

March 2018

神奈川大学

工学研究

No. 1



目 次

1. 巻頭言

「神奈川大学工学研究」発刊にあたって……………井川 学……1

2. 新任者の研究紹介

- 2-1 超伝導トンネル接合を流れる超伝導電流の3次元磁界変調特性……………渡邊 騎通, 阿部 晋, 中山 明芳……3
 2-2 自励振動ヒートパイプにおける熱輸送機構の解明……………三浦 正義……8
 2-3 リムーバブル HDD の製品開発と国際標準化……………斎藤 温……17
 2-4 創造性に着目した都市づくり・まちづくり……………上野 正也……26
 2-5 Study on Optical Devices Based on Single-Polarization Photonic Crystal Fiber……………Zejun ZHANG……32
 2-6 微生物由来生物活性天然物の全合成と新規有機分子触媒反応の開発……………山田 健……38
 2-7 ミクロ細孔を有する Mo-V-O 複合酸化物の結晶構造と選択酸化活性の関係……………石川 理史……44
 2-8 台所の近代化と住まいに纏わる衛生論, 能率論の実践に関する研究……………須崎 文代……49
 2-9 逆2乗ポテンシャル付き非線形シュレディンガー方程式の散乱問題……………鈴木 敏行……53

3. 受賞研究の紹介

- 3-1 拡張された熱力学とその非線型構形式……………有馬 隆司……57
 3-2 ハードウェアコンテスト GUGEN2016で「おいしいね」賞を受賞して……………松本 光広……63
 3-3 人間-生活環境系学会奨励賞を受賞して……………傳法谷 郁乃……65

4. 工学部特別予算重要機器整備費関連研究

- 4-1 3D 測定マクロスコープを用いた平押し法による四角形の成形品の加工面の観察……………笹田 昌弘……67
 4-2 プログラマブル・ロボットと AI 機能との連携に関わる研究……………森田 光……70
 4-3 モーションキャプチャシステムを用いたロボットの開発……………林 憲玉……74
 4-4 生物多様性とデオキシリボ核酸 (DNA)……………朝倉 史明……78
 4-5 油圧式万能試験機を利用した教育・研究……………佐藤 宏貴, 齊藤 隆典, 趙 衍剛……81

5. 工学研究所共同研究

- 5-1 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの製作時の品質管理値の検証……………小谷野 一尚, 岩田 衛, 荏本 孝久, 緑川 光正, 坂田 弘安, 藤田 正則……85
 5-2 ナノ空間制御シリカへのペプチド固定化による高性能不斉触媒の開発……………吉田 曉弘……92
 5-3 混合価数酸化物 Sn_3O_4 光触媒を用いた各種犠牲剤溶液からの水素発生の検討……………田邊 豊和, 松本 太……95
 5-4 無機触媒/半導体ハイブリッド型水素・酸素生成太陽光熱電池の創製……………松木 伸行, 山口 栄雄, 本橋 輝樹, 米田 征司, 佐藤 知正……99
 5-5 次世代型医薬品開発を目指した希少糖や核酸誘導体の合成と生物活性評価システムの構築……………赤井 昭二, 實吉 尚郎, 小野 晶……103
 5-6 炭素ナノ材料に内包された水の熱物性……………客野 遥, 佐々木 志剛……108

6. 工学研究所プロジェクト研究

- 6-1 高周波回路の解析・設計理論の整備と対応ソフト開発—方形断面光導波路の導波状態計算—……………平岡 隆晴, 許 瑞邦……113
 6-2 高安心超安全交通研究所 (KU-WIRF) 活動報告 (2016) ドライブレコーダー活用最前線……………松浦 春樹, 森 みどり, 堀野 定雄, 久保 登, 石川 博敏, 龍 重法, 石倉 理有, 北島 創……115
 6-3 一次卓越周期における地震動増幅率の簡便評価法……………張 海仲, 齊藤 隆典, 趙 衍剛……117
 6-4 “新たな低炭素エネルギー社会に対応した新型電池の開発(2)”……………松本 太, 池原 飛之, 田邊 豊和, 片岡 利介, 大坂 武男, 長澤 浩, 持田 由幸, 入井 友海太……119
 6-5 振動騒音低減のための二段階設計……………山崎 徹, 三山 壮, 中村 弘毅, 田中 俊光, 石濱 正男, 伊東 圭昌, 菊地 通……122
 6-6 多分岐ポリマー系ナノハイブリッド材料の開発と応用……………横澤 勉, 池原 飛之, 山田 保治, 花畑 誠, 工藤 宏人……124
 6-7 グリーンイノベーションの基盤となるナノ構造制御触媒の開発研究……………引地 史郎, 内藤 周式, 上田 渉, 中澤 順, Shigeo T. Oyama, 宮尾 敏広, 赤間 弘, 星野 真樹……126

6-8	車両等に装備するためのポリカーボネート窓の表面改質に関する研究 (3)	新中 新二, 井上 成美, 大越 昌幸, 野尻 秀智, 植田 博臣, 岩井 和史, 中村 先男	128
6-9	超精密加工による高品位表面の創成に関する研究	中尾 陽一, 林 晃生, Sangkee Min	130
6-10	鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースのクリアランスとモルタル強度が力学性能に及ぼす影響	小谷野 一尚, 岩田 衛, 荏本 孝久, 緑川 光正, 中込 忠男, 大熊 武司	132
6-11	建物の熱・換気性能の現場測定法—最適の励振と移動平均の期間—	奥山 博康, 吉浦 温雅, 深井 一夫	138
6-12	難焼結性セラミックス SnO ₂ の高密度化と応用に向けたキャラクターゼーション	齋藤 美和, 伊藤 滋啓	140
6-13	潮流発電ユニット開発の最先端技術: 相反回転化	中西 裕二, 船見 祐揮, 金元 敏明	142
6-14	パルスレーザー光を利用した反応開発および機構解析	岩倉 いずみ, 赤井 昭二, 簗下 篤史, 岡村 幸太郎, 織作 恵子	144
7. 工学研究所テクノサークル			
7-1	環境科学テクノサークル2017年活動報告	井川 学	145
7-2	ドラレコ・テクノサークル活動報告 (2016) 自転車通学路でウェアラブルカメラが記録した危険な側溝排水蓋	松浦 春樹, 堀野 定雄, 松田 洋, 後藤 航太, 高橋 綱喜, 金澤 優太, 浮穴 浩二	146
7-3	テクノサークル「けんちくをつくる会」2016年度活動報告	吉岡 寛之, 佐塚 将太	148
7-4	テクノサークル KURAFT16-17シーズン活動報告	中村 弘毅	150
7-5	「神奈川大学宇宙ロケット部」活動報告	高野 敦	152
7-6	神奈川大学ロボットプロジェクト活動報告	江上 正, 秋谷 尚俊, 金子 光希	155
8. 随想			
8-1	研究と教育に纏わる思い出	佐藤 憲一	157
8-2	一人の建築技術者の歩いた道	岩田 衛	159
8-3	宇宙を“知る”	垣本 史雄	168
9. 工学部通信			
1.	研究活動 (2016年10月~2017年9月)		A-1
2.	講演会開催記録 (2016年10月~2017年9月)		A-34
3.	研究分野紹介および2016年度博士論文・修士論文・卒業論文テーマ一覧		A-37
10.	工学研究所 2016年度 (平成28年度) 年次報告		A-55
11.	編集後記		

1. 巻頭言

「神奈川大学工学研究」発刊にあたって

井川 学*

On the occasion of the beginning of “Technology Reports, Kanagawa University”

Manabu IGAWA*

1. 発刊の経緯

本年度より、神奈川大学工学研究所報と神奈川大学工学部報告を合併し、神奈川大学工学研究が発刊されることになりました。工学研究所は1975年5月に創設されましたが、1978年度に神奈川大学工学研究所報が創刊され、昨年度号39号まで毎年発行されてきました。一方、神奈川大学工学部報告は、最初は1962年度に神奈川大学工学部研究報告として創刊され、1997年度の36号より名称変更し昨年度号の55号まで、これも毎年発行されてきました。

今回の合併は、2016年初頭の林憲玉工学部長からの提案によるものです。すなわち、発行の母体は同一なのに複数の冊子を出すことの非合理性、近年の冊子の価値の低下等から、神奈川大学工学研究所報が工学部報告を吸収する形で合併したらどうかという提案でした。その後、工学研究所運営委員会で何回も討議を重ねるとともに、神奈川大学工学部報告の編集主体である工学部広報委員会でも議論を進めていただき、2016年の教授会で正式に決定されました。和文名や英文名についても議論を重ね、ここに掲げた名称に決定されました。

「神奈川大学工学研究」は、工学研究所が主体となって広報委員会の協力を得て組織される編集委員会の元で編纂されます。発刊を機に、B5からA4に装丁が変わり、表紙も新しくなります。号数は今回が1号ですが、神奈川大学工学研究所所報と神奈川大学工学部報告とが名称変更して継続するものとして取り扱われます。内容はこれまで二つの冊子に掲載されていた論文や記事がそのまま引きつがれ、一冊にまとめて掲載されることになり、読む人からすると便利になると思います。

今後の「神奈川大学工学研究」の発展にとって注意すべきこととして、大学で発刊する紀要で陥りがちな、二重投稿の問題があります。年度報告等であっても同じ内容を重複して工学研究誌上に載せてはならないことは当然です。また、既発表の内容を引用としてではなくあたかも新しい内容であるかのように掲載してはならないことも明らかです。学内誌への論文掲載は、それだけで終わるのなら問題はありませんが、多くの工学部構成員は掲載した研究報告をまとめて国際誌等にも投稿しようと考えてでしょう。その場合に、この「工学研究」に掲載した内容をさらに投稿するときの文章や図表は過剰な重複を避けるとともに引用元としての「工学研究」を明

記することが必要です。また、学会誌も掲載された論文は自分の論文であってもこれを「工学研究」に掲載するときは、必ず引用であることを明記する必要があります。これらの厳密な遵守はかなり気を使うことですので、共同研究報告等で他に投稿することを計画している箇所は簡潔に速報のような形で「工学研究」に掲載するといった工夫をしなければならないと思います。

この「工学研究」が、工学部の皆様にとって役に立つ雑誌であるとともに、学外の方には一目置かれるような評価の高い雑誌に育っていくことを期待したいと思います。

2. 神奈川大学の発展への期待

この冊子が発刊されることになった折もおり、2017年4月に神奈川大学はみなとみらい地区に新しいキャンパスを建設することを発表しました。新キャンパスとなるビルは地上21階建てで2021年4月に開設されます。本学開設の地に新たな拠点を作るわけであり、横浜における神奈川大学の立ち位置を確かなものしていくことになるでしょう。

みなとみらい地区のキャンパスは工学部も何らかの形で使うことになるでしょう。特に講演会等では、みなとみらいエクステンションセンター以上に、新キャンパスの利用頻度は高くなるでしょう。しかし、実験研究がみなとみらい地区でできるわけはありませんし、拠点は引き続き六角橋に置く、というのが大学の方針ですから、工学部は六角橋で引き続き研究していくことになります。また、平塚の理学部が六角橋に移転するなら、これを機に六角橋に理工の一大拠点を作りたいものです。工学研究所関連では、総合試験分析センターのような統一した研究所を作ったらどうでしょうか。現在、工学部と理学部でそれぞれ別個に高額機器を所有しており、中には同じ装置もあります。それぞれが終日稼働し続けているわけではないのですから、メンテナンスのことを考えても一緒にした方が合理的です。今後、文科省からの補助の減額も予想されるので、大学として計画的に高額機器の更新や新規購入を手当をすることを制度化する必要があります。その上で、地の利を活かしながら、新しい研究所組織として大きく飛躍することを切望します。

日本そして世界は、環境あるいは社会的に様々な問題を抱えています。このような時代の中で、例えば30年先の世界を見越して、本学が人々から高く評価される理工の研究拠点になるよう、努力していきたいものです。

*工学研究所長

President, Research Institute for Engineering, Kanagawa University

2. 新任者の研究紹介

2-1	超伝導トンネル接合を流れる超伝導電流の3次元磁界変調特性	渡邊 騎通, 阿部 晋, 中山 明芳
2-2	自励振動ヒートパイプにおける熱輸送機構の解明	三浦 正義
2-3	リムーバブルHDDの製品開発と国際標準化	斎藤 温
2-4	創造性に着目した都市づくり・まちづくり	上野 正也
2-5	Study on Optical Devices Based on Single-Polarization Photonic Crystal Fiber	Zejun ZHANG
2-6	微生物由来生物活性天然物の全合成と新規有機分子触媒反応の開発	山田 健
2-7	マイクロ細孔を有するMo-V-O複合酸化物の結晶構造と選択酸化活性の関係	石川 理史
2-8	台所の近代化と住まいに纏わる衛生論, 能率論の実践に関する研究	須崎 文代
2-9	逆2乗ポテンシャル付き非線形シュレディンガー方程式の散乱問題	鈴木 敏行

超伝導トンネル接合を流れる超伝導電流の3次元磁界変調特性

渡邊 騎通* 阿部 晋** 中山 明芳***

Three-dimensional magnetic field dependence of Josephson current through Josephson junction

Norimichi WATANABE* Susumu ABE** Akiyoshi NAKAYAMA***

1. 緒言

二つの超伝導体で薄い絶縁層を挟んだ構造は、超伝導トンネル接合（ジョセフソン接合）と呼ばれ、二つの超伝導体間に電位差なしで電流を流すことができる。超伝導トンネル接合は、高感度な磁束計である SQUID（超伝導量子干渉素子）や SFQ（単一磁束量子）回路などに応用され、超伝導をエレクトロニクスに応用する際に、基本となるデバイスである^[1,2]。この超伝導トンネル接合を流れる超伝導電流 I_c は、外部磁界によって変調される。一般に、超伝導トンネル接合を流れる超伝導電流 I_c の外部磁界変調特性は、外部磁界を接合面に平行に一方から印加することにより測定され、バリア層の一樣性が議論される^[3]。それに対して我々は、接合面に平行に二方向から外部磁界 (H_x , H_y) を印加して超伝導電流 I_c の外部磁界変調特性を測定してきた^[4]。外部磁界を二次元走査することにより、接合面における超伝導電流の分布について、より多くの情報を得ることができる。また、接合形状が変化したときに、超伝導電流の磁界変調特性がどのように変化するかを詳しく調べることが可能となる。さらに我々は、三方向目の磁界として、接合面に垂直な外部磁界 H_z を印加して超伝導電流の垂直磁界依存性を調べた^[5,6]。垂直磁界 H_z を印加した場合は、平行磁界を印加した場合は異なる磁界変調特性を示すが、垂直磁界を印加したときの超伝導電流の磁界変調特性についての研究報告例は少ない^[7,8]。垂直磁界 H_z を印加する場合も、同時に外部磁界 (H_x , H_y) を二次元走査し、垂直磁界 H_z を印加した状態で I_c -(H_x , H_y) 特性を測定したり、あるいは、垂直磁界 H_z を印加後、垂直磁界 H_z を取り除いた状態で I_c -(H_x , H_y) 特性を測定して二次元で磁界変調特性を観測することにより、なぜ超伝導電流 I_c が垂直磁界 H_z によって変調されるのかを、より詳しく調べることができる。本研究では、外部磁界 (H_x , H_y) を接合面に平行に二次元走査することにより調べた超伝導電流 I_c の二次元磁界変調特性の接合形状依存性や、接合面に平行な磁界 (H_x , H_y) に加えて、接合面に垂直な磁界 H_z を印加して測定した超

伝導電流 I_c の垂直磁界依存性について調べたので、その結果について報告する。

2. 実験

ロードロック方式の dc マグネトロンスパッタリング装置により、Nb と Al の積層膜を作製した。この装置では、Nb スパッタ室、Al スパッタ室、酸化室への試料の移動を、磁気移動棒を用いて行うため、高真空を破らずに Nb, Al の積層膜を作製することが可能である。バリア層は、Al 表面を純酸素中（大気圧）で酸化することにより作製し、接合領域は、フォトリソグラフィと陽極酸化法により決定した。各層の膜厚は、Base Nb 層300nm, Al 層5nm, Counter Nb 層50nm, Wiring Nb 層100nm で、接合のサイズは、 $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ である。作製した Nb/Al-AIO_x/Nb 超伝導トンネル接合を液体ヘリウム中に挿入して超伝導状態にし、3対のヘルムホルツコイルを用いて、図1に示すように、接合面に平行に H_x , H_y 磁界を印加し、接合面に垂直に H_z 磁界を印加して超伝導電流 I_c の変調を行った。

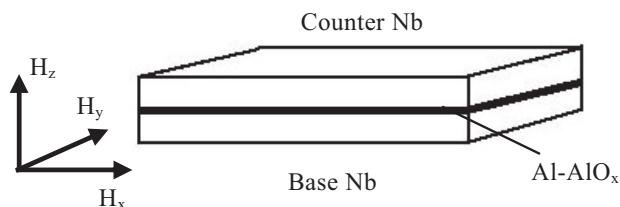


図1 Nb/Al-AIO_x/Nb 超伝導トンネル接合と外部磁界

3. ジョセフソン電流の二次元磁界変調特性

接合形状が正方形のジョセフソン接合の接合面に平行に二方向から外部磁界 H_x , H_y を印加して、接合を流れる超伝導電流 I_c の二次元磁界変調特性を測定した。ジョセフソン接合の接合面に平行に外部磁界を印加した場合は、超伝導電流が徐々に減少していき、周期的に接合を流れる超伝導電流がゼロになりながら減少していく。このような超伝導電流の磁界変調パターンは、フラウンホーファーパターンと呼ばれている^[3]。二方向から外部磁界 H_x , H_y を印加した場合は、図2(a)に示すように、 H_x , H_y の二方向にフラウンホーファーパターンが観測される結果となった^[4]。図2(b)は、接合形状が正方形の場合の二次元磁界変調特性をシミュレーションによって求めた結果である。シミュレーションでは、 H_x 方向と H_y 方向の磁界を合成した方向から磁界が加わり、接合内の電流分布は、印加さ

*助教 電気電子情報工学科

Assistant Professor, Dept. of Electrical, Electronics, and Information Engineering

**非常勤講師 電気電子情報工学科

Lecturer, Dept. of Electrical, Electronics, and Information Engineering

***教授 電気電子情報工学科

Professor, Dept. of Electrical, Electronics, and Information Engineering

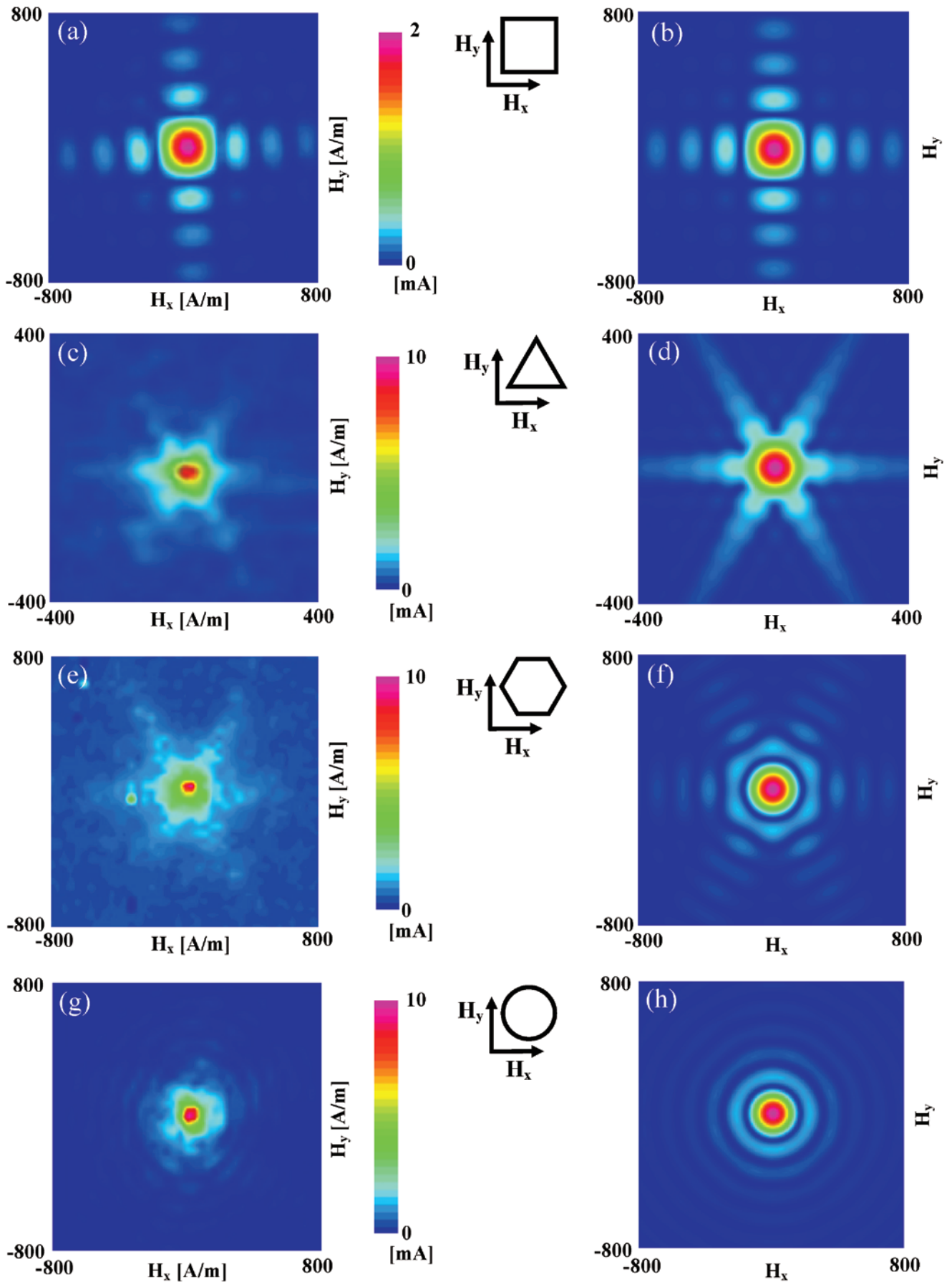


図2 ジョセフソン電流の二次元磁界変調特性. 接合形状が正方形(a)実験(b)シミュレーション, 接合形状が三角形(c)実験(d)シミュレーション, 接合形状が六角形(e)実験(f)シミュレーション, 接合形状が円形(g)実験(h)シミュレーション

れる磁界の向きと垂直な向きに \sin 波の形の電流分布となると考えた。電流分布の \sin 波の波長は磁界の大きさに反比例し、接合の各場所での電流密度をすべて足し合わせた値が接合全体を流れる超伝導電流である。 H_x , H_y の各磁界における接合内の電流分布を計算し、ジョセフソン電流 I_c の二次元磁界変調特性を求めた。接合形状が正方形の場合は、シミュレーションによって求めた場合も、実験結果と同じように、 H_x 方向と H_y 方向の二方向にフラウンホーファーパターンが観測される結果となった。同様に、接合形状が三角形、六角形、円形のジョセフソン接合を作製し、ジョセフソン電流 I_c の二次元磁界変調特性を測定し、また、シミュレーションによっても各接合の二次元磁界変調特性を求めた^[9]。図2(c), (d)は、実験とシミュレーションによって求めた接合形状が三角形のときのジョセフソン電流 I_c の二次元磁界変調特性である。三角形のそれぞれの辺に平行に、すなわち、(H_x , H_y) 平面の原点のまわりに60度、120度、180度、240度、300度の方向に超伝導電流が現れ、減少していく特性となった。接合形状が六角形の試料においても、図2(e), (f)に示すように、それぞれの辺に平行な方向、(H_x , H_y) 平面の原点のまわり60度、120度、180度、240度、300度の方向に超伝導電流が変調され、それぞれの方向に周期的に最小値をとりながら減少していく特性となった。接合形状が円形の試料では、図2(g), (h)に示すように、波紋状に中心から外側に波が広がっていくパターンとなり、(H_x , H_y) 平面の原点のまわり360度すべての方向に超伝導電流のサブピークが観測された。三角形よりも角数が多い六角形の試料ではより円形に近い特性となっている。

4. ジョセフソン電流の垂直磁界依存性

図3に、ジョセフソン接合の接合面に平行な H_x , H_y 磁界に加えて、接合面に垂直な H_z 磁界を印加して測定したジョセフソン電流の垂直磁界依存性を示す^[10]。平行磁界 H_x , H_y は、 $\pm 800\text{A/m}$ の範囲で走査した。図3(a)は、 H_z 磁界が印加されていないときの測定結果で、ジョセフソン電流のメインピークが、 $H_x=H_y=0$ の時に観測され、 H_x 方向と H_y 方向の二方向にフラウンホーファーパターンが観測されている。図3(b)は、垂直磁界 H_z を 3000A/m 印加している状態で、平行磁界 H_x , H_y を走査してジョセフソン電流の変調を行った結果である。図3(b)では、 H_x , H_y 磁界が $\pm 800\text{A/m}$ の範囲でジョセフソン電流が観測されなかった。これは、図4(a)に示すように、Base Nb 層の Nb 超伝導薄膜に垂直磁界 H_z が印加されると、マイスナー効果により垂直磁界 H_z が Nb 超伝導薄膜から押し出されて曲げられ、その結果、垂直磁界 H_z から接合面に平行な磁界の成分が作られるからである^[10-13]。垂直磁界によって作られた平行な磁界の成分が、外部から印加している H_x , H_y 磁界に重ね合わさるため、たとえ、 $H_x=H_y=0$ のときでも平行磁界が存在し、ジョセフソン電流 I_c のメインピークが (H_x , H_y) 平面の原点からシフトしてしまう。特に垂直磁界の値が 3000A/m と大きい場合は、垂直磁界から作り出される平行磁界の成分も大きくなり、フラウンホーファーパターン全体が、 $\pm 800\text{A/m}$ の (H_x , H_y) 平面の外にシフトしてしまう。また、図4において、Base Nb 層の中心付近にジョセフソン接合がある場合よりも、Base Nb 層の端付近にジョセフソン接合がある場合の方が、より垂直磁界 H_z がジョセフソン電流に与える影響が大きくなる^[14-16]。図3の測定に用いたジョセフソン接合は、Base Nb 層の端に位置し

ているので、垂直磁界 H_z の影響を大きく受ける。図3(c)は、印加した 3000A/m の垂直磁界 H_z を取り除いた状態で、平行磁界 H_x , H_y を走査してジョセフソン電流 I_c の二次元磁界変調特性を測定した結果である。垂直磁界 H_z が印加されていないにもかかわらず、フラウンホーファーパターンのメインピークが (H_x , H_y) 平面の原点から大きくずれている。これは、図3(b)の測定で垂直磁界 H_z を 3000A/m 印加したときにジョセフソン接合周辺の Nb 超伝導薄膜に磁束がトラップされ、垂直磁界 H_z を取り除いても、磁束がトラップされたままになっているからである。図4(b)に示すように、ジョセフソン接合周辺のトラップ磁束が作り出す磁界の平行成分が、印加磁界 H_x , H_y に重なって、フラウンホーファーパターンがシフトすると考えられる。印加垂直磁界 H_z はゼロなので、フラウンホーファーパターンのシフト量は図3(b)よりも小さくなり、 $\pm 800\text{A/m}$ の走査範囲の (H_x , H_y) 平面内にフラウンホーファーパターンの一部が観測され、(H_x , H_y) 平面の原点方向に戻ってきている。図3(d)は、図3(b)とは反対方向に、垂直磁界 H_z を -3000A/m 印加した状態で平行磁界 H_x , H_y を $\pm 800\text{A/m}$ の範囲で走査したときのジョセフソン電流 I_c の二次元磁界変調特性である。図3(d)においても、垂直磁界 H_z と Nb 超伝導薄膜にトラップされた磁束が作り出す平行磁界の成分によって、フラウンホーファーパターンが大きくシフトし、(H_x , H_y) 平面内にジョセフソン電流は観測されなかった。同様に、図3(e)は、 -3000A/m の垂直磁界 H_z を取り除いた後に測定したジョセフソン電流 I_c の二次元磁界変調特性である。垂直磁界 H_z を取り除いても、Nb 超伝導薄膜にトラップされている磁束のためにフラウンホーファーパターンのメインピークは、(H_x , H_y) 平面の原点に戻っていない。以上の実験結果より、 3000A/m の垂直磁界を印加すると、Nb 超伝導薄膜に磁束がトラップされることがわかった。次に、ジョセフソン接合の接合面に垂直な H_z 磁界のみを印加してジョセフソン電流の変調を行った。結果を図5に示す。垂直磁界 H_z を印加していくと、ジョセフソン電流 I_c は急激に減少していく。これは、図3の結果より、 H_z 磁界を印加していくと、(H_x , H_y) 平面上でフラウンホーファーパターンがシフトしていくためである。 3000A/m の垂直磁界 H_z を印加して、その後、 H_z 磁界を取り除いた後も、磁束トラップにより超伝導電流はゼロのままである。これは、図3(c)において、磁束トラップによりフラウンホーファーパターンがシフトし、(H_x , H_y) 平面の原点で、超伝導電流の値がゼロであることと一致する。次に、 H_z 磁界をマイナス方向に印加していくと、 -400A/m 付近でジョセフソン電流 I_c が大きく回復する。これは、図3において、プラス方向に垂直磁界 H_z を印加したときは、(H_x , H_y) 平面において H_y のプラス方向にフラウンホーファーパターンがシフトし、マイナス方向に垂直磁界 H_z を印加したときは、 H_y のプラス方向にシフトしていたフラウンホーファーパターンが、 H_y のマイナス方向にシフトしていくため、 $H_z=-400\text{A/m}$ 付近で、フラウンホーファーパターンのメインピークが最も (H_x , H_y) 平面の原点に近づいたためであると考えられる。その後、印加 H_z 磁界をマイナス方向にさらに強くしていくと、フラウンホーファーパターンは、 H_y のマイナス方向にさらにシフトしていくので、 I_c - H_z 特性におけるジョセフソン電流 I_c は再び減少し、 -3000A/m 印加後、 H_z 磁界をゼロまで減少させても、磁束トラップによりジョセフソン電流 I_c の値はゼロのままである。これは、図3

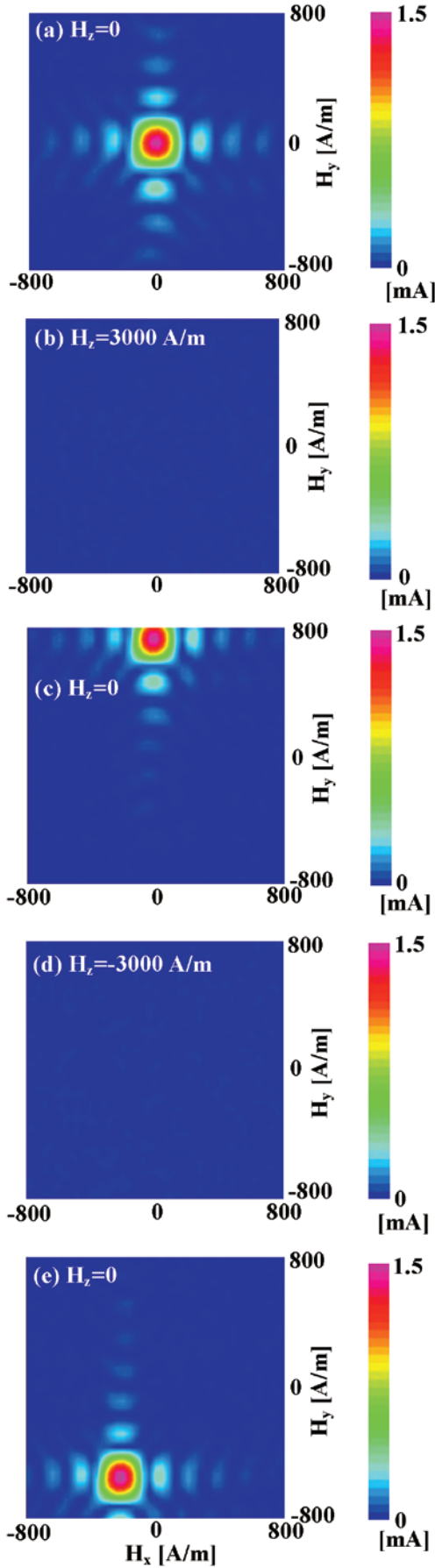


図3 接合面に平行な H_x , H_y 磁界に加えて、接合面に垂直な H_z 磁界を印加して測定したジョセフソン電流の垂直磁界依存性

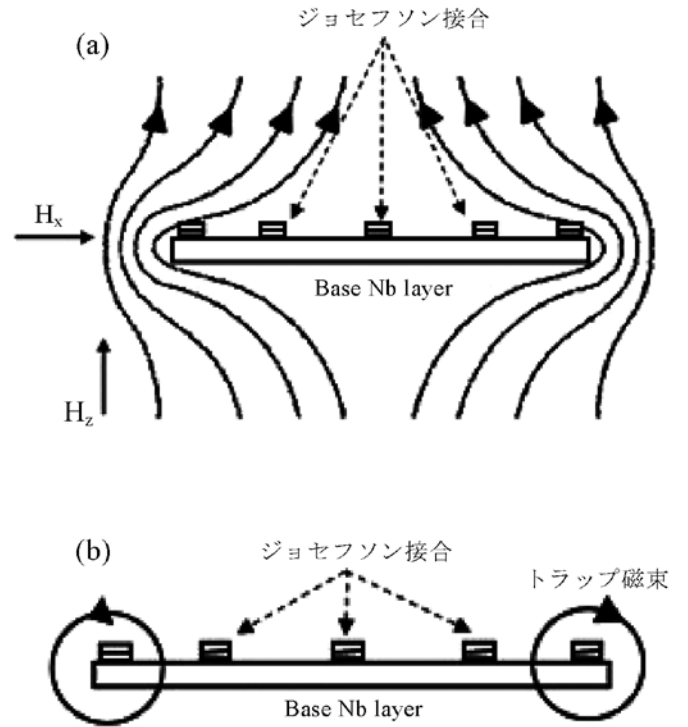


図4 Nb 超伝導薄膜と垂直磁界 H_z (a) 垂直磁界 H_z が作り出す平行磁界の成分 (b) トラップ磁束が作り出す平行磁界の成分

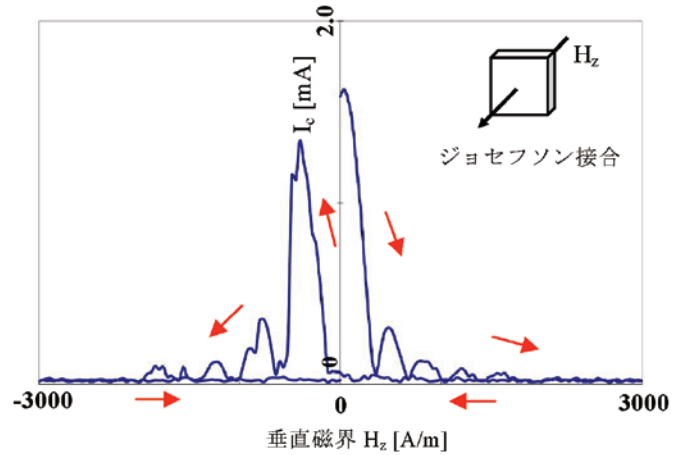


図5 ジョセフソン電流の垂直磁界依存性

(e)において、 (H_x, H_y) 平面の原点のジョセフソン電流 I_c の値がゼロであることと一致する。このように、 H_x, H_y の二方向から外部磁界を印加してジョセフソン電流 I_c の磁界変調特性を測定することにより、垂直磁界 H_z を印加したときに、なぜジョセフソン電流 I_c が変調されるのかについて、より詳しく解析することができる。

5. まとめ

接合形状が正方形、三角形、六角形、円形のジョセフソン接合を作製し、接合面に平行に、外部磁界を H_x, H_y の二方向から印加することによりジョセフソン電流を変調し、各接合形状におけるジョセフソン電流の二次元磁界変調特性を測定した。外部磁界を二次元走査することにより、接合形状によるジョセフソン電流の磁界変調特性の変化を明瞭に観測することができた。さらに、各磁界で

の接合内の超伝導電流分布を計算することにより、各接合形状におけるジョセフソン電流の二次元磁界変調特性をシミュレーションによって求めた。実験結果とシミュレーション結果は、よく一致した。

ジョセフソン接合の接合面に平行な H_x , H_y 磁界に加えて、接合面に垂直な H_z 磁界を印加して、ジョセフソン電流の垂直磁界依存性を測定した。ジョセフソン電流は、平行磁界 H_x , H_y に加えて、Nb 超伝導薄膜のマイスナー効果によって、垂直磁界 H_z やトラップ磁束が作り出す平行磁界の成分によっても変調された。Nb 超伝導薄膜にトラップされた磁束が作り出す平行磁界の成分のために、ジョセフソン電流は、垂直磁界 H_z に対して不可逆的に変調されることがわかった。

参考文献

- [1] K.K. Likharev and V.K. Semenov, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 1, 3-28 (1991).
- [2] J. Clarke and A. I. Braginski, The SQUID handbook, WILEY-VCH (2004).
- [3] Barone and G. Paterno, Physics and Applications of the Josephson Effect, Wiley-Interscience, New York (1982).
- [4] Akiyoshi Nakayama, Susumu Abe, Tatsuyuki Morita, Makoto Iwata, and Yusuke Yamamoto, IEEE Transactions on Magnetism, 36, 3511-3513 (2000).
- [5] Norimichi Watanabe, Akiyoshi Nakayama, Susumu Abe and Kunimori Aizawa, Journal of Applied Physics, 97, 10B116 (2005).
- [6] Norimichi Watanabe, Akiyoshi Nakayama and Susumu Abe, Journal of Applied Physics, 101, 09G105 (2007).
- [7] S. L. Miller, Kevin R. Biagi, John R. Clem, and D. K. Finnemore, Physical Review B, 31, 2684-2693 (1985).
- [8] O. B. Hyun, D. K. Finnemore, L. Schwartzkopf, and J. R. Clem, Physical Review Letters, 58, 599-601 (1987).
- [9] Norimichi Watanabe, Akiyoshi Nakayama, Susumu Abe, Sho Kawai, Yohei Nishi, Koji Masuda, Journal of Applied Physics, 103, 07C707 (2008).
- [10] Norimichi Watanabe, Akiyoshi Nakayama, Susumu Abe and Koji Masuda, Journal of Physics: Conference Series, 234, 042038 (2010).
- [11] Akiyoshi Nakayama, Susumu Abe, Norimichi Watanabe and Yoichi Okabe, Microelectronic Engineering, 108, 93-98 (2013).
- [12] Norimichi Watanabe, Akiyoshi Nakayama and Susumu Abe, Journal of Applied Physics, 116, 033920 (2014).
- [13] Akiyoshi Nakayama, Susumu Abe and Norimichi Watanabe, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 26, 1100606 (2016).
- [14] M. A.-K. Mohamed, J. Jung, and J. P. Franck, Physical Review B, 39, 9614-9617 (1989).
- [15] M. A.-K. Mohamed, J. Jung, and J. P. Franck, Physical Review B, 41, 6466-6478 (1990).
- [16] Norimichi Watanabe, Akiyoshi Nakayama, Susumu Abe, Mitsunori Suda, Yohei Nishi, Koji Masuda and Chisato Sugaya, Journal of Applied Physics, 105, 07E312 (2009).

自励振動ヒートパイプにおける熱輸送機構の解明

三浦 正義*

Study on heat-transport mechanism of pulsating heat pipe

Masayoshi MIURA*

1. はじめに

1.1 研究背景

今日、ノートパソコン、タブレット、スマートフォンなどの電子機器に対しては、薄型化、小形化への要求がさらに高まっている。これにより、電子機器内の発熱源が密集するようになり、放熱や冷却に使用できる空間が狭くなっている。加えて、電子機器の高性能化により消費電力が著しく増加し、それに伴い発熱量が増大している^[1]。この発熱密度の増加は、CPUの温度上昇を引き起こし、CPUの異常動作を誘発するばかりではなく、最悪の場合にはCPUが熱破壊するに至る。また、この発熱密度の増加による温度上昇は、電子機器利用者の安全面に関しても問題を発生させる。具体的には、長時間皮膚に触れて使用する機器では、表面温度を一定温度以下に抑えないと、低温やけどの危険がある^[2]。このような現状から、より小さく、より高い熱輸送性能を持つ冷却技術が必要とされている。また、LEDも照明への利用の普及拡大に伴い、高発熱密度化が予想される。LEDはCPUと同様に半導体であり、熱に弱い。LEDにおいて光変換ロスが熱になり、その結果、LEDの温度が上昇することにより、寿命が短縮したり、光束が低下したりするという問題が生じている^[3]。LEDパッケージは、表面積が小さいために放熱が難しく、熱的に厳しい環境にある。このように、発熱密度の増加に伴い半導体素子の冷却が問題となっており、この半導体素子の冷却のために、より小さく、より高い熱輸送性能をもつ熱輸送デバイスが必要とされている。その熱輸送デバイスの一つとしてヒートパイプが挙げられ^[4]、代表的な形式であるウィック式ヒートパイプおよびサーモサイフォン式ヒートパイプがこれまで多く用いられている。これらヒートパイプは、いずれも作動流体の相変化（蒸発・凝縮）の潜熱を利用して熱輸送を行うものである。これらヒートパイプとは異なる熱輸送機構をもつものとして自励振動ヒートパイプ（Pulsating Heat Pipe, 以下PHP）が、今後の高性能な熱輸送デバイスとして注目される。この自励振動ヒートパイプは、いくつかの製品が開発され、実用化^[5,6]がはじまりつつある。

1.2 自励振動ヒートパイプ

自励振動ヒートパイプは、赤地久輝により考案されたもの^[7-10]である。図1に示すように、自励振動ヒートパイプは、加熱部と冷却部の間を何回も往復する細管流路内を真空排気した後、作動流体

を流路に対する体積比で約50%程度封入したものである。そのため、流路内で気液二相状態となっている。加熱部と冷却部の圧力差により、表面張力により形成された液柱が自励的に振動を発生し、高い熱輸送性能が得られる。従来のヒートパイプが作動流体の駆動力に毛細管力（ウィック式ヒートパイプ）や重力（サーモサイフォン式ヒートパイプ）を利用するのに対して、自励振動ヒートパイプでは、高温部と低温部との間で生じる圧力差を駆動力としている。また、自励振動ヒートパイプでは、潜熱輸送と顕熱輸送を同時に行うことができるため、従来のヒートパイプより高い熱輸送能力を得ることができると考えられている。図2に自励振動ヒートパイプにおける潜熱輸送と顕熱輸送の概念図を示す。ここで、潜熱輸送は、図2(a)に示すように作動流体が加熱部で沸騰・蒸発し冷却部で凝縮する、または断熱部で凝縮し流路壁熱伝導および液柱の往復振動により冷却部へ熱が輸送されるという気液の相変化に基づく熱輸送である。一方、顕熱輸送は、図2(b)に示すように流路内を往復する作動流体が加熱部で流路壁から熱を受け取り、断熱部での流路壁との熱の授受および冷却部で流路壁へ熱を放出するという対流熱伝達に基づく熱輸送（ドリムパイプ効果^[11]）である。

この自励振動ヒートパイプに対しては、動作機構の解明を目的とした基礎的研究から、熱輸送性能向上を目的とした応用的研究まで幅広く行われている。そして、いくつかの自励振動ヒートパイプに関する研究のレビュー記事^[12-15]がまとめられ、さらに、自励振動ヒートパイプに関する知見を整理した成書^[16]が出版されるに至っている。しかしながら、自励振動ヒートパイプの動作機構と熱輸送機構はいまだ十分に解明されておらず^[15]、このため、自励振動ヒートパイプの熱輸送性能の正確な予測が困難であり、自励振動ヒートパイプの実用化を妨げる大きな要因となっている。これは、自励振動ヒートパイプは単純な構造であるにもかかわらず、その流路内における熱流動現象は複雑であるためである。例えば、自励振

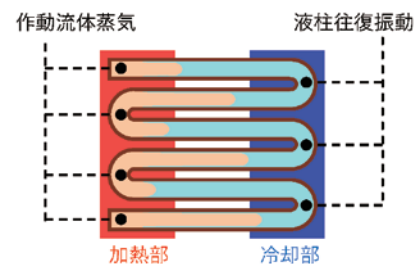


図1 自励振動ヒートパイプの模式図

*助教 機械工学科

Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering

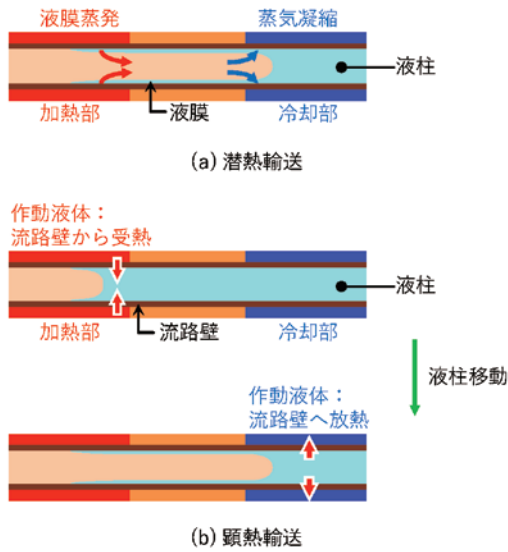


図2 潜熱輸送と顕熱輸送

動ヒートパイプの熱輸送において、潜熱輸送と顕熱輸送の両方が行われることが特徴であるにも関わらず、その潜熱輸送と顕熱輸送の熱輸送に対する寄与の割合は、いまだ十分に明らかにされていない。図2に関連して説明したように、潜熱輸送は、加熱部での蒸発と冷却部での凝縮という作動流体の相変化に基づく熱輸送であり、顕熱輸送は、壁と作動流体の間の対流熱伝達に基づく熱輸送である。熱輸送に対する潜熱輸送・顕熱輸送の役割を理解することは、自励振動ヒートパイプにおける熱輸送機構の詳細を理解し、最適な作動流体を選択し、熱輸送性能向上指針を得ることにつながる。

1.3 本研究の目的

前述したように、自励振動ヒートパイプの構造は単純であり、それが大きな長所でもあるが、その中で生じている熱流動現象すなわち相変化を伴う細管内気液二相の往復振動流の流れと伝熱は複雑であり、その動作機構および熱輸送機構はいまだ十分に解明されていない。そこで、図3(a)で示す通常の複数ターンの自励振動ヒートパイプを図3(b)のように1ターン分だけ切り取って図3(c)のように直線状とし、自励振動ヒートパイプを最も単純な形状にする。これに関しては、すでに先行研究^[17,18]において検討されており、種々の加熱量における液柱の振動周波数と振動振幅、蒸気圧力変動波形と液柱振動の関係が調べられている。また、流路内で液柱が正弦波的に振動することが確認されている。しかし、実際の自励振動ヒートパイプにおいては、多くのパラメーターが複雑に関連しており、1つのパラメーターが熱輸送に及ぼす影響を分離することは難しい。例えば、加熱部への入力熱量を変化させると、液柱の振動周波数と振動振幅はそれぞれ変化してしまう。液柱振動による熱輸送機構の詳細を把握するには、任意の振動周波数および振動振幅において流路内の液柱を強制振動させる実験が必要と考えられる。そこで、本報では、自励振動ヒートパイプにおける熱輸送機構を解明することを目的として、図3(d)に示すように加熱部と冷却部を設置した流路内において作動流体を機械的に往復振動させて自励振動ヒートパイプにおける流動と熱輸送現象を模擬し、振動する作動流体における顕熱輸送と潜熱輸送の寄与を実験的に評価する。自励振動ヒートパイプにおける熱流動現象に対応する潜熱輸送と顕熱輸送が同時に行

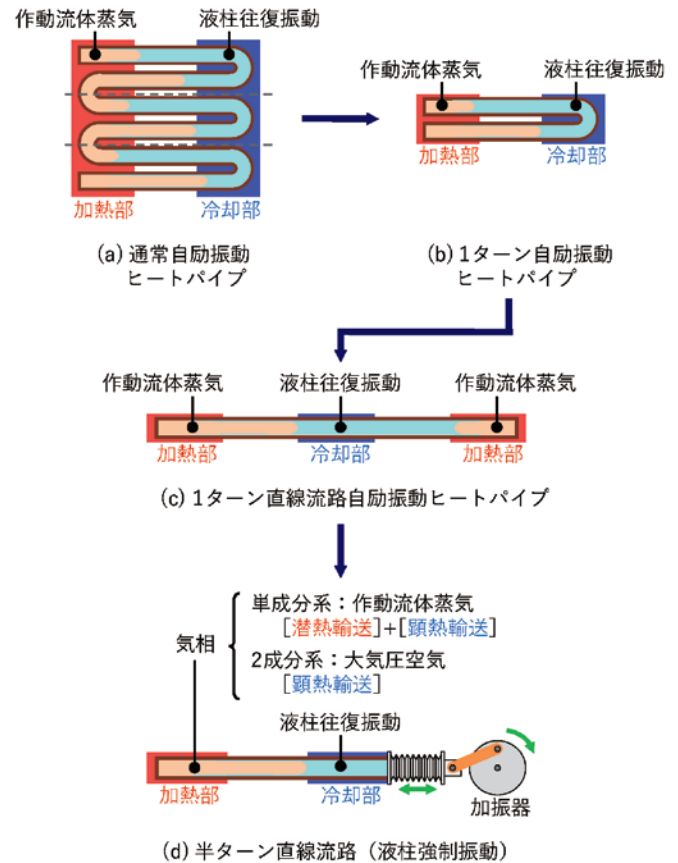


図3 実験方法

われる単成分系と顕熱輸送のみが行われる2成分系を比較することにより、実際の自励振動ヒートパイプにおいて分離して評価することが困難である潜熱輸送・顕熱輸送をそれぞれ評価する。また、これら潜熱輸送・顕熱輸送の液柱振動パラメーター依存性も明らかにする。さらに、これら実験結果をもとに、自励振動ヒートパイプにおける潜熱輸送モデルを構築する。

2. 実験装置および実験方法

図4に実験装置の概略図を示す。実験装置は大きく分けて、作動液体が往復振動する試験部分である流路、その作動液体を往復振動させる加振器から構成される。また、計測に関しては、流路内を往復振動する作動液体を測定および観察する高速度ビデオカメラ、流路壁温度や作動流体蒸気圧力などを測定・記録するデータロガーから構成される。はじめに、流路について説明する。断面 $2 \times 2 \text{ mm}^2$ 、長さ 160 mm の溝流路を設けた銅板(幅 4 mm 、厚さ 3 mm)の1面に透明ポリカーボネイト板を密着し、流路内部を可視化した。この銅板の加熱部(長さ 50 mm)は、カートリッジヒーターを圧入した銅ブロックを押し付けることにより加熱を行い、冷却部(長さ 60 mm)は、冷却水ジャケットにより冷却し、冷却部温度を一定とした。また、断熱部(長さ 50 mm)は、ベークライトのブロックが押し付けられている。流路壁温度測定のために、流路壁外表面から深さ 0.5 mm の位置にT型熱電対(素線径 0.1 mm)が設置されている。位置 x は加熱部流路端から冷却部方向への距離である。実際の自励振動ヒートパイプと同じように蒸気の圧縮比を小さくするために、蒸気チャンバー(内容積 5.6 cm^3)が、流路加熱部端につながっている。

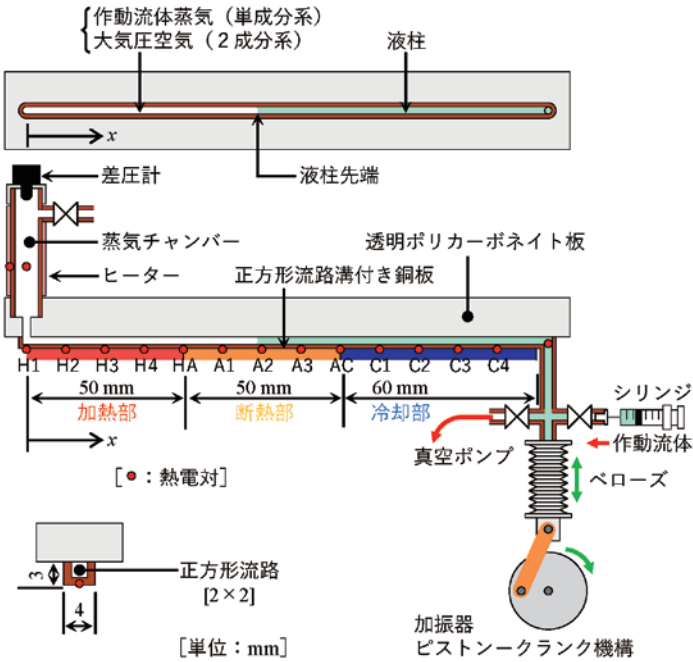


図4 実験装置

蒸気チャンバー部での作動流体蒸気の凝縮を防ぐために、蒸気チャンバー外面に巻きつけたテープヒーターにより、蒸気チャンバーを加熱した。蒸気チャンバーでは、蒸気圧力を測定するために蒸気チャンバー端部に差圧計が設置されている。また、蒸気温度を測定するために、蒸気チャンバー中心部分にT型シース熱電対（シース径1mm）もコンプレッションフィッティングを介して挿入されている。流路の冷却部側は、ペローズを介してピストンクランク機構よりなる加振器につながれており、これらにより、流路内の作動液体を正弦的に振動させ、実際の自励振動ヒートパイプにおける熱流動現象を模擬した。流路可視化窓上方には、高速度ビデオカメラが取り付けられている。この高速度ビデオカメラで取得した画像に基づいて、液柱先端位置（すなわち、気液界面）の時間変化が測定された。実験装置内に封入する作動流体は、封入前に加熱脱気または減圧脱気を十分に行ったものを用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 流路壁温度分布

図5にヒーター投入電力 Q_E 、振動振幅 $2S$ 、液柱先端振動中心位置 x_c および液柱振動周波数 f を同一とした場合における単成分系（●印）と2成分系（■印）の流路壁温度分布を示す。また、図中の流路壁熱伝導（▲印）は、作動流体を封入しない場合、すなわち銅流路壁の単純熱伝導によってのみ熱が輸送される場合の結果である。図5から、2成分系では作動流体を封入しない場合と比較して加熱部温度が低下しており、作動流体の往復振動による顕熱輸送が行われていることが確認できる。単成分系では、2成分系と比較して、さらに加熱部温度が低下しており、熱輸送性能が向上していることがわかる。これは、2成分系では液柱の往復振動による顕熱輸送のみが行われるのに対して、単成分系では顕熱輸送に加えて作動流体の相変化による潜熱輸送が行われるからである。

単成分系と2成分系の壁温分布の差異をより明確にするため、式

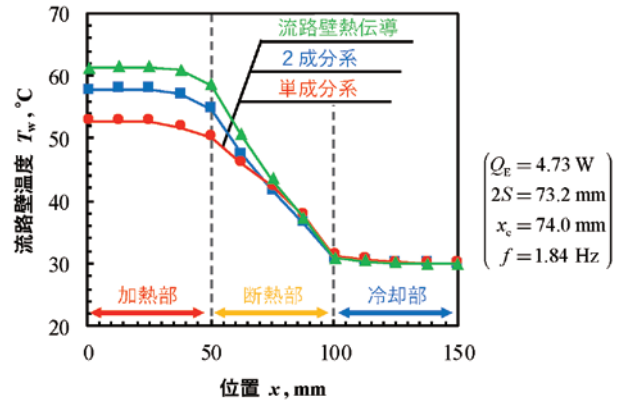


図5 流路壁温度分布の比較

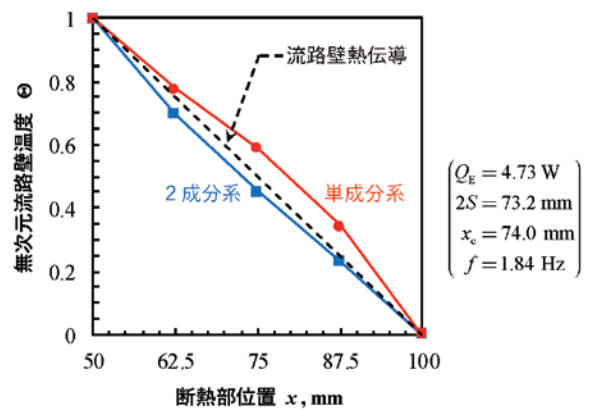


図6 無次元流路壁温度分布の比較（単成分系と2成分系）

(1)で定義した無次元温度 Θ を用い、断熱部流路壁温度分布を単成分系および2成分系で比較した結果を図6に示す。

$$\Theta = \frac{T(x) - T_{AC}}{T_{HA} - T_{AC}} \quad (1)$$

ここで T_{HA} は加熱部－断熱部境界（図4の位置 HA）温度、 T_{AC} は断熱部－冷却部境界（図4の位置 AC）温度である。また図中の黒破線で示す直線分布は、加熱部から冷却部への熱輸送が流路壁の単純熱伝導によってのみ行われると仮定した場合の流路壁温度分布に対応する。図6から、単成分系（●印）の場合には流路壁熱伝導（破線）と比較して無次元温度分布が上に凸であることがわかる。これは、液柱が冷却部側に後退したとき、加熱部の残留液膜から蒸発した作動流体が冷却部近傍で凝縮し、その凝縮熱が流路を加熱するためである。一方、2成分系（■印）の場合には、流路壁熱伝導（破線）と比較して無次元温度分布が下に凸であることがわかる。これは、振動する液柱の顕熱輸送により流路壁から作動液体に熱が移動し、流路の温度が低下しているためである。本節で議論した流路壁温度分布は、図5および図6で示した組み合わせとは異なる液柱の振動振幅、振動中心位置、振動周波数の組み合わせにおいても同様の傾向が確認されている。

3.2 有効熱伝導率

前節では、単成分系と2成分系の流路壁温度分布の相違を議論したが、本節では熱輸送性能について議論する。熱輸送性能は、加熱部から冷却部への熱輸送量と加熱部－冷却部温度差の関係として評価する必要がある。その指標として実用研究の場合には熱抵抗がよ

く用いられるが、ここではより基礎的に熱輸送機構の検討を行うため、振動する作動流体による有効熱伝導率を

$$k_{\text{eff}} = \frac{(Q_{\text{total}} - Q_{\text{cond}}) \cdot L_{\text{eff}}}{A \cdot \Delta T} \quad (2)$$

により算出した。ここで、 Q_{total} は全熱輸送量、 Q_{cond} は壁の熱伝導による熱輸送量、 L_{eff} はヒートパイプの有効長（加熱部の位置 H3 と冷却部の位置 C2 の間の距離 100 mm）、 A は作動流体流路断面積（ $2 \times 2 \text{ mm}^2$ ）、 ΔT は加熱部の位置 H3 の流路壁温度 T_{H3} と冷却部の位置 C2 の流路壁温度 T_{C2} の間の温度差である。流路熱伝導による熱輸送量は断熱部の流路壁温度勾配を用いて、

$$Q_{\text{cond}} = A_w k_w \frac{T_{\text{HA}} - T_{\text{AC}}}{L_{\text{ad}}} \quad (3)$$

で見積もった。ここで、 A_w は流路壁の断面積（ 8 mm^2 ）、 k_w は流路壁の熱伝導率、 T_{HA} は加熱部－断熱部境界温度、 T_{AC} は断熱部－冷却部境界温度、 L_{ad} は断熱部長さ（50 mm）である。さらに、潜熱輸送と顕熱輸送の両方が行われる単成分系の有効熱伝導率と顕熱輸送のみが行われる2成分系の有効熱伝導率を比較することにより、振動する作動流体による潜熱輸送のみの有効熱伝導率を求める。すなわち単成分系の場合の有効熱伝導率 $k_{\text{eff, single}}$ から2成分系の場合の有効熱伝導率 $k_{\text{eff, two}}$ を差し引き、次式で定義される潜熱輸送の有効熱伝導率 $k_{\text{eff, latent}}$ を算出した。

$$k_{\text{eff, latent}} = k_{\text{eff, single}} - k_{\text{eff, two}} \quad (4)$$

