

研究支援リサーチ・アシスタントの取り組みと実績

氏名 阿部 敬太

所属 工学研究科化学工学・D2

研究課題

高精度単結晶成長プロセスシミュレーションによる革新的単結晶成長技術の構築



平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は、微小重力下における TLZ 法による SiGe 結晶成長プロセスの数値シミュレーション手法の開発を行い、さらに開発した手法を用いて、微小重力実験条件下での炉内現象の解明を行った。

国際宇宙ステーション内に設置されている温度勾配炉(Gradient Heating Furnace:GHF)内の輸送現象を正確に再現するために、図 1 に示すような炉内前構成要素を考慮した伝熱解析を行い、ヒーターの移動に伴う炉内温度分布の経時変化を算出した(解析①)。さらに、得られた炉内温度分布の経時変化を基に図 2 に示すように BN ルツボ、Si フィード、Ge 融液帯、Si シード、SiGe 単結晶を対象とし、解析対象内温度分布、融液内対流、融液内および成長結晶内 Si 濃度分布、固液界面形状を解析した(解析②)。

解析①：図 3 に炉内温度分布の実験値と計算値の比較を示す。なお、実験値[1]は試料を覆う金属カートリッジ内の 5 つの熱電対により計測した。図に示したように実験値と計算値が良好に一致した。

解析②：次に得られた炉内温度分布の経時変化を用いて結晶成長の詳細な解析を行った。図 4 に TLZ 結晶成長プロセス中の温度分布(左)および融液内 Ge 濃度分布(右)の経時変化を示す。加熱開始当初は、Si が Ge 融液内に溶解するために熔融帯幅が上下に増加するが、 $t=300 \text{ min}$ の時点で結晶が上方に成長し始め、 $t=7430 \text{ min}$ で結晶長が 15.9 mm 成長した。また、結晶成長に伴い、固液界面形状はより湾曲し、Ge の量の減少により融液帯幅が時間とともに短くなった。

図 5 結晶内中心軸における軸方向 Ge 組成分布の計算値のカートリッジ表面の放射率変化依存性を示す。実験[1]の Ge 組成分布では、図 5 に示すような U 字型の組成分布であった。この原因を考察するため金属カートリッジ表面の酸化による放射率変化を考慮し、解析①の温度変化を計算し解析②の計算を行ったところ、U 字型の組成分布が再現された。数値計算により、Ge 組成分布の原因を明らかにし、以降の実験の操作指針を与えることができた。

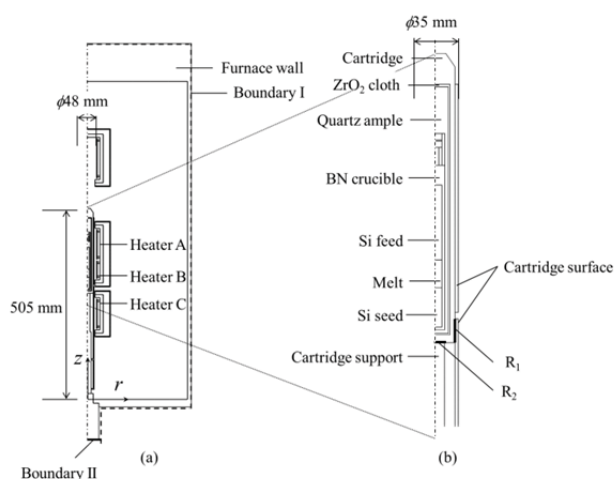


図 1：解析①の解析対象。(a)炉内全体図、(b)カートリッジ内部

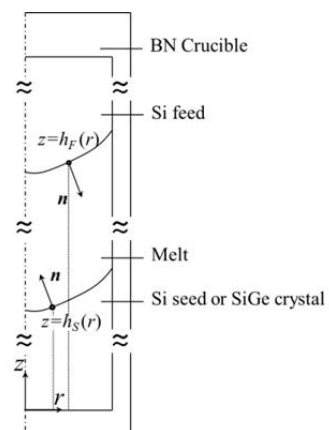


図 2：解析②の解析対象.

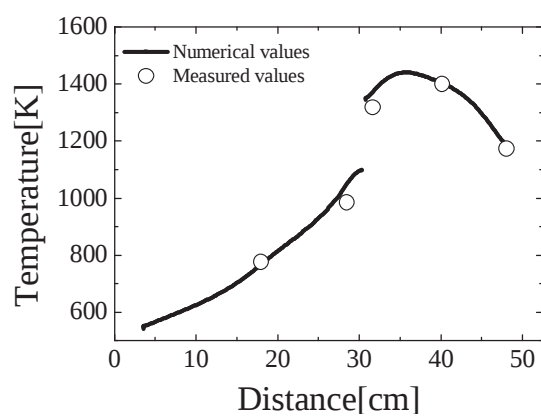


図 3：カートリッジ表面の温度分布の比較

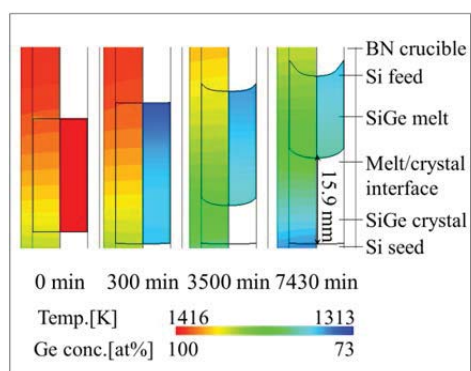


図 4：BN るつば内温度分布（左）と融液内 Ge 濃度分布（右）の経時変化の比較

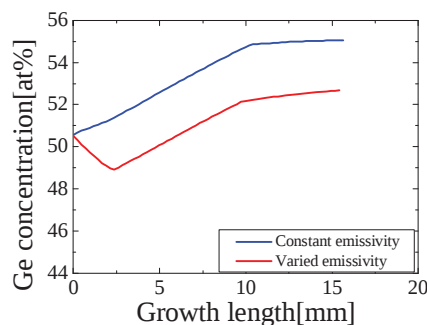


図 5：中心軸における結晶内軸方向 Ge 組成分布に及ぼすカートリッジ表面の放射率変化の影響

[1]K. Kinoshita et al. J. Cryst. Growth, **388**, (2014), 12.

平成 25 年度の活動（シンポジウム・国際会議のオーガナイザーを含む）

<国際会議>

名 称：The 10th International Conference on Flow Dynamics

主催団体：東北大学流体科学研究所

開 催 国：日 本

開催期間：2013.11.25 ～ 2013.11.27

役 割：Floor Leader

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 微小重力下におけるTLZ法によるSiGe結晶成長プロセスの数値シミュレーション手法の開発
 2. 数値シミュレーションによる微小重力実験の再現
 3. 数値シミュレーションによる微小重力実験の炉内現象の解明
- 以上 1-3 をまとめ、現在学術論文誌に投稿中である。

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

国際会議

1. ○**Keita Abe**, Sara Sumioka, Ken-ichi Sugioka, Masaki Kubo, Takao Tsukada, Kyoichi Kinoshita, Yasutomo Arai and Yuko Inatomi, 『17th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy』, 「Numerical simulations of heat and mass transfer in traveling liquidus-zone crystal growth process of SiGe under microgravity」,
2. ○**Keita Abe**, Sara Sumioka, Ken-ichi Sugioka, Masaki Kubo, Takao Tsukada, Kyoichi Kinoshita, Yasutomo Arai and Yuko Inatomi, 『International Symposium on Chemical-Environmental-Biomedical Technology 2013』, 「Numerical simulations of SiGe single crystal growth by TLZ method in ISS」,
3. ○**Keita Abe**, Sara Sumioka, Ken-ichi Sugioka, Masaki Kubo, Takao Tsukada, Kyoichi Kinoshita, Yasutomo Arai and Yuko Inatomi, 『29th American Society for Gravitational and Space Research and 5th International Symposium for Physical Sciences in Space』, 「Numerical simulations of TLZ crystal growth process of SiGe under microgravity」

国内学会

1. ○阿部敬太，住岡沙羅，杉岡健一，久保正樹，塚田隆夫，木下恭一，荒井康智，稲富裕光，『化学工学会第45回秋季大会』，「微小重力下におけるTLZ法によるSiGe単結晶成長プロセスの数値シミュレーション」，口頭形式，2013年9月
2. ○木下恭一，荒井康智，稲富裕光，塚田隆夫，阿部敬太，住岡沙羅，『第43回結晶成長国内会議』，「TLZ法による微小重力下SiGe結晶成長実験（その2-実験結果考察）」，口頭形式，2013年11月
3. 阿部敬太，住岡沙羅，杉岡健一，久保正樹，○塚田隆夫，木下恭一，荒井康智，稲富裕光，『第43回結晶成長国内会議』，「TLZ法による微小重力下SiGe結晶成長実験（その3-TLZ法の数値解析）」，口頭形式，2013年11月
4. ○住岡沙羅，阿部敬太，杉岡健一，久保正樹，塚田隆夫，木下恭一，荒井康智，稲富裕光，『第43回結晶成長国内会議』，「TLZ法による微小重力下SiGe結晶成長実験（その4-数値解析による考察）」，口頭形式，2013年11月
5. ○住岡沙羅，阿部敬太，杉岡健一，久保正樹，塚田隆夫，木下恭一，荒井康智，稲富裕光，『JASMAC-27』，「微小重力環境下でのTLZ法によるSiGe結晶成長プロセスの数値シミュレーションに関する研究」，ポスター形式，2013年11月
6. ○阿部敬太，長門雄太，杉岡健一，久保正樹，塚田隆夫，円山重直，『宮城化学工学懇話会第14回先端研究発表会』，「ふく射要素法を用いた酸化物単結晶CZ炉内の総合熱解析手法の開発」，Poster形式，2014年3月
7. ○阿部敬太，長門雄太，杉岡健一，久保正樹，塚田隆夫，円山重直，『化学工学会第79年会』，「CZ法による酸化物単結晶成長プロセスの総合熱解析へのふく射要素法の適用」，口頭形式，2014年3月



氏名 阿部 浩司

所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・D2

研究課題

2色 LIF による瞬時モル分率分布計測法の確立に向けた研究

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本研究の目的は、2 流体が混合する超音速流れ場における各流体のモル分率分布を瞬時的かつ定量的に可視化する計測法の開発である。この計測に利用する 2 色レーザー誘起蛍光法(以下 2 色 LIF)は、それぞれの流体に添加した 2 種の蛍光トレーサーをレーザーで励起して蛍光発光させ、それらを撮影して得られる 2 種の蛍光強度分布の比からモル分率分布を求めるというものである。そのため、この計測では撮影した蛍光強度からそのトレーサーのモル数を導けることが必要である。

本研究では、同一の波長で励起可能であること、励起された結果発生する蛍光発光のスペクトルが互いに離れており、フィルターなどで分離して個別に計測可能であることなどから、アセトンとトルエンを蛍光トレーサーとして用いる。アセトンの蛍光発光強度は周囲の温度やガス組成にほぼ影響を受けずアセトンのモル数のみに比例することが、半田らの研究により明らかにされている。一方、トルエンの蛍光発光強度は温度や周囲の酸素濃度、アセトン濃度によって大きく変化するため、トルエン蛍光から単純にトルエンのモル数を導くことはできない。

これまでの研究で、アセトンガスによるトルエン LIF への影響を調べるために、常温域におけるトルエン LIF とアセトン LIF の相互干渉に関する実験を行った。(図 1) これにより、アセトンが存在するとトルエン LIF の信号強度は減少することが分かった。その減少はアセトンによるトルエン蛍光の吸収と、アセトンと励起状態のトルエンの衝突による失活の影響である。吸収距離を変える実験と、アセトンの吸収スペクトル、トルエンの蛍光スペクトルをもとに行った Lambert-Beer 式による吸収量の計算により、吸収の寄与は少ないこと、さらに失活の度合いを表す stern-volmer 係数 ksv は 2.4×10^{-22} となることが導かれた。また、アセトン存在下でトルエン LIF の輝度値が減少するのは逆に、トルエンガスによりアセトン LIF の輝度値が増加することも分かった。

これからの研究で、トルエン蛍光の低温環境下における特性を明らかにする必要がある。そのために、低温域において温度と酸素濃度、アセトン濃度がトルエン蛍光の発光強度に及ぼす影響を実験により調べる。この実験では、卓越大学院のインターン制度を利用して岡山大学へ行き、受け入れ先研究室が所有する吸い込み式風洞設備を用いて光学計測可能な超音速ノズル内に最大マッハ数 2.5 程度、温度が常温から 100K 程度まで連続的に変化する気流を発生させる。図 2 にノズルの外形図を、図 3 に等エントロピー過程が成立した場合のノズル内温度分布を示す。その気流が生じているノズルの中心軸に沿ってレーザーを照射し、発生したトルエン蛍光を CCD カメラで撮影する。作動ガスは酸素、窒素、トルエン、アセトンの混合ガスであり、その組成は任意に調整可能である。混合ガスはノズル上流に接続したサンプリングバッグから供給される。トルエン蛍光と温度の関係を調べる実験では、作動ガスに窒素とトルエンの混合ガスを使用する。得られたトルエン LIF 画像による数密度と、圧力測定結果から計算した中心軸上の気流温度とを対応付けることにより、温度とトルエン蛍光強度の関係を明らかにする。トルエン蛍光と酸素濃度の関係を調べる実験では、作動ガスにトルエン、窒素、及び添加量を様々に変更した酸素の混合ガスを用い、取得した LIF 画像に前述の実験で求めた温度の影響を加味することで酸素による影響を抽出する。さらに、トルエン、窒素、添加量を変更したアセトンを作動ガスとして酸素の影響を調べたのと同様の実験を行うことで、アセトンによる影響も明らかにする。

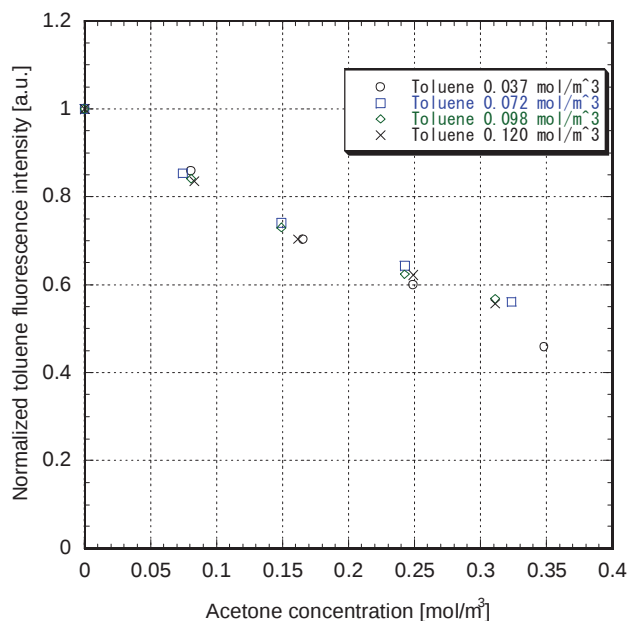


図 1 アセトン濃度とトルエン LIF 強度の関

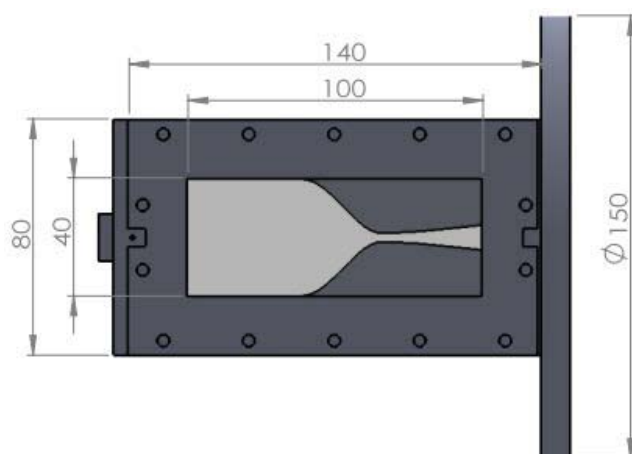


図 2 超音速ノズルの外形

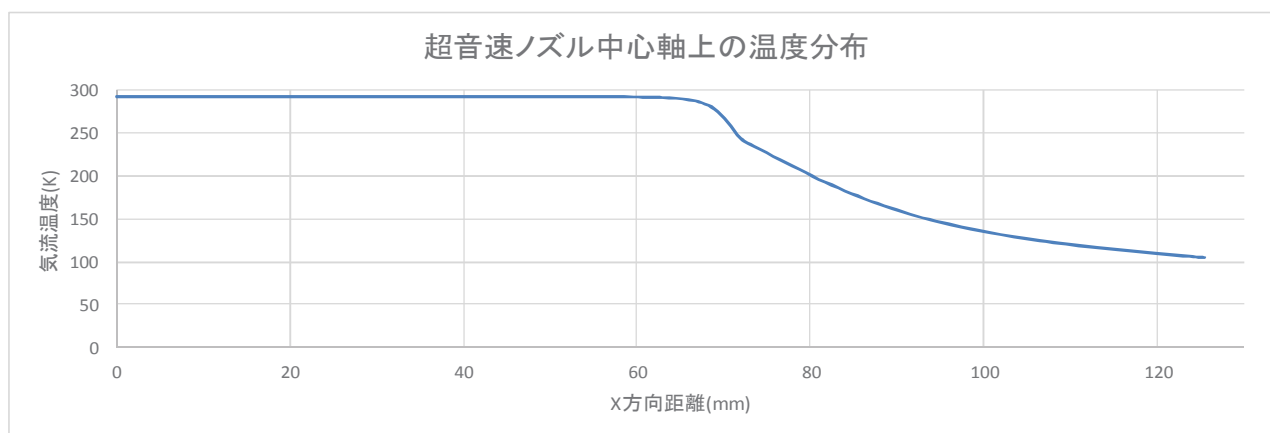


図 3 超音速ノズル中心軸上の温度分布

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. アセトンがトルエン LIF に及ぼす影響の評価
アセトンとトルエンの 2 つのトレーサーを用いた LIF 計測の実現のため、濃度割合を数通りに変えながらアセトンとトルエンを光学セル内に封入して各トレーサーの LIF 画像を取得し、アセトンガスがトルエン LIF に及ぼす影響、及びトルエンガスがアセトン LIF に及ぼす影響を調べた。
2. トルエン LIF の低温域での温度依存特性を調べるための実験装置の設計
低温域でのトルエン LIF の特性を調べる実験を考案し、その実験で使用する超音速ノズル実験装置を設計・製作した。

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. Koji Abe, Tomoya Maruyama, Toshinori Kouchi, Goro Masuya, and Keisuke Asai.
Quenching and Absorption of Toluene-LIF by Acetone
The 10th International Conference on Flow Dynamics



氏名 李 康一

所属 工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D1

研究課題

次世代高効率ガスタービンのための革新的ボータレス傾斜機能
遮熱コーティングの開発

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

The effect of nickel powder mixing on CoNiCrAlY coatings has been investigated. The CoNiCrAlY coatings, which have resistance of high temperature oxidation and hot corrosion, are commonly applied with low pressure plasma spray (LPPS). Recently, cold spray has been considered as a new coating process for making CoNiCrAlY coatings. In this study, in order to reduce the production cost and to improve the deposition efficiency of CoNiCrAlY coatings, pure nickel (Ni) was mixed to the CoNiCrAlY, and then this powder was sprayed using cheap nitrogen (N_2) gas. Nickel-based superalloy Inconel 738LC was used as a substrate. The bond coats of 100 μm diameter in thickness were deposited by cold spraying, using CoNiCrAlY powder particles in a spherical shape and pure Ni power mixing on CoNiCrAlY powder. The ratio of CoNiCrAlY and pure Ni is 9:1 wt.%. During cold spraying, the bond coat was manufactured using N_2 gas with gas temperature and pressure of 600°C and 4.0 MPa respectively. Cross-sections of the specimens were prepared for the oxidation testing. These samples were then subjected to isothermal oxidation at 1000°C for 1, 10 and 100h. After each oxidation test, cross-sections of the specimens were prepared. Samples for SEM observation from the oxidation tests were mounted in a phenolic resin and manually polished to a mirror-polished. The cross-sections of coating were examined by FE-SEM. The EDX analysis was carried out to evaluate the local elemental distributions in the coating layer. The micro-hardness value of the coatings was measured using Vickers indentation at a loading of 0.98N during the 10s. It was successful to fabricate CoNiCrAlY/Ni coating by cold spray using N_2 gas. The coatings compose two major regions: the dark area composed primarily of CoNiCrAlY phase and the light area composed of Ni phase. As can be seen from Fig. 1(a), it was difficult to fabricate a homogeneous mixture of CoNiCrAlY and Ni particles due to large hardness difference. For this result, deposition efficiency of CoNiCrAlY is lower than that of Ni around 52~55% by image analysis technique. Also, a significant level of CoNiCrAlY powder was encapsulated in the coating. The boundary between two powders was clearly observed, also, voids were observed in junction of powders between CoNiCrAlY and Ni.

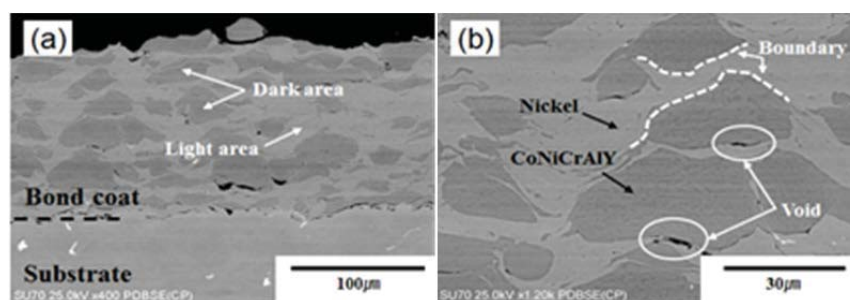


図 1 Microstructure of the as-cold sprayed composite coating (a, b) microscopic image

The cross-sectional microstructure of the oxidized mixed powder coatings exhibited remarkably different oxidation behavior in process of heating time, as shown in Fig. 2. The number of pores was grown down in accordance with increasing heating time, however, the expansion of pore size was observed. After heating for 100h, most of the pores were disappeared in the coating layer; also, it was observed oxidation parts at the interface, as shown in Fig. 2(c).

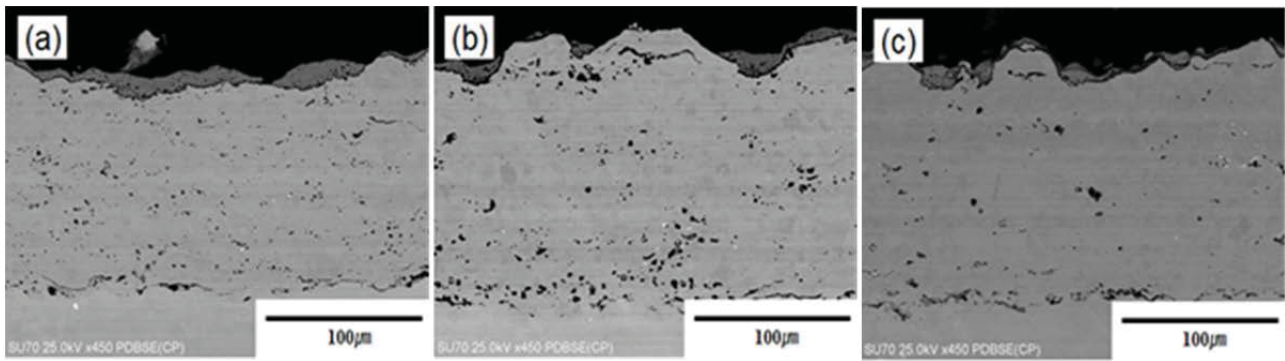


图 2 Microstructure of the cold sprayed composite coating after heat treated at 1000°C: (a) 1h (b) 10h (c) 100h

The hardness of as-cold sprayed coatings was approximately similar to LPPS sprayed CoNiCrAlY coating. However, the standard deviation of the coatings was extremely different. This can be considered as a result of the differences in hardness between CoNiCrAlY and Ni parts of the coatings. After heating for 1h, the hardness was decreased by formation of pores with oxidation. After heating for 10h and 100h, it was observed to increase hardness in accordance with increase heating time. Furthermore, the standard deviation of hardness was stable compared with 1h, because of movement of elements by diffusion. Pre-oxidation of the bond coats without YSZ layer was carried out through heat treatment. In as-cold sprayed coating, the boundaries of CoNiCrAlY and Ni were clearly observed. However, it is gradually mixed by diffusion of powders. After heating for 100h, almost the whole parts are mixed; therefore, it is not observed any boundaries and agglomerative parts. The effects of Ni powder mixing of cold sprayed CoNiCrAlY coating were investigated. It was more easily possible to fabricate CoNiCrAlY coating with Ni powder by cold spray using N₂ gas. In this experiment, it was found that CoNiCrAlY/Ni coatings do not perform as well, however, if it can be increased in the content of CoNiCrAlY more than Ni powder by adjusting the content and size. As a result, further cost reductions will become possible.

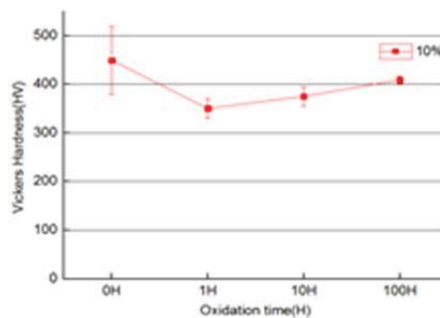


图 3 Results of Vickers hardness test

- [1] M. Sone, H. Fukanuma, R. huang, N. Ohno (2012). *2012 ASM Int. Therm. Spray Conf. and Exp.*, pp. 283-286.
- [2] A. Manap, A. Nakano and K. Ogawa (2012). *Journal of Thermal Spray Technology*, **21**(3-4), pp. 586-596.
- [3] D. Seo, K. Ogawa, Y. Nakao, H. Miura, T. Shoji (2009). *Surface & Coatings Technology*, **203**, pp. 1979-1983.
- [4] Masakazu Okazaki, Satoshi Yamagishi, Yasuhiro Yamazaki, Kazuhiro Ogawa, Hiroyuki Waki, Masayuki Arai (2013). *International Journal of Fatigue*, **53**, pp. 33-39.
- [5] Ku-Hyun LEE, Jin-Hyuo PARK and Kyung-Hwan YE (2006). *Journal of the Korean Physical Society*, **48**, pp. 1691-1695.

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

The effect of nickel powder mixing on CoNiCrAlY coatings has been investigated in this present study. CoNiCrAlY coatings, which have resistance of high temperature oxidation and hot corrosion, are commonly applied with low pressure plasma spray (LPPS) and high velocity oxygen fuel (HVOF). Recently, cold spray has been considered as a new coating process for making CoNiCrAlY coatings. However, expensive helium (He) gas has to use for CoNiCrAlY coatings. In this study, in order to reduce the production cost and to improve the deposition efficiency of CoNiCrAlY coatings, pure nickel (Ni) was mixed to the CoNiCrAlY, and then this powder was sprayed using cheap nitrogen (N₂) gas. As the results, the CoNiCrAlY containing nickel power can be produced by cold spray using N₂, as well as deposition efficiency is also increased. The microstructural characterization and phase analysis of feedstock powders and as-deposited coatings were carried out by scanning electron microscope (SEM) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX). As-spread coating was clearly observed the boundaries between nickel and CoNiCrAlY. Also, significant level of CoNiCrAlY powder was encapsulated in the coating. After heating at 1000°C, most of boundaries were disappeared and many pores were generally observed in the coating layer by diffusion of powders. However, the oxidation continues, most of pores were moved toward the top of coating. Therefore, the porosity was decreased, as well as the hardness was increased. Moreover, for comparison with other methods such as LPPS, high temperature oxidation behavior of the obtained coatings was evaluated.

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. Kang Il Lee, Kazuhiro Ogawa, “Effect of Nickel Powder Mixing on the Deposition Efficiency of Cold Sprayed CoNiCrAlY Coatings”, The Japan Thermal Spray Society, O-35, Osaka, Japan, (Nov. 2013)

氏名 李 尚昱



所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・D2

研究課題

LES 法による擬似衝撃波の解析

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は、LES(Large-Eddy Simulation)を用いて擬似衝撃波の解析のため、新しいコードの開発を行った。擬似衝撃波はスクラムジェットエンジン内へ生成された衝撃波が壁面乱流境界層と干渉し生じるもので非常に複雑な形状になっている。これを解析するには、まず、正確な境界層の解析(特に壁面摩擦の予測)また衝撃波干渉による剥離再付着などを調べることが重要である。しかし、LES 法は高いレイノルズ数を持っている乱流境界層の解析をするためには非常に多い格子点数が必要になる。実験のレベルと比べると困難であり、昨年まで使っていたSLAU(風上法)ではない新たな法が必要になってきた。ここで提案されていたのが壁面摩擦を直接モデル化する壁面モデルであり、レイノルズ数依存のほとんどない外層域の乱流構造は LES を用いて計算し、レイノルズ数依存度が強い内層域は壁モデルを用いて壁面摩擦や壁面熱流速を求める方法である。まず計算方法は内層域が壁面モデル、外層域が LES で計算を行い、具体的言うと対流項、粘性項は6次精度コンパクト差分[1]、時間積分は4段階 Runge-Kutta 法、SubGrid-Scale モデルは Selective Mixed scale model、コンパクト差分は中心差分であり衝撃波があると非常に不安定になりやすくこれを防止するため、localized artificial diffusivity (LAD)[2]を用いた。

コードの検討を行った。図1は圧縮性乱流境界層の解析であり、マッハ数 1.69 の圧縮性流れ場の温度分布である。これをみると乱れた乱流境界層の発達が行っていることがわかりよく再現できていた。ここで注目する点はこのコードは一般 LES コードと比べて10倍以上荒い格子を使ってさらに計算時間を短縮することができた。また、定性的な比較を行うため、実験[3]との比較を行った。図2は van Driest 変換した速度分布の比較である。結果が log-layer と一致していることより、壁面摩擦が正確に予測されていることがわかる。また、速度プロファイルを見ると赤線は壁面モデルを用いた内層域であり実験値とおおよそ一致していた。図3はレイノルズ応力の比較である。乱れの生成が大きな平均速度分布がある壁面近傍でこの値は大きいし実験値とよく一致しているが $y/\delta=0.5$ 以上になるとやや高い値を持っていた。これは後改善する必要がある。

今後はこの新たなコードを用いて擬似衝撃波へ適応を行いし、PIV 実験などの比較を行う予定である。

[1] Lele, S. K., “Compact Finite Difference Schemes with Spectral-like Resolution,” Journal of Computational Physics, Vol. 103, No. 1, 1992, pp. 16–42.

[2] S. Kawai, S. K. Shankar, S. K. Lele, Assessment of localized artificial diffusivity scheme for large-eddy simulation of compressible turbulent flows, Journal of Computational Physics 229 (5) (2010) 1739–1762.

[3] Souverein, L. J., Dupont, P., Debieve, J. F., Dussauge, J. P., van Oudheusden, B. W., and Scarano, F., “Effect of Interaction Strength on Unsteadiness in Turbulent Shock-Wave-Induced Separations,” AIAA Journal, Vol. 48, No. 7, July 2010, pp. 1480–1493.

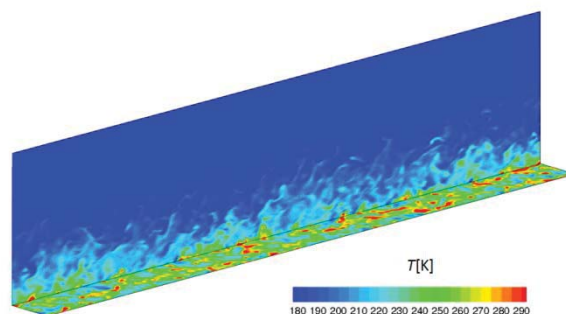


図.1 温度分布

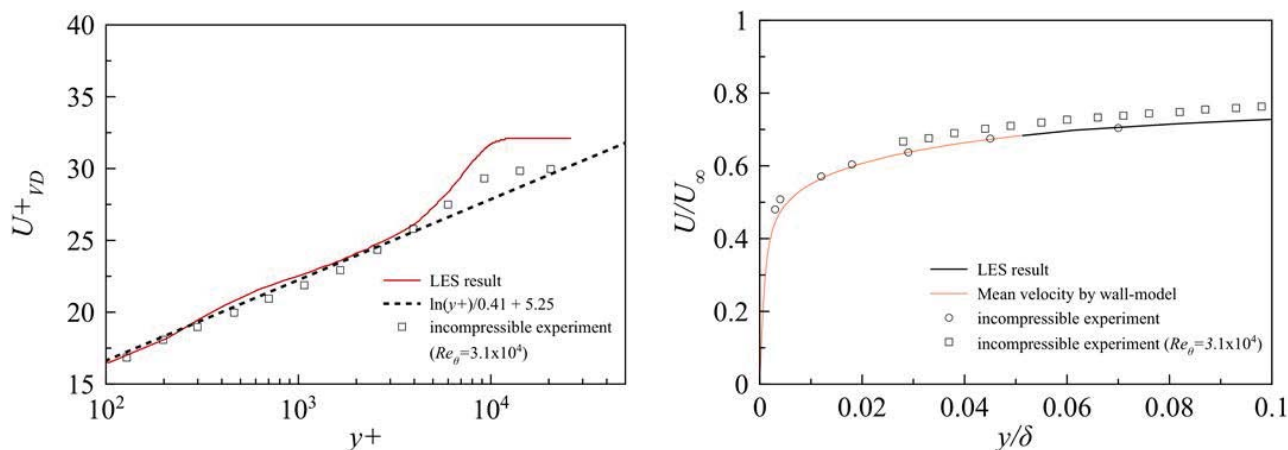


図.2 van Driest 変換した速度分布(左)と速度プロファイル(右)

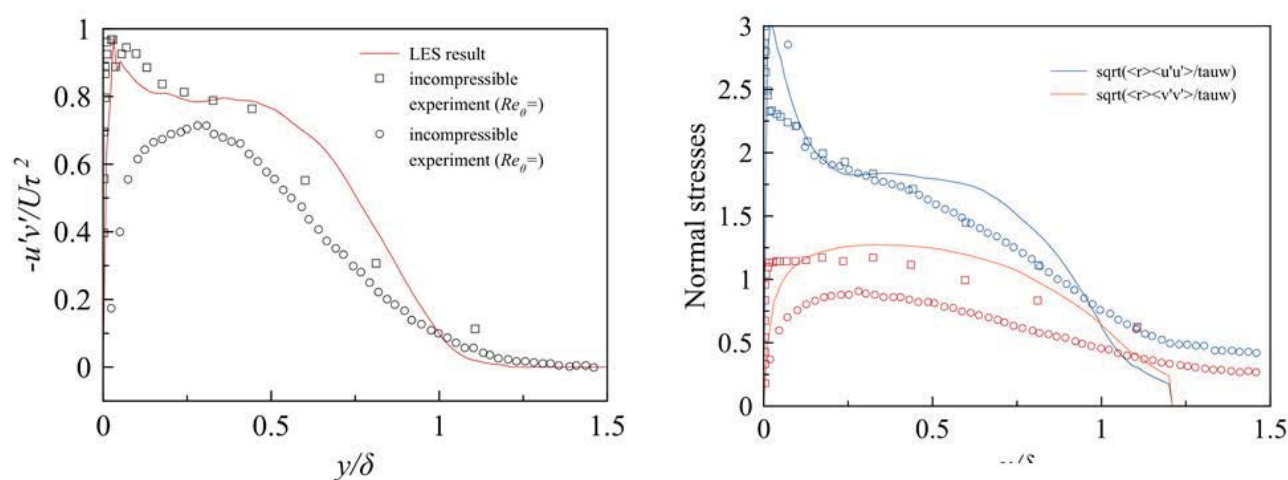


図 3 レイノルズ応力($u'v'$ および $u'u', v'v'$)

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. LESを用いた擬似衝撃波の再現のためMultiWall modeling
スクラムジェットエンジンの isolator 内4面壁面の解析のため必要であるすべての壁面より乱流境界層の発達を再現できる MultiWall modeling のコーディングを行っている。
2. Wall Modelを用いた擬似衝撃波の新たなコードの開発
高 Re 数の必要な格子点数を画期的に減らすことができ、計算負荷を減らせることが出来る新たなコードの開発を行っている。
3. 新たなコードを用いた擬似衝撃波のLES計算
以前のコードより正確な壁面の予測ができる新たなコードより、擬似衝撃波の再現し流れ場の挙動や構造を調べる。

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. Sangwook Lee, Toshinori Kouchi, Kenichi Takita, Goro Masuya
Large-Eddy Simulation of Pseudo-Shock Wave using Multi-Wall Method
The 21st International Symposium Air breathing Engines (2013-10121)



氏名 伊藤 潔洋

所属 工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D1

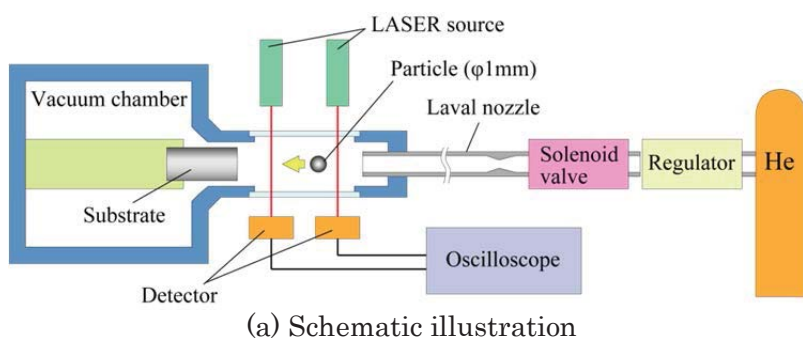
研究課題

粒子活性化によるコールドスプレー低エネルギー成膜技術の確立

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

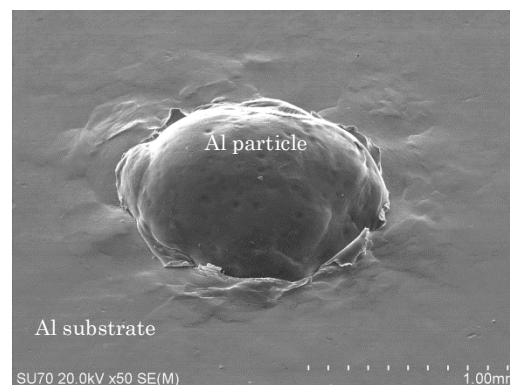
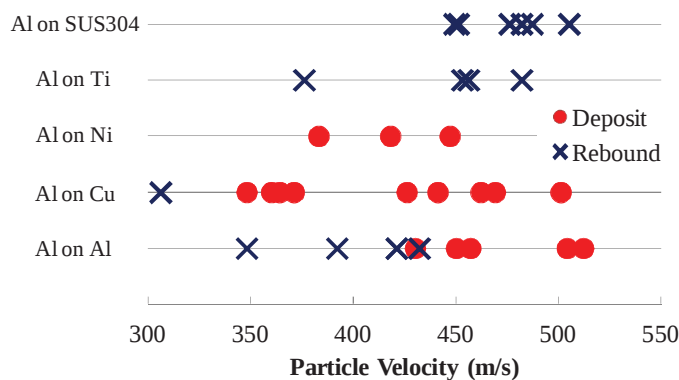
本年度は、まずコールドスプレー粒子の付着メカニズムを明らかにするため、単粒子衝突試験システムを新たに開発した。Fig. 1 にその概略図と外観を示す。本装置は、直径 1mm 前後の単粒子をヘリウムガスによって加速し、高速で基材に衝突させる装置である。実際のコールドスプレー粒子は数十 μm 程度と微小であり、また大小様々な形状の粒子が無数に飛翔していることから、個々の粒子の速度や運動エネルギーを正確に評価することは極めて困難であった。本装置では、予め大きさや形状が明らかな球状の単粒子を衝突させることで、粒子の速度や運動エネルギーを正確に評価することが可能となる。粒子の速度は 2 本のレーザーが粒子によって遮られた時間差から測定する。衝突速度に応じて、粒子は基材に衝突した後にリバウンドするか、リバウンドせず基材上に付着する。粒子が付着し始めるときの速度を臨界速度と呼ぶ。本装置により、各材料の組み合わせにおける臨界速度を評価し、臨界速度に及ぼす材料因子を特定することを目的としている。

本装置を用い、直径約 1mm の Al 粒子を各基材上へ衝突させた場合の各衝突速度における付着の有無をまとめたグラフ、及び実際に付着した粒子の SEM 像を Fig. 2 に示す。現時点までの結果では、Al 粒子/Al 基材における臨界速度は約 440m/s、Al 粒子/Cu 基材における臨界速度は 300～350m/s と評価された。また Al 粒子/Ni 基材における臨界速度は 380m/s 以下、Al 粒子/Ti 基材及び Al 粒子/Ti 基材に関しては、臨界速度は 500m/s 以上であるものと推定される。ここで、Table 1 に粒子及び基材の硬さ測定結果を示す。本試験によって評価された臨界速度と各材料の硬さについて、相関性は特に認められない。このことは単純な機械的特性のみでは臨界速度を整理できないことを示唆している。過去の研究で、表面性状、特に自然酸化膜の状態が臨界速度に大きな影響を及ぼしている可能性が高いことが示されている。今後、表面の自然酸化膜を大気圧プラズマによって還元した基材に粒子を衝突させた場合の臨界速度を測定し、今回の結果と比較を行う予定である。



(b) Appearance

Fig. 1 Single particle impact system



(a) Evaluation of critical velocity

(b) SEM image of Al on Al

Fig. 2 Deposition behavior of Al particle impinged on various substrates

Table 1 Hardness of Al particle and various substrates (HV_{0.1})

Particle	Substrate				
Al	Al	Cu	Ni	Ti	SUS304
19.0±0.4	25.1±0.7	60.8±1.8	126.7±3.4	151.7±13.1	175.4±7.7

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

- 放電プラズマ焼結法を用いたコールドスプレー皮膜の機械的特性改善
通常、コールドスプレーにより成膜された金属皮膜は大きな塑性変形を受けているため脆性的な破壊挙動を示す。放電プラズマ焼結法を用いた後熱処理をコールドスプレー銅皮膜に施すことにより、通常の焼鈍熱処理に比べ低い温度で延性を回復させ、高い降伏応力を維持することに成功した。
- 単粒子衝突試験システムの開発
前述のように、コールドスプレー粒子の付着メカニズムを解明するため、当該システムを開発した。本システムを用い、様々な材料について臨界速度の測定や付着粒子の観察等を詳細に行い、臨界速度に及ぼす材料因子の特定を試みる。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

- K. Ito, K. Ogawa, Effects of Spark-Plasma Sintering Treatment on Cold-Sprayed Copper Coatings, Journal of Thermal Spray Technology, ASM International, Vol. 23(1-2), pp.104-113, 2014

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

- K. Ito, K. Ogawa, Effects of Spark Plasma Sintering Treatment for Cold-Sprayed Metallic Coatings, The 2013 International Thermal Spray Conference & Exposition, CD-ROM, Republic of Korea, 5/2013
- 伊藤潔洋, 小川和洋, コールドスプレー銅皮膜の導電性に及ぼす放電プラズマ焼結法の効果, 日本溶射学会第97回(2013年度春季)全国講演大会, 103, ウエルとばた(福岡), 6/2013

氏名 伊藤 真澄



所属 工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D3

研究課題

粒子法を用いたアーク溶接シミュレーション手法の開発

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

アーク溶接過程に含まれる流動現象を解析するための計算手法開発として SPH 法（粒子法）の改良に取り組んだ。

今期行ったのは主にシールドガス流のシミュレーションと固液接触を含む液滴変形挙動のシミュレーションの二点である。

・シールドガス流シミュレーション

室温から 1 万℃超に渡る温度差をもつシールドガス流れの計算を行う際は、熱膨張のための特別なアルゴリズムを組み込む必要がある。ここでは SPH 粒子の体積を温度の関数とする熱膨張モデルを用い、さらに粒子径を一定の範囲に収めるため粒子分割・融合の処理を加えて熱膨張アルゴリズムを実装した。M4 スプラインによるカーネル関数の足し合わせはカーネル半径が一定のときにのみ平滑な分布であり、半径を可変にすると足し合わせの分布に大きな偏りが生じ、粒子挙動が不安定となった。これを解消するために、ある粒子について周囲の粒子場を見るときにその粒子自身のカーネル半径で周りの粒子場を定義しなおすというやり方で粒子間相互作用を見積もることとした。新しい熱膨張アルゴリズムによっておよそ 40 倍の温度と密度の変化を含むガス流れを計算することに成功した。

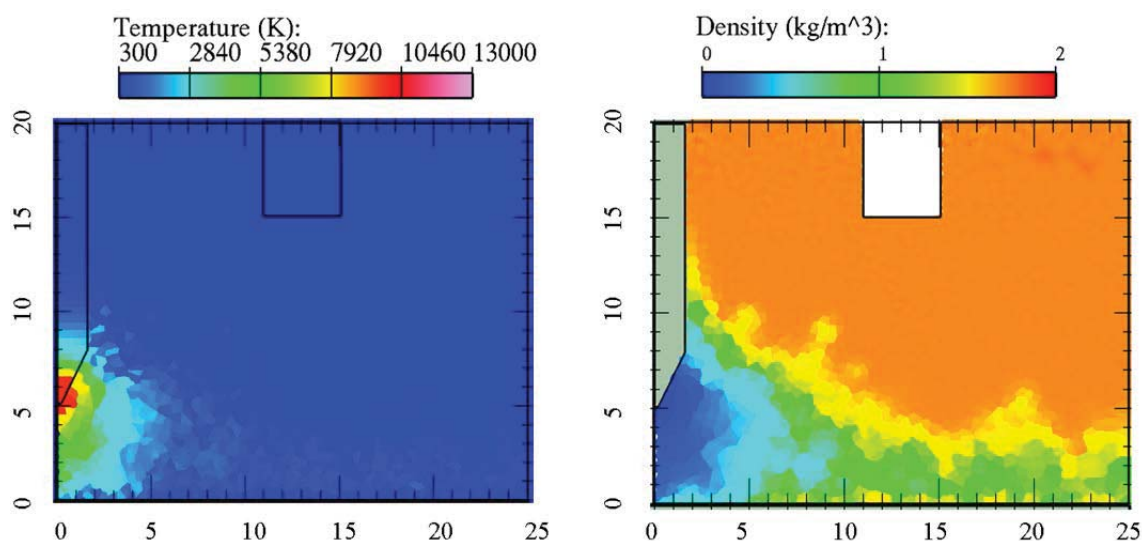


図 1. シールドガス流シミュレーションで得られた温度場および密度場。左図の温度場では熱源近傍が高温となっており、対応する密度場が右図に現れている。

・固液接触を含む液滴変形挙動のシミュレーション

溶接過程には固体と接触する液体の自由表面変形が含まれる。したがって気・固・液三相の接触線近傍における液面の振る舞いを捉えられるような表面張力の計算手法が必要となる。粒子法では決定的な表面張力モデルというものがいまだ存在せず、特に固液の接触状態を捉えるために計算手法の改良が必

要である。濡れの問題を解く場合は、粒子間に引力を与えるモデルを用いると接触線付近の張力のつりあいをそのまま組み込むことが可能で適合性が高いと予想される。

今回は粒子間引力モデルの有効性を確認することを目的とし、濡れの効果のための張力補正を追加した表面張力アルゴリズムを開発し、壁面上に水滴を形成する諸々のシミュレーションを行った。

濡れ性の違いによって生じる壁面上の水滴形状の変化を捉えることに成功した他、水滴が撥水壁面に衝突した後、空気中へ跳ね返る現象や、壁面の濡れの差によって駆動されるとき水滴の動きについて予測を試み、実験結果と比較して妥当な結果が得られた。



図 2. 壁面へ衝突し潰れた水滴が空気中へ跳ね返る様子。粒子分布をもとに密度等高面を抽出し水滴表面形状として可視化した。

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 高温ガス流解析手法の開発
2. シールドガス流のシミュレーション
3. 表面張力アルゴリズムの開発
4. 固体壁面上における液滴の変形挙動のシミュレーション

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

1. Masumi Ito, Masaya Shigeta, Seiichiro Izawa, and Yu Fukunishi:
Numerical Simulation of Shielding Gas Flow in Arc Welding System Using SPH Method,
The 14th Asian Congress of Fluid Mechanics, Hanoi-Halong, Vietnam, (October 15-19, 2013),
pp.389-392, CD-ROM.

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. Masumi Ito, Masaya Shigeta, Seiichiro Izawa and Yu Fukunishi: 発表者：伊藤
SPH Simulation of Liquid Droplet Behavior on a Water-repellent Surface,
Tenth International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, (November 25-27, 2013),
pp.630-631, USB Memory.
2. 伊藤 真澄, 茂田 正哉, 伊澤 精一郎, 福西 祐: 発表者：伊藤
非圧縮性 SPH 法を用いた固体面上の液体の変形挙動に関する数値シミュレーション,
第 91 期日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, (2013-11), G0306, USB メモリ.

