuo M, Kodama T, Yasunaga M, Koga Y, Matsumura Y.  
Optimum conditions of ultrasound-mediated destruction of bubble liposome for siRNA transfer in bladder cancer.  
Therapeutic Delivery. 2010;1(2):237-245.
4. Kodama T, Aoi A, Watanabe Y, Horie S, Kodama M, Li L, Chen R, Teramoto N, Morikawa H, Mori S, Fukumoto M. Evaluation of transfection efficiency in skeletal muscle using nano/microbubbles and ultrasound.  
Ultrasound in Medicine and Biology. 2010;36:1196-1205.
5. 富田幸雄, 打越亮介, 稲葉拓也, 小玉哲也.  
超音波の作用によるマイクロバブルの破壊とキャビテーション気泡の生成.  
混相流, 24巻 2号, 162-168頁 (2010-6).
6. Watanabe Y, Horie S, Funaki Y, Kikuchi Y, Yamazaki H, Ishii K, Mori S, Vassaux G, Kodama T.  
Delivery of Na/I symporter gene into skeletal muscle by using nanobubbles and ultrasound:  
Visualization of gene expression by positron emission tomography.  
Journal of Nuclear Medicine. 2010; 51:951-958.
7. Kodama T, Tomita N, Horie S, Sax N, Iwasaki H, Suzuki R, Maruyama K, Mori S, Fukumoto M.  
Morphological study of acoustic liposome using transmission electron microscopy.  
Journal of Electron Microscopy. 2010; 59(3):187-196.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Horie S, Watanabe Y, Chen R, Mori S, Matsumura Y, Kodama T.  
Development of localized gene delivery using a dual-intensity ultrasound system in the bladder.  
Ultrasound in Medicine and Biology. 2010;36(11):1867–1875.
2. Koshiyama K, Yano T, Kodama T.  
Self-organization of a stable pore structure in a phospholipids bilayer.  
Physical Review Letters.2010;105:018105-1 - 018105-4.
3. Fujisawa S, Arakawa H, Suzuki R, Kazuo M, Kodama T, Yasunaga M, Koga Y, Matsumura Y.  
Optimum conditions of ultrasound-mediated destruction of bubble liposome for siRNA transfer in bladder cancer.  
Therapeutic Delivery. 2010;1(2):237-245.
4. Kodama T, Aoi A, Watanabe Y, Horie S, Kodama M, Li L, Chen R, Teramoto N, Morikawa H, Mori S, Fukumoto M.  
Evaluation of transfection efficiency in skeletal muscle using nano/microbubbles and ultrasound.  
Ultrasound in Medicine and Biology. 2010;36:1196-1205.
5. 富田幸雄, 打越亮介, 稲葉拓也, 小玉哲也.  
超音波の作用によるマイクロバブルの破壊とキャビテーション気泡の生成.  
混相流, 24巻 2号, 162-168頁 (2010-6).
6. Watanabe Y, Horie S, Funaki Y, Kikuchi Y, Yamazaki H, Ishii K, Mori S, Vassaux G, Kodama T.  
Delivery of Na/I symporter gene into skeletal muscle by using nanobubbles and ultrasound:  
Visualization of gene expression by positron emission tomography.  
Journal of Nuclear Medicine. 2010; 51:951-958.
7. Kodama T, Tomita N, Horie S, Sax N, Iwasaki H, Suzuki R, Maruyama K, Mori S, Fukumoto M.  
Morphological study of acoustic liposome using transmission electron microscopy.

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

国際発表

1. Li L, Chen R, Horie S, Watanabe Y, Baba T, Sax N, Sakamoto M, Mori S, Takahashi S, Kodama T.  
Ultrasound molecular imaging of lymph node metastasis with nano/microbubbles.  
International Symposium of AIDS and Tuberculosis (ISAT2010). January 13-14, 2010, Sendai, Japan. [口頭発表]
2. Sax N, Horie S, Li L, Chen R, Watanabe Y, Mori S, Kodama T.  
Physical characterization of acoustic liposomes.  
International Symposium of AIDS and Tuberculosis (ISAT2010). January 13-14, 2010, Sendai, Japan. [口頭発表]
3. Kodama T.  
Transfection efficiency in skeletal muscle by using sonoporation.  
12th International Symposium on advanced Biomedical ultrasound.  
February 23, 2010, Sendai, Tohoku University. [口頭発表]
4. Horie S, Watanabe Y, Chen R, Mori S, Matsumura Y, Kodama T.  
Targeted gene delivery using nanobubble and ultrasound.  
The 5th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics. Book of Abstract.  
115-116. February 24-25, 2010, Sendai, Japan. [ポスター]
5. Watanabe Y, Horie S, Funaki Y, Kikuchi Y, Yamazaki H, Ishii K, Mori S, Kodama T.  
PET imaging of Na/I symporter gene expression induced by nanobubbles and ultrasound.  
The 5th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics. Book of Abstract.  
111-112. February 24-25, 2010, Sendai, Japan. [ポスター]
6. Chen R, Watanabe Y, Li L, Horie S, Mori S, Fukumoto M, Kodama T.  
Observation for angiogenesis of liver metastases in preclinical models.  
The 5th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics. Book of Abstract.  
113-114. February 24-25, 2010, Sendai, Japan. [ポスター]
7. Li L, Horie S, Chen R, Watanabe Y, Baba T, Sax N, Sakamoto M, Mori S, Takahashi S, Kodama T.  
Four-dimensional high-frequency ultrasound imaging system for early detection of lymph node micro-metastasis.  
The 5th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics. Book of Abstract.  
157-158. February 24-25, 2010, Sendai, Japan. [ポスター]
8. Sax N, Horie S, Li L, Chen R, Watanabe Y, Mori S, Kodama T.  
TEM observation and analysis of echogenic nano-bubbles.  
The 5th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics. Book of Abstract.  
159-160. February 24-25, 2010, Sendai, Japan. [ポスター]
9. Yagishita Y, Takata Y, Ohki K, Miyashita H, Morikawa H, Sakamoto M, Mori S, Kawamura H, Kodama T.  
Volumetric and angiogenic imaging system by using nanobubbles and high-frequency ultrasound for evaluation of the antitumor effect by cisplatin.  
The 5th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics. Book of Abstract.  
161-162. February 24-25, 2010, Sendai, Japan. [ポスター]
10. Watanabe Y, Horie S, Funaki Y, Kikuchi Y, Yamazaki H, Ishii K, Mori S, Vassaux G, Kodama T.  
PET visualization of Na/I symporter gene expression after delivery by nanobubbles and ultrasound.  
2010 World Molecular Imaging Congress, Program Book p42.  
September 8-11, 2010., Kyoto, Japan. [ポスター]
11. Horie S, Watanabe Y, Yagishita Y, Nicolas S, Chen R, Li L, Kojima T, Sakamoto M, Ono M, Mori S, Kodama T.  
Longitudinal three-dimensional noninvasive imaging analysis and quantification of anti-tumor effects of TNF-alpha gene for small tumor.

2010 World Molecular Imaging Congress, Program Book p56.  
September 8-11, 2010. Kyoto, Japan. [ポスター]

## 国内発表

1. 陳銳, 千葉美麗, 森士朗  
In vivo detection of cancer metastases at an early stage by vessel density with ultrasound and nano/microbubbles.  
第52回歯科基礎医学会 学術大会ならびに総会2010 プログラム集 96頁.  
平成22年9月20-22日 (タワーホール船堀)[口頭発表]
2. 船本健一, 早瀬敏幸, 小玉哲也.  
造影剤による超音波Bモード計測の輝度値の変動に基づく微小循環の可視化  
日本機械学会第22回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, No. 09-55, (2010-1), 376.  
2010年1月9日 (土) ~10日 (日) (岡山理科大学)[口頭発表]
3. 小玉哲也  
ナノバブルと超音波を用いた高周波超音波三次元画像診断・分子導入システムの開発  
平成21年度厚生労働科学研究費研究成果等普及啓発事業 医療機器開発推進研究  
ナノメディシン研究成果発表会要旨集39-40頁.  
2010年2月24日 (財団法人がん研究振興財団 国際研究交流会館)[口頭発表]
4. 志賀千鶴子, 渡辺隆紀, 小玉哲也, 鈴木義博, 三上秀光, 田村佳子.  
ソナゾイド造影超音波検査による乳癌の乳房内広がり診断.  
第7回日本乳癌学会東北地方会  
2010年3月6日 (土) (仙台国際センター)[口頭発表]
5. 陳銳, 森士朗, 千葉美麗, 福本学, 小玉哲也.  
歯肉癌の遺伝子治療のためのナノ・マイクロバブルと超音波を用いた分子導入法の検討.  
第34回日本頭頸部癌学会 (一般演題). 頭頸部癌2010 vol.36 No.2 総会号 183頁.  
2010年6月10日 (木) -11日(京王プラザホテル, 東京)[口頭発表]
6. 柳下陽子, 森士朗, 李麗, 渡邊夕紀子, 堀江佐知子, 富田典子, 陳銳, 高田陽子, 大木宏介, 宮下仁, 小玉瑞穂, 川村仁, 森川秀広, 小玉哲也.  
口腔癌早期診断のためのナノバブルと高周波超音波を用いた画像診断法に関する組織学的検討.  
第34回日本頭頸部癌学会. 頭頸部癌 2010 vol.36 No.2 総会号253頁.  
2010年6月10日 (木) -11日(京王プラザホテル, 東京)[ポスター]
7. Sax N, Horie S, Li L, Chen R, Watanabe Y, Mori S, Sakamoto M, Kodama T.  
Development and characterization of echogenic polyglutylated liposomes.  
第26回日本DDS学会学術集会プログラム予稿集288頁.  
2010年6月17日 (木) -18日(大阪国際交流センター)[口頭発表]
8. 柳下陽子, 森士朗, 李麗, 渡邊夕紀子, 堀江佐知子, 陳銳, 高田陽子, 川村仁, 森川秀広, 小玉哲也.  
ナノバブルと高周波超音波を用いた腫瘍血管構築法の開発.  
第26回日本DDS学会学術集会プログラム予稿集299頁.  
2010年6月17日 (木) -18日(大阪国際交流センター)[口頭発表]
9. 堀江佐知子, 渡邊夕紀子, 陳銳, サックスニコラ, 李麗, 小野栄夫, 森士朗, 小玉哲也.  
ナノバブルと超音波を用いたTNF- $\alpha$ 遺伝子導入による抗腫瘍効果の評価.  
第26回日本DDS学会学術集会プログラム予稿集313頁.  
2010年6月17日 (木) -18日(大阪国際交流センター)[口頭発表]
10. 藤澤優, 荒川寛茂, 安永正浩, 小玉哲也, 丸山一雄, 鈴木亮, 松村保広.  
表在性膀胱がんに対する再発防止法の開発.  
第26回日本DDS学会学術集会プログラム予稿集335頁.  
2010年6月17日 (木) -18日(大阪国際交流センター)[ポスター]
11. 陳銳, 千葉美麗, 森士朗  
In vivo detection of cancer metastases at an early stage by vessel density with ultrasound and nano/microbubbles  
第52回歯科基礎医学会学術大会・総会

2010年9月20日（木）-22日（タワーホール船堀）[口頭発表]

12. 陳銳, 李麗, 渡邊夕紀子, サックス・ニコラ, 堀江佐知子, 柳下陽子, 森士朗, 福本学, 小玉哲也.  
三次元高周波超音波およびナノバブルを用いた肝転移の非侵襲的観察  
第69回日本癌学会学術総会予稿集254頁.

2010年9月22日（水）-24日（金）（大阪）[口頭発表]

13. 小島貴則, 堀江佐知子, 渡邊夕紀子, 陳銳, 李麗, 阪本真弥, 森士朗, 小玉哲也.  
膀胱がん治療に向けた二重超音波照射法の数値的至適化  
第69回日本癌学会学術総会予稿集285頁.

2010年9月22日（水）-24日（金）（大阪）[ポスター]

14. 藤澤優, 鈴木亮, 丸山一雄, 小玉哲也, 安永正浩, 古賀宣勝, 松村保広  
表在性膀胱がんに対する膀胱内注入遺伝子治療  
第69回日本癌学会学術総会予稿集285頁.

2010年9月22日（水）-24日（金）（大阪）[ポスター]

15. 堀江佐知子, 渡邊夕紀子, 小島貴則, 陳銳, 李麗, 柳下陽子, サックス・ニコラ, 阪本真弥, 森士朗, 小玉哲也.

ナノバブルと超音波を用いたTNF- $\alpha$ 遺伝子導入による抗腫瘍効果の評価

第69回日本癌学会学術総会予稿集322頁.

2010年9月22日（水）-24日（金）（大阪）[ポスター]

16. 渡邊夕紀子, 児玉栄一, 堀江佐知子, 高地崇, サックス・ニコラ, 柳下陽子, 陳銳, 李麗, 服部俊夫, 森士朗, 小玉哲也.

がん遺伝子治療に向けた新しいPETレポーター/治療遺伝子の開発

第69回日本癌学会学術総会予稿集366頁. 2010年9月22日（水）-24日（金）（大阪）[口頭発表]

17. 佐藤祥太, 李麗, 柳下陽子, 阪本真弥, 高橋昭喜, 森士朗, 小玉哲也.

マイクロバブルと高周波超音波を用いた三次元イメージング法による転移リンパ節の血管密度の評価

日本超音波医学会東北地方会第40回学術集会

2010年9月26日（日）（仙台）[口頭発表]

18. 小島貴則, 藤川重雄, 小玉哲也

音響性リポソームの減衰特性における実験的かつ論理的解析

日本超音波医学会東北地方会第40回学術集会

2010年9月26日（日）（仙台）[口頭発表]

19. 柳下陽子, 森士朗, 高田陽子, 大木宏介, 宮下仁, 森川秀広, 川村仁, 小玉哲也.

口腔癌早期診断のためのナノバブルと高周波超音波による腫瘍血管構築画像の病理学的評価

第55回日本口腔外科学会プログラム・抄録集154頁.

2010年10月16-17日.（東京）[口頭発表]

20. 宮下仁, 森士朗, 柳下陽子, 高田陽子, 大木宏介, 川村仁, 森川秀広, 小玉哲也

ナノバブルと高周波超音波による腫瘍血管構築とVEGFの発現に関する分子学的検討

第55回日本口腔外科学会プログラム・抄録集155頁.

2010年10月16-17日.（東京）[口頭発表]

21. 大木宏介, 森士朗, 宮下仁, 川村仁, 小玉哲也

ナノ・マイクロバブルと超音波を用いた口腔癌の遺伝子治療法を想定した分子導入法の検討

第55回日本口腔外科学会プログラム・抄録集180頁.

2010年10月16-17日（東京）[口頭発表]

22. 天野雅紀, 志賀清人, 加藤健吾, 小川武則, 小林俊光, 小玉哲也, 阪本真弥.

マイクロバブル造影剤と超音波を用いた頭頸部癌症例の頸部リンパ節転移の検討

第48回日本癌治療学会学術集会プログラム179頁.

2010年10月28-30日.（京都）[口頭発表]

23. 堀江佐知子, 小玉哲也

ナノバブルと二重超音波を用いた膀胱がん治療の基礎研究

第15回キャビテーションシンポジウム



2010年11月22日・23日（大阪）【口頭発表】

24. 富田幸雄, 下村文吾, 皆川隆一郎, 小玉哲也.  
集束超音波によるキャビテーションの生成と噴霧形成  
第15回キャビテーションシンポジウム  
2010年11月22日・23日（大阪）【口頭発表】

### 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

#### 査読付論文

1. Horie S, Watanabe Y, Chen R, Mori S, Matsumura Y, Kodama T.  
Development of localized gene delivery using a dual-intensity ultrasound system in the bladder.  
Ultrasound in Medicine and Biology. 2010;36(11):1867-1875.
2. Kodama T, Aoi A, Watanabe Y, Horie S, Kodama M, Li L, Chen R, Teramoto N, Morikawa H,  
Mori S, Fukumoto M.  
Evaluation of transfection efficiency in skeletal muscle using nano/microbubbles and ultrasound.  
Ultrasound in Medicine and Biology. 2010;36:1196-1205.
3. Watanabe Y, Horie S, Funaki Y, Kikuchi Y, Yamazaki H, Ishii K, Mori S, Vassaux G, Kodama T.  
Delivery of Na/I symporter gene into skeletal muscle by using nanobubbles and ultrasound:  
Visualization of gene expression by positron emission tomography.  
Journal of Nuclear Medicine. 2010; 51:951-958.
4. Kodama T, Tomita N, Horie S, Sax N, Iwasaki H, Suzuki R, Maruyama K, Mori S, Fukumoto M.  
Morphological study of acoustic liposome using transmission electron microscopy.  
Journal of Electron Microscopy. 2010; 59(3):187-196.

#### 国際発表

1. Li L, Chen R, Horie S, Watanabe Y, Baba T, Sax N, Sakamoto M, Mori S, Takahashi S, Kodama T.  
Ultrasound molecular imaging of lymph node metastasis with nano/microbubbles.  
International Symposium of AIDS and Tuberculosis (ISAT2010). January 13-14, 2010, Sendai, Japan. [口頭発表]
2. Sax N, Horie S, Li L, Chen R, Watanabe Y, Mori S, Kodama T.  
Physical characterization of acoustic liposomes.  
International Symposium of AIDS and Tuberculosis (ISAT2010). January 13-14, 2010, Sendai, Japan. [口頭発表]
3. Horie S, Watanabe Y, Chen R, Mori S, Matsumura Y, Kodama T.  
Targeted gene delivery using nanobubble and ultrasound.  
The 5th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics. Book of Abstract. 115-16. February 24-25, 2010, Sendai, Japan. [ポスター]
4. Watanabe Y, Horie S, Funaki Y, Kikuchi Y, Yamazaki H, Ishii K, Mori S, Kodama T.  
PET imaging of Na/I symporter gene expression induced by nanobubbles and ultrasound.  
The 5th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics. Book of Abstract. 111-112. February 24-25, 2010, Sendai, Japan. [ポスター]
5. Chen R, Watanabe Y, Li L, Horie S, Mori S, Fukumoto M, Kodama T.  
Observation for angiogenesis of liver metastases in preclinical models.  
The 5th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics. Book of Abstract. 113-114. February 24-25, 2010, Sendai, Japan. [ポスター]
6. Li L, Horie S, Chen R, Watanabe Y, Baba T, Sax N, Sakamoto M, Mori S, Takahashi S, Kodama T.  
Four-dimensional high-frequency ultrasound imaging system for early detection of lymph node micro-metastasis.  
The 5th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics. Book of Abstract. 157-158. February 24-25, 2010, Sendai, Japan. [ポスター]

7. Sax Horie S, Li L, Chen R, Watanabe Y, Mori S, Kodama T.  
TEM observation and analysis of echogenic nano-bubbles.  
The 5th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics. Book of Abstract.  
159-160. February 24-25, 2010, Sendai, Japan. [ポスター]
8. Watanabe Y, Horie S, Funaki Y, Kikuchi Y, Yamazaki H, Ishii K, Mori S, Vassaux G, Kodama T.  
PET visualization of Na/I symporter gene expression after delivery by nanobubbles and ultrasound.  
2010 World Molecular Imaging Congress, Program Book p42. September 8-11, 2010., Kyoto, Japan. [ポスター]
9. Horie S, Watanabe Y, Yagishita Y, Nicolas S, Chen R, Li L, Kojima T, Sakamoto M, Ono M, Mori S, Kodama T.  
Longitudinal three-dimensional noninvasive imaging analysis and quantification of anti-tumor effects of TNF-alpha gene for small tumor.  
2010 World Molecular Imaging Congress, Program Book p56.  
September 8-11, 2010. Kyoto, Japan. [ポスター]

#### 国内発表

1. 柳下陽子, 森士朗, 李麗, 渡邊夕紀子, 堀江佐知子, 富田典子, 陳銳, 高田陽子, 大木宏介, 宮下仁, 小玉瑞穂, 川村仁, 森川秀広, 小玉哲也.  
口腔癌早期診断のためのナノバブルと高周波超音波を用いた画像診断法に関する組織学的検討.  
第34回日本頭頸部癌学会. 頭頸部癌 2010 vol.36 No.2 総会号253頁.  
2010年6月10日 (木) -11日(京王プラザホテル, 東京)[ポスター]
2. Sax N, Horie S, Li L, Chen R, Watanabe Y, Mori S, Sakamoto M, Kodama T.  
Development and characterization of echogenic polyglutylated liposomes.  
第26回日本DDS学会学術集会プログラム予稿集288頁.  
2010年6月17日 (木) -18日(大阪国際交流センター)[口頭発表]
3. 柳下陽子, 森士朗, 李麗, 渡邊夕紀子, 堀江佐知子, 陳銳, 高田陽子, 川村仁, 森川秀広, 小玉哲也.  
ナノバブルと高周波超音波を用いた腫瘍血管構築法の開発.  
第26回日本DDS学会学術集会プログラム予稿集299頁.  
2010年6月17日 (木) -18日(大阪国際交流センター)[口頭発表]
4. 堀江佐知子, 渡邊夕紀子, 陳銳, サックスニコラ, 李麗, 小野栄夫, 森士朗, 小玉哲也.  
ナノバブルと超音波を用いたTNF- $\alpha$ 遺伝子導入による抗腫瘍効果の評価.  
第26回日本DDS学会学術集会プログラム予稿集313頁.  
2010年6月17日 (木) -18日(大阪国際交流センター)[口頭発表]
5. 陳銳, 李麗, 渡邊夕紀子, サックス・ニコラ, 堀江佐知子, 柳下陽子, 森士朗, 福本学, 小玉哲也.  
三次元高周波超音波およびナノバブルを用いた肝転移の非侵襲的観察  
第69回日本癌学会学術総会予稿集254頁.  
2010年9月22日 (水) -24日 (金) (大阪) [口頭発表]
6. 小島貴則, 堀江佐知子, 渡邊夕紀子, 陳銳, 李麗, 阪本真弥, 森士朗, 小玉哲也.  
膀胱がん治療に向けた二重超音波照射法の数値的最適化  
第69回日本癌学会学術総会予稿集285頁.  
2010年9月22日 (水) -24日 (金) (大阪)[ポスター]
7. 堀江佐知子, 渡邊夕紀子, 小島貴則, 陳銳, 李麗, 柳下陽子, サックス・ニコラ, 阪本真弥, 森士朗, 小玉哲也.  
ナノバブルと超音波を用いたTNF- $\alpha$ 遺伝子導入による抗腫瘍効果の評価  
第69回日本癌学会学術総会予稿集322頁.  
2010年9月22日 (水) -24日 (金) (大阪)[ポスター]
8. 渡邊夕紀子, 児玉栄一, 堀江佐知子, 高地崇, サックス・ニコラ, 柳下陽子, 陳銳, 李麗, 服部俊夫, 森士朗, 小玉哲也.  
がん遺伝子治療に向けた新しいPETレポーター/治療遺伝子の開発  
第69回日本癌学会学術総会予稿集366頁. 2010年9月22日 (水) -24日 (金) (大阪)[口頭発表]

9. 佐藤祥太, 李麗, 柳下陽子, 阪本真弥, 高橋昭喜, 森士朗, 小玉哲也.  
マイクロバブルと高周波超音波を用いた三次元イメージング法による転移リンパ節の血管密度の評価  
日本超音波医学会東北地方会第40回学術集会  
2010年9月26日(日)(仙台)[口頭発表]
10. 堀江佐知子, 小玉哲也  
ナノバブルと二重超音波を用いた膀胱がん治療の基礎研究  
第15回キャビテーションシンポジウム  
2010年11月22日-23日(大阪)[口頭発表]

**【学生の研究費の獲得】**

○平成22年(1月～12月)

獲得者：渡邊夕紀子

名 称：日本学術振興会特別研究員-DC1.

期 間：平成 21年4月1日-平成24年3月31日.

獲得者：堀江佐知子

名 称：日本学術振興会特別研究員-DC2.

期 間：平成 21年4月1日-平成23年3月31日

氏名 徳増 崇



所属 流体科学研究所・准教授（工学博士）

専門 分子流体工学

研究課題

化学反応を伴うナノスケール熱流動現象の解明と応用

E-mail: tokumasu@ifs.tohoku.ac.jp

Tel: 022(217)5239

## 平成22年度における本GCOEプログラムに対する取り組み

事業推進担当者の研究分野では、マクロスケールの観点からでは説明できないナノスケールの熱流動現象の特異な性質について、流体を分子の集合体と捉えることによりそのメカニズムを解明することに取り組んできた。特に燃料電池内部の反応現象に支配されるナノスケールの流動現象を解析する手法の開発や、その手法から得られる知見によるデバイスの微細機能構造の設計に対する指針の構築を目指して研究を行っている。またGCOE国際会議の実行委員などを行い、国際拠点の形成に尽力し、また若手研究者の育成にも貢献している。

## 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

＜国際会議＞

名 称：Seventh International Conference on Flow Dynamics

主催団体：グローバルCOEプログラム「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」

開 催 国：日 本

開催期間：2010.11.1 ～ 2010.11.3

役 割：Organizing Committee, Chairman of OS5 "Molecular and /Nanoscale Phenomena in Fluids and Interfaces" and OS6"Flow Dynamics in Thermal Science and Technology"

＜招待講演＞

講 演 先：FC EXPO 2010

講演題目：燃料電池内部における気液流動特性のマルチスケールシミュレーション

講 演 日：2010.3.3

講 演 先：大阪大学大学院基礎工学研究科 機能創成セミナー

講演題目：燃料電池内部のナノスケール流動現象に対する大規模分子シミュレーション

講 演 日：2010.6.15

講 演 先：2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem2010)

講演題目：Molecular Dynamics Study of the Property of Proton Transfer in Perfluorosulfonic Acid Membrane

講 演 日：2010.12.19

## 平成22年度の研究業績

### 【研究内容】

#### 1. 金属表面における気体分子解離吸着現象に関する研究

白金表面における水素の挙動を分子動力学法を用いて解析し、表面原子や気体分子の運動が解離確率に及ぼす影響についての知見を得ることを目的としている。本年度は $H_2$ とPt(111)の電子状態の影響を考慮したEAMポテンシャルを相互作用ポテンシャルとして使い、金属表面上の分子衝突位置、初期分子位相、初期並進エネルギー、初期回転エネルギー、入射天頂角を変化させて水素分子を白金表面に入射させ、個々の試行における衝突プロセスの結果を平均化し、白金表面上の水素の解離確率を評価した。本手法による解離確率の算出の妥当性を確認するために分子線計測の結果との比較を行った結果、解離



確率を定性的に予測できることを示した。さらに初期並進エネルギー、回転エネルギー、入射天頂角の関数として、解離吸着モデルを提案した。

## 2. 高分子電解質膜内部のプロトン輸送現象に関する研究

固体高分子形燃料電池に用いられる高分子電解質膜内部のプロトン輸送現象を分子動力学法を用いて解析し、そのナノスケールの輸送特性に関する知見を得ることを目的としている。本年度は、今年度はEVB法を用いたプロトン輸送シミュレータにおいて、Grotthus機構が効率的にプロトン輸送現象に寄与しない原因について解析を行った。その結果、1対のオキソニウムイオン-水分子間でのプロトン輸送のポテンシャルがDFTの計算結果を正しく記述できていても、水クラスター内では、周りの水分子の影響によりこのポテンシャルが大きく変化してしまうことが明らかとなった。また、第一原理計算を行っている他グループとの議論の結果、オキソニウムイオンに水素が近づいた時の不安定性がプロトン輸送に影響を及ぼしていることが確認された。そのため、その際のエネルギー状態をDFT計算により計算した。また高分子膜内部の水の構造については、MD法による計算結果から静的構造因子を計算し、SANSによる実験データとの比較を行えるようにした。さらに高分子膜内部のオキソニウムイオンに仮想的な外力を与えてオキソニウムイオンのfluxを擬似的に引き起こし、その際の水分子のfluxからオキソニウムイオンの輸送に伴う随伴水を計算するプログラムを作成した。

## 3. 触媒層アイオノマーの酸素透過性能に関する分子動力学解析

触媒金属である白金表面を覆っているアイオノマーの酸素透過性能を分子動力学法を用いて解析し、アイオノマー内の水分分布やそれらの酸素透過性能に及ぼす影響について解析を行っている。本年度はカーボンに担持された白金をアイオノマーが覆っている状態での、プロトン輸送能力や酸素透過性能を計算する手法を開発した。炭素はGraphiteとし、白金は直径4nmのクラスターで表現した。炭素原子間ポテンシャルはバネマスモデルで表現した。白金間ポテンシャルは最近接原子との相互作用のみを考慮したバネマスモデルを用いた。このモデルを用いて含水率を変化させて酸素分子の透過数を解析した結果、まだデータ点数が足りないものの、含水率を増加させるとNafion膜を構成する高分子が強く結びつき、酸素透過性能が悪くなるという結果が得られた。

## 4. MPLナノ/メゾ多孔体構造内の物質移動現象の解明

非常に狭い(ナノスケール)隙間を移動する水の特性を、分子動力学法を用いて解析することを目的として研究を行っている。今年度は、ナノ多孔体内に存在する液滴の輸送現象を分子動力学法を用いてシミュレートする手法を開発し、それを用いてナノ液滴が多孔体内を輸送する際に受ける抵抗力について解析を行った。多孔体を構成する物質は炭素(Graphite)とし、(2)と同様に炭素原子をバネでつないだ層を4層用意して表現した。液滴は水とし、SPC/Eモデルを用いて表現した。液滴に仮想的な力を加えて、そのときの液滴の加速度の様子から液滴にかかる力を見積もった。その結果、厚さ数nmの流路を通過する際に液滴にかかる力は数MPaのオーダーであり、通常の燃料電池内で生じる圧力差では駆動しないことが明らかとなった。これより、実際の燃料電池では温度勾配など他の要因が液滴の輸送現象に大きく影響していることが示唆された。

## 5. ナノスケール液柱の潤滑現象に関する研究

ナノスケールの隙間に液注が存在している系の潤滑機構を分子動力学法を用いて解析し、その特性に関する知見を得ることを目的としている。本年度はナノ液柱のみで構成された系において、壁面にせん断をかけたときに生じるせん断力と液柱内部の速度勾配から、液柱の見かけの粘性係数を解析した。その結果、ナノ液柱が40Å程度の液柱の粘性係数はバルクのそれと大きな差が生じないが、ナノ液柱の幅が減少するにしたがってナノ液柱の見かけの粘性係数は減少することが確認された。(INSA-Lyonとの共同研究)

### 【学位論文指導(副査)】

#### 修士論文

##### 1. ナノメカニクス専攻 吉田 大樹

「高分子電解質膜のプロトン伝導性に関する分子動力学解析」

### 【査読論文（査読付き国際会議論文を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. 徳増 崇, 伊藤 大吾  
原子・分子の運動が白金表面での水素分子の解離確率に与える影響  
(第2報, Pt表面の様々なサイトにおける動的効果の解析)  
日本機械学会論文集B編, Vol.76, No.762, (2010), pp.334-341
2. 徳増 崇, 伊藤 大吾  
原子・分子の運動が白金表面での水素分子の解離確率に与える影響  
(第1報, EAMポテンシャルの改良および妥当性の検証)  
日本機械学会論文集B編, Vol.76, No.764, (2010), pp.667-674
3. Takashi Tokumasu, Daigo Ito  
A Molecular Dynamics Study for the Dissociation Phenomena of Gas Molecule on Metal Surface  
e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, Vol.8, (2010), pp.211-216
4. Hiroki Nagashima, Takashi Tokumasu, Shin-ichi Tsuda, Nobuyuki Tsuboi and A. Koichi Hayashi  
Reliability of Classical Molecular Dynamics Method to Thermodynamic Properties of Hydrogen  
Proceedings of 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, (2010), AIAA2010-994

### 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. 日本機械学会論文集 B 編,
2. 日本機械学会論文集 B 編
3. e-Journal of Surface Science and Nanotechnology

### 【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. 永島 浩樹, 徳増 崇, 津田 伸一, 坪井 伸幸, 越 光男, 林 光一  
非経験的ポテンシャルによる低温水素の熱物性評価  
日本航空宇宙学会北部支部2010年講演会講演論文集, (2010), pp.87-90
2. 吉田 大樹, 徳増 崇  
高分子電解質膜内におけるプロトンホッピングを伴うプロトン輸送に関する分子動力学的研究  
第17回燃料電池シンポジウム講演予稿集, (2010), pp.242-243
3. 吉田 大樹, 徳増 崇  
高分子電解質膜内におけるプロトン輸送特性の解析  
第47回日本伝熱シンポジウム講演論文集, (2010), pp.589-590
4. Taiki Yoshida, Takashi Tokumasu  
Proton Transfer Including Grotthus Mechanism in Polyelectrolyte Membrane by Molecular Dynamics Simulation  
Proceedings of 13th International Conference on Theoretical Aspects of Catalysis, (2010), pp.50,
5. Takashi Tokumasu  
Dissociation Probability of Gas Molecule on Metal Surface Including Dynamic Effects  
Proceedings of 13th International Conference on Theoretical Aspects of Catalysis, (2010), pp.119,
6. Yoshinobu Hamada, Takashi Tokumasu  
Molecular dynamics study of transport phenomena of water droplet in a nano slit pore  
Proceedings of 13th International Conference on Theoretical Aspects of Catalysis, (2010), pp.118,
7. 徳増 崇, Marie-Helene Meurisse, Nicolas Fillot and Philippe Vergne  
ナノ液柱の運動量輸送特性に関する分子論的解析  
日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, Vol.8, (2010), pp.77-78

8. 濱田 嘉信, 徳増 崇  
ナノ細孔内における液滴の移送現象  
日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, Vol.8, (2010), pp.75-76
9. 永島 浩樹, 徳増 崇, 津田 伸一, 坪井 伸幸, 林 光一  
低温水素の熱物性に対する分子間ポテンシャルモデルの影響  
日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, Vol.8, (2010), pp.89-90
10. 小井戸 哲也, 泊川 晃, 米村 茂, 徳増 崇  
分子動力学による白金(111)表面上の水素分子の解離吸着確率モデル  
日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, Vol.8, (2010), pp.85-86
11. 吉田 大樹, 徳増 崇  
分子動力学法を用いた高分子電解質膜内のプロトン輸送特性の解析  
日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, Vol.8, (2010), pp.83-84
12. 竹島 由里子, 徳増 崇, 藤代 一成  
大規模粒子系可視化における描画速度の安定化  
日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, Vol.6, (2010), pp.15-16
13. 徳増 崇, 吉田 大樹  
高分子電解質膜のプロトンホッピングを伴うプロトン伝導性に関する研究  
日本流体力学会年会2010講演要旨集, (2010), pp.109
14. Taiki Yoshida, Takashi Tokumasu  
Molecular Dynamics Study of Proton Transfer including Grotthus Mechanism in Polymer Electrolyte Membrane  
Polymer Electrolyte Fuel Cells 10-Part2, Vol.33, (2010), pp.1055-1065
15. 坂井 公則, 徳増 崇  
PEFCカソード触媒層イオノマーにおける酸素拡散に関する研究  
日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, (2010), pp.103-104
16. 濱田 嘉信, 徳増 崇  
グラファイト細孔内を移動する水の界面張力  
日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, (2010), pp.111-112
17. 吉田 大樹, 徳増 崇  
高分子電解質膜内におけるプロトンホッピングを伴うプロトン伝導性に関する分子動力学的研究  
日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, (2010), pp.101-102
18. 三好 信哉, 杵淵 郁也, 徳増 崇, 高木 周, 松本 洋一郎  
水分子ネットワーク構造におけるプロトン輸送特性の解明  
日本機械学会第2回マイクロ・ナノ工学シンポジウム講演論文集, (2010), pp.87-88
19. 三好 信哉, 杵淵 郁也, 徳増 崇, 高木 周, 松本 洋一郎  
水分子ネットワーク構造におけるプロトン輸送特性の解明  
日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, (2010), pp.99-100
20. 永島 浩樹, 徳増 崇, 津田 伸一, 坪井 伸幸, 林 光一  
低温水素の分子シミュレーションに対する古典的手法のアプローチ限界  
日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, (2010), pp.115-116
21. Taiki Yoshida, Takashi Tokumasu  
Analysis of Proton Transferring Property including Grotthus Mechanism in Polymer Electrolyte Membrane  
Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics, (2010), pp.380-381
22. Kiminori Sakai, Takashi Tokumasu  
Molecular dynamics study of oxygen permeation to catalytic metal covered with polyelectrolyte membrane  
Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics, (2010), pp.384-385
23. Nobuya Miyoshi, Ikuya Kinefuchi, Takashi Tokumasu, Shu Takagi, Yoichiro Matsumoto  
Proton transport in hydrogen bond network of confined water  
Proceedings of the 10th International Symposium on Advanced Fluid Information and

- Transdisciplinary Fluid Integration, (2010), pp.108-109
24. Yoshinobu Hamada, Takashi Tokumasu  
Transport phenomena of water droplet in a slit pore  
Proceedings of the seventh International Conference on Flow Dynamics, (2010), pp.382-383
25. H. Nagashima, T. Tokumasu, S. Tsuda, N. Tsuboi and A. Koichi Hayashi  
A Molecular Dynamics Study on the Thermodynamic Properties of Cryogenic Hydrogen  
Proceedings of the 10th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration, (2010), pp.112-113
26. H. Berro, T. Tokumasu, T. Ohara, G. Kikugawa, N. Fillot and P. Vergne  
Assesment of Different Thermostating Techniques in the Simulation of Molecular Lubrication  
Proceedings of the 10th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration, (2010), pp.128-129



氏名 大林 茂



所属 流体科学研究所・教授（工学博士）

専門 数値流体力学

研究課題 超音速複葉翼理論、多目的設計探索、乱気流の計測融合シミュレーション

E-mail: obayashi@ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5265

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

極限流動融合分野では、地球環境の改善を目指して輸送とエネルギーに関する革新的研究を行うことを目標に活動に取り組んでいる。Seventh International Conference on Flow Dynamicsでは、本融合分野の取り組みとして航空と環境に関するオーガナイズドセッションを企画した。また、「国際連携研究による実用化設計探索手法の開発」というジョイントラボラトリーの活動の一環として、ドイツ航空宇宙研究所において国際ワークショップを開催した。事業推進担当者としては、超音速複葉翼理論、多目的設計探索等の研究を進めている。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

#### <国際会議>

名 称：Seventh International Conference on Flow Dynamics

主催団体：グローバルCOEプログラム「流動ダイナミクス知と融合教育研究世界拠点」

開 催 国：日 本

開催期間：2010.11.1 ～ 2010.11.3

役 割：実行委員

#### <招待講演>

講 演 先：日本機械学会第88期流体工学部門講演会，山形大学工学部

講演題目：仙台空港における後方乱気流シミュレーション

講 演 日：2010.10.31

講 演 先：J-BILAT第五回セミナー(J-BILAT 5<sup>th</sup> seminar)，東北大学さくらホール

講演題目：日本の航空科学技術の研究ポテンシャルについて(Research Potential of Japanese Programme)

講 演 日：2010.11.11

講 演 先：第8回現象数理若手シンポジウム，明治大学

講演題目：航空機の設計と数理モデル

講 演 日：2011.1.12

講 演 先：第4回EFD/CFD融合ワークショップ，秋葉原コンベンションホール

講演題目：日本におけるEFD/CFD融合の方向性，パネリスト

講 演 日：2011.1.25

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

#### 1. 複葉翼超音速旅機の研究

次世代超音速機開発における最大の壁では航空機が音速を超えて飛行する際に発生するソニックブーム問題である。この問題を解決するために、複葉翼を利用した新たなコンセプトを持つ超音速機に関す

る研究を行っている。超音速複葉翼機としての成立性を検討するために、名古屋大学、鳥取大学、室蘭工業大学と共同研究を実施し、バリスティックレンジを用いた自由飛行試験を行った。これらから得られた基礎的な空力性能を踏まえた上で、地上で3次元航空機形状から出るソニックブームを計測する自由飛行実験の計画を進めている。

## 2.多目的設計探査 (Multi-Objective Design Exploration)

設計者の知識や経験・勘に捕われることなく、多様な性能を同時に改善するための設計アイデアを見出すために、最適化アルゴリズムをベースとした「多目的設計探査システム」を開発し、様々な工学設計問題への実用展開に取り組んでいる。とくに応答局面法の改良、データマイニング法の適用などについて、研究を進めている。

## 3.計測融合シミュレーション

データ同化手法を適用し、計測結果と数値シミュレーションの融合を行うことで、より高精度に実現象を再現するシミュレーション手法の開発を行っている。今年度はアンサンブルカルマンフィルターによるハイブリッド風洞の開発を行った。

### 【学位論文指導（主査）】

#### 博士論文

##### 1. 大学院生氏名：頼 晨光

博士論文題目：Control of Passenger Vehicle's Aerodynamic Performance Considering Underflow in Combination with Engine Cooling Flow(床下流れにエンジン冷却流れを組合せて考慮した乗用車の空力性能制御)

##### 2. 大学院生氏名：河 宗秀

博士論文題目：Aerodynamic Analysis for the Development of a Low-Drag Pickup Truck（低抵抗ピックアップトラックの開発のための空力特性解析）

#### 修士論文

##### 1. 大学院生氏名：芝崎 哲也

博士論文題目：晴天乱気流検出のためのフィルタリングとデータマイニングに関する研究

##### 2. 大学院生氏名：磯部 祐一

修士論文題目：超音速複葉翼型高揚力形状の空力性能に関する実験及び数値解析

##### 3. 大学院生氏名：塚野 孝俊

修士論文題目：空力問題におけるニューラルネットワークを用いた簡易シミュレーションモデルの研究

##### 4. 大学院生氏名：内海 雄紀

修士論文題目：多重極解析を用いた低ソニックブーム超音速機の研究

##### 5. 大学院生氏名：中井 賢太郎

修士論文題目：航空機設計における構造非線形を考慮した空力弾性解析法の研究

##### 6. 大学院生氏名：姜 栄浩

修士論文題目：高速・低燃費走行を目的としたレースカー翼の空力最適化

##### 7. 大学院生氏名：宮内 空野

修士論文題目：超音速複葉翼を用いた航空機の主翼構造重量評価

### 【学位論文指導（副査）】

#### 博士論文

##### 1. 大学院生氏名：渡邊 昌俊

博士論文題目：製品設計のための直交格子を用いた流体数値解析技術の研究(Study of Numerical Algorithms of a Cartesian-Mesh Based Flow Solver for Product Design)

## 修士論文

1. 大学院生氏名：丹 大輔  
修士論文題目：マイクロ固体室素噴霧流を用いた超高熱流束冷却と先端微粒化融合技術の開発
2. 大学院生氏名：上原 将人  
修士論文題目：Generation and Development of Turbulent Spots in a Flow Field With Streaky Structures (アーク溶融池内流れの非圧縮SPHシミュレーション)
3. 大学院生氏名：松山 俊太郎  
修士論文題目：軽飛行機の失速特性改善のための空力最適設計手法
4. 大学院生氏名：平尾 一步  
修士論文題目：低マッハ数圧縮性流れの数値解析

## 【査読論文（査読付き国際会議論文を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Kazuyuki Sugimura, Shigeru Obayashi and Shinkyu Jeong, “Multi-objective optimization and design rule mining for an aerodynamically efficient and stable centrifugal impeller with a vaned diffuser Engineering Optimization, Vol.42., pp. 271-293, (2010.3)
2. Koji Shimoyama, Kazuyuki Sugimura, Shinkyu Jeong, and Shigeru Obayashi, “Performance Map Construction for a Centrifugal Diffuser with Data Mining Techniques,” Journal of Computational Science and Technology, Vol.4, No.1, pp. 36-50, (2010.4).
3. Masahito Yonezawa, Shigeru Obayashi, “Aerodynamic Performance of the Three-Dimensional Lifting Supersonic Biplane,” Journal of Aircraft, Vol.47, No.3, pp.983-991, (2010.5).
4. 沢田雅洋, 山下博, 岩崎俊樹, 大林茂, “人力飛行機長距離飛行におけるダウンスケール気象予測の適用とその検証(Application and Validation of Downscaling Weather Forecast for Long-Distance Flight by Human-Powered Aircraft),” 日本航空宇宙学会論文集, Vol.58, No.681, pp.295-301, (2010.10.5).
5. K. Srinivas, S. Townsend, C. J. Lee, T. Nakayama, M. Ohta, S. Obayashi, T. Yamaguchi, “Two-Dimensional Optimization of a Stent for an Aneurysm,” Journal of Medical Devices, Vol.4, No.2, pp.021003-1-021003-7, (2010.6).
6. 大林茂, “世界記録への挑戦：長距離人力飛行機研究調査について,” 日本航空宇宙学会誌, Vol.58, No.677, pp.1-5, (2010.6.5).
7. Jongsoo Ha, Shinkyu Jeong, Shigeru Obayashi, “Flow characteristics of a pickup truck with regard to the bed geometry variation,” Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D : Journal of Automobile Engineering, Vol.224, No.7, pp.881-891, (2010.7.1).
8. Shigeru Obayashi, Shinkyu Jeong and Koji Shimoyama, Kazuhisa Chiba, Hiroyuki Morino, “Multi-Objective Design Exploration and its Applications,” International Journal of Aeronautical and Space Science, Vol. 11, No. 4, pp. 247-265(2010.11.4)

## 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Shigeru Obayashi, Shinkyu Jeong and Koji Shimoyama, Kazuhisa Chiba, Hiroyuki Morino, “Multi-Objective Design Exploration and its Applications,” International Journal of Aeronautical and Space Science, Vol. 11, No. 4, pp. 247-265(2010.11.4)
2. 大林茂（分担執筆）, “流れの最適化,” フルードインフォマティクス「流体力学」と「情報科学」の融合, pp.171-192(2010.4.30), 日本機械学会編, 出版社名:技報堂出版

## 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. Masahito Yonezawa, Shigeru Obayashi, “Aerodynamic Performance of the Three-Dimensional Lifting Supersonic Biplane,” Journal of Aircraft, Vol.47, No.3, pp.983-991, (2010.5).
2. Jongsoo Ha, Shinkyu Jeong, Shigeru Obayashi, “Flow characteristics of a pickup truck with regard to the bed geometry variation,” Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D : Journal of Automobile Engineering, Vol.224, No.7, pp.881-891, (2010.7.1).

### 【本人の受賞・特許等】

○平成22年（1月～12月）

受賞名：日本機会学会賞「Kiring-Model-Based Multi-Objective Robust Optimization and Trade-Off Rule Mining of a Centrifugal Fan with Dimensional Uncertainty」Journal of Computational Science and Technology, 第3巻, 第1号(2009-2)

受賞日：2010年4月23日

### 【学生の受賞・特許等】

○平成22年（1月～12月）

1. 受賞者：加藤博司, 大林茂, 山田泉, 奥野善則

受賞対象の研究：“気象因子から得られる後方乱気流の移流・減衰評価に関する取り組み”

授与機関・団体名：日本航空宇宙学会第41期年会講演会, 東京大学山上会館

受賞日：2010年4月15日

受賞名：日本航空宇宙学会第41期年会講演会学生優秀講演賞受賞

2. 受賞者：Y. Utsumi

受賞対象の研究：“Multidisciplinary design optimization of a three-dimensional supersonic biplane based on method of characteristics”

授与機関・団体名：27th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, Nice, France, フランス

受賞日：2010年9月20日

受賞対象の研究：論文番号:ICAS2010-1.3.4.

受賞名：Finalist for McCarthy Student Award

3. 受賞者：内田貴也・橋田樹徳ら（工学部学生）

受賞名：日本航空宇宙学会主催全日本学生室内飛行ロボットコンテストにて「ベストクラフト賞」

受賞日：2010年10月24日

### 【本人のマスコミ発表等】

○平成22年（1月～12月）

1. CAT-VNetTV(2010/12/13)
2. フジテレビスーパーニュース(2011/3/7)
3. フジテレビとくだね(2011/3/8)



氏名 福西 祐



所属 工学研究科機械システムデザイン工学専攻・教授（工学博士）

専門 流体力学

研究課題 乱流現象および空力音発生現象の解明と制御

E-mail: fushi@fluid.mech.tohoku.ac.jp

TEL: 022(795)6928

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

複雑性の極限としての乱流現象の解明に関する研究、境界層が層流から乱流に遷移する過程を解明しピエゾアクチュエータなどを用いて能動的に制御する方法の研究、キャビティなどで発生する空力音の発生原因を調べそれを能動的あるいは受動的に制御する研究などの流体力学の基礎的なテーマに取り組んでいる。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

＜国際会議＞

会議名： Seventh International Conference on Flow Dynamics

場 所： 仙台

開催期間： 2010年11月1日～3日

参加者数： 約749名

役 割： 会議実行委員

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

#### 1. 境界層の遷移過程の解明と制御

境界層中に発達する不安定波動のフィードフォワード制御を通して、遷移の遅延を試みている。制御デバイスにはピエゾセラミックアクチュエータを用い、その上流に設置したセンサーが取得した信号から制御対象とする不安定波動の振幅と位相を求め、アクチュエータの最適な駆動信号を見積もった。さらにピエゾアクチュエータによって励起される速度変動波、およびその伝播の様子を計測し定量評価することに成功した。制御アルゴリズムにはまだまだ改良の余地があるものの、本制御手法の有効性が確認された。

#### 2. 外部攪乱に対する境界層の応答特性

境界層内部の不安定波動は、一般に一樣流中の乱れがその前縁から受容されたことに端を発していると考えられている。この研究では、あえて前縁より下流の一樣流中に、人工的に乱れを導入し、前縁で乱れの受容がないことを確認した上で、境界層外の乱れが境界層の成長にどのような影響を与えるのかを明らかにすることを目的としている。実験では、加える乱れの性質を変えながら流れ場を計測し、境界層の応答特性についての解析を進めている。また境界層内に生成されたストリーク構造の成長しやすさについても調べている。

#### 3. 振動するはく離点を有する非定常流れの制御法の開発

はく離現象を伴う流れ場の制御は、工学分野において極めて重要な研究課題とされている。この研究では、外部からエネルギーを投入する必要もなく、かつボルテックスジェネレーターのように抵抗となることもない、流れが持つ性質を利用するだけで実現可能な、極めて効率的な制御方法の開発を行っている。

#### 4. キャビティから発生する空力騒音の動的制御

キャビティ音は、キャビティ前縁からはく離したせん断層がロールアップして形成された渦構造のふ

るまいによって支配される。キャビティの底面に角棒を設置することでキャビティ内部の流れを変化させ、効率的に騒音を抑制することに成功している。本研究における精密な計測および数値計算により、制御時には角棒によって生じた渦構造によってせん断層が上方に押し上げられ、フィードバックループの形成を妨げられることが明らかとなった。

#### 5. SPH法によるシミュレーションの融合領域への展開

粒子法の1つであるSPH法をベースとして、そこに様々なアルゴリズムを付加することで、濡れた路面上を変形しながら走行するタイヤおよびその周りの流れ場や、相変化や熱対流、自由表面や境界の大変形、さらには電磁場との相互作用を考慮したアーク溶融池内の複雑流動などの計算も行っている。

### 【学位論文指導（主査）】

#### 修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 佐竹 正俊  
" Three dimensional SPH Simulation of Incompressible Fluid Interacting with an Elastic Structure "
2. 機械システムデザイン工学専攻 近藤 重徳  
" Improvement of a Boundary Layer Controlling System Focusing on the Flow Field near the Piezo Actuators "
3. 機械システムデザイン工学専攻 渡辺 徹  
" Effect of Local Disturbances in Free stream on the Flat-Plate Boundary Layer "
4. 機械システムデザイン工学専攻 上原 将人  
" Generation and Development of Turbulent Spots in a Flow Field with Streaky Structures "
5. 機械システムデザイン工学専攻 大江 宏昌  
" Control of Dynamic Flow Separation "
6. 機械システムデザイン工学専攻 中島 潤之  
" Effect of Flow inside a Cavity on the Aerodynamic Noise Generation "
7. 機械システムデザイン工学専攻 薄葉 洋人  
「二次元弾性表面波モータのための駆動面設計に関する研究」
8. 機械システムデザイン工学専攻 中野 広大  
「低周波スティックスリップに及ぼす接触面剛性の影響に関する研究」
9. 機械システムデザイン工学専攻 磯崎 委志  
「真空中における高速・超精密位置決めステージのための摩擦駆動システムの開発」
10. 機械システムデザイン工学専攻 澤谷 岳亮  
「炭素繊維強化プラスチックを用いた低摩擦システムのための接触面創成に関する研究」

### 【学位論文指導（副査）】

#### 修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 渡邊 幹仁  
「海洋深層水湧昇における海域条件の検討とその実用化に関する研究」
2. 機械システムデザイン工学専攻 島 史知  
「熱音響自励振動の臨界点近傍におけるエネルギー・エネルギー流計測」
3. 機械システムデザイン工学専攻 高尾 景  
「多段熱音響スターリングエンジン発電機」
4. 機械システムデザイン工学専攻 佐々木 裕章  
「流体・材料連成数値解析による液滴衝撃エロージョンに関する研究」
5. 機械システムデザイン工学専攻 篠原 圭介  
「誘電体バリア放電による管内微粒子攪拌および搬送特性」
6. ナノメカニクス専攻 小杉 直央  
「Si基盤上におけるポリマー液膜の構造と輸送特性」
7. 航空宇宙工学専攻 浦本 翔平  
「超音速噴射流れ場の変動速度相関」

8. 航空宇宙工学専攻 高江 剛一  
「擬似衝撃波内に噴射した気体の混合特性の条件付きサンプリングによる評価」
9. 航空宇宙工学専攻 内海 雄紀  
「多重極解析を用いた低ソニックブーム超音速機の研究」
10. 航空宇宙工学専攻 駒形 大輔  
「柔軟体衝突を受ける複合材積層板の損傷解析」
11. 航空宇宙工学専攻 恩田 博  
「航空機主脚まわりの流れと空力音の数値解析手法に関する研究」
12. 航空宇宙工学専攻 伊田 真悟  
「火星大気風洞による薄翼の低レイノルズ数空力特性の実験的評価」
13. 航空宇宙工学専攻 荻田 力  
「低レイノルズ数における3次元翼の非線形空力特性に関する研究」
14. 航空宇宙工学専攻 山崎 真一  
「角柱と壁面の非定常空力干渉に関する実験的研究」
15. 航空宇宙工学専攻 太田 敦人  
「矩形管内を流動するスラッシュ流体の流動・伝熱特性に関する数値解析」
16. バイオロボティクス専攻 松本 義弘  
「血液中を流動する細胞挙動の数値解析」

#### 【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. H. Okawa, M. Watanabe, M. Shigeta, S. Izawa, Y. Fukunishi: Active Feedforward Cancellation of Instability Waves, Proceedings of 13th Asian Congress of Fluid Mechanics, 256-258, (2010).
2. S. Noro, M. Kaneko, M. Shigeta, S. Izawa, Y. Fukunishi: Boundary Layer Receptivity to the External Disturbances, Proceedings of 13th Asian Congress of Fluid Mechanics, Dhaka, Bangladesh, (17-21 December, 2010), pp.240-243, (2010).
3. Masaya Shigeta, Masumi Ito, Seiichiro Izawa and Yu Fukunishi: Three-dimensional simulation of a flow in an arc weld pool by SPH method, Proceedings of The International Symposium on Visualization in Joining & Welding Science through Advanced Measurements and Simulation, 9-10, (2010).
4. Yu Nishio, Masaya Shigeta, Seiichiro Izawa and Yu Fukunishi: Leading Edge Receptivity to Periodic Disturbances Generated by Oscillating Wings, Proceedings of The Seventh International Conference on Flow Dynamics, 558-559, (2010).
5. Hajime Okawa, Shigenori Kondo, Masaya Shigeta, Seiichiro Izawa and Yu Fukunishi: Characteristics of Velocity Fluctuations in a Boundary Layer Excited by a Piezo Actuator Driven with Two Different Signals, Proceedings of The Seventh International Conference on Flow Dynamics, 536-537, (2010).
6. Shuta Noro, Masaya Shigeta, Seiichiro Izawa and Yu Fukunishi: Numerical Study of Boundary Layer Receptivity to Outer Disturbances, Proceedings of The Seventh International Conference on Flow Dynamics, 498-499, (2010).
7. Hiromasa Oe, Shota Teramoto, Masaya Shigeta, Seiichiro Izawa and Yu Fukunishi: Passive Control of Oscillating and Separating Flow, Proceedings of The Seventh International Conference on Flow Dynamics, 254-255, (2010).
8. H. Okawa, M. Shigeta, S. Izawa, Y. Fukunishi: Relation between Waveforms of Piezo-Actuator Driving Signals and Excited Velocity Fluctuations inside a Flat-Plate Boundary Layer, Proceedings of The 5th Tohoku-SNU University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, 50-51, (2010).
9. Y. Nishio, M. Shigeta, S. Izawa, Y. Fukunishi: Leading Edge Receptivity to Oncoming Vortices, Proceedings of The 5th Tohoku-SNU University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, 42-43, (2010).

### 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. H. Okawa, M. Watanabe, M. Shigeta, S. Izawa, Y. Fukunishi: Active Feedforward Cancellation of Instability Waves, Proceedings of 13th Asian Congress of Fluid Mechanics, 256-258, (2010).
2. S. Noro, M. Kaneko, M. Shigeta, S. Izawa, Y. Fukunishi: Boundary Layer Receptivity to the External Disturbances, Proceedings of 13th Asian Congress of Fluid Mechanics, Dhaka, Bangladesh, (17-21 December, 2010), pp.240-243, (2010).
3. Yu Nishio, Masaya Shigeta, Seiichiro Izawa and Yu Fukunishi: Leading Edge Receptivity to Periodic Disturbances Generated by Oscillating Wings, Proceedings of The Seventh International Conference on Flow Dynamics, 558-559, (2010).
4. Hajime Okawa, Shigenori Kondo, Masaya Shigeta, Seiichiro Izawa and Yu Fukunishi: Characteristics of Velocity Fluctuations in a Boundary Layer Excited by a Piezo Actuator Driven with Two Different Signals, Proceedings of The Seventh International Conference on Flow Dynamics, 536-537, (2010).
5. Shuta Noro, Masaya Shigeta, Seiichiro Izawa and Yu Fukunishi: Numerical Study of Boundary Layer Receptivity to Outer Disturbances, Proceedings of The Seventh International Conference on Flow Dynamics, 498-499, (2010).
6. H. Okawa, M. Shigeta, S. Izawa, Y. Fukunishi: Relation between Waveforms of Piezo-Actuator Driving Signals and Excited Velocity Fluctuations inside a Flat-Plate Boundary Layer, Proceedings of The 5th Tohoku-SNU University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, 50-51, (2010).
7. Y. Nishio, M. Shigeta, S. Izawa, Y. Fukunishi: Leading Edge Receptivity to Oncoming Vortices, Proceedings of The 5th Tohoku-SNU University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, 42-43, (2010).

### 【本人の受賞・特許等】

○平成22年（1月～12月）

受賞名：Best Paper Award of "Visualization in Joining & Welding Science through Advanced Measurements and Simulation", Joining and Welding Research Institute, Osaka University

受賞日：2010年11月11日

### 【学生の研究費の獲得】

○平成22年（1月～12月）

獲得者：野呂 秀太

名称：日本学術振興会特別研究員奨励費

期間：平成22年4月～平成23年3月



氏名 浅井 圭介



所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・教授（博士（工学））

専門 実験空気力学

研究課題

極限流動計測のための機能性分子イメージング技術の研究

E-mail: asai@aero.mech.tohoku.ac.jp

TEL: 022(795)7898

## 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

航空宇宙や環境・エネルギーなどの応用分野において重要となる極限的な流動現象を実験的に解明するための先端的な実験・計測技術の研究開発を行っている。特に機能性分子を利用した新しい概念のイメージング技術の研究開発とそれを利用した非定常流動現象の解明に力を入れている。応用分野としては、極低温から超高温、低速から超音速にいたる様々な熱流体現象を対象に、航空機や高速鉄道を効率化し環境適合性を向上するための種々の技術課題に取り組んでいる。また、極限流動への応用の一つとして、地球とは全く環境の異なる火星などの惑星大気環境を模擬するための実験技術の開発と、低レイノルズ数翼型に関する実験的研究を行っている。

## 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

<シンポジウム>

名 称：第5回ハイパーソニックフォーラム

主催団体：東北大学大学院工学研究科、流体科学研究所

開催期間：2011年3月4日

開催場所：東北大学 流体科学研究所 COE棟 3階会議室

役 割：主催者

<招待講演>

1. Keisuke Asai, "Aerodynamic Applications of Molecular Imaging and Sensing Pressure and Temperature Sensitive Paint," International PSP/TSP Workshop 2010 May 23-25, 2010, Beijing, China
2. Keisuke Asai and Daisuke Yorita, "Unsteady PSP Measurement in Low-Speed Flow - Overview of Recent Advancement at Tohoku University," AIAA-2011-0847, 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, Orlando, Florida, U.S.A.

## 平成22年度の研究業績

### 【研究内容】

1. 分子センサーを用いた非定常圧力場の計測法の開発

感圧塗料計測の適用範囲を低速・非定常現象に拡大するため、従来の手法では計測が困難とされていた“自然のゆらぎ”を含む現象に適用できる感圧塗料技術の開発に取り組んだ。高い空間・時間分解で、高SNRの圧力変動画像を得ることができる手法として、「改良位相固定法」「FFT解析法」および「条件付画像抽出法」の3つの手法を開発し、条件付画像抽出法については国内特許の申請を行った。これらの手法を用いて、一様流中に設置した角柱の側面に生じる周期的な圧力変動の可視化を試み、基本周波数150 Hz、圧力振幅数100 Paのカルマン渦によって誘起された圧力変動場を高SNRの画像として捉えることに成功した。

2. 火星大気飛行実現のための実験シミュレーション技術の研究開発

低レイノルズ数における翼型の空力特性を明らかにするため、火星大気風洞において、各種翼型の風洞実験を行った。平板翼では、空力特性に対するレイノルズ数やマッハ数の影響は比較的小さく、揚力

傾斜や抗力特性の変化が翼上面に現れる剥離泡の挙動によって一意に決まること、一方、NACA0012・34翼型ではレイノルズ数やマッハ数の効果がより顕著に表れ、揚力傾斜や抗力特性の変化がせん断層の遷移の有無に強く影響されることがわかった。レイノルズ数が小さい場合や迎角が小さい場合は、せん断層が層流状態を保ったまま翼面に再付着するのに対して、臨界条件以上では、乱流に遷移したあと翼面に再付着する。また、圧縮性にはせん断層を安定化し乱流への遷移を遅らせる作用があることが明らかになった。

### 3. プラズマを利用した流体制御手法の開発

DBD型プラズマアクチュエータ (DBD-PA) が、火星の低圧環境下においても、はく離制御効果を有するかどうかを調べるため、前縁部にDBD-PAを装着した平板翼の風洞実験を行った、実験は、火星大気環境が模擬できる火星大気風洞を用いて行い、レイノルズ数と周囲圧力がDBD-PAのはく離制御効果に及ぼす影響を評価した。また、印加電圧、被覆電極幅を変化させて同様の試験を行い、これらのパラメータがはく離制御効果に及ぼす影響についても評価した。その結果、低圧環境下においても、低い印加電圧ではく離制御効果が現れる領域が存在すること、はく離制御効果と静止時の運動量係数 ( $C\mu$ ) の間には相関があり、DBD-PAのはく離制御効果は  $C\mu$  がある閾値以上の場合でのみ現われることが明らかになった。

## 【学位論文指導（主査）】

### 博士論文

#### 1. 航空宇宙工学専攻 安養寺 正之

「Development of a Mars Wind Tunnel and Its Applications to Low Reynolds Number and High-Subsonic Airfoil Testing (火星大気風洞の開発と低レイノルズ数・高亜音速翼型試験への適用)」

### 修士論文

#### 1. 航空宇宙工学専攻 玉村 大道

「ループヒートパイプの始動過程に関する実験的研究」

#### 2. 航空宇宙工学専攻 田中 慎一

「火星大気中のはく離流制御へのプラズマアクチュエータの適用」

#### 3. 航空宇宙工学専攻 伊田 真悟

「火星大気風洞による薄翼の低レイノルズ数空力特性の実験的評価」

#### 4. 航空宇宙工学専攻 荻田 力

「低レイノルズ数における3次元翼の非線形空力特性に関する研究」

#### 5. 航空宇宙工学専攻 山崎 真一

「角柱と壁面の非定常空力干渉に関する実験的研究」

(9月卒業)

#### 1. 航空宇宙工学専攻 須貝 直之

「寿命法による圧力・温度同時計測光ファイバーセンサーの開発」

## 【学位論文指導（副査）】

### 博士論文

#### 1. 航空宇宙工学専攻 大澤 弘始

「Study of Thermochemical Nonequilibrium Flowfield Concerning Radiative Heating and Surface Catalysis of Heatshield Material (耐熱材の輻射加熱と表面触媒に関する熱化学 非平衡流れ場の研究)」

#### 2. 航空宇宙工学専攻 松本 剛明

「Attitude Transition Strategy for Vertical Hover and Post-Stall Maneuvers of Unmanned Aerial Vehicles (無人航空機の垂直ホバリングおよびポストストール機動における姿勢遷移)」

## 修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 磯部 祐一  
「超音速複葉翼型高揚力形状の空力性能に関する実験及び数値解析」
2. 航空宇宙工学専攻 江波戸 翔一  
「DBDプラズマアクチュエータにおける誘起流れの数値的研究」
3. 航空宇宙工学専攻 寺田 一平  
「火星無着陸サンプルリターンカプセルのダストサンプル捕獲法に関する数値的研究」
4. 航空宇宙工学専攻 久保 貴裕  
「ロケット-ラムジェット複合サイクルエンジンのノズル特性について」
5. 航空宇宙工学専攻 星野 貴久  
「コーナー・バンプを設けた矩形ダクト内に生じる擬似衝撃波」
6. 航空宇宙工学専攻 永井 孝佳  
「静電容量型ボイド率計を用いた液体窒素沸騰流の熱・流動特性評価」
7. 航空宇宙工学専攻 高江 剛一  
「擬似衝撃波内に噴射した気体の混合特性の条件付きサンプリングによる評価」
8. ナノメカニクス専攻 泊川 晃  
「多孔質体内のナノスケール気体流れに関する数値的研究」
9. 機械システム工学専攻 渡辺 徹  
「Effect of Local Disturbances in Freestream on the Flat-Plate Boundary Layer  
(一様流中の局所的な乱れが平板境界層に及ぼす影響)」
10. 航空宇宙工学専攻 松山 俊太郎  
「軽飛行機の失速特性改善のための空力最適設計手法」
11. 航空宇宙工学専攻 宮内 空野  
「超音速複葉翼を用いた航空機の主翼構造重量評価」
12. 航空宇宙工学専攻 大瀬戸 篤司  
「4発テールシッタ無人航空機の設計と飛行制御」
13. 航空宇宙工学専攻 岩川 和晃  
「小惑星探査機のタッチダウンハイブリッドシミュレーション」

## 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. OBATA, M., MATSUURA, N., MITSUO, K., NAGAI, H., ASAI, K., HARADA, M., HIROHARA, S., TANIHARA, M., YANO, S., “Oxygen-Sensing Properties of 5,10,15,20-Tetraphenylporphyrinato Platinum(II) and Palladium(II) Covalently Bound on Poly(isobutyl-co-2,2,2-trifluoroethyl methacrylate),” Journal of Polymer Science Part A, Polymer Chemistry, 2010, vol. 48, no3, pp. 663-670.
2. 江上 泰広, 飯島 由美, 浅井 圭介, “低温風洞における感圧塗料のヒステリシスに関する研究”, 日本機械学会論文集, 第76巻第762号B編 (2010), pp.254-258
3. 江上 泰広, 飯島 由美, 浅井 圭介, “10度円錐体に発達する超音速境界層遷移の可視化に関する研究”, 日本機械学会論文集, 第76巻第762号B編 (2010), pp.259-265
4. Manjinder Singh, Jonathan W. Naughton, Taro Yamashita, Hiroki Nagai, and Keisuke Asai, “Surface Pressure and Flow Field Behind an Oscillating Fence Submerged in a Turbulent Boundary Layer,” Experiments in Fluids, Volume 50, Number 3, 701-714 (2010)

## 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Journal of Polymer Science Part A, Polymer Chemistry
2. 日本機械学会論文集（B編）
3. Experiments in Fluids

### 【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. Masayuki ANYOJI, Shingo IDA, Kei NOSE, Daiju Numata, Hiroki NAGAI and Keisuke ASAI, “Characteristics of the Mars Wind Tunnel at Tohoku University in CO2 Operation Mode,” AIAA paper 2010-1490, 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting, Orlando, Florida, 2010 1.4-7
2. Masayuki Anyoji, Yasuhiro Sugino, Tadashi Ono, Daiju Numata, Hiroki Nagai, Keisuke Asai, ” Low Reynolds Number Testing Airfoil in a Mars Wind Tunnel,” AIAA 2010-4627, 27th AIAA Aerodynamic Measurement Technology and Ground Testing Conference, Chicago, Illinois, June 28 – Jul 1, 2010

### 【本人の受賞・特許等】

○平成22年

受賞名：Best Presentation Award for Student

（日本航空宇宙学会北部支部2010年講演会および 第11回再使用型宇宙推進系シンポジウム）

受賞日：2011年3月10日

### 【学生の受賞・特許等】

○平成22年（1月～12月）

名 称：「条件付き画像抽出による非定常感圧塗料計測法

発明者：依田大輔，永井大樹，浅井圭介

出願日：平成22年6月17日

出願番号：特願2010-137911

### 【学生の研究費の獲得】

○平成22年（1月～12月）

獲得者：安養寺正之

名 称：日本学術振興会DC特別研究員

獲得者：依田大輔

名 称：日本学術振興会DC特別研究員



氏名 澤田 恵介



所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・教授（博士（工学））

専門 高速空気力学

研究課題 惑星大気圏突入シミュレーション手法の研究

高次精度数値流体力学計算手法の研究

E-mail: sawada@cfld.mech.tohoku.ac.jp

TEL: 022(795)6998

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

事業担当者の研究分野では、計算空気力学を用いて火星大気圏をフライバイするカプセルによる無着陸サンプルリターンカプセルのサンプル取得位置に関する検討や衝撃風洞内に設置されたカプセル供試体表面の熱流束分布解析等の極超音速気流の数値解析実施、不連続ガレルキン法による高次精度非構造格子法の構築と酸化剤旋回型ハイブリッドロケット燃焼室内の燃焼流れ場解析への適用に取り組んだ。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

#### <国際会議>

会議名：Seventh International Conference on Flow Dynamics

場 所：仙台

開催期間：2010年11月1日～3日

役 割：セッションオーガナイザー

#### <国内会議>

会議名：第24回数値流体力学シンポジウム

場 所：慶応大学日吉キャンパス

開催期間：2010年12月20日～22日

役 割：セッションオーガナイザー

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

#### 1. 無着陸サンプルリターンカプセルのサンプル取得位置に関する検討

JAXAで計画されている火星複合探査では、火星大気圏をフライバイする無着陸サンプルリターンカプセルで火星大気中を浮遊するダストの採取が検討されている。本研究ではダストサンプル取得装置の最適設置位置を検討した。カプセル周りの流れ場は火星大気に対する非構造プリズム格子熱化学非平衡ソルバーで求めた。また、ダスト粒子の飛行経路、温度変化はいずれも標準的な方程式を数値的に解いて求めた。取得装置には、ダスト取得時にカプセルの空力特性変化が小さいこと、サンプル取得に用いるエアロジェルへの空力加熱量が小さいこと、そしてダストがカプセル前方に形成される衝撃層を飛行時に溶解や変質しないことが求められる。最初にカプセル円錐部の風下側の最下流位置と風上側最下流位置に取得装置を設置した場合を検討したところ、空力特性量の変化やエアロジェルの空力加熱では風下側の最下流位置が良いが、ダスト粒子の温度上昇については衝撃層内の飛行距離の短い風上側の方が良い結果を得た。このため、風下側の円錐部中間部分に取得装置の設置場所を移したところ、空力特性や加熱量は変わらないまま粒子温度の上昇が抑えられることが示された。

#### 2. 高温衝撃風洞内に設置されたカプセル模型表面熱流束の解析

JAXA角田宇宙センターに設置されている高温衝撃風洞(HIEST)を用いてアポロ型カプセル表面熱流束分布の計測実験が行われている。これまでの実験より、高エンタルピー条件では低エンタルピー条件時と異なる加熱率分布が現れることが知られている。この現象は諸外国の高エンタルピー衝撃風洞でも報告されているが、原因が解明されていない。熱化学非平衡ソルバーを用いて加熱率分布を求めたところ、低エンタルピー条件では衝撃風洞で得られたデータを程よく再現したが、高エンタルピー

条件では実験値の再現が出来なかった。リザーバー部からの輻射加熱、ノズル出口の気流の化学組成、あるいは乱流加熱などの影響に関する詳細な検討を予定している。

### 3. 高次精度非構造格子法の高度化

不連続ガレルキン法による非構造格子法の収束加速法として、これまでに並列化が容易なセル緩和型の陰解法を提案している。空間精度が4次のセル緩和型陰解法の2次元三角形セル配置に対する線形安定性を標準的な3つの配置法に対して半解析的に調べた。様々な波数、10の8乗に及ぶ時間刻み幅に対して、様々な方向に伝播する正弦波の振幅増幅率が、複素平面上の原点を中心とする半径1の円周内に収まることを示した。任意の三角形セル配置に対する安定性解析ではないが、従来、数値的な安定性が計算結果から示されていただけのセル緩和型陰解法の安定性を半解析的に示すことができた。

### 4. 酸化剤旋回型ハイブリッドロケット燃焼室内の燃焼流れ場解析への適用

セル緩和型陰的不連続ガレルキン法に基づく高次精度非構造格子法を酸化剤旋回型ハイブリッドロケット燃焼室内流れ場の解析に適用した。ハイブリッドロケットでは固体燃料表面に生じる境界層内で酸化剤と燃料ガスが拡散燃焼する。また、酸化剤に旋回をかけることによって固体燃料表面の境界層が薄くなって燃料表面への対流熱流束が高くなり、燃料後退速度が大きくなることが期待されている。本計算では酸化剤、燃料ガスと燃焼ガスの三種類のガスを導入して一段総括反応で燃焼反応を模擬した。計算の結果、境界層内部に薄い高温領域が生じた。一方、旋回流による遠心力と釣り合うために生じた半径方向の圧力勾配のために燃焼室中心軸は圧力が低下し、下流側から上流側に向かう逆流域が生じた。本計算では酸化剤旋回型ハイブリッドロケット燃焼室内流れ場を定性的に再現できたと考えられるが、燃焼領域の温度は実際の温度よりもかなり高くなってしまった。現実的な燃焼温度を得るには、燃焼反応に寄与する中間化学種を考慮した熱化学平衡流れ場解析が必要であり、コードの改修を進めている。

## 【学位論文指導（主査）】

### 修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 小松 孝好  
「DSMCを用いた熱化学非平衡流れ場計算に関する研究」
2. 航空宇宙工学専攻 寺田 一平  
「火星無着陸サンプルリターンカプセルのダストサンプル捕獲法に関する数値的研究」
3. 航空宇宙工学専攻 島倉 和也  
「MPD推進機に関する数値解析」
4. 航空宇宙工学専攻 田中 健嗣  
「一様磁場下における導電性流体準二次元流れの解析」

## 【学位論文指導（副査）】

### 博士論文

1. 航空宇宙工学専攻 石田 崇  
「Study of High-Order/High-Resolution Method for Flow Simulations with Cartesian Grid Method (直交格子法を用いた高次精度・高解像度計算に関する研究)」
2. 航空宇宙工学専攻 渡邊 昌俊  
「製品設計のための直交格子を用いた流体数値解析技術の研究」

### 修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 市橋 友  
「現実的状态方程式を用いたレーザー衝撃波伝搬の数値的研究」
2. 航空宇宙工学専攻 江波戸 翔一  
「DBDプラズマアクチュエータにおける誘起流れの数値的研究」
3. 航空宇宙工学専攻 石川 典由  
「Building Cube Methodを用いた流体大規模並列計算法に関する研究」
4. 航空宇宙工学専攻 恩田 博  
「航空機主脚まわりの流れと空力音の数値解析手法に関する研究」

5. 機械システムデザイン工学専攻 渡辺 徹  
「Effect of Local Disturbances in Freestream on the Flat-Plate Boundary Layer (一様流中の局所的な乱れが平板境界層に及ぼす影響)」
6. ナノメカニクス専攻  
「多孔質体内のナノスケール気体流れに関する数値的研究」

#### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Kanako Yasue, Michiko Furudate, Naofumi Ohnishi and Keisuke Sawada  
Implicit Discontinuous Galerkin Method for RANS Simulation Utilizing Pointwise Relaxation Algorithm  
*Communications in Computational Physics*, Vol. 7, No. 3, pp. 510-533, 2010.

#### 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. *Communication in Computational Physics*

#### 【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. Kazuki Yoshimura and Keisuke Sawada  
Numerical Simulation of Swirling Flowfield in Combustion Chamber for Hybrid Rocket Engine  
AIAA Paper 2010-0905, 2010
2. Keisuke Sawada, Takaya Kouda and Kanako Yasue  
Computation of Swirling Injection Flowfield in Combustion Chamber Using High-Order Unstructured NS Solver  
7th International Conference on Flow Dynamics, November, 2010
3. Kazuya Shimakura, Hosik Lee, Kazuyuki Ueno and Keisuke Sawada  
Numerical Simulation of an Applied-Field MPD Thruster  
The 5th Tohoku University -- Seoul National University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle,  
June, 2010
4. 荻野要介, 大西直文, 澤田恵介,  
気体駆動型レーザー推進における非平衡プラズマ流れ場計算  
第54回宇宙科学技術連合講演会, 日本航空宇宙学会, 3C10, 2010年11月
5. 内山順史, 佐藤真帆, 北條圭介, 上野和之, 澤田恵介  
固体ロケットモータ内流れの混相モデル  
第54回宇宙科学技術連合講演会, 日本航空宇宙学会, 1F10, 2010年11月
6. 澤田恵介, 甲田貴也, 保江かな子  
非構造格子法を用いた酸化剤旋回型燃焼室内流れの数値解析  
第54回宇宙科学技術連合講演会, 日本航空宇宙学会, 2B12, 2010年11月
7. 荻野要介, 永野敦士, 大西直文, 澤田恵介,  
原子・分子過程と空気プラズマ流の結合計算コード開発  
第24回数値流体力学シンポジウム, 日本流体力学会, E1-4, 2010年12月

#### 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. Kanako Yasue, Michiko Furudate, Naofumi Ohnishi and Keisuke Sawada  
Implicit Discontinuous Galerkin Method for RANS Simulation Utilizing Pointwise Relaxation Algorithm  
*Communications in Computational Physics*, Vol. 7, No. 3, pp. 510-533, 2010.

