

流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点

第4回国際評価報告書(2011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、3 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。

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」「グローバル回遊教育」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。

2011 年 3 月 11 日の地震は、マグニチュード 9.0、最大震度 7 を記録する観測史上最大級のもので、更に津波によって甚大な被害を受け、本 GCOE の建物等は一部被災したものの、幸い関係者は全員無事でした。震災とその後の福島原発事故の影響が大きく、平成 23 年度の各種 GCOE プログラムの遂行が非常に心配されましたが、関係者の努力によりほぼ予定通り実施され、人材育成や研究活動において多大な成果を挙げることができました。

特に 2011 年 11 月に開催した 8th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2011)では、当初震災の影響で実施が危ぶまれましたが、国内外の多くの研究者のご協力とご支援により、世界 18 カ国 206 名の外国人を含めて総勢 649 名の参加者を迎え、大変盛況のうち無事開催することができました。震災等の影響を乗り越え ICFD が国際的にも広く認知された国際会議になってきたことを実感した次第です。

また、このたび 2012 年 2 月 16 日、海外からの 2 名を含む著名な研究・教育者をお招きして「第 4 回国際評価委員会」を開催し、平成 23 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、当 GCOE の最終年度に向けての重要な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 24 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 23 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 23 年度活動報告	4
3.3 評価委員からのコメント	4
3.4 あいさつと謝辞	11
4. 評価委員会説明資料	14
4.1 GCOE プログラム全体に関する報告 資料	14
4.2 GCOE 流動融合分野研究報告 資料	19
4.3 GCOE 融合フロンティアプロジェクトの報告（代表例）	22
4.3.1 「流動ダイナミクスと医療の融合」 資料	22
4.3.2 「エネルギー・環境」 資料	24
4.4 国際交流に関する報告 資料	27
4.5 ELyT School に関する報告 資料	29
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	31
5.1 目 標	31
5.2 拠点形成計画の概要	32
5.3 事業推進担当者・研究協力者	33
5.4 運営図	34
6. 主な活動	35
6.1 拠点形成プログラム	35
6.1.1 運営委員会	35
6.1.2 グローバル・オペレーション・オフィス（GOO）会議	35
6.1.3 教育委員会	35
6.1.4 研究委員会	36
6.1.5 GCOE としての国際交流活動および国際交流委員会の活動	37
6.1.6 企画室会議	38
6.1.7 国際評価委員会	38
6.1.8 全体会議（研究交流会）	38
6.1.9 国際会議の開催	39
6.1.10 研究支援者の採用	42

1) 博士研究員ポストドクトラルフェロー.....	42
2) 国際出る杭伸ばす特別研究生.....	42
3) 研究支援リサーチ・アシスタント.....	43
4) 基本支援リサーチ・アシスタント.....	44
5) 国際宇宙大学派遣.....	45
6) 国際若タケノコ発掘プログラム採択者一覧.....	45
6.2 研究活動.....	48
6.2.1 融合分野総括.....	48
6.2.2 情報流動融合分野.....	50
6.2.3 反応流動融合分野.....	61
6.2.4 ナノ流動融合分野.....	67
6.2.5 極限流動融合分野.....	76
6.2.6 GCOE 融合フロンティアプロジェクト総括.....	89
6.2.7 流動ダイナミクスと医療の融合.....	91
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.....	96
6.2.9 次世代環境適合型航空機の研究.....	103
6.2.10 ナノ・マイクロプロセス.....	106
6.2.11 エネルギー・環境.....	111
6.3 教育活動.....	120
6.3.1 国際的人材育成プログラム.....	120
1) 国際若タケノコ発掘プログラム.....	120
2) 国際出る杭伸ばす教育プログラム.....	121
3) グローバル回遊教育プログラム.....	121
4) 国際高等研究教育院との連携.....	127
5) ジョイントラボ連携国際インターンシップ.....	127
6) 国際宇宙大学派遣.....	129
7) HOPE ミーティング派遣.....	129
8) 学生企画/運営国際会議・シンポジウム.....	130
9) 学生交流研究発表会.....	133
10) 流動ダイナミクス知の融合「博士学生セミナー」.....	134
11) ELyT School in Lyon.....	135
12) 英語研修会 (English Conversation Class).....	137
13) ダブルディグリー共同教育.....	137
14) 高度イノベーション博士人材育成センターとの連携.....	137
15) 若手研究者国際会議派遣.....	137
16) 流体科学分野横断セミナー.....	138
17) 客員教授による実践教育.....	140

7. 国際連携活動プログラム	141
7.1 国際連携拠点の活用	141
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	141
7.2 日仏ジョイントエリートラボの支援	142
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)	142
7.4 リエゾンオフィスを通じた主な国際交流実績	145
8. 事業推進担当者の取り組みと実績	151
9. 研究協力者の取り組みと実績	263
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	309
11. 国際出る杭伸ばす特別研究生の取り組みと実績	338
12. 研究支援リサーチ・アシスタントの取り組みと実績	365
13. 基本支援リサーチ・アシスタントの取り組みと実績	429

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 24 年 2 月 16 日（木）15：00-17：50
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）、
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、升谷 五郎、西山 秀哉、小林 秀昭、青木 秀之、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、佐藤 岳彦、北島 純男、三浦 英生、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、遊佐 訓孝、
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 石本 淳 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) GCOE 流動融合分野研究報告（高木 敏行拠点サブリーダー）
- (5) GCOE 融合フロンティアプロジェクトの報告（代表例）
 - 1) 「流動ダイナミクスと医療の融合」（太田 信プロジェクトサブリーダー）
 - 2) 「エネルギー・環境」（中野 政身プロジェクトリーダー）
- (6) 国際交流に関する報告（高木 敏行国際交流担当）
- (7) ELyT School に関する報告（和田 直人特任教授）
- (8) 質疑応答
- (9) 評価委員による報告
- (10) 謝辞（圓山 重直拠点リーダー）

III Masud Behnia 評価委員への活動報告

平成 23 年度国際評価委員会に欠席された Masud Behnia 委員へ国際評価委員会資料を送付し、報告・説明を行った。

3. 評価と提言

3.1 委員長総括コメント

井上委員長：

このグローバル COE もあと残り 1 年とだいぶ少なくなりました。今回も事前にいろいろな報告書やワークショップの記録を頂きました。当初計画されていた通り、あるいはそれ以上の活動がされているのではないかと考えております。

少し厳しいことも申し上げるかもしれませんが、このプロジェクトが良い着地ができるように、我々が少しでもお手伝いできればと思います。

先ほど、藤井先生からもお話が出たように、いろいろなプログラムを実行しているのですが、これがどういう位置付けになっているのか、何を狙ってやっているのか少しわかりにくいところがあります。次回にはその辺をシステムチックに記述することが必要ではないかと思いました。

それから、私は 2 つ質問をしたいと思います。一つはグローバル COE に入ってくる学生、あるいは若手研究者に何を身に付けてもらうのかということです。グローバル COE は教育研究拠点ということになっていますから、教育もかなり重要です。今日は教育だけではなく、研究の話も多く出てきましたが、日本国際賞という賞の今年度の受賞者の発表が先月 28 日にありました。その一人として佐川真人さんという研究者が受賞されたのですが、私はその審査にあたって、受賞理由を書いたのですが、いろいろ佐川先生とお話ししました。佐川先生が言ったのは、やはり、東北大学のマスター課程で金属材料研究所でいろんな先生に付いて研究されたのですが、何が先生の研究を育てましたかと聞きました。佐川先生は、「物事をこうやるべきだと思ったらすぐ手掛ける、またとことんやる、」とおっしゃいました。先生は実験屋さんですから、すぐ実験をやる、さらに、納得いくまでやる。この 2 点が非常に研究活動に役立ったとおっしゃっていました。なるほど、ではこの COE はどうかと考えました。先ほど張先生がおっしゃったように、研究の進め方、テーマの選定や進め方に対して自分でいろいろ考えてやれる、研究に自由度があって、自分で考えてやるという力が付けられるということがあります。それから、当然のことながら、数値解析の技術であるとか、あるいは原理原則を見極める高度な能力を身に付けられるということがあります。

この GCOE プログラムで国際経験を積むと、海外に出ていくことを恐れなくなります、グローバルな活躍ができるような経験が積めますよということが重要です。それから、インターンシップも含めて社会活動とか事業との係わりが持てます。全員ではないと思いますが、そういう事業との係わりは結構大事であると思います。特に企業、JAXA などもちろんなのですが、そういうところとの係わりの経験というのは、将来生きてくるのではないのでしょうか。

そういうことも考えて、このグローバル COE でどういうことを身に付けてもらうのかということを整理されておいたなら良いかなと思います。もちろん、このグローバル COE を提案されたときに、これはどういう狙いでやりますよということを書かれているのは承知していますが、もう一度、今の時点で整理されたいのではないかと思います。

もう一つ、第 4 期の科学技術基本計画でも科学技術の社会還元ということが強くいわれています。学術的な研究だけではなく、その成果を社会に還元していくということが強く意識されています。この GCOE の基本計画自身が課題解決型の研究に重点を置いていて、工学関係では当然のことでもあります。高いレベルの研究をするときにそういう社会還元ということ、つまり課題解決ということを考えなければいけません。圓山先生が福島原発事故についてフォローしてきたというお話がありましたが、特に企業との連携についても具体的にお聞きしたかったと思いました。

3.2 平成 23 年度活動報告

- (3) GCOE プログラム全体に関する報告
- (4) GCOE 流動融合分野研究報告
- (5) GCOE 融合フロンティアプロジェクトの報告
- (6) 国際交流に関する報告
- (7) ELyT School に関する報告

PPT 資料として P14～
に掲載

3.3 評価委員からのコメントと質疑応答

○藤井委員：海外拠点との連携がいくつかあるのですが、これはどういう基準でその海外拠点を選ばれているのですか。個人的なつながりが強いところを選ばれている気も若干するので、その辺にポリシーがあれば教えていただきたいのです。

○高木 先ほど紹介させていただいた中で、リエゾンオフィスについてのお話もしたかと思います。設置までにはかなりの歴史がありました。最初はいろいろとお付き合いをしている先生があって始まっています。それを系統的にやりましょうということで、何年かかかりましたが、世界の 6 か所と幅広く重点的にやるということで、グローバル COE、あるいは 21 世紀 COE の時に、おおくの労力も時間も使い、その 6 か所を中心にしてネットワークを広げました。

最初はやはり先生方のつながりが中心でしたが、今はもうかなり系統的にやろうということで動いています。フランスの例を取れば、年に 50 人単位くらいで人が行き来しているということでございますので、個人レベルではできないレベルになっております。

○藤井委員：一方で、この中のこの研究を大きく前進させるために、新たにこういうところと連携したら良いと考えて切り開くものがあるのも良いと思うのです。そういう努力はありますか。

○高木 もちろん、そういうものがあれば支援できる体制になっています。ボトムアップで提案があれば支援する、というような状態です。

○藤井委員：2 つ目の質問は、若い人で、職員でも学生で、研究分野がすごく大きく変化したという方はどの位いるのでしょうか。何か例がありますか。もともとはこういう研究分野だったのだけれど、それが大きくシフトして行って、良い仕事をしているといった例があれば教えて頂けないでしょうか。ちょっと例を挙げるのは難しいですか。

○圓山 私の研究の中心は熱なのですが、熱と直接関係ない研究もたくさんやっていますが研究の根っこは熱です。私のところの事例では、例えば人工心筋という研究をやって、形状記憶合金を使っているのですが、フランスの材料の先生のところにその学生が行って勉強をしてきて、それをドクター論文の一つの章にして加えたという例があります。しかし、私の研究室のエリアの中の学生が、例えば高エネルギー物理に全く鞍替えすると、私が今度は面倒を見られなくなってしまうので、まったく研究分野が変わることは少ないです。

○藤井委員：何か視野が広がって、違うところに出て行くなどという例があるとよいなと思います。

○小宮 流体研の小宮と申します。今、圓山教授の下で准教授をしております、熱流動と

物質移動について研究しています。今、私は実は頭脳循環プログラムの一環で、材料の分野に取り組んでおります。これは実質、全くゼロからのところではなくて、材料のスマートマテリアルと称しているものを使って、結局は熱物質移動の制御をしようとしています。切り口からしてみますと学際的な捉え方になってしまうのかもしれませんが、向こうのフィールドの話を知らないとは全くできないということで、今現在、フランスに行ってそのように研究を進めているところです。しかし研究をまったく変えているわけではありません。

○藤井委員：わかりました。何かドラスティックな変化もあるかなと思ったのですが、やはり、そこはベースをきっちりして、そこを広げる中でよりいいものをつかみオリジナルなところに戻ってくるイメージですね。

○圓山　ただし、会社に行ったときには全然違ってきます。例えば私の研究室の卒業生の例では、医工学をやっていたのですが、某メーカーで今、全く違うタービンの CFD をやっていたりします。また、バイオエンジニアリングをやっていて、今ミネラルウォーターの工場にいます。そんな例はべつに普通です。ただ、アカデミックの中で我々が指導するとなると、やはりそのテリトリーの中に入ってくると、仕事はできるのですが、そこから先に、ぶちっと切れて外に行くのは難しいのではないかと思います。

○藤井委員：昨年も申し上げましたが、研究レベルそのものは、とても高いと思います。流体力学は 4 力学の一つで、その名前を冠した流体研のような研究所というのは日本にはなかなかありません。そういうことを生かして流体力学という分野の、張先生が言われたように、目先ではなくてオリジナルなアイデアも豊富であるという意味で、全体としてはとても高い評価を私はしたいと思います。

また、流体というのは機械系の流体とか航空系とか、それぞれの分野ごとに流体会議はあるのですが、全体がまとまった流体会議というのはあまりありません。ICFD の会議を本当の世界の流体会議に、発展させていただきたいと思いました。

もう 1 つ伺いたいことがあります。例えば予算が倍あったら何に使いますか。どこが優れた研究のキーなのかということを知りたいのです。

○圓山　今の COE の予算が倍になったらという話ですか？今は間口が割と狭いので、もっと大々的に支援を。世界的に人材をリクルートできるようなシステムができたら良いと思います。

○藤井委員：メンバーを増やすわけでもないのですか。

○圓山　もちろんメンバーも増やします。もう一つ、世界的なネットワークの中でいい人を集められるようなシステムを作りたいと考えます。今でもやってはいるのですが 1 人、2 人とか、規模が小さいのです。

○藤井委員：具体的にはどういう風にやるのですか。

○圓山　例えば、現在でも一部は大学の中でやっていますが、グローバル 30 のような教育プログラムが走っていますけれども、ああいうシステムをもっと大々的に、組織的に世界中にアナウンスできるようなシステムを作って、積極的に東北大学に海外の学生たちがリクルートできるようなシステムです。

○藤井委員：そういう学生たちにかかる費用をサポートするということですね。

○圓山　もちろんです。いわゆる海外の学生の場合には、特にインドなどには非常に優秀な学生が大勢いるのですけれど、ファイナンスのサポートがないと実際には来られませんので、そこをきちっとやりたいと考えています。

お金は出すのですけれど、ある成績以上を満たさなかったなら、退校はさせないけれどお金は止まりますという形でクオリティーコントロールをして、世界中から優秀な学生を集めたいなと思います。

○藤井委員：グローバル COE によってそれぞれの研究の水準が向上したり上がったり、学生が育ったということはわかるのですが、そこから何かステップ的にどんと一段大きく進む、大きな課題を乗り越えるようなものは、どうやったら作れるのでしょうか。難しい質問だとは思いますが、何か回答はあるのでしょうか。

○圓山　今、所長とも流体研では話しているのですが、グローバル COE が終わっても ICFD は、どんなことがあっても基本的に毎年仙台で続けようと考えています。先ほど、まさにおっしゃる通りでいろんな流体が ICFD で発表されるので、海外の先生たちも、ここは面白いと言ってくれています。自分のセッションではなくて、隣へいくと全く違った流体をやっているの、すごく勉強になると評判がいいのです。こういうものを定着させるということが非常に大事だと思います。

そこで、ステップアップの話なのですが、これはたぶん、ちょっと歴史的な話になって申し訳ないのですが、例えばチンギスハンが世界を制覇したのはほんの瞬間なのなのですが、その前は部族抗争などに明け暮れていて、じっくり時間をかけて小さな国を作って、その後バーンと大国を作りに行くのです。ですから、たぶん ICFD がじっくり時間をかけていろんなことをやっていき、何かチャンスがあったときに、大化けするのではないかと期待しています。

しかし、化けないかもしれないけれど、それはじっくり、ゆっくり地盤をしっかりとしないと、先ほど言ったように、2 倍の金ができたらとバーンとやって花火を打ち上げるようだと、それはすぐしぼむ花火になってしまうので、やはり、そこはしぶとくやらないといけないのかなと考えています。

○藤井委員：そうすると、GCOE というかどうかはともかく、やはり研究者が大切で、優れた研究者を抱えるということが長期的な、発展的なモデルということですね。

○圓山　それから、あとはどうやって、例えば若手の先生方を育てるかが大事だと思います。個々の先生の名前は申し上げませんが、若い先生がどうやったら伸ばしていけるかということを所長などとも議論しています。それは別に甘やかすという意味ではないのですけれど、そういう議論を良くしています。あとは外から優秀な方に来てもらえるだけの、東北大学が魅力的でないと困ると思っています。

○Shin 委員：昨年、とにかく 3 月 11 日以降、大変だったと思います。

私の質問に、コメントも含めて言いますけれども、第 1 番目は、「出る杭伸ばす教育」についてです。この「出る杭教育」について、どう学生を採用して、結果どうなったかということを中心にフォローしておくことが必要だと思います。

これから審査を受けたり、リーディング大学院等の申請を出すと思います。そのときにいろんなデータを作るわけだから、やはりそういう数字的なものをたくさん増して、審査委員を感動させる、責任があります。その辺は、もう少しいろいろ付け加えてほしいというのが私の一番初めのお願いです。

2 番目は、3 月 11 日からの復興過程についてです。即時的に対応してここまで復興して来たということが少しでも出てきたんでしょうか。地震があってもなくても上手くできたということでは、あまりにも話が良過ぎますので、復興過程で、研究及び教育についてどのように対応してきたのでしょうか。

最後は、「キーワードの整理」ということです。一つの研究テーマに対してキーワードを整理する方法というのが、一番効率的だと思います。例えば一つの研究に対してキーワードが 30 個くらい。また別のところでキーワードがあって、そのキーワードの間を線で結んでいくということになれば、そこに関わった学生や教授のリストも、整理されます。

きちっとキーワードを整理していただいたら、第三者が見たときにも非常に分かりやすいと思います。そしてもっと、学生が別に自分の研究でどういう分野をやろうと思ったら、そのキーワードを 30 個くらいを置いてみて、どこに拠点をしてあるかというのが見られますから、この辺は非常に整理的にはいいのではないかと思います。

○圓山 数値データの件は前にもコメントをいただいて、これを現在はやっていたのです。数値データを先生に言われて、我々も事務局でいろいろなものを出しているのですが、レベルは結構高いのですけれども、なかなか数値に出にくいというところがあります。つい最近のデータで未公表なのですが、学会の某先生に、我々の領域でそこそこのインパクトを持つある国際ジャーナルで、日本人が著者の論文の数の推移を出してもらったのです。ものすごく面白いデータがあります。

昔はそこそこののですが、最近がくんと落ちているのです。どこで落ちたのかというと法人化したときからです。教育はちゃんとやれ、ポートフォリオは出せで先生方が忙しいのです。それから今回もそうですが分厚い報告書の作成です。また、個人評価で論文を何篇出したのか、金をいくら取ってきたのか、講義を何講やっているのか、手間暇掛けて、全部やらされています。

結構いま問題なのかなと思っています。では昔がいいかというと、そういうわけでもないでしょう。世界中の先生方がそれをやっています。清華大学などはそれらの要求がもっとすごくて、それでもちゃんと論文が出ているし、ものすごい研究活動をされているので、これはただの言い訳なのですが、日本国としては非常にこの件は問題なのかなと思っています。

学術会議でも実はその論文数やサイテーションの国際的な対比が出ていて、最近の数値がぐっと落ちています。中国と台湾はわっと伸びている。韓国もそうです。

○Zhang 委員：論文は何ですか？

○圓山 サイテーションとか、そういうものです。

○Zhang 委員：それが本当に意味があるのかどうかです。

○圓山 それもまた問題です。それはまた別問題です。韓国もたぶん伸びていると思うのですが、日本はそういう指標が法人化になって相対的に下がっているのです。それまでも下がってはいたのですが、そこから非常に下がってきました。

○Shin 委員：国内のある大学と、A、B、C の大学と比較できないのですか。今韓国はやっていますが、僕らが出したら向こうの大学が反論するのです。

○圓山　そこまではなかなか行きません。ただ、日本の大学としてはそういうデータは文科省が集めていて、総合的な評価はしているようです。ですから、そのところはちょっと見えてないのです。

また、地震の影響については、青葉山は実は壊滅的なところがたくさんありまして、機械系もかなり大きな損害がでました。化学、それから金属。今研究に支障も来しています。片平は幸い割と無事だったので、そういう意味ではそれほど大きな影響は比較的少なかったと思います、ただ、キャンセルになった学会などがいくつもあり、いろんなものがやはり遅れています。

ただ、ボディブローで効いてくるのは、海外からの学生が来ません。留学生も激減しています。あとは国内の入試も若干落ちています。そういう状況がありますので、このところは、やはり国際会議を開催して、人に来て見てもらうとか、交流をもっと以前より積極的にやって、東北大学の現状を正確に見てもらうということが重要なと考えています。

○戸田委員：私は大学のこういう研究雰囲気から離れて大分経つものですから、現役としての感覚はないと思います。ただし、いろんな国際会議やそういうところの研究で発表される論文、それから発表している人たちを見ていると、ある大学、ある国の非常に先進的といわれている大学から出てくる論文と、日本から出ていく論文との違いはどこにあるかということを考えます。自分のやっている研究が社会の求めている事とどう結びつくか、という視点が大切だと思います。

日本の学生さんの発表は、私の感じではそうしたことを考えた形跡がないように思います。先生がこれをやれと言うからやったのだというような感じの回答が結構多いようです。私は流体研の研究を見ていて、若い方々がいて、研究の自由度が高くて、そういう研究も進められて非常にいいように思えるんです。こうした点についてこのグローバル COE の中で実際にはどういう形で、学生や若手研究者にお話ししているのか、ちょっとお尋ねしたいと思います。

○丸田　流体科学研究所の丸田と申します。例えば企業等と共同研究を行う際には、定期的に企業側と大学側とが打合せをしますが、そこに4年生を含めて参加する体制をとっています。小さなことですが、このように、実社会において要求されていることを日ごろから学生が実感できるような環境を数多く提供したいと思っています。

○戸田委員：もう一点、私は、基礎研究が社会性を持つという意味では、非常にイニシアチブがあるし、それからオリジナル性も出てくるし、学生さんもそこからいろんな問題を掘り出す意味では非常にいいと思っているのですけれども、その際、必ずある研究をするには、ある装置を作らなければいけないということになると思うのです。

そのときに、最終的な装置をつくるまでいっきに飛躍できません。その途中で自分がやっている研究と、それから実際に装置になってくる間にどういう問題があるかということ、いわゆる若い方にぜひ考えていただきたいと思います。そういう研究にも積極的に関与するという姿勢を持っていただけると良いと思っております。

まだ1年少々あると思いますけれども、せっかくなので COE のモデルですので、その中でもそういう問題も分析しながら抽出していただいて、提言なり何かを出していただきたいと

思います。

○圓山 どうもありがとうございます。基礎研究と、それから応用、それから応用から来る基礎研究などいろんな形があると思います。意外と基礎と実用化間は、バイオなどは特に、このデスバレーがものすごく長いのです。これは非常につらいところだと思います。

ただ、先ほど丸田先生がおっしゃったように、応用から基礎というものもあって、会社からいろいろ困ったことを相談されて、それをやっているうちに基礎的にすごく面白いものに当たるといふこともあるので、そういうことを教育上の面から両方を見せるというのはすごく大事だと思うのです。学生は自分のやっているところには一生懸命なのだけれど、やはりバックグラウンドがないので、なかなかそれは大変かなと思います。それを全部要求するのはドクターを取ってから、あと何年かたってからだと思います。ただ、我々はやはりそれを意識しないといけないと思います。

○戸田委員：ただ私は、ドクターを取ってからでは遅過ぎると感じているのです。

○圓山 それは努力しないといけないと我々も思います。実はインターンシップというのはそういう意味では、意外なところで効率的です。なぜかというと、一人の先生の下で、あれをやれ、これをやれと言われて、やっているところから離れて全く価値観の違った先生の下で研究をやらされます。性格も違うし考え方も違うわけです。

それを和田先生が多分面白いとおっしゃったところだと思うのですが、自分はこんな世界しか見せられてなかったものが、違う世界を見せられると広がってきて、それで何か役に立つことがあります。その実例として面白いのは、出る杭であるとか、海外に行くプログラムがたくさんあるのですが、そういうものに何度も出る学生に限って大学に残らないで、民間企業に行く人が多いのです。

もちろん大学に残って活躍する人もいるのですが、やはり視野が広がっていますから、チョイスは大学に残って助教やポスドクをやるだけではないなと、気がつくのだと思います。それは先生がおっしゃるように広い、応用や基礎でバックグラウンドまでドクターのうちに勉強した学生などは、そういう視点を持つのかなと思っています。

そういう意味では、国際インターンシップのような形でいろんな異文化の人たちと、それから我々も受け入れていますけれど、受け入れていると彼らも全く違ったセンスで中に入ってお互いに交流すると、物の考え方が違うので大きな刺激になるのかなとは思っています。

ただ、前にも申し上げていますが、なかなか東北大の学生は外に行きたがらない。要するにドクターの学生は忙しいのですね。とにかく論文を書くのと研究に忙しくてなかなか時間が取れないので、そこがやはり欠点かなとは思っています。でも、先生のおっしゃることは、我々にとっても非常に耳の痛い話で、頑張らせていただきます。

○Zhang 委員：今日の先生方のご説明・ご報告を拝聴いたしまして、非常に感激しました。実は私は、地震の後、この1年間は、GCOE は駄目じゃないかと思いました。きょう聞いて本当にびっくりしました。国際交流も、もちろん少しは影響は受けたのですけれども、やはり先生方みんなが頑張った結果、またこんなにたくさんの成果ができました。非常にうれしいと思います。

先ほどの研究報告に関して質問です。溶融塩に関して、もちろんそれは原子炉を直す冷却に直接関連しますが、伝熱をやっている私のようなものから見ると、何故溶融塩を使うのでしょうか。もちろん、いろいろその形態によって実験しなければいけないのですが、熱

流動側から見ると、熔融塩なのか、液体金属なのか、あるいは普通の水なのかといった冷却の検討にこれまで得られている経験法則を使えないか。そこはわかった上で、また熔融塩の伝熱をやる理由をご説明いただければ幸せだと思っております。

また、今日のいろいろご報告を聞いて、東北大学で生体工学に取り組んでいる先生方が多い。もちろん工学的なセンスから生体に取り組むのはいいのですが、僕も長い期間研究をやっておりますけれども、結局なかなか成果が出ない。あるいは出にくいところが特徴です。そのところをどうやってたくさんの成果を出していくか、あるいはどうやって熱工学の知識を使って生体に、特に癌のハイパーサーミアに関して貢献するかを知りたいと思います。もちろん実験的研究をやっているのですが、実際に医療にどのくらい貢献できるのか、を教えていただきたいと思います。

○江原 この熔融塩の研究を報告した江原です。なぜ熔融塩を使っているのかというご質問だったと思うのですが、確かに伝熱相関式で、いろいろ過去の研究で様々な液体金属、水、熔融塩、そういったものに使用できるものがあります。

実際にここで私たちがなぜ熔融塩を使っているかというのは、一つは、熔融塩が核融合炉における冷却材ということ、そしてもう一つは高熱負荷を受けた時に生じる温度差による物性変化、ここでは粘性が重要になるのですが、実験で用いた熔融塩と核融合炉で想定される熔融塩で同じようなものになる、ということが理由になっております。

○圓山 実際おっしゃる通りバイオの方でなかなか実用化になりにくいんです。今回、太田先生の方から発表していただいたのは、レーザー治療のほうで、うまく表面を冷やしてあげるとレーザー光は中に入りますが、表皮細胞を壊さないで中の冠動脈のプラークを殺せる可能性があります。

それと同様なことを実は冷凍治療でもやっていて、これはかなり物ができていて一例だけ患者さんで臨床をやりました。張先生がおっしゃるように、そこからの実用化が大変なんです。なぜかという、お医者さんの協力がなくて、我々がどんなにいいものを作っても使ってもらわなければなりません。それから医療器で、例えば人工心臓。エバハートというものが最近日本で認可されましたが、あれは認可されるまでに非常に長期間かかっているなど、非常に厳しいところがあります。

来週、上海交通大学の先生が来られるので、我々はやはり中国と臨床の研究を一緒にやれたら良いなと思っております。動物実験まではすぐ行くのですが、人間になると倫理委員会であるとか立ち上がり日本先生方はどうしても、なかなかつらいのです。それでうまくいきそうになると、今度はヨーロッパの会社が全部それをつぶしにかかってくるとか、いろんなことがあってなかなか厳しいのです。しかし研究はやはりやらないわけにはいけないので、何年かかってもしぶとくやらざるを得ないのかなと考えています。

ただ、東北大学がいいのは、割と工学の先生とメディカルの先生がイーブンなのです。海外もほかの大学も、実はお医者さんはすごく偉くて、工学部の先生は道具屋さんみたいに扱われるのですが、それが比較的良いかなという感じがします。コーディネートして下さる先生が、その辺にご理解のある先生方なので、我々も敷居が低くお医者さんとお話しができるのです。

○Behnia 委員のレビュー後のコメント:I have reviewed all the documents and presentation materials provided for the review of the GCOE. I would like to congratulate the GCOE for its achievements over the years and in particular in 2011. The Center has established itself as a well-recognised world-class fluid dynamics research hub. This is evidenced by:

1. a number of leading-edge interdisciplinary research projects led by internationally recognised project leaders and researchers,
2. a very well established and recognised international conference series (ICFD),
3. a high output of publications in international conferences and journals of high repute,
4. opportunities provided for both incoming and outgoing young researchers and interns,
5. training of the future generation of fluid dynamics researchers and academics
6. international collaboration with leading universities in numerous countries.

Overall, I rank the performance of the GCOE as excellent and I wish to congratulate all and in particular Prof Maruyama for their achievements. I believe that the Center by continuing on the same trajectory in 2012 will continue to achieve excellent results. I wish them a lot of success.

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

評価委員会の皆さま、関係の皆さま、本日はお忙しい中、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 のサポート機関を代表いたしまして一言ご挨拶をさせていただきます。

このグローバル COE プログラムも 4 年目になりました。この 1 年間は昨年 3 月の東日本大震災を経験いたしまして特別な 1 年になりました。流体研も震災の後 1 カ月間は教育研究活動が完全にストップし、昨年夏あたりからようやく復旧したという状況です。

この GCOE プログラムにつきましても、非常に大事な要素であります国際交流が非常に厳しい状況になりました。外から人がなかなか来ていただけない状況があったのですが、昨年 11 月に国際シンポジウム ICFD2011 を開催いたしまして、世界各国から大勢の人に来ていただきまして現在の東北大学の状況を知っていただきました。また、関係の皆さまの努力のおかげで、今はもうずいぶん回復してきているかなと感じております。この震災を経験しまして、我々は教育研究と社会のつながりについても、今まで以上に深く考えるようになったと感じております。

このプログラムもあと 1 年と少しになりました。その後につきましても今、流体研、それから機械系の先生方、関係各部局とも相談いたしまして、流動ダイナミクスに関わるリーディング大学院の申請につなげられないかと、今検討しているところです。

本日はこの 1 年間の活動状況をご覧いただきまして、忌憚のないご意見をぜひ頂戴したいと思いますのでよろしくお願いいたします。簡単ですが、ごあいさつとさせていただきます。

最後の締めとお礼の言葉を申し上げたいと思います。本当にお忙しいところをどうもありがとうございます。耳の痛いといいますか、厳しいなというコメントもあったのですが、頑張って最終報告書に、先生方の今のコメントが反映されるようにしたいと思います。また今年の11月9日にこの委員会を開催しますが、そこで今回ご教示いただいたことを参考にさせていただき最終的に本プログラムがいいものになるようにしたいと思います。そのためには、今後ここにおられる事業推進担当者の方たちのご協力を頂かないといけません。特に、データの話を、個々の先生方が立派な教育をされておりますので、そのところをぜひ提出していただいて、最終報告でしっかりと反映させていきたいと思います。ありがとうございます。

それから、先ほど日本国際賞を貰われた佐川先生に関連してちょっと出ましたが、佐川先生の実験第一というのは本多光太郎先生からの伝統です。それから、しぶとく、というやつは、とことん東北大のカラーです。今まさに先生方がやっている研究は全てとことんなのです。上っ面のものはあまりないのです。

長くなって申し訳ないのですが、東北大の研究というのは、張先生がおっしゃるようにオリジナルなものが結構多いのですけれども、それは実は一代ではなくて、何代も何代もやり続けて、やっています。皆が見捨ててしまうような研究をしぶとくやっていると、その内いくつかが、ぽんと日が当たると、その研究はもう世界トップになっているのです。

もちろん、そのまま終わってしまうものもたくさんあるのですけれど。そういう意味では、先ほどのコメントはありがたいなと思いました。これを我々のグループがしぶとくやれるかどうか、かなりつらいところはあるかもしれませんが、おっしゃるような形で進めていきたいと思っています。

これからもまたこのような形で、教育それから人材育成も含めて、いろいろとまたご指導いただくことになると思いますが、今後ともよろしくお願いします。本日は本当にお忙しいところどうも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24年2月16日

出席者

1. 外部評価委員

Behnia, Masud	シドニー大学 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 宇宙輸送工学研究系 教授
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、 東北大学 名誉教授
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	(1)流体科学研究所 所長あいさつ	早瀬敏幸所長
15:05-15:10	(2)委員長選出・委員長あいさつ	委員長
15:10-15:30	(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
15:30-15:40	(4)GCOE流動融合分野研究報告	高木敏行拠点サブラダー
15:40-16:00	(5)GCOE融合フロンティアプロジェクトの報告(代表例)	
15:40-15:50	1)「流動ダイナミクスと医療の融合」	太田信アロジックサブラダー
15:50-16:00	2)「エネルギー・環境」	中野政身アロジックサブラダー
16:00-16:10	(6)国際交流に関する報告	高木敏行国際交流担当
16:10-16:20	(7)ELyT Schoolに関する報告	和田直人特任教授
16:20-16:35	休 息	
16:35-17:05	(8)質疑応答	
17:05-17:45	(9)評価委員による報告	
17:45-17:50	(10)謝 辞	圓山重直拠点リーダー

平成23年度の主な活動

1. 国際会議の開催
2. 研究支援者の採用
3. 国際的人材育成

- 1) 国際若タケノコ発掘プログラム
- 2) 国際出る杭伸ばす教育プログラム
- 3) グローバル回遊教育プログラム
- 4) 国際高等研究教育院との連携
- 5) ジョイントラボ連携国際インターンシップ
- 6) 国際宇宙大学派遣
- 7) HOPEミーティング派遣
- 8) 学生企画/運営国際会議・シンポジウム
- 9) 学生交流研究発表会
- 10) 流動ダイナミクス知の融合「博士学生セミナー」
- 11) ELyT School in Lyon 2011
- 12) 英語研修会(English Conversation Class)
- 13) ダブルディグリー共同教育
- 14) 高度イノベーション博士人材育成センターとの連携
- 15) 若手研究者国際会議派遣
- 16) 流体科学分野横断セミナー
- 17) 客員教授による実践教育

HOPEミーティング

国際会議の開催

日 時	会 議 名	場 所	参 加 者
2011.11.9～11	Eighth International Conference on Flow Dynamics	ホテルメトロポリタン仙台	649名 (うち外国人206名)
2012.2.21～24 (予定)	Japanese-German Seminar on Molecular Imaging Technology for Interdisciplinary Research (Special Workshop for GCOE Students)	東北大学 青葉記念会館	—
2012.2.22～23 (予定)	Japan-China Joint Workshop on Bio, Material and Flow Dynamics	東北大学 流体科学研究所	—
2012.2.22 (予定)	International Workshop on Simulation, Experiments and Optimisation for the Design of a Future Aviation	ONERA- Chatillon-Salle Contensou (フランス)	—
2012.2.27～ 3.1 (予定)	5th International Discussion Meeting on Glass	東北大学 流体科学研究所	—
2012.3.11～ 3.14 (予定)	ELyT Workshop	BELAMBRA Club (フランス)	—

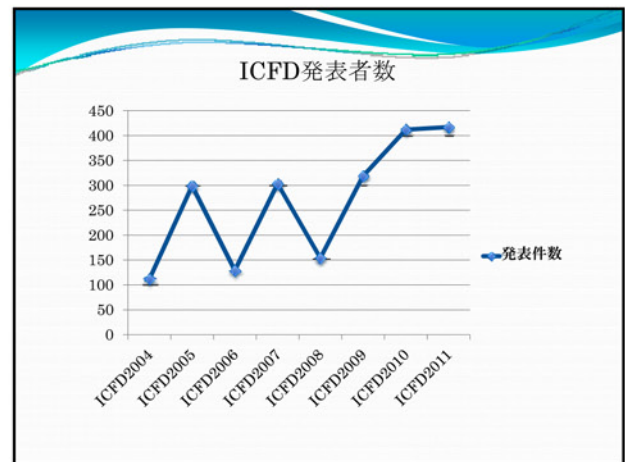
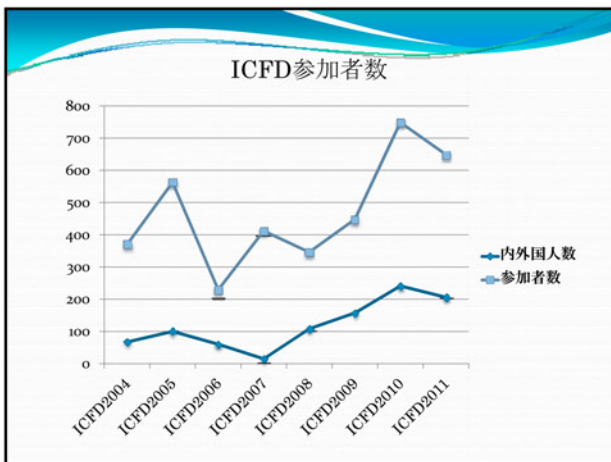


ICFD2011

Eighth International Conference on Flow Dynamics



平成23年11月9日-11日 ホテルメトロポリタン仙台
参加者649名 内外国人206名(19カ国)




学生セッション歴代オーガナイザー

第12回日韓学生シンポジウム

Plenary Lectures

International Scientific Committee Meeting

Banquet

ICFD2011:台湾-GCOEの交流

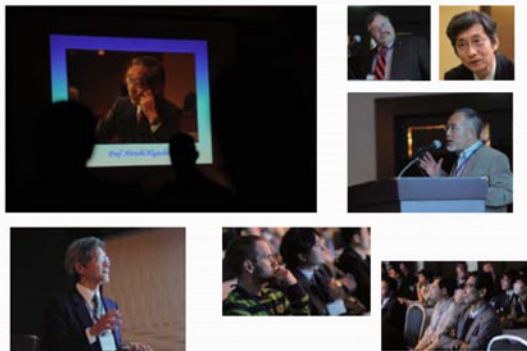


Scientific CommitteeメンバーであるProf. Wu-Shung Fu (National Chiao Tung University)の発案で、今回、Prof. Wu-Shung FuおよびProf. Ching-Yao Chenがオーガナイザーとなり、セッションを開催。

これを機にICFD2012では、Scientific Committeeメンバーがオーガナイザーをつとめるセッションがいくつか予定されている。



ICFD2011: Prof. Hiroshi Higuchi Memorial Session

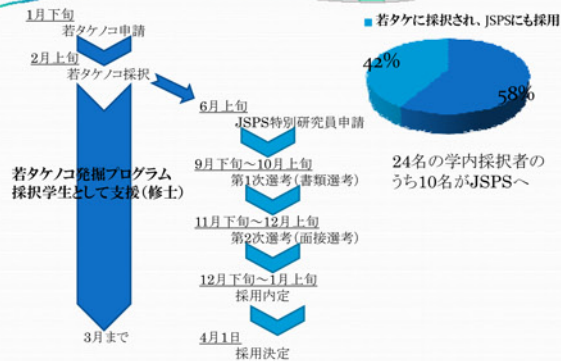


平成23年度研究支援者の採用

- 博士研究員ポストドクトラルフェロー 5名採択 (6名応募) 2名更新
- 国際出る杭伸ばす特別研究生 1名採択 (13名応募)
若タケ発掘プログラムより1名採択、3名更新
- 研究支援リサーチ・アシスタント 16名採択 (32名応募)
若タケ発掘プログラムより9名採択
- 基本支援リサーチ・アシスタント 15名採択 (28名応募)
1名辞退
- 国際若タケ発掘プログラム 6名採択 (12名応募)

GCOE

JSPS



グローバル回遊教育プログラム

COEフェロー(PD) 小助川 博之氏

派遣機関1: Ecole Centrale de Lyon (ECL) (フランス)

平成23年6月3日～7月2日

派遣機関2: University of Buffalo, The State University of New York (アメリカ)

平成23年7月2日～7月30日

派遣機関3: Massachusetts Institute of Technology (アメリカ)

平成23年7月30日～8月9日

工学研究科バイオロボティクス専攻 D3 解 社娯氏

派遣機関1: INSA-Lyon (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(中国)

平成23年3月17日～平成23年4月30日

工学研究科ナノメカニクス専攻 D2 李 直徹氏

派遣機関1: 韓国機械研究院(韓国)

平成23年6月22日～7月22日

派遣機関2: Brunel大学(イギリス)

平成23年9月11日～平成23年12月1日

平成23年度若手研究者国際会議派遣

8名 派遣

ジョイントラボ連携国際インターンシップ

平成23年度派遣学生

韓国 韓国機械研究院 1名
アメリカ The University of Chicago 2名
フランス Ecole Centrale de Lyon 2名
ドイツ RWTH Aachen University 1名

流体研支援による平成23年度若タケノコ国際(修士)派遣学生

オーストラリア The University of Sydney 1名
アメリカ Carnegie Mellon University 1名



平成23年度受入学生

韓国 Chungnam National University 1名
中国 Peking University 1名
スウェーデン KTH 1名
オーストラリア The University of Sydney 1名
ロシア Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB 1名



学生企画/運営国際会議・シンポジウム

日時	会議名	場所
2011.8.3～5	グローバルCOE航空宇宙流体科学サマースクール	ホテルメトロポリタン仙台
2011.10.13～14	The 6 th Seoul National University – Tohoku University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle	ソウル大学 機械航空工学部
2011.11.9～11	The Seventh International Students / Young Birds Seminar on Multi-scale Flow Dynamics	ホテルメトロポリタン仙台
2011.11.10～11	The 12 th Japan-Korea Students' Symposium New Energy Flow for Sustainable Society – Properties and Applications of Energy materials	ホテルメトロポリタン仙台

学生交流研究発表会

○第4回流動ダイナミクス国際若手研究発表会
平成23年7月8日 12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

○冬季流動ダイナミクス知の融合「博士学生セミナー」

平成23年3月16日(予定)

講師: 毛利 隆之 氏 (防衛省 技術研究本部 船艇装備研究所 主任研究官)

三浦 英生 教授(東北大学 エネルギー安全科学国際研究センター)

ELyT School in Lyon 2011

平成23年9月4日～9月14日 (使用言語:英語)

今年で3回目を迎えるELyT School in Lyon 2011は、フランスリヨンのINSA・Lyon, ECL両大学のキャンパスで開校し、和田直人特任教授を中心として東北大学から30名の大学院生を派遣した。

フランス側からは、日本からの学生と相部屋同宿した学生4名を含めて、大学院生10名以上が講義に出席し、他の学内外のアクティビティに日本の学生と一緒に参加した。他に50名以上のフランス人学生が各種のアクティビティに参加して両国の学生・教員の交流を行った。



東日本大震災後初めての大きな国際交流事業が関係各位のご協力で実現したわけであるが、帰国後の調査では、参加した日仏双方の教員・学生による評価は極めてポジティブであり、大きな成果が挙げられた、と考えられる。

次回第4回のELyT Schoolは、フランスを中心に、他のリエゾンオフィス設置大学からの学生20名程度の参加で、2012年9月に仙台の東北大学で開校する事を計画している。その際、ホスト側の東北大学からも多くの学生に参加してもらい学生達の国際交流経験を積ませたいと考えている。



平成24年度の予定

- Ninth International Conference on Flow Dynamics
2012年9月19日(水)～21日(金)
ホテルメトロポリタン仙台にて開催予定
- 平成24年度各種プログラム採択
- 国際宇宙大学派遣 予定
- 2012年9月 ELyT School を仙台にて開催予定
- 2012年11月9日 平成24年度国際評価委員会 開催予定

外

学生にとって魅力ある拠点

学生の支援が今後継続できない点が不安要因

独自の制度

流体科学研究所の支援をもとにマスターの学生を若タケノコプログラムで支援
(平成22年度から実施)

研究者にとって魅力ある拠点

- ・ 優秀な研究者の集積
- ・ 国際共同研究・交流が活発
- ・ 学会発表・論文発表が盛ん
- ・ 能力の高い学生がいる

産業界や企業にとって魅力ある拠点

- ・ MRJ設計への貢献 (大林教授/研)
- ・ 量子ドット太陽電池(寒川教授)
- ・ 原子力プラントの安全確保(高木教授)

社会や国にとって魅力ある拠点

- ・ 福島第一原子力発電所事故の熱解析と収束プランの提案

個々の研究における外部との連携状況

- ・ 海外とのワークショップ (ECL, INSA-Lyon、北京大学、国立交通大学(台湾)、清華大学、上海交通大学 等との連携)
- ・ JAXAとの連携
- ・ 三菱重工業、Honda、日立、三菱総研 等

4.2 GCOE流動融合分野研究報告

World Center of Education and Research for Transdisciplinary Flow Dynamics
Tokyo University Global COE Program

GCOE流動融合分野研究報告

情報流動融合分野
石本淳: マイクロ固体窒素噴霧利用型超高熱流速混相冷却システム

反応流動融合分野
丸田薫: 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

ナノ流動融合分野
高木敏行: ナノクラスタ金属を含む非晶質炭素コーティングによる摺動性と導電性の制御

極限流動融合分野
伊藤高敏: 微小地震を利用した地熱貯留槽の流路構造評価

マイクロ固体窒素噴霧利用型超高熱流速混相冷却システムの開発

石本淳

研究背景
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 10^5 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。このレベルで発生した熱を効果的に管理することが可能な冷却装置は現在のところ存在しない。

次世代高性能CPUは従来のCPUに比べて消費電力が高く、 10^5 W/m^2 レベルの放熱性能を有しなければ所定の性能を発揮出来ず、現在の液冷法ならびに強制対流沸騰熱伝達を用いてもはたは追従できないレベルにまで達するものと予測される。

次世代プロセッサ用新型冷却法の開発が望まれている。

情報流動融合分野

冷却技術のマッピング
VLSI熱流束とその動作温度レベル (出典: 石塚著, 電子機器の熱設計)

次世代新型プロセッサ冷却法としてマイクロ固体窒素(SN_2)粒子を用いた超高熱流速噴霧冷却法を提案

本冷却法のメリット

- 膜沸騰状態を極力回避した冷却方法が可能
- 固相の直接接触による熱伝達効果を利用
- 固相窒素粒子蒸発による昇華潜熱伝達を利用

マイクロ固体窒素生成超音波微粒化二流体ノズルを独自に開発

情報流動融合分野

マイクロ固体窒素噴霧の有する超高熱流速冷却効果の半導体ナノデバイス洗浄への応用

本洗浄法の優位性

- 酸素プラズマと有害な薬液により行われてきたプロセスを一つの工程で行える
- プラズマ照射、表面張力破壊によるパターンダメージを回避可能
- 使用流体は液体窒素とヘリウムであるので環境にも優しく、人体にも極めて安全

マイクロ固体窒素粒子によるレジストはく離メカニズム

- 衝突粒子の慣性力
- 超高熱流速急冷による熱収縮効果
- 超音波による水核生成促進と固体窒素粒子の微粒化促進

レジスト熱収縮効果の概略図

情報流動融合分野

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

丸田薫

従来の手法(衝撃波管と急速圧縮装置)に代わりマイクロフローリアクタによる反応機構の検証は可能か?

2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonane

マイクロフローリアクタ

反応流動融合分野

温度分布制御型マイクロフローリアクタ

Wall temperature profile

Test section

Gaseous mixture

Flame

External heat

Flow direction

PRF0

PRF20

PRF50

PRF100

-気相温度分布 $\approx$ 壁面温度分布

-層流

-圧力一定

火炎を複数の反応帯に分離成功

反応流動融合分野

MFRの応用例

反応制御のための燃料改質
化学反応過程のコントロール

MEMS
MFR+ECU

MEMS技術を応用したMFRによる、オンボード燃焼制御、オンボード燃料改質、高い燃料適応性を持つ高効率エンジン

Publication

- H. Oshibe, H. Nakamura, T. Tezuka, S. Hasegawa, K. Maruta, Combust. Flame 157 (8) (2010) 1572-1580.
- A. Yamamoto, H. Oshibe, H. Nakamura, T. Tezuka, S. Hasegawa, K. Maruta, Proc. Combust. Inst. 33 (2) (2011) 3259-3266.
- Kaoru Maruta, Proc. Combust. Inst. 33 (1) (2011) 125-150.
- Yiguang Ju, Kaoru Maruta, Progress in Energy and Combustion Science 37 (6) (2011) 669-715.
- Mikito Hori, Akira Yamamoto, Hisashi Nakamura, Takuya Tezuka, Susumu Hasegawa, Kaoru Maruta, Combust. Flame 159 (3) (2012) 969-987.

ナノ流動融合分野

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

高木敏行

ナノ流動融合分野

相対する2面間の距離

表面規則度 (エントロピー)

部分研磨されたダイヤモンド膜の滑り

ダイヤモンド膜におけるナノ流動特性の解明

規則表面における流体-摩擦相互作用に基づく低摩擦の発現

DLC Doped-DLC における低摩擦機構の解明

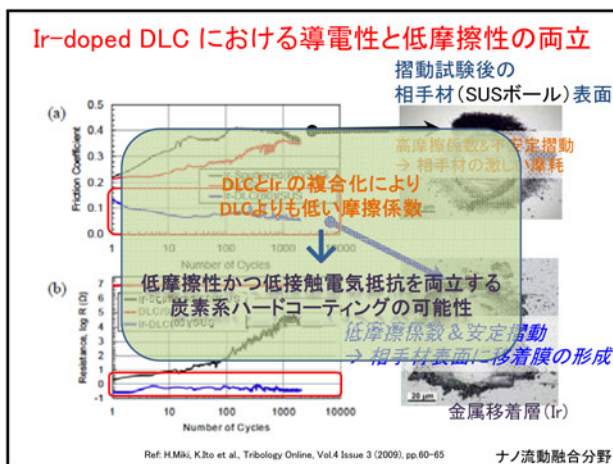
平滑なDLC膜の滑り

ダイヤモンド膜スライダ (汎用・工業的用途への展開)

低摩擦・耐摩耗性を有する高性能表面加工の提案 (テクスチャパターンの効果)

自動車・航空機用 固体潤滑剤の開発 (極限環境での利用)

Fundamentals Applications



Cu流動による移着層の形成

安定した低接触抵抗 (導電性) は移着層形成が必要

$P_{max}=0.5\text{ GPa}$ $P_{max}=1.4\text{ GPa}$

期待される応用先

低荷重条件 島状のCuの形成

導電性と摺動性が求められる接点要素 (<http://www.kyoeidenki.jp/>)

航空・宇宙機の信頼性向上のための次世代潤滑膜の開発 (JAXA)

移着層が初期過程で形成される

高荷重条件: Cuの流動過程が確認される

ナノ流動融合分野

微小地震に基づく地熱貯留層内流路ネットワークの定量評価

伊藤高敏

目的と方法

Enhanced Geothermal System, EGS

- 地下の流路ネットワークの構造を知ることが、地熱貯留層開発において極めて重要
- しかし、電波すら通さない、厚さ数キロの岩盤を通して、薄い隙間の流路を直接評価することは不可能
- 貯留層の開発時に実施される水圧破砕に伴って発生する微小地震を利用する方法を提案

↓

- そこで、水圧変化による微小地震発生過程をモデル化
- これに基づいて微小地震から貯留層内の水圧変化を評価
- さらに、水圧変化から流路ネットワークと内部の流体移動を評価

流路ネットワーク (深度数km)

極限流動融合分野

オーストラリア次世代地熱開発フィールドへの適用

GEODYNAMIC

Power from the Earth

HABANERO 3

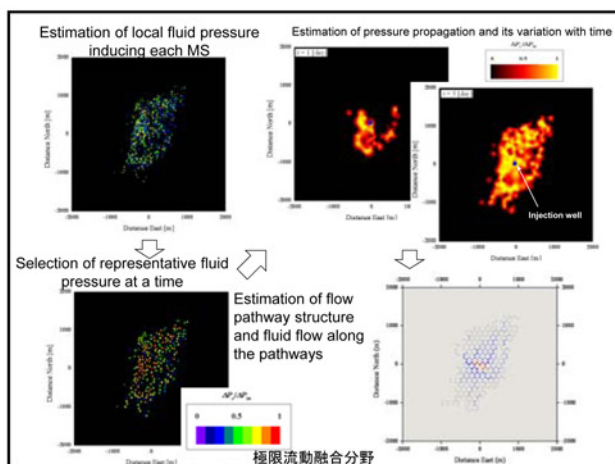
Australia's first commercial hot rock geothermal well

Cooper Basin

Lightning 1000K Rig purchased from LeTourneau Technologies (Australia)

Drilled by Easternwell Drilling

極限流動融合分野



4.3 GCOE融合フロンティアプロジェクトの報告(代表例)

4.3.1 「流動ダイナミクスと医療の融合」

GCOE融合フロンティアプロジェクト 報告

流動ダイナミクスと医療の融合

2012年2月16日(木)

圓山重直, 小玉哲也, 太田 信
畠山 望, 白井 敦, 小宮敦樹

資料P27,P61-65

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」

GCOE融合フロンティアプロジェクト

プロジェクトの目的

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う。

プロジェクトメンバー

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

プロジェクトの計画

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・温熱治療法を用いて、熱物性値の評価による**癌治療・診断法の確立**を目指す。癌遺伝子の発現と抑制、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、評価法に焦点をおき、研究を行う。
レーザーを用いた癌治療法を多角的な学術分野から評価する等、**学際的な展開**を図る。

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」

がんのメカニズム・診断・治療に貢献する流動ダイナミクス

	メカニズム	診断	治療
数値解析	量子分子動力学法による癌抑制遺伝子p53とDNAの相互作用		
分子/細胞実験	癌細胞への血流量評価	HL60細胞の挙動	
医療機器開発		生体内の熱分布と力学的性質を模擬する生体軟組織モデル	レーザー治療法

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」

GCOE融合フロンティアプロジェクト

研究成果

(2) 超高速化量子分子動力学法による癌抑制遺伝子p53とDNAの相互作用解析

癌抑制遺伝子の一つであるp53について、点変異とDNAのドッキング状態を超高速化量子分子動力学法により解析。

野生種p53はR248およびR280との相互作用によりドッキングして癌抑制作用が発現するが、発癌性とされる点変異R249Sが生じると相互作用が見られず、従って癌抑制作用が失われることが明確に示された。

R249Sに加えてH168Rの点変異も存在する変異種では、再びR248およびR280との相互作用が生じるようになり、DNAとのドッキングにより癌抑制作用が復活することを見出した。

これらは、水素結合を量子論的に解析可能な大規模量子分子動力学法を用いることで初めて明らかになった。

量子分子動力学法によるp53の野生種および変異種とDNAとの相互作用解析

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」

GCOE融合フロンティアプロジェクト

シスプラチン(白金錯体、抗がん剤)の効果

研究成果

○腫瘍成長の抑制 ×血管新生の抑制

(1) Volumetric and Angiogenic Evaluation of Antitumor Effects with Acoustic Liposome and High-Frequency Ultrasound

In this study, the antitumor effects of cisplatin on tumor growth and angiogenesis in mice bearing two different types of tumor cells were assessed. Our results show that cisplatin (CDDP) inhibits tumor growth by decreasing intratumoral vessel area but does not affect the angiogenesis ratio in the tumor. The vascular occupancy in the outer region of the tumor was larger than that in the inner region; however, both occupancies were similar to those of the control tumor. We propose that this method of mapping microvessels with ALs and an HF-US system can serve as a new molecular imaging method for the assessment of angiogenesis and can be applied to evaluate the antitumor effects by various therapeutic agents.

Construction of intratumoral vessels with the combination of ALs, the HF-US imaging system, and the CDDP method.

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」

GCOE融合フロンティアプロジェクト

研究成果

(5) 傾斜遠心顕微鏡を用いたHL60細胞の挙動解析

好中球: 白血球の中で最も多数を占める白血球
人体の免疫機構において病原菌様の侵入に対して最前線で戦う細胞

血管内皮の表面形状が白血球の挙動に与える影響について評価

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、右図に示すように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好中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。

傾斜遠心顕微鏡模式図

○ Nucleus

HUVECの核を迂回するHL60の軌跡

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」

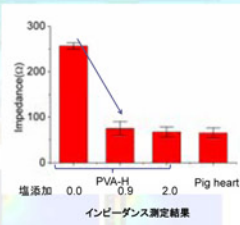
GCQE融合フロンティアプロジェクト

研究成果

(3) 生体内の熱分布と力学的性質を模擬する生体軟組織モデルの開発

PVA-H及び生体組織のインピーダンス測定
 生体組織(pig heart)は約4 mm、PVA-Hは厚さ3 mm、直径50mmに加工した。その後、サンプルを誘電体測定用電極で挟み込み40 Hz-1 MHzの高周波電流を負荷させ、それぞれのインピーダンスをAgilent 16451B,(Agilent Technologies)を用いて測定した。

結果
 PVA-Hに塩を添加することで、インピーダンスを低下させることができ、その値はブタの心筋のインピーダンスとほぼ同等のものとなった。評価システムのインピーダンスも調べ、その値も一般の患者で測定されるインピーダンスと同等のものとなった。さらに、高周波電源を用いて加熱した場合、温度分布が生体内と同様の分布を示すことが示唆された。



塩添加	インピーダンス (Ω)
0.0	~250
PVA-H	~100
0.9	~80
2.0	~70
Pig heart	~70

流動ダイナミクスと医療の融合

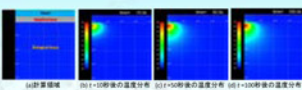
GCQE融合フロンティアプロジェクト

研究成果

(4) レーザー治療における生体組織内の能動伝熱制御

レーザーによるハイパーサーミアを想定し、波長1.064 μm のYAGレーザーを用いた治療時に生体組織がどのような温度挙動を示すか評価した。

レーザービーム半径1mm、出力を0.5Wとし、表面を対流熱伝達による冷却条件とした場合の各時刻における温度分布を右図に示す。生体組織内部に最高温度領域が確認でき、組織内部に臨治療に有効な最高温度を有する温度分布を形成できることが分かる。



表面強制対流冷却 ($h=200\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$) における生体組織内温度分布



実験においては右図に示す光学系でレーザーを照射し、温度分布を測定した。実験においても生体組織深部に最高温度領域が観察され、表面冷却を施すことで温度分布を制御できる可能性を定性的に見出した。



YAGレーザーを用いた治療時における表面強制対流冷却装置と結果

流動ダイナミクスと医療の融合

4.3.2 「エネルギー・環境」


 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」国際評価委員会
 2012年2月16日(木)、於：東北大学流体科学研究所

GCOE融合フロンティアプロジェクト:
「エネルギー・環境」プロジェクトの研究展開
 Researches of "Energy and Environment" Project

東北大学 流体科学研究所 知能流制御研究分野
 GCOE融合フロンティア「エネルギー・環境」プロジェクトリーダー
 中野 政身
 Masami NAKANO
 Intelligent Fluid Control Laboratory
 Institute of Fluid Science
 Tohoku University


 Institute of Fluid Science
 Tohoku University

Intelligent Fluid Control Laboratory, Institute of Fluid Science, Tohoku University / NAKANO Lab.

メンバーとプロジェクト概要 (Members and Objectives of Project)


メンバー:
 中野政身(リーダー)、笹尾眞實子、水崎純一郎、西山秀哉、三浦隆利、宮本明、小原拓、伊藤高俊、大平勝秀、青木秀之、佐藤一永、湯上浩雄、伊賀由佳、北島 純男。(以上14名)

プロジェクトの目指すもの:
 本プロジェクトでは、特に、**CO₂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・再生可能エネルギーに代表される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、**新エネルギーとしての燃料電池やバイオマスエネルギーなどの製造・高効率利用、エネルギー関連機器・設備等のインフラ整備、水質浄化などの環境浄化**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**を目指している。

Intelligent Fluid Control Laboratory, Institute of Fluid Science, Tohoku University / NAKANO Lab.

研究プロジェクト (Research Projects)


<燃料電池関連>
 (1)高温作動型燃料電池の研究開発 (水崎純一郎、湯上浩雄、佐藤一永)
 (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)

<バイオマスエネルギー関連>
 (3)高効率燃焼を目指したバイオディーゼル燃料の電場による粘度低下制御(中野政身)

<エネルギー機器・設備関連>
 (4)水素エネルギーの輸送・貯蔵媒体としてのスラッシュ水素の管内流動・伝熱特性(大平勝秀)
 (5)LNGポンプ等が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)
 (6)低開口部をもつ部分開空間での漏洩水素のリスク回避強制換気制御(中野政身)
 (7)超高速回転ベルカップ噴霧塗装の効率化(青木秀之)

<環境浄化関連>
 (8)マイクロ放電による気泡ジェットの高性能化と水質浄化(西山秀哉)

Intelligent Fluid Control Laboratory, Institute of Fluid Science, Tohoku University / NAKANO Lab.

<燃料電池関連> (水崎・湯上グループ)
 高温作動型燃料電池の研究開発～燃料電池のその場健全性評価技術の開発～

背景
 固体酸化物燃料電池(SOFC)は優れた発電システムである。実用化するには長期運転することで起こりうる様々な劣化現象過程を解明する必要がある。

目的
 ラマン分光法・・・発生する応力や温度分布を可視化。
 運転中の電池の状態を定量的に評価可能
 ・温度
 ・応力・ひずみ
 ・組成のゆらぎ・・・
 作動中の温度や内部応力等をその場で評価することにより電池に発生する応力の機構を明らかにする
 フォースフィードバック・エロージョン防止
 ...更紗や微細な破壊を可視化
 ...電化学的手法と併用することによりSOFC劣化機構を明らかにする

湯上研・水崎研の持っている測定技術を融合すること
 SOFC劣化機構の解明につながる
 高い信頼性の高温作動型燃料電池開発へフィードバック

Intelligent Fluid Control Laboratory, Institute of Fluid Science, Tohoku University / NAKANO Lab.

<燃料電池関連> (水崎・湯上グループ)
 高温作動型燃料電池の研究開発～燃料電池のその場健全性評価技術の開発～

発電中の燃料電池内部の応力状態を可視化することに成功
 図1: 分光技術に基づく応力評価(湯上グループ)
 図2: 音響技術に基づく変形・振動評価(水崎グループ)
 世界に先駆けて電池のその場劣化評価技術の開発に成功
 SOFCの実用化に向けて飛躍的に前進!!

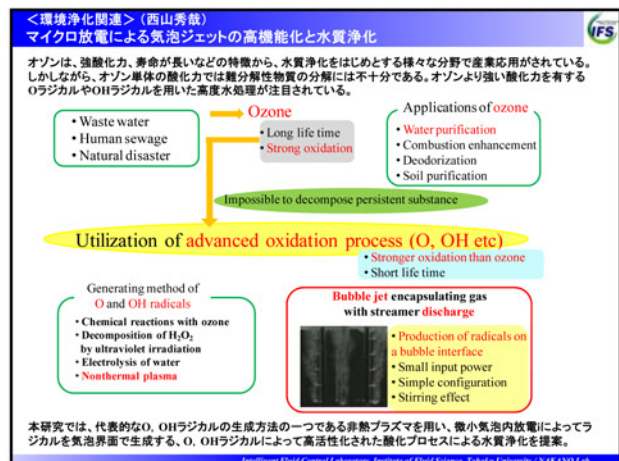
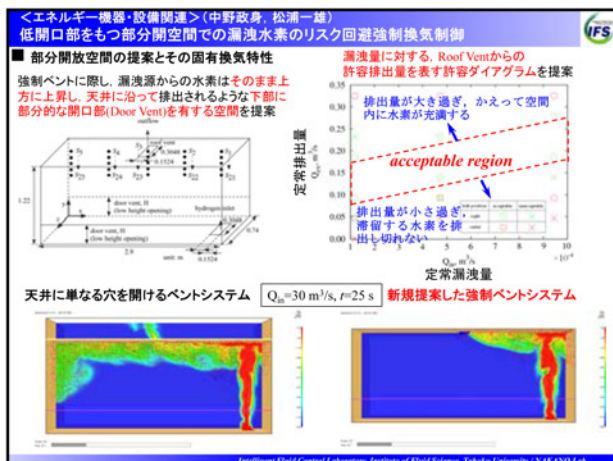
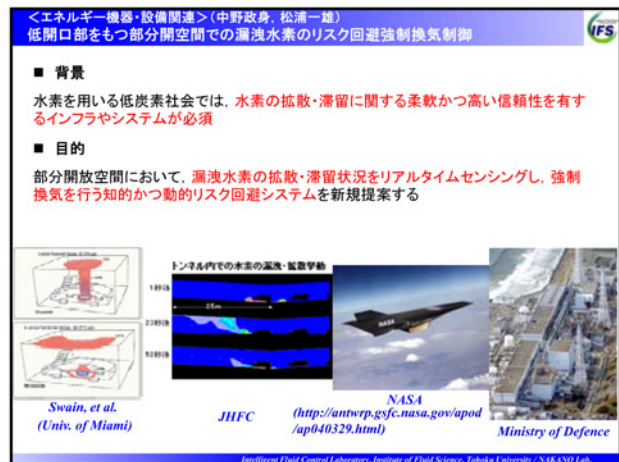
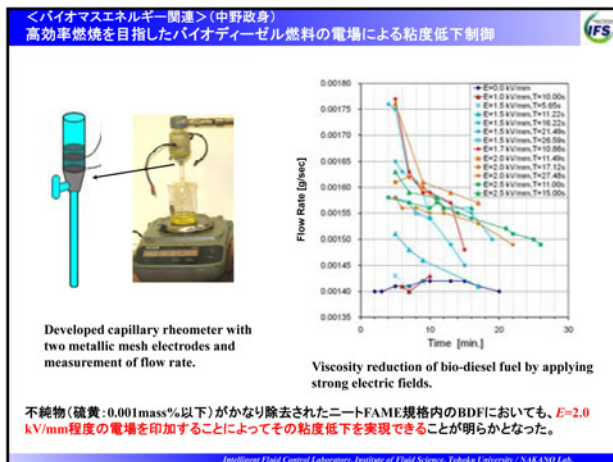
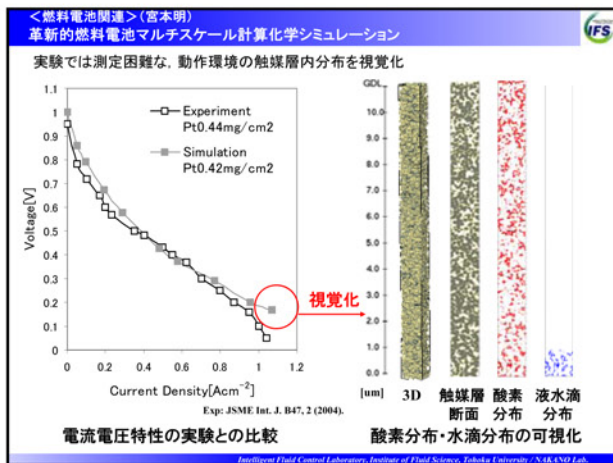
Intelligent Fluid Control Laboratory, Institute of Fluid Science, Tohoku University / NAKANO Lab.

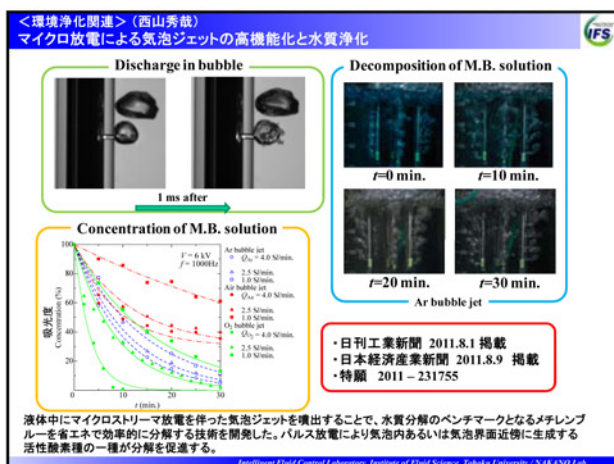
<燃料電池関連> (宮本明)
 革新的燃料電池マルチスケール計算化学シミュレーション

革新的燃料電池の開発をトータルに支援する。マルチスケール計算化学シミュレーション手法を開発している。動作温度が低く、特に燃料電池自動車への搭載が実用段階にある、固体高分子形燃料電池(PEFC)に適用した例を示す。
 カソード電極周辺のナノスケール拡散反応シミュレーション

電解質、電極触媒層、拡散層、電気伝導、Pt表面反応
 Pt担持カーボン、電子伝導、H₂O拡散、H⁺拡散、活性点特性
 アイオノマのブロン・H₂O₂拡散、分子内H⁺/O₂拡散、Ptとアイオノマ(固体高分子)の超高速化量子分子動力学シミュレーション
 動作時の内部挙動を詳細に観察することが困難であるため、電解質・電極・拡散層などPEFCを構成する各要素における反応・拡散メカニズムの考察を可能とする。理論的・解析的モデルに基づいたシミュレーション技術を開発。

Intelligent Fluid Control Laboratory, Institute of Fluid Science, Tohoku University / NAKANO Lab.





Thank you for your
attention.

元気・前向き
Powerful Positive Tohoku University
東北大学

Intelligent Fluid Control Laboratory, Institute of Fluid Science, Tohoku University / NAKANO Lab.

4.4 国際交流に関する報告



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

2011年度 国際交流活動の報告

1. 基本方針
2. 国際共同研究
3. 国際共同教育
4. グローバル回遊・国際宇宙大学・Hopeミーティング・インターンシップ・国際会議派遣
5. サマースクール: ELyT School in Lyon 2011 (別掲)
6. ELyT Annual Workshop in Hyeres 2012 (2012年3月 Hyeres, France)
7. 2012年の重点事項



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

国際交流活動の基本方針

- 2011年3月11日東日本大震災からの速やかな復旧・復興
- 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50回、延べ参加者人数 約1,000人以上)
- 国際会議、ワークショップの積極的な実施





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

2011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	• Bio Tribology of Catheters • Non-Destructive Evaluation and Mitigation • Heat and Mass Transfer Properties of Biological Surface Morphologies • Radiative Properties of Complex Engineering Systems • Nano-Scale Modeling of Tribological Interfaces • Tribology-based Design Strategies for Advanced Carbon Coatings
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)	• Development of Design Exploration Method for Real-World Design Problem • Measurement of Radiative Properties in Micro-Nano Structure • Functionality Design of the Contact Dynamics



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

2011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教育
- ダブルディグリー国際共同教育
- 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
- サマースクール
 - ELyT School in Lyon 2011 September 4~14, 2011 in Lyon, France
 - 航空宇宙流体科学サマースクール 2011年8月3日~5日, 鳥取
 - Seoul National University-Tohoku University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle October 13~14, 2011 in Seoul, Korea
- グローバル回遊教育・HOPEミーティング・国際会議への派遣
- GCOE国際インターンシップ派遣と受け入れ
- 国際会議への積極的派遣



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

フランスECL-東北大学の博士 Double Degree Program

- Mr. Felipe Torres (平成23年4月東北大学大学院博士課程後期入学)についてDouble Degree ProgramによるフランスECLと東北大学の間のDouble Degree Programによる共同教育協定が調印・発効・実施
- 指導教員: 東北大学流体科学研究所教授 圓山 重直
ECL LTDS Professor Daniel Henry
- 研究テーマ: A Study on Heat and Mass Transfer in Multi-component Liquid System
- 予定期間: 2011年5月~2014年4月の3年間
- 学位論文は英語、フランス語のShort Report付き。Defence Committeeは東北大学に設置し、ここへ両大学同数ずつメンバー派遣
- スポンサーは本GCOE



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

グローバル回遊教育研究

氏 名	滞在先大学	研究テーマ
小助川 博之 (Postdoc) (2011年6月~7月、2011年7月、2011年7月~8月)	ECL, France U of Buffalo, USA MIT, USA	PVA-H血管・バイオモデルの調整・条件検討と合金表面の流動摩擦に関する検討
解 社 絹 (D3) (2010年2月~3月、2011年3月~4月)	INSA-Lyon, France 西安交通大学, 中国	非破壊評価法(アコースティックエミッション法、超音波探傷法、バルス渦電流探傷法 等)を用いた原子力配管の減肉検出とサイジングの検討
李 貞 徹 (D2) (2010年6月~7月、2011年9月~12月)	韓国機械研究院, Korea Brunel University, UK	超長ストローク精密旋盤の開発、多軸超精密機械の評価 および 5軸マイクロミリングマシンの運動誤差測定



2011年国際インターンシップ派遣/受け入れ・ Hopeミーティング派遣・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、ドイツ
流体研支援による修士学生若タケノコ国際インターンシップ派遣(1～3ヶ月)	2	オーストラリア、米国
国際インターンシップ留学生受け入れ(1～6ヶ月)	5	韓国、中国、スウェーデン、オーストラリア、ロシア
JSPS HOPEミーティング派遣(3月、5日間、つくば国際会議場)	1	つくば(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	15	オーストリア、米、仏、アイルランド、印、ポルトガル、韓国、ポーランド、メキシコ、日本、チェコ



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)

- 2011年度は震災の影響もあり多くを実施できなかった。
- 台湾長庚大学工学部(部局間(流体研))、韓国成均館大学(大学間)との学術交流協定締結
- 韓国科学技術院(KAIST)との交流
- 「東北大学デイ(於: 大連理工科大学)」に参加。GCOEの広報、大学院生の留学勧誘
- 中国代表事務所との意見交換会
- 引き続き2012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)にも合わせて効率的に交流実施する



ElyT Annual Workshop in Hyeres 2012 (2012年3月12日～14日, Hyeres, France)

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2012年3月にフランスHyerresで開催。

Introduction
Plenary Lecture by Professor Toshiyuki Takagi: One Year after the Disaster
Tribology Session
Bio Session
Durability Session
Heat Transfers and Micro-fluidics Session
Nano Session



国際交流活動 2012年度の重点事項

- 国際共同教育・研究の推進
ElyT Laboratory や Liaison Officeの積極活用による教育研究の展開
- サマースクール・インターンシップ・グローバル回遊教育・Hopeミーティング派遣・国際宇宙大学派遣 等による「複眼的視野を持ったリーダーの育成」
- アジア・アメリカ・欧州の大学との幅広い交流の促進
- ICFD2012を梃子に研究者・学生の交流活性化
- 21COEおよびGCOEでの国際交流活動の総括

4.5 ELYT Schoolに関する報告



国際評価委員会報告: ELYT School in Lyon 2011

- 2011年9月4日(日)~14日(水)の間 フランスリヨンのINSA-LyonとEcole Centrale de Lyonのキャンパスにて実施
- 学生派遣のスポンサーは、流動ダイナミクスGCOE(6名,博士課程後期)、材料インテグレーションGCOE(6名,後期)、地球惑星GCOE(6名,後期5 前期1)、青葉工学振興会(2名,前期)、日本学生支援機構と東北大学共同の東北大学ファンド(10名,前期)で合計30名を派遣
- フランスINSA-Lyonからは日本からの学生と相部屋同宿した4名を含めて大学院生10名以上がプレゼン等で参加。ECLからは夕刻のBBQに50名以上の学生が参加。



Schedule

スケジュール概要

- 9月3日(土)夜成田発
 4日(日)リヨン着、INSA内アパート入室、市内見学、歓迎ディナー
 5日(月)オリエンテーション、学術講義(2)、INSAラボツアー、学生プレゼン
 6日(火)学術講義(1)、学生プレゼン、Rhone-Alps地域説明、トライボロジー学会
 聴講、BBQ
 7日(水)ECLラボツアー、学術講義(2)、学生プレゼン、ECL BBQ
 8日(木)学術講義(2)、学生プレゼン、フランス語講義、コンサート
 9日(金)学術講義(2)、学生プレゼン、フランス語、学生主催パーティ
 10日(土)フリー (パリ、マルセーユ、「中世の村」観光等)
 11日(日)Chamonix観光。翌日のCERNに近いスイスジュネーブに移動。ユース
 ホステル泊り。
 12日(月)CERN見学。リヨンへもどり。大学主催夕食会
 13日(火)学術講義(3)、学生プレゼン、Wrap-up、リヨン市庁舎でのレセプション
 14日(水)朝リヨン発 (パリ経由)
 15日(木)朝成田着



東北大学教授による講義

東北大学教授による講義

- 東北大学流体科学研究所 圓山 重直教授— Accidents and Countermeasures for Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant)
 東北大学理学系研究科 大谷 栄治教授— Earth and Planetary Science)
 東北大学金属材料研究所 後藤 孝教授— New Materials and their Processes)
 東北大学未来科学技術共同研究センター 庄子 哲雄教授— Future Energy Strategy and Fukushima Events



フランス側教授による講義

フランス側教授による講義

- Professor John Tichy (R.P.I Troy, NY, USA Tribology)
 Professor Yves Brecht (Grenoble-INP & CNRS Metallurgy)
 Professor Fabrice Dassenoy (ECL & CNRS Tribology)
 Professor Daniel Henry (ECL & CNRS Transport Phenomena)
 Professor Bernard Normand (INSA-Lyon & CNRS Surface Reactivity)
 Professor Abdelkader Souifi (INSA-Lyon & CNRS Nano-electronics)
 Professor Daniel Nelias (INSA-Lyon & CNRS Modeling of Fretting)



総括

- 講義をしていただいた日仏11名の教授には大感謝。学生の受講態度も概ね良好だった。
- 学生プレゼンでは後期学生は9分間発表・3分間質疑「自分の研究・研究室で行われている研究」を中心に、また、前期学生は5分間発表・2分間質疑「大学生生活・将来設計」中心に発表した。学生はいずれも気合を入れて準備していた。
- 多数のフランス側学生の企画・実行段階での参加が学生の交流に良い結果をもたらした反面、グループとしての行動がルーズになり、「団体行動」をとりにくくした面もあった。また参加学生の中には、「ELYT Schoolの趣旨を理解せず、お客様気分・観光気分で行動規律を守れない者、理解出来ない者」もあり、反省点である。
- 歓迎会、BBQパーティ(2夜)、コンサート、学生パーティ、「中世の村」観光、Chamonix観光、夕食会、リヨン市庁舎でのレセプション等フランス側は大歓迎してくれた。





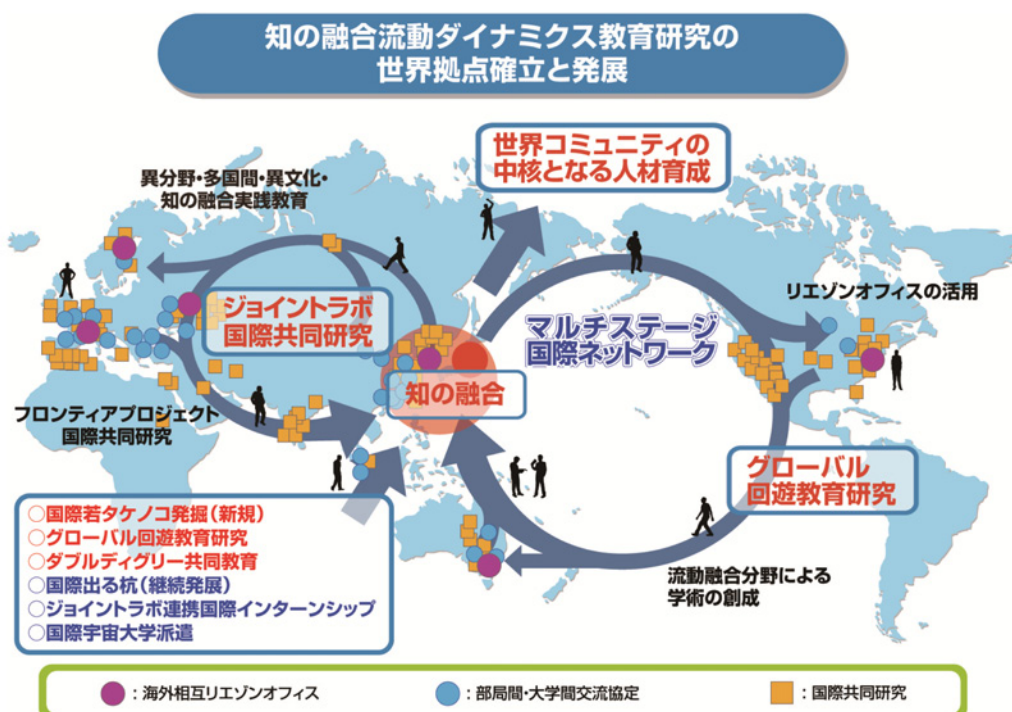
5. 拠点の概要

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、2009 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。

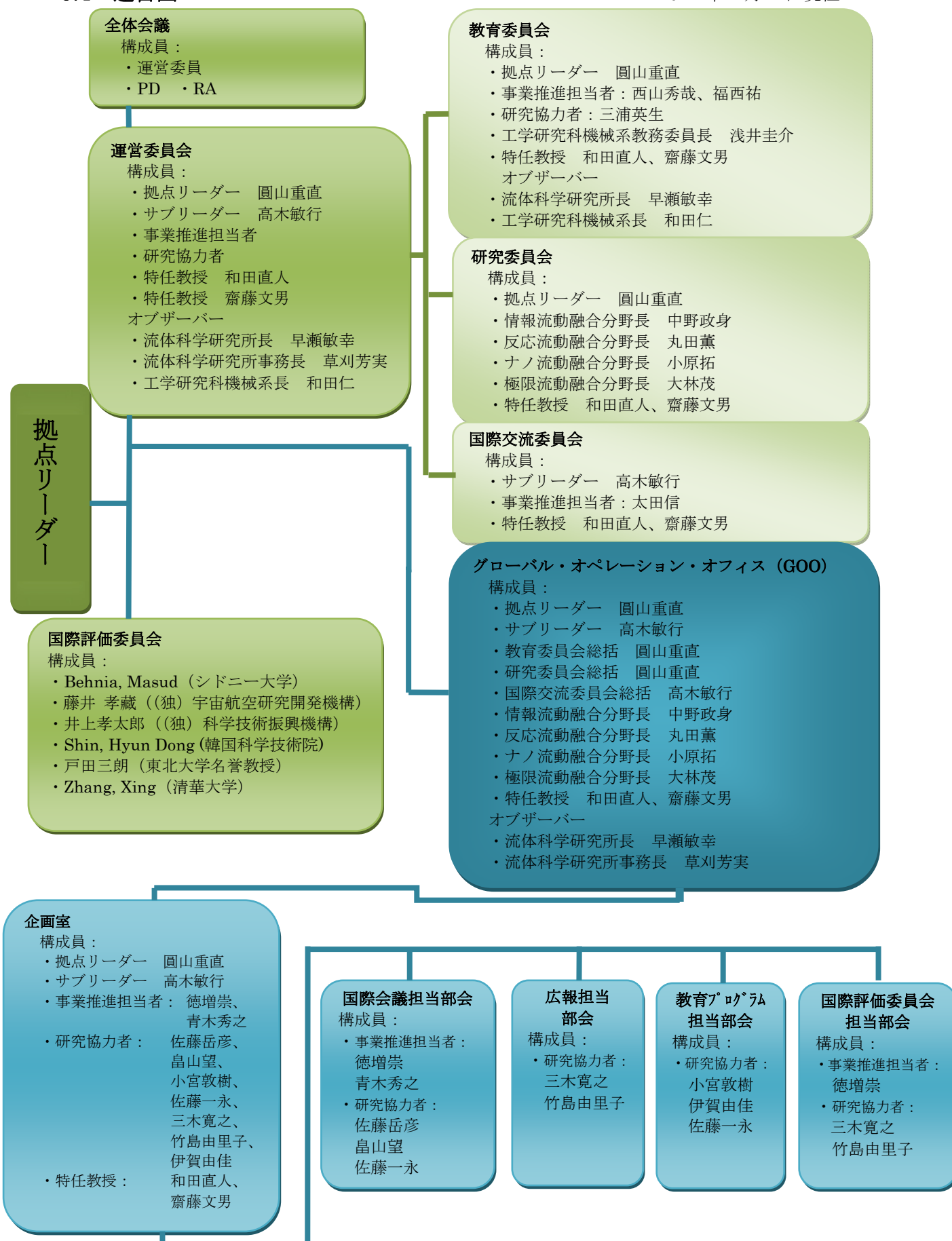
5.3 事業推進担当者

2012 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
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
青木 秀之	Hideyuki AOKI	工学研究科化学工学専攻・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		
佐藤 岳彦	Takehiko SATO	流体科学研究所・教授
北島 純男	Sumio KITAJIMA	工学研究科量子エネルギー工学専攻・准教授
ナノ流動融合分野		
三浦 英生	Hideo MIURA	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
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
佐藤 一永	Kazuhisa SATO	工学研究科附属エネルギー安全科学国際研究センター・准教授
三木 寛之	Hiroyuki MIKI	流体科学研究所・講師
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
小宮 敦樹	Atsuki KOMIYA	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
伊賀 由佳	Yuka IGA	流体科学研究所・助教

5.4 運営図

2012 年 1 月 1 日現在



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開催とする。

開催日	審議事項
平成23年 5月13日	平成23年度GCOE実行予算（案）及び平成22年度GCOE収支決算報告に関する審議外
平成23年 7月 8日	平成23年度秋季GCOE博士研究員・リサーチアシスタント等の採択及び平成23年度若手研究者国際会議派遣に関する審議外
平成23年 9月22日	第8回流動ダイナミクスに関する国際会議及び国際インターンシップに関する審議外
平成23年11月25日	第8回・第9回流動ダイナミクスに関する国際会議報告及び平成24年度各種採択に関する審議外
平成24年 1月30日	平成24年度GCOE博士研究員・リサーチアシスタント等の採用について及び平成24年度予算編成の基本方針（案）に関する審議外
平成24年 3月16日	平成24年度予算編成の概要及び平成24年度GCOE博士研究員の採用に関する審議外

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23年 5月 9日	平成22年度GCOE実績報告、平成22年度GCOE収支決算報告及び平成23年度GCOE実行予算（案）に関する審議外
平成23年 7月 5日	平成23年度秋季募集及び第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 9月20日	平成23年度秋季募集の選考・採択及び第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11月21日	平成24年度各種プログラムの募集及び国際インターンシップ、平成23年度予算執行状況に関する審議外
平成24年 1月23日	平成24年度予算編成の基本方針（案）に関する審議外
平成24年 3月 8日	平成24年度教育プログラムの採択及び平成24年度事業推進担当者の異動に関する審議外

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23年 9月 1日	平成23年度秋季「研究支援RA」及び「基本支援RA」の採択に関する審議外
平成24年 2月14日	「国際出る杭伸ばす特別研究生」の採択に関する審議外

○教育委員会（メール会議）

開催日	審議事項
平成23年 4月 7日	平成23年度各種プログラム募集要項等
平成23年 4月14日	インターンシップ受入1名採択

平成23年 5月 6日	前期 若手研究者国際会議派遣10名採択
平成23年 5月 9日	グローバル回遊教育プログラム1名採択
平成23年 5月26日	前期 若手研究者国際会議派遣1名採択
平成23年 5月27日	前期 若手研究者国際会議派遣1名採択
平成23年 6月 1日	前期 若手研究者国際会議派遣1名採択 インターンシップ派遣1名採択
平成23年 6月 8日	グローバル回遊教育プログラム1名採択
平成23年 6月17日	前期 若手研究者国際会議派遣1名採択
平成23年 6月27日	平成23年度秋季RA募集要項
平成23年 7月 1日	若タケノコ国際インターンシップ派遣1名採択
平成23年 8月 9日	若タケノコ国際インターンシップ派遣1名採択 国際インターンシップ派遣1名採択
平成23年 8月18日	後期 若手研究者国際会議派遣5名採択
平成23年 8月19日	国際インターンシップ派遣1名採択
平成23年 9月 5日	国際インターンシップ受入1名採択
平成23年 9月30日	国際インターンシップ派遣1名採択
平成23年10月20日	国際インターンシップ受入1名採択
平成23年11月 2日	平成24年度GCOE各種募集要項案
平成23年11月17日	国際インターンシップ受入1名採択
平成23年11月25日	国際インターンシップ受入1名採択
平成23年12月 8日	国際インターンシップ派遣1名採択
平成23年12月 9日	国際インターンシップ派遣1名採択
平成23年12月15日	国際インターンシップ受入1名採択
平成23年12月22日	平成24年度JSPS特別研究生の選考審査
平成23年12月26日	国際インターンシップ派遣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。

○研究委員会

開 催 日	審 議 事 項
平成23年 9月 2日	平成23年度（秋季）グローバルCOE博士研究員の採用
平成24年 2月14日	平成23年度グローバルCOE博士研究員の成果報告及び平成24年度グローバルCOE博士研究員の採用

○研究委員会（メール会議）

開 催 日	審 議 事 項
平成23年 6月27日	平成23年度（秋季）グローバルCOE博士研究員募集要項
平成23年11月14日	平成24年度グローバルCOE博士研究員の募集要項

6.1.5 GCOE としての国際交流活動および国際交流委員会の活動

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23年 5月 24日	国際交流推進室の役割分担、2011年度活動案等

○GCOE としての国際交流活動及び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23年3月11日)	(東日本大震災勃発)
平成23年 3月11日～ 4月 5日	インドからの留学生Mr. Hali Krishnaの仙台・東北大学滞在に関する世話活動。
平成23年 3月12日～16日	大震災に対するリヨン地区からの支援活動、ダブルディグリープログラム、ELyT School、共同研究の活性化についてリヨン地区のECL、INDA-Lyonと打合せ。
平成23年 4月 1日～	流体科学研究所 博士前期課程学生 海外発表促進プログラム募集。
平成23年 5月16日～21日	ECLにてダブルディグリー、ELyT School、ELyT Workshopに関する協議及びリヨンによる大震災支援に関して話し合い。
平成23年 5月25日～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募集。
平成23年 6月29日	ハンガリー科学アカデミープラズマ物理研究所との部局間学術交流協定更新、チェコ科学アカデミープラズマ物理研究所との部局間学術交流協定更新、台湾長庚大学工学部との部局間学術交流協定締結、英国ノッチンガム大学との大学間交流協定更新、およびリエゾンオフィスを活用した若手教員の国際共同研究促進プログラムについてのメール審議。
平成23年 7月20日	台湾長庚大学工学部と部局間交流協定を締結。
平成23年 7月25日	中国代表事務所スタッフとの意見交換会に出席。
平成23年 8月 8日	ハンガリー科学アカデミープラズマ物理研究所との部局間学術交流協定を更新。
平成23年 8月29日	チェコ科学アカデミープラズマ物理研究所との部局間学術交流協定を更新。
平成23年 9月 4日～14日	ELyT School in Lyon を開校。東北大学の博士課程後期学生20名、博士課程前期学生10名が参加。
平成23年 9月 7日	若手教員の国際共同研究促進プログラム承認。
平成23年 9月26日～27日	台湾長庚大学Lai教授が流体研を訪問。
平成23年10月20日	ナポリ大学との大学間学術交流協定締結について、及び北京航空航天大学との大学間学術交流協定関係部局撤退についてのメール審議。
平成23年11月 8日	第8回リエゾンオフィスミーティング開催。 第3回流体科学研究所運営委員会にて国際交流活動について報告。

平成23年11月 9日～11日	第8回流動ダイナミクスに関する国際会議開催。この機会を利用して各種打合せ。
平成23年11月11日	工学研究科国際交流室およびKTHとのリエゾンオフィス設置協議。
平成23年11月23日～25日	東北大学デイ（大連理工科大学）に参加、GCOEのプロモーションと留学の勧誘
平成23年11月29日	韓国成均館大学校との大学間学術交流協定締結、スウェーデン王立工科大学とのリエゾンオフィス覚書締結、韓国漢陽大学校との部局間学術交流協定締結、及び学術交流協定を利用した学生交流推進プログラムについてのメール審議。
平成23年12月～	学術交流協定を利用した学生交流推進プログラム募集開始。
平成23年12月中旬	グリーティングカード送付。
平成24年 1月 8日～12日	若手教員の国際共同研究促進プログラムにおけるECLおよびINSA-Lyonとの若手国際ワークショップ開催。
平成24年 3月12日～14日	The 4th ELyT Lab workshop in France 開催。

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 24 年 4 月に発行する予定である。

平成 23 年度開催

日 時 平成 24 年 2 月 16 日（木）

場 所 COE 棟 3F セミナー室

委 員 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	東北大学 名誉教授
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23年5月13日

平成22年度国際インターンシップ派遣学生1名の派遣報告、平成22年度GCOE博士研究員1名の成果報告、平成23年度GCOE博士研究員1名、研究グループ毎の研究発表

(2) 平成23年7月8日

研究グループ毎の研究発表、「第4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23年9月22日
研究グループ毎の研究発表、GCOE博士研究員1名、研究支援RA 1名、国際出る杭伸ばす教育特別研究生1名の研究発表並びにELyT School in Lyon 2011 報告
- (4) 平成23年11月25日
研究グループ毎の研究発表、ELyT School in Lyon 2011参加報告、GCOE博士研究員1名、研究支援RA 1名の研究発表
- (5) 平成24年1月30日
研究グループ毎の研究発表、国際インターンシップ受入学生1名の研究発表、研究支援RA2名の研究発表
- (6) 平成24年3月16日
研究支援RA/インターンシップ派遣学生1名、研究支援RA1名、出る杭伸ばす教育特別研究生1名の研究発表、研究グループ毎の研究発表

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 6 件開催する予定である。

- (1) Eighth International Conference on Flow Dynamics
第8回流動ダイナミクスに関する国際会議
日 時 平成23年11月9日～11日
場 所 ホテルメトロポリタン仙台
参加者 649名（うち外国人206名）



基 調 講 演

Suk Ho Chung (King Abdullah University of Science and Technology, Saudi Arabia)
“Energy Sustainability: A Combustion Perspective”

Yiannis Ventikos (University of Oxford, UK)
“Transport Phenomena, Fluid Mechanics and Multiscale Modelling Techniques for Clinical Decision Support”

Mark Drela (MIT, USA)
“Low-Order Aeromechanical Modeling for Conceptual Design of Fuel-Efficient Aircraft”



<i>General Session</i>		オーガナイザー
GS1	General Session	K. Asai, S. Maruyama (Tohoku University)
<i>Organized Sessions</i>		
OS1	Next-Generation CFD	K. Nakahashi, H. Kobayashi, S. Obayashi, S. Yamamoto and K. Yamamoto (Tohoku University)
OS2	Advanced Control of Smart Fluids and Fluid Flows	M. Nakano, Y. Fukunishi (Tohoku University)
OS3	Wind Tunnel Experiment on Unsteady Phenomena	S. Izawa, H. Nagai (Tohoku University)
OS4	Research Frontiers in Green Aviation	S. Obayashi, K. Asai (Tohoku University) and S. Watanabe (JAXA)

OS5	Research Frontiers in Green Hybrid Rocket Propulsion	T. Shimada (JAXA), K. Sawada (Tohoku University)
OS6	Aerodynamics for Mars Exploration Aerial Vehicle	H. Nagai (Tohoku University), A. Oyama (JAXA)
OS7	Thermal-Fluid Flows and Plasma Physics	W. S. Fu, C. Y. Chen (National Chiao Tung University, Taiwan)
OS8	Flow-induced Degradations in Piping Systems of Nuclear Power Plants	Y. Watanabe, T. Takagi (Tohoku University) and Joël Courbon (INSA-Lyon, France)
OS9	Fluid-induced Seismicity: Modeling and Application	T. Ito, H. Asanuma (Tohoku University)
OS10	Biofluid for Medical Application	T. Nakayama, M. Ohta (Tohoku University)
OS11	Micro Channels and Membrane Proteins	N. Tomita, M. Ohta (Tohoku University)
OS12	The Seventh International Students / Young Birds Seminar on Multi-Scale Flow	Y. Shimizu, R. Sakai and J. F. Torres J. Mizusaki, K. Sato, Y. Iga and A. Komiya (Tohoku University)
OS13	Clean and Efficient Combustion Technology (AFI/TFI-2011)	O. Fujita (Hokkaido University), K. Maruta (Tohoku University)
<i>Planned Sessions</i>		
PS1	IFS Collaborative Research Forum (AFI/TFI-2011)	K. Maruta (Tohoku University)
PS2	5 th Functionality DEsign of the COntact Dynamics: (DECO2011)	T. Takagi, H. Miki (Tohoku University) and Julien Fontaine (LTDS, France)
PS3	Plasma Medicine and Cell Engineering	T. Sato (Tohoku University), T. Ohashi (Hokkaido University) and T. Hirata (Tokyo City University)
PS4	The 12 th Japan-Korea Students' Symposium New Energy Flow for Sustainable Society – Properties and Applications of Energy Materials –	M. Shimizu (Tohoku University), J. Wonhyo (Seoul National University, Korea) J. Mizusaki (Tohoku University), H. I. Yoo (Seoul National University, Korea)
<i>Special Session</i>		
	Memorial Session for the Late Professor Hiroshi Higuchi, Syracuse University, USA	T. Hayase (Tohoku University)



- (2) Japanese-German Seminar on Molecular Imaging Technology for Interdisciplinary Research (Special Workshop for GCOE Students)

日 時 平成 24 年 2 月 21 日～2 月 24 日

場 所 東北大学 青葉記念会館

参加者 44 名 (うち外国人 5 名)

- (3) Japan-China Joint Workshop on Bio, Material and Flow Dynamics

日 時 平成 24 年 2 月 22 日～2 月 23 日

場 所 東北大学流体科学研究所

参加者 48 名 (うち外国人 21 名)



- (4) International Workshop on Simulation, Experiments and Optimisation for the Design of a Future Aviation

日 時 平成 24 年 2 月 22 日

場 所 ONERA-Châtillon-Salle Contensou (フランス)

参加者 50 名 (うち外国人 44 名)

- (5) 5th International Discussion Meeting on Glass

日 時 平成 24 年 2 月 27 日～3 月 1 日

場 所 東北大学流体科学研究所

参加者 34 名 (うち外国人 17 名)

- (6) 4th ELyT Workshop

日 時 平成 24 年 3 月 11 日～3 月 14 日

場 所 BELAMBRA Club、Presqu'île de Giens (フランス)

参加者 78 名 (うち外国人 47 名)



その他

- 1) PSP Course 2011

日 時 平成 23 年 9 月 5 日～9 日

場 所 Göttingen (ドイツ)

- 2) Super Computing 2011 (SC11)

日 時 平成 23 年 11 月 12 日～18 日

場 所 Washington State Convention Center (アメリカ)

- 3) Workshop on Micro-Nano Flow Engineering

日 時 平成 23 年 12 月 13 日

場 所 名古屋大学

名古屋大学・東北大学グローバル COE ジョイント企画として名古屋大学グローバル COE プログラム「マイクロ・ナノメカトロニクス教育研究拠点」と本 GCOE が主催となり、ワークショップを開催した。

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 23 年度は 6 名応募に対し 5 名採択、2 名が更新された。

氏 名	研究課題
Mehdi Baneshi	Radiative Properties of Complex Materials for Design and Control of Engineering Systems
Arunabhiram Chutia	Fluid Dynamics in Chemically Modified Carbon Nanotubes with Organic and Biological Polymers
Ahmed Farouq	Multiscale Modeling of Monolithic Catalytic Converter: Challenge and Possible Solution
Ardian Gojani	Development of Background Oriented Schlieren for Near-mid Field Pressure Measurements for a Supersonic Aircraft in a Ballistic Range Experiment
小助川 博之	Study on Interaction between Soft Tissue and Medical Metallic Alloys in Hydrodynamic Lubrication Phase
Penfei Wang	Design of Low Friction Systems in Ambient Environments with Carbon-based Coatings
Pierre Le Fur	Computational Study of Cryogenic Liquid Atomization with Vaporization or Cavitation Problem

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 23 年度は、13 名応募のうち 1 名が採択された。4 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・D3	解剖学的異方性を組み込んだ脳外科手術シミュレーションの構築	内山 勝	
須藤 真琢	工学研究科航空宇宙工学専攻・D2	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	永谷 圭司	
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
解 社娟	工学研究科バイオロボティクス専攻・D3	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・D3	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 23 年度は 32 名応募に対し、16 名採択された。若タケノコ発掘プログラムより 9 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	小水内 俊介	工学研究科航空宇宙工学専攻・D3	内山 勝		
2	大木 健	工学研究科航空宇宙工学専攻・D2	永谷 圭司		
3	K.S.N. Abhinav Kumar	工学研究科航空宇宙工学専攻・D2	浅井 圭介		
4	菅井 文仁	工学研究科航空宇宙工学専攻・D1	内山 勝		若タケノコプログラム

5	野田 純司	工学研究科航空宇宙工学専攻・D1	升谷 五郎		
6	何 亮	工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D3	小野 崇人		
7	西尾 悠	工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D3	福西 祐		
8	張 柱鏞	工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D2	西山 秀哉		若タケノコプログラム
9	大川 啓	工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D2	福西 祐		
10	Juan Felipe Torres Alvarez	工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D1	圓山 重直		若タケノコプログラム
11	藤井 宏之	工学研究科ナノメカニクス専攻・D3	徳山 道夫		
12	五十嵐 誠	工学研究科ナノメカニクス専攻・D2	寒川 誠二		
13	金 千載	工学研究科ナノメカニクス専攻・D2	高 偉	澤田 恵介	
14	Chilukoti Hari Krishna	工学研究科ナノメカニクス専攻・D1	小原 拓		若タケノコプログラム
15	永島 浩樹	工学研究科ナノメカニクス専攻・D1	徳増 崇		
16	洪 承模	工学研究科量子エネルギー工学専攻・D2	渡辺 豊		若タケノコプログラム
17	小原 健	情報科学研究科システム情報科学専攻・D2	橋本 浩一	石本 淳	若タケノコプログラム
18	櫻田 健	情報科学研究科システム情報科学専攻・D1	岡谷 貴之	大林 茂	若タケノコプログラム
19	佐藤 功人	情報科学研究科情報基礎科学専攻・D3	滝沢 寛之	中橋 和博	若タケノコプログラム
20	呉 美瑛	環境科学研究科環境科学専攻・D3	川田 達也	水崎純一郎	
21	申 有哲	環境科学研究科環境科学専攻・D3	川田 達也	水崎純一郎	
22	韓 笑波	医工学研究科医工学専攻・D2	太田 信		
23	小澤 桂	医工学研究科医工学専攻・D2	太田 信		
24	信太 宗也	医工学研究科医工学専攻・D2	太田 信		若タケノコプログラム
25	清水 康智	医工学研究科医工学専攻・D2	太田 信		

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 23 年度は 28 名応募に対し、15 名採択されたが、1 名が辞退となった。

	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・D3	内山 勝	
2	李 成基	工学研究科航空宇宙工学専攻・D2	内山 勝	
3	中野 壽彦	工学研究科航空宇宙工学専攻・D1	吉田 和哉	

4	大瀬戸 篤司	工学研究科航空宇宙工学専攻・D1	近野 敦	
5	富岡 義弘	工学研究科航空宇宙工学専攻・D1	吉田 和哉	
6	浦本 翔平	工学研究科航空宇宙工学専攻・D1	升谷 五郎	
7	呉 孟鴻	工学研究科航空宇宙工学専攻・D1	内山 勝	
8	朴 江	工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D1	近野 敦	
9	伊藤 真澄	工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D1	伊澤 精一郎	
10	PHAN ANH TUAN	工学研究科ナノメカニクス専攻・D3	桑野 博喜	升谷 五郎
11	磯野 晋	工学研究科ナノメカニクス専攻・D3	米村 茂	
12	呉 同	工学研究科ナノメカニクス専攻・D2	羽根 一博	高木 敏行
13	須田 信一郎	工学研究科バイオリボティクス専攻・D1	芳賀 洋一	太田 信
14	白 珊丹	工学研究科バイオリボティクス専攻・D1	久保 百司	宮本 明

5) 平成 23 年度 国際宇宙大学派遣

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。本年度は震災の影響で派遣することができなかった。

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	
Juan Felipe Torres Alvarez	工学研究科機械システムデザイン工学専攻	H23.4 研究支援 RA 採用	圓山 重直	
菅井 文仁	工学研究科航空宇宙工学専攻	H23.4 研究支援 RA 採用	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 研究支援 RA 採用	田所 諭	大林 茂

➤ 平成 22 年度 学内 14 名の応募に対し、7 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	
庄司 衛太	工学研究科機械システムデザイン工学専攻	H24.4	圓山 重直	
猪爪 宏彰	工学研究科航空宇宙工学専攻	H24.4	永谷 圭司	
高橋 一平	工学研究科航空宇宙工学専攻	H24.4	内山 勝	
神田 航希	工学研究科機械システムデザイン工学専攻	H24.4	足立 幸志	
小川 修平	工学研究科航空宇宙工学専攻	H24.4	内山 勝	
柴田 智弘	工学研究科機械システムデザイン工学専攻	H24.4	西山 秀哉	

➤ 平成 23 年度 学内 7 名の応募に対し、5 名が採択された。

氏 名	所属	博士課程入学 予定	指導教員	副指導教員
高橋 聖幸	工学研究科航空宇宙工学専攻	H24.10	大西 直文	
岡部 孝裕	工学研究科機械システムデザイン工学専攻	H25.4	圓山 重直	
馬淵 拓哉	工学研究科ナノメカニクス選考	H25.4	徳増 崇	
福島 裕馬	工学研究科航空宇宙工学専攻	H24.10	大林 茂	
高橋 佑弥	工学研究科機械システムデザイン工学専攻	H25.4	圓山 重直	

【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 23 年度 海外からの応募はなかった。

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23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、「電界応答ポリマーコンポジットの創製とそのマイクロモータへの応用」、「ホールトーン現象の下流板へのリング状突起設置によるパッシブ制御」、「航空機周りの空力場・音響場推算のための次世代CFD開発」、「マイクロ固体窒素噴霧利用型超高熱流束混相冷却システムの開発」、「脳動脈瘤用ステントの血流最適化設計と3次元可視化によるBOIの決定手法に関する研究」、「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」、「高熱流束下における高温溶融塩の伝熱特性」および「大規模粒子系のための高速可視化」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、「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」、「核融合磁場閉じ込め装置におけるプラズマ流の制御」、「超音速燃焼器内に噴射した気体燃料と空気の乱流混合／燃焼現象の解明」、「高温・高圧下における誘電体バリア放電による高活性化学種の生成特性」、「針－水面プラズマシステムの流動場解析と化学輸送」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」、「ひずみによる機能性酸化物薄膜の導電特性変化」、「フラジャイルガラスとストロングガラスの流動ダイナミクスの解明」、「ナノクラスタ金属を含む非晶質炭素コーティングによる摺動性と導

電性の制御」、「オンウエハーモニタリング技術の研究」、「ナノバブルと超音波を用いた腫瘍壊死因子 α の固形腫瘍への導入とその抗腫瘍効果」、「PEFC 触媒層アイオノマーの酸素透過性能の解明」、「固液界面微細構造における物質輸送の研究」、「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」および「多孔質体内マイクロ・ナノスケール流れの輸送現象に関する研究」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」、「極限振動するはく離領域制御および計測手法の開発」、「火星大気風洞を用いた低レイノルズ数空気力学の研究」、「高温衝撃風洞計測データに見られる異常加熱現象の解明」、「マイクロ波を用いた配管減肉広域一括探傷技術の開発」、「微小地震を利用した地熱貯留層の流路構造評価」、「コルゲート管を流動するスラッシュ流体の圧力損失低減に関する研究」、「高温高圧水環境での流れ加速型腐食における流動条件の影響評価」、「電磁超音波共鳴法による配管減肉のオンラインモニタリング」、「キャビテーション不安定現象に及ぼす加速度場の影響」、「静粛超音速機に関する研究」および「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」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

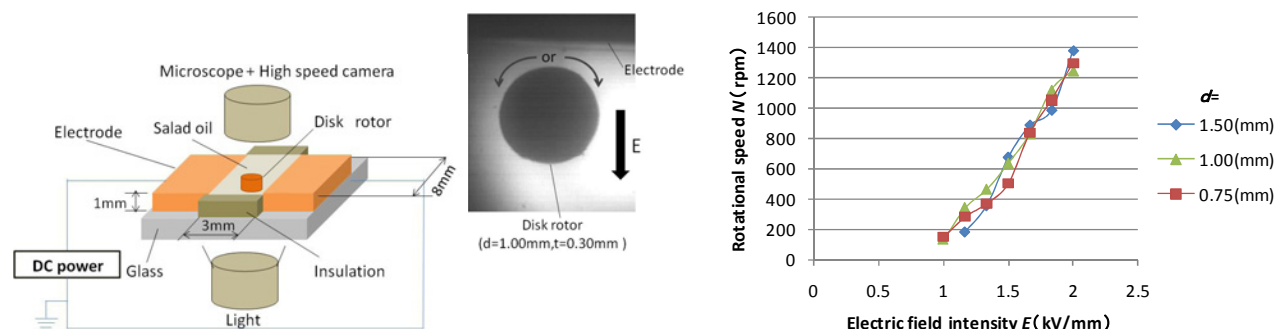
研究協力者：白井 敦、江原 真司、竹島 由里子

平成 23 年度は以下の 9 件のテーマに関して研究を実施した。

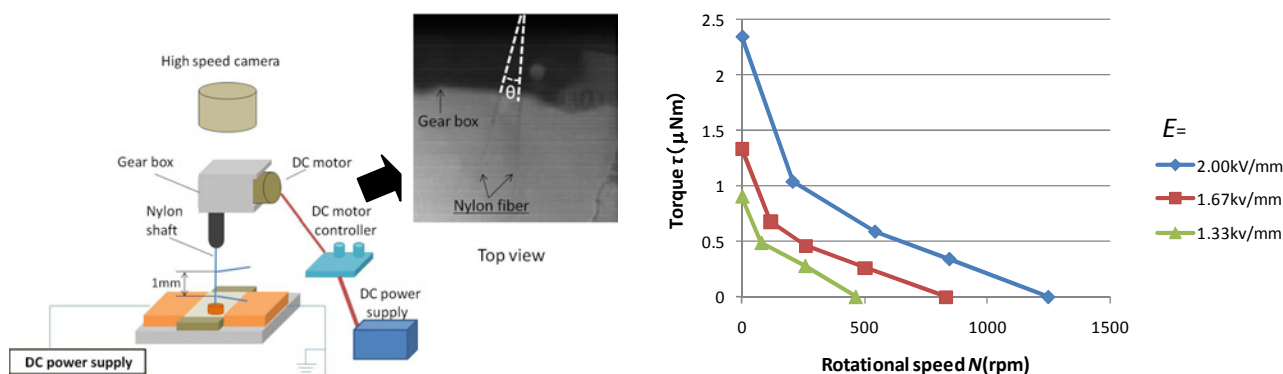
(1) 電界応答ポリマーコンポジットの創製とそのマイクロモータへの応用（中野政身）

非導電性の粒子を誘電性の液体に浸し、一定値以上の直流電場を印加すると粒子が回転する”Quincke Rotation”という現象を利用した MEMS 技術に適したマイクロモータを提案する。本研究では、非導電性の微粒子をゼラチンに分散して硬化させたポリマーコンポジットを創製し、そのコンポジットからなるディスクロータを作成して、それを誘電体の液体中に浸し、直流電場印加によって回転数とトルクを制御できるマイクロモータを構築した。まず、マイクロモータの印加電場強度 E に対する無負荷回転速度特性（図 1）を高速度カメラによる可視化手法を援用して測定した。無負荷回転速度は、ロータディスク形状（直径 d 、厚み t ）に大きく依存せず、 $E=1.0$ kV/mm 程度から回転し始め $E=2.0$ kV/mm 印加時に最大で $N=1300$ rpm という比較的高い回転数を実現している。また、ロータディスク軸に取り付けたナイロン製のファイバーのねじれを利用したトルク測定と高速度カメラによる可視化手法を援用して、マイクロモータの回転数－トルク特性（図 2）も測定した。回転数の増加に伴い発生トルクが減少する垂下特性と印加電場強度の増加に伴いトルクが増大する特性を示し、 $E=2.00$ kV/mm で最大 $T=2.4$ μ Nm のトルクが得られた。今後、より高回転で大きなトルクの得られるポリマーコンポジットの創製とディスク形状の探索を行い、より実用的なマイクロモータの実現へと研究を展開する。

- [1] M. Zrinyi, M. Nakano : Electrorotation of Novel Electroactive Polymers in Uniform DC and AC Electric Field, Proceedings of the Eighth International Conference on Flow Dynamics (8th ICFD2011), Sendai Japan, pp.208-209, November 2011.
- [2] T. Okumura, M. Nakano, M. Zrinyi : Micro-Motor Utilizing Electric Field-Responsive Polymer Composites, Proceedings of the Eighth International Conference on Flow Dynamics (8th ICFD2011), Sendai Japan, pp.634-635, November 2011.
- [3] 奥村剛行, 中野政身 : 電界応答ポリマーコンポジットディスクのモーター特性, 可視化情報（可視化情報全国講演会（富山 2011）講演論文集）, Vol.31, Suppl. No.2, pp.75-76, September 2011.



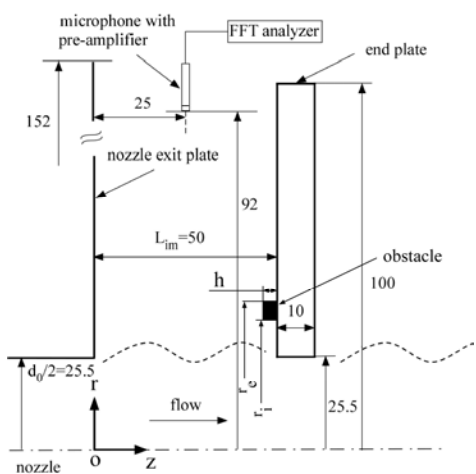
(a)電場印加装置と無負荷回転数の測定 (b)印加電場強度 E に対する無負荷回転数の特性
図 1： 電界応答ポリマーコンポジットマイクロモータの無負荷回転数特性



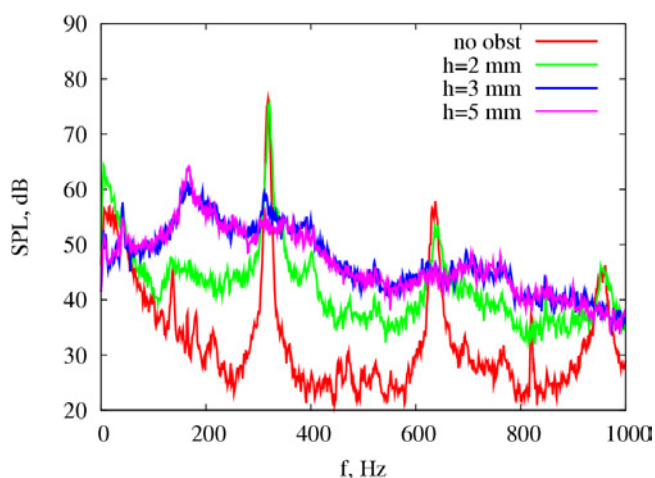
(a) 電場印加装置とトルク測定 (b) 印加電場強度 E に対する回転数-トルク特性
図 2：電界応答ポリマーコンポジットマイクロモータの回転数-トルク特性

(2) ホールトーン現象の下流板へのリング状突起設置によるパッシブ制御 (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、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てきた。本年度は、その低減化を目的に、下流の穴の開いた平板にリング状の突起を設けること (図 3 (a)) によるホールトーン自励発振現象へのパッシブ制御の効果について、実験及び DNS による数値シミュレーション両面から検討している。図 3 (b)の騒音スペクトラムから分かるように、下流平板の穴外縁から 10mm の位置にリング状の突起を設けた場合、その突起の高さ h が 3mm 以上でホールトーンの離散周波数成分 (約 300Hz とその高調波) がほぼ消滅して、噴流の自励発振現象を消滅できることを見出した。その際の噴流の流れ場は、図 4 に示すように、せん断層に組織的に形成されていたリング状渦 (図 4 (a)) が、下流板に突起を設けることによって下流板と突起内縁に沿って流れるせん断層の渦が壊され、組織的な渦形成が観察されなくなるように変化していることを確認できた (図 4 (b))。

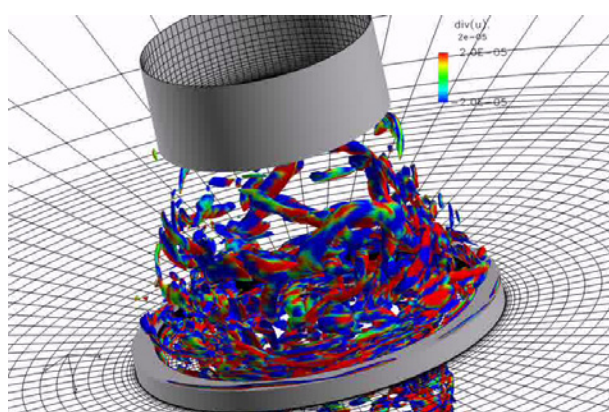
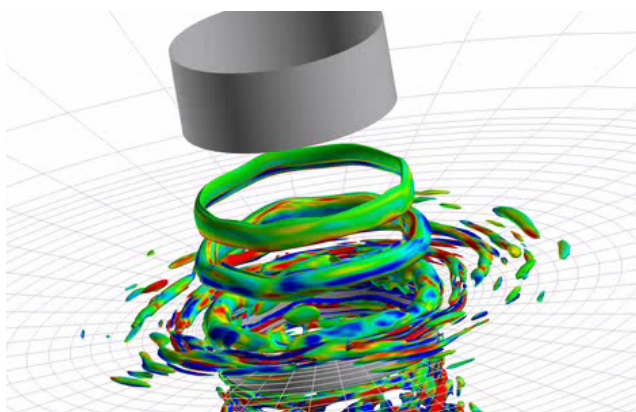
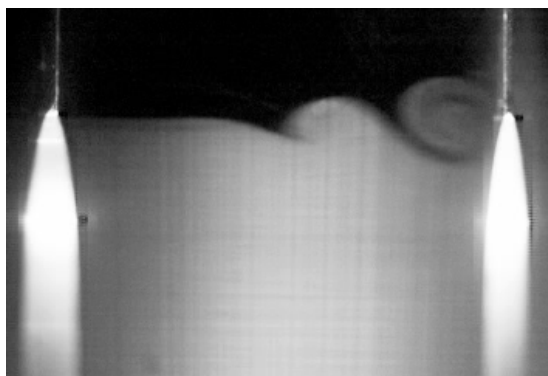


(a) ホールトーン実験系
(下流板へのリング状突起の設置)



(b) 騒音スペクトルの突起高さ h による変化
($r_1=35.5\text{mm}$, $r_e=40.5\text{mm}$)

図 3：下流板へのリング状突起の設置によるパッシブ制御のホールトーン低減効果



(a)突起がない場合

(b)突起がある場合

($r_i=35.5\text{mm}$, $r_e=40.5\text{mm}$, $h=5\text{mm}$)

図4：突起によるパッシブ制御の噴流流れ場への影響（上：ミストを使ったレーザーシート光による噴流の可視化、下：DNSによる噴流のシミュレーション結果）

- [4] K. Matsuura, M. Nakano : Direct Computation of a Hole-Tone Feedback System at Very Low Mach Numbers, Journal of Fluid Science and Technology (Special Issue on Jets, Wakes and Separated Flows), Vol.6, No.4, pp.1-14, June 2011
- [5] K. Matsuura, M. Nakano : Direct Numerical Simulation of Global Instability in a Hole-Tone Feedback System, CD-ROM Proceedings of ASME-JSME-KSME Joint Fluid Engineering Conference (AJK2011), Hamamatsu, Japan, pp.1-6, July 2011.
- [6] K. Matsuura, M. Nakano : Direct Computation of the Passive Control of a Hole-Tone Phenomenon, Proceedings of the Eighth International Conference on Flow Dynamics (8th ICFD2011), Sendai Japan, pp.230-231, November 2011.

（３）航空機周りの空力場・音響場推算のための次世代 CFD 開発（中橋 和博）

今後の計算機性能の向上を念頭に置いたブロック型直交格子法に基づく計算手法 Building-Cube Method (BCM) の開発を進めている。BCM では、直交格子を用いているため複雑形状であっても容易に格子生成が可能であるだけでなく、大規模並列計算への対応が容易であるなど利点が多い。

圧縮性非粘性流体解析手法を構築し、翼の構造と空力とが連成して生じるフラッター（翼

振動現象)を効率よく解析することが可能となりつつある(図5)。加えて、線形オイラー方程式に基づく計算手法を開発し、ジェットエンジンから生じるファン騒音の空間伝播を推定した(図6)。本手法により、空港での大幅な騒音低減を目的とした次世代航空機形態の設計が可能となる。また、今後の計算機性能の向上に伴って流体解析が大規模化するにつれ、出力データ量も膨大になる。今後、流体解析におけるデータの圧縮手法が重要であるため、大規模データを用いた圧縮手法の研究を行った。直交格子ベースの BCM ではデータ圧縮を効率よく行えるが、その圧縮手法をさらに進化させて、オリジナルデータの30分の1近くまでに圧縮する結果を得ている(図7)。

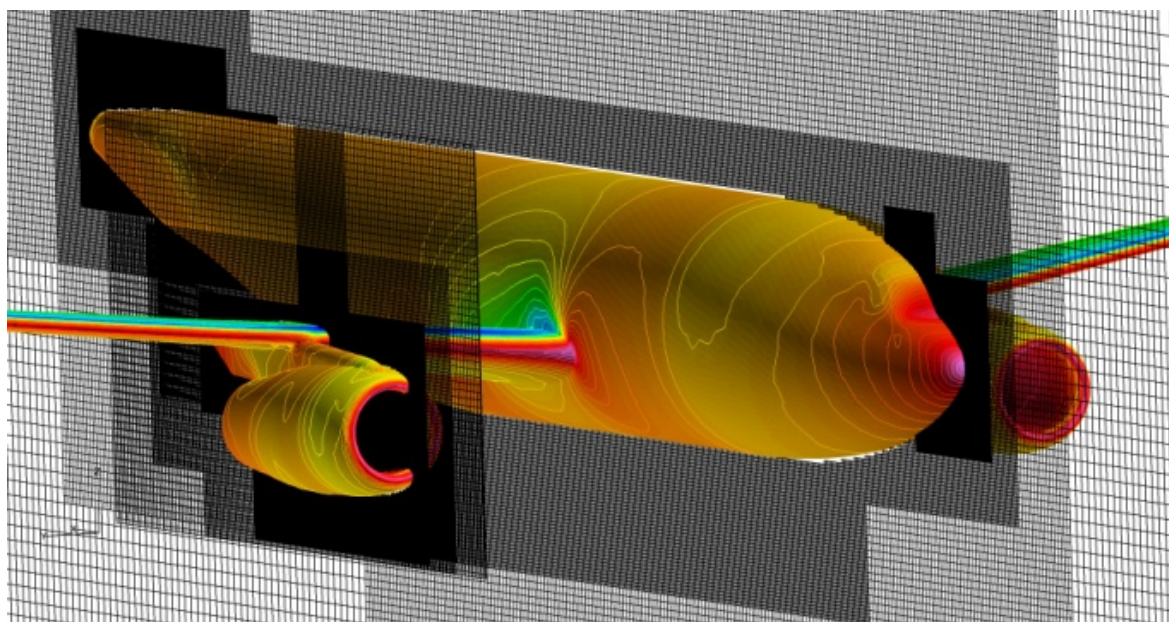


図5：Building-Cube Methodによる航空機周りの圧縮性非粘性流れ計算

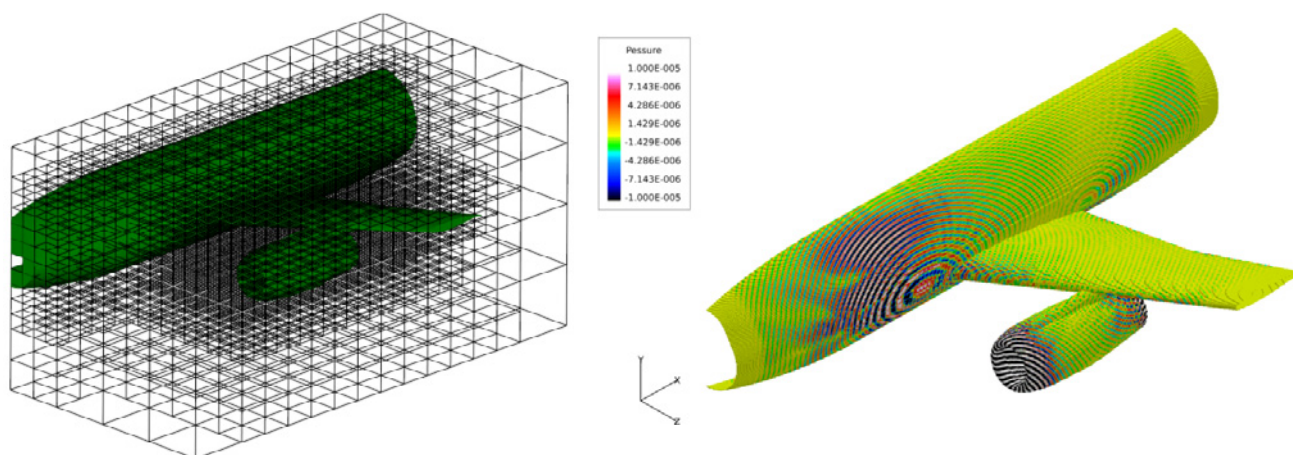


図6：LEEによるエンジンファンノイズの伝播解析

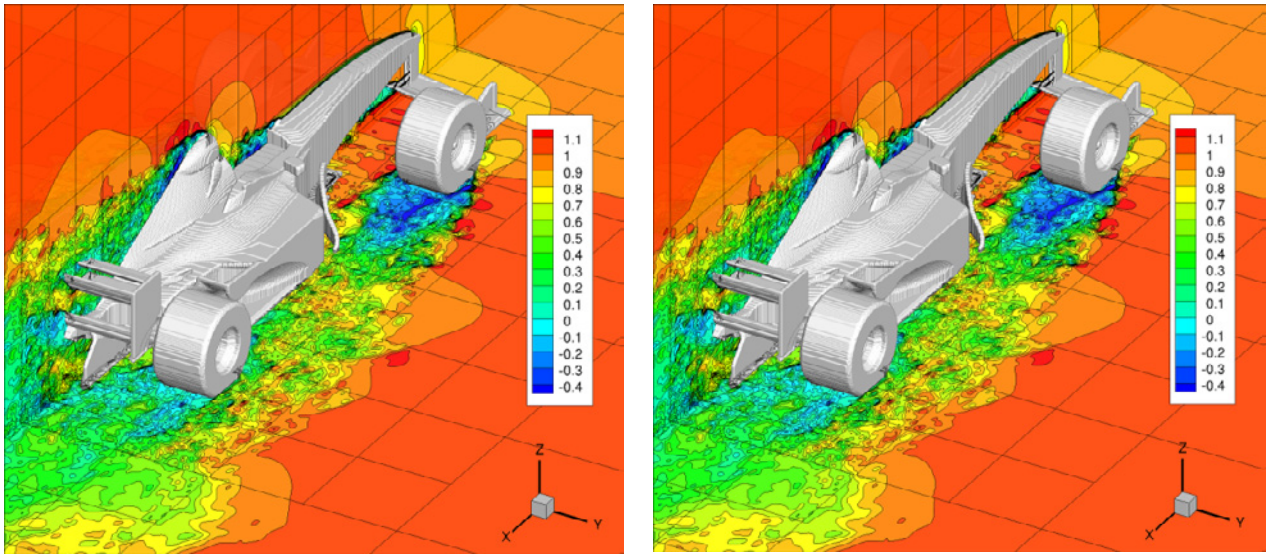


図 7 : 大規模 CFD 出力のデータ圧縮
(左 : オリジナルデータ可視化図、右 : 圧縮データからの可視化図)

- [7] Sakai, R., Sasaki, D., Nakahashi, K. : Parallel Implementation of Large-Scale CFD Data Compression towards Aeroacoustic Analysis, The 23rd International Conference on Parallel Computational Fluid Dynamics, Barcelona, Spain, 2011.
- [8] Nakahashi, K., : Immersed Boundary Method for Compressible Euler Equations in the Building-Cube Method, AIAA 2011-3386, June 2011.
- [9] 橋場道太郎, 佐々木大輔, 中橋和博 : 直交・非構造格子重ね合わせによる 3 次元流体ソルバーの構築, 第 49 回飛行機シンポジウム講演集, 2011 年 10 月.
- [10] Yuma Fukushima, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi : Linearized Euler Equation on Block-Strucutred Cartesian Mesh for Noise Propagation from 2D Nacelle Configuration, The Eighth International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, November 2011.
- [11] Su, X., Sasaki, D., Nakahashi, K. : A Hybrid Scheme for the Near Wall Treatment of Building Cube Method, The Eighth International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, November 2011.
- [12] 福島裕馬, 佐々木大輔, 中橋和博 : ブロック構造型直交格子を用いた LEE コードによる主翼騒音遮蔽効果の推定, 第 25 回数値流体力学シンポジウム講演集, 2011 年 12 月.
- [13] 西村康孝, 佐々木大輔, 中橋和博 : 圧縮性 Building-Cube Method を用いた翼周りの非定常非粘性流れ解析, 第 25 回数値流体力学シンポジウム講演集, 2011 年 12 月.
- [14] Yuma Fukushima, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi : Code Development of Linearized Euler Equation on Block-Structured Cartesian Mesh for Complicated Geometries, AIAA 2012-0832, 50th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, Nashville, US, January 2012.
- [15] Deguchi Akihito, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, Mitsuhiko Murayama, Kazuomi Yamamoto, Yuzuru Yokokawa : Aeroacoustic Simulation of JAXA Landing Gear by Building-Cube Method and Non-Compact Curle's Equation, AIAA 2012-0388, 50th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, Nashville, US, January 2012.

- [16] 福島裕馬, 佐々木大輔, 中橋和博:ブロック構造型直交格子と IB 法を用いた LEE コードの構築, 日本航空宇宙学会論文集, Vol. 60, No. 1, 2012 年 2 月. (印刷中)
- [17] Daisuke Sasaki, Akihito Deguchi, Hiroshi Onda, Kazuhiro Nakahashi : Landing Gear Aerodynamic Noise Prediction Using Building-Cube Method, Modelling and Simulation in Engineering (投稿中).

(4) マイクロ固体窒素噴霧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 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 $10^5 - 10^7$ 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固体窒素の高速噴霧流を用いる。

今年度は、マイクロ固体粒子噴霧流の超高熱流束冷却効果に関する 3 次元融合 CFD 解析を行うことにより、マイクロ固体窒素粒子が加熱平板に衝突すると同時に急激な温度降下が生じ、マイクロ固体粒子噴霧による超高熱流束冷却特性が得られる仮定を良好にシミュレートし、計測により得られた熱流束分布の再現を行うことを可能にした。

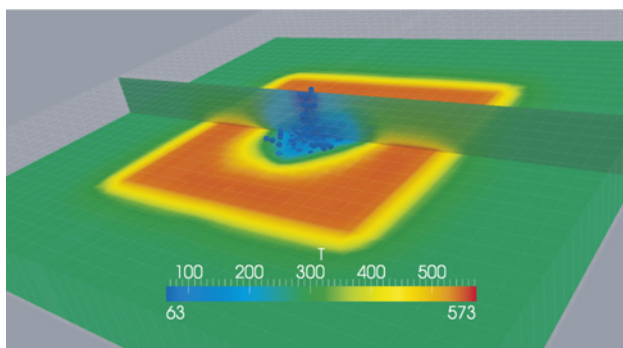


図 8 : 加熱平板に衝突するマイクロソリッド粒子の超高熱流束冷却効果に関する融合計算結果



図 9 マイクロ固体窒素粒子生成用二流体ノズル

(5) 脳動脈瘤用ステントの血流最適化設計と 3 次元可視化による BOI の決定手法に関する研究 (太田信)

本プロジェクトでは、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ステント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、直感的にステント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ステント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ステントとステント位置を提示できるようになるものと考えられる。

本年度は、昨年度に提唱した、「動脈瘤への血流は部分的かつ分散することなく流入する(可視化をすると流線が束状になって見えることから **Bundle of Inflow (BOI)** ことから BOI にステントを留置することで流入を効果的に低減できる)」ことを明らかにするため、格子ボルツマン法(LBM)を用いた最適化計算手法を構築した。LBM を用いることにより、最適形状をモデルの構築および数値計算にかかる膨大な手間を削減できた。(しかしながら、本プロジェクトの目的である 3D 可視化ではさらに手間を削減できる。)

図 10 の血流速度のコンター図は、LBM と最適化(焼きなまし法)を組み合わせることでステントの位置に関する最適化を行った結果である。初期状態のステント位置での血流速度に比べ、90%に近い速度減少が得られ、そのステント留置位置はこれまで我々が提唱していた BOI 内であった。

この結果より、ステントの最適設計に対し、BOI への留置を目標にするデザインを構築するという一定の指針が得られたと言って良い。

さらに、本研究結果を他の動脈瘤にも応用するため、Virtual Intracranial Stent Challenge 2011 (VISC2011, www.ics-meeting.net)に参画した。これにより、本技術水準が世界的にもトップレベルにあることを示した。しかしながら、一部に他の参加機関と異なる結果があり、今後各国の結果とともに精査する必要がある。

一方、BOI に関する概念は、各国が興味を持ち、概ね理解を得られるに至った。今後他研究機関にも働きかけ、本概念の信頼性を高めていく予定である。

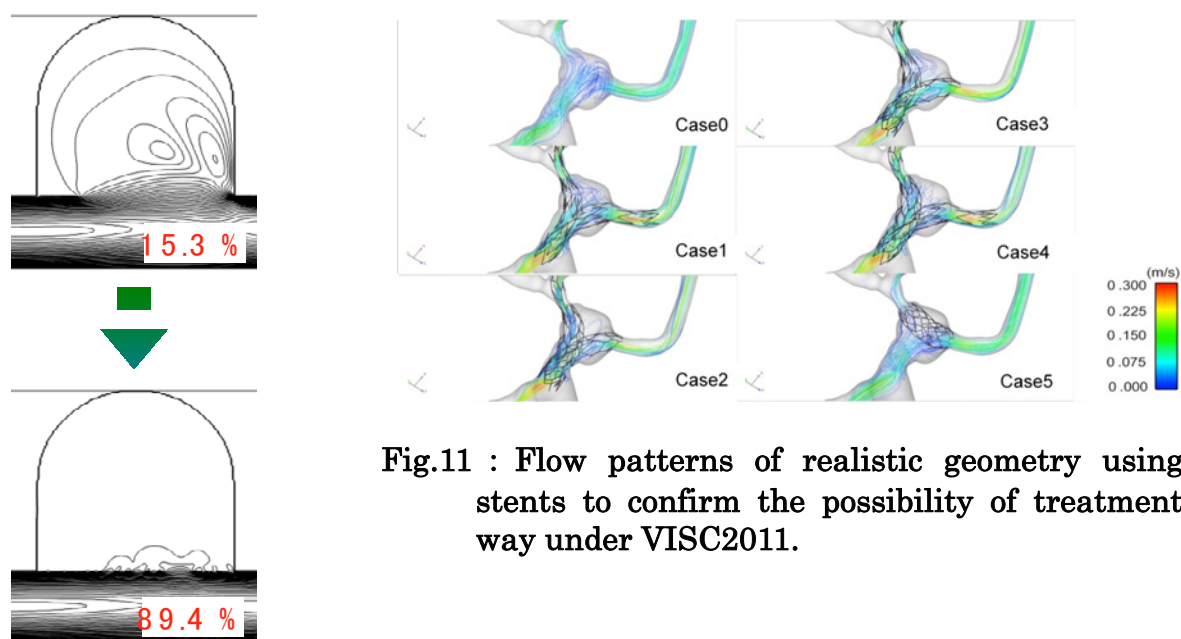


Fig.11 : Flow patterns of realistic geometry using stents to confirm the possibility of treatment way under VISC2011.

Fig.10 : Flow patterns in aneurysm before (upper) and after (below) optimization of stent strut using LBM with simulated annealing method.

(6) 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、体循環において細静脈内に選択的に多数存在し、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。血管表面における血球の挙動には、好中球及び血管内皮細胞表面に存在する接着分子の結合、集軸効果によって凝集した赤血球とのインタラクションおよび血管壁とのインタラクションが関与しており、これまで、血球表面と内皮細胞表面との接着分子の影響、または赤血球の凝集による好中球とのインタラクション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、核のある中央部で約 $1.8 \times 10^{-6} \text{m}$ 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 1 2) 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てきた。本年度は、凝集した赤血球からの血管壁への押しつけ力が HL60 細胞の挙動に与える影響を解析した。その結果、押しつけ力が比較的小さな領域では HL60 細胞は直線的に移動するが、押しつけ力の増加に伴って細胞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。これは、HL60 細胞が HUVEC の凸部を乗り越えることができず、HUVEC 間の谷間を縫うように移動することに起因すると考えられる。また、これは、HL60 細胞の平均移動速度の減少も引き起こすことが示された。

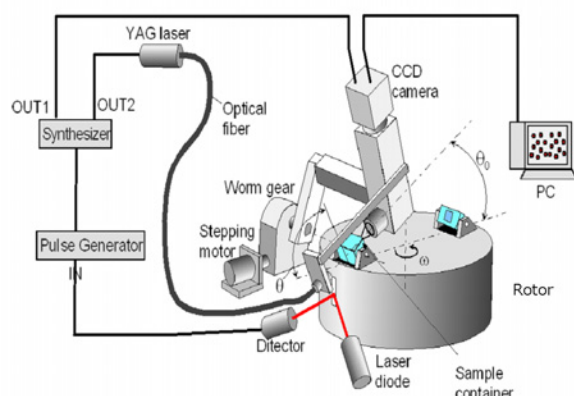


図 1 2 : 傾斜遠心顕微鏡模式図

- [18] 白井敦, 浦沼晴香, 早瀬敏幸, HUVEC 上を移動する HL60 の対する押しつけ力の影響, 日本機械学会第 24 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, (2012.1.7-8), 8F21.
- [19] 佐藤博紀, 白井敦, 早瀬敏幸, ガラス平板上における HL60 の挙動に与える fMLP 刺激の影響に関する傾斜遠心顕微鏡を用いた実験的研究, 日本機械学会第 24 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, (2012.1.7-8), 8F23.

(7) 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3本の指を当て、血管を圧迫するパターンを種々に変えて指に感じる脈波の特徴から病変を推定するものである。本研究では、脈診のメカニズムを解明するため、腕部血管系の一次元血流モデル(図13)を構築し、これを用いて、血管の圧迫に伴う圧力脈波の変化を解析してきた。その中で、種々のパラメータが計測される脈波に与える影響を明らかにし、圧力脈波を平均圧と圧振幅に分離することで、血管の圧迫に伴うこれらの変化の特徴から血管硬さを推定する手法を開発した。

また、連続的な血圧の測定は、患者の状態モニタだけではなく、高血圧患者への夜間睡眠時を狙った降圧治療、心血管合併症が多く発症する早朝高血圧の診断・治療から、在宅高齢者の体調管理や運動療法における適切な運動負荷設定等、様々な分野からのニーズがある。しかし、現在の非侵襲的な血圧計では、血圧を連続的に計測することは原理的に不可能である。そこで、先の数学モデルを用いた解析の結果より、橈骨動脈を軽く圧迫するように設置した圧力センサの出力から血圧を連続的に推定し得る手法を提案した。

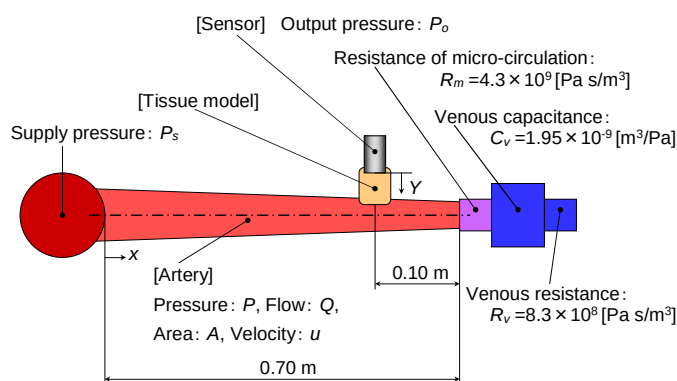


図13: 腕部血管系血流モデル

- [20] Atsushi Shirai, Tsutomu Nakanishi, Toshiyuki Hayase, Numerical Analysis of One-dimensional Mathematical Model of Blood Flow to Reproduce Fundamental Pulse Wave Measurement for Scientific Verification of Pulse Diagnosis, JSME J. Biomech. Sci. Eng., Vol. 6, No. 4, pp.330-342, 2011.
- [21] 高島稔, 白井敦, 早瀬敏幸, 脈診を模擬した脈波計測の数値実験における尺骨動脈の影響, 日本機械学会 第22回バイオフィロンティア講演会講演論文集, pp.91-92, 2011.
- [22] Minoru Takashima, Atsushi Shirai, Toshiyuki Hayase, Contribution of Ulnar Artery to Numerical Reproduction of Indentation Experiment of Radial Artery for Scientific Verification of Pulse Diagnosis, Proceedings of the 5th East Asian Pacific Student Workshop on Nano-Biomedical Engineering, pp.84-85, November 2011.
- [23] 血管固さ評価装置, 血管固さ評価方法, 血管固さ評価プログラムおよび, 血管固さ評価プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体
平成23年10月24日(特願2011-233050)
発明者: 白井敦, 中西 勉, 松野 史子, 早瀬 敏幸
出願人: 東北大学
- [24] 連続血圧測定システム, 連続血圧測定方法, 連続血圧測定プログラムおよび, 連続血圧測定プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体
平成23年12月27日(特願2011-284770)
発明者: 白井敦, 早瀬 敏幸
出願人: 東北大学

(8) 高熱流束下における高温溶融塩の伝熱特性 (江原 真司)

核融合科学研究所が中心となって提案しているヘリカル型原型炉 FFHR の概念で取り入れられている Flibe 液体ブランケットの可能性を実証するためには、第一壁で想定されている熱流束、 $1\text{MW}/\text{m}^2$ の除熱可能性を示すことが工学的な視点から重要になってくる。また、構造材の上限温度 ($550\text{ }^{\circ}\text{C}$) と Flibe の融点 ($459\text{ }^{\circ}\text{C}$) からくる熱設計枠の制限も大きな課題である。これには BeF_2 の比率を大きくする、他のフッ化物を混合させる等の手法が有効であることが分かっているが、粘度などの他の物性値変化も伝熱性能に大きく影響するためその評価が必要となる。本研究では伝熱促進体としてペブル充填管 (図 1 4) を採用し、TNT ループ (Tohoku-NIFS Thermal loop) (図 1 5) を用いた Flibe 模擬溶融塩による高熱負荷実験を行っている。

熱流束を $1.0\text{ MW}/\text{m}^2$ 程度まで上げて行った除熱実験から、Flibe 模擬溶融塩を用いた $1.0\text{ MW}/\text{m}^2$ の除熱が、ペブル充填管により問題ない温度範囲で可能であることが実証された。また、同じレイノルズ数 (バルク温度で評価した物性値使用) で比較した場合、高熱流束負荷時の方が伝熱性能は若干高くなり、高熱負荷時の過熱壁近傍の高温領域形成がフィン効果 (ペブル材質依存) もしくは過熱壁近傍流れの高レイノルズ数化 (溶融塩流依存) に寄与したことが示唆されたが、熱伝導率の大きく異なるペブルを用いた実験結果から、加熱壁近傍に形成される高温領域がフィン効果ではなく高レイノルズ数化をもたらすことで性能が向上すると特定された。



図 1 4 : ペブル充填管
(ペブル径=0.5D ; D は管直径)

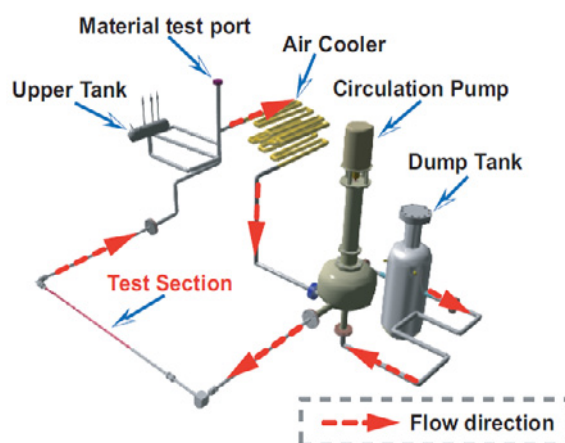


図 1 5 : TNT ループ概略

- [25] 渡邊篤史、江原真司、橋爪秀利、相良明男、核融合炉ブランケット溶融塩冷却第一壁における高熱負荷除去特性の評価、第 11 回日本伝熱学会学生発表会、仙台、2011 年 5 月。
- [26] Atsushi Watanabe, Shinji Ebara, Hidetoshi Hashizume and Akio Sagara, “Evaluation of heat transfer performance for a sphere-packed pipe by using molten salt under high heat flux condition”, 21st International Toki Conference (ITC-21), Toki, Japan, November 2011.