氏名 于 凱鴻



所属 医工学研究科 医工学専攻・D1

研究課題

カテーテルアブレーション時の先端電極の振動による冷却効果の解明

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は異なる流れ速度でアブレーションカテーテルの先端電極の振動による冷却効果の検討を行った。まず、異なる流れ速度を実現する振動アブレーションカテーテル用の実験システムを構築した(図 1)。先端の温度に対して、流れと振動両方冷却効果がある。振動の効果を解明しやすいため、簡単な流れが望ましい。そこで、PIV 手法を用いて本システムはカテーテルの周りの流れは一様流れに近いと確認できた(図 2)。本システムを用いてまず温度に対して流れによる影響を調べた。カテーテル先端温度は流れ速度の増大とともに低下する一方、組織(PVA)内部の温度は流れの影響を受けないと判明した(図 3、図 4)。このような結果は先行研究と一致し、本システムの有用性を示した[1,2]。

次は流れ負荷における振動カテーテルによる温度の影響を調べた。振幅 0.5mm、振動数 0Hz(振動無し)、31Hz と 63Hz の振動条件で、0~0.1m/s の異なる流れ速度でアブレーション中の先端と組織内部の温度測定を行った。組織内部 2mm の位置において、60 秒後の温度では 63Hz は 0Hz より 5℃くらい低下したが、総上昇温度の 25℃に比べ、組織内部に対して先端電極の振動による影響が小さいと判明した(図 5)。熱源である先端電極の振動によって、熱源は測定位置(熱電対位置)から離れることが温度の低下する原因だと考えられる。わずか 0.5 mm の振幅で測定位置から熱源の移動は小さく、63Hz である振動数も早いため、熱源が離れることによる温度変化の影響が小さいと考えられる。先端電極の温度において、結果は 2 つの部分に分かれる(図 6)。流速は低い場合(0~0.04mm/s)、先端電極の温度は 63Hz<31Hz<0Hz である。それは、流速が低い場合、先端電極の振動による冷却効果が見られる。また高い周波数は高い冷却効果を示す。流速が速い場合(0.04~0.1mm/s)、先端電極の温度は 63Hz=31Hz=0Hz である。0Hz は振動無しであり、流れによる効果しか存在しない。流れの速度の増大とともに、先端電極に対して流れによる冷却効果が増大する。その効果は振動による冷却効果を上回り、振動による効果が見られなくなる。結果として、振動数 0Hz(振動無し)、31Hz と 63Hz は同じ温度になる。振動による冷却効果の原因は電極周辺の流れが振動によって乱され、その乱された流れは電極の熱を奪い、温度を下げると考えられる。周波数が高くなり、乱される流れも激しくなり、より多くの熱を奪うことができると考えられる。これらのことより、本システムは深さ 2mm の温度を上昇させると同時に電極の温度を保つことが可能であることが示唆され、これまでのアブレーションカテーテルと比べ利点があることが示された。

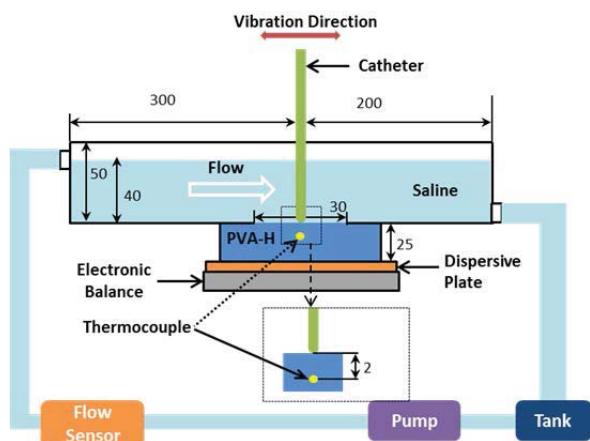


図 1 先端振動アブレーションカテーテル用流れシステム

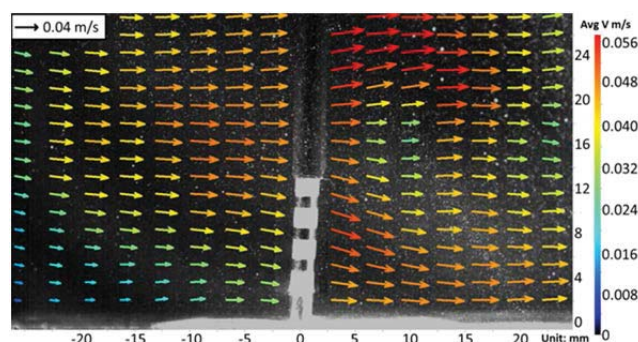


図 2 カテーテル周辺流れのPIV解析結果

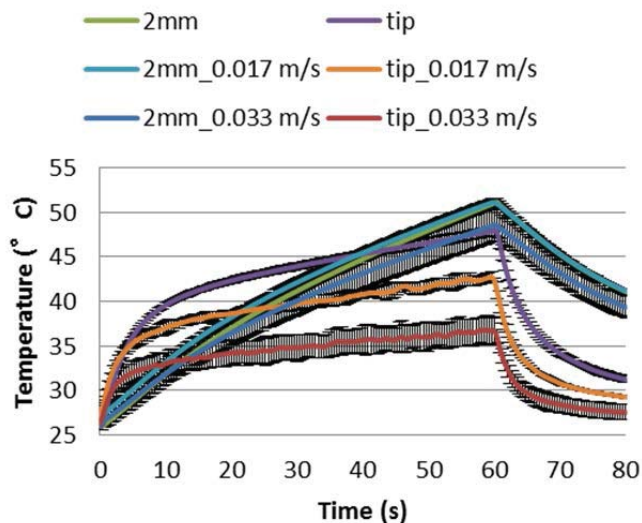


図 3 異なる流速における時間 - 温度変化

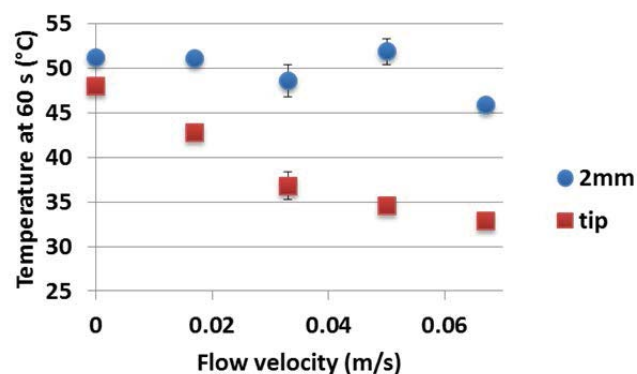


図 4 異なる流速で通電60秒後の温度

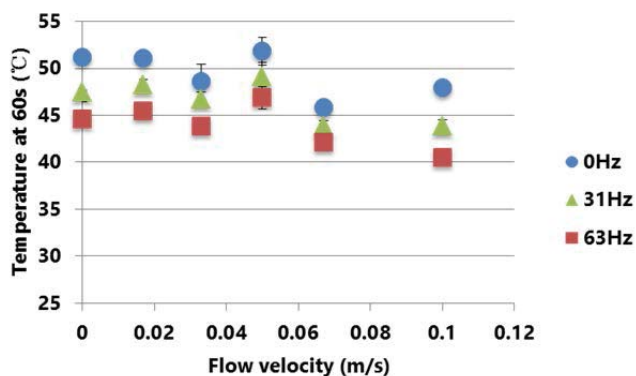


図 5 異なる流速で通電60秒後PVA内部2mmの温度

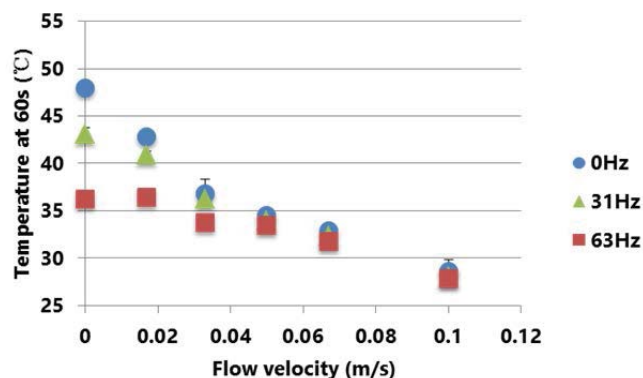


図 6 異なる流速で通電60秒後先端電極の温度

[1] Cao H., Vorperian V. R., Tsai J. Z., Tungjitkusolmun S., Woo E. J., and Webster J. G., 2000, "Temperature measurement within myocardium during in vitro RF catheter ablation," IEEE Trans. Biomed. Eng., 47(11), pp. 1518–24.

[2] Cao H., Vorperian V. R., Tungjitkusolmun S., Tsai J. Z., Haemmerich D., Choy Y. B., and Webster J. G., 2001, "Flow effect on lesion formation in RF cardiac catheter ablation," IEEE Trans. Biomed. Eng., 48(4), pp. 425–33.

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

- 異なる流れ速度を実現する振動アブレーションカテーテル用の実験システムの構築
振動アブレーションカテーテルの冷却効果を検証するため、PVA - H ゲルを焼灼組織として、開水路流路を用いて振動アブレーションカテーテル用の評価システムを構築した。PIV 手法を用いてカテーテル周辺の流れ観察を行った。
- 先端電極に対して流れによる冷却効果の検証
本システムを用いて異なる流速条件でアブレーション中先端電極と組織内部 2mm の温度測定を行った。カテーテル先端温度は流れ速度の増大とともに低下する一方、組織（PVA）内部の温度は流れの影響を受けないと判明した。

3. 流れ負荷ときに先端電極に対して振動による冷却効果の検証
振幅 0.5mm、振動数 0Hz（振動無し）、31Hz と 63Hz の振動条件で、0～0.1m/s の異なる流れ速度でアブレーション中の先端と組織内部の温度測定を行った。流速は低い場合、先端電極の振動による冷却効果が見られ、また高い周波数は高い冷却効果を示す。流速が速い場合、流れの速度の増大とともに、先端電極に対して流れによる冷却効果が増大し、その効果は振動による冷却効果を上回り、振動による効果が見られなくなる。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

1. Kaihong Yu, Tetsui Yamashita, Shigeaki Shingyochi, Kazuo Matsumoto, Makoto Ohta, “PIV ANALYSIS OF THE FLOW PATTERN AROUND AN ABLATION CATHETER TO OBSERVE THE FLOW EFFECT ON THE ELECTRODE”, Proceedings of ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE2013-62791

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

国際会議、口頭発表、査読あり

1. Kaihong Yu, Tetsui Yamashita, Shigeaki Shingyochi, Kazuo Matsumoto, Makoto Ohta, “PIV ANALYSIS OF THE FLOW PATTERN AROUND AN ABLATION CATHETER TO OBSERVE THE FLOW EFFECT ON THE ELECTRODE”, ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, San Diego, America, Nov. 2013.

国際会議、ポスター発表、査読なし

2. Kaihong Yu, Tetsui Yamashita, Shigeaki Shingyochi, Makoto Ohta, “The Effect of Vibration of Ablation Catheter on the Temperature of the Electrode”, 10th International Conference on Flow Dynamics, Sendai, Japan, Nov. 2013.

国内学会、口頭発表、査読なし

3. 于 凱鴻、山下 哲以、新行内 成晃、太田 信、「アブレーションカテーテルの電極温度評価用システムの開発」、日本機械学会 第26回バイオエンジニアリング講演会、仙台、2014年1月12日
4. 都築正太郎、高嶋一登、葭仲潔、于凱鴻、太田信、森浩二、「血管内カテーテル／ガイドワイヤシミュレータの研究（血管モデル内でのワイヤの三次元追跡）」、日本機械学会 第26回バイオエンジニアリング講演会、仙台、2014年1月12日

氏名 上野 知洋



所属 情報科学研究科情報基礎科学専攻・D1

研究課題

FPGA アクセラレータにおけるメモリ帯域向上のためのデータ圧縮ハードウェアに関する研究

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は、データ圧縮を複数のストリームに適用するためのアルゴリズムの検討及びハードウェアの設計・実装を行った。これにより、数値計算専用計算機の帯域を削減し、計算性能の向上を図る。一般的に、本研究においてデータ圧縮ハードウェアの適用対象としている数値計算は、複数の変数を持ち、それぞれの値を用いながら計算を行う。ストリーム計算を行うハードウェアでは、各変数は計算回路の入り口において分離されて、複数のストリームとして処理され、1 タイムステップ後の値に更新された後、再び全変数のデータがまとめられて計算回路から出力される。一方でこれまでの研究により、一変数の浮動小数点数値データストリームの圧縮は、データの連続性を利用した予測ベースの圧縮を採用し、評価とハードウェア化が進んでいる。この単一ストリームへの圧縮を複数ストリームに拡張する際に、問題となる点がデータの同期である。図 1 に示すように、複数のストリームそれぞれに一変数のデータ圧縮・展開ハードウェアを適用すれば、それぞれの帯域は削減され、より高速なメモリとの通信が可能になる。しかしながら、数値計算においては各格子点のデータがまとめて計算される必要もある。これをハードウェア上に置き換えると、一格点のデータが異なる複数の計算ストリームに同時に入力される必要が生じる。ここで、本圧縮手法は圧縮率が時間やストリームにより変化するため、各ストリームに対して、利用可能な帯域を固定して割り当てることは、前述の同期の問題から不可能である。

この問題に対して、複数の圧縮データストリームを単一通信路により送信する手法として、ECF (extra code free) 符号化手法を提案した。これは圧縮率の低いストリームを優先的に出力させ、なおかつストリーム番号の付加を行わないため、効果的に圧縮データを多重化可能である。しかし、ハードウェア構造の複雑さから、動作周波数の向上が困難であるという欠点もあることがわかった。これに対して、十分な出力幅があれば、ストリーム番号の付加による圧縮率低下の影響を抑えられることから、ストリーム番号を付加する手法を提案し、ハードウェアの設計 (図 2) 及び性能評価 (図 3) を行った。動作周波数は高い値を実現したが、回路面積が非常に大きくなる問題が生じた。回路面積を大きく削減する手法の提案と、ハードウェアの設計が現在の課題となっている。

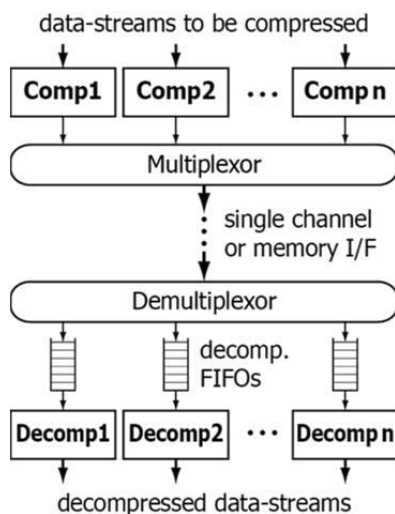


図 1 複数ストリームの圧縮・展開

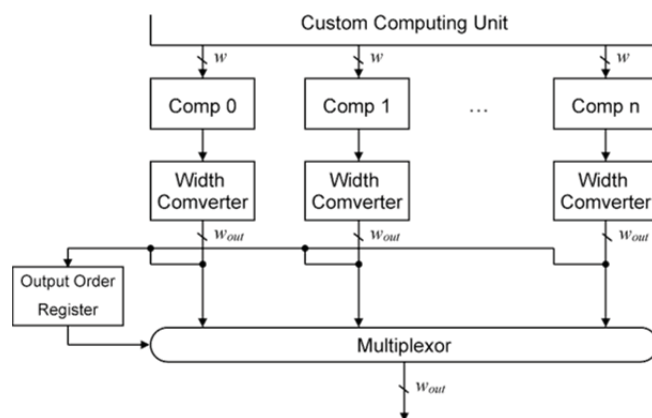


図 2 複数ストリーム圧縮ハードウェア

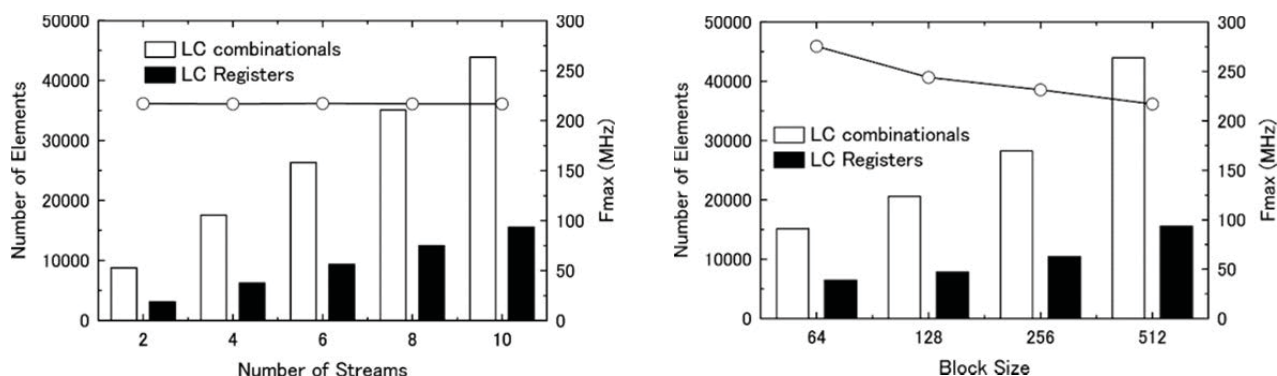


図3 複数ストリーム圧縮ハードウェアの回路面積と最大動作周波数

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

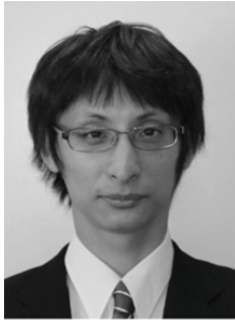
1. 複数ストリーム圧縮ハードウェアの設計・実装
数値計算を高速化させるメモリ帯域向上のための、複数ストリーム圧縮・展開ハードウェアのアルゴリズム提案、設計、実装を行った。また、FPGA 上に実装しての性能評価を行い、問題点の確認とその改善のための設計を行った。
2. ニューラルネットワークのハードウェア実装によるディープラーニングに関する研究
FPGA を用いたハードウェアアプリケーションは、単純な操作を非常に大量のデータに対して繰り返し行うという処理に適している。そのため、ニューラルネットワークの実装を行い、ディープラーニングによる学習を行わせることを計画している。そのための準備として、情報収集や機器の設定等を行った。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

1. Kentaro Sano, Yoshiaki Kono, Hayato Suzuki, Ryotaro Chiba, Ryo Ito, Tomohiro Ueno, Kyo Koizumi and Satoru Yamamoto, Efficient Custom Computing of Fully-Streamed Lattice Boltzmann Method on Tightly-Coupled FPGA Cluster, Proceedings of International Symposium on Highly-Efficient Accelerators and Reconfigurable Technologies (HEART2013)

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. 電子情報通信学会リコンフィギャラブルシステム研究会, “複数データストリームの帯域向上のための圧縮ハードウェアの実装と評価”, 高知県立県民文化ホール, 2013 年 5 月 20-21 日
2. 電子情報通信学会リコンフィギャラブルシステム研究会, “複数ストリームのための帯域圧縮ハードウェアの実装と評価”, 慶応義塾大学 日吉キャンパス, 2014 年 1 月 28-29 日



氏名 鵜飼 孝博

所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・D2

研究課題

大気状態を考慮したソニックブーム波形の不確かさ評価

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は、衝撃波と乱流干渉における湿度の影響について議論するため、制御された相対湿度 20 %、90 %の湿度場中に衝撃波を伝播させ、その過程で乱流と衝撃波を干渉させる実験研究を行った。

表 1 に相対湿度 20 %、90 %での乱流干渉がある場合とない場合における、最大過剰圧および立ち上がり時間、到達時間の標準偏差を示す。ここで、立ち上がり時間とは、最大過剰圧の 10 %から 90 %へ変化するのに要する時間である。また、到達時間とは、衝撃波が発生してから最大過剰圧の 10 %の圧力値に到達するまでの時間である。90 %の相対湿度と比較して、20 %の相対湿度における最大過剰圧および到達時間では、乱流干渉によってバラつきが大きくなった。一方、立ち上がり時間に関しては、90 %の相対湿度のバラつきが 20 %より若干増加した。

表 2 に相対湿度 20 %および 90 %における乱流効果を示す。乱流干渉がない場合における、それぞれの湿度場において計測された平均値で除した値である。到達時間に関しては、湿度による乱流効果に違いが生じなかったため表 2 には記載していない。立ち上がり時間および最大過剰圧では、90 %の相対湿度と比較して 20 %の相対湿度における乱流効果が低くなった。ここで、立ち上がり時間に関する乱流効果とは、乱流干渉により平均値が増加する現象である。また、最大過剰圧に関する乱流効果とは、乱流干渉により平均値が減少する現象である。乱流場では大小さまざまなスケールの渦で形成されており、衝撃波と乱流干渉においては、衝撃波と渦の干渉が起こる。衝撃波が渦と干渉する際、衝撃波波面における衝撃波反射・回折の発生によって圧力波形が変化し、この反射・回折の形態が変わることで圧力波形に影響を及ぼす[1]。立ち上がり時間に関して、高湿度場と比較して低湿度場では、分子緩和効果により立ち上がり時間が増加するため[2, 3]、衝撃波の厚さが増すことになる。つまり、衝撃波の厚さが増した衝撃波波面において、反射・回折の形態が変化したことで、20 %の相対湿度場では乱流効果が低下したと考えられる。一方、最大過剰圧は、低湿度場において分子緩和効果により減少する[3]。衝撃波波面において、強い衝撃波（最大過剰圧が高い）と渦が干渉する場合、渦の周辺で複数の衝撃波反射が発生し、圧力波形に歪みが生じる[4]。比較的弱い衝撃波（最大過剰圧が低い）かつ渦の強さが同等の場合では、複数の衝撃波反射は発生しない。本実験では、20 %の相対湿度場において、分子緩和効果により最大過剰圧が低下し、この渦の周辺での衝撃波反射が顕著に発生しなかったため、乱流効果が低下したと考えられる。

本実験結果より、衝撃波と乱流干渉において湿度場が影響を及ぼすことが確認でき、下記のことが明らかとなった。90 %の相対湿度と比較して、20 %の相対湿度における最大過剰圧および到達時間では、乱流干渉によってバラつきが大きくなった。ただし、立ち上がり時間のバラつきは若干小さくなった。立ち上がり時間および最大過剰圧の平均値において 90 %の相対湿度と比較して、20 %の相対湿度の乱流効果が低くなった。

表 1 相対湿度 20%および 90%における標準偏差

	Relative humidity	w/o turb	w turb
Overpressure P [kPa]	20 %	0.03	0.16
	90 %	0.05	0.13
Rise-time τ [μ s]	20 %	0	0.6
	90 %	0.1	0.9
Arrival time t_{ar} [ms]	20 %	0.001	0.003
	90 %	0.001	0.002

表 2 20%および 90%の相対湿度場における乱流効果

Relative humidity	$\tau_{mean}/\tau_{mean}^{wo\ turb}$	$P_{mean}/P_{mean}^{wo\ turb}$
20 %	3.7	0.74
90 %	4.0	0.72

- [1] J. L. Ellzey, M. R. Henneke, J. M. Picone, E. S. Oran, “The interaction of a shock with a vortex: Shock distortion and the production of acoustic waves,” *Physics of Fluids*, 7, 172 pp. 172-184 (1995).
- [2] P. V. Yuldashev, M. V. Averiyarov, V. A. Khokhlova, S. Ollivier, Ph. Blanc-Benon, “Nonlinear Spherically Divergent Shock Waves Propagating in a Relaxing Medium,” *Acoustical Physics* Vol.54 (1) pp. 32-41 (2008).
- [3] K. Hatanaka, T. Saito, “Numerical analysis of weak shock attenuation resulting from molecular vibrational relaxation,” *Shock Waves* Vol. 21, pp. 121-129 (2011).
- [4] S. Zhang, Y. T. Zhang, C. W. Shu, “Multistage interaction of a shock wave and a strong vortex,” *Physics of Fluids*, 17 116101 pp. 1-13 (2005).

平成 25 年度の活動（シンポジウム・国際会議のオーガナイザーを含む）

<国際会議>

名 称：The 10th International Conference on Flow Dynamics

主催団体：東北大学流体科学研究所

開 催 国：日 本

開催期間：2013.11.25 ～ 2013.11.27

役 割：学生・若手研究者情報交換会リーダー

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 実験装置設計・製作
湿度場を制御するために試験槽の設計を行った。衝撃波は Nd: YAG レーザを用いてパルスレーザ光の集光によるレーザ励起ブレイクダウンによって試験槽内で発生させており、密閉状態を保つためレーザ励起ブレイクダウンに必要なとされるレンズ類の配置を考慮した。また、スリットノズルを用いて衝撃波に干渉させる任意の乱流場を生成するため、熱線風速計により乱流特性を評価し、風速調整およびスリットノズルの設計を行った。
2. 制御された湿度場における衝撃波と乱流干渉実験
相対湿度 20%および 90%における衝撃波の伝播課程中に衝撃波と乱流を干渉させ、衝撃波と乱流干渉において湿度場が影響を及ぼすことを確認した。
3. 立ち上がり時間が長い圧力波形と乱流干渉実験
低ソニックブーム波形への乱流効果を明らかにするため、低ソニックブーム波形と乱流干渉を模擬し、立ち上がり時間が長い圧力波形と乱流干渉実験も実施している。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

1. Takahiro Ukai, Yuta Saito, Ko Miyakoshi, Kiyonobu Ohtani, Shigeru Obayashi, “Interaction of Low Sonic Boom Pressure Signatures with Jet Turbulence,” *APISAT 2013*, Takamatsu, Japan, 02-01-2, November 20-21, 2013.
2. Yuta Saito, Takahiro Ukai, Ko Miyakoshi, Kiyonobu Ohtani, Shigeru Obayashi, “Sonic Boom Estimation using the Multipole Method for Free-Flight Experiments,” *AIAA Science and Technology Forum and Exposition 2014*, AIAA-2014-0368, Maryland USA, January 13-17, 2014.

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. 宮腰康, 齋藤雄太, 鵜飼孝博, 大谷清伸, 大林茂, “弾道飛行装置を用いた高速飛翔体分散挙動に関する研究,” 高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム2013, 2013年10月17 – 19日.
2. 鵜飼孝博, 大谷清伸, 大林茂, “衝撃波と乱流干渉における湿度の影響,” 平成25年度衝撃波シンポジウム, 東京, 2014年3月5-7日（発表前）.
3. 山口貴嘉, 宮腰康, 鵜飼孝博, 小川俊広, 大谷清伸, 大林茂, “弾道飛行装置を用いた模型射出におけるブラスト管の効果,” 平成25年度衝撃波シンポジウム, 東京, 2014年3月5-7日（発表前）.
4. Takahiro Ukai, “Experimental Investigation of Combined Turbulence and Relaxation Effects,” Work-shop at Von Karman Institute for Fluid Dynamics, February 24 2014 (before presentation).

【研究費の獲得】

名 称 : 2013 年 Boeing Higher Education 学生プロジェクト
期 間 : 2013.10～2014.9

氏名 浦本 翔平



所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・D3

研究課題

ステレオ PIV を用いた超音速境界層及び超音速噴射流れ場の乱れ構造に関する実験的研究

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は、極超音速飛行を目的としたスクラムジェットエンジンの、基本的な燃料噴射形態の 1 つである、壁面からの音速垂直噴射流れ場の乱れ構造の解析を行った。この燃料噴射法は、流れ場の中に燃料の噴射装置を設けなくてもよいと、同装置の冷却や装置の空力損失を回避できる点を考慮すると、スクラムジェットエンジンの燃料噴射形態として適していると考えられている。また、超音速流れ場において生じる基本的な現象が含まれており、超音速流中での混合機構を理解するために適している。

今回は、上流境界層が持つ擾乱が噴射と混合に及ぼす影響の解明を目指して、超音速境界層内での存在が報告されている Very Large-Scale Motion (VLSM) [1] が本研究で用いたテストセクション内にも存在し、噴射流れ場へ影響を与えていることを示す。

Fig. 1 に VLSM の概念図[1]を示す。この構造は主流方向に境界層厚さの 10 ～ 12 倍の長さを持つ。VLSM の存在により、主流方向成分の速度変動の空間相関は主流方向に長く伸びるが、他の方向成分の速度変動の相関は基準点周りでしか見られない。

Fig. 2 は今回計測された境界層内の速度変動より求めた空間相関（左：主流方向断面、右：横断面）の結果であり、Fig. 3 にその空間相関の主流方向分布と幅方向分布を示す。Fig. 2 に示す主流方向断面の、主流方向速度変動空間相関より過去の研究[1]と同様に主流方向に伸びた空間相関が得られていることが分かる。このとき、その他の速度成分の空間相関は相関基準点周りにのみ相関が現れることも確認している。Fig. 3 に示されるとおり今回のデータは過去のデータ[1]とも定量的に一致しており、このテストセクションにおいても VLSM の存在が確認された。

Fig. 4 に垂直噴射流れ場で噴流の位置で空間相関をとった結果を示す。左図は主流方向断面、右図は横断面の結果である。上流境界層や、噴流中に置かれた相関基準点周り、および弓形衝撃波に正の相関領域を持つ。この図より、上流の境界層内の擾乱が、遙か下流の弓形衝撃波および噴流に影響を与えることが確認できる。一方、幅方向には影響の範囲が限定されていることより、これが先の VLSM によりもたらされたものであると考える。これにより、VLSM の噴射流れ場への影響を示すことができた。

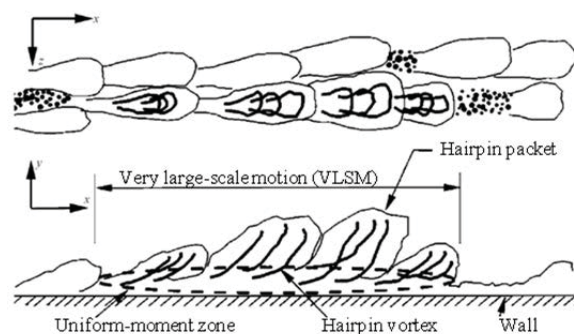
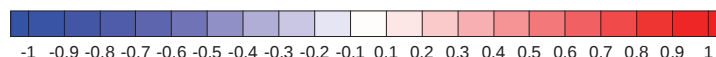


Fig. 1 Very Large Scale Motion (VLSM) in boundary layer [1] : schematic diagram

[1] B. Ganapathisubramani, N. T. Clemens and D. S. Dolling; Journal of Fluid Mechanics, Vol. 556 (2006), pp. 271-282.



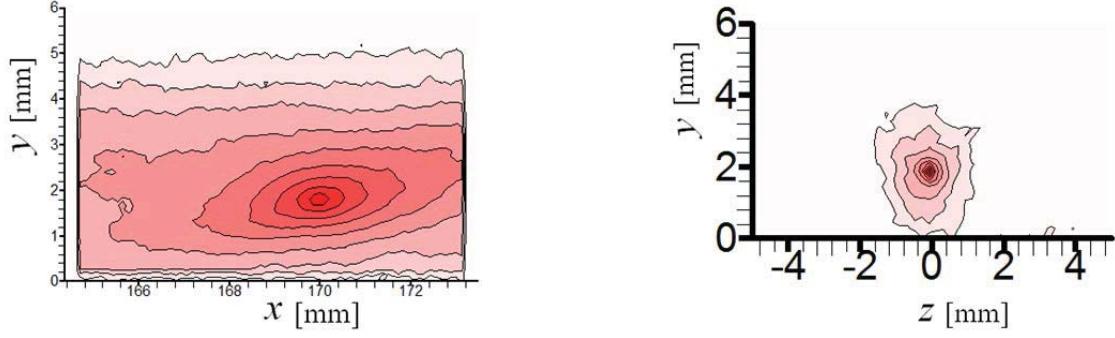


Fig. 2 Two-point spatial correlation C_{uu}
(left: measured in streamwise section, right: measured in cross-section)

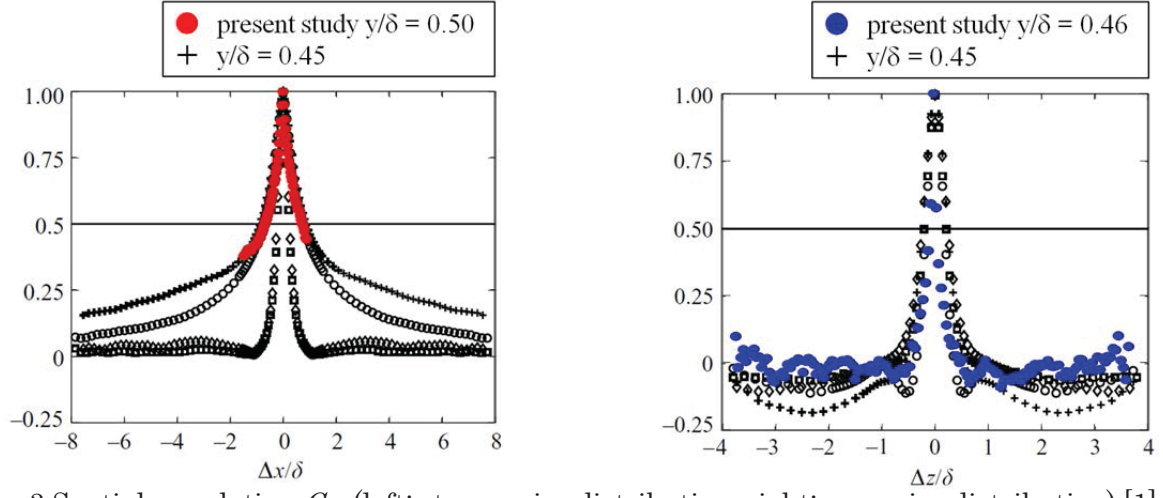


Fig. 3 Spatial correlation C_{uu} (left: streamwise distribution, right: spanwise distribution) [1]

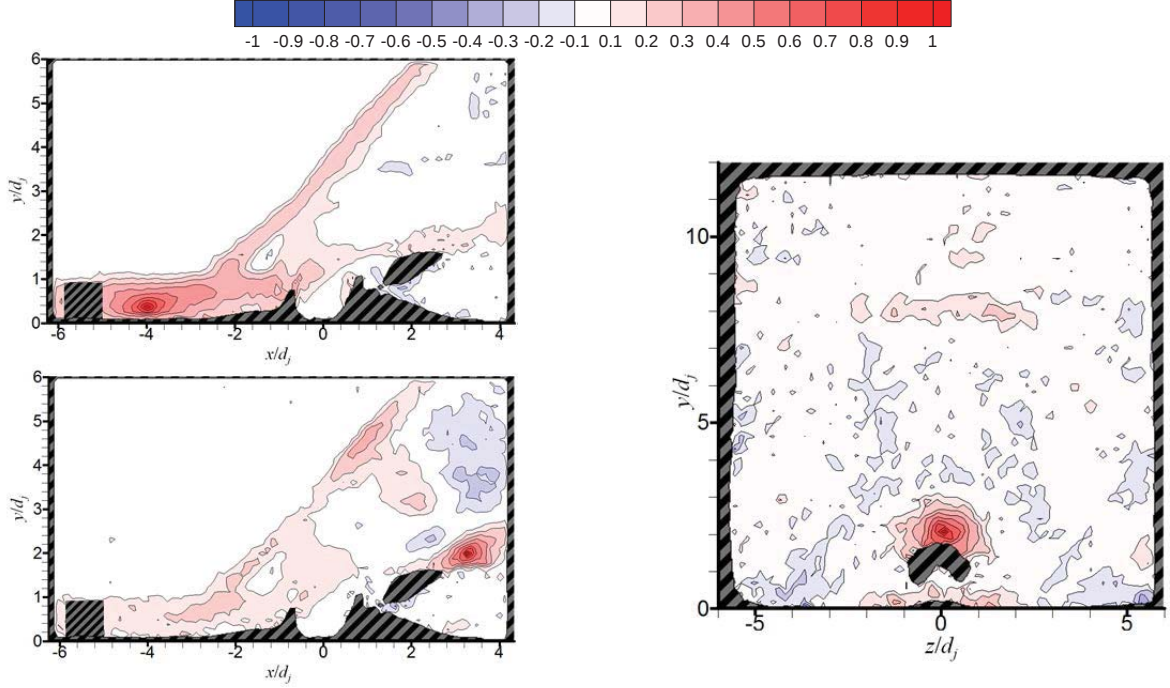


Fig. 4 Two-point spatial correlation C_{uu} , Air jet,
left: streamwise section (upper: reference point at boundary layer, bottom: reference point at jet)
right: cross-section at $x/d_j = 4$, reference point at jet

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 超音速境界層内のVLMSの確認と断面を変えて計測した垂直噴射流れ場の解析
境界層内に存在するとされる Very-Large Scale-Motion (VLSM) の存在を、本研究で用いるテストセクション壁面で発達する超音速境界層内にも存在することを示す。その後、垂直噴射流れ場の乱流構造を、ステレオ PIV を用いて計測した速度変動より空間相関を求めて、3 次元的に解析を行った。
2. 流れ場の擾乱が垂直噴射流れ場に及ぼす影響の解析
流れ場にもともと存在する擾乱を数種類求め、その擾乱が垂直噴射流れ場へ「どのように」また「どの程度」寄与するかを空間相関により解析した。ここでは、1 で存在が確認された VLSM の影響が大きいことが分かった。
3. 気体種の分子量が及ぼす垂直噴射流れ場への影響解析
気体の分子量が異なることにより、噴射流れ場の乱流構造は変わってしまう。その構造に対する分子量の影響を噴流の対流マッハ数や瞬間粒子画像、空間相関等から求めた。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

1. Shohei Uramoto, Toshinori Kouchi, Goro Masuya, “Turbulent Structure of a Supersonic Flowfield with Transverse Injection,” *Journal of Fluid Science and Technology*, Vol. 7, No. 2, 2012, pp. 231-241

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成 24 年（1 月～12 月）

1. *Journal of Fluid Science and Technology*

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. 浦本翔平, 船崎健一, 谷口英夫, 山田和豊, “低レイノルズ数条件下における圧縮機翼列先端隙間流れに関する研究”, 東北学生会第39回学生員卒業研究発表講演会, 1008, 口頭, 秋田, 2009年3月.
2. Shohei Uramoto, Shinichiro Tsuru, Toshinori Kouchi, Goro Masuya, “Stereoscopic PIV Measurement of Supersonic Injection Flowfield and Its Error Analysis,” Asian Joint Conference on Propulsion and Power 2010 (2010).
3. 津留真一郎, 浦本翔平, 河内俊憲, 升谷五郎, “超音速噴射流れ場のステレオPIV計測”, 日本航空宇宙学会北部支部2010年講演会ならびに第11回再使用型宇宙輸送系シンポジウム (2010).
4. 浦本翔平, 津留真一郎, 河内俊憲, 升谷五郎, “ステレオPIVを用いた超音速流れ場の境界層速度計測”, 第42回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2010 (2010).
5. Shohei Uramoto, Shinichiro Tsuru, Toshinori Kouchi, Goro Masuya, “Stereoscopic PIV measurement of supersonic boundary layer,” Seventh International Conference on Flow Dynamics (2010).
6. Shohei Uramoto, Toshinori Kouchi, Goro Masuya, “Spatial Correlations of Velocity Fluctuation in a Supersonic Flowfield with Transverse Injection,” Eighth International Conference on Flow Dynamics (2011).
7. Shohei Uramoto, Toshinori Kouchi, Goro Masuya, “Stereoscopic PIV Measurement of the Jet in Supersonic Crossflow and Spatial correlation of Velocity Fluctuations,” Asian Joint Conference on Propulsion and Power 2012 (2012).
8. 浦本翔平, 河内俊憲, 升谷五郎, “変動速度の空間相関を用いた超音速噴射流れ場の解析”, 第44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2012 (2012).
9. Shohei Uramoto, Toshinori Kouchi, Goro Masuya, “Conditional Spatial Correlation of Velocity Fluctuation in Supersonic Flow with Transverse Injection,” Ninth International Conference on Flow Dynamics (2012).

【受賞・特許等】

受賞日 2009 年 3 月 25 日

受賞名 日本機械学会畠山賞

組織名 岩手大学



氏名 Wu Lianlian

所属 工学研究科機械システムデザイン工学専攻 ・ D1

研究課題

Development of New material for Thermal Turbine Blade

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

With the accelerating industrialization and social modernization prevailing all over the world, energy consumption, the engine of this process which predominantly comes from fossil fuels, has been exploding during the past several centuries. As a consequence, emission to atmosphere increased unprecedentedly, threatening the sustainable development of the whole world. For the sake of a more comfortable environment for human living and more eco-friendly economic world, every and each class, from top government officials to ordinary company staff, from greatest and smartest scientists and engineers to elementary teachers, are working hard on rebuilding a green planet. One of the naturally logical measures is to replace fossils with new energy resources with less or little emission, and one of the highly potential substitutes is thermal energy, viz. Earth's heat which is stable and indefinitely, and has enormously less impact on environment. In order to make use of this energy, a geothermal power plant must be maintained integrated and properly managed. The integration of a geothermal turbine, which is the hardcore of the geothermal power plant, largely depends upon the mechanical strength and corrosion resistance of turbine blades. That is why my research is concentrated on candidate mateiral PH17-4(Table 1) based on the work of Cr12^[1], Cr13^[2] done by previous researchers.

Table 1 Composition, mechanical properties and microstructure of 12Cr, 13Cr and PH17-4

Mat.		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Al
Cr12	Composition	0.12	0.32	0.51	0.03	0.015	0.32	11.5		
Cr13		0.21	0.3	0.65	0.023	0.002	0.39	13.22		
PH17-4		0.04	0.31	0.54	0.025	0.001	4.54	15.2	3.54	0.01
		Yield Strength(Mpa)		Tensile Strength(Mpa)		Hardness (HBW)		Microstructure		
Cr12	Mechanical Properties	479		683		161		Martensite		
Cr13		687		850		321				
PH17-4		760		900						

The major corrosion problems encountered during operation of turbine blades are corrosion fatigue (CF), stress corrosion cracking (SCC), and erosion-corrosion ^[3]. Present research is focused on the corrosion fatigue properties of candidate materials. The experiment condition is as shown in Table 2. In Figure 1 and Figure 2, the microstructure of PH17-4 is martensite, and the main crack mechanism is transgranular in air. In Figure 3, generally speaking, the crack growth rate has no defined variation with mechanical strength. In Figure 4 and Figure 5 Time Domain Analysis of Environmental Contribution to Corrosion Fatigue Crack Growth RateFigure 5, the environmental contribution to crack growth rate of PH17-4 is positive in terms of crack growth by cycle, but negative by crack growth each unit time although positive regarding Cr12 and Cr13, this may be due to crack closure in PH17-4.

Table 2 Mechanical loading and solution condition for fatigue tests in air and corrosion fatigue tests in solution

Solution condition	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Temperature
	1800 ppm	50 ppm	90°C
Mechanical condition	K _{max} (MPa·m ^{0.5})	50/70	
	Loading ratio	0 / 0.5 / 0.7 / 0.8 / 0.9 / 0.95 / 0.97	

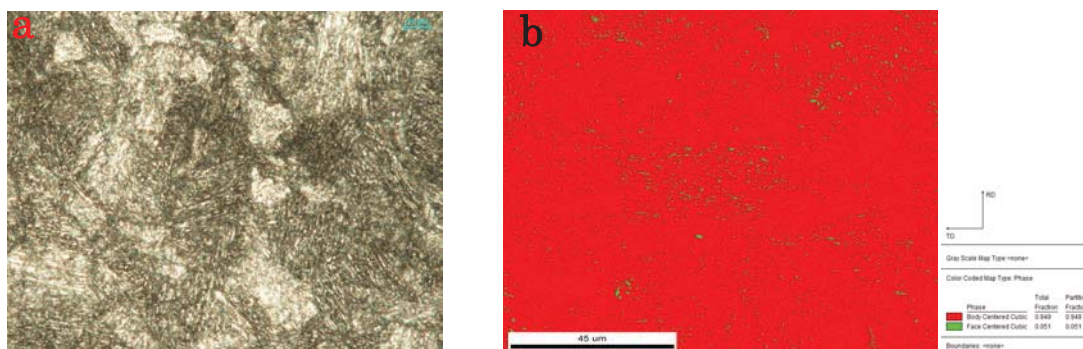


Figure 1 Microstructure of PH17-4(a) metallography (b) EBSD phase analysis

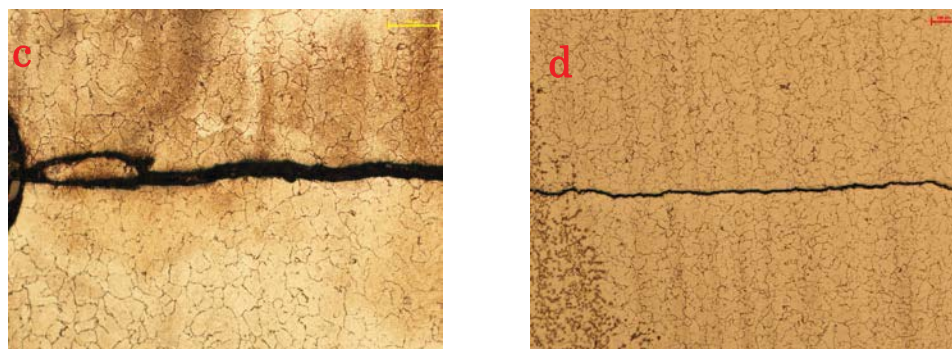


Figure 2 Optical microscope of crack growth in air(c)K_{max}=70MPa·m^{0.5}(d)K_{max}=50MPa·m^{0.5}

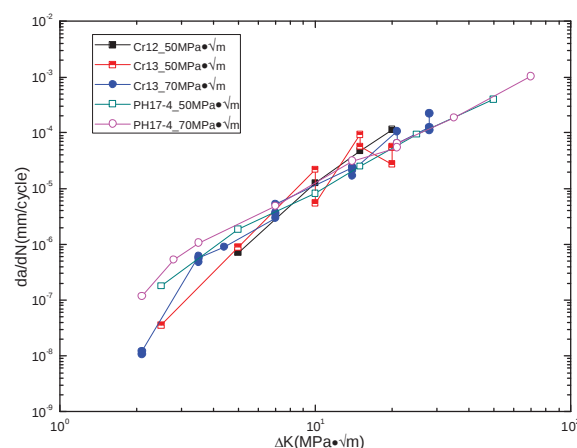


Figure 3 Fatigue Crack Growth Rate in air of Cr12, Cr13 and PH17-4

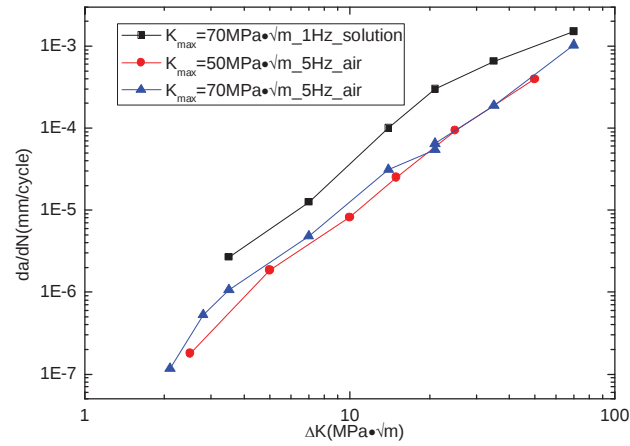


Figure 4 Crack Growth Rate of PH17-4 in solution and air

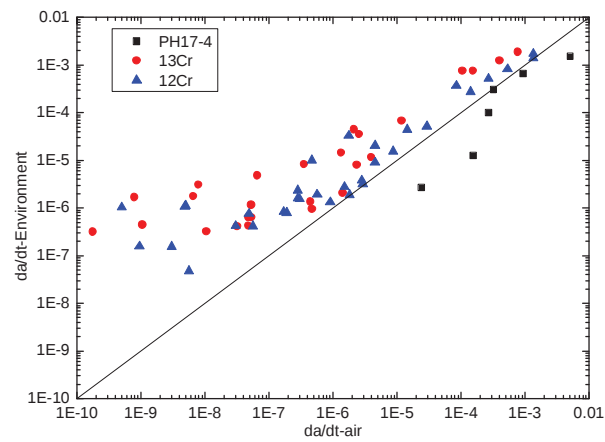


Figure 5 Time Domain Analysis of Environmental Contribution to Corrosion Fatigue Crack Growth Rate

References

- [1] 森田博樹 東北大学工学部卒業論文 (2012)
- [2] 高橋圭太 東北大学大学院修士論文 (2010)
- [3] Otakar Jonas, Presented during CORROSION/84(Paper 55), April 1984, New Orleans, Louisiana.