氏名 伊藤 高敏



所属 流体科学研究所・教授（博士（工学））

専門 ジオメカニクス

研究課題

地殻利用による地球温暖化防止技術の開発

E-mail: ito@ifs.tohoku.ac.jp

Tel: 022(217)5234

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

特に地表面下深度千メートル以上の岩体中で起きている各種の流動現象を、従来にはない観点から解明すると共に、それを工学的に応用することを目指している。本GCOEプログラムを通して、同分野で貢献できる人材を育てると共に世界の研究者との交流を深めて、研究の推進を図る。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

1. 「大深度地殻応力評価を目的としたBABHY式水圧破碎法」に関わる研究内容について、「The 5th International Symposium on In-situ Rock Stress」（Beijing、H22年8月25～27日）にて招待講演を実施し、また、American Rock Mechanics Associationによる2010 Award for Research in Rock Mechanicsを受賞した。さらに、地球深部探査船ちきゅう号によって海底地層に掘削された孔井でBABHY式水圧破碎法を行うための実用機を（独法）海洋研究開発機構の地球深部探査センターが中心となって開発することになった。
2. （独法）石油天然ガス・金属鉱物資源機構による委託研究「堆積軟岩層における水圧破碎メカニズム解明と応力評価手法の検討」（H22～23年度）に着手した。その一環としてH22年度には、模擬堆積軟岩層を進展するフラクチャーをX線CT法によって可視化するための室内実験装置を開発した。
3. 「CO2地中貯留のためのCO2反応性グラウトによる人工バリアー形成法の開発」ならびに「微小地震に基づく地熱・石油天然ガス貯留層内の圧力と流体移動マッピング技術の開発」に関する国際会議での招待講演を、「The 2nd International Symposium of Experimental-Integrated Computational Chemistry on Multiscale Fluidics」（Sendai、H22年2月23～24日）ならびに「G-COE Symposium 2010 Dynamic Earth and Heterogeneous Structure」（Sendai、H22年7月13～15日）などで実施した。

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

1. 微小地震に基づく地熱・石油天然ガス貯留層内の圧力と流体移動マッピング技術の開発  
水圧破碎に伴って発生する微小地震の発生挙動から圧力分布を評価し、それを適当な流路構造を仮定して求めた圧力分布とマッチングさせることで地下の流路構造を評価する方法の研究である。本研究の最大の特徴は、微小地震ごとに得られる、震源位置と発生時刻における間隙水圧を、周囲にある微小地震の結果と比較して取捨選択し、間隙水圧分布評価に用いるべき結果かどうかを判断することにある。これに対して本年度には、その比較手順の見直しを行い、物理的な意味づけを明確にすると共に客観性と精度の向上を図った。
2. 大深度地殻応力評価を目的としたBABHY法の開発  
従来の水圧破碎法にあった致命的欠陥を回避した上で、km級深度における地殻応力の定量評価を初めて可能とする方法の研究である。H19年度に実施した実規模実験の成功を踏まえて、この技術の実用化を進めている。本年度は、科研費新学術領域「超深度掘削が拓く海溝型巨大地震の新しい描像」（代表 東大・木村 学 H21～25年度）の分担研究の一部として、孔井内に設置するツール用となる高圧発生ユニットを開発した。



3. CO<sub>2</sub>地中貯留のためのCO<sub>2</sub>反応性グラウトによる人工バリアー形成法の開発  
地球温暖化対策の切り札とされるCO<sub>2</sub>地中貯留では、地下に注入されたCO<sub>2</sub>が浮力で上昇することをキャップロックと呼ばれる天然のバリアーで防ぐことになっている。しかし、CO<sub>2</sub>の粘性は非常に小さいためにキャップロックにあるわずかな欠陥を通して漏洩する可能性がある。そこで、別途注入する溶液（反応性グラウト）と漏洩したCO<sub>2</sub>との反応生成物で間隙を埋めて漏洩を修復することを検討している。本年度には、反応性グラウトとなる水ガラス溶液とCO<sub>2</sub>溶液が反応してシリカが析出する過程を数値シミュレーションする方法を開発した。これにより、実規模の現象を予測することが可能となった。
4. 未固結層を対象とした水圧破碎技術の開発  
エネルギー新資源と注目されるメタンハイドレート（MH）からのメタンガス生産手法として水圧破碎の利用が考えられている。しかし、MHが胚胎する未固結な堆積層の水圧破碎挙動は未解明であったことから、その挙動を室内実験によって調べている。本年度は、水深約1 kmにある海底浅部地層の応力と間隙水圧状態を再現し、その中で水圧破碎を行うことができる室内試験装置を開発した。また、予備実験を行ったところ、間隙水圧の有無によってフラクチャー形成挙動が変化する可能性が示された。

#### 【学位論文指導（主査）】

##### 修士論文

1. 環境科学専攻 庄野 泰斗  
「熊野灘海底地層で実施した応力測定試験の解析」
2. 環境科学専攻 田中 秀宜  
「CO<sub>2</sub>地中貯留層の漏洩修復を目的とした原位置反応法の数値シミュレーションに関する研究」
3. 環境科学専攻 牧 紀幸  
「微小地震に基づく地下流路評価法の客観性向上に関する研究」

#### 【学位論文指導（副査）】

##### 修士論文

1. 環境科学専攻 小川 敬晴  
「福島県天栄村湯本地区における里山の総合利用計画と木質バイオマス自給に関する研究」
2. 環境科学専攻 田中 寛大  
「超臨界二酸化炭素による水圧破碎き裂作成に関する研究」
3. 環境科学専攻 石橋 琢也  
「マルチスケール岩石き裂ネットワーク内の3Dチャネリングフロー」
4. 環境科学専攻 金 東勲  
「Radar Application to Monitoring of Fluid Migration in porous Material」
5. 環境科学専攻 鈴木 杏奈  
「断裂型貯留層におけるNon-Fickian挙動のキャラクタリゼーションに関する研究」
6. 環境科学専攻 中川 智未  
「CO<sub>2</sub>地下貯留のための岩石へのCO<sub>2</sub>収着挙動評価に関する研究」

#### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. W.Lin, M.Doan, C.Moore, L.McNeil, T.B.Byrne, T.Ito and IODP Exp.319 Scientists  
Present-day Principal Horizontal Stress Orientation in the Kumano Forearc Basin of the Southwest Japan Subduction Zone Determined from IODP NanTroSEIZE drilling Site C0009  
Geophysical Research Letters, Vol.37, No.L13303, (2010), doi:10.1029/2010GL043158.
2. T.Ito, K.Satoh and H.Kato  
Deep Rock Stress Measurement by Hydraulic Fracturing Method Taking Account of System Compliance Effect  
Proceedings of the 5th International Symposium of In-situ Rock Stress, Vol.1, (2010), pp.43-50.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Geophys. Res. Lett.

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. 伊藤高敏, 山本晃司, 長久保定雄  
未固結地層フラクチャリング挙動解明のための実験的アプローチ  
第1回メタンハイドレート総合シンポジウム講演集, Vol.1, (2010), pp.135-138.
2. T.Ito  
Proposed Concept of In-situ Reaction Barrier to Remedy Leakage from Reservoirs of Geological CO2 Storage  
Proceedings of the 2nd International Symposium of Experimental-Integrated Computational Chemistry on Multiscale Fluidics, Vol.1, (2010), pp.55-56.
3. 伊藤高敏  
大水深海底下の地層を対象にしたフラクチャリング技術  
資源・素材学会平成22年度春季大会講演集, Vol.1, (2010), pp.129-132.
4. 田中秀宜, 伊藤高敏, 関根孝太郎, ティアンフ・スー  
CO2地中貯留層からの原位置反応法による漏洩修復と数値シミュレーションによる検討  
平成22年度石油技術協会春季講演会要旨集, Vol.1, (2010), p.143.
5. 神崇太, 伊藤高敏, 中塚善博, 山本晃司  
未固結地層フラクチャリング模擬実験のX線CTによる可視化  
平成22年度石油技術協会春季講演会要旨集, Vol.1, (2010), p.118.
6. T.Ito  
Measurement of Pressure and Flow Distribution in Fractured Geothermal Reservoirs at Few Km Deep  
Program & Abstract of G-COE Symposium 2010 Dynamic Earth and Heterogeneous Structure, Vol.1, (2010), pp.89-90.
7. T.Ito, S.Jin, S.Nagakubo, K.Yamamoto and H.Narita  
Laboratory Study on Hydraulic Fracturing in Unconsolidated Sands  
Program & Abstracts of International Symposium on Methane Hydrate Resources from Mallikto Nankai Trough, Vol.1, (2010), p.87, P-15.
8. 牧 紀幸, 伊藤高敏, 海江田秀志  
微小地震に基づく貯留層内の圧力伝播挙動評価法の客観性向上に関する研究  
日本地熱学会22年度学術講演会講演要旨集, Vol.1, (2010), B27.
9. 伊藤高敏, 山本晃司, 長久保定雄  
フラクチャリングによる未固結地層応力評価法の検討  
第2回メタンハイドレート総合シンポジウム講演集, Vol.1, (2010), pp.139-142.
10. T.Ito, A.Funato, H.Ito and M.Kinoshita  
Determination of Stress State in Deep Subsea Formation by Combination of Hydrofracturing Test and Core Analysis: A Case Study in the Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Expedition 319  
Eos Transactions, AGU Fall Meeting Supplement, Vol.1, (2010), Abstract T13E-06.

【本人の受賞・特許等】

○平成22年（1月～12月）

受賞名：2010 Award for Research in Rock Mechanics

受賞日：2010年6月30日



氏名 橋爪 秀利

所属 工学研究科量子エネルギー工学専攻・教授（工学博士）

専門 核融合炉工業

研究課題

配管系流力振動に影響するマクロ流動構造の解明と制御

E-mail: hidetoshi.hashizume@qse.tohoku.ac.jp

TEL: 022(795)7904

## 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

原子力プラント・核融合炉における極限熱流動現象の解明とその制御について研究を進めてきた。エルボ内流動の可視化および圧力変動解析により剥離現象により引き起こされる圧力変動特性を詳細に解明し、さらに、流体流れにより誘起・促進される配管減肉に対し可視化実験および先進的マイクロ波探傷法の実証実験を行い、現象の理解・実機への応用技術開発を推し進めている。核融合炉に関する研究としては、溶融塩の伝熱性能向上の研究を進め、また、液体窒素の沸騰現象を効率良く使用した分割型高温超伝導マグネット用除熱システムの開発を進めている。

## 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

＜国際ワークショップ＞

名称：2010 Japan-US Workshop on "Critical issues, components and corresponding FNST R&Ds for the next fusion machines"（次期核融合装置を目指した最重要研究課題と機器に関するWS）

主催：核融合科学研究所、GCOE

開催場所：松島、日本

期間：2010.10.20-22

役割：Organizer

## 平成22年度の研究業績

### 【研究内容】

#### 1. エルボ内流れ圧力変動特性解明

原子力プラントの配管系では、物量削減の観点から低曲率半径比のエルボが使用される場合が多く、非定常性の強い局所的な偏流や剥離渦の発生によって流力振動につながる圧力変動が発生することがある。本研究は、エルボ内流れの剥離現象を可視化し流れ場の詳細を把握するとともに、圧力センサーにより壁面における圧力を計測し、その圧力変動特性を明らかにするものである。可視化実験では高時間解像度計測で速度変動PSDに存在する卓越ピークを明らかにし、圧力測定実験により圧力変動PSDの卓越ピークの流れ方向の推移から内部流動構造を明らかにした。

#### 2. 溶融塩を用いたITER-TBMの設計

国際熱核融合実験炉ITERでの試験が予定されているTBM(Test Blanket Module)に対して、日本が独自に提案している溶融塩ブランケットの設計ウィンドウがあることを明らかにした。すなわち、溶融塩の融点を下げ、その際の粘性の増加による伝熱性能劣化をペブル充填管の使用により改善し、ITERで使用可能な構造材料がその許容温度以下になることを明らかにした。また高温溶融塩流動試験装置を用いた高熱除去負荷実験を行い、想定されている熱流束である $1\text{ MW/m}^2$ の除去を実証し、工学的に重要な目標の一つ達成したことになる。

#### 3. 配管減肉の現象解明および検査技術開発

高経年化プラントで問題になる二つの配管減肉事象、流れ加速型腐食（FAC）および液滴衝撃エロージョン（LDI）に対して可視化実験を行い、配管レイアウト内に現れる複雑流動場を詳細に明らかにし、また蒸気配管で生じ得る液滴について、その発生メカニズムを明らかにした。さらに、それらの検査技術としてマイクロ波による探傷技術の高度化を目的として実験および数値解析を行い、分散の特性を積極的に利用した、従来法と比べ格段に精度の高い手法の実証および検証を行った。

## 【学位論文指導（主査）】

### 修士論文

1. 量子エネルギー工学専攻 酒井 康智  
「配管内の減肉に対するマイクロ波探傷法の適用性の評価」
2. 量子エネルギー工学専攻 内田 美子  
「高温超伝導体のラップジョイントにおける接合性能のひずみ依存性の評価」
3. 量子エネルギー工学専攻 清水 克矢  
「核融合ブランケットにおけるペブル充填構造を用いた高プラントル数流体伝熱促進の高度化」
4. 量子エネルギー工学専攻 市岡 良恭  
「BWR統合炉心設計システムの改良と最新核データライブラリによる解析」
5. 量子エネルギー工学専攻 神代 洋明  
「高レベル放射性廃棄物処分面積への不飽和帯および地下水流動の影響評価」

## 【学位論文指導（副査）】

### 博士論文

1. 量子エネルギー工学専攻 笠井 重夫  
「高速炉による高温水蒸気電解水素製造システムの設計評価」
2. 量子エネルギー工学専攻 大木 繁夫  
「高次プルトニウムとマイナーアクチニドに着目した高速炉炉心設計の高度化」

### 修士論文

1. 量子エネルギー工学専攻 工藤 潤一  
「HTTR-ISプラントにおける確率論的安全評価」
2. 量子エネルギー工学専攻 鈴木 創司  
「BWR運転訓練シナリオ作成支援システムの実用性向上に関する研究」
3. 量子エネルギー工学専攻 中野渡 寛之  
「ルールの重要度差別化がパフォーマンスに及ぼす影響に関する実験研究」
4. 量子エネルギー工学専攻 齋藤 拓人  
「新型制御棒システムの基本特性に関する研究」
5. 量子エネルギー工学専攻 西内 嗣浩  
「核融合炉ダイバータ模擬のための再結合プラズマ生成に関する基礎研究」

## 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. K. Yuki, K. Suzuki, H. Hashizume, S. Toda. Key issues to enable heat flux removal exceeding 10 MW/m<sup>2</sup> by use of metal porous media as latent-heat transfer device, Special Topics & Reviews in Porous Media 1(1) 1-13, 2010.
2. M. Satake, K. Yuki, H. Hashizume, Thermohydraulic analysis of high-Prandtl- number fluid in complex duct simulating first wall in fusion reactor, Fusion Engineering and Design 85, 234-242, 2010.
3. S. Ito, T. Sakashita, H. Hashizume, Effect of thermal strain on the mechanical butt joint of a stacked HTS cable with a metal jacket, IEEE Transactions on Applied Superconductivity 20(3), 1747-1750, 2010.
4. T. Sakashita, S. Ito, H. Hashizume, Improvement of joint structure for mechanical butt joint of stacked BSCCO 2223 cable, IEEE Transactions on Applied Superconductivity 20(3), 1751-1754, 2010.
5. M. Aoyagi, S. Ito, H. Hashizume, T. Muroga, MHD pressure drop characteristics in a three-surface-multi-layered channel under a strong magnetic field, Fusion Engineering and Design 85 (7-9), 1181-1184, 2010.
6. S. Ebara, T. Yokomine, A. Shimizu, H. Hashizume, Numerical simulation of turbulent flow in microscopic pore scale of pebble bed by large-eddy simulation, Fusion Engineering and Design 85(7-9), 1638-1641, 2010.



7. S. Ebara, Y. Aoya, T. Sato, H. Hashizume, Y. Kazuhisa, K. Aizawa, H. Yamano, Pressure fluctuation characteristics of complex turbulent flow in a single elbow with small curvature radius for a sodium-cooled fast reactor, Journal of Fluids Engineering 132 (11) Nov. 111102, 2010.
8. S. Ebara, Y. Aoya, T. Sato, H. Hashizume, K. Yuki, K. Aizawa, H. Yamano, Pressure measurement test of single elbow simulating Na-cooled fast reactor cold-leg piping, Proceedings of the 18th International Conference on Nuclear Engineering, ICONE18-29719, 2010.
9. M. Umehara, S. Ebara, H. Hashizume, Analysis of generating mechanism of liquid droplet jet stream at the orifice downstream area, Proceedings of The 8th International Topical Meeting on Nuclear Thermal-Hydraulics, Operation and Safety, N8P0305, 2010.
10. H. Yanai, S. Ebara, H. Hashizume, Investigation of influence of inlet flow conditions on flow structure in a dual elbow, The 8th International Topical Meeting on Nuclear Thermal-Hydraulics, Operation and Safety, N8P0303, 2010.

#### 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Fusion Engineering and Design
2. Journal of Fluids Engineering
3. International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics
4. IEEE Transactions on Applied Superconductivity

#### 【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. S. Ebara, T. Sato, H. Hashizume, K. Aizawa and H. Yamano, PIV measurement for dual elbow flow using 1/7-scale model of cold-leg piping in a sodium-cooled fast reactor, Proceedings of the 7th International Conference on Flow Dynamics, 108-109, 2010.
2. Y. Sakai, N. Yusa, H. Hashizume, The Effects of wall thinning shapes on microwave testing for piping, Proceedings of the 7th International Conference on Flow Dynamics, 650-651, 2010.
3. Y. Sakai, N. Yusa, S. Ito, H. Hashizume. Evaluation of microwave in pipes for inspection. Proceedings of The 15th International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation, 49-50, 2010.
4. N. Yusa, T. Uchimoto, T. Takagi, H. Hashizume. Fabrication of imitative stress corrosion cracking specimens for electric nondestructive evaluations. The 15th International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation, 13-14, 2010.
5. K. Matsui, N. Yusa, H. Hashizume. Transmutation process of  $^{90}\text{Sr}$  with 14 MeV neutron by nuclear fusion. Proceedings of Joint International Conference on Supercomputing in Nuclear Applications + Monte Carlo 2010, 273, 2010.
6. 松井謙太郎, 遊佐訓孝, 橋爪秀利, 核融合 14MeV 中性子による高レベル放射性廃棄物処理, 日本原子力学会 2010 春の年会講演論文集, M26, 2010 年
7. 青谷雄太, 佐藤司, 江原真司, 橋爪秀利, 結城和久, 相澤康介, 山野秀将, Na 冷却高速炉における大口径配管の流力振動評価に関する研究 ; (21) 1/7 および 1/15 スケールシングルエルボの圧力変動計測, 日本原子力学会 2010 春の年会講演論文集, E44, 2010 年
8. 梅原真弘, 江原真司, 橋爪秀利, オリフィス近傍における液膜から発生する液滴に関する実験的研究, 日本原子力学会 2010 春の年会講演論文集, E23, 2010 年
9. 矢内宏樹, 江原真司, 橋爪秀利, 結城和久, 戸田三朗, 流入条件によるデュアルエルボの流動構造変化の解明, 日本原子力学会 2010 春の年会講演論文集, E24, 2010 年
10. 清水克矢, 江原真司, 橋爪秀利, 結城和久, 相良明男, ペブル充填管における高プラントル数流体の伝熱流動実験, 第 47 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, vol. □+□, 373-374, 2010 年
11. 江原真司, 橋爪秀利, 結城和久, 相澤康介, 山野秀将, Na 冷却高速炉における大口径配管の流力振動評価に関する研究;(24)コールドレグ 1/7 縮尺試験装置を用いた 2 段エルボ管内流れの PIV 計測, 日本原子力学会 2010 秋の大会講演論文集, L45, 2010 年.
12. 矢内宏樹, 江原真司, 橋爪秀利, 結城和久, 戸田三朗, 配管減肉予測および検査技術の高度化 ; (7)

可視化実験によるデュアルエルボ内流動の流入条件依存性評価、日本原子力学会 2010 秋の大会講演論文集、J23、2010 年。

13. 清水克矢、江原真司、橋爪秀利、球充填環状流路を用いた高 Pr 数流体の伝熱促進に関する実験、熱工学コンファレンス講演論文集、No. 10-25、237-238、2010 年
14. 遊佐訓孝、内一哲哉、高木敏行、橋爪秀利、固相接合を用いた電磁非破壊検査のための模擬応力腐食割れ試験体製作、保全学会 第 7 回学術講演会要旨集、556-557、2010 年。
15. 酒井康智、遊佐訓孝、橋爪秀利、マイクロ波を用いた配管減肉の検出とサイジング、保全学会 第 7 回学術講演会要旨集、534-544、2010 年。
16. 内田美子、伊藤悟、橋爪秀利、積層高温超伝導導体の機械的ラップジョイントに関する基礎研究、2010 年春季低温工学・超電導学会講演概要集、199、2010 年
17. 伊藤悟、坂下武志、橋爪秀利、金属ジャケット付BSCCO2223導体の機械的バットジョイントの接合構造の改善、2010年度秋季低温工学・超電導学会講演概要集、263、2010年

#### 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. M. Aoyagi, S. Ito, H. Hashizume, T. Muroga, MHD pressure drop characteristics in a three-surface-multi-layered channel under a strong magnetic field, Fusion Engineering and Design 85 (7-9), 1181-1184, 2010.

#### 【本人の受賞・特許等】

○平成22年（1月～12月）

受賞名：低温工学協会・優良発表賞

受賞日：2010年5月13日

受賞名：JAEA先行基礎工学研究表彰

受賞日：2010年7月27日

## 9. 研究協力者の取り組みと実績



氏名 白井 敦

所属 流体科学研究所・准教授（工学博士）

専門 流体力学

研究課題

傾斜遠心顕微鏡を用いた好中球の固体壁に対する付着特性解析

E-mail: shirai@ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022 (217) 5678

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

研究協力者の研究分野は、平成21年末に本グローバルCOEプログラムに組み込まれた。本研究分野は、血球と血管壁との細胞レベルの相互干渉から、マクロな、脈診を模擬した脈波解析手法の開発を行っている。血球と血管壁との相互干渉では、傾斜遠心顕微鏡を用い、培養した血管内皮細胞上における血球の挙動観察より、血球の内皮細胞への付着特性の計測を行っている。また、脈波解析手法の開発では、腕部血管系の一次元数学モデルの構築およびポータブルな脈波計測装置の開発を行っている。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

#### <講演>

講演 先：平成22年度みやぎ県民大学 東北大学流体科学研究所開放講座～流れを科学する～

講演題目：第2回：血液の流れ

講演 日：2010.9.3

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

1. 傾斜遠心顕微鏡を用いた、好中球と毛管内費細胞との摩擦・付着特性計測  
好中球のモデル細胞としてHL60を使用し、ガラス平板上に培養した血管内皮細胞上における挙動を、斜遠心顕微鏡を用いて観察した。血管内皮細胞は、血流による剪断応力を受けると流れ方向に配向することが知られている。そこで、この配向がHL60の挙動に与える影響について評価を行った。
2. 脈診を模擬した脈波計測システムの開発  
中国伝統医療のなかに脈診がある。これは、手首の橈骨動脈に指を当て、そこに感じる脈の状態から診断を行うものである。そこで、脈診の科学的検証を目的として、腕部血管系の一次元数学モデルを構築し、種々のパラメータが脈波波形に与える影響について解析を行った。また、実験的検証を目的として、脈波計測システムを構築している。

#### 【学位論文指導（副査）】

##### 博士論文

1. バイオロボティクス専攻 小助川 博之

「Development of Blood Vessel Biomodel with Realistic Mechanical Properties and geometrical Structures (血管の力学的特性と構造を再現したバイオモデルの開発)」

##### 修士論文

1. バイオロボティクス専攻 浦沼 晴香  
「傾斜遠心顕微鏡による配向した血管内皮細胞上における好中球の挙動解析」
2. バイオロボティクス専攻 小泉 亮  
「疾患との関連性に着目した左心房内血流の数値解析」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Hayase, T., Imagawa, K., Funamoto, K. and Shirai, A., Stabilization of Measurement-Integrated Simulation by Elucidation of Destabilizing Mechanism, JSME J. Fluid Sci. Tech., Vol. 5, No. 3, 632-647, 2010
2. Shirai, A. and Hayase, T., A Stabilization Technique of Wobbly Images taken by the Inclined Centrifuge Microscope, IFMBE Proceedings, 1570-1573, 2010

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. 白井, 早瀬, 傾斜遠心顕微鏡で撮影された連続画像のぶれ補正手法, 日本流体力学会年会2010拡張要旨集, CD-ROM, 2010
2. Uranuma, H., Shirai, A. and Hayase, T., Experimental Study on Effect of Direction of Endothelial Cells' Orientation on Motion of HL60 Cells, Proceedings of Seventh International Conference on Flow Dynamics, 620-621, 2010
3. 浦沼, 白井, 早瀬, 血管内皮細胞の配向方向が好中球の挙動に与える影響に関する実験的研究, 日本機械学会第21回バイオフィロンティア講演会講演論文集, 45-46, 2010
4. Sato, H., Shirai, A. and Hayase, T., Observation of Velocity of Antibody-modified HL60 Cells on Glass Plate using the Inclined Centrifuge Microscope, Proceedings of 4th East Asian Pacific Student Workshop on Nano-Biomedical Engineering, 62-63, 2010
5. 佐藤, 白井, 早瀬, 傾斜遠心顕微鏡を用いたガラス平板上におけるHL60の微視的挙動に関する基礎的研究, 日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, Vol. 5, 9-10, 2010



氏名 江原 真司



所属 工学研究科量子エネルギー工学専攻・准教授（博士(工学)）

専門 流体力学、熱工学、原子炉工学、核融合炉工学

研究課題

配管減肉現象の流動因子特定、曲がり配管における流動励起振動

E-mail: shinji.ebara@qse.tohoku.ac.jp

Tel: 022 (795) 7905

## 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

研究協力者の研究分野では、流動により引き起こされ、また促進される物質輸送や圧力変動に関する現象の解明について取り組んできた。また核融合炉などの熱的に厳しい環境における伝熱流動に関する研究についても行ってきた。配管減肉に関しては流れ加速型腐食（FAC）と液滴衝撃エロージョン（LDI）について取り組んでおり、FACではPIVシステムによる可視化実験を、LDIについては100 m/s超の高速気流を用い液滴発生実験を行ってきている。また曲がり配管における流動励起振動に関しては、レイノルズ数100万オーダーで試験可能な水流動試験装置を用いPIVシステムによる可視化および圧力変動測定を行い、配管内流動の詳細と圧力変動特性の関連性の解明を行っている。核融合炉における伝熱流動の研究では、Flibeブランケットにおける高Pr数流体の伝熱促進体であるペブル充填流路を用いた伝熱実験を行い、ブランケット設計に資するデータを取得した。

## 平成22年度の研究業績

### 【研究内容】

#### 1. 流れ加速型腐食（FAC）に関する研究

FACによる配管減肉は原子力発電プラントでたびたび報告されており、またそれは旋回流に大きな影響を受け、減肉が配管の一部に集中するということが確認されている。実機配管では旋回流の発生は珍しいことではなく、例えば3次元的に接続された二つのエルボ下流で旋回流が発生することはよく知られたことである。しかし強度や減衰特性などその詳細は不明な点が多く、今年度は3次元的に接続したエルボ配管下流に発生する旋回流特性を、屈折率調合PIV法を用いて評価した。試験部は90°のエルボ二つとその間に配置されたストレート部から構成され、旋回流の発生メカニズムや減衰特性について解析を行った。エルボ間ストレート部の長さにより2段エルボ配管下流での旋回流発生の有無が変わることが分かり、旋回成分強度の減衰特性も異なることが明らかとなった。

#### 2. 液滴衝撃エロージョン（LDI）に関する研究

プラントの蒸気系オリフィス配管で発生するLDIについて、液膜からの液滴の発生に関する実験を行った。高速度カメラ（2000 fps）による計測を配管の種々の場所に対して行い、オリフィス下流における液膜の流れや液滴の発生についてその詳細を明らかにした。オリフィス下流の液膜は再循環流れ領域のものはオリフィスに向かって流れ、オリフィスに近づくにつれ激しく波立ち、大きな塊のまま気流に巻き上げられることが観察された。また発生液滴の大きさの気流速度、液膜厚さなどの影響も明らかにした。

#### 3. 曲がり配管における流動励起振動に関する研究

曲がり配管における高レイノルズ数流れでは剥離に伴う圧力変動が生じ、これによりある特定の周波数で配管全体が振動することが懸念されている。これに対し本研究では、100万オーダーのレイノルズ数を実現できる水流動試験装置を用い、PIVシステムによる可視化および圧力変動測定を行うことで、剥離域およびその下流で圧力変動が大きくなることを明らかにした。より複雑な配管レイアウトを用いた実験も行っている。

#### 4. 高熱流束下における高温溶融塩の伝熱特性に関する研究

現在設計が研究が進められている核融合ブランケットの形式のうち、溶融塩Flibe（LiFとBeF<sub>2</sub>の混合塩）を冷却材兼トリチウム増殖材として用いるFlibeブランケットは、その機能性とシンプルな構造か

ら商用炉での使用が期待されているが、Flibe は高プラントル数流体であるため伝熱性能が悪い、また磁場下での高速流動では電気分解により腐食性の高いフッ素ガスを発生する、という欠点を有する。本研究では、低速流れにおいても高熱負荷除去が期待されるペブル充填管を採用し、Flibe模擬溶融塩を用い、核融合炉第一壁で想定される $1\text{MW/m}^2$ の熱除去を実証する。実験には高温溶融塩流動試験装置であるTohoku-NIFS Thermofluid (TNT) loopを用い、 $200\sim 300^\circ\text{C}$ 程度で試験を行っている。

#### 5. ペブル充填管を用いた高プラントル数流体流れの伝熱促進に関する研究

Flibeは融点が高いため、核融合炉ブランケットに用いられる際に流路壁である構造材上限温度を考慮すると熱的な設計裕度が低いといった欠点がある。Flibeの融点はその構成成分であるLiFとBeF<sub>2</sub>の組成比を変化させることで低くなることが分かっているが、その場合同時にPr数が大幅に増大し、Flibeの冷却性能の観点からは非常に厳しくなることが予想される。本研究では高プラントル数流体の伝熱促進法としてペブル（球）充填管を用い、その伝熱性能を実験的に検証するものである。円管や環状流路にペブルを充填することで冷却材の流路を複雑化し、流体の混合、乱流促進及び局所的噴流状流れによる温度境界層の攪拌が期待できる。同一の平均流速に対して小さいペブルほど熱伝達率が大きくなることが実験的に明らかとなったが、小さいペブルは圧力損失の増大などの問題が生じるため、得失を総合的に判断する必要がある。）

### 【学位論文指導（副査）】

#### 博士論文

##### 1. 量子エネルギー工学専攻 永津弘太郎

「垂直照射による中寿命陽電子放出核種ヨウ素-124製造システムの開発」

#### 修士論文

##### 1. 量子エネルギー工学専攻 清水克矢

「核融合ブランケットにおけるペブル充填構造を用いた高プラントル数流体伝熱促進の高度化」

##### 2. 量子エネルギー工学専攻 内田美子

「高温超伝導体のラップジョイントにおける接合性能のひずみ依存性の評価」

##### 3. 量子エネルギー工学専攻 市岡良恭

「BWR 統合炉心設計システム改良と最新核データライブラリによる解析」

##### 4. 量子エネルギー工学専攻 西内嗣浩

「核融合炉ダイバータ模擬のための再結合プラズマ生成に関する基礎研究」

### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. S. Ebara, T. Yokomine, A. Shimizu, H. Hashizume, Numerical simulation of turbulent flow in microscopic pore scale of pebble bed by large-eddy simulation, Fusion Engineering and Design 85(7-9), 1638-1641, 2010.
2. S. Ebara, Y. Aoya, T. Sato, H. Hashizume, Y. Kazuhisa, K. Aizawa, H. Yamano, Pressure fluctuation characteristics of complex turbulent flow in a single elbow with small curvature radius for a sodium-cooled fast reactor, Journal of Fluids Engineering 132 (11) Nov. 111102, 2010.
3. S. Ebara, Y. Aoya, T. Sato, H. Hashizume, K. Yuki, K. Aizawa, H. Yamano, Pressure measurement test of single elbow simulating Na-cooled fast reactor cold-leg piping, Proceedings of the 18th International Conference on Nuclear Engineering, ICONE18-29719, 2010.
4. M. Umehara, S. Ebara, H. Hashizume, Analysis of generating mechanism of liquid droplet jet stream at the orifice downstream area, Proceedings of The 8th International Topical Meeting on Nuclear Thermal-Hydraulics, Operation and Safety, N8P0305, 2010.
5. H. Yanai, S. Ebara, H. Hashizume, Investigation of influence of inlet flow conditions on flow structure in a dual elbow, The 8th International Topical Meeting on Nuclear Thermal-Hydraulics, Operation and Safety, N8P0303, 2010.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Fusion Engineering and Design
2. Journal of Fluids Engineering

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. S. Ebara, T. Sato, H. Hashizume, K. Aizawa and H. Yamano, PIV measurement for dual elbow flow using 1/7-scale model of cold-leg piping in a sodium-cooled fast reactor, Proceedings of the 7th International Conference on Flow Dynamics, 108-109, 2010.
2. 青谷雄太, 佐藤司, 江原真司, 橋爪秀利, 結城和久, 相澤康介, 山野秀将, Na 冷却高速炉における大口径配管の流力振動評価に関する研究 ; (21) 1/7 および 1/15 スケールシングルエルボの圧力変動計測, 日本原子力学会 2010 春の年会講演論文集, E44, 2010 年
3. 梅原真弘, 江原真司, 橋爪秀利, オリフィス近傍における液膜から発生する液滴に関する実験的研究, 日本原子力学会 2010 春の年会講演論文集, E23, 2010 年
4. 矢内宏樹, 江原真司, 橋爪秀利, 結城和久, 戸田三朗, 流入条件によるデュアルエルボの流動構造変化の解明, 日本原子力学会 2010 春の年会講演論文集, E24, 2010 年
5. 清水克矢, 江原真司, 橋爪秀利, 結城和久, 相良明男, ペブル充填管における高プラントル数流体の伝熱流動実験、第 47 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, vol. II+III, 373-374, 2010 年
6. 江原真司, 橋爪秀利, 結城和久, 相澤康介, 山野秀将, Na 冷却高速炉における大口径配管の流力振動評価に関する研究;(24)コールドレグ 1/7 縮尺試験装置を用いた 2 段エルボ管内流れの PIV 計測、日本原子力学会 2010 秋の大会講演論文集, L45, 2010 年.
7. 矢内宏樹, 江原真司, 橋爪秀利, 結城和久, 戸田三朗, 配管減肉予測および検査技術の高度化 ; (7) 可視化実験によるデュアルエルボ内流動の流入条件依存性評価、日本原子力学会 2010 秋の大会講演論文集, J23, 2010 年.
8. 清水克矢, 江原真司, 橋爪秀利, 球充填環状流路を用いた高Pr数流体の伝熱促進に関する実験、熱工学コンファレンス講演論文集, No. 10-25, 237-238, 2010年

氏名 竹島 由里子



所属 流体科学研究所・講師（博士（理学））

専門 コンピュータグラフィックス、可視化

研究課題 協調型視覚解析支援環境の開発

E-mail: takesima@vis.ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)4438

## 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

本研究分野では、計測や数値計算によって得られる数値データを視覚的に解析するための可視化技術に関する研究を行ってきた。本年度は、大規模粒子系可視化に着目し、分子動力学などの粒子系解析における粒子の初期配置インタフェースの開発や、ユーザの負荷を軽減するため、2種類の描画手法を併用することにより、描画精度を保ちながら、一定の描画速度を維持する可視化手法の開発を行った。また、これまでに研究を進めてきた視覚解析を行うユーザ（科学者や技術者）のための視覚解析支援環境を拡張し、視覚解析の来歴管理機能を組み込んだ。

## 平成22年度の研究業績

### 【研究内容】

#### 1. 粒子系解析のための粒子初期配置インタフェースの開発

粒子系解析では、初期条件として粒子配置を行う必要がある。一般的には、プログラムによって粒子を配置したり、ユーザが直接位置を指定することによって粒子を配置しているため、直観的に粒子の初期状態を指定することは困難であった。そこで、本研究では、自己組織化単分子膜を例にとり、粒子を直感的に配置するためのユーザインタフェースの開発を行った。これにより、より自由度の高い粒子配置が可能となり、さまざまな条件での粒子系解析が可能となった。

#### 2. 大規模粒子系可視化における描画速度の安定化

大規模粒子系可視化では、粒子数が増加するにつれ、描画時間が膨大になってしまう。また、可視化において、描画速度が不安定になるとユーザに膨大なストレスを与えることが知られていることから、高速かつ安定した速度での可視化が必要とされている。そこで本研究では、2種類の描画手法を併用することにより、描画精度を保ちつつ、高速かつ安定的に大規模粒子系を可視化する手法を提案した。これにより、円滑に視点変換などが行えるようになり、大規模粒子系の視覚解析効率が向上した。

#### 3. 協調型視覚解析支援環境の開発

データの性質やユーザの可視化目的に応じて、適した可視化技法を提示する視覚解析支援環境の開発を行った。また、可視化結果とともに、研究メモや視覚解析の履歴を一括管理する機構も取り入れた。

### 【学位論文指導（副査）】

#### 修士論文

1. 東北大学 工学研究科 芝崎 哲也（指導教員：大林 茂 教授）  
「晴天乱気流検出のためのフィルタリングとデータマイニングに関する研究」
2. 東北大学 工学研究科 安西 眸（指導教員：太田 信 准教授）  
「三次元可視化による脳動脈瘤用ステント周りの血流数値解析」

### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Yuriko Takeshima, Issei Fujishiro, Shigeo Takahashi, and Shigeru Obayashi  
Topologically-Based Haptization and Visualization of Wake Turbulence Datasets  
*DVD Proc. IEEE Image Electronics and Visual Computing Workshop 2010*, 2010.

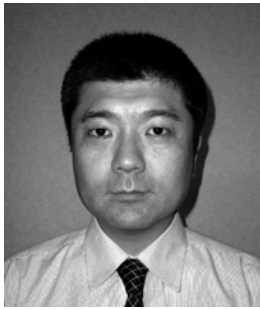


2. Hitomi Anzai, Toshio Nakayama, Yuriko Takeshima, and Makoto Ohta  
The Effect of 3D Visualization on Optimal Design for Strut Position of Intracranial Stent  
*Proc. ASME 2010 3<sup>rd</sup> Joint US-European Fluids Engineering Summer Meeting*, 2010.

**【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】**

○平成22年（1月～12月）

1. 新坂 拓真, 竹島 由里子, 菊川 豪太, 小原 拓, 藤代 一成  
大規模粒子系の対話的可視化によるパラメータスタディ支援  
情報処理学会創立 50 周年記念（第 72 回）全国大会講演論文集, 2010.
2. 竹島 由里子, 新坂 拓真, 菊川 豪太, 小原 拓, 藤代 一成  
自己組織化単分子膜のための粒子配置設計支援システム  
第 38 回可視化情報シンポジウム講演論文集, pp. 277-280, 2010.
3. 竹島 由里子, 徳増 崇, 藤代 一成  
大規模粒子系可視化における描画速度の安定化  
日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, Vol. 6, pp. 15-16, 2010年.



氏名 青木 秀之

所属 工学研究科化学工学専攻・准教授（工学博士）

専門 化学工学、伝熱工学、燃焼工学

研究課題

化学反応を伴う熱流体解析・材料合成

E-mail: aoki@tranpo.che.tohoku.ac.jp

TEL: 022(795)7251

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

同講座事業推進担当者である三浦教授とともに、燃焼熱流体解析・実験、気相材料合成解析関連研究に従事した。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

名 称：Seventh International Conference on Flow Dynamics

主催団体：21世紀COEプログラム「流動ダイナミクス国際研究教育拠点」

開催国：日 本

開催期間：2010.11.1～2010.11.3

役 割：Organizing Committee Member

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

気相中でのナノ粒子合成プロセスの制御を高度化することにより、ナノ微粒子の構造を設計することを目的として研究を実施している。対象は炭化水素を原料とするカーボンブラック凝集体であり、対象とする出発物質をベンゼンとして現象解明に取り組んでいる。ベンゼンの熱分解により生成する炭素核粒子は気相中でランダムな凝集を繰り返しながらナノサイズまで成長し、一次粒子を形成しながら一次粒子同士の合体融合が進行する。今年度は一次粒子同士の融合（焼結）を支配すると考えられる一次粒子の粘度に着目し、一次粒子のさらされる温度や時間をパラメータとして、粒子中の炭素結晶子サイズの測定を行った。結晶子サイズは温度が高いほど、また同じ温度では滞在時間が長いほどサイズの増加傾向が見られた。

#### 【学位論文指導（副査）】

##### 博士論文

1. 化学工学専攻 鎌田 美志  
低品位液体燃料を対象とした噴霧燃焼シミュレーションに関する研究
2. 化学工学専攻 齋藤 泰洋  
VOF法を用いた気液流動解析の高度化に関する研究
3. 化学工学専攻 川上 理亮  
建築設備用の水素吸蔵合金タンクの設計に関する研究

##### 修士論文

1. 化学工学専攻 池内 慶  
電気集じん機内において電場が移動現象に与える影響に関する研究
2. 化学工学専攻 鈴木 芳行  
加熱過程におけるエマルジョン燃料液滴内部の混相流に関する研究
3. 化学工学専攻 平木 健一  
コークス微視構造に着目したコークス強度支配因子の解明
4. 化学工学専攻 安村 光太郎  
噴霧塗装における噴霧粒子挙動の定量評価法の構築および数値解析手法の検討

5. 化学工学専攻 新山 智史

エマルジョン燃焼の炉内伝熱特性に関する研究

【査読論文（査読付き国際会議論文を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Hirotatsu Watanabe, Yoshiyuki Suzuki, Takuji Harada, Yohsuke Matsushita, Hideyuki Aoki and Takatoshi Miura, An experimental investigation of the breakup characteristics of secondary atomization of emulsified fuel droplet, *Energy*, 35, pp. 806-813 (2010)
2. Ryo Watanabe, Tomoyuki Shindoh, Yohsuke Matsushita, Hideyuki Aoki, Takatoshi Miura, Katsuya Nishiwaki, Hiroshi Yamada, Okiteru Fukuda and Togo Yamaguchi, A Numerical Investigation of the Factors Influencing the Aggregate Shape of Carbon Black from the Furnace Process, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 43-(2), pp. 150-157 (2010)
3. Hirotatsu Watanabe, Yohsuke Matsushita, Hideyuki Aoki and Takatoshi Miura, Numerical simulation of emulsified fuel spray combustion with puffing and micro-explosion, *Combustion and Flame*, 157, pp. 839-852 (2010)
4. 平木健一, 林崎秀幸, 尾形知輝, 山崎義昭, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 福田耕一, 松平寛司, 剛体ばねモデルを用いた非接着構造存在コークスの破壊挙動解析, *鉄と鋼*, 96-(5), pp. 313-318 (2010)
5. 山崎義昭, 林崎秀幸, 上岡健太, 平木健一, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 鉄鉱石の配合によるコークスの微視構造変化が鉄内装型コークスの引張強度に及ぼす影響, *鉄と鋼*, 96-(9), pp. 536-544 (2010)
6. 鈴木芳行, 原田拓自, 庄子正和, 渡部弘達, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, エマルジョン燃料液滴における内部挙動可視化および界面活性剤が2次微粒化に及ぼす影響, *化学工学論文集*, 36-(6), pp. 557-565 (2010)
7. 川上理亮, 増田正夫, 前田哲彦, 丹下学, 中納曉洋, 高橋惇, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 建築設備用の統合型水素利用システムの開発 第1報－水素吸蔵合金タンクの最適設計, *空気調和・衛生工学会論文集*, 165, pp. 19-27 (2010)
8. Shin Ogasawara, Masatoshi Daikoku, Minori Shirota, Takao Inamura, Yasuhiro Saito, Kotaro Yasumura, Masakazu Shoji, Hideyuki Aoki and Takatoshi Miura, Liquid Atomization Using a Rotary Bell Cup Atomizer (Influence of Flow Characteristics of Liquid on Breakup Pattern), *Journal of Fluid Science and Technology*, 5, pp.464-474 (2010)
9. Y. Suzuki, T. Harada, H. Watanabe, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki and T. Miura, Visualization of aggregation process of dispersed water droplets and the effect of aggregation on secondary atomization of emulsified fuel droplets, The 33rd International Symposium on Combustion, 4F01, Beijing, China, August 1-6 (2010)

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. *Energy*
2. *Journal of Chemical Engineering of Japan*
3. *Combustion and Flame*
4. *鉄と鋼*
5. *化学工学論文集*
6. *空気調和・衛生工学会論文集*
7. *Journal of Fluid Science and Technology*

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. Y. Yamazaki, H. Hayashizaki, K. Ueoka, K. Hiraki, Y. Matsushita, H. Aoki and T. Miura, The Microscopic Investigation of the Effect of the Iron Ore Blending Ratio in Ferrous Coke on Strength Development Mechanism, International Symposium on Ironmaking for Sustainable Development 2010, pp. 68-71, Osaka, Japan, January 28-29 (2010)
2. K. Hiraki, H. Hayashizaki, Y. Yamazaki, Y. Matsushita, H. Aoki, T. Miura, K. Fukuda and K. Matsudaira, The Effect of Changes in Microscopic Structures on Coke Strength in

Carbonization Process and Solution Loss Reaction, International Symposium on Ironmaking for Sustainable Development 2010, pp. 72-75, Osaka, Japan, January 28-29 (2010)

3. 池内慶, 梶山真嗣, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 青山光太郎, 安藤尋樹, 早津昌樹, 電気集じん機内において電場が粒子挙動に与える影響に関する検討, 第6回宮城化学工学懇話会先端研究発表会, A108, 仙台, 3月15日 (2010)
4. 田中翔, 渡邊圭介, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, ベンゼン熱分解によるすすの粒子成長に関する詳細化学反応機構を考慮した数値解析的検討, 第6回宮城化学工学懇話会先端研究発表会, A109, 仙台, 3月15日 (2010)
5. 安村光太郎, 齋藤泰洋, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 噴霧塗装を対象とした噴霧飛行過程において塗着効率に影響を与える因子に関する数値解析, 第6回宮城化学工学懇話会先端研究発表会, A110, 仙台, 3月15日 (2010)
6. 渡部諒, 小野公德, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 山田浩, 福田興照, 山口東吾, 粒子の焼結を考慮した凝集モデルを用いたカーボンブラックの凝集体形成に関する検討, 第6回宮城化学工学懇話会先端研究発表会, A111, 仙台, 3月15日 (2010)
7. 鎌田美志, 新山智史, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 液滴蒸発の数値解析におけるふく射モデルの比較・検討, 第6回宮城化学工学懇話会先端研究発表会, A112, 仙台, 3月15日 (2010)
8. 渡部諒, 小野公德, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 山田浩, 福田興照, 山口東吾, 粒子の焼結および融合過程がカーボンブラックの凝集体形状に及ぼす影響, 化学工学会第75年会研究発表講演要旨集, O103, 鹿児島, 3月18-20日 (2010)
9. 田中翔, 渡邊圭介, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 詳細化学反応機構を考慮したベンゼン熱分解によるすすの核粒子生成に関する数値解析的検討, 化学工学会第75年会研究発表講演要旨集, O105, 鹿児島, 3月18-20日 (2010)
10. 鎌田美志, 新山智史, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 噴霧燃焼シミュレーションのふく射モデルによる燃料液滴蒸発速度の比較, 化学工学会第75年会研究発表講演要旨集, O107, 鹿児島, 3月18-20日 (2010)
11. 安村光太郎, 齋藤泰洋, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 小笠原慎, 大黒正敏, 五十嵐貴之, 松山和樹, 城田農, 稲村隆夫, 回転噴霧塗装機の噴霧飛行過程における噴霧流解析を用いた塗着効率の低下因子の特定, 化学工学会第75年会研究発表講演要旨集, O119, 鹿児島, 3月18-20日 (2010)
12. 池内慶, 梶山真嗣, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 青山光太郎, 安藤尋樹, 早津昌樹, 電気集塵機内における粒子挙動の数値解析的検討, 化学工学会第75年会研究発表講演要旨集, O120, 鹿児島, 3月18-20日 (2010)
13. 奥村真彦, 照井光輝, 川上理亮, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 水素吸蔵合金の膨張に伴う充填層壁面の応力発現機構に関する実験的検討, 第10回日本伝熱学会学生発表会講演論文集, pp. 11-12, 仙台, 5月7日 (2010)
14. 児島芳徳, 鎌田美志, 星野雄将, 新山智史, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 超高压ディーゼル燃料インジェクタにおける噴霧特性に関する実験的検討, 第10回日本伝熱学会学生発表会講演論文集, pp. 13-14, 仙台, 5月7日 (2010)
15. 金井鉄也, 山崎義昭, 平木健一, 張曉清, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, mmオーダーの気孔を考慮したコークス強度低下因子の実験的検討, 第10回日本伝熱学会学生発表会講演論文集, pp. 15-16, 仙台, 5月7日 (2010)
16. 小野公德, 渡部諒, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 山田浩, 福田興照, 山口東吾, 昇温速度がカーボンブラックの性状に及ぼす影響に関する実験的検討, 第10回日本伝熱学会学生発表会講演論文集, pp. 17-18, 仙台, 5月7日 (2010)
17. 小野公德, 渡部諒, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 山田浩, 福田興照, 山口東吾, 生成条件がカーボンブラックの性状に及ぼす影響に関する実験的検討, 第47回日本伝熱シンポジウム講演論文集, SP108, 札幌, 5月26-28日 (2010)
18. 児島芳徳, 鎌田美志, 星野雄将, 新山智史, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 高速噴霧流を対象とした気液二相流解析手法に関する検討, 第47回日本伝熱シンポジウム講演論文集, H131, 札幌, 5月26-28日 (2010)
19. 鈴木芳行, 原田拓自, 渡部弘達, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 微小重力環境を用いた



- 単一液滴蒸発実験における実験誤差に関する数値解析, 第47回日本伝熱シンポジウム講演論文集, B231, 札幌, 5月26-28日 (2010)
20. 鈴木芳行, 鎌田美志, 原田拓自, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, Euler-Euler法を用いたエマルジョン燃料液滴内部の混相流解析, 第7回宮城化学工学懇話会先端研究発表会, A108, 仙台, 8月30日 (2010)
  21. 齋藤泰洋, 安村光太郎, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 小笠原慎, 大黒正敏, 城田農, 稲村隆夫, 非定常自由表面問題における定量的な数値拡散の評価, 第7回宮城化学工学懇話会先端研究発表会, A110, 仙台, 8月30日 (2010)
  22. 齋藤泰洋, 安村光太郎, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 小笠原慎, 大黒正敏, 城田農, 稲村隆夫, 非定常問題における数値拡散の定量評価に関する一考察, 化学工学会第42回秋季大会講演要旨集, J104, 京都, 9月6-8日 (2010)
  23. 鈴木芳行, 鎌田美志, 原田拓自, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, エマルジョン燃料液滴内部流動に関する数値解析, 化学工学会第42回秋季大会講演要旨集, J105, 京都, 9月6-8日 (2010)
  24. K. Hiraki, H. Hayashizaki, Y. Yamazaki, T. Kanai, X. Zhang, M. Shoji, H. Aoki and T. Miura, Analysis of the Effect of Internal Defect on Coke Fracture Behavior by Rigid Bodies-Spring Model, The 27th Annual International Pittsburgh Coal Conference, 6-5, Istanbul, Turkey, October 11-14 (2010)
  25. T. Kanai, Y. Yamazaki, K. Hiraki, X. Zhang, M. Shoji, H. Aoki and T. Miura, An Experimental Investigation of Factors Related to Coke Strength Degradation in Coke Milli-Structure, The 27th Annual International Pittsburgh Coal Conference, 48-2, Istanbul, Turkey, October 11-14 (2010)
  26. Y. Yamazaki, K. Hiraki, T. Kanai, X. Zhang, M. Shoji, H. Aoki and T. Miura, An Experimental Study on the Effect of Metallic Iron Particles on Strength Factors of Coke after CO<sub>2</sub> Gasification Reaction, The 27th Annual International Pittsburgh Coal Conference, 48-3, Istanbul, Turkey, October 11-14 (2010)
  27. Y. Kojima, Y. Saito, R. Sagawa, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki and T. Miura, Comparison of SMAC and SIMPLE for Unsteady Flow with Heat Transfer, 7th International Conference on Fluid Dynamics, pp. 450-451, Sendai, Japan, November 1-3 (2010) 査読なし
  28. Y. Yamazaki, K. Hiraki, T. Kanai, X. Zhang, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki and T. Miura, The Effect of Metallic Iron Catalyst on Coke Microscopic Factor after Coke Gasification, 7th International Conference on Fluid Dynamics, pp. 480-481, Sendai, Japan, November 1-3 (2010)
  29. Y. Saito, Y. Kojima, K. Yasumura, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki, T. Miura, S. Ogasawara, M. Daikoku, M. Shiota and T. Inamura, Comparison of SMAC and SIMPLE for Unsteady-state Fluid Flow over a Square Cylinder, 7th International Conference on Fluid Dynamics, pp. 502-503, Sendai, Japan, November 1-3 (2010)
  30. K. Hiraki, H. Hayashizaki, Y. Yamazaki, T. Kanai, X. Zhang, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki and T. Miura, Fracture Analysis in Diametral-Compression Test of Coke using Rigid Bodies-Spring Model, 7th International Conference on Fluid Dynamics, pp. 504-505, Sendai, Japan, November 1-3 (2010)
  31. Y. Suzuki, H. Kamata, T. Harada, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki and T. Miura, Numerical Investigation of Heat Transfer and Fluid Flow in Emulsified Fuel Droplet, 7th International Conference on Fluid Dynamics, pp. 506-507, Sendai, Japan, November 1-3 (2010)
  32. S. Niiyama, H. Kamata, Y. Suzuki, Y. Kojima, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki and T. Miura, Combustion Characteristics of the Water/Kerosene Emulsified Fuel, 7th International Conference on Fluid Dynamics, pp. 508-509, Sendai, Japan, November 1-3 (2010)
  33. K. Ikeuchi, M. Kajiya, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki, T. Miura, K. Suzuki, K. Aoyama, H. Ando and M. Hayatsu, Numerical Simulation of Particle Motion in Electrostatic Precipitator, 7th International Conference on Fluid Dynamics, pp. 528-529, Sendai, Japan, November 1-3 (2010)
  34. S. Tanaka, K. Ono, K. Watanabe, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki, T. Miura, O. Fukuda, T. Yamaguchi and H. Yamada, Numerical Analysis of Carbon Black Production in Benzene Pyrolysis Using Detailed Reaction Mechanism and Discrete-Sectional Model, 7th International Conference on Fluid Dynamics, pp. 666-667, Sendai, Japan, November 1-3 (2010)

35. K. Yasumura, Y. Saito, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki, T. Miura, S. Ogasawara, M. Daikoku, M. Shirota and T. Inamura, A Numerical Investigation of the Dominating Factor of Decreasing Transfer Efficiency with High Speed Rotary Bell-cup Atomizer, 7th International Conference on Fluid Dynamics, pp. 668-669, Sendai, Japan, November 1-3 (2010)
36. 小野公德, 矢中美紀, 田中翔, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 福田興照, 青木崇行, 山口東吾, 炉内温度がカーボンブラックの形態に及ぼす影響に関する実験的検討, 第37回炭素材料学会年会要旨集, 1PI23, 姫路, 12月1-3日 (2010)
37. 鈴木芳行, 鎌田美志, 原田拓自, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, エマルジョン燃料液滴の内部挙動および最適調製条件に関する数値解析的検討, 第48回燃焼シンポジウム講演論文集, B113, 福岡, 12月1-3日 (2010)
38. 児島芳徳, 鎌田美志, 齋藤泰洋, 新山智史, 佐川龍一, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, ハイスピードカメラによる超高压パルス噴霧における非定常流動の観察, 第48回燃焼シンポジウム講演論文集, P205, 福岡, 12月1-3日 (2010)

### 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年 (1月～12月)

1. Hirotsu Watanabe, Yoshiyuki Suzuki, Takuji Harada, Yohsuke Matsushita, Hideyuki Aoki and Takatoshi Miura, An experimental investigation of the breakup characteristics of secondary atomization of emulsified fuel droplet, Energy, 35, pp. 806-813 (2010)
2. Hirotsu Watanabe, Yohsuke Matsushita, Hideyuki Aoki and Takatoshi Miura, Numerical simulation of emulsified fuel spray combustion with puffing and micro-explosion, Combustion and Flame, 157, pp. 839-852 (2010)
3. 平木健一, 林崎秀幸, 尾形知輝, 山崎義昭, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 福田耕一, 松平寛司, 剛体ばねモデルを用いた非接着構造存在コークスの破壊挙動解析, 鉄と鋼, 96-(5), pp. 313-318 (2010)
4. 山崎義昭, 林崎秀幸, 上岡健太, 平木健一, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 鉄鉱石の配合によるコークスの微視構造変化が鉄内装型コークスの引張強度に及ぼす影響, 鉄と鋼, 96-(9), pp. 536-544 (2010)
5. 鈴木芳行, 原田拓自, 庄子正和, 渡部弘達, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, エマルジョン燃料液滴における内部挙動可視化および界面活性剤が2次微粒化に及ぼす影響, 化学工学論文集, 36-(6), pp. 557-565 (2010)
6. 川上理亮, 増田正夫, 前田哲彦, 丹下学, 中納暁洋, 高橋惇, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 建築設備用の統合型水素利用システムの開発 第1報－水素吸蔵合金タンクの最適設計, 空気調和・衛生工学会論文集, 165, pp. 19-27 (2010)
7. Shin Ogasawara, Masatoshi Daikoku, Minori Shirota, Takao Inamura, Yasuhiro Saito, Kotaro Yasumura, Masakazu Shoji, Hideyuki Aoki and Takatoshi Miura, Liquid Atomization Using a Rotary Bell Cup Atomizer (Influence of Flow Characteristics of Liquid on Breakup Pattern), Journal of Fluid Science and Technology, 5, pp.464-474 (2010)

### 【本人の受賞・特許等】

○平成22年 (1月～12月)

受賞名：第7回宮城化学工学懇話会先端研究発表会最優秀発表賞

受賞日：2010年8月30日

受賞名：第37回炭素材料学会年会ポスター賞

受賞日：2010年12月2日

### 【学生の受賞・特許等】

○平成22年 (1月～12月)

受賞者：安村光太郎

受賞名：第7回宮城化学工学懇話会先端研究発表会最優秀発表賞

受賞日：2010年8月30日

受賞者：小野公德  
受賞名：第37回炭素材料学会年会ポスター賞  
受賞日：2010年12月2日

**【学生の研究費の獲得】**

○平成22年（1月～12月）  
獲得者：齋藤泰洋  
名 称：科学研究費補助金特別研究員奨励費

**【本人のマスコミ発表等】**

○平成22年（1月～12月）  
温泉排湯の熱 再利用,日本経済新聞(2011年2月15日)

氏名 佐藤 岳彦



所属 流体科学研究所・准教授（博士（工学））

専門 流体工学

研究課題

大気圧プラズマ流によるラジカル生成輸送機構と生体反応

E-mail: sato@ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5320

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

事業推進担当者の研究分野では、反応流動に関する大気圧プラズマ流のラジカル生成輸送機構の解明とバイオ・医療への応用について取り組んできた。本年度は、プラズマ医療において重要となる液体上に生成したプラズマによりどのように化学種が液中に輸送されるのかについて検討した。これらの研究を通して、最終的にプラズマの流れが生体にどのような影響を与えるのかについて明らかにすることを目的としている。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

#### <招待講演>

講演先：日本機械学会2010年度年次大会

講演題目：大気圧プラズマ流による機能性化学種の生成輸送機構と滅菌機構

講演日：2010.9.7

講演先：The 1st International Workshop on Bio Device and Medical Applications

講演題目：Mechanism for Inactivation of Bacteria by Transport of Chemical Species in a Plasma Flow at Atmospheric Pressure

講演日：2010.11.27

講演先：20th Academic Symposium of MRS-Japan 2010

講演題目：Plasma Sterilization by Generation and Transport of Reactive Chemical Species

講演日：2010.12.20

講演先：バイオエレクトロニクスシンポジウム2011

講演題目：大気圧プラズマのバイオ・医療応用

講演日：2011.3.10

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

#### 1. 大気圧プラズマ流による気液中の化学的活性種生成輸送機構の解明

針－水面間にフィラメント状の大気圧プラズマを生成した時に、気相中で針状電極先端部から水面に向けて流れが誘起されることが明らかになった。この時、気相中には窒素酸化物やオゾンなどが生成され、誘起された流れにより水面に向けて輸送される。この流れは、水面上で放射状に広がり、この時の摩擦力により水中にも流れが誘起され、水中に溶解した化学種は、主として水中に誘起された流れにより容器全体に輸送されることを明らかにした。



### 【学位論文指導（副査）】

#### 博士論文

1. VIT University, India (2010), Ph.D External Reviewers  
B. Selvan  
Numerical Simulation of Plasma Arc and Plasma-Substrate Interaction

#### 修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 岩渕 豊  
「大気圧プラズマ流による気液界面現象と化学種輸送機構」
2. 機械システムデザイン工学専攻 長井 亮介  
「放電を伴う気泡流の生成と機能性評価」
3. 航空宇宙工学専攻 車田 健太郎  
「メタンを作動ガスに含むプラズマジェットによる着火の数値解析」

### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Tetsuji Shimizu, Tetyana Nosenko, Gregor Eugen Morfill, Takehiko Sato, Hans-Ulrich Schmidt and Takuya Urayama  
Characterization of Low-Temperature Microwave Plasma Treatment With and Without UV Light for Disinfection  
Plasma Processes and Polymers, Vol.7, Nos.3-4, pp.288-293, (2010).
2. 沖幸男, 上野和夫（監修）, 恒川好樹, 佐藤岳彦, 福本昌宏, 袖岡賢, 沖幸男, 村上健児, 北村順也, 西村信一, 柳谷彰彦, 小野田芳大, 若尾剛, 和田哲義, 秋本浩一, 佐々木光正, 久田護, 大割健男, 文屋明, 深沼博隆, 榊和彦, 山田基宏, 薄葉州, 澤田慎一, 大石隆夫, 村田省三, 岡安功史, 谷和美, 石川量大, 新免俊典, 面出隆男, 峪田宣明, 荒川進, 田尻登志朗, 吉岡寿扇, 桑島孝幸, 澤村正夫, 光田章一, 富口明彦, 植野修一, 乾保之, 清水保雄, 生田稔郎, 窪堀俊文, 成田章, 益城浩司, 森信儀, 北島之夫, 友村淳一, 堀内秀雄, 安藤康高, 戸部省吾, 秋田貢一, 小川和洋, 原田良夫, 小林啓悟, 江原隆一郎, 伊藤義康, 富田友樹, 吉田貢, 竹内純一, 小林和也, 高木一生, 田中完一, 内林哲夫  
溶射工学便覧  
第1章溶射の基礎, 1.2溶射粒子の加速と加熱, 日本溶射協会, (2010), 8-36頁.

### 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Plasma Processes and Polymers
2. 溶射工学便覧

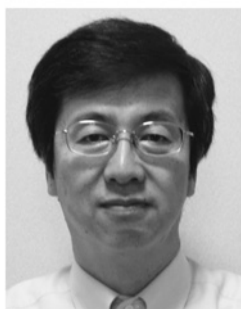
### 【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. 佐藤岳彦, 古居剛  
大気圧水蒸気プラズマ流の化学種生成過程と滅菌機構  
日本機械学会第88期流体工学部門講演会講演論文集, No.10-16, (2010), 595-596頁.
2. Takehiko Sato and Takeshi Furui  
Characteristics of a Plasma Flow Generated in Pure Water Vapor at Atmospheric Pressure and Its Sterilization Efficacy  
Proceedings of International Workshop on Plasmas with Liquids (IWPL 2010), (2010), p.47
3. Takehiko Sato, Mayo Yokoyama and Kohei Johkura  
Effect of Culture Medium Exposed to a Plasma Flow on Activity of HeLa Cells  
Book of Abstracts of 3rd International Conference on Plasma Medicine (ICPM 3), (2010), p.29
4. Yutaka Iwafuchi, Tetsuji Shimizu, Gregor E. Morfill and Takehiko Sato  
Analysis of Chemical Species Transport in a Air-Water Plasma Flow

- Proceedings of the 7th International Conference on Flow Dynamics, (2010), pp.554-555
5. Takashi Miyahara, Takehiko Sato, Masanobu Oizumi and Tatsuyuki Nakatani  
Water Quality Change Induced by Plasma Formation in Water  
Proceedings of the 10th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI2010), (2010), pp.88-89
  6. Takehiko Sato, Takeshi Furui and Kei Igarashi  
Development of Next-Generation Plasma Autoclave  
Proceedings of the 10th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI2010), (2010), pp.90-91
  7. Tetsuji Shimizu, Yutaka Iwafuchi, Gregor E. Morfill and Takehiko Sato  
Analysis of Plasma Flow at Gas-Liquid Interface for Biological Interaction  
Proceedings of the 10th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI2010), (2010), pp.92-93
  8. Marc Tinguely, Masanobu Oizumi, Takehiko Sato and Mohamed Farhad  
Residual Microbubbles after Collapse of Discharge-Induced or Laser-Induced Bubbles in Water  
Proceedings of the 10th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI2010), (2010), pp.120-121
  9. Takehiko Sato, Masanobu Oizumi, Takashi Miyahara, and Tatsuyuki Nakatani  
Observation of Streamer and Bubble Generation by Plasma  
Proceedings of the 10th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI2010), (2010), pp.150-151
  10. Takehiko Sato  
Mechanism for Inactivation of Bacteria by Transport of Chemical Species in a Plasma Flow at Atmospheric Pressure  
The 1st International Workshop on Bio Device and Medical Applications), (2010)
  11. Takehiko Sato  
Plasma Sterilization by Generation and Transport of Reactive Chemical Species  
20th Academic Symposium of MRS-Japan 2010, (2010), p.7
  12. 岩渕豊, 清水鉄司, Gregor E. Morfill, 佐藤岳彦  
水面近傍に形成した大気圧プラズマ流の気液流動場解析  
日本機械学会東北支部第45期総会・講演会講演論文集, No.2010-1, (2010), 230-231頁
  13. Takehiko Sato  
Generation of a Plasma Flow in Pure Steam and Its Sterilization Efficacy  
「プラズマ生成・電離過程に関わる突発性と構造形成」研究会, (2010)
  14. 佐藤岳彦, 大泉雅伸, 宮原高志, 中谷達行  
水中の放電現象による水質への影響  
日本機械学会第20回環境工学総合シンポジウム2010講演論文集, No.10-15, (2010), 197-198頁
  15. 佐藤岳彦  
大気圧プラズマ流による機能性化学種の生成輸送機構と滅菌機構  
日本機械学会2010年度年次大会講演資料集(9), No.10-1, (2010), 149-150頁
  16. 佐藤岳彦, 横山茉代, 城倉浩平  
大気圧プラズマ流のHeLa細胞への影響  
第34回静電気学会全国大会講演論文集, (2010), 151-152頁

氏名 三浦 英生



所属 工学研究科附属エネルギー安全科学国際研究センター・教授  
(博士(工学))

専門 強度信頼性

研究課題 ナノ構造体強度信頼性研究

E-mail: hmiura@rift.mech.tohoku.ac.jp

Tel: 022(795)6986

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

研究協力者の研究分野では、原子力プラント用容器や配管から半導体デバイスにまで渡る固体材料の特に酸化物と金属材料界面近傍における材質劣化を支配する構成元素の拡散挙動に及ぼす点欠陥とひずみの相互作用の解明と、信頼性向上のための新材料設計および試作評価をについて取り組んできた。異種材料界面において界面と平行方向に引張ひずみが作用した場合に、酸化物の化学量論的組成がくずれることで構成元素の異方的増速拡散挙動が生じ、加速度的な材料の劣化が進行することなどを原子レベルシミュレーションで明らかにしている。さらに、放射光研究施設(SPring-8)を活用し解析結果の実証研究も推進している。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

#### <国際会議>

名 称：3<sup>rd</sup> FRRI International Workshop on Evaluation of Environmental Degradation of Materials and Proactive Aging Management

主催団体：FRRI, Tohoku University

開催国：Japan

開催期間：2011.2.21

役割：General Chair

名 称：4<sup>th</sup> FRRI International Workshop on Evaluation of Environmental Degradation of Materials and Proactive Aging Management

主催団体：FRRI, Tohoku University

開催国：Germany

開催期間：2011.3.18

役割：General Chair

名 称：IEEE 4<sup>th</sup> International Conference on Materials and Packaging Technology

主催団体：IEEE

開催国：Taiwan

開催期間：2010.10.20-22

役割：Organizing Committee

名 称：IEEE 12<sup>th</sup> International Conference on Electronics Materials and Packaging

主催団体：IEEE

開催国：Singapore

開催期間：2010.10.25-27

役割：Organizing Committee

< 基調講演 >

講演先 : The 9th International Symposium on Microelectronics and Packaging  
講演題目 : Mechanical Reliability of Three-dimensionally stacked Silicon Chips  
講演日 : 2010.10.13

< 招待講演 >

講演先 : 11th International conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Micro/Nanoelectronics and Systems  
講演題目 : Effect of the Mechanical Properties of Underfill on the Local Deformation and Residual Stress in a Chip Mounted by Area-Arrayed Flip Chip Structures  
講演日 : 2010.4.25

講演先 : International Conference on Electronics Packaging 2010  
講演題目 : Dominant Structural Factors of Local Deformation of a Silicon Chip Mounted by Area-Arrayed Flip Chip Structures  
講演日 : 2010.5.13

講演先 : 日本材料学会公開破壊力学部門委員会  
講演題目 : 異相界面の環境誘起劣化損傷の原子レベルシミュレーション  
講演日 : 2010.5.21

講演先 : International Conference on Fracture and Strength 2010  
講演題目 : Drastic Change of the Strength of Electroplated Copper Thin Films Dominated by the Crystallinity of Their Grain Boundaries  
講演日 : 2010.10.6

講演先 : IEEE 12<sup>th</sup> International Conference on Electronics Materials and Packaging  
講演題目 : Nondestructive Detection of Open Failures in Three-Dimensionally Stacked Chips Mounted by Area-Arrayed Fine Bumps

講演日 : 2010.10.25

講演先 : JIEP International Workshop 2010  
講演題目 : Evaluation of Nano-scale Strain Distribution in 3D Electronic Modules  
講演日 : 2010.10.31

## 平成22年度の研究業績

### 【研究内容】

#### 1. ガスタービン用耐熱合金設計評価

地球温暖化防止のため、ガスタービン燃焼ガスの高温化（1450℃⇒1700℃）を実現する上で必須課題であるタービン動翼用耐熱合金の高温強度物性を向上させる合金設計を量子分子動力学解析技術を応用して実施した。特にひずみと添加元素の相互作用に基づく異方的な特定元素の増速拡散挙動を抑制する添加元素の探索を行い、耐熱特性向上に有効な新添加元素を発見した。また、薄膜材料試験でその妥当性を実証した。

#### 2. 次世代三次元実装システム

21世紀のコピキタ社会の高度化を目的とした次世代三次元実装システムの提案し、ナノスケールトランジスタの製造工程における局所残留応力の変化をモニタリングする新しい計測システムをシリコン単結晶のピエゾ抵抗効果を応用して開発した。本技術を民間企業との共同研究に適用し、50-nmスケールトランジスタ量産工程におけるナノスケールの加工公差や材質ゆらぎに起因した残留応力変動分布発生の検出や変動要因解析に適用可能であることを実証した。



(ICEP Best Paper Award, 日本エレクトロニクス実装学会論文賞、等受賞)

### 3. 非破壊遠隔動ひずみ計測システム

各種構造機器表面に作用している動ひずみを非破壊非接触で実時間計測する新たな計測システムの開発を推進している。特にカーボンナノチューブを応用し、多層カーボンナノチューブの形態を、ナノスケールの結晶核制御と化学気相蒸着法を応用して多用に制御する技術を確認し、二次元ひずみ分布計測センサの試作に成功した。また、非接触・遠隔計測を目的として交流インピーダンスのひずみ依存性解明にも成功した。

(IEEE Best Session Paper Award, 日本機械学会フェロー賞、等受賞)

## 【学位論文指導（主査）】

### 博士論文

#### 1. ナノメカニクス専攻 小藤 直行

「Ultra Fine Patterning of Photoresist by Control of Plasma Radiation-Induced Damage and Residual stress(プラズマ照射誘起損傷と応力の制御によるフォトレジスト超微細加工に関する研究)」

### 修士論文

#### 1. ナノメカニクス専攻 佐々木 大和

「ひずみ誘起異方原子拡散を考慮した耐熱合金高温損傷メカニズムの検討」

## 【学位論文指導（副査）】

### 修士論文

#### 1. 機械システムデザイン工学専攻 長良 洋平

「混合導電性セラミックスの高温電子物性」

#### 2. バイオロボティクス専攻 岩田 永司

「表面改質による三次元LSI用自己組織化チップ位置合わせ技術に関する研究」

#### 3. バイオロボティクス専攻 大野 威

「金属ナノクラスタを含むDLC膜の創成とひずみセンサとしての機能性評価」

#### 4. ナノメカニクス専攻 小林 隆明

「レーザ照射による表面テクスチャリングに関する研究」

#### 5. ナノメカニクス専攻 茂山 治久

「Cuダマシン配線のストレスマイグレーションによる断線寿命に及ぼす配線断面形状と温度変化の影響」

#### 6. ナノメカニクス専攻 野辺 佑樹

「エレクトロマイグレーションにより作製したAl微細ワイヤの特性評価に関する研究」

## 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. K.Suzuki, N.K.Das, T.Shoji, H.Miura, “Quantum Chemical Molecular Dynamics Simulation of Oxidation Process on Clean Metal Surface in High Temperature Water”, 2010 MATERIALS RESEARCH SOCIETY SPRING MEETING, No. Y6.19, pp. 1-6, (CD-ROM), 2010
2. M.Naokazu, M.Hideo, S.Ken, T.Kinji, “Mechanical and Electrical Properties of Electroplated Copper Thin Films Used for Thin Film Interconnection”, 2010 MATERIALS RESEARCH SOCIETY SPRING MEETING, No. P-2, pp.1-6, (CDROM), 2010
3. Kohta Nakahira, Yuki Sato, Hiroki Kishi, Ken Suzuki and Hideo Miura, “Effect of the Mechanical Properties of Underfill on the Local Deformation and Residual Stress in a Chip Mounted by Area-Arrayed Flip Chip Structures”, 11th International conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Micro/Nanoelectronics and Systems EuroSimE2010, Extended abstracts, pp. 641-646 (CDROM), 2010

4. Yuhki Sato, Naokazu Murata, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Nondestructive Evaluation of the Delamination of Fine Bumps in Three-Dimensionally Stacked Flip Chip Structures”, 2010 The 60<sup>th</sup> Electronic Components and Technology Conference, Proceedings, pp. 1951-1956, 2010
5. Ken Suzuki, Tatsuya Inoue, and Hideo Miura, “Improvement of the Interface Integrity between a High-k Dielectric Film and a Metal Gate Electrode by Controlling Point Defects and Residual Stress”, 15<sup>th</sup> International Conference on Simulation of Semiconductor Processes and Devices SISPAD 2010, Proceedings, 12-B.1, pp.213-216, 2010
6. Naoki Saito, Naokazu Murata, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Stress-Induced Migration of Electroplated Copper Thin Films Used for 3D Integration” IMPACT Conference 2010, Proceedings, No. AS014-1, pp. 1-4(CDROM), 2010
7. Yusuke Suzuki, Masato Ohnishi, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Remote Non-contact Strain Sensor Using Carbon Nanotube-dispersed Resin”, IMPACT Conference 2010, Proceedings, No. AS015-1, pp. 1-4(CDROM), 2010
8. Yuki Sato, Kohta Nakahira, Naokazu Murata, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “NONDESTRUCTIVE DETECTION OF OPEN FAILURES IN THREE-Dimensionally STACKED CHIPS MOUNTED BY AREA-ARRAYED FINE BUMPS”, EMAP 12<sup>th</sup> International Conference on Electronics Materials and Packaging, Proceedings, pp.117-123, 2010
9. Yusuke Ohashi, Aya Kaisumi, Atsushi Kitamura, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “REMOTE DYNAMIC STRAIN MEASUREMENT USING VERTICAL CAVITY SURFACE EMITTING LASER”, EMAP 12<sup>th</sup> International Conference on Electronics Materials and Packaging, Proceedings, pp.131-136, 2010
10. Kohta Nakahira, Hironori Tago, Takuya Sasaki, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “MEASUREMENT OF THE LOCAL RESIDUAL STRESS BETWEEN FINE METALLIC BUMPS IN 3D FLIP CHIP STRUCTURES”, EMAP 12<sup>th</sup> International Conference on Electronics Materials and Packaging, Proceedings, pp.137-142, 2010
11. Naokazu Murata, Naoki Saito, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, Hideo Miura “Micro Texture Dependence of Both the Mechanical and Electrical Properties of Electroplated Copper Thin Films Used for Interconnection”, 2010 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings, No. IMECE2010-37279, pp. 1-7(CDROM), 2010
12. Yamato Sasaki, Hiroyuki Itoh, Naokazu Murata, Ken Suzuki, Hideo Miura “High-Temperature Damages of Ni-Base Superalloy Caused by the Change of Nanotexture Due to Strain-Induced Anisotropic Diffusion”, 2010 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings, No. IMECE2010-37284, pp. 1-6(CDROM), 2010
13. Masato Ohnishi, Katsuya Ohsaki, Yusuke Suzuki, Ken Suzuki, Hideo Miura, “Nanostructure Dependence of the Electronic Conductivity of Carbon Nanotubes and Grapheme Sheets”, 2010 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings, No. IMECE2010-37277, pp. 1-6(CDROM), 2010
14. Ken Suzuki, Yoichi Takeda, and Hideo Miura, “Quantum Chemical Molecular Dynamics Study of Chemical Reaction Dynamics on Ni-base Alloy Surfaces in Gas-cooled Reactors”, J. of Solid Mechanics and Materials Engineering, Vol. 4, No. 11, pp. 1644-1653, 2010

#### 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering
2. NDT&E International
3. Key Engineering Materials

#### 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. M.Naokazu, M.Hideo, S.Ken, T.Kinji, “Mechanical and Electrical Properties of Electroplated Copper Thin Films Used for Thin Film Interconnection”, 2010 MATERIALS RESEARCH SOCIETY SPRING MEETING, No. P-2, pp.1-6, 2010.

2. Yuhki Sato, Naokazu Murata, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Nondestructive Evaluation of the Delamination of Fine Bumps in Three-Dimensionally Stacked Flip Chip Structures”, 2010 The 60<sup>th</sup> Electronic Components and Technology Conference, Proceedings, pp. 1951-1956, 2010.
3. Naoki Saito, Naokazu Murata, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Stress-Induced Migration of Electroplated Copper Thin Films Used for 3D Integration” IMPACT Conference 2010, Proceedings, No. AS014-1, pp. 1-4, 2010.
4. Yuki Sato, Kohta Nakahira, Naokazu Murata, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “NONDESTRUCTIVE DETECTION OF OPEN FAILURES IN THREE-Dimensionally STACKED CHIPS MOUNTED BY AREA-ARRAYED FINE BUMPS”, EMAP 12<sup>th</sup> International Conference on Electronics Materials and Packaging, Proceedings, pp.117-123, 2010.
5. Naokazu Murata, Naoki Saito, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, Hideo Miura “Micro Texture Dependence of Both the Mechanical and Electrical Properties of Electroplated Copper Thin Films Used for Interconnection”, 2010 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings, No. IMECE2010-37279, pp. 1-7, 2010.
6. Yamato Sasaki, Hiroyuki Itoh, Naokazu Murata, Ken Suzuki, Hideo Miura “High-Temperature Damages of Ni-Base Superalloy Caused by the Change of Nanotexture Due to Strain-Induced Anisotropic Diffusion”, 2010 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings, No. IMECE2010-37284, pp. 1-6, 2010.