(9) 大規模粒子系のための高速可視化 (竹島 由里子)

粒子法は形状が複雑な系や、大変形が起こるような系の解析に広く用いられており、現在では数万から数百万程度の粒子数を用いた解析が行われている。そのため、これらを直感的に解析するためのツールである視覚解析環境においても、同等数の粒子を対話的に描画することが要求される。しかし、描画手法において精度と描画速度にトレードオフがあることが知られているため、単一の描画手法を用いて、対話的な速度を保ちながら描画精度を維持することは困難である。そこで本研究では、精度は低いが高速描画が可能な動的陰影付きテクスチャを用いた方法と、速度は遅いが精度よく粒子を描画できる陰関数曲面を用いた方法の2種類を併用することにより、描画速度と精度の維持を図った。具体的には、ユーザが注目している領域の粒子を優先的に精度高く描画することを前提とし、視点からの距離に応じて、描画手法を切り替える。図16は、2種類の描画手法を組み合わせ、脂質分子データを可視化した結果である。一般的な視覚解析を模擬したウォークスルー実験では、精密な描画手法1種類を用いた場合の4.5倍程度の高速化が実現できた。本研究により、大規模データにおいても解析に必要な描画精度を維持しながら、高速に可視化を行うことが可能となるため、解析者のストレスをより軽減できることが期待される。

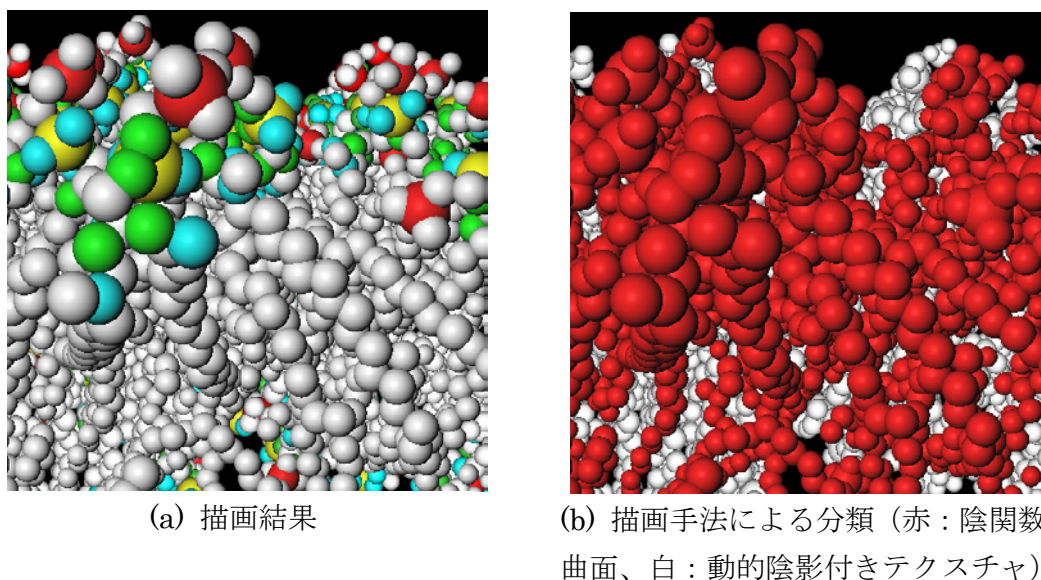


図16：視点からの距離に基づく描画手法の切り替え

[27] 小田川雅人, 竹島由里子, 藤代一成, 菊川豪太, 小原拓: GPU を用いた適応的粒子系可視化, 日本機械学会論文集 B 編, Vol. 77, No. 781, pp.1767-1778, 2011.

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：青木 秀之、笹尾 眞實子、升谷 五郎、西山 秀哉、小林 秀昭

研究協力者：佐藤 岳彦、北島 純男

(1) 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

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、その凝集体形状の生成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-アセチレン熱分解による CB 生成実験を行い、ベンゼン-アセチレンの混合比が CB の凝集体形状に及ぼす影響を検討した。さらに、同様の条件において詳細化学反応機構を考慮した反応動力学計算を行い、粒子核の前駆体に関する検討を行った。

実験では、窒素で希釈した C_6H_6 および C_2H_2 の混合ガスを原料ガスとし、原料ガスを電気炉で 1673 K まで加熱したアルミナ製反応管 (内径 $\phi 16$) に流量 3 L/min で供給し、Table 1 に示す混合比で CB を生成させた。このとき、供給炭素量を 0.12 g/min 一定とした。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。数値解析における粒子核生成モデルには Ivie and Forney が提案する C_6H_6 熱分解による C_{14} 核生成モデルを用いた。詳細化学反応機構には Wang and Frenklach が提案した 99 種の化学種、527 本の素反応からなるピレン生成までのモデルを用いた。

Fig. 1 に各混合比における凝集体形状分類結果を示す。混合比を高くするにしたがって凝集体形状は複雑化し、 $x_A/x_B = 0.38-0.50$ で最も複雑となった。Fig. 2 に粒子核の前駆体として定義している $C_{14}(iP_1)$ の濃度の経時変化を、Fig. 3 に iP_1 と同様の炭素数であるフェナントレン(A_3)の濃度の経時変化を示す。 $x_A/x_B = 0.38-0.50$ のとき、 iP_1 濃度が最も高い 0.11 s 付近において、 iP_1 と A_3 の濃度の和が最も大きいことがわかる。古典的核生成理論を基に考察すると、 iP_1 がピークを取った際に粒子核が生成され、 iP_1 と A_3 の濃度の和が大きいときに粒子核生成数が多いと考えられる。そのため、 $x_A/x_B = 0.38-0.50$ の場合に最も粒子核生成が促進されることが示唆された。また、粒子核生成数が多い場合、生成される粒子の個数濃度は高くなるため衝突頻度が増加し、凝集体形状は複雑化すると考えられる。

以上より、 $x_A/x_B = 0.38-0.50$ の場合に最も粒子核生成が促進され、凝集体形状が複雑化することが示唆された。

Table 1 Mixture ratio of benzene and acetylene						
x_B	[vol.%]	1.17	1.04	1.00	0.970	0.840
x_A	[vol.%]	0	0.40	0.50	0.60	1.0
x_A/x_B	[-]	0	0.38	0.50	0.62	1.2

Where, x_B : Volume fraction of benzene, x_A : Volume fraction of acetylene.

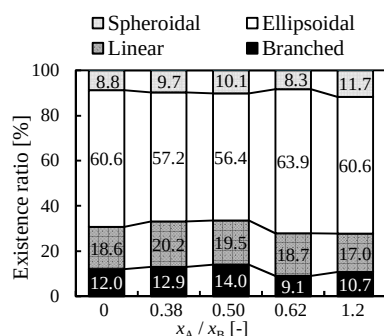


Fig. 1 Existence ratio of aggregate shapes

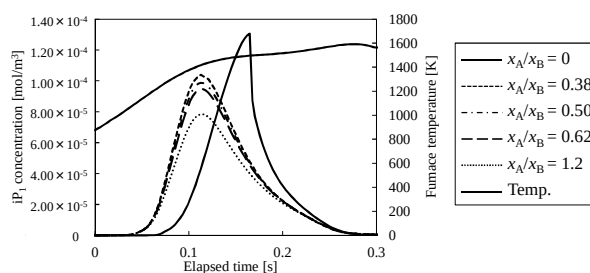


Fig. 2 Variation of iP_1 concentration

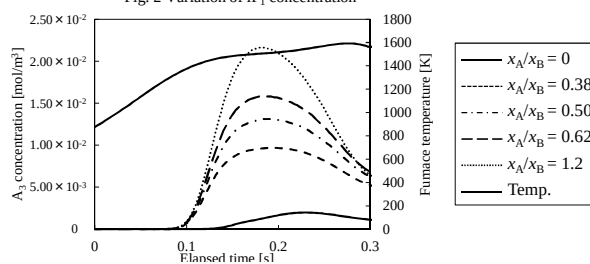


Fig. 3 Variation of A_3 concentration

(2) 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、北島

エネルギー源としての核融合炉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、能動的に径方向電流 j_r を形成して、 $j_r \times B$ 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、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 4 (a)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 4 (a)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。図 4 (b)には縦軸に H モード遷移に必要な外部駆動力と磁気島の大きさとの関係を示す。磁気島が大きくなるに従って、より大きな駆動力が必要であることが解る。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明された。

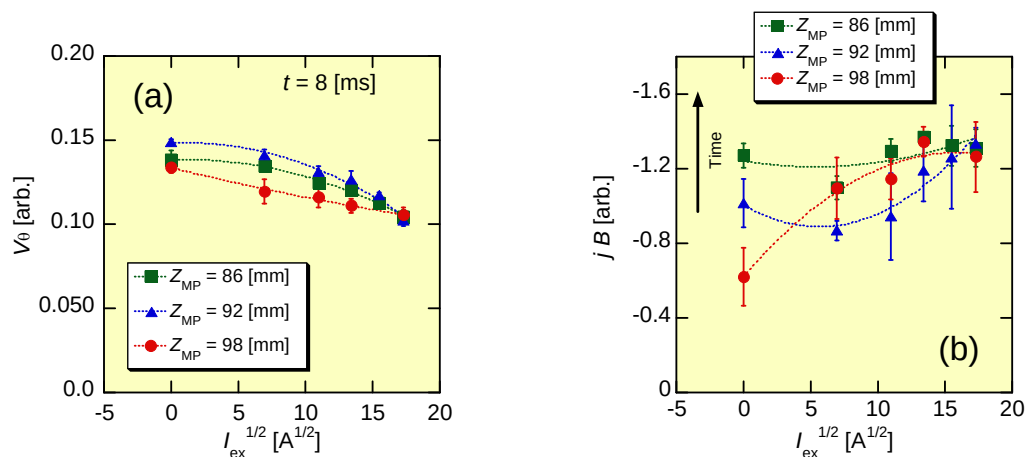


図 4 (a) ポロイダル方向プラズマ流の流速と磁気島幅依存性 (b) H モード遷移に必要な外部駆動力と磁気島幅依存性

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

- 擬似衝撃波を伴う流れ場への気体噴射による速度場の測定
デュアルモードラムジェットの燃焼器を模擬した、正方形断面（高さ $H = 30\text{ mm}$ ）流路内の擬似衝撃波(Pseudo-Shock Wave: PSW)を伴う超音速流れに壁面から気体を噴射した場合の、平均及び変動速度場をステレオ PIV により測定した。擬似衝撃波が発生し、上流に伝播すると共に噴流の主流中への貫通が強まる。また、壁面付近の速度変動が著しく大きくなり、壁面に沿う混合促進に寄与していると思われる。(図 5)
- 超音速混合／燃焼の Large Eddy Simulation (LES)
超音速流に壁面から垂直に気体を噴射した流れ場の LES を行っている。燃焼を伴わない流れ場では、噴射気体種、噴射条件及び主流条件を変えてシミュレーションを行い、平均場及び変動場は噴射動圧比の平方根と噴射孔直径の積で無次元化するとほぼ同一の分布となることを見出した。水素燃料を噴射した場合について、詳細化学反応機構を組み込んだ計算コードを開発し、飛行マッハ数 10 相当の燃焼計算を行った。その結果、噴射孔付近では燃料流と空気流の界面に拡散火炎が形成されることが分かった(図 6)。

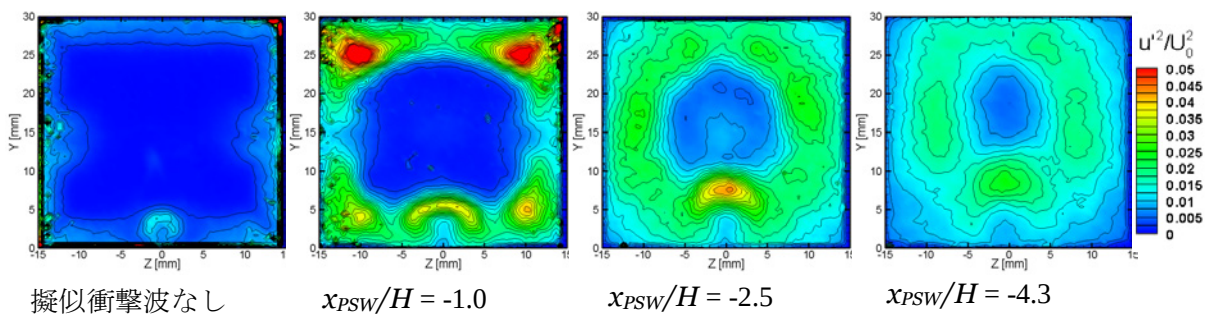


図 5 擬似衝撃波先頭位置 x_{PSW} による主流方向速度変動強度分布の変化($x/H = 0.5$)

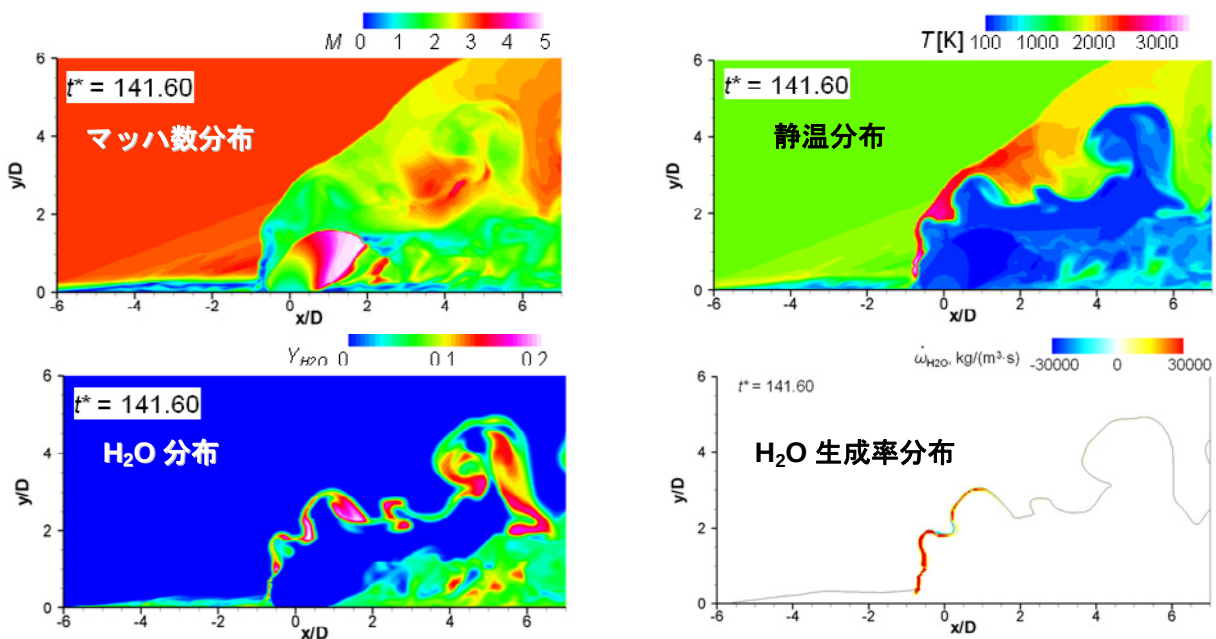


図 6 高温超音速流中への水素噴射による反応流れ場の諸量の瞬時分布

(4) 高温・高圧下における誘電体バリア放電による高活性化学種の生成特性
担当：西山、高奈

本研究では、反応性プラズマ流による燃焼促進や環境浄化応用等の先進応用に向けた基礎資料を提供することを目的とし、空気・メタン混合気を作動気体とした誘電体バリア放電中でのストリーマシミュレーションを行い、ストリーマ進展に伴う高活性化学種の生成過程を解明した。さらに、様々な圧力および温度における高活性化学種の生成特性や濃度場を明らかにした。本研究により、ストリーマ先端部における高い電界強度によって加速された高エネルギー電子の衝突により、ストリーマ先端部において主に生成されるが、オゾンは酸素ラジカルと酸素との三体衝突反応より生成されるため、ストリーマ背後において主に生成されることが明らかとなった。また、高活性化学種の生成特性は全粒子数密度に強く依存し、全粒子密度がより高い条件、すなわち、高圧かつ低温条件において高活性化学種が効果的に生成されることが明らかとなった。

参考文献

[1] H. Takana, et al., “Computational Simulation of Reactive Species Production by Methane-air DBD at High Pressure and High Temperature”, *Europhysics Journal*, 97-2, 25001 (4 pages).

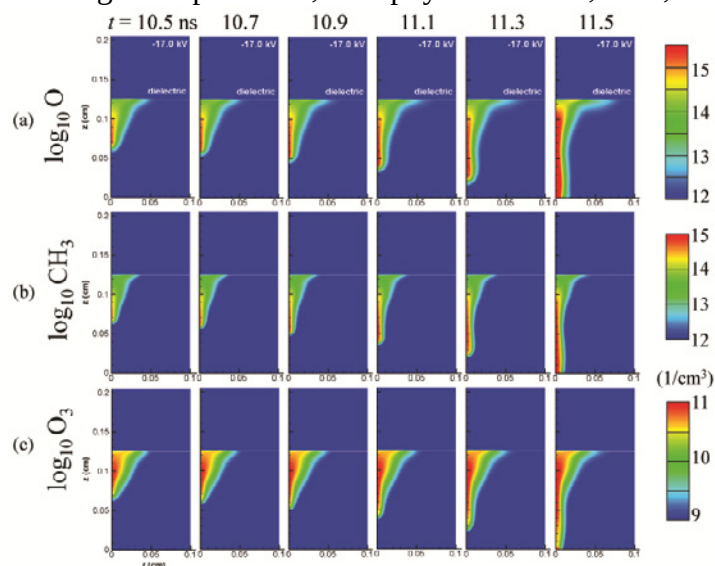


図7 3気圧、300Kにおける高活性化学種の生成過程

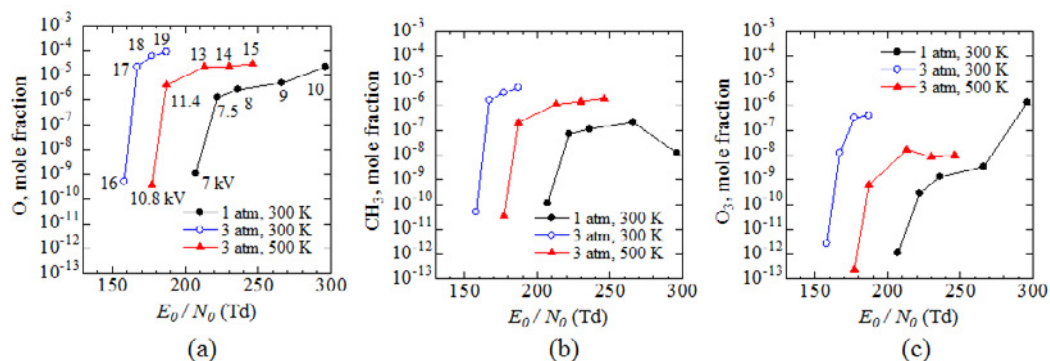


図8 圧力、温度を変化させた際の初期換算電界強度に対する高活性化学種の生成特性

(5) 針－水面プラズマシステムの流動場解析と化学輸送

担当：佐藤

大気圧プラズマは、溶接や機械加工、集塵装置、表面改質などの産業技術に用いられているとともに、次世代の滅菌技術などへの応用も進められており、更なる発展が期待されている。大気圧プラズマの生成法としては、電極間に電圧を印加する方法が広く用いられているが、電極に液体を用いる方法や、液中で直接放電させ、液体をプラズマの媒体とする方法についても研究が行われている。これら液中あるいは気液界面における放電は、水質浄化や新たな材料プロセスの創成、医療分野への応用など様々な可能性を秘めており、急速な発展を見せている研究分野である。これら応用を目指した研究の多くにおいて、放電によって発生するOHやOなどの各種ラジカルや O_3 あるいは H_2O_2 、 NO_2 などといった高い反応性を有する化学種が重要な役割を担うことが明らかにされているが、その輸送機構については充分には解明されていない。そこで本研究では、プラズマの生体への干渉機構を明らかにする上で重要な、大気中で形成したプラズマ流が気液中に形成する熱流動場ならびに化学種の輸送に与える影響を実験および数値解析により明らかにすることを目的とする。

図9は、針－水面プラズマシステムにおいて、プラズマが誘起する水面上の気流である。これは、プラズマ発生時にイオン風が形成され、それに伴い水面方向への気流が誘起されるためである。この水面上に広がる気流と水面との摩擦により、図10に示すように水中に流れが誘起される。水面では放電点から容器壁方向へ流れが誘起され、この結果放電点の位置においては、容器の底から水面に向かう流れが形成される。放電部で形成される気流を境界条件として、数値解析を行うと、図11に示すように、図10と同様な傾向を示す流動場が水中に形成されることが明らかになった。これらの結果により、針－水面プラズマシステムでは、プラズマにより形成される気流が、水中に流れを誘起し、生成した化学種の溶解、輸送の主たる因子となることが明らかになった。

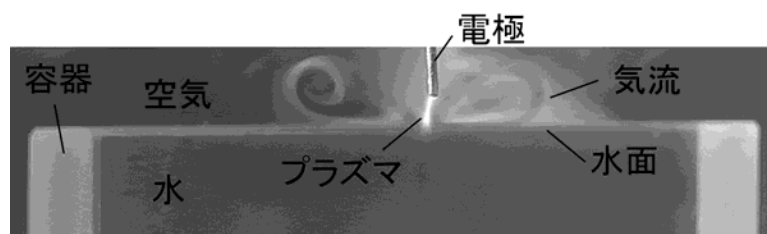


図9 針－水面プラズマシステムにおける気流の形成の様子

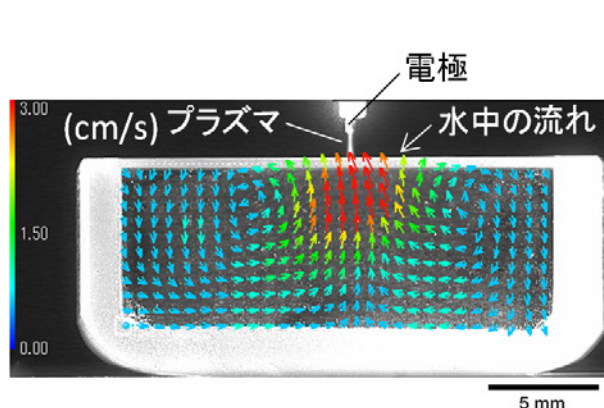


図10 針－水面プラズマシステムにおける水中に誘起される流れの様子

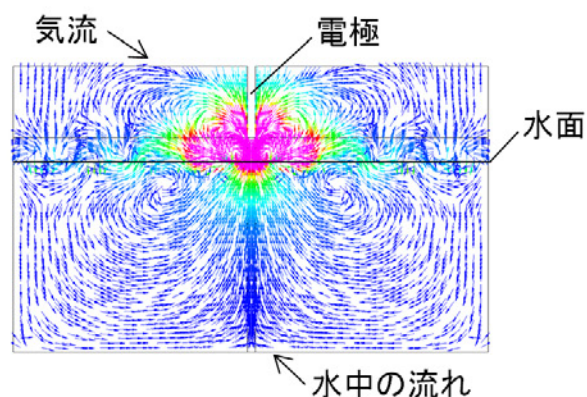


図11 針－水面プラズマシステムの数値解析結果、電極先端部に実験で得られた気流の条件を境界条件として与えた時に形成される気流と水中の流れの様子

(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められている。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ている。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認しつつある。本年度は、ガソリンの燃焼特性を代表する標準燃料（PRF）である *n*-ヘプタンおよびイソオクタンに加え、オクタン化向上剤として使用されるトルエンの影響を常圧および高圧場で検討した。その結果、PRF にトルエンを混合した燃料では熱炎の形成が著しく高温域へとシフトすることを明らかにした。高圧実験では、冷炎位置の高温側へのシフトも確認された。この他、ディーゼル燃料についての実験も開始し、通常は低温条件での化学反応データを取得することが困難とされる高沸点燃料にも当該リアクタを適用可能であることを示すに至っている。

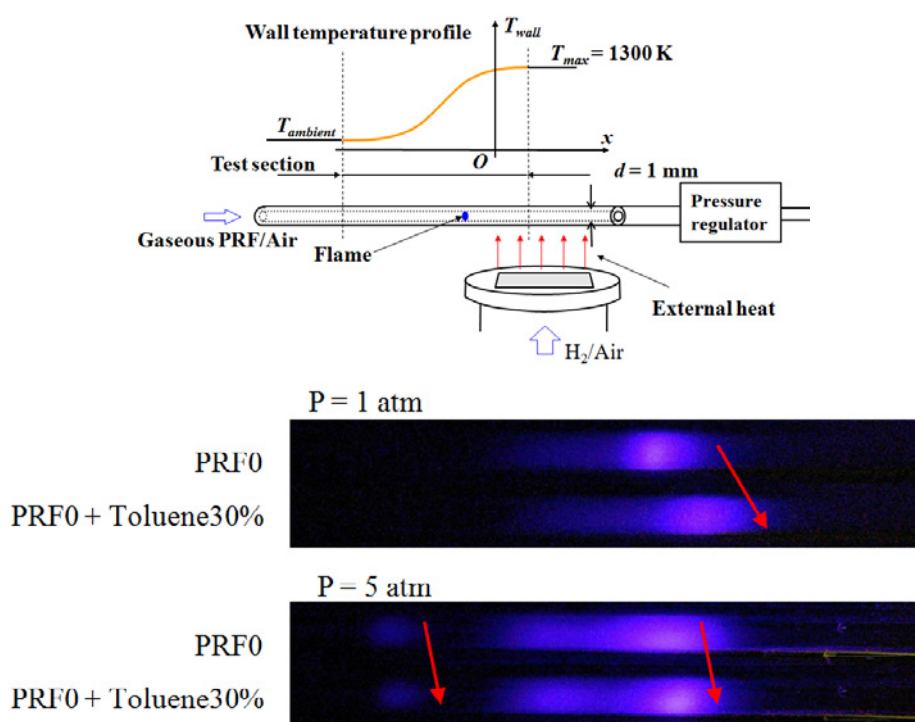


図 12 温度分布制御マイクロフローリアクタによる昇圧時の実験概念図とトルエン添加による Weak flame 特性の顕著な変化

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、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、畠山

研究費：GCOE 研究費、科学研究費補助金（基盤 S、挑戦的萌芽）、NEDO 他

貴金属や希土類酸化物触媒、トライボロジー、各種電池、半導体など、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・マクロの連続体スケールと、階層的に化学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。独自の超高速化量子分子動力学法に基づき、多孔体シミュレータにより構築した構造に対して拡散やシンタリングなどのメソスケールシミュレーションを行い、この結果をマクロスケールのシミュレーションに反映させることにより、マルチスケール化を実現している。近年、レアメタル使用量削減が求められている、自動車排ガス浄化用触媒に適用した例を図 1 に示す。密度汎関数法では計算困難な希土類酸化物についても量子化学計算手法を確立し、これに基づくメソ触媒モデルとマクロ反応器シミュレータを融合することにより、排ガス浄化率や組成比など、実測に対応する動的データを算出できる。本研究により、ミクロ、メソレベルの構造がマクロ特性へ及ぼす影響の解析が可能となり、量子論に基づいた材料設計指針が得られるようになった。

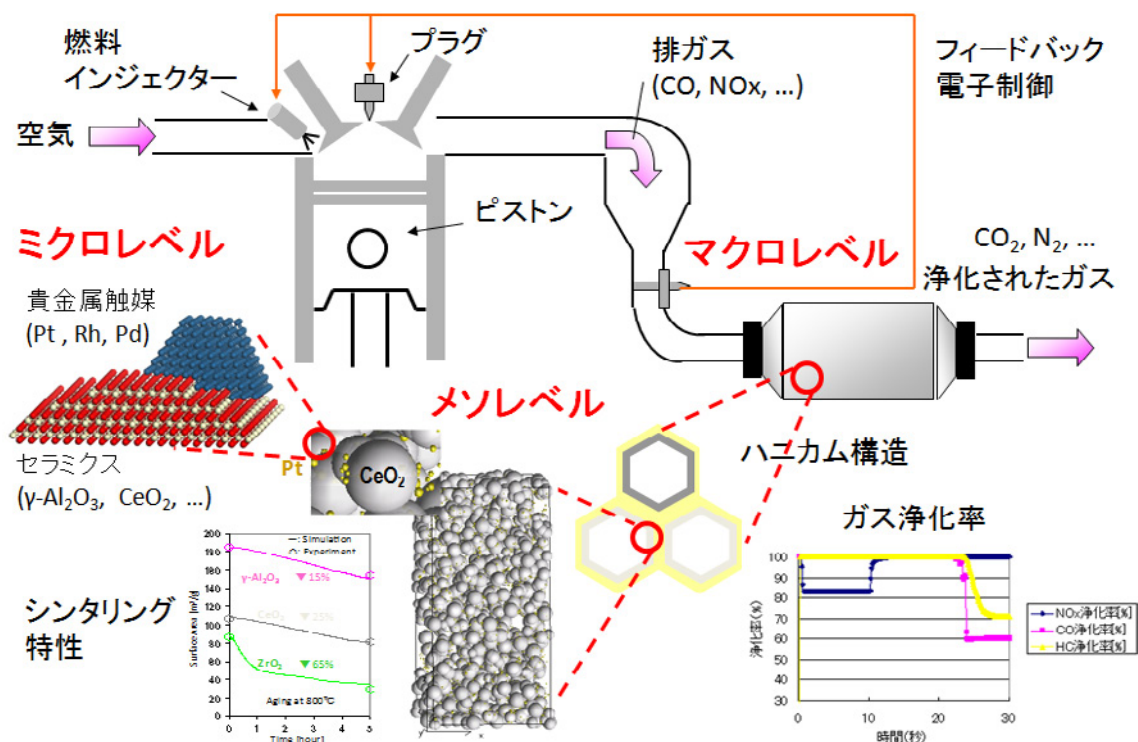


図 1 自動車排ガス触媒マルチスケール計算化学シミュレーション

(2) ひずみによる機能性酸化物薄膜の導電特性変化

分担：水崎純一郎、佐藤一永

研究費：GCOE 研究費他

機能性酸化物は薄膜積層することで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。一方、薄膜積層することによりバルク体とは異なる特性（電気・化学・機械）が多く報告されている。そこで、これまで本研究グループでは熱応力をはじめとする様々な要因で薄膜内に発生するひずみも各種特性変化主要因の一つであると考え、バルク体に対して微小ひずみを印加した際の電気特性変化評価を実験と数値計算の両面から行ってきた。本年度は、さらにバルク体に加え薄膜積層体に力学的負荷を与えて評価することで、導電挙動変化に与えるひずみの寄与度を明らかにすることを目的として研究をさらに進めた。薄膜積層した不定比性化合物 ($\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$) においてもバルク体同様、ひずみにより移動度とキャリア濃度が変化することで導電率が変化することが実験的に明らかになった (図 2)。現在、実験と第一原理計算を組み合わせることで変化機構を解明するための研究を進めている。今後、ひずみによる各種特性変化機構の解明ができればバルク体からデバイスの創成に向けた性能予測ができることが期待できる。

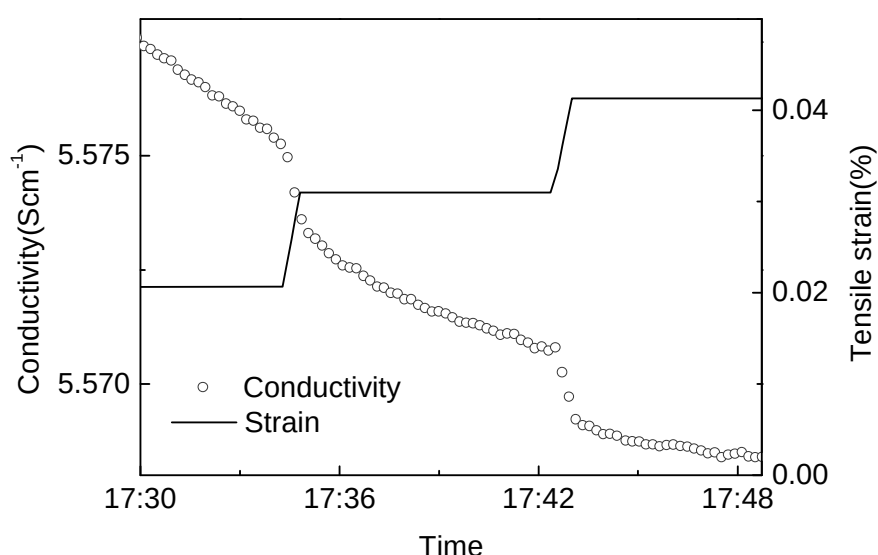


図 2 不定比性酸化物 ($\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$) の引張ひずみによる導電率変化例
大気・室温環境中

(3) フラジイルガラスとストロングガラスの流動ダイナミクスの解明

分担：徳山

研究費：GCOE 研究費他

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において、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、計算機実験で SiO_2 や $\text{Ni}_{80}\text{P}_{20}$ などストロングガラスとフラジヤイルガラスとして知られているシステムの長時間自己拡散係数やその他の物理量を解析し、比較した。特に、徳山が理論的に提案したバルクのフラジヤイルガラスとストロングガラスの長時間自己拡散係数に対するマスターカーブを用いた解析により SiO_2 系における Si と O 原子がストロングガラス的な振る舞いを示し、 $\text{Ni}_{80}\text{P}_{20}$ 系における Ni と P がフラジヤイルガラス的な振る舞いを示すことなどを明らかにした。これは、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ことが期待される。

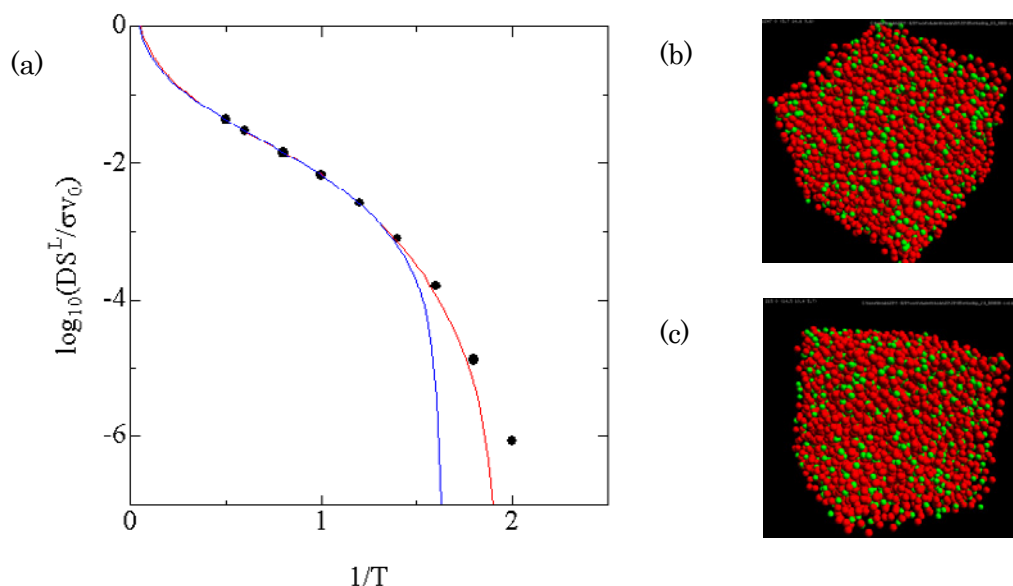


図3 $\text{Ni}_{80}\text{P}_{20}$ 系の長時間自己拡散係数の逆温度率依存性(a)と高温(無次元化温度 $T=2$)(b)と低温($T=0.5$)のスナップショット(c)。黒丸は Stillinger-Weber モデルを用いた計算機実験の結果。青線は Tokuyama の平均場理論、赤線は Tokuyama のマスターカーブ (フラジヤイルガラス)。

(4) ナノクラスタ金属を含む非晶質炭素コーティングによる摺動性と導電性の制御

分担：高木、三木

研究費：GCOE 流体融合プロジェクト研究推進費、GCOE ジョイントラボラトリープロジェクト経費、流動ダイナミクス国際融合ジョイントラボラトリープロジェクト (FLOWJOY) 経費、流体科学研究所一般公募共同研究、科学研究費補助金 (基盤 A、B)、等

本研究では非晶質炭素膜による環境適応性を持つ先進的コーティング技術の確立を目指している。本研究では、摺動性に優れ、化学的安定性や耐摩耗性を有する非晶質炭素膜 (Diamond-Like Carbon、以下 DLC) にナノクラスタ金属を分散させる手法により DLC の高機能化に取り組んでいる。これまでも、Me-DLC 内部のナノクラスタ金属の分散性を明らかにし、それに基づく電気伝導機構のモデル化などの成果を発表している。その一方で、Me-DLC には金属との間の摺動において優れた特性を有する、例えば、Ir を添加した

Ir-DLC では DLC よりも低い摩擦係数と良好な導電性を両立することを明らかにしている。しかし、これまで耐摩耗性の観点から DLC に添加していた比較的硬い金属では移着層の安定性に問題があるため、今年度は Cu や Ag などの導電性の良い軟質金属を添加した DLC の特性評価に取り組んだ。その結果、接触面に形成される金属移着膜の主成分が Cu あるいは Ag であり、摺動の安定性に効果的であることを定性的に評価することができた。さらに、これらの Me-DLC では真空中における摩擦 - 導電性にも特徴を持つことを明らかにした。以上の成果によって良好な摩擦摺動性と導電性を有する Me-DLC の設計指針を得ることができた。

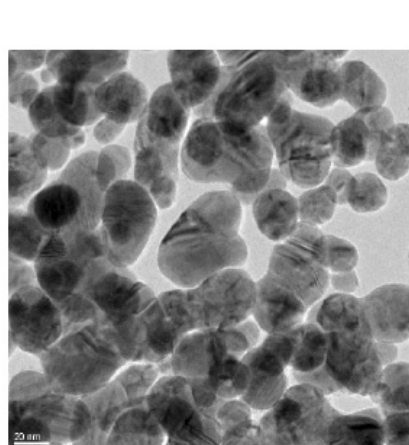


図 4 Ag-DLC における透過電子顕微鏡像

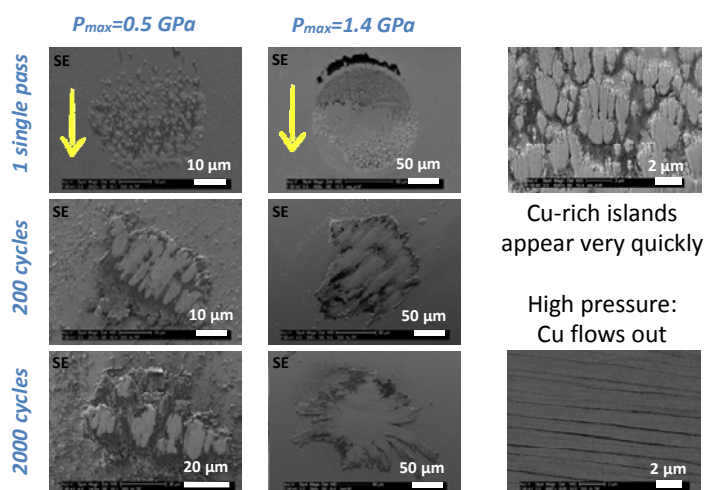


図 5 Cu-DLC における金属移着層の負荷荷重依存性

(5) オンウェ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ェハーモニタリングシステムの研究を行っている。オンウェ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ーを開発した。センサー測定値を元に任意形状におけるシース電位分布を計算することにより、イオン軌道の予測に成功した。この成果を元に、昨年度までに確立した紫外線センサー・電荷蓄積センサーの測定および計算（シミュレーション）をユーザーが簡単に実行できるシステムを開発した。さらに、電源・測定回路・メモリ・赤外通信部などを小型化しウェハ上に載せることでワイヤレス化を行い、ワイヤレス・オンウェハーモニタリングシステムの導入を行った。今後、このシステムをさらに発展させ、プラズマプロセスにおけるダメージ・形状予測システムを開発する。

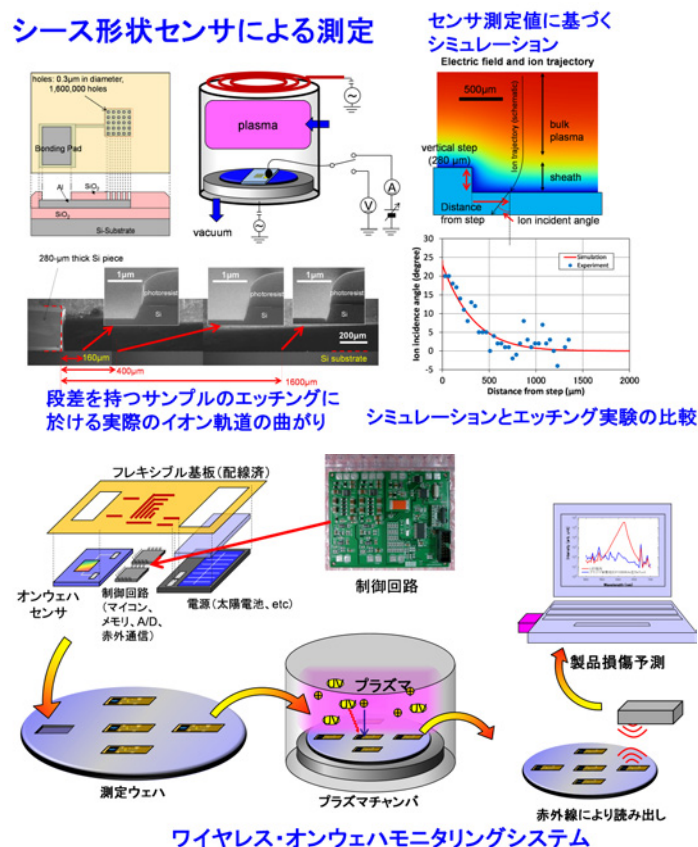


図 6 シース形状センサおよびワイヤレス・オンウェハモニタリングシステム

(6) ナノバブルと超音波を用いた腫瘍壊死因子 α の固形腫瘍への導入とその抗腫瘍効果
 分担：小玉

研究費：GCOE 研究費他

腫瘍壊死因子 α は、直接的に腫瘍細胞に作用し、血管透過性を亢進して、抗腫瘍効果を誘導する。しかし、腫瘍に局限した薬剤送達法の開発の遅れにより、がん治療に十分に使用されていないのが現状である。本研究では、TNF- α 遺伝子のがん遺伝子療法への応用を念頭に、腫瘍選択性で非侵襲性に優れたナノバブルと超音波からなる分子導入法を用いてTNF- α 遺伝子を固形腫瘍に導入し、抗腫瘍効果の評価をおこなった。反復投与により抗腫瘍効果が増強され、腫瘍効果にはアポトーシスの誘導が密接に関わっていることが明らかにされた。TNF- α 遺伝子と本導入法の組合せは、今後のがん遺伝子治療法の開発に極めて有効であることが示された。

Horie S, Watanabe Y, Ono M, Mori S, Kodama T.

Evaluation of anti-tumor effects following tumor necrosis factor-alpha gene delivery using nanobubbles and ultrasound. Cancer Science. 2011; 102(11): 2082-2089.

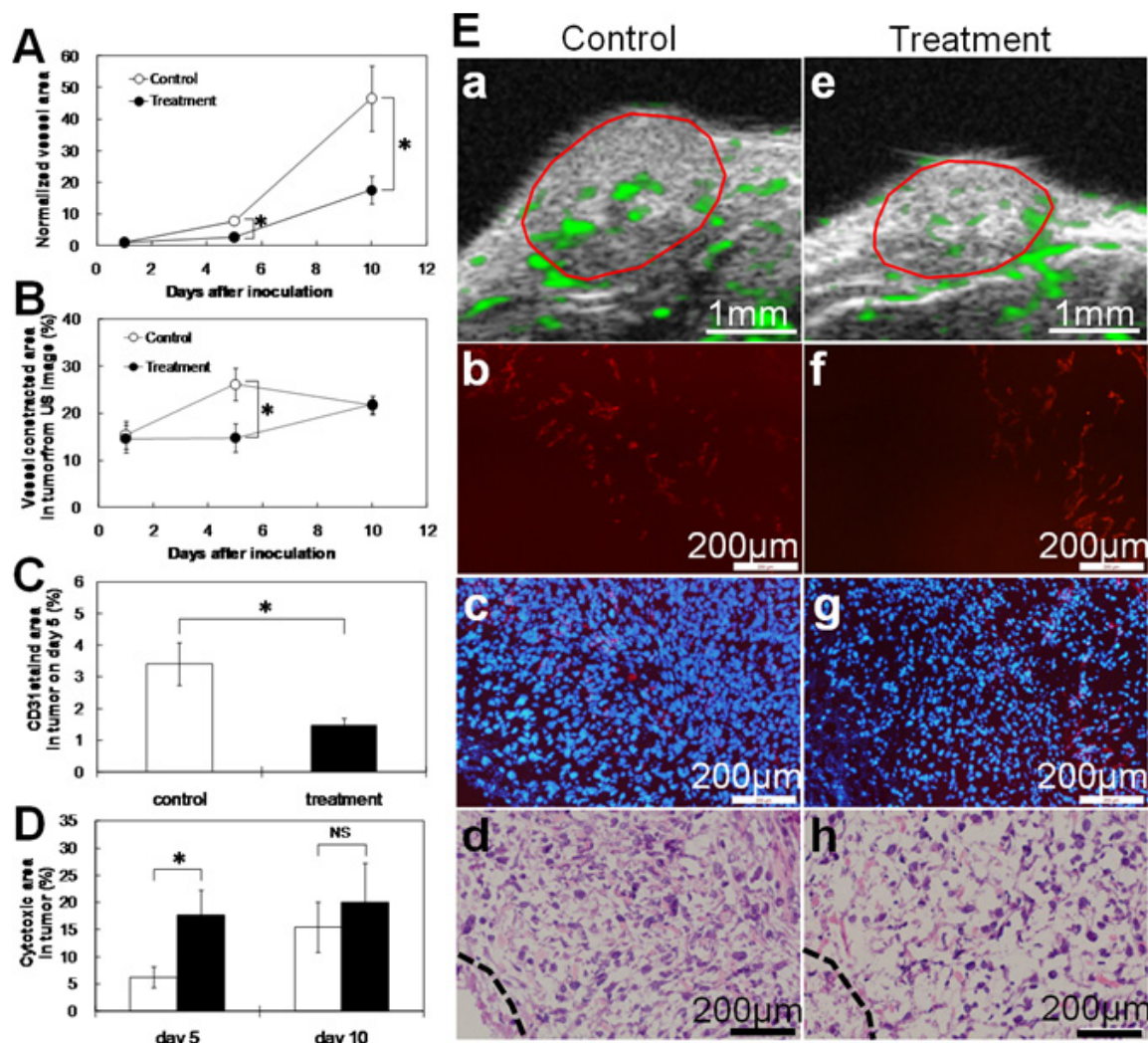


図7 腫瘍内の血管密度の評価. (A) 超音波システムで抽出された無次元血管面積、(B) 超音波システムで抽出された血管密度. (C) CD31 で染色された腫瘍血管内皮細胞. (D) 細胞毒性領域の H&E 染色画像. (E) 超音波システムで抽出された血管 (Ea,e: 血管は緑、腫瘍境界は赤). 抗 CD31 で染色された蛍光像 (Eb,f, red); DAPI 染色画像と合成された画像 (Eb) および (Ef); H&E 染色像 (Ed, Eh).

(7) PEFC 触媒層アイオノマーの酸素透過性能の解明

分担：徳増

研究費：GCOE 研究費、NEDO、科学研究費補助金

固体高分子形燃料電池(PEFC)の触媒層は電極触媒である白金を厚さ数ナノメートルの高分子薄膜(アイオノマー)が覆っており、このアイオノマー内のプロトン輸送性能や酸素透過性能が燃料電池の効率に大きく影響する。しかし、このアイオノマーの酸素透過性能を評価するためには、ナノスケールの水分子の分布などを考慮した包括的な解析が必要である。本研究では白金表面を覆うアイオノマーを分子動力学法により再現し、その酸素透過性能を支配するナノスケールの支配要因の解明を目的として研究を行っている。図8に示すような計算系においてアイオノマーのアニーリングを行って安定状態を形成し、その水分分布を確認し

た。その結果、水分子はアイオノマーと比較して白金表面に吸着しやすく、アイオノマー内に分布するよりは白金表面に多く吸着していることが確認された(図 9)。また含水率に対する酸素透過性能を評価したところ、白金表面の水分子が酸素透過を阻害することにより含水率の低下に対して酸素透過性能が減少することが確認された。

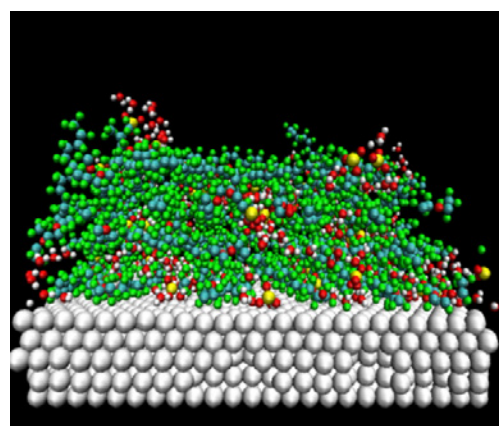


図 8 白金表面を覆うアイオノマー

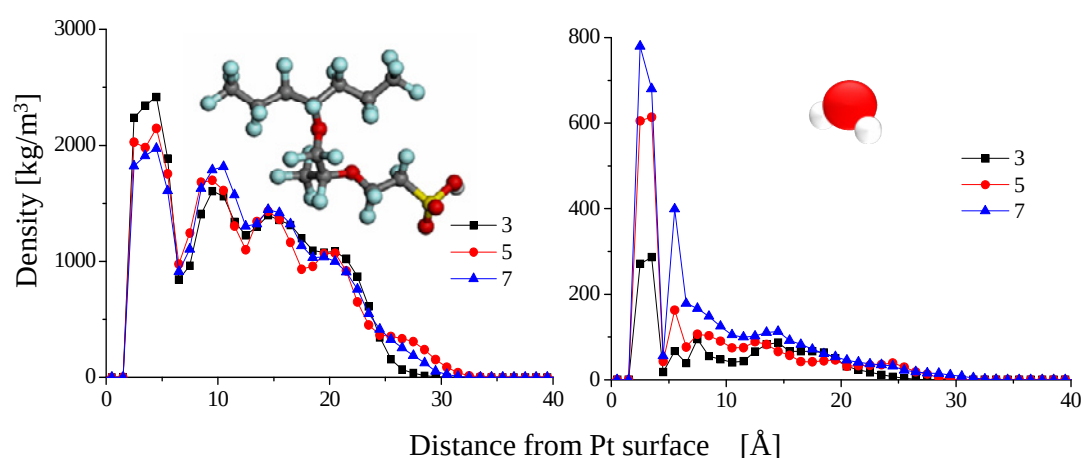


図 9 含水率を変化させたときの白金表面からの距離に対する水分子およびアイオノマーの密度分布 (左) アイオノマー (右) 水分子

(8) 固液界面微細構造における物質輸送の研究

分担：小原

研究費：GCOE 研究費、科学研究費補助金

固液界面近傍の液体中における物質輸送特性は、固体壁面の影響下で、固体と液体の親和性により大きな影響を受ける。溶媒中の溶質の輸送では、溶媒－溶質、溶媒－固体表面、溶質－固体表面それぞれの相互作用が複雑な影響をなす。この現象は、ナノフルイド、NEMS 中の水分挙動、固体表面改質のための薬液処理、溶質を固体壁表面に物理吸着させるダイナミックコーティングなど、様々な過程で工業的に重要であるが、本研究では、特に半導体製造過程における微細構造表面の洗浄・表面処理に焦点を絞り、 SiO_2 表面と水/IPA (イソプロピルアルコール) の相互作用について分子動力学 (MD) シミュレーションにより解析を進めている。図 10 は、シラノール基で終端処理された SiO_2 (011 面) 表面と液体水との固液界面における IPA 分子の挙動を解析する MD シミュレーションのスナップショットで、このようなシミュレーションを繰り返して各位置における IPA 分子の頻度分布を計測することにより、PMF (Potential Mean Force) の理論により自由エネルギーの分布を算出している。図 11 のスナップショットは、洗浄工程の最終段階で適用されるアルコール置換の

過程を示しているが、IPA が SiO_2 表面に吸着し、水分子を置換しつつある。固体構造のスケールとアルコール置換に必要な時間スケールの相関を見出すことを最終的なターゲットとして、数十 nm スケールの微細加工におけるウェットプロセスの適用性を見極め、その改善を図ろうとしている。

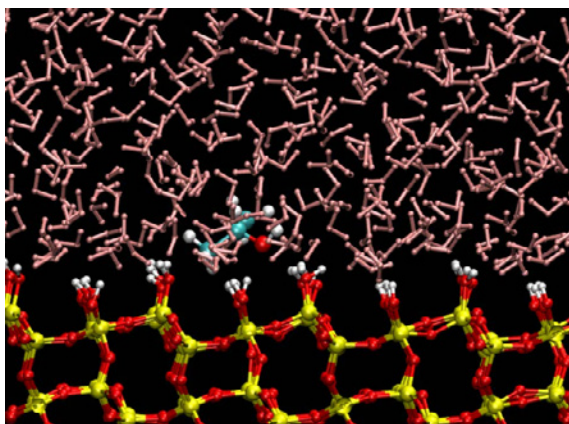


図 10 SiO_2 (シラノール終端)－液体水界面近傍における IPA 分子 (水色)

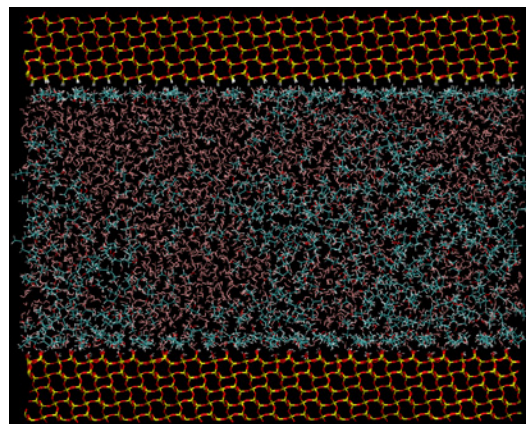


図 11 SiO_2 表面への IPA 分子の吸着。
 SiO_2 : シラン終端 (上)・シラノール終端 (下)、水 (赤)、IPA (水色)

(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

研究費：GCOE 研究費、科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）

地球温暖化防止に貢献するため、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。現在の火力発電における燃焼ガスの最高温度約 1450°C を、 1700°C 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。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(特に Ni と Al)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。そこで、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た。特に添加元素間の化学結合エネルギーの大小関係とイオン結合半径が原子拡散の支配因子であることを解明し、単一元素の場合は Ni や Al 原子のひずみ誘起拡散現象を活性化させる元素でも、同元素と結合エネルギーの高い元素を第四元素として添加することで拡散抑制を実現できることを解明した (図 12 参照)。これらの知見の実用性を、図 13 に示す薄膜積層構造試験片を用いて実証した。

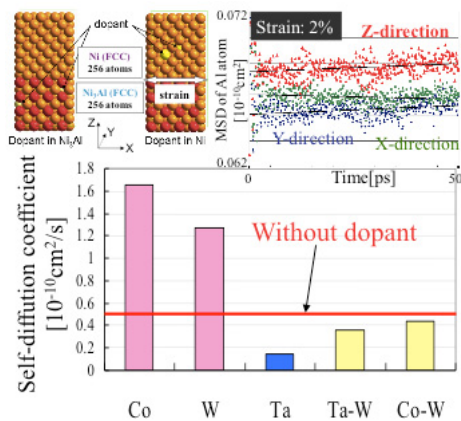


図 12 固体中の原子拡散解析

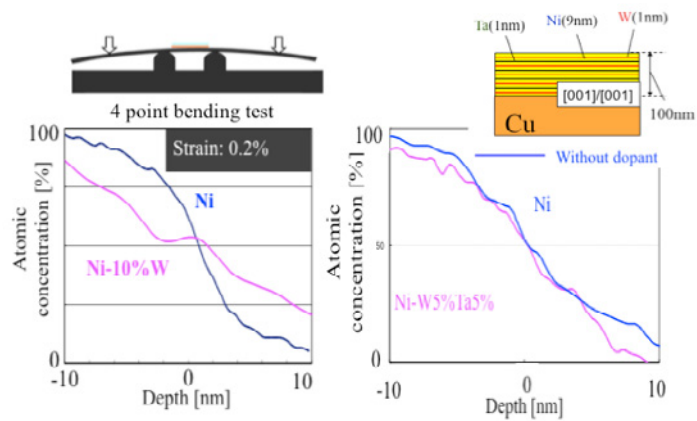


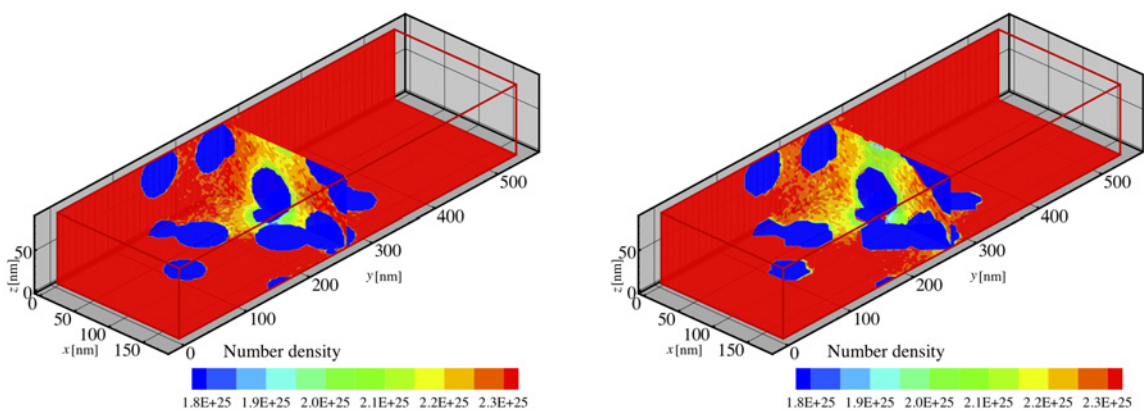
図 13 ひずみ誘起固相原子拡散の実証実験

(10) 多孔質体内マイクロ・ナノスケール流れの輸送現象に関する研究

分担：米村

多孔質体はその表面積の大きさから触媒式排気ガス浄化装置や燃料電池の電極などの反応流路として広く用いられている。これらの装置の性能向上のためには、多孔質体内部の輸送現象を明らかにすることが重要である。本研究では多孔質体内のマイクロ・ナノスケール気体流れの輸送現象を数値シミュレーションにより明らかにする。

一方で、数値解析に必要な多孔質体内流路の表面データは 3 次元 TEM などの透過的な手段によって計測しても離散的にしか得られない。本年度は、離散的な計測データから多孔質体内流路を再現する手法を提案し、その妥当性を確かめた。本手法を検証するために、正解となる多孔質体内流路を微細な球を詰め込むことにより与えた。この流路を 3 次元 TEM などで計測したものとして、各格子点が固体か気相にあるのかを調べ、その情報から多孔質体内流路を多面体により再現する。図 14(a)は、元の流路を用いて表面反応を伴う流れの数値シミュレーションを行った場合の水素分子密度分布を示している。図 14(b)は多面体により再現された流路を用いた場合の結果であり、元の流路を用いた結果を比較的良く再現できている。より微細な格子点間隔で多孔質体を計測することができれば、精度を上げることもできる。今後はこの手法を用いて、多孔質体内の輸送現象を調査する。



(a) 元の流路

(b) 多面体を用いて表面を推定した場合

図 14 水素分子密度分布

6.2.5 極限流動融合分野

グループリーダー：大林 茂

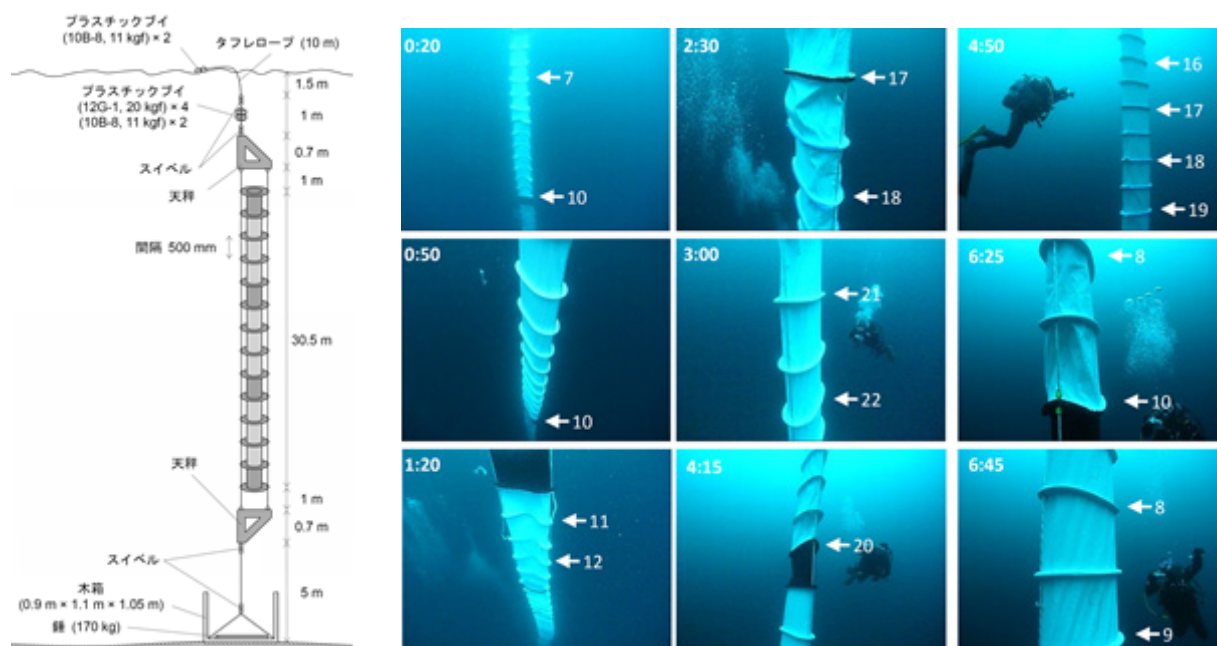
メンバー：

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
- ・主な活動資金：受託研究費、科学研究費補助金
- ・主な成果を表す図



(a)展開実験装置概略図 (b) 展開中および展開後のパイプ挙動 (←は深さを示す)

図 1 海洋実験におけるパイプの設置展開

・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て、その海域を局部的に富栄養化することで海洋の森を作る計画（ラピュタ計画）を実験的・解析的に検討している。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している。本年度は実際の海洋におけるパイプの設置および展開方法について検討した。図 1 (a)はパイプ展開実験の装置概略図を、図 1(b)はその時の展開の様子およびパイプの挙動を示している。これまでの実験的研究により、パイプの軸方向の伸長による破断を防ぐため、ある程度の間隔でゴム製のパイプを挿入する必要性が出てきたため、4 セグメントに 1 セグメントの割合でゴム製のパイプ（図 1 (b)内写真の黒い部分）を挿入し、実験を行った。パイプに 500mm 間隔で取り付けられているリブは特殊なゴムで製作されており、パイプ展開前の収納時は折りたたまれた状態になっているが、パイプが海洋内に展開された後、ゴムの復元力でパイプ断面は元の形状に戻り、上下

端から海水が浸入する仕組みとなっている。実験結果より、展開直後はパイプ上下端が閉じたままパイプは伸長していき、その後上下端が開く様子が観察された。これによりパイプ中腹域の海水が混入することがなく、海洋表層水と深層水の温度差で定義される駆動力も保持した状態で展開ができることが分かった。

2. 研究テーマ：極限振動するはく離領域制御および計測手法の開発

- ・担当者：福西 祐
- ・主な活動資金：GCOE 研究費
- ・主な成果を表す図：

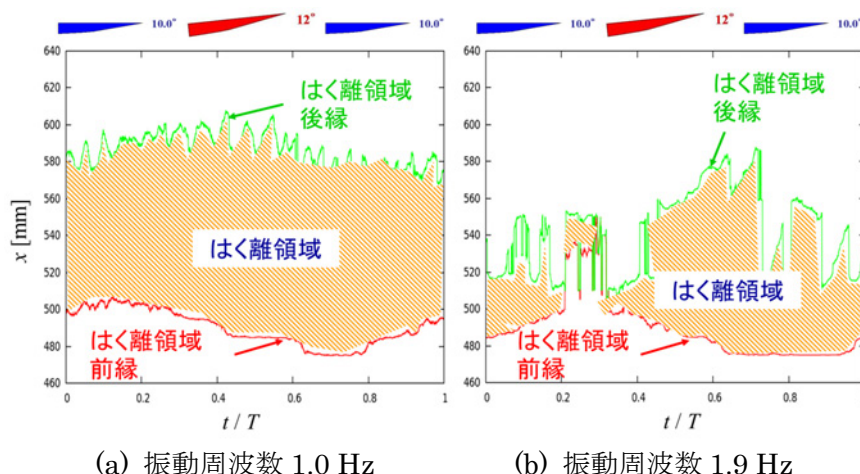


図 2 (T : 面の振動周期)

- ・主な活動：

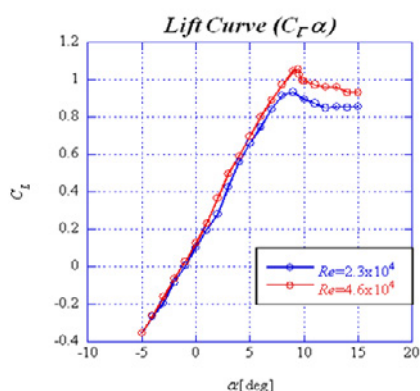
振動はく離する極限状態の流れにおけるはく離領域を正確に計測するのは通常は困難であるが、その手法の開発を行った。流れに逆圧力勾配を与え、さらに図 2 に示されるとおりモーター駆動により一つの面を振動させることで、はく離が非定常に変化する極限状態を風洞の測定部に作り出した。振動面の周波数を制御することにより、はく離領域の大きさと挙動の制御に成功した。

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

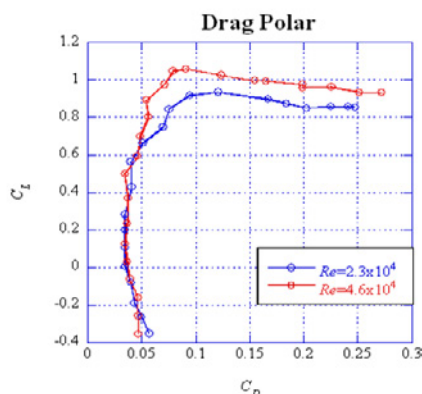
- ・担当者：浅井圭介、永井大樹、沼田大樹
- ・主な活動資金：GCOE 研究費、JAXA 宇宙科学研究所／火星探査航空機 WG 活動費
- ・主な成果を表す図

Ishii Airfoil

$M = 0.20, Re = 2.3 \text{ \& } 4.6 \times 10^4, \alpha = -5 \sim 15 \text{ deg}$



(a) 揚力特性



(b) 揚抗曲線

図 3 石井翼の空力特性に対するレイノルズ数の影響



図 4 翼展開機構をもつ火星飛行機の概念設計の一例

・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。現在、JAXAを中心に検討が進められている火星飛行機に使用する翼型として、室内飛行機の滞空時間の世界記録保有者である石井満氏の設計した「石井翼」の実験を火星大気風洞で実施した。その結果、石井翼は揚抗特性が素直で最大揚力係数が1.0に近く、火星飛行機の翼の有力な候補の1つであることが確かめられた。昨年度実施した翼型形状効果(厚み、キャンバ他)の調査結果ともこの結果は一致し、低レイノルズ数で性能の良い翼型に対する汎用的な設計指針を明らかにすることができた。一方で、これらの空力実験データや他の推算式を基にして、プロペラ推進式の火星飛行機の概念設計を行った。プロペラの断面には三角翼型を採用し、プロペラ先端における低レイノルズ数、高マッハ数条件を含む全動作範囲における翼型データを火星大気風洞で取得した。機体規模の推算を行った結果、飛行速度 50m/s で航続距離 300km を飛行する探査ミッションに対して、重量 3.5kg、翼面積 1.25m²、直径 1m で高さ 0.6m のカプセル内に収まる飛行機を設計

できる可能性があることが確かめられた。

4. 研究テーマ：高温衝撃風洞計測データに見られる異常加熱現象の解明

- ・担当者：澤田恵介
- ・主な活動資金：GCOE 研究費、JAXA 受託研究費
- ・主な成果を表す図

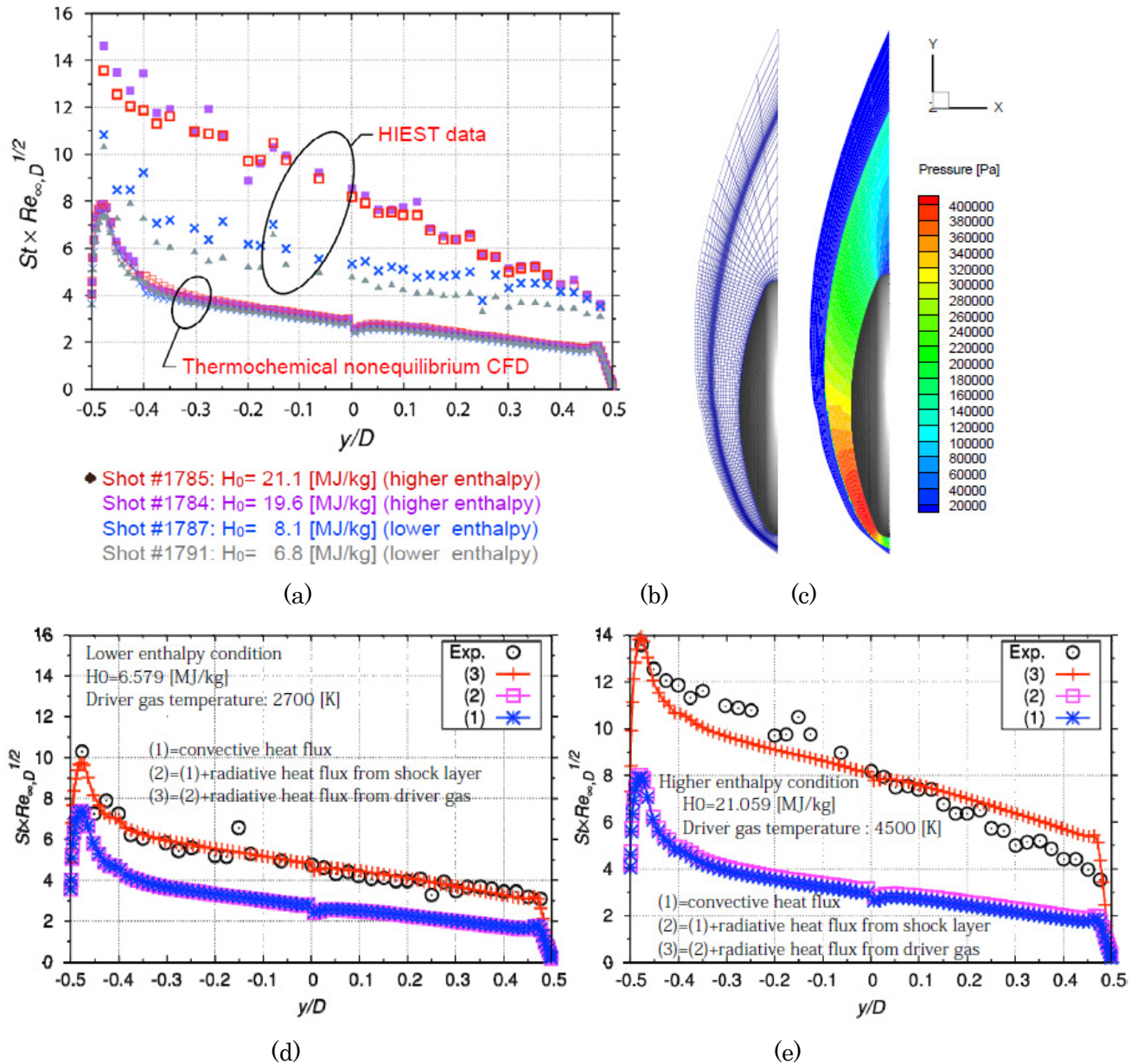


図 5 アポロカプセル底面における熱流束の Hiest 計測データと CFD 解析結果、(a) 迎角 30 度の場合の Hiest 熱流束データと CFD 解析結果、(b) 対称面内における計算用格子線、(c) 対称面内の圧力分布の計算結果の例、(d) 低エンタルピー条件で得られた熱流束分布の再現、(e) 高エンタルピー条件で得られた熱流束分布の再現

- ・主な活動

大気圏突入時の気流条件を再現して空力加熱等の設計データを取得する地上試験装置として、大型衝撃風洞が各国に設置されている。大型衝撃風洞で得られた高エンタルピー気流条件に対する熱流束データが、レイノルズ数の平方根とスタントンの積で整理された相関曲線から高加熱側にシフトしてしまうことが各国の設備で報告されているが、この原因は明らかになっていない。JAXA 角田宇宙センターに設置されている大型高温衝撃風洞 **HIEST** においても同様の熱流束分布のシフトが報告されている。図 5(a)は迎角 30 度で設置されたアポロカプセルに対する熱流束計測データならびに対応する CFD の熱流束分布の例を示している。各ショットに対する計測データはいずれも CFD より高加熱側にずれている。また、気流エンタルピーが異なると熱流束の計測データは異なる分布を示しているが、CFD の解は全て重なっていることが分かる。本研究では CFD を駆使して大型衝撃風洞で報告されている高加熱側への熱流束分布シフトの原因究明を試みた。図 5(b)は迎角 30 度に設置されたアポロカプセル底面部分に対する計算格子線の例で、対称面内の格子線分布を図示している。衝撃波位置に格子線を集めて衝撃波面不安定性の影響を排除している。また、図 5(c)には計算で得られた圧力分布を示した。衝撃波面がシャープかつ安定に捉えられていることが分かる。

熱流束分布が高加熱側にシフトする原因として、本研究では早期の乱流遷移、衝撃層からの輻射加熱の影響およびノズル上流側の高温駆動気体からの輻射加熱の可能性を検討した。早期乱流遷移による乱流加熱を検討するために、全面乱流条件を仮定して乱流モデルを用いた解析を行ったところ、カプセルのショルダー部分の空力加熱増分をある程度説明できるが、淀み点側の熱流束の値を全く再現できないことが分かった。また、カプセル前方に生じる離脱衝撃波背後の高温気流からの輻射加熱の影響を調べるために、空気に対する 10,000 波長点のマルチバンド輻射モデルと接平板近似を用いた輻射解析を実施したところ、衝撃層からの輻射はカプセル表面熱流束に対して無視できる程度の増分を与えるに過ぎないことが明らかになった。一方、駆動気体からの輻射加熱を考慮すると、図 5(c)、(d)に示されているように駆動気体の温度を適切に仮定することによって異なる気流エンタルピー条件でも実験データが再現できることを明らかにした。実際、**HIEST** では模型が設置された試験部で顕著な発光が観測されている。また、シュリーレン可視化写真と CFD で得られた離脱衝撃波形状や衝撃波離脱距離は良く一致していることから、衝撃層内の熱化学非平衡状態は CFD によって精度よく再現されている可能性が高く、熱流束分布のシフトは輻射による可能性が高い。残念ながら実際の駆動気体温度が計測されていないために原因が解明されたとは言いきれないが、今後の駆動気体の温度計測や発光スペクトルの分析結果を待つて異常加熱現象の原因をより精密に特定していく予定である。

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
- ・主な活動資金：GCOE 研究費、受託研究費、科学研究費補助金
- ・主な成果を表す図

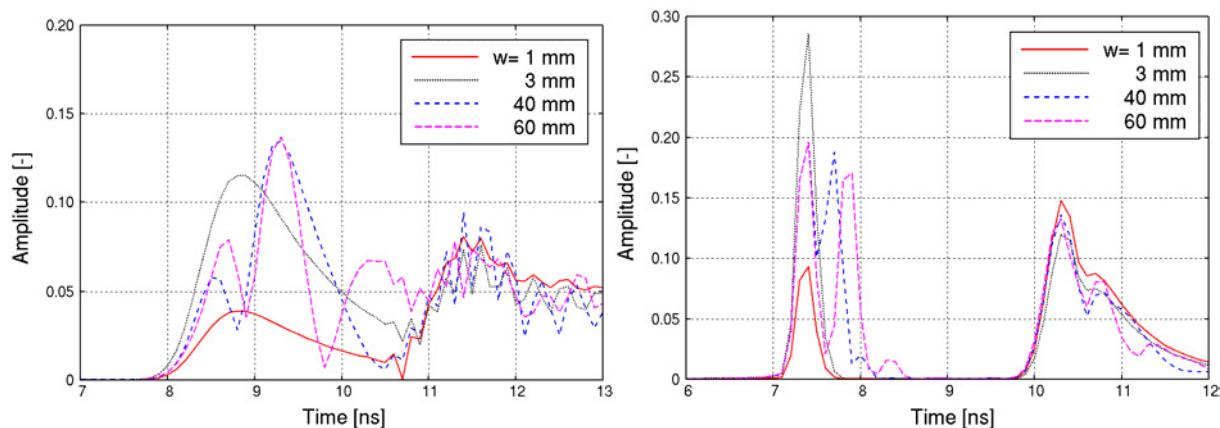


図 6 分散補償法による反射波信号明瞭化（左：適用前、右：適用後）

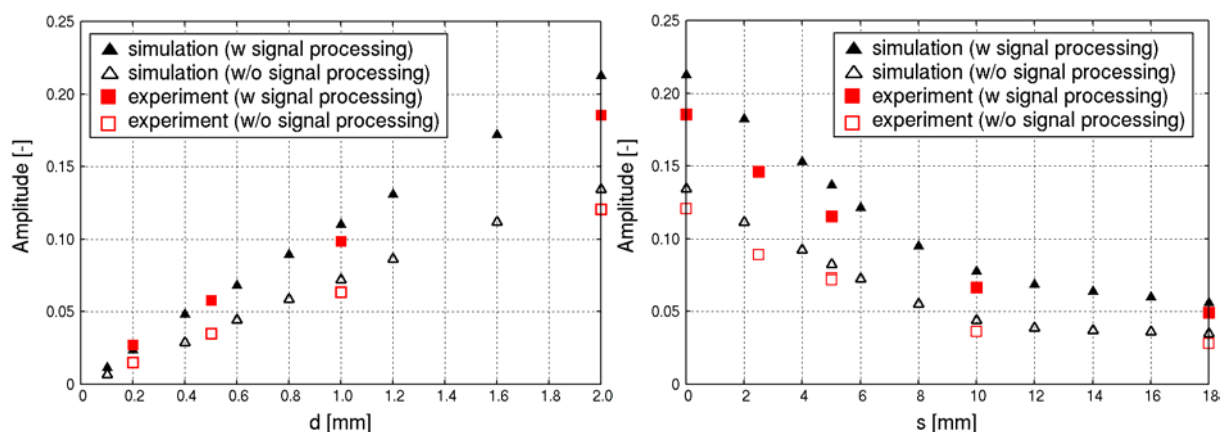


図 7 反射波信号の減肉形状依存性評価（左：矩形減肉深さ、右：減肉端部形状）

・主な活動

原子力プラントにおける保全活動の合理化に資することを目的とし、配管の内壁面に発生したきずの検出と評価を行うための、マイクロ波を用いた配管内壁面広域一括探傷技術の開発を行なっている。当該技術は配管内にマイクロ波を伝播させた時の反射と透過の様子から管内壁面の一括探傷を行うというものであるが、配管内を伝播するマイクロ波が分散性を揺する、即ち伝播速度が周波数依存性を有するため、従来技術では伝播距離と共に定量的な評価が困難となるという問題があった。そのため本年度研究においては、マイクロ波の分散を補償するための新たな信号処理アルゴリズムを開発し、その有効性を数値解析及び探傷試験の両面から検証を行った。図 6 は開発した信号処理手法を全周減肉（減肉幅 w ）からの反射波に対して適用した結果である。信号処理を適用することにより信号の空間分解能が向上しており、反射波が実際には減肉の前縁と後縁からの反射波が重なりあったものであったこと、またある程度以上の幅がある減肉であればこのような手法により減肉幅の評価も可能であることが確認できる。図 7 は減肉の形状に対する反射波強度の依存性を評価した結果である。信号処理を施すことにより反射波強度が増大している、即ち信号が明瞭化していること、またいずれの場合においても数値解析の結果と探傷試験の結果は良好な一致を見せていることが確認できる。

6. 研究テーマ：微小地震を利用した地熱貯留層の流路構造評価

- ・担当者：伊藤高敏
- ・主な活動資金：GCOE 研究費
- ・主な成果を表す図

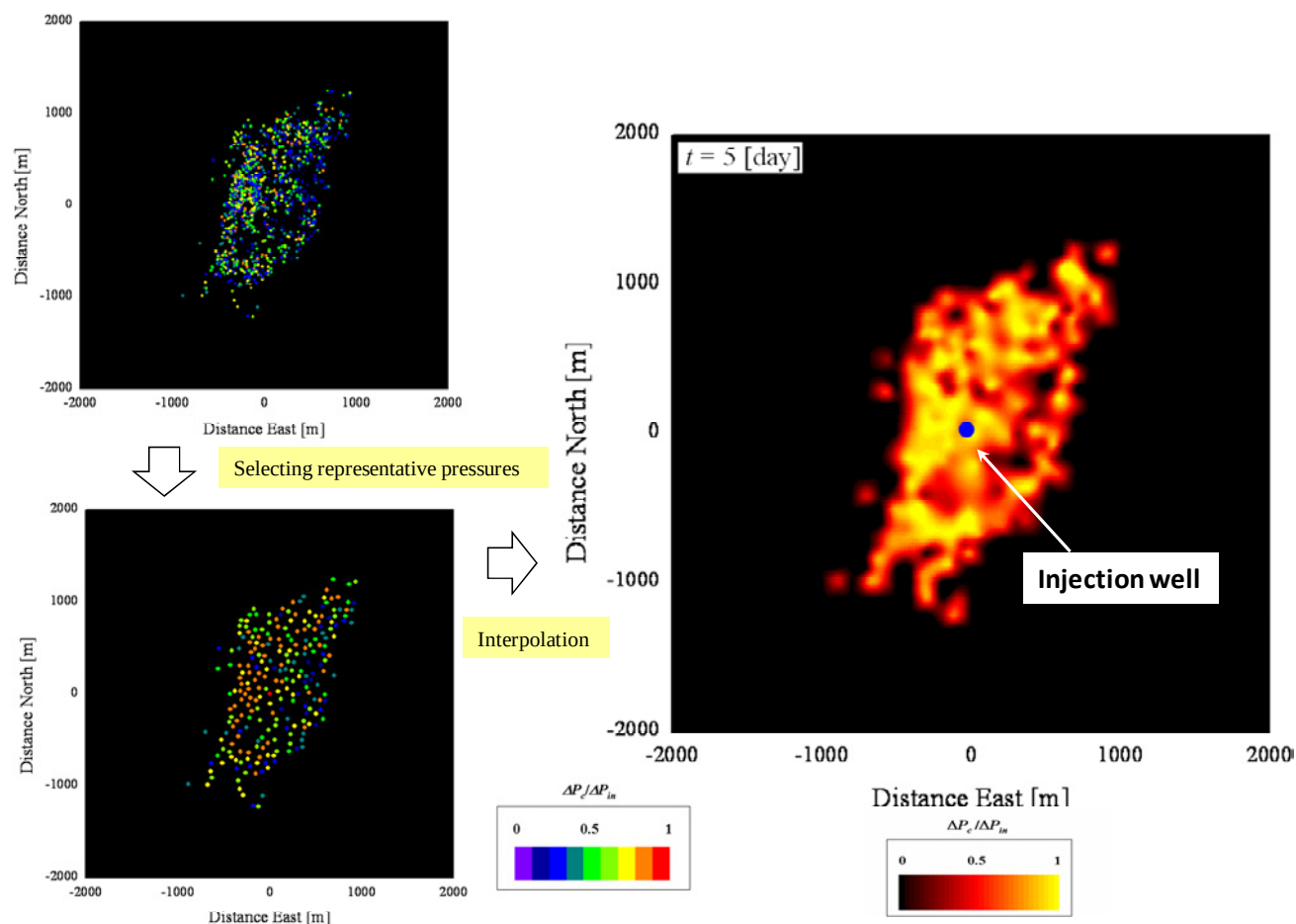


図 8 微小地震に基づく貯留層内圧力分布の評価

・主な活動

地熱開発の可否は、地下にある地熱貯留層内の流路構造をいかに正しく把握できるかに大きく依存する。しかし、貯留層は一般に深度数千メートルに位置するため、その状態を地表から直接評価することはできない。一方、貯留層形成の為に大量の水を高圧で地下に圧入する作業、つまり水圧破碎がしばしば実施される。また、この際に発生する微小地震の震源位置から、流路構造を推定することが行われている。これに対して我々は、力学モデルを新たに組み込むことで、微小地震の発生状況から震源位置における水圧を評価し、さらに、その結果を組み合わせることで、水圧破碎に伴って発生した貯留層内の水圧分布を評価する方法の開発を行っている。本年度には、比較半径という概念を新たに導入することにより、従来よりも詳細で客観性のある水圧分布の評価を可能とすることに成功した。この方法は、3次元に容易に拡張することが可能である。

7. 研究テーマ：コルゲート管を流動するスラッシュ流体の圧力損失低減に関する研究

- ・担当者：大平勝秀
- ・主な活動資金：GCOE 研究費、科学研究費補助金
- ・主な成果を表す図

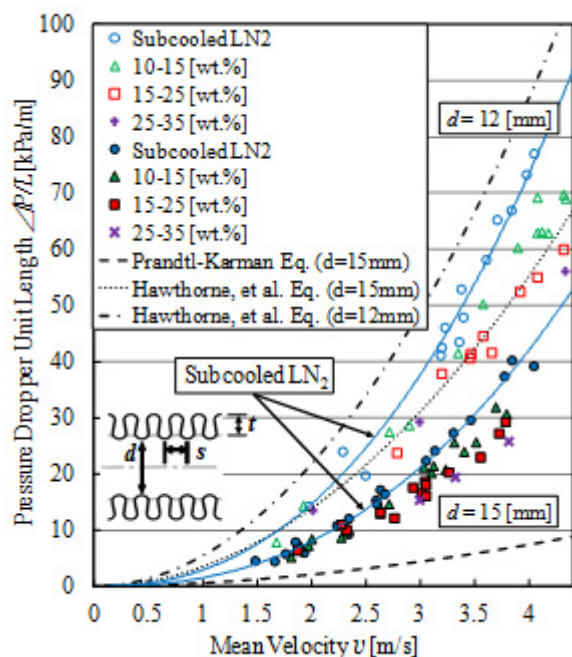


図 9 スラッシュ窒素の圧力損失と流速

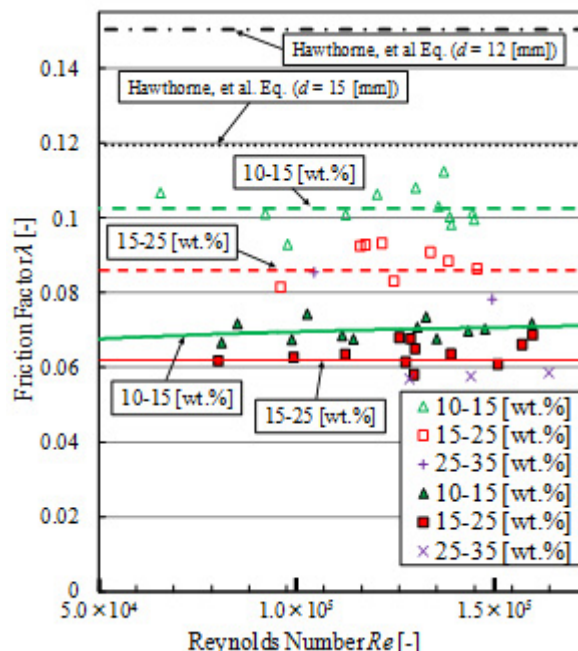


図 10 管摩擦係数とレイノルズ数

・主な活動

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を利用する高効率水素エネルギーシステムを開発中である。輸送用配管や超伝導送電の冷媒用配管にコルゲート管が使用されるため、スラッシュ流体の流動特性が実用上重要となる。スラッシュ窒素を使用して内径(d)、ピッチ(s)、山の高さ(t)が異なる 2 種類のコルゲート管の圧力損失を測定した。図 9 は固相率(wt%)を変化させた場合のスラッシュ窒素の圧力損失と流速である。流速約 2 m/s 以上で液体窒素よりも圧力損失が低減する圧力損失低減効果が現われ、固相率の大きい方が、低減量は大きくなる。管摩擦係数と Reynolds 数の実験結果を図 10 に示す。スラッシュ窒素の管摩擦係数は Reynolds 数に対し一定値を示し、固相率 30%で最大 37%の圧力損失低減が確認された。平滑円管において圧力損失低減が流速の大きい擬均質流で現われる実験結果を著者は報告している。コルゲート管の圧力損失低減は、流速の増大に伴い固体粒子が管中央部に移動し凹凸部と固体粒子の干渉が減少すること、管中央部の固体粒子群が凹凸内部に存在する液体の乱流発生を抑制するためと考えられる。圧力損失低減はスラッシュ水素をパイプライン輸送する際のポンプ動力低減に有効となる。

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流動条件の影響評価

- ・担当者：渡辺 豊
- ・主な活動資金：GCOE 研究費、受託研究費

- ・主な成果を表す図

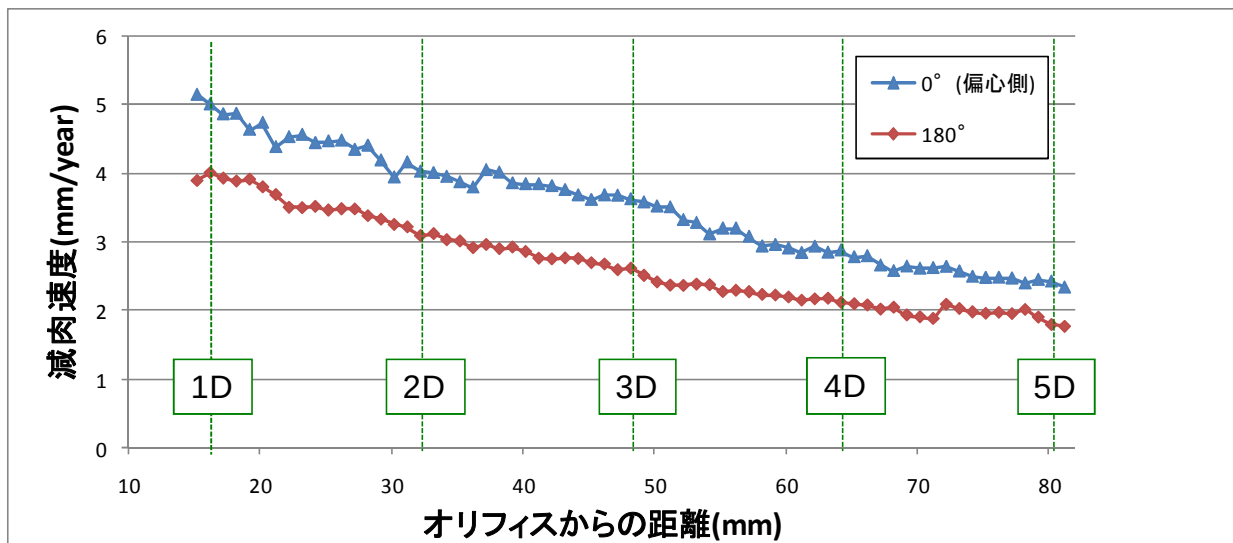


図 11 オリフィス下流域における減肉速度分布

- ・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。これまでの研究で、旋回流とオリフィス偏心の組み合わせによって、非対称流を引き起こす可能性が示されており（藤澤ら、2011）、これが配管レイアウトによってはオリフィス下流域で非対称減肉が起こる原因である可能性が考えられる。そこで、流れの旋回成分ならびにオリフィス偏心を試験パラメータとして FAC 試験を実施し、オリフィス下流域の減肉挙動を評価した。0°（偏心側）と 180° の位置におけるオリフィス下流側（1D～5D）の減肉速度プロファイルを図 11 に示す。両者とも 1D 近傍で減肉速度が最大となり、上流から下流にかけて減肉速度が低下する傾向を示した。また、一貫して 180° に比べ 0° における減肉速度の方が高く、1D の位置では偏心側で約 25%減肉速度が増大していた。よって、「旋回流あり＋オリフィス偏心あり」の系においては、偏心側でより FAC 速度が高いことが示唆された。

9. 研究テーマ：電磁超音波共鳴法による配管減肉のオンラインモニタリング

- ・担当者：内一哲哉
- ・主な活動資金：GCOE 研究費、受託研究費
- ・主な成果を表す図

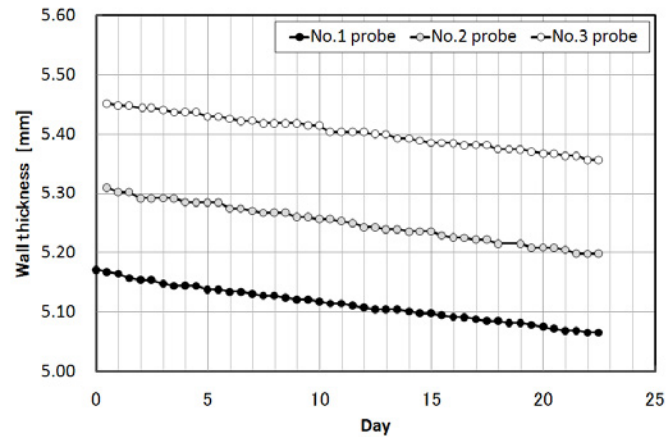
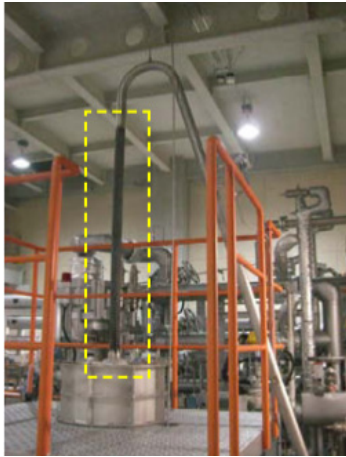


図 12 配管減肉のオンラインモニタリングの結果

・主な活動

原子力・火力発電設備において、経年化に伴い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が課題となっている。減肉の予測・評価精度の向上や出力向上等の流動パラメータの変更時の減肉傾向の把握のためには、高い精度と安定性を備えた配管減肉のオンラインモニタリング技術の確立が必須である。

本研究は、実機高温環境下における配管減肉のオンラインモニタリングに磁超音波共鳴法 (Electromagnetic Acoustic Resonance, EMAR) と N 周期比例加算法を適用し、配管減肉速度の定量的評価の可能性を検討する。実機配管に近い減肉条件を再現できる模擬減肉試験装置を用いた配管減肉モニタリングをオンラインで行い、その精度と安定性を評価した。模擬減肉試験装置（東京電力株式会社）での減肉試験において、試験配管に EMAT プローブを設置し、その箇所の減肉の時間変化を測定した。図 12 にオンラインモニタリングによる肉厚評価結果を示す。装置稼働から 23 日間で、No.1 プローブで 0.10mm、No.2 プローブで 0.09mm、No.3 プローブで 0.11mm の肉厚変化を捉えており、今後破壊試験結果との比較を行う。

10. 研究テーマ：キャビテーション不安定現象に及ぼす加速度場の影響

- ・担当者：伊賀由佳
- ・主な活動資金：GCOE 研究費
- ・主な成果を表す図

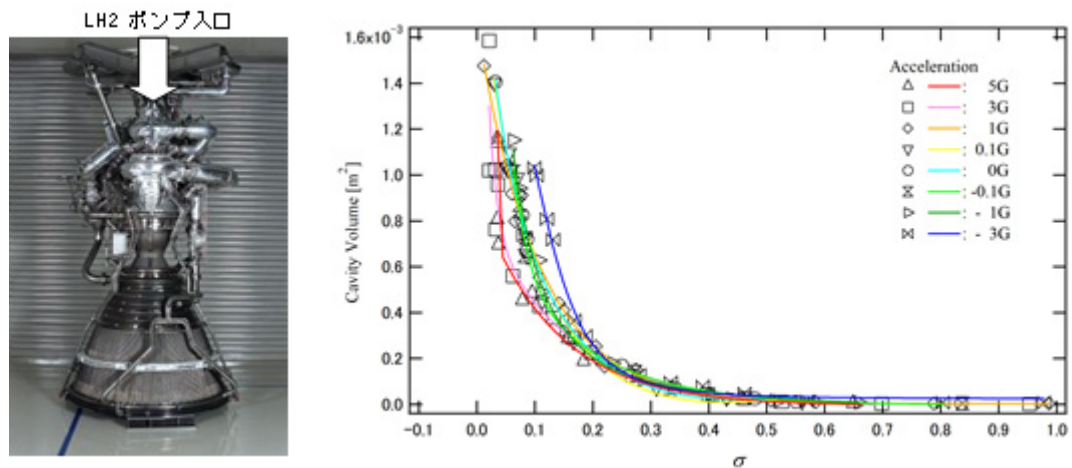


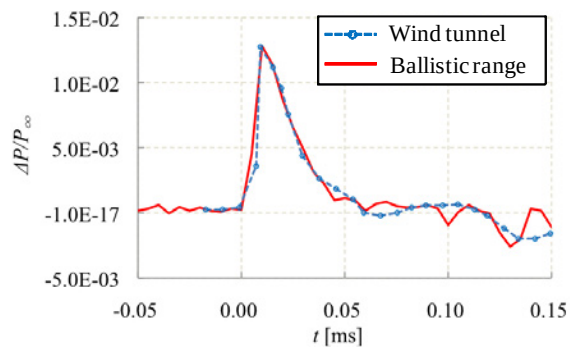
図 13 LE-7A エンジン（左図）と時間平均キャビティ体積に及ぼす加速度場の影響（右図）

・主な活動

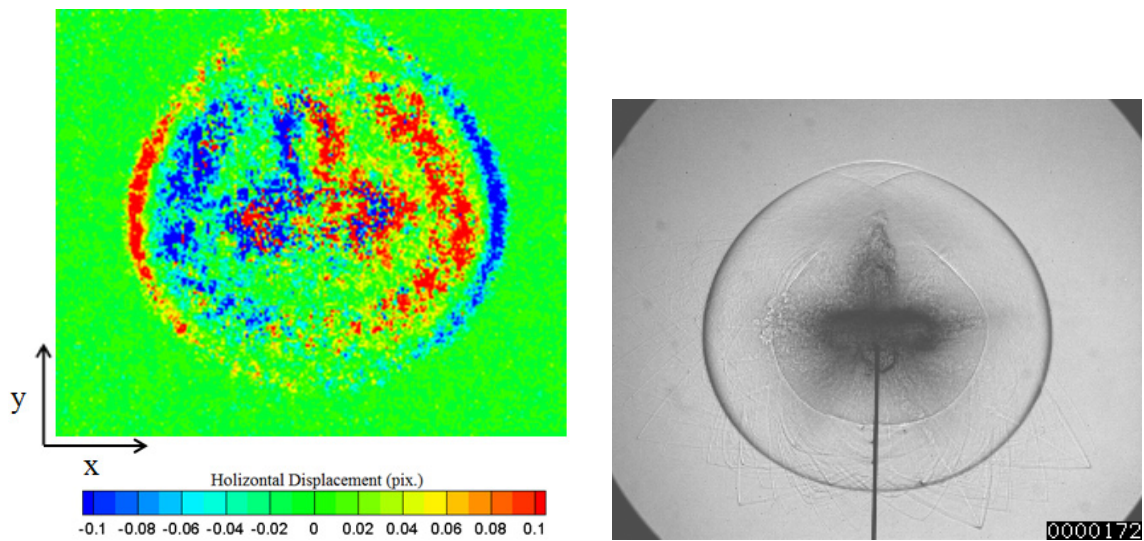
液体ロケット打上げに悪影響を及ぼすキャビテーション不安定現象は、実際の打上時には抑制されているため、それに及ぼす加速度の影響をフライトデータから読み取ることはできない。また、日本の液体ロケットにおけるターボポンプの設置方向は、先行と現行のエンジンでは進行方向に対して逆向きとなっており、そこに発生するキャビテーションは、同じ打上げ行程においても逆向きの加速度場にさらされることになる。そこで本研究では、3枚周期翼列の数値解析を通じ、キャビテーション不安定現象に及ぼす軸方向上流・下流向きの加速度の影響について解析した。計算結果より、現行の無人ロケットの加速度の範囲内では、ポンプのキャビテーション性能や、キャビテーション不安定現象の発生範囲に加速度の影響は無いことが示された。しかし、さらに大きい加速度場では、軸方向上流向きに加速度が掛る場合、通常、キャビテーション発生に対して安全な高圧力・低迎角条件においても、旋回キャビテーション等の周方向不安定が発生し易くなる事が示された。よって、打上げ加速度を上げる場合や、最大加速度時にサージ振動が発生する等の不慮の事態に際しては、軸方向下流向きに加速度が掛るよう、ポンプ入口をロケットの進行方向に向けて設置しておいた方が安全であることが、本研究から示唆された。

11. 研究テーマ：静粛超音速機に関する研究

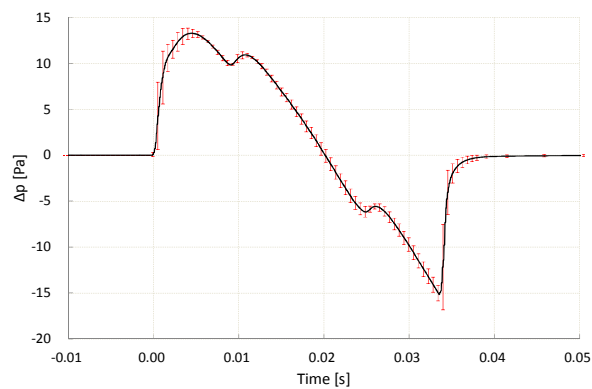
- ・担当者：大林 茂、浅井圭介、中橋和博、Gojani Ardian (GCOE フェロー)
- ・主な活動資金：GCOE 研究費、科学研究費補助金、JAXA 共同研究費
- ・主な成果を表す図



(a) 近傍場圧力波形の計測



(b) 爆発波の可視化 (左: BOS 解析、右: シュリーレン撮影)



(c) 大気湿度の不確定性を考慮したソニックブーム解析

図 14 静粛超音速機に関する研究成果

・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に向けて、静粛超音速機に関する以下の研究課題に取り組んでいる。

1 つ目の課題は、東北大学流体科学研究所の弾道飛行装置を用いた近傍場圧力計測の確立である。本研究では、圧力計測システムの精度を評価するため、測定圧波形を既存の超音速風洞試験結果と比較検証した。既存の風洞試験では、模型をスティングで支持し、静圧プローブをトラバースさせて近傍場圧力を測定した。一方、本実験では、模型を超音速飛行させ、圧力変換器を用いて近傍場圧力波形を計測した。両実験ともに、鈍頭形状の軸対称模型を供試体として用いた。図 14 (a)に、既存の風洞試験結果と本実験結果の近傍場圧力波形を示す。波形は非常によく一致しており、本装置の圧力計測システムは、高精度に圧力波形を計測できることを確認した。

2 つ目の課題は、Background Oriented Schlieren (BOS) 解析による流れ場の定量的可視化である。BOS 解析とは、観測部の背後に置かれたドット画像を無風時と通風時の両方で撮影し、そこからドットの移動量を算出することで流れ場中の密度変化量を求める技術である。図 14 (b)は、アジ化銀 (AgN_3) 10mg を爆破した時に発生する爆発波の様子を、BOS 解析 (x 軸方向移動量) および従来のシュリーレン撮影によって可視化した結果である。両手法で可視化された爆発波の構造に相違点はなく、さらに BOS 解析では爆発波前後に生じる密度変化を捉えられていることから、BOS 解析の有効性を確認することができた。

3 つ目の課題は、大気不確定性を考慮したソニックブーム解析である。一般的に不確定性を考慮する際は、Monte Carlo による多点サンプリングをもとに統計量を算出するが、精度を保障するために計算コストが莫大になるという問題がある。本研究では、ソニックブーム解析に確率的手法の一種である Non-Intrusive Polynomial Chaos を適用した。既存の Monte Carlo を用いた方法に比べ、約 1/3,000 のサンプリング回数で高精度に統計量を推定することができ、低計算コストで大気の不確定性を考慮したソニックブーム解析を行うことに成功した。図 14 (c)に、大気湿度の不確定性がソニックブームに与える影響を示す。図中の黒の実線は各時刻におけるソニックブームの平均圧力を表し、赤色のエラーバーはソニックブーム圧力の標準偏差を表す。これにより、大気湿度が不確定に揺らぐときのソニックブームのばらつきを、定量的に評価することができた。

以上の成果を踏まえて、静粛超音速機の実現に向けた基盤研究を今後も継続していく。

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 茂、中橋和博、鄭 信圭、佐々木大輔
- ・主な活動資金：GCOE 研究費
- ・主な活動

2012 年 2 月にフランス・シャティヨン ONERA にて International Workshop on Simulation, Experiments and Optimisation for the Design of a Future Aviation を開催、イギリスサウサンプトン大学、アメリカスタンフォード大学、ドイツ DLR、イタリア CIRA 等のヨーロッパの航空宇宙関係の研究所、エアバス、ダッソー・アビエシオン等のメーカ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、「純粋基礎理論」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践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。

特に 2011 年は、3 月 11 日の東日本大震災の勃発と、これにより惹起された東京電力福島第一原子力発電所の事故が、東北地方、日本そして世界の人々の生活に直接的に大きなダメージを与え、また、精神的にも大きな負荷と将来への不安感を与えた 1 年であった。こうした最中であって私たちは、「科学技術の発展とその適切な活用が人類社会の持続的発展と文明の進化に必要・不可欠である」との感を更に強くした。今後とも優れて実践的学問である「流動ダイナミクス」を用いて、私達人類が直面する様々な問題解決に対して確実に答えを出して貢献して行きたいと願う。

本 GCOE では 2009 年度から、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・プロセスの開発・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)「Volumetric and Angiogenic Evaluation and Antitumor Effects with Acoustic Liposome and High-Frequency Ultrasound」、2)「超高速化量子分子動力学法による癌制御遺伝子 p53 と DNA の相互作用解析」、3)「生体内の熱分布と力学的性質を模擬する生体軟組織モデルの開発」、及び 4)「レーザー治療における生体組織内の能動伝熱制御」の研究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、流動誘起減肉のメカニズム解明と評価を中心に研究を行い、1)「酸化被膜構造に着目した軽水炉炭素鋼配管の流れ加速型腐食のモデル化」、2)「可視化によるメカニズムの検討ー複雑配管内での旋回流の発生メカニズムの解明」、3) 配管減肉の検査の高度化に関する研究、特に、3-1)「マイクロ波を用いた配管内壁面一括探傷技術」、3-2)「励磁制御渦電流試験法による補強板下の減肉評価」、及び 4)「原子力発電所における LDI エロージョン予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、国内外の大学・企業・官庁等の研究者等と連携活動を行い、1) 第8回流動ダイナミクス国際会議(2011年11月 於仙台)での Organized Session 8: Flow-induced Degradations in Piping Systems of Nuclear Power Plants や2) 全体で3回の次世代高温センサ研究会 等を開催した。

「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、ICFD2011では、1) OS4: Research Frontiers in Green Aviation と 2) OS4: Research Frontiers in Green Hybrid Rocket Propulsion 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)「動的風洞の計測融合シミュレーション」の研究を行っている。

「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)「微細固体窒素粒子スプレー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装置の開発」、4)「燃料電池内部の物質輸送現象に関する研究」、5)「多結晶ダイヤモンド膜における鋼板基板への密着性向上と摩擦特性評価」、及び 6)「マイクロ・ナノスケールで発現する気体潤滑に関する研究」を行い成果を上げた。

「エネルギー・環境」プロジェクトでは今年度、1)「高温作動型燃料電池の研究開発」、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)「高効率燃焼を目指したバイオディーゼル燃料の電場による粘度低下制御」、4)「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研究」、5)「LNG ポンプ等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」、6)「低開口部を持つ部分開空間での漏洩水素のリスク回避強制換気制御」、7)「超高速回転ベルカップ噴霧塗装の効率化」、及び 8)「マイクロ放電による気泡ジェットの高機能化と水質浄化」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。癌遺伝子の発現と抑制、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、評価法に焦点をおき、研究を遂行してきた。本年度の成果を以下に示す。

(1) Volumetric and Angiogenic Evaluation of Antitumor Effects with Acoustic Liposome and High-Frequency Ultrasound

Acoustic liposomes (AL) have their inherent echogenicity and can add functionality in serving as drug carriers with tissue specificity. Nonuniform vascular structures and vascular branches/bends are evaluated by imaging the intravascular movement locus of ALs with high-frequency ultrasound (HF-US) imaging. However, the evaluation of antitumor effects on angiogenesis by ALs and HF-US imaging has not been reported. Here, we show that the combination of ALs and an HF-US imaging system is capable of noninvasively evaluating antitumor volumetric and angiogenic effects in preclinical mouse models of various cancers. In this study, the antitumor effects of cisplatin on tumor growth and angiogenesis in mice bearing two different types of tumor cells were assessed. By tracking each AL flowing in the vessel and transferring the images to personal computers, microvessel structures were mapped and reconstructed using the color difference based on SD (CDS) method. The antitumor effects were confirmed with an in vivo bioluminescence imaging system and immunohistochemical analysis. Our results show that cisplatin (CDDP) inhibits tumor growth by decreasing intratumoral vessel area but does not affect the angiogenesis ratio in the tumor. The vascular occupancy in the outer region of the tumor was larger than that in the inner region; however, both occupancies were similar to those of the control tumor. We propose that this method of mapping microvessels with ALs and an HF-US system can serve as a new molecular imaging method for the assessment of angiogenesis and can be applied to evaluate the antitumor effects by various therapeutic agents.

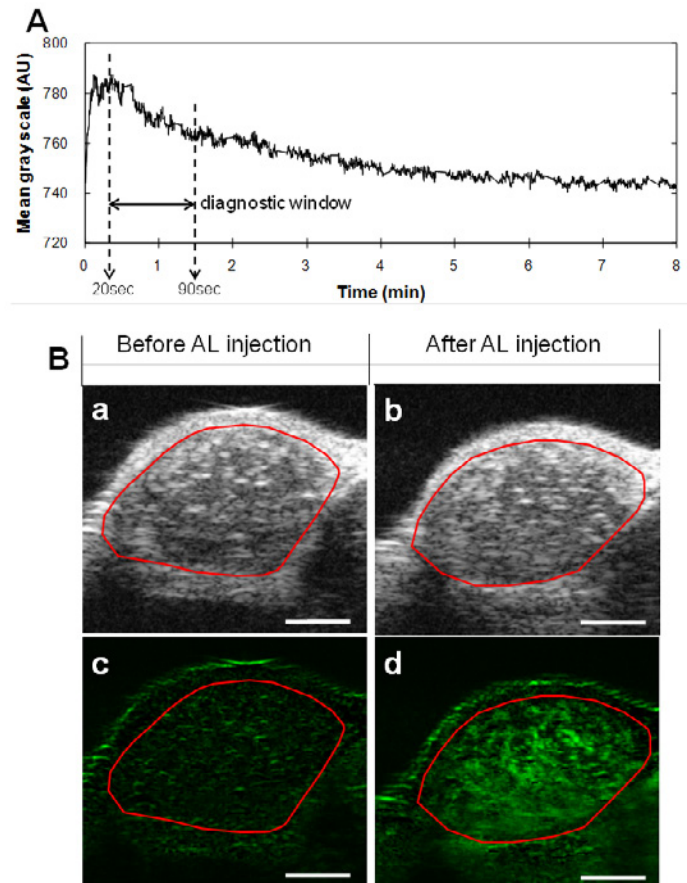


Fig.1 Construction of intratumoral vessels with the combination of ALs, the HF-US imaging system, and the CDS method. A, representative time-dependent changes in grayscale intensity in tumors of Colon26 without CDDP treatment. After the injection of ALs, significantly higher grayscale intensity was observed and maintained for approximately 6 minutes. An optimal diagnostic window for detection of ALs was established between 20 and 90 sec postinjection. B, representative 2D images of the Colon26-Luc tumor on day 8 without CDDP treatment (control). (a) and (b) are B-mode images of tumor before and after AL injection, respectively. (c) and (d) are the extracted 2D vascular structures in tumor before and after AL injection, respectively. The image was constructed from the B-mode image using the CDS method.

(2) 超高速化量子分子動力学法による癌抑制遺伝子 p53 と DNA の相互作用解析

癌抑制遺伝子の一つである p53 について、点変異と DNA のドッキング状態を超高速化量子分子動力学法により解析した。野生種 p53 は R248 および R280 との相互作用によりドッキングして癌抑制作用が発現するが、発癌性とされる点変異 R249S が生じると相互作用が見られず、従って癌抑制作用が失われることが明確に示された。さらに、R249S に加えて H168R の点変異も存在する変異種では、再び R248 および R280 との相互作用が生じるようになり、DNA とのドッキングにより癌抑制作用が復活することを見出した。これらは、水素結合を量子論的に解析可能な大規模量子分子動力学法を用いることにより、初めて明らかになった。

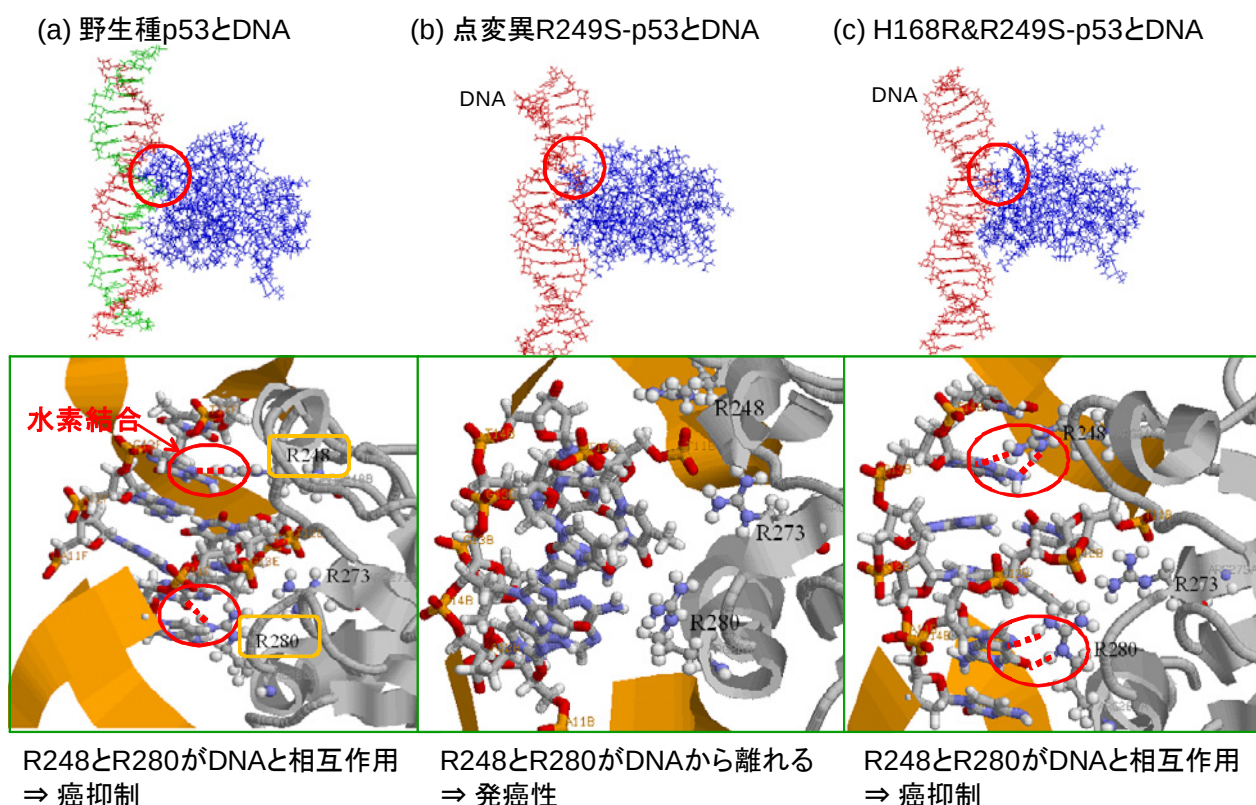


図2 量子分子動力学法による p53 の野生種および変異種と DNA との相互作用解析

(3) 生体内の熱分布と力学的性質を模擬する生体軟組織モデルの開発

生体軟組織の熱分布と力学的性質を模擬すれば、医療機器が生体軟組織に接しながら伝熱する医療手法を模擬することができる。医療手法を模擬するモデルは、術技の修得だけではなく術技の開発につながるとして注目されている。当研究室では生体軟組織の挙動や構造を再現する Poly (vinyl alcohol) hydrogel(PVA-H) バイオモデルの研究開発を行ってきた。このハイドロゲルは高い透明性を有し、生体軟組織と近似した密度、含水率および力学的特性を有する。このような特性を利用して PVA-H バイオモデルは、磁性ナノパーティクルの熱分布測定や動脈内におけるカテーテルの trackability 解析などに利用されている。また、PVA の分子構成(濃度、重合度、鹼化度等)の調整や、ハイドロゲル内への塩化物の添加といった操作により、PVA-H の力学的特性、音響特性および電気的特性を調節することが可能であると考えられる。

このような特性に注目し、著者らは PVA-H を用いた熱分布 in vitro 評価システムの構築に着手した。評価システム構築の為に、バイオモデルの電気的インピーダンス特性と高周波電流通電時のモデル内の温度分布を観測、評価することが必要である。本研究では、まず塩濃度を調整した PVA-H バイオモデルのインピーダンス特性の測定を行い、その結果に基づき評価システムを構築した。システム全体のインピーダンスを測定し、床において用いられる生体の電気的インピーダンス(100Ω 前後)を参考に評価した。

PVA-H 及び生体組織のインピーダンス測定

生体組織(pig heart)は約 4 mm、PVA-H は厚さ 3 mm、直径 50mm に加工した。その後、サンプルを誘電体測定用電極で挟み込み 40 Hz-1 MHz の高周波電流を負荷させ、それぞれのインピーダンスを Agilent 16451B,(Agilent Technologies)を用いて測定した。

評価システムのインピーダンス測定

バイオモデルを含めたシステムのインピーダンスは、定常出力 1 W の高周波電流をカテーテルに負荷し、電極間の抵抗を計測することで得た。

結果

PVA-H に塩を添加することで、インピーダンスを低下させることができ、その値はブタの心筋のインピーダンスとほぼ同等のものとなった。評価システムのインピーダンスも調べ、その値も一般の患者で測定されるインピーダンスと同等のものとなった。

さらに、高周波電源を用いて加熱した場合、温度分布が生体内と同様の分布を示すことが示唆された。以上のことから、本システムの有効性が示され、今後、模擬診療を行い、温度分布を調べていく。

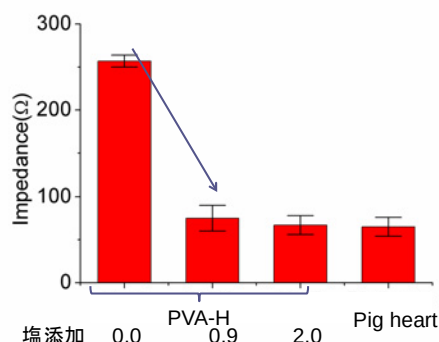


図 3 インピーダンス測定結果

(4) レーザー治療における生体組織内の能動伝熱制御

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評価した。生体組織表面を強制対流にて効果的に冷却することで、生体組織内部に最大値をもつ温度分布を形成することができると予測し、二次元軸対称モデルでの数値計算および実験を実施することで評価を行った。数値計算ではモデルを厚さ 25 mm の均一組織とし、径方向には 20mm の計算領域を設けた。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熱伝達率 $h = 200\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ の境界条件とし、生体組織深部は温度一定 (37°C) とした。レーザービーム半径 1mm、出力を 0.5W としたときの各時刻における温度分布を数値計算領域とともに図 4 に示す。生体組織内部で最高温度およそ 65°C となっており、組織内部に癌治療に有効な最高温度を有する温度分布を形成できることが分かる。また周辺組織は冷却装置により冷却されていることが確認できる。これらの結果から、皮下に存在する腫瘍の治療などへ応用できる可能性があると考えられる。

一方実験においては図 5(a)に示す光学系を用いて、生体組織表面を数値計算と同じ強制熱伝達冷却条件にし、組織内部の温度分布を計測した。結果を図 5(b)に示す。組織深部になるほど温度が上昇し、表面冷却を施すことで内部に最高温度点を形成できる可能性を定性的に見出した。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。

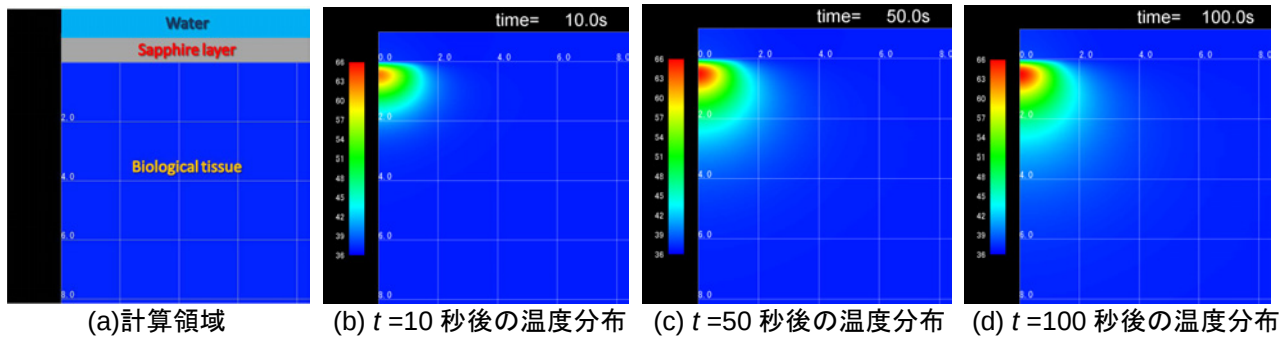
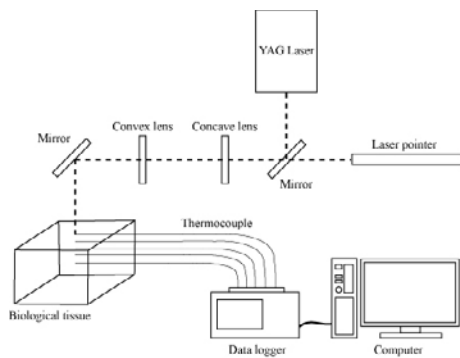
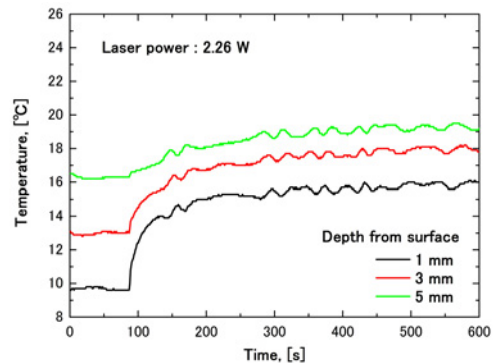


図4 表面強制対流冷却 ($h=200\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$) における生体組織内温度分布



(a) 温度場測定光学系概略図



(b) 温度測定結果

図5 YAG レーザを用いた治療時における表面強制対流冷却装置概略図

参考文献

Kodama T, Tomita N, Yagishita Y, Horie S, Funamoto K, Hayase T, Sakamoto M, Mori S. Volumetric and angiogenic evaluation of antitumor effects with acoustic liposome and high-frequency ultrasound. *Cancer Research*. 2011; 71(22): 6957-6964.

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*, Vol. 21 (2012), pp. 239-244.

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

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) 酸化皮膜構造に着目した軽水炉炭素鋼配管の流れ加速型腐食のモデル化

・主担当：渡辺 豊

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事象である。実験による FAC 減肉速度の評価ならびに酸化皮膜解析に基づき、減肉モデルを検討した。酸化皮膜の特性（膜厚ならびに空隙率）が FAC 速度と密接な関係を持つこと、酸化皮膜内の Cr 濃縮による皮膜溶解度の低下が FAC を抑制し、母材／酸化皮膜界面での水素発生によるマグネタイト溶解度の増大が FAC を加速する事が示唆された（図 1）。

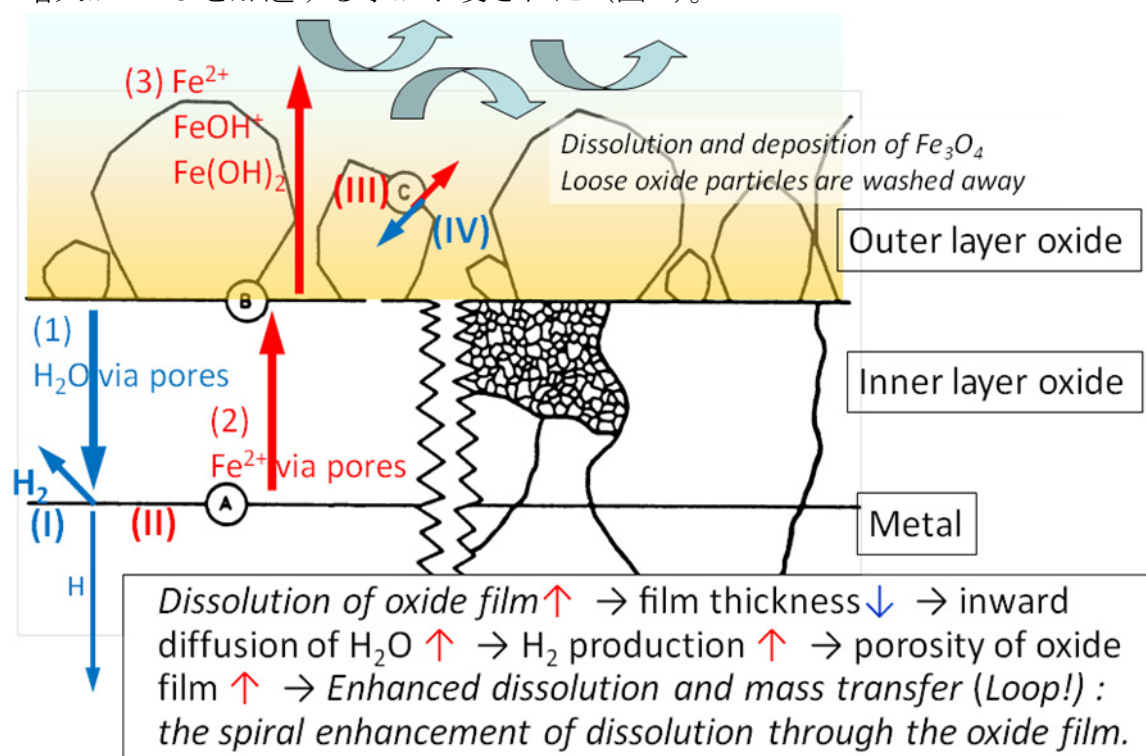


図 1 流れ加速型腐食のモデル化

2) 可視化によるメカニズムの検討-複雑配管内での旋回流の発生メカニズムの解明-

主担当：橋爪秀利、江原真司

FAC 減肉速度に及ぼす流動因子の影響は、管壁表面での物質流束（物質伝達係数と表面・バルク濃度差の積）の促進と考えられ、局所的な（ミクロな）流況における物質伝達係数の評価が FAC 予測には必須である。一方、マクロな旋回流が実機配管での減肉に大きく影響しているという報告もあり、減肉管理の立場からは大局的な流況の評価も重要となってくる。実プラントにおいては複雑な流路となっている配管内での旋回流の発生は特に珍しいものではないが、旋回流がどのように流路中で発生するのか、発生した旋回流がどのように配管内を流れていくのかについて、その詳細は明らかとはなっていない。そこで本研究では実機の複雑配管レイアウトのモデルとして二段連結エルボ体系を採用し、旋回流の発生とその減衰特性を明らかにすべく、時間平均速度、壁面速度剪断や乱流統計量など流れ場の詳細計測を行った。屈折率調合 PIV 法を用いることで、壁面近傍の速度場を高精度に計測することを可能としている。

エルボ中心軸を含む平面を 90° に交わるように接続した三次元レイアウトでは、エルボ間距離を変化させ、流入条件を $Re=300,000$ の発達乱流として実験を行った。エルボ間距離が小さい場合に 2nd エルボ下流で旋回流が発生し、エルボ間距離が直径の 2 倍程度と大きくなると旋回流は発生しないことが分かった。エルボ間距離が短い場合、図 2 に示すように第一エルボ腹側に形成される高速流れが第二エルボを通過する際に管壁に沿って周回運動をするような形となり、旋回流が発生する。エルボ間距離が長い場合はこの高速流がエルボ間のストレート部管壁にぶつかり二手に分かれて逆向きの周回運動をするため一方向の旋回流とはなりづらい。さらに、図 3 に示すように 2nd エルボ下流での二次流れ強度は旋回流が発生した場合（0D-dual elbow）は減衰しづらいことが分かり、旋回成分は長距離に渡って配管内を流れていくと考えられる。

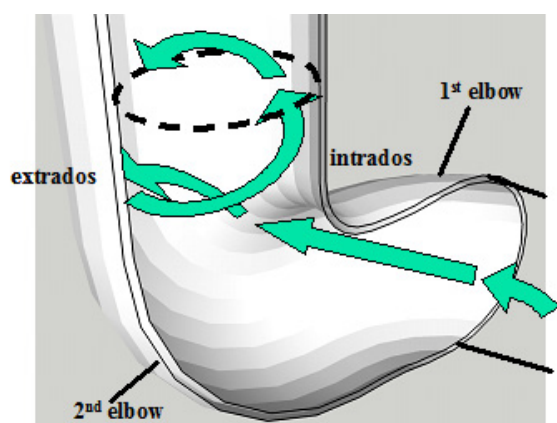


図2 第二エルボ下流で旋回流が発生する際の流れの様子

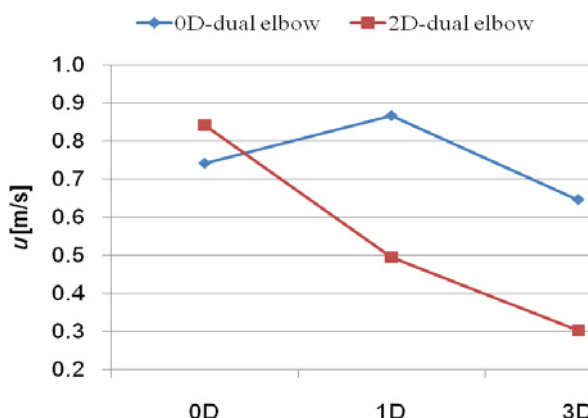


図3 配管断面内二次流れ強度の2ndエルボ下流における推移

3) 配管減肉の検査の高度化に関する研究

流れ加速型腐食及び液滴衝突エロージョンに起因する配管減肉の発生は、原子力プラントの保全活動において重要課題の一つと認識されている。それらのメカニズム解明及び耐減肉特性の高い材料の開発研究の重要性は言うまでもないが、実務的観点からは、減肉を早期に

検出し、定量的に評価を行うための非破壊検査技術の開発もまた、強く望まれている研究課題である。現在の配管減肉管理は超音波厚さ計を利用した肉厚測定に基づいているが、検査箇所が膨大な数にのぼり多大な検査時間と労力を要することが課題としてあげられる。従って、広域監視による減肉箇所の検出と定点監視による減肉のサイジング技術が求められている。以上を鑑み、広域監視技術と検査が困難である箇所の減肉測定技術について研究を行っている。

(3-1) マイクロ波を用いた配管内壁面一括探傷技術

主担当：橋爪秀利、遊佐訓孝

マイクロ波を用いた配管内壁面一括探傷技術は、配管内にマイクロ波を伝播させ、その透過及び反射の様子から管内壁面のきずの検出と評価を行うというものである。従来研究においては細管を対象として各種研究開発が行われていたが、本年度研究においては、当該技術の実機適用を想定し、一般配管への適用のための各種検討を実施した。図4はマイクロ波の入射効率最適化のため、マイクロ波プローブ非検査配管接続部におけるマイクロ波エネルギー反射の接続部形状依存性を、有限要素法を用いて評価を行った結果である。接続部形状により、反射特性の周波数依存性が有意に変化していることが確認できる。現在これらの知見を踏まえ、配管口径に応じた最適プローブの設計及びきず測定試験による検証を実施中である。

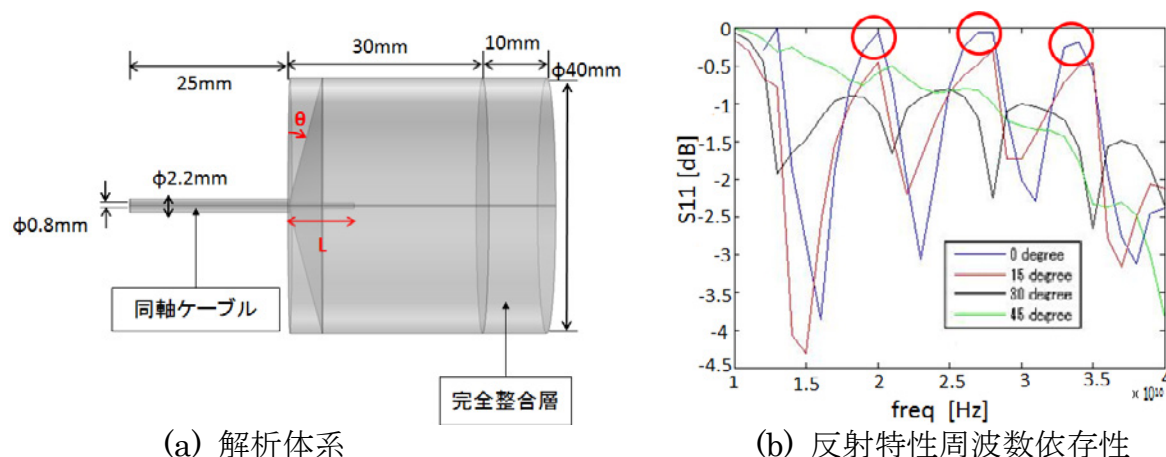


図4 マイクロ波探傷法におけるマイクロ波エネルギー反射特性評価解析結果

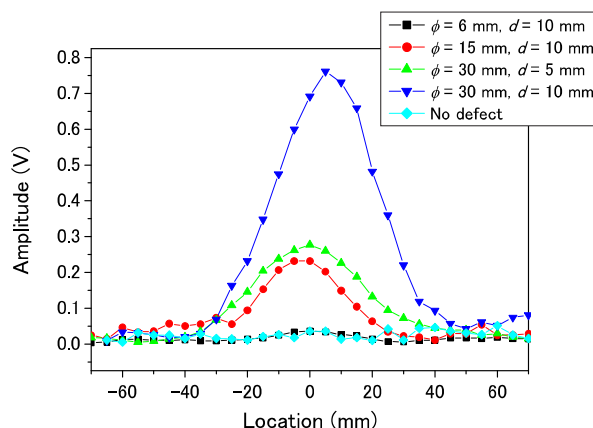
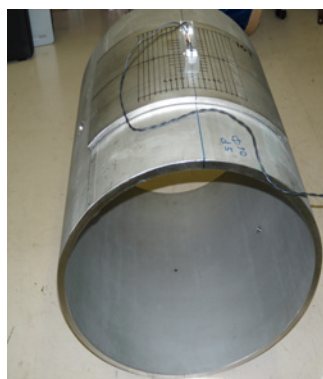
(3-2) 励磁制御渦電流試験法による補強板下の減肉評価

主担当：高木敏行、内一哲哉

現在、補強板付T字配管の補強板下の減肉に対して有効な検査方法が確立していないことが課題となっている。これは、補強板の上からの超音波探傷法では、補強板と母管との間のギャップにより超音波が母管まで伝播しないためである。一方、パルス渦電流探傷法やリモートフィールド渦電流探傷法では、励磁方式を工夫することにより試験体の深さ方向と面内方向についてより広い範囲の情報が得られる。以上を鑑み本研究では、プローブ構造と励磁方式を工夫した先進的渦電流探傷法に基づいて、補強板下の減肉の評価の可能性について検討した。

検出コイルと励磁コイルから構成される上置コイルのコイル間距離と試験周波数を調整し、励磁コイルによる直接磁場の影響を下げ、渦電流が作る間接磁場の信号を取得するプローブ構造を検討した。プローブを構成するコイルのサイズは、ともに外径10mm、内径5mm、

高さ 5 mm である。オーステナイト系ステンレス鋼の補強板下の減肉評価の可能性について検討した結果を示す。長さ 500 mm の 500ASUS316TPY 鋼管に長さ 250 mm、幅 700 mm、厚さ 10mm の模擬補強板を重ねた図 5 (a)に示す模擬補強板付き配管を試験体として用いた。図 5(b)に様々な深さ、径の円柱状模擬減肉に対する渦電流信号の振幅を示す。コイル間隔 80mm、試験周波数 1kHz に調整することにより、図 5(b)に示す減肉の指示を得ることができた。



(a) 模擬補強板付き配管試験体 (b) 様々な深さ、大きさの減肉に対する渦電流信号
図 5 励磁制御渦電流試験法による補強板下の減肉評価

4) 原子力発電所における LDI エロージョン予測システムの開発に関する研究 主担当：石本 淳

原子力発電所において最も多くトラブルが頻発し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。

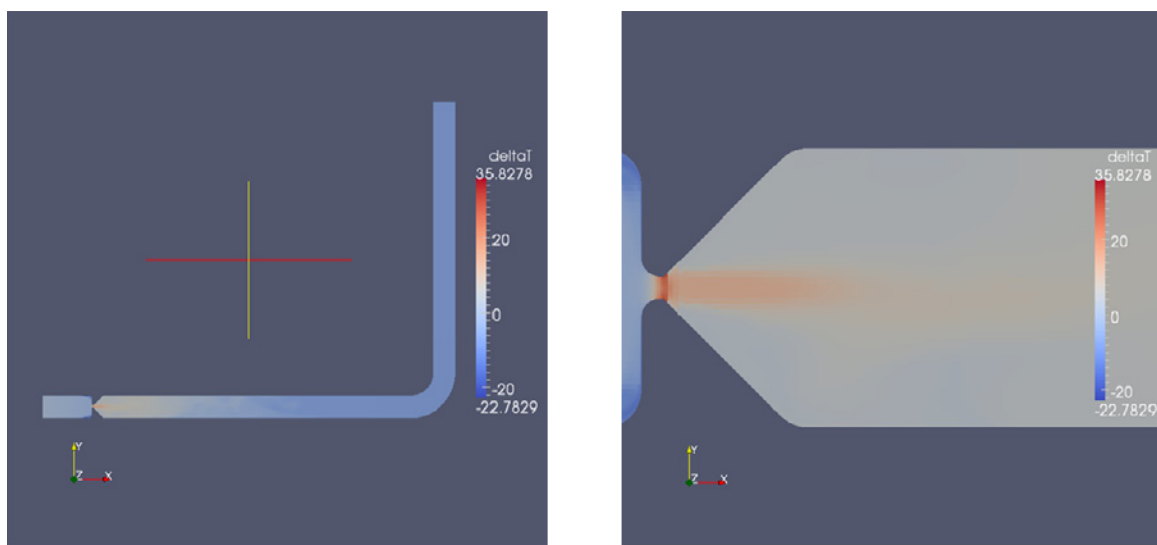


図 6 原子力エルボ配管内蒸気サブクール度の分布

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、液滴衝撃(LDI)エロージョンの発生箇所・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、オリフィス下流部直下において蒸気流の断熱膨張が促進され、蒸気サブクール度が局所的に増大し、凝縮液滴が生成されることを明らかにするとともにその発生部位の特定に成功した。

2. 国内外連携活動

1) Eighth International Conference on Flow Dynamics

OS8: Flow-induced Degradations in Piping Systems of Nuclear Power Plants

主担当： 高木敏行、渡辺 豊

2011年11月9日-11日に「第8回流動ダイナミクスに関する国際会議」がホテルメトロポリタン仙台において開催され、その中で本プロジェクトのメンバーによるOS「原子力発電所における配管の流動誘起損傷」が企画された。配管の流動誘起損傷のメカニズム解明と評価の両面について産業界、学界からの14件の講演をとおして、原子力発電設備の流動誘起損傷の高度な管理に向けた活発な議論がなされた。

減肉メカニズムに関する講演が計6件(FAC:4件、LDI:2件)あった。FACを対象とした講演では、FACに本質的に関与する流体力学因子である、物質移動係数に着目した研究成果の紹介がなされた(J.M. Pietralik)。予測された物質移動係数と実機の減肉プロファイルの比較が示され、両者はよく一致していた。次に、オリフィスやエルボ下流に代表される乱流場での物質移動を評価するために、実効摩擦係数を用いて、さらに壁面近傍の乱流速度を考慮した評価手法が提案された(F. Inada ら)。そして、オリフィス下流における非対称減肉に着目した研究が紹介された(N. Fujisawa ら)。旋回流とオリフィス偏心の組み合わせによって、非対称流を引き起こす可能性が示された。最後に、減肉速度に及ぼす鋼中Cr含有量とpHの組み合わせ効果について報告がなされた(H. Abe ら)。酸化皮膜内のCr濃縮がFACを抑制し、母材/皮膜界面でのローカルな水素分圧の上昇がFAC加速に寄与する可能性が報告された。LDIを対象とした講演では、高速液滴衝突の数値解析結果に基づき、LDI減肉速度の予測式が提案された(T. Ikohagi)。材料表面に液膜が存在する場合、液滴衝突時の最大圧力が液膜厚さに対して指数関数的に減衰することなどが示された。また、2相流下におけるLDI発生箇所予測に関する研究が紹介された(J. Ishimoto ら)。実機運転条件・配管レイアウト等を考慮した数値解析により、実機配管でのLDI発生箇所が予測可能であることが示された。

減肉や応力腐食割れをはじめとする原子力発電設備における流動誘起損傷の非破壊検査やモニタリングに関して、音響的な試験法から電磁的な試験法に至るまで幅広い技術について講演がなされた。減肉検査で現在課題となっている補強板付き T 字管の検査について、電磁非破壊評価法による減肉評価の可能性が報告された（G. Vértesy, S. Xie ら）。また、電磁超音波試験法により、高精度かつ安定な減肉のモニタリングが可能であることが報告され（F. Kojima, R. Urayama）、今後減肉のメカニズムと検査の融合による科学的知見に立脚した高度な減肉管理の確立が期待される。



図 7 J. Pietralik 博士(Atomic Energy of Canada Ltd.), S. Udpa 教授(Michigan State University, USA)による招待講演の様子

2) 次世代高温センサ研究会

主担当： 高木敏行、内一哲哉

大型の各種エネルギープラント、鉄鋼プラント等では、 500°C を超える高音域で連続運転され、安全、安心に直結する重要機器が多数存在する。また、温度管理が製品の質に直結する場合もある。これらの高温センサに対しては、これまであまり研究開発対象として注目されてこなかったが、温度計測による製品や設備の管理合理化による産業上のインパクトは非常に大きいものであると考えられる。

東北大学流体科学研究所、日本保全学会 東北・北海道支部、株式会社インテリジェント・コスモス研究機構、経済産業省 東北経済産業局、本融合フロンティアプロジェクトにより高温センサ研究会が運営され、平成 23 年度には、現在までのところ 2 回の研究会が開催された（全 3 回の予定）。

本研究会では、高温計測を必要としている関係者と高温センサのシーズを有する関係者が集い、様々な産業において求められている 500°C 以上の高温環境に耐えるセンサの可能性と今後の開発の動向について議論を行なう。第 1 回および第 2 回の研究会では、産学官から広く話題提供頂くとともに、高温センサに求められる機能や性能、シーズ研究、実現した場合の産業上のインパクトについて議論を行った。最終的には将来の大型プロジェクト提案に向けた提言を行うことを目指している。



図 8 第 2 回次世代高温センサ研究会の様子

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 8 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) OS4 「Research Frontiers in Green Aviation」

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、持続可能な航空輸送を実現するための新しい航空機の形と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必至である。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。

本セッションの前に、全体プログラムの基調講演として MIT の Drela 教授による NASA N+3 を含む新しい環境適合型航空機への概念設計のアプローチについて講演があった。Drela 教授は世界記録を持つ人力飛行機の設計者でもあり、国際会議後に東北大学ウインドノーツをはじめ、他大学からも人力飛行機チームが集まり、熱く楽しい交換会を行った。

本 OS では、海外からの招待講演者が米国 1 名、ドイツ 1 名、国内の招待講演者が 2 名であり、これに国内からの一般講演 4 件の発表があった。米国からは OS のタイトルともなっている Green Aviation について講演があり、ドイツからは気候へのインパクトが懸念される後方乱気流の生成過程に関する研究成果が報告された。国内からは、JAXA での環境適合型航空機に関する議論や、グローバル COE プログラムでも進められてきた超音速航空機に関する国内の最新の成果が報告され、海外の招待講演者らと、活発な討論を行った。

2) OS5 「Research Frontiers in Green Hybrid Rocket Propulsion」

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 7 回 ICFD に引き続いての開催である。昨年度の 5 名の招待者招聘に引き続き今年度は海外から 3 名の招待者を招聘した。米国から参加した Dr. Karabeyoglu は、時間遅れを考慮したハイブリッドロケット液体酸素供給系モデルに生じる不安定性を議論した。イタリアミラノ工科大学から参加した Dr. Guardone は、超臨界あるいは臨界に近い状態の亜酸化窒素流れに対するノズル設計法と理想気体を仮定して設計したノズルとの形状の違いを報告した。イタリアナポリ大学の Dr. Carmicino は、ヨーロッパにおけるハイブリッドロケット推進に関する研究活動を紹介した。さらに、一般参加した台湾のハイブリッドロケット開発グループからボールバルブを過ぎる亜酸化窒素流の数値解析や、燃料と酸化剤ガスの混合を促進するデバイスに関する興味深い数値解析結果が報告された。

国内からの研究発表はいずれも嶋田教授がリーダーを務めるハイブリッドロケット研究WGの参加グループによるもので合計13件の発表があり、そのうち7件は学生による発表である。発表内容は、固体燃料材質、燃料形状、酸化剤注入法の改善による燃焼効率の向上、燃焼室内流れ場の数値解析手法の開発など多岐に渡り、WGによる技術立証ハイブリッドロケット開発に向けた研究開発が一段と進展している様子が示された。また海外からの参加者との活発な討論が繰り広げられ、我が国のハイブリッドロケット研究のプレゼンスを高める有意義な機会を提供するものとなった。