氏名 小澤 裕二



所属 工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D1

研究課題

耐食・耐応力腐食割れ特性に優れるコールドスプレー皮膜の開発

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は、固相金属粒子積層技術であるコールドスプレー(CS)法の原子炉構造材料への適用に向け、ステンレス鋼である SUS316L 鋼の CS 皮膜の脆性挙動の改善を図るため、大気中において後熱処理を施した CS 皮膜の組織観察、耐食性評価を行うことで、後熱処理手法の検討を行った。

Fig.1 に SUS316L 鋼の後熱処理前、および 1000℃、1 時間の後熱処理を施した皮膜断面の SEM 像を示す。後熱処理前後において、皮膜断面の SEM 像に差異はみられなかった。つまり、後熱処理を施すことは皮膜内部に酸化物や析出物等の形態変化を与えないことがわかった。ステンレス鋼は一般的に表面部分に不動態皮膜および酸化皮膜を生成し耐食、耐酸化性に優れているため、このような結果を示したと考えられる。

次に Fig.2 に後熱処理前および各温度で 1 時間後熱処理を施した皮膜断面の EBSD 法による結晶方位解析結果である IPF マップを示す。昨年度、後熱処理を施さない皮膜は CS 施工時の強加工により塑性ひずみや圧縮残留応力の導入、また結晶粒の微細化、アモルファス化が発生し、IPF マップにおいて部分的に結晶方位が不鮮明になることが明らかにされている[1]。後熱処理温度が 700℃以下である場合、IPF マップは後熱処理前の皮膜と同様の傾向を示した。また 800℃以上の温度域で後熱処理を施した場合、IPF マップは全体的に一樣に結晶粒の発現が確認され、温度上昇に伴いバルク材より結晶粒径は小さいものの粒径は大きくなる傾向を示した。

Fig.3 にナノインデンテーション試験によるビッカース硬さおよび押し込み仕事量に対する弾性変形仕事量の割合の比較結果を示す。後熱処理温度が 700℃以下である場合、後熱処理前の皮膜と同様の傾向を示し、約 480HV の値を示した。しかしながら 800℃以上の温度域で後熱処理を施した場合、硬さおよび弾性変形仕事量の割合は減少する傾向を示し、1000℃後熱処理試験片においてバルク材と同等の約 210HV まで硬さは減少した。EBSD 解析結果から、結晶粒径の粗大化が寄与していると考えられる。これらの結果から 800℃以上の後熱処理により皮膜の脆性挙動を改善できる可能性を見出すことができた。今後引張試験等を行うことで機械的特性を詳細に調査する必要がある。

Fig.4 にアノード分極曲線測定による不動態維持電流密度の比較を示す。昨年度、後熱処理を施さない皮膜は不動態維持電流密度がバルク材より低い値を示し、耐食性はバルク材と同等もしくは良好であることがわかっている[1]。しかしながら、後熱処理を施すことで不動態維持電流密度は上昇する傾向を示し、耐食性の低下がみられた。また後熱処理温度の上昇に伴って耐食性はバルク材に近づいていく傾向を示している。一般的に結晶粒界は腐食の起点となることが知られており、EBSD 解析結果から、皮膜はバルク材より結晶粒が微小であったため、耐食性が低下したものと考えられる。また、本実験において採用した 600℃、1 時間の後熱処理条件は一般的にステンレス鋼の残留応力除去焼きなましを行う際の条件である。よって後熱処理を施さない場合、皮膜の結晶粒が微小であるにも関わらず耐食性が良好である要因が、CS 施工時の強加工による圧縮残留応力の導入、結晶粒のアモルファス化であることの確証を本実験により得ることができた。

本実験において、後熱処理により CS 皮膜の脆性挙動を改善できる可能性を見出すことができた。しかしながら、皮膜の耐食性は後熱処理により低下することが判明した。よって、今後は CS 皮膜の耐食性を維持することのできる脆性挙動の改善手法をさらに検討していくべきである。

[1] Y.OZAWA 日本機械学会 機械材料・材料加工技術講演会 (M&P), 2012.11

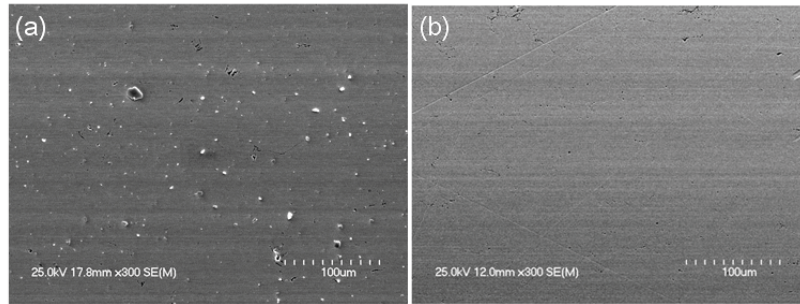


Fig.1 Cross-sectional SEM images of type 316L CS coatings
(a)as sprayed and (b)after heat treatment at 1000°C

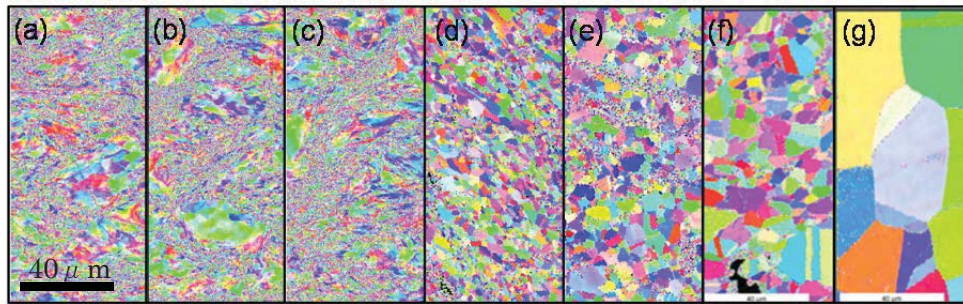


Fig.2 IPF maps obtained by EBSD analysis
(a)as sprayed (b)600°C (c)700°C (d)800°C (e)900°C (f)1000°C (g)bulk

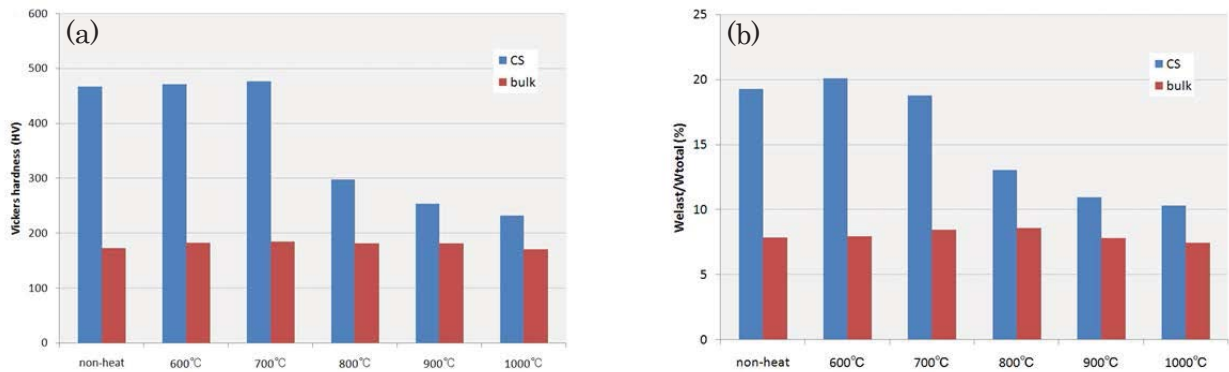


Fig.3 Relationship between temperature of heat treatment and
(a)Vickers hardness (b)ratio of elastic work to total work
at nano-indentation tests

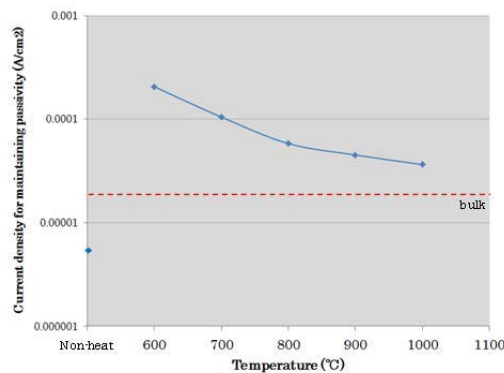


Fig.4 Relationship between current density for maintaining passivity
and temperature of heat treatment

平成 25 年度の活動（シンポジウム・国際会議のオーガナイザーを含む）

＜国際会議＞

名 称：ICG-EAC annual meeting 2013 in JAPAN

主催団体：International Cooperative Group on Environmentally-Assisted Cracking of Water Reactor Materials

開 催 国：日 本

開催期間：2013.5.19 ～ 2013.5.24

役 割：補助業務

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 合金中ならびに表面近傍での元素拡散挙動に着目した環境中材料劣化損傷過程の解明
700℃を超えた蒸気条件である次世代型火力発電システムの開発に向け耐久性を備えた合金材料の開発において、材料劣化過程を応力に加速された合金の選択酸化と捉え、酸化動力学および平衡論に基づく機構研究を推進し、材料耐久性評価法の確立を目指している。
2. 耐食・耐応力腐食割れ特性に優れるコールドスプレー皮膜の開発
原子力発電プラント配管部において、材料表面の溶接部の熱影響部における元素拡散現象に着目し、元素の拡散を防止することで耐応力腐食割れ性を高めるための表面改質技術として、最先端溶射技術の一つであるコールドスプレー法の適用を検討している。

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. 小澤裕二, 小川和洋, 竹田陽一
SUS316L 鋼コールドスプレー皮膜の微視組織に及ぼす熱処理効果とその腐食挙動
日本機械学会 M&M2013 材料力学カンファレンス CD-ROM 論文集, 岐阜, OS1408, (2013.10.12-14)
2. Yuji OZAWA, Kazuhiro OGAWA, Yoichi TAKEDA
Cracking characteristics of cold sprayed stainless steel coatings during slow strain rate testing in high temperature water
International Symposium for the 70th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan (2013.9.28-30), p.310

【受賞・特許等】

受 賞 日：2013 年 9 月 30 日

受 賞 名：優秀ポスター賞

組 織 名：日本化学会東北支部

氏名 尾関 郷



所属 工学研究科ナノメカニクス専攻・D2

研究課題

クリープ・疲労条件下における一方向凝固 Ni 基超合金の非平衡科学に基づく破壊寿命則の導出と微視損傷挙動解析

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は、一方向凝固 Ni 基超合金 CM247LC を用いてクリープ疲労試験を行い、その破壊形態や破壊寿命の繰返し速度特性の調査を行った。一方向凝固 Ni 基超合金 CM247LC のクリープ疲労相互作用条件下における、き裂成長挙動は応力保持時間 60 s までは、疲労条件でのき裂成長形態を示し、応力保持時間 600s 以上ではクリープき裂成長形態に類似していた。(図 1) また、CM247LC の破壊寿命における負荷応力繰返し速度特性は、時間依存にも繰返し数依存にも属さない非線形な挙動をしめし、応力保持時間 60s 近傍で変曲点を持つことがわかった(図 1)。この応力保持時間 60s を境として、き裂製長形態に相違が見られる。今後、CM247LC の破壊寿命の繰返し速度特性における非線形挙動についてメカニズムを解明するため、詳細な材料組織観察を行っていく。

これまでの研究結果から、破壊寿命の負荷応力繰返し速度特性は、時間依存と繰返し依存の競合した特性を示す。そこで、破壊寿命の逆数 $1/t_f$ と繰返し速度 f の関係のグラフに、クリープ延性(Creep ductility)、応力保持時間 t_H 、温度 T をまとめて、時間依存型機構促進因子 p とした、図 2 に示すような 3 次元曲面評価空間が提案されているが[1]、更なる発展形として図 3 に示す交差する 2 平面を考えた。すなわち時間依存型面 $\Omega 2$ から繰返し依存型面 $\Omega 1$ への遷移は 2 平面が交差する不安定相互作用を介して生じると考えた[2]。これはカオス理論における co-dimension of a bifurcation, 2 の bifurcation theory に基づくものである[3]。破壊寿命の繰返し速度特性 2 平面として考える理由としては、疲労とクリープは粒内割れと粒界割れという全く支配機構が異なるという事実と、多くのクリープ・疲労相互作用条件下における寿命の繰返し速度特性は単純な線形則で表そうとしていることにある[4]。これは今までの実験的事実と両方の支配機構の相互という二律背反的事実を合理的に表しうる。

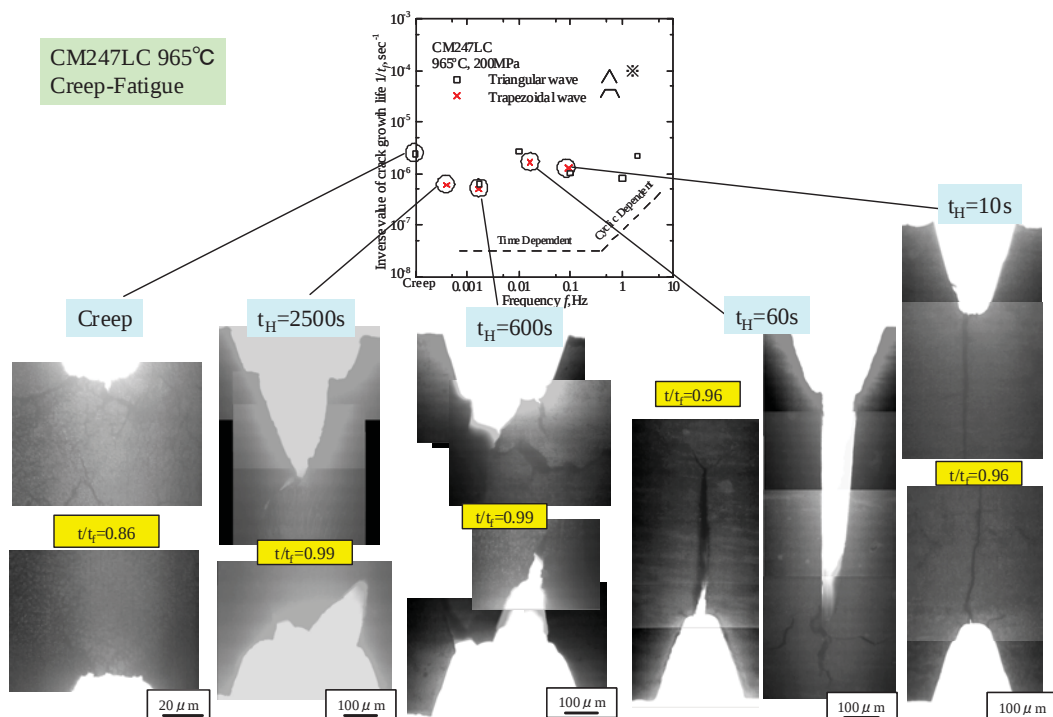


Fig. 1 In-situ observational results of CM247LC under the creep-fatigue interactive condition

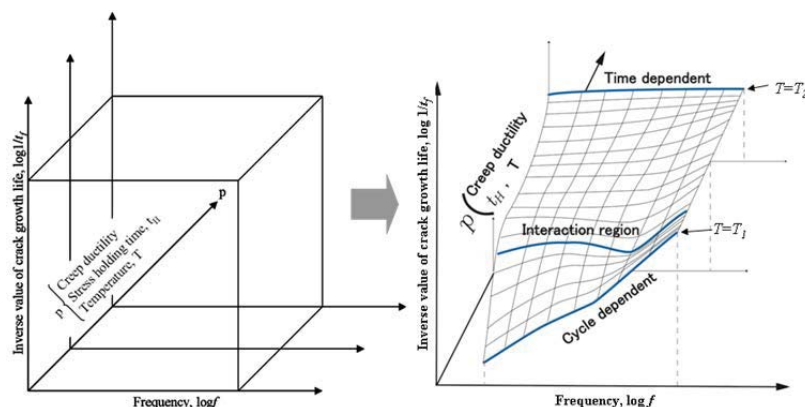


Fig. 2 Three-dimensional curved surface representation of load frequency characteristic of fracture life [1]

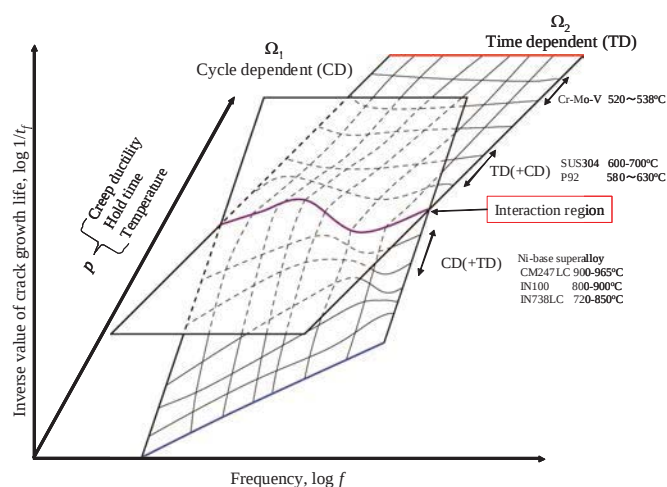


Fig. 3 Three-dimensional two planes curved surface representation of load frequency characteristic of fracture life [2]

- [1] A. T. Yokobori Jr., K. Akaishi, R. Sugiura and D. Kobayashi, Theoretical Representation of a Characteristic Curved Surface for the Life of Fracture under the Condition of High Temperature Creep and Fatigue Interaction Based on Non-equilibrium Science, *Strength, Fracture and Complexity An Int. J.* **2** (2004), 35-45.
- [2] A. T. Yokobori, Jr., Non Linearity Characteristics of Crack Growth Life under High Temperature Creep and Fatigue Conditions Based on Non Equilibrium Science, Int. Sympo. for the 70th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, 2013, P129, Sept.28-30, Tohoku University, Sendai, Japan.
- [3] P. Berge, Y. Pomeau, Ch. Vidal, Chaos No Nakano Chitsujo, trans. Y. Aizawa, Sangyo tosyosha, 1992. (in Japanese)
- [4] Mehmanparast, A, Davies, C. M. and Nikbin, K. M., Evaluation of the Testing and Analysis Methods in ASTM E2760-10 Creep-Fatigue Crack Growth Testing Standard for a Range of Steel, ASTM STP. 1539, A. Sarena and B. Dogan, eds., (2011), 41-66.

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. クリープ疲労条件における一方向凝固Ni基超合金の破壊形態のまとめ
2. クリープ疲労条件における破壊寿命の繰返し速度特性の発展的表示方法の提案

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

1. Go Ozeki, Ryuji Sugiura, A.Toshimitsu Yokobori,Jr., Yoshiko Nagumo, Hiroaki Takeuchi and Takashi Matsuzaki
Effect of Material Microstructure on Creep Damage Formation Behavior for Ni-base Directionally Solidified Superalloy
Proceedings of the ASME 2013 Pressure Vessels & Piping Division Conference, 2013, PVP2013-97808

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. Go OZEKI, A. Toshimitsu YOKOBORI, Jr., Ryuji SUGIURA and Takashi MATSUZAKI
Damage Formation Behavior under Creep-Fatigue Interactive Condition for Directionally Solidified Ni-base Superalloy
International Symposium for the 70th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai, Japan, (2013.9.28-30))
2. Go Ozeki, A Toshimitsu Yokobori, Jr., Ryuji Sugiura and Michifumi Ito
Law of Fracture Life under Creep-Fatigue Interactive Conditions for Ni-base Directionally Solidified Superalloy based on Non-Equilibrium Science (The Effect of Stress Holding Time)
6th International 'HIDA' Conference, Nagasaki, Japan, (2013.12.2-4)

氏名 加藤 茂樹



所属 医工学研究科医工学専攻・D1

研究課題

微小気泡と超音波によるリンパ節内腫瘍へのリンパ管を介した薬剤導入法の開発

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は、リンパ管経由で抗がん剤と微小気泡をリンパ節に送達し、外部から超音波を照射してリンパ節内の腫瘍細胞に抗がん剤の導入を試みた。従来の動物実験マウスではリンパ節の大きさが最大 1 mm 程度と小さく、リンパ節に注射してリンパ管に薬剤を投与することが困難であった。しかし、我々の研究室では、リンパ節が恒常的にヒトのリンパ節と同等まで腫脹するリンパ節腫脹マウス MXH10/Mo-*lpr/lpr* の開発に成功した[1]。このマウスのリンパ節は最大 13 mm 程度まで腫脹するためリンパ節への注射が容易であり、腸骨下リンパ節に注射した溶液は側腹部のリンパ管を経由して腋窩リンパ節へ送達することが可能となった（図 1）[2]。そこで先ず、腋窩リンパ節に腫瘍細胞である MRL/KM-Luc 細胞を接種し、リンパ上流側である腸骨下リンパ節に薬剤を注射してリンパ管を介して腋窩リンパ節に抗がん剤の送達を行った。また、微小気泡を抗がん剤と同時に注射して腋窩リンパ節に送達し、外部から超音波を照射することで抗がん剤単独投与との抗腫瘍効果の評価を行った。あるいは、抗がん剤の一般的な投与経路である全身投与との抗腫瘍効果についても比較を行った。抗腫瘍効果の指標としてルシフェラーゼ活性を用いた。その結果、抗がん剤と微小気泡をリンパ管経由で腋窩リンパ節に送達し、超音波照射を行った群で最も高い抗腫瘍効果が得られた（図 2）。微小気泡に超音波を照射すると、微小気泡が崩壊する際に発生する衝撃波や、微小気泡が崩壊した際に生じる気泡が超音波場でキャビテーション気泡となり力学的作用が発生することが知られている [3]。すなわち、これらの力学的作用が細胞膜の透過性を一過的に亢進させ外来分子である抗がん剤が効率的に腫瘍細胞内に導入されたと考えられる。あるいは、全身投与群では抗がん剤が血管を介して全身に拡散し、リンパ節内の腫瘍組織に十分な薬剤濃度を送達することが困難であったのに対し、リンパ節へ注射した抗がん剤はリンパ管を介して下流側リンパ節に高い濃度を維持したまま送達されたため、高い抗腫瘍効果が得られたと考えられる。

また、リンパ管経由での抗がん剤投与と血管からの全身投与において副作用の観点から評価を行った。評価指標は体重の増減とした。その結果、全身投与群では有意に体重の減少が見られた（図 3）。今回使用した抗がん剤であるドキソルビシンの副作用として心毒性や骨髄抑制が知られており [4]、全身投与群のマウスではこれらの事象が生じて体重減少が引き起こされたと考えられる。以上のことから、リンパ管を介した新たな薬剤投与と超音波と微小気泡によるリンパ節内腫瘍細胞への薬剤導入法は、従来の全身投与法と比較して抗腫瘍効果と副作用の観点からその優位性を示すことができた。

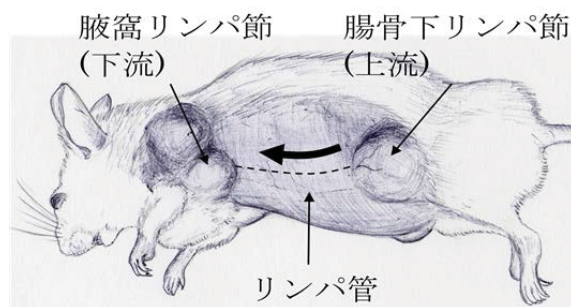


図 1 MXH10/Mo-*lpr/lpr* マウスの概略図

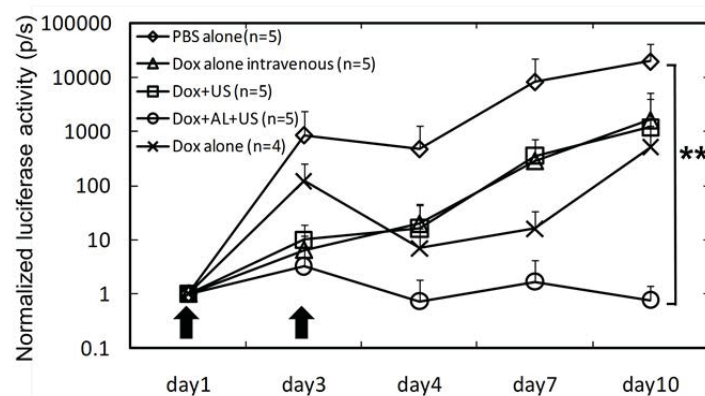


図 2 ルシフェラーゼ活性の経時的変化。Dox は抗がん剤、AL は微小気泡、US は超音波を示している。intravenous 群 (全身投与) 以外は全てリンパ注。矢印は治療介入日を示している。** $P < 0.01$

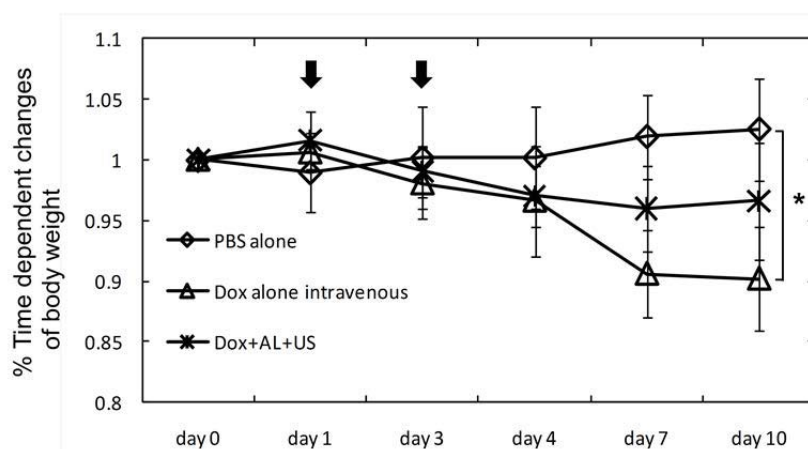


図 3 マウス体重の経時的変化。Dox は抗がん剤、AL は微小気泡、US は超音波を示している。intravenous 群 (全身投与) 以外は全てリンパ注。矢印は治療介入日を示している。* $P < 0.05$

- [1] L. Shao, S. Mori, Y. Yagishita, T. Okuno, Y. Hatakeyama, T. Sato, T. Kodama, J Immunol Methods, **389** (2013) 69-78.
- [2] L. Li, S. Mori, M. Kodama, M. Sakamoto, S. Takahashi, T. Kodama, Cancer Res, **73** (2013) 2082-2092.
- [3] T. Kodama, Y. Tomita, K. Koshiyama, M.J. Blomley, Ultrasound Med Biol, **32** (2006) 905-914.
- [4] Y. Ueno, S. Sonoda, R. Suzuki, M. Yokouchi, Y. Kawasoe, K. Tachibana, K. Maruyama, T. Sakamoto, S. Komiya, Cancer Biol Ther, **12** (2011) 270-277.

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 超音波と微小気泡による抗がん剤の腫瘍細胞への導入効率評価 (*In vitro*)
超音波と微小気泡によってもたらされる力学的作用が腫瘍細胞の細胞膜透過性を一過的に亢進させ抗腫瘍効果が増大するかどうか評価するために、*in vitro* で評価する。評価指標は MTT assay による細胞生存率を評価している。蛍光性の抗がん剤を使用しているため、共焦点顕微鏡による腫瘍内の抗がん剤の局在を観察している。
2. リンパ管を介した薬剤投与かつ超音波と微小気泡による抗がん剤の腫瘍細胞への導入効率評価 (*In vivo*)
抗がん剤と微小気泡を同時に腸骨下リンパ節から注射し、リンパ管を介してルシフェラーゼ遺伝子がトランスフェクションされた腫瘍細胞を生着させた腋窩リンパ節へ抗がん剤を投与する。抗がん剤あるいは微小気泡が腋窩リンパ節に到達したら外部から腋窩リンパ節内の腫瘍細胞へ導入を行う。全身投与あるいは単独投与群との比較はルシフェラーゼ活性をもとに行う。さらに最終日に腋窩リ

リンパ節を摘出し、病理切片を作製して腫瘍の分布を確認する。副作用の評価は体重の経時的変化で評価する。

3. 上記の腫瘍細胞と異なる細胞株を使用して同様の評価を行う。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

1. Okuno T, Kato S, Hatakeyama Y, Okajima J, Maruyama S, Sakamoto M, Mori S, Kodama T. Photothermal therapy of tumors in lymph nodes using gold nanorods and near-infrared laser light. J Control Release. 2013 Oct 19, 172(3): 879-884.

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. Kato S, Shirai Y, Mori S, Kodama T. Enhanced of fluorescent molecules into the lymph node via the lymphatic vessel with nano/micro bubbles and ultrasound. This 8th International Workshop on Biomaterials in Interface Science. Innovative Research for Bioscience-Abiosis Intelligent Interface Summer Seminar 2013. August 29, 30, 2013 Sansa-tei, Zao, Miyagi, Japan [Oral]
2. Shigeki Kato, Yuko Shirai, Shiro Mori, Tetsuya Kodama. Development of a method for doxorubicin delivery through lymphatic vessel into a metastatic lymph node using nano/micro bubbles and ultrasound. The 7th East East Asian Consortium on Biomedical Engineering, 18-20 November, 2013. [Oral]
3. 白井優子, 加藤茂樹, 菅崎弘幸, 森士朗, 小玉哲也
超音波とナノバブルを利用したリンパ節への分子導入法の開発
日本機械学会2013年度年次大会DVD論文集(DVD-ROM No.13-1).
(岡山大学, 2013.9.8-11). [口頭発表]
4. 畠山友梨子, 加藤茂樹, 阪本真弥, 森士朗, 小玉哲也
リンパ行性薬剤送達法におけるリンパ管内の薬剤動態の観察
日本機械学会2013年度年次大会DVD論文集(DVD-ROM No.13-1).
(岡山大学, 2013.9.8-11). [口頭発表]

【受賞・特許等】

受賞日：2013年11月19日

受賞名：Oral presentation award

組織名：The 7th East Asian Consortium on Biomedical Engineering

氏名 兼松 慎一郎



所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・D2

研究課題

2 孔噴射によるスクラムジェット燃焼器内燃料混合促進の数値解析

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度はスクラムジェットエンジン燃焼器内部の流れを想定した、2 孔噴射によるスクラムジェット燃焼器内燃料混合促進の数値解析を行った。現在再使用型宇宙往還機のエンジンである RBCC(Rocket Based Combined Cycle)の開発が行われているが、スクラムジェットエンジンは大気中で機体をマッハ 15 程度まで加速する為に必要不可欠なエンジンである。スクラムジェットエンジンは作動領域が極超音速下にあるためエンジン内部でも気流が超音速を保ち、酸化剤となる大気のエンジン内滞在時間が極めて短くなり、燃焼が困難ということが知られている。そこで研究が必要になるのが、超音速下での燃料と酸化剤の混合促進技術の開発である。燃料噴射方法には様々あるが、今回は壁面噴射を選択した。壁面噴射はエンジン内部に余計な突起物を持たない為、損失や冷却に有利であり、壁面噴射により発生する衝撃波の働きによって、燃料の混合が促進されることが知られている[1]。今回は 2 孔噴射での燃焼器内部の流れについて Large-eddy Simulation を用いて数値解析を行った。対象は主流に対して平行(tandem)に設置したものと、垂直(twin)に設置したものの 2 種類について行った。その結果、双方の噴射において壁面噴射によるバレルショック、マッハディスク等の特徴的な現象を捉えることができた(図 1)。また、燃料濃度分布と、乱流の渦の指標である Q 値を可視化することにより、燃料と酸化剤の混合境界が渦境界と一致していることが確認できた。これにより混合促進と渦構造に関連があることがわかった(図 2)。燃料の 2 次元的な広がりにおいては、可視化結果によると twin がより均一に分布していることがわかった。twin については出口付近で高さ方向への燃料領域の急な成長が見られた。この原因の解明は今後の課題である。また、今回の結果では可視化に頼った考察に止まったが、今後定量的な混合拡散指標により、その度合いを提示する予定である。

今回は twin の噴射孔後部において図 4 に示す様な渦の合流が確認出来た。仮に渦が合流せずに流れた場合と比べると、渦表面積が減少していると考えられるが、これは渦が燃料と酸化剤の混合促進に寄与しているということを前提とすれば、デメリットだと言える。よって、燃料混合促進においてこの部分の物理現象をさらに解析することによって、さらなる混合促進の向上を狙えることがわかった。

今回の解析結果より、今後は噴射孔の配置や数を変えることによる現象の違いを比較することにより、実用化に繋げられるような提案を出来ることが期待でき、その方向で研究を進めるという指針を得ることが出来た。

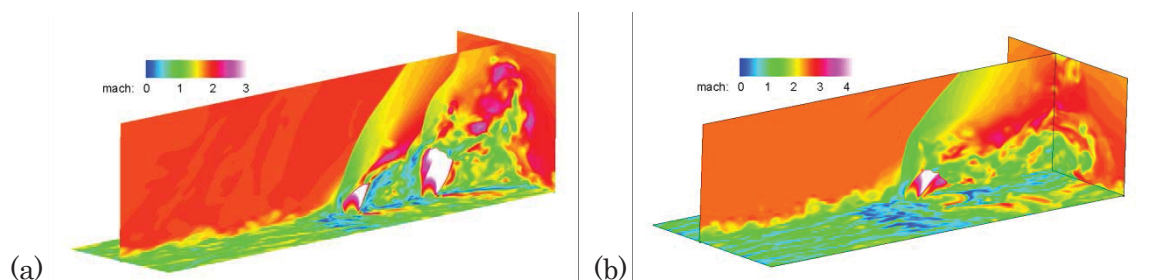


図 1 マッハ数コンター (a)tandem (b)twin

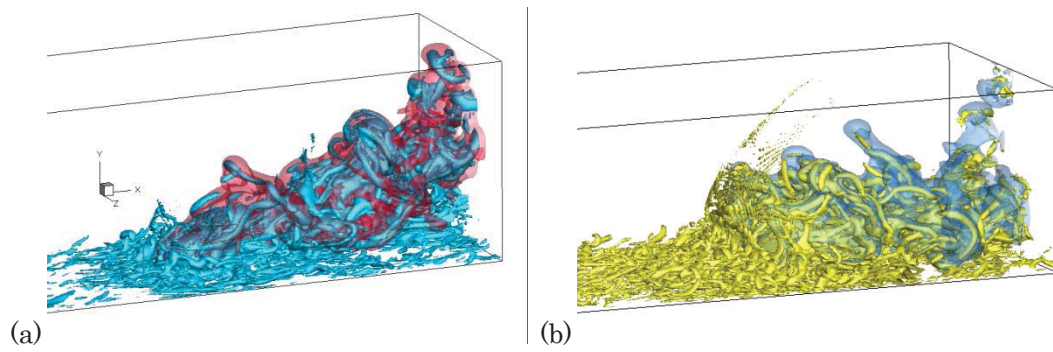


図 2 燃料分布等値面(透過色)と Q 値(非透過色) (a)tandem (b)twin

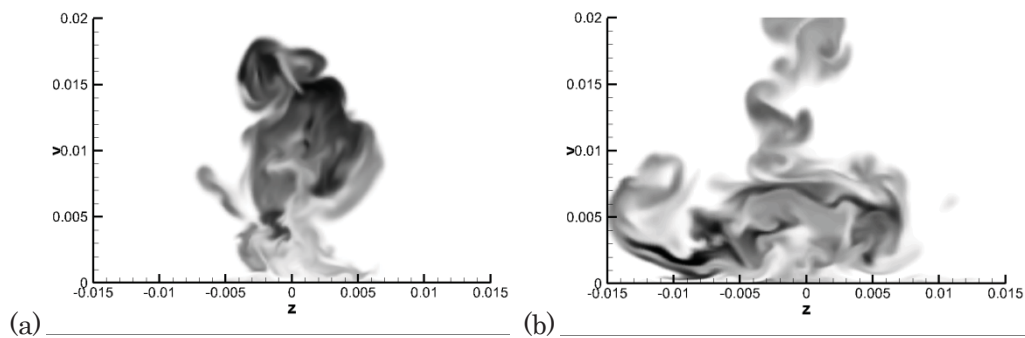


図 3 燃料分布(出口断面) (a)tandem (b)twin

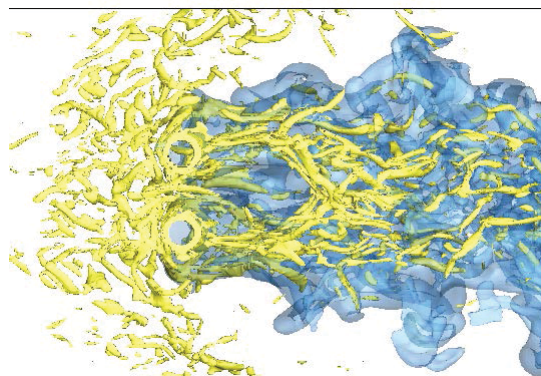


図 4 twin 底面からの Q 値可視化図(黄色)

[1]D.Papamoschou, D. G. Hubaard, and M. Lin, AIAAPaper, 91-1723

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 2種類の2孔噴射法によるスクラムジェット燃焼器内部の燃料混合促進に関する数値解析
主流に対して平行、垂直方向に配置した 2 種類の壁面噴射について、その物理現象と混合促進に与える影響を調べ、スクラムジェットエンジンの効率的な燃料噴射法の提案を目指した数値解析を、Large-Eddy Simulation という先進的な数値解析法を用いて行っている。現在は空気を模擬した解析ではあるが、将来的には燃焼を考慮した解析を行い、実用的なスクラムジェットエンジン開発指針を提案出来るような成果を目指している。



氏名 神田 航希

所属 工学研究科ナノメカニクス専攻・D2

研究課題

補助人工心臓用メカニカルシールの為の接触面設計

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

心疾患を有する患者が心臓移植を受けるまでの”つなぎ”として補助人工心臓が用いられる。補助人工心臓内部には、循環水と血液をシールするためにシートリング（炭化ケイ素：SiC）およびシールリング（樹脂含浸カーボン：C）から構成されるメカニカルシールが搭載されており、システム全体の安定化及び消費電力低減の鍵を握る。また補助人工心臓は患者の体内に留置されるが故に、患者の行動に伴いメカニカルシールのしゅう動面に作用する荷重が変動する。そのため、今年度は血液シール条件下において非常に低く安定した摩擦を高荷重領域においても発現するメカニカルシールの為の接触面設計を行った。

水および血液をシールした際のメカニカルシールの摩擦係数を図 1 に示す。血液をシールした際の摩擦係数は水シール時と比較して高く不安定であることがわかる。しゅう動面において発生する摩擦力は消費電力に直結することから、その安定化が求められる。血液シール下において摩擦試験を行った後のメカニカルシールのしゅう動面に付着したタンパク質の分布を図 2 に示す。図 2 よりしゅう動面はタンパク質からなる膜（タンパクフィルム）に被覆されていることがわかる。タンパク質同士の摩擦係数は水潤滑時の摩擦係数よりも高いことから[1]、しゅう動面に付着したタンパクフィルムにより高く不安定な摩擦係数が発現したと考えられる。したがって血液中において低く安定した摩擦を得るためにはタンパクフィルムの吸着を抑制することが求められる。

しゅう動面におけるタンパク質吸着は化学吸着及び物理吸着が支配すると考えられる。したがって物理吸着の抑制のためにはしゅう動面の平滑化が有効である[2]。また血液に含まれるタンパク質は直接接触部において発生する摩擦熱によって熱変性・凝着することから、しゅう動面における動圧により直接接触を防ぐための表面テクスチャ[3]を導入した。ここで平滑化を容易にするため、炭化ケイ素（SiC）同士からなるメカニカルシールを用いた。初期しゅう動面およびアルミナ粒子を用いたウェットブラスト加工により設けた凹部型表面テクスチャの断面曲線をそれぞれ図 3、図 4 に示す。初期しゅう動面の算術平均粗さは 5 nm と非常に平滑であるのに対し、ウェットブラストを施したしゅう動面上にはマイクロメートルオーダーの幅・ナノメートルオーダーの深さを有する凹部が形成されていることがわかる。

血液シール時におけるメカニカルシールの摩擦特性を図 5 に示す。ここでメカニカルシールのしゅう動面に作用する荷重を 30 秒毎に 0.5 N ずつ増加させ、摩擦力の急増するまでに負荷可能な荷重の最大値をメカニカルシールの許容荷重として定義した。図 5 より表面テクスチャを施していない SiC 同士から構成されるメカニカルシールの許容荷重は 6.0 N を示すことがわかる。これはしゅう動面の平滑さ故にしゅう動面間において凝着が発生し摩擦力が急増したと考えられる。一方、表面テクスチャを創成したメカニカルシールは摩擦係数の急増を 20 N まで発現しなかった。また表面テクスチャの創成により摩擦力が低下していることもわかる。この要因として、しゅう動面上に創成された表面テクスチャによる流体動圧効果[4]の寄与が考えられる。図 6 にテクスチャを創成したメカニカルシールにて血液をシール後のしゅう動面を示す。これよりしゅう動面の凹部の内部にタンパク質が埋没している事がわかる。したがって上述の流体動圧効果による影響のみならず、摩擦係数を増加させうるタンパク質をしゅう動面の直接接触部から排除する貯蔵効果も発現したといえる。

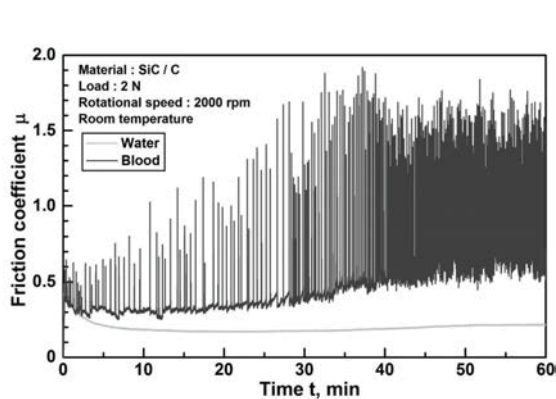


図1 水・血液シール時の摩擦係数

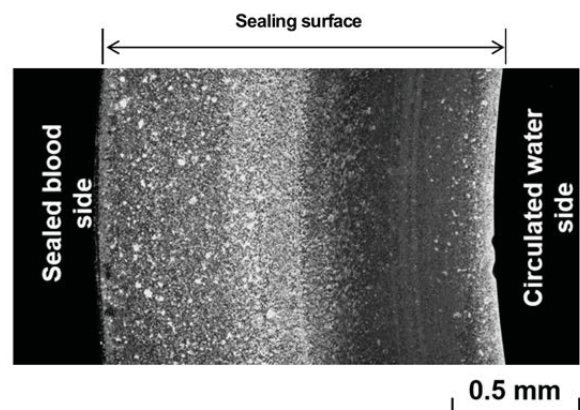


図2 しゅう動面に付着したアルミニウムの分布



図3 初期しゅう動面の断面曲線

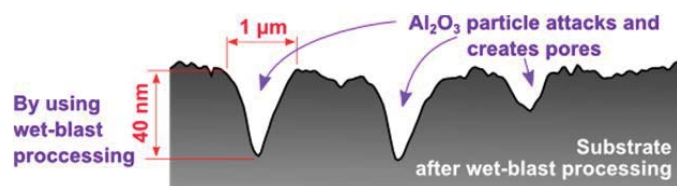


図4 ウェットブラストにより創成された表面テクスチャ

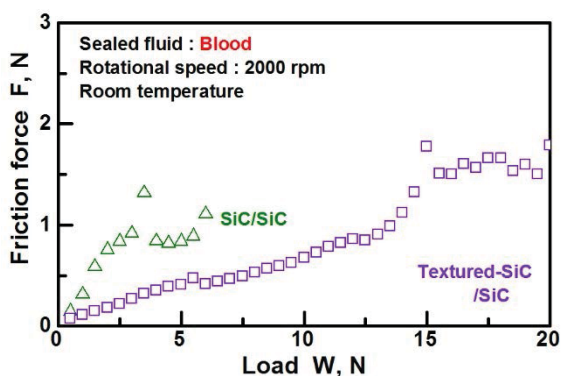


図5 血液シール時のメカニカルシールの摩擦特性

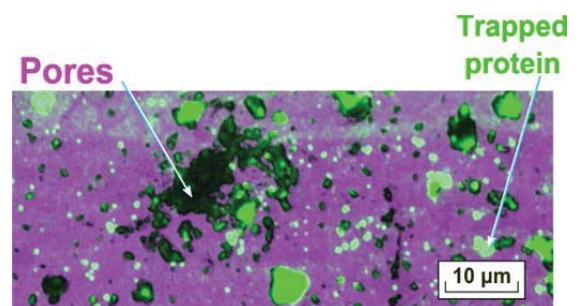


図6 表面テクスチャがタンパク質吸着に及ぼす影響

- [1] J. M. Coles, D. P. Chang, S. Zauscher, Molecular mechanisms of aqueous boundary lubrication by mucinous glycoproteins, Curr. Opin. Colloid Interface Sci., 15, 6 (2010) 406–416.
- [2] K. Rechendorff, M. B. Hovgaard, M. Foss, V. P. Zhdanov, F. Besenbacher, Enhancement of protein adsorption induced by surface roughness., Langmuir, 22, 26 (2006) 10885–10888.
- [3] 梅原徳次, 機械の省エネルギーに貢献する低摩擦化技術, トライボロジスト, 57, 12 (2012) 802–807.
- [4] 足立幸志, トライボロジスト, 2, 5 (2010) 95-100.

平成 25 年度の活動（シンポジウム・国際会議のオーガナイザーを含む）

<国際会議>

名 称：The 10th International Conference on Flow Dynamics

The 9th International Students/Young Birds Seminar on Multi-Scale Flow Dynamics

主催団体：東北大学流体科学研究所

開 催 国：日 本

開催期間：2013.11.25 ～ 2011.11.26

役 割：Co-organizer

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 血液シール時におけるメカニカルシールの摩擦挙動解析

メカニカルシールは血液シール時に周期的な摩擦係数の増減を発現する。そこでシール内側に循環される精製水の圧力に着目し、圧力が摩擦係数の周期性に及ぼす影響から摩擦挙動の解明を試みた。その結果、メカニカルシールのしゅう動面間に浸入したタンパク質がしゅう動面において吸着・脱離を周期的に繰り返すことにより、摩擦係数が周期的に変動することが示唆された。

2. 補助人工心臓用メカニカルシールの血液シール条件下における許容荷重増加

ウェットブラストを用いてメカニカルシールのしゅう動面に凹部テクスチャを創成し、血液シール時における摩擦力の低減および許容荷重の増加に成功した。

3. 水晶発振子マイクロバランス測定法を用いたSiC及びC上におけるタンパク質吸着量の測定

水晶発振子マイクロバランス (QCM) 法はセンサ上に付着したタンパク質の質量を 0.5 ng/cm^2 単位で測定可能である。そこでセンサー上に SiC および C をスパッタにて成膜し、タンパク質の吸着量を測定した。その結果、C 上においてより多くタンパク質が吸着することを明らかにした。

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. 神田航希, 佐藤寛是, 金嶋恵一郎, 宮越貴之, 北野智哉, 金箱秀樹, 足立幸志
補助人工心臓用メカニカルシールの密封特性
トライボロジー会議2013 春 東京
2. 神田航希, 佐藤寛是, 金嶋恵一郎, 宮越貴之, 北野智哉, 金箱秀樹, 足立幸志
血液用メカニカルシールの密封機構
トライボロジー会議2013 秋 福岡
3. Koki Kanda, Hirotsuna Sato, Keiichiro Kaneshima, Takayuki Miyakoshi, Tomoya Kitano, Hideki Kanebako, Koshi Adachi
Sealing Properties of Mechanical Seal for Ventricular Assist Device
World Tribology Congress 2013, Torino, Italy
4. 神田航希, 佐藤寛是, 金嶋恵一郎, 宮越貴之, 北野智哉, 金箱秀樹, 足立幸志
血液用メカニカルシールに発生する摩擦力の安定化に関する研究
第5回マイクロナノ工学シンポジウム, 仙台
5. Koki Kanda, Hirotsuna Sato, Keiichiro Kaneshima, Takayuki Miyakoshi, Tomoya Kitano, Hideki Kanebako, Koshi Adachi
Protein Adsorption onto Silicon Carbide and Carbon
The 5th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology, Busan, Korea

【受賞・特許等】

受賞日：2013 年 5 月 21 日

受賞名：トライボロジー学会学生奨励賞

組織名：日本トライボロジー学会



氏名 許 競翔

所属 工学研究科バイオロボティクス専攻・D2

研究課題

マルチスケールエフェクトを解明可能な原子レベル燃料電池シミュレータの開発

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

固体酸化物形燃料電池(SOFC)は、高い発電効率を実現可能なため次世代発電システムとして期待されている。しかし、SOFC 電極材料は化学・機械現象によって電極構造が変化し、SOFC の耐久性が下がる課題を抱えている。SOFC の迅速な普及のためには、実験研究に加え、計算科学シミュレーションを活用して、化学・機械現象が誘起する劣化機構を解明し、耐久性を向上することが急務である。

本年度は、SOFC の耐久性を向上するために、シンタリングによる電極構造の変化の解明を行った。まず、多孔質構造からの影響を考慮可能な多粒子シンタリングシミュレーション手法の開発が成功にした。そして、その手法を用いて、Ni/YSZ における YSZ 粒子骨格の小さい細孔は Ni 粒子のシンタリングを抑制することを多粒子モデルにより初めて明らかにした。この多粒子シミュレーション手法により、従来不可能であった多孔質におけるシンタリングの解明というブレークスルーを成し遂げた。次は、セラミックスにおけるドーパントがシンタリングに与える影響についての検討を行った。その結果、YSZ 表面よりも ScSZ 表面の方が Ni 粒子を強く吸着するため、Ni/ScSZ はシンタリングが進行しにくいことを上記で開発した多粒子シミュレーション手法を活用することで初めて明らかにした。また、シンタリングと電極反応性の低下の関係を解明するため、水素燃料の吸着サイト(Ni 粒子の表面積)の時間変化を調べた。その結果、シンタリングによって表面積が減少し、その減少量は Ni/ScSZ の方が小さいことが分かった。これは、Ni/ScSZ の方がより電極反応性が低下しにくいことを示している。これより、多孔質構造を考慮したシミュレータを用いることで、シンタリングと電極反応の低下の関係性を明らかにし、燃料極の活性の減少を制御できる可能性を世界で初めて示唆した。

平成 25 年度の活動（シンポジウム・国際会議のオーガナイザーを含む）

＜国際会議＞

名 称：Tenth International Conference on Flow Dynamics

主催団体：東北大学流体科学研究所

開 催 国：日 本

開催期間：2013.11.25 ～ 2013.11.27

役 割：学生・若手研究者情報交換会リーダー

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 多粒子シンタリングシミュレーション手法の開発
2. 多孔質構造がシンタリングに与える影響の解明
3. ドーパントがシンタリングに与える影響の解明

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

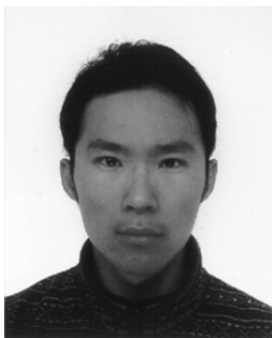
1. Jingxiang Xu, Ryota Sakanoi, Yuji Higuchi, Nobuki Ozawa, Kazuhisa Sato, Toshiyuki Hashida, and Momoji Kubo "Molecular Dynamics Simulation of Ni Nanoparticles Sintering Process in Ni/YSZ Multi-Nanoparticle System" *J. Phys. Chem. C* **2013**, *117*, 9663–9672.
2. Jingxiang Xu, Yuji Higuchi, Nobuki Ozawa, Kazuhisa Sato, Toshiyuki Hashida, and Momoji Kubo "Theoretical Study on the Effect of Three-Dimensional Porous Structure on the Sintering of Nickel Nanoparticles in the Ni/YSZ Anode" *ECS Trans.* **2013**, *57*, 2459-2464.

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. (Oral)Jingxiang Xu, Yuji Higuchi, Nobuki Ozawa, and Momoji Kubo, "Effect of the 3D Porous Structure on the Sintering of Ni Nanoparticles in the Ni/YSZ Anode: A Molecular Dynamics Simulation Study", 2014 TMS Annual Meeting & Exhibition, San Diego, , California, USA (February, 2014).
2. (Oral)Jingxiang Xu, Yuji Higuchi, Nobuki Ozawa, Kazuhisa Sato, Toshiyuki Hashida, and Momoji Kubo, "Theoretical Study on the Effect of Three-Dimensional Porous Structure on the Sintering of Nickel Nanoparticles in the Ni/YSZ Anode", 13th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XIII), OB-36, Okinawa, Japan (October, 2012).
3. (Poster)Jingxiang Xu, Yuji Higuchi, Nobuki Ozawa, Kazuhisa Sato, Toshiyuki Hashida, and Momoji Kubo, "A Multi-Nanoparticle Molecular Dynamics Simulation of the Sintering Process in Porous Material", International Symposium for the 70th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, 3P231, Sendai, Japan (September, 2013).
4. (Oral)許 競翔、樋口 祐次、尾澤 伸樹、島崎 智実、佐藤 一永、橋田 俊之、久保 百司、「固体酸化物形燃料電池のアノードにおけるシンタリングのドーパント種依存性に関する理論研究」、『電気化学会第81回大会』、2G07、関西大学千里山キャンパス、2014年3月
5. (Poster)許 競翔、樋口 祐次、尾澤 伸樹、久保 百司、「分子動力学法を用いたNi/YSZアノードにおけるシンタリング及び誘起する劣化の解析」、『日本コンピュータ化学会2013年秋季年会』、1P16、福岡、2013年10月
6. (Oral)許 競翔、齋藤 慎一郎、樋口 祐次、尾澤 伸樹、久保 百司、「分子動力学法によるニッケル-ジルコニア系サーメット材料におけるドーパントがシンタリングに及ぼす効果の検討」、『第112回触媒討論会』、1J02、秋田、2013年9月
7. (Oral)許 競翔、樋口 祐次、尾澤 伸樹、佐藤 一永、橋田 俊之、久保 百司、「計算科学シミュレーションによるNi/YSZ電極の劣化プロセスの解明」、『日本機械学会2013年度年次大会』、J061012、岡山、2013年9月

【研究費の獲得】

卓越した大学院拠点形成支援 「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」
平成 25 年度優秀研究奨励プログラム 取得



氏名 許 書涵

所属 工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D1

研究課題

積層した金属ワイヤメッシュの熱音響特性の解明

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は、振動流場で積層した金属ワイヤメッシュの流動損失特性に関して実験的に検証した。積層した金属メッシュで構成された蓄熱器は流路が複雑であるため理論的な解析は困難である。これまでに蓄熱器内に温度差がない場合で記述する経験式が 3 種類提案されている。

田中らは、積層ワイヤメッシュの両端での圧力損失測定から、音響レイノルズ数 Re_h と摩擦係数の関係を与える経験式を提案した[1]。上田らは積層ワイヤメッシュにおける小振幅の音波伝搬を実験的に評価し、複雑流路の蓄熱器を一様円管流路の蓄熱器と見なしたときの有効半径 r_0 を与える経験式を、熱音響理論の無次元量 $\omega\tau_v$ に基づいて提案した[2]。しかしこれらの経験式はそれぞれ Re_h と $\omega\tau_v$ という異なる無次元量を使用しており、相互関係は明らかでない。そこで大林は田中と上田の経験式を踏まえ、より広いパラメータ範囲で適用可能な Re_h と $\omega\tau_v$ の両方を含む経験式を提案した[3]。ただし、いずれの経験式も作動流体が大気圧空気に限られており、他の作動流体に対して適用する妥当性があるかが保証されているわけではない。

積層金属メッシュで構成された蓄熱器に温度勾配がないときに生じる粘性抵抗を、多様な作動流体により実験に調べた。周波数 44 Hz の場合に作動流体を変化させて実験を行った結果を図 1 に示す。図 1 の中の三角は積層金属メッシュの測定値であり、その粘性抵抗が流速振幅に依存することが分かった。田中経験式は図 1 に破線として示す。実験結果と比較すると、傾きは一致するものの切片が異なる。上田の経験式は流速振幅依存性を寄与していないので、 $|U|=0$ の位置にダイヤモンドのシンボルで図 1 に示す。測定値と比較すると、測定値を $|U|=0$ に外挿した結果と近く、メッシュ数 100 の場合はせいぜい 6% のずれであったが、小さい流速振幅の場合しか適用できない。実線で示す大林が提案した大気圧空気の経験式と加圧ヘリウム、アルゴンでの実験値を比較したところ、最大のずれは 17% であった。大気圧空気にに対して得られた大林の経験式であるが、異なる作動流体の場合においても適用可能であることがわかった。さらに、積層金属メッシュの周波数依存性を調査するため、同様の実験を 44Hz 以外の周波数でも行った。図 2 に示すように、20、100 と 200 Hz のどの周波数においても、音場の周波数によらずに大林の経験式が適用可能であることが分かった。以上の大林の経験式の通用性を検証することで、金属ワイヤメッシュの流動損失特性は二つ無次元量 Re_h と $\omega\tau_v$ により支配することがわかった。

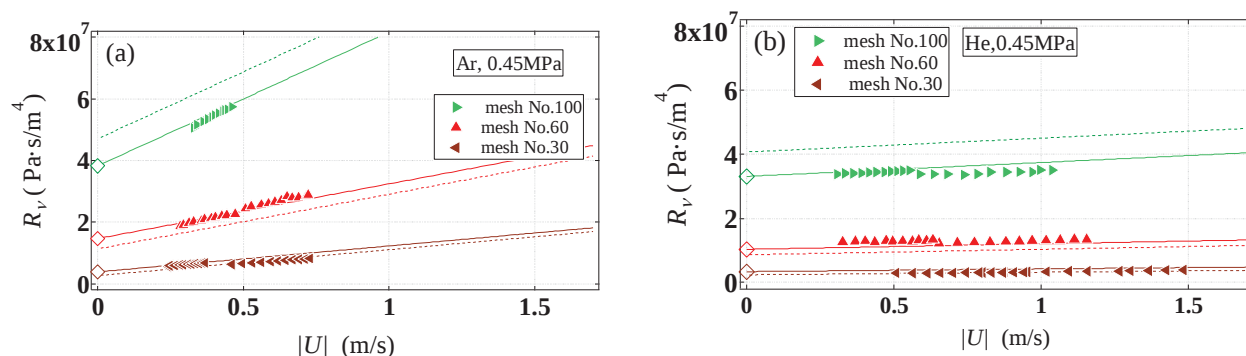


図 1(a) (b) 実験的粘性抵抗 R_v と経験式の比較

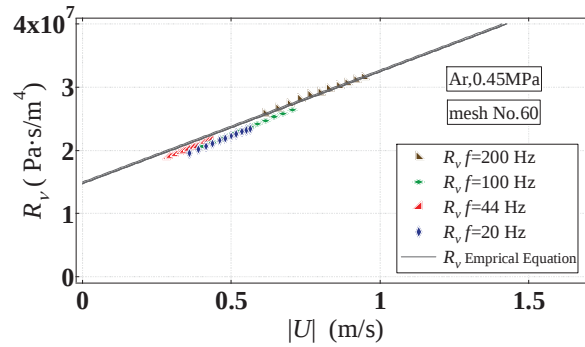


図 2 広い周波数範囲で実験的粘性抵抗 R_v と経験式の比較

- [1] Tanaka, M., Yamashita, I. and Chisaka, F. (1990): “Flow and heat transfer characteristics of the Stirling engine regenerator in an oscillating flow”. *Japan society of mechanical engineers International Journal*, Vol. 33, pp. 283-289.
- [2] Ueda, Y., Kato, T., and Kato, C. (2009): “Experimental evaluation of the acoustic properties of stacked-screen regenerators”. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 125, pp. 780-786.
- [3] Obayashi, A., Hsu, S. H. and Biwa, T. (2012): “Amplitude dependence of thermoacoustic properties of stacked wire meshes”, *Journal of the Cryogenic Society of Japan*, Vol. 47, pp. 562-567. (In Japanese)