図7は、式(2)より求めた単成分系の有効熱伝導率（●印）、2成分系の有効熱伝導率（■印）、および式(4)より求めた潜熱輸送の有効熱伝導率（▲印）を振動中心位置 x_c に対して示したものである。振動振幅 $2S$ は一定であり、振動中心位置が大きいほど液柱先端は冷却部に近い領域を往復運動する。2成分系、すなわち顕熱輸送については、振動中心位置の増加とともに有効熱伝導率は単調に減少する。これは、振動中心位置が加熱部から遠ざかるにつれ、加熱部付近に液柱が滞在する時間が減少し、加熱部流路壁と液柱との間の熱交換が十分に行われないためである。一方、潜熱輸送については、振動中心位置の増加すなわち振動中心位置が冷却部に近づくとともに有効熱伝導率が増加する。その理由は、次の通りである。振動する液柱は加熱部から冷却部へ後退した後の流路壁面に液膜を残すことが高速度ビデオ撮影により観察されており、このとき加熱部での

液膜の蒸発と冷却部での蒸気の液膜への凝縮が同時に発生し、これにより潜熱輸送が効果的に行われると考えられる。振動中心位置が冷却部に近づく、作動流体蒸気に露出する冷却部が長くなり、蒸気の凝縮が促進され、潜熱輸送の有効熱伝導率が増大すると考えられる。しかしながら、振動中心位置がさらに大きくなり、冷却部に近づく、有効熱伝導率は低下しはじめる。これは、液柱先端が加熱部に浸入しないようになるためである。加えて、これら顕熱輸送と潜熱輸送が同時に行われる単成分系においては、振動中心位置が断熱部中心付近のとき、有効熱伝導率が最大となる。これは、実際の自励振動ヒートパイプにおいて、最適な作動流体の封入率が存在し、作動流体の封入率が約50%のとき、最大の熱輸送量となることと対応していると考えられる。本節で議論した有効熱伝導率は、図7で示した組み合わせとは異なる液柱先端の振動振幅、および振動周波数の組み合わせにおいても同様の傾向が確認されている。

本研究で行った実験では、図7で示したように、液柱先端の振動振幅 $2S$ と振動周波数 f を一定にして、液柱先端の振動中心位置 x_c を変化させた。このとき、正確に振動中心位置を制御することが難しかったため、図8の有効熱伝導率と振動振幅の関係および図9の有効熱伝導率と振動周波数の関係で示される振動中心位置のときの有効熱伝導率は、振動中心位置に対する直線内挿補間を行うことにより算出された。

図8は、振動周波数および振動中心位置を同一とした場合における有効熱伝導率と振動振幅の関係を示したものである。2成分系、すなわち顕熱輸送については、振動振幅が増加するにしたがって、有効熱伝導率は単調に増加している。これは、振動振幅が増加するにつれ、液柱が加熱部および冷却部により深く浸入するようになるからである。また、潜熱輸送についても、振動振幅の増加とともに有効熱伝導率は単調に増加していることがわかる。これは、振動振幅が増加するにつれ、液柱振動に伴って形成される液膜の長さが増加し、液膜蒸発・凝縮による潜熱輸送が増大するためである。

図9は、振動振幅および振動中心位置を同一とした場合における有効熱伝導率と振動周波数の関係を示したものである。2成分系、すなわち顕熱輸送については、振動周波数が増加するにしたがって、有効熱伝導率が単調に増加している。これは、振動周波数が増加するにつれ、液柱が加熱部および冷却部で熱交換する単位時間当たりの回数が増大するからである。一方、潜熱輸送については、振動周

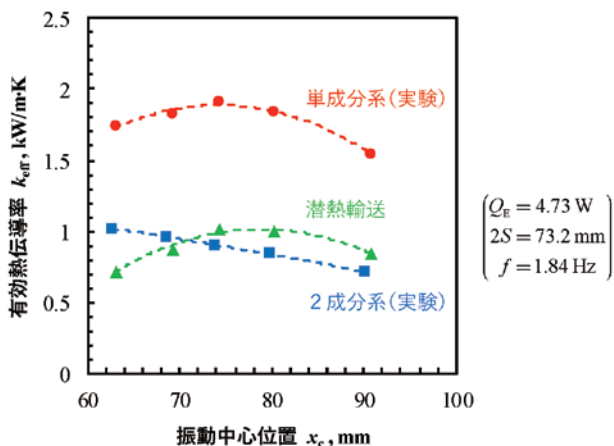


図7 有効熱伝導率と振動中心位置の関係

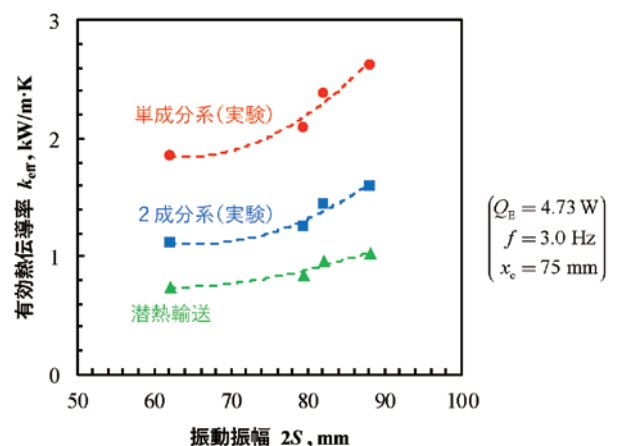


図8 有効熱伝導率と振動振幅の関係

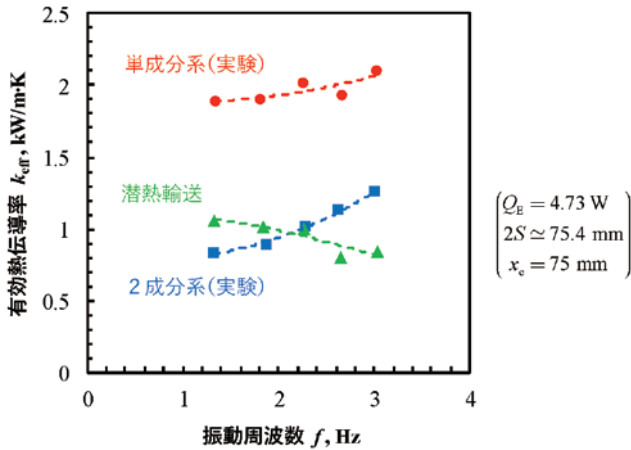


図9 有効熱伝導率と振動周波数の関係

波数が増加するにしたがって、有効熱伝導率は単調に減少することがわかる。この理由は次のように考えることができる。液柱振動周波数が増加するにつれて、液柱の移動速度が増加し、それともなって流路内壁面上に形成される残留液膜の厚さは増大することが知られている^[19,20]。この液膜厚さの増加により蒸発・凝縮の相変化熱伝達係数は減少し、潜熱輸送の有効熱伝導率が低下していると考えられる。この液柱の往復振動による流路内壁面上に形成される液膜は、潜熱輸送に影響を与え、定量的な潜熱輸送量の評価において重要な役割を果たすと考えられる。

3.3 熱輸送特性に対する作動流体の種類の影響

ここまで、作動流体としてエタノールを用いて、液柱振動条件が熱輸送性能に及ぼす影響を検討した結果、液柱振動に伴い流路内壁に生じる液膜の相変化による潜熱輸送のメカニズムが明らかにされた。本節では、エタノールに加えて、FC-72およびイオン交換水を作動流体として用いて実験を行うことで、作動流体の種類が熱輸送特性に及ぼす影響を検討した。なお、これまで示してきた実験結果は、図4に示すような水平に設置された流路において得られたものであったが、本節における実験結果は、垂直に設置された流路において上部を加熱して（垂直トップヒート）、得られたものである。垂直トップヒートを選択した理由は、FC-72を作動流体として使用したとき、水平設置流路では安定な液柱振動を得ることができなかったためである。液柱振動条件は、液柱先端の振動振幅 $2S=72\pm$

1mm、振動中心位置 $x_c=75\pm 2$ mm、振動周波数 $f=1.42\pm 0.02$ Hzで一定とした。このとき、振動中心位置は断熱部中心であり、液柱先端は加熱部・冷却部にそれぞれ11mm浸入することになる。この液柱振動条件を一定のもと、種々のヒーター投入電力に対して実験を行い、熱輸送量と加熱部-冷却部温度差の関係（熱輸送特性）を求め、作動流体の種類が熱輸送特性に及ぼす影響を議論する。

3.3.1 熱輸送特性

図10に熱輸送量と加熱部-冷却部温度差の関係を示す。ここで、加熱部-冷却部温度差として、加熱部流路壁平均温度と冷却部流路壁平均温度の温度差を用いた。単成分系の結果は●印で示され、2成分系の結果は■印で示されている。▲印は作動流体を封入しない場合、すなわち流路壁熱伝導のみで熱が輸送される場合の結果であり、図10(a), (b), (c)で共通である。はじめに、図10(a)に示すFC-72の熱輸送特性について議論する。2成分系の場合は、温度差に比例して熱輸送量が増加している。一方、単成分系においては、温度差が増加するにつれ温度差に対する熱輸送量の増加率が増加していることがわかる。また、図10(b)に示すエタノールの熱輸送特性は、単成分系・2成分系のいずれにおいても、FC-72の場合と同様の傾向を示している。しかし、単成分系における同じ温度差に対する熱輸送量を比較すると、エタノールの熱輸送量は、FC-72のそれよりも大きくなっている。最後に、図10(c)に示すイオン交換水の熱輸送特性について議論する。2成分系の熱輸送特性は、FC-72・エタノールの場合と比較して、温度差に対する熱輸送量の増加率が大きくなっている。また、単成分系の熱輸送特性は、FC-72やエタノールの場合と異なり、熱輸送量が温度差に対して直線的に増加していることがわかる。次節から、これら熱輸送特性に基づき、液柱の往復振動により生じる顕熱輸送・潜熱輸送に関して議論する。

3.3.2 顕熱輸送

図10に示す熱輸送量と加熱部-冷却部温度差の関係において、2成分系の熱輸送量から、同じ温度差のときの流路壁熱伝導による熱輸送量を差し引いて求めた熱輸送量は、液柱の往復振動に伴う流路壁と作動流体の間の対流熱伝達による顕熱輸送量であると考えられる。そこで、流路壁熱伝導と2成分系の熱輸送特性のそれぞれに対して原点を通る直線でフィッティングを行い、流路壁熱伝導と2成分系の熱コンダクタンスを求めた。これら熱コンダクタン

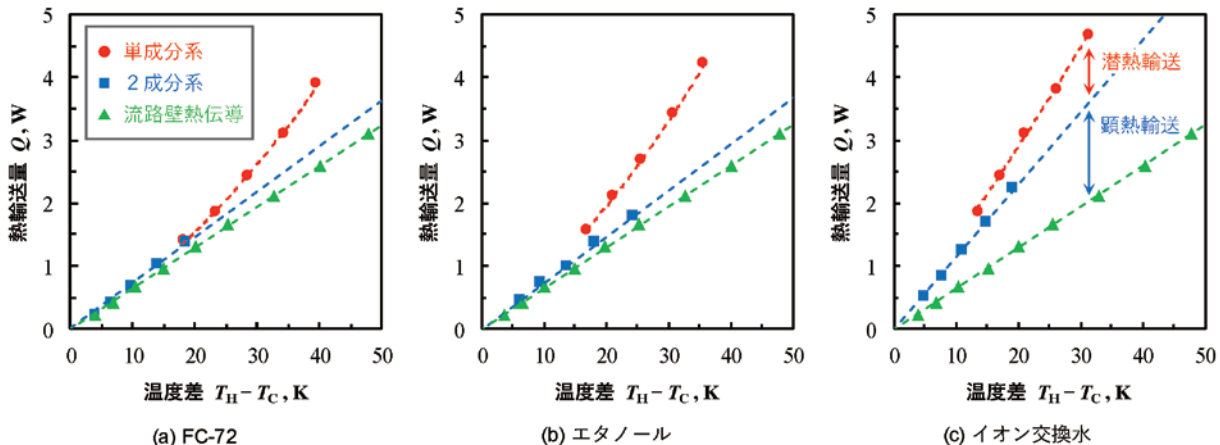


図10 種々の作動流体における熱輸送量と温度差の関係

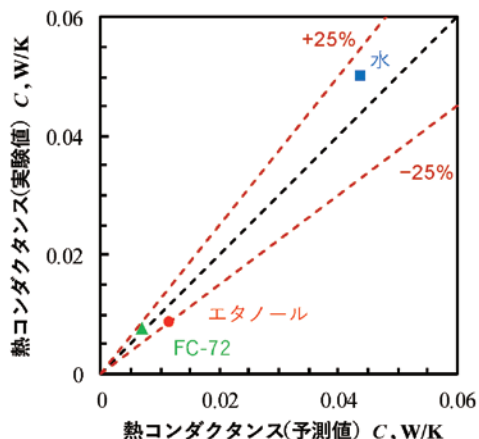


図11 熱コンダクタンスの実験値と予測値の比較

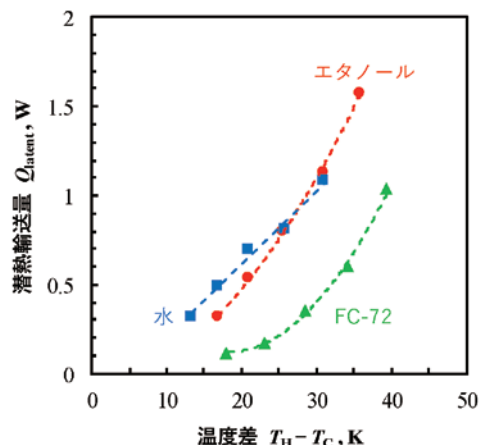


図12 潜熱輸送量と温度差の関係

スの差から顕熱輸送による熱コンダクタンスを算出した。この実験結果に基づいて算出した熱コンダクタンスと円管流路内を完全に作動液体で充滿して往復振動させる場合（ドリームパイプ）の有効熱伝導率の予測式である修正 Watson の式^[21]により算出した熱コンダクタンスの比較を図11に示す。ここで、流路断面積（ $2 \times 2 \text{mm}^2$ ）、加熱部－冷却部中心距離（105mm）を用いて、有効熱伝導率を熱コンダクタンスに換算した。図11から、実験から得られた顕熱輸送の熱コンダクタンスは、修正 Watson の式により推算される熱コンダクタンスに対して、いずれの作動液体においても $\pm 25\%$ の範囲で一致することがわかる。これから、2成分系における熱輸送の熱物性値依存性は、ドリームパイプのそれと同様であることがわかる。

3.3.3 潜熱輸送

図10に示す熱輸送量と加熱部－冷却部温度差の関係において、単成分系の熱輸送量から、同じ温度差のときの2成分系の熱輸送量を差し引いて求めた熱輸送量は、作動流体の相変化による潜熱輸送量であると考えることができる。この潜熱輸送量と温度差の関係を図12に示す。FC-72・エタノールの場合、温度差が増加するにつれ、温度差に対する潜熱輸送量の増加率が上昇していることがわかる。これは、温度差が増加するにつれ、蒸発熱伝達係数が増加していることを意味する。この理由は、次の通りである。これまで議論してきたように、液柱が加熱部から冷却部に後退するとき、流路壁面上に液膜を残すことが、高速度ビデオカメラによる観察により確認されている。このとき、加熱部で液膜が蒸発し、冷却部でその蒸気が凝縮することにより、作動流体の相変化による潜熱輸送がなされている。ここで、液膜厚さ方向の温度分布が直線的であるとする、蒸発熱伝達係数は作動流体の熱伝導率を液膜厚さで除することで求められる。すなわち、液膜厚さが減少すると、蒸発熱伝達係数は増加することになる。このことから、温度差が増加するにつれ、液柱が加熱部から冷却部に後退している間における液膜の蒸発量が增大し、液膜厚さが減少した結果、振動1サイクルあたりの平均での蒸発熱伝達係数が増加したと考えられる。一方、水の場合、温度差が増加するにつれ、およそ直線的に潜熱輸送量が増加していることがわかる。これは、蒸発熱伝達係数が一定であることを意味する。この理由は、前述のFC-72（ $h_{fg} = 88 \text{kJ/kg}$ ）・エタノール（ $h_{fg} = 855 \text{kJ/kg}$ ）の蒸発潜熱 h_{fg} と比較して、水の蒸発潜熱（ $h_{fg} = 2257 \text{kJ/kg}$ ）は大きいので、液膜の蒸発による液膜厚さの減少が小さくなっ

たからであると考えられる。

3.3.4 液膜蒸発による潜熱輸送のモデル化

ここまで、種々の液柱振動条件および作動流体における、流路内を往復振動する液柱による熱輸送の詳細を実験的に調査してきた。これにより、流路内を往復振動する流路壁面に生ずる液膜が、潜熱輸送において重要な役割を果たすことが示された。そこで、本節では、液柱の往復振動に伴い生じる液膜における相変化に着目をして、作動流体の相変化による潜熱輸送のモデル化を行い、実験結果と比較することで潜熱輸送の定量的な予測が可能になることを示す。

液膜蒸発モデル

図13に示すように、1次元的な液膜に関して、時間 dt の間に気液界面で生じる蒸発により、厚さ $d\delta$ だけ薄くなる場合の熱収支を考える。このとき、液膜内での温度分布は直線分布として、気液界面温度 T_{sat} と流路壁温度 T_w は時間的に一定であるとする。気液界面における単位面積あたりの熱量のつりあいを考えると、液膜厚さ δ は時刻 t の関数であることに注意すると、式(5)の関係が得られる。

$$-\rho_L \cdot h_{fg} \cdot d\delta = \frac{k_L}{\delta} (T_w - T_{sat}) dt \quad (5)$$

ここで、 ρ_L は作動液体の密度、 h_{fg} は作動流体の蒸発潜熱、 k_L は作動液体の熱伝導率である。つぎに、式(5)の微分方程式を解くための初期条件を考える。蒸発開始時の液膜厚さ δ_0 は、液柱振動条件により流体力学的に決定されるものとして、初期条件は、

$$\delta|_{t=0} = \delta_0 \quad (6)$$

とする。式(6)の初期条件のもと式(5)の微分方程式を解くと、液膜厚さ δ は、

$$\delta(t) = \sqrt{\delta_0^2 - \frac{2k_L \cdot \Delta T_{sat}}{\rho_L \cdot h_{fg}} \cdot t} \quad (7)$$

が得られる。この液膜厚さ δ で作動流体の熱伝導率 k_L を除することで、式(8)で示すように、時間変化する蒸発熱伝達係数 h を求めることができる。

$$h(t) = \frac{k_L}{\delta(t)} \quad (8)$$

以上より、振動1サイクルの間の時間平均潜熱輸送量は、

$$\bar{Q}_{\text{latent}} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} A_{\text{evap}} \cdot h \cdot \Delta T_{\text{sat}} dt \quad (9)$$

と求めることができる。ここで、 τ は液膜が蒸発する特性時間で、振動周波数の逆数 $1/f$ とする。また液膜の蒸発面積は、

$$A_{\text{evap}} = L_{\text{evap}}(L_p - 4\delta) \quad (10)$$

と定義する。ここで、蒸発する液膜の長さは、

$$L_{\text{evap}} = L_h - \min x_t \quad (11)$$

と定義し、図14(a)で示すように、液柱先端が加熱部に浸入する長さである。また、図14(b)で示すように、 L_p は流路内壁の濡れ縁長さ(流路内壁銅部分)であり、液膜厚さの変化を考慮した蒸発液膜面積になっている。過熱度は、流路壁温度と飽和温度の差

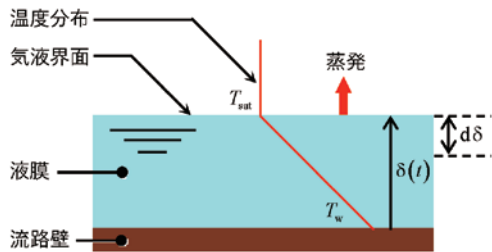


図13 液膜蒸発モデル

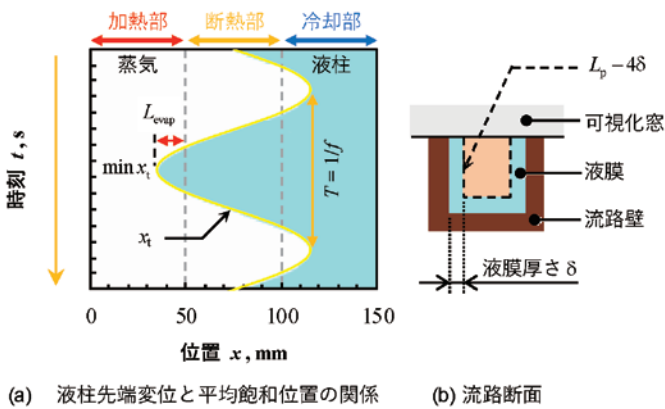


図14 液膜蒸発モデルにおける各パラメータの定義

$$\Delta T_{\text{sat}} = T_w - T_{\text{sat}} \quad (12)$$

である。以上から、式(8)–式(10)を併せると、時間平均潜熱輸送量は、

$$\bar{Q}_{\text{latent}} = \frac{L_{\text{evap}} \cdot L_p \cdot \rho_L \cdot h_{\text{fg}}}{\tau} \left[\delta_0 - \sqrt{\delta_0^2 - \frac{2k_L \cdot \Delta T_{\text{sat}}}{\rho_L \cdot h_{\text{fg}}} \cdot \tau} \right] - 4L_{\text{evap}} \cdot k_L \cdot \Delta T_{\text{sat}} \quad (13)$$

の形で表現することができる。

液膜蒸発モデルによる予測値と実験結果の比較

つぎに、ここまでの液膜蒸発のモデル化により得られた式(13)で求められる時間平均潜熱輸送量の予測値と実験的に得られた潜熱輸送量を比較することにする。比較に用いる実験結果は、前節で作動流体の種類の影響を議論したものである。図10では潜熱輸送量と加熱部–冷却部温度差の関係で整理していたが、図15では、潜熱輸送量と壁面過熱度の関係として整理している。図15に種々の作動流体における潜熱輸送量と壁面過熱度の関係の予測値と実験値の比較を示す。実験結果を●印、予測値を■印で示している。ここで、初期液膜厚さ δ_0 として、正方形断面流路において等速で移動する液柱により生じる液膜厚さの予測式^[22]に基づき正方形断面流路の四辺に一定の厚さで液膜が存在すると仮定することで算出した平均液膜厚さを採用した。またこのとき、液柱の代表速度として時間平均速度を用いた。図15からわかるように、図15(a)で示されるFC-72および図15(b)で示されるエタノールの場合では、実験結果と予測値はよく一致しており、壁面過熱度の増加に対する潜熱輸送量の増加率が増加するという特徴的な挙動だけではなく、定量的にも一致している。一方、図15(c)で示されているイオン交換水の場合では、実験結果と予測値は一致しておらず、実験結果に対して予測値は約6倍大きい値になっている。また、モデルを用いた予測では壁面過熱度が6°Cを超える場合、液膜の蒸発が進行した結果、液膜厚さが0となるドライアウトが生じた。この液膜蒸発モデルによる予測値と実験結果との相違は、液膜蒸発モデルで仮定した液膜の挙動と実際の液膜の挙動の差異に起因するものと考えられる。液膜蒸発モデルでは、流路壁面上に形成された液膜は静止していると仮定している。実験において、作動流体としてFC-72およびエタノールを用いた場合では、液柱が加熱部から冷却部へ向けて後退するときに流路内壁面上に生じる液膜はおよそ静止していることが、目視および高速度ビデオカメラを用いた流路内液膜挙動の撮影により観察されている。これは、液膜蒸発モデルの仮定と合致する

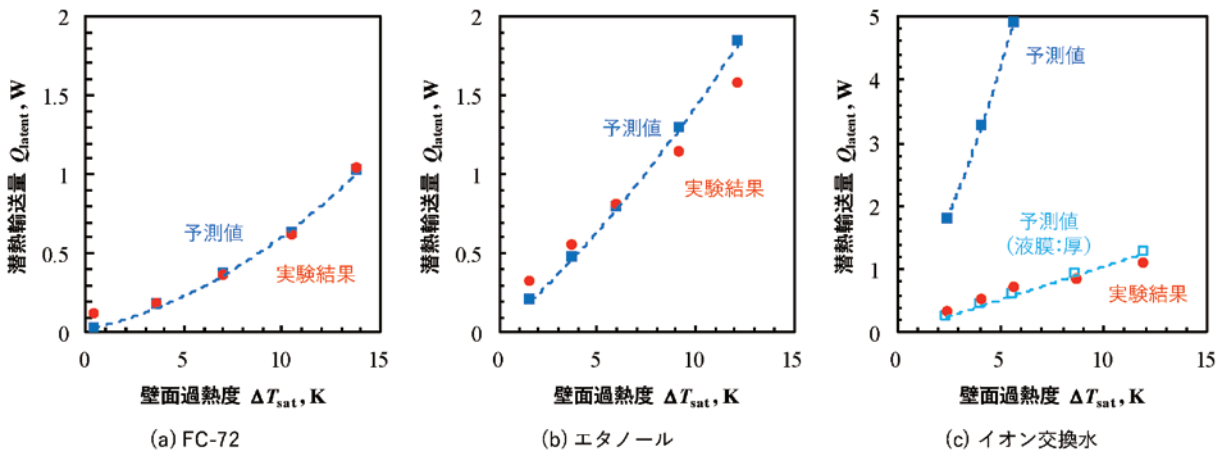


図15 潜熱輸送量と壁面過熱度の関係の予測値と実験値の比較

結果である。一方、作動流体としてイオン交換水を用いた場合には、液柱移動時に生じる液膜が静止していないことが観察されている。これは、水の表面張力が大きいためであり、流路壁面上に形成された薄液膜が環状にまとまり、液膜厚さを増しながら、流下していく過程が観察されている。このため、予測値で用いた初期液膜厚さ δ_0 を過小に評価し、蒸発熱伝達係数が大きくなった結果、実験結果と比較して潜熱輸送量の予測値が大きくなったと考えられる。そこで、図15cで示すイオン交換水の場合において、液膜厚さ予測式^[22]で求められた初期液膜厚さを5.5倍に厚くして計算した結果を□印で示す。すると、潜熱輸送量と壁面過熱度の関係において、実験で得られた潜熱輸送量と予測値が合致するようになり、およそ定性的かつ定量的に潜熱輸送量を予測できることがわかる。実験における流路内液膜挙動の観察と予測モデルにおける初期液膜厚さを変化させた検討を併せると、作動流体としてイオン交換水を用いた場合には、作動流体の表面張力が大きいため、流路内壁面上に薄液膜が安定して存在することができず、環状にまとまり液膜厚さが厚くなった結果、蒸発熱伝達係数が小さくなり、FC-72およびエタノールと比較して潜熱輸送量が減少したと考えられる。

4. おわりに

本報では、自励振動ヒートパイプの熱輸送機構を解明することを目的として、著者がこれまで行ってきた研究の一部^[23-25]を紹介した。自励振動ヒートパイプにおける熱輸送の最も基礎的な要素である液柱の往復振動に伴う熱輸送に着目することにより、加熱部と冷却部を設置した直線流路内において、作動液体を種々の振動条件で強制振動させることで自励振動ヒートパイプにおける熱流動現象を模擬し、作動液体の往復振動による熱輸送特性を明らかにした。これにより、流路内を往復振動する液柱の振動振幅、振動周波数などの液柱振動条件が決定されれば、その液柱による熱輸送量を予測できることが示された。また、液柱の往復振動に伴い形成される液膜に着目することにより、その相変化による潜熱輸送のモデルを構築し、潜熱輸送の定量的な予測が可能になることが示された。

謝辞

本報は、著者が東京工業大学大学院総合理工学研究科創造エネルギー専攻修士課程および博士後期課程在籍時に行った研究の一部をまとめたものである。本研究の遂行にあたり、指導教員として終始熱心なご指導と貴重なご助言をいただいた東京工業大学工学院機械系長崎孝夫准教授に甚大なる感謝の意を表す。

本研究の一部は、JSPS 科研費（特別研究員奨励費 16J01153）の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] A. Danowitz, K. Kelley, J. Mao, J. P. Stevenson and M. Horowitz, CPU DB: Recording microprocessor history, *Communications of the ACM*, 55 (4), (2012), 55-63.
- [2] R. Moritz and F. C. Henriques, Studies of thermal injury: II. The relative importance of time and surface temperature in the causation of cutaneous burns, *American Journal of Pathology*, 23 (5), (1947), 95-720.
- [3] M. Arik, C. Becker, S. Weaver and J. Petroski, Thermal management of LEDs: package to system, *Proceedings of SPIE 5187, Third International Conference on Solid State Lighting*, 5187, (2004), 64-75.
- [4] D. Reay, P. Kew and R. McGlen, *Heat pipes: Theory, design and applications*, Sixth Edition, Butterworth Heinemann, (2013).
- [5] ティーエスヒートロニクス(株), DLC型ヒートレーン放熱器, *日本機械学会誌*, 110 (1064), (2007), 551.
- [6] 安藤麻紀子, 岡本篤, 田中洸輔, 杉田寛之, 宇宙用逆止弁付振動流型ヒートパイプの軌道上実証結果, *日本機械学会熱工学コンファレンス2016 講演論文集*, (2016), C114, 1-2.
- [7] 赤地久輝, 閉ループ管型熱伝達装置, 特開平1-127895, 1989年5月19日.
- [8] H. Akach, F. Polásek and P. Štulc, Pulsating heat pipes, *Proceedings of the Fifth International Heat Pipe Symposium*, 5, (1996), 208-217.
- [9] 宮崎芳郎, 自励振動ヒートパイプ, *日本機械学会誌*, 106 (1011), (2003), 107-110.
- [10] 宮崎芳郎, 熱で揺れる流体が熱を運ぶ～自励振動ヒートパイプの仕組み～, *日本機械学会誌*, 112 (1090), (2009), 744-745.
- [11] U.H. Kurzweg and L. de Zhao, Heat transfer by high-frequency oscillations: A new hydrodynamic technique for achieving large effective thermal conductivities, *Physics of Fluids*, 27 (11), (1984), 2624-2627.
- [12] 長崎孝夫, 自励振動ヒートパイプの熱輸送特性に関するレビュー, *伝熱*, 44 (186), (2005), 13-17.
- [13] Y. Zhang and A. Faghri, Advances and unsolved issues in pulsating heat pipes, *Heat Transfer Engineering*, 29 (1), (2008), 20-44.
- [14] X. Tang, L. Sha, H. Zhang and Y. Ju, A review of recent experimental investigations and theoretical analyses for pulsating heat pipes, *Frontiers in Energy*, 7 (2), (2013), 161-173.
- [15] X. Han, X. Wang, H. Zheng, X. Xu and G. Chen, Review of the development of pulsating heat pipe for heat dissipation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, (2016), 692-709.
- [16] H. Ma, *Oscillating heat pipes*, Springer, (2015).
- [17] T. Nagasaki, Y. Shimazaki, Y. Ito and S. Hojo, Fundamental study on heat transport in pulsating heat pipe using a straight rectangular channel, *Proceedings of the 7th JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference*, (2008), B141, 1-4.
- [18] 長崎孝夫, 加藤達哉, 伊藤優, 直線水平流路を用いた自励振動ヒートパイプに関する研究, 第50回日本伝熱シンポジウム講演論文集, (2013), G221, 422-423.
- [19] G.I. Taylor, Deposition of a viscous fluid on the wall of a tube, *Journal of Fluid Mechanics*, 10 (2), (1961), 161-165.
- [20] P. Aussillous and D. Quéré, Quick deposition of a fluid on the wall of a tube, *Physics of Fluids*, 12 (10), (2000), 2367-2371.
- [21] S. Nishio, X. H. Shi and W. M. Zhang, Oscillation-induced heat transport: Heat transport characteristics along liquid-columns of oscillation-controlled heat transport tubes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 38 (13), (1995), 2457-2470.
- [22] Y. Han and N. Shikazono, Measurement of liquid film thickness in micro square channel, *International Journal of Multiphase Flow*, 35 (10), (2009), 896-903.
- [23] 三浦正義, 長崎孝夫, 伊藤優, 加振機構を用いた自励振動ヒートパイプの熱輸送特性に関する研究, 第50回日本伝熱シンポジウム講演論文集, (2013), G221, 422-423.

トパイプの熱輸送特性に関する基礎的研究（有効熱伝導率の測定），日本機械学会論文集，81（827），（2015），1-13.

[24] 三浦正義，長崎孝夫，伊藤優，自励振動ヒートパイプにおける液柱の往復振動に伴う熱輸送特性に関する研究（作動流体の影響），熱工学コンファレンス2016講演論文集，（2016），F231，1-2.

[25] M. Miura, T. Nagasaki and Y. Ito, Experimental investigation of heat transport with oscillating liquid column in pulsating heat pipe using forced oscillation system, International Journal of Heat and Mass Transfer, 106, (2017), 997-1004.

リムーバブル HDD の製品開発と国際標準化

齋藤 温*

Development of Removable HDD (Hard Disk Drive) and its International Standardization

Atsushi SAITOU*

1. 緒言

情報化社会において、データストレージは欠くことのできない社会インフラの地位を確立した。データストレージはその得失に拠って用途の棲み分けがなされており、様々な装置に適用されている。データストレージの一種である磁気ディスク装置（以下 HDD: Hard Disk Drive）は、記憶容量、データ転送速度、ビット単価、装置寸法などの評価指標によって、データストレージ階層の中核に位置している。世界初の HDD は、1957年に IBM 社が発表した⁽¹⁾。その後、HDD は、大容量化、小型軽量化と相俟って、メインフレーム、サーバ、PC (Personal Computer) を始めとして、2000年以降には録画用の機器、テレビなどの情報家電機器にも搭載されている^{(2)~(4)}。

昨今、クラウドが普及し、場所や時間を選ばずにユーザが所望するデータにアクセスできる環境が整った。一方、記憶データの実体が見え難いことや、著作権保護の観点から、ユーザの手元で管理運用するパーソナルデータストレージの需要も存在する。パーソナルデータストレージは、クラウドデータストレージとの対比から、ローカルデータストレージとも呼ばれる。フラッシュメモリ、光ディスク、磁気テープなどに代表されるパーソナルデータストレージは、ユーザがデータの実体（どのストレージに何のデータが記録されているか）を容易に把握できる。このため、物理的なセキュリティの確保や、著作権保護機能のストレージ単位の実装によって、不正なデータ複製が防止できる特長を持っている。

HDD が情報家電機器に搭載され始めた2000年当時は、HDD を手軽に持ち運ぶことができ、様々な機器で横断的に利用できる標準化された可換型のリムーバブル HDD は存在していなかった。筆者が製品開発を手掛けた iVDR (information Versatile Device for Removable usage) は、AV (Audio Visual) 用途から PC 用途に至るまでの幅広い分野で活用できる国際標準化されたリムーバブル HDD である⁽⁴⁾⁽⁵⁾。iVDR は、HDD を収納したカートリッジ形状を採用している。HDD の持つ大容量、高速データ転送、低ビット単価の特長を活かしつつ、デジタル放送録画用途にも適用可能とすべく著作権保護機能 (DRM: Digital Rights Management) が実装できるリムーバブル HDD である⁽⁶⁾。

iVDR は、2002年3月に設立した iVDR コンソーシアムで規格化

された。iVDR 対応の情報家電機器と ICT (Information Communication Technology) 機器との間で、全規格階層における互換性が保証されている。2005年に、iVDR に実装可能なデジタル放送録画用の著作権保護技術が、電波産業会 ARIB (Association of Radio Industries Business) で承認された⁽⁷⁾。この著作権保護技術は、SAFIA (Security Architecture For Intelligent Attachment device) と命名された。SAFIA を実装した iVDR を iVDR-S (Secure) と称する⁽⁸⁾。iVDR-S は、VTR (Video Tape Recorder) 用のテープと同様の使い勝手で、デジタル放送番組が録画できる。録画した機器に限定されずに、SAFIA 対応の機器間で相互に視聴できる。iVDR-S の物理仕様は、iVDR と共通である。本報では、特に断りの無い限り iVDR-S を含めて iVDR と称する。現行の iVDR の物理仕様は、2006年に iVDR コンソーシアムにより策定された。この iVDR の物理仕様であるハードウェア規格を、国際標準規格 ISO/IEC29171として、2009年11月に発行した⁽⁹⁾。

本報では、(1) iVDR のコンセプト、(2) iVDR 規格の策定経緯、(3) 耐衝撃性能の確保・向上施策・実機検証、(4) 国際標準化の経緯について述べる。iVDR の製品企画や標準化作業においては、技術経営工学 (MOT: Management Of Technology) の知見を活用した。品質機能展開 (QFD: Quality Function Deployment) 技法を用いた要求分析の結果に基づき、ユーザ視点から iVDR の寸法形状や互換性に関する検討を行った^{(10)~(12)}。また製品設計では、各種設計技法や CAE (Computer Aided Engineering) を活用し、設計効率の向上を図った。

2. iVDR 規格の概要

2.1 iVDR の開発コンセプト

図1に、iVDR の開発コンセプトを示す。iVDR は HDD を収納している。現在の HDD は、SATA (Serial Advanced Technology Attachment) インタフェースが主流である⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。HDD の寸法は、SFF (Small Form Factor) 規格で規定されている⁽¹⁵⁾。

可搬性 (Removability) と互換性 (Compatibility) は、iVDR コンソーシアム規格によって保証される。可搬性を保証するには、取扱いの不備や不慮の落下に耐え得る耐衝撃性能が必須である。約1mの高さからカーペット上に落としても、データの記録再生に障害が生じない耐衝撃性能 (衝撃加速度900G 以上) が仕様である⁽¹⁶⁾。

図2は、iVDR のカットモデルである。左の写真は、2.5型 HDD を収めた標準型 iVDR (Standard type)、右の写真は1.8型 HDD を収めたミニ型 iVDR (Mini type) である。双方共に SATA 信号規格に

*助教 電気電子情報工学科

Assistant Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering

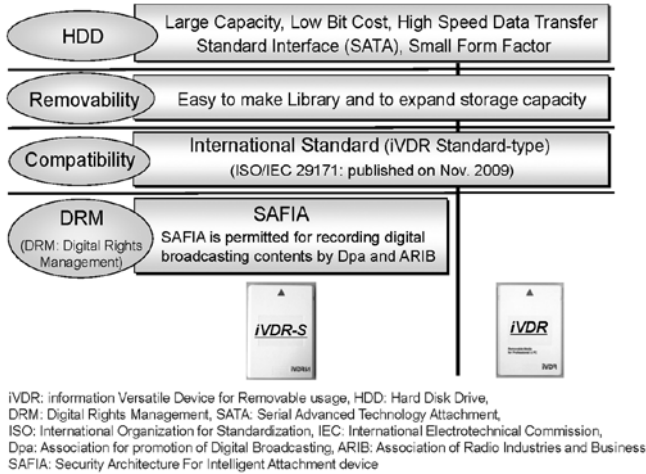


図1 iVDRの開発コンセプト

準拠した iVDR 専用コネクタを採用した。iVDR にはこれら2種類の規格に加えて、標準型よりも寸法を拡大し、さらに耐衝撃性能を高めた EX 型 (EX type) がある⁽¹⁷⁾。

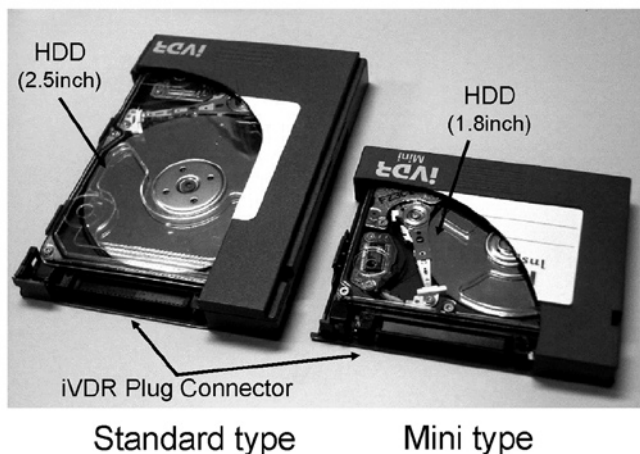


図2 iVDRのカットモデル

2.2 iVDR コンソーシアム設立当初の規格

iVDR コンソーシアム設立当時の HDD インタフェースは PATA (Parallel Advanced Technology Attachment) が主流であった。PATA はデータ信号を複数の信号線で伝送し、計40ピンのインタフェースコネクタを用いる。PATA のインタフェースコネクタは、多数回の挿抜は想定していない。このため、HDD の PATA プラグコネクタを PATA レセプタクルで一旦受けた後、ケーブルを介して iVDR 専用の計50ピンからなるプラグに接続する構成を採った。

iVDR コンソーシアムを設立した翌年の2003年に、PATA よりもピン数が少なく、且つ高速データ転送が可能な SATA インタフェースに対応した iVDR 規格を策定した。SATA インタフェースコネクタは計22ピンである。2003年当時、SATA 規格は普及黎明期にあったが、データ転送性能や将来性を鑑み、iVDR 規格への採用を決断した。

図3に、2003年当時の iVDR ハードウェア規格のラインアップを示す。2.5-inch PATA type は、長さ130mm、幅80mm、厚み12.7mm である。SATA 対応の iVDR 規格として、2.5-inch SATA type と1.8-

inch SATA type の2種類の規格を策定した。前者は、2.5-inch PATA type と幅と厚みを共通にし、長さのみ20mm 短い110mm とした。2.5-inch SATA type と1.8-inch SATA type は、HDD の SATA インタフェースコネクタを直接 iVDR コネクタとして用いていた。iVDR の底面からのコネクタ位置を両者共通にした。これにより、2.5-inch SATA type の iVDR 対応機器側にあるスロットに対し、双方の iVDR を挿入可能とした⁽¹³⁾。この形状互換性の詳細については後述する。

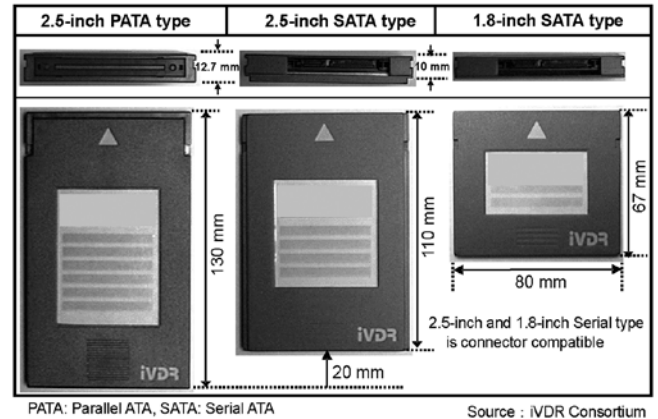


図3 2003年策定の iVDR 規格

SATA コネクタの挿抜回数は公称500回である⁽¹⁴⁾。様々な機器の間で横断的に利用するために、挿抜可能な回数のさらなる増加が求められた。VTR テープやゲームカートリッジの挿抜回数を参考にし、iVDR の挿抜回数の目標仕様を1万回に定めた。SATA 信号との互換性を維持しつつ、1万回の挿抜回数を保証するために、新たな iVDR 専用コネクタを開発した。

2.3 iVDR 専用の SATA 信号互換コネクタの開発

2.5-inch SATA type iVDR は、標準 SATA コネクタを直接 iVDR コネクタとして用いていた。2.5型 HDD の長さは100mm である。カートリッジの長さ110mm との差の10mm 内に収め、且つ1万回の挿抜回数に耐える iVDR コネクタが必要になった。HDD の SATA 信号を、ケーブルを介して iVDR コネクタに伝送する方式では、10mm 内に収めることは困難であった。また、SATA 信号の伝送特性の劣化も懸念された。そこで、図4に示した iVDR 専用コネクタを、新たに設計した。HDD からの SATA 信号を受ける SATA レセプタクル (To HDD plug connector) と、ホスト側の iVDR プラグ (To Host iVDR receptacle connector) が対面一体となる構造を採った。この一体構造のコネクタを HDD に装着することにより、SATA 信号の伝送特性の劣化を最小限に留め、且つ10mm 内に収容することを可能とした。

HDD 側の SATA コネクタは、データ信号を1番ピンから7番ピンまでの計7ピンで伝送する。1番、4番、7番の3ピンは接地 (Ground) である。データ信号は2番と3番、5番と6番のそれぞれが対となる差動信号として伝送する。iVDR コネクタのデータ信号ピンを SATA コネクタのピン配列に一致させた。2.5型 HDD は、+5V 単電源で動作する。標準 SATA コネクタは3.5型の HDD にも対応するため、+12V、+3.3V の電圧供給ピンが存在する。iVDR に収納する2.5型 HDD に特化し、+5V 単電源ピンのみを中継した。未使用となる+12V と+3.3V のピンは、iVDR の種類を判別するためのピンに割り

当てた。

iVDR専用コネクタはSATAより4ピン多い、計26ピン構成とした。コネクタのピンの先端を同一線上に揃え、機器挿入時の応力が特定のピンに集中しないよう配慮した。iVDR専用コネクタと機器側のiVDRレセプタクルの嵌合力と抜去力を、ピン間の接触電気抵抗を、標準SATAコネクタの仕様範囲内に調整した。さらに、コネクタハウジングの形状やピンのメッキ厚を最適化し、挿抜回数1万回に耐えるSATA互換のiVDR専用コネクタを開発した⁽¹⁸⁾。

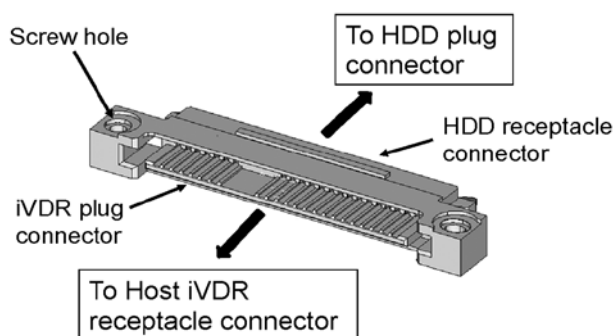
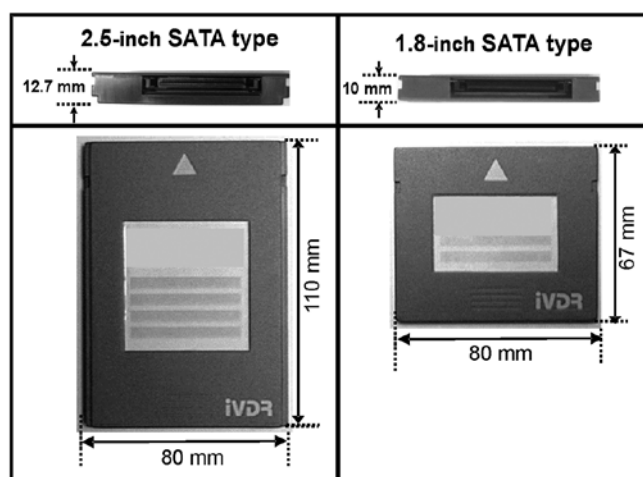


図4 iVDR専用コネクタ

図5に、2006年当時策定したiVDR専用コネクタを採用したiVDR規格を示す。2003年当時のSATA typeの外形寸法を継承した。また、収納するHDDのインタフェースがPATAからSATAへ移行したことを契機に、PATAのiVDR規格は抹消した。既述の図2に示した標準型iVDR (Standard type) とミニ型iVDR (Mini type) は、それぞれ2.5-inch SATA type と1.8-inch SATA type に相当する。



Source : iVDR Consortium

図5 2006年策定のiVDR規格（現行規格）

2008年には、上記の規格に加えて、放送局内での利用を想定したEX型の規格を追加した。EX型iVDRは、幅は標準型iVDRやミニ型iVDRと共通とし、厚みは18mm、長さは126mmにそれぞれ寸法拡大した。表1に、現行iVDRファミリーの主な仕様を示す。

2.4 iVDRファミリーにおける形状互換

図6に、ミニ型 (Mini type)、標準型 (Standard type)、およびEX型 (EX type) の3種類のiVDRを、コネクタ側から見た図を示す。

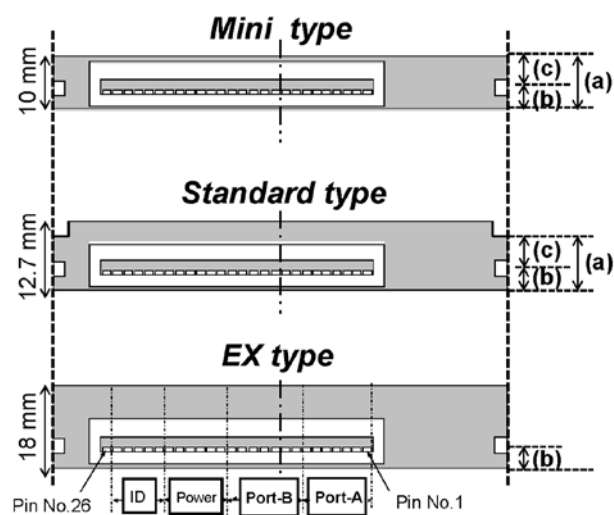
表1 現行iVDRファミリーの主な仕様

Type	EX type	Standard type	Mini type
Size	126×80×18 D/W/H mm	110×80×12.7 D/W/H mm	67×80×10 D/W/H mm
Shockproof Performance	900 G (Non-Operation mode)		
Connector	26 pin iVDR Special Connector		
Insertion Durability	10,000 Cycles		
Command set	ATA- 8 + Secure expansion (Option)		

Source : iVDR Consortium

横幅の80mmは3種類で全て共通とした。またiVDRカートリッジの側面に設けた機器挿入時に用いる案内溝までの、底面からの距離を共通とした。ミニ型の厚さ(a)は10mmで、標準型より2.7mmだけ薄い。標準型の底面から10mmまでの厚み(a)の範囲の横幅は、ミニ型と共通化した。これにより、機器側に標準型の受け入れスロットのある機器では、ミニ型も挿入することを可能とした。

底面から案内溝までの距離(b)と、iVDRの上面からの距離(c)の間には、敢えて差異を設けることによって、上下逆挿入を防止した。EX型を受け入れることができる機器は標準型とミニ型も、標準型を受け入れることができる機器はミニ型も挿入できる。例えば、EX型に対応した機器では、容量や性能の違いにより、全3種類のiVDRを使い分けることができる⁽¹⁹⁾。



Source : iVDR Consortium

図6 現行iVDRファミリーにおける形状互換

3. 耐衝撃性能の確保向上

3.1 衝撃解析のモデリング

本章では、リムーバブルHDDとして必須な耐衝撃性能の保証施策と実機検証について述べる⁽²⁰⁾。図7に衝撃解析モデルを示す。HDD周囲をダンパで囲み、カートリッジケースに収納する。モデルには、3つの観測点を設けた。中央のPoint-Bに、鉛直Z軸方向に加速度が加わる場合を想定した。各観測点で得られる加速度を、汎用解析ソフトANSYSの過渡応答解析により算出した⁽²¹⁾⁽²²⁾。なお、

HDD 業界の慣習に倣い、加速度の単位には G ($1G = 9.81m/sec^2$) を用いる。

表2に、HDD を構成する要素部品の特性を示す。HDD の設計で用いている計算要素数を参考にし、節点数143147点、四面体要素数77234個を選定した。HDD は、上部のカバー (Cover)、ベース (Base)、回路基板 (Circuit Card)、インタフェース (Interface) から構成される。表2に示したヤング率 (Young's modulus)、ポアソン比 (Poisson's ratio)、密度 (Density)、減衰率 (Damping rate) を用い、鉛直 Z 方向から最大値1000G で1msec 時間幅の半波正弦波を加えた場合に各 Point で観測される加速度を算出した。

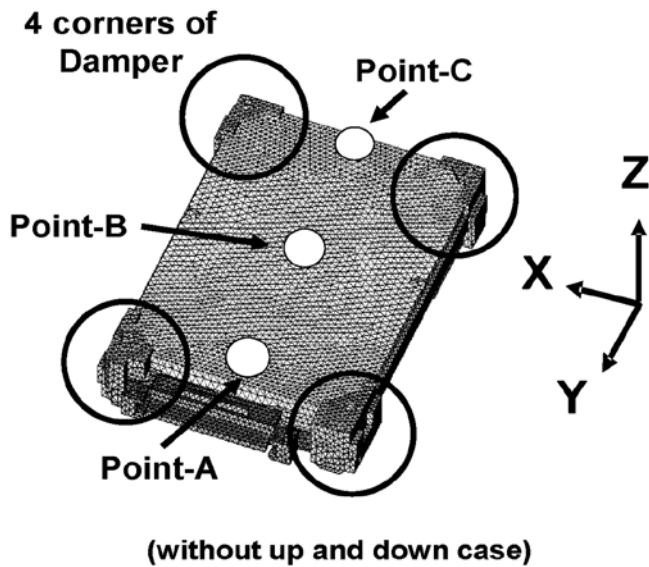


図7 衝撃解析モデル

表2 HDD 構成部品の機械特性

Material	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	Density ($\times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$)	Damping rate (%)
Cover	4.51	0.3	1.3	50
Base	68.6		2.7	
Circuit Card	23.0		2.8	
Interface	11.3		1.73	

表3に、解析モデルに用いた数値と、固有振動数の計算結果を示す。HDD の構造設計に用いている ANSYS に上記の構成部品を組み入れ、1自由度の減衰振動を想定して行った。Model-A は、HDD と下部のケースとダンパで構成したモデルである。ダンパの減衰率は、一般的なゴムダンパを仮定し50%とした。Model-A の固有振動数は866.4Hz、減衰振動の周期は1.15msec であった。

Model-B と Mode-C は、Model-A に、上部のケースと iVDR 変換コネクタを追加した構成部品を全て含むモデルである。固有振動数は1182.5Hz、減衰振動の周期は0.846msec となり、部品追加による固有振動数の増加がみられた。そこで、Model-B の減衰率を Model-A と同一のままとし、ダンパの減衰率が変化した場合に HDD に加わる加速度を調査した。Model-C では減衰率を極端に小さくし1.0%とした。表2の材料特性を用いて HDD 単体の固有振動数を求めた結果、約800Hz であった。HDD 単体における耐衝撃性能は、非動作時において約1000G まで許容できる。そこで、カートリッジケースに HDD を収納した場合においても、固有振動数の増加を最小限に留めるカートリッジ構造を探索した。

3.2 衝撃応答スペクトルの適用

HDD に衝撃加速度が加わった場合の挙動解析には、衝撃応答スペクトル (以下 SRS: Shock Response Spectrum) が活用されている⁽²³⁾⁽²⁴⁾。SRS は JIS 規格における衝撃試験方法として提唱されている⁽²⁵⁾。対象とする物体 (試供体) が、様々な固有振動数を持つ質点で構成されていると仮定し、応答加速度の最大値を加速周波数に対して記述した結果が SRS である。一般的に数学モデルとして、パネマスダンパモデルが用いられている。図8(a)は最大値1000G で1msec 幅の半波正弦波状の加速度である。この加速度を HDD に加えた場合に得られた SRS を図8(b)に示す。

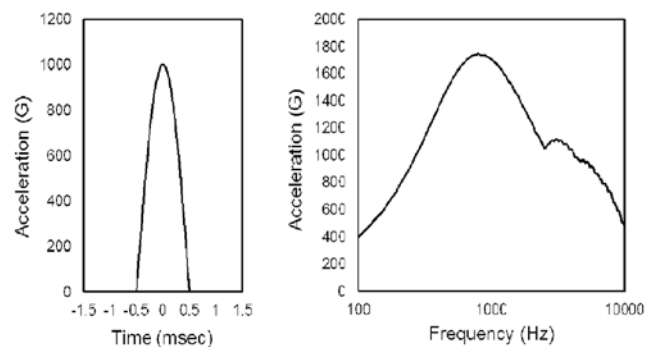
HDD 内の磁気ヘッドを支持するアームは、耐衝撃性能を支配する部品である。当該アームの固有振動数は、約1kHz である。iVDR に加わる加速度に含まれる1kHz 以上の高周波成分を減衰させることができれば、残留する低周波成分は、磁気ヘッドの位置制御サーボにより抑圧できる。これにより iVDR に収納されている HDD の耐衝撃性能を維持できる。すなわち、iVDR の筐体全体の固有振動数を低減させることが、耐衝撃性能の確保と向上に繋がる。

3.3 固有振動数低減のためのダンパ設計

固有振動数を低減させる施策は幾つかある。iVDR カートリッジの寸法形状を変えた場合は、iVDR 規格に対して大幅な変更が必要

表3 iVDR の解析パラメータと固有振動数

Model	Components	Input Acceleration		Young's Modulus (MPa)	Damping Rate (%)	Natural Frequency	
		Magnitude (G)	Duration (msec)			Frequency (Hz)	Period (msec)
A	(1) Damper (2) HDD (3) Down Case	1000	1.0 (Half Sine Wave)	15.0	50	866.4	1.15
B	(1) Damper (2) HDD (3) Down Case					1182.5	0.846
C	(4) Up Case (5) Connector				1.0		



(a) Input Acceleration (b) Shock Response Spectrum

図8 入力加速度とHDDの衝撃応答スペクトル

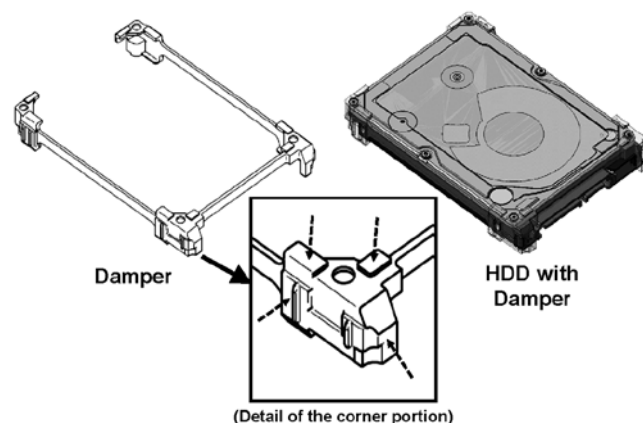


図9 iVDR用の新規設計ダンパ

となる。そもそも、iVDRの物理規格（寸法形状）は、ユーザ要求の分析結果を基にして、作り手側では無く、ユーザの視点に立って策定した規格である。そこで、iVDRの寸法形状を変更せずに、耐衝撃性能の確保向上を図る方策を検討した。着目したのはダンパである。カートリッジ内でHDDを支持するダンパ形状の工夫により、固有振動数を低減させる方策を探った。図7の3つの観測点において観測された加速度の挙動を基に、固有振動数低減に向けた設計指針を検討した。以下、ダンパ設計により、iVDR全体の固有振動数を低減する方策について述べる。

ダンパの固有振動数を下げるために、以下3つの方策を候補に挙げた。第1はダンパに減衰率の大きな材料を選定すること、第2はダンパ厚を増加させてダンパ体積を増加させること、第3はダンパとカートリッジ内壁との接触面積を減少させることである。

第1の方策は、iVDRの外部から加わった衝撃加速度により、ダンパの柔軟性が悪影響を及ぼし、HDDを平衡位置に留めることが出来ずに、HDDがカートリッジ内壁に接触する可能性がある。さらにHDD自身が発生する自己振動の増大も危惧される。第2の方策は、HDDとカートリッジの寸法形状が規定されていることから、ダンパの厚みがカートリッジの内寸法に制限される。以上から、第3の方策を採用した。