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：中橋和博
- 主な活動資金：GCOE 研究費・科研費
- 主な成果を表す図：

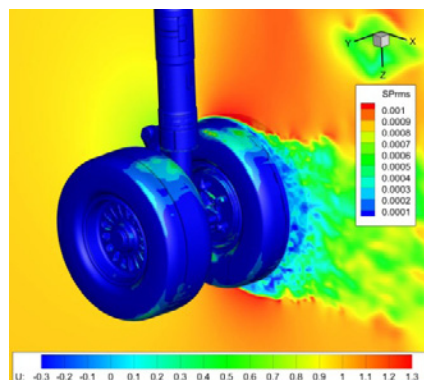


図1 航空機脚騒音のシミュレーション

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、当研究グループでは航空機脚から発生する空力音の抑制を目指している。今年度は図1のように脚周りの流れの高解像解析を行い、騒音発生源の解明を行った。

4) 研究テーマ：動的風洞の計測融合シミュレーション

- 担当者：大林茂、浅井圭介
- 主な活動資金：GCOE 研究費、科研費
- 主な成果を表す図：

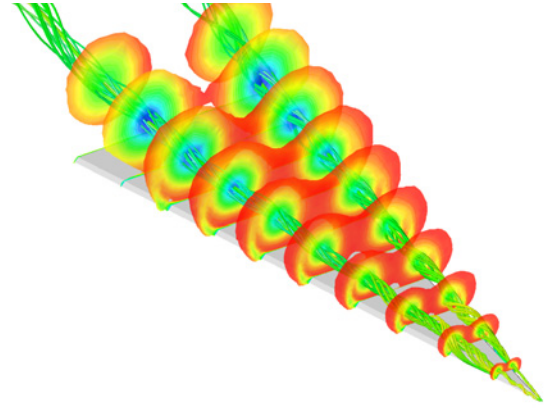
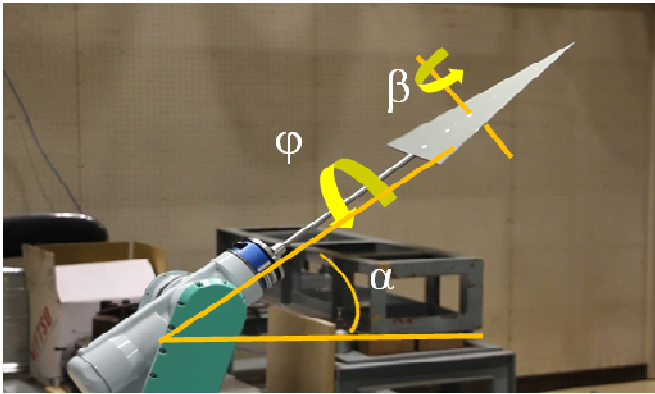


図2 デルタ翼の動的風洞試験 図3 左図に対応するシミュレーション

定常状態の CFD 解析はすでに航空機設計にも取り入れられているが、今後さらに環境適合性を高めていくためには、非定常状態でも最適な性能となるように解析技術を高めていく必要がある。本研究では、図2に示すような非定常運動の実験を実現する動的風洞試験技術の開発と、それ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を適用し、高精度の非定常シミュレーション法を開発することを目指している。今後は図3のシミュレーションに実験値を同化し、より高精度な非定常シミュレーションを行う予定である。

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、三木 寛之

(1) オンウェハ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ェハモニタリングシステムの研究を行っている。オンウェハ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ーを開発した。センサー測定値を元に任意形状におけるシース電位分布を計算することにより、イオン軌道の予測に成功した。この成果を元に、昨年度までに確立した紫外線センサー・電荷蓄積センサーの測定および計算（シミュレーション）をユーザーが簡単に実行できるシステムを開発した。さらに、電源・測定回路・メモリ・赤外通信部などを小型化しウェハ上に載せることでワイヤレス化を行い、ワイヤレス・オンウェハモニタリングシステムの導入を行った。今後、このシステムをさらに発展させ、プラズマプロセスにおけるダメージ・形状予測システムを開発する。

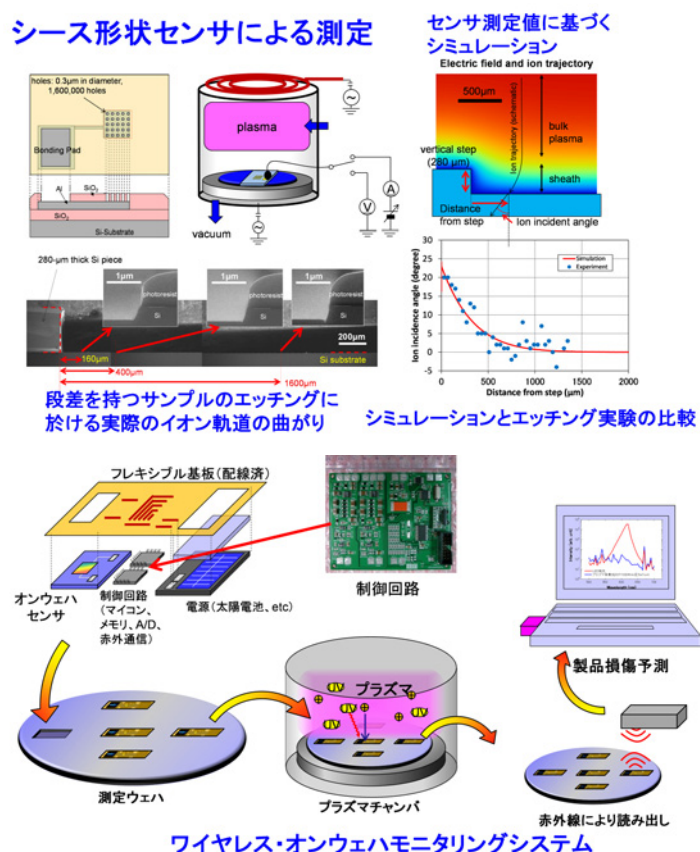
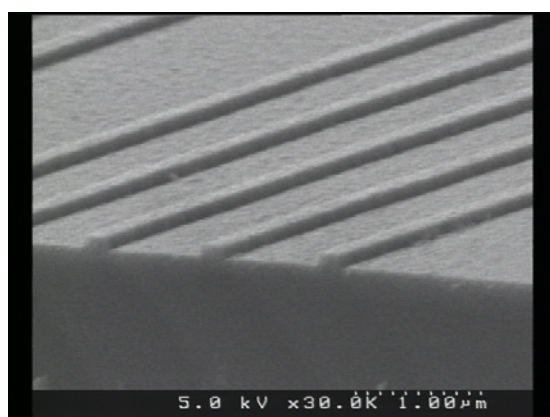


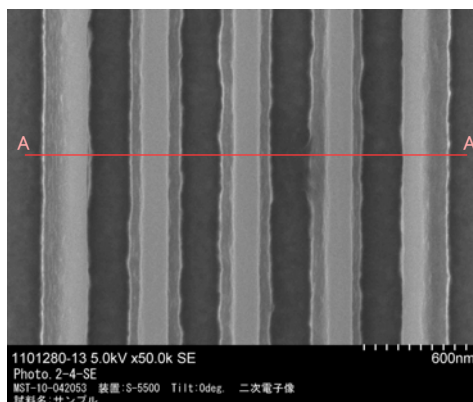
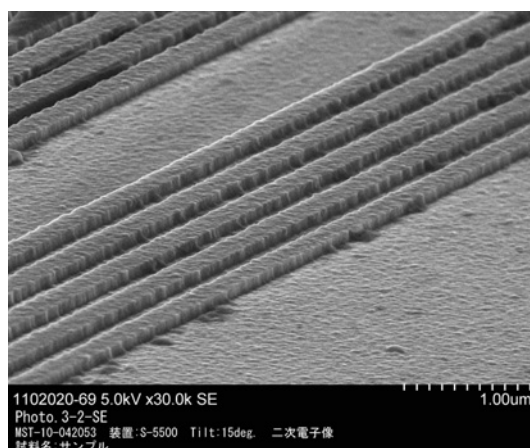
図 シース形状センサおよびワイヤレス・オンウェハモニタリングシステム

(2) 微細固体窒素粒子スプレー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レ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、フォトレジストの 90%程度をはく離することに成功した。



(a) 洗浄後のウエハパターン



(b) レジストの残留度評価

マイクロ固体窒素粒子スプレー利用型アッシングレス半導体スーパー洗浄の例

(3) 大気圧プラズマ流を利用した滅菌装置の開発 (佐藤)

現在、医療現場等で用いられている主な滅菌方法としては、高圧蒸気滅菌法、EO ガス滅菌法、過酸化水素プラズマ滅菌法、照射滅菌法などがある。高圧蒸気滅菌法は、低コストで

はあるが作動気体が 121℃と高温になるため対象が制限され、プラスチックのような低耐熱性樹脂材料には使用できない。EO ガス滅菌法は、低温・低コストであるが処理に長時間かかるほか、ガスそのものの発がん性等の危険性が指摘されている。過酸化水素プラズマ滅菌法は、装置や維持費のコストが高く、高濃度過酸化水素の残留が懸念されている。そこで、著者らは、より安全簡便な、水蒸気放電ならびに大気放電の殺菌効果を利用したオートクレーブ装置の開発を目指している。

図 1 に実験装置の概略を示す。実験装置は上面と下面がステンレス製の円盤と、高さ 12 cm、直径 7 cm の円柱上の石英管で容器を成している。滅菌判定は生物学的インジゲータ *Geobacillus stearothermophilus* (3M, Attest1291) 及び、*Bacillus atrophaeus* (3M, Attest1294)を用いた。図 2 に滅菌結果を示す。表中の放電時間は、電圧を印加し放電している時間、滅菌時間は放電開始から試料を取り出すまでの時間である。表の(+)は菌の生存、(-)は菌の死滅を表す。放電時間 5 分では滅菌時間を 1 時間としても滅菌効果は見られなかったが、放電時間 10 分の場合は、滅菌時間 40 分以上で滅菌が完了した。また放電時間 15 分の時は滅菌時間 30 分でも滅菌が完了した。空気中の放電における温度上昇は最大で 27.6℃ (30.1℃→57.7℃)であった。また、N₂ の強いピークと、NO、O(Ⅰ)のピークが観察された。容器内で生成した窒素酸化物のガス成分を調べると、放電開始から 2 分後には NO+NO₂が 2500 ppm 以上生成されていることが測定された。また、容器内に水を 40 ml 入れ、非加熱・大気中で放電した場合の残留水を調べたところ、H₂O₂は測定されなかったが硝酸・亜硝酸が検出された。これらのことから大気中の放電では大量に生成した NO₂が重要な滅菌因子となっていることが示された。

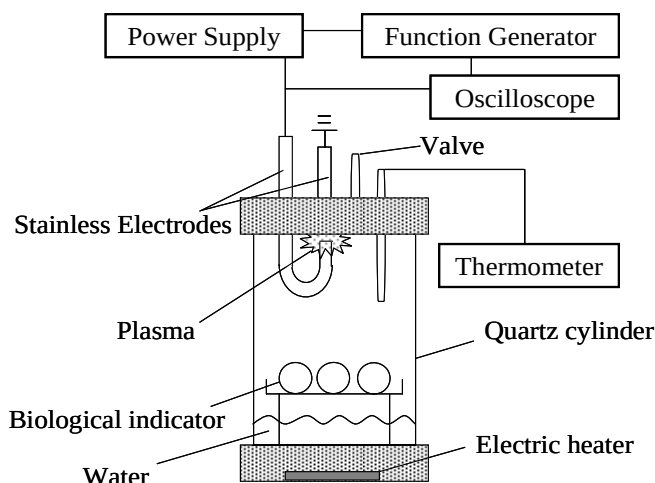


図 1 実験装置

	Bacteria Type	Geobacillus stearothermophilus			Bacillus atrophaeus	
	Discharge Time [min]	5	10	15	10	15
Sterilization Time [min]	20		+++	+++		+++
	30		+- -	- - -	+++	- - -
	40		- - -	- - -	- - -	- - -
	50	+++	- - -			
	60		- - -			
	70	+++				

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、高分子電解質膜のプロトン及び水の拡散性能を分子動力学法によりシミュレートした結果を示す。計算系は図 1 に示すように等方 3 次元の立方体とし、その中のプロトン及び水の平均自乗変位から拡散係数を算出した。計算は含水率 λ を 3,5,7,9,11 と変化させて行った。オキソニウムイオン(プロトンが水と結合した分子)及び水分子の平均二乗変位を図 2 に、オキソニウムイオン及び水の拡散係数を表 1 に示す。オキソニウムイオンの伝導形態としては Vehicle 機構のみを考慮している。これらの図より、含水率が増加すると高分子電解質膜の水およびオキソニウムイオンの輸送能力は含水率が増加するとともに増加すること、Vehicle 機構のみを考慮した場合、オキソニウムイオンよりも水のほうが拡散しやすいことが確認された。

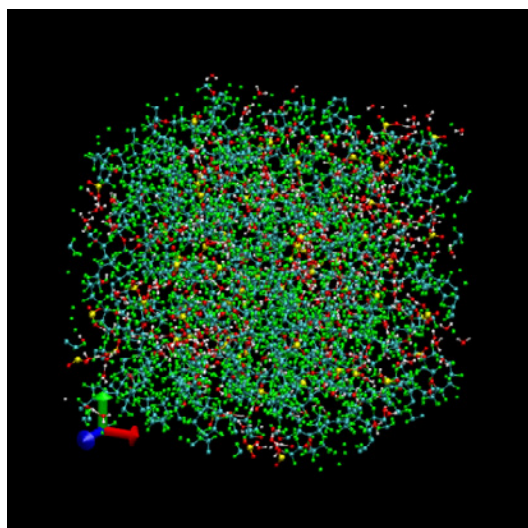


図 1: シミュレーションの様子

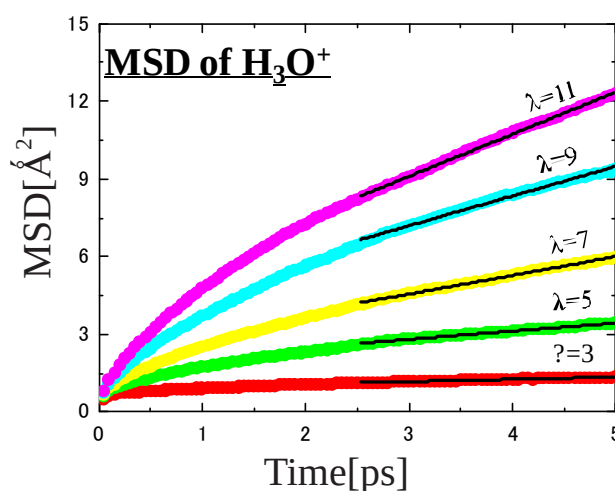


図 2: オキソニウムイオンの平均二乗変位

	3	5	7	9	11
H3O+	1.520E-11	5.290E-11	1.206E-10	1.905E-10	2.711E-10
H2O	1.253E-10	3.049E-10	5.348E-10	8.679E-10	1.178E-09

表 1: オキソニウムイオン及び水の拡散係数

(5) 多結晶ダイヤモンド膜における鋼材基板への密着性向上と摩擦特性評価 (三木)

化学気相合成法 (CVD) によって製作された多結晶ダイヤモンド膜は、低摩擦、耐摩耗性、化学的安定性などに優れることから、メンテナンスフリーな固体潤滑剤としての応用が期待されている。これまでの研究により、セラミックス基板上に作製された半鏡面研磨ダイヤモンド膜ではステンレス鋼材との摺動において希薄気体潤滑により摩擦係数がゼロになることを実験とシミュレーション (米村) の手法により明らかにしている。一方、ダイヤモンド膜の工業的応用には汎用鋼材への製膜が不可欠であるが、CVD ダイヤモンド膜においては、膜と鋼材の間の密着性に問題があり実用に至っていない。これらの問題を解消し、ダイヤモンド膜と鋼材基板の密着性を向上させる手法の一つとしてダイヤモンド膜と基板の間に中間層を設ける方法がある。本年度は、半鏡面研磨ダイヤモンド膜とステンレス鋼材 (SUS440C) との間に Ti 中間層を設けることにより、膜と基板間の良好な密着性と高い耐

摩耗性を有する膜を得ることに成功した。図1に $2\mu\text{m}$ の Ti 中間層上に (a) 成膜されたダイヤモンド膜と (b) 研磨された半鏡面ダイヤを示す。また、図2に半鏡面ダイヤのボールオンディスク試験による摺動の荷重依存性を示す

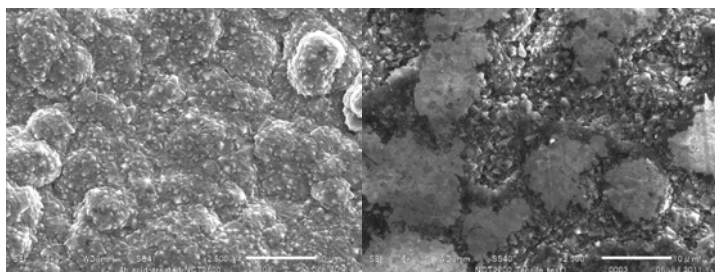


図1 $2\mu\text{m}$ の Ti 中間層上に成膜された (a) as-depo
ダイヤモンド膜、(b) 半鏡面研磨ダイヤモンド

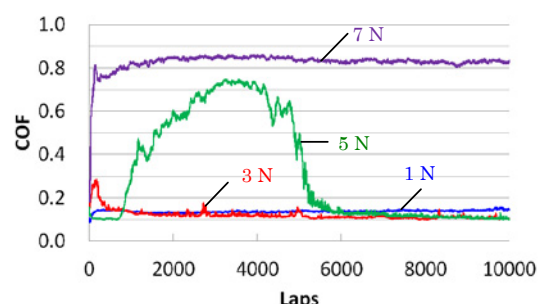


図2 ボールオンディスク試験による摩擦特性の荷重依存性評価

(6) マイクロ・ナノスケールで発現する気体潤滑に関する研究 (米村)

部分研磨ダイヤモンド膜を貼付けたスライダを回転金属円盤上に置き摺動させると、数 m/s 程度の回転速度で摩擦係数が著しく小さくなることが報告されている。摺動音が発生しなかったことから、気体潤滑の状態にあると考えられる。二枚の平行平板間の摺動においては、マクロな流体力学からは圧力発生は得られないと結論づけられる。しかし、流れの代表長さが膜表面の微細な構造と同じ程度である場合には圧力発生が起こる場合があることを、前年度までに行った数値シミュレーションにより示した。図1に計算領域の例を示す。計算領域の左右は周期境界であり、周期的に図のような表面微細構造がある流れを取り扱う。溝の深さは $1.44\mu\text{m}$ である。対向面を右に 10 m/s の速度で運動させることにより、右向きの流れを誘起する。図2に計算で得られた圧力分布の例を示す。図2下部の線図は流路形状を示している。気体の圧力は溝の入口で低下し、出口で増加する。溝出口で得られた高压が平坦部で長く維持されることにより高压が得られる。圧力は面間距離が小さいほど高くなるため、スライダが安定に浮上することになる。本年度は、圧力発生のメカニズムを理論的に解明し、これが新たなタイプのくさび効果であることを示した。

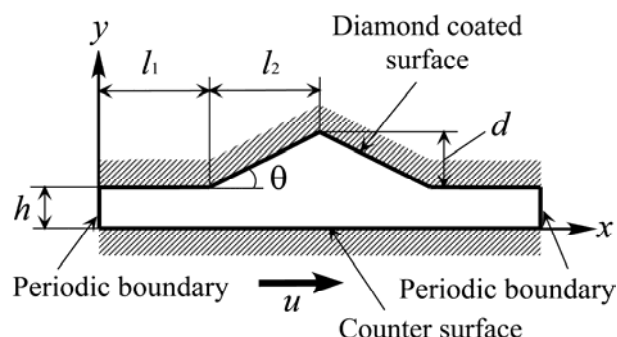


図1 計算領域

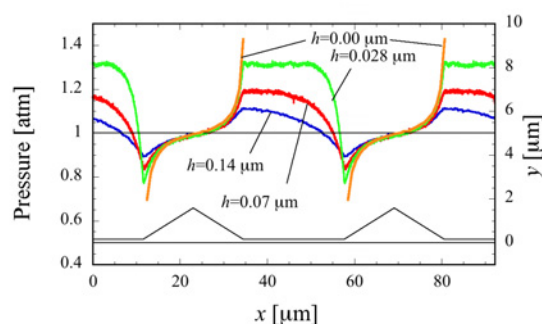


図2 圧力分布への面間距離の影響

($u = 10\text{ m/s}$, $l_1 = l_2 = 11.52\mu\text{m}$, $d = 1.44\mu\text{m}$)

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、伊賀 由佳、北島 純男

本プロジェクトでは、特に、CO₂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・再生可能エネルギーに代表される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、新エネルギーとしての燃料電池やバイオマスエネルギーなどの製造・高効率利用、エネルギー関連機器・設備等のインフラ整備、水質浄化などの環境浄化などに関わる問題に関して、プロジェクトメンバー間で議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、流動ダイナミクスという観点から「エネルギー・環境」の新技术の開発と最適化への寄与を目指している。

平成 23 年度は、以下の 8 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) 高温作動型燃料電池の研究開発（水崎 純一郎、湯上 浩雄、井口 史匡、八代 圭司、佐藤 一永）

高温作動型燃料電池は高い発電性能を有することから太陽電池・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いため、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、完全固体型のデバイスを実現するため信頼性評価をその場で評価できる手法を開発している。今年度は、分光法（図 1）と音響法（図 2）を併用して電池に発生する応力と変形挙動を観察することに成功した。

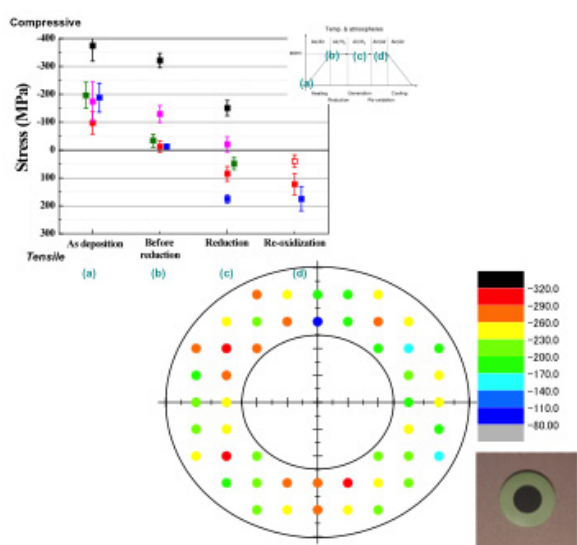


図1：分光技術に基づく応力評価（湯上グループ）

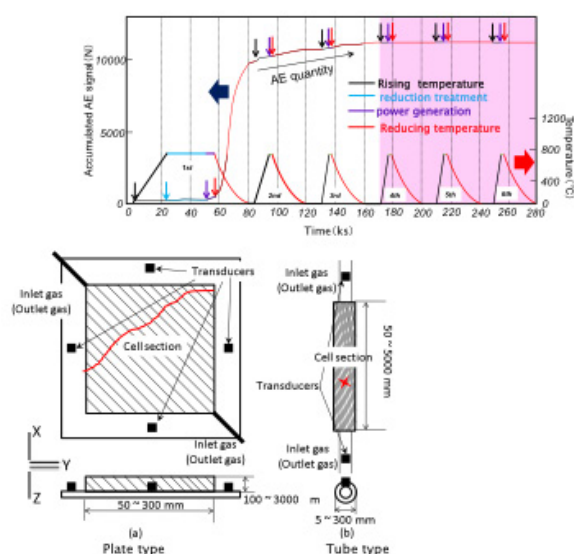


図2：音響技術に基づく変形・損傷評価（水崎グループ）

- [1] Hiroo Yugami, Fumitada Iguchi, Kensuke Kubota, Shuji Tanaka, Noriko Sata : Low temperature operating micro solid oxide fuel cells with perovskite type proton conductors, Proceedings of the ASME 2011 Ninth International Fuel Cell Science, Engineering and Technology Conference (ASME SOFC-IX), ESFuelCell2011-54596, 2011.
- [2] Masafumi Nagai, Fumitada Iguchi, Syo Onodera, Noriko Sata, Tatsuya Kawada, Hiroo Yugami H. Yugami, K. Kubota, : Evaluation of stress conditions in operated anode supported type cells based on in-situ raman scattering spectroscopy, Electrochemical Society Transactions Solid Oxide Fuel Cells 12, pp.519-525, 2011.
- [3] K. Sato, T. Sakamoto, A. Kaimai, K. Yashiro, K. Amezawa, T. Hashida, J. Mizusaki, T. Kawada: In situ Observation of the Deformation and Mechanical Damage of SOFC Cell/Stack, 219th ECS Meeting, USA, San Francisco, May 2011.

(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)

固体高分子形燃料電池 (PEFC) は、環境問題に対応する新エネルギーとして特に自動車用として期待されているが、コストの削減に加えて、性能・耐久性の面での更なる高性能化が求められている。本研究では、高分子膜や電極を含んだシステム全体の解析が可能となる、マルチスケール計算化学手法を開発した (図3)。大規模量子化学計算に基づき、貴金属触媒や担体のメソスケール多孔質構造シンタリングシミュレーションを行い、実験と同様な実時間劣化挙動を計算することに成功している。さらに、シンタリングや水凝着に伴う気孔率変化などを反映した過電圧特性シミュレーションを融合して、燃料電池内部で起こる様々な現象の性能への寄与が評価できるようになった。

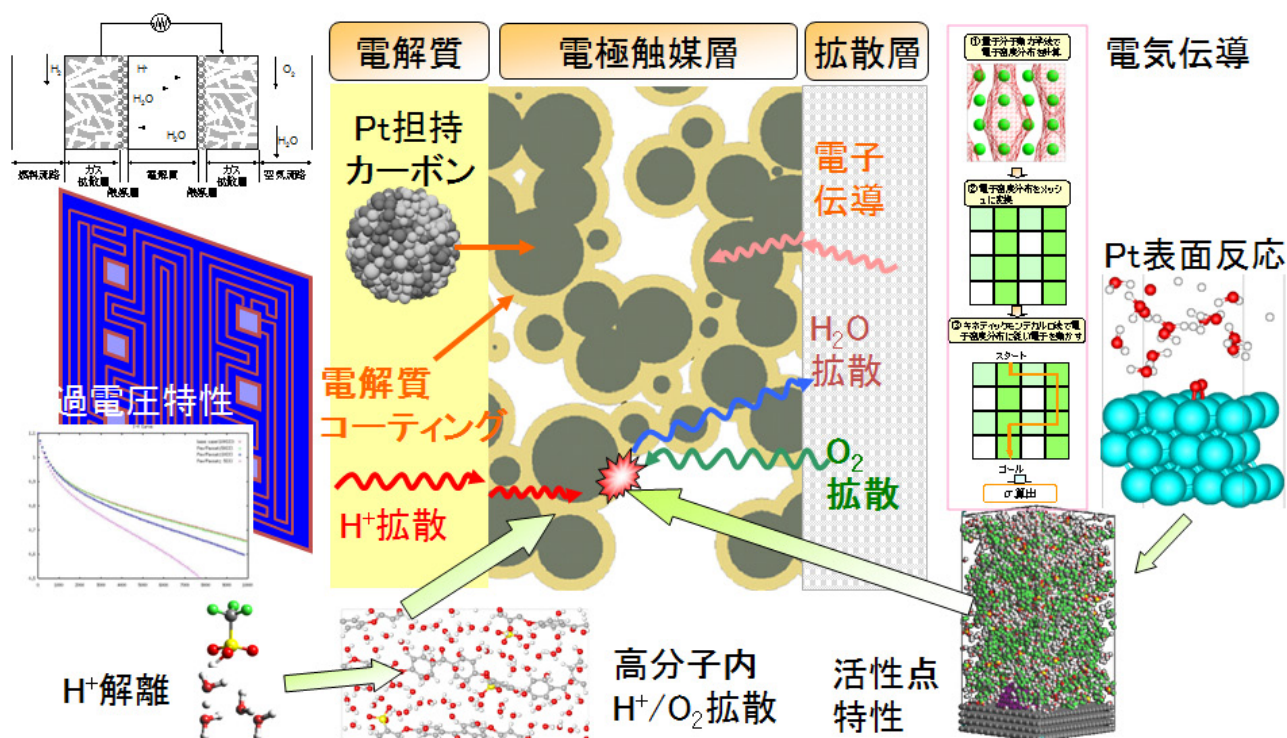


図3：燃料電池マルチスケール計算化学シミュレーション

<バイオマスエネルギー関連>

(3) 高効率燃焼を目指したバイオディーゼル燃料の電場による粘度低下制御(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における高効率燃焼を目指して、燃料噴霧特性の向上(噴霧の微細化)を目的に電場印加によってBDFの粘度を低下する方法について検討した。燃料インジェクターにおいては、一般に燃料の粘度が低下すると微粒化が促進され噴霧の微細化が向上することが予想される。そこで、本研究では、燃料に電場を印加して燃料中のナノレベルの微粒子や分子を凝集させてより大きな二次粒子にすることによる粘度低下について実験的に検討した。図4には、2枚の対向メッシュ電極によって流れ方向に電場を印加した燃料を、キャピラリー型の粘度計を落下させ、その流量を電子秤で測定して燃料の粘度変化を評価する装置を示す。まず、上部の液溜め内の電極間に燃料を充填して、ある一定時間(T)の矩形波状の電場(E)を印加した後、下部のキャピラリー粘度計内を落下させる。その際のキャピラリー内を流れる流量の時間変化を測定して粘度の変化を評価している。その結果を図5に示す。電場を印加しない場合($E=0.0$ kV/mm)には、流量は0.0014 g/secと経過時間によらずほぼ一定の値を示すが、 $E=1.5$ kV/mm以上の電場強度では有意な流量の増加が観察され、時間経過とともにその流量も減少することが分かる。その流量の増加割合と時間的減少の程度は、 E 及び T に依存し、特に、 $E=2.0$ kV/mm, $T=11.49$ sで、最大25%の流量増加が認められ、時間的な流量減少も20分で最大増加量の約半分程度となっている。以上より、かなり不純物が除去された規格内のBDFにおいても、 $E=2.0$ kV/mm程度の電場を印加することによってその粘度低下を実現できることが明らかとなった。

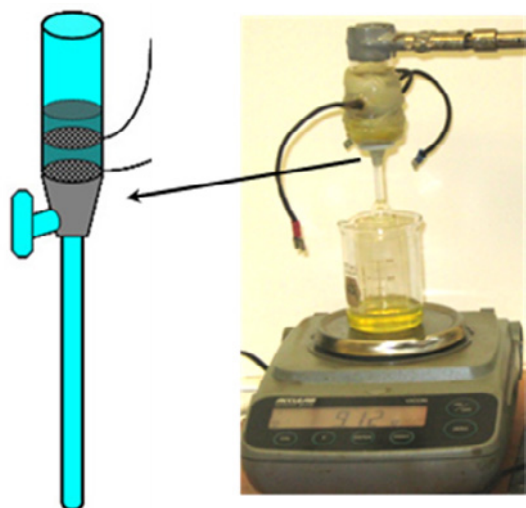


図4：燃料への電場印加装置とキャピラリー粘度計(流量計測)

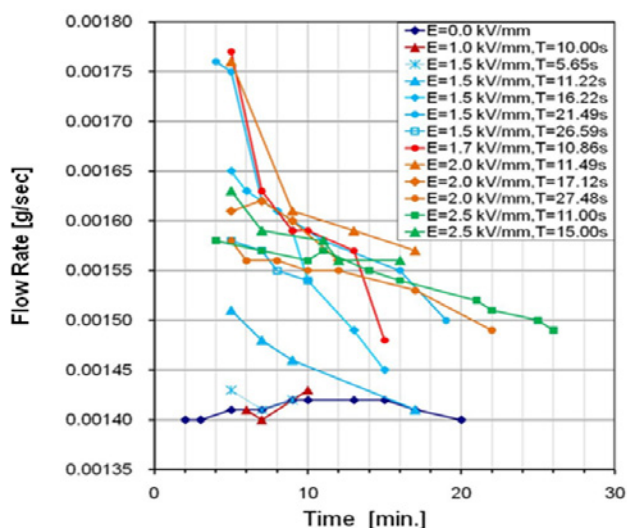


図5：BDFの印加電場強度 E 及びその時間 T によるキャピラリーを通過する流量(粘度に相当)の時間的変化

<エネルギー機器・設備関連>

(4) 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研究 (大平 勝秀)

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。熱交換器等に使用される矩形管（一辺 12 mm の正方形管を実験に使用）の流動・伝熱特性をスラッシュ窒素を使用して実験を行った。非加熱時において流速 2.5 m/s 以上で圧力損失低減が出現し最大 12%低減した。円管(内径 15 mm)の場合、流速 3.6 m/s 以上で低減量が 23%に対し、流速、低減量が小さくなる理由として、より低流速において擬均質流となること（低減効果は擬均質流で現われる実験結果を[1]にて報告している）、液相の乱流エネルギー（圧力損失）が大きく圧力損失低減効果が抑制されることが固体粒子の PIV 測定結果、数値解析結果（SLUSH-3D）から明らかとなった。熱流束 10 kW/m² 時の圧力損失は非加熱時と同様、流速 2.5 m/s 以上で低減が出現し最大 12%低減した。図 6、図 7 は入口流速、固相率を変化させた場合のスラッシュ窒素の熱伝達係数、および液体窒素と比較した場合の熱伝達係数比を示す。実験範囲において流速 1.0 m/s 以上で熱伝達劣化が出現し最大 16%低減した。円管の場合と同様、熱伝達劣化が出現する流速が圧力損失低減よりも低流速で現れ、熱伝達劣化割合も大きいことが確認された。

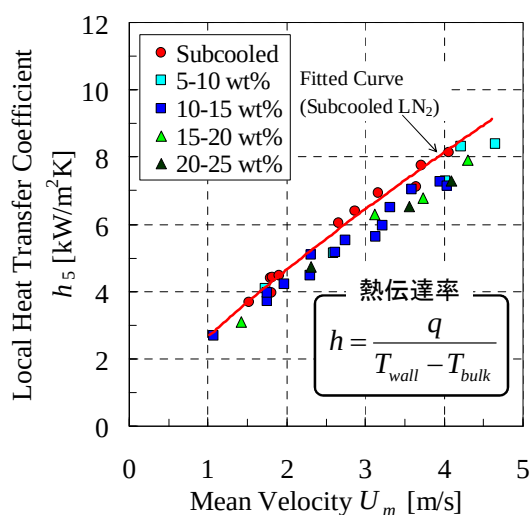


図 6：スラッシュ窒素の流速と熱伝達係数

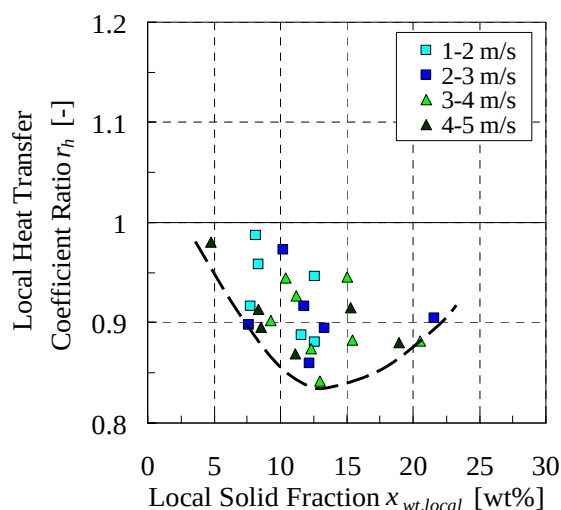


図 7：スラッシュ窒素の固相率と熱伝達係数比

- [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, pp.484-492, 2010. 本論文は「低温工学・超電導学会 平成 23 年度論文賞」を受賞 (2011.5)
- [5] K. Ohira, K. Nakagomi, N. Takahashi：Pressure-drop Reduction and Heat-transfer Deterioration of Slush Nitrogen in Horizontal Pipe Flow, Cryogenics Vol. 51, pp.563-574, 2011. 本論文は「Most Downloaded Cryogenics Articles」の Top 5 (2012.1)
- [6] 大平勝秀，太田敦人，向井康晃，細野琢巳：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（SLUSH-3D），低温工学，Vol. 46, pp.575-587, 2011.

(5) LNG ポンプ等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)

東日本大震災の影響で多くの原子力発電プラントが停止中の現在、風力発電や地熱発電などの再生可能エネルギー技術の確立や普及に大いに期待が寄せられているところではあるが、それを待ってもいられない状況の中、CO₂やSO_x等の環境影響成分の排出を飛躍的に低減できるLNG（液化天然ガス）を用いたクリーンな火力発電の早急な普及が、日本のエネルギー問題における近々の課題であると言える。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において現在使用される、移送ポンプ、昇圧ポンプ、循環ポンプ、スプレーポンプ、荷役ポンプ等の多くのポンプは、実液であるLNGを用いずに設計開発され、最終的な性能確認のみ国内または海外の施設で実液を用いて行われることが多い。そのため、極低温流体で顕在化するキャビテーションの熱力学的効果を有効に利用できず、ポンプの高速・低圧側の作動限界に余裕のある設計となっていると予想される。このLNGポンプのキャビテーション性能に現れる熱力学的効果を数値的に予測出来れば、熱力学的効果分のNPSHだけ高速回転・低圧運転が可能なポンプが設計できると期待できる。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、高温水に発生する熱力学的効果の逆転現象の数値予測を行った。昨年度、液体窒素キャビテーションの解析に用いた、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、常温水から360K程度の高温水で発生することが知られている熱力学的効果の逆転現象を数値的に再現した。また、非定常性が緩和される状態（スーパーキャビテーション状態）までキャビテーションが十分に発達すると、この逆転現象が順傾向へと転じる事が予測され、逆転現象と非定常性の関係が示された。

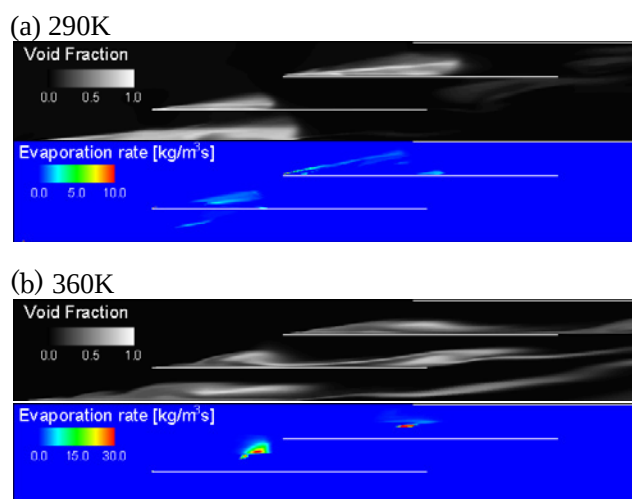


図8：水温によるキャビティ形状と蒸発領域の分布の違い（それぞれ上からボイド率分布、蒸発率分布）

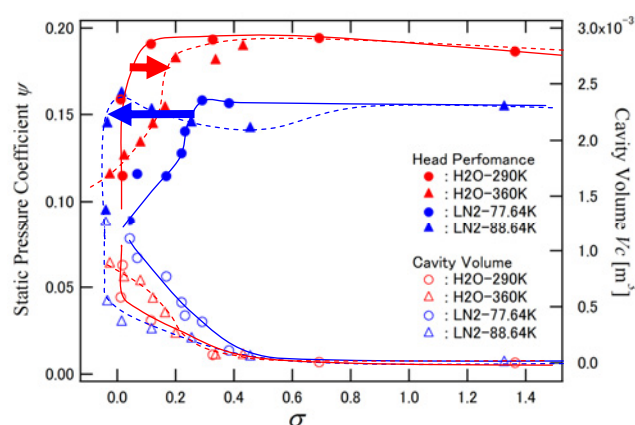


図9：液体窒素と水における揚程とキャビティ体積の変化

(6) 低開口部をもつ部分開空間での漏洩水素のリスク回避強制換気制御 (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手法について、数値シミュレーションに基づいて検討している。

本年度は、強制換気法の構築にあたり、漏洩水素を周囲空気となるべく混合させず、速やかに排気するため、図 10 に示す、下部に部分的な開口部(Door Vent)を有する空間を先ず提案した。天井口(Roof Vent)は、複数排出口の設置に伴うコストを抑え、漏洩位置の変化にも対応するため、天井の中心に設けている。このような空間形状とすることにより、水素排出制御と同時に取り込まれる外部空気は、低位置の周方向から取り込まれ、天井に向かう流れとなるため、漏洩水素噴流は安定化し、天井に一時滞留した後、Roof Vent より排出される水素ガス経路となる。この空間に基づき、天井近傍に滞留する瞬時水素量のトレンド評価を行い、ハンチングを緩和しながらスムーズに水素を排出できる強制換気制御アルゴリズムを構築した。その結果、図 11 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。

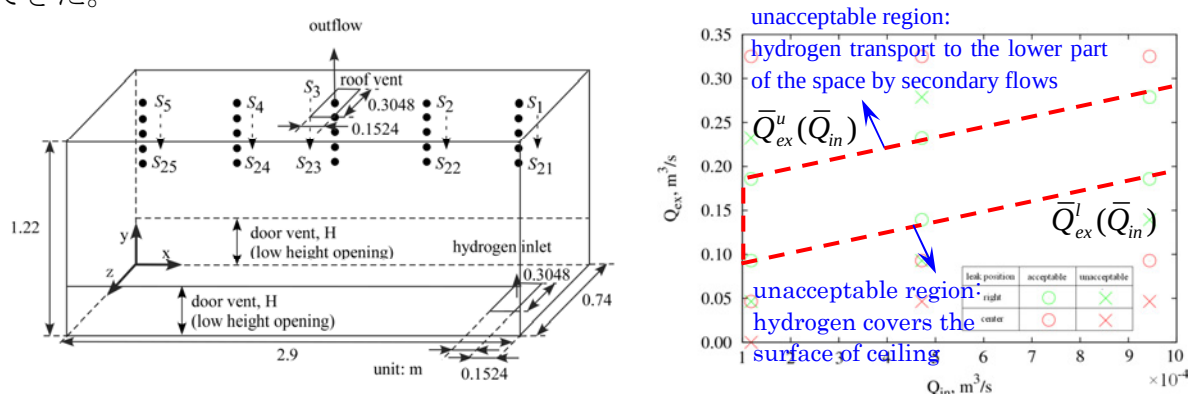


図 10 : 下部に部分的な開口部 ($z=0, 0.74$ m 面) がある空間内で水素が漏洩した際の適切な排気が行われる漏洩流量 Q_{in} と換気流量 Q_{ex} との関係 (数値シミュレーションによる)

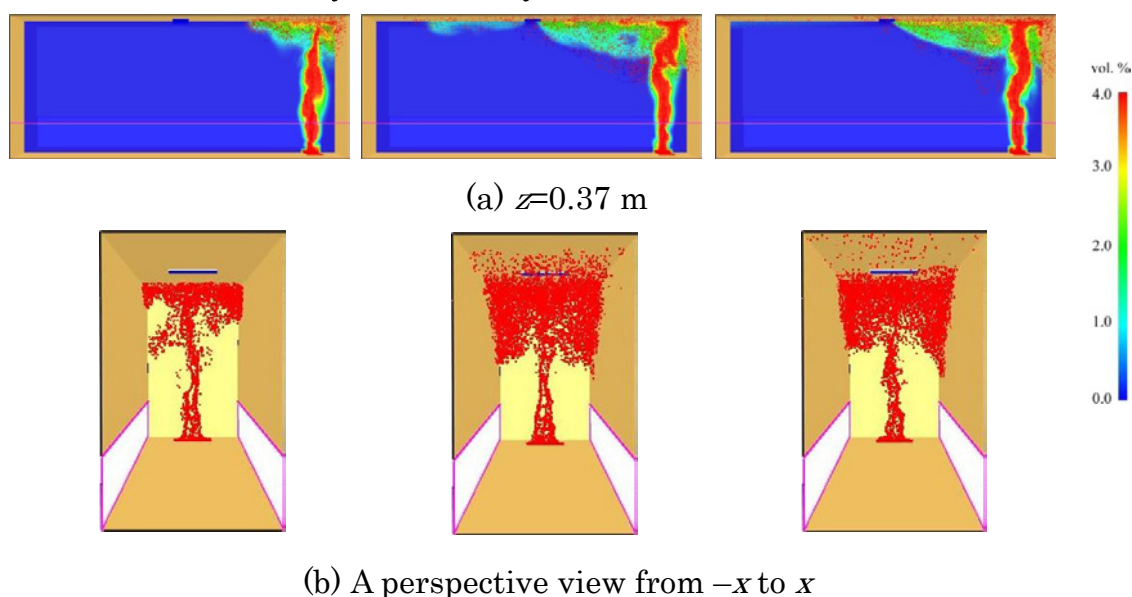


図 11 : 下部に部分的な開口部 ($z=0, 0.74$ m 面) がある空間内で水素が漏洩した際の漏洩流量予測センシングに基づく水素ガスの強制換気制御の数値シミュレーション結果 ($t=5$ (left), 20 (center), 50 s (right), $Q_{in}=9.44 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$)

- [7] K. Matsuura, M. Nakano, J. Ishimoto: The Sensing-Based Risk Mitigation Control of Hydrogen Dispersion and Accumulation in A Partially Open Space with Low-Height Openings by Forced Ventilation, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.37, pp.1972-1984, January 2012.
- [8] K. Matsuura, M. Nakano, J. Ishimoto: Visualization of Leaking and Accumulating Hydrogen under A Sensing-Based Ventilation Control in A Partially Open Space, Proceedings of 11th Asian Symposium on Visualization (ASV11), Niigata Japan, pp.1-8, June 2011.

(7) 超高速回転ベルカップ噴霧塗装の効率化 (青木秀之)

超高速回転ベルカップ塗装機は自動車をはじめとする工業塗装に広く利用されているが、その微粒化プロセスは未解明である。本研究では界面追跡法として VOF 法を用い、超高速回転するベルカップ表面上に形成される液膜の流動を解析し、回転数および液体供給流量が液膜厚さに及ぼす影響を検討することで、操作条件が液膜に及ぼす影響を検討した。

図 1 2 に解析対象を示す。解析対象はフラットなベルカップを模擬し、液体供給口を半径方向 11 mm から 12 mm のスリット状に配置した。座標系は二次元円筒座標を用い、解析領域(半径方向 10 mm から 14 mm、高さ方向 0.4 mm)を 400×40 分割した。液体は水を、気体は空気を仮定した。図 1 3 に解析の一例として、ベルカップ表面上の流動の時間変化を示す。図より、遠心力によって液体が半径方向の外側に移動することがわかる。図 1 4 に液膜厚さの経時変化を示す。液膜厚さは時間経過とともに一定値に漸近した。図 1 4 (a)に回転数を 10 krpm から 30 krpm まで変化させた場合の液膜厚さの比較を示す。回転数の増大にともない液膜厚さが減少し、液膜厚さの変動幅は減少した。図 1 4 (b)に液体供給量を 200 ml/min から 600 ml/min 変化させた場合の液膜厚さの比較を示す。液体供給量の増大にともない液膜厚さが増大し、液膜厚さの変動幅は減少した。したがって、超高速回転ベルカップを運用するうえで有益な情報を得ることができた。



図 1 2 : 解析対象

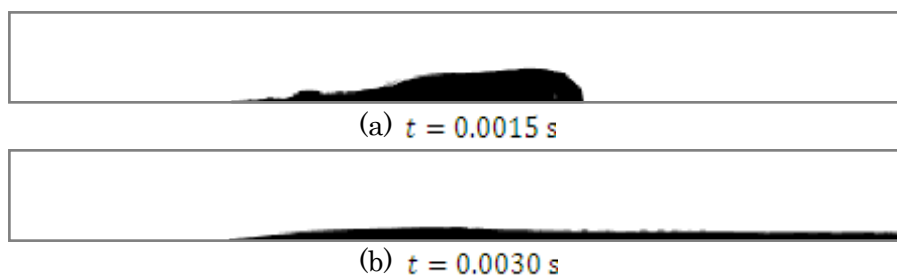


図 1 3 : 液膜形成および液膜移動

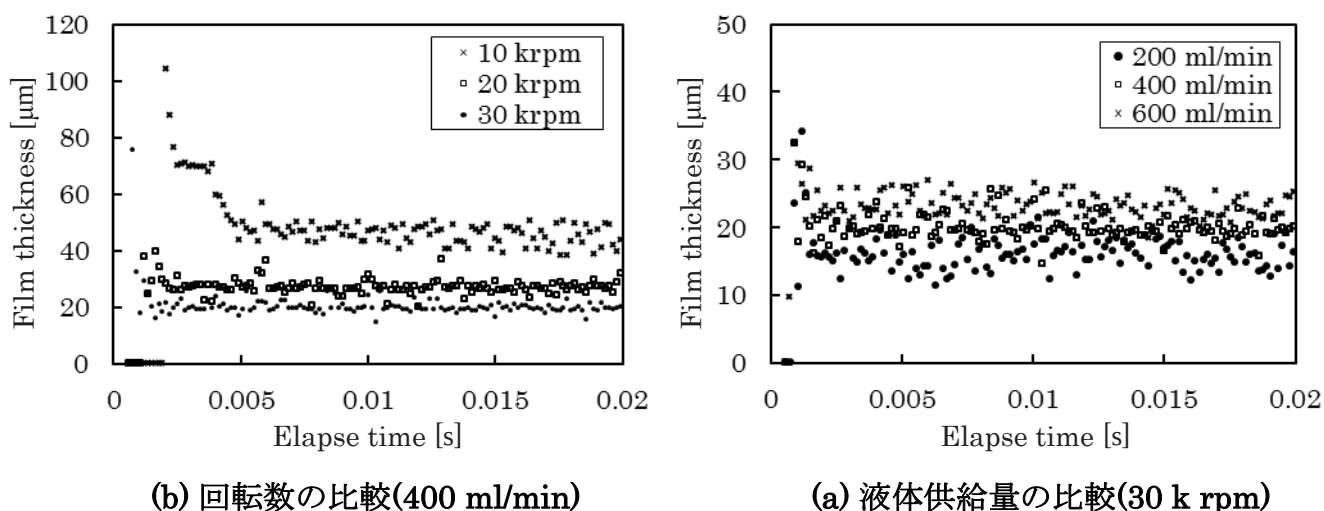


図 1 4 : 液膜厚さの経時変化

<環境浄化関連>

(8) マイクロ放電による気泡ジェットの高機能化と水質浄化 (西山秀哉)

液体中にマイクロストリーマ放電を伴った気泡ジェットを噴射することで、水質分解のベンチマークとなるメチレンブルーを省エネで効率的に分解する技術を開発した。パルス放電により気泡内あるいは気泡界面近傍に生成する活性酸素種の一種が分解を促進する。水質浄化や工場廃液処理、さらには農水産業で活性水創製などへの応用が期待できる。水槽の中に陽電極板を設置し、棒状接地電極を内蔵した気泡ジェット発生装置を入れる。アルゴンや酸素ガスの気泡ジェットを発生させながら直流パルス電圧を印加すると、直径数ミリの気泡内でストリーマ放電が発生する。アルゴンや酸素ガスを気泡内で放電することで、短寿命でも強酸化作用を有するヒドロキシル (OH) ラジカルや酸素ラジカルおよび長寿命のオゾンが生成され、メチレンブルーを分解する。また、ストリーマ放電による衝撃で気泡界面が細かく砕かれて液体中に分散したマイクロバブルと多数の気泡ジェットによるラジカル発生面での攪拌効果により分解を促進する作用がある。(日刊工業新聞 2011 年 8 月 1 日、日本経済産業新聞 2011 年 8 月 7 日掲載)

なお、気泡内ストリーマ進展と気泡粉碎の動画は、可視化情報学会のHPに掲載されている。(http://www.visualization.jp/, 2011-6)

- [9] H. Nishiyama, et al. : Characterization of a Multiple Bubble Jet with a Streamer Discharge, IEEE Trans. on Plasma Sci., 39-11, pp.2660-2661, 2011.
- [10] H. Nisniyama, et al. : Characterization of Multiple Bubble Jet with Pulsed Discharge for Water Treatment, CD-ROM Proceedings of 20th Int. Symp. on Plasma Chemistry, Philadelphia, 2010.

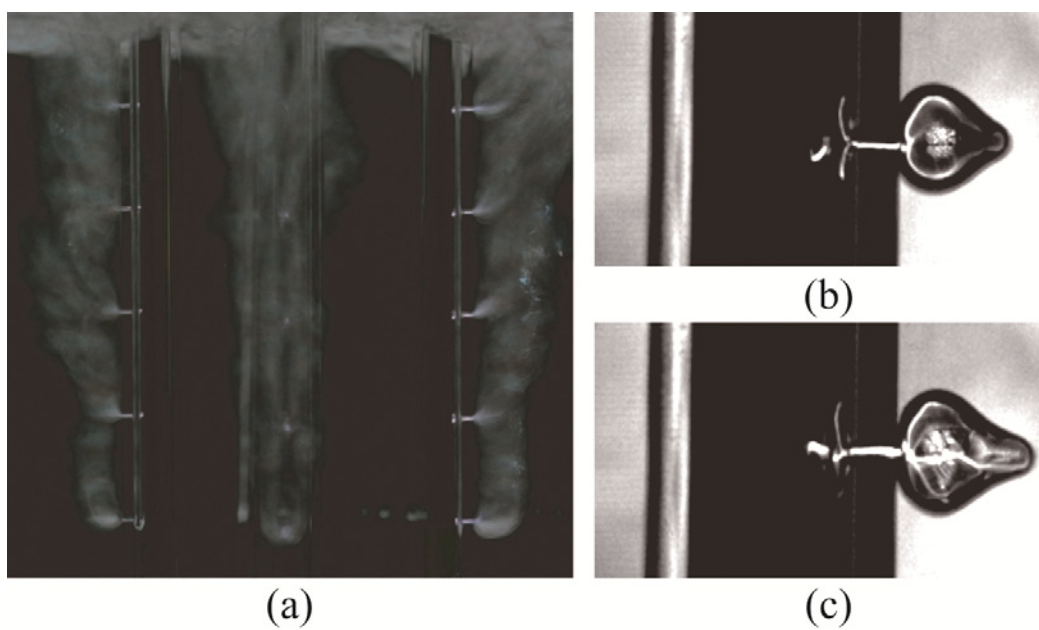


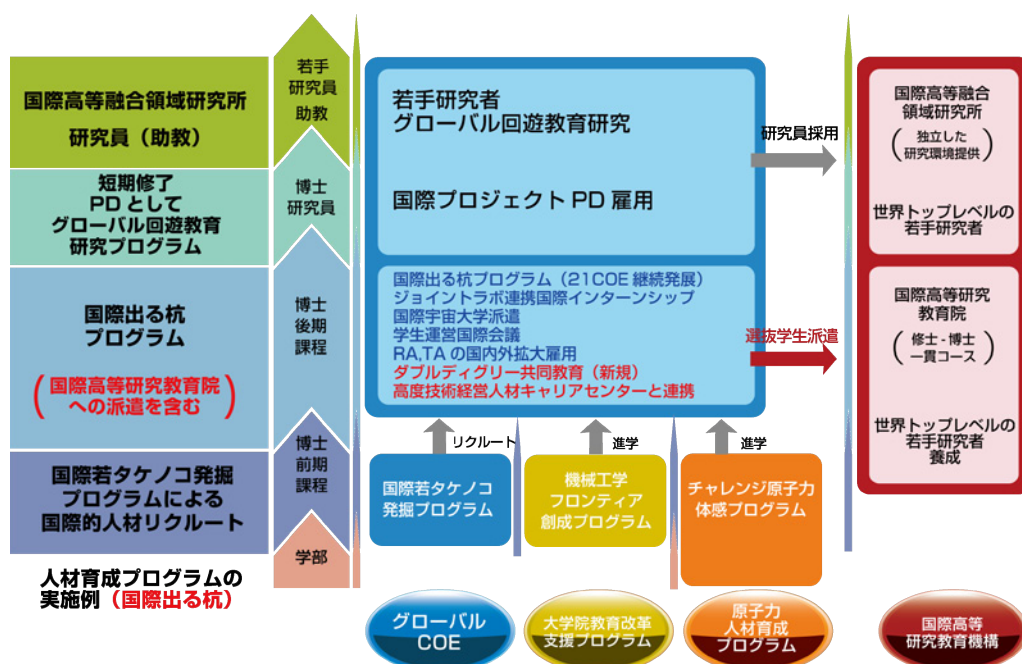
図 15 (a) 微小放電を伴う気泡ジェット発生の様子, (b), (c) 気泡内における
マイクロストリーマ進展

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) (P45) 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) (P42) 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 の小助川 博之氏、RA の解 社娟、李 貞徹の 3 名が採択された。

氏 名： 小助川 博之（流体科学研究所 COE フェロー (PD)）

派遣先 1

- ①派遣期間：平成 23 年 6 月 3 日 – 7 月 2 日
- ②派遣先：Ecole Centrale de Lyon (ECL)
- ③受入れ教員：Vincent FRIDRICI
- ④研究課題：Friction Study of Medical Alloys on Soft-tissue-like Hydrogel

派遣先 2

- ①派遣期間：平成 23 年 7 月 2 日 – 7 月 30 日
- ②派遣先：University at Buffalo, The State University of New York (UB)
- ③受入れ教員：Hui MENG
- ④研究課題：Evaluation of Movement of Deployed Stent inside PVA-H Biomodel

派遣先 3

- ①派遣期間：平成 23 年 7 月 30 日 – 8 月 9 日
- ②派遣先：Massachusetts Institute of Technology (MIT)
- ③受入れ教員：Roger KAMM
- ④研究課題：Micro Pathway for PVA-H Blood Vessel Biomodel

【成果報告】

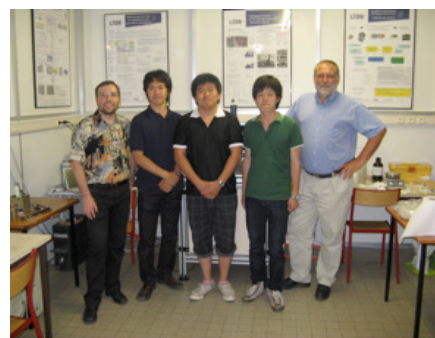
① ECL (FRANCE)

ECL の附置研究所である Laboratoire de Tribologie et Dynamics Systèmes (LTDS) において、PVA-H と医療用合金 4 種(316L, CoCr, NiTi, TiMoSn)の摩擦に関する綿密な実験を行った。同条件(sliding velocity, normal load)における 4 種合金間の T 検定(P = 0.05)を行ったところ、高速度条件下(Hydrodynamic lubrication region)では 4 種に十分な差が現れなかった。これに対し、低速度条件下(elastic friction)においては 316L と CoCr、NiTi と TiMoSn の間には差が現れなかったが、316L と NiTi、CoCr と NiTi というように、表面が Cr 系酸化物で覆われる合金(316L、CoCr)と Ti 系酸化物で覆われ

る合金(NiTi、TiMoSn)の間で十分な差が生じることが判明した。

これらの結果も含めて、LTDS で招待講演 (『 Friction Study of Medical Alloys on Soft-tissue-like Hydrogel 』)を行った。多くの先生方と濃密なディスカッションをすることができ、本研究の展望と進展に関する非常に有用な助言を得る事ができた。

さらに、当派遣期間中に ECL のカリキュラムである日本語クラスに参加する機会があった。同クラスでは日本の文化と東北大学について ECL の学生達に説明し、盛んな文化交流が行われた。



共同研究者。左から 2 番目執筆者、
右側 Philippe Kapsa (Professor, ECL)。

② UB (NewYork, USA)

UB の附置研究所である TOSHIBA STROKE CENTER は、実験専用の CT Angiography および高解像度 Angiography(Micro-Angiographic Fluoroscope, MAF)を有するなど、血管内治療に関して先駆的な研究ができる環境を有する機関である。この機関において、脳血管形状を模擬する PVA-H バイオモデルの作製と、それを用いたステントの留置、および拍動流負荷条件下におけるバイオモデル内のステントの動きの評価を行った。

予め UB より送っていただいた患者の DICOM データに基づき再構築した鋳型を使用し、動脈瘤を有する頸動脈 PVA-H バイオモデルの作製に成功した。このバイオモデルの正確な形状は TOSHIBA STROKE CENTER の CT Angiography を用いて取得した。続いてステント(Neuroform 2、Pipeline)を、Toshiba Stroke Center 及びその共同研究先である Harry M. Dent Neurologic Institute においてバイオモデル内に留置し、バイオモデル内におけるステントの状況を MAF(Micro-Angiographic Fluoroscope)と呼ばれる高解像度 Angiography(解像度 = 40 μm)を用いて観測した。ステントのストラットが 65 μm 程度なので、通常の CT Angiography(解像度 = 140 μm)ではできないストラットの状況の観測が可能であることを確認した。さらにステントを留置したバイオモデルを流路に接続し、拍動流を負荷した状態のまま MAF による観察に成功した。拍動の圧力の上下差が大きいという問題はあったが、拍動に応じて留置されたステントストラットの位置が動くことを観測した。動脈瘤内部に流れ込む血流は動脈瘤のネックとストラットの相対的配置によって大きく異なる。これを考慮すると、本実験で得られた結果は定性的ではあるものの、非常に重要であると考えられる。

今後は定性的に瘤ネック部とストラット位置の関係、およびそれによる動脈瘤内流れへの影響などを評価していくことが求められる。また、透明かつ低摩擦という特性を持つ PVA-H バイオモデルを実際に触感したことで、UB のみならず Buffalo の機関に務める多くの研究者と脳外科医が、その潜在的価値に興味を抱いたようである。これにより、UB を始めとするアメリカの循環器系部門の研究機関と東北大学流体科学研究所の学術的な繋がりがより緻密になることが期待される。

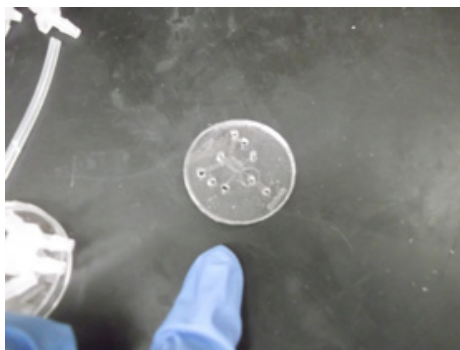


UB と共同研究している Harry M. Dent Neurologic Institute にて、複数の脳外科医と研究者が PVA-H バイオモデル内にパイプラインステントを留置する方法の実験風景

③ MIT (Massachusetts, USA)

受け入れ先である Prof. Roger KAMM は、マイクロ流路を用いた研究の第一人者であり、同流路を用いて様々な学理研究の成果を出している。今回はマイクロ流路を用いた様々な研究を見学させてもらい、その中でバイオモデルの研究開発に応用可能な研究についてディスカッションを行った。

その中で、マイクロ流路を用いて微小径の繊維としたコラーゲンを射出し、エレクトロスピンニング法で鋳型に巻き付かせるという手法は、血管バイオモデルの力学的特性に非線形性を付与するための効果的であると考えた。今後、同研究室と密接な連絡を取り合い、上述の目的を達成することが可能か検討していく予定である。



Three line 型マイクロ流路のサンプル

上記に示したように、69 日間ではあったが、バイオモデルの研究開発に関する多くの成果と展望を得る事ができた。また、派遣先では同グローバル回遊教育プログラムの主旨と、東北大震災の被災地である仙台と東北大学の現状、それらの復興に向けての対策と進展具合について報告した。そして厄災の中でも研究者を海外に派遣する等して、積極的に研究を行っていくとする東北大学の前向きな研究姿勢を本グローバル回遊教育プログラムを通して世界中にアピールしていくことに、先方の研究者や学生らの同意と理解を得る事ができた。以上より、同グローバル回遊教育プログラムは、多くの成果を得る事に成功し、本事業の重要性と意義を十二分に世界にアピールできたものと考ええる。

氏 名： 解 社娟（工学研究科バイオロボティクス専攻 D3）

派遣先 1

- ①派遣期間：平成 22 年 2 月 25 日 ～ 3 月 27 日（31 日間）
- ②派遣先：MATEIS, INSA-Lyon（フランス）
- ③受入れ教員：Joel Courbon 教授, Director
- ④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

派遣先 2

- ①派遣期間：平成 23 年 3 月 17 日 ～ 4 月 25 日（40 日間）
- ②派遣先：西安交通大学（中国）
- ③受入れ教員：陳振茂 教授, Vice Dean
- ④研究課題：パルス渦電流探傷法の逆問題に関する研究

【成果報告】

①INSA-Lyon (FRANCE)

INSA-Lyon では受け入れ教員 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、今回のインターンシップでは Courbon 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。

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、出版した。

②西安交通大学 (中国)

INSA-Lyon で行った研究の活動の次のステップとして、西安交通大学では、パルス渦電流探傷法 (PECT) の実験結果に対する順問題・逆問題解析手法に関して研究を実施した。受け入れ教員である西安交通大学の陳教授は電磁現象を用いた非破壊評価の数値解析についての権威であり、陳教授のアドバイスの下で計算コードを独自に開発した。

期間中は以下に示す2点について取り組んだ。

1. 計算効率化の為の順問題解析ソルバーの改良

データベースタイプの渦電流探傷解析スキームを、フーリエ級数を基としたパルス渦電流信号解析コードに導入することで、計算精度を低下させることなく、順問題解析の為の計算時間を100分の1に短縮しすることができた。

2. 逆問題解析ソルバーの開発

独自に開発した PECT 信号の高速シミュレータと、共役勾配法(CG 法)、及び、ニューラルネットワーク(NN)を用いた反転法に基づき、3次元減肉サイジングの為の逆問題解析アルゴリズムを構築した。

初めに、決定論的最適化手法である CG 法とパラメータ化手法に基づき、減肉の解析による再構築のパルス渦電流信号の逆問題解析アルゴリズムを提案した。続いて、解析アルゴリズムの妥当性とロバスト性を示す為に、解析によって得られた理想的な信号と実験的に得られた信号のそれぞれから減肉状態を解析によって再構築した。また、減肉のサイジングを正方向人工ニューラルネットワーク法によって用いて行った。計算コードは、正方向人工ニューラルネットワーク法を軸として入力信号に対して PCA 操作、出力信号にパラメータ化手法を付随させることで開発した。NN 法によって求めた解析結果と CG 法によって求めた解析結果を比較したところ、配管減肉のサイジングに対して、NN 法の精度は CG 法に比べてやや低い事が分かった。

以上の事から、原子力発電所における局所配管壁減肉 PECT の為の逆問題解析ソルバーを構築した。本部分は博士論文の重要な一部となった。さらに、本結果は2011年9月にイタリア・ナポリで開催された国際会議 ISEM2011 にて発表し、国際雑誌 International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics に受理されている。

「グローバル回遊教育プログラム」は研究に集中し当初目的の非破壊評価法を用いた原

子力発電所における局所配管壁減肉のサイジングを達成することができて、有益な派遣であったと思う。また、研究内容で、すでにレベルの高いジャーナルに論文を投稿している。

今回の「グローバル回遊教育プログラム」で様々な研究員とのディスカッションも活発に行うことができて本当に学ぶところが多かったので自分にとっては本当に有意義な経験であった。チームとして研究に挑む姿勢やプロジェクトの進み方などを体験し非常に勉強になり、このような貴重な機会を提供して頂いた高木教授、内一准教授、三木講師、GCOE プログラム関係者の皆様に心より深く感謝申し上げます。



MATEIS の建物



陳先生研究室のメンバーとの写真



State Key Laboratory for Strength and Vibration of Mechanical Structures

氏 名： 李 貞徹（工学研究科ナノメカニクス専攻 D2）

派遣先 1

- ①派遣期間：平成 22 年 6 月 22 日～平成 22 年 7 月 22 日
- ②派遣先：韓国・デジョン・韓国機械研究院
- ③受入れ教員：Dr. Jooho Hwang
- ④研究課題：超精密流体軸受け運動誤差のナノメートル計測

派遣先 2

- ①派遣期間：平成 23 年 9 月 11 日～平成 23 年 12 月 1 日
- ②派遣先：イギリス・ロンドン・Brunel 大学
- ③受入れ教員：Prof. Kai Cheng
- ④研究課題：超精密流体軸受け運動誤差のナノメートル計測

【成果報告】

- ①韓国・デジョン・韓国機械研究院

「超精密流体軸受け運動誤差のナノメートル計測」といった研究課題に取り組むため、韓国機械研究院を選び平成 22 年 6 月 22 日から 7 月 22 日まで研究を行った。韓国機械研究院とは共同研究テーマとして「超長ストローク超精密旋盤の開発」を行ってきた。

共同研究として、流体軸受けを利用したスライドの性能評価を行い、その評価結果に基づいて修正および補正作業にフィードバックすることで機械の性能向上を図っている。この機械のスライドの運動を計測・評価することを目標とした派遣であった。

機械のスライド性能評価のため、派遣当日から計画に従い準備を行った。センサのジグの設計および機械制御プログラム作成などの準備をして、約 2 週間かけて機械の性能評価を行った。計測結果、約 1700 mm の計測長さにおいて約 9 μm のスライド運動誤差が確認され、目標とする 2 μm には至っていないことを確認した。その計測結果を利用し、機械の再調整およびスライド挙動の補正を通して、最終的には 1 μm まで機械の性能を向上させることに成功した。

②Brunel 大学 (イギリス・ロンドン)

韓国機械研究院との共同研究で 3 軸 (X,Z,C) 機械の性能評価は成功したが 5 軸という多軸超精密機械の評価および加工に使われるワークの加工時の変形などについては明らかになっていないため、派遣先 2 であるイギリス・ロンドン・Brunel 大学を平成 23 年 9 月 11 日から平成 23 年 12 月 1 日まで訪問し「5 軸マイクロミリングマシン」の運動誤差測定の研究課題について研究を行ってきた。

「5 軸マイクロミリングマシン」は軸が多く、機械内部に測定のためのセンサなどを取り付けるのが容易ではなく、機械の運動誤差をセンサで直接に測定することは難しかったため、間接的に測定する方法を考え研究を行った。その方法として、機械が加工を行うときにはその機械の持った誤差の運動が加工物に転写される原理を利用し、機械から加工された加工物を計る方法を選択した。最初は真直度、直角度などの幾何学的な誤差を測るための加工物のデザインを行った。その次に、加工時に機械の運動が加工物に転写される転写性を評価するため、外部からのノイズなどのエラーパラメタを考慮しシミュレーションを行った。その後、実際に機械を利用し加工を行ったがまだ測定までは至っていない。

今回の派遣ではこの研究と同時にロールを利用して加工を行うとき、回転速度の変化によるロール形状変化についても情報収集を行った。Brunel 大学所属の博士と一緒に回転時のロールの形状変化および挙動について解析を行い、回転時に起こる現象についても情報を得ることができた。さらに、イギリスで有名な研究所である National Physical Laboratory (NPL) にも見学することができ、非常に有益な経験になった。

「グローバル回遊教育プログラム」の間、韓国機械研究院では、1 ヶ月というタイトな日程で研究に集中し最初の目的を達成することができて、有益な派遣であったと思う。また、研究内容で、すでにレベルの高いジャーナル (Precision Engineering) に論文を投稿し In press 状態になっている。

Brunel 大学では、ほぼ 3 ヶ月という時間があつたため、研究の他にも研究所見学や多くの研究者たちとコネクションを作ることができた。今後は、研究内容をまとめ追加解析を行ってから同じジャーナルで投稿する準備を行う予定であり、研究の方向は、回転体の挙動解析について専念する計画である。

今回の「グローバル回遊教育プログラム」で様々な研究員とのディスカッションも活発に行うことができて本当に学ぶところが多かったので自分にとっては本当に有意義な経験であった。チームとして研究に挑む姿勢やプロジェクトの進み方などを体験し非常に勉強になった。このような貴重な機会を提供して頂いた GCOE プログラムに感謝する。他の学生もこのような体験ができればこれからの研究に非常に役に立つと思う。

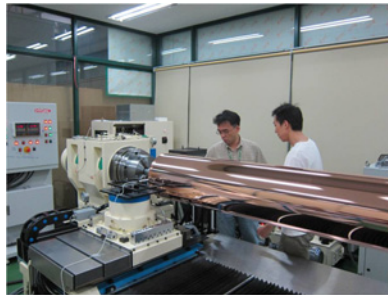
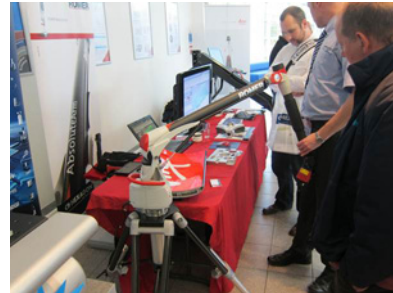


図 1 韓国機械研究院での研究 受け入れ教員 Hwang 先生との実験の様子



(a)



(b)

図 2 Brunel 大学での受け入れ教員 Cheng 先生(a)と NPL 見学(b)

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 23 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
金 于載 工学研究科ナノ メカニクス専攻	D2	韓国科学技術院 (KAIST) 韓国	光干渉システムによる基 準微細格子の超精密測定 に関する研究	7月3日～ 8月27日	高 偉 (工学部)
永島 浩樹 工学研究科ナノ メカニクス専攻	D1	The University of Chicago アメリカ	液体水素のミクロ・マクロ 特性に対する量子効果発 現メカニズムの解明	8月21日～ 8月25日	徳増 崇 (流体研)
小澤 桂 医工学研究科医 工学専攻	D2	Ecole Centrale de Lyon フランス	生体複合組織に関するバ イオモデリングの構築 と評価法の検討	9月19日～ 11月4日	太田 信 (流体研)
永島 浩樹 工学研究科ナノ メカニクス専攻	D1	The University of Chicago アメリカ	液体水素のミクロ・マクロ 特性に対する量子効果発 現メカニズムの解明	11月14日～ 2月11日	徳山 崇 (流体研)
坂井 玲太郎 工学研究科航空 宇宙工学専攻	D2	アーヘン工科大 学 ドイツ	Building-Cube Methodに よる高レイノルズ数流れ 計算	1月14日～ 2月26日	中橋 和博 (工学部)
小澤 桂 医工学研究科医 工学専攻	D2	Ecole Centrale de Lyon フランス	生体複合組織に関するバ イオモデリングの構築 と評価法の検討	1月16日～ 3月16日	太田 信 (流体研)

○流体研支援による平成 23 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
庄司 衛太 工学研究科 機 械システムデザ イン工学専攻	M2	The University of Sydney Australia	大型位相シフト干渉計を 用いた熱流動場の精密計 測と解析	9月3日～ 10月15日	圓山 重直 (流体研)
猪爪 宏彰 工学研究科航空 宇宙工学専攻	M2	Carnegie Mellon University USA	車輪型移動ロボットの軟 弱斜面横断時の走行性能 に関する研究	9月21日～ 11月1日	永谷 圭司 (工学部)

※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 23 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
JA YOUNG KIM (Mr.)	Chungnam National University 韓国	Dual Arm Robot Manipulator	10月2日～ 12月23日	内山 勝 (工学部)
Chen Lin (Mr.)	Peking University 中国	Simulation of nano-micro scale sublimation phase change and critical surface transportation phenomena	11月12日～ 2月5日	圓山 重直 (流体研)
Markus Lars Johan Pastuhoff (Mr.)	KTH スウェーデン	Fluid mechanics / Pressure Sensitive Paint	12 月 25 日 ～3月20日	浅井 圭介 (工学部)
Ashkan Javadzadegan (Mr.)	The University of Sydney オーストラリア	Particle Image Velocimetry (PIV)Measurement of Blood flow in a modeled	1月11日～ 2月22日	太田 信 (流体研)
Sereshchenko Evgenii Viktorovich	Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB	Experimental investigation of flame dynamic in microchannels	2月5日～ 3月19日	丸田 薫 (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 23 年度は震災の影響により派遣しなかった。

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(水)～11 日(日)の 5 日間、つくば国際会議場において「Art in Science」をコンセプトに学ぶ。

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」との方針に合うものであり、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 23 年度 1 名 派遣

氏 名： 清水 信（機械システムデザイン工学専攻 D2）

期 間： 平成 24 年 3 月 7 日～3 月 11 日

場 所： つくば国際会議場（茨城県つくば市）

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。

○グローバル COE 航空宇宙流体科学サマースクール

平成 23 年 8 月 3 日～5 日 鳥取大学工学部機械工学科
および レーク大樹（鳥取県鳥取市）

本 GCOE プログラムが主催となり、東北大および JAXA、北海道工業大、東京大、名古屋大、鳥取大教員および 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、計 66 名（うち外国人 1 カ国、1 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。



それぞれの講師陣から、高レイノルズ数風洞や、境界層不安定、設計探索手法、超音速機の実験、乱流モデル、はやぶさアブレータ、CFD など非常に幅広い内容にわたって最新の話題を提供頂いた。

今年のサマースクールは、例年にない参加者が集い、3 日間のあいだに 30 件以上もの講演が行われ、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わたった講演を聴講し、また、予定の時間を超えてのディスカッションが行われるなど、非常に内容の濃いものであった。通常の学会発表では得ることができない貴重な経験をし、学生達にとって非常に良い刺激になった。

○The 6th Seoul National University – Tohoku University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle

平成 23 年 10 月 13 日～14 日 ソウル大学 機械航空工学部

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 6th Seoul National University - Tohoku University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle が、10 月 13 日～14 日の 2 日間、ソウル大学 機械航空工学部で開催された。本ワークショップは 2006 年から始まって今年で 6 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 14 人、ソウル大学から

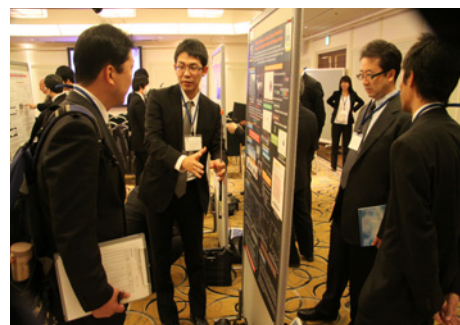


は 60 人が参加し、参加総数は 74 人（うち外国人 62 人、韓国・コソボ）となった。今年は現行および将来の航空宇宙輸送機の設計・開発に関連する実験研究および数値解析研究について計 18 編の論文が発表され、活発な議論を交わすことができた。

○The Seventh International Students / Young Birds Seminar on Multi-scale Flow Dynamics

平成 23 年 11 月 9 日～11 日 ホテルメトロポリタン仙台

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セッションは、ICFD の中心的なセッションにまで成長した。今回は、博士課程の清水康智氏がメインオーガナイザーとなり、坂井玲太郎氏と Juan F. Torres 氏がコオーガナイザーとしてプロシーディングスの査読やフレンドシップナイトのまとめ役を務めた。3 月の東日本大震災の影響による参加学生の大幅な減少が懸念されたが、過去最高の昨年に次ぐ 80 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。前回から導入されたポスター発表時間の大幅延長が定着し、十分な議論ができるようになった。また、日本人同士での議論もほとんど英語で行われ、国際会議の 1 セッションとして十分位置づけられた。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。



ポスターセッションでのひとこま



Students/Young Birds Friendship Night

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。運営経費については、青葉工学振興会ならびに機器研究会等の財団に学生自ら申請し、その範囲内で運営された。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。

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。相互評価については研究発表会等でも取り入れているため、徐々に評価する方法も身に付いてきているのが実感している。

教員による審査で決定した優秀な研究発表者 3 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、その一端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)

OS12-17 Mr. Hiroki Gonome

(Tohoku University, Japan)

OS12-4 Mr. Tetsuya Kanai

(Tohoku University, Japan)

OS12-19 Mr. Karl Håkansson

(KTH Royal Institute of Technology, Sweden)



Best Award を受賞した Karl Håkansson 氏

【OUTSTANDING AWARD】 学生審査

OS12-29 Mr. Kiminori Sakai (Tohoku University, Japan)

OS12-76 Mr. Takeshi Ohki (Tohoku University, Japan)

○The 12th Japan-Korea Students' Symposium New Energy Flow for Sustainable Society —Properties and Applications of Energy Materials—

平成 23 年 11 月 10 日～11 日 ホテルメトロポリタン仙台

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 12 回目である。開催国は毎年交互に持ちまわりで、今年はホテルメトロポリタン仙台で ICFD の 1 セッションとして行われた。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、東北大学の清水信氏、ソウル大学の Joo Wonsyo 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 25 人、韓国側もソウル大学、韓国科学技術院 (KAIST) をはじめとする 5 大学 6 研究室 15 人、計 40 人が発表する大規模開催となった。数年前から参加者に学部生も加わったことで、発表者の若返りが一層加速した。当初は質問に窮する学生も多く見受けられたが、ここ数年で議論も小規模開催の時代と同様に活発になってきた。これは、研究室ごとの学生同士の予行練習の賜物であり、先輩が後輩をとことん面倒見るよい伝統が形成されつつあるものと考えられる。今後も長く継続していきたい。



9) 学生交流研究発表会

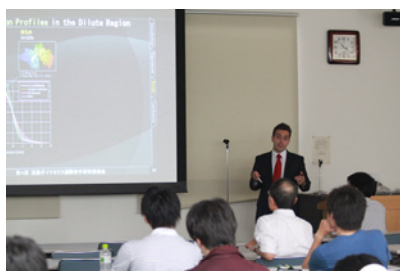
○第4回流動ダイナミクス国際若手研究発表会

平成23年7月8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。年度の途中で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。また、ピアレビューを経験することで、異分野の研究内容を深く理解することにつながり複眼的な人材を育てることとなる。

今回も忙しい合間をぬって12件もの発表があった。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4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名は毎回固定することなく変化しており、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4回流動ダイナミクス国際若手研究発表会

平成23年7月8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12名

No.	発表者	題 目
P1	西尾 悠	Leading Edge Receptivity of the Boundary Layer on a Flat Plate
P2	永島 浩樹	A Molecular Dynamics Study on the Thermodynamic Estimation of Cryogenic Hydrogen
P3	Wang Fang	Novel $\text{SrCo}(1-y)\text{Nb}(y)\text{O}(3-\delta)$ cathodes for intermediate temperature solid fuel cells
P4	須藤 真琢	Evaluation of influence of wheel surface shapes on traveling performances of planetary rovers over slopes
P5	JANG, Juyong	Improvement of Spheroidization Process in a Low Power DC-RF Hybrid Plasma Flow System by Water Droplets Injection
P6	Seung Mo Hong	Steam Oxidation Kinetics of Candidate Alloys for Fuel Cladding of Super Critical Water-cooled Reactors
P7	野田 純司	Vitiation Effects in High-speed Combustion

P8	Shejuan Xie	Quantitative investigation on Local Wall Thinning with Method of Pulsed Eddy Current Testing in Nuclear Power Plants
P9	野呂 秀太	Simulation of Receptivity to the Outer Disturbances in Boundary Layer Transition
P10	大木 健	3D path planning method for mobile robot on rough terrain considering traversing ability
P11	江目 宏樹	酸化第二鉄を用いた機能膜のふく射特性の制御
P12	Juan Felipe Torres Alvarez	Evaluation of the Concentration and Molecular Mass Dependency of Protein Diffusion Coefficients in Aqueous Solutions

<後半の部> 優秀発表者上位3名 GCOE 全体会議発表

No.	発表者	
P08	Shejuan Xie	Quantitative investigation on Local Wall Thinning with Method of Pulsed Eddy Current Testing in Nuclear Power Plants
P10	大木 健	3D path planning method for mobile robot on rough terrain considering traversing ability
P12	Juan Felipe Torres Alvarez	Evaluation of the Concentration and Molecular Mass Dependency of Protein Diffusion Coefficients in Aqueous Solutions



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、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。

○冬季流動ダイナミクス知の融合「博士学生セミナー」

平成 24 年 3 月 16 日 東北大学流体科学研究所

平成 23 年度の「博士合宿セミナー」は、博士課程大学院生 21 名（うち外国人 7 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、東北大学エネルギー安全科学国際研究センター 三浦英生教授および防衛省 技術研究本部 船艇装備研究所 主任研究官 毛利 隆之 氏をお招きし、「官」および「学」の視点から若手研究者に向けた講演を頂いた。

11) ELyT School in Lyon 2011

平成 23 年 9 月 4 日～9 月 14 日 フランス・リヨン

フランスリヨン市 INSA-Lyon 大学と ECL 大学のキャンパスにて開校

サマースクール ELyT School in Lyon 2011 は、本 GCOE が企画・執行の中心機関となつて、国際共同研究機関 ELyT Laboratory を共同運営して提携関係にある東北大学、フランスの二つのグランズエコール INSA-Lyon と Ecole Centrale de Lyon (ECL) 並びに国立研究所 CNRS の 4 者の共同事業として 2009 年からフランスと仙台で交互に毎年開校されている事業であり、今年の第 3 回はフランスリヨンの INSA-Lyon, ECL 両大学のキャンパスで開校し、ここへ東北大学から 30 名の大学院生を派遣した。うち 20 名は博士課程後期、10 名は博士課程前期の大学院生であった。

フランス側からは、日本からの学生と相部屋同宿した学生 4 名を含めて、大学院生 10 名以上が講義に出席し、他の学内外のアクティビティに日本の学生と一緒に参加した。他に 50 名以上のフランス人学生が各種のアクティビティに参加して両国の学生・教員の交流を行った。

このサマースクールには、本 GCOE から Organizer/Principal として和田直人博士が全行程引率したほか、東北大学から以下の 4 名の教授が学術講義で参加した。

東北大学流体科学研究所 圓山 重直教授

(本 GCOE 「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」プログラムリーダー
Accidents and Countermeasures for Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant)

東北大学理学系研究科 大谷 栄治教授

(東北大学 GCOE 「変動地球惑星学の統合教育研究拠点」プログラムリーダー Earth
and Planetary Science)

東北大学金属材料研究所 後藤 孝教授

(東北大学 GCOE 「材料インテグレーション国際教育研究拠点」プログラムリーダー
New Materials and their Processes)

東北大学未来科学技術共同研究センター 庄子 哲雄教授

(Future Energy Strategy and Fukushima Events)

また、フランス側から以下の 7 名の教授が学術講義を行った。

Professor John Tichy (R.P.I Troy, NY, USA Tribology)

Professor Yves Brecht (Grenoble-INP & CNRS Metallurgy)

Professor Fabrice Dassenoy (ECL & CNRS Tribology)

Professor Daniel Henry (ECL & CNRS Transport Phenomena)

Professor Bernard Normand (INSA-Lyon & CNRS Surface Reactivity)

Professor Abdelkader Souifi (INSA-Lyon & CNRS Nano-electronics)

Professor Daniel Nelias (INSA-Lyon & CNRS Modeling of Fretting)

このサマースクールでは、上記の学術講義の他に、学生による「自身の研究内容と大学研究室の紹介」とそれに関する質疑応答、大学・研究室の見学、フランス語とフランス文化に関する講義、欧州原子核共同研究施設（CERN）の見学、学生・教員交流 BBQ、リヨン市庁舎での公式レセプション等 密度の高い公式スケジュールの他に、休日の景勝地 Chamonix 観光、「中世の町見学」等盛り沢山のスケジュールをこなした。最終日のリヨン市庁舎でのレセプションには、リヨン市副市長、ECL 学長、INSA-Lyon 学長、CNRS 幹部も出席し、全員でサマースクールの成功を祝った。

スケジュールは大略以下である。

9月3日（土）夜 成田空港発

4日（日）リヨン着、INSA-Lyon 構内アパート（2人一部屋）入室、市内見学、歓迎ディナー

5日（月）オリエンテーション、学術講義（2）、INSA-Lyon ラボツアー、学生プレゼンテーション

6日（火）学術講義（1）、学生プレゼン、Rhone-Alps 地域説明、トライボロジー学会聴講、INSA-Lyon で BBQ パーティ

7日（水）ECL ラボツアー、学術講義（2）、学生プレゼン、ECL で BBQ パーティ

8日（木）学術講義（2）、学生プレゼン、フランス語講義、コンサート

9日（金）学術講義（2）、学生プレゼン、フランス語、学生主催パーティ

10日（土）フリー（パリ、マルセイユ、「中世の村」観光等）

11日（日）フランス側招待による Chamonix 旅行。翌日の CERN に近いスイスジュネーブに移動。現地ユースホテル泊り。

12日（月）CERN 見学。リヨンへもどり。大学主催夕食会

13日（火）学術講義（3）、学生プレゼン、Wrap-up、リヨン市庁舎でレセプション

14日（水）朝リヨン発（パリ経由）

15日（木）朝成田空港着

東日本大震災後初めての大きな国際交流事業が関係各位のご協力で実現したわけであるが、帰国後の調査では、参加した日仏双方の教員・学生による評価は極めてポジティブであり、大きな成果が挙げられた。次回第4回の ELyT School は、フランスを中心に、他のリエゾンオフィス設置大学からの学生 20 名程度の参加で、2012 年 9 月に仙台の東北大学で開校する事を計画している。その際、ホスト側の東北大学からも多くの学生に参加してもらい学生達の国際交流経験を積ませたいと考えている。



12) 英語研修会 (English Conversation Class)

平成 23 年 6 月～8 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や状況を正確に理解・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、当 GCOE では、昨年度より「GCOE 英語研修会 English Conversation Class」を短期集中的に開催し、若手の研究者・教員・博士課程後期大学院生の需要にこたえて来た。今年度もベテランの Mr. Thomas Duane Mandeville に講師をお願いし、6 月～8 月の間に 1 コマ 2 時間で 10 コマの研修会を開催した。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 を中心テーマとして研修した。

今回の研修会への参加者は若手研究者・教員 4 名、博士課程後期大学院生 10 名の合計 14 名であり、出席率も高く、10 回の研修をこなす間に英語会話力に関して格段の向上がみられた。参加者の評価・感想もポジティブなものが多く成功であった。平成 24 年度も開催する予定である。

13) 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。

平成 23 年 10 月 5 日から平成 24 年 3 月 27 日まで Juan Felipe Torres Alvarez 氏がフランス中央理工科学学校リヨン校 (ECL) においてダブルディグリー取得を目指している。来年度も引き続き派遣する予定である。

14) 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、博士課程後期終了後に、民間企業等でも活躍できる人材を育成する。

15) 若手研究者国際会議派遣 平成 23 年度 15 名 (平成 24 年 1 月現在)

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 23 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
Juan Felipe TORRES ALVAREZ	D1	7th International Conference on Diffusion in Solids and Liquids	Algarve, Portugal	2011/6/26－ 2011/6/30
佐々木 大輔	助教	29th AIAA Applied Aerodynamics Conference	Hawaii, USA	2011/6/27－ 2011/6/30
荻野 要介	助教	42nd AIAA Thermophysics Conference	Hawaii, USA	2011/6/27－ 2011/6/30
金 于載	D2	10th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments	Daejeon, Korea	2011/6/29－ 2011/7/2
八代 圭司	講師	The 18th International Conference on Solid State Ionics	Warsaw, Pohland	2011/7/3－ 2011/7/8
Jang Juyong	D1	第 20 回プラズマ化学国際会議	Philadelphia, USA	2011/7/21－ 2011/7/29
伊賀 由佳	助教	ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011 (AJK2011-FED)	Hamamatsu, Shizuoka, Japan	2011/7/24－ 2011/7/29
藤井 宏之	D3	2011 Complex Fluids Meeting	San Luis Potosi, Mexico	2011/8/15－ 2011/8/19
木村 祐人	D3	2011 Complex Fluids Meeting	San Luis Potosi, Mexico	2011/8/15－ 2011/8/19
宮田 一司	助教	The 23rd IIR International Congress of Refrigeration	Prague, Czech Republid	2011/8/21－ 2011/8/26
小助川 博之	PD	24th European Conference on Biomaterials	Dublin, Ireland	2011/9/4－ 9/8
岡島 淳之介	助教	The 4th International Conference on Heat Transfer and Fluid Flow in Microscale	Fukuoka, Japan	2011/9/4－ 2011/9/9
三木 寛之	講師	38th LEEDS-LYON SYMPOSIUM ON TRIBOROLOGY	Lyon, France	2011/9/6－ 2011/9/9
伊賀 由佳	助教	The 11th Asian International Conference on Fluid Machinery and The 3rd Fluid Power Technology Exhibition (AICFM-11)	Chennai, India	2011/11/21－ 2011/11/23
信太 宗也	D2	ASME2011 International Mechanical Engineering Congress & Exposition	Denver, Colorado, USA	2011/11/11－ 2011/11/17

16) 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 56 回横断セミナー

日時: 平成 23 年 5 月 18 日(水) PM15:00~16:30

講師: Prof. Igor V. Adamovich (米国オハイオ州立大学教授)

演題: Nanosecond Pulse Nonequilibrium Discharges for Plasma Assisted Ignition and High-speed Flow Control

第 57 回横断セミナー

日時: 平成 23 年 10 月 12 日 (水) PM17:00-

講師: 岡島淳之介 助教 (流体研)

演題: 「マイクロチャネル内相変化伝熱を利用した極細クライオプローブの開発と高熱流束冷却への展開」

"Development of ultrafine cryoprobe using phase change heat transfer in a microchannel and application to high heat flux cooling"

第 58 回横断セミナー

日時: 平成 23 年 10 月 28 日 (金) PM17:00-

講師: 清水 浩之 助教 (流体研)

演題: 「岩石破壊に対する粒状対個別要素法適用の新たな試み」

"The applicability of distinct element modeling for rock fracture"

第 59 回横断セミナー

日時: 平成 23 年 11 月 22 日 (火) PM17:00-

講師: 岡田 健 助教 (流体研)

演題: プラズマ科学を基盤としたナノカーボンの半導体応用研究」

"Plasma based nano carbon research for semiconductor device applications"

第 60 回横断セミナー

日時: 平成 23 年 11 月 29 日 (火) PM17:00-

講師: 菊池 崇将 技術補佐員 (流体研)

題目: 「弾道飛行装置を用いた高速非定常現象の実験計測」

"Experimental Measurements of High-Speed Unsteady Phenomena by using Ballistic Ranges"

第 61 回横断セミナー

日時: 平成 23 年 12 月 6 日 (火) PM17:00-

講師: 胡 衛国 助教 (流体研)

題目: 「ナノ半導体と次世代太陽電池」

"Nano semiconductors and third generation solar cell"

第 62 回横断セミナー

日時: 平成 23 年 12 月 12 日 (火) PM17:00-

講師: 宮田 一司 助教 (流体研)

題目: 「ミニチャネル内の流動沸騰熱伝達と圧力損失に関する研究」

" Study on characteristics of the flow boiling heat transfer and pressure drop in mini-channels "

第 63 回横断セミナー

日時：平成 23 年 12 月 27 日（火）PM17:30-

講師：小西 康郁 研究支援者（流体研）

題目：「境界層における低速ストリークの発達と乱流遷移に関する実験的研究」

“Experimental investigation on the development of low-speed streaks and boundary layer transition”

17) 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 23 年度は、国内 4 名の客員教授・客員准教授から教育を受けた。

平成 23 年度

客 員 教 授

古村 一朗（財団法人発電設備技術検査協会 溶接・非破壊検査技術センター
非破壊評価グループ長）

平成 23 年 4 月 1 日～平成 24 年 3 月 31 日

藤井 啓介（独立行政法人宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部
風洞技術開発センター 主任研究員）

平成 23 年 4 月 1 日～平成 23 年 9 月 30 日

安岡 康一（東京工業大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻 教授）

平成 23 年 10 月 1 日～平成 24 年 3 月 31 日

客 員 准 教 授

姫野 武洋（東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻 准教授）

平成 23 年 10 月 1 日～平成 24 年 3 月 31 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)には、相手国(大学)側にリエゾンオフィスが存在し、それぞれの機関の担当者が管理運営を行っている。さらに、スウェーデン王立工科大学(KTH)にも大学間リエゾンオフィスを設置する予定である。これらのリエゾンオフィ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。いわば、このネットワークはこれまで蓄積してきたソフトインフラといえる。

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。

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(第1回2009年9月1日～11日、第2回2010年10月24日～11月3日、第3回2011年9月4日～14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。

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3月にフランスで行った。

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。本年度は2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

2011年11月8日(火)に、流体科学研究所において第8回のリエゾンオフィスミーティングを開催した。リエゾンオフィスミーティングは、2004年より毎年開催してきている。今回は各海外リエゾンオフィス担当者と流体研側担当者および国際交流課より計19名が参加した。来年度は、GCOEおよび海外活動の総まとめであることから、本年はポストGCOEに向けて、現在までの交流のふりかえり今後の交流を議論した。

今回議論した内容は、下記のとおりである。

1. 現在までのリエゾンオフィスを通じた交流活動は生産的であったか。
2. GCOEプログラム終了後の、リエゾンオフィスの交流活動と資金獲得について。
3. 個人的な交流から、機関レベルの交流への発展の重要性について。

この議論を踏まえ、来年度は、「GCOE プログラム終了後のリエゾンオフィス活動について」をメインテーマとして、パネルディスカッション形式のリエゾンオフィスセッションを開催することとした。

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(INSALyon)との共同研究・共同教育がフランスのCNRSのLIA事業として支援をフランス側からも受けている。5分野24のグループから構成され、活動を実施している。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 & 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

2011年9月4日よりサマースクールをINSALyon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。2012年3月12日からはAnnual Workshopをフランスで行った。

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年度に、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。

平成 23 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. Hardoon	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 副教授 助教授 研究員
プロジェクト研究の概要	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 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） 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模型で実験を行い、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。 - 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。		
使用する主な研究設備	・スーパーコンピュータ ・大規模データ処理装置兼グラフィックスサーバ ・3 次元プリンタ		
研究期間	平成 23 年 4 月 1 日～平成 24 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 岡島 淳之介	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 東北大学流体科学研究所	教授 助教 准教授 助教
	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・ナノ構造またはナノ粒子群を用いた機能性反射板を製作し、可視から近赤外における波長領域における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、色調を変えることなく近赤外領域の反射特性を制御する構造を検討する。反射板の特性は実験および数値解析で評価し、あわせて反射板の太陽光照射による温度上昇についても解析を行う。可視光から近赤外領域の分光光度計を使用し、ふく射特性を評価するとともに、対流による熱損失についても考慮し、伝熱の観点から総合的な評価を行う。		
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	H23.4.1－H24.3.31		

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 **DE**sign of the **CO**ntact dynamics: **DECO** Laboratory)

	氏 名	所 属	職 名
研究組織	高木 敏行 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 東北大学国際高等研究機構国際高等融合領域研究所	教授 講師 助教
	足立 幸志 大塚 誠 汪 朋飛	東北大学工学研究科 東北大学多元物質科学研究所 東北大学「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」	教授 准教授 博士研究員
	伊藤 耕祐 後藤 実 松本 康司	日本大学工学部 宇部工業専門学校 宇宙航空研究開発機構	准教授 准教授 主任研究員
	Julien Fontaine Sandrin Bec Michel Belin Manfred Kohl	国立中央理工科学校リヨン校 国立中央理工科学校リヨン校 国立中央理工科学校リヨン校 カールスルーエ工科大学	准研究員 主任研究員 研究技師 教授
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・化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、昨年度は本所公募研究課題（1 件：Julien Fontaine）、科研費基盤研究B（2 件：高木、三木）の競争的資金に加え、民間企業等研究経費（1 件：高木）やELyT Lab. との連携を図り研究を推進している。研究の主題は接触面におけるナノ・マイ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が、プロジェクト最終年度（継続3 年目）であるH23 年度は、導電性硬質炭素膜及びその多層膜について電氣的・磁氣的・機械的（摺動特性など）機能性の観点で定量的に評価し「接触面の制御」について設計指針を確立する。さらに、センサ機能と材料微細組織の相関関係評価手法の検討し、新たなモニタリング手法の確立に取り組む。 尚、今年度もICFD2011 においてオーガナイズドセッション（オーガナイザー：高木、三木、Julien Fontaine）を主催し、本プロジェクトによる成果について報告する。
使用する主な研究設備	（流体研）薄膜強度評価装置、エネルギー分散型X 線分析装置、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 （Ecole Centrale de Lyon）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、微小領域材料特性評価装置 （東北大学工学部）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
研究期間	H23.4.1－H24.3.31

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

・2011 年 8 月 7 日から 8 月 10 日まで、流体研の小宮敦樹准教授が、マイクロチャネル内の物質輸送可視化に関する流体研一般公募共同研究のためニューサウスウェールズ大学に滞在した。

・2011 年 9 月 3 日から 10 月 15 日まで、流体研の圓山研究室庄司衛太氏（M2）が、インターンシップによる共同研究のためシドニー大学に滞在した。

・2011 年 10 月 30 日から 11 月 4 日まで、流体研の岡島淳之介助教が、三次元自然対流の振動流遷移に関する共同研究打ち合わせおよび実験装置構築のためシドニー大学を訪問した。また、「9th Australian Heat and Mass Transfer Conference」に参加し、会議会場にてシドニー大学の Masud Behnia 教授と共同研究についての打ち合わせを行った。

・2011 年 11 月 2 日から 11 月 4 日まで、流体研の圓山重直教授が、「9th Australian Heat and Mass Transfer Conference」に参加し、会議会場にてシドニー大学の Masud Behnia 教授と共同研究、リエゾンオフィスについての打ち合わせを行った。

・2011 年 11 月 8 日に、流体研にて開催されたリエゾンオフィスミーティングに、シドニー大学の Srinivas Karkenahalli 教授が出席し、リエゾンオフィスの現在までの交流実績、および今後の交流活動について議論した。

・2011 年 11 月 9 日から 11 月 11 日まで、ホテルメトロポリタン仙台にて開催された「第 8 回流動ダイナミクスに関する国際会議 (The 8th International Conference on Flow Dynamics)」に、シドニー大学の Srinivas Karkenahalli 教授が出席し、OS10: Biofluid for Medical Application にて脳動脈瘤用ステントの最適化に関する招待講演を行った。

・2012 年 1 月 11 日から 2 月 20 日まで、シドニー大学の Ashkan Javadzadegan 氏 (D2) がインターンシップにて狭窄に関する実験を行うため、流体研の太田研究室に滞在した。

○モスクワ国立大学との交流実績

・2011 年 8 月 19 日から 8 月 23 日まで、流体研の圓山重直教授、小宮敦樹准教授、小針達也氏 (D1) がモスクワ大学を訪問し、「8th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing」に参加した。

・2011 年 11 月 8 日に、流体研にて開催されたリエゾンオフィスミーティングに、モスクワ国立大学の Alexander Vasiliev 教授が出席し、リエゾンオフィスの現在までの交流実績、および今後の交流活動について議論した。

・2011 年 11 月 9 日から 11 月 11 日までホテルメトロポリタン仙台にて開催された「第 8 回流動ダイナミクスに関する国際会議 (The 8th International Conference on Flow Dynamics)」に、モスクワ国立大学の Alexander Vasiliev 教授が出席し、「Multiple magnetization reversal in Cr (PO)」についての講演を行った。

○スウェーデン王立工科大学 (KTH) との交流実績

・2011 年 10 月 25 から 26 日に、流体研の内一哲哉准教授が KTH を訪問した際に、KTH の Fredrik Lundell 准教授らと、リエゾンオフィスの再設置と、両大学の今後の交流について議論を行った。

・2011 年 11 月 8 日に、流体研にて開催されたリエゾンオフィスミーティングに、スウェーデン王立工科大学の Fredrik Lundell 准教授が出席し、リエゾンオフィスの交流経緯、今後について議論した。

・2011 年 11 月 9 日から 11 月 11 日まで、ホテルメトロポリタン仙台にて開催された「第 8 回流動ダイナミクスに関する国際会議 (The 8th 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、「Non-spherical particles and their rotation: an upcoming issue in particulate flows」についての講演を行った。

・2011 年 11 月 11 日に、KTH の Torkel Werge 氏 (国際交流担当) Fredrik Lundell 准教授が流体研及び工学研究科を訪問し、リエゾンオフィス設立につき工学研究科の升谷教授、

中嶋教授、森谷講師、船山助教、流体研の早瀬教授、太田准教授らと議論し、リエゾンオフィスを設立する方向で合意された。

- ・2011年12月1日から2012年2月28日に、流体研の早瀬研 PhD 学生曾根周作氏が共同研究のためスウェーデン王立工科大学の Fredrik Lundell 准教授研究室に滞在した。

- ・2011年12月26日から2012年3月20日に、スウェーデン王立工科大学の PhD 学生 Markus Pastuhoff 氏が GCOE インターンシップの受入学生として、航空宇宙工学専攻の浅井圭介教授研究室に滞在した。

○シラキウス大学との交流実績

- ・2011年4月1日から5月31日まで、流体研の富田典子研究員がシラキウス大学にて、膜タンパク質と脂質との関係に関する共同研究を行った。

- ・2011年11月8日に、流体研にて開催されたリエゾンオフィスミーティングに、シラキウス大学の Jeongmin Ahn 准教授が出席し、リエゾンオフィスの交流経緯、今後について議論した。

- ・2011年11月9日から11月11日までホテルメトロポリタン仙台にて開催された「第8回流動ダイナミクスに関する国際会議 (The 8th International Conference on Flow Dynamics)」に、シラキウス大学の Mark Glauser 教授が出席し、故樋口博教授メモリアルセッションにおいて講演を行った。また、Jeongmin Ahn 准教授、Livia Movileanu 教授もそれぞれ出席し招待講演、ディスカッションを行った。

- ・2011年11月11日に、シラキウス大学の Mark Glauser 教授、Jeongmin Ahn 准教授、流体研の早瀬敏幸教授が、今後の交流に関する打合せを行い、大学レベルの交流への発展につき検討することとなった。

- ・2012年3月1日から1年間、流体研の富田典子研究員が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てシラキウス大学に滞在し、膜タンパク質と脂質との相互作用に関する共同研究を行う予定である。

○韓国科学技術院 (KAIST) との交流実績

- ・2011年6月28日から8月27日まで、工学研究科の金于載氏 (D2) が、GCOE インターンシップ学生として KAIST に滞在した。また、滞在期間中に開催された「The 10th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments」に出席し、研究発表を行った。

- ・2011年9月22日から9月26日まで、流体研の圓山重直教授が KAIST にて学生交流、インターンシップについての打合せと輻射断熱に関する共同研究打合せを行った。

- ・2011年11月8日に流体研にて開催されたリエゾンオフィスミーティングに、KAIST の Sung Jin Kim 教授が出席し、リエゾンオフィスの現在までの交流実績および今後の交流活

動について議論した。

- ・2011年11月9日から11日まで、ホテルメトロポリタン仙台にて開催された「第8回流動ダイナミクスに関する国際会議（The 8th International Conference on Flow Dynamics）」に、KAISTのSung Jin Kim教授が出席し、「Nondestructive Investigation of Wall Thinning in Doubled Layer Tube by Magnetic Adaptive Testing」についての講演を行った。

○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

- ・2011年4月11日から4月17日まで、GCOE和田直人特任教授がダブルディグリープログラム及びElyT Schoolに関する打合せのため、INSA-Lyon、ECLに滞在した。

- ・2011年5月16日から5月22日まで、流体研の小宮敦樹准教授がECLにてダブルディグリープログラムに関する打合せを行った。

- ・2011年5月18日から5月21日まで、流体研の太田信准教授がECLにて、軟組織の摩擦に関する共同研究を行った。

- ・2011年5月18日から5月23日まで、ECLにて流体研の三木寛之講師が流動ダイナミクス国際融合ジョイントラボラトリーに関する共同研究打合せを行った。

- ・2011年6月2日から8月9日まで、流体研の小助川博之氏がGCOEグローバル回遊プログラム派遣学生としてECLに滞在した。

- ・2011年6月16日から7月2日まで、流体研の太田研究室清光千早氏（M2）、久世政範氏（M1）が、ECLにて模擬軟組織の摩擦に関する共同研究を行った。

- ・2011年6月14日から6月20日まで、流体研の小宮敦樹准教授が、INSA-Lyonにて、頭脳循環プログラムに関する打合せを行った。

- ・2011年6月23日から7月2日まで、ECLのJulien Fontaine研究員が流体研一般公募共同研究採択課題Tribological Behavior and Electrical Contact Resistance of Metal-Containing DLC Coating for Electrically Conductive Tribo-elements（J11047）に関する研究を実施するため、流体研の高木研究室に滞在した。

- ・2011年9月1日から9月10日まで、流体研の徳増崇准教授がINSA-Lyonに滞在し、ナノ液柱の潤滑に関する研究打合せを行った。

- ・2011年9月1日から11月25日まで、2011年12月5日から2012年1月17日まで、流体研の内一哲哉准教授がINSA-Lyonに滞在し、マルチフィジックスアプローチによる高温材料のクリープ損傷の非破壊評価に関する共同研究を行った（頭脳循環プログラム）。

- ・2011年9月1日から10月2日まで、流体研の高木・内一研究室の高橋洋平氏（M1）がINSA-Lyonに滞在し、溶射皮膜の非破壊評価に関する共同研究を行った。

- ・2011 年 9 月 3 日から 9 月 15 日まで、INSA-Lyon にて ElyT サマースクールが開催され、東北大学大学院生 30 人が参加した。
- ・2011 年 9 月 6 日から 9 月 10 日まで、INSA-Lyon にて開催された “38th Leeds-Lyon Symposium on Tribology” 国際会議に、流体研の徳増崇准教授、三木寛之講師が出席し、講演を行った。
- ・2011 年 9 月 7 日から 9 月 14 日まで、流体研の圓山重直教授が INSA-Lyon を訪問し、ElyT サマースクールにて講演を行うとともに、流動ダイナミクスに関する共同研究打合せを行った。
- ・2011 年 9 月 8 日から 9 月 11 日まで、流体研の太田研究室小澤桂氏 (D2) が ECL に滞在し、模擬骨に対するドリル特性に関する共同研究を行った。
- ・2011 年 9 月 10 日から 9 月 13 日に、流体研の高木敏行教授が INSA-Lyon および ECL にて、DLC および電磁非破壊評価に関する情報交換を行った。
- ・2011 年 10 月 5 日から 2012 年 3 月 27 日に、流体研の圓山研究室 Juan Felipe Torres Alvarez 氏(D1)が、ダブルディグリープログラムによる共同研究のため、ECL に滞在している。
- ・2011 年 10 月 11 日から 10 月 16 日まで、流体研の小宮敦樹准教授がダブルディグリーに関する打合せのため ECL に滞在した。
- ・2011 年 10 月 11 日から 10 月 20 日まで、流体研の三木寛之講師が、ECL にて「メンテナンスフリー軸受のための超低摩擦ナノクラスタダイヤモンド膜の開発」に関する共同研究を行った。
- ・2011 年 10 月 11 日から 10 月 27 日まで、流体研高木・三木研究室中山遥佑氏 (M2) が、ECL にて「鋼材上に製膜したダイヤモンド膜における金属中間層の耐久性・摺動特性に与える影響評価」に関する共同研究を行った。
- ・2011 年 10 月 28 日から 11 月 12 日まで、ECL の小助川博之研究員が、PVA 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。
- ・2011 年 10 月 30 日から 11 月 11 日まで、ECL の Julien Fontaine 研究員が、流体研一般公募共同研究課題 Tribological Behavior and Electrical Contact Resistance of Metal-Containing DLC Coating for Electrically Conductive Tribo-elements (J11047) に関する共同研究のため流体研の高木・三木研究室に滞在した。
- ・2011 年 11 月 8 日に、流体研にて開催されたリエゾンオフィスミーティングに、INSA-Lyon の Jean-Yves Cavaille 教授、Joel Courbon 教授、Marie-Pierre Favre 副学長、ECL の Philippe Kapsa 教授が出席し、リエゾンオフィスの交流経緯、今後について議論した。

・2011 年 11 月 9 日から 11 月 11 日までホテルメトロポリタン仙台にて開催された「第 8 回流動ダイナミクスに関する国際会議 (The 8th International Conference on Flow Dynamics)」へ、INSA-Lyon の Jean-Yves Cavaille 教授、Joel Courbon 教授、ECL の Philippe Kapsa 教授、Julien Fontaine 研究員が出席し、講演、ディスカッション等を行った。

・2011 年 11 月 15 日から 2012 年 2 月 5 日まで、流体研の小宮敦樹准教授が機能性膜を用いた膜内物質移動能動制御に関する共同研究のため、INSA-Lyon に滞在している (頭脳循環プログラム)。

・2012 年 1 月 8 日から 1 月 12 日まで、流体研の高木敏行教授、服部裕司教授、和田直人特任教授、内一哲哉准教授、徳増崇准教授、小宮敦樹准教授、竹島由里子講師、菊川豪太講師、伊賀由佳助教、下山幸治助教、岡島淳之介助教、(Fellipe Torrs 氏 (D1))、ECL および INSA-Lyon からは Philippe Kapsa 教授、Jean-Yves Cavaille 教授、Joel Courbon 教授、Marie-Pierre Favre 副学長ら約 20 人が出席し、若手教員の国際共同研究促進プログラムにおける ECL および INSA-Lyon との若手国際ワークショップを開催した。

・2012 年 2 月から 8 月まで、流体研の内一哲哉准教授が頭脳循環プログラムで INSA-Lyon に長期滞在予定である。

・2012 年 3 月から 10 月まで、流体研の小宮敦樹准教授が頭脳循環プログラムで INSA-Lyon に長期滞在予定である。

・2012 年 3 月 12 日から 3 月 14 日まで The 4th ELyT Lab Workshop in France を開催した。

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、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、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23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 8th 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：2011.11.9 ～ 2011.11.11

役 割：general chair

名 称：GCOE, Japan-China Joint Workshop on Bio, Material and 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：2012.2.22 ～ 2012.2.23

役 割：議長

<招待講演>

講 演 先：日本機学会 2010年度（88期）定時社員総会 特別企画
「GCOEが目指す機械工学の将来像」

講演題目：「グローバルCOEによる国際的人材育成」

講 演 日：2011.4.21

講 演 先：海洋環境創生機構設立記念講演会

講演題目：海洋資源の創生

講 演 日：2011.6.21

講 演 先：青葉工業会 関東地区支部・東京支部総会

講演題目：東北大学萩友会の組織と東日本大震災による東北大学被害状況

講 演 日：2011.6.18

講 演 先：Chung-Ang University

講演題目：Scale Effect of Heat and Fluid Flow for Application to Micro and Nano Technologies

講 演 日：2011.9.23

講演先：The 2nd TSME International Conference on Mechanical Engineering
 講演題目：What's Happened in Fukushima Nuclear Power Plant- Heat and Fluid Flow in Reactors at Severe Accident-
 講演日：2011.10.19 基調口頭講演

講演先：Electricity Generating Authority of Thailand
 講演題目：What's Happened in Fukushima Nuclear Power Plant-Heat and Fluid Flow in Reactors at Severe Accident-
 講演日：2011.10.20

講演先：9th Australasian Heat and Mass Transfer Conference
 講演題目：What's Happened in Fukushima Nuclear Power Plant-Heat and Fluid Flow in Reactors at Severe Accident
 講演日：2011.11.2 口頭（基調）

講演先：International Forum on Frontier Theories of Thermal Science
 講演題目：Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant -Analysis Using Energy and Mass Conservation Law-
 講演日：2011.12.18

講演先：第4回熱工学ワークショップ
 講演題目：福島第一原子力発電所で何が起きたか-苛酷事故における原子炉内の熱流動-
 講演日：2011.12.02

講演先：マイクロ・ナノ流体工学ワークショップ
 講演題目：Nano-scale Radiative Heat Transfer for Large Scale Environmental Issues
 講演日：2011.12.13 口頭（基調）

講演先：化学工学会関西支部 WG-3（プラント製造技術、安全・安心）
 セミナー企画案 「これからの化学プラントのリスクベースド・アプローチ」
 講演題目：重大事故に関するリスクマネジメント事例
 -福島第一原子力発電所事故の熱流動解析を通して-
 講演日：2012.01.18

講演先：沖ノ鳥島フォーラム2012
 講演題目：海洋深層水汲上による漁場造成～沖ノ鳥島ラピュタ計画
 講演日：2012.01.22

講演先：日本学術振興会協力会理事会および評議会
 講演題目：熱工学と異分野科学との融合による新たな産業創生の可能性
 講演日：2012.02.27

平成23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。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.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）】

修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 小針達也
「微小スケールにおける断熱材のふく射伝熱に関する研究」
2. 機械システムデザイン工学専攻 庄司衛太
「三次元物体まわりの自然対流の高精度計測」
3. 機械システムデザイン工学専攻 出口幸治
「二酸化炭素低排出発電にむけたメタンハイドレート貯留層の解離反応・輸送特性に関する研究」
4. 機械システムデザイン工学専攻 佐藤善幸
「レーザー治療における生体内ふく射伝播に関する研究」

【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 木村 祐人
「A Study of Self-Diffusion in Biomolecule Suspensions and Colloidal Suspensions by Brownian-Dynamics Simulations（生体高分子分散系およびコロイド分散系における自己拡散のブラウン動力学シミュレーションによる研究）」
2. 機械システムデザイン工学専攻 前神 有里子
「Promotion of Chemical Reaction under Resonant Photon Excitation of Molecular」

修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 金山 貴夢
「表面特性の違いによる自励振動ヒートパイプの高性能化への実験的研究」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. 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, pp114-124(March 2011),
2. 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, 149-154 頁(Jan. 2011)
3. A. Sakurai, R. Kanbayashi, K. Matsubara and S. Maruyama
Radiative Heat Transfer Analysis in a Turbulent Natural Convection Obtained from Direct Numerical Simulation
Journal of Thermal Science and Technology, Vol.6 No.3, pp449-462 (2011.1)
4. S. Takayama, T. Seki, M. Watanabe, S. Takashima, N. Sugita, S. Konno, T. Takeda, H. Arai, T. Yambe, N. Yaegashi, M. Yoshizawa, S. Maruyama, and S. Nitta
Changes of Blood Flow Volume in the Superior Mesenteric Artery and Brachial Artery with Abdominal Thermal Stimulation
Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, Vol. 2011. (2011.1)

5. S. Maruyama, T. Yabuki, T. Sato, K. Tsubaki, A. Komiya, M. Watanabe, H. Kawamura, K. Tsukamoto
Evidences of increasing primary production in the ocean by Stommel's perpetual salt fountain
Deep-Sea Research Part I, 58, pp567-574. (2011.5)
6. M. Khoukhi, S. Maruyama
Temperature and Heat Flux Distributions through Single and Double Window Glazing Nongray Calculation.
Smart Grid and Renewable Energy, Vol.2 , pp21-26. (2011)
7. M. Baneshi, S. Maruyama, A. Komiya
Comparison between aesthetic and thermal performances of copper oxide and titanium dioxide nano-particulate coatings
Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, vol. 112 , pp1197-1204 (2011).
8. K.Lari, 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, vol.54, issues 23-24, pp5087-5099 (2011.8)
9. 円山重直
伝熱制御と異分野科学の融合
第 48 会薬剤学懇談会研究討論会 講演要旨集、上山市、1-4 頁(2011.7.6~8)
10. 円山重直
無動力原子炉冷却システムの提案—既設炉にも適用可能—、
原子力 eye, 日刊工業新聞社, vol.57 No.9、33-36 頁(2011.9)
11. 円山重直、M. Baneshi、櫻井篤
ふく射・乱流複合熱輸送シミュレーションモデルの開発
次世代融合研究システム（スーパーコンピュータ）利用研究成果報告書
東北大学流体科学研究所未来流体情報創造センター、第十四巻（2010 年 4 月～2011 年 3 月）
49-51 頁（2011.10）
12. 円山重直、小宮敦樹、山田昇
大規模環境におけるエネルギー移動評価とその解析
次世代融合研究システム（スーパーコンピュータ）利用研究成果報告書
東北大学流体科学研究所未来流体情報創造センター、第十四巻(2010 年 4 月～2011 年 3 月)、40-41 頁（2011.10）
13. 円山重直、岡部孝裕、岡島淳之介、眞下央、小宮敦樹、高橋一郎
点接触式熱物性測定法と逆問題解析を用いた軟質材料及び液体の熱物性評価
日本熱物性シンポジウム 2011、横浜市、120-122 頁、CDR(B119)、(2011.11.21-23)
14. 小針達也、Mehdi Baneshi、岡島淳之介、小宮敦樹、円山重直
拡散近似を用いた高温多孔質断熱材におけるふく射伝熱評価
日本熱物性シンポジウム 2011、横浜市、219-221 頁、CDR(D114)、(2011.11.21-23)
15. R.P. Chopade, S.C. Mishra and P. Mahanta and S. Maruyama
Effects of locations of a 3-D design object in a 3-D radiant furnace for prescribed uniform thermal conditions
Applied Thermal Engineering, vol. 31, Issue 16, pp3262-3274、(2011.11)
16. R.P. Chopade, S.C. Mishra, P. Mahanta and S. Maruyama
Numerical analysis of an inverse boundary design problem of 3-d radiant furnace with a 3-D design object
Numerical Heat Transfer, Part A vol. 60, pp25-49(2011.01)
17. R.P. Chopade, S.C. Mishra, P. Mahanta, S. Maruyama
Estimation of power of heaters in a radiant furnace for uniform thermal conditions on 3-D irregular shaped object
International Journal of Heat and Mass Transfer (2011.06)
18. S.C. Mishra, R. Muthukumaran and S. Maruyama
The finite volume method approach to the collapsed dimension method in analyzing steady/transient radiative transfer problems in participating media
International Communication in Heat and Mass Transfer, 38(3), pp291-297 (2011.03)
19. R. Muthukumaran, S.C. Mishra, S. Maruyama and K. Mitra
Assessment of signals from a tissue phantom subjected to radiation sources of temporal spans of

- the order of a nano-, a pico- and a femto-second - a numerical study
Numerical Heat Transfer, Part A Vol. 60, Issue 2, pp154–170 (2011)
20. Hiroki Gonome, Mehdi Baneshi, Atsuki Komiya and Shigenao Maruyama
Radiative Properties of Spectral Selective Coatings Pigmented with TiO₂ Nanoparticles
Heat Transfer-Asian Research, first published online 27 Dec, 2011
 21. 円山重直
グローバル COE による国際的人材育成
日本機械学会 2010 年度(第 88 期)定時社員総会、招待講演、東京(2011.4.21)
 22. 円山重直
東北大学萩友会の組織と東日本大震災による東北大学被害状況
青葉工業会関東地区支部・東京支部総会、招待講演、東京(2011.6.18)
 23. 円山重直
原子炉内熱流動現象の測定-福島第一原子力発電所 1 号機の場合-
東北大学国際高等研究教育機構/東北大学クロスオーバー、2011 No.10 号、4-5 頁(2011-8.1)
 24. 円山重直
機械工学ハンドブック
(第Ⅲ部 熱流体・エネルギー・環境、Ⅲ-1 熱流体基礎 5. 熱放射)
朝倉書店, 401-406 頁(2011-10.15)
 25. E. Shoji, A. Komiya, J. Okajima, S. Maruyama
Visualization and Measurement of Natural Convection around Vertical Flat Plate by Common
Path Phase-Shifting Interferometer
Proceedings of 22nd International Symposium on Transport Phenomena, 62(USB
Memory), (2011)

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. Heat Transfer-Asian Research
2. Journal of Thermal Science and Technology
3. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine
4. Deep-Sea Research Part
5. Smart Grid and Renewable Energy
6. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer
7. International Journal of Heat and Mass Transfer
8. 原子力eye
9. Applied Thermal Engineering
10. Numerical Heat Transfer
11. International Communication in Heat and Mass Transfer

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成23年（1月～12月）

1. 円山重直、佐藤善幸、小宮敦樹、櫻井篤
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
第23回バイオエンジニアリング講演会講演論文集、熊本市、177-178頁(2011.1.8-9)
2. S. Maruyama
Flow Dynamics in Nano and Micro Systems, Mass Transfer and Fluid Dynamic Measurement
Under Microgravity
Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Invited lecture, Nanjing (China)
(2011.2.23)
3. S. Maruyama
Creating Forests in Ocean Deserts Using the Perpetual Salt Fountain-Laputa Project,
Shanghai Jiao Tong University (2011.2.25), Invited lecture, Shanghai (China)

4. 岡島淳之介、小宮敦樹、円山 重直
高熱流速冷却マイクロチャンネル内相変化伝熱の理論解析
第48回日本伝熱シンポジウム講演論文集、岡山市、CDROM (2011.6.1-3)
5. Juan F. Torres, 小宮敦樹、岡島淳之介、円山 重直
高分子化合物の水溶液内物質拡散係数の濃度依存性測定
第48回日本伝熱シンポジウム講演論文集、岡山市、CDROM (2011.6.1-3)
6. M. Baneshi, H. Gonome, S. Maruyama and A. Komiya
Heat shield performance of Fe₂O₃ Pigmented coatings by inverse analysis of full spectral reflectivity measurements
48th national heat Transfer Symposium of Japan, Okayama, CDROM (2011.6.1-3)
7. 円山重直
海洋資源の創生
海洋環境創生機構設立記念講演会、東京(2011.6.21)
8. T.kobari, A.Komiya, S.Moriya, S.Kosaka, Y.Nakano and S.Maruyama
VISUALIZATION OF FLOW PATTERNS IN DIFFERENTLY SHAPED COOLING CHANNELS OF PISTONS
PSFVIP-8:The 8th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing
Moscow, Russia, , CDROM (2011.8.21-25)
9. 岡島淳之介、小宮敦樹、円山重直
冷媒循環システムを利用した極細クライオプローブによる凍結領域制御
日本機械学会2011年度年次大会DVD-ROM論文集、東京(2011-9.11-14)
10. J. Okajima, A. Komiya, S. Maruyama
THEORETICAL STUDY FOR HIGH HEAT FLUX COOLONG BY USING PHASE CHANGE HEAT TRANSFER IN A MICROCHANNEL
Proceedings of the 4th International Conference on Heat Transfer and Fluid Flow in Microscale
Fukuoka, Japan, CDROM (2011.9.4-9)
11. 円山重直、高橋邦弘、及川秀春、久田哲弥、西山英作
産学官連携による電磁調理器対応軽量化鋳鉄フライパンの開発
日本機械学会東北支部第47期秋季講演会
講演論文集No. 2011-2、米沢、392-393頁(2011.9.22)
12. S.Maruyama, K. Deguchi, A. Komiya
Formation and Dissociation of Oceanic Methane Hydrate For a Low CO₂ Emission Power Generation System
Proceedings of the ASME 2011 Power Conference, Denver, Colorado, USA, , CD-ROM , POWER2011-55308 (2011.7.12-14)
13. S.Maruyama
What's Happened in Fukushima Nuclear Power Plant- Heat and Fluid Flow in Reactors at Severe Accident-
The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering, Krabi, Thailand, CD-ROM, Keynote Lecture, (2011.10.19-21)
14. S.Maruyama
What's Happened in Fukushima Nuclear Power Plant- Heat and Fluid Flow in Reactors at Severe Accident-, Lecture at Electricity Generating Authority of Thailand, Bangkok, Thailand, Keynote Lecture, (2011.10.20)
15. 円山重直
無動力原子炉冷却システム
熱工学コンフェレンス2011, 講演論文集No.11-36、浜松市、167-168頁(2011.10.29-30)
16. S.Maruyama and J. Okajima
What's happened in Fukushima Nuclear Power Plant-Heat and Fluid Flow in Reactors at Severe Accident
9th Australasian Heat and Mass Transfer Conference, Australia, Keynote Lecture, USB memory (2011.11.2-4)
17. S. Maruyama
Nano-scale Radiative Heat Transfer for Large Scale Environmental Issues
Workshop on Micro-Nano Flow Engineering, Nagoya, Invited Lecture (2011.12.13)
18. S. Maruyama

- Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant -Analysis Using Energy and Mass Conservation Law-
International Forum on Frontier Theories of Thermal Science , Keynote lecture (2011.12.18-21)
19. 円山重直
福島第一原子力発電所で何が起こったか - 苛酷事故における原子炉内の熱流動 -
No.11-120 第4回 熱工学ワークショップ、神戸市、(2011.12.02-03)、⑤
 20. M. Baneshi, H. Gonome, J. Okajima, S. Maruyama
Evaluation of Radiative Properties of Cr₂O₃:Fe₂O₃ Pigment Powder in Solar Spectrum Range using Experimental Diffuse Reflectivity Measurement, Eighth International Conference on Flow Dynamics(ICFD), Sendai, pp110-111 (2011.11.09-11)
 21. T. Yabuki, M. Watanabe, A. Komiya, S. Maruyama
Potential for Ocean Fertilization by Perpetual Salt Fountain: Each Basin Estimation of Upwelling Flow Rate
Eighth International Conference on Flow Dynamics(ICFD), Sendai, pp148-149, (2011.11.09-11)
 22. H. Gonome, M. Baneshi, J. Okajima, A. Komiya, S. Maruyama
The Effect of Dispersed State to Control of Radiative Properties of Coatings Pigmented with Nanoparticles
Eighth International Conference on Flow Dynamics(ICFD), Sendai, pp508-509 (2011.11.09-11)
 23. S. Maruyama, Y. Sato, A. Sakurai, J. Okajima, M. Baneshi, A. Komiya
Analysis of Axisymmetric Radiative Heat Transfer in Biological Tissue using the Radiation Element Method
Eighth International Conference on Flow Dynamics(ICFD), Sendai, pp534-535 (2011.11.09-11)
 24. A. Al Mahdouri, M. Baneshi, A. Barthel, H. Gonome, J. Okajima, S. Maruyama
Spectral Radiative Properties of Greenhouse Plastic Films Using Inverse Method
Eighth International Conference on Flow Dynamics(ICFD), Sendai, pp564-565 (2011.11.09-11)
 25. N. Yamada, A. Sakurai, A. Komiya, S. Maruyama
Energy Transfer Simulation and Analysis on Mega-scale Environment
Proceedings of The Eleventh International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI 2011), Sendai, pp160-161 (2011.11.09-11)
 26. A. Sakurai, Y. Sato, S. Maruyama, J. Okajima, A. Komiya
Heat Transfer Analysis in a Biological Tissue Exposed to Laser Irradiation
Proceedings of The Eleventh International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI 2011), Sendai, pp162-163, (2011.11.09-11)
 27. S. Maruyama
Scale Effect of Heat and Fluid flow for Application to Micro and Nano Technologies
Chung-Ang University での講演, Invited, Seoul (2011.9.23)
 28. T. Okabe, J. Okajima, H. Mashimo, A. Komiya, I. Takahashi
Evaluation of Thermophysical Properties of Soft Materials and Liquids by Using a Point-Contact Method and The Inverse Analysis, The 32nd Japan Symposium on Thermophysical Properties Yokohamam, pp120-122, CDR(B119), (2011.11.21-23)
 29. T. Kobari, M. Baneshi, J. Okajima, A. Komiya
Evaluation of Radiative Heat Transfer in High-Temperature Porous Insulation Materials by Using Diffusion Approximation
The 32nd Japan Symposium on Thermophysical Properties, Yokohamam, pp219-221 CDR(D114), (2011.11.21-23)
 30. S. Maruyama
Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant -Analysis Using Energy and Mass Conservation Law-
International Forum on Frontier Theories of Thermal Science, Beijing, invited (2011.12.18-20)
 31. 円山重直
重大事故に関するリスクマネジメント事例-福島第一原子力発電所事故の熱流動解析を通して-
化学工学会関西支部 WG-3 (プラント製造技術、安全・安心) セミナー企画案 「これからの化学プラントのリスクベースド・アプローチ」、大阪市、招待講演(2012.1.18)
 32. 圓山重直
熱工学と異分野科学との融合による新たな産業創生の可能性
日本学術振興会協力会理事会および評議会、東京都、招待講演 (2012.2.27)

33. J. F. Torres, A. Komiya, J. Okajima, S. Maruyama
Evaluation of the Concentration Dependency of Mass Diffusion Coefficients in Aqueous Binary Solutions.Proceedings of 7th International Conference on Diffusion in Solids and Liquids,DSL315 (2011.06.26-30)

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. Juan F. Torres, 小宮敦樹、岡島淳之介、円山 重直
高分子化合物の水溶液内物質拡散係数の濃度依存性測定
第48回日本伝熱シンポジウム講演論文集、岡山市、CDROM (2011.6.1-3)
2. M. Baneshi, H. Gonome, S. Maruyama and A. Komiya
Heat shield performance of Fe₂O₃ Pigmented coatings by inverse analysis of full spectral reflectivity measurements
48th national heat Transfer Symposium of Japan, Okayama, CDROM (2011.6.1-3)
3. M. Baneshi, H. Gonome, J. Okajima, S. Maruyama
Evaluation of Radiative Properties of Cr₂O₃:Fe₂O₃ Pigment Powder in Solar Spectrum Range using Experimental Diffuse Reflectivity Measurement, Eighth International Conference on Flow Dynamics(ICFD), Sendai, pp110-111 (2011.11.09-11)
4. H. Gonome, M. Baneshi, J. Okajima, A. Komiya, S. Maruyama
The Effect of Dispersed State to Control of Radiative Properties of Coatings Pigmented with Nanoparticles
Eighth International Conference on Flow Dynamics(ICFD), Sendai, pp508-509 (2011.11.09-11)
5. A. Al Mahdouri, M. Baneshi, A. Barthel, H. Gonome, J. Okajima, S. Maruyama
Spectral Radiative Properties of Greenhouse Plastic Films Using Inverse Method
Eighth International Conference on Flow Dynamics(ICFD), Sendai, pp564-565 (2011.11.09-11)
6. T. Kobari, M. Baneshi, J. Okajima, A. Komiya
Evaluation of Radiative Heat Transfer in High-Temperature Porous Insulation Materials by Using Diffusion Approximation
The 32nd Japan Symposium on Thermophysical Properties, Yokohamam, pp219-221 CDR(D114) , (2011.11.21-23)
7. J. F. Torres, A. Komiya, J. Okajima, S. Maruyama
Evaluation of the Concentration Dependency of Mass Diffusion Coefficients in Aqueous Binary Solutions.Proceedings of 7th International Conference on Diffusion in Solids and Liquids,DSL315 (2011.06.26-30)

【本人の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

マイクロ空洞共振を利用した水蒸気改質反応方法及びそのための水蒸気改質反応方法及びそのための水蒸気改質反応装置

特許登録番号：特許第4814541号

特許登録日：2011年 9 月 2 日

【学生の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞者：岡島 淳之介

受賞日：2011年3月22日

受賞名：工学研究科長賞

組織名：東北大学

受賞者：高橋 佑弥

受賞日：2011年3月22日

受賞名：工学部長賞

組織名：東北大学

受賞者：江目 宏樹
受賞日：2011年3月25日
受賞名：三浦賞
組織名：東北大学

受賞者：小針 達也
受賞日：2011年5月7日
受賞名：東北伝熱学会ベストプレゼンテーション賞
組織名：日本伝熱学会東北支部

受賞者：Torres Juan Felipe
受賞日：2011年6月3日
受賞名：優秀プレゼンテーション賞
組織名：日本伝熱学会

受賞者：江目 宏樹
受賞日：2011年11月10日
受賞名：ICFD Best Award 賞
組織名：Global COE Program

【学生の研究費の獲得】

○平成23年（1月～12月）
獲得者名：江目 宏樹
名称：特別研究員奨励費
期間：2011年度

【本人のマスコミ発表等】

○平成23年（1月～12月）
名称(**新聞等)：日経産業新聞
期間(年.月.日)：2011.02.05
内容：[Techno online], 大学で「ありがとう」 企業や政府も実践を

名称(**新聞等)：日経産業新聞
期間(年.月.日)：2011.03.04
内容：[Techno online], 機械が「ひと」になるとき-情報機器、一層身近に

名称(**新聞等)：電気新聞（日本電気協会）
期間(年.月.日)：2011.07.14
内容：原子炉長期冷却システム「災害時にも自然に冷却」

名称(**新聞等)：河北新報
期間(年.月.日)：2011.08.07
内容：楽しい理科のはなし2011後編，不思議の箱を開けよう，大和町立吉岡小学校

名称(**新聞等)：日経産業新聞
期間(年.月.日)：2011.10.21
内容：[Techno online], 災害時，頼れるエコ技術 「主役は太陽光やLED」

名称(**新聞等)：日経産業新聞
期間(年.月.日)：2011.11.08
内容：[Techno online], 原発の安全過信 「対策欠如，黙認の土壤に」

名称(**新聞等)：東京新聞

期間(年.月.日) : 2012.01.23

内容 : 千代田でフォーラム 「写真や模型 現状紹介 (日本の最南端・沖ノ鳥島)」

名称(**新聞等) : 日経産業新聞

期間(年.月.日) : 2012.01.31

内容 : [Techno online], 日本経済の復興 「ジェットエンジン」 活用を

名称(**新聞等) : Popular Science May 2011

期間(年.月.日) : 2011.5月号

内容 : 記事”Repair the Water Cycle”の中で研究を紹介

名称(**新聞等) : 日本機械学会誌2012 Vol.115, No.1119

期間(年.月.日) : 2012.2月号

内容 : 記事「The 2nd International Conference on Mechanical Engineering (TSME-ICoME)の報告」
の中で行われた基調講演を紹介



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

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。

今年度は、GCOE主催の第8回ICFDにおいて、オーガナイズドセッション”5th Functionality DEsign of the Contact Dynamics: (DECO2011)”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。

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フロンティアプロジェクトを形成して研究を実施するとともに、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、2011年7月24日～29日に大阪大学との連携により“Maintenance Science Summer School 2011”の開催を支援し、さらにGCOE主催の第8回ICFDにおいて、“Flow-induced Degradations in Piping Systems of Nuclear Power Plants”を開催した。

平成23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：15th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics

日時：2011年9月6日(火)～2011年9月9日(金)

場所：ナポリ（イタリア）

参加人数：240名（うち外国人172名）

役割：論文編集共同議長

会議の概要：電磁気学を応用した学際的な分野の情報交換

会議名：Eighth International Conference on Flow Dynamics

日時：2011年11月9日(水)～2010年11月11日(金)

場所：メトロポリタン仙台（仙台）

参加人数：649名（うち外国人206名）

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ての議論

会議名：ELyT Lab Workshop

日時：2012年3月12日（日）～3月14日（祝・水）

場所：Presqu'île de Giens, France

参加人数：78名

役割：研究コーディネイト

会議の概要：東北大学、フランスINSA-Lyon, ECLの研究者による共同研究の成果の学術講演

<招待講演>

講演先：第16回動力・エネルギー技術シンポジウム(日本)

講演題目：励磁制御渦電流試験法による補強板付配管の減肉評価

講演 日：2011.6.23

講演 先：SiMCRT2011(International Workshop on Simulation and Modeling related to Computational Science and Robotics Technology)(日本)

講演題目：Forward and Inverse Simulations of PipeWall Thinning using Pulsed Eddy Current Signals

講演 日：2011.11.2

<特別講演>

講演 先：日本保全学会第8回学術講演会（特別編）（日本）

講演題目：福島原発事故への日本保全学会としての取り組み

講演 日：2011.10.21

講演 先：第 15 回 磁粉・浸透・目視部門・電磁気応用部門・漏れ試験部門合同シンポジウム（日本）

講演題目：東日本大震災による東北地方の発電プラントの被害と教訓

講演 日：2012.2.20

講演 先：ELyT Lab Workshop（フランス）

講演題目：One Year After the Disaster

-Damages, Current Status and Prospects of Nuclear Power Plants in Tohoku Area Caused by the Tohoku Pacific Earthquake-

講演 日：2012.3.12

平成23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.導電性を有する非晶質炭素薄膜を作製し、導電性と低摩擦の両立する膜条件を検討した。

①ナノサイズの軟質（Cu, Ag）金属クラスタを含有する非晶質炭素薄膜について、金属を主成分をとする移着層の形成過程および摺動特性の荷重依存性の関係性を定性的に明らかにした。

②ナノサイズのモリブデンを分散した非晶質炭素薄膜をセラミックス上に成膜し、繰り返し歪による電気的特性の経時変化に関する定量的評価を実施した。

以上、非晶質炭素薄膜の導電性と耐摩耗性、耐久性を定性・定量的に評価し、導電性摺動要素ならびに薄膜センサとしての機能性を示した。

2.国立中央理工科学校リヨン校の Julien Fontaine 博士が2011年6月24日～7月1日の期間本所に滞在し共同研究を実施した。また ICFD2011 において “5th Functionality DEsign of the COntact Dynamics: (DECO2011)” に参加し共同研究の成果を発表した。また、平成24年3月にはAnnual Workshop of ELyT Laboratoryを主催し、基調講演するとともに、Julien Fontaine 博士と三木寛之講師、竹野貴法助教、汪 朋飛GCOEフェローが硬質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

減肉検査が困難な部位の減肉評価の信頼性を向上させるために、有効な検査方法が存在しない補強板下の減肉検査を取り上げ、検査の可能性が示されている励磁制御渦電流試験法について検討を行い、以下の結論を得た。補強板付きSUS配管試験体における減肉の評価については、励磁方法やプローブ構造

を検討しプローブの感度を向上させた。さらに測定結果に基づいて逆問題解析を行い、深さについては最大誤差2 mmで、減肉の大きさについては最大誤差 3mm程度で評価が可能であるとの結論を得た。

電磁超音波探触子を用いた板波SH0波による減肉検査の可能性についても予備的な検討を行った。透過法により補強板付き炭素鋼配管試験体を測定した結果、透過SH0波の振幅と減肉量の間に相関関係が確認された。

(2) 原子力発電設備における残留歪みの非破壊評価に関する研究

オーステナイト系ステンレス鋼SUS304を対象として、電磁非破壊評価法を用いて残留ひずみと電磁特性との間の関係について定量的に評価し、その有効性を検証した。具体的な電磁非破壊評価法として渦電流法、非線形渦電流法を用いて測定を行い、信号に基づいて残留歪みを定量的に評価することが可能であることを示した。また、磁気力顕微鏡 (MFM) による観察、B-Hループアナライザによる磁気特性評価を行い、歪みによる組織の変化と時期特性の変化のモデルについても議論を行った。

その他、当該年度の論文、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. 解 社娯
Quantitative Nondestructive Evaluation of Pipe Wall Thinning Using Pulsed Eddy Current Testing (パルス渦電流探傷試験法を用いた配管減肉の定量的評価)

修士論文

1. 澁谷 健太郎
動的磁化過程に着目した改良9Cr-1Mo鋼のクリープ損傷に伴う組織評価
2. 中山 遥佑
鋼材上に製膜したダイヤモンド膜における金属中間層の耐久性および摺動特性に与える影響評価

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. 青木 孝行
原子力発電所の保全最適化と保全定量化に関する研究
(Maintenance Optimization and Maintenance Quantification in Nuclear Power Plants)
2. 関根 裕一
Evaluation of Stress of Austenitic Stainless Steel after Surface Processing by Means of an Eddy Current Method
(表面加工したオーステナイト系ステンレス鋼の応力の渦電流法による評価)
3. 柳 昌昊
Study of Treatment Analysis from Catheterization to Stenting with In-vitro Model
(生体外モデルを用いたカテーテルからステント治療までの解析に関する研究)
4. 馬渡 慎吾
再処理施設の回転機器の診断技術に関する開発研究
(Development Research of Machine Condition Diagnosis Technique for Rotating Equipment in Reprocessing Facility)

修士論文

1. 西垣 一慶
二硫化モリブデン含有ダイヤモンドライクカーボン膜による真空中低摩擦発生機構
2. 大橋 悠輔
電磁波を応用した構造物表面動ひずみ非接触計測技術の開発に関する研究
3. 奥村 剛行
電界応答ポリマーコンポジットのマイクロモーターへの応用
4. 稲葉 智亮

MR 流体多孔質コンポジットの創製とその免振・制振用ダンパへの応用

5. 林 健太郎

量子分子動力学法によるダイヤモンドライクカーボンの低摩擦メカニズムの解明と超低摩擦システムの理論設計

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. VD Buchelnikov, VV Sokolovskiy, SV Taskaev, VV Khovaylo, AA Aliev, LN Khanov, AB Batdalov, P Entel, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi
Monte Carlo simulations of the magnetocaloric effect in magnetic Ni-Mn-X (X =Ga, In) Heusler alloys
Journal of Physics D: Applied Physics, Vol.44, pp. 064012-064025. (2011.1.27)
2. Yamaguchi, K., Imae, K., Nittono, O., Toshiyuki Takagi, Yamada, K.
New residual stress detector using angle resolved Barkhausen noise
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics 36 (1-2), pp. 71-74. (2011.1)
3. 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技術
保全学, Vol.10, No.1, pp.64-69. (2011.4)
4. Shejuan Xie, Zhenmao Chen, Toshiyuki Takagi and Tetsuya Uchimoto
Efficient numerical solver for simulation of pulsed eddy current testing signals
IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 47, No. 11, pp. 4582-4591. (2011.5.10)
5. Shejuan Xie, Toshiyuki Takagi and Zhenmao Chen
Sizing of metallic foam bubble flaws using direct current potential drop signals with the help of the neural network method
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol. 36, No. 4
pp. 339-353. (2011.8.12)
6. Takeshi Ohno, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi
Microstructural design for fabrication of strain sensor utilizing tungsten-doped amorphous carbon coatings
Diamond & Related Materials, Vol.20, pp. 651-654. (2011)
7. 山本 剛, 白須 圭一, 高木 敏行, 橋田 俊之
単繊維引抜き試験によるカーボンナノチューブ/アルミナ複合材料のクラックブリッジング挙動特性評価
日本機械学会論文集 (A 編) 77 巻 777 号 pp. 779-783. (2011)
8. Go Yamamoto, Keiichi Shirasu, Toshiyuki Hashida, Toshiyuki Takagi, Ji Won Suk, Jinho An, Richard D. Piner, Rodney S. Ruoff
Nanotube fracture during the failure of carbon nanotube/alumina composites Carbon 49, pp. 3709-3716. (2011)
9. Shejuan Xie, Toshihiro Yamamoto, Toshiyuki Takagi and Tetsuya Uchimoto
Pulsed ECT method for evaluation of pipe wall-thinning of nuclear power plants using magnetic sensor
Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol. 35, pp. 203-210. (2011)
10. Shejuan Xie, Zhenmao Chen, Li Wang, Toshiyuki Takagi and Tetsuya Uchimoto
An inversion scheme for sizing of wall thinning defect from pulsed eddy current testing signals
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics PS2.02. (2011)
11. Yamaguchi, K., Suzuki, K., Nittono, O., Uchimoto, Toshiyuki Takagi.
Magnetic dynamic process of magnetic layers around grain boundary for sensitized alloy 600
IEEE Transactions on Magnetics 47 , art. no. 5565481 , pp. 1118-1121. (2011)
12. Chu, H.M., Mizuno, J., Hane, K., Toshiyuki Takagi.
Compact slanted comb two-axis micro-mirror scanner fabricated by silicon-on-insulator micromachining
Journal of Vacuum Science and Technology B Vol.29 (4), 042001 (2011)
13. Yamaguchi, K., Suzuki, K., Takase, T., Nittono, O., Uchimoto, T., Toshiyuki Takagi

Hysteresis properties for local magnetic sites distribution on grain boundary
Physica B: Condensed Matter (2011)

14. Cheng, J., Ji, H., Qiu, J., Toshiyuki Takagi
Semi-active vibration suppression by a novel synchronized switch circuit with negative capacitance
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics 37, pp. 291-308. (2011)
15. 白須 圭一, 山本 剛, 大森 守, 高木 敏行, 橋田 俊之
カーボンナノチューブ/アルミナ複合材料の作製と破壊機構の解明に関する研究
日本機械学会論文集A編 77 巻 779 号 pp. 1041-1045. (2011)

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. Journal of Physics D: Applied Physics
2. 保全学
3. IEEE Transactions on Magnetism
4. International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics
5. Diamond & Related Materials
6. 日本機械学会論文集
7. Carbon
8. Physica B: Condensed Matter

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. VD Buchelnikov, VV Sokolovskiy, SV Taskaev, VV Khovaylo, AA Aliev, LN Khanov, AB Batdalov, P Entel, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi
Monte Carlo simulations of the magnetocaloric effect in magnetic Ni-Mn-X (X = Ga, In) Heusler alloys
Journal of Physics D: Applied Physics, Vol.44 (2011), pp. 064012-064025.
2. 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技術
保全学保全学, Vol.10, No.1 (2011), pp.64-69.
3. Shejuan Xie, Zhenmao Chen, Toshiyuki Takagi and Tetsuya Uchimoto
Efficient numerical solver for simulation of pulsed eddy current testing signals
IEEE Transactions on Magnetism, Vol. 47, No. 11 (2011), pp. 4582-4591.
4. Shejuan Xie, Toshiyuki Takagi and Zhenmao Chen
Sizing of metallic foam bubble flaws using direct current potential drop signals with the help of the neural network method
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol. 36, No. 4 (2011) pp. 339-353.
5. Takeshi Ohno, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi
Microstructural design for fabrication of strain sensor utilizing tungsten-doped amorphous carbon coatings
Diamond & Related Materials, Vol.20 (2011), pp. 651-654.
6. 山本 剛, 白須 圭一, 高木 敏行, 橋田 俊之
単繊維引抜き試験によるカーボンナノチューブ/アルミナ複合材料のクラックブリッジング挙動特性評価
日本機械学会論文集(A 編) 77 巻 777 号 (2011) pp. 779-783.
7. Go Yamamoto, Keiichi Shirasu, Toshiyuki Hashida, Toshiyuki Takagi, Ji Won Suk, Jinho An, Richard D. Piner, Rodney S. Ruoff
Nanotube fracture during the failure of carbon nanotube/alumina composites
Carbon 49 (2011), pp. 3709-3716.
8. Shejuan Xie, Toshihiro Yamamoto, Toshiyuki Takagi and Tetsuya Uchimoto

Pulsed ECT method for evaluation of pipe wall-thinning of nuclear power plants using magnetic sensor

Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol. 35 (2011), pp. 203-210.