平成 25 年度の研究業績

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. Shu han HSU, Tetsushi BIWA
Experiments on thermoacoustic properties of stacked mesh screens
Transaction of 24th International Symposium on Transport Phenomena, (2013), pp.130-132

氏名 久保 徳嗣



所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・D2

研究課題

極超音速航空機・宇宙往還機用空気吸い込み型エンジンにおける
超音速燃焼モードの性能向上に関する研究

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

再使用型宇宙往還機や極超音速航空機の推進機関として有望視されるスクラムジェットエンジンは、燃焼器内に噴射した燃料のエンジン内滞在時間がごく短く、燃料の迅速な混合と燃焼促進技術の開発が重要となる。燃料を効率的に燃焼に導くには、主流空気内への連行作用を伴う大規模混合から、空気/燃料の分子的接触に至るまでを迅速に行うことが必須であり、これには大小様々なスケールを持つ乱流渦の利用が合理的である。一方圧縮性流れでは、亜音速混合層において乱流混合を強く支配する横渦構造の発達が抑制されるため、その影響が緩和される縦渦を利用することが有効となる。

本研究ではこれまで、主流中への強い縦渦導入作用を持つ燃料噴射器について燃焼実験を行ってきた。実験では2種類の噴射器を比較調査している。1つは物理的な圧縮楔部を持つ縦渦導入型燃料噴射器であり（ハイパーミキサー噴射器、図1a参照）、もう一方は圧縮楔部を空力ランプと呼ばれる形態に置き換えた燃料噴射器である（空力ランプ噴射器、図1b参照）。どちらの噴射器においても、低当量比においては火炎が噴射器後端から離れて保炎されるが、高当量比においては噴射器後面の膨張ランプに付着する形態で保炎される。この燃焼形態の違いは推力性能に影響を与える。図2に示すように、推力性能を圧力上昇による推力係数の増分値で評価すると、どちらの噴射器においても高当量比（膨張ランプ面上に火炎が付着した条件）において、推力性能は頭打ちとなる傾向が見られる。その原因は、火炎の直接撮影などから、高当量比では燃焼による背圧上昇に起因して、上流に設置された噴射器周辺の境界層が剥離し、燃料混合が離断層に支配されるためと推測された。

本年度はさらに考察を検証するため、これら2種類の燃料噴射器が作り出す非燃焼混合流れ場に対してシュリーレン撮影を行った。その際、燃焼によって生じる背圧上昇を試験部下流に取り付けたスロットリングバルブの開度を調節することで模擬することにより、燃焼時に生じたであろう流れ場の再現を試みた。図3は背圧上昇を模擬した条件において得られた瞬間シュリーレン写真である。噴射器後面膨張ランプの前縁から剥離剪断層が生じ、同箇所は剥離泡に覆われている様子が確認できる。さらにハイパーミキサー噴射器では剥離剪断層の下部に燃料を噴射しているが、他方、空力ランプ噴射器は剥離直後のまだ薄い剪断層と燃料噴流が重ね合わさっている様子が確認できる。これらシュリーレン撮影の結果より、高当量比側において空力ランプ噴射器がハイパーミキサー噴射器に対して推力性能に勝る原因は、噴射器後面膨張ランプが剥離泡に覆われた流れ場では、ハイパーミキサー噴射器に対して空力ランプ噴射器の方が、剥離剪断層の発達過程においてより早く燃料噴流と剥離剪断層の干渉を生じるためであると考えられる。

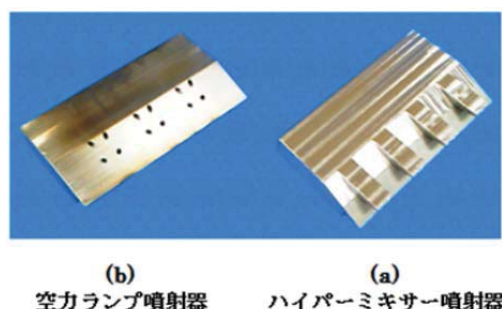


図 1 燃焼実験に用いた燃料噴射器

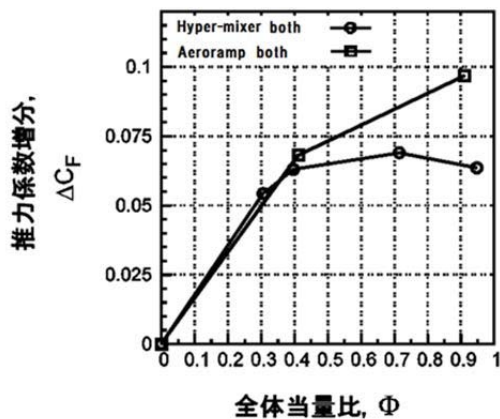


図2 推力係数増分の全体当量比に対する変化

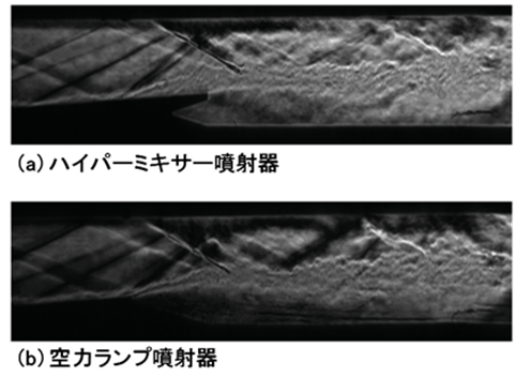


図3 背圧上昇時の流れ場における瞬間シュリーレン写真

平成 25 年度の活動（シンポジウム・国際会議のオーガナイザーを含む）

<国際会議内イベント>

名 称：Students / Young Birds Friendship Night

（within The 10th International Conference on Flow Dynamics）

主催団体：東北大学 流体科学研究所

開 催 国：日 本

開催期間：2013.11.25

役 割：学生・若手研究者情報交換会リーダー

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 超音速混合・燃焼における縦渦導入型燃料噴射器の性能向上に関する研究
スクラムジェットエンジンの推力性能向上を目指し、直結式加熱燃焼風洞による燃焼実験やシュリーレン撮影など実験的なアプローチにより、ハイパーミキサーおよび空力ランプ燃料噴射器の燃料混合性能や燃焼特性の改善に取り組んでいる。

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. Noritsugu Kubo, Atsuo Murakami, Kenji Kudo, Sadatake Tomioka
Comparative Study of Combustion Characteristics of Hyper-Mixer and Aeroramp Injectors for Scramjet Engine
Asian Joint Conference on Propulsion and Power 2014, Jeju Island, Korea（2014.3.5-8, 発表予定）
2. 久保徳嗣, 富岡定毅
M2.5 超音速混合・燃焼における交互ランプ型燃料噴射器へのエアロランプ適用の効果
日本航空宇宙学会北部支部 2014 年講演会ならびに第 15 回再使用型宇宙推進系シンポジウム（2014.3.10-11, 発表予定）



氏名 齋田 匡男

所属 工学研究科バイオロボティクス専攻・D3

研究課題

キャスタ型パッシブ移動ロボットを用いた人間との協調作業に関する研究

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は、物体搬送や歩行支援のように『人間との直接的な接触を前提とした移動を伴う人間支援動作』に着目し、サーボブレーキによりキャスタの運動を制御することで、高い安全性と移動性を有し、かつ、人間の移動や物体搬送を支援することができる移動ロボットプラットフォームを提案することを目的とし、サーボブレーキ制御に基づくキャスタを用いた移動ロボットプラットフォームの提案、運動制御アルゴリズムの構築を行い、シミュレーションと検証実験によりその有効性を示した。

運動制御手法の概念図を図 1 に示す。図 1 における座標軸はそれぞれ、システムに作用する平面 2 自由度の力 (f_x , f_y) とモーメント (n_z) を表わしている。人が操作力 (F_h) を加えると、ブレーキによってシステムに作用させることができる力の集合 (今後、このことをブレーキ力発生可能領域と呼ぶ) は操作力とは反対側に生成される。この限られた領域を考慮した運動制御手法を構築する必要がある。この基本概念を基にサーボブレーキによりキャスタの運動を制御するための解析を行った。具体的には、キャスタに取り付けたサーボブレーキにより発生できるブレーキ力についてシミュレーションにより解析を行った。解析の結果、双輪キャスタの車輪軸にサーボブレーキを取り付けることによって、平面 3 自由度の運動制御に必要なブレーキ力を生成できることを示した。解析結果に基づき、図 2 に示す双輪キャスタの車輪軸にサーボブレーキを取り付けた双輪キャスタ型パッシブユニット及びそのユニットを用いた移動ロボットプラットフォームを提案した。さらに、目的とする機能を実現するためのブレーキ力を導出手法を提案した。また、シミュレーションと検証実験により提案する移動ロボットプラットフォームと運動制御アルゴリズムの有効性を検証した。

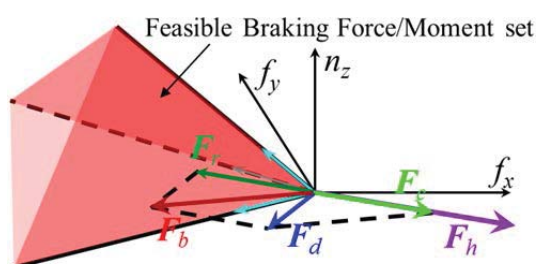


図 1 ブレーキ力発生可能領域に基づく運動制御

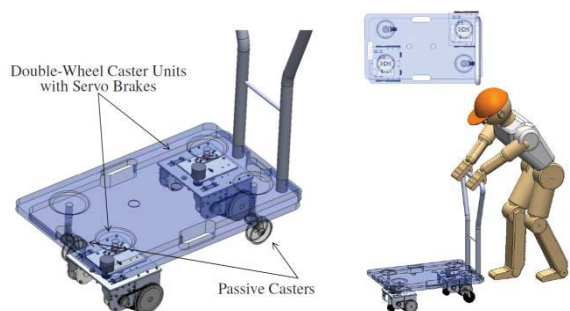


図 2 ブレーキ付き双輪キャスタユニットを用いた移動ロボットプラットフォーム

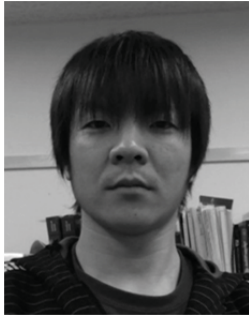
平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. キャスタを用いた移動ロボットプラットフォームにおけるブレーキ力発生可能領域の解析
サーボブレーキによりキャスタの運動を制御するために、キャスタに取り付けたサーボブレーキにより発生できるブレーキ力についてシミュレーションにより解析を行った。
2. サーボブレーキ制御に基づく双輪型キャスタユニットを用いた移動ロボットフォームの提案
ブレーキ力発生可能領域の解析結果を基に、双輪型キャスタユニットを用いた移動ロボットプラットフォームの提案した。
3. 目的の機能を実現するためのブレーキ力決定手法の提案と検証実験
ブレーキ制御に基づいてパッシブ型人間協調システムのための運動制御を実現するためのブレーキ力を導出する手法を提案した。さらに、経路追従制御および斜面上における重力補償制御を例に提案した移動ロボットプラットフォームならびに運動制御アルゴリズムの検証実験を行い、サーボブレーキによりキャスタの運動を制御することによって平面 3 自由度の運動を制御することが可能であることを示した。

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. 齋田匡男, 戸崎祐樹, 平田泰久, 小菅一弘, “ブレーキ制御に基づくパッシブ型人間協調システムのための運動制御アルゴリズム”, 第31回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2013), 2013.



氏名 齋藤 明

所属 工学研究科バイオロボティクス専攻・D1

研究課題

細胞-GUV の電気融合と人工物の導入

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

細胞同士を人為的に融合させ、ハイブリドーマを得る研究は古くから行われてきた。この細胞融合法として Sendai virus や PEG を使う手法が報告されているが、中でも電気融合法は実験時間や細胞への毒性が少ないために高効率かつ安定した結果が得られることで知られている。近年この技術を応用し、細胞膜と似た組成を持つ脂質二重膜小胞(Giant Unilamellar vesicle ; GUV) 同士の融合が行われている[1]。一方で、GUV と細胞を電気融合させ、実際に物質を導入した例やその生存状況は知られていない。

本研究では、GUV と HeLa 細胞を直流パルスによる電気融合法を用いて生細胞内への人工物導入を試みた。その結果、高効率かつ高生存率に人工物を導入することに成功した。

実験方法としては、GUV 内にあらかじめ目的の人工物を Water in emulsion 法[2]によって内包させたものと、トリプシンによってはがした HeLa 細胞を同時に電極チャンバーに投入する。始めは交流電圧によって細胞と GUV を電極板と垂直に並べ、直後に高圧の直流電圧をかける。すると、細胞と GUV の膜の接触面が破断し、GUV 内の人工物が細胞に流入するという仕組みになっている(図 1)。図 2 に、GFP plasmid をあらかじめ GUV に内包させて電気融合法を用いて細胞内に導入させた画像を示す。この画像から、plasmid が導入できていることが明瞭に確認でき、融合後 5 日間培養しても細胞が通常通り増殖している様子が見られた。このことから、この電気融合法は細胞の生存率にほとんど影響しないことがいえる。

この電気融合法により、細胞内にどの程度の大きさまで導入できるかを検証するため、直径 200nm, 500nm, 1μm, 2μm の大きさの蛍光ビーズの導入を試みた(図 3)。図 3 から、1μm までのビーズは細胞内に導入できることが判明し、2μm ビーズは導入された様子は見られなかった。また、各サイズの蛍光ビーズを導入された細胞をフローサイトメーターによって定量的に解析し、導入効率を調べた(図 4)。この図 4 のグラフから、1μm ビーズまでは導入できることが定量的に示された。従来の細胞内導入方法では、エンドサイトーシス、リポフェクション法などがあったが、これらの方法による大きさは数十 nm が限界であった[3]。これらを踏まえると、今回開発した細胞内導入方法は従来よりも巨大な人工物を導入できるようになったことが分かる。さらに、GUV に内包させることができる物質であればどのような物質でも導入でき、かつ細胞の生存率に影響しないことがこの手法の利点であるといえる。

Cell-GUV electron fusion

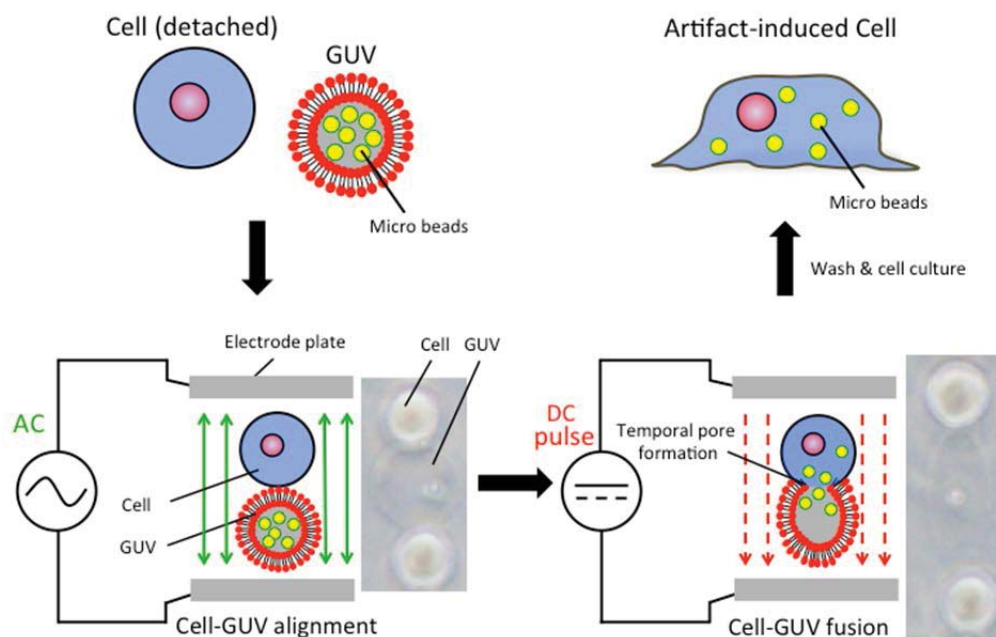


図1 細胞-GUV 融合法の模式図

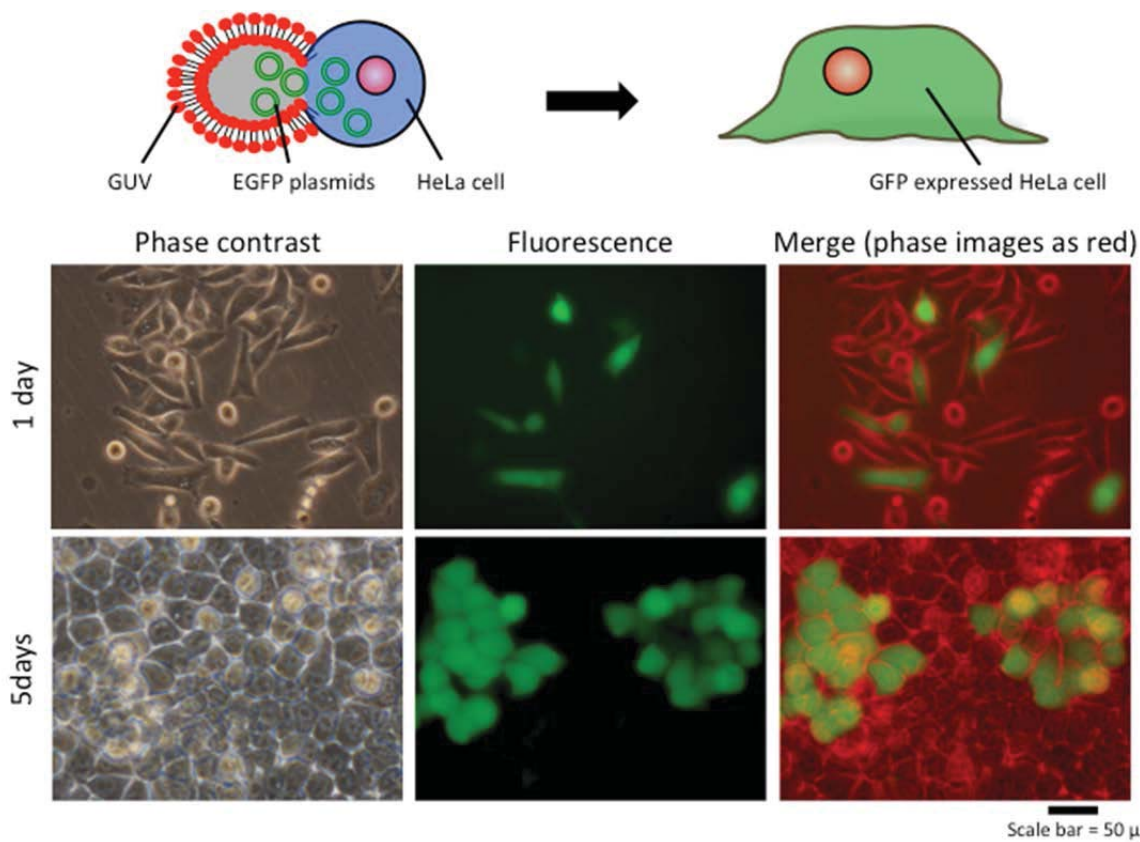


図2 細胞-GUV 電気融合による GFP plasmid の導入と細胞増殖の様子

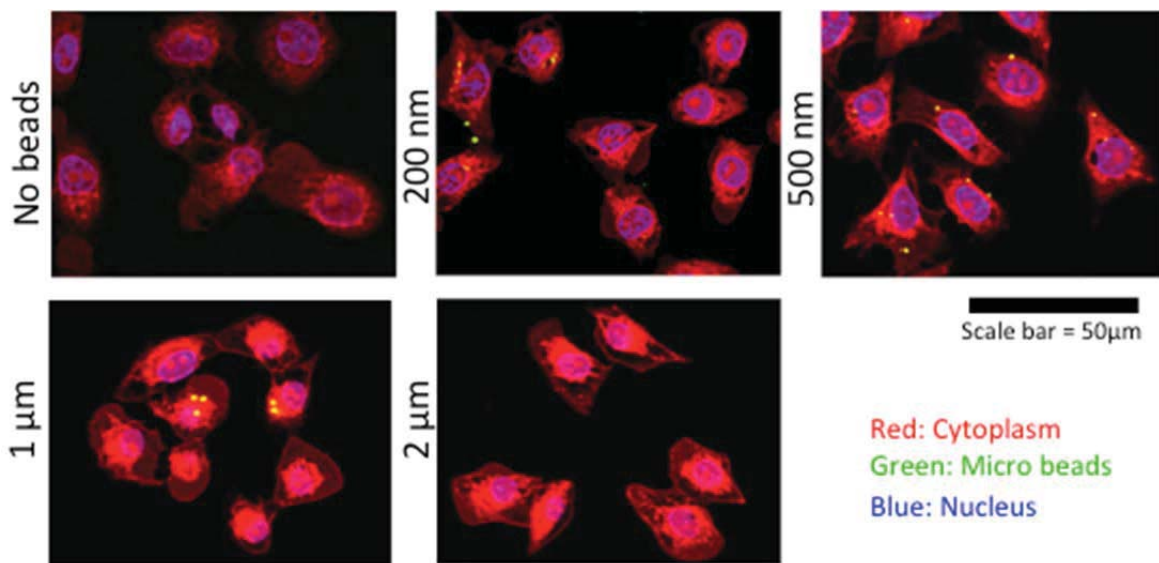


図3 共焦点顕微鏡による各サイズの蛍光ビーズを導入された細胞の蛍光画像

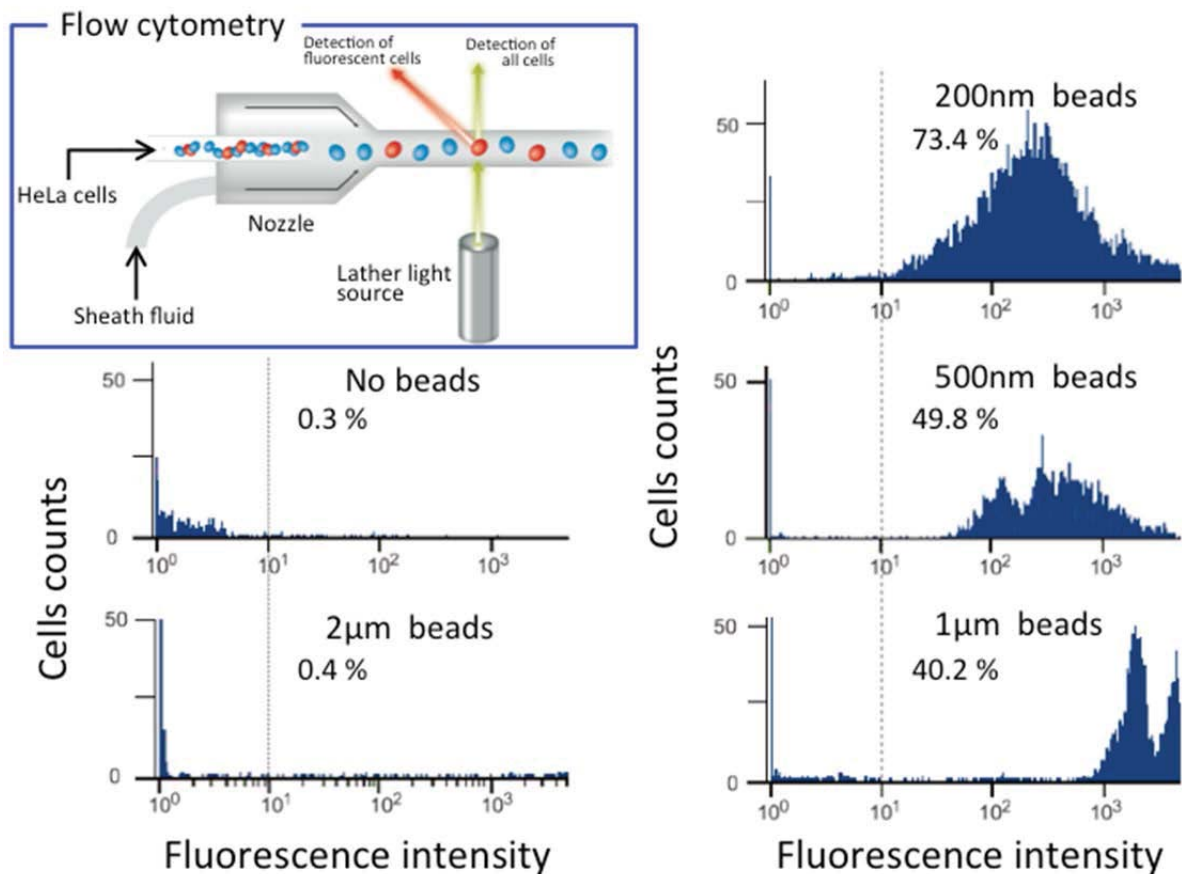


図4 フローサイトメーターによる各サイズの蛍光ビーズの導入効率の測定結果

- [1] Terasawa Hidetoshi, et al., PNAS, VOL 109, 2012
- [2] Pautot S, et al., PNAS, VOL 100, 2003
- [3] Rejman J, et al., Biochem J, VOL 377, 2004

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 細胞と巨大リポソームの融合法の開発
細胞と GUV を電気パルスによって融合させるために、直流、交流の電圧値、負荷時間や、最適な細胞-GUV 融合バッファの調節を行っている。
2. 電気融合法によって導入できる人工物サイズの上限の検証
細胞-GUV 電気融合により内包できる人工物を、どのサイズまで導入できるかを蛍光ビーズを用いて共焦点顕微鏡で観察することにより検証している。
3. 細胞融合の導入効率の検証
フローサイトメーターで融合細胞をレーザー光を使用して計測することにより、電気融合によって人工物を導入できた細胞の割合を調べている。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

1. Akira C. Saito, Tsubasa S. Matsui, Masaaki Sato, Shinji Deguchi
Aligning cells in arbitrary directions on a membrane sheet using locally formed microwrinkles
Biotechnology Letters, Vol.36, Issue 2, pp.391-396 (2014).
2. Shinji Deguchi, Yohei Nagasawa, Akira C. Saito, Tsubasa S. Matsui, Sho Yokoyama, Masaaki Sato
Development of motorized plasma lithography for cell patterning, Biotechnology Letters, in press.

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. Akira C. Saito, Satoshi Murata, Shin-ichiro M. Nomura
Introducing micro size objects into living cells mediated by GUV-cell electrofusion
日本生物物理学会 東北支部会 2013, No. 14 (2013.12.13).

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読あり）】

1. Akira C. Saito, Toshihiko Ogura, Shinichiro M. Nomura
人工物の細胞内導入：生細胞と GUV の電気融合
第 51 回日本生物物理学会年会, 2P217 (2013.10.28-30)
2. 齋藤明, 小椋利彦, 藤原慶, 村田智, 野村 M. 慎一郎
細胞と GUV の電気融合法による人工物導入
「細胞を創る」研究会 6.0, 山形県鶴岡市, 45 頁 (2013.11.14-15)



氏名 佐藤 優

所属 工学研究科量子エネルギー工学専攻・D2

研究課題

東北大学ヘリアック装置における磁気島とポロイダルフローの相互作用

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は TU-Heliac における磁気島とポロイダルフローの相互作用について調査した。結果として、ポロイダルフロー駆動力の違いにより、磁気島がプラズマに与える影響が異なっていることを実験的に明らかにした。この成果は TU-Heliac のみならず炉心クラスの環状磁場閉じ込め装置を含めた磁気島とポロイダルフローの相互作用の理論構築に寄与するものと考えている。以下にその詳細について示す。

プラズマの閉じ込めにおいてポロイダルフローは重要な要素であり、ポロイダルフローの制御手法として磁気島が注目されている。そのためポロイダルフローと磁気島の相互作用を調査する事は重要である。本研究では、小型ヘリアック装置 TU-Heliac において $\rho = 0.5$ に $m = 3$ の磁気島が励起されるよう摂動磁場を印加し、電子温度・密度、ポロイダルフロー速度等のプラズマパラメータに対する磁気島依存性を調査すると共に、磁気島構造が反映する運転条件(注入ガス圧、加熱電力等)についても考察した。

図 1 はマッハプローブで計測したイオン飽和電流比 R_{Mach} ($\propto$ ポロイダルフロー速度)の空間分布を示しており、磁気島を励起した条件(w/ Island)において磁気島構造が現れる事が分かる。TU-Heliac は LaB₆ 製熱陰極を真空容器に対し負バイアスする事により外部からポロイダルフロー制御が可能である。図 2 はこの熱陰極を $\rho = 0 \sim 0.38$ に挿入し、電流値 I_E ($\propto$ 外部駆動力)を時間に対し線形的に増大させた場合の R_{Mach} の空間分布を示している。磁気島を励起した条件は励起していない条件(w/o Island)と比べ、磁気島の内側($80 < Z < 90$ mm)においてポロイダルフローが遅れて増大している。以上の結果は以下に列挙する主張を肯定する結果である。

1. 本実験条件において、外部からポロイダル駆動力を与えていない条件では、ポロイダルフローが磁気島により変化する。
2. 本実験条件において、摂動磁場励起によりプラズマの持つ粘性が増大する。またその変化は磁気島より内側で顕著である。

これらの主張の妥当性を検討するために、次年度はプラズマの磁場閉じ込めの理論を用い評価を行う。

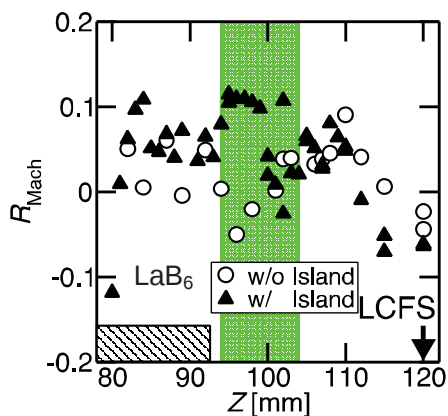


図 1 R_{Mach} の径方向分布

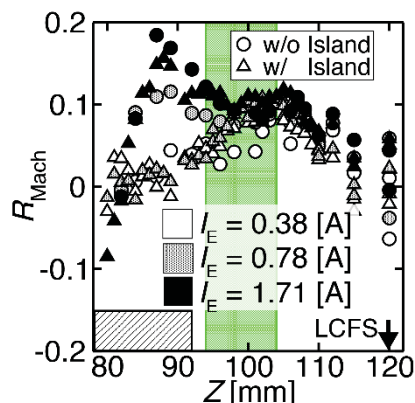


図 2 バイアスを線形的に増大させた条件での R_{Mach} の径方向分布

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

東北大学ヘリアック装置における磁気島とポロイダルフローの相互作用

内容は「平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み」で述べた通りである。

氏名 沈 忠茂



所属 工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D1

研究課題

皿ばねの破面と表面観察と破壊原因把握

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は、設計寿命よりも早く破壊された皿ばね試験片の表面と破面の観察をし、設計寿命よりも早く破壊した原因について調査した。

まず、破壊が生じた原因を把握するため、破壊部分を顕微鏡で観察したところ、破壊が発生した試験片のき裂はすべて下側部分で初期き裂が発生しており、上側部分ではき裂が見られなかった。また、試験片の内側部分と外側部分を観察したところ、両側部分で初期き裂が発生していた。よって、破壊はき裂が両側部分で進展して発生した可能性があると考えられた。この検証を行うためSEMとEDXを用いてき裂部分を観察した。

まずは、初期き裂が発生した可能性がある部分を SEM Image で観察をした。(Fig.1 参照) 初期き裂が発生した個所をポイント 1 とポイント 2 とし、両ポイントを SEM で観察した。(Fig.2 参照) 観察の結果、き裂の形が異なっていたことから、破壊の原因が異なっていると考えた。そこで、ポイント 1 とポイント 2 を比較したところ、ポイント 1 の傷がポイント 2 の傷よりも深くなっており、これはポイント 1 の初期き裂が上下の皿ばねの接触により生じた摩擦が原因で深くなったと考えられた。一方、ポイント 2 のき裂を見ると、き裂が皿ばねの内部まで進展していた。ポイント 1 の初期き裂のように接触による傷があるにも関わらずき裂の形が異なっていることから、この部分は摩擦の影響ではなく皿ばねの接触面された部分での応力集中による破壊であると考えられた。よって、破壊の要因はき裂の接触部分での摩擦により発生しているものと、応力集中による疲労によるものの 2 つの要因があると考えることができた。

次に破壊の原因をより詳しく調べるため、EDX を用いて再度き裂の観察を行った。まず、ポイント 1 の破面を EDX で観察したところ、穴があいており、その内部に酸化物が集中していたため、穴内部での腐食によりき裂が早く進展した可能性があると考えることができた。(Fig.3 参照) 次に、ポイント 1 の表面を EDX で観察した。(Fig.4 参照) 表面上の部分的に削られた場所 (Fig.4(b)) では穴と同様に酸化物が集まっていたことから、穴がない場合は表面の削られた場所 (Fig.4(b)) にき裂が発生する可能性が高いと考えることができた。

最後に、疲労荷重による試験片の機械的特性の変化を確認するため硬さ試験も実施した。その結果、実験後の試験片の硬さが、未実験の皿ばねの硬さより少し減少した事実を確認した。

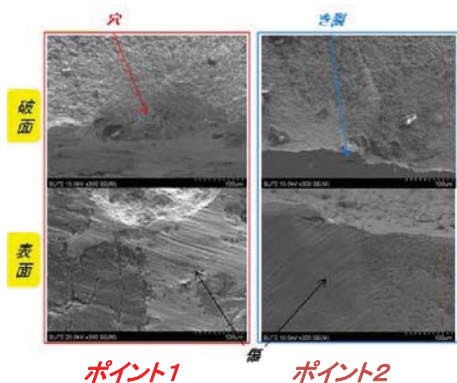


Fig.1 SEM images for surface and fracture surface of places

Table1. Information from crack initiation point of each sample

	破壊発生推測位置	接触	観察
1	内側 下側(concave)	面接触	傷、穴発生
2	外側 下側(concave)	線接触	傷、き裂発生

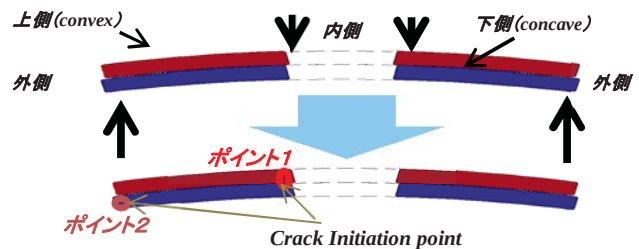
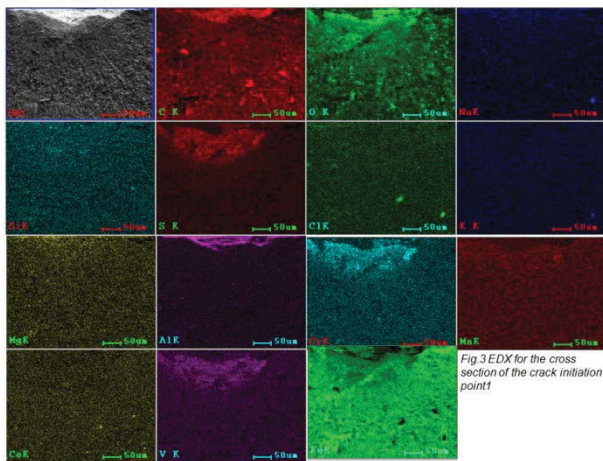


Fig.2 . Crack Initiation point on cross section of sample

ポイント1の破面



ポイント1の表面

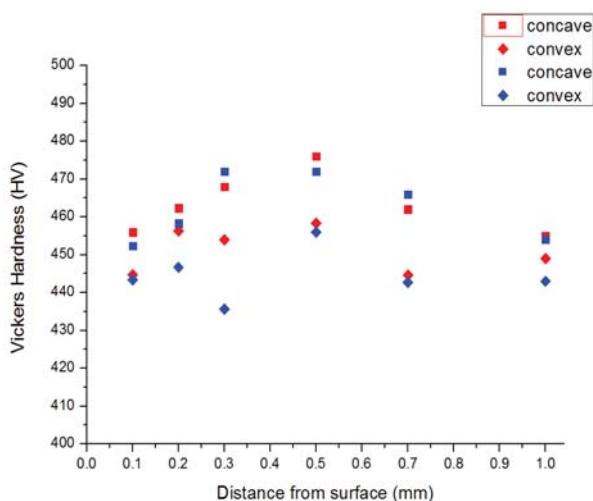
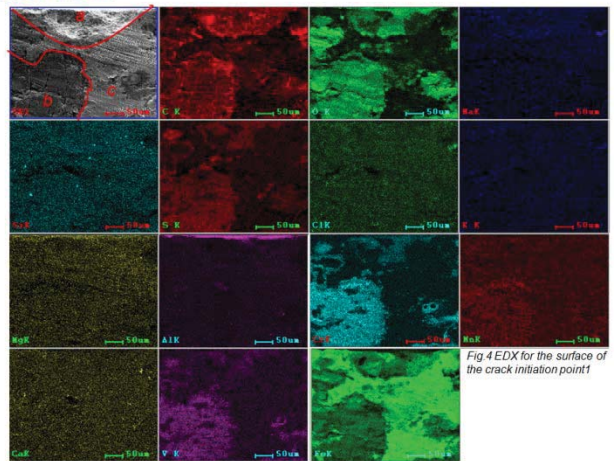


Fig.6 Data of Vickers hardness test with samples of (a) As received and (b) After experiment

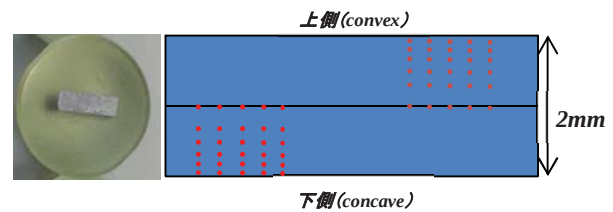


Fig.5 places of points on the cross section of the sample with hardness test

As received		After experiment	
表面からの距離(mm) (下側concave)	硬さ(HV)	表面からの距離(mm) (下側concave)	硬さ(HV)
0.1	456	0.1	452
0.2	462	0.2	458
0.3	468	0.3	472
0.5	476	0.5	472
0.7	462	0.7	466
1	455	1	454
表面からの距離(mm) (上側convex)	硬さ(HV)	表面からの距離(mm) (上側convex)	硬さ(HV)
0.1	444	0.1	443
0.2	456	0.2	446
0.3	454	0.3	435
0.5	458	0.5	456
0.7	444	0.7	442
1	449	1	443

(a)

(b)

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 皿ばねの折損メカニズムの解明をするためにその他の環境条件および皿ばねの配列条件で圧縮実験を行って設計寿命より早く破壊が発生した原因の解明を行っている。
2. 環境疲労メカニズム解明と評価方法高度化のため環境中と大気中でき裂進展速度を判断し、大気中で行った実験データから環境中の結果を予想し、き裂先端ひずみ速度に着目した時空間解析により調査を行っている。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

1. J. H. Lee, C. M. Shim, B. S. Lee, Graphene in Edge-Carboxylated Graphite by Ball Milling and Analyses Using Finite Element Method, *International Journal of Materials Science and Applications*. Vol. 2, No. 6, 2013, pp. 209-220

氏名 杉村 伸雄



所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・D1

研究課題

フライトデータに基づく姿勢制御システムの評価と高精度ポインティング技術の開発

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

50kg 級の超小型人工衛星 RISING-2 のフライトデータ取得を目指し、姿勢制御系に関して、打ち上げ前の評価を行ってきた。特に、姿勢制御において、高精度な指向制御で重要となる恒星センサの屋内での試験環境の構築および追評価、昨年度行ってきた姿勢制御評価を本研究室で開発中のリアルタイム OS を搭載した計算機および宇宙環境を模擬したソフトウェアモデルから成る姿勢制御シミュレータと、恒星センサ試験環境を使って実施した。今回、評価にはフライトモデル(FM)と同等品であるエンジニアリングモデル(EM)を使用した。

図 1 に構築した恒星センサ試験環境を示す。実際の恒星のパターンを模擬したものを映し出し、それを恒星センサで撮影して、星のパターンに応じた姿勢を検出する。しかし、今回、構築した試験環境では、センサ固定が不十分であり、センサの取り付け誤差が残った状態である。今後、試験環境の整備を進める必要がある。現状の評価として、恒星センサを使って、夜空の星を撮影し、パターンがマッチすることを改めて確認し、アルゴリズムの有効性を検証した。その後、撮影した星のパターンと類似する画像を、スターカタログをもとに、PC で作成し、PC 内でパターンマッチングできることを確認した。そして、任意の赤緯および赤経の星パターン画像を作り、そのパターンから得られる姿勢が想定される値と一致することを確認し、星パターンの表示が正しいことを確認した。その後、星をモニタに映し、それを恒星センサで撮影し、搭載オンボードコンピュータで姿勢の検出を行った。従来の搭載プログラムでは想定した姿勢が検出できていなかったが、計算方法に修正を加えることで、センサ取り付け誤差の影響は残るものの想定した姿勢を検出することが確認できた。



図 1 恒星センサ試験環境

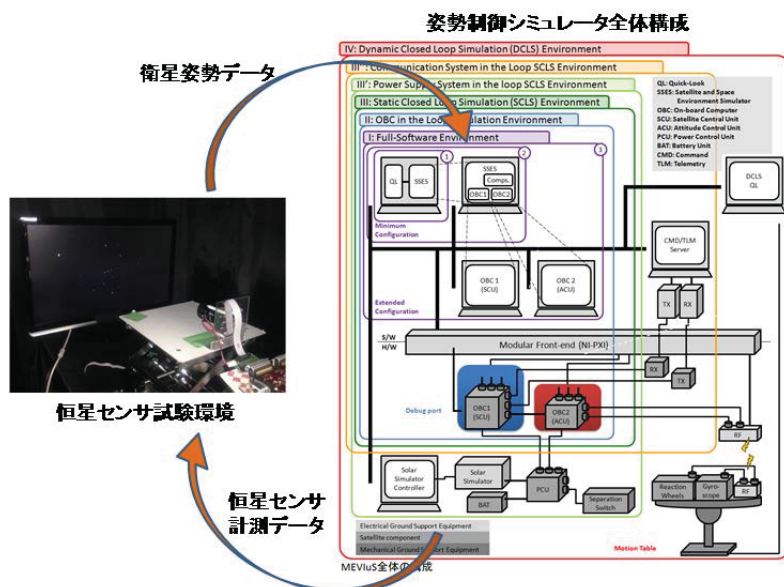
表 1 夜空観測と生成画像解析の比較

	赤経[deg]	赤緯[deg]	回転角[deg]
夜空観測	298.0849	25.1717	45.0968
生成画像	298.0359	25.1977	45.2257
誤差	-0.0490	0.0260	0.1289

表 2 夜空観測と室内測定の比較

	赤経[deg]	赤緯[deg]	回転角[deg]
夜空観測	298.0849	25.1717	45.0968
測定結果	297.9279	25.6494	43.5818
誤差	-0.1570	0.4777	-1.5150

次に、姿勢制御シミュレータと恒星センサ試験環境を統合し、衛星の実運用を模擬して姿勢制御シミュレーションを実施した。恒星センサ試験装置のモニタの表示は、姿勢制御シミュレータから送信される衛星の角速度に応じて、星のパターンが変化する仕組みとなっており、恒星センサで姿勢を検出する。昨年度までは、姿勢情報は、シミュレータで計算した値にセンサノイズ等を付加した値を使用していたが、恒星センサ試験装置を統合することで、センサの検出エラーやシステム全体の遅延などソフトウェアでは再現しにくいものが、実環境に近い状態でシミュレーションが可能となった。



また、リアルタイムシミュレーションを実施することで、衛星打ち上げ後の実運用で想定される運用手順の確認および修正ができるようになり、実運用に備えた運用プラン作成が容易となった。恒星センサは太陽光や地球の反射光を避けて使用する必要があり、軌道上では使用できる範囲が限られる。特に、日照時は、太陽光の影響が大きく、任意の姿勢から恒星センサで姿勢決定を行い、地心方向に指向させた場合、うまく姿勢を検出できずに指向できない状況に陥る可能性があることがシミュレーションで確認できた。そのため、**RISING-2** では、恒星センサを使った姿勢決定を行う前に、磁気センサと太陽センサを使った姿勢決定を行い、衛星を地心方向に指向させ、姿勢を安定させる。この姿勢決定は、恒星センサに比べ、精度は劣るが、太陽センサの使用できる日照時であれば、常に姿勢決定可能であるため、指向できない状況に陥ることはない。**RISING-2** の設計上、想定される軌道に投入された場合、地心指向状態で恒星センサに光が入らない設計となっているため、日照時は磁気センサと太陽センサで地心指向を行ったのちに、恒星センサで姿勢決定を行い、指向精度を向上させる方針である。図 2 に地心指向時の角度エラー、図 3 に地心指向時の角速度エラーのシミュレーション結果を示す。このシミュレーションでは、最初に磁気センサと太陽センサで姿勢決定を行い、姿勢を制御している。このときの角度エラーは 4deg 程度という結果が得られた。その後、恒星センサでの姿勢決定に切り替えたところ、角度エラーは 1 度未満となった。角速度エラーを見ると、どちらの姿勢決定方法でも姿勢が安定していると言える。

この結果から、軌道上で正常に姿勢決定ができれば、制御により安定した姿勢とある程度の指向性を持って観測が可能となる。

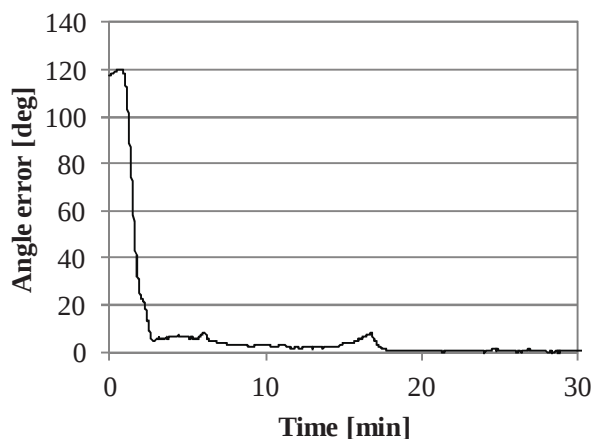


図 2 地心方向からの角度エラー

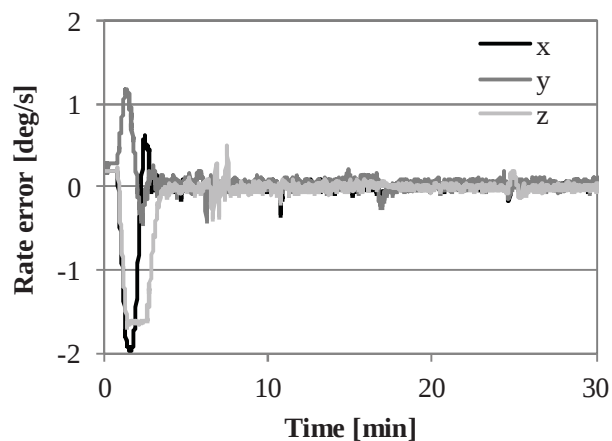


図 3 角速度エラー

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 小型恒星センサの評価試験環境の構築
モニタに星のパターンを表示したものを恒星センサで撮影し、そのパターンから姿勢を検出するシステムを構築している。姿勢制御シミュレータと統合することで恒星センサを使った姿勢制御シミュレーションを行うことができる。このシステムを利用して、実機ベースでパターンマッチングや姿勢検出のアルゴリズムの検証を行っている。
2. 超小型衛星 RISING-2 のフライトデータ取得に向けた姿勢制御系に関する地上評価
姿勢制御シミュレータと衛星搭載ハードウェアを使って Hardware in the Loop 環境を構築し、衛星打ち上げ前の姿勢制御系の評価を行っている。また、運用手順の構築、故障モード解析を実施している。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

1. Nobuo Sugimura, Kazufumi Fukuda, Yoshihiro Tomioka, Masato Fukuyama, Yuji Sakamoto, Toshinori Kuwahara, Tetuya Fukuhara, Kazuya Yoshida, Yukihiro Takahashi, “Ground test of attitude control system for micro satellite RISING-2”, System Integration (SII), 2012 IEEE/SICE International Symposium on 16-18 Dec. 2012, pp301-306
2. Toshinori Kuwahara, Yoshihiro Tomioka, Kazufumi Fukuda, Nobuo Sugimura, Yuji Sakamoto, “Radiation Effect Mitigation Methods for Electronic Systems”, System Integration (SII), 2012 IEEE/SICE International Symposium on 16-18 Dec. 2012, pp307-312
3. Toshinori Kuwahara, Kazuya Yoshida, Yuji Sakamoto, Yoshihiro Tomioka, Kazufumi Fukuda, Masato Fukuyama, Nobuo Sugimura, Hiroo Kunimori, Hideki Takenaka, Morio Toyoshima, Tetsuharu Fuse, “Satellite-to-ground optical communication system on Low Earth Orbit micro-satellite RISESAT” System Integration (SII), 2012 IEEE/SICE International Symposium on 16-18 Dec. 2012, pp 939 – 944
4. Nobuo Sugimura, Kazufumi Fukuda, Masato Fukuyama, Yoshihiro Tomioka, Toshinori Kuwahara, Yuji Sakamoto, Kazuya Yoshida, Yukihiro Takahashi, “Attitude control for Earth observation microsatellite RISING-2”, 9th International Symposium of the International Academy of Astronautics (IAA) symposium on small satellites for Earth observation, IAA-B9-0603, 8-12 April, 2013, Berlin, Germany
5. Yuji Sakamoto, Yuta Tanabe, Hitoshi Yagisawa, Nobuo Sugimura, Kazuya Yoshida, Masanori Nishio, Tomoyuki Nakajo, Hiroaki Akiyama, “Operation Results of Cubesat RAIKO Released from International Space Station”, the 29th International Symposium on Space Technology and Science, 2013-f-13, 2-9, June, 2013, Nagoya, Japan
6. Kazufumi Fukuda, Toshinori Kuwahara, Yoshihiro Tomioka, Nobuo Sugimura, Kazuya Yoshida, “Dynamic Test Table with Spherical Air Bearing for Microsatellite”, the 29th International Symposium on Space Technology and Science, 2013-f-32, 2-9, June, 2013, Nagoya, Japan
7. Yoshihiro Tomioka, Kazuya Yoshida, Yuji Sakamoto, Toshinori Kuwahara, Kazufumi Fukuda, Nobuo Sugimura, “Establishment of the Ground Testing Environment for Verification and Integration of Micro-satellite”, the 29th International Symposium on Space Technology and Science, 2013-f-35, 2-9, June, 2013, Nagoya, Japan
8. Toshinori Kuwahara, Kazuya Yoshida, Yuji Sakamoto, Yoshihiro Tomioka, Kazufumi Fukuda, Nobuo Sugimura, Junichi Kurihara, Tetsuya Fukuhara, Yukihiro Takahashi, “Constellation of Earth Observation Micro-satellites with Multi-spectral High-resolution Telescopes”, The Small Satellite Conference, SSC13-IV-7, 12-15, August, 2013, Utah, USA

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. Hitoshi Yagisawa, Yuji Sakamoto, Yuta Tanabe, Nobuo Sugimura, Toshinori Kuwahara, Kazuya Yoshida, “System Description and Result of Ground Test for Cubesat RAIKO,” Proceedings of the UN/Japan Workshop and The 4th Nanosatellite Symposium (NSS), Nagoya, Japan, Oct. 10-13, 2012, paper: NSS-04-0310

2. 富岡義弘, 福田和史, 杉村伸雄, 福山雅人, 桑原聡文, 坂本祐二, 吉田和哉, “次世代型超小型人工衛星の低コスト短期開発手法及びその支援環境の構築”, 第 55 回宇宙科学技術連合講演会, 松山, 2011.11.30
3. 桑原聡文, 坂本祐二, 吉田和哉, 富岡義弘, 福田和史, 杉村伸雄, 福山雅人, 澁谷吉彦, “超小型人工衛星 RISESAT の姿勢制御系開発/評価環境”, 第 20 回スペース・エンジニアリング・コンファレンス, 仙台, 2012.1.26
4. 坂本祐二, 田邊勇太, 八木澤仁史, 杉村伸雄, 吉田和哉, 秋山演亮, “国際宇宙ステーション放出キューブサット RAIKO の開発および運用成果”, 第 56 回宇宙科学技術連合講演会, 別府, 2012.11.20-22