図9に、新規設計のダンパとHDDへの実装図を示す。図9の左図に示すように、ダンパの4隅でHDDを支持し、カートリッジの内壁に接触させ支持する構造を採った。4隅を独立させたダンパでも同様の効果が期待できる。しかしながら、部品点数の増加に伴う管理・作業工数の増加や特性変動を考慮し、4隅のダンパを同一材料で結合させ一体構造とした。さらに1辺を開放してコの字型とし、HDDへの装着作業を容易にするともに誤装着を防止した。

図9の右図に、HDDにダンパを実装した図を示す。ダンパとカートリッジ内壁との接触面に図9の中央拡大図に示した段差を設け、接触面積を低減させ、固有振動数のさらなる低減を図った。このダンパを用いて、Model-Bと同様の解析を行った。ダンパ効果を考慮しない場合の約1.2kHzの固有振動数に対して、HDD単体の固有振動数近傍に相当する800Hz付近にまで、iVDR全体の固有振動数を低減できた。次節では、耐衝撃仕様を定めたコンソーシアム規格と実機検証について詳述する。

3.4 iVDRの衝撃耐性仕様と障害発生確率

図10にiVDRの床面落下時のエネルギー関係図を示す。図10(a)に、それぞれ高さ h_1 と h_2 からiVDRを落下した状態を示す。高さ h_1 のiVDRが持つ位置エネルギー mgh_1 は、床面に落下した瞬間に運動エネルギー $mv_1^2/2$ に変換される。ここで、 m は重力加速度、 v_1 は床面への衝突速度である。図10(a-2)も同様である。

図10(b)に、iVDRが床面に衝突した瞬間のエネルギー分配を示す。図10(b-1)において、運動エネルギーは床面からの反発エネルギー Er_1 と、床面の吸収エネルギー Ea_1 に分配される。高さ h_2 から落下した場合も同様であり、図10(b-2)に示した。図10では、床面が同一材質の場合を想定している。高さ h_1 から落下する場合の床面の材質と、高さ h_2 から落下する場合の床面の材質が異なる場合でも、同様のエネルギー関係が成立する。

異なる高さから異なる材質の床面に落下した場合について考える。高さ h_1 から材質Aの床面に落下委した場合にiVDRが受けるエネルギー Er_1 と、高さ h_2 から材質Bの床面に落下した場合にiVDRが受けるエネルギー Er_2 が等しいとすれば、双方の落下条件下で、iVDRに加わる衝撃力は等価と考えられる。

iVDRコンソーシアム規格における落下耐性の評価条件を選定するに当たり、同様の考え方をを用いた。図11に、iVDRコンソーシアム

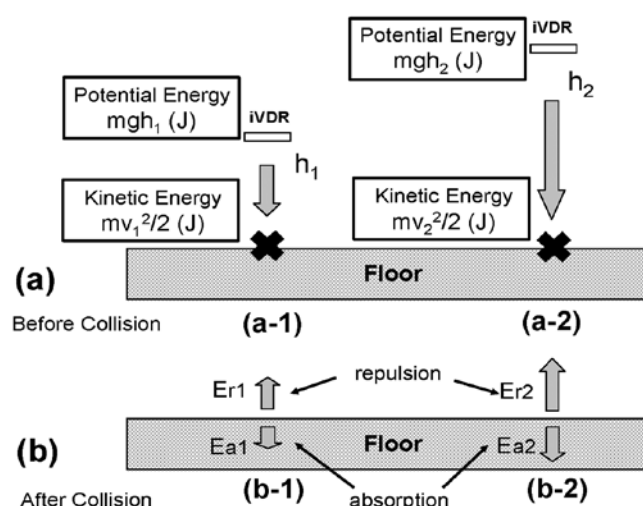


図10 iVDRの自由落下モデル

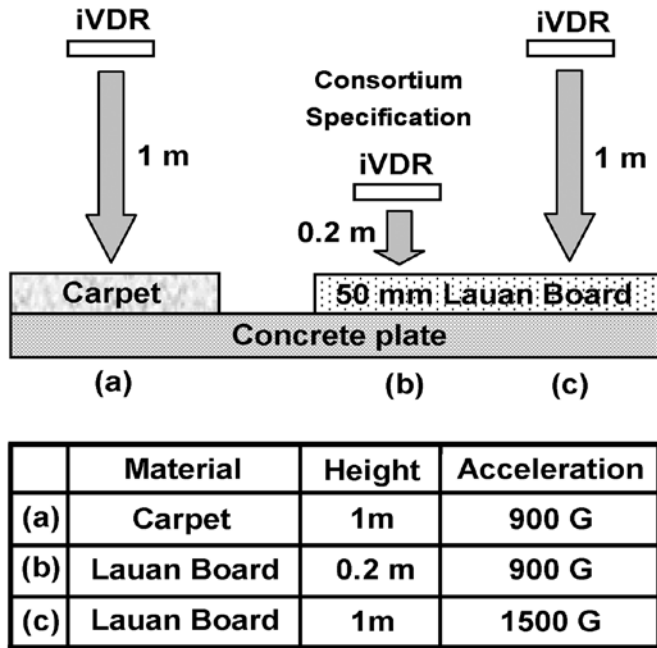


図11 落下耐性の仕様と評価条件

ムで設定した落下耐性の仕様と評価条件を示す。図11(a)に示したように、iVDRをカーペット上の高さ1mから自由落下させた後に、データの記録再生に支障無きことを、落下耐性の目標とした。落下試験の実測値から、iVDR内のHDDが受ける加速度の最大値は約900Gであった。

カーペット上への落下は、日常起こり得る状況としては分かり易い。しかしながら、各種素材のカーペットを想定して測定条件を一律に定めることは困難である。そこで、MIL規格に準じて、50mm厚のラワン板を落下面とした場合に、900Gの加速度を受ける落下開始高さを実機により測定した⁽²⁶⁾。iVDRに加速度センサを取り付けて落下実験を行った。図11(b)に示したように、カーペット上の高さ1mからの自由落下でHDDが受ける最大加速度は、ラワン板上の高さ0.2mからの落下で受ける最大加速度と概ね同等であることを実験により求め、iVDRコンソーシアムの落下耐性の仕様とした。

障害発生確率を予測するために、ラワン板上の落下開始高さを0.2mから増加させていき、データの記録再生に障害が発生し出す高さを求めた。計36個の試作iVDRを落下させ、ラワン板上の高さ0.2mからの落下では障害無しであった。落下開始高さを増加させ、高さ1mから落下させた場合に障害が発生した。このときHDDに加わった最大加速度は、約1500Gであった。落下させた36個の内、2個のiVDRに障害が発生した。障害発生確率は、5.6%に相当する。

衝撃加速度は、物体がある速度で衝突し、速度が零になるまでの時間微分に相当する。この衝撃加速度と質量との積は衝撃力とも呼ばれる。物体への衝撃の影響は、この衝撃力の時間積分に相当する力積、ないしは運動量によって把握できる。ある高さのiVDRが持つ位置エネルギーは、ラワン板上に衝突した瞬間に運動エネルギーに変換される。ラワン板上に衝突した瞬間の速度は、エネルギー保存則より、落下高さの平方根に比例する。2つの異なる高さから落下させた場合の両者間の加速係数比は、衝突した瞬間の速度比、す

表4 落下耐性の仕様に対する障害発生確率の推定手順

Steps	Procedure	Result	
		Item	Value
Step 1	Free drop from 0.2 (m) height	Experimental Failure Rate	0 (%)
Step 2	Free drop from 1.0 (m) height	(1) Experimental Failure Rate	5.6 (%)
		(2) Standard Deviation (σ_1)	1.59
Step 3	Prediction of 0.2 (m) Free drop Failure Rate	(1) Acceleration Factor	2.23
		(2) Predicted Standard Deviation (σ_2)	3.55
		(3) Predicted Failure Rate	0.0193 (%)

なわち落下高さの比の平方根で与えられる。この加速係数比を用いて、落下実験結果から障害発生確率を推定する方法を考案した。

表4に、障害発生確率の推定手順を示す。Step 1は、高さ0.2mから落下させた場合を示した。このとき障害は発生していない。Step 2は、高さ1mから落下させた場合であり、障害発生確率は5.6%であった。確率分布が正規分布に従うものと仮定すれば、標準偏差(σ_1)は1.59と求まる。表3のStep 3は、Step 2の結果から、高さ0.2mからの落下における障害発生確率を求める手順である。

落下高さの比(1/0.2)の平方根2.23を加速係数比として用いた。標準偏差(σ_1)1.59の2.23倍が、高さ0.2mからの落下における障害発生確率の標準偏差(σ_2)を与えるものと考え、これを3.55と推定した。標準偏差(σ_2)3.55を用いることにより、障害発生確率を0.0193%、すなわち193ppmと推定した。

図9に示したダンパを採用したiVDR製品の市場における障害発生確率を調査した。2007年から2013年まで約150万台の累計出荷台数において、約300ppmの実績値が得られた。障害解析の分析結果から、取り扱いに起因した障害が大半を占めていたことが判明した。この実績値は、加速係数比から推定した障害発生確率と同等のオーダーであることが検証された。

3.5 落下試験と衝突時の加速度測定

前節で述べた実機での落下試験は、図12の落下試験機(神栄テストマシナリー(株)製DT-202)を用いて行った⁽²⁷⁾。図中の白丸で囲った部分にiVDRを装着する。iVDRは電磁石付きの対向する支持具で挟まれている。床面に衝突する直前に、電磁石への電源供給を切り、iVDRのみを床面に衝突させる。これにより、iVDRの姿勢を維持したまま、衝突時の加速度が測定できる。

図13は、1mの高さから50mm厚ラワン板の床面に落下させた場合の床面衝突時に得られた加速度波形の一例である。この例では、床面衝突時の加速度の最大値は約1800G、持続時間幅は約1msecであった。この最大加速度は、図8(b)に示したSRSの最大値と概ね同値である。したがって、iVDRには図8(a)と類似形状の加速度波形が加わったものと推察される。また、iVDRの質量は約0.1kgであることから、高さ1mから床面に落下した瞬間の初速は、約4.4m/secに相当する。



図12 落下試験機

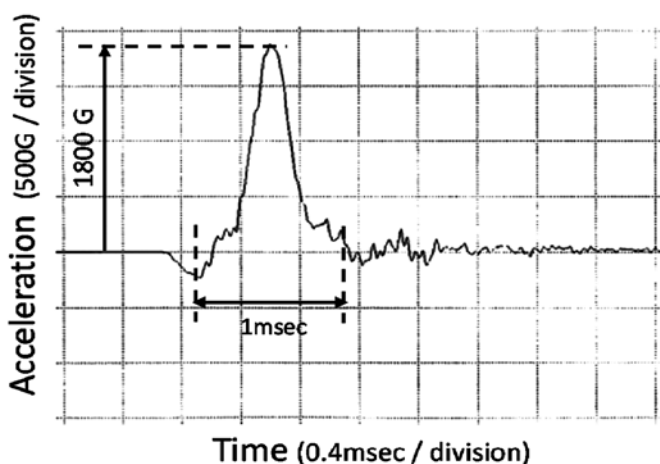
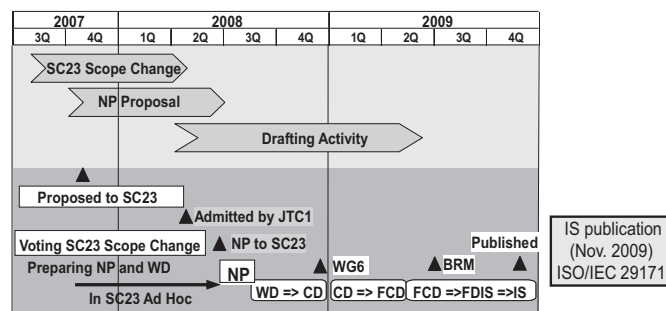


図13 落下試験で得られた加速度波形の一例

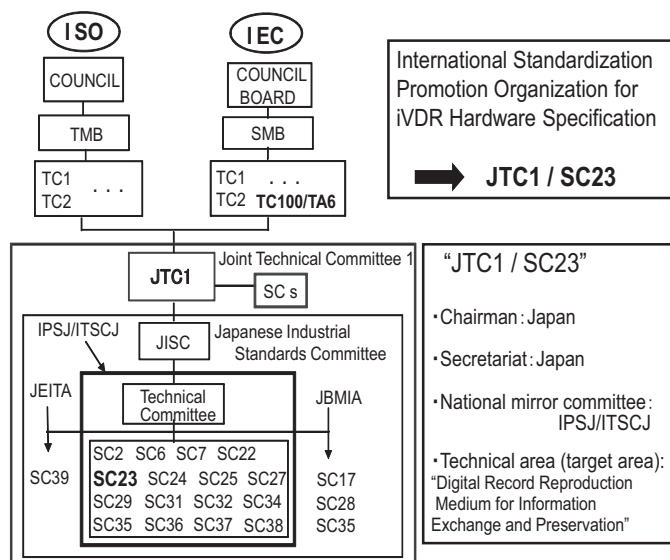


Action Steps	Scope Change	NP	WD	CD	FCD	FDIS	IS
	Preparing	Proposing	Working	Committee Deliberations	Reference	Approval	Publish

JTC 1: Joint Technical Committee 1, SC: Sub Committee, WG: Working Group, NP: New work item Proposal, WD: Working Draft, CD: Committee Draft, FCD: Final Committee Draft, FDIS: Final Draft International Standard, IS: International Standard, BRM: Ballot Resolution Meeting

Source and Reference: The Outline of IEC Business - 2012 edition -

図14 iVDR ハードウェア規格の国際標準化の経緯



TMB: Technical Management Board. SMB: Standardization Management Board
 JBMA: Japan Business Machine and Information System Industries Association
 JEITA: Japan Electronics and Information Technology Industries Association
 IPSJ: Information Processing Society of Japan, ITSCJ: Information Technology Standards Commission of Japan

Source: The Outline of IEC Business - 2012 edition -

図15 国際標準化の推進組織

4. iVDR ハードウェア規格の国際標準化

現在、3種類の iVDR ハードウェア規格が存在する。最も普及している標準型 iVDR のハードウェア規格を、2009年11月に国際標準規格として発行した。以下、国際標準化の経緯について述べる。

iVDR のハードウェア規格を国際標準規格にする目的は、(1)国際調達の環境変化への対応、(2)ビジネス戦略としての活用である。(1)は、1995年に発行された WTO/TBT (World Trade Organization/agreement on Technical Barriers to Trade) 協定に基づく⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾。2001年に中国もこの協定に参画し、政府調達に国際標準規格品を優先して採用する方針を表明している。(2)は、国際標準規格として開示し、参画企業の増加、部品調達コストの低減、独禁法のリスク低減を図ることが狙いである。

国際標準化の経緯を図14に示す。標準化作業は、2007年9月に開始した。図15に、国際標準化の推進組織を示す⁽³⁰⁾。以下の2組織を、国際標準化の推進組織の候補に挙げた。一つ目の候補は、IEC/TC100/TA6 (International Electrotechnical Commission/Technical Committee 100/Technical Area 6) であった。二つ目の候補は、ISO/IEC/JTC1/SC23 (International Organization for Standardization/IEC/Joint

Technical Committee 1/Sub Committee 23) であった。

前者の TA6は、ストレージメディア・データ構造と関連装置の標準化を担当する組織である。データフォーマットやアプリケーション規格の標準化を推進している。後者の SC23は、光ディスクにおける情報交換のためのデジタル記憶メディアおよびファイルフォーマットに関する標準化を担当する組織である。国際標準化の対象とした iVDR ハードウェア規格は、カートリッジの寸法形状やインターフェースの物理仕様を対象としている。SC23は、光ディスク用のカートリッジ規格の標準化も手掛けており、議長国と監事国がともに日本であることなどから、iVDR ハードウェア規格の国際標準化の推進組織として選定した。図15の右側に SC23の諸元を記した。

国際標準化作業において、2007年10月に SC23 に対して、iVDR の国際標準化を提案した。2007年当時の SC23 には、国際標準化の対象スコープに HDD は含まれていなかった。2007年7月時点の委員会報告は、SC23 のスコープが「情報交換用デジタル記録媒体（光記録方式の媒体およびハードディスクを除く磁気記録方式の媒体）および光ディスク用ファイルフォーマットの標準化等を担当する」と記載されていた。対象スコープに HDD を含める変更は、2008年2月に SC23 で承認され、同年4月に上位組織の JTC1 で承認された。“ハードディスクを除く”の部分を削除する改定提案は、JTC1 での60日間の投票期間を経て、2008年4月に承認された。

国際標準化の制定までは、(1) NP (New work item Proposal), (2) WD (Working Draft), (3) CD (Committee Draft), (4) FCD (Final CD), (5) FDIS (Final Draft International Standard), (6) IS (International Standard) のプロセスを経る。SC23 のスコープ改定の承認後、2008年6月に NP と WD を同時に提案した。2008年10月に、国際 SC23 の NP 承認を受けて、プロジェクト番号の 29171 が割り当てられた。iVDR の国際標準化では、すでに iVDR コンソーシアムで開発した規格書を基に、WD の完成度を向上させた。それにより、WD から直接 FCD を作成し、FDIS の承認手順を省略することができた。

NP として認可されるためには、SC23 の当時のプライマリメンバー 8ヶ国のうち、最低5ヶ国が賛同し、かつ国際標準化作業へ貢献することが条件であった。WD 制定の作業と並行して、各国の代表者に対して、iVDR のコンセプトを理解して頂く活動を進めた。最終的に、日本、中国、韓国、米国、オランダ（順不同）の5ヶ国が賛同し、2008年9月に NP が承認された。その後、2008年12月に開催された SC23 総会において、CD 登録と、FCD 登録を完了した。2009年6月に FCD を完成し、7月に FDIS 登録まで完了した。FDIS に対する投票を8月に開始し、BRM (Ballot Resolution Meeting) を行い、10月に FDIS が承認された。翌月の11月に、iVDR の国際標準規格 ISO/IEC29171 が発行された。

一般的に、NP 提案から FDIS 承認までは3年程度かかる。iVDR の国際標準化は、約2年で発行まで至った。人脈の有効活用や、2007年春からの iVDR 関連製品の市場投入実績が認められたこと、iVDR コンソーシアムで既にハードウェア規格を策定済であったことなどが、短期間で国際標準化を成し得た要因と考える。

5. 結言

本報では、データストレージの中核をなす HDD を可搬型とするリムーバブル HDD の製品設計と標準化について述べた。2000年当時は HDD の衝撃耐性は不十分であり、HDD を持ち運ぶことはタブーであった。また、光ディスクと差別化できる記憶容量まで達していなかった。しかしながら、高速データ転送や内蔵 CPU (Central Processing Unit) による堅固で柔軟な著作権保護技術の実現可能性などの多くの長を高く評価し、可搬型 HDD とするコンセプトを堅持した。HDD は「衝撃に弱く持ち運びは無謀」というタブーを打破すべく、iVDR の製品開発と標準化に挑戦した。

iVDR の製品開発と標準化に際し、技術経営工学の知見を活用した。ユーザの要求事項を収集分析し、周辺技術の動向や将来有望な技術の萌芽も見据えながら、要素技術の選定を行った。ユーザの使い勝手を優先すべく、必要最小限の寸法形状を規格として採用した

ことや、2006年当時は黎明期にあった SATA インタフェースを先行して採用したことは、技術経営工学の知見活用の一環である。

当初懸念された耐衝撃性能については、iVDR 専用に新規設計したダンパを採用した。iVDR 規格で制定された寸法形状を一切変更することなく固有振動数を低減し、実用上支障の無い耐衝撃性能を実現した。また、各種の設計技法や CAE を活用により、試作工数の増加を抑え、目標仕様達成に向けた具現化方法を選定した。

2002年に設立した iVDR コンソーシアムで規格化と普及促進を行った。会員企業との連携の下、2007年春に世界初となる著作権保護機能を実装したリムーバブル HDD (iVDR-S) を製品化した。同年9月にハードウェア規格の国際標準化作業を開始し、約2年後の2009年11月に国際標準規格 ISO/IEC29171 を発行するに至った。iVDR の国際標準化活動は、コンソーシアム設立の趣旨である「AV から PC までの様々な機器で横断的に活用できるブリッジメディア」を世界に発信する絶好の機会になったと言える⁽³¹⁾⁽³²⁾。

謝辞

本報は、前職勤務先の(株)日立製作所、(株)日立グローバルストレージテクノロジーズ、(株) HGST ジャパンで行った研究開発の内容を纏めたものである。研究開発を進めるにあたり、元(株) HGST ジャパン新事業推進本部本部長（現在(有)日本 HDD 協会会長、(一社) iVDR コンソーシアム理事長）の釘屋文雄博士、国立大学法人山形大学大学院理工学研究科の兒玉直樹教授、元(一社) iVDR コンソーシアム理事長（現在同社会長）の日置敏昭博士、加えて多くの皆様の御指導と御協力、およびデータの御提供に対し、ここに深謝致します。

参考文献

- (1) M. L. Lesser and J. W. Haanstra, The Random Access Memory Accounting Machine, IBM, Journal Research Development, 62-71 (1957).
- (2) 高松久司, 田中真由美, 島田朗伸, 情報処理システムを支えるストレージシステムの技術と利用動向, 日立評論, 76, 130-134 (1994).
- (3) 斎藤温, HDD のコンシューマ市場展開と技術課題, 日本 HDD 協会セミナー招待講演 (2003年7月18日開催), 講演番号6, (2003).
- (4) 斎藤温, 西田博, コンシューマ向け HDD のトレンドとそれを支える技術, 日立評論, 88, 243-246 (2006).
- (5) F. Kugiya, H. Nishida, A. Saitou and N. Kodama, iVDR business perspective, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 320, 2894-2899 (2008).
- (6) 稲垣幸秀, 岡本宏夫, 助田裕史, 平井達哉, 新しいコンテンツアクセスを可能にする S-iVDR, 日立評論, 88, 255-258 (2006).
- (7) 電波産業会報告 (ARIB), Technical Report in the Field of Broadcasting, http://www.arib.or.jp/english/html/overview/rb_ej.html, (2006).
- (8) SAFIA ライセンスグループ報告, iVDR に対応したコンテンツ保護技術 (SAFIA) ライセンスグループの設立, <http://www.safia-lb.com/doc/zip/SAFIA-P.zip> (2005).
- (9) ISO/IEC 29171: 2009, Information technology — Digitally recorded media for information interchange and storage — Information Versatile Disk for Removable usage (iVDR) cartridge, (2009).

- (10) 赤尾洋二, 品質機能展開活用マニュアル1, 品質展開入門, 日科技連, ISBN4-8171-0527-8, (2005).
- (11) 大藤正, 小野道照, 赤尾洋二, 品質機能展開活用マニュアル2, 品質展開法(1), 日科技連, ISBN4-8171-0528-6, (2005).
- (12) 大藤正, 小野道照, 赤尾洋二, 品質機能展開活用マニュアル3, 品質展開法(2), 日科技連, ISBN4-8171-0529-4, (2005).
- (13) Serial ATA Revision 2.6, Serial ATA Organization, Feb.15, (2007).
- (14) ISO/IEC 24739-3, 2010/Coe 1: 2003, Information Technology – AT Attachment with Packet Interface – 7, (2011).
- (15) SFF Committee, SFF 8201 Specification for Form Factor of 2.5” Disk Drives, Rev.2.4, May 30, (2005).
- (16) 一般社団法人 iVDR コンソーシアム, 規格概要 (Standard type), http://www.ivdr.org/jp/business/standard/pdf/iVDR-Outline-HWSpec-25SATA-BasedVer2.20E_110706.pdf, (2011) .
- (17) 一般社団法人 iVDR コンソーシアム, 規格概要 (EX type), http://www.ivdr.org/jp/business/standard/pdf/iVDR-Outline-HWSpec-EX_Based_Ver1.30E_110704.pdf, (2011) .
- (18) 斎藤温, 富川忠昭, 釘屋文雄, 兒玉直樹, iVDR 用インタフェースコネクタの設計と検証, 設計工学, 49(10), 535-542 (2014).
- (19) 斎藤温, 釘屋文雄, 兒玉直樹, iVDR ハードウェア技術規格の開発と国際標準化, 日本磁気学会, 10(5), 247-253 (2015).
- (20) 斎藤温, 富川忠昭, 釘屋文雄, 兒玉直樹, iVDR カートリッジにおける耐衝撃モデルと設計検証, 設計工学, 50(6), 50-57 (2015).
- (21) サイバネットシステム(株)発行, ANSYS 動解析セミナー (解説書), DN-0273_TG0502 : 1105, (2011).
- (22) サイバネットシステム(株)発行, ANSYS 動解析セミナー (解説書), DN-0268_TG0502 : 1105, (2011).
- (23) 奥山淳, 小林正人, 堀口孝雄, 宍田和久, 衝撃応答スペクトル解析に基づく磁気ディスク装置のシーク目標軌道設計手法, 電気学会, 論文誌 D, 産業部門誌, 124(1), 116-123 (2004).
- (24) 奥山淳, 堀口孝雄, 宍田和久, Shock-Response Spectrum 解析に基づく磁気ディスクのセトリング残留振動低減, 電気学会, 産業制御研究会, 85, 29-34 (2002).
- (25) 環境試験方法—電気・電子—第2-81部, 衝撃応答スペクトル合成による衝撃試験方法, JIS-C60068-2-81 : 2007 IEC60088-2-81, 2003.
- (26) Department of Defense Test Method Standard for Environment Engineering Considerations and Laboratory Tests, MIL-STD-810F (2000).
- (27) 神栄テストマシナリー(株)製軽量落下試験機 DT-202, 製品紹介, http://www.shinyei-tm.co.jp/main_product_DT.html, 神栄テストマシナリー(株).
- (28) 一般・共通, 国際協議・協力について (WTO/TBT他), <http://www.jisc.go.jp/cooperation/index.html>, 日本工業標準調査会.
- (29) 審議会・研究会資料, WTO・TBT 協定, <http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g50913a45j.pdf>, 経済産業省.
- (30) IEC 事業概要 2012年度版, IEC 活動推進会議編, 財団法人日本規格協会 (2012).
- (31) A. Saitou, F. Kugiyu and N. Kodama, Standardization & Application Expansion Activity of Removable HDD (iVDR), IEICE Transaction Electronics, E96-C (12), 1508-1514 (2013).
- (32) 斎藤温, 釘屋文雄, 兒玉直樹, リムーバブル HDD の標準化活動と用途拡大, 電子情報通信学会磁気記録研究会招待講演, MR-2012-36, 25-30 (2012).

創造性に着目した都市づくり・まちづくり

上野 正也*

Research on the creativity for urban and community design

Masaya UENO*

1. 研究の背景

1-1. 創造都市論の台頭

近年、都市再生の手法として「創造都市」という概念に基づいた様々な活動が官民間問わず展開されている。その背景には、重厚長大な産業の衰退によって都市経済が大幅に下降した経験があることが挙げられる。

重工業を中心とした工場が立地する都市では、地域雇用が確保されてきた他、産業連関がもたらす裾野の広がりから、その都市や地域の経済が支えられてきた。しかし、近年では、労働賃金の安い国々に製造拠点が移され、それによって工場に依拠していた地域は、産業の空洞化が起り、経済的なダメージを受けてきたほか、都市空間にも物理的な空洞をもたらし、荒廃するといった「インナーシティ問題」を誘発してきた。

そのような中から新しい都市経済のエンジンとして注目されてきたのが「創造産業」である。これらは、小規模ながらも多様で水平的なネットワークを構築する産業群であり、また、使われなくなった建物や元工場・倉庫等を活用するなど、今まで価値を認められなかったものに新たな価値を与える存在として、それらに備わる創造性が都市再生の重要な要素として位置付けられてきた。

1-2. 政策的発芽とネットワーク

このような流れを都市政策の中で取り扱い始めたのが英国の文化・メディア・スポーツ省 (DCMS) である。正確には、彼らは具体的な政策展開を有してはなかったが、創造的な産業群について、その外形を明らかにした点において創造都市論の出発点として位置付けられる。また、EUが1985年より展開した「欧州文化首都」事業やサステイナブルシティ政策の一環として実施された「アーバンパイロットプロジェクト (UPP)」「URBAN I・II」事業など、新しい都市再生のための支援が行われている点も出発点として位置付けられる。

さらに大きな枠組みとしては、2004年に設立されたユネスコによる創造都市のネットワーク事業が挙げられる。これは、持続可能な発展の戦略的要素として創造性を位置づけ、都市間ネットワークを構築することを目指しており、「文学、映画、音楽、工芸・民芸、デザイン、食文化、メディアアーツ」という創造産業をベースとした7つの分野を設定し、ネットワークの加盟・認定を行なっている¹。

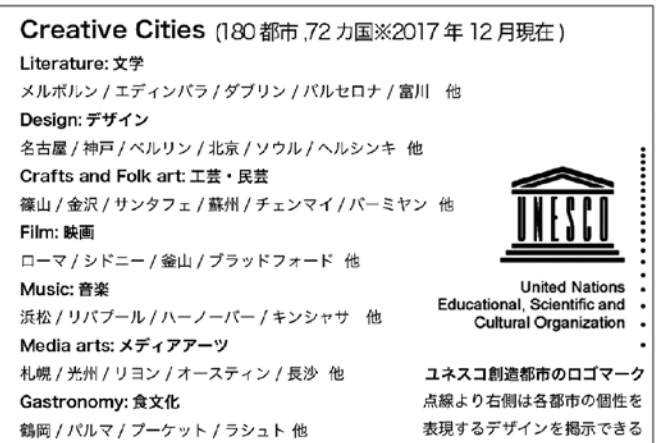


図1 ネットワークに加盟する主な都市とロゴマーク

1-3. 我が国における動向

我が国においても、少子高齢化や中心市街地の空洞化といった課題を背景に、横浜市、神戸市、札幌市、新潟市といった政令市だけにとどまらず、鶴岡市や金沢市、八戸市、十和田市、神山町、木曾町なども「創造都市」あるいは「創造農村」を標榜するなど、人口規模の大小に関わらず多くの自治体において創造性に着目した都市政策が展開されている。

また、2013年1月に「創造都市ネットワーク日本」が設立され、国内自治体同士の繋がりが強化されつつあるとともに、日中韓の3カ国による「東アジア文化都市」事業も始まり、文化的な交流が進められている。当該事業は、各国が開催都市を選出し、同時期に文化イベントを開催するもので、第1回目は横浜が選出された。

2. 研究の枠組み

以上の背景をもとに、私の研究の枠組みを以下に示す。

2-1. 枠組みその1「創造性に着目した都市政策を推進する自治体に関する研究」

本研究については、博士論文において、全国的な自治体の動向を把握したとともに、それぞれの政策・事業を調査し、そこに見られる領域の横断性や総合性について、知見を得ている。しかし、創造都市ネットワーク日本への加盟自治体が増加していることもあり、今後、より多くの自治体において、創造性に着目した都市政策が推進されることが予想されることから、新しい動向について、研

*助教 建築学科
Assistant Professor, Dept. of Architecture

東アジア文化都市 2014 横浜 概要		交差する、人・アート・文化
開催期間	2014年1月～12月 (コア期間は9月～10月)	
会場	創造界隈拠点など横浜市内各所	
主催	2014年東アジア文化都市実行委員会	東アジア文化都市 2014横浜 Culture City of East Asia 2014.YOKOHAMA
プログラム数	100プログラム (主催・共催事業：24 / 特別事業：1 3都市交流事業：15 / パートナー事業：60)	
来場者数	約281万人	横浜で活動するデザイナーによる ロゴマークデザイン
Artist Creator 相互派遣数	招へい数：約230人 派遣数：約100人	



写真1(左) デザイン・クリエイティブセンター神戸 (KIITO) 外観
写真2(右) 同上施設のイベントの様子

る「黄金町バザール」が開催され、街が背負う負のイメージの払拭が目指された。そして、2009年には、前出のNPO法人が設立され、以降、元違法風俗店舗をアーティストが滞在制作できるようコンバージョンし、それを運営するアーティスト・イン・レジデンス事業を中核に、地区再生まちづくりの新しい手法として「アートによるまちづくり」が展開されている。

このように自治体が進める政策・事業に呼応・反応し、担い手が主体的にまちづくり活動を展開している例は、全国的に広く多くの存在することからも、これらの団体について、調査研究し、行政側だけの視点ではなく、担い手側・民間側の視点を加えることで、創造性に着目した都市づくり・まちづくりの総体を捉えることができると考えている。

ただし、そのような団体の多くは、活動を開始してから、そこまで長い年月を経っていないこともあり、活動をどのように評価していくのかといった尺度そのものの設定について、課題を有しているといえる。



写真3(左) 元違法風俗店舗のコンバージョン例：地域防犯拠点及びアーティストインレジデンススペース (リノベーション設計：曾我部研究室)

写真4(右) 昔、女性が立ち並んでいた路地は作品が展示されている



写真5(左) 黄金町バザールオープニングの様子

写真6(右) 黄金町バザール作品展示の様子

2-3. 枠組みその-3「国際展における市民協働に関する研究」

近年、多くの都市で開催されている国際展・芸術祭の中で、ポ

図2 概要とロゴ「東アジア文化都市2014横浜事業報告書」より

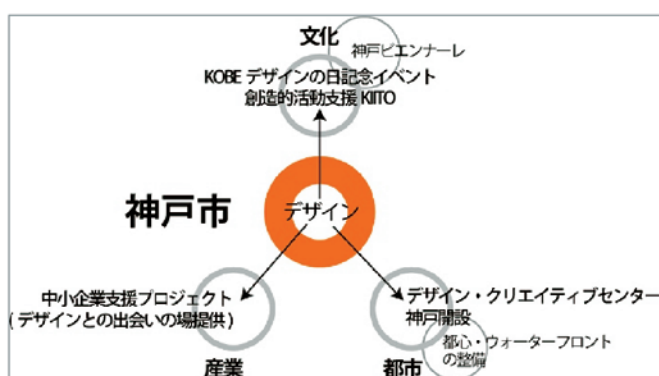


図3 創造都市政策例：デザインをテーマに文化政策・産業振興政策・都市デザインの各分野を横断的に推進する神戸市

究を重ねていく。

特に、国や自治体が文化政策を展開するに際して、その根拠法である「文化芸術振興基本法」が2001年に制定されて以降、16年が経ち、改定版として「文化芸術基本法」が2017年6月に制定された。ここでは、文化政策が他の分野（経済やまちづくり、観光などの分野）と連携していくことが基本理念において掲げられていることから、今後、より政策領域の横断性が求められるといえる³⁾。

一方で、文化や芸術が他の目的の達成のために「道具」として使われることへの危惧も指摘されており、「文化の道具化」問題についても注視する必要があるといえる³⁾。

2-2. 枠組みその-2「自治体が進める創造都市政策と関連する地域地区単位でのまちづくり（特に担い手・協働の現場）に関する研究」

次に、地域地区単位での創造性を活かしたまちづくりについて述べる。この研究の基礎は、私の前職である「NPO法人黄金町エリアマネジメントセンター」が推進するまちづくりをひとつのモデルとしてイメージしている。

横浜市中区の黄金町地区は、戦後より長きにわたって違法な売買春が行われる場所であった。2005年に神奈川県警察本部による一斉取り締まりを経て、空洞化した街を再生させる取り組みが地元住民・警察・行政の協働によって展開されてきた。その流れの中で、横浜市が推進する創造都市政策と連動し、現代アートの国際展であ

ランティア・サポーターとして市民参加が多いうたわれており、これらの活動は新しいテーマ型のコミュニティとして捉えることができると考えている。

私自身、横浜トリエンナーレのサポーター事務局にてコーディネーターを2013年度から2016年度まで務めており、その際、あいちトリエンナーレや新潟の水と土の芸術祭、札幌国際芸術祭、さいたまトリエンナーレ、瀬戸内国際芸術祭といった、大規模な国際芸術祭におけるサポーター（＝ボランティア）活動に触れ、その構造や文脈、体制や役割などが様々である一方で、今までになかった新しいコミュニティとして機能していることが見えてきたところが動機となっている。

当該研究対象はコミュニティ論・文化政策論の両分野の間に位置するとも言え、未だ体系的な論考が少ないという特徴を持っている。しかしその実態は、多様な人材が目的を持って集まり、交流し、芸術祭という時限的な中で培われる関係性が、その都市において一つの「社会関係資本」を育む土壌となっていると考えられることから、新しいコミュニティ論として注目していきたい。



写真7(左) 国際展やアートについて学ぶ「トリエンナーレ学校」の様子

写真8(右) 展覧会期間中に実施する活動をサポーター自身が考えるワークショップの様子

3. 都市と創造性

創造性に着目した都市づくり・まちづくりについて、その研究の枠組みを示してきたが、その中核となる概念である「創造性」とは如何なるものであり、また、都市再生とどのように関係しているのかについて述べたい。

3-1. 創造都市論の中の創造性

創造都市論の中で、その論者の一人であるC.ランドリーは創造性について、今までに成し得なかった、可能性を切り開くための「アプローチ」であり、また、その「プロセス」であると言っている^{iv}。また彼は、創造性を都市が直面する様々な課題に対応する力として位置づけ、総合的なアプローチの必要性、並びに既存概念を超えた先にある柔軟で新しい考え方の重要性について指摘しているほか、創造性が生み出される場としての創造的環境（Creative Milieu）の重要性についても言及し、そのあり方を示している^v。

一方で、創造階級というクラスターを発見したR.フロリダは、そういった層に創造性が備わるとし、彼らが集まる都市の要素として、3T（Technology Talent Tolerance）を挙げ、今日的な都市発展を測る指標を創り出した。この創造階級の中には「スーパークリエイティブ・コア（科学者、技術者、大学教授、詩人・小説家、アーティスト、建築家等）」という中核を担うものがあり、それらを取り巻

く「クリエイティブ・プロフェッショナル（金融サービス、法律、ビジネス管理部門等）」が存在しているとし^{vi}、これらをクリエイティブ・キャピタルと位置付け都市経済を牽引するものであり、これらを誘引する要素として都市の持つ多様性が重要であることを指摘した^{vii}。

このほか、E.グレイサーによれば、過去の都市が直面してきた課題を解決してきたのは、イノベーションを生み出す密度であると指摘し、古来より都市は創造性を育むとしている^{viii}。つまり、より高密度に都市に集まり住まうことで、多様性が生まれ、常にイノベティブな状態でいられる、ということだ。

3-2. 多様性の位置付けと創造都市

ここで、彼らの論説に出てくる「多様性」について、少しみてみると、その背景には、J.ジェイコブズが影響していると言われている。J.ジェイコブズは、都市計画家というわけではないが、彼女以前と以降では都市計画の考え方が大きく変わったと言われることも多々ある。彼女は、近代都市計画を批判し、混合用途がもたらす「多様性」が重要だと説いた^{ix}。そして、多様性はさらなる多様性を導く可能性があることを指摘し、旧来の都市計画では設定し得なかったモデル地区を提唱している^x。また、都市発展という面においても「輸入置換性」がもたらす「インプロビゼーション」が重要な要素であると指摘した^{xi}。そこでは、他の地域からもたらされた技術を、自らの都市が有する自前の技術に置き換え、そこから、オリジナルな財やサービスを創出することができる都市が発展するという。

この輸入置換性は例えば、我が国においては、鶴見和子の「内発的發展」に通じるものがある。鶴見は「後発国および発展途上国からの発想」として内発的發展を提唱し、それを「固有の自然生態系に適合し、文化遺産（伝統）に基づいて、外来の知識・技術・制度などを照合しつつ、自律的に創出する」ものとしている^{xii}。

また、内発的發展を「多様性に富む社会変化の過程である」としていることから^{xiii}、やはり都市が発展する過程に着目するとともに、その条件としての多様性を重視していることが分かる。

このように、都市と創造性をめぐる論説は創造都市という概念を現す議論の中核であるといえる。そこで、私なりに創造都市を定義すると「都市の内発性を高め、その都市の固有性を獲得するとともに多様性に満ち、自律的な構造を有する」都市と言える。また、そういった都市像に近づくプロセスもしくは手段として創造性に着目した都市政策「創造都市政策」は発現すると考えている。

現在、洋の東西を問わず多くの都市では、創造都市という概念を政策に取り入れながら実践的に事業展開がなされている。

4. 創造都市政策とヨコハマ

ここで、創造都市という概念に基づいた都市政策を展開する横浜市について外観する。

4-1. 横浜市の創造都市政策の背景・経緯

横浜市は、2004年度より文化芸術創造都市を標榜し、創造性に着目した都市政策を推進してきた。横浜市では、都市デザインを中核にみたとみらい21地区の開発や歴史を活かしたまちづくりを推進し、ウォーターフロントの開発とともに歴史的景観の保全を進めてきた。一方で、創造都市政策を推進する前の状況としては、みなど

みらい21地区の開発の進捗が思うように進まず、また、関内地区のテナント流出による空室率の増加などが相まって、歴史的景観を構成する建造物もマンション開発等によって滅失していく恐れが出始めていた。

そこで、当時の中田市政において、歴史的建造物をいかに保存し活用していくのかという点において、芸術文化を活かしたまちづくり（都市づくり）構想が「文化芸術と観光振興による都心部活性化委員会」によって進められた。また、同時期に、旧第一銀行と旧富士銀行横浜支店を横浜市が買い取り、その運営をアートNPOに任せるという実験事業が2003年にスタートしている。これがBankART（旧銀行の建物を活用するアート団体という意味からなる造語）の始まりである。この事業の成果も含めて、政策としてまとめられたのが横浜の創造都市政策の始まりである。

4-2. 横浜市の創造都市政策にみる計画性

横浜市の創造都市政策は、4つの目標と5つのプロジェクトという形が示されて始まった。ここでは、政策のスタート地点とゴール地点のみが示されるという、極めてプロセスフリーな都市政策像が

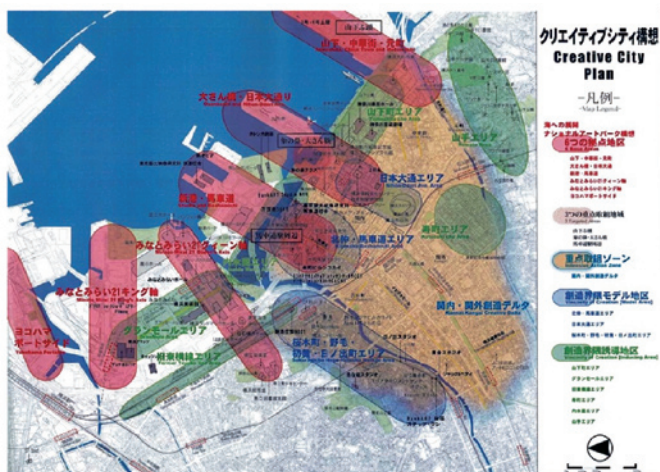


図4 横浜のクリエイティブシティ構想におけるエリア戦略図



写真9 創造界隈拠点（左上：ヨコハマ創造都市センター/右上：急な坂スタジオ/左下：BankART Studio NYK 右下：象の鼻テラス）

描かれている。それは、当時の創造都市政策を指揮した都市デザイナー故・北沢猛によるアーバンデザインの新たな姿勢が示されていると言われる。つまり、都市計画家や都市デザイナーが考えた方向に向かって一様に進むのではなく、都市の目指すべき像に向かうプロセスにおいて多様性を生み、官民含め多くの協働の成果が積み上がることで、実像に近づいていくといった姿を想像する。

あたかもJ. ジェイコブズが画一的な近代都市計画を批判したことと同じように、もしくは、横浜の都市デザインの進化を目指していたのかもしれないが、多様性がさらなる多様性を呼び込み、より創造的な都市となることが、目指されていたと言える。

その中で、注目すべき事項として「創造界隈の形成」が挙げられる。図4に示す通り、横浜市の創造都市政策は都市戦略に関するプランニングをベースとしており、歴史的建造物やその他、重要戦略拠点を創造界隈の形成のためのコアとして位置付け、そこに、創造的な人材の集積を図ることで、市街地活性化を目指している。また、この戦略図は横浜市が進めてきた都市デザインに上書きされた図であるともいえ、まさに次なる展開としても位置付けることができる。

さらには、この戦略図は他都市には見られない横浜独自の手法であり、創造産業あるいは芸術文化の視点から語られることが多い創造都市論において、アーバンデザイン論、あるいは計画論の視点から創造都市を先導した事例として、位置付けることができる。

4-3. 自治体が抱える課題

一方で、現在の横浜市の創造都市政策は、中田市政から林市政へと引き継がれている。そして、市長部局であった「創造都市事業本部」から「文化観光局」となり、当初の「文化芸術」「産業振興」「都市デザイン」といった3つの政策領域にまたがる横断性や、そこにみられる政策の総合性は薄まってきていると言わざるを得ない。そのような推進体制の維持、政策立案当初のコンセプト継承は、自治体が政策を推進する際の共通課題でもある。

5. 今後の研究展開

以上より、現在進めている調査事項を基に今後の研究について展望する。

現在、研究の枠組みにおいて挙げた3つめの研究テーマ「国際展における市民協働」を中心に調査研究を進めている。

国際展と言っても、現在我が国においては、非常に多くの事例が存在する。そこで、私の研究では、政策的な展開であることを踏まえ、まずは、自治体が主催するものを基本としたい。

そこで、自治体が主催する国際展の代表例として「水と土の芸術祭」「あいちトリエンナーレ」「横浜トリエンナーレ」の3つにおいて、国際展と市民との関わり方を図5, 6, 7に示す。

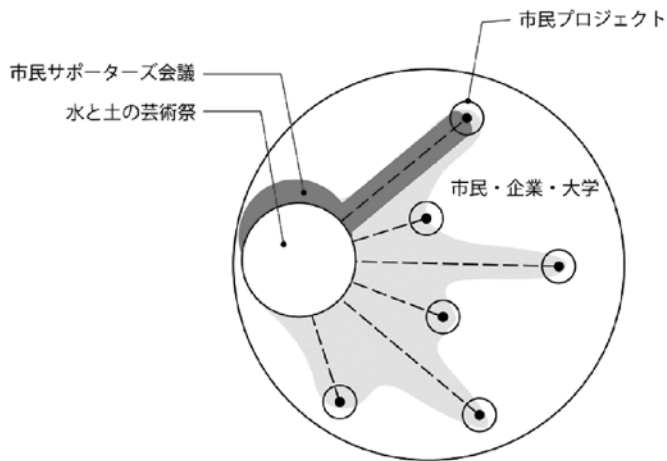


図5 水と土の芸術祭にみる市民協働

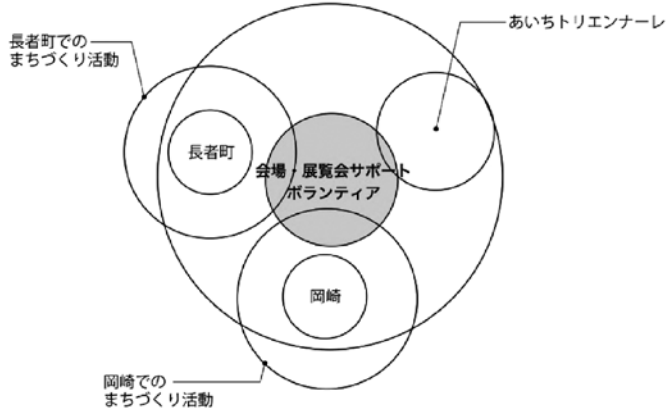


図6 あいちトリエンナーレにみる市民協働

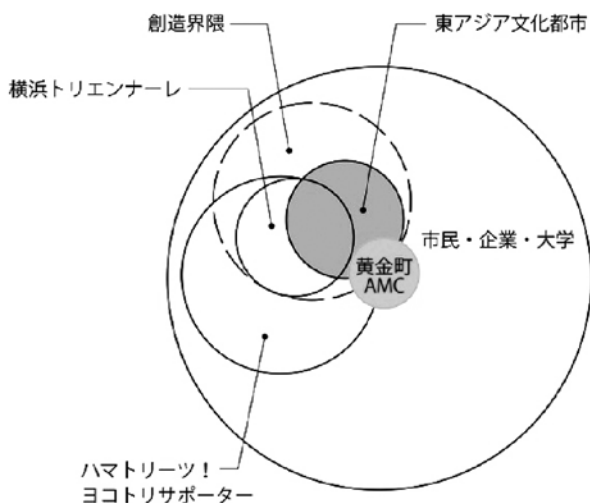


図7 横浜トリエンナーレにみる市民協働

まず「水と土の芸術祭」では、市民プロジェクトというプログラムが用意され、国際展を単なるアーティストの発表や作品鑑賞の場とせず、市民の創造性を高める機会と位置付け、市内で100を超える市民主導のプロジェクトが進められていることから、国際展を核とした衛星的な構造を有していると考えられる。

次に「あいちトリエンナーレ」であるが、こちらは、主会場の他に、都市を超えて会場を設定し、展開されている。この会場が置かれている都市はそれぞれのまちづくりが展開されており、また、名古屋市内においても、街中展開されている地区は固有にまちづくりが進められてきた場所でもあることから、既存の複数の核を利用し、総体として国際展を見せていることから複核型といえる。

最後に「横浜トリエンナーレ」であるが、こちらは、関内・関外、みなとみらい21地区という横浜の都心部と言われる地区をベースに、それぞれが、国際展と連動しながらも、先に述べた創造界隈という、ある種の独立性を持った活動が同時に展開されている。そして、サポーターは国際展に帰属しながらも、他の創造界隈拠点の活動にも参加するなど、求心性が一点に集中しない円心型の相を呈しているといえる。

以上、国際展と市民協働の構造をやや雑駁ではあるが、まとめてみた。ここで分かることは、各都市によって組織体制から国際展の作り方、市民参加の仕組みが異なり、それぞれに構造的特徴を有しているという点である。

今後は、他の国際展についても知見を得て、市民がいかに参加し、本当の意味での協働が行われているのか、という点を明らかにするとともに、政策や事業のための道具となっていないか、という批判的な視点も有しながら研究を進めていきたいと考えている。

最後に、国際展における市民協働について、全国的なネットワークが構築されていることを紹介する。

このネットワークは「全国サポーターズミーティング」と称し、2015年に「水と土の芸術祭市民サポーターズ」の呼びかけによって始まった。

動機としては、国際展が全国的な展開を見せる一方で、展覧会をつくるプロパーが不足する、または、漂流する問題もさることながら、市民が関わることへの難しさや継続していくことへの課題などがそれぞれの都市で考えられてきた経験を背景に、それらがネットワーク化することで、課題共有から市民協働のあり方を議論する場として誕生した。

以降、毎年開催されており、昨年は「あいちトリエンナーレ」をきっかけに集まったボランティア有志が主導する形で名古屋市にて開催された。ここでは、展覧会を見て回るガイドツアーから始まり、あいちトリエンナーレを契機に生まれた名古屋市内の市民団体と各都市の国際展ボランティア団体との交流が行われた。

今年は、横浜トリエンナーレサポーターがホストとなり「ネットワークの力とベクトル～協働が描くパースペクティブ～」と題して、国際展における市民協働がどこに向かっていくのかという点について議論が行われた。特に、国際展が目指すべき目標とは別に、サポーター団体独自の目標設定、あるいはビジョン・ミッションの構築が重要であるということが共通の理解として共有が図られた。一方で、ネットワーク化の意義や今後の展開については、時間切れとなり、議論が深まることはなかったが、今後の課題として、次回「水と土の芸術祭」に合わせて開催される第4回全国サポーターズミーティングに引き継がれている。

以上のように、自治体主導で進められている国際展においても、市民が参画し、主体性を持って活動を展開しており、また、その意義も社会的に認められつつある中で、こういった動きについても、

継続的に関わりながら、新しいコミュニティとして捉え、その構造や価値を明らかにしていきたいと考えている。



写真10(左) 全国サポーターズミーティング集合写真

写真11(右) 横浜トリエンナーレサポーターによる発表

参考文献

- i UNESCO Creative City Network「MISSION STATEMENT」
- ii 文化庁「文化芸術基本法」
- iii 日本文化政策学会第11回年次研究大会「公開ラウンド・レーブル：文化芸術に関わる法制度を問う～文化芸術振興基本法の改正，文化財保護法，障害者のための文化法」
- iv C. ランドリー「創造的都市都市再生のための道具箱」日本論評社，P15，2003
- v 同上，P168-180
- vi R. フロリダ「クリエイティブ都市経済論」日本論評社，P40，2010
- vii 同上，P45
- viii E. グレイサー「都市は人類最高の発明である」NTT出版，P10，2012
- ix J. ジェイコブズ「[新版] アメリア大都市の死と生」鹿島出版会，P167，2010
- x 同上，P174
- xi J. ジェイコブズ「発展する地域，衰退する地域地域が自立するための経済学」筑摩書房，P168，2012
- xii 鶴見和子「第2章内発的発展論の系譜」/川田侃編「内発的発展論」東京大学出版会，P48，1989
- xiii 同上，P49

Study on Optical Devices Based on Single-Polarization Photonic Crystal Fiber

Zejun ZHANG*

I. INTRODUCTION

In the last four decades, telecommunication industry and sensing technology has been revolutionized with the development of optical fiber technology. Compare with the traditional telecommunication systems, optical communication systems are famous for their high-speed and large-capacity transmission capabilities. With the continuous development of optical fibers and high-performance optical devices as well as the multiplexing communication systems, the IoT (Internet of things) society has been further realized, which makes our daily life more convenient.

In recent years, many new types of fibers have been designed and fabricated for optic telecommunication and sensing applications. Photonic crystal fiber (PCF)^{[1],[2]}, is a new technology that paves the way in optical communication due to its flexible structure and the special properties. According to the different light wave guided mechanisms, PCF can be generally divided into two categories: the holey fiber (HF) that light wave confinement using total internal reflection at the core-cladding boundary; another kind of PCF is called photonic band-gap (PBG) fiber that light is confined by the photonic band-gap which is generated by setting a periodic structure in the cladding region. In comparison to conventional optical fiber, PCF shows basic properties like large birefringence, non-linearity and single polarization property that can be tailored to achieve extraordinary outputs^[2]. One of these properties is the absolutely single polarization transmission and a number of single-polarized PCF structures have been proposed^{[3]-[10]}. Utilizing an asymmetric core or cladding distribution that caused by adjusting the arrangement or shapes of the air holes, large birefringence can be obtained, and the single-polarization property can be easily realized. In 2007, elliptical-hole core circular-hole holey fiber (EC-CHF), a novel single-polarized holey fiber with a core consisting of elliptical-holes, has been proposed for achieving the single polarization transmission easily^[6]. Simulation results illustrate that an EC-CHF can be easily designed to transmit only the x - or y -polarization by changing the major axis direction of the elliptical-holes in core region. Moreover, a PBG fiber with elliptical-hole lattice core has also been proposed that can achieve single polarization with a wide bandwidth of 420nm^[10]. So far, we can see that the single-polarization PCFs have been widely studied.

Multiplexing communication systems can effectively improve the information transmission capacity, such as time division multiplexing (TDM), frequency division multiplexing (FDM), polarization division multiplexing

(PDM), *etc.* Several polarizing optical devices play an indispensable role in PDM system and optical-fiber sensing system. Among polarizing optical devices, polarization splitter (PS), which can split a light beam into two orthogonal polarization states, is very important component in coherent optical communication system. In 2003, a PS with dual-core PCF has been proposed by Zhang and Yang^[11]. An extinction ratio (ER) of -11 dB and a bandwidth of 80 nm can be achieved in this PS. After that, several kinds of PSs based on new structure of PCFs were proposed^{[12]-[17]}. In 2004, Saitoh *etal.* proposed a PS using three-core PCF, which has an ER better than -20 dB and a bandwidth of 37 nm with a device length of 1.9 mm^[12]. In 2013, Lu *etal.* proposed a PS based on three-core PCF which has an ER as low as -20 dB and a bandwidth of 400 nm^[17]. However, this splitter has long coupling lengths of x - and y -polarization modes, and there is a quite large difference between the two kinds of coupling lengths. This makes the design of PS become complicated. Although many new kinds of PSs based on PCF have been proposed, none of them can realize the cross-talk-free separation.

My research is mainly focus on the design of high-performance polarizing optical devices which have a great application potential in the future. In this paper, I will mainly introduce a cross-talk free PS based on the single-polarized EC-CHFs. In part II, I will briefly explain the coupled mode theory that I used in this design. A design example of cross-talk free PS is given in part III, including the geometric parameters, the light propagation characteristic and the structural tolerance. Finally, the conclusion and future works.

II. PRINCIPLE OF CROSS-TALK FREE PS

In this section, I will briefly introduce the design principle of a cross-talk free PS. In recent decades, most studies on PSs based on PCF have a multi-core distribution and achieve the polarization splitting by using the coupling length difference between x - and y -polarizations. However, for this kind of PSs, it is necessary to discuss their extinction ratio (ER). While for the proposed PS in my research, it consists with three PCFs in parallel, as shown in Fig. 1. An polarization independent holey fiber in the middle as the input waveguide, and two single-polarized PCFs at both sides as two output waveguides. When the phase matching condition between three waveguides are perfectly satisfied, then an arbitrary polarized incident light will be completely separated into two orthogonal polarized components and coupled into their corresponding single-polarization PCF. Even if the phase matching condition can not be perfectly satisfied, the uncoupled polarization component will remain in the middle waveguide, while for the output waveguides, there is still only one polarization exists. Therefore, the ER for each output waveguide is 0, and the cross-talk free property is

Zejun ZHANG (張 沢君) * 助教 電気電子情報工学科
Assistant Professor, Dept. of Electrical, Electronics, and Information Engineering

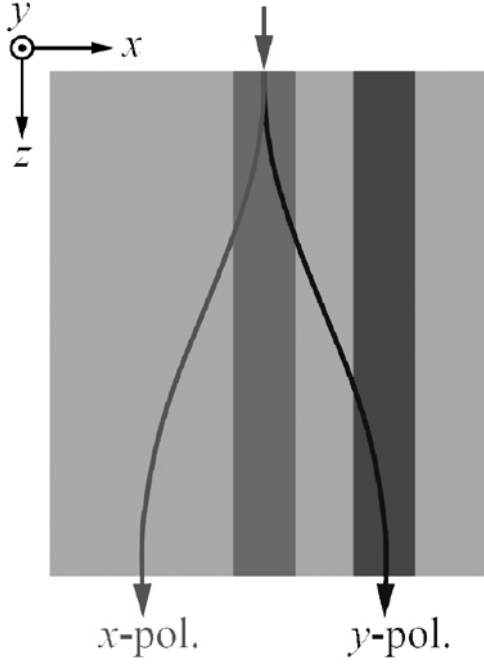


Fig. 1. Schematic of a cross-talk free PS with three PCFs in parallel.

achieved.

Since the polarization splitting are independent to each other, then the mode coupling can be analyzed independently. Such as for x-polarization splitting, it is necessary to only consider the analysis between input waveguide and only x-polarized output waveguide. According to the coupled mode theory, the mode coupling equation two waveguides (waveguide a and b) is given as follows,

$$\frac{d}{dz} \begin{pmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \end{pmatrix} = -i \begin{pmatrix} \beta_a & \kappa_{ab} \\ \kappa_{ba} & \beta_b \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

where β_a and β_b are the propagation constants of two isolated waveguides, and κ_{ab} and κ_{ba} represent the coupling coefficients between two waveguides. Based on the coupling equation, we note that coupling length L_c can be calculated by

$$L_c = \frac{0.5\lambda}{n_{\text{eff},e} - n_{\text{eff},o}} \quad (2)$$

where λ is the operation wavelength, $n_{\text{eff},e}$ and $n_{\text{eff},o}$ are the effective indices of the even and odd modes for x-polarization or y-polarization. In a coupled system, the coupling efficiency F between the two adjacent waveguides is defined as

$$F = 1 - \left(\frac{n_{\text{eff},1} - n_{\text{eff},2}}{n_{\text{eff},e} - n_{\text{eff},o}} \right)^2 \quad (3)$$

In order to design the PS, all the coupled modes and isolated modes are calculated by FV-FEM in this paper.