#### 【本人の受賞・特許等】

○平成22年（1月～12月）

1. Best Paper Award of ICEP 2010
2. Best Session Paper Award of ECTC2010
3. エレクトロニクス実装学会論文賞

#### 【学生の受賞・特許等】

○平成22年（1月～12月）

受賞名：Best Session Paper Award of ECTC2010

受賞日：2010年8月25日

氏名 米村 茂



所属 流体科学研究所・准教授（博士(工学)）

専門 希薄気体力学

研究課題 非平衡分子気体流に関する研究

E-mail: yonemura@ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5238

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

研究協力者はマイクロ・ナノスケールの気体流れや希薄気体流れ、低温プラズマなど、連続体としての取り扱うことができない非平衡性の強い流れ場において発現する物理現象の解明に取り組んできた。ナノスケールの微細な表面構造を持つ摺動面が発現する気体潤滑について、数値シミュレーションによりメカニズムの解明を行っている。またマイクロ・ナノスケールの気体流れの解法としては、希薄気体流れと同様にボルツマン方程式の確率解法であるDSMC法が挙げられるが、低速な流れを取り扱う場合には統計的なゆらぎが増大し、DSMC法で解くことは困難となる。そこでボルツマン方程式の新しい解法をカザフスタンの研究者とともに開発する共同研究に取り組んでいる。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

#### <国際会議>

名 称：The Seventh International Conference on Flow Dynamics

開 催 国：日 本

開催期間：2010.11.1 ～ 2010.11.3

役 割：Organizing Committee Member

#### <国内会議>

名 称：日本機械学会2010年度年次大会

開 催 国：日 本

開催期間：2010.9.5 ～ 2010.9.8

役 割：OS「マイクロ・ナノスケールの熱流体現象」オーガナイザー

名 称：日本機械学会第88期流体工学部門講演会

開 催 国：日 本

開催期間：2010.10.30 ～ 2010.10.31

役 割：実行委員

#### <招待講演>

講 演 先：15th International Conference on the Methods of Aerophysical Research

講演題目：A Gas Lubrication Expressed at Micro- and Nanoscales

講 演 日：2010.11.2

講 演 先：研究集会「複雑流動現象のダイナミクス」（大阪大学吹田キャンパス）

講演題目：マイクロ・ナノスケールで現れる気体潤滑機構

講 演 日：2010.6.12

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

希薄流やマイクロ気体流れなどの高クヌッセン数流れの支配方程式はボルツマン方程式であり、その数値解法として広くDSMC法が用いられている。DSMC法ではシミュレーション分子の速度をサンプリングし統計平均することにより、流速、圧力、温度を求める。MEMS/NEMS周りの流れのように、分



子速度と比較して低速な流れを取り扱うには統計誤差が非常に大きくなり、誤差を取り除くためにはシミュレーション分子を数多く用いて、数多くのサンプリングを行って十分なサンプル数を用意する必要があり、その計算負荷は膨大である。また個々の分子間衝突を取り扱うために、時間ステップを分子の平均自由時間よりも小さく設定する必要がある、大気圧環境下では計算負荷が大きくなる。さらに物質内など微細な流路はその構造が複雑であり、その取り扱いも計算負荷を増大させる。平成22年度はナノスケールの複雑な微細流路内の気体流れのDSMC法による効率的な取り扱い方法を提案し、解析コードの大規模化・高速化を押し進めた。また、DSMC法に代わる数値解法として、ボルツマン方程式の衝突項を分子間衝突の累積効果による外力として表す理論に基づく新たな数値解法(Kinetic Force Method)を研究している。微小流路から空気を吸い出す簡単な問題において、Kinetic Force MethodによってDSMC法と良好に一致する結果を得た。

## 【学位論文指導（副査）】

### 修士論文

1. ナノメカニクス専攻 泊川 晃  
「多孔質体内のナノスケール気体流れに関する数値的研究」
2. 航空宇宙工学専攻 小松 孝好  
「DSMCを用いた熱化学非平衡流れ場計算に関する研究」
3. 航空宇宙工学専攻 江波戸 翔一  
「DBDプラズマアクチュエータにおける誘起流れの数値的研究」

## 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. S. Isono, M. Yamaguchi, S. Yonemura, T. Takeno, H. Miki, T. Takagi  
Effect of Configuration of Micro-/Nanoscale Structure on Sliding Surface on Molecular Gas-Film Lubrication  
AIP Conference Proceedings, RAREFIED GAS DYNAMICS: Proceedings of the 27th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics. (掲載決定)
2. K. Tomarikawa, S. Yonemura, T. Tokumasu, T. Koido  
Numerical Analysis of Gas Flow in Porous Media with Surface Reaction  
AIP Conference Proceedings, RAREFIED GAS DYNAMICS: Proceedings of the 27th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics. (掲載決定)
3. V. L. Saveliev, S. A. Filko, K. Tomarikawa, S. Yonemura  
Kinetic Force Method with Quasiparticle Pairs for Numerical Modeling 3D Rarefied Gas Flows  
AIP Conference Proceedings, RAREFIED GAS DYNAMICS: Proceedings of the 27th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics. (掲載決定)
4. M. Ivanov, D. Khotyanovsky, A. Kudryavtsev, A. Shershnev, Ye. Bondar, S. Yonemura  
Rarefaction and Non-equilibrium Effects in Hypersonic Flows about Leading Edges of Small Bluntness  
AIP Conference Proceedings, RAREFIED GAS DYNAMICS: Proceedings of the 27th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics. (掲載決定)
5. T. Koido, K. Tomarikawa, S. Yonemura, T. Tokumasu  
A Modeling of Dissociative Adsorption Probability of the H<sub>2</sub>-Pt(111) System Based on Molecular Dynamics  
AIP Conference Proceedings, RAREFIED GAS DYNAMICS: Proceedings of the 27th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics. (掲載決定)
6. Tetsuya Koido, Daigo Ito, Takashi Tokumasu, Ko Tomarikawa and Shigeru Yonemura  
Molecular Dynamics Study of the Dissociation of H<sub>2</sub>/D<sub>2</sub> on Pt(111) Including Thermal Motion Compared with Molecular Beam Experiments  
ECS Transactions, Vol.23, (2010), pp.59-68.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. ECS Transactions

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

【国際会議での発表】

1. S. Yonemura, S. Isono, M. Yamaguchi, T. Takeno, H. Miki, T. Takagi  
A Gas Lubrication Expressed at Micro- and Nanoscales  
Abstracts of 15th International Conference on the Methods of Aerophysical Research, (2010).  
(招待講演)
2. M. S. Ivanov, S. Yonemura, D. Khotyanovsky, A. Kudryavtsev, A. Shershnev, Ye. Bondar  
Numerical Study of Rarefied Hypersonic Flows about Blunted Leading Edges  
Abstracts of 15th International Conference on the Methods of Aerophysical Research, (2010).
3. Susumu Isono, Masashi Yamaguchi, Shigeru Yonemura, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi  
Effect of Configuration of Fine Structure on Sliding Surface on Micro-/Nanoscale Gas-Film Lubrication  
Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics, (2010), pp.378-379.
4. M. Ivanov, S. Yonemura, Ye. Bondar and D. Khotyanovsky  
Investigation of Hypersonic Flows about Leading Edges of Small Bluntness  
Proceedings of the Tenth International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration, (2010), pp.36-37.
5. V. L. Saveliev, S. A. Filko, K. Tomarikawa, S. Yonemura  
Kinetic Force Method with Quasiparticle Pairs for Numerical Modeling Micro Gas Flow in a Vacuum Pump  
Proceedings of the Tenth International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration, (2010), pp.154-155.

【国内会議での発表】

1. 泊川 晃, 米村 茂, 徳増 崇, 小井戸哲也  
多孔質体内を流れる気体の熱流動解析  
日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, Vol.8, (2010), pp.97-98.
2. 磯野 晋, 山口雅志, 米村 茂, 竹野貴法, 三木寛之, 高木敏行  
分子気体潤滑における摺動表面の微細構造の形状の影響  
日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, Vol. 8, (2010), pp. 95-96.
3. 小井戸哲也, 泊川 晃, 米村 茂, 徳増 崇  
分子動力学による白金(111)表面上の水素分子の解離吸着確率モデル  
(社)日本機械学会 2010年度年次大会講演論文集, Vol.8, (2010), pp.85-86.
4. 泊川 晃, 米村 茂, 徳増 崇, 小井戸哲也  
表面反応を伴った多孔質体内を流れる気体の熱流動解析  
日本流体力学会年会2010講演要旨集, (2010), pp.107-107.
5. 磯野 晋, 山口雅志, 米村 茂, 竹野貴法, 三木寛之, 高木敏行  
マイクロ・ナノスケール気体潤滑における摺動表面微細構造の形状の影響  
日本機械学会第88期流体力学部門講演会講演論文集, (2010), pp. 119-120.

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. Effect of Configuration of Micro-/Nanoscale Structure on Sliding Surface on Molecular Gas-Film Lubrication  
S. Isono, M. Yamaguchi, S. Yonemura, T. Takeno, H. Miki, T. Takagi  
AIP Conference Proceedings, RAREFIED GAS DYNAMICS: Proceedings of the 27th

International Symposium on Rarefied Gas Dynamics. (掲載決定)

2. Effect of Configuration of Fine Structure on Sliding Surface on Micro-/Nanoscale Gas-Film Lubrication

Susumu Isono, Masashi Yamaguchi, Shigeru Yonemura, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi

Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics, (2010), pp.378-379.

3. 分子気体潤滑における摺動表面の微細構造の形状の影響

磯野 晋, 山口雅志, 米村 茂, 竹野貴法, 三木寛之, 高木敏行

日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, Vol. 8, (2010), pp. 95-96.

4. マイクロ・ナノスケール気体潤滑における摺動表面微細構造の形状の影響

磯野 晋, 山口雅志, 米村 茂, 竹野貴法, 三木寛之, 高木敏行

日本機械学会第88期流体工学部門講演会講演論文集, (2010), pp. 119-120.

氏名 畠山 望



所属 工学研究科応用化学専攻・准教授（博士（理学））

専門 流体力学

研究課題

マルチスケール計算化学シミュレータの開発と応用

E-mail: hatakeyama@aki.che.tohoku.ac.jp

Tel: 022(795)7236

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

研究協力者の研究分野では、大規模複雑系の解析を可能とするマルチスケール計算化学シミュレータの開発と応用に取り組んでいる。これまで発展させてきた電子・原子レベルのミクロスケールシミュレーション技術に対して、スーパーコンピュータの利用も含めた大規模系への対応を行い、また流体など連続体レベルのマクロスケールにボトムアップしたマルチスケール化を進めている。実験計測に則した「本物」の構造をシミュレーションする実験融合手法を実現するために、各種機器計測シミュレータの開発も行っている。チタニアナノスケルトンの創製や、ダイヤモンドライクカーボンの物性予測などへ応用している。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

<国際会議>

名 称：13th International Conference on Theoretical Aspects of Catalysis

主催団体：ICTAC-13 Organizing Committee

開 催 国：日本

開催期間：2010.6.21 ～ 2010.6.25

役 割：Organizing Committee

名 称：Seventh International Conference on Flow Dynamics

主催団体：グローバルCOEプログラム「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」

開 催 国：日本

開催期間：2010.11.1 ～ 2010.11.3

役 割：Organizing Committee

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

#### 1. マルチスケール実験融合計算化学によるチタニアナノスケルトン創製の研究

国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」にて宇宙実験が進行中のJAXAプロジェクト「チタニアナノスケルトン材料の創製」において、マルチスケール実験融合計算化学手法を適用した研究を進めている。これまで、地上重力下の実験結果をよく再現するシミュレータを開発し、解析を行ってきた。第一回宇宙実験結果とシミュレーションにより、大きな細孔を持ちながら結晶性のよい高性能チタニアナノスケルトンを創製するためには、前駆体となるチタニア硫酸、ミセルを形成する界面活性剤、膨潤剤となる油剤が分離せずによく混合していることが重要であり、従って油剤が高分散する微小重力条件が非常に有効であることが明らかとなった。現在進行中の第二回宇宙実験の結果を解析することにより、さらにシミュレータの精度を高めるとともに、地上重力下においても高性能なチタニアナノスケルトンを合成するための条件を見出すための研究を進めている。

#### 2. スーパーコンピュータを利用した大規模量子化学計算による本物シミュレーション

密度汎関数理論による第一原理計算の電子状態をよく再現しながら、約5,000倍の高速化を達成したTight-binding量子分子動力学プログラム“Colors”を用いて、さらに大規模かつ高速な計算を可能とする超高速化量子分子動力学法の開発を行っている。ベクトル並列システムによく適合するように開発を進



め、これを一般的なPCでも計算可能な形に展開している。X線・中性子回折スペクトルやIR・ラマン分光スペクトルなど、実験機器計測データを非常によく再現する「本物」の原子レベル構造に適用することにより、実験と対応した大規模量子化学計算を実現している。現在、次世代ペタフロップススーパーコンピュータの利用など視野に入れ、超並列システへの最適化を進めている。

### 3. プラズマディスプレイ保護膜の二次電子放出に関する量子論に基づく研究

日本で開発された技術であるプラズマディスプレイのより一層の低消費電力化のために、電極保護膜のXe<sup>+</sup>に対する二次電子放出係数( $\gamma$ 値)を向上させることが求められている。保護膜材料として、実験先行でMgO等が提唱されて用いられてきた。しかし、 $\gamma$ 値は表面の電子状態に依存しており、その測定も困難であることから、理論に基づいた $\gamma$ 値予測方法が求められている。そこで、これまで構築してきた独自の $\gamma$ 値算出モデルをさらに発展させ、大規模量子化学計算による表面電子密度分布に基づき、外部に放出されずにトラップされる電子の分布を考慮した、新規 $\gamma$ 値予測手法を提案した。II族酸化物に関する実験値をよく再現することが示され、混合系やその他の材料に対する応用研究が期待されている。プラズマディスプレイパネルに関する国際学会でも発表しており、高い評価を受けている。

### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Kamlesh Kumar Sahu, Mohamed Ismael, Shah Md. Abdur Rauf, Ai Suzuki, Riadh Sahnoun, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Ramesh Chandra Deka, Carlos A. Del Carpio, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Applying Ultra-Accelerated Quantum Chemical Molecular Dynamics Technique for the Evaluation of Ligand Protein Interactions,” *Medicinal Chemistry Research*, 19(1), 1–10, (2010).
2. Tasuku Onodera, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Development of a Quantum Chemical Molecular Dynamics Tribochemical Simulator and its Application to Tribochemical Reaction Dynamics of Lubricant Additives,” *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 18(3), 034009(18 Pages), (2010).
3. Hiroaki Onuma, Hiroaki Tanno, Ai Suzuki, Riadh Sahnoun, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, Momoji Kubo, Ramesh Chandra Deka, Hiroshi Kajiyama, Tsutae Shinoda, and Akira Miyamoto, “Host Emission from BaMgAl<sub>10</sub>O<sub>17</sub> and SrMgAl<sub>10</sub>O<sub>17</sub> Phosphor: Effects of Temperature and Defect Level,” *Journal of the Society for Information Display*, 18(3), 211–222, (2010).
4. Hiroaki Onuma, Itaru Yamashita, Kazumi Serizawa, Hiroaki Tanno, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Hiroshi Kajiyama, and Akira Miyamoto, “Quantum Chemistry and QSPR Study on Relationship between Crystal Structure and Emission Wavelength of Eu<sup>2+</sup>-Doped Phosphors,” *Journal of the Society for Information Display*, 18(4), 301–309, (2010).
5. Chen Lv, Kei Ogiya, Ai Suzuki, Riadh Sahnoun, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, Ramesh C. Deka, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Quantum Chemistry Study on Absorption Spectra, Electronic and Electrical Properties of Organic Dye on Anatase(001),” *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 10(4), 2434–2443, (2010).
6. Tasuku Onodera, Yusuke Morita, Ai Suzuki, Riadh Sahnoun, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, Ramesh C. Deka, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Tribochemical Reaction Dynamics of Molybdenum Dithiocarbamate on the Nascent Iron Surface: A Hybrid Quantum Chemical/Classical Molecular Dynamics Study,” *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 10(4), 2495–2502, (2010).
7. Kazumi Serizawa, Hiroaki Onuma, Hiromi Kikuchi, Kazuma Suesada, Masaki Kitagaki, Itaru Yamashita, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Hiroshi Kajiyama, and Akira Miyamoto, “Quantum Chemistry Study of Surface Structure Effects on Secondary Electron Emission in MgO Protecting Layers for Plasma Displays,” *Japanese Journal of the Applied Physics*, 49(4),

04DJ14(4 Pages), (2010).

8. Itaru Yamashita, Kazumi Serizawa, Hiroaki Onuma, Ai Suzuki, Ryuji Miura, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Mark C. Williams, and Akira Miyamoto, "Development of Computational Method for Analysis of Carrier Transfer in Light-Emitting Polymers," Japanese Journal of the Applied Physics, 49(4), 04DK13(5 Pages), (2010).
9. Mari Onodera, Kei Ogiya, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, "Modeling of Dye-Sensitized Solar Cells Based on TiO<sub>2</sub> Electrode Structure Model," Japanese Journal of the Applied Physics, 49(4), 04DP10(6 Pages), (2010).
10. Tomaru Ogawa, Masayuki Miyano, Yasuhiro Suzuki, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, "A Theoretical Study on Initial Processes of Li-Ion Transport at the Electrolyte/Cathode Interface: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Approach," Japanese Journal of the Applied Physics, 49(4), 04DP11(6 Pages), (2010).
11. Shah Md. Abdur Rauf, Mohamed Ismael, Kamlesh Kumar Sahu, Ai Suzuki, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, "The Effect of R249S Carcinogenic and H168R-R249S Suppressor Mutations on p53-DNA Interaction, a Multi Scale Computational Study," Computers in Biology and Medicine, 40(5), 498–508, (2010).
12. Sunho Jung, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Akira Miyamoto, "An Elucidation of the Interaction Between Pt Particles and CeO<sub>2</sub> Surfaces Using Tight-Binding Quantum Chemistry Method," Topics in Catalysis, 53(7–10), 700–706, (2010).
13. Tasuku Onodera, Takanori Kuriaki, Shandan Bai, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, "Influence of Film Deposition Condition on Friction of Diamond-Like Carbon Film: A Theoretical Investigation," Tribology Online, 5(3), 173–180, (2010).
14. Farouq Ahmed, Md. Khorshed Alam, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, "Adsorption and Dissociation of Molecular Hydrogen on Pt/CeO<sub>2</sub> Catalyst in the Hydrogen Spillover Process: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Study," Applied Surface Science, 256(24), 7643–7652, (2010).
15. Md. Khorshed Alam, Farouq Ahmed, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, "Study of Reduction Processes over Cerium Oxide Surfaces with Atomic Hydrogen using Ultra Accelerated Quantum Chemical Molecular Dynamics," Applied Surface Science, 257(5), 1383–1389, (2010).
16. Tasuku Onodera, Yusuke Morita, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Fabrice Dassenoy, Clotilde Minfray, Lucile Joly-Pottuz, Momoji Kubo, Jean-Michel Martin, and Akira Miyamoto, "A Computational Chemistry Study on Friction of h-MoS<sub>2</sub>. Part II. Friction Anisotropy," Journal of Physical Chemistry B, 114(48), 15832–15838, (2010).
17. Ai Suzuki, Ryo Sato, Katsuyoshi Nakamura, Kotaro Okushi, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Mark C. Williams, and Akira Miyamoto, "Multi-Scale Theoretical Study of Sintering Dynamics of Pt for Automotive Catalyst," SAE International Journal of Fuels and Lubricants, 2(2), 337–345, (2010).
18. Sunho Jung, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, "Large-Scale Quantum Chemical Molecular Dynamics Study on CO Oxidation Reaction on Precious Metal Surface," e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, 8, 272–274, (2010).
19. Shah Md. Abdur Rauf, Kamlesh Kumar Sahu, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, and Akira Miyamoto, "Restoration of p53-DNA Interaction Loss upon R273H Mutation by CP-31398: An Ultra Accelerated Quantum

Chemical Molecular Dynamics Approach,” Medicinal Chemistry Research, 6 Pages, (2010), Online First.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Med. Chem. Res.
2. Modell. Simul. Mater. Sci. Eng.
3. J. Soc. Inf. Display
4. J. Nanosci. Nanotechnol.
5. Jpn. J. Appl. Phys.
6. Comput. Biol. Med.
7. Top. Catal.
8. Tribol. Online
9. Appl. Surf. Sci.
10. J. Phys. Chem. B
11. SAE Int. J. Fuels Lubr.
12. e-J. Surf. Sci. Nanotechnol.

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. “Applying Ultra-Accelerated Quantum Chemical Molecular Dynamics Technique for the Evaluation of Ligand Protein Interactions,” Kamlesh Kumar Sahu, Mohamed Ismael, Shah Md. Abdur Rauf, Ai Suzuki, Riadh Sahnoun, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Ramesh Chandra Deka, Carlos A. Del Carpio, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Medicinal Chemistry Research, 19(1), 1–10, (2010).
2. “Powder Synthesis of Y- $\alpha$ -SiAlON and Its Potential as a Phosphor Host,” Takayuki Suehiro, Hiroaki Onuma, Naoto Hirosaki, Rong-Jun Xie, Tsugio Sato, and Akira Miyamoto, Journal of Physical Chemistry C, 114(2), 1337–1342, (2010).
3. “Development of a Quantum Chemical Molecular Dynamics Tribochemical Simulator and its Application to Tribochemical Reaction Dynamics of Lubricant Additives,” Tasuku Onodera, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering, 18(3), 034009(18 Pages), (2010).
4. “Host Emission from BaMgAl<sub>10</sub>O<sub>17</sub> and SrMgAl<sub>10</sub>O<sub>17</sub> Phosphor: Effects of Temperature and Defect Level,” Hiroaki Onuma, Hiroaki Tanno, Ai Suzuki, Riadh Sahnoun, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, Momoji Kubo, Ramesh Chandra Deka, Hiroshi Kajiyama, Tsutae Shinoda, and Akira Miyamoto, Journal of the Society for Information Display, 18(3), 211–222, (2010).
5. “Quantum Chemistry and QSPR Study on Relationship between Crystal Structure and Emission Wavelength of Eu<sup>2+</sup>-Doped Phosphors,” Hiroaki Onuma, Itaru Yamashita, Kazumi Serizawa, Hiroaki Tanno, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Hiroshi Kajiyama, and Akira Miyamoto, Journal of the Society for Information Display, 18(4), 301–309, (2010).
6. “Quantum Chemistry Study on Absorption Spectra, Electronic and Electrical Properties of Organic Dye on Anatase(001),” Chen Lv, Kei Ogiya, Ai Suzuki, Riadh Sahnoun, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, Ramesh C. Deka, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 10(4), 2434–2443, (2010).
7. “Tribochemical Reaction Dynamics of Molybdenum Dithiocarbamate on the Nascent Iron Surface: A Hybrid Quantum Chemical/Classical Molecular Dynamics Study,” Tasuku Onodera, Yusuke Morita, Ai Suzuki, Riadh Sahnoun, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, Ramesh C. Deka, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 10(4), 2495–2502, (2010).

8. "Quantum Chemistry Study of Surface Structure Effects on Secondary Electron Emission in MgO Protecting Layers for Plasma Displays," Kazumi Serizawa, Hiroaki Onuma, Hiromi Kikuchi, Kazuma Suesada, Masaki Kitagaki, Itaru Yamashita, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Hiroshi Kajiyama, and Akira Miyamoto, Japanese Journal of the Applied Physics, 49(4), 04DJ14(4 Pages), (2010).
9. "Development of Computational Method for Analysis of Carrier Transfer in Light-Emitting Polymers," Itaru Yamashita, Kazumi Serizawa, Hiroaki Onuma, Ai Suzuki, Ryuji Miura, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Mark C. Williams, and Akira Miyamoto, Japanese Journal of the Applied Physics, 49(4), 04DK13(5 Pages), (2010).
10. "Modeling of Dye-Sensitized Solar Cells Based on TiO<sub>2</sub> Electrode Structure Model," Mari Onodera, Kei Ogiya, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Japanese Journal of the Applied Physics, 49(4), 04DP10(6 Pages), (2010).
11. "A Theoretical Study on Initial Processes of Li-Ion Transport at the Electrolyte/Cathode Interface: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Approach," Tomaru Ogawa, Masayuki Miyano, Yasuhiro Suzuki, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Japanese Journal of the Applied Physics, 49(4), 04DP11(6 Pages), (2010).
12. "The Effect of R249S Carcinogenic and H168R-R249S Suppressor Mutations on p53-DNA Interaction, a Multi Scale Computational Study," Shah Md. Abdur Rauf, Mohamed Ismael, Kamlesh Kumar Sahu, Ai Suzuki, Michihisa Koyama, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Computers in Biology and Medicine, 40(5), 498–508, (2010).
13. "An Elucidation of the Interaction Between Pt Particles and CeO<sub>2</sub> Surfaces Using Tight-Binding Quantum Chemistry Method," Sunho Jung, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, Akira Miyamoto, Topics in Catalysis, 53(7–10), 700–706, (2010).
14. "Chemical Degradation Mechanism of Model Compound, CF<sub>3</sub>(CF<sub>2</sub>)<sub>3</sub>O(CF<sub>2</sub>)<sub>2</sub>OCF<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>H, of PFSA Polymer by Attack of Hydroxyl Radical in PEMFCs," Takayoshi Ishimoto, Ryo Nagumo, Teppei Ogura, Takashi Ishihara, Boyeong Kim, Akira Miyamoto, and Michihisa Koyama, Journal of the Electrochemical Society, 157(9), B1305–B1309, (2010).
15. "Influence of Film Deposition Condition on Friction of Diamond-Like Carbon Film: A Theoretical Investigation," Tasuku Onodera, Takanori Kuriaki, Shandan Bai, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Tribology Online, 5(3), 173–180, (2010).
16. "Adsorption and Dissociation of Molecular Hydrogen on Pt/CeO<sub>2</sub> Catalyst in the Hydrogen Spillover Process: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Study," Farouq Ahmed, Md. Khorshed Alam, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Applied Surface Science, 256(24), 7643–7652, (2010).
17. "Study of Reduction Processes over Cerium Oxide Surfaces with Atomic Hydrogen using Ultra Accelerated Quantum Chemical Molecular Dynamics," Md. Khorshed Alam, Farouq Ahmed, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Applied Surface Science, 257(5), 1383–1389, (2010).
18. "A Computational Chemistry Study on Friction of h-MoS<sub>2</sub>. Part II. Friction Anisotropy," Tasuku Onodera, Yusuke Morita, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Fabrice Dassenoy, Clotilde Minfray, Lucile Joly-Pottuz, Momoji Kubo, Jean-Michel Martin, and Akira Miyamoto, Journal of Physical Chemistry B, 114(48), 15832–15838, (2010).
19. "Large-Scale Quantum Chemical Molecular Dynamics Study on CO Oxidation Reaction on Precious Metal Surface," Sunho Jung, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira



Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, 8, 272–274, (2010).

20. “Restoration of p53–DNA Interaction Loss upon R273H Mutation by CP-31398: An Ultra Accelerated Quantum Chemical Molecular Dynamics Approach,” Shah Md. Abdur Rauf, Kamlesh Kumar Sahu, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Carlos A. Del Carpio, and Akira Miyamoto, Medicinal Chemistry Research, 6 Pages, (2010), Online First.

**【本人の受賞・特許等】**

○平成22年（1月～12月）

受賞名：IMID 2010 Merck Awards

受賞月：2010年10月

**【学生の受賞・特許等】**

○平成22年（1月～12月）

受賞者：大沼宏彰

受賞名：IMID 2010 Merck Awards

受賞月：2010年10月

**【学生の研究費の獲得】**

○平成22年（1月～12月）

獲得者：大沼宏彰

名 称：日本学術振興会特別研究員(DC1)

期 間：平成22年4月～平成23年3月

獲得者：小野寺 拓

名 称：日本学術振興会特別研究員(DC1)

期 間：平成22年4月～平成23年3月

獲得者：鄭 善鎬

名 称：グローバルCOE「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」国際出る杭特別研究生

期 間：平成22年4月～平成23年3月

氏名 三木 寛之



所属 流体科学研究所・講師（理学博士）

専門 機能性材料学

研究課題

次世代多機能表面技術開発

E-mail: miki@wert.ifs.tohoku.ac.jp

Tel: 022(217)5298

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

GCOEプログラムの運営に関する役割として企画室研究協力者、同広報担当部会及び国際評価委員会担当部会委員として、リエゾンオフィスを核とした流動ダイナミクス教育研究世界拠点推進事業に参画した。

研究分野では、研究分担者として既存の海外相互リエゾンオフィスを通じた国際融合ジョイントラボラトリー及び関連する国際共同研究を実施した。さらに、ELyT Lab workshop（平成23年度2月仙台開催）のT5共同グループリーダーを務め、フランス国立中央理工科学学校リヨン校との共同研究事業が流体科学研究所公募共同研究課題に採択されるなど、多角的な国際連携事業に成果を得ている。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

1. 企画室研究協力者として、また企画室の広報担当部会及び国際評価委員会担当部会の委員として、GCOEプログラム2年度の活動に従事した。
2. International Conference on Flow Dynamics (ICFD) 2010 (2010年11月1-3日:仙台) において、“4th Functionality DEsign of the COntact Dynamics: (DECO2010)”のオーガナイズドセッションを高木敏行教授、フランス国立中央理工科学学校リヨン校 Julien Fontaine 博士とともに企画・実施した。
3. 2010年6月1日-8月28日の期間に国立中央理工科学学校リヨン校修士課程相当学生の Francisco Parazon 氏をインターンシップ学生として受入れ、生体用医療材料としての金属-非晶質炭素複合材料の開発に関する共同研究を実施し、2010年11月1-3日に開催されたICFD2010において共同研究の成果を発表した。
4. 国立中央理工科学学校リヨン校に2010年6月18日-6月25日、2011年3月11日-3月19日の期間訪問し動的圧縮せん断力を利用した粉末の常温固化プロセス及び固体潤滑機能層の創出に関する共同研究を実施した。
5. 流動ダイナミクス国際融合ジョイントラボラトリー“ナノクラスタ金属を含む非晶質炭素コーティングにおける導電性と接触の制御 (The design of conductivity and contact surface: DECO Laboratory)”（代表：流体科学研究所 高木敏行教授）をH20年度に立ち上げ、本年度も継続して共同研究を実施した。今年度も継続して、硬質炭素膜を基盤とした多様な用途に適用可能な先進的コーティング技術の基礎技術開発と機能性発現機構の解明に関するけんきゅうにとりくみべっときさいするせいかをえている共同研究を実施した。
6. 国立中央理工科学学校リヨン校の後藤実特別研究員が2010年10月28日-11月8日の期間に、同校Julien Fontaine 博士が2010年10月30日-11月10日の期間に本所に滞在し非晶質炭素薄膜の高真空中摩擦挙動に関する共同研究を実施した。また、後藤実特別研究員はICFD2010 “4th Functionality DEsign of the COntact Dynamics: (DECO2010)”に参加し招待公演を行った。
7. 2010年11月15日-11月22日の期間に国立中央理工科学学校リヨン校に招聘研究員として滞在し、極限環境において利用可能な炭素系薄膜の摺動性と導電性の特性評価に関する共同研究を実施した。
8. リエゾンオフィスを通じた多国間共同研究プロジェクトをさらに推進するため、東北大学流体科学研究所公募共同研究採択課題を提案・採択され、ロシアChelyabinsk State University Vasilii

Buchlnikov教授を2010年7月10日～20日の期間招聘し共同研究を実施、またロシア科学アカデミー Vladimir Khovailo博士が2010年11月1-3日に開催されたICFD2010において共同研究の成果を発表した。ここでは次世代多機能コーティング技術及び機能性表面の設計法の研究開発に関する共同研究を実施した。

9. 領域横断型研究プロジェクト 融合フロンティアプロジェクト ナノマイクロクラスタに研究分担者として参画し、研磨多結晶ダイヤモンドの超低摩擦現象に関する定量的評価を実施し、同クラスタ 米村 茂 准教授との間で数値シミュレーションと実験との融合的な研究を進めた。

## 平成22年度の研究業績

### 【研究内容】

国際融合ジョイントラボラトリー”ナノクラスタ金属を含む非晶質炭素コーティングにおける導電性と接触の制御”を軸にした、前述3-8の国際共同研究ならびに9の融合フロンティアプロジェクトを実施した。詳細は以下の通りである。

1. 金属を分散した非晶質炭素薄膜を作製し、良導電性低摩擦現象の定量的評価を実施した。①ナノサイズの銅クラスタを含有する非晶質炭素薄膜において、金属を主成分とする移着層の荷重依存性を明らかにし、良好な導電性を導き出す低摩擦移着層の形成過程を明らかにした。②軟質金属クラスタを含有する非晶質炭素薄膜の高真空摩擦挙動について、予備実験を行い、銅の移着層の形成により従来の非晶質炭素（DLC）膜とは異なる特性を有することを見出した。③ナノサイズの炭化ケイ素を分散した非晶質炭素薄膜を汎用構造材上に成膜し、いわゆるランニングインと呼ばれるなじみ過程を必要としない非常に低い摩擦特性を見出し、定量的評価を実施した。

以上、非晶質炭素薄膜に金属を分散させることにより摺動摩擦が低減され、導電性や耐摩耗性を発現可能であることを定性的に示した。尚、2011月2月には関連事業であるELyT Lab workshop において日仏国際共同研究の展開について発表した。

2. 強磁性形状記憶合金材料の物性評価を実施し、構造相変態を定量的に評価することにより磁気的特性と形状記憶効果の関係性を評価した。 Chelyabinsk State University(ロシア)Vasiliy Buchlnikov教授が2010年7月10日～20日の期間本所に滞在し共同研究を実施、またロシア科学アカデミー Vladimir Khovailo博士が平成22年11月に開催されたICFD2010において共同研究の成果を発表した。
3. 研磨多結晶ダイヤモンドの“超”低摩擦現象に関して、実験（三木）と計算機シミュレーション（米村）を融合し、半鏡面状に研磨した多結晶ダイヤモンドと汎用鋼材との間の摺動において、ある相対速度を超えた領域の摺動において摩擦係数が急激に減少する現象の定量的評価に取り組み、成果を得た。

その他、当該年度の学会発表等については別途添付する。

### 【学位論文指導（副査）】

#### 修士論文

1. 大野 威  
金属ナノクラスタを含むDLC膜の創成とひずみセンサとしての機能性評価
2. 筒井 淳司  
無潤滑条件下における気相合成多結晶ダイヤモンド膜の低摩擦特性評価

### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. 大野威, 竹野貴法, 三木寛之, 高木敏行  
歪みセンサへの応用を目指したタングステンを含む非晶質炭素膜の特性評価  
日本機械学会論文集（第76巻第762号）C編, pp. 268-274, (2010.2)
2. Takanori Takeno, Shingo Abe, Koshi Adachi, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi

Deposition and structural analyses of molybdenum-disulfide(MoS<sub>2</sub>)-amorphous hydrogenated carbon (a-C:H) composite coatings

Diamond & Related Materials, Vol.19, pp.548-552, (2010.5)

3. 塩田浩之, 竹野貴法, 三木寛之, 高木敏行  
繰り返し曲げ試験による形状記憶合金上に作製したタンゲステンを含むDLC  
膜の疲労評価  
日本機械学会論文集 (第 76 巻第 766 号) A 編, pp. 745-748, (2010.6)
4. 三木寛之, 奥山武志, 小平真吾, 羅 雲, 高木敏行, 山家智之  
形状記憶合金を用いた人工食道アクチュエータの蠕動運動特性評価  
日本機械学会論文集 (第 76 巻第 766 号) C 編, pp. 1560-1566, (2010.6)
5. 筒井淳司, 三木寛之, 竹野貴法, 高木敏行  
剛材基板に作製した研磨多結晶ダイヤモンド膜の摩擦特性評価  
日本機械学会論文集 (第 76 巻第 766 号) C 編, pp. 1639-1644, (2010.6)
6. Vladimir Khovaylo, K.P. Skokov, O. Gutfleisch, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi, Takeshi Kanomata, Victor Koledov, Vladimir Shavrov, G. Wang, E. Palacios, J. Bartolome, R. Burriel  
Peculiarities of the magnetocaloric properties in Ni-Mn-Sn ferromagnetic shape memory alloys  
Physical Review B, Vol.81, No.21, 214406, (2010.6.7)
7. Vladimir Khovaylo, Gor Lebedev, Dmitry Zakharov, Victor Koledov, Evgeniy Perov, Vladimir Shavrov, Makoto Otsuka, Vladimir Pushin, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi  
Imprinting Bias Stress in Functional Composites  
Japanese Journal of Applied Physics, Vol.49, No.10, 100212, (2010)
8. Hiroyuki Miki, Takeshi Okuyama, Shingo Kodaira, Yun Luo, Toshiyuki Takagi, Tomoyuki Yambe, Takeshi Sato  
Artificial-esophagus with peristaltic motion using shape memory alloy  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.1-2, pp.705-711, (2010)
9. Takeshi Ohno, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi  
Evaluation of electrical properties of metal-containing amorphous carbon coatings for strain sensor application  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.1-2, pp.665-671, (2010)
10. Atsushi Tsutsui, Hiroyuki Miki, Takanori Takeno, Toshiyuki Takagi  
Development of partly polished polycrystalline diamond films on steel substrates for slider applications  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.1629-1634, (2010)
11. Hiroyuki Shiota, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi  
Evaluation of fatigue strength of Me-DLC coating on NiTi shape memory alloy for medical applications  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.947-952, (2010)
12. Takanori Takeno, Takeshi Ohno, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi  
Fabrication of copper-nanoparticle embedded in amorphous carbon films and their electrical conductive properties  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, pp.935-940, (2010)

#### 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. 日本機械学会論文集
2. Diamond & Related Materials
3. Physical Review B
4. Japanese Journal of Applied Physics



5. International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics

**【本人の受賞・特許等】**

○平成22年（1月～12月）

Francisco Palazon

Best Award

The sixth international students/young birds seminar on multi-scale flow dynamics in the seventh international conference on flow dynamics (2010.11.2)

氏名 佐藤 一永



所属 多元物質科学研究所・助教（博士(工学)）

専門 材料力学

研究課題 機能性材料における力学・電気化学連成機構の解明

E-mail: kazuhisa@tagen.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5341

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

研究協力者は、イオン・電子導電体における力学・電気化学連成機構の解明とその応用について取り組んでいる。特に、酸素ポテンシャル勾配下での機能性酸化物の酸素欠陥や結晶構造変化を高精度に観察し、その力学および電気化学的特性の評価を行うための手法を開発した。加えて、燃料電池・リチウムイオン電池をはじめとする固体電池の信頼性評価手法の高度化を情報処理技術と併用することで図った。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

1. 産業総合技術研究所(AIST) 筑波 客員研究員
2. 固体酸化物燃料電池(SOFC) システム要素技術開発事業のコンソーシアムに参画し、電気・ガス事業者ならびに製造会社を中心とする産業界、学界との共同研究を実施した。

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

1. 一軸微小圧縮ひずみによるイオン・電子流動特性の変化機構解明  
イオン・電子導電体のバルク体に対して、一軸の圧縮応力を加えた際に発生する微小ひずみによる、イオン・電子流動特性の評価を実験および分子動力学法により行った。実験および計算結果より、イオン伝導体では伝導度は低下し、電子伝導体では向上することがわかった。これにより、キャリア濃度と移動度の変化に起因していることを明らかにした。
2. 機能性酸化物材料の欠陥構造と結晶構造ならびに化学拡散現象の解明  
温度や酸素分圧を系統的に制御し酸素不定比性ならびに結晶構造の精密測定をその場で観察することに成功した。様々な機能性酸化物、特に不定比性酸化物の機械・電気化学物性の変化挙動の解明に極めて重要な方法である。その際、化学的平衡状態を知るために化学拡散係数は重要な情報となるため、化学拡散係数の高精度測定手法の開発も同時に行っている。
3. 機能性酸化物材料の欠陥構造と機械的特性  
機能性酸化物の原子欠陥濃度と結晶構造の変化に伴う、機械的特性の変化機構解明を行うために、世界に先駆けて高精度評価装置の開発に成功した。弾性率は欠陥濃度に対し指数関数的にて低下することを明らかにした。一方、破壊強度に関しては欠陥濃度に関係なくほぼ一定であることがわかった。今後、結晶構造や電子構造の関係とともに変化挙動解明を行う。
4. 固体酸化物燃料電池およびリチウムイオン電池の劣化挙動解析  
非破壊評価法と電気化学的手法を併用した性能評価法を開発し、各種新規固体電池の劣化挙動解明を行っている。特に、得られた膨大な計測データをデータマイニング手法で解析することにより、詳細な劣化機構の解明に向けた

## 【学位論文指導（副査）】

### 修士論文

1. 環境科学研究科 伊藤英彬  
「固体酸化物燃料電池用材料の局所機械的特性」
2. 環境科学研究科 櫛拓人  
「固体酸化物燃料電池用電解質材料の機械的特性評価」

## 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Shogo Komagata, Naoaki Kuwata, Rangasamy Baskaran, Junichi Kawamura, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki  
Detection of Degradation of Lithium-Ion Batteries with Acoustic Emission Technique, ECS Transactions, 25(33), 163-167 (2010.5)
2. Changsheng Ding, Hongfei Lin, Kazuhisa Sato, Toshiyuki Hashida  
A simple, rapid spray method for preparing anode-supported solid oxide fuel cells with GDC electrolyte thin films, Journal of Membrane Science, 350(1-2), 1-4 (2010.3)
3. Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Tatsuya Kawada, Hiroo Yugami, Toshiyuki Hashida, Junichiro Mizusaki  
Fracture process of nonstoichiometric oxide based solid oxide fuel cell under oxidizing/reducing gradient conditions, Journal of Power Sources, 195(17), 5481-5486 (2010.9)
4. Changsheng Ding, Hongfei Lin, Kazuhisa Sato, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada, Junichiro Mizusaki, Toshiyuki Hashida  
Effect of thickness of  $Gd_{0.1}Ce_{0.9}O_{1.95}$  electrolyte films on electrical performance of anode-supported solid oxide fuel cells, Journal of Power Sources, 195(17), 5487-5492 (2010.9)
5. Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki  
Electrical conductivity, Seebeck coefficient, and defect structure of oxygen nonstoichiometric  $Nd_{2-x}Sr_xNiO_{4+\delta}$ , Materials Chemistry and Physics, 122(1), 250-258 (2010.7)
6. Changsheng Ding, Hongfei Lin, Kazuhisa Sato, Tatsuya Kawada, Junichiro Mizusaki, Toshiyuki Hashida  
Improvement of electrochemical performance of anode-supported SOFCs by  $NiO-Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{1.95}$  nanocomposite powders, Solid State Ionics, 181(25-26), 1238-1243 (2010.8)
7. Masatsugu Oishi, Satoshi Akoshima, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Tatsuya Kawada, Junichiro Mizusaki  
Defect structure analysis of proton-oxide ion mixed conductor  $BaCe_{0.9}Nd_{0.1}O_{3-\delta}$ , Solid State Ionics, 181(29-30), 1336-1343 (2010.7)
8. Satoshi Akoshima, Masatsugu Oishi, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki  
Reaction kinetics on platinum electrode / yttrium-doped barium cerate interface under  $H_2-H_2O$  atmosphere, Solid State Ionics, 181(3-4), 240-248 (2010)
9. Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki,  
Structural analysis of  $La_{2-x}Sr_xNiO_{4+\delta}$  by high temperature X-ray diffraction, Solid State Ionics, 181, 292-299 (2010)
10. Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki  
Thermally-induced and chemically-induced structural changes in layered perovskite-type oxides  $Nd_{2-x}Sr_xNiO_{4+\delta}$  ( $x = 0, 0.2, 0.4$ ), Solid State Ionics, 181, 402-411 (2010)
11. Atsushi Unemoto, Atsushi Kaimai, Kazuhisa Sato, Naoto Kitamura, Keiji Yashiro, Hiroshige Matsumoto, Junichiro Mizusaki, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada  
Electrical conduction and mass transport properties of  $SrZr_{0.99}Fe_{0.01}O_{3-\delta}$ , Solid State Ionics, 181(19-20), 868-873 (2010.7)
12. 福井健一, 赤崎省悟, 佐藤一永, 水崎純一郎, 森山甲一, 栗原聡, 沼尾正行  
固体酸化物燃料電池における損傷過程の可視化  
日本機械学会論文集. A 編, 76(762), 223-232 (2010.2)

### 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Journal of Power Sources
2. Solid State Ionics
3. Journal of Membrane Science
4. Materials Chemistry and Physics
5. 日本機械学会論文集

### 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. Shogo Komagata, Naoaki Kuwata, Rangasamy Baskaran, Junichi Kawamura, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki  
Detection of Degradation of Lithium-Ion Batteries with Acoustic Emission Technique, ECS Transactions, 25(33), 163-167 (2010.5)
2. Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki  
Electrical conductivity, Seebeck coefficient, and defect structure of oxygen nonstoichiometric  $\text{Nd}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4+\delta}$ , Materials Chemistry and Physics, 122(1), 250-258 (2010.7)
3. Masatsugu Oishi, Satoshi Akoshima, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Tatsuya Kawada, Junichiro Mizusaki  
Defect structure analysis of proton-oxide ion mixed conductor  $\text{BaCe}_{0.9}\text{Nd}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ , Solid State Ionics, 181(29-30), 1336-1343 (2010.7)
4. Satoshi Akoshima, Masatsugu Oishi, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki  
Reaction kinetics on platinum electrode / yttrium-doped barium cerate interface under  $\text{H}_2\text{-H}_2\text{O}$  atmosphere, Solid State Ionics, 181(3-4), 240-248 (2010)
5. Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki,  
Structural analysis of  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4+\delta}$  by high temperature X-ray diffraction, Solid State Ionics, 181, 292-299 (2010)
6. Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki  
Thermally-induced and chemically-induced structural changes in layered perovskite-type oxides  $\text{Nd}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4+\delta}$  ( $x = 0, 0.2, 0.4$ ), Solid State Ionics, 181, 402-411 (2010)
7. Atsushi Unemoto, Atsushi Kaimai, Kazuhisa Sato, Naoto Kitamura, Keiji Yashiro, Hiroshige Matsumoto, Junichiro Mizusaki, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada  
Electrical conduction and mass transport properties of  $\text{SrZr}_{0.99}\text{Fe}_{0.01}\text{O}_{3-\delta}$ , Solid State Ionics, 181(19-20), 868-873 (2010.7)
8. 福井健一, 赤崎省悟, 佐藤一永, 水崎純一郎, 森山甲一, 栗原聡, 沼尾正行  
固体酸化物燃料電池における損傷過程の可視化  
日本機械学会論文集. A 編, 76(762), 223-232 (2010.2)
9. Yuki Goya, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki  
Microstructure evolution of the cathode for solid oxide fuel cells under pseudo-operating The 2010 Gordon Conference on Solid State Studies in Ceramics “Fundamental Phenomena in Energy Applications”, USA, New London, (2010.8.15-20)
10. S.Watanabe, Y.Takeyama, K.Sato, F.Iguchi, K.Yashiro, K.Amezawa, T.Hashida, J.Mizusaki, T.Kawada  
Development of In-situ Mechanical Properties Test for SOFC Components  
The 2010 Asian SOFC Symposium, Japan, Kyoto, (2010.9.5-7)
11. I.Nakano, K.Sato, K.Yashiro, J.Mizusaki  
Electrical Conductivity and Oxide Ion Diffusion in  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$  ( $y=0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ )  
The 2010 Asian SOFC Symposium, Japan, Kyoto, (2010.9.5-7)
12. Keiji Yashiro, Yuki Goya, Yoichi Nakagawa, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki  
Microstructure evolution of electrodes for SOFC under pseudo-operating condition  
The 2010 Asian SOFC Symposium, Japan, Kyoto, (2010.9.5-7)
13. M. Kuhn, Y. Fukuda, S. Hashimoto, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki  
Oxygen Nonstoichiometry and Thermo-chemical Stability of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$  ( $y=0\text{-}1$ )  
The 2010 Asian SOFC Symposium, Japan, Kyoto, (2010.9.5-7)



14. S.Hashimoto, T.Kushi, S.Watanabe, K.Amezawa, T.Kawada, S.Nakayama, Mohd.Ashrol bin Haji Ini, K.Sato, K.Yashiro, J.Mizusaki  
Oxygen Nonstoichiometry, Crystalline Structure and Mechanical Properties of  
 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{Mg}_{0.15}\text{Co}_{0.05}\text{O}_{3-\delta}$   
The 2010 Asian SOFC Symposium, Japan, Kyoto, (2010.9.5-7)



氏名 大平 勝秀

所属 流体科学研究所・教授（博士（工学））

専門 低温工学

研究課題 極低温流体の流動・伝熱現象の解明

E-mail: ohira@fmail.ifs.tohoku.ac.jp

Tel: 022(217)5227

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

研究協力者の研究分野では、極低温固液二相流体（スラッシュ流体）および極低温気液二相流体の流動・伝熱複合現象の解明とその応用について取り組んできた。スラッシュ流体特有の圧力損失低減効果と低減効果に伴う熱伝達劣化現象の解明を行っている。また、実験にて得られた熱・流動特性をもとに、スラッシュ流体の流動・伝熱に関する数値解析手法の開発を行っている。極低温気液二相流体の流動・伝熱複合現象については、管内を沸騰流動する極低温流体の気液二相圧力損失と熱伝達特性について、極低温下で計測可能なボイド率計の開発および流動の可視化も含めた実験を行い、現象の解明と特性を評価する実験式の検討を行っている。キャビテーション現象（気液二相流）については、サブクール状態の極低温液体窒素が収縮・拡大ノズルを通過する際に生じるキャビテーション発生メカニズムについて、その発生機構および発生時の不安定流動現象の解明を行っている。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

＜国際会議＞

名 称：Seventh International Conference on Flow Dynamics

主催団体：東北大学GCOEプログラム「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」

開 催 国：日 本

開催期間：2010.11.1 ～ 2010.11.3

役 割：Organizing Committee Member

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

#### 1. 極低温スラッシュ流体の流動・伝熱現象の解明と水素エネルギー技術への応用・展開

スラッシュ水素（温度14K）を移送する場合に必要な配管系の圧力損失等流動現象、固体粒子の流体的挙動、強制対流熱伝達特性を解明するため、スラッシュ窒素（63K）を用いた実験を行い、スラッシュ流体特有の圧力損失低減効果と低減効果に伴う熱伝達劣化現象の解明を行っている。また、配管形状として、従来の円管から矩形管およびコルゲート管について実験研究を行っている。得られた技術成果を高効率水素エネルギーシステムの開発に向けて応用・展開を図っている。

#### 2. 極低温スラッシュ流体の流動・伝熱に関する数値解析手法の開発

スラッシュ窒素の実験にて得られた熱・流動特性をもとに、スラッシュ流体の流動・伝熱に関する数値解析手法の開発を行い、評価を行っている。従来の円管から矩形管に適用すべく解析手法を拡大中である。また、スラッシュ水素の流動現象解析にも適用し、スラッシュ水素とスラッシュ水素の流動・伝熱の違いについて物性面から検証を行っている。

#### 3. 極低温気液二相流体の流動・伝熱現象の解明

液体水素を燃料とするマッハ5クラスの極超音速機技術の実用化を目的として、極超音速予冷ターボジェットエンジンの開発をJAXAにて実施中である。液体水素の寒冷を空気冷却の冷媒として使用するため、液体水素の気液二相流動・伝熱特性の解明が必要となっている。液体窒素を用いて水平伝熱管内を流動する気液二相流の流動様式を加熱部下流で高速度カメラを用いて観察し、流動様式と圧力

損失および熱伝達特性の相関について実験を行い、現象解明と流動・伝熱の評価式について検討を行っている。

#### 4. 極低温流体のキャビテーション現象（気液二相流）の解明

ロケット用ターボポンプなど極低温機器の高性能化を目的に、キャビテーション発生時の不安定流動現象について解明を行っている。サブクール状態(温度 $\sim 68\text{ K}$ )の液体窒素がノズルを通過する際に生じるキャビテーション不安定メカニズムについて、収縮・拡大ノズルのスロート径を変化させた場合の現象解明を行っている。

### 【学位論文指導（主査）】

#### 修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 太田敦人  
「矩形管内を流動するスラッシュ流体の流動・伝熱特性に関する数値解析」
2. 航空宇宙工学専攻 新屋優  
「水平矩形管内を流動するスラッシュ窒素の流動・伝熱特性に関する実験的研究」
3. 航空宇宙工学専攻 千葉真一  
「水平円管内を流れるスラッシュ窒素の固体の融解を考慮した流動・伝熱特性」
4. 航空宇宙工学専攻 永井孝佳  
「静電容量型ボイド率計を用いた液体窒素沸騰流の熱・流動特性評価」

### 【学位論文指導（副査）】

#### 博士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 岡島淳之介  
「Phase Change Phenomena and Heat Transfer in a Microchannel and Its Application to Biological Cooling System」

#### 修士論文

1. システム情報科学専攻 丹大輔  
「マイクロ固体窒素噴霧流を用いた超高熱流束冷却と先端微粒化融合技術の開発」

### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. 大平勝秀  
水平管内を流動するスラッシュ窒素の圧力損失低減現象  
低温工学、Vol. 45 (2010), No. 11, pp. 484-492.

### 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. 低温工学

### 【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. 大平勝秀  
液体水素、スラッシュ水素を利用した高効率水素輸送・貯蔵システム  
燃料電池、Vol. 10 (2010), No. 2, pp. 77-83.
2. 大平勝秀  
コルゲート管を流動する極低温固液二相スラッシュ流体の圧力損失低減現象  
2010年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集(2010), pp. 285-286.
3. 大平勝秀  
高効率水素エネルギーシステム開発のためのスラッシュ流体の管内流動特性  
第19回日本エネルギー学会大会講演要旨集(2010.8.2-3), pp. 274-275.

4. 大平勝秀、大橋直樹、高橋幸一  
極低温スラッシュ流体のコルゲート管内流動時の圧力損失低減現象  
第82回2010年度春季低温工学・超電導学会講演概要集(2010), pp. 206.
5. 大平勝秀、向井康晃  
管内を流動する極低温固液二相スラッシュ流体の数値解析  
第44回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集(2010), pp. 91-94.
6. T. Nagai, R. Shimizu, K. Ohira, K. Takahashi, H. Kobayashi, H. Taguchi, T. Kojima and M. Hongo  
Two-phase Pressure Drop and Heat Transfer for Boiling Liquid Nitrogen Flow in a Horizontal Pipe.  
Proceedings of The Tenth International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration AFI/TFI-2010 (2010), pp. 46-47.
7. 中込圭、大平勝秀、高橋幸一  
スラッシュ窒素の水平円管内流動時の流動・伝熱特性と流動様式  
日本機械学会流体力学部門講演会講演論文集(2010), pp. 173-174.
8. 太田敦人、大平勝秀、林心平  
極低温スラッシュ流体の水平円管内流動・伝熱特性に関する数値解析  
日本機械学会流体力学部門講演会講演論文集(2010), pp. 171-172.
9. K. Ohira, R. Shimizu, K. Takahashi, H. Kobayashi, H. Taguchi  
Pressure Drop and Heat Transfer Characteristics of Boiling Liquid Nitrogen in a Horizontal Pipe Flow.  
International Cryogenic Engineering Conference 23 (2010), p. 115.
10. 太田敦人、林心平、大平勝秀  
水平円管内を流動する極低温スラッシュ流体の流動・伝熱特性に関する数値解析  
日本混相流学会年会講演会2010講演論文集(2010), pp. 244-245.
11. 太田敦人、林心平、大平勝秀  
水平円管内を流動するスラッシュ窒素の流動・伝熱特性に関する数値解析  
第82回2010年度春季低温工学・超電導学会講演概要集(2010), p. 208.
12. 中込圭、高橋幸一、大平勝秀  
水平円管内を流れるスラッシュ窒素の流動・伝熱特性と流動様式  
第82回2010年度春季低温工学・超電導学会講演概要集(2010), p. 207.
13. 永井孝佳、清水領、高橋幸一、大平勝秀、小林弘明、田口秀之  
液体窒素の水平管内流動時の沸騰熱・流動特性  
第82回2010年度春季低温工学・超電導学会講演概要集(2010), p. 205.
14. 清水領、大平勝秀、高橋幸一、小林弘明、田口秀之  
液体窒素の管内流動時の気液二相熱・流動特性  
日本機械学会東北支部第45期総会・講演会講演論文集(2010), pp. 200-201.
15. K. Ohira  
Development of a High-efficiency Hydrogen Transportation and Storage System using Slush Hydrogen.  
International Cryogenic Engineering Conference 23 (2010), p. 85.
16. T. Nakayama, T. Nagai, K. Takahashi and K. Ohira  
Effect of Throat Diameter on Cavitation of Subcooled Liquid Nitrogen Flow through a C-D Nozzle.  
Seventh International Conference on Flow Dynamics (2010), pp. 548-549.
17. K. Ohira, T. Nagai, K. Takahashi  
Cavitating Flow of Subcooled Liquid Nitrogen in a C-D Nozzle.  
International Cryogenic Engineering Conference 23 (2010), pp. 85-86.
18. 永井孝佳、大平勝秀、高橋幸一、中山忠  
サブクール液体窒素のC-Dノズルにおけるキャビテーション流れ  
日本機械学会東北支部第45期総会・講演会講演論文集(2010), pp. 202-203.



**【本人の受賞・特許等】**

○平成22年（1月～12月）

受賞名：低温工学・超電導学会 2010年度 優良発表賞

受賞日：2010年5月13日

**【学生の受賞・特許等】**

○平成22年（1月～12月）

獲得者：太田 敦人

受賞名：日本混相流学会年会講演会2010 学生優秀講演賞受賞

受賞年：2010年10月12日

氏名 渡辺 豊



所属 工学研究科量子エネルギー工学専攻・教授（工学博士）  
専門 環境強度学、保全工学  
研究課題  
原子力発電プラントの流動誘起損傷のメカニズム解明と評価  
E-mail: yutaka.watanabe@qse.tohoku.ac.jp  
Tel: 022 (795) 7910

#### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

原子力発電プラントの経年劣化事象の中でもプラント健全性確保の観点からとくに重要であり、流動に誘起された劣化現象である『流れ加速型腐食』による配管減肉に関して取り組んでいる。流れ加速型腐食は、複雑流動下での高速な物質輸送により金属腐食が加速される現象であり、界面での酸化皮膜形成およびその溶解と管壁－沖合の物質輸送の連成現象として理解する必要がある。この取り組みの中で、流体工学の専門家との協力により配管減肉の予測技術の高度化に繋がるパラメータ影響解明、また、非破壊検査の専門家との連携による減肉管理の高度化に資する研究を実施している。

#### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

<招待講演>

1. Yutaka WATANABE, Hiroshi ABE, “Effects of Materials and Water Chemistry Factors on FAC Rate of Carbon Steels” [Plenary Lecture], Second International Conference on Advances in Nuclear Materials (ANM-2011), February 9-11, 2011, Mumbai, India

#### 平成22年度の研究業績

##### 【研究内容】

1. 複雑流動下での固液界面反応平衡と酸化物皮膜研究

炭素鋼配管の流れ加速型腐食（Flow Accelerated Corrosion: FAC）は、軽水炉の冷却水バウンダリーの信頼性に大きな影響を及ぼす重要な経年劣化現象である。FACによる配管減肉速度の主要因子である鋼中に含まれる微量なCrならびに環境水pHについて、それらの複合効果を実験により調べ、これらの影響を記述する実験式を得た。また、減肉メカニズム究明の一環として鋼材表面に形成される酸化皮膜の特徴を調査した。Crフリー鋼の皮膜は欠陥が多いのに対して、微量Cr含有鋼には、緻密（欠陥が少ない）な皮膜が形成されること、また、表面に近いほど皮膜中のCr濃度が高いことなどの特徴が明らかとなった。

##### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Yutaka Watanabe, Hiroshi Abe, Takamichi Miyazaki, “EFFECT OF MATERIAL FACTORS ON FAC RATE AND CHARACTERISTICS OF OXIDE LAYER”, Proceedings of 2010 ASME Pressure Vessel and Piping Division Conference (CD-ROM), PVP2010-25584, (2010)



氏名 内一 哲哉

所属 流体科学研究所・准教授（博士（工学））

専門 電磁非破壊評価

研究課題

流動誘起損傷の電磁非破壊評価

E-mail: uchimoto@ifs.tohoku.ac.jp

Tel: 022 (217) 5262

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

GCOE融合フロンティアプロジェクト「原子力発電プラントの流動誘起損傷のメカニズム解明と評価」のサブリーダーをつとめ、プロジェクトを推進した。これに関連する研究分野としては、原子力発電設備における流動誘起損傷として、配管減肉の検査とモニタリングに関する研究を推進している。リヨン・東北理工学国際研究所(LIA ELyT)では、テーマR1 Non Destructive Evaluation & Mitigation, NDE & Mitigationの共同グループリーダーを務め、フランス国立応用科学院リヨン校との国際共同研究を推進している。具体的には、高温クリープ損傷のモニタリングの開発とその評価法に関する共同研究を進めている。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

1. Seventh International Conference on Flow Dynamics (ICFD) 2010 (2009年11月1-3日：仙台で開催)において、国際セミナーInternational Seminar on Maintenance Science and Technology for Nuclear Power Plants (2009年11月2-4日)を高木敏行教授とともに企画・実施した。
2. 流体科学研究所公募共同研究の枠組みにおいて、韓国成均館大学校と原子力構造材料の劣化評価に関する共同研究を実施した。また、リヨン・東北理工学国際研究所(ELyT)の活動においては、フランス国立応用科学院リヨン校と複合プローブを用いたモニタリングに関する共同研究を実施した。
3. 融合フロンティアプロジェクト原子力発電プラントの流動誘起損傷のメカニズム解明と評価に参画し、電気事業者をはじめとする原子力産業界、学界との共同研究を実施した。

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

#### 1. 原子力発電設備における流動誘起損傷の非破壊評価

配管減肉現象のメカニズムの議論のためには、減肉を非破壊評価法に基づいて、連続的にかつ高精度に評価する必要がある。電磁超音波共鳴法は、非接触で配管肉厚を高精度に評価できることから、高温環境における配管減肉のオンラインモニタリングに適している。本研究では、300℃の高温環境に耐えうる電磁超音波探触子を開発し、実機に近い条件で稼働する減肉試験ループのオンラインモニタリングに適用した。（株）東京電力の二相流減肉試験装置にプローブを設置し、165℃の運転温度において減肉の連続監視を実施した。高精度（10  $\mu$ m程度）での評価がドリフトレスで可能であることを確認した。

現状では有効な検査方法が存在しない補強板下の減肉評価について、励磁制御型渦電流探傷法を適用し、その有効性を検討した。上置型プローブ、パルス渦電流プローブにより、オーステナイト系ステンレス鋼配管における補強板下の減肉の検出は可能であることが確認され、かつサイジングの可能性も示された。

#### 2. 原子力発電設備における応力腐食割れの評価のためのき裂モデリングに関する研究

原子力発電所設備構造物の保全活動において、応力腐食割れ（以下、SCC）を検出、評価しこれを制御することは大きな課題となっている。渦電流探傷試験（以下、ECT）は、表面き裂に対して高い感度を持ち、また迅速な検査を可能とすることからSCCの非破壊評価法として大きな期待が寄せられている。しかし、ECTにより応力腐食割れの表面割れ長さは評価可能であるが、深さを正確に評価できないことが大きな課題となっていた。この課題にたいして、これまで経験的な電磁応答モデルが提案されてき

たが、その信頼性に問題があった。これは、SCCが複雑なき裂分岐構造やき裂中の充填酸化物といった多様性を有し、それらが渦電流信号に影響を与えることに原因がある。そこで、SCCや疲労き裂に酸化物を系統的に充填した試験片を作製し、渦電流信号と酸化物との間の関係を明らかにするとともに、そのモデルについて議論を行った。この成果は、応力腐食割れの深さ評価の精度を向上させることにつながると期待される。

## 【学位論文指導（副査）】

### 修士論文

1. バイオロボティクス専攻 大瀧 啓太郎  
「渦電流探傷試験による応力腐食割れの定量的評価のための電磁応答モデルに関する研究」

## 【査読論文（査読付き国際会議論文を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Gabor Vertesy, Tetsuya Uchimoto, Ivan Tomas, Toshiyuki Takagi  
Temperature Dependence of Magnetic Descriptors of Magnetic Adaptive Testing  
IEEE Transactions on Magnetics, Vol.46, No.2, (2010.2), pp.509-512
2. Oleksandr Stupakov, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi  
Magnetic anisotropy of plastically deformed low-carbon steel  
Journal of Physics D: Applied Physics, (2010.4.28), pp.1-7
3. 浦山良一、内一哲哉、高木敏行  
電磁超音波-渦電流複合プローブの高温環境モニタリングへの適用に関する検討  
日本機械学会論文集、Vol.76, No.765,A 編,(2010.5), pp.587-593
4. Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi, Toshihiko Abe  
Electromagnetic Nondestructive Evaluation of Graphite Structures in Flake Graphite Cast Iron.  
Materials Transactions, Vol. 51, No. 6, (2010.6), pp.1114-1119
5. 大瀧啓太郎、内一哲哉、高木敏行  
電磁超音波 渦電流プローブを用いた鋳鉄の非破壊材質評価  
日本機械学会論文集（第76巻第767号）A編,(2010.7), pp. 968-975
6. Gabor Vertesy, Tetsuya Uchimoto, Ivan Tomas, Takagi Takagi  
Nondestructive characterization of ductile cast iron by magnetic adaptive testing  
Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol.322 , (2010), pp. 3117-3121
7. O. Stupakov, Toshiyuki Takagi, Tetsuya Uchimoto  
Alternative magnetic parameters for characterization of plastic tension  
NDT & E International, Vol.43, No.8, (2010), pp.671-676
8. Ryoichi Urayama, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi  
Application of EMAT/EC dual probe to monitoring of wall thinning in high temperature environment  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, (2010), pp.1317-1327
9. Ryota Oikawa, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi, Ryoichi Urayama, Yoshiyuki Nemoto, Shigeru Takaya, Satoshi Keyakida  
Evaluation of susceptibility to stress corrosion cracking based on non-linear eddy current method  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, (2010), pp.1303-1308
10. Toshihiro Yamamoto, Toshiyuki Takagi, Tetsuya Uchimoto  
Extraction of crack indications from ECT signals using signal phase characteristics of a multi-coil probe  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, (2010), pp.1179-1184
11. Keitaro Ohtaki, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi  
Material characterization of cast irons with an EMAT/EC dual probe  
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, No.3-4, (2010),



pp.1135-1141

12. Ryoichi Urayama, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi, Shigeru Kanemoto  
Quantitative Evaluation of Pipe Wall Thinning by Electromagnetic Acoustic Resonance  
E-Journal of Advanced Maintenance, Vol.2, No.25-33, (2010), pp.25-33

**【学術雑誌・専門書等（査読あり）】**

○平成22年（1月～12月）

1. IEEE Transactions on Magnetics
2. Journal of Physics D: Applied Physics
3. Materials Transactions
4. Journal of Magnetism and Magnetic Materials
5. NDT & E International
6. International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics
7. E-Journal of Advanced Maintenance
8. 日本機械学会論文集

**【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】**

○平成22年（1月～12月）

1. 山本敏弘、高木敏行、内一哲哉  
渦電流探傷試験における信号位相を利用した検出信号からのき裂指示の抽出  
日本機械学会論文集(A編), 76巻761号, (2010.1), pp.117-125, 査読なし

**【本人の受賞・特許等】**

○平成22年（1月～12月）

受賞名：日本保全学会第4回「産学協同セッション」銀賞

受賞名：平成22 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰・若手科学者賞

氏名 遊佐 訓孝



所属 工学研究科量子エネルギー工学専攻・准教授（博士（工学））

専門 非破壊検査工学

研究課題

電磁現象を利用した構造物健全性評価技術の開発

E-mail: noritaka.yusa@qse.tohoku.ac.jp

Tel: 022 (795) 6319

## 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

研究協力者は主として電磁現象を利用して構造物の健全性評価を行う各種非破壊検査手法の開発およびそれに関する研究を行っている。本グローバルCOEにおいては、構造物の経年劣化事象の一つである配管減肉を主たる対象とし、マイクロ波を用いた配管減肉の早期検出および評価技術開発に取り組んでいる。本技術は配管の広域を一括して探傷が可能であるという点で既存技術に対して大きな優位性を有しており、本グローバルCOEプログラムにおいて特に流体および減肉メカニズムを専門とする研究者の方々と密な交流を行うことにより、原子力発電所などの大規模プラント信頼性に寄与することができるようになると思われる。

## 平成22年度の研究業績

### 【研究内容】

#### 1. マイクロ波を用いた広域配管一括検査技術の開発

配管内部にマイクロ波を伝播させ、その反射及び透過の様子から配管内壁面に存在するきずの検出と評価を行う、非破壊検査技術の開発を行った。本年度研究においては、測定システム全体の見直しを行い、想定したモードのマイクロ波を管内に入射させる基幹技術を確立した。続いて、マイクロ波の管内における伝播の分散を補償する信号処理アルゴリズムを開発し、飛行時間より減肉位置評価を行う際の位置評価精度の大幅な向上を実現した。減肉端部形状、管内壁面電磁気的特性などの各種因子が信号に及ぼす影響を数値解析と探傷試験の併用により分析し、検出限界評価を評価した。

#### 2. 応力腐食割れの電磁モデルの解明

実プラントにて大きな問題となっている経年劣化事象の一つで有る応力腐食割れに対する非破壊評価技術の高度化に資することを目的として、電磁現象の観点から応力腐食割れのモデル化の検討を行った。応力腐食割れの電磁気的異方性及び局所的接触の分布の度合いについて評価し、原子力発電プラントにて発見された実きずの分析と併せ、従来モデルの妥当性および適用限界について評価した。

#### 3. 模擬応力腐食割れ製作技術の開発

電磁非破壊検査の観点からは実応力腐食割れとほぼ同等の応答を示す模擬応力腐食割れ試験体を、従来技術と比べ高精度での性状制御を可能としつつも、安価かつ短期間に製作する技術を開発した。

#### 4. 強度変調複合電磁場による電磁非破壊検査技術の高度化

時間変動電磁場を用いる電磁非破壊検査技術において、従来一部不明な点があったそのメカニズムを解明し、得られた知見に基づいて、従来型のものと比べ深部情報抽出能が大幅に向上した、新しい電磁非破壊検査プローブを開発した。

### 【学位論文指導（副査）】

修士論文 3件

### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. Noritaka Yusa, Kenzo Miya, Ichiro Komura, and Zhenmao Chen. A project aiming at the enhancement of NDT&E of stress corrosion cracking. International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, 33, 1587-1590, 2010

氏名 小宮 敦樹



所属 流体科学研究所・講師（博士（工学））

専門 熱工学

研究課題

E-mail: komy@pixy.ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5244

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

研究協力者が所属する極限熱現象研究分野では、ミクロからマクロスケールにおける熱・物質流動の現象を解明し、その応用利用に取り組んできている。研究協力者は特にマイクロスケールにおける物質移動現象を独自に開発した位相シフト干渉計を用いて高精度計測し、タンパク質等の巨大分子が生体内環境下においてどのような影響を受けるか、定量的な評価を行っている。また、微小領域の高精度可視化技術を応用し、マイクロチャンネル内における珪藻類のCO<sub>2</sub>吸収過程について実験的な評価を行っている。

グローバルCOEプログラムの運営面においては、企画室の教育プログラム担当部会に属し、若手研究者および学生が主催する諸活動の計画・立案を行っている。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

名 称：日本航空宇宙学会北部支部2010年講演会

主催団体：日本航空宇宙学会北部支部

開催期間：2010年3月10-11日

役 割：実行委員

名 称：8th Japan-China-Korea Workshop Microgravity Sciences for Asian Microgravity  
Pre-Symposium

主催団体：The Japan Society of Microgravity Application

開催期間：2010年9月22-24日

役 割：Local Committee

名 称：21st International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-21)

主催団体：Pacific Center of Thermal-Fluids Engineering

開催期間：2010年11月2-5日

役 割：International Scientific Committee

名 称：キッズ・エネルギー・シンポジウム

主催団体：日本伝熱学会

開催期間：2010年11月13日

役 割：実行委員

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

#### 1. 熱・物質移動現象の解明と能動制御

光学干渉技術を用いて極小の非定常拡散場を精密観測し、タンパク質の物質拡散係数を高精度測定する技術を開発している。共役勾配法を用いた新たな物質拡散係数の導出法を提案し、物質拡散係数の濃度依存性を高精度に評価した。また、多成分拡散場における各溶質の物質拡散係数導出と溶質相互間の影響についても実験的検証を行っている。

#### 2. マイクロチャンネル内での珪藻類CO<sub>2</sub>吸収に関する研究

海洋表層に多く存在する珪藻類が光合成にて吸収するCO<sub>2</sub>量は個体ではわずかなものであるが、その総量は地球温暖化を抑制でき得るものとなる。珪藻類の口腔となる部分での吸収過程は、マイクロチャンネル内におけるCO<sub>2</sub>吸収であり、そのメカニズムを解明すべく、実験的可視化を行っている。本研究では、光学干渉計を用いてマイクロチャンネル内のCO<sub>2</sub>非定常濃度場を可視化し、拡散係数を導出することで吸収過程の定量化を行っている。

#### 【学位論文指導（副査）】

##### 博士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 岡島淳之介  
「Phase Change Phenomena and Heat Transfer in a Microchannel and There Application to Biological Cooling System  
(マイクロチャンネル内の相変化伝熱現象と生体冷却システムへの応用)」

##### 修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 江目宏樹  
「ナノ粒子群を用いた機能膜のふく射伝熱制御に関する研究」
2. 機械システムデザイン工学専攻 Juan Felipe Torres Alvarez  
「A Study of Measurement of Mass Diffusion Coefficients in Multicomponent Solutions  
(多成分系における物質拡散係数の測定に関する研究)」
3. 機械システムデザイン工学専攻 眞下央  
「高精度伝熱制御による温熱治療と生体組織の熱物性測定に関する研究」
4. 機械システムデザイン工学専攻 渡邊幹仁  
「海洋深層水湧昇における海域条件の検討とその実用化に関する研究」

#### 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

1. M. Baneshi, S. Maruyama and A. Komiya, Infrared Radiative Properties of Thin Polyethylene Coating Pigmented with Titanium Dioxide Particles, Journal of Heat Transfer- Transactions of the ASME, Vol.132, pp.023306, (2010)
2. 小宮敦樹, 円山重直, 守谷修一, タンパク質物質拡散現象における広域緩衝液の影響評価, 熱物性, Vol.24(1), pp.15-20, (2010)
3. A. Komiya, J. F. Torres and S. Maruyama, Measurement of Mass Diffusion Coefficient of Multi-Component System in Aqueous Media by Phase Shifting Interferometer, Defect and Diffusion Forum, Vol.297-301, pp.624-630, (2010)
4. J. Okajima, A. Komiya and S. Maruyama, Boiling Heat Transfer in Small Channel for Development of Ultrafine Cryoprobe, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol.31, pp.1012-1018, (2010)
5. 江目宏樹, メディバネシ, 小宮敦樹, 円山重直, 波長選択性を有したTiO<sub>2</sub>ナノ粒子群機能膜のふく射特性に関する研究, 熱物性, Vol.24(4), pp.177-182, (2010)

#### 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Journal of Heat Transfer- Transactions of the ASME
2. 熱物性
3. Defect and Diffusion Forum
4. International Journal of Heat and Fluid Flow

#### 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年（1月～12月）

1. Boiling Heat Transfer in Small Channel for Development of Ultrafine Cryoprobe, J. Okajima, A.



- Komiya and S. Maruyama, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol.31, pp.1012-1018, (2010)
2. Cooling Characteristics of Ultrafine Cryoprobe Utilizing Convective Boiling Heat Transfer in Microchannel, J. Okajima, S. Maruyama, H. Takeda, A. Komiya and S. Jeong, Proceedings of the 14th International Heat Transfer Conference, p.181., CDROM IHTC-22550, (2010)
  3. Measurement of the Concentration Dependency of Mass Diffusion Coefficients in Aqueous Binary Solutions by Phase-Shifting Interferometer, A. Komiya, J. F. Torres, J. Okajima and S. Maruyama, Proceedings of the Ninth Asian Thermophysical Properties Conference, CDROM ATPC9-109254, (2010)
  4. The Effect of Capillary Tube on Cooling Performance of Ultrafine Cryoprobe, J. Okajima, A. Komiya and S. Maruyama, Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics, pp.496-497, (2010)
  5. Numerical Study of a Transitional Natural Ventilation Flow Driven by a Line Source Plume with Varied Reynolds Number and Prandtl Number, T. Hattori, S. W. Armfield, M. P. Kirkpatrick, S. Maruyama and A. Komiya, Proceedings of the Seventh International Conference on Flow Dynamics, pp.512-513, (2010)
  6. 皮膚凍結手術における組織致死温度の測定と評価, 武田洋樹, 岡島淳之介, 小宮敦樹, 相場節也, 円山重直, 第47回日本伝熱シンポジウム講演論文集 Vol.I, pp.171-172, (2010)
  7. 極細クライオプローブ内における冷媒の沸騰伝熱過程の解析, 岡島淳之介, 武田洋樹, 小宮敦樹, Sangkwon Jeong, 円山重直, 第47回日本伝熱シンポジウム講演論文集 Vol.I, pp.215-216, (2010)
  8. 点接触式熱物性測定法を利用した軟質材量及び液体の熱物性測定, 小宮敦樹, 眞下央, 岡島淳之介, 高橋一郎, 円山重直, 第31回日本熱物性シンポジウム講演論文集, pp.158-160, (2010)

#### 【学生の受賞・特許等】

○平成22年（1月～12月）

受賞者：A9TM1041 眞下央

受賞名：東北伝熱学会ベストプレゼンテーション賞

受賞日：2010年5月7日

題 目：高精度腹部温熱制御機器による温熱治療の評価

受賞者：B0TM1016 庄司衛太

受賞名：東北伝熱学会ベストプレゼンテーション賞

受賞日：2010年5月7日

題 目：位相シフト干渉計を用いた自然対流場の温度分布測定

受賞者：A8TD1001 岡島淳之介

受賞名：日本伝熱学会優秀プレゼンテーション賞

受賞日：2010年5月23日

題 目：極細クライオプローブ内における冷媒の沸騰伝熱過程の解析

受賞者：A9TM1041 眞下央

受賞名：日本熱物性学会学生プレゼンテーション賞

受賞日：2010年11月18日

題 目：点接触式熱物性測定法を利用した軟質材量及び液体の熱物性測定

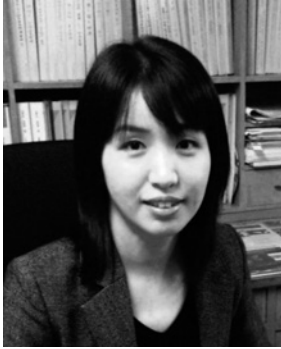
#### 【学生の研究費の獲得】

○平成22年（1月～12月）

獲得者：岡島淳之介

名 称：日本学術振興会特別研究員奨励費

期 間：2008年4月 － 2011年3月



氏名 伊賀 由佳

所属 流体科学研究所・助教（博士（工学））

専門 流体力学

研究課題 液体ロケットターボポンプに発生するキャビテーションの振動問題

E-mail: iga@ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5229

### 平成22年度における本グローバルCOEプログラムに対する取り組み

極限流動融合分野の研究協力者として、超高圧・超高速流体機械である液体ロケットエンジン・ターボポンプ内の極限環境下で発生するキャビテーションの振動現象について、振動特性と発生メカニズムの解明の研究を行った。また、融合フロンティアプロジェクト「エネルギー・環境」のメンバーとして、クリーンなエネルギー源として脚光を浴びている液化天然ガス（LNG）などの極低温流体で生じるキャビテーションについて、熱力学的効果によるキャビティ体積の抑制とキャビテーション性能の向上を定性的に再現した。