【受賞・特許等】

年 月 日 : 2013 年 3 月 27 日

受 賞 名 : 日本機械学会三浦賞

組 織 名 : 日本機械学会

年 月 日 : 2013 年 4 月 12 日

受 賞 名 : HONORABLE MENTION

組 織 名 : 9th IAA symposium small satellite for Earth observation(STUDENT CONFERENCE)

【研究費の獲得】

名称 : 日本学術振興会特別研究員奨励費

期間 : 2014 年度 - 2015 年度

【マスコミ発表等】

名称(**新聞等) : 朝日新聞

期間(年.月.日) : 2013 年 2 月 8 日

内容 : ”人工衛星, 生きた教材” の記事の中で紹介



氏名 鈴木 慎治

所属 工学研究科バイオロボティクス専攻・D3

研究課題

協調型歩行支援システムの運動制御に関する研究

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は高齢者や身体障害者の歩行動作を支援することを目的として Spring-Mass モデルに基づく装着型歩行支援システムの運動制御手法を提案し、健常者を被験者とした実験を通じて提案した手法の有効性を検討した。

Spring-Mass モデルとは、人体の質量中心を質点として質点と地面と接地している脚の足裏の圧力中心との間を質量を持たないバネによって接続することで人体を近似したモデルであり、本モデルを用いることによってコンピュータ上で人間の歩行動作、すなわち両脚支持期と単脚支持期を交互に繰り返す動作を再現できることが報告されている（図 1）。本研究では、健常者 8 名の人体を Spring-Mass モデルを用いて近似し、歩行動作の計測を行うことで、歩行速度に応じて歩行動作を行うために重要なパラメータが変化することが分かった（図 2、図 3、図 4、図 5）。図 2 は歩行速度に対する脚部のバネ剛性、図 3 は歩行速度に対する単脚支持期から両脚支持期に遷移するときのバネと地面とのなす接地角度、図 4 は歩行速度に対する遊脚期の時間、図 5 は遊脚期における質点から見た足関節の位置を表す質点と足関節を結ぶ線分と地面とのなす角度の離地時の角度からの変化量とその線分の長さの軌跡を示している。図 2、図 3、図 4 から、歩行速度とそれぞれのパラメータがほぼ比例関係にあることが分かった。また、図 5 から歩行速度に応じて離地時を基準とした線分と地面とのなす角度は変化するが、線分の長さについては歩行速度によってほぼ変化しないことが分かった。そして、これらの結果に基づき歩行時における立脚期及び遊脚期の動作を支援する手法を提案した。

立脚期の動作支援手法では、Spring-Mass モデルに基づき脚部のバネ剛性とバネの長さから計算される人間の脚部の弾性力によって質点に加えられる力の一部を装着型歩行支援システムによって補償することで立脚期において使用者の脚部の負担を軽減する手法を提案した。本手法では、図 2 に示した計測結果が比例関係にあることから、計測結果を最小二乗法を用いた直線によって近似し、それによって歩行速度から脚部のバネ剛性を求めることとした。求まった脚部のバネ剛性を用いることで人間の脚部の弾性力によって質点に加えられる力を導出することができ、導出した力の一部を装着型歩行支援システム

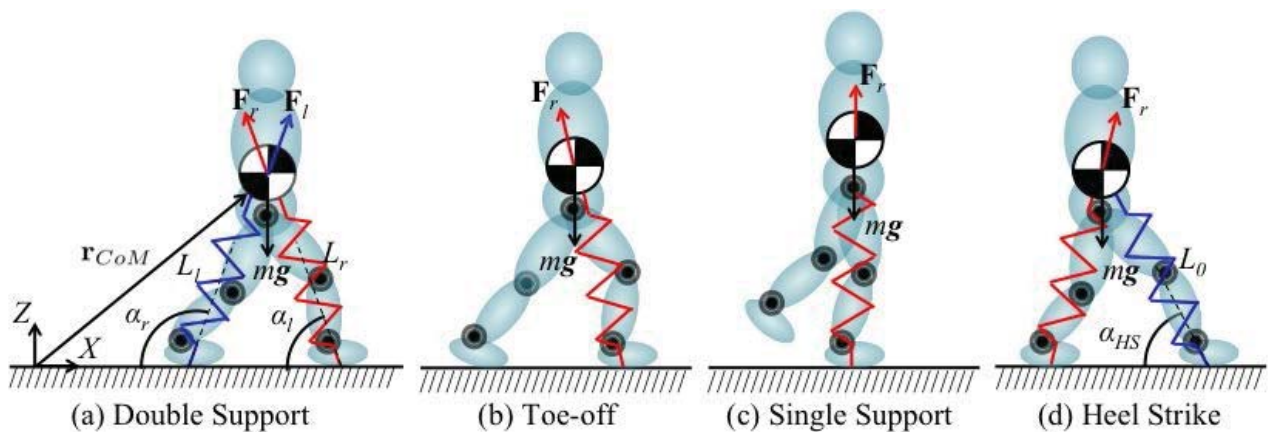


図 1 Spring-Mass モデルを用いた歩行動作時の人体の近似

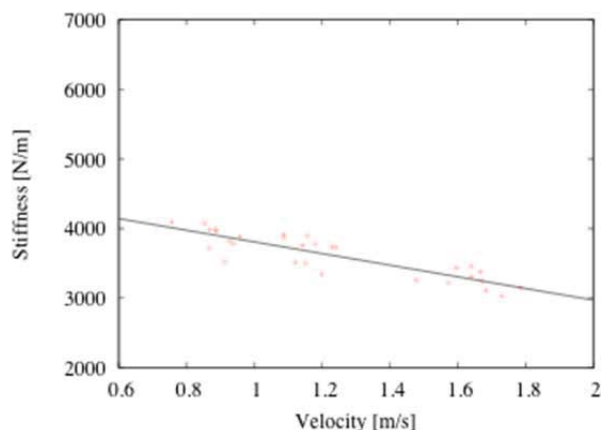


図 2 脚部のバネ剛性

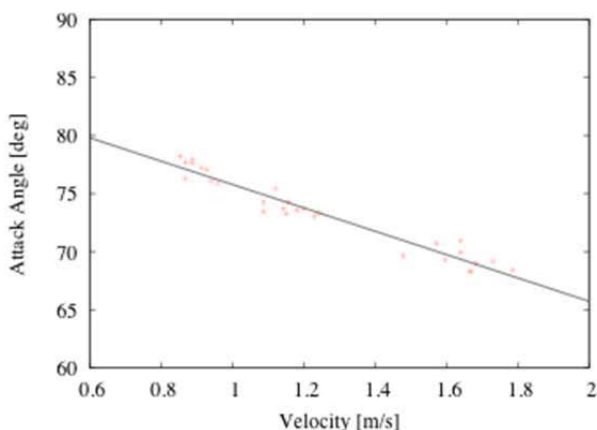


図 3 接地角度

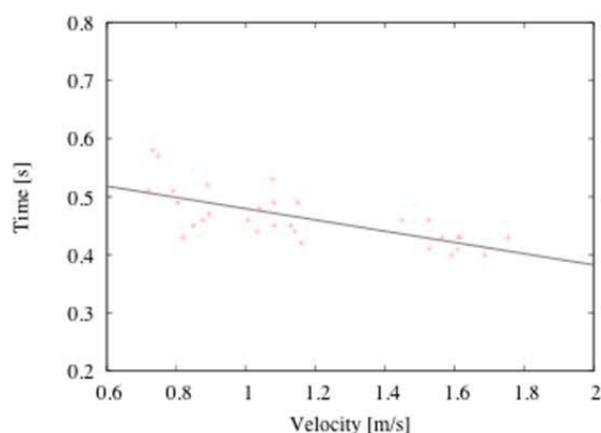


図 4 遊脚期の時間

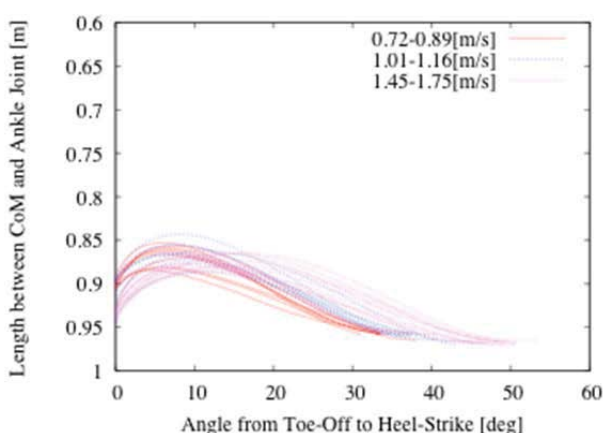


図 5 遊脚期の脚部の動作

の脚部の各関節に取り付けられたアクチュエータによって出力することで歩行時に質点に加わる力が使用者の脚部と支援システムの合力となるため、使用者の脚部の筋負担を軽減することができる。

遊脚期の動作支援手法では、力センサレスインピーダンス制御を用いた軌道追従手法によって遊脚期における使用者の脚部の動作を補助する手法を提案した。本手法では、図 5 に示した計測結果から歩行速度の影響によって変化する離地時の角度を基準とした線分と地面とのなす角度を無次元化し、その結果を最小二乗法を用いた三次関数によって近似することで参照経路を決定した。そして、図 3、図 4 に示した結果を直線で近似することで歩行速度から接地角度と遊脚期の時間を求め、求めた接地角度を用いて参照経路を変形することで歩行速度に応じた目標経路を生成し、求めた時間を用いて目標経路を目標軌道へと変換することで遊脚期における目標軌道を生成した。生成した目標軌道を追従するように装着型歩行支援システムの各関節のアクチュエータを力センサレスインピーダンス制御に基づき制御することで使用者の随意運動による追従誤差を許容しながら遊脚期の動作を補助することができる。

提案した手法の有効性を検証するために、健常者を被験者として実験を行った。本実験では、トレッドミル上を被験者が歩行することで歩行速度を一定とした。提案した手法の有効性は被験者の大腿直筋と大腿二頭筋の表面筋電位を計測することで検証しており、提案した手法を用いることで図 6 に示すように被験者の脚部の負担を軽減できることを確認した。

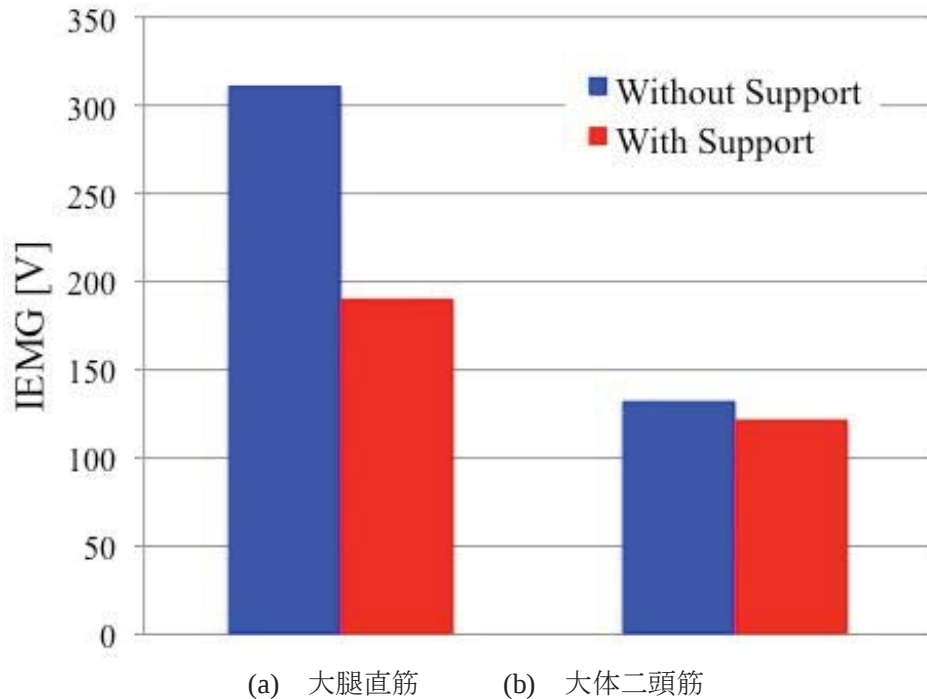


図 6 積分筋電位

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

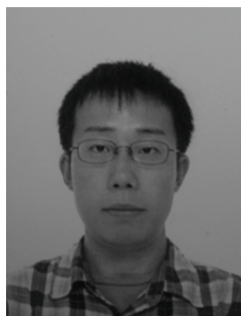
1. Spring-Massモデルに基づく立脚期の動作支援手法

Spring-Mass モデルに基づき健常者の立脚期の動作を支援する手法として、人間が脚部で発生する力の一部を装着型歩行支援システムで補償することで立脚期において使用者の脚部の負担を軽減する手法を提案した。本手法を実現するために装着型歩行支援システムによって質点に加えられる力から各関節のアクチュエータの出力トルクを仮想仕事の原理に基づき導出している。

2. Spring-Massモデルを考慮した遊脚期の動作支援手法

Spring-Mass モデルを用いた人間の歩行動作の再現において単脚支持期から両脚支持期への遷移時における接地角度の値が重要であるため、接地時における角度を制御するために遊脚期における質点から見た足関節の位置を表す質点と足関節を結ぶ線分と地面とのなす角度とその線分の長さに着目して遊脚期の目標軌道を生成する手法を提案した。本手法では使用者の随意運動を許容しながら生成された目標軌道に追従するために装着型歩行支援システムの各関節のアクチュエータの出力トルクを力センサレスインピーダンス制御に基づき導出している。

氏名 副島 光洋



所属 工学研究科航空宇宙工学工学専攻・D1

研究課題

炭化水素燃料を適用した宇宙輸送用推進システムに関する基礎的研究

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本研究では、宇宙輸送機の推進システムに炭化水素燃料を適用することを目指し、これまでにエンジンのシステム解析などを行ってきた。平成 25 年度は、エンジンの冷却剤として用いた後の高温高压の状態での炭化水素燃料の特性の調査や、スクラムジェット燃焼器のフィルム冷却試験、燃焼試験等のために高温高压の燃料を供給する装置の試作・試運転を行った。図 1 に加熱装置の概略を示す。エタノール(EA)タンクを高圧窒素で加圧し、高温にした蓄熱ブロック、電熱管を通過させることで燃料を加熱する。蓄熱ブロックと電熱管を併用することにより、電気加熱だけの場合と比較して格段に低消費電力で大流量の燃料を加熱し、また蓄熱ブロック温度低下による燃料温度の変化を電熱管の加熱量を制御することによって補償し、より安定した加熱状態の燃料を供給することを目指した。

今年度に行った最初の試運転では、加圧窒素の調圧値を約 2 MPa として試験を行ったが、エタノールが蓄熱ブロックに流入した直後に、加熱装置内の圧力が窒素の調圧値を大きく上回る値にまで達し、安定した作動ができなかった。この際の加熱ブロック内圧力、電熱管出口燃料温度と時間経過の関係を図 2 に示す。蓄熱ブロック内で大きな圧力上昇が生じたため、その上流に設置した高温燃料の逆流を防止するための逆止弁が閉じ、燃料を安定して供給することができなかった。

この試運転で確認された問題点の解決策について検討するにあたって、類似の現象について実験や解析を行っている研究の情報を収集するため、熱工学コンファレンスに参加し、多数の発表を聴講し、また、研究者と意見交換を行った。これにより、改良の方向として、蓄熱ブロックの設定温度の調整、燃料供給開始時には加熱装置内の圧力が低いために過剰な流量で燃料が蓄熱ブロックに供給されることに

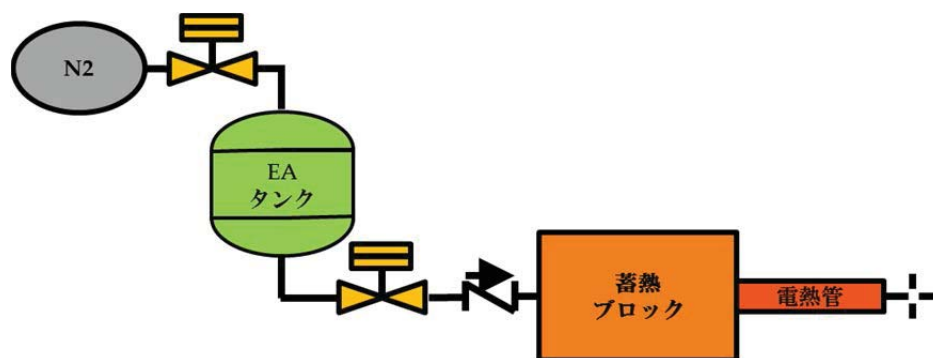


図 1. 蓄熱・電熱併用型高温高压燃料供給

対する対策が有効であると考え、装置の改良を行った。改良の要点は、EA タンクと逆止弁の間に設置している EA 遮断弁と並列に、小型の遮断弁と流量調節用の絞り弁を通る系統を設置し、既設の遮断弁に先行して小型遮断弁を開くことで、燃料供給開始時の過剰な燃料供給を抑制するというものである。改良後の試運転の結果を図 3 に示す。この試験時には電熱管出口の燃料温度を計測する熱電対に不具合があったため、燃料温度は取得できなかった。また、EA タンクから加熱装置に供給される燃料流量を計測するため新たに追加したタービン流量計の計測値を示した。

図 3 のタービン流量計の出力電圧は上限が 5.0 V であり、現在の設定条件で定常時に想定される出力電圧は 0.5～1.0 V であるにもかかわらず、試験開始直後にこれが振り切れていること、加熱装置内圧力が加圧窒素の圧力(2.0 MPa)を超えて上昇していることから、改良後の状態でも過剰な流量の燃料が供給されていることが確認された。しかし、加熱装置内圧力のピークは従来と比較して格段に低く抑えられ、圧力の低下も速くなっていることから、改良が有効であることが示された。今後、絞り弁の開度調節をより適切に設定することでさらなる改善が可能であると考ええる。

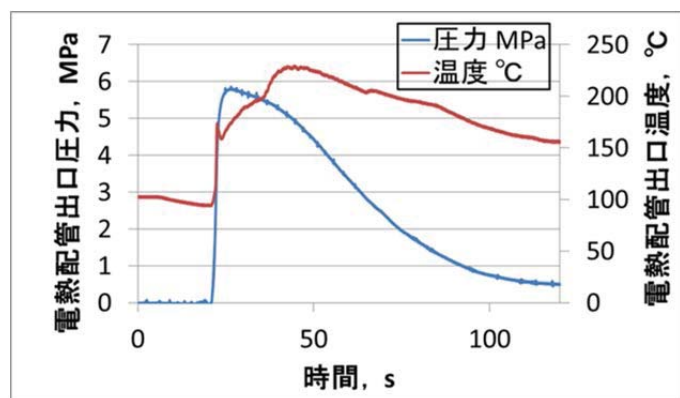


図 2. 第 1 回試運転時の試験結果

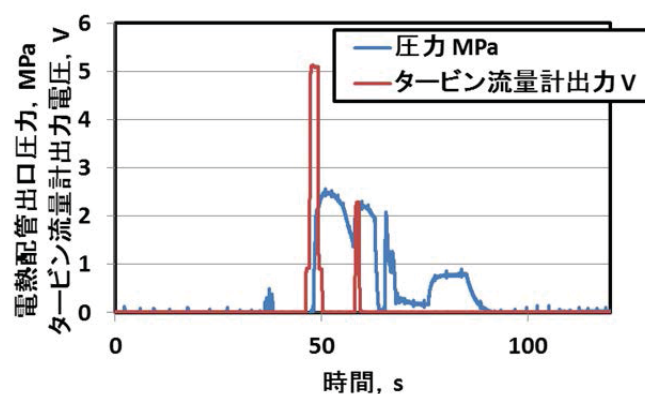


図 3. 加熱装置改良後の試験結果

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 蓄熱・電熱併用型高温高圧燃料供給装置の試作・改良
航空宇宙推進機の要素研究のために、高温・高圧の炭化水素燃料を供給する加熱装置を試作し、安定した作動を可能とするために試運転・改良に取り組んでいる。



氏名 高橋 宏幸

所属 工学研究科量子エネルギー工学専攻・D2

研究課題

核融合炉ダイバータ高性能化のための高エネルギー粒子束とプラズマとの相互作用解明

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度はヘリウム非接触/再結合プラズマ中への高エネルギーイオンビーム重畳実験に向けて、高周波プラズマ源 DT-ALPHA に生成したヘリウム再結合プラズマのスペクトルおよび電子エネルギー分布関数の空間分布計測を行った。図 1 に装置下流のテスト領域にて発光分光法を用いて取得したプラズマの波長スペクトルを示す。プラズマ加熱入力および装置内中性粒子圧力はそれぞれ約 $P_{RF} \sim 900 \text{ W}$, $p \sim 4 \text{ Pa}$ である。図 1 を見て明らかなように各輝線の発光強度は $y = 0, 10 \text{ mm}$ で異なり、体積再結合過程を強く反映する高励起状態ヘリウム原子からの発光はプラズマ周辺において大きな値を持つ。 $2^1\text{S} - n^1\text{P}$ ($n = 4, 5$), $2^3\text{P} - n^3\text{D}$ ($n = 8, 9, 10$) 視線積分発光強度の空間分布を図 2 に示す。ここで n は主量子数を示している。図 2 より電離進行過程を反映する低主量子数の発光がプラズマ中心でピークを有する一方で、再結合由来の発光はプラズマ周辺部 ($y \sim 10 \text{ mm}$) で最大値を持つことが分かる。この結果より電離進行成分と再結合成分とでは空間的に異なる分布を有することが示唆される。このような違いを生じる要因として電子エネルギー分布の空間的な違いが考えられる。そこで DT-ALPHA 装置内の電子エネルギー分布関数の計測を行った。高周波プラズマ源ではプラズマポテンシャルが高周波の基本周波数やその高調波で振動するため、一般的な静電プローブでの計測は困難となる[1]。そこでポテンシャル振動を考慮した RF 補償プローブを作成し計測を行った。図 3, 4 に示すのはプラズマ生成部近傍およびテスト領域で計測した電子エネルギー確率関数 EEPF である。図 3 中の実線は RF 補償プローブによる EEPF で波線は非補償のプローブで計測した EEPF である。適切な高周波の補償により EEPF 形状の丸みが解消されていることが分かる。また、プラズマ生成部近傍では $T_e = 3 \text{ eV}$ の単一マクスウェル分布を有することが確認された。図 4 にはテスト領域の中性粒子圧力 $p = 5.7, 2.9 \text{ Pa}$ の場合の EEPF を示す。プラズマ生成部近傍同様に、テスト領域でも電子は単一マクスウェル分布を有することが確認された。従って、前述したプラズマの空間分布の違いは電子エネルギー分布関数の違いで引き起こされるものではないことが示唆される。しかし、どちらの圧力においても $y = -10 \text{ mm}$ の電子温度の方が $y = -5 \text{ mm}$ よりも低い値を持つ。体積再結合速度係数は電子温度に大きく依存する。これより、プラズマ周辺部での電子温度の低下が $n^3\text{D}$ ($n = 8, 9, 10$) 準位等の高励起ヘリウム原子の局在化の原因となっていることが考えられる。

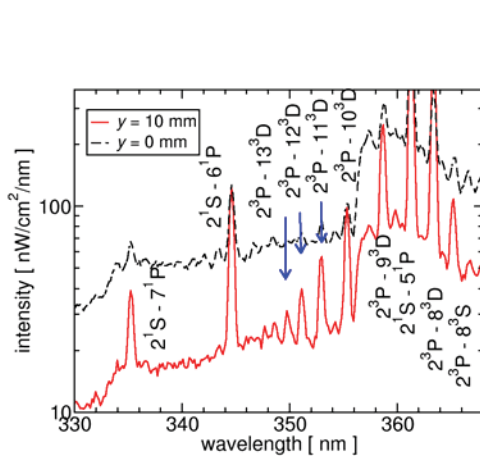


図 1 DT-ALPHA 装置下流のテスト領域におけるプラズマ波長スペクトル。

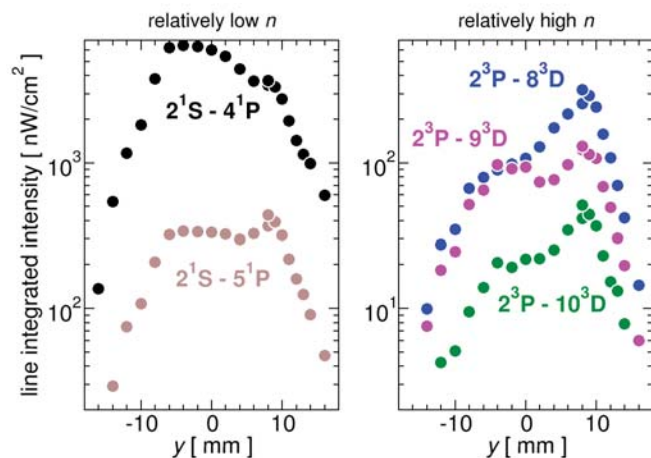


図 2 テスト領域における各線スペクトルの視線積分発光強度空間分布。

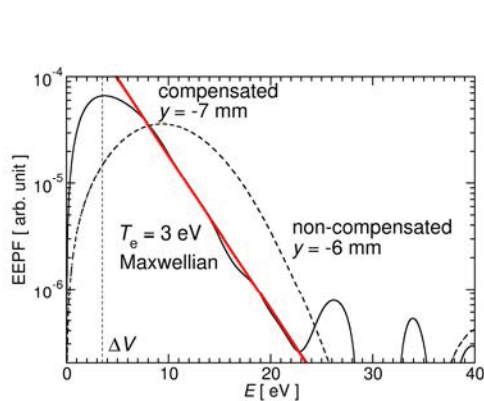


図3 プラズマ生成部近傍の電子エネルギー確率関数 EEPF。

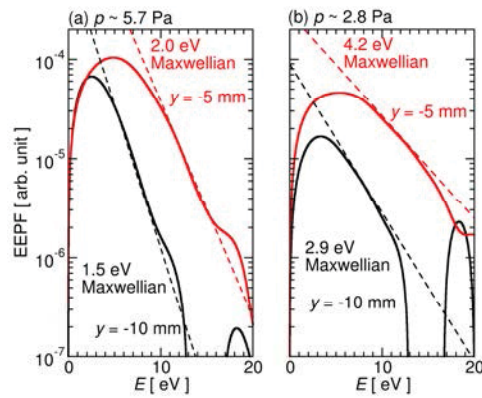


図4 テスト領域における電子エネルギー分布関数 EEPF。(a) $p \sim 5.7$ Pa, (b) $p \sim 2.8$ Pa。

[1] I. D. Sudit and F. F. Chen, Plasma Sources Sci. Technol. **3**, 162 (1994).

平成 25 年度の活動（シンポジウム・国際会議のオーガナイザーを含む）

＜国際会議＞

名 称：The 10th International Conference on Flow Dynamics

主催団体：東北大学流体科学研究所

開 催 国：日 本

開催期間：2013.11.25 ～ 2013.11.27

役 割：Floor Leader

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 高周波プラズマ源中のヘリウム再結合プラズマの空間分布計測
静電プローブ・受動分光法を併用したヘリウム再結合プラズマの空間分布計測を行い、電離進行成分と再結合プラズマ成分の空間分布が異なることを示した。また、RF 補償プローブを用いた電子エネルギー分布関数を計測し、高励起ヘリウム原子の局在化が径方向への電子温度の変化によるものである可能性を示唆した。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

上記の成果をまとめた論文を Plasma Fusion Res. 誌に投稿し受理された(in press)。

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. H. Takahashi, A. Okamoto, T. Kumagai, A. Daibo, T. Takahashi, S. Tsubota and S. Kitajima, “Electron energy distribution in a divertor simulating device with an RF source”, 23rd International Toki Conference on Large-scale Simulation and Fusion Science, 岐阜県土岐市(セラトピア土岐)、November, 2013
2. 高橋宏幸、岡本敦、大坊昂、熊谷孝宏、高橋拓也、坪田慎平、北島純男、”高周波プラズマ源DT-ALPHAにおける中性粒子密度制御下での電子温度・電子密度分布計測”、日本物理学会2013年秋季大会、徳島県徳島市(徳島大学)、2013年9月

氏名 NGUYEN TRUONG THANH



所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・D3

研究課題

Cooperative Control for Multi-Operator Multi-Robot Teleoperation

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

In order to get an approach to cooperative tasks of a MOMR system through haptic device, a haptic collaborative virtual environment (HCVE) system is developed shown in Figure 1. In graphic interface module, Open Inventor library is used for showing the virtual scenario to operators. In the simulation, the simplified model parts of robots and objects are designed in SolidWorks and exported into our virtual environment. Inputs of this module are received from physical engine library and haptic interface under control of human operators. For creating and updating the virtual scenario that the end user can interact with, the Open Dynamics Engine (ODE), which is an open-source physical engine for simulating articulated rigid body dynamics in real time, is used. We use ODE as a module of simulation program to handle the interaction of rigid bodies. With the same parameters of models from SolidWorks, physically-based robot and object models are built up with ODE. The haptic rendering module is a bridge between virtual environment and haptic interface. It is developed by C++ program in Linux environment. The admittance control module receives force data from the physical engine and convert to velocity for control of haptic motors. Finally, the driver is the linkage between the haptic device and the haptic rendering module. Therefore, drivers are totally dependent on the hardware and are specific for each particular device and operating system. The compact 6-DOF haptic driver is implemented in a control board that runs on real time operating system called Vx-Works to control motors and read data from encoders and sensors.

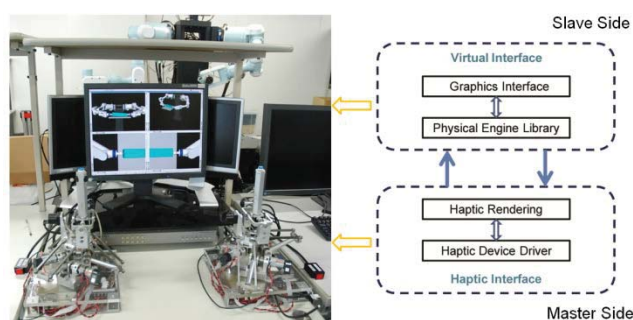


Fig. 1: The setup of system

For implementation of experiment, two operators teleoperate two virtual manipulators to try to approach and capture a common object by pushing it from two opposites ends. After both manipulators hold the object, they will move cooperatively to place the object in a desired position. Interaction forces in slave side calculated from physical engine library are compared to the feedback forces on master side for human operators received from sensors of haptic interface, as shown in Fig. 2.

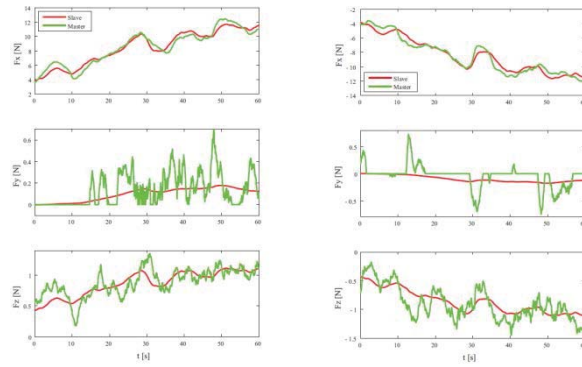


Fig. 2: Force results of left and right arms.

In conclusion, a collaborative haptic interaction in virtual environment based on physical engines is implemented and analyzed. For next research steps, some cooperative tasks will be implemented in a real experiment system with assistance of virtual environments in estimation and predicting.

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. A haptic collaborative virtual environment using Open Dynamics Engine library for MOMR teleoperation is developed
2. Physical behaviors of virtual objects with multi-contact interactions during cooperative works are researched. The dynamic and kinematic information of virtual environment, that is calculated in simulation, is displayed in real-time on haptic interface to assist operators to control manipulators easily.
3. Cooperative human interaction can be implemented and studied in this system through the force feedbacks on haptic interfaces.



氏名 ZHANG Mingzi

所属 工学研究科バイオロボティクス専攻・D1

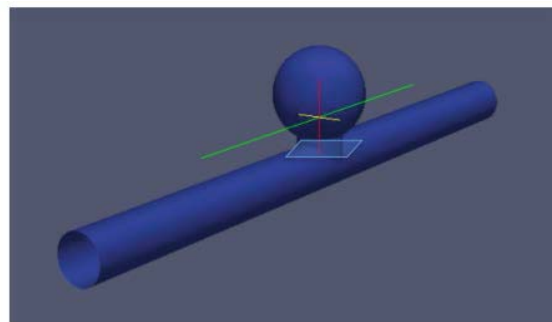
研究課題

Manufacture-oriented struts structure optimization of flow diverter for intra-cranial aneurysm

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

During the half year, the main job of my research is to develop a optimization method for stent structure of intra-cranial aneurysms, which is a suitable method for the later manufacture stage. So far, some achievements have been made which is listed here as an reference.

Background: Intracranial Aneurysm is a vascular disorder that could result in subarachnoid hemorrhage due to its rupture. Endovascular treatment such as flow diverter (FD) placement was proved to be an effective and non-invasive way to decrease the rupture possibility. Our previous researches [1] discovered the possibility of combining Simulated Annealing (SA) and Lattice Boltzmann (LB) method that solved the main concerns: mesh generation and handwork process, but the FD generation algorithm remained at the preliminary stage, which made the optimized stents not likely able to be manufactured due to their idealistic structures. In this study, we present a manufacture-oriented stent generating method based on each strut lattice that automatically updated at each step with maintaining the porosity 80%.



- Parent Artery: L=60mm, D=4mm
- Aneurysm: R=4mm, Dneck=4mm

Fig. 1 The geometry of the idealistic intra-cranial aneurysm

Material and Method: An idealistic 3D geometry of aneurysm (sphere, D1=8mm, neck plane R1=2mm) with parent artery (tube, D2=4mm, L=60mm) was set up. The D3Q9 topology of LB model was applied and the spatial discretization was chosen as 1/20 mm, which gave the aneurysm neck an 80*80 lattices plane. The neck plane was divided as 16 sub-domains, each with 20*20 lattices. One sub-domain was chosen as the mask, based on which the structure optimization performed. During generating, the mask could duplicate itself to the whole neck plane according to the given algorithm. The main concept of strut generation was to make sure that all struts connected to ensure the manufacture possibility. Two strut generating methods were concerned: M1. Given an initial strut structure, randomly select one lattice that could be removed, then move it to a randomly selected position. M2. Given a random set of struts, then connect those struts with randomly selected route. Both the methods could maintain the stent porosity by controlling the struts number inside a certain area. For M1, CFD was carried out after every 5 steps shift and for M2, CFD ran each step followed by a SA process. Palabos v1.4 was applied in this study.

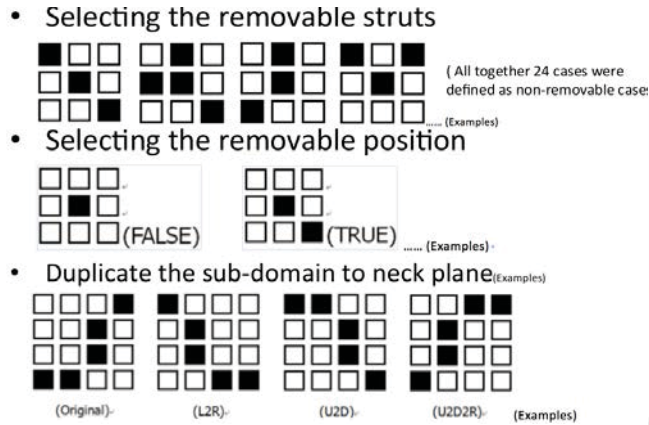


Fig. 2 The examples of judgments and duplications

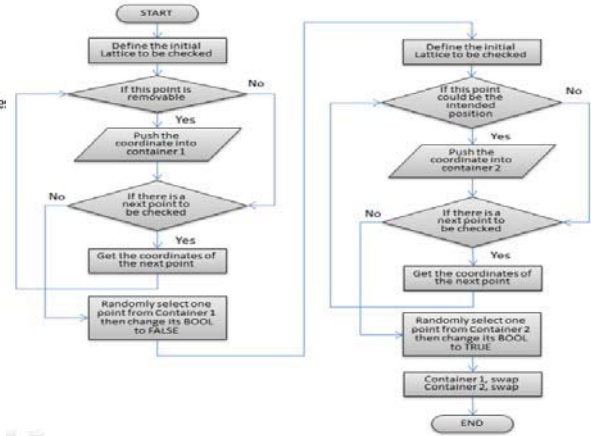


Fig. 3 The flow chart of strut alteration

Result and discussion: For M1, the longest simulation was 73 times CFD computations (365 steps of strut shifts) and results showed that the random shift process would significantly decrease the average velocity inside aneurysm from $2.39\text{e-}3$ to $1.13\text{e-}3$ and $0.56\text{e-}3$ (m/s). (Without stent, with initial stent, with best optimized stent, respectively) Comparing the optimized strut structures, the dispersal tendency of stent strut was easy to be observed, which could be a main reason accounting for the flow reduction inside aneurysm. For method 2, the results will be reported later since the SA is a long process even running with 128 cores in our case. Method 2 seemed able to create any kinds of strut structure following the given strut-growing algorithm between any 2 positions. Local Grid refinement technology around the neck plane may contribute a lot in reducing SA time.

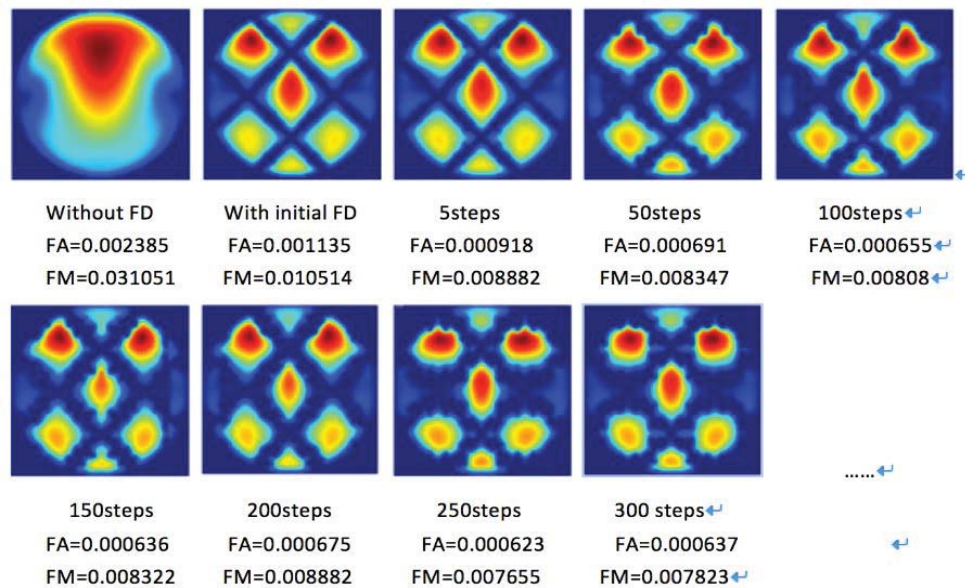


Fig. 4 The pre-research results of strut alteration processing

[1] H. Anzai, M. Ohta, J. Falcone, B. Chopard. Optimization of flow diverters for cerebral aneurysms. Journal of Computational Science 3(2012) 1-7

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. The set-up of the idealistic intra-cranial aneurysm geometry with applying ProE.
2. The numerical simulation of aneurysms geometry with stent struts in the neck plane.
3. The evaluation method of the optimization process.

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. Mingzi ZHANG, Hitomi ANZAI, Youjun LIU, Makoto OHTA,
A study on Multiscale Model in the presence of Systemic-to-Pulmonary Shunt utilizing
LBM-LPM
5th Asia Pacific Congress on Computational Mechanics, 11th – 14th, Dec, 2013, Singapore.

氏名 富岡 義弘



所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・D3

研究課題

超小型衛星用地上評価環境の構築及び開発衛星システムの評価

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本研究室では、地球理学観測を主目的とする 50kg 級超小型人工衛星の開発を行っている。2009 年には 1 号機である SPRITE-SAT:図 1(a)を開発、H-IIA ロケットによる打ち上げ、軌道上における運用に成功した。現在はその後継機として、RISING-2:図 1(b)及び RISESAT:図 1(c)の開発を行っている。

これらの衛星開発と並行し、本研究室では開発した衛星システムをフライト前に評価するための、試験評価環境システムの構築を行っている。このシステムでは、衛星の軌道上環境を模擬し市販の PC 上で動作するリアルタイムシミュレータと衛星実機の OBC(オンボードコンピュータ)等の搭載機器を接続するためのハードウェアインターフェースシステムで構成される。前年度までは本システムを「MEVI μ S (Model-based Environment for Verification and Integration of μ -Satellite)」と呼び、その基本仕様及び基本構造の構築を行った。本年度は、本システム上に衛星搭載の各コンポーネントソフトウェアモデルを搭載し、衛星の OBC との HILS(ハードウェアインザループシミュレーション)を実施できる環境の構築を目標とし、本環境を用いた衛星運用シミュレーションを実施し本環境及び開発中の衛星システム、特に姿勢制御系の妥当性を評価する。図 2(a)に本システムのソフトウェア部の概要図を示す。リアルタイムシミュレーションのメインフローとしては、図 2(a)に示すように大まかに姿勢計算ブロック、軌道計算ブロック、衛星モデル計算ブロックに分かれている。全体は 50ms 間隔で 1 ループするようになっている。姿勢・軌道計算ブロック内では、それぞれ軌道ダイナミクスモデルや姿勢ダイナミクスによる計算により、1 ループごとに時間積分を行っている。衛星モデルブロックでは、各モデルの定義に従って各コンポーネントモデルデータをアップデートしている。図 2(b)にハードウェアインターフェースと衛星 OBC の接続に関する概要図を示す。衛星 OBC は実際の軌道環境において各センサやアクチュエータと送受信をし、衛星自身の姿勢や軌道を決定する。その環境を模擬するため、各センサ・アクチュエータの模擬データをそれぞれの仕様と同様に OBC と送受信させ、OBC にあたかも実際の軌道環境にいるように見せかけることで、姿勢制御運用シミュレーションを実施可能としている。実際に衛星と接続して HILS 環境を構築した写真を図 3 に示す。この環境を用いて、実際に姿勢制御のシミュレーションを行った。制御としてはある初期角速度がある状態から、アクチュエータを用いて角速度をゼロ付近まで減衰させる制御(デタンプリング制御)を行う。本シミュレーションで使用するのは、実機としては RISING-2 のエンジニアリングモデル(EM)、シミュレータ上の機器モデルとしては地磁気センサ及び磁気トルカである。シミュレータ上で模擬した地磁気環境を RISING-2 の OBC で計測、その後 OBC からシミュレータ内の磁気トルカに制御命令を与え姿勢を制御する。初期条件として、各軸 1[deg/s]を与え、HILS によりデタンプリングシミュレーションを行った結果を図 4 に示す。図(下グラフ)から初期角速度 1[deg/s]からダンピングに成功し、各軸 0[deg/s]まで減衰していることがわかる。この結果から、本システムにおいてシミュレータと衛星実機を使用し、HILS を実現できることを確認した。また、開発中の衛星姿勢制御系で正しく姿勢制御可能なことが確認できた。

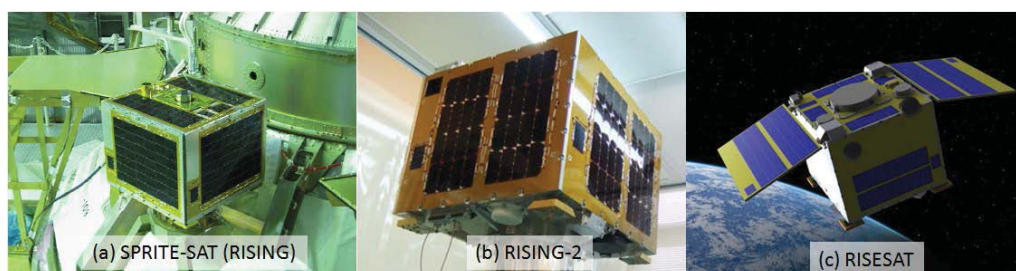
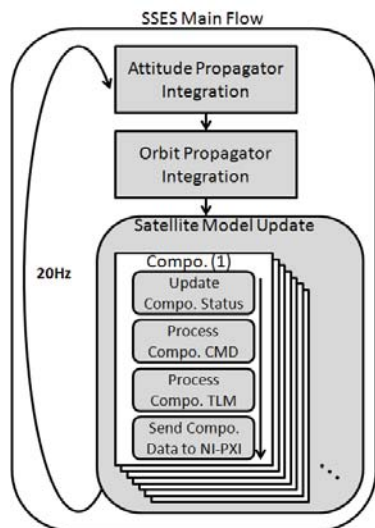
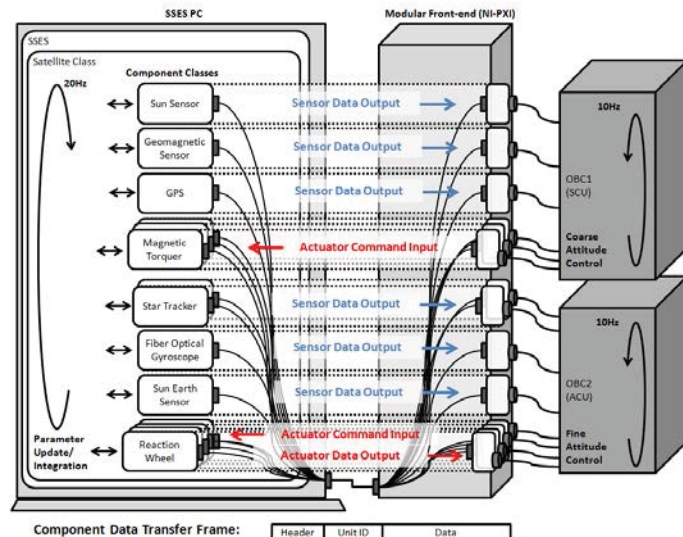


図 1 東北大学衛星の外観図



(a) ソフトウェア部



(b) ハードウェアインターフェース部

図 2 MEVI μ S システム概要

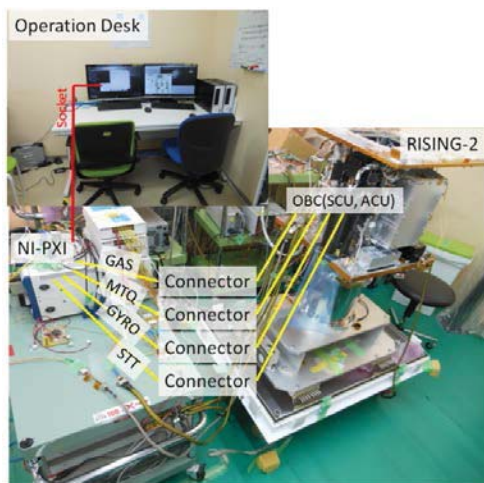


図 3 構築した HILS 環境

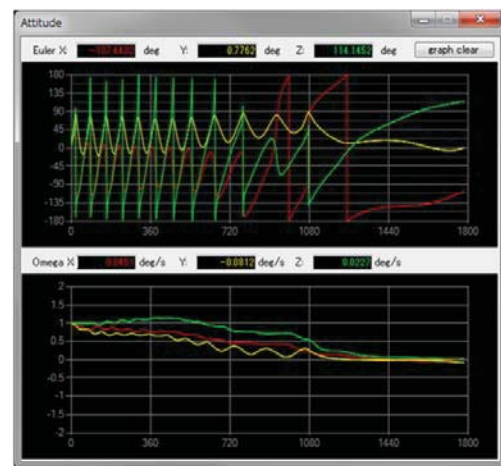


図 4 シミュレーション結果

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. MEVI μ Sシステム内に衛星ソフトウェアモデルの実装
基本的なシステムを構築した MEVI μ S システムに、実際の衛星機器を模擬するためのコンポーネントソフトウェアモデルの実装を行った。具体的には、磁気センサ、GPS レシーバ、太陽センサなどのセンサ類、及び磁気トルカ、リアクションホイールなどのアクチュエータ類である。
2. シミュレータ、OBC間の通信インターフェースの準備
構築した MEVI μ S システムと実際の衛星を接続し HILS(ハードウェアインザループシミュレーション)環境を構築するため、National Instruments 社の PXI システムを使用し、各コンポーネント通信仕様に対応したハードウェアインターフェースの構築を行った。
3. 衛星実機を用いたHILSの実施
構築した MEVI μ S システム HILS 環境を用いて、衛星実機を用いた姿勢制御シミュレーションを実施した。その結果、問題なくシミュレータ・衛星間通信を行うことで、本環境を用いた姿勢制御シミュレーションに成功した。今後はこの環境を用いた更なる運用シミュレーションを実施し、打ち上げ前の最終調整を実施していく。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

1. Yoshihiro Tomioka, Kazufumi Fukuda, Nobuo Sugimura, Yuji Sakamoto, Toshinori Kuwahara and Kazuya Yoshida, “Establishment of The Ground Testing Environment for Verification and Integration of Micro-satellite”, 29th International Symposium on Space Technology and Science, 2013-f-35
2. Yoshihiro Tomioka, Kazuya Yoshida, Yuji Sakamoto, Toshinori Kuwahara, Kazufumi Fukuda, Nobuo Sugimura, “Lessons Learned on Structural Design of 50kg Micro-satellites based on Three Real-life Micro-satellite Projects”, 2012 IEEE/SICS International Symposium on System Integration, pp. 319-324.