After explain the design principle of cross-talk free PS, I will briefly introduce the single-polarized EC-CHF^[7]. For a conventional PCF, whose cladding region is consisted by periodic air holes and the core region is formed by defecting an air hole, the structure is isotropic, and both x and y-polarization can be propagated. However, EC-CHFs which have elliptical air holes in the core region to destroy symmetry can achieve single-

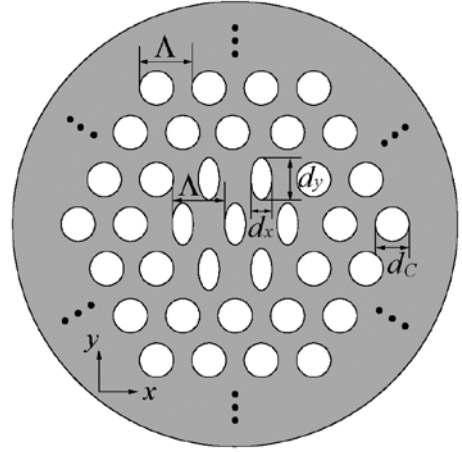


Fig. 2. Cross-section view of a yEC-CHF^[7].

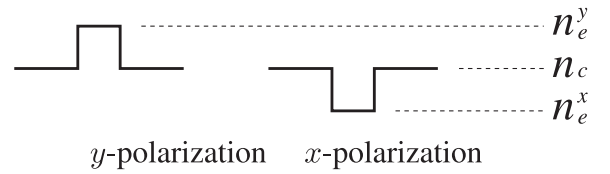


Fig. 3. Equivalent refractive index distribution in the radial direction through the core center of a yEC-CHF.

polarization property easily. A cross-section view of an EC-CHF with one-ring elliptical hole core whose major axis is aligned along the y direction is indicated in Fig. 2. When the circular holes of the cladding are isotropic, the birefringence only in the core region can be achieved by introducing elliptical-holes in the core region, and the absolutely single polarization transmission also can be realized with appropriate air hole parameters. If $d_x < d_y$, the fiber will be a yEC-CHF that transmits only the y-polarized wave. Fig. 3 shows the equivalent refractive index distribution for the x- and y-polarizations in the radial direction through the core center of a yEC-CHF, respectively. For the y-polarized wave, compared with the cladding region, the core region has higher effective refractive index of fundamental space-filling mode (FSM). On the other hand, for the x-polarized wave, the core region has the lower effective refractive index of FSM. Therefore, the single-polarization transmission can be achieved. If $d_x > d_y$, by exchanging the directions of the major and minor axes of the elliptical-holes, only the x-polarized wave can be transmitted. This kind of EC-CHF is referred to as an xEC-CHF. In addition, if $d_x = d_y < d_c$, both of the x and y-polarized waves can be transmitted simultaneously and we refer to it as a circular-hole core circular-hole hole fiber (CC-CHF) in this research.

III. DESIGN OF PS BASED ON EC-CHF

In this section, referring my paper^[18] and^[19], I will briefly introduce my research through two design examples of PSs based on large hole and small hole EC-CHFs, respectively.

A. Design of PS With Large Hole EC-CHFs

Firstly, I will give the design examples of PS with large hole EC-CHFs (air filling fraction in core is 36.7%)^[18]. In practical design, in order to

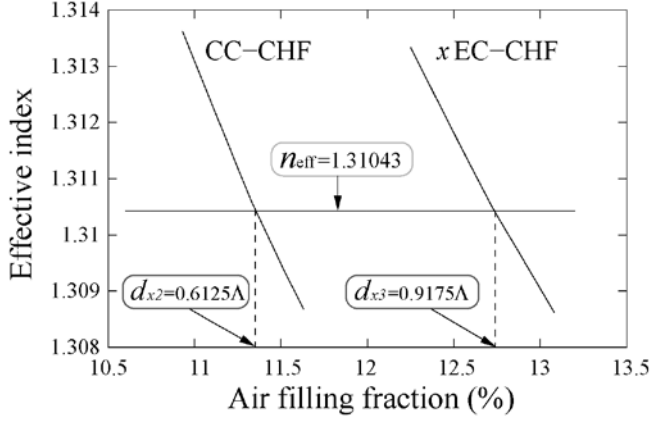


Fig. 4. Effective refractive indices n_{eff} of the CC-CHF and x EC-CHF as a function of the air filling fraction^[18].

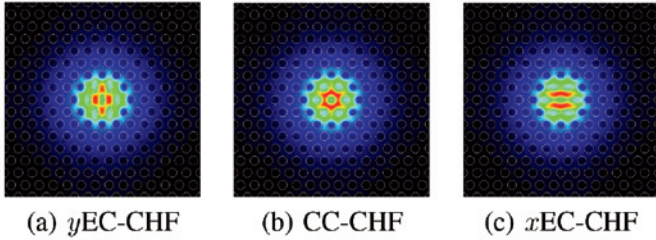
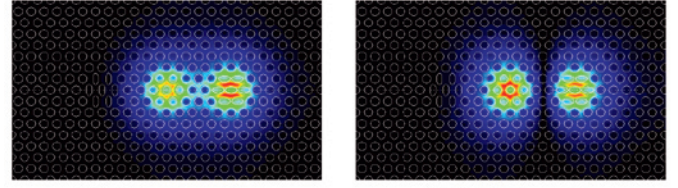


Fig. 5. Magnetic field distributions for three phase matching EC-CHF.

reduce the insertion loss, it is necessary to satisfy the phase matching condition based on the coupled mode theory. In this study, the parameters of the reference waveguide y EC-CHF are set as follows: the lattice pitch is $\Lambda = 1.24 \mu\text{m}$, the refractive indices of background material silica and air holes are $n_1 = 1.45$ and $n_2 = 1$, respectively, the operating wavelength is $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$, the cladding hole size is $d_c = 0.65\Lambda$, the major axis diameter is $d_{y1} = 0.9\Lambda$, and the ellipticity is $d_{y1}/d_{x1} = 2$. Under such conditions, the air hole sizes in the core region of the CC-CHF and x EC-CHF are determined by meeting the phase matching condition with the reference waveguide y EC-CHF. Figure 4 shows the effective refractive indices n_{eff} of the CC-CHF and x EC-CHF as a function of air filling fraction. The blue line represents the effective refractive index of the y EC-CHF. The phase matching core hole sizes are $d_{x2} = 0.6125\Lambda$ for the CC-CHF, and corresponds to $d_{x3} = 0.9175\Lambda$ for the x EC-CHF. The magnetic field distributions for each EC-CHF are shown in Figure 5. The mode field diameter for each structure is almost the same.

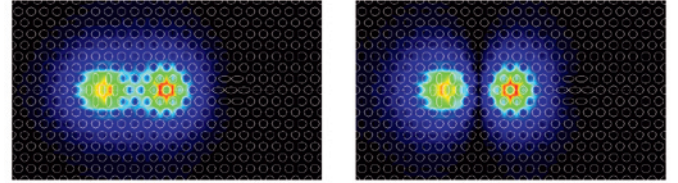
After we determined the hole sizes of each waveguide, the mode couplings of x - and y -polarization have also been discussed. Here, we set the core distance is 2Λ , and the super mode (even or odd modes) field distributions of each polarization are illustrated in Fig. 6 and 7, respectively. The calculated coupling lengths are $L_x = 638 \mu\text{m}$ and $L_y = 622 \mu\text{m}$. In this research the average length has been adopted and the device length is set to $L = 630 \mu\text{m}$. Normalized power along propagation distance of input and output waveguides are given in Fig. 8. Assuming that a 45-degree polarized light is incident on the CC-CHF, there is a slight deviation in the graph of the x EC-CHF and y EC-CHF according to the difference of the coupling length. However, the normalized power at $630 \mu\text{m}$ of each waveguide is about



(a) Even mode

(b) Odd mode

Fig. 6. Super mode field distributions of the x -polarization.



(a) Even mode

(b) Odd mode

Fig. 7. Super mode field distributions of the y -polarization.

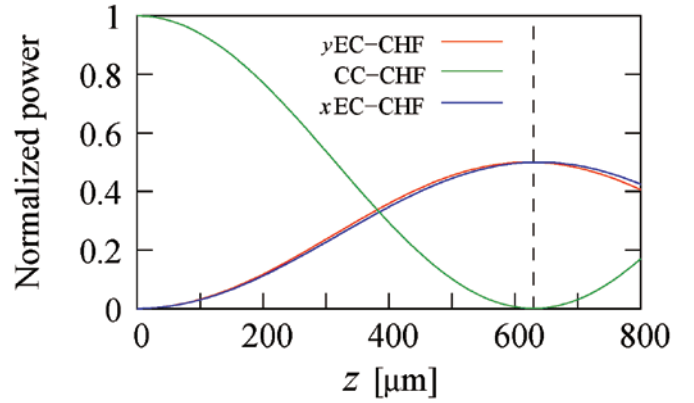


Fig. 8. Normalized power along the propagation distance^[18].

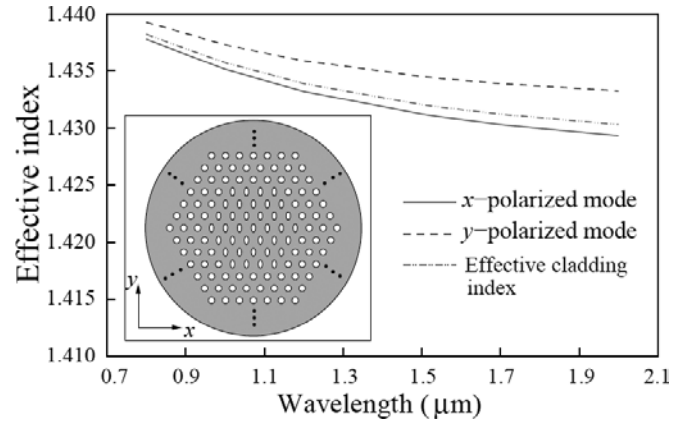


Fig. 9. Modal effective indices of x - and y -polarized modes and cladding effective index of a small hole y EC-CHF as a function of wavelength; the inset is a cross view of a 3-ring core small hole y EC-CHF.

49.98%, the loss due to the difference of the coupling length is almost negligible.

B. Design of PS With Small Hole EC-CHF

After we designed the PS with the large hole EC-CHF which have a

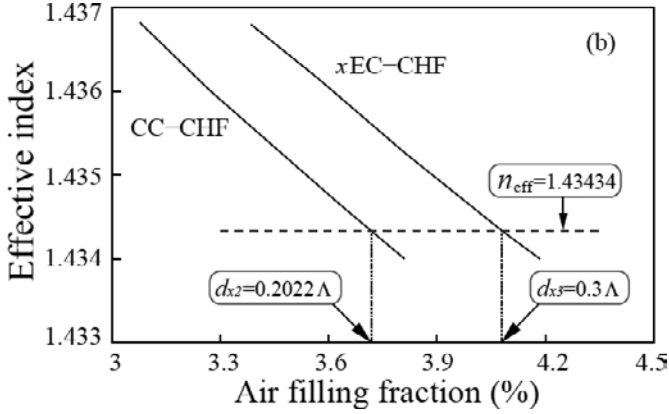


Fig. 10. Effective indices of the FSM in core region of the CC-CHF and xEC-CHF as a function of the air filling fraction^[19].

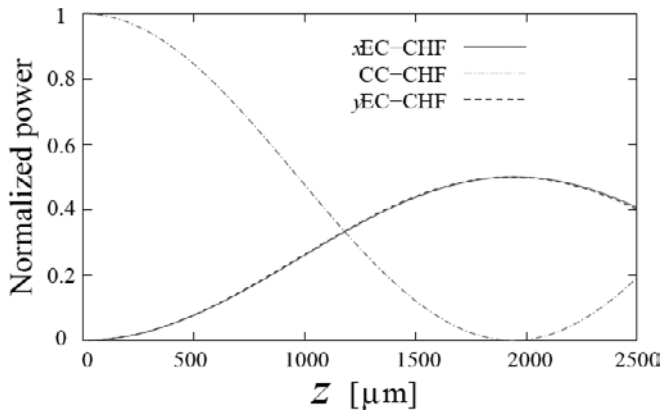


Fig. 11. Normalized power along the PS with the small hole EC-CHFs^[19].

strong optical confinement of the waveguide, in order to obtain a Gaussian like mode field distribution which can improve the connectivity between the EC-CHF and a standard SMF, we designed the PS with small hole EC-CHFs^[19]. The parameters of yEC-CHF are set as follows: $d_{y1}=0.3\lambda$ for the major axis of elliptical holes, circular holes in cladding is $d_c=0.22\lambda$. The cross section of the small hole yEC-CHF is shown in the inset of Fig. 9, it can be seen that the fiber includes three rings of elliptical holes in the core region to increase the optical confinement since the EC-CHF is weakly guiding waveguide with the small holes. The modal effective indices of the two orthogonal polarization and the cladding effective index of the yEC-CHF as a function of wavelength are also shown in Fig. 9. From $0.8\ \mu\text{m}$ to $2\ \mu\text{m}$, only y-polarized mode can be guided well in the fiber core because its modal effective index is obviously higher than the cladding effective index, whereas the x-polarized mode is lower than the cladding effective index.

Since EC-CHF with small holes has much more air holes than that with large holes, in order to reduce the calculation cost, here we meet the match the phase condition of each EC-CHF by calculating only the FSM of core region. Fig. 10 illustrates the vary of effective indices for the CC-CHF and xEC-CHF as a function of air filling fraction by the two design methods mentioned above. The phase matched holes in the core region for each waveguide are $d_{x2}=0.2022\lambda$ for the CC-CHF and $d_{x3}=0.3\lambda$ for the xEC-CHF. The distance between two adjacent core region is set to 3λ and the estimated coupling lengths for x- and y-polarization are $L_x=1947\ \mu\text{m}$ and L_y

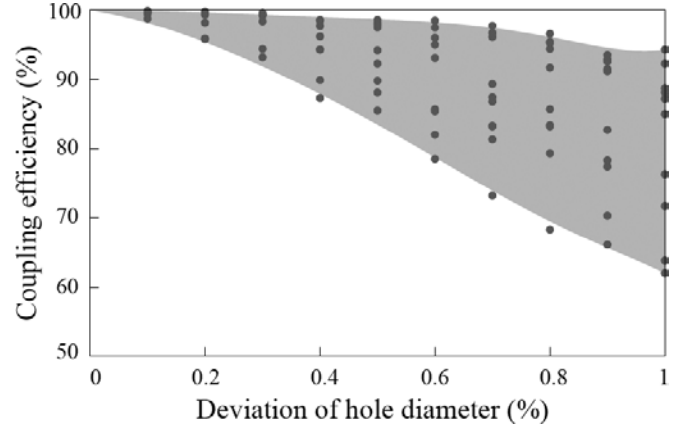


Fig. 12. Coupling efficiencies of the PS with the large hole EC-CHFs against the random deviation of all the air holes^[19].

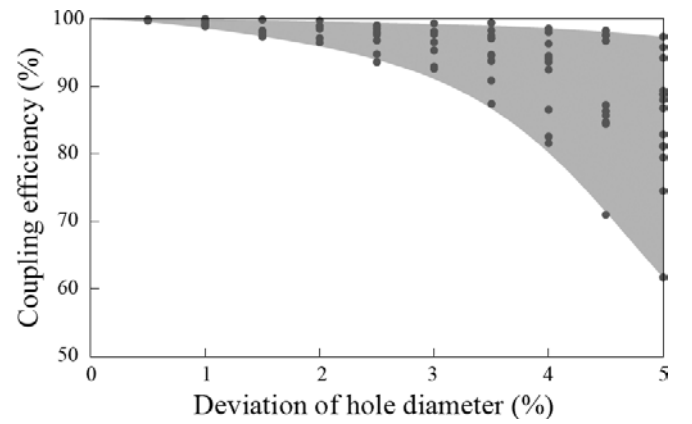


Fig. 13. Coupling efficiencies of the PS with the small hole EC-CHFs against the random deviation of all the air holes^[19].

$=1933\ \mu\text{m}$, respectively. The device length is set to $L=1940\ \mu\text{m}$.

The normalized power against propagation distance is illustrated in Fig. 11. The power of incident light in CC-CHF is almost 0 at $1940\ \mu\text{m}$, and x-polarized wave, y-polarized wave can be completely divided.

IV. TOLERANCE AND WAVELENGTH DEPENDENCE OF PS

Considering the current fabrication technology of PCF, the biggest problem in the fabrication process of EC-CHFs is the deviation of the circular or elliptical air holes away from the initial parameter values. So we discussed the effect of the deviation of the geometric parameters designed with the large and small hole EC-CHFs. Since the air holes deviate irregularly in fabrication, we investigated the coupling efficiency of the PS against all air holes varies randomly from the initial parameters. The parameters of each large hole EC-CHF are set to be as follows which can split light into two orthogonal states completely: $d_{y1}=0.9\lambda$ for the yEC-CHF, $d_{x2}=0.6126\lambda$ for the CC-CHF, $d_{x3}=0.9174\lambda$ for the xEC-CHF, the ellipticity is $d_{\text{major}}/d_{\text{minor}}=2$, $d_c=0.65\lambda$ for the holes in cladding, each core is separated from the adjacent cores by two air holes, and the device length is fixed to $630\ \mu\text{m}$. Fig. 12 shows the coupling efficiency of the PS with the large hole EC-CHFs against the random deviation of all the air holes. It can be observed that the coupling efficiency is almost 90% when the deviation is smaller than 0.4% of their initial parameters, and the coupling efficiency is better than 60% when the deviation is smaller than 1% of the initial parameters. On the other

TABLE I PS WITH LARGE EC-CHF: COUPLING EFFICIENCY VERSUS THE DEVIATION FOR DIFFERENT PARTS OF THE DEVICE PARAMETERS AT EACH DEVIATION LEVEL

Deviation level	Core region			Cladding region
	x EC-CHF	CC-CHF	y EC-CHF	
-0.3%	88.9%	85.4%	87.6%	99.8%
-0.2%	94.5%	92.6%	94.3%	99.7%
-0.1%	97.9%	97.2%	98.4%	99.3%
0	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%
0.1%	97.8%	98.0%	98.2%	98.6%
0.2%	94.3%	94.2%	94.0%	98.0%
0.3%	88.9%	88.0%	87.6%	97.3%

TABLE II PS WITH SMALL EC-CHF: COUPLING EFFICIENCY VERSUS THE DEVIATION FOR DIFFERENT PARTS OF THE DEVICE PARAMETERS AT EACH DEVIATION LEVEL

Deviation level	Core region			Cladding region
	x EC-CHF	CC-CHF	y EC-CHF	
-1%	86.1%	86.0%	86.3%	99.8%
-0.66%	94.0%	93.6%	94.1%	99.9%
-0.33%	98.6%	98.3%	98.6%	99.9%
0	100%	100%	100%	100%
0.33%	98.3%	98.7%	98.4%	99.9%
0.66%	94.0%	94.9%	94.2%	99.9%
1%	87.7%	88.9%	87.8%	99.8%

hand, Fig. 13 shows the coupling efficiency of the PS with the small hole EC-CHFs designed in section 3 against the random deviation of all the air holes. Compared with the condition in Fig. 12, the coupling efficiency is better than 90% when the deviation is smaller than 3% of their initial parameters, and the coupling efficiency is better than 60% when the deviation is smaller than 5% of the initial parameters. The PS with the small hole EC-CHFs has a higher tolerance than the splitter with the large hole EC-CHFs because it has more elliptical air holes in core region which lead to reducing the average of deviation and decrease the impact to effective index of the waveguide.

Moreover, we have also examined the coupling efficiency versus the deviation for the respective hole sizes of each region, as shown in Table I and Table II. Here, all the hole sizes of the deviation part are varied with the same extent, such as if only the holes in x EC-CHF core region are expanded 1%, the coupling efficiency of the PS with small hole EC-CHFs will decrease to 87.7%. Compared with the random deviation of all the holes mentioned above, the deviation for one part of the device with same extent leads to worse coupling efficiency. It can be observed that the coupling efficiency with deviation in the core regions is much worse than the varies in the cladding, that is because in a EC-CHF, the effective index is sensitive to the hole sizes in the core region. So if we design this type of PS using other kinds of single-polarized PCFs^{[5]-[10]} which have less holes or no holes in the core region, it may be possible to obtain a device with larger tolerance.

In addition, the splice loss between an EC-CHF and a SMF should also been considered, according to^[22], the splice loss is not so large by adjusting the parameters of EC-CHF and SMF.

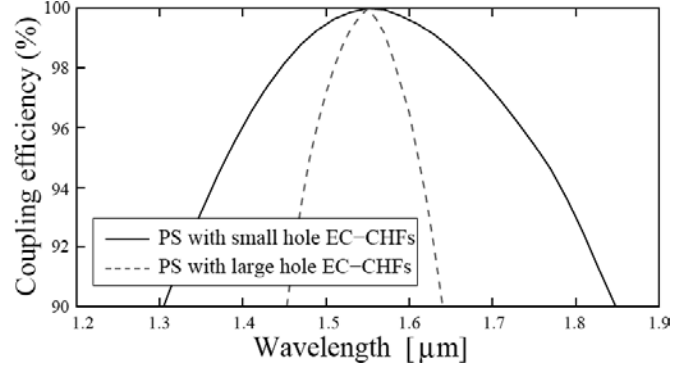


Fig. 14. Coupling efficiency of the PS versus the light wavelength^[19].

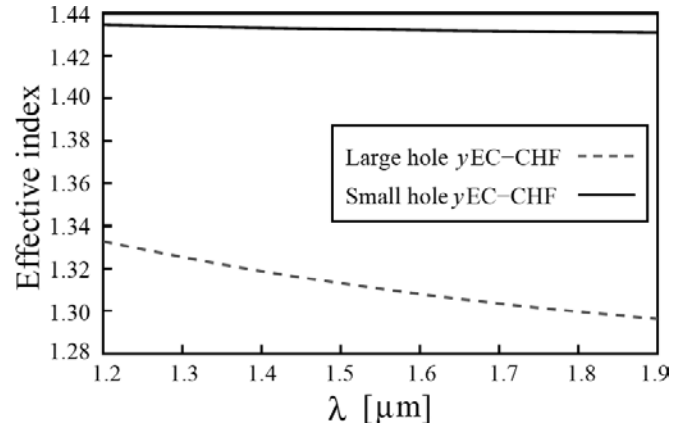


Fig. 15. Effective index of the y EC-CHF versus wavelength^[19].

In order to achieve the wide-band transmission, we have also investigated the wavelength dependence of the PS with the large and small hole EC-CHFs, respectively, as shown in Fig. 14. The proposed PS with the large hole EC-CHFs has a coupling efficiency better than 20 dB at 1.55 μm and a bandwidth of 50 nm from 1.52 to 1.57 μm , the PS with the small hole EC-CHFs exhibits a wider bandwidth of 160 nm from 1.47 to 1.63 μm . That is because the EC-CHF with small holes is a weakly guiding, and the effective index of the waveguide varies slightly versus wavelength, as shown in Fig. 15. So the proposed small hole PS has a wider bandwidth.

V. CONCLUSION

In this paper, we designed a novel PS using the single-polarized EC-CHFs which can divide the incident light into two orthogonal states completely without any cross-talk. We employed two methods to satisfy the phase matching condition between three waveguides, i.e., the effective index of each isolated waveguide and the only FSM of core region. Finally, the tolerance and wavelength dependence of our designed two PSs with the large hole EC-CHFs and small hole EC-CHFs have also been investigated, respectively.

REFERENCES

- [1] J. C. Knight, T. A. Birks, P. St. J. Russell, and D. M. Atkin, All-silica single-mode optical fiber with photonic crystal cladding, *Optics Letters*, 21(19), 1547-1549 (1996).

- [2] P. St. J. Russell, Photonic-crystal fibers, *Journal of Lightwave Technology*, 24(12), 4729-4749 (2006).
- [3] K. Saitoh and M. Koshiba, Single-polarization single-mode photonic crystal fibers, *IEEE Photonic Technology Letters*, 15(10), 1384-1386 (2003).
- [4] J. R. Folkenberg, M. D. Nielsen, and C. Jakobsen, Broadband single-polarization photonic crystal fiber, *Optics Letters*, 30(12), 1446-1448 (2005).
- [5] F. Zhang, M. Zhang, X. Liu, and P. Ye, Design of wideband single-polarization single-mode photonic crystal fiber, *Journal of Lightwave Technology*, 25(5), 1184-1189 (2007).
- [6] M. Eguchi and Y. Tsuji, Single-mode single-polarization holey fiber using anisotropic fundamental space-filling mode, *Optics Letters*, 32(5), 2112-2114 (2007).
- [7] M. Eguchi and Y. Tsuji, Design of single-polarization elliptical-hole core circular-hole holey fibers with zero dispersion at 1.55 μm , *Journal of the Optical Society of America B*, 25(10), 1690-1701 (2008).
- [8] D. Hu, P. Shum, C. Lu, X. Yu, G. Wang, and G. Ren, Holey fiber design for single-polarization single-mode guidance, *Applied Optics*, 48(20), 4038-4043 (2009).
- [9] R. Goto, S. D. Jackson, and K. Takenaga, Single-polarization operation in birefringent all-solid hybrid microstructured fiber with additional stress applying parts, *Optics Letters*, 34(20), 3119-3121 (2009).
- [10] M. Eguchi, and Y. Tsuji, Single-polarization elliptical-hole lattice core photonic-bandgap fiber, *Journal of Lightwave Technology*, 31(1), 177-182 (2013).
- [11] L. Zhang and C. Yang, Polarization splitter based on photonic crystal fibers, *Optical Express*, 11(9), 1015-1020 (2003).
- [12] K. Saitoh, Y. Sato and M. Koshiba, Polarization splitter in three-core photonic crystal fibers, *Optical Express*, 12(17), 3940-3946 (2004).
- [13] L. Zhang and C. Yang, A novel polarization splitter based on the photonic crystal fiber with nonidentical dual cores, *IEEE Photonic Technology Letters*, 16(7), 1670-1672 (2004).
- [14] L. Zhang and C. Yang, Polarization-dependent coupling in twin-core photonic crystal fibers, *Journal of Lightwave Technology*, 22(5), 1367-1373 (2004).
- [15] L. Zhang, C. Yang, C. Yu, T. Luo and A. E. Willner, PCF-based polarization splitters with simplified structures, *Journal of Lightwave Technology*, 23(11), 3558-3565 (2005).
- [16] M. Chen, B. Sun, Y. Zhang and X. Fu, Design of broadband polarization splitter based on partial coupling in square-lattice photonic-crystal fiber, *Applied Optics*, 49(16), 3042-3048 (2010).
- [17] W. Lu, S. Lou, X. Wang, L. Wang and R. Feng, Ultrabroadband polarization splitter based on three-core photonic crystal fibers, *Applied Optics*, 52(3), 449-455 (2013).
- [18] Z. Zhang, Y. Tsuji, and M. Eguchi, Design of polarization splitter with single-polarized elliptical-hole core circular-hole holey fibers, *IEEE Photonic Technology Letter*, 26(6), 541-543 (2014).
- [19] Z. Zhang, Y. Tsuji, and M. Eguchi, Study on crosstalk-free polarization splitter with elliptical-hole core circular-hole holey fibers, *Journal of Light-wave Technology*, 32(23), 3956-3962 (2014).
- [20] M. Koshiba and Y. Tsuji, Curvilinear hybrid edge/nodal elements with triangular shape for guidedwave problems, *Journal of Lightwave Technology*, 18(5), 737-743 (2000).
- [21] Y. Tsuji and M. Koshiba, Adaptive mesh generation for full-vectorial guided-mode and beam propagation solutions, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 6(1), 163-169 (2000).
- [22] M. Eguchi and Y. Tsuji, Influence of reflected radiation waves caused by large mode field and large refractive index mismatches on splice loss evaluation between elliptical-hole lattice core holey fibers and conventional fibers, *Journal of the Optical Society of America B*, 30(2), 410-420 (2013).

微生物由来生物活性天然物の全合成と新規有機分子触媒反応の開発

山田 健*

Total synthesis of bioactive microbial metabolites and development of new organocatalytic reactions

Takeshi Yamada*

1. 緒言

天然には、有用な効能を示す有機化合物が多く存在するため、古くから天然物をリードに医薬品や農薬などの実用的な機能性分子が開発されてきた。前所属である北里生命科学研究所では、2015年にノーベル生理学・医学賞を受賞した大村智特別荣誉教授を中心に、微生物由来天然有機化合物をリードとした抗感染症薬の開発に取り組んできた⁽¹⁻³⁾。これまでに、既存薬と同等以上の強力な抗MRSA（メチシリン耐性黄色ブドウ球菌）、抗VRE（バンコマイシン耐性腸球菌）活性を有するボトロマイシン類の全合成⁽⁴⁾、“顧みられない病”として知られるアフリカ睡眠病の起因寄生虫であるトリパノソーマに有効なマンガロマイシン A (1)⁽⁷⁾、および、特異なインドリンスピロアミナル骨格を有するネオキサリン類の全合成を達成した（図1）^(8,9)。本報では、抗トリパノソーマ活性を有するマンガロマイシン A (1) とネオキサリン類の全合成、およびその過程で新規に開発した有機分子触媒反応について記す。

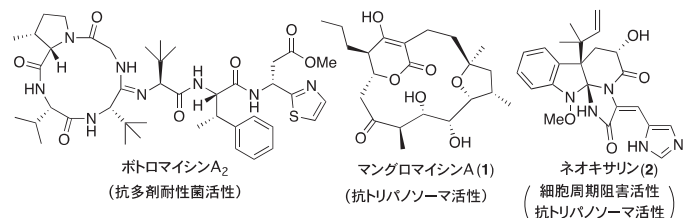


図1. 微生物由来天然物

2. “顧みられない病” アフリカ睡眠病

1927年にペニシリンが発見されて以来、先進国では、医療・創薬技術の発達、生活環境の改善により、多くの感染症が撲滅あるいは治癒可能になった。しかし、開発途上国では、未だ生活環境が悪く、億単位の患者がいるにもかかわらず、経済的採算が見込めず製薬企業による治療薬の開発が滞っている“顧みられない病”がある。

トリパノソーマは、代表的な“顧みられない病”であるアフリカ睡眠病とシャーガス病の原因寄生虫であり、アフリカ睡眠病は年間推定感染者が1830万人、死亡者が5万人に及ぶ。しかし、流行域の経済的背景から、エフロニチン（1978年）以降、新規薬剤が出ておらず未だ古典的な副作用の強い薬剤が用いられている。また、

既存薬は、原虫の種類や感染ステージによって有効性が異なり、耐性虫の出現も問題となっている。そのため、原虫の種類、感染ステージを問わない、副作用の少ない新規作用機序を有した抗トリパノソーマ薬の開発が地球規模で望まれている。

3. 抗トリパノソーマ活性を有するマンガロマイシン類の全合成

北里研究所では、2013年、西表島の土壌より採取した放線菌 *Lechevalieria aerocolonigenes* K-10-0216の培養液から、九種のマンガロマイシンを見出している⁽¹⁰⁾。マンガロマイシン A (1) は、炭素15員環内に δ -ラクトン、多置換エーテル環を含む高度にひずんだ三環性骨格を有し、水酸基やケトンなどの官能基、四置換炭素、五連続不斉中心を含む8つの不斉中心が密集しており、その特異な分子構造から、生合成や合成化学の見地から注目を浴びている天然物である。さらに1は、既存薬（エフロニチン：IC₅₀=2.3 μ g/ml：against *Trypanosoma b.b.*）と同等の抗トリパノソーマ活性（IC₅₀=2.4 μ g/ml）を示し、生物活性においても魅力的である。マンガロマイシン類は、既存の薬剤とは全く異なる構造であることから新規な作用機序が期待され、また、抗菌活性を示さないことから、トリパノソーマ原虫特異な薬剤リードとして有望である。しかし、1の平面構造は決定されているものの、その立体化学は、相対立体配置の推定に留まっている。また、培養による1の供給には限界がある。そこでまず、マンガロマイシン A (1) の全合成により、不明である絶対立体配置を決定し、抗トリパノソーマ薬の開発に向けた構造活性相関研究に取り組むこととした。

3-1. 多置換テトラヒドロフラン環の立体選択的構築

Smithらの手法を用い⁽¹¹⁾、オキサゾリジノン3とグリセルアルデヒド4とのEvansアルドール反応により、アルドール付加体5を高収率かつ、高立体選択的に合成した（図2）。続いて5の水酸基をTBS基で保護した後、アミド部を還元、Ms化し、シアン化ナトリウムと反応させることで6を4行程77%収率で合成した。シアノ体6に対し、MeLiを作用させ、加水分解をすることでケトン7へ誘導した。最後に、TBS基を除去して、 γ -ヒドロキシケトン8とヘミアセタール体9の平衡混合物を得た。合成した8と9の混合物に対し、シリルエノールエーテル10存在下、様々なルイス酸、あるいはプレンスレッド酸を作用させたところ、ジクロロメタン溶媒中、-78°CでBF₃・Et₂O作用させた場合に、望む多置換テトラヒドロフラン体11がシングルジアステレオマーとして良好な収率で得ることができた。

*助教 物質生命化学科

Assistant Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

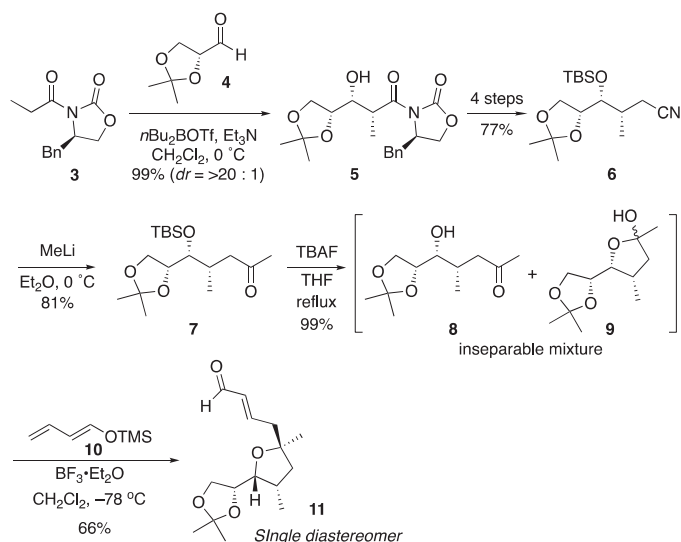


図2. 多置換テトラヒドロフラン環の立体選択的構築

3-2. 立体選択的なβラクトン化を利用したアルドール反応前駆体の合成

Peters の報告⁽¹²⁾を参考に、4-ペンテナール (12) とバレリルプロミド (13) を触媒14存在下で反応させることにより、高立体選択的に、βラクトン15を得ることができた (図3)。βラクトン構造は、続くアルドール反応条件において、脱離を誘発させたため、得られた15のβラクトンを還元、シリル化して16へ導いたのち、アリル位の酸化、還元を経てケトン体17を合成した。

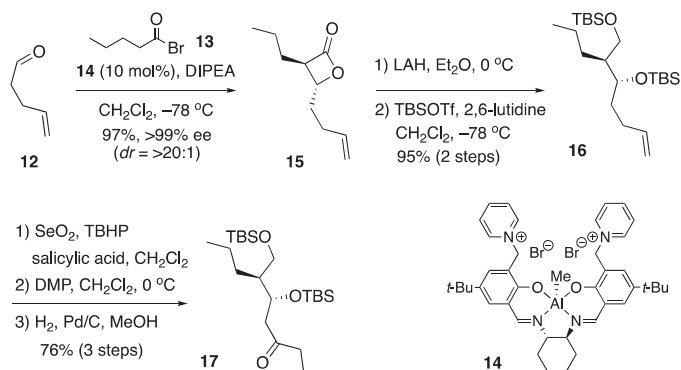


図3. アルドール反応前駆体の立体選択的合成

3-3. 多置換 THF 体とケトンユニットのアルドールカップリング

アルデヒド11を酸化、メチル化しエステル体18を高収率で得た (図4)。続いて、アセトニド基を除去し、第一級水酸基に TBS 基、第二級水酸基に BOM 基を導入した後、シリル基の除去、第一級水酸基の酸化を経て、アルドール反応前駆体となるアルデヒド19を5行程91%収率で合成した。次に、アルデヒド19とケトン体17のアルドール反応を検討した。Collum らの反応条件⁽¹³⁾を適用したところ、望む anti アルドール生成物20を優先的に68%収率で得ることができた。

生成物の第二級水酸基の立体化学は、新 Mosher 法を用いて図示した通り決定した。また、メチル基の立体化学は、20のケトンを Evans の手法⁽¹⁴⁾により anti 選択的に還元して21とした後、1,3-ジ

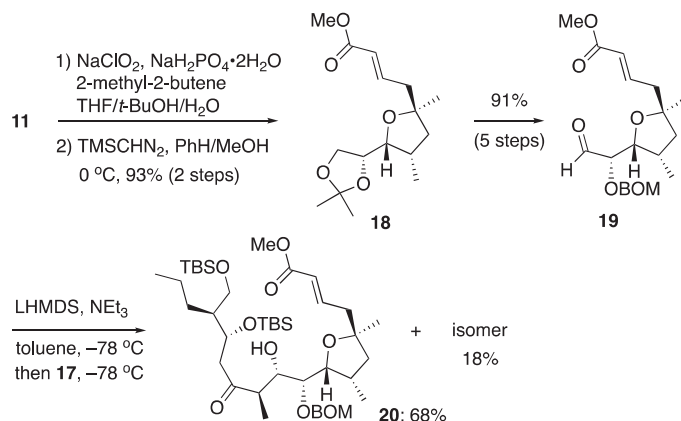


図4. アルドールカップリング

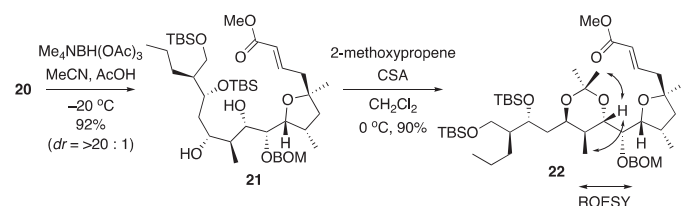


図5. 立体化学の決定

オールをアセトニド化した22の ROESY 解析により決定した (図5)。なお、アルドール付加反応の際、立体化学は未決定であるが異性体が18%で生成することを確認している。

3-4. マングロマイシン A (1) の全合成

ジオール21の水酸基を MEM 基で保護し、オレフィンの還元、二つの TBS 基の除去、そして第一級アルコール選択的な保護を経てモノオール体23を合成した (図6)。メチルエステル部を加水分解し、椎名マクロラクトン化⁽¹⁵⁾を行って、15員環ラクトン体24を合成した。続いて、シリル基を除去し、酸化、エステル化を行い、メチルエステル体25へと高収率で導いた。得られた25を THF 中、加熱還流条件下、LHMSDを滴下することにより Dieckmann 環化が進行し、望むジヒドロピラン体26を合成することができた。生成物26は、空气中で不安定であり、容易にピランへと酸化されたため、精製することなく、続く水酸基の脱保護を行った。すなわち、Dieckmann 反応粗生成物26を、1,3-プロパンジオール存在下、BF₃·Et₂Oで処理することで、テトラオール体27を2行程76%と高収率で得ることができた。ジヒドロピラン構造を有するテトラオール体27の化学選択的な酸化は困難であったため、トリメチルボロキシンを用いて、1,2-ジオールの保護、続く Albright・Goldman 酸化⁽¹⁶⁾により望む水酸基を選択的に酸化したアセチルマングロマイシン28を合成した。なお、ボロン酸エステルは、酸化反応の後処理で容易に除去された。最後にアセチル基を加水分解して、マングロマイシン A (1) の初の全合成を達成した。得られたマングロマイシン A の各種スペクトルデータは、天然のマングロマイシン A のスペクトルデータと完全に一致し、図に示すとおり1の絶対立体配置を決定した⁽⁷⁾。

以上のように、γ-ヒドロキシケトンとシリルエノールエーテルの環化アルキル化反応による多置換 THF 環の立体選択的合成、anti 選択的アルドール付加反応、及び、Dieckmann 環化を鍵に抗トリパノソーマ活性を有するマングロマイシン A の初の不斉全合成を

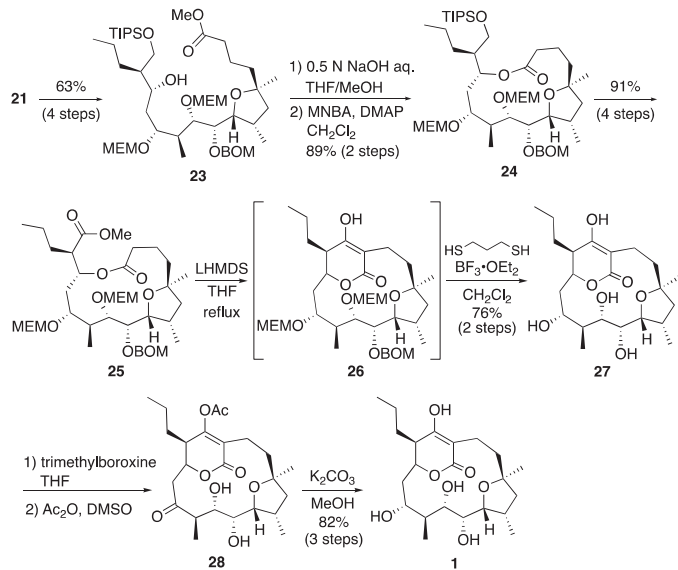


図6. マングロマイシン A (1) の全合成

達成した. その結果, 不明であったマングロマイシン A の絶対立体構造を明らかにできた. 現在, 合成したマングロマイシン A, 及び, その合成中間体の生物活性を評価しているところである.

4. インドリンスピロアミナル骨格を有するネオキサリン類の全合成

ネオキサリン (2) は, 北里研究所において, 糸状菌 *Aspergillus japonicus* Fg-551 の培養液から単離された天然有機化合物であり⁽¹⁷⁾, チューブリン重合阻害活性を示す⁽¹⁸⁾. 2は, インドリンスピロアミナル, *E*-デヒドロヒスチジン, 橋頭位にリバースプレニル基が連結して三連続第四級炭素を形成した複雑な構造を有し, 類縁天然物が10種報告されている. これまでに生合成研究が盛んに報告されているが, 未だ本化合物群の全合成はおろか, その骨格の構築も我々の研究グループによる1例しか報告されていない. 興味深いことに, 2を除く全ての類縁天然物は *Penicillium* 属の糸状菌により生産されるが, 2は *Aspergillus* 属の糸状菌からしか単離されていない. このため, 類縁天然物であるメリアグリン A (29) とオキサリン (30) の絶対立体配置は明らかにされているが, 2の絶対配置は推定の域を出ない (図7). そこで, 1の特異な構造と生物活性に興味を抱き, 不明であった2の絶対立体配置を確定させるため, その全合成に着手した.

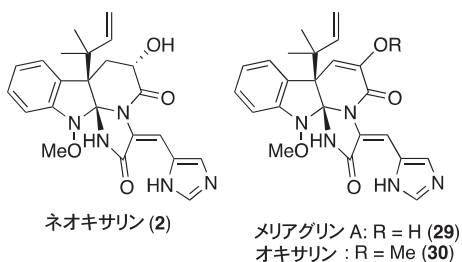


図7. ネオキサリン類

4-1. リバースプレニル基の立体選択的な導入

市販のトリプトフォール (31) から不斉酸化環化反応により32

を不斉合成し⁽¹⁹⁾, 2工程を経て, トリクロロアセトイミデート体33へ導いた (図8). イミデート33に対し, $\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$ 存在下, プレニルスズ34を作用させることで, 高収率かつ高立体選択的に橋頭位にリバースプレニル基を導入した. 続いて, 4工程を経て対応するアルデヒド体36へ導いた.

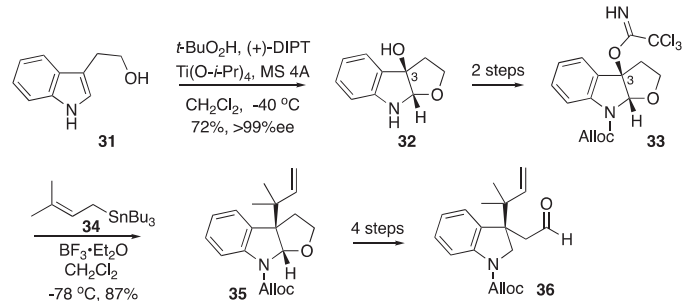


図8. 立体選択的なリバースプレニル基の導入

4-2. インドリンスピロアミナル骨格の立体選択的構築

アルデヒド体36に対し, ホウ酸存在下, イソシアノアセテート37を作用させることで, ジアステレオ混合物として α -ヒドロキシアミド体38 (9R:9S=1:2)を合成した (図9)⁽²⁰⁾. α -ヒドロキシアミド体 (9S)-38からは, インドリンスピロアミナル骨格を構築できなかったため, 酸化・還元により9R体を主生成物として得た (9R:9S=9.5:1.0). 次に, 適した位置にアミノ基を有するインドリン40へ導き, ジアステレオマーを分離した. 様々な条件検討の結果, (9R)-40を $\text{H}_2\text{O}_2 \cdot \text{urea}$, Na_2WO_4 で酸化し⁽²¹⁾, 原料消失時後に, 系中に PbO_2 と酢酸を添加することで, 1ポットで環状ニトロソ体43を高収率で得ることができた. 続いて, 低温下, TBAOH で処理することで, インドリンスピロアミナル体 (9R)-44を単一生成物として高収率で得た.

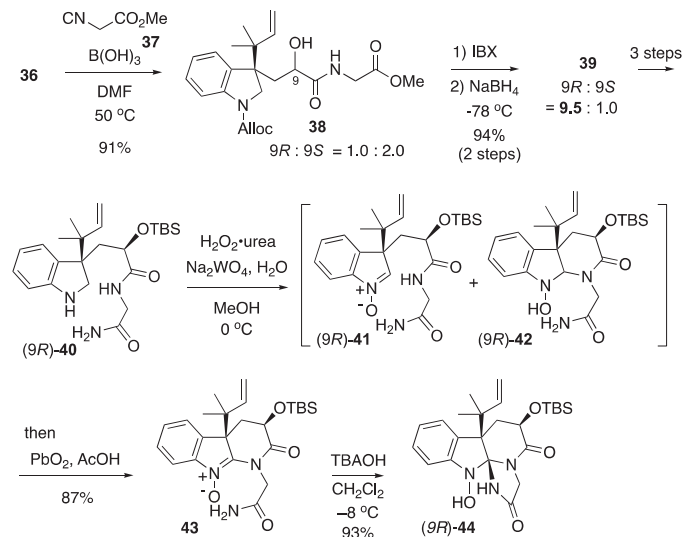


図9. インドリンスピロアミナル骨格の立体選択的な構築

4-3. ネオキサリン類の全合成

インドリンスピロアミナル体 (9R)-44の水酸基とアミドにそれぞれメチル基, SEM 基を導入して45とした後, アルデヒド46とのアルドール反応により, 付加体47を1.2:1.0のジアステレオ混合

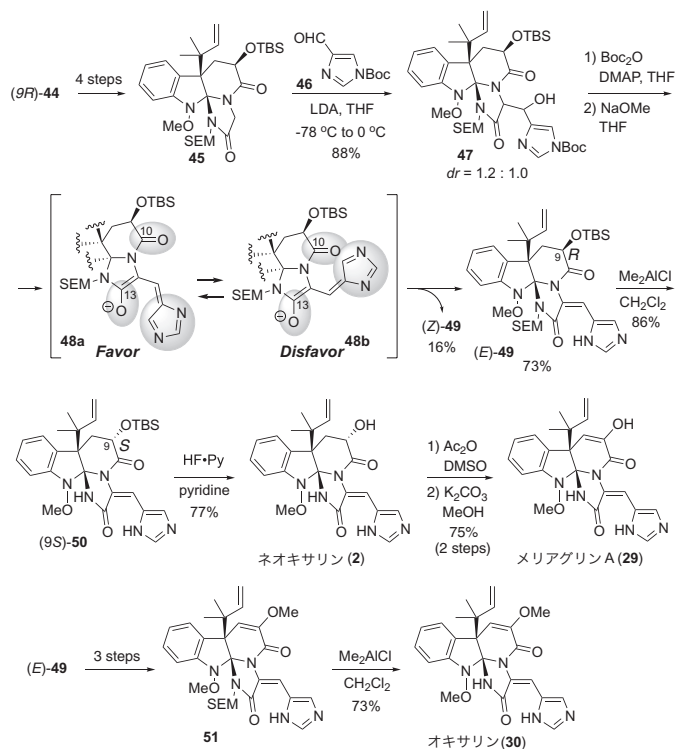


図10. ネオキサリン類の全合成

物として得た (図10). 付加体47の水酸基にカーボネートを導入し、イミダゾール上の Boc を除去すると、共役系が伸びたエノラート48を経由して望む *E* 配置のデヒドロヒスチジンが優先的に構築できた. 次に, Me_2AlCl で SEM 基を除去したところ⁽²²⁾, 同時に9位のエピメリ化が進行し, (9*S*)-50が得られた. 最後に TBS 基を除去してネオキサリン (2) の初の全合成を達成し, 不明であったその絶対立体配置を決定した.

さらに, 2から Albright・Goldman 酸化⁽¹⁶⁾, 続く加水分解を経て, 類縁天然物であるメリアグリン A (29) を全合成した. メリアグリン A (2) のメチル化は, アミドの NH 基優先的に進行したため, SEM 体 (*E*)-49から, 同様の手法でメチルビニルエーテル体51へと導いた後, 最後に SEM 基を除去することでオキサリン (30) の初の全合成も達成した.

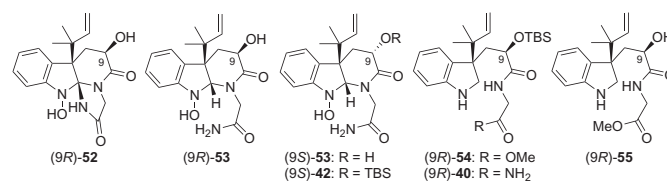
4-4. ネオキサリン類の抗感染症活性評価

合成した天然物とその中間体の抗感染症活性 (抗菌, 抗微生物, 抗マラリア, 抗トリパノソーマ活性) を調査したところ, 天然物2, 30には, 顕著な活性は見られなかったものの, いくつかの合成中間体がアフリカ睡眠病の起因寄生虫であるトリパノソーマに対し, 中程度の殺原虫活性を示すことを初めて見出した (表1). 抗トリパノソーマ活性の発現には, インドリンスピロアミナール骨格は必須ではなく, 比較的シンプルな環化前駆体 (9*R*)-40が最も高い抗トリパノソーマ活性を示した.

5. 有機分子触媒を用いたイソシアニドの α -付加反応

上述のように, 2の初の全合成を達成し, 不明であった絶対立体構造を明らかとした. しかし, アルデヒド36とイソシアニド37の α -付加反応のジアステレオ選択性に課題があった. 既存の様々な条件を試みたが, その選択性は改善されることはなかった⁽²⁴⁻²⁸⁾. そ

表1. 抗トリパノソーマ活性の評価



sample	IC ₅₀ ($\mu\text{g}/\text{mL}$)		Selectivity Index ^[c]
	Anti-trypanosomal activity ^[a]	Cytotoxicity ^[b]	
30 ^[d]	58.5	>100	>1.7
2 ^[d]	>12.5	>28.2	<2.3
(9 <i>R</i>)-52	13.5	32.5	2.4
(9 <i>R</i>)-53	11.1	55.1	4.9
(9 <i>S</i>)-53	9.22	72.8	7.9
(9 <i>S</i>)-42	7.03	58.1	8.3
(9 <i>R</i>)-54	11.9	34.5	2.9
(9 <i>R</i>)-40	7.03	56.0	8.0
(9 <i>R</i>)-55	19.0	>100	>5.3
Suramin ^[e]	1.58 ⁽²³⁾		

[a] against *Trypanosoma brucei brucei* strain GUTat 3.1. [b] against human diploid embryonic cell line, MRC-5. [c] Selectivity Index = cytotoxicity ($\mu\text{g}/\text{mL}$)/anti-trypanosomal activity ($\mu\text{g}/\text{mL}$). [d] synthetic analog. [e] standard drug.

こで, これまで例のない有機分子触媒を用いた立体選択的なイソシアニドの α -付加反応の開発に着手した.

5-1. 触媒サイクルの設計

従来の Passerini 反応の反応メカニズムから, アルデヒドを活性化すると同時にイソシアニドへ水酸基を供与できる有機分子が, 本反応に有効な触媒になり得ると考え, *E*-配置のアミド分子56に着目した (図11). すなわち, 弱酸性のアミドの NH がアルデヒドを活性化した後, イソシアニドがアルデヒドへ付加し, イソシアニドのカチオン部を触媒が酸素原子から捕捉してイミデート57が得られると考えた. *E*-配置のアミドを用いれば本段階が協奏的に進行することが期待される. 生じるイミデート57は, 系中の水により加水分解され, 生成物58を与えるとともに触媒56が再生すると考えた.

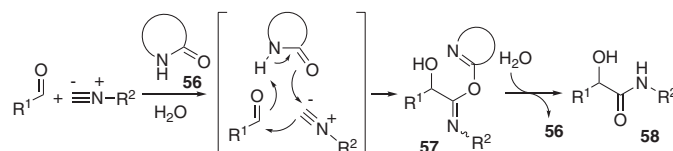
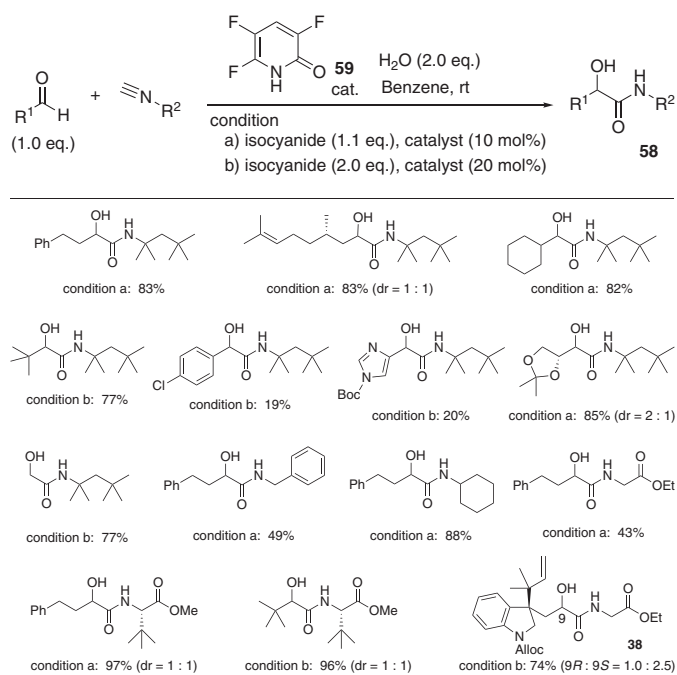


図11. 触媒サイクルの設計

5-2. 3,5,6-トリフルオロ-2-ピリドンを用いたイソシアニドとアルデヒドの α -付加反応

様々な *E*-配置のアミド分子を精査した結果, 3,5,6-トリフルオロ-2-ピリドン (59) が, 本反応を触媒することを初めて見出した (表2). さらに本反応条件を最適化したところ, ベンゼン中, 2当量の水を添加することで, 高収率で対応する α -ヒドロキシアミド体58を与えることが分かった. 本反応は, 不活性ガスの使用や温度の調整など煩雑な実験操作を必要とせず, 中性条件下, 様々な脂肪族ア

表2. 有機分子触媒を用いたイソシアニドの α 付加反応

ルデヒドやイソシアニドに適用することが出来、高いピバルアルデヒドや第三級イソシアニドを用いた場合においても良好な収率で対応する α -ヒドロキシアミド体を与えた。また、ネオキサリン (2) の合成中間体であるアルデヒド36においては、立体選択性は改善できなかったものの、既存の触媒の手法よりも高収率で対応する α -ヒドロキシアミド体38を与えることを見出した⁽²⁹⁾。

様々な検討の結果、本反応のメカニズムを以下に示すとおり推定している (図12)。まず、ピリドン59のNHがブレンステッド酸としてアルデヒドを活性化することでイソシアニドのアルデヒドへの付加が進行し、求電子性のニトリリウムカチオン中間体60が形成する。その中間体をピリドンにより活性化された水が捕捉することでイミド酸62と2-ヒドロキシピリジン61が生成する。イミド酸62は、異性化を経て α -ヒドロキシアミド58を与え、ヒドロキシピリジン61は、異性化して触媒59を再生するメカニズムが示唆された。

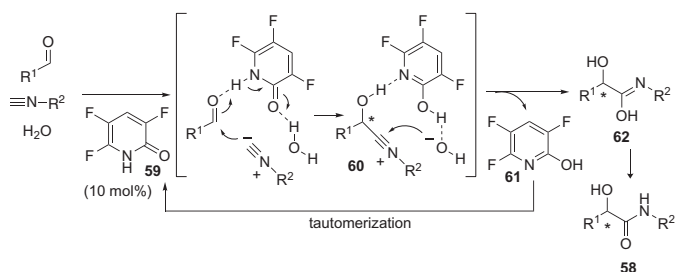


図12. 推定メカニズム

6. 結言

本報では、“顧みられない病”として知られるアフリカ睡眠病を引き起こす寄生虫であるトリパノソーマに有効なマングロマイシン A とネオキサリン類の全合成を記した。また、その過程で、前例のない3,5,6-トリフルオロ-2-ピリドン (59) を、共役酸・塩基触媒に用いた Passerini 型三成分連続反応を開発することができた。こ

れまで、2-ピリドンに触媒に用いた反応は、エステルのアミノリシス⁽²³⁾とラクトールの開環⁽²⁴⁾の2例しかなく、積極的にその触媒活性を調べられた例はない。現在、本反応の不斉触媒化、および、2-ピリドン型分子を共役酸・塩基触媒として利用した新規連続結合形成反応の開発に取り組んでいるところである。

7. 謝辞

本研究は、北里大学北里生命科学研究所生物有機化学研究室で行われたものであり、スペシャルコーディネーターである大村智特別栄誉教授、主催教授である砂塚敏明教授に感謝いたします。また本研究は、科学研究費補助金 (若手 B)、(公財)住友財団基礎科学研究助成および有機合成化学協会エーザイ研究企画賞の助成を得て行われたものであり、ここに御礼申し上げます。

8. 参考文献

- (1) H. Gouda, Y. Kobayashi, T. Yamada, T. Ideguchi, A. Sugawara, T. Hirose, S. Ōmura, T. Sunazuka, S. Hirono, *Chem. Pharm. Bul.*, **60**, 169-171 (2012).
- (2) A. Sugawara, M. Kubo, T. Nakashima, T. Hirose, N. Tsunoda, K. Yahagi, Y. Asami, T. Yamada, K. Shiomi, Y. Takahashi, S. Ōmura, T. Sunazuka, *Tetrahedron* **71**, 2149-2157 (2015).
- (3) T. Yamada, K. Suzuki, T. Hirose, T. Furuta, Y. Ueda, T. Kawabata, S. Ōmura, T. Sunazuka, *Chem. Pharm. Bull.*, **54**, 856-864 (2016).
- (4) N. Katz, N. Araújo, P. M. Z. Coelho, C. M. Morel, A. R. Linde-Arias, T. Yamada, Y. Horimatsu, K. Suzuki, T. Sunazuka, S. Ōmura*, *J. Antibiot.*, **70**, 680-684 (2017).
- (5) T. Yamada, Y. Horimatsu, T. Hirose, A. Sugawara, S. Ōmura, T. Sunazuka, *Tetrahedron Lett.*, **58**, 3119-3124 (2017).
- (6) Manuscript in preparation.
- (7) H. Takada, T. Yamada, T. Hirose, T. Ishihara, T. Nakashima, Y. Takahashi, S. Ōmura, T. Sunazuka, *Org. Lett.*, **19**, 230-233 (2017).
- (8) T. Ideguchi, T. Yamada, T. Shirahata, T. Hirose, A. Sugawara, Y. Kobayashi, S. Ōmura, T. Sunazuka, *J. Am. Chem. Soc.*, **135**, 12568-12571 (2013).
- (9) T. Yamada, T. Ideguchi-Matsushita, T. Hirose, T. Shirahata, R. Hokari, A. Ishiyama, M. Iwatsuki, A. Sugawara, Y. Kobayashi, K. Otoguro, S. Ōmura, T. Sunazuka, *Chem. Eur. J.*, **21**, 11855-11864 (2015).
- (10) T. Nakashima, M. Iwatsuki, J. Ochiai, Y. Kamiya, K. Nagai, A. Matsu-moto, A. Ishiyama, K. Otoguro, K. Shiomi, Y. Takahashi, S. Ōmura, *J. Antibiot.*, **67**, 253-260 (2014).
- (11) A. B. Smith III, C. M. Adams, S. A. Lodise Barbosa, A. P. Degnan, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, **101**, 12042-12047 (2004).
- (12) T. Kull, R. Peters, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **47**, 5461-5464 (2008).
- (13) P. F. Godenschwager, D. B. Collum, *J. Am. Chem. Soc.*, **130**, 8726-8732 (2008).
- (14) D. A. Evans, K. T. Chapman, E. M. Carreira, *J. Am. Chem. Soc.*, **110**, 3560-3578 (1988).
- (15) I. Shiina, R. Ibuka, M. Kubota, *Chem. Lett.*, **31**, 286-287 (2002).
- (16) J. D. Albright, L. Goldman, *J. Am. Chem. Soc.*, **87**, 4214-4216 (1965).