### 平成22年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

1. 日本宇宙航空研究開発機構（JAXA）角田宇宙センター客員研究員
2. ターボ機械協会コンソーシアムプロジェクト「CFDによるターボ機械のキャビテーション予測手法の高度化」（2008年11月～）ワーキングメンバー
3. 東京大学JAXA社会連携講座「ロケットエンジンモデリングラボラトリー」キャビテーションチームアドバイザー

### 平成22年度の研究業績

#### 【研究内容】

#### 1. 旋回キャビテーションの伝播方向に関する研究

液体ロケットターボポンプでは、通常の回転流体機械とは逆向きの伝播方向を持つ不安定現象が発生する。これは、超同期旋回キャビテーションと呼ばれ、その伝播のメカニズムはこれまでわかっていなかった。また、液体ロケットターボポンプでは、圧力低下に伴い、旋回キャビテーションは超同期→同期→亜同期の順に発生し、それらの伝播速度は不連続的に切り替わることが実験的に知られている。本研究では、旋回キャビテーションの発生順と、切り替わり時の伝播速度の不連続性について、統一的に説明できるメカニズムを提案した。

#### 2. LNG ポンプに発生するキャビテーションの熱力学的効果に関する研究

CO<sub>2</sub>やSO<sub>x</sub>等の環境影響成分の排出を飛躍的に低減できるクリーンなエネルギー源として脚光を浴びている液化天然ガス（LNG）の、ガス田採取から、大量輸送のための液化、運搬船による輸送、遠隔地の受入れ基地への供給という一連のサプライチェーンでは、移送ポンプ、昇圧ポンプ、循環ポンプ、スプレーポンプ、荷役ポンプと呼ばれる数多くのポンプが使用されており、ポンプ設計の際にはNPSHに対するポンプ性能の低下点（キャビテーション性能）を知る必要がある。LNGは極低温流体であるため、ポンプでキャビテーションが発生した際には熱力学的効果が発生するが、そのメカニズムが未解明であるため、それを数値的に予測することは未だ難しい。そこで本研究では、極低温キャビテーションの熱力学的効果の解明と数値モデルの構築を目指し、本年度は、極低温流体として汎用的な液体窒素を対象とし、三枚羽根軸流ポンプを模擬した三枚周期平板翼列に発生するキャビテーションの数値解析を行った。蒸発に伴う潜熱の移動を考慮した相変化モデルを用いることにより、熱力学的効果によるキャビティ体積の抑制とキャビテーション性能の向上を定性的に再現した。

## 【学位論文指導（副査）】

### 博士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 落合直哉  
「Study of Numerical Prediction of Cavitation Erosion Based on Bubble Coolapse Intensity（気泡崩壊強さに基づくキャビテーション壊食の数値予測法の研究）」

### 修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 佐々木裕章  
「液体/材料連成数値解析による液滴衝撃エロージョンに関する研究」

## 【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成22年（1月～12月）

### 学術雑誌

1. Naoya OCHIAI, Yuka IGA, Motohiko NOHMI, Toshiaki IKOHAGI, “Numerical Prediction of Cavitation Erosion Intensity in Cavitating Flows around a Clark Y 11.7% Hydrofoil”, Journal of Fluid Science and Technology, Vol.5 No.3, pp.416-431, (2010)
2. Yuka IGA, Yoshiki YOSHIDA, “Mechanism of Propagation Direction of Rotating Cavitations in a Cascade”, Journal of Propulsion and Power, AIAA Journal, (in print)
3. Yuka IGA, Yoshiki YOSHIDA, “Numerical Analysis of Control of Cavitation Instabilities in Tandem Cascade “, Trans. JSASS, (in print)
4. Yuka IGA, Kei HASHIZUME, Yoshiki YOSHIDA, “Numerical Analysis of Three Types of Cavitation Surge in Cascade”, Journal of Fluids Engineering, Trans. ASME (in print)
5. 吉田義樹, 南里秀明, 菊田研吾, 風見佑介, 伊賀由佳, 井小萩利明, 「熱力学的効果が同期旋回キャビテーションとサージモード的振動に与える影響」, 日本機械学会論文集 (B編), 76-762, 179-185 頁, (2010)
6. 能見基彦, 落合直哉, 伊賀由佳, 井小萩利明, 「水中翼周りのキャビテーションの詳細観察」, ターボ機械, 第38巻 第5号, 307-312頁, (2010)
7. 能見基彦, 落合直哉, 伊賀由佳, 井小萩利明, 「キャビテーションモデル改善のための一考察」, ターボ機械, 第38巻 第8号, 464-469頁, (2010)

### プロシーディングス

8. Motohiko Nohmi, Naoya Ochiai, Yuka Iga, Toshiaki Ikohagi, “A Detailed Observation of Hydrofoil Cavitation and a Proposal for Improving Cavitation Model”, Proc. ASME 2010 Fluids Engineering Conference, Montreal, Canada FEDSM-ICNMM2010-30435 (2010)

## 【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成22年（1月～12月）

1. Journal of Fluid Science and Technology
2. Journal of Propulsion and Power
3. Trans. JSASS
4. Journal of Fluids Engineering
5. 日本機械学会論文集
6. ターボ機械

## 【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成22年（1月～12月）

1. Yuka IGA, Yoshiki YOSHIDA, “Numerical Analysis of Control of Cavitation Instabilities in Tandem Cascade “, Proc. Asian Joint Conference on Propulsion and Power 2010 (AJCPP2010), Miyazaki, Japan, Paper No. AJCPP2010-145, pp1-7 in CD-ROM, (2010)
2. Hiroaki SASAKI, Yuka IGA, and Toshiaki IKOHAGI, “Study of Droplet Impingement Phenomena by Fluid/Solid Coupled Simulation, Proc. Joint International Conference on Supercomputing in Nuclear Applications and Monte Carlo 2010/SNA+MC2010, Tokyo JAPAN (2010)

3. 落合直哉, 伊賀由佳, 能見基彦, 井小萩利明, 「壁面近傍での非球状気泡崩壊と誘起衝撃圧の数値解析」, 日本機械学会東北支部第 45 期総会講演会 講演論文集, 仙台, No.2010-1, 講演 No.204, 208-209 頁(2010)
4. 落合 直哉, 伊賀 由佳, 能見 基彦, 井小萩 利明, 「壁面近傍での非球状気泡崩壊挙動に関する一考察」, 日本機械学会流体力学部門講演会講演論文集, 山形(2010)
5. 能見基彦, 井小萩利明, 伊賀由佳, 「非定常キャビテーション流れ解析における境界条件の影響」, キャビテーションに関するシンポジウム (第15回) 講演論文集, 大阪 (2010)

#### 【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成22年 (1月～12月)

1. Naoya OCHIAI, Yuka IGA, Motohiko NOHMI, Toshiaki IKOHAGI, “Numerical Prediction of Cavitation Erosion Intensity in Cavitating Flows around a Clark Y 11.7% Hydrofoil”, Journal of Fluid Science and Technology, Vol.5 No.3, pp.416-431, (2010)
2. 落合直哉, 伊賀由佳, 能見基彦, 井小萩利明, 「壁面近傍での非球状気泡崩壊と誘起衝撃圧の数値解析」, 日本機械学会東北支部第 45 期総会講演会 講演論文集, 仙台, No.2010-1, 講演 No.204, 208-209 頁, (2010)



## 10. 博士研究員ポストドクトラルフェローの取り組みと実績



氏名 富田 典子

所属 流体科学研究所

研究課題

力学および生物学的反応を付与した血管バイオモデルの開発

E-mail: tomita@biofluid.ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5224

### 研究背景

虚血性心疾患や動脈瘤などの循環器系疾患は、多くの国において最も死亡者数の高い重大な疾患であり、画期的な診断・治療法の開発が必要とされている。循環器系疾患の低侵襲的な治療法としてカテーテルや薬剤溶出ステントを用いた血管内治療の導入が増加しているが、高度な医療技術が求められる一方で、血管内治療の訓練と技術評価は十分ではなく、また、デバイスの接触、留置による血管細胞の傷害、血栓形成、血球の凝集、溶血など、血管細胞が受ける影響が問題となっている。これらの問題を解決するために、生体外で血管の形状や挙動、また生体反応を再現できる血管バイオモデルの開発が急務となっている。東北大学流体科学研究所 太田信 准教授らは、透明性に優れ、表面摩擦抵抗が低く、物性値を任意に変化できる材料であるポリビニルアルコールハイドロゲル(PVA-H)を使用し、血管が持つ力学的特性を有した血管バイオモデリングの開発を行ってきた。このモデルに生物学的応答性を付加させることができれば、血管内治療用デバイスによる物理的刺激、および治療薬に対する血管細胞のレスポンスの定量化が可能となり、血管内治療のブレークスルーにつながる重要な基盤材料となりうる。また、医療デバイスが血球に与える影響については、これまでに高せん断力マイクロ流路を使用して血球の変形能を電氣的に計測する研究などが行われてきたが、そこで用いられる血球モデルは、正常の血球やグルタルアルデヒドで硬化させた血球のみであり、血管・血液疾患患者を想定すれば、より多様な力学的強度をもつ血球モデルを必要としていると考えられた。本研究員はこれまでに、赤血球膜に特異的に作用して、ナノメートルサイズの孔を開ける膜孔形成タンパク質の構造と作用機序に関する研究を行っており、本タンパク質を利用することで、血球膜全体の物性を硬化・脆弱化させた、膜強度多様化血球モデルの開発が可能であると考えた。

これらの背景を踏まえ、本研究においては、①PVA-H上に血管細胞を付着させる技術の開発を行い、PVA-Hの血管の力学的性質と生物学的性質を融合させた血管バイオモデルとしての有用性について検討すること、さらに、②赤血球膜に特異的に孔を開けるタンパク質の構造解析、ならびに孔数を制御する手法を開発し、膜孔形成タンパク質による膜強度多様化血球モデルの開発に向けた基礎的実験データを取得することを目的とする。これらのバイオモデルを使用してデバイス接触と内皮細胞傷害、血球破壊、血栓形成との関連性を解析する生体外定量化システムの開発を目指していく。

### 平成22年度 研究成果

#### ① PVA-H血管バイオモデルへの生物学的応答の付与に関する研究

平成21年度に引き続き、DMSO法で作成した透明PVA-Hの表面に様々な細胞外基質を塗布し、ヒト血管細胞を効果的に付着させる条件を検討した。DMSO法で作製したPVA-Hは生体軟組織に似た力学的特性を有することに加え、透明であるため、PIV法などによる流体工学を応用したin-vitroでの疑似血流測定も可能であり、血流と医療デバイスに対する血管応答を解析する有用な材料である。しかしながら、高親水性のためそのままでは細胞接着が困難であり、細胞接着効果を上げるためには、表面を細胞外基質や水溶性高分子などでコーティングする必要がある。そこで、本研究においては、PVA-H表面を接着分子として汎用性が高いコラーゲンI、フィブロネクチン、ラミニン、マトリゲル(コラーゲンIV、ラミニン、硫酸プロテオグリカン、エンタクチン/ニドジェンの混合物)でそれぞれコーティングした。PVA-H上に接着しなかった各細胞外基質を洗浄後、ヒト血管内皮細胞(HUAEC)を播種し、4日後の細胞接着状態を核染色および位相差顕微鏡で観察した。

単位面積あたりの細胞数をカウントした結果、フィブロネクチンでコーティングしたPVA-H上で細胞が効果的に接着・増殖することが明らかとなった(図1、図2)。各プレート上の細胞は、フィブロネクチン、ラミニン、マトリゲル上では偽足を伸ばした細胞が多く見られたが、コラーゲンIでコーティングし

た場合には球状の細胞が多く見られた(図2)。PVA-H上での細胞増殖に関わる要因を検討するために、プラスチックプレートを同じ細胞外基質でコーティングし、プレート上に残存する細胞外基質の状態、および細胞数をカウントし、PVA-Hプレート上のものと比較した。その結果、プラスチックプレート上では、ラミニンでコーティングした場合でもフィブロネクチンと同様に効果的な細胞増殖が観察された(図3)。コラーゲンI、マトリゲルを使用した場合には細胞増殖効率は低かったことから、これらの基質の中で、フィブロネクチンとラミニンはHUAECの効率的な増殖に適した基質であることが示唆された。

PVA-Hおよびプラスチックプレート上の細胞外基質と比較すると、コラーゲンI、フィブロネクチン、マトリゲルはPVA-H上とプラスチックプレート上ではほぼ同様の染色状態が観察されたが、ラミニンはプラスチックプレート上では繊維状の構造体として検出され、PVA-H上ではアモルファス状に観察された(図4)。PVA-H表面は高親水性であるが、プラスチックプレート表面は疎水性であることから、ラミニンの各プレート上への接着状態が異なると予測され、この違いがラミニンでコーティングしたPVA-Hプレート上での細胞増殖効果の違いに影響を及ぼしていると考えられた。本研究結果から、DMSO法で作成したPVA-H上に細胞を付着させる細胞外基質としては、フィブロネクチンが有効であり透明なPVA-Hを利用した力学的及び生物学的応答を有する血管バイオモデルの開発が可能であることが示唆された。本研究成果は2011年に開催される国際会議24th European Conference on Biomaterials (Ireland) で発表予定であり、国内外の学術雑誌への投稿準備を進めている。

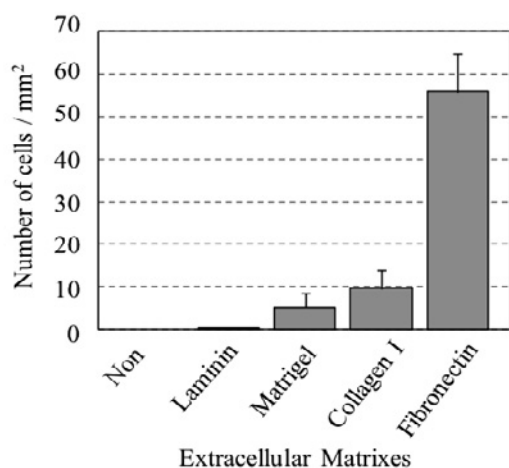


図1. 各細胞外基質でコーティングした透明PVA-Hプレート上でのヒト血管内皮細胞接着数の比較  
基質でコーティングしないPVA-H プレート上 (Non)には細胞はほとんど接着しない。フィブロネクチンでコーティングしたPVA-H 上には、他の基質の10-500倍程度の効率で細胞接着が観察された。

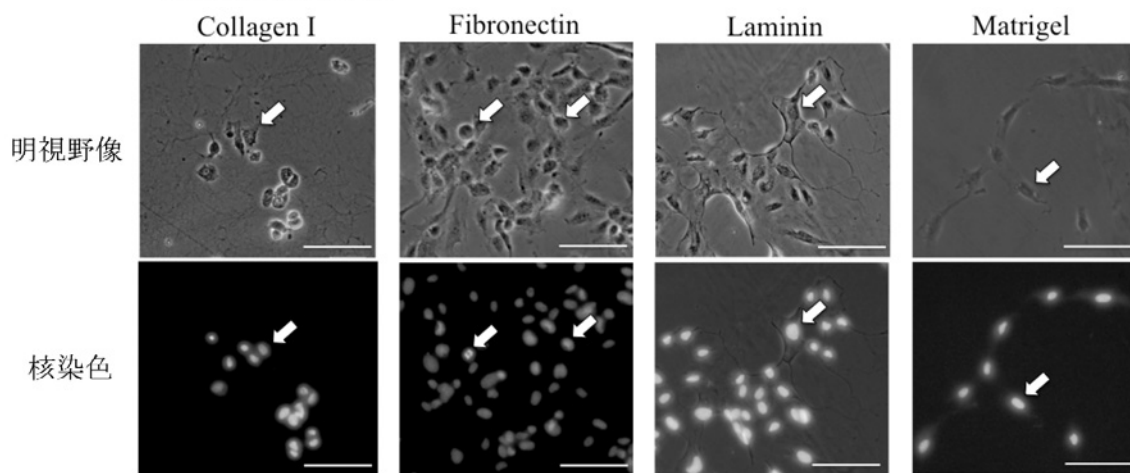


図2. 各細胞外基質でコーティングしたPVA-H上での細胞接着  
白矢印は明視野と核染色視野において同一細胞を示している。スケールバーは100μmを示す。

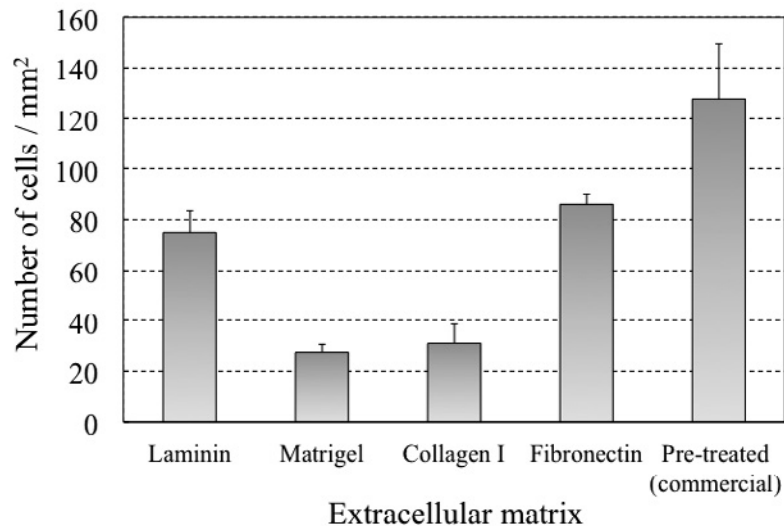


図3. 各細胞外基質でコーティングしたプラスチックプレート上で観察された接着細胞数の比較  
Pre-treated はポジティブコントロールとして一般細胞培養用プレートを使用。LamininおよびFibronectinでコーティングにしたプレートにおいて、同様の細胞増殖効果が見られた。

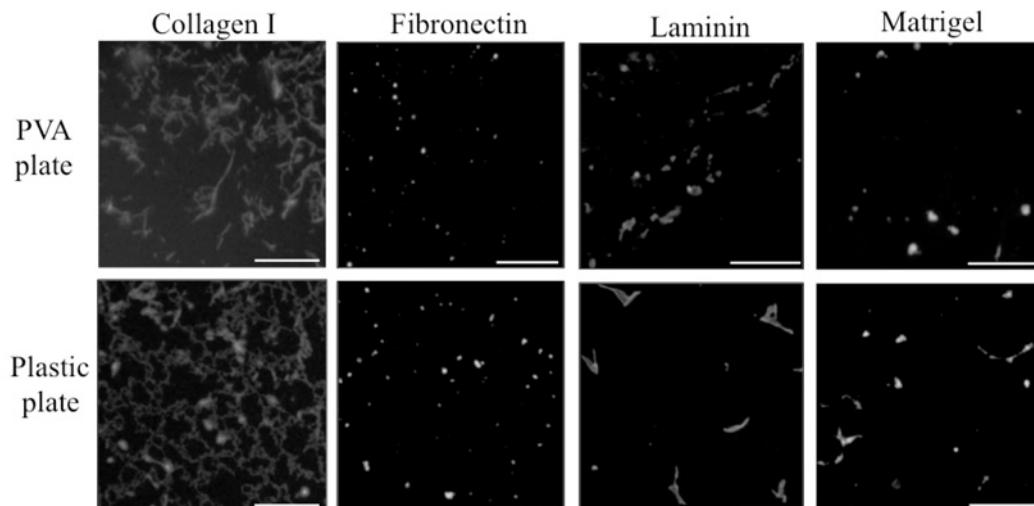


図4. PVA-Hおよびプラスチックプレート上の各細胞外基質の蛍光染色像  
各プレートに細胞外基質を塗布、洗浄後、プレート上に残存する基質を免疫蛍光染色法で検出した。スケールバーは100  $\mu$  mを示す。

## ② 膜強度多様化血球モデルの開発に関する研究

本研究では、赤血球膜に特異的に作用する膜孔形成タンパク質を利用して、膜の強度を変化させた硬化・脆弱化血球モデルの開発を行うための基礎的データを取得することを目的とした。近年、血管内治療用に新たに開発されたステントが臨床段階で溶血や血栓による血管の閉塞を引き起こすなど、血球挙動による炎症が問題となっている。人工弁、血液ポンプなどにおいても、デバイスとの接触による溶血や血球凝集の問題が存在している。さらに糖尿病疾患、遺伝性血球球状症などの血球の形態異常により血球の変形能が低下している患者の場合には、デバイスが血球に与える影響は、血球の強さによって変化すると考えられる。そこで本研究員は、血球膜に特異的に結合し、膜孔を形成するタンパク質を利用して、膜全体の力学的性質および変形能を変えた血球モデルの作製を考案した。

平成22年は、昨年度に引き続き、膜孔形成タンパク質の機能をより詳細理解するために、高精細電子顕微鏡像と2次元および3次元画像解析ソフトを使用して、本タンパク質に特徴的な構造と分子配置をより詳細に定量化することに成功した(図5)。本研究成果は平成22年5月に名古屋で開催された日本顕微鏡学会で招待講演として発表し、また8月にポートランドで開催されたMicroscopy & Microanalysis



conference でBest submission abstract に選ばれるなど、国内外で高い評価を得ている。本研究成果の一部は既に論文として採択され(原著論文5-1)、膜孔内サブユニット配置に関する新たな知見についても論文としてまとめあげ、現在投稿中(原著論文5-2)、および投稿準備中である(原著論文5-3)。

一方、リポソームは赤血球細胞と同様に脂質二重膜からなる小胞であり、赤血球の単純モデルとして利用可能である。脂質膜の強さは脂質の種類によって異なると考えられ、膜孔形成タンパク質の感受性の違いも加味すれば、様々な脂質からなるリポソームを利用する事で、より多様な強度をもつ血球モデルの作製が可能であると考えられた。そこで、種々の脂質で作成したリポソームに対する膜孔タンパク質の活性を調査した。その結果、本タンパク質はホスファチジルコリン(PC)およびカルジオリピン(CL)に対し、ホスファチジルセリン(PS)およびホスファチジルグリセロール(PG)より比較的強い膜孔形成活性を有することが明らかとなった(図6)。さらに、血球膜上に形成される孔数については、アメリカシラキウス大学が有するPlanar Lipid Bilayer System(PLBS) を使用して定量化する予定である。本システムは平面脂質二重膜上に形成されるタンパク質濃度に依存したチャンネル数をカウントできる。本研究員は現在、3度目の渡米を遂行中であり、様々な種類の脂質に対する孔数計測を試みている。シラキウス大学で作製した様々な数の膜孔をもつリポソームの強度は、東北大学においてマイクロピペット法で測定し、膜孔数と膜強度の相関関係を解析する予定である。

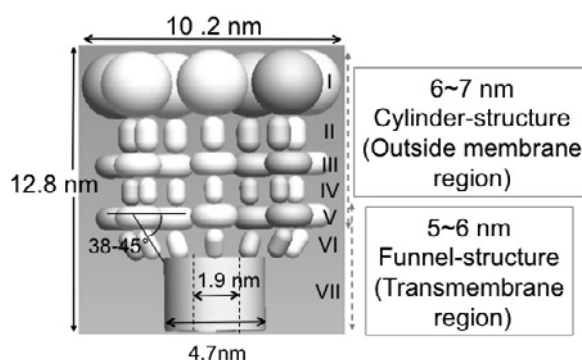


図5. 高精細電子顕微鏡と画像構築ソフトをもとに再構築した膜孔形成タンパク質の構造模式図。本膜孔形成タンパク質は、上部はシリンダー状の膜外領域、下部は漏斗状の膜貫通領域と推定した。

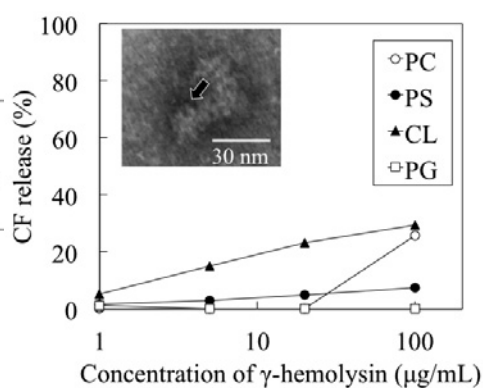


図6. 様々な脂質リポソームに対する膜孔タンパク質の膜孔形成活性。写真はホスファチジルコリンリポソーム上に形成された膜孔の電子顕微鏡像。

## 平成22年度 総括

平成22年度は、血管および血球バイオモデル開発に向け、①血管の力学的特性を有する透明PVA-Hバイオモデル上にヒト血管内皮細胞を効率的に付着させる技術の開発、および ②膜の強さを変えた血球モデルの開発に利用する膜孔形成タンパク質の構造解析および、本タンパク質の脂質に対する感受性に着目して研究を行った。

①については、様々な細胞外基質をPVA-H上に塗布し、細胞の増殖効果をみた。一方で、各細胞外基質と細胞との親和性、およびPVA-H上での細胞外基質の存在状態を調査した。その結果、PVA-H上で細胞の親和性を保持し、効果的な増殖を促すことができる細胞外基質として、フィブロネクチンが有効であることが明らかとなった。今後は、血管形状のPVA-H上で細胞を培養法させるために、細胞外基質をPVA-H上に固相化する技術の開発を行い、PVA-H上に細胞を均等に積層させ、且つ血流下でも細胞の剥離が起きない培養法を開発していきたいと考えている。

②については、血球膜に特異的に作用し、膜の強さを制御できるタンパク質の構造を高精細電子顕微鏡像と画像構築ソフトで再構築・解析することに成功した。また本タンパク質の膜孔形成活性が脂質の種類によって異なることを明らかとし、様々な脂質からなるリポソームが膜強度多様化血球モデルの開発に応用できることが示唆された。また様々な脂質二重膜に開いた孔数計測法については、現在アメリカシラキウス大学との共同研究にてPLBS法をもとに開発中である。これらバイオモデルを開発することは、血流および医療デバイスに対する血管・血流構成成分の力学的・生物学的応答評価を可能とし、医療デバイスの性能評価および、テーラーメイド型治療法の開発へと発展できると考えられる。以上の



研究成果の一部は既に学術雑誌に発表されており、今後も国内外の学会にて発表を行い、積極的に論文投稿を行いたいと考えている。

## 次年度研究計画

### ① PVA-H への生物学的応答性の付与

#### (1) PVA-H表面への細胞外基質の固相化

本研究によってフィブロネクチンでコーティングしたPVA-H上には細胞が効率的に付着することが示された。しかしながら本研究は静置条件下で行ったものであるため、次に架橋剤などの化学処理を加えることでPVA-H上へのフィブロネクチンの固相化を試み、血流下においても基質が剥がれない条件を検討する。この条件で培養したPVA-H上の細胞接着面に、シリンジポンプを使用して一定の速度で血流を流し、細胞の薄離の有無を解析する。細胞接着後のPVA-Hの透明性の維持については屈折率試験で確認する。

#### (2) チューブ状PVA-H内腔への血管細胞の付着

血管形状PVA-Hの代替として、チューブ状PVA-Hを使用し、(1)で確立した技術をもとに基質をPVA-H塗布し、回転培養法でチューブ状PVA-Hに均一に細胞を播種する方法を確立する。

### ② 血球モデルの開発

#### (1) 様々な脂質からなるPLB (平面脂質二重膜) に対する膜孔数の計測

シラキウス大学で所有しているPLBSを使用する。膜孔タンパク質を、血球を構成する脂質であるホスファチジルコリン、スフィンゴミエリンなどの各種脂質から構成されるPLBに添加する。タンパク濃度に依存して形成されたチャネル数および、孔の大きさをコンダクタンスの大きさから計測する。

#### (2) 各種脂質から構成されるリポソームの膜強度計測

東北大学流体科学研究所にてすでに構築したマイクロピペット法を使用し、各種脂質から成るリポソームの膜強度を計測する。膜孔形成タンパク質の濃度とリポソームの強度の相関関係を分析する。

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. 富田典子, 安西眸, 阿部和代, 太田信, “黄色ブドウ球菌  $\gamma$  ヘモリジンが形成するヘテロヘプタマー膜孔複合体の立体構造予測と分子配置解析”, 顕微鏡, 45 (4), 2010, in press
2. Noriko Tomita, Hitomi Anzai, Kazuyo Abe, Yoshiyuki Kamio, Jun Kaneko, Makoto Ohta, “A three-dimensional structure with subunit mismatch arrangement in staphylococcal  $\gamma$ -hemolysin heteroheptameric transmembrane pore”, *Journal of electron microscopy*, submitted
3. Noriko Tomita, Kazuyo Abe and Makoto Ohta “Analysis of subunits mismatch arrangement based on distance between two adjacent subunits in  $\gamma$ -hemolysin heteroheptameric transmembrane pore”, *Journal of electron microscopy*, to be submitted.

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. ○富田典子, 阿部和代, 太田信 「ブドウ球菌 2 成分性細胞崩壊毒素  $\gamma$  ヘモリジンが形成するヘテロヘプタマー膜孔複合体における非正規分子配置の定量的解析」 日本農芸化学会 2011 年度大会, 京都, 2011 年 3 月 25-27 日, 口頭発表, 採択済
2. 富田典子, 小助川博之, ○太田信「透明 Poly (vinyl alcohol) Hydrogel バイオモデル上への血管細胞の効果的付着技術の開発」第 32 回日本バイオマテリアル学会, 広島, 2010 年 11 月 29 日-30 日, 大会予稿集 pp.196-196, ポスターおよび口頭発表
3. ○Noriko Tomita, Kazuyo Abe, Hitomi Anzai, Makoto Ohta 「黄色ブドウ球菌  $\gamma$  ヘモリジンが形成するヘテロヘプタマー膜孔複合体におけるサブユニット配置解析 (Subunit arrangement analysis of staphylococcal  $\gamma$ -hemolysin heteroheptameric transmembrane pore)」日本生物物理学会第 48 回年会, 仙台, 2010 年 9 月 20 日-22 日, 講演要旨集 pp. s-146 - s-147, ポスター-発表 (English)
4. ○富田典子, 安西眸, 阿部和代, 金子淳, 神尾好是, 太田信「ブドウ球菌の 2 成分性毒素  $\gamma$  ヘモリジン膜孔複合体における分子配置解析と立体構造予測」日本顕微鏡学会第 66 回学術講演会, 名古屋, 2010 年 5 月 23 日-26 日, 発表要旨集 pp.36-36, 指定講演

## 【国際】

1. ○Noriko Tomita, Makoto Ohta, “Molecular arrangement and structure analysis of staphylococcal  $\gamma$ -hemolysin” in Oregon Health & Science University, Portland, USA, Aug. 9, 2010, 特別講演
2. ○Noriko Tomita, Hiroyuki Kosukegawa and Makoto Ohta, “Development of vessel biomodel with dynamic and biological properties by cell attachment on PVA-H”, *Swiss/Japan International Seminar on Medical Engineering Based on Vessel Biology*, Zurich, Switzerland, Nov. 14-16, 2010, in press, 招待講演
3. ○Noriko Tomita “Cell adhesion on PVA-H for development of biomodel with biological response”, *International Mini Symposium for Biomechanics and Intracranial Stent*, pp.36-37, Sendai, Japan, Oct. 20, 2010, 招待講演
4. ○M. Ohta, K. Matsumoto, S. Shida, C. Kiyomitsu, H. Kosukegawa, N. Tomita, C-. H Yu, H. Anzai, T. Nakayama, Anne M. Robertson, “Simulations of Endovascular Treatment for Cerebral Aneurysm”, *6th World Congress of Biomechanics*, Singapore, Singapore, Aug. 1-6, 2010, Congress Program pp.97-97, 招待講演, 共著
5. ○Makoto Ohta, Hiroyuki Kosukegawa, Syuya Shida, Kei Ozawa, Noriko Tomita, Chang-Ho Yu, “Biomodel for Development of Intracranial Stent”, *SIRIC International Symposium 2010*, Souel, Korea, Jul. 2, 2010, SIRIC International Symposium 2010 Stent Development: Present and Future, pp. 126-130, 招待講演, 共著
6. ○Noriko Tomita, Hiroyuki Kosukegawa, Makoto Ohta, “Development of Cell-Matrix Adhesion Techniques on Transparent PVA-H for Vessel Biomodeling”, *Seventh international Conference on Flow Dynamics*, Sendai, Japan, Nov. 1-3, 2010, Proceedings pp.126-127, Oral presentation
7. ○Noriko Tomita, Yoshiyuki Kamio and Makoto Ohta, “Characterization of  $\gamma$ -Hemolysin on Liposome”, *The Tenth International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration*, Sendai, Japan, Nov. 1-3, 2010, Proceedings pp.100-101, Short oral and Poster presentation
8. ○N. Tomita, H. Kosukegawa, Makoto Ohta, “Cell Adherence on Transparent PVA-H Coated with Extracellular Matrix”, *23th European Conference on Biomaterials*, Tampere, Finland, Sep. 11-15, 2010, Abstracts, pp. n3484-n3484, Oral presentation
9. N. Tomita, H. Anzai, K. Abe, ○M. Ohta, “Molecular Architecture Analysis of Staphylococcal hemolysin Heteroheptameric Transmembrane Pore: Construction of Three-Dimensional Structure with Subunit Arrangement Mismatch Based on High-resolution Electron Microscopic Image”, *6th World Congress of Biomechanics*, Singapore, Singapore, Aug. 1-6, 2010, Congress Program pp.507-507, Oral presentation
10. N. Tomita, H. Kosukegawa, ○M. Ohta, “Development of Fundamental Techniques of Cell Adhesion on Transparent PVA-H for Biomodeling”, *6th World Congress of Biomechanics*, Singapore, Singapore, Aug. 1-6, 2010, Congress Program pp.483-483, Oral presentation
11. N. Tomita, H. Kosukegawa, ○M. Ohta, “Modification of transparent poly (vinyl alcohol) hydrogel with extracellular matrix promotes effective cell adhesion for biomodeling”, *International Conference on Cellular & Molecular Bioengineering*, Singapore, Singapore, Aug. 2, 2010, Book of Abstracts pp.93-93, Oral presentation
12. ○N. Tomita, H. Anzai, K. Abe, M. Ohta, “Analysis of Three-dimensional Structure and Subunit Mismatch in Staphylococcal  $\gamma$ -Hemolysin Heteroheptameric Transmembrane Pore”, *Microscopy and Microanalysis* Vol.16, Supplement 2010, Portland, USA, Aug. 1-5, 2010, pp.103-104, Oral presentation

## 【受賞等】

1. Microscopy and Microanalysis 2010, Best abstract submission, Microscopy Society of America Apr. 16, 2010 ○Noriko Tomita, Hitomi Anzai, Kazuyo Abe, and Makoto Ohta, “Analysis of Three-Dimensional Structure and Subunit Mismatch in Staphylococcal  $\gamma$ -Hemolysin Heteroheptameric Transmembrane Pore”
2. 財団法人風戸研究奨励会 平成 22 年度国際会議発表渡航助成 採択, 会議名: 17<sup>th</sup> International Microscopy Congress, Title: “Three-Dimensional Structure Reconstruction with Subunit Mismatch Arrangement of Staphylococcal  $\gamma$ -Hemolysin Heteroheptameric Pore” (都合により辞退)
3. 平成 22 年度日本学術振興会特別研究員 (RPD) 採用決定 (2011 年 1 月 1 日-2013 年 12 月 31 日)



氏名 山下 博

所属 流体科学研究所

研究課題 Experimental and Computational Analyses of the Supersonic Biplane for the Realization of the MISORA

E-mail: tomita@biofluid.ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5224

## 研究背景

平成22年度に実施した研究成果を以下2テーマに分けて報告する。

- ① サイレント超音速旅客機MISORAプロジェクトに関するCFD/EFD融合研究
- ② 実環境下におけるソニックブーム騒音の高精度推算手法の構築

### ① サイレント超音速旅客機MISORAプロジェクトに関するCFD/EFD融合研究

次世代超音速機開発における克服すべき重要課題として、ソニックブーム騒音問題が挙げられる。本研究では東北大学21世紀COEプログラム「流動ダイナミクス国際研究教育拠点」で招聘した楠瀬一洋博士の協力のもと確立した「複葉翼理論」に基づき、ブーム騒音問題の解決を目標に定め、サイレント超音速複葉旅客機の機体成立性について数値流体力学 (CFD) と風洞実験 (EFD) の両面から研究を進めている。図1に提案する機体概念図を示す。

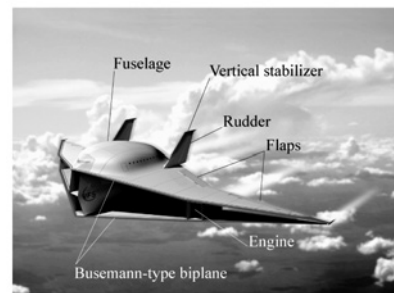


図1 MISORA飛行イメージ図.

### ② 実環境下におけるソニックブーム騒音の高精度推算手法の構築

超音速機の設計においては、地上ソニックブーム騒音を推算し評価することが重要となる。この評価を高精度に行うためには、実在大気の運動がソニックブーム波形に及ぼす影響をモデル化し、より実測波形に近い波形を推算可能な計算手法を構築する必要がある。本研究では気象学分野でマイクロからマクロまで分類される大気運動の中で、大気境界層内の乱流効果、また伝播中の分子緩和効果に着目して研究を行っている。

## 平成22年度 研究成果

### ①サイレント超音速旅客機MISORAプロジェクトに関するCFD/EFD融合研究

本プロジェクトは数年以内の飛行実証を目標として研究を進めている。本年度に得られた研究成果はMISORA飛行実証実現に必要な要素技術であり、本成果を踏まえ低ブーム超音速複葉機の概念設計を進めていく。得られた成果は、本年度国内・国際学会で発表されており、国内・国際学術誌に投稿予定である。平成22年度に行なわれた主な研究成果の概略を以下にまとめる。

- 東北大学 Ballistic range による圧力計測技術の構築

図2は東北大学流体科学研究所所有のBallistic rangeと設計された近傍場圧力測定装置を示す。本装置の上板には圧力センサーが取り付けられており、超音速飛行する模型直下の近傍場圧力波形を測定することができる。図3は本バリスティックレンジで実測された圧力波形例である。現在のところ、再現性よく、SN比の高い波形が獲得できている。今後、実験装置の信頼性を検証するとともに超音速機の研究開発に活用する。この実験結果は室蘭工業大学齋藤務教授の研究グループが実施した数値解析結果と比較検討を進めている。

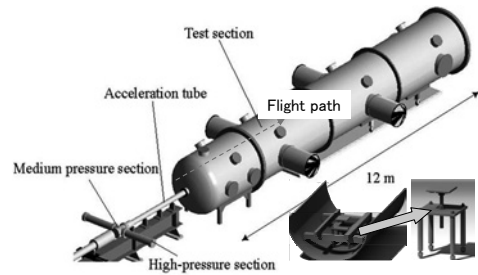


図2 Ballistic range実験装置圧力測定器

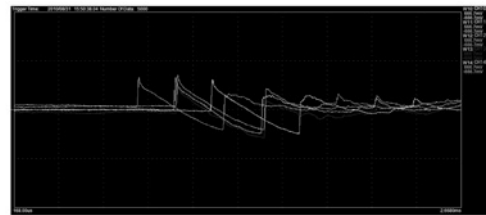


図3 Ballistic rangeの実測波形例

- 名古屋大学 Ballistic range を用いた複葉翼の低ブーム性能実証実験

超音速複葉翼の低ブーム性能を実験的に検証するため、名古屋大学所有のバリスティックレンジ（管径約25 [mm]）にて超音速自由飛行実験を継続して実施している。図4は名古屋大学所有のバリスティックレンジを用いた複葉翼模型の超音速自由飛行実験の可視化結果と、計測された圧力波形を示している。モデルごとの計測波形を比較することで低ブーム性能を実証に取り組んでいる。

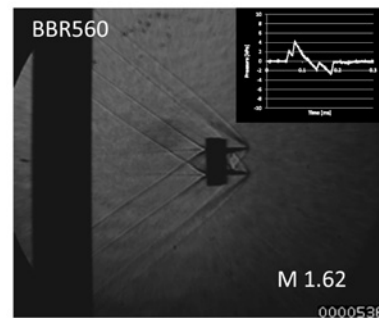


図4 バリスティックレンジを用いた複葉翼模型の低ブーム実証実験

- BOS 法による衝撃波の可視化

図5は超音速複葉翼の衝撃波干渉を

Background-Oriented Schlieren (BOS) 法を用いて可視化した結果である。実験は東北大学が所有する超音速吸い込み式風洞で行った。BOS解析により簡易光学系によって超音速複葉翼から発生する圧縮・膨張波が可視化可能であることを示した。本年度2月中旬にはISAS/JAXA超音速風洞にて超音速複葉翼三次元模型のBOS法を用いた実験を実施予定である。本手法を発展させ、屋外超音速飛行実験において大気中を伝播するソニックブームの定量計測を目指す。

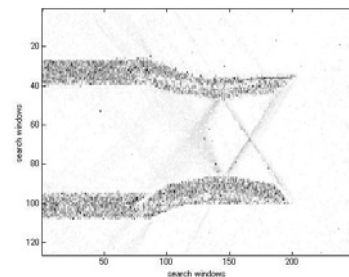


図5 BOS法による超音速流れの可視化

- 高揚力装置付き複葉翼の低速性能実験

高揚力装置付き超音速複葉翼模型を設計し、東北大学所有の低乱熱伝達風洞にて低速実験を実施した。図6にその模型を示す。図7は超音速複葉翼の翼型を翼弦30%長で折り曲げた高揚力形状についての揚力特性を得た結果である。超音速複葉翼におけるフラップの効果を明らかにするとともに、上翼下翼共に前縁と後縁を20°折り曲げた形状で最大揚力係数が約2.5まで上昇することが確認された。さらに継続して詳細な低速実験を実施することで、超音速複葉翼に適した高揚力形態を探索する。

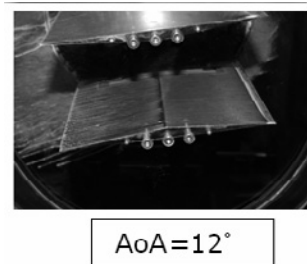


図6 高揚力装置付き超音速複葉翼模型



## ②実環境下におけるソニックブーム騒音の高精度推算手法の構築

### ●ソニックブームへの大気境界層における乱流効果

幾何音響理論をベースとした伝播解析コードを用い、約1 kmの大気境界層を模擬した環境下でのソニックブーム強度の変動を推算した。図8に計算結果を示す。過去の実測結果と比較して、ブーム強度のばらつきに関して実測データと定性的に一致することを確認した。しかしながら、乱流効果による波形変化のモデル化については、引き続き検討する必要がある。波形変化の明確なメカニズムは未解明であり、実験的研究との連携が必要である。国内では名古屋大学佐宗章弘教授が“ソニックブーム波形に対する大気乱流効果モデル構築のための実験的研究”を進めており、共同で研究を進めることが期待される。

### ●ソニックブーム波形への分子緩和効果

ソニックブームは超音速機から発生する衝撃波が実在大気を伝播し、地上で爆発音をもたらす現象である。このため、大気の状態がソニックブーム強度や波形の立ち上がり時間などに影響を及ぼす。本研究では、音響学の分野で知られている実在大気の吸音減衰効果を表す減衰係数を利用することで、ソニックブーム波形に対する大気の減衰効果を検討した。図9に示す結果から、大気の吸音減衰効果によってソニックブーム波形は全体が丸みを帯び、立ち上がり時間がゼロであったソニックブーム波形が、有限な立ち上がり時間をもつ結果が得られた。また先端ブーム強度も低減されることを確認した。

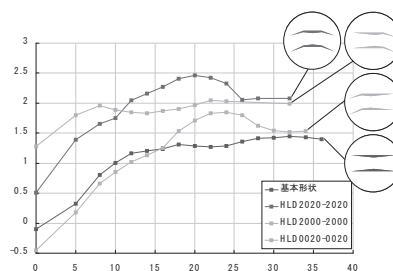


図7 超音速複葉翼型の複合フラップ効果

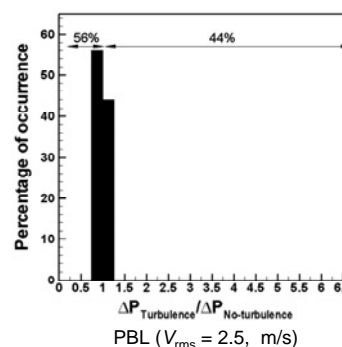


図8 大気境界層を模擬した擾乱場を伝播した場合の、ソニックブーム強度のばらつき。

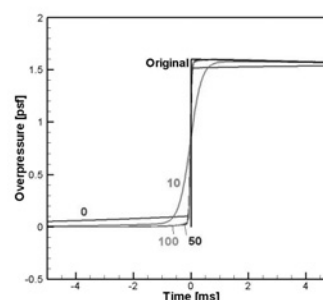


図9 分子緩和効果による先端部ソニックブーム波形の変形。図中の数値は相対湿度。

## 平成22年度 総括

本研究所の充実した計算機環境および実験施設などを活用し、将来の低ブーム性能の飛行実証実験を目標に継続した研究が望まれる。今後重要と考える点は、CFDとEFDの優位性を活かした研究方針を立て、遂行することである。現在CFDとEFDは互いの検証を目的としての利用が多い。CFDとの融合シミュレーションを遂行するための実験データ獲得を検討するなど、活用できる実験データを見据えたCFD解析を実施していくことが、革新的設計技術の構築、ひいては新たな知見の獲得につながる可能性がある。一方、実験では細かくパラメトリックスタディできない条件についてCFD解析で補間し、詳細に現象を考察するといった活用方法も考えられる。また、本プロジェクトで取り組むソニックブーム推算コードや東北大学Ballistic range実験装置は、本研究グループが構想する飛行実験のみならず、JAXA静粛超音速機実験D-SEND Projectなどへ適用できる可能性が高く、我が国の超音速機開発に大きく貢献することが期待できる。本プロジェクト内では先進的な超音速旅客機開発技術を構築しつつあり、それらの資産をぜひとも日本・世界の超音速機開発にも活用したい。以上、平成22年度の研究で得られた結果は、英文・和文学術誌への投稿準備を進めており、雑誌掲載をもって本年度の研究をまとめる予定である。

## 次年度研究計画

以下研究項目ごとに次年度研究計画をまとめる。（平成23年度）

### ① サイレント超音速旅客機MISORAプロジェクトに関するCFD/EFD融合研究

- ・東北大学Ballistic rangeにおける近傍場圧力波形の計測技術構築。
- ・名古屋大学Ballistic rangeを用いた複葉超音速機翼胴形態の自由飛行実験の実施。
- ・JAXA/ISAS高速気流総合実験設備におけるBOS (Background Oriented Schlieren) 光学計測手法を用いた模型周りの圧力波の定量計測。
- ・離着陸性能の向上を目指した高揚力装置付き複葉翼模型の低速実験と最適化。
- ・MISORAの空力・構造連成最適化計算の実施と飛行実証機の概念設計。

### ② 実環境下におけるソニックブーム騒音の高精度推算手法の構築

- ・現行の大気乱流モデリングの高精度化に関して、実験結果の知見を元にモデリングを検討。
- ・時間領域と周波数領域の計算コードについて、実測波形を模擬できる適切なパラメータを探索。
- ・気象データをもとに、実際の飛行を想定したブーム計算を実施。

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. **Yamashita, H.**, and Obayashi, S., “Global Variation of Sonic Boom Overpressure Due to Seasonal Atmospheric Gradients,” *Journal of Aircraft*, 2010 (Under review).
2. 沢田雅洋, 山下博, 岩崎俊樹, 大林茂, “人力飛行機長距離飛行におけるダウンスケール気象予測の適用とその検証 (Application and Validation of Downscaling Weather Forecast for Long-Distance Flight by Human-Powered Aircraft)”, 日本航空宇宙学会論文集, Vol. 58, No. 681, pp. 295-301, 2010.
3. 大久保正幸, 豊田篤, 山下博, 小川俊広, 大林茂, 清水克也, 鈴木角栄, 松田淳, 佐宗章弘, “胴体先端形状修正による翼胴型超音速複葉翼機のソニックブーム低減化”, 日本航空宇宙学会論文集 (査読中) .
4. 藤園崇, 山下博, 豊田篤, 永井大樹, 浅井圭介, 鄭信圭, 大林茂, “テーパ型超音速複葉翼の始動特性と翼端板効果”, 日本航空宇宙学会論文集 (査読中) .
5. **Yamashita, H.**, Fujisano, T., Toyoda, A., Nagai, H., Asai, K., Shinkyu, J., and Obayashi, S., “Aerodynamic Characteristics and Effects of Winglets of the Boomless Tapered Supersonic Biplane during the Starting Process,” *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences*, (in draft).
6. **Yamashita, H.**, Kuratani, N., Yonezawa, M., and Obayashi, S., “Wind Tunnel Testing on Start/Unstart Characteristics of Finite Supersonic Biplane Wing,” *AIAA Journal*, (in draft).

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. 齋藤雄太, 豊田篤, 山下博, 小川俊広, 大林茂 “尾翼付き超音速自由飛行試験模型のCFD解析”, 平成 22 年度衝撃波シンポジウム, 2011 年 3 月 16 日, 口頭発表 (発表予定) .
2. 宮内空野, 豊田篤, 山下博, 鄭信圭, 大林茂 “ブーゼマン複葉翼を用いた低速飛行模型の開発”, 日本航空宇宙学会北部支部講演会, 2011 年 3 月 10 日, 口頭発表 (発表予定) .
3. 磯部祐一, 山下博, 大林茂, 松野隆, 川添博光, “低速における超音速複葉翼型基本形状の空力特性に関する研究”, 日本機械学会流体工学部門講演会 2011 年 10 月 30 日, 口頭発表.
4. 山下博, 大林茂, “ソニックブーム伝播における大気緩和効果”, 航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2010, 米子, 2010 年 6 月, 口頭発表.
5. 大久保正幸, 豊田篤, 山下博, 小川俊広, 大林茂, 清水克也, 鈴木角栄, 松田淳, 佐宗章弘, “計算と実験による翼胴型超音速複葉翼機のソニックブーム低減化に関する研究”, 航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2010, 米子, 2010 年 6 月, 口頭発表.

#### 【国際】

1. **Yamashita, H.**, and Obayashi, S., “Meteorological Effects on Sonic Boom,” 19th ISNA, Tokyo, Japan, Aug. 2011, Oral presentation. (Submitted).

2. Fujisono, T., **Yamashita, H.**, Toyoda, A., Nagai, H., Asai, K., Matsuno, T., Kawazoe, H., Shinkyu, J., and Obayashi, S., “Supersonic Wind Tunnel Experiment on Aerodynamic Characteristics and Winglets Effects of the Tapered Supersonic Biplane,” Proceedings of ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011, Shizuoka, Japan, July 2011, Oral presentation (Accepted).
3. **Yamashita, H.**, and Obayashi, S., “Atmospheric Absorption Effect on Sonic Boom Waveform during Its Propagation,” The Seventh International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, Nov. 2nd 2010, pp.14-15, Oral presentation.
4. Hatanaka, K., Saito, T., **Yamashita, H.**, Ogawa, T., Obayashi, S., and Takayama, K., “Computations of Flow Field around an Object Decelerating from Supersonic to Subsonic Velocity,” AFI/TFI2010, Sendai, Japan, Nov. 1st 2010, pp.40-41, Oral presentation.

#### 【報道等】

コロンブステレビ 2010年11月 「東北の【知】を探究する！ Meet the professor -TOHOKU UNIVERSITY-



氏名 Zahrul Fuadi

所属 流体科学研究所

研究課題

Study of Frictional Sound

E-mail: zahrul@wert.ifs.tohoku.ac.jp

Tel: 022(217)5298

## 研究背景

Frictional sound/noises contribute to more than 95 % of noise in environment. Therefore, reducing (controlling) noise generated in friction is one of the most important requirements for future machines. Many strategies have been conducted for reducing noise in machines, such as the use of sound absorption material and controlling the sound transfer path. However, those methods are still not quite effective for reducing the noise.

The major source of the sound in frictional sound is the contact interfaces. Therefore, it is important that controlling/reducing the frictional noise be done by directly targeting the contact interfaces. Previous studies show that the contact stiffness, a parameter representing the condition at contact interfaces, has a significant relationship to peak frequency of vibration resulted rubbing of flat rough surfaces<sup>1)</sup>. It is also shown that this parameter is effective to be used in explaining the occurrence of friction-induced vibration on vehicle brake systems<sup>2)</sup>.

Therefore, it is believed that controlling the contact stiffness at contact interface can be effective for controlling frictional sound generation. Here, a method for effective control of contact stiffness is proposed. It is the introduction of surface texture to the contact interface. The reason is because texture is relative uniform in shape and dimension, contrary to roughness which is highly random.

The main objective of this research is to propose a method for controlling the contact stiffness by introducing surface texture to the contact interfaces so that the sound generated in friction can be controlled/reduced. As highlighted in the flowchart of the research plan (attached separately), surface textures will be designed and introduced to contact interfaces and their effect for both contact stiffness and noise/sound generation will be investigated.

Evaluation of contact stiffness is conducted by a newly proposed experimental apparatus. The method is based on vibrational assessment in which the value of contact stiffness is estimated by using the vibration accelerations data. Measurement of frictional sound/noise of contact interface with surface texture is conducted in a specially designed anechoic chamber.

## 平成22年度 研究成果

### 1. Effect of contact stiffness on peak frequency of rubbing sound with light-load

The interest of this study is the frictional sound generated in rubbing of flat rough surfaces. Previously, it has been reported that the peak frequency of the rubbing sound is determined by the roughness scale of the mating contact interfaces. The peak frequency of the generated rubbing sound shifts to higher frequency when the roughness scale is getting smoother.

In current study, the objective is to clarify the origin of the peak frequency shift and to propose a model to explain the mechanism of peak frequency occurrence using the parameter of contact

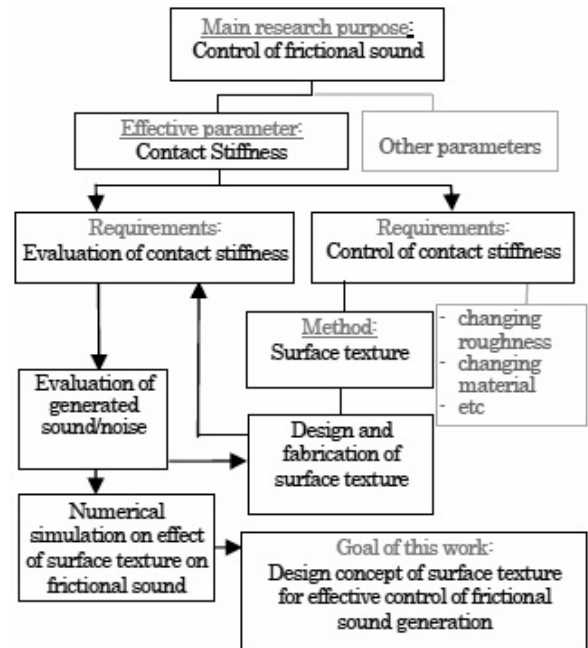


Fig. 1 Research Plan



stiffness. The results shows that using the three-disk combination, the peak frequency shift as the result of surface roughness change can be explained using the contact stiffness parameter. An empirical method has been proposed to explain the mechanism of sound's peak frequency occurrence incorporating the contact stiffness parameter.

## 2. An experimental method for contact stiffness evaluation of contact interface with controlled contact asperities

Topography of contact interface is one of the most important factors that determine the dynamic behaviors of a contact. Control of contact topography is therefore important for controlling those dynamic behaviors. On the other hand, asperities interaction on contact interfaces can be quantified using a parameter called contact stiffness. Introducing surface texture to contact interface can therefore control the contact topography, thus controlling the contact stiffness.

In this study, an experimental method for estimation of tangential contact stiffness of contact interfaces with controlled contact asperities, i.e. surface texture, is conducted.

The results of the study can be concluded as follows:

- a. The shift of eigenmode frequency in the frequency response function of a two-disk in contact with controlled contact asperities has been related to the tangential contact stiffness of the corresponding contact interfaces. It is found that for the each contact conditions, the shift is determined by the number of contact asperities and the normal force.
- b. The relationship between the tangential contact stiffness,  $K_T$ , and the eigenmode frequency shift,  $f$ , can be explained by using a power relationship of  $K_T = C_1 f^{C_2}$ , in which  $C_1$  and  $C_2$  are constants determined by experiment.

## 3. The role of asperity impact on frictional sound generated in rubbing

Micro impacts between asperities on the contact interface are believed to be the sources of the sound generated in rubbing contact. However, since asperities are highly random, the quality and quantity of the generated sound are usually related to roughness parameter such as  $Ra$ . In this research, a contact surface that has uniform periodic asperities has been fabricated in order to understand in more detail the role of the asperities impact on the characteristics of sound generated in rubbing. It is found that, in the case of ball rubbing on flat-uniform-asperities surface, the peak frequency of rubbing sound matches the peak frequency of the vibration resulted from a single asperity impact. It is also found that since the asperities are uniform, both the sound pressure level and the peak frequency of the generated rubbing sound are not affected by the speed of rubbing

## 4. Effect of surface texture on normal and tangential contact stiffness of soft silicon material

Contact stiffness parameter can be used in the characterization of human skin. It is found that the the contact stiffness of skin is strongly affected by the character of the skin texture as well as age [1]. Since the dynamic of contact interfaces is affected by contact stiffness, it is then also possible to use the dynamic data, which is the spectrum of vibration and sound, for characterization and analysis of human skin, particularly for application such as human handling robot. Therefore, in order to achieve such goal, a fundamental study to find out the effect of surface texture on the contact stiffness of soft material such as skin is required as well as the investigation on how sound and vibration spectrum are generated when such surface is put into rubbing contact.

In this joint research program, the effect of surface texture on dynamic and tribological properties of soft material of silicon is conducted. Surface textures with different dimensions were fabricated on the contact interface and its effect on the tribological and dynamic properties are investigated..

At current research stage, several advantages of introducing surface texture on the soft material contact surface have been identified. In particular, introducing the surface texture can reduce the normal and contact stiffness as well as reducing the surface adhesion. Surface texture can also reduce the amplitude of vibration

## 平成22年度 総括

The characteristic of frictional sound generated in rubbing contact can be explained using a parameter called contact stiffness. This phenomenon has been clarified by using a novel rubbing test method employing a three-disk contact combination (Fig. 1). In this test method, three disks are stacked to each other so that two contact interfaces will be formed among them. These two contact interfaces are important because different task can be assigned to each of them. In the test, rubbing was conducted to one of the contact interface while the other one stays in static contact. In this way, the first contact interface will provide excitation to the system and this excitation will be transmitted to the third disk though asperities in contact on the second contact interface. The tests were conducted by changing the roughness of these two contact interface and the characteristic of sound produced is analyzed. It is found that the occurrence of sound's peak frequency can be explained by the parameter of contact stiffness.

Since contact stiffness has a strong relationship to the peak frequency of sound generated in sliding, control of contact stiffness can be the key factor in controlling the frictional sound. One of the methods of controlling the contact stiffness is by controlling the contact asperities, i.e. surface texturing. A method for evaluation of contact stiffness of contact interface with controlled contact asperities has been proposed. In this method, it is found that the tangential contact stiffness can be related to certain eigenmode frequency of the system in contact, analyzed from the frequency response function of the system. The relationship between tangential contact stiffness,  $K_T$ , and the eigenmode frequency shift,  $f_{peak}$ , can be explained using a power law;  $K_T = C_1 f_{peak}^{C_2}$ , in which  $C_1$  and  $C_2$  are constants determined by experiment. (More detail is given in Attachment II)

On the other hand, the interaction of contacting asperities is very important because these interactions are the actual source of the sound. Therefore, in order to obtain a deeper understanding about the role of asperity impact on frictional sound generation, a contact interface with uniform contact asperities was fabricated. Using this uniform asperity contact interface, the characteristic of the sound generated from a single asperity impact can be analyzed and compared to that generated from a multiple asperities impact. It is found in the analysis that the peak frequency of rubbing sound resulted from multiple asperities impact is similar to that resulted from the single asperity impact, which is determined by the asperity's shape and dimension. Thus, controlling the sound's frequency can be done by designing the dimension of the asperities. It is also found that in the case of uniform contact asperities, the sound pressure level of rubbing sound is not affected by the sliding velocity. This finding is considered important for designing the contact interface of a mechanical system such as bearing to reduce the frictional sound.

The spectrum of sound and vibration generated in rubbing, in addition to visual imaging, is also potential to be used in the

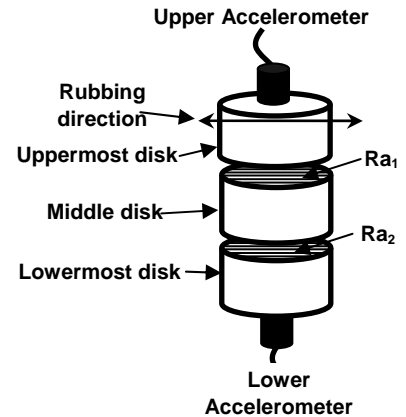


Fig. 1. Three-disk contact combination

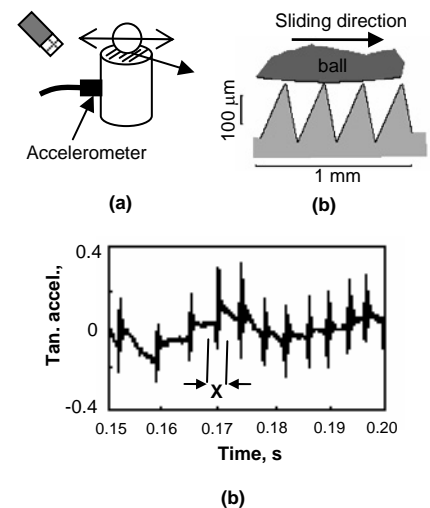


Fig. 2 Ball rubbing on textured surface (a), detail of contact (b), and acceleration from one asperity impact, denoted by X (c)

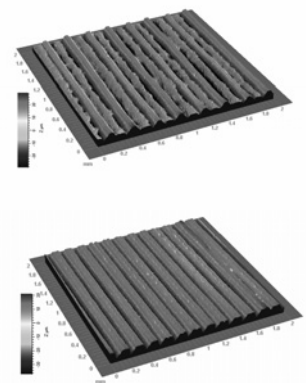


Fig. 3. Surface texture fabricated on soft material (silicon) contact surface

characterization and analysis of human skin, particularly in robotic application. In order to achieve such goal, a fundamental study to find out how sound and vibration spectrum are generated in the rubbing of soft material is conducted. Soft material of silicon is used and surface texturing (Fig. 2) is fabricated on its contact interface. This research is conducted as a collaborative research under Elyt Laboratory program together with the Laboratory of Tribology and System Dynamics, Ecole Centrale Lyon.

### **次年度研究計画**

1. Research about effect of surface texture on tribological and dynamics properties of soft material silicon
  - Analysis about the effects of surface texture on contact stiffness of soft material will be conducted.
  - Analysis about the effect of surface texture on friction and adhesion of steel ball sliding against soft material will be conducted
  - Analysis about effect of surface texture on surface free energy of soft material will be conducted
  - Several joint publications concerning this research will be conducted in future tribology conferences
2. Research about bio-inspired contact interfaces  
Plants and animals have used textures in contact interface to achieve certain purposes. Learning from such a tiny animal about how they effectively move, for example, is important for designing optimum contact interface for small machines.

### **研究業績**

#### **【学術雑誌等への発表】**

1. Fuadi Z, Maegawa S, Nakano K, K. Adachi. Map of low-frequency stick-slip of a creep groan. PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART J-JOURNAL OF ENGINEERING TRIBOLOGY, Volume: 224, Issue: J12, Pages: 1235-1246, 2010
2. Fuadi Z, Takagi T, Miki H, Adachi K. An experimental method for contact stiffness evaluation of contact interface with controlled contact asperities. To be submitted to Tribology International Journal
3. Fuadi Z, Boyko S. L. Adachi K, Takagi T. Effect of contact stiffness on peak frequency of rubbing sound with light-load. To be submitted to Tribology International Journal.
4. Fuadi Z, Takagi T, Miki H, Adachi K. The role of asperity impact on frictional sound generated in rubbing. To be submitted to Tribology Letters Journal.
5. Fuadi Z, Zahouani H. Takagi T. Miki H. Adachi K. Effect of surface texture on tribological and dynamics of soft material. To be submitted to I-Mech E Journal of Engineering Tribology.

#### **【学会発表】**

##### **【国内】**

1. Fuadi Z, Takagi T, Miki H, Adachi K. An experimental method for tangential contact stiffness evaluation of contact interface with surface texture. Japan Society of Tribologist Conference, Fukui, Japan, September 14-16, 2010

##### **【国際】**

1. Fuadi Z, Takagi T, Zahouani H, Miki H, Adachi K. Effect of surface texture on tribological and dynamics of soft material. To be presented at the 2011 Annual Elyt Workshop in Sendai, February 22-24, 2010
2. Fuadi Z, Takagi T, Miki H, Adachi K. An experimental method for contact stiffness evaluation of contact interface with surface texture. 2010 ASIATRIB Conference, Perth, Australia, December 6, 2010
3. Fuadi Z, Takagi T, Miki H, Adachi K. The role of asperity impact on frictional sound generated on rubbing. The 7<sup>th</sup> International Conference on Flow Dynamics (ICDF), Sendai, Japan, Nov. 1, 2010
4. Fuadi Z, Takagi T, Miki H, Adachi K. An experimental method for contact stiffness evaluation (POSTER). 2010 Annual Elyt Workshop, Sevrier, France, March 15 2010



氏名 Kuhn Melanie

所属 多元物質科学研究所

研究課題 Oxygen nonstoichiometry and crystal structure of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$  SOFC cathode materials

E-mail: kuhn-m@mozel.tagen.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5341

## 研究背景

Solid oxide fuel cells (SOFCs) are a high-temperature fuel cell technology with possible applications ranging from cogeneration, transportation to small- and micro-scale power generation. Current research focuses on the reduction of operating temperatures to an intermediate range of 600 to 800°C and the development of suitable cell component materials. Perovskite-type oxides such as  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$  (LSCF) are interesting cathode materials as they exhibit mixed conductivity and catalytic activity for the oxygen reaction.  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$  shows oxygen nonstoichiometry over a wide temperature and oxygen partial pressure range, which affects the electrochemical properties, conductivity and stability of the materials under SOFC operating conditions. However, oxygen nonstoichiometry of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$  has only been studied partially, and published data only cover a limited range of temperature and oxygen partial pressure omitting intermediate temperature and low oxygen partial pressure conditions. The main objective of this project therefore consists in the study of the oxygen nonstoichiometry of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$  in the temperature range of 600 to 800°C and a wide range of oxygen partial pressure. Additionally, the crystal structure is investigated under these conditions and correlated to the oxygen nonstoichiometry. Oxygen nonstoichiometry is measured by high-temperature gravimetry and coulometric titration at high and low oxygen partial pressure, respectively. High-temperature XRD is carried out to analyze the crystal structure.

Various compositions of Co and Fe B-site doped  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$  ( $y = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ) have already been investigated by a master student from Prof. Mizusaki's Laboratory, and this project continues the previous work. Especially, the properties of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$  (LSC,  $y=0$ ),  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}_{3-\delta}$  (LSCF55,  $y=0.5$ ) and  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_{3-\delta}$  (LSF,  $y = 1$ ) are being studied.

## 平成22年度 研究成果

### 1. Experimental:

#### 1.1 Sample preparation

Single-phase perovskite powders of LSF, LSCF55 and LSC were prepared by the Pechini method (1). First,  $\text{La}^{3+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  and  $\text{Fe}^{3+}$  metal nitrate solutions were fabricated by dissolving  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Co}_3\text{O}_4$  and  $\text{SrCO}_3$  in nitric acid as well as  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  in deionized water. The concentration of the  $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  and  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$  solutions was determined by chelate titration using EDTA whereas inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (Optima 3300, Perkin Elmer, Yokohama, Japan) was employed to obtain the concentration of the  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  solution. The metal ion nitrate solutions were then mixed in the appropriate stoichiometric ratio, followed by adding an excess amount of citric acid and ethylene glycol. Upon heating to 473 K, polymeric precursors were obtained which were pulverized and then calcined. After grinding in ethanol, the samples were sintered to form the single-phase perovskite phase. The phase composition of the samples was analyzed by X-ray powder diffraction (XRD) (M21X, MAC Science Co., Yokohama, Japan) with a  $\text{CuK}\alpha$  anode at room temperature in air and was confirmed as single-phase perovskite for LSF, LSCF55 and LSC.

#### 1.2 Oxygen nonstoichiometry measurements

The oxygen nonstoichiometry in the oxygen partial pressure range of  $10^{-4}$  to 1 bar was measured by HT-gravimetry using a microbalance (Cahn D200, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA) (2). A cylindrical pellet of about 1 g of pressed powder was placed into a silica basket which was attached to one side of the microbalance beam by Pt wire. Different oxygen partial pressures were generated by Ar- $\text{O}_2$  gas mixtures. Equilibrium between the sample and surrounding gas atmosphere was reached when stationary values for the sample weight and sample oxygen partial pressure were obtained. From the weight change  $\Delta w$  of the sample, the variation in oxygen content  $\Delta\delta$  could then be calculated by:

$$\Delta\delta = \frac{M_S \cdot \Delta w}{M_O \cdot w} \quad [1]$$

where  $M_S$  is the molar weight of the sample,  $M_O$  the molar weight of oxygen and  $w$  the sample weight.



The oxygen nonstoichiometry below  $10^{-3}$  bar was measured by coulometric titration (2, 3). About 0.5 g of the sample was precisely weighed and filled into an YSZ electrolyte tube. Pt electrodes were attached on the outside of the YSZ tube as well as in direct contact with the sample. After sealing, the YSZ tube was evacuated to about  $10^{-1}$  bar and refilled with argon gas several times to reduce the amount of residual oxygen inside the tube. Finally, the pressure of Ar gas was kept at  $10^{-1}$  bar at room temperature. The oxygen content of the sample was controlled by passing an electric charge  $C$  through the sample:

$$\Delta\delta = \frac{C}{2Fn} \quad [2]$$

with  $F$  the Faraday constant ( $96485.3 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) and  $n$  the number of moles. The oxygen partial pressure of the sample  $p_{\text{O}_{2,\text{II}}}$  was obtained from the equilibrium electromotive force  $E$  of the galvanic cell under open circuit conditions according to the Nernst equation:

$$E = \frac{RT}{4F} \ln \left( \frac{p_{\text{O}_{2,\text{II}}}}{p_{\text{O}_{2,\text{I}}}} \right) \quad [3]$$

where  $R$  is the ideal gas constant ( $8.31447 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ),  $T$  the temperature in K and  $p_{\text{O}_{2,\text{I}}}$  the reference oxygen partial pressure, that is the oxygen partial pressure in air.

The absolute oxygen content was determined by HT-gravimetry and slowly cooling the sample in 100 K steps from 1173 K in 100% and 10%  $\text{O}_2$  atmosphere. For each material, at low temperatures, the sample weight became saturated, and the weight was the same in both atmospheres. According to Wagner (4), this plateau corresponds to the stoichiometric composition with  $\delta=0$ .

### 1.3 High-temperature X-ray diffraction (HT-XRD)

The XRD patterns of LSF, LSCF55 and LSC were measured by HT-XRD (D8 Advance with LYNXEYE<sup>TM</sup> Super Speed Detector, Bruker AXS, Germany,  $\text{CuK}\alpha$ , 40kV, 40mA) as a function of oxygen partial pressure and temperature. The powder samples were set on a platinum heater inside the XRD chamber. First, the XRD patterns were obtained in air between room temperature and 1173 K. In order to investigate the lattice parameter dependence on the oxygen atmosphere, the XRD patterns were then measured in the oxygen partial pressure range of  $\log(p_{\text{O}_2}/\text{bar})=-4$  to 0 using  $\text{N}_2\text{-O}_2$  gas mixtures. The oxygen partial pressure was monitored at the inlet and outlet of the XRD chamber by zirconia sensors. The lattice parameters were analyzed by whole powder pattern decomposition (WPPD) using the software TOPAS (Bruker AXS, Germany).

## 2. Results

### 2.1 Oxygen nonstoichiometry of LSF

The oxygen nonstoichiometry of LSF is shown as a function of oxygen partial pressure in Fig. 1. The closed symbols were measured by HT-gravimetry whereas the open symbols were obtained by coulometric titration.

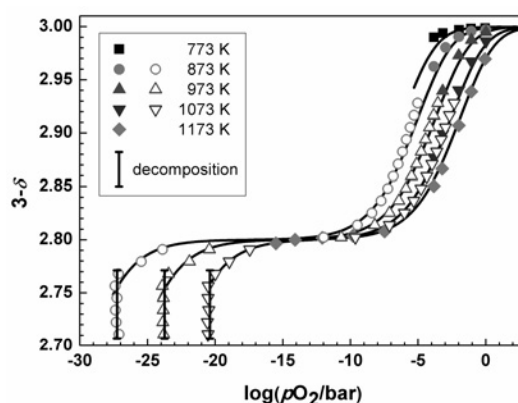


Fig. 1: Oxygen nonstoichiometry of LSF as a function of oxygen partial pressure and temperature. The closed symbols were measured by thermogravimetry, whereas the open symbols were obtained by coulometric titration. The solid lines show the fit of the experimental data to the defect model by Mizusaki et al. (4).

The oxygen content decreased with decreasing oxygen partial pressure until a plateau was reached between  $\log(p_{\text{O}_2}/\text{bar})=-24$  and  $-10$  where  $\partial\delta/\partial\log p_{\text{O}_2}$  takes a minimum value. This plateau region corresponds to the stoichiometric composition of the electronic defects (4). According to Mizusaki et al. (4), the oxygen content of  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_{3-\delta}$  in this region is given by  $\delta = x/2$ , where  $x$  is the strontium dopant content. The oxygen content in

this plateau region equals 2.8 for  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_{3-\delta}$ . As the oxygen partial pressure decreased further, the oxygen content started to decrease again until it dropped at constant oxygen partial pressure, corresponding to the decomposition oxygen partial pressure. The decomposition oxygen partial pressure,  $\log p\text{O}_2(\text{decomp})$ , of LSF is approximately -27.26 at 873 K, -23.78 at 973 K and -20.43 at 1073 K. These values are very close to the decomposition oxygen partial pressure of  $\text{LaFeO}_3$  calculated by using a thermodynamic database (MALT, Tokyo, Japan) for the decomposition into  $\text{La}_2\text{O}_3$  and Fe. The solid curves in Fig. 1 were obtained based on the defect model for  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_{3-\delta}$  described by Mizusaki et al. (4), considering  $\text{V}_{\text{O}}^{\bullet\bullet}$ ,  $\text{Sr}_{\text{La}}'$ ,  $\text{Fe}_{\text{Fe}}'$ ,  $\text{Fe}_{\text{Fe}}^\bullet$  as the major defects and an ideal solution. The theoretical curves are in good agreement with the experimental points.

## 2.2 Oxygen nonstoichiometry of LSCF55 and LSC

The oxygen nonstoichiometry data for LSCF55 and LSC are shown in Fig.2a and b, respectively. Compared with LSF, the oxygen content decreased more sharply for LSCF55 and LSC; also, decomposition occurred at much higher oxygen partial pressure for LSCF55 and LSC. The solid lines in Fig. 2 were obtained by fitting the data based on the defect equilibrium model for  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_{3-\delta}$  by Mizusaki *et al.* (5, 6). Taking into account the metallic character of the electrical conductivity of  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_{3-\delta}$ , randomly distributed oxygen vacancies and delocalized electrons were assumed to describe the oxygen nonstoichiometry (5, 7). In the case of LSC, a tentative fitting is shown, as the stability and decomposition of this material are currently under investigation.

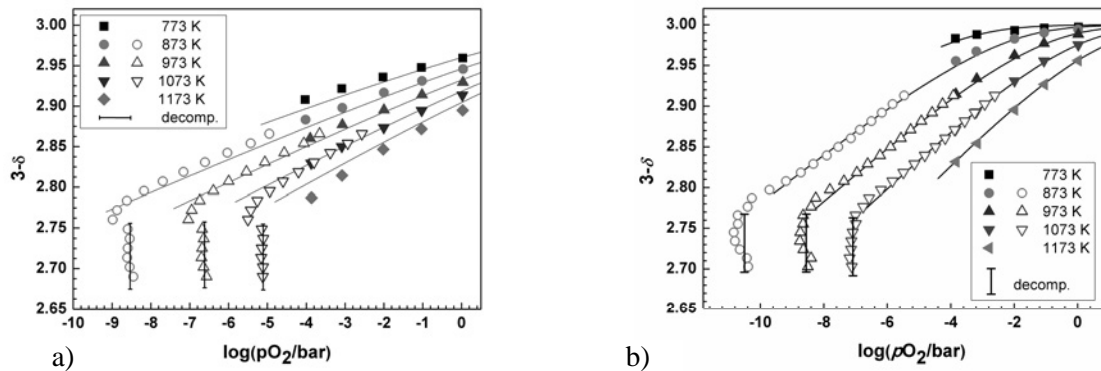


Fig. 2: Oxygen nonstoichiometry of a) LSC and b) LSCF55 as a function of oxygen partial pressure and temperature. The closed symbols were measured by thermogravimetry, whereas the open symbols were obtained by coulometric titration. The solid lines show the fit of the experimental data to the defect model by Mizusaki et al. (5).

## 2.3 HT-XRD results of LSF and LSC

The pseudo-cubic lattice constant  $a_{\text{pc}}$  for LSF is given as a function of oxygen partial pressure in Fig. 3a. The increase of the lattice parameter with decreasing oxygen partial pressure can be attributed to chemical lattice expansion (8) due to changes in the oxygen content under reducing atmosphere. This reductive lattice expansion is confirmed by an increase of the lattice parameter with increasing oxygen nonstoichiometry (Fig. 3b). The chemical expansion coefficient  $\alpha_{\text{chem}}=0.0199$  could be calculated by linear approximation of the HT-XRD data and is similar to the chemical expansion coefficient of the  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$  series (9). For constant  $\delta$ , the thermal expansion coefficient  $\alpha_{\text{th}}=11.03 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  was obtained from the slope of the plot of the lattice constant as a function of temperature, and agrees well with data obtained by dilatometry (10-12).

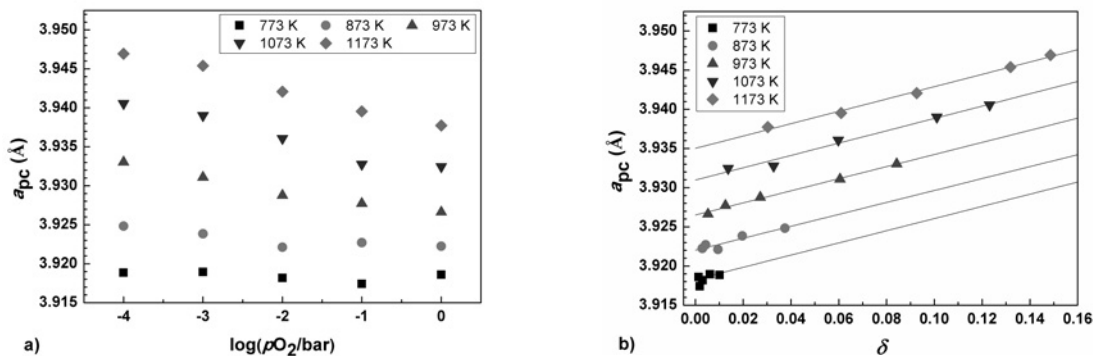


Fig. 4: Pseudo-cubic lattice parameter of LSF as a function of a) oxygen partial pressure and b) oxygen deficiency. The solid lines in b) correspond to the linear fit.

Preliminary analysis of the HT-XRD data of LSC revealed a possible phase transition around 973 K and under reducing atmosphere. Similarly, a phase transition from rhombohedral to cubic was reported between 673 and 773 K in air (13). More detailed analysis is required to further elucidate the crystal structure and lattice parameter of LSC as a function of temperature, oxygen partial pressure and oxygen nonstoichiometry.