9. Shejuan Xie, Zhenmao Chen, Li Wang, Toshiyuki Takagi and Tetsuya Uchimoto
An inversion scheme for sizing of wall thinning defect from pulsed eddy current testing signals
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics (2011) PS2.02
10. Yamaguchi, K., Suzuki, K., Nittono, O., Uchimoto, T., Toshiyuki Takagi.
Magnetic dynamic process of magnetic layers around grain boundary for sensitized alloy 600
IEEE Transactions on Magnetics 47, art. no. 5565481, (2011) pp. 1118-1121.
11. Chu, H.M., Mizuno, J., Hane, K., Toshiyuki Takagi.
Compact slanted comb two-axis micro-mirror scanner fabricated by silicon-on-insulator Micromachining
Journal of Vacuum Science and Technology B: Vol. 29, (2011), no.042001
12. Yamaguchi, K., Imae, K., Nittono, O., Toshiyuki Takagi, Yamada, K.
New residual stress detector using angle resolved Barkhausen noise
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics 36, (1-2) (2011) pp.71-74.
13. Yamaguchi, K., Suzuki, K., Takase, T., Nittono, O., Uchimoto, T.,
Toshiyuki Takagi
Hysteresis properties for local magnetic sites distribution on grain boundary Physica B: Condensed Matter (2011)
14. Cheng, J., Ji, H., Qiu, J., Toshiyuki Takagi
Semi-active vibration suppression by a novel synchronized switch circuit with negative capacitance
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics 37, (2011) pp. 291-308.
15. 白須 圭一, 山本 剛, 大森 守, 高木 敏行, 橋田 俊之
カーボンナノチューブ/アルミナ複合材料の作製と破壊機構の解明に関する研究
日本機械学会論文集A編 77(779), (2011) pp. 1041-1045.

【本人の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞名：文部科学大臣表彰 科学技術賞 研究部門

受賞日：2011年4月20日

【学生の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞者：大野威

受賞名：自動車技術会 大学院研究奨励賞

受賞日：2011年3月

受賞者：解 社娉

受賞名：第4回流動ダイナミクス国際若手研究発表会優秀賞

受賞日：2011年7月8日

【学生の研究費の獲得】

○平成23年（1月～12月）

獲得者：解 社娉

名 称：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」

国際出る杭のぼす教育プログラム平成23年度グローバルCOE特別研究奨励費



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、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）や電界応答ポリマーコンポジットの創製・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粒子ER流体を分散媒を調整して創製し、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、低い基底粘度を有し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、非導電性の微粒子をゼラチンに分散して硬化させた電界応答ポリマーコンポジットを創製し、そのコンポジットからなるディスクロータを作成して、それを誘電体の液体中に浸し、直流電場印加によって回転数とトルクを制御できるマイクロモータを実現している。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を創製し、より高性能なMR効果を発揮する構成法について検討した。このMR流体多孔質コンポジットを多層円盤間に装填した制動力可変回転型ブレーキを活用した直動型の免震・制振制御用ダンパを開発し、ブレーキのコイル印加電流によって減衰力が任意に変えられることを実証している。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するとともに、下流の穴の開いた平板にリング状の突起を設けることによるホールトーン自励発振現象へのパッシブ制御の効果について、実験及びDNSによる数値シミュレーション両面から検討し、自励発振現象を消滅できることを見出している。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、低開口部を有する部分開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23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 11th Asian Symposium on Visualization(AVS11)

主催団体：The Visualization Society of Japan

開催国：Niigata, Japan

開催期間：2011.6.5 ～ 2011.6.9

役 割：Member of Organizing Committee

<国際会議>

名 称：The 15th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (ISEM2011)

主催団体：Organizing Committee of ISEM2011

開催国：Napoli, Italy

開催期間：2011.9.7 ～ 2011.9.9

役 割：Member of International Steering Committee

<国際会議>

名 称：The 8th JFPS International Symposium on Fluid Power

主催団体：The Japan Fluid Power System Society

開催国：Okinawa, Japan

開催期間：2011.10.25 ～ 2011.10.28

役割：Member of Organizing Committee

<国際会議>

名称：The 8th International Conference on Flow Dynamics (8th ICFD2011)

主催団体：Organizing Committee of 8th 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：2011.11.9 ～ 2011.11.11

役割：Member of Organizing Committee and International Scientific Committee

<国際会議>

名称：The 11th Asian Symposium on Visualization(AVS11) , OS “General Topics of Visualization”

主催団体：The Visualization Society of Japan

開催国：Niigata, Japan

開催期間：2011.6.5 ～ 2011.6.9

役割：OS Organizer

<国際会議、オーガナイズドセッション：OS>

名称：The 8th International Conference on Flow Dynamics (8th ICFD2010), OS: Advanced Control of Smart Fluids and Fluid Flows

主催団体：Organizing Committee of 8th 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：2011.11.9 ～ 2011.11.11

役割：OS Organizer

<講演会、オーガナイズドセッション：OS>

名称：第89期日本機械学会年次大会講演会，OS「機能性流体工学の先端融合化」

主催団体：日本機械学会

開催国：東京，日本

開催期間：2011.9.12 ～ 2011.9.15

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：可視化情報学会 全国講演会in富山，OS「機能性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：富山，日本

開催期間：2011.9.26 ～ 2011.9.27

役割：OSオーガナイザー

<講演会>

名称：環境再生に向けた震災・復興シンポジウム

主催団体：日本混相流学会

開催国：仙台，日本

開催期間：2012.3.15

役割：実行委員長

<基調講演>

講演先：The 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, OS: Functional Fluids

講演題目：Smart Fluid Power Systems Utilizing Electro- / Magneto-Rheological Fluids

講演日：2011.10.27

<招待講演>

講演先：The 8th International Conference on Flow Dynamics (8th ICFD2010), OS: Advanced Control of Smart Fluids and Fluid Flows

講演題目：Electrorotation of Novel Electroactive Polymers in Uniform DC and AC Electric Field

講演日：2011.11.10

<招待講演>

講演先：日本フルードパワーシステム学会「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」に関する第9回研究委員会

講演題目：粒子分散系ER流体を用いた液圧駆動点字表示システム

講演日：2012.1.13

平成23年度の研究業績

【研究内容】

1. 電場応答スマート流体・材料の創製・評価とそのMEMS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を駆動するより微細な流路でも使用可能なER流体として、300nmのTiO₂ (Anatase) のナノ粒子ER流体を分散媒を調整して創製することによって、低い基底粘度をもち、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。

また、非導電性の粒子を誘電性の液体に浸し、一定値以上の直流電場を印加すると粒子が回転する“Quincke Rotation”という現象を利用したMEMS技術に適したマイクロモータを提案している。本研究では、非導電性の微粒子をゼラチンに分散して硬化させたポリマーコンポジットを創製し、そのコンポジットからなるディスクロータを作成して、それを誘電体の液体中に浸し、直流電場印加によって回転数とトルクを制御できるマイクロモータを構築することができた。まず、マイクロモータの印加電場強度 E に対する無負荷回転速度特性を測定し、無負荷回転速度は、ロータディスク形状（直径 d 、厚み t ）に大きく依存せず、 $E=1.0$ kV/mm程度から回転し始め $E=2.0$ kV/mm印加時に最大で $N=1300$ rpmという比較的高い回転数を実現できることを明らかにしている。さらに、ロータディスク軸に取り付けたナイロン製のファイバーのねじれを利用したトルク測定法により、マイクロモータの回転数-トルク特性も測定した。回転数の増加に伴い発生トルクが減少する垂下特性と印加電場強度の増加に伴いトルクが増大する特性が得られ、 $E=2.00$ kV/mmで最大 $T=2.4$ μ Nmのトルクを実現している。今後、より高回転で大きなトルクの得られるポリマーコンポジットの創製とディスク形状の探索を行い、より実用的なマイクロモータの実現へと研究を展開する予定でいる。

2. 先進MR流体及びMRコンポジットの創製・評価とそのリハビリ及び振動制御機器への応用

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MR流体を活用した負荷機をもつ安全性の高いリハビリ機器やMR流体ダンパの開発とその建築構造物の免震・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流体多孔質コンポジットを創製している。本年度は、高速応答化されたMR流体クラッチとモータを用いたMR流体アクティブ負荷機を開発し、その負荷機を活用した下肢リハビリ用筋力評価・訓練システムを構築し、等尺・等速性筋力測定や等速性筋力訓練を実現し、ROM訓練の可能性も示唆している。また、MR流体多孔質コンポジットに関しては、初期厚さより圧縮して用いることによって、MR流体自身のMR効果の2倍程度のせん断応力を発生することを明らかにした。このMR流体多孔質コンポジットの最大の特徴である長時間静置時のMR流体中の分散磁性粒子の沈降回避やシールの不要などの特徴を活かした、建築構造物の免震・制振制御用のダンパを開発した。このダンパは、多層円盤間にMR流体多孔質コンポジットを装填した回転型の

ブレーキと直動を回転運動に変換するボールベアリング及び直動軸の回転を止めるリニアスライダーから成り、MR流体多孔質コンポジットブレーキのコイル印加電流によって減衰力が任意に変化でき、±100mmストロークで最大20 kNの減衰力が発生できることを実証している。

3. ホールトーン自励発振現象の解明と制御

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て自励発振メカニズムを明確にしてきた。本年度は、その低減化を目的に、下流の穴の開いた平板にリング状の突起を設けることによるホールトーン自励発振現象へのパッシブ制御の効果について、実験及びDNSによる数値シミュレーション両面から検討している。下流平板の穴外縁から10mmの位置にリング状の突起を設けた場合、その突起の高さ h が3mm以上でホールトーンの離散周波数成分(約300Hzとその高調波)がほぼ消滅して、噴流の自励発振現象を消滅できることを実験的に見出し、DNSによってもこの現象が再現できることを示している。

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。本年度は、強制換気法の構築にあたり、漏洩水素を周囲空気となるべく混合させず、速やかに排気するため、下部に部分的な開口部(Door Vent)を有する空間を先ず提案した。天井口(Roof Vent)は、複数排出口の設置に伴うコストを抑え、漏洩位置の変化にも対応するため、天井の中心に設けている。このような空間形状とすることにより、水素排出制御と同時に取り込まれる外部空気は、低位置の周方向から取り込まれ、天井に向かう流れとなるため、漏洩水素噴流は安定化し、天井に一時滞留した後、Roof Ventより排出される水素ガス経路となる。この空間に基づき、天井近傍に滞留する瞬時水素量のトレンド評価を行い、ハンチングを緩和しながらスムーズに水素を排出できる強制換気制御アルゴリズムを構築した。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現できる、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 引地 雄一

「MR流体ブレーキ膝継手を用いた随意制御大腿義足に関する研究開発」

修士論文

1. バイオロボティクス専攻 稲場 智亮

「MR流体多孔質コンポジットの創製とその免震・制振用ダンパへの応用」

2. バイオロボティクス専攻 奥村 剛行

「電界応答ポリマーコンポジットのマイクロモーターへの応用」

3. バイオロボティクス専攻 鈴木 貴詞

「MR流体ブレーキ膝継手を用いた大腿義足の歩行解析・評価」

4. バイオロボティクス専攻 中野 裕士

「MR流体アクティブ負荷機とそれを活用した下肢リハビリ用筋力評価・訓練システムに関する研究」

【学位論文指導（副査）】

修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 中 大輔
「三角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23年（1月～12月）

1. 村上貴裕, 酒井理哉, 中野政身
変位と速度に応じて減衰特性の変化するパッシブ式MRダンパの開発
日本機械学会論文集（C編），第77巻774号, pp.257-269, (2011) .
2. T. Murakami, and M. Nakano
Numerical Evaluation Method for Semi-Active Damping Characteristics of a Passive-Type MR Damper with Functional Damping Force.
Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol.22, No.4, pp.327-336, (2011).
3. K. Tanaka, T. Hira, R. Fukui, N. Nakagawa, R. Akiyama, M. Nakano, K. Yoshida, and T. Tsujita
Development and Flow Evaluation of Electro-Rheological Nano-Suspensions.
Colloid and Polymer Science, Vol.289, pp.855-862, (2011).
4. K. Matsuura, and M. Nakano
Direct Computation of a Hole-Tone Feedback System at Very Low Mach Numbers.
Journal of Fluid Science and Technology, Vol.6, No.4, pp.1-14, (2011).
5. K. Matsuura, M. Nakano, and J. Ishimoto
Visualization of Leaking and Accumulating Hydrogen under a Sensing-Based Ventilation Control in a Partially Open Space.
CD-ROM Proceedings of the 11th Asian Symposium on Flow Visualization (AVS11), pp.1-7, (2011).
6. K. Matsuura, and M. Nakano
Direct Numerical Simulation of Global Instability in a Hole-Tone Feedback System.
CD-ROM Proceedings of ASME-JSME-KSME Joint Fluid Engineering Conference (AJK2011), pp.1-6, (2011).
7. T. Tsujita, M. Nakano, and K. Yoshida
Development of a Compact Braille Display using Diaphragm Actuators Controlled by ER Valves.
Electro-Rheological Fluids and Magneto-Rheological Suspensions, ed. R. Tao, World Scientific, pp.40-45, (2011).
8. Y. Hikichi, M. Nakano, and T. Tsujita
Hyscom Knee, a Prosthetic Knee Joint with Stance and Swing Motion Control System Utilizing Compact MR Fluid Brake.
Electro-Rheological Fluids and Magneto-Rheological Suspensions, ed. R. Tao, World Scientific, pp.123-128, (2011).
9. M. Nakano
Smart Fluid Power Systems Utilizing Electro- / Magneto-Rheological Fluids.
Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, Okinawa, Japan, pp.22-25, (2011).
10. 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（解説）
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」特集号「機能性流体テクノロジーの最前線」，第42巻1号, pp.37-40, (2011).
11. 中野政身
MR流体コンポジットの開発とその応用（解説）
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」特集号「機能性流体テクノロジーの最前線」，第42巻1号, pp.41-45, (2011).

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. 日本機械学会論文集（C編）
2. Journal of Intelligent Material Systems and Structures
3. Colloid and Polymer Science
4. Journal of Fluid Science and Technology
5. Electro-Rheological Fluids and Magneto-Rheological Suspensions

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成23年（1月～12月）

1. H. Nakano, and M. Nakano
Active Loading Machine using MR Fluid Clutch for Leg Rehabilitation System.
Applied Electromagnetics and Mechanics (Proceedings of the 15th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (ISEM'2011), Napoli, Italy), eds. G. Rubinacci, A. Tamburrino, F. Villone and K. Takagi, pp.133-134, (2011).
2. M. Zrinyi, M. Nakano, and T. Tsujita
Electrorotation of Novel Electroactive Polymers in Uniform DC and AC Electric Field.
Proceedings of the Eighth International Conference on Flow Dynamics (8th ICFD2011), Sendai Japan, pp.208-209, (2011).
3. K. Tanaka, R. Akiyama, and M. Nakano
Electro-Rheological Effect of Nano-Suspensions based on Titanium Dioxide Nano-Particles.
Proceedings of the Eighth International Conference on Flow Dynamics (8th ICFD2011), Sendai Japan, pp.212-213, (2011).
4. K. Matsuura, and M. Nakano
Direct Computation of the Passive Control of a Hole-Tone Phenomenon.
Proceedings of the Eighth International Conference on Flow Dynamics (8th ICFD2011), Sendai Japan, pp.230-231, (2011).
5. M. A. Langthjem, and M. Nakano
Self-Sustained Flow Oscillations and Sound Generation in a Simple Axisymmetric Silencer Model.
Proceedings of the Eighth International Conference on Flow Dynamics (8th ICFD2011), Sendai Japan, pp.232-233, (2011).
6. T. Nakanishi, M. Nakano, and H. Tunokake
Droplet Formation of a Continuous Inkjet with Different Viscosities: A Comparison of Experiment and Numerical Simulation.
Proceedings of the Eighth International Conference on Flow Dynamics (8th ICFD2011), Sendai Japan, pp.236-237, (2011).
7. T. Suzuki, Y. Hikichi, and M. Nakano
Gait Analysis of MR-SPCOM KNEE, a Prosthetic Knee Joint with Optional Stance and Swing Control System Utilizing MR Fluid Brake.
Proceedings of the Eighth International Conference on Flow Dynamics (8th ICFD2011), Sendai Japan, pp.604-605, (2011).
8. T. Okumura, M. Nakano, and M. Zrinyi
Micro-Motor Utilizing Electric Field-Responsive Polymer Composites.
Proceedings of the Eighth International Conference on Flow Dynamics (8th ICFD2011), Sendai Japan, pp.634-635, (2011).
9. K. Tanaka, T. Hirai, R. Fukui, H. Kobayashi, R. Akiyama, M. Nakano, and S. Enami
Development and Flow Evaluation of Electro-Rheological Nano-Suspensions.
Proceedings of the Eleventh International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2011: IFS Collaborative Research Forum), Sendai Japan, pp.124-125, (2011).
10. M. Nakano, T. Nakanishi, and H. Tsunokake
Optimization of Ink Viscosity of a Continuous Inkjet by Experiment and Numerical Simulation.

Proceedings of the Eleventh International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2011: IFS Collaborative Research Forum), Sendai Japan, pp.130-131, (2011).

11. M. Langthjem, and M. Nakano
Numerical and Experimental Research on Active Control of the Hole-Tone Feedback Problem.
Proceedings of the Eleventh International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2011: IFS Collaborative Research Forum), Sendai Japan, pp.150-151, (2011).
12. 中野政身
「機能性流体テクノロジーの最前線」発行にあたって（巻頭言）
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」特集号「機能性流体テクノロジーの最前線」，第42巻1号，pp.11, (2011).
13. 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（解説）
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.42, No. E1, pp.E59-E60, (2011).
14. 中野裕土，中野政身
MR 流体アクティブ負荷器を活用した下肢リハビリ用筋力評価・訓練システム
日本フルードパワーシステム学会平成23年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集，pp.16-18, (2011).
15. 松浦一雄，中野政身，石本淳
低開口部を有する部分開放空間におけるセンシングに基づく水素漏洩のリスク緩和制御
日本混相流学会年会講演会2011講演論文集，pp.344-345, (2011).
16. 稲場智亮，中野政身
MR 流体多孔質コンポジットのMR 効果の向上に関する研究
日本機械学会2011年度年次大会DVD論文集，論文No. S052012, pp.1-4, (2011).
17. 松浦一雄，中野政身，石本淳
センシングに基づく水素漏洩のリスク緩和制御アルゴリズムの構築
日本応用数理学会2011年度年会講演予稿集，pp.327-328, (2011).
18. 奥村剛行，中野政身
電界応答ポリマーコンポジットディスクのモーター特性
可視化情報（可視化情報全国講演会講演論文集），Vol.31, Suppl. No.2, pp.75-76, (2011).
19. 榎並祥太，中野政身，吉田圭佑，戸塚厚，田中克史
ナノ粒子分散系ER 流体のレオロジー・流動特性の評価
可視化情報（可視化情報全国講演会講演論文集），Vol.31, Suppl. No.2, pp.79-80, (2011).
20. 中野政身，稲場智亮，高野豊
MR ゴムコンポジットの開発とその往復せん断モードにおけるMR 効果
日本レオロジー学会第59回レオロジー討論会講演要旨集，pp.224-225, (2011).
21. 比良臣伸，福井隆一，田中克史，小林治樹，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59回レオロジー討論会講演要旨集，pp.126-127, (2011).
22. 引地雄一，中野政身，鈴木貴詞
MR-SPCOM膝継手の改良と動作解析
日本義肢装具学会誌，27巻特集号（第27回日本義肢装具学会学術大会講演集），pp.146,(2011).

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. 村上貴裕，酒井理哉，中野政身
変位と速度に応じて減衰特性の変化するパッシブ式MR ダンパの開発
日本機械学会論文集（C編），第77巻774号，pp.257-269, (2011) .

2. T. Murakami, and M. Nakano
Numerical Evaluation Method for Semi-Active Damping Characteristics of a Passive-Type MR Damper with Functional Damping Force.
Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol.22, No.4, pp.327-336, (2011).
3. Y. Hikichi, M. Nakano, and T. Tsujita
Hyscom Knee, a Prosthetic Knee Joint with Stance and Swing Motion Control System Utilizing Compact MR Fluid Brake.
Electro-Rheological Fluids and Magneto-Rheological Suspensions, ed. R. Tao, World Scientific, pp.123-128, (2011).
4. T. Suzuki, Y. Hikichi, and M. Nakano
Gait Analysis of MR-SPCOM KNEE, a Prosthetic Knee Joint with Optional Stance and Swing Control System Utilizing MR Fluid Brake.
Proceedings of the Eighth International Conference on Flow Dynamics (8th ICFD2011), Sendai Japan, pp.604-605, (2011).
5. 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 (解説)
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」特集号「機能性流体テクノロジーの最前線」, 第42巻1号, pp.37-40, (2011).
6. 引地雄一, 中野政身, 鈴木貴詞
MR-SPCOM膝継手の改良と動作解析
日本義肢装具学会誌, 27巻特集号 (第27回日本義肢装具学会学術大会講演集), pp.146,(2011).
7. K. Tanaka, T. Hira, R. Fukui, N. Nakagawa, R. Akiyama, M. Nakano, K. Yoshida, and T. Tsujita
Development and Flow Evaluation of Electro-Rheological Nano-Suspensions.
Colloid and Polymer Science, Vol.289, pp.855-862, (2011).
8. T. Tsujita, M. Nakano, and K. Yoshida
Development of a Compact Braille Display using Diaphragm Actuators Controlled by ER Valves.
Electro-Rheological Fluids and Magneto-Rheological Suspensions, ed. R. Tao, World Scientific, pp.40-45, (2011).
9. H. Nakano, and M. Nakano
Active Loading Machine using MR Fluid Clutch for Leg Rehabilitation System.
Applied Electromagnetics and Mechanics (Proceedings of the 15th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (ISEM' 2011), Napoli, Italy), eds. G. Rubinacci, A. Tamburrino, F. Villone and K. Takagi, pp.133-134, (2011).
10. T. Okumura, M. Nakano, and M. Zrinyi
Micro-Motor Utilizing Electric Field-Responsive Polymer Composites.
Proceedings of the Eighth International Conference on Flow Dynamics (8th ICFD2011), Sendai Japan, pp.634-635, (2011).
11. K. Tanaka, T. Hirai, R. Fukui, H. Kobayashi, R. Akiyama, M. Nakano, and S. Enami
Development and Flow Evaluation of Electro-Rheological Nano-Suspensions.
Proceedings of the Eleventh International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2011: IFS Collaborative Research Forum), Sendai Japan, pp.124-125, (2011).
12. 中野裕士, 中野政身
MR 流体アクティブ負荷器を活用した下肢リハビリ用筋力評価・訓練システム
日本フルードパワーシステム学会平成23年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.16-18, (2011).
13. 稲場智亮, 中野政身
MR 流体多孔質コンポジットのMR 効果の向上に関する研究
日本機械学会2011年度年次大会DVD論文集, 論文No. S052012, pp.1-4, (2011).
14. 奥村剛行, 中野政身
電界応答ポリマーコンポジットディスクのモーター特性
可視化情報 (可視化情報全国講演会講演論文集), Vol.31, Suppl. No.2, pp.75-76, (2011).
15. 榎並祥太, 中野政身, 吉田圭佑, 戸塚厚, 田中克史

ナノ粒子分散系 E R 流体のレオロジー・流動特性の評価

可視化情報（可視化情報全国講演会講演論文集），Vol.31, Suppl. No.2, pp.79-80, (2011).

16. 中野政身, 稲場智亮, 高野豊

MR ゴムコンポジットの開発とその往復せん断モードにおけるMR 効果

日本レオロジー学会第59回レオロジー討論会講演要旨集, pp.224-225, (2011).

17. 比良臣伸, 福井隆一, 田中克史, 小林治樹, 秋山隆一, 中野政身, 吉田圭佑, 辻田哲平

ナノ粒子分散系 E R 流体の流動及び微細構造の評価

日本レオロジー学会第59回レオロジー討論会講演要旨集, pp.126-127, (2011).

【本人の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞名：日本機械学会流体工学部門「貢献賞」

受賞日：2011年9月12日

【学生の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞者：吉田圭佑

受賞名：日本フルードパワーシステム学会「最優秀講演賞」

受賞日：2011年5月27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と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

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23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、航空機脚やヘリコプター等の複雑な形状をした物体周りの流れの数値計算法や衝撃波を精度良く解析するための解適合格子法の提案などを行った。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、格子生成プログラムやソルバーの開発・改良を進めるとともに、航空機翼のフラッター解析への応用など、新たな展開を進めた。

【学位論文指導（主査）】

修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 橋場 道太郎
「直交・非構造格子重ね合わせによる3次元圧縮性流体ソルバーの構築」
2. 航空宇宙工学専攻 兼松 慎一郎
「広帯域スクラムジェットinletの最適化に関する研究」
3. 航空宇宙工学専攻 出口 明仁
「Building-Cube Method を用いた航空機主脚モデルの空力音響解析」
4. 航空宇宙工学専攻 西村 康孝
「圧縮性Building-Cube Method solver の構築と定常・非定常流れの数値計算」
5. 航空宇宙工学専攻 大木 裕介
「ソニックブーム波形推算精度向上のための解適合格子法」
6. 航空宇宙工学専攻 服部 潤
「静粛超音速研究機の低速領域におけるジェット排気の影響に関する数値解析」
7. 航空宇宙工学専攻 李 龍周
「Aerodynamic Simulation around Helicopter using Structured and Unstructured Grids
(構造・非構造格子によるヘリコプター周りの空力シミュレーション)」

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. 情報科学研究科 情報基礎科学専攻 佐藤 義永
「A Program Optimization Strategy for Vector Architectures with Cache Mechanisms (キャッシュ機構を有するベクトルアーキテクチャのためのプログラム最適化戦略に関する研究)」
2. 情報科学研究科 情報基礎科学専攻 古澤 卓
「Numerical Methods of Simulating Supercritical-Fluid Flows and their Applications

(超臨界流体の数値解法の開発とその応用)」

3. 情報科学研究科 情報基礎科学専攻 佐藤 功人

「Automatic Performance Tuning Methods for Heterogeneous Computing Systems (複合型計算システムにおける性能自動チューニング手法に関する研究)」

修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 中田 伸大

「風洞内における航空機ハイブリッドモーシヨシミュレーション」

2. 機械システムデザイン工学専攻 林 朋希

「Robust Control of Unsteadily Separating Flow (非定常はく離流のロバスト制御)」

3. 航空宇宙工学専攻 藤田 昂志

「火星飛行機の空中翼展開時における動的挙動の計測と評価」

4. 航空宇宙工学専攻 阿部 弘之

「ロボットを利用したデルタ翼の2自由度動的風洞試験」

5. 航空宇宙工学専攻 中村 勘太

「低Re数翼の空力特性に対する乱流装置の効果」

6. 航空宇宙工学専攻 野瀬 慶

「低Re数2次元翼に生じる非定常現象に関する実験的研究」

7. 航空宇宙工学専攻 イ サンウク

「LESを用いた擬似衝撃波の大規模乱流構造の解析」

8. 航空宇宙工学専攻 小野 大地

「大気不確定性を考慮したソニックブーム解析(Sonic Boom Analysis considering Atmospheric Uncertainties)」

9. 航空宇宙工学専攻 大橋 智明

「ハイブリッドロケットを用いた弾道航空機の概念設計」

10. バイオロボティクス専攻 中秋 慶太

「GPU計算による微小循環の大規模血流計算」

11. バイオロボティクス専攻 小林 生馬

「実形状モデルを用いた胃内容物攪拌の数値解析」

【査読論文(査読付き国際会議論文を含む)】

○平成23年(1月～12月)

1. Tetsuya Yoshiara, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “Conjugate Heat Transfer Simulation of Cooled Turbine Blades Using Unstructured-Mesh CFD Solver,” AIAA Paper 2011-0498, 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, Orlando, FL, January 2011.
2. Noriyoshi Ishikawa, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “Large-Scale Distributed Computation Using Building-Cube Method,” AIAA Paper 2011-0754, 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, Orlando, FL, January 2011.
3. Hiroshi Onda, Ryotaro Sakai, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “Unsteady Flow and Aerodynamic Noise Analysis around JAXA Landing Gear Model by Building-Cube Method,” AIAA Paper 2011-1081, 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, Orlando, FL, January 2011.
4. Ryotaro Sakai, Hiroshi Onda, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “Data Compression of Large-scale Flow Computation for Aerodynamic/Aeroacoustic Analysis,” AIAA Paper 2011-1135, 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, Orlando, FL, January 2011.
5. Takashi Ishida, Soshi Kawai, Kazuhiro Nakahashi, “A High-Resolution Method for Flow Simulations with Cartesian Mesh Method,” AIAA-2011-1296, 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, Orlando, Florida, Jan.

- 4-7, 2011.
6. Kazuhiko Komatsu, Takashi Soga, Ryusuke Egawa, Hiroyuki Takizawa, Hiroaki Kobayashi, Shun Takahashi, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, "Parallel processing of the Building-Cube Method on a GPU platform", Computers & Fluids, Vol.45, No. 1, pp.122-128, 2011.
7. Takashi Soga, Akihiro Musa, Koki Okabe, Kazuhiko Komatsu, Ryusuke Egawa, Hiroyuki Takizawa, Hiroaki Kobayashi, Shun Takahashi, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, "Performance of SOR methods on modern vector and scalar processors", Computers & Fluids, Vol.45, No. 1, pp.215-221, 2011.
8. Ryotaro Sakai, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, "Parallel Implementation of Large-Scale CFD Data Compression towards Aeroacoustic Analysis" 23rd International Conference on Parallel CFD 2011, pp.29, 23rd International Conference on Parallel CFD 2011
9. Daisuke Sasaki, Hiroshi Onda, Akihito Deguchi, Ryotaro Sakai, Kazuhiro Nakahashi, "Landing Gear Aerodynamic Noise Prediction using Building-Cube Method," AIAA 2011-3366, 29th AIAA Applied Aerodynamics Conference, June 2011
10. Kazuhiro Nakahashi, "Immersed Boundary Method for Compressible Euler Equations in the Building-Cube Method," AIAA 2011-3386, 20th AIAA Computational Fluid Dynamics Conference, June 2011
11. Takashi Ishida, Soshi Kawai, Kazuhiro Nakahashi, "A High-Resolution Method for Flow Simulations with Block-Structured Cartesian Grid Approach," AIAA 2011-3380, 20th AIAA Computational Fluid Dynamics Conference, June 2011

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成23年（1月～12月）

1. 坂井玲太郎, 佐々木大輔, 中橋和博, "ウェーブレット変換を用いた大規模時系列流体計算データの圧縮", 第16回計算工学講演会CD-ROM論文集, 2011
2. 福島裕馬, 佐々木大輔, 中橋和博, "ブロック構造型直交格子とIB法を用いたLEEコード構築", 第43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2011 CD-ROM論文集, 2011
3. 出口明仁, 佐々木大輔, 中橋和博, 村山光宏, 山本一臣, 横川譲, "BCMと非コンパクト性Curleの式を用いた航空機脚の空力音響解析", 第43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2011 CD-ROM論文集, 2011
4. 西村康孝, 佐々木大輔, 中橋和博, "圧縮性Building Cube Methodを用いた翼周りのEuler解析", 第43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2011 CD-ROM論文集, 2011
5. Ryotaro Sakai, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, Andreas Henze, Matthias Meinke, Wolfgang Schroeder, "Wake Flow Simulation of a Generic Launcher Model Using Block-Structured Cartesian Mesh", Proc. Of The 6th SNU-Tohoku University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, pp21-24, 2011
6. Yong-Joo LEE, Michitaro HASHIBA, Daisuke SASAKI, Kazuhiro NAKAHASHI, Yasutada TANABE, Shigeru SAITO, "Aerodynamic Analysis around Helicopter with the coupling of Structured and Unstructured Grid", Proc. Of The 6th SNU-Tohoku University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, 2011
7. Jun Hattori, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, "Numerical Analysis of Aerodynamic Characteristics of JAXA S3TD including the Effect of Jet Exhaust at Low Speed", Proc. Of The 6th SNU-Tohoku University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, pp.29-34, 2011,
8. 服部潤, 佐々木大輔, 中橋和博, "低速領域におけるジェット排気の影響も含めた静粛超音速研究機の空力特性の数値解析", 第49回飛行機シンポジウム講演集, pp.770-777, 2011
9. 橋場道太郎, 佐々木大輔, 中橋和博, "直交・非構造格子重ね合わせによる3次元流体ソルバーの構築", 第49回飛行機シンポジウム講演集, pp., 2011
10. Daisuke Sasaki, Tetsuya Yoshiara, Shunpei Yasuda, Kazuhiro Nakahashi, "Conjugate Heat Transfer Simulation of Cooled Turbine Vanes Using Unstructured-Mesh CFD Solver", USB Proceeding of 10th International Gas Turbine Congress, 2011
11. Michitaro Hashiba, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, "Development of Cartesian-Mesh Based CFD Solver combined with Unstructured-Mesh", Proc. of The 8th International

- Conference of Fluid Dynamics, pp.196-197, 2011
12. Xinrong Su, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “Developments of a Directional Ghost Cell Method and the Multigrid Acceleration for the Building Cube Method”, Proc. of The 8th International Conference of Fluid Dynamics, pp. 186-187, 2011
 13. Xinrong Su, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “A Hybrid Scheme for the Near Wall Treatment of Building Cube Method”, Proc. of The 8th International Conference of Fluid Dynamics, pp. 198-199, 2011
 14. Yuuma Fukushima, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “Linearized Ruler Equation on Block-Strucutred Cartesian Mesh for Noise Propagation from 2D Nacelle Configuration”, Proc. of The 8th International Conference of Fluid Dynamics, pp. 180-181, 2011
 15. Akihito Deguchi, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, Mitsuhiro Murayama, Kazuomi Yamamoto, Yuzuru Yokokawa, “Aeroacousitc Simulation of JAXA Landing Gear by Builing-Cube Method”, Proc. of The 8th International Conference of Fluid Dynamics, pp. 178-179, 2011
 16. Jun Hattorii, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “Numerical Analysis of Aerodynamic Characteristics of JAXA Silent Supersonic Technology Demonstrator including the Effect of Jet Exhaust at Low Speed”, Proc. of The 8th International Conference of Fluid Dynamics, pp. 596-597, 2011
 17. Ryotaro Sakai, Akihito Deguchi, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “Large-Scale Unsteady Flow Data Compression for Buildng-Cube Method”, Proc. of The 8th International Conference of Fluid Dynamics, pp. 182-183, 2011
 18. Yasutaka Nishimura, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “Aeroelastic Analysis using BCM Euler Compressible Solver”, Proc. of The 8th International Conference of Fluid Dynamics, 2011
 19. Kazuhiko Komatsu, Takashi Soga, Ryusuke Egawa, Hiroyuki Takizawa, Hiroaki Kobayashi, Shun Takahashi, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “Performance of Building-Cube Method on Various Platforms”, Proc. of The 8th International Conference of Fluid Dynamics, 2011
 20. 福島裕馬, 佐々木大輔, 中橋和博, “ブロック構造型直交格子を用いたLEEコードによる主翼騒音遮蔽効果の推定”, 第25回数値流体力学シンポジウム講演予稿集(USB), 2011
 21. 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非等方細分化・疎化による解適合格子法”, 第25回数値流体力学シンポジウム講演予稿集(USB), 2011
 22. 西村康孝, 佐々木大輔, 中橋和博, “圧縮性Building-Cube Method を用いた翼周りの非定常非粘性流れ解析”, 第25回数値流体力学シンポジウム講演予稿集(USB), 2011

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. Ryotaro Sakai, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “Parallel Implementation of Large-Scale CFD Data Compression towards Aeroacoustic Analysis” Program and Abstracts of 23rd International Conference on Parallel CFD 2011, pp.29, 23rd International Conference on Parallel CFD 2011, 2011
2. 坂井玲太郎, 佐々木大輔, 中橋和博, “ウェーブレット変換を用いた大規模時系列流体計算データの圧縮”, 第16回計算工学講演会CD-ROM論文集, 2011
3. Ryotaro Sakai, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, Andreas Henze, Matthias Meinke, “Wolfgang Schroeder, Wake Flow Simulation of a Generic Launcher Model Using Block-Structured Cartesian Mesh”, Proc. Of The 6th SNU-Tohoku University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, pp21-24, 2011
4. Ryotaro Sakai, Akihito Deguchi, Daisuke Sasaki, Kazuhiro Nakahashi, “Large-Scale Unsteady Flow Data Compression for Buildng-Cube Method”, Proc. of The 8th International Conference of Fluid Dynamics, pp. 182-183, 2011



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

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、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23年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

1. 11th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration, AFI/TFI-2011, Nov. 9-11 (2011), Sendai, Miyagi, Japan, 実行委員。
2. 日本混相流学会年会講演会 2011 分科会 「サステナブル異分野融合型混相流」 主査 [2011 年 8 月 6-8 日、京都工芸繊維大学（京都市）]
3. 8th International Conference on Flow Dynamics, Nov. 9-11 (2011), Sendai, Miyagi, Japan, 組織委員。

平成23年度の研究業績

【研究内容】

【微細固体窒素利用型超高熱流束混相冷却システムの開発】

本研究はマイクロ固体窒素（Solid Nitrogen, SN2）噴霧流を利用した新型超高熱流束冷却システム開発のための基礎データを得ることを目的とし、SN2 噴霧流の熱流束冷却特性に関して融合計算と基礎実験による総合的検討を行った。その結果、SN2 粒子が加熱平板に衝突すると同時に急激な温度降下が生じ、マイクロ固体粒子噴霧による超高熱流束冷却特性が得られ、特に、基板表面の粒子数密度が大きい領域においては噴霧冷却が効果的に行われていることを明らかにした。さらに、良好な壁面平均冷却熱流束を得るためには、初期SN2粒子径・初期SN2流入流速条件に最適値が存在することが判明し、この条件下においてマイクロSN2噴霧の半導体洗浄適用する際のレジストの熱収縮効果が期待できることが明らかとなった。

【マイクロ固体窒素噴霧利用型ナノデバイスレジストはく離・洗浄システムの開発】

半導体ウェハーレジストはく離性能評価に必要となるマイクロ固体窒素粒子の高精度粒子計測が可能PIA融合計測システムを開発した。その結果、マイクロ固体窒素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、マイクロ固体窒素の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SiO₂界面からの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液滴衝撃エロージョン予測に関する研究】

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・コローション）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、オリフィス絞り部直下において過冷却度が急激に上昇することを明らかにするとともに凝縮液滴発生位置を特定した。また、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。

【学位論文指導（副査）】

修士論文

1. 超音速ノズルを通る非平衡凝縮流動シミュレーション（阿南 良）
2. タービン翼列を通る超臨界流体の流動シミュレーション（王 寧）
3. 相変化を考慮したレーザー誘起液体ジェットの数値解析（ムハマド ヒルミビン シャピエン）

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. Jun Ishimoto, Shinji Akiba, Kazuhiro Tanji and Kazuo Matsuura
Integrated Super Computational Prediction of Liquid Droplet Impingement Erosion,
Progress in Nuclear Science and Technology, Vol. 2 (2011) pp.498-502.
2. Jun Ishimoto, Daisuke Tan, U Oh, Tomohiro Kubota and Seiji Samukawa
Integrated Experimental and Numerical Study of Thermomechanical Resist Removal-Cleaning
Performance Using Cryogenic Micro-Solid Nitrogen Spray
ECS Transactions, Vol. 41, No.5, pp. 83-90 (2011).
3. Kazuo Matsuura, Masami Nakano and Jun ISHIMOTO,
Visualization of Leaking and Accumulating Hydrogen Under a Sensing-Based Ventilation
Control in a Partially Open Space, *Proceedings of The 11th Asian Symposium on Visualization*,
Niigata, Japan, June 5-9, 2011 [in CD-ROM].

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. *Progress in Nuclear Science and Technology*
2. *ECS Transactions*

【学生の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞者： 王 宇（M1, 指導学生の受賞）

受賞名： 2011年度 日本混相流学会学生優秀講演賞

受賞題目： マイクロ固体窒素噴霧流を用いた超高熱流体冷却と新型半導体洗浄法の開発

講演会名・受賞年月日・場所：

日本混相流学会年会講演会2011 [2011年 8月6-8日, 京都工芸繊維大学（京都市）]

【本人のマスコミ発表等】

○平成23年（1月～12月）

1. 原発配管の劣化箇所予測 新システムで画像化（日経産業新聞2011年6月21日掲載）
2. 半導体洗浄，人体に害無く ー東北大が新技術 固体窒素を利用ー（日経産業新聞2011年10月7日掲載）



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と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次元的に再構築することと、医療機器を高精度に3次元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、Lattice Boltzmann Method を用いたステントデザインの自動最適化について開発を行い、これまでの血流の阻害に対すステントデザインの傾向と一致し、自動最適化プログラムの有効性を確かめた。

平成23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：8th International Interdisciplinary cerebrovascular Symposium and 11th Oriental Conference of Interventional Neuroradiology and 6th East Asian Conference of Neurointervention

講演題目：Assessment of stent using in vitro/-silico biomodelling

講演日：2011.9.8

講演先：MHS,2011 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science

講演題目：Methodology of Evaluation for Medical Devices Using In-vitro/In-silico Biomodel

講演日：2011.11.7

講演先：京都大学 再生医科学研究所

講演題目：脳動脈瘤用ステントデザインの設計方法

講演日：2011.4.21

講演先：Presentation on EU Research Grant Programs

講演題目：欧州研究枠組みを利用した共同研究・学生交流紹介- FP6 @neurIST project - - FP7 @Thrombus Project -

講演日：2011.2.10

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。昨年度までに組織の硬さが変化するモデルを開発している。本年度は、その硬さの違いが血液からの内部圧力によって形状が変化することにより、これまでの流れと大きく変化することの可能性を突き止めた。この解明によって、様々な病態の軟組織の硬さが形状を決める大きな要因となっていることを示唆することができるようになった。

2. 自動最適化脳動脈瘤用ステントプログラムの開発

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、本年度は、LBMを応用した自動最適化プログラムを開発した。さらに、本プログラムで示唆された結果は、これまでのステントの最適化結果や可視化情報結果と一致し、本プログラムや可視化情報を元にしたステント

デザインの開発の有効性を示した。

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。本年度はコイルを、

【学位論文指導（主査）】

博士論文

1. 医工学研究科 柳 昌昊

「Study of Treatment Analysis from Catheterization to Stenting with in-vitro model(生体外モデルを用いたカテーテルからステント治療までの解析に関する研究)」

修士論文

1. 医工学研究科 清光千早

「PVA-H血管バイオモデルの厚さ制御法の開発」

2. 医工学研究科 高橋亮太郎

「カテーテルアブレーション時の先端電極の振動と内部温度分布の関係に関する研究」

【学位論文指導（副査）】

修士論文

1. バイオロボティクス専攻 沢尾鷹之

「モデル実験と数値解析による超音波計測融合血流シミュレーションシステムの検証」

2. バイオロボティクス専攻 佐藤 博紀

「傾斜遠心顕微鏡を用いたHL60の挙動観察におけるサイトカインによる刺激の影響」

3. バイオロボティクス専攻 奥村剛行

「電界応答ポリマーコンポジットのマイクロモーターへの応用」

4. 医工学研究科 北條 真紀

「分娩介助動作計測評価に関する研究」

博士論文(学外・海外)

1. 北陸先端科学技術大学院大学 森 太志

「血流解析による動脈瘤に対するステント治療後の血管形成の提案」

2. シドニー大学 Chang-Joon Lee

「Studies on Design optimization of Intracranial and Coronary Stents」

3. ニューヨーク州立バッファロー校 Jianping Xiang

「Intracranial Aneurysm Rupture Risk Prediction and Endovascular Virtual Intervention」

【査読論文（査読付き国際会議論文を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. H. Hayase, K. Tokunaga, T. Nakayama, K. Sugiu, A. Nishida, S. Arimitsu, T. Hishikawa, S. Ono, M. Ohta, Date, 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, 68(2011) pp.1096-1101, Jan.6 2011
2. Keisuke Mamada, Hiroyuki Kosukegawa, VincentFridrici, PhilippeKapsa, Makoto Ohta, Friction properties of PVA-H/steel ball contact under water lubrication conditions, Tribology International 44 (2011) pp.757-763, Jan. 19 2011
3. Keisuke Mamada, Vincent Fridrici, Hiroyuki Kosukegawa, Philippe Kapsa, Makoto Ohta, Friction Properties of Poly(vinyl alcohol) Hydrogel: Effects of Degree of Polymerization and Saponification Value, Tribol Lett 42(2011) pp.241-251, Mar.13.2011
4. Noriko TOMITA, Kazuyo ABE, Jun KANEKO, Yoshiyuki KAMIO and Makoto OHTA,

Probabilistic Study on Subunit Mismatch Arrangement in Staphylococcal γ -hemolysin Heteroheptameric Transmembrane Pore, Journal of Biomechanical Science and Engineering Vol. 6 (2011), No. 4, pp.286-298

5. Keitaro Yamashita, Yuka Kawai, Yoshikazu Tanaka, Nagisa Hirano, Jun Kaneko, Noriko Tomita, Makoto Ohta, Yoshiyuki Kamio, Min Yao, and Isao Tanaka, Crystal structure of the octameric pore of staphylococcal γ -hemolysin reveals the β -barrel pore formation mechanism by two components, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America(ProNAS), Oct. 3, 2011
6. Noriko Tomita, Kazuyo Abe, Yoshiyuki kamio and Makoto Ohta, Cluster-forming property correlated with hemolytic activity by staphylococcal γ -hemolysin transmembrane pore, FEBS Letters 585(2011), pp.3452-3456

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. FEBS Letter
2. ProNAS
3. Journal of Biomechanical Science and Engineering
4. Tribology International
5. Tribological Letter
6. Neurosurgery

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成23年（1月～12月）

1. Chang-Ho Yu, Kaoru MATSUMOTO, Shyuya SHIDA, Makoto OHTA, PIV MEASURED HEMODYNAMIC STUDY WITH SEVERAL STENTS IN A CEREBRAL ANEURYSM MODEL FOR NEW STENT DESIGN, Proceedings of ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011 AJK2011-FED, 2011, AJK2011-19025 (Invited to Journal of Mechanical Science and Technology)
2. Noriko TOMITA, Kazuyo ABE, and Makoto OHTA, Quantitative analysis of subunit mismatch arrangement in staphylococcal gamma-hemolysin heteroheptameric transmembrane pore, International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2011-63645
3. Hiroyuki Kosukegawa, Chihaya Kiyomitsu, Makoto Ohta, Control of wallthickness of blood vessel biomodel made of poly (vinyl alcohol) hydrogel by a three-dimensional rotating spin DIP-coating method, International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2011-64619
4. Shuya Shida, Hiroyuki Kosukegawa, Makoto Ohta, Development of a methodology for adaptation of refractive index under controlling kinematic viscosity for PIV, International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2011- 64388

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. Chang-Ho Yu, Kaoru MATSUMOTO, Shyuya SHIDA, Makoto OHTA, PIV MEASURED HEMODYNAMIC STUDY WITH SEVERAL STENTS IN A CEREBRAL ANEURYSM MODEL FOR NEW STENT DESIGN, Proceedings of ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011 AJK2011-FED, 2011, AJK2011-19025 (Invited to Journal of Mechanical Science and Technology)
2. Shuya Shida, Hiroyuki Kosukegawa, Makoto Ohta, Development of a methodology for adaptation of refractive index under controlling kinematic viscosity for PIV, International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2011- 64388

【本人の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

2011年度アジア地域部門1位(エドモンド・オブティクス・ジャパン株式会社)



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

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低エクセルギー損失化を目指し、これまでに引き続きマイクロ燃焼、マイクロリアクタ技術の研究開発に取り組んだ他、本年度から新たに高温酸素燃焼の技術開発（NEDO事業）を開始している。また国際宇宙ステーションでの宇宙実験候補テーマとなっている「燃焼限界の統一理論構築のための極低速対向流火炎実験」では、宇宙実験準備のための原理検証、実験条件決定のための航空機による微小重力実験を行っている。

マイクロ燃焼関連では、基礎研究から発展した温度分布制御マイクロリアクタの特長である低温酸化反応の温度別反応帯可視化に基づいて、ガソリンに続きディーゼル燃料、天然ガス成分である低級炭化水素燃料を対象に展開している。技術移転した熱源用マイクロコンバスタは、本年度から共同研究先のIHI・食品メーカーが実証研究（NEDO事業）を開始しており製品化に向け進めている。

10年来継続しているロシア科学アカデミーシベリア支部との協力関係では、極東連邦大学（ウラジオストク）、東北大学の三者による露メガプロジェクトへの応募など新展開を図った結果、平成24年度より極東連邦大学に重点研究室の新設が決まりそのパートナー研究室となる。マイクロ燃焼や低エクセルギー損失燃焼、非線形現象全般における研究協力関係を一層推進していく。

産学連携研究では新たに、上述の天然ガス成分に関する案件をガス会社と開始した。炭化水素燃料の反応モデリング、自着火研究に関する案件を自動車メーカー、重工メーカーと継続している。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、引き続き、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23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 International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems, 2011 ICDERS

主催団体：The Institute for the Dynamics of Explosions and Reactive Systems

開催国：USA

開催期間：2011.7.24～ 2011.7.29

役割：共著者

名 称：Fundamental and Applied Problems in Mechanics and Control Processes

主催団体：Institute of Automation and Control Processes, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences

開催国：Russia

開催期間：2011.9.11 ～ 2011.9.17

役割：招待講演、共著者

名 称：Eighth International Conference on Flow Dynamics

主催団体：Tohoku University Global COE Program: World Center of Education and Research for Trans-disciplinary Flow Dynamics

開催国：日本

開催期間：2011.11.9 ～2011.11.11

役 割：Organizing Committee Member, 共著者

名 称：The Eleventh International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration

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：2011.11.9 ～2011.11.11

役 割：Chair, 共著者

名 称：The eighth KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering Conference TFEC8

主催団体：KSME JSME

開催国：Korea

開催期間：2012.3.18 ～ 2012.3.21

役 割：共著者

<招待講演>

講演 先：The Ninth International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels, Canada

講演題目：Flame Chromatography: Toward Fuel Indexing Based on Multiple Weak Flames in a Meso-Scale Channel With a Prescribed Temperature Profile

講演 日：2011.6.21

講演 先：Fundamental and Applied Problems in Mechanics and Control Processes, Russia

講演題目：New Concept Combustion Technology for Higher Exergy Efficiency. Oxyfuel Combustion, Microcombustion and Flame Chromatography

講演 日：2011.9.12

講演 先：Department of Mechanical Engineering National Central University, ROC

講演題目：New Concept Combustion Technology for Higher Exergy Efficiency

講演 日：2011.9.25

講演 先：International Workshop on Heat Transfer Advances for Energy Conservation and Pollution Control, IWHT11 2011, China

講演題目：Microcombustion: multiple weak flames in a meso-scale channel with a prescribed temperature profile

講演 日：2011.10.18

講演 先：The 11th International Workshop on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Flame Energy Conversion, Power MEMS 2011, Korea

講演題目：Flame Chromatography in a Micro Channel with a Temperature Gradient

講演 日：2011.11.18

平成23年度の研究業績

【研究内容】

マイクロ燃焼におけるweak flame現象を用いる「温度分布制御マイクロリアクタ」により、オクタン価の定義に使われている標準燃料によるオクタン価計測に加え、オクタン価向上の鍵となるトルエンの効果を包括的に検討、従来の化学反応機構では表現しきれない要素があることなど、新たな知見を得たほか、低揮発性燃料であるディーゼル燃料への適用にも成功し、セタン価計測が可能であることを示している。また天然ガス成分である個々の低級炭化水素燃料の着火・燃焼特性への寄与についても解明を進め、微量の混合成分が大きく影響することなどを明らかにしている。これまでは数気圧程度までの昇

圧実験が限界であったが、20気圧までの実験が可能な高圧型マイクロリアクタ装置を新たに製作し、実験準備中である。熱源用マイクロコンバスタでは、実際の用途先の食品メーカーと共同研究先のIHIと共に、実証研究（NEDO事業）に着手し、今後二年強の期間内に従来製品比較で50%効率の高い製品開発を目指す。

本年度新たに、工業炉に向けた高温酸素燃焼の技術開発（NEDO事業）にも着手している。宇宙実験の準備・条件決定のために実施している航空機による微小重力実験では、キセノン希釈した低ルイス数混合気において、球状火炎やセル状火炎を初めて見いだしている。

マイクロ燃焼に関するReview論文が、Progress in Energy and Combustion Science（2010年IF 10.362）から公刊されている。

【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 堀 幹人
「温度分布制御型マイクロフローリアクタにおけるガソリン燃料主要成分の着火燃焼特性」
2. 機械システムデザイン工学専攻 高瀬 光一
「ふく射消炎限界近傍における低ルイス数極低速対向流希薄予混合火炎に関する数値的研究」
3. 機械システムデザイン工学専攻 猿渡 堅一郎
「温度分布制御型マイクロフローリアクタによる水素の燃焼特性に及ぼす表面反応の影響に関する研究」

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. 航空宇宙工学専攻 奥山 昌紀
「高温高圧環境における多孔体内乱流予混合燃焼の基礎特性に関する研究」
2. 航空宇宙工学専攻 松原 慶典
「DBD とプラズマジェットの同時作動による超音速流中での燃焼促進に関する研究」

修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 西脇 渉
「対向流場に形成されたエッジフレイムの特性に関する研究」
2. 航空宇宙工学専攻 鈴木 拓朗
「高圧環境におけるアルコール系バイオ燃料の乱流燃焼メカニズムに関する研究」
3. 機械システムデザイン工学専攻 村川 翔
「高温・高圧下における誘電体バリア放電空気プラズマ流の基礎特性」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. Akira Yamamoto, Hiroshi Oshibe, Hisashi Nakamura, Takuya Tezuka, Susumu Hasegawa, Kaoru Maruta
Stabilized three-stage oxidation of gaseous n-heptane/air mixture in a micro flow reactor with a controlled temperature profile
Proceedings of the Combustion Institute, Vol.33, Issue 2:3259-3266 (2011).
2. Kaoru Maruta
Micro and mesoscale combustion
Proceedings of the Combustion Institute, Vol.33, Issue 1:125-150 (2011).
3. Yiguang Ju, Kaoru Maruta
Microscale combustion: Technology development and fundamental research
Progress in Energy and Combustion Science, Vol.37, Issue 6:669-715 (2011).
4. Mikito Hori, Akira Yamamoto, Takuya Tezuka, Susumu Hasegawa, Hisashi Nakamura, Kaoru Maruta
Weak flame responses to octane number and pressure in a micro flow reactor with a

controlled temperature profile

2011 ICDERSThe International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems, ID 159, (2011).

5. Takase Koichi, Hisashi Nakamura, Takuya Tezuka, Susumu Hasegawa, Li Xing, Wang Philip,
Kaoru Maruta
Radiative Extinction Characteristics of Low-Lewis-Number Counterflow Premixed Flame in
Microgravity and Its Correlation with Flame Ball
2011 ICDERSThe International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive
Systems, ID 194, (2011).

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

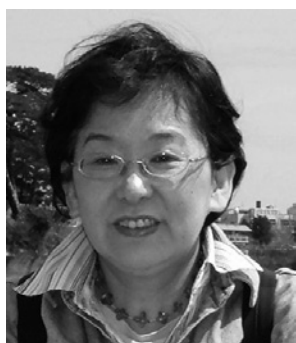
1. Proceedings of the Combustion Institute
2. Progress in Energy and Combustion Science

【本人の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

1. 受賞名：日本機械学会熱工学部門「貢献表彰」
受賞日：2011年10月29日
2. 受賞名：日本燃焼学会「論文賞」
受賞日：2011年12月6日

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、(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を開発をおこない、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、 $j \times B$ 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23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。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. S. Kitajima, H. Takahashi, K. Ishii, J. Sato, T. Ambo, M. Kanno, A. Okamoto, M. Sasao, S. Inagaki, M. Takayama⁴, S. Masuzaki, M. Shoji, N. Ashikawa, M. Tokitani, M. Yokoyama, Y. Suzuki, T. Shimoizuma, T. Ido, A. Shimizu, Y. Nagayama, T. Tokuzawa, K. Nishimura, T. Morisaki, S. Kubo, H. Kasahara, T. Mutoh, H. Yamada, Y. Tatematsu⁵ and LHD Experimental Group Electrode biasing experiment in the Large Helical Device
Nuclear Fusion **51** 083029 (2011)
2. Yu SATO, Sumio KITAJIMA, Yasuhiro SUZUKI, Takanori AMBO, Keiichi ISHII, Mamoru KANNO, Jo TACHIBANA, Shigeru INAGAKI, Masayuki YOKOYAMA, Hiromi TAKAHASHI, Masakazu TAKAYAMA, Atsushi OKAMOTO and Mamiko SASAO
Effects of Magnetic Islands on Poloidal Flow in TU-Heliac
Plasma and Fusion Research Volume 6, 2402144 (2011)
3. Atsushi OKAMOTO, Hiroyuki TAKAHASHI, Sumio KITAJIMA and Mamiko SASAO
Charge Exchange Momentum Transfer due to Ion Beam Injection in Partially Ionized Plasmas
Plasma and Fusion Research Volume 6, 1201153 (2011)

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、2種類のトレーサを用いたPLIF（平面レーザー誘起蛍光法）による圧縮性混合場の瞬時モル分率と密度の同時測定法の開発、エジェクタジェットの混合室内の流れ場のPIV計測（JAXA共同研究）、超音速燃焼場のLES（Large Eddy Simulation）、非平衡プラズマを用いた着火促進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で本グローバルCOEのインターンシップにより受け入れた博士課程学生が、本学での研究成果をもとに論文を執筆し博士号を取得した。上記のJAXAとの共同実験を継続すると共に、民間企業との共同研究を開始した。

平成23年度の研究業績

【研究内容】

1. 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
ラム・スクラムジェットエンジンがデュアルモード燃焼状態にある時に生じる、擬似衝撃波を伴う流れへ噴射した燃料の特異な混合特性を調べるために、流れ場の平均及び変動速度をステレオPIVにより計測した。さらに、変動場の構造を調べるために変動速度の2点空間相関を求めた。その結果、擬似衝撃波の発生によりまず壁面付近で強い乱れが発生し、擬似衝撃波が上流に進むに従って、強い乱れの領域が流路全断面に広がること、擬似衝撃波の先頭衝撃波背後では速度変動強度の主流方向成分が他の3～5倍と大きい、下流では他成分との差は縮まること、噴流周りの乱れは擬似衝撃波がない場合に比べて増大し減衰し難いこと、噴射により擬似衝撃波による乱れは抑制されること、噴流と流路断面コーナー部に乱れの強い相関があること等が分かった。
2. アセトン PLIFの瞬時濃度検定用較正法の研究
超音速流中に噴射した燃料の平均濃度測定法として優れている、アセトンPLIFを、瞬時の定量的な濃度測定も可能とするため、状態が既知の噴射孔上流でも同時に蛍光発光強度を測定できる装置を開発し、較正試験を行った。
3. 超音速流中への燃料噴射により形成される反応性流れ場のLarge Eddy Simulation
高温の超音速流中に噴射した水素の混合および燃焼を、詳細化学反応機構を組み込んだLESで解析した。飛行マッハ数約7.5相当の燃焼加熱空気流中に平行に噴射を行った場合と、Expansion Tubeで発生させた飛行マッハ数約13相当の空気流中に垂直に噴射した場合について計算を行い、それぞれ実験と比較した。いずれも定性的には実験とよく一致される結果が得られたが、平行噴射の場合には燃焼の進行が実験より遅い結果となった。また、垂直噴射については計算結果と十分な比較ができるデータが揃っておらず、有効性の判断は今後の課題である。
4. DBDとプラズマトーチの併用による超音速流中に噴射した燃料の着火の研究
電子温度のみが高い非平衡プラズマを発生させる誘電体バリア放電（DBD）と、平衡プラズマを発生させるプラズマトーチを併用して着火を促進させる研究を行い、水素噴射孔の下流にステップ上のDBD装置を設けさらにその下流でプラズマトーチを作動させ着火実験を行った。その結果、

DBDとの併用によりプラズマトーチで着火できる限界を拡大できた。またDBDトーチを試作し、炭化水素燃料中で放電させた場合の効果を調べた。

【学位論文指導（主査）】

博士論文

1. 航空宇宙工学専攻 菊田 研吾
“Thermodynamic Effect on Cavitating Inducer in Cryogenic Fluid（極低温流体中のインデューサに発生するキャビテーションの熱力学的効果）”
2. 航空宇宙工学専攻 南里 秀明
「ロケットエンジン用液体酸素ターボポンプの共鳴キャビテーションサージに関する研究」
3. 航空宇宙工学専攻 崔 柄一
“Experimental Study of Transverse Jet into Supersonic Flow with Pseudo-Shock Wave Using PIV Measurement（PIVを用いた擬似衝撃波を伴う超音速流への垂直噴射に関する実験的研究）”
4. 航空宇宙工学専攻 松原 慶典
“Study of Combustion Enhancement in a Supersonic Flow by Simultaneous Operations of DBD and Plasma Jet（DBDとプラズマジェットの同時作動による超音速流中での燃焼促進に関する研究）”
5. 航空宇宙工学専攻 渡部 潤也
“Study of Supersonic Turbulent Mixing and Combustion Using Large-Eddy Simulation（LESを用いた超音速乱流混合及び燃焼に関する研究）”

修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 イ サンウク
「LESを用いた擬似衝撃波の大規模乱流構造の解析」
2. 航空宇宙工学専攻 西脇 渉
「対向流場に形成されたエッジフレイムの特性に関する研究」
3. 航空宇宙工学専攻 阿部 浩司
「PLIFによる圧縮性混合場の瞬時モル分率計測に関する研究」
4. 航空宇宙工学専攻 久保 徳嗣
「スクラムジェット燃焼器における縦渦導入型燃料噴射器の高性能化に関する研究」
5. 航空宇宙工学専攻 岡崎 慈
「非平衡プラズマトーチを用いた着火・燃焼促進に関する研究」
6. 航空宇宙工学専攻 大越 将輝
「拡大管内における擬似衝撃波の一次元解析」
7. 航空宇宙工学専攻 藤原 徹也
「ターボポンプ上流配管の音響特性が共鳴キャビテーションサージに与える影響」

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. 航空宇宙工学専攻 奥山 昌紀
“Fundamental Characteristics of Turbulent Premixed Combustion in Porous Media at High Pressure and High Temperature（高温高圧環境における多孔体内乱流予混合燃焼の基礎特性に関する研究）”

修士論文

1. 機械システムデザイン専攻 猿渡 堅一郎
「温度分布制御型マイクロフローリアクタによる水素の燃焼特性に及ぼす表面反応の影響に関する研究」
2. 機械システムデザイン専攻 高瀬 光一
「ふく射消炎限界近傍における低ルイス数極低速対向流希薄予混合火炎に関する数値的研究」
3. 機械システムデザイン専攻 堀 幹人

「温度分布制御型マイクロフローリアクタにおけるガソリン燃料主要成分の着火燃焼特性」

4. 機械システムデザイン専攻 高島 忠博
“Simulation of Liquid jet Breakup Process by Three-Dimensional Incompressible SPH Method
(3次元非圧縮SPH法による液柱分裂プロセスのシミュレーション)”
5. 航空宇宙工学専攻 杉本 珠生
「高速応答型感圧塗料の伝達関数に関する研究」
6. 航空宇宙工学専攻 澤村 亮輔
「フッ素を用いた高温領域における温度分布計測技術の開発」
7. 航空宇宙工学専攻 鈴木 拓朗
「高圧環境におけるアルコール系バイオ燃料の乱流燃焼メカニズムに関する研究」
8. 航空宇宙工学専攻 兼松 慎一郎
「広帯域スクラムジェットinletの最適化に関する研究」
9. 航空宇宙工学専攻 奥野 靖之
「大気中のマイクロ波支持電離波面進展に関する数値的研究」
10. 航空宇宙工学専攻 工藤 慎也
「大気圏再突入環境下における表面触媒性再結合反応の数値解析」
11. 航空宇宙工学専攻 内山 順史
「アルミニウムの影響を考慮した固体ロケットモーター内流れの混相モデル」
12. 航空宇宙工学専攻 永野 敦士
「レーザー推進における非平衡プラズマ流の数値的研究」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. J. Watanabe, T. Kouchi, K. Takita, G. Masuya, “Numerical Study on the Turbulent Structure of Transverse Jet into Supersonic Flow,” *AIAA Journal*, **49** (8), 2011, 2057-2067
2. Yoshinori Matsubara, Kenichi Takita, “Effect of mixing ratio of N_2/O_2 feedstock on ignition by plasma jet torch,” *Proceedings of Combustion Institute*, **33** (2), 2011, 3203-3209
3. Kenichi Takita, Keita Shishido, Kentaro Kurumada, “Ignition in a supersonic flow by a plasma jet of mixed feedstock including CH_4 ,” *Proceedings of Combustion Institute*, **33** (2), 2011, 2383-2389
4. Kenichi Takita, Akihiro Morinaga, Taku Someya, “Effect of a small amount of NO_x on extinction limit of lean premixed counterflow flame,” *Proceedings of Combustion Institute*, **33** (1), 2011, 1179-1186
5. 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,” *Proceedings of Combustion Institute*, **33** (2), 2011, 2375-2382
6. 渡部潤也, 滝田謙一, 「プラズマジェットで支援された超音速燃焼場に対する擬似衝撃波形成の影響」, 日本航空宇宙学会論文集, **59** (685), 2011, 27-33
7. Mitsutomo Hirota, Hiroki Oso, Goro Masuya, “Burned Gas Characteristics of Laminar Lifted Flame at the Beginning of Stream Heating,” *Journal of Thermal Science and Technology*, **6** (1), 2011, 1-6
8. Junji Noda, Sadatake Tomioka, Muneo Izumikawa, C. P. Goyne, R. D. Rockwell, Goro Masuya, “Estimation of Enthalpy Effect in Direct-Connect Dual-Mode Combustor,” *Journal of Thermal Science and Technology*, **6** (2), 2011, 289-296

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. *AIAA Journal*
2. *Proceedings of Combustion Institute*
3. *Journal of Thermal Science and Technology*
4. 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23年（1月～12月）

1. Junya Watanabe, Toshinori Kouchi, Kenichi Takita, Goro Masuya, “Numerical Study on Turbulent Structure of Transverse Jet into a Supersonic Flow,” AIAA Paper 2011-0308, 49th AIAA Aerospace Science Meeting, Orlando, FL, USA, Jan. 4-7, 2011
2. Chae-Hyoung Kim, In-Seuck Jeung, Byungil Choi, Toshinori Kouchi, Goro Masuya, “Correlation between Hypermixing and Fuel Injection Locations,” AIAA Paper 2011-2343, 17th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, San Francisco, CA, USA, Apr. 11-14, 2011
3. Junya Watanabe, Kenichi Takita, Tetsuji Sunami, “Large-Eddy Simulations of Fuel Mixing Using Streamwise Vortices in Supersonic Flow,” 28th International Symposium on Space Technology and Science, 2011-a-25, Okinawa, Japan, Jun. 6-10, 2011
4. Kiyoshi Nojima, Toshinori Kouchi, Goro Masuya, Sadatake Tomioka, “Mixing Characteristics of Secondary Fuel in RBCC Ejector-Jet Mode Operation,” 28th International Symposium on Space Technology and Science, 2011-a-65, Okinawa, Japan, Jun. 6-10, 2011
5. Junya Watanabe, Toshinori Kouchi, Kenichi Takita, Goro Masuya, “Large-Eddy Simulations of Hydrogen and Ethylene Injected into Supersonic Crossflow,” AIAA Paper 2011-5764, 47th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, San Diego, CA, USA, Jul. 31-Aug. 3, 2011
6. Chae-Hyoung Kim, In-Seuck Jeung, Byungil Choi, Toshinori Kouchi, Goro Masuya, “Effect of Fuel Injection Locations with a Hyper Mixer in Supersonic Combustion,” AIAA Paper 2011-5830, 47th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, San Diego, CA, USA, Jul. 31-Aug. 3, 2011
7. Goro Masuya, Byung-Il Choi, Koichi Takae, Toshinori Kouchi, “Turbulence Induced by Transverse Injection and Pseudo-Shock Wave in Supersonic Flow,” ISABE Paper 2011-1525, 20th International Symposium on Air Breathing Engines, Sep. 11-16, 2011, Gothenberg, Sweden
8. Yoshinori Matsubara, Megumu Okazaki, Takamasa Yamamoto, Kenichi Takita, “Ignition Enhancement by Using Nonequilibrium Plasma in Supersonic Flow,” ISABE Paper 2011-1521, 20th International Symposium on Air Breathing Engines, Sep. 11-16, 2011, Gothenberg, Sweden
9. Kenichi Takita, Yoshinori Matsubara, Pierre-Edouard A. A. Bossard, Takamasa Yamamoto, “Comparison of Effectiveness in Ignition Enhancement in Air-breathing Engine between Thermal and Non-thermal Plasma,” ISABE Paper 2011-1519, 20th International Symposium on Air Breathing Engines, Sep. 11-16, 2011, Gothenberg, Sweden
10. Junji Noda, Sadatake Tomioka, Goro Masuya, “Quasi-one-dimensional Modeling of Supersonic Combustors,” OS12-11, Eighth International Conference on Flow Dynamics, Nov. 9-11, 2011, Sendai, Japan
11. Shohei Uramoto, Toshinori Kouchi, Goro Masuya, “Spatial Correlations of Velocity Fluctuation in a Supersonic Flowfield with Transverse Injection,” OS12-57, Eighth International Conference on Flow Dynamics, Nov. 9-11, 2011, Sendai, Japan
12. 渡部潤也, 滝田謙一, 須浪徹治, 「超音速縦渦列を用いた燃料混合の LES 解析」, 日本航空宇宙学会北部支部 2011 年講演会ならびに第 12 回再使用型宇宙輸送系シンポジウム講演論文集, 125-130, 仙台, 2011 年 3 月 10-11 日
13. 野田純司, 富岡定毅, 平岩徹夫, 泉川宗雄, 升谷五郎, 「高速燃焼実験における設備依存性の評価」, 日本航空宇宙学会北部支部 2011 年講演会ならびに第 12 回再使用型宇宙輸送系シンポジウム講演論文集, 143-148, 仙台, 2011 年 3 月 10-11 日
14. 保坂春樹, 野島清志, 河内俊憲, 升谷五郎, 「PIV を用いた軸対称超音速エジェクタのエントレインメント計測」, 日本航空宇宙学会北部支部 2011 年講演会ならびに第 12 回再使用型宇宙輸送系シンポジウム講演論文集, 177-180, 仙台, 2011 年 3 月 10-11 日
15. 高江剛一, 渡部潤也, 崔柄一, 河内俊憲, 升谷五郎, 「条件付き PIV 測定による擬似衝撃波内に噴射した気体の混合特性評価」, 日本航空宇宙学会北部支部 2011 年講演会ならびに第 12 回再使用型宇宙輸送系シンポジウム講演論文集, 181-186, 仙台, 2011 年 3 月 10-11 日
16. 岡慶典, 阿部浩司, 河内俊憲, 升谷五郎, 「アセトン PLIF による擬似衝撃波中に噴射された垂直噴流の挙動の観察」, 日本航空宇宙学会北部支部 2011 年講演会ならびに第 12 回再使用型宇宙輸送系

シンポジウム講演論文集, 187-190, 仙台, 2011 年 3 月 10-11 日

17. 松原慶典, 滝田謙一, 「高電圧印加した低級炭化水素の着火解析」, 第 49 回燃焼シンポジウム講演論文集, 62-63, 横浜, 2011 年 12 月 5-7 日
18. 渡部潤也, 河内俊憲, 滝田謙一, 升谷五郎, 「超音速水素噴流の乱流燃焼過程の LES 解析」, 第 49 回燃焼シンポジウム講演論文集, 482-483, 横浜, 2011 年 12 月 5-7 日
19. 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による着火の数値解析」, 第 49 回燃焼シンポジウム講演論文集, 484-485, 横浜, 2011 年 12 月 5-7 日
20. 國富誠一, 松原慶典, 滝田謙一, 升谷五郎, 「超音速流におけるプラズマジェットによる着火過程の分光計測」, 第 49 回燃焼シンポジウム講演論文集, 486-487, 横浜, 2011 年 12 月 5-7 日

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. J. Watanabe, T. Kouchi, K. Takita, G. Masuya, “Numerical Study on the Turbulent Structure of Transverse Jet into Supersonic Flow,” *AIAA Journal*, **49** (8), 2011, 2057-2067
2. Yoshinori Matsubara, Kenichi Takita, “Effect of mixing ratio of N_2/O_2 feedstock on ignition by plasma jet torch,” *Proceedings of Combustion Institute*, **33** (2), 2011, 3203-3209
3. 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,” *Proceedings of Combustion Institute*, **33** (2), 2011, 2375-2382
4. 渡部潤也, 滝田謙一, 「プラズマジェットで支援された超音速燃焼場に対する擬似衝撃波形成の影響」, 日本航空宇宙学会論文集, **59** (685), 2011, 27-33
5. Junji Noda, Sadatake Tomioka, Muneo Izumikawa, C. P. Goyne, R. D. Rockwell, Goro Masuya, “Estimation of Enthalpy Effect in Direct-Connect Dual-Mode Combustor,” *Journal of Thermal Science and Technology*, **6** (2), 2011, 289-296

【学生の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞者：渡部潤也

受賞名：日本航空宇宙学会北部支部2011年講演会

Good Presentation Award for Student

【学生の研究費の獲得】

○平成23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 電磁機能流体工学

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

反応流動融合分野に関しては、流体機能に特化し、特にプラズマ化学の視点から、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。また、高温・高圧下での非熱プラズマジェット生成の基礎実験とナノ時間スケールでの活性種生成およびその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を活用した内燃機関エンジンの燃焼促進を目指している。

環境・エネルギープロジェクトでは、省エネ型高効率水質浄化を目指して、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やストリーマ放電を伴う多点バブルジェットによる水中難分解性有機物分解や放電流動構造実験解析を行っている。

平成23年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

1. 平成23年5月18日にオハイオ州立大学からIgor V. Adamovich教授が訪問し、第56回グローバルCOE分野横断セミナーでプラズマの流動制御と反応性流動シミュレーションに関する講演を企画した。
2. 平成23年9月13日に東京工業大学で開催された日本機械学会年次大会で「機能性流体工学の先端融合化」に関するオーガナイズドセッションを企画し、一般講演8件の発表があった。
3. 平成23年10月31日に修士学生2名らと（株）本田技術研究所四輪R&Dセンター（栃木）を訪問し、非熱プラズマジェットの燃焼促進に関する研究成果発表と討議を行った。
4. 平成23年11月2日に東京工業大学の安岡康一教授（流体研客員教授）による水中難分解有機物のプラズマ処理研究の経緯と現状について特別講演を行った。また、平成24年1月16日には、水処理に向けた放電回路および放電プラズマ処理液の計測手法について特別講義を行った。
5. 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、平成23年11月8日～11月11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AFI/TFI 2011で発表した。
6. 平成23年11月9日～11日に開催されたThe 8th International Conference on Fluid DynamicsでOSで1件、共同研究セッションで5件発表した。また、博士学生の張柱鏞と清華大学共同教育プログラム交換留学生のLi Qing、修士学生の柴田智弘が国際学生セッションで3件発表した。なお、Journal of Thermal Science and TechnologyのSpecial Issueに1件の推薦があった。
7. 平成23年11月10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、液相TiO₂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ナノ粒子プロセスに関して研究討議を行った。
8. 平成23年11月12日に「特別企画」日本機械学会東北支部・東海支部共同セミナー「交通とエネルギーの統合ークリーンでロバストな社会システムを目指してー」を共催した。
9. 平成23年12月16日に長岡技術科学大学の原田信弘教授による低炭素社会の実現に向けたメタン利用高効率発電システムに関するエネルギークラスターセミナーを企画した。

平成23年度の研究業績

【研究内容】

1. プラズマチューブ内における微粒子の攪拌および搬送

チューブ内壁でDBD放電により壁面近傍のプラズマアクチュエータ効果と粒子への静電気力により、チューブ内静止粒子を攪拌・搬送するのに成功し、特許出願した。

2. 高温・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、ナノ時間スケールでの活性種生成やストリーマ進展過程、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. ストリーマ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
高活性化空気をマイクロバブルジェットに内封し、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。また、多点バブルジェット内でパルスストリーマ放電により、界面に強酸化作用を有するOおよびOHラジカルを発生させ、脱色性能や処理水の実験解析し、特許出願した。
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、低電力でヘリウム注入および供給ガス流量変動、さらには、水滴の注入による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ハイブリッド・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ガス化プロセスで、二種類の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に基づき、計算・実験統合解析を行った。また、修正型SIMPLE法とTVD-MUSCL法や放射モデル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、特に加熱溝構造による衝突液滴挙動を実験的に明らかにした。
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応答
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応答および球状磁石－磁性流体系の衝突挙動の実験解析も行った。
8. 清華大学と共同で、粒子モデルと流体モデルの統合モデルによる大気圧高周波放電シミュレーション研究も開始した。
9. 反応性プラズマによる噴霧二相流の高機能化と液体分解特性
DBDプラズマチューブ内にミスト化した処理液を導入し、作動条件による処理液の化学的特性や分解特性実験に着手した。
10. 複雑流動場での大気圧DBD平面プラズマジェットの生成
東北大学と清華大学共同教育プログラムで、大気圧下で比較的一様で安定したDBDプラズマ平面ジェットの生成実験に成功し、平板に衝突する場合、半拘束平面ジェットでの可視化実験オゾン、活性種や熱流動分布を明らかにした。

【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 柴田 智弘
「反応性プラズマを用いた噴霧二相流の高機能化と液体物性変化」
2. 機械システムデザイン工学専攻 村川 翔
「高温・高圧下における誘電体バリア放電空気プラズマ流の基礎特性」
3. 機械システムデザイン工学専攻 Li Qing
「Fundamental Study of DBD Planar Plasma Jets at Atmospheric Pressure（大気圧下における誘電体バリア放電平面プラズマジェットに関する基礎的研究）」

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. ナノメカニクス専攻 木村 祐人
「A Study of Self-Diffusion in Biomolecule Suspensions and Colloidal Suspensions by Brownian-Dynamics Simulations（生体高分子分散系およびコロイド分散系における自己拡散のブラウン動力学シミュレーションによる研究）」
2. 航空宇宙工学専攻 松原 慶典
「Study of Combustion Enhancement in a Supersonic Flow by Simultaneous Operations of DBD and Plasma Jet（DBDとプラズマジェットの同時作動による超音速流中での燃焼促進に関する研究）」
3. バイオロボティクス専攻 引地 雄一
「MR流体ブレーキ膝継手を用いた随意制御大腿義足に関する研究開発」

修士論文

1. 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）」
2. 機械システムデザイン工学専攻 岡崎 慈
「非平衡プラズマトーチを用いた着火・燃焼促進に関する研究」
3. 機械システムデザイン工学専攻 藤田 英理
「水中プラズマのストリーマ形成過程と熱流動現象」
4. 機械システムデザイン工学専攻 松藤 泰輔
「二次元翼形まわりのキャビテーション発生形態の数値的解明」
5. ナノメカニクス専攻 村岡 卓
「キャビテーション噴流による発光の観察と評価」
6. 機械システムデザイン工学専攻 松本 薫
「ナノ精度研削加工のための均一分散分級ダイヤモンド砥石の開発」
7. 航空宇宙工学専攻 扇 和久
「水平三角形管内を流動するスラッシュ窒素の流動・伝熱特性」
8. 航空宇宙工学専攻 中込 圭
「矩形管およびスタガード矩形管内を流れるスラッシュ窒素の流動・伝熱特性」
9. バイオロボティクス専攻 鈴木 貴詞
「MR流体ブレーキ膝継手を用いた大腿義足の歩行解析・評価」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. 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, Vol.20, No.3, pp.432-439 (2011).
2. Tomohiro Shibata, Akira Ozaki, Hidemasa Takana and Hideya Nishiyama
Water Treatment Characteristics Using Activated Air Microbubble Jet with Photochemical Reaction
Journal of Fluid Science and Technology, Vol.6, No.2, pp.242-251 (2011).
3. Seiichi Sudo, Hirayoshi Takayanagi, Tetsuya Yano and Hideya Nishiyama
The Cavity Generated with Water Entry of a Magnetic Fluid Coated Cylindrical Magnet Electro-Rheological Fluids and Magneto-Rheological Suspensions: Proceedings of the 12th International Conference on Electro-Rheological Fluids and Magneto-Rheological Suspensions, Philadelphia, USA, pp.708-721, (2011), World Scientific Pub. Co. Inc..
4. 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, Vol.323, No.10, pp.1293-1297 (2011).
5. 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, Vol.323, No.10, pp.1314-1318 (2011).
 6. Qing Li, Hidemasa Takana, Yi-Kang Pu and Hideya Nishiyama
An Atmospheric Pressure Quasiuniform Planar Plasma Jet Generated by Using a Dielectric Barrier Configuration
Applied Physics Letters, Vol.98, No.24, pp.241501-1-241501-3 (2011).
 7. 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 Sinusoidal Gas Injection
Journal of Fluid Science and Technology, Vol.6, No.5, pp.729-739 (2011).
 8. Jiri Jenista, Hidemasa Takana, Hideya Nishiyama, Milada Bartlova, Vladimir Aubrecht, Petr Krenek, Milan Hrabovsky, Tetyana Kavka, Viktor Sember and Alan Maslani
Numerical Investigation of Hybrid-Stabilized Argon-Water Electric Arc Used for Biomass Gasification
Progress in Biomass and Bioenergy Production, Edited By: Syed Shahid Shaukat, pp.63-88, (2011), InTech.
 9. 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, Vol.182, No.9, pp.1776-1783 (2011).
 10. Jiri Jenista, Hidemasa Takana, Hideya Nishiyama, Milada Bartlova, Vladimir Aubrecht, Petr Krenek, Milan Hrabovsky, Tetyana Kavka, Viktor Sember and Alan Maslani
Integrated Parametric Study of a Hybrid-Stabilized Argon-Water Arc under Subsonic, Transonic and Supersonic Plasma Flow Regimes
Journal of Physics D: Applied Physics, Vol.44, No.43, pp.435204-1-435204-20 (2011).
 11. Qing Li, Yi-Kang Pu and Hideya Nishiyama
Atmospheric-Pressure Dielectric Barrier Plasma Jets Elongated by Elevating External Electric Field
IEEE Transaction on Plasma Science, Special Issue-Images in Plasma Science 2011, Vol.39, No.11, pp.2290-2291 (2011).
 12. Hideya Nishiyama, Ryosuke Nagai and Hidemasa Takana
Characterization of a Multiple Bubble Jet with a Streamer Discharge
IEEE Transactions on Plasma Science, Vol.39, No.11, pp.2660-2661 (2011).
 13. Jiri Jenista, Hidemasa Takana, Hideya Nishiyama, Petr Krenek, Milada Bartlova, and Vladimir Aubrecht
Computer Modeling of Radiative Transfer in Hybrid-Stabilized Argon-Water Electric Arc
IEEE Transactions on Plasma Science, Vol.39, No.11, pp.2892-2893 (2011).

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. Journal of Thermal Spray Technology
2. Journal of Fluid Science and Technology
3. Electro-Rheological Fluids and Magneto-Rheological Suspensions
4. Journal of Magnetism and Magnetic Materials
5. Applied Physics Letters
6. Computer Physics Communications
7. Journal of Physics D: Applied Physics
8. IEEE Transaction on Plasma Science
9. Progress in Biomass and Bioenergy Production

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成23年（1月～12月）

1. 後藤卓巳, 須藤誠一, 高奈秀匡, 西山秀哉
磁性流体の吸着した2個の小磁石系の交流磁場応答
日本機械学会東北支部第46期総会・講演会講演論文集, No.2011-1, 8-9頁, (2011).
2. 長井亮介, 高奈秀匡, 西山秀哉
ストリーマ放電によるバブルジェットの高機能化と水処理への応用
日本機械学会東北支部第46期総会・講演会講演論文集, No.2011-1, 218-219頁, (2011).
3. Hideya Nishiyama, Ryosuke Nagai, Kei Niinuma and Hidemasa Takana
Characterization of Multiple Bubble Jet with Pulsed Discharge for Water Treatment
Proceedings of 20th International Symposium on Plasma Chemistry, Philadelphia, LIQ03, CD-ROM, (2011).
4. Juyong Jang, Hidemasa Takana, Sangkyu Park and Hideya Nishiyama
Effect of Liquid Droplets Injection on Powder Spheroidization Process Using a Low Power DC-RF Hybrid Plasma Flow System
Proceedings of 20th International Symposium on Plasma Chemistry, Philadelphia, THE23, CD-ROM, (2011).
5. Qing Li, Hidemasa Takana, Yi-Kang Pu and Hideya Nishiyama
Quasi-Uniform Planar Plasma Jet Generated by Using an Atmospheric Pressure DBD Configuration
Proceedings of 20th International Symposium on Plasma Chemistry, Philadelphia, MM08, CD-ROM, (2011).
6. Hidemasa Takana, Yasunori Tanaka, Hideya Nishiyama
Physicochemical Characteristics of Methane-Air Dielectric Barrier Discharge at High Pressure
Proceedings of 20th International Symposium on Plasma Chemistry, Philadelphia, PAC02, CD-ROM, (2011).
7. 新沼啓, 長井亮介, 高奈秀匡, 西山秀哉
プラズマを内包した多点バブルジェットの生成と水処理への応用
日本混相流学会年会講演会2011講演論文集, 220-221頁, (2011).
8. 高奈秀匡, 田中康規, 西山秀哉
高温・高圧下における空気・メタン混合気中のストリーマ進展過程
日本混相流学会年会講演会2011講演論文集, 328-329頁, (2011).
9. 篠原圭介, 高奈秀匡, 西山秀哉
プラズマチューブ内における微粒子の攪拌および搬送
日本混相流学会年会講演会2011講演論文集, 396-397頁, (2011).
10. Seiichi Sudo, Takumi Goto, Michihiro Shinozaki, Toshiya Kainuma, Hidemasa Takana and Hideya Nishiyama
The Dynamic Behaviour of Magnetic Levitating Magnet-Magnetic Fluid Element in Alternating Magnetic Field
Proceedings of the 15th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (ISEM2011), Napoli, pp.101-102, (2011).
11. Seiichi Sudo, Takumi Goto, Tetsuya Yano, Muneo Futamura, Hidemasa Takana and Hideya Nishiyama
Micro Reciprocating Actuator Using Magnetic Fluid and Two Permanent Magnets
Proceedings of International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2011 (ATEM'11), CD-ROM, (2011).
12. 西山秀哉, 新沼啓, 長井亮介, 高奈秀匡
ストリーマ放電を伴う多点バブルジェットの特性解析と機能性評価
日本機械学会2011年度年次大会講演論文集, No.2011-, CD-ROM, (2011).
13. JANG Juyong, 高奈秀匡, 西山秀哉
噴霧注入型DC-RFハイブリッドプラズマ流動システムの熱流動特性と微粒子球状化プロセス

- 日本機械学会2011年度年次大会講演論文集, No.2011-, CD-ROM, (2011).
14. 新沼啓, 長井亮介, 高奈秀匡, 西山秀哉
パルス放電による多点バブルジェットの高機能化と水質浄化
日本機械学会東北支部第47期秋季講演会講演論文集, No.2011-2, 322-323頁, (2011).
 15. 柴田智弘, 西山秀哉
反応性プラズマによる噴霧二相流の高機能化と液体分解性
日本機械学会東北支部第47期秋季講演会講演論文集, No.2011-2, 324-325頁, (2011).
 16. 柴田智弘, 西山秀哉
噴霧二相流における反応性プラズマを用いた水質浄化
可視化情報学会誌(可視化情報学会全国講演会(2011富山)講演論文集), 第31巻, suppl.2, 67-68頁, (2011).
 17. Hidemasa Takana, Yasunori Tanaka and Hideya Nishiyama
Streamer Dynamics in Methane/Air DBD Under High Pressure and High Temperature Conditions
Proceedings of the 8th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2011), pp.394-395, (2011).
 18. Tomohiro Shibata and Hideya Nishiyama
Water Purification Using Activated Mist Flow with Plasma
Proceedings of the 8th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2011), pp.510-511, (2011).
 19. Qing Li, Hidemasa Takana, Yi-Kang Pu and Hideya Nishiyama
Investigation of Dielectric Barrier Discharge Planar Jets at Atmospheric Pressure
Proceedings of the 8th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2011), pp.578-579, (2011).
 20. Juyong Jang, Hidemasa Takana, Sangkyu Park and Hideya Nishiyama
Advancement of Alumina Powder Spheroidization Process in a Low Power DC-RF Hybrid Plasma Flow System by Water Droplets Injection
Proceedings of the 8th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2011), pp.594-595, (2011).
 21. Zhi-Bin Wang, Pei-Si Le, He-Ping Li, Cheng-Yu Bao, Hidemasa Takana and Hideya Nishiyama
Computational Study on Atmospheric RF Discharge with Kinetic-Fluid Integrated Model
Proceedings of the 11th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI2011), pp.72-73, (2011).
 22. Hidemasa Takana, Yasunori Tanaka and Hideya Nishiyama
Radical Generation During Streamer Propagation in Methane/Air DBD Under High Pressure and High Temperature Conditions
Proceedings of the 11th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI2011), pp.74-75, (2011).
 23. Jiri Jenista, Hidemasa Takana, Hideya Nishiyama and Milan Hrabovsky
Investigation of Supersonic Hybrid-Stabilized Argon-Water Arc for Biomass Gasification: The Role of Radiation Transfer Method Used in Computer Simulation
Proceedings of the 11th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI2011), pp.76-77, (2011).
 24. Sivakumar Deivandren, Kazunari Katagiri, Tomoki Nakajima, Hidemasa Takana and Hideya Nishiyama
Impact of Liquid Drops on Heated Grooved Surfaces
Proceedings of the 11th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI2011), pp.132-133, (2011).
 25. Michihiro Shinozaki, Seiichi Sudo, Hidemasa Takana and Hideya Nishiyama
Oscillation Characteristics of Levitated Magnet-Magnetic Fluid System
Proceedings of the 11th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI2011), pp.142-143, (2011).

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. 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
2. Journal of Thermal Spray Technology, Vol.20, No.3 (2011), pp.432-439.
Advancement of Powder Spheroidization Process Using a Small Power DC-RF Hybrid Plasma Flow System by Sinusoidal Gas Injection
Juyong Jang, Hidemasa Takana, Oleg P. Solonenko and Hideya Nishiyama
3. Journal of Fluid Science and Technology, Vol.6, No.5 (2011), pp.729-739.
Effect of Liquid Droplets Injection on Powder Spheroidization Process Using a Low Power DC-RF Hybrid Plasma Flow System
Juyong Jang, Hidemasa Takana, Sangkyu Park and Hideya Nishiyama
Proceedings of 20th International Symposium on Plasma Chemistry, Philadelphia, THE23, (2011), CD-ROM.
4. 噴霧注入型DC-RFハイブリッドプラズマ流動システムの熱流動特性と微粒子球状化プロセス
JANG Juyong, 高奈秀匡, 西山秀哉
日本機械学会2011年度年次大会講演論文集, S052022, (2011), CD-ROM.
5. Advancement of Alumina Powder Spheroidization Process in a Low Power DC-RF Hybrid Plasma Flow System by Water Droplets Injection
Juyong Jang, Hidemasa Takana, Sangkyu Park and Hideya Nishiyama
Proceedings of 8th International Conference on Flow Dynamics, (2011), pp.594-595.

【本人の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

西山秀哉, 長井亮介, 新沼啓, 高奈秀匡
ラジカル発生装置及びそれを用いた浄化方法
特願2011-231755, （平成23年10月21日出願）

【学生の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞者：新沼啓
受賞名：日本混相流学会年会講演会2011学生優秀講演賞
受賞日：平成23年10月8日

【本人のマスコミ発表等】

○平成23年（1月～12月）

1. 日刊工業新聞（2011年08月1日）
2. 日本経済産業新聞（2011年8月9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

高速燃焼、高圧燃焼、新コンセプト燃焼に関する研究

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

TEL: 022(217)5272

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、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・宇宙推進および新コンセプト燃焼による燃焼技術の高度化を目指している。

平成23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：34th International Symposium on Combustion

主催団体：The Combustion Institute

開 催 国：ポーランド

開催期間：2012.7.29～2012.8.3

役 割：Co-chair of Colloquium 13（論文審査統括中）

平成23年度の研究業績

【研究内容】

1. CCSを想定した高圧下石炭改質ガスの乱流燃焼特性に関する研究
エネルギーの多様性と長期安定供給、大気中へのCO₂排出抑制の観点から、CCS(Carbon Capture and Storage) と組み合わせた石炭改質ガスに対するガスタービンコンバインドサイクルが注目されている。この場合酸化剤は空気ではなく純酸素による酸素燃焼の一形態となる。本研究では、模擬石炭改質ガスとしてCO/H₂/CO₂、ならびに純酸素を用いた高圧下の乱流予混合炎に対し、乱流燃焼速度、燃焼排出ガス組成など燃焼器設計に不可欠な火炎特性を明らかにした。
2. アルコール系バイオ燃料の高温高圧燃焼特性と反応機構に関する研究
アルコール系バイオ燃料は、貯蔵性・可搬性に優れ、かつ再生可能な燃料である。輸送機器分野で将来有望であるが、高空再着火の予測などの数値解析を行う場合、詳細反応機構が不可欠であって、そのための検証基礎データを蓄積する必要がある。本研究では、高温高圧下にエタノール予混合火炎を安定化させ、層流燃焼速度の温度圧力依存性を求めることに成功した。
3. 超音速流における噴流火炎構造に及ぼす入射衝撃波の影響に関する研究
近未来の極超音速推進系として超音速燃焼ラムジェットエンジンが期待されている。その燃焼場は、超音速流において混合・燃焼・衝撃波干渉現象が共存する極限環境燃焼場である。本研究では超音速燃焼風洞実験とスーパーコンピューティングの両面から燃焼流と衝撃波との干渉現象を調べ、特にOHラジカル濃度分布から火炎構造を明らかにした。
4. エアーブラストアトマイザーの噴霧形成に及ぼす雰囲気圧力の影響に関する研究
航空用ガスタービン燃焼器で用いられる燃料微粒化装置がエアーブラストアトマイザーである。しかし噴霧形成過程および噴霧特性への高圧依存性は体系的に研究されていなかった。LES等を用いた噴霧燃焼数値解析の入り口条件として正確な評価が不可欠である。本研究では高圧容器内でエアーブラストアトマイザーを連続的に動作させ噴霧特性を明らかにした。産学連携研究であり、航空用ガスタービン燃焼器の設計技術の高度化に寄与する研究である。

【学位論文指導（主査）】

博士論文

1. 奥山 昌紀

Fundamental Characteristics of Turbulent Premixed Combustion in Porous Media at High Pressure and High Temperature（高温高圧環境における多孔体内乱流予混合燃焼の基礎特性に関する研究）

修士論文

1. 鈴木 拓朗

高圧環境におけるアルコール系バイオ燃料の乱流燃焼メカニズムに関する研究

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. 渡部 潤也

Study of Supersonic Turbulent Mixing and Combustion Using Large-Eddy Simulation (LESを用いた超音速乱流混合および燃焼に関する研究)

2. 崔 柄一

Experimental Study of Transverse Jet into a Supersonic Flow with Pseudo-Shock Wave Using PIV Measurement

修士論文

1. 堀 幹人

温度分布制御型マイクロフローリアクタにおけるガソリン燃料主要成分の着火燃焼特性

2. 高瀬 光一

ふく射消炎限界近傍における低レイス数極低速対向流希薄予混合火炎に関する数値的研究

3. 猿渡 堅一朗

温度分布制御型マイクロフローリアクタによる水素の燃焼特性に及ぼす表面反応の影響に関する研究

4. 久保 典嗣

スクラムジェット燃焼器における縦渦導入型燃料噴射器の高性能化に関する研究

5. 西脇 渉

対向流場に形成されたエッジフレームのPLIF計測

6. 阿部 浩司

PLIFによる圧縮性混合場の瞬時モル分率計測に関する研究

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. T. Mai, Y. Sakimitsu, H. Nakamura, Y. Ogami, T. Kudo, H. Kobayashi

Effect of the Incident Shock Wave Interacting With Transversal Jet Flow on the Mixing and Combustion

Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 33 (2011), pp.2335-2342.

2. S. Kadowaki, H. Takahashi, H. Kobayashi

The Effects of Radiation on the Dynamic Behavior of Cellular Premixed Flames Generated by Intrinsic Instability

Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 33 (2011), pp.1153-1162.

3. M. Okuyama, T. Suzuki, Y. Ogami, M. Kumagami, H. Kobayashi

Turbulent Combustion Characteristics of Premixed Gases in a Packed Pebble Bed at High Pressure

Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 33 (2011), pp.1639-1646.

4. Y. Ichikawa, Y. Otawara, H. Kobayashi, Y. Ogami, T. Kudo, M. Okuyama, S. Kadowaki

Flame Structure and Radiation Characteristics of CO/H₂/CO₂/air Turbulent Premixed Flames at High Pressure

Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 33 (2011), pp.1543-1550.

5. S. Kadowaki, M. Yahata, H. Kobayashi
Effects of the Unburned-Gas Temperature and Lewis Number on the Intrinsic Instability of High-Temperature Premixed Flames
Journal of Thermal Science and Technology, Vol.6, pp. 376-390, (2011).

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. Proceedings of the Combustion Institute
2. Journal of Thermal Science and Technology

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. T. Mai, Y. Sakimitsu, H. Nakamura, Y. Ogami, T. Kudo, H. Kobayashi
Effect of the Incident Shock Wave Interacting With Transversal Jet Flow on the Mixing and Combustion
Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 33 (2011), pp.2335-2342.
2. M. Okuyama, T. Suzuki, Y. Ogami, M. Kumagami, H. Kobayashi
Turbulent Combustion Characteristics of Premixed Gases in a Packed Pebble Bed at High Pressure
Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 33 (2011), pp.1639-1646.
3. Y. Ichikawa, Y. Otawara, H. Kobayashi, Y. Ogami, T. Kudo, M. Okuyama, S. Kadowaki
Flame Structure and Radiation Characteristics of CO/H₂/CO₂/air Turbulent Premixed Flames at High Pressure
Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 33 (2011), pp.1543-1550.

【学生の研究費の獲得】

○平成23年（1月～12月）

獲得者：奥山 昌紀

名 称：平成23年度科学研究費助成事業・科学研究費補助金・特別研究員奨励費(DC2)・



氏名 青木 秀之

所属 工学研究科化学工学専攻・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)7250

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

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23年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

名 称：Eighth 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：2011.11.9～2011.11.11

役 割：Organizing Committee Member

平成23年度の研究業績

【研究内容】

気相中のナノ粒子合成プロセスを制御し、ナノ粒子の構造を設計することを目的に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、ベンゼンを出発物質とした熱分解反応からカーボンブラックとして得るまでのメカニズムを解明するために取り組んでいる。

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、ナノサイズまで成長し、一次粒子を形成しながら、一次粒子の表面成長や一次粒子同士の焼結などの合体融合が進行する。

今年度は、アルミナ製反応炉を用い、ベンゼン－アセチレン熱分解によるCB生成実験を行い、ベンゼン－アセチレンの混合比がCBの凝集体形状に及ぼす影響を検討した。さらに、同様の条件において詳細化学反応機構を考慮した反応動力学計算を行い、粒子核の前駆体に関する検討を行い、アセチレンを加えることで凝集体形状が複雑化することが示唆された。

【学位論文指導（主査）】

修士論文

1. 化学工学専攻 張 曉清
画像解析および均質化法を用いたコークス強度発現機構の解明
2. 化学工学専攻 奥村 真彦
水素吸蔵合金充填層における充填状態の変化と応力発現に関する研究
3. 化学工学専攻 小野 公徳
カーボンブラックの形態制御を目的としたカーボンブラックの生成機構に関する研究
4. 化学工学専攻 金井 鉄也
劣質炭配合時におけるコークス強度低下因子の解明
5. 化学工学専攻 児島 芳徳
非定常流動解析における解析手法の提案とパルス噴霧解析に関する研究

【学位論文指導（副査）】

修士論文

1. 化学工学専攻 阿部 敬太
バルク単結晶成長プロセスにおける伝熱解析の高精度化に関する研究

2. 化学工学専攻 馬場 雄也
静磁場重畳電磁浮遊技術を利用した熔融金属の熱伝導率測定に関する研究
3. 化学工学専攻 鷲尾 知昭
ランタノドープ酸化チタン粒子存在下におけるフェノールの超音波分解に関する研究
4. 化学工学専攻 金川 恵一
イオン交換樹脂を触媒・吸着剤とした高品質バイオディーゼル燃料製造に関する研究

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. 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, 城田農, 稲村隆夫, "超高速回転ベルカップ塗装機における噴霧粒子挙動の定量評価法の提案", 化学工学論文集, 37-(4), pp. 296-304 (2011)
2. 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, 城田農, 稲村隆夫, "超高速回転ベルカップ塗装機を対象とした塗着効率を低下させる因子の数値解析的検討", 化学工学論文集, 37, 251-260 (2011)
3. Hirotatsu Watanabe, Yoshiyuki Suzuki, Takuji Harada, Hideyuki Aoki and Takatoshi Miura, Development of a mathematical model for predicting water vapor mass generated in micro-explosion, Energy, 36, pp. 4089-4096 (2011)
4. Kenichi HIRAKI, Hideyuki HAYASHIZAKI, Yoshiaki YAMAZAKI, Tetsuya KANAI, Xiaoqing ZHANG, Masakazu SHOJI, Hideyuki AOKI, Takatoshi MIURA and Koichi FUKUDA, The Effect of Changes in Microscopic Structures on Coke Strength in Carbonization Process, ISIJ International, 51-(4), pp. 538-543 (2011)
5. Yoshiaki YAMAZAKI, Kenichi HIRAKI, Tetsuya KANAI, Xiaoqing ZHANG, Yohsuke MATSUSHITA, Masakazu SHOJI, Hideyuki AOKI and Takatoshi MIURA, The Effect of Metallic Iron Particle on Coke-Matrix after Coke CO₂ Gasification Reaction, Journal of Thermal Science and Technology, 6-(2), pp. 278-288 (2011)
6. 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, 化学工学論文集, 37-(2), pp. 167-174 (2011)
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3報－水素吸蔵合金タンク群の水素放出反応熱の有効利用, 空気調和・衛生工学会論文集, 168, pp. 1-9 (2011)
8. 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2報－水素吸蔵合金タンク群の運転制御方法, 空気調和・衛生工学会論文集, 166, pp. 27-34 (2011)
9. Yoshiyuki Suzuki, Takuji Harada, Hirotatsu Watanabe, Masakazu Shoji, Yohsuke Matsushita, Hideyuki Aoki and Takatoshi Miura, Visualization of aggregation process of dispersed water droplets and the effect of aggregation on secondary atomization of emulsified fuel droplets, Proceedings of the Combustion Institute, 33, pp. 2063-2070 (2011)
10. Yoshiaki YAMAZAKI, Kenichi HIRAKI, Tetsuya KANAI, Xiaoqing ZHANG, Ataru UCHIDA, Masakazu SHOJI, Yohsuke MATSUSHITA, Hideyuki AOKI, Takatoshi MIURA, Seiji NOMURA and Hideyuki HAYASHIZAKI, 3-D Structural analysis for metallurgical coke microstructure using micro X-ray CT, The International Conference on Coal Science and Technology 2011, C46, Oviedo, Spain, October 9-13 (2011)
11. K. Ono, M. Yanaka, S. Tanaka, M. Shoji, H. Aoki, T. Miura, O. Fukuda, T. Aoki, T. Yamaguchi, An Influence of Furnace Temperature and Residence Time on Carbon Black Configurations, 2011 International Conference on Carbon (CARBON'11), 806, Shanghai, China, July 24-29 (2011)
12. Yoshiaki Kawakami, Masao Masuda, Tetsuhiko Maeda, Akihiro Nakano, Manabu Tange, Atsushi Takahashi, Masakazu Shoji, Hideyuki Aoki, Takatoshi Miura, The Actual Operation of Multiple Metal Hydride Hydrogen Storage Tanks in Totalized Hydrogen Energy Utilization System, Proceedings of ASME/JSME 8th Thermal Engineering Joint Conference, AJTEC2011-44148, Honolulu, Hawaii, USA, March 13-17 (2011)

13. Y. Saito, K. Yasumura, M. Shoji, Y. Matsushita, H. Aoki, T. Miura, S. Ogasawara, M. Daikoku, M. Shirota, T. Inamura, Quantitative Evaluation of the Thickness of the Free Surface by the Interface-tracking Method, Proceedings of ASME/JSME 8th Thermal Engineering Joint Conference, AJTEC2011-44100, Honolulu, Hawaii, USA, March 13-17 (2011)

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. 化学工学論文集
2. 空気調和・衛生工学会論文集
3. Proceedings of the Combustion Institute
4. ISIJ International
5. Energy
6. Journal of Thermal Science and Technology
7. 森北出版
8. 培風館

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成23年（1月～12月）

著書

1. 松下洋介, 齋藤泰洋, 青木秀之, 三浦隆利, "数値流体解析", 第1版, 株式会社森北出版, 東京, (2011)
2. 富田博之, 齋藤泰洋, "Fortran90/95プログラミング", 第2版, 株式会社培風館, 東京, (2011)

学会発表

1. 畑山陽介, 羽田俊樹, 城田農, 稲村隆夫, 大黒正敏, 齋藤泰洋, 青木秀之, 高速回転アトマイザによる液糸分裂への粘性の影響, 第20回微粒化シンポジウム, B-14, 広島, 12月19日-12月20日(2011)
2. 小野公德, 竹谷俊亮, 矢中美紀, 田中翔, 齋藤泰洋, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 福田興照, 青木崇行, 山口東吾, ベンゼン-アセチレンの混合比がカーボンブラックの生成機構に及ぼす影響に関する詳細化学反応機構を考慮した数値解析, 第38回炭素材料学会年会, 1C02, 名古屋, 11月29日-12月1日(2011)
3. 竹谷俊亮, 小野公德, 矢中美紀, 齋藤泰洋, 青木秀之, 福田興照, 青木崇行, 山口東吾, ベンゼン-アセチレンの混合比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38回炭素材料学会年会, 1P110, 名古屋, 11月29日-12月1日(2011)
4. Masahiko Okumura, Ayaka Ikado, Yasuhiko Saito, Hideyuki Aoki, Takatoshi Miura and Yoshiaki Kawakami, X-ray Computed Tomographic Study of Changes in Packing State of Hydrogen Storage Alloys, 8th International Conference on Flow Dynamics, 476-477, Sendai, Japan, November 9-11 (2011)
5. Kiminori Ono, Miki Yanaka, Sho Tanaka, Yasuhiro Saito, Masakazu Shoji, Hideyuki Aoki, Takatoshi Miura, Okiteru Fukuda, Takayuki Aoki and Togo Yamaguchi, Comparison of Carbon Black Configurations Formed by Benzene Acetylene Pyrolysis, 8th International Conference on Flow Dynamics, 480-481, Sendai, Japan, November 9-11 (2011)
6. Tetsuya Kanai, Yoshiaki Yamazaki, Xiaoqing Zhang, Ataru Uchida, Yasuhiro Saito, Masakazu Shoji, Hideyuki Aoki, Takatoshi Miura, Seiji Nomura, Yukihiro Kubota and Hideyuki Hayashizaki, Quantification of Non-adhesion Particle Boundary by Observation of Coke Fracture Cross-section, 8th International Conference on Flow Dynamics, 482-483, Sendai, Japan, November 9-11 (2011)
7. Ataru Uchida, Tetsuya Kanai, Yoshiaki Yamazaki, Kenichi Hiraki, Zhang Xiaoqing, Yasuhiro Saito, Hideyuki Aoki, Takatoshi Miura, Noriyuki Okuyama, Nobuyuki Komatsu and Maki Hamaguchi Quantitative Evaluation of Relationship between Coke Strength and Microstructure of Ferro-coke with HPC addition, 8th International Conference on Flow Dynamics, 498-499, Sendai, Japan, November 9-11 (2011)
8. Ryuichi Sagawa, Yoshinori Kojima, Yasuhiro Saito, Masakazu Shoji, Hideyuki Aoki and Takatoshi Miura, Effect of Oscillation Frequency on High Pressure Pulse Spray, 8th

- International Conference on Flow Dynamics, 494-495, Sendai, Japan, November 9-11 (2011)
9. 奥村真彦, 井門文香, 照井光輝, 齋藤泰洋, 青木秀之, 三浦隆利, 川上理亮, 水素吸蔵合金薄肉反応容器に生じるひずみおよび充填層内の状態に関する実験的検討, 化学工学会第43回秋季大会研究発表講演要旨集, G121, 名古屋, 9月14-16日(2011)
 10. 小野公德, 矢中美紀, 田中翔, 齋藤泰洋, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 福田興照, 青木崇行, 山口東吾, カーボンブラック一次粒子における結晶子の成長機構に関する一考察と結晶子の成長速度の定式化, 化学工学会第43回秋季大会研究発表講演要旨集, G109, 名古屋, 9月14-16日(2011)
 11. 齋藤泰洋, 安村光太郎, 田口怜, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 小笠原慎, 大黒正敏, 畑山陽介, 城田農, 稲村隆夫, 超高速回転ベルカップを対象とした液膜形成に関する考察, 化学工学会第43回秋季大会研究発表講演要旨集, G106, 名古屋, 9月14-16日(2011)
 12. 児島芳徳, 佐川龍一, 齋藤泰洋, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 閉空間自然対流を対象としたSMACおよび非定常SIMPLEにおける密度補正に関する検討, 化学工学会第43回秋季大会研究発表講演要旨集, G102, 名古屋, 9月14-16日(2011)
 13. 小野公德, 矢中美紀, 田中翔, 齋藤泰洋, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 福田興照, 青木崇行, 山口東吾, 炉内温度および滞在時間がカーボンブラック一次粒子の結晶子に及ぼす影響, 第9回宮城化学工学懇話会先端研究発表会, A109, 仙台, 9月12日 (2011)
 14. 奥村真彦, 井門文香, 照井光輝, 齋藤泰洋, 青木秀之, 三浦隆利, 川上理亮, 水素吸蔵合金充填層内の充填状態が薄肉反応容器に発現するひずみに及ぼす影響, 第9回宮城化学工学懇話会先端研究発表会, A108, 仙台, 9月12日 (2011)
 15. 児島芳徳, 佐川龍一, 齋藤泰洋, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 密度補正による閉空間内自然対流の数値解析, 第9回宮城化学工学懇話会先端研究発表会, A107, 仙台, 9月12日 (2011)
 16. 小野公德, 矢中美紀, 田中翔, 齋藤泰洋, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 福田興照, 青木崇行, 山口東吾, ベンゼン-アセチレン混合原料から生成したカーボンブラックの形態に関する実験的検討, 化学工学会札幌大会2011, B113, 札幌, 8月25-26日 (2011)
 17. 金井鉄也, 山崎義昭, 張曉清, 内田中, 齋藤泰洋, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 野村誠治, 窪田征弘, 林崎秀幸, コークスの破断面観察による非接着粒界の同定および非接着粒界がコークスの強度低下に与える影響, 化学工学会札幌大会2011, D115, 札幌, 8月25-26日 (2011)
 18. 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, 再加熱処理がカーボンブラックの形態に及ぼす影響, 日本ゴム協会2011年年次大会, A-11, 東京, 5月30-31日 (2011)
 19. 佐川龍一, 児島芳徳, 金井鉄也, 齋藤泰洋, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 高圧パルス噴霧の輝度値による濃淡の評価, 第11回日本伝熱学会学生発表会講演論文集, 17-18, 仙台, 5月6日 (2011)
 20. 内田中, 金井鉄也, 山崎義昭, 平木健一, 張曉清, 齋藤泰洋, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 濱口眞基, 小松信行, HPCの配合が鉄内装型コークスの強度に及ぼす影響, 第11回日本伝熱学会学生発表会講演論文集, 15-16, 宮城, 5月6日 (2011)
 21. 張曉清, 山崎義昭, 平木健一, 金井鉄也, 内田中, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 均質化法を用いた様々なスケールにおけるコークス微視構造の応力解析, 日本鉄鋼協会第161回春季講演大会学生ポスターセッション, PS-62, 東京, 3月25-27日 (2011)
 22. 安村光太郎, 齋藤泰洋, 田口怜, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 小笠原慎, 大黒正敏, 畑山陽介, 城田農, 稲村隆夫, Large Eddy Simulationによる高速回転ベルカップ塗装機を対象とした噴霧流解析, 化学工学会第76年会研究発表講演要旨集, Q309, 東京, 3月22-24日 (2011)
 23. 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一次粒子の性状に及ぼす影響, 化学工学会第76年会研究発表講演要旨集, Q307, 東京, 3月22-24日 (2011)
 24. 奥村真彦, 井門文香, 照井光輝, 川上理亮, 庄子正和, 松下洋介, 青木秀之, 三浦隆利, 水素吸蔵合金充填容器内の充填状態に関する実験的検討, 化学工学会第76年会研究発表講演要旨集, Q315, 東京, 3月22-24日 (2011)
 25. 田口怜, 安村光太郎, 齋藤泰洋, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 小笠原慎, 大黒正敏, 畑山陽介, 城田農, 稲村隆夫, 高速回転ベルカップを用いた噴霧塗装における噴霧粒子の挙動に関する数値解析的検討, 第13回化学工学会学生発表会(秋田大会)研究発表講演要旨集, B12, 秋田, 3月5日 (2011)

26. 佐川龍一, 鎌田美志, 児島芳徳, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 噴射圧力が超高压パルス噴霧の噴霧特性に及ぼす影響に関する実験的検討, 第13回化学工学会学生発表会(秋田大会)研究発表講演要旨集, B11, 秋田, 3月5日 (2011)
27. 矢中美紀, 小野公德, 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, 炭化水素混合物の熱分解により生成したカーボンブラックの性状に関する基礎的研究, 第13回化学工学会学生発表会(秋田大会)研究発表講演要旨集, B05, 秋田, 3月5日 (2011)
28. 内田中, 金井鉄也, 山崎義昭, 平木健一, 張曉清, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 濱口眞基, 小松信行, 石炭粒径による微視構造の変化が新規バインダーを配合した鉄内装型コークスの強度に及ぼす影響, 第13回化学工学会学生発表会(秋田大会)研究発表講演要旨集, B04, 秋田, 3月5日 (2011)
29. 井門文香, 奥村真彦, 川上理亮, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 水素吸蔵合金充填層の応力発現に対し粒子充填構造が及ぼす影響に関する実験的検討, 第13回化学工学会学生発表会(秋田大会)研究発表講演要旨集, B03, 秋田, 3月5日 (2011)
30. 畑山陽介, 城田農, 稲村隆夫, 小笠原慎, 大黒正敏, 齋藤泰洋, 安村光太郎, 庄子正和, 青木秀之, 三浦隆利, 高速回転アトマイザにおける液糸の形成, 日本機械学会東北学生会第41回学生卒業研究発表講演会, 406, 盛岡, 3月3日 (2011)

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年 (1月～12月)

投稿論文

1. 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, 城田農, 稲村隆夫, "超高速回転ベルカップ塗装機における噴霧粒子挙動の定量評価法の提案", 化学工学論文集, 37-(4), pp. 296-304 (2011)
2. 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, 城田農, 稲村隆夫, "超高速回転ベルカップ塗装機を対象とした塗着効率を低下させる因子の数値解析的検討", 化学工学論文集, 37, 251-260 (2011)
3. Kenichi HIRAKI, Hideyuki HAYASHIZAKI, Yoshiaki YAMAZAKI, Tetsuya KANAI, Xiaoqing ZHANG, Masakazu SHOJI, Hideyuki AOKI, Takatoshi MIURA and Koichi FUKUDA, The Effect of Changes in Microscopic Structures on Coke Strength in Carbonization Process, ISIJ International, 51-(4), pp. 538-543 (2011)
4. Yoshiaki YAMAZAKI, Kenichi HIRAKI, Tetsuya KANAI, Xiaoqing ZHANG, Yohsuke MATSUSHITA, Masakazu SHOJI, Hideyuki AOKI and Takatoshi MIURA, The Effect of Metallic Iron Particle on Coke-Matrix after Coke CO₂ Gasification Reaction, Journal of Thermal Science and Technology, 6-(2), pp. 278-288 (2011)
5. 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, 化学工学論文集, 37-(2), pp. 167-174 (2011)
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3報－水素吸蔵合金タンク群の水素放出反応熱の有効利用, 空気調和・衛生工学会論文集, 168, pp. 1-9 (2011)
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2報－水素吸蔵合金タンク群の運転制御方法, 空気調和・衛生工学会論文集, 166, pp. 27-34 (2011)

【本人の受賞・特許等】

○平成23年 (1月～12月)

受賞名: Best Award, 8th International Conference on Flow Dynamics

受賞日: 2011年11月9日

受賞名: 若手優秀発表賞, 日本ゴム協会2011年年次大会

受賞日: 2011年5月30日

【学生の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞者：Tetsuya Kanai

受賞名：Best Award, 8th International Conference on Flow Dynamics

受賞日：2011年11月9日

受賞者：小野公德

受賞名：若手優秀発表賞，日本ゴム協会2011年年次大会

受賞日：2011年5月30日

【学生の研究費の獲得】

○平成23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

獲得者：山崎義昭

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23年（1月～12月）

月刊WizBiz(2012年1月25日)

日経(2012年2月14日)

日経産業新聞(2012年2月16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

熱流体現象の分子動力学機構を主な研究対象として担当し、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23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: Eighth International Conference on Fluid Dynamics
開催期間: 2011年11月9日～11日
主催団体: GCOE
役割: JTST Special Issue Editor

<招待講演>

講演先: 7th NSF-JSPS US-Japan Joint Seminar on Nanoscale Transport Phenomena - Science and Engineering -
講演題目: The middle way: Transport Phenomena in Soft Matters
講演日: 2011年12月14日

平成23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
様々な鎖長の直鎖アルカン分子によるバルク飽和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、その熱流束を構成する分子間／分子内エネルギー伝搬を独自の方法で解析し、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た。この描像におけるC-H結合の寄与や分子の配向が偏向したヘテロな状態にあるせん断ポリマー液体の非等方的熱伝導など、様々な派生現象に研究を進めた。
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・疎水性の制御や、固体表面における微細構造の大きさ・ピッチの影響、さらにこれらを支配する分子動力学機構の解明に取り組んでいる。
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。膜面垂直方向の熱伝導率が平行方向に比べて約5倍高い非等方性熱伝導率のメカニズムについてはほぼ解析を終了し、現在はバイオトライボロジーで重要な運動量伝搬機構について結果をまとめている。

4. 固体微細構造中の液体輸送現象
半導体製造過程におけるシリコン微細構造表面の薬液処理やNEMS中の水分挙動に関連して、 SiO_2 表面に接する水あるいはIPA液体における分子スケール構造や、分子の移動速度を支配している自由エネルギーの計測などの解析を行い、これらを通じて固体壁面近傍の輸送現象を支配する分子動力学機構の解明とウェットプロセスによる表面処理の高度化を目指している。
5. 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、基盤上のポリマー薄膜の熱・運動量・物質輸送特性を明らかにすることを最終的な目標に掲げて、まずポリマー薄膜の気液界面における分子スケール構造と分子の移動特性を解析している。

【学位論文指導（主査）】

修士論文

1. ナノメカニクス専攻 築地 佑太
「せん断を受けるポリマー液体の構造と輸送特性に関する分子動力学的研究」
2. ナノメカニクス専攻 下田 学
「プラズマの自己無撞着PIC/MCシミュレーションに関する研究」

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. ナノメカニクス専攻 小井戸 哲也
「分子反応動力学に基づく表面反応モデルを用いたナノ空間内非平衡流の数値解析」
2. ナノメカニクス専攻 藤井 宏之
「Study of Self-Diffusion Processes on Glass-Forming Materials by Molecular Dynamics Simulations」

修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 高島 忠博
「Simulation of Liquid Jet Breakup Process by Three-dimensional Incompressible SPH Method」
2. 機械システムデザイン工学専攻 小針 達也
「微小スケールにおける断熱材のふく射伝熱に関する研究」
3. ナノメカニクス専攻 孫 曦斌
「L-J粒子ナノ液柱の運動量輸送特性に関する分子動力学的研究」
4. ナノメカニクス専攻 坂井 公則
「PEFC触媒層アイオノマーにおける酸素分子透過に関する分子論的研究」
5. 航空宇宙工学専攻 工藤 慎也
「大気圏突入環境下における表面触媒性再結合反応の数値解析」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. M. Shibahara and T. Ohara, Effects of the nanostructural geometry at a liquid-solid interface on the interfacial thermal resistance and the liquid molecular non-equilibrium behaviors, Journal of Thermal Science and Technology, Vol. 6, No. 2, pp. 247–255, 2011.
2. T. Ohara, Tan C.-Y., D. Torii, G. Kikugawa and N. Kosugi, Heat conduction in chain polymer liquids: Molecular dynamics study on the contributions of inter- and intramolecular energy transfer, Journal of Chemical Physics, Vol. 135, Issue 3, 034507, 2011.
3. 小田川雅人, 竹島由里子, 藤代一成, 菊川豪太, 小原拓, GPU を用いた適応的粒子系可視化, 日本機械学会論文集 B 編, 第 77 巻 781 号, pp. 1767–1778, 2011.
4. H. Berro, N. Fillot, P. Vergne, T. Tokumasu, T. Ohara and G. Kikugawa, Energy dissipation in non-isothermal molecular dynamics simulations of confined liquids under shear, Journal of Chemical Physics, Vol. 135, Issue 13, 134708, 2011.

5. T. Ohara, S. Matsubara, H. Kadowaki, G. Kikugawa, K. Takeshita and T. Hamada, Thickness uniformity of spin coated film influenced by nonuniform temperature of substrates, International Journal of Emerging Multidisciplinary Fluid Sciences, Vol. 2, No. 4, pp. 215–232, 2011.
6. G. Kikugawa, T. Ohara, T. Kawaguchi, I. Kinefuchi and Y. Matsumoto, A molecular dynamics study on heat transfer characteristics over the interface of self-assembled monolayer and water solvent, Proceedings of the ASME/JSME 2011 8th Thermal Engineering Joint Conference, CD-ROM, 2011.
7. T. Nakano, G. Kikugawa and T. Ohara, Effect of alkyl chain length on molecular heat transfer characteristics in lipid bilayers, Proceedings of the ASME/JSME 2011 8th Thermal Engineering Joint Conference, CD-ROM, 2011.
8. M. Shibahara and T. Ohara, Effects of the nanostructural geometry at a liquid-solid interface on the interfacial thermal resistance and the liquid molecular non-equilibrium behaviors, Proceedings of the ASME/JSME 2011 8th Thermal Engineering Joint Conference, CD-ROM, 2011.
9. G. Kikugawa, N. Yamamoto and T. Ohara, Momentum and heat transport in nanoscale lubrication of alkane thin film sheared by self-assembled monolayer surfaces, Proceedings of the 4th International Conference on Heat Transfer and Fluid Flow in Microscale, Flash Memory, 2011.
10. 小原拓, 液体中の熱伝導：分子動力学による一描像（解説），伝熱, Vol. 50, No. 211, pp. 37–43, 2011.
11. 小原拓, 熱流体現象の分子動力学シミュレーション（解説），トライボロジスト, 印刷中.
12. 小原拓, 液体の輸送性質, ナノ・マイクロスケール熱物性ハンドブック, 日本熱物性学会編, 養賢堂, 印刷中.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. Journal of Chemical Physics
2. Journal of Thermal 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23年（1月～12月）

1. 芝原正彦, 小原拓, 村上翔, 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, 第 48 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, Vol. I, pp. 261–262, 2011.
2. 中野雄大, 小坂秀一, 菊川豪太, 瀬川澄江, 鈴木歩太, 小原拓, SiO₂–水界面近傍における分子スケール構造と物質輸送に関する分子動力学的研究, 第 48 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, Vol. II, pp. 489–490, 2011.
3. 菊川豪太, 山本直史, 小原拓, 自己組織化膜修飾界面によるアルカン極薄液膜のせん断に関する分子動力学シミュレーション, 第 48 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, Vol. II, pp. 491–492, 2011.
4. 村上翔, 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 2011 年度年次大会講演論文集, CD-ROM, 2011.
5. 小坂秀一, 菊川豪太, 中野雄大, 鈴木歩太, 小原拓, SiO₂–水/IPA 界面近傍における構造と物質輸送に関する分子動力学的研究, 熱工学コンファレンス 2011 講演論文集, 217–218, 2011.
6. 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 SAM と水溶媒の界面における熱輸送特性の詳細解析, 熱工学コンファレンス 2011 講演論文集, 159–160, 2011.
7. 羽田城司, 菊川豪太, 小原拓, 液体メタンの熱伝導を支配する分子動力学機構, 第 32 回日本熱物性シンポジウム講演論文集, 509–511, 2011.
8. 羽田城司, 菊川豪太, 小原拓, All-atom モデルによるアルカン飽和液中の熱伝導に関する分子動力学シミュレーション, 第 25 回数値流体力学シンポジウム講演論文集, Flash Memory, 2011.
9. 村上翔, 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, 第 25 回数値流体力学シンポジウム講演論文集, Flash Memory, 2011.

【本人の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞名：日本熱物性学会論文賞

受賞日：2011年11月22日

受賞名：日本機械学会熱工学部門賞（業績賞）

受賞日：2011年10月29日

【学生の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞名：日本熱物性学会賞 論文賞

受賞者：タンチアユアン，鳥居大地，小杉直央，菊川豪太，小原拓

受賞対象の研究：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 (2010), pp. 134-140.

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.niche.tohoku.ac.jp

TEL: 022(795)7233

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、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23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：Tribochemistry Hagi 2011 (ITC-Hiroshima Satellite Forum)

主催団体：ICTAC-13 Organizing Committee

開催国：日本

開催期間：2011.10.25 ～ 2011.10.28

役割：Organizing Committee

名 称：Eighth 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：2011.11.9 ～ 2010.11.11

役割：Organizing Committee

<招待講演>

講演先：東北の自動車産業・次世代移動体システムの未来像を描くための産学官連携促進セミナー（宮城県仙台市）

講演題目：レアアース～NEDO自動車触媒セリウム削減・代替研究開発

講演日：2011.5.25

講演先：The 11th International Meeting on Information Display (IMID 2011) (Seoul, Korea)

講演題目：Computational Design of Eu²⁺-Doped Phosphors: Relationship between Crystal Structure, Electronic Structure and Emission Property

講演日：2011.10.14

講演先：夢ナビライブ2011（大阪府大阪市）

講演題目：コンピュータが創る新しい化学

講演日：2011.7.12

講演先：夢ナビライブ2011（東京都江東区）

講演題目：コンピュータが創る新しい化学

講演日：2011.7.16

講演先：電子情報通信学会 シリコン材料・デバイス研究会(SDM) (宮城県仙台市)

講演題目：実験融合マルチレベルコンピュータ化学手法の開発とシリコン材料・デバイスへの応用

講演日：2011.10.21

講演先：東京都市大学 戦略的研究基盤形成支援事業 第3回シンポジウム

講演題目：実践的計算化学によるPEFCのマルチレベルシミュレーション

講演日：2011.3.15

講演先：4th International Conference on Luminescence and Its Applications (ICLA-2012)
(Hyderabad, India)

講演題目：Experiments Integrated Multi-level Computational Chemistry Approach to Phosphor
Materials

講演日：2012.2.7

平成23年度の研究業績

【研究内容】

1. 自動車排ガス浄化触媒の実験融合マルチスケールシミュレーション

近年、自動車排ガス浄化触媒において、貴金属のみならず、希土類元素を含むレアメタル全般の使用量削減が求められている。本研究では、貴金属および希土類酸化物触媒と排ガス成分を対象として、電子、原子、分子、さらにはメソ、マクロの連続体スケールと、階層的に化学現象を解析することのできるマルチスケールシミュレータの開発を行った。独自の超高速化量子分子動力学法に基づき、多孔体シミュレータにより構築した構造に対して拡散やシンタリングなどのメソスケールシミュレーションを行い、この結果をマクロスケールのシミュレーションに反映させて、マルチスケール化を実現している。密度汎関数法では計算困難な希土類酸化物についても量子化学計算手法を確立し、これに基づくメソ触媒モデルとマクロ反応器シミュレータを融合することにより、排ガス浄化率や組成比など、実測に対応する動的データの算出が可能となった。ミクロ、メソスケールの構造がマクロ特性へ及ぼす影響解析を行うことにより、量子論に基づいた自動車排ガス浄化触媒の設計指針が得られるようになった。

2. 超高速化量子分子動力学法に基づくマルチスケールトライボロジーシミュレーション

高硬度、耐摩耗性、低摩擦係数などの優れた特性のため、ダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜が注目されている。特に、水素やフッ素ドーピングにより、摩擦係数の低減や耐摩耗性の向上が報告されているが、そのメカニズムは明らかにされていない。本研究では、超高速化量子分子動力学法に基づいて、ミクロとマクロのシミュレーションを統合したマルチスケールトライボロジーシミュレーション手法により、DLCへの水素およびフッ素ドーピングの効果を解析した。ラマンスペクトルシミュレータによって、DバンドとGバンドの存在が確認でき、DLC膜モデルの妥当性を示した。ミクロレベルの摩擦シミュレーションによって、水素およびフッ素終端により界面間で共有結合相互作用がなくなることにより、低摩擦係数を実現できることが明らかとなった。また、ミクロシミュレーションにより得られた物性値を用いた有限要素法によるナノインデンテーションシミュレーションを行い、水素およびフッ素のドーピング量と硬度の相関を求めた。ドーピング量の増加に伴い硬度が低下し、これがDLC内のC-C結合エネルギーの低下に対応していることが示された。

3. 計算化学シミュレーションによる太陽電池に関する理論的研究

量子ドット(QD)太陽電池は、理論変換効率が60%以上であるため、次世代の高効率太陽電池として期待されている。しかし、現在実験で得られている変換効率は10%程度であり、QD構造を精密に制御することが必要とされている。QDのサイズや周辺材料によるバンド構造変化の影響、またQD/バルク界面の欠陥によるキャリアトラップの影響などが未解明であるため、本研究では計算化学手法を用いてこれらの検討を行った。シリコンQDの終端基とバンド構造の相関を調べたところ、QDサイズによらず終端基が一定の電荷を持ち、そのような周辺原子による電子の引き寄せがバンド構造に大きく影響することが明らかになった。また、キャリア倍増速度の計算により、QDサイズが大きいほど準位数の増加に対応してキャリア倍増効果も高くなることや、終端基の種類による影響が大きいことが分かった。量子化学計算により求められる電子密度分布に基づく動的モンテカルロ法キャリア移動シミュレーションからは、

バルクの結晶構造の違いによって電子の拡散性が大きく影響されることが示された。

4. 燃料電池のマルチスケール計算化学シミュレーション

これまでマルチスケールシミュレータの開発と応用を進めてきた固体高分子形の燃料電池に加えて、さまざまな燃料資源を用いることのできる生物燃料電池について、計算化学手法による解析を行った。酸化還元酵素を用いて発電を行う生物燃料電池は、酵素電極間の電子伝導を担うメディエータの性能が電量密度に大きな影響を与えている。そのため、高性能なメディエータ探索が課題となっているが、伝導メカニズムが明らかになっておらず、探索の指針が立っていない状態である。本研究では、メディエータとしてVK₃とANQを取り上げて解析を行った。ミクロスケールシミュレーションによって拡散係数と電子交換反応における活性化エネルギーを算出したところ、拡散係数はANQが大きく、活性化エネルギーはVK₃の方が小さいことが分かった。一方、マクロスケール電流密度算出シミュレーションにより、拡散係数および電子交換反応の速度定数の、最大電流密度に対する依存性を解析したところ、拡散係数の増加により最大電流密度が大幅に向上することが分かった。実験でもANQの方が高い電流密度が得られていることから、生物燃料電池アノード電流密度向上に向けて、拡散による溶液中電子伝導性の向上が有効であることが分かった。

【学位論文指導（主査）】

博士論文

1. 化学工学専攻 Alam Md. Khorshed

「Catalytic Role of Ceria-Based Oxides in Automobile Catalysts: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Study（量子分子動力学法による自動車排ガス触媒におけるCeO₂およびCeO₂基酸化物の触媒作用に関する研究）」

2. 化学工学専攻 鄭 善鎬

「Evaluation of Effect of Rare Earth Element on Performance of Automotive Exhaust Catalyst by Micro- and Meso-Scale Modeling（ミクロ・メソスケールモデリングを用いた自動車排ガス触媒における希土類元素の影響評価）」

修士論文

1. 化学工学専攻 白 珊丹

「Multiscale Simulation of Ultra Low Friction Mechanism and Mechanical Properties of H or F Contained Diamond-Like Carbon（マルチスケールシミュレーションによる水素あるいはフッ素を含むダイヤモンドライクカーボンの低摩擦機構と力学特性の解明）」

2. 化学工学専攻 劉 陽

「Computational Chemistry Study on Structures and Electronic States of Doped LiFePO₄（計算化学手法によるドーピングLiFePO₄の構造と電子状態の解明）」

3. 化学工学専攻 廣瀬 祥

「Si量子ドット太陽電池の微細構造とキャリア生成特性に関する理論的研究」

4. 化学工学専攻 小林 大

「マルチスケールシミュレーションによる生物燃料電池アノードの最適化」

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. 応用化学専攻 山崎 裕一郎

「選択的オレフィン合成用ゼオライト触媒の組成構造制御」

2. 応用化学専攻 高祖 秀一

「バイオマス由来の水素化分解反応Reまたは酸化物修飾Rh触媒の反応特性、構造解析及び反応機構解明」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. Arunabhiram Chutia, Fanica Cimpoesu, Hideyuki Tsuboi, and Akira Miyamoto, “Influence of

Surface Chemistry on the Electronic Properties of Graphene Nanoflakes,” Chemical Physics Letters, 503(1-3), 91-96, (2011).

2. T. Tokumasu, I. Ogawa, M. Koyama, T. Ishimoto, and A. Miyamoto, “A DFT Study of Bond Dissociation Trends of Perfluorosulfonic Acid Membrane,” Journal of the Electrochemical Society, 158(2), B175-B179, (2011).
3. Ai Suzuki, Unal Sen, Tatsuya Hattori, Ryuji Miura, Ryo Nagumo, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Mark C. Williams, and Akira Miyamoto, “Ionomer Content in the Catalyst Layer of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC): Effects on Diffusion and Performance,” International Journal of Hydrogen Energy, 36(3), 2221–2229, (2011).
4. Md. Khorshed Alam, Farouq Ahmed, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Surface Reduction Processes of Cerium Oxide Surfaces by H₂ Using Ultra Accelerated Quantum Chemical Molecular Dynamic Study,” Catalysis Today, 164(1), 9–15, (2011).
5. Farouq Ahmed, Md. Khorshed Alam, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Modeling of Hydrogen Vacancy for Dissociative Adsorption of H₂ on Pd(111) Surface by A Quantum Chemical Molecular Dynamics,” Catalysis Today, 164(1), 16–22, (2011).
6. Itaru Yamashita, Hiroaki Onuma, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Computational Study on Carrier Injection in Ca/Poly(9,9'- dioctylfluorene) Interface by Using Quantum Chemistry and Monte Carlo Methods,” Japanese Journal of the Applied Physics, 50(4), 04DK02(5 Pages), (2011).
7. Sho Hirose, Itaru Yamashita, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Theoretical Study on Effect of SiC Crystal Structure on Carrier Transfer in Quantum Dot Solar Cells,” Japanese Journal of the Applied Physics, 50(4), 04DP05(5 Pages), (2011).
8. Mari Onodera, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Multiscale Simulation of Dye-Sensitized Solar Cells Considering Schottky Barrier Effect at Photoelectrode,” Japanese Journal of the Applied Physics, 50(4), 04DP06(5 Pages), (2011).
9. Nozomu Hatakeyama, Mariko Ise, Kenji Inaba, Rie Yonemori, Hiromi Kikuchi, Kotaro Okushi, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Akira Miyamoto, Hidehiro Iizuka, Naoki Kumagai, Shuuichi Kanno, and Toru Kawasaki, “Multi-Level Computational Chemistry Study on Hydrogen Recombination Catalyst of Off-Gas Treatment System,” Proceedings of ICON19, 43115(5 Pages), (2011).
10. Farouq Ahmed, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Comparison of Reactivity on Step and Terrace Sites of Pd(332) Surface for the Dissociative Adsorption of Hydrogen: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Study,” Applied Surface Science, 257(24), 10503–10513, (2011).
11. Farouq Ahmed, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, and Akira Miyamoto, “CO Oxidation and NO Reduction on MgO(100) Supported Pd Cluster: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Study,” Journal of Physical Chemistry C, 115(49), 24123–24132, (2011).

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. Chemical Physics Letters
2. Journal of the Electrochemical Society
3. International Journal of Hydrogen Energy
4. Catalysis Today
5. Japanese Journal of the Applied Physics
6. Proc. ICON19

7. Applied Surface Science
8. Journal of Physical Chemistry C

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. “Surface Reduction Processes of Cerium Oxide Surfaces by H₂ Using Ultra Accelerated Quantum Chemical Molecular Dynamic Study,” Md. Khorshed Alam, Farouq Ahmed, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Catalysis Today, 164(1), 9–15, (2011).
2. “Modeling of Hydrogen Vacancy for Dissociative Adsorption of H₂ on Pd(111) Surface by A Quantum Chemical Molecular Dynamics,” Farouq Ahmed, Md. Khorshed Alam, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Catalysis Today, 164(1), 16–22, (2011).
3. “Computational Study on Carrier Injection in Ca/Poly(9,9'-dioctylfluorene) Interface by Using Quantum Chemistry and Monte Carlo Methods,” Itaru Yamashita, Hiroaki Onuma, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Japanese Journal of the Applied Physics, 50(4), 04DK02(5 Pages), (2011).
4. “Comparison of Reactivity on Step and Terrace Sites of Pd(332) Surface for the Dissociative Adsorption of Hydrogen: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Study,” Farouq Ahmed, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Applied Surface Science, 257(24), 10503–10513, (2011).
5. “CO Oxidation and NO Reduction on MgO(100) Supported Pd Cluster: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Study,” Farouq Ahmed, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, and Akira Miyamoto, Journal of Physical Chemistry C, 115(49), 24123–24132, (2011).

【学生の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞者：小野寺 拓

受賞名：平成22年度東北大学工学研究科長賞

受賞日：平成23年3月25日

受賞者：小林 大

受賞名：第18回燃料電池シンポジウム優秀ポスター賞

受賞日：平成23年5月18日

受賞者：小林 大

受賞名：日本コンピュータ化学会10周年記念シンポジウム奨励賞

受賞日：平成23年6月15日

受賞者：廣瀬 祥

受賞名：日本コンピュータ化学会10周年記念シンポジウム奨励賞

受賞日：平成23年6月15日

【学生の研究費の獲得】

○平成23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：国立大学法人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」
国際出る杭特別研究生

期 間：平成22年4月～平成24年3月

【本人のマスコミ発表等】

○平成23年（1月～12月）

1. 平成23年4月7日日刊工業新聞（1面） 「官民でレアメタル代替」
内容：宮本がプロジェクトリーダーを務めるNEDO自動車触媒用セリア削減プロジェクトの」紹介
2. 平成23年5月26日河北新報（8面 経済） 「次世代車の未来探る」
内容：宮城県と東北大学が共催した自動車産業の未来を探る産学官連携セミナーに於ける宮本の研究報告を紹介

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

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、そして一昨年度から昨年度末まで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つつ、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進めてきた。本年度は最近の成果をとりまとめた総合的な報告を国際会議で行った。

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23年度には第12回を迎え、ICFDの一環として仙台で開催された。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るなど変化を始めている。本年度もまた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た。本事業担当者やYoo教授が引退したあと、この学生セミナーをどのように展開していくかについての議論も始められている。

平成23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 Korea-Japan Students' Symposium

主催団体：Global COE program, "World Center of Education and Research for Trans-disciplinary Flow Dynamics"

開催国：日本

開催期間：2011.11.9-11

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：2011 MRS Spring meeting, San Francisco

講演題目：Gas Electrode Reaction in Solid Electrolyte Cells: Butler-Volmer Type Equation and Chemical Reaction Controlled Kinetics.