- (17) A. Hirano, Y. Iwai, R. Masuma, K. Tei, S. Ōmura, *J. Antibiot.*, **32**, 781-785 (1979).
- (18) Y. Koizumi, M. Arai, H. Tomoda, S. Ōmura, *Biochim. Biophys. Acta Mol. Cell Res.*, **1693**, 47-55 (2004).
- (19) T. Sunazuka, T. Hirose, T. Shirahata, Y. Harigaya, M. Hayashi, K. Komiyama, S. Ōmura, A. B. Smith III, *J. Am. Chem. Soc.*, **122**, 2122-2123 (2000).
- (20) J. S. Kumar, S. C. Jonnalagadda, V. R. Mereddy, *Tetrahedron Lett.*, **51**, 779-782 (2010).
- (21) S. Murahashi, H. Mitsui, T. Shiota, T. Tsuda, S. Watanabe, *J. Org. Chem.*, **55**, 1736-1744 (1990).
- (22) L. E. Overman, M. D. Rosen, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **39**, 4596-4599 (2000).
- (23) K. Otoguro, A. Ishiyama, M. Namatame, A. Nishihara, T. Furusawa, R. Masuma, K. Shiomi, Y. Takahashi, H. Yamada, S. Ōmura, *J. Antibiot.*, **61**, 372-378 (2008).
- (24) W. C. Lumma, Jr, *J. Org. Chem.*, **46**, 3668-3671 (1981)
- (25) J. E. Semple, T. D. Owens, K. Nguyen, O. E. Levy, *Org. Lett.*, **2**, 2769-2772 (2000)
- (26) T. Soeta, Y. Kojima, Y. Ukaji, K. Inomata, *Tetrahedron Lett.*, **52**, 2557-2559 (2011)
- (27) B. Alcaide, P. Almendros, C. Aragoncillo, R. Callejo, M. P. Ruiz, *J. Org. Chem.*, **78**, 10154-10165 (2013)
- (28) J. S. Kumar, S. C. Jonnalagadda, V. R. Mereddy, *Tetrahedron Lett.*, **51**, 779-782 (2010).
- (29) T. Yamada, T. Hirose, S. Ōmura, T. Sunazuka, *Eur. J. Org. Chem.*, 296-301 (2015).
- (30) X.-Q. Liu, L. Jin, C. K. Kim, Y. Xue, *J. Mol. Catal.*, **355**, 102-112 (2012)
- (31) A. L-S., F. Charbonnier, C. Rolande, I. Huc, *J. Chem. Sci. Perkin Trans. 2*, 937-942 (1998).

ミクロ細孔を有する Mo-V-O 複合酸化物の結晶構造と選択酸化活性の関係

石川 理史*

Relationship between crystal structure of microporous Mo-V-Oxide and catalytic activity for selective oxidation

Satoshi ISHIKAWA*

1. 緒言

結晶性 Mo_3VO_x 複合酸化物 (MoVO) は $\{\text{Mo}_6\text{O}_{21}\}^{6-}$ 5員環ユニットと $\{\text{MO}_6\}$ (M=Mo, V) 金属酸素八面体が複雑に配列した板 ($a-b$ 面) が c 軸方向に積層して形成する棒状の結晶である¹⁻³⁾. $a-b$ 面にはこれらのユニットの縮合により, 構造内に5, 6, および7員環が形成する. このうち7員環は直径0.40nm のミクロ細孔として機能し, N_2 , CO_2 , CH_4 および C_2H_6 などの小分子を吸着できる⁴⁾. 7員環細孔径は酸化還元により制御可能であり, これはレドックス能に優れた Mo, V を構成元素とすることに由来する⁵⁻⁶⁾. この現象は, レドックス能の低い Si や Al で構成されるゼオライトや, 有機物をリンカーとする MOF には見られない興味深い現象である. また, MoVO はアルコール, アルデヒド, 低級アルカンの選択酸化反応に対し, 極めて高い触媒活性を示す⁷⁻¹¹⁾. このような性質から, MoVO は高い酸化活性を示す八面体モレキュラーシーブとして大きく注目されている.

MoVO, 正方晶 MoVO, および積層方向の配列は規則的であるが断面がディスオーダーであるアモルファス MoVO の作りわけに成功した¹⁰⁻¹²⁾ (Fig. 1). これらの結晶相の比較から, 触媒活性における結晶面の強い依存性が見て取れた. さらに斜方晶 MoVO については, エタン選択酸化反応をモデル反応として, 触媒反応における分子レベルでの理解を達成できた¹³⁻¹⁶⁾.

2. 7員環と触媒活性の関係¹¹⁾

水熱合成条件の制御, 適切な熱処理により, 同様の組成で構造ユニットの配列のみが異なる, 斜方晶, 三方晶, 正方晶, および積層方向の配列は規則的であるが面方向が不規則な配列をしているアモルファス MoVO の合成が可能である (Fig. 1). これらはいずれも, Mo, V を中心とした金属酸素八面体の複雑な配列により形成した $a-b$ 面が, c 軸方向に頂点共有して積み重なった層状構造体である. $a-b$ 面は, $\{\text{Mo}_6\text{O}_{21}\}^{6-}$ 5員環ユニットが酸素八面体を介してネットワーク状に連結することで構築する. これらのユニットの配列により, 斜方晶, 三方晶, およびアモルファスでは6, 7員環が形成され, 正方晶では5, 6員環が形成する. Fig. 1に示したこれらの結晶構造の妥当性は, HAADF-STEM 像から明らかである. Table 1にこれら4つの結晶の N_2 吸着測定および触媒反応結果を示す. 4つの結晶について, 100nm^2 当たりの7員環数を結晶構造モデルや HAADF-STEM 像から見積ったところ, 斜方晶 MoVO では73個, 三方晶 MoVO では68個, アモルファス MoVO では10~30個, 正方晶では0個であった. これらを用いて窒素吸着測定を行ったところ, 7員環を有する斜方晶, 三方晶, アモルファスはミクロ細孔吸着を示したが, 正方晶では示さなかった. このことから構造中の7員環がミクロ細孔として機能していることは明らかである. これらを用いてエタンおよびアクロレイン選択酸化反応を行ったところ, 斜方晶, 三方晶, アモルファスはエタンおよびアクロレインの転化に活性を示したが, 正方晶では活性を示さなかった (Table 1). エタン, アクロレイン選択酸化反応において触媒活性の強い構造依存性が見て取れた. これらの触媒の違いは構造中の7員環の有無のみであったことから, 7員環がエタン, アクロレインの転化に関与していることは明らかであろう.

エタン選択酸化活性は斜方晶 MoVO > 三方晶 MoVO > アモルファス MoVO >> 正方晶 MoVO であった. この序列は触媒の表面積 (斜方晶: $7.2\text{m}^2\text{g}^{-1}$, 三方晶: $18.0\text{m}^2\text{g}^{-1}$, 正方晶: $2.7\text{m}^2\text{g}^{-1}$, アモルファス: $5.7\text{m}^2\text{g}^{-1}$) や 100nm^2 当たりの7員環数 (斜方晶: 73個, 三方晶:

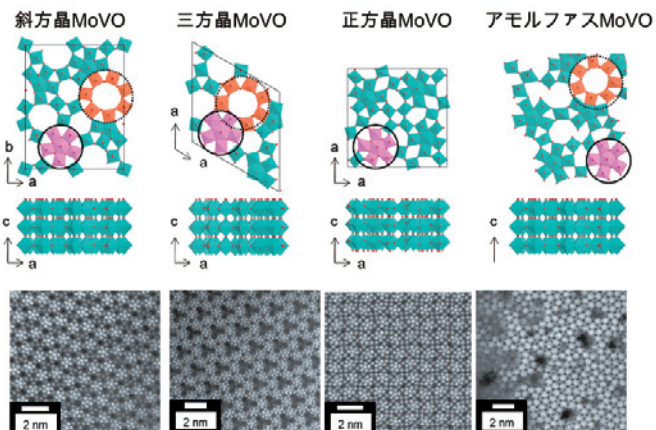


Fig. 1. Structural model and HAADF-STEM images of crystalline Mo_3VO_x oxides. Structural units enclosed by solid and dot circles are a pentagonal $\{\text{Mo}_6\text{O}_{21}\}^{6-}$ unit and a 7-membered ring, respectively.

近年, 我々の研究グループでは, $\{\text{Mo}_6\text{O}_{21}\}^{6-}$ 5員環ユニットと $\{\text{MO}_6\}$ (M=Mo, V) 金属酸素八面体で構成される同様の組成の棒状結晶で, 断面部の構造のみが異なる斜方晶 MoVO, 三方晶

*助教 物質生命化学科
Assistant Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

68個, 正方晶: 0個, アモルファス: 10~30個) と関係せず, N_2 吸着測定から求めた7員環に由来するマイクロ孔容積(斜方晶: $14.0\text{cm}^3\text{g}^{-1}$, 三方晶: $4.0\text{cm}^3\text{g}^{-1}$, 正方晶: $0\text{cm}^3\text{g}^{-1}$, アモルファス: $2.8\text{cm}^3\text{g}^{-1}$)の序列と一致した. これはエタンが7員環表面でなく7員環細孔内で転化していることを示唆している. 一方, アクロレイン選択酸化活性は三方晶 MoVO > 斜方晶 MoVO > アモルファス MoVO >> 正方晶 MoVO であり, この活性の序列は触媒の表面積と 100nm^2 当たりの7員環の数の序列と一致した. この事実はアクロレインが7員環の表面で転化していることを示唆している.

3. 7員環の選択酸化活性への関与¹³⁻¹⁴⁾

異なる結晶相の MoVO を用いた触媒活性の比較から, エタンとアクロレインは MoVO の7員環部位で転化することは明らかである. 一方, エタンとアクロレインでは基質活性化部位が異なることが示唆されている. エタン, アクロレイン選択酸化反応における基質活性化部位を明らかにするため, ミクロ細孔容積が同じで外表面積の異なる種々の MoVO を合成し, 触媒活性の外表面積依存性を検討した. もし基質が7員環表面で転化してれば, 触媒活性は外表面積の変化に依存するはずである. 一方, 基質がマイクロ細孔内で転化しているとすれば, 活性は外表面積に依存しないはずである. MoVO の外表面積を制御するため, 界面活性剤 (Sodium dodecyl sulfonate, SDS) の添加や水熱合成温度の制御を行うことで, 結晶核形成速度および結晶成長速度を変化させ, MoVO の結晶サイズ制御を試みた. SDS の添加量は仕込み比で $\text{SDS} [\text{mol}]/(\text{Mo}+\text{V}) [\text{mol}] = x$ ($x=0, 0.15, 0.30, 0.60$) とし, 合成温度は 175°C または 230°C とした. 以下, 合成した触媒を MoVO-SDS_x (175 or 230) で表す. 合成した試料はいずれも同様の組成の MoVO であった. これらの触媒の諸物性 (組成, 結晶構造, 外表面積等) は反応前後でほとんど変化しなかった. 以下に示すキャラクタリゼーション結果は, 触媒反応の影響を受けた後の, 反応後の試料から得ている.

Fig. 2にエタン反応後の代表的な試料の SEM 像および各棒状結晶の軸径, 軸長の平均値を示す. SDS の添加や水熱合成温度の制御によって, MoVO の結晶サイズは大きく変化した. 175°C で合成した試料では, SDS を過剰に転化したとき ($\text{MoVO-SDS}_{0.60}$ (175)), 棒状結晶の軸径平均 (100個の結晶を測定) は SDS を添加していない場合の $0.40\mu\text{m}$ から $0.21\mu\text{m}$ まで減少した. 230°C で合成した試料は, 軸径平均が $0.76\mu\text{m}$ へと大きく増大した (MoVO-SDS_0 (230)). この温度で $x=0.15$ となるように SDS を添加すると ($\text{MoVO-SDS}_{0.15}$ (230)), 軸径平均は $1.04\mu\text{m}$ へとさらに大きく増大した. 一方, これらの結晶の軸長に対する軸径の比 (アスペクト比) は結晶サイズに関係なく, ほとんど同様であった. この事実は, 合成した試料が相似形であることを示している. 以上, SDS の添加や合成温度の制御により, 結晶核生成速度や結晶成長速度が変化し, 相似形で異なるサイズの結晶が得られたと結論した. 結晶サイズの変化による外表面積の変化は N_2 吸着測定の結果からも明らかであり, $1.2\sim 14.0\text{m}^2\text{g}^{-1}$ の範囲で触媒の外表面積を制御することができた. 続いて, エタン酸化反応後の各 MoVO に対しエタン吸着測定を行ったところ, 結晶サイズに関係なく, これらはいずれもほぼ同様のエタン吸着量を示した ($16.1\sim 18.8\times 10^{-3}\text{cm}^3\text{g}^{-1}$). 結晶構造から見積もられるマイクロ細孔容積の理論値は $22.4\times 10^{-3}\text{cm}^3\text{g}^{-1}$ である. 観測されたエタン吸着量は理論値と比べて若干小さい値となったが, それ

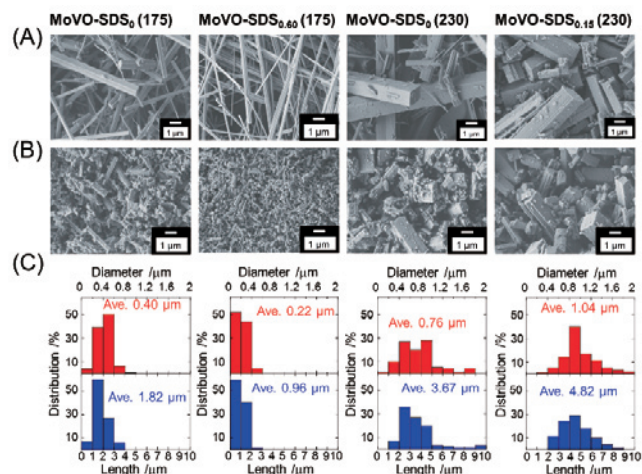


Fig. 2. SEM image of MoVO crystals. (A) Before the grind treatment. (B) After the ethane oxidation (after the grinding). (C) Histogram of the diameter (top) and length (bottom) of rod-shaped crystal measured after the ethane oxidation. Values shown on the histogram represent the average of 100 crystallites.

でも合成した試料がエタンを吸着できる7員環を有することは明らかである. 以上の実験から, 合成した試料は結晶構造, 組成, 結晶形状, およびマイクロ細孔容積がほぼ同様で外表面積のみが異なる MoVO であると結論した. Fig. 3にこれらが示したエタンおよびアクロレイン転化率と触媒の外表面積との関係を示す. 触媒反応条件は Fig. 3の脚注に示した. 生成物選択性は各 MoVO で変化はなく, エタン選択酸化反応では, エチレンが90%程度の選択率で生成し, 残りは酢酸, CO_x であった. アクロレイン選択酸化反応では95%程度の選択率でアクリル酸が生成し, 残りは酢酸, CO_x であった. アクロレインを基質に用いた場合, アクロレイン転化率は触媒の外表面積に大きく依存した. この事実は, アクロレインが触媒表面で転化していることを示している. MoVO-SDS_0 (175) に粉砕処理を行わなかった場合 (MoVO-SDS_0 (175 , ng)), アクロレイン転化率は大きく減少した. このことから, 粉砕処理によって露出した結晶断面 ($a-b$ 面) がアクロレインの転化に寄与していることが明らかとなった. 前述した4つの結晶相におけるアクロレイン選択酸化活性の比較も考慮し, アクロレインは触媒表面に露出した7員環で転化していると結論した. 反応性の高いアルデヒド基が7員環表面で効率的にトラップされ, 活性化されたと考えられる. 一方, エタンを基質に用いた場合, エタンの転化率は触媒の外表面積と関係なく, ほとんど同様であった. これはエタンが触媒表面で転化していないことを示している. 前述した4つの結晶相におけるエタン選択酸化活性の比較から, エタンの転化に7員環が必須であることは明らかである. 一方, MoVO-SDS_0 (175 , ng) が MoVO-SDS_0 (175) とほぼ同様の活性を示したことから, 粉砕処理により露出した $a-b$ 面はほぼ反応に関与しないことが分かる. さらに, 本実験で用いた反応条件において, 7員環が異元素で占有されている触媒がほとんど活性を示さないことも別途実験により明らかにしている¹⁷⁾. また, 拡散の影響を評価するために, 結晶サイズの大きく異なる3つの触媒 (軸径平均: $0.21\mu\text{m}$, $0.40\mu\text{m}$, $1.04\mu\text{m}$) を用いて触媒活性の接触時間依存性を評価した. その結果, これらの触媒の活性はいずれ

の接触時間においてもほとんど同様であった。以上の結果から、MoVOは7員環マイクロ細孔内で拡散の影響なくエタンを活性化し、エチレンを与えることが明らかになった。ここまでで得られた結果は、エタン選択酸化反応において、7員環マイクロ細孔内が7員環表面に比べて明らかに優れた触媒反応場として機能していることを示している。これにはマイクロ細孔中の電場の勾配による基質のC-H結合分極や、基質濃度の部分的な増大が関与していると思われる¹⁸⁻¹⁹⁾。

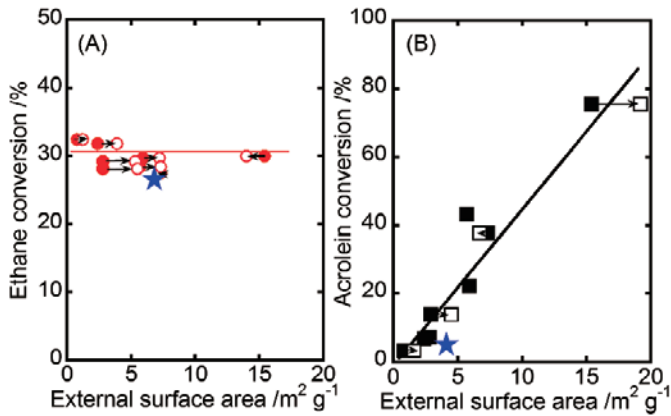


Fig. 3. Ethane (A) and acrolein (B) conversion as a function of the external surface area of MoVO catalysts. External surface area before (open symbols) and after (closed symbols) the reactions are plotted. Reaction condition of ethane oxidation: reaction temperature, 300°C; catalyst amount, 0.50 g; reaction gas, C₂H₆/O₂/N₂=5/5/40 ml min⁻¹. Reaction condition of acrolein oxidation: reaction temperature, 220°C; catalyst amount, 0.13 g; reaction gas, C₃H₄O/O₂/(N₂+He)/H₂O=2.5/8.0/71.0/18.5 ml min⁻¹. Star represents the catalytic activity of MoVO-SDS₀ (175, ng). External surface area of MoVO-SDS₀ (175, ng) after the reaction was plotted.

4. 7員環周りの局所構造とエタン選択酸化活性の関係

これまでの研究から、MoVOの7員環マイクロ細孔径が酸化還元処理により、連続的に、かつ可逆的に制御可能であることが明らかになっている。前述の通り、7員環はエタンを内部に取り込み活性化していることは明らかなので、7員環細孔径はエタン酸化活性に影響することが考えられる。そこで、MoVOに適切な酸化還元処理を行うことによってマイクロ細孔性質を変化させ、マイクロ細孔性質がエタン選択酸化活性に及ぼす影響を検討した。この目的のため、構造ユニット内からの格子酸素脱離量が異なる種々MoVOを調製し、キャラクタリゼーションを行った。格子酸素脱離量の測定にはTPR, TGを用いた。以下、調製した試料をMoVO(δ)(δ はMo₂₉V₁₁O₁₁₂からの酸素脱離量)とする。MoVO(0)は水熱合成後のMoVOを400°Cで2h空気焼成を行うことで得た。還元処理後に同じ条件で空気焼成を行って得た試料は、試料名の末尾にACを付けて表記している。酸化還元処理による不純物の生成は、XRD, IR, および Raman 測定では観測されなかった。

種々解析の結果、還元によって優先的に構造から脱離し、再酸化しても構造内に戻らない格子酸素と、還元によって連続的に脱離

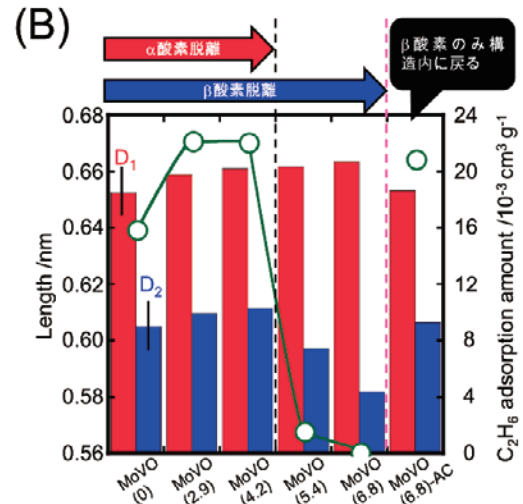
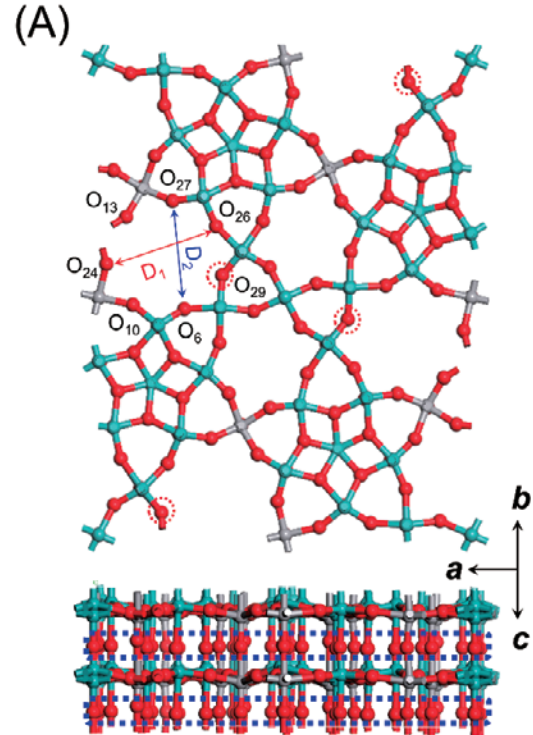


Fig. 4. (A) Crystal structure of MoVO. α oxygen (O₂₉) is marked with dot circle. β oxygen is marked with dot rectangle. (B) Left side: diameters of the heptagonal channel. Diameters were determined on the basis of the atomic positions of oxygen. Left bar, long axis (O₂₄-O₂₆, D₁); Right bar, short axis (O₆-O₂₇, D₂). Right side: ethane adsorption amount of MoVO with each reduction state measured by C₂H₆ adsorption and estimated by the Dubinin-Astakhov (DA) method (open circle).

し、可逆的に構造内に戻る格子酸素が存在することが分かった。以下、前者を α 酸素、後者を β 酸素とする。TPRスペクトルから、MoVO(4.2)までの還元で α 酸素は構造から脱離し終えることが示されている。Fig. 4にMoVOの構造モデル、Rietveld解析によって得られた構造モデルから算出した7員環マイクロ細孔の長軸径、短軸径、および種々還元度の異なるMoVOのエタン吸着量を示す。種々解析の結果、 α 酸素は7員環に面したペンタマーユニット内の架橋酸

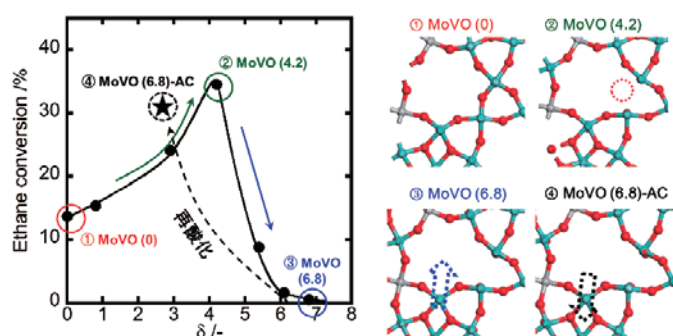


Fig. 5. Relationship between the crystal structure and ethane conversion measured at 10 min from the start of the reaction.

素, β 酸素は c 軸に結合したアキシシャル酸素であることが分かった. エタン吸着量は MoVO (0) ~ MoVO (4.2) では $15.8 \sim 22.1 \times 10^{-3} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ であり, 有意な差は観測されなかった. 一方, MoVO (5.4) 以上に還元した試料では, エタン吸着がほとんど観測されなかった. Rietveld 解析後の構造モデルから算出した7員環マイクロ細孔径について, 7員環長軸径は還元に伴って連続的に増大した. 一方, 7員環短軸径は MoVO (4.2) までの還元では連続的に増大したにもかかわらず, 以降の還元で大きく減少した.

XRD, IR, Raman 測定により, MoVO (5.4) 以上の還元で, $\{\text{Mo}_6\text{O}_{21}\}^{6-}$ 5員環ユニットの膨張に伴う $a-b$ 面の局所構造変化が観測された. MoVO (5.4) 以上の還元によって観測されるエタン吸着量の減少は, $\{\text{Mo}_6\text{O}_{21}\}^{6-}$ 5員環ユニットが膨張することで7員環が圧迫され, エタンが7員環細孔内にアクセスできなくなったことに起因すると考えられる. 再酸化処理を行った MoVO (6.8)-AC では, 7員環細孔径は還元前の MoVO (0) とほぼ同様となった. 実際, IR, Raman 測定でも, 再酸化処理によって $\{\text{Mo}_6\text{O}_{21}\}^{6-}$ 5員環ユニットが収縮することが示されている. 再酸化処理を行うと, α 酸素は構造内に戻らないまま, $\{\text{Mo}_6\text{O}_{21}\}^{6-}$ 5員環ユニットが収縮することによって7員環径が増大すると結論した. 以上の実験により, 還元度の異なる種々 MoVO の構造モデルが得られた (Fig. 5). Fig. 5に還元度の異なる MoVO を用いた反応開始10min 時点でのエタン転化率と δ の関係を示す. MoVO (0) のエタン転化率は13%程度であった. 還元処理を行った MoVO (2.9) では, エタン転化率は24%程度に増大した. さらに還元が進行した MoVO (4.2) ではエタン転化率は35%程度へと大きく増大した. しかし, これ以上の還元により, MoVO (5.4) では9%程度, MoVO (6.1), MoVO (6.8) ではほとんど0%と, エタン転化率は大きく減少した. エタン吸着実験から, MoVO (5.4) 以上の還元によって7員環細孔径が収縮し, エタンが細孔内にアクセスできなくなることが分かっている. エタンは7員環細孔内で転化することから, MoVO (5.4) 以上の還元で観測されたエタン酸化活性の減少は, エタンが細孔内にアクセスできなくなったことに起因する. MoVO (6.8)-AC のエタン転化率は MoVO (0) よりもはるかに高く, 31%程度であった. MoVO (0) と MoVO (6.8)-AC では結晶構造, 組成, および酸化状態がほぼ同じであり, 両者の違いは α 酸素の有無のみである. このことから, α 酸素が脱離することでエタン酸化活性が大きく増大することは明らかであろう. MoVO (0) と MoVO (6.8)-AC を用いてアレニウ

スプロットを取ったところ, α 酸素の脱離は活性化エネルギーに影響せず, 反応頻度因子のみを増大させることが分かった. この結果は α 酸素が脱離した構造がエタン転化における活性点構造であることを示している. 以上の結果を総合し, MoVO を用いたエタンの酸化に関して Fig. 6に示す反応スキームを提案した. エタンと酸素は反応中, 同時にマイクロ細孔に取り込まれる. この時, α 酸素欠損部位が存在するとエタンからの C-H 引き抜きに活性な酸素種が形成し, 効率的にエタンがエチレンへ転化する. 以上より, 7員環近傍の局所構造変化とエタン選択酸化反応における触媒活性の関係が明らかになった.

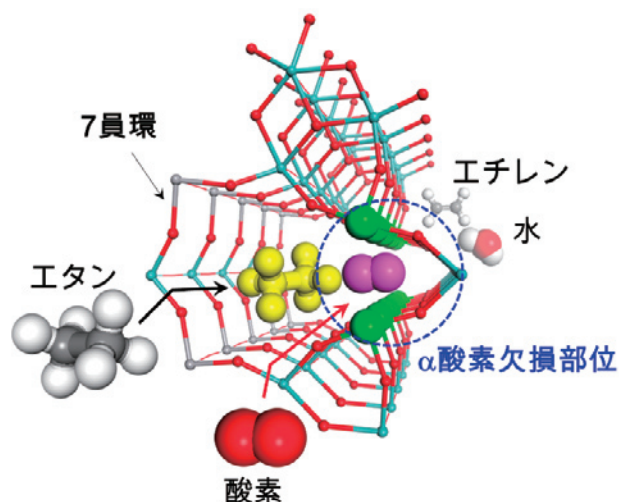


Fig. 6. Reaction image of ethane to ethene inside the heptagonal channel. Oxygen is activated at the α oxygen defect.

5. 結言

結晶性 Mo_3VO_x 複合酸化物 (MoVO) の触媒構造と選択酸化活性の関係について, その詳細を概説した. MoVO は $\{\text{Mo}_6\text{O}_{21}\}^{6-}$ 5員環ユニットと金属酸素八面体の配列によって構築され, これらの配列により, 結晶構造中には低級アルカンがちょうど取り込めるほどの大きさのマイクロ細孔が形成する. マイクロ細孔には, 5つの金属酸素八面体で構成されるペンタマーユニットが隣接し, このユニットは MoVO の結晶構造を保ったまま酸素欠損を形成できる. エタン選択酸化反応において, エタンはマイクロ細孔中に取り込まれ, 細孔中の電場勾配により C-H 結合が分極する. 同時に, ペンタマーユニットが形成する酸素欠陥が分子酸素を適度に活性化し, 活性化された酸素種はエタンから水素原子を引き抜く. このように, MoVO の極めて高い触媒機能は, マイクロ細孔に隣接した触媒活性点が高密度に周期的に配列していることに由来し, これは見事なまでに緻密に制御された結晶構造によってはじめて成し遂げられる. 触媒活性を分子レベルで理解することで, より高度な触媒設計が可能になれば, さらなる高活性な触媒の創出も可能であろう.

6. 文献

- [1] T. Katou, D. Vitry and W. Ueda, Hydrothermal synthesis of a new Mo-V-O complex metal oxide and its catalytic activity for the oxidation of propane, Chem. Lett., 32, 1028-1029 (2003)

- [2] W. D. Pyrz, D. A. Blom, M. Sadakane, K. Kodato, W. Ueda, T. Vogt and D. J. Buttrey, Atomic-scale investigation of two-component MoVO complex oxide catalysts using Aberration-Corrected High-Angle Annular Dark-Field imaging, *Chem. Mater.*, **22**, 2033-2040 (2010)
- [3] T. Lunkenbein, F. Girgsdies, A. Wernbacher, J. Noack, G. Auffermann, A. Yasuhara, A. K. Hoffmann, W. Ueda, M. Eichelbaum, A. Trunschke, R. Schlögl and M. G. Willinger, Direct imaging of octahedral distortion in a complex molybdenum vanadium mixed oxide, *Angew. Chem. Int. Ed.* **54** 6828-6631 (2015)
- [4] M. Sadakane, K. Kodato, T. Kuranishi, Y. Nodasaka, K. Sugawara, N. Sakaguchi, T. Nagai, Y. Matsui and W. Ueda, Molybdenum-vanadium-based molecular sieves with microchannels of seven-membered rings of corner-sharing metal oxide octahedra, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **47**, 2493-2496 (2008)
- [5] M. Sadakane, S. Ohmura, K. Kodato, T. Fujisawa, K. Kato, K. Shimidzu, T. Murayama and W. Ueda, Redox tunable reversible molecular sieves: orthorhombic molybdenum vanadium oxide, *Chem. Commun.*, **47**, 10812-10814 (2011)
- [6] W. Ueda, Establishment of crystalline complex Mo-V-Oxides as selective oxidation catalysts, *J. Jpn. Petrol. Inst.*, **56**, 122-132 (2013)
- [7] F. Wang and W. Ueda, Aerobic oxidation of alcohols over novel crystalline Mo-V-O oxide, *Appl. Catal., A*, **346**, 155-163 (2008)
- [8] N. Watanabe and W. Ueda, Comparative study on the catalytic performance of single-phase Mo-V-O-based metal oxide catalysts in propane ammoxidation to acrylonitrile, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **45**, 607-614 (2006)
- [9] C. Qiu, C. Chen, S. Ishikawa, T. Murayama and W. Ueda, Crystalline Mo-V-W-mixed oxide with orthorhombic and trigonal structures as highly efficient oxidation catalysts of acrolein to acrylic acid, *Top. Catal.*, **57**, 1163-1170 (2014)
- [10] C. Chen, K. Nakatani, T. Murayama and W. Ueda, Single-crystalline-phase Mo₃VO_x: an efficient catalyst for the partial oxidation of acrolein to acrylic acid, *ChemCatChem.*, **5**, 2869-2873 (2013)
- [11] T. Konya, T. Katou, T. Murayama, S. Ishikawa, M. Sadakane, D. Buttrey and W. Ueda, An orthorhombic Mo₃VO_x catalyst most active for oxidative dehydrogenation of ethane among related complex metal oxides, *Catal. Sci. Technol.*, **3**, 380-387 (2013)
- [12] M. Sadakane, N. Watanabe, T. Katou, Y. Nodasaka and W. Ueda, Crystalline Mo₃VO_x mixed-metal-oxide catalyst with trigonal symmetry, *Angew. Chem., Int. Ed.*, **46**, 1493-1496 (2007)
- [13] S. Ishikawa, X. Yi, T. Murayama and W. Ueda, Heptagonal channel micropore of orthorhombic Mo₃VO_x as catalysis field for the selective oxidation of ethane, *Appl. Catal., A*, **474**, 10-17 (2014)
- [14] S. Ishikawa, X. Yi, T. Murayama and W. Ueda, Catalysis field in orthorhombic Mo₃VO_x oxide catalyst for the selective oxidation of ethane, propane and acrolein, *Catal. Today*, **238**, 35-40 (2014)
- [15] S. Ishikawa, D. Kobayashi, T. Konya, S. Ohmura, T. Murayama, N. Yasuda, M. Sadakane and W. Ueda, Redox treatment of orthorhombic Mo₂₉V₁₁O₁₁₂ and relationships between crystal structure, microporosity and catalytic performance for selective oxidation of ethane, *J. Phys. Chem. C*, **119**, 7195-7206 (2015)
- [16] S. Ishikawa and W. Ueda, Microporous crystalline Mo-V mixed oxides for selective oxidations, *Catal. Sci. Technol.*, **6**, 617-629 (2016)
- [17] S. Ishikawa, T. Murayama, M. Kumaki, M. Tashiro, Z. Zhang, A. Yoshida and W. Ueda, Synthesis of trigonal Mo-V-M^{3rd}-O (M^{3rd}=Fe, W) catalysts by using structure-directing agent and catalytic performances for selective oxidation of ethane. *Top. Catal.*, **59**, 1477-1488 (2016)
- [18] G. Sastre and A. Corma, The confinement effect in zeolites, *J. Mol. Catal. A -Chem.*, **305**, 3-7 (2009)
- [19] C. M. Z. Wilson, A. Corma and P. Viruela, Electronic confinement of molecules in microscopic pores. A new concept which contributes to the explanation of the catalytic activity of zeolites. *J. Phys. Chem.*, **98**, 10863-10870 (1994)

台所の近代化と住まいに纏わる衛生論、能率論の実践に関する研究

須崎 文代*

Several Studies on the Modernization of the Kitchen, the Logic and Practice of Hygiene and Efficiency of the Habitat in the Modern Times.

Fumiyo SUZAKI*

1. はじめに

本年4月、建築学科建築史研究室の特別助教に着任いたしました。私の研究分野は近代建築史で、とくに住宅史、台所史、生活史、専門としております。2014年3月に本学大学院建築学専攻博士後期課程にて学位を取得し、それ以降、近代住宅史関連の調査研究を進めております。

本稿では、2006年以来、継続している台所の近代化に関する研究をはじめ、近年取り組んでいる研究課題を幾つか紹介させていただきます。研究対象はいずれも近代における住まいや住環境の変容に関するものです。近代化の過程で営まれる生活に取り入れられてきた新しい理論や技術革新などに着目し、それらの導入と具体的な形態の関わりを技術史、衛生学、家政学など関連領域に目を向けてひもどくことで、住まいや生活の変化を明らかにすることを目指しております。

2. 日本の台所の近代化に関する研究

わが国の住宅は、幕末・明治期以降の近代化のなかで大きく変化しました。とりわけ台所は、そうした変化が顕著にあらわれた空間のひとつです。私はこの台所という空間の近代化に着目し、学位論文「明治・大正・昭和初期の検定済高等女学校用家事教科書にみる日本の台所の近代化に関する研究」(2014年3月)¹⁾で、明治期から昭和初期における住宅の台所空間の変遷とそこに通底した理論について明らかにしました。台所の歴史については、それまでもいくつかの著名な研究蓄積がありましたが、近代における動向については、それが現代に繋がる重要な動向であるにも拘わらず、未明な点が多く残されていました。そこで、本研究では「生活」と「技術」の関係にまず着眼し、2010年度より研究課題「技術革新からみた台所の変遷に関する研究—明治・大正・昭和の都市住宅を中心として—」(科学研究費補助金特別研究員奨励費)として当該課題に着手しました。S. ギーディオンは『機械化の文化史』のなかで生活に関わる諸設備や道具の機械化と空間の変化を扱っていますが、本研究もこうした技術革新とその家庭内受容という視点から、台所空間と生活行為の変化を明らかにしようとしたものです。当時の家庭生活を継続的に記録した史的資料には厳しい制約があるなかで、本研究では女学校教育で用いられた「家事教科書」に着目し、明治期から昭和初期までに刊行された検定済家事教科書128冊のうち103冊を全国的に蒐集し、基本資料として扱いました。この資料には台所のあ

り方や改善の方法など、その時代の考え方が一定の水準で記述され、図版も豊富に掲載された貴重な情報を集積した資料です。

具体的な分析としては、まず、床の上に膝をついて調理する蹲踞式と称される作業様式が、立った姿勢で作業を行う立働式へと明治後期以降に改められ始め、その変化とともに台所の調理設備の高さやデザインが変化したことを明らかにしました(図1、表1)³⁾。またその変化の根底には、「衛生」と「能率」という2つの理念が骨子として通底していたことを指摘し⁴⁾、それぞれに着目した諸形態に関する具体的な分析を行いました。例えば「衛生」では、流し台を含む上下水、採光、換気、内装の仕上げ材料など、「能率」については、台所と食事室との隣接関係や台所空間の広さ、調理設備の配置形式、流し台の高さなどを対象として、変化の動向を明らかにしました。

その上で、上記のさまざまな項目についての分析結果をもとに、日本の台所近代化において収斂した台所形態の型としては、

- i. 「台所—茶の間・食事室、台所—浴室の隣接形式」
- ii. 「作業の床上化と土間の縮小(消失)」
- iii. 「台所設備の集約化・一体化」
- iv. 「外壁面におけるI型配置」

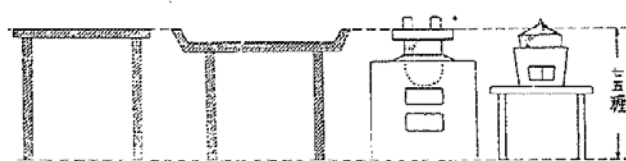


図1 調理設備の作業面の高さを揃える試み
(越智キヨ『修訂新時代家事教本』1932)

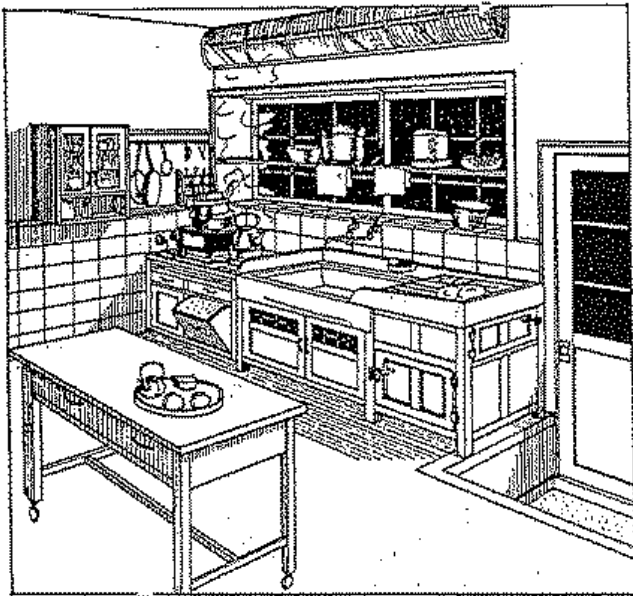
表1 流し台の作業面の高さ

通番	発行年	記述内容	値(cm)
47	1918	二尺三寸乃至五寸	69.69-75.75
87	1930	80-85cm	80-85
93	1930	七十二三糎位	72-73
95	1930	二尺四寸	72.72
100	1932	七十五糎	75
118	1939	75cm	75

*助教 建築学科
Assistant Professor, Dept. of Architecture

という4つに特徴づけられることを指摘し、戦後になって本格的に普及するシステムキッチン等の一体的設備やダイニング・キッチンという台所空間の形態の素地は、殆どすべて戦前期に形成されていたことを示しました。

また、この研究で明らかとなった日本の台所空間の特質は、国外の事例と同時代的進行した傾向ではあるものの（たとえば、クリスティン・フレデリックがテイラーシステムを家事労働に応用してデザインしたキッチンや、フランクフルト・アム・マインのジードルンクに採用されたマルガレーテ・シュッテ＝リホツキーの設計したフランクフルト・キッチンなど）、日本の住宅の狭小性や湿気の多い気候にもとづく独自の衛生観によって、極めて合理性の高い台所のデザインが戦前期に形成されていたことを論証しました。そのうち、もっとも代表的な形態のひとつは、一面に開口部を有する外壁面に沿って、流し台・調理台・火器台が一体となった設備を配置する形式（図2）で、開口部による採光・換気と、作業の合理性を実現することを可能にしたものです。この形態は、その後、戦後の戸建てあるいは集合住宅の台所に広く見られるもので、その素地が戦前期にすでに形成されていたことは注目に値する動向といえます。



(一) 備設の所臺

図2 普及した台所形態の例（井上秀子『現代家事教科書』S10年）

以上の、学位論文での検証をもとに、現在も台所の近代化に関する研究を継続しています。

3. 明治・大正期の日本およびイギリスの住居衛生論に関する研究
台所の近代化を分析した結果浮かび上がった「衛生」と「能率」という二つの骨子となる理念のうち、まず「衛生」面の動向に着目して、わが国の住居論の形成過程を明らかにする研究に着手しました。特に、2016年度より「大江スミのイギリス留学による明治期の住居衛生論の導入と国内での展開に関する研究」（科学研究費助成事業若手研究（B）研究代表者：須崎文代）⁶において、当時、衛生先進国であったイギリスの衛生事情と、それを女子教育者として学び、国内に持ち帰った大江スミ（旧姓名・宮川寿美子）の活動や著

作に着目した調査研究を進めております。本研究については、動向について検討を進めている最中ですが、イギリスを中心とした同時代の欧州の衛生事情や、住環境（特に労働者や庶民の住宅）を改善するための施策が、上下水などの生活インフラから、田園都市に代表されるユートピア的な住環境形成の理念、あるいは具体的なパイピングや換気装置、水洗便器といった設備まで、さまざまなレベルで影響を受けたことが分かってきています。

日本国内では、幕末以降、コレラやチフスといった急性伝染病が蔓延し、都市（公）と住まい（私）という両面からの衛生環境の改善が急務でした。さらに、繊維工業を中心とした工業化が進んだことで、都市部における庶民の住環境の過密化や、労働者の宿舎における結核の蔓延などが加速的に進行し、さらに住居衛生の改善が求められることとなりました。そうした時代に、衛生先進国であるイギリスから学んだ住居論は、わが国の住まいの変化に大きく影響したといえ、イギリスの衛生論を戦前期の日本の住宅改善でどう取り入れたのかを明らかにすることを目指しております（図3、4）。その過程での取捨選択が、日本の住まいや都市の環境を方向づけたと考えられるのです。

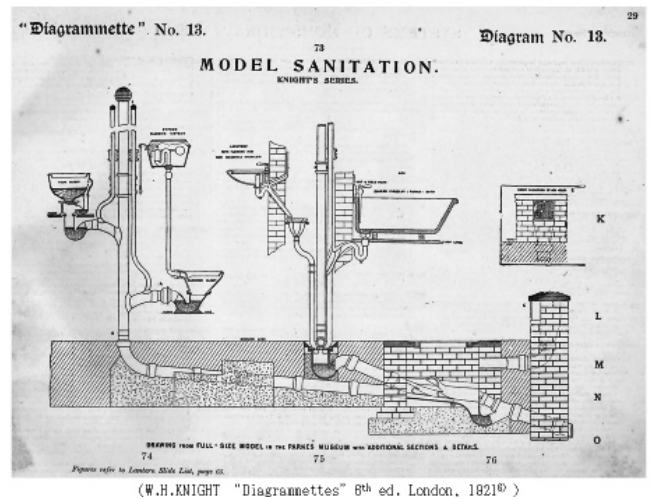


図3 W.H.KNIGHT “Diagrammettes” 6th ed. London, 1921⁶⁾

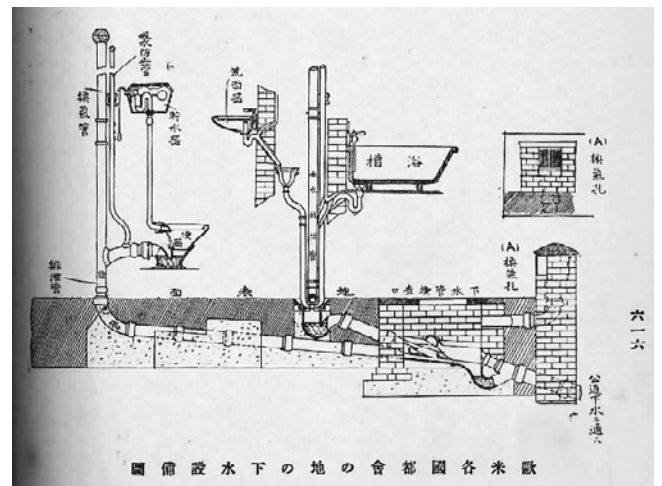


図4 上図3に酷似した大江スミ『應用家事精義』中の給排水設備の図版

4. 人間工学の萌芽的動向に関する研究

台所の近代化に関する研究で注目したもうひとつの理念＝「能率」に関して調査を進めています。日本国内では特に大正期以降に「作業能率」という考え方が注目され始めました。それに基づいて、炊事労働を能率的に処理するための、台所空間のコンパクト化（なるべく動かずに作業ができるような工夫）や流し台・調理台等の作業面の高さや作業動線の能率化など、具体的なデザインの模索へと展開されていく傾向が明らかとなりました。作業面の高さでいえば、「腰を曲げないで作業ができる」という緩やかな捉え方から、やがて「主婦の臍高よりやや低く」という具体的な身体的特徴との関係から基準が設定され、さらに「70～75cm」というような明確な数値の設定へと変化していきます⁷⁾。

そこで、この大正期から昭和初期に生まれた、人間の身体的特徴にもとづいて建築や設備各部の寸法を決定しようとする人間工学研究の萌芽に着目し、いつ、だれが、どのようなことに取り組んだのかといった点を明らかにする調査研究を進めています。人間工学的研究の黎明としては、ギルブレス夫妻による動作研究（図⑤）⁸⁾が著名ですが、日本国内における同分野の動向は殆ど明らかになっておらず、文献調査を中心に研究を進めてまいりました。

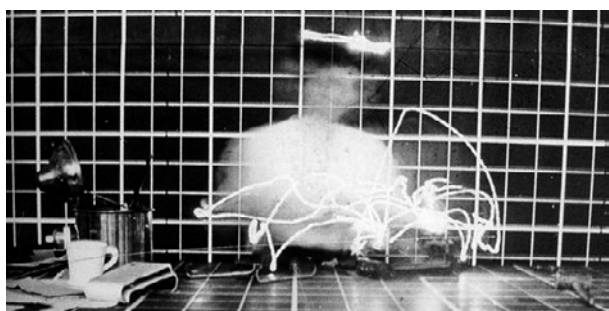


図5 ギルブレス夫妻の動線実験
(The Films of Frank Gilbreth 1908-1924)

これまでの調査の結果、当時の人間工学は、医学と工学を跨ぐようなかたちで展開され、とりわけ大阪市立衛生試験所で技師を務めた医学博士・野村禎一によるエルゴグラフの先駆的研究が最初期のものと考えられることが判明しました。野村による実験（図6）と導き出された数値設定基準などの成果（表2）については、建築学会大会で報告しております⁹⁾が、こうした医学・衛生分野での取り組みやテイラーシステムのような能率論が具体的な空間や設備の

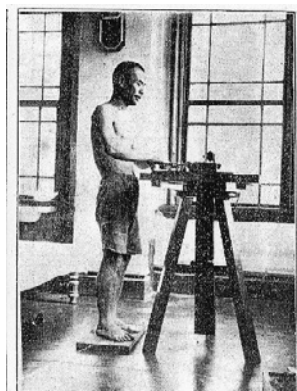


図6 野村によるエルゴグラフ実験時の写真

表2 成人女子の実験結果

身長	好適作業面高	臍高	差
尺 4.60—4.69	尺 2.65	2.69	尺 0.04
4.70—4.79	2.68	2.76	0.08
4.80—4.89	2.69	2.81	0.12
4.90—4.99	2.73	2.87	0.14
5.00—5.09	2.75	3.94	0.19
5.10—5.19	2.80	3.01	0.21

形態に落とし込まれた様子を明らかにするために、建築分野における実践についても更に調査研究を継続しています。ここで展開されたのは、時間・人間・空間の三者の関係を合理的に位置づけようとした近代の試みであり、それが家庭生活のレベルに波及した経緯を明らかにすることは非常に重要であると考えております。

5. 国内外の「生活共同体」と「共同炊事」に関する研究

明治期から大正期にかけて、衛生論や能率論がもっとも重視された空間のひとつに、工場とそこで働く労働者の住宅が挙げられます。特にわが国では繊維工業を主力産業としたことから、地方出身の女性労働者が寄宿舎で集団生活を送りました。そこでの生活環境は『女工哀史』¹⁰⁾で知られるように劣悪なものであり、結核をはじめとする伝染病や栄養不足による脚気等が、国民病とも称されるほどに蔓延していました。工場経営者側から見れば、生産効率を高めるために労働者の健康管理は重要な問題で、労働者からすればなおさら、労働環境や住環境が改善されることは願ってもないことでした。

そうした国家的問題ともいえる状況に着目したのが、栄養学の父と称される佐伯矩（さいきただす・1876—1959）でした。彼は、当時まだ殆ど普及していなかった「栄養」（当時は「營養」とも表した）を科学的に体系化し、それを国民の健康管理といった実際の生活に至るまで実践的に取り組んだ人物で、国立栄養研究所設立の立役者となり、設立後は所長を務めました。こうして佐伯が取り組んだ事業のうち、「共同炊事」という食糧供給をある一定の共同体で賄おうとする取り組みに着目して、研究を行っています¹¹⁾。日本国内での動きはこれまで殆ど知られてきませんでした。特に、大正期以降に工場労働者の食事供給を、合理的かつ栄養価の高いものにするために、繊維工場の組合を中心として実践され始めました。



図7 吾孺栄養食共同炊事場の作業風景
(出典『工場食の改善と工場栄養食共同炊事場』1938)

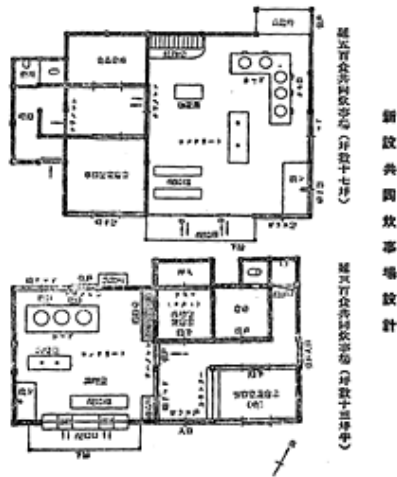


図8 共同炊事場の計画モデル（出典『共同炊事』）

そこでは、大中小さまざまな規模の共同炊事場が建設され（図7, 8）、現在の給食センターのように大量の食事が調理・供給されました。「共同炊事」は、19世紀アメリカのランフォードキッチンなどでも実践されましたが、前記の共同炊事場のように全国的に展開された事例は、世界でも極めて先駆的であったことが当時の新聞等で紹介されています。

以上のような、よりよい生活を実現しようとする社会的な取り組みや「生活共同体」の実践についての検討は、今後の我々の生活を考えるうえでさらに重要な知見を呈するものと考えられ、特に住まいとの関係から解き明かす研究を継続的に展開する予定であります。

6. その他の調査研究

その他、近年取り組んでいる調査研究は以下のような課題が挙げられます。いずれも、住まいの近代化を明らかにしようとするもので、これらの調査研究で明らかとなった知見が、各動向を総体的に捉えるうえでも相互に有益なものとなっています。

- ・大正・昭和初期のトロッケン・パウ（乾式構法）の理論と普及に関する研究（文化学園大学住環境研究所研究助成）¹²
- ・建造物の保存修復に関する研究（白楽駅前に現存する市原邸の建築概要と歴史的価値について¹³白金台に現存する旧渡辺甚吉邸の建築概要と保存のための活動¹⁴など多数）
- ・上海在華紡の社宅地と労働者住宅に関する研究（学内非文字資料研究センター租界研究班研究課題）
- ・ブラジル・レジストロにおける日系移民住宅に関する研究（科学研究費助成事業代表者：佐野賢治）¹⁵
- ・建築家吉田五十八の住宅作品にみる上中流住宅の水まわり空間に関する研究（住総研2016年度助成研究）¹⁶

以上、本稿では概略的な内容にとどまりましたが、研究紹介とさせていただきます。今後、共同研究の可能性などございましたら、ぜひお声掛けいただければ幸いです。

【註】

1 拙稿「明治・大正・昭和初期の検定済高等女学校用家事教科書にみる日本の台所の近代化に関する研究」学位論文（神奈川大学）2014年3月

- 2 Sigfried Giedion “Mechanization Takes Command” 1948. (『機械化の文化史』)
- 3 拙稿「台所における立働式導入と調理設備の作業面の高さについて—明治・大正・昭和初期の検定済高等女学校用家事教科書にみる日本の台所の近代化に関する研究—」日本建築学会計画系論文集78（694），pp.2647-2656，2013年12月
- 4 拙稿「家事教科書における台所の位置づけと台所関連記述の主題—明治・大正・昭和初期の検定済高等女学校用家事教科書にみる日本の台所の近代化に関する研究—」『生活学論叢』25，23-36，2014年9月
- 5 拙稿「住宅用台所における仕上材料の変化の動向について：明治・大正・昭和初期の検定済高等女学校用家事教科書にみる台所の形態的变化に関する考察」『日本建築学会技術報告集』第20巻第45号，p.p.785-790，2014年6月
- 6 須崎文代（代表），大江スミのイギリス留学による明治期の住居衛生論の導入と国内での展開に関する研究，平成28年度～平成30年度科学研究費補助金，若手研究（B），課題番号16K18222
- 7 前掲註2および須崎文代・内田青蔵・藤谷陽悦・安野彰「明治期から昭和期にかけての家事教科書にみる台所流し台の高さの変遷—立働式の導入から戦後の標準寸法まで—The changes in the height of kitchen sink from Meiji to Showa era in authorized textbooks on home economics」『第4回国際シンポジウム「日本の技術革新—理工系における技術史研究—」講演集・研究論文発表会論文集2008年度』pp.119-122，国立科学博物館2008年12月11日
戦後のJIS規格のワークトップ高さ制定に至る基準が戦前（昭和期を中心）に模索されていたことを示す。なお、現在のキッチン設備の高さは、JISA0017およびISOでは800, 850, 900, 950の4種。
- 8 Frank and Lillian Gilbreth, The Motion Study
- 9 拙稿「医学博士・野村禎一による作業能率に関する先駆的研究についての—考察」日本建築学会大会（九州）学術講演梗概集（福岡大学）2016年8月
- 10 細井和喜蔵『女工哀史』改造社1925年
- 11 拙稿「大正期から昭和初期における共同炊事場の展開と建築的特徴—栄養学に基づく佐伯矩の取り組みに着目して—」『生活文化史71』pp.3-35，2017年3月
- 12 安野彰，須崎文代「戦前の日本における乾式構法住宅の研究と普及に関する研究」文化学園大学住環境学研究所2016年度研究助成
- 13 須崎文代，内田青蔵「横浜市神奈川区白楽に現存する市原邸の建設経緯と建築概要について」日本建築学会2017年度大会発表梗概集，pp.231-232，広島工業大学，2017.9
- 14 「旧渡辺甚吉邸サポーターズ」活動（内田青蔵，栗生はるか，須崎文代，高村雅彦，津村泰範，中谷礼仁）2017年5月より現在に至る。 <https://jinkichihouse.wordpress.com/>
- 15 佐野賢治（代表）他「ブラジル日本人入植地の歴史民俗学的研究」科学研究費補助金基盤研究（B），課題番号15H05172，須崎はブラジル・レジストロ市に現存する初期移民住宅の遺構調査に協力。
- 16 安野彰，大井隆弘，須崎文代，田中和幸，水野僚子「大正・昭和期の都市上中流住宅における水まわり空間の変容過程—吉田五十八による住宅作品の設備関連図面を基本資料として—」一般財団法人住総研2016年度研究助成

逆2乗ポテンシャル付き非線形シュレディンガー方程式の散乱問題

鈴木 敏行*

Scattering problems for Nonlinear Schrödinger equations with an inverse-square potential

Toshiyuki SUZUKI*

1. はじめに

非線形シュレディンガー方程式は超流動や超電導 (Bose-Einstein 凝縮), 光ファイバー内の信号の伝播, 流体中の渦糸の運動, 非調和結晶中の熱パルスなど, 分散効果の強い波動現象を記述する, 時間と空間とを変数にした偏微分方程式の1つである. 筆者はこれに逆2乗ポテンシャル (inverse-square potentials) を摂動した問題に対して解の存在をはじめとする様々な研究を進めている. このポテンシャルは量子力学 (Calogero-Moser 系), conic manifold における波の伝播, 燃焼理論など数多くの物理現象に登場する. また, 数学的に興味深い問題が介在しており, 近年盛んに研究されている. この問題に対して筆者による最近の研究成果を中心に論述したい. これ以降は非線形項が Hartree 型である次の方程式に限定する.

$$(HE) \quad i \frac{\partial u}{\partial t}(t, x) = -\Delta u(t, x) + \frac{a}{|x|^2} u(t, x) + \lambda u(t, x) \int_{\mathbb{R}^N} \frac{|u(t, y)|^2}{|x-y|^\gamma} dy.$$

ただし, $i = \sqrt{-1}$ は虚数単位, 空間次元は $N \geq 3$,

$$|x| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \cdots + x_N^2},$$

$$\Delta = \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \cdots + \frac{\partial^2}{\partial x_N^2},$$

$$a \geq -a(N) = -\frac{(N-2)^2}{4}, \quad 0 < \gamma < \min\{N, 4\}.$$

また, λ は実数である. (HE) は Hartree 方程式や Choquard-Pekar 方程式とも呼ばれる. (HE) の最終項は Hartree 型非線形項といい,

$$g(u) = \lambda u (|x|^{-\gamma} * |u|^2)$$

と略記されることが多い. これは物理学的には重要なものであり, 非局所的相互作用を表す典型例である. これは, 多体シュレディンガー方程式の準古典近似や, プラズマに対する Hartree-Fock 近似をすることにより現れる. 一般に非線形偏微分方程式の研究ではべき乗型, 例えば

$$g(u) = \lambda |u|^{p-1} u$$

などをはじめとする局所的相互作用を意味する非線形性を考察することが多い. しかし, 非線形シュレディンガー方程式に対してはポテンシャルの有無にかかわらず両者ともに研究対象であり, それぞれに数多くの結果が得られている.