1. M. Pechini, *US patent* US3330697, (July 11, 1967).
2. J. Mizusaki, H. Tagawa, K. Naraya, T. Sasamoto, *Solid State Ionics* 49, 111 (1991).
3. H. Kanai *et al.*, *Journal of Solid State Chemistry* 131, 150 (1997).
4. J. Mizusaki, M. Yoshihiro, S. Yamauchi, K. Fueki, *Journal of Solid State Chemistry* 58, 257 (1985).
5. J. Mizusaki, Y. Mima, S. Yamauchi, K. Fueki, H. Tagawa, *Journal of Solid State Chemistry* 80, 102 (1989).
6. T. Kawada *et al.*, *Journal of The Electrochemical Society* 149, E252 (2002).
7. J. Mizusaki, J. Tabuchi, T. Matsuura, S. Yamauchi, K. Fueki, *Journal of The Electrochemical Society* 136, 2082 (1989).
8. S. B. Adler, *Journal of the American Ceramic Society* 84, 2117 (2001).
9. S. Hashimoto *et al.*, *Solid State Ionics* submitted manuscript, (2010).
10. A. Fossdal *et al.*, *Journal of the American Ceramic Society* 87, 1952 (2004).
11. U. F. Vogt *et al.*, *Fuel Cells* 9, 899 (2009).
12. M. Sogaard, P. Vang Hendriksen, M. Mogensen, *Journal of Solid State Chemistry* 180, 1489 (2007).
13. S. Wang, M. Katsuki, M. Dokiya, T. Hashimoto, *Solid State Ionics* 159, 71 (2003).

## 平成22年度 総括

- Single-phase perovskite powders of LSF, LSCF55 and LSC were fabricated by the Pechini method.
- The oxygen nonstoichiometry of LSF, LSCF55 and LSC was measured by
  - thermogravimetry at 773, 873, 973, 1073 and 1173 K in the oxygen partial pressure range  $\log pO_2 = -4$  to 0
  - coulometric titration at 873, 973 and 1073 K until the decomposition oxygen partial pressure of the material
- The oxygen nonstoichiometry data were fitted by respective defect equilibrium models.
- The lattice parameters of LSF, LSCF55 and LSC were measured by HT-XRD from RT to 1173 K in air and between 773 and 1173 K in the oxygen partial pressure range  $\log pO_2 = -4$  to 0.
- The lattice parameters were analyzed so far for LSF and LSC. LSC might show a phase transition under reducing atmosphere. Linear expansion of LSF was separated into thermal and chemical expansion.

## 次年度研究計画

- Oxygen nonstoichiometry of LSC:
  - Fitting of the oxygen nonstoichiometry data and calculation of the partial molar quantities
- Oxygen nonstoichiometry of LSCF55:
  - Calculating the partial molar quantities
- HT-XRD:
  - Reinvestigate the lattice parameters of LSC to understand phase transition
  - Calculate lattice parameters, thermal and chemical expansion coefficient of LSCF55.

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. M. Kuhn, Y. Fukuda, S. Hashimoto, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, "Oxygen nonstoichiometry of perovskite-type  $La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{1-y}Fe_yO_{3-\delta}$  ( $y=0, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1$ ) SOFC cathode materials", *ECS Trans.*, vol. 35, SOFC-XII, accepted manuscript, 2011.
2. K. Yashiro, I. Nakano, M. Kuhn, S. Hashimoto, K. Sato, J. Mizusaki, "Electrical conductivity and oxygen diffusivity of perovskite-type solid solution  $La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{1-y}Fe_yO_{3-\delta}$  ( $y=0, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1$ )", *ECS Trans. SOFC-XII*, submitted manuscript, 2011.
3. M. Kuhn, S. Hashimoto, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, "Oxygen nonstoichiometry, thermo-chemical stability and crystal structure of  $La_{0.6}Sr_{0.4}CoO_{3-\delta}$  and  $La_{0.6}Sr_{0.4}FeO_{3-\delta}$ ", Materials Science & Technology (MS&T) 2010 (October 17-21, 2010, Houston, TX), International Symposium on Defects, Transport and Related Phenomena, MS&T Publications Department, CD-ROM, pp. 206-213.

4. S. Hashimoto, Y. Fukuda, M. Kuhn, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, “Thermal and chemical lattice expansibility of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$  ( $y=0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ )”, *Solid State Ionics*, submitted manuscript, 2010.
5. S. Hashimoto, Y. Fukuda, M. Kuhn, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, “Oxygen nonstoichiometry and thermo-chemical stability of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$  ( $y=0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ )”, *Solid State Ionics*, vol. 181, pp. 1713-1719, 2010.
6. M. Kuhn, D. Theriault, “Single-chamber micro solid oxide fuel cells with coplanar electrodes: Direct-write microfabrication and characterization”, VDM Verlag Dr. Müller, ISBN 978-3639240542, 212 pp., 2010.
7. M. Kuhn, T. W. Napporn, M. Meunier, D. Theriault, “Single-chamber micro solid oxide fuel cells: Study of anode and cathode materials in coplanar electrode design”, *Solid State Ionics*, vol. 181, pp. 332-337, 2010.
8. M. Kuhn, T. W. Napporn, “Single-Chamber Solid Oxide Fuel Cell Technology-From Its Origins to Today's State of the Art”, *Energies*, vol. 3, pp. 57-134, 2010.

## 【学会発表】

### 【国内】

1. S. Hashimoto\*, Y. Kimura, Y. Shin, S. Watanabe, K. Amezawa, T. Kawada, M. Kuhn, I. Nakano, Y. Fukuda, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, “Study on basic properties of LSCF cathode under SOFC operational conditions”, *The 19th Symposium on Solid Oxide Fuel Cells in Japan*, Tokyo, Japan, December 16-17, 2010 (poster).
2. M. Kuhn, S. Hashimoto, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, “Oxygen nonstoichiometry and crystal structure of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$  and  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_{3-\delta}$ ”, *The 36<sup>th</sup> Symposium on Solid State Ionics in Japan*, Sendai, Japan, November 25, 2010 (oral presentation).
3. M. Kuhn, S. Hashimoto, Y. Fukuda, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, “Oxygen nonstoichiometry in  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$  perovskite-type oxides: A prerequisite to understand oxygen ion transport properties and material stability”, *Seventh International Conference on Flow Dynamics*, Sendai, Japan, November 2<sup>nd</sup>, 2010 (oral presentation).
4. M. Kuhn, Y. Fukuda, S. Hashimoto, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, “Oxygen nonstoichiometry and thermo-chemical stability of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$ ”, *Asian SOFC Symposium*, Kyoto, Japan, September 7, 2010 (oral presentation).

### 【国際】

1. M. Kuhn, S. Hashimoto, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, Oxygen nonstoichiometry, thermo-chemical stability and crystal structure of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$  and  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_{3-\delta}$ , *The 10th Korea-Japan students' symposium*, Seoul, South Korea, November 9, 2010 (oral presentation).
2. M. Kuhn, S. Hashimoto, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, “Oxygen nonstoichiometry and crystal structure of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$  and  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_{3-\delta}$ ”, *Materials Science & Technology 2010*, International Symposium on Defects, Transport and Related Phenomena, Houston, TX, October 18, 2010 (oral presentation).
3. S. Hashimoto\*, Y. Kimura, K. Amezawa, T. Kawada, Y. Fukuda, I. Nakano, M. Kuhn, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, “Oxygen nonstoichiometry dependence of the basic properties required for an SOFC cathode material in  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$  series”, *Fuel Cells Science and Technology*, Zaragoza, Spain, October 6, 2010 (poster).
4. M. Kuhn, S. Hashimoto, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, “Oxygen nonstoichiometry and crystal structure of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$  and  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_{3-\delta}$ ”, *Gordon Research Conference on Solid State Studies in Ceramics*, New London, NH, August 17, 2010 (poster).





氏名 Baneshi Mehdi

所属 流体科学研究所

研究課題 Radiative properties of complex materials for design and control of engineering systems

E-mail: mehdi.baneshi@pixy.ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5269

## 研究背景

Thermal radiation is the dominant mode of energy transfer in many engineering systems (furnaces, motor engines, surface pigmented coatings, greenhouses, insulation materials,...). Those systems involve different type of media and materials with various phases (solid, gas, liquid) and structures (porous, fibrous, thin films, particulates,...). The best understanding of radiative properties is required for the modeling of radiation heat transfer within these systems, together with couplings with other phenomena (conduction, mass transfer, chemical reactions,...).

In this frame, one of the most challenging scientific problems is to understand physical phenomena associated with the prediction of radiative properties of medium as a function of structural properties and material contents. The prediction of radiative properties of complex materials for control and design of engineering systems is a challenging scientific problem. Once the structure of the medium has been determined the interaction of electromagnetic waves with the complex material requires development of absorption and scattering models which account for all possible effects (diffraction, refraction, reflection, interferences,...).

The present project aims to contribute to actual research efforts in specific directions:

- Radiative properties of coated materials: the objective is to design spectrally selective coatings for several classes of materials (opaque, semi-transparent), purposes (solar absorption or reflection, thermal insulation, energy efficiency, visual aspects), and applications (building wall lining, photovoltaic devices, paints, textiles,...).
- Radiative properties of plastic films: the objective is to precise studies on wide range optical and thermal properties of different plastic materials used to cover the greenhouses to improve their performances.

## 平成22年度 研究成果

To design a coating which is both dark and cool a new optimization method was proposed in my PhD thesis in which both aesthetic and thermal viewpoints are satisfied by controlling the material, size, and concentration of pigment particles. Our proposed coatings maximize the reflectivity of the near infrared (NIR) region and transmissivity of long-wavelength infrared (IR) rays to reduce thermal heating, while for aesthetic appeal they minimize the VIS reflected energy.

To conduct the thermal calculation of these pigmented coating against sunlight the radiative properties are needed over a wide range of wavelength from UV to IR region. However, since the spectral distribution of complex index of refraction of pigments is not available for calculating the radiative properties over the whole range, our strategy in this project is to evaluate the radiative properties by an inverse analysis of experimental measurements.

The experimental procedure can be explained briefly as follows:

- Making the paint sample: Mixing the nano-pigment particles with resin and thinner in a super mixer (THINKY CORP., AR-100)
- Making the coating samples: Coat the standard black-white substrate with paint sample using spiral bar coaters (Elcometer 4360)
- Measuring spectral reflectance:

In 0.3–0.85  $\mu\text{m}$  range: The diffuse reflectance measurement is performed using UV-VIS spectrometer (Shimadzu UV-2450) which utilizes a BaSO<sub>4</sub> coated integrating sphere (Shimadzu ISR-2200).

In 0.85–2.5  $\mu\text{m}$  region: The diffuse reflectance measurement is performed using infrared (IR) spectrometer (Shimadzu FTIR-8000) which utilizes gold coated integrating sphere (Shimadzu MIRacle).

In 2.5–25  $\mu\text{m}$  region: The diffuse reflectance measurement is performed using FTIR (Shimadzu FTIR-8000) which utilizes diffuse measurement attachment.

Using the diffuse reflectance measurements of two samples made on standard white and black substrates an inverse analysis was conducted by mixing an inverse method with REM2 to obtain the absorption and reduced scattering coefficients as necessary parameters for thermal calculation. Then, the thermal analysis can be easily conducted taking into account combined radiative-convective heat transfer and the effects of pigment's material, size and concentration and coating thickness on equilibrium temperature of coated object against sunlight were investigated. As an example, our calculation for an 100  $\mu\text{m}$  thick coating of  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  paint sample with particle size of about 1  $\mu\text{m}$  and volume concentration of 5% on a black substrate shows 20  $^\circ\text{C}$  decrease in temperature in sunlight in comparison with a bare black substrate.

The same procedure is used to obtain the spectral distribution of complex index of refraction of plastic samples use in greenhouse application. For these calculation both diffuse reflectance and transmittance of plastic samples are measured using above mentioned apparatus. Several plastic samples including polyethylene (PE), polyvinyl chloride (PVC), polyester, Teflon,... are studied. The next step is to do the thermal analysis of greenhouses covered with different types of plastic samples considering combined radiative-convective heat transfer.

## 平成22年度 総括

In 2010 fiscal year I could continue my research on cool pigmented coatings which have various technical applications. Moreover, we could establish an inverse analysis strategy to evaluate the radiative properties using experimental measurements which then applied to find the radiative properties of pigmented coating samples and plastic films. This method can be applied later to evaluate the radiative properties of other kinds of complex materials for different applications.

In addition to my own research I had the great chance to advise and to have collaborative research with other laboratory members working in radiation field including: Ms. Barthel (Internship student) working on greenhouse, Mr. Gonome (MSc student) working on pigmented coatings, Mr. Lari (Internship PhD student) working on combined radiative-convective heat transfer in cavities, and Mr. Ramchandra (Internship PhD student) working on radiative heat transfer. The results of collaborative researches have been submitted or going to be submitted as journal papers.

## 次年度研究計画

For the future plan, determination of radiative properties of other classes of materials (porous and fibrous media, ceramics, high temperature conditions,...) for other purposes (solar absorption, thermal insulation, energy efficiency, ...) might be analyzed in the frame of existing research projects considering both modeling and experimental approaches. It is clear that the complexity of material structure and composition at atomic and nano-scales should be included in the modeling to be able to perform proper determination of macroscopic radiative properties to be used for the study of a wide range of systems.

In addition, radiative heat transfer in absorbing, emitting, and scattering media at high temperatures is of particular interest in many engineering technologies, including internal combustion engines, gas turbines, industrial furnaces, fire safety, and atmospheric radiation. Radiation predictions require the knowledge of a wide variety of properties such as soot concentration and temperature distributions. In addition, information about the spectral radiative properties of soot, such as phase function and scattering and absorption coefficient are also required. After evaluating these properties, an accurate thermal analysis of different systems deals with gas radiation can be conducted using the radiation element method by ray emission model (REM2) which is a strong code to treat 3D radiative heat transfer problem in arbitrary shape geometries.

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. M. Baneshi, S. Maruyama, and A. Komiya, Comparison between Aesthetic and Thermal Performances of Copper Oxide and Titanium Dioxide Nano-Particulate Coatings, Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, (Article in Press),

doi:10.1016/j.jqsrt.2010.08.032

2. M. Baneshi, S. Maruyama and A. Komiya, The Effects of Titanium Dioxide Pigmented Coatings Characteristics on Temperature and Brightness of the Coated Black Substrate, Solar Energy, Under review.
3. H. Gonome, M. Baneshi, A. Komiya and S. Maruyama, Radiative Properties of Wavelength Selective Coatings Pigmented with TiO<sub>2</sub> Nanoparticles, The journal of Japan Society of Thermophysical Properties, Vol. 24, No. 4, (2010), pp.177-182.
4. K. Lari1 M. Baneshi, S.A. Gandjalikhan Nassab, A. Komiya, S. Maruyama, Combined heat transfer of radiation and natural convection in a square cavity containing participating gases, International Journal of Heat and Mass Transfer, Under review.
5. K. Lari1 M. Baneshi, S.A. Gandjalikhan Nassab, A. Komiya, S. Maruyama, Numerical study of non-gray adiation and natural convection using the full-spectrum k-distribution method, To be submitted to Numerical Heat Transfer.

#### 【学会発表】

##### 【国内】

1. M. Baneshi, S. Maruyama and A. Komiya, The effect of copper and cupper oxide pigment particles on aesthetic and thermal characteristics of pigmented coatings, The 47th National Heat Transfer Symposium, Sapporo, Japan, (2010), C331.
2. H. Gonome, M. Baneshi, A. Komiya and S. Maruyama, A study of Radiative Properties of Functional Coatings Pigmented with TiO<sub>2</sub> Nanoparticles, The Japan Society of Mechanical Engineers Tohoku branch, 45<sup>th</sup> (2010), pp.122.

##### 【国際】

1. M. Baneshi, S. Maruyama, and A. Komiya, Aesthetic and Thermal Performances of Black Cupric Oxide and Titanium Dioxide Nano-Particulate Coatings, The 6<sup>th</sup> International Symposium on Radiation Transfer, Turkey, (2010).
2. M. Baneshi, S. Maruyama and A. Komiya, Spectral Radiative Properties of a Polymer Coating Containing Nano-Micro Bubbles, 7<sup>th</sup> International Conference on Flow Dynamics, OS7, Sendai, (2010), pp.614-615
3. H. Gonome, M. Baneshi, S. Maruyama and A. Komiya, Control of Radiative Properties of Coatings Pigmented with Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles, ASME/JSME 2011 8<sup>th</sup> Thermal Engineering Joint Conference, Hawaii, USA, (2011), AJTEC2011-44622. (To be appeared)



氏名 Chutia Arunabhiram

所属 原子分子材料科学高等研究機構

研究課題 Fluid Dynamics in Chemically Modified Carbon Nanotubes with Organic and Biological Polymers

Phase I: Active sites for functionalization in (7,0) carbon nanotubes and their detailed electronic properties. (Since October 1<sup>st</sup> 2010)

E-mail:

TEL: 022 (217) 5282

## 研究背景

Carbon Nanotubes (CNTs) are one of the most interesting materials owing to their unique structural properties. As shown in Figure 1, they are nanometer-scale size and hollow, cylindrical shape, because of which they have potential applications as molecular sieves, nano-test tubes, hydraulic actuators etc. They also show attractive mechanical, electrical and optical properties. However, comprehension of dynamics of fluids through these materials is one of the most important problems. In the present work we are performing an investigation on the various aspects of the stability of carbon nanotubes followed by studies on fluid dynamics of pristine and chemically modified CNTs.

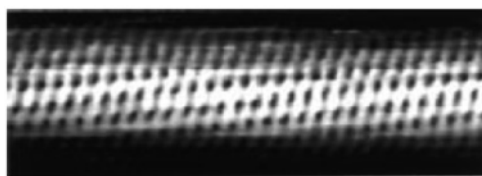


Figure 1 High resolution scanning tunneling microscopy image showing the lattice structure of helical semiconducting SWNT. Courtesy: J. W. G. Wildöer et al Nature, 1998, 391, 59.

In the first phase of our study we have evaluated the probable active sites of functionalizing CNT. For this purpose we have employed state of the art density functional theory methods.

## 平成22年度 研究成果

CNTs have outstanding mechanical and electronic properties due to which they find wide range of application. Recent studies have also shown that CNT membranes could be used as the active element of a switchable transdermal drug delivery devices.<sup>1</sup> However, CNTs “rope up” or aggregate in solutions rather than disperse uniformly.<sup>2</sup> The aggregation of CNTs can be minimized through chemical modification using organic functional groups (OFGs) e.g., carboxylic group.<sup>3</sup> The chemical modification of the CNTs by OFGs lead to reduction of the van der Waals interactions between CNTs allowing further chemical functionalization in aqueous or organic solvents. But excessive functionalization can ruin the tubular framework of CNT reducing their mechanical framework.<sup>4</sup> We investigated the functionalization of CNT using 1D organic chains such as 1,3-butadiene by free radical reaction.<sup>5</sup> It was seen that

during the reaction a

CNT-1,2-butadiene

(CNT-cummulene) composite was formed (see Figure 2) by formation of a covalent bond. Prior to the treatment of such systems with fluids to comprehend their behavior

in pristine and functionalized CNTs it is important to know the other probable active sites for functionalization in CNT due to the extra free electron generated by the free radical reaction. Thus we also made a detailed investigation on the active sites for the second functionalization onto the (7,0) CNT.

Density functional theory calculations were performed on pristine (7,0) CNT and hydrogen saturated (7,0) CNT using DMol<sup>3</sup> code. All the calculations were performed at DNP level of basis set.

Geometrical optimizations of all the models were performed at LDA/VWN level of exchange and correlation functionals. To improve the energy beyond the LDA framework GGA/PBE calculations were also performed.

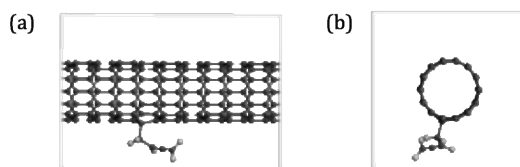


Figure 2 (a) side view and (b) front view of the (7, 0) CNT-cummulene composite



## References:

1. J. Wu et al., Proc. Natl. Ac. Sci. 107, 2010, 11698.
2. J. H. T. Luong et al. Electroanalysis **16**, 2004, 132.
3. D. W. Hatchett et al. Chem. Rev. **108**, 2008, 746.
4. K. Mylvaganam et al., 108, 2004, 15009.
5. A. Chutia, "Molecular Morphological Influence of Graphene Related Carbon Materials on Their Electronic and Electrical Properties" PhD Thesis, Submitted to Tohoku University, 2008.

## 平成22年度 総括

We performed rigorous DFT calculations to evaluate the most stable sites for functionalization in CNTs. As shown in Figure 3, to reduce huge computational cost instead of taking longer polymer chains or synthons, a (7,0) CNT was initially grafted with an H atom towards the center of the tube (shown in red ball). This resulted in an extra electron in the CNT framework.

Thus, the CNT was saturated with another H atom at each point shown in yellow balls in Figure 3 along x and z-axes and the stability and detailed electronic properties of all the models were investigated. Interesting oscillating behavior in the total energy of the systems was seen along both x and z-axes. To explain this oscillating behavior of total energy in the (7,0) CNT saturated with H atoms we have proposed the head-on and side-on  $\pi$ -orbital interactions due to the  $\psi_{2p}^{(z)}(r)$  orbitals. A schematic representation of these orbital interactions is shown in figure 4.

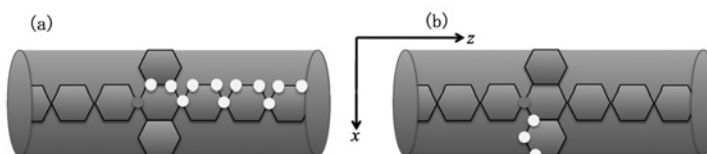


Figure 3. Probable active sites along (a) z-axis and (b) x-axis

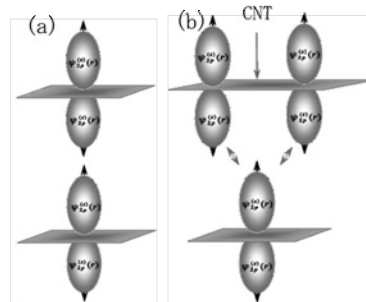


Figure 4.  $\pi$ -orbital interaction (a) head-on and (b) side-on

## 次年度研究計画

This study is now extended to comprehend the behavior of water molecules in pristine and (7,0) CNTs functionalized with smaller alkene chains. This work will be further extended by functionalizing CNTs with other organic polymers such as polyaniline. It is worthwhile to mention that polyaniline is one of earliest known polymers, which has earned lot of interest in the recent years due to it's ease to synthesize, stability and exhibit simple doping and dedoping chemistry. Additionally, it has a wide range of application, which includes anticorrosion coatings, batteries, sensors, separation membranes, antiseptic coatings etc. Thus these CNT-polymer composite materials are expected to have unique properties and would provide new information about fluid-behavior in them.

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. **Chutia, A.**; Tokuyama, M. A Density Functional Theory Study on the Probable Sites of Functionalization in Carbon Nanotube. (**in preparation**).
2. **Chutia, A.**; Hamada, I.; Tokuyama, M. How Does the Concentration of Oxygen Influence the Adsorption of Precious Metals in Graphene Nano Flakes? (**in preparation**).
3. **Chutia, A.**; Hamada, I.; Tokuyama, M. Local Electronic Properties of BN Doped Graphene Nano Flakes: Size and Pattern Dependence. (**to be submitted**).
4. **Chutia, A.**; Xu, L.; Tokuyama, M. Orbital Interaction and Thermodynamic Stability in Ni Substituted Pd Nanoalloys. (**Submitted**).

5. **Chutia, A.**; Cimpoesu, F.; Tsuboi, H.; Miyamoto, A. Influence of Surface Chemistry on the Electronic Properties of Graphene Nanoflakes. Chem. Phys. Lett. **2011**  
doi:10.1016/j.cplett.2010.12.057 arXiv:1005.5199v1[cond-mat.mtrl-sci].
6. **Chutia, A.**; Sahnoun, R.; Deka, R. C.; Zhu, Z.; Tsuboi, H.; Takaba, H.; Miyamoto, A. Local Electronic and Electrical Properties of Functionalized Graphene Nano Flakes. Physica B, **2011**  
doi:10.1016/j.physb.2011.01.012.

#### 【学会発表】

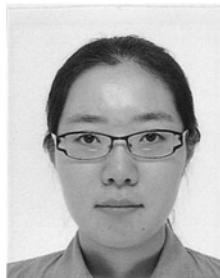
##### 【国内】

1. First principle investigation on multicomponent bulk metallic glasses.  
**Chutia, A.**; Tokuyama, M. 65<sup>th</sup> Spring Meeting of Japan Physical Society, March 19<sup>th</sup> – 24<sup>th</sup>, 2010, Okayama University, Okayama, Japan. **Oral Presentation**  
Stability and Local Electronic Structure of Metallic Alloys: A Density Functional Theory Approach.
2. **Chutia, A.**; Tokuyama, M. WPI 2010 Annual Workshop 25<sup>th</sup> – 27<sup>th</sup> March 2010, Sendai  
**Poster Presentation**

#### 【その他 新聞、雑誌 記事掲載等】

**Chutia, A.** A Bouquet of Feelings, Raider Publishing International, New York, London & Cape Town (In press).

## 11.国際出る杭伸ばす特別研究生の取り組みと実績



氏名 中山 雅野

所属 工学研究科航空宇宙工学専攻 博士課程後期2年

指導教員 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 内山 勝 教授

研究課題

解剖学的異方性を考慮した脳組織モデルと脳外科手術シミュレーション

### 研究背景

近年、VR技術を用いた手術シミュレーションの研究が盛んに行われている。特に、切開や鈍的剥離操作などの破壊を含むシミュレーションは対象組織モデルのトポロジー変化を伴うため、解決すべき問題も多く、最も研究が盛んなテーマの一つである。

鈍的剥離操作とは、手術器械や指の腹を使い組織間を押し広げることで破壊を生じさせる操作である(図1)。

この操作では組織ごとの硬さの違いである解剖学的異方性を利用し、組織や臓器の境界を剥がしていく。そのため、刃物によって組織に鋭利な傷をつけることがなく、脳外科手術においても脳深部へのアプローチや血管の確保などで活用されている。

糸らは単一組織を対象とした剥離シミュレーションを構築した[1]。申請者らも単一組織を対象とした鈍的剥離操作シミュレーションを構築し、実物との破壊形状比較を行ってきた[2]。

しかし、鈍的剥離操作とは前述の通り組織の解剖学的異方性を利用した破壊であるため、鈍的剥離操作シミュレーションは結合状態にある複数の組織モデルを対象としたシミュレーションであることが望ましい。また、実際の手術環境においても複数の組織が存在するため、よりリアルな手術環境を再現するには複数組織の挙動をシミュレーションする必要がある。

複数組織を対象としたシミュレーションとして黒田らによるものがあげられる[3]。しかし、このシミュレーションにおいて組織モデルはそれぞれ独立した物体として存在し、破壊についても考慮されていない。

[1] 糸直人、中尾恵、黒田知宏、吉原博幸、小森優：“VRシミュレータを目指した生体軟組織の剥離シミュレーション”、生体医工学、vol. 43, no. 1, pp. 76-84, 2005.

[2] 中山雅野、山田健太、近野敦、内山勝：“脳外科手術における鈍的剥離操作シミュレーションのための剥離現象モデルの作成と検証”、ROBOMECH2009、1A2-K03, 2009.

[3] 黒田嘉宏、中尾恵、黒田知宏、小山博史、小森優、松田哲也：“複数臓器間の接触シミュレーションを実現する弾性体間の相互作用モデル”、日本VR学会論文誌、vol. 8, no. 2, pp. 155-162, 2003.

### 平成22年度 研究成果

このような背景のもと、本研究では解剖学的異方性を持つ複数の組織を対象とした鈍的剥離操作シミュレーションの構築を目指した。解剖学的異方性を利用した鈍的剥離操作を再現するため、本シミュレーションにおいて複数の組織は独立した存在ではなく結合組織を介してつながる一つの物体として存在するものとした。また、本シミュレーションでは変形計算の精度を重視し、物理モデルとして有限要素法を採用している。

まず初めに、鈍的剥離操作シミュレーションの破壊対象を単一組織から複数組織に拡張するにあたり、シミュレーションに安定化手法を導入した。単一組織を対象とした鈍的剥離操作シミュレーションでは、組織間にある平板状の部分のみを破壊対象としていた。しかし、破壊対象を複数組織に拡張することで厚みのある組織モデルをも破壊対象となり、隣接要素と十分な接続を持たない四面体要素の存在によりシミュレーションが不安定になる恐れがある。本安定化手法では四面体要素の接続状態を監視することによりシミュレーションの不安定化を回避している。図2に本安定化手法を導入した破壊シミュレーションの結果を示す。血管を模した円筒型、神経を模した円柱型など複数の形状で破壊シミュレーションを行ったが、すべてにおいて安定した結果を得た。

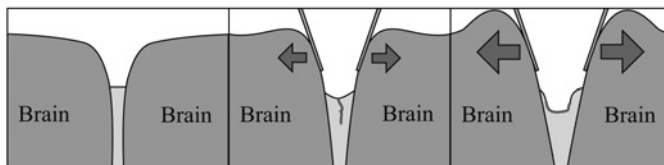


図1 脳外科手術における鈍的剥離操作例

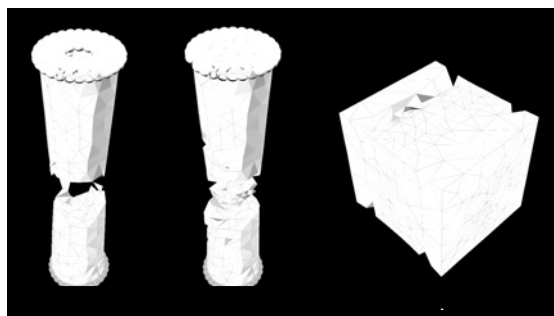


図 2 破壊シミュレーション結果

次に、複数組織を対象とする鈍的剥離操作シミュレーションの構築について述べる。本シミュレーションの構築にあたり既存の剥離現象モデルに加えて複数組織を含む幾何モデル、組織同士の接触判定法、組織同士が接触した後の変形を求める干渉モデルが必要となる。本年度は複数組織を含む幾何モデルを用いたシミュレーションの構築および組織間の干渉モデルの構築を行った。

複数組織を対象としたシミュレーションでは、図3に示すように脳実質、血管、結合織を模した幾何モデルを作成し、各組織に異なる硬さを設定したうえで引張破壊シミュレーションを行った。シミュレーションでは立方体の血管に垂直な面に対し、引張変位を与えた。シミュレーション結果を図4に示す。上図は組織ごとに色分けしたもの、下図は組織内ごとの応力分布を示している。最も軟らかく設定した結合織部分において破壊が進展し、最も硬く設定した血管部分が残る結果となった。

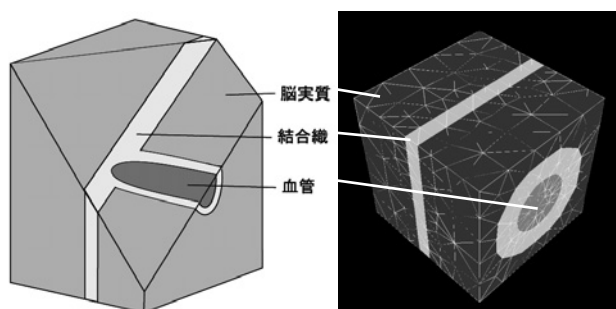


図 3 複数の組織を含む幾何モデル

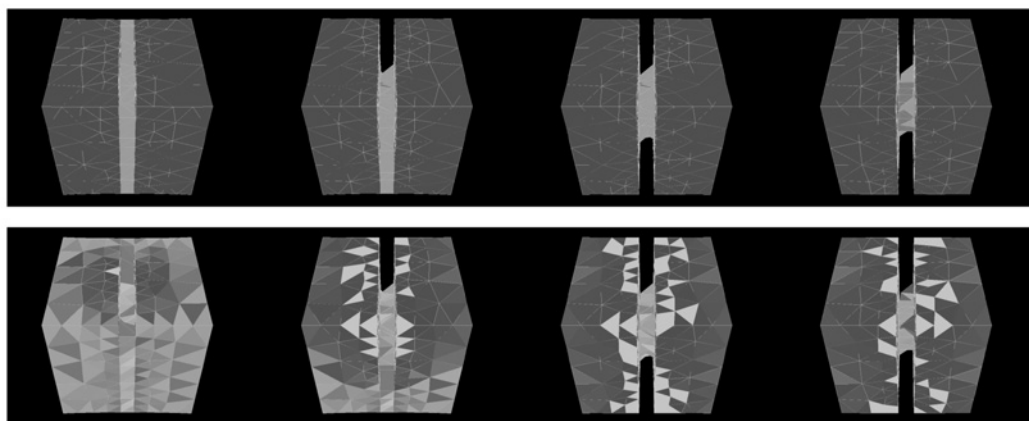


図 4 複数組織を対象とした破壊シミュレーション結果

次に、組織間の干渉モデルについて述べる。本シミュレーションの破壊現象モデルは四面体要素内の応力を指標としている。そのため、組織モデル間に接触が生じた場合も接触面における力の作用反作用を考慮した変形を求めることによって、応力分布を正確に得ること望ましい。よって、本研究では図5に示すように接触面に微小剛体要素の存在を仮定し、その剛体要素を介した力の作用反作用を考える。この時、剛体要素は実際には存在しないため、剛体要素に働く力を組織モデル自体に働く外力とする。これにより、接触面における力の作用反作用を考慮した組織モデル全体の変形を得ることができる。また、剛体要素に働く力は正負両方の値が設定できるため、接触時における組織モデルの突き抜け回避だけでなく図6に示すように引き寄せる変形にも対応することがで

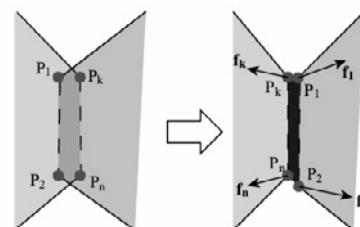


図 5 接触面における微小剛体要素の設置



きる。そのため、本干渉モデルを用いることによって縫合をシミュレーションすることも可能となる。図6のシミュレーションでは凹状の柔軟物先端部に対して距離5[mm]を指定している。

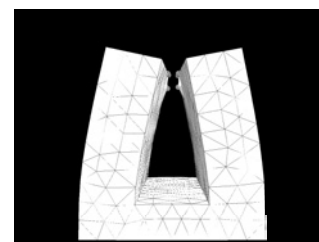


図 6 干渉モデルを用いた  
柔軟物接触シミュレーション  
結果

## 平成22年度 総括

複数組織の解剖学的異方性を考慮した鈍的剥離操作シミュレーションの構築を目指し、シミュレーションの安定化手法の提案、複数組織モデルを対象としたシミュレーションの構築、組織モデル間の接触時における干渉モデルの提案を行った。現在、複数組織モデルを対象としたシミュレーションの評価実験を行うための実験装置を製作しており、年度内の実験を予定している。また、64bitPC環境下で新しいシミュレーションシステムの構築を行っており、これによりシミュレーションの大規模化、高速化が可能となる。

研究発表の機会として本年度は1本の国内学会発表、1本の国際学会発表、1本のジャーナル投稿を行った。3月末までにさらに1本の国内学会、3本の国際学会への投稿を予定している。また、2010年8月には2010 North American Summer School in Surgical Robotics and Simulationに参加し、手術シミュレーションに関係する多くの研究者と交流し、情報交換を行った。同サマースクールでは実際に手術シミュレータがトレーニングに活用されている場所で学ぶことで、手術シミュレータがどう使われているのか、手術シミュレータに何が求められているのかを身を持って学ぶことができた。

## 次年度研究計画

本年度は、新しく構築する必要のあるシミュレーションの構成要素のうち、組織モデルと干渉モデルを作成した。次年度は組織同士の接触判定法を作成し、複数組織を対象とした鈍的剥離操作シミュレーションを構築、その性能を評価するための実験を行う。評価実験にあたっては寒天を用いた実物実験結果とシミュレーション結果の比較に加え、生体組織を用いた実物実験結果との比較を行う。

さらに、脳組織の詳細な幾何モデルを用いた鈍的剥離操作シミュレーションを構築し、より現実に近い状況下において剥離現象モデルや干渉モデルなどの評価を行う。

最終的には本研究室で開発中のハプティックインタフェースを接続し、鈍的剥離操作シミュレータとしての評価を行うことを目指す。ハプティックインタフェースと同期してシミュレーションを行うためにはシミュレーションを実時間で実行する必要がある。実時間でのシミュレーションを可能とするため、シミュレーションの並列処理による高速化を行う。

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. **Masano Nakayama**, Satoko Abiko, Xin Jiang, Atsushi Konno, Masaru Uchiyama : “Stable Soft Tissue Fracture Simulation for Surgery Simulator” Journal of Robotics and Mechatronics. (投稿中)

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. 中山雅野, 安孫子聡子, 姜欣, 近野敦, 内山勝 : “鈍的剥離操作シミュレーション安定化のための要素破壊モデル”, ロボティクス・メカトロニクス講演会'10講演論文集, 2A1-B20, 2010.

#### 【国際】

1. **Masano Nakayama**, Satoko Abiko, Xin Jiang, Atsushi Konno and Masaru Uchiyama: “Brain Surgery Simulation using FEM,” The Seventh International Conference on Flow Dynamics, OS7-64, 2010.
2. Xiaoshuai Chen, **Masano Nakayama**, Atsushi Konno, Xin Jiang, Satoko Abiko, Masaru Uchiyama : “Simulation of Surgical Dissection Using a Dynamic Deformation Model, ”Proceedings of SI International 2010, pp. 90-95, 2010.



氏名 坂井 玲太郎

所属 工学研究科航空宇宙工学専攻 博士後期課程1年

指導教員 工学研究科航空宇宙工学専攻 中橋 和博 教授

研究課題

流体と物体運動の連成計算法の構築による航空機のデジタル飛行解析

## 研究背景

計算機性能の向上とそれに伴った数値計算技術の発達により、数値流体力学（Computational Fluid Dynamics: CFD）は今や流体機械の設計において不可欠となっている。CFDが大いに活用される設計の1つに航空機設計があり、この分野においてはCFDによるこれまでの静的な空力解析から、動的な空力解析への進展が期待されている。移動や変形を伴う動的な問題をCFDにより解析する技術は、従来では経験則に拠るところが大きかった航空機設計の抜本的な改革に寄与できる。とりわけ人力飛行機などの主翼の大変形を伴う飛行について、翼の形状変形が揚力、抗力に与える影響を解析できれば、設計への大きなフィードバックとなる。また動的な空力解析は航空機のより詳細な挙動解析へとつながり、飛行安全性のさらなる向上に貢献できる。

こうした利点を持つ動的な空力解析のためには、形状変形に対してロバストかつ高速な格子生成技術と、将来のペタフロップス級計算機の能力を最大限に引き出す単純な計算構造が求められる。現在のCFDでよく用いられている非構造格子は形状融通性のメリットを持つ一方、格子生成には未だ時間と労力を必要とし、物体移動や形状変形の取り扱いが難しいことが課題である。また格子自体の非構造性に起因する複雑さにより、従来の非構造格子法をそのまま大規模計算に拡張できるかは未知数である。こうした中、計算機性能の飛躍的な向上ともあいまって、格子生成の柔軟性、計算構造の単純さから直交格子法が再び注目されている。直交格子の問題点として曲面壁境界の形状再現性ならびに壁面境界での精度不足が挙げられる。しかしながら直交格子法であってもImmersed Boundary Method、カットセル法などの採用により、直交格子の利点を保ったまま優れた計算を実行した事例が報告されている。逆に空間では格子の規則性から容易に高次精度化を実現できることは直交格子法の大きな利点である。

本研究では格子生成面で大きな利点を持つ直交格子、とくにブロック構造格子法として提案されているBuilding-Cube Method (BCM) を用い、高速・大規模で詳細解析が可能な流体構造連成解析手法の開発およびその検証を行うことを目的とする。さらに航空機の動的な空力解析へとつなげ、シミュレーションの高度化から航空機の安全性の向上を目的とする。

## 平成22年度 研究成果

平成22年度は、大規模流体計算のための時系列結果データ圧縮手法の改良と、非圧縮性流体解析ソルバの開発を行った。

大規模計算から得られる大規模データはデータ転送や保存、可視化といったあらゆる場面で効率的な研究作業への障壁となるため、流体計算データの圧縮技術が必須である。本年度は前年度より研究を継続してきた時系列結果データの圧縮手法の改良を行った。前年度はBCMによる大規模流体計算結果データの圧縮手法を開発したが、一つの時間ステップに対してのデータ圧縮であった。実際のCFD解析では複数の時間ステップにまたがる時系列の結果データを必要とする場面が多く、特に非定常現象の解明には時系列データが必須である。本年度は予め複数ステップにまたがる時系列データを想定し、これまで空間方向に適用してきた離散ウェーブレット変換を時間方向にも適用することで、計算空間を時空間方向に8領域に分割して圧縮処理を行った。加えて圧縮の処理単位をキューブ毎に変更したことで、圧縮処理の並列化が可能になった。データ圧縮処理が分散メモリマシン上で実行できるよう、並列化はMessage Passing Interface (MPI) を用いて実装した。

円柱周りの流れ計算結果データを圧縮した結果について、図1に音響解析結果を示す。いずれのグラフにおいても復元データは元データをよく再現している。データサイズは圧縮前後でそれぞれ279 GB、18 GBであり、元データサイズから約15分の1にまで圧縮できた。

続いて航空機主脚模型周りの流れ計算結果データを圧縮した結果について、図2に乱流運動エネルギーの等値面を示す。等値面の色は主流方向速度の変動強度を表している。図より圧縮データから元データ

と遜色ない可視化図が得られることを確認した。データサイズは圧縮前後でそれぞれ237 GB、 21.2 GBであり、元データサイズから約11分の1に圧縮できた。

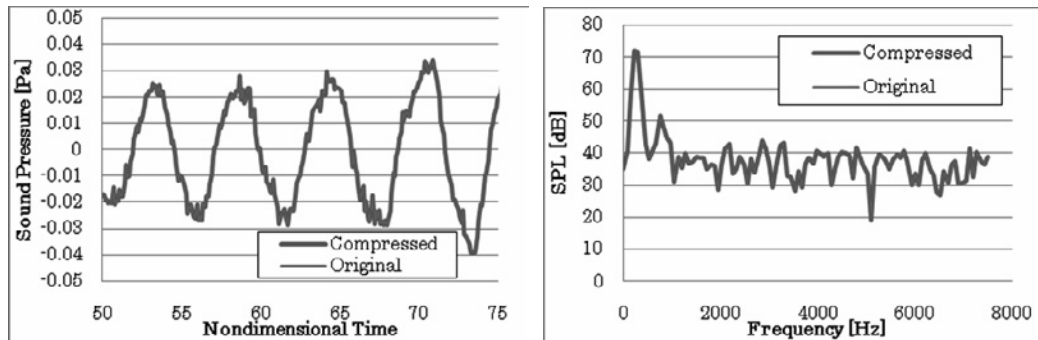


図 5 円柱周りの音響解析結果（左：音圧の時間履歴，右：音圧レベル）

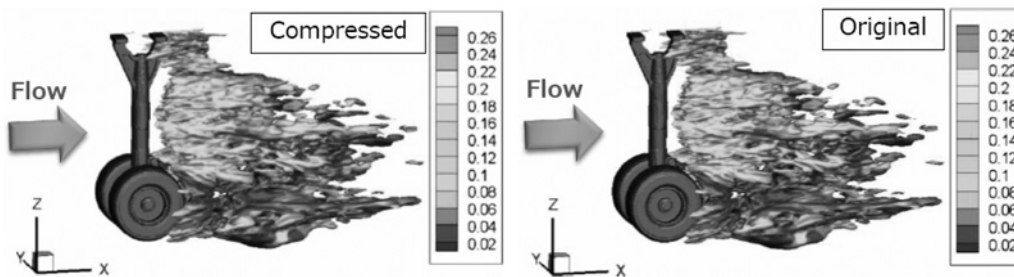


図 6 航空機主脚模型周りの乱流運動エネルギー可視化図（左：圧縮データ，右：元データ）

非圧縮性流体解析ソルバについては、乱流を精度良く捉えるソルバを開発することを目的に開発を始めた。MAC型解法を用いる非圧縮性流体解析には従来より各変数の定義点異なるスタガード格子がよく用いられてきた。しかし本研究ではImmersed Boundary Methodなどに代表される物体表面の取り扱いの導入、ならびにキューブ境界での高次精度補間の実装にあたり、すべての物理量の定義点と同じであることが大きな利点になると考え、コロケート格子を用いることとした。グローバルCOE若タケノコ国際インターンシップ派遣制度で8、9月にドイツ・アーヘン工科大学に滞在させていただき、主にチャネル内乱流における非圧縮性乱流解析についての知見を深めた。帰国後に改めてコロケート格子を用いてチャネル内乱流を計算した。図 7にこの計算より得られた主流方向平均速度と速度変動強度を示す。図中の黒線はそれぞれ対数則と他者のDNS結果を表している。この結果から、コロケート格子でもスタガード格子を用いた場合と同様の乱流特性量が得られることを確認した。続いて $Re=3900$ で円柱周りの流れを計算した。図 8にこの計算より得られた渦度等値面と速度変動強度プロファイルを示す。プロファイルは上から $x=4, 7, 10$ の結果であり、黒丸は他者の計算結果を示している。等値面と速度プロファイルの双方で他者の結果とよく一致することを確認した。

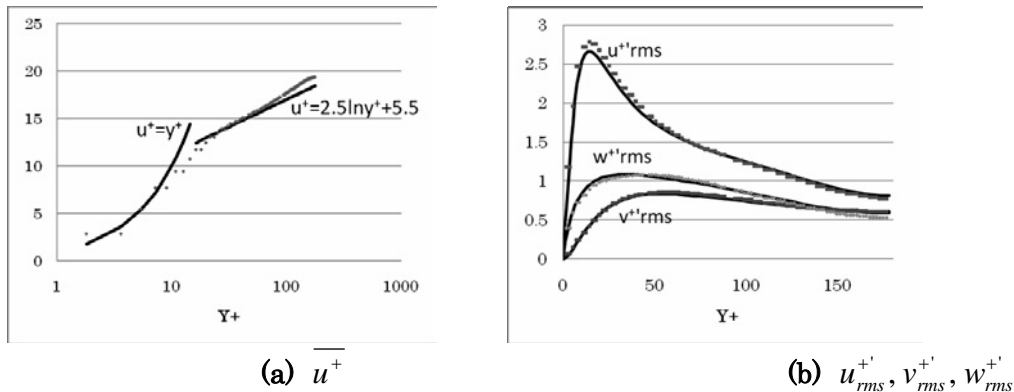


図 7 チャネル内乱流における各種乱流特性量

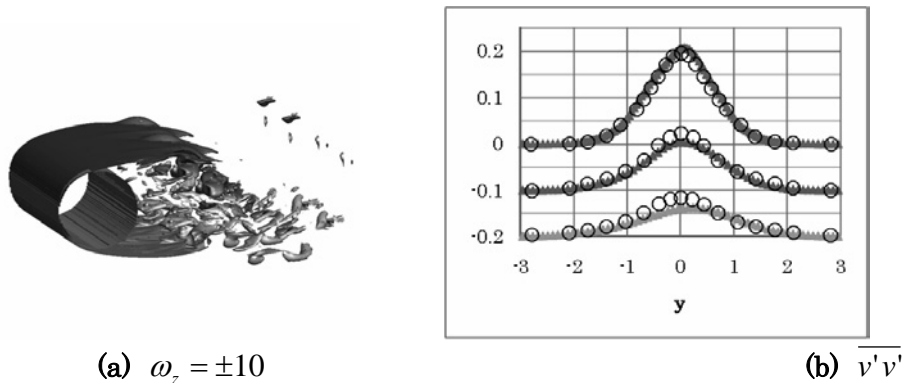


図 8 円柱周りの流れの渦度等値面と円柱後方の速度変動強度プロファイル ( $x=4, 7, 10$ )

## 平成22年度 総括

平成22年度は大規模計算に必須の計算結果データ圧縮技術を改良し、また流体構造連成解析のための流体解析ソルバを作成した。データ圧縮においては音圧や乱流特性量などのデータ品質を保ちつつ、圧縮後データサイズを元データの10分の1以下にまで小さくすることができた。しかしながら圧縮を実行したのは元となる結果データ取得との兼ね合いもあってわずか3ケースにとどまっており、もう少し幅広い計算結果データを対象に検証を進める必要がある。流体解析ソルバに関してはインターンシップで学んだ知識を活かしてソルバを作ることが出来、検証計算においても良い結果が得られた。しかしながら高レイノルズ数流れの解析に必要な乱流モデルの導入には未だ至っていないため、次年度は早い段階で流体解析ソルバに乱流モデルを導入する必要がある。

その他、今年度はグローバルCOE若タケノコ国際インターンシップ派遣制度で修士課程在籍中に2ヶ月間ドイツ・アーヘン工科大学に滞在させていただいた。今回のインターンシップを通じて、研究面はもとより人間的にも大いに成長できたと感じている。また11月には同じくGCOE研究費でアメリカの学会SuperComputing 2010に参加させていただき、スパコンによる大規模計算の趨勢を自分の目でじかに見ることが出来、とても良い経験になった。ここに改めてGCOE事務局に深く感謝したい。

## 次年度研究計画

時系列結果データ圧縮手法に関して、並列化は実行されているものの並列化効率の測定までは至っていない。このため次年度は詳細な並列化効率の測定を実行する。離散ウェーブレット変換では、これまでは適用の容易さからCDF 9/7 ウェーブレットを用いてきたが、数学的な背景からより良いウェーブレットがないか検討する。また現在は圧縮時の量子化ビットレートを手動で決定しているが、これを自動で決定できるような仕組みを検討する。その他、幅広い計算結果データを対象にデータ圧縮を実行する。

流体解析ソルバに関しては、これまでは乱流モデルなしでの計算であったため、乱流モデルの導入を行う。同時にImmersed Boundary Methodなどを用いて物体表面の取り扱いを工夫する。円柱周りの流れ解析に続き、 $Re=22000$ での角柱周りの流れ、 $Re=2.8E+06$ でのAhmed body周りの流れ解析を実行し、ソルバの解析精度を検証する。さらに8月にはミュンヘンで開催されるSummer Research Programにアーヘン工科大学のチームと合同で参加し、高レイノルズ数飛行体周りの流れを計算してソルバのブラッシュアップを図る。9月からは移動物体問題に取り組み、振動円柱などの計算によりソルバの検証を進める。可能であれば運動方程式とのカップリングから連成解析にも取り組む。

## 研究業績

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. 空力音響解析のための大規模データ圧縮法  
平成22年度航空宇宙空力班シンポジウム（ポスター発表），2010-01-21
2. ウェーブレット変換を用いた流体計算データ圧縮法  
第88期流体力学部門講演会（口頭発表），2010-10-31
3. 直交格子積み上げ法による大規模流体計算データの圧縮に関する研究  
第42回流体力学講演会（口頭発表），2010-06-24



【国際】

1. Data Compression of Large-scale Flow Computation for Aerodynamic/Aeroacoustic Analysis  
49th AIAA Aerospace Sciences Meeting (Oral presentation), 2011-01-06
2. Data Compression Method for Flow Computation Data Using Discrete Wavelet Transform  
The 7th International Conference on Flow Dynamics (Poster presentation), 2010-11-03
3. Large-Scale CFD Data Compression for Building-Cube Method Using Wavelet Transform  
The Sixth International Conference on Computational Fluid Dynamics (Oral presentation),  
2010-07-13
4. Data Compression Method for Large-Scale CFD by Building-Cube Method  
The 5th Tohoku University & Seoul National University Joint Workshop on Next Generation  
Aero Vehicle (Oral presentation), 2010-06-18



氏名 和田 章良

所属 工学研究科ナノメカニクス専攻 博士後期課程2年

指導教員 流体科学研究所 寒川 誠二教授

研究課題

中性粒子ビーム流動現象の制御とカーボンナノチューブ表面との相互作用

## 研究背景

導体デバイスはムーアの法則に従い、微細化の道をたどっている、しかし近い将来、さらに微細化が進むにつれ高集積化・高性能化は困難であるといわれている。それは、トランジスタの物理的な問題（短チャネル効果によるリーク電流の増大）が顕著になるからである。そこでこれらの問題を打開する新構造トランジスタの作製が望まれている。その新構造トランジスタとして注目されているのが、3次元構造トランジスタと新材料トランジスタである。FinFETに代表される3次元構造トランジスタは、チャネル領域を挟む構造をしているため2次的にゲート電圧の印加が可能となり、短チャネル効果を抑制できる。またSiに代わる新材料として、Geやカーボンナノチューブやグラフェンといったカーボン系材料が多く研究されている。GeはSiに比べ、電子・正孔移動度が高く（Siはそれぞれ1600、480に対しGeは3900、1800）、またカーボンナノチューブはナノオーダーの直径を持つチューブ構造であるため、リソグラフィ技術に依存することがなく微細化が実現できる。さらにはカーボンナノチューブはバリスティック伝導を示すため、カーボンナノチューブをチャネルとして利用することで高速トランジスタとして期待できる。また、カーボンナノチューブトランジスタはSOI構造MOS-FETと同じ構造を有しているため、短チャネル効果に対する耐性も強い。しかし、これら新構造トランジスタの作製には、従来ゲート絶縁膜成膜工程に用いる熱酸化プロセスに大きな問題がある。まず、FinFETのような3次元構造では異なった面方位に酸化を行う必要があるが、熱酸化の場合、面方位に依存した酸化であるため、膜厚不均一や界面ラフネスの増大といった問題が生じる。さらに熱酸化のような高温プロセスは熱応力による界面欠陥を引き起こす。これは、高温プロセス処理後、温度が下がる際に熱膨張係数の違いからSiとSiO<sub>2</sub>との界面に応力が発生し、界面に欠陥が生成されてしまうといった問題である。また、Geは熱的に不安定であり、高温プロセスにおいて酸化物の脱離が起こることが多く報告されており、高品質な酸化膜の形成は非常に困難である。カーボン系材料においても、カーボンと酸素は非常に反応性が高く、高温状態においてはカーボンと酸素が反応し脱離する。そこで熱酸化に代わる低温プロセスとして、プラズマで発生したエネルギー粒子の流動を高精度に制御して欠陥生成を抑制できる中性粒子ビーム技術を提案している。本研究では、この低損傷中性粒子ビームプロセスを用いて、低温表面改質技術（ゲート絶縁膜形成技術、不純物ドーピング技術）により界面構造を高精度に制御することで32nm以降の半導体デバイスで要求される半導体界面の表面改質を実現するとともに、その酸化および窒化メカニズムを検討している。

## 平成22年度 研究成果

22年度では、中性粒子ビームプロセスを用いたSi及びGeの超低損傷酸化技術の検討を行った。まず、中性粒子ビーム酸化技術による酸化メカニズムを、中性粒子ビームのビームエネルギーが材料表面に与える影響を詳細に検討することで解明した。また、従来の熱酸化プロセスやラジカルプロセスとの違いを明確にした。Si或いはGe基板へ酸素中性粒子ビームが入射することで、SiO<sub>2</sub>やGeO<sub>2</sub>が形成される。この酸化反応の活性化エネルギーを算出したところ、ビームエネルギーが1eVから10eVまで増加するにつれ活性化エネルギーが減少することがわかった(図1)。これらの値は熱酸化の活性化エネルギー2.0eV(Si酸化)、1.7eV(Ge酸化)と比べても非常に小さな値となっている[1、2]。これはエネルギーを持った中性粒子がSi表面に入射・衝突することでSi-Si結合が切断し、切断されたSi原子と酸素が反応するため容易に酸化が進行するためと考えられる。そのため、酸化反応のためのエネルギー障壁が減少、つまりは低温においても酸化反応が十分に進行する状態になっている。また、0.1~0.01eV程度の並進エネルギーで入射するラジカルによる酸化反応の活性化エネルギーと比較しても低いことがわかる。次に、活性化エネルギーの違いによる酸化膜構造の違いを検討した。図2に、シリコン酸化膜及びゲルマニウム酸化膜中のサブオキシドの割合を示す。図2から、Si酸化では中性粒子ビームのビームエネルギーを10eVに、Ge酸化では5eVにすることで、低温でもサブオキシドやSiダングリングボンドが殆ど存在せず、従来の熱酸化やラジカル酸化以上の高品質なSiO<sub>2</sub>膜を低温で成膜が可能であることがわかった。これは、昨年度明らかに

した界面欠陥や3端子FinFETの電気特性の傾向とよく一致している[3]。

また、中性粒子ビーム酸化プロセスの異方性酸化という特長を利用し、図3のような非対称ゲート酸化膜厚を有する4端子型FinFETを作製した。中性粒子粒子ビーム酸化プロセスによって、対称ゲート酸化膜厚4端子FinFETと全くかわらない非常に簡易的に非対称ゲート酸化膜厚の作製が可能となった。また、作製した非対称ゲート酸化膜厚4端子FinFETの電気特性もゲート酸化膜厚の非対称な効果が現れており、非対称ゲート酸化膜厚4端子FinFETの開発プロセスとしての優位性を示すことができた。

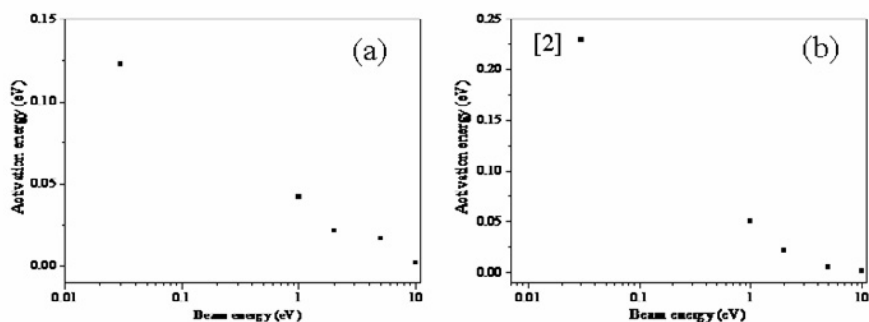


図1 酸化反応の活性化エネルギーのビームエネルギー依存性 (a)Si (b)Ge

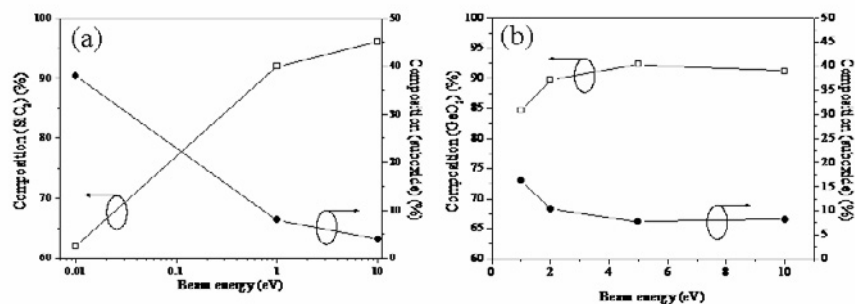


図2 酸化膜中のサブオキシドの割合のビームエネルギー依存性 (a)Si (b)Ge

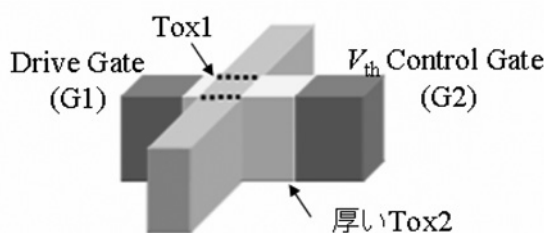


図3 非対称ゲート酸化膜厚4端子FinFET

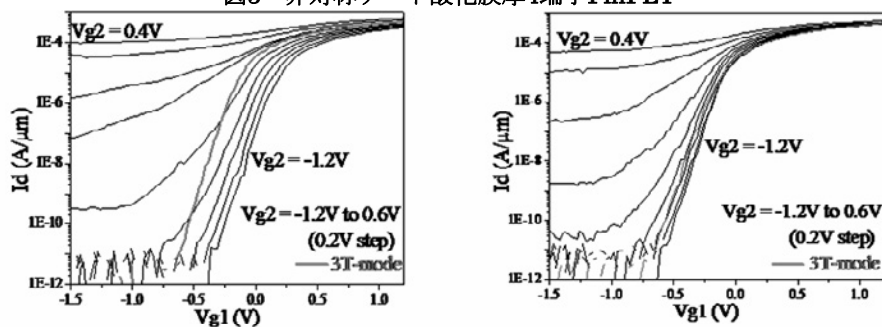


図4 4端子FinFETの $I_d$ - $V_{g1}$ 特性

(a)対称ゲート酸化膜厚4端子FinFET、(b)非対称ゲート酸化膜厚4端子FinFET

- [1] B.E. Deal and A.S. Grove, J. Appl. Phys., **36**, 3770 (1965).  
 [2] M. Kobayashi, G. Thareja, M. Ishibashi, Y. Sun, P. Griffin, J. McVittie, P. Pianetta, K. Saraswat, and Y. Nishi, J. Appl. Phys., **106**, 104117 (2009).  
 [3] A. Wada, K. Sano, M. Yonemoto, K. Endo, T. Matsukawa, M. Masahara, S. Yamasaki, and S. Samukawa, Jpn. J. Appl. Phys., **49** (2010) 04DC17.

## 平成22年度 総括

性粒子ビーム酸化プロセスによる酸化機構を解明し、従来の熱酸化プロセスやラジカル酸化プロセスとの違いを明らかにした。また、酸化膜を形成する酸素中性粒子ビームプロセスにおいてビームエネルギーの最適化により低温であっても超低活性化エネルギーを実現すると共に界面準位・欠陥・サブオキサイドを高精度に制御できることを示した。さらに、この膜構造と電気特性との関係を明らかにし、熱酸化膜と同等以上の高品質なゲートSiO<sub>2</sub>界面を実現した。

た、異方性酸化が可能なことから、従来試作が難しかった非対称ゲート酸化膜厚4端子FinFETの試作を実現でき、サブスレッシゅホールド特性を維持しながら閾値電圧を高精度に制御できることを示した。これは実用上極めて有益な成果であり、非対称ゲート酸化膜厚4端子FinFETの開発に非常に有用であることを示している。

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. Akira Wada, Kazuhiko Endo, Meishoku Masahara, Chi-Hsien Huang and Seiji Samukawa, “Low-activation-energy and High-quality Oxidation of Si and Ge Using Neutral Beam,” submitted to Applied Physics Express.
2. Akira Wada, Keisuke Sano, Masahiro Yonemoto, Kazuhiko Endo, Takashi Matsukawa, Meishoku Masahara, Satoshi Yamasaki and Seiji Samukawa, “High-Performance Three-Terminal Fin Field-Effect Transistors Fabricated by a Combination of Damage-Free Neutral-Beam Etching and Neutral-Beam Oxidation,” Japanese Journal of Applied Physics. **49**, (2010) 04DC17.
3. Akira Wada, Kazuhiko Endo, Meishoku Masahara, Chi-Hsien Huang and Seiji Samukawa, “Fabrication of Four-Terminal Fin Field-Effect Transistors with Asymmetric Gate-Oxide Thickness Using an Anisotropic Oxidation Process with a Neutral Beam,” Applied Physics Express. **3**, (2010) 096502.
4. Akira Wada, Kazuhiko Endo, Meishoku Masahara, and Seiji Samukawa, “Asymmetric Gate-oxide Thickness Four-Terminal FinFETs Fabricated using Low-Temperature and Atomically Flat Interface Neutral-Beam Oxidation Process,” Proceedings of 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials. (JSPS, Tokyo, 2010) 681.

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. ○和田 章良, 遠藤 和彦, 昌原 明植, 寒川 誠二, “低温・超低損傷中性粒子ビーム酸化プロセスにおけるSi酸化機構,” 第57回応用物理学会学術講演会, 25a-KW-6, 神奈川工科大学, 神奈川県厚木市, 2011年3月.(口頭予定)
2. ○和田 章良, 遠藤 和彦, 昌原 明植, 寒川 誠二, “低温・超低損傷中性粒子ビーム酸化(NBO)を用いた高品質GeO<sub>2</sub>膜の形成,” 第57回応用物理学会学術講演会, 26p-KW-14, 神奈川工科大学, 神奈川県厚木市, 2011年3月.(口頭予定)
3. ○和田 章良, 遠藤 和彦, 昌原 明植, 寒川 誠二, “無損傷中性粒子ビーム酸化(NBO)を用いた非対称ゲート酸化膜厚4端子FinFETの作製,” 第71回応用物理学会学術講演会, 16p-S-8, 長崎大学, 長崎県長崎市, 2010年9月.(口頭)



【国際】

1. ○Akira Wada, Kazuhiko Endo, Meishoku Masahara, and Seiji Samukawa, “Fabrication of Asymmetric Gate-oxide Thickness Four Terminal FinFET using Neutral-Beam Oxidation Process,” The Seventh International Conference on Flow Dynamics (ICFD 2010), Sendai, JAPAN, 2010. 11. (Poster)
2. ○Akira Wada, Kazuhiko Endo, Meishoku Masahara, Satoshi Yamasaki and Seiji Samukawa, “Low temperature, Lattice-plane-free, Anisotropic and Damage-free Oxidation by Neutral Beam Technology,” American Vacuum Society 57th International Symposium and Exhibition, PS2-WeA10, Albuquerque, NM USA, 2010. 10. (Oral)
3. ○Akira Wada, Kazuhiko Endo, Meishoku Masahara, and Seiji Samukawa, “Asymmetric Gate-oxide Thickness Four-Terminal FinFETs Fabricated using Low-Temperature and Atomically Flat Interface Neutral-Beam Oxidation Process,” 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2010), B-5-1, Tokyo, JAPAN, 2010. 9. (Oral)



氏名 解 社娟

所属 工学研究科バイオロボティクス専攻 博士後期課程2年

指導教員 流体科学研究所 高木 敏行教授

研究課題

流動現象によって生じる構造物内の欠陥の渦電流探傷法による検出とサイジング

## 研究背景

In nuclear power plants (NPPs), to guarantee the safety, periodical non-destructive testing (NDT) to the pipes is regulated. Local wall-thinning is a kind of defect in pipes due to flow accelerated corrosion and/or liquid droplet impingement of the coolant inside the pipe. Besides, there is a special concern on local wall-thinning under an enforcement plate that covers the outside of a pipe where a branch pipe is connected to a main pipe. These form two-layer metal specimen which is rather thick. Pulsed eddy current testing method (PECT) is considered as a powerful candidate for this NDT aim of single-layer specimen and two-layer specimen due to its features of large excitation current and rich frequency components.

However, the simulation tool for the transient PECT problem is still not satisfactory for the inspection of specimens in complicated geometry. Most of the past researches on the PECT simulations focused on the analytical solution which is only valid for regular shaped specimen and is very difficult for specimen and probes of complicated shape. In addition, for probe optimization and especially for the inverse analysis of PECT problem, fast numerical solver is very necessary and crucial. Thus, a fast and efficient simulator for PECT signals is developed in this study. Together with the new feature extracted from the response signal of PECT, the present simulation solver gives a good base for the further study of inverse analysis for defect sizing.

研究計画：

- ・ パルス渦電流を用いた非破壊評価の高速シミュレーションに取り組む。
- ・ 大口径配管の減肉の探傷について新たな特徴量を探す。
- ・ 探傷深さの増加と 2 層構造の配管の減肉の探傷をするために新しい励磁プローブを作製すると高感度のセンサーを使う。
- ・ 逆問題解析などの手法を用いて、配管肉厚の定量評価のための方法について実施する。

## 平成22年度 研究成果

### (1). Development of a very fast simulator for pulsed eddy current testing signals

Pulsed eddy current testing (PECT) method shows many advantages comparing with the conventional eddy current testing due to its features of applicability of large excitation current and rich frequency components. The simulation tool for the transient PECT problem, however, is still not satisfactory for the inspection of specimens in complicated geometry. Most of the past researches on the PECT simulations focused on the analytical solution which is only valid for regular shaped specimen and is very difficult for specimen and probes of relative complicated shape. In addition, for probe optimization and especially for the inverse analysis of PECT problem, fast numerical solver is very necessary and crucial. A fast and efficient simulator for PECT signals is the base for the further development of PECT technology.

In this work, a very fast numerical solver for simulation of the PECT signals was developed based on the database approach and the frequency domain summation (FDS) strategy. At first, the FDS method with interpolation strategy was described for the simulation of PECT signals. Second, the fast numerical solver of database approach was upgraded in order to apply it to the ECT problem of local wall thinning. Finally, based on the FDS method and the fast simulation scheme for single frequency excitation, a very fast numerical solver was developed and validated for the simulation of PECT signals due to a local wall thinning. Through comparing the numerical results using the present fast solver and a conventional method, it was verified that the fast solver is over 100 times

faster than the conventional one but with similar accuracy.

### 1.1. FDS STRATEGY

In PECT, the excitation signal is usually introduced as repetitive square wave pulse which can be considered as summation of serial harmonic sinusoidal waves shown in formula (1) according to theory of Fourier transformation,

$$\mathbf{I}(t) = \sum_{n=1}^N \tilde{F}_n e^{j\omega_n t} \quad n=1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

where  $\omega_n$  is the angular frequency of sinusoidal excitation and  $\tilde{F}_n$  is the amplitude coefficient. As PECT problem can be considered as a low frequency one, its governing equations after Galerkin finite element method (FEM) discretization strategy can be written as,

$$[\mathbf{K}]\{\mathbf{A}\} + [\mathbf{C}]\left\{\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}\right\} = \{\mathbf{M}\}\mathbf{I}(t), \quad (2)$$

where  $\mathbf{A}$  is the vector potential,  $[\mathbf{K}]$ ,  $[\mathbf{C}]$  and  $\{\mathbf{M}\}$  are coefficient matrices of FEM equations. Because of the linear property of Eq.(2), the response signal due to pulsed excitation in form of Eq.(1) can also be composed by the sinusoidal waves of the frequencies appeared in the driving current. After formulae deduction, the response of the magnetic flux density  $\mathbf{B}$  can be obtained by summarizing up the response signals of each frequency  $\mathbf{B}_{n0}$  as shown in Eq.(3). Once each  $\mathbf{B}_{n0}$  has been calculated, field signal  $\mathbf{B}(t)$  can be obtained easily by using

$$\{\mathbf{B}(t)\} = \sum_{n=1}^N \tilde{F}_n \left( \nabla \times \{\widetilde{\mathbf{A}_{n0}}\} \right) e^{j\omega_n t} = \sum_{n=1}^N \tilde{F}_n \{\widetilde{\mathbf{B}_{n0}}\} e^{j\omega_n t} \quad (3)$$

In PECT, if the excitation current is ideal repetitive square wave pulse, according to Fourier transformation, it can be considered as summation of a series of sinusoidal waves with different harmonic frequencies and corresponding amplitudes as shown in formula (4).

$$i(t) = d/T + \sum_{n=1}^N (A_n \sin(\omega_n t) + B_n \cos(\omega_n t)) \quad n=1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

Where,  $T$  is pulse period,  $d$  is pulse time in one period,  $n$  is the harmonic order,  $t$  is the transient time and  $N$  is the total number of harmonic order.  $\omega_n$  is the harmonic angular frequency which equals  $2\pi n/T$ ,  $A_n$  and  $B_n$  are the coefficients where  $A_n = (1 - \cos(\omega_n d)) / n\pi$  and  $B_n = \sin(\omega_n d) / n\pi$ , respectively.

In equation (4), considering the single frequency sinusoidal excitation signal, if we assume that the excitation signal is  $\sin(\omega_n t)$ , the corresponding pickup signal is  $\text{Re}_n \sin(\omega_n t) + \text{Im}_n \cos(\omega_n t)$ , then the pickup signal should be  $-\text{Im}_n \sin(\omega_n t) + \text{Re}_n \cos(\omega_n t)$  when the excitation signal is  $\cos(\omega_n t)$ .  $\text{Re}_n$  and  $\text{Im}_n$  are the real part and the imaginary part of the pickup signal when the excitation is  $n$ -th order harmonic wave  $\sin(\omega_n t)$ , respectively.

Then by substituting the above corresponding pickup signal of  $\sin(\omega_n t)$  and  $\cos(\omega_n t)$  into formula (4), we can obtain the response signal  $\mathbf{B}(t)$  due to current of formula (4) as shown in equation (5).

$$\mathbf{B}(t) = \sum_{n=1}^N ((A_n \text{Re}_n - B_n \text{Im}_n) \sin(\omega_n t)) + \sum_{n=1}^N ((A_n \text{Im}_n + B_n \text{Re}_n) \cos(\omega_n t)) \quad n=1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

For the simulation of pulse eddy current testing signal, the detailed procedure of the FDS method is as follows: first, the response signal of single frequency sinusoidal excitation is calculated using the numerical code based on the Ar method which was developed by the authors; second, the response signal of pulsed excitation is obtained through the summation of response signals of harmonic sinusoidal waves with different frequencies and corresponding coefficients by using equation (5). Thus, we call this strategy as the frequency domain summation method. As the frequency response curve of single frequency ECT is smooth, the amplitude of the response signal of a given harmonic frequency can be calculated from the signals of selected frequencies through interpolation. The number of total frequencies for signal summation and the number of selected

frequencies for interpolation are important to guarantee the precision of simulation. The suitable number of total frequencies for signal summation and the suitable number of selected frequencies for interpolation are deeply discussed.

Figure 1 shows a comparison of simulated and the measured signals due to an OD local wall thinning defect (length  $\times$  width  $\times$  depth: 100mm  $\times$  10mm  $\times$  5mm), where the square specimen is 100mm in length and width and 10mm in thickness of austenitic stainless steel 316. Good agreement shows the validity of the FDS method.

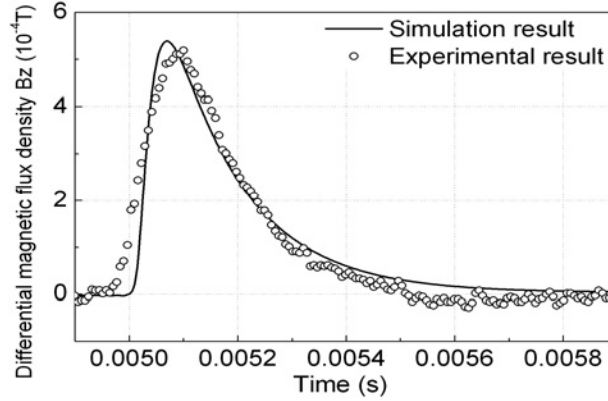


Fig. 1. Comparison of experimental result and simulation result

## 1.2. A FAST SOLVER FOR CONVENTIONAL ECT SIMULATION

A fast simulator for ECT of crack has been developed by authors. As the wall thinning is of 3D geometry, the fast solver has to be upgraded in order to be applied to the quantitative wall thinning inspection. The major difference between crack and wall thinning problem is the dimension of the databases of the unflawed potentials and the way to establish the inverse matrix. The theory of the fast scheme is as follows:

Through subtracting the governing equations with and without defect and conducting Galerkin FEM discretization, the following system of linear equations can be obtained,

$$\begin{bmatrix} \bar{K}_{11} & \bar{K}_{12} \\ \bar{K}_{21} & \bar{K}_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_1^f \\ A_2^f \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{K}_{11} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_1^f + A_1^0 \\ A_2^f + A_2^0 \end{Bmatrix}, \quad (6)$$

where subscripts 1 and 2 denote the areas at the defect and at the other area, while superscripts  $f$  and 0 denote the potentials perturbation by flaw and that of the unflawed material.  $[\bar{K}]$  is the unflawed global coefficient matrix of FEM equations.

From Eq.(6), one can obtain a smaller system of linear equations for solving the potential perturbation  $\{A_1^f\}$  and  $\{A_2^f\}$ ,

$$\begin{Bmatrix} A_1^f \\ A_2^f \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{K}_{11} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_1^f + A_1^0 \\ A_2^f + A_2^0 \end{Bmatrix}, \quad (7)$$

where  $[H]$  is the inverse matrix of  $[K]$ . The equations related to  $\{A_1^f\}$  can be easily separated from Eq.(7) as,

$$\left[ I - H_{11} \hat{K}_{11} \right] \{A_1^f\} = [H_{11}] [\hat{K}_{11}] \{A_1^0\}, \quad (8)$$

Since coefficient matrices  $[H]$  and  $[K]$  are independent of the flaw geometry, they can be calculated a priori and stored as databases. In this way, calculation burden of  $\{A_1^f\}$  can be greatly reduced because the number of the nodes related to defect is always much smaller than the node number of the whole system. In present work, the region for database and shifting scheme for extracting  $[H]$  from the database are modified for treating the wall thinning defect, and the corresponding numerical code is upgraded.

Figure 2 shows a comparison of ECT signals of 100 kHz by using the present fast solver and the conventional simulator for OD20% and OD60% local wall thinning defects. The very well accordant results verified the validity of the present fast scheme and the modified code. However, this fast solver only needs about 3 seconds to obtain the results while it takes more than 10 minutes for the conventional method by a PC using Dell OptiPlex 755: Intel Core 2 Duo E6850, 3 GHz, Memory 2



GB.

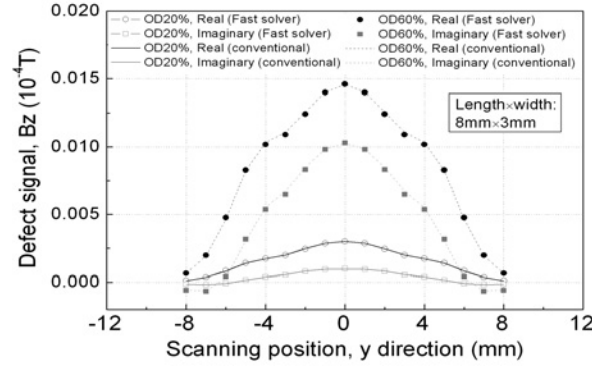


Fig. 2. Comparison of fast solver and conventional simulator due to OD 20% and OD60% local wall thinning under single frequency excitation

### 1.3. FAST SOLVER FOR SIMULATION OF PULSED EXCITATION

The fast numerical solver for simulation of PECT signals due to local wall thinning is as follows. At first, the ECT signals of selected frequencies due to local wall thinning are calculated by using the fast solver described in section 1.2. Then, the response signal due to pulsed excitation (PECT signal) can be calculated through the FDS method given in section 1.1. In this way, the transient PECT signals can be obtained within very short time.

Figure 3 shows the comparison results of OD20% and OD60% local wall thinning defects under pulsed excitation by using the present fast solver and conventional simulator respectively. Though the results show very good agreement, the conventional method takes more than 100 times of computational time than the present fast solver. The development of this fast simulator gives a good basis for the further inversion problem study of PECT technology.

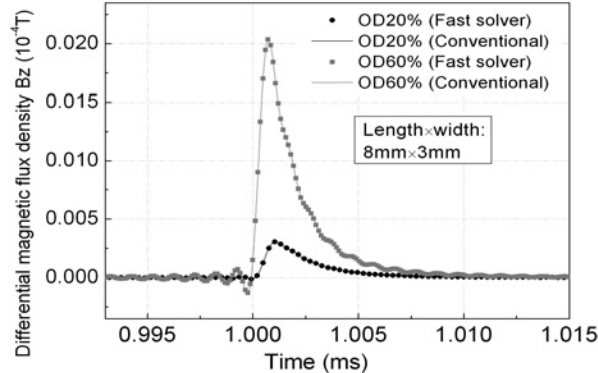


Fig. 3. Comparison of fast solver and conventional simulator due to OD 20% and OD60% local wall thinning under pulsed excitation

### (2) New feature extraction for wall thinning evaluation

In this work, a novel and more stable feature was extracted from the differential pick-up signal and was discussed for the wall thinning evaluation in pulsed eddy current testing (ECT) method.