講演日：2010.4.28

平成23年度の研究業績

【研究内容】

1. 固体内欠陥平衡・不定比組成・輸送現象・表面反応・結晶構造に関する研究

結晶性の固体化合物の物性は不純物異価原子や空格子点、格子間元素など、いわゆる点欠陥の量により大きく変化する。雰囲気によって固体化合物の組成が多少変化する不定比組成によっても物性や格子歪

みが増える。このことは古くから知られているにも関わらず、実用材料についての詳細な実測例は少なく、その前段階である計測法についても必ずしも確立していない。

本分野では、ジルコニアチューブに直接混合導電性試料を封入するという独自の手法を用いたクーロン滴定法による酸素不定比量と酸素ポテンシャルの関係の計測、雰囲気精密規制下での高温微量天秤や高温X線回折による測定など新規手法とも言うべき方法を用いつつ、蛍石型セリア系混合導電体、ペロブスカイト型ランタンガレート系酸化物イオン導電体、ペロブスカイト型バリウムセリウム系プロトン導電性酸化物、ペロブスカイト型ランタン鉄コバルト系混合導電性酸化物、層状ペロブスカイト関連構造ニッケル系混合導電性酸化物などについて、雰囲気温度の関数として不定比組成、電子・イオン導電性、格子定数などを定め、欠陥平衡論、統計熱力学、固体物性論などに基づいた学理を解明し、応用への基礎情報を提供してきた。また、同時に計測される表面反応過程の相殺も進めてきた。

本年度は、課題として残されてきたランタン鉄コバルト系酸化物の酸素拡散についての同位体交換法を用いた計測とデータ評価、プラセオジウムニッケル系層状酸化物の酸素不定比性と輸送・拡散過程の計測を進め、併せて熱力学的安定性についても検討を進めた。

2. レーザ蒸着法などにより作製された膜とバルク体との相関に関する研究

導電性ペロブスカイト型酸化物の緻密薄膜は、バルク体と異なる導電特性や不定比性を示すことがある。しかし、その本質は解明されていない。本分野では、高温作動固体電解質電池の酸化物空気極として導電性ペロブスカイト型酸化物をレーザ蒸着(PLD)法で酸素イオン導電体表面に形成し電気化学特性の計測を行い、レーザ蒸着した酸化物の酸素欠損量がバルク体より著しく小さくなり、金属的であった電子導電性が局在電子系に変化するなどの大きな変化を見いだしている。不定比組成の減少は、酸素の結合エネルギーの変化を反映しており、膜もバルクも基本的には同じペロブスカイト構造であるものの、立方晶から正方晶への変化など、歪みの起こり方に変化が起きていることを示唆している。

本年度は多数の導電性ペロブスカイト型導電性酸化物について、バルク体と、種々の異なる基板上的PLD膜との同じ雰囲気下での導電特性を比較検討し、膜化によって大きな不定比組成変化や導電率変化を起こす系は、フェルミ準位がd電子バンドで形成された半金属的な準位にある場合であり、いわゆる半導体的な挙動を示す材料では膜化による物性変化が殆ど起こらないことが明らかになってきた。高電子導電性を示すことで知られているコバルト系、マンガン系、銅系などの酸化物が多量の影響を受ける。影響を受ける系では、その影響の起こり方が析出と膜の不整合の程度により変化することなども見いだされており今後のさらなる検討が望まれる。

3. 固体内の不定比性・欠陥平衡・輸送現象と応力場効果/mechano-electrochemistry

近年、導電単体がイオンであるか電子であるかに関わらず、MPaレベルの圧縮応力により、100MPaあたり1%程度の明確な導電率の変化が起こることが新たに発見・検証された。増減の方向は導電担体により異なっている。今まで調べられてきた結果によれば、酸化物イオン拡散は、一軸圧縮により移動度が低下する。その反面、電子導電率は圧縮により増加する。また、圧縮により酸素空孔量は減少し、試料が酸素を吸うことが予想される。本年度はこの現象を基板上に成膜したペロブスカイト膜やプラセオジウムニッケル系層状酸化物で検証するとともに、一軸圧縮によるバンド構造変化の計算を行い、計算結果と現象の起こる方向が一致していることを検証している。今後、mechano-electrochemistryとも呼べる新しい研究領域として展開していく。

4. AE法を基盤とした電気化学システム診断手法の開拓：SOFCシステム評価法開発・リチウム電池診断法開発・情報科学との連携

工学研究科橋田研究室と連携して進めている研究である。In-situで10cm角程度の平板内で1cm程度の精度での位置同定も可能であることなど、SOFC等の高温電気化学システムの機械的破損計測にAcoustic Emissionの利用が有効であることを明らかにし、さらにその場計測法として確立すべく、大量のAEデータをin-situ解析する手法の開発を阪大産研沼尾研究室および計測機器開発企業と共同で進めている。また、並行して電気化学データを測定することで、より現象を的確に捉える解析手法を提起している。リチウム電池開発、SOFC開発、情報処理など様々な方面から注目され、所内河村研究室を始め様々なグループと、AEを利用した電気化学システムの長期安定性に関する共同研究も進められている。二次電池の充電状態診断にも利用できる可能性があり、今後の展開が期待される。

【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 川村 祐介
機能性セラミックスの導電特性に対するひずみの影響
2. 機械システムデザイン工学専攻 堀 哲也
層状ペロブスカイト酸化物の固体酸化物形燃料電池への応用に向けた材料特性

【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 北原 大道
SOFC 作動環境下における Ni-YSZ 系アノード材料の機械的特性に関する研究
2. 機械システムデザイン工学専攻 菅原 勇
メタノール空気混合雰囲気下で作動する固体酸化物形燃料電池カソード材料の研究
3. 環境科学研究科（機械系） リ シンシン
モデル電極を用いた混合導電性(La,Sr)(Co,Fe)O_{3-d}における酸素還元反応に関する研究

【査読論文（査読付き国際会議論文を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. High-Temperature Protonic Conduction in LaFeO₃-SrFeO_{3-d}-SrZrO₃ Solid Solutions, Atsushi Unemoto, Atsushi Kaimai, Kazuhisa Sato, Naoto Kitamura, Keiji Yashiro, Hiroshige Matsumoto, Junichiro Mizusaki, a, Koji Amezawa, and Tatsuya Kawada, J. Electrochem. Soc., 158(2), B180-B188(2011)
2. Thermal and chemical lattice expansibility of La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{1-y}FeyO_{3-δ} (y = 0.2, 0.4, 0.6 and 0.8) , Shin-ichi Hashimoto, Yasuhiro Fukuda, Melanie Kuhn, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Junichiro Mizusaki, Solid State Ionics, 186(1), 37-43(2011)
3. Conductivity Evaluation of Rutile-Type Ti_{1-x}Nb_xO₂ as Interconnect Material for Low Temperature Solid Oxide Fuel Cells, Hideo MICHIBATA, Koichi ITOH, Akifusa HAGIWARA, Tatsuya KAWADA and Junichiro MIZUSAKI, Electrochemistry, 79(4), 246-248(2011)
4. Ionic Conductivity in Uniaxial Micro Strain/Stress Fields of Yttria-Stabilized Zirconia, Kazuhisa Sato, Ken Suzuki, Ryo Narumi, Keiji Yashiro, Toshiyuki Hashida, and Junichiro Mizusaki, Jpn. J. Appl. Phys., 50, 55803-(2011)
5. A comparative study of NiO-Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{1.95} nanocomposite powders synthesized by hydroxide and oxalate co-precipitation methods (on line 24 June 2011), Changsheng Ding, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki, Toshiyuki Hashida , Ceramics International, , -(2011)
6. Analysis of structural phase transition of Nd₂NiO_{4+d} by scanning thermal measurement under controlled oxygen partial pressure, E. Niwa, T. Nakamura, J. Mizusaki, T. Hashimoto, Thermochim. Acta, 523, 46-50(2011)
7. Mechanical Properties of La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{1-y}FeyO_{3-δ} under Various Temperatures and Oxygen Partial Pressures , Y. Kimura, T. Kushi, S. Hashimoto, S. Watanabe, K. Amezawa, T. Kawada, Y. Fukuda, A.Unemoto, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, and T. Hashida, ECS Transactions, Solid Oxide Fuel Cells - 12 (SOFC-XII) , 35(1), 2429-2434(2011)
8. Oxygen Nonstoichiometry and Defect Equilibrium of Perovskite-Type La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{1-y}FeyO_{3-δ} (y=0,0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1) SOFC Cathode Materials, M. Kuhn,Y. Fukuda, S. Hashimoto, K. Sato, K.Yashiro, and J. Mizusaki , ECS Transactions, Solid Oxide Fuel Cells - 13 (SOFC-XII), 35(1), 1881-1890(2011)
9. In situ Observation of the Deformation and Mechanical Damage of SOFC Cell/Stack, K. Sato , T.Sakamoto, A. Kaimai, K. Yashiro, K. Amezawa, T. Hashida, J. Mizusaki, and T. Kawada, ECS Transactions, Solid Oxide Fuel Cells - 14 (SOFC-XII), 35(1), 225-229(2011)
10. Electrical Conductivity and Oxygen Diffusivity of Perovskite-Type Solid Solution La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{1-y}FeyO_{3-δ} (y=0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8) , Keiji Yashiro, Issei Nakano, Melanie Kuhn, Shinichi Hashimoto, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki, ECS Transactions, Solid Oxide Fuel Cells - 15 (SOFC-XII), 35(1), 1899-1907(2011)
11. Effect of Redox Cycling on Mechanical Properties of Ni-YSZ Cermets for SOFC Anodes , S.

- Sukino, S.Watanabe, K. Sato, T. Kawada, J. Mizusaki, and T. Hashida, ECS Transactions, Solid Oxide Fuel Cells - 16 (SOFC-XII), 35(1), 1473-1482(2011)
12. Multiscale Simulation of Electro-Chemo-Mechanical Coupling Behavior of PEN Structure under SOFC Operation, K. Terada, T. Kawada, K. Sato, F. Iguchi, K. Yashiro, K. Amezawa, M. Kubo, H. Yugami, T. Hashida, J. Mizusaki, H. Watanabe, H. Aoyagi, and K. Takahashi, ECS Transactions, Solid Oxide Fuel Cells - 17 (SOFC-XII), 35(1), 923-933(2011)
 13. Oxygen nonstoichiometry, thermo-chemical stability and lattice expansion of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{FeO}_{3-\delta}$, M. Kuhn, S. Hashimoto, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, Solid State Ionics, 195(81), 7-15(2011)
 14. キーグラフとSOMを用いた稀な重要事象抽出による燃料電池の損傷評価, 北川哲平, 福井健一, 佐藤一永, 水崎純一郎, 沼尾正行, 情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用 JPSJ-TOM, 4(2), 55-66(2011)

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. Solis state ionics
2. J. Electrochem. Soc.
3. Ceramics International

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、ガラス転移現象を示す様々な異なる体系（ SiO_2 、金属ガラス、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23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 International Discussion Meeting on the Glass Transition

主催団体：東北大学流体科学研究所・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：2012.2.27～2012.3.1

役 割：委員長

<講演>

講演先：The 4th International Discussion Meeting on the Glass Transition

講演題目：Universality in Self-Diffusion among Distinctly Different Glass-Forming Liquids"

講演日：2011.2.28

講演先：XXIV Meeting of Science and Technology of Complex Fluids

講演題目：Self-Diffusion in Glass-Forming Liquids

講演日：2011.8.15, 16, 18

平成23年度の研究業績

【研究内容】

1. ガラス転移点近傍における長時間自己拡散係数の普遍性についての研究
様々な系における長時間自己拡散係数のコントロールパラメータ依存性を最近理論的に提案した徳山の平均場理論とマスターカーブを用いて解析することにより、液体状態と過冷却液体状態の遷移点、および、過冷却液体状態からガラス状態への遷移点を明らかにした。さらに、NiP などの金属ガラスでは、数値実験を行い、より詳しく物理量の比較を行いつつある。
2. 粒度分布を有する系での粒度分布と粒子間ポテンシャルの長時間自己拡散への影響についての研究
粒度分布や、ポテンシャルの違いにより、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 木村 祐人
「A Study of Self-Diffusion in Biomolecule Suspensions and Colloidal Suspensions by Brownian-Dynamics Simulations（生体高分子分散系およびコロイド分散系における自己拡散のブラウン動力学シミュレーションによる研究）」
2. ナノメカニクス専攻 藤井 宏之
「Study of Self-Diffusion Processes on Glass-Forming Materials by Molecular Dynamics

Simulations (分子動力学法によるガラス形成物質の拡散過程に関する研究) 」

修士論文

1. ナノメカニクス専攻 川見 真人
「粒度分布を有する系の拡散過程と相図に関する計算機実験」

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. 物理学専攻 戸田 昌利
「Dynamics of Wormlike Micellar Systems: A Theoretical Study Based on Particle-Field Hybrid Approach」

修士論文

1. ナノメカニクス専攻 築地 祐太
「せん断を受けるポリマー液体の構造と輸送特性に関する分子動力学的研究」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. Fujii Hiroyuki and Tokuyama Michio, “Dynamics of a single atom in ternary metallic glass-forming Cu(60)Ti(x)Zr(40-x) melts by molecular-dynamics simulations”, PHYSICAL REVIEW E, vol.83(Num.2) Article-Number 021502 8pages (2011).

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. PHYSICAL REVIEW E

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. 藤井 宏之, 徳山 道夫
The 2011 WPI-AIMR Annual Workshop
“Universalities for Static Properties from dynamical Point of View on Metallic Glass -Forming Cu-Ti-Zr Melts” 2011.2.22-23 発表
2. 木村 祐人, 徳山 道夫
The 4th International Discussion Meeting on Glass Transition
“Comparison between Mode-coupling Theory and Molecular-dynamics Simulation of a Binary Mixture near the Glass Transition” Abstract pp.30 2011.3.1 発表
3. 藤井 宏之, 徳山 道夫
The 4th International Discussion Meeting on Glass Transition
“Analysis of a Non-Gaussian Parameter on Metallic Glass-Forming Cu-Ti-Zr Melts”
Abstract pp.33 2011.3.1 発表
4. 木村 祐人, 徳山 道夫
XXIV Meeting of Science and Technology of Complex Fluids
“Simulation Study of Short-Time Self-Diffusion Coefficient for Soft-Core Model by Brownian-Dynamics and Molecular-Dynamics Simulations”
Abstract 無し 2011.8.15-16 発表
5. 藤井 宏之, 徳山 道夫
XXIV Meeting of Science and Technology of Complex Fluids
“Simulation Study of Relation between Specific Heat and Self-diffusion in Glass-Forming Cu₆₀Ti_{40-x}Zr_xMelts” Abstract 無し 2011.8.15-16 発表
6. 藤井 宏之, 徳山 道夫
8th International Conference on Fluid Dynamics
“Simulation Study of Transport Phenomena in Supercooled Cu-Ti-Zr Liquids”
Abstract pp. 618-619 2011.11.11 発表



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

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、オンウエハーモニタリング（シース形状センサによる測定）とシミュレーションを組み合わせることで、3次元構造を持つサンプルのエッチングの際に起こるエッチング形状異常を予測することに成功した。また、オンウエハーモニタリングのワイヤレス化の検討を進め、ウエハー上に搭載可能でメモリー・制御回路・赤外線通信機能を含む小型の測定基板を開発するとともに、これまでに開発した各種センサー測定およびシミュレーションを簡便に実行可能な予測システムの導入を行った。

平成23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：2011 IEEE International NanoElectronics Conference (Taiwan)

講演題目：Novel Quantum Effect Devices realized by Bio-template and Defect-Free Neutral Beam Etching

講演日：2011.6.22

講演先：日本真空協会 スパッタリングおよびプラズマプロセス技術部会（SP部会）第124回定例研究会

講演題目：プラズマ誘起損傷のモニタリングと超低損傷・微細加工技術

講演日：2011.7.26

講演先：第7回量子ナノ材料セミナー

講演題目：バイオテンプレート極限加工による量子ナノ構造の作製と新機能発現

講演日：2011.9.21

講演先：American Vacuum Society 58th International Symposium & Exhibition (USA)

講演題目：2010 Plasma Prize Lecture - Super-low Damage Top-down Processing for Future Nanoscale Devices

講演日：2011.11.4

講演先：東北支部・東海支部共同セミナー 交通とエネルギーの統合ークリーンでロバストな社会システムを目指してー

講演題目：超高精度量子ドット形成技術による高効率太陽電池の実現に向けた挑戦

講演日：2011.11.12

講演先：64th Gaseous Electronics Conference and 53rd Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (USA)

講演題目：Damage-free Neutral Beam Etching, Deposition and Surface Modification Processes for

Novel Nano-scale Devices

講演日：2011.11.15

講演先：第48回X線材料強度に関する討論会

講演題目：プラズマ誘起欠陥によるMEMS機械的特性劣化機構の解明

講演日：2011.12.2

講演先：The 8th EU-Japan Joint Symposium on Plasma Processing

講演題目：Numerical study on electron transfer mechanism by collision of ions at graphite surface in highly-efficient neutral beam generation

講演日：2012.1.17

講演先：SPIE Advanced Lithography 2012 (USA)

講演題目：Ultimate top-down processes for future nanoscale devices

講演日：2012.2.13

講演先：東北大学イノベーションフェア

講演題目：超高精度量子ドット形成技術による高効率太陽電池の実現に向けた挑戦

講演日：2012.3.15

平成23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、フォトン）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。

バイオテンプレート極限加工による量子ドット太陽電池および量子ドットレーザーの研究

2009年度からのJST-CRESTプロジェクト「バイオテンプレート極限加工による3次元量子構造の制御と新機能発現」において、東京大学・北海道大学・慶應義塾大学・奈良先端科学技術大学院大学と共同で、量子ドット太陽電池及び量子ドットレーザーの開発を目指した研究を行っている。今年度は、作製した高密度規則配列シリコンナノディスクアレイの量子特性を膜厚・直径・間隔によって制御できること、ナノディスク同士の波動関数の重なりによりミニバンドができていることを示し、さらに実際に太陽電池構造を作製することに成功した。また、GaAsの表面処理方法を確立することにより、GaAsナノディスクアレイの作製に成功し、発光を初めて観測することに成功した。特に今年度からは新たに量子ドットの理論的な解析を進め、ミニバンドが生成できる条件や最適な太陽電池特性が得られる条件などについて検討した。

中性粒子ビームによる次世代デバイスの研究

次世代の高性能トランジスタとして注目されるFin型FETやゲルマニウムトランジスタを実現するため、中性粒子ビームを用いた超高性能極薄酸化膜作製技術の研究を行っている。とくに今年度はゲルマニウム酸化膜の作製に中性粒子ビームが有効であることを実証し、従来にない低界面準位密度・極薄ゲルマニウム酸化膜の作製に成功した。また、中性粒子ビーム酸化の機構について詳細に調査し、従来の熱酸化やラジカル酸化に比べ活性化エネルギーが極めて低いことを見いだした。さらに4端子シリコンFinFETの作製に成功した。また、中性粒子ビームを用いたグラフェントランジスタ・高性能MEMSデバイス等の新デバイスへの応用を目指した研究や、中性粒子ビーム・プラズマプロセスシミュレーションの研究、実用的な大口径中性粒子ビーム装置の開発を進めている。

環境共生型プラズマ・ビームプロセスの研究

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CF₃Iガスを用いた中性粒子ビームにより、シリコン窒化膜（SiN）の高選択エッチングに成功した。また、プラズマプロセスに用いるフォトレジストのプラズマダメージのメカニズムを解明し、プラズマ耐

性の高いフォトレジストの提案に成功した。

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によるエッチング形状予測を実現するとともに、みずほ情報総研(株)・(株)アドバンテスト・原田産業(株)と共同でより実用性を高めるためのワイヤレス化の検討を行った。

【学位論文指導（主査）】

修士論文

1. 上杉拓志
「プラズマエッチングにおけるArFレジスト表面ラフネス発生機構の解明とその抑制に関する研究」
2. 荒木良亮
「オンウエハーモニタリングシステムによるプラズマエッチング形状・損傷予測に関する研究」
3. モハメド ファイルズ
「バイオテンプレート極限加工による量子ナノ構造の作製と量子ドット太陽電池への応用」
4. 孫 曦斌
「L-J粒子ナノ液柱の運動量輸送特性に関する分子動力学的研究」
5. 坂井 公則
「PEFC触媒層アイオノマーにおける酸素分子透過に関する分子論的研究」

【学位論文指導（副査）】

修士論文

1. 藤田 英理
「水中プラズマのストリーマ形成過程と熱流動現象」
2. 大友悠大
「光電子制御イオン源による基板表面処理の研究」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. Chi-Hsien Huang, Xuan-Yu Wang, Makoto Igarashi, Akihiro Murayama, Yoshitaka Okada, Ichiro Yamashita, and Seiji Samukawa, Optical absorption characteristic of highly ordered and dense two-dimensional array of silicon nanodisks, Nanotechnology, Vol. 22, pp. 105301 (8pp) (2011)
2. Makoto Igarashi, Rikako Tsukamoto, Chi-Hsien Huang, Ichiro Yamashita, and Seiji 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, Vol. 4, pp. 015202 (3pp) (2011)
3. Michio Sato, Hiroto Ohtake, and Seiji Samukawa, Reduction in Number of Sparks Generated in High-Density Plasma Process by Fixing the Wall Potential, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 50, pp. 036204 (2011)
4. Shinji Ueki, Yuki Nishimori, Hiroshi Imamoto, Tomohiro Kubota, Masakazu Sugiyama, Hideki Kawakatsu, Seiji Samukawa, and Gen Hashiguchi, Method to evaluate the influence of etching damage on microcantilever surface on its mechanical properties, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 50, pp. 026503 (2011)
5. Tomohiro Kubota, Naoki Watanabe, Shingo Ohtsuka, Takuya Iwasaki, Kohei Ono, Yasuroh Iriye, and Seiji Samukawa, Numerical simulation on neutral beam generation mechanism by collision of positive and negative chlorine ions with graphite surface, Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 44, pp. 125203 (2011)
6. Akira Wada, Kazuhiko Endo, Meishoku Masahara, Chi-Hsien Huang and Seiji Samukawa, Low activation energy, high-quality oxidation of Si and Ge using neutral beam, Applied Physics

Letters, Vol. 98, pp. 203111 (2011)

7. Noriaki Matsunaga, Hirokatsu Okumura, Butsurin Jinnai, and Seiji Samukawa, Measurement and simulation of spreading current in interlayer dielectric film deposition by plasma-enhanced chemical vapor deposition, Journal of Vacuum and Science and Technology A, Vol. 29, pp. 041302 (2011)
8. Xuan-Yu Wang, Chi-Hsien Huang, Rikako Tsukamoto, Pierre-Andre Mortemousque, Kohei M Itoh, Yuzo Ohno, and Seiji Samukawa, Damage-free top-down processes for fabricating two-dimensional arrays of 7 nm GaAs nanodiscs using bio-templates and neutral beam etching, Nanotechnology Vol. 22, pp. 365301 (2011)

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. Nanotechnology
2. Journal of Physics D: Applied Physics
3. Applied Physics Letters
4. Applied Physics Express
5. Japanese Journal of Applied Physics
6. Journal of Vacuum Science and Technology A

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. Chi-Hsien Huang, Xuan-Yu Wang, Makoto Igarashi, Akihiro Murayama, Yoshitaka Okada, Ichiro Yamashita, and Seiji Samukawa, Optical absorption characteristic of highly ordered and dense two-dimensional array of silicon nanodisks, Nanotechnology, Vol. 22, pp. 105301 (8pp) (2011)
2. Makoto Igarashi, Rikako Tsukamoto, Chi-Hsien Huang, Ichiro Yamashita, and Seiji 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, Vol. 4, pp. 015202 (3pp) (2011)

【学生の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞者：Mohd Fairuz Budiman,

受賞名：The 21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference Student Paper Award

【本人のマスコミ発表等】

○平成23年（1月～12月）

日刊工業新聞（2011.6.21, 2011.7.13）

日刊工業新聞ニュースリリース（2011.12.2）

河北新報（2011.7.13）

MRSニュース（2011.11.29）

電子情報通信学会ニュース（2011.11.29）



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、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、ナノバブルを用いた抗腫瘍効果の解析手法に関する研究、およびナノバブルと超音波を用いた分子導入法を使用したがん遺伝子療法の開発をおこなった。

平成23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：Meeting of Bilateral Joint Projects with Korea, JST/NRF

主催団体：医工学研究科

開催国：韓国

開催期間：2011.9.26-29.

平成23年度の研究業績

【研究内容】

1. ナノバブルを用いた抗腫瘍効果の解析手法に関する研究
ナノバブルと高周波超音波を組合せた超音波画像診断法を開発し、腫瘍新生血管の三次元的な構造変化から、抗腫瘍効果の評価をおこなった。また、免疫組織化学的に検証をおこなった。抗がん剤であるシスプラチンを固形腫瘍に注射し、新生血管の血管密度を評価することで、抗腫瘍効果が定量できることが示された。
2. ナノバブルと超音波を用いたがん遺伝子療法の開発
ナノバブルと超音波を用いた分子導入法で治療性分子であるTNF- α 遺伝子を固形腫瘍に繰返し導入し、治療効果を生体発光イメージング法、高周波超音波法、PCR法で評価した。TNF- α 遺伝子の強発現により腫瘍体積が減少し、縮退機序にはアポトーシスの誘導が関与することが示された。

【学位論文指導（主査）】

博士論文

1. 渡邊夕紀子 微小気泡と超音波を使用した分子導入法の開発とがん遺伝子治療への応用
H23.9修了

【学位論文指導（副査）】

修士論文

1. 小動物を対象とした超音波計測融合血流シミュレーションシステムの開発
H23.9修了

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. Kodama T, Tomita N, Yagishita Y, Horie S, Funamoto K, Hayase T, Sakamoto M, Mori S.
Volumetric and angiogenic evaluation of antitumor effects with acoustic liposome and

- high-frequency ultrasound. Cancer Research. 2011; 71(22): 6957-6964..
2. Horie S, Watanabe Y, Ono M, Mori S, Kodama T. Evaluation of anti-tumor effects following tumor necrosis factor-alpha gene delivery using nanobubbles and ultrasound. Cancer Science. 2011;102(11): 2082-2089.
 3. Kobayashi K, Kodama T, Takahira H. Shock wave-bubble interaction near soft and rigid boundaries during lithotripsy: numerical analysis by improved ghost fluid method. Physics in Medicine and Biology. 2011; 56: 6421-6440.
 4. Sakata N, Kodama T, Chen R, Yoshimatsu G, Goto M, Egawa S, Unno M. Monitoring transplanted islets by high-frequency ultrasound. Islets. 2011; 3(5): 259-266.
 5. du Toit LC, Govender T, Pillay V, Choonara YE, Kodama T. Investigating the effect of polymeric approaches on circulation time and physical properties of nanobubbles. Pharmaceutical Research. 2011; 28(3): 494-504.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. Kodama T, Tomita N, Yagishita Y, Horie S, Funamoto K, Hayase T, Sakamoto M, Mori S. Volumetric and angiogenic evaluation of antitumor effects with acoustic liposome and high-frequency ultrasound. Cancer Research. 2011; 71(22): 6957-6964.
2. Horie S, Watanabe Y, Ono M, Mori S, Kodama T. Evaluation of anti-tumor effects following tumor necrosis factor-alpha gene delivery using nanobubbles and ultrasound. Cancer Science. 2011;102(11): 082-2089.
3. Kobayashi K, Kodama T, Takahira H. Shock wave-bubble interaction near soft and rigid boundaries during lithotripsy: numerical analysis by improved ghost fluid method. Physics in Medicine and Biology. 2011; 56: 6421-6440.
4. Sakata N, Kodama T, Chen R, Yoshimatsu G, Goto M, Egawa S, Unno M. Monitoring transplanted islets by high-frequency ultrasound. Islets. 2011; 3(5): 259-266.
5. du Toit LC, Govender T, Pillay V, Choonara YE, Kodama T. Investigating the effect of polymeric approaches on circulation time and physical properties of nanobubbles. Pharmaceutical Research. 2011; 28(3): 494-504.

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. Kodama T, Tomita N, Yagishita Y, Horie S, Funamoto K, Hayase T, Sakamoto M, Mori S. Volumetric and angiogenic evaluation of antitumor effects with acoustic liposome and high-frequency ultrasound. Cancer Research. 2011; 71(22): 6957-6964.
2. Horie S, Watanabe Y, Ono M, Mori S, Kodama T. Evaluation of anti-tumor effects following tumor necrosis factor-alpha gene delivery using nanobubbles and ultrasound. Cancer Science. 2011;102(11): 2082-2089.

【本人の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞名：国際歯科研究学会/米国歯科研究学会 William J. Gies 最優秀論文賞受賞。
 受賞日：2011年3月16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23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23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: Eighth 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: 2011.11.9 ~ 2011.11.11

役 割: Organizing Committee

<招待講演>

講 演 先: 1st Annual World Congress of Nano-S&T 2011

講演題目: The Modeling of Nanoscale Flow Phenomena in Polymer Electrolyte Fuel Cell by Molecular Dynamics Method

講 演 日: 2011.10.25

講 演 先: 2011 International Conference on Mechanical Science and Engineering (ICMSE2011)

講演題目: A Molecular Dynamics Study for Dissociation of H₂ Molecule on Pt(111) Surface

講 演 日: 2011.12.9

講 演 先: 第11回インテリジェント・ナノプロセス研究会

講演題目: 固体高分子形燃料電池内部で生じる物質輸送現象の大規模分子シミュレーション

講 演 日: 2011.12.16

講 演 先: FC EXPO 2012

講演題目: 燃料電池内部流れのマルチスケールシミュレーション

講 演 日: 2012.2.29

平成23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O₂とPt(111)のエネルギー状態をDFT計算により解析し、その知見を元にPt(111)-O₂系のEAMポテンシャルを構築した。また、そのEAM

ポテンシャルを用いてPt(111)表面上におけるO₂の解離吸着現象の分子動力学計算を行い、Pt(111)-H₂系との違いを評価した。その結果、Pt(111)-O₂系はPt(111)-H₂系に比べて解離障壁が大きく、O₂が解離するためには1オーダー大きな入射エネルギーが必要であることが確認された。また、Pt(111)-H₂系については、構築した解離確率モデルをボルツマン方程式の確率解法であるDSMC計算に取り込み、ナノ空間における非平衡状態での反応速度における解離確率モデルの効果を検討した。その結果、反応速度は分子の平均エネルギーだけでなく、エネルギー分布の影響を受けること、各自由度のエネルギー分布のボルツマン分布からの乖離の仕方が異なっていることが明らかにした。

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、まず高分子電解質膜内部の水の構造を静的構造因子(散乱関数)により評価し、実験結果との比較を行ってモデルの妥当性を検証した。その結果、分子動力学計算で得られた散乱関数のピークの位置が、別グループの実験により取得された結果と一致し、本手法で用いているモデルの妥当性を示すことができた。さらに、ポテンシャルモデルや系のアニーリング方法に修正を加えて、高分子電解質膜内部の水の拡散係数の含水率依存性を分子動力学計算で定量的に再現することに成功した。さらには、Grotthusメカニズムのモデリングの改良を行い、プロトンのアクセプターとなる水分子をエネルギーを基準に決定することで水中でのオキソニウムイオンの拡散係数の実験結果を再現することに成功した。

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。本年度は白金表面上アイオノマーの酸素透過性能の含水率依存性について解析を行った。その結果、含水率が増加するにつれてアイオノマーの酸素透過性能は減少するという、バルク薄膜における実験結果とは異なる傾向が得られた。この原因を調査するため、同様のポテンシャルモデルを用いて分子動力学法によりバルク薄膜を作成し、その酸素透過係数を解析した。バルク薄膜の酸素透過係数はバルク薄膜への酸素の溶解度係数とバルク高分子電解質膜中の酸素の拡散係数の積で評価した。その結果、アイオノマーの系と同様の分子間ポテンシャルを用いても、バルク薄膜の場合は含水率が増加するにつれて酸素透過係数が増加するという、実験結果と同様の傾向が得られた。また、この原因を詳細に解析したところ、バルク薄膜については含水率が増加するにつれて溶解度係数は減少するが、その寄与よりもはるかに大きく、酸素の拡散係数が増加するために、全体の酸素透過係数が増加することが明らかとなった。

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。本年度はナノ多孔体内に存在する微小水滴が移動する際に、壁面から受ける力(抵抗)について解析を行った。計算は壁面を一定の速度 V で動かし、その壁面からすべての水分子が受ける力 F を逆方向に加えることによって水滴を静止させ、その際に水滴にかかる力 F を壁からの抵抗として評価した。その結果、同一の細孔幅では、固液界面の影響で水滴の体積に壁からの抵抗が比例しないが、接触面積で規格化すると、すべての水滴にかかる抵抗が一定となり、この傾向は細孔幅が10 Åまで小さくなくても成り立つことが明らかとなった。

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。本年度は昨年度までに得られたMD計算の結果について、物理的なモデリングを行った。運動量はバルク領域を通るものと気液境界部分を通るものに分割してモデリングを行った。その結果、気液境界領域を通る運動量流束はバルク領域を通る流束の1/4~1/3程度であることが明らかとなり、液柱幅が100Å程度になってもまだバルクの粘性係数とは数%の差が生じることが明らかとなった。また、この運動量流束をナノ液柱を構成する全ての分子の情報から別の手法を用いて評価したところ、両者はよい一致を示し、モデルの妥当性を検証することができた。(INSA-Lyonとの共同研究)

6. 液体水素の熱物性に関する量子効果の影響に関する量子・分子論的研究

液体水素の熱物性に、水素の持つ量子効果がどの程度影響し、それがどのような原因によるのかを明らかに

かにすることを目的として研究を行っている。昨年度までに、古典的な手法ではどのようなポテンシャルやそのパラメータを用いても液体水素の $P-V-T$ 線図を再現することができないことが明らかになった。それを踏まえて、今年度は液体水素の原子がド・ブロイの熱的波長程度の広がりを持って存在することを考慮して液体水素の物性を評価するCentroid Molecular Dynamics法の開発に着手した。その結果、プログラムが完成し、動径分布関数などの諸量をサンプリングすることに成功した。今後はこのプログラムを用いて、液体水素が空間的な広がりを持つという量子性が、液体水素の $P-V-T$ 線図にどのように影響するかを解析する予定である。

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. ナノメカニクス専攻 小井戸 哲也
「分子反応動力学に基づく表面反応モデルを用いたナノ空間内非平衡流の数値解析」

修士論文

1. ナノメカニクス専攻 坂井 公則
「PEFC触媒層アイオノマーにおける酸素分子透過に関する分子論的研究」
2. ナノメカニクス専攻 孫 曦斌
「L-J粒子ナノ液柱の運動量輸送特性に関する分子動力学的研究」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. Takashi Tokumas, Izumi Ogawa, Michihisa Koyama, Takayoshi Ishimoto and Akira Miyamoto
A DFT Study of Bond Dissociation Trends of Perfluorosulfonic Acid Membrane
Journal of Electrochemical Society, Vol.158, No.2, pp.B175-B179, (2011)
2. Takashi Tokumasu and Daigo Ito
The Dynamic Effects of Dissociation Probability of H₂-Pt(111) System by Embedded Atom Method
Journal of Applied Physics, Vol.109, No.6, 063509, (2011)
3. Tetsuya Koido, Ko Tomarikawa, Shigeru Yonemura and Takashi Tokumasu
Molecular Dynamics Study of the Effects of Translational Energy and Incident Angle on Dissociation Probability of Hydrogen/Deuterium Molecules on Pt(111)
Journal of Applied Physics, Vol.110, No.2, 024301, (2011)
4. Tetsuya Koido, Daigo Ito, Takashi Tokumasu, Ko Tomarikawa and Shigeru Yonemura
A Molecular Dynamics Study of the Effect of the Incident Angle on the Dissociation Probability of H₂ on Pt(111)
Journal of Thermal Science and Technology, Vol.6, No.3, pp.333-343, (2011)
5. H. Berro, N. Fillot, P. Vergne, T. Tokumasu, T. Ohara, and G. Kikugawa
Energy Dissipation in Non-Isothermal Molecular Dynamics Simulations of Confined Liquids under Shear
Journal of Chemical Physics, Vol.135, No.13, 134708 (2011).
6. Hiroki Nagashima, Takashi Tokumasu, Shin-ichi Tsuda, Nobuyuki Tsuboi, Mitsuo Koshi and A. Koichi Hayashi
An Estimation of Thermodynamic and Transport Properties of Cryogenic Hydrogen using Classical Molecular Simulation
Proceedings of ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011, AJK2011-36005, (2011)
7. Kiminori Sakai, Takashi Tokumasu
Molecular Dynamics Simulation of Oxygen Permeation through the Ionomer of PEFC Cathode Side Catalyst Layer
Proceedings of ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011, AJK2011-36020, (2011)
8. Takashi Tokumasu
Proton Transfer in Polymer Electrolyte Membrane by Molecular Dynamics Method

Proceedings of the 2011 Energy Sustainability Conference & Fuel Cell Conference,
ESFuelCell2011-54963 (2011)

9. Takuya Mabuchi, Takashi Tokumasu
Analysis of Proton and Water Transfer in PFSA Membrane by Molecular Dynamics Simulation
ECS Transactions, Vol.41, No.1, pp.2115-2123, (2011)
10. Hironori Sakai, Taiki Yoshida, Takashi Tokumasu
Development of the new model for the proton hopping by molecular dynamics simulation
ECS Transactions, Vol.41, No.1, pp.2097-2103, (2011)
11. Kiminori Sakai, Takashi Tokumasu
Molecular Dynamics Study of Oxygen Permeation in the PFSA Ionomer on Pt Catalyst Surface
ECS Transactions, Vol.41, No.1, pp.2105-2113, (2011)

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. Journal of Applied Physics
2. Journal of Electrochemical Society
3. Journal of Chemical Physics
4. Journal of Thermal 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23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
古典的分子シミュレーション手法を用いた 低温水素の熱物性評価の限界
日本航空宇宙学会北部支部2011年講演会ならびに第12回再使用型宇宙推進系シンポジウム
講演論文集, (2011).
2. 坂井公則, 徳増崇
PEFC内の白金触媒上ionomerにおける酸素透過に関する分子論的研究
第18回燃料電池シンポジウム講演予稿集, pp.201-202, (2011).
3. 馬淵拓哉, 徳増 崇
高分子電解質膜内部のプロトン・水分子輸送に関する分子動力学解析
第18回燃料電池シンポジウム講演予稿集,, pp.199-200, (2011).
4. 徳増崇
大規模分子動力学シミュレーションによるPEFC内物質輸送現象の解明
第18回燃料電池シンポジウム講演予稿集, pp.117-120, (2011).
5. 永島浩樹, 徳増崇, 津田伸一, 坪井伸幸, 越光男, 林光一
古典分子動力学法を用いた低温水素の熱輸送物性評価
第48回日本伝熱シンポジウム講演論文集, pp.503-504, (2011).
6. 坂井公則, 徳増崇
PEFC触媒層内ionomerにおける酸素分子透過に関する分子論的研究
第48回伝熱シンポジウム講演論文集, pp.241-242, (2011).
7. 徳増崇, 吉田大樹
高分子電解質膜内部のプロトン拡散現象に関する研究
第48回伝熱シンポジウム講演論文集, pp.249-250, (2011).
8. 徳増崇, Hassan Berro, Marie-Helene Meurisse, Nicolas Fillot and Philippe Vergne
ナノ液柱の潤滑現象に関する分子論的解析
日本機械学会2011年度年次大会講演論文集, J054014 (2011).
9. 永島浩樹, 徳増崇, 津田伸一, 坪井伸幸, 越光男, 林光一
古典的分子シミュレーションを用いた低温水素の熱物性解析
日本機械学会2011年度年次大会講演論文集, J054052 (2011).
10. 坂井公則, 徳増崇
PEFC触媒層のionomer内における酸素拡散に関する分子論的研究
日本機械学会2011年度年次大会講演論文集, S053011 (2011).

11. 酒井博則, 吉田大樹, 徳増崇
ホッピングを考慮したプロトン拡散現象の分子動力学的研究
日本機械学会2011年度年次大会講演論文集, S053014 (2011).
12. 馬淵拓哉, 徳増 崇
固体高分子形燃料電池内部の高分子膜内におけるプロトン・水分子輸送特性に関する分子動力学の解析
日本機械学会2011年度年次大会講演論文集, S053022 (2011).
13. 富正人, 津田伸一, 坪井伸幸, 徳増崇, 越光男
酸水素混合系に対するcubic 型状態方程式の精度評価
日本機械学会2011年度年次大会講演論文集, S054043, (2011).
14. 泊川晃, 大嶋智也, 米村茂, 徳増崇
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
日本機械学会2011年度年次大会講演論文集, S054022, (2011).
15. 小泉智, 徳増崇, 川勝年洋
先端的中性子小角散乱法による膜電極接合体の微細構造の研究
日本機械学会2011年度年次大会講演論文集, S053024, (2011).
16. 徳増崇
ホッピングを考慮したプロトン拡散現象の分子動力学的研究
第3回マイクロ・ナノ工学シンポジウム講演論文集, pp.41-42, (2011).
17. 酒井博則, 吉田大樹, 徳増崇
周囲の水分子の影響を考慮したプロトンホッピング現象の分子動力学的研究
日本機械学会第3回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, pp.77-78, (2011).
18. 福島啓悟, 徳増崇
グラファイト微細孔内における水滴の挙動に関する分子論的研究
日本機械学会第3 回マイクロ・ナノ工学シンポジウム講演論文集, pp.75-76, (2011).
19. 永島浩樹, 徳増崇, 津田伸一, 坪井伸幸, 越光男, 林光一
低温水素の熱物性評価に関する分子動力学的研究
第3回マイクロ・ナノ工学シンポジウム講演論文集, pp.69-70, (2011).
20. Hiroki Nagashima, Takashi Tokumasu, Shin-ichi Tsuda, Nobuyuki Tsuboi, Mitsuo Koshi, A. Koichi Hayashi
A molecular Dynamics study on the Thermodynamic Estimation of Cryogenic Hydrogen
Proceedings of the Eleventh International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary
Fluid Integration, pp.136-137, (2011).
21. Takashi Tokumasu, Marie-Helene Meurisse, Nicolas Fillot and Philippe Vergne
A Molecular Dynamics Study of Momentum Transport in a Nanoscale Liquid Bridge
Proceedings of the Eleventh International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary
Fluid Integration, pp.138-139, (2011).
22. Kiminori Sakai, Takashi Tokumasu
Molecular Dynamics Study of Oxygen Permeation in the Ionomer on Pt Catalyst
Proceedings of Eighth International Conference on Flow Dynamics, (2011).
23. Takuya Mabuchi, Takashi Tokumasu
Molecular Dynamics Study of Proton and Water Transfer in Polyelectrolyte Membrane
Proceedings of Eighth International Conference on Flow Dynamics, (2011).
24. Takashi Tokumasu
Molecular Dynamics Simulation of Nanoscale Flow Phenomena in PEFC
Proceedings of International Workshop on Micro/Nano-Engineering, MT-03, (2011).
25. 福島啓悟, 美馬俊喜, 杵淵郁也, 徳増崇
グラファイト微細孔内部における液滴の挙動に関する分子動力学計算
第25回数値流体力学シンポジウム 講演予稿集, B11-4, (2011).
26. 馬淵拓哉, 徳増 崇

分子動力学法によるPEFC高分子膜内におけるプロトン・水分子輸送特性の解析
第25回数値流体力学シンポジウム 講演予稿集, B11-5 (2011).

27. 大嶋智也, 泊川晃, 米村茂, 徳増崇
多孔質体内の複雑流路を流れるナノ気体流れの数値解析
第25回数値流体力学シンポジウム 講演予稿集, B09-04 (2011).
28. 冨正人, 坪井伸幸, 津田伸一, 徳増崇, 越光男
臨界点近傍における酸水素混合系の熱物性評価
第25回数値流体力学シンポジウム 講演予稿集, B10-05 (2011).

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年 (1月～12月)

1. Tetsuya Koido, Ko Tomarikawa, Shigeru Yonemura and Takashi Tokumasu
Molecular Dynamics Study of the Effects of Translational Energy and Incident Angle on
Dissociation Probability of Hydrogen/Deuterium Molecules on Pt(111)
Journal of Applied Physics, Vol.110, No.2, (2011)
2. Tetsuya Koido, Daigo Ito, Takashi Tokumasu, Ko Tomarikawa and Shigeru Yonemura
A Molecular Dynamics Study of the Effect of the Incident Angle on the Dissociation Probability
of H₂ on Pt(111)
Journal of Thermal Science and Technology, Vol.6, No.3, pp.333-343, (2011)

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

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。Eighth 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、フランス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23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: Eighth 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: 2011.11.9 ～ 2011.11.11

役 割: 実行委員

<国内会議>

名 称: 進化計算シンポジウム2011

主催団体: 進化計算学会

開 催 地: 仙台

開催期間: 2011.12.17 ～ 2011.12.18

役 割: 実行委員長

<招待講演>

講 演 先: ECCOMAS thematic conference CFD & OPTIMIZATION, Antalya, Turkey

講演題目: MULTIOBJECTIVE TEST PROBLEMS FOR AEROSPACE DESIGN OPTIMIZATION

講 演 日: 2011.5.24

講 演 先: EUROGEN2011, Capua, Italy

講演題目: Multidisciplinary Design Exploration Applied to Supersonic Aircraft

講 演 日: 2011.9.16

平成23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。超音速飛行体から出る衝撃波を計測するために、東北大学衝撃波関連施設二段式軽ガス銃を用いた自由飛行試験を行った。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

自由飛行実験を実施するために、鳥取大学、室蘭工業大学と共同研究を実施し、この装置の改造を進めている。

2.多目的設計探索 (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「多目的設計探索システム」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に成果があった。

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による乱流モデルのパラメータ同定、最適化を行った。

【学位論文指導（主査）】

博士論文

1. 大学院生氏名：豊田 篤
博士論文題目：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)
2. 大学院生氏名：菊池 崇将
博士論文題目：A shock dynamic study of high-speed impact onto condensed matter（凝縮媒体への高速衝突に関する衝撃波工学的研究）

修士論文

1. 大学院生氏名：小野 大地
博士論文題目：大気不確定性を考慮したソニックブーム解析
2. 大学院生氏名：中名生 大樹
修士論文題目：双方向ネスティング手法を用いた空港周辺の乱気流解析に関する研究
3. 大学院生氏名：鵜飼 孝博
修士論文題目：超音速飛行体における近傍場圧力計測技術に関する研究
4. 大学院生氏名：米山 拓也
修士論文題目：BOS 法を用いた高速流れ計測に関する研究

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. 大学院生氏名：古澤 卓
博士論文題目：Numerical Methods of Simulating Supercritical-fluid Flows and their Applications（超臨界流体の数値解法の開発とその応用）

修士論文

1. 大学院生氏名：阿部 弘之
修士論文題目：ロボットを利用したデルタ翼の2自由度動的風洞試験
2. 大学院生氏名：阿南 良
修士論文題目：超音速ノズルを通る非平衡凝縮流動シミュレーション
3. 大学院生氏名：王 寧
修士論文題目：タービン翼列を通る超臨界流体の流動シミュレーション
4. 大学院生氏名：庄司 衡太
修士論文題目：三次元物体まわりの自然対流の高精度計測
5. 大学院生氏名：多田 修平
修士論文題目：3次元 SPH 法を用いた非圧縮性流体と弾性体の連成解析
6. 大学院生氏名：ムハマド ヒルミビン シャピエン
修士論文題目：相変化を考慮したレーザー誘起液体ジェットの数値解析
7. 大学院生氏名：橋場 道太郎

修士論文題目：直交・非構格子重ね合わせによる 3 次元圧縮性流体ソルバーの構築

8. 大学院生氏名：西村 康孝

修士論文題目：圧縮性 Building-Cube Method solver の構築と定常・非定常流れの数値計算

9. 大学院生氏名：大木 裕介

修士論文題目：ソニックブーム波形推算精度向上のための解適合格子法

10. 大学院生氏名：鈴木 佑一郎

修士論文題目：高次精度不連続ガレルキン法を用いた翼周り流れ場解析に関する研究

【査読論文（査読付き国際会議論文を含む）】

○平成23年（1月～12月）

<学術雑誌>

1. Jongsoo HA, Shinkyu JEONG, Shigeru OBAYSHI, Drag Reduction of a Pickup Truck by a Rear Downward Flap, International Journal of Automotive Technology, Vol.12, No.3, pp.369-374, (2011.6).
2. Chenguang Lai, Yasuaki Kohama Shigeru Obayashi, Shinkyu Jeong, “Experimental and Numerical Investigations on the Influence of Vehicle Rear Diffuser Angle on Aerodynamic Drag and Wake Structure, International Journal of Automotive Engineering 2, 47-53 (2011).
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, Vol.59, No.688, pp.119-125 (2011.5.5).
4. S. Jeong and K. Shimoyama, Review of Data Mining for Multi-disciplinary Design, Optimization Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G : Journal of Aerospace Engineering, Vol. 225, No.5, pp. 469-479(2011.5)
5. Shinkyu Jeong, Toru Sasaki, Sanghyun Chae, Kwanjung Yee and Takashi Aoyama, Design Exploration of Helicopter Blades for HSI Noise and Aerodynamic Performance, Transaction of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 54, No.184, pp. 153-159 (2011.8)
6. Seiichiro Morizawa, Koji Shimoyama, Shigeru Obayashi, Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, “Implementation of visual data mining for unsteady blood flow field in an aortic aneurysm,” Journal of Visualization Vol. 14, pp.393-398, 2011, DOI 10.1007/s12650-011-0101-2 (2011.11.10).
7. Koji Shimoyama, Shu Yoshimizu, Shinkyu Jeong, Shigeru Obayashi, and Yasuyuki Yokono, “Multi-Objective Design Optimization for a Steam Turbine Stator Blade Using LES and GA,” Journal of Computational Science and Technology, Vol. 5, No.3, pp. 134-147 (2011.11).
8. Koji Shimoyama, Kazuya Seo, Tsuyoshi Nishiwaki, Shinkyu Jeong, and Shigeru Obayashi, “Design Optimization of a Sport Shoe Sole Structure by Evolutionary Computation and Finite Element Method Analysis,” Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology, Vol.225, No.4, pp.179-188 (2011.12)

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. Jongsoo HA, Shinkyu JEONG, Shigeru OBAYSHI, Drag Reduction of a Pickup Truck by a Rear Downward Flap, International Journal of Automotive Technology, Vol.12, No.3, pp.369-374, (2011.6)
2. 下山幸治, 大林茂, “流体力学におけるビジュアルデータマイニング”, シミュレーション辞典, 日本シミュレーション学会 (編), コロナ社, 東京, 2012年, pp. 348.

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成23年（1月～12月）

<著書>

1. 下山幸治, 大林茂, “流体力学におけるビジュアルデータマイニング”, シミュレーション辞典, 日本シミュレーション学会 (編), コロナ社, 東京, 2012年, pp. 348.
2. Koji Shimoyama, Shu Yoshimizu, Shinkyu Jeong, Shigeru Obayashi, and Yasuyuki Yokono, “Multi-Objective Design Optimization for a Steam Turbine Stator Blade Using LES,”

Evolutionary and Deterministic Methods for Design, Optimization and Control with Applications to Industrial and Societal Problems, Tadeusz Burczynski and Jacques Périaux (Eds.), CIMNE, Barcelona, 2011, pp. 176–181.

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. Jongsoo HA, Shinkyu JEONG, Shigeru OBAYSHI, Drag Reduction of a Pickup Truck by a Rear Downward Flap, International Journal of Automotive Technology, Vol.12, No.3, pp.369-374, (2011.6).
2. Chenguang Lai, Yasuaki Kohama Shigeru Obayashi, Shinkyu Jeong, “Experimental and Numerical Investigations on the Influence of Vehicle Rear Diffuser Angle on Aerodynamic Drag and Wake Structure, International Journal of Automotive Engineering 2, 47-53 (2011).
3. Seiichiro Morizawa, Koji Shimoyama, Shigeru Obayashi, Kenichi Funamoto, Toshiyuki Hayase, “Implementation of visual data mining for unsteady blood flow field in an aortic aneurysm,” Journal of Visualization Vol. 14, pp.393-398, 2011, DOI 10.1007/s12650-011-0101-2 (2011.11.10).

【学生の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞者：米澤 誠仁

受賞名：平成 22 年度日本航空宇宙学会奨励賞

受賞対象の研究：CFD による有限幅の超音速複葉翼の空力特性評価，日本航空宇宙学会論文集，Vol.57, No.660, 2009, p.p.32-38

受賞日：2011 年 4 月

受賞者：小野大地

受賞名：日本航空宇宙学会学生講演賞受賞

受賞対象の研究：大気温度の不確定性を考慮したソニックブーム解析手法の開発，

授与機関・団体名：第 49 回飛行機シンポジウム，石川県金沢市

受賞日：2011 年 10 月 27 日

【学生の研究費の獲得】

○平成23年（1月～12月）

獲得者：加藤 博司

名 称：文科省科研費・特別研究員奨励費

期 間：平成23年4月～平成25年

【本人のマスコミ発表等】

○平成23年（1月～12月）

Newton別冊ハイテクの世界，超音速複葉旅客機MISORA紹介(H24年3月)

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

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23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： Eighth International Conference on Flow Dynamics

場 所： 仙台

開催期間： 2011年11月9日～11日

参加者数： 649名

役 割： 会議実行委員，オーガナイザーOS2

会議名： ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011

場 所： 浜松

開催期間： 2011年7月24日～29日

役 割： Scientific Committee, Lead Organizer of S13

平成23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送ることで、制御波を流体中に励起する。昨年度、既に本制御手法の有効性が確認されたため、今年度はより詳細に数値計算を用いて、ピエゾアクチュエータによって励起される速度変動波、およびその伝播過程を明らかにする試みも行った。

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、前縁で乱れを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。今年度は風洞実験のみならず、数値計算を用いて平板前縁よりも下流かつ境界層上方の乱れが平板上にどのような渦度場を形成するか、また、境界層内に形成された壁面上渦度が如何なる成長過程を辿るかを明らかにした。

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、はく離領域内の逆流を検知するセンサーと、センサーがはく離を検知している間だけ駆動

するデバイスを組み合わせることで、スマートかつ能動的に稼働する制御システム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れ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縦渦構造によってせん断層の2次元性が崩され、フィードバックループの形成を妨げることを明らかにした。
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、円筒ノズルから噴出される液柱の分裂過程といった自由表面や境界の大変形問題、さらには相変化や熱対流や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）】

博士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 野呂 秀太
"Direct Receptivity of Flat-Plate Boundary Layer to External Disturbances"

修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 大橋 祐介
"Effect of Localized External Disturbances on Laminar-Turbulent Transition of Flat-Plate Boundary Layer"
2. 機械システムデザイン工学専攻 岡崎 博成
"Study of Hierarchical Vortex Motions in Turbulence"
3. 機械システムデザイン工学専攻 高島 忠博
"Simulation of Liquid Jet Breakup Process by Three-dimensional Incompressible SPH Method"
4. 機械システムデザイン工学専攻 林 朋希
"Robust Control of Unsteadily Separating Flow"
5. 機械システムデザイン工学専攻 多田 修平
"Coupled Analysis of Incompressible Fluid and Elastic Structure by Three-dimensional SPH Method"
6. 機械システムデザイン工学専攻 藤原 優
"Structure of the Calmed Region after an Isolated Turbulent Region in a Flat Plate Boundary Layer"

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. 航空宇宙工学専攻 崔 柄一
"Experimental Study of Transverse Jet into a Supersonic Flow with Pseudo-Shock Wave Using PIV Measurement"
2. 航空宇宙工学専攻 渡部 潤也
"Study of Supersonic Turbulent Mixing and Combustion Using Large-Eddy Simulation"

修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 杉本 珠生
「高速応答型感圧塗料の伝達関数に関する研究」
2. 航空宇宙工学専攻 中村 勘太
「低Re数翼の空力特性に対する乱流装置の効果」
3. 航空宇宙工学専攻 野瀬 慶
「低Re数2次元翼に生じる非定常現象に関する実験的研究」

4. バイオロボティクス専攻 皆川 望
「エアロトレインの浮上走行安定化制御に関する研究」
5. 航空宇宙工学専攻 イ サンウク
「LESを用いた擬似衝撃波の大規模乱流構造の解析」
6. 機械システムデザイン工学専攻 大林 敦
「熱音響効果の振幅依存性」
7. バイオロボティクス専攻 小林 生馬
「実形状モデルを用いた胃内容物攪拌の数値解析」
8. 機械システムデザイン工学専攻 小林 生馬
「高温・高圧下における誘電体バリア放電空気プラズマ流の基礎特性」
9. 機械システムデザイン工学専攻 大羽 航平
「メタノールを燃料とするセパレータフリー固体酸化物形燃料電池の研究」
10. 航空宇宙工学専攻 出口 明仁
「Building-Cube Method を用いた航空機主脚モデルの空力音響解析」
11. ナノメカニクス専攻 築地 佑太
「せん断を受けるポリマー液体の構造と輸送特性に関する分子動力学的研究」
12. ナノメカニクス専攻 築地 佑太
「三角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23年（1月～12月）

学術論文

1. 寺島 修, 伊澤 精一郎, 稲澤 歩, 福西 祐: 平板境界層における孤立した乱流領域の流れ方向界面に関する研究, 日本機械学会論文集B編, 第77巻, 第773号, pp.56-65, (2011).

国際会議発表論文

2. H. Okawa, S. Kondo, M. Shigeta, S. Izawa and Y. Fukunishi: Generation of Velocity Fluctuations in a Boundary Layer by a Piezoelectric Actuator, AJK2011-FED ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011, Hamamatsu, Japan, (24-29 July, 2011), AJK2011-13018 USB Memory, (2011).

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成23年（1月～12月）

国際会議発表論文

1. S. Izawa, H. Nakashima, Y. Nishi, M. Shigeta and Y. Fukunishi: Cavity Noise Control Using a Small Obstacle on Cavity Floor, The 64th Annual Meeting of the American Physical Society's Division of Fluid Dynamics (DFD), Baltimore, USA, (November 20-22, 2011), p.86, (2011).
2. Shuta Noro, Masaya Shigeta, Seiichiro Izawa and Yu Fukunishi: Simulation of Boundary Layer Receptivity to Outer Disturbances, The Eighth International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, (November 9-11, 2011), pp.486-487, USB Memory, (2011).
3. Yu Nishio, Masaya Shigeta, Seiichiro Izawa and Yu Fukunishi: Process of Leading Edge Receptivity to Periodic Disturbance, The Eighth International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, (November 9-11, 2011), pp.478-479, USB Memory, (2011).
4. Hajime Okawa, Masaya Shigeta, Seiichiro Izawa and Yu Fukunishi: Simulation of Velocity Fluctuation Generated by Vibrating Actuator, The Eighth International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, (November 9-11, 2011), pp.584-585, USB Memory, (2011).
5. Masumi Ito, Seiichiro Izawa, Yu Fukunishi and Masaya Shigeta: Incompressible SPH Simulation of a Droplet and a Liquid Column with Marangoni Convection, The Eighth International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, (November 9-11, 2011), pp.580-581, USB Memory, (2011).
6. Tomoki Hayashi, Hiromasa Oe, Masaya Shigeta, Seiichiro Izawa and Yu Fukunishi: Flow Control of Unsteadily Separating Flow, The Eighth International Conference on Flow Dynamics,

Sendai, Japan, (November 9-11, 2011), pp.246-247, USB Memory, (2011).

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. H. Okawa, S. Kondo, M. Shigeta, S. Izawa and Y. Fukunishi: Generation of Velocity Fluctuations in a Boundary Layer by a Piezoelectric Actuator, AJK2011-FED ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011, Hamamatsu, Japan, (24-29 July, 2011), AJK2011-13018 USB Memory, (2011).
2. Shuta Noro, Masaya Shigeta, Seiichiro Izawa and Yu Fukunishi: Simulation of Boundary Layer Receptivity to Outer Disturbances, The Eighth International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, (November 9-11, 2011), pp.486-487, USB Memory, (2011).
3. Yu Nishio, Masaya Shigeta, Seiichiro Izawa and Yu Fukunishi: Process of Leading Edge Receptivity to Periodic Disturbance, The Eighth International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, (November 9-11, 2011), pp.478-479, USB Memory, (2011).
4. Hajime Okawa, Masaya Shigeta, Seiichiro Izawa and Yu Fukunishi: Simulation of Velocity Fluctuation Generated by Vibrating Actuator, The Eighth International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, (November 9-11, 2011), pp.584-585, USB Memory, (2011).
5. Masumi Ito, Seiichiro Izawa, Yu Fukunishi and Masaya Shigeta: Incompressible SPH Simulation of a Droplet and a Liquid Column with Marangoni Convection, The Eighth International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, (November 9-11, 2011), pp.580-581, USB Memory, (2011).

【学生の研究費の獲得】

○平成23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23年4月～平成24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24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、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解決のための研究や、気流中での物体の運動をシミュレートした動的風洞実験法の開発研究に取り組んでいる。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24年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

<ワークショップ>

(1) 名 称：学際領域における分子イメージング技術に関する日独共同セミナー

(Japanese-German Seminar on Molecular Imaging Technology for Interdisciplinary Research (Special Workshop for GCOE Students))

開催時期：平成24年2月21日～24日

開催場所：東北大学 青葉山キャンパス 青葉記念会館

参加人数：44名（うち外国人参加者数5名）

役 割：主催者

<招待講演>

1. 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, Jan. 7-9, 2011, Florida, U.S.A.

平成24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“自然のゆらぎ”を含む現象を高SNRで計測できる新手法である「条件付画像抽出法」の改良に取り組んだ。また、感圧塗料の周波数応答特性に対する温度や組成の影響を調べるため、気柱の共振現象を利用した新しい計測装置を開発し、これを用いて、PSPの組成（TiO₂含有率）やサンプル温度・膜厚などの影響を調べる系統的な実験を行った。その結果、ポリマーとセラミックの複合バインダーからなるPC-PSPでは、塗料の時間応答は色素の寿命に支配されていて、その伝達関数は寿命を遅れ時間とする一次遅れで表されることがわかった。一方、多孔質の陽極酸化アルミナを用いた高応答型塗料（AA-PSP）では、膜厚の影響が顕著に表れ、塗料の応答が色素の寿命だけでなく酸素分子のバインダー内での拡散現象で決まることを明らかにした。

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、東北大が所有する火星大気風洞におい

て、低レイノルズ数用の各種翼型の風洞実験を行った。本年度は、室内飛行機の滞空時間の世界記録保持者である石井満氏が設計された「石井翼」の空力特性に対するレイノルズ数の影響を詳細に調べた。実験の結果、石井翼では層流剥離泡が翼面に生じる迎角範囲が広く、そのため最大揚力係数が1を越えるとともに良好な揚抗特性が得られることが明らかになった。現在ISASと東北大学を中心に検討作業が進められている火星飛行機には推進器としてプロペラが使用される。プロペラの先端ではレイノルズ数は数千のオーダーにまで小さくなる一方、マッハ数が0.5を越える。このような条件では圧縮性の影響によって剥離剪断層の再付着に遅れが生じていることが明らかになった。また、翼面上表面摩擦応力分布を計測できる新手法として、蛍光油膜法（LOF）を用いた実験に着手し、オイルの粘度や初期膜厚、計測開始時間や平均化の方法の違いによる計測精度について調べ、定量的な計測が行える実験条件を明らかにした。低Re数領域において2次元翼NACA0012に2次元の乱流装置を装着した場合の流れ場に適用した結果、乱流装置には再付着を早めるまたは促す効果があることが明らかになった。

3. ロボットを利用したデルタ翼の多自由度動的風洞実験

多自由度ロボットマニピュレータを用いて、1自由度の大振幅ロール強制加振運動とそれにヨーイングを加えた2自由度の強制加振運動を行い、デルタ翼に働くローリングモーメントに対する制御性や無次元周波数への依存性を調べた。力計測と並行してレーザーライトシート法を用いた可視化の研究を始め、ローリングモーメントが上昇する側の翼の前縁剥離渦が翼面から遊離する一方で、下降する側の翼の前縁剥離渦が翼面上に接近する事で起こることがわかった。一方、最大ロール角に近づくときに起こるローリングモーメントの急激な減少は、翼面上に接近していた前縁剥離渦が崩壊することで発生することが明らかになった。ローリングとヨーイングを合わせた2自由度強制加振試験では、ロールだけでは現れなかった条件でも前縁剥離渦が崩壊を起こすことがわかった。その場合崩壊の開始が1自由度の場合に比べ遅れることがわかった。一方で得られたデータを有効後退角と有効迎角として整理すると両者に大きな違いは現れないことがわかった。

【学位論文指導（主査）】

修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 藤田 昂志
「火星飛行機の空中翼展開時における動的挙動の計測と評価」
2. 航空宇宙工学専攻 阿部 弘之
「ロボットを利用したデルタ翼の2自由度動的風洞試験」
3. 航空宇宙工学専攻 金山 貴夢
「表面特性の違いによる自励振動ヒートパイプの高性能化への実験的研究」
4. 航空宇宙工学専攻 杉本 珠生
「高速応答型感圧塗料の伝達関数に関する研究」
5. 航空宇宙工学専攻 澤村 亮輔
「フッ素を用いた高温領域における温度分布計測技術の開発」
6. 航空宇宙工学専攻 中村 勘太
「低Re数翼の空力特性に対する乱流装置の効果」
7. 航空宇宙工学専攻 野瀬 慶
「低Re数2次元翼に生じる非定常現象に関する実験的研究」

【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 野呂 秀太
「Direct Receptivity of Flat-Plate Boundary Layer to External Disturbances」
(外部乱れに対する平板境界層の直接的受容性)

修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 中田 伸大
「風洞内における航空機ハイブリッドモーションシミュレーション」
2. 機械システムデザイン工学専攻 庄司 衛太

- 「三次元物体まわりの自然対流の高精度計測」
3. 機械システムデザイン工学専攻 増子 弘二
「固定翼無人航空機のポストストール機動」
 4. 航空宇宙工学専攻 阿部 浩司
「PLIFによる圧縮性混合場の瞬時モル分率計測に関する研究」
 5. 航空宇宙工学専攻 野島 清志
「エジェクタジェットでの2次燃焼効率改善を目指したPIVによる速度場計測」
 6. 航空宇宙工学専攻 大越 将輝
「拡大管内における擬似衝撃波の一次元解析」
 7. 機械システムデザイン工学専攻 大橋 祐介
「Effect of Localized External Disturbances on Laminar-Turbulent Transition of Flat-Plate Boundary Layer (局所外乱が平板境界層の乱流遷移に及ぼす影響)」
 8. 機械システムデザイン工学専攻 藤原 優
「Structure of the Calmed Region after an Isolated Turbulent Region in a Flat Plate Boundary Layer (平板境界層における孤立した乱流領域後方のcalmed region の構造に関する研究)」
 9. 航空宇宙工学専攻 鶴飼 孝博
「超音速飛行体における近傍場圧力計測技術に関する研究 (A Study of Near-Field Pressure Measuring Techniques for Supersonic Projectiles)」
 10. 航空宇宙工学専攻 米山 拓也
「BOS法を用いた高速流れ計測に関する研究 (A Study of High-Speed Flow Measurement by Using the BOS Method)」
 11. 航空宇宙工学専攻 李 龍周
「Aerodynamic Simulation around Helicopter using Structured and Unstructured Grids (構造・非構造格子によるヘリコプター周りの空力シミュレーション)」
 12. 航空宇宙工学専攻 服部 潤
「静粛超音速研究機の低速領域におけるジェット排気の影響に関する数値解析」
 13. 航空宇宙工学専攻 大橋 智明
「ハイブリッドロケットを用いた弾道航空機概念設計」
 14. 航空宇宙工学専攻 中島 啓輔
「衝撃層を通過する浮遊ダスト追跡法に関する研究」
 15. 航空宇宙工学専攻 中山 忠
「水平矩形管内を流れる液体窒素沸騰流のボイド率計測および流動・伝熱特性」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. Masayuki ANYOJI, Kei NOSE, Shingo IDA, Daiju NUMATA, Hiroki NAGAI and Keisuke ASAI, "Development of a Low-Density Wind Tunnel for Simulating Martian Atmospheric Flight", TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN, Vol. 9, pp.21-27(2011)
2. 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 第60巻1号, pp. 1-8, 2012年2月.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN
2. 日本航空宇宙学会論文集

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. Masayuki ANYOJI, Kei NOSE, Shingo IDA, Daiju NUMATA, Hiroki NAGAI and Keisuke ASAI,

"Development of a Low-Density Wind Tunnel for Simulating Martian Atmospheric Flight",
TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES,
AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN, Vol. 9, pp.21-27(2011)

【本人の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞名：28th International Symposium on Space Technology and Science ポスター賞

受賞日：平成23年6月7日

受賞名：日本航空宇宙学会 学生プレゼンテーション賞

受賞日：平成23年7月7日

【学生の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞者：Koji Fujita

受賞名：28th International Symposium on Space Technology and Science ポスター賞

受賞日：平成23年6月7日

受賞者：依田大輔

受賞名：第43回流体力学講演会（富山），日本航空宇宙学会 学生プレゼンテーション賞

受賞日：平成23年7月7日

【学生の研究費の獲得】

○平成23年（1月～12月）

獲得者：依田大輔

名 称：学振特別研究員奨励費

期 間：平成23年4月-平成24年3月

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 高次精度数値流体力学計算手法の研究と航空宇宙分野への応用

E-mail: sawada@cf.d.mech.tohoku.ac.jp

TEL: 022(795)6998

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

事業担当者の研究分野では、高次精度数値流体力学計算手法の研究と航空宇宙分野における応用、ならびに熱化学非平衡計算コードを用いた極超音速流れ場の応用的研究を進めている。計算手法の開発では、セル緩和型陰的不連続ガレルキン法を航空宇宙分野における様々な問題に適用して、計算手法の高度化と実用性の向上に努めている。これまでにデルタ翼周りの流れ場解析やハイブリッドロケット燃焼室内流れ場解析への適用に取り組み、解析精度の向上や並列化効率の向上に努めている。一方、極超音速流れ場の応用的研究では前年度より継続して火星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を進めた。また、衝撃風洞内に設置されたカプセル供試体表面に見られる異常加熱現象については輻射の影響や乱流の影響を考慮した解析を行い、異常加熱現象が生じる原因を提示した。

平成23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：Eighth International Conference on Flow Dynamics

場 所：仙台

開催期間：2011年11月9日～11日

役 割：セッションオーガナイザー

<国内会議>

会議名：日本流体力学会年会2011

場 所：首都大学東京南大沢キャンパス

開催期間：2011年9月7日～9日

役 割：セッションオーガナイザー

平成23年度の研究業績

【研究内容】

1. 高次精度非構造格子法の高度化と実用問題への適用

セル緩和型陰的不連続ガレルキン法を様々な実用問題に適用している。デルタ翼周りの流れ場に適用したところ、前縁剥離渦や二次渦の発生を捉えることができた。また、40%コード位置における翼面上圧力係数分布の実験データと比較を行ったところ、前縁剥離渦の中心位置に対応する低圧のピークについては格子が粗いために定量的な一致が得られなかったが、それを除くと比較的少ない50万セル程度の非構造格子としては全体的に良い一致を得ることができた。今後、3次精度化あるいは解適合格子法を用いて精度向上を図り定量的な一致を目指す。一方、前年度に引き続き、ハイブリッドロケット燃焼室内の酸化剤旋回流場への適用を行った。9化学種の化学平衡流れ場を解いたところ、前年度に問題となった高すぎる燃焼温度の問題は解消した。また、並列化では128PEで70%程度の並列効率を得た。この値は従来AGARD-BやONERA M5の解析に用いたハイブリッド格子用セル緩和型陰的不連続ガレルキン法よりも悪い。ひとつのPEに割り当てるセル数が少ないためにPE間の通信量が相対的に増えたと考えている。これについても今後より高い並列化効率を目指す。

2. 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

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によって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ている。昨年度は風下側の円錐部中間部分に取得装置を設置すると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。しかし、昨年度の解析は対称面内での最適位置の探索であり、カプセル全表面を考慮した場合の考察は残されていた。本年度は衝撃層内を飛翔するダスト粒子の3次元追跡を実現して、カプセル表面での粒子の到達分布、到達時の粒子温度等を詳細に検討した。この結果、淀み点近傍は衝撃層温度が高いために表面到着時の粒子温度が高くなりすぎること、円錐部下流側では衝撃層温度が低い領域を粒子は通過するが衝撃層内滞在時間が長くて温度上昇が生じることから、前方の球面と円錐部分の接続部分下流域に表面到達時の粒子温度が低い円環状の領域が現れることを3次的に示した。今後は、表面熱流束分布との比較を行い取得装置への加熱率が低くダスト粒子取得にも都合の良い最適な設置位置決定を目指す。

3. 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

前年度に引き続き、JAXA角田宇宙センターの高温衝撃風洞(HIEST)に設置したアポロ型カプセル表面熱流束分布でみられる異常加熱の原因の解明を試みた。これまでに整備してきた衝撃波面の不安定性を抑制する数値解析法を用いて、衝撃層からの輻射加熱、乱流による熱流束増大の影響に加え、ノズルスロート上流側の駆動気体からの輻射加熱の可能性の検討を行った。衝撃層からの輻射加熱は無視できる程度にすぎず、乱流遷移による加熱も高エンタルピー条件下では特に淀み点側の熱流束分布を全く再現できないことが分かった。一方、駆動気体からの輻射を考慮すると実験データをうまく再現できる可能性が初めて示された。ピントンによる駆動気体圧縮比あるいはダイアフラム破断圧力に応じた気体温度を仮定したとき実験データを程よく再現することが示されている。しかしながら、実験では駆動気体の温度計測が行われていないために実際の温度が分からないこと、駆動気体からの輻射を黒体近似していること、スロートを通過してカプセル表面に到達するという幾何学手効果を無視していることなど、まだ仮定が多く含まれており原因の特定にまでは至っていない。今後は異常加熱現象の解明に向けた解析内容の高度化を早急に進めていく。

【学位論文指導（主査）】

修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 内山 順史
「アルミニウムの影響を考慮した固体ロケットモータ内流れの混相モデル」
2. 航空宇宙工学専攻 大橋 智明
「ハイブリッドロケットを用いた弾道航空機の概念設計」
3. 航空宇宙工学専攻 鈴木 佑一郎
「高次精度不連続ガレルキン法を用いた翼周り流れ場解析に関する研究」
4. 航空宇宙工学専攻 中島 啓輔
「衝撃層を通過する浮遊ダスト追跡法に関する研究」
5. 航空宇宙工学専攻 永野 敦士
「レーザー推進における非平衡プラズマ流の数値的研究」
6. 航空宇宙工学専攻 北條 圭介
「アルミニウム-シリコン合金スラリーのための電磁攪拌機内流れ場の数値解析」

【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 野呂 秀太
「Direct Receptivity of Flat-Plate Boundary Layer to External Disturbances
(外部乱れに対する平板境界層の直接的受容性)」
2. 航空宇宙工学専攻 渡部 潤也
「Study of Supersonic Turbulent Mixing and Combustion Using Large-Eddy Simulation
(LESを用いた超音速乱流混合および燃焼に関する研究)」

修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 大橋 祐介
「Effect of Localized External Disturbances on Laminar-Turbulent Transition of Flat-Plate Boundary Layer (局所外乱が平板境界層の乱流遷移に及ぼす影響)」
2. 機械システムデザイン工学専攻 岡崎 博成
「Study of Hierarchical Vortex Motions in Turbulence (乱流中の階層的渦運動に関する研究)」
3. ナノメカニクス専攻 下田 学
「プラズマの自己無撞着PIC/MCシミュレーションに関する研究」
4. 航空宇宙工学専攻 奥野 靖之
「大気中のマイクロ波支持電離波面進展に関する数値的研究」
5. 航空宇宙工学専攻 工藤 慎也
「大気圏再突入環境下における表面触媒性再結合反応の数値解析」
6. 航空宇宙工学専攻 出口 明仁
「Building-Cube Method を用いた航空機主脚モデルの空力音響解析」
7. 航空宇宙工学専攻 橋場 道太郎
「直交・非構造格子重ね合わせによる3次元圧縮性流体ソルバーの構築」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. Kanako Yasue and Keisuke Sawada
Effect of Model Deformation on Aerodynamic Coefficients for AGARD-B Wind Tunnel Model
Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 54, No. 185/186, pp. 163-172, 2011.
2. Keisuke Sawada and Kanako Yasue
A Linear Stability Analysis of Cellwise Relaxation Implicit Discontinuous Galerkin Method for Wave Propagation
Fluid Dynamics Research, Vol. 43, No. 4, 041402, 2011.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences
2. Fluid Dynamics Research

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成23年（1月～12月）

1. Ippei Terata, Keisuke Nakajima, Yousuke Ogino and Keisuke Sawada
AIAA Paper 2011-1039, 2011.
2. Keisuke Sawada, Takaya Koda, Kanako Yasue and Yousuke Ogino
An Equilibrium Calculation Model for Flowfield in Combustion Chamber for Hybrid Rocket Engine
The 28th International Symposium on Space Technology and Science, 2011-o-1-09v, June, 2011.
3. Takaya Koda, Yousuke Ogino, and Keisuke Sawada
Effect of Oblique Injection on Swirling Oxidizer Flowfield in Combustion Chamber for Hybrid Rocket Engine
8th International Conference on Flow Dynamics Proceedings, pp. 310-311, November, 2011.
4. 石原知明, 荻野要介, 澤田恵介, 丹野英幸
高温衝撃風洞HIRSTにおけるアポロ司令船模型の壁面加熱計算
日本流体力学会年会2011講演論文集, 日本流体力学会, pp. 1-5, 2011年.
5. 甲田貴也, 澤田恵介, 荻野要介
ハイブリッドロケット燃焼室内旋回流場の形状依存性に関する数値解析
日本流体力学会年会2011講演論文集, 日本流体力学会, pp. 1-4, 2011年.

6. 鈴木佑一郎, 保江かな子, 澤田恵介, 荻野要介
高次精度非構造格子法を用いた翼周り流れ場の解析
第25回数値流体力学シンポジウム講演論文集, 日本流体力学会, C02-1, pp.1-6, 2011年.
7. 石原知明, 荻野要介, 澤田恵介, 丹野英幸
高温衝撃風洞HIESTにおけるアポロ司令船模型の壁面加熱計算
第25回数値流体力学シンポジウム講演論文集, 日本流体力学会, C12-3, pp.1-8, 2011年.
8. 甲田貴也, 澤田恵介, 荻野要介
非構造格子法を用いたハイブリッドロケット燃焼室内旋回流れの数値解析
第25回数値流体力学シンポジウム講演論文集, 日本流体力学会, A02-5, pp.1-4, 2011年.

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. Kanako Yasue and Keisuke Sawada
Effect of Model Deformation on Aerodynamic Coefficients for AGARD-B Wind Tunnel Model
Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 54, No. 185/186,
pp. 163-172, 2011.

【本人の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞名：日本流体力学会2010年度技術賞(分担)

受賞日：2011年2月19日

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

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23年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

1. The 8th International Conference on Flow Dynamics, ICFD 2011, Nov. 9th - 11st, 2011のプログラムとしてWorkshop on Fluid-induced Seismicity: Modeling and Applicationを主催した。これにより、欧米および国内研究者による講演と討議を通して、社会問題となりつつある、地熱および石油・天然ガス開発に伴って発生する地震の実情と問題点が明らかにされ、また力学的視点による現象解明の可能性が示された。
2. International Society for Rock Mechanicsによって設立された委員会であるCommission on Crustal Stress and Earthquakeのメンバーとして選出された。日本国内からの選出は唯一である。同委員会は、深部地殻応力計測法の開発と共同研究を推進することを目的として設立された。10月17日に北京で開催された第1回委員会に参加して講演を行い、現在取り組んでいる大深度地殻応力計測法を紹介した。

平成23年度の研究業績

【研究内容】

1. 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。先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）の分担研究として、孔内ツールの部品として開発した高压発生ユニットが想定される大深度坑井内の高温・高压環境下での動作試験ならびに地殻応力を算定する基礎式の検証試験を行って良好な結果を得た。
2. 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、流体圧によって地層を破壊することでフラクチャー型の流路を人為的に作成する技術（水圧破碎）の利用が期待されている。しかし、MHが胚胎する地層は未固結で軟らかく、従来の水圧破碎技術が対象としてきた岩石とは性質が大きく異なっている。そこで本研究では、未固結で軟らかい地層に水圧破碎を適用したのフラクチャー形成機構を解明する研究に取り組んでいる。その一環として昨年度に開発した装置を用いた室内実験を実施した。この結果、間隙水圧を与えると、それと同程度にフラクチャリング中の圧力が大きくなるが、圧力-時間曲線の形状自体は変わらず、フラクチャーの形状も間隙水圧の有無によってあまり変化しないことが明らかとなった。一方、新たな取り組みとして、フラクチャーの伸展挙動をX線CT法によって可視化することに成功した。この結果、伸展中のフラクチャー断面形状が、従来のモデルで示されているように中央部が外向きに凸のレンズ状ではなく、逆に内向きに凹のカスプ状となっていることが明らかとなり、その原因がマトリクスの浸透率の大きさにあると推定された。さらに、これらの実験を通じた観察により、フラクチャーが形成された試験片の

マトリクスに硬さの分布が生じ、フラクチャーの周囲で明らかに硬さが増している現象を発見した。この現象は、フラクチャーの形成機構に大きく関わっている可能性があり、その原因を今後も継続して調べる予定である。なお、本研究に係わる成果が、化学工学 (Vol.75, No.12) の表紙に掲載された。

【学位論文指導（主査）】

修士論文

1. 環境科学専攻 神 崇太
「X線CT法による未固結体フラクチャリング挙動の可視化に関する研究」

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. 環境科学専攻 玉川 哲也
「勇払油・ガス田における断層破碎帯の生産性評価に関する研究」

修士論文

1. 環境科学専攻 金澤 佑太
「岩石の多孔質弾性定数に関する実験的研究」
2. 環境科学専攻 山本 啓司
「水熱環境下における岩石き裂生成に関する基礎的研究」
3. 機械システムデザイン工学専攻 出口 幸治
「二酸化炭素低排出発電にむけたメタンハイドレート貯留層の解離反応・輸送特性に関する研究」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. 伊藤高敏, 五十嵐哲, 山本晃司
未固結砂層のフラクチャリング挙動を模擬する室内実験
Journal of MMIJ, Vol.127, No.6, 7, pp.243-248, 2011.
2. Ito, T., Yamamoto, K., Nagakubo, S.
Effect of Anisotropic Confining Stresses on Hydraulically-induced Fracture
Proc. the 45th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium, San Francisco, ARMA 11-247 (CD-ROM), 2011.
3. Ito, T., Shono, T., Sekine, K., Yamamoto, K.
A New Laboratory Test for Shear Fracture Formation and Its Permeability Measurement
Proc. of the 12th ISRM International Congress on Rock Mechanics, Beijing, Vol.1, No.1, pp.645-648, 2011.
4. Ito, H., Kato, K., Ito, T., Cornet, F.
A New Borehole Method to Measure In Situ Maximum Horizontal Stress
Proc. of the 10th SEGJ International Symposium, Kyoto, CD-ROM, 2011.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. Journal of MMIJ

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成23年（1月～12月）

1. 伊藤高敏, 庄野泰斗, 船戸明雄
水圧破碎法とコア変形法を組み合わせた原位置応力評価法の検討
資源素材学会春季大会講演集, pp.75-76, 2011.
2. 横山幸也, 坂口清敏, 伊藤高敏, 石田 毅
国際規格を視野に入れた初期地圧測定法の国内基準化
平成23年度資源素材学会秋季大会企画発表・一般発表 (A) 講演資料, 堺, pp.59-62, 2011.

3. 神 崇太,伊藤高敏, 中塚善博
X線CT法を用いた未固結砂層フラクチャリング挙動の研究
資源素材学会秋季大会企画発表・一般発表（B）（C）講演資料, 堺, pp.163-164, 2011.
4. 谷内雄紀, 田中秀宜, 伊藤高敏, Xu, T.
CO2貯留層からの漏洩修復法とそのケーススタディー
資源素材学会秋季大会企画発表・一般発表（B）（C）講演資料, 堺, pp.163-164, 2011.
5. Ito, T., Maki, H., Kaieda, H.
Pressure and Flow Structure Estimation from Microseismic Monitoring
Proc. of the 8th Int. Conf. on Flow Dynamics, Sendai, pp.442-443, 2011.
6. 伊藤高敏, 手塚和彦
地下開発における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研究
化学工学, Vol.75, No.12, pp.783-785, 2011.



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

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、熔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23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。可視化実験ではシングルエルボ体系を高時間解像度計測することで取得したデータをPOD解析し乱流の組織構造抽出を試み、ダブルエルボ体系の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. 熔融塩を用いた核融合ブランケットの設計高度化

核融合研が中心となって提案しているヘリカル型原型炉FFHRの概念で取り入れられているFlibe液体ブランケットの可能性を実証するためには、第一壁で想定されている熱流束、1MW/m²の除熱可能性を示すことが工学的な視点から重要になってくる。また、構造材の上限温度とFlibeの融点からくる熱設計枠の制限も大きな課題である。これには他のフッ化物を混合させるなど、Flibeの組成変更による融点低下が有効であることが分かっているが、粘度などの他の物性値変化も伝熱性能に大きく影響するためその評価が必要となる。本研究では伝熱促進体としてペブル充填管を採用し、TNTループ（Tohoku-NIFS Thermofluid loop）を用いたFlibe模擬熔融塩による高熱負荷実験、およびオイルループを用いた高プラントル数流体による除熱実験、Flibeの組成を変化させたときのブランケット性能評価、さらに除熱性能予測のための数値解析を行う。本年度は従来の構築してきた伝熱相関式を、高熱流束負荷時に生じるペブル充填管内の温度変化による物性値変化を反映できるよう高度化を行った。

3. 配管減肉の現象解明および検査技術開発

高齢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、オリフィス下流における複雑流動場によるFACに対する新しい考察、速度変動周波数による現象の整理、を導入し、また蒸気配管で生じ得る液膜からの液滴発生について、その挙動を明らかにした。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、大口径配管への適用を視野に入れた実験および数値解析を行った。入射効率の良いマイクロ波導入部の設計を行い、従来と比べ格段に大きな口径への適用可能性を示唆する結果を得た。

【学位論文指導（主査）】

修士論文

1. 量子エネルギー工学専攻 梅原真弘
「オリフィス下流部の液膜に起因する減肉現象の実験的解明」
2. 量子エネルギー工学専攻 矢内宏樹
「複雑乱流場における流れ加速型腐食への速度変動周波数の影響評価」
3. 量子エネルギー工学専攻 今野宏章
「多段エルボ配管内高Re数流れにおける圧力場の実験的解明」
4. 量子エネルギー工学専攻 佐藤優
「東北大学ヘリアック装置におけるポロイダルフローに対する磁気島の効果に関する研究」
5. 量子エネルギー工学専攻 高橋宏幸
「体積再結合過程研究のための直線型高周波プラズマ生成装置の開発」
6. 量子エネルギー工学専攻 菅野守
「東北大学ヘリアック装置における高ベータプラズマ用計測システムの構築」
7. 量子エネルギー工学専攻 奈良圭祐
「液体窒素と金属多孔質体を用いた冷却システムの熱流動特性の数値解析による評価」
8. 量子エネルギー工学専攻 松井謙太郎
「Csを用いた新型Flibe溶融塩ブランケットの開発研究」

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. 量子エネルギー工学専攻 玉内義一
「再処理工場におけるリスク評価手法の研究開発」
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 帆加利翔太
「316系ステンレス鋼における塑性予ひずみの非破壊検出および定量化手法に関する研究」
2. 量子エネルギー工学専攻 秋保直弘
「脳機能解析への機械学習手法応用に関する研究」
3. 量子エネルギー工学専攻 矢野祐作
「脳機能イメージングによるプラント運転員の認知状態推定に関する研究」
4. 量子エネルギー工学専攻 菅原一磨
「高速増殖炉のブランケット燃料生成Puの高次化に関する研究」
5. 量子エネルギー工学専攻 市原暢明
「多属性類似度に基づくプラント異常診断技術に関する研究」
6. 量子エネルギー工学専攻 瀬川尚平
「マニュアル教示内容とパフォーマンスとの関連に関する実験研究」
7. 量子エネルギー工学専攻 渡辺亮太
「沸騰水型原子炉に対する統合炉心設計システムの検証とモンテカルロ法適用による高度化」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. Noritaka Yusa, Yasutomo Sakai, and Hidetoshi Hashizume. An eddy current probe suitable to gain information about the depth of near-side flaws much deeper than the depth of penetration, NDT&E International 44, 121-130, 2011.
2. 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技術, 保全学, 10(1), 64-69, 2011.
3. Haoyu Huang, Noritaka Yusa, Kenzo Miya, Hidetoshi Hashizume, Takehiko Sera, Shinro Hirano, Electromagnetic modeling of stress corrosion cracks in Inconel welds, E-Journal of Advanced Maintenance, 2, 168-180, 2011.

4. Noritaka Yusa, Hidetoshi Hashizume, Four-terminal measurement of the distribution of electrical resistance across stress corrosion cracking, NDT&E International, 44, 544-546, 2011.
5. M. Aoyagi, S. Ito, S. Ebara, T. Muroga, H. Hashizume, Thermo-Fluid Simulation in a Liquid Metal Blanket with Three-Surface Multi-Layered Channel, Fusion Science and Technology, 60(1), 283-287, 2011.
6. K. Shimizu, S. Ebara, H. Hashizume, Heat Transfer Experiments Using a High Prandtl Number Fluid Flowing in Sphere-Packed Channels for Flibe Blanket Design, Fusion Science and Technology, 60(2), 528-532, 2011.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. NDT&E International
2. 保全学
3. E-Journal of Advanced Maintenance
4. Fusion Science and Technology
5. IEEE Transactions on Applied Superconductivity
6. Journal of Radiation Research

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成23年（1月～12月）

1. T. Kubo, H. Yanai, S. Ebara, H. Hashizume, Experimental Estimation in Characteristics of Swirling Flow Appearing in a Three-Dimensionally Connected Dual Elbow Layout by Means of Matched Refractive-index PIV Measurement, Proceedings of The 11th Asian Symposium on Visualization, ASV11-po-30, 2011.
2. H. Takamura, H. Konno, S. Ebara, H. Hashizume, K. Aizawa, H. Yamano, PIV Measurements of a Complex Turbulent Flow in a Short Elbow Piping under a High Reynolds Number Condition, Proceedings of The 9th International Symposium on Particle Image Velocimetry, 76, 2011.
3. H. Konno, S. Ebara, H. Hashizume, H. Yamano, K. Aizawa, Pressure fluctuation characteristics of complex turbulent flow in a dual elbow with small curvature radius in a three-dimensional layout, Proceedings of The Eighth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2011), 94-95, 2011
4. A. Watanabe, S. Ebara, H. Hashizume, A. Sagara, Evaluation of heat transfer performance for a sphere-packed pipe by using molten salt under high heat flux condition, 21st International Toki Conference (ITC-21), 2011
5. 江原真司, 清水克矢, 橋爪秀利, 相良明男, 戸田三朗, ペブル充填環状流路を用いた高プラントル数流体の伝熱流動実験, 第48回日本伝熱シンポジウム講演論文集, I, 51-52, 2011.
6. 高村宏行, 江原真司, 橋爪秀利, 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 ; (33) コールドレグ 1/7 縮尺試験装置を用いた 1 段エルボ管内流れの PIV 詳細計測による周波数解析, 日本原子力学会 2011 秋の大会講演論文集, P35, 2011.
7. 今野宏章, 高村宏行, 江原真司, 橋爪秀利, 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 ; (34) 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圧力計測による平均および変動特性解析, 日本原子力学会 2011 秋の大会講演論文集, P36, 2011.
8. 青柳光裕, 伊藤悟, 江原真司, 橋爪秀利, 室賀健夫, MHD 圧力損失に対する接触抵抗の影響評価, 日本原子力学会 2011 秋の大会講演論文集, G06, 2011.
9. 今野宏章, 江原真司, 橋爪秀利, 金子哲也, 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 ; (37) コールドレグ 1/7 縮尺試験装置を用いたエルボ管内流れの圧力変動計測による剥離渦の挙動解明, 日本原子力学会 2012 春の大会講演論文集, F28, 2011.

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. Thermo-Fluid Simulation in a Liquid Metal Blanket with Three-Surface Multi-Layered Channel, M. Aoyagi, S. Ito, S. Ebara, T. Muroga, H. Hashizume, Fusion Science and Technology, 60(1), 283-287, 2011.

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

研究協力者の研究分野は、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23年度の研究業績

【研究内容】

1. 傾斜遠心顕微鏡を用いた、好中球と毛管内皮細胞との摩擦・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、傾斜遠心顕微鏡を用いて観察した。血球や血管内皮細胞は、サイトカイン刺激によって血球の血管壁への粘着や炎症病巣への遊走に代表される免疫反応を示す。そこで、サイトカインによる刺激がHL60の血管内皮細胞上における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てきた。その結果をふまえて、圧力センサを手首橈骨動脈にステップ状に押し込んだ場合の圧力脈波の変化から血管固さを推定する手法を提案した。また、この圧力脈波から血圧を連続的に推定する手法を提案した。

【学位論文指導（副査）】

修士論文

1. バイオロボティクス専攻 沢尾 鷹之
「モデル実験と数値解析による超音波計測融合血流シミュレーションシステムの検証」
2. バイオロボティクス専攻 佐藤 博紀
「傾斜遠心顕微鏡を用いたHL60の挙動観察におけるサイトカイン刺激の影響」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. Atsushi Shirai, Tsutomu Nakanishi, Toshiyuki Hayase, Numerical Analysis of One-dimensional Mathematical Model of Blood Flow to Reproduce Fundamental Pulse Wave Measurement for Scientific Verification of Pulse Diagnosis, JSME J. Biomech. Sci. Eng., Vol. 6, No. 4, 330-342, 2011.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. J. Biomech. Sci. Eng.

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成23年（1月～12月）

1. 高島稔, 白井敦, 早瀬敏幸, 脈診を模擬した脈波計測の数値実験における尺骨動脈の影響, 日本機械学会 第22回バイオフィロンティア講演会講演論文集, 91-92, 2011.10.
2. Minoru Takashima, Atsushi Shirai, Toshiyuki Hayase, Contribution of Ulnar Artery to Numerical Reproduction of Indentation Experiment of Radial Artery for Scientific Verification of Pulse Diagnosis, Proceedings of the 5th East Asian Pacific Student Workshop on Nano-Biomedical Engineering, 84-85, 2011.12.

【本人の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

血管固さ評価装置, 血管固さ評価方法, 血管固さ評価プログラムおよび, 血管固さ評価プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体

平成23年10月24日(特願2011-233050)

発明者: 白井 敦, 中西 勉, 松野 史子, 早瀬 敏幸

出願人: 東北大学

連続血圧測定システム、連続血圧測定方法、連続血圧測定プログラムおよび、連続血圧測定プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体

平成23年12月27日(特願2011-284770)

発明者: 白井 敦, 早瀬 敏幸

出願人: 東北大学

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

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や石膏を用いた減肉加速試験を、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、配管内流動の詳細と圧力変動特性の関連性の解明を行うべく、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ってきた。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、また国際核融合材料照射施設（IFMIF）の高中性子束テストモジュールの熱設計も行った。

平成23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、その発生メカニズムについては2004年の美浜3号機における配管破断以降多くの機関で研究が行われている。液単相流れのFACでは、配管の減肉量とそこを流れる流体の乱流エネルギーの関連が指摘されているが、本研究では乱流運動の周波数に着目しその関連性を見出すべく実験を行った。今年度はオリフィスを有するストレート管を対象とし、オリフィス下流における速度変動の周波数特性を、屈折率調合PIV計測により得られた流れ場を用いて評価した。

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、液膜の挙動およびオリフィス形状に着目した実験を行った。液膜の形成の仕方や流れ方、またそこからの液滴の発生を高速度カメラで詳細に可視化するとともに、液膜流れによるFACにも着目し石膏を用いた減肉加速試験も行った。液膜はオリフィス背後で寄留中に巻き上げられ多数の液滴を発生するが、その発生液滴の大きさや速度は、これまで文献等で報告されている臨界ウェーバー数を仮定すると、局所的な気流速度を用いた場合の直管における環状二相流から発生する現象として整理できることが分かった。発生液滴の大きさ、速度も詳細に解析し、気流流速依存等を明らかにした。減肉試験では液膜の流れが速い場所、乱れの大きな場所での減肉が大きくなり、液滴が管壁に衝突する再付着点で特に大きいということとはなかった。

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曲がり部において剥離渦放出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実験を行っている。本年度は流れ場の解析にPOD解析を用い、乱流の組織構造の抽出を試みた。また二段エルボ体系で圧力変動特性を詳細に解析し、剥離渦の挙動解明に注力した。

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BeF₂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、種々の利点はあるが、Flibeが高プラントル数流体であるため伝熱性能が低い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模擬溶融塩を用いた流動試験装置(TNT loop)にて核融合炉第一壁で想定される 1MW/m^2 の熱除去を実証するとともに、壁面とバルク流体とで温度差が顕著な場合の詳細な伝熱相関式を構築した。

5. 国際材料照射施設(IFMIF)高中性子束テストモジュールの熱設計

IFMIF 高中性子束テストモジュールの設計開発が進められており、高度な温度制御が可能なガス冷却による設計案が提案されている。温度制御用ヒーターの開発や個々の流路における熱流動解析等は重点的に行われているが、モジュール全体の設計は未だ手つかずの部分が多く、詳細解析はなされていないのが現状である。本研究ではモジュールが要求される性能を満たしているのか検証し、また改良点を抽出するために、モジュール全体の熱流動解析、構造解析を行っている。

【学位論文指導(主査)】

修士論文

1. 量子エネルギー工学専攻 今野宏章
「多段エルボ配管内高 Re 数流れにおける圧力場の実験的解明」

【学位論文指導(副査)】

修士論文

1. 量子エネルギー工学専攻 梅原真弘
「オリフィス下流部の液膜に起因する減肉現象の実験的解明」
2. 量子エネルギー工学専攻 矢内宏樹
「複雑乱流場における流れ加速型腐食への速度変動周波数の影響評価」
3. 量子エネルギー工学専攻 奈良圭祐
「液体窒素と金属多孔質体を用いた冷却システムの熱流動特性の数値解析による評価」
4. 量子エネルギー工学専攻 渡辺亮太
「沸騰水型原子炉に対する統合炉心設計システムの検証とモンテカルロ法適用による高度化」
5. 量子エネルギー工学専攻 佐藤 優
「東北大学ヘリアック装置におけるポロイダルフローに対する磁気島の効果に関する研究」

【査読論文(査読付き国際会議論文集を含む)】

○平成23年(1月～12月)

1. M. Aoyagi, S. Ito, S. Ebara, T. Muroga, H. Hashizume, Thermo-Fluid Simulation in a Liquid Metal Blanket with Three-Surface Multi-Layered Channel, Fusion Science and Technology, 60(1), 283-287, 2011.
2. K. Shimizu, S. Ebara, H. Hashizume, Heat Transfer Experiments Using a High Prandtl Number Fluid Flowing in Sphere-Packed Channels for Flibe Blanket Design, Fusion Science and Technology, 60(2), 528-532, 2011.

【学術雑誌・専門書等(査読あり)】

○平成23年(1月～12月)

1. Fusion 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23年(1月～12月)

1. T. Kubo, H. Yanai, S. Ebara, H. Hashizume, Experimental Estimation in Characteristics of Swirling Flow Appearing in a Three-Dimensionally Connected Dual Elbow Layout by Means of Matched Refractive-index PIV Measurement, Proceedings of The 11th Asian Symposium on Visualization, ASV11-po-30, 2011.
2. H. Takamura, H. Konno, S. Ebara, H. Hashizume, K. Aizawa, H. Yamano, PIV Measurements of

- a Complex Turbulent Flow in a Short Elbow Piping under a High Reynolds Number Condition, Proceedings of The 9th International Symposium on Particle Image Velocimetry, 76, 2011.
3. H. Konno, S. Ebara, H. Hashizume, H. Yamano, K. Aizawa, Pressure fluctuation characteristics of complex turbulent flow in a dual elbow with small curvature radius in a three-dimensional layout, Proceedings of The Eighth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2011), 94-95, 2011
 4. A. Watanabe, S. Ebara, H. Hashizume, A. Sagara, Evaluation of heat transfer performance for a sphere-packed pipe by using molten salt under high heat flux condition, 21st International Toki Conference (ITC-21), 2011
 5. 江原真司, 清水克矢, 橋爪秀利, 相良明男, 戸田三朗, ペブル充填環状流路を用いた高プラントル数流体の伝熱流動実験, 第 48 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, I, 51-52, 2011.
 6. 田中 正暁, 佐郷 ひろみ, 岩本 幸治, 江原 真司, 小野 綾子, 村上 貴裕, 早川 教, ナトリウム冷却高速炉 1 次系ホットレグ配管の流力振動評価 (6) (JSFR ホットレグ配管における非定常流動場の予測), 日本機械学会年次大会講演論文集, ROMBUNNO.S054096, 2011.
 7. 高村宏行, 江原真司, 橋爪秀利, 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 ; (33) コールドレグ 1/7 縮尺試験装置を用いた 1 段エルボ管内流れの PIV 詳細計測による周波数解析, 日本原子力学会 2011 秋の大会講演論文集, P35, 2011.
 8. 今野宏章, 高村宏行, 江原真司, 橋爪秀利, 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 ; (34) 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圧力計測による平均および変動特性解析, 日本原子力学会 2011 秋の大会講演論文集, P36, 2011,.
 9. 青柳光裕, 伊藤悟, 江原真司, 橋爪秀利, 室賀健夫, MHD 圧力損失に対する接触抵抗の影響評価, 日本原子力学会 2011 秋の大会講演論文集, G06, 2011.
 10. 今野宏章, 江原真司, 橋爪秀利, 金子哲也, 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 ; (37) コールドレグ 1/7 縮尺試験装置を用いたエルボ管内流れの圧力変動計測による剥離渦の挙動解明, 日本原子力学会 2012 春の大会講演論文集, F28, 2011.

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

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、昨年度に引き続き、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系可視化の描画速度の安定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に、新たに検索機能を組み込んだ。

平成23年度の研究業績

【研究内容】

1. 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。本年度は、各粒子が2種類の描画手法のうちいずれを用いるかを決定する評価手法として、視点との距離を採用し、その閾値をPID制御を用いて動的に変化させることにより、描画速度の安定化を図った。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。

2. 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。本年度は来歴管理機能に検索機能や、重要な来歴に重みを自動的につけるなどの機能を付け加えた。これにより、膨大な視覚解析作業から重要な来歴だけを代表してとらえることが可能となった。

【学位論文指導（副査）】

修士論文

1. 東北大学 工学研究科 中名生 大樹（指導教員：大林 茂 教授）

「双方向ネスティング手法を用いた空港周辺の乱気流解析に関する研究（A Study of Turbulence Simulation around Airport Using Two-Way Nesting Method）」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. 小田川雅人, 竹島由里子, 藤代一成, 菊川豪太, 小原拓, GPUを用いた適応的粒子系可視化, 日本機械学会論文集B編, Vol. 77, No. 781, pp. 1767-1778 (2011).
2. S. Takahashi, I. Fujishiro, Y. Takeshima, and C. Bi, Previewing Volume Decomposition Through Optimal Viewpoints, Scientific Visualization: Interactions, Features, Metaphors, Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik, pp. 346-359 (2011).
3. Y. Takeshima, I. Fujishiro, T. Hayase, Measurement-Integrated Simulation and Visualization of Karman Vortex Streets in Hybrid Wind Tunnel, Proceedings of ASIAGRAPH2011, pp.30-35 (2011).

氏名 佐藤 岳彦



所属 流体科学研究所・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、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、プラズマ医療の要素技術になる可能性を秘めている水中プラズマのストリーマ進展過程について検討した。これらの研究を通して、細胞近傍でプラズマを発生させたときに生じる物理刺激を明らかにし、最終的に物理刺激がどのような影響を生体を与えてい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23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：第28回国際フォトポリマーコンファレンス

講演題目：大気圧プラズマ流の気中・液中における化学輸送機構

講演日：2011.6.23

講演先：学術振興会「プラズマ照射による医療用品の滅菌、エンドトキシンならびに

プリオン不活化法と応用」に関する研究開発専門委員会、平成23年度第4回合同委員会

講演題目：大気圧プラズマ流の化学種生成輸送機構と滅菌特性

講演日：2011.6.27

講演先：The 8th International Conference on Flow Dynamics (ICFD-2011)

講演題目：Effect of Chemical Species Generated by a Plasma Flow on Inactivation of HeLa Cell Viability

講演日：2011.11.11

講演先：日本機械学会環境工学部門第2回第3技術委員会

講演題目：プラズマ流と生体の相互作用解明に向けた流体工学的取組

講演日：2011.12.22

平成23年度の研究業績

【研究内容】

1. 水中ストリーマの進展過程の解析

水中プラズマでは、放電路の全路破壊であるスパークに至る前にストリーマ放電が発生する。放電条件を制御することで、ストリーマ放電のみを発生させることも可能である。このストリーマ放電はスパークと比較すると微弱なため、プラズマ医療への応用が期待されている。しかしながら、ストリーマ放電がどのように発生し、どのように進展するかについては十分に解明されていない。特に、初生期のプライマリーストリーマについては現象の時空間スケールが極めて小さいため、その発生機構についてはほとんど知見が無い。本年度は、プライマリーストリーマに焦点をあて世界で初めて連続写真の撮影に成功し、進展過程を明らかにした。

【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 藤田 英理
「水中プラズマのストリーマ形成過程と熱流動現象」

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. 航空宇宙工学専攻 松原 慶典
「Study of Combustion Enhancement in a Supersonic Flow by Simultaneous Operations of DBD and Plasma Jet
(和訳：DBDとプラズマジェットの同時作動による超音速流中での燃焼促進に関する研究)」
2. 東京工業大学 大学院理工学研究科 電気電子工学専攻 (学外審査員)
菊地淳
「微細ガス流を用いた大気圧パルス・マイクロ放電の特性とその安定生成に関する研究」

修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 岡崎 慈
「非平衡プラズマトーチを用いた着火・燃焼促進に関する研究」
2. ナノメカニクス専攻 川見 真人
「粒度分布を有する系の拡散過程と相図に関する計算機実験」
3. バイオロボティクス専攻 中野 裕士
「MR流体アクティブ負荷機とそれを活用した下肢リハビリ用筋力評価・訓練システムに関する研究」
4. 機械システムデザイン工学専攻 柴田 智弘
「反応性プラズマを用いた噴霧二相流の高機能化と液体物性変化」
5. 機械システムデザイン工学専攻 Li Qing
「Fundamental Study of Dielectric Barrier Planar Plasma Jets at Atmospheric Pressure
(和訳：大気圧下における誘電体バリア放電平面ジェットに関する基礎的研究)」
6. ナノメカニクス専攻 下田 学
「プラズマの自己無撞着PIC/MCシミュレーションに関する研究」
7. 航空宇宙工学専攻 北條 圭介
「アルミニウム-シリコン合金スラリーのための電磁攪拌機内流れ場の数値解析」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. Tetsuji Shimizu, Yutaka Iwafuchi, Gregor E. Morfill and Takehiko Sato
Formation of thermal flow fields and chemical transport in air and water by atmospheric plasma
New Journal of Physics, Vol.13, No.5, pp.053025/1-053025/10, (2011).
2. Tetsuji Shimizu, Yutaka Iwafuchi, Gregor E. Morfill and Takehiko Sato
Transport mechanism of chemical species in a pin-water atmospheric discharge driven by negative voltage
Journal of Photopolymer Science and Technology, Vol.24, No.4, pp.421-427, (2011).
3. Takehiko Sato, Mayo Yokoyama and Kohei Johkura
A key inactivation factor of HeLa cell viability by a plasma flow
Journal of Physics D: Applied Physics, Vol.44, No.37, pp.372001/1-372001/5, (2011).

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. Journal of Physics D: Applied Physics
2. Journal of Photopolymer Science and Technology
3. New Journal of Physics

4. 大気圧プラズマの技術とプロセス開発

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成23年（1月～12月）

1. 沖野晃俊（監修），崎山幸紀，佐藤岳彦
第Ⅰ編，第5章，大気圧プラズマの熱流体連成解析
大気圧プラズマの技術とプロセス開発，（株）シーエムシー出版，41-46頁，（2011）.
2. 佐藤岳彦，横山茉代，城倉浩平
大気圧プラズマ流の生成化学種による細胞への影響
日本機械学会第23回バイオエンジニアリング講演会講演論文集，No.10-74，（2011），495-496頁.
3. 佐藤岳彦
大気圧プラズマのバイオ・医療応用
バイオエレクトロニクスシンポジウム2011，（2011）.（招待講演）
4. 佐藤岳彦，岩渕豊，清水鉄司，Gregor E. Morfill
水面上に形成するプラズマ流による気液中の化学輸送機構
第23回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集，319-320頁，（2011）.
5. 佐藤岳彦，岩渕豊，清水鉄司，Gregor E. Morfill
大気圧プラズマ流の気中・液中における化学輸送機構
28th International Conference of Photopolymer Science and Technology, Presentation no. B2-02, (2011).（招待講演）
6. 佐藤岳彦
大気圧プラズマ流の化学種生成輸送機構と滅菌特性
学術振興会「プラズマ照射による医療用品の滅菌、エンドトキシンならびにプリオン不活化法と応用」に関する研究開発専門委員会、平成23年度第4回合同委員会，（2011）.（招待講演）
7. 石田将之，佐藤岳彦
大気放電による滅菌法の開発
第21回環境工学総合シンポジウム2011講演論文集，177-178頁，（2011）.
8. 佐藤岳彦，岩渕豊，清水鉄司，Gregor E. Morfill
大気圧プラズマ流の気液中における熱流動解析
第21回環境工学総合シンポジウム2011講演論文集，206-207頁，（2011）.
9. Takehiko Sato, Mayo Yokoyama, Kohei Johkura
Inactivation process of HeLa cell by exposure to a plasma-treated medium
Proceedings of the 20th International Symposium on Plasma Chemistry (ISPC-20), Article no. 287, (2011).
10. 佐藤岳彦
プラズマ滅菌
第2回プラズマ・バイオ融合若手研究会，（2011）.
11. 佐藤岳彦，横山茉代，城倉浩平
プラズマ照射培地による細胞不活性化
静電気学会講演論文集2011（第35回静電気学会全国大会），159-160頁，（2011）.
12. Naoya Kishimoto, Tetsuji Shimizu, Gregor E. Morfill and Takehiko Sato
Analysis of Plasma Flow at Gas-Liquid Interface for Biological Interaction
Proceedings of the 11th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI2011), pp.68-69, (2011).
13. Yoshihisa Nakano, Shigeru Fujimura and Takehiko Sato
Anti-bacterial Effect of a Dielectric Barrier Discharge Plasma against Biofilm-producing Gram Negative Bacilli
Proceedings of the 11th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI2011), pp.70-71, (2011).
14. Takehiko Sato, Marc Tinguely, Masanobu Oizumi and Mohamed Farhat
Effect of Neighboring Solid Wall on Generation of Residual Microbubbles after Collapse of Laser-Induced Bubble

- Proceedings of the 11th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI2011), pp.64-65, (2011).
15. Takehiko Sato, Takashi Miyahara and Tatsuyuki Nakatani
Observation of Bubble Formation and Collapse Process by Generating a Plasma
Proceedings of the 11th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI2011), pp.66-67, (2011).
 16. Hidemasa Fujita, Seiji Kanazawa and Takehiko Sato
Streamer Propagation Mechanism in Water
Proceedings of the 11th International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI2011), pp.60-61, (2011).
 17. Takehiko Sato, Mayo Yokoyama and Kohei Johkura
Effect of Chemical Species Generated by a Plasma Flow on Inactivation of HeLa Cell Viability
Proceedings of the 8th International Conference on Flow Dynamics, pp.690-691, (2011). (招待講演)
 18. 佐藤岳彦
プラズマ処理培地への暴露による細胞不活性化における過酸化水素の役割
プラズマコンファレンス2011 (PLASMA2011), 論文番号22G13, (2011).
 19. 佐藤岳彦
流体力学的視点からみたプラズマ医療
プラズマ核融合学会専門委員会「プラズマ科学の医療応用」第2回会合, (2011).
 20. Tetsuji Shimizu, Yutaka Iwafuchi, Gregor E. Morfill and Takehiko Sato
Plasma Induced Flow and Chemical Transport in a Plasma-Water System
Abstracts - 21st Academic Symposium of MRS-Japan 2011, Article no. A-08, (2011).
 21. 佐藤岳彦
大気圧プラズマ流による生体への干渉機構ープラズマ医療への展開ー
第1回流体科学におけるバイオ・医療に関する講演会, (2011).
 22. 佐藤岳彦
プラズマ流と生体の相互作用解明に向けた流体力学的取組
日本機械学会環境工学部門第2回第3技術委員会, (2011). (招待講演)

【本人の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞名：日本機械学会環境工学部門研究業績賞

受賞日：平成23年6月30日

氏名 北島 純男



所属 工学研究科量子エネルギー工学専攻・准教授（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: sumio.kitajima@qse.tohoku.ac.jp

Tel: 022 (795) 7927

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

研究協力者の研究分野では、(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を開発をおこない、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磁気島によるプラズマ流制御の研究を行っている。

平成23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、 $\mathbf{j} \times \mathbf{B}$ 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）】

修士論文

1. 量子エネルギー工学専攻 菅野 守
「東北大学ヘリアック装置における高ベータプラズマ用計測システムの構築」
2. 量子エネルギー工学専攻 佐藤 優
「東北大学ヘリアック装置におけるポロイダルフローに対する磁気島の効果に関する研究」
3. 量子エネルギー工学専攻 高橋 宏幸
「体積再結合過程研究のための直線型高周波プラズマ生成装置の開発」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. Okamoto, H. Takahashi, Y. Kawamura, A. Daibo, T. Kumagai, S. Kitajima, and M. Sasao: "Steady-state recombining plasma in a radio-frequency plasma device for divertor-detachment study", to be published in Plasma and Fusion Research.
2. Okamoto, H. Takahashi, S. Kitajima, and M. Sasao: "Charge Exchange Momentum Transfer due to Ion Beam Injection in Partially Ionized Plasmas", Plasma and Fusion Research, 6 (2011) 1201153.
3. Y. Sato, S. Kitajima, Y. Suzuki, T. Ambo, K. Ishii, M. Kanno, J. Tachibana, S. Inagaki, M. Yokoyama, H. Takahashi, M. Takayama, A. Okamoto, M. Sasao: "Effects of Magnetic Islands on Poloidal Flow in TU-Heliac", Plasma and Fusion Research, 6 (2011) 2402144.
4. 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: "Electrode biasing experiment in the Large Helical Device", Nuclear Fusion, 51 (2011) 083029.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

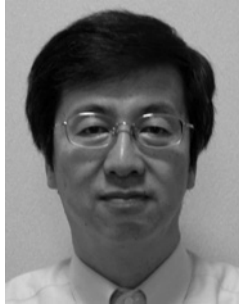
○平成23年（1月～12月）

1. Plasma and Fusion Research
2. Nuclear Fusion

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成23年（1月～12月）

1. Y. Sato, S. Kitajima, Y. Suzuki, T. Ambo, K. Ishii, M. Kanno, J. Tachibana, S. Inagaki, M. Yokoyama, H. Takahashi, M. Takayama, A. Okamoto, M. Sasao: "Effects of Magnetic Islands on Poloidal Flow in TU-Heliac", Plasma and Fusion Research, 6 (2011) 2402144.
2. 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: "Electrode biasing experiment in the Large Helical Device", Nuclear Fusion, 51 (2011) 083029.



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 材料強度・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

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について取り組んでいる。本年度は多結晶材料の粒界において引張ひずみの作用で増速拡散挙動が生じ、結晶粒界近傍の結晶品質が加速度的に劣化することなどを可視化する電子線回折応用技術を開発し、その有効性明らかにした。さらに、原子レベルシミュレーションで各種電子材料の電子バンド構造のひずみ依存性を明らかにし、解析結果の実証研究も推進している。

平成23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：ASME 2011 Pacific Rim Technical Conference and Exhibition on Packaging and Integration of Electronic and Photonic Systems, MEMS and NEMS

主催団体：ASME

開催国：USA

開催期間：2011.7.6-8

役 割：Track Chair

名 称：International Conference on Advanced Technologies in Experimental Mechanics 2011

主催団体：JSME

開催国：Japan

開催期間：2011.9.19-21

役 割：Organizing Committee and Track Chair

名 称：IEEE 13th International Conference on Electronics Materials and Packaging

主催団体：IEEE

開催国：Japan

開催期間：2011.12.13-15

役 割：Co-General Chair

名 称：5th 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：2012.2.19

役 割：General Chair

名 称：2nd FRRI International Workshop on Energy and Reliability 2012

主催団体：FRRI, Tohoku University, Chosun University, and University

開催国：Korea

開催期間：2012.2.23-25

役 割 : General Chair
名 称 : 6th FRRI International Workshop on Evaluation of Environmental Degradation of
Materials and Proactive Aging Management
主催団体 : FRRI, Tohoku University, Darmstadt University
開催国 : Germany
開催期間 : 2012.3.9
役 割 : General Chair

< 基調講演 >

講演先 : 12th International conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and
Experiments in Micro/Nanoelectronics and Systems
講演題目 : Evaluation of the Change of the Residual Stress in Nano-scale Transistors During the
Deposition and Fine Patterning Processes of Thin Films
講演日 : 2011.4.18 (Linz)

講演先 : 日本機械学会材料力学部門講演会 (材料力学カンファレンス2011)
講演題目 : ナノ・マイクロスケールの材料力学と強度信頼性
講演日 : 2011.7.17 (東京)

講演先 : 6th FRRI International Workshop on Evaluation of Environmental Degradation of
Materials and Proactive Aging Management
講演題目 : Quantitative Evaluation of the Crystallinity of Grain Boundaries in Nano-Scale
講演日 : 2012.3.9 (Darmstadt, Germany)

< 招待講演 >

講演先 : 日本学術振興会先端材料強度129委員会
講演題目 : 多結晶材料の結晶粒界品質測定と材料強度信頼性評価への適用
講演日 : 2011.6.24 (東京)

講演先 : International Conference on Materials and Advanced Technologies (ICMAT2011)
講演題目 : Mechanical Reliability of Three-dimensionally Stacked LSIs
講演日 : 2011.6.30 (Singapore)

講演先 : International Conference on Advanced Technologies in Experimental Mechanics 2011
講演題目 : A Novel Method for Evaluating the crystallinity of Grain Boundaries in Polycrystalline
Materials
講演日 : 2011.9.20(Kobe)

講演先 : ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress & Exposition
講演題目 : High Temperature Damage of Ni-Base Superalloy Caused by the Change of
Microtexture Due to the Strain-induced Anisotropic Diffusion of Component Elements
講演日 : 2011.11.16 (Denver, USA)

講演先 : IEEE International Conference on Three-dimensional Integrated Circuit Technologies
講演題目 : Mechanical and Electrical Reliability of Copper Interconnections for 3DIC
講演日 : 2012.1.31(Osaka)

平成23年度の研究業績

【研究内容】

1. 多結晶材料結晶粒界の結晶品質評価手法の開発
各種構造材料の劣化損傷機構を支配する、結晶粒界拡散挙動を可視化することを目的に、電子線解析

技術を応用し結晶粒界品質を定量的に評価する手法を開発した。電子ビームを集束させ結晶粒界から得られる菊池線の回折強度から粒界品質を定量的に評価できることを明らかにした。本評価手法を次世代半導体製品用のめっき銅薄膜配線の長期信頼性評価に適用し、粒界品質と長期寿命の間に明確な相関性が存在することを実証した。

(ASME Best Poster Award 受賞)

2. エネルギープラント用耐熱合金の設計

地球温暖化防止のため、ガスタービン燃焼ガスの高温化 ($1450^{\circ}\text{C} \Rightarrow 1700^{\circ}\text{C}$) 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。特にひずみと添加複数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着目し、添加元素間の原子結合エネルギーとイオン半径が拡散支配因子であることを明らかにした。また、薄膜材料試験でその妥当性を実証した。(日本機械学会東北支部学生独創研究賞受賞)

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を開発し、その性能評価を実施した。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 Poster Award, ASME Best Paper Award, エレクトロニクス実装学会優秀論文賞等受賞)

【学位論文指導（主査）】

博士論文

1. ナノメカニクス専攻 村田 直一

「Quantitative Characterization of Crystallinity of Grain Boundaries in Nano-Scale and Its Application to the Strength Evaluation of Polycrystalline Thin Films (ナノ結晶粒界品質評価手法の開発と多結晶薄膜材料強度物性評価への適用に関する研究)」

修士論文

1. ナノメカニクス専攻 大西 正人

「カーボンナノチューブ電子物性に及ぼす局所ひずみ分布の影響解明に関する研究」

2. ナノメカニクス専攻 根本 淳平

「改良9Cr-1Mo鋼の高温高サイクル疲労強度特性に関する研究」

3. ナノメカニクス専攻 大橋 悠輔

「電磁波を応用した構造物表面動ひずみの非接触計測技術の開発に関する研究」

4. ナノメカニクス専攻 齋藤 直樹

「微視結晶組織制御によるめっき銅薄膜配線の強度・信頼性向上技術に関する研究」

5. ナノメカニクス専攻 鈴木 悠介

「カーボンナノチューブを応用した二次元ひずみ分布検出センサの開発に関する研究」

6. ナノメカニクス専攻 中平 航太

「低応力・高信頼三次元実装構造の設計技術に関する研究」

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. ナノメカニクス専攻 小林 大輔

「The Law of Fracture Life and the Analysis of Damage Behavior Based on EBSD Method under Creep-Fatigue Conditions for Polycrystal Nickel-base Superalloy (多結晶Ni基超合金のクリープ・疲労条件下における破壊寿命則とEBSD法による損傷挙動解析)」

修士論文

1. 機械システムデザイン工学専攻 渡辺 智之
「ガラスプレス用NiPメッキ金型の開発に関する研究」
2. 機械システムデザイン工学専攻 川村 祐介
「機能性セラミックスの導電特性に対するひずみの影響」
3. ナノメカニクス専攻 後藤 成晶
「超精密微細形状測定のための走査型プローブ顕微鏡に関する研究」
4. ナノメカニクス専攻 河原木 雄介
「インデンテーション法による金属材料の降伏応力の推定」
5. ナノメカニクス専攻 石川 祥甫
「車載用電子部品鉛フリーはんだバンプ接続部の熱疲労寿命予測に関する研究」
6. ナノメカニクス専攻 小武 拓矢
「繰り返し応力条件下における鋼のき裂先端近傍での水素凝集挙動特性発現機構の解明」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. Naokazu Murata, Naoki Saito, Fumiaki Endo, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Mechanical and Electrical Reliability of Electroplated Copper Thin Film Interconnections”, ICEP(International Conference on Electronics Packaging)2011, Proceedings CD-ROM, Table of Contents, pp.V, WD1:DMR-R-1, pp.154-159. (APRIL 13-15, 2011).
2. Kota Nakahira, Hironori Tago, Hiroki Kishi, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Monitoring Method of Residual Stress in a Substrate During Thin Film Processing”, ICEP(International Conference on Electronics Packaging)2011, Proceedings CD-ROM, Table of Contents, pp.XXVIII, Poster Session, P001, pp.853-856. (APRIL 13-15, 2011).
3. Naoki Saito, Naokazu Murata, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Stress-induced Migration of the Electroplated Copper Thin Film Interconnection”, ICEP(International Conference on Electronics Packaging)2011, Proceedings CD-ROM, Table of Contents, pp.XXVIII, Poster Session, P005, pp.871-874. (APRIL 13-15, 2011).
4. Naokazu Murata, Naoki Saito, Fumiaki Endo, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Micro Texture Dependence of the Mechanical and Electrical Reliability of Electroplated Copper Thin Film Interconnections”, 61st Electronic Components&Technology Conference 2011, Proceedings USB, S41p05, pp.2119-2125. (May 31-June3, 2011).
5. Kota Nakahira, Hironori Tago, Ken Suzuki, Hideo Miura, Fumiaki Endo, “Minimization of the Local Residual Stress in 3D Flip Chip Structures by Optimizing the Mechanical Properties of Electroplated Materials and the Alignment Structure of TSVs and Fine Bumps”, ASME InterPACK2011, Proceedings CD-ROM, Advanced Packaging, IPACK2011-52063, pp.1-7. (July 6-8, 2011).
6. Masato Ohnishi, Ken Suzuki, Hideo Miura, Yusuke Suzuki, Yusuke Ohashi, “Change of the Electronic Conductivity of Carbon Nanotubes and Grapheme Sheets Caused by a Three-Dimensional Strain Field”, ASME InterPACK2011, Proceedings CD-ROM, Multi Physics Based Reliability, IPACK2011-52057, pp.1-6. (July 6-8, 2011).
7. Yusuke Ohashi, Yusuke Suzuki, Masato Ohnishi, Ken Suzuki, Hideo Miura, “Non-Contact and Remote Measurement Method of the Change of the Electrical Conductivity of Carbon Nanotubes-Dispersed Resin under Strain”, ASME InterPACK2011, Proceedings CD-ROM, Emerging Technologies, IPACK2011-52064, pp.1-6. (July 6-8, 2011).
8. Naokazu Murata, Naoki Saito, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, Hideo Miura, “Effect of Crystallographic Quality of Grain Boundaries on Both Mechanical and Electrical Properties of Electroplated Copper Thin Film Interconnections”, ASME InterPACK2011, Proceedings CD-ROM, Materials and Processes, IPACK2011-52048, pp.1-8. (July 6-8, 2011).
9. Naoki Saito, Naokazu Murata, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, Hideo Miura, “Stress-Induced and Electro-migration of Electroplated Copper Thin Films Used for 3D Integration”, ASME InterPACK2011, Proceedings CD-ROM, Materials and Processes, IPACK2011-52058, pp.1-6.

(July 6-8, 2011).

10. Yusuke Suzuki, Yusuke Ohashi, Masato Ohnishi, Ken Suzuki, Hideo Miura, “Two-Dimensional Strain-Distribution Sensor Using Carbon Nanotube-dispersed Resin”, ASME InterPACK2011, Proceedings CD-ROM, MEMS,NEMS II , IPACK2011-52062, pp.1-6. (July 6-8, 2011).
11. Tomohiro Sano, Naokazu Murata, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Stress-induced anisotropic diffusion of component elements in the stacked thin-film multi-layer structures”, ATEM’11(International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2011), Proceedings CD-ROM, Sessions OS20, OS20(1), ProceedingsOS20F047, pp1-9. (September 19to21, 2011).
12. Naokazu Murata, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “A Novel Method for Evaluating the crystallinity of Grain Boundaries in Polycrystalline Materials”, ATEM’11(International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2011), Proceedings CD-ROM, Sessions OS20, OS20(1), ProceedingsOS20F048, pp1-9. (September 19to21, 2011).
13. Yusuke Suzuki, Yusuke Ohashi, Masato Ohnishi, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Two-Dimensional Strain-Distribution Sensor Using Carbon Nanotube”, ATEM’11(International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2011), Proceedings CD-ROM, Sessions OS20, OS20(2), ProceedingsOS20F045, pp1-8. (September 19to21, 2011).
14. Yusuke Ohashi, Yusuke Suzuki, Masato Ohnishi, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Remote Strain Sensor using Carbon Nanotube-Dispersed Resin”, ATEM’11(International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2011), Proceedings CD-ROM, Sessions OS20, OS20(2), ProceedingsOS20F046, pp1-8. (September 19to21, 2011).
15. Ken Suzuki, Yusuke Suzuki, Yusuke Ohashi, Masato Ohnishi, and Hideo Miura, “Development of Two-Dimensional Strain-Distribution Sensor Using Carbon Nanotube-Dispersed Resin”, ssdm2011(International Conference on SOLID STATE DEVICES AND MATERIALS), Extended Abstracts CD-ROM, pp.504-505. (September 28-30, 2011).
16. Masato Ohnishi, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Strain Dependence of the Electronic Conductivity of Carbon Nanotubes and Graphene Sheets”, ssdm2011(International Conference on SOLID STATE DEVICES AND MATERIALS), Extended Abstracts CD-ROM, pp.508-509. (September 28-30, 2011).
17. Hideo Miura, Ken Suzuki, Yamato Sasaki, Tomohiro Sano, Naokazu Murata, “HIGH TEMPERATURE DAMAGE OF NI-BASE SUPERALLOY CAUSED BY THE CHANGE OF MICROTEXTURE DUE TO THE STRAIN-INDUCED ANISOTROPIC DIFFUSION OF COMPONENT ELEMENTS”, ASEM 2011 INTERNATIONAL MECHANICAL ENGINEERING CONGRESS&EXPOSITION (IMECE2011), Proceedings CD-ROM, 2011-62411, (November 11-17, 2011).
18. 鈴木悠介, 大西正人, 鈴木研, 三浦英生, 「カーボンナノチューブ電気伝導特性に及ぼすひずみの影響」, 日本機械学会論文集 (A編) 77巻777号 (2011-5), pp.91-95.

【学術雑誌・専門書等 (査読あり)】

○平成23年 (1月～12月)

1. J. of Applied Physic
2. Applied Physics Letters
3. ASME J. of Electronic Packaging
4. IEEE Trans. on Electronic Component and Technology
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23年 (1月～12月)

1. Naokazu Murata, Naoki Saito, Fumiaki Endo, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Mechanical and Electrical Reliability of Electroplated Copper Thin Film Interconnections”, ICEP(International Conference on Electronics Packaging)2011, Proceedings CD-ROM, Table of Contents, pp.V, WD1:DMR-R-1, pp.154-159. (APRIL 13-15, 2011).

2. Naoki Saito, Naokazu Murata, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Stress-induced Migration of the Electroplated Copper Thin Film Interconnection”, ICEP(International Conference on Electronics Packaging)2011, Proceedings CD-ROM, Table of Contents, pp.XX, Poster Session, P005, pp.871-874. (APRIL 13-15, 2011).
3. Naokazu Murata, Naoki Saito, Fumiaki Endo, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Micro Texture Dependence of the Mechanical and Electrical Reliability of Electroplated Copper Thin Film Interconnections”, 61st Electronic Components&Technology Conference 2011, Proceedings USB, S41p05, pp.2119-2125. (May 31-June3, 2011).
4. Naokazu Murata, Naoki Saito, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, Hideo Miura, “Effect of Crystallographic Quality of Grain Boundaries on Both Mechanical and Electrical Properties of Electroplated Copper Thin Film Interconnections”, ASME InterPACK2011, Proceedings CD-ROM, Materials and Processes, IPACK2011-52048, pp.1-8. (July 6-8, 2011).
5. Naoki Saito, Naokazu Murata, Kinji Tamakawa, Ken Suzuki, Hideo Miura, “Stress-Induced and Electro-migration of Electroplated Copper Thin Films Used for 3D Integration”, ASME InterPACK2011, Proceedings CD-ROM, Materials and Processes, IPACK2011-52058, pp.1-6. (July 6-8, 2011).
6. Tomohiro Sano, Naokazu Murata, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “Stress-induced anisotropic diffusion of component elements in the stacked thin-film multi-layer structures”, ATEM’11(International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2011), Proceedings CD-ROM, Sessions OS20, OS20(1), ProceedingsOS20F047, pp1-9. (September 19to21, 2011).
7. Naokazu Murata, Ken Suzuki, and Hideo Miura, “A Novel Method for Evaluating the crystallinity of Grain Boundaries in Polycrystalline Materials”, ATEM’11(International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2011), Proceedings CD-ROM, Sessions OS20, OS20(1), ProceedingsOS20F048, pp1-9. (September 19to21, 2011).
8. Hideo Miura, Ken Suzuki, Yamato Sasaki, Tomohiro Sano, Naokazu Murata, “HIGH TEMPERATURE DAMAGE OF NI-BASE SUPERALLOY CAUSED BY THE CHANGE OF MICROTEXTURE DUE TO THE STRAIN-INDUCED ANISOTROPIC DIFFUSION OF COMPONENT ELEMENTS”, ASEM 2011 INTERNATIONAL MECHANICAL ENGINEERING CONGRESS&EXPOSITION (IMECE2011), Proceedings CD-ROM, 2011-62411, (November 11-17, 2011).

【本人の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞名：ASME Best Paper Award of InterPACK 2011

受賞日：July 18, 2011

受賞名：IEEE Best Poster Award of 60th ECTC

受賞日：June 1, 2011

受賞名：エレクトロニクス実装学会優秀講演賞

受賞日：March 8, 2012

【学生の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞名：ASME Best Poster Award of InterPACK 2011

受賞日：July 18, 2011.

【学生の研究費の獲得】

○平成23年（1月～12月）

名 称：学振特別研究員（DC2）研究費



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

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23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: Eighth International Conference on Flow Dynamics

開 催 国: 日 本

開催期間: 2011.11.9 ~ 2011.11.11

役 割: Organizing Committee Member

<国内会議>

名 称: 日本機械学会2011年度年次大会

開 催 国: 日 本

開催期間: 2011.9.11 ~ 2011.9.14

役 割: OS「J054 マイクロ・ナノスケールの熱流体现象」オーガナイザー

<招待講演>

講 演 先: Workshop on Micro-Nano Flow Engineering

講演題目: Gas Lubrication at Micro/Nanoscale

講 演 日: 2011.12.13

平成23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り、大気圧環境下では計算負荷が大きくなる。このことは、DSMC法に代わる新しいボルツマン方程式の数値解法が必要とされていることを意味している。研究協力者はカザフスタンの共同研究者とともに、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)の開発に取り組んでいる。これまでのKinetic Force Methodは、実粒子を代表するquasi-particleの運動量とエネルギーが厳密には保存されない手法となっていた。平成23年度はquasi-particleを常にペアで取り扱い、運動量とエネルギーが厳密に保存されるようにKinetic Force

Methodを改良した。このことにより、DSMC法と良好に一致する結果を得た。しかし、精度についても、計算効率についても、今後取り組むべき課題はまだ多く残されている。

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. ナノメカニクス専攻 小井戸 哲也
「分子反応動力学に基づく表面反応モデルを用いたナノ空間内非平衡流の数値解析」

修士論文

1. ナノメカニクス専攻 下田 学
「プラズマの自己無撞着 PIC/MC シミュレーションに関する研究」
2. 航空宇宙工学専攻 奥野 靖之
「大気中のマイクロ波支持電離波面進展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23年（1月～12月）

12. M.S. Ivanov, D.V. Khotyanovsky, A.A. Shershnev, A.N. Kudryavtsev, A.A. Shevyrin, Sh. Yonumura, Ye.A. Bondar
Rarefaction effects in a hypersonic flow around a blunted leading edge
Teplofiz. Aeromekh., Vol.18, No.4, (2011), pp.543-551.
13. V. L. Saveliev, S. A. Filko, K. Tomarikawa, and 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, Vol.1333, (2011), pp.974-979.
14. Tetsuya Koido, Ko Tomarikawa, Shigeru Yonemura, and Takashi Tokumasu
Modeling of the Dissociative Adsorption Probability of the H₂-Pt(111) System Based on Molecular Dynamics
AIP Conference Proceedings, RAREFIED GAS DYNAMICS: Proceedings of the 27th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics, Vol.1333, (2011), pp.469-474.
15. Ko Tomarikawa, Shigeru Yonemura, Takashi Tokumasu, and Tetsuya 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, Vol.1333, (2011), pp.796-801.
16. Mikhail Ivanov, Dmitry Khotyanovsky, Alexey Kudryavtsev, Anton Shershnev, Yevgeniy Bondar, and Shigeru 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, Vol.1333, (2011), pp.1295-1300.
17. Susumu Isono, Masashi Yamaguchi, Shigeru Yonemura, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki, and Toshiyuki Takagi
Effect of Configuration of Micro-/Nanoscale Structure on Sliding Surface
AIP Conference Proceedings, RAREFIED GAS DYNAMICS: Proceedings of the 27th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics, Vol.1333, No.1, (2011), pp.736-741.
18. Tetsuya Koido, Ko Tomarikawa, Shigeru Yonemura and Takashi Tokumasu
Molecular Dynamics Study of the Effects of Translational Energy and Incident Angle on Dissociation Probability of Hydrogen/Deuterium Molecules on Pt(111)
Journal of Applied Physics, Vol.110, No.2, (2011), 024301.
19. Tetsuya Koido, Daigo Ito, Takashi Tokumasu, Ko Tomarikawa and Shigeru Yonemura
A Molecular Dynamics Study of the Effect of the Incident Angle on the Dissociation Probability of H₂ on Pt(111)
Journal of Thermal Science and Technology, Vol.6, No.3, (2011), pp.333-343.
20. Ye.A. Bondar, A.A. Shershnev, A.N. Kudryavtsev, D.V. Khotyanovsky, S. Yonemura, and M.S. Ivanov

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. AIP Conference Proceedings
2. Teplofiz. Aeromekh.
3. Journal of Applied Physics
4. Journal of Thermal 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23年（1月～12月）

1. Susumu Isono, Shigeru Yonemura, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi
Effects of Gas Properties on Molecular Gas-Film Lubrication
Eighth International Conference on Flow Dynamics Proceedings, (2011), pp.576-577.
2. Mikhail Ivanov, Shigeru Yonemura, Yevgeniy Bondar, Dmitry Khotyanovsky, Alexey Kudryavtsev
Investigation of Hypersonic Flows about Leading Edges of Small Bluntness
Proceedings of the Eleventh International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration, (2011), pp.50-51.
3. Tomoya Oshima, Ko Tomarikawa, Shigeru Yonemura and Takashi Tokumasu
A Numerical Study for Nanoscale Gas Flow in Porous Media
International Workshop on Micro/Nano-Engineering, (2011), p.119, MT-17.
4. 磯野 晋, 米村 茂, 竹野貴法, 三木寛之, 高木敏行
マイクロ・ナノスケールの気体潤滑に関する研究
日本機械学会2011年度年次大会 DVD-ROM論文集, (2011), J054013.
5. 大嶋智也, 米村 茂, Vladimir L. Saveliev
隔壁をもつ平行気体軸受における圧力発生に関する分子気体力学的研究
日本機械学会2011年度年次大会 DVD-ROM論文集, (2011), J054012.
6. 泊川 晃, 大嶋智也, 米村 茂, 徳増 崇
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
日本機械学会2011年度年次大会 DVD-ROM論文集, (2011), J054022.
7. 泊川 晃, 大嶋智也, 米村 茂, 徳増 崇
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
日本機械学会2011年度年次大会 DVD-ROM論文集, (2011), J054022.
8. 大嶋智也, 泊川 晃, 米村 茂, 徳増 崇
多孔質体内の複雑流路を流れるナノ気体流れの数値解析
第25回数値流体力学シンポジウム 講演予稿集, (2011), B9-04.

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. Susumu Isono, Masashi Yamaguchi, Shigeru Yonemura, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki, and Toshiyuki Takagi
Effect of Configuration of Micro-/Nanoscale Structure on Sliding Surface
AIP Conference Proceedings, RAREFIED GAS DYNAMICS: Proceedings of the 27th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics, Vol.1333, No.1, (2011), pp.736-741.
2. Susumu Isono, Shigeru Yonemura, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi
Effects of Gas Properties on Molecular Gas-Film Lubrication
Eighth International Conference on Flow Dynamics Proceedings, (2011), pp.576-577.
3. 磯野 晋, 米村 茂, 竹野貴法, 三木寛之, 高木敏行
マイクロ・ナノスケールの気体潤滑に関する研究
日本機械学会2011年度年次大会 DVD-ROM論文集, (2011), J054013.



氏名 畠山 望

所属 工学研究科化学工学専攻・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

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・原子レベルの大規模高速化ミクロスケールシミュレーション手法に対してエネルギー解析精度の向上を進め、多孔質体モデリングをベースにしたメソスケール解析および流体など連続体レベルのマクロスケール解析を階層的に繋げて、マルチスケールシミュレーションを実現している。実験計測に則した「本物」の構造をモデル化する実験融合計算化学のために、各種機器計測シミュレータの開発も行っている。宇宙の微小重力環境を利用したチタニアナノスケルトンの創製や、燃料電池・リチウムイオン二次電池・太陽電池など各種電池の理論設計などへ応用している。

平成23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：Eighth 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：2011.11.9 ～ 2011.11.11

役 割：Organizing Committee

平成23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」にて宇宙実験が進められている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。これまでに二回行われた宇宙実験結果に対して、それまで開発してきた地上重力下の実験結果をよく再現するシミュレータにより解析を行い、大きな細孔を持ちかつ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の合成条件を探索した。特に、合成時に膨潤剤となる油剤を分離させないために、これを事前によく混合しておくことが重要であり、また油剤の高分散状態が長時間保たれ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。予定されている第三回宇宙実験に向けて、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研究を進めている。

2. 超高速化量子分子動力学法による固体高分子形燃料電池の研究

代替エネルギー変換技術として注目を集めている固体高分子形燃料電池(PEMFC)について、その実用化に向けて課題となっている耐久性向上や低コスト化に関して、カソード電極触媒層における劣化機構や貴金属触媒の電子状態を解明する計算化学シミュレーションを行っている。独自に開発した超高速化量子分子動力学法を用いて、発電環境下における触媒担体カーボンの酸化劣化機構について、ラジカルなどの活性種による終端基の引き抜きがトリガーとなることが計算から示された。また、白金使用量低減を目指したニッケルと白金のコアシェル触媒についても計算を行い、ニッケルが正電荷を帯びるためクーロン反発により不安定になるが、白金で完全に覆うことができればコアシェル構造が安定に存在し得ることが明らかとなり、白金の還元という触媒能の面からも有望な材料であることが示された。

3. 実験融合マルチスケール計算化学によるリチウムイオン電池固体電解質の研究

リチウムイオン電池は、放電圧の高さ、エネルギー密度の大きさの観点から、特に電気自動車やハイブリッド車の搭載用として採用されつつある。さらに、安定性・安全性の面から、次々世代の二次電池として固体電解質を用いた全固体リチウムイオン電池の研究が進められている。その中から、 $\text{Li}_{3x}\text{La}_{2/3-x}\text{TiO}_3$ (LLTO)について、実験融合マルチスケールシミュレーションにより解析を行った。実験計測されたX線回折および中性子回折に一致する分子レベル構造を構築し、超高速化量子分子動力学法により有限温度での拡散挙動を計算したところ、伝導度が極大となる組成が存在するという実験結果をよく再現した。さらに、これらミクロレベルの量子論的エネルギー解析に基づき、大規模構造の実時間解析を実現する独自の動的モンテカルロ法シミュレータにより計算を行った。結晶粒界を含むような実際に近い系の解析が可能となり、定量的にも実測値とよく一致する拡散係数を計算できるようになった。

4. 量子論に基づく色素増感太陽電池マルチスケールシミュレータによる研究

低コストの製造が期待されている色素増感型太陽電池(DSC)を対象として、色素分子および多孔体電極・電解質構造の理論設計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を行った。ミクロスケールでは、量子化学計算より算出した色素分子の振動子強度に基づき、光吸収係数を求めた。メソスケールでは、多孔体電極構造に基づく電子移動シミュレータを開発して電子有効拡散係数を見積もり、電解液の満たされる空隙に対して屈曲度シミュレータを開発した。ミクロ・メソスケールの解析値を用いて、多孔体電極と空隙電解液それぞれの電流密度に対するモデル方程式を解くことにより、デバイス特性を予測するマルチスケールシミュレータを開発した。さらに、次世代型として期待されている、電解質を固体とした全固体色素増感太陽電池への対応も行った。色素、多孔体電極、電解質の構造・材料物性がデバイス特性に与える影響を評価出来るようになった。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. Ai Suzuki, Unal Sen, Tatsuya Hattori, Ryuji Miura, Ryo Nagumo, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Mark C. Williams, and Akira Miyamoto, “Ionomer Content in the Catalyst Layer of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC): Effects on Diffusion and Performance,” *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(3), 2221–2229, (2011). Md. Khorshed Alam, Farouq Ahmed, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Surface Reduction Processes of Cerium Oxide Surfaces by H_2 Using Ultra Accelerated Quantum Chemical Molecular Dynamic Study,” *Catalysis Today*, 164(1), 9–15, (2011).
2. Farouq Ahmed, Md. Khorshed Alam, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Modeling of Hydrogen Vacancy for Dissociative Adsorption of H_2 on Pd(111) Surface by A Quantum Chemical Molecular Dynamics,” *Catalysis Today*, 164(1), 16–22, (2011).
3. Itaru Yamashita, Hiroaki Onuma, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Computational Study on Carrier Injection in Ca/Poly(9,9'-dioctylfluorene) Interface by Using Quantum Chemistry and Monte Carlo Methods,” *Japanese Journal of the Applied Physics*, 50(4), 04DK02(5 Pages), (2011).
4. Sho Hirose, Itaru Yamashita, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Theoretical Study on Effect of SiC Crystal Structure on Carrier Transfer in Quantum Dot Solar Cells,” *Japanese Journal of the Applied Physics*, 50(4), 04DP05(5 Pages), (2011).
5. Mari Onodera, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Multiscale Simulation of Dye-Sensitized Solar Cells Considering Schottky Barrier Effect at Photoelectrode,” *Japanese Journal of the Applied Physics*, 50(4), 04DP06(5 Pages), (2011).
6. Nozomu Hatakeyama, Mariko Ise, Kenji Inaba, Rie Yonemori, Hiromi Kikuchi, Kotaro Okushi, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Akira

Miyamoto, Hidehiro Iizuka, Naoki Kumagai, Shuuichi Kanno, and Toru Kawasaki, “Multi-Level Computational Chemistry Study on Hydrogen Recombination Catalyst of Off-Gas Treatment System,” Proceedings of ICONE19, 43115(5 Pages), (2011).

7. Farouq Ahmed, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, “Comparison of Reactivity on Step and Terrace Sites of Pd(332) Surface for the Dissociative Adsorption of Hydrogen: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Study,” Applied Surface Science, 257(24), 10503–10513, (2011).
8. Farouq Ahmed, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, and Akira Miyamoto, “CO Oxidation and NO Reduction on MgO(100) Supported Pd Cluster: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Study,” Journal of Physical Chemistry C, 115(49), 24123–24132, (2011).

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. International Journal of Hydrogen Energy
2. Catalysis Today
3. Japanese Journal of the Applied Physics
4. Proc. ICONE19
5. Applied Surface Science
6. Journal of Physical Chemistry C

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. “Surface Reduction Processes of Cerium Oxide Surfaces by H₂ Using Ultra Accelerated Quantum Chemical Molecular Dynamic Study,” Md. Khorshed Alam, Farouq Ahmed, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Catalysis Today, 164(1), 9–15, (2011).
2. “Modeling of Hydrogen Vacancy for Dissociative Adsorption of H₂ on Pd(111) Surface by A Quantum Chemical Molecular Dynamics,” Farouq Ahmed, Md. Khorshed Alam, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Catalysis Today, 164(1), 16–22, (2011).
3. “Computational Study on Carrier Injection in Ca/Poly(9,9'-dioctylfluorene) Interface by Using Quantum Chemistry and Monte Carlo Methods,” Itaru Yamashita, Hiroaki Onuma, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Japanese Journal of the Applied Physics, 50(4), 04DK02(5 Pages), (2011).
4. “Comparison of Reactivity on Step and Terrace Sites of Pd(332) Surface for the Dissociative Adsorption of Hydrogen: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Study,” Farouq Ahmed, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo, and Akira Miyamoto, Applied Surface Science, 257(24), 10503–10513, (2011).
5. “CO Oxidation and NO Reduction on MgO(100) Supported Pd Cluster: A Quantum Chemical Molecular Dynamics Study,” Farouq Ahmed, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Akira Endou, Hiromitsu Takaba, and Akira Miyamoto, Journal of Physical Chemistry C, 115(49), 24123–24132, (2011).