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. Yoshihiro Tomioka, Toshinori Kuwahara, Yuji Sakamoto, Kazufumi Fukuda, Nobuo Sugimura and Kazuya Yoshida, “Generic Thermal Design Strategy For 50kg-class Micro-Satellite”, 64th International Astronautical Congress, IAC-13,B4,6A,6x18550
2. Yoshihiro Tomioka, Kazuya Yoshida, Yuji Sakamoto, Toshinori Kuwahara, Kazufumi Fukuda, Nobuo Sugimura, Masato Fukuyama, Yoshihiko Shibuya, “Establishment The Environment to Support Cost-Effective and Rapid Development of Micro-satellite”, IAC-12-D1.6.4
3. 富岡義弘, 坂本祐二, 福田和史, 杉村伸雄, 栗原聡文, 吉田和哉, 「超小型地球観測衛星「RISING-2」の開発報告—多波長望遠鏡による積乱雲及びスプライト現象の観測—」, 電子情報通信学会, 2012-06-21
4. 富岡義弘, 福田和史, 杉村伸雄, 福山雅人, 栗原聡文, 坂本祐二, 吉田和哉, 「次世代型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」, 第55回宇宙科学技術連合講演会, 1F03

【受賞・特許等】

1. アクセルスペース賞予選通過賞, 株式会社アクセルスペース, (通信実験衛星UNITEC-1搭載用UOBC開発コンペティション第4位), 平成21年8月13日

【マスコミ発表等】

- ・マイコミジャーナル, 大学発の深宇宙衛星「UNITEC-1」が完成, 金星へのサバイバルレースが始まる, 2010/04/23
- ・河北新報, 東北大グループ・超小型衛星 雷神2の開発着手, 2009/11/24
- ・読売新聞, 東北大・北大が衛星「雷神2」共同開発へ, 2011/01/03
- ・北海道新聞, 北大開発の人工衛星「雷神2」活用法を幅広く論議, 2011/01/13
- ・JAXA 産業連携センター, 宇宙をつかう暮らしが変わる (新市場を切り開く小型衛星), 2010/11/08



氏名 苗村 伸夫

所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・D1

研究課題

流体トポロジー最適化による革新的空力デバイスの設計探査

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は、航空機の翼に取り付けるボルテックス・ジェネレータ (Vortex Generator: VG) の多目的設計探査及び最適化に用いる応答曲面法の改良を行った。一般に、設計最適化には多数の設計パターンに対する性能評価を要するが、VG の性能評価には高コストな数値解析を使用するため、すべての設計パターンに対して厳密な評価を行うことは不可能である。本研究では応答曲面法を使用し、少数の設計パターン (サンプル点) に対してのみ事前に数値解析による性能評価を行い、その結果から近似モデルを生成して、その推定値を利用することで計算コストを低減した。なお、事前に行った VG の数値解析結果は、宇宙航空研究開発機構によって行われた風洞試験結果[1]とよく一致しており、数値解析の妥当性を確認している (図 1)。最適化結果に対して、自己組織化マップを適用することにより、パレート最適解を五つの形態に分割することができた。図 2 に示すように各最適形態で VG 周りの流れ場は大きく異なり、これらの変化は主に VG の大きさと取り付け間隔に依存している。巡航時の燃費を維持しつつ、VG の効果を十分に発揮できる設計としては、最適形態 3 (図 2(d)) のように小さな VG を広い間隔で取り付けることが望ましいと判明した。また、最適形態 4 (図 2(e)) では小さな VG を狭い間隔で取り付けており、この特徴は VG の効果のみを優先した過去の研究結果[2]と同様の傾向を示す。

VG の設計最適化では、Kriging モデルによる応答曲面法を用いたが、流体の剥離を伴う複雑現象に起因して近似モデルの精度が不足し、十分な設計情報抽出を行えなかった。VG に関する更なる設計情報の抽出と今後の革新的空力デバイス設計に向けて、Kriging モデルに改良を施した。Kriging モデルはガウス関数の重ね合わせで関数を近似するが、設計に用いる変数 (設計変数) ごとに異なる重み係数を使用することで、目的関数に対して影響力の強い変数の重みを大きく、影響力の弱い変数の重みを小さくできる。本研究では、VG の大きさと間隔のように変数間依存性をもつ関数に対して精度良い応答曲面を生成するため、目的関数の変動に合わせて設計空間に回転による座標変換を施して重み係数の作用する方向を変化させ、尤度関数の最大化を促進する Kriging モデルを提案した。そして、提案手法と従来の Kriging モデルを、変数間依存性を持ったテスト関数に適用し、提案手法の特徴を調査するとともに有効性を検証した。その結果、サンプル数が極端に少ない場合を除き、提案手法が目的関数の変動に合わせて設計空間の座標系を回転できるようになると、従来手法に比べて近似精度の大幅な改善を実現し、近似に必要なサンプル数を削減できることが確認された (図 3、4)。

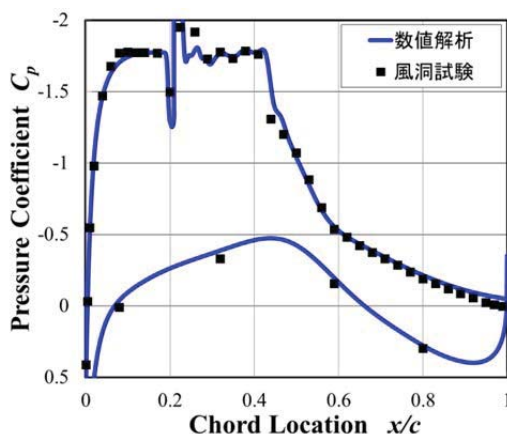


図 1 VG の数値解析・風洞試験結果[1]の比較

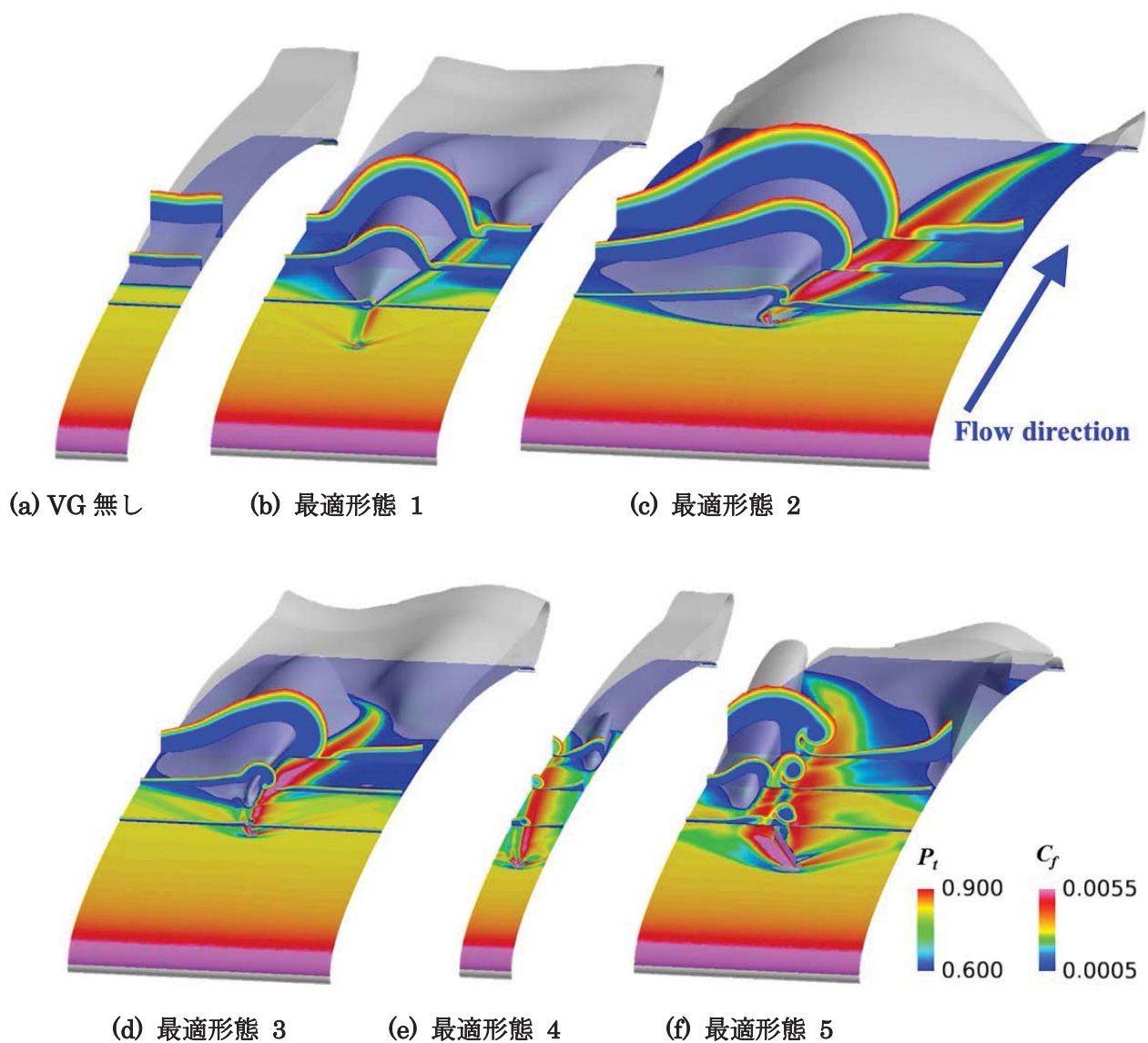


図2 VG無し形態と各最適形態における翼表面の壁面摩擦係数と三断面での総圧分布

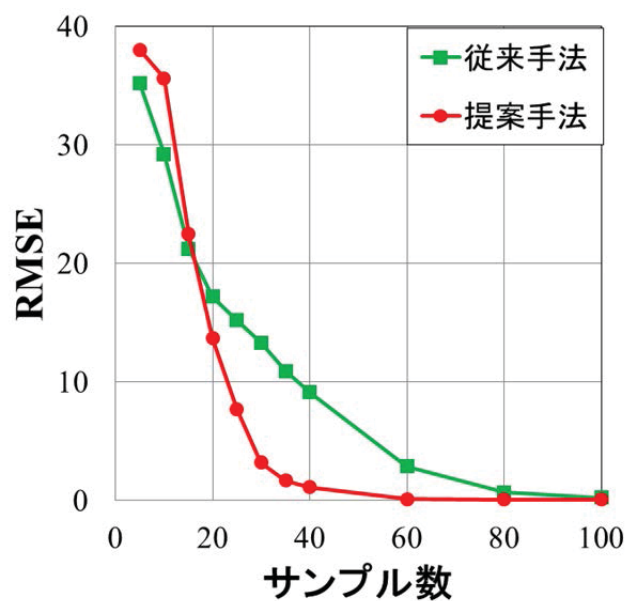


図3 従来手法と提案手法の近似誤差(Root Mean Square Error: RMSE)

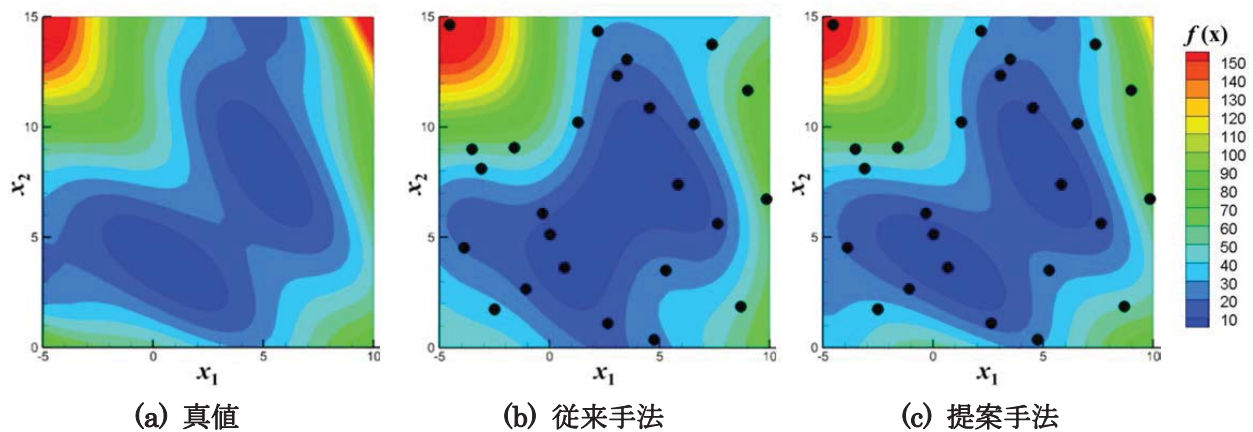


図4 サンプル25点における応答曲面の形状

[1] S. Koike, M. Sato, H. Kanda, T. Nakajima, K. Nakakita, K. Kusunose, M. Murayama, Y. Ito, and K. Yamamoto, "Experiment of Vortex Generators on NASA SC(2)-0518 Two Dimensional Wing for Buffet Reduction," The 2013 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, Takamatsu, Japan, 2013.

[2] Engineering Science and Data Unit (ESDU) 93024, "Vortex Generators for Control of Shock-Induced Separation Part 1: Introduction and Aerodynamics," 1993.

平成25年度の研究業績

【研究内容】

1. 応答曲面法によるボルテックス・ジェネレータの設計最適化
巡航性能を維持しつつ失速特性を改善できるボルテックス・ジェネレータの革新的設計案を提示すべく、数値解析と応答曲面法による多目的最適化を実施している。
2. 設計空間の座標変換により近似精度を向上する応答曲面法の開発
流体の剥離によって複雑に変化するボルテックス・ジェネレータの性能を最適化するため、応答曲面法に改良を施し、設計者が経験的に指定した設計変数をそのまま用いるのではなく、適切な座標変換を施すことで近似精度を高める方法を提案している。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

1. N. Namura, S. Jeong, and S. Obayashi, "Surrogate-Based Multi-Objective Optimization and Data Mining of Vortex Generators on a Transonic Infinite-Wing," 2013 IEEE Congress on Evolutionary Computation, Cancun, June, 2013.
2. N. Namura, S. Obayashi, and S. Jeong, "Efficient Global Optimization of Vortex Generators on a Super Critical Infinite-Wing Using Kriging-Based Surrogate Models," AIAA Science and Technology Forum and Exposition 2014: 52nd Aerospace Sciences Meeting, National Harbor, January, 2014.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

1. N. Namura and S. Jeong, "Parametric Study of Vortex Generators on a Super Critical Infinite-Wing to Alleviate Shock-Induced Separation," *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 56, No. 5, pp. 293-302, 2013.

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. 苗村伸夫, 大林茂, "自己組織化マップによるボルテックス・ジェネレータの設計情報探査," 可視化情報全国講演会2013会津, 会津若松, 2013年9月.
2. 苗村伸夫, 下山幸治, 大林茂, "設計空間の座標変換により尤度関数最大化を促進するKrigingモデルの提案," 進化計算シンポジウム2013, 霧島, 2013年12月.

【研究費の獲得】

名称：卓越した大学院拠点形成支援補助金「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」平成 25 年度
博士課程（後期）学生国内学会等派遣

期間：2013 年度

名称：卓越した大学院拠点形成支援補助金「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」平成 25 年度
博士課程（後期）学生国際会議派遣

期間：2013 年度

名称：卓越した大学院拠点形成支援補助金「流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点」平成 25 年度
優秀研究奨励プログラム

期間：2013 年度

名称：日本学術振興会 特別研究員 DC2

期間：2014, 2015 年度

氏名 野島 清志



所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・D2

研究課題

ロケットラムジェット複合サイクルエンジンの燃焼現象に関する研究

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

低コスト・高頻度な宇宙輸送に対応するために、再使用可能な宇宙往還機が期待されている。この次世代宇宙往還機用の推進システムとして、空気吸い込み式エンジンであるラム／スクラムジェットエンジンとロケットエンジンの複合エンジンの研究が進められている。本エンジンの燃焼効率改善を目指した、流れ場と燃焼効率の関係について定量的な評価を行った。まず、非燃焼試験における燃焼器壁面からのガス採取、および PIV 計測により得た、ロケットガス・吸い込み空気・ラム燃料のモル分率分布と速度分布より、燃焼器内の静温分布をもとめ、水素と酸素の連鎖開始反応である $\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{HO}_2 + \text{H}$ の化学反応の特性時間を見積もった。また、速度分布から変動速度の二点空間相関(図 1)より積分特性距離を求め、乱流の特性時間を見積もった。これらの特性時間からダムケラ数を求め局所の保炎性について評価した(図 2)。その結果、比較的低速で滞在時間の観点からは保炎に有利であると考えられる吸い込み空気流側(カウル)において、ダムケラ数 $Da < 1$ となり得ることが分かった。これは、ロケットガスと吸い込み空気流の混合が不十分である場合、カウル側の静温が低く、安定した燃焼には不十分であることが分かった。以上の静温が低い状態は、流れの変動が大きく瞬間的に混合が不十分となる場合に生じる。そこで、流れの不安定性を評価するために、変動速度が平均速度より大きくなる間欠度を求めた(図 3)。図 3 より、カウル側で流れの変動が大きく、瞬間的に著しく混合が不十分となることが考えられる。以上より、流れの変動により瞬間的に保炎性が低下するために燃焼効率が低くなったと考えられる。

また、ラム／スクラムジェットエンジン内における炭化水素燃料の燃焼特性について調べた。ロケット複合エンジンは、水素を燃料とした研究が多く行われてきた。高速気流中で安定した燃焼を達成するためには、反応性の高い水素は燃料として有利である。一方、水素はエネルギー密度が低いタンク容積が大きくなるというデメリットが有る。そこで現在、密度が大きくタンクの小型化や長期保管が可能で製造コストの低く運用性の高い炭化水素燃料の利用が検討されている。まず、気流条件を固定し当量比を変化させた燃焼試験を行い、壁圧分布や熱流束分布、ガス採取を行った。当量比の変化および噴射方式の変化によって 1) 平行部ラムモード、2) 拡大部ラムモード、3) スクラムモードの燃焼状態を得た(図 4)。

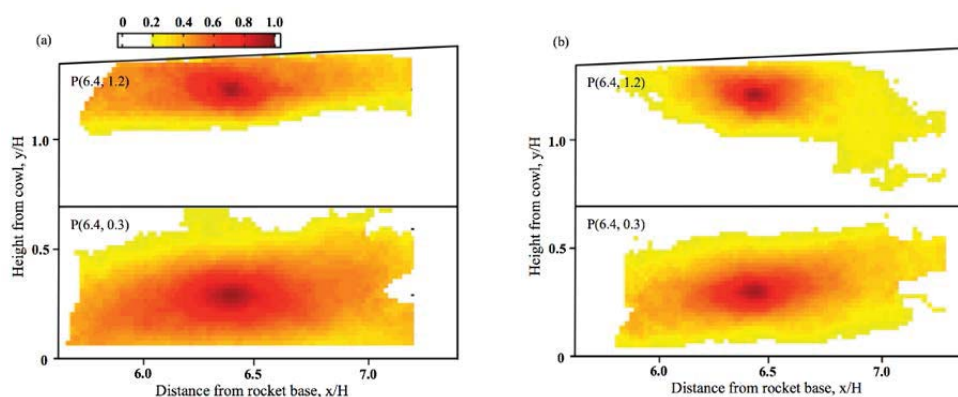


図 1 二点空間相関分布 (a) 非燃焼状態 (b) 燃焼状態

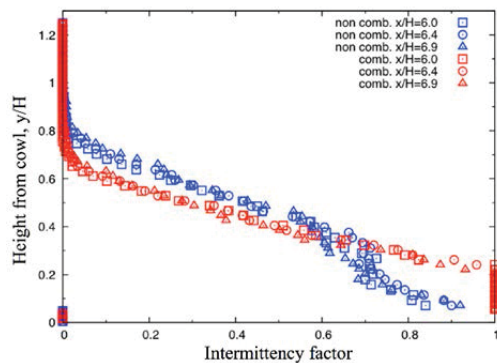


図2 間欠度分布

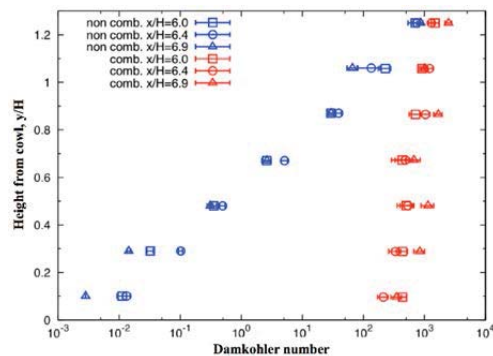


図3 ダムケラ数分布

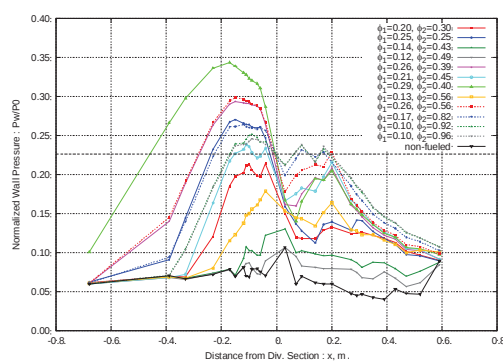
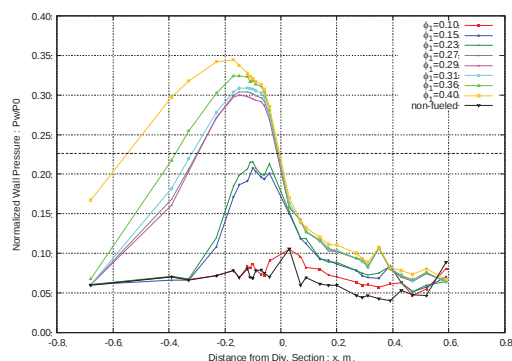


図4 壁圧分布 (a) 平行部燃料噴射 (b) 両段燃料噴射

平成 25 年度の活動（シンポジウム・国際会議のオーガナイザーを含む）

<国際会議>

名 称 : The 10th International Conference on Flow Dynamics
 主催団体 : 東北大学流体科学研究所主催
 開 催 国 : 日 本
 開催期間 : 2013.11.25 ~ 2011.11.27
 役 割 : Floor Leader

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. ロケット複合エンジン・エジェクタモードの保炎性能評価
 ロケット複合エンジンのエジェクタモードにおける燃焼効率改善のために、流れ場の不安定性と保炎性能の評価を行った。さらに詳細な評価を行うために、混合状態の変動を考慮した解析を行っている。
2. ラム/スクラムジェットエンジン内における炭化水素燃料の燃焼試験
 超音速気流中における炭化水素燃料の燃焼特性を調べるために燃焼試験を行った。エンジン内の発熱分布や推力性能を評価するために、炭化水素燃料の反応過程のモデル化を行っている。

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. 鈴木祐, 野島清志, 副島光洋, 富岡定毅, 櫻中登, “デュアルモード燃焼器内における炭化水素燃料燃焼時の状態量評価”, 平成25年宇宙輸送シンポジウム, 相模原市
2. Kiyoshi Nojima, Toshinori Kouchi, Goro Masuya, Sadatake Tomioka, “Influence of Flow Unsteadiness on Secondary Combustion in RBCC Ejector-Jet Mode”, Asian Joint Conference on Propulsion and Power 2014, March 5-8, Korea
3. 野島清志, 鈴木祐, 富岡定毅, 櫻中登, “デュアルモード燃焼器におけるエチレンの燃焼特性” 日本航空宇宙学会北部支部 2014 年講演会ならびに第 15 回再使用型宇宙推進系シンポジウム, 仙台市



氏名 野村 勇樹

所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・D3

研究課題

サービスロボットの汎用制御モジュールの設計と評価

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

近年、少子高齢化に伴い介護・生活支援を目的としたサービスロボットが着目され、多くの開発者によってその研究・開発が行われている。しかし人間の生活空間においてロボットが作業を行う場合、その環境は非恒常であり、求められる作業も多種多様なものとなる。また、使用されるロボットの種類も様々である。

サービスロボットの実用化において、このような状況それぞれに対して個別のシステムを構築しなければ作業が達成できないのであれば、その実現は困難である。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汎用的に利用可能なシステムを構築する。

汎用的なロボットシステムを構築するために、いくつかの要素機能をモジュール化し、それらを組み合わせるという手法をとる（図 1）。このシステムでは、一部の要素機能を交換することにより変化する場合に対応できるという利点がある。モジュールは既存のソフトウェアプラットフォームである RT(RobotTechnology)ミドルウェアを利用することで開発効率・再利用性を向上させる。

まずは特定の環境下で作業を達成できる枠組みを構築する。視覚モジュールや手先軌道補間モジュール・作業計画モジュール等を開発し、それらを組み合わせて数種類のロボットに食器片付け作業のシミュレーションを行わせた（図 2）。

さらに、構築した制御システムを汎用化するために、使用するロボットや作業にかかわらず同様に操作できるように設計する。そのために一般的なサービスロボットのリンク構造を網羅する概念モデルを用意し、そこにロボットのモデル構造をマッピングしていく。それによってロボットごとのリンク構造の違いを吸収し、入出力データの統一化を図る。

また、サービスロボットに必要とされる動作をいくつかに分類することによって使用者からの指令を統一化する。

こうして構築したシステムを実際のロボットにも適用する（図 3）。異なる種類のロボットを使用した場合にも一部のモジュールを交換するだけで同様の指令で同様の作業を遂行できるようになる。使用者・開発者にとって扱いやすく実用的なシステムを提案することによってサービスロボットの普及を目指す。

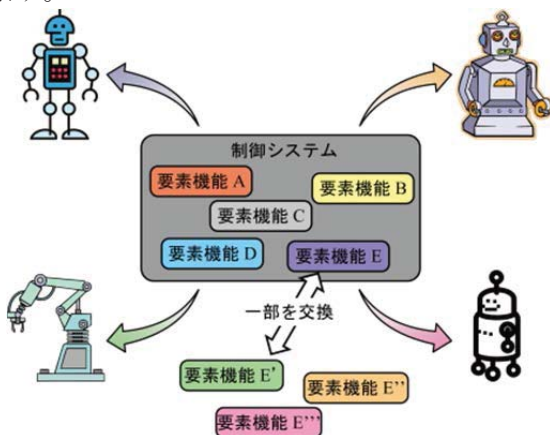


図 1. 構築するシステムの概念図

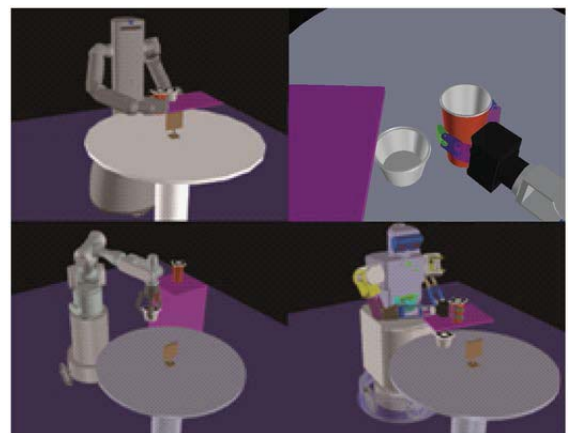


図 2. 食器片付けシミュレーション



図 3. 構築したシステムを使用した実機動作

平成 25 年度の研究業績

【査読論文（査読付き国際会議論文を含む）】

1. Teppei Tsujita, Atsushi Konno, Shunsuke Komizunai, **Yuki Nomura**, Takuya Owa, Tomoya Myojin, Yasar Ayaz and Masaru Uchiyama, “Humanoid Robot Motion Generation for Nailing Task,” IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, China, pp. 1024-1029, oral, July, 2008.
2. Shunsuke Komizunai, Teppei Tsujita, Fumiya Nishii, **Yuki Nomura**, Takuya Owa, Atsushi Konno, Masaru Uchiyama, “Experiments on Hammering a Nail by a Humanoid Robot HRP-2,” 17th CISM-IFTOMM Symposium on Robot Design, Dynamics, and Control, oral, July, 2008.
3. Teppei Tsujita, Atsushi Konno, Shunsuke Komizunai, **Yuki Nomura**, Takuya Owa, Tomoya Myojin, Yasar Ayaz and Masaru Uchiyama, “Analysis of Nailing Task Motion for a Humanoid Robot,” Proceedings of the 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, oral, July, 2008.
4. **Yuki Nomura**, Takahiro Kikuchi, Atsushi Konno and Masaru Uchiyama, “Application of the Robot Service by using RT Components”, International Conference on Advanced Mechatronics 2010, oral, October, 2010.
5. **Yuki Nomura**, Shuhei Ogawa, Takahiro Kikuchi, Atsushi Konno and Masaru Uchiyama, “Verification of the Versatility of the RT Modules by the Multiple Robots Platform”, 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, oral, December, 2010.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

1. Teppei Tsujita, Atsushi Konno, **Yuki Nomura**, Shunsuke Komizunai, Yasar Ayaz and Masaru Uchiyama, “An Impact Motion Generation Support Software”, Cutting Edge Robotics 2009, ISBN 978-3-902613-46-2, Austria, IN-TECH, 2009 (accepted).

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. **野村勇樹**, 横堀壽光, 杉浦隆次, “ノイズ科学による血管壁動態挙動解析と非侵襲血管疾患診断法”, 企業と学術研究機関との出会い—MEET2006秋—, ポスター発表, 2006年11月.
2. 辻田哲平, 小水内俊介, **野村勇樹**, 大輪拓矢, 西井文哉, 明神智也, 近野敦, 内山勝, “ヒューマノイドロボットによる釘打ち動作の解析”, 第25回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 資料番号2H17, 口頭発表, 2007年9月.
3. 小水内俊介, 辻田哲平, 西井文哉, **野村勇樹**, 大輪拓矢, 近野敦, 内山勝, “ヒューマノイドロボットによる釘打ち作業”, 第8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, 講演番号2B2-5, 口頭発表, 2007年12月.
4. 辻田哲平, 小水内俊介, **野村勇樹**, 大輪拓矢, 近野敦, 内山勝, “ヒューマノイドロボットの釘打ち動作の評価”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 講演番号2P1-F11, ポスター発表, 2008年6月.

5. **野村勇樹**，大輪拓矢，近野敦，内山勝，“ヒューマノイドロボットによる掘削作業”，第51回自動制御連合講演会，講演番号317，口頭発表，2008年11月．
6. **野村勇樹**，小水内俊介，近野敦，内山勝，“冗長マニピュレータ搭載型全方位移動ロボットのための制御システムの構築”，第10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，講演番号3D1-6，口頭発表，2009年12月．
7. **小水内俊介**，**野村勇樹**，菊地隆浩，近野敦，内山勝，“食器片付けのための作業計画コンポーネントの開発”，第10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，講演番号3D1-4，2009年12月．
8. **野村勇樹**，小水内俊介，菊地隆浩，近野敦，内山勝，“RT コンポーネントを活用したロボットサービスの実現例”，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010，ポスター発表，2010年6月．
9. **野村勇樹**，小川修平，菊地隆浩，近野敦，内山勝，“複数ロボットプラットフォームによる RT モジュールの汎用性検証”，第28回日本ロボット学会学術講演会，口頭発表，2010年9月．



氏名 Hari Krishna Chilukoti

所属 工学研究科ナノメカニクス専攻・D3

研究課題

Heat and mass transport in polymer thin film

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

Characterization of thin polymer films ranging from 1nm to 1000nm 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. Using computer simulations we can study these films in microscopic point of view. Molecular dynamics (MD) simulation is one of the computer simulation techniques and can be used to study transport phenomenon in thin polymer films at microscopic level.

In this fiscal year, we studied structure, mass and heat transport characteristics at the solid(α -quartz)-liquid interfaces of alkanes. The united atom NERD force field and all atom Lopes et al. force field were used to model the alkanes and α -quartz wall. To examine the influence of α -quartz surface topology, obtained properties in the interface region were compared among (001), (011) and (100) crystal planes. These substrate surfaces were terminated with OH- or H- groups, which gives hydrophilic and hydrophobic characteristics, respectively. The properties of liquid alkanes near -H and -OH terminated surfaces were compared to examine the effect of surface termination type. Equilibrium molecular dynamics simulations were performed to investigate the structure and mass transport characteristics at interfaces and nonequilibrium molecular dynamics simulations were performed to investigate thermal energy transfer characteristics.

In the last year, structure and transport properties at liquid-vapor interfaces were calculated based on the averaged interface and intrinsic interface definitions. We observed the oscillatory nature in the intrinsic density profile which indicates layering structure at free surface which is not observed in the density profiles obtained based on the averaged interface. When the ordering parameter calculated based on the intrinsic interface is examined, it is observed that the liquid molecules are more parallel to the interface. Einstein relation was used to calculate self-diffusion coefficient of alkanes parallel to the interface from MD simulation. It was found that the variation of self-diffusion coefficient in the liquid-vapor interface region is much steeper when it is calculated based on the intrinsic interface than that on the Gibbs dividing surface.

In this fiscal year, influence of crystal planes on the structure and mass transfer characters in the liquid-solid interface was investigated. The layering structure of liquid molecules is different according to the crystal plane of solid surface and termination type. This is the most obvious in the case of methane. For long chain alkanes, influence of crystal plane and termination type on layering of molecules is less significant. The parts of alkane molecules that enter into cavities on the OH-terminated side of (100) crystal plane are in the direction perpendicular to the interface whereas the parts of the molecules that enter into the cavities on the H-terminated side are in the parallel direction. The variation of radius of gyration across the interfaces suggests the molecular shape is remarkably flattened in the z direction in the layers close to the wall. It is observed that self-diffusion is lower near the wall and reaches to the bulk liquid value away from the walls. It is shown that molecules in touch with the smoother surface (001) migrate faster than the molecules in touch with rough surfaces (011) and (100). It was found that the in-plane diffusion characteristics in the adsorption layer are anisotropic in nature and this is the most noticeable for the (001) crystal plane.

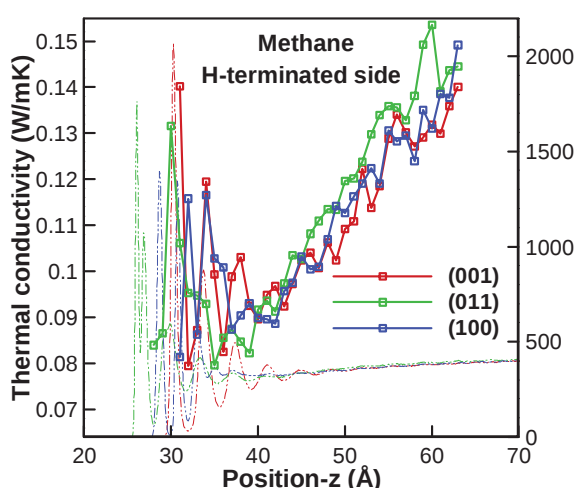


Fig.1 Thermal conductivity distribution of methane liquid methane and liquid

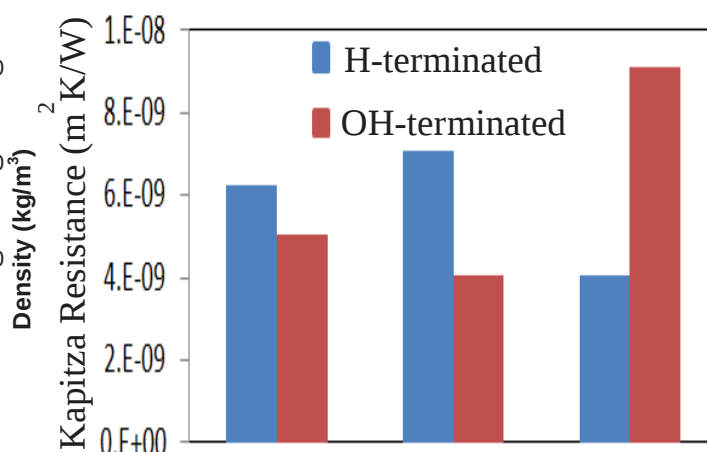


Fig. 2 Kapitza resistance between α -quartz substrate for different crystal planes

Thermal conductivity of liquid alkane in the solid-liquid interface region and Kapitza resistance between α -quartz substrate and alkane liquid has been calculated. Fig. 1 shows the distribution of thermal conductivity of liquid methane between the solid walls terminated with H-groups. It was observed that thermal conductivity of liquid methane in the vicinity of α -quartz substrate varies in an oscillatory manner according to the oscillation in the density profile. To the best of the author's knowledge, this phenomenon in the solid-liquid interface has never been reported in literature. It suggests that thermal conductivity is strongly influenced by the structure of liquid in the interface region. Fig. 2 shows the thermal resistance between liquid methane and the α -quartz for (001), (011) and (100) surfaces terminated with H- and OH-termination types. It is observed that the interfacial thermal resistance between the liquid methane and α -quartz substrate terminated with OH-groups is significantly higher for the (100) crystal plane than the other two crystal planes. On the other hand, thermal resistance between liquid methane and α -quartz surface terminated with H-groups for (100) crystal is considerably lower than the other crystal planes. It can be concluded that the Kapitza resistance is strongly depends upon the structure of liquid in contact with the solid substrate.

Future research focuses on structure, mass and thermal energy transport characteristics of binary liquid alkane mixtures in bulk phase and at solid-liquid interfaces.

平成 25 年度の研究業績

【査読論文（査読付き国際会議論文を含む）】

1. H. K. Chilukoti, G. Kikugawa, T. Ohara, A Molecular Dynamics Study on Transport Properties and Structure at the Liquid-Vapor Interfaces of Alkanes, International Journal of Heat and Mass Transfer, April 2013, Vol. 59, 144-154.
2. H. K. Chilukoti, G. Kikugawa, T. Ohara, Investigation of Interfacial Properties at α -Quartz/Alkane Interfaces Using Molecular Dynamics Simulations, International Journal of Advanced Research in Engineering & Technology, April 2013, Vol. 4(3), 68-76.
3. S. C. Mishra, R. Singh, P. Agarwal, H. K. Chilukoti, Analysis of Radiative Transport in a 2-D Cylindrical Participating Medium Subjected to Collimated Radiation, Numerical Heat Transfer, Part A, 2014. (in press)

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. 10th International conference on flow dynamics, Hari Krishna Chilukoti, Gota Kikugawa, Taku Ohara, Surface termination effect on structure of decane liquid in the vicinity of α -quartz surfaces (oral), 25-27 November 2013, Sendai, Japan.
2. 12th International symposium on fluid control measurement and visualization, Hari Krishna Chilukoti, Gota Kikugawa, Taku Ohara, Study of alkane chain length influence on structure and dynamic properties at intrinsic liquid-vapor interfaces (oral), 18-23 November 2013, Nara, Japan.
3. The 4th international symposium on micro and nano technology, Hari Krishna Chilukoti, Gota Kikugawa, Taku Ohara, A molecular dynamics study on effect of temperature on diffusion in the vicinity of an α -quartz surface/alkane interfaces (poster), 8-12 October 2013, Shanghai, China.
4. ASME 2013 summer heat transfer conference, Hari Krishna Chilukoti, Gota Kikugawa, Taku Ohara, Intrinsic structure and diffusion at liquid-vapor interfaces of alkanes by molecular dynamics simulation (oral), 14-19 July 2013, Minneapolis, USA.
5. 2nd International conference on advancements in engineering and management, Hari Krishna Chilukoti, Gota Kikugawa, Taku Ohara, Investigation of interfacial properties at α -Quartz/alkane interfaces using molecular dynamics simulations (oral), 27-28 February 2013, Hyderabad, India.
6. 第50回 日本伝熱シンポジウム, Hari Krishna Chilukoti, Gota Kikugawa, Taku Ohara, Structure of liquid alkane in the vicinity of liquid-vapor intrinsic interfaces, (oral), 29-30 May 2013, Sendai, Japan.

氏名 韓 笑波



所属 医工学研究科医工学専攻・D3

研究課題

せん断応力を負荷した共存培養モデル内の血管平滑筋細胞の応答

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

In this year, I have been focusing on vascular smooth muscle cells (SMCs) responses to fluid shear stress (SS) in a co-culture model system. SMCs are lying in the tunica media layer outside the intimal endothelial cell (EC) monolayer, and can regulate vessel diameter to control blood pressure and flow. Former studies conducting EC-SMC co-culture experiments have revealed that ECs exposed to a physical level of SS affect unsheared SMC functions associated with the development of atherosclerosis through cellular interactions [1,2]. Recently, Meng's group [3] explored that SMCs could respond to high SS and play a role in the formation of cerebral aneurysms. As for better understanding of the relationship between the local hemodynamics and blood vessel pathology, it is important to explore SMC behaviors under different SS conditions. Therefore, I constructed an EC-SMC co-culture model with phenotype-controlled SMCs (Fig. 1), which is similar to normal healthy arterial walls. The co-culture model was then exposed to SS and the production of MMP-2 and MMP-9 from SMC was observed using PCR method.

Figure 2 showed the result of MMPs production from SMC in the co-culture model after flow-exposure experiment. Compared with SMC cultured in serum-free medium for 15 days (q15), both MMP-2 and MMP-9 production from SMC cultured in co-culture model for 72h (static) increased. After 72h exposure to different magnitude of SS, MMPs production from SMCs changed differently. A SS of 2 Pa contained MMPs production same to q15, which is similar to former report [4]. While a high SS of 10 Pa induce higher MMPs production from SMC compared to q15. Since overexpression of MMPs is thought to be crucial during the initiation of cerebral aneurysms, this result may suggest how high SS influence blood vessel remodeling during the formation of cerebral aneurysms. Our former researches have revealed that the phenotype of q15 was a contractile state, characterized by low proliferation and a high level expression of contractile myoflament proteins. However, a low or high SS could induce a tendency of synthetically phenotype change of SMCs. Thus, the change of MMPs production from SMC under different SS conditions could be caused by the function change of SMCs. And the present result also showed that compared to q15, MMP-2 production after exposed to a low SS of 0.2 Pa increased while MMP-9 production decreased. This could be due to different functions of MMP-2 and MMP-9, and the detailed mechanisms need further experiments.

In conclusion, we constructed an EC-SMC co-culture model and explore MMPs production by SMCs in the co-culture model under different SS conditions in the present experiment. Application of a high SS of increased MMPs production by SMCs, and this result suggested that SMCs could response to SS conditions, and influence blood vessel remodeling during cerebral aneurysm's formation.

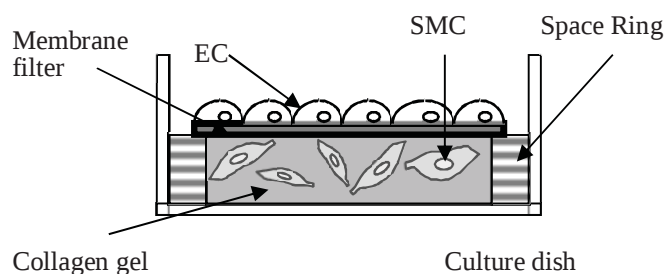


Fig. 1 A diagram of the co-culture model of EC-SMC

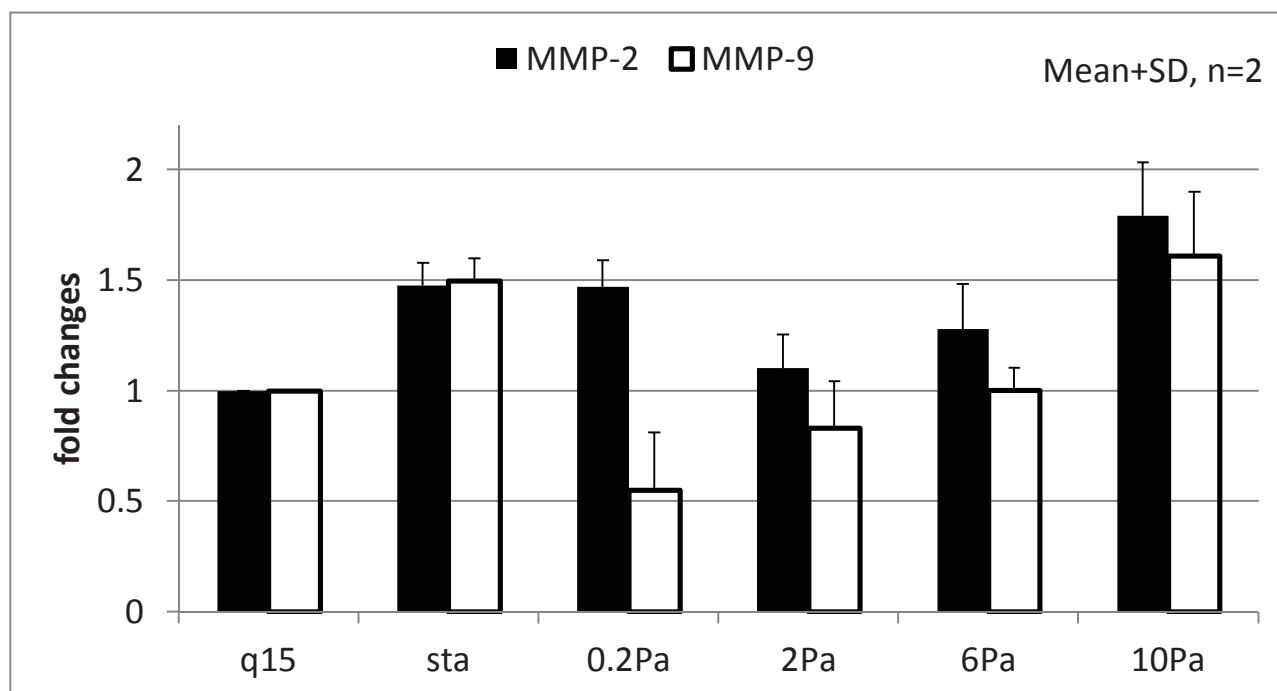


Fig.2 Effect of SS on MMPs production from SMC in co-culture model. Both MMP-2 and MMP-9 were detected by PCR method by q15 SMC, static cultured SMC in the co-culture model or exposed to shear stress for 72 h. Levels of the MMPs by SMC are normalized to those of q15.

- [1] Tsai, M. C., L. Chen, J. Zhou, Z. Tang, T. F. Hsu, Y. Wang, Y. T. Shih, H. H. Peng, N. Wang, Y. Guan, S. Chien, and J. J. Chiu, *Circ. Res.* 105(2009), 471–480.
- [2] Wang, H. Q., L. X. Huang, M. J. Qu, Z. Q. Yan, B. Liu, B. R. Shen, and Z. L. Jiang, *Endothelium* 13(2006), 171–180.
- [3] Meng, H., Z. Wang, Y. Hoi, L. Gao, E. Metaxa, D.D. Kolega, *Stroke*, 38(2007), 1924-1931.
- [4] Sakamoto, N., T. Kiuchi, M. Sato, *Annals of Biomedical Engineering*, 39(2011), 2750–2758.

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. ヒト血管と同じく収縮型を維持する平滑筋細胞と内皮細胞の共存培養モデルが作った.
2. 共存培養モデルを用いて、内皮細胞にせん断応力を負荷するときの平滑筋細胞からのMMPs産生量変化を調べた. 高いせん断応力は共存培養モデル内の平滑筋細胞からのMMPs産生を促進する. これは血管壁の脆弱化を誘発する可能性が示唆された.

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. Xiaobo Han, 坂元尚哉, 富田典子, Meng Hui, 佐藤正明, 太田信,
せん断応力を負荷した共存培養モデル内の血管平滑筋細胞からの MMP の産生量の変化
日本機械学会 2013 年度年次大会, 2013.9.8-11



氏名 福田 和史

所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・D3

研究課題

超小型衛星のための動的評価シミュレータに関する研究

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

[プロジェクト概要]

本プロジェクトでは超小型衛星「RISESAT」を開発する。RISESAT は東京大学の中須賀真一教授を中心として進行している「日本発の“ほどよし信頼性工学”を導入した超小型衛星による新しい宇宙開発・利用パラダイムの構築」プログラムにおいて開発される衛星群の第 2 号機にあたる。多数の海外機関の観測機器を搭載した理学観測衛星で、主ミッションは地表 5m 分解能の望遠鏡による観測、および、日本の情報通信研究機構(NICT)が開発した光通信ターミナルを用いた、超小型衛星における地上-衛星間光通信の実証である。衛星質量は 55kg であり、本研究室で開発してきた 50kg 級の超小型衛星の設計を踏襲しているが、今までの衛星で行われていない太陽電池パドル展開や、光通信実現のため従来衛星より高い指向制御精度を達成しなければならないなど、新たな課題に挑戦している。

[業務内容]

本年度は上記プロジェクトにおいて、実際に宇宙空間へ打ち上げる姿勢制御システムのコントローラなどの開発、および姿勢制御システムを評価する環境の評価・改修を行った。また、企業の製作するリアクションホイール（姿勢制御アクチュエータの一種）を設計・開発、評価試験を行った。

評価環境は球形エアベアリング（図 1）を用いた空気浮上テストベッド（図 2）を主体とした実機を組み込んだ閉ループ試験システムである。球形エアベアリングはエアコンプレッサーから圧縮空気を供給し、直径 10cm のベアリング球をわずかに浮上させ（100μm 以下）、ベアリング球を中心とした低摩擦の 3 軸回転運動を地上で実現できる。これは宇宙空間で衛星が重心周りに 3 軸回転運動を行うのとはほぼ同義であり、従って、球に衛星に相当する慣性モーメントの構造物を取り付け、重心と球中心を一致させると地上で衛星運動を模擬できる。

図 3 に評価システムの概略図を示す。テストベッド上に姿勢制御機器（ACS hardware）を搭載し、周囲にある赤外線カメラの計測システムでテストベッドに取り付けた赤外線 LED を検出し、PC でテストベッドの姿勢を算出する。これは本研究室でこれまで用いてきた実績のある通常販売品を使用し、コストダウンを実現した。この姿勢データは本研究室で開発中の宇宙環境シミュレータに送られ、このシミュレータと姿勢制御系の機器、姿勢計測システムで閉ループを構築し、宇宙環境に近い状態を模擬してテストすることを目指している。本年度は空気浮上テストベッドの重心をエアベアリング球の中心と一致させる調整機構、シミュレータとのインターフェース部分の改修を主に行った。



図 1 球形エアベアリング



図 2 空気浮上テストベッド

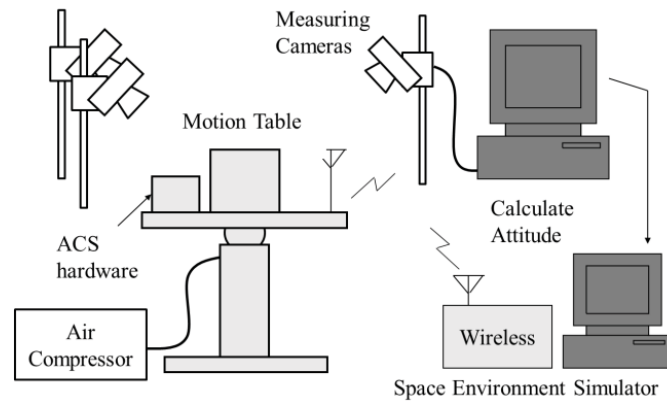


図3 動的シミュレータシステムブロック図

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. RISESAT プロジェクトにおける姿勢制御系のコントローラ・およびアクチュエータの開発・評価
2. 姿勢制御システムの統合・評価
3. 空気浮上テストベッドの開発・評価
4. 超小型リアクションホイールの開発・評価



氏名 藤巻 義信

所属 工学研究科 機械システムデザイン工学専攻・D1

研究課題

実環境 X 線吸収測定による高温電極の物質輸送経路の解明

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の高性能化・高信頼性化を目的として、実用多孔質空気極の電極反応分布および電極反応機構の解明に取り組んできた。現在、交流インピーダンス法などの電気化学的手法や電極構造の 3 次元構築情報を考慮した数値計算による電極反応評価が広く行われている[1, 2]が、これらはいずれも間接的な評価に過ぎず、電極における反応を直接評価できる実験的な手法の確立が求められている。これまで、我々の研究グループで μm オーダーに集光した高輝度硬 X 線を利用した X 線吸収分光法 (XAS) による直接評価手法を開発してきた[3]。本研究では、この手法をさらに発展させ、高温で雰囲気・印加電圧を制御しながらサブ μm オーダーの高位置分解能で X 線吸収分光測定を行うことが可能な装置を開発した。さらにこれを用い、 $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$ (LSC64) 多孔質空気極における酸素ポテンシャル分布を評価することにより、電極反応場ならびにその分布の直接観測に成功した。また、平行して同一電極で交流インピーダンス測定を実施し、伝送線モデルを用いた解析からも酸素ポテンシャル分布を評価した。

本研究では Fig. 1 に示す 3 電極セルを作製し、 873 K 、 $P(\text{O}_2) = 10^{-2}\text{ bar}$ 、電極過電圧 $\cdot 140\text{ mV}$ (印加電圧： -700 mV) の直流分極下で *in-situ* マイクロ X 線吸収分光測定を行った。得られた Co K 吸収端の XANES スペクトルを Fig. 2 に示す。測定は定常状態において電極/電解質界面から $1\text{ }\mu\text{m}$ おきに移動させて実施した。Fig. 2 から、電極/電解質界面に近づくにつれ、吸収端位置の低エネルギー側へのシフトが観測された。これは、分極に伴い電極/電解質近傍の酸素ポテンシャルが低下したことを示している[4]。観測された吸収端エネルギー値から対応する実効酸素分圧を求め、電極/電解質界面からの距離に対してプロットしたものを Fig. 3 に示す。電解質界面での酸素ポテンシャルは、電極過電圧から計算される実効酸素分圧とほぼ一致した。一方、界面近傍での酸素ポテンシャルの低下は、界面から離れるにつれて緩和され、 $4\text{ }\mu\text{m}$ 程度離れた位置では開回路時と同程度の酸素ポテンシャルになる様子が観測された。この結果より、本研究で用いた LSC64 多孔質空気極では電解質近傍およそ $4\text{ }\mu\text{m}$ の領域で電極反応が進行していることが示唆された。

また、*In-situ* マイクロ XAS 測定と平行して、 873 K 、 $P(\text{O}_2) = 10^{-2}\text{ bar}$ 、OCV の条件下で交流インピーダンス測定を行った。得られたインピーダンススペクトルと伝送線モデルによるフィッティング結果を Fig. 4 に示す。このフィッティング結果から得られた電極反応抵抗と酸化物イオンの拡散抵抗を用いて、LSC64 多孔質空気極内部のファラデー電流分布を算出した。得られたファラデー電流分布図を Fig. 5 に示す。Fig. 5 から電極/電解質界面近傍およそ $1\text{ }\mu\text{m}$ で電極反応が終了していることが分かり、X 線吸収分光測定の結果と界面近傍における酸素ポテンシャル分布の挙動が概ね一致する結果が得られた。

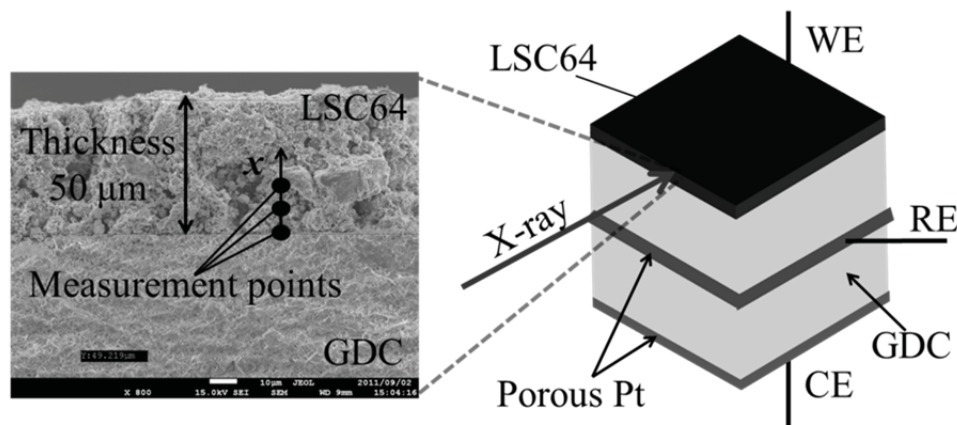


Figure 1. Schematic illustration of the electrochemical cell with its cross-sectional SEM image.