To simulate the large area wall-thinning on the inner surface of a pipe, six AISI316 austenitic stainless steel flat plates with different thicknesses were prepared in our experiments. The size of the plates is various thicknesses: 2, 3, 4, 5, 7mm and 10mm, 100mm in length and width. The thickness of a plate is to be evaluated from the top surface of the plate.

Pulsed ECT experiment system we established consists of a function generator (WF1945, NF), a power amplifier (BP4610, NF), a scanning stage, an AD board and a PC etc. In the experiments, square wave pulse was generated from the function generator and then amplified by the power amplifier by which the output current could be controlled instead of the output voltage. Then the amplified current signal of square wave pulse was applied to the exciting coil as the exciting signal. A Hall sensor, one kind of magnetic sensor, is located at the bottom center of the exciting coil as the pick-up sensor, whose sensitivity is 5mV/G, and the manufacturer is Allegro Microsystems. Magnetic flux density of vertical direction is measured with the magnetic sensor.

In the pulsed ECT experiment and simulation, lift-off is 1mm and the parameters of the

excitation coil are inner diameter 30mm, outer diameter 40mm, height 15mm, wire diameter 1mm and turns 60. In the pulse excitation current, the magnitude of the DC part is 7.8A, the period is 0.01s, the duty is 50%. The pick-up signal collected by the Hall sensor was averaged over 100 cycles of the transient output for duration of 1.0s, to reduce noise.

Typical 1-D transient outputs are obtained at the measured point. Figure 4 and Fig. 5 show the experimental and simulation results of the differential signal of magnetic flux density based on the above pick-up signals, respectively, where the reference signal is the signal measured on a plate of 10mm thickness. Figure 6 shows the typical conventional feature extraction from the differential signal, that is, peak value and peak time. Peak value is the magnitude of the peak point and peak time is the time to the peak point.

As we know the two conventional features extracted from the differential signal both are the property of the peak point, so we can simply imagine that they strongly rely on only the peak point, thus they should be easily affected by the occasional error in real application. Here another new feature was extracted from the differential signal, "area", which is the area between the differential signal curve and the time axis. We could imagine that even though the peak point was affected by the occasional error a little the area should not change a lot because it contains the information of all the points in pick-up signal, not only one point (peak point).

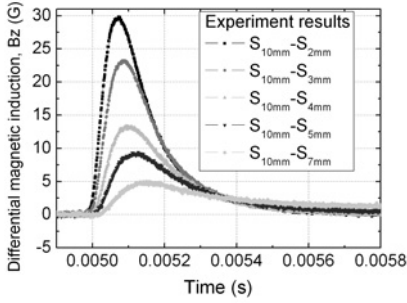


Fig. 4

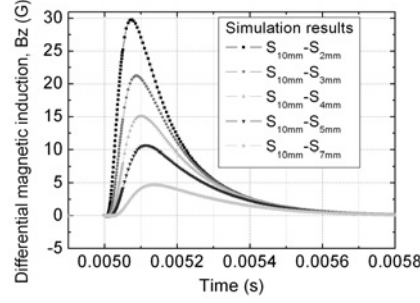


Fig. 5

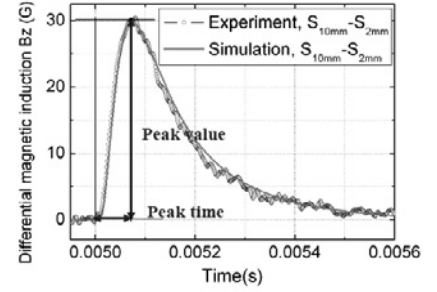
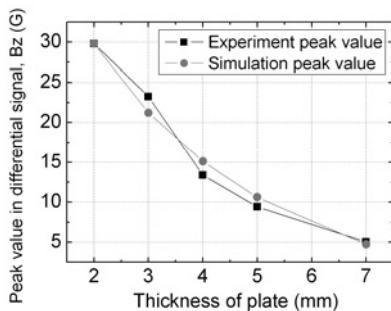


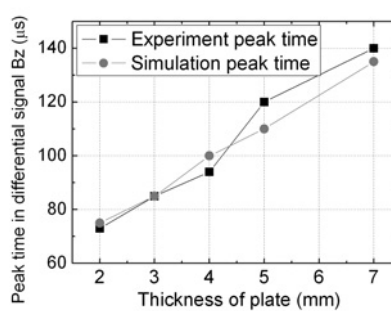
Fig. 6

Fig. 4. Differential signal of magnetic flux density in experiments; Fig. 5. Differential signal of magnetic flux density in simulation; Fig. 6. Typical conventional feature extraction in differential signal

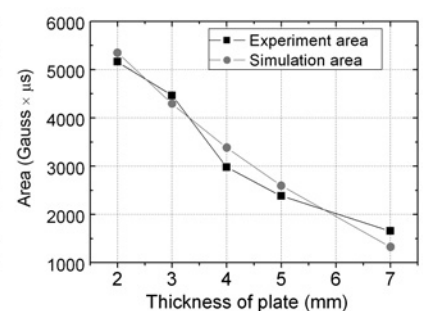
Repeated experiments were carried out five times for every plate, the averaged signal was utilized as the experimental pick-up signal to avoid the occasional error which we mentioned above. The three features (peak value, peak time, area) were extracted from the experimental results and simulation results and shown in Fig. 7(a), 7(b), and 7(c) respectively. We can see that all of them can give us good agreements with simulation results. Thus the thickness of a plate can be successfully evaluated from the characteristics of the differential pick-up signal.



(a)



(b)



(c)

(a). Relationship between peak value and thickness of plate both in experiments and simulation; (b). Relationship between peak time and thickness of plate both in experiments and simulation; (c). Relationship between area and thickness of plate both in experiments and simulation

Fig. 7 Relationship between features and thickness of plate both in experiments and simulation

As we know, stability of the extracted features is very important for thickness evaluation in practical application. So here three features were extracted from the above five times repeated

experimental results of every plate, respectively. Results of 2mm thickness plate were investigated to check the stability of the extracted features. Table 1 shows the values of the three features in every experimental result and their errors in which the value of mean square error divided by mean value was applied.

Table 1 Stability comparison of the three features in repeated experimental results

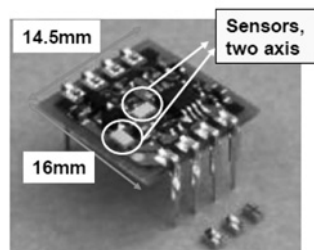
Evaluation items	Peak value (Gauss)	Peak time ( $\mu$ s)	Area (Gauss $\times\mu$ s)
Experiment 1	29.865	76	5182.9
Experiment 2	29.895	73	5172.0
Experiment 3	29.865	76	5161.8
Experiment 4	30.011	71	5130.2
Experiment 5	30.223	73	5161.8
<b>Mean square error / mean value</b>	<b>0.51%</b>	<b>2.9%</b>	<b>0.38%</b>

From Table 1 we can see that the error of peak time is the biggest, so peak time is the most not stable feature in the repeated experimental results. Inversely, the errors of peak value and area are very small, so they are relative stable features. Thus we could conclude that in practical application, if possible, feature of peak value or area had better been applied as the characteristic to evaluate the defect, not peak time.

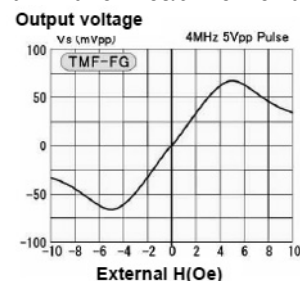
### (3). Detection of local wall thinning in two-layer specimen using new excitation mode probe and high sensitivity magnetic sensor

#### 3.1. Self-differential probe and magnetic sensor

There are a family of magnetic field sensors, such as, SQUID (Superconducting Quantum Interference Device), FG (flux gate) sensors, AMR (anisotropic magneto-resistive), GMR (giant magneto-resistive) and Hall devices. As we know, SQUID possesses the highest sensitivity but its use is still limited due to practicality and some cost-related reasons. Hall sensor is not a bad choice when the specimen is not very thick and also the defect is not very small, but for the small defect detection in a thick specimen (sometimes two-layer specimen) Hall sensor is not preferred due to its relative big noise level (i.e. poor resolution, according to the reference and also the experience of the author). Thus FG, AMR and GMR sensors are good candidates for the small defect detection in rather thick specimen. In this study, a TMF-FG sensor, one kind of FG sensor, was employed to detect local wall-thinning in large diameter pipes. The manufacturer of this FG sensor is Canon, sensitivity 1V/G, voltage source DC 5V, offset 2.5V, measurement range about from -2.5G to 2.5G and resolution is about 1mG according to the manual. The circuit board of sensor and its output property are shown in Fig. 8(a) and Fig. 8(b) respectively. From Fig. 8(a) we could see that on the circuit board there are two sensors which can measure the magnetic field of two directions (measuring direction is parallel to the length direction of sensor). In experiments, one sensor or two sensors can be used at one time according to the experiment request. Figure 8(b) shows that the output has good linear property to external magnetic field within the measurement range.



(a). TMF-FG sensor



(b). Output property

Fig. 8. TMF-FG sensor and its output property

Concerning the characteristics of FG sensor, of course, high sensitivity and high resolution are its obvious merits, but at the same time, small measurement range is its inherent demerit, normally inside several Gauss. To overcome the trade off of high sensitivity and small measurement range, in

this study, a self-differential probe was developed which are shown in Fig. 9(a). There are two almost identical excitation coils, coil 1 and coil 2 whose parameters are shown in Table 2. Reverse excitation signal was applied to the two excitation coils and FG sensor was located at center of the two coils (see Fig. 9(b)).

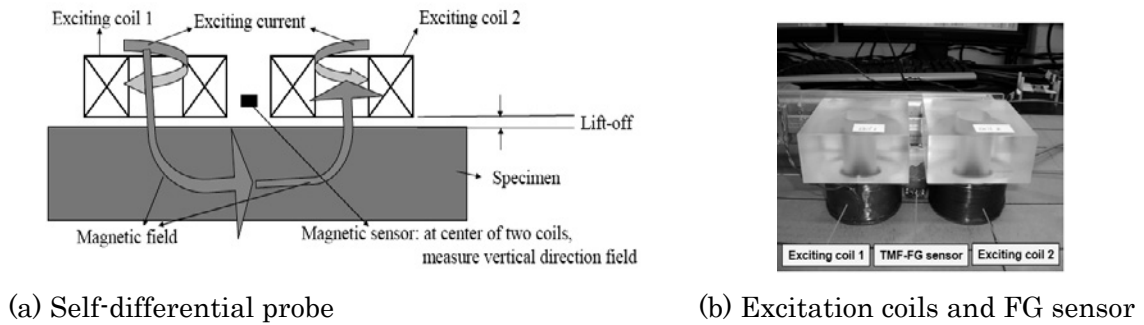


Fig. 9. Self-differential probe and coils

Table 2. Parameter of excitation coils

Items	Coil 1	Coil 2
ID	30mm	30mm
OD	60mm	60mm
Height	30mm	30mm
Wire diameter	1mm	1mm
Turn	389	387
Impedance (at 50Hz)	1.8470hm	1.8500hm
Distance between two coils	80mm (center to center)	

In experiments, magnetic field of vertical direction (perpendicular to the coil circle plane and surface of specimen) was measured by FG sensor. The distance from sensor to bottom plane of coil is 6mm (The smaller, the better. 6mm is the minimum value that we can set because of the big size of circuit board of the sensor). To simulate the insulator outside the pipes, firstly 2mm lift-off was applied.

Concerning this excitation mode, there are primarily two aspects of advantage:

(a) FG sensor only measures the signal of perturbed field that is affected by the existence of defect because the direct magnetic field of vertical direction (generated by excitation current in coils) at the position of FG sensor could be counteracted to be zero. Perturbed field is rather small, thus the small measurement range of FG sensor can be satisfied.

(b) Eddy current in specimen decreases very slowly along depth direction and deeper penetration depth could be expected.

### 3.2. Introduction of specimen and inspection condition

To simulate the local wall-thinning on the bottom side of a pipe which is covered by an enforcement plate, we prepared two AISI316 austenitic stainless steel flat plates in our experiments. The size of the two plates is the same, 500mm in length, 300mm in width and 8mm in thickness. One plate is placed on the top of the other. A rectangular slot was arranged along the center line of the bottom side of the lower plate in the shorter direction. The width of the slot is 10mm, and the depth is 1, 3 or 5mm, respectively. The slot is to be detected from the top surface of the upper plate. The specimen was shown in Fig. 10.

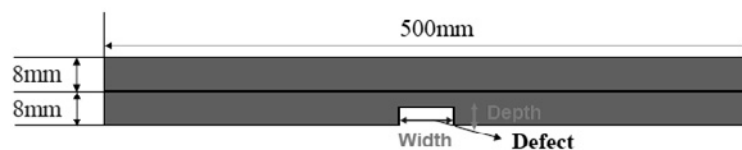


Fig. 10. Double-plate specimen with a slot defect simulating local wall-thinning in two layer pipes

Inspection condition is shown in Fig. 11. In experiments, S1 is the pick-up signal at position 1 where sensors are far from defect (ideally S1 is 0) as the reference signal. S2 is the pick-up signal at



position 2 where the center of coil 2 locates at center of defect.

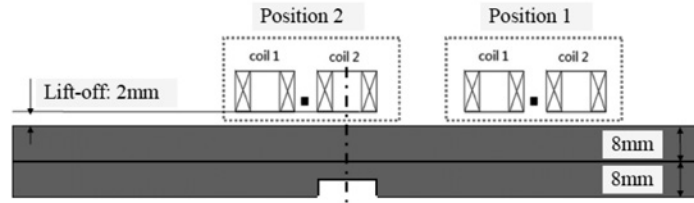
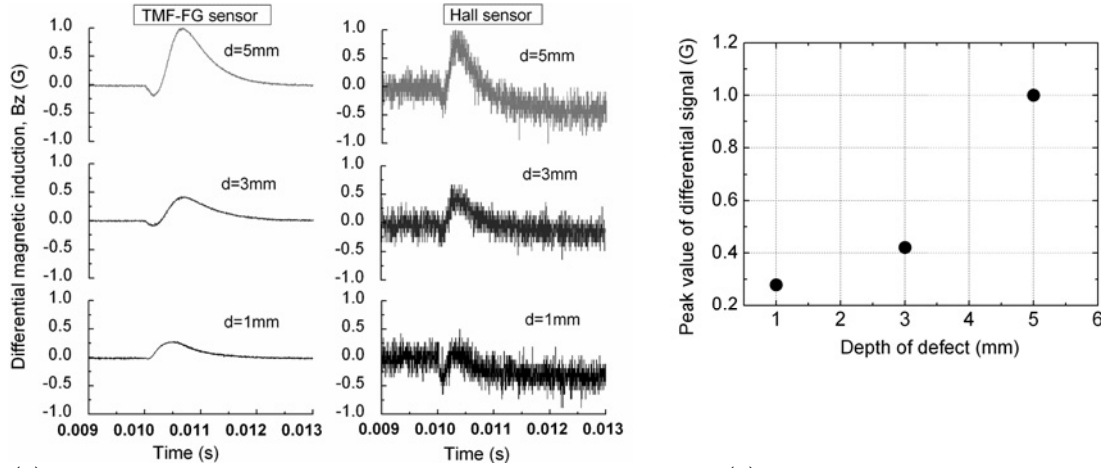


Fig. 11. Inspection condition

### 3.3. Experimental results and discussion

Figure 12(a) shows the results of differential signal (S2-S1) of the three specimens with different depths of slot defect using FG sensor and Hall sensor, respectively. The results show that FG sensor (under differential excitation mode) is much better than Hall sensor for small defect detection in thicker specimen because of the big noise level of Hall device. Figure 12(b) shows the relationship between pick value of the differential signal and the depth of defect. We can see that local wall-thinning in double layer pipes could be detected and different depth of defect has different peak value. This also lays a good foundation for the future quantitative work.



(a) Pick-up signal using FG sensor and Hall sensor (b) Relationship between peak value and depth of defect

Fig. 12. Pick up signal and relationship between signal and defect

#### (4) Inverse analysis for defect sizing of local wall-thinning

##### 4.1. Sizing of local wall thinning (width and depth) using the self-differential probe

Simulation was conducted using the developed simulator and the self-differential probe to detect the local wall thinning defect. Through analyzing the scanning signals and feature extracting from pulse response signals, it was found that the distance between the positive peak and the negative peak of the  $B_z$  (magnetic flux density in  $z$  direction) in scanning signals can be considered as a feature to quantify the width of defect (see Fig. 13), and the minimum time to peak of the differential  $B_x$  (magnetic flux density in  $x$  direction) can quantify the depth of defect (see Fig. 14).

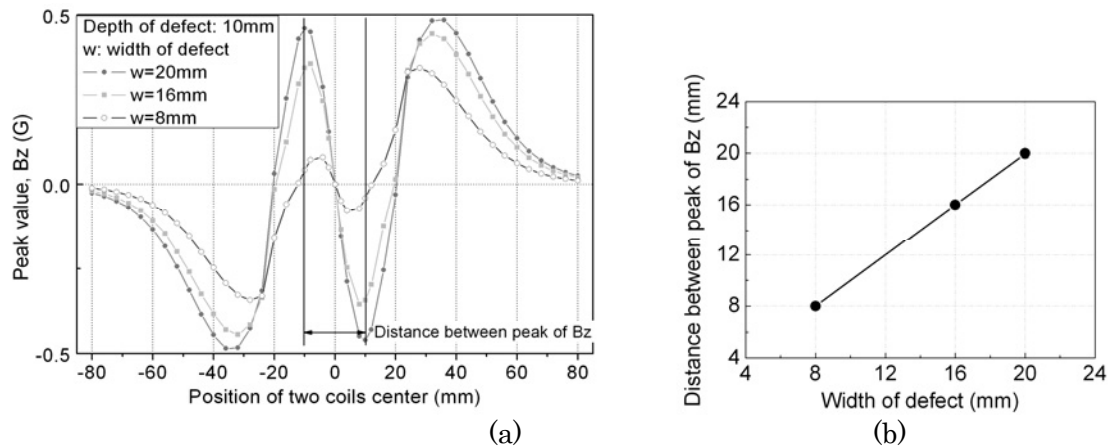


Fig. 13. (a). The peak value extracted from  $B_z$  of response signals of defect with different width (b). Relationship between width of defect and distance between peak of  $B_z$

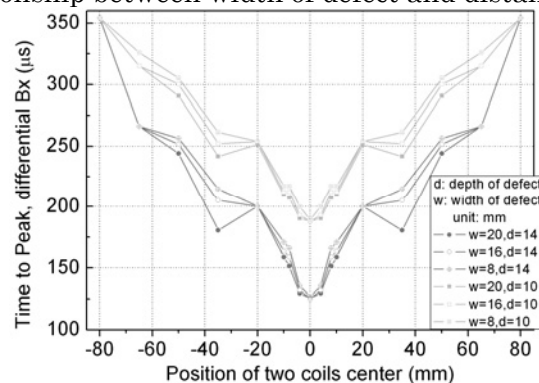


Fig. 14. The time to peak extracted from differential  $B_x$  of response signals of defect with the same depths (two groups)

4.2. The development of numerical code for inverse analysis of local wall thinning using PECT method is on the way. Features of peak value and peak time and area will be considered as the characteristics to conduct the defect sizing.

#### 平成22年度 総括

- (1) A very fast simulator was developed for signal prediction of pulsed eddy current testing method.
- (2) New and more stable feature was extracted for wall thinning evaluation.
- (3) A self-differential probe and high sensitivity magnetic sensor were employed for detection of local wall thinning in two-layer specimen.
- (4) Sizing of local wall thinning (width and depth) was quantitatively conducted. The development of numerical code for inverse analysis of local wall thinning using PECT method is on the way.

#### 次年度研究計画

- (1) Development of numerical code for inverse analysis of local wall thinning using PECT method.
- (2) Perform defect sizing using experimental data.
- (3) New probe development for defect detection in carbon steel specimen.

#### 研究業績

##### 【学術雑誌等への発表】

1. Shejuan Xie, Zhenmao Chen, Toshiyuki Takagi, and Tetsuya Uchimoto  
Efficient Numerical Solver for Simulation of Pulsed Eddy Current Testing Signals  
IEEE Transactions on Magnetics 2011 (投稿中).
2. Shejuan Xie, Zhenmao Chen and Toshiyuki Takagi  
Development of a novel fast solver for the direct current potential drop method and its verification with nondestructive testing of metallic foam

International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.33, Nos.3,4, pp. 1253–1260, (2010).

**【学会発表】**

**【国内】**

1. 日本非破壊検査協会 平成22年度 春季講演大会  
Detection and evaluation of local wall-thinning using pulsed ECT method  
口頭, 2010/05/25  
Shejuan Xie, Toshihiro Yamamoto, Toshiyuki Takagi and Tetsuya Uchimoto
2. 日本保全学会 第7回学術講演会  
Defects sizing using a pulsed eddy current testing method for local wall-thinning evaluation  
口頭, 2010/07/15  
Shejuan Xie, Toshiyuki Takagi and Tetsuya Uchimoto

**【国際】**

1. 2010 Annual ELyT Workshop  
Evaluation of pipe wall-thinning of nuclear power plants using pulsed eddy current testing method  
Shejuan Xie, Toshiyuki Takagi, Tetsuya Uchimoto and Takeshi Sato  
ポスター, 2010/03/15
2. The 15th International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation  
Pulsed ECT method for evaluation of pipe wall-thinning of nuclear power plants using magnetic Sensor  
Shejuan Xie, Toshihiro Yamamoto, Toshiyuki Takagi and Tetsuya Uchimoto  
口頭, 2010/6/14
3. Seventh International Conference on Flow Dynamics  
Development of efficient simulation solver for pulsed eddy current testing method  
Shejuan Xie, Toshiyuki Takagi, Tetsuya Uchimoto and Zhenmao Chen  
口頭とポスター, 2010/11/03
4. 学会発表予定  
The 16th International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation  
Quantitative non-destructive testing of local wall thinning defect based on an efficient simulator of pulsed eddy current testing signals  
Shejuan Xie, Toshiyuki Takagi, Tetsuya Uchimoto and Zhenmao Chen  
2011/03/10-12
5. 学会発表予定  
Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG 2011)  
Development of a Very Fast Simulator for Pulsed Eddy Current Testing Signals  
Shejuan Xie, Zhenmao Chen, Toshiyuki Takagi and Tetsuya Uchimoto  
2011/07/12-15
6. 学会発表予定  
Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG 2011)  
Reconstruction of Deep Stress Corrosion Cracks Using Signals of the Pulsed Eddy Current Testing  
Li Wang, Shejuan Xie, Zhenmao Chen, Yong li, Xiaowei Wang, Toshiyuki Takagi  
2011/07/12-15
7. 学会発表予定  
Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG 2011)  
Quantitative Non-destructive Testing of Metallic Foam Based on Direct Current Potential Drop Method  
Jing Zhang, Shejuan Xie and Zhenmao Chen  
2011/07/12-15



氏名 鄭 善鎬

所属 工学研究科化学工学専攻 博士後期課程2年

指導教員 未来科学技術共同研究センター 宮本 明教授

研究課題

自動車排ガス浄化装置の劣化防止に向けた吸着・拡散シミュレーション手法の開発

## 研究背景

最近、レアメタルが注目されている中、自動車排ガス浄化用触媒に用いる貴金属も深刻な状況にあるといえる。そのため、自動車排ガス浄化用触媒における貴金属使用量の低減は昔から問題視されている。しかし、排ガス浄化性能は貴金属の使用量に大きく依存するが、近年世界的な排ガス規制強化のため、貴金属使用量の低減はより難しくなっている。自動車排ガス規制強化に対応可能な低貴金属の触媒開発のためには触媒の低温酸化活性、耐熱性、耐硫黄被毒性、窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )のトラップ性能が重要である。これらの中で、本研究では耐硫黄被毒性に注目した。エンジンオイルの添加剤と燃料中に含まれている硫黄成分( $\text{SO}_2$ )が流れ、排ガス浄化装置の $\text{NO}_x$ トラップ材料に吸着すると $\text{NO}_x$ トラップ性能が劣る。 $\text{NO}_x$ トラップ性能が劣ると、貴金属表面上の $\text{NO}_x$ を窒素分子へと変換する還元性能が劣るため、 $\text{NO}_x$ トラップ性能は貴金属の有効利用に大きく依存するといえる。 $\text{SO}_2$ の $\text{NO}_x$ トラップ材料への吸着速度は貴金属と $\text{NO}_x$ トラップ材料を支持する金属酸化物担体への吸着速度に大きく依存する。なぜならば、貴金属粒子と $\text{NO}_x$ トラップ材料の粒子とくらべ、担体粒子の大きさと表面積が大きく、 $\text{NO}_x$ 分子が担体表面から拡散し $\text{NO}_x$ トラップ材料へ吸着するためである。すなわち、 $\text{SO}_2$ 分子が吸着しやすい担体は $\text{NO}_x$ トラップ材料の性能低下につながるといえる。しかしながら、 $\text{SO}_2$ 分子が吸着しにくい担体は耐硫黄被毒性能以外、耐熱性が悪いなどのトレードオフがあるため、複合酸化物担体の開発が必要不可欠である。複合酸化物担体の開発には、構成酸化物の割合など数多くの試行錯誤が必要となる。そのため、近年計算化学的アプローチが注目されているが、従来のアプローチは系を一つの浄化装置として取り扱い、担体粒子の大きさや空隙率などを局所的に取り扱うアプローチはほとんど行われていない。そこで私は、担体粒子の大きさ、比表面積、空隙率などのパラメータを考慮できるランダムなメソスケールモデルを使用して、 $\text{SO}_2$ 分子の細孔の拡散および担体表面吸着挙動を表すアプローチを開発し、複合酸化物開発に向け、各酸化物担体における $\text{SO}_2$ の拡散および吸着・脱離のシミュレーションを行った。

## 平成22年度 研究成果

$\text{SO}_2$ ガスの拡散を表すために、Fickの法則をCrank-Nicolsonスキームを用いて解いた。時間ステップと刻み幅は拡散数が安定条件を満たすように決定した。 $\text{SO}_2$ の吸着・脱離に関して、吸着は吸着速度定数、 $\text{SO}_2$ の流入量、吸着サイトの数に依存し、脱離は脱離速度定数、吸着している $\text{SO}_2$ 分子数に依存する。吸着サイトの数は、原子スケールにおける担体の表面モデルに $\text{SO}_2$ 分子が吸着したモデルを構築し、 $\text{SO}_2$ 分子同士の反発を考慮して面積あたりの吸着サイト数を決定した。

担体モデルとしては酸化アルミニウム( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、酸化チタニウム( $\text{TiO}_2$ )、酸化ジルコニウム( $\text{ZrO}_2$ )を作成した。モデルは、実験で合成されている各担体の質量あたりの表面積を再現するように作成した。作成したモデルの比表面積は $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ がおおよそ120, 50, 70  $\text{m}^2/\text{g}$ である。構造吸着速度定数に関しては、密度汎関数計算から $\text{SO}_2$ が $\text{ZrO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{TiO}_2$ 順で吸着しやすいという傾向が示され、吸着速度定数の大きさに反映した。吸着・脱離はそれぞれ正と負にして吸着量を表している。

拡散・吸着・脱離を表すには、メソスケールの担体粒子モデルのスキャンが必要である。モデルのスキャンのために、球状の担体粒子の中心座標と任意の1個のセル中心間距離を判定し、その距離が担体粒子の半径より小さい場合は固体相で、大きい場合は細孔として取り扱う。固体相と細孔相判定の際、セルの大きさを細かくすると精度が高いが、計算負荷のため適切なセルの大きさを決める必要がある。そのため、固体相と細孔のセルの割合がモデル作成の際に設定した空隙率と誤差がないようにセルの大きさを決定した。

$\text{SO}_2$ の分子は比較的低温で吸着しやすく、高温で脱離しやすい傾向がある。そのため、実際の排ガス浄化装置では $\text{SO}_2$ を脱離させるため、周期的にエンジンで燃料を過剰に噴射し、未燃炭化水素を酸化させることで、触媒の $600^\circ\text{C}$ 程度まで温度を上げ、 $\text{SO}_2$ を脱離させるプロセスがある。そこで、おおよそ $200^\circ\text{C}$ では吸着速度が大きく、 $600^\circ\text{C}$ では脱離速度が大きいことを想定してシミュレーションを行った。モデルの



横軸の片方を入り口とし、一定の量の $\text{SO}_2$ ガスが流入するため、ディリクレ境界条件を使用し、気体の $\text{SO}_2$ 密度を考慮して1番目のセルに一定の濃度を与えた。出口のところはノイマン境界条件を使用した。このように境界条件を決定し、得られた連立1次方程式についてclapackライブラリ関数を使用して濃度の時間変化を表した。

低温で $\text{SO}_2$ を流すと、 $\text{ZrO}_2$ でもっとも大きいサイト数あたりの $\text{SO}_2$ 吸着分子数が得られた。 $\text{Al}_2\text{O}_3$ で $\text{ZrO}_2$ よりは吸着分子数が少なく、 $\text{TiO}_2$ ではより吸着しない様子が見られた。 $\text{Al}_2\text{O}_3$ では他の担体とくらべ、表面積が大きく細孔サイズが大きいため拡散しやすい。吸着速度は拡散速に依存するが、 $\text{ZrO}_2$ は $\text{Al}_2\text{O}_3$ とくらべ重いため、比表面積は差があるものの、単位体積あたりの表面積はそれほど変わらない。そのため、原子スケールにおける吸着の強さの影響が大きいと考えられる。また、 $\text{TiO}_2$ は密度が $\text{Al}_2\text{O}_3$ とほぼ同様であるが、比表面積が小さく、細孔サイズが小さい。そのため、比較的拡散速が小さく、吸着速度が小さくなる。すなわち、 $\text{TiO}_2$ は原子スケールの吸着エネルギーとメソスケール構造両方の影響で $\text{SO}_2$ が吸着しにくいと考えられる。

## 平成22年度 総括

本研究では、自動車排ガス浄化用触媒の性能に大きく影響を及ぼすメソスケールのパラメータを考慮できるランダムなメソスケールモデルを使用して、 $\text{SO}_2$ 分子の細孔の拡散および担体表面吸着挙動を表す手法を開発した。ガス分子の吸着・脱離に関わるパラメータは原子スケールの計算手法の結果から反映することで、原子スケールの吸着のつよさとメソスケール構造の影響を比較することが可能となった。また、実験的研究からの担体の種類によって変化する耐 $\text{SO}_2$ 被毒性能の違いを再現することが可能となった。これに続いて、複合酸化物担体における耐 $\text{SO}_2$ 被毒性能の比較が可能である。

## 次年度研究計画

自動車排ガス触媒の低温酸化活性、耐熱性、耐硫黄被毒性、窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )のトラップ性能を評価するとトレードオフがあるため、複合酸化物の検討が必要である。そのため、今回の耐 $\text{SO}_2$ 被毒性能を調べたが、これと同時に、 $\text{NO}_x$ トラップ性能を評価するような手法の開発を行う。具体的には、構成酸化物の割合、メソ構造のパラメータ、 $\text{NO}_x$ トラップ性能、耐 $\text{SO}_2$ 被毒性能間の相関について調べ、最適な複合酸化物を評価する。そのためには、担体粒子と貴金属粒子と $\text{NO}_x$ トラップ材料の粒子が必要であるため、複数の成分の取り扱いが可能な手法の開発を行う。

近年の厳しい排ガス規制に対応するためには、炭化水素の低温酸化性能が重要である。低温酸化性能は貴金属の量に大きく依存するため、貴金属使用量低減問題に関わり、注目されている。低温酸化性能向上のためには、酸素吸蔵材料の役割が重要である、酸素吸蔵材料はおもに酸化セリウム( $\text{CeO}_2$ )で合成されているが、実際は $\text{CeO}_2$ - $\text{ZrO}_2$ が混合されている。これらの割合によって酸素吸蔵性能、耐熱性が変化するが、上記で述べたようにトレードオフがあるため、最適な $\text{CeO}_2$ - $\text{ZrO}_2$ の混合比を調べるために、メソスケールのモデルを作成し、酸素吸蔵能と炭化水素の酸化性能の評価する手法を開発する。また、実際希土類元素の添加により酸素吸蔵能や耐熱性などが大きく変化することが知られている。希土類元素の添加については局所的な影響を調べないとならない。そのため、原子スケールの結果のパラメータ化を行う。

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. An Elucidation of the interaction between Pt particles and  $\text{CeO}_2$  surfaces using tight-binding quantum chemistry method  
S. Jung · A. Suzuki · H. Tsuboi · N. Hatakeyama · A. Endou · H. Takaba · M. Kubo · A. Miyamoto S. Jung et al., Top. Catal., 53 (2010) 700.
2. S. JUNG et al, Large-scale Quantum Chemical Molecular dynamics Study on CO oxidation reaction on Precious Metal Surface, e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, 投稿中 (H22年5月にコメントに対する返信を提出),

## 【学会発表】

### 【国内】

1. 学会名:日本コンピュータ化学会  
題目: 触媒のメソ構造を考慮した3次元反応解析シミュレーション  
形式: 口頭 発表年月日: 2011年5月23日 (東京)
2. 学会名:触媒討論会  
題目: メソスケールモデルに基づく触媒反応シミュレーション  
形式: 口頭 発表年月日: 2011年9月17日 (山梨)

### 【国際】

1. 学会名:The Sixth Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology  
題目: A computational study on the vibrational property of CO molecules on a largemetallic surface (札幌)  
形式: ポスター 発表年月日: 2011年7月22日
2. 学会名: 3rd EuCheMS Chemistry Congress 2010  
題目: Atomistic Modeling of the Adsorption and Surface Reaction of Automotive Exhaust Gas on the Precious Metal Catalyst Surface (Nurnberg, Germany)  
形式: ポスター 発表年月日: 2011年8月31日
3. 学会名: 7<sup>th</sup> ICFD  
題目: A Muti Scale Simulation on the Purification of Automotive Emissions  
形式: ショートオラルとポスター 発表年月日: 2011年11月1日

## 【その他 新聞、雑誌等への記事掲載等】

1. 日本触媒学会の学術雑誌”触媒”のMAR. 2011 Vol.53 No. 2に掲載確定  
記事名: 大規模量子化学計算手法によるPt担持触媒の相互作用評価  
著者: 鄭 善鎬, 南雲 亮, 三浦隆治, 鈴木 愛, 坪井秀行, 畠山 望, 遠藤 明, 高羽洋充, 久保百司, 宮本 明

## 12.国際宇宙大学派遣学生の取り組みと実績

氏名 須藤 真琢



所属 工学研究科航空宇宙工学専攻 博士課程後期1年

指導教員 工学研究科航空宇宙工学専攻 永谷 圭司 准教授

研究課題

軟弱地盤における車輪パラメータを含む車輪駆動力モデルの構築

### 平成22年度 研究成果概要

#### 概要

平成22年度は、【A】軟弱地盤における車輪機構の走行性能に車輪幅/車輪径が及ぼす影響の評価、および【B】軟弱地盤における車輪機構の走行性能に車輪表面形状が及ぼす影響の評価を行った。論文業績としては、Aの研究報告をした(2)-1、(2)-3、Bの研究の一部を報告した(2)-2がある。さらに、現在、報告者の過去の研究成果およびA、Bに関連した報告として(1)-1を投稿中であり、Bに関連した(2)-4、(2)-5を発表予定である。

#### 研究背景

報告者の所属する研究グループでは、将来の月・惑星探査に向けた移動型探査ロボット(ローバ)の研究開発を行っている。惑星探査ローバは、月や惑星の表面を走行することで、周回軌道からの探査では入手困難である、詳細な地形情報・地質情報の獲得を目的としており、我が国の進める月面探査計画においても、その活躍が期待されている。

ローバの移動方式は、信頼性や耐久性の高い車輪型が最も一般的である。しかしながら、月や火星の表面の多くは、細かい砂で覆われており、さらにクレータの縁には、大きな斜面が多数存在する。このような環境下で車輪型ローバを用いた探査を行う場合、車輪が砂に埋もれてしまい、走行が困難になる。

これらの問題に対処するために、テラメカニクス(地盤と機械の相互関係を取り扱う学問)を基に、軟弱地盤上での車輪機構の走行性能に関する研究が行われてきた。しかしながら、これらの研究は、大型車両を対象として構築されたものであり、惑星ローバのような小型車両には、適用困難である。そのため、現実問題として、テラメカニクスに基づき、必要な走行性能に対する、ローバの車輪径や車輪幅の設定指針を得ることは困難であった。そこで、報告者は、惑星探査ローバの設計段階における新たな指針を与えるために、車輪機構の走行性能に車輪幅および車輪径が及ぼす影響の評価、および車輪表面形状が及ぼす影響の評価を行った。

#### 【A】軟弱地盤における車輪機構の走行性能に車輪幅/車輪径が及ぼす影響の評価

軟弱地盤における車輪機構の走行性能に車輪幅および車輪径が及ぼす影響を評価するために、斜面登坂実験に基づく車輪機構の走行性能解析を行った。そのために、車輪を交換することで、車輪パラメータを変更することが可能な2輪型ローバテストベッドを利用した。図1は、本研究室で開発した2輪型ローバテストベッドである。また、車輪として、車輪幅3種類×車輪径3種類の、合計9種類を製作した。本研究では、傾斜角を変更可能な本研究室内の砂場フィールドにおいて、このテストベッドによる走行実験を繰り返し行った。異なる傾斜角での車輪の沈下量ならびに、車輪の空転(スリップ)の様子を基に、車輪機構の走行性能に車輪幅および車輪径が及ぼす影響の評価を行った。

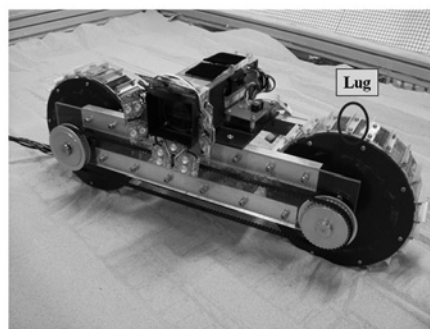


図1：2輪型ローバテストベッド

さらに、報告者が所属する研究室で開発された、テラメカニクスの車輪モデルを利用した軟弱地盤における移動ロボットの数値シミュレータを用いて、車輪機構の走行性能に車輪幅および車輪径が及ぼす影響を理

論的側面から評価した。

報告者は、上記に関して、(2)-1および(2)-3として発表した。(2)-1は、発表したi-SAIRAS 2010において高く評価され、Special Issue on Space Robotics in Journal of Field Roboticsへの投稿を推薦された。その結果、現在、(1)-1として、上記雑誌に投稿中であり、査読待ちの状態である。

### 【B】軟弱地盤における車輪機構の走行性能に車輪表面形状が及ぼす影響の評価

先述した研究テーマにおける、実験結果とテラメカニクスの理論に基づいた数値シミュレーション結果の比較から、車輪表面に取り付けた「ラグ」と呼ばれる突起(図1参照)が、車輪機構の走行性能に及ぼす影響は、予想以上に大きいことが分かった。そこで、軟弱地盤における車輪機構の走行性能に車輪表面形状(ラグ)が及ぼす影響の評価を行うこととした。この研究は、以下の2つの要素研究に分割される。

#### ① 車輪機構の走行性能にラグの本数が及ぼす影響

車輪機構の走行性能にラグの本数が及ぼす影響を評価するために、けん引実験に基づく車輪機構の走行性能解析を行った。けん引実験とは、移動ロボットに重りを引っ張りながら走行させる実験である。先述した2輪型ローバテストベッドを利用し、車輪表面に取り付けるラグの本数を変化させながら走行実験を繰り返し行い、異なるけん引重量における車輪のスリップの様子を基に、車輪機構の走行性能にラグの本数が及ぼす影響の評価を行った。

#### ② 車輪機構の走行性能における一本のラグが生み出すけん引力の効果

先述したけん引実験において、少ない本数のラグを用いた走行実験では、2輪型ローバテストベッドは、前進とスリップを交互に繰り返す、という興味深い現象を観察した。そこで、車輪機構の走行性能における一本のラグが生み出すけん引力の効果を評価するために、少ない本数のラグを取り付けた車輪を用い、斜面走行実験に基づく走行性能解析を行った。先述した2輪型ローバテストベッドを利用し、0本、あるいは3本のラグを取り付けた車輪を用いて走行実験を行い、車輪に働く垂直応力、ならびに車体の並進移動速度変化を基に、車輪機構の走行性能における一本のラグが生み出すけん引力の効果の評価を行った。

報告者は、上記に関して、(2)-2として発表した。さらに、報告者の研究グループでは、上記研究に関連した研究が進められており、(2)-4および(2)-5として発表予定である。

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. Masataku Sutoh, Junya Yusa, Tsuyoshi Ito, Keiji Nagatani, Kazuya Yoshida, "Traveling Performance Evaluation of Planetary Rovers on Loose Soil", Journal of Field Robotics Special Issue: Special Issue on Space Robotics, 2011 年 5 月 (投稿中)

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010、須藤真琢、遊佐淳也、永谷圭司、吉田和哉、"軟弱地盤における車輪機構の走行性能に車輪パラメータが及ぼす影響の評価"、ポスター発表、2010 年 6 月
2. 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011、伊藤毅、須藤真琢、永谷圭司、吉田和哉、"軟弱地盤での大幅な走行性能向上を目指した大径車輪型ロボットの開発とフィールド実験"、ポスター発表、2011 年 5 月 (発表予定)
3. 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011、石川大樹、砂長麻美、須藤真琢、永谷圭司、吉田和哉、"スポーク車輪を有する軟弱地盤移動ロボットの構築と走行性能の評価"、ポスター発表、2011 年 5 月 (発表予定)

#### 【国際】

1. The 10<sup>th</sup> International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space (i-SAIRAS 2010), Masataku Sutoh, Junya Yusa, Keiji Nagatani, Kazuya Yoshida, "Traveling Performance Evaluation for Planetary Rovers on Week Soil", 口頭発表, 2010 年 9 月
2. 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Masataku Sutoh, Tsuyoshi Ito, Keiji Nagatani, Kazuya Yoshida, "Influence Evaluation of Wheel Surface Profile on Traversability of Planetary Rovers", 口頭発表, 2010 年 12 月



### 13. 研究支援リサーチ・アシスタントの取り組みと実績

氏名 河 宗秀



所属 工学研究科航空宇宙工学専攻 博士課程後期3年

指導教員 流体科学研究所 大林 茂教授

研究課題

低抵抗ピックアップトラック開発のための空力特性解析

#### 平成22年度 研究成果概要

The drag reduction of a pickup truck by a rear downward flap was examined computationally and experimentally. The rear flap was installed on the rear edge of the roof to secure load performance of the bed. The flap was designed such that it can move downward in order to control the bed flow; therefore the bed flow was not attached to the tailgate. The rear downward flap was effective in reducing the drag coefficient through an increase in the flap length and the downward angle. The longer flap increased the cabin back surface pressure coefficient, and displaced the attachment of the bed flow in the streamwise direction, which in turn reduced the size of the reverse flow in the wake. The drag coefficient was reduced further with an increase in the downward angle. The downward flap also increased the cabin back surface pressure coefficient, causing the bed flow to get directed toward the tailgate so that the attachment of the bed flow to the tailgate was eliminated. The surface flow on the tailgate was not dispersed, the power spectrum density (PSD) in the wake did not consist of a single dominant peak, and the PSD variation became smaller. Therefore, the drag coefficient was reduced even though the reverse flow in the wake was enlarged. The drag reduction obtained by using a flap length of  $0.3H$  and a downward angle of  $12^\circ$  were 0.028 (CFD, 5.6% improvement over that achieved with the basic shape) and 0.018 (Exp., 3.6% improvement).

However, the drag coefficient was not reduced further when the downward angle increased to more than  $12^\circ$ . The bed flow descended further within the tailgate and increased the pressure inside the tailgate; this increased the difference between the pressure within and that outside the tailgate, leading to an increase in the drag coefficient at the tailgate. Moreover, the pressure field above the downward flap was lowered due to the expansion of the flow channel, leading to an increase in the drag coefficient at the cabin body. Hence, the total drag coefficient increased despite the higher cabin back surface pressure coefficient.

In conclusion, the rear downward flap of a pickup truck plays a significant role in reducing the drag coefficient and therefore should be designed at the optimum downward angle to maximize the drag reduction.

#### 研究業績

##### 【学術雑誌等への発表】

1. **Jongsoo Ha**, Shinkyu Jeong, and Shigeru Obayashi “Drag Reduction of a Pickup Truck by a Rear Downward Flap”, *International Journal of Automotive Technology* (accepted)
2. **Jongsoo Ha**, Shinkyu Jeong, and Shigeru Obayashi “Flow Characteristics of a Pickup Truck with Regard to the Bed Geometry Variation”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D, Journal of Automobile Engineering*, Vol.224, pp.881-891, 2010

##### 【学会発表】

##### 【国際】

1. **Jongsoo Ha**, Shinkyu Jeong, and Shigeru Obayashi “Investigation of the Bed and Rear Flap Variation for a Low-Drag Pickup Truck using Design of Experiments,” *SAE 2010 World Congress*, SAE technical paper 2010-01-0122, Detroit, USA, April, 2010



氏名 小水内 俊介

所属 工学研究科航空宇宙工学専攻 博士課程後期2年

指導教員 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 内山 勝教授

研究課題

ヒューマノイドロボットの軟弱地面上の歩行

## 平成22年度 研究成果概要

本研究では砂のような軟弱地面における二脚ロボットの運用を目指している。ヒューマノイドロボットは、過酷な環境のなかで人間の代わりに働くことが期待されてきた(図1)。しかし、(ヒューマノイドロボットを含む)二脚ロボットの歩行に関するこれまでの研究は固い床の上が前提とされていた。軟弱地面における歩行技術を開発するためには、足と地面との力学関係をモデル化することが重要である。また、等身大ロボットの歩行技術開発における安全性や効率性の観点から、軟弱地面上の歩行を模擬できるシミュレータの開発が望まれる。以上の点を含めて図2に示すような流れで研究を行う。

本年度は、第3段階の「シミュレータの構築」まで研究を進めた。これは当初の計画通りの進捗状況である。以下で、個別の成果について報告する。

### 【成果1】力学モデルの構築

軟弱地面における特徴的な現象として、「沈下」と「滑り」が挙げられる。ロボットが静的に砂地に立っている場合には沈下のみが生じ、歩行などの動作中には沈下とともに滑りを伴う。また、滑りによって沈下量が増えるため、全体の沈下量は静的な沈下量と滑りによる沈下量の総和として表わされる。ロボットの運動状態に対する沈下量とその時の接地反力の関係を定式化した。

この成果は、2010年の日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会において発表した。



図1 ヒューマノイドロボットによる作業の例

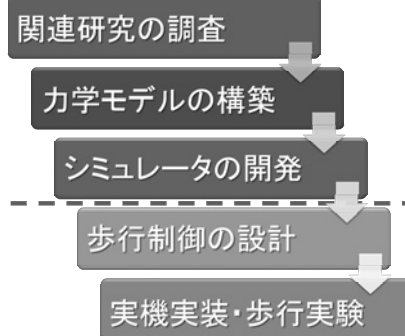


図2 研究の流れ

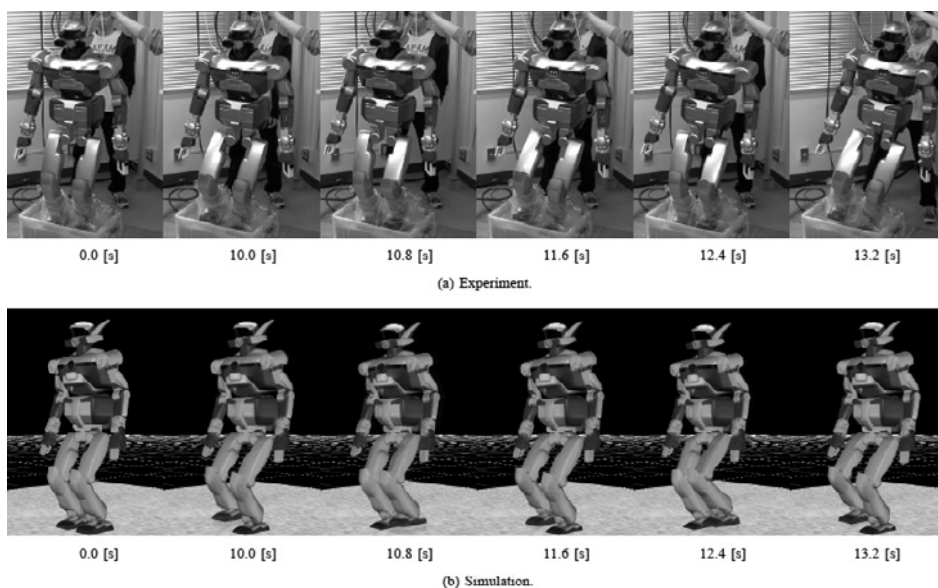


図4 砂地における足踏み動作

### 【成果2】パラメータの推定

力学モデルには、地盤材料と足部形状によって決まるパラメータが含まれる。このパラメータは実験的に推定する必要がある。そのため、本研究では図3に示すような試験装置を製作した。砂箱には歩行実験で用いる砂を入れている。砂の上にロボットの足と同じサイズの平板を置き、その上に重りを置くことで、荷重－沈下特性を計測することができる。さらに、載荷状態で平板を水平に滑らせることで、荷重－滑り－沈下の関係も計測することができる。この実験データを分析することで、必要なパラメータを全て入手することができた。

この成果の一部は、2010年のInternational Conference on Flow Dynamicsにおいて発表した。

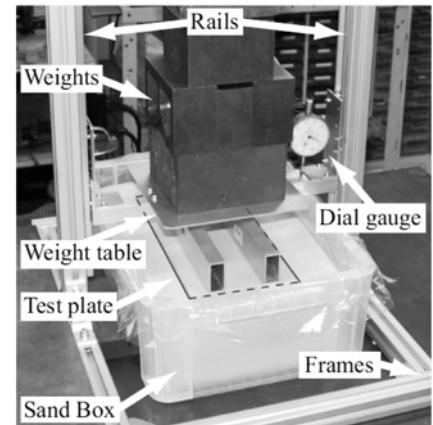


図3 沈下特性計測のための実験装置

### 【成果3】シミュレータの開発

力学モデルから求められた接地反力および沈下量を動力学シミュレータに与えることで、砂地におけるロボットの運動シミュレーションを行った。当初、沈下量計算の実装に困難があり、適切な計算結果が得られない問題があった。現在は簡単化のため沈下のみを考慮しており、現実的な沈下現象を再現することができた。しかし、図4に示すようにシミュレーションでは実験で生じた転倒が再現されていない。これは、滑りの影響も大きいためと考えられ、滑りの実装も進めている。

この成果は、2010年の日本ロボット学会学術講演会やIEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2010) で口頭発表し、SII2010ではBest Paper Award Finalistに選ばれた。

## 研究業績

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. 小水内俊介, 近野敦, 安孫子聡子, 内山勝, “2 脚ロボットの軟弱地面における接地力学解析”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2010/6/16, ポスター発表.
2. 野村勇樹, 小水内俊介, 菊地隆浩, 近野敦, 内山勝, “RT コンポーネントを活用したロボットサービスの実現例”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2010/6/16, ポスター発表.
3. 小水内俊介, 近野敦, 安孫子聡子, 内山勝, “2 脚ロボットの軟弱地面における動作シミュレータの開発”, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会, 2010/9/23, 口頭発表.

#### 【国際】

1. Shunsuke Komizunai, Atsushi Konno, Satoko Abiko and Masaru Uchiyama, “Biped walking of a humanoid robot on sand,” Seventh International Conference on Flow Dynamics, 2010/11/2, Poster.
2. Shunsuke Komizunai, Atsushi Konno, Satoko Abiko and Masaru Uchiyama, “Development of a Static Sinkage Model for a Biped Robot on Loose Soil,” IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 2010/12/21, Oral.

### 【受賞等】

1. Best Paper Award Finalist, IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 2010/12/22.



氏名 岡田 佳都

所属 工学研究科航空宇宙工学専攻 博士課程後期2年

指導教員 工学研究科航空宇宙工学専攻 永谷 圭司 准教授

研究課題

流れ解析を応用した動作計画と高精度位置推定による  
クローラ型ロボットの不整地走行

## 平成22年度 研究成果概要

22年度は21年度に引き続き、【A】複数台の測域センサを用いた逐次路面形状計測に基づく可動式補助クローラの自律制御および、この自律制御を中核とする【B】クローラ型ロボットの不整地走行支援システムの開発を行った。論文実績としては、Aを搭載したロボット群による不整地探査について報告した①、Bについて報告した③および④、それらのまとめにあたる雑誌論文②となった。なお、①および②は、22年度1月現在投稿中である。

## 研究背景

報告者の所属する研究グループでは、地震やテロなどの被災地において、遠隔操作により被災者の探索や周辺環境の把握を行う災害対応ロボットの研究開発を行ってきた。この種のロボットの活用により、救助隊員による救助活動を円滑化し、救助隊員と被災者の二次被災リスクを最小化することが期待されている。

災害対応ロボットには、倒壊現場における高い不整地走破性能が求められる。そのため、これを実現するクローラを移動機構として採用した上で、メインクローラだけでは乗り越えられない高さの段差の踏破や、移動時の安定性確保を目的とした可動式の補助クローラ（サブクローラ）を搭載したものが主流である。報告者の研究グループでも、このサブクローラを有するクローラ型ロボット（図1）を開発し、研究を進めてきた。しかしその過程で、サブクローラの搭載によりロボットの動作自由度が増加するため、操縦に高度な熟練が必要となることが、実験協力を得た現役消防隊員からの意見調査や、駅地下街や防災訓練施設での実証実験などを通してわかってきた。

そこで報告者は、この問題の解決策として、煩雑なサブクローラの操縦を代替する自律制御を中核とする不整地走行支援システムの開発を行ってきた。このシステムは、リアルタイムに観測したロボット周辺の路面形状に基づいて、サブクローラの動作を自律生成することの特徴としている。

## 3台の測域センサを用いた逐次路面形状計測に基づくサブクローラの自律制御

報告者のグループが開発中のクローラ型ロボット Kenafを図1に示す。Kenafは対向型のメインクローラに覆われた本体の四隅にサブクローラを搭載した6自由度のクローラ型ロボットである。考案したサブクローラの自律制御手法は、ロボット本体左右に固定した3台の測域センサ（レーザ距離センサ）により獲得できるロボット周囲の路面形状をもとにサブクローラの自律動作を生成する。

手法を構築するにあたり、報告者は次の3点をサブクローラの自律制御により実現することを目指した。

1. ロボット下部の路面の平均的な傾斜に合わせてロボット本体の姿勢を保つ
2. サブクローラを含めたクローラ部をなるべく多く接地させる
3. 転倒の危険がある場合、サブクローラの動作によりロボット本体の姿勢を水平に近づけ、転倒を回避する

これらの制御戦略は熟練操作者のサブクローラ操作の傾向をもとにしたものである。

この手法では、前部の測域センサにより、ロボットが直後に通過する路面の形状を獲得し、これを形状獲得時のロボットの位置姿勢とともに蓄積しておく。そして、この形状データを直近の走行にさかのぼって統合することで、現在のロボット直下の三次元路面形状を推定する。さらに、このロボッ

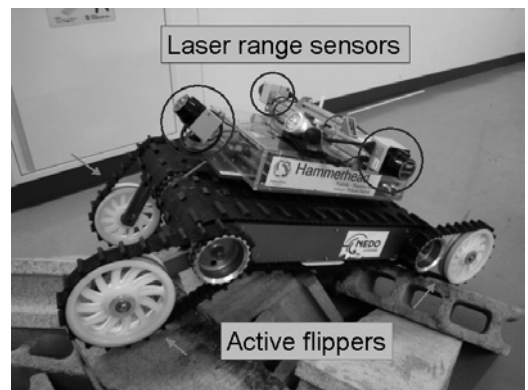


図1：クローラ型ロボットKenaf



ト直下の路面形状および左右の測域センサにより獲得できるサブクローラ付近の路面形状を勘案し、安定な不整地走行を実現するサブクローラ動作を生成する。

報告者はこの成果を、③および④として発表した。特に③は発表したIROS10においてIROS RoboCup Best Paper Awardの最終候補となるなど、国際的に高い評価を得た。また、これらの成果を雑誌論文として②にまとめており、近日中に発表予定である。

#### サブクローラの自律制御を中核とする クローラ型ロボットの不整地走行支援システム

報告者は、開発したサブクローラの自律制御をメインクローラのマニュアル制御と統合し、クローラ型ロボットの不整地走行支援システムとして、前述のKenafに実装した。この操縦システムを用いた走行実験についても③および④の中で報告しており、このシステムにより、未熟な操作者でも熟練操作者による完全マニュアル操作と遜色ない安定な不整地走行を実現できることを確認した。

また、サブクローラの自律制御の応用のひとつとして、完全自律型ロボットへの利用が考えられる。すなわち、ロボット自らが自律的に走行経路を計画し、その経路上を走行するようメインクローラを制御するのと並行して、サブクローラについても上記手法を用いて自律動作させるのである。このようにして構築した完全自律型のロボットについても①の中で報告しており、近日中に発表予定である。

### 研究業績

#### 【学術雑誌等への発表】

1. K. Nagatani, Y. Okada, N. Tokunaga, K. Yoshida, S. Kiribayashi, K. Ohno, E. Takeuchi, S. Tadokoro, H. Akiyama, I. Noda, T. Yoshida, and E. Koyanagi, "Multi-Robot Exploration for Search and Rescue Missions: A Report on Map Building in RoboCupRescue 2009," Journal of Field Robotics (投稿中)
2. Y. Okada, K. Nagatani, K. Yoshida, S. Tadokoro, T. Yoshida, and E. Koyanagi, "Shared Autonomy System for Traversing and Turning Tracked Vehicles on Rough Terrain Based on Continuous Three-Dimensional Terrain Scanning," Journal of Field Robotics (投稿中)

#### 【学会発表】

##### 【国際】

1. Y. Okada, K. Nagatani, K. Yoshida, T. Yoshida, and E. Koyanagi, "Shared Autonomy System for Tracked Vehicles to Traverse Rough Terrain Based on Continuous Three-Dimensional Terrain Scanning," 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (10年10月, 口頭, 査読有)
2. Y. Okada, K. Nagatani, K. Yoshida, T. Yoshida, and E. Koyanagi, "Shared Autonomy System for Turning Tracked Vehicles on Rough Terrain Using Real-Time Terrain Scanning," 2010 International Conference on Advanced Mechatronics (10年10月, 口頭, 査読有)

#### 【受賞等】

IROS RoboCup Best Paper Award Finalist, RoboCup Confederation, 10年10月 (実績③に対して)



氏名 加藤 博司

所属 工学研究科航空宇宙工学専攻 博士課程後期1年

指導教員 流体科学研究所 大林 茂教授

研究課題

気象観測値を利用した後方乱気流の挙動把握／EFD/CFD融合シミュレーション技術に関する研究

## 平成22年度 研究成果概要

### 気象観測値を利用した後方乱気流の挙動把握

飛行中の航空機後方には、後方乱気流と呼ばれる2つの渦状の気流が発生し、これは後続航空機にとって非常に危険であることが広く認識されている。また、後方乱気流は離発着時の航空機後方で最も強くなることが知られており、現在、国際民間航空機関（ICAO）によって離発着にはある一定の間隔が定められている。しかし、今後20年の間に航空輸送量は約2.5倍に増加することが予想されておりこの離発着制限を緩和することが求められている。効率的な離発着間隔を設定するためには、後方乱気流の挙動を把握することが重要である。後方乱気流に関する詳細な情報を得るために、本研究では、特定の気象条件下での後方乱気流管制間隔の短縮化を目指し、気象因子と後方乱気流の移流指標との相関関係の把握を目指した。そのために、本研究室で2006年度から継続的に行われてきた後方乱気流の移流データをデータベースとして整理した。そして、整理された後方乱気流データベースに対しデータマイニングを実施し、以下の影響因子を特定した。

Table 1後方乱気流データベース内訳

Aircraft	Number of data
Boeing 767-300	237
Boeing 737-400/500/700/800	154
Airbus 319/320	124
MD-81/90	133

Table 2 後方乱気流移流データベースから得られた観測因子・気象因子との相関関係

影響因子	効果
風速	風速が小 → 水平移動距離が小
温度	温度が低 → 垂直移動距離が大
機種	機種が小 → 水平移動距離が小、滞留時間が小
機種・風速	機種が小、風速が大 → 水平移動距離が大
風速・風向	風速が大、風向が垂直 → 水平移動距離が大
機種・初期高度	機種が大、初期高さが大 → 滞留時間が小

### EFD/CFD融合シミュレーション技術に関する研究

航空分野では、航空機設計の効率化のためにシミュレーション技術「CFD」の役割は非常に大きい。これまで、航空分野においてCFD技術は目覚ましい発展を遂げ、複雑形状でも高精度な解析が可能になりつつある。しかし、航空機周りの複雑な現象（非定常、剥離、音響など）の解析においては、現在でもCFDの精度は満足できるものではない。これまで、航空分野において、CFDの高精度化は、数値アルゴリズムの開発に重きが置かれてきた。そのため、他分野のシミュレーション技術と比較しても、極めて高精度な解析手法が数多く提案されている。また、もう一方で、シミュレーションの予測精度を上げる方法として、実験値や観測値を取り込むことが考えられる。この考え方は、1990年代より気象海洋の分野から発展を遂げ、このための統計数理的な方法が「データ同化」と呼ばれているものである。現在、非定常、剥離、音響解析などにCFDの興味が移りつつある中、CFDの予測精度を向上させる方法として、これまで同様に、数値アルゴリズムの開発も必須の課題であると思われるが、実験とCFDを融合した解

析手法も考える必要があると期待される。本年度は、その導入段階として、過去に提案されている「ハイブリッド風洞」に対してデータ同化手法であるアンサンブルカルマンフィルターを航空CFDに適用し、その有効性の検証を行ってきた。結果として、アンサンブルカルマンフィルターにより実験値をシミュレーションにフィードバックさせることにより数値シミュレーションの解析精度が向上することを確認し、その有効性を証明できた。

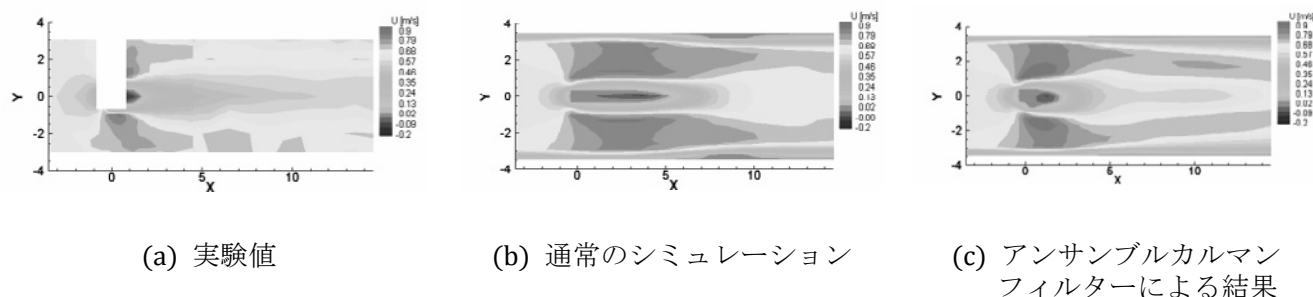


Fig. 1 ハイブリッド風洞 平均流速成分 $u$ の分布

## 研究業績

### 【学会発表】

#### 【国内】

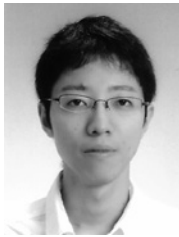
1. ○加藤博司、大林茂、山田泉、奥野善則、「気象因子から得られる 後方乱気流の移流・減衰評価に関する取り組み」、『第41期年会講演会』、東京大学 山上会館、2010年4月。
2. ○加藤博司、大林茂、山田泉、奥野善則、「気象予測モデルとCFDとのマルチワンウェイネスティングによる後方乱気流シミュレーション」、『第42回流体力学講演会／航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2010』、2A9、米子コンベンションセンターBiG SHiP、2010年6月。
3. ○加藤博司、「航空CFDへのデータ同化の適用 一後方乱気流への適用例と次世代動的風洞開発に向けて一」、『データ同化セミナー』、統計数理研究所、立川、2010年7月。
4. ○杉浦正彦、又吉直樹、加藤博司、大林茂、山田泉、「気象条件を考慮した後方乱気流の確率的挙動予測」、『第48回飛行機シンポジウム』、3A9、静岡コンベンションセンターグランシップ、2010年11月。
5. ○大林茂、加藤博司、「アンサンブルカルマンフィルターによるハイブリッド風洞の試み」、『平成22年度航空宇宙空力班シンポジウム』、L13、鬼怒川温泉ホテル、2011年1月。
6. ○加藤博司、大林茂「アンサンブルカルマンフィルタの角柱風洞実験への適用」、『第60回理論応用力学講演会』、東京工業大学大岡山キャンパス、2011年3月（発表予定）。

#### 【国際】

1. ○Hiroshi Kato, Shigeru Obayashi, Izumi Yamada, Yoshinori Okuno6, "Evaluation of Advection and Decay Process for Wake Vortices Based on Meteorological Factors," The 5th Tohoku University-Seoul National University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, Sendai, Japan, June, 2010.
2. ○Hiroshi Kato, Shigeru Obayashi, Masahiro Kudo, "Data Mining for the Advection Database of Wake Vortices," 2nd AIAA Atmospheric and Space Environments, Toronto, Ontario, Canada, August, 2010.
3. ○Hiroshi Kato, Shigeru Obayashi, "Integration of Experiment and Numerical Simulation based on Ensemble Kalman Filter," Seventh International Conference of Flow Dynamics, Sendai, Japan, November, 2010.

### 【受賞等】

日本航空宇宙学会 第41期年会講演会 学生優秀講演賞受賞、2010年4月。



氏名 大木 健

所属 工学研究科航空宇宙工学専攻 博士課程後期1年

指導教員 工学研究科航空宇宙工学専攻 永谷 圭司准教授

研究課題

移動ロボットによる効率的かつ自律的な大域屋外不整地未知環境探索

## 平成22年度 研究成果概要

平成22年度は、以下の四項目について研究を行った。以下、それぞれ個別に概要を述べる。

### 1.1 移動障害物の行動パターンを考慮した移動ロボットの障害物回避動作の生成

災害発生時に、災害現場の情報を収集するために、レスキューロボットと呼ばれる不整地走行が可能な移動ロボットの実現が求められている(図1)。レスキューロボットの実現には、センシング技術や通信技術など、多くの要素技術を確立・統合する必要があるが、とりわけ、ロボットを現在地から目的地へと安全かつ自律的に誘導するナビゲーション技術は、最も重要かつ難しい技術の一つである。本研究では、地下街でテロ災害が発生し、被災者が災害現場から避難を開始する一方、被災現場へレスキューロボットが急行する、というシナリオを想定し、その状況で求められるナビゲーション手法の提案・評価を行った。具体的には、対象環境を平坦な地下街通路とし、一方から被災者が、他方からロボットが向かい合う環境で、相互の安全なすれ違いを実現することを目的とした。この目的を達成するためには、移動する複数の人を回避する、移動障害物回避技術が必要である。

従来の移動障害物回避では、移動障害物は過去の動作を継続することを仮定して障害物の未来位置を予測し、それを回避する、という手法が主流であった。しかし、本研究で想定する災害環境においては、その仮定は妥当ではない。そこで、本研究では、心理学分野などで用いられている心理的な自己空間、パーソナルスペースという概念に着目した。人は、自身のパーソナルスペースを侵害されると不快に感じ、その状態を脱するために回避行動を取るという仮説が報告されている。そこで、本研究ではこの仮説を用いて複数の人の未来位置を推定し、それらをすべて回避する経路を計画する手法を提案した。筆者が開発した移動ロボットシミュレータを用いて、提案手法を仮想環境のレスキューロボットに実装し、人に見立てた複数の移動障害物を回避するシミュレーション実験を行い、提案手法の有効性を確認した。(後述の研究業績[3])。

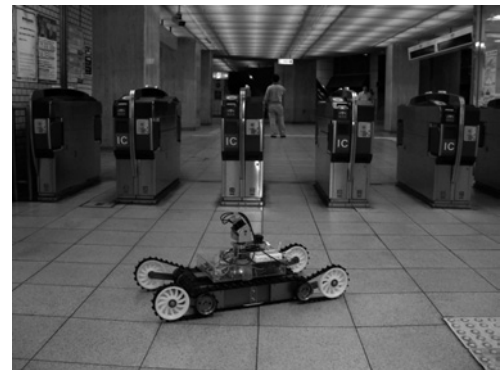


図1 レスキューロボット

### 1.2 姿勢変動機動の不安定性を考慮した移動ロボットのための安全な経路計画

本研究も、1.1項で述べたレスキューロボットの実現を目指した研究である。1.1項では、2次元平面の移動障害物回避に焦点を当てて研究を行ったのに対し、本研究では、瓦礫などの不整地を含む地形において安全かつ自律的なナビゲーションを実現することを目指している。レスキューロボットを目視しながら、或いは、搭載カメラの映像を見ながら、瓦礫などの不整地上でロボットを遠隔操縦させることは、熟練した操縦者であれば可能であるが、これを自律的に行った例は、実用レベルでは報告されていない。本研究では、レスキューロボットの熟練操縦者を観察し、ロボットの姿勢がロール角方向に変動する機動を避けるように熟練操縦者が経路計画を行っているという仮説を立て、この動作戦略に基づく経路計画アルゴリズムを提案した。移動ロボットシミュレータ上に提案手法を実装し、シミュレーション実験を行った。提案手法を評価するために、ロボットの走行安定性を定量的に表す評価関数を新たに提案し、既存手法との比較・検討を行い、提案手法の有効性を検証した。(研究業績[1])

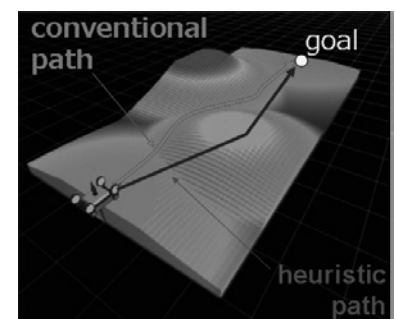


図2 3次元経路計画



### 1.3 詳細な環境情報を含まないトポロジーマップによる大域ナビゲーション

筆者の所属研究室では、これまで、屋外探査ロボット研究の一環として、移動ロボットによる屋外遊歩道の自律走行を目指すロボットチャレンジ「つくばチャレンジ」に3年前から参加してきた。本研究では、あたかも人に「二ブロック進んで、右に曲がって」と伝えるように、正確な移動距離や方位を必要としないナビゲーション手法を提案・実装し、つくば市の遊歩道という実環境での走行実験によって、その有効性を検証した。（研究業績[4][5]）

### 1.4 マニピュレータを搭載した屋外不整地移動ロボットの開発

屋外不整地において、任意の地点に対するマニピュレーションが可能な不整地移動ロボットマニピュレータとして実用レベルで報告された例は存在していない。筆者は、マニピュレータを搭載可能な屋外不整地移動ロボット（図3）を開発し、屋外環境でセンシング機器を自律的に設置する動作の実現を目的とした研究を行った。（研究業績[6]）なお、上記の1.2項および1.3項の研究を進める際にも、本ロボットを使用した。



図3 開発した不整地移動ロボット

## 研究業績

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. 大木健, 佐藤毅一, 山内元貴, 永谷圭司, 東北大学永谷研のつくばチャレンジ参加報告 -トポロジーマップによる大域ナビゲーション-, つくばチャレンジ開催記念シンポジウム2011, A-10, (2011-1)
2. 永谷圭司, 大木健, 佐藤毅一, 山内元貴, 東北大学永谷研のつくばチャレンジへの取り組み -詳細な環境情報を含まないトポロジーマップによる大域ナビゲーション-, 第11回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 論文集, (2010-12)
3. 佐藤毅一, 大木健, 永谷圭司, 吉田和哉, センシング機器の地中設置を目的とした自律不整地移動マニピュレータの開発, 第11回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 論文集, (2010-12)

#### 【国際】

1. T. Ohki, K. Nagatani, and K. Yoshida, "Safety Path Planning for Mobile Robot on Rough Terrain Considering Instability of Attitude Maneuver," in Proc. of 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, (2010-12) （査読有り, 口頭発表）
2. T. Ohki, K. Nagatani, and K. Yoshida, "Collision Avoidance for Mobile Robot in Consideration with Motion Pattern of Moving Obstacles," in Proc. of The Seventh International Conference on Flow Dynamics, (2010-11) （査読無し, 口頭・ポスター発表）
3. T. Ohki, K. Nagatani, and K. Yoshida, "Collision avoidance method for mobile robot considering motion and personal spaces of evacuees," in Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1819-1824, (2010-10) （査読有り, 口頭発表）

### 【その他 新聞、雑誌等への記事掲載など】

○サイエンスカフェin松江「食卓から始まるロボットワールド」講師, 島根県松江市カラコロ工房, (2010/12)

- ・「しまね観光ナビ」WEBに掲載 <http://www.kankou-shimane.com/ja/event/detail/770?direct=attention>
- ・「まいふれ 松江のイベント情報」WEBに掲載 <http://matsue.mypl.net/event/00000062486/>
- ・山陰CATV, FM山陰にて放送



氏名 落合 直哉

所属 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 博士課程後期3年

指導教員 流体科学研究所 井小萩 利明教授

研究課題

キャビテーション壊食の数値予測に関する研究

## 平成22年度 研究成果概要

キャビテーション壊食は、加速して圧力の低下した液体流れ中で発生した気泡が、圧力の回復する領域で激しく崩壊するために生じる現象である。キャビテーション発生状態で流体機器を長時間運転すると、気泡の崩壊が複数回作用した結果として、流体機器が破損するような重大な問題となるため、キャビテーション壊食の予測手法の発展が望まれている。

上記のような特徴のために、キャビテーション壊食の基本的なメカニズムを知るためには、単一気泡崩壊のメカニズムについて知ることが重要であると考えられる。単一気泡に関する実験的な研究から、壊食は、主に崩壊・再膨張時の気泡が放出する圧力波や、壁面近傍で非球状に崩壊する気泡が誘起するマイクロジェットが原因であると言われている。また、気泡の挙動が壁面からの距離に大きく左右されることや、第一崩壊のみならず第二崩壊も壊食に寄与していることなどが報告されており、単一気泡崩壊による壊食メカニズムについても詳細なことはいまだ不明な部分が多い。そこで、気泡崩壊時の高圧発生メカニズムの解明のため、また、キャビテーション壊食の数値予測発展のための知見を得るために、壁面近傍での非球状気泡崩壊と、それに伴う発生衝撃圧についての数値解析を行った。

軸対称数値解析から、第1崩壊時のマイクロジェットの発生、マイクロジェットが気泡界面を貫いた際に発生する圧力波や気泡崩壊・再膨張時に発生する圧力波の伝播、再膨張時のカウンタージェットの発生、第2崩壊時の付着型円環状気泡崩壊などの実験的観察で見られる諸現象が再現できることが確認できた。また、気泡は第1崩壊から第2崩壊にかけて壁面方向に大きく並進運動することが、この並進運動のために第2崩壊時の圧力波発生位置が壁面に近づき、気泡初期位置が壁面から大きく離れている場合を除くと、第2崩壊は第1崩壊よりも高い衝撃圧を発生しており、気泡第2崩壊は第1崩壊よりも壊食に寄与していると考えられることを示した。壁面上最大圧力の分布から壊食パターンを予測すると、気泡初期位置が壁面から遠い条件から壁面に近づくに従い、中央部のみの壊食、円状の壊食と中央部の壊食、中央部の壊食のように壊食形状が変化していくことを示した。このような壊食パターンは実験でも見られる傾向に近く、計算での高衝撃圧発生位置が実験での壊食パターンを再現していると考えられる。一方、計算ではどの気泡初期位置の計算でも中央部で高い衝撃圧が発生しており、実験では気泡初期位置によっては中央部壊食痕が見られない場合があり、計算と実験の不一致も見られる。計算での中央部での高圧発生は、円環部で生じた圧力波が中央部で干渉すること、中央部に残存した気泡部が激しく崩壊することなどが原因であるが、これは軸対称崩壊を仮定した計算であることが影響を与えていると考えられる。

軸対称崩壊を仮定した影響を調べるために、初期時刻に非軸対称性を有する回転楕円体気泡の崩壊計算を、3次元面対称計算を用いて行った。球対称な初期形状の気泡の計算と比較し、第1崩壊までは大きな違いはないが、第2崩壊末期で異なる挙動を示すことがわかった。球対称な初期形状の気泡は、第2崩壊時に気泡中央部でマイクロジェットが発達して円環状の気泡が残り、その円環状気泡が崩壊した際に圧力波を放出するため、円環状気泡近傍の壁面上の点に高衝撃圧を及ぼす。また、その圧力波が中央部で干渉し、中央部に残存したボイド部を崩壊させるため、中央部でも高衝撃圧が発生する。一方、非軸対称性を有する回転楕円体気泡は、第2崩壊時に、球対称初期形状気泡と同様に、円環状付着気泡の崩壊形態となるが、その円環状気泡の形状が異なり、放出される圧力波の発生位置が異なる。また、中央部に残存するボイド部が存在しないこともあり、非軸対称性を有する気泡は中央部での高圧を発生しないことがわかった。以上のように、初期形状の軸対称性は、第2崩壊、特に中央部での高圧発生現象に大きな影響を与えていると言える。また、非軸対称性を有する気泡は、実験で見られる二か所に偏在した円形状壊食痕の発生に対応する二か所での高圧発生を引き起こしていることがわかった。

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. 能見基彦, 落合直哉, 伊賀由佳, 井小萩利明, 「水中翼周りのキャビテーションの詳細観察」, ターボ機械, Vol. 38. No. 5 (2010), pp. 307-312.
2. 能見基彦, 落合直哉, 伊賀由佳, 井小萩利明, 「キャビテーションモデル改善のための一考察」, ターボ機械, Vol. 38. No. 8 (2010), pp. 464-469.
3. Ochiai, N., Iga, Y., Nohmi, M., and Ikohagi, T., “Numerical Prediction of Cavitation Erosion Intensity in Cavitating Flows around a Clark Y 11.7% Hydrofoil”, Journal of Fluid Science and Technology, Vol. 5, No. 3 (2010), pp. 416-431.
4. Ochiai, N., Iga, Y., Nohmi, M., and Ikohagi, T., “Numerical Analysis of Nonspherical Bubble Collapse Behavior and Induced Impulsive Pressure during First and Second Collapse near the Wall Boundary”, Journal of Fluid Science and Technology, (投稿中).

### 【学会発表】

#### 【国際】

1. The 7th International Conference on Flow Dynamics, “Numerical Analysis of First and Second Collapse Behavior of a Bubble near Wall Boundary, ポスター発表, 2010/11/2.

### 【受賞等】

1. 第3回流動ダイナミクス国際若手研究発表会最優秀賞, 流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点, 2010年7月26日.