【学生の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞者：小野寺 拓

受賞名：平成22年度東北大学工学研究科長賞

受賞日：平成23年3月25日

受賞者：小林 大
受賞名：第18回燃料電池シンポジウム優秀ポスター賞
受賞日：平成23年5月18日

受賞者：小林 大
受賞名：日本コンピュータ化学会10周年記念シンポジウム奨励賞
受賞日：平成23年6月15日

受賞者：廣瀬 祥
受賞名：日本コンピュータ化学会10周年記念シンポジウム奨励賞
受賞日：平成23年6月15日

【学生の研究費の獲得】

○平成23年（1月～12月）

獲得者：太沼宏彰
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：国立大学法人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」
国際出る杭特別研究生
期 間：平成22年4月～平成24年3月

氏名 佐藤 一永



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・
准教授（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@rift.mech.tohoku.ac.jp

TEL: 022(795)7519

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

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、酸素ポテンシャルならびに化学ポテンシャル勾配下での機能性酸化物の酸素欠陥・過剰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23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。
3. リチウムイオン電池信頼性・耐久性向上のためのコンソーシアムに参画し、製造会社を中心に共同研究を実施した。
4. エネルギー材料強度試験法の規格化委員として、産業界・学界等と連携し規格化を推進した。

平成23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・電子流動特性の機構解明を実験および第一原理計算により行った。昨年度までは酸素不定比性等のキャリア濃度変化に関しては計算することができなかったが、本年度はキャリア濃度も考慮に入れた計算をすることに成功した。
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ー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. 工学研究科 川村祐介
「機能性セラミックスの導電特性に対するひずみの影響」
2. 環境科学研究科 鋤納伸治
「Redoxサイクルを受けるSOFC構成材料の機械的特性評価に関する研究」
3. 環境科学研究科 升光智久
「酸化物の局所酸素ポテンシャルに及ぼす応力の効果」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. Kazuhisa Sato, Ken Suzuki, Ryo Narumi, Keiji Yashiro, Toshiyuki Hashida, Junichiro Mizusaki, “Ionic Conductivity in Uniaxial Micro Strain/Stress Fields of Ytria-Stabilized Zirconia”, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 50(5), 055803, (2011)
2. Atsushi Unemoto, Atsushi Kaimai, Kazuhisa Sato, Naoto Kitamura, Keiji Yashiro, Hiroshige Matsumoto, Junichiro Mizusaki, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada, “High-Temperature Protonic Conduction in LaFeO(3)-SrFeO(3-delta)-SrZrO(3) Solid Solutions”, JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY, 158(2), B180-B188(2011)
3. Shin-ichi Hashimoto, Yasuhiro Fukuda, Melanie Kuhn, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Junichiro Mizusaki, “Thermal and chemical lattice expansibility of La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{1-y}FeyO_{3-δ} (y = 0.2, 0.4, 0.6 and 0.8)”, JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY, 158(2), B180-B188 (2011)
4. Keiji Yashiro, Satoshi Akoshima, Takao Kudo, Masatsugu Oishi, Hiroshige Matsumoto, Kazuhisa Sato, Tatsuya Kawada, Junichiro Mizusaki, “Electrical conductivity and chemical diffusion in Perovskite-type proton conductors in H(2)-H(2)O gas mixtures”, SOLID STATE IONICS, 192 (1), 76-82 (2011).
5. M. Kuhn, S. Hashimoto, K. Sato, K. Yashiro, J. Mizusaki, “Oxygen nonstoichiometry, thermo-chemical stability and lattice expansion of La_{0.6}Sr_{0.4}FeO_{3-δ}”, SOLID STATE IONICS, 195 (1), 7-15 (2011).
6. T Kushi, K Sato, A Unemoto, S Hashimoto, K Amezawa, T Kawada, “Elastic modulus and internal friction of SOFC electrolytes at high temperatures under controlled atmospheres”, JOURNAL OF POWER SOURCES, 196(19), 7989-7993
7. Koji Amezawa, Takuto Kushi, Kazuhisa Sato, Atsushi Unemoto, Shin-ichi Hashimoto, Tatsuya Kawada, “Elastic moduli of Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{2-δ} at high temperatures under controlled atmospheres”, SOLID STATE IONICS, 198(1), 32-38
8. Synthesis of La_{0.8}Sr_{0.2}Co_{0.8}Fe_{0.2}O₃ Nanopowders and Their Application in Solid Oxide Fuel Cells. [Journal of fuel cell science and technology, 8, (2011), 051016-1-051016-4] Changsheng Ding, Hongfei Lin, Kazuhisa Sato, Toshiyuki Hashida

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS
2. JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY
3. SOLID STATE IONICS
4. JOURNAL OF POWER SOURCES

【学生の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞者：遠藤香

受賞名：社団法人 資源・素材学会 東北支部 平成23年度総会・春季大会ポスターセッション銅賞

受賞日：2011年6月24日

【学生の研究費の獲得】

○平成23年（1月～12月）

獲得者：鈴木杏奈

名 称：日本学術振興会特別研究費、

期 間：2011.4-2014.3

獲得者：鈴木杏奈

名 称：東北大学 国際高等研究教育機構「博士研究教育院生」

期 間：2011.4-2012.3

【学生のマスコミ発表等】

○平成23年（1月～12月）

鈴木杏奈、2011.5.6 朝日新聞、「東北大生、1千人の力 新入生も入学前からボランティア」

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

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24年度3月Hyeres, FRANCE 開催）のT4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ている。また、民間企業やJAXAとも共同研究を実施するなど、多角的な事業連携に成果を得ている。

平成23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4年度の活動に従事した。
2. 国立中央理工科学学校リヨン校に2011年5月19日・5月21日の期間訪問し、導電性に優れた炭素系薄膜の摺動性と特性評価に関する共同研究に関する打合せを行った。
3. 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研究に取り組み別途記載する成果を得ている。
4. 国立中央理工科学学校リヨン校の Julien Fontaine 博士が2011年6月24日・7月1日の期間に本所に滞在し非晶質炭素薄膜とステンレスとの間の摩擦挙動に関する共同研究を実施した。また、2011年11月11日に開催された IFS Collaborative Research Forum (AFI/TFI-2011)に参加し、公募共同研究の成果を発表した。
5. 2011年9月6日・9月9日の期間、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」平成23年度若手研究者国際会議派遣の支援により 38th LEEDS-LYON SYMPOSIUM ON TRIBOLOGY (Lyon, FRANCE)に参加し、「Friction properties of the molybdenum disulfide dispersed Al-Si-Cu-Mg based composite material prepared by the dynamic molding」と題する研究成果を発表した。
6. International Conference on Flow Dynamics (ICFD) 2011 (2011年11月9-11月11日：仙台)において、5th Functionality Design of the Contact Dynamics: (DECO2011) 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。
7. 2011年10月11日・10月20日の期間に国立中央理工科学学校リヨン校に滞在し、多結晶ダイヤモンドの超低摩擦摺動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推進のため、東北大学流体科学研究所公募共同研究採択課題を提案し採択された。ロシア科学アカデミーVladimir Khovailo 博士を2011年10月24日～12日の期間招聘し共同研究を実施、また、共同研究者であるドレスデン・ライプニッツ

固体・加工材料研究所 Konstantin Skokov 博士が 2011 年 11 月 11 日に開催された IFS Collaborative Research Forum (AFI/TFI-2011)において共同研究の成果を発表した。

9. 2012 年 3 月 12 日・3 月 14 日に開催された Annual Workshop of ELyT Laboratory 2012 (Hyeres, FRANCE)に参加し、フランス国立中央理工学校リヨン校 Julien Fontaine 博士との硬質炭素薄膜に関する国際共同研究(T4)の成果を発表した。
10. 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応用技術開発を行い、さらに同クラスタ 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領域的な研究を進めた。

平成23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」を主体とした、前述2-9の国際共同研究ならびに10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. ナノクラスタ金属を分散した非晶質炭素薄膜の最適化を行い、導電性に優れた低摩擦現象の特性評価を実施した。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、低摩擦の要因となる移着層形成過程の環境依存性を明らかにした。特に酸化雰囲気中摺動においても金属移着層が酸化しない過程を見出し、従来の非晶質炭素膜とは摩擦挙動が異なることを示した。③ナノサイズの銀クラスタを分散した非晶質炭素薄膜について、ステンレスとの間の摺動によって形成される移着層のナノインデンテーション試験を行い、接触状態と摩耗粉固化の関係性を定量的に評価した。
以上の成果から、非晶質炭素薄膜に金属を分散させることにより摩擦摺動面に金属移着層が形成され、導電性や耐摩耗性に優れることを示した。
2. 強磁性形状記憶合金材料の物性評価を実施し、物質の熱変化による磁気的特性と形状記憶効果の関係性を評価した。その結果、効率的な磁気冷凍効果が期待される giant magnetocaloric effect (MCE) 発現の可能性をNi-Mn-Ga 系材料において示した。
3. 研磨多結晶ダイヤモンドの“超”低摩擦現象に関して、研磨可能ダイヤモンドの汎用鋼材への成膜技術開発に取り組み、国立中央理工学校リヨン校において耐久性や摺動特性の評価を行った。その結果、金属中間層を用いることにより従来基板材料と同等の耐剥離性、摺動特性を得ることが出来た。また、融合フロンティアプロジェクト ナノマイクロクラスタの米村准教授との間で計算機シミュレーションによる摩擦低減効果の動的作用を検証し、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. 中山 遥佑
鋼材上に製膜したダイヤモンド膜における金属中間層の耐久性および摺動特性に与える影響評価

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. VD Buchelnikov, VV Sokolovskiy, SV Taskaev, VV Khovaylo, AA Aliev, LN Khanov, AB Batdalov, P Entel, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi
Monte Carlo simulations of the magnetocaloric effect in magnetic Ni-Mn-X (X=Ga, In) Heusler alloys
Journal of Physics D: Applied Physics, Vol.44 (2011.1.27), pp. 064012-064025.
2. Takeshi Ohno, Takanori Takeno, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi
Microstructural design for fabrication of strain sensor utilizing tungsten-doped amorphous carbon coatings
Diamond & Related Materials, Vol.20 (2011), pp. 651-654.
3. S. Isono, S. M. Yamaguchi, S. Yonemura, T. Takeno, H. Miki, and 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 1333 (2011), pp.736-741.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. Journal of Physics D: Applied Physics
2. Diamond & Related Materials

【本人の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

対象の研究：竹野貴法，大野 威，三木寛之，高木敏行「ナノクラスタ金属を含む非晶質炭素膜を利用した歪みセンサ」

受賞名：第25回ダイヤモンドシンポジウムポスターセッション優秀賞

受賞日：2011年12月8日

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

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、現象の解明と流動・伝熱特性を評価する実験式の構築を行っている。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23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：第85回2011年度秋季低温工学・超電導学会

「低温工学・超電導学会 平成23年度論文賞」受賞記念講演

講演題目：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

講演日：2011.11.10

<国際会議>

名称：Eighth 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：2011.11.9 ～ 2011.11.11

役割：Organizing Committee Member

平成23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（63 K）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。配管形状として、従来の円管から矩形管、三角形管およびコルゲート管について実験研究を行い、矩形管の流動・伝熱特性、コルゲート管の圧力損失低減が定量的に得られた。得られた研究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。これまでの円管から矩形管および三角形管に適用し解析手法の拡大を行った結果、矩形管の流動・伝熱特性が明らかとなった。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・伝熱の違いが明らかとなった。

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った。測定したボイド率および流動様式を基に圧力損失推定、伝熱評価式について従来実験式との検討を行い、極低温流体に適用する知見が得られた。

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77 K~68 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、一成分系気液二相（液体-蒸気）音速の式を適用することにより、間欠的に発生するキャビテーションメカニズムが明らかとなった。

【学位論文指導（主査）】

修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 中込圭
「矩形管およびスタガード矩形管内を流れるスラッシュ窒素の流動・伝熱特性」
2. 航空宇宙工学専攻 扇和久
「水平三角形管内を流動するスラッシュ窒素の流動・伝熱特性」
3. 航空宇宙工学専攻 中大輔
「三角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」
4. 航空宇宙工学専攻 中山忠
「水平矩形管内を流れる液体窒素沸騰流のボイド率計測および流動・伝熱特性」

【学位論文指導（副査）】

修士論文

1. 航空宇宙工学専攻 藤原徹也
「ターボポンプ上流配管の音響特性が共鳴キャビテーションサージに与える影響」
2. 航空宇宙工学専攻 ムハマドヒルミ ビンシャピエン
「相変化を考慮したレーザ誘起液体ジェットの数値解析」
3. 機械システムデザイン工学専攻 出口幸治
「二酸化炭素低排出発電にむけたメタンハイドレート貯留槽の解離反応・輸送特性に関する研究」
4. 機械システムデザイン工学専攻 松藤泰輔
「二次元翼形まわりのキャビテーション発生形態の数値的解明」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. 大平勝秀、太田敦人、向井康晃、細野琢巳
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（SLUSH-3D）
低温工学、Vol. 46, No. 10, pp. 575-587, (2011).
2. K. Ohira, K. Nakagomi, N. Takahashi
Pressure-drop Reduction and Heat-transfer Deterioration of Slush Nitrogen in Horizontal Pipe Flow.
Cryogenics Vol. 51, No. 10, pp. 563-574, (2011).
3. K. Ohira, Y. Mukai, A. Ota
Numerical Study of Slush Nitrogen Flow in a Horizontal Pipe.
Proceedings of the Twenty-Third International Cryogenic Engineering Conference, pp. 275-280, (2011).
4. K. Ohira
Pressure Drop Reduction Phenomenon of Slush Nitrogen Flow in a Horizontal Pipe.

- Cryogenics Vol. 51, No. 7, pp. 389-396, (2011).
5. 大平勝秀、中込圭、高橋則史
水平管内を流動するスラッシュ窒素の圧力損失低減および伝熱劣化特性に関する研究
低温工学、Vol. 46, No. 3, pp. 148-160, (2011).
 6. 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.
Proceedings of the Twenty-Third International Cryogenic Engineering Conference, pp. 445-452, (2011).
 7. K. Ohira
Development of a High-Efficiency Hydrogen Transportation and Storage System using Slush Hydrogen.
Proceedings of the Twenty-Third International Cryogenic Engineering Conference, pp. 269-274, (2011).
 8. K. Ohira, T. Nagai, K. Takahashi
Cavitating Flow of Subcooled Liquid Nitrogen in a C-D Nozzle.
Proceedings of the Twenty-Third International Cryogenic Engineering Conference, pp. 281-286, (2011).
 9. 大平勝秀、中山忠、永井孝佳
収縮・拡大ノズルを流れるサブクール液体窒素のキャビテーション流動不安定現象
低温工学、Vol. 46, No.9, pp. 539-550, (2011).

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. 低温工学
2. Cryogenics

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成23年（1月～12月）

1. T. Hosono and K. Ohira
Numerical Study of Heat Transfer for Cryogenic Slush Flow in a Horizontal Circular Pipe.
Eighth International Conference on Flow Dynamics, pp. 550-551, (2011).
2. D. Naka, A. Ota and K. Ohira
Numerical Analysis of Cryogenic Solid-Liquid Slush Flow in a Square Pipe.
Eighth International Conference on Flow Dynamics, pp. 590-591, (2011).
3. J. Okuyama, K. Nakagomi, K. Ohira and K. Takahashi
Pressure-Drop Reduction Phenomenon of Cryogenic Solid-Liquid Slush Flow in a Corrugated Pipe.
Eighth International Conference on Flow Dynamics, pp. 592-593, (2011).
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
第 85 回 2011 年度秋季低温工学・超電導学会講演概要集, pp. 96-97, (2011).
5. 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
2011 年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, pp. 437-438, (2011).
6. 大平勝秀、太田敦人
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矩形管内流動特性
第 20 回日本エネルギー学会大会講演要旨集, pp. 232-233, (2011).
7. 大平勝秀、太田敦人
矩形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
日本混相流学会年会講演会 2011 講演論文集, pp. 322-323, (2011).
8. 大平勝秀、奥山惇、中込圭、高橋幸一

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
日本混相流学会年会講演会 2011 講演論文集, pp. 324-325, (2011).

9. 中込圭、大平勝秀、高橋幸一
スタガード矩形管内を流れるスラッシュ窒素の流動特性
第 84 回 2011 年度春季低温工学・超電導学会講演概要集, p. 175, (2011).
10. 大平勝秀、奥山惇、高橋幸一
コルゲート管を流動するスラッシュ流体の圧力損失低減－管形状による違い－
第 84 回 2011 年度春季低温工学・超電導学会講演概要集, p. 174, (2011).
11. 中大輔、太田敦人、大平勝秀
矩形管内を流動するスラッシュ流体の数値解析
第 84 回 2011 年度春季低温工学・超電導学会講演概要集, p. 173, (2011).
12. 大平勝秀、太田敦人
正方形管内を流動するスラッシュ流体の数値解析
第 84 回 2011 年度春季低温工学・超電導学会講演概要集, p. 172, (2011).
13. 大平勝秀、太田敦人
正方形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 45 回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集, pp. 101-104, (2011).
14. 中山忠、永井孝佳、大平勝秀、高橋幸一、小林弘明、田口秀之
水平円管内を流れる液体窒素沸騰流の流動特性およびボイド率計測
第 84 回 2011 年度春季低温工学・超電導学会講演概要集, p. 176, (2011).
15. T. Nakayama, T. Nagai, K. Ohira, K. Takahashi, H. Kobayashi, H. Taguchi, T. Kojima and M. Hongo
Pressure Drop and Heat Transfer for Boiling Two-phase Flow of Liquid Nitrogen in a Horizontal Pipe.
Proceedings of the Eleventh International Symposium on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration AFI/TFI-2011, pp. 32-33, (2011).
16. 大平勝秀、太田敦人
固液二相スラッシュ流体の管内流動特性に関する数値解析
平成 22 年度東北大学研究所連携プロジェクト研究成果報告会, p. 52, (2011).
17. 大平勝秀
スラッシュ水素を利用した高効率水素エネルギーシステム
イノベーション・ジャパン 2011－大学見本市
新技術説明会、環境保全・浄化、低炭素・エネルギー、pp. 87-92, (2011).
18. 大平勝秀
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
平成 22 年度東北大学研究所連携プロジェクト研究成果報告会, p. 51, (2011).

【本人の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞名：低温工学・超電導学会 平成23年度論文賞

受賞日：2011年5月19日

【学生の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞者：太田敦人

受賞名：東北大学研究所連携プロジェクト平成22年度成果報告会優秀研究発表賞受賞

受賞日：2011年2月9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

軽水炉を始めとした原子力エネルギー設備においては、冷却あるいは移送のための流体と構造材料との界面現象に起因する経年劣化事象の解明と対策がプラント健全性確保の観点からとくに重要である。軽水炉の給・復水系配管等において経験されてきている水の流動に誘起された劣化現象である『流れ加速型腐食』による減肉、高温高圧水中での軽水炉構造材料の応力腐食割れ、核熱利用による水素製造プラントでの高温高濃度硫酸移送系の材料耐久性問題などに取り組んでいる。これらの取り組みの中で、流体工学の専門家との協力により流動パラメータの影響解明、また、非破壊検査の専門家との連携による健全性保証の高度化に資する研究を実施している。

平成23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における最大の材料側影響因子は鋼中に含まれる微量なCrであるが、Crの皮膜中濃縮ならびに欠陥構造との関係など、皮膜の特徴との関係を明らかにし、作用機構のモデル化を行った。

2. 高温高圧水中での軽水炉圧力容器の応力腐食割れ挙動解明

沸騰水型軽水炉の冷却水（288℃高純度水）中での応力腐食割れ進展について、溶接金属（ニッケル基合金）側から発生したき裂が圧力容器本体（低合金鋼）との溶融境界部にて進展停止するメカニズムを検討した。

3. 熱化学水素製造法IS プロセスのための硫酸移送系の開発研究

高温ガス炉の核熱を利用する熱化学水素製造法IS プロセスの開発の一貫として、材料耐久性の点で最大の課題となっている高温高濃度硫酸移送系の開発研究を実施した。グラスライニング配管の適性評価ならびに硫酸移送用定容量ポンプの開発が行われ、所定の性能が発揮された。

【学位論文指導（副査）】

修士論文

梅原真弘「オリフィス下流部の液膜に起因する減肉現象の実験的解明」

矢内宏樹「複雑乱流場における流れ加速型腐食への速度変動周波数の影響評価」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. 岩月仁, 渡辺豊, 寺田敦彦, 小貫薫, 熱化学水素製造法 IS プロセスのための硫酸移送ポンプの開発, 化学工学論文集, 37 (5), 441-446, (2011)
2. 津川貴臣, 渡辺 豊, 阿部博志, 製塩設備模擬環境におけるオーステナイト系耐食合金の応力腐食割れ感受性評価, 日本海水学会誌, 65, 88-96, (2011)
3. Hiroshi Abe, Makoto Ishizawa, Yutaka Watanabe, STRESS CORROSION CRACKING RETARDATION BEHAVIOR NEAR THE FUSION BOUNDARY OF DISSIMILAR WELD JOINT WITH ALLOY 182 - A533B LOW ALLOY STEEL, Proceedings of 15th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems-Water Reactors, Colorado Springs, Colorado, USA, (CD-ROM), August 7-11, (2011)



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

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23年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

1. 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、中国清華大学とは原子力構造材料の歪みの電磁非破壊評価に関する実施した。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高温クリープ損傷のモニタリングに関する共同研究を実施した。
2. 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23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

減肉検査が困難な部位の減肉評価の信頼性を向上させるために、有効な検査方法が存在しない補強板下の減肉検査を取り上げ、検査の可能性が示されている励磁制御渦電流試験法について検討を行い、以下の結論を得た。補強板付きSUS配管試験体における減肉の評価については、励磁方法やプローブ構造を検討しプローブの感度を向上させた。さらに測定結果に基づいて逆問題解析を行い、深さについては最大誤差2 mmで、減肉の大きさについては最大誤差 3mm程度で評価が可能であるとの結論を得た。

電磁超音波探触子を用いた板波SH0波による減肉検査の可能性についても予備的な検討を行った。透過法により補強板付き炭素鋼配管試験体を測定した結果、透過SH0波の振幅と減肉量の間に相関関係が確認された。

2. 原子力発電設備における残留歪みの非破壊評価に関する研究

本研究では、オーステナイト系ステンレス鋼SUS304を対象として、電磁非破壊評価法を用いて残留ひずみと電磁特性との間の関係について定量的に評価し、その有効性を検証した。具体的な電磁非破壊評価法として渦電流法、非線形渦電流法を用いて測定を行い、信号に基づいて残留歪みを定量的に評価することが可能であることを示した。また、磁気力顕微鏡（MFM）による観察、B-Hループアナライザによる磁気特性評価を行い、歪みによる組織の変化と時期特性の変化のモデルについても議論を行った。

【学位論文指導（副査）】

博士論文

1. 解 社娟

Quantitative Nondestructive Evaluation of Pipe Wall Thinning Using Pulsed Eddy Current Testing（パルス渦電流探傷試験法を用いた配管減肉の定量的評価）

修士論文

1. バイオロボティクス専攻 澁谷健太郎

「動的磁化過程に着目した改良9Cr-1Mo鋼のクリープ損傷に伴う組織評価」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. 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技術
保全学, Vol.10, No.1, pp.64-69 (2011.4)
2. Shejuan Xie, Zhenmao Chen, Toshiyuki Takagi and Tetsuya Uchimoto
Efficient numerical solver for simulation of pulsed eddy current testing signals
IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 47, No. 11, pp. 4582-4591, (2011.5).
3. Shejuan Xie, Toshihiro Yamamoto, Toshiyuki Takagi and Tetsuya Uchimoto
Pulsed ECT method for evaluation of pipe wall-thinning of nuclear power plants using magnetic sensor
Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol. 35, pp. 203-210 (2011)
4. Yamaguchi, K., Suzuki, K., Nittono, O., Uchimoto, T., Takagi, T.
Magnetic dynamic process of magnetic layers around grain boundary for sensitized alloy 600
IEEE Transactions on Magnetics 47 , art. no. 5565481 , pp. 1118-1121 (2011)
5. Yamaguchi, K., Suzuki, K., Takase, T., Nittono, O., Uchimoto, T., Takagi, T.
Hysteresis properties for local magnetic sites distribution on grain boundary
Physica B: Condensed Matter (2011)
6. Yoshiyuki Nemoto, Satishi Keyakida, Tetsuya Uchimoto, Shigeru Takaya, Takashi Tsukada
Development of a magnetic sensor system for predictive IASCC diagnosis on stainless steel in a nuclear reactor
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics 35
pp.123-139 (2011)
7. Junichi Nakano, Yoshiyuki Nemoto, Takashi Tsukada, Tetsuya Uchimoto
SCC susceptibility of cold-worked stainless steel with minor element additions
Journal of Nuclear Materials, Vol.417 pp.883-886 (2011)

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. 保全学
2. IEEE Transactions on Magnetics
3. Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics
4. Physica B: Condensed Matter
5. International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics
6. Journal of Nuclear Materials

【本人の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞名：日本保全学会論文賞「ステンレス鋼のIASCC感受性と磁気特性の相関性に関する研究」

受賞日：2011年05月

氏名 小宮 敦樹



所属 流体科学研究所・准教授（博士（工学））

専門 熱工学

研究課題

E-mail: komy@pixy.ifs.tohoku.ac.jp

TEL: 022(217)5876

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

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・物質流動現象を解明し、その応用利用に取り組んでいる。研究協力者は特にマイクロスケール物質移動現象に研究の焦点を置き、独自に開発した位相シフト干渉計を用いて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、極限環境下における高精度可視化技術を応用し、メタンハイドレートの固気界面相変化現象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・実施を行っている。

平成23年度の活動（シンポジウム・国際会議の主催を含む）

名 称：第48回日本伝熱シンポジウム

主催団体：日本伝熱学会

開催期間：2011年6月1-3日

役 割：学生委員

名 称：The 8th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (PSFVIP8)

主催団体：Pacific Center of Thermal-Fluids Engineering

開催期間：2011年8月21-25日

役 割：International Scientific Committee

名 称：22nd International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-22)

主催団体：Pacific Center of Thermal-Fluids Engineering

開催期間：2011年11月8-11日

役 割：International Scientific Committee

平成23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高精度計測し、タンパク質の物質拡散係数を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、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実験的検証を行っている。また、等電位点における諸種タンパク質の拡散現象を高精度に計測し、周囲環境と拡散現象の関係について定量的評価を行っている。

2. メタンハイドレートの固気界面相変化現象に関する研究

日本列島および近海の地下に大量に存在するメタンハイドレートからのメタン生成解離過程を定量評価している。高圧下におけるメタンハイドレート安定条件を高圧チャンバ内に作り出し、減圧法によってメタンを生成して、その解離過程を光学干渉計で観察している。定量的な評価を行うことで、マクロスケールにおけるメタン生成量を推定するとともに、既存の解離モデルとの比較も行

っている。

【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 小針達也
「微小スケールにおける断熱材のふく射伝熱に関する研究」
2. 機械システムデザイン工学専攻 佐藤善幸
「レーザー治療における生体内ふく射伝播に関する研究」
3. 機械システムデザイン工学専攻 庄司衛太
「三次元物体まわりの自然対流の高精度計測」
4. 機械システムデザイン工学専攻 出口幸治
「二酸化炭素低排出発電にむけたメタンハイドレート貯留層の解離反応・輸送特性に関する研究」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. 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ンネル内流動の可視化, 自動車技術会論文集, 42(1), pp.149-154, (2011)
2. S. Maruyama, T. Yabuki, T. Sato, K. Tsubaki, A. Komiya, M. Watanabe, H. Kawamura, K. Tsukamoto, Evidences of Increasing Primary Production in the Ocean by Stommel's Perpetual Salt Fountain, Deep-Sea Research I, 58, pp.567-574, (2011)
3. J.F. Torres, A. Komiya, J. Okajima and S. Maruyama, Evaluation of the Concentration Dependency of Mass Diffusion Coefficients in Aqueous Binary Solutions, Proceedings of the 7th International Conference on Diffusion in Solids and Liquids, CDROM DSL315 (2011)

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. 自動車技術会論文集
2. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer
3. Deep-Sea Research I
4. International Journal of Heat and Mass Transfer

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成23年（1月～12月）

1. T. Yabuki, M. Watabnabe, A. Komiya and S. Maruyama, Potential for Ocean Fertilization by Perpetual Salt Fountain: Each Basin Estimation of Upwelling Flow Rate, Proceedings of the Eighth International Conference on Flow Dynamics, pp.148-149, (2011)
2. S. Maruyama, Y. Sato, A. Sakurai, J. Okajima, M. Baneshi and A. Komiya, Analysis of Axisymmetric Radiative Heat Transfer in Biological Tissue using the Radiation Element Method, Proceedings of the Eighth International Conference on Flow Dynamics, pp.534-535, (2011)
3. A. Sakurai, Y. Sato, S. Maruyama, J. Okajima and A. Komiya, Heat Transfer Analysis in a Biological Tissue Exposed to Laser Irradiation, Proceedings of the Eleventh International Symposimu on Advanced Fluid Information and Transdisciplinary Fluid Integration, pp.162-163, (2011)
4. 円山重直, 佐藤善幸, 小宮敦樹, 櫻井篤, 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, 第23回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, pp.177-178, (2011)
5. J.F. Torres, 小宮敦樹, 岡島淳之介, 円山重直, 高分子化合物の水溶液内物質拡散係数の濃度依存性測定, 第48回日本伝熱シンポジウム講演論文集, Vol.I, pp.27-28, (2011)

【学生の国際会議・学会・学術雑誌への発表】

○平成23年（1月～12月）

1. Control of Radiative Properties of Coatings Pigmented with Fe₂O₃ Nanoparticles, H. Gonome,

- M. Baneshi, A. Komiya and S. Maruyama, Proceedings of AJTEC2011 ASME/JSME 8th Thermal Engineering Joint Conference, CDROM AJTEC2011-44622, (2011)
2. Evaluation of the Concentration Dependency of Mass Diffusion Coefficients in Aqueous Binary Solutions, J.F. Torres, A. Komiya, J. Okajima and S. Maruyama, Proceedings of the 7th International Conference on Diffusion in Solids and Liquids, CDROM DSL315 (2011)
 3. The Effect of Dispersed State to Control of Radiative Properties of Coatings Pigmented with Nanoparticles, H. Gonome, M. Baneshi, J. Okajima, A. Komiya and S. Maruyama, Proceedings of the Eighth International Conference on Flow Dynamics, pp.508-509, (2011)
 4. 高分子化合物の水溶液内物質拡散係数の濃度依存性測定, J.F. Torres, 小宮敦樹, 岡島淳之介, 円山重直, 第48回日本伝熱シンポジウム講演論文集, Vol.I, pp.27-28, (2011)
 5. Heat Shield Performance of Fe₂O₃ Pigmented Coatings by Inverse Analysis of Full Spectral Reflectivity Measurements, M. Baneshi, H. Gonome, S. Maruyama and A. Komiya, Proceedings of the 48th National Heat Transfer Symposium of Japan, Vol.II+III, pp.675-676, (2011)

【学生の受賞・特許等】

○平成23年（1月～12月）

受賞者：岡島淳之介

受賞名：工学研究科長賞

受賞日：2011年3月22日

題 目：Phase Change Phenomena and Heat Transfer in a Microchannel and Its 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)

受賞者：高橋佑弥

受賞名：工学部長賞

受賞日：2011年3月22日

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

受賞名：日本機械学会三浦賞

受賞日：2011年3月25日

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

受賞者：小針達也

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：ピストン冷却チャネル内の流動様相の可視化 ―チャネル形状の影響―

受賞者：Juan Felipe Torres Alvarez

受賞名：日本伝熱シンポジウム優秀プレゼンテーション賞

受賞日：2011年6月3日

題 目：高分子化合物の水溶液内物質拡散係数の濃度依存性測定

受賞者：江目宏樹

受賞名：ICFD Best Award 賞

受賞日：2011年11月10日

題 目：The Effect of Dispersed State to Control of Radiative Properties of Coatings Pigmented with Nanoparticles

【学生の研究費の獲得】

○平成23年（1月～12月）

獲得者：江目宏樹

名 称：日本学術振興会特別研究員奨励費

期 間：2011年4月 ― 2014年3月

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

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及び応力腐食割れを主たる対象とした各種研究を実施した。本グローバルCOEにおいて特に流体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、実機適用を踏まえた効率的な研究開発が可能となったと考えられる。

平成23年度の研究業績

【研究内容】

1. GHz電磁場を用いた配管広域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、非破壊検査技術の高度化のための研究を行った。従来は内径約20mmの細管を対象とした基礎的検討が行われていたが、本年度研究においては、原子力プラントも含めた各種実構造物への適用を想定し、より口径が大である配管に対する適用性評価・検討を実施した。特に大きな問題となる入射部におけるマイクロ波入射部における電磁場の挙動を詳細に把握するため、3次元有限要素法解析環境を構築し、入射部最適化のための数値解析を実施した。試験結果に基づき実際に入射部を製作し、従来の倍の径の配管を用いた検証試験の結果、本年度研究にて製作された新たな入射部は従来の入射部に比して、有意に信号対ノイズ比を向上させるものであることを確認することができた。

2. kHz電磁場を用いた局所詳細評価検査技術の開発

kHz電磁場を用い、配管内壁面に発生したきずを配管外部から検出・評価する技術の高度化のための研究を行った。本年度はリモートフィールド渦電流探傷法と低周波渦電流探傷法の2種類の検査技術について、配管内壁面検査の観点からの評価を行った。3次元有限要素法解析及び検証試験の結果、両者はある条件が満たされた場合にはほぼ同等のきず検出能力を有するが、そのきず検出メカニズムは異なったものであることを明らかにした。

3. 模擬応力腐食割れ製作技術の開発

その電磁応答の評価、関連する検査技術の高度化、検査員の技能向上等に資することを目的として、プラント配管において発生するきずの中で非破壊検査・評価の観点からは特に問題視されているものの一つである応力腐食割れとほぼ同等の応答を有する人工きずを、腐食環境を用いずに製作する試みを行った。本年度研究においては、リソグラフィーにより微細溝を加工した薄膜を複数積層させた後、拡散接合することで、3次元的な形状を有する模擬きずの製作を行った。製作した模擬試験体からの渦電流探傷信号は、実際の応力腐食割れからのものと非常に似通ったものであり、また3次元有限要素法解析の結果は、材料内部に設計形状に即した3次元的不連続部位が実現されていることを裏付けるものであった。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

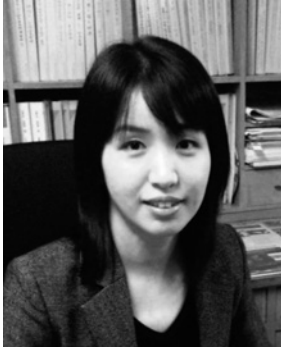
1. Noritaka Yusa, Yasutomo Sakai, and Hidetoshi Hashizume. An eddy current probe suitable to gain information about the depth of near-side flaws much deeper than the depth of penetration, NDT&E International 44, 121-130, 2011.

2. 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技術. 保全学, 10(1), 64-69, 2011.
3. Haoyu Huang, Noritaka Yusa, Kenzo Miya, Hidetoshi Hashizume, Takehiko Sera, Shinro Hirano, Electromagnetic modeling of stress corrosion cracks in Inconel welds, E-Journal of Advanced Maintenance, 2, 168-180, 2011.
4. Noritaka Yusa, Hidetoshi Hashizume, Four-terminal measurement of the distribution of electrical resistance across stress corrosion cracking, NDT&E International, 44, 544-546, 2011.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. NDT&E International
2. Journal of Radiation Research
3. 保全学
4. Fusion Science and Technology
5. E-Journal of Advanced Maintenance



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

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異常振動現象について、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ポンプ性能向上の数値的予測手法の開発を行った。

平成23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23年度の研究業績

【研究内容】

1. キャビテーション不安定現象に及ぼす加速度場の影響

液体ロケット打上げに悪影響を及ぼすキャビテーション不安定現象は、実際の打上時には抑制されているため、それに及ぼす加速度の影響をフライトデータから読み取ることはできない。また、日本の液体ロケットにおけるターボポンプの設置方向は、先行と現行のエンジンでは進行方向に対して逆向きとなっており、そこに発生するキャビテーションは、同じ打上げ行程においても逆向きの加速度場にさらされることになる。そこで本研究では、3枚周期翼列の数値解析を通じ、キャビテーション不安定現象に及ぼす軸方向上流・下流向きの加速度の影響について解析した。その結果、現行のロケットの加速度の範囲内では、ポンプのキャビテーション性能や、キャビテーション不安定現象の発生範囲に加速度の影響は無いことが示された。しかし、さらに大きい加速度場では、軸方向上流向きに加速度が掛る場合、通常、キャビテーション発生に対して安全な高圧力・低迎角条件においても、旋回キャビテーション等の周方向不安定が発生し易くなる事が示された。よって、打上げ加速度を上げる場合や、最大加速度時にサージ振動が発生する等の不慮の事態に際しては、軸方向下流向きに加速度が掛るよう、ポンプ入口をロケットの進行方向に向けて設置しておいた方が安全であることが、本研究から示唆された。

2. LNG ポンプ等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

LNG等の極低温流用ポンプでキャビテーションが発生した際には、熱力学的効果と呼ばれるキャビテーション抑制効果が発生するが、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。本年度は、高温水に発生する熱力学的効果の逆転現象の数値予測を行った。昨年度、液体窒素キャビテーションの解析に用いた、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、常温水から360K程度の高温水で発生することが知られている熱力学的効果の逆転現象を数値的に再現した。また、非定常性が緩和される状態（スーパーキャビテーション状態）までキャビテーションが十分に発達すると、この逆転現象が順傾向へと転じる事が予測され、逆転現象と非定常性の関係が示された。

【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 松藤泰輔
「二次元翼形まわりのキャビテーション発生形態の数値的解明」

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

○平成23年（1月～12月）

1. Yuka Iga and Yoshiki Yoshida,
Mechanism of Propagation Direction of Rotating Cavitations in a Cascade,
Journal of Propulsion and Power, AIAA, Vol. 27, No. 3, pp. 675-683, 2011.
2. Yuka Iga, Kei Hashizume and Yoshiki Yoshida,
Numerical Analysis of Three Types of Cavitation Surge in Cascade,
Journal of Fluids Engineering, Trans. ASME, Vol. 133, No. 7, 071102-1 – 071102-13, 2011.
3. Yuka Iga and Yoshiki Yoshida,
Numerical Analysis of Controlling of Cavitation Instabilities in Tandem Cascade,
Trans. Japan Soc. Aero. Space Sci., Vol. 54, No. 184, pp. 137-143, 2011.
4. Naoya Ochiai, Yuka Iga, Motohiko Nohmi and Toshiaki Ikohagi,
Numerical Analysis of Nonspherical Bubble Collapse Behavior and Induced Impulsive Pressure
during First and Second Collapses near the Wall Boundary,
Journal of Fluid Science and Technology, Vol. 6 No. 6, pp. 860-874, 2011.
5. 新谷昌之, Troung Anh Viet, 伊賀由佳, 井小萩利明,
戸溝に発生するキャビテーションに及ぼすデフレクタ効果のAE測定法による究明,
日本機械学会論文集（B編）, Vol. 77, No. 777, pp.1210-1218, 2011.
6. Yuka Iga, Hayato Nishitanaka and Yoshiki Yoshida,
Numerical Analysis of Influence of Pipe Length on Cavitation Surge,
Proc. ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011 (AJK2011), Hamamatsu,
Paper No. AJK2011-06066, 2011.
7. Motohiko Nohmi, Toshiaki Ikohagi and Yuka Iga,
On Boundary Conditions for Cavitation CFD and System Dynamics of Closed Loop Channel,
Proc. ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011 (AJK2011), Hamamatsu,
Paper No. AJK2011-33007, 2011.
8. Yuka Iga and Tasuku Konno,
Numerical Analysis of Influence of Acceleration on Cavitation Instabilities in Cascade,
Proc. The 11th Asian International Conference on Fluid Machinery and The 3rd Fluid Power
Technology Exhibition (AICFM-11), Chennai India, Paper No. 173, 2011.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成23年（1月～12月）

1. Journal of Fluids Engineering
2. Journal of Propulsion and Power
3. Journal of Fluid Science and Technology
4. Trans. Japan Soc. Aero. Space Sci.
5. 日本機械学会論文集（B編）

【本人の国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

○平成23年（1月～12月）

1. Yuka Iga, Naoya Ochiai, Wang Gouyu, Zhang Mindi and Huang Biao,
Advancement of Numerical Method for Cavitating Flow Around A Hydrofoil,
Proc. Eighth International Conference on Flow Dynamics, IFS Collaborative Research Forum
(AFI/TFI-2011), Sendai, Paper No. CRF-26, 2011.
2. 伊賀由佳, 金野佑,
翼列のキャビテーション不安定現象に及ぼす加速度場の影響に関する数値解析,
日本機械学会2011年度年次大会講演論文集, 東京, No. J051043, 2011.

3. 長嶋寿江, 太田福雄, 伊賀由佳, 彦坂幸毅,
風洞実験によるオオオナモミの風耐性における力学的性質の解析,
日本生態学会第58回大会講演論文集, 札幌, 2011.

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 Mehdi Baneshi

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

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23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 μm range: The diffuse reflectance measurement is performed using UV-VIS spectrometer (Shimadzu UV-2450) which utilizes a BaSO₄ coated integrating sphere (Shimadzu ISR-2200).

In 0.85–2.5 μm 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 μm 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 μm thick coating of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ paint sample with particle size of about 1 μm and volume concentration of 5% on a black substrate shows 20 °C decrease in temperature in sunlight in comparison with a bare black substrate.

- Experimental Temperature Measurement

For temperature measurement an experimental work was conducted in corporation with Professor Yamada at Nagaoka Institute of Technology. The experimental samples were made on three different substrates including black and white paper and aluminum plate. Several pigment particles such as TiO₂, CuO, Cr₂O₃:Fe₂O₃ were used with different volume fractions (1-5%) and coating thicknesses (20-200 μm). The same samples were made using typical black and white paints. The samples were put inside a solar simulator which can model 1000 W/m² sunlight at airmass 1.5. The temperature was measured using thermocouples. The results of this part are still under discussion.

- Radiative properties of plastic films:

The same procedure as explained in first part can be used to obtain the spectral distribution of complex index of refraction of plastic samples used in greenhouse applications. For these calculations 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 thermal analysis of greenhouses covered with different types of plastic samples considering combined radiative-convective heat transfer is now under consideration.

平成23年度 総括

In 2011 fiscal year I could continue my research on cool pigmented coatings which have various technical applications. Moreover, we could apply the established inverse analysis method 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.

I had the chance to attend two conferences including 48th National Heat Transfer Symposium and 8th international conference on flow dynamics. I also experienced reviewing the papers of some sessions and organizing the general sessions of 8th ICFD. Two of my own papers were published and the other one was accepted for publication. Moreover, three of collaborative papers were also published in this fiscal year.

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: Mr. Hiroki Gonome (PhD student) working on pigmented coatings, Mr. Adil Al-Mahdouri (PhD student) working on radiative properties of plastic films, and Mr. Abid Ustaoglu (PhD student) working on solar concentrators.

I also had the chance to visit Dr. Sakurai at Niigata University and to conduct a collaborative work with him on application of radiative transfer in biological tissues. In addition I could visit Prof. Yamada at Nagaoka University and conduct with him a collaboration on experimental temperature measurements of our pigmented coating samples using large solar simulator.

The results of collaborative researches have been submitted or going to be submitted as journal papers.

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 112 (2011) 1197–1204.
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 86 (2012) 200–207
3. M. Baneshi, H. Gonome, A. Komiya and S. Maruyama, The effect of particles size distribution on aesthetic and thermal performances of polydisperse TiO₂ pigmented coatings: Comparison between numerical and experimental results, Accepted for publication in Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer.
4. H. Gonome, M. Baneshi, A. Komiya and S. Maruyama, Radiative Properties of Spectral Selective Coatings Pigmented with TiO₂ Nanoparticles, Heat Transfer—Asian Research, pp. 1-12.
5. 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 54 (2011) 5087–5099.

6. 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, Accepted for publication in Numerical Heat Transfer.
7. H. Gonome, M. Baneshi, R. Vaillon, J. Okajima, A. Komiya and S. Maruyama, The Effect of Dispersed State to Control of Radiative Properties of Coatings Pigmented with Nanoparticles, Submitted to Journal of Thermal Science and Technology.
8. H. Gonome, M. Baneshi, , J. Okajima, A. Komiya and S. Maruyama, Controlling the radiative properties of cool black coatings pigmented with CuO submicroparticles, To be submitted to International Journal of Heat and Mass Transfer.

【学会発表】

【国内】

1. M. Baneshi, H. Gonome, S. Maruyama and A. Komiya, Heat shield performance of Fe₂O₃ pigmented coatings by inverse analysis of full spectral reflectivity measurements, The 48th National Heat Transfer Symposium, Okayama, Japan, (2011).

【国際】

1. M. Baneshi, H. Gonome, J. Okajima and S. Maruyama, Spectral Radiative Properties of a Polymer Coating Containing Nano-Micro Bubbles, 8th International Conference on Flow Dynamics, Sendai, (2011), pp.110-111.
2. H. Gonome, M. Baneshi, , J. Okajima, A. Komiya and S. Maruyama, The Effect of Dispersed State to Control of Radiative Properties of Coatings Pigmented with Nanoparticles, 8th International Conference on Flow Dynamics, Sendai, (2011), pp.508-509.
3. A. Al Mahdouri, M. Baneshi, A. Barthel, H. Gonome, J. Okajima, S. Maruyama, Spectral Radiative Properties of Greenhouse Plastic Films Using Inverse Method, 8th International Conference on Flow Dynamics, Sendai, (2011), pp.564-565.
4. Shigenao Maruyama, Yoshiyuki Sato, Atsushi Sakurai, Junnosuke Okajima, Mehdi Baneshi, Atsuki Komiya, Analysis of Axisymmetric Radiative Heat Transfer in Biological Tissue using the Radiation Element Method, 8th International Conference on Flow Dynamics, Sendai, (2011), pp.534-535.
5. H. Gonome, M. Baneshi, , J. Okajima, A. Komiya and S. Maruyama, Temperature Analysis of Spectral Selective Coatings Pigmented with Cool Black CuO Submicroparticles, NanoRad 2012, To be Appeared.

氏名 Arunabhiram Chutia



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

研究背景

The development of efficient drug delivery systems is one of the most fundamental issues related to the improvement of pharmacological profiles of many classes of therapeutic molecules. Though there are many drug delivery systems carbon materials such as carbon nanotubes have emerged as a new alternative. Especially because

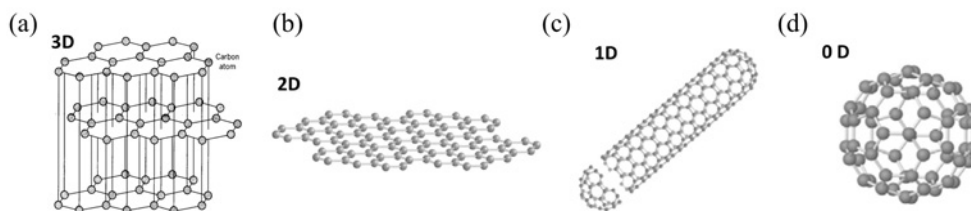


Figure 1. Different forms of graphene related carbon materials (a) graphite, (b) graphene, (c) carbon nanotube and (d) fullerene.

CNT display low toxicity and are not immunogenic. However, the chemistry of CNT and its interaction with biological systems are still not very clear. Additionally, in recent years graphite, carbon nanotubes and fullerenes have attracted lots of attention because of their unique mechanical, electronic and optical properties. With the discovery of graphene, which is a single atom-thick 2 dimensional (D) layer of sp^2 -hybridized carbon atoms, a newer model is now available to study these aspects and generalize the newer chemical concepts to all these materials. This is because graphite, carbon nanotube and fullerene could be now regarded as 3, 2 and 0 D graphene materials (See *Figure 1*).

Since water is a universal solvent we begin our studies on water-CNT interactions in great details. In addition to it water within CNTs might show many fascinating properties, which is not observed in bulk water. This form of water does exists in our surroundings and even inside our bodies [1]. At this moment the theoretical and experimental studies are mainly focused on aspects such as water and proton conduction, formation of ice-nanotubes etc. [1–4]. Some studies by high-resolution electron microscopy have revealed atomic scale interactions between the entrapped liquid phase and wetted graphite walls of carbon nanotubes [5]. While these investigations have provided insights into the unusual properties still the picture related to the interaction between water molecules and the walls of carbon nanotube needs to be clarified in great depths.

In this work we employed methods based on density functional theory to study interaction of water molecule with pristine and functionalized carbon nanotubes and flow dynamics of water within these systems in great details. Based on the above findings we are currently extending this work to design multifunctional CNT capable of targeting molecules, drugs, contrast agents, reporter molecules in biological systems.

平成23年度 研究成果

Behavior of water in CNT

Rigorous density functional theory calculations are performed to evaluate the most stable sites for functionalization in CNTs. We use DNP basis sets (double numerical plus polarization, equivalent to 6-31G** Gaussian basis set) and VWN and PBE level of exchange and correlation functional. Interesting trends of energetically favorable sites are evaluated for functionalization and the reason for these favorable sites are clarified in terms of mutual interactions of π -orbitals inside the CNTs. Based on these information, in the next step we simulate the behavior of water

molecules in pristine and –OH functionalized carbon

nanotubes. Here we used –OH for functionalization in order to reduce computational cost. Two CNTs i.e., (7,0) CNT and (10,0) CNT are taken into account. The number of atoms in (7,0) CNT is 112 atoms (length=17.040Å and diameter=5.430 Å) and in (10,0) 160 atoms (length=16.904Å and diameter=7.740Å). As shown in Figure 1 (a and b) in (7,0) CNT we see the formation of water chain like structure. Each of the molecule form H-bonds with the nearest water molecule and at an average distance of 2.169Å from the walls of (7,0) CNT. For comparison of the structure of water molecules another CNT with bigger diameter i.e., (10,0) CNT with 5 H₂O is also optimized. However, in (10,0) CNT we see the formation of a network of H-bonding in water molecules like bulk water instead of chain like structure (See Figure 1 (c and d)). The formation of water chain like structure in (7,0) CNT could be attributed to several reasons. For example, this is caused by the electrostatic repulsion between lone-pairs of oxygen and puckered p_x orbitals of carbon atoms in CNT due to the smaller radius of (7,0) CNT. On the other hand due to slightly larger radius of the (10,0) CNT lone-pair and p_x repulsive interaction is less and this favor accommodation of more water molecule to form water cluster through H-bonding similar to bulk water. Another major reasons could be associated with van der Waals interaction between water molecules and wall of (7,0) CNT. In the –OH functionalized CNTs

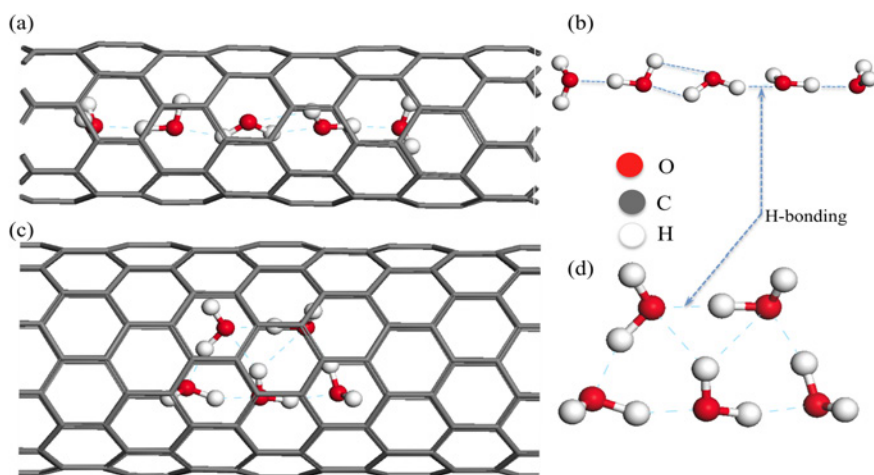


Figure 2. Optimized structures of (a) 5 H₂O molecule in (7,0) CNT, (b) water chain inside (7,0) CNT, (c) 5 H₂O molecule in (10,0) CNT and (d) network of water molecules inside (10,0) CNT

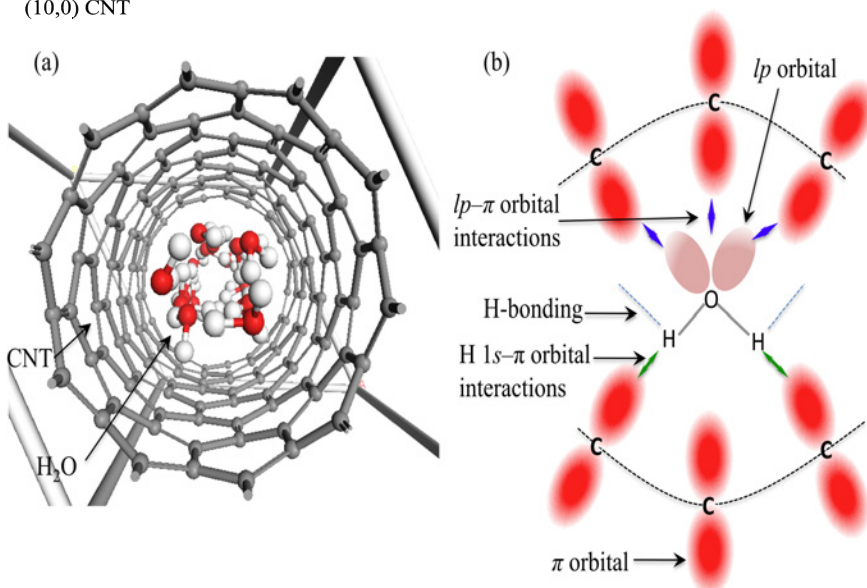


Figure 3. (a) Optimized geometry of (10,0) CNT with 18 water molecules and (b) a schematic representation of a complex interaction between water molecules and CNT walls

also similar structures of water clusters are seen. For comparing the structure of the water cluster formed in (10, 0) CNT we further optimize the five-water molecules in (10,0) CNT within similar computational conditions. In the optimized model water molecules reorient to form more intense H-bonds. In addition to it we also optimized (10,0) CNT with 160 carbon atoms and 18 water molecules in which we see that water molecules form a concentrically arranged pattern as shown in **Figure 3 (a)**. This clearly reflects the complex yet extremely interesting interaction among water molecules through H-bonding and water-CNT through interactions of lone-pair and π -orbitals (See **Figure 3 (b)**). We investigated the electronic properties of the interacting molecules in great details and clarified how such subtle interactions could lead to the formation of various kinds of water structures. We also monitored the dynamics of water molecules in CNT system employing DFT based molecular dynamic simulations at 298K, using NVT ensemble.

Since CNT can be regarded as rolled graphene for this purpose, we consider a simpler model of a water monomer on graphene surface [8].

Figure 4 (a-b) displays the geometry of water

monomer on graphene.

There could be several

possibilities for the configuration of water molecule over graphene surface such as (a) on top of carbon atom, (b) on bridge site and (c) on hollow site. Additionally, the water molecule itself could be placed in different orientation such as H or O atoms of H_2O molecule towards the graphene surface. On evaluating the binding energy of water on graphene surface using density functional theory at DNP/(VWN, PBE, HCTH and BOP) level of theory we find that the water-graphene equilibrium distance and binding energy is greatly underestimated. The probable reason could be associated with the basis set superposition error (BSSE). Thus more accurate methods are required for an in depth study related to graphene water interaction and in addition to it we must also carry out a detailed study of the π -chemistry associated with graphene and graphene related carbon materials.

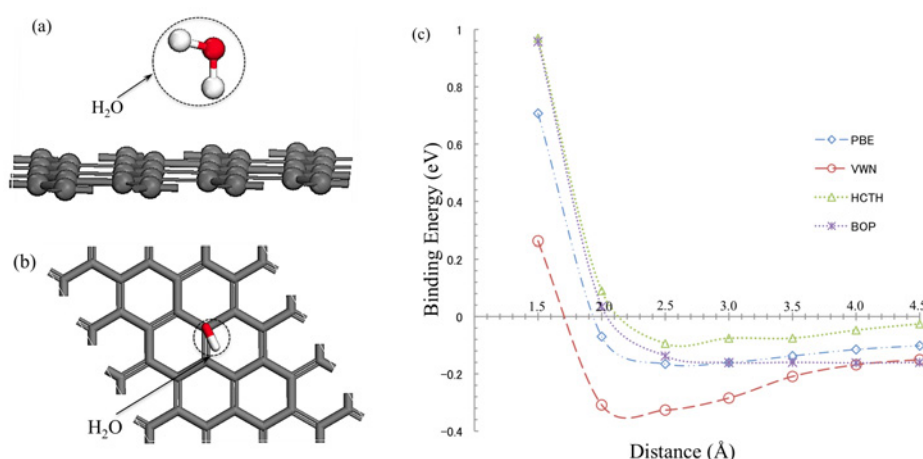


Figure 4. (a) side and (b) top view of water monomer on graphene surface and (c) binding energy (eV) as a function of water-graphene distance.

Implementation of van der Waals density functional theory to water-graphene system

From our studies on water and CNT interaction we see that while conventional DFT provides interesting information about interaction of water and graphene related systems yet there are discrepancies associated with van der Waals interaction and hydrogen bonding. Recently, DFT with the van der Waals density functional (vdW-DF) of Dion et al has been able to describe weak interaction such as van der Waals interaction and covalent bonds as well [9]. Due to its interesting features it is currently used in vdW complexes, DNA-base pairs, adsorption systems etc. However, in this functionals also there are certain discrepancies for example, it overestimates the interfragment distances, which is because of the repulsive nature of the revised Perdew-Burke-Ernzerhof (revPBE) exchange functional.

When Hartree-Fock exchange is used convincing results are obtained but binding energy is largely overestimated. To overcome these difficulties Hamada et al. [10] proposed the exchange-correlation energy E_{xc} as described below:

$$E_{xc} = E_x^{GGA} + E_c^{LDA} + E_c^{nl} \quad (1)$$

where, E_x^{GGA} is the exchange energy within the generalized gradient approximation, E_c^{LDA} is the correlation energy within the local functional approximation and E_c^{nl} is the nonlocal correlation energy given by the following equation

$$E_c^{nl}[n] = \frac{1}{2} \iint dr dr' n(r) \phi(r, r') n(r') \quad (2)$$

with the vdW kernel $\phi(r, r')$ depends on $|r - r'|$, charge density n , and its gradient $|\nabla n|$.

By using this newer exchange and correlation functional we have been able to evaluate more accurate binding energy and equilibrium distance between water molecule and graphene. Our results are in good agreement with accurate calculations reported by Ma et al. (Phys. Rev. B, 84 (2011) 033402).

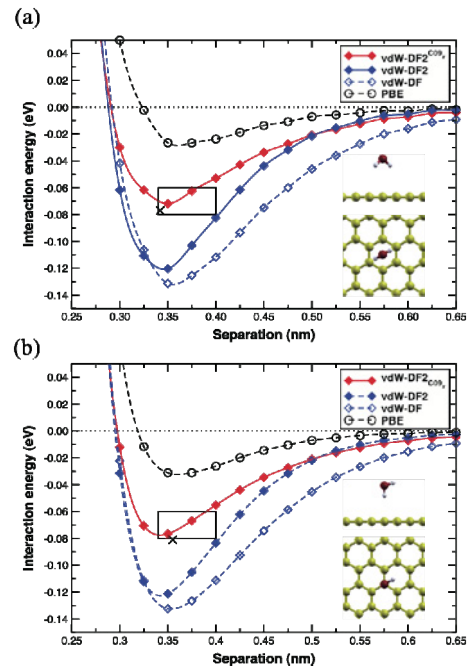


Figure 5. Interaction energy of water with graphene from vdW-DF2^{C09x} agrees well with those from accurate RPA and DMC for (a) on center and (b) on top configuration of water.

Molecular designing of multifunctional carbon nanotubes for drug delivery

It has been experimentally demonstrated that CNTs could easily cross cell membranes to deliver peptides, proteins and nucleic acids into cells [11-13]. Currently, CNTs capable of carrying one or more therapeutic agents with recognition capacity, optical signals for imaging,

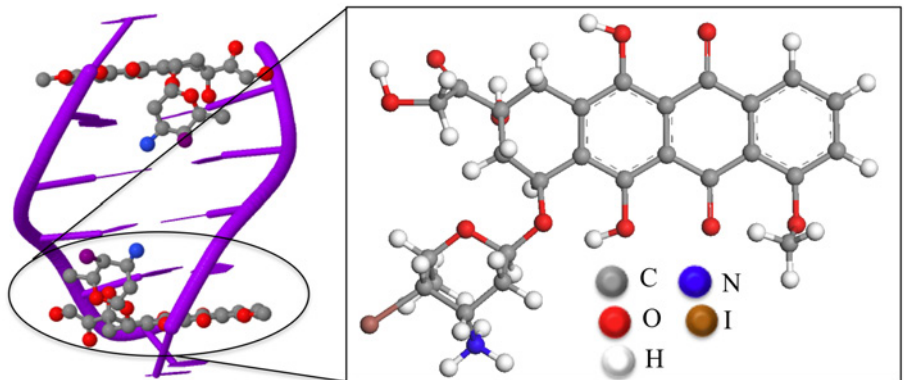


Figure 6. Molecular structure of halogenated anti-cancer drug iododoxorubicin complexed with DNA structure

and/or specific targeting is of great importance. However, the delivery of small drug molecules e.g., anticancer, antibacterial, or antiviral agents using CNT is still not well explored [14]. In this study we are performing molecular modeling and designing of multifunctional carbon nanotubes for anticancer drug 4'-deoxy-4'-iododoxorubicin delivery (Figure 6). Where 4'-deoxy-4'-iododoxorubicin is a relatively new anticancer drug under phase II clinical trials and it has demonstrated significantly reduced levels of cardiotoxicity compared to other anthracyclines.

In this study we are employing information obtained from our studies on the functionalization on the active sites of the CNTs. For generating multifunctional CNTs we are first evaluating the effectiveness of functionalizing them with flurorescein molecule followed by functionalizing them with drug molecule 4'-deoxy-4'-iododoxorubicin. Prior to functionalization of 4'-deoxy-4'-iododoxorubicin it is also quite

important to see the most favorable sites for functionalization so that accurate results could be obtained. It is worth mentioning that conjugation of drugs to CNTs could have the following advantages:

- 1) Increased solubility of molecule
- 2) Decrease in the aggregation phenomenon
- 3) Modulation of the antibiotic activity against different types of cells
- 4) Improved efficacy owing to the internalization capacity of CNTs

This work is in progress.

An investigation on the π -site chemistry of CNT and related materials.

Another aspect of our work is associated with the detailed study of π -site chemistry of CNT and related materials. These studies have been completed and would be soon submitted for publications.

References:

1. Y. Maniwa, H. Kataura, M. Abe, A. Uchida, S. Suzuki, Y. Achiba, H. Kira, K. Matsuda, H. Kadowaki, Y. Okabe, Chem. Phys. Lett. 401 (2005) 534.
2. G. Hummer, J. C. Rasaiah, J. P. Noworyta, Nature 414 (2001) 188.
3. Y. Nakamura, T. Ohno, Phys. Chem. Chem. Phys. 13 (2011) 1064.
4. D. J. Mann, M. D. Halls, Phys. Rev. Lett. 90 (2003), 195503.
5. Y. Gogotsi, J.A. Libera, A. Güvenc, Yazicioglu, C.M. Megaridis Appl. Phys. Lett. 79 (2001) 1021.
6. B. Delley, J. Chem. Phys. 92 (1990) 508.
7. B. Delley, J. Chem. Phys. 113 (2000) 7756.
8. V.R. Coluci, D. S. Galvão, A. Jorio, Nanotechnology, 17 (2006) 617.
9. M. Dion, H. Rydberg, E. Schröder, D. C. Langreth, and B. I. Lundqvist, Phys. Rev. Lett. 92 (2004) 246401.
10. I. Hamada, M. Otani, Phys. Rev. B, 82 (2010) 153412.
11. N. W. Shi Kam, H. Dai, J. Am. Chem. Soc. 127 (2005) 6021.
12. D. Pantarotto, J.-P. Briand, M. Prato, A. Bianco, Chem. Commun. (2004), 16.
13. N. W. Shi Kam, T. C. Jessop, P. A. Wender, H. Dai, J. Am. Chem. Soc. 126 (2004) 6850.
14. W. Wei, S. Wieckowski, G. Pastorin, C. Klumpp, M. Benincasa, J. P. Briand, R. Gennaro, M. Prato, A. Bianco, Angew Chem. Int Ed Engl 44 (2005) 6358.

平成23年度 総括

In the fiscal year 2011 first we focused on active sites of functionalization on a carbon nanotube. Through our calculations we clarified that certain sites of CNTs are more preferable for functionalization than the rest. The reason for such preferability is explained in terms of the interaction of the π -orbital of CNT walls. Having found the active sites for functionalization in CNT we investigated the interaction and flow dynamics of water inside pristine and functionalized (7,0) and (10,0) CNTs. Interesting structures such as water chains, water cluster and water tube like structures were observed. We also investigated the flow dynamics of water molecules in CNT system employing DFT based molecular dynamic simulations. Detailed investigation on electronic structures revealed the role of lone-pair – π orbital interactions in the formation of these structures. A study on the π -site

chemistry of CNT and related materials was carried also out in order clearly comprehend the various possible interactions with the π -orbitals such as π - π , lone pair- π , lone pair – lone pair in π -orbital environment and van der Waals interactions for applications of CNTs in biological application such as drug delivery.

今後の研究計画

Our future research plans are two fold. First, based on our interesting findings on single walled CNTs we would like to further extend these studies to multi walled CNTs. Modeling of fluid dynamics in such system is especially very difficult because in addition to the fluids even the walls of nanotubes could also move. However, these studies are expected to provide very important information for applications in nanomachines. Secondly, we have extended this study on the molecular modeling and designing of multifunctional carbon nanotubes for drug delivery of anticancer drug 4'-deoxy-4'-iododoxorubicin.

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. Chutia, A.; Tokuyama, M. Orbital Interaction and Thermodynamic Stability in Ni Substituted Pd Nanoalloys, Chem. Phys. Lett., 2011, 515, 96.
2. Chutia, A.; Hamada, I.; Tokuyama, M. **Stability and local electronic properties of BN doped graphene nanoflakes: Effect of size and pattern (To be submitted)**
3. Chutia, A.; Hamada, I.; Tokuyama, M. A detailed investigation on the subtle interaction between Pt4 cluster and graphene nanoflakes, (To be submitted soon)
4. Chutia, A.; Tokuyama, M. Active sites for functionalization in carbon nanotubes (in preparation)
5. Chutia, A.; Tokuyama, M. Detailed electronic structure of water carbon nanotube interaction (in preparation)

【学会発表】

【国際】

1. Influence of functionalization on graphene nanoflakes on the adsorption properties of Pt nano clusters
Chutia, A.; Hamada, I.; Tokuyama, M. BIT's 1st World Congress on Nano S & T, October 23rd – 26th, The Dalian World Expo Center, China, 2011.
2. Water Confined in Carbon Nanotube: A Density Functional Theory Study
Chutia, A.; Hamada, I.; Tokuyama, M. Eighth International Conference on Flow Dynamics, November 9th – 11th, Sendai, 2011.
3. Oxidation Effect on Adsorption of Platinum Cluster on Graphene Nanoflakes: A Density Functional Theory Study. Chutia, A.; Hamada, I.; Tokuyama, M. MRS Fall Meeting and Exhibit, Hynes Convention Center, Boston, MA November 28th – December 2nd, 2011.

氏名 Farouq Ahmed



所属 東北大学未来科学技術共同研究センター

研究課題

Multiscale Modeling of Monolithic Catalytic Converter: Challenge and Possible Solution

研究背景

Automotive exhaust gases formed in the gasoline engines contain many environmentally harmful compounds. As a result of incomplete combustion, exhaust gases can include carbon monoxide (CO) and hydrocarbons (HC). Catalytic purification has proven to be an efficient way to reduce emissions from exhaust gases. Due to the increased demand for low-emission vehicles, most automobiles are currently supplied with a three-way catalytic converter (TWC) for the simultaneous removal of major pollutants CO, NO_x and HC from a gasoline engines exhausts gases. Catalysis is enabling technology to promote sustainability, environmental consciousness, energy conservation, health and quality of life.

Multi-scale analysis and approach is effective to elucidate impacts of design perspective at different scales to a catalytic reaction process performance and open up new design dimensions to break up the compromise that often needs to be made with the conventional approach. Catalytic purification has proven to be an efficient way to reduce emissions from exhaust gases and the idea of the three-way catalyst (TWC) is to remove CO and NO_x and to oxidize unburnt hydrocarbons. The goal of this thesis is to accelerate the speed of the development of high-performance catalysts for practical use by the physicochemical study. All the studies investigated here interpret the reaction that occurs in three-way catalyst (TWC). The motivations of such heterogeneous catalytic reactions are for the reduction of automobile exhaust such as NO_x, CO and HC. A basic understanding of the structure of automotive catalysts at an atomic level can pave the way for planned catalytic design, which is based on scientific notion, rather than adopting a trial-and-error approach. In this study the supported metal catalyst in the system of TWC was investigated by ultra accelerated quantum chemical molecular dynamics (UA-QCMD) method.

平成23年度 研究成果

The aim of this study is to challenge the exploration and analysis of reaction mechanisms of chemical reactions in large-scale heterogeneous catalytic reactions systems. The goal of this research is to accelerate the speed of the development of high-performance catalysts for practical use by the physicochemical study. Here all the reactions associated with three-way catalytic reactions. The motivation of such heterogeneous catalytic reactions is for the reduction of automobile exhaust. A basic understanding of the structure of automotive catalysts at an atomic level can pave the way for planned catalytic design, which is based on scientific notion, rather than adopting a trial-and-error approach. In fact, a lot of trial-and-error efforts have been given on the synthesis of automotive catalysts. This physicochemical study will change the development process of the catalysts for practical use. Here I have enclosed my research achievements.

Modeling of hydrogen vacancy for dissociative adsorption of H₂ on Pd (111) and Pd (100) surfaces and defected Pd (332) surface

The dissociative adsorption of the hydrogen molecule is a central step in many important catalytic processes, which is generally assumed to require at least two empty atomic adsorption sites. Recently, Mitsui et al. showed by scanning tunneling microscopic (STM) analysis, which is contrary to conventional thinking, that two-vacancy sites seems inactive, and that aggregates of three or more hydrogen vacancies are required for H₂ dissociation. Here modeling of dissociative adsorption of hydrogen on Pd (111) and Pd (100) surfaces by UA-QCMD method was investigated for better understanding the influence of surface hydrogen vacancy. We found divacancy is sufficient for dissociative adsorption of hydrogen on Pd (100) surface whereas at least trivacancy is required for the dissociative adsorption of hydrogen on Pd(111) surface (**Catalysis Today 164 (2011) 16–22**). It could thus help to improve our molecular-level understanding of the formation of the active sites that determine the activity of catalytically active surfaces. The effect of surface hydrogen vacancy was also investigated on defected surface such as Pd (332) surface and the molecular dynamics simulations were carried out on steps and terrace respectively. Surprisingly we found that only single hydrogen vacancy is required for the dissociative adsorption of hydrogen on step site of Pd (332), (**Applied Surface Science, 257 (24), 2011, 10503**).

CO oxidation and NO reduction on MgO(100) supported Pd cluster

Very recently, I have investigate the mechanism of CO oxidation and reduction NO_x to less harmful CO₂ and N₂, on the supported precious metal catalyst by applying UA-QCMD method. This catalyst aids the reaction of the CO with the remaining oxygen in the exhaust gas. When such molecules come in contact with the catalyst, the catalyst rips the nitrogen atom out of the molecule and holds on to it, freeing the oxygen in the form of O. The nitrogen atom bonded with other nitrogen atoms that are also stuck to the catalyst, forming N₂. Here the pathways and energetic of the involved elementary reactions under different catalytic conditions were investigated. Key point that I have investigated by multiscale simulation (i) mechanism of CO oxidation on transition metals and origin of the barrier to CO oxidation (ii) mechanism of CO oxidation on precious metal supported on metal oxide (iii) Mechanism of NO dissociation and on transition metals and NO reduction by CO on transition metals and (iv) catalytic oxidation of hydrocarbons on different supported metal oxide surfaces. (**Journal of Physical Chemistry C, DOI: 10.1021/jp204348e**).

平成23年度 総括

General overview for fiscal 2011

My present research, reported the application of a newly developed chemical-reaction-dynamics simulator based on the combination of tight binding quantum chemical and molecular dynamics simulation. The venture of this study is to challenge the exploration and analysis of chemical reactions in realistic heterogeneous catalytic reactions. This work has paved the way for a new field of computational chemistry “UA-QCMD method” concerning the study of electronic properties of supported precious metal catalysts. As indicated, some of the driving forces behind this research involved environmental, health and legal factors. Furthermore, from the catalyst manufacturer’s

viewpoint, the economic factors are also essential. Since catalyst research is a multi-disciplinary field of science, involving chemistry, physics and engineering aspects, it gives author the opportunity for a fruitful collaboration with chemists and physicists as well as in the field of both experimental and theoretical chemistry. Therefore, the main goal of this research is the knowledge of the most relevant mechanisms of supported precious metal catalyst. Different supported metal catalysts are utilized in order to reach this goal. The catalyst's properties, especially its performance, cannot be understood solely on the basis of some separate characterization techniques; moreover, the applicability of multiple techniques will provide a larger view of automobile catalysts.

今後の研究計画

My future research will be very much correlated with present research on heterogeneous catalysis. I am going to join as a postdoctoral research fellow at the institute for Sustainable Energy, Environment and Economy, the Institute of Bio-Complexity and Informatics and the department of chemistry at the University of Calgary. My research work will be in the general area of the CIAM project on computational Chemistry design for upgrading of heavy oils and other mutually agreeable subjects. Moreover we will have the collaborative research between Miyamoto laboratory, Tohoku University, Japan. and Salahub Laboratory, University Of Calgary, Canada.

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. **Farouq Ahmed;** Ryuji Muira, Suzuki, A.; Tsuboi, H.; Hatakeyama, N.; Endou, A.; Takaba, H.; Kubo, M.; Miyamoto, A. CO Oxidation and NO Reduction on MgO (100) Supported Pd Cluster: A Quantum Chemical Study, *Journal of Physical Chemistry C*, 2011, 115, 24123.
2. **Farouq Ahmed;** Ryuji Muira, Suzuki, A.; Tsuboi, H.; Hatakeyama, N.; Endou, A.; Takaba, H.; Kubo, M.; Miyamoto, A. Comparison of Reactivity on Stepped and Terrace Sites for the Dissociation of Hydrogen on Pd (332) Surface, *Applied Surface Science*, 257 (24), 2011, 10503-10513.
3. **Farouq Ahmed;** Alam, Md. Khorshed; Ryuji Muira; Hatakeyama, N.; Endou, A.; Takaba, H.; Kubo, M.; Miyamoto, A. "Modeling of Hydrogen Vacancy for Dissociative Adsorption of H₂ on Pd (111) Surface by a Quantum Chemical Molecular Dynamics" *Catalysis Today* 164 (2011) 16–22.
4. Alam, Md. Khorshed; **Farouq Ahmed;** Ryuji Muira, Suzuki, A.; Tsuboi, H.; Hatakeyama, N.; Endou, A.; Takaba, H.; Kubo, M.; Miyamoto, Surface Reduction Mechanisms of Cerium Oxide Surfaces by H₂ using Ultra Accelerated Quantum Chemical Molecular Dynamic Study, *Catalysis Today* 164 (2011) 9–15.

【学会発表】

【国内】

1. 108 Catalysis Society Meeting, Reactivity on Steps and Terrace Sites of Pd (332) surface for the Dissociative Adsorption of Hydrogen: A Quantum Chemical Study, Oral, September 20-22, Kitami, Hokkaido, Japan.

【国際】

1. 15th annual green chemistry and engineering conference Meeting, Molecular Modeling of supported precious metal catalyst for the reduction of automobile exhaust: A Quantum Chemical

Molecular Dynamics Study, Poster, June 21-23, Washington DC, USA

2. 8th ICFD conference, Hydrogen Dissociative Adsorption on Pd (111), Pd (100) and stepped Pd (332) Surfaces: A comparative study of electronic structures at different coverage, Short oral and Poster, November 9-11, Sendai Japan.



氏名 Ardian Gojani

所属 流体科学研究所

研究課題

Development of measurement techniques for supersonic flows

研究背景

The idea of developing a quiet supersonic transport aircraft based on the Busemann biplane is supported by a wealth of numerical studies, while experimental works are quite scarce. Qualitative flow characteristics, mainly the effect of shock wave – expansion wave interference, are obtained indirectly by using schlieren visualization on wind tunnels, and these results are later compared to CFD simulations for quantitative data extraction.

It is a natural development to experimentally attempt quantitative flow field characterization in and around supersonic Busemann biplane. With this aim in mind, several options are possible, among which optical visualizations applied to a gas gun facility provide the most convenient methods that could yield quantitative measurements without disturbing the flow. In optical flow visualization types of experiments, light serves as the gauge of the refractive index or its variation in the flow field, and by virtue of direct relationship between refractive index and density, optical visualization yields density measurements.

The proposed quantitative flow visualization is based on pattern deflectometry (PD) and it is a combination of flow visualization and image processing methods. The principle of PD lays in the measuring the deformation of an already known pattern imaged through a test fluid. Several techniques for implementing PD are background oriented schlieren (BOS), synthetic schlieren (SS), laser speckle photography, moire deflectometry, etc.

At the present, most of these techniques give quantitative results only for very simple and symmetric flow fields, while numerous qualitative measurements are done in complex flows, such as in the study of vortices. As for the applications to aerodynamic facilities, these PD techniques have a well established record in shock tubes and wind tunnels, but their use in gas gun facilities is quite limited.

平成 23 年度 研究成果

The proposed research on developing measurement techniques for supersonic flows focused on establishing pattern deflectometry methods for quantitative evaluation, which consists of two stages: 1. setting up an image capture and data recording system, and 2. establishing an image processing and data evaluation procedure.

Among many variants of PD, the main focus was put on BOS, which was applied to two situations: (i) to natural convection over a steady temperature field created by a cylinder, and (ii) to a planar shock wave reflection from an inclined plane. Both these experiments were conducted as benchmark tests in order to assess the overall performance of BOS. Illustrations of the results from

experiments are given in Fig 1.

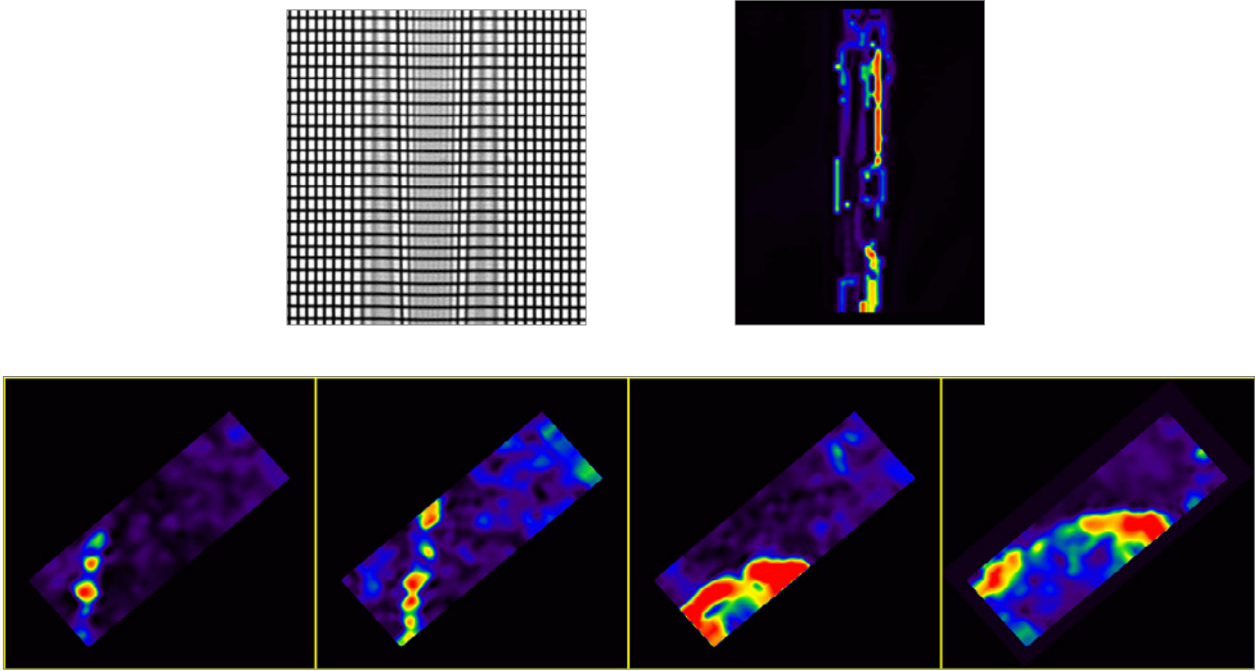


Fig. 1. Top left: the image of the deformed pattern imaged through the a steady temperature field. Top right: magnitude map of pixel shifts calculated from the previous image. Bottom: magnitude map of pixel shifts calculated for the shock reflection from an inclined plane (shock comes from the left).

The outcome is that BOS can have a wide measurement range (relative density changes from 5% to 300%), good sensitivity (an improved image capturing system – optical setup, would make possible the detection of relative density changes down to 1%), and relatively good spatiotemporal resolution. In the image capturing stage of the work, increase of the resolution presents the main challenge: since supersonic flow is fast, experiments need to be conducted with either high speed cameras, or with a short duration light pulse. High speed cameras lack acceptable spatial resolution (because of their limited pixel count), while the short pulse illumination is sought from a laser. At this stage, the best achieved resolution is 4 mm and 0.5 μ s, while the target is detection of pattern shift smaller than 1 mm and of submicrosecond order. Better spatial resolution was achieved (0.2 mm) at the expense of the temporal resolution (5 ms). This is illustrated in Fig. 2, while Fig 3 shows the relationship between distances in the optical setup that lead to the best sensitivity, as well as the increase of the circle of confusion (image blur).

The option of using the laser leads to the use of cameras with high pixel count (thus, very good spatial resolution), but pose the problem of random laser speckle. At the present, the solution is being sought by either eliminating laser speckle by destroying its coherence, or by making use of laser speckle as the pattern to be measured.

The other stage of the study concerns image processing and data evaluation. There already exist several types of algorithms for evaluation of image deformation, mainly based on cross-correlation for PIV measurements. A set of programs are already adopted and successfully applied to BOS, although improvements are needed in automating the procedure. For example, images with different intensities of illumination need to be treated with a histogram equalization

procedure, but making sure that the dynamic range of grayscale intensities is not drastically reduced. Since this is usually done by hand, it is very time consuming. Alternatively, a new method based on ray transfer matrix analysis for image evaluation is being proposed. This method would make possible measuring the shift of a pattern feature the size of a pixel, instead of averaging over a window of several pixels, as is done in cross-correlation. Based on the pixel shift, evaluation of the average change of the refractive index along the line of sight, that is along the ray that is being traced, is possible. In addition, a new image evaluation method based on optical flow for tomographic reconstruction of refractive media is being assessed. This is the first step towards expanding PD (primarily BOS) to 3D measurements of the flow field.

It has been tested that the accuracy of the measurement can be improved by using color imaging of the background, instead of a binary image. These principles apply even when laser is used as a light source, where instead of color, different grayscale levels will serve as different image (light transmission) channels.

These aspects of the research are being conducted individually, while the part regarding shock tube and gas gun operation is being planned in collaboration with other research members. At the present, the model of a Busemann biplane is only being designed, and it has not been delivered for manufacture yet.

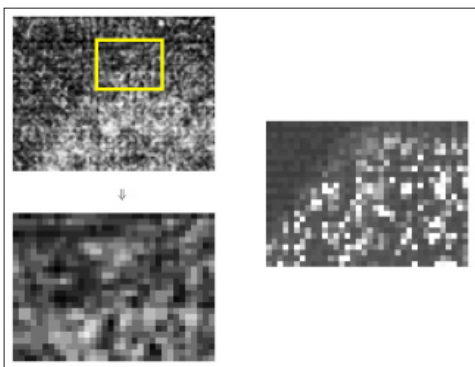


Fig. 2. Examples of images taken by Imacon DRS 200 (left) and Shimadzu HPV-1 (right) cameras. The top left and right images show the same field of view, while the bottom left and right images have the same pixel count.

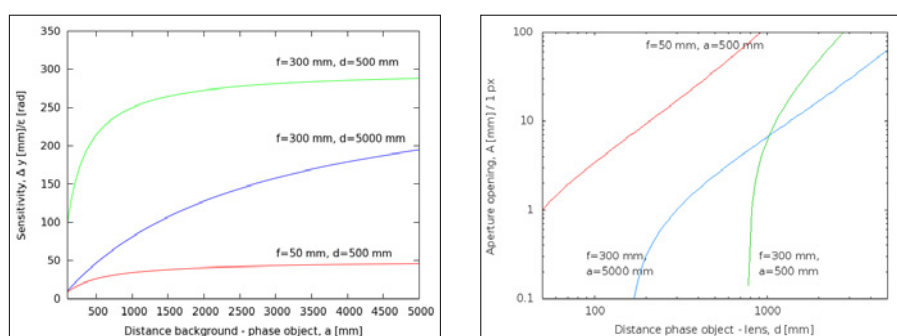


Fig. 3. Adjustment of optical setup for optimizing measurements: sensitivity (left) and circle of confusion (right) as a function of distances.

平成 23 年度 総括

Compared to the proposed schedule on the onset, this research in the current state lags in one main point: not enough experiments were conducted. The main reasons for this are lengthier than planned assessment of the instrumentation for BOS and familiarization with image evaluation procedures. Initial development was based on using a high speed camera, but since it is found that available cameras (Imacon DRS 200 and Shimadzu HPV-1) do not fulfill satisfactorily the

measurement resolution criteria, an alternative is sought by using a powerful pulsed laser with a standard DSLR camera.

Overall, a solid command of the technique is achieved, which is evidenced by the numerous proposed adjustments for improvement. Some of these adjustments are only minor modifications to already established methods, but some (such as destruction of laser coherence) would bring about novel and unique systems for flow measurements. Generalization of various techniques (BOS, SS, DLSP, moire, etc) is being attempted into a single comprehensive pattern deflectometry method.

Part of the instrumentation is provided, such as a large pixel count DSLR camera with accompanying accessories (flash, lenses, ...), while laser and the gas gun is in the process of repair/upgrade.

今後の研究計画

The ongoing research must continue with an accelerated schedule, in order to achieve the aim of quantifying flow field of a Busemann biplane in supersonic flight. The initial steps will be to develop laser based illumination for PD (primarily BOS), and also develop a digital laser speckle photography system for the gas gun facility at IFS. At first, the projectile will be a sphere, because of its simple shape, and later experiments with a miniature model of Busemann biplane will start.

Parallel to this, work on 3D measurements is planned. Initially, multidirectional imaging of a simple steady flow field by a single camera will be done and image evaluation procedure will be constructed. Upon successful fulfillment of this step, it will be moved towards multicamera measurements for a single gas gun shot.

研究業績

【学会発表】

【国内】

1. Summer School Lecture, August 3-5, 2011, Tottori. Oral presentation:
A. B. Gojani and S. Obayashi, Principle of Background Oriented Schlieren and Review of Applications.

【国際】

1. Eighth International Conference on Flow Dynamics, November 9-11, 2011, Sendai. Oral presentation: B. Gojani, T. Mizukaki, T. Ogawa, K. Ohtani, T. Kikuchi, T. Yoneyama, and S. Obayashi, Development of Background Oriented Schlieren for Supersonic Flow Over Inclined Plane.
2. Seoul National University – Tohoku University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, October 13-14, 2011, Seoul. Oral presentation: A. B. Gojani and S. Obayashi, Background Oriented Schlieren: Principle, Review of Applications and Development for Ballistic Range Measurements.



氏名 小助川 博之

所属 流体科学研究所

研究課題

Study on Interaction between Soft Tissue and Medical Metallic Alloys in
Hydrodynamic Lubrication Phase

研究背景

循環器系疾患治療などの医療分野において、生体軟組織の挙動や構造を*in vitro*で再現できるモデル(バイオモデル)は、術者のトレーニングや術前のシミュレーションに使用できるだけでなく、インフォームド・コンセントや医療用デバイスの技術開発にも貢献できる。筆者が所属する研究チームは、ポリビニルアルコールハイドロゲル(PVA-H)を用いることで、血管や口腔粘膜といった軟組織の力学的特性を再現するバイオモデルを開発してきた。このようなモデルは、細胞や多数のタンパク質が存在する複雑な環境である*in vivo*ではできないシンプルで再現が容易である試験環境を提供できる。このような特徴は医療用デバイスの技術開発にとって有用となる。

多くの医療分野において、ステントやインプラント等、様々な医療用デバイスがヒトの体内で使用される。しかし、それらが血管や口腔粘膜といった軟組織と直接接触するために摩擦に関連する問題が生じ、そのために治療成果に影響が及ぼされることがある。例えば、ステントが留置部からずれてしまう場合や、カテーテルやガイドワイヤーが血管内をスムーズに移動できないといった場合である。これら医療用デバイスを用いた治療の成績を向上させるためには、それらデバイスの軟組織上における摩擦特性を理解し、その上で各種デバイスの摩擦特性を目的毎に最適化することが必要不可欠である。これを目的として、まずはバイオモデル上におけるデバイス材料の摩擦試験を行い、その基礎的知見を得る事が必要となる。

実際の使用環境におけるデバイスの挙動を評価することも重要である。特に拍動による絶えず動く血管の内部において使用されるデバイスの場合、その挙動の仕方によっては治療成果に大きな影響を及ぼしかねない。この点においても、実形状バイオモデルを用いたデバイスの評価が重要となる。

本研究では血管内治療に使用されるデバイス、特にステントに注目し、上述にあるバイオモデル上における摩擦特性や実形状内部における挙動の評価を行うことを目標とする。そのために”グローバル回遊教育プログラム”によりフランスとアメリカの研究機関を訪問し、試験と議論を行うこととした。

また、バイオモデルの更なる応用に向けて、血管のようなチューブ型バイオモデルの壁厚を制御する手法の探求と、バイオモデルの力学的特性に非線形性を付与するための手法探索も行った。

平成23年度 研究成果

バイオモデルの応用研究として、本事業が推進するプロジェクトの一つである“グローバル回遊教育プログラム”において、筆者はフランスのEcole Centrale de Lyon (ECL)、アメリカのUniversity at Buffalo, the State University of New York (UB)、及びMassachusetts Institute of Technology (MIT)を訪れ、PVA-Hバイオモデルを用いた医療デバイスと組織の境界に関わる研究を行った。ECLでPVA-Hバイオモデルと医療用合金の摩擦試験を、UBではPVA-H血管バイオモデル内部に留置したステントの挙動観察を、MITではバイオモデル発展のための情報収集とディスカッションを行った。またTohoku Universityにおいても、バイオモデル開発に重要となるチューブ型バイオモデルの壁厚制御に関わる研究を行った。以下にその成果概要を個別に示す。

① Ecole Centrale de Lyon

現代医療の多くの医療分野において、様々な合金が体内組織と接触して用いられている。代表的なものといえば、Nitinolと呼ばれるNiTi系合金や316Lステンレス合金等である。近年では人体に有害となるNiを含まない合金等が研究開発されており、その生体親和性と力学的特性の研究も活発に行われている。しかし、実際の医療現場における使用には、体内で使用する際には組織と合金デバイスの摩擦が問題となることがある。これらは各種デバイスと生体組織の摩擦関係が最適化されていないことによるものと考えられる。上述の問題を是正するためには各種デバイスの摩擦特性を理解する必要があるが、その基本的な知見を得る事を目的として、摩擦に関する研究をリードするECLのLaboratoire des Tribologie et Dynamique des Système (LTDS)の知識と技術的なバックアップのもとPVA-Hバイオモデル上における合金の摩擦試験を行った。

ステントやガイドワイヤーが血管壁に及ぼす荷重条件のもと、球体に加工した4種類の医療用合金(316L、CoCr、NiTiおよびTiMoSn)のPVA-H上における摩擦係数を測定した。摩擦試験の潤滑剤には純水を使用した。高速度領域においてはこれらの間に十分な差は現れなかった。しかし、低速度領域においては316LとCoCr、NiTiとTiMoSnの間では十分な差(P = 0.05)が現れなかったのに対し、前者2種類の合金と後者2種類の合金との間には十分な差があり、前者の合金グループの方が高い摩擦係数を示した (Fig. 1)。この結果は各合金の表面自由エネルギーと相関があるように見受けられる。即ち表面自由エネルギーが高いNiTiとTiMoSnが低い摩擦係数を示し、低い表面自由エネルギーを示す316LとCoCrが高い摩擦係数を示す。この結果から合金の表面特性が摩擦特性に影響を与えるメカニズムについて仮説をたて議論を行った。またECLにおいてこれらの結果を招待講演として発表したところ、これらの現象を解明するために重要となりえる新たな視点や建設的な意見を得る事ができた。これらの議論と結果は医療用デバイスのデザインと開発に多分に影響を与える可能性があり、本成果が多くの医療分野において重要な意味を持つと考える。

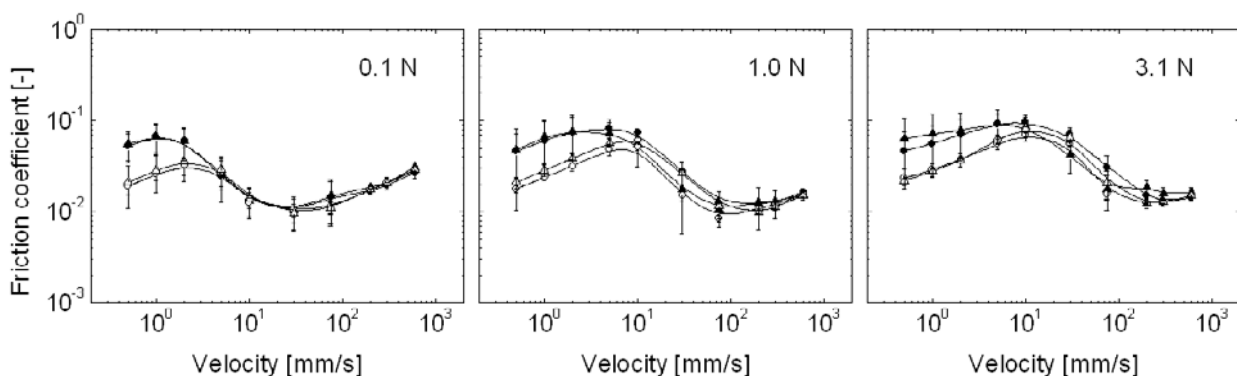


Figure 1 各垂直荷重(0.1 – 3.1 N)における医療合金の摩擦係数の違い。カウンターマテリアルはPVA-H、潤滑剤は純水(25°C)。●316L、▲CoCr、○NiTi、△TiMoSn

② University at Buffalo, The State University of New York

動脈瘤ネック部に留置されたステントのストラットの位置と動脈瘤に流れ込む血流および動脈瘤の病体変化の関係は、実験と数値シミュレーションの両面から研究されている。しかしネック部とストラットの相対位置が瘤内に流れ込む血流に重要となるにも関わらず、拍動などによるストラット位置の変化の可能性については考慮されていない。UBにおける実験では、このストラット位置の変化が起こるかどうかの検証をPVA-Hバイオモデルを用いて行う事を目的とした。

The State University of New Yorkの一つであるUBには、Toshiba Stroke Research Centerという循環器系疾患の先駆的な研究を推進する研究機関がある。この研究機関において脳動脈瘤を再現する実形状PVA-Hバイオモデルを作製し、この中にNeuroform 2とPipelineの2種類のステントを留置して、

Angiographyを用いてその挙動の観察を試みた。ステントの留置は、Toshiba Stroke Research Centerの共同研究先である”Harry M. Dent Neurologic Institute”という病院の脳外科医らに行ってもらった。通常のAngiographyの解像度は140 μm 程度であり、65 μm 程度の径であるステントストラットを観察するには不足である。そこでToshiba Stroke Research Centerはより高解像度の画像を従来のAngiographyで得るために、Micro-Angiographic Fluoroscope (MAF)と呼ばれるモジュールを開発した。このMAFを用いることで、40 μm 程度の解像度でAngiography画像を取得することができ、ステントストラットの観察が可能となる。

Pipelineは、その一部の径がPVA-Hバイオモデルのものよりわずかに小さいもの(0.5 mm)しか用意ができなかったが、留置には成功した。ステントを留置したバイオモデルは簡易な拍動ポンプと流量計および圧力計がセットされている流路に接続され、Centerが有する実験用のAngiographyに固定された。まずバイオモデルの実寸を計測するために、予めステントを留置する前にバイオモデル内腔部分にヨウ素系造影剤を含めて通常のAngiographyで撮影した。ステント留置後、ステントの位置や挙動を高解像度に観察するためにMAFを用いて画像を取得した(Fig. 2)。

ステントの大部分が壁に固定されているにも関わらず、固定されていないネック部が拍動に合わせて明らかに動いている様子が観察された。バイオモデルの形状が複雑なので血流やストラット位置等の定量的な評価はできないが、よりシンプルな形状のバイオモデルと流路システムを構築して、定量的な評価と動脈瘤成長に繋がる学術的な知見を得る事が求められる。

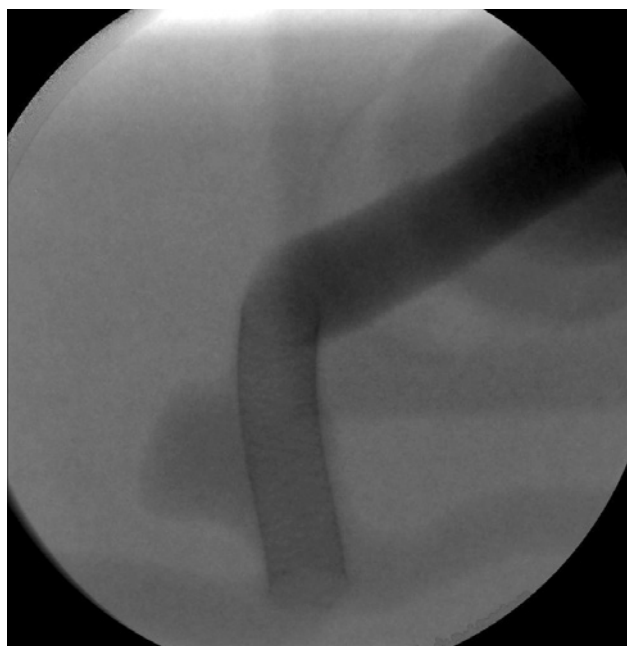


Figure 2 MAF撮影によるPVA-Hバイオモデル内部のパイプラインステントの様子。左下に動脈瘤があり、ステントストラットと瘤ネック部の位置関係が動的に変化する。

③ Massachusetts Institute of Technology

PVA-Hバイオモデルは、実際の血管と近似した動的粘弾性を有するが、大変形に伴うコンプライアンス特性に見られる非線形性はまだ実現できていない。これを実現するためにはPVA-Hに実際の血管壁が有するような多層構造と引張強さが大きい繊維による網目構造を付与する必要があると考えられる。MITにはマイクロ流路を用いて血管を構成する細胞と血液の生化学的な応答を研究するチームがある。同チームは、このマイクロ流路を応用してスパイダーシルクやコラーゲンタイプIを規則正しく射出する装置を開発しており、これを応用することでPVA-Hバイオモデルに非線形性を付与することが可能と思われる。今回の訪

問ではこれに関する共同研究の提案とディスカッションを行うに留まったが、近い将来それが実現し、大きな成果をもたらすものと期待できる。

④ Tohoku University

上述にあるグローバル回遊教育プログラムの他に、本学においてチューブ型PVA-Hバイオモデルの壁厚を制御する手法の開発を行った。血管モデルのようにモデルの厚さがバイオモデルの機能に影響を与える場合、その壁厚を制御する方法を確立することは重要となる。そこで、Dip-coating techniqueと呼ばれる手法に注目し、この理論を応用した3次元Spin Dip-coating システムの作製と評価を行った。Dip-coatingは鋳型を目的とする物質の溶液に浸し、一定の速度で引き上げることで溶液を鋳型に付着させた後、その溶液を乾燥させて目的とする物質の薄膜を積層する手法である。本研究で製作したシステムはこの溶液をPVAの溶液とし、化学的に除去可能な鋳型の表面に溶液を付着させ、引き上げ後の溶液の膜をそのままバイオモデルの壁とするものである。Dippingの引き上げ速度や溶液の粘度のパラメータスタディを行うことで、チューブ型バイオモデルが再現可能とする壁厚の範囲を特定した。結果として、本研究で製作した装置を用いることで、PVA-Hバイオモデルは30 μm から厚さを制御することができると分かった(Fig. 3)。また異なる力学的特性を持つ場合でも、壁厚の制御が同様に可能であることが示唆された。本件はすでに論文として投稿済みである。

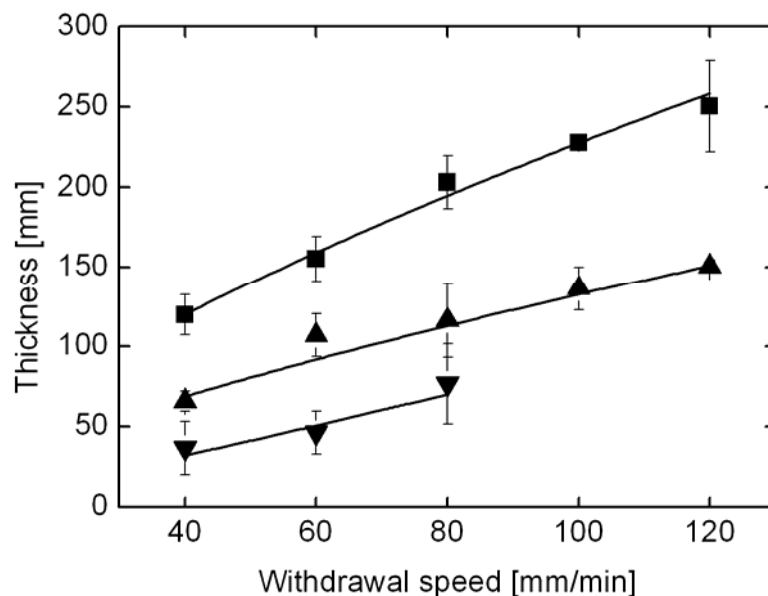


Figure 3 鋳型の引き上げ速度とチューブ型PVA-Hバイオモデルの壁厚の関係。溶液の粘度：■ 3000 mPa s、▲ 2000 mPa s、▼ 1000 mPa s

平成23年度 総括

半年間という短い間ではあったが、“グローバル回遊教育プログラム”はその短期間の中であっても多くの成果を残すことに成功したと言える。PVA-Hバイオモデルというキーワードを持って東北大学からスタートし、ECL、UB、MITという各々の分野で世界をリードする研究機関を回遊した。いずれの機関も大いにバイオモデルに興味を示し、お互いの質問が絶え間なく飛び交う日々が続いた。ECLのLTDSはトライボロジーに関しては世界をリードする機関だが、バイオモデルなどのソフトマターに関わる摩擦に多いに興味を示し、惜しまないバックアップを提供してくれた。それにより医療用デバイスの開発に大きく関わる可能性のある知見を得ることができた。このことにより招待講演を行うことができ、活発な議論が交わ

された。UBと東北大学の関わりは希薄であったが、今回の来研により血管内治療デバイスのシミュレーションモデル開発におけるPVA-Hバイオモデルの利用と、バイオモデル内部のステントの挙動観測と定量評価という可能性を見いだした。このことより今後の東北大学とUBの共同研究の可能性は多いに高まったといえる。MITではマイクロ流路を用いた数々の研究を散見し、様々なディスカッションを行うことで、バイオモデルに力学的特性を付与する方法が考案された。MITにおける成果は将来の共同研究の可能性を示すに留まったが、大きな成果へと繋がるものと期待される。また、本学において行ったチューブ型バイオモデルの壁厚制御に関する成果は、血管の力学的特性と形状を再現するバイオモデルを開発する上で大変重要なものである。

今後の研究計画

ECLで得られた成果は医療用デバイスの開発に貢献しうる非常に重要なものである。今回はPVA-Hディスクをカウンターマテリアル、純水を潤滑剤とした極めてシンプルな系で摩擦試験を行ったが、実際の生体組織では、ここに様々なタンパク質や糖鎖、血球等が存在する。そのため、本研究で行った実験系にタンパク質などが介在した場合の摩擦特性を調べて行く必要がある。具体的には潤滑剤にアルブミンなどを含めた場合の変化を追跡することから開始する。また、合金間で差を示す鍵と考えられるPVA-H表面の構造と摩擦特性との関係を詳細に調べて行く必要もある。これらを目的として、ハイドロゲルの表面を化学的に修飾し、その表面構造と摩擦特性の関係を調べることによって、デバイスと生体組織間の摩擦現象の解明を目指す。

実血管形状内部におけるステントの挙動は動的に変化し、それによって血流と病変部の病態の変化が起こりうる。UBにおける実験結果から推測される。この成果をデバイス開発や手術の手術向上に活かすためには、より定量的に解析を行う必要があり、そのためにはよりシンプルな実験環境において影響因子を調べることが重要である。例えば、一定の曲率を持つ曲り管と動脈瘤や狭窄部を有するモデルをPVA-Hで作製し、その内部にステントを留置して拍動を与え、血流とストラット位置の関係などを探索する。また、合金とソフトマターの摩擦特性も影響を及ぼす可能性があるため、前述の成果を鑑みてこれらの相関性を同時に調査する。上述の2件の研究はステントのみならず、体内で使用する全ての医療機器の開発にとって、重要な意味を持つ。

バイオモデルそのものの発展には、MITで取得したマイクロ流路の応用が有効であると予想する。まずはコラーゲンタイプIなどの生体高分子をエレクトロスピンニング法とマイクロ流路を組み合わせることでチューブ型バイオモデル壁に積層させ、非線形性を実現するための基本的な知見を得る。このときバイオモデルの壁厚は本学で作製したSpin Dip-coatingシステムを利用して制御する。また、複雑な形状を有する血管のあらゆる部位の壁厚を制御するため、Spin Dip-coatingシステムの改良にも着手する。これには引き上げの過程で液面における鑄型の面積に合わせて引き上げ速度を調節するという手法を適用させていく。体内で使用する医療デバイスの摩擦特性と挙動に関わる研究と、バイオモデルの力学的特性の改良は独立して進めていく。

研究業績

【学術雑誌等への発表】

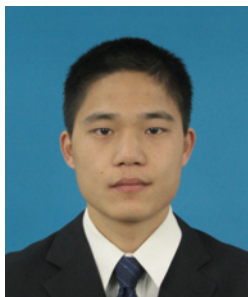
1. Hiroyuki Kosukegawa, Chihaya Kiyomitsu, Makoto Ohta, *Control of Wall Thickness of Blood Vessel Biomodel made of Poly (vinyl alcohol) Hydrogel by a Three-dimensional-rotating Spin Dip-coating Method*, Proceedings of the ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2011-64619, November (2011).

2. Shuya Shida, Hiroyuki Kosukegawa, Makoto Ohta, *Development of a Methodology for Adaptation of Refractive Index under Controlling Kinematic Viscosity for PIV*, Proceedings of the ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2011-64388, November (2011).

【学会発表】

【国際】

1. Hiroyuki Kosukegawa, Vincent Fridrici, Philippe Kapsa, Koshi Adachi, Makoto Ohta, European Conference on Biomaterials 2011, *Friction Behavior of Medical Metallic Alloys against Biomimetic Poly (vinyl alcohol) Hydrogel*, Dublin, Poster, September 7th, 2011.
2. Hiroyuki Kosukegawa, Vincent Fridrici, Philippe Kapsa, Boyko Stoimenov, Koshi Adachi, Makoto Ohta, International Tribology Conference 2011, *Friction of Medical Metallic Alloys on Soft Tissue Biomodel*, Hiroshima, Oral, November 3rd, 2011.
3. Hiroyuki Kosukegawa, Vincent Fridrici, Philippe Kapsa, Boyko Stoimenov, Koshi Adachi, Makoto Ohta, International Conference on Fluid Dynamics 2011, *Friction Analysis of Biometal on PVA Biomodel*, Sendai, Oral, November 11th, 2011.
4. Hiroyuki Kosukegawa, Chihaya Kiyomitsu, Makoto Ohta, ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, *Control of Wall Thickness of Blood Vessel Biomodel made of Poly (vinyl alcohol) Hydrogel by a Three-dimensional-rotating Spin Dip-coating Method*, Denver, Oral, November 17th, 2011.



氏名 汪 朋飛

所属 流体科学研究所

研究課題

Design of low friction systems with carbon-based coatings

研究背景

Nowadays, resource and energy saving, and reduction of carbon dioxide (CO₂) emission become more and more important for the construction of a sustainable society for our human beings. In mechanical engineering, the friction and wear of the sliding contact components is the key point for the loss of energy. Thus, low friction technology is strongly required in a variety of demanding mechanical systems, such as micro-electro-mechanical systems (MEMS) devices, space mechanism assemblies, and journal bearings. The achievement of low friction of the mechanical components will increase the reliability, durability, and performance characteristic of those systems. Therefore, carbon-based hard coatings (e.g. diamond-like carbon (DLC) coatings and amorphous carbon nitride (CN_x) coatings) which exhibit super-low frictions (i.e. <0.01) in high vacuum and/or inert gas environments (e.g. dry nitrogen) have attracted considerable attention as candidates to reduce the friction of those mechanical systems. However, the super-low friction of these carbon-based coatings is highly related to the testing gas environments. Particularly, the existence of oxygen and water molecules in the gas environments could cause tribochemical reactions on the contact interfaces and increase the friction, thus limiting their technological applications in the industrial field. Therefore, it is important to design low friction systems with carbon-based coatings that can sustain super-low friction in ambient environments for the future application of these coatings in the abovementioned advanced mechanical systems.

Recently, a hybrid coating process, combining radio frequency plasma enhanced chemical vapor deposition (RF PECVD) and DC magnetron sputtering has been successfully employed in preparing DLC and related coating materials. The advantage of this hybrid process, such as separately adjusting of the various deposition parameters (e.g. pressure, source gases, RF power, substrate self-bias voltage, target materials, and DC sputtering power) is beneficial for producing coatings with excellent mechanical and tribological properties. In this study, the unique hybrid coating process is introduced for synthesizing a new type of CN_x coatings. The main objective of this research is to develop CN_x coatings that can exhibit friction coefficients of less than 0.1 in nitrogen gas as well as ambient air. Besides, the low friction mechanisms of these CN_x coatings will also be studied from the viewpoint of composition and structural changes on the contact interfaces.

平成23年度 研究成果概要

(1) Preparation and characterization of CN_x coatings grown by hybrid coating process

CN_x coatings were prepared on Si (100) substrates using a unique hybrid coating process with the combination of RF PECVD and DC magnetron co-sputtering of graphite target at different N₂/Ar flow ratios. The coatings were deposited at a pressure of 1.3 Pa using a mixture of nitrogen and argon as a gas source with the N₂/Ar flow ratio varied from 0.05 to 10. During deposition, the substrate self-bias voltage induced by RF plasma and DC sputtering power were fixed at -400 V and 200 W, respectively.

CN_x coatings with various residual stress (2.3–4.4 GPa) and surface roughness (0.10–0.43 nm) were obtained. Those properties were greatly affected by the N₂/Ar flow ratios. However, the friction behaviors of the CN_x coatings seemed not affected by the N₂/Ar flow ratio. The friction coefficients of CN_x coatings sliding against AISI 52100 pins in air and N₂ gas stream were 0.17–0.19 and 0.33–0.42, respectively, as shown in Fig. 1. The analyses of the worn surfaces from optical microscopy (Fig. 2) and Raman spectroscopy (Fig. 3) suggested that the friction behaviors of the CN_x coatings are mainly controlled by the tribo-films on the pin surfaces. The moderate frictions (0.17–0.19) in air can be attributed to the formation of a polymer-like carbon tribo-film. The high frictions (0.33–0.42) in N₂ gas stream are due to the directly sliding between CN_x coating and steel pin surface.

Considering about the worn surfaces in N₂ gas stream, graphite-like structure was formed on the pin surface, but it was not sufficient to lubricate the sliding contact. On the other hand, the super-low frictions of CN_x coatings prepared by ion beam assisted deposition (IBAD) technique in inert gases have been obtained with the formation of graphite-like structures on both ball and disk surfaces in the ball-on-disk tribosystem. It can be inferred that the formation of graphite-like structures on both mating surfaces of sliding contact are necessary for achieving the low friction of CN_x coatings in inert gases. Furthermore, it is suggested that the formation of graphite-like structure on the top layer of CN_x coating strongly depends on the microstructure of the CN_x coating, which is related to the fabrication methods and deposition parameters. Further studies are required to address the optimum microstructure for achieving the low frictions of CN_x coatings in inert gases.

The summary of this work has been submitted to Applied Surface Science for publication.

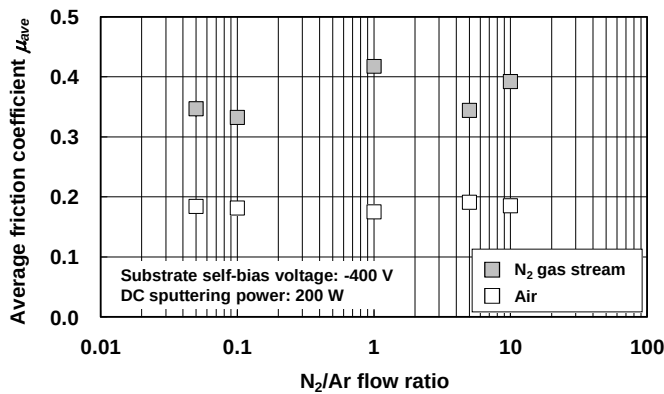


Fig. 1 Average friction coefficients of CN_x coatings sliding against AISI 52100 pins in air and N₂ gas stream.

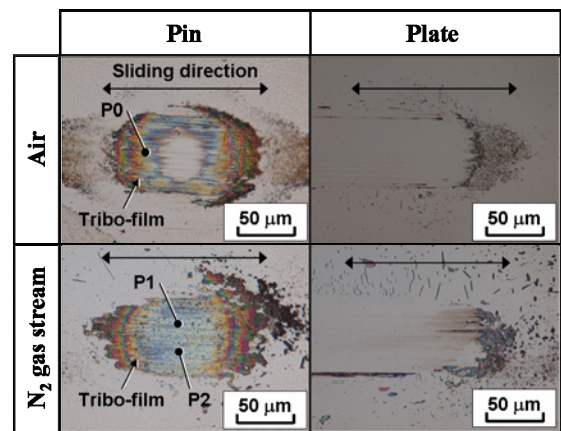


Fig. 2 Optical images of worn surfaces on the pins and plates (N₂/Ar=0.1) after friction tests in air and N₂ gas stream. The typical locations on tribo-films for Raman analysis are marked with P0, P1, and P2.

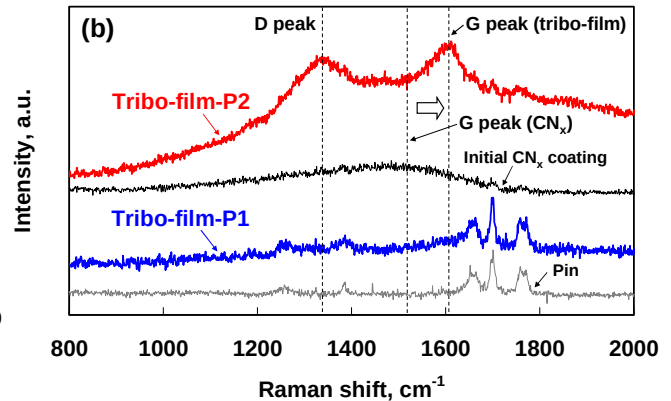
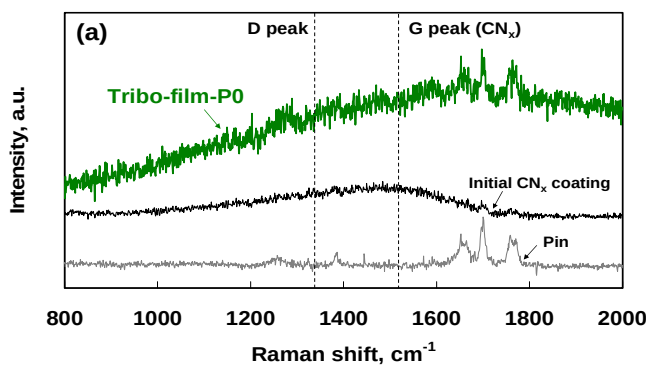


Fig. 3 Typical Raman spectra of tribo-films on the AISI 52100 pin surfaces after sliding against CN_x coatings (N₂/Ar=0.1) in (a) air and (b) N₂ gas stream. The spectra of initial CN_x coating and AISI 52100 pin are also shown for reference.

(2) Optimization of the CN_x coatings grown by hybrid coating process

In order to achieve the low friction of less than 0.1 in N₂ gas stream with the hybrid CN_x coatings, we produced CN_x coatings using the hybrid coating process with N₂/Ar flow ratio of 0.1 under different substrate self-bias voltage (-400 V, -800 V) and DC sputtering power (100 W, 200 W). The friction behaviors of the hybrid CN_x coatings produced under different substrate self-bias voltage and DC sputtering power are shown in Fig. 4(a). It can be seen that the friction coefficients of CN_x coatings in air and N₂ gas stream were decreased with decreasing DC sputtering power and substrate self-bias voltage. Moreover, friction coefficient in N₂ gas stream was greatly decreased from 0.33 to 0.12 by using CN_x coating produced under substrate self-bias voltage of -800 V and DC sputtering power of 100 W. Therefore, that CN_x coating was applied for further decrease of the friction coefficient in N₂ gas stream.

According to the previous research, the ceramics pins (Si₃N₄ and SiC) have been clarified to be beneficial for the achievement of super-low friction of the IBAD CN_x coatings in inert gas environments. Therefore, the effect of mating pin materials (i.e. AISI 52100, Si₃N₄, and SiC) on the friction behaviors of hybrid CN_x coatings was studied and the corresponding result is shown in Fig. 4(b). Interestingly, low friction coefficient of 0.05 was obtained in N₂ gas stream by using the sliding contact of SiC / CN_x. The low frictional performance of the hybrid CN_x coatings in N₂ gas stream was confirmed, which is very helpful for the understanding of the low friction mechanism of CN_x coatings, produced both by IBAD and hybrid coating process, in nitrogen gas environments. The clarification of low friction mechanisms of the hybrid CN_x coatings in N₂ gas stream is now ongoing.

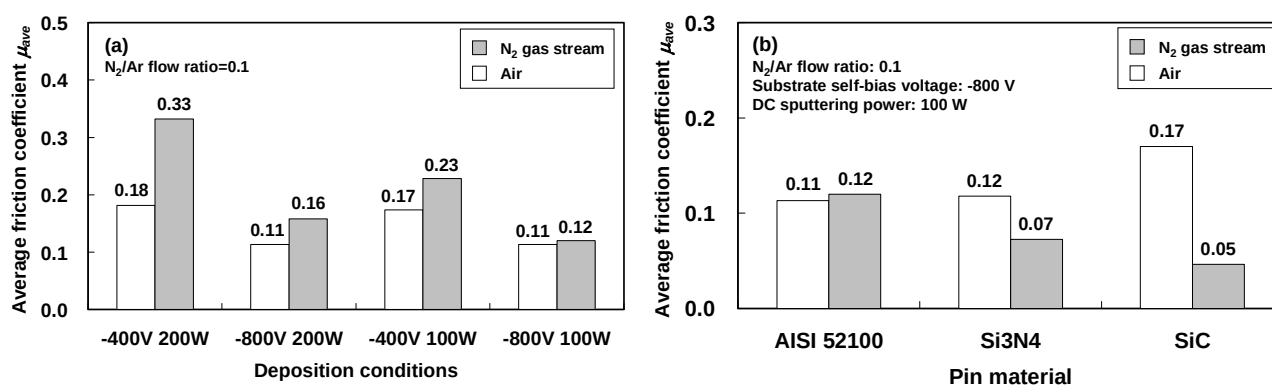


Fig. 4 Average friction coefficients of hybrid CN_x coatings in air and N₂ gas stream. (a) CN_x coatings produced under different substrate self-bias voltage and DC sputtering power. (b) CN_x coatings sliding against different pin materials.

平成23年度 総括

(1) CN_x coatings have been successfully prepared by using a unique hybrid coating process with the combination of RF PECVD and DC magnetron co-sputtering of graphite target at different N₂/Ar flow ratios.

(2) The mechanical and tribological properties of those hybrid CN_x coatings have been examined, and

the friction mechanisms of the CN_x coatings have been proposed. It was found that the growth rate, residual stress, and surface morphology of CN_x coating were greatly affected by the N_2/Ar flow ratio. However, friction behaviors of these CN_x coatings in N_2 gas stream and air were independent of the N_2/Ar flow ratio. According to the optical images and Raman analysis, it is strongly argued that the frictions of CN_x coatings are mainly controlled by the tribo-films on the mating surfaces. Specifically, the moderate frictions (0.17–0.19) in air can be attributed to the formation of a polymer-like carbon tribo-film. The high frictions (0.33–0.42) in N_2 gas stream are due to the directly sliding between CN_x coating and steel pin surface.

(3) Low friction coefficient of 0.05 has been obtained in hybrid CN_x coating produced under substrate self-bias voltage of -800 V and DC sputtering power of 100 W when sliding against SiC ball in N_2 gas stream. The tribological properties of the hybrid CN_x coatings have been optimized by producing CN_x coatings under different substrate bias voltage and DC sputtering power as well as sliding against different pin materials (AISI 52100, Si_3N_4 , and SiC). Optimum CN_x coating that exhibited low friction coefficient of 0.05 in N_2 gas stream has been prepared with the substrate self-bias voltage and DC sputtering power of -800 V and 100 W at N_2/Ar flow ratio of 0.1. The clarification of the low friction mechanism was still in process, and part of this work will be collaborated with Dr. Julien Fontaine in Ecole Centrale de Lyon, France.

今後の研究計画

(1) To further clarify the low friction mechanisms of CN_x coatings in nitrogen gas from the viewpoint of the composition and structure of the coating itself. The low friction coefficients in nitrogen gas have been obtained by using CN_x coatings grown by both IBAD and hybrid process, even the composition and structure of these two types of CN_x coatings are different. Therefore, we plan to clarify the low friction mechanisms of CN_x coatings by systematic comparison of these two types of CN_x coatings. The final target is to clarify the key points in the composition and structure of the CN_x coatings which can control the low friction behavior of the coatings. This research will be conducted with the collaboration with Professor Koshi Adachi in Department of Nanomechanics, Tohoku University and Dr. Julien Fontaine in Ecole Centrale de Lyon, France.

(2) To achieve the low friction coefficient of CN_x coatings in ambient environments by the incorporation of silicon element into CN_x coatings. The incorporation of silicon as well as other metals (such as Ti, Al, and Ir) into DLC coatings has been clarified to be effective in reducing the sensitivity of friction to environments. Low friction coefficients of less than 0.1 or even 0.01 have been obtained in ambient air with those doped DLC coatings. Therefore, we plan to get the low friction coefficient in ambient environments with the silicon doped CN_x coatings. In addition, the role of silicon in the low frictional performance of Si- CN_x coatings will be discussed.

(3) To develop fatigue detecting sensor with metal-containing DLC coatings. In order to avoid the serious failure of the pipes in the power plant and cut down the cost for replacing the pipes as well, monitoring sensors are strongly required. The advantages of sensors with metal-DLC nanocomposite coatings, such as directly fabrication in the monitoring place, small scale, low cost, and chemical stability (high corrosion resistance) make them good candidates in the monitoring sensor application. Therefore, the objective of this study is to develop metal-containing DLC coatings for fatigue detecting

sensor. We plan to fabricate fatigue sensors using different metal-DLC coatings (e.g. Al, Ni) with different metal concentrations (i.e. low, middle, and high). The fatigue properties of these sensors will also be clarified by using vibration test.

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. **Pengfei Wang**, Koshi Adachi, Effect of oxygen concentration in inert gas environments on the friction and wear of CN_x coatings, Tribology Online, 6 (2011) 265–272.
2. **Pengfei Wang**, Takanori Takeno, Koshi Adachi, Hiroyuki Miki, Toshiyuki Takagi, Preparation and tribological characterization of amorphous carbon nitride coatings in a RF PECVD-DC PVD hybrid coating process, Applied Surface Science, under review.

【学会発表】

【国際】

1. **Pengfei Wang***, Takanori Takeno, Koshi Adachi, Hiroyuki Miki and Toshiyuki Takagi, Preparation and tribological characterization of carbon nitride coatings in a RF PECVD-DC PVD hybrid coating process, The Eighth International Conference on Flow Dynamics (ICFD 2011), pp.654–655, Sendai, Japan, November 9-11, 2011 (oral).
2. Takanori Takeno*, Masaki Sawano, **Pengfei Wang**, Hiroyuki Miki and Toshiyuki Takagi, Deposition and tribological behavior of amorphous silicon-carbon coatings, The Eighth International Conference on Flow Dynamics (ICFD 2011), pp.652–653, Sendai, Japan, November 9-11, 2011 (oral).
3. **Pengfei Wang***, Masaaki Hirose, Yoshinobu Suzuki and Koshi Adachi, Tribo-layer for super-low friction of carbon nitride coatings in inert gas environments, International Tribology Conference, Hiroshima 2011 (ITC Hiroshima 2011), D2-09, Hiroshima, Japan, October 30 - November 3, 2011 (oral).

【受賞等】

2011年度日本トライボロジー学会奨励賞(Outstanding Young Researcher Award in the Japanese Society of Tribologists)、日本トライボロジー学会、2012年5月15日

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 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。

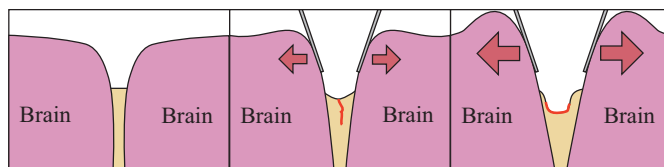


図 1 脳外科手術における鈍的剥離操作例

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。

条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] 条直人, 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23年度 研究成果概要

このような背景のもと、平成22年度までの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を構築した。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ている。本年度は寒天や生体を用いた実験により構築したシミュレーションの評価を行った。また、64bitPC環境下におけるシミュレーションの並列化を行い、シミュレーション時間の計測を行った。

まず初めに、寒天を用いた評価実験を行った。寒天はファントム材料の一つとして知られており、脳の代替モデル作成によく用いられる。寒天を用いて行った三つの評価実験について以下に述べる。一つ目の評価実験では平板モデルを用いて実験およびシミュレーションで観察される破壊形状の評価を行った。本実験では、平板に存在する穴の内壁に強制変位を与え、破壊を生じさせる。実験結果およびシミュレーション結果を以下に示す。両結果において弓状の破壊の進展が観察された。

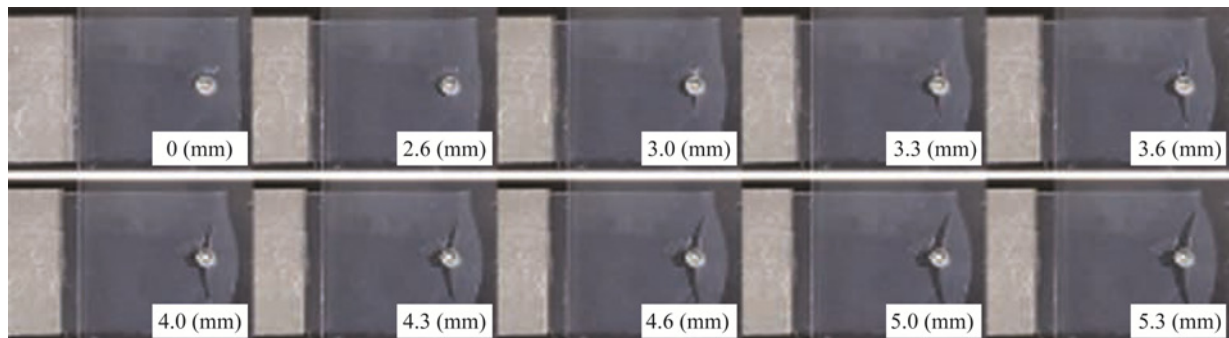


図 2 実験結果（平板モデル）

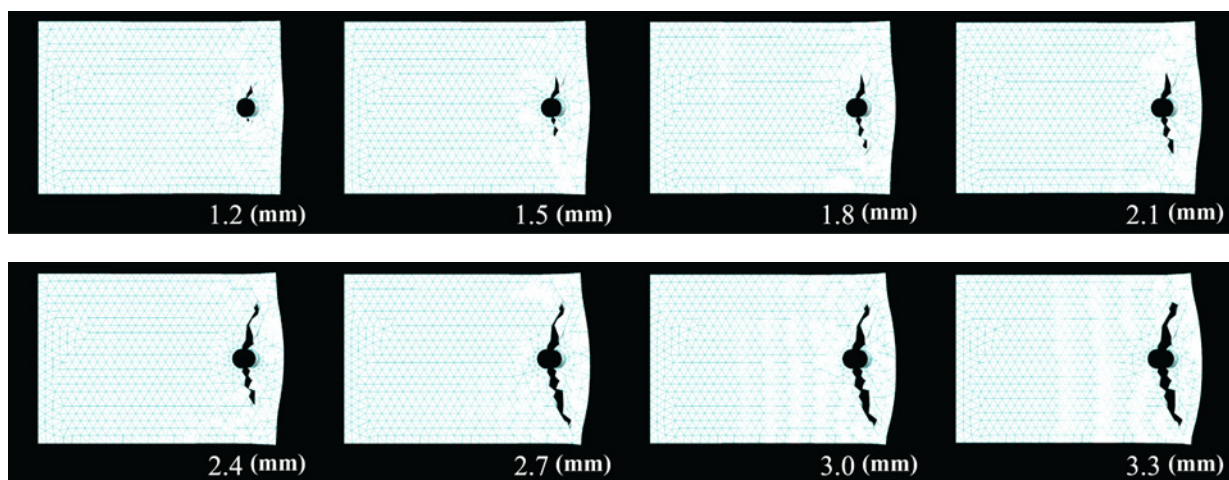


図 4 シミュレーション結果（平板モデル）

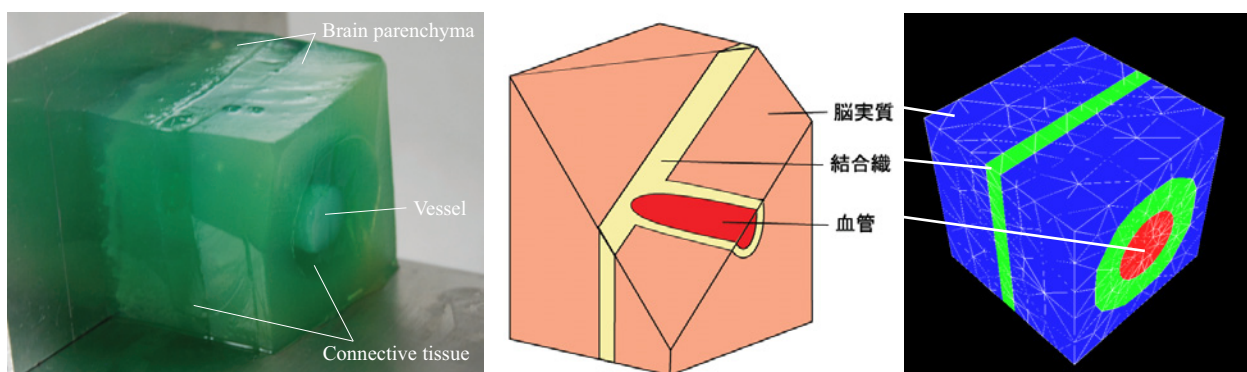


図 3 解剖学的異方性モデル

二つ目の評価実験では図4に示すように複数の組織を含む解剖学的異方性モデルに対し、強制的に血管モデルに垂直な引張変位を加えた。実験結果及びシミュレーション結果を以下に示す。シミュレーション結果は組織ごとに色分けされている。いずれの結果においても最も軟らかく設定された結合組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。

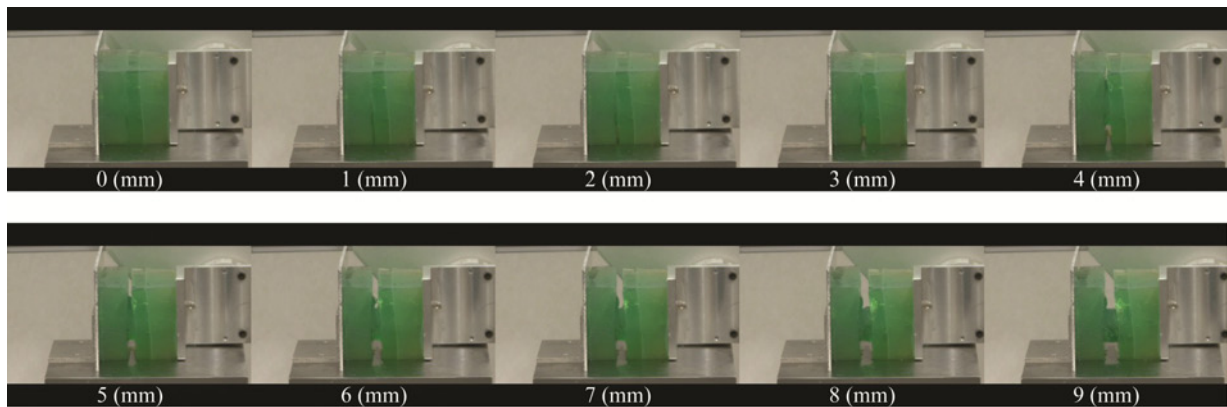


図 5 実験結果（解剖学的異方性モデル）

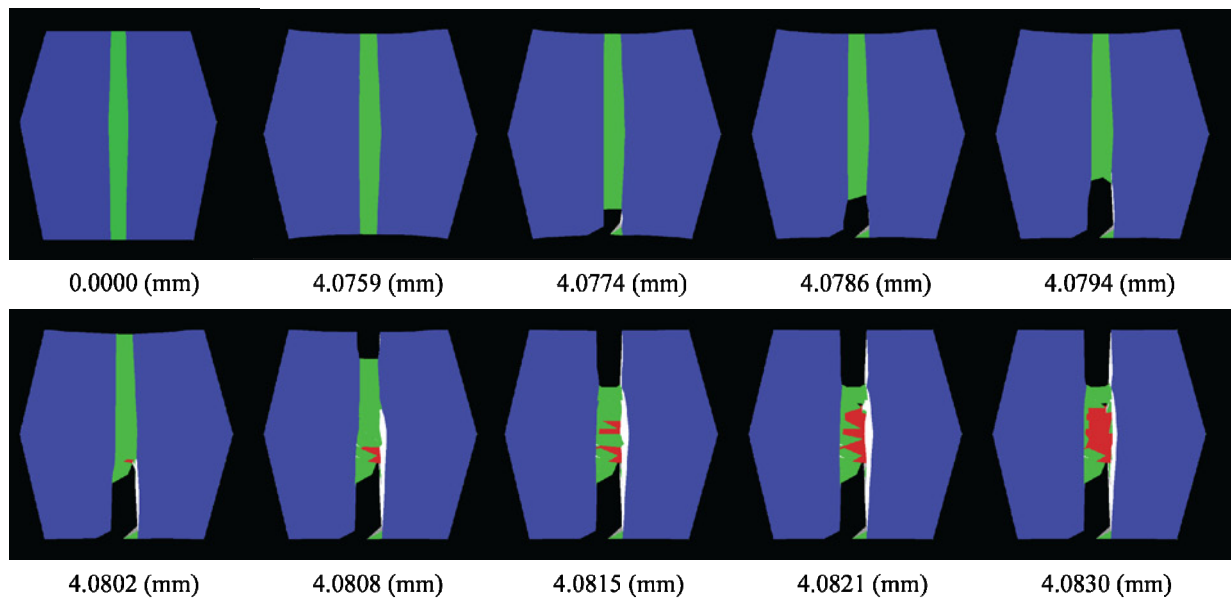


図 6 シミュレーション結果（解剖学的異方性モデル）

三つ目の実験では図7に示すような角柱の破壊実験及びシミュレーションを行い、その時に生じる力について比較を行った。硬さの異なる二種類の試験片A、Bを作成し、それぞれに対する破壊実験および、破壊応力をヤング率の10%に設定したシミュレーション（A, B1）、23%に設定したシミュレーション（B2）を行った。図8に実験およびシミュレーションにおける力の履歴を示す。軟らかい試験片Bにおいて破壊応力をヤング率の23%という条件下で実験結果とシミュレーションが良く一致した。

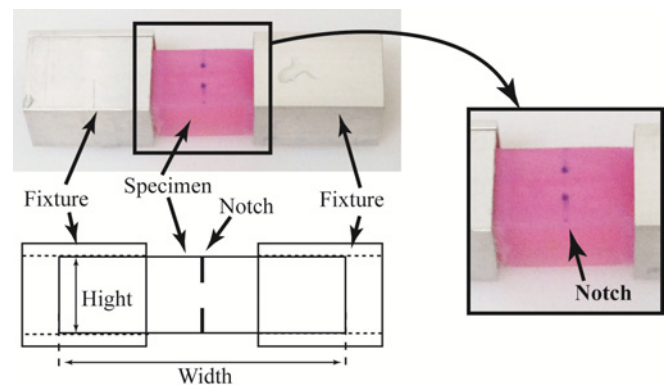


図 7 角柱モデル

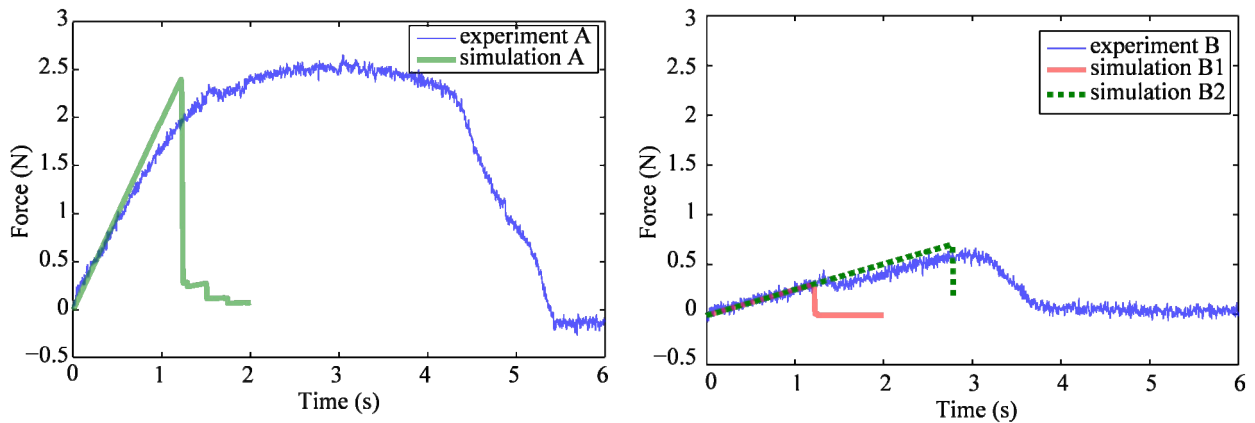


図 8 実験結果およびシミュレーション結果の比較（角柱モデル）

次に生体組織を用いた実験とそのシミュレーションとの比較について述べる。生体組織を用いた実験では豚の肝臓を用いた破壊実験および豚の脳を用いた脳裂開放実験を行った。

肝臓の破壊実験では、図9に示すようにくびれを持つ角柱状に切り出した試験片に対し、引張方向の強制変位を加えた時の力の履歴とシミュレーションによって計算された力が一致するようなシミュレーションパラメータを同定した。

脳裂開放実験では図10に示す実験装置を用いて、豚脳の脳へらと接している部分に対しx軸負方向の強制変位を繰り返し与えた。この時の力および強制変位量の履歴を図11に示す。一度目と二度目以降の強制変位時の力のピーク値に大きな差が見られた。これは脳裂に生じた破壊の影響と考えられる。

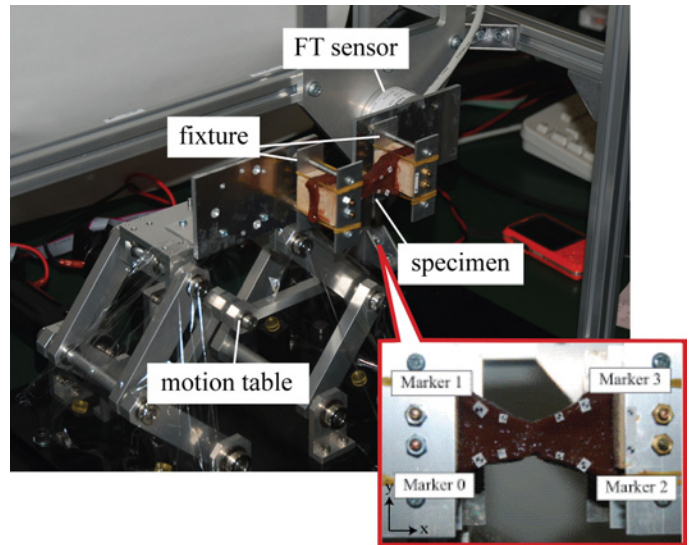


図 9 肝臓破壊実験装置と試験片

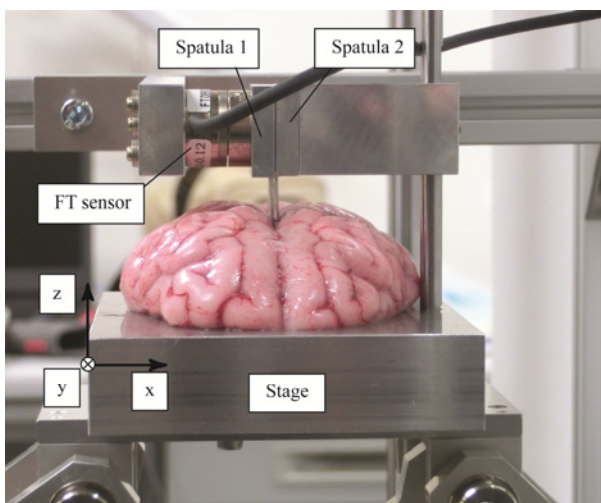


図 10 脳裂開放実験装置

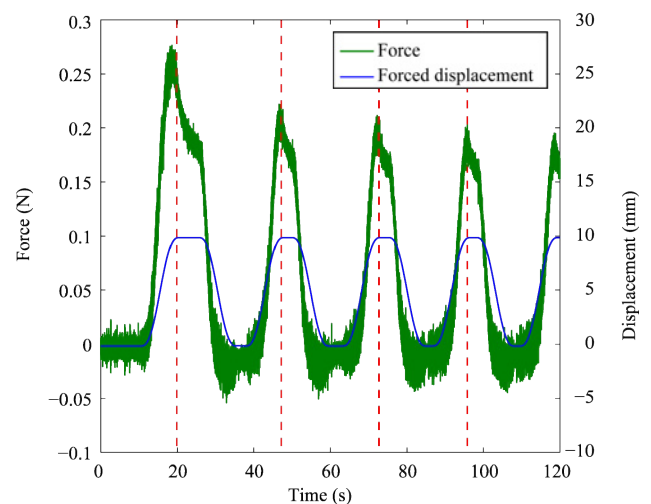


図 9 脳裂開放実験結果

さらに、あらかじめ同定しておいたくも膜のシミュレーションパラメータを用いて脳裂開放をシミュレーションにて再現した。この時のFEMモデルおよび力の履歴を以下に示す。実験同様に一度目と二度目の強制変位におけるピーク差が観察されたが、ピークの値など実験との相違点も多く更なるパラメータ調整の余地があると思われる。

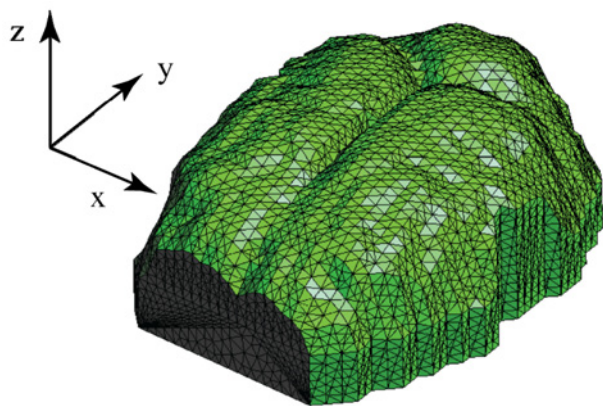


図 10 豚脳 FEM モデル

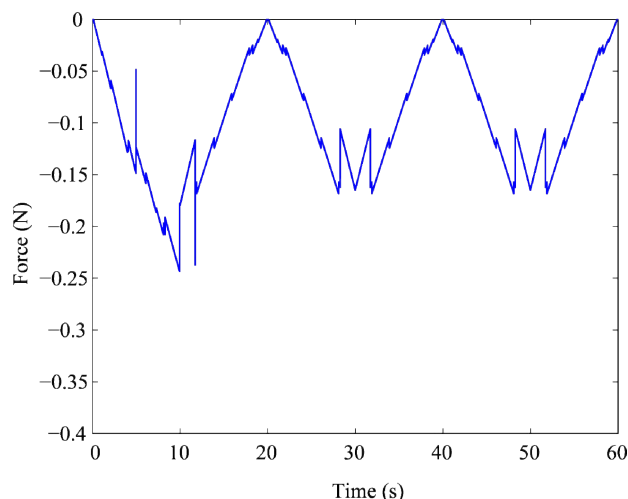


図 11 脳裂開放シミュレーション結果

平成23年度 総括

寒天や生体組織を対象とした破壊実験とそれらを再現したシミュレーションの比較により、構築したシミュレーションの評価を行った。さらに、シミュレーションに必要な脳組織の各パラメータを同定し、脳裂開放シミュレーションを実現した。現在、ハプティックインタフェースと接続したシミュレータとしての評価に向け準備を進めている。

研究発表の機会として本年度は2本の国際学会発表、1本の国内学会発表を行った。3月末までにさらに1本の国際学会への投稿を予定している。

次年度研究計画

本年度は生体組織を用いた実験により構築したシミュレーションの評価を行ってきた。破壊が生じる強制変位量や破壊時に生じる外力のピーク値などにおいて実験とシミュレーションの結果が良く一致した一方、破壊が生じた後に測定された外力の履歴は実験とシミュレーションで大きく異なった。これらの挙動を再現するため、生体の粘性によるエネルギー損失などを破壊指標に組み込むことなどを検討している。

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. **Masano Nakayama**, Satoko Abiko, Xin Jiang, Atsushi Konno and Masaru Uchiyama: “Stable Soft Tissue Fracture Simulation for Surgery Simulator,” Journal of Robotics and Mechatronics, vol. 23, no. 4, pp. 589-597, Aug. 2011.

【学会発表】

【国内】

1. 中山雅野, 辻田哲平, 陳曉帥, 姜欣, 近野敦, 内山勝: “生体軟組織破壊シミュレーションの検証”, 生体医工学シンポジウム2011講演予稿集, 2-5-7, 2011年9月.
2. 辻田哲平, 佐瀬一弥, 小原学, 近野敦, 中山雅野, 阿部幸勇, 内山勝: “MR流体により生体軟組織切断感覚を提示するハプティックインタフェースの開発”, 第29回ロボット学会学術講演会予稿集, 3L1-6(2011.9).
3. 陳曉帥, 中山雅野, 辻田哲平, 近野敦, 内山勝: “軟組織動的モデルを用いた手術シミュレーションの

検証実験”，第29回ロボット学会学術講演会予稿集，3C2-3(2011.9).