シュレディンガー方程式に対する重要な性質は保存則の成立で

ある. 例えば, (HE) に対しては

$$\|u(t, x)\|_{L^2}^2 = \|u(0, x)\|_{L^2}^2, \quad E(u(t)) = E(u(0)).$$

また, virial 等式と呼ばれる, 非線形シュレディンガー方程式の研究には欠かせない関係式も成立する:

$$\frac{d^2}{dt^2} \|xu(t, x)\|_{L^2}^2 = 8P(u(t, x)).$$

ただし, 以上までに登場した汎関数は

$$\|v(x)\|_{L^2}^2 := \int_{\mathbb{R}^N} |v(x)|^2 dx,$$

$$Q(v) := \frac{1}{2} \int_{\mathbb{R}^N} [|\nabla v(x)|^2 + \frac{a}{|x|^2} |v(x)|^2] dx,$$

$$G(v) := \frac{\lambda}{4} \iint_{\mathbb{R}^N \times \mathbb{R}^N} \frac{|v(x)|^2 |v(y)|^2}{|x-y|^\gamma} dx dy,$$

$$E(v) := Q(v) + G(v), \quad P(v) := 2Q(v) + \gamma G(v).$$

逆2乗ポテンシャルの数学的特徴を見よう. まず, a の条件は次に示す作用素が非負自己共役である必要十分条件である:

$$P_a := -\Delta + a|x|^{-2} \text{ in } L^2.$$

閾値が明記できるのは, $N \geq 3$ で成立する Hardy の不等式

$$a(N) \int_{\mathbb{R}^N} \frac{|v(x)|^2}{|x|^2} dx \leq \int_{\mathbb{R}^N} |\nabla v(x)|^2 dx$$

が次の意味で最良だからである: 左辺の係数 $a(N)$ を少しでも大きくすると, 逆向きの不等式が成立する零でない関数が存在する. とここで, 作用素の非負性はシュレディンガー方程式に限らず偏微分方程式の研究で重要な役割を果たす. 一方, 自己共役性はシュレディンガー方程式の研究に必要不可欠である. 特に, Stone の定理によれば自己共役性は線形シュレディンガー方程式の可解性に対する必要十分条件である. 量子力学ではハミルトニアン自己共役性は本質的な仮定であることにも注意する. さて, 伸張関係式

$$P_a[v(\mu x)] = \mu^2 (P_a v)(\mu x)$$

が成立するため, 逆2乗ポテンシャルの効果を無視することはできない. その影響が非負自己共役性の限界の登場と考えてもよからう. 更に, エネルギー汎関数 $E(v)$ の定義域

$$X := D((1 + P_a)^{1/2})$$

が a の値によって異なる. 実際, $a > -a(N)$ のときはよく知られたソボレフ空間

$$X = H^1 = \{v \mid v, \nabla v \in L^2\}$$

*助教 数学教室

Assistant Professor, Dept. of Mathematics

であるが, $a = -a(N)$ のときはそれよりも若干広い関数のクラスである. そのため解析が難しいと思われていたが, 筆者らはエネルギー法を開発し⁽⁵⁾, エネルギー空間 X を解析することで, 解の存在証明に至ったのである⁽⁸⁾. エネルギー空間の解析にはガンマ関数の性質が重要であることは補足しておきたい:

$$\|(-\Delta)^{s/2} u\|_{L^2} \leq \frac{\Gamma((N+2s)/4)\Gamma((1-s)/2)}{\Gamma((N-2s)/4)\Gamma((1+s)/2)} \|P_{a(N)}^{s/2} u\|_{L^2}, \quad 0 < s < 1.$$

なお, エネルギー法は解の存在しか得られないため, 一意性などは Strichartz 不等式を利用しなければならない. (HE) に対応するものは^[1]にて本質的な結果が得られている. Strichartz 不等式は空間だけでなく時間についても積分した量に対する不等式である.

$$\|\exp(-itP_a)u_0\|_{L^2(L^2)} \leq C\|u_0\|_{L^2}.$$

実は, 非線形シュレディンガー方程式の解の一意存在は Strichartz 不等式を利用し, 縮小写像の原理に基づいて証明することが標準的である. しかし, 逆2乗ポテンシャルが摂動された問題には解の存在に a ないし γ に余計な条件を課す必要があることがわかっており, 良い方法とは言えないのが現状である⁽⁴⁾.

定理1 (解の存在)

(1) (see^[6,8]) $u(0) \in X$ とする. このとき, 次の意味での時間局所解が一意に存在する:

$$u(t, x) \in C([-T, T]; X) \cap C^1([-T, T]; X^*).$$

ただし, X^* は X の双対空間である.

(2) (see^[7,10]) $u(0) \in \Sigma := X \cap D(|x|)$ であれば, (1)の時間局所解は連続である.

(3) (see^[6,8]) $\lambda > 0$ または $\lambda < 0$, $0 < \lambda < 2$ とする. このとき, (1)の時間局所解は時間大域解に延長できる ($T = \infty$).

(4) (see^[7,10])

$$\lambda < 0, \gamma > 2, E(u(0)) < 0, xu(0) \in L^2$$

とする. このとき(1)の時間局所解は有限時刻で爆発する.

2. 散乱問題

この節では特に断らない限り $\lambda > 0$ に限定する. このとき時間大域解の性質, 特に $t = \pm\infty$ の挙動を考察する. 保存則及び虚数の影響で解は振動する. そこで, その振動が $\lambda = 0$ の解に相当する

$$\exp(-itP_a)u_0(x)$$

と同じか否かを考える. 解 $u(t, x)$ の振動がこれと同じであれば, それを打ち消したものの極限

$$(FC) \quad \lim_{t \rightarrow \pm\infty} \exp(itP_a)u(t, x) = u_{\pm}(x)$$

の存在を期待する. $u(0) \in Y$ なるすべての (HE) の解に対し極限 (FC) が確定するとき, (HE) は Y で漸近自由という. その一方で逆問題として「(FC) を満たすような (HE) の時間大域解 $u(t, x)$ が存在するか」も考える必要がある. 存在すれば対応

$$W_{\pm} : u_{\pm}(x) \mapsto u(0, x)$$

が定められ, これを (HE) の波動作用素という. 今は $+\infty$ の方向だけ考えたが $-\infty$ の方向を考えてもよい. このとき量子力学で重要な役割を演じる散乱作用素

$$S = W_{+}^{-1} \circ W_{-}$$

が構成できる. このような極限 (FC) に関わる問題を散乱問題と

いう. $a = 0$ の場合には詳しく研究されている.

定理2 ($a = 0$ に対する散乱問題)

(1) (see^[3]) $\gamma > 1$ であれば

$$\Sigma = X \cap D(|x|) = \{v \mid v, \nabla v, xv \in L^2\}$$

において漸近自由である. また, 波動作用素が Σ 上で構成できる.

(2) (see^[2]) $\gamma \leq 1$ ならば漸近自由にはならない. 詳しく言うと, (FC) を更に修正すれば極限が確定する.

Hayashi-Tsutsumi^[3] による方法は方程式 (HE) と終値条件 (FC) とを適当な変換を施した問題を解くものである. 擬共形変換

$$u(t, x) = (it)^{-\frac{\gamma}{2}} \exp\left(\frac{i|x|^2}{4t}\right) v\left(\frac{1}{t}, \frac{x}{t}\right)$$

を用いて変換すると (HE) は

$$i \frac{\partial v}{\partial t}(t, x) = P_a v(t, x) + t^{\gamma-2} g(v(t, x))$$

と変換される. 一方, (FC) は

$$v(0, x) = i^{-N/2} \exp(itP_a) \exp(i|x|^2/4) \exp(itP_a) \overline{u_{\pm}(x)}$$

と $v(t, x)$ の初期条件を与える形に変換された. なお, この変換が正しく機能するためには空間遠方での強い減衰を仮定した重み付きエネルギー空間 Σ で考えなければならない. (HE) に対する散乱問題を解決するため, $v(t, x)$ に対する偏微分方程式の初期値問題に対し解の存在を示したり, $t=0$ における連続性を調べたりする. そのために筆者は非自励系の非線形シュレディンガー方程式に対するエネルギー法を開発した⁽¹¹⁾. (HE) に対応する結果を書き下したものが次の定理である.

定理3

(1) $\theta \geq 0$, $v(0) \in X$ とする. このとき,

$$i \frac{\partial v}{\partial t}(t, x) = P_a v(t, x) + t^{\theta} g(v(t, x))$$

の時間局所解が次のクラスで一意に存在する (λ が負でもよい):

$$v(t, x) \in C([0, T]; X) \cap C^1([0, T]; X^*).$$

更に, 次のエネルギー関係式が成立する:

$$\|v(t, x)\|_{L^2}^2 = \|v(0, x)\|_{L^2}^2,$$

$$\frac{d}{dt} [Q(v(t, x)) + t^{\theta} G(v(t, x))] = \theta t^{\theta-1} G(v(t, x)).$$

(2) $v(0) \in \Sigma$ であれば, (1)の時間局所解は Σ で連続である.

(3) $\lambda > 0$, または $\lambda < 0$, $0 < \gamma < 2$ とする. このとき, (1)の時間局所解は時間大域解に延長できる ($T = \infty$).

これを (HE) に対する散乱問題に換言すれば以下ようになる.

定理4 (散乱問題)

(1) $\gamma > 2$, $u_{\pm} \in \Sigma$ とする. このとき (FC) を満たすような (HE) の時間大域解が一意に存在する. 従って, 波動作用素が Σ において構成できる.

(2) $\gamma > 2$, $u(0) \in \Sigma$ とする. このとき (HE) の一意な時間大域解に対し極限 (FC) が確定する. 従って, (HE) は Σ 上漸近自由である.

(3) u_{\pm} と $u(0)$ との間には次の等式が成立する:

$$Q(u_{\pm}) = Q(u(0)) + G(u(0)) = E(u(0)).$$

注意. 極限 (FC) はどの意味なのか (つまり, 位相) も重要である. 上の定理4における極限の強さは Σ のノルム位相である. 漸近自由性と波動作用素の存在が同じ Σ で示されたことになるが, (HE) の初期値問題の解が Σ で連続になることも示されている (定理1) ので, (HE) は Σ で漸近完全であるといえる.

補足. $\gamma < 1$, $u(0) \in \Sigma$ の場合, 極限 (FC) が L^2 の意味で成立する解は零解に限られる (例えば^[3]). これは極限 (FC) では除去できていない振動が残っている影響が原因である. そのため, より複雑な補正を加えて散乱問題を考察する必要がある (修正散乱問題).

3. 今後の展望

(HE) に対する散乱問題は $\gamma < 2$ の場合に難しい. これを克服するためにはエネルギー法 (定理3) にある仮定 $\theta \geq 0$ を緩める必要がある. 残念ながら現状ではその手筈が整っていない. ところで, 散乱問題の解決には初期値問題と同様に縮小写像の原理の方法もある. ここでも Strichartz 不等式が有効である (例えば^[9]). しかしながら $a > -a(N)$, $1 < \gamma < 2$ でないと波動作用素が構成できない. $\gamma > 2$ の場合には a ないし γ に余計な条件が必要である. 本来散乱問題においては $\gamma > 2$ が扱いやすいとされていたが, それと逆行する結果である. また, 解の一意存在がいえるエネルギー空間 X における散乱問題を解決するには, Morawetz 不等式と呼ばれる virial 等式を一般化した不等式を利用しないと難しい. Zhang-Zheng^[13] で部分的な結果がある程度である. $a = -a(N)$ では完全に手付かずの状態である.

一方, $\lambda < 0$ の場合には定在波解と呼ばれる変数分離された解

$$\exp(i\omega t)\phi_\omega(x)$$

が存在するため, 散乱問題はより難しくなる. ただ, 時間無限大での挙動を調べる観点では軌道安定性の考察も有効である. これは簡単に言えば, 初期値を定在波解のものから少しずらした (HE) の解がいくら時間を経過しても定在波解と近いままであることが軌道安定性の定義である. 部分的な結果が Trachanas-Zographopoulos^[12] にあるが, まだ研究余地が大いに残っていると感じる. そもそも, より一般化した非線形項に対する定在波解の存在は示されていないので, その証明が急がれている.

参考文献

- [1] N. Burq, F. Planchon, J. Stalker, and A. S. Tahvildar-Zadeh, Strichartz estimates for the wave and Schrödinger equations with the inverse-square potential, *J. Funct. Anal.*, 203 (2), 519-549 (2003).
- [2] J. Ginibre and T. Ozawa, Long range scattering for nonlinear Schrödinger and Hartree equations in space dimension $n \geq 2$, *Comm. Math. Phys.*, 151 (3), 619-645 (1993).
- [3] N. Hayashi and Y. Tsutsumi, Scattering theory for Hartree type equations, *Ann. Inst. Henri Poincaré*, 46 (2), 187-213 (1987).
- [4] N. Okazawa, T. Suzuki, and T. Yokota, Cauchy problem for nonlinear Schrödinger equations with inverse-square potentials, *Appl. Anal.*, 91 (8), 1605-1629 (2012).
- [5] N. Okazawa, T. Suzuki, and T. Yokota, Energy methods for abstract nonlinear Schrödinger equations, *Evol. Equ. Control Theory*, 1 (2), 337-

354 (2012).

- [6] T. Suzuki, Energy methods for Hartree type equation with inverse-square potentials. *Evol. Equ. Control Theory*, 2 (3), 531-542 (2013).
- [7] T. Suzuki, Blowup of nonlinear Schrödinger equations with inverse-square potentials. *Differ. Equ. Appl.*, 6 (3), 309-333 (2014).
- [8] T. Suzuki, Solvability of nonlinear Schrödinger equations with some critical singular potential via generalized Hardy-Rellich inequalities, *Funkcial. Ekvac.*, 59 (1), 1-34 (2016).
- [9] T. Suzuki, Scattering theory for Hartree equations with inverse-square potentials, *Appl. Anal.*, 96 (12), 2032-2043 (2017).
- [10] T. Suzuki, Virial identities for nonlinear Schrödinger equations with an inverse-square potential of critical coefficient. *Differ. Equ. Appl.*, 9 (3), 327-352.
- [11] T. Suzuki, Scattering theory for semilinear Schrödinger equations with an inverse-square potential via energy methods, submitted.
- [12] G. P. Trachanas and N. B. Zographopoulos, Orbital stability for the Schrödinger operator involving inverse square potential, *J. Differ. Equ.* 259 (10), 4989-5016 (2015).
- [13] J. Zhang and J. Zheng, Scattering theory for nonlinear Schrödinger equations with inverse-square potential. *J. Funct. Anal.*, 267 (8), 2907-2932 (2014).

3. 受賞研究の紹介

- | | |
|---|--------|
| 3-1 拡張された熱力学とその非線型構成式 | 有馬 隆司 |
| 3-2 ハードウェアコンテスト GUGEN2016で「おいしいね」賞を受賞して | 松本 光広 |
| 3-3 人間-生活環境系学会奨励賞を受賞して | 傳法谷 郁乃 |

拡張された熱力学とその非線型構成式

有馬 隆司*

Extended Thermodynamics and Its Non-Linear Constitutive Equations

Takashi Arima*

1. 緒言

ナノデバイス中の熱流体現象や宇宙機周りの衝撃波現象など、現代の熱・流体工学は、時間的・空間的に急激な変化を伴う現象にまでその対象を広げている。従って、このように強い非平衡状態にある流体のダイナミクスの解明が必要となる。この課題に対して、熱・流体工学に基づくマクロなアプローチと統計力学や気体分子運動論に基づくミクロなアプローチの両面から研究が行われているが、発展途上にある。例えば、次に列挙する現象の解明が工学的応用上望まれる：水素気体や二酸化炭素気体中を伝播する音波の kHz から MHz 帯で見られる特徴的な吸収、第2音波の振動数依存性、Mach 数の増加に伴う衝撃波の波面構造の変化や衝撃波通過後の物理量の指数関数的緩和からのずれ、定常熱伝導における比熱の温度変化に伴う圧力場の変動とそれに伴う質量・熱輸送。

近年、この要請に応えるために、熱力学理論が深化している。例えば、Jou らによる Extended irreversible thermodynamics^[1]、Öttinger や Grmela らによる GENERIC^[2,3]、Mexiner に始まる内部変数を用いた非平衡熱力学^[4-8]等、様々な理論が提唱され現在も活発な研究が行われている。その中でも、特に、物理的・数学的妥当性が保証され、かつ、具体的な応用可能性がある理論として「拡張された熱力学 (Extended Thermodynamics ; 以下 ET と記す)^[9-11]」が提案され、発展している。ET 理論は、従来用いられてきた熱・流体工学の適用限界を超えた強い非平衡現象に適用可能であり、これに基づく新たな知見の獲得も進んでいる。この意味で、ET 理論は熱流体工学の将来的基盤に成り得ると考えられる。

ET の最近の発展として、著者らによって ET の適用範囲をさらに広げる研究が行われている^[12,13]。そのような研究成果の一つとして、非線型構成式を採用した理論が提案されている^[14-17]。これに関する研究の内、理論的枠組みを整備した論文^[16]とその衝撃波研究への応用可能性を調べた論文^[17]が *Ricerche di Matematica* 誌の「Highlighted Articles」に選出されたので、本稿ではその概略を報告する。ただし、ET 理論は近年になってようやく理論が整備され、工学的応用を行うための準備が整ってきたという背景から、未だ広く認知されているとは言えない状況にある。そこで、個別具体的な成果や応用事例ではなく、この機会を借りて、ET とはどのような理論なのか、その思想を紹介することに重きを置きたいと思う。

*助教 機械工学科

Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering

2. 拡張された熱力学誕生前夜

2.1. 不可逆過程の熱力学

従来の熱・流体工学理論は、Navier-Stokes-Fourier (NSF) 理論に代表される不可逆過程の熱力学 (TIP)^[18]によって包括的に整理されている。この理論は局所的熱平衡の仮定、すなわち、系は大域的に非平衡状態にあるが、局所的には平衡状態とみなすという仮定に基づいて系の状態の時間発展を求めていく理論である。1成分流体系を例にとると、この理論は、時間 t 、空間 x_i の関数である5つの場：質量密度 $\rho(x_i, t)$ 、速度 $v_i(x_i, t)$ および温度 $T(x_i, t)$ が従う方程式を質量、運動量、エネルギー保存則に従って決定する。保存則は、質量密度 $F(=\rho)$ 、運動量密度 $F_i(=\rho v_i)$ 、エネルギー密度 $G_{ij}(=\rho v^2 + 2\rho\varepsilon; \varepsilon(x_i, t)$ は単位質量あたりの内部エネルギー) を用いて次のように表される。

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial F_i}{\partial x_i} = 0, \quad \frac{\partial F_i}{\partial t} + \frac{\partial F_{ij}}{\partial x_j} = 0, \quad \frac{\partial G_{ij}}{\partial t} + \frac{\partial G_{ijk}}{\partial x_k} = 0 \quad (1)$$

ここで、 $i, j=1, 2, 3$ であり、和の規約、すなわち、ある項の中に同じ添え字が2つ現れたときその添え字について和をとるという記法を用いた。 F_{ij} は運動量流束、 G_{ij} はエネルギー流束を表す。これらの流束や密度量は、通常、流速依存性を明らかにした形で書かれる。つまり、圧力 $p(x_i, t)$ 、せん断応力 $\sigma_{ij}(x_i, t)$ ($\sigma_{ii}=0$)、非平衡圧力 (dynamic pressure と呼ばれる) $\Pi(x_i, t)$ 、熱流束 $q_i(x_i, t)$ を用いて、

$$F_{ij} = \rho v_i v_j + (p + \Pi)\delta_{ij} - \sigma_{ij}, \\ G_{ij} = (\rho v^2 + 2\rho\varepsilon + 2p + 2\Pi)v_i - 2\sigma_{ij}v_j + 2q_i, \quad (2)$$

と書ける。独立変数に関して閉じた場の方程式を得るためには、独立変数以外の量 (構成量) $p, \varepsilon, \sigma_{ij}, \Pi, q_i$ を独立変数で表す現象論的關係 (構成式) が必要となる。TIP では、まず平衡熱力学における Gibbs 関係式と同型の関係式と、質量、運動量およびエネルギー保存則を用いて、エントロピー・バランス方程式を求め、オンサーガーの相反定理を考慮して構成関係を決める。構成式が散逸的物質量 σ_{ij}, Π, q_i に関して線形の範囲内では、 σ_{ij}, Π は Newton 流体の仮定によって、 q_i は Fourier の法則によって閉じられる：

$$\sigma_{\langle ij \rangle} = 2\mu \frac{\partial v_{\langle i}}{\partial x_{j \rangle}}, \quad \Pi = -\nu \frac{\partial v_i}{\partial x_i}, \quad q_i = -\kappa \frac{\partial T}{\partial x_i}. \quad (3)$$

ここで、 μ, ν, κ はそれぞれせん断粘性率、体積粘性率、熱伝導率であり、 $\langle \rangle$ はトレースレスを意味する。圧力および内部エネルギーに対しては、熱的状态方程式 $p=p(\rho, T)$ および熱量的状態

方程式 $\varepsilon = \varepsilon(\rho, T)$ を用いることが出来る。これらを保存則に代入することで閉じた場の方程式を得る。この理論によって、粘性流や熱伝導などの不可逆過程を包括的に扱うことができる。

TIP は非平衡熱力学の発展に大きな貢献をしてきた理論であるが、当然ながら適用限界がある。まず、TIP は局所的熱平衡の仮定を採用しているため、その仮定を破る強い非平衡現象には適用できない。したがって、メソスコピック現象や衝撃波現象を満足に解析できない。また、NSF 則に代表されるような構成式を用いるため、場の方程式は放物型となり、情報の伝播速度が無限大になる。したがって、その相対論的な領域への拡張は単純ではない。

2.2. 気体分子運動論

局所的熱平衡の仮定は、気体分子運動論的な解析によると、

$$\text{平均自由行程/巨視的な特性長} \ll 1,$$

となる範囲で妥当である。単原子分子希薄気体に対して、速度分布関数の時間発展を記述する Boltzmann 方程式はこの条件を超えた領域にも適用可能である。質量密度などのマクロな物理量は分布関数のモーメントとして表される。Boltzmann 方程式の近似解法として、分布関数を局所平衡分布 (Maxwell-Boltzmann 分布) 周りに Knudsen 数で展開していく Chapman-Enskog 展開が有名である。この方法では、0次の近似で Euler 方程式系を、1次の近似で NSF 理論の再現および現象論的係数の決定ができる。より大きな Knudsen 数領域へ適用するために、より高次の展開を行うこと、つまり、Burnett や super-Burnett 近似^[19,20]が考えられるが、得られた方程式が不安定であることが知られている。別のアプローチとして、分布関数の高次のモーメントが従う時間発展方程式を Hilbert 展開に基づいて求める方法 (Grad のモーメント法^[21])がある。特に、NSF 理論を超えた典型的な結果として、 ρ , v_i , ε , σ_{ij} , q_i の13個の場の時間発展を記述する方程式系が知られている。この13モーメントの理論では、緩和時間が小さいとする近似 (Maxwell の逐次近似法^[22])の下で NSF 理論が再現される。

このように、気体分子運動論を基にした非平衡現象の解明も進んでいるが、単原子分子希薄気体以外では、衝突項のモデル化の困難もあり発展途上にある。

3. 拡張された熱力学とその理論構造

TIP の適用限界を超える試みの一つとして Cattaneo による構成式の発見的な提案がある。この式は Fourier の法則に熱流束の時間微分を加えたものである。これを用いれば、系は有限の伝播速度をもつことができる。Cattaneo の式や Grad のモーメント法が示唆するのは、通常の流体力学的物理量だけではなく、散逸的な物理量の時間発展の記述が必要であるということであろう。この議論を物理的・数学的妥当な形で表現したのが、Müller らによる ET 理論である^[23]。理論の提案以降、Müller を始め、Ruggeri や Liu らにより理論の整備がなされてきた^[9]。本節では、ET がどのような考え方で構築されているのかを理論的側面に注視しながら紹介する。

3.1. 拡張された熱力学の概要

再び1成分体系を例にとると、ET は、TIP で扱っていた場の量：質量密度 ρ 、速度 v_i および温度 T に加え、散逸的な流束 (せん断応力 σ_{ij} 、非平衡圧力 Π 、熱流束 q_i など) も独立変数として採用し、バランス方程式を基に場の時間発展方程式を求めていく理論であ

る。Galilei 不変性やエントロピー原理などの一般的要請から閉じた場の方程式系を得ることが出来る。以下ではこれらの要請がいかに表現されるかを見ていく。

3.2. バランス方程式系とその Galilei 不変性

マクロな系が n 個の場の量 $\mathbf{u}(x_i, t)$ によって特徴づけられるとする。その時間発展を決定することが目標となる。ET では、連続体力学の処方に従って、 \mathbf{u} の時間発展が、質量密度やエネルギー密度といった密度量を成分に持つベクトル \mathbf{F} のバランス方程式

$$\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}_i}{\partial x_i} = \mathbf{P}, \quad (4)$$

によって決定されると考える。ここで、 \mathbf{F}_i , \mathbf{P} は \mathbf{F} の流束および生成を表す。式(4)は保存則を含んでいるので、保存則に対応する \mathbf{P} の成分は0である。 \mathbf{F} , \mathbf{F}_i , \mathbf{P} を \mathbf{u} に関して閉じさせるために、ET では時間・空間的に局所的な形を考える。つまり

$$\mathbf{F} = \tilde{\mathbf{F}}(\mathbf{u}), \quad \mathbf{F}_i = \tilde{\mathbf{F}}_i(\mathbf{u}), \quad \mathbf{P} = \tilde{\mathbf{P}}(\mathbf{u}), \quad (5)$$

である。

式(4)は Galilei 不変でなければならない。この要請により、各物理量の速度 \mathbf{v} 依存性が明らかになる。場 \mathbf{u} のうち、速度に依存しない量を \mathbf{w} として $\mathbf{u} = (\mathbf{v}, \mathbf{w})$ と分解し、 \mathbf{F} , \mathbf{F}_i , \mathbf{P} の速度に依存しない部分を $\hat{\mathbf{F}}$, $\hat{\mathbf{F}}_i$, $\hat{\mathbf{P}}$ とすれば、速度依存性を表す $n \times n$ 行列 $\mathbf{X}(\mathbf{v})$ を用いて、

$$\mathbf{F} = \mathbf{X}(\mathbf{v})\hat{\mathbf{F}}(\mathbf{w}), \quad \mathbf{F}_i - \mathbf{F}_v = \mathbf{X}(\mathbf{v})\hat{\mathbf{F}}_i(\mathbf{w}), \quad \hat{\mathbf{P}} = \mathbf{X}(\mathbf{v})\hat{\mathbf{P}}(\mathbf{w}), \quad (6)$$

と書ける。行列 $\mathbf{X}(\mathbf{v})$ の性質および具体的な表式の導出については文献^[9]を参照されたい。

なお、ここで述べた内容は ET に限らず、物理的な系がもつ一般的性質である。次節でも述べるが、どのようなバランス方程式系を採用するかが、その物理的意味付けにおいて重要である。

3.3. 構成理論

独立変数に関して閉じた場 \mathbf{u} の方程式を得るためには、物質固有の熱力学的性質を表す構成関係が必要である。ET では、エントロピー原理を課す。すなわち、単位体積あたりのエントロピー密度 h が満たす不等式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h_i}{\partial x_i} = \Sigma \geq 0 \quad (7)$$

が、バランス方程式系(4)を拘束条件とした下で成立するという要請である。ここで、エントロピー密度 h 、エントロピー流束 h_i 、エントロピー生成 Σ は構成量である：

$$h = \tilde{h}(\mathbf{u}), \quad h_i = \tilde{h}_i(\mathbf{u}), \quad \Sigma = \tilde{\Sigma}(\mathbf{u}). \quad (8)$$

エントロピー原理は、Lagrange 未定乗数 $\boldsymbol{\lambda}$ を用いることで、

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h_i}{\partial x_i} - \boldsymbol{\lambda} \cdot \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}_i}{\partial x_i} - \mathbf{P} \right) = \Sigma \geq 0, \quad (9)$$

と表すことが出来る。その結果として、次の関係式が得られる：

$$dh = \boldsymbol{\lambda} \cdot d\mathbf{F}, \quad dh_i = \boldsymbol{\lambda} \cdot d\mathbf{F}_i, \quad \Sigma = \boldsymbol{\lambda} \cdot \mathbf{P}. \quad (10)$$

特に、一つ目の式は平衡熱力学における Gibbs の関係式の拡張とみなせる。エントロピー密度、流束、生成が速度に依らない関数であることを用いれば、Galilei 不変性と合わせて構成量が満たすべき関係式が得られる^[9]。Lagrange 未定乗数は非平衡状態における化学ポテンシャルや温度といった解釈が出来ることがわかっている^[13]。

また、系の安定性条件を課す。これは、有限の伝播速度を持つ

ための条件でもある。数学的には、場の方程式系が対称双曲型の偏微分方程式系であること、つまり、解の存在と一意性、初期条件・境界条件に関する解の連続性の要請である。この条件は、エントロピー密度が極大値を持つという形で表される：

$$\frac{\partial^2 h}{\partial u \partial u} \text{ は負定値。} \quad (11)$$

3.4. 閉じた場の方程式系

以上の一般的要請により、構成式の形が大幅に絞り込まれる。さらに、対象とする系の状態方程式を導入することで、未定の係数は生成項に現れる係数のみに絞られる。これらの係数は、実験事実や数値シミュレーションから決定する必要がある。例えば、いくつかの係数はせん断粘性率、体積粘性率、熱伝導率に関係づけられる^[9, 10, 12]。5節で簡単な場合の閉じた場の方程式系と現象論的係数の決定方法を紹介する。

4. 拡張された熱力学の発展

3節ではETの理論的枠組みを述べたが、理論構築の際に問題となるのはどのようなバランス方程式系を採用するかである。単原子分子希薄気体に対しては、Boltzmann方程式に基づくモーメント方程式と適用範囲が重なるので、これに無矛盾なバランス方程式系を採用することが出来る。もちろん得られる結果も無矛盾である。単原子分子希薄気体に適切なバランス方程式系は、保存則から始まるバランス方程式の密度量のテンソル階数が1つずつ増えていき、ある方程式の流束が次の方程式の密度量になるという階層構造を備えている。例えば、最も簡単な場合として、Euler方程式系(式(1)で散逸的物理量を0としたもの)を含む。

上に述べたバランス方程式系が単原子分子希薄気体に限られるのは、圧力と内部エネルギーの間に単純な関係($3p=2\rho\varepsilon$)が成立するため、多原子分子希薄気体や実在気体に特有の構成粒子の内部自由度に起因する非平衡圧力が0となる(式(1)でいうと $F_{ii}=G_{ii}$ となる)ことが理由である。そのため、一般の流体に対しては、異なる構造を持ったバランス方程式系が必要となるが、単原子分子希薄気体以外では気体分子運動論も発展途上であり、適切なバランス方程式の構築指針が無かった。いくつかの試行錯誤の後、著者らによって多原子分子希薄気体に適切なバランス方程式系が現象論的な考察から提案された^[12]。これは、圧力と内部エネルギーが非平衡状態において果たす役割の違いを明確に取り入れたものである。この提案は、後に気体分子運動論からも支持されている^[24]。NSF理論を超えた典型的な理論は、 ρ , v_i , ε , σ_{ij} , Π , q_i の14変数を独立変数として採用した理論である^[12]。単原子分子希薄気体のもとの異なる構造を持ったバランス方程式を採用しているが、単原子分子への極限をとるとその構造が一致することが証明されている^[25, 26]。提案された理論の更なる発展として多原子分子実在気体に適用可能なET理論も最近提案されている^[13]。

ET理論は、超音波^[27]や衝撃波^[28, 29]、光散乱^[10]、熱伝導^[30]などの解析に応用され、理論の妥当性・有用性が示されている^[9, 10]。得られた顕著な成果の一つとして、多原子分子希薄気体中を伝播する衝撃波の解析結果^[28, 29]を挙げておく。衝撃波の波面構造はMach数の増加に伴って、対称な構造(Type A)、非対称な構造(Type B)、薄い層 δ と厚い層 Δ の2層から成る構造(Type C)へと変化することが知

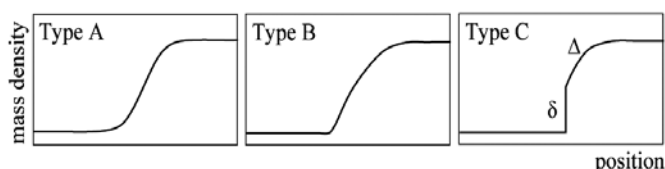


図1. 質量密度プロファイル^[28]。Mach数の増加に伴って、対称な構造(Type A)、非対称な構造(Type B)、薄い層 δ と厚い層 Δ の2層から成る構造(Type C)へと変化する

られている(図1)。ETによって、従来の理論では困難であった、Type A, B, Cの統一的な解析が可能となった。また、実験に見られる衝撃波通過後の緩和が指数関数的緩和からずれるという事実を再現した。

理論の更なる発展として、高振動数領域の超音波や高Mach数の衝撃波などのより強い非平衡現象を解析するための研究も進んでいる。次の二つのアプローチがある。つまり、(i)高次の散逸的物理量の効果による非平衡性を取り入れた理論、(ii)非平衡性をより精度よく取り入れるための散逸的物理量に関して非線型な構成式を採用した理論である。(i)に対して、気体分子運動論に基づいて独立変数を分布関数のモーメントとして表すことで、高次の物理量の閉じた場の方程式系を系統的に求める方法が提案されている^[9]。この手法は多原子分子希薄気体に対するETにも適用されている^[31]。(ii)に対して、通常、ETでは、閉じた場の方程式系を得るために、エントロピー密度を局所的熱平衡状態周りに散逸的物理量に関して2次の項まで展開して線型構成式を得るという手法が取られる。展開の次数を上げて非線型項を取り入れることも可能であるが、形式的な表現にとどまっていた^[32]。そこで、まずはETの中でもその数理的な構造が単純な、流体力学的物理量と非平衡圧力の6変数を独立変数に採った理論(ET₆)^[33, 34]を基に非線型性の効果を調べていく手順が有効であると考えられる。次節では、ET₆理論における非線型構成式の導出とその効果の検証について述べる。

5. 非線型構成式を持つET₆理論

5.1. ET₆理論について

ET₆理論はEuler方程式系の次に単純な対称双曲型偏微分方程式系であり、従来広く使われているMeixner流の内部変数を用いた非平衡熱力学^[4, 5]と対応している。この理論は、せん断応力と熱流束を無視しているが、ある種の気体に対しては重要なモデルである。つまり、水素気体や二酸化炭素気体といった体積粘性率がせん断粘性率に比べて数桁大きい気体に有効である。実際、衝撃波波面構造は、Type Cに現れる薄い層 δ を除いて、ET₆理論でも十分解析可能である^[29]。体積粘性率はStokesの仮定により無視されることも多いが、超音波や衝撃波工学さらには宇宙論や高エネルギー物理の分野でその重要性が指摘されている。より現実的なモデルであるせん断応力と熱流束の時間発展も記述可能な理論については文献^[10, 12]を参照されたい。

以下では、Ricerche di Matematica誌の「Highlighted Articles」に選出された、非線型構成式をもつET₆についての研究成果^[16, 17]を述べる。ただし、その後の研究の進展による、より整備された形での解説になるため、論文^[16, 17]とは若干表式が異なる点には注意されたい。

5.2. 基礎方程式系とエントロピー密度

ET理論の目的は、通常用いる流体力学的物理量に加え、非平衡圧力の時間発展を記述することである。非平衡圧力は運動量流束のトレース部分の主要な項であるので、基礎方程式系として、保存則に運動量流束のトレース部分 $F_{ii}(=3(p+\Pi)+\rho v^2)$ のバランス方程式を加えたものを考える。つまり、

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial F_i}{\partial x_i} = 0, \quad \frac{\partial F_L}{\partial t} + \frac{\partial F_{Li}}{\partial x_i} = 0, \quad \frac{\partial F_{ii}}{\partial t} + \frac{\partial F_{iij}}{\partial x_j} = P_{ii}, \quad \frac{\partial G_{ii}}{\partial t} + \frac{\partial G_{iij}}{\partial x_j} = 0. \quad (12)$$

ここで、 F_{ii} は F_{ii} の流束、 P_{ii} は F_{ii} の生成である。また、 F_{ij} は運動量流束、 G_{ii} はエネルギー流束で、(2)式から $\sigma_{ij}=0$ 、 $q_i=0$ としたものである。このような変数の消去はエントロピー原理を満たすことを保証しながら行われている。

ところで、バランス方程式系(12)は Galilei 不変でなければならない。実は、この要請だけから F_{ii} の関数系が次のように決まる：

$$F_{ii} = (5(p+\Pi) + \rho v^2) v_i. \quad (13)$$

また、生成項 P_{ii} は速度に依存しないこともわかる。以上の考察から、構成式の散逸的物理量に関する非線型性はすべて生成項に含まれているといえる。

3.3節で述べたエントロピー原理とその Galilei 不変性を用いれば、単位質量あたりのエントロピー密度 $\eta(=h/\rho)$ が満たすべき微分方程式が得られる。これを解けば、

$$\eta = s^{K+U}(\rho, \theta) + s^I(\Theta), \quad (14)$$

$$\theta = \theta(\rho, T, \Pi), \quad \Theta = \Theta(\rho, T, \theta(\rho, T, \Pi)).$$

という解が得られる。ここで、 s^{K+U} 、 s^I は、それぞれ、平衡状態における分子の並進運動モードとポテンシャルモード ((K+U)-モード) のエントロピーの和、分子の内部運動モード (I-モード) のエントロピーとそれぞれ同じ関数系をもつ量である。また、 θ 、 Θ は、(K+U)、I-モードがそれぞれ部分的に平衡状態にある (ただし、局所的にも平衡ではない状態を考えている) としたときのその状態に対応する非平衡温度である^[13]。非平衡圧力とは次の関係にある：

$$\varepsilon^I(\Theta) - \varepsilon^I(T) = -\varepsilon^{K+U}(\rho, \theta) + \varepsilon^{K+U}(\rho, T), \quad (15)$$

$$\Pi = p(\rho, \theta) - p(\rho, T).$$

添字はそれぞれ対応するモードの物理量を表す。非平衡温度の取りうる値は、その定義より次のように制限されている。

$$0 < \Theta < \Theta_{\max}, \quad \varepsilon^I(\Theta_{\max}) = \varepsilon(\rho, T) - \varepsilon^{K+U}(\rho, 0), \quad (16)$$

$$0 < \theta < \theta_{\max}, \quad \varepsilon^{K+U}(\theta_{\max}) = \varepsilon(\rho, T) - \varepsilon^I(0).$$

また、エントロピー原理の活用により、エントロピー流束と生成が次のように得られる。

$$h_i = h v_i, \quad \Sigma = \frac{1}{3} \rho \frac{\partial \eta}{\partial \Pi} \dot{P}_{ii} > 0. \quad (17)$$

残る不等式(17)₂より、 P_{ii} について次の式を得る。

$$P_{ii} = \alpha \frac{\partial \eta}{\partial \Pi}, \quad \alpha > 0. \quad (18)$$

以降では、 $\alpha = \alpha(\rho, \varepsilon)$ である場合を考える。これは特別な場合であるが、以下で述べるように P_{ii} の関数系を完全に決定でき、物理的に重要である。この場合、 α は緩和時間 τ および体積粘性率 ν に関係づけることが出来る。まず、(18)の P_{ii} を平衡状態近傍で展開した

ものと、その緩和時間 τ を用いた表現^[33]：

$$P_{ii} = -3 \frac{\Pi}{\tau}, \quad (19)$$

を比較する。また、 Π の場の方程式に対する Maxwell の逐次近似の結果と Newton 流体の仮定 (3)₂ の比較から得られる関係：

$$v = \tau \Gamma, \quad \Gamma = p \left\{ \frac{5}{3} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p(\rho, \varepsilon)}{\partial \varepsilon} \right\} - \rho \frac{\partial p(\rho, \varepsilon)}{\partial \rho}, \quad (20)$$

も用いれば、結局次の関係を得る。

$$\alpha = -\frac{3}{\tau(\partial^2 \eta / \partial \Pi^2)} = \frac{3T\Gamma}{\tau} = \frac{3T\Gamma^2}{\nu} \quad (21)$$

体積粘性率 ν を実験や数値シミュレーションから見積もることが出来れば、 α や τ も決定できる。

5.3. 希薄気体に対する閉じた場の方程式系

熱的・熱量的状態方程式が次のように表される多原子分子希薄気体 (ポテンシャルモードの寄与は0) を考える。

$$p = \frac{k_B}{m} \rho T, \quad \varepsilon = \varepsilon(T), \quad \left\{ \varepsilon^K = \frac{3}{2} \frac{k_B}{m} T, \varepsilon^I = \varepsilon^I(T) \right\}. \quad (22)$$

ここで、 m 、 k_B はそれぞれ1分子の質量、ボルツマン定数である。以降の解析では、比熱 $c_v(=de/dT)$ の温度依存性が実験的に与えられている場合を考える。この時、 ε は次のように見積もられる。

$$\varepsilon = \frac{k_B}{m} \int_{T_R}^T \hat{c}_v(T') dT'. \quad (23)$$

ここで、 $\hat{c}_v = (m/k_B)c_v$ 、 T_R は参照温度である。

状態方程式(22)を用いれば、式(14)、(15)に表されているエントロピー密度と非平衡温度を具体的に書き下すことが出来る：

$$\eta = \int_{T_R}^{\Theta} \frac{\varepsilon^I(T')}{T'^2} dT' + \frac{k_B}{m} \log \left(\frac{\theta^{3/2}}{\rho} \right) + \frac{\varepsilon^I(\Theta)}{\Theta} + \frac{3}{2} \frac{k_B}{m}, \quad (24)$$

$$\theta = \left(1 + \frac{\Pi}{p} \right) T, \quad \varepsilon^I(\Theta) = \varepsilon^I(T) - \frac{3}{2} \frac{k_B}{m} T \frac{\Pi}{p}.$$

エントロピー密度の式から生成項が決定され、閉じた場の方程式は次のように表される：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho v_i}{\partial x_i} = 0,$$

$$\frac{\partial \rho v_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left((p+\Pi) \delta_{ij} + \rho v_j v_i \right) = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (2\rho \varepsilon + \rho v^2) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ [2(p+\Pi) + \rho \varepsilon] v_i \right\} = 0, \quad (25)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} [3(p+\Pi) + \rho v^2] + \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ [5(p+\Pi) + \rho v^2] v_i \right\}$$

$$= -\frac{3}{\tau} \left(\frac{2}{3} - \frac{1}{\hat{c}_v} \right) p \frac{T}{\Theta} \frac{3T(1+\Pi/p) - 3\Theta}{2T(1+\Pi/p)}.$$

ここで、(20)より、 ν と τ の関係は、

$$\nu = \left(\frac{2}{3} - \frac{1}{\hat{c}_v} \right) p \tau, \quad (26)$$

である。

5.4. 衝撃波構造における構成式の非線型性の影響

希薄な二酸化炭素気体中を x -方向に伝播する平面衝撃波の波面構造を調べる。非摂動状態と摂動状態はそれぞれ平衡にある場合を考える (以降、添字0は非摂動状態を表すこととする)。非摂動状態

として, $T_0=295\text{K}$, $p_0=9.2\text{kPa}$ の状態を考える.

体積粘性率の温度依存性が $\nu \propto T^n$ と見積もられているので, 式(26)より, 緩和時間を

$$\frac{\tau(\rho, T)}{\tau(\rho_0, T_0)} = \frac{5-3\gamma_0}{5-3\gamma(T)} \frac{\rho_0}{\rho} \left(\frac{T_0}{T}\right)^{1-n}, \quad (27)$$

と見積もる. ここで, $\gamma(T)=(1+\hat{c}_v(T))/\hat{c}_v(T)$ は比熱比, γ_0 は $\gamma_0=\gamma(T_0)$ と定義される. べき指数 n は, 実験結果との比較^[28]から, 考えている温度範囲では $n=-1.3$ と見積もられている.

図2に Mach 数 $M_0=1.3$, 5 の時の, 非線型・線型構成式を採用したそれぞれの場合の質量密度プロファイル^[17]を示す. 図中の点線で表されているとび (sub-shock) は, Rankine-Hugoniot 条件から決まる. この条件には, 生成項は関与しないので, 両理論で同じとびを示している. ゆっくりとした緩和の部分と比較する. Mach 数が小さい時は差がほとんど無いが, Mach 数が大きくなるとその差が顕著になる. また, Mach 数が大きくなるほど指数関数的緩和からのずれも大きくなるのが分かっている.

先にも述べたように, ゆっくりとした緩和の層は単純化した理論である ET_6 で十分に解析できるので, 本解析はこの層の精確な理論的予言であるといえる. 具体的解析に応用するためにも, 実験的研究からの検証が望まれる.

6. 結言

本稿では, ET 理論の考え方から最近の発展である非線型構成式を持った理論までの紹介を行った. これまでは, ET 理論の数理的な面が著しく深化してきた一方で, 工学的応用は十分に行われていたと言える状況にはない. しかし, 最近の ET 理論の適用範囲の拡大を受けて, 超音波や衝撃波, 熱伝導といった方面への応用が少しずつ増えており, 緒言で挙げた従来のアプローチでは困難であった

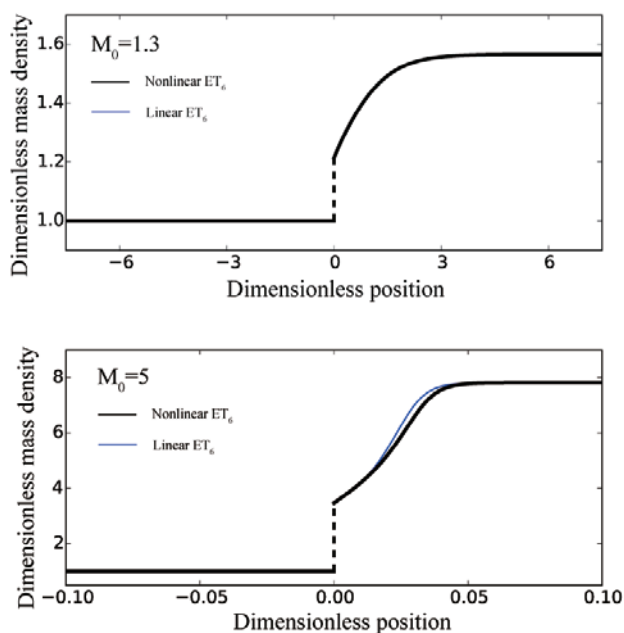


図2. ρ_0 で無次元化された質量密度プロファイル^[17]. 非線型構成式を採用した ET_6 (黒線) と線型構成式を採用した ET_6 (青線) による結果を示す. Mach 数 $M_0=1.3$ (上図), 5 (下図).

非平衡現象の解析が ET によって成功している. また, 最新の成果が Highlighted article に選ばれるなど, 衆目を集め始めている. 本稿で強調してきたように, ET 理論は, これからの熱流体工学の発展に寄与できるものであると著者は考えている.

参考文献

- [1] D. Jou, J. Casas-Vázquez and G. Lebon, Extended Irreversible Thermodynamics, (4th edn.), Springer, Berlin (2010).
- [2] M. Grmela and H. C. Öttinger, Dynamics and thermodynamics of complex fluids. I. Development of a general formalism, Phys. Rev. E, 56, 6620 (1997).
- [3] H. C. Öttinger and M. Grmela, Dynamics and thermodynamics of complex fluids. II. Illustrations of a general formalism, Phys. Rev. E, 56, 6633 (1997).
- [4] J. Meixner, Absorption und dispersion des schalles in gasen mit chemisch reagierenden und anregbaren komponenten. I. Teil, Ann. Phys., 43, 470-487 (1943).
- [5] J. Meixner, Allgemeine theorie der schallabsorption in gasen und flüssigkeiten unter berucksichtigung der transporterscheinungen, Acoustica, 2, 101-109 (1952).
- [6] B. D. Coleman and M. E. Gurtin, Thermodynamics with Internal State Variables, J. Chem. Phys., 47, 597-613 (1967).
- [7] G. A. Maugin and W. Muschik, Thermodynamics with Internal Variables. Part I. General Concepts, J. Non-Equilib. Thermodyn., 19, 217-249 (1994)
- [8] P. Ván, D. Berezovski and J. Engelbrecht, Internal variables and dynamic degrees of freedom, J. Non-Equilib. Thermodyn., 33, 235-254 (2008).
- [9] I. Müller, T. Ruggeri, Rational Extended Thermodynamics, (2nd ed.), Springer-Verlag, New York (1998)
- [10] T. Ruggeri, M. Sugiyama, Rational Extended Thermodynamics beyond the Monatomic Gas, Springer, Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London (2015).
- [11] 杉山勝, 「拡張された熱力学」とは何か, (数理解科学, 470, 『熱力学の多彩な展開』), サイエンス社 (2002).
- [12] T. Arima, S. Taniguchi, T. Ruggeri and M. Sugiyama, Extended thermodynamics of dense gases, Cont. Mech. Thermodyn., 25, 727-737 (2013).
- [13] T. Arima, T. Ruggeri, M. Sugiyama, Duality principle from rarefied to dense gas and extended thermodynamics with six fields Phys. Rev. Fluids 2, 013401 (2017).
- [14] T. Arima, T. Ruggeri, M. Sugiyama and S. Taniguchi, Nonlinear extended thermodynamics of real gases with 6 fields, Int. J. Non-Lin. Mech., 72, 6-15 (2015).
- [15] S. Taniguchi, T. Arima, T. Ruggeri and M. Sugiyama, Overshoot of the nonequilibrium temperature in the shock wave structure of a rarefied polyatomic gas subject to the dynamic pressure, Int. J. Non-Lin. Mech., 79, 66-75 (2016).
- [16] T. Arima, T. Ruggeri, M. Sugiyama and S. Taniguchi, Recent results on nonlinear extended thermodynamics of real gases with six fields. Part I:

- general theory, *Ricerche mat.* 65, 263–277 (2016)
- [17] S. Taniguchi, T. Arima, T. Ruggeri and M. Sugiyama, Recent results on nonlinear extended thermodynamics of real gases with six fields. Part II: shock wave structure, *Ricerche mat.* 65, 279–288 (2016)
- [18] S. R. De Groot and P. Mazur, *Non-Equilibrium Thermodynamics* North-Holland, Amsterdam (1963).
- [19] S. Chapman, T. G. Cowling, *The Mathematical Theory of Non-Uniform Gases*, Cambridge University Press (1970)
- [20] M. Sh. Shavaliyev, Super-Burnett Corrections to the Stress Tensor and the Heat Flux in a Gas of Maxwellian Molecules, *J. Appl. Maths. Mechs.*, 57, 573–576 (1993)
- [21] H. Grad, On the kinetic theory of rarefied gases, *Comm. Pure Appl. Math.* 2, 331–407 (1949).
- [22] E. Ikenberry and C. Truesdell, On the pressure and the flux of energy in a gas according to Maxwell's kinetic theory, *J. Rational Mech. Anal.* 5, 1–54 (1956).
- [23] I-S. Liu and I. Müller, Extended thermodynamics of classical and degenerate ideal gases, *Arch. Rational Mech., Anal.* 83, 285–332 (1983)
- [24] M. Pavić, T. Ruggeri and S. Simić, Maximum entropy principle for rarefied polyatomic gases, *Physica A*, 392, 1302–1317 (2013).
- [25] T. Arima, S. Taniguchi, T. Ruggeri, and M. Sugiyama, Monatomic rarefied gas as a singular limit of polyatomic gas in extended thermodynamics, *Phys. Lett. A* 377, 2136–2140 (2013).
- [26] T. Arima, T. Ruggeri, M. Sugiyama, and S. Taniguchi, Monatomic gas as a singular limit of polyatomic gas in molecular extended thermodynamics with many moments, *Ann. Phys.* 372, 83–109 (2016).
- [27] T. Arima, S. Taniguchi, T. Ruggeri and M. Sugiyama, Dispersion Relation for Sound in Rarefied Polyatomic Gases Based on Extended Thermodynamics, *Cont. Mech. Thermodyn.*, 25, 727–737 (2013).
- [28] S. Taniguchi, T. Arima, T. Ruggeri and M. Sugiyama, Thermodynamic theory of the shock wave structure in a rarefied polyatomic gas: Beyond the Bethe-Teller theory, *Phys. Rev. E*, 89, 013025 (2014).
- [29] S. Taniguchi, T. Arima, T. Ruggeri and M. Sugiyama, Effect of the dynamic pressure on the shock wave structure in a rarefied polyatomic gas, *Phys. Fluids*, 26, 016103 (2014).
- [30] T. Arima, E Barbera, F. Brini and M. Sugiyama, The role of the dynamic pressure in stationary heat conduction of a rarefied polyatomic gas, *Phys. Lett. A*. 378, 2695–2700 (2014).
- [31] T. Arima, A. Mentrelli, and T. Ruggeri, Molecular extended thermodynamics of rarefied polyatomic gases and wave velocities for increasing number of moments, *Ann. Phys.* 345, 111–140 (2014).
- [32] S. Pennisi and T. Ruggeri, A new method to exploit the entropy principle and Galilean invariance in the macroscopic approach of extended thermodynamics, *Ricerche mat.*, 55, 159–179 (2006).
- [33] T. Arima, S. Taniguchi, T. Ruggeri and M. Sugiyama, Extended thermodynamics of real gases with dynamic pressure: An extension of Meixner's theory, *Phys. Lett. A*, 376, 2799–2803 (2012).
- [34] T. Arima, T. Ruggeri, M. Sugiyama and S. Taniguchi, On the six-field model of fluids based on extended thermodynamics, *Meccanica*, 49, 2181–2187 (2014).

ハードウェアコンテスト GUGEN2016で「おいしいね」賞を受賞して

松本 光広*

Acknowledgment for winning “oshiine” award in GUGEN 2016 hardware contest

Mitsuhiro MATSUMOTO*

1. ハードウェアコンテスト GUGEN2016に参加して

ハードウェアコンテスト GUGEN2016は、新たな事業や産業を産み出していくためのものづくりをテーマとして、実用性および商品性の高いハードウェアを募集するコンテストである^[1]。コンテストでは、未来のふつうとなるであろう、オリジナルのハードウェアおよび電子工作を審査対象とし、下記項目の審査基準に添って審査が行われる。必要性として、ユーザーの役に立つモノであるか、金銭を出して購入したいアイデアであるか。実現性として、製品として実現できるモノであるか。革新性として、価格や素材など、現存する製品との違いがあるか。意匠性として、操作性、使い易さを考慮しつつ、形状、色、素材が素晴らしいモノであるか。キャラクター性として、製作者のスキル、熱意、思考から今後フォローしたいか。審査の結果、大賞、優秀賞、Good アイデア賞、ほしいね賞およびおいしいね賞が授与される。



図1 システムの概要

2. おいしいね賞を受賞して

筆者は、ヘッドホンで音楽を聴く人に音を消して危険を知らせるシステムを開発して、ハードウェアコンテスト GUGEN2016に参加した^[2]。その結果、2016年12月17日においしいね賞を受賞した^[3]。おいしいね賞は GUGEN 審査員がこれは「おいしい」と思った作品に与えられる賞である。

3. ヘッドホンで音楽を聴く人に音を消して危険を知らせるシステムとは

ヘッドホンを用いて、携帯音楽プレイヤーやスマートホンなどから音を聴く方法が広く普及している。ヘッドホンを用いると、ヘッドホンを用いる人は聴覚を用いて自分の周囲を感知することが難しい。ヘッドホンを用いる人に近づく人や物体について、これらを検知して聴覚に報知するシステムを開発した。

図1にシステムの概要を示す。システムは、音をヘッドホンに伝える携帯音楽プレイヤーなどおよびヘッドホンに接続される。システムは、ヘッドホンを用いる人が装着して、装着した人に人や物体が近づくとき、携帯音楽プレイヤーなどからヘッドホンに流れる音を消して、人や物体の検知を報知する。

図2はシステムの詳細を示す。システムは、ヘッドホンを用いる

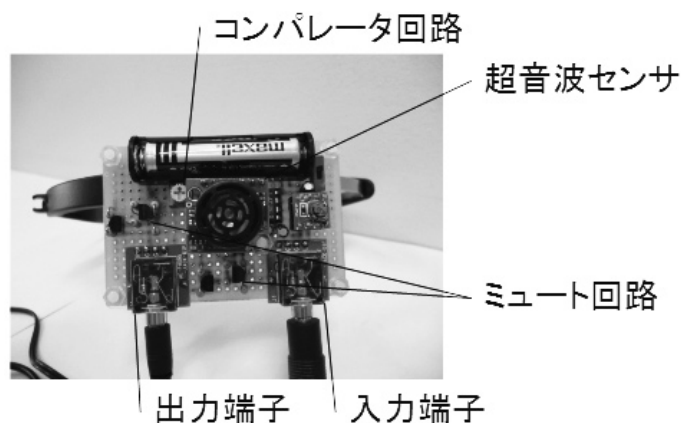


図2 システムの詳細

人が装着する部分を持つ。システムでは、入力端子から携帯音楽プレイヤーなどの音信号が入力される。入力された音信号は、出力端子からヘッドホンに出力される。システムには、人や物体を検出する超音波センサが設置されており、センサを用いてヘッドホンを用いる人の周囲における人や物体までの距離を逐次測定する。逐次測定された距離は、測定距離電圧としてコンパレータ回路に入力される。コンパレータ回路に入力された測定距離電圧は、あらかじめ設定された検知範囲の距離電圧と比較されて、検知範囲の距離電圧より小さければ、消音信号を出力する。出力された消音信号は、

*准教授 経営工学科

Associate Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management

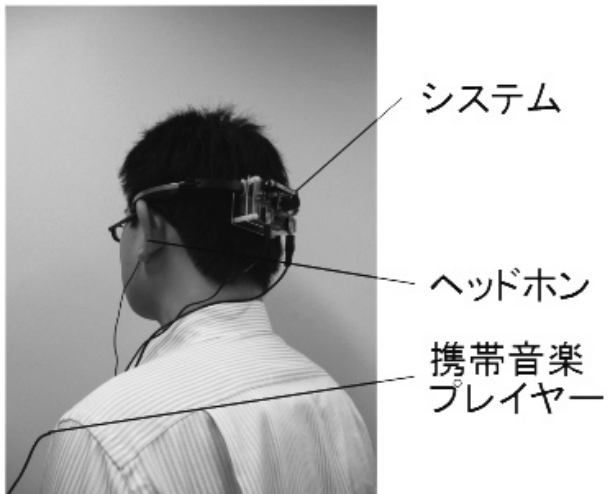


図3 ヘッドホンを用いる人がシステムを装着した例

ミュート回路に入力されて、ミュート回路は入力端子および出力端子間の音信号を遮断する。

図3はヘッドホンを用いる人がシステムを装着した例を示す。システムに設置した超音波センサを、人の視覚の及ばない範囲に向けてすることで、その範囲における人や物体の接近を、システムを通してヘッドホンを用いる人に知らせることができる。

4. おわりに

筆者は、身近な問題を解決できる、人が必要とするモノづくりを行っている。その一つのテーマに対して今回賞をいただき、大変光栄に思っている。今回の受賞を励みに、今後、実用化に向けて現在のプロトタイプをブラッシュアップさせていきたい。

参考文献

- [1] GUGEN コンテスト, 2016展示会・授賞式, <https://gugen.jp/2016contest-overview>, (参照2017-08-01).
- [2] GUGEN コンテスト, ヘッドホンで音楽を聴く人に音を消して危険を知らせるシステム, <https://gugen.jp/entry2016/2016-008>, (参照2017-08-01).
- [3] GUGEN コンテスト, 2016受賞作品, <https://gugen.jp/2016contest-result>, (参照2017-08-01).