氏名 西尾 悠

所属 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 博士課程後期2年

指導教員 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 福西 祐教授

研究課題

様々な乱れに対する平板境界層における前縁受容性に関する研究

## 平成22年度 研究成果概要

### 【研究背景】

境界層の乱流遷移は主流中の微小な速度変動、すなわち乱れが境界層内に取り込まれ、その乱れが成長することで起こる。この乱れを取り込む性質は受容性と呼ばれ、Morkovinにより提案された概念である。この乱れの受容の程度を決定する主要因として物体の前縁が挙げられる。すなわち境界層の初期乱れは主流の乱れが前縁を介して入り込むことが大部分を占める。境界層遷移はこの初期乱れによって引き起こされ、かつ、その初期乱れの大きさによりその遷移位置が依存することが予想される。これらが動機となり受容性に関する研究は多く行われている。たとえば、Nishiokaらは局所的な圧力勾配に着目し、平板前縁における受容性を議論している。しかし、圧力勾配が存在するとなぜ受容性が変化するのかという点については明らかにされていない。一方で乱れは渦として扱えることから、これらを議論する際に渦度のパターンに着目し、受容性に影響を与える要素を探る必要があるが、現在のところそういった考え方で議論されている研究は無い。そこで、本研究では、様々な乱れに対して境界層中に乱れが導入される過程を渦度パターンの変化として捉えなおすことで、受容性の本質を明らかにすることを試みる。今年度は主流中に周期的な速度変動を発生させ、その速度変動が下流の平板上に成長する境界層へどのような影響を及ぼすのかについて風洞実験により調べた。速度変動は平板の上流かつ下方に設置した翼型を一定の振動数でピッチングさせることで導入した。このとき①二次元振動を導入するために一枚翼を用いた実験、②縦渦に対する受容性を見るためにスパン方向に180度異なる位相で振動する翼群を用いた実験、の二通りの実験を行った。

### 【研究結果】

一枚翼を用いた実験 一枚翼による実験から、境界層と振動翼から放出される渦との干渉の様子を確認し、境界層内の速度分布など今後の数値計算との比較するための有意な結果を得ることができた。図1に平板前縁付近における速度変動の位相速度を示す。この図から速度変動の位相速度は境界層内の高さに依存することがわかった。このことから導入した乱れは境界層に受容されていることが確認できた。また、図2に境界層内のある高さにおけるアンサンブル平均された速度と平均化に用いた基準周波数の位相である。図中のエラーバーに注目すると、260度付近では比較的エラーバーが小さく、この位相では周期性が強められていることがわかる。しかし、それ以外の位相ではエラーバーが大きく、64Hz以外の非周期な速度変動が観測されていることを示す。これらのことからこの非周期性の強い現象には剥離が関わっていることが示唆される。

異なる位相で振動する翼群を用いた実験 この実験により、翼から放出される渦は互いに180度異なる位相を持ち、その渦と干渉を起こした境界層は複雑だが主流と境界層内で異なる位相で振動することが示された。しかし、この手法で生成した渦は強すぎることから別手法による縦渦の生成が必要とされることがわかった。図3に隣り合う翼それぞれの下流におけるアンサンブル平均した速度変動と基準信号の位相との関係を示す。縦軸が速度、横軸が位相である。この図から流れ場に異なる位相の速度変動が導入されていることがわかる。その位相差は180度である。また、図4に平板境界層内の速度分布を示す。横軸が境界層内の速度の平均速度からの差 $u_{rms} - u$ を示し、縦軸が境界層内の壁面からの高さ $\eta$ である。境界層全体が振動しており、境界層の外側では振動翼のピッチングに対応した振動が観測されるのに対して境界層内部では複雑な位相の様子が見られた。このことから翼群から放出される速度変動は強すぎることで境界層内の流れが予想以上に乱されていることがわかった。



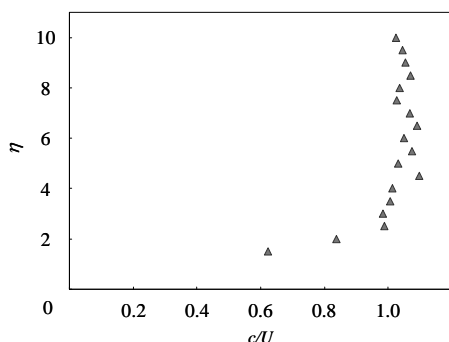


Fig. 1 The phase speed of the disturbance near the leading edge.

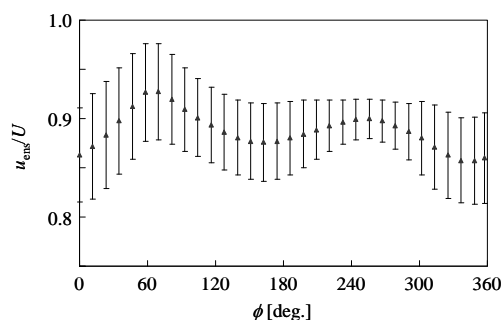


Fig. 2 Ensemble averaged velocity waveform and its error variations.

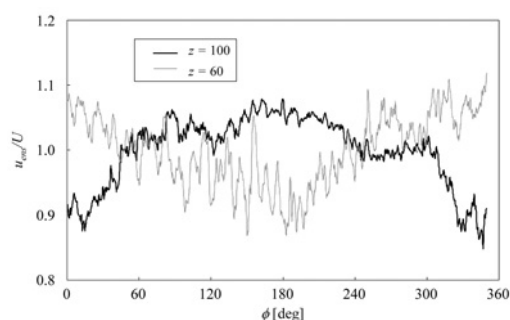


Fig. 3 Relation between the ensemble averaged velocity and the wing phase at  $x = -190$  mm,  $y = -15$  mm,  $z = 60$  mm and 100 mm.

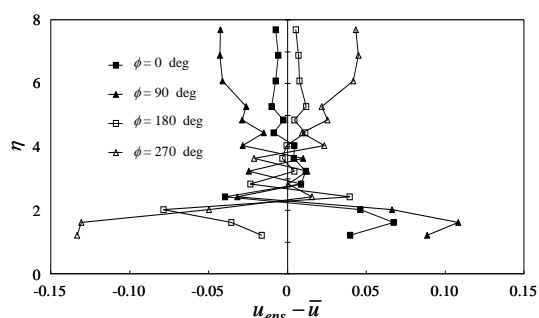


Fig. 4 Ensemble averaged velocity fluctuation distribution of each phase at  $x = 10$  mm and  $z = 100$  mm.

## 研究業績

### 【学会発表】

#### 【国内】

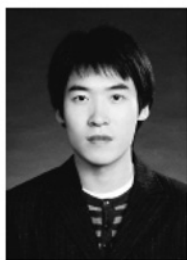
1. 第三回流動ダイナミクス国際若手研究発表会, 振動翼から導入される速度変動に対する平板前縁受容性, 口頭&ポスター, 2010-7

#### 【国際】

1. The Seventh International Conference on Flow Dynamics, “Leading Edge Receptivity to Periodic Disturbances Generated by Oscillating Wings”, short oral and poster, 2010-11
2. The 5th Tohoku-SNU University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, “Leading Edge Receptivity to Oncoming Vortices”, oral, 2010-06

### 【その他 新聞、雑誌等への記事掲載など】

2010年度東北大学風洞運営委員会学生ユーザー会低乱風洞・検定風洞担当として一般配布用パンフレットに掲載



氏名 張 柱鏞

所属 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 博士課程後期1年

指導教員 流体科学研究所 西山 秀哉 教授

研究課題

Advancement of Alumina Powder Spheroidization Process Using a Low Power DC-RF Hybrid Plasma Flow System by Helium Mixture and Sinusoidal Gas Injection

## 平成22年度 研究成果概要

Spherical particles provide more homogenous and stable particle transportation by enhancing the powder fluidity. This allows fine control of powder feeding rate without clogging problems. Especially, spherical powders are preferred in plasma thermal spray processes for dense coating formation and thin film fabrications. Therefore, powder spheroidization process is essential for high spray processing performance.

DC-RF hybrid plasma flow system with the low input electric power of 7.7 kW is utilized for in-flight particle spheroidization process as shown in Fig. 1. In the previous studies, the experimental study has been conducted with pure argon gas to obtain the optimum operating flow conditions for in-flight alumina powder processing for particle size and morphology controls using a DC-RF hybrid plasma flow system at constant low operating power based on considerations of correlating plasma flow characteristics. The DC-RF hybrid plasma flow system has been successfully optimized; however, the process efficiency, such as spheroidization ratio of alumina powder remains low due to low operating power. It has been pointed out from the previous studies that the enhancement of plasma enthalpy is necessary to improve process efficiency for this system even at a low input power.

A small amount of helium gas was added to the argon main gas flow in order to enhance plasma enthalpy and the effect of increase of DC torch nozzle diameter on the enhancement of in-flight particle heating was experimentally investigated in detail. Furthermore, sinusoidal central gas of pure argon without helium mixture was injected to improve active mixing of DC-RF hybrid plasma flow with particles. The effect of sinusoidal fluctuation of DC plasma jet on spheroidization process was also experimentally investigated. The in-flight alumina powder spheroidization process for improvement of the efficiency in a low power DC-RF hybrid plasma flow system was optimized not only by helium gas mixture percentage with clarification of plasma enthalpy, in-flight power velocity and temperature for different DC torch nozzle diameters, but also by the sinusoidal frequency and the amplitude of central gas.

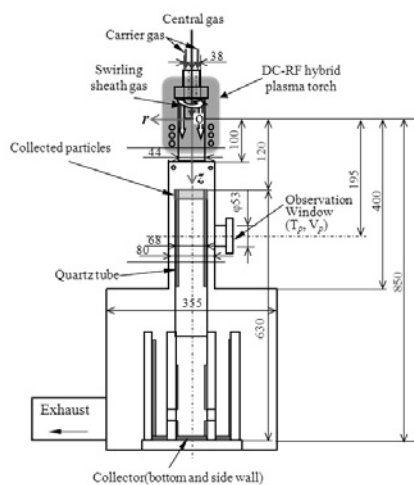


Fig. 1 Schematic illustration of a DC-RF hybrid plasma flow system.

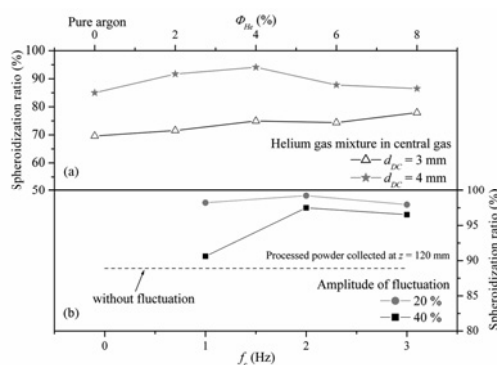


Fig. 2 Effects of (a) helium gas mixture with different DC torch nozzle diameters and (b) sinusoidal central gas injection on spheroidization ratio.

Figures 2 (a) and (b) show the effects of helium gas mixture in central gas with different DC torch nozzle diameters and sinusoidal central gas injection on alumina powder spheroidization ratio. In Fig. 2 (a) spheroidization ratio improves by helium gas mixture in central gas of argon with  $d_{DC} = 4$  mm. With as small as 4 % of helium gas mixture in central gas with  $d_{DC} = 4$  mm, the highest spheroidization ratio of 95 % is obtained. In fig. 2 (b) spheroidization ratio improves more by sinusoidal central gas injection even with pure argon, comparing with constant central gas injection. The highest spheroidization ratio of 99 % is obtained at  $f_c = 2$  Hz with amplitude of  $\pm 20$  %.

The obtained results from this study can be summarized as follows:

- (1) Plasma enthalpy increases by helium gas mixture in central gas for DC plasma generation even under the constant input power. Higher plasma enthalpy is obtained with increasing DC torch nozzle diameter.
- (2) A clear increase in number percentage of spheroidized alumina particles in a low power DC-RF hybrid plasma flow system was shown by Ar/He gas mixture. Higher number percentage of spheroidization is obtained with 4% of helium gas mixing in central gas.
- (3) Effect of sinusoidal central gas injection on particle size distribution and spheroidization ratio is clearly observed. The highest spheroidization ratio with sinusoidal central gas injection was obtained at  $f_c = 2$  Hz with amplitude of  $\pm 20$  %.

In the next stage, liquid droplets injection is proposed to introduce a new approach for in-flight spheroidization process. Water as a fuel can provide environmentally friendly products hydrogen and oxygen molecules which improve the thermodynamics of plasma flow. Small amount of micro-sized liquid droplets to avoid consuming amount of thermal energy to phase transition and affecting on plasma flow behaviors are injected in the downstream of the DC-RF hybrid torch at  $z = 195$  mm. The liquid droplets are heated and evaporated in the tail of RF plasma flow then dissociated to hydrogen and oxygen molecules. The future research is aiming to carry out correlation between the liquid droplets and thermofluid flow characteristics of plasma. For the thermofluid flow characteristics of DC-RF plasma flow with atomized liquid, the electron temperature is estimated by the Boltzmann plot method and plasma enthalpy is measured. Therefore, the effect of liquid droplets atomized below the DC-RF hybrid torch on the powder spheroidization process is experimentally investigated using a low electric power DC-RF hybrid plasma flow system.

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. Hidemasa Takana, Juyong Jang, Junji Igawa, Tomoki Nakajima, Oleg P. Solonenko, and Hideya Nishiyama, Improvement of In-flight Alumina Spheroidization Process with a Small Power Argon DC-RF Hybrid Plasma Flow System by Helium Mixing, Journal of Thermal Spray Technology, 2010, on-line

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. Juyong Jang, Hidemasa Takana, and Hideya Nishiyama  
日本電気学会研究会資料新エネルギー・環境研究会（東京）, pp. 49-53, 混合ガスおよび供給ガス変動による省電力DC-RFハイブリッドプラズマ流動システムにおける球状化プロセスの高性能化, 口頭, 2010. 8. 27
2. Juyong Jang, Hidemasa Takana, and Hideya Nishiyama  
日本機械学会流体工学部門講演会論文集（米沢）, pp. 163-164, 省電力DC-RFハイブリッドプラズマ流動システムにおけるアルミナ球形化プロセスに与える供給ガス変動効果, 口頭, 2010. 10. 30

#### 【国際】

1. Juyong Jang, Hidemasa Takana, Oleg P. Solonenko, and Hideya Nishiyama  
Proc. of 7th International Conference on Flow Dynamics (Sendai, Japan), pp. 724-725, Advancement of Powder Spheroidization Process Using a Small Power DC-RF Hybrid Plasma Flow System by Helium Mixture and Sinusoidal Gas Injection, Oral presentation, 2010. 11.2 (J. Fluid Sci. & Tech., selected paper)



氏名 大川 啓

所属 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 博士課程後期1年

指導教員 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 福西 祐教授

研究課題

振動するピエゾアクチュエータまわりの流れの数値計算

## 平成22年度 研究成果概要

### 【研究の背景】

乱流境界層の摩擦抵抗は層流境界層のそれよりも一桁大きいと、省エネルギーの観点から、流体機械の境界層を制御することが求められている。特に、高層大気中を飛行する航空機の翼面上の境界層を層流に保つことが強く求められている。

筆者はこれまでにピエゾアクチュエータを用いて平板の遷移境界層を制御する実験的な試みを行ってきた。ピエゾアクチュエータは交流電圧を印加するとそれにしたがって伸縮する素子である。このアクチュエータを平板に設置すると、流れがアクチュエータの伸縮を受容し、アクチュエータ下流の境界層中に速度変動波を励起することができる。この速度変動波を用いて、遷移初期に現れる速度変動波として知られるTollmien-Schlichting(T-S)波を打ち消して制御を行ってきた。

この制御実験において従来は、ピエゾアクチュエータに与える駆動信号として正弦波状の信号を用いてきた。しかしながら、より電圧の時間変化が大きくなるような矩形波状の電圧信号をアクチュエータに印加したところ、より制御効果が増大する状況が見られた。一方でアクチュエータから導入された速度変動を下流において熱線プローブを用いて計測しても、このような制御効果の増大をもたらした明確な特徴を捉えることはできなかった。

本研究の最終的な目標は、乱流境界層中の構造を、まずセンシングし、その情報をもとにしてピエゾアクチュエータを用いて制御することである。そのためには、制御装置の設計に先だって、アクチュエータからの速度変動の導入メカニズムを解明しておくことが必要である。特に振動するアクチュエータ周辺の流れ場の応答を明らかにすることが、効果的・効率的な制御の鍵となると考えられる。そのためアクチュエータ近傍の流れ場の詳細な様子を把握したいが、しかしながら、熱線プローブを用いて実験的にピエゾアクチュエータごく近傍の詳細な計測をすることは困難である。そこでまず、数値計算を用いて振動するアクチュエータ近傍の流れ場を捉えることを目標とした。

現在、振動する物体まわりの2次元流れを計算するプログラムを作成している最中である。詳細を以下に示す。

### 【支配方程式】

支配方程式は次の連続の式と非圧縮ナビエ・ストークス方程式である。

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{u}\mathbf{u} = -\nabla p + \frac{1}{Re} \nabla^2 \mathbf{u} \quad (2)$$

### 【計算方法】

MAC型差分解法を採用した。時間進行にはアダマス・バッシュホース法を用い、移流項には3次精度風上上流差分法を、その他の項は2次精度中心差分法を用いる。

### 【ピエゾアクチュエータの境界条件】

振動するピエゾアクチュエータ周りの計算を行うにあたって、その境界条件の与え方が問題となる。本研究では直行格子を用い、移動するアクチュエータの境界には埋め込み境界法を採用。この手法では、式(2)にさらに、境界の影響を外力項として追加して取り込む。

### 【今後の展望】

現在作成している計算は2次元流れを対象にしているが、実際のピエゾアクチュエータから受容によっ



て速度変動波が形成される過程を捉えるためには、3次元的な現象を再現する必要がある。特に、ピエゾアクチュエータのスパン方向の端からは、これまでの実験における計測によって、縦渦が生じていることが示唆されており、この部分を見捨てることはできない。したがって2次元計算の次は3次元へと拡張し、より現実に即したピエゾアクチュエータ周辺の流れ場の状況を把握することに努める。また計算の結果をもとにして、境界層制御実験におけるアクチュエータの検討を行っていく予定である。

## 研究業績

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. 第3回流動ダイナミクス国際若手研究発表会 2010年7月26日  
発表題目：「ピエゾアクチュエータ駆動信号波形と励起される速度変動との関係」口頭&ポスター発表

#### 【国際】

1. ○H. Okawa, M. Shigeta, S. Izawa, Y. Fukunishi: Relation between Waveforms of Piezo-Actuator Driving Signals and Excited Velocity Fluctuations inside a Flat-Plate Boundary Layer, The 5th Tohoku-SNU University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, Sendai, Japan, (2010-06), p.50,51. 口頭発表
2. ○Hajime Okawa, Shigenori Kondo, Masaya Shigeta, Seiichiro Izawa and Yu Fukunishi: Characteristics of Velocity Fluctuations in a Boundary Layer Excited by a Piezo Actuator Driven with Two Different Signals, The Seventh International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, (November 1-3, 2010), pp.536-537. 口頭&ポスター発表
3. ○H. Okawa, M. Watanabe, M. Shigeta, S. Izawa, Y. Fukunishi: Active Feedforward Cancellation of Instability Waves, 13th Asian Congress of Fluid Mechanics, Dhaka, Bangladesh, (17-21 December, 2010), pp.256-258 CD-ROM. 口頭発表

### 【受賞等】

第3回流動ダイナミクス国際若手研究発表会 優秀賞受賞 2010年7月26日  
発表題目：「ピエゾアクチュエータ駆動信号波形と励起される速度変動との関係」



氏名 木村 祐人

所属 工学研究科ナノメカニクス専攻 博士課程後期3年

指導教員 原子分子材料科学高等研究機構 徳山 道夫教授

研究課題

二成分ガラス形成物質における過冷却液体の計算機実験による研究

## 平成22年度 研究成果概要

### 研究背景および研究目標

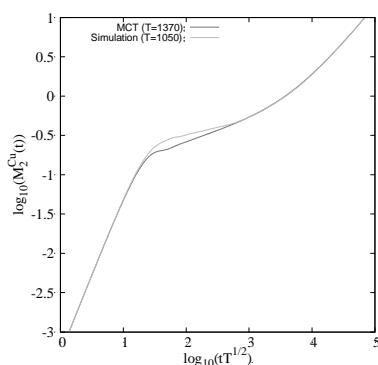
ガラスは我々にとって身近な物質の一つであり、建築物や自動車の窓、液晶ディスプレイ、光ファイバー等の通信機器に利用されている。ガラスは主材料であるケイ酸に種々の添加物を加えた熔融体を冷却することで得られることが知られている。一般に液体の粘性は温度低下とともに上昇するが、物質がガラス化する温度付近においては、熔融体の温度を数十ケルビン変化させる間にその粘性は十数オーダーにわたって増大する。このため熔融体は急激に流動性を失い、固体とみなせる状態になる。このようにして得られる固体がガラスであり、この固化の過程をガラス転移と呼ぶ。

ガラスと人類との関係は実に数千年に及ぶ。長い歴史の中で工業的なガラス製品の製造プロセスが洗練されて来た。しかし、物質がガラス化する際の急激な粘性の上昇のメカニズムについては物理的に理解されているとは言いがたい。熔融体の粘性が急激に上昇し、ガラス状態に至る過程をうまく記述する理論が存在しないというのが現状である。

ガラス転移点付近の過冷却液体のダイナミクスを記述する理論として知られているのがモード結合理論である。この理論は統計物理学的な手法を用いて導出され、第一原理的から過冷却液体の特徴的なダイナミクスをある程度再現することが出来る。しかしながらその導出過程で用いられる近似は非常に荒いものであり、多くの改良されるべき点が存在する。緩和時間が発散する特異点温度や、 $\beta$ 緩和領域のダイナミクスは実験やシミュレーションとの間にずれがあり、これを改良することが求められている。また、 $\alpha$ 緩和領域においては、不均一なダイナミクスをどのように理論的に扱うべきかが未だ不明瞭であり、計算機実験に等より活路を見出すことが必要とされている。

本研究では過冷却液体のダイナミクスおよびガラス転移現象を記述する第一原理的な理論の構築を最終目標としている。このために、二成分系における分子動力学法による計算機実験を行い、現象を解析する。また得られた結果をモード結合理論と比較することで、理論の問題点を明らかにし、改良方法を提案する。

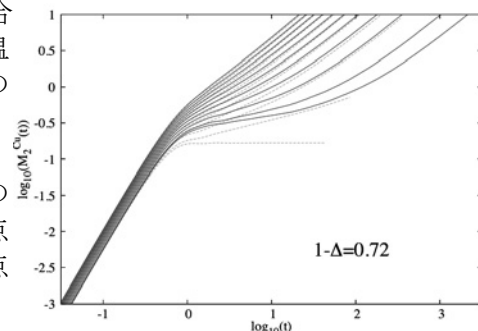
### 研究成果1：モード結合理論の $\beta$ 緩和領域に現れる誤差の検証[1]



モード結合理論は $\beta$ 緩和領域において実験やシミュレーションの振る舞いを説明出来ない[2]。先行研究ではブラウン動力学法によるシミュレーションの結果と理論の比較を行ったが、本研究では分子動力学法によるシミュレーションと理論の比較を行い、平均二乗変位においてどのようなずれが生じるかさらに検証した。図はシミュレーション温度 $T1050K$ における平均二乗変位（緑線）をモード結合理論の数値計算（赤線）と比較したものである。中間時間領域において、理論の値がシミュレーションよりも小さくなっていることが分かる。

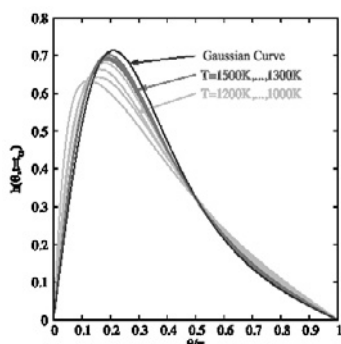
### 研究成果2：モード結合理論の特異点を補正する手法の開発[1]

先に述べた通り、モード結合理論には時間スケールの発散がガラス転移温度よりも高い温度で起こるという致命的な欠陥がある。この転移点のずれの原因はモード結合理論に使われているのが二次近似であり、多体相関が考慮されていないためであると考えられている。これに対し、我々は二次近似の範囲内でも高温の拡散係数の振る舞いは正しく記述できるはずであるという新しい着眼点から、記憶関数の絶対値をスケールすることによって転移点



を補正するという手法を開発し、理論的な裏付けも示した。また、導入されるパラメータ $\Delta$ の値は系によらず普遍的であるということを示した。図は補正された理論（破線）により計算された粒子の平均二乗変位のシミュレーション結果（実線）との比較である。高温で両者がよく一致していることがわかる。

### 研究成果3：過冷却液体の $\alpha$ 緩和過程におけるケージの再配列の相関の検証



$\alpha$ 緩和領域は粒子数個から構成される「ケージ」の再配列により密度揺らぎの緩和が起こる時間領域である。過冷却液体は $\alpha$ 緩和領域において粒子のダイナミクスが協同的になったり、運動の素過程としてジャンプ運動が表れる等、通常の液体と異なった挙動を示す。本研究ではケージの再配列が空間的にどのような相関を持っているか検証するため、三つの粒子の相対変位のなす角度がどのように分布しているか調べた。その結果、過冷却液体領域においてはよりケージの再配列が協同的に発生していることを示す結果を得た。左図は動径分布関数の第三ピーク程度の距離に存在する粒子の組の、相対変位の分布である。温度が低くなる程分布のピークが小さな角度に移動し、再配列のための運動が同じ方向を持つ傾向があることが分かる。

本研究成果は2nd International Workshop on Glass-Forming Systems 等で報告した。

### 参考文献

- [1] Yuto Kimura and Michio Tokuyama, in preparation.
- [2] Michio Tokuyama and Yuto Kimura, Physica A 387, 4749 (2008).

### 研究業績

#### 【学術雑誌等への発表】

1. Michio Tokuyama, Tatsuo Moriki, and Yuto Kimura, Self-diffusion of Biomolecules in Solution, Physical Review E, to be submitted.

#### 【学会発表】

##### 【国内】

1. 木村祐人, 非線形数理若手の会, 過冷却液体における非線形的ダイナミクスとモード結合理論, ポスター発表, 2010年11月16日.
2. 木村祐人, 徳山道夫, 第58回レオロジー討論会, 2成分の過冷却液体の変位の相関における異方性, ポスター発表, 2010年10月4日.

##### 【国際】

1. Y. Kimura and M. Tokuyama, The 4th International Discussion Meeting on Glass Transition, TBA, poster presentation, February 28th 2011.
2. Y. Kimura and M. Tokuyama, 2nd International Workshop on Glass-Forming Systems, Simulation Study of Cooperative Dynamics in Supercooled Liquids, oral presentation, November 18th 2010.
3. Y. Kimura and M. Tokuyama, 7th International Conference on Flow Dynamics, Simulation Study of Composition Dependence of Structure and Dynamics in  $\text{Cu}_{100-x}\text{Zr}_x$ , poster presentation, November 3rd 2010.

#### 【受賞等】

Yuto Kimura and Michio Tokuyama, 第3回流動ダイナミクス国際若手研究発表会, Simulation Study of Dynamics of Cooperative Motion of Neighboring Atoms in Supercooled Liquid, 優秀賞



氏名 張 志宇

所属 工学研究科ナノメカニクス専攻 博士課程後期3年  
指導教員 工学研究科ナノメカニクス専攻 閻 紀旺 准教授  
副指導教員 流体科学研究所 西山 秀哉教授  
研究課題  
反応焼結SiCの超精密切削

## 平成22年度 研究成果概要

近年、非球面レンズやマイクロレンズアレイなどの複雑で微細形状を有する光学素子の需要が高まっている。それらのレンズの多くは、ガラスプレス成形により量産されている。ガラスプレス成形加工を行うために、高硬度、耐熱性かつ離型性に優れた金型が不可欠である。従来、金型の加工法として、研削、研磨が用いられてきたが、切削加工は微細、複雑形状を有する金型の加工に適した加工法である。近年、単結晶SiやGeなどの硬脆材料の延性モード超精密切削加工に関する研究が報告したが、反応焼結SiCの切削加工についての研究はこれまでに全く行われていない。そこで、本研究では従来不可能であった反応焼結SiCの超精密延性モード切削加工の実現を研究目的とする。本研究により、反応焼結SiCの切削メカニズムとダイヤモンド工具の摩耗メカニズムを明らかにした。それに基づいて反応焼結SiCの新たな加工法として揺動切削法を提案し、工具磨耗低減への有効性を調べた。また、揺動切削法における潤滑方法として、ナノ粒子潤滑法を提案し、工具磨耗低減および加工面粗さの改善への有効性を調べた。その結果、超精密切削による加工できる領域を広げることが達成することで、次世代の超精密微細光学素子の実現に新しい可能性を見出した。詳細には、以下のことを通して研究開発を行った。

一、超精密加工機とダイヤモンド工具を使用して、反応焼結SiCの加工特性と材料除去機構を明らかにした。反応焼結SiCは非常に硬い材料ですが、延性モード切削が可能であることを示した。シリコンボンドは、結晶態からアモルファス態の相転移が認められた。延性モード切削面には、結合力が弱いSiC粒子の脱落によるマイクロピットが存在していることが確認された。SiC脱落を防止するためには、工具磨耗を抑制しシャープなバイトに保つことが重要である。2つタイプのダイヤモンド工具の摩耗形態を分かった。1つは、高送り量で0度すくい角工具の切れ刃に発生しているChipping; もう一つは、低送り量で負のすくい角工具に発生しているマイクロ溝である。

二、ダイヤモンド工具の摩耗について検討した。逃げ面摩耗痕は周期性がある溝と非周期的なスクラッチマークで構成されていることが分かった。マイクロ溝のピッチはワークの1回転当たりの送り量と等しいことが分かった。これらの溝は、高温高圧摩擦磨耗によって加工面にある送りマークは逃げ面に転写することが考えることができた。摩耗痕のラマン分光観察結果により、ダイヤモンドは黒鉛への相転位は発生しないことが分かった。支配的な摩耗機構は工具とワークのインターフェイスにあるSiC粒子の摩擦摩耗による効果と考えられた。

三、反応焼結SiCの新たな加工法として工具揺動切削法を提案し、工具磨耗低減への有効性を調べた。工具揺動切削法とは、工具を送り方向へ移動させながら、揺動させて切削を行う加工法である。実験では、3軸同時制御により、バイトを送り方向へ移動させながらB軸を中心に工具を揺動させて切削を行う。これにより切れ刃上の切削点が常に変化し、一つの切削点における切削時間が大幅に短縮でき、バイトの摩耗痕幅と摩耗痕体積を大幅に低減できることが確認された。また、工具調整誤差による加工面のプロファイル誤差をNCプログラムの補正法により補正された。したがって、高精度な工具揺動切削法が実現された。

四、工具揺動切削法における潤滑方法として、ナノ粒子潤滑法を提案し、工具磨耗低減および加工面粗さの改善への有効性を調査した。従来の切削では主に潤滑油を用いられ、工具と加工面との接触面の潤滑層が形成しにくく、潤滑効果が低いといく問題点がある。本研究では原子層間の弱いせん断力があるナノカーボンや塑性変形を起こしやすい性質を持つナノ軟質金属粒子などを利用した潤滑法を開発した。実験結果により、粒子の潤滑効果が粒子の大きさ、および粒子の機械的な性質に依存することが分かった。銅粒子がアブレイブ磨耗の抑制において一番顕著な効果があることがわかった。ナノ粒子の潤滑効果メカニズムは、粒子の変形や破壊によって、工具とワーク間に、非常に薄い固体潤滑膜が生成することで、工具と加工面との低摩擦の潤滑状態の生成が顕著であったことが考えられた。銅粒子は、他の粒子に比べて、塑性変形しやすい材質ため、優れた潤滑性能が生じると考えられる。

以上の研究結果により、従来の加工法では不可能であった反応焼結SiCの超精密切削加工を実現す



るための大曲率半径ダイヤモンドバイト、工具揺動切削法およびナノ粒子による固体潤滑法を開発し、超精密切削によって加工できる領域を広げることで、次世代の超精密微細光学素子の実現に新しい可能性を見出した。

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. Jiwang Yan, **Zhiyu Zhang**, Tsunemoto Kuriyagawa, Fabricating micro-structured surface by using single-crystalline diamond endmill, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. (In press).
2. **Zhiyu Zhang**, Jiwang Yan, Tsunemoto Kuriyagawa, Tool-swinging cutting of binderless tungsten carbide, *Advanced Materials Research*. (In press).

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. **張 志宇**, 閻 紀旺, 厨川 常元, 反応焼結 SiC の超精密延性切削に関する研究, 2010 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2010). 埼玉大学, 2010 年 3 月 16 日～18 日.

#### 【国際】

1. Jiwang Yan, **Zhiyu Zhang**, Tsunemoto Kuriyagawa, Effect of nano-particle lubrication in diamond turning of reaction-bonded SiC, Submitted to *4th CIRP International Conference on High Performance Cutting*, in Gifu, Japan.



氏名 李 貞微

所属 工学研究科ナノメカニクス専攻 博士課程後期1年

指導教員 工学研究科ナノメカニクス専攻 高 偉教授

副指導教員 工学研究科航空宇宙工学専攻 澤田 恵介教授

研究課題

大面積微細加工機運動誤差の超精密計測

## 平成22年度 研究成果概要

近年、ディスプレイ部品や燃料電池・エネルギー部品、超精密金型・医療機器部品などに多く使われる大面積3次元微細加工製品の需要が急増している。また、急速に大面積化しているLCD TVなどの効率性および生産性向上のため、加工の大面積化が急進している。この大面積加工の要望に応えるため、生産性が高い次世代2m級大面積微細加工機が要求されている（図1参照）。現在、この加工機の加工精度の保証が重要な課題となっている。そのためには、超長ストロークに渡って運動誤差を超精密に計測できるシステムの開発が必要不可欠である。

平成22年度には、特に大面積微細加工機のスライド運動誤差計測システム開発を行った。スライド運動誤差には真直度誤差成分と平行度誤差成分からなる（図2）。これまでの計測方法は、真直度誤差の評価は可能であるが、スピンドル軸を基準としたスライドの平行度誤差の計測はできない問題点がある。そこで、スライド誤差の真直度誤差成分のみならず、平行度誤差成分も測定できる新しい計測機能の開発を行った。図3に示すように、対向に配置されたセンサ2本を使用して円筒試料をスピンドルで回転させながら2m級大面積微細加工機のスライド運動誤差の計測を行う。回転型反転法と名付けたこの新しい誤差分離法では、スライド走査方向のサンプリング間隔を短くすることによって、計測できるスライド運動誤差の周波数帯域を広げることができる。また、データ処理にはセンサ出力の四則演算を基本としているため、測定ストロークの二乗に比例して誤差が累積するという従来の計測方法（3点法）の問題点を解決し、超長ストロークに渡って測定精度を維持することができる。

開発された計測方法を適用しスライド運動誤差を計測するため、平成22年6月22日から7月22日まで、2m級大面積微細加工機を開発している韓国機械研究院にGCOEの「平成22年度国際インターンシッププログラム派遣」を利用し計測実験を行った。図4に計測システムの様子を示した。回転型反転法に必要な2本のセンサを機上に取り付けるため、センサのジグを設計し製作を行った。使用されたセンサは1 nmの分解能を持つ。また、加工物をそのまま計測資料として使うため、高価な基準物を必要としない特徴を持っている。さらに、加工物を回転させながらスライドを走査して計測を行うため、計測時間も短期間であり、温度変化による影響を抑えるこ

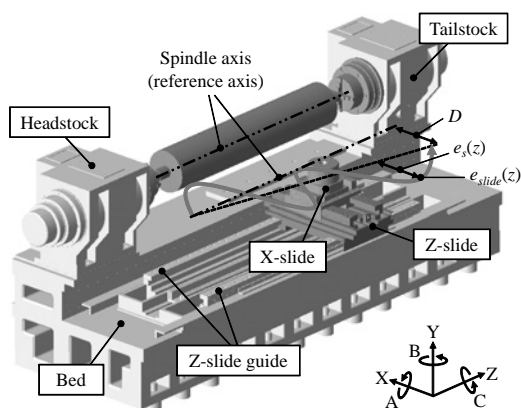


図1 2m級大面積微細加工機

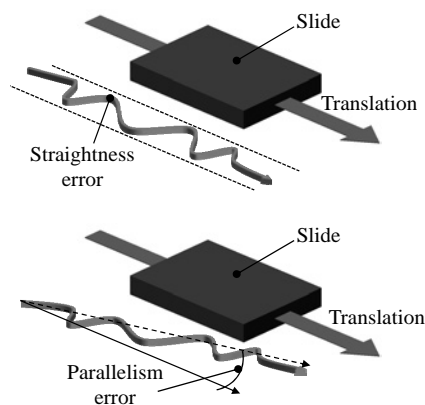


図2 スライド運動誤差の真直度誤差成分と平行度誤差成分

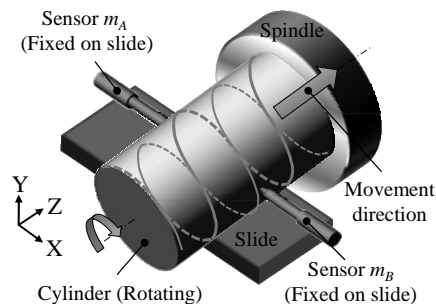


図3 スライド運動誤差計測方法（回転型反転法）

とができる。図5に計測された2m級大面積微細加工機のスライド運動誤差を示す。サンプリング間隔は1 mmであり計測時間は約6分であった。スライド運動誤差は1.7 mの計測長さにおいて、真直度誤差は $5.695 \pm 0.133 \mu\text{m}$ であり、平行度誤差は $8.244 \pm 0.084 \mu\text{m}$ で評価された。図6には計測結果に基づいて、スライド運動誤差の補正を行った結果を示す。約 $8.2 \mu\text{m}$ であったスライド運動誤差が $1 \mu\text{m}$ 以内で補正されていることがわかる。

以上の結果から確認できるように、提案した計測方法は真直度誤差と平行度誤差を同時に計測することができる。また、補正を行うことより開発目標である $2 \mu\text{m}$ 以下のスライド運動精度を確保することができた。

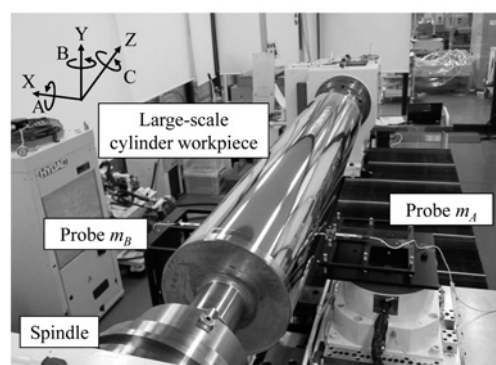


図4 スライド運動誤差計測システム

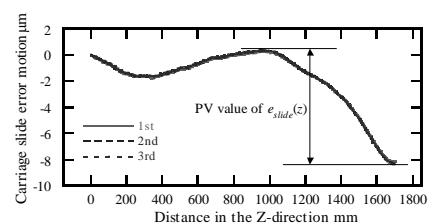


図5 スライド運動誤差(補正前)

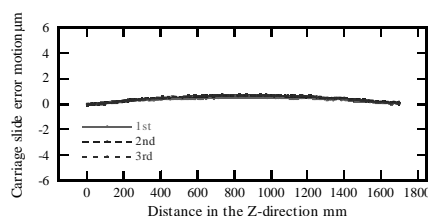


図6 スライド運動誤差(補正後)

## 研究業績

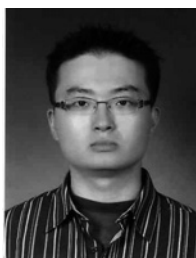
### 【学会発表】

#### 【国内】

1. 2011年度精密工学会春季大会, Slide error measurement of a large-scale ultra-precision lathe, 口頭, 東洋大学, 2011年3月14日-16日 (発表予定)

#### 【国際】

1. International Symposium on Precision Engineering Measurements and Instrumentation, Slide error measurement of a large-scale ultra-precision lathe, Oral, Hangzhou, China, August 8-11, 2010
2. The 10<sup>th</sup> International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments, Spindle error measurement of large precision roll lathe, Oral, Daejeon, S. Korea, June 29 – July 2, 2011(発表予定)



氏名 洪 承模

所属 工学研究科量子エネルギー工学専攻 博士課程後期1年

指導教員 工学研究科量子エネルギー工学専攻 渡辺 豊 教授

研究課題

Oxidation Kinetics of Candidate Alloys for Fuel Cladding of Super Critical Water-cooled Reactors

## 平成22年度 研究成果概要

Concepts of Super Critical Water cooled Reactor (SCWR) are high thermal efficiency and plant simplification. Because of those, the operating temperature will be high with high pressure, as a critical condition. In that condition, corrosion resistance is very important factor of plant integrity.

To study corrosion resistance characteristics in SCWR condition, information about materials is very important. In this study, surface observation and hardness test for SCWR candidate materials were carried out.

Materials were selected as 15Cr20Ni austenitic stainless steel plates, tubes, SUS316L, SUS310S and 30% cold worked SUS316L, 30% cold worked SUS310S. Table 1 and 2 shows the chemical composition of specimens.

Table 1 Chemical composition of 15Cr20Ni austenitic stainless steel

	Cr	Ni	Zr	Ti	C	Mn	Mo	Si	P	Nb	B	Fe
15Cr20Ni Austenitic Alloy Standard	15.11	19.88	-	0.23	0.063	1.75	2.51	0.87	0.028	0.10	0.0032	Bal.(wt%)
15Cr20Ni Austenitic Alloy Ti-additional	15.19	19.85	-	0.42	0.060	1.75	2.50	0.87	0.028	0.09	0.0040	Bal.(wt%)
15Cr20Ni Austenitic Alloy Zr-additional	15.26	19.98	0.17	0.24	0.061	1.68	2.45	0.79	0.026	0.10	0.0032	Bal.(wt%)

Table 2 Chemical composition of SUS316L and SUS310S

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe
SUS316L	0.015	0.61	0.81	0.031	0.001	12.21	17.42	2.06	Bal.
SUS310S	0.04	0.84	0.81	0.022	0.000	19.15	24.76	-	Bal.

Specimens were prepared with mechanical polishing up to 1/2  $\mu\text{m}$  diamond paste grid and etched for microstructure observation and calculation of ASTM grain size number. The calculated ASTM grain size numbers were as follows.

Table 3 ASTM grain size numbers

Materials	15Cr 20Ni Austenitic Alloy Plate			15Cr 20Ni Austenitic Alloy Tube									SUS 310S			SUS 316L		
	S	Ti	Zr	S			Ti			Zr			no	↖	↗	no	↖	↗
				L	D	C	L	D	C	L	D	C						
#	6.11	6.99	6.64	7.06	8.03	7.47	6.94	7.98	7.77	6.68	7.94	7.22	6.51	5.95	6.66	6.13	5.47	6.66

Where # is Grain size number, S is standard, Ti is Ti additional, Zr is Zr additional, L is longitudinal, D is diametric, C is circumferential, no means no cold work and ↖, ↗ means cold work directions. Figure 1 shows the comparison of ASTM grain size number between materials.



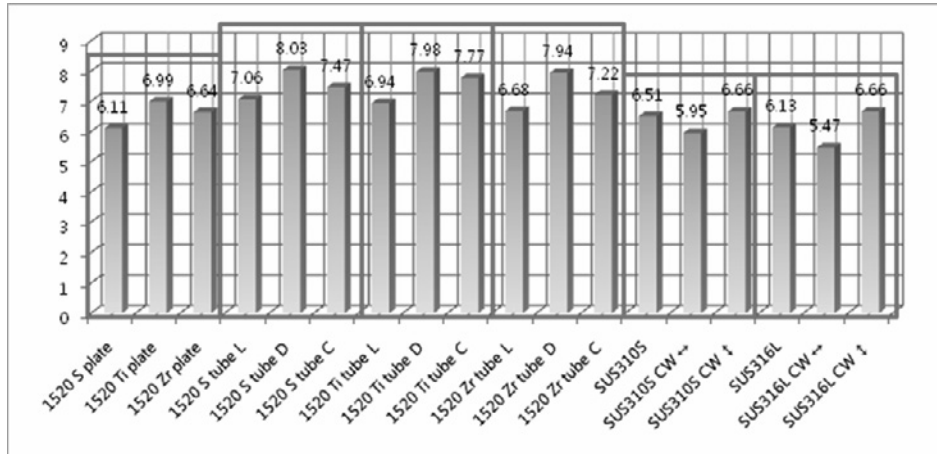


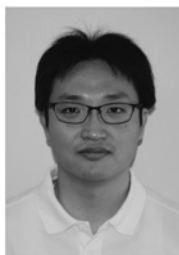
Figure 1 Comparison of ASTM grain size numbers

Hardness test results are as follows.

Table 4 Hardness test results

Materials	1520 alloy standard (plate)	1520 alloy Ti additional (plate)	1520 alloy Zr additional (plate)	1520 alloy standard (tube)	1520 alloy Ti additional (tube)	1520 alloy Zr additional (tube)	SUS310S plate		SUS316L plate	
							no	cw	no	cw
HV	157.0	152.4	164.0	275.2	283.6	285	184.6	275.4	196.2	292

‘no’ means no cold worked and ‘cw’ means 30% cold worked material.



氏名 豊田 篤

所属 情報科学研究科システム情報科学専攻 博士課程後期3年

指導教員 流体科学研究所 大林 茂教授

研究課題

超音速複葉翼低ブーム性能の実験的検証

## 平成22年度 研究成果概要

現在の旅客機市場には数十人乗りの小型機から数百人乗りの大型機、また航続距離が千海里程度の短距離機から八千海里を超える長距離機まで多種多様な機体が存在する。しかしながら、巡航速度に関してはほぼ全ての旅客機がマッハ数0.8前後で飛行する。昨今インターネットなどの普及により、特にビジネスの領域で即応性が重要視されるようになってきた。現在のように日本―米国や日本―ヨーロッパのような長距離でも10時間以上の時間を掛けずに移動することが求められている。また、長時間のフライトではエコノミー症候群に代表されるような健康問題も浮上してきている。これらのことから移動速度の向上、すなわち旅客機の超音速化が望まれている。

現在までに就航した最初で最後の超音速旅客機はコンコルドであるが、この機体も2003年に退役してしまっている。超音速旅客機にはいくつか大きな問題が存在している。一つの大きな問題は、離陸時の騒音である。超音速機は大抵、亜音速での性能が悪いために、コンコルドの場合は離陸時にアフターバーナーを焚いて轟音と共に離陸をする必要があった。他の大きな問題はソニックブームである。これは機体が超音速で飛行した際に機体の各所から発生した圧力波が地上へ伝播する課程で整理統合され、地上で大きな爆発音として聞こえる現象である。このソニックブームは機体のサイズや速度にもよるが、建物をも揺るがすような大きな爆発音である。この音の問題があるため、現在多くの国や地域では陸地上空を超音速で飛行することが禁止されている。つまり、騒音の低減が超音速旅客機実現のために達成しなければならない必要不可欠な課題である。

この為に現在世界各地でソニックブームの騒音低減が研究されている。代表的な物はSeebass/ Dardenによる低ブーム理論に基づく手法や細長物体理論に基づく手法であるが、これらは機体から発生し地上に伝播する圧力波の総量は減らさずに、その分布を変化させることにより地上へ伝播する間に起こる波の統合を遅らせ、地上で聞こえる音の強度を弱くしようという手法である。これらの手法の他に超音速複葉翼理論に基づく手法がある。これは複葉翼を採用することにより翼間で圧力波を干渉させ、地上に伝播する圧力波の総量を減らそうという手法である。この手法を用いることで前述の手法より低ブーム化が望める上に低速（離陸時）での性能向上も望めるため、超音速複葉翼理論に基づく手法を採用し次世代超音速機の実現を目指し研究を行った。

これまでの研究では超音速複葉翼の翼間で発生する衝撃波干渉に関しての研究が主であった。しかし、その低ブーム性能を評価するには翼から発生し地上に伝播する圧力波を評価する必要がある。これが今まで十分に行われてこなかった。これは風洞試験では模型を支える支柱が必要となり、そこから発生する圧力波と模型から発生する圧力波を分離することが難しいからである。しかし、超音速複葉翼が次世代超音速旅客機として有用であることを示すには、模型から発生する圧力波を計測する必要がある。

本研究ではバリスティックレンジという設備を用いて模型から発生する圧力波を計測した。バリスティックレンジでは模型を圧縮ガスにより射出し模型を自由飛行させる。この設備では風洞試験と違い模型を支える支柱を必要としないため模型から発生する圧力波のみを計測することが出来るので、本研究に適している。この設備の問題として模型が自由飛行しているので、模型の姿勢制御が難しいという事がある。姿勢が崩れる問題として、サボ分離と飛行中に模型が受ける空力により回転してしまうという二つの問題が考えられた。どちらが主な原因か解明するために、高速度カメラを2台使用して、加速管端と試験部の2カ所で模型の可視化を行った。その結果、模型は加速管から射出された時点で姿勢が崩れていたため、サボ分離が模型の姿勢が崩れる原因だと考えた。以前のバリスティックレンジ実験では金属の模型をサボと呼ばれるプラスチック製のケースに入れて射出していた。これは模型が直接加速管と接触すると、加速管及び模型が変形してしまう恐れがあったためである。しかし、模型がサボとの分離時に模型の姿勢が崩れるということが判明したため、模型の材料を金属からプラスチックに変更することにより模型をサボに入れず加速管に沿わせて加速させられるようにした。この変更により、模型の姿勢が加速管から射出されるまで崩れないようになった。この改良により大幅な姿勢問題の改善が見ら

れたが、未だ模型の姿勢が十分に良くなることは無かった。模型は理想的な静止気体中を飛行する場合、初期迎角があってもほとんど姿勢の変化を行わないことが数値シミュレーションにより求められている。しかし、模型は試験部に到達するまでに10度程度回転してしまった。これは模型が加速管内を圧縮ガスにより加速する際、管内前方の空気を圧縮するので模型前方にプリカーサショックという圧力波が形成される。模型は試験部に達するまでにこのプリカーサショックを通過せねばならず、これを通過するときに圧力波から力を受け姿勢が崩れてしまうのである。この問題を解決するために何度も実験を重ね、模型及び設備を改良した。改良の結果、超音速複葉翼模型を迎角0度で飛行させることに成功したが、比較対象の単葉翼模型は0度付近で飛行させることが出来なかった。これに関してはさらなる模型の検討、装置の改良が必要である。

超音速複葉翼の翼模型とは別に翼胴形模型でも試験を行った。これは従来機のような翼胴形形状に超音速複葉翼を取り付け飛行させた場合でも単葉翼機よりも発生する圧力波が弱いことを示すためである。翼胴模型では、単葉翼模型及び導体模型は迎角0度で飛行させることに成功したが、超音速複葉翼模型に関しては-2.35度での飛行となってしまった。このままでは正しい比較が出来ないので、実験と同条件での数値シミュレーションを行った。その結果、数値シミュレーションは計算コストの関係で多少圧力波がなまってしまっていたが、全ての模型に関して実験結果と数値シミュレーションは良い一致を得た。そこで、数値シミュレーションの結果を用いて超音速複葉翼と単葉翼の結果を比較すると、超音速複葉翼から発生し地上へ伝播する圧力波の強度は単葉翼模型のそれと比較して約半分になることが分かった。超音速複葉翼模型は実際に作製するために理想的な形状からの変更点があり、その効果を十分に発揮することが出来なかったのも、これを改良すればさらなる圧力波の低減が見込める。この結果から超音速複葉翼が低ブームに関し有用であることが示された。

## 研究業績

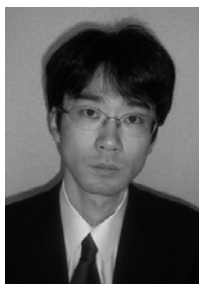
### 【学術雑誌等への発表】

1. 藤園崇, 山下博, 豊田篤, 永井大樹, 浅井圭介, 鄭信圭, 大林茂, "テーパ型超音速複葉翼の始動特性と翼端板効果", 日本航空宇宙学会論文集(執筆中)

### 【学会発表】

#### 【国際】

1. Toyoda, S. Obayashi, K. Suzuki, K. Shimizu, A. Sasoh, A. Matsuda, "Low Boom Characteristic of Supersonic Biplane with Sears-Haack Fuselage", The Seventh International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Nov. 2010 (発表予定)



氏名 小原 健

所属 情報科学研究科システム情報科学専攻 博士課程後期1年

指導教員 情報科学研究科システム情報科学専攻 橋本 浩一教授

副指導教員 流体科学研究所 石本 淳 准教授

研究課題

蛍光物質の高速なオートフォーカスの実現

## 平成22年度 研究成果概要

【目的】 生物学・医学は光学顕微鏡と共に発展してきた。しかし一方、従来の光学顕微鏡には、拡大率と視野範囲の間にトレードオフがある。つまり、拡大率を高くするにつれ、視野範囲が狭くなる。このトレードオフにより、運動する細胞を高拡大率で観察する場合には、細胞が顕微鏡の視野外に出て観察が中断してしまうという問題が生じる。問題の解決手法として、1: 倍率を下げて視野を広げる、2: 機械的または化学的に細胞の運動を抑制する、の2手法が従来はとられていた。しかし手法1では詳細な観察が不可能となり、手法2では細胞の運動が抑制され、運動状態を観察することが出来なくなる。運動とは外界の刺激に対する細胞の応答であり、それ自体が重要な研究分野である。よって細胞の運動を抑制せずに、高い拡大率かつ広い範囲で観察を継続できる顕微鏡の開発が重要である。

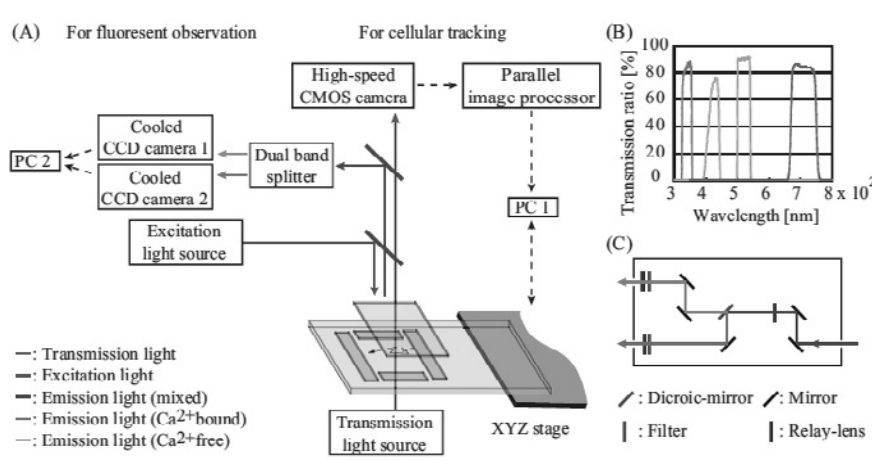


図1. 高速オートフォーカス・追跡顕微鏡の構成図.

【提案手法の概要】 上記の問題を解決するため、図1に示す顕微鏡システムを開発した。観察対象は電動XYZステージ上に載せられており、ビジュアルフィードバックコントロールによって、視野中心かつフォーカスの合った位置に制御される（オートフォーカス・追跡）。この顕微鏡システムでは、観察対象の明視野像（図2）と蛍光像（図3）を同時に撮影することができる。明視野像を用いることで観察対象の位置を高速に計測することができ、オートフォーカス・追跡に利用する。また蛍光像を用いることで細胞の内部状態を計測することができる。

【オートフォーカス】 観察対象と焦点面との距離を計測し、それを打ち消すように電動XYZステージを移動させることでオートフォーカスを行う。ところで観察対象と焦点面との距離に応じて、細胞膜周辺に干渉縞が生じる。そこで細胞膜周辺の輝度に、個体ごとの補正項（図4）を加えたものから、観察対象と焦点面との距離を逆算した。この手法を用いることで、1ms以下の短時間で焦点方向の距離を計測することができた。

個体ごとの補正項は、約1sの自動的なキャリブレーションにより決定した。キャリブレーションはスキャンとコントラスト強度を用いた方法で、個体差の影響を受けにくい。図4より補正項は個体によって様々であったが、キャリブレーションによって対応することができた。

【実験結果】 図2はゾウリムシをオートフォーカス・追跡して撮影した明視野像である。時刻1250msまでにキャリブレーションを行い、それ以降約40s、高速に3次元的に運動するゾウリムシを継続的に観察することができた。図3は蛍光像により計測されたゾウリムシ細胞内のCa<sup>2+</sup>イオン濃度分布である。ゾウリムシは機械・温度等の外部刺激を受けると、細胞内部のCa<sup>2+</sup>イオン濃度が上昇し、運動方向を転換



することが知られている。

【結論】 提案手法により自由に運動するゾウリムシを継続的に観察し、細胞内 $\text{Ca}^{2+}$ イオン濃度を計測した。この手法はゾウリムシのみならず、白血球や線虫といった多くの細胞・生物や、ビーズなどの非生物に対しても用いることができると考える。

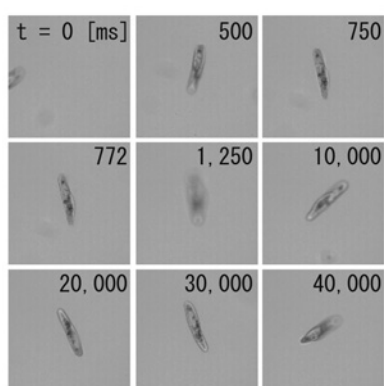


図2 (左) . 自由に運動するゾウリムシの明視野像の時系列表示.

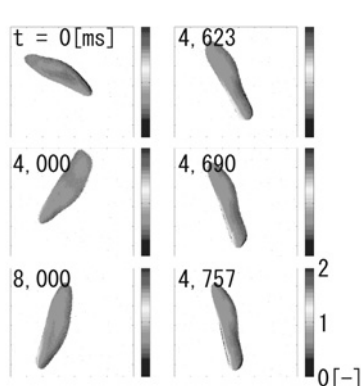


図3 (中央) . 自由に運動するゾウリムシの蛍光像 ( $\text{Ca}^{2+}$ イオン濃度分布) の時系列表示.

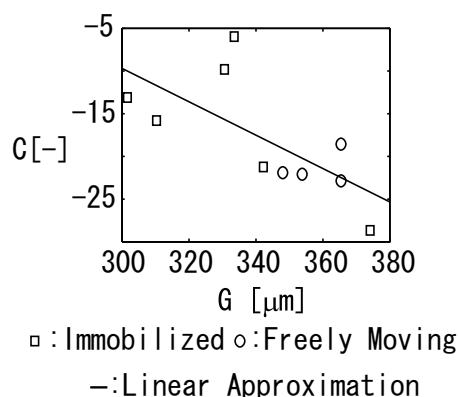


図4 (右) . ゾウリムシの細胞周長 (G) とオートフォーカス補正項 (C) の関連性.

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. 小原 健, 五十嵐 康伸, 橋本 浩一, “細胞の個体差に適応する高速オートフォーカス顕微鏡”, 計測自動制御学会論文集, 第47巻1号(2011年1月号・特集号) (掲載予定)

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. 小原 健, 橋本 浩一, “運動する微生物のためのオートフォーカス”, 第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 口頭, 2010/12/25

#### 【国際】

1. T. Obara and K. Hashimoto, “Tracking and Autofocusing Microscope”, Seventh International Conference on Flow Dynamics, ポスター, 2010/11/2



氏名 佐藤 功人

所属 情報科学研究科情報基礎科学専攻 博士課程後期2年

指導教員 情報科学研究科情報基礎科学専攻 滝沢 寛之 准教授

副指導教員 工学研究科航空宇宙工学専攻 中橋 和博 教授

研究課題

複合型計算システムを効率的に利用するための実行時プログラミング支援手法に関する研究

## 平成22年度 研究成果概要

高性能計算機は、様々な分野においてシミュレーションや分析に用いられている重要な研究基盤の一つである。高精度化のために大量の演算が必要な流体力学のシミュレーション等の実アプリケーションでは、計算機に対して常により高い性能が求められている。近年、高性能計算機分野において汎用プロセッサと共に、特定の用途に特化して設計されたプロセッサ（アクセラレータ）を組み合わせた複合型と呼ばれる高性能計算機が普及してきている。アクセラレータは演算対象を仮定して専用に設計することで、汎用プロセッサに比べて高いデータ供給能力と演算性能を持つ事が多い。特に、描画処理用プロセッサ(Graphics Processing Unit, GPU)は、高い演算能力とデータ供給能力を持ち、一般的な計算機に既に多く搭載されている有用なアクセラレータである。

複合型計算機において高い性能を実現するためには、アクセラレータを適切に用いるようにプログラムを記述することが重要となる。しかし、アクセラレータは演算処理に対して得手不得手の差が大きいために、アクセラレータに対して割り当てる処理を慎重に選ばなければならない。また、アクセラレータに演算を割り当てる際には、アクセラレータへデータを移す必要があるため、データ転送時間を含めてもアクセラレータを用いることで実行時間の短縮が可能な場合のみに処理を割り当てるべきである。よって、処理の割当て状態はアクセラレータのみならず、システム全体の構成に合わせて変更する必要がある。さらに、アクセラレータのアーキテクチャに合わせてプログラムの最適化を行わなければ、最大限の性能を出すことはできない。以上より、複合型計算機において高い性能を達成可能なプログラムは、特定のアクセラレータを搭載した計算機構成向けに特化されることになり、プログラムの移植性や再利用性が低下することが問題となっている。

本研究では、プログラムの移植性や再利用性を維持しながら、複合型計算機の持つ高い性能を容易に利用可能とするプログラミング支援手法の確立を目指す。そのために、アクセラレータに依存せずプログラムを記述可能とする言語の開発と、アクセラレータに対する処理の割当てを実行時に自動的に行う手法の開発を行う。

これまでに、アクセラレータを利用する環境としてNVIDIA社が提供するCUDAを用い、実行時にCPUとGPUのいずれかから自動的に適切なプロセッサを選択するプログラミング支援手法として、SPRAT(Stream Programming with Runtime Auto-Tuning)を提案している。従来では、CPU用とGPU用のプログラムを別々に記述しなければ動的なプロセッサ選択を行うことはできなかったが、SPRATが提供する独自のプログラミング言語で処理を記述することにより、それぞれのプロセッサ向けに自動的にプログラムが生成され、かつGPU用のプログラムには一般的に効果が認められる最適化が自動的に適用される。また、実行時には過去の実行時間に基づき次回の実行時間を予測し、自動的に実行時間が最短となるアクセラレータに割り当てる機能を備えている。

SPRATを利用するためには、プログラムを独自のSPRAT言語を用いて書き換える必要があった。現在ではアクセラレータに対する標準化されたプログラミング環境としてOpenCLが提案されている。そのため、本年度からはSPRATで行っていたアクセラレータの抽象化と自動選択機能を、より汎用性の高いOpenCL環境下で行う手法の開発を行っている。OpenCLはSPRATに比べてプログラミングの自由度が高く、複雑なプログラムを記述可能であるという特徴がある。そのため、OpenCLにおいて実行時にアクセラレータの自動選択を実現するためには、SPRATで仮定していた処理対象のデータ量と実行時間の間に存在する比例関係を仮定することができず、新たな実行時間予測手法が必要となる。

OpenCLにおいてアクセラレータで実行されるプログラムはカーネルと呼ばれる。このカーネルをアクセラレータ上で実行する場合には、引数や処理を割り当てる単位の大きさなど、様々な実行時パラメータを設定する必要がある。用いるハードウェアが変わらない限り、カーネルの実行時間はこれらのパラメータに依存して決まることになるが、様々な実行時パラメータの中でどのパラメータが実行時間に影響を与えるかを特定しなければ予測に用いることはできない。そこで、本研究ではこれらの実行時パラ

メータを適切に用いて履歴ベースの実行時間予測の精度を高める手法を提案している。

提案手法の流れを図1に示す。本手法では、まず各実行パラメータと実行時間の値との間で相関係数を計算し、実行時間に全く影響を与えないパラメータ（N型）、非線形の影響を与えるパラメータ(W型)、線形の影響を与えるパラメータ(S型)に分類する。N型パラメータは予測モデル構築から除外し、W型パラメータについては、そのパラメータの値が近い履歴毎にグループ化し、グループ内では非線形の影響を無視できるようにする。分類された実行時間グループ毎に、S型パラメータをもちいて線形予測モデルを構築する。次回実行時には、W型パラメータの値が近い履歴グループから生成された予測モデルを選択し、S型パラメータをモデルに代入して予測時間を求める。全てのパラメータを単純に用いて予測モデルを構築する場合に比べて、パラメータが与える影響毎に利用方法を変えることで、予測精度の向上が可能である。

この手法を用いて、OpenCLを用いて実装されたベンチマークに含まれる133種類のカーネルについて予測精度の評価を行った結果を図2に示す。図2の横軸は評価を行ったアクセラレータを示し、縦軸は実行時間誤差10%以内で予測可能なカーネルの割合を表している。提案手法(図中proposal)の比較手法として、単純に履歴の平均を取った場合(average)、SPRATの予測手法を用いた場合(global ws)、全実行時パラメータを用いて予測モデルを構築した場合(glls)を示している。どの場合でも、提案手法は最も高い予測精度を達成しており、OpenCLのような自由度の高いプログラミング環境においても、多くのカーネルで高い予測精度を達成可能であることを示すことができた。

今後はこの予測手法を用いることで、利用可能な全てのアクセラレータに対し、OpenCLで記述されたプログラムを自動的に割り当てて、負荷分散を図る手法の確立を目指す。そのために、カーネル間の依存解析手法や、データ転送の自動化を行う手法の構築を行う。また、これらの手法について、常に高い演算性能を求められる分野である流体力学シミュレーション等の実アプリケーションで評価を行っていく予定である。

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. Kazuhiko Komatsu, Katsuto Sato, Yusuke Arai, Kentaro Koyama, Hiroyuki Takizawa, and Hiroaki Kobayashi, "Evaluating Performance and Portability of OpenCL Programs," in Proceedings of the 5th international Workshop on Automatic Performance Tuning, USB-memory(pp.1--15), 2010/05/06.
2. Hiroyuki Takizawa, Kentaro Koyama, Katsuto Sato, Kazuhiko Komatsu, and Hiroaki Kobayashi, "CheCL: Transparent Checkpointing and Process Migration of OpenCL Applications," in Proceedings of the 25th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS2011), 2011 採録決定.

### 【学会発表】

#### 【国際】

1. Katsuto Sato, Kazuhiko Komatsu, Hiroyuki Takizawa, and Hiroaki Kobayashi, "A Runtime Task Reallocation Library for Heterogeneous Computational Environments," 7th International Conference on Fluid Dynamics, Sendai, November 2010, ポスター発表.
2. Katsuto Sato, Kazuhiko Komatsu, Hiroyuki Takizawa, and Hiroaki Kobayashi, "A History-based Performance Prediction Model with Profile Data Classification for Automatic Task Allocation in Heterogeneous Computing Systems," ISPA 2011, The 9th IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications, 2011, 査読中.

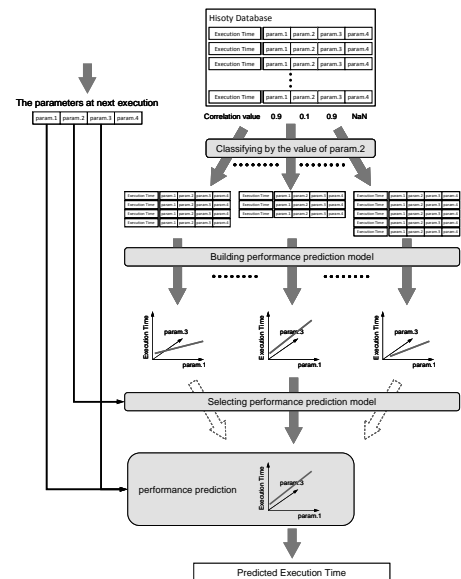


図1. 提案手法の予測手順

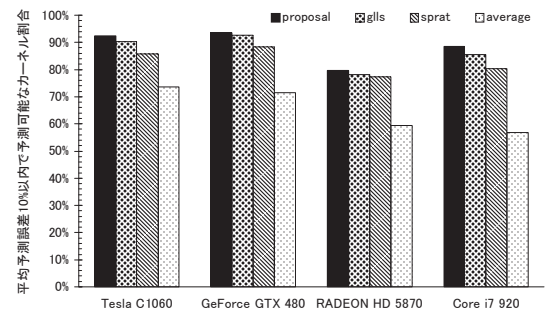


図2. 提案手法の評価



氏名 柳 昌昊

所属 医工学研究科医工学専攻 博士課程後期3年

指導教員 流体科学研究所 太田 信准教授

研究課題

PIV MEASURED HEMODYNAMIC STUDY WITH SEVERAL STENT IN A CEREBRAL ANEURYSM MODEL

## 平成22年度 研究成果概要

The main goal of this year's research is to study the effect of with and without stent and with various stent shapes on the hemodynamic properties of the flow inside an aneurysm using Particle Image Velocimetry (PIV) in cerebral silicone aneurysm model. PIV is a non-intrusive technique which allows reconstructing the velocity vectors fields in a flowing fluid seeded with particle.

In order to quantify the strength of the recirculation inside aneurysm model with and without different stent samples shown in Fig 1, Particle Image Velocimetry (PIV) system (LAVISION GmbH Flowmaster PIV system, LAVISION GmbH, Germany), together with a Nd:YAG laser, was used to obtain the velocity information inside the aneurysms. The PIV system is capable of providing a quantitative two-dimensional picture of displacement of particle and velocity vector field of the flow. The displacement of the particles is obtained by locally cross-correlating sequential images recorded by a CCD camera (FASTCAM SA3, Photron co, Japan). The cross-correlation function of the two samples is calculated using FFT techniques. Measurements are obtained not only on the X-Y plane but also on the X-Z plane for all cases. The detail explanations are provided in Fig. 2.

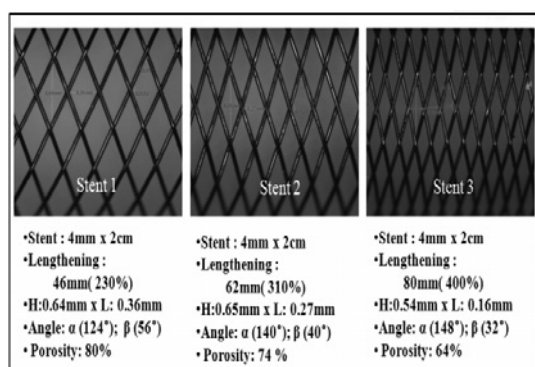


Figure 1: The dimension of three stent samples and XZ plane

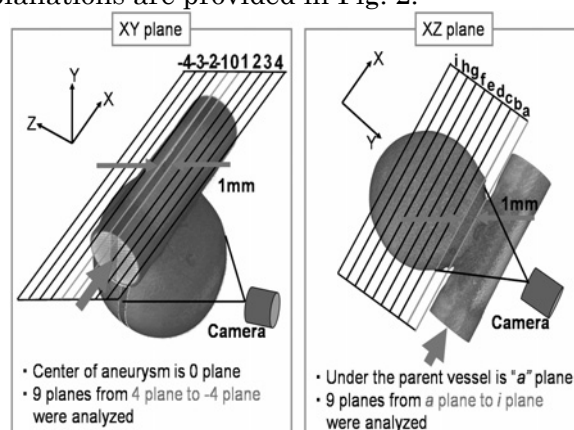


Figure 2: Measurement area in XY plane and XZ plane

The cerebral silicone aneurysm model with three different porosities and non-stented aneurysm model were used for comparing the effect of the stent porosities. Based on the stent porosity, the flow pattern was changed. Figure 3(a) shows that variation of the flow patterns in the non-stented aneurysm. The steady flow condition is used. In Fig.3 (a), vortex in the non-stented aneurysm is driven directly by the flow in the parent vessel. Figure 3 (b), (c) and (d) shows that the vortex size is reduced due to the presence of stent. This reduction of vortex size with stent porosity causes a reduction of wall shear rate. By the result of comparison of the flow between with three different stents and without stent using PIV system, the difference of inflow patterns and velocities from the parent vessel in all XY and XZ planes should be measured. The speed in inflow zone of without stent was larger than those of with all stents. The observation of the pattern in inflow zone shows that the stent placed out of the aneurysm neck makes the direction of the flow could be changed in Fig. 3 (b), (c) and (d). Figure 3(d) shows the velocity vector plots inside aneurysm silicone model with stent 3 ( $C_a=64\%$ ), inserted inside the parent vessel at  $Re=300$  at the 0 plane in XY plane. As shown, the strength of the velocities inside could be significantly reduced compared to no stent in shown Fig. 3(a) over most of the aneurysmal pouch. A similar trend for the flow has been observed for the cases



with stent 1 and 2 inserted but with slightly higher velocities due to large porosity. Although the magnitude of the flow for all cases inside the aneurysmal pouch is very small, the flow pattern is still discernible.

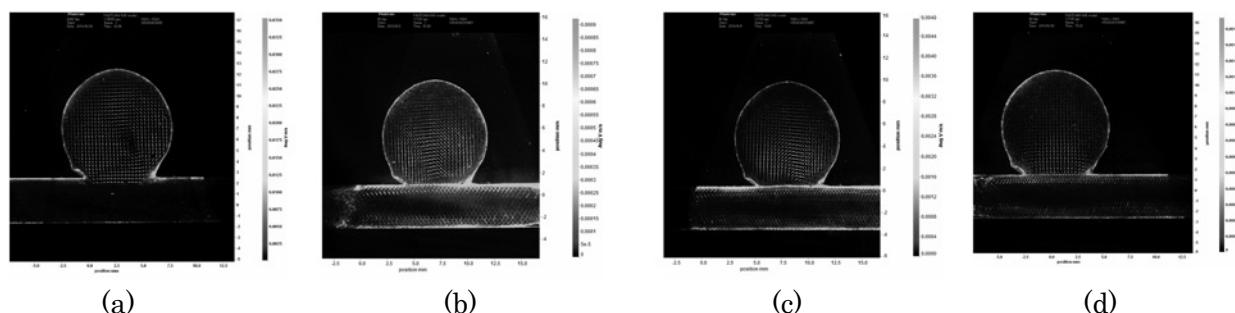


Figure 3: Velocity vector plots at the 0 plane in XY plane: Model with (a) no stent ( $C_a=100\%$ ), (b) stent 1 ( $C_a=80\%$ ), (c) stent 2 ( $C_a=74\%$ ) and (d) stent 3 ( $C_a=64\%$ )

However, all flow patterns are different with various stents at 0 planes in XY plane. The flows in stent 1 ( $C_a=80\%$ ) enter into aneurysm at regions around distal neck. After traveling smoothly along the surface of stent, the flow exits the aneurysm at region close to the proximal neck as shown Fig. 3(b). The directions of the flow with stent 2 ( $C_a=74\%$ ) are from the proximal neck to the distal neck. Figure 3(c) shows the opposite direction compared to Fig. 3(b). Figure 3(d) also shows that the flow enter into the center of aneurysm and its flow exits the aneurysm at the region close to the proximal neck and the distal neck, respectively. As shown in Fig. 4, the mean velocities of without stent were larger than those of with stents in all XY and XZ planes. Of particular note, is to be effective in dampening the flow movement inside the aneurysm,  $C_a$  should be kept around 60% for the stents concerned in Fig. 4. This parameter may be useful to guide the choice of stent for a particular case.