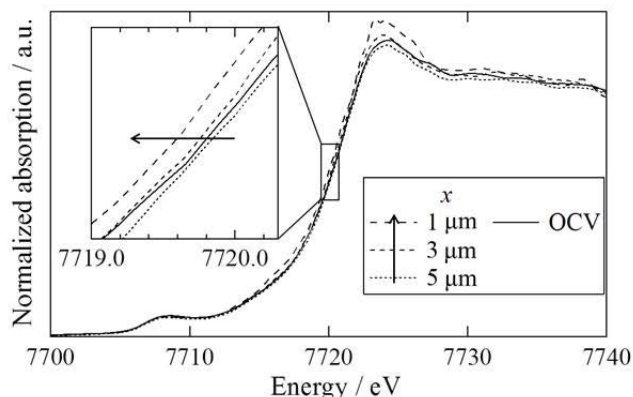


Figure 2. Co K-edge XANES spectra of the porous $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$ electrode under cathodic overpotential of -0.14 V in $P(\text{O}_2) = 10^{-2}$ at 873 K . x expresses the distance from the electrode/electrolyte interface.

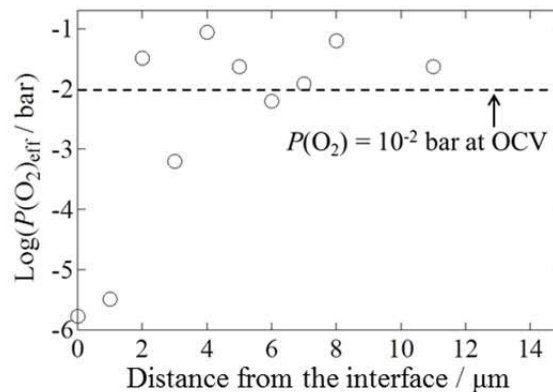


Figure 3. Distribution of $P(\text{O}_2)_{\text{eff}}$ in the porous $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$ electrode under cathodic overpotential of -0.14 V as a function of the distance from the electrode/electrolyte interface. The dashed line indicates atmospheric $P(\text{O}_2)$, 10^{-2} bar .

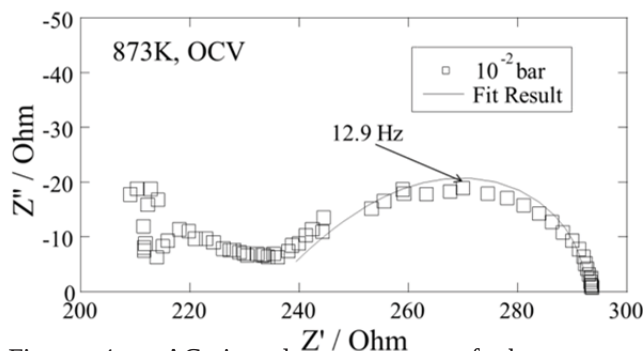


Figure 4. AC impedance spectra of the porous $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$ electrode in $P(\text{O}_2) = 10^{-2}\text{ bar}$ at 873 K under OCV and simulated impedance spectra by using transmission line model.

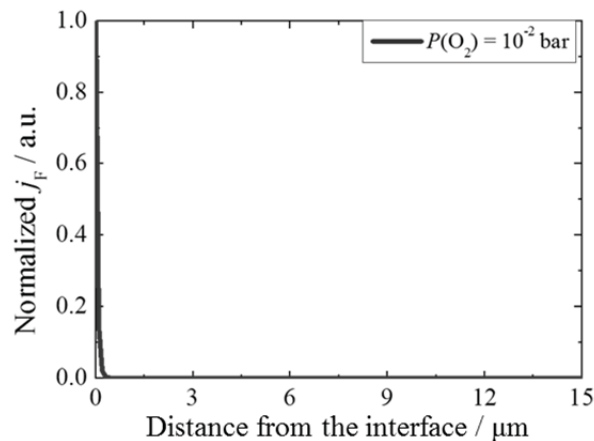


Figure 5. The ratio of the calculated Faradaic current j_F at the each position in the LSC64 electrode to the total current through the electrode/electrolyte interface.

- [1] S.B. Adler, J.A. Lane, B.C.H. Steele, *J. Electrochem. Soc.*, **143** (11), 3554-3564 (1996)
- [2] J. Joos, T. Carraro, A. Weber, E. Ivers-Tiffée, *J. Power Sources*, **196**, 7302-7307 (2011)
- [3] 雨澤浩史, 未順秋, 北村尚斗, 内本喜晴, 富井洋一, 佐瀬麻耶, 開米篤志, 佐藤一永, 川田達也, 第32回固体イオニクス討論会 (平成18年11月27-29日, 九大)
- [4] Y. Oriyasa, T. Ina, T. Nakao, A. Mineshige, K. Amezawa, M. Oishi, H. Arai, Z. Ogumi, and Y. Uchimoto, *J. Phys. Chem.*, **115**, 16433-16438 (2011)

平成25年度の活動 (シンポジウム・国際会議のオーガナイザーを含む)

<国際会議>

名 称 : SOFC-XIII 13th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells

主催団体 : The SOFC Society of Japan, The Electrochemical Society

開催国 : 日本

開催期間 : 2013年10月6日~11日

役割 : Staff

名 称 : The 14th Japan-Korea Students' Symposium
主催団体 : 東北大学、Seoul National University
開催国 : 日本
開催期間 : 2013 年 11 月 6 日～8 日
役割 : Chairman

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. SOFC多孔質空気極における酸素ポテンシャル分布の直接評価
SOFC多孔質空気極における電極反応場ならびにその分布の直接観測を目的として、その場マイクロX線吸収分光測定を用いた酸素ポテンシャル分布の直接評価に取り組んでいる。
2. $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$ 緻密膜パターン電極を用いた有効反応場の定量的解明
SOFC多孔質空気極における電極反応場を定量的に評価し、その形成に及ぼす因子を明らかにするために、MEMS技術を用いて三相界面のない柱状電極を模擬した $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$ パターン電極を作製し、その場マイクロX線吸収分光測定による酸素ポテンシャル分布の直接評価を行っている。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

1. Tatsuya Kawada, Mi Young Oh, Hidetaka Watanabe, Yuta Kimura, Yoshinobu Fujimaki, Tomohisa Masumitsu, Satoshi Watanabe, Shin-ichi Hashimoto, and Koji Amezawa
Compositional and Mechanical Stabilities of a (La, Sr)(Co, Fe) $\text{O}_{3-\delta}$ Cathode under SOFC Operation
ECS Transaction, **45** (1), 307-312 (2012)
2. Yoshinobu Fujimaki, Hidetaka Watanabe, Yasuko Terada, Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Shin-ichi Hashimoto, Tatsuya Kawada, and Koji Amezawa
Direct Evaluation of Oxygen Chemical Potential Distribution in an SOFC Cathode by In Situ X-Ray Absorption Spectroscopy
ECS Transaction, **57** (1), 1925-1932 (2013)

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. Y. Fujimaki, H. Watanabe, Y. Terada, T. Nakamura, K. Yashiro, S. Hashimoto, T. Kawada, and K. Amezawa
Oxygen Chemical Potential Distribution evaluated by *In Situ* Micro XAS in an SOFC Porous Cathode
Solid State Electrochemistry Workshop 2013, Heidelberg, Germany (2013.7.22-24)
2. 藤巻義信、渡邊秀貴、寺田靖子、中村崇司、八代圭司、橋本真一、川田達也、雨澤浩史
その場マイクロX線吸収分光法を用いたSOFC多孔質空気極の酸素ポテンシャル分布の直接評価
第9回 固体イオニクスセミナー、下呂市 (2013.9.8-10)
3. 雨澤浩史、藤巻義信、福重太郎、井口史匡、八代圭司、新田清文、湯上浩雄、川田達也
 $\text{BaZr}_{0.85}\text{Y}_{0.15}\text{O}_{3-\delta}$ 上の $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{CoO}_{3-\delta}$ 緻密薄膜電極のin situ XAS測定
第9回 固体イオニクスセミナー、下呂市 (2013.9.8-10)
4. Y. Fujimaki, H. Watanabe, Y. Terada, T. Nakamura, K. Yashiro, S. Hashimoto, T. Kawada, and K. Amezawa
Collaborative Research of Solid Oxide Fuel Cell and Global Environmental Efforts in Germany
Joint Congress of Environmental Leader Program 2013, Tokyo (2013.9.14)
5. Y. Fujimaki, H. Watanabe, Y. Terada, T. Nakamura, K. Yashiro, S. Hashimoto, T. Kawada, and K. Amezawa
Direct Evaluation of Oxygen Chemical Potential Distribution in an SOFC Cathode by *In Situ* X-Ray Absorption Spectroscopy
13th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cell (SOFC-XIII), Okinawa (2013.10.6-11)
6. K. Amezawa, Y. Fujimaki, R. Oike, Y. Orikasa, T. Ina, T. Nakamura, K. Yashiro, Y. Uchimoto, T. Kawada
Electrochemical Oxygen Reduction Reaction on an Oxide Ion Conductor Investigated by *In Situ* X-ray Absorption Spectroscopy

- Materials Science & Technology 2013 (MS&T '13), Montreal, Quebec, Canada (2013.10.27-31)
7. Y. Fujimaki, H. Watanabe, Y. Terada, T. Nakamura, K. Yashiro, S. Hashimoto, T. Kawada, and K. Amezawa
Direct *in-situ* evaluation of oxygen chemical potential distribution in an SOFC cathode
The 6th International Symposium of Environmental Leaders, Yogyakarta, Indonesia (2013.10.22)
 8. Y. Fujimaki, H. Watanabe, K. Nitta, Y. Terada, T. Nakamura, K. Yashiro, S. Hashimoto, F. Iguchi, H. Yugami, T. Kawada, and K. Amezawa
Direct Evaluation of Oxygen Chemical Potential Distribution in a dense pattern SOFC cathode by *In-situ* micro XAS measurement
The 14th Japan-Korea Students' Symposium, Sendai (2013.11.6-8)
 9. Y. Fujimaki, Y. Terada, T. Nakamura, S. Hashimoto, K. Yashiro, T. Kawada, and K. Amezawa
Distribution of the electrochemically active zone in the cathode for solid oxide fuel cell evaluated by in-situ micro XAS technique
International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials (Thermec '2013), Las Vegas, USA (2013.12.2-6)
 10. 橋本真一、渦巻裕也、工藤ほなみ、Riyan Achmad Budiman、八代圭司、藤巻義信、中村崇司、雨澤浩史、川田達也
SOFCにおける空気極の基礎物性と組成・界面領域設計のためのエンジニアリング
第22回 SOFC研究発表会、東京 (2013.12.19-20)
 11. Koji Amezawa, Yoshinobu Fujimaki, Takashi Nakamura, Yasuko Terada, Kiyohumi Nitta, Fumitada Iguchi, Hiroo Yugami, Keiji Yashiro, Tatsuya Kawada
Direct evaluation of effective reaction area in SOFC cathodes by *in situ* micro XAS
2014 Materials Research Society (MRS) Spring Meeting & Exhibit, San Francisco, California (2014.4.21-25)

【受賞・特許等】

受賞日：2012年3月30日

受賞名：電気化学会第79回大会 燃料電池(S9)ポスターセッション ポスター賞

組織名：公益社団法人 電気化学会 燃料電池研究会、SOFC 研究会

受賞日：2013年3月27日

受賞名：Certificate of International Environmental Leadership：Environmental Leader Master Certificate (ELMC)

組織名：東北大学 環境科学研究科、環境リーダープログラム 国際エネルギー・資源戦略を立案する環境リーダー育成拠点 (SERMSS)

受賞日：2013年3月27日

受賞名：Professional Master for Sustainable Environment (PMSE)

組織名：東北大学 環境科学研究科、環境リーダープログラム 国際エネルギー・資源戦略を立案する環境リーダー育成拠点 (SERMSS)

【研究費の獲得】

名称：東北大学大学院環境科学研究科 国際エネルギー・資源戦略を立案する環境リーダー育成拠点
環境リーダー インターンシップ

期間：2013年7月20日～9月1日



氏名 Riyan Achmad Budiman

所属 環境科学研究科 環境科学専攻 ・ D2

研究課題

固体酸化物形燃料電池用カソードの電極反応モデルの構築

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

Reduction of cathodic over potential is one of the important issues for the commercialization of the Solid Oxide Fuel Cells (SOFC). To overcome this problem, workers has been devoted the works to understand the factor limiting the cathode reaction, and also exploring the new cathode materials [1]. Recently, composite material which has two different phases becomes candidate as cathode material of SOFC [2,3]. Encouraging results on electrochemical and transport properties has been reported on mixed ionic and electronic conductor (MIEC) which mixed with an electrolyte material [3]. On our preliminary results on $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$ (LNF) mixed with $\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$ (GDC) shows large enhancement of interface conductivity compared to LNF cathode [4]. Many studies show that electrochemical performance enhances on MIEC composite. However, the mechanism of enhancement has not been fully understood so far.

If the electrochemical performance of LNF is enhanced by mixing with GDC, it might be not only due to the extension of triple phase boundary because LNF itself has sufficient ionic conductivity to reduce the oxygen at some portion of the electrode surface. The reason of enhancement MIEC composite has the possibility of enhancement of catalytic activity which has been reported [5]. In order to clarify the enhancement of catalytic activity by presence of GDC, the electrochemical performance of a dense LNF film electrode coated with GDC particles has been compared with the bare dense film electrode.

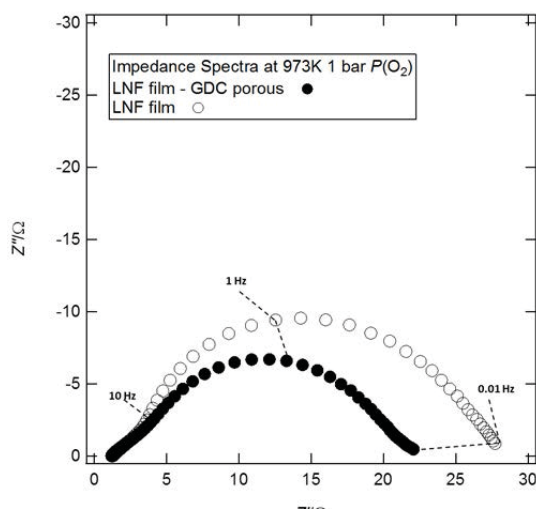


Fig. 1. Comparison of impedance spectra of LNF film – GDC porous with LNF film electrode at 973K and $p(\text{O}_2) = 1$ bar.

The impedance spectra of LNF film – GDC porous and LNF film electrode at GDC electrolyte showed a single arc, as shown in Fig. 1. The peak frequencies of the arcs were very low, which were in the range from 1Hz to 0.01 Hz, resulting in the large capacitances. From our analysis on LNF film electrode, such large capacitances are considered due to the oxygen nonstoichiometry changes of LNF and the rate determining step attached to the surface reaction [6]. As shown in Fig. 1, coating GDC porous layer on LNF surface film can substantially reduce the polarization on the LNF film

electrode. This result indicated that there might be high possibility of increasing catalytic activity by GDC porous layer because the GDC layer does not contribute to the extension of triple phase boundary. In this case the oxygen surface exchange kinetics might be enhanced due to the GDC supplies additional free oxygen vacancy for the surface exchange reaction.

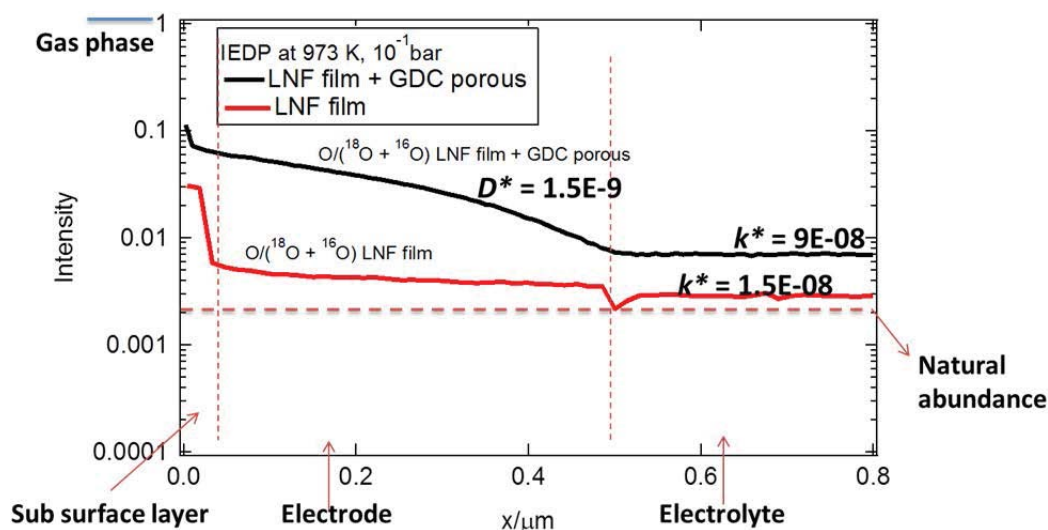


Fig. 1. Comparison of isotope depth profile of LNF film – GDC porous with LNF film electrode at 973K and $p(\text{O}_2) = 1$ bar. The LNF film – GDC porous has higher k^* than bare LNF film which indicate there is enhancement of catalytic activity due to the GDC particles.

Another measurement has been done by isotope depth profile technique (IEDP) using secondary ion mass spectrometry (SIMS). The bare LNF film was compared to the LNF film – GDC porous with same condition of isotope exchange treatment. Before the isotope exchange treatment, both of samples were pre-annealed for 3 hours at 973 K under 10^{-1} bar oxygen partial pressure. After that the atmosphere immediately changed into $^{18}\text{O}_2$ and the samples were treated for 10 minutes before quenched into R.T. The depth profile of $^{18}\text{O}_2$ traced by SIMS and both of samples were compared their oxygen reaction exchange rate (k^*). The LNF film – GDC porous has higher k^* compared to the bare LNF film which indicate that GDC effect enhanced the oxygen reduction process on the LNF film surface. Both of Measurement (impedance spectroscopy and isotope depth profile technique) indicated that GDC porous layer enhanced the catalytic activity of LNF film surface, however the mechanism of GDC porous layer hasn't been understood so far.

- [1] S. B. Adler, *Chem. Rev.*, 2004, **104**, 4820.
- [2] M. J. Jorgensen, and M. Mogensen, *J. Electrochem. Soc.*, 2001, **148**, A433.
- [3] V. Dusastre, J. A. Kilner, *Solid State Ionic*, 1999, **126**, 163.
- [4] R. A. Budiman, S. Hashimoto, K. Yashiro, K. Amezawa, T. Kawada, *The 13th Solid Oxide Fuel Cells*, 2013,
- [5] T. Hong, L. Zhang, F. Chen, C. Xia, *Journal of Power Sources*, 2012, **218**, 254.
- [6] R. A. Budiman, S. Hashimoto, K. Amezawa, T. Kawada, *ECSTransaction*, 2012, **45**, 287.

平成 25 年度の活動（シンポジウム・国際会議のオーガナイザーを含む）

<国際会議>

名 称：The 13th Solid Oxide Fuel Cell

主催団体：SOFC 研究会

開 催 国：日 本

開催期間：2013.10.06 ～ 2013.10.11

役 割：会場係

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

Project #1 : Determination of oxygen reduction process in mixed ionic and electronic conductor for SOFC cathode

Mixed ionic and electronic conductor (MIEC) is a class of the materials which has high performance cathode of SOFC. Although the thermodynamic and transport properties of it has been studied and understood over last decade ago, knowledge of reaction mechanism on the cathode is limited so far [Adler *et al.*, J. Catalyst, 245 (2004) 93; Fleig, PCCP 2 (2006) 2027]. One challenge is to make model of electrode reaction for MIEC in order to understand the reaction mechanism on the cathode as an aid to design high performance SOFC cathode.

Project #2 : Exploring high performance cathode material for cathode SOFC

Reducing the overpotential is one of the key issues to be solved for practical uses and it is essential to develop cathode with high performance for IT SOFC. There are two alternative way to reduce overpotential which have been studied so far. First pathway, previous study on hetero surface of (La,Sr)CoO₃ and (La,Sr)₂CoO₄ shows that the oxygen exchange rate is enhancing significantly [Sase *et al.*, SSI, 178 (2008) 1843]. As second pathway to improve the electrode performance, we propose to make composite cathodes consisting of multiphase materials.

【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

1. R. A. Budiman, S. Hashimoto, K. Yashiro, K. Amezawa, T. Kawada, “Electrochemical Performance and Reaction Mechanism of LaNi_{0.6}Fe_{0.4}O_{3-δ} – Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{1.95} Composite Electrode for Solid Oxide Fuel Cell”, *ECS Transaction*, Publisher: Pennington, N.J. Electrochemical Society, 57 (1), 1873-1878, (2013).

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. R. A. Budiman, S. Hashimoto, T. Nakamura, K. Yashiro, K. Amezawa, T. Kawada, “Determination of Rate Limiting Step on LaNi_xFe_{1-x}O_{3-δ} Film Electrode”, *the 14th Japan-Korea Students’ Symposium*, Sendai, Japan, 2013.11.06
2. R. A. Budiman, S. Hashimoto, K. Yashiro, K. Amezawa, T. Kawada, “Mechanism for Enhanced Electrochemical Performance on LaNi_{0.6}Fe_{0.4}O_{3-δ} - Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{1.95} Composite Electrode”, *第22回SOFC研究発表会*, 東京, 日本, 2013.12.19
3. R. A. Budiman, S. Hashimoto, K. Yashiro, K. Amezawa, T. Kawada, “Enhancement of Electrochemical Performance on LaNi_{0.6}Fe_{0.4}O_{3-δ} Film Electrode Modified by Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{1.95} Particles”, *the 38th International Conference and Exposition on Advanced Ceramics and Composites*, Daytona Beach Florida, USA, 2014.01.30

【受賞・特許等】

1. P20130092, Japan, 固体電解質型燃料電池の複合空気極, 川田達也, 雨澤浩史, 橋本真一, Budiman Riyan Achmad, 渦巻裕也

氏名 包 忠青



所属 工学研究科ナノメカニクス専攻・D2

研究課題

表面弾性波を用いた高感度ひずみセンサとそのネットワークの研究

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は、SAW 発振器を用いた無線ひずみセンサノードの開発と、これを利用した小規模なひずみセンサネットワークを構築、消費電力や通信距離などの実用的なデータの収集に取り組んだ。

1. 表面弾性波(Surface Acoustic Wave: SAW)発振器を用いた無線ひずみセンサノードの開発

構造物ヘルスマonitoringシステム用無線式ひずみセンサノードの構成図を図 1 に示す。このセンサノードの構築するため、下記の要素技術の開発を行なった。

i) 高感度で、無線送受信技術と親和性の高いセンサ素子の開発

SAW 素子は、無線システムにおいて共振子や分波器として広く用いられており、無線技術との親和性も期待され、高感度なセンサと研究されている^[1,2]。本研究では、マイクロマシニング微細加工を利用し、SAW 素子を用いたひずみセンサを開発した。本センサでは、ひずみをセンサの周波数変化量として検出する($\Delta f = \varepsilon \times f_0$)。図 2 は、作製を行った SAW 素子の光学顕微鏡写真(a)と走査型電子顕微鏡写真(b)である。

ii) 低消費電力のセンサ駆動回路および無線送受信回路(トル・通信システム)の開発

まず、無線式への構築のため、低消費電力のセンサ駆動回路の開発を行った。センサ駆動回路は、作成した SAW 素子の等価特性を利用し、それを増幅回路で組み合わせた SAW 発振器型ひずみセンサを開発した。図 3 は、作製した SAW 発振器型ひずみセンサの写真である。

次に、センサとセンサ信号処理回路、無線送受信チップとの集積化を行った。低消費電力のスター・メッシュ型のセンサネットワークを構築することため、IEEE802.15.4gに準拠した無線送受信チップを用い、SAW発振器ひずみセンサと信号処理回路を集積化し、図1に示したような、センサノードプロトタイプ作成した。図3にセンサノードの外観図を示す。本構成では、二つのSAW発振器が搭載されており、一方のSAW発振器はひずみセンシング用、他方が局部発振器として機能する。この構成を用いることで、温度ドリフトなどのひずみ以外の外乱を補償することができる。

2. ひずみのリモートセンシング評価

開発したセンサノードを利用し、小規模なひずみセンサネットワークを構築、消費電力や通信距離などの実用的なデータの収集に行った。図 4 は、日本工業規格に基づく引張試験によるひずみ無線評価結果である。図 5 は、構造体模試したアルミ板のひずみ分布を無線計測した結果である。

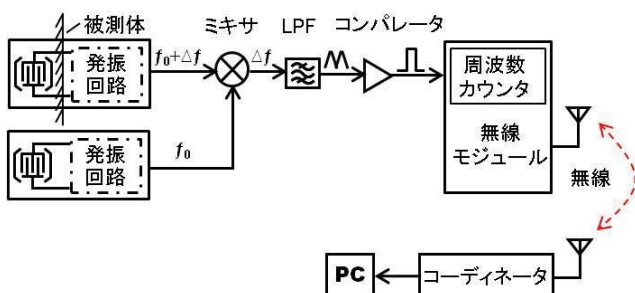


図 1 無線ひずみセンサノードの構成図

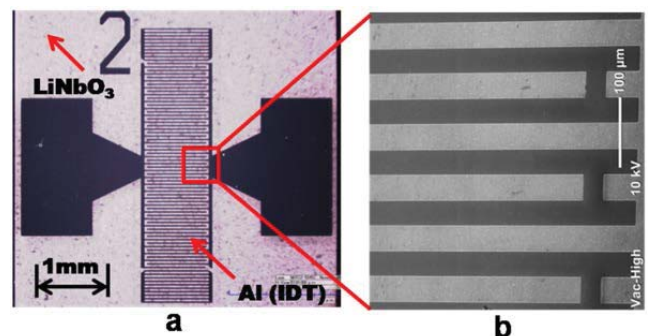


図 2 SAW ひずみセンサの写真

光学顕微鏡写真(a)と走査型電子顕微鏡写真(b)

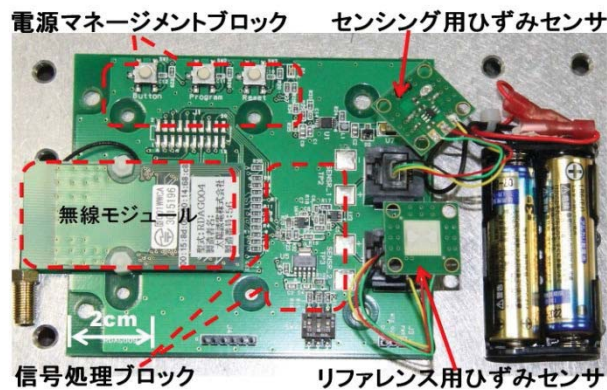


図3 センサノードの外観

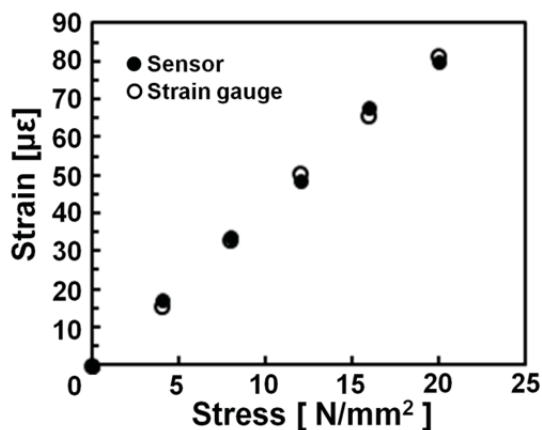


図4 引張試験によるひずみ特性

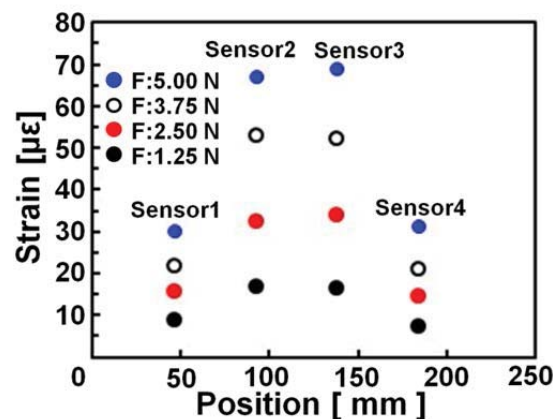


図5 アルミ板のひずみ分布特性

- [1]. 近藤 淳:“SAW 共振器一体型 SAW センサシステムの開発”TECHNICAL REPORT OF IEICE , US2002-114, (2003-2)
- [2]. V.kalinin: “Passive Wireless Strain and Temperature Sensors Based on SAW Devices” Proc. IEEE Int. Radio. And Wireless Conf. pp.187-190 (2004)

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

SAW 発振器ひずみセンサ用いた無線センサノードの構築とそのネットワーク化

マイクロマシニング微細加工技術により、SAW 発振器型ひずみセンサを作製、低消費なセンサ駆動回路と信号処理回路、低消費無線通信技術と集積化した無線ひずみセンサノードのプロトタイプを試作し、高感度な無線ひずみセンサを実現できた。また、このセンサノードを利用して、小規模なひずみセンサネットワークを構築、消費電力や通信距離などの実用的なデータの収集を行った。これにより、本センサノードは今後大規模な構造物のひずみモニタリングシステムへの展開の可能性を実証した。

【査読論文（査読付き国際会議論文を含む）】

1. B.Donohoe, D.Geraghty, G.ODonnell: “Wireless Calibration of a Surface Acoustic Wave Resonator as Strain Sensor” IEEE Sensors Journal, 11 pp.1226-1232 (2011).
2. V.kalinin: “Passive Wireless Strain and Temperature Sensors Based on SAW Devices” Proc. IEEE Int. Radio. And Wireless Conf. pp.187-190 (2004)
3. 近藤 淳:“SAW共振器一体型SAWセンサシステムの開発”TECHNICAL REPORT OF IEICE , US2002-114, (2003-2).

4. B. P Kropelnicki, K-M Muckensturm, X J Mu, A B Randles, H Cai, W C Ang, J M Tsai and H Vog: "CMOS-compatible ruggedized high-temperature Lamb wave pressure sensor" J. Micromech. Microeng. 23 (2013) 085018 (9pp)

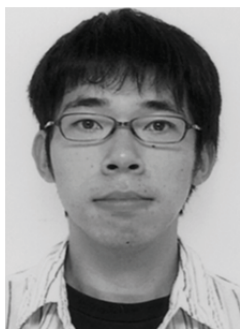
【学術雑誌・専門書等（査読あり）】

○平成 23 年（1 月～12 月）

1. 日本機械学会誌＜雑誌＞
2. 超音波研究会資料 / 電気通信学会
3. Japanese Journal of Applied Physics (JJAP)
4. J. Micromech. Microeng

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. 包忠青、原 基揚、桑野 博喜
表面弾性波ひずみセンサを用いた構造ヘルスマニタリングシステム
第30回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム、仙台市、（2013.11.5-7）



氏名 帆加利 翔太

所属 工学研究科量子エネルギー工学専攻・D2

研究課題

エネルギープラント構造部材を対象とした低サイクル疲労損傷の材料組織学的検出技術と評価手法

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は、当研究室で開発された定電位エッチングを用いた塑性ひずみ/疲労損傷検出定量化手法について、その適用性の検討および検出原理の更なる解明を検討した。まず、図 1 のようにエッチング痕が同一粒内においても一様に分布せず、ある一定の部位のみにある特定の方向に現れていることに着目した。多結晶の材料中に塑性変形が導入された際、すべての結晶粒に同等のひずみが導入されるのではなく、塑性変形が生じやすい粒と生じにくい粒があること[1]、同一結晶粒内でも塑性変形の分布が生じており、粒内に方位差が生まれていること[2]が知られており、本手法は変形部と母材の結晶方位の相違を利用しエッチングを行っているため、変形そのものでは結晶方位の変化が生じないすべり線エッチングの現出においては同一粒内における結晶方位差が大きく影響する可能性があるため、同一結晶粒内での結晶方位の変化がエッチング結果にどう影響を与えるか調査した。図 1 にエッチング後の表面を示し、図 2 に同一箇所において EBSD(電子線後方回折)を用いた結晶方位解析を行った際の IPF マップを示す。図 1 上方の黒丸部では右上方向から左下方向へのすべり線エッチング痕が明瞭に観察されるがその他の部位ではその限りでない。同様に図 1 右下の黒丸部では他の部位より明瞭に交差したすべり線エッチング痕が観察されている。エッチング結果が変化した面と EBSD 解析結果を比較すると、同一粒内でも結晶方位が優位に変化している面であることがわかる。このことから、同一粒内における結晶方位の変化はエッチングの分布と関係をもつこと、結晶方位の変化は塑性変形の分布と関係しているため、同一粒内での塑性変形の分布をエッチング痕の分布で示すことができる可能性があることがわかった。

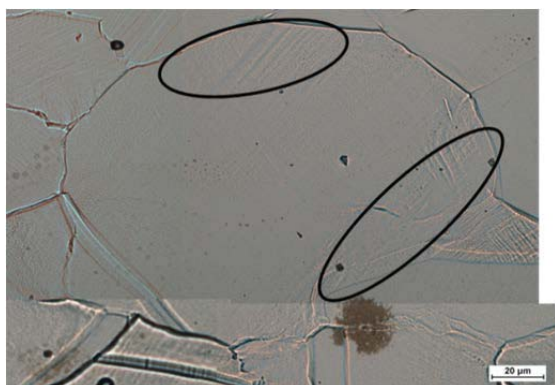


図 1 SUS316NG エッチング後表面
(17.5%ひずみ, 250℃)



図 2 エッチング後表面の EBSD 解析結果

[1]足立 吉隆, 小島真由美, 諸岡 聡, 友田 陽, Journal of the JSTP, Vol.53(2010), pp.883-890

[2]釜谷昌幸, 日本機械学会論文集 A 編, Vol.74, (2008), pp.315-322

平成 25 年度の活動（シンポジウム・国際会議のオーガナイザーを含む）

<国際会議>

名 称：The 10th International Conference on Flow Dynamics

主催団体：東北大学流体科学研究所

開 催 国：日 本

開催期間：2013.11.25 ～ 2013.11.27

役 割：Floor Leader

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. エッチングにより表面に縞模様が発生しエッチング観察が難しかったことから、圧延組織に対する本手法の適用性を検討した。エッチング条件の変化や材料の薄膜化などを検討したが、エッチング前のコロイダルシリカ仕上げを行うことにより適用可能性があることを示した。
2. 室温においてひずみを付与した材料においてもすべり線エッチング痕が現出しており、炉水温度域ひずみ材と同様にエッチング痕密度がひずみと相関性を持つことを示した。
3. エッチング後に表れる周囲と様相の異なる溶け残り面についてSEM観察等を用いてその正体について検討した。
4. レプリカ技術をエッチング痕が現出した組織に適用し、精度高く表面性状をトレースした後普通の方法組織と同様の顕微鏡観察でひずみ計測が可能であることを示し、実構造物への適用性を示した。

【受賞・特許等】

受賞日：2010 年 7 月 15 日

受賞名：日本保全学会 奨励賞

組織名：日本保全学会

受賞日：2012 年 3 月 22 日

受賞名：総長賞

組織名：東北大学

受賞日：2012 年 7 月 27 日

受賞名：日本保全学会 発表賞

組織名：日本保全学会

氏名 Sergey Bolotov



所属 工学研究科機械システムデザイン工学専攻・D1

研究課題

ナノ・マイクロ複合構造体の超音波援用成形に関する研究

平成 25 年度 研究成果概要

1. 研究背景

ガラスの製造方法の一つに、ゾルゲル法が考案されている。ガラス前駆体、水分を原材料に用いて、化学反応により軟質な湿潤ゲルを合成し、それを乾燥、熱処理することでシリカガラスを生成する方法である。溶液が軟質なゲルの時にプレス成形によって形状転写することで、従来のガラス成形と比較し低温で低圧で成形できる。この技術による金型の長寿命化、微細構造の転写性向上への貢献が期待されている。本年度はガラス微細構造の成形法の確立を目的として、ゾルゲル法における溶液の種類と塗布方法の検討を行った。成形法として、ガラス前駆体溶液を数 μm の厚みに薄く塗布しながら重ねていく方法（重塗膜法）と、型にガラス前駆体溶液を流し込んで数 mm の厚膜を形成する方法（型成形法）を考案し検討した。本研究では 2 種類のガラス前駆体を用いた：ペルヒドロポリシラザン（PHPS）、オルトケイ酸テトラエチル（TEOS）である。

2. 出発溶液の組成の影響

出発溶液の組成が生成されるガラスバルク体の構造に与える影響について検討した。図 1 に示す出発溶液の組成の三成分相図を用いてゾルゲル反応で得られるゲルの性状を整理できると報告されている。点線は反応の量論関係式から導き出される、水分が十分ある場合と反応副生成物の水分を用いる場合の直線である。プロット点は実験により生成したバルク体が透明ゲル、半透明ゲル、ゲル化せずに粉体または反応しないかを示す。結果は前研究とよく一致しており、同図を利用して型成形法に最適なゾルゲル反応の出発溶液の組成を決定できることがわかった。

3. 型成形法と重塗膜法の比較

次に、型成形法と重塗膜法を用いて平面にシリカガラス膜を成形した場合の表面性状を検討した。型成形法では、ゲル化したバルク体にはまだ水分と溶媒が含まれているため、乾燥の段階で構造体が不均一に収縮し割れることがある。それを防止するためには水より沸点が高く浸透圧の低い溶媒を用いて、ゆっくり気化させ構造体内部の収縮率分布を均一に保つ必要がある。溶媒にエチレングリコールを用い、型の容器に蓋をして隙間から溶媒が 2 週間程度かけて抜けるようにした結果、割れの無い $20 \times 15 \times 6 \text{ mm}$ のバルク体を生成することが出来た。バルク体の表面画像を図 2 に示す。表面には気孔が膨らんでできた凹凸と

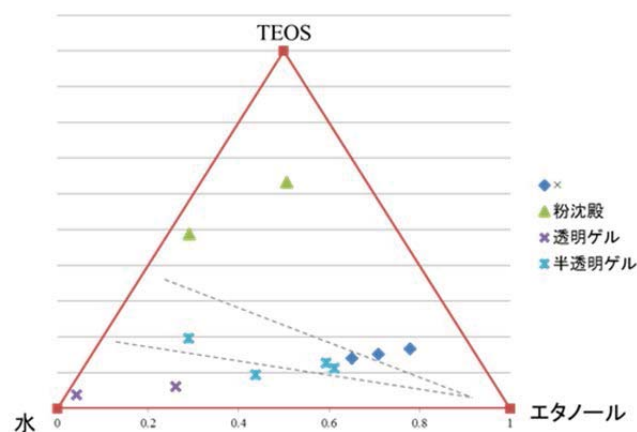


図 1 出発溶液組成とガラスバルク体性状の関係

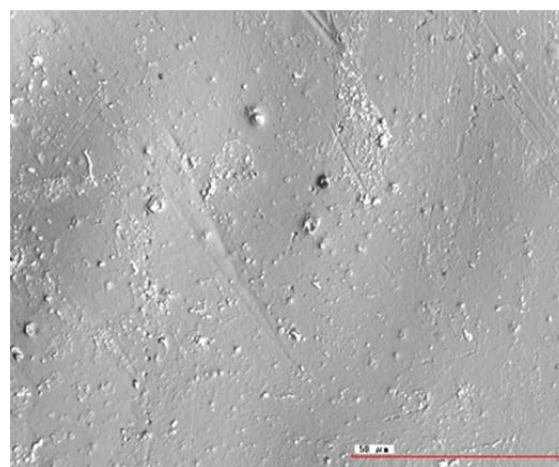


図 2 型成形法で生成したバルク体表面のレーザ顕微鏡画像

結晶のようなものが見られ、表面が粗いことがわかる。図 3 に重塗膜法を用いて(a)TEOS、(b)PHPS でそれぞれ 5 回成膜した面を示す。室温でディップコーティングを行い、成膜間に 30 s 乾燥時間をおいた。同図から TEOS では気孔が生じているのに対し PHPS で成膜した面では見られないことがわかる。この膜の厚さはどちらもおよそ 1~2 μm 程度である。成膜間の乾燥時間を伸ばせばより厚膜を形成できると考えられる。

本研究から、1 μm 程度の微細構造の成形には成形時間の面で重塗膜法のほうが型成形法よりも適していることがわかった。また、重塗膜法に用いるガラス前駆体は TEOS よりも PHPS の方が適していることがわかった。型成形法では一回で大きな構造体を生成できるが、乾燥をシビアに制御しなければならない。一方、重塗膜法で成形されるガラス膜は非常に薄く、後工程で利用出来るためには離型方法を検討しなければならないと考えられる。

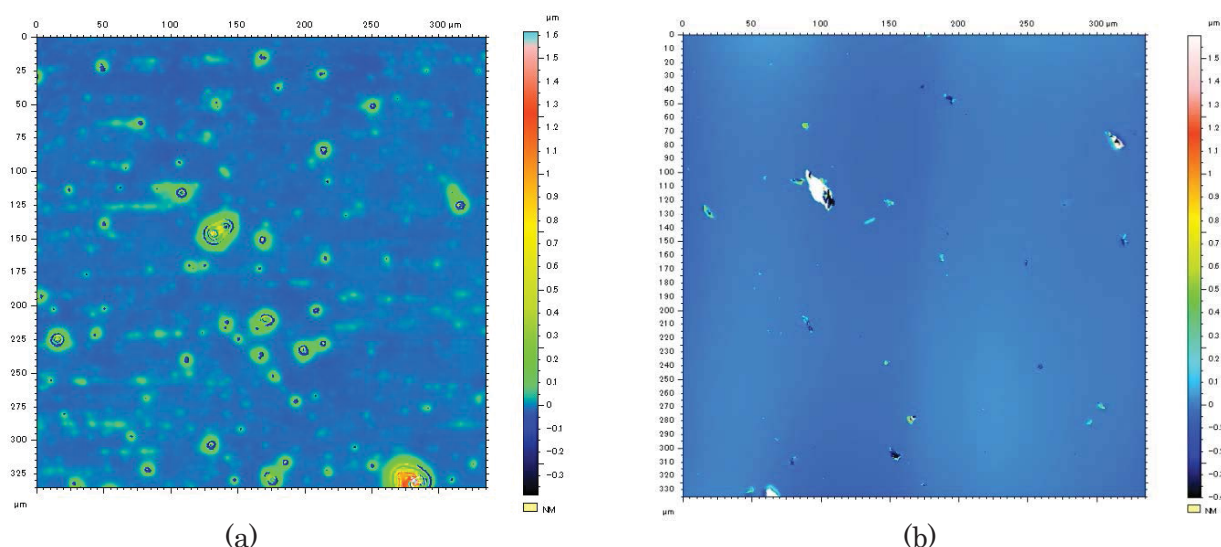


図 2 5 回成膜した面の非接触表面形状測定機の表面高度画像 (a) TEOS, (b) PHPS

平成 25 年度の研究業績

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

1. Bolotov Sergey, Kobayashi Ryuichi, Shimada Keita, Mizutani Masayoshi, Kuriyagawa Tsunemoto: Fabrication of Precision Micrograting on Resin Substrate Utilizing Ultrasonic-Assisted Molding, The 7th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century(LEM21), The Japan Society of Mechanical Engineers(JSME) (2013/11/7)

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. ボロトフセルゲイ, 渡辺智之, 周 天豊, 閻 紀旺, 厨川常元: 超音波援用成形に関する研究, 2011 年度砥粒加工学会卒業研究発表会発表論文集, (社)砥粒加工学会, pp37-38(2011)
2. ボロトフセルゲイ, 小林龍一, 嶋田慶太, 厨川常元: 超音波援用プレス成形に関する研究, 第 9 回生産加工・工作機械部門講演会, (社)日本機械学会

【受賞・特許等】

受賞日: 2011 年 3 月 7 日

受賞名: 優秀ポスター賞

組織名: (社)砥粒加工学会 2011 年砥粒加工学会卒業研究発表会

受賞日: 2013 年 11 月 7 日

受賞名: 優秀論文賞

組織名: The 7th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century(LEM21)

氏名 洪 炫珍



所属 環境科学研究科環境科学専攻 ・ D3

研究課題

チタン酸カルシウムへの複数元素添加による高イオン導電相の設計

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

Efforts to find eco-friendly generation system having high efficiency have grown in importance more and more due to fast exhaustion of natural resources from industrialization. Fast industrialization also leads to break out the serious pollution such as water, air and ground pollutions and so on for several decades. Solid Oxide Fuel Cells (SOFCs) are attractive field kind of fuel cell applications among the scientists due to their high efficiency and pollution-free operation process [1-2].

Yttria-stabilized zirconia (YSZ) having fluorite-type lattice structure was considered as typical electrolyte material of SOFCs due to high ionic conductivity and excellent stability at high temperature. However, this high operating temperature as 800-1000°C causes rapid decrease of cell stability due to unexpected surface reaction between electrodes and electrolyte and it can be a reason of cell efficiency, finally [3-4]. To solve this problem, the research about decreasing operating temperature to intermediate temperature (IT-SOFCs) range as 600-800°C is considered as solution.

Calcium titanate, CaTiO_3 will be a good alternative for electrolyte candidate due to high ionic conductivity and structural stability.

In this research, Sc was selected as dopant element into CaTiO_3 to extend ionic conduction range. Conductivity of $\text{CaTi}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_{3-\delta}$ ($x=0.05, 0.1$) was measured systemically depending on temperature from 1000°C to 800°C as function of P_{O_2} to analyze electric charge carrier. Based on the results of conductivity measurement, fitting process was performed to investigate the ionic transference number behaviors from defect chemistry point of view for mixed-conductor.

Fig. 1 shows conductivity behavior of $\text{CaTi}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_{3-\delta}$ ($x=0.05, 0.1$) depending on temperature as function of P_{O_2} . The values of total conductivity were observed increased behavior with increasing temperature in both contents of Sc addition. In addition, conductivities were increased both at high P_{O_2} and low P_{O_2} region because hole conduction was be a dominant electrical charge carrier at high P_{O_2} region (p-type conduction) and electron conduction was be a dominant electrical charge carrier at low P_{O_2} region (n-type conduction) with increasing temperature. It lead also contraction of ionic conduction domain with increasing temperature both cases of Sc addition. This phenomenon was considered as typical mixed ionic electronic conductor. Although ionic conduction domain was observed most narrow at 1000°C, it was supposed still showing wide ionic conduction range. 10% Sc doped- CaTiO_3 , $\text{CaTi}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ was showed higher conductivity values at all range of temperature compare with 5% Sc doped- CaTiO_3 , $\text{CaTi}_{0.95}\text{Sc}_{0.05}\text{O}_{3-\delta}$ however, similar values were observed between $\text{CaTi}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ at 800°C and $\text{CaTi}_{0.95}\text{Sc}_{0.05}\text{O}_{3-\delta}$ at 1000°C. Especially, conductivity values were dramatically improved than YSZ was observed in $\text{CaTi}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ at 1000°C [8].

Fitting process as shown solid lines was carried out to obtain the partial conductivities including σ_{elec} , σ_{ion} and σ_{hole} conductivity parameters which confirming dominant electric charge carrier to contribute total conductivity. In this research, this fitting equation was performed as below:

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_{\text{hole}} P_{\text{O}_2}^{+1/4} + \sigma_{\text{electron}} P_{\text{O}_2}^{-1/4} + \sigma_{\text{ion}}$$

Fitting processes were well matched with whole range of temperature in $\text{CaTi}_{0.95}\text{Sc}_{0.05}\text{O}_{3-\delta}$, $\text{CaTi}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ system. It was confirmed that ionic conductivity was main contribution parameter of total conductivity.

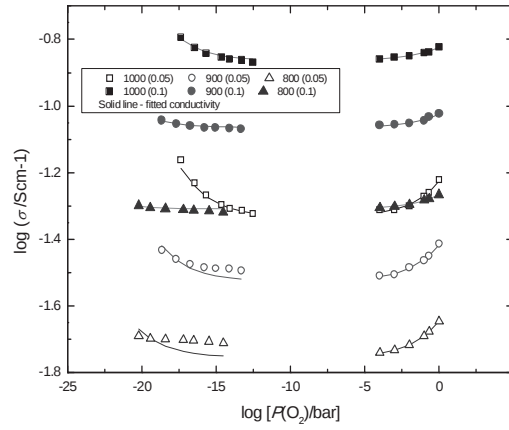


Fig. 1. Total conductivity of $\text{CaTi}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_{3-\delta}$ ($x=0.05, 0.1$) and their fitted conductivity

Fig. 2 shows ionic transference number t_i of $\text{CaTi}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_{3-\delta}$ ($x=0.05, 0.1$) as a function of P_{O_2} . Ionic transference number also showed similar behavior compare with conductivity result as shown in Fig. 1 which showing having narrow P_{O_2} region behavior with increasing temperature. The oxygen partial pressure region which kept as flat state was decreased with increasing temperature both of $\text{CaTi}_{0.95}\text{Sc}_{0.05}\text{O}_{3-\delta}$, $\text{CaTi}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ system. Analysis of ionic transference numbers can be a obvious evidence that lower temperature had more wide oxygen partial pressure region describing contribution of ionic conduction from total conductivity in this research. Moreover, this result also related with total conductivity as shown in Fig. 1 because ionic transference number means proportion of ionic conductivity from total conductivity as below:

$$t_i = \frac{\sigma_{ion}}{\sigma_{tot}}$$

Even behaviors of t_i were observed getting narrow P_{O_2} region with increasing temperature across the board, the values closed 1 which means pure ionic conductor were shown both $\text{CaTi}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ and $\text{CaTi}_{0.95}\text{Sc}_{0.05}\text{O}_{3-\delta}$ at whole temperature.

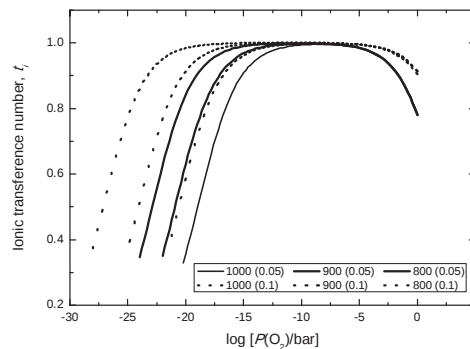


Fig. 2. Ionic transference number of $\text{CaTi}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_{3-\delta}$ ($x=0.05, 0.1$)

These behaviors also have differences with Hashimoto et al was reported. In previous study [7], t_i of $\text{CaTi}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ measured by a concentration cell increased with increasing temperature. However, the t_i values in this study shows decreasing with increasing temperature. Over potential that occurred at concentration cell in the previous study probably caused lower estimation of t_i at lower temperature. Although the values of t_i were decreased with increasing temperature, it was showed

high values compare with other types of mixed-conductor. Relatively high ionic conductivity and t_i at 800°C suggest that $\text{CaTi}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_{3-\delta}$ series have potential as SOFC electrolytes.