人間—生活環境系学会奨励賞を受賞して

傳法谷 郁乃*

Receiving the “Human Environment System Encouragement Award”

Ayano DEMPOYA*

1. はじめに

2015年10月、人間—生活環境系学会奨励賞受賞の機会を得た。奨励賞は、著者が被服環境学専攻時に取り組んだ研究の一部をまとめ、英文誌「Journal of the Human-Environment System」に掲載された論文“The Effect of Local Pressure to the Knees on the Physiological and Psychological Responses of the Human Body”に対して授与されたものである。

人間—生活環境系学会は、人間と生活環境に関連する研究を「人間—生活環境系」として体系化を図ろうとして設立された学会で、健康で快適な生活環境を実現させ、人々の生活の質を向上させることを目的として、人間工学、建築、自動車、生理、心理、衛生など多岐にわたる専門分野の研究が集い、学際的な活動が行われている。被服の分野もそのうちの一つに含まれ、健康で快適な衣生活を形成するため、被服材料工学、皮膚衛生学、人間工学、生理学、心理学など多方面から複合的な研究が行われ、衣服の熱的快適性、動作性、着心地の向上を目指して研究が積み重ねられている。

近年では、夏場の吸汗速乾性素材や冬場の吸湿発熱性素材の衣服、身体を加圧することによる身体機能向上をうたうコンプレッションウェア、着用することで人の生理反応情報を得られるスマートテキスタイル、衣服設計のための3DCAD シミュレーション開発などが話題であるが、筆者はコンプレッションウェアに関する基礎研究を生理・心理反応を指標として取り組んだ。

受賞した論文¹⁾は、膝への加圧強度の違いが立位・運動時における下肢の血流動態、特に、筋組織血液酸素動態、皮膚血流量、皮膚温および圧迫感・むくみ感に及ぼす影響について検討したものであり、本稿では著者の研究背景および研究論文の概要を紹介する。

2. 研究背景

衣服を着用することによって身体に加わる圧力を衣服圧という。衣服圧は、衣服重量や周囲からの締め付けで発生するフープテンション、運動に伴う皮膚や衣服素材の変形が発生要因となる。過度な衣服圧は、内蔵変形や血流障害を生じさせ、人体に悪影響となり、その一方、適度な衣服圧は、運動時の皮下脂肪の振動抑制や下肢に貯留する静脈還流量の増加に有用とされている。衣服の圧力設計をする際には、必ず功罪が伴うため、衣服圧の身体への影響を適切に評価して取り扱う必要がある。

近年、弾性ストッキングやサポーターなど、衣服圧による身体機能向上を期待する衣服が市場に出回っているが、2011年、国民生活センターは、加圧衣服着用による血流・神経障害、皮膚障害などの苦情件数が増加していることを報告した²⁾。これを受けて、20代女性12名を対象に衣服圧を利用した衣料品計23種の下肢衣服圧分布を測定し、パッケージに表記されている衣服圧値と比較した³⁾。その結果、着用時にかかる圧力の方がパッケージの表記より高くなる傾向が示され、中には10hPaほど値が高い衣料品も存在し、必ずしも正しく設計がなされていないことが示された。

実測した衣服圧値をもとに、下肢への衣服圧の影響をこれまで検討がなされていなかった近赤外分光法（Near infrared spectroscopy: NIRS）による下肢筋組織内の血液酸素動態を一つの指標として導入し、被験者実験を始めた。近赤外分光法とは、非侵襲的な成分測定方法で、血中ヘモグロビンに反応する近赤外線を皮膚に照射し、生体内で吸収された度合いを受光量の変化から求める。表在より深部にあたる筋や脳内の血中に含まれるヘモグロビンの酸素量を測定するのに用いられ、測定対象中の組織酸素化血液量（OxyHb）、組織脱酸素化血液量（DeoxyHb）、OxyHbとDeoxyHbを足した組織全血液量（TotalHb）と、TotalHbに対するOxyHbの比率で示される組織酸素飽和度（StO₂）が得られる。このStO₂は血液中に酸素が多いかどうかを示す指標であり、疲労や血液循環の低下でStO₂は低下する。筆者らは、仰臥位時において血圧計用カフによる下肢への加圧強度の増加で腓腹筋内のDeoxyHbおよびTotalHbの増加、StO₂の有意な低下を確認し、腓腹筋内における下肢への血液貯留および静脈還流量の低下を示唆した結果を得ており⁴⁾、同様に立位および運動時の筋組織血液酸素動態を比較できるものと考えた。

3. 立位・運動時の膝への加圧強度が生理・心理反応に及ぼす影響

3.1. 方法

健康な成人女性8名を対象に、十分に仰臥位を保持したのち座位10分を保たせ立位姿勢に移行し、血圧計用カフを両膝に巻き膝を加圧した。その後、立位20分間（立位1）、踏み台昇降運動20分間（運動）、立位10分間（立位2）の実験を実施した。カフによる膝への加圧強度は0、10、20、30、40mmHg（0.0、13.3、26.7、40.0、53.3hPa）の5条件とした。測定項目は、図1に示す、右腓腹筋内側部の筋組織血液酸素動態、下肢の皮膚血流量および皮膚温で、官能評価として圧迫感（5段階）とむくみ感（4段階）を10分間隔で申告させた。

*助教 建築学科

Assistant Professor, Dept. of Architecture

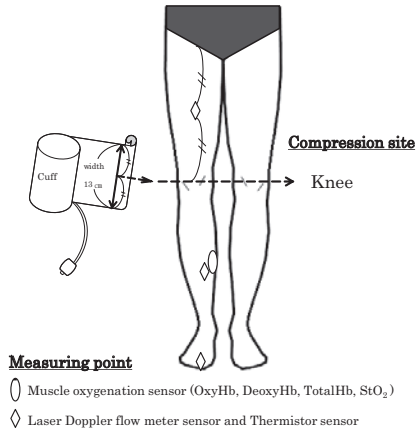


図1 測定項目

3.2. 結果及び考察

まず立位・運動の違いとして、運動前後の立位保持は、腓腹筋 DeoxyHb を有意に増加させ、下肢の静水圧の変化により下肢への静脈血貯留が生じていること、また、運動時は、立位時に増加した DeoxyHb を有意に減少させたことから、筋ポンプ作用が働き、静脈還流量は増加したと考えられ、その結果、StO₂が立位時に低下し、運動時に上昇することを確認した。

膝への加圧強度が筋組織血液酸素動態へ及ぼす影響については、運動後の立位2において、膝を40mmHgで加圧すると DeoxyHb が有意に増加し、StO₂が有意に低下した(図2)。DeoxyHb が15mmHgの膝加圧で有意に増加した仰臥位⁴⁾と比較すると、仰臥位の方が加圧強度の影響が大きいといえる。下肢の皮膚血流量および皮膚温は、20mmHg以上の加圧で低下する傾向を示したことから、深部に位置する筋組織血液酸素動態より表在部に加圧強度の影響は大きいことが推察される。圧迫感については、加圧強度の増加に伴い有意に圧迫感も増加し、むくみ感は10mmHgで減少傾向が示された(図3)。

これらの結果から、40mmHg以上の膝加圧で筋組織血液酸素動態に影響を及ぼし、20mmHg以上で表在部の皮膚血流量および皮膚温の低下を引き起こし、不快感を生じさせる。その一方で、軽度な10mmHg程度の膝加圧はむくみ感を軽減させ、快適性に寄与することが示唆された。

下肢に着用する衣服の圧力設計をする際、夜用・日常用は、特に加圧強度に十分配慮しなければならない。また、膝サポーターなど面ファスナーを使用している製品は、着用者自身が身体にかかる加圧強度を決定することとなる。着用者本人が無意識的に膝へ過度

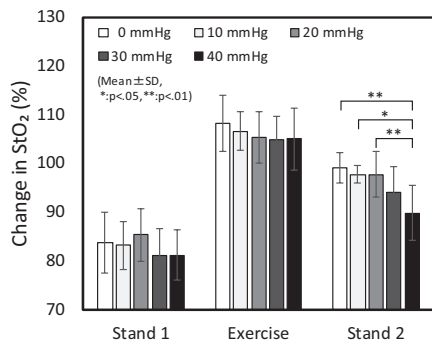


図2 加圧強度が腓腹筋酸素飽和度に及ぼす影響

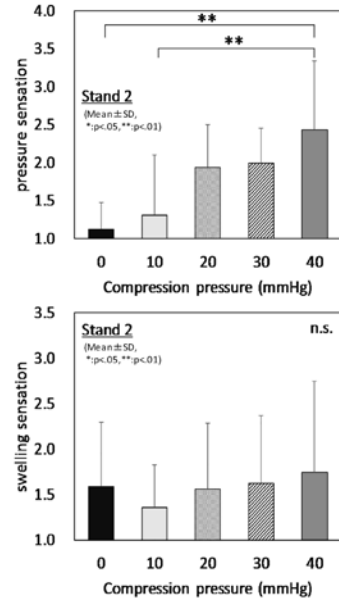


図3 運動後の立位における圧迫感とむくみ感

な圧力をかけ、着用者の生理反応に悪影響を及ぼしている可能性が考えられる。

4. おわりに

以上、膝への加圧強度の違いが下肢の血流動態および圧迫感・むくみ感に及ぼす影響について概要を説明した。衣服圧が身体へ及ぼす影響については、素材特性、加圧部位・面積・強度、体型、など様々な要因があり、限界圧や適正圧を明確化するまでに至っておらず、更なる基礎データの蓄積が求められる。また、衣服圧で生じる生理・心理現象のメカニズムを明らかにし、健康性・快適性を考慮した衣服圧設計シミュレーションシステムの開発が望まれる。

本研究においてご指導・ご協力くださいました多くの方々に深く御礼申し上げます。また、本稿には建築学に関する内容は一切含まれないものでありますが、建築学という新たな分野に導いてくださった神奈川大学教授 岩本静男先生、ならびに工学部の先生方に心より御礼申し上げます。今後ともご指導ご鞭撻のほど何卒よろしく申し上げます。

参考文献

[1] A. Dempoya, T. Tamura, T. Koshiba, The Effect of Local Pressure to the Knees on the Physiological and Psychological Responses of the Human Body, Journal of the Human-Environment System, 18 (2), 43-51 (2016).
 [2] 独立行政法人国民生活センター, 加圧を利用したスパッツの使い方に注意! (2011.4)
http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20110408_1.pdf (2015.11.22閲覧).
 [3] 傳法谷郁乃, 田村照子, 小柴朋子, ソフトボディマネキンによる下肢衣料品の衣服圧評価, 2015年度繊維製品消費科学会年次大会, 26 (2015.6).
 [4] 傳法谷郁乃, 小柴朋子, 田村照子, 仰臥位における下肢の部位別圧迫が腓腹筋血流動態に及ぼす影響, 繊維製品消費科学会誌, 56(4), 356-365 (2015).

4. 工学部特別予算重要機器整備費関連研究

- | | | |
|-----|--------------------------------------|--------------------|
| 4-1 | 3D測定マクロスコープを用いた平押し法による四角形の成形品の加工面の観察 | 笹田 昌弘 |
| 4-2 | プログラマブル・ロボットとAI機能との連携に関わる研究 | 森田 光 |
| 4-3 | モーションキャプチャシステムを用いたロボットの開発 | 林 憲玉 |
| 4-4 | 生物多様性とデオキシリボ核酸 (DNA) | 朝倉 史明 |
| 4-5 | 油圧式万能試験機を利用した教育・研究 | 佐藤 宏貴, 齊藤 隆典, 趙 衍剛 |

3D 測定マクロスコープを用いた平押し法による四角形の成形品の加工面の観察

笹田 昌弘*

Observation of cut surface of square shaped product obtained by push-back blanking using 3D measurement system

Masahiro SASADA*

1. 緒言

平成27年度工学部重要機器整備費によりワンショット3D測定マクロスコープ VR-3200（株式会社キーエンス社製）を導入した。本装置により、対象物の形状の広範囲を短時間に非接触にて3D測定できる。また、マクロスコープとしての利用も可能である。研究室では、金型により成形された成形品の形状を評価しており、本測定機の導入より効率良く形状を観察することができるようになり、様々な研究テーマにて利用している。測定機を利用し容易に形状を測定できることから、学生が考察を進めやすくなった。

本測定機について紹介する。導入した測定機の主要部を図1に示す。主要部分のおおよその寸法は、高さ496mm、幅330mm、奥行き330mmである。電動XYステージを搭載しており、最大200mm×100mmの範囲を測定することができる。繰返し精度は、高さ測定0.5 μ m、幅測定1 μ m（広視野モード）あるいは0.5 μ m（高倍率モード）である。

本報告では、平押し法による成形品の加工面の形状を比較した結果を報告する。

機械部品を製造する際に、プレス機と金型を利用した成形が利用される。金型を利用する加工法の一つにせん断加工がある。せん断加工は、パンチとダイを利用して材料を分離させる加工法である。



図1 ワンショット3Dマクロスコープ
（株式会社キーエンス社製）

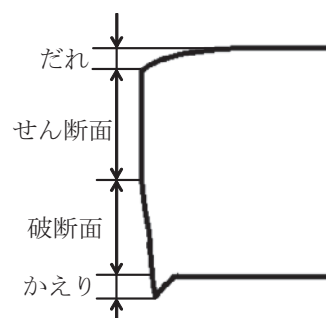


図2 せん断加工による加工面

せん断加工により得られる加工面には、図2に示すように、だれ、破断面、かえりが発生する場合がある。精密部品の場合には、これらを低減することが望まれる。かえりは、作業者ならびに製品を傷つける場合がある。かえりの発生を防ぐために考えられた加工法の一つに平押し法¹⁾がある。本方法により金型を利用して容易にかえりなしせん断加工が行える。これまでに、成形品の形状が丸形の場合には、スクラップとなるさん幅の影響が報告されている²⁾。また、材料の外周を変位拘束することにより、さん幅が小さい場合でも成形が可能となることが報告されている³⁾。しかし、成形品が四角形の場合の報告は少ないようである。角部の丸みをRとし板厚をtとすると、 $R/t \geq 0.2$ の場合については報告されている⁴⁾。角部分の材料変形は複雑であることから、角部の丸みRがさらに小さい場合についての検討は重要である。

以上より、平押し法によりえられた四角形の成形品の加工面に及ぼすさん幅の影響を実験により確認することとした。

2. 実験方法ならびに観察方法

設計・製作した実験用金型を利用して平押し法の実験を行った。平押し法は2工程により行った。平押し法では図3に示すように、第1工程にて半抜きを行い、第2工程では平板を用いて成形品を分離させる。第1工程におけるパンチ下の材料が成形品となり、ダイ上の材料がスクラップとなる。試験片の材質はJISA1100P-H24である。試験片形状は、一辺の幅Wは13、14、15または18mmの正方形であり、厚さtは3mmである。

第1工程で利用した金型の模式図を図4に示す。一辺10mmの正方形の穴を有するダイを利用した。ダイの角部の丸みRは0.2mmである。クリアランスが板厚の-3%となるようにパンチの形状を決

*教授 機械工学科

Professor, Dept. of Mechanical Engineering

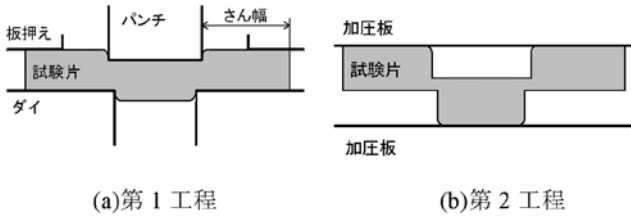


図3 平押し法の工程

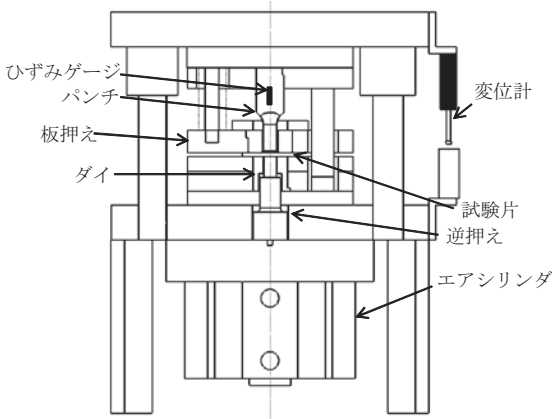


図4 金型概略図 (第1工程)

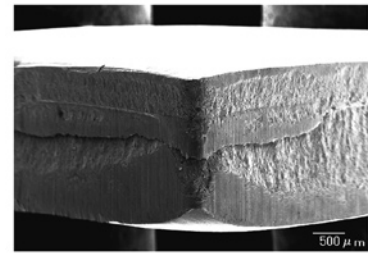
定した。パンチ食い込み量 (Ps1) を、板厚の80%とした。板押えはばね式を利用し、板押え力として100Nを作用させた。また、湾曲を低減するため逆押えを利用し、逆押え力として3140Nを作用させた。

第2工程では二枚の平板により半せん断された試験片を圧縮し、分離させる。第2工程終了後に、さん幅部分に成形品が保持されていた場合には、25Nを作用させて分離した成形品のみを評価対象とした。

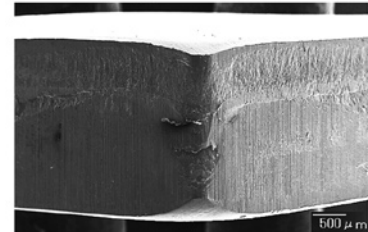
加工速度は、第1工程ならびに第2工程ともに0.05mm/sである。潤滑油は動粘度150mm²/sのパラフィン系基油を利用した。各工程の変位は、ダイセットに取り付けられた変位計により計測した。

3. 実験結果及び考察

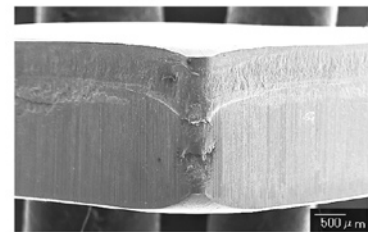
第2工程後の試験片の加工面を電子顕微鏡にて観察した結果を図5に示す。下面より板厚の80%の場所までが第1工程にて形成された加工面であり、それ以上が第2工程にて形成される加工面である。試験片の幅 W が13, 14と15mmでは、直辺部に第1工程にて破断面が発生することがわかる。試験片の幅 W を18mmまで増加させることにより、直辺部のき裂を防止できる。一方、角部に関しては、本実験条件の範囲では第1工程にてき裂が発生することがわかる。丸形の成形品の場合については、第1工程のさん幅部分の外側方向への移動がき裂発生に影響することが報告されている²⁾。そこで、図6に示す線上の試験片の変形形状を測定し比較することとした。第1工程後の試験片の上面の直辺部を含む形状を測定した結果を図7に示す。さん幅部分の上面が傾いており、パンチ刃先に近づくとき高さが低くなる。第1工程後の直辺部が外側へひろがっていることも確認できる。これらのことから、第1工程においてダイス刃先付近の材料が外側へ移動していることが考えられる。試験片の幅が大き



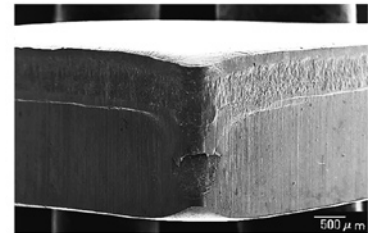
(a) W=13mm



(b) W=14mm



(c) W=15mm



(d) W=18mm

図5 電子顕微鏡による成形品の観察

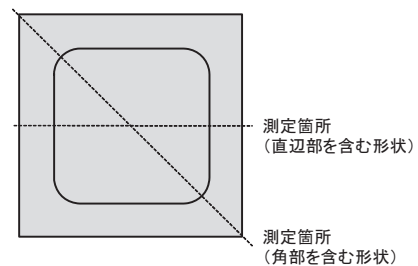
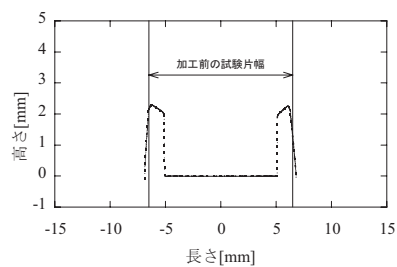


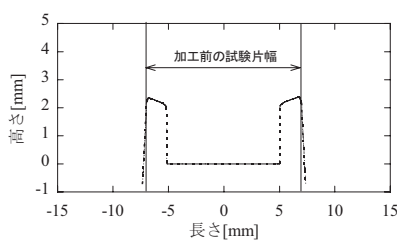
図6 第1工程後の試験片上面の形状測定

い場合には、外周付近の材料が内側の材料の広がり拘束することが考えられる。つまり、試験片の幅が大きくなることにより、さん幅部分の外側への移動が低減される。試験片の幅が小さい場合には、ダイ刃先付近の材料の外側への移動の影響が大きくなることが考えられ、第1工程にて直辺部にき裂が発生する原因の一つとして考えられる。

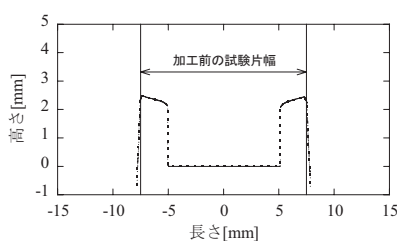
第1工程後の試験片の上面の角部を含む形状を測定した結果を図8に示す。直辺部と同様にさん幅部分の上面が傾いているが、直辺部よりも角部の傾きが緩やかである。また、さん幅部分の外側への



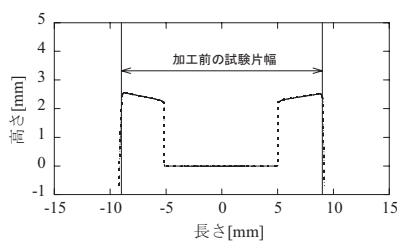
(a) W=13mm



(a) W=14mm



(b) W=15mm



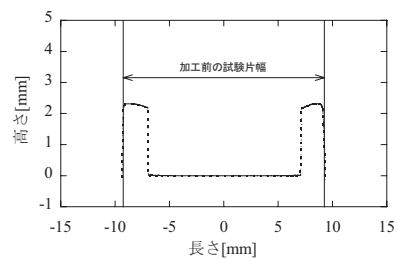
(c) W=18mm

図7 試験片上面の直辺部を含む形状（第1工程終了後）

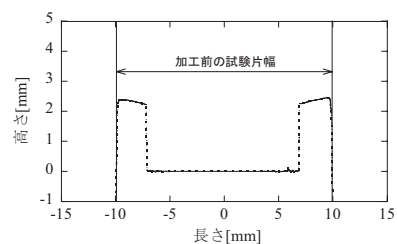
広がりも小さい。しかし、試験片の幅に関係なく角部にはき裂が発生している。図5より、第1工程にて形成される角部のだれが直辺部のだれよりも大きいことがわかる。今後更なる詳細な検討が必要と考えるが、ダイ刃先付近の材料が周囲へ広がっていることが考えられることから、材料変形とき裂発生との関係を角部の形状を考慮して考察することが必要であると考え。

4. 結言

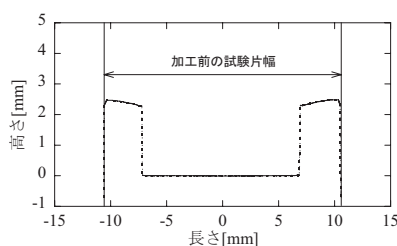
さん幅の異なる試験片を対象に、四角形の成形品を平押し法にて成形した。試験片の幅を大きくすることにより、第1工程で発生する直辺部の破断面は低減できることがわかった。角部に関しては、本実験条件の範囲で試験片の幅を大きくしても、破断面は低減できなかった。今後、材料変形の詳細をさらに観察し、平押し法による四角形の成形品の第1工程におけるき裂の発生について検討することが必要である。



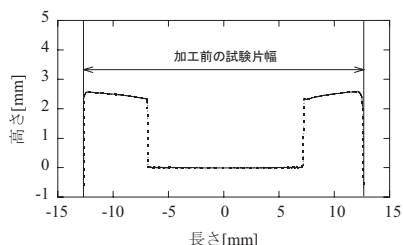
(a) W=13mm



(a) W=14mm



(b) W=15mm



(c) W=18mm

図8 試験片上面の角部を含む形状（第1工程終了後）

謝辞

成形技術を対象とする研究分野では、成形品の形状を測定することは重要である。本装置により測定した結果を基に考察を進め、金型を利用した成形技術の高度化を進めていきたいと考えている。本測定機の導入にご支援いただいた各位に感謝を申し上げる。

参考文献

- [1] 牧野育雄, かえりなしせん断法, プレス技術, 13(5), 93-98 (1975).
- [2] 青木勇, 高橋俊典, かえりなしせん断加工特性に及ぼすさん幅の影響, 塑性と加工, 39(445), 131-136 (1998).
- [3] 笹田昌弘, 齊藤彬, 平押し法における材料への拘束が分離成功条件域ならびに切口面に及ぼす影響, 日本機械学会論文集, 81(830), DOI : 10.1299/transjsme.15-00136 (2015).
- [4] 青木勇, かえりなしせん断加工に関する研究, 平成4年度塑性加工春季講演会講演論文集, 9-14 (1992).

プログラマブル・ロボットと AI 機能との連携に関する研究

森田 光*

Study on Cooperation between Programmable Robots and AI functions

Hikaru MORITA*

1 はじめに

2014年に Pepper が家庭向けロボットとして発表されて以来、急速にロボットに対する注目が集まっている。一方、2016年に AlphaGo が世界的な囲碁棋士を倒して以来、AI の能力が人間を超えたと言われるようになってきている。このため、AI とロボットが結びつければ、途方も無い未来が開けるのではないかと世の中の期待が高まっている。

ロボットと言えば、HONDA の ASHIMO の印象が強いが、注目された SONY の AIBO も含め、先駆け製品はビジネスに至っていない。しかし最近では、ヴィストン（日本のベンチャー）を中心とする Sota と CommU、高橋智隆が関わった Robi (DeAGOS-TINI) と RoBoHoN (SHARP) などが販売実績を伸ばしている。また、フランスのアルデバランロボティクス（2015年にソフトバンクの資本支配下になり、2016年にソフトバンクロボティクスヨーロッパに改名）はコミュニケーション・ロボットの草分けで、なかでも2足歩行に特徴がある NAO ロボット（以下、NAO）がバージョンを重ねている。Pepper は、この NAOqi (NAO の OS) を原型に、画面用の Google Android OS のインターフェースを併せ持つロボットとして開発されている。

これらのコミュニケーション・ロボットは、本格量産に至っていないので、コモディティ化してパソコンやスマホのような製品になるかどうかは、まだはっきりしていない。しかし、2000年以降急速に普及したブロードバンド・ネットワークに結びつき、二足歩行などの物理機能よりも、制御、情報伝達、人とのコミュニケーション重視の傾向により、一般ユーザとの距離を縮めている。

AI は、前述の AlphaGo に限らず、人間並みの能力を2015年前後から一般に認識されるようになり、IoT、特に自動運転のような応用に期待が集まっている。日本では、自動運転と同様の期待から、ロボットにネットワーク経由で AI 技術が付加されることを見込んで、Pepper や RoBoHoN が開発されたと思われる。ところが、米国では、コミュニケーション・ロボットの会話能力だけを取り出したような製品群が2016年より導入されている。Amazon の Alexa が草分けで、Echo を始めとする数種類の製品が米国市場に出ている。装置には、マイクロホンとスピーカーを備え、ネットワークに結びついて、クラウドから音楽再生、ニュース伝達、電子ブック読み聞

かせ、情報検索、通販注文、ピザの注文、配車サービス (Uber) などの AI 機能付サービスを提供する。Apple の Siri と Google の Assistant も同種の技術であり、それらの製品群はコミュニケーション・ロボットの1割以下の価格帯で爆発的な人気を博しつつある。

神奈川大学では、早くからコミュニケーション・ロボットが導入されている。NAO が理学部情報科学科で導入され、工学部情報システム創成学科でも2014年度末に NAO (2台) と Pepper が購入されている。これらのロボットは、ロボットを対象とするプログラミングを体験するプラットフォームとなりえるからだ。

2 研究の目的

重要機器整備費によりロボットの台数を増大させ、以下の3項目の研究を加速することにした。

- 1) ロボットと AI との連携研究：ロボットのコミュニケーション能力と IT 機能との連携を生かす応用研究。
- 2) 教育研究：ロボット・プログラミングを教育対象とする研究。
- 3) 複数ロボットの連動研究：複数台のロボットを連携して動作させる研究。

第1項目は、ディープ・ラーニングによるパターン認識機能をバックヤードに用意し、それとロボットとを連携する研究である。ディープ・ラーニングは AI の主要技術の一つであり、パターン認識は著者が所属する情報セキュリティ研究室のテーマである「個人の同定」や「監視」と関連がある。

第2項目は、ロボットを対象とするプログラミングの教育効果に関する。従来の文字列の出し入れ主体のプログラミング教育に対して、プログラミングの過程でロボットを物理的に動かしたり、喋らせたりする反応で教育を増進する方法や手段を明らかにする。また、複数台の導入により、パーソナルからグループ学習の違いも対応する。

第3項目では、複数台のロボットの連携について研究する。複数台による空間把握と連携動作を研究対象にする。

3 プログラマブル・ロボット環境

当初は手探りであったが、現執筆段階では、量産品の Pepper を対象に技術情報が多数存在する（例えば、^[1,2,3]）。

図1にシステム構成を示す。厳密には2017年度中から販売する Pepper に対応し、これまでの Pepper では、Android は、設定用の Web サーバ機能だけに限定され、ディスプレイと画像カメラ制御

*教授 情報システム創成学科
Professor, Dept. of Information Systems Creation

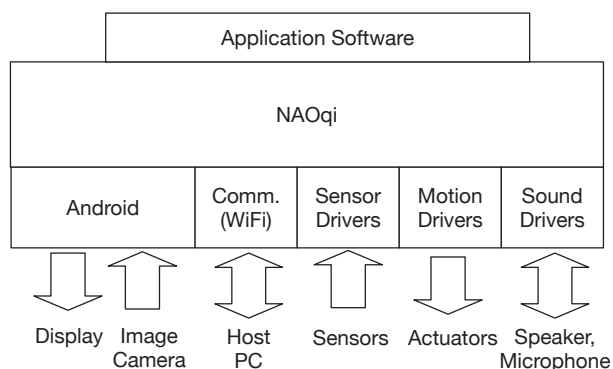


図1. NAO/Pepper のシステム構成

は NAOqi が直接駆動した。また、NAO にはディスプレイ機能がな
ない。

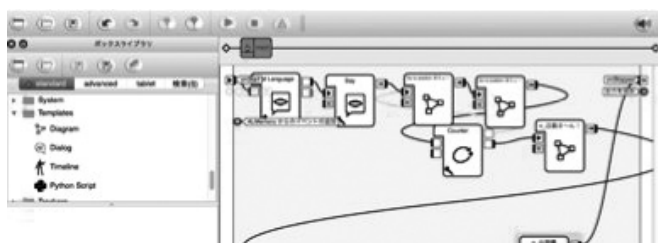


図2. コレグラフ操作画面（一部）

ロボット用のアプリは Win/Mac のパソコン上でコレグラフとい
う専用ソフトでプログラミングされ（図2参照）、完成したアプリは、
駆動の度に WiFi 経由で流し込まれて実行される。コレグラフには、
あらかじめ積み木に相当するモジュールが多数用意され、ユーザは
利用するモジュールを選び出し、それらの入出力を結線させること
でプログラムの流れを作る。このプログラミングは MIT の Scratch
プロジェクト^[4]のアプローチに類似する。一般の人々に、物語や
ゲーム、アニメーションを作る環境を提供し、パソコン画面上でモ
ジュールを組み合わせてプログラミングを体験させるからである。

もう一つのインターフェースは、パソコンから WiFi 経由でコマ
ンド列をロボットに送りだし逐一実行する方法である。Python で
記述すると親和性が良い。

また、第3の道として用意されているのは、第2のインターフェ
ースで作成した NAOqi が解釈できるコマンド列とそれらをスクリプ
ト的に結びつける Python で記述されたプログラムを一つのコレグ
ラフのモジュールとして登録する方法である。一度モジュールとし
て登録されれば、駆動は、コレグラフによるインターフェースで実
行されることになる。

4 ロボットと AI との連携研究

第一の研究目的に対応する進捗について報告する。

4.1 パターン認識処理

パターン認識にディープラーニングを適用する試みを2015年度
末から立ち上げた。256×256画素を入力ファイルとする先行システ
ムが安定して動いていたので、最初の試みとして、比較的高精細な
アニメ画像をインターネットから多数収集し、アニメのキャラク
ター依存の同定を試みた。具体的には、ラブライブの $\mu's$ に属する

9キャラクター^[5]と無作為に選んだ人間の画像を10個目のカテゴ
リーとし、全9491の画像ファイルを学習させた。



図3. GPU ボード搭載マシン——ディープラーニングのアクセラ
レーション用——

初期段階では、WinPC である Microsoft の Surface の CPU だけ
による学習で24時間要していたものが、GPU ボードを搭載したマシ
ン（図3参照）により約10分まで学習時間を短縮した。なお、学習
後のニューラルネットワークの学習結果（ニューラル・ユニット間
の係数マトリックス）搭載のマシンでは高速に認証が可能になる。
例えば、Apple のノート型パソコン MacBookAir の場合、複数キャ
ラクター掲載の画像ファイルに対し、入っている全キャラクタをほ
ぼ100%の成功率で、1秒以内の所要時間で認識する。



図4. 分類のための9カテゴリー（キャラクタ画像は出典^[5]）



図5. テスト画像に対する認識結果（キャラクタ画像は出典^[5]）

なお作業イメージとしては、図4のようなカテゴリを用意し、指定した枠色に合わせて、図5の顔の枠に同定結果を表示することに相当する。学会発表では、比較評価を共通の土台にするため、犬・猫などのような動物カテゴリ対象の画質の悪い画像ファイルについて評価し、Bot 攻撃に対する CAPTCHA の耐性評価の研究につなげた^[6]。

4.2 ロボットとの連携

ディープラーニングはネットから収集した1万ファイル弱の画像ファイルで学習したものであり、ロボットの目と言えるイメージカメラとの互換性に差異が生じる可能性があった。そこで、ニューラルネットワークの学習結果（ニューラル・ユニット間の係数マトリックス）をネット上の PC 上に用意し、NAO から画像データを収集し、それを対象に「顔」の同定ができるか確認した。すると、多くの場合、図6に示すように正しいキャラクタを出力した。

画像で学習したラブライブの μs のキャラクタのフィギュアでは実験しなかったが、比較的類似したもので実験（図7参照）し、同

```

project_ nao -- Python say_live.py
faces:0
not find any faces

faces:1
268
height:115width:115

1ninme
NozomiShape score:99.7%
HonokaShape score: 0.2%
NicoShape score: 0.1%
EliShape score: 0.0%
MakiShape score: 0.0%
UmiShape score: 0.0%
RinShape score: 0.0%
UnknownFaceShape score: 0.0%
HanayoShape score: 0.0%
KotoriShape score: 0.0%
```

図6. テスト用フィギュアの認識結果



図7. NAO によるフィギュアの認識

定することができた。また、写真などの平面画像の場合は、100%で成功した。なお、NAO には画面表示機能がないので、同定結果は音声で返した。

5 ロボットを利用する教育研究

小学生相手の子供サマースクール（7月末）に2016年と2017年の2年間協力した。1~2ヶ月の短期間ではあったがその準備のため毎週1限程度、学生（含む院生）6名を作業者として利用することになった。学生自身は少なくともC言語のプログラミング経験を持ち、小学生に1時間程度のロボット・プログラミングさせるには何をどうすべきかという課題に対して、真剣に議論した。

教員側の担当の助教等も指導に加わったが、3節にある3つのプログラミングのアプローチ方法があるなかで、ロボットを学びつつ、体験させる足掛かりをつかんでいった（以下の項目参照）。現段階はノウハウレベルであるが、プログラミングについて、自分よりピギナー相手に教えるという切り口から教育研究につなげつつある。

- ・機能を持つモジュールの組み合わせによるプログラミングは効率の良い学習になる（^[4]と同様のアプローチである。なお、確認したところ、2017年参加の小学生30名中約6名が Scratch 経験者だった）。
- ・モジュールが多種あれば、どれかを選択するだけであるので、多少複雑な作業でもじっくり集中し高度なことをさせられる。
- ・モジュールの一つに、ロボットにポーズを覚えさせるものがあり、これと発話機能を組み合わせれば比較的複雑な動きを作り出せる。
- ・プログラミングでは、繰り返し（ループ）と分岐を意識させ、ロボット特有の機能としては、並行（並列処理）と合流を意識させることが理解のポイントになる。
- ・C 言語よりは簡単であるが、Python のプログラミングは初学者には向かない。

6 複数ロボットの連動研究

NAO/Pepper の通常利用では、ロボット1にパソコン1の操り人形の関係になる。しかし、コレグラフでも、Python ダイレクト駆動でも、一つのパソコンから複数台のロボットを駆動するインターフェースが用意されている。したがって、複数ロボットの連動には、複数のパソコン間連携の並列プログラミングと、並列プログラミングで複数台で何をやらせるか目的をはっきりさせなくてはならない。

監視、入退室管理などで複数連動の研究を立ち上げる予定であったが、準備段階としてロボット機器調達に関連して付録に示すようなトラブルがあり今後の課題とした。

7 まとめ

工学部の重要機器整備費を利用して、ロボットと AI との連携研究、ロボットを教育に活用する研究、そして複数ロボットを連動させる複数の研究目的で研究を立ち上げた。当該の調達不首尾の影響もあり、まだ1年しか時間をかけていない。幸い2014年度末に、研究室ならびに学科共通予算により先行的に NAO と Pepper を導入したので、本報告の初期の立ち上げはできたが、肝心のロボットの台

数を増して行くテーマ本体の研究はカバーしきれていない。

謝辞

本資料作成に際しご協力頂いた大学院 M2生の坂井麻守君に感謝する。

参考文献

- [1] 村山龍太郎, 矢沢智史, 西村一彦, Pepper プログラミング – 基本動作からアプリの企画・演出まで, SB Creative (2015).
- [2] 下谷幸信, 伊東圭一, Pepper 最新事例に学ぶロボアプリ開発「ウェイティングボード」アプリに学ぶ HTTP・WebSocket を使った外部デバイス連携編, ナレッジオンデマンド (2017).
- [3] 代田淳平, 鶴口大志, Pepper 最新事例に学ぶロボアプリ開発プレゼンアプリ「ペップレ」に学ぶスマートフォン・サーバー連携編, ナレッジオンデマンド (2017).
- [4] “Scratch”, <https://scratch.mit.edu/>
- [5] “ラブライブ”, <http://www.lovelive-anime.jp/>
- [6] 坂井麻守, 森田光, Deep Learning の学習曲線を用いた CAPTCHA または画像パスワード認証, 2017年暗号と情報セキュリティシンポジウム, SCIS2017, 3B4-3 (那覇, 2017.1).

付録1 調達に関する補足

付録1-1 調達時期

2015年度の重要機器整備費で、以下とそれに関連するケースなどの周辺機器を購入する予定であった。

- ・ Pepper ; 2台
- ・ NAO ; 6台

ところが、Pepper の人気下がらず、抽選購入しかなかったのが断念した。また、2014年は対ドルレート105円で推移したので、それを前提に調達計画を行なったが、2015年は対ドルレート120円で推移し、調達時期を年度末まで引き延ばした。NAO はフランスからの輸入品であり、ユーロもドルと同じように推移したためである。

また、2015年の初頭より既に Pepper と NAO2台があったが、まだ技術情報が少なかったため、協力してくれる企業を中心に発注先の検討に時間をかけた。

付録1-2 調達不調

管財課協力の下、2015年度の2月納入（2016年2月）を前提に競争入札を行い、結局、NAO1台90万円程度で調達を行うことになった。

- ・ Pepper ; 0台
- ・ NAO ; 6台

ところが、2月時点の納入の受入れ検査で、NAO の製品番号（個体番号）について頭部パーツと本体パーツが不揃い（入れ換えていた）ことが発覚し、3月末までに正常化された。

2016年7月は全機種が正常動作していたが、2017年7月では2016年2月納入の機種が全て不調となっている。ちなみに、先行した2015年2月納入分は現在も正常動作するので、2016納入分は中古の充電機のためと思われる。レンタル・リース品として使い回してきたものが含まれていると思われる。しかし、通常市販品でないので

防止が困難である。該当の会社は製品に対する知識がないなど予兆はあったが、本学が調達を価格のファクタだけで決められ、2月に不首尾があったが、年度末だったので契約解除しにくかったなど悪条件が重なった。

モーションキャプチャシステムを用いたロボットの開発

林 憲玉*

Title

Hun-ok LIM*

1. 概要

昨今、人の住環境で稼働し生活支援することを目的とするロボットの開発が盛んに行われている。その中でも、住環境に適応して動作可能な機構を持つ人型のロボット開発が注目されている。人と同様の運動機構を持つことは一般的な住環境における汎用ロボットとしてタスクを実行する上で重要である^[1]。

本研究室でも住環境や医療・福祉分野での利用を目指し、ヒューマノイドロボットや一脚のジャンピングロボットおよび遠隔操作ロボットを開発してきた。これらの研究開発においてロボットの運動制御と人体運動の様相との比較解析を行うことは、人の住環境での運用を想定する上で必要である。

本報告では2014年度工学部特別予算重要機器整備費備品で購入した Phoenix Technologies (PT 社) 製モーションキャプチャシステム (通称 Visualeyez) および nac Image Technology (nac 社) 製アイマークレコーダー (通称 EMR-9) について説明する。

Visualeyez の写真を図1に示す。Visualeyez は人やロボットなどに LED マーカーを貼り付け、トラッカーにて読み取ることで人やロボットの動きを三次元的に高精度で計測することが可能なシステムである。また、人型に限定されず、構造物等の計測も可能である。Visualeyez の特徴として、Real-Time オペレーションを強く意識し

た設計が施されており、複雑で正確性が求められる人体の運動解析に適している。本研究室では、このモーションキャプチャシステムにより歩行動作と跳躍動作における人体の運動データを計測している。Visualeyez の仕様は表1の通りである。

表1 Visualeyez の仕様

計測範囲	上下左右90°
計測分解能	0.03mm
計測精度	0.8~1.2mm
計測可能距離	0.25~7.0m
重量	2.2kg

次に EMR-9 の写真を図2に示す。EMR-9 はカメラで人の視線を判定し、環境内のどこを見ていたかを計測するためのシステムである。EMR-9 の仕様は表2の通りである。EMR-9 はコントローラが小型化されており、被験者の行動を妨げずに高精度で視線を計測することが可能である。これにより、ロボットと相互作用する際の人の志向性や認識行動の解析が可能となる。本研究室では、このアイ



図1 モーションキャプチャシステム Visualeyez
(PT 社ウェブサイトより)

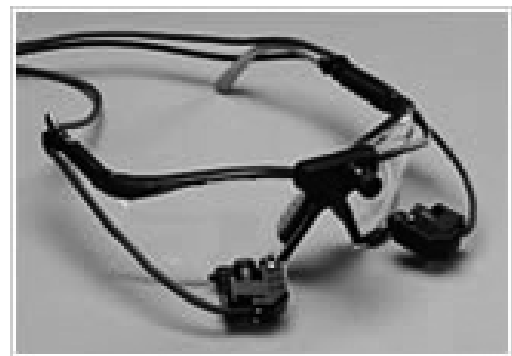


図2 アイマークレコーダーEMR-9
(nac 社ウェブサイトより)

表2 アイマークレコーダー EMR-9

計測分解能	上下左右0.1°
測定範囲	40°円
記録映像	640×480
計測データ	重畳視野映像、眼球拡大映像
重量	帽子：150g コントローラ：590g

*教授 機械工学科

Professor, Dept. of Mechanical Engineering

マークレコーダーを用いて操縦者の視線を計測し、適切な動作を行う遠隔操作型の移動ロボットを開発している。

上記2つの機器備品を使用することで、人とロボットの認知・行動機能の差異を理解し、人と共存するロボットの研究を行うことを目的としている。最終的には家庭や公共の施設などで人とロボットが共存してより安心で便利に暮らせる社会を築くことを目指している。以下、モーションキャプチャシステムの応用例として二足ヒューマノイドロボットと一脚ジャンピングロボットの詳細を述べ、アイマークレコーダーの応用例として遠隔操作ロボットの詳細を述べる。

2. 研究への応用例

2.1 二足ヒューマノイドロボットの開発

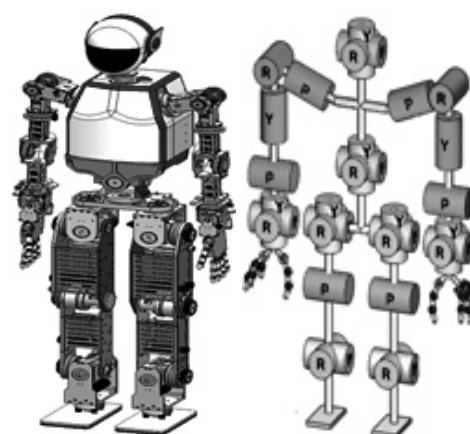
現在、本研究室のヒューマノイドロボット開発では、人の住環境に適応したロボットの制御を確立することを目的としている^[2]。特に、二足歩行を行うことで階段や小さな段差などを乗り越えることが可能になり、ロボットのためのインフラを用意する必要が無いなどの利点がある。しかし、階段や廊下などの段差や床面状態などの様々な条件が同時に存在する家庭内を想定すると、二足歩行の制御技術は更なる高度化が必要となる。そこで人の歩行に着目し、人のように柔軟に適応可能な歩行制御を実現することが目的となる。

図3に2016年度に開発した二足ヒューマノイドロボットの Kanagawa Biped Humanoid Robot (以下 KBHR) の全体像およびその自由度配置を示す。KBHR は全長が1.66 [m]、重量が55.4 [kg] であり、骨格の主な材料はアルミニウム (A7075) である。骨格の表面には白アルマイト加工が施されており他部位への通電を防いでいる。自由度配置は片脚6自由度、腰部3自由度、片腕7自由度、手部5自由度、首部3自由度となっており、合計42自由度で構成されている。また、各関節の可動角は人間とほぼ同等となるように設計している。KBHR は、制御用コンピュータに使用する OS に ART-Linux を採用している。これにより、安定したハードリアルタイム制御を可能にしている^[3-5]。図4に KBHR の通信制御の概要を示す。

KBHR には各関節にエンコーダ、腰部に6軸モーションセンサが搭載されており、歩行状態を計測している。6軸モーションセンサは x, y, z (横, 前後, 縦) 軸方向それぞれの加速度 [G] と x, y, z 軸方向の角速度 [deg/sec], 合わせて6軸分を同時に計測できるように設計されている。センサのサンプリングタイムは10~10000 [msec] の間で10 [msec] 刻みの指定ができる。また測定範囲も加速度 $\pm 2, 4, 8, 16$ [g] と角速度 (ジャイロ) $\pm 250, 500, 1000, 2000$ [deg/sec] の中から指定し、実験に応じた数値の計測と算出ができる。これらのセンサから読み取った KBHR の歩行データと Visualizeyaz から読み取った人体の歩行データを比較することで、歩行制御と人の歩行動作とで異なる運動量の特徴を解析し、歩行制御の設計にフィードバックすることが可能である。

2.2 一脚ジャンピングロボットの開発

本研究室では人間の脚の筋骨格を模したロボットを開発している^[6]。図5に開発した一脚ジャンピングロボットを示す。人間の筋肉に近い特性の空気圧アクチュエータを駆動源とし、それを単関節筋と二関節筋となるよう配置している。単関節筋は関節一つを跨ぐ筋肉で、関節の曲げ角度を調節する。また二関節筋は関節二つを跨



a 全体概略図 b 自由度図

図3 Kanagawa Biped Humanoid Robot

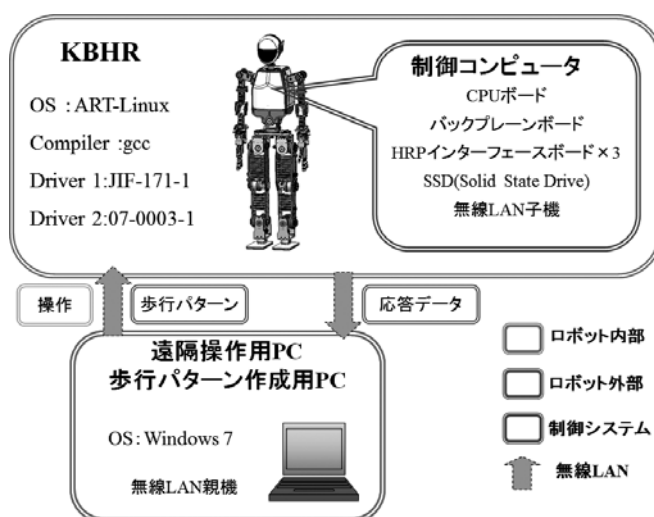


図4 KBHR の通信制御概要

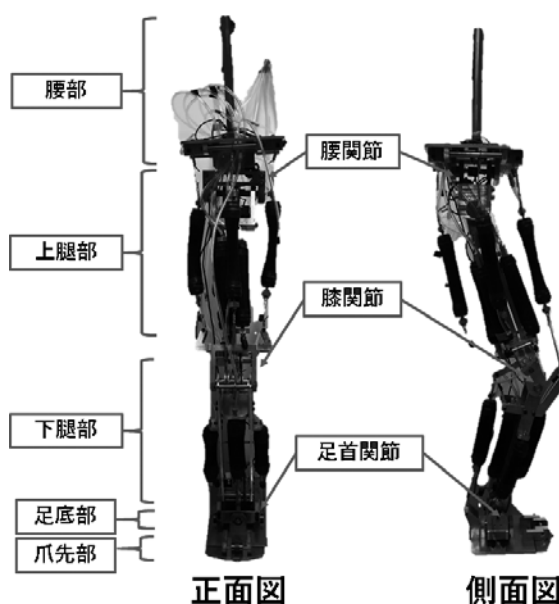


図5 一脚ジャンピングロボット

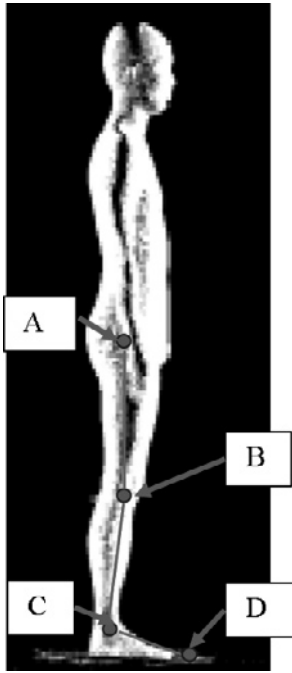


図6 マーカー取り付け位置

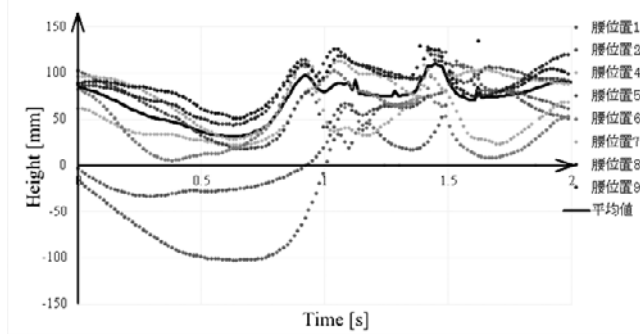


図7 跳躍時の腰位置高さの測定

ぐ筋肉で、力伝達要素として作用する。空気圧アクチュエータとして McKibben 型人工筋肉を用いており、人の筋肉と似た特徴を持っているため生物に近い滑らかな動作を実現することができる。人のようなダイナミックかつ滑らかな跳躍を実現するため、人の跳躍運動をモーションキャプチャーで測定し、跳躍に適した関節角度を解析した。図6に示すように人の腰、膝、踵、つま先部の4つの位置 A

～D にマーカーを取り付け、真上への跳躍時における位置情報を測定した。被験者には足の力だけで真上になるべく高く飛んでもらうように指示し、計9回の跳躍と測定を行った。図7に測定で得られた腰位置（図6での A 点）高さの遷移を示す。図7には9回分の跳躍とそれらの平均値を示している。関節ごとに測定される9回分のデータの平均値をロボットの運動制御の目標値として適用することで人体動作に近い自然な跳躍動作が可能となる。図8に一脚ジャンピングロボットによる跳躍動作の様子を示す。跳躍後の安定した着地が実現できており、人体の跳躍動作特徴の解析と応用に基づく動作制御の有効性が確認できた^[7-9]。

2.3 遠隔操作型ロボット

自律動作する人型ロボットとは違い、遠隔操作型のロボットの場合、操作者から受け取った指示に応じて適切な行動をとらなければならない。ところが、ロボットの操作には知識や熟練が必要であり、操作者の意図をロボットに反映させにくいといった問題がある。遠隔操作における人の操作指示は、目標物の観察や巡回など、特定の作業を遂行することを意図してなされている。このような意図を解釈し、制御に反映することができれば、操作者は遠隔操作におけるロボットの危険回避や狭路進入時の車体制御などの操作目的と直結しない操作タスクから解放され、より直感的な操作の実現が期待できる^[10]。

そこで、本研究の遠隔操作型ロボットシステムでは操作端末と環境計測センサを搭載した移動ロボットの開発と、アイマークレコーダーEMR-9を用いた自律動作と手動操作の融合システムを構築する。図9に開発した遠隔操作型ロボットの概要図を示す。このロボットの動作システムは、操作者の意図を反映する手動操作とロボット自身が判断して移動する自律動作の行動調停により構成されている。ロボットの移動方向や速度などの操作者の意図を操作端末とアイマークレコーダーからの視線動作の特徴から推定し、障害物回避や狭路進入の際の適切な制御量を出力することを目指している。

3. まとめ

モーションキャプチャシステムとアイマークレコーダーの概要を紹介し、これらを応用した研究結果の一例を示した。従来の人間共存型ロボット、特に人体を模したロボットの動作制御においては人体構造の生物学的知見や経験則および運動学から制御則を構築し

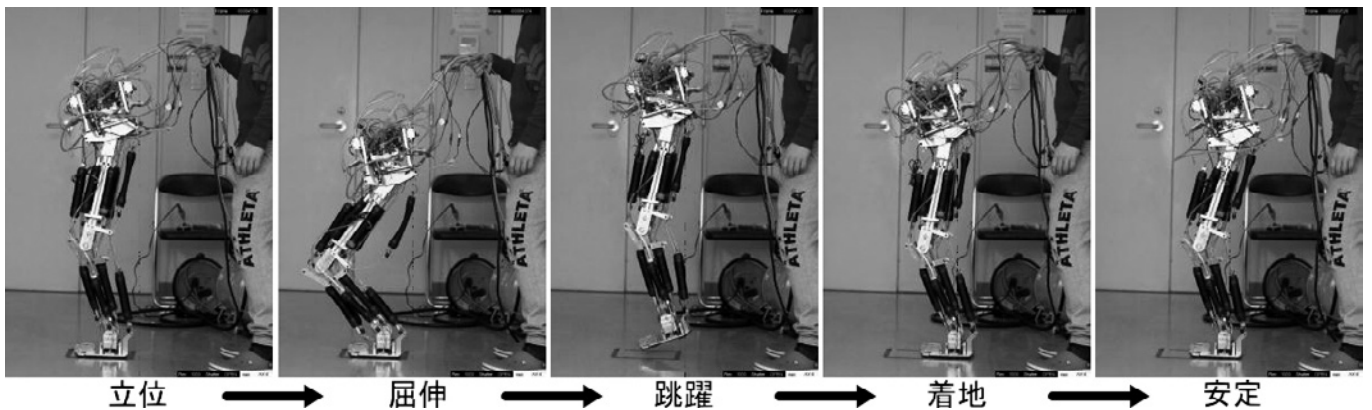


図8 一脚ジャンピングロボットによる跳躍動作

ていたが、モーションキャプチャシステムによる人体動作特徴の解析によってこれまでのロボット動作との差異から改善点の抽出が可能となった。人体の動作特徴の解析をさらに進めることで、人型ロボットでは前方への跳躍や連続跳躍などの実現が期待される。また、遠隔操作型ロボットでは操作者の意図を視線の動作から推定することで、操作端末のみと比べてより直感的で簡便な遠隔操作システムの実現が期待される。

参考文献

- [1] 奥石健, “新型 ASIMO のデザイナー人と相手をし続けるための進化-,” Honda R&D Technical Review, Vol.25, No.1, pp.7-12, 2013.
- [2] 鴨川雄樹, 桑原陽平, 林憲玉, “腱駆動機構を用いたヒューマノイドロボットハンドの開発,” ロボティクス・メカトロニクス講演論文集, RM14-0869, 2014.
- [3] 小澤理央, 梶原滉一郎, 高西淳夫, 田村泰人, 林憲玉, “2足ヒューマノイドロボットの7自由度アームの軌道生成に関する研究,” ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2A1-12b3, 2016.
- [4] Yuki Kamogawa, Kouhei Yamada, Hiroyuki Masuta and Hun-ok Lim, “Stability Control and Pattern Generation for Biped Humanoid Robot,” Proceedings of the 13th International Conference on Control, Automation and Systems, pp.910-915, 2013.
- [5] Rio Ozawa, Yuki Kamogawa, Yasuto Tamura, Hun-ok Lim, “Gait Pattern Generation under Disturbance Force,” 16th International Conference on Control, Automation and Systems, WA03-1, pp. 1127-1131, Gyeongju, Korea, Oct, 2016.
- [6] 飯島秀樹, 小室勇貴, 酒井慶次郎, 林憲玉, 高西敦夫, “人工筋肉を用いたジャンピングロボットの開発,” ロボティクス・メカトロニクス講演論文集, 3A1-E07, 2014.
- [7] 西晴義, 飯島秀樹, 瀬野洗太, 林憲玉, “人工筋肉を用いたジャンピングロボットの機構及び制御,” ロボティクス・メカトロニクス講演論文集, 1P2-C01, 2015.
- [8] Hideki Iijima, Keisuke Sayama, Hiroyuki Masuta, Atsuo Takanishi and Hun-ok Lim, “Mechanism of One-Legged Jumping Robot With Artificial Musculoskeletal System,” Proceedings of the 13th International Conference on Control, Automation and Systems, pp.869-874, 2013.
- [9] Yuya Yamamoto, Haruyoshi Nishi, Yusuke Torii, Atsuo Takanishi, Hun-ok Lim, “Mechanism and Jumping Pattern of One-Legged Jumping Robot with Pneumatic Actuators,” 16th International Conference on Control, Automation and Systems, pp.1132-1136, 2016.
- [10] 田村泰人, 鈴木孝二郎, 増田寛之, 林憲玉, “移動ロボットを用いた遠隔操作と自律動作の行動調停に関する研究,” ロボティクス・メカトロニクス講演論文集, 2A1-07a3, 2016.