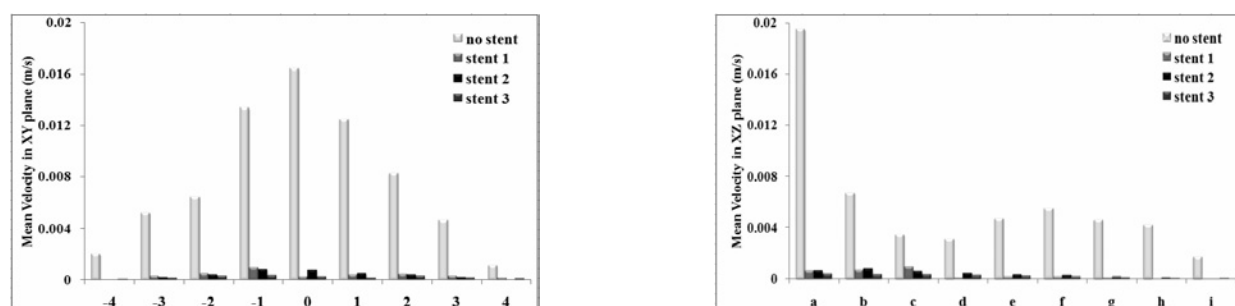


Figure 4: The mean velocity in XY plane and XZ plane: Model with no stent ( $C_a=100\%$ ), stent 1 ( $C_a=80\%$ ), stent 2 ( $C_a=74\%$ ) and stent 3 ( $C_a=64\%$ )

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. ChangHo YU, Hiroyuki KOSUKEGAWA, Keisuke MAMADA, Kanju KUROKI, Kazuto TAKASHIMA, Kiyoshi YOSHINAKA and Makoto OHTA, Development of an In Vitro Tracking System with Poly (vinyl alcohol) Hydrogel for Catheter Motion, Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol.5, No.1, 2010

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. Kazuto TAKASHIMA, Kiyoshi YOSHINAKA, Toshinaru MUKAI, Chang-Ho YU, Makoto OHTA and Hitoshi MABUCHI, "Computational simulation of catheter motion in hepatic blood vessels", The 49th Annual Conference of Japanese Society for Medical and Biological Engineering, Poster, 2010 Jun 25<sup>th</sup> (in Japanese)

【国際】

- 1 . 6<sup>th</sup> World Congress on biomechanics, Simulations of Endovascular Treatment for Cerebral Aneurysm ,Ohta, K. Matsumoto, S. Shida, C. Kiyomitsu, H. Kosukegawa, N. Tomita, C.H. Yu, H. Anzai, T. Nakayama, and Anne M. Robertson, Oral, 2010 Aug 6<sup>TH</sup>
- 2 . Siric International symposium 2010 (Stent developement: Present and Future), Biomodel for Development of Intracranial, Mokoto OHTA, Hiroyuki KOSUKEGAWA, Shuya SHIDA, Kei OZAWA, Noriko TOMITA, ChangHo YU, Oral , 2010 July 2nd
- 3 . 7<sup>th</sup> ICFD, PIV Measured Hemodynamics Study with and without Stent in cerebral silicone aneurysm model, ChangHo YU, Shuya SHIDA and Mokoto OHTA, Oral, 2010 Nov 2<sup>nd</sup>
- 4 . 2010 Swiss/Japan International Seminar on **Medical Engineering Based on Vessel Biology**, PIV MEASURED HEMODYNAMIC STUDY WITH SEVERAL STENT IN A CEREBRAL ANEURYSM MODEL, ChangHo YU, Shuya SHIDA , Kaoru MATSUMOTO and Mokoto OHTA, Oral, 2010 Nov 15<sup>th</sup>



氏名 韓 笑波

所属 医工学研究科医工学専攻 博士課程後期1年

指導教員 流体科学研究所 太田 信准教授

研究課題

空間的な勾配を有するせん断応力に対する血管内皮細胞および血管平滑筋細胞の応答とその応答の機理

## 平成22年度 研究成果概要

私は今年の10月に博士前期課程を修了し博士後期課程に進学した。博士前期課程で行った研究としては、内皮細胞が血流から受ける影響を調べるため、せん断応力とせん断応力勾配の組合せを負荷された内皮細胞の細胞骨格リモデリングおよび形態変化と細胞内シグナル伝達分子との関係を調べた。その結果、せん断応力勾配が内皮細胞内において細胞骨格の一つであるアクチンフィラメントの形成・配向を抑制することを明らかにした。このことにより、せん断応力勾配によって生じる細胞間張力が細胞応答に関与していると考え、細胞間接着タンパク質を調べたところタンパク質活性化を示すリン酸化がせん断応力勾配により増加していることを発見した。さらに、細胞間接着タンパク質を起点とし、アクチンフィラメントリモデリングに関与する細胞内シグナル伝達因子のうち、ERK(extracellular signaling-regulated kinase)を阻害することで内皮細胞はせん断応力勾配に対する配向・伸長することをつきとめた。以上の結果により、せん断応力勾配は内皮細胞間接着部に張力を生じられることで、細胞間接着タンパク質を活性化させ、ERK経路を通して形態変化を抑制することを解明した。空間的な勾配を有するせん断応力に対する内皮細胞の応答メカニズムを解明する上で貴重な情報となる結果を得ることができた。

近年、空間的なせん断応力勾配は脳動脈瘤の形成に起因していると報告されている。空間的なせん断応力勾配に対する内皮細胞および平滑筋細胞の応答が脳動脈瘤形成に関与していることが予想されるが、これらに関する報告はなされていない。そこで私の博士後期課程の研究では、博士前期課程の研究を発展させ、まず内皮細胞および平滑筋細胞に同時にせん断応力とせん断応力勾配の組合せを負荷できる実験系を構築することである。その後、内皮細胞および平滑筋細胞の応答を調べることを予定している。

## 研究業績

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. 第58回レオロジ討論会, Endothelial cell responses to complex hemodynamic conditions created by a novel-designed flow chamber, 口頭, 2010.10.4
2. 第23回バイオエンジニアリング講演会, 空間的なせん断応力勾配に対する内皮細胞内のチロシンリン酸化, 口頭, 2011.1.9



氏名 信太 宗也

所属 医工学研究科医工学専攻 博士課程後期1年

指導教員 流体科学研究所 太田 信准教授

研究課題

PVAバイオモデル内流れのPIV計測とFSIによる血流解析

## 平成22年度 研究成果概要

### 背景

心疾患、高血圧疾患、脳血管疾患などの循環器系疾患の発症による死亡率は、先進国、後進国に関わらず第一位の悪性新生物(ガン)と同程度となっており、その予防法や治療法を発展、確立させることが強く望まれている。脳血管疾患の一つである脳動脈瘤は、脳血管にできた紡錘状や嚢状の異常な膨らみのことで、破裂により、くも膜下出血等の致命的な症状を引き起こし得る。この脳動脈瘤の発症、進展、破裂は血管形状に起因した血流の状態や壁面せん断応力等の血行力学的要因により引き起こされると考えられている。

この血行動態と脳動脈瘤の関係を調べるため、生体内や生体外の血流計測、及びCFD (Computed Fluid Dynamics)による血流シミュレーション等の様々な研究が行われている。そのCFDの中でも、近年、血管壁の拍動挙動を考慮したFSI(Fluid Structure Interaction)が、その血流環境再現性の観点から注目されている。また、その計算結果を相互に評価するためにも、PIV (Particle Image Velocimetry)などの流体計測手法を用いて、拍動して壁が動く血管バイオモデル (生体血管に近い物性を持つ疑似血管モデル) 内流れの計測を行うことは重要である。

本研究ではまず、生体血管に近い物性を持ち得、かつPIVに適した高い透明性を兼ね備えたPoly (Vinyl Alcohol)(PVA)ゲルをバイオモデル材料として用い、そのバイオモデル内拍動流れのPIV計測を行う。そしてその計測条件でのFSI血流シミュレーションを行い、相互の結果を評価することで、より生体内の血流環境の再現性が高い血行動態解析を行うことを目的とする。

### これまでの研究進捗状況

博士課程前期ではPVAバイオモデルへのPIV計測の適用可能性を検討し、その計測手法の確立を目指した。その中で、PVA脳動脈瘤血管モデル内にはそのゲル内に屈折率の不均一性が生じることを発見し、それがPIV計測精度に誤差を生じさせることを確認した。また、PVA瘤モデルとシリコーン瘤モデル内の拍動流れを比較することで、定量的には計測誤差を含むものの、定性的に壁の拍動挙動が瘤内の流れに影響を与えることを明らかにした。

### 研究手法

博士課程後期1年(平成22年度)では、まず、PVAバイオモデル内のPIV計測精度改善を目的とした研究を行った。博士課程前期までの研究では、PVAバイオモデルとして内部に流路を持つボックスタイプモデルを用いていたが、ゲル内の屈折率の不均一性の計測結果への影響とゲルの厚さ形状の関係を調べるために、チューブ状の血管バイオモデルを作製し、チューブタイプモデルのPIV計測への適用可能性を調べた。

また、FSIに関する研究として、Fluentによる血流シミュレーションとAbaqusによる構造解析を交互に行う流体構造弱連成解析を行うために、各ソフトウェアを用いた解析手法の習得や連成解析法の確立を目指している。

### 研究成果の概要

Fig. 1は作製したPVAチューブモデル(PVA 12 wt %)で、その内径は4 mm、厚さは2 mmである。図中のモデルはアクリル型にセットされており、モデルと屈折率がマッチされた作動流体を用い、同様の液体をアクリル型に満たすことで、PIVレーザ光のモデル界面での散乱、屈折を低減し、計測精度の向上を図っている。

PIV計測によって得られた、PVAチューブモデル内定常流れ( $Re = 304$ )の速度分布をFig. 2に示す。結果の画像は瞬時画像100枚の平均画像である。チューブ内圧は、約110 mm Hgで、内径は4.92 mmに拡張していた。

PIV計測の精度を評価する方法として、管内流れの理論解であるポアズイユフローとの比較を行うことが一般に行われる。その比較結果を示したのが、Fig. 3である。ポアズイユフローは別途コリオリ流量計



で計測した流量から算出した。壁近傍である $r=+1$ 付近では、PIVの計測結果と理論解にずれが大きく見られるがこれは、粒子密度が少なかったためであると考えられる。壁近傍の結果を除くと、全体的な誤差は5%程度であり、PIVの結果は理論解と良く一致していると言える。

以上の結果より、チューブモデルを用いることで高い精度のPIV計測が行える可能性があることが分かり、PVA内部の屈折率の不均一性の影響も低減され得ることが示唆された。

#### 今後の研究計画

拍動流における流体連成解析手法を確立し、PIV計測結果と比較することで、相互の結果を評価し合い、血流と血管壁の動きの相互作用をシミュレーションと実験の両面から明らかにすることを目指す。

#### 研究業績

##### 【学術雑誌等への発表】

1. Shuya Shida, Hiroyuki Kosukegawa, Makoto Ohta, “Application of Blood-Mimicking Fluid for PIV Using Aqueous Mixture of Glycerol and Sodium Iodide”, Experiments in Fluid, (submitted)

##### 【学会発表】

###### 【国内】

1. 信太宗也, 小助川博之, 橋田葉子, 太田 信, “血管バイオモデル内流れのPIV計測のための疑似血液流体開発”, 日本流体力学会年会 2010, 札幌, 2010年7月23-24, pp.52-52, 口頭発表

###### 【国際】

1. Syuya Shida, Hiroyuki Kosukegawa, Kanju Kuroki, Makoto Ohta, “Development of Blood-Mimicking Fluid with Adjusted Refractive Index and Kinematic Viscosity for Applying to Particle Image Velocimetry”, 6th World Congress of Biomechanics, Singapore, Aug.1-6, 2010, pp.537, Oral presentation

## 14. 基本支援リサーチ・アシスタントの取り組みと実績



氏名 野村 勇樹

所属 工学研究科航空宇宙工学専攻 博士課程後期2年

指導教員 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 内山 勝教授

研究課題

RTコンポーネントを利用した汎用的なロボットシステムの開発

### 平成22年度 研究成果概要

#### 研究の背景

ロボットが何らかの作業を実行するとき、その動作は作業環境に適したものでなければならない。その中でも作業環境が人間の生活空間である場合、変化する環境と様々な作業に柔軟に対応できるロボットシステムが必要である。しかし、多種多様な作業・ロボット・環境条件に対してそれぞれに特有のシステムを構築しなければ作業が実現できないのであればその実用化は困難である。そこで、作業内容や作業対象物・利用するロボットが変わっても安全かつ確実に作業を行うことのできるロボットシステムを構築する。システムはRTコンポーネントの集合として構築し、各コンポーネントは作業を要素機能ごとに細分化したものを開発する。そしてその組み合わせにより様々な作業・ロボットに対応できるようシステムを構築する(図1)。

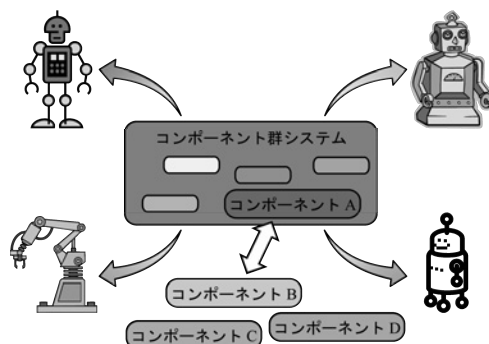


図1. 汎用的なロボット制御システム

#### 研究成果

まずは公共施設での食器片付け作業を取り上げ、特定の環境下で作業を達成できるシステムを構築することで多種の作業の基となるモジュール群を確立する。食器片付けは家庭内だけでなく、レストラン、ホテル、病院などの公共施設でも行われる一般的な作業であり、その自動化による社会的な波及効果は大きいと考えられる。また、人や環境との接触を考慮した安全性の面や多種の食器群に対する認識と把持方法の選択、他のロボットとの協調などロボットの実用化に向けた多様な課題を含んでいる。

食器片付け作業を実現するために必要な要素には、テーブル上にある食器の種類と位置・姿勢を認識する知能、ロボットがそのテーブルに近づくための軌道を計画する知能、ロボットによるマニピュレーション技術が挙げられる。

これまで、ロボットのマニピュレーションを行う移動マニピュレーションモジュール群及び回収対象となる食器の認識と位置・姿勢の検出を視覚を用いて行う作業環境認識知能モジュール群、ロボットの動作を決定する作業計画モジュールを開発し、それらを組み合わせて食器片付けのロボットシステムを構築した。また、ロボット実機による実証試験の前段階としてシミュレーションによる動作検証を行った。シミュレーションには動力学シミュレータOpenHRP3を利用し、四輪独立駆動型移動ロボットに冗長アームと視覚センサを有するロボットを搭載したロボットによる食器片付けシミュレーションを行った(図2)。

これらの取り組みを産学連携の共同研究として行い、議論およびプレゼンテーションを重ね開発を行った。また、これらの成果の一部を学会で報告した。

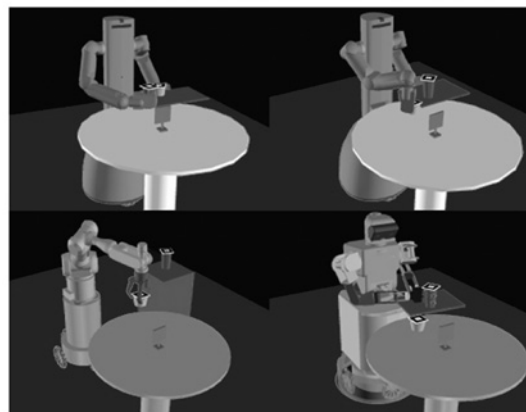


図2. 食器片付けシミュレーション

## **研究業績**

### **【学会発表】**

#### **【国内】**

1. “日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010”, “RT コンポーネントを活用したロボットサービスの実現例”, ポスター発表, 2010/6/16.
2. “第 28 回日本ロボット学会学術講演会”, “複数ロボットプラットフォームによる RT モジュールの汎用性検証”, 口頭発表, 2010/9/24.

#### **【国際】**

1. “International Conference on Advanced Mechatronics 2010”, “Application of the Robot Service by using RT Components”, oral, 2010/10/6.
2. “2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration”, “Verification of the Versatility of the RT Modules by the Multiple Robots Platform”, oral, 2010/12/21.



氏名 李 成基

所属 工学研究科航空宇宙工学専攻 博士課程後期1年

指導教員 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 内山 勝教授

研究課題

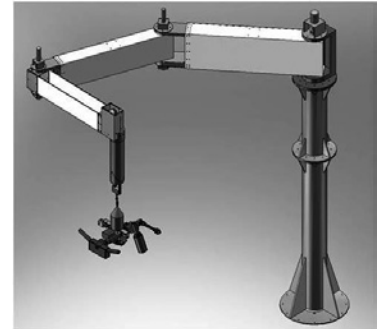
タスク分担型産業用パートナーロボットの開発

## 平成22年度 研究成果概要

### 【研究内容】

本研究では、人とロボットが作業空間を共有し協調して作業する人間共存・協調型産業用パートナーロボットを開発する。このロボットの特色は、生産ラインを完全自動化するのではなく、ロボットに困難な作業は作業者に任せ作業者の負担となる作業をロボットが支援することで作業を完遂することにある。これにより、これまで自動化が困難であった生産ラインに対してロボットと作業者が作業空間を共有する「新しい形の自動化」が実現される。

これまで、ロボットの各要素の開発および作業模擬空間での動作実験を行ってきた。ロボットの外観を図に示す。ロボットは水平多関節型の3リンク冗長アームとなっている。特徴としては各関節に柔軟関節を用いており、手先には重力補償機構とグリップを備えている。



### 【今年度の目標】

今年度は、作業者と安全に協調作業を行える制御システムを構築し、開発したロボットを自動車生産ラインの重量部品組付け工程に導入することを目標とした。

### 【今年度の成果】

ロボットと作業者が接触した場合に、それを検知しパッシブに動くことで作業者の安全を確保する柔軟関節を利用した力センサレス接触検知システムを実装した。これにより、ロボットと作業者が安全に共存できるシステムを構築した。また、実際の生産ラインにおいてトライアンドエラー方式で動作実験を繰り返し行い、軌道追従性や安全性など制御システムの精度を高めた。今年度中に実際の生産ラインに導入する予定である。

## 研究業績

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. 李成基，姜欣，阿部幸勇，安孫子聡子，近野敦，内山勝：“非力拘束把握型グリップによる重量物ハンドリング”，第28回日本ロボット学会学術講演会，102-4，2010.





氏名 森澤 征一郎

所属 工学研究科航空宇宙工学専攻 博士課程後期1年

指導教員 流体科学研究所 大林 茂教授

研究課題

データマイニングを用いた非定常流れ場における現象探索手法の研究

## 平成22年度 研究成果概要

非定常計算に関する数値シミュレーションを行うと、流速・圧力などの物理量データは計算空間内の各格子点において時間ステップ毎に得られる。その結果、定常計算に関する数値シミュレーションに比べて得られるデータ容量は格段と増加し、人間の力で一括処理することは難しい。そのため、データ利用者は勘や経験を頼りに注目すべき領域を絞り込んで処理することが多い。しかし、この方法では、データは断片的なものであり、データ全体に関わる普遍的な情報を見落とす可能性がある。この問題の解決策として、「データマイニング」という情報技術を適用し、未知な流動現象に対して新たな流体情報の獲得を目指した現象探索手法の構築を目指している。

現在までにデータマイニングを適用し、動脈瘤内と磁気ディスク装置内それぞれの流れ場とそこで起こる現象の関連性を調べてきた。その内、動脈瘤に関しては血液循環と循環器疾患の関係を調べることで、動脈瘤破裂が起こる可能性をもった場所を見つけ出した。一方、磁気ディスク装置に関しては非定常流れ場とディスクに作用する流体加振力との関連性を調べることで、流体加振力の発生に強く影響する場所を見つけ出した。さらに、その結果を基に流れ場と流体加振力の関係をグラフ構造で表わし、流体加振力の発生メカニズム解明を試みた。以上の結果、非定常計算で獲得したデータを絞り込むことなく、流れ場全体のデータを包括的に調べることができ、データマイニング手法の有効性が確認できた。また、これらの結果の詳細は下記の研究業績という形で発表した。今後は、ロケット打ち上げの際に生み出す排気ガス（プルーム）が機体に及ぼす音響問題に関わる現象理解と音響場予測法の開発に関する研究をデータマイニングの情報技術を軸に実施していく予定である。

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. Seiichiro Morizawa, Koji Shimoyama, Shigeru Obayashi, Kenichi Funamoto, and Toshiyuki Hayase,  
"Implementation of Visual Data Mining for Unsteady Blood Flow Field in an Aortic Aneurysm,"  
Journal of Visualization. (投稿中)

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. 第3回流動ダイナミックス国際若手研究会,  
"非定常流れ場における情報探索手法の研究", ポスター, 2010年7月26日, 仙台.
2. 第15回計算工学講演会,  
"大動脈瘤内における非定常血流場に関する情報探査", 口頭, 2010年5月26~28日, 福岡.

#### 【国際】

1. World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC2010),  
"Data Mining for the Investigation of Unsteady Flow Field in a Hard Disk Drive", Oral,  
December 15-17, 2010, Kitakyushu, Japan. (発表予定)
2. The Seventh International on Flow Dynamics (ICFD2010),  
"Physics Mining for Unsteady Flow Field in a Hard Disk Drive," Poster, November 1-3, 2010,  
Sendai, Japan.
3. 22nd International Conference on Computational Fluid Dynamics 2010 (Parallel CFD 2010),  
"Visual Data Mining for Unsteady Blood Flow Field", Oral, May 17-21 2010, Kaohsiung, Taiwan,  
May 17-21 2010.



氏名 李 栄敏

所属 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 博士課程後期3年

指導教員 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 小野 崇人教授

研究課題

マイクロFT-IR干渉計の作製

## 平成22年度 研究成果概要

Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy has been used for the qualitative and quantitative analyses of liquid, solid and gaseous substances. FTIR spectroscopy is used in applications where multi gas detection is needed and continuous monitoring is required, such as gas emission and process monitoring. FTIR spectrometer with palm-size and low cost would extend application fields such as monitoring of environment gases for safety at various places, for example, at factories and chemical plants. Few groups have reported miniaturized spectrometers for gas detection. For the environmental gases detection, the resolution of interferometer should be higher  $8\text{ cm}^{-1}$  to monitor the environmental gases. Michelson interferometer fabricated in previous researches would be difficult to apply a miniature FTIR spectrometer because the displacement of the mirrors is

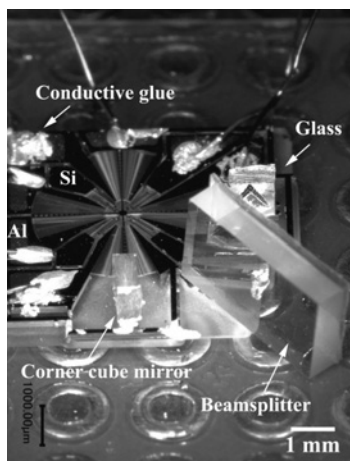


Fig. 1. Micrograph of the fabricated miniature Wishbone interferometer.

not enough, particularly, for the environmental gases analysis. For this reason, the Wishbone interferometer which magnifies the optical path difference is chosen as an interferometer. The fabricated Wishbone interferometer is constructed with the rotary comb drive actuator, three-dimensional corner cube mirrors, and beam splitter as shown in Fig.1. This interferometer has the double optical path difference compared with that of the previous researches because two corner cube mirrors are rotated at a same time. Thus, the rotary comb drive actuator has a considerable displacement of approximately  $650\text{ }\mu\text{m}$ . Furthermore, the tilting problem of the mirror was improved compared with the previous researches because three-dimensional corner cube mirror was applied. From these properties, this interferometer with the theoretical resolution of approximately  $3.8\text{ cm}^{-1}$  can be enough applied to the environmental gases monitoring.

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. Young-min Lee, Masaya Toda, Masayoshi Esashi, and Takahito Ono, "Micro Wishbone Interferometer for Miniature FTIR Spectrometer", IEEJ Trans. SM, Vol. 130, No. 7, pp. 333-334, 2010

### 【学会発表】

#### 【国際】

1. Young-min Lee, Masaya Toda, Masayoshi Esashi, and Takahito Ono, "Miniature Interferometer with Corner Cube Mirrors", IEEE SENSORS Conference, Hawaii USA, pp. 65-70, 2010
2. Young-min Lee, Masaya Toda, Masayoshi Esashi, and Takahito Ono, "Miniature Wishbone Interferometer using Rotary Comb Drive Actuator for Environment Gas Monitoring", 24<sup>th</sup> International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2011), pp. 716-719, Jan. 23-27, 2011, Cancun Mexico



氏名 山本 元貴

所属 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 博士課程後期3年

指導教員 流体科学研究所 井小萩 利明教授

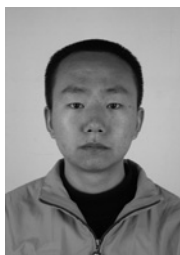
研究課題

キャビテーション乱流の数値計算法に関する研究

## 平成22年度 研究成果概要

多くの場合、キャビテーション流れは高レイノルズ数であり、キャビテーションと乱流が複雑に相互作用している気液二相流れである。気泡が存在する乱流境界層では、単相の対数速度分布とは定数などが異なることが分かっている。しかし、これまでのキャビテーション流れの数値計算では、単相の乱流モデルをそのまま適用した例がほとんどである。また、キャビテーションの影響を考慮した乱流モデルにおいても、物理的な根拠が殆ど無く、経験的なモデルが使われている。近年、キャビテーションと乱流の相互作用をDNS(Direct Numerical Simulation)やLES(Large Eddy Simulation)を用いて解明しようと試みられているが、比較的低いレイノルズ数での解析にとどまっている。ポンプ内などの実用的なキャビテーション流れ場においては、計算負荷の観点から、計算格子をそれほど必要としない

RANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes Simulation)および、RANSとLESを組み合わせたRANS/LESハイブリッドモデルが有利である。私はこれまで流れ場の状況に応じて動的にRANSとLESが切り替わるRANS/LESハイブリッドモデルを提案し、翼形まわりのキャビテーション流れ場の数値計算を行って来た。しかし、RANSモデルおよびRANS/LESハイブリッドモデルどちらを用いても顕著な違いはみられず、キャビテーション流れ場の非定常性は過大評価される(キャビティ長さが、実験より短くなるのが原因である)ことがわかった。そこで、代表的なRANSモデルの1つであるBaldwin-Lomaxモデルに、キャビテーションが存在することによる修正を加えたモデルを適用した。具体的には、キャビテーション気泡が存在することによる密度変動を考え、速度変動と同様にPrandtlの混合長理論を適用することにより、単相とは異なる渦粘性の形が求められる。この渦粘性の形を、Baldwin-Lomaxモデルに適用し、実際に翼形まわりのキャビテーション流れ場の数値計算を行ったところ、流れ場の非定常性および時間平均翼性能に大きな違いが現れた。このことから、キャビテーション気泡の存在を考慮し、モデル化することが重要であることがわかった。



氏名 何 亮

所属 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 博士課程後期1年

指導教員 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 小野 崇人教授

研究課題

The fabrication and characterization of carbon nanotube composite microstructures and their applications in the microstage for ultra-high density multi-probe data storage system

## 平成22年度 研究成果概要

### Introduction

The goal of research work in this year is develop a hybrid translational XY microstage with hinge of better toughness and ductibility than Si. The design of hybrid microstage follows displacement amplification mechanism with new hinge part of carbon nanotube composite. This design comprises of PZT actuators mounted onto a Si base, and there are two problems in XY microstage, one is PZT actuators' small stroke, the other is that Si hinge is fragile. Therefore, the design of the microstage must include amplification mechanism in order to amplify the PZT stroke to produce large displacements, and Moonie mechanism was chosen to attain large overall displacement for the microstage. For the solution of problem in hinge, we designed the hinge of other candidate microstructures of better toughness and ductibility than Si.

### Fabrication results

Fabrication pocess of pyrolysis carbon, and carbon nanotbe-pyrolysis carbon microstructures based on silicon micromolding and pyrolysis has been investigated. Different types of microstructures of CNT-pyrolysis carbon have been designed and fabricated, such as both side bridged microstructures for measurement of applied force-displacement, crossbar rings for tensile stress measurement, and cantilevered microstructures for stroke measurement.

The fabrication process of these microstructures and microstage with hinge part of CNT-pyrolysis carbon starts from patterning of the Si micromolds by photolithography and deep RIE (Reactive Ion Etching), and resist (SU-8 50) mixed with CNTs with 1 weight percent was used as a filling material. Then, the CNTs/resist was filled into the Si micromolds by backside pumping, squeezing, and remained CNTs/resist on substrates was removed by O<sub>2</sub> plasma. Then, the CNTs/resist in the mold was pyrolyzed in N<sub>2</sub> gas during pyrolysis process, thus CNTs/resist was converted to CNT-carbon composite.

Finally, hybrid silicon/composite and silicon/carbon microstructures were released by following photolithography and deep RIE. The 2<sup>nd</sup> pyrolysis at higher temperatures than that of 1<sup>st</sup> pyrolysis was performed after deep RIE to reduce the shrinkage/depression of the composite microstructures. The height of narrow CNT-carbon composite microstructures is almost equals to the thickness of the Si mold, and the maximum aspect ratio of 40 can be realized.

### Characterization results

Investigation of mechanical properties of the pyrolysis carbon and CNT-carbon composite microstructures.

The Vickers hardness and Young's modulus of thin films of pyrolysis carbon and CNT-carbon were measured by "Thin Film Characterization System". The resonance frequency of carbon and CNT-carbon cantilevers were measured by laser doppler vibrator. For the investigation of mechanical properties of candidate microstructures, the measurement system was designed and assembled to get applied force-displacement curve directly, and the Young's modulus and fracture toughness of CNT-carbon microstructures can be obtained by this measurement system.



## 研究業績

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. (発表予定) Liang He, Masaya Toda, Mamoru Omori, Toshiyuki Hashida, Takahito Ono, **2011年 春季第58回 応用物理学関係連合講演会**, Fabrication of carbon nanotube-carbon composite microstructures based on silicon molding technique, **Oral**, 神奈川工科大学, Japan, March 24-27, 2011

#### 【国際】

1. Takahito Ono, Masaya Toda, Shinya Yoshida, Akiko N. Itakura, Liang He, Rüdiger Berger, Jochen S. Gutmann, Tassilo Kaule, Ali Golriz, ***JST-DFG Workshop on Nanoelectronics***, Electronic bistable recording media for scanning multiprobe based ultrahigh-density data storage, **Oral and Poster**, Bonn, Germany, January 11-12, 2010
2. Takahito Ono, Hidetoshi Miyashita, Masaya Toda, Yusuke Kawai, Liang He, Masayoshi Esashi, ***The 5<sup>th</sup> Asia-Pacific Conference on Transducers and Micro-Nano Technology***, Integration of nanomaterials into microsystem, **Oral**, Perth, Western Australia, July 6-9, 2010
3. Liang He, Masaya Toda, Yusuke Kawai, Chuanyu Shao, Mamoru Omori, Toshiyuki Hashida, Takahito Ono, ***Seventh International Conference on Flow Dynamics***, Fabrication of carbon nanotube micro composite based on micromolding and pyrolysis, **Oral and Poster**, Sendai, Japan, November 1-3, 2010
4. (投稿中) Liang He, Masaya Toda, Yusuke Kawai, Hidetoshi Miyashita, Chuanyu Shao, Mamoru Omori, Toshiyuki Hashida, and Takahito Ono, ***The 16<sup>th</sup> International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems***, Fabrication of high aspect ratio carbon nanotube-carbon composite microstructures based on silicon molding technique, Beijing, China, June 5-9, 2011



氏名 清水 信

所属 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 博士課程後期1年  
指導教員 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 湯上 浩雄教授  
研究課題  
熱ふく射の波動性制御による高効率エネルギーシステムの実現

## 平成22年度 研究成果概要

今日、我々が利用しているエネルギーシステムには熱ふく射エネルギーを利用しているシステムが数多く存在する。例えば、太陽熱利用システムや、熱光起電力発電システム等が挙げられるが、このようなエネルギーシステムにおいて、熱ふく射の波動性を制御することで、熱ふく射エネルギーを有効利用し、省エネルギー化を図るという研究が近年報告されている。

熱ふく射の波動性は金属などの表面における光の波長程度の周期的微細構造によって制御することができる。このような微細構造はリソグラフィ技術を用いることで作製できるが、このような熱ふく射制御デバイスを実際に使用する上では大面積のものが必要となる。したがって、リソグラフィ技術による作製はコスト、時間などの面から見ても非現実的である。そこで、このような微細構造を大面積に作製する技術が必要となっているのが現状である。現在、研究が行われている微細構造の大面積作製技術の代表的なものとしては、インプリント技術などが挙げられるが、コスト、精度、また、材料が限定されるといった様々な解決すべき問題がある。これに対して、私は全く異なる方法を用いて微細構造の大面積作製にアプローチしてきた。この方法を用いて作製した周期的微細構造により熱ふく射を制御できることを確認しており、今までにない新たな、微細構造の大面積作製技術を確立するという研究成果を得ることができた。

また、周期的微細構造を用いた熱ふく射の波動性制御機構の詳細解明を目指し、数値シミュレーション等を用いながら解析を行っており、いくつか興味深い事象も確認できている。

研究タイトルにもなっている「熱ふく射の波動性制御による高効率エネルギーシステムの実現」に向けて、今年度得られたこれらの研究成果は非常に重要な意味を持つものだと考えている。

## 研究業績

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. 清水信, 湯上浩雄,  
「金属－絶縁体相転移物質を用いた環境応答型フォトニック構造の作製と空間熱制御」  
2011年春季第58回応用物理学会関係連合講演会, 神奈川工大, 2011年3月(発表予定)

#### 【国際】

1. M. Shimizu, T. Kawano, F. Iguchi, H. Yugami, Application of thermal radiation control by surface gratings to energy efficient windows, Renewable Energy 2010, Yokohama, July 2010
2. M. Shimizu, H. Yugami, Application of thermal radiation control by surface gratings to advance cooling system for electronic devices, 7th ICFD, Sendai, November 2010
3. M. Shimizu, H. Yugami, Improvement of energy system by controlling spectral properties of thermal radiation, 11th Korea-Japan Student symposium, Seoul, November 2010



氏名 水谷 公一

所属 工学研究科ナノメカニクス専攻 博士課程後期3年

指導教員 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 厨川 常元教授

副指導教員 流体科学研究所 西山 秀哉教授

研究課題

パウダージェットデポジションの成膜メカニズムに関する研究

## 平成22年度 研究成果概要

パウダージェットデポジション法は高速粒子衝突を利用し、数 $\mu\text{m}$ から数十 $\mu\text{m}$ 程度のセラミクス厚膜を作製する加工法である。通常のセラミクス作製方法とは異なり、常温大気圧下で成膜が可能であり、工業用途だけでなく歯科治療での応用も期待されている。しかしながら、パウダージェットデポジション法はその成膜メカニズムが完全に明らかとなっていない。そこで本研究の目的は、成膜（粒子の付着）メカニズムを明らかにすることである。また成膜メカニズムを明らかにすることで、成膜効率の改善や膜の機械的特性を向上させる手法を提案したいと考えている。

成膜メカニズムを明らかにするために、数値解析および成膜実験を行った。まず数値解析では、単一粒子(1.2~4  $\mu\text{m}$ )が基板に高速(100~400 m/s)で衝突する過程を有限要素法の一つである平滑化粒子法を用いて計算した。粒子速度は、粒子画像流速測定法により測定しており、数値解析の初期条件として用いている。数値解析結果から、粒子は基板と衝突すると破碎し、その一部が基板上に付着すると考えられることを示した。また数値解析結果と実験結果を比較するために、球状の粒子を用いて噴射実験を行った。衝突前後の粒子および基板の様子を観察した結果、粒子および基板に発生したクラックの形状や大きさが、数値解析結果と比較的良好一致を示した。

次に成膜実験では、噴射粒子濃度が成膜に与える影響について検討した。パウダージェットデポジション法では、実際には多数の粒子の衝突によって成膜が行われており、数値解析（単一粒子の衝突）では十分に再現できない部分の検討を行った。粒子噴射装置から噴射される粒子濃度を变化させ、単位面積および単位時間あたりの衝突粒子数を制御し実験を行った。その結果、単位面積あたりに衝突する粒子数は同一であっても、単位時間あたりに衝突する粒子数が多いほど成膜量が大きくなることを明らかにした。

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. Mohammad Saeed Sepasy Zahmaty, Mizutani Koichi, Mehrdad Raisee, Tsunemoto Kuriyagawa, Akatsuka Ryo, Sasaki Keiichi, International Journal of Materials Sciences, Development of a micro-particle-deposition unit - creation of hydroxyapatite film on human tooth surface -. (投稿中)

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. 2010 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 噴射粒子濃度が成膜に与える影響-パウダージェットデポジション法によるセラミックス膜創成に関する研究-, 口頭, 2010 年 9 月 27 日
2. 日本機械学会第 8 回生産加工・工作機械部門講演会, 高速粒子衝突による材料除去のメカニズム (パウダージェット加工に関する研究), 口頭, 2010 年 11 月 20 日

#### 【国際】

1. International symposium on Micro/Nano Mechanical Machining and Manufacturing, Study on the Removal Process of Abrasive Jet Machining, Oral, 18 August 2010, Guilin, China.



氏名 村田 直一

所属 工学研究科ナノメカニクス専攻 博士課程後期2年

指導教員 工学研究科附属エネルギー安全科学国際研究センター  
三浦 英生教授

副指導教員 流体科学研究所 高木 敏行教授

研究課題

ナノスケール結晶粒界品質の評価とナノ多結晶材料強度信頼性制御

## 平成22年度 研究成果概要

近年、エレクトロニクス分野において、銅はその優れた電気・熱伝導性から従来のケーブルなどの配線に加えてプリント基板用配線、3次元実装構造におけるフリップチップバンプさらにはLSI用の微細薄膜配線などmm～nmスケールの幅広い寸法領域で配線材料として使用されている。特に薄膜配線の形成には安価な電解めっき法が多用されている。しかしながら、電解めっき銅薄膜はナノサイズの微細な柱状結晶が成長しやすく、機械特性や電気特性などの各種物性が従来のバルク材の特性から大きく異なることを報告されている。そこで本研究では2つのテーマに沿って研究を行った。

### 1. 新たな結晶粒界評価手法の提案

EBS (Electron Back-Scatter Diffraction) を利用した新たな結晶粒界の評価手法を提案した。従来の評価手法では、結晶粒界の性質として、結晶粒界角度のみ評価しか出来なかった。そこでEBSのI/Q値を用いて、結晶粒界の結晶性を評価した。先に結晶粒界の影響が顕著に出た薄膜は結晶粒界の結晶性が非常に低いことを明らかにし、反対にバルク特性に近い銅薄膜は結晶性の高い結晶粒界を持っていることを明らかにした。

### 2. ナノスケールの微細結晶制御

過去の研究において、熱処理による結晶制御を行ってきたが、線膨張係数差による熱応力の発生に起因する配線の信頼性の低下から、低温での結晶制御プロセスが必要とされる。そこで本研究ではめっき膜の下地金属とめっき時の電流密度を変化させることにより、めっき銅薄膜の結晶組織の制御を試みた。電流密度を高くするほど微細な結晶組織が得られる。これは電流密度が高いほど、核発生速度が速くなることに起因する。また、成膜後に高い圧縮残留応力が生じることが分かった。逆に電流密度が低いほど粗大な結晶組織が得られ、かつ成膜後の薄膜に掛かる残留応力が低いことを明らかにした。また、下地金属をルテニウムにしたとき、下地金属が銅である場合と比較して、粗大な結晶が得られることが分かった。特に、ルテニウムとめっき膜の界面では銅下地と比較して非常に綺麗な結晶組織が観察された。電流密度と下地金属を変化させることによる結晶制御の可能性を示した。

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

・査読付国際講演論文

- 1 M.Naokazu, M.Hideo, S.Ken, T.Kinji, “Mechanical and Electrical Properties of Electroplated Copper Thin Films Used for Thin Film Interconnection”, 2010 MATERIALS RESEARCH SOCIETY SPRING MEETING Poster Session II, (San Francisco, CA, April 5-9)
- 2 Naokazu Murata, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Drastic Change of the Strength of Electroplated Copper Thin Films Dominated by the Crystallinity of Their Grain Boundaries” International Conference on Fracture and Strength ICFS 2010, Proceedings CD-ROM, Presentation Date Day3
- 3 Naokazu Murata, Naoki Saito, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, Hideo Miura “Micro Texture Dependence of Both the Mechanical and Electrical Properties of Electroplated Copper Thin Films Used for Interconnection”, 2010 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings CD-ROM, TRACK 5 Electronics and Photonics, IMECE2010-37279
- 4 Kohta Nakahira, Naokazu Murata, Yuhki Sato, Ken Suzuki and Hideo Miura, “Dominant Structural Factors of the Local Deformation and Residual Stress of a Silicon Chip Mounted on Area-Arrayed Flip Chip Structures”, International Conference on Electronics Packaging 2010, Proceedings CD-ROM, pp. 345-348.
- 5 Yuhki Sato, Naokazu Murata, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Nondestructive



Evaluation of the Delamination of Fine Bumps in Three-Dimensionally Stacked Flip Chip Structures”, 2010 The 60<sup>th</sup> Electronic Components and Technology Conference, Proceedings CD-ROM, pp. 1951-1956.

- 6 Yuki Sato, Kohta Nakahira, Naokazu Murata, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “NONDESTRUCTIVE DETECTION OF OPEN FAILURES IN THREE-Dimensionally STACKED CHIPS MOUNTED BY AREA-ARRAYED FINE BUMPS”, EMAP 12<sup>th</sup> International Conference on Electronics Materials and Packaging, Proceedings CD-ROM, pp.117-123.
- 7 Yamato Sasaki, Hiroyuki Itoh, Naokazu Murata, Ken Suzuki, Hideo Miura “High-Temperature Damages of Ni-Base Superalloy Caused by the Change of Nanotexture Due to Strain-Induced Anisotropic Diffusion”, 2010 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings CD-ROM, TRACK 12 Mechanics of Solids, Structures, and Fluids, IMECE2010-37284

#### 【学会発表】

##### 【国内】

- 1 村田直一, 斉藤直樹, 鈴木研, 三浦英生, 「めっき銅薄膜配線の強度信頼性に及ぼす微細組織の影響」日本機械学会2010年度年次大会講演論文集, (名古屋工業大学, 愛知, 平成22年9月6日～9月8日)
- 2 村田直一, 玉川欣治, 鈴木研, 三浦英生, 「めっき銅薄膜の結晶粒界性状と強度物性」, M&M2010 材料力学カンファレンス, 論文集CD-ROM, No.1503, pp.79-81. (長岡技術科学大学, 新潟, 2010年10月9日～11日)

##### 【国際】

###### ・口頭発表

- 1 Naokazu Murata, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Drastic Change of the Strength of Electroplated Copper Thin Films Dominated by the Crystallinity of Their Grain Boundaries” International Conference on Fracture and Strength ICFS 2010, Proceedings CD-ROM, Presentation Date Day3, (Sendai International Center, Sendai, 4-6<sup>th</sup> October 2010)
- 2 Naokazu Murata, Naoki Saito, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, “Micro Texture Dependence of Both the Mechanical and Electrical Properties of Electroplated Copper Thin Films Used for Interconnection”, 2010 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings CD-ROM, TRACK 5 Electronics and Photonics, IMECE2010-37279, (Vancouver Convention and Exhibition Centre, Vancouver, British Columbia, Canada, November 12-18, 2010)

###### ・ポスター発表

- 1 M.Naokazu, M.Hideo, S.Ken, T.Kinji, “Mechanical and Electrical Properties of Electroplated Copper Thin Films Used for Thin Film Interconnection”, 2010 MATERIALS RESEARCH SOCIETY SPRING MEETING Poster Session II, (San Francisco, CA, April 5-9)
- 2 Naokazu Murata, Naoki Saito, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, “Micro Texture Dependence of Both the Mechanical and Electrical Properties of Electroplated Copper Thin Films Used for Interconnection”, 2010 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings CD-ROM, TRACK 5 Electronics and Photonics, IMECE2010-37279, (Vancouver Convention and Exhibition Centre, Vancouver, British Columbia, Canada, November 12-18, 2010)

#### 【受賞等】

1. Best Session Paper Award of IEEE ECTC 2010, (Las Vegas, U.S.A., June 1, 2010)



氏名 PHAN ANH TUAN

所属 工学研究科ナノメカニクス専攻 博士課程後期2年

指導教員 工学研究科ナノメカニクス専攻 桑野 博喜教授

副指導教員 工学研究科航空宇宙工学専攻 升谷 五郎教授

研究課題

Study on microelectric power generator using metallic glass thin film

## 平成22年度 研究成果概要

Metallic glasses have been extensively researched since a few decades ago. However, thin film metallic glass (TFMG) just has been introduced by Prof. Hata's group since 2001 as a new MEMS material. Because metallic glasses possess advanced properties such as superior mechanical properties (strength, high elastic limit), excellent magnetic properties (low coercivity, high magnetization), good corrosion resistance, and good forming ability in comparison with conventional crystalline materials. For MEMS applications, a thin film form is suitable rather than others such as bulk or ribbon form due to its integrating applicability.

In my study, Fe-based TFMG has been studied as a magnetic thin film for MEMS applications. The TFMG with constituent of Fe-B-Nb-Nd in which a desired composition of  $(\text{Fe}_{0.72}\text{B}_{0.24}\text{Nb}_{0.04})_{100-x}\text{Nd}_x$  ( $4 \leq x \leq 8$ ) is fabricated by sputtering method for the first time. With the above composition, it exhibits a very large supercooled liquid region ( $\Delta T_x = T_x - T_g$ ) of 117 K as shown in Fig. 1. This is one of the most important characteristics to distinguish metallic glass from a normal amorphous material. The amorphous structure of the TFMG was corroborated by transmission electron microscopy (TEM), electron diffraction (ED) and x-ray diffraction (EXD) method. The XRD pattern shows only a broad peak indicating amorphous state of the TFMG except the well-known peak of (100) silicon substrate. While, the TEM image shows clearly amorphous structure, and the ED pattern shows a typical halo ring as shown in Fig. 2. Internal stress was estimated by a curvature surface method by using the Stoney's equation with different sputtering conditions. Magnetic properties of the TFMG were determined by VSM method, then coercivity ( $H_c$ ) and Curie temperature values were found about 30 Oe, 490 K, respectively. Hardness and elastic modulus of the TFMG were also determined about 15 GPa, and 170 GPa, respectively. Finally, we have been successful fabricated free-standing cantilevers by employing micromachining methods. For future works, the TFMG will be continuously considered for MEMS structure, and sought its applications for sensors based on soft magnetic thin film such as SAW sensor or magnetic field sensor.

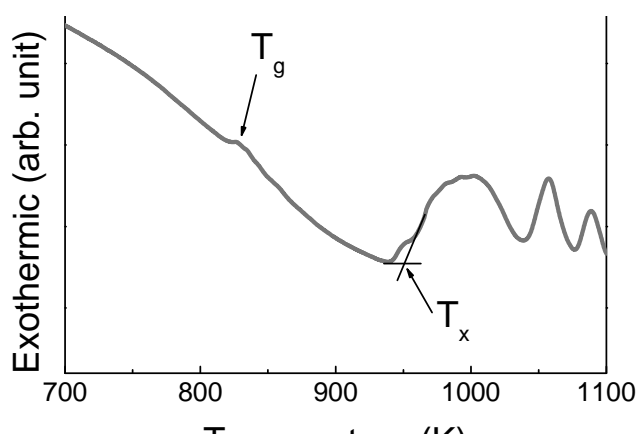


Fig. 1. DSC curve of the Fe-B-Nb-Nd TFMG

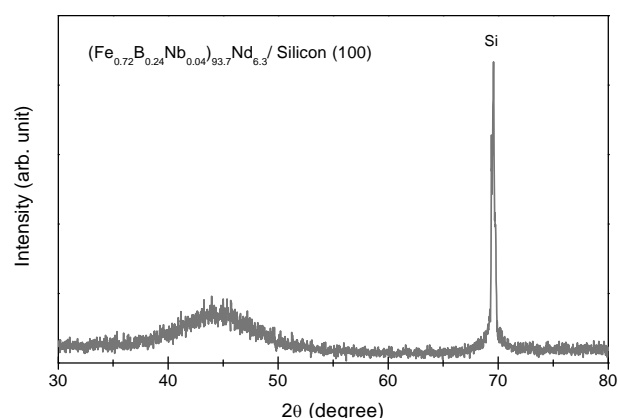


Fig. 2. XRD pattern of the TFMG

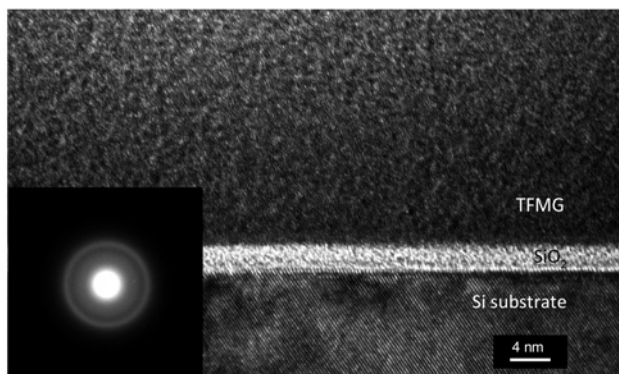


Fig. 3. TEM image and XRD pattern of the TFMG

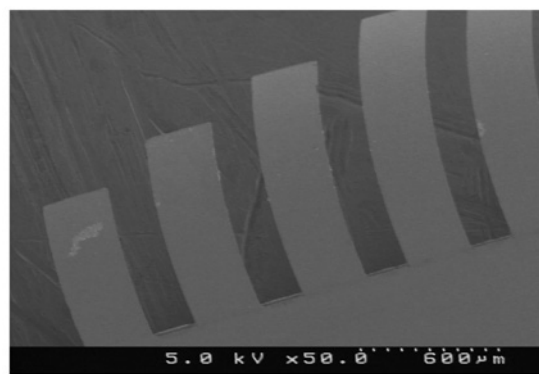


Fig. 4. Free-standing cantilevers made of the TFMG by micromachining techniques

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. K.A. Dao, **A.T. Phan**, H.M. Do, T.H. Luu, M. Falke, and M.M. Kenzie, *The Influences of Technological Conditions and Au Cluster Islands on Morphology of Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanowires Grown by VLS Method on GaAs Substrate*, Journal of Materials Science: Materials in Electronics 2010, DOI 10.1007/s10854-010-0115-x, 13 pages.

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. **Phan, T.A.**, Lee, S.M., Makino, A., Okamoto, H., and Kuwano, *Fe-B-Nb-Nd Soft Magnetic Metallic Glass Thin Film Formation for MEMS*, The 3<sup>rd</sup> Symposium on Micro Environmental Machine Systems, 2010, Sendai, 2pages.
2. **T.A. Phan**, S. Lee, A. Makino, H. Okamoto, and H. Kuwano, *Nanoindentation Study of Fe-B-Nb-Nd Soft Magnetic Metallic Glass Thin Film Prepared by ECR Ion Beam Sputtering*, The 2<sup>nd</sup> Micro-Nano Eng. Symposium, Matsue, 2010.

#### 【国際】

1. **Phan, T.A.**, Lee, S.M., Makino, A., Okamoto, H., and Kuwano, H., *Fe-B-Nb-Nd Magnetic Metallic Glass Thin Film for MEMS And NEMS*, The 5<sup>th</sup> Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (IEEE-NEMS), 2010, pp. 541 - 544.
2. **T.A. Phan**, H. Okamoto, and H. Kuwano, *Evaluation of Internal Stress in FeBNbNd Metallic Glass Thin Films*, Proceeding of The 7<sup>th</sup> International Conference on Flow Dynamics, 2010, pp. 674-675.
3. **T.A. Phan**, S. Lee, A. Markino, H. Okamoto, and H. Kuwano, *Characteristics Of FeBNbNd Magnetic Metallic Glass And Its Applicability To Freestanding Micro-Cantilevers For Electromagnetic Transducer*, Technical digest of The 10<sup>th</sup> International Workshop on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (PowerMEMS), 2010, pp. 163-166.
4. **T.A. Phan**, S.M. Lee, A. Makino, and H. Kuwano, *FeBNbNd Magnetic Metallic Glass Thin Film for MEMS/NEMS Structure*, Technical digest of the MEMS 2011, pp. 428-431.



氏名 五十嵐 誠

所属 工学研究科ナノメカニクス専攻 博士課程後期1年

指導教員 流体科学研究所 寒川 誠二教授

研究課題

量子ナノ構造の作製とそのキャリア流動機構の解明

## 平成22年度 研究成果概要

本研究では、SiあるいはGaAsを用いて高密度量子ドットアレイを作製・制御し、アレイ構造内でのキャリア流動機構を解明することを目的とした。

本年度の研究成果として、バイオテンプレート技術と中性粒子ビーム技術を組み合わせることによりSi量子ナノディスク2次元アレイを高密度に作製し、ディスク間（横方向）でのキャリア流動現象についての調査を行った。評価手法としてはSiナノディスク2次元アレイをチャンネルとする2端子デバイスを作製し、低温プローバーにより電気測定を行った。10K～400Kの温度範囲でI-V測定を行ったところ、極低温はもとより400Kと非常に高温な領域でも量子閉じ込め効果とトンネルギャップに起因するトンネリング電流が観測された。この結果から、無損傷で作製されたナノディスクでは量子閉じ込め効果が非常に強く発現しており、電子がナノディスク内に強く閉じ込められていることがわかった。また、I-V特性の温度依存性（Tauc-Plot）を調べたところ、およそ室温以上の高温域で熱活性的な電子流動があることがわかった。ここから、室温以上の環境では熱雑音アシストによる電子のディスク間ホッピング現象が起きていることが考えられる。また、活性化エネルギーの構造依存性を調べたところ、この電子ホッピングはナノディスクの構造（厚さ）により制御できることも証明された。以上のように、Siナノディスク2次元アレイでは電子がディスク内に強く閉じ込められながら熱アシストを受けてホッピングしており、これらの流動現象はナノディスクの構造で制御できるということが判明した。（Applied Physics Express 3 (2010) 085202）

また、GaAs量子ナノディスクの高密度2次元アレイの実現に向けて、GaAs表面へのフェリチン高密度配列法の検討を行った。GaAs表面に酸素中性粒子ビームを照射することにより形成された極薄GaAs酸化膜表面では、フェリチンが $8 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$ という非常に高い密度で均一に単層吸着できることが判明した。また、中性粒子ビーム酸化膜の表面電位、表面欠陥密度、親水性などを調べる事で、フェリチンの均一・高密度吸着メカニズムを詳細に解明した。（Applied Physics Express 4 (2011) 015202）さらに、GaAs表面に配置されたフェリチン鉄コアをマスクに中性粒子ビームエッチングし、GaAsナノディスク高密度アレイの作製に成功した。

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. M. Igarashi, R. Tsukamoto, C. H. Huang, I. Yamashita, and S. Samukawa, “Direct Fabrication of Uniform and High Density Sub-10-nm Etching Mask Using Ferritin Molecules on Si and GaAs Surface for Actual Quantum-Dot Superlattice”, Applied Physics Express 4 (2011) 015202
2. M. Igarashi, C. H. Huang, T. Morie, and S. Samukawa, “Control of Electron Transport in Two-Dimensional Array of Si Nanodisks for Spiking Neuron Device”, Applied Physics Express 3 (2010) 085202
3. C. H. Huang, M. Igarashi, S. Horita, M. Takeguchi, Y. Uraoka, T. Fuyuki, I. Yamashita, and S. Samukawa, “Novel Si Nanodisk Fabricated by Biotemplate and Defect-Free Neutral Beam Etching for Solar Cell Application”, Japanese Journal of Applied Physics 49 (2010) 04DL16
4. C. H. Huang, X. Y. Wang, M. Igarashi, A. Murayama, Y. Okada, I. Yamashita, and S. Samukawa, “Optical absorption characteristic of highly ordered and dense two-dimensional array of silicon nanodiscs”, Nanotechnology 22 (2011) 掲載予定



## 【学会発表】

### 【国内】

1. 第 71 回応用物理学会学術講演会、“Si 量子ナノディスク 2 次元アレイ構造の電気特性の構造による制御”、口頭発表、長崎、2010 年 9 月
2. 第 71 回応用物理学会学術講演会、“Si 及び GaAs 基板表面へのフェリチン 2 次元配列”、口頭発表、長崎、2010 年 9 月
3. 第 58 回応用物理関係連合講演会、“Si ナノディスク構造における PL 特性の界面状態依存性”、神奈川、2011 年 3 月 発表予定
4. 第 58 回応用物理関係連合講演会、“SiC/Si 量子ナノディスク構造の作製とその特性”、神奈川、2011 年 3 月 発表予定

### 【国際】

1. International Symposium on Solid State Devices and Materials, “Control of Activation Energy for Electron Transport in Two-Dimensional Array of Si Nanodisks”, Oral session, Tsukuba, Japan, September 2010.

## 【受賞等】

1. 応用物理学会論文賞「応用物理学会優秀論文賞」、社団法人応用物理学会、2010 年 9 月 14 日



氏名 磯野 晋

所属 工学研究科ナノメカニクス専攻 博士課程後期1年

指導教員 流体科学研究所 米村 茂准教授

研究課題

マイクロ・ナノスケールにおける気体潤滑に関する研究

## 平成22年度 研究成果概要

本プログラムの支援のもとでマイクロ・ナノスケールにおける気体潤滑に関する研究を行っている。この現象は分子気体潤滑(Molecular Gas Film Lubrication; MGL)とも呼ばれ、工業的な関心が近年高まりつつある。例えば、ハードディスクドライブ(HDD)のヘッドスライダは、回転する磁気ディスクによって引き起こされる気流によって、ディスクのわずかな上方で浮上している。記憶密度の向上のためには間隙の微小化が重要であり、最近では間隙がわずか10nmのHDDが開発されている。一方、ダイヤモンドコーティングされた平面は低摩擦であり、ドライ摺動面として有望視されている。部分研磨されたダイヤモンド膜と金属円盤を用いた実験では、金属円盤の回転速度の増加に伴い摩擦係数が劇的に減少することが確認されている。摩擦が激減した回転速度では摺動音が消えたことから、ダイヤモンド膜が金属表面から浮上し気体潤滑となっていると考えられるが、その浮上メカニズムは明らかにされていない。

本研究では、部分研磨されたダイヤモンド膜の表面構造を溝部と平坦部からなる計算モデルで模擬し、DSMC法により摺動表面のマイクロ気体流れを再現し、浮上現象を解明することを目指している。これまでの研究成果では、溝部で圧力が負圧から正圧に大きく変化し、平坦部に流入後も高い圧力が維持されるため、揚力が発生することが示されている。このような溝部での圧力変化が生じるのは、上流側では分子が対向面の下流方向への運動により運び去られ、数密度が減少し圧力が低くなり、一方で溝の下流側では流入する分子により、数密度が増加し圧力が高くなるためである。本研究では摺動面と分子の干渉に拡散反射モデルを用いて揚力が得られた。このことは、低摩擦がダイヤモンドの材料の特性とは別に、流れによって作り出されている可能性を示している。

本年度は、圧力が大きく変化する溝部に注目し、その形状が圧力変化および揚力発生に与える影響について調べた。その結果、溝部の上流端および下流端の空間体積の大きさと圧力変化の関係を示すことができた。例えば、下流側の空間が小さい溝形状を採用すると高い圧力が得られる。これは下流端に集中した分子が拡散することを近接する壁が妨げるためである。一方で、上流側の空間が小さい溝形状を採用すると圧力は低くなる。これは上流端で起こった負圧は周りから拡散してくる分子により解消するが、空間が小さい場合にはこれを解消できず圧力は低くなるためである。以上の結果から上流端の空間が広く、下流側の空間が狭い溝形状を用いると、より効果的に揚力が得られることが明らかになった。

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. Susumu Isono, Masashi Yamaguchi, Shigeru Yonemura, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi, "Effect of Configuration of Micro-/Nanoscale Structure on Sliding Surface on Molecular Gas-Film Lubrication", AIP Conf. Proc. RAREFIED GAS DYNAMICS: Proceedings of the 27th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics, (To be published)

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. 日本機械学会 2010 年度年次大会, "分子気体潤滑における摺動表面の微細構造の形状の影響", 口頭発表, 2010 年 9 月 6 日
2. 流体工学部門講演会, "マイクロ・ナノスケール気体潤滑における摺動表面微細構造の形状の影響", 口頭発表, 2010 年 10 月 31 日

#### 【国際】

1. 27th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics, "Effect of Configuration of Micro-/Nanoscale Structure on Sliding Surface on Molecular Gas-Film Lubrication", Oral Presentation, July 12, 2010
2. 7th International Conference on Flow Dynamics, "Effect of Configuration of Fine Structure on Sliding Surface on Micro-/Nanoscale Gas-Film Lubrication", Short oral and Poster Presentation, November 2, 2010



氏名 金 干載

所属 工学研究科ナノメカニクス専攻 博士課程後期1年

指導教員 工学研究科ナノメカニクス専攻 高 偉教授

副指導教員 工学研究科航空宇宙工学専攻 澤田 恵介教授

研究課題

流体軸受け超精密ステージの位置計測に関する研究

## 平成22年度 研究成果概要

### 1)背景

現在、ステージの位置計測のために光計測システムが使用されている。一方、光学位置計測システムにおいて回折格子の平面度誤差及びピッチ偏差がセンサの出力に含まれているため、ステージの移動精密度を高めるためには回折格子の平面度誤差とピッチ偏差を精密に測定し、センサ出力に補償する必要がある。

### 2)研究成果

2自由度センサの精密度を高めるために回折格子の平面度誤差とピッチ偏差の測定実験を行った。測定実験は図1のようにFizeau干渉計を使い、0次反射ビームから平面度誤差を測定し、1次ビームからはピッチ偏差を求める。図1では測定システムの写真を示している。その測定結果を図2に示す。また、図3には2自由度センサを利用されたリニアステージの誤差計測システムを示している。2自由度センサの出力に含まれているステージの真直度誤差はシステムに取り付けられている静電容量型変位計によって補償される。図4にステージの真直度誤差が補償された2自由度センサ誤差を示す。また、回折格子の平面度誤差とピッチ偏差もそれぞれ示されている。図4に示されるように回折格子の平面度誤差とピッチ偏差は2自由度センサに大きな誤差の要因であるため、補償する必要がある。回折格子の平面度誤差及びピッチ偏差の測定できたため、その結果を利用して、実際に補償を行う予定である。

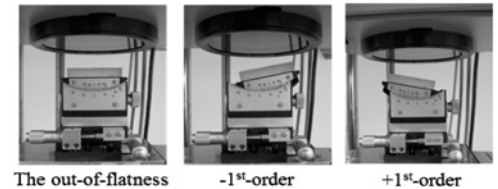


図1. 回折格子の測定システム

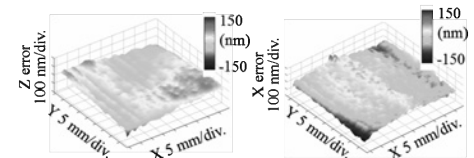


図2. 測定結果

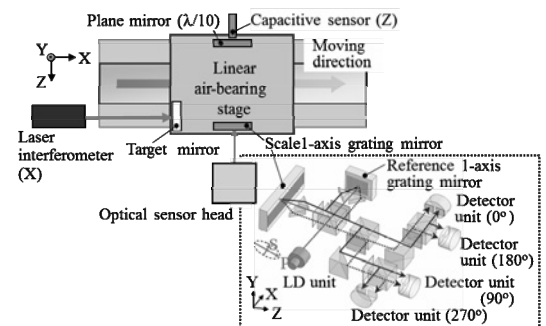


図3. リニアステージの変位計測システム

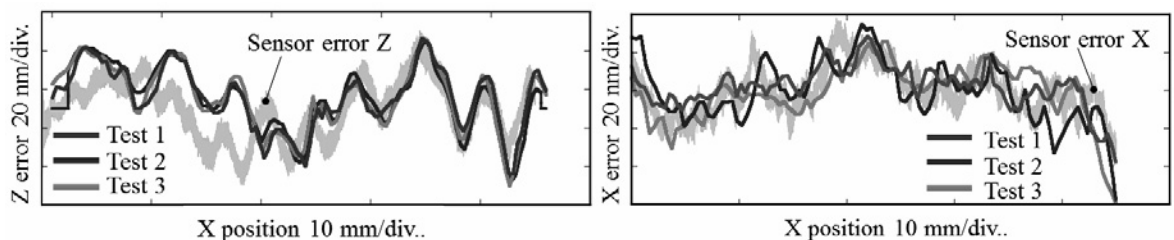


図4. 2自由度センサ誤差および回折格子の誤差の関係

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. WooJae Kim, Akihide Kimura, Koji Hosono, Yuki Shimizu, Wei Gao, Lijiang Zeng, Multi-axis grating encoders for stage motion measurement, International Journal of Nanomanufacturing (IJNM), Vol.7, No.1, (2011) (in press)
2. Akihide Kimura, Koji Hosono, WooJae Kim, Yuki Shimizu, Wei Gao, Lijiang Zeng, A two-degree-of-freedom linear encoder with mosaic scale gratings, International Journal of Nanomanufacturing (IJNM), Vol.7, No.1, (2011) (in press)

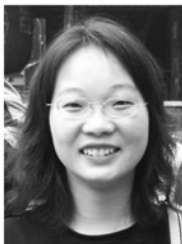
3. Koji Hosono, WooJae Kim, Akihhide Kimura, Yuki Shimizu, Wei Gao and Lijiang Zeng, Surface encoders for a mosaic scale grating, International Journal of Automotive Technology (IJAT), Vol.12 , No.1 , (2011) (in press)

**【学会発表】**

**【国際】**

- 1 . WooJae Kim, Akihhide Kimura, Koji Hosono, Yuki Shimizu, Wei Gao<sup>1</sup>, Lijiang Zeng, Dimensional metrology of stage motions for precision nanomanufacturing: Multi-axis grating encoders, The 2nd International Conference on Nanomanufacturing (nanoMan2010),24-26 SEP, 2010, Tianjin, China, pp. 1-6 (CD-ROM)
2. Koji Hosono, Akihhide Kimura, Woo-jae Kim, Wei Gao and Lijiang Zeng, A MULTI-PROBE SURFACE ENCODER FOR MOSAIC XY GRATING, 10th International Symposium on Measurement and Quality Control 2010, September 5-9, pp. 1-4 (CD-ROM)





氏名 張 金姫

所属 工学研究科ナノメカニクス専攻 博士課程後期1年

指導教員 工学研究科ナノメカニクス専攻 桑野 博喜教授

副指導教員 工学研究科航空宇宙工学専攻 升谷 五郎教授

研究課題

非鉛圧電薄膜を用いたマイクロ発電デバイスの研究

## 平成22年度 研究成果概要

- (1) Highly c-axis oriented AlN thin films with low residual stress were deposited on Si and stainless steel substrates with the ECR sputtering method. The correlation between microstructure of AlN thin films and the deposition condition including substrate temperature, gas flow rate and bias voltage were elucidated. For AlN thin films grown on the Si substrate, using the optimal deposition conditions the residual stress was reduced one order of magnitude and the degree of FWHM (full width at half maximum) was reduced from  $4.5^\circ$  to  $2.7^\circ$ . For AlN thin films grown on the stainless steel substrate, the effect of the substrate surface roughness and seed layer on microstructure were revealed, and the degree of FWHM was reduced from  $11^\circ$  to  $4.6^\circ$  with optimal deposition conditions. Two papers and one patent based these results are writing for publishing.
- (2) The patterning of AlN thin films grown on the Al/SiO<sub>2</sub>/Si substrate was accomplished with both wet-etching and dry-etching techniques. AlN microcantilevers for vibration energy harvesting were fabricated.
- (3) Two types of AlN devices were fabricated and their energy harvesting characteristics were evaluated. One type of devices based on AlN/Al/SiO<sub>2</sub>/Si was fabricated with micromachining process, and their output power and power density of micrometer-scale device reached  $1.4 \mu\text{W}$  and  $5.57 \text{ mW/cm}^3$  at 1 g acceleration, respectively, which is comparable with lead containing PZT piezoelectric devices. Another kind of devices based on AlN/Pt/Ti/stainless steel was fabricated for low frequency application, and the output power of the device with resonant frequency of 41 Hz reached  $3.03 \mu\text{W}$  at 1 g acceleration. Some of these results were reported in one domestic conference and one international conference. The left results were planned to be written into two or three papers for publication.

## 研究業績

### 【学術雑誌等への発表】

1. Jinya Zhang, Ziping Cao and Hiroki Kuwano, “Piezoelectric Microcantilever without Substrate”, *The 5th IEEE-NEMS 2010 Technical Digest*, 2010, P144-144.
2. Jinya Zhang, Ziping Cao and Hiroki Kuwano, “Using AlN thin films for electric microgenerators”, in submit.

### 【学会発表】

#### 【国内】

- ① Jinya Zhang, Ziping Cao and Hiroki Kuwano, *The 2nd Symposium on Micro/Nano Machining*, “Design, Fabrication and Energy Harvesting Characteristics of AlN Microcantilevers with low resonant frequency”, Matsue, Japan, Oct. 13-15, 2010.
- ② Jinya Zhang, Ziping Cao and Hiroki Kuwano, *The Seventh International Conference on Flow Dynamics*, “Energy Harvesting from Mechanical Vibration for Powering Micro Electronic Device”, Sendai, Japan, November 1- November 3, 2010

#### 【国際】

1. Jinya Zhang, Ziping Cao and Hiroki Kuwano, *The 5th Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems*, “Piezoelectric Microcantilever without Substrate” January 20-23, 2010.



氏名 呉 美瑛

所属 環境科学研究科環境科学専攻 博士課程後期2年

指導教員 環境科学研究科環境科学専攻 川田 達也教授

副指導教員 多元物質科学研究所 水崎 純一郎教授

研究課題

固体酸化物形燃料電池 (SOFC) 用高性能カソード材料に関する研究

## 平成22年度 研究成果概要

High temperature solid oxide fuel cells (SOFCs) offer a clean, pollution-free technology to electrochemically generate electricity. SOFCs provide many advantages over traditional energy conversion systems including high efficiency, modularity, fuel flexibility and very low levels of  $\text{NO}_x$  and  $\text{SO}_x$  emissions. The perovskite-type  $(\text{La}, \text{Sr})(\text{Co}, \text{Fe})\text{O}_3$  (LSCF) is a promising cathode material for SOFCs due to its high conductivity of both electrons and oxygen ions than conventional  $(\text{La}, \text{Sr})\text{MnO}_3$  based cathode materials. Its high electronic and oxide ionic mixed conductivity spreads the reaction active area not only at the triple phase boundary but also over the cathode surface. In addition to the cathodic activity, LSCF is a good current collector compared with other less conductive cathode materials. Moreover, such an excellent mixed electronic and oxide ionic conduction of LSCF enables its application also to an oxygen permeable membrane.

For the practical use of LSCF as an SOFC cathode, chemical stability under operation and fabrication conditions is highly required. In recent years, many researchers have been working on high temperature kinetics of LSCF. They often reported material stabilities under oxygen potential gradients at high temperatures. However, stabilities of LSCF have not been sufficiently understood yet. In SOFCs, the oxygen chemical potential gradient is generated in the electrode layer during operation, and thus the oxygen chemical potential at the cathode/electrolyte interface is supposed to be lower than that at the outside of the cathode. During long-term operation, the oxygen potential gradient may cause kinetic demixing or decomposition, leading to the compositional and/or morphological changes due to the difference in mobility of the cations. Such changes are considered to affect the material's performance. Therefore, knowledge on the stability of the electrode materials under an oxygen potential gradient is important to ensure the durability and reliability of SOFC.

This work focuses on the material stability and the cation transport of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$  (LSCF6428), which has the typical composition as an SOFC cathode, under SOFC operating conditions. Sintered pellets of LSCF6428 were heat-treated with and without applying oxygen potential gradients, and their morphology and composition were characterized.

$\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$  (LSCF) appeared to be stable in uniform atmosphere. Oxygen potential gradient caused segregation of cobalt-rich and strontium-rich phases on the surface of high oxygen potential side, suggesting that kinetic decomposition took place. The deposited cobalt and strontium rich particles had different morphology and size. The bulk composition did not show significant change around the both surfaces. These suggested that contribution of grain boundaries could be important in the transport kinetics.

## 研究業績

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. 第36回固体イオニクス討論会, “酸素分圧勾配下の  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$  におけるカチオン輸送”, Oral presentation, Sendai, Japan, November 24-26, 2010.
2. 第3回流動ダイナミクス国際若手研究発表会, “Material stability of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$  for SOFC cathode”, Poster presentation, Sendai, Japan, July 26, 2010.
3. 第5回固体イオニクスセミナー, “Investigation on Kinetic Demixing Phenomena of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ ”, Poster presentation, Sendai, Japan, March 5-7, 2010.
4. The electrochemical Society in Japan, “Kinetic demixing of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$  cathode material under oxygen chemical potential gradient”, Oral presentation, Toyama, Japan, March 29-31, 2010

**【国際】**

- 1 . The 11<sup>th</sup> Korea-Japan Students' Symposium, "Stability of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$  cathode material for SOFC", Oral presentation, Seoul, Korea, November 7~10, 2010.
- 2 . Seventh International Conference on Flow Dynamics, "Stability of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$  for SOFC cathode", Poster presentation, Sendai, Japan, November 1~3, 2010.
- 3 . Asian SOFC Symposium, "Material stability of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$  under SOFC operating conditions", Poster presentation, Kyoto, Japan, September 5~7, 2010.
- 4 . 9<sup>th</sup> EUROPEAN SOFC FORUM, "Durability and Reliability of a Mixed Conducting Cathode Interface under Operation", Poster presentation, Lucerne, Switzerland, June 29 - July 2, 2010.



氏名 申 有哲

所属 環境科学研究科環境科学専攻 博士課程後期1年

指導教員 環境科学研究科環境科学専攻 川田 達也教授

副指導教員 多元物質科学研究所 水崎 純一郎教授

研究課題

実用化に向けSOFCの耐久性向上に関する研究

## 平成22年度 研究成果概要

Solid oxide fuel cells (SOFCs) are one of the promising power generating devices due to their high efficiency. In order to optimize the designs and the operational conditions of solid oxide fuel cells, it is important to understand temperature distribution in the cell/stack. For this purpose, thermal properties of SOFC components should be evaluated particularly under SOFC operating conditions, *e.g.* at elevated temperatures and under various oxygen partial pressures. Although there exist several reports on the thermal properties of the SOFC components, most of data are limited to ones at room temperature in air. Thus, we aimed to investigate thermal properties of SOFC components as functions of temperature and oxygen partial pressure. In this work, thermal diffusivity and heat capacity of the perovskite-type oxides  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$  (LSCF), which is a candidate of cathodes for intermediate temperature SOFCs, were investigated. Dependencies of the thermal properties of LSCF on temperature, oxygen partial pressure and the material composition were discussed in terms of oxygen nonstoichiometry and crystal structures. In this study, these oxides were synthesized with Co contents of  $0 \leq x \leq 1.0$  by a pechini method. The micro structure, chemical stability these oxides were investigated. The thermal diffusivity and thermal conductivity measured by laser flash method at R.T ~ 1173K in air atmosphere. The thermal diffusivity and thermal conductivity of LSCF was successfully measured by laser flash method and DSC. The thermal diffusivity was shown to depend on the temperature, Co ratio and  $p\text{O}_2$ .

## 研究業績

### 【学会発表】

#### 【国内】

1. ○ 申 有哲, 宇根本 篤, 雨澤 浩史, 川田 達也, “Thermal properties of perovskite-type  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ ”, 電気化学学会 2010年度 秋季大会 講演番号: 1E26 oral presentation, 岩手2010年9月
2. ○ 橋本真一, 木村勇太, 申有哲, 渡辺智, 雨澤浩史, 川田達也, Melanie Kuhn, 中野一誠, 福田泰広, 佐藤一永, 八代圭司, 水崎純一郎, “SOFC 作動条件下における空気極材LSCF の基礎物性とその相関”, 第19回 SOFC研究発表会 講演番号: 163C 東京 poster presentation, 2010年12月

#### 【国際】

1. ○ Yu Cheol Shin, Atsushi Unemoto, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada, “Thermal properties of perovskite-type  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ ”, 11<sup>th</sup> Japan-Korea students symposium, presentation No. 20, Seoul, Korea, November 2010
2. ○ Yu Cheol Shin, Atsushi Unemoto, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada, “Thermal properties of perovskite-type  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ ”, Tohoku Univ. G-COE program, Seventh International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, poster presentation, November 2010





氏名 小澤 桂

所属 医工学研究科医工学専攻 博士課程後期1年

指導教員 流体科学研究所 太田 信 准教授

研究課題

骨バイオモデリングの力学的特性と構造の基礎的研究

## 平成22年度 研究成果概要

整形外科や歯科臨床における骨外科治療は器械・器具の特性や使用法の知識だけでなく、インプラント体を埋め込む技能も重要である。特に骨を削っているときには、血管や神経などを損傷させないための高度な技術を必要とする。そのため医師らの外科手技の訓練材料となるヒト骨の力学的特性を有した骨バイオモデリングが有用であるとして注目を浴びている。そこで本研究では、新規の骨モデルの開発に着手しアクリルと木くずを混合した複合材料を考案し、射出成型による成型法を確立した。特に手術トレーニングに有効なモデルとして、実際のヒトの骨を手術する感覚を再現することが重要であると考えた。本モデルは、これまでに歯科医師から高い評価を受けているが、官能試験に作用する力学的性質は明らかになっていない。そのため、本研究では歯科医師の評価と評価に作用するモデルの力学的性質を考察しその関係を明らかにすることを目的とした。

本複合材料の機械的特性を調べるために、アクリルと木くずの配合比を変えた骨モデルの試料、比較対象としてブタ骨（大腿骨）ナラ（木材）、およびSAWBONESの弾性率、強度、硬さを計測した。さらにヒトの骨と各試料との使用時の類似性を明らかにするため、これらの材料をドリルで切削した際の感覚評価を医師から得た。医師のコメントから、アクリルの融解が感覚に重要な影響を与えている可能性があるとの指摘があり、さらに切削後ドリルにアクリルが付着している様子が確認された。これらの結果から、回転するドリルと試料との間に発生する摩擦熱と骨モデルの熱特性に注目する必要があると考えた。そのため、ドリル切削時の摩擦熱および熱に対する粘弾性の変化を測定した。

機械的性質の値は実際のヒトの骨よりも低い値であった。しかしながら、骨モデルはヒトの骨の感覚と似ていると評価された。アクリルは切削中の温度で溶けていることがわかり、この現象は医師のコメントと一致していた。また、100℃付近で粘弾性が急激に減少することが確認され、この変化がドリル切削中の感覚に作用していたと考えられる。

また平成22年度若手研究者国際会議派遣に採択され、本研究成果を6th World Congress on Biomechanicsにてポスター発表を行った。その際、動物骨や人工関節を対象としている研究者から、ドリル切削時の定量的な測定を行うことで研究の幅がひろがり、多くの研究分野と結びついていくとの助言を頂いた。

また、射出成型時の石膏型形状と材料の内部構造の関係性を調べるために、マイクロCT撮像により試料内部を観察した。その結果、流路を曲がり管にするとモデル内に空気を含むことが確認された。一方、直円管にすると空気は混入しなかった。これらの結果は、直円管状では射出圧力が型の全体にまで伝播しやすいことで説明できる可能性が示唆された。さらに、今後はドリル切削時の骨モデルの試料の抵抗力を定量的に測定し、材料の配合によるモデルの削り特性の変化を調べる実験を計画している。

## 研究業績

### 【学会発表】

#### 【国内】

（口頭発表 査読なし）

○小澤桂，山口晃史，片倉裕司，柴田幸彦，太田信

「歯科インプラント手術トレーニング用骨バイオモデリングの力学的特性に関する研究」，『第48回人工臓器学会』，仙台，2010年11月18-20日

## 【国際】

(口頭発表 査読なし)

1. ○Kei Ozawa, Koji Yamaguchi, Yukihiro Shibata, Toshio Nakayama, Yoko Hashida, Makoto Ohta  
「Structure of Bone Biomodeling for Surgical Simulation」, 『Swiss/Japan International Seminar on Mechanical Engineering Based on Vessel Biology』, Zurich(Swiss), 15<sup>th</sup>-16<sup>th</sup> of November, 2010  
(ポスター発表 査読なし)
2. Kei Ozawa, Koji Yamaguchi, Yukihiro Shibata, Toshio Nakayama, Yoko Hashida, Makoto Ohta  
「Analysis of Mechanical Properties and Microstructure for Development of Bone-biomodeling」, 『6<sup>th</sup> World Congress on Biomechanics』, Singapore(Singapore), 1<sup>st</sup> -6<sup>th</sup> of August, 2010
3. ○Kei Ozawa, Koji Yamaguchi, Yukihiro Shibata, Toshio Nakayama, Yoko Hashida, Makoto Ohta  
「Mechanical Properties and Microstructure of Injected Biomodeling」, 『Seventh International Conference on Flow Dynamics』, Sendai(Japan), 1<sup>st</sup> -3<sup>rd</sup> of November, 2010
4. ○Yasutomo Shimizu, Kei Ozawa, Yoko Hashida, Makoto Ohta  
「Development of PVA-H stenosis model for PIV measurement」, 『Seventh International Conference on Flow Dynamics』, Sendai(Japan), 1<sup>st</sup> -3<sup>rd</sup> of November, 2010
5. ○Lei Liu, Masafumi Ogasawara, Kei Ozawa, Kenichi Funamoto, Makoto Ohta, Toshiyuki Hayase,  
「Detection of Microcalcification in Soft Tissue」, 『Seventh International Conference on Flow Dynamics』, Sendai(Japan), 1<sup>st</sup> -3<sup>rd</sup> of November, 2010



氏名 清水 康智

所属 医工学研究科医工学専攻 博士課程後期1年

指導教員 流体科学研究所 太田 信 准教授

研究課題

血管狭窄部の力学的特性が血流に与える影響の解明

## 平成22年度 研究成果概要

動脈硬化症は、毎年死亡要因の上位を占めることに加え、治療後の介護度が大きくなる傾向を有していることから早期の原因解明が必要とされている。そのため、その発症メカニズムおよび動脈硬化部を形成するプラークの影響について、医学および工学の分野で広く研究されている。しかしプラークは広範囲な機械的特性を有し、その特性が血流および動脈硬化に影響を与えていると考えられるにもかかわらず、これらの関連性について論じられたものはほとんどない。これらを調べることでプラークの特性が動脈硬化の発生メカニズムや動脈硬化部に与える影響を解明でき、新たな治療法の提示および患者への貢献が期待される。そこで、本研究の目的は、プラークの機械的特性を変化させたときの血流への影響を調べ、流体力学・材料力学の両観点から動脈硬化発症のメカニズムを解明することである。

本年度は、様々な機械的特性を有するプラークを持つ血管狭窄バイオモデルの作製方法を確立した。モデル作製の材料には、機械的特性が生体に近く、透明で流路内部の流れを容易に観察できるPoly Vinyl Alcohol-Hydrogel(PVA-H)を用いたが、本研究により、世界で初めてPVA-Hで作製が可能になった。確立した方法の妥当性は、生体内で形成されるプラークの機械的特性に近いモデルを再現できたことがマイクロCTによる画像撮影で確認した。現在は作製したPVA-Hモデルを用いて流路内の流れをParticle Image Velocimetry (PIV) 解析によって観察するために、血液を模擬した作動流体を作製し、解析を行うにあたり重要なパラメータである屈折率および動粘度の最適条件の確立などを行っている。今後は作製したPVA-Hモデルに作動流体を実際に流し、狭窄モデル内のプラークの変形および流れの観察を行い、PIV解析を用いながらプラークの特性が血流に与える影響を考察する予定である。

## 研究業績

### 【学会発表】

#### 【国際】

1. Y.Shimizu, K.Ozawa, Y.Hashida, and M.Ohta ,“Development of PVA-H stenosis model for PIV measurement”, The seventh International Conference on Flow Dynamics, 2010 (Nov. 1-3)
2. Yasutomo Shimizu, Kei Ozawa, Yoko Hashida, and Makoto Ohta ” Development of PVA-H stenosis model” Swiss/Japanese International Seminar on Medical Engineering Based on Vessel Biology, 2010 (Nov.13-18)

### 【その他 新聞、雑誌等への記事掲載等】

Co-organizer, organized session, The Sixth International Students / Young Birds Seminar on Multi-Scale Flow Dynamics ,The seventh International Conference on Flow Dynamics, 2010 (Nov. 1-3)

(財) 機器研究会・「学術研究・教育のための国際交流に対する助成」・学生代表者・2010

(財) 青葉工学振興会・「学術研究・教育のための国際交流に対する助成」・学生代表者・2010



## 流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点

Tohoku University Global COE Program  
World Center of Education and Research for Trans-disciplinary Flow Dynamics