4. 佐瀬一弥，陳曉帥，富田将茂，辻田哲平，近野敦，**中山雅野**，阿部幸勇，内山勝：“MR流体により力覚提示する手術シミュレータの開発” 第12回SICEシステムインテグレーション部門講演会論文集，2I2-4, 2011.

【国際】

1. **Masano Nakayama**, Atsushi Konno, Xin Jiang, Satoko Abiko and Masaru Uchiyama: “Linear Elastic Fracture Model for Brain Surgery Simulation,” Proceedings of AIM 2011, pp. 333-338, 2011.
2. **Masano Nakayama**, Xin Jiang, Satoko Abiko, Atsushi Konno and Masaru Uchiyama: “Verification of Blunt Dissection Simulation for Brain Surgery,” The Eighth International Conference on Flow Dynamics, pp. 520-521, 2011.
3. Xiaoshuai Chen, **Masano Nakayama**, Teppei Tsujita, Xin Jiang, Satoko Abiko, Koyu Abe, Atsushi Konno and Masaru Uchiyama: “Identification of Physical Properties of Swine Liver for Surgical Simulation Using a Dynamic Deformation Model,” Proceedings of SI International 2011.



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

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

研究背景

現在、世界各国の宇宙機関において、月や惑星の探査およびその利用が議論されており、その内部構造の解明や有用資源の調査が検討されている。このような探査を達成するため、地表面を走行する移動探査ロボット(ローバ)は必要不可欠な科学技術であり、我が国の進める次期月探査計画においてもその活躍が期待されている。

しかしながら、月や惑星の表面は、細かい砂(軟弱地盤)で覆われており、クレータの縁には、多数の急斜面が存在する。このような環境下でローバを用いた探査を行う場合、移動機構が砂に埋もれてしまい、走行が困難になることが懸念される。このような事態を回避するため、惑星探査ローバの設計段階では、移動機構の幅、径、重量、表面形状などパラメータがローバの走行に及ぼす影響を踏まえ、最適な移動機構のパラメータを決定する必要がある。そのため、軟弱地盤における移動機構の走行性能を推定することは、非常に重要な事項である。

これまで、軟弱地盤における車輪型ローバの走行性能に関する研究は、テラメカニクス(地盤と機械の相互関係を扱う学問)を基に行われてきた。これらの研究では、車輪のスリップや車輪に発生する応力分布を基に車輪の駆動力モデルが導出されており、この駆動力モデルを用いて、必要な駆動力に対する車輪のスリップが推定されている。ここで、テラメカニクスにおける駆動力モデルは、車輪が平坦な路面を走行することを仮定して導出されているが、平坦な路面と斜面において、車輪が等しい駆動力を生み出せるかは明確ではない。そこで、斜面を走行する車輪のスリップを正確に推定するため、斜面上で車輪が生み出す駆動力についての検証が必要である。

さらに、少ないスリップで必要な駆動力を生み出すため、惑星探査ローバの移動機構の表面には、「ラグ」と呼ばれる突起が取り付けられている。しかしながら、従来のテラメカニクスでは、重機などの大型車両が主な研究対象であったため、ラグの影響は過小評価されてきた。このため、現状、既存の駆動力モデルから、惑星探査ローバの移動機構に関する設計指針を得ることは困難である。そこで、移動機構に関する設計指針を与えるため、移動機構の駆動力にラグが及ぼす影響の定量的な評価、さらには、ラグを有する移動機構の新たな駆動力モデルの構築が必要不可欠である。

平成23年度 研究成果概要

上記の研究背景を踏まえ、平成23年度、報告者は、**【A】軟弱地盤で覆われた斜面を走行する車輪が生み出す駆動力の検証**、ならびに**【B】軟弱地盤における惑星探査ローバの駆動力に車輪/クローラ表面形状(ラグ)が及ぼす影響の評価**という2つの要素研究を行った。以下、各要素研究の詳細を記す。

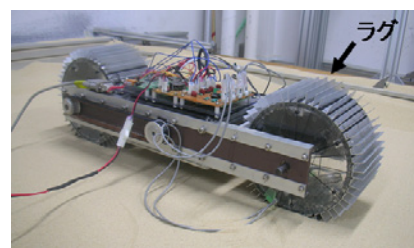


図1：2輪型ローバ

【A】軟弱地盤で覆われた斜面を走行する車輪が生み出す駆動力の検証

軟弱地盤で覆われた斜面を走行する車輪が生み出す駆動力について検証するため、実験に基づく走行性能解析を行った。そのため、図1に示す車輪が交換可能な2輪型ローバ、および様々な表面形状の車輪を利用した。

まずは、平坦な路面および斜面上で車輪が生み出す駆動力を比較するため、けん引走行実験および斜面走行実験を行った。けん引走行実験とは、平坦な路面でローバが重りをけん引しながら走行する実験であり、重りの質量を調整することで、ローバには斜面走行時と同一の駆動力を生み出すことが要求される。けん引走行実験および斜面走行実験において、車輪が同一駆動力を生み出す際のスリップの様子を測定した。

上記実験により、平坦な路面と斜面において、ラグのない車輪が同一駆動力を生み出す際のスリップは、ほぼ等しいこと確認した(図2)。この結果を踏まえ、報告者は、一般に実験が困難である斜面走行実験を行うことなく、けん引走行実験に基づき、斜面における車輪の駆動力を推定する新たな手法を構築した。

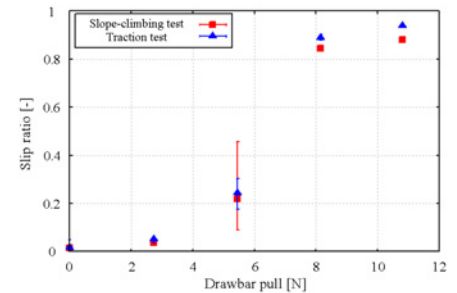


図2：平坦な路面と斜面の車輪スリップ

【B】軟弱地盤における惑星探索ローバの駆動力に車輪/クローラ表面形状が及ぼす影響の評価

【B-1】車輪機構の駆動力に車輪表面形状(ラグ)が及ぼす影響

車輪機構の駆動力にラグが及ぼす影響を評価するため、ラグの高さおよび本数を変化させた車輪を搭載した、2輪型ローバ(図1)を用いて斜面走行実験を行った。具体的には、傾斜角を変化させた屋内砂場フィールドで走行実験を行い、車輪のスリップの様子を測定した。

上記実験から、ラグが車輪機構の駆動力に及ぼす影響を定量的に示し、これまで過小評価されてきた、車輪に対するラグ本数の最適化の重要性を明確にした。さらに、実験結果を踏まえ、ラグの効果をモデル化することにより、これまで設計指針が存在しなかった、車輪に対する最適なラグ本数を理論的に決定することを可能とした。

【B-2】クローラ機構の走行性能にクローラ表面形状(ラグ)が及ぼす影響

クローラ機構の駆動力にラグが及ぼす影響を評価するため、ラグの高さおよび本数を変化させたクローラを搭載した、クローラ型ローバ(図3)を用いて斜面走行実験を行った。車輪実験同様に、傾斜角を変化させた屋内砂場フィールドで走行実験を行い、クローラのスリップの様子を測定した。実験より、ラグ本数がクローラ機構の走行性能に及ぼす影響はわずかであることを明らかにし、ラグ本数を減らすことによる、ローバの軽量化を可能にした。

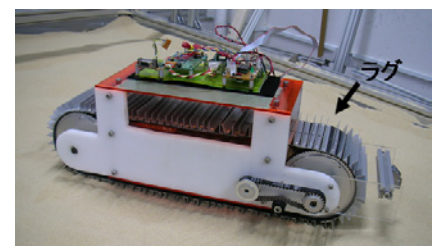


図3：クローラ型ローバ

さらに、テラメカニクスにおける駆動力モデルを基に、軟弱地盤におけるクローラ型ローバの走行性能解析シミュレータを開発し、上記実験とシミュレーション結果の比較から、開発したシミュレータの有用性を確認した。我が国が計画する次期月探査計画におけるローバの移動機構として、クローラ機構が候補に挙げられており、報告者が開発したクローラ型ローバの走行性能解析シミュレータは、次期月探査ローバの設計に大きく貢献することが期待できる。

平成23年度 総括

平成23年度、報告者は、【A】軟弱地盤で覆われた斜面を走行する車輪が生み出す駆動力の検証、ならび

に【B】軟弱地盤における惑星探査ローバの駆動力に車輪/クローラ表面形状(ラグ)が及ぼす影響の評価という2つの要素研究を行った。

【A】の要素研究において、報告者は、ラグのない車輪は、平坦な路面と斜面において等しい駆動力を生み出すことを確認した。この結果を踏まえ、一般に実験が困難である斜面走行実験を行わず、けん引走行実験に基づき、斜面における車輪の駆動力を推定する手法を構築した(研究業績(2)-3, (2)-13)。

【B】の要素研究における【B-1】として、ラグの高さおよび本数を変化させた2輪型ローバを用いた斜面走行実験を基に、ラグが車輪機構の駆動力に及ぼす影響を定量的に評価した。これにより、これまで過小評価されてきた、車輪に対するラグ本数の最適化の重要性を明確にした(研究業績(1)-1, (2)-1, (2)-11)。また、車輪に対するラグの効果をモデル化することにより、これまで設計指針が存在しなかった、車輪に対する最適なラグ本数を理論的に決定することを可能とした(研究業績(2)-4)。

【B】の要素研究における【B-2】として、ラグの高さおよび本数を変化させたクローラ型ローバを用いた斜面走行実験を基に、ラグがクローラ機構の走行性能に及ぼす影響を定量的に評価した。これにより、ラグ本数がクローラ機構の走行性能に及ぼす影響はわずかであることを明らかにし、クローラ型ローバの軽量化を可能とした(研究業績(2)-2)。さらに、軟弱地盤におけるクローラ型ローバの走行性能解析シミュレータを開発した。報告者が開発したシミュレータは、我が国が計画する次期月探査計画におけるクローラ型ローバの設計に大きく貢献することが期待できる(研究業績(2)-5, (2)-14)。

次年度研究計画

平成23年度の研究から得られた知見を踏まえ、次年度は、軟弱地盤におけるラグを有する車輪/クローラの駆動力モデルを構築し、新たな駆動力モデルを適用した走行性能解析シミュレータを開発する。この研究は、以下の要素研究に分割される。

【A】軟弱地盤におけるラグを有する車輪/クローラの駆動力モデルの構築

報告者のこれまでの研究において、ラグの高さおよび本数を変化させた車輪/クローラによる斜面走行実験から、ラグの高さや本数の変化によって、ラグが土壌を押し退ける力(ブルドーピングフォース)が大きく変化することを確認した。そこで、これらのラグの高さや本数とブルドーピングフォースの関係を基に、ブルドーピングフォースを精度良く推定し、ラグを有する車輪/クローラの駆動力モデルを新たに構築する。

【B】新たな車輪/クローラ駆動力モデルを用いた走行性能解析シミュレータの開発

報告者の研究グループで開発された既存の車輪駆動力モデルを利用した軟弱地盤における車輪型ローバの走行性能解析シミュレータ、および報告者がこれまでの研究で開発したクローラ型ローバの走行性能解析シミュレータに対し、【A】で提案する新たな駆動力モデルを適用したシミュレータを開発する。このシミュレータにより、車輪/クローラの幅、径、重量、表面形状などのパラメータを変化させた際の車輪/クローラが生み出す駆動力を解析することが可能となる。

さらに、報告者のこれまでの研究で得られた、異なる傾斜角における車輪/クローラのスリップを本研究で構築するシミュレータによる推定結果と比較することで、提案する駆動力モデルの妥当性について検証する。

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:

【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 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
2. 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
3. 日本機械学会 第 12 回 運動と振動の制御シンポジウム、須藤真琢、永谷圭司、吉田和哉、“軟弱地盤における車輪型移動ロボットの走行性能に車輪表面形状が及ぼす影響の評価”、口頭発表、2011 年 6 月
4. 日本機械学会 第 12 回 運動と振動の制御シンポジウム、猪爪宏彰、須藤真琢、永谷圭司、吉田和哉、“車体の重心移動が移動ロボットの軟弱地盤横断時の走行性能に与える影響の評価”、口頭発表、2011 年 6 月発表
5. テラメカニクス研究会 第 32 回 テラメカニクス研究会、須藤真琢、永谷圭司、吉田和哉、“軟弱地盤における惑星探査ローバーの移動機構に関する研究”、口頭発表、2011 年 11 月
6. 日本機械学会 第 17 回 ロボティクスシンポジウム、須藤真琢、永谷圭司、吉田和哉、“テラメカニクスに基づくクローラ型移動ロボットの走行性能解析”、口頭発表、2012 年 3 月(発表予定)

【国際】

7. The 17th International Society of Terrain Vehicle Systems International Conference, Masataku Sutoh, Keiji Nagatani, Kazuya Yoshida, “Evaluation of influence of surface shape of wheel on traveling performance of planetary rovers over slope”, 口頭発表, 2011 年 9 月
8. The 8th International Conference on Flow Dynamics, Masataku Sutoh, Keiji Nagatani, Kazuya Yoshida, “Traveling performance evaluation of various planetary rover locomotion mechanisms”, 口頭&ポスター発表, 2011 年 11 月
9. 2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Masataku Sutoh, Ryosuke Yajima, Keiji Nagatani, Kazuya Yoshida, “Traveling performance estimation for planetary rovers over slope”, 口頭発表, 2011 年 12 月
10. ASCE Earth and Space 2012 Conference, Masataku Sutoh, Keiji Nagatani, Kazuya Yoshida, “Analysis of traveling performance of planetary rovers with wheels equipped with lugs over loose soil”, 口頭発表, 2012 年 4 月(発表予定;Accepted)
11. 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA12), Masataku Sutoh, Kenji Nagaoka, Keiji Nagatani, Kazuya Yoshida, “Evaluation of influence of surface shape of locomotion mechanism on traveling performance of planetary rovers”, 口頭発表, 2012 年 5 月(発表予定;Accepted)
12. 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA12), Hiroaki Inotsume, Masataku Sutoh, Keiji Nagatani, Kazuya Yoshida, “Evaluation of the reconfiguration effects of planetary rovers on their lateral traversing of sandy slopes”, 口頭発表, 2012 年 5 月(発表予定;Accepted)



氏名 坂井 玲太郎

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 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数値解析技術の発達により、数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics: CFD) は航空機設計において欠かせないツールとなっている。これまでに巡航時の静的な空力特性は良い精度で解析できるようになり、これからは非定常性を考慮した、動的な空力特性の解析への進展が望まれる。動的な解析を実現するためには、物体移動や形状変形に対して高速でロバストな格子生成技術と、ペタフロップス級計算機の性能を最大限に引き出す単純な計算構造が望まれる。しかし現在よく用いられている非構造格子法ではその格子生成に未だ時間と手間がかかり、また計算構造も複雑であることから、単純に動的解析や大規模計算へと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、格子生成の柔軟性と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。

航空機に加わる抵抗を減らす方法の1つとして、翼のアスペクト比 (縦横比) を大きくした高アスペクト比翼の採用がある。低抵抗であることから人力飛行機や高高度無人機などの各種航空機に採用されているほか、近年ではとくに環境適合型航空機翼としても注目を集めている。一方で航空機設計においては、空気力と構造弾性力との相互作用に十分な考慮が必要とされる。フラッタに代表される翼の振動現象は航空機の不安定性を招き、操縦を困難にするばかりか、最悪の場合墜落事故にまで至らしめる。しかし高アスペクト比翼の振動はしばしば大変形を伴うために従来の手法で取り扱うのは困難であり、ゆえにこれまでに十分な数値シミュレーションが行われてきたとはいえない。このことから、大変形を伴う翼のフラッタ現象を大規模に取り扱える流体と構造の連成解析手法が求められる。

本研究では、ブロック構造型直交格子法として提案されている Building-Cube Method (BCM) に基づいた流体解析手法を高レイノルズ数流れ、および移動物体問題に対応させるとともに、構造解析手法と組み合わせることで、高精度かつ高効率な流体構造連成計算コードを開発することを目的とする。さらに高アスペクト比・大変形翼のフラッタ解析を通じて動的シミュレーションの高度化を図るとともに、航空機の安全性向上に資することを目的とする。

平成23年度 研究成果概要

本年度は大規模CFDデータ圧縮手法の開発において圧縮処理の並列化効率の向上、それに高圧縮率を目指した新たな符号化手法の導入を行った。また非圧縮性流体解析コードの開発においては、ロケットモデル後流の解析およびAhmed Body (車体モデル) 周りの流れ解析を通じて埋め込み境界法および乱流モデルの検証を行った。

大規模計算より得られる大規模時系列データの後処理として、昨年度までに離散ウェーブレット変換を用いたデータ圧縮法を開発し、円柱および航空機主脚周りの流れ計算結果データに適用してきた。

Message Passing Interface (MPI)を用いた分散メモリマシン上での並列化圧縮処理に際し、流れ場を適切な粒度に分割できるというBCMの特長を生かした負荷分散法を提案し、実行時間の測定を行った。図1に並列化による速度向上率を示す。実行時間の測定には東北大学サイバーサイエンスセンターの並列コンピュータ Express 5800を用いた。各CPUに対して同一サイズのキューブ数が同じになるように割り当ててお

り、単純な方法でありながら速度向上率は32CPUの場合に円柱の事例で29.0、航空機主脚の事例で30.1と良好な値を得ることができた。今後はCPU数をさらに増やしての並列圧縮処理を予定している。

上記とは別に、Embedded Zerotree Wavelet (EZW) を応用した新たなデータ圧縮法を提案した。EZWは再帰的な離散ウェーブレット変換により得られる各成分が木構造を構成することを利用した画像符号化手法である。画像と同様に流体もまた連続性を持つことから、流体データに適用した場合にも高い圧縮率が期待できる。さらにこれまでのデータ圧縮では流れ場中の主要な成分に高い量子化ビットレート、そうでない成分には低い量子化ビットレートを与えることでデータ品質と圧縮率を両立していたが、この手法では圧縮に必要な十分な量子化ビットレートが明確に定まらないことが課題であった。そこで解適合格子で用いられる格子細分化の指標を応用し、流れ場の特性量に応じて量子化ステップサイズを与えるように変更した。この量子化ステップサイズの決定法により量子化ビットレートの任意性を排除しつつ、より流体の物理に即したデータ圧縮が可能となった。図2, 3に単一ステップデータの圧縮結果を示す。ここでは圧縮性流体の計算結果としてONERA M6 wing (格子点数約2100万点)、非圧縮性流体の計算結果としてF1 racing car model (格子点数約2.4億点) を示しており、それぞれの圧縮データはいずれも元データを良く再現している。データサイズはそれぞれ元データの2.73 % (元データ427 MBに対し 11.6 MB)、3.70 % (同 3.88 GBに対し144 MB) となり、圧縮性流体と非圧縮性流体のいずれにおいても高いデータ圧縮率を実現できた。

8月にはミュンヘン工科大学にて開催されたサマリーサーチプログラムにアーヘン工科大学のメンバーと合同で参加し、ロケットモデル後部の非定常亜音速流れの数値計算を実行した。図4に計算モデルと計算格子を示す。本計算では埋め込み境界法と乱流モデルとしてスマゴリンスキーモデルを導入したほか、流入境界条件としてロケットモデル本体周りのRANS計算結果に合成渦法により速度擾乱を加えたものを用いた。図5にロケットモデル底部近傍の主流方向速度分布を示す。本計算での結果は実験結果と定性的には一致したものの、渦中心位置や後流サイズに違いがあることを確認した。また本研究で開発している流体解析コードと、アーヘン工科大学の流体解析コードとを比較した結果、計算効率においては良い結果を示せたものの、計算精度においては格子解像度の不足により良い結果を示すには至らなかった。さらに上記計算では顕在化しなかったものの、続くAhmed Bodyを用いた検証ではモデル前部曲面において、埋め込み境界法を用いた場合であっても高レイノルズ数の乱流境界層を良く解像できずに非物理的な剥離が生じることを確認した(図6)。上記2つの計算事例を通じて、直交格子における物体曲面境界の表現手法、ならびに物体壁面近傍の乱流のモデル化が課題となった。

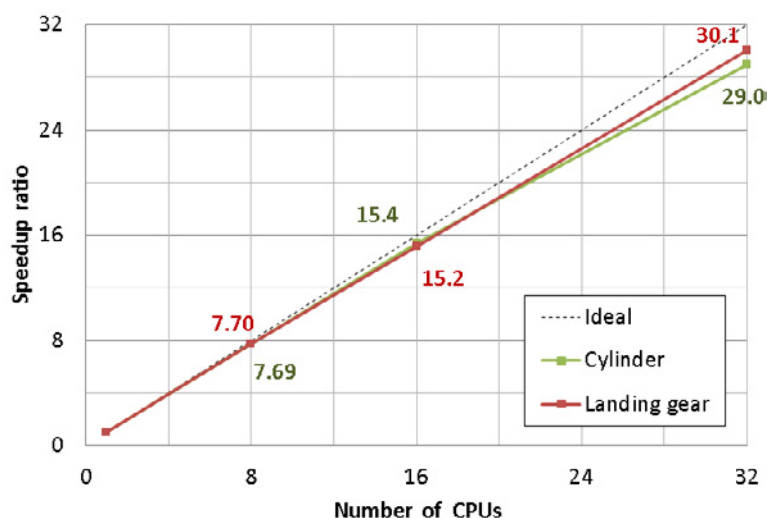


図1 並列化による速度向上率

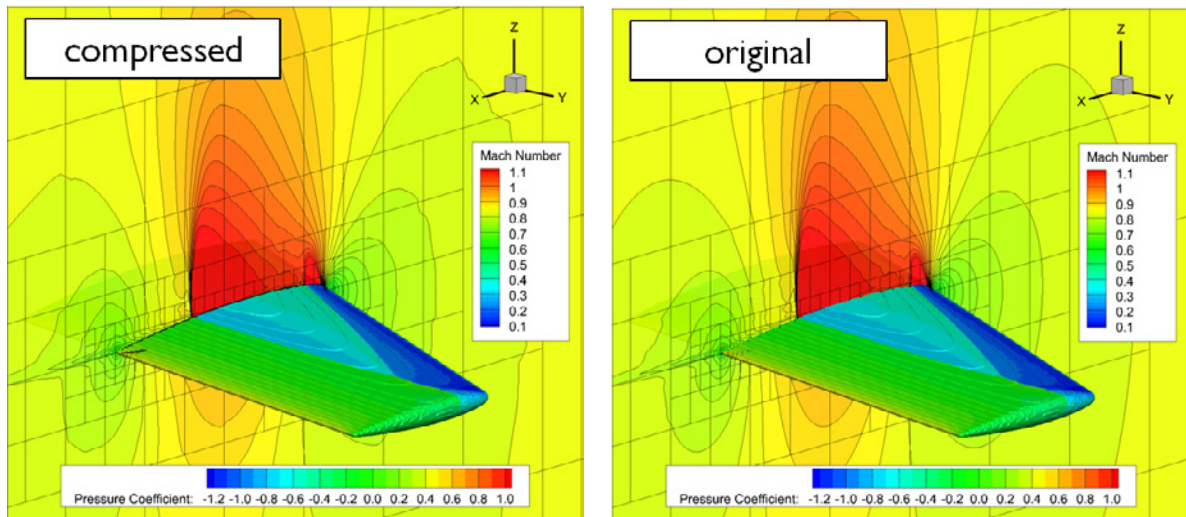


図2 ONERA M6 wing 周りの流れ計算結果データの圧縮
(左：圧縮データ，右：元データ)

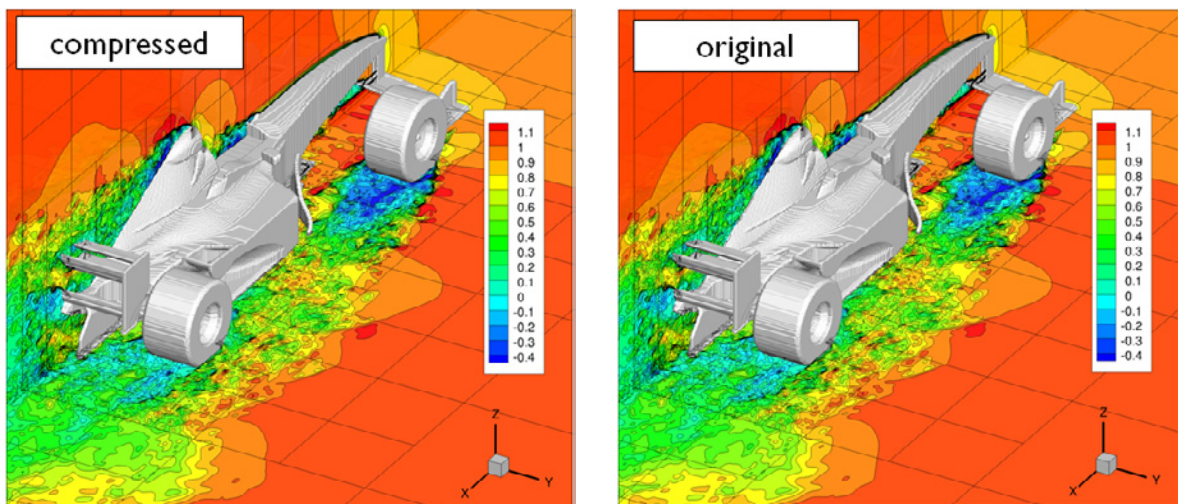


図3 F1 racing car model 周りの流れ計算結果データの圧縮
(左：圧縮データ，右：元データ)

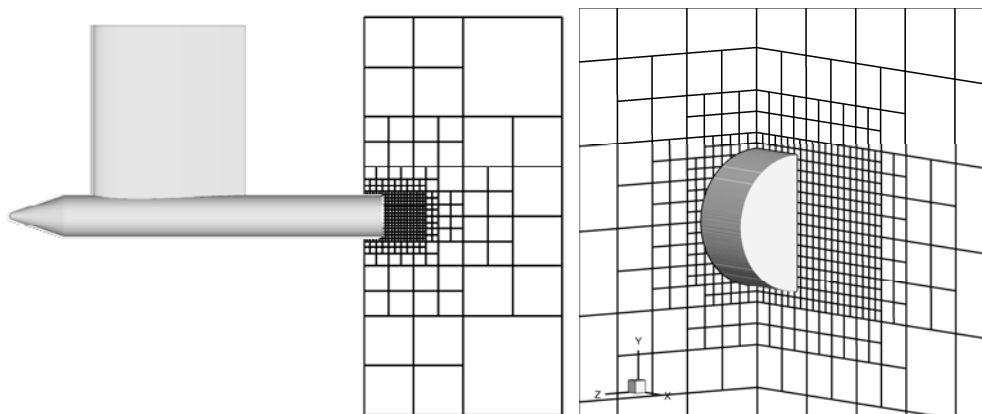


図4ロケットモデルと後流部の計算格子
(左：全体図，右：拡大図)

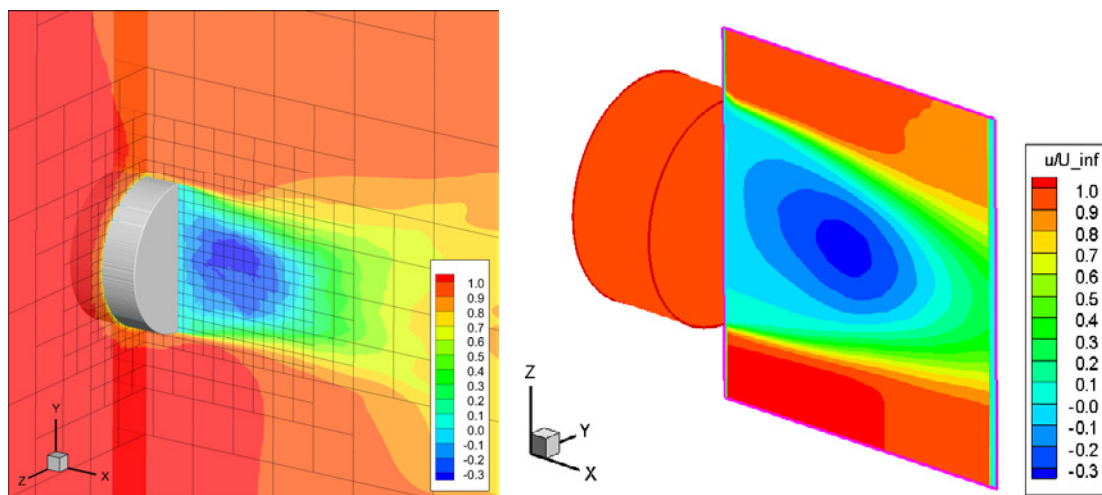


図5 ロケットモデル底部近傍の主流方向速度分布
(左：計算結果，右：実験値)

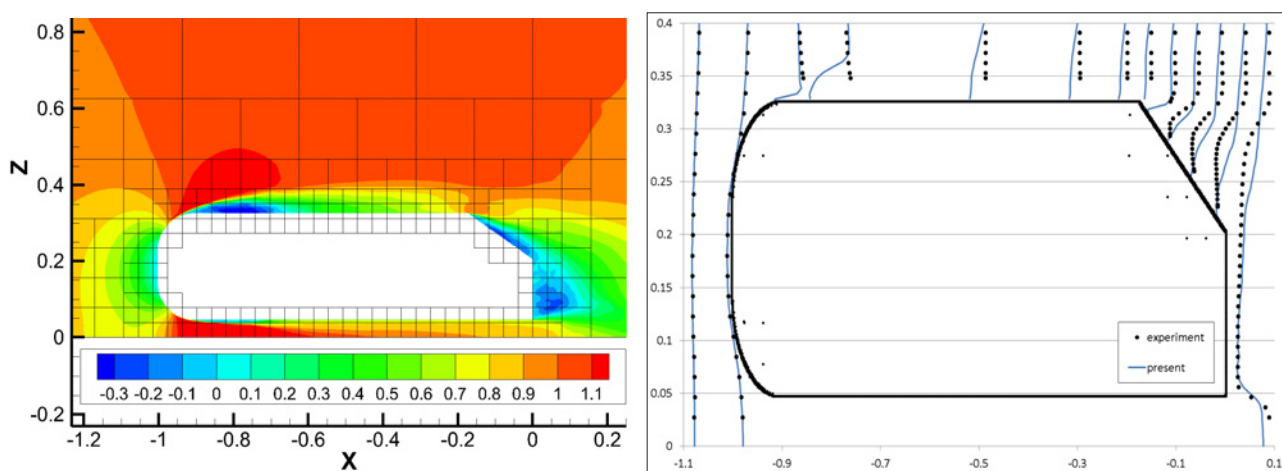


図6 Ahmed Body周りの時間平均主流方向速度分布 (y=0断面)
(左：可視化図，右：速度プロファイル)

平成23年度 総括

データ圧縮に関しては並列化効率の観点から従来の手法をブラッシュアップし、また新しい符号化手法の導入により高いデータ圧縮率を達成することが出来た。またこれまでの非圧縮性流体に加えて圧縮性流体の数値計算結果にもデータ圧縮を適用し、良い圧縮率が得られることを確認した。一方で学会誌投稿が1本だけにとどまってしまったのが反省点である。次年度は学術誌投稿を目標に研究成果をきちんとまとめていきたい。

非圧縮性流体解析コードの開発に関しては、ロケットモデル後流とAhmed Body周りの流れの2つの計算事例を通じて、直交格子における物体曲面境界の表現手法、ならびに物体壁面近傍の乱流のモデル化が改めて課題となった。同時に検証に時間がかかってしまい、対外的な発表が1件にとどまってしまったのが大きな反省点である。次年度は研究成果を形にするとともに積極的な発信を心がけたい。

本年度8月に参加したサマリーサーチプログラムでは1ヶ月間という短い期間ではあったものの、ドイツを中心に世界各国より集まったメンバーとともに切磋琢磨しながら研究に取り組むことができ、またとない貴重な研究経験を得ることができた。本プログラムへの参加のきっかけとなったのは2010年8月のGCOE若タケノコ国際インターンシップ派遣であり、GCOEにご支援いただいたことをここで改めて深く

感謝したい。さらに11月にはGCOE主催の学会ICFDにて学生セッションのコーディネーターを務めさせていただき、初めてで不慣れな運営であったが学会中は多くの国内・国外参加者や先生方と交流する機会を持つことができた。こちらも貴重な経験ができたと感じている。

次年度研究計画

データ圧縮に関して、量子化ステップサイズの決定に際しては指標となる特性量に選択の余地があるため、今後は最適な指標の決定に向け詳しい検証を行う。さらにこれまでは後処理として流体解析コードより一旦出力されたデータを対象とし圧縮を実行してきたが、今後は大規模計算に向けたより実用的なアプローチとして、流体解析コードから直接圧縮データを出力できるように変更する。その上で圧縮処理に要する時間を調べるとともにコードの最適化を図り、データ圧縮の実用性について検証する。その他、今回新たに提案した手法が単にデータ圧縮だけではなく、流体の計算過程における知識発見のツールとしても応用できるかどうかについても検討する。

流体解析コードに関しては、物体近傍の流れのモデル化手法として壁関数の導入を図る。壁関数は各種乱流モデルの壁面境界条件として広く用いられており、埋め込み境界法と組み合わせることで、高レイノルズ数の流れ場に対応できるようにする。さらにフラッタ解析への前段階として、埋め込み境界法を用いた移動物体問題にも着手する。埋め込み境界法によりセル内の適切な位置に物体表面の移動速度を与え、かつ保存則を考慮して速度場を決定することで適切な移動物体の計算法について検討する。検証では強制振動円柱周りの流れ場を計算するほか、円柱の運動方程式と組み合わせて自由振動する円柱を計算し、他者の実験結果や計算結果と比較して妥当性を検証する。

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. R. Sakai, D. Sasaki, and K. Nakahashi, "Parallel Implementation of Large-Scale CFD Data Compression toward Aeroacoustic Analysis," Computers & Fluids (投稿中)

【学会発表】

【国内】

1. ウェーブレット変換を用いた大規模時系列流体計算データの圧縮
第16回計算工学講演会（口頭発表），2011-5-27

【国際】

1. Large-Scale Unsteady Flow Data Compression for Building-Cube Method
The 8th International Conference on Flow Dynamics (Oral presentation), 2011-11-10
2. Wake Flow Simulation of a Generic Launcher Model Using Block-Structured Cartesian Mesh
The 6th Tohoku University & Seoul National University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle (Oral presentation), 2011-10-13
3. Parallel Implementation of Large-Scale CFD Data Compression towards Aeroacoustic Analysis
The 23rd International Conference on Parallel Computational Fluid Dynamics (Oral presentation), 2011-5-17



氏名 解 社娟

所属 工学研究科バイオロボティクス専攻 博士課程後期3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 nondestructive testing (NDT) to the pipes is mandated. Local wall thinning is the defect in pipes due to flow accelerated corrosion (FAC) and/or liquid droplet impingement (LDI) of the coolant inside the pipe. Pulsed eddy current testing method (PECT) is considered as a powerful candidate for this NDT aim. Another important issue is to check whether the wall thinning exceeds the safe tolerance range. This can not only guarantee safety but also save on unnecessary renewal of pipes. This requires a so called quantitative NDT (QNDT) method. However, the defect profile characterization of pipe wall thinning in NPPs has so far not been studied.

In the previous study of last year, a high efficiency 3D numerical tool to simulate PECT signals has been developed based on the database strategy and Fourier series method with help of interpolation strategy. These give a good basis for quantitative wall thinning analysis based on inversion techniques.

Inversion analysis reconstructs the size of a defect from the measured signal, which is the reverse method to forward analysis (that is, get the signal from the known defect shape). In this study, an inverse analysis scheme is proposed and validated for the sizing of pipe wall thinning from PECT signals in NPPs.

研究計画：

- 配管肉厚の定量評価のための逆問題解析などの手法を開発する。
- 配管減肉の測定実験を行い、逆解析手法を使った実験結果からの肉厚定量評価を行う。

平成23年度 研究成果概要

In this work, based on the developed fast PECT signal simulator, a deterministic optimization strategy based reconstruction scheme with the help of Conjugate Gradient (CG) method is developed to deal with the sizing of local wall thinning in pipes of NPPs.

(1) Deterministic optimization strategy based inversion algorithm for sizing of wall thinning

1.1 Model of wall thinning for reconstruction

As shown in Fig. 1, local wall thinning is modelled as a group of planar slit defects (rows) of given width but of differing length (for example, in the w -th row, the length of wall thinning equals b_waw) and depth (in the w -th row, the maximum depth of wall thinning to the total thickness of specimen is $dw(\%)$). These are selected as the defect shape parameters to be reconstructed. As these parameters have to be simultaneously reconstructed, two-dimensional signals (probe scans along the length and

width direction in Fig. 1) scanned over the wall thinning on the far side are used for the reconstruction. In cases where the defect length and depth are close to zero in some rows after reconstruction, then these rows will be treated as an unflawed region. In this way, the width information of the wall thinning can also be properly reconstructed.

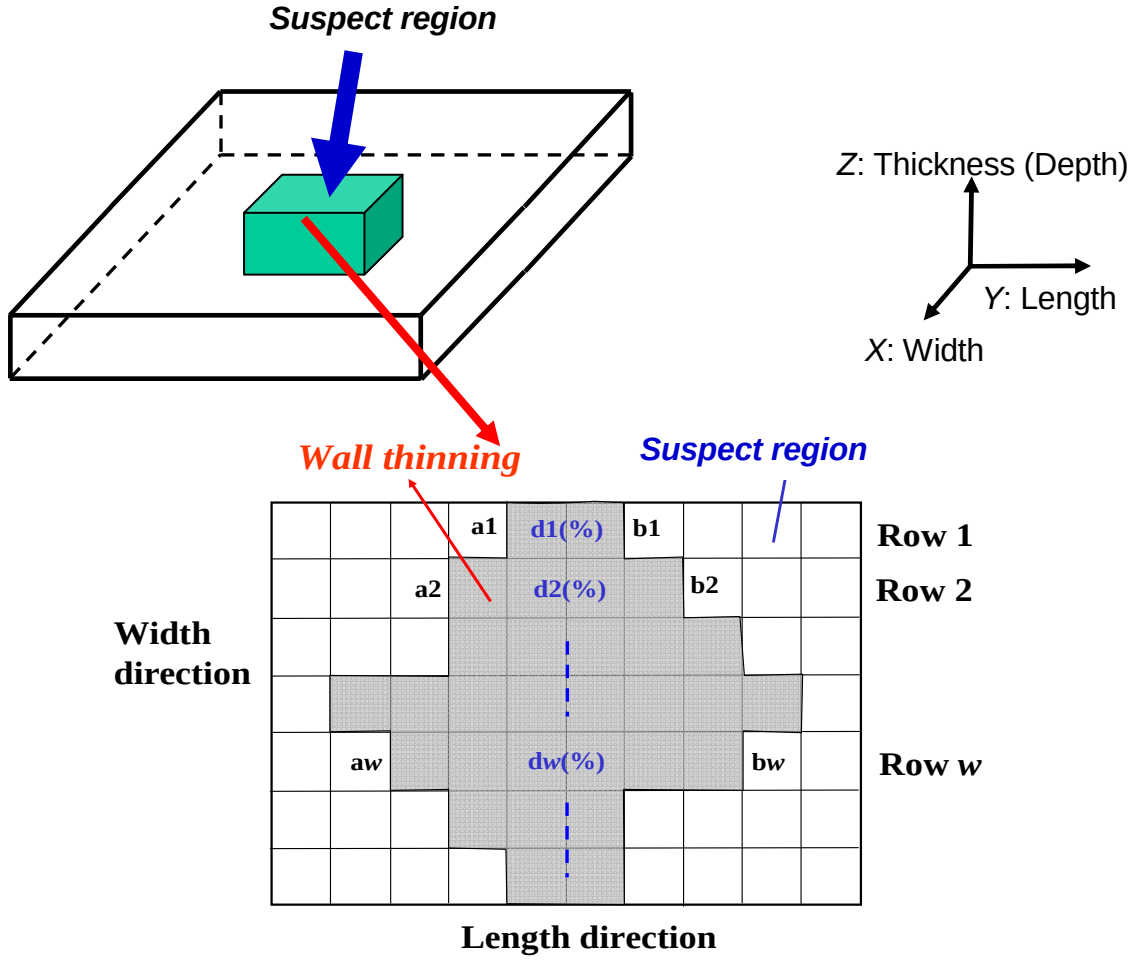


Fig. 1 Reconstruction strategy schematic for 3D profile of wall thinning in suspect region

1.2 Principle of inversion algorithm

An inverse analysis method, based on the deterministic optimization algorithm, is used to reconstruct the profile of the 3D wall thinning. This means that the sizing process is converted to an optimization problem of minimizing the objective function,

$$\varepsilon(\mathbf{c}^k) = \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M |P_{l,m}(\mathbf{c}^k) - P_{l,m}^{obs}|^2, \quad (1)$$

where k is the iteration step, l and m represent the position of 2D scanning point, $\mathbf{c}^k$ the shape parameter vector of wall thinning after k -th iteration and $\varepsilon(\mathbf{c}^k)$ the objective function (residual error). $P_{l,m}(\mathbf{c}^k)$ is the feature parameter extracted from the PECT signal $B(t)$ at (l, m) scanning point for defect shape $\mathbf{c}^k$ and $P_{l,m}^{obs}$ is the corresponding feature parameter extracted from the measured signal. In this study, peak value is employed for the feature parameter of the PECT signal, as shown in Eq. (2), where t_0 represents peak time.

$$P(\mathbf{r}) = B(\mathbf{r}, t) \Big|_{t=t_0} \quad (2)$$

The conjugate gradient (CG) based reconstruction scheme is used to predict the length and depth of the wall thinning in each row. In this study, Eq. (3) is adopted for the direct calculation of the gradient vector from the calculated electric fields for the transmitter-receiver type PECT probe.

$$\frac{\partial B(\mathbf{r}, t)}{\partial c_{w,i}} = -\sigma_0 \sum_{n=1}^N F_n \left(\alpha \int_S \mathbf{E}_p^u \cdot (\mathbf{E}_e^u + \mathbf{E}_e^f) \frac{\partial s_w(\mathbf{c}, \mathbf{r})}{\partial c_{w,i}} ds \right) e^{j\omega_n t} \quad (3)$$

In Eq. (3), σ_0 is the conductivity of the specimen in unflawed region, $\mathbf{E}_p^u$ is the unflawed electric field generated by unit current in the pickup coil, $\mathbf{E}_e^u + \mathbf{E}_e^f$ is the flawed electric field generated by the excitation coil (including unflawed and perturbed field), α is a coefficient to correspond the output of pickup coil to the PECT signal, $c_{w,i}$ is the i th wall thinning shape parameter at the w -th planar row in width direction and $s_w(\mathbf{c}, \mathbf{r}) = 0$ is the equation of the defect boundary surface in w -th row. As for the PECT signal, the feature parameter $\partial P(\mathbf{r}) / \partial c_{w,i}$ in the signal of the gradient vector is extracted from Eq. (4), where $t = t_0$ (peak time obtained in Eq.(2)), as shown in Eq.(4).

$$\frac{\partial P(\mathbf{r})}{\partial c_{w,i}} = \left. \frac{\partial B(\mathbf{r}, t)}{\partial c_{w,i}} \right|_{t=t_0} \quad (4)$$

With the CG based optimization method, the shape parameter vector of wall thinning $\mathbf{c}^k$ can be obtained through the following iteration procedure,

$$\mathbf{c}^k = \mathbf{c}^{k-1} + a^k \times (\delta \mathbf{c})^k, \quad (5)$$

where $(\delta \mathbf{c})^k$ is the updating direction in the k -th iteration, which is chosen as the direction of the conjugate gradient vector in case of the CG algorithm. This can be obtained using Eq. (6), according to the definition of the CG algorithm.

$$(\delta c_{w,i})^k = \left(\sum_{w,i} \left(\left| \frac{\partial \varepsilon}{\partial c_{w,i}} \right|^2 \right)^k / \sum_{w,i} \left(\left| \frac{\partial \varepsilon}{\partial c_{w,i}} \right|^2 \right)^{k-1} \right) (\delta c_{w,i})^{k-1} + (\partial \varepsilon / \partial c_{w,i})^k \quad (6)$$

a^k is a step size parameter selected as the value which can reduce $\varepsilon(\mathbf{c}^k)$ most efficiently. After formulation it can be obtained as shown in Eqs. (7) and (8).

$$a^k = - \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M (P_{l,m}^{k-1} - P_{l,m}^{obs}) \times \frac{\partial P_{l,m}^{k-1}}{\partial a^k} / \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \left(\frac{\partial P_{l,m}^{k-1}}{\partial a^k} \right)^2 \quad (7)$$

$$\frac{\partial P_{l,m}^{k-1}}{\partial a^k} = \sum_{w,i} \frac{\partial P_{l,m}^{k-1}}{\partial c_{w,i}} \frac{\partial c_{w,i}}{\partial a^k} = \sum_{w,i} \frac{\partial P_{l,m}^{k-1}}{\partial c_{w,i}} \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial c_{w,i}} \right)^k \quad (8)$$

Based on the above algorithm, the flowchart of the wall thinning reconstruction procedure is shown in Fig. 2. During iteration when the residual error is small enough, the computational feature extracted from PECT signals will be very close to the objective feature extracted from the measured PECT signals, which means that the iterative wall thinning shape parameters are near to the real ones. Therefore, the stop conditions are that the residual error is smaller than a certain value ε_c or that the number of iterations is larger than a set value N_c . In the flowchart, the forward simulation part needs to be repeated many times to calculate the PECT signals under different wall thinning parameters. Therefore, the fast forward simulator is employed here and can significantly reduce the computational

burden. According to the flowchart, an inverse analysis code has been developed for the reconstruction of wall thinning from the measured PECT signals.

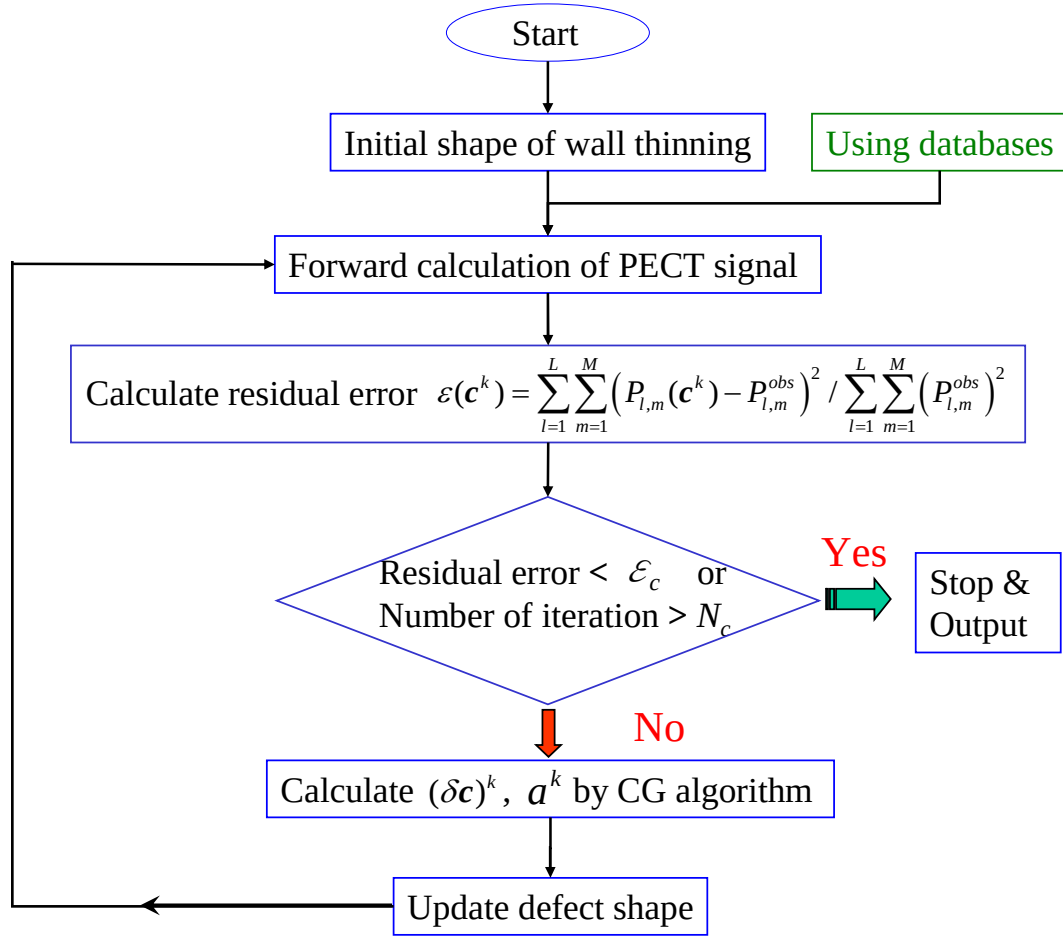


Fig. 2 Program flow chart of inverse problem

(2) Reconstructed examples using experimental signals of pipe wall thinning

The inversion algorithm preceding and the corresponding developed inverse analysis code are validated by 3D wall thinning reconstruction from the experimental PECT signals for the following step.

A block of austenitic stainless steel 316L (AISI316L), with conductivity of 1.35×10^6 S/m, is employed to simulate the big diameter pipe in NPPs as the host conductor, with length 300 mm, width 300 mm, and thickness 10.5 mm. Wall thinning is located in the bottom side of the specimen which is shown in Fig. 3. The size of the wall thinning is length 41.0 mm, width 15.0 mm, depth 6.0 mm. The shape of length-depth cross-section is part of circle which is extended along width direction. To establish the database for the fast forward solver, the selected possible wall thinning region (suspect region shown in Fig. 3) is taken as 60 mm in length, 21 mm in width and 10.5 mm in depth, and subdivided into 420 ($12 \times 7 \times 5$) wall thinning cells.

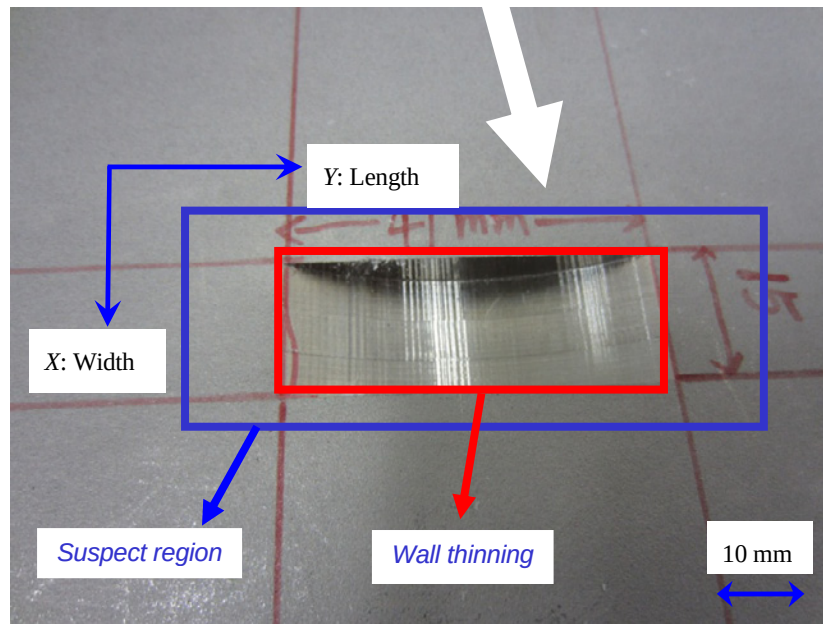
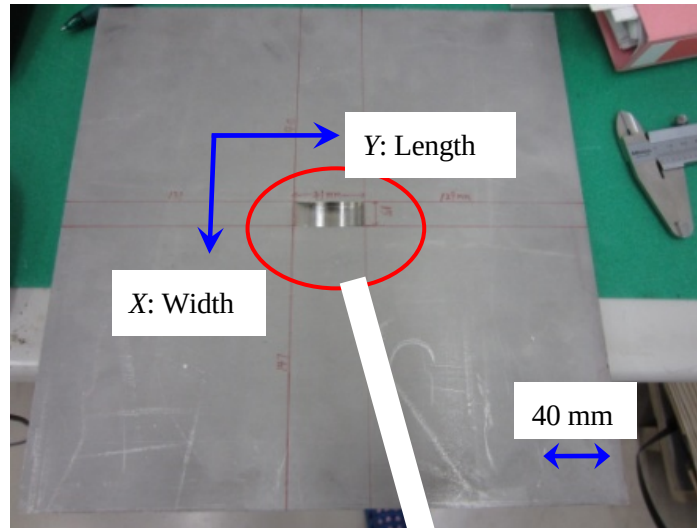


Fig. 3 AISI316L specimen and wall thinning shape

A pancake coil (inner diameter, 5 mm; outer diameter, 10 mm; height, 5 mm; and total number of turns, 296) is applied as the excitation probe. Another pancake coil (inner diameter, 5 mm; outer diameter, 10 mm; height, 5 mm; and total number of turns, 3446) is applied as the pickup probe whose voltage is taken as the pickup PECT signal. The distance between two coils is set as 40 mm and the lift-off is 0.5 mm. A square wave pulse is applied to the excitation coil as the driving current whose DC component is 1.0 A, the period is 0.01s and the duty cycle is 50%. The probe is scanned over the suspect wall thinning region part along the length and width direction. Figure 4 shows the experimental schematic for wall thinning detection. Figure 5 shows the experimental signals of 2D scanning of the distribution of peak value extracted from the transient PECT signal. Thus feature parameter of peak value is employed for the profile sizing of wall thinning.

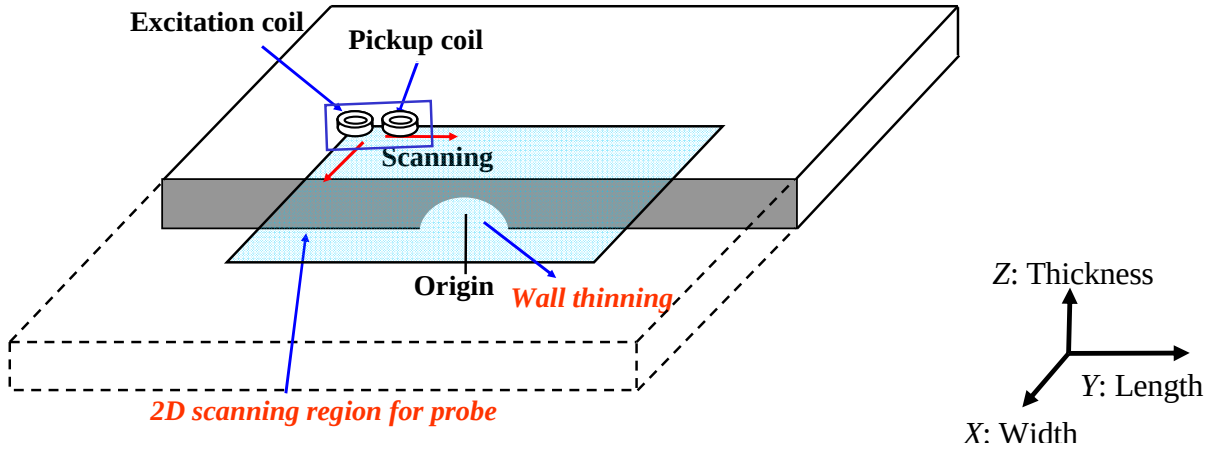


Fig. 4 The experimental schematic for wall thinning detection

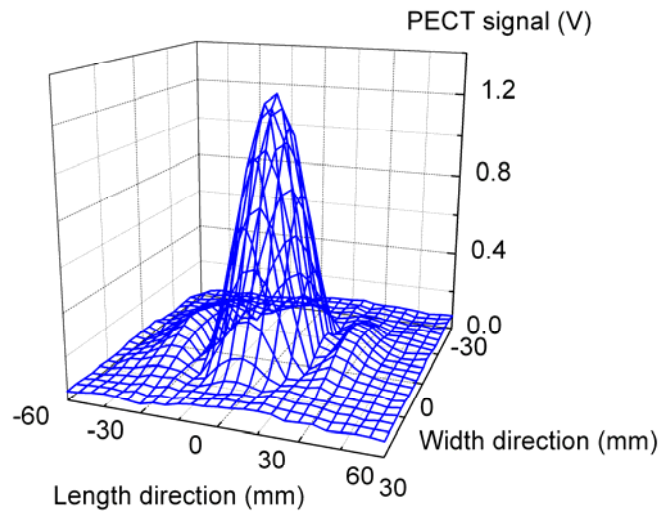


Fig. 5 Experimental signals of peak value exacted from transient PECT signals of 2D scanning

Considering the shape of OD wall thinning in the specimen, the length-depth cross-section is part of circle manufactured in factory. In our model of simulation, half-ellipse is applied to similarly simulate the real shape of part of circle. So the 3D wall thinning shape in our simulation model is half ellipse-column.

Figure 6 shows the reconstructed result after 150 iterations, where Fig. 6 (a) shows the 3D wall thinning shape and (b) shows the length-depth cross-section of the 3D wall thinning shape, “0 mm” plane in width direction. The shape parameter of the initial wall thinning is $\mathbf{c} = \{-5.0 \text{ mm}, 10.0 \text{ mm}, -4.2 \text{ mm}, -4.5 \text{ mm}, 4.5 \text{ mm}\}$, and the reconstructed one after 150 iteration steps is $\{-20.02 \text{ mm}, 17.79 \text{ mm}, -5.74 \text{ mm}, -7.5 \text{ mm}, 7.5 \text{ mm}\}$ which is close to the true wall thinning shape in the specimen $\{-20.5 \text{ mm}, 20.5 \text{ mm}, -6.0 \text{ mm}, -7.5 \text{ mm}, 7.5 \text{ mm}\}$. The length reconstruction error is about 7.8% and the depth reconstruction error is about 4.3%.

Figure 7 shows the corresponding peak values extracted from the scanning PECT signals, true (experimental), initial and reconstruction ones. Figure 8 shows the relative residual error where the relative reconstruction residual error is close to 2% up to 150th step. From these reconstructed results, we can see that the size of the wall thinning can also be properly reconstructed from the experimental signals. Through analysis, the possible reasons leading to the reconstructed error may exist in lift-off

factor, model difference and also slight difference of coil dimensions between experiment and simulation.

Concerning the time taken here, one iteration takes about 3 minutes and 428 minutes for 150 iterations.

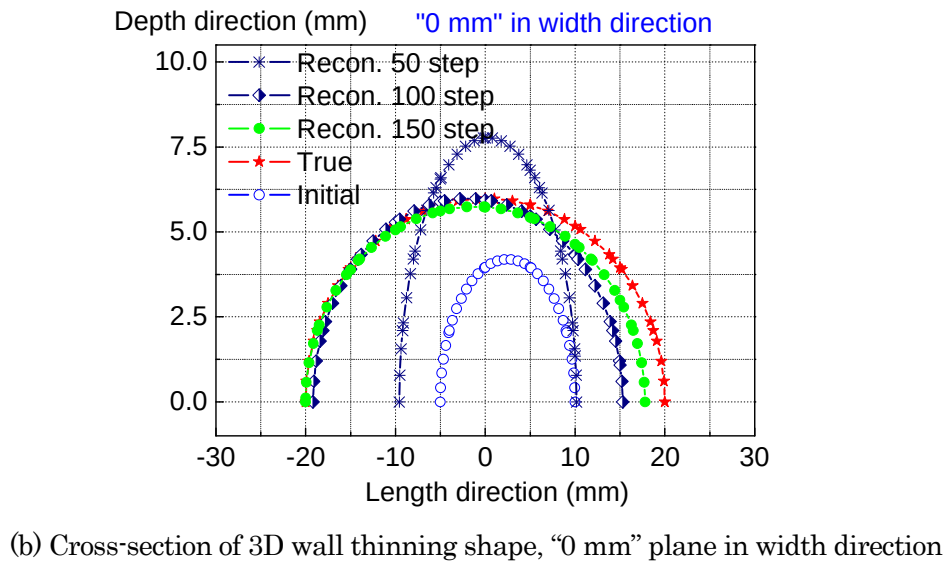
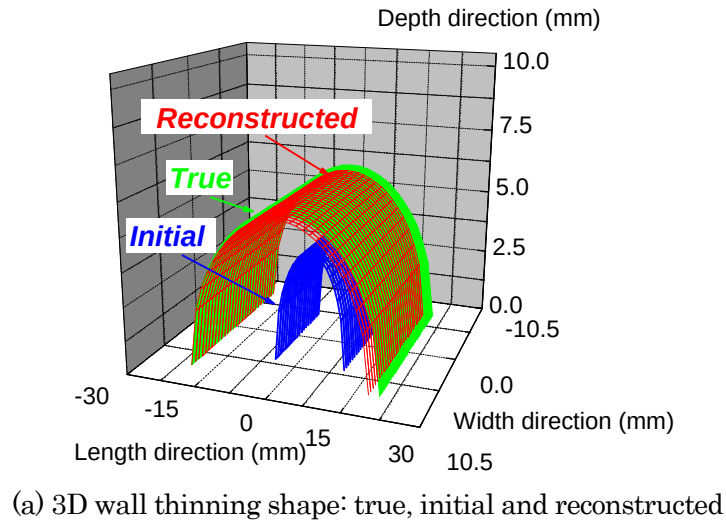


Fig. 6 Wall thinning shape: true, initial and reconstructed;

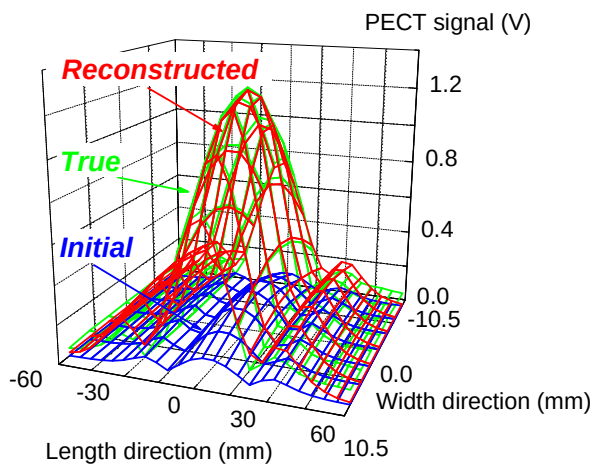


Fig. 7 Peak value of PECT signal: true, initial and reconstructed;

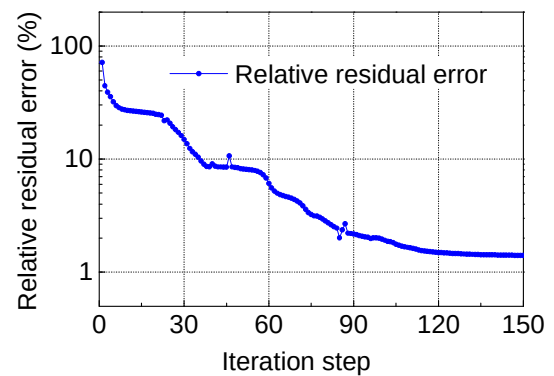


Fig. 8 Relative residual error

平成23年度 総括

- (1) An inversion algorithm for sizing of 3D wall thinning is proposed based on a fast simulator of pulsed ECT signals and a deterministic optimization strategy.
- (2) Reconstructed results using experimental signals of pipe wall thinning show that the profile of 3D wall thinning with relatively simple shapes can be properly reconstructed using this proposed inversion scheme.

次年度研究計画

- (1) High sensitivity probe development for wall thinning detection in carbon steel pipes.
- (2) Implementation of wall thinning reconstruction for carbon steel pipes.

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. Shejuan Xie, Zhenmao Chen, Li Wang, Toshiyuki Takagi and Tetsuya Uchimoto
An inversion scheme for sizing of wall thinning defect from pulsed eddy current testing signals
International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics (Accepted, 2011).
2. Shejuan Xie, Zhenmao Chen, Toshiyuki Takagi and Tetsuya Uchimoto
Development of a very fast simulator for pulsed eddy current testing signals of local wall thinning
NDT & E International 2012 (投稿中).
3. Jing Zhang, Shejuan Xie, Xiaojuan Wang, Yong Li and Zhenmao Chen
Quantitative non-destructive testing of metallic foam based on direct current potential drop method
IEEE Transactions on Magnetics (Accepted, 2011).

【学会発表】

【国内】

1. 日本機械学会第16 回動力・エネルギー技術シンポジウム
励磁制御渦電流試験法による補強板付配管の減肉評価
市原敏晶, 解社娟, 内一哲哉, 高木敏行
口頭, 2011/06/24.

【国際】

1. 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
ポスター, 2011/07/12-15
2. The 15th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics
An inversion scheme for sizing of wall thinning defect from pulsed eddy current testing signals
Shejuan Xie, Zhenmao Chen, Li Wang, Toshiyuki Takagi and Tetsuya Uchimoto
ポスター, 2011/09/06-09.
3. The 8th International Conference on Flow Dynamics
Three dimensional wall thinning defect reconstruction from pulsed eddy current testing signals
Shejuan Xie, Toshiyuki Takagi, Tetsuya Uchimoto, Zhenmao Chen, Xiaowei Wang and Li Wang

口頭とポスター, 2011/11/09-11.

【受賞等】

第4回流動ダイナミクス国際若手研究発表会（東北大学GCOE流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点主催), 優秀賞, 2011/07/08.



氏名 鄭 善鎬

所属 工学研究科化学工学専攻 博士課程後期3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性能向上に向けたマクロ・メソスケールモデリングの開発

研究背景

主に自動車排ガスから生成される窒素酸化物 (NO_x) は、人体に悪影響を与えることが知られている。近年低燃費の自動車が好まれている中、 NO_x の規制値はますます厳しくなっている。よって、 NO_x の排出量の低減は環境保全及び排ガス規制クリアのために重要な問題であり、 NO_x 排出量を抑えるために、 NO_x 吸蔵還元型触媒 (NSC) の性能向上が求められている。NSCは主な白金 (Pt) 微粒子を活性種とし、酸化バリウム (BaO) と酸化アルミニウム (Al_2O_3) を支持体としたものが従来から NO_x 浄化に優れた性能を有するため、大いに利用されている。NSC上の NO_x 浄化性能は、酸素過剰 (リーン) と欠乏 (リッチ) といった雰囲気の変化に大きく依存する。従来の研究により、リーン雰囲気下では、NO分子がPt粒子上で酸素と反応し、 NO_2 が生成され、BaOに吸蔵される。このためBaOは NO_x 吸蔵材料と呼ばれる。また、リッチ雰囲気下では、 NO_2 がBaOから脱離し、Pt表面上で分解される。しかしながら、NSCは排ガスに含まれる硫黄酸化物に覆われると NO_x がトラップできる表面積が低下するため、硫黄酸化物の付着が防止できる材料の開発が重要である。BaOは NO_x 吸蔵性能は優れたものの、硫黄酸化物に被覆されやすいため、 NO_x トラップ性能が劣化する問題がある。また、BaO上の NO_x トラップ性能は、低温で劣る問題がある。これらの問題に対し、酸化セリウム(セリア)系の希土類酸化物を NO_x トラップ材料として使用すると、BaOと比べ、硫黄付着に耐性があり、低温下 NO_x トラップ性能が高いことが報告されている。本研究ではセリア系希土類酸化物の NO_x トラップに注目した。

従来の実験から、セリア系酸化物に各々の希土類元素を微量ドーブした NO_x トラップ材料の性能評価が行われており、希土類元素ドーブにより NO_x トラップ性能が向上することが示された。しかし、希土類元素により NO_x トラップ性能が向上する原因についての詳細な議論は行われていない。また、排ガス浄化反応の効率は排ガスの拡散しやすさに大きく依存し、セリア系酸化物粒子のサイズや細孔径などの因子に影響を受ける。本研究では、密度汎関数理論計算により原子スケールの吸着構造から、 NO_x トラップ速度のパラメータ作成し、今回開発した拡散・反応シミュレーションにより NO_x トラップ率の再現を行った。また、NO分子の拡散係数の評価のために、3次元メッシュ分割による粒子の表面積と細孔径を算出する方法を開発し、粒子サイズと拡散係数の相関を調べた。

平成23年度 研究成果概要

NO_x 分子のセリア系酸化物粒子への吸着速度パラメータ作成のために、密度汎関数理論計算により NO_2 分子の吸着エネルギーを評価した。吸着材としては、セリア-ジルコニア (CZ) に希土類元素であるフラセオジウム (Pr)、ランタン (La) を添加した複合酸化物を想定し、ドーブなしと比較を行った。また、吸着サイトについては、CZ, CZ-Pr, CZ-Laの最上層の酸素原子上と酸素欠損サイトが考えられる。いずれの酸化物においても、酸素原子上では非常に吸着エネルギーが小さい反面、酸素欠損サイトでは比較的大きい吸着エネルギー得られた。従って、それらの酸素欠損サイトにおける NO_2 分子の吸着エネルギーを比較

したところ、ドーブなし > CZ-Pr > CZ-La順で大きい値が得られた。酸素欠損サイトの各希土類元素は価数が3+状態であり、3+状態の安定さはLa > Pr > Ceである。すなわち、3+状態が不安定であればあるほど、NO₂分子が強く吸着すると考えられる。この結果を今回新しく開発した拡散・反応シミュレーションに適用した。この方法では、Fickの拡散法則に化学反応に伴う物質収支を考慮してNO_xトラップ率を評価する。拡散の離散化はクランクーニコルソンスキームを適用した。素反応としては、Pt表面上NO分子酸素分子の吸着、NO₂生成、BaO表面上NO₂の吸蔵と脱離を考慮した。NO₂分子の吸着エネルギーが比較的大きいと、セリア系酸化物表面上NO₂の拡散が遅くなるため、吸着速度は遅くなると考察した。この想定をもとに、拡散・反応シミュレーションを行ったところ、CZ、CZ-Pr上のNO_xトラップ率の温度分布が実験値とよく一致する。よって、3+状態が安定である希土類元素がNO_xトラップには望ましいことを提案する。以上のように、密度汎関数理論計算および拡散・反応シミュレーションの概念により希土類元素がNO_xトラップ性能へ及ぼす影響を容易に評価可能とした。

セリア系酸化物の粒子サイズ、細孔径などの微細構造とNO分子の拡散係数の相関を理論的に調べるために、メソスケールモデリングを行った。まず、セリア系酸化物粒子のモデルを作成するために、粒子同士の重なりを許可したパッキング法を用いた。本手法では、統計学の正規分布の概念に基づいて、設定した粒子サイズ分布、空隙率、粒子同士の重複率をパラメータとして不規則のメソスケールモデルの作成を行う。拡散は分子拡散とクヌッセン拡散を考慮した式を適用した。分子拡散は従来の実験値を導入した。一方、クヌッセン拡散係数の算出のためには、細孔径と粒子の表面積算出が必要であるため、今回は表面積と細孔径を算出する方法を提案する。具体的には、3次元メッシュを細かく分解し、任意のメッシュと粒子の中心間距離と粒子半径の大きさを比較し、メッシュが粒子、細孔のどちらに属するかを決定する。粒子に属すると判定されたメッシュの数から粒子の全表面積を算出する。この新しい概念を適用して、粒子サイズ毎のNO分子の拡散係数を算出した。粒子サイズは、1, 10, 100マイクロメートル (μm) とし拡散係数を100, 200, 300 °Cの温度で算出した。従来の研究により、細孔径が小さい領域はクヌッセン拡散、大きい領域では分子拡散が支配的であることが知られている。また、分子拡散は温度の1.5乗、クヌッセン拡散は0.5乗に比例するため、拡散係数の傾きでどちらの拡散が支配的か判断できる。1μmモデルでは、拡散係数が10, 100 μmと比べ小さく、傾きが比較的小さいため、分子拡散よりはクヌッセン拡散が支配的な遅い拡散が起こると考えられる。また、1 μmモデルを0.025 μmモデルと比較するとほぼ同様な傾きを示したため、1 μmサイズはNO分子の拡散には小さすぎることが考えられる。これに対し、10, 100 μmモデルでは比較的傾きのある拡散係数が得られたため、比較的早い分子拡散の寄与があることがわかる。また、100 μmモデルは、拡散係数がもっとも大きく、分子拡散の寄与が大きい、粒子サイズが大きいため、粒子内部の遅い拡散の領域が大きい問題がある。よって、NO分子拡散には比較的に10 μmの粒子サイズが望ましいことを提案する。以上のように、粒子の表面積、細孔径を3次元メッシュ分割により求めることで、微細構造と拡散係数の相関を明らかにした。

平成23年度 総括

本研究では、自動車排ガス触媒におけるNO_x浄化性能向上に向けて、拡散・反応シミュレーション手法及び、メソスケールシミュレーション手法を構築した。NO₂の吸着速度のパラメータを決定するために密度汎関数理論計算からNO₂の吸着エネルギーを評価し、吸着エネルギーの強さでNO_xの吸着速度を決定した。実験のNO_xトラップ率を再現することにより、密度汎関数理論計算で決定したパラメータの妥当性を検証し、3+が安定である希土類元素がドーブ物質として望ましいことを提案した。また、メソスケールモデリングにより、粒子サイズや細孔径などの微細構造とNO分子の拡散しやすさと相関について解析を行った。拡散係数算出のために、3次元メッシュ分割により、粒子の表面積と細孔径の算出方法を提案した。

粒子サイズを1, 10, 100 μm とした場合の細孔径を計算し、拡散係数を算出したところ、10 μm の粒子サイズが望ましいことを提案した。以上の研究結果から、自動車排ガス開発に関して、実験的現象の裏づけ及びコスト削減が期待できる。

次年度研究計画

NO_xトラップ触媒の開発のためには、耐硫黄被毒性、耐熱性、低温・高温下トラップ活性を考慮する必要があるが、トレードオフのため、複合材料の検討が重要である。上述の通り、NO_xトラップ触媒はPt/BaO/Al₂O₃とPt/セリア系酸化物が上げられる。前者は高温下で、後者は低温で高性能である。そのため、実際は両方を混合して利用する必要があるといえる。それぞれのNO_xトラッププロセスに関する速度パラメータを原子スケールの吸着構造と関連づけて作成し、両者の混合割合を変化させたモデルを作成する。得られたモデルからNO_xトラップ率を評価し、最適な混合比を提案する。また、複数の物質の取り扱いができるように拡散・反応シミュレーション法の改良を行う。

メソスケールモデリングに関して、支持体の粒子はおよそ数十ナノメートルの1次粒子と数十ミクロンオーダーの2次粒子が存在する。NO分子の拡散に最適な1次粒子と2次粒子のサイズを評価するために、両方の拡散を考慮し、全体的な有効拡散係数を算出するメソスケールの拡散シミュレーション手法を開発する。

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. Meso-Scale Modeling on Diffusion through Primary and Secondary Particles of Automotive Exhaust Catalyst

：上述の通り、セリア系酸化物の1次粒子と2次粒子の全体的な有効拡散係数を評価することにより最適な粒子サイズについて検討し、学術雑誌への投稿を行う。（発表予定）

【学会発表】

【国内】

1. A Multi-Scale Simulation on the Diffusion and Chemical Reaction of Automotive Exhaust Catalyst on Metal/Oxide Particles

形式：ショートオーラルとポスター 発表年月日：2011年11月10日

2. 日本コンピュータ化学会

大規模量子化学計算手法による貴金属/CeO₂ベース酸化物間の相互作用評価

形式：ポスター 発表年月日：2011年9月20日

3. 第108回触媒討論会

担持貴金属触媒における拡散・反応を考慮したメソスケールシミュレーション

形式：口頭 発表年月日：2011年9月20日

【国際】

1. 2011 Materials Research Society fall Meeting, Poster, 1st, Dec., 2011, Boston, America

“A Large Scale Quantum Chemistry Study on the Stability of Precious Metal Catalyst on CeO₂ Based Oxide”

12. 研究支援リサーチ・アシスタントの取り組みと実績

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 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における二足歩行

平成23年度 研究成果概要

本研究では砂のような軟弱地面上で二脚ロボットを運用することを目指している。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従来研究は、固い床の上が前提とされてきた。

軟弱地面における歩行技術を開発するためには、足が軟弱地面上でどのように動く(沈む、滑る)のか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は重要である。基礎実験とシミュレーションの結果から軟弱地面において歩行を不安定にする要因を分析し、

歩行を安定化するための制御則を構築する。開発したシミュレータを活用して、制御則の有効性を確認しながら性能向上を図る。最終的に、構築した制御則を実際の二脚ロボットに適用する。砂の上で歩行実験を行い、構築した制御則の有効性を実験的に検証する。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、前年度に引き続き第3段階の「シミュレータの開発」と、本研究の核心部分となる第4段階の「歩行制御の設計」から最終段階の「実機実装・歩行実験」まで研究を行った。結果的に、構築した制御則により砂の上での歩行を維持することに成功した。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】 足の沈下と滑りおよび過去の足跡の存在を考慮したシミュレーション

前年度は軟弱地面における足の沈下特性をモデル化した。滑り特性は既存のモデルを利用するが、モデルに含まれる特性値は実験的に同定する必要がある。したがって、平板と砂を用いて滑り試験により特性値を同定した。これにより、沈下と滑りの影響を考慮した軟弱地面歩行シミュレーションが可能となった。

図1 ヒューマノイドロボットによる屋外作業の例



図2 研究の流れ

関連研究の調査

力学モデルの構築

シミュレータの開発

歩行制御の設計

実機実装・歩行実験

本シミュレータの妥当性を評価するため、実際の二足歩行ロボットを砂の上で足踏みおよび歩行させ、足の挙動を観察した。足の沈下量および滑り量とその過渡応答は実験とシミュレーションで良く一致しており、本シミュレータの妥当性が示された。

歩行中には、過去に残した足跡を踏む場合が想定される。これは、無垢の砂地に踏み出す単純な歩行や、毎回同じ場所を踏む足踏みとは異なる扱いが必要となる。そこで、ロボットの有限な行動範囲を微小領域に離散化し、各微小領域で沈下量を記録する足跡マップを構築した。これにより、足踏みを含む任意の歩幅の歩行を統一的に取り扱えるようになった。

これらの成果は、2011年の日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会や日本ロボット学会学術講演会、International Conference on Flow Dynamicsなどにおいて発表した。

【成果2】 歩行開始時の転倒防止

軟弱地面における二足歩行を実現するためには、転倒することなく歩行を開始しなければならない。歩行開始時には、転倒につながる3つの問題がある。

1. 歩行開始前に既に機体が傾いている
2. 一歩目で大きくバランスを崩す
3. 地面の変形でバランスを崩す

いずれも直接的に転倒の原因となる無視できない問題である。そこで、転倒することなく歩行開始を実現するための手法を導入した。

歩行前の機体の傾斜を復元するためには、重心の地面投影点(GCoM)が支持多角形(足跡)の中央付近にあることが望ましい。したがって、直立静止中のGCoM位置偏差を推定し、機体の上体を偏差と反対側に同量だけ移動することで、GCoMを理想的な位置に補償する。一歩目のバランス喪失は、一歩目の重心移動量を小さくすることで軽減することができる。歩行中の周期運動とは異なり、一歩目の重心移動期間は比較的長いため、この間の重心運動を抑制する。地面の変形によるバランス喪失に対応するために、地面の変形量を推定して足の着地姿勢を変化させる。これらの手法をすべて用いることで、転倒することなく歩行を開始して3歩程度まで歩行することができた。

【成果3】 長期的な歩行の安定化

軟弱地面における足の沈下や滑りによって機体が傾く。地面から十分な反力が得られず足で踏ん張ることができないため、従来の歩行安定化制御ではこの傾斜を復元することは難しい。したがって、姿勢角を指標として歩行中の遊脚の着地位置を変更し、機体姿勢の復元を図る制御手法を構築した。本手法により、歩行期間は2倍以上に延長され、7歩程度まで歩行を維持することができた。

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. Yasar Ayaz, Atsushi Konno, Khalid Munawar, Teppei Tsujita, **Shunsuke Komizunai** and Masaru Uchiyama, “A Human-Like Approach Towards Humanoid Robot Footstep Planning,” International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 8, No. 4, pp. 98–109, 2011.
2. Teppei Tsujita, Atsushi Konno, **Shunsuke Komizunai**, Yuki Nomura, Tomoya Myojin, Yasar Ayaz and Masaru Uchiyama, “Humanoid Robot Motion Generation Scheme for Tasks Utilizing Impulsive Force,” International Journal of Humanoid Robotics, Accepted.
3. **Shunsuke Komizunai**, Atsushi Konno, Satoko Abiko and Masaru Uchiyama, “Dynamic

Simulation of Biped Walking on Loose Soil,” in International Journal of Humanoid Robotics (IJHR), Submitted.

【学会発表】

【国内】

1. 小水内俊介, 近野敦, 安孫子聡子, 内山勝, “足跡マップを用いた二脚ロボットの軟弱地面における歩行シミュレーション”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2011, ポスター発表.
2. 小水内俊介, 近野敦, 安孫子聡子, 内山勝, “二脚ロボットのための軟弱地面における動的沈下モデル”, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会, 2011, 口頭発表.

【国際】

1. Shunsuke Komizunai, Atsushi Konno, Satoko Abiko and Masaru Uchiyama, “Slip Characteristics Identification for Biped Walking of a Humanoid Robot on Sand,” Eighth International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, pp. 622-623, 2011.



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

大域不整地環境を対象とした移動探査ロボットの自律動作の実現

平成23年度 研究成果概要

災害発生時に、危険な災害現場の情報を収集するために、レスキュー隊員に代わり現場の情報収集を行う自律移動探査ロボットの開発が世界中で行われており、筆者の所属研究室でも複数の移動ロボットの開発を行っている。自律移動探査ロボットの実現のためには、様々な技術の統合が必要であるが、とりわけ、移動ロボットを、現在位置から目的地まで安全かつ自律的に誘導する経路計画技術は、最も重要かつチャレンジングな技術の一つである。この経路計画技術を実現するためのキーテクノロジーとして、移動ロボットの正確な自己位置推定、移動ロボットの周辺環境情報の獲得技術、そして、不整地での走行を可能とする高い機動性が挙げられる。これらの要素技術を着実に達成し、適切に統合することが自律移動探査ロボットの実現を目指すために重要である。昨年度までに、研究プラットフォームとして用いる高い不整地走行性能を有する移動ロボットの構築を完了しており、今年度は、自己位置推定手法、および、環境情報獲得技術にフォーカスして研究を行った。



図1 開発した不整地移動ロボット

平成23年度は、次の三つの項目について研究を行った。第一に、大域屋外不整地移動ロボットの自己位置推定手法の開発、第二に、自己位置推定をベースとして広大な屋外不整地環境での移動マニピュレーションを行うシステムの開発、第三に、移動ロボットの移動障害物回避動作生成を目的とした移動体検出手法の開発である。以下、それぞれ個別に概要を述べる。

1.1 大域屋外移動ロボットの三次元自己位置推定手法の開発

移動ロボットの自己位置推定手法としては、GPSによる自己位置推定手法が一般的である。この手法により、世界座標系におけるGPSアンテナの絶対位置を数10cmから数mの精度で推定可能であるが、GPSアンテナとGPS測位衛星の間に障害物が存在し、GPS信号が受信できなくなる場合や、ビルの側などでGPS信号が反射する場合に、測位が破綻するという問題がある。一方、車輪エンコーダ及び三軸ジャイロ스코ープ、加速度センサを統合した相対自己位置推定手法としてGyro Based Odometryという手法も一般的である。この手法は、GPSのように他のシステムに依存せず、単体での推定が可能であるが、累積誤差が発生する問題がある。本研究では、GPSによって推定した自己位置を真値として、Gyro Based Odometryの累積誤差をキャンセルするために、Particle Filterによる統合オドメトリを開発・実装した(図2)。(研究業績[1,2,6])

1.2 不整地移動マニピュレータの開発及び評価

屋外不整地フィールドにおいて、地震計などのセンシングデバイスを移動ロボットにより設置するニーズが、火山探査や資源探査分野において高まっている。そこで、屋外不整地環境での移動マニピュレーションを行い、センシングデバイスを設置する動作を行う、というタスクの実現を目的とした研究を行った。1.1節で開発した三次元自己位置推定手法を実装した移動ロボット上に、三自由度スカラ型マニピュレータを搭載し、不整地移動マニピュレータを構築した。構築した移動ロボットを用いて、複数の環境で実機実験を行い（図3）、センシングデバイスの設置位置の精度評価を行い、提案システムの有効性を確認した。（研究業績[1,2,6]）

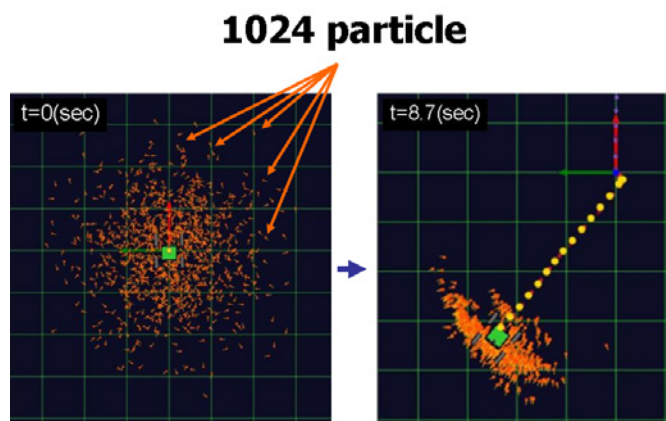


図2 Particle Filterによる統合オドメトリ

1.3 移動ロボットの移動障害物回避動作生成を目的とした移動体検出

筆者は昨年度までに、移動障害物の過去の行動より、近未来における移動障害物の行動を推定し、そのうえで、移動障害物を回避する手法の提案・実装を行い、シミュレーション実験により、その有効性を確認した。本年度は、提案手法を実際の移動ロボット上に実装し、その有効性を検証することを目的として研究を行った。移動ロボット上に、二次元水平測域センサを搭載し、このセンサにより取得した環境情報により、環境中の移動体検出、及び、その動作推定を行った。過去に蓄積した複数の時刻の環境地図を比較することで、移動障害物の位置及び速度ベクトルを検出する手法を実装し、実機実験により提案手法の挙動を確認した。



図3 屋外不整地での移動マニピュレーション実験

研究業績

【学会発表】

【国内】

1. 佐藤毅一，太木健，永谷圭司，吉田和哉，不整地移動ロボットによる広域マニピュレーション試験とその評価，第12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，3B2-1（CD-ROM）（2011-12）（口頭発表）
2. T. Ohki，K. Nagatani，and K. Yoshida，“3D Path Planning Method for Mobile Robot on Rough Terrain Considering Traversing Ability,” P10，東北大学グローバルCOEプログラム 第4回流動ダイナミクス国際若手研究発表会（2011-7）（口頭・ポスター発表）

【国際】

1. T. Ohki，K. Sato，K. Nagatani，and K. Yoshida，“Development and Evaluation of Autonomous Mobile Manipulator for Large Scale Outdoor Environment,” in Proc. of 2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration，（2011-12）（口頭発表）

2. T. Ohki, K. Sato, K. Nagatani, and K. Yoshida, “Development of Wheeled Mobile Robot to Traverse Rough Terrain in Outdoor Fields,” in Proc. of The Eighth International Conference on Flow Dynamics, (2011-11) (口頭・ポスター発表)

【受賞等】

1. Outstanding Award, (OS12-76) in the Seventh International Students/Young Birds Seminar on Multi-scale Flow Dynamics, The Eighth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2011), (2011-11)
2. 東北大学グローバルCOEプログラム 第4回流動ダイナミクス国際若手研究発表会 優秀賞, (2011-7)



氏名 K. S. N. ABHINAV KUMAR

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 浅井 圭介 教授

研究課題 Image based measurement techniques for dynamic wind tunnel testing

平成23年度 研究成果概要

1) Introduction

My work is about developing an image based measurement technique that can be used to analyze the flexible wing movement in dynamic wind tunnel testing. For developing this technique we need to understand some basic techniques related to 3D-photogrammetry such as camera calibration, target tracking and analysis techniques. Previous work done related to the camera calibration, target tracking and analysis techniques are given below.

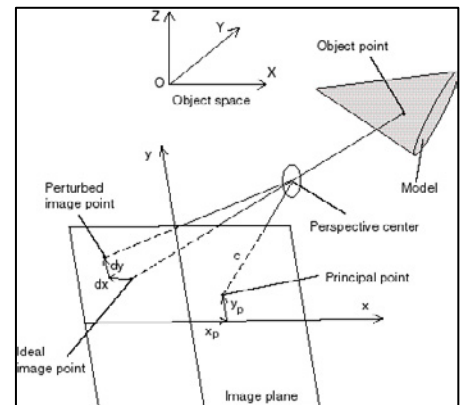
2) Literature Review

For using this technique we need good understanding of camera calibration, target tracking and analysis techniques. Some of these techniques are already discussed in previous literatures which are given below.

a) Camera Calibration

Camera calibration is the process of relating the 3D test object coordinates to the 2D image coordinates by the two collinearity equations. Pictorial representation is given in this picture.

In these collinearity equations the camera parameters are determined by T. Liu et. al.[1] by solving the equations for exterior and interior parameters separately. First the collinearity equations are solved assuming that the distortion parameters are negligible which will give the initial values for the other parameters. Now these initial values are used to determine all the interior parameters using optimization method. Now using these accurate values of interior parameters, exterior parameters are determined using resection method.



b) Target tracking

In photogrammetric methods tracking the targets on the test object to sub-pixel accuracy is very important. This method of tracking can be done by correlating the image with the synthetic references. The method given by Wim Ruyten[2] gives a good insight into how to determine the targets with sub-pixel accuracy. The importance of this technique is that it can help in automatic detection of registration target.

c) Analysis techniques

The analysis techniques are used to analyze the images taken by a calibrated camera. T. Liu et. al.[3] and Wim Ruyten et. al.[4] proposed two different methods to determine the 3D-coordinates of the targets on the test object. Next is a technique to determine the orientation parameters of the test object. Wim Ruyten[5] proposed a method by incorporating the orientation parameters in the camera

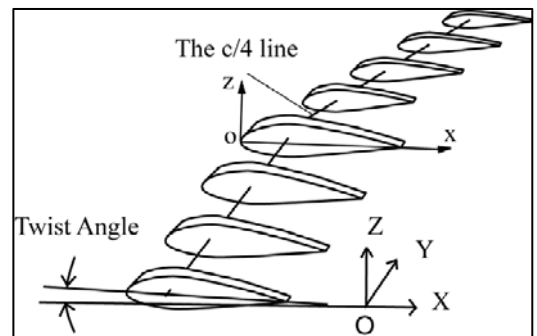
calibration.

The importance of these two techniques is that the first technique can give the 3D-coordinates of the target markers on the test object and the second technique helps in getting the test object orientation parameters. These techniques are used as a base to develop new methods to analyze more complex wing movement.

3) Progress

Since work has already been done on camera calibration, target tracking and 3D-coordinate measurement, I used these techniques to develop the techniques required to analyze flexible wing movement in dynamic wind tunnel testing. First I developed a technique to determine the orientation of a rigid test object by using translation and rotation of axes method. In this technique the 3D-coordinates of the test object with respect to model coordinates are equated to the 3D-coordinates of the test object with respect to the tunnel coordinate system using translation and rotation of axes. This translation and rotation of axes is the orientation of the test object.

But this method can only be used on rigid test objects. So in order to use this method for flexible wing models another trick is used. T. Liu et. al.[6] divided a flexible 3D-wing into a number of 2D-airfoils for determining twist and bending as shown in the following figure. But since the method uses a single camera method it cannot be used for flapping wing motion. In order to analyze a flapping wing motion I planned on using this method of breaking down of the 3D-wing into 2D-airfoils but with translation and rotation of all three axes on the 2D-airfoils. Thus we can analyze a flapping wing with high accuracy.



In conclusion I would like to say that the mathematical background has been completed till now and application work in dynamic wind tunnel testing is remaining.

Background for future work

The mathematical background for analyzing the flapping motion is completed, but it has to be tested experimentally before it can be used for other applications. This being the background for my future work, I am planning a series of experiments first to validate the mathematical theory and then apply it to a aerodynamic problem and analyze it using the theory developed.

Problems to be solved

There are two main problems to be solved. The first one being the accuracy of the method and the second one being, application to a real life problem. In order to solve these problems the following steps are taken. In the first step this method is used on a rigid body with known movement. This known movement is compared to the results obtained from the analysis technique that is developed. This will give me the accuracy of the system. Now once the accuracy of the system is established I will move on to a flexible wing. This method will be used along with force balances and visualization techniques to evaluate the effect flexible wing on the aerodynamic forces and flow structure. These visualization techniques can be laser sheet technique or mini tuft technique. This will help us in evaluating the technique

To solve the second problem this technique will be applied to a flexible rotary wing and analyze the effect of flexible wing on the thrust. Once these experiments are completed I will try to analyze a

flapping wing, which is the final goal.

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. Viren Menezes, Sharad Trivedi and Abhinav Kumar, “An accelerometer balance for the measurement of roll, lift and drag on a lifting model in a shock tunnel”, Measurement Science and Technology, 22(6), Technical Design note-067003, 2011

【学会発表】

【国際】

1. Proceedings of Eighth International Conference on Flow Dynamics , K. S. N. Abhinav Kumar, “Reconstruction of Model Movement in Dynamic Wind Tunnel Testing”, TOHOKU University, Sendai, Japan, November 9 – 11, 2011



氏名 菅井 文仁

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

時間遅れ動的環境下での双腕宇宙ロボットの遠隔操作

平成23年度 研究成果概要

【研究背景】

地球軌道上に多数存在するスペースデブリは今後の宇宙開発の障壁となるものであり、様々な除去方法が検討されている。これらの除去技術の確立のためには、地上で微小重力環境を再現し除去作業の安全性や実現可能性の検証を行う必要がある。微小重力環境を再現する方法の一つとしてハイブリッドシミュレーションが挙げられる。報告者は図1に示すハイブリッドモーションシミュレータを用いて、スペースデブリの除去作業として故障衛星の捕獲を研究してきた。しかしながら、捕獲作業をハイブリッドシミュレーションするとシミュレータによって提示される運動が振動的になることが明らかとなった。そこで、報告者は捕獲作業のシミュレーションのように連続的な接触をハイブリッドシミュレーションした際に、シミュレータによって提示される運動が実際の物理現象と異なるという問題を解決することを目的として研究を行った。

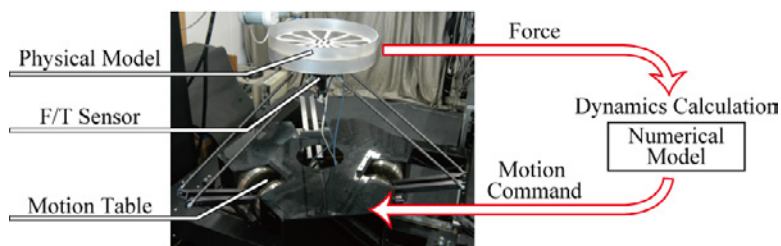


図 1 ハイブリッドモーションシミュレータ

【研究成果】

ハイブリッドシミュレータによって連続接触現象をシミュレーションする際に系のエネルギーが増大することを、ハイブリッドシミュレータを図2に示すようにモデル化し数値シミュレーションによって確認した。この結果から、力センサデータに対して行っている不

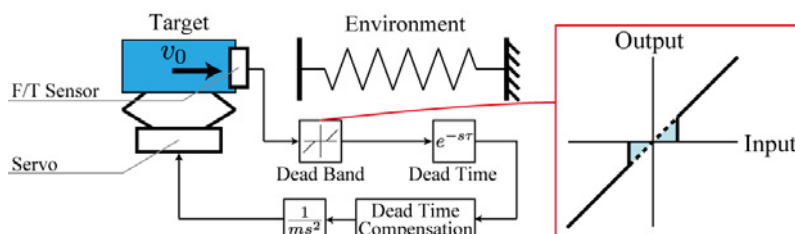


図 2 シミュレーションモデル

感帯処理によって系のエネルギー増大が起こっていることが分かった。不感帯処理は力センサデータに乗るノイズによる影響を除去するために挿入されている。この不感帯処理によって系に注入されるエネルギーを求めると、エネルギーはシミュレータの遅れ時間、接触時の速度、不感帯の閾値に依存することが分かった。

次に、系のエネルギー増大を補償する方法を2種類提案した。一つ目は仮想的なダンパを入れることで系に注入されるエネルギーを減衰させるというものである。二つ目は不感帯処理によって失われた接触力を外挿するというものである。実際に提案した手法の有効性を実験によって検証を行った。不感帯処理による影響は連続接触において顕著であるものの1回の接触においても影響が表れるため、1回の接触によって有効性の確認を行った。その結果、提案した両手法とも有効に作用することが分かった。また、不感帯処理によって注入されるエネルギーは接触時の速度に依存することから、接触時の速度によって補償用のパ

ラメータをオンラインで求めることで複数回の接触にも対応できることを確認した。

研究業績

【学会発表】

【国際】

1. Fumihito Sugai, Xin Jiang, Satoko Abiko, Atsushi Konno and Masaru Uchiyama: "Stabilization of Hardware in the Loop Simulation," *in Proc. of the eighth Int. Conf. on Flow Dynamics*, 2011.

【国内】

1. 菅井文仁, 姜欣, 安孫子聡子, 近野敦, 内山勝: “双腕宇宙ロボットの浮遊物体捕獲ハイブリッドモーションシミュレーションの安定化”, ロボティクス・メカトロニクス講演会’11講演論文集, 日本機械学会, 2011/5/26-28
2. 佐竹恵和, 菅井文仁, 大崎康平, 姜欣, 近野敦, 内山勝: “ハイブリッドモーションシミュレータの6軸遅れ時間補償”, ロボティクス・メカトロニクス講演会’11講演論文集, 日本機械学会, 2011/5/26-28



氏名 野田 純司

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 工学研究科航空宇宙工学専攻 升谷 五郎 教授
研究課題
高速燃焼実験における設備依存性の評価

平成23年度 研究成果概要

平成23年度、私の行った主な研究活動内容は以下のとおりである。

- 1) 希薄燃焼器の改良
- 2) 擬似衝撃波列の解析
- 3) 国内外における研究発表会への参加
- 4) 米国ヴァージニア大学およびNASAラングレーリサーチセンター訪問
- 5) 炭化水素燃料の燃焼効率推算について

1) 希薄燃焼器の改良

修士課程での実験結果から、高エンタルピー気流を作り出す、希薄燃焼器を改良する必要性が明らかとなった。これは、加熱器流が不均質なまま供試体(超音速ノズルおよび超音速燃焼器)へ流れ込み、その不均質性の影響が、超音速燃焼現象に対して、決して小さくないことがわかったためである。そこで私は、幾何的な観点から希薄燃焼器での水素・酸素噴射孔を再設計した。また改良型噴射孔をもつ部品を希薄燃焼器に組み付け、希薄燃焼器後流でピトー圧計測およびガス採取をすることにより、気流の均質性評価をした。その結果、従来の噴射孔に比べ、改良型噴射孔を組み付けた場合の方が、気流均質性が改善されている事を確認した。

2) 擬似衝撃波列の解析

修士課程での研究結果では、擬似衝撃波のモデル化を解決すべき課題の1つである事を、示した。定断面管における擬似衝撃波の解析モデルは過去に幾つか発表されているが、拡大管に適用できない。ここで、現在JAXAでは将来型宇宙往還機が考案されている。この機体に搭載が想定されているエンジンは、拡大管内で擬似衝撃波が発生する構造を有している。したがって、拡大管へ適用可能な擬似衝撃波のモデル化が必要である。

先ず始めに、わたしは準一次元解析プログラムを作成し、過去JAXAで実施された試験結果(拡大管における疑似衝撃波の圧力データ)の解析を行った。また、その成果を今年度のICFDで発表した。2011年度末の現段階では、渦度を用いた疑似衝撃波のモデル化をアイディアとして持っており、解析作業を行っている。

3) 国内外における研究発表会への参加

修士研究成果に追加の解析と考察を加え、その成果を学会(米国・サンディエゴ)で発表した。更に、別解析方法で得た結果を、ソウル大学と東北大学のワークショップ(韓国・ソウル)で発表した。また、上で述べたように、擬似衝撃波の解析も行い、その成果をICFDで発表した。

本来の予定では、年度初めに燃焼試験を行う予定であったが、実際は地震の影響により2011年の燃焼試験は実施されなかった。しかしながら、研究活動を「実験」から「解析」へと作業を早急にシフトした事により、上記のような成果を学会やワークショップの場で発表するに至った。

4) 米国ヴァージニア大学およびNASAラングレーリサーチセンター訪問

NASA Langley Research Center (以下LRCと記す)には、私の扱っている希薄燃焼加熱式の超音速風洞がいくつかある。そこで、それらの風洞の見学を行った。また、LRCの研究者が案内をしてくれたことから、質問を随時行った。LRCの見学で得た知見は、1) で示したJAXAにおける希薄燃焼器の改良にフィードバックされる。

ヴァージニア大学については、C.P. Goyne教授を訪問した。Goyne教授の研究室は、私の携わっている研究テーマの共同研究先である。訪問の最大の目的は、私の修士研究結果について議論する事であった(Goyne教授の研究グループと私の試験結果が若干異なるものであったため)。議論を通して、互いの実験の問題点などを洗い出す事ができた。この成果は、来年度に予定されているJAXAでの燃焼実験へ大きく反映されるものである。

また、ヴァージニア大学では風洞の見学も行った。彼らの扱う風洞は電気加熱式(アーク放電ではない)であり、世界的にもユニークである。併せて、分解された供試体の見学・意見交換を行なう事をおこなった。これにより、論文上には出てこないような、互いの試験条件の差異を見いだす事ができた。

5) 炭化水素燃料の燃焼効率推算について

本研究では、希薄燃焼用燃料として水素を用いてきた。しかし、気流条件を変化させる選択肢として、炭化水素燃料の使用も考えられる。このように、来年度からの実験では従来の水素とは異なる炭化水素燃料も視野に入れている事から、炭化水素燃料の燃焼効率推算ツールが必要である。

現在のところ、炭化水素系での燃焼効率プログラムを(水素のそれに倣って)作成した。しかし、実際に計算を走らせてみると、水素の場合と同様の方法では実用的なツールが作成出来ない事が判明した。現在、対応・改良策を講じている。

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. **Junji NODA**, Sadatake, TOMIOKA, Muneo IZUMIKAWA, C. P. GOYNE, R. D. ROCKWELL, Goro MASUYA, "Estimation of Enthalpy Effects in Direct-Connect Dual-mode Combustor," Special Issue on International Conference on Flow Dynamics (ICFD2010), Journal of Thermal Science and Technology, Vol.6, No.2, July. 29, 2011, pp. 289-296

【学会発表】

【国内】

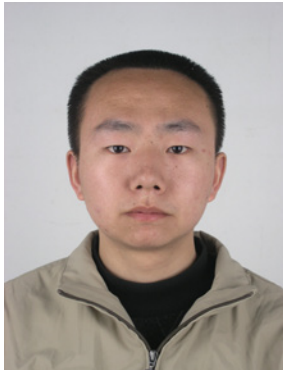
1. **大越将輝**, **野田純司**, 升谷五郎, 富岡定毅, "拡大管内での擬似衝撃波についての一次元解析," 宇宙輸送シンポジウム, 相模原, 神奈川県, 2012年1月. STCP-2011-074
2. **野田純司**, **大越将輝**, 富岡定毅, "複合サイクルエンジンに関する準一次元モデル化," 日本航空宇宙学会北部支部2012年講演ならびに第13回再使用型宇宙輸送系シンポジウム, 室蘭, 2012年3月. (口頭, 発表予定)

【国際】

1. **Junji Noda**, Sadatake Tomioka, Muneo Izumikawa, C. P. Goyne, R. D. Rockwell, Goro Masuya, "Comparison of Dual-Mode Combustor Performance with Various Heating Methods," 47th

AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, San Diego, California, USA, August 2011, AIAA-2011-6087. (口頭)

2. **J. Noda**, T. Kochi and G. Masuya, S. Tomioka and M. Izumikawa, R. D. Rockwell Jr and C. P. Goyne, “Comparison of Wall Pressure Distributions in Dual-Mode Combustors among under Three Heated Flow Conditions”, The 6th SNU-Tohoku University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle, October, 2011.(口頭)
3. **Junji Noda**, Sadatake Tomioka, Goro Masuya, “Quasi-one-dimensional Modeling of Supersonic Combustor,” 8th International Conference on Fluid Dynamics, OS12-11: The Seventh International Students/Young Birds Seminar on Multi-Scale Flow Dynamics, Sendai, Japan, November 2011, pp. 496-497. (口頭・ポスター)



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

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23年度 研究成果概要

Introduction

The goal of research work in this year is to develop a hybrid translational XY-microstage with the hinges of CNT (Carbon Nanotube)-carbon composite microstructures. The CNT-carbon composite is one of the superior elastic materials and no mechanical hysteresis for actuators in microsystems. In this research, the CNT-carbon composite has been used as hinge parts of the Si XY-microstage. The elastic modulus of the composite is smaller than that of Si, therefore, the moving parts in the microstage can be more flexible.

Fabrication and characterization of CNT-carbon microstructures

In order to investigate the mechanical properties of the CNT-carbon composite microstructures and applications in microsystems, the high aspect ratio CNT-carbon composite microstructures are designed and successfully fabricated by our novel fabrication technique based on the micromolding and pyrolysis of a resist (SU-8) mixed with 1% of CNTs.

CNT-carbon composite microstructures including cantilevers, crossbar rings, both-side bridged microstructures have been fabricated according to our design. Specific types of microstructures with different size and high aspect ratio have been fabricated. In the fabrication process, a Si micromold fabricated by photolithography and deep ICP-RIE (Inductive Coupled Plasma Reactive Ion Etching) was used for CNT/photoresist filling, and then the CNT/photoresist was converted to CNT-carbon composite microstructures by pyrolysis process.

The fabrication starts from patterning of the Si micromolds by photolithography and deep ICP-RIE. The Si side walls after etching are smoothed by H₂ annealing at 1200°C with the flow rate of 0.1 L/min of H₂, the pressure of the annealing chamber is 50 kPa, and the time period of annealing is 30 min. A resist (SU-8 50) mixed with 1% of CNTs was used as filling material. Then, the CNTs/resist was filled into the Si micromolds by backside pumping, squeezing, and remained CNTs/resist on the substrates was removed by O₂ plasma, and the CNTs/resist was converted to CNT-carbon composite microstructures by pyrolysis process at 400°C in N₂ gas for 1 hour. In order to fabricate hybrid silicon/composite microstructures, the photolithography and deep ICP-RIE were performed again to release the composite microstructures. The 2nd pyrolysis at higher temperature of 600°C than that of 1st pyrolysis was performed after deep ICP-RIE to reduce the shrinkage/depression of the composite microstructures. SEM images of released cantilevers were shown in Fig. 1.

For the investigation of mechanical properties of candidate microstructures, the Young's modulus of the composite is estimated from the resonant frequency of the composite cantilevers that was measured by a laser Doppler vibrometer, and the tensile stress-displacement was measured by using the both-side bridged composite microstructures and designed applied-force tensile test instrument. From the tensile stress-displacement measurement, the Young's modulus and fracture toughness can be obtained. The density of composite microstructures was estimated from the weight of the CNT-carbon film fabricated by the same pyrolysis process as composite microstructures. From the resonant frequency $f = 237.90$ kHz of one cantilever with a length of 700 μm , the Young's modulus E of CNT-carbon composite is estimated to be 105.8 ± 3.2 GPa. The Q factor of the resonance is

approximately 30 in ambient atmosphere. The mass shrinkage of pyrolyzed SU-8 (50 cp) films after 600°C pyrolysis process was 40.2%, therefore, 1% CNTs/photoresist became 1.66% in this process if supposed that the mass of CNTs doesn't change. The Young's modulus of SU-8 pyrolyzed at 600°C was 32 GPa, thus, the Young's modulus was increased by approximately 230% by adding 1.66% of CNTs as reinforcing agents.

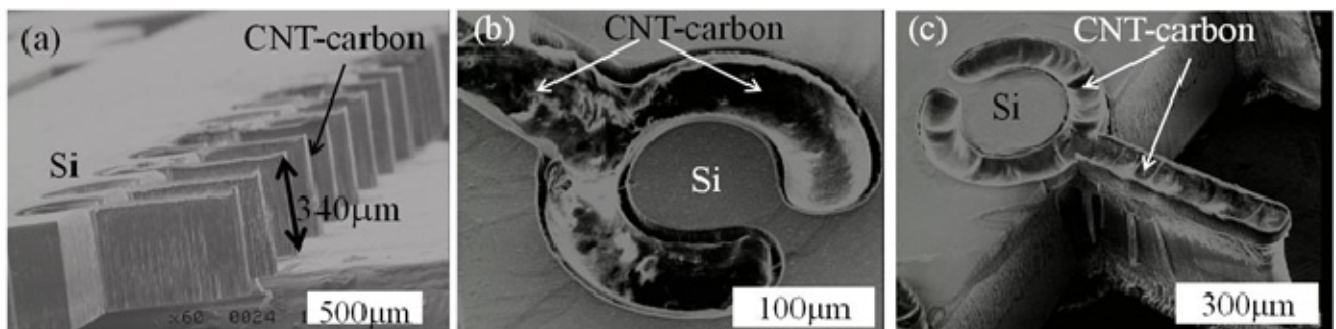


Fig. 1. SEM images of the fabricated composite cantilevers.

Design and fabrication of Si-PZT microstage with CNT-carbon hinges

The design of hybrid microstage follows Moonie displacement amplification mechanism, comprises of PZT actuators mounted onto a Si base. This microstage is made of a silicon substrate with a size of 20*20*0.4 mm. In order to amplify the PZT stroke to produce large displacement, the Moonie mechanism is chosen for our design, which can result in larger amplification factors with smaller values of Moonie angle.

Novel fabrication technology has potential and significant applications in microstage or other microsystems capable of producing large displacements. The fabrication processes of the microstage is similar as the fabrication of CNT-carbon composite microstructures, but the hinge parts of composite were fabricated by one-step pyrolysis at 400°C in N₂ gas. After the pyrolysis process, the microstage structure is formed by photolithography and deep ICP-RIE again. Finally, the stacked piezoelectric actuators are assembled in the Moonie amplification structure in the microstage. Fig. 2 shows the fabrication results of the Si-PZT XY-microstage with CNT-carbon hinge parts. Two set of identical flexible supporting beams with 50 μm width and 4 mm length that function as springs are formed in the Moonie mechanism. The PbZrTiO₃ stacked actuators with a size of 8*0.5*0.4 mm as shown in Fig. 2(b) was fabricated from a PZT plate by our processes including electroplating and photolithography.

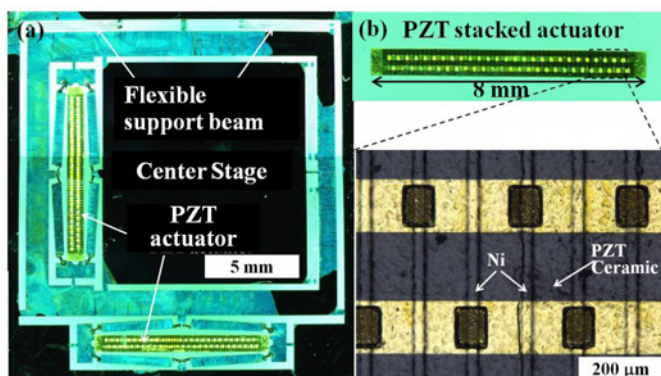


Fig. 2. Micrograph of the fabricated Si-PZT microstage with CNT-carbon hinges, (a) Si-PZT microstage, (b) PZT stacked actuator, and close-up of the PZT layers and nickel electrodes.

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. Liang He, Masaya Toda, Yusuke Kawai, Mohd Faizul Sarbi, Mamoru Omori, Toshiyuki Hashida, Takahito Ono, "Fabrication of a Si-PZT Hybrid XY-Microstage with CNT-carbon Hinges", *IEEE Transactions on Sensors and Micromachines* (投稿中)

【学会発表】

【国内】

1. Liang He, Masaya Toda, Yusuke Kawai, Mamoru Omori, Toshiyuki Hashida, Takahito Ono: “High Aspect Ratio Carbon Nanotube-Carbon Composite Microstructures Fabricated by Silicon Molding Technique”, **Poster**, *第28回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム論文集*, 28, (2011), 371-374

【国際】

1. L. He, M. Toda, Y. Kawai, H. Miyashita, C. Y. Shao, M. Omori, T. Hashida, T. Ono: “Fabrication of high aspect ratio carbon nanotube-carbon composite microstructures based on silicon molding technique”, **Poster**, *Proceeding of International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems*, 16, pp. 2331-2334 (2011/06),
2. Liang He, Masaya Toda, Yusuke Kawai, Hidetoshi Miyashita, Shuai Chen, Mamoru Omori, Toshiyuki Hashida, Takahito Ono: “Characterization of Carbon Nanotube-Carbon Composite Microstructures”, **Oral and Poster**, *Eighth International Conference on Flow Dynamics*, Sendai, Japan, November 9-11, 2011



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 福西 祐 教授

研究課題

平板前縁における境界層の受容性に関する研究

平成23年度 研究成果概要

境界層に含まれている乱れは一様流中の渦度攪乱や周囲の音響による速度変動が境界層に取り込まれて成長したものである。Morkovinがこの乱れの伝達機構を受容性と名付けて以来、多くの研究者によって受容性に関する研究が積極的に進められてきた。主流中の乱れが小さい場合、主流乱れの受容は物体前縁におけるものが支配的となる。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おり、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、また、境界層も渦度の層であることから、これらを議論する際に渦度のパターン変化に着目し、前縁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皆無である。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。昨年度までは風洞実験により研究を進めてきたが、前縁境界層は非常に薄くまた正確な渦度分布は実験により取得しにくいことから、今年度は実験と同じ条件での数値計算を平行して行うことにより、前縁周りの受容性の解明に取り組んだ。その結果、受容される渦度変動の強さが主流に加える渦度変動の強さに依存しない場合もあることがわかった。さらに、主流に加える渦度変動のスケールが受容される渦度変動の強さに影響することが明らかとなった。また、受容された乱れを分離することに成功し、その波長と位相速度を渦が外縁を通過する乱れによるものと、境界層内に受容された乱れに分離することが出来た。

計算対象は5:1の楕円形状の前縁を有する平板であり、前縁長さを代表長さとしたレイノルズ数は 2.0×10^4 である。主流に加える乱れは渦度変動で取り扱い、計算上は流入条件を周期的に変動させることにより与えた。

図1に前縁周りの渦度分布を示す。この図から赤い正の渦度の強い部分が前縁に衝突する様子が見られ、衝突した渦は前縁によって引き伸ばされていくことがわかる。このとき、渦の径と強さを变化させて数値実験を行い、流入させる渦の強さと受容された境界層内の速度変動の比、すなわち、受容係数を調べたところ、必ずしも受容される渦度変動の強さが主流に加える渦度変動の強さに依存しない場合もあることがわかった。

本研究では境界層に取り込まれた速度変動を観察したい。そこで外乱の影響による速度変動と境界層内に取り込まれた速度変動を分離するために、ある位置の速度変動からその位置に隣り合う位置での速度変動を差し引いた値 u' を観察することにする。この操作により同位相の変動は差し引かれ、境界層内を伝播する速度変動のみを取り出したことになる。その処理を行った主流中の速度変動と境界層内の速度変動を観察すると、周期的な速度変動が現れており、また位相は異なるものの、振動周波数は境界層内と境界層外で同一であり、導入された攪乱の周波数と一致することがわかった。図2にある瞬間における空間速度分布に対して1から10までの波数に対して最も多く含まれる波数成分を流れ方向に調べた結果を示す。横軸

は 流れ方向の距離であり、0.0がよどみ点であり、1.2が前縁部と平板部のつなぎ目である。この図から波数1付近の波と波数9付近の波が混在することがわかる。主流速度 $U=1$ と攪乱の周期 $f=0.8$ から求められる主流によって移流される攪乱の波数は1.25であり、図中の波数1付近の波はこの主流中を移流する速度変動が起因していることが推測される。また、波数10付近の速度変動が存在することと、流れ場が同一周波数で振動していることから、境界層内で位相速度の遅い波が伝播していることが推察される。

また風洞実験により、主流中に微小速度攪乱を導入するため微小振動翼を作成し、その後流計測を行った。その結果微小振動翼から生じた速度変動は、翼直下では主流乱れとしては比較的強い値だが、十分下流では1%以下まで減衰し、乱れの前縁受容性に関する研究に用いられることができるほど十分小さい値であった。

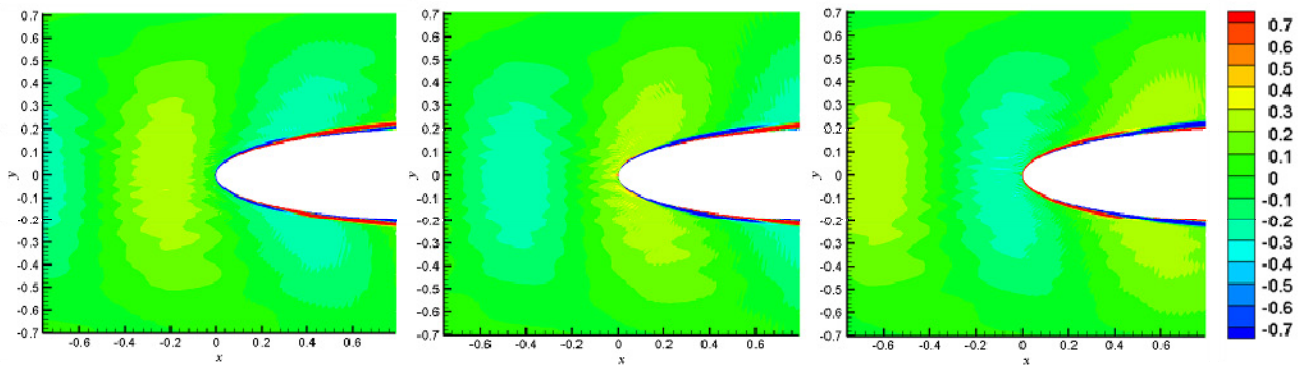


図1 前縁周りの渦度変動分布

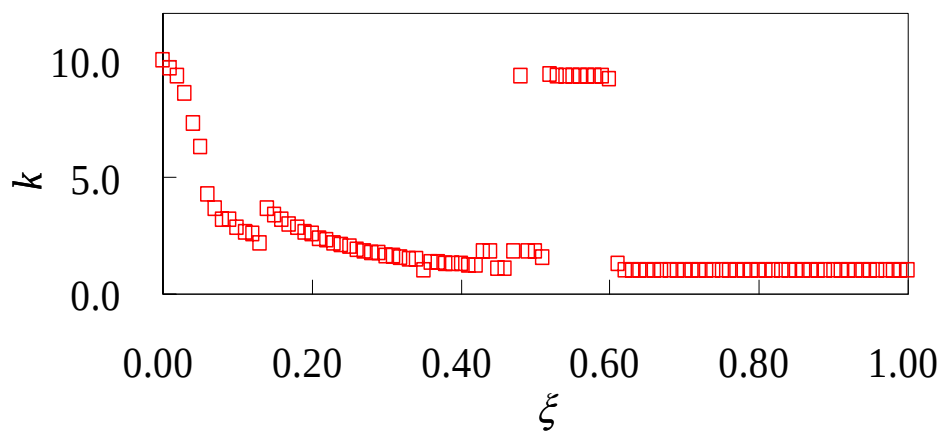


図2 境界層内の波数分布

研究業績

【学会発表】

【国内】

1. 第四回流動ダイナミクス国際若手研究発表会, Leading Edge Receptivity of the Boundary Layer on a Flat Plate, 口頭&ポスター, 2011-7

【国際】

1. The Eighth International Conference on Flow Dynamics, “Process of Leading Edge Receptivity to Periodic Disturbances”, short oral and poster, 2011-11

【新聞、雑誌等への記事掲載など】

1. 2011年度東北大学風洞運営委員会学生ユーザー会として一般配布用パンフレットに掲載 2011発行



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2年

指導教員 流体科学研究所 西山 秀哉 教授

研究課題

Advancement of Powder Spheroidization Process with Water Droplet Injection

Using a Small Power DC-RF Hybrid Plasma Flow System

平成23年度 研究成果概要

Alumina is a widely used, cost effective oxide ceramic material for engineering applications. In order to ensure defect-free coatings, spherical alumina powder has important practical applications to conduct thermal spray processes. Spherically shaped alumina powder enables greater homogeneity and stable powder transportation because of excellent powder fluidity in a narrow space. Steady powder feeding control is a key element for achieving high performance thermal spray processes. Therefore, alumina powder spheroidization processes are essential to achieve higher powder fluidity for high-quality dense coating formation.

The aim of this study was to improve the thermofluid flow characteristics of plasma flow and the spheroidization process by mixing argon plasma flow with hydrogen molecules by water droplet injection without directly disturbing plasma flow. Thus, a small amount of water droplets is injected into the tail of plasma flow, and injected water droplets in the thermal plasma flow were heated, vaporized, and dissociated into hydrogen and other species. Therefore, the effects of injection of water droplets into the tail of plasma flow on the thermofluid flow characteristics of plasma flow and the spheroidization rate for high alumina powder fluidity were experimentally investigated to achieve a high performance spheroidization process using a small power DC-RF hybrid plasma flow system.

DC-RF hybrid plasma flow system under a low input electric power of 7.8 kW is utilized for an in-flight alumina powder spheroidization process, as shown in Fig. 1. Water droplets with an average diameter of 1.69 μm are injected by a two-phase atomizer is out of the DC-RF plasma torch at $r = 95$ mm and $z = 195$ mm. The characteristic time of vaporization from the lumped heat capacity model is estimated to be 0.22 ms at gas temperature of 1000 K. Assuming that the relative velocity between plasma flow and a particle is nearly zero, the droplet transportation time that water droplets are transported to the center of the plasma flow from $r = 40$ mm is estimated to be 8.9 ms at a radial maximum velocity of atomizing gas of 4.51 m/s without water droplet injection measured by a hot-wire anemometer. Therefore, water droplets are vaporized during transportation into the tail of the plasma flow.

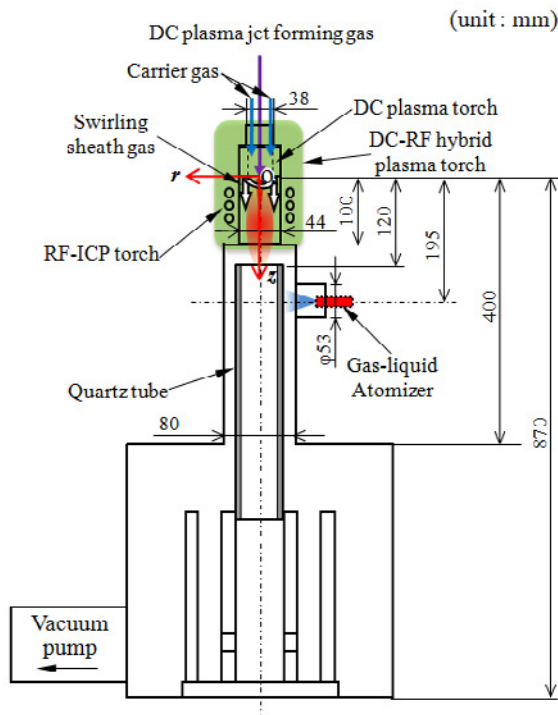


Fig. 1 Schematic of a DC-RF hybrid plasma flow system

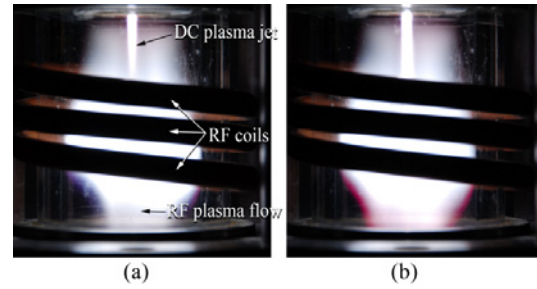


Fig. 2 Photographs on the DC-RF plasma flow (a) without and (b) with water droplet injection

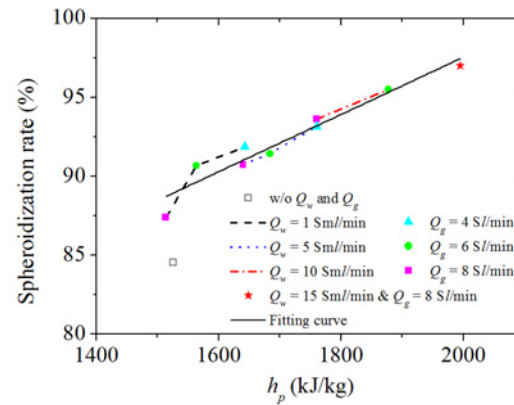


Fig. 3 correlation between spheroidization rate and plasma enthalpy

Figures 2 (a) and (b) show photographs on the DC-RF plasma flow without and with water droplet injection into the tail of plasma flow. Since the plasma flow is pinched by the radial Lorentz force in the presence of the induction electromagnetic field, a characteristic recirculation eddy is generated near the wall in the lower part of the RF coils region. A backflow is additionally generated by the flow separation where the cross-sectional area between the torch and the chamber is abruptly expanded at $z = 100$ mm. This characteristic recirculation flow is linked with the backflow. Aqueous vapor transported along the wall by this linked backflow rises to the plasma region in the lower RF coils, the plasma flow structure and the visible emission color are changed because of generated hydrogen mixed with argon plasma.

Figure 3 shows a correlation between the spheroidization rate and the plasma enthalpy depending on the flow rates of injected water and atomizing gas. The spheroidization rate is linearly proportional to the plasma enthalpy measured at $z = 110$ mm. The spheroidization rate of processed alumina powders is strongly influenced by the quantity of the plasma enthalpy. As either the water flow rate or the atomizing gas flow rate under conditions of water droplet injection increases, the spheroidization rate improves with the increase in the plasma enthalpy.

The effect of water droplet injection into plasma flow on the plasma enthalpy and the alumina powder spheroidization process has been experimentally clarified using a small power DC-RF hybrid plasma flow system. As soon as micro-sized water droplets reach thermal plasma flow, they effectively change into vapor to be easily dissociated. After chemical reaction of aqueous vapor with plasma flow, hydrogen is successfully produced and is mixed with the plasma flow in the vicinity below RF coils. Water droplet injection increases the plasma enthalpy due to the mixing effect with argon plasma flow and hydrogen in the vicinity below RF coils. The spheroidization rate is improved from 84.5% to 97% by

injections of water droplets and atomizing gas due to an effective increase in plasma enthalpy.

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. H. Takana, J. Jang, J. Igawa, T. Nakajima, O. P. Solonenko, and H. Nishiyama, Improvement of In-flight Alumina Spheroidization Process Using a Small Power Argon DC-RF Hybrid Plasma Flow System by Helium Mixture, *J. Therm. Spray Technol.*, 20-3 (2011), pp. 432-439
2. J. Jang, H. Takana, O. P. Solonenko, and H. Nishiyama, Advancement of Powder Spheroidization Process Using a Small Power DC-RF Hybrid Plasma Flow System by Sinusoidal Gas Injection, *J. Fluid Sci. Technol.*, 6-5 (2011), pp.729-739
3. J. Jang, H. Takana, S. Park, and H. Nishiyama, Advancement of In-flight Alumina Powder Spheroidization Process with Water Droplet Injection Using a Small Power DC-RF Hybrid Plasma Flow System, *J. Therm. Spray Technol.*, accepted for publication (Jan. 2012)

【学会発表】

【国内】

1. 日本機械学会 2011 年度年次大会（東京），噴霧注入型 DC-RF ハイブリッドプラズマ流動システムの熱流動特性と微粒子球状化プロセス，口頭，2011. 9. 11-14

【国際】

1. 20th International Symposium on Plasma Chemistry (Philadelphia, USA), Effect of Liquid Droplets Injection on Powder Spheroidization Process Using a Low Power DC-RF Hybrid Plasma Flow System, poster, Jul. 24-29, 2011
2. 8th International Conference on Flow Dynamics (Sendai, Japan), Advancement of Alumina Powder Spheroidization Process in a Low Power DC-RF Hybrid Plasma Flow System by Water Droplets Injection, poster, Nov. 9-11, 2011



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

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23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と比べて一桁大きい。そのため、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翼面上の境界層を層流に保つことが工学的に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、より制御効果が上昇する場合が見られた。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上昇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、振動するアクチュエータ近傍の流れ場について2次元の数値計算を行った。

【計算方法】

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。

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{u}\mathbf{u} = -\nabla p + \frac{1}{Re} \nabla^2 \mathbf{u} \quad (2)$$

数値解法にはフラクショナルステップ法を採った。移流項・粘性項ともに2次精度中心差分法を用い、時間進行は陽的オイラー法を用いた。格子点数は $N_x \times N_y = 400 \times 200$ 点である。計算領域を図1に示す。計算条件は、アクチュエータを振動させて平板境界層に速度変動波を励起させた以前の計測実験を模擬するように定めた。すなわち主流速が14m/s、アクチュエータの駆動周波数が100Hzに相当する。

【結果と考察】

図2は計算された渦度変動場である。アクチュエータ先端の $x=900\text{mm}$ 付近よりT-S波が発生している。しかし不安定領域となる周波数を選んでいるにもかかわらずT-S波はすぐに減衰しており、実験とは異なる結果を呈している。これは数値誤差によるものと考えられ、その解決のためには、より高次精度の方法を採用する必要がある。

【今後の展望】

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常に問題となる。そこで今後移動するアクチュエータ境界に対して埋め込み境界法を採る予定である。この手法は、式(2)に対してさらに、境界の影響を外力項として追加して取り込む方法である。

またT-S波は2次元的な現象であるため、現在の計算は2次元流れを対象にしている。しかし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実際の過程を捉えるためには、3次元的な現象に対しても注意が必要である。それは、これまでの実験によってピエゾアクチュエータのスパン方向の端からは縦渦が生じていることが示唆されているからである。したがって、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できるように、現在の計算を3次元へと拡張することを検討している。そして計算の結果を基に、境界層制御実験における制御装置の設計に生かしていく予定である。

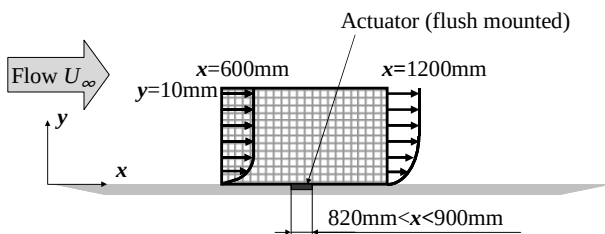


図1 計算領域

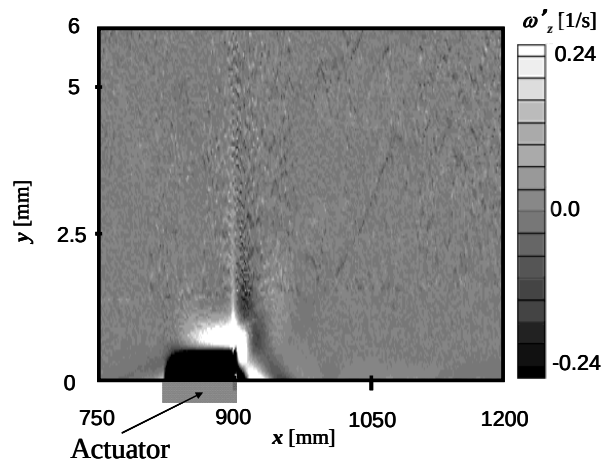


図2 T-S波渦度変動場

研究業績

【学会発表】

【国際】

1. H. Okawa, S. Kondo, M. Shigeta, S. Izawa, Y. Fukunishi: Generation of Velocity Fluctuations in a Boundary Layer by a Piezoelectric Actuator, AJK2011-FED ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011, Hamamatsu, Japan, (24-29 July, 2011), AJK2011-13018 USB Memory 口頭発表
2. H. Okawa, M. Shigeta, S. Izawa and Y. Fukunishi: Simulation of Velocity Fluctuation Generated by Vibrating Actuator, The Eighth International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, (November 9-11, 2011), pp.584-585, USB Memory. 口頭&ポスター発表



氏名 TORRES ALVAREZ Juan Felipe

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 圓山 重直 教授

研究課題

多成分系における物質移動測定および不安定性解析に関する研究

研究背景

現在、製薬および生物学などの分野において、製造プロセスの高効率化や製品の高品質化のために、物理化学的諸性質を表す物性値の知識が必須となってくる。中でも、物質拡散係数およびソーレー係数(熱拡散係数)は物質移動を論ずる上で最も重要な物性値の二つである。物質拡散係数およびソーレー係数は濃度、pH、イオン強度などに依存しており、特に濃度依存性は結晶成長などの高濃度プロセスを論ずる上で重要である。また、日々多くの高分子化合物が人工的に製造され、これらの物性値のデータが不足であるのが現状となっている。高分子化合物の分子量から物質拡散係数の推測ができるが、物質拡散係数は分子構造、pH、溶媒の種類にも依存しているため、この物性値の推測は多くの場合、誤差20%程度となる[1]。

また、多成分系物質移動現象の解明は混合物質の分析のために欠かせない知識であり、多くの分析法の開発が行われている。分析法の一つとしてクロマトグラフィーが挙げられ、分析クロマトグラフィーでは、タンパク質、ポリペプチド、核酸などの生体を構成する比較的大きな分子を分析することができ、製薬分野では不可欠なツールとなってきた。しかしながら、対象試料の同定には多孔質であるゲルなどの単体を必要とするため、物質輸送に対して担体による抵抗が生じ、高速測定をもつといわれる高速液体クロマトグラフィーでも数十分間の比較的長時間の測定を要する[2]。

そこで本研究では光学干渉計を用い、高分子化合物等における物質移動(物質拡散、ソーレー効果、自然対流)の短時間高精度測定法を開発・展開していく。具体的には、高分子化合物の物質拡散係数の濃度・pH依存性、二成分系におけるソーレー係数、および多成分系物質拡散係数についての新測定法を提案する。また、同じ光学系を用い、多成分系における自然対流不安定性を実験的に検討し、数値シミュレーションと比較することで、不安定理論[3]を評価する。

[1] B. E. Poling et al., The Properties of Gases and Liquids (2004), McGraw-Hill.

[2] A. Axelsson, M. Marucci, Optics and Lasers in Engineering Vol. 46 (2008), pp. 865-876.

[3] D. Henry, H. BenHadid, Physical Review E Vol. 76 (2007), 016314.

平成23年度 研究成果概要

本研究では以下の成果が得られた。

- ① 円山らが開発した位相シフト干渉計を改良し、物質拡散係数濃度依存性の新測定法を提案した。位相シフト干渉計を図1に示す。改良した主な二点は溶液注入システムおよびリアルタ

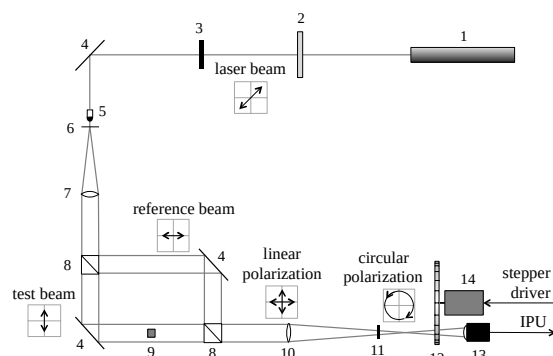


図1. 位相シフト干渉計: (1) HeNeレーザー, (2) 偏光板, (3) NDフィルター, (4) 鏡, (5) 対物レンズ, (6) ピンホール, (7) コリメータ, (8) 偏光ビームスプリッター, (9) 拡散セル, (10) 焦点レンズ, (11) 4分の1波長板, (12) 回転偏光板, (13) CCDカメラ, (14) ステッピングモーター。

イムで位相シフト測定である。本測定系を使用することで、微小濃度差の拡散場を形成することができ、リアルタイムでの非定常濃度分布測定を可能とした。既知の物質拡散係数を測定することで、本測定法の性能を評価し、従来の測定法より高精度な測定法であることが明らかとなった。本光学系は温度・濃度に依存する屈折率を二次元測定するため、ソーレー効果、熱伝導、自然・強制対流の可視化も可能である。

- ② 高分子化合物の物質拡散係数の濃度依存性および pH 依存性を測定した。本研究では **Lysozyme** [分子量 14kDa]および **BSA** [分子量 66kDa]のタンパク質を使用し、pHを固定するために広域緩衝液を用いた。**Lysozyme** および **BSA** の物質拡散係数の濃度依存性についての測定結果を図 2 に示す。図 2 より、分子量が高い **BSA** の物質拡散係数は分子量が低い **Lysozyme** の物質拡散係数よりも小さいことがわかる。また、物質拡散係数濃度依存性の傾向の違いから、分子動力学シミュレーション (M. Tokuyama et al. *Phys. Rev. E* **83**, 2011) と比較することで、タンパク質構造が解明できる可能性を示した。図 3 は **BSA** 物質拡散係数の pH 依存性を示す。各シンボルの違いは測定に使用するデータの時刻の違いを表し、時刻が遅くなるにつれて値が収束することがわかった。図 3 により **BSA** 物質拡散係数は等電点である pH4.9 の近傍で最大となり、本結果から等電点の測定が可能であることがわかった。

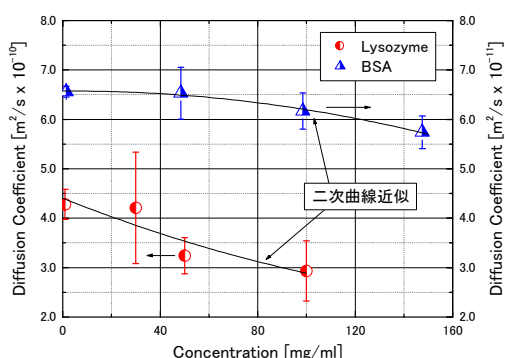


図2. タンパク質物質拡散係数の濃度依存性.

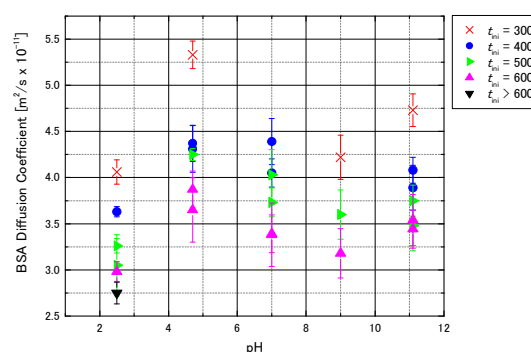


図3. BSA物質拡散係数のpH依存性.