[1] K. C. Wincsesicz, J. S. Cooper, J. Power Sources, 140, 280-296 (2005)

[2] P. Plonczak, M. Joost, J. Hjelm, M. Lundberg, P. V. Hendriksen, M. Sogaard, J. power sources, 196, 1156-1162 (2011)

平成 25 年度の活動（シンポジウム・国際会議のオーガナイザーを含む）

< 国際会議 >

名 称：第 22 回 SOFC 研究発表会

主催団体：SOFC 研究会

開 催 国：日 本

開催期間：2013.12.19 ～ 2013.12.20

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. scandium (Sc) was selected as dopants material to improve conductivity properties by substitution of Ti site in unit lattice. Conductivity was improved by increasing Sc addition and showed typical mixed ionic electronic conductor existing p-type, n-type conduction at high and low oxygen partial pressure (PO_2), relatively. Ionic conduction region was observed getting narrow with temperature increased due to dominant of hole and electron conduction as function of PO_2 . Ionic transference number, t_i was showed analogous behavior with conductivity results.
2. Sc-doped CaTiO_3 system, $\text{CaTi}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_{3-\delta}$ series are suitable for SOFCs materials especially, electrolytes requiring high ionic conductivity. scandium (Sc) was selected as dopants material to improve conductivity properties by substitution of Ti site in unit lattice. Conductivity was improved by increasing Sc addition and showed typical mixed ionic electronic conductor existing p-type, n-type conduction at high and low oxygen partial pressure (PO_2), relatively. Ionic conduction region was observed getting narrow with temperature increased due to dominant of hole and electron conduction as function of PO_2 . Ionic transference number, t_i was showed analogous behavior with conductivity results.
3. Sc-doped CaTiO_3 system, $\text{CaTi}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_{3-\delta}$ series are suitable for SOFCs materials especially, electrolytes requiring high ionic conductivity



氏名 三宅 哲

所属 情報科学研究科情報基礎科学専攻・D2

研究課題

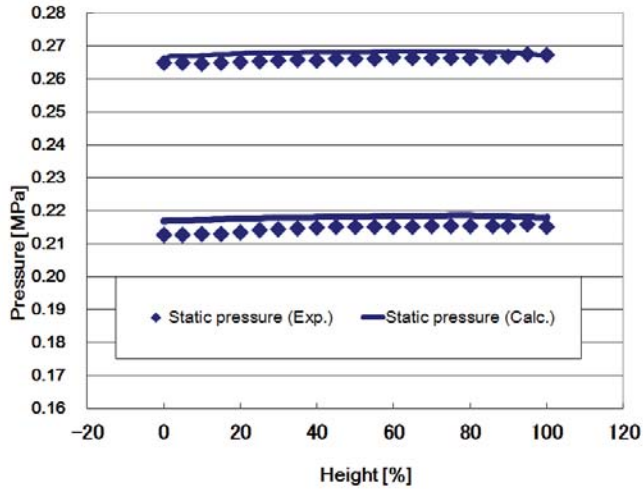
蒸気タービン多段静動翼列を通過する非平衡凝縮流れの数値シミュレーション

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

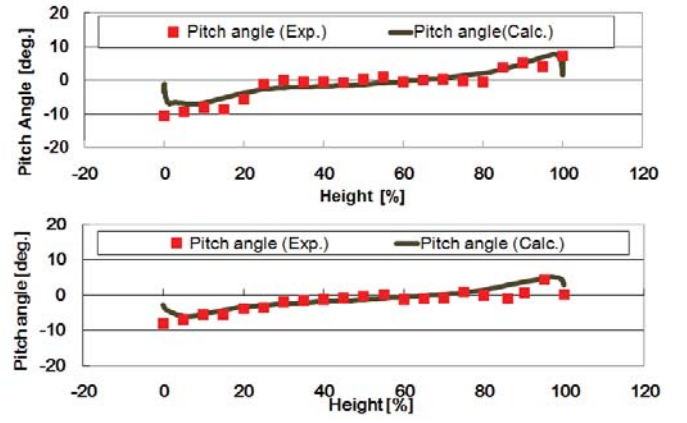
本年度は、三菱重工業が開発した蒸気タービン静動翼列三段を対象に、三次元非定常凝縮流れを解析した。蒸気タービンにおける湿り損失とは、凝縮潜熱の放出による熱力学的損失や、粗大液滴が翼へ衝突することによる制動損失や壊食など様々なものがある。本研究においては、凝縮メカニズムの解明と湿り損失低減のため蒸気の平衡・非平衡凝縮を考慮し三次元多段静動翼列を非定常解析可能なプログラム数値タービンを開発している。まず、平衡凝縮流れを対象に計算結果と実験結果との比較を行い、計算プログラムの妥当性を確認した（図 1）。次に、実験では実施困難である入口過冷却条件を仮定した計算を行った。一般的に、火力発電用蒸気タービンにおいては、その凝縮は最終段近傍における蒸気の過冷却状態に起因する非平衡凝縮が支配的である。そこで、入口過冷却条件を考慮することで、翼列流路内における非平衡凝縮を解析した。表 1 は計算条件である。図 2 はミッドスパンにおける湿り度分布の瞬間値である[1]。CASE 1 においては蒸気は 1 段目静翼喉部背側から、CASE 2 においては 2 段目静翼喉部から凝縮が開始していることがわかる。凝縮開始位置の違いは入口の温度条件の違いに寄って引き起こされる。図 3 はそれぞれの場合について、ミッドスパンにおける温度と圧力を入口から出口までプロットしたものである。それぞれの場合において、入口から徐々に温度・圧力が下降していき、あるところで急激な温度上昇が生じている。これは急激な核生成と非平衡凝縮によって潜熱が放出されたためと考えられる。これらの位置は、図 2 における凝縮開始位置に相当する。蒸気は過冷却状態にあっても直ちに凝縮を開始せずに、ある特定の温度・圧力条件（ウィルソンポイント）において急激な相変化が起きる。多段翼列におけるウィルソンポイントの予測は実験においては非常に困難であるため、今後計算による解析が益々重要である。また、エンドウォール近傍における特徴的な流れ場を発見した。図 4 は CASE 1 における、3 段目動翼出口での湿り度の時間推移を示したものである[1]。ミッドスパンにおける湿り度が、エンドウォール側の湿り度に比べて高いことがわかる。一方で、エンドウォール側における湿り度は上下に細かく変動しており、さらに翼先端側においてその最大値はミッドスパンにおける値を凌駕している。つまり、エンドウォール近傍においては、より複雑な湿り度分布が形成されており、局所的な湿り度もミッドスパンの値に匹敵することがわかった。エンドウォール近傍においては二次流れ渦が形成されており、凝縮液滴と二次流れ渦との相間によってこのような現象が引き起こされていると考えられる。

蒸気タービンにおいて、湿り損失と二次流れ損失は大きな問題となっている。そこで、これらの損失を低減させる翼形状を検討している。特に、直線翼列に対して形状を変更することで翼形状と流れ場の関係を評価している。この際に、独自開発した格子変形プログラムを用いることで、形状変更した翼に対して新たに計算格子を作成する労力を大幅に削減可能となった。現在は、翼に対してスタッキングやエンドウォールコンタリング、フィレット等を付加して計算している。

[1]Miyake. S., Yamamoto. S., Sasao. Y., Momma. K., Miyawaki. T., Ooyama. H., Proc. ASME Turbo Expo 2013, GT2013-94832(2013)



(a) Static pressure distributions

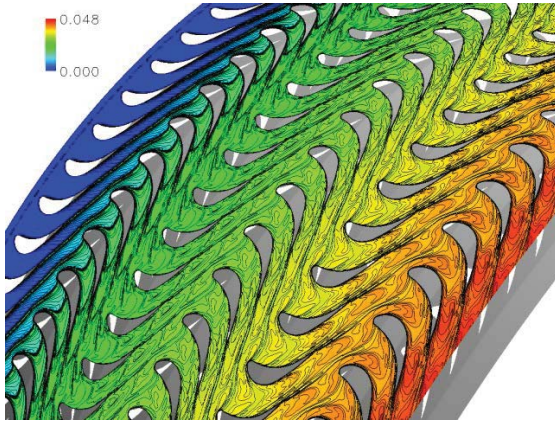


(b) Pitch angle distributions

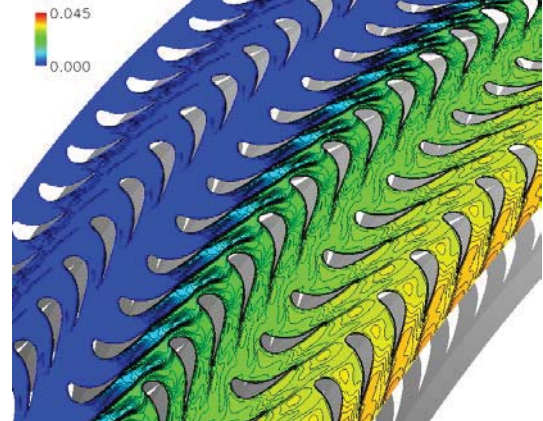
Fig. 1 Comparison of experimental results and computational results

Table 1 Flow conditions

	Inlet total pressure [MPa]	Inlet total temperature [K]	Inlet wetness [%]	Pressure ratio [-]
CASE 1	0.330	384.301	0.0	1.901
CASE 2	0.330	394.301	0.0	1.901



CASE 1



CASE 2

Fig. 2 Instantaneous condensate mass fractions at the mid span[1]

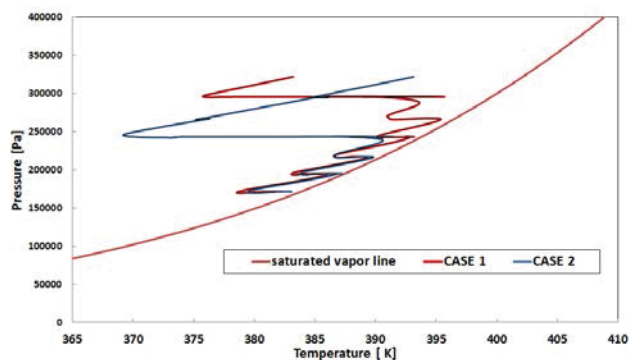


Fig. 3 Time-averaged P-T curves of CASE 1 and CASE 2 at the mid span

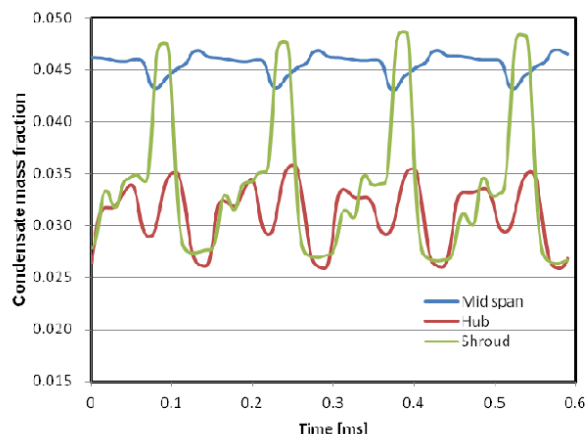


Fig. 4 Time series of condensate mass fractions at the outlet of third-stage rotor [1]

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 蒸気タービン多段静動翼列における非平衡凝縮流れの解析
発電用蒸気タービンの効率を改善させるために、湿り損失の解明と低減を目指す。凝縮現象へ大きく影響を与える三次元性と非定常性を考慮し、さらに実機を対象とした解析や凝縮モデルの改良を行っている。
2. 湿り損失および二次流れ損失低減翼の開発
蒸気タービンにおいて大きな問題となっている湿り損失と二次流れ損失を低減させるために、直線翼に対して形状変更を加え流れ場の変化を検証している。特に、計算において、既存の計算格子を直接修正する方法によって新たな翼形状に対する計算格子作成時間の大幅な短縮を試みている。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

1. Miyake, S., Yamamoto, S., Sasao, Y., Momma, K., Miyawaki, T., Ooyama, H.,
Unsteady Flow Effect on Nonequilibrium Condensation in 3-D Low Pressure Steam Turbine Stages, Proceedings of ASME Turbo Expo 2013, June 3-7, 2013, San Antonio, USA, GT2013-94832(2013)
2. Eulerian-Lagrangian Numerical Simulation of wet steam flow through Multi-Stage Steam Turbine,
Sasao, Y., Miyake, S., Okazaki, K., Yamamoto, S., Ooyama, H.,
Proceedings of ASME Turbo Expo 2013, June 3-7, 2013, San Antonio, USA, GT2013-95945(2013)

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. 三宅哲, 笹尾泰洋, 山本悟,
蒸気タービン三段翼列を通る非平衡凝縮流れの三次元非定常解析,
日本機械学会 2013 年度年次大会講演論文集, 2013.9.8-11, 岡山
2. 岩崎俊樹, 三宅哲, 笹尾泰洋, 山本悟,
スタッキング翼からなるタービン多段静動翼列の非定常三次元流動解析
日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, 2013.11.9-10, 福岡
3. 三宅哲, 笹尾泰洋, 山本悟,
非平衡凝縮を伴う蒸気タービン三段静動翼列の三次元非定常流動解析
第 27 回数値流体力学シンポジウム講演論文集, 2013.12.17-19, 名古屋



氏名 森竹 勇斗

所属 工学研究科ナノメカニクス専攻・D1

研究課題

共振型メタマテリアルによる動的発光制御

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は、高い Q 値をもった共鳴を実現するための光メタマテリアルの設計、及び作製を行った。

まず、数値計算によって光メタマテリアルの Q 値を解析し、最適なデザインの探索を行った。具体的な構造として、わずかに長さの異なる二つの金属ワイヤからなる構造 (ADB) を選択した (図 1 (a))。ADB は Fano 共鳴を利用することで高い Q 値の共鳴を実現することができる上、構造が単純なため作製においても有利である[1]。数値計算により、光学スペクトルを計算した結果、高い Q 値をもった Fano 共鳴の発現を確認することができた (図 1 (b))。また、吸収スペクトルから Q 値を解析した結果、二つのワイヤの長さの違い (非対称性) が特定の値の時に、共鳴の Q 値が最大になることが分かった (図 1 (c))。これは Q 値の大きさを決定する要因である、放射損失と金属損失がちょうど釣り合っているからであると考えられる[2]。

続いて、微細加工技術を用いて設計したデバイスの作製を行った。構造は電子線リソグラフィによる描画とリフトオフにより作製し、電子顕微鏡により数百ナノメートルスケールの構造が設計通りに作製されていることを確認した (図 2 (a))。また、光学測定を行い、数値計算との非常に良い一致を得ることができた (図 2 (b))。これにより、ADB による高い Q 値をもった Fano 共鳴を実験的に確かめることができた。

最後に、さらなる Q 値の向上を目指し、光メタマテリアルと利得媒質を組み合わせた系 (図 3 (a)) における Q 値の向上を数値計算により検証した。その結果、特定の利得値において Fano 共鳴の Q 値が著しく向上することがわかった (図 3 (b))。これは利得媒質からメタマテリアルにエネルギーが受け渡されることによって、金属損失が減少した結果であると考えられる。また、 Q 値が向上する利得値がより低くなるような構造を検討した。利得媒質は、金属構造の周辺を囲むように配置するとよいことがわかった。

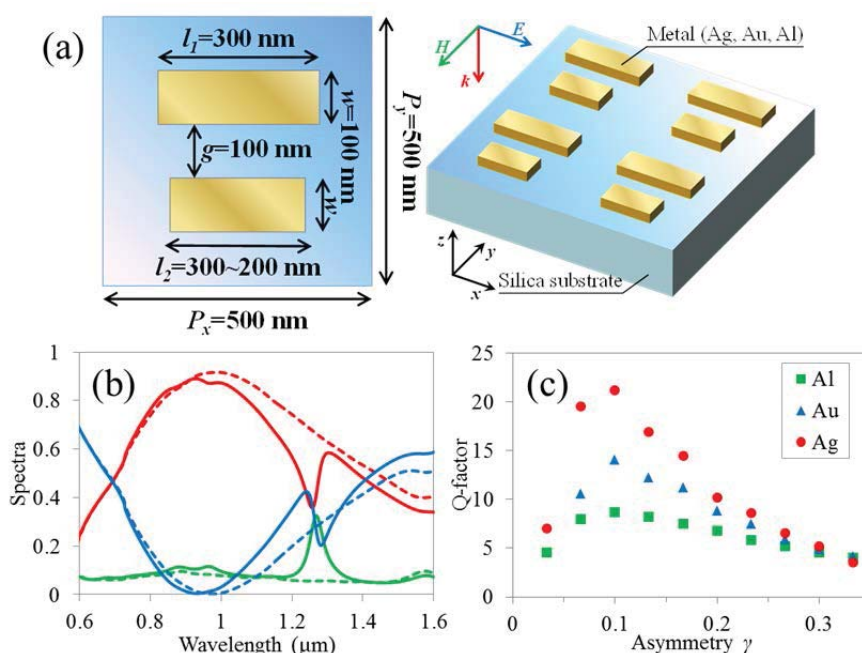


図 1 (a)メタマテリアル単位胞と全体図(b)光学スペクトル(c) Q 値の非対称度依存性

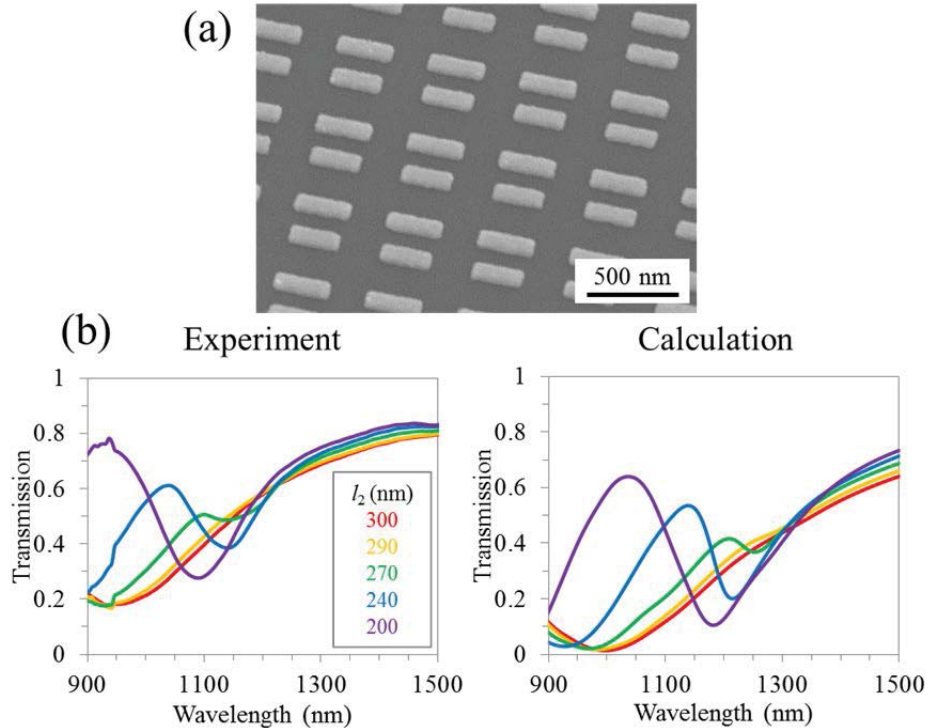


図 2 (a)作製したメタマテリアルの電子顕微鏡画像(b)透過スペクトル：実験（左）と計算（右）の比較

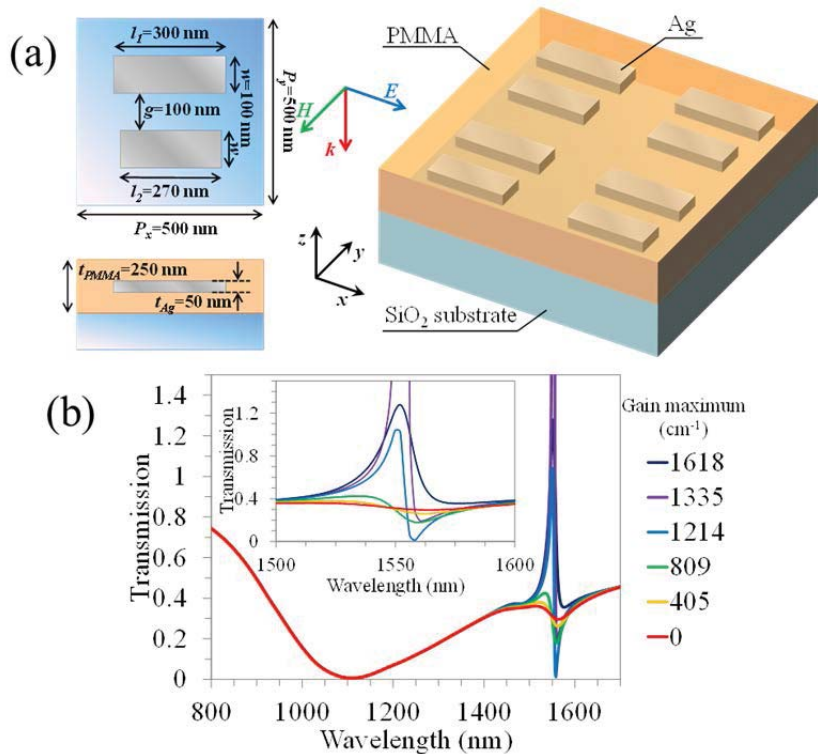


図 3 (a)利得媒質を組み合わせた系の外観図 (b)透過スペクトルの利得依存性（挿入図は共鳴付近の拡大図）

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. Fano共鳴をもつ光メタマテリアルにおけるQ値に関する数値解析
わずかに長さの異なる金属のワイヤから成る光メタマテリアルにおいて、Fano 効果を利用した高Q値共鳴を実現できることを数値計算により明らかにした。また、構造の非対称性と共鳴のQ値との関係を数値的に解析し、最もQ値が高くなるようなデザインを確立した。

2. 微細加工技術による光メタマテリアルの作製とFano共鳴の実証
高度な微細加工技術を用いて、数百ナノメートルスケールの構造体から成る、光メタマテリアルを作製した。また、そのサンプルの光学測定結果から、Fano 共鳴が発現していることを確認した。
3. 利得媒質と光メタマテリアルの複合系におけるQ値の向上に関する数値解析
量子ドットなどの利得媒質と光メタマテリアルの複合系において、特定の利得値で Fano 共鳴の Q 値が著しく上昇することを数値計算によって確認した。また、Q 値の向上に必要な利得値がより低くなるようなデザインを数値計算により検討した。

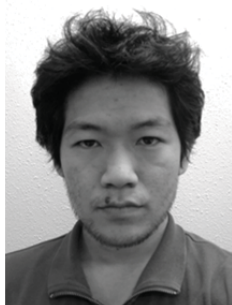
【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

1. Yuto Moritake, Yoshiaki Kanamori, and Kazuhiro Hane
Numerical study on Optical Metamaterials with High Quality Factor Composed of Asymmetric Double Bars
9th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication (accepted, February, 2014).
2. Yuto Moritake, Yoshiaki Kanamori, and Kazuhiro Hane
Demonstration of Fano Resonance in Metamaterials Composed Asymmetric Double Bars in Optical Region
5th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (accepted, May, 2014).

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. 森竹勇斗、金森義明、羽根一博
利得媒質による光メタマテリアル共鳴のQ値向上に関する数値解析
第61回応用物理学会春季学術講演会、青山学院大学、(2014.3.17-20)

氏名 山口 賢悟



所属 工学研究科バイオロボティクス専攻・D1

研究課題

汎用的かつ低コストなロボットハンドの実現

ー把持機構と吸着機能の融合ー

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

本年度は把持機構と吸着機能を組み合わせたロボットハンドの再設計を行った。設計・製作したロボットハンドを図 1 に示す。このロボットハンドは昨年度製作したロボットハンド iGRIPP4 をベースにしており、3 本の指を 2 個のモータにより駆動する。指先に吸着パッドを備えることにより、低自由度でありながら様々な作業を実現することができる。本年度製作したロボットハンドは、モータの配置を工夫することにより、昨年度製作のロボットハンドに比べ、高さ 12 mm、幅 20 mm の小型化を実現しており（図 2）、また把持力を強化（測定値でおよそ 1.5 倍）している。さらに構造のガタを低減し精密な制御が可能となっている。製作したロボットハンドは 2013 年 11 月に開催された国際ロボット展 (iREX2013)[1]において、デモンストレーションの展示が行われた。

また、これまで提案したロボットハンドを、工場のセル生産システムに用いることを想定した実証実験を行うために、人間を模した双腕ロボットの設計・製作を行った。この双腕ロボットは各腕それぞれの 7 自由度に加えて、胴体の回転の 1 自由度を有し、作業台全体を利用して双腕を用いた作業を行うことが可能である。このロボットは各腕の先端に、製作したロボットハンドを取り付けることができる。また、画像処理を用いた作業の自動化を行うことを想定し、頭部にカメラを取り付けるためのマウントを備えている。ロボットの制御には計算トルク法を用い、各関節の角度制御、逆運動学を計算することによる手先位置姿勢の制御、力センサを用いたインピーダンス制御等を実装している。製作した双腕ロボットおよびロボットハンドを用いて、セル生産システムにおいて人間が行っている複合作業の自動化の実験を行っている。

これまで製作したロボットハンドおよび双腕ロボットは、自分の研究のみならず、他の学生の研究にも活用されている。2013 年 12 月には日本放送協会 (NHK) の「サイエンス ZERO」[2]において、製作したロボットを用いた双腕協調制御が紹介された（図 4）。

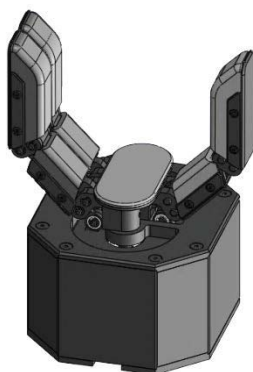


図 1 低自由度多機能ロボットハンド

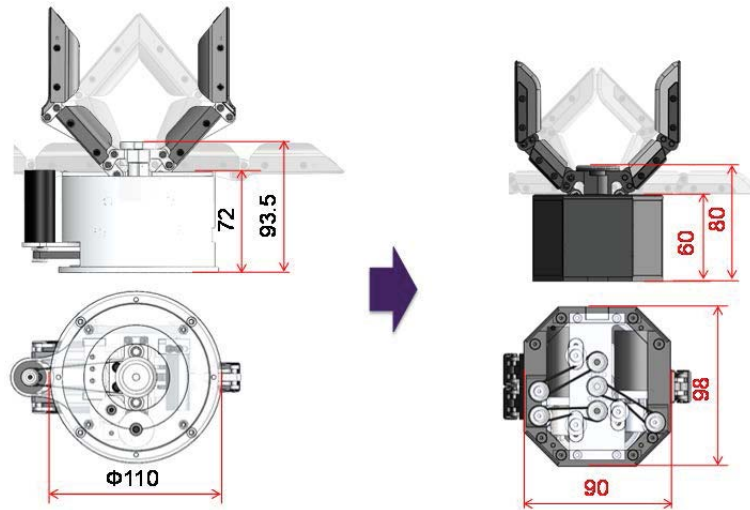


図2 昨年度製作のロボットハンドとの比較

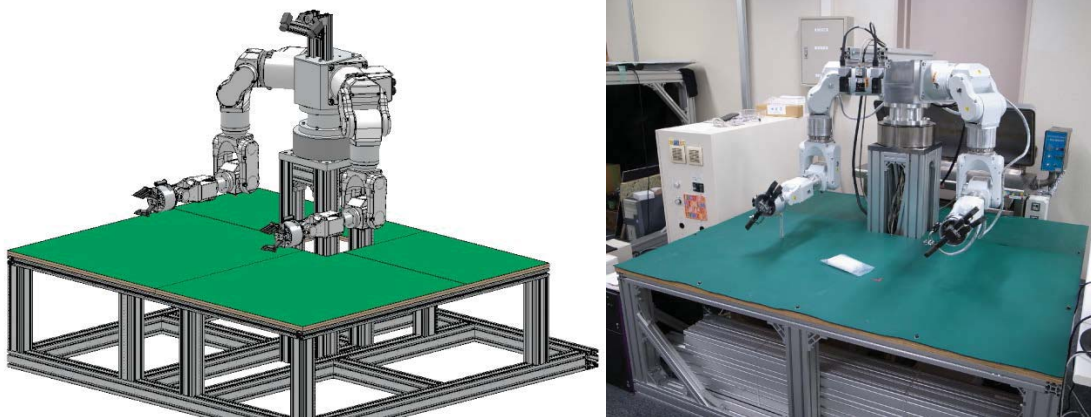


図3 双腕ロボットシステム



図4 NHK「サイエンス ZERO」取材の様子

- [1] 2013 国際ロボット展 iREX, <http://www.nikkan.co.jp/eve/irex/>, (2014 年 2 月 9 日)
 [2] NHK サイエンス ZERO, <http://www.nhk.or.jp/zero/contents/dsp449.html>, (2014 年 2 月 9 日)

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 低自由度多機能ロボットハンドの再設計
モータ配置等を工夫することによって、昨年度製作のロボットハンドに比べ、小型化、把持力の強化およびガタの低減を実現している。
2. 双腕ロボットの製作
人間の作業者を模した、双腕ロボットを設計・製作し、これまで人間が行っている作業の自動化実験を行っている。

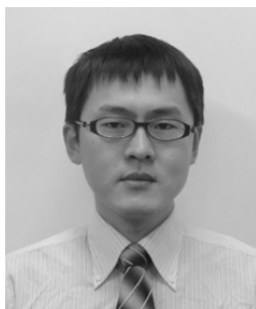
【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

1. Kengo Yamaguchi, Yasuhisa Hirata and Kazuhiro Kosuge,
Development of Robot Hand with Suction Mechanism for Robust and Dexterous Grasping
Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 5500-5505,
November 2013.

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. 山口賢悟、平田泰久、小菅一弘
吸着機能を有するロボットハンドの把持解析
日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会、2013年5月

氏名 楊 猛



所属 工学研究科ナノメカニクス専攻・D1

研究課題

高機能カーボン系材料を応用した次世代超高感度歪センサの開発

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

安全・安心な社会構築を推進するためには、社会インフラを支える産業用大型構造機器や高齢化社会を支える医療介護機器における安全性の維持管理に大きな関心が集まっている。それら構造機器の高機能、高性能化の進展に伴い、高速、高温など過酷な環境における機械的負荷も厳しくなり、疲労損傷により部品の劣化や破断などの致命故障を誘発することが多くなってくる。そこで、構造機器を長期間安全に使用し維持するために、稼働中の応力、歪みをオンラインモニタリングし健全性を把握することが必要不可欠となる。しかし、従来使用されてきた金属箔ひずみセンサは、ひずみ感受性が弱く、高速回転や移動する構造機器に負荷されるひずみを高感度に測定することは困難であるため、構造機器に発生するひずみを、非破壊、広いダイナミックレンジでかつ高精度に測定できるセンサ技術の開発が望まれている。そこで、我々は、機械的強度、化学的安定性、軽量性など従来の物質にない優れた特性を持つグラフェンに着目し、構造機器に適用可能な超小型・高感度センサ技術の開発を目的として研究を行っている。図 1 に示すように、グラフェンはグラファイトの一層であり、炭素六角形ネットワークから成る単原子層の物質である[1]。グラフェンは幅の減少に伴い、量子細線状になる時、強いサイズ効果とエッジ効果により電子バンド構造は機械的ひずみにより変化するため[2]、電気伝導性も非常に強いひずみ依存性を有することが予測された。この特性を利用して、グラフェンは超高感度ひずみセンサへの応用が期待されている。これまでには、グラフェンを応用したひずみセンサの開発は盛んに研究され、ひずみ範囲 0% - 0.3% でゲージ率(電気抵抗変化と負荷歪みの比)約 300(従来の金属歪みセンサの 150 倍)にも達する高感度が実現された[3]。しかし、グラフェン電子バンド構造・電気伝導性のひずみ感受性はシートサイズ、エッジ形状、層数など構造要素に支配されるため、報告されたグラフェンひずみセンサは 100 倍以上の感度のばらつきがみられる。そこで、安定に動作できるグラフェンひずみセンサを作製するためには、グラフェン電子構造・電気伝導性のひずみ感受性の構造支配因子を解明することが重要となり、それに基づいたセンサ構造の精密設計と制御が必要不可欠である。

本年度は、グラフェンひずみセンサの設計指針を確立することを目標として、第一原理計算とタイトバインディング近似モデルを併用し、グラフェンの基本物性を支配するシートサイズ、エッジ形状、層数などの構造要素を考慮し、引張ひずみが負荷される時、グラフェンシート電気伝導特性の変化を予測することを試みた。理論計算により、アームチェアグラフェンの軸方向ひずみ感受性の構造支配因子依存性を明らかにした。図 2(a)に示すように、引張ひずみが負荷される時グラフェンの状態を模擬して、解析モデルを作成する。 N_s と N_a はそれぞれグラフェンひずみ領域に含まれる単位胞の数、幅方向にあるカーボンダイマーの数である。タイトバインディング近似により解析したバンドギャップ軸方向歪み応答特性の幅 N_a 依存性は図 3(a)に示す。軸方向ひずみの増加とともに、バンドギャップが周期的に変化し、ピーク位置も幅 N_a の変化とともにシフトすることが明らかとなった。また、アームチェアグラフェンにバイアス電圧を印加し、タイトバインディング近似グリーン関数法を用いて、ひずみが負荷環境におけるアームチェアグラフェン電気伝導性のひずみ感受性の構造支配因子を解明した。アームチェアグラフェンを流れる電流の歪依存性は図 3(b)に示している。電流変化の歪依存性は図 3(a)に示すように、バンドギャップ変化と逆の傾向が観察され、バンドギャップが 0 の時、電子が抵抗のない弾道性伝導により、最大電流を達成できることが分かった。また、電流のひずみ応答特性の負荷領域長さ N_s 依存性を調べた。 $N_a = 13$, $N_s = 20$ (点線)の時、電流-ひずみ曲線はバンドギャップの変化とは逆の傾向が観察され、電流値勾配の絶対値が大きく、高い線形性を示し、高感度、低ひずみ率のひずみセンサへ応用する可能性があると考えられる。一方、

$N_a = 13$, $N_s = 5$ (太線)の場合、トンネリング電流の影響により、電流の変化はバンドギャップには依存

せずに、ピークの半値幅が大きく、電流値勾配の絶対値が小さいのに、高い線形性を有するため、高ひずみ率センサへの適用が期待される。

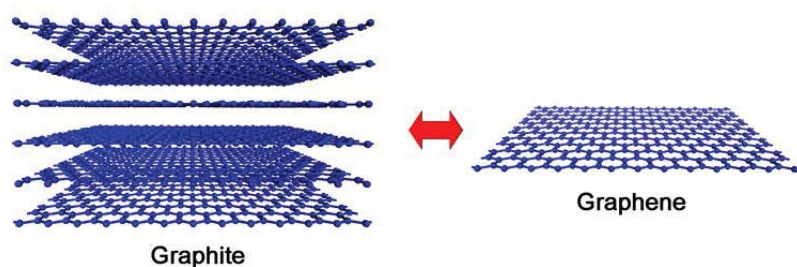


図1 グラフェンの構造

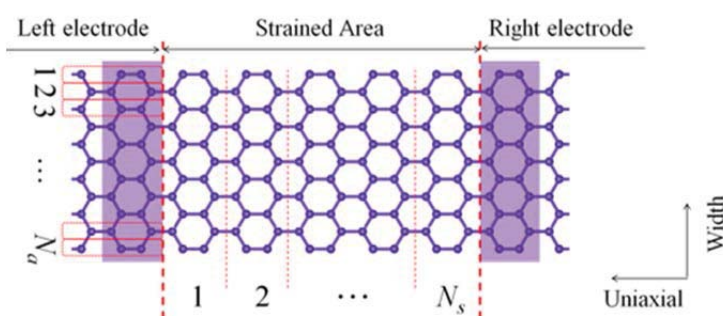


図2 グラフェンの解析モデル

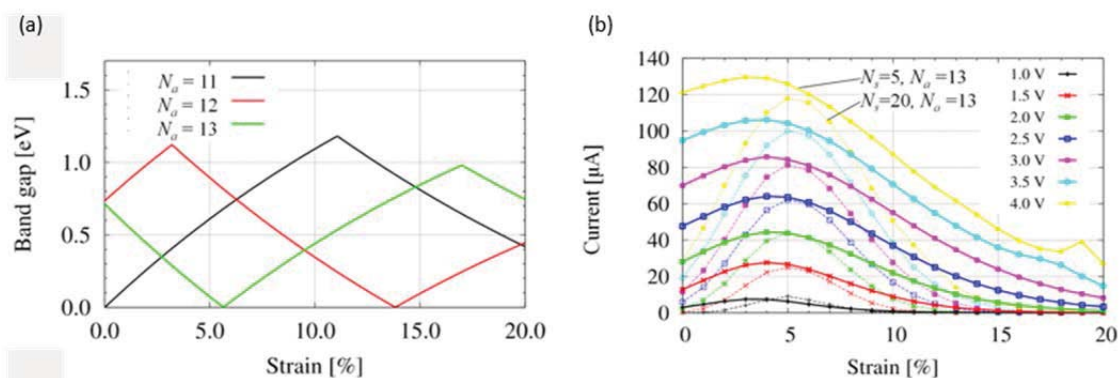


図3 (a) アームチェアグラフェンのバンドギャップの歪応答特性の幅依存性
(b) アームチェアグラフェンを流れる電流の歪依存性

参考文献

- [1] Geim, Andre K., and Konstantin S. Novoselov. *Nature materials* 6.3 (2007): 183-191.
- [2] Lu, Yang, and Jing Guo, *Nano Research* 3.3 (2010): 189-199.
- [3] Zhao, Jing, et al, *Applied Physics Letters* 101.6 (2012): 063112-063112.

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

グラフェンの電子構造・電気伝導特性の歪み感受性の構造支配因子の解析

グラフェンひずみセンサの感度の構造支配因子の究明を目標として、第一原理とタイトバインディング近似を併用し、グラフェンの基本物性を支配するシートサイズ、エッジ形状、層数などの構造要素を考慮し、引張ひずみが負荷される時、グラフェンの電子バンド構造と電気伝導特性の構造要素依存性を解析的に検討している。

【査読論文（査読付き国際会議論文集を含む）】

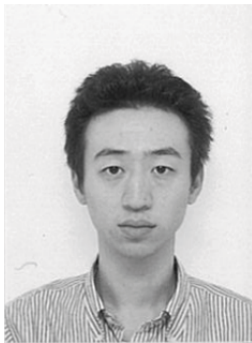
1. Meng Yang, Masato Ohnishi, Ken Suzuki, Hideo Miura, “Strain-induced Change of Electronic Conductivity of Graphene Sheets and Nano-Ribbon”, EMAP2013 15th International Conference on Electronic Materials and Packaging, USB, M&S-0083, (KINTEX, Goyang-si, Korea, October 6-9, 2013)

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. International Symposium for the 70th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, “Strain-induced Change of Electronic Conductivity of Graphene Sheets”, M. Yang, M. Ohnishi, K. Suzuki, H. Miura, Poster presentation/1P226, Sendai, Japan (September 2013).
2. IEEE - 2013 15th International Conference on Electronic Materials and Packaging (EMAP2013), “Strain-induced Change of Electronic Conductivity of Graphene Sheets and Nano-Ribbon”, M. Yang, M. Ohnishi, K. Suzuki, and H. Miura, Poster presentation/M&S-0083, Seoul, Korea (October 2013).
3. 日本機械学会M&M2013材料力学カンファレンス, 「グラフェン電気伝導特性のひずみ依存性」, 楊 猛, 大西 正人, 鈴木 研, 三浦 英生, OS1002, 2013年10月.

【受賞・特許等】

1. IEEE - 2013 15th International Conference on Electronic Materials and Packaging (EMAP2013) Outstanding Poster Paper Award, “Strain-induced Change of Electronic Conductivity of Graphene Sheets and Nano-Ribbon”, EMAP 2013 Commission (October 2013).



氏名 李 成基

所属 工学研究科航空宇宙工学専攻・D3

研究課題

柔軟関節マニピュレータによる人間との協調作業

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

自動車生産工場等では、多くの産業用ロボットが導入され生産工程が自動化されている。しかし、産業用ロボットが稼働している作業工程の多くは、溶接、塗装工程であり、作業行程の大部分を占める組立工程ではほとんどの作業が作業者の手によって行われている。この中には、重量部品を扱いながら複雑な組付作業を行わなければならないような、作業者にとって大きな負担となる作業も存在する。このような重量部品を扱う作業工程に対しては、作業者にとって最も負担となる重量負荷を軽減するために、ホイス型、クレーン型の重力補償機器が導入されている例が多い。また、最近ではパートナーロボットを生産ラインに導入し、同じ作業空間内で一つの作業を人とロボットが協力して行う研究が行なわれており、実用化されている例もある。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とを目的とする。人とロボットが同じ作業空間に存在する上で最も大切なことは、ロボットが人に危害を加えないことである。そこで本研究では、人とロボットの衝突が避けられない場合を想定し、人の被害を許容できる範囲に収める衝突安全制御手法の構築を行う。また、衝突のみならず人と接触しながら協調動作を行う場合の安全性を考慮した、ロバストな制御手法も構築する。本研究の特徴として、図 1 に示す関節にばね型柔軟関節を採用したロボットマニピュレータを開発し、提案する手法の有用性を検証する。

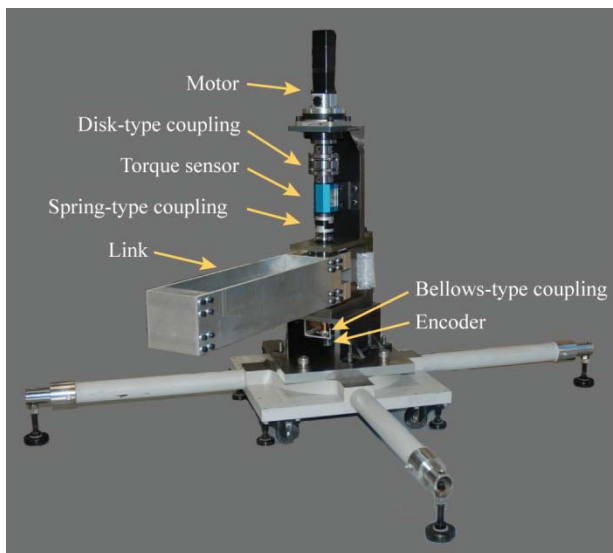


図 1 単リンク柔軟関節マニピュレータ

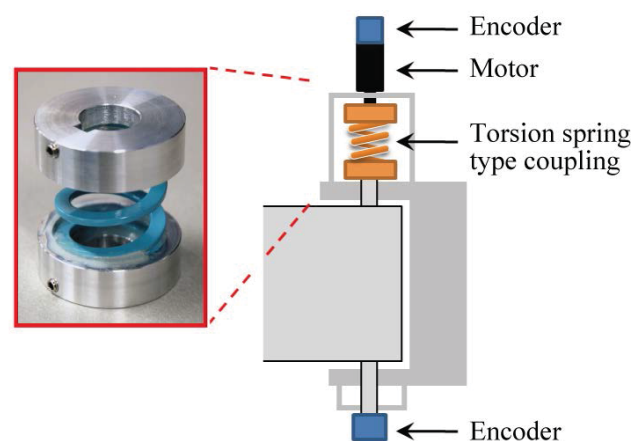
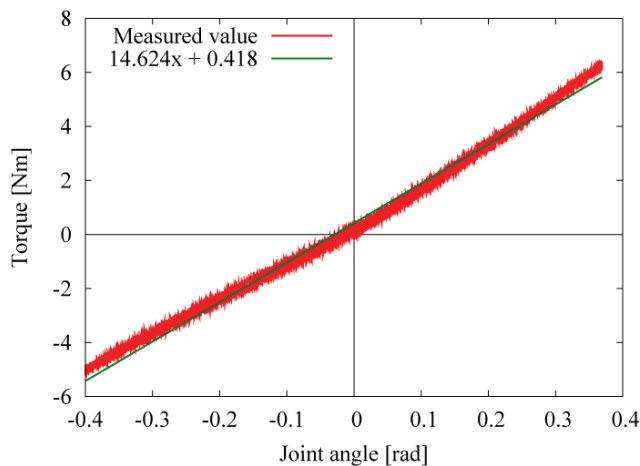
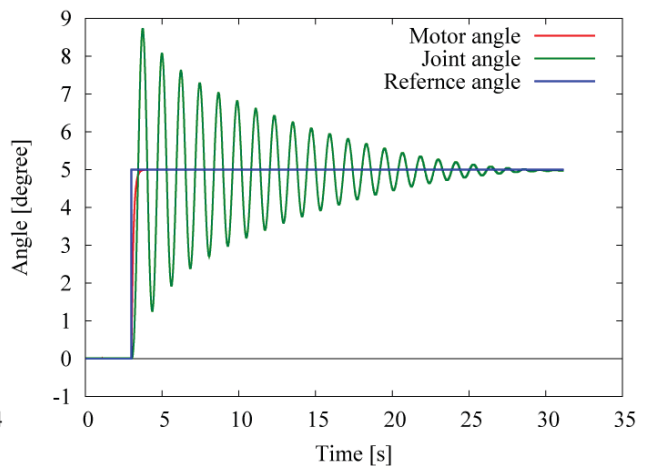


図 2 ばね型カップリングを用いた柔軟関節

今年度は、これまで開発してきた単リンク柔軟関節マニピュレータを用い、柔軟関節の剛性特性測定および、制御則の構築を行った。マニピュレータの柔軟関節は、図 2 に示すようにモータとリンクの間にばね型のカップリングを設けることで実現している。ばね型カップリングはコイルスプリングを用いており、特性測定実験によりばね定数および、ばね減衰定数が得られた。この結果を図 3 に示す。



(1) ばね定数



(2) ばね減衰定数

図3 ばね型カップリングの特性測定結果

以上の結果から得られた柔軟関節の剛性特性を用い、柔軟関節マニピュレータの制御則の検討を行った。パートナーロボットは人とロボットが作業空間を共有しているため、ロボットは人の安全を確保するために人との接触を瞬時に且つ確実に検知する必要がある。本研究では、接触検知の対策として外乱オブザーバを用いた制御手法を適用する。また、外乱オブザーバを用いることでマニピュレータの制御剛性を調整することができ、柔軟関節を持つマニピュレータの制振制御や動作制御においても有効な手段となる。

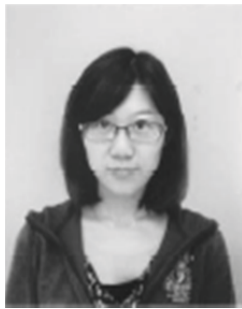
今後の課題としては、安全面において提案する手法の安全性を定量的に評価する必要がある。また、生産ラインに開発したロボットを導入し実際の工程において動作実験を行い、提案する手法の有効性を検証する必要がある。

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. 人間共存・協調型産業用パートナーロボットとして、単リンク柔軟関節マニピュレータの開発。
2. ばね型カップリングを用いた柔軟関節の剛性特性の測定。
3. 外乱オブザーバを用いた柔軟関節マニピュレータの制御則の構築。

氏名 LI YUJIE



所属 工学研究科バイオロボティクス専攻・D1

研究課題

Hemodynamics in Artery with Aneurysm and Stenosis with Different Geometric Configuration

平成 25 年度における本卓越拠点に対する取り組み

During this year, the research is about the numerical simulation of cerebrovascular diseases, which is a hot debated topic recently. The research background, purpose, results and related information are introduced as following.

Cerebrovascular diseases, such as aneurysm and stenosis, are significantly involved with the top leading cause of death worldwide. Computational fluid dynamics has gained many results and significance in studies of stenotic artery and aneurysm, while little research focus on the case with them happened simultaneously in the same artery. In previous published research, the deployment of flow-diversion has increased the intra-aneurysmal pressure by 20 mmHg in the case with a pre-aneurysm stenosis and the treatment resulted in aneurysm rupture [1]. The purpose of this study is to learn the different hemodynamics in the complicated geometry with both stenosis and aneurysm and study the influence to the aneurysm when a pre-aneurysm stenosis exists which may threaten people's health and life even more severely.

To learn the different hemodynamics in the geometry with both stenosis and aneurysm and study the influence to the aneurysm when a pre-aneurysm stenosis exists, idealized models of straight and curved blood vessels with both aneurysm and pre-aneurysm stenosis were established to study the complicated disease, as shown in Fig. 1. The focuses were set in different geometric parameters by altering the degree of stenosis, the distance between stenosis and aneurysm and the curvature of parent arteries. Flow pattern inside aneurysm and intra-aneurysmal pressure change were studied. The present study emphasizes the abnormal phenomenon in flow pattern and increase of intra-aneurysmal pressure change affected by the existence of pre-aneurysm stenosis.

Observing the flow pattern of all models, the reattachment length increases as the degree of stenosis increases, as shown in Fig. 2. Dominated by inertial force, reattachment flow in curved vessel is obvious smaller than that of straight vessel, and it tends to decrease as the curvature of parent artery increases. As to artery with severe stenosis and short distance between stenosis and aneurysm, the flow pattern may become multi-vortexes flow pattern when the reattachment flow extends to the aneurysm neck.

Because of the existence of stenosis, the intra-aneurysmal pressure shows a trend of decrease. As the degree of stenosis becomes severe, the decrease of intra-aneurysmal pressure increases. In other words, the treatment of pre-aneurysm stenosis may create higher pressure condition to the aneurysm which should be taken into consideration in further studies as well as clinical researches.

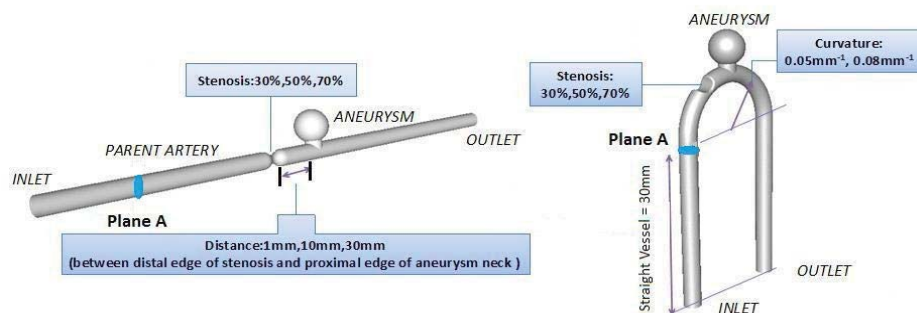


Fig. 1 Sketch and parameters of geometry with stenosis and aneurysm

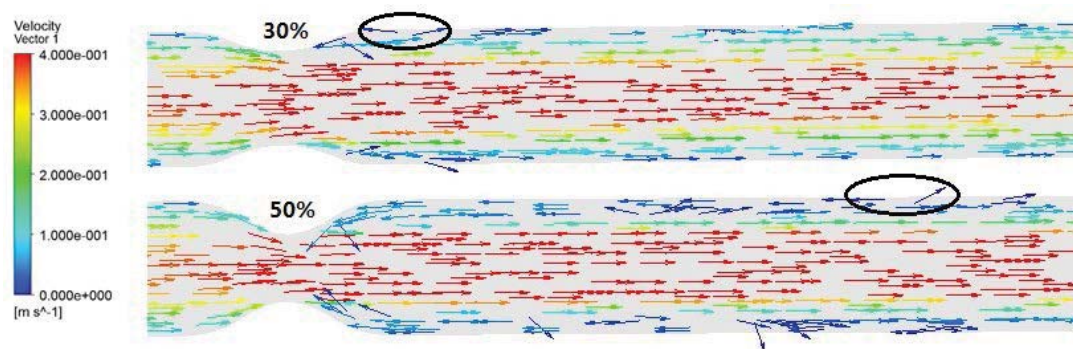


Fig. 2 Recirculation and reattachment at different degree of stenosis (direction of flow is from left to right)

[1] Cebal J. R., Mut F., Raschi M., Aneurysm rupture following treatment with flow-diverting stents: Computational hemodynamics analysis of treatment, AJNR Am J Neuroradiol, Vol. 32, No. 1 (2011), pp. 27-33.

平成 25 年度の研究業績

【研究内容】

1. The establishment of the idealized models in different shape of blood vessels, which suffered both stenosis and aneurysm, by altering the degree of stenosis, the distance between stenosis and aneurysm, and the curvature of the parent artery.
2. Doing numerical simulation of different models with same settings of hemodynamics environment similar to human body, and also same settings for solver control.
3. Display the results in different simulations, and analyze the changing trend in hemodynamic parameters, such as the reattachment point, the velocity, the flow pattern and intra-aneurysmal pressure.
4. Summarize the influence to the aneurysm when a pre-aneurysmal stenosis exists in the artery.

【国際会議・学会・学術雑誌への発表（査読なし）】

1. Yujie LI, Hitomi ANZAI, Yasutomo SHIMIZU, Toshio NAKAYAMA, Yukihiisa MIURA, Aike QIAO and Makoto OHTA.
Hemodynamic Numerical Simulation in Artery Complicated with both Stenosis and Aneurysm in Different Shape and Position.
5th Asia Pacific Congress on Computational Mechanics, 11th – 14th, Dec, 2013, Singapore.
2. Yujie LI, Hitomi ANZAI, Yasutomo SHIMIZU, Toshio NAKAYAMA, Yukihiisa MIURA, Aike QIAO and Makoto OHTA.
Simulation of Hemodynamics in Artery with Aneurysm and Stenosis with Different Geometric Configuration.
Journal of Biomechanical Science and Engineering, accepted.