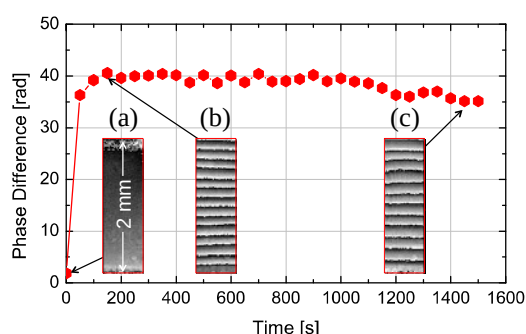


図4. 設計したソーレーセル

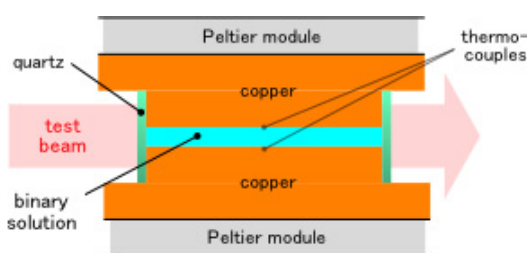


図5. Ethanol-Water系での熱拡散測定結果

- ③ 位相シフト干渉計を用い、二成分系におけるソーレー係数の測定法を開発した。図 1 に示す光学系を用い、温度勾配による物質拡散（ソーレー効果・熱拡散）を測定した。熱拡散を起こすために、図 4 に示す平行 6 面体のソーレーセルを設計し、側面および上下面の材料をそれぞれ石英および銅とした。また、ペルチェ素子を使用し、境界面の熱流束を PID 制御することで、垂直方向に線形温度分布を設定した。**Ethanol-Water** 系の熱拡散実験の結果を図 5 に示す。図中、(a)から(b)までが主として熱伝導の過程であり、(b)から(c)までが主として温度勾配による物質拡散（熱拡散）過程

となる。位相シフトデータの時間変化から上下の濃度差を求め、ソーレー係数を導出した。また、測定値を参考値と比較することで、本測定法のバリデーションを行った。

④ 位相シフト干渉計および PIV 法を用い、立方体内における自然対流の温度場および流速場を同時に測定した。

本実験では図 4 に示すソーレーセルを改良し、立方体キャビティ内における単一成分の自然対流を観察した。位相シフト干渉計により二次元温度場を測定すると共に、PIV 法による流速場の測定を行った。流動場測定結果を図 6 に示す。温度場と同時かつ高精度の測定を行うことで、熱移動および物質移動の関係をより正確に検討することが可能となった。構築した測定系を用い、広範囲のレイリー数において不安定性現象の評価を可能とした。

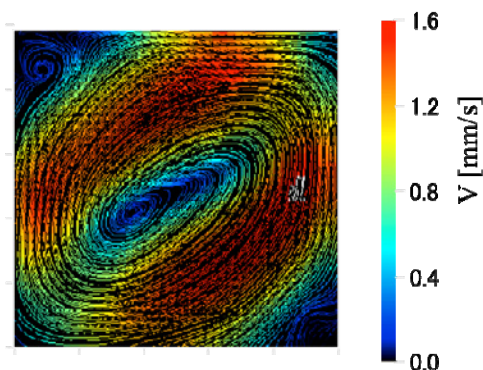


図6. 立方体内の流れ

⑤ 平行 6 面体内のレイリー・ベナール対流の数値シミュレーションおよび不安定解析を行った。一対面が互いに温度の異なる等温壁を有し、他面は断熱条件の立方体内閉空間において、レイリー・ベナール対流の三次元計算を行った。計算流動場および温度場を図 7 に示す。プラントル数範囲が 0.71 から 130 までの流体について計算し、グラスホフ数と最大速度の関係を表す分岐図を求めた。図 8 は $Pr = 5.9$ (精製水) において最大速度とグラスホフ数の関係を示している。分岐点から熱伝達が促進されるグラスホフ数の条件を評価した。

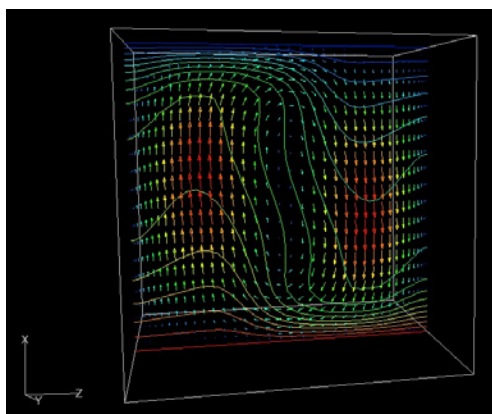


図7. 計算結果：三次元流速場および温度場。

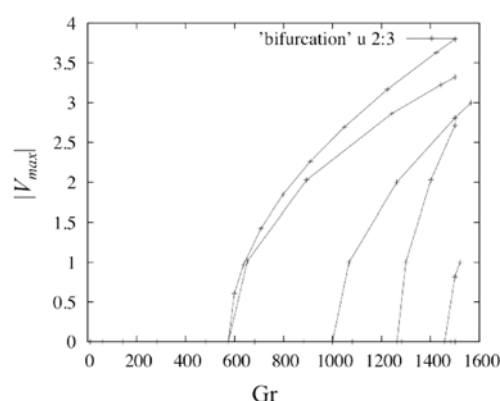


図8. 不安定解析結果：水の分岐図

平成23年度 総括

本年度GCOEの支援を受け、博士課程後期のDouble Degree Programを開始した。本プログラムは東北大学の流体科学研究所(IFS)およびフランスのEcole Centrale de Lyon (ECL)のLaboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique (LMFA)の2機関で実施し、実験的かつ理論的な研究を遂行してきた。東北大学で実験を実施し、ECLで数値計算を行う体制をとり、研究を進めてきた。

本年度の研究総括を以下にまとめる。

- 東北大学での研究期間（平成 23 年 4 月 15 日～ 10 月 6 日）：
 - 研究成果②の測定を行った。
 - 岡山市で行われた第 48 回日本伝熱シンポジウムで研究成果②の一部を発表した。
 - ポルトガルで行われた 7th International Conference on Diffusion in Solids and Liquids で、

研究成果①および研究成果②の一部を発表し、学会の国際ジャーナルに投稿した。

- 研究成果③のソーレー係数新測定法を提案した。
- 干渉計および PIV 法による同時計測手法を開発し、自然対流の観察を行った。
- 国際ジャーナル *Optics and Lasers in Engineering* に研究成果①を投稿した。
- Ecole Centrale de Lyon での研究期間（平成 23 年 10 月 7 日～平成 24 年 1 月 27 日現在）
 - PIV 法の測定データを処理し、研究成果④を得た。
 - 自然対流に関する参考文献を勉強し、数値計算に関する基礎知識を身につけた。
 - 不安定性解析のプログラムを実行し、本研究の条件に適切な改良を施した。
 - 研究成果⑤の計算結果を得た。

次年度研究計画

研究背景に説明したように、多成分系自然対流における不安定解析を行うのが本研究の目的の一つである。これを果たすために、これまで開発してきた測定法および解析法を利用し、以下の予定に沿って研究を進めていく。

- 東北大学での研究期間（平成 24 年 4 月 1 日～ 9 月 1 日）
 - 4 月：Ethanol-Water 系および Fontainebleau benchmark の二成分系溶液のソーレー係数を計測する。本測定法を確立する。
 - 5 月～8 月：プラントル数が異なる流体の分岐図を実験的に求める。レイリー・ベナールセルの傾斜角の影響を調べる。
 - 5 月の第 49 回伝熱シンポジウム、6 月の 10th International Meeting on Thermodiffusion の学会において参加を予定し、情報収集を行う。
- Ecole Centrale de Lyon での研究期間（平成 24 年 9 月 1 日～平成 25 年 2 月下旬）
 - ソーレー効果を考慮した多成分系自然対流について三次元数値計算をする。
 - 不安定性解析の結果から、本系における熱伝達促進条件を明らかにする。

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. Juan Felipe Torres, Atsuki Komiya, Eita Shoji, Junnosuke Okajima, Shigenao Maruyama, *Development of Phase-Shifting Interferometry for Measurement of Isothermal Diffusion Coefficients in Binary Solutions*. *Optics and Lasers in Engineering*, 投稿中
2. Juan F. Torres, Atsuki Komiya, Junnosuke Okajima, Maruyama Shigenao, *Measurement of the Molecular Mass Dependence of the Mass Diffusion Coefficient in Protein Aqueous Solutions*. *Defect and Diffusion Forum*, 投稿中

【学会発表】

【国内】

1. 第 48 回日本伝熱シンポジウム，高分子化合物の水溶液内物質拡散係数の濃度依存性評価，口頭発表・ポスター発表，平成 23 年 6 月（「優秀プレゼンテーション賞」を受賞）

【国際】

1. 7th International Conference on Diffusion in Solids and Liquids, Evaluation of the Concentration and Molecular Mass Dependency of the Mass Diffusion Coefficient of Protein in Aqueous Solutions. 口頭発表，2011 年 6 月

【受賞等】

1. 第49回日本伝熱シンポジウムにおいて「優秀プレゼンテーション賞」を受賞した。日本伝熱学会（平成23年6月2日）
2. 第4回GCOE流動ダイナミクス国際若手研究発表会において「最優秀賞」を受賞した。東北大学グローバルCOE（平成23年7月8日）

【新聞、雑誌等への記事掲載など】

1. 朝日新聞，日本に戻りボランティア，平成23年4月30日



氏名 藤井 宏之

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

分子動力学法によるガラス形成物質の拡散過程に関する研究

平成23年度 研究成果概要

ガラス転移現象はコロイド分散系や金属系で見られる普遍的現象である。この現象の基礎研究において、熱力学特性と輸送特性の関係を理解することは重要である。これまで液体、過冷却液体、そしてガラス状態は融点 T_m とガラス転移温度 T_g によって熱力学的に定義されてきた。そして、これら熱力学的温度近傍で輸送係数がどのように変化するかが活発に議論されている。先行研究では、輸送係数を経験的関数から解析することにより動的 T_g が評価され、熱力学的 T_g と対応していることが示されている。このように先行研究は成果を収めているものの、2点の課題があると考えられる。1つは T_g 以外の熱力学的温度と動的温度の関係性は議論されていないこと、もう一つは経験則を使用しているため、動的 T_g における物理的意味を理解することが難しいということである。そこで本研究では、分子動力学法による計算機実験を3成分金属ガラス溶融体 $\text{Cu}_{60}\text{Ti}_{40-x}\text{Zr}_x$ ($x=20, 30$) に対して行い、熱力学的 T_g だけでなく、定圧比熱 C_p のピーク温度 T_{peak} と動的温度の対応関係について考察した。全粒子数は10976であり、原子は運動方程式に従って運動している。ポテンシャルパラメータはハン・タイヒラーモデルを採用しており、パラメータ値を固定して、組成比を変更している。また、電子ガスポテンシャルによって、電子の効果も取り入れている。物理量の測定は自由エネルギーが時間に対して一定、そして平均二乗変位が拡散領域まで移行してから行っている。

エンタルピー H と C_p の温度依存性から熱力学的 T_g と T_{peak} を測定した。図1のように T_g 近傍で H の傾きは緩やかになり、また C_p は急激に減少していることから、なんらかの運動が凍結していることがわかる。このガラス転移点は平衡から非平衡への遷移と考えられており、実際に T_g の値が測定条件によって異なることが知られている。一方で C_p のピークは粒子の活性化を示していると考えられる。これら熱力学的温度は、比体積と熱膨張係数から測定した温度と一対一に対応している

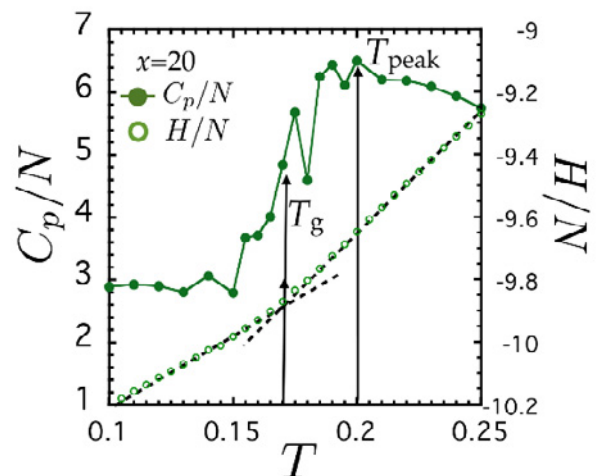


図1: $\text{Cu}_{60}\text{Ti}_{20}\text{Zr}_{20}$ ($x=20$) における1粒子あたりのエンタルピー H/N と定圧比熱 C_p の温度依存性。ガラス転移温度 T_g は H/N を線形近似(点線)することで評価されている

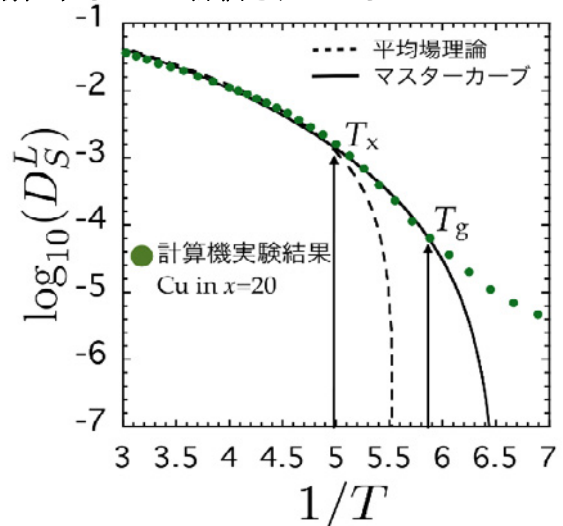


図2: $\text{Cu}_{60}\text{Ti}_{20}\text{Zr}_{20}$ ($x=20$) における Cu の自己拡散係数 D_s^L の逆温度依存性。点線は平均場理論、実線はマスターカーブであり、特性温度 T_x と T_g で実験結果との相違が生じる

ことを確認している。つまり、エネルギー変化と構造変化が同時に起こっていることを示している。また、 H と C_p を分解して解析した結果、これら温度は系全体の変化を表し、部分的なものではないことを明らかにしている。

次に自己拡散係数 D_S^L を測定し、徳山によって提唱されている2つの理論式を用いて解析を行った。経験則でなく、理論式を用いることで、得られる動的温度の物理的意味が理解される。2つの理論線は平均場理論とマスターカーブと呼ばれ、液体と過冷却液体領域それぞれで適用される平衡状態の特異関数である。図2のように理論線はそれぞれの領域で D_S^L の計算機実験結果とよい一致を示す。しかし、理論線と特異的な振る舞いを示さない計算機実験結果はある温度でずれ始める。この温度は特性温度として考えられ、それぞれ強い過冷却液体温度 T_x と動的 T_g として評価される。 T_x 近傍でダイナミクスは2体相関から、多体相関へと遷移する。そしてマスターカーブとの相違が生じる動的 T_g 近傍では、系の状態が平衡から非平衡へと遷移する。

上記の熱力学的温度と動的温度を比較した結果、熱力学的 T_g と動的 T_g が一致していることが明らかとなった。両定義とも平衡から非平衡への遷移を特徴づけるものとして解釈される。一方で比熱のピーク温度 T_{peak} は拡散が大きい粒子（本研究ではCu）における T_x と対応していると考えられる。 T_x の値は粒子種によって異なっており、拡散が小さい粒子（本研究ではZr）のものがより高温である。Zrの T_x 以下ではCuは液体状態のままであるのに対して、Cu粒子の T_x 以下では系全体が過冷却液体状態となっている。 T_{peak} は系全体を特徴づける量であったのでこの対応関係は妥当であると考えられる。 T_{peak} 近傍では粒子が活性化し、それに伴ってダイナミクスも変化していることが明らかとなった。この熱力学的温度と動的温度の相関関係は x が20と30の場合それぞれで成り立っていることを確認している。温度自体の値は x によって依存しているが、理論の特異温度である T_f との比は x に依存しない。よって、温度を T_f で規格化すれば、普遍的な対応関係が得られることが示唆され、実際に図3でその普遍性が確認できる。また、本研究以外の金属ガラス形成物質溶融体の計算機実験結果も解析した結果、熱力学と輸送係数の対応関係は普遍的であることも明らかとした。本研究内容は研究業績記載の国際会議などで発表し、また現在投稿に向けて準備中である。

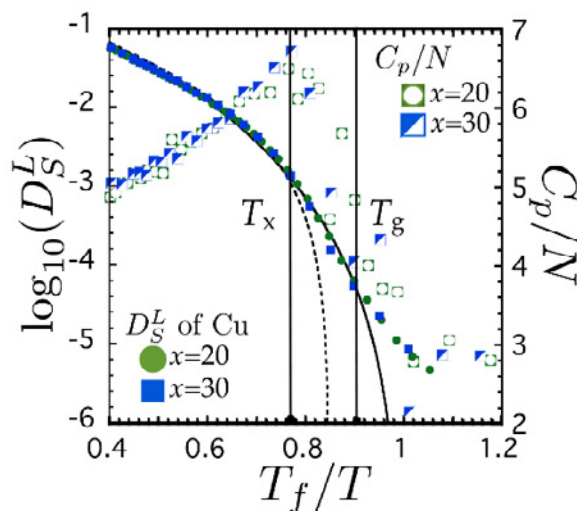


図3：Cu₆₀Ti_{40-x}Zr_xにおける D_S^L との対応関係。熱力学的温度と動的温度が対応していることがわかる。ここで T_f はマスターカーブの特異温度であり、温度は T_f で規格化されている

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. H. Fujii and M. Tokuyama, Molecular-Dynamics Study of Relationship between Thermodynamics and Dynamics in Glass-Forming materials, (Phys. Rev. Eへ投稿準備中)

【学会発表】

【国内】

1. 藤井宏之, 徳山道夫, 日本物理学会秋季大会, ガラス転移現象における定圧および定積系のダイナミクス, 口頭 (JSP-23pGA2-10), 富山 (日本), 2011年9月.

【国際】

1. H. Fujii and M. Tokuyama, Proceedings of Eighth International Conference on Flow Dynamics,

Simulation Study of Transport Phenomena in Supercooled Cu-Ti-Zr Liquids, Poster (OS12-72), Sendai (Japan), November 2011.

2. H. Fujii and M. Tokuyama, XXIV Meeting of Science and Technology of Complex Fluids, Simulation Study of Relation between Specific Heat and Self-Diffusion in Glass-Forming Cu-Ti-Zr Melts, Poster (No. 72), San Luis Potosi (Mexico), August 2011.
3. H. Fujii and M. Tokuyama, The Vth International Discussion Meeting on Glass Transition, Poster, Sendai (Japan), February and March 2012. (発表予定)
4. H. Fujii and M. Tokuyama, The 4th GMSI International Symposium, Molecular-Dynamics Study of Relationship between thermal and transport properties in Glass-Forming Liquids, Poster, Tokyo (Japan), March 2012. (発表予定)



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2年

指導教員 流体科学研究所 寒川 誠二 教授

研究課題

バイオテンプレート極限加工による3次元量子構造の制御と新機能発現に関する研究

平成23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、その量子的特性を解明することを目的とした。

① Siナノディスクにおける本年度の研究成果

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構造（厚さ・直径・間隔）制御したSi量子ナノディスク2次元アレイを高密度に作製し、ディスク構造と光学的特性（光吸収特性、バンドギャップ、フォトルミネッセンスなど）やミニバンド形成との関係性について調査を行った。

構造制御技術として、以前より利用してきたフェリチン（ ϕ 12nm、内部に ϕ 7nm鉄コア含有）に代わりリステリアDps（ ϕ 9nm、内部に ϕ 4.5nm鉄コア含有）をバイオテンプレートとして利用し、直径6.4nm、ディスク中心間隔8.7nm、ディスク間隔2nmのSiナノディスクを高密度（ $1.4 \times 10^{12} \text{cm}^{-1}$ ）に作製することに成功した。これにより、Siナノディスクアレイの直径を6.4~12.5nmの範囲で制御することが可能となった。また、超高真空スパッタリングによって極薄SiC膜を形成することで、SiCマトリックス構造のSiナノディスクアレイを実現した。

光学特性評価として、紫外・可視・近赤外光 (UV-Vis-NIR) 分光法を用いてSiナノディスクの構造（厚さ、直径、間隔）と光吸収特性との関係性を評価した。透過率からTauc-plotを用いてバンドギャップエネルギーを求めたところ、ナノディスク構造では厚さと直径の両方で量子閉じ込め効果が働いていることが明らかになり、これによりバンドギャップを1.3~2.3eVの範囲で高精度に制御可能となった。また実験と計算との評価から、2次元アレイ構造においてディスク中心間距離が小さくなると波動関数の浸み出しによりミニバンドが形成し、光吸収係数が大きく増加することが示された。さらに、SiO₂およびSiCマトリックス構造を比較評価したところ、SiCマトリックスのSiナノディスクアレイではトンネル確率の増加により波動関数の結合がより強くなり、吸収係数が増加するだけでなくキャリアのモビリティも向上することが確認された。

フォトルミネッセンス評価では、Siナノディスク構造から寿命ナノ秒以下の可視領域発光が確認された。Si量子ドットでは構造内欠陥に由来する長寿命発光が観測される場合があるが、ナノディスクでは構造内欠陥が極めて少なく（0.08spins/個）、発光寿命も非常に速いことからディスク構造そのものからの発光であると考えられる。また、Siナノディスク2次元高密度アレイでは単体には無い数十ピコ秒の寿命成分が存在しており、これはミニバンドの存在を示唆するものと考えられる。

② GaAsナノディスクにおける本年度の成果

たんぱく表面にポリエチレングリコール (PEG) を修飾したフェリチンを用いて、分散配列 (30nm間隔) したGaAsナノディスク構造の作製に成功した。また、酸素ラジカル処理（たんぱく質除去プロセス）および水素ラジカル処理（表面酸化膜除去プロセス）によりたんぱく質・酸化膜を制御し、GaAsナノディスクの直径を12~20nm範囲で制御することが可能となった。

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. M. Fairuz Budiman, W. Hu, M. Igarashi, R. Tsukamoto, T. Isoda, K. M Itoh, I. Yamashita, A. Murayama, Y. Okada and S. Samukawa, “Control of optical bandgap energy and optical absorption coefficient by geometric parameters in sub-10 nm silicon-nanodisc array structure,” Nanotechnology 23, 065302, 2012.
2. T. Kiba, Y. Mizushima, M. Igarashi, C. Huang, S. Samukawa and A. Murayama., “Picosecond Transient Photoluminescence in High-Density Si-Nanodisk Arrays Fabricated Using Bio-Nano-Templates,” Applied Physics Letter, Vol.100, Issue 6, 2012.
3. M. Igarashi, T. Kiba, W. Hu, A. Murayama, T. Kaizu, Y. Okada and S. Samukawa., “Picoseconds carrier dynamics resulting from strong wave-function coupling in a sub-10nm defect-free silicon nanodisk array,” Journal of Physics D. (投稿中)

【学会発表】

【国内】

1. 第 72 回応用物理学会学術講演会、“Si ナノディスク構造の PL 特性とその発光起源”、口頭発表、山形、2011 年 9 月
2. 第 72 回応用物理学会学術講演会、“障壁材料として SiC を用いた Si 量子ナノディスクアレイ構造の電気・光学特性”、口頭発表、山形、2011 年 9 月
3. 第 59 回応用物理関係連合講演会、“障壁材料として SiC を用いた Si 量子ナノディスクアレイ構造の PL 特性”、東京、2011 年 3 月 発表予定

【国際】

1. 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, “OPTICAL ABSORPTION, PHOTO-LUMINESCENCE AND MINIBAND FORMATION OF A HIGHLY ORDERED AND DENSE 2-DIMENSIONAL ARRAY OF Si NANODISKS FOR QUANTUM DOT SOLAR CELLS”, Oral session, Seattle, WA, USA, June 2011.
2. American Vacuum Society 58th International Symposium and Exhibition, “Fabrication of Two-dimensional Array of Sub-10nm GaAs Nanodisk using Bio-template Neutral Beam Etching”, Oral session, Nashville, TN, USA , November, 2011.

氏名 金 于載



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 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

超精密流体軸受けステージの多自由度位置計測に関する研究

平成23年度 研究成果概要

1)背景

近年、半導体などの大面積微細加工や評価装置に用いられる3軸平面ステージの大面積化と高精度化への要求が高まっており、そのための3軸変位計測技術の開発が重要な課題となっている。現在、図1(a)に示す3軸変位検出には1軸変位センサを組み合わせで行われているが、複数のセンサの使用によるシステムの煩雑化、大型化、それに伴うコスト高、移動速度及び精度の低下、といった課題がある。そこで、これらの課題を解決するために、1つのセンサでステージの3軸変位をシンプルな形で高精度に一括計測可能な3軸サーフェスエンコーダを提案している(Fig.1)。この新しいセンサでは、レーザビームを大面積基準格子に入射し、その入射点からの複数のXY回折光による干渉信号を基に、3軸変位をコンパクトな形で高精度高速に同時計測できる(Fig.2)。

一方、3軸サーフェスエンコーダにおいてXY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、ステージの移動精度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(Fig.3)。

2)研究成果

3軸サーフェスエンコーダの精度を高めるために、基準となるXY回折格子の平面度誤差とピッチ偏差を、Fizeau干渉計を用いた自律校正法によって評価した。自律校正法では、高精度な比較基準を用いることなく、繰り返し測定を行うことで、XY回折格子の平面度誤差とピッチ偏差を評価することができる。測定実験の結果をFig. 4に示す。まず、XY回折格子の表面から反射される0次光を用い、平面度誤差を評価した。また、X方向とY方向のピッチ偏差は各方向で回折される ± 1 次回折光から評価した。本研究で提案する回折光の自律校正法を用いることにより、回折格子の平面度とピッチ偏差を非接触式で高速で評価できる。さらに、0次反射光およびX方向とY方向の ± 1 次回折光の位相信号を用いれば、Fizeau干渉計の参照ミラーの平面度も評価することが可能となる。Fig. 5に回折格子を用いたFizeau干渉計の

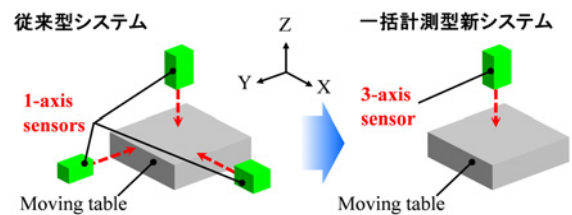


Fig.1 3軸変位計測技術

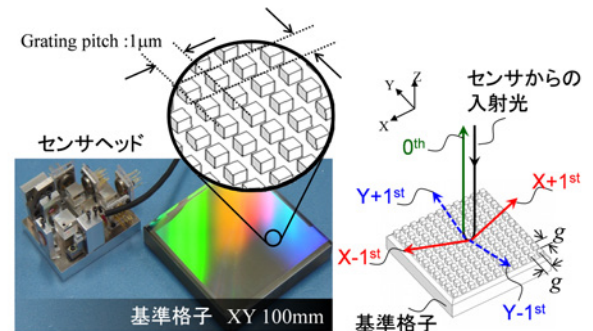


Fig.2 3軸サーフェスエンコーダ

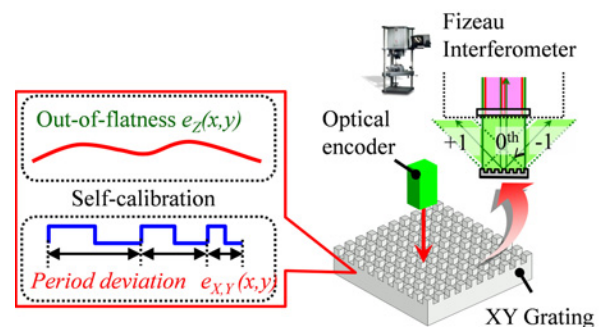
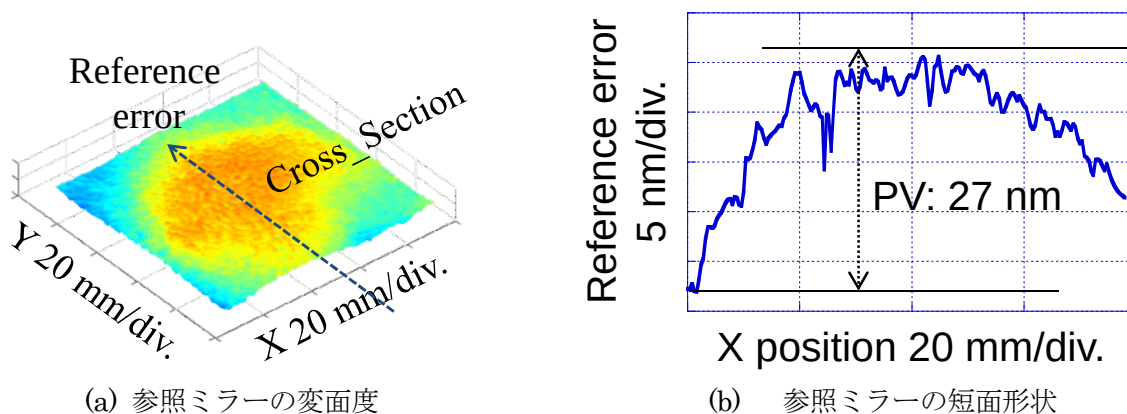
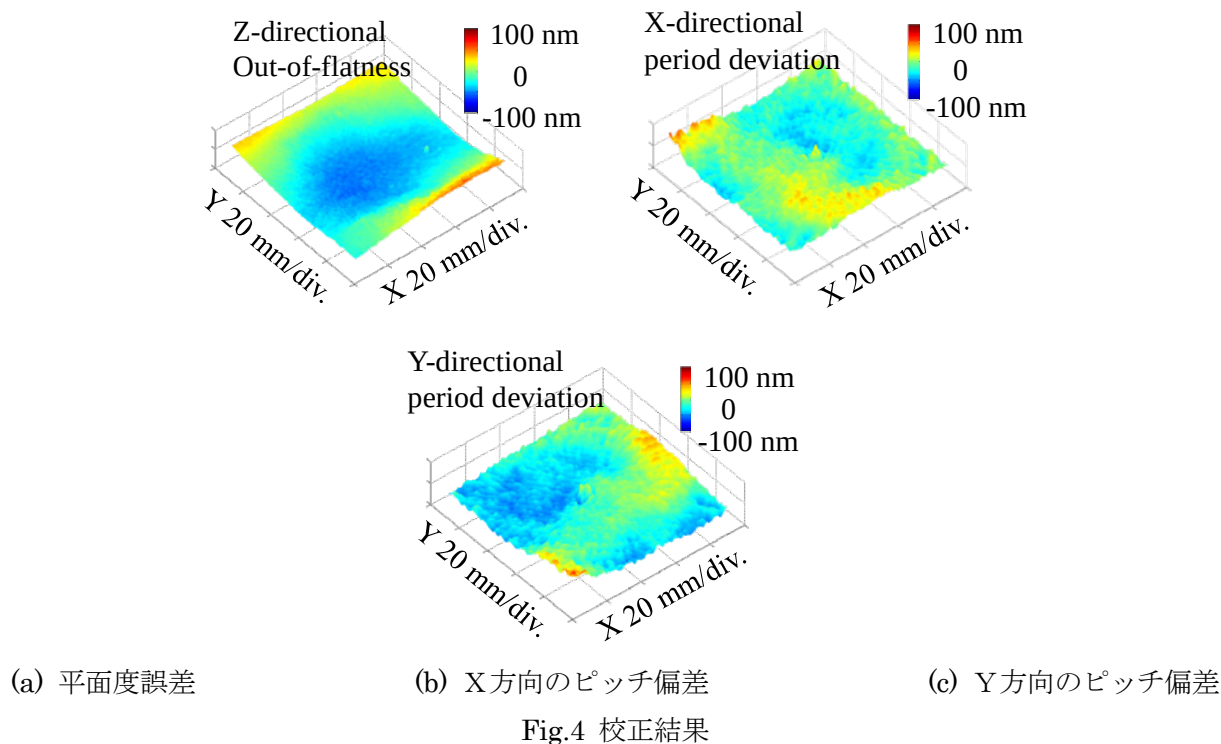


Fig.3 基準格子の自律校正法



参照ミラーの変面度の3次元形状と短面形状を示している。本研究におけるFizeau干渉計の参照ミラーの平面度評価方法の成果は、現在特許として出願中である。

3) 今後の予定

これからは、3軸サーフェスエンコーダのXY計測範囲の拡大を目指して研究を行う。大面積基準格子の製作は技術的に困難であるため、基準格子をつなぎ合せて大面積モザイク格子を構成するアプローチを採用する予定である。そして、高精度の大面積モザイク格子を実現させるために、新しい3軸サーフェスエンコーダの光学系を設計し、製作する。また、格子間位置合せ誤差を補正するアルゴリズムを開発する。最後に、高精度大面積モザイク格子と新しいセンサヘッドから新3軸サーフェスエンコーダを現在開発中の3軸超精密平面ステージへ適用して評価実験を行う予定である。

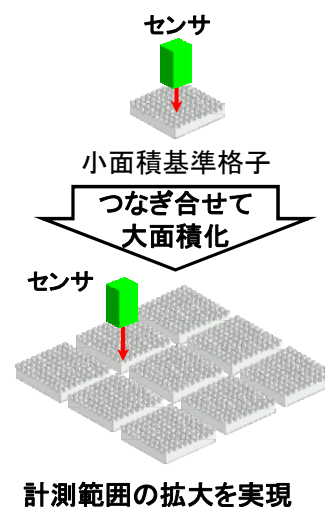


Fig.6 大面積化

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, 7-5/6, (2011), 409-426
2. WooJae Kim, Yuki Shimizu, Akihide Kimura and Wei Gao, Fast Evaluation of Period Deviation and Out-of-flatness of a Linear Scale by Using a Fizeau Interferometer, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, accepted for publication
3. 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, 7-1, (2011), 73-91
4. Koji Hosono, WooJae Kim, Akihide Kimura, Yuki Shimizu, Wei Gao and Lijiang Zeng, Surface encoders for a mosaic scale grating, International Journal of Automotive Technology, 12-1, (2011), 91-96

【学会発表】

【国内】

1. 金 于載, 木村 彰秀, 清水 祐樹, 高 偉, 2自由度リニアエンコーダの校正に関する研究, 日本機械学会東北支部 第46期総会, March 15, 2011, Tohoku university, Japan, 口頭発表
2. WooJae Kim, Akihide Kimura, Yuki Shimizu, Wei Gao, Evaluation of the linear scale for a linear encoder, 2011年度精密工学会東北支部学術講演会, ポスター発表

【国際】

1. WooJae Kim, Akihide Kimura, Yuki Shimizu, Wei Gao, Fast evaluation of period deviation and out-of-flatness of a linear scale by using a Fizeau interferometer, the 10th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTII-2011), June 29-July 2, 2011, Daejeon, Korea, Oral presentation
2. WooJae KIM, Akihide Kimura, Yuki Shimizu and Wei Gao, Fast Evaluation of An Linear Scale by using A Fizeau Interferometer, the 8th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2011), November 9-11, 2011, Sendai, Japan (CD-ROM), Oral presentation
3. Wei GAO, Yuki SHIMIZU, So Ito, WooJae Kim, Akihide Kimura, Kouji Hosono, Surface Encoders for Precision Measurement of Multi-axis Motions, 4th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN2011) November 16-18, 2011, Hong Kong, China

【新聞、雑誌等への記事掲載など】

(解説記事)

木村 彰秀, 細野 幸治, 金 于載, 荒井 義和, 高 偉, 回折光干渉型多軸サーフェスエンコーダ—サブナノメートル多軸変位測定のための新しい光センサ技術—, 光アライアンス 2011年3月, pp. 49-52



氏名 Chilukoti Hari Krishna

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 小原 拓 教授

研究課題

Heat and mass transport in polymer thin film

平成23年度 研究成果概要

Studies of transport phenomenon in thin film polymers with thickness ranging from 1nm to 1000nm have practical application in material processing, bio-systems and interface technology.

Characterization of these thin polymer films helps to explore the next-generation coating/membrane technology and plays an important role in understanding of adhesion, lubrication and coating.

Generally, thickness of polymer film is in nano scale, the transport phenomenon in these films is affected by interfaces. Since the thickness of polymer film is in nano meters, macroscopic physics does not work for these films, so one should study them at microscopic level. Using computer simulations we can study these films in microscopic point of view and they provide the advantage of calculating many properties from a single simulation and specific aspects can be selectively investigated in detail. Molecular dynamics simulation is one of the computer simulation techniques and can be used to study transport phenomenon in thin polymer films at microscopic level.

As a basic for understanding the transport phenomenon it is important to know the equilibrium properties and structure at the interface. In the present study, molecular dynamic simulations are used to study the interfaces of alkanes. We used united atom model to describe alkanes. NERD force field is used to model the alkanes. Bond bending and bond stretching are modeled in terms of harmonic potentials. Torsional potential is modeled using RB model. Interaction between two atoms is given by Lennard-Jones (LJ) potential. We truncate the LJ interactions at a distance of 13.8 Å. The time integration is implemented by the r-RESPA method with multiple time scale (MTS). An integration time step of 1fs for intermolecular motion and 0.2fs for intermolecular motion are used in all simulations. Initially the system is gradually raised to the required temperature and then simulations are performed for NVT ensemble for 6×10^6 time steps. The simulation system is maintained at constant temperature using Nosier hoover thermostat. In all simulations, periodic boundary conditions and minimum image convention were applied in three spatial directions.

All properties were calculated, when the system has reached equilibrium and interface has been formed. In this year, density values were calculated for decane and tetracosane at three different temperatures. With increase in temperature liquid density decreases and vapor density increases. Because of omission of Lennard-Jones interactions beyond the cut-off radius density values are found to be about 10% lesser than experimental values. We studied molecular scale structure and molecular conformation by examining variation of ordering parameter and radius of gyration at the liquid-vapor interface for decane and tetracosane at three different temperatures. With increase in temperature molecules are preferentially more parallel to the interface. At a particular temperature longer alkanes

are preferentially more parallel to interface than smaller alkanes. Chains flatten in the outer most regions of liquid-vapor interface in that the radius of gyration components normal to the interface are significantly smaller than those parallel to the interface. Einstein relation was used to calculate self-diffusion coefficient of alkanes parallel to the interface from molecular dynamic simulation. Self-diffusion coefficient parallel to the interface at the interface was also studied for decane and tetracosane. According to the decrease in density at the interface self-diffusion coefficient value is higher than in the bulk liquid region. For a particular alkane, with increases in temperature density decreases and correspondingly self-diffusion coefficient value parallel to the interface increases. At same temperature, self-diffusion coefficient value decrease with increase in chain length because of increase in density. Surface tension values of different alkanes were calculated at different temperatures by using average normal and tangential components of pressure to the interface. To account the effect of truncated Lennard-Jones potential tail corrections were implemented based on virial expression. Surface tension value decreases with increase in temperature for an alkane. At same temperature surface tension value is higher for longer alkanes. With increase in cut off radius tail correction contribution to surface tension value decreases but computational time is higher. There should be a compromise between accuracy of surface tension value and computational time. To study the effect of chain length, equilibrium properties and structural quantities were compared at the same reduced temperature. At reduce temperature we also studied about hexatriacontane. At reduced temperature all three alkanes show same liquid density and the vapor density is decreases with increase in chain length. At the reduced temperature all three alkanes show same kind of ordering parameter and chain conformation trends at interface and surface tension values are also nearly same.

Next phase of research focuses on study of structure and transport properties at interface based on the concept of intrinsic interfaces. Unlike Gibbs interface, intrinsic interface is dependent on time and space. Based on this intrinsic interface we can study structure at interface in molecular level. Structure and diffusion coefficient at solid-liquid interfaces will also be studied in next phase of research. Next, will be the study on thermal energy transfer in bulk region, at solid-liquid interfaces and at vapor-liquid interfaces.

研究業績

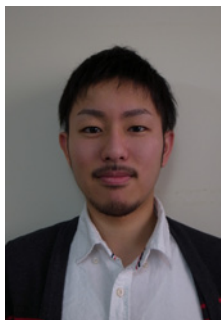
【学術雑誌等への発表】

1. S. C. Mishra and Ch. Hari Krishna, Analysis of Radiative Transport in a Cylindrical Enclosure -An Application of the Modified Discrete Ordinate Method, Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, April 2011, Vol 112, 1065-1081.
2. S. C. Mishra, Ch. Hari Krishna and M.Y. Kim, Analysis of Conduction and Radiation Heat Transfer in a 2-D Cylindrical Medium Using the Modified Discrete Ordinate Method and the Lattice Boltzmann Method, Numerical Heat Transfer, Part A, August 2011, Vol. 60(3), 254-287.

【学会発表】

【国際】

1. 8th international conference on flow dynamics, S.C. Mishra, Praveen Agarwal and Ch. Hari Krishna, Analysis of Radiative Transport in a Cylindrical Participating Medium with Collimated Radiative loading, (Oral) , 9-11 Nov 2011, Sendai, Japan.



氏名 永島 浩樹

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 徳増 崇 准教授

研究課題

量子・分子動力学法による液体水素の熱流動特性に対する量子性の影響の解明

平成23年度 研究成果概要

本年度は、低温水素のような量子効果の影響が現れる系に対して、分子間ポテンシャルの影響というのは明らかにされていないため、まずは低温水素の熱物性に対する分子間ポテンシャルの影響を調べた。

分子間ポテンシャルには、Lennard-Jones (LJ)ポテンシャル、2-Center Lennard-Jones (2CLJ)ポテンシャル、修正Buckingham (exp-6)ポテンシャル、非経験的 (*ab initio*) ポテンシャルの四つのポテンシャルを用いて解析を行った。計算手法には古典分子動力学(MD)法を用いた。計算条件は分子間ポテンシャルの温度・密度依存性を調べるために、幅広い温度・密度条件(約300点)を与えて計算を行った。このMDシミュレーションの結果を用いて低温水素の状態方程式を作成した。この状態方程式より得られた飽和線図を図1と図2に示す。ここで、低温水素の熱物性に対する分子間ポテンシャルの定性的影響を調べるために、それぞれの図は、MDシミュレーションより得られた臨界点で無次元化を行っている。図1中の l は2CLJポテンシャルの核間距離のパラメータを表し、 d はexp-6ポテンシャルの斥力項の傾きのパラメータを表している。また、図2には状態方程式に対する

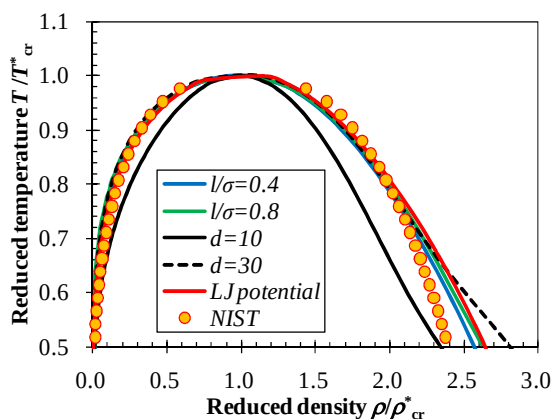


図1 臨界点で無次元化を行ったLJポテンシャル、2CLJポテンシャル、exp-6ポテンシャルの飽和線比較

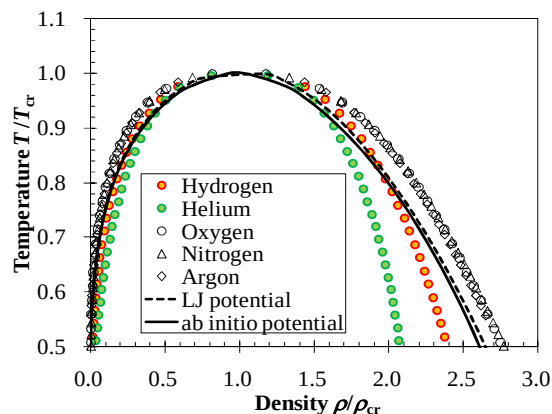


図2 臨界点で無次元化を行った*ab initio*ポテンシャルと実験値の飽和線比較

量子効果の定性的な影響を調べるために、臨界点で無次元化を行った他の液体(ヘリウム、酸素、窒素、アルゴン)の飽和線も合わせて示す。

図1より、ポテンシャルパラメータの定性的影響は小さく、特に核間距離のパラメータの定性的影響は小さい事が明らかとなった。これより低温水素の熱物性に対する分子配向の定性的影響は小さいと言える。また、どの分子間ポテンシャルも臨界点以上の高密度領域において同じ傾向を示しており、実験値と差異を生じている。特に、図2中の、量子化学計算より求めた理論的な*ab initio*ポテンシャルも、他のポテンシャルと同様の傾向を示している事より、低温水素の熱物性に対する分子間ポテンシャルの定性的影響は小さいといえ、古典的手法と本研究で用いた分子間ポテンシャルでは、低温水素の熱物性を再現できない事が明らかになった。この差異の要因として考えられるのが、量子効果の影響である。図2に示す様に、ヘリウムや水素などの、低温において量子効果の影響が現れる液体ほど飽和線の幅が狭くなり、密度を小さく

見積もる傾向が見られる。これは、分子量が小さい分子は低温になるとド・ブロイの熱的波長が長くなる為、分子径を大きく見積り斥力範囲が広がる事に起因していると考えられる。これにより圧力が高くなり、同じ圧力の場合は密度が小さくなる傾向に働くと考えられる。

次に、この量子効果の影響をさらに明確にするために、経路積分セントロイドMD(CMD)法を用いた解析を行った。経路積分CMD法は、量子分子動力学分子シミュレーション手法の一つで、CaoとVothによって提案された手法である。この手法は他の量子分子動力学分子シミュレーション手法に比べ、実験値を一番よく再現しているため、この手法を用いる事にした。プログラムが完成したばかりのため詳細な解析はできてないが、まずは動径分布関数を用いた解析を行い、古典的な液体と量子性液体の構造の違いを明らかにする事で、上記の考察の検証を行った。図3に、温度 $T=25\text{K}$ 、密度 $\rho=63.60\text{kg/m}^3$ における、CMDシミュレーションより得られた動径分布関数と、従来の古典的手法より得られた動径分布関数の比較を示す。ここで図中のBeadは水素分子の空間的な広がりを表しており、Centroidはその中心位置を表している。

この図において、Beadの動径分布関数に注目すると、CMDの動径分布関数は古典的な動径分布関数より広がっており、分子間の距離が近づいていることが分かる。一方、Centroidの動径分布関数に注目すると、第一ピークの位置が古典的な動径分布関数より離れていることが分かる。これより、量子効果を考慮すると分子間の距離が短くなり、重心間の距離は長くなることが明らかとなった。これより、上記の考察は正しいと言え、量子効果の影響により圧力が高くなるため、古典的手法の場合は、高密度領域において実験値と差異を生じると言える。

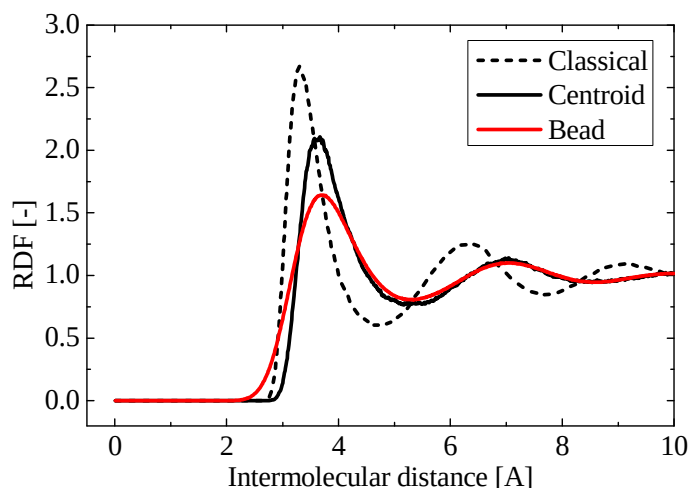


図3 古典的MDとCMDより得られた動径分布関数の比較

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. Hiroki Nagashima, Takashi Tokumasu, Shin-ichi Tsuda, Nobuyuki Tsuboi, Mitsuo Koshi and A. Koichi Hayashi, “Limits of Classical Molecular Simulation on the Estimation of Thermodynamic Properties of Cryogenic Hydrogen”, Journal of Molecular Simulation, to be published.

【学会発表】

【国内】

1. 学会名：第48回日本伝熱シンポジウム，題名：古典分子動力学法を用いた低温水素の熱輸送物性評価，発表年月：2011. 6，岡山コンベンションセンター，口頭
2. 学会名：日本機械学会2011年度年次大会，題名：古典的分子シミュレーションを用いた低温水素の熱物性解析，発表年月：2011. 9，東京工業大学，口頭

3. 学会名：日本機械学会第3回マイクロ・ナノ工学シンポジウム，題名：低温水素の熱物性評価に関する分子動力学的研究，発表年月：2011. 9，船堀，口頭

【国際】

1. 学会名：ASME-JSME-KSME Joint Fluid Engineering 2011，題名：An Estimation of Thermodynamic and Transport Properties of Cryogenic Hydrogen using Classical Molecular Simulation，発表年月：2011. 7，浜松，日本，口頭
2. 学会名：The 8th International Conference on Flow Dynamics，題名：A molecular Dynamics study on the Thermodynamic Estimation of Cryogenic Hydrogen，年月：2011. 11，仙台，日本，ポスター



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2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

High Temperature Steam Oxidation Kinetics and Film Characteristics for Austenitic Stainless Steels

平成23年度 研究成果概要

1. Introduction

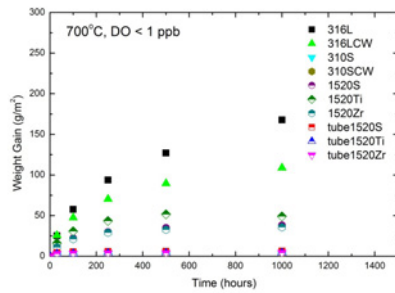
Austenitic stainless steels have been widely used in power plants because of the increasing temperature and pressure for the thermal efficiency. Oxidation of these steels in steam at high temperatures leads to the development of double layered oxide scales. To study about the oxidation kinetics in high temperature steam condition is very important for the power plant integrity. In this study, steam oxidation tests at 700 °C with some austenitic stainless steels were carried out. These tests can figure out characteristics of the materials for DO level and cold work effect at high temperature steam condition.

2. Steam Oxidation Tests

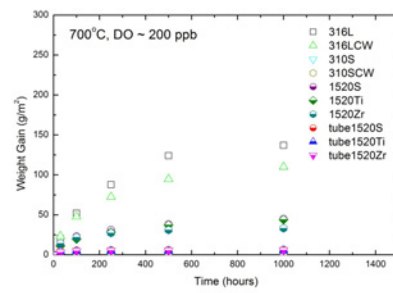
Tests were carried out with SUS 316L, SUS 310S, their cold worked pair and 15%Cr-20%Ni austenitic stainless steel plates and tubes. All plate specimens were polished up to #2400 emery paper and all tube specimens were used as-received state. Specimens were hanged with Pt wire. Distilled and ion exchanged water was filled in a tank and DO was controlled with inert gas. DO level were controlled with less than 1 ppb and approximately 200 ppb. Each interrupting of steam oxidation tests, specimens were weighed by electronic fine scales and surface was observed by optical microscope. After 1000 hours test, specimens were cut half after weighing and surface observation. Cut specimens were mounted with epoxy resin. The cross-section was observed with optical micro scope and compared with each others.

3. Results and Discussion

In cases of the SUS 316L series, weight change were larger than that of others. And in case of the 310S, there were few changes in weight gain. (Fig. 1) This oxidation rate tendency was in inverse relation with Cr-Ni contents. From past research, the tendency of the oxidation rate at high temperature showed in inverse relation with Cr content. But, in these cases, weight change results of SUS 316L series, 18%Cr-12%Ni, were larger than those of 15%Cr-20%Ni alloys. This can be considered that the oxidation kinetics is affected not only Cr content. Wright, et al. reported with literature, the inward growing oxide of austenitic stainless steel which is a mixture of magnetite and the Fe-Cr spinel, $\text{FeFe}_{2-x}\text{Cr}_x\text{O}_4$ containing also elements such as Ni, Mn and Mo, penetrates and encircles an alloy grain boundary completely and then further penetration of the inner layer into the alloy in effectively slowed. 15%Cr-20%Ni alloys contain more Ni, Mn and Mo contents than 316L series. From this, Ni, Mn and Mo can be considered as factors which make oxidation rate slow.



(a) DO < 1 ppb

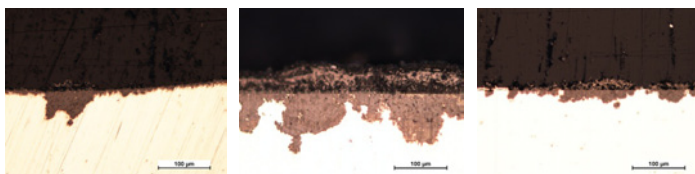
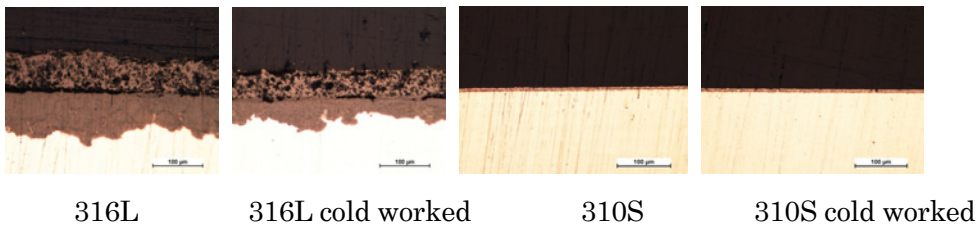


(b) DO ~ 200 ppb

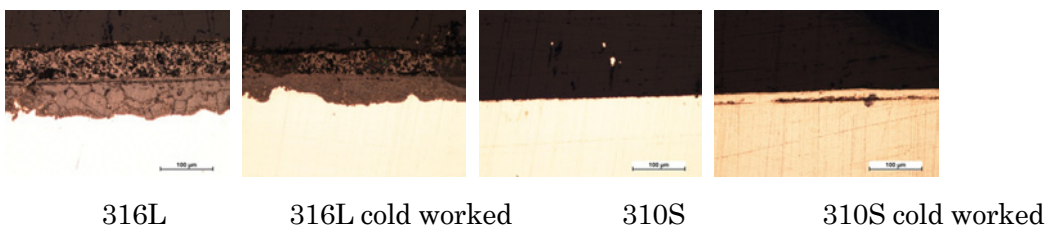
Fig. 1 Oxidation test results plot

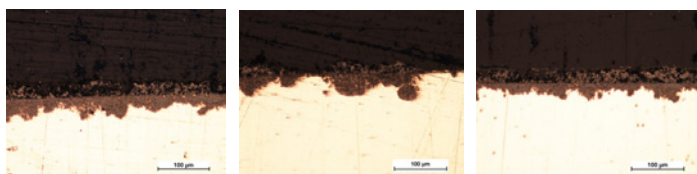
In cases of comparison between solution annealed specimens and those cold worked pairs, cold worked specimens showed approximately 30% less weight change than solution annealed specimens. From the past study, cold working of steels was considered as causes of the formation of easy diffusion paths for Cr cation that allow rapid formation of dense protective oxide layer. Firstly, the dislocations introduced by surface working can serve as fast diffusion path, later on the grain boundaries. For the different DO level condition, it could not be found noteworthy differences between two tests results. The reason why noticeable difference did not find could be considered that the steam at high temperature supplied oxygen to specimens.

For the cross-section surface observation, double layered oxide layers were observed for SUS 316L series and nodule shaped oxide layers were observed for 15%Cr-20%Ni austenitic stainless steels. (Fig. 2 and 3) Oxide layers were observed of doublet pattern. If outer oxide layer was thick, the inner oxide layer which was positioned oppositely was thick, too. These patterns can be considered that, in case of outer layer, it can be implied that the outer layer grows by outward cation diffusion and inner oxidized zone grows by onward oxygen transport. In case of SUS 310S series, very thin single layer were observed. To observe the oxide layer, Ni coating was applied. These thin oxide film can explain that the oxidation resistance of SUS 310S is excellent than other two kinds of specimens.



1520Alloy Standard 1520Alloy Ti add. 1520Alloy Zr add. Fig. 2 Cross-section observations – DO < 1 ppb





1520Alloy Standard 1520Alloy Ti add. 1520Alloy Zr add. Fig. 3 Cross-section observations –
DO ~ 200 ppb

研究業績

【学会発表】

【国際】

1. Seung Mo Hong, Yutaka Watanabe, Hiroshi Abe, High Temperature Steam Oxidation Kinetics and Film Characteristics for Austenitic Stainless Steels, Poster, ICFD2011, 2011. 11. 10



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2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23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。問題解決のため、機械的または化学的に細胞の運動を抑制する手法が従来はとられていた。しかし弊害として、運動状態そのもの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。

【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

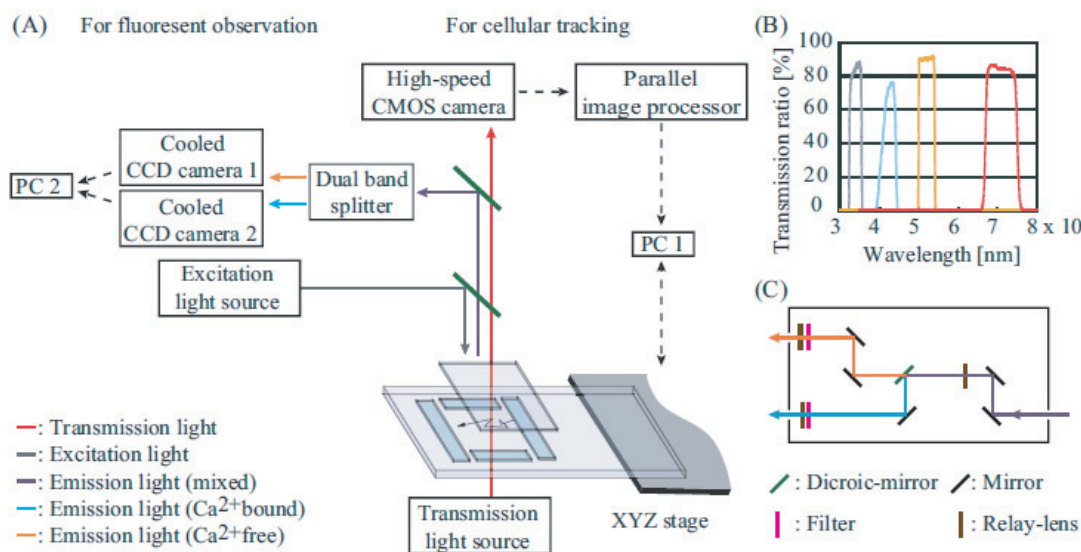


図1. 高速オートフォーカス・追跡顕微鏡の構成図

顕微鏡システムでは、観察対象の明視野像（図3左）と蛍光像（図3右）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、観察対象の周囲に干渉縞が生じる。そこで観察対象とその周囲の輝度情報を元に、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。

【実験結果】 図2はゾウリムシの全体像をオートフォーカス・追跡しながら観察したものである。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は線虫の胴体部分をオートフォーカス・追跡しながら、蛍光タンパク質 Yellow Cameleonによって標識された神経細胞を観察したものである。約60sにわたり、神経細胞を見失ったりフォーカスが悪くなることなく、継続的に観察することができた。線虫は単純な神経回路を持つモデル生物として広く研究されており、AFD細胞は主に熱刺激の感知をしていると考えられている。また蛍光タンパク質Yellow Cameleonにより細胞内Ca²⁺イオン濃度を計測することで、神経活動を定量評価することができる。

【結論】自由に運動するゾウリムシや線虫を継続的に観察し、同時に神経活動の定量評価をすることのできる顕微鏡システムを開発した。このシステムは、白血球など他の細胞・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。

【今後の課題】近頃導入した共焦点顕微鏡により、図4に示した樹状突起のような微細な部位を詳細に観察することができるようになった。樹状突起や軸索といった部位は、外部刺激の受容や、他の神経細胞との通信を担う重要な部位であり、大変興味深い。今後はこのような部位を継続観察できるような、サブミクロンレベルのオートフォーカスや3D観察を実装したい。

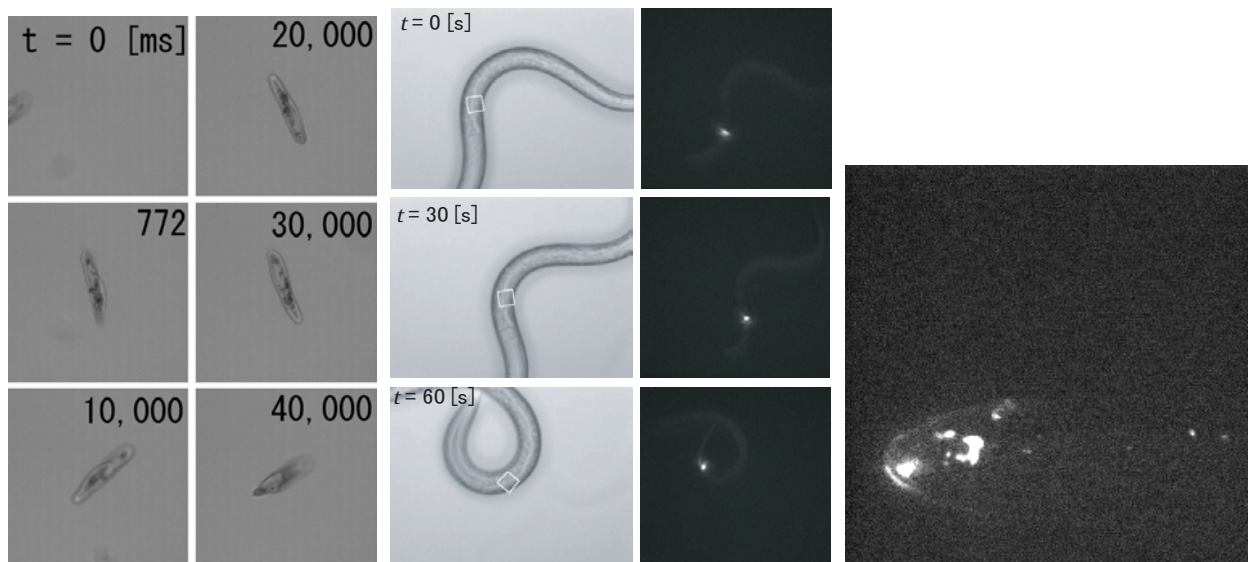


図2 (左) . 自由に運動するゾウリムシの明視野像の時系列表示

図3 (中) . 自由に運動する線虫の明視野像と蛍光像（神経細胞AFDの細胞体）の時系列表示

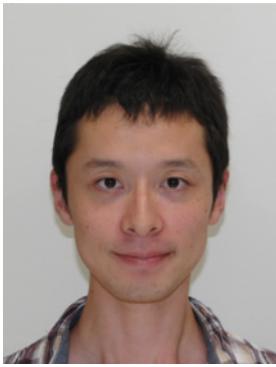
図4 (右) . 線虫頭部の蛍光像（神経細胞AFDの樹状突起）

研究業績

【学会発表】

【国際】

1. T. Obara, Y. Igarashi and K. Hashimoto, “Fast and adaptive auto-focusing algorithm for microscopic cell observation”, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2011, 口頭, 2011/9/27
2. T. Obara, Y. Igarashi and K. Hashimoto, “Adaptive Autofocus for Cell Motility”, Eighth International Conference on Flow Dynamics, ポスター, 2011/11/10



氏名 櫻田 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 岡谷 貴之 准教授

副指導教員 流体科学研究所 大林 茂 教授

研究課題

時空間SFMによるダイナミックな環境の4次元モデリング

平成23年度 研究成果概要

研究目的

本研究の目的は、対象空間の時間変化を前提とした(I)幾何学的最適化手法および(II)時空間画像対応付け手法の2つを研究し、「**時空間SFM**」の技術基盤を確立することである。(注:SFM (Structure from Motion))

応用の観点からは、対象とする**環境の時間変化**について、①センサ (ロボット) の移動中に**時々刻々変化**する場合と、②**移動中には変化しない**場合とに2分される。それぞれ次のような応用がある。

① 現在進行中の災害・事故現場で自由に行動し得るロボットのための SLAM。(注: SLAM (Simultaneous Localization and Mapping))

② 災害に見舞われた都市空間の被害状況の同定、その後の復旧や、将来の復興のための情報提供。

この2つの場合で、解決すべき技術的な課題は共通である。②では、既存手法によって地図を構築し、その差分を求める単純なアプローチも考えられるが、それでは画像情報を最大限利用しているとは言えない。①、②のいずれの場合も、同時刻の空間方向のみに異なる画像間だけでなく、**時間方向に異なる画像間でも特徴の対応付けを行い、全体で最適化を行うことになる (Fig.1)。**

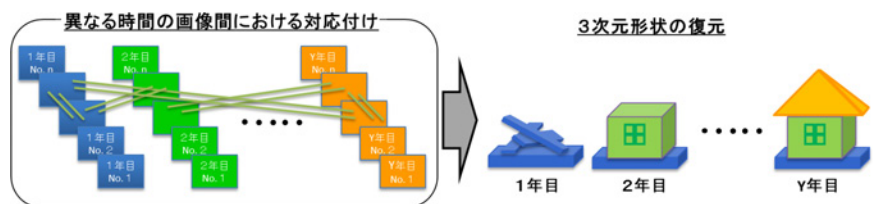


Fig.1 時空間SFMの概要

研究方法

本研究計画では、ある現実の問題に取り組み、その達成を目指しながら、理論的探究を進める。上述のように上記①と②で、技術的課題は共通する。そこで②を前提とした研究をまず行い、確立した技術を①に適用する手順を踏む。具体的には、東日本大震災による津波被害を受けた地域を対象に、カメラを搭載した車両 (Fig.2) を走行させ、そこで得た画像データをもとに、被災地が被災直後から復旧してゆく様子や、より長期的な復興の様子を、4次元的な時空間情報として復元する。少なくとも3年以上にわたり、一定期間ごとにデータを収集することを予定している。



Fig.2 撮影車両

研究内容

(I)、(II)を理論的に研究しつつ、被災地の復興過程の可視化システムを実現する。

(I) 時間変化する環境を対象とした、3次元地図構築および自己位置推定のための最適化手法の研究

時空間にまたがる幾何学的な対応を元に、空間の大規模性 (用途によっては処理の実時間性) を前提とした、効率的な最適化を行う。ダイナミックな環境を対象とするため、画像を間引かず全画像を対象に、近似と最適化を再帰的に繰り返すフィルタベースのアプローチを探究し、時間変化を扱える3次元復元のための最適化手法を実現する。

(II) 時空間画像対応付け手法の研究

環境の何がどう移動し何が移動しなかったかを、カメラも移動する状況で撮影した画像から、いかに特定できるかが課題である。今考えている問題では、津波の大きな被害により街並みが大きく変化する（＝同じ場所でも時間が違えば画像が大きく変化する）とともに、住宅の一部や自動車が流され、無秩序に空間に分散することなどが問題を難しくする。3次元復元と有機的に連携させることで、たとえば遠方の画像特徴の不変性を推論できるようにするなど、統計的な枠組みを構築する。

研究の進捗状況

・津波被害の記録

災害直後（2011年4月）から被災地の撮影とデータ整理を開始した。車両に全方位カメラとGPSを搭載し、八戸から南相馬までの沿岸部を1、2か月間隔で撮影している。Fig.3に津波被害の記録地域を示す。震災後2カ月以内に岩手、宮城、福島の沿岸部ほぼ全域を撮影した（ただし、通行可能地域のみ）。Fig.4に実際に撮影した画像の一例を示す。左は4月に撮影した画像で、右は同じ場所を7月に撮影した画像である。このように、画像の大半が大きく変化しており、時間変化の認識が非常に難しい状況であることが分かる。



Fig.3 記録地域

・3次元復元

任意の時刻における3次元復元を行うプログラムを開発した。Fig.5に岩手県大槌町を3次元復元した一例を示す。カメラ位置と街並みの3次元形状が復元されており、街並みを可視化できた。この復元プログラムへ時間変化認識の枠組みを追加することで、時空間SFMが可能となる。



Fig.4 津波被害の記録画像

・時空間画像対応付け手法の研究

現在、異なる時刻に撮影した画像を用いて、画像のどの部分が変化したかを自動で認識する手法を開発中である。具体的には、同時刻の2枚の画像から奥行を確率的に推定し、その結果を用いて、異なる時刻の画像間で変化した部分を推定する。この結果を2012年2月〆切の学会に投稿するために、定式化、プログラム開発、検証を進めている。

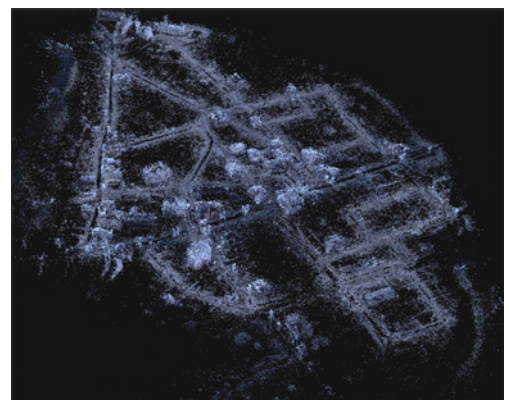


Fig.5 3次元復元例（岩手県大槌町）

研究業績

【学会発表】

【国際】

1. K. Sakurada, J. Yanagisawa, D. Tetsuka, T. Okatani, K. Deguchi, "A Study of 4 Dimensional City Modeling from Car-mounted Omnidirectional Images", Eighth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2011), OS12-5, Sendai, Japan, November 9, 2011



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3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23年度 研究成果概要

従来型の汎用プロセッサのみで構成されている計算システムは、プロセッサの消費エネルギーの増大とエネルギー制約のために、継続的な性能向上が年々困難になってきている。一方で、高精度な計算結果をより短時間で求める要求は強く、計算システムにはより高い性能が常に求められている。近年、特定の用途に向けて演算性能が強化されたアクセラレータを汎用プロセッサと組み合わせて構成する、複合型計算システムが注目を集めている。アクセラレータは、汎用プロセッサに比べて高い演算性能と電力効率を両立しており、アクセラレータと汎用プロセッサを組み合わせることで、高い演算性能と電力効率を同時に達成する計算システムを実現できる。

複合型計算システムの高い性能を利用するためには、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必要がある。アクセラレータは特定の用途に特化して設計されているため、適さない処理を割り当てた場合には、汎用プロセッサよりも性能が低くなる場合がある。そのため、適切な処理の割り当ては複合型計算システムを利用する上で必須である。特に数値流体シミュレーションなどは複合型計算システムにおいて高い高速化効果が見込める種類の処理であるが、数値流体シミュレーションの設計者は計算システムの専門家では無いため、複合型計算システムを使いこなすことは難しい。

アクセラレータを利用するための標準的なフレームワークとしてOpenCLが提案されており、描画処理用プロセッサ(Graphics Processing Unit, GPU)やマルチコアプロセッサなど様々なプロセッサをアクセラレータとして利用可能な環境が整ってきている。OpenCLを用いることで、プログラマは異種複数のアクセラレータを同時に用いることができるようになり、それぞれのアクセラレータへの処理の割り当ては高い性能を達成する上で重要度が高まっている。しかし、最適な処理の割り当ては実行時に利用可能なアクセラレータの種類や数、また入力データによっても変化するために、プログラミング段階で事前に最適な割り当てを見極めてプログラムを作成することは困難である。使用するアクセラレータ間に顕著な性能差がある場合には、不適切な割り当てによって深刻な性能低下を招くこともある。

本研究では、OpenCLのような標準的なプログラミングフレームワークにおいて、異種複数のアクセラレータへの処理割り当てを自動化し、プログラミングを支援する手法を確立する。処理割り当ての自動化を実現するために、並列実行可能な処理（以下、並列タスク）をプログラマが実行待ち行列に投入した時点で、その並列タスクに対して各アクセラレータの実行時間を予測し、予測結果に基づいてオンラインスケジューリングを行うことで最適なアクセラレータにタスクを割り当てる手法を提案している。

提案している性能予測手法では、実行時間とともにタスクを実行するときに与えられた様々なパラメータとの間での関係を調査して、次の実行時間を高精度で予測する。収集したパラメータの中には、実行時間に線形の関係を持つもの、非線形の関係を持つもの、関係を持たないものが存在するため、それらを自動的に見極めた上で、線形関係を持つパラメータのみを用いて線形予測モデルを構築する。非線形の関係を持つパラメータは、その値が変化した場合に異なる線形予測モデルを構築することで、非線形パラメータの影響を予測モデルから消去して予測精度を高める。

性能予測結果に基づき、Minimum Completion Time (MCT)ポリシーに従って並列タスクのスケジューリングを行う。MCTでは、それぞれのアクセラレータごとに並列タスクの割当て状態を保持し、並列タスクがプログラマからフレームワークに渡された時点でスケジューリングを行う。はじめに、図1(a)に示すようにアクセラレータごとに並列タスクの実行時間予測を行い、既に割り当てられたタスクの予測実行時間と積算して並列タスクの完了時間を算出する。データ転送が必要となる場合では、図1(b)に示すようにデータ転送時間を考慮した上で、並列タスクの実行が完了する時間を算出する。最終的に、それらを比較して最も完了時間が短くなるアクセラレータへと処理を割り当てる。

提案する実行時スケジューリング手法を、アクセラレータ間で性能差がある計算システムにおいて評価した結果を図2に示す。本評価では、性能が異なる2台のアクセラレータを用いて、ATISStream SDK 2.3に含まれている MonteCarloAsian ベンチマークを実行した結果を示している。この評価環境では、負荷分散割合は 3 : 7 が最適値となり、提案手法を用いた場合(図中 *Automatic*)は適切な負荷分散比を達成していることがわかる。

性能の高いアクセラレータを1台だけ用いた場合(図中 *Single*)に比べて、約25%の実行時間を削減している。一方で、様々な負荷分散比を設定した複数のプログラムを用意して、最もよいものを選択する方法(図中 *Hand-select*)でも最適な負荷分散比を見つけることが可能であるが、この方法では11種類のプログラムを一度実行しなければならず、手間がかかる。提案手法は、そのような手間無しに最適な負荷分散比を実現可能であることを本評価結果は示している。

本研究が提案する手法は、OpenCLのような異種複数のアクセラレータを同時に扱うことが容易な標準的プログラミングフレームワークにおいて、個々のアクセラレータの性能差をプログラマが把握する必要

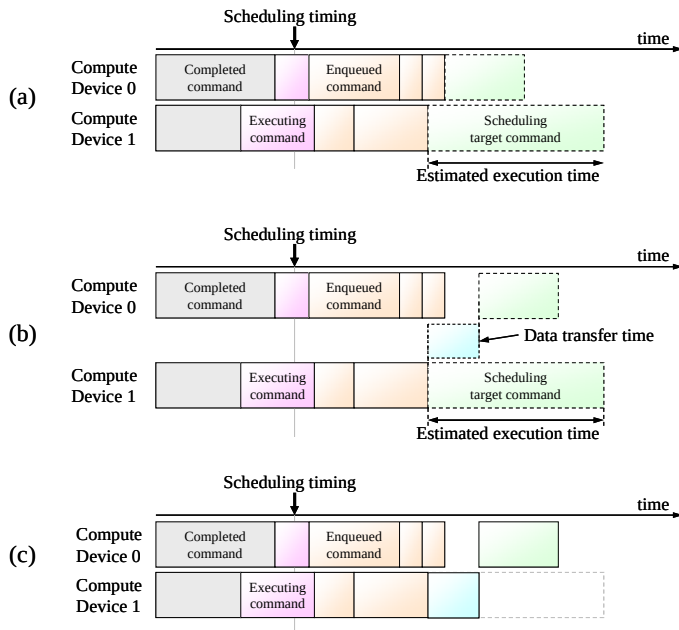


図1. MCTポリシーによる並列タスクスケジューリング

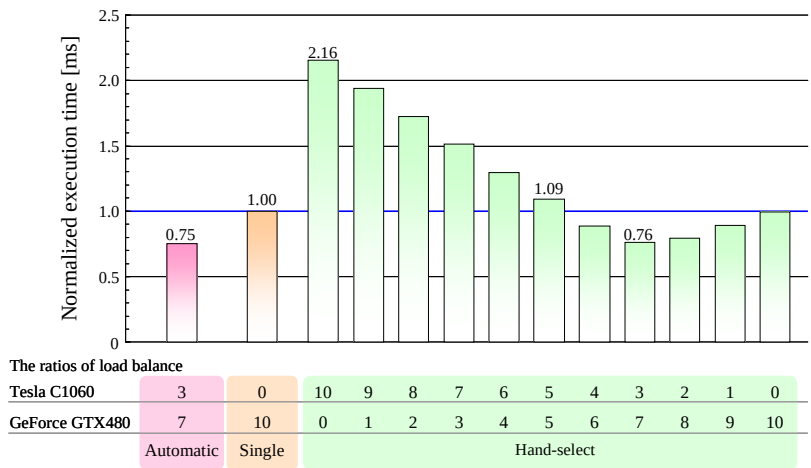


図2. MonteCarloAsianベンチマークを用いた評価結果

なしに、最適な負荷分散を自動的に実現可能としている。今後、複合型計算システムが大規模化し、多種多様なアクセラレータが利用可能となることが予想される中で、本研究は自動負荷分散を実現するための重要な知見を示している。

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. 佐藤功人, 小松一彦, 滝沢寛之, 小林広明. “OpenCL におけるタスク並列化支援のための実行時依存関係解析手法,” 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム (ACS) , Vol. 5, No. 1, 2012. (掲載予定)
2. 小山賢太郎, 佐藤功人, 小松一彦, 村田善智, 滝沢寛之, 小林広明. “マイグレーションによる複合型計算システム向けジョブスケジューリング,” 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム (ACS) , Vol. 4, No. 4, pp. 203–213, 2011/10/5.

【学会発表】

【国内】

1. 小山賢太郎, 佐藤功人, 小松一彦, 村田善智, 滝沢寛之, 小林広明. “マイグレーションによる複合型計算システム向けジョブスケジューリング.” 先進的計算基盤システムシンポジウムSACSIS2011, 2011/5/18

【国際】

1. Katsuto Sato, Kazuhiko Komatsu, Hiroyuki Takizawa, and Hiroaki Kobayashi. “An Automatic Task Assignment Method for Heterogeneous Computing System,” 8th International Conference on Fluid Dynamics, Sendai, ポスター発表, 2011/11/11.
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,” in *The 9th IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications*, 口頭発表, 2011/5/26.
3. Hiroyuki Takizawa, Kento Koyama, Katsuto Sato, Kazuhiko Komatsu, and Hiroaki Kobayashi. “CheCL: Transparent Checkpointing and Process Migration of OpenCL Applications,” In *the 25th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS2011)*, 口頭発表, 2011/5/18.



氏名 吳 美瑛

所属 環境科学研究科環境科学専攻 博士課程後期3年

指導教員 環境科学研究科 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23年度 研究成果概要

Solid oxide fuel cells (SOFCs) are one of new power generation systems with high energy conversion efficiency and low emissions. Traditional SOFCs operated at high temperatures around 1273 K present some problems related to the cost of the materials and fabrication. Recently, more attentions have been focused on lowering the operation temperature down to intermediate temperatures (873 - 1073 K) in order to reduce the cost of cell materials.

Mixed ionic and electronic conducting perovskite oxide $(\text{La}, \text{Sr})(\text{Co}, \text{Fe})\text{O}_3$ (LSCF) is an attractive material as a cathode for intermediate temperature SOFCs. Compared with conventional cathodes based on $(\text{La}, \text{Sr})\text{MnO}_3$, the performance of the LSCF cathode is better even at intermediate temperatures due to its higher catalytic activity as well as good ionic and electronic conductivities [6-7]. Its high electronic and oxide ionic mixed conductivity spreads the active reaction 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.

For the practical use of LSCF as an SOFC cathode, chemical stability under oxygen potential gradient is highly required. On the cathode of SOFC, oxygen from air is incorporated into the electrolyte. The driving force for the reaction is the oxygen chemical potential gradient generated in the electrode layer during. During a long-term operation, the oxygen potential gradient may cause kinetic demixing and/or decomposition due to the difference in mobility of the cations, leading to the compositional and/or morphological changes. Such changes are considered to significantly affect the electrode'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 SOFCs.

In our previous work, the stability of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ (LSCF6428) was investigated by long-term annealing of the sintered pellets with or without applying oxygen potential gradients. The annealing at 1073 - 1273 K under uniform oxygen partial pressure of 10^{-4} - 0.21 bar for one week did not make any notable changes on the pellets. However, significant changes were observed when the pellets were placed under oxygen potential gradient. On the high oxygen partial pressure side, many particles of cobalt and strontium oxide were found along the grain boundary on the surface at 1273 K. The amount of the deposited particles increased with decreasing oxygen potential on the opposite side and/or increasing temperature. These results demonstrated that contribution of grain boundaries could be important in the transport kinetics and LSCF6428 may not be chemically stable enough under a certain oxygen potential gradient in the temperature range of 1073-1273 K.

What will happen to LSCF as real cathode? The oxygen chemical potential gradient which is generated in the electrode layer via electrochemical processes is not estimated. The chemical potential gradient is generated by the overpotential. Therefore, in order to ensure the durability and the reliability of SOFC using LSCF as a cathode, it is important to understand how the oxygen potential gradient is distributed in the LSCF cathode during the operation and how such a distribution affects the material stability of LSCF. In order to estimate oxygen potential gradient in the porous SOFC cathode, information on the overpotential and the effective reaction area are necessary. The effective reaction area is known to be evaluated by taking the ratio of the capacitance observed in ac impedance spectra to that estimated from the oxygen nonstoichiometry change for the whole electrode. By using this relation, the effective reaction area in a porous LSCF6428 electrode was evaluated at 873 - 1173 K under 10^{-4} - 10^0 bar. Based on the obtained results, chemical stabilities of LSCF6428 as an SOFC cathode were discussed.

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. M. Oh¹, A. Unemoto², K. Amezawa³, T. Kawada⁴, “Material stability and cation transport of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ in SOFC cathode conditions”, ECS Transactions, 35 (1) 2249-2253 (2011)

*1 東北大学院環境科学研究科・大学院生, 2 東北大学 多元物質科学研究所・助教, 3 東北大学院環境科学研究科・准教授, 4 東北大学院環境科学研究科・教授

【学会発表】

【国際】

1. Mi young Oh, Atsushi Unemoto, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada, “Material stability and cation transport of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ in SOFC cathode conditions”, 219th ECS Meeting, Montreal, Canada, May 1-6, 2011. (poster presentation)
2. Mi young Oh, Atsushi Unemoto, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada, “Chemical stabilities of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ as an SOFC cathode”, The 62nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Niigata, Japan, September 11-16, 2011. (oral presentation)
3. Mi young Oh, Atsushi Unemoto, Shin-ichi Hashimoto, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada, “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”, 12th Japan-Korea students’ symposium, presentation No.10-30, Sendai, Japan, November 10-11, 2011. (oral presentation)



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3年
指導教員 環境科学研究科 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23年度 研究成果概要

$\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ (LSCF) is a potential candidate as a mixed-conducting cathode for solid oxide fuel cells, and as an oxygen separation membrane material. In order to employ these compositions either as oxide electrodes or as oxygen-permeating membranes, it is of importance to examine the oxygen deficiency and its influence on other material properties. For instance, it was reported that electrical and mechanical properties strongly depends on the oxygen nonstoichiometry. However, little is known about the influences of oxygen nonstoichiometry on thermal properties so far. The thermal diffusivity was investigated by using the laser flash method (LFA). Dependencies of thermal diffusivities of LSCF on temperature, oxygen partial pressure were discussed in terms of the oxygen nonstoichiometry.

Powders of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ (LSCF) were prepared by a conventional Pechini method. Obtained powders were hydrostatically pressed at 150 MPa into compacts, and then sintered in air at 1627 K for 6h. For the thermal diffusivity measurements, the sintered compacts were cut into rectangles (*c.a.* 10 x 10 x 1 mm). The relative densities of the sintered LSCF compacts were always higher than 95%. Sintered all of pellets were single phase perovskites.

Thermal diffusivities of the sintered pellets were measured by using the laser flash method (LFA 457 Micro Flash, NETZSCH) in the oxygen partial pressure range from 10^{-4} to 0.2 bar and in the temperature range from R.T. to 1173 K. In order to control the atmospheres, a gas mixing system and an oxygen sensor are additionally attached to the laser flash method system.

The temperature dependence of the thermal diffusivities was measured with increasing temperature from R.T to 1173K while keeping atmospheres as constant. Measurements were performed with a 50 K interval. The oxygen partial pressure dependence of the thermal diffusivities was measured with decreasing oxygen partial pressure from 0.2 to 10^{-4} bar while keeping temperature at 873, 973 and 1073K. Measurements were repeated until the obtained thermal diffusivity reached to a constant value at each temperature and oxygen partial pressure.

The thermal diffusivity of LSCF first increased with increasing temperature and then decreased with increasing temperature and decreasing oxygen partial pressure at above 673K. LSCF is known to show the oxygen nonstoichiometry changes at relatively higher temperature, although the oxygen nonstoichiometry is kept almost constant at lower temperature. The oxygen deficiency δ increased with increase temperature and decreasing $p(\text{O}_2)$ in higher temperature range (above 873K). The temperature where the thermal diffusivity drastically changes seems to agree with the temperature where the oxygen nonstoichiometry changes. Therefore, it can be said that the change of the temperature dependence of the thermal diffusivities of LSCF is attributed to the oxygen

nonstoichiometry changes. In order to confirm influences of the oxygen nonstoichiometry change on the thermal diffusivity, relaxation behavior of the thermal diffusivity was examined when the oxygen partial pressure was changed. Figure 4 shows the time dependence of the thermal diffusivity of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$ when $p(\text{O}_2)$ was changed at constant temperatures. In higher $p(\text{O}_2)$, the thermal diffusivity showed only slight time dependence. Contrarily, in lower $p(\text{O}_2)$, time dependence of the thermal diffusivity was observed and became significant with increasing temperature.

When $p(\text{O}_2)$ was varied from 10^{-1} to 10^{-2} bar, the relaxation time was about 30 minute and the change in the thermal diffusivity was $0.02 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$ at 1073K. On the other hand, When $p(\text{O}_2)$ was varied from 10^{-2} to 10^{-3} bar, the relaxation time was about 200 minute and the change in the thermal diffusivity was $0.8 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$ at 1073K. The relaxation time increased with increase temperature. Because the oxygen deficiency δ increases considerably with increasing temperature (*i.e.* at $p(\text{O}_2) = 0.1$ bar, δ increases from 0.008 at 873K to 0.04 at 1073K). For a similar reason, The relaxation time increased with decrease $p(\text{O}_2)$ (*i.e.* at 1073K, δ increases from 0.04 in 10^{-1} bar to 0.95 in 10^{-3} bar)

In this work, dependencies of thermal diffusivities of perovskite-type oxides $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ (LSCF) on temperature, and oxygen partial pressure were investigated. In $2.0 \cdot 10^{-4}$ bar of $p(\text{O}_2)$ at 873 - 1073K, the thermal diffusivity of LSCF decreased with decrease $p(\text{O}_2)$. Therefore, the thermal diffusivity of LSCF was dependence δ . When $p(\text{O}_2)$ changed at constant temperature, the thermal diffusivity showed a little time dependence in higher $p(\text{O}_2)$, while apparent time dependence in lower $p(\text{O}_2)$. The relaxation time increased with increasing temperature. This relaxation behavior could be interpreted by the change in the oxygen nonstoichiometry, meaning that the thermal diffusivity of LSCF was significantly affected by the oxygen nonstoichiometry.

研究業績

【学会発表】

【国内】

1. 申 有哲, 宇根本 篤, 橋本 真一, 雨澤 浩史, 川田 達也, “Influence of oxygen nonstoichiometry change on thermal diffusivities of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ ($0 \leq x \leq 1.0$)”, 電気化学学会 2011年度 秋季大会 講演番号: 1F26 新潟 oral presentation, 2011年8月
2. 申 有哲, 宇根本 篤, 橋本 真一, 雨澤 浩史, 川田 達也, “Thermal diffusivities of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ under SOFC operation conditions”, 第20回 SOFC研究発表会 講演番号: 166C 東京 poster presentation, 2011年12月

【国際】

1. Yu Cheol Shin, Atsushi Unemoto, Shin-Ichi Hashimoto, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada, “Influence of oxygen nonstoichiometry change on thermal properties of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\delta}$ ”, 12th Japan-Korea students symposium, oral presentation No. 31, Sendai, Japan, November 2011



氏名 韓 笑波

所属 医工学研究科医工学専攻 博士課程後期2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23年度 研究成果概要

The theme of my doctor research is to explore the response of human blood vessel endothelial cells (EC) and smooth muscle cells (SMC) under shear stress (SS) with spatial shear stress gradient (SSG). In my master research, I have explored the relationship between EC and SS with SSG. The results showed that not only SS but also SSG could modulate EC morphological change. SSG suppressed the formation and alignment of actin filament in EC, which was normally observed under SS without SSG conditions.

Recently, it is reported that in cerebral vessel bifurcations, where high SS and high SSG happens, the SMC layer was distracted. This suggested that SSG might also influence the SMC. However, SMC are not directly exposed to blood flow, so I supposed that EC could play a role during this mechanotransduction. Such researches about EC and SMC co-responses to SSG are really few now. So in the present research, I try to explore how SMC react to SS with SSG, and the role of EC in the signal transduction in SMC response to SSG.

For this purpose, I am now trying to create a co-culture model of EC and SMC as shown in Fig.1. SMC are 3-D cultured in collagen gel, and EC are monolayer-cultured on a membrane plate over SMC layer, so that EC will not differentiate to SMC layer (vice versa) but cells could keep connect through membrane. As said above, SSG could decrease SMC layer and cause the loss of internal elastic lamina (IEL) at cerebral bifurcations. And the phenotype change of SMC is normally thought to be important in such blood vessel remodeling. SMC show contractile type normally, and if SMC change to synthetic type, the proliferation of cells will obviously increase, and this will induce Matrix metalloproteinase (MMP) production then to damage IEL. So it is important to confirm the phenotype of SMC under static culture condition, SS without SSG conditions and SS with SSG conditions.

As said above, SMC show contractile phenotype in normal blood vessels. So I tried to get contractile phenotype SMC under static culture condition. For this purpose, I used a specific serum-free quiescent medium (QM) during culturing. And then I checked the expression of contractile markers (α -SMA, calponin and myosin heavy chain) in SMC. Figure 2 shows the result of 2-D cultured SMC using QM. After 12 days culturing with QM, the expression of all contractile markers didn't increase anymore. This suggested that SMC showed contractile phenotype after culturing in QM for about 12 days. These contractile phenotype SMC could be used in the co-culture model.

In the next step, I would like to confirm the phenotype of SMC under SS and SSG conditions. For this purpose, I will apply SS with or without SSG to the co-culture model, and then check the expression of contractile markers in SMC. And in the other hand, I will also check the gene expression from EC in co-culture model to explore the role of EC in SMC response to SSG.

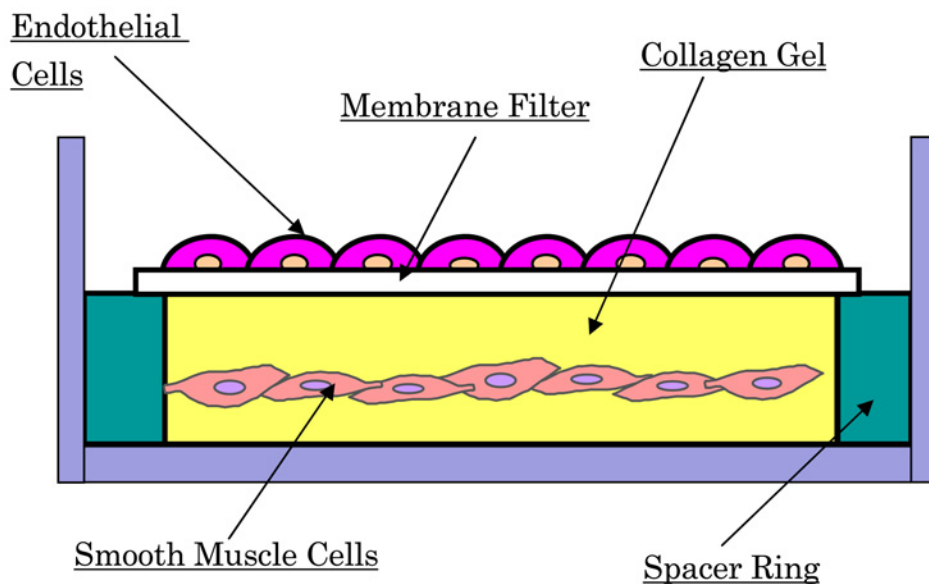


Fig. 1 A diagram of co-culture model of EC/SMC.

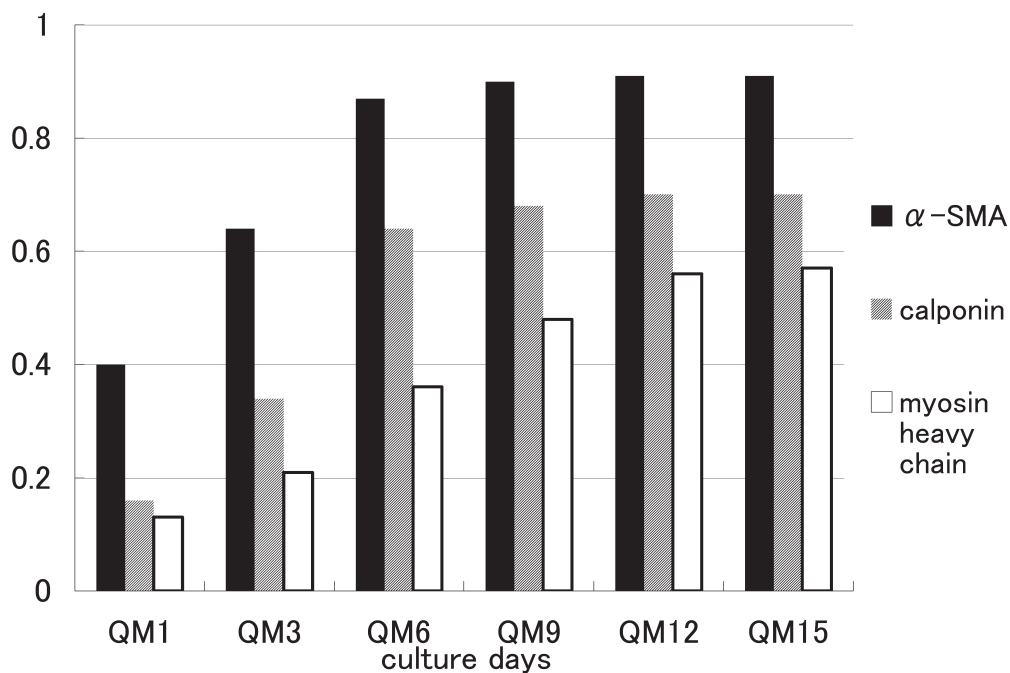


Fig. 2 The expression of contractile markers (α -SMA, calponin and myosin heavy chain) in SMC after different culture days using QM. The results are normalized to the expression of β -actin, n=2.

研究業績

【学会発表】

【国内】

1. 第24回バイオエンジニアリング講演会, MAPキナーゼを介した空間的せん断応力勾配に対する内皮細胞の形態応答, 著者(発表者: 坂元 尚哉), 2012.1.8

【国際】

1. 8th International Conference on Flow Dynamics, Involvement of ERK in Morphological Response of Endothelial Cells to Spatial Gradient of Shear Stress, 口頭, 2011.10.11



氏名 小澤 桂

所属 医工学研究科医工学専攻 博士課程後期2年

指導教員 流体科学研究所 太田 信 准教授

研究課題

生体複合組織に関するバイオモデリングの構築と評価法の検討

平成23年度 研究成果概要

医療技術の発展に伴い術者に求められる手技の難度は高まり、さらには、より高精度の医療機器の研究開発が進んでいる。そこで術者の手技の向上や新規の治療法の検討、医療機器の性能評価などを目的としたバイオモデルの開発が求められている。バイオモデルには生体の組織形状や実際の力学的特性、医療機器の物理的作用を受けた際の反応性を再現している必要がある。そのため、臨床における術式や機器の物理的条件を模擬して実験を実施し再現性を検証していくことが求められる。これまでのバイオモデルは、単一の素材で構成されており、均一な機械力学的特性を有している。しかしながら、特に疾患部は力学的性質が変化すること、また骨は皮質骨と海綿骨などによって構成され両者の力学的性質は異なることから、2種以上からなる複合バイオモデルの開発が望まれている。上述のような背景のもと、本年度は生体軟組織の疾患部および骨組織を模擬したバイオモデリングの開発に関する基礎的研究に取り組んだ。特に、(1) 微細石灰化を含んだ乳房モデルの構築、および(2) 骨モデルの成型過程の観察とドリル切削実験を実施した。

(1) 微細石灰化を含んだ乳房モデルの基礎的研究

現在、我が国において乳癌は女性が罹患する癌の第1位であり、罹患率および死亡率は年々増加傾向にある。初期段階である非浸潤性乳癌には微細石灰化が観察される。癌の検診・検出の際は病変部の組織形状の情報が重要であり、早期の段階での発見は良好な予後が期待できる。そのため検出機器のマammography、超音波、MRなどの画像診断装置の高解像度に向けた研究開発が行われている。しかしながら、さらなる画像診断技術の向上や新たな検出法の開発には、対象となる組織を模擬したバイオモデルが必要とされており、生体組織が階層化や複合化した本組織のバイオモデルの開発は特に重要である。そこで本研究では微細石灰化を含んだ乳房組織を再現したバイオモデルを構築し、癌の検出・検診への応用を目的とした。ポリビニールアルコールハイドロゲル(PVA-H)は比較的に大きな変形に耐えることのできる破断歪みを有していること、弾性率が容易に調節でき生体軟組織の力学特性の再現に容易であること、透明度が高く石灰の確認が可能であること、本モデルを必要とする上記の医療画像機器全てに対応が可能であることから材料として適当であると考えた。まず始めに、PVA-Hによる本軟組織の弾性率に関する再現の可能性を調べた。さらに微細石灰化代替物としてPVA-Hと比べCT値に差を有しX線での画像化が可能と考えられるガラスビーズ、石灰組織成分である炭酸カルシウムの粒子をPVA-Hに含有させ、Micro-CT撮影を行った。

PVA濃度範囲を5-15%で試料を作製し、これまでの参考文献と同様の押し込み試験により弾性率を測定した。その結果、濃度をあげるとそれに伴い弾性率が増加し、その上昇は非線形的であることがわかった。また、特に5-6.5%の濃度範囲において、文献中の脂肪組織の値と同様の値になることがわかった。さらにガラスビーズ、炭酸カルシウムを含んだ各試料の弾性率はそれぞれ約28%、41%増加した。これらの結果から、粒子の含有により弾性率が増加することが示唆された。また、Micro-CTによるガラスビーズを含有したPVA-Hの撮影を行った。ガラスビーズとPVA-Hとの間に十分なCT値差があり、ガラスビーズの位置

や分布を明瞭にとらえることができた。以上から、ガラスビーズを含有したPVA-Hは病変組織を模擬することが可能であると考えられ、これらの成果を第49回人工臓器学会にて発表した。

(2) 骨モデルの成型過程の観察とドリル切削実験

整形外科や臨床歯科における骨外科治療の技能は高度な技術が要求される。そのため、ヒトの骨の力学特性を有した骨バイオモデリングの開発は医師らの外科手技の向上に寄与できるものとして注目されている。これまでにアクリル樹脂と木くずを混合し射出成型法により成型をおこなう骨モデルを開発してきた。射出成型法では骨モデルの複雑な形状再現し、教育用など大量に作製するのに有効な手法であるが、射出後の材料の流れ挙動や混合状態は成型物の力学特性に大きく影響してくるため、型内の流れの挙動を観察することは重要である。しかしながら、これまで本材料の流れ挙動は分かっていなかった。そこで、成型後の材料のX線画像を取得し、内部の様子を観察を行うことを目的とした。さらに、同材料の機械力学的特性に関する知見を得るため、特に骨切り用医療機器の評価に対する骨モデルが重要であることから、ドリル切削に関わるトルク、スラスト力の摩擦特性や摩擦熱を計測する実験を、国際インターンシップ派遣プログラムを通して実施した。

射出後の流れ挙動の観察は、射出前の段階の複合材料にトレーサーとして、0.5 %の体積比率でタングステンファイバーを混入し、射出量を変化させて射出成型を行った。その後、成型後の材料をMicro-CTを用いてX線撮像を行った。X線画像から複合材料とファイバーとに十分なCT値があり、ファイバーが材料内に均一にかつ流れに沿って分布している様子を確認できた。また、射出後の材料は型内部を屈曲しながら充填していくことが分かった。これは原料のアクリルが高い粘性を持つためと考えられる。当結果を第8回ICFDにて発表した。伸縮性を有するファイバーを用いることで材料の流れ中のひずみも観察できるのではないかと意見の頂き、今後の実験に向けて参考となる有意義な議論が展開できた。

また、アクリルとおがくずの混合比を変えた複合材料をサンプルとしてドリル切削実験を実施した。インプラント用ツイストドリルを用いて15 NのNormal forceを負荷し、回転数を263, 566, 968 rpmの3種に設定し3 mmの深さまで切削を行った。その際、Torque, Axial forceを計測した。さらに切削部から0.5 mm, 表面から3 mm, 4 mmの位置に熱電対をサンプル内に差し込み摩擦熱を測定した。荷重を15 Nに設定し、5 mmまで切削し5 mmに達した際の温度を測定した。さらにドリルを上面から深さ3 mmの位置に固定し、60秒間回転させ10秒毎に計6回の温度設定を行った。

複合材料サンプルのAxial forceが深さ1 mmを超えたところから減少していく様子が確認された(Fig.1)。一定密度の金属や高分子材料では切削中は一定のforce値を示すため、本サンプル固有の特徴と考えられる。また、回転数増加に伴って最大トルクが減少している。また、切削に要する時間も回転数が高い方が概ね短い傾向が見られた。切削時に発生する摩擦熱に関しては、回転数の増加と温度の増加には相関性は見られなかった。これは、切削によってドリルと接触する箇所が熱を持ち、その後同箇所が切りくずとして排出される際に同時に熱が奪われるためと考えられる。また、いずれの回転数でも経過時間とともに温度上昇が確認された。60秒後の温度は968 rpmの条件のとき最大値を示した。アクリル熱変形（軟化）が摩擦抵抗の減少に関与しているものと考えられるが、過去に測定した粘弾性特性を見ると120 °C付近で本サンプルの貯蔵弾性率および損失弾性率の減少が見られた。しかしながら、今回の測定結果では、いずれの条件でも100 °C未満であった。熱電対の位置が切削部から0.5 mmの距離に設置していたことも関係している可能性があるため、さらなる考察と測定方法の吟味が必要と考えている。当結果をもとに、測定方法の改善を図り、さらに動物骨（ブタ骨）も実験を実施する予定である。以上より、国際インターンシップを通じて論文文化につながる有意義な結果を取得することができた。

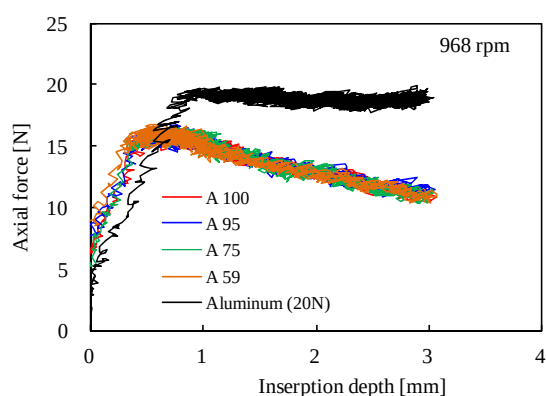


Fig.1 Axial force profiles of bone models

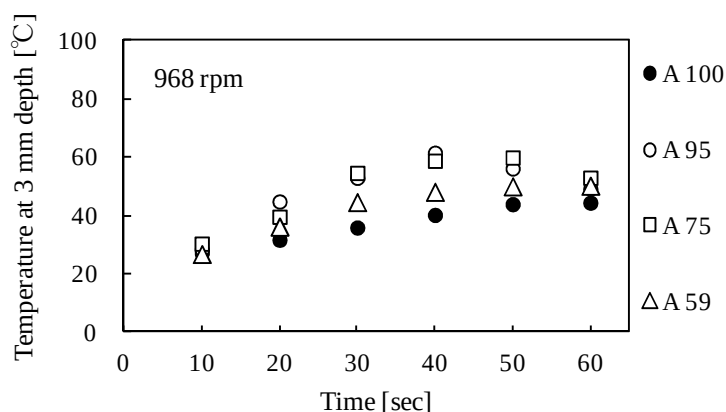


Fig.2 Shift of friction heat of bone models

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. スリナ・ビンティ・ロスリ, 國分冬樹, 小澤桂, 天谷賢児, 『フォトクロミック色素マーキング法による液膜微粒化現象の解析』, 微粒化, Vol.20, 71 (2011)

【学会発表】

【国内】

1. 劉磊, 小澤桂, 船本健一, 太田信, 早瀬敏幸, 小笠原正文
「"Twinkling Sign" を応用した軟組織内微細石灰化検出に関する基礎的研究」, 『日本超音波医学会第84回学術集会』, 東京, 2011年5月27-29日
2. 小澤桂, 劉磊, 船本健一, 早瀬敏幸, 太田信
「微細石灰化を含んだ乳房組織を模擬したPVA phantomの実験的研究」, 『第49回人工臓器学会』, 東京, 2011年11月25-27日

【国際】

1. Kei Ozawa, Yuji Katakura, Yukihiro Shibata, Makoto Ohta
「Observation of Behavior of Injection for Composite Material using Micro-CT」, 『Eighth International Conference on Flow Dynamics』, Sendai(Japan), 9th -11th of November, 2011
2. Lei Liu, Kei Ozawa, Kenichi Funamoto, Makoto Ohta, Toshiyuki Hayase, Masafumi Ogasawara
「Detection of Microcalcification in Soft Tissue Employing B-Flow "Twinkling" Sign」, 『Eighth International Conference on Flow Dynamics』, Sendai(Japan), 9th -11th November, 2011



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2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

平成23年度 研究成果概要

研究背景

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が行われている。プラークは疾患の状態に応じてさまざまな硬さを有することが知られており、その特性が動脈硬化部周囲の血管動態および血流に影響を与えていると考えられる。これまでに、プラークの形状と血流の関係および内圧とプラークの変形に関する報告などはあるが、プラークや血管の変形・拡張と流れの両者を関連付けて論じたものはこれまでほとんどみられなかった。これは従来の多くの研究が流路に剛体管を用いており、流路に用いられた材料の機械的特性を考慮することが難しかったためであると考えられる。そこで本研究の目的は、新たなプラーク材料を用いてその機械的特性を変化させたときの血管およびプラークの変形、また血流への影響を調べ、流体力学および材料力学の観点から動脈硬化発祥のメカニズムを解明することである。本研究の成果は最終的に、動脈硬化症に対する新たな治療方法の提示および患者への貢献などが期待される。

方法

本年度は、昨年度に開発した、Poly (Vinyl Alcohol) –Hydrogel (PVA-H) を主材料としたさまざまな機械的特性を有するプラークをもつ血管狭窄バイオモデルを用いて、定常流におけるモデル内の流れをPIV法により調べた。モデルは狭窄率70%のボックス型とし、ボックス部(PVA溶液濃度12wt%)と比べて軟らかいプラークを有するモデルA (PVA溶液濃度5wt%) と硬いプラークを有するモデルB(PVA溶液濃度15wt%)の2種類を作製した。モデル内に流す作動流体として、PVA-Hとの屈折率マッチングが可能であり、血液の動粘度の再現が可能であるグリセリン水溶液とヨウ化ナトリウム水溶液の混合溶媒を用いた。実験に用いた流路をFig.1に示す。流れ条件として、流量を150ml/minとし、流路内圧力を10～50mmHgの範囲でコントロールし、モデル内の流れを高速度カメラにて撮影した。結果の一例をFig.2に示す。狭窄部の流れについては急拡大管の流れと関連付けることができることから、周囲に比べて壁せん断応力の小さくなる流れの再付着点位置を調べた。また内圧に応じてモデルが変形および拡張したため、モデルの流路径についてもあわせて調べた。

結果

A,B両モデルとも内圧の上昇に伴い流路径が拡張し、狭窄率が減少したことが確認された(Fig.3)。しかしその減少率はAとBで異なり、モデルAが広く拡張し、狭窄率が減少した。したがって、プラークの硬さは血管の拡張に関して影響を与えることが示唆された。また再付着点位置について、モデルAにおいては内圧の上昇とともに下流側に移動した(Fig.4)。一方、モデルBでは内圧の程度に関わらずほぼ一定であった。流量は一定に制御しているため、再付着点の移動はモデルの変形および拡張に起因するものであると

考えられる。モデルの拡張はモデルAの方が大きかったことから、この結果は妥当であると考えられた。

今後の予定

流路の変形が流れに対して大きな影響を与えることが得られたため、流路の3次元形状の取得を試みる予定である。具体的には超音波装置やCTなどを用いて、さまざまな内圧での定常流負荷時の狭窄部および狭窄部周辺の断面形状を取得し、流れとの関係性を考察する予定である。

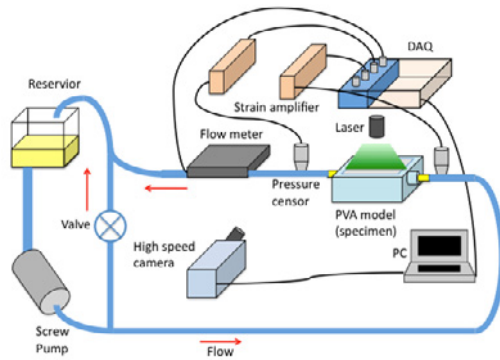


Fig.1 PIV circuit

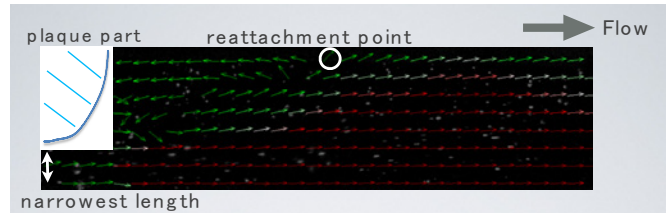


Fig.2 Image of PIV results

(flow rate:150ml/min, upstream pressure:25mmHg)

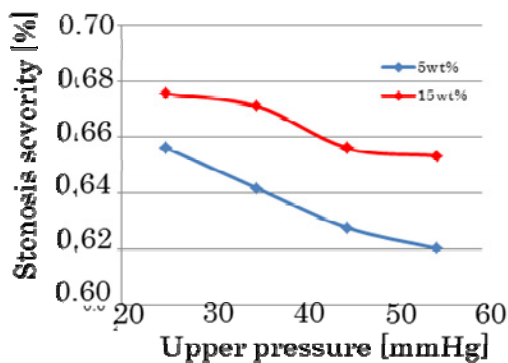


Fig.3 Relationship between stenosis severity and upstream pressure

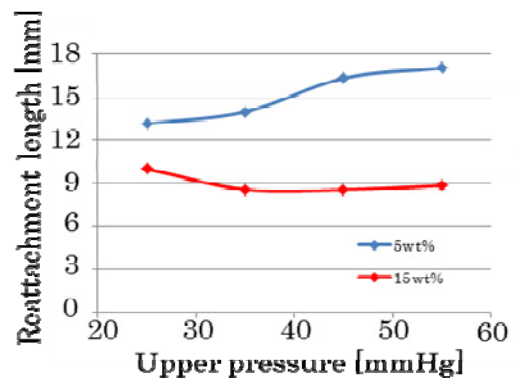


Fig.4 Relationship between reattachment length and upstream pressure

研究業績

【学会発表】

【国内】

1. Makoto Ohta, Hitomi Anzai, Yasutomo Shimizu, Shuya Shida, Kei Ozawa, Changho Yu, Hiroyuki Kosukegawa, Xiaobo Han, Noriko Tomita, and Toshio Nakayama, “Visualization leads Endovascular Treatments of Cerebral Aneurysm”, 日本SGI株式会社寄付講座・2011年度ビジュアリゼーション（科学技術における応用）Ⅱ・2011年10月
2. 清水康智、信太宗也、早瀬敏幸、太田信「血管バイオモデル狭窄部のプラーク硬さが定常流に与える影響」日本機械学会第24回バイオエンジニアリング部門講演会・2012年1月

【国際】

1. Yasutomo Shimizu, Shuya Shida, Makoto Ohta, “Influence of plaque stiffness on hemodynamics based on experimental studies with in vitro PVA biomodel”, 8th International Interdisciplinary Cerebrovascular Symposium, Shanghai, China, Sep. 2011
2. Yasutomo Shimizu, Shuya Shida, Makoto Ohta, “Influence of plaque movement on blood flow and blood vessel around stenosis area”, The eighth International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, Nov. 2011

13. 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 3年

指導教員 工学研究科機械システムデザイン専攻 内山 勝 教授

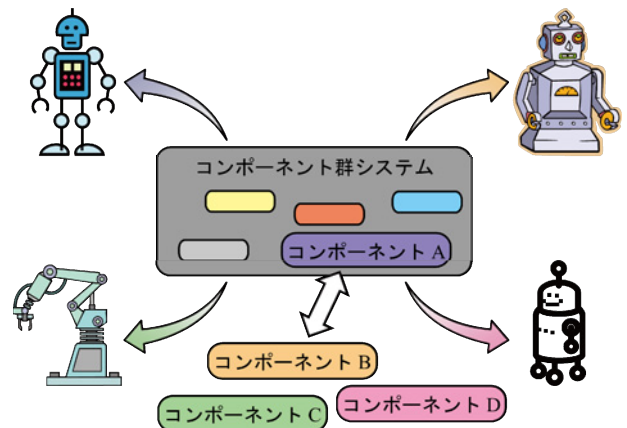
研究課題

多種ロボット制御のための汎用モジュールの開発

平成23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)。



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した。それによって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。

図1. 汎用的なロボット制御システム

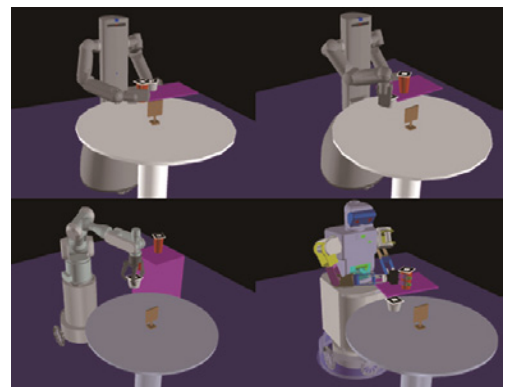


図2. 食器片付けシミュレーション

食器片付け作業を実現するために、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、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。構築したシステムによって食器片付けシミュレーションを行った結果を図2に示す。

さらに作業・ロボットに依存しないシステムを構築するため汎用モジュールを開発した。汎用モジュールは移動マニピュレーションモジュールの一つとして開発し、サービスロボット・産業用ロボット・レス

キューロボットなど、多種ロボットのリンク構造の違いを吸収することができる（図3）。リンク構造を吸収するために、多種ロボットに対応可能なロボットモデルとして提案した標準モデルに、使用するロボットの関節をそれぞれマッピングしていく。これによってロボットのリンク構造・リンク名が未知の場合でも動作の指定を行うことが可能となった。

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。現在はこれらのモジュールを利用して実機を用いた動作の検証を行っている。

なお、この研究はNEDO次世代ロボット智能化技術開発プロジェクトの助成を受けて行われた。

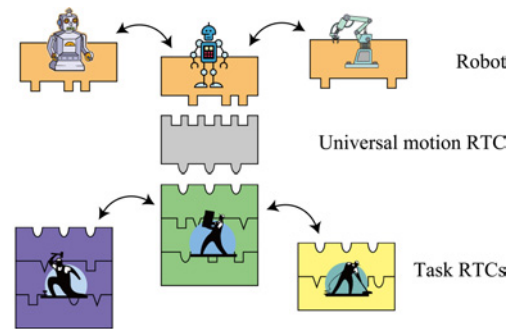


図3. 汎用モジュール概念図



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

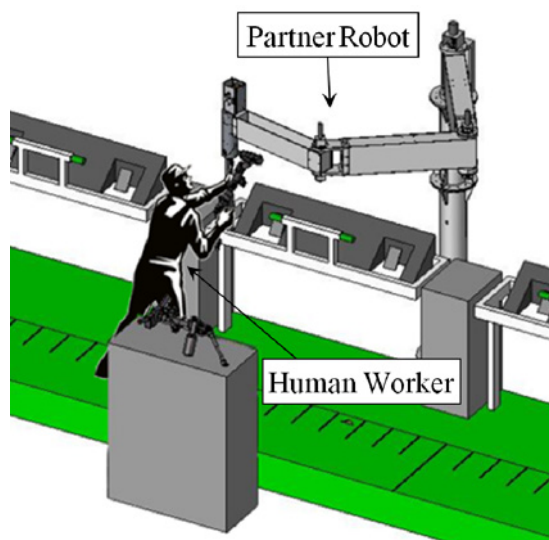
指導教員 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 内山 勝 教授

研究課題

産業用パートナーロボットによる人間との協調作業

平成23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安全に協調して作業する、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、生産ラインでの重量部品の組付け作業工程などにおいて、作業者の負担となる重量部品の運搬や重力補償をロボットが担当し、作業者は負担を感じずにロボットと協力して作業を完遂することにある。この様子を図に示す。これまで、ロボットの各要素の開発および生産ラインでの動作実験を行ってきた。ロボットの特徴としては、作業者との接触時の安全を確保するために各関節にばね型の柔軟関節を有しており、手先には作業者の負担軽減を目的とした重力補償機構および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実際の自動車生産ラインの重量部品組付け工程において実用化することを目指した。

【今年度の成果】 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うことで、実用化するうえで解決すべき様々な課題を新たに発見し、それらをハードウェアとソフトウェアの両面から解決することで軌道追従性などのロボットの動作特性を大幅に改善した。特に、柔軟関節を有するロボットアームによる重量部品を扱った場合の制御システムを構築した。また、これらの研究成果をまとめ国際学会にて2件の論文投稿および口頭発表を行った。生産ラインでの実用化までには至っていないが、早い段階で実生産ラインに導入することを目指す。

研究業績

【学会発表】

【国際】

1. Songgi LEE, Xin JIANG, Koyu ABE, Satoko ABIKO, Atsushi KONNO and Masaru UCHIYAMA: "A Cooperative Industrial Partner Robot for Handling Heavy Parts", 2011 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Jul. 2011, 口頭発表.
2. Songgi LEE, Xin JIANG, Koyu ABE, Satoko ABIKO, Atsushi KONNO and Masaru UCHIYAMA: "A Human Assistant Robot System for Handling Heavy Mechanical Parts in Assembly Lines", 2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Dec. 2011, 口頭発表.

氏名 大瀬戸 篤司



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 近野 敦 准教授
研究課題
4ロータテールシッタVTOL無人航空機的设计と飛行制御

平成23年度 研究成果概要

VTOL(垂直離着陸)無人航空機は、長距離飛行とホバリングが必要な遭難者捜索や災害調査への貢献が期待されている。VTOL機の中でも4ロータヘリコプタは単純な機構でVTOLを実現し、高い姿勢制御能力を持つ。しかし、飛行には常に自重より高い推力を出力する必要がある、エネルギー効率が悪く、長距離飛行は困難であった。この問題を解決するため、4ロータヘリコプタに固定翼を装備し水平飛行を可能とする“4ロータテールシッタVTOL無人航空機”というものがある。しかし、水平飛行中の姿勢制御が困難であるため、4ロータテールシッタ機が自動制御により水平飛行を行った例はない。4ロータテールシッタ機は長距離飛行能力と高精度姿勢制御能力を両立するため、水平飛行中の飛行制御が可能となれば従来の無人航空機よりも高い汎用性を実現できる。

水平飛行の実現のためには、様々な飛行状態を模擬し制御則の検証が行える飛行シミュレータと、開発した制御則を検証するための実験機体が必要である。そこで平成23年度は以下の二つのテーマに沿って研究を行った。

1. 失速状態を模擬可能な三次元飛行シミュレータの構築

無人航空機を失速に特化してモデル化を行い、ホバリングのような静的な失速状態だけでなく、動的に失速を経由するような飛行も模擬可能な、三次元の飛行シミュレータの構築を行った。開発したシミュレータを用いて、ホバリング飛行、水平飛行、それらを繋ぐ遷移飛行のシミュレーションを行い、安定して姿勢制御が可能な制御則を開発した。またシミュレーション結果から本機は従来の4ロータヘリコプタに比べ三倍程度の距離を飛行可能であることが明らかとなった。

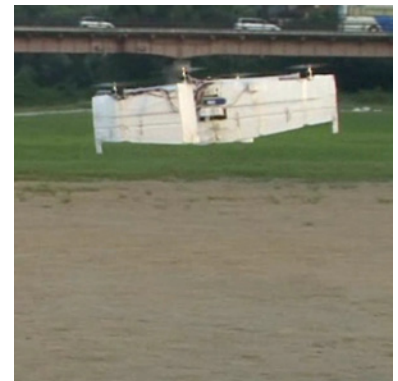


図1. ホバリング飛行実験

2. 実験機体の開発及び飛行実験による性能検証

シミュレーション結果を元に詳細設計を行い、4ロータテールシッタVTOL無人航空機を開発した。さらに開発した機体を用いて高度・姿勢制御を行いながらのホバリング飛行実験(図1)に成功している。

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. Oosedo, A. Konno, T. Matsumoto, K. Go, K. Masuko and M. Uchiyama, “Design and Attitude Control of a Quad-Rotor Tail-Sitter Vertical Takeoff and Landing Unmanned Aerial Vehicle” Advanced Robotics: Cutting Edge of Robotics in Japan 2012, Vol. 26, No.1, 2012. (in press)

【学会発表】

【国内】

(口頭発表・査読なし)

岡野直樹, 伊藤崇文, 佐竹恵和, 山越靖之, 大瀬戸篤司, 近野敦, 内山勝, “垂直カナードを持つ無人航空機の飛行制御”, 東北支部第 47 期秋季講演会, 資料番号 314, 米沢, 2011 年 9 月.



氏名 富岡 義弘

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 吉田 和哉 教授

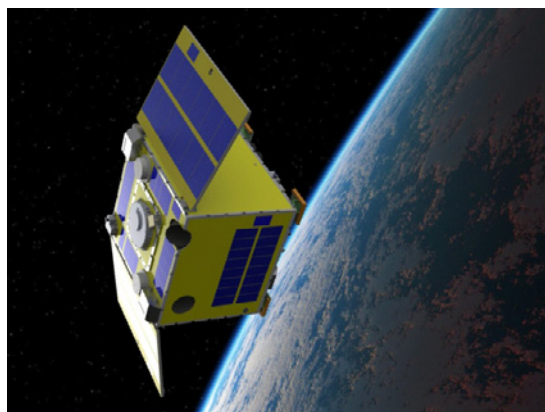
研究課題

超小型人工衛星バスシステムの標準化を目指したモジュール化とインテグレーション手法の研究

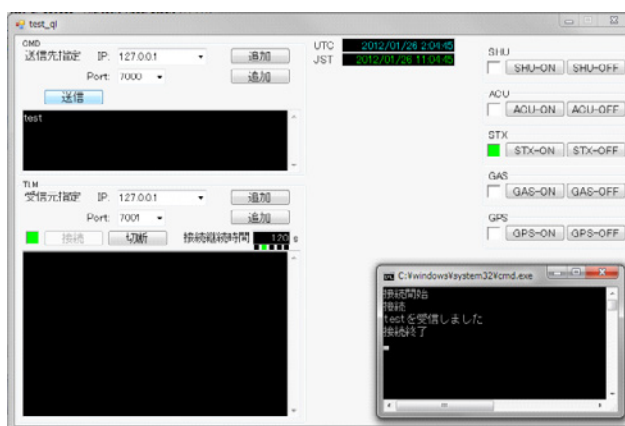
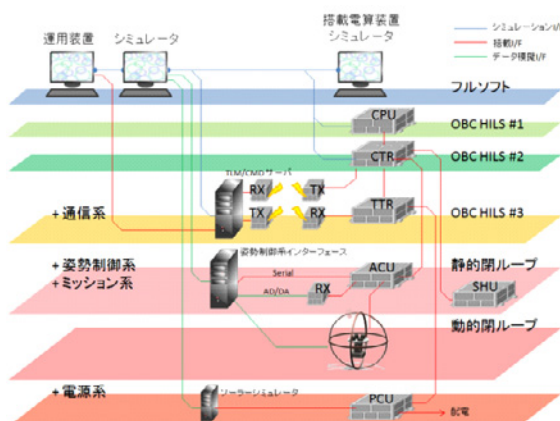
平成23年度 研究成果概要

本研究は、超小型人工衛星の構体系や制御系、計装系を含めた衛星の基本システム（バスシステムと呼ぶ）の標準化を目指している。本年度は、前年度開発した超小型衛星RISING-2の基本構造を継承し、次期超小型衛星RISESATの構造試験モデル（MTM：Mechanical Test Model）設計を完了した。本衛星の構造設計においては、RISING-2構造を継承しながら、部分的に改良することで、より多くの理学観測機器の搭載を可能とし、同時により軽くより強い構造とすることに成功した。また、実際にくみ上げたMTMを用いて、MTM振動試験を行い、構造強度や構造剛性に問題がないことを確認した。

本研究では、衛星開発と並行して、衛星システム開発を評価するための、試験評価環境の構築を目指している。これは、衛星の軌道上環境を模擬したリアルタイムシミュレータと衛星に搭載する機器間でHILS（Hardware in The Loop Simulation）環境を構築し、衛星の打ち上げ前であっても、実運用環境を模擬したシステムの評価試験を可能とするものである。本年度は、構築する評価環境の仕様を固め、コマンド発生装置（QL：Quick Look）およびシミュレータのテストモデルを製作、ダミーコマンドおよびダミーテレメトリの受信環境を構築した。現在はこのシステムにOBC（On Board Computer）のテストモデルを組み込み、試験的なHILS環境の構築を目指している。



左：RISESATイメージ，右：RISESAT振動試験（MTM）



左：試験評価環境概念図，右：開発中のQLソフト（運用装置）

これらの研究内容は、RISESATプロジェクト全体としては62nd International Astronautical Congress, 構体システムとしては3rd Nano-Satellite Symposium, 評価環境構築に関しては第55回宇宙科学技術連合講演会にて、その開発進捗状況と成果を発表した。

研究業績

【学会発表】

【国内】

1. 第55回宇宙科学技術連合講演会、「次世代超小型衛星の低コスト短期開発手法及びその支援環境の構築」、口頭、2011/11/30
2. 第55回宇宙科学技術連合講演会、「50kg級超小型衛星の効率的な熱設計および評価手法」、口頭（共著）、2011/11/30

【国際】

1. The 28th International Symposium on Space Technology and Science, “System Integration of a Star Sensor for the Small Earth Observation Satellite RISING-2”、口頭（共著）、June 5 to 12 in OKINAWA, JAPAN
2. 62nd International Astronautical Congress 2011, “A Sail Deployment Mechanism for Active Prevention and Reduction of Space Debris”、口頭（共著）、October 3 to 7, 2011 in Cape Town, South Africa
3. 62nd International Astronautical Congress 2011, “A Japanese MicroSatellite Bus System for International Scientific Missions”、口頭（共著）、October 3 to 7, 2011 in Cape Town, South Africa
4. The 3rd Nano-Satellite Symposium, “Micro-satellite structure system for cost-effective and rapid development”、ポスター、December 12 to 13, 2011 in Kitakyushu, JAPAN
5. The 3rd Nano-Satellite Symposium, “Development Method of Command and Data Handling System for Micro and Nano Satellites”、ポスター（共著）、December 12 to 13, 2011 in Kitakyushu, JAPAN
6. The 3rd Nano-Satellite Symposium, “Development Status of Micro-satellite De-orbit Mechanisms for Active Prevention and Reduction of Space Debris”、口頭（共著）、December 12 to 13, 2011 in Kitakyushu, JAPAN
7. 2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, “Satellite System Integration based on Space Plug and Play Avionics”、口頭（共著）、December 20-22, 2011 Kyoto, JAPAN

氏名 浦本 翔平



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 升谷 五郎 教授

研究課題

ステレオPIVを用いた超音速乱流の乱流構造解析

平成23年度 研究成果概要

私は博士課程前期2年の課程において、極超音速機に使用可能なスクラムジェットエンジンの燃焼器における燃料と主流の混合について、ステレオPIVを用いて速度場を計測し、そこで得られた変動速度成分を用いて乱流解析を行った。

この計測では、混合が起きる噴射孔下流を集中的に測定し、噴射された燃料模擬気体の流れを捉えることができたが、噴射孔より上流の流れ場の様子と噴射への影響は調べることが出来なかった。過去の同研究室の研究により、噴射孔壁面をリブレット形状にした場合、上流の影響が変化し噴射や燃料の混合に影響が出ることが示されていた。そのため今年度は、同じ流れ場の噴射部を含む、上流部をステレオPIVで計測を行った。これに、昨年度取得したデータを加えて、流れ場全体について、変動速度を求め、2点空間相関を計算し、解析を行った。

この流れ場に形成される弓形衝撃波位置の変動が、噴射部下流の流れ場の変化によって起こっていることが見て取れた。これは噴射の貫通高さが変化することで、弓形衝撃波位置の変動が起こったと考察できる。この時の相関分布を見ると、噴射上流境界層の主流方向変動速度が噴射により形成される弓型衝撃波付近の速度変動と強い正の相関を持つことがわかった。これは、境界層が持つ主流方向変動速度が弓型衝撃波に影響を及ぼしていることを示しており、これによっても弓型衝撃波位置が変動し噴射の貫通高さが変化すると考えられる。この時、その他の速度成分の変動速度は弓形衝撃波及び噴射流れと相関関係を見て取ることは出来なかった。

また境界層の主流方向変動速度は、噴流の速度勾配が最大となる線上の速度変動とも強い正の相関が見て取れた。これについても上記の境界層と弓型衝撃波、噴射の貫通高さの関係によって現れる現象であると考察される。

上記の実験で得られた相関では弓型衝撃波位置の変動が、噴射の影響によるものか、境界層の乱れによるものかの区別がつかない。また、影響の程度についても特定することができない。そのため、これらについてより詳細な解析のため、衝撃波位置や平均衝撃波位置における変動速度により条件を設け相関を取り、これらの影響やその時の流れ場を解明する予定である。

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. Shohei Uramoto, Toshinori Kouchi, Goro Masuya, “Turbulent Structure of a Supersonic Flowfield with Transverse Injection,” *Journal of Fluid Science and Technology* (査読予定)

【学会発表】

【国際】

1. Seventh International Conference on Flow Dynamics, Spatial Correlations of Velocity Fluctuation

in a Supersonic Flowfield with Transverse Injection, Poster, November 2011

2. Asian Joint Conference on Propulsion and Power 2012, Stereoscopic PIV Measurement of the Jet in Supersonic Crossflow and Spatial Correlation of Velocity Fluctuations, oral, March 2012 (発表予定)



氏名 吳 孟鴻

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

複数のヒューマノイドロボットによる協調搬送作業

平成23年度 研究成果概要

本研究はヒューマノイドロボット同士が協調搬送作業を実行する際に必要な技術の開発をする。本研究では、

- ・二機のヒューマノイドロボットによるリーダ・フォロワー方式の協調移動の実現
- ・協調移動における二機間の相対移動を吸収し、力を緩和する手法の開発

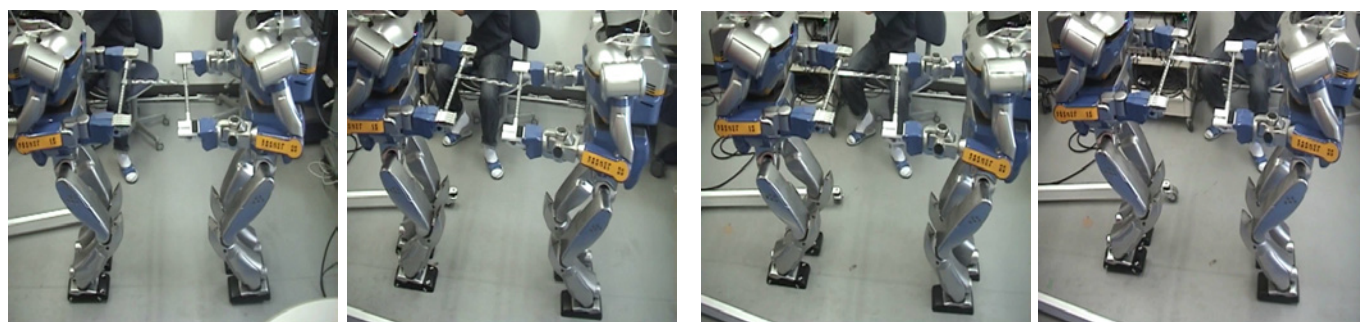
に着目する。

まず制御法を提案し、数値計算シミュレータでその妥当性を検証する。最終的には、等身大ヒューマノイドロボットHRP-2を二機用いての協調搬送作業の実現が目標である。

【研究成果】

これまでに申請者は、安定な歩行生成手法を理論から実装し、脚腕協調移動の手法を開発し、協調移動における二機間の力を緩和する手法を提案した。また、等身大のヒューマノイドロボットHRP-2を用い、前後方向の協調搬送作業に成功した(図1)。

この提案手法を用いた研究成果については文献[1] で報告した。



(1)Time=0 [s]

(1)Time=4 [s]

(1)Time=8 [s]

(1)Time=12 [s]

図1.協調搬送実験

研究業績

【学会発表】

【国際】

1. Meng-Hung, A. Konno, M. Uchiyama: “Cooperative Object Transportation by Multiple Humanoid Robots,” in Proc. of the 2011 IEEE/SICE Int. Symposium on System Integration, Kyoto, Japan, D5-1, Dec. 21, 2011.



氏名 朴 江

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

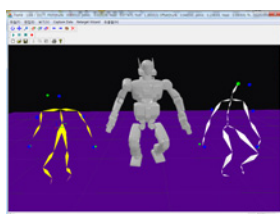
指導教員 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 近野 敦 准教授

研究課題

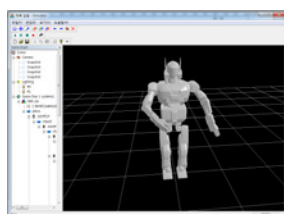
New Biologically Inspired Motion Generation Algorithm for Humanoid Robots

平成23年度 研究成果概要

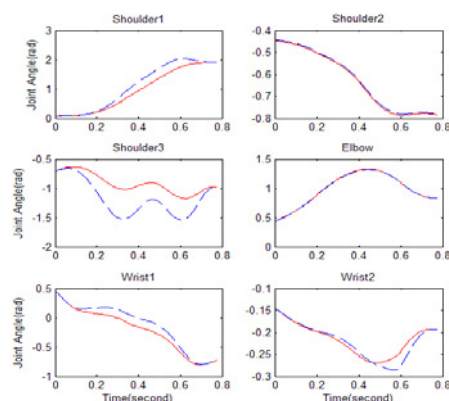
My research goal is to make the algorithm that the humanoid robot can not only learn the user's motions by itself, but also optimize and generate the similar motions for arbitrary target. Also, in order to control generated motions, I have tried to make the dynamic motions equation by using the virtual spring-damper system. For that, first, the human motions are captured by motion capture system. Then, the motions are converted to humanoid robot by using the motion converting software because there are difference between the human and robot. After that, the motions evolve to be optimize the motions is to minimize the joint torque sum by using the evolutionary algorithm based on the principal components analysis. The other research goal is only to use few demonstrations. Once, the generated motions are controlled the dynamics equation based on virtual spring-damper system in order to utilize the avoiding an obstacle etc. also, the dynamics equation uses the jacobian transpose, so the robot can avoid singularity. In this research, I've develop the programs like motion converting, motion kinetic simulator, motion editor and simple dynamic simulator for virtual spring-damper system.



Motion Converting Software



Motion Simulator for HRP2



Arm Motion : (red) proposed method (blue) non evolved motion



氏名 伊藤 真澄

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 伊澤精一郎 准教授

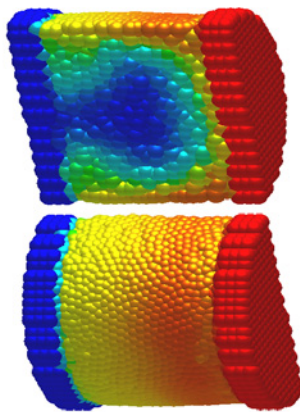
研究課題

粒子法によるアーク溶接のシミュレーション

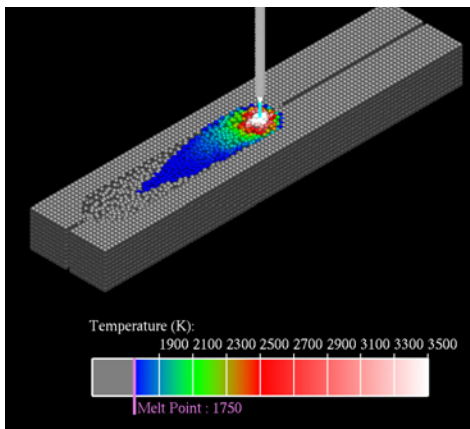
平成23年度 研究成果概要

粒子法によるアーク溶接シミュレーションプログラムの開発を目的として粒子法 (Smoothed Particle Hydrodynamics法) の改良に取り組んだ。

アーク溶接プロセスにおいて生じる溶融池をターゲットにしたシミュレーションの他、溶融池解析のために不可欠なマランゴニ効果のモデルを検討するための液滴シミュレーションを行いそれぞれ良好な結果を得た。



左の図は、マランゴニ効果の働くディスク間液滴の計算結果である。断面を表示するため分割して見せている。左端の青い部分が低温 (300K) ディスク、右端の赤い部分が高温 (320K) ディスクであり、挟まれた液滴の表面がマランゴニ効果によって低温側へ向かって動く。その結果持続的な対流が生じ、液滴内部では右向きの流れが起きる。計算においてもこの対流が確認された。対流が起きた結果、左図のような特徴的な温度分布が表れた。



左の図は、溶融池形成シミュレーションプログラムを応用し、簡易的な溶接シミュレーションを行ったものである。2本の10 x 10ステンレス棒を、1 mmの間隔を空けて並べ、TIG溶接の条件で熱源を走査しながら、ステンレス棒の上部を加熱している。加熱された材料の一部が融解した後再び凝固し、2本の棒の隙間が埋められて一体化・接合されていく様子が計算できた。

研究業績

【学会発表】

【国際】

1. The Eighth International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, Incompressible SPH Simulation of a Droplet and a Liquid Column with Marangoni Convection, ポスターによる発表, 2011年11月11日

氏名 Phan Anh Tuan



所属 工学研究科ナノメカニクス 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 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

Development of Magnetic Metallic Glass Thin Film and its Application in
Magnetic MEMS

平成23年度 研究成果概要

I have fabricated a $\text{Fe}_{67.46}\text{B}_{22.5}\text{Nd}_{6.3}\text{Nb}_{3.74}$ magnetic metallic glass thin film on a (100) silicon substrate. For the thin film, x-ray diffractometry and transmission electron microscopy revealed amorphous state, differential scanning calorimetry confirmed the existence of the glass transition, and magnetization hysteresis loops determined the soft magnetic properties. From these measurements, I found that the thin film have the widest supercooled liquid region (96 K) and the smallest coercivity (7.5 A/m) among the existing magnetic metallic glass thin films. I also analyzed hardness and Young's modulus of the thin film by nanoindentation. As a result, hardness and Young's modulus are 15.6 GPa and 175 GPa, respectively. In addition, I have fabricated specimens for tensile test by microfabrication techniques, they are going to analyze at Nagoya University. This mechanical property is important factor when designing a microelectromechanical system.

This study will facilitate the understanding and development of the magnetic metallic glass thin films as base materials of the magnetic MEMS such as current MEMS, SAW,...

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. Tuan Anh Phan, Sangmin Lee, Akihiro Makino, Hiroyuki Oguchi, Hiroshi Okamoto, and Hiroki Kuwano, Formation and Characteristics of FeBNdNb Magnetic Metallic Glass Thin Film. (in preparation)

【学会発表】

【国際】

1. T.A. Phan, S.M. Lee, A. Makino, and H. Kuwano, FeBNbNd Magnetic Metallic Glass Thin Film for MEMS/NEMS Structure, MEMS 2011, DOI. 10.1109/MEMSYS.2011.5734453, (2011), pp. 428-431. (Poster)
2. Tuan Anh Phan, Motoaki Hara, Hiroyuki Oguchi, And Hiroki Kuwano, Non-Contact Type

Current Sensor Using Fe-B-Nd-Nb Magnetic Metallic Glass Thin Film for Energy Saving,
MEMS 2012, France, Jan 29th – Feb 2nd, 2012 (abstract is submitted).



氏名 磯野 晋

所属 工学研究科ナノメカニクス 博士課程後期3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23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。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、分子質量や分子直径といった気体物性の変化に注目し、それらが気体潤滑に必要な圧力発生および揚力発生に与える影響について調べた。まずは、数値計算の利点を活かして分子直径や分子質量を任意に変化させることで、各パラメータと圧力変化の関係について明らかにした。例えば、まず分子量が大きくなると発生揚力が大きくなることがわかった。これは壁面から気体に働く剪断応力の大きさに分子質量の変化が影響するためだと考えられる。また、分子直径が減少すると、発生揚力が増加することもわかった。これは分子の平均自由行程が長くなり、気体の粘性係数が大きくなって剪断応力が大きくなる効果と、速度すべりが起こって速度勾配が緩くなり剪断応力が抑制される効果の複合的な影響によるものだと考えられる。今後は、昨年度の溝形状と圧力変化および揚力発生に関する研究成果と組み合わせて、摺動面の流体现象に関する理解を深めていきたい。

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. 1333, 736-741 (2011)

【学会発表】

【国内】

1. 日本機械学会 2011 年度年次大会, ”マイクロ・ナノスケールの気体潤滑に関する研究”, 口頭発表,
2011 年 9 月 12 日

【国際】

1. 8th International Conference on Flow Dynamics, “Effect of Gas Properties on Molecular Gas-Film Lubrication”, Short oral and Poster Presentation, November 10, 2011

氏名 呉 同



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 羽根 一博 教授

副指導教員 流体科学研究所 高木 敏行 教授

研究課題

次世代天体観測用大ストローク多素子MEMSデフォーマブルミラー

平成 23 年度 研究成果概要

次世代天体観測用大ストローク多素子MEMSデフォーマブルミラー(DM: Deformable Mirror)を開発するために、バイモルフスプリング(Bimorph Spring)を用いたデフォーマブルミラーの提案、設計と製作を行った。

デフォーマブルミラーは光学収差を補償でき、補償光学系(Adaptive Optics)に多く実用されている。

MEMS(micromachined electro-mechanical systems)技術に基づいたDMの開発が多く行われていたが、大変位量(ストローク)を実現することが難しい。ピエゾ薄膜アクチュエータを用いたDMはMEMS技術により製作された。低電圧で駆動できるが、ストロークを増加するため、駆動電圧を増大するとヒステリシスが大きくなることがある。また、静電アクチュエータを用いたMEMS-DMは単一メンブレン式、二段メンブレン式、分割三脚式などが挙げられる。メンブレン式のMEMS-DMは高光学効率、連続位相補正など良い特性を持つにも関わらず、制御困難とストローク(最大変形量)の不足(<5 μm)が問題になっている。一方、分割三脚式のMEMS-DMは制御が簡単で、ストロークが大きい(既に10 μm に到達)など利点があるが、素子の間のギャップによる回折が性能劣化の原因になる。一方、光学シミュレーションにより、次世代天体望遠鏡の補償光学系に使われるDMには20 μm のストロークが必要である。そこで、大ストローク連続メンブレンデフォーマブルミラーを開発することを本研究の目的としている。

大ストロークを実現するために、ミラーメンブレンと電極の間のギャップを大きく作る必要がある。そこで、私はバイモルフスプリング(bimorph spring)を用いたデフォーマブルミラーを提案した。バイモルフスプリングはSiとHfO₂の二層の構造で、HfO₂膜応力により、面外に曲がることによりミラーを持ち上げることで、大きい電極ギャップを実現できる。バイモルフスプリングを実際にマイクロマシン技術で製作し、面外変位を測定した。この面外変位の値でHfO₂の膜応力を計算し、DM構造の構造設計を行った。SOIプロセスをウエハ接合プロセスと組み合わせ、新たなプロセスを發展させ、デバイスを製作した。これまでに、バイモルフスプリングを用いた連続メンブレンのDMの製作を行った研究例がなく、新規性が高い。製作したDMの動作を確認した。130Vで3.8 μm の変位が得られた。これらの結果を応用物理学学会に発表した。また、2011年6月北京に開かれたMEMS関係最大国際学会であるTransducers'11に発表した。

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. Tong Wu, Takahiro Yamasaki, Ryohei Hokari and Kazuhiro Hane, "Spherical silicon micromirrors bent by anodic bonding," Optics Express 19, pp11897-11905 (2011).
2. Tong Wu and Kazuhiro Hane, "Fabrication of a high-precision spherical micromirror by bending a silicon plate with a metal pad," Applied Optics 50, 5321-5328 (2011)]
3. Yongjin Wang, Tong Wu, Yoshiaki Kanamori and Kazuhiro Hane, "Freestanding HfO₂ grating fabricated by fast atom beam etching," Nanoscale Research Letters 6:367(5pp)(2011).

【学会発表】

【国内】

1. 呉 同 , 秋山 正幸, 羽根 一博, 「バイモルフスプリングを用いた大ストローク連続メンブレンデフォーマブルミラーの設計と製作」, 『第58回応用物理学関係連合講演会』,03-040,神奈川工科大学, 2011年3月

【国際】

1. Tong Wu, Masayuki Akiyama and Kazuhiro Hane, “Continuous membrane deformable mirror for adaptive optics using bimorph spring,” Poster, IEEE Conference on Solid State Sensors, Actuators and Microsystems, M3P.146(pp598-601), Beijing(June, 2011).
2. Tong Wu, Masayuki Akiyama, Toshiyuki Takagi and Kazuhiro Hane, “Continuous Membrane Deformable Mirror for Next-generation Astronomical Observation,” Poster, Eighth International Conference on Flow Dynamics November 9-11, 2011 Sendai, Japan.



氏名 須田 信一郎

所属 工学研究科バイオロボティクス専攻 博士課程後期1年

指導教員 医工学研究科医工学専攻 芳賀 洋一 教授

副指導教員 流体科学研究所 太田 信 准教授

研究課題

多機能化を目指した折れ曲がり変形内視鏡の開発

平成23年度 研究成果概要

1. 研究の目的

内視鏡下手術では、口や膣、肛門等の自然孔又は体表に小切開を加えそこに細径の内視鏡や鉗子、切開ツールなどを挿入し、従来の開腹手術に匹敵する効果を挙げることができる。内視鏡下手術は従来の開腹手術に比べて切開部を比較的に小さくできるため、患者にかかる負担が少ない。しかし挿入するツールの外径サイズは限られているため、細径化を維持しながら1本のツールに多数の機能を搭載することは難しい。そこで本研究では、体内で内視鏡の先端を数ヵ所で折り曲げ変形させることにより、多機能化を実現しながらも、体内や内視鏡の鉗子口への挿入時は直線形状で径が小さく出し入れが容易な変形型内視鏡の開発を行っている(図1)。

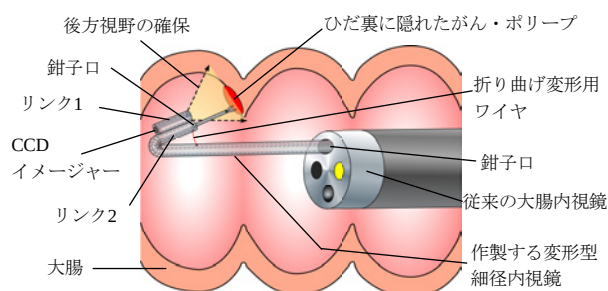


図1. 変形型細径内視鏡の概要図。微小な腔では一本の棒として内視鏡が通過し、その後体内では内視鏡の先端が折れ曲がり変形することにより、様々な治療器具・CCDイメージャーを用いることができる

2. 成果

作製中の変形型内視鏡を図2に示す。内視鏡の先端は3箇所に分けられており、リンク1には光学イメージャーとイメージャーを駆動するための周辺回路が、リンク2には高輝度白色LEDとワーキングチャンネルを設置予定される。ワイヤ牽引による変形後、機能を使用することが可能となる。内視鏡の変形動作の確認を行い、変形型内視鏡が実現可能であることを検証できた。

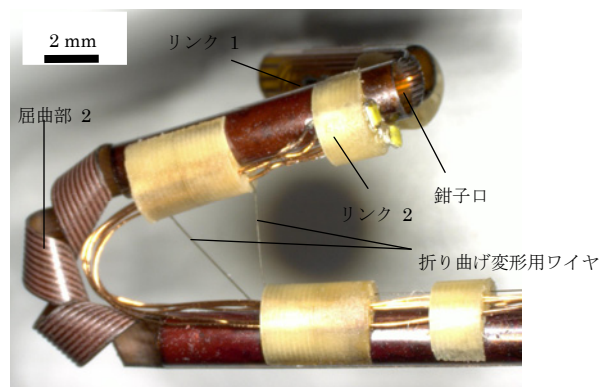


図2. 作製中の変形型細径内視鏡。ワイヤ牽引による変形後、Link1とLink2に実装した機能を使用し、後方の視野の確保と治療を行うことが可能になる

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. 須田信一郎, 松永忠雄, 芳賀洋一 ”多機能化を目指した折れ曲がり変形型内視鏡の開発, Development of Bending Transformative Multifunctional Endoscope”, 日本コンピュータ外科学会大会, (投稿中)

【学会発表】

【国内】

口述発表

1. 須田信一郎, 松永忠雄, 芳賀洋一 ”細径ポリイミドチューブを用いた折れ曲がり変形内視鏡ツールの開発”, 第 50 回日本生体医工学会大会, 東京都, 2011 年 5 月.
2. 須田信一郎, 松永忠雄, 芳賀洋一, 鶴岡典子, 和田仁 ”体内埋め込み型超音波駆動マイクロポンプの開発, Development of Acoustically-driven Implantable Micropump”, 第 47 期秋季講演会東北支部大会, 米沢市, 2011 年 9 月.

【国際】

ポスター発表

1. Shinichirou Suda, Tadao Matsunaga, Yoichi Haga. “BENDING TRANSFORMATIVE ENDOSCOPE”, 6th International Conference on Microtechnologies in Medicine and Biology (MMB 2011), Lucerne, Switzerland, 4-6 May.

口述発表

2. Shinichirou Suda, Yuzuru Chikada, Tadao Matsunaga, Michio Murakoshi, Shin Koyama, Hiroshi Wada, Yoichi Haga. “Implantable Micropump for Drug Delivery using Acoustic Irradiation”, 9th International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators (IWPMA 2012), Hirosaki, Japan, 22-25 April. (発表予定 : 平成 24 年度)

氏名 白 珊丹



所属 工学研究科バイオロボティクス専攻 博士課程後期1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 久保 百司 教授

副指導教員 未来科学技術共同研究センター 宮本 明 教授

研究課題

低炭素社会を実現する超低摩擦潤滑システムの理論設計

平成23年度 研究成果概要

Diamond like carbon (DLC) as the tribo-coatings was paid more attention due to their excellent tribological properties, such as hardness, wear resistance, and low friction. It is well known that DLC is useful to achieve superlow friction on automotive engine. Simultaneously, it excellent friction reduction affects to reduce the exhaust carbon dioxide which might cause global warming. To improve tribological properties of DLC film, doping elements were incorporated into the DLC structure, for instance, hydrogen or fluorine. Many researchers have investigated how the anti-wear action hydrogenated DLC (H-DLC) or fluorinated DLC (F-DLC) films were achieved during severe friction processes, the mechanism of the low friction has been investigated by the molecular dynamics (MD) and tight-binding quantum chemical (TBQC) methods in the last study. However, the details of relationship between its variable property and anti-wear have not been well known due to the difficulties of experimental analysis in nano-scale.

In the present study, mechanical properties of H-DLC and F-DLC films were investigated using the multiscale computational chemistry. At first, we built various H or F content contained DLC films, the H-DLC and F-DLC films were evaluated the Young's modulus and Poisson ratio by the MD method. The Young's modulus and Poisson ratio were employed to test the nano-indentation by the finite element method, the penetration depths were calculated, the hardness was summarized by the penetration depths. Hardness of H-DLC film decreased with increasing in the H content, this tendency is consistent with the experimental result. The hardness of F-DLC films decreased with increasing in the F content, while the hardness of H-DLC films were higher than F-DLC films. That is because that the bonding energy density in the H-DLC bulk models were higher than that of F-DLC models, which affects the highest hardness of the H contained DLC films. Therefore, the relationship between the frictional properties and mechanical properties is that the lowest frictional property of the film shows the lowest hardness. Future efforts may be directed toward to improve the mechanical properties of the F-DLC films.

研究業績

【学術雑誌等への発表】

1. Shandan Bai, Tasuku Onodera, Ryo Nagumo, Ryuji Miura, Ai Suzuki, Hideyuki Tsuboi, Nozomu Hatakeyama, Hiromitsu Takaba, Momoji Kubo and Akira Miyamoto “Friction reduction

mechanism of hydrogen- and fluorine-terminated diamond-like carbon films investigated by molecular dynamics and quantum chemical calculation” (投稿中).

2. Kentaro Hayashi, Seiichiro Sato, Shandan Bai, Yuji Higuchi, Nobuki Ozawa, Tomomi Shimazaki, Koshi Adachi, Jean-Michel Martin, and Momoji Kubo “Fate of Methanol Molecule Sandwiched between Hydrogen-terminated Diamond-like Carbon Films by Tribochemical Reactions: Tight-Binding Quantum Chemical Molecular Dynamics Study” (In press).

【学会発表】

【国内】

1. 2011春トライボロジー会議, “Multi-scale Computational Chemistry on Mechanical Properties of Diamond-Like Carbon Film”, 2011年5月 (口頭)
2. 2011秋第108回触媒討論会, “Mechanical Properties of Fluorinated Diamond-Like Carbon Investigated by Computational Chemistry Method”, 2011年9月 (口頭)

【国際】

1. International Tribology Conference Hiroshima 2011, “Multi-Level Simulator for Tribochemistry and its Applications to Diamond-Like Carbon”, 2011.11.1, (Poster).



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