生物多様性とデオキシリボ核酸 (DNA)

朝倉 史明*

Biodiversity and Deoxyribonucleic acid (DNA)

Nobuaki ASAKURA*

1. 緒言

地球上には、きわめて多種多様な生物が様々な生態系を形成し、存在している。生態系を保全し、これを利用した人間の生活を保持するためには、生態系における多様な生物種を保全することが重要である。生物間にみられる多様さを生物多様性とよんでいる。生物多様性には、種の多様性の他にも、生態系の多様性と、各生物個体のもつ遺伝子レベルでの多様性という、異なる3つのとらえ方がある。生物多様性については高校生物の教科書にも記載されている^(1,2,3)。1992年にリオ・デ・ジャネイロにおいて環境と開発に関する国際連合会議が開催された。特にこれ以降、世界的に生物多様性の重要性が強く認識されるようになった。近年、生物の多様性の低下が危惧されており、生物種や生態系を保全しようとする取り組みが行われている。

遺伝的多様性の根本には DNA レベルでの多様性が存在する。しかしながら、この DNA レベルでの生物多様性は日常的には目視できるものではなく、多くの人にとって身近ではなく、イメージが湧きにくいものである。そこで DNA レベルでの遺伝的多様性を体感し、生物多様性についての理解を深めるための実験プログラムの開発を始めた。本報では、その教育を目的とした実験プログラムに関する内容の概要を紹介する。また、日本ではあまり馴染みのない果樹であるが、シーベリーというグミ科植物の品種群に見られる遺伝的多様性の研究の一端についても紹介する。

2. DNA レベルでの遺伝的多様性を体感する実験プログラム

生物多様性の理解が重要になっている今、専門とする人以外の一般の方にあまり知られていない DNA レベルでの生物多様性の概念を体感的に理解していただくために、特に各家庭の台所にある身近な野菜や果物などの植物や花瓶に生けるような身近にある観賞用植物を材料とした実験プログラムを開発している。

(1) キッチン PCR の開発

野菜と果物の全15種類(表1)を材料とし、トリス緩衝液中で破碎した各々の材料からの粗抽出物をポリメラーゼ連鎖反応 (Polymerase Chain Reaction, PCR) に用い、反応条件を検討した。PCR によって増幅する標的領域として、DNA 領域の長さの多様性が検出しやすいことから、染色体 DNA の *psbA-trnH* 遺伝子間領域を選

表1. キッチン PCR に用いた野菜と果物

No.	実験植物	切り出し部位	皮の有無
1	キャベツ	葉	×
2	ダイコン	葉	×
3	ナス	果実	なし
4	ジャガイモ	茎	なし
5	トマト	果実	なし
6	ピーマン	果実	なし
7	キュウリ	果実	あり
8	ホウレンソウ	葉	なし
9	ニンジン	根	なし
10	レタス	葉	×
11	ダイズ	葉	なし
12	ネギ	葉	なし
13	タマネギ	茎	なし
14	ニンニク	球根	なし
15	パイナップル	果実	なし

んだ。実験の結果、各植物間において *psbA-trnH* 遺伝子間領域の長さの多様性を観察することが出来るようになった(図1)。台所にある身近な食材を植物材料として用いることから、この実験プログラムをキッチン PCR とよぶこととした。

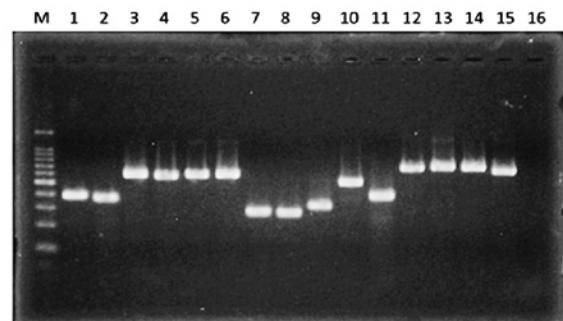


図1. キッチン PCR が示す *psbA-trnH* 遺伝子間領域の多様性16はネガティブコントロール

(2) ガーデン PCR の開発

キッチン PCR の開発ののちに、さらに違った植物を材料として用いることができるか検討した。やはり身近な植物が良いと考え、

*教授 生物学教室
Professor, Lab. of Biology

花屋で容易に入手できる15種類の観賞用植物（表2）を材料とすることとした。花卉を材料とするが、同種でも色の違う場合は異なる種類と数えている（表2、図2）。

表2. ガーデン PCR に用いた観賞用植物

No.	実験植物	花卉の色
1	カーネーション	赤
2	カーネーション	ピンク
3	カーネーション	緑
4	ガーベラ	ピンク
5	ガーベラ	黄 or オレンジ
6	スプレーギク	ピンク
7	スプレーギク	黄
8	バラ	赤
9	バラ	ピンク
10	バラ	黄 or オレンジ
11	トルコギキョウ	白
12	トルコギキョウ	ピンク
13	ユリ	白
14	ユリ	ピンク
15	ドラセナ	-*

* ドラセナのみ、葉を使用した。

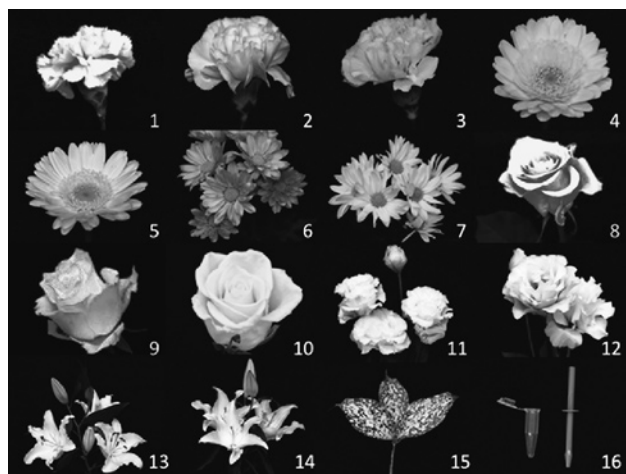


図2. ガーデン PCR に用いた観賞用植物

1から15は表2の通り 16は抽出に用いた1.5mL チューブとペッスル

キッチン PCR の時と同じく色素体 DNA の *psbA-trnH* 遺伝子間領域を標的とした PCR を行った。実験の結果、各植物間において *psbA-trnH* 遺伝子間領域の長さの多様性を観察することが可能であることがわかった（図3）。身近な観賞用植物を材料として用いることから、この実験プログラムをガーデン PCR とよぶこととした。

(3) 今後の展望

キッチン PCR, ガーデン PCR とともに、研究室の学生のように日常的に実験を行っている者にはほぼ失敗のない実験プログラムまでは完成させることが出来た。今後は、高校生などの一般の方が実験を行っても失敗することのない実験プログラムへと成熟させていくことを目標に、失敗しやすい実験条件を検証していきたい。例えば、

M 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

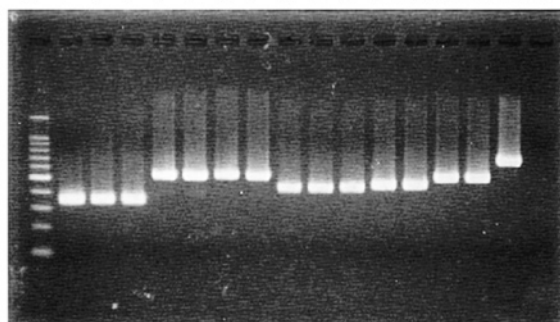


図3. ガーデン PCR が示す *psbA-trnH* 遺伝子間領域の多様性16はネガティブコントロール

材料とする植物の磨り潰し方、磨り潰して得た粗抽出物の保存方法、PCR の温度条件などを検討する予定である。さらに、安価な実験であった方がより一般的な実験プログラムになると考えられるため、本実験で使用する試薬の中で最も高価である DNA ポリメラーゼの量をどこまで減らすことが出来るか検討する予定である。そして、より充実した実験プログラムにするために、使用可能な植物材料を調査していきたい。

3. シーベリー品種群における遺伝的多様性の解析

グミ科植物のシーベリー *Hippophae rhamnoides* L. はユーラシア大陸に分布する雌雄異種の落葉底木果樹である。最近の分類では、*Hippophae* 属植物は7種に分けられており、そのうち *H. rhamnoides* (シーベリー) はさらに8亜種に分類されている⁽⁴⁾。シーベリーは防風や土壌保全の目的で利用される一方、果実にはビタミン、ミネラル、不飽和脂肪酸などの豊富な栄養素を含んでおり、健康食品としても利用されている。シーベリーは二倍体 ($2n=24$) の雌雄異株植物であり、風媒により種子を着ける。X/Y 性染色体が関与する機構によって性別が決定すると考えられているが、その詳細は明らかになっていない。

今後、様々な特性をもった新しい品種を育成していく上で、現在ある品種群の遺伝的多様性を明らかにすることは重要な意味を持つ。そこで RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) 分析および色素体 DNA の塩基配列分析によるシーベリー品種群の遺伝的多様性解析に着手している。

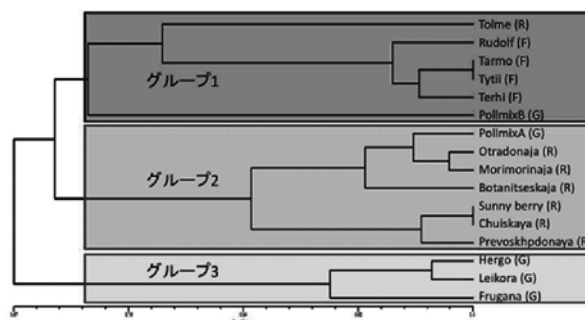


図4. RAPD 分析からみたシーベリー品種群の遺伝的多様性

(F) : フィンランド系品種, (R) : ロシア系品種, (G) : ドイツ系品種



図5. シーベリー品種群内における *psbA-trnH* 遺伝子間領域の塩基配列多型

*は全品種で一致していることを示す。

(1) RAPD 分析

RAPD 分析は任意の10塩基からなる単一のプライマーを用いた PCR により、比較したい系統や品種間の DNA レベルの差異を検出する分析手法である⁽⁵⁾。PCR の条件はシーベリーに前例に従った⁽⁶⁾。得られた DNA 断片の有無を品種間で比較して得られた結果をクラスター解析したところ15品種は三つのグループに大別された(図4)。

三つのグループの各々はだまかには同じ国で育成された品種から構成されていたが、それに合わない品種もあった。グループ1には主にはフィンランドの品種が含まれ、グループ2には主にはロシアの品種が含まれ、グループ3にはドイツの品種のみが含まれていた。

(2) 色素体 DNA の塩基配列分析

psbA-trnH 遺伝子間領域の塩基配列の解読を行って品種間で比較したところ、三つのタイプが存在するとの結果を得ることが出来た(図5)。タイプ A と分類された品種にはフィンランドで育成された品種とロシアで育成された品種とドイツで育成された品種が含まれていた。タイプ B と分類された品種にはドイツで育成された品種とロシアで育成された品種が含まれていた。タイプ C にはドイツの品種のみがあった。

(3) 今後の展望

RAPD 分析によるシーベリー品種群の分類と *psbA-trnH* 遺伝子間領域の塩基配列の解析による分類はともに三つに分けることが出来たという点では一致しているが、各グループに含まれる品種は異なっている。RAPD 分析では全 DNA を対象にして遺伝的多様性を解析しているが、その内容は主には核 DNA である。この点を考慮すると、核 DNA における分類と色素体 DNA の分類に不一致があるということを意味しているとも考えられる。今後は核 DNA と色素体 DNA、あるいはミトコンドリア DNA の解析をさらに行い、シーベリー品種群の遺伝的多様性、遺伝的分化の様相を明らかにし、今後のシーベリー育種のための基礎的知見を得ることに努める。

4. おわりに

ここで述べてきましたほとんどの内容は総合工学プログラムから卒業研究を行うために配属してくれました学生による成果です。まだまだ未完成ですが、将来大きく実を結ぶことを思い描き、今も研究室では学生と研究を続けています。指導が下手で、人間的にも至らない私は何度も学生を傷つけたことと思います。謝りたいと思

うと同時に、社会に出てからの大きな成長のためにも、恩師が私に与えてくださいました無形の財産を神奈川大学の学生にも引き継ぐことが出来ればと願う次第です。

謝辞

シーベリー品集群の遺伝的多様性の解析において、共同研究者として研究に関わる重要なご指導を頂くと共に、材料とした各品種をご提供くださいました東京農業大学農学部河合義隆教授に厚く御礼申し上げます。ガーデン PCR の開発において、毎週、材料とした観賞用植物を調達してくださいました横浜花日和さんに心より御礼申し上げます。研究室の整備に日頃から苦心頂いています神奈川大学工学部生物学教室の中川理絵准教授に深く御礼申し上げます。研究遂行に尽力してくれた学生であります、横田勇斗君、金古聡史君、浅野優人君、長谷川聖君の幸せを祈るとともに感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 本川達雄, 渡辺守, 谷本英一, 飯島和重, 赤坂甲治, 池田博明, 石浦章一, 稲葉浩介, 片山豪, 木村進, 舘野正樹, 高橋和成, 西田治文, 平田泰紀, 増沢武弘, 牧野修司, 渡辺政隆, 生物, 啓林館 448-456. (2012)
- (2) 吉里勝利, 阿形清和, 筒井和義, 倉谷滋, 三村徹朗, 飯山浩二, 中井咲織, 木之上馨, 中島光博, 櫻井昭, 原紺勇一, 下村肇, 平岡さゆり, 白石直樹, 藤本英行, 関敏彦, 古本大, 生物, 第一学習社 344-350. (2014)
- (3) 嶋田正和, 久保田洋, 坂井建雄, 塩川光一郎, 鈴木孝仁, 鈴木誠, 園池公毅, 田村実, 仲田崇志, 湯本貴和, 板山裕, 大森茂樹, 久保田一暁, 中井一郎, 中道貞子, 中村厚彦, 中村哲也, 鍋田修身, 早崎博之, 林誉樹, 矢島正博, 生物数研出版 318-327. (2014)
- (4) U. Swenson and I. V. Bartish Taxonomic synopsis of *Hippophae* (Elaeagnaceae) Nord. J. Bot., 22: 369-374. (2002)
- (5) J. G. K. Williams, A. R. Kubelik, K. J. Livak, J. A. Rafalski, and S. V. Tingey. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. Nucleic Acids Res. 18, 6531-6535. (1990)
- (6) H. A. Persson and H. Nybom Genetic Sex Determination and RAPD Marker Segregation in the Dioecious Species Sea Buckthorn (*Hippophae Rhamnoides* L.) 129, 45-51. (1998)

油圧式万能試験機を利用した教育・研究

佐藤 宏貴*, 齊藤 隆典**, 趙 衍剛***

Education and Research Using Hydraulic Universal Testing Machine

Hiroki SATOU* Takasuke SAITO** Yan-Gang ZHAO***

1. 装置概要

2013年度工学部特別予算重要機器整備費にて導入した島津万能試験機 UH-F1000kNX は、既存の島津万能試験機 UH-100C の代替機であり、上下クロスヘッドに前方開放型の油圧ロータリ式チャックを装備し、引張試験片の着脱が容易かつ安全に行えるなどの特徴があり、「建築構造・材料実験（前期）」、「建築学実験（後期）」の他、各研究室の卒業研究・修士論文等で年間を通して常時利用されている。

建築構造部材に利用される材料は鋼材、コンクリート、木材、ゴム等多岐にわたり、構造部材はこれらの材料特性を活かし、組み合わせで設計・製作されるのが一般的である。研究段階における構造部材の実験においては、その都度、試験体に使用された材料の機械的性質を材料試験により確認する事が不可欠であるが、建築構造部材として利用される材料は一般的に大断面で使用され、作用する荷重も数万 kN に及ぶため、材料試験においても比較的大きな負荷能力が必要となる。また、建築構造分野では材料の塑性化後や破壊時および破壊後の材料特性も考慮した設計が行われる事から、材料試験機に高度な制御精度が求められる場合もある。

以上の事から、「建築構造・材料実験（前期）」、「建築学実験（後期）」などの授業や各研究室が利用するにあたり 1000kN の最大負荷能力を有し、高性能 RISC プロセッサを用いた高速処理制御と電気油圧サーボ式クローズドループシステムを採用した、精度、操作性、信頼性において十分な性能を有する当該機器^[1]を選定した。また、UH-F1000kNX は試験中に測定される試験力やひずみのデータをもとに、制御パラメータをリアルタイムでセミオートチューニングでできるため予備試験が不要であり、分解能を高めることで高精度な応力制御・ひずみ制御試験を1つのレンジで行うことが可能である。操作用インターフェースについても操作方法が簡便化されており、利用時の機器損壊の防止や、操作ミスの減少なども期待される。そのほかに、材料試験は多数の試験片について試験を行うことも少なくないため、開放式油圧チャックを備えた仕様へのリペアは試験数の多い研究では非常に有効となる。

写真1.1に島津万能試験機 UH-F1000kNX 形試験機本体および計

測制御装置を示す。当該機器の利用例として写真1.2にコンクリート圧縮強度試験の試験状況を示す。コンクリート供試体には静弾性係数を算出するためにコンプレッションメータを取り付け、標点間の変形を計測している。図1.1に各供試体の応力度－ひずみ関係、図1.2



写真1.1 UH-F1000kNX



写真1.2 コンクリート
圧縮強度試験

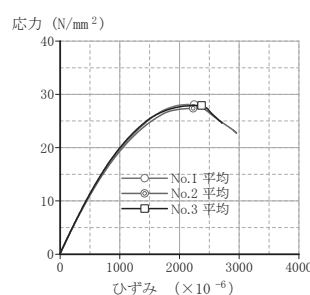


図1.1 応力度－ひずみ関係

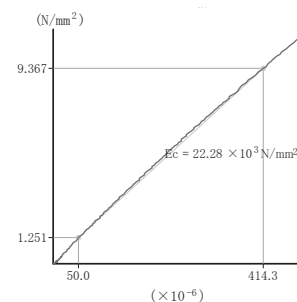


図1.2 静弾性係数算出図

表1 コンクリート圧縮強度試験結果

供試体 No.	圧縮強度 N/mm ²	静弾性係数 ×10 ³ N/mm ²	最大荷重 ひずみ×10 ⁻⁶	見掛け密度 kg/m ³	引張強度 N/mm ²
1	28.1	22.28	2248	2190	2.04
2	27.4	22.00	2230	2194	2.24
3	27.9	22.81	2370	2204	2.45
全平均	27.8	22.36	2283	2196	2.25

*技術職員 建築学科

Technical Assistant

**助教 建築学科

Assistant Professor, Dept. of Architecture

***教授 建築学科

Professor, Dept. of Architecture

に No.1 供試体の静弾性係数算出図を示す。表 1 に各供試体の試験結果を示す。引張強度は割裂引張強度試験による。

2. 研究への利用例の紹介

「デジタル画像相関法を用いたコンクリートの光学的全視野変形計測」^[2] 齊藤隆典**, 趙衍剛***

コンクリートを対象とした変形計測を行う場合、変位計やひずみゲージといった計測デバイスを用いることが一般的であるが、対象物に直接接触した状態での計測が前提となるため、設置条件等の物理的な制約が計測の障害になる場合がある。そこで、このような従来型の計測法に対して、デジタルカメラ等の光学機器を用いることで部材表面の変形状態を画像情報として捉え、取得画像を画像解析することによって、対象物と非接触状態での変形の計測が試みられている。画像解析による全視野変形計測の研究は、ひずみゲージ等では通常計測することが困難な、対象全体のひずみ分布をより詳細に捉え得る可能性を有しているが、計測の精度や対象物に表面処理を施す必要がある等の観点から、限定的な適用範囲に留まっているのが現状である。そこで、齊藤・趙は、特別な表面処理を施すことなく、より高精度で実用的にコンクリートの変形挙動を計測することを目的として、画像解析アルゴリズムにデジタル画像相関法と二次曲面近似手法を採用した計測法を構成し、コンクリート試験体の一軸圧縮実験による計測結果からその精度について検証を行っている。更に、計測精度に影響を及ぼすと想定される画像解析条件をパラメータとするパラメトリック解析を実施することで、その影響について検討を加えている。

写真 2 に計測時セットアップの状況を示す。計測法の構成は画像解析用 PC と画像撮影用光学機器および計測対象から成る。計測対象であるコンクリートの圧縮には島津万能試験機 UH-F1000kNX を利用し、変位速度一定で载荷した状態において画像撮影と各種データの計測を行っている。

図 2.1 にコンクリート試験体の軸方向応力-ひずみ関係の比較、図 2.2 にコンクリート試験体の軸方向荷重-軸方向変位関係を示し、図 2.3 には画像解析結果に基づく試験体ひび割れ発生後の応力低下域でのコンクリート表面ひずみを示す。この研究成果をふまえて、実大に近いスケールの建築構造部材の全視野変形計測への応用研究を現在進めている。

3. おわりに

当該機器は 2013 年度工学部内重要機器整備費により導入されました。ここにご協力いただきました皆様に深く感謝の意を示します。

【参考文献】

[1] 島津万能試験機 UH-F1000kNX 形仕様書 S221-1482

【引用文献】

[2] 齊藤隆典, 趙衍剛, デジタル画像相関法を用いたコンクリートの光学的全視野変形計測, コンクリート工学年次論文集, 36(2),

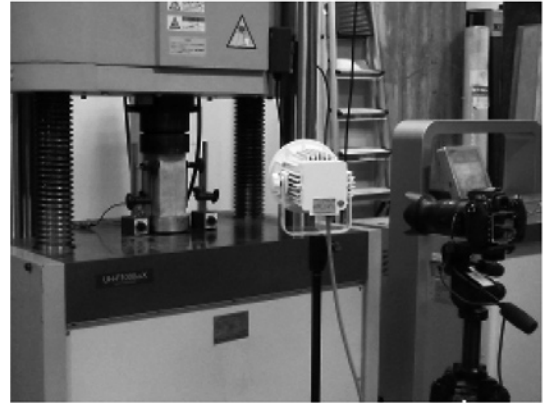


写真2 計測時セットアップの状況

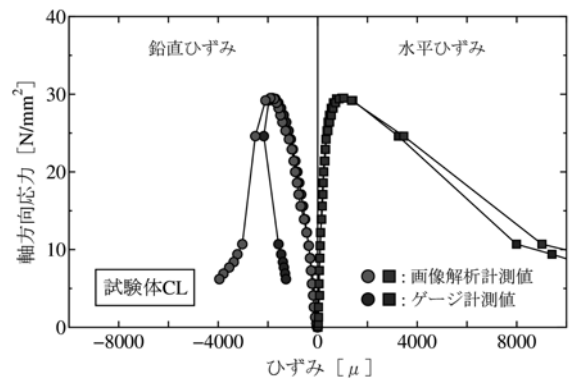


図2.1 軸方向応力-ひずみ関係の比較

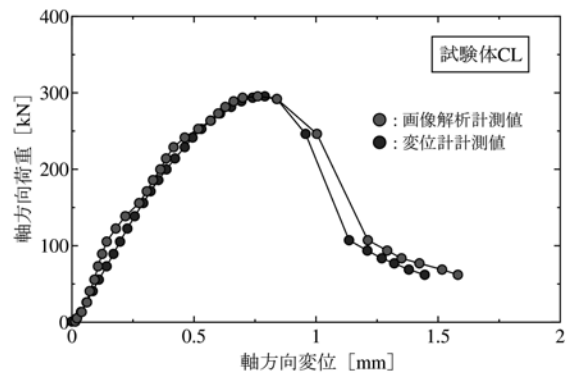


図2.2 軸方向荷重-軸方向変位関係の比較

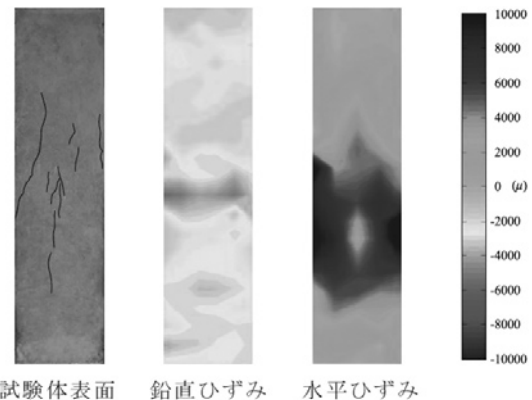


図2.3 コンクリート試験体のひび割れ後の応力低下域でのコンクリート表面ひずみ

85-90 (2014.7)

【当該機器を利用した主な受託研究】

- [3] 長寿命建築システム普及推進協議会「アンボンドPC 梁部材の弾塑性挙動の把握」(2014)
- [4] 一部屋耐震シェルター「安全ボックス」の水平加力試験(2014)
- [5] ボイドスラブの構造性能に関する実験的研究(2015)
- [6] 「ボイドスラブの長期荷重載荷実験」(2016)
- [7] 「鉄筋コンクリート造大梁中央重ね継手工法の構造」(2016)

【当該機器を利用した主な研究論文】

- [8] 飯塚亮他,「累積塑性歪エネルギー率の大きな座屈拘束ブレースの研究」, 日本建築学会構造系論文集, 700, 847-855 (2014.6)
- [9] 小谷野一尚他,「疲労性能の高い座屈拘束ブレースの研究」, 日本建築学会技術報告集, 47, 137-140 (2015.2)
- [10] 菱田俊介他,「鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験的研究: 鋼製ずれ止め位置が力学性能に及ぼす影響及び座屈変形の評価」, 日本建築学会構造工学論文集, 61B, 141-149 (2015.3)
- [11] 小谷野一尚他, 座屈拘束ブレースの小塑性歪振幅における疲労性能の研究, 日本建築学会技術報告集, 50, 115-119 (2016.2)
- [12] 菊池健太郎, 島崎和司, RC 梁のせん断補強筋とクラック幅に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, 38(2), 205-210 (2016.6)
- [13] 齊藤隆典, 趙衍剛, 位相限定相関法を用いた RC フレーム構造の光学的全視野変形計測, コンクリート工学年次論文集, 38(2), 847-852 (2016.7)

5. 工学研究所共同研究

- 5-1 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの製作時の品質管理値の検証
小谷野 一尚, 岩田 衛, 荏本 孝久, 緑川 光正, 坂田 弘安, 藤田 正則
- 5-2 ナノ空間制御シリカへのペプチド固定化による高性能不斉触媒の開発
吉田 曉弘
- 5-3 混合価数酸化物 Sn_3O_4 光触媒を用いた各種犠牲剤溶液からの水素発生の検討
田邊 豊和, 松本 太
- 5-4 無機触媒/半導体ハイブリッド型水素・酸素生成太陽光熱電池の創製
松木 伸行, 山口 栄雄, 本橋 輝樹, 米田 征司, 佐藤 知正
- 5-5 次世代型医薬品開発を目指した希少糖や核酸誘導体の合成と生物活性評価システムの構築
赤井 昭二, 實吉 尚郎, 小野 晶
- 5-6 炭素ナノ材料に内包された水の熱物性
客野 遥, 佐々木 志剛

鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの製作時の品質管理値の検証

小谷野 一尚* 岩田 衛** 荻本 孝久** 緑川 光正*** 坂田 弘安**** 藤田 正則*****

Verification of Quality Control Values for Fabricating the Buckling-Restrained Brace Using Steel Mortar Planks

Kazuhiya KOYANO* Mamoru IWATA** Takahisa ENOMOTO** Mitsumasa MIDORIKAWA***

Hiroyasu SAKATA**** Masanori FUJITA*****

1. 序

座屈拘束ブレースは安定した復元力特性を有するため、中低層建築物では耐震ブレースとして、超高層および高層建築物では制振ブレースとして利用される。設計指針等や既往の研究^[1~6]により、様々な構造性能が明らかにされ、信頼性のあるものとして扱われている。特に損傷を座屈拘束ブレースに集約する損傷制御構造^[7]では、水平力を一手に担うものとなっており、重要な部材である。

しかしながら、座屈拘束ブレースが真に信頼性を得るためには、設計時に期待した構造性能を実際に発揮できることが前提であり、言い換えるならば、製作時の初期品質が確保されていること、運用時の損傷履歴をヘルスマonitoringし残存性能が把握されていることが条件となる。これらを管理するためには、座屈拘束ブレースのライフサイクルにおける設計計画、材料調達、製作、施工、運用、廃棄の各段階での品質情報を記録し、不具合があった場合には情報を遡れるようにしておくことが必要である^[8,9]。

本研究では、著者らが長年研究を続けている、図1に示すような品質管理の容易な鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレース（以下、BRBSM: Buckling-Restrained Brace Using Steel Mortar Planks）を対象に、BRBSMのライフサイクルの製作段階に着目し、製作時の初期品質を確保するための方策として、品質管理項目および品質管理値を設定する。特に構造性能に影響する品質管理項目であるクリアランスおよび縮み代（以下、ギャップという）については、これらをパラメータとした検証実験を行う。更に、実大のBRBSMのモックアップを製作し、設定した品質管理値の妥当性を検証する。

* 助手 建築学科

Research Associate, Dept. of Architecture

** 教授 建築学科

Professor, Dept. of Architecture

*** 客員教授 工学研究科, 名誉教授 北海道大学

Guest Professor, Research Institute for Engineering

Professor Emeritus, Hokkaido University

**** 教授 東京工業大学

Professor, Tokyo Institute of Technology

***** 教授 山口大学

Professor, Yamaguchi University

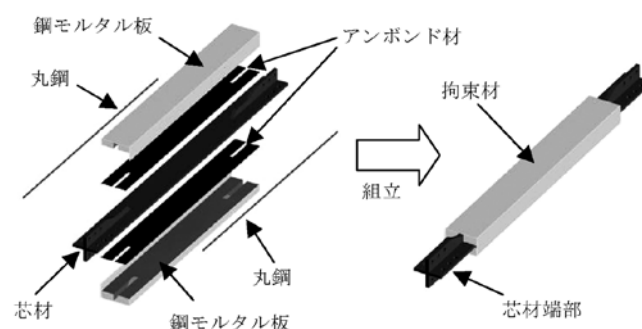


図1 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレース (BRBSM)

2. BRBSM の特徴

2.1 力学的な特徴

BRBSMは、芯材を拘束材で補剛することにより、圧縮力下においても座屈を抑え、引張力下と同等の性能を発揮する部材であり、安定した復元力特性を有している。

以下に、既往の研究^[1~6]により解明されている構造性能を左右する累積塑性歪エネルギー率 ω と圧縮引張耐力比 α を示す。

1) 累積塑性歪エネルギー率 ω

エネルギー吸収能力を表す累積塑性歪エネルギー率 ω は、復元力特性から算出した累積塑性歪エネルギー E_i を、芯材の降伏荷重 P_y と弾性限界変形量 δ_y を乗じた値 W_y で除した無次元化量である。 ω が大きいとエネルギー吸収能力が高いことを表す。

$$\omega = \frac{E_i}{W_y (= P_y \times \delta_y)} \quad (1)$$

終局状態が弱軸回りの局所変形で決定する場合には、 ω は拘束指標 R によって、下記により下限式を設定している^[3,5]。

$$\omega = 150 \times R \quad (R \leq 6) \quad (2)$$

$$\omega = 900 \quad (R > 6) \quad (3)$$

ここで、 R : 拘束指標 ($= P_E/P_y$)、 P_E : 拘束材のオイラー座屈荷重。

また、 R を大きくすると芯材の引張破断となり、局所変形の場合よりも ω が大きくなり、エネルギー吸収能力が高くなる。

2) 圧縮引張耐力比 α

圧縮引張耐力比 α は、圧縮耐力 P_c を引張耐力 P_t で除した値である。既往の研究^[5]で次式を設定している。

$$\alpha = \frac{P_c}{P_t} \leq 1.15 \quad (4)$$

ここで、 P_c , P_t : 各軸歪における圧縮時および引張時の最大荷重.

歪振幅が大きいかほどポアソン比の影響で芯材の断面が変化するため、引張時よりも圧縮時で α が大きくなる。また、芯材の高次モード座屈による拘束材との接触により発生する摩擦力が原因で α が大きくなる。 α が大きくなると早期に局部変形を生じることや、柱梁等の主架構や接合部に損傷を与える可能性がある。

2.2 製作時の特徴

BRBSMは、芯材を微小な座屈をするためのクリアランスを確保した上で、拘束材となる2つの鋼モルタル板により挟み込み、溶接によって一体化したものである。拘束材のモルタルを打設した後に組み立てる手順をとっているため、モルタル打設時の充填状況を目視で確認することができる。更には、芯材と拘束材の合体前と合体後の寸法を比較することで、実際のクリアランスを計測することができる。また、芯材とモルタルが接触する可能性がある内部ギャップについても合体前に計測し、確認することができる。これらのことから、品質管理が容易にできる座屈拘束ブレースと言える。

また、耐力調整や剛性調整^[2]が必要になり、芯材塑性化部よりも芯材端部や補強リブが大きくなる場合や、接合部耐力を確保するためにボルト本数が多く必要になり、芯材端部が拘束材より大きくなる場合でも、鋼モルタル板を後から挟み込む製作手順を取ることで、芯材端部ディテールの設計自由度が大きい。

2.3 基本タイプと高性能タイプ

BRBSMは芯材形状の違う、基本タイプ (Basic type) と高性能タイプ (High-performance type) に分類できる (図2(a), (b)).

基本タイプの芯材は塑性化部および接合部まで全長の幅を一定とすることができるため製作が容易であり、高性能タイプに比べ幅を小さくすることができる。強軸回りには丸鋼を入れる。塑性化部にリブを溶接する熱影響部が発生する。

高性能タイプはエネルギー吸収能力を高くするために塑性化部の両端部に絞りを設け (R部)、塑性化部からリブ溶接による熱影響部を排除し、空いたスペースに強軸回りの変形を抑制するためのスペーサーを設けている。塑性化部の長さはR部の位置によって調整することが可能である。

3. 製作時の品質管理値の設定

製作時の品質を管理する項目について、寸法の精度に関する品質管理値を設定する。また、管理許容差と限界許容差を設定する。図3(a)~(f)に試験体形状に対応した品質管理項目、表1に品質管理値の抜粋を示す。

クリアランスおよびギャップは既往の研究から得られた数値、その他の項目については、鉄骨精度検査基準^[10~12]により設定する。

管理許容差は、製品の95%以上が満足するように製作・施工上の目安として定める目標値である^[10~12]。限界許容差は、これを超える誤差は原則として許されないものとした個々の製品の合否判定のための基準値である^[10~12]。これは、十分な管理体制下で製作された製品の寸法精度が正規分布しているとの前提にたっている。

3.1 クリアランスの品質管理値

BRBSMには様々な力学的特性のうち、図3eに示す芯材とモルタル面とのクリアランスは構造性能を左右する重要なパラメータである。クリアランスが小さいほど累積塑性歪エネルギー率 ω は大きくなる^[1]。しかし、あまりに小さすぎるとポアソン比の影響により芯材と拘束材が接触し、拘束材も圧縮力を負担するため圧縮引張耐力比 α が大きくなる。一方、クリアランスが大きいと座屈モードの振幅が大きくなり、芯材の一部に局部座屈による変形が集中するため、早期の局部変形が生じる。

必要なクリアランスは芯材厚によって変化するため、クリアランス比により品質管理値を設定する。クリアランス比の最小値についてはポアソン比を考慮し、軸歪 ϵ (%) にポアソン比 (=0.5) を掛けた値とする。制振ブレースとして適用する場合は軸歪3.0%分を見込み、芯材厚の変形量は1.5%となる。

$$\frac{\Delta t}{t} = n \left(\frac{\Delta L_p}{L_p} \right) = 0.5 \times \epsilon (\%) \quad (5)$$

ここで t は芯材厚、 Δt は芯材厚変形量、 ν はポアソン比 (=0.5)、 L_p は芯材塑性化部長さ、 ΔL_p は芯材塑性化部変形量、 ϵ は軸歪 (%)。

既往研究^[1,4,5]よりクリアランス比の最大値15%を品質管理の上限值とする。

$$0.5 \times \mu (\%) \leq \frac{C}{t} \leq 15 (\%) \quad (6)$$

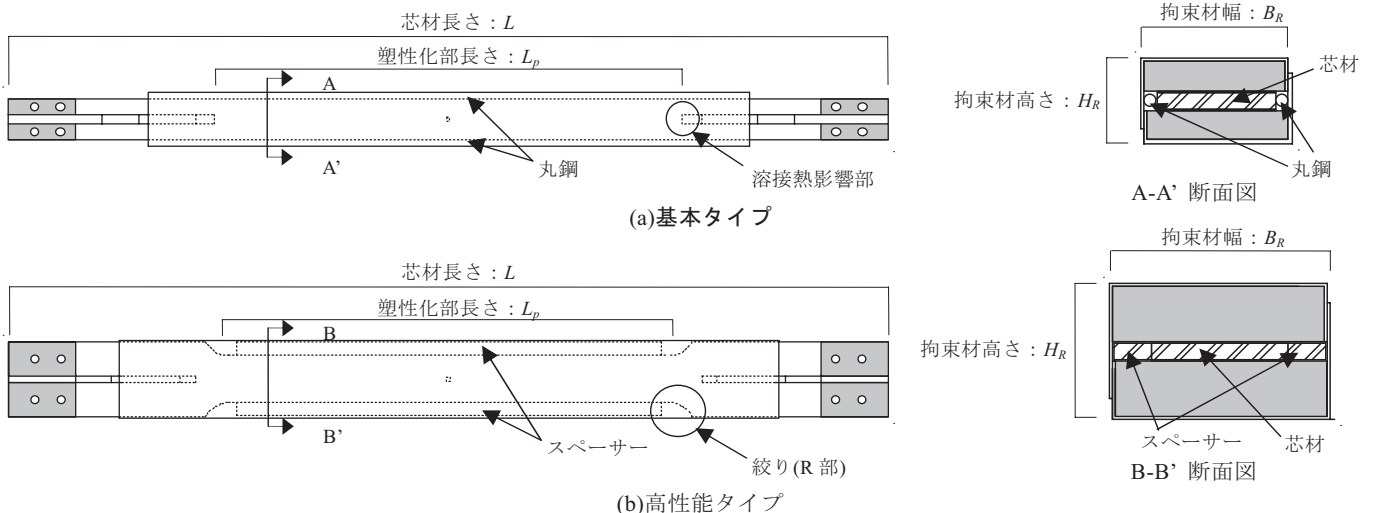


図2 座屈拘束ブレース試験体

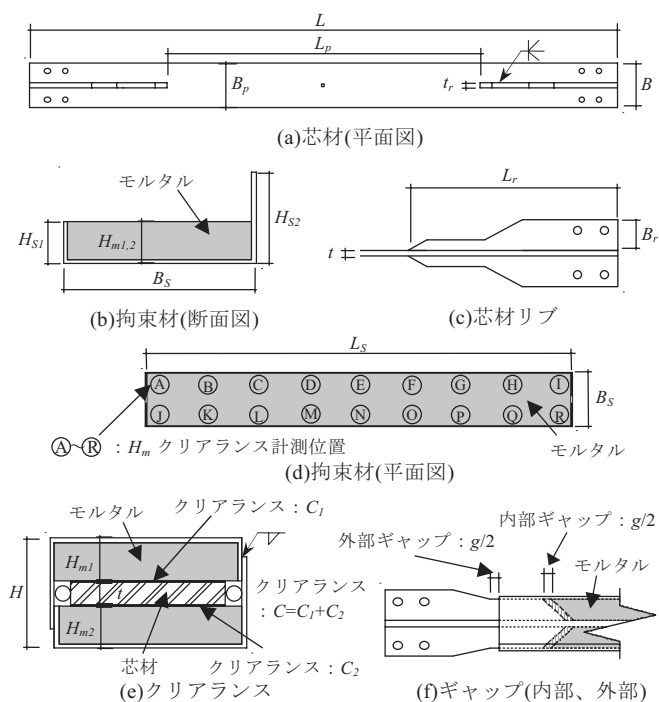


図3 品質管理項目 (non scale)

ここで C/t はクリアランス比。(6)式は製作許容差を含む。

C はクリアランスであり、図3(e)に示す芯材の表裏のクリアランス C_1 とクリアランス C_2 を足したものである。

クリアランスは拘束材のモルタル表面平坦さの精度やアンボンド材の変化により変動するため、組立後でないとい計測できない。このため、組立後の高さ H_R から拘束材のモルタル面までの高さ H_{m1} 、 H_{m2} 、芯材厚 t を減じることで設定する(図3(e))。

$$C = C_1 + C_2 = H_R - H_{m1} - H_{m2} - t$$

クリアランスの管理にあたっては、図3(d)に示す均等間隔にしたA~Rの位置について計測する。

3.2 ギャップの品質管理値

芯材の圧縮時に、図3(f)に示す拘束材と芯材の間隔である外部ギャップ並びに、芯材のリップと拘束材内部モルタルの間隔である内部ギャップが小さいと、芯材と拘束材の接触により剛性が高くなり耐力が上昇する。圧縮時の耐力が大きくなることは、圧縮引張耐力比 α が大きくなり、早期の局部変形につながり構造性能が低くなる。また、柱梁等の主架構や接合部に損傷を与える可能性がある。よって、内部と外部のギャップを適切な数値で品質管理する必要がある。

ギャップの品質管理値は芯材の伸縮量を考慮し、想定する変形量分以上を見込めば良い。ギャップ (g) は芯材が変形する部分である芯材塑性化部長さ L_p の軸歪 ε (%) 分を見込む。ただし、片側の場合、半分 ($g/2$) とする。制振ブレースとして適用する場合は軸歪3.0%時の変形量を最小値とする。

$$L_p \times \varepsilon(\%) \leq g \quad (7)$$

$$L_p \times \frac{\varepsilon(\%)}{2} \leq \frac{g}{2} \quad (8)$$

ここで g : 両側分のギャップ, $g/2$: 片側分のギャップ。(8), (9)式は

表1 品質管理項目と品質管理値

対象部材	測定項目	品質管理値	
		管理許容差	限界許容差
芯材	長さ ' $\Delta L'$ '	$-3\text{mm} \leq \Delta L \leq +3\text{mm}$	$-5\text{mm} \leq \Delta L \leq +5\text{mm}$
	幅 ' $\Delta B'$ '	$-2\text{mm} \leq \Delta B \leq +2\text{mm}$	$-3\text{mm} \leq \Delta B \leq +3\text{mm}$
	板厚 ' $\Delta t'$ '	$-1\text{mm} \leq \Delta t \leq +1\text{mm}$	$-2\text{mm} \leq \Delta t \leq +2\text{mm}$
芯材 塑性化部	長さ ' $\Delta L_p'$ '	$-3\text{mm} \leq \Delta L_p \leq +3\text{mm}$	$-5\text{mm} \leq \Delta L_p \leq +5\text{mm}$
	幅 ' $\Delta B_p'$ '	$-2\text{mm} \leq \Delta B_p \leq +2\text{mm}$	$-3\text{mm} \leq \Delta B_p \leq +3\text{mm}$
芯材 リップ	長さ ' $\Delta L_r'$ '	$-3\text{mm} \leq \Delta L_r \leq +3\text{mm}$	$-5\text{mm} \leq \Delta L_r \leq +5\text{mm}$
	幅 ' $\Delta B_r'$ '	$-2\text{mm} \leq \Delta B_r \leq +2\text{mm}$	$-3\text{mm} \leq \Delta B_r \leq +3\text{mm}$
	板厚 ' $\Delta t_r'$ '	$-1\text{mm} \leq \Delta t_r \leq +1\text{mm}$	$-2\text{mm} \leq \Delta t_r \leq +2\text{mm}$
拘束材	長さ ' $\Delta L_s'$ '	$-3\text{mm} \leq \Delta L_s \leq +3\text{mm}$	$-5\text{mm} \leq \Delta L_s \leq +5\text{mm}$
	高さ ' $\Delta H_{s1,2}'$ '	$-2\text{mm} \leq \Delta H_{s1,2} \leq +2\text{mm}$	$-3\text{mm} \leq \Delta H_{s1,2} \leq +3\text{mm}$
	幅 ' $\Delta B_s'$ '	$-2\text{mm} \leq \Delta B_s \leq +2\text{mm}$	$-3\text{mm} \leq \Delta B_s \leq +3\text{mm}$
対象部材	測定項目	品質管理値	
BRBSM	クリアランス比 ' C/t' '	$0.5 \times \varepsilon(\%) \leq C/t \leq 15(\%)$	
	ギャップ ' $g/2'$ '	$L_p \times \varepsilon(\%) / 2 \leq g/2$	

製作許容差を含む。

3.3 その他の品質管理値

その他の品質管理値に関しては、鉄骨精度検査基準^[10~12]を参考に管理許容差および限界許容差の設定を行う。設定した項目は芯材、芯材塑性化部、芯材リップ、拘束材の長さ、幅、厚さ等である。曲がり、ボルト孔の芯ずれ、相互間隔、はしあき・へりあき、ずれ止めの位置ずれ、溶接に関する項目についても設定する。

4. クリアランスの検証実験

クリアランスがBRBSMの構造性能に及ぼす影響を検証する。品質管理値を満たしている試験体と満たしていない試験体の載荷実験を行い、比較する。

4.1 試験体

試験体は図2(a)の基本タイプとする。試験体諸元を表2に示す。クリアランスの比較を行うため、芯材および拘束材の材質・寸法は同じとし、クリアランスのみをパラメータとする。芯材長さは2,351mm、塑性化部長さを1,251mm、塑性化部断面は幅112mm、厚さ16mm、幅厚比7.0とする。拘束指標 R は、モルタル強度による影響よりもクリアランスによる影響をうけるように、1.2程度と小さくする。クリアランスを確保するためのアンボンド材はBC2試験体で2mm(片面1mm+片面1mm)、BC4試験体で4mm(片面2mm+片面2mm)、BC6試験体で6mm(片面3mm+片面3mm)を貼付する。

各試験体の芯材と拘束材の合体後に測定したクリアランス比を表3に示す。図3(d)に示す10か所の平均クリアランス比は、BC2試験体で12%、BC4試験体で28%、BC6試験体で35%である。BC2試験体は品質管理値を満たしているが、BC4試験体とBC6試験体はともに品質管理値を満たしていない。

表2 試験体諸元

試験体	芯材 (SN400B)							拘束材 (SS400)					モルタル	アンボンド材	
	寸法 (mm)	断面積 (mm ²)	幅厚比	σ_y (N/mm ²)	P_y (kN)	芯材長さ (mm)	塑性化部長さ (mm)	高さ (mm)	幅 (mm)	板厚 (mm)	$I \times 10^3$ (mm ⁴)	P_E (kN)	拘束指標 $R (=P_E/P_y)$	圧縮強度 (N/mm ²)	クリアランス (mm)
BC2	16×112	1,792	7.0	303	542	2,351	1,251	80.0	142.4	3.2	1,780	652	1.20	71.2	2.0
BC4								82.0			1,880	688	1.27		4.0
BC6								84.0			1,983	726	1.34		6.0

表3 クリアランス比計測値

試験体	クリアランス比(%)										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	平均
BMC25	11.7	12.3	13.0	9.9	9.3	8.6	12.3	12.3	10.5	10.5	11
BMC22	9.3	13.6	12.7	12.3	8.6	11.1	15.4	11.7	9.3	11.1	12

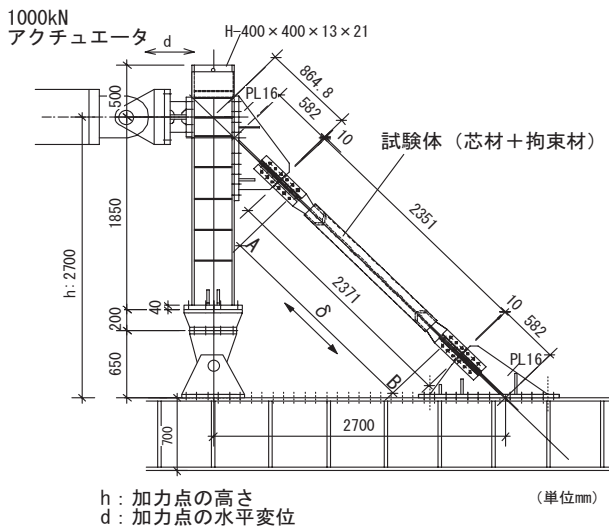
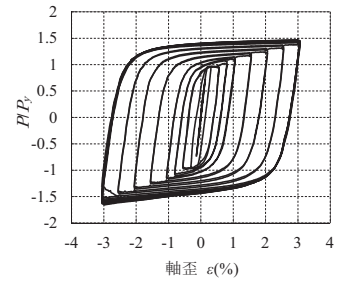


図4 試験装置

表4 終局状態と降伏耐力比の最大

試験体	終局時の歪振幅と荷重回数	終局状態	降伏耐力比の最大	
			引張	圧縮
BMC25	3.0%歪9回目圧縮	局部変形	1.48	1.64
BMC22	3.0%歪11回目引張	引張破断	1.48	1.67

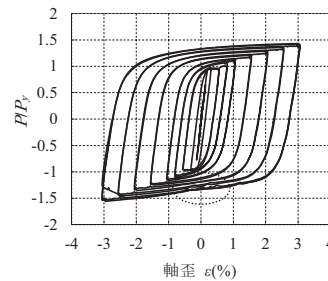
表5 性能評価

試験体	累積塑性歪エネルギー E_t (kN・m)	累積塑性歪エネルギー率 ω	圧縮引張耐力比の最大 α	座屈モード数
BC2	1,532	1,530	1.13	16
BC4	704	703	1.09	16
BC6	586	585	1.07	11

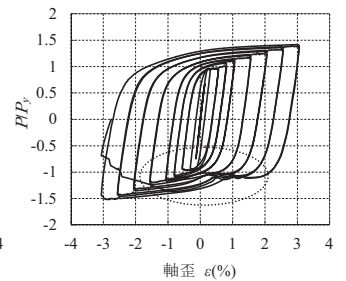
4.2 荷重方法

1,000kN 水平アクチュエータを用い、荷重装置は柱脚部をピン支持とし、試験体の設置角は45度とする(図4)。

荷重パターンは軸方向変位制御で、軸歪(%)毎の復元力特性への影響を確認するために正負交番漸増繰返し荷重とする。試験体や治具のならしのために歪振幅1/3 ϵ_y , 2/3 ϵ_y , 0.25%を1回ずつ荷重



(b)BC4 試験体



(c)BC6 試験体

図5 P/P_y -軸歪 ϵ 関係

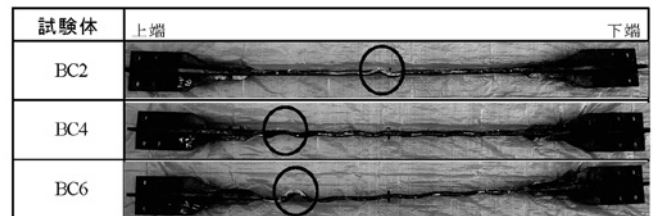


写真1 芯材終局状況 (BC2, BC4, BC6)

した後、軸歪0.5%, 0.75%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%を2回ずつ荷重する。最後に軸歪3.0%では、耐力が最大耐力の80%まで低下、または引張破断するまで繰返し荷重する。

試験体の軸変形量 δ は、芯材の第一ボルト間(図4, AB間)の試験体手前と奥側に変位計により測定し、その平均値とする。

4.3 実験結果

各試験体の降伏耐力比 P/P_y (P :軸方向荷重)と芯材の軸歪 ϵ (軸変形量 δ /塑性化部長さ L_p)の関係を図5に示す。終局状況を写真1に、終局状態および降伏耐力比の最大を表4に示す。

BC2試験体は安定した復元力特性を示している。BC4試験体は軸歪2.5%の圧縮時に軸歪0付近で荷重が少し下がる箇所がある。同様に軸歪3.0%の圧縮時にも軸歪0付近で荷重が少し下がる箇所がある。BC6試験体は軸歪1.5%から圧縮時の軸歪0付近で荷重が下がる。以降、軸歪2.0%, 2.5%, 3.0%でも同様の傾向があり、不安定である。この現象は、クリアランスが大きいので、芯材が座屈した際にすぐモルタルによる拘束ができず、座屈が進行してからモルタルに接触

し、拘束し始め耐力が上昇するからである。座屈モードの振幅が大きくなり、一部に局部座屈による変形が集中し、早期の局部変形となる。また、クリアランスが大きいほど、剛性変化をする箇所の傾きが小さくなり面積が小さくなっている。

降伏耐力比は芯材がすぐにモルタル面に接触する分、BC2試験体が大きくなり、クリアランスが大きくなる程小さくなっている。

各試験体とも終局状態は局部変形である。拘束指標 R を1.2程度と小さく設定したため局部変形となっている。局部変形位置を写真1に丸印で表す。BC6試験体は他試験体に比べて座屈モードの振幅が大きい。

4.4 性能評価

表5に各試験体の累積塑性歪エネルギー率 ω 、圧縮引張耐力比 α の最大、座屈モード数を示す。

累積塑性歪エネルギー率 ω は、BC2試験体が最も大きく、BC4試験体とBC6試験体はBC2試験体と比較して半分以下となっている。クリアランスが大きくなると ω が小さくなり、エネルギー吸収能力が低くなる。圧縮引張耐力比 α は、降伏耐力比と同様の理由により、BC2試験体が最も大きくなっている。しかし、 α は1.15を超えておらず、適切な数値となっている^[5]。

座屈モードは、BC2とBC4試験体が同数の16で、BC6試験体は11である。BC6試験体はその他の試験体と比較して、クリアランスが大きいため、座屈モードの振幅が大きくなっていることから、一部に局部座屈による変形が集中し、座屈モード数が少なくなっている。クリアランスが大きい程、 ω は小さくなるため、エネルギー吸収能力は低く、圧縮側で復元力特性が不安定となる。

5. ギャップの検証実験

ギャップがBRBSMの構造性能に及ぼす影響を検証するため、ここでは、品質管理値よりも小さい内部のギャップを設定する。

5.1 試験体

試験体は図2(b)の高性能タイプとする。試験体諸元を表6に示す。試験体名の数字は歪振幅(%)を表す。ギャップを比較するため、芯材および拘束材の条件は全て同じとし、内部のギャップのみをパラメータとする。芯材長さは2,351mmとし、塑性化部長さを1,175mm、塑性化部断面は幅128mm、厚さ16mm、幅厚比8.0とする。拘束指標 R は、圧縮側の荷重上昇による局部変形で性能低下が起きないように6.0前後とする。クリアランスを確保するためのアンボンド材は2mm(片面1mm+片面1mm)とする。

表7に内部ギャップの数値を示す。HG1試験体は軸歪1.0%を載荷するために必要な内部ギャップが5.9mm、HG3試験体は軸歪3.0%を載荷するために必要な内部ギャップが17.6mmであるが、試験体共通で5.0mmとして品質管理値を満たさない条件とする。

5.2 載荷方法

載荷装置と計測方法は図4に示すクリアランスの検証実験と同じとする。載荷パターンは軸方向変位制御で、軸歪(%)による必要値に対しての影響を確認するために一定歪振幅繰返し載荷とする。試験体や治具のならしのために歪振幅1/3 ϵ_y 、0.5%を各1回載荷した後、HG1試験体は軸歪1.0%を繰返し載荷、HG3試験体は軸歪1.0%を1回載荷した後、軸歪3.0%を繰返し載荷する。耐力が最大耐力の80%まで低下、または引張破断するまで繰返し載荷する。

5.3 実験結果

各試験体の軸方向荷重 P と芯材の軸変形量 δ の関係を図6に示す。終局状況を写真2に、終局状態および降伏耐力比の最大を表8に示す。

両試験体ともに全体的な復元力特性は安定しているように見えるが、設計値5mmの両側である圧縮時の-10mm付近で剛性が高くなり、荷重が上昇している。これは内部のギャップが足りなくなり、芯材リブと拘束材内部モルタルが接触したことにより生じている。繰返し回数2回目以降はモルタルが圧壊することにより馴染み、-10mm付近では剛性は上昇せず、拘束材への変形が進み繰返し回数を追うごとにピーク付近で荷重が上昇している。

降伏耐力比の最大は上記のことから、圧縮時に剛性が高くなり荷重が上がるため大きくなっている。両試験体ともに終局状態は引張破断である。引張破断位置を写真2中に丸印で表す。両試験体とも中央部付近で破断している。

表7 内部ギャップ値

試験体	内部ギャップ (g/2)		
	品質管理値 ($L_p \times 1.5\% \sim$) (mm)	軸歪(%)による 必要値 (mm)	実測値 (mm)
HG1	17.6~	5.9	5.0
HG3		17.6	5.0

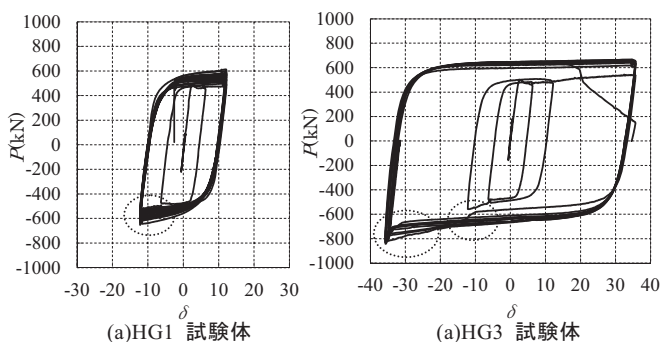


図6 P- δ 関係

表6 試験体諸元

試験体	芯材 (SN400B)							拘束材 (SS400)						モルタル	アンボンド材
	寸法 (mm)	断面積 (mm ²)	幅厚比	σ_y (N/mm ²)	P_y (kN)	芯材長さ (mm)	塑性化部長さ (mm)	高さ (mm)	幅 (mm)	板厚 (mm)	$I \times 10^3$ (mm ⁴)	P_E (kN)	拘束指標 $R (=P_E/P_y)$	圧縮強度 (N/mm ²)	クリアランス (mm)
HG1	16×128	2,048	8.0	241	493	2,351	1,175	128.4	208.4	3.2	7,810	2,859	5.80	87.5	2.0
HG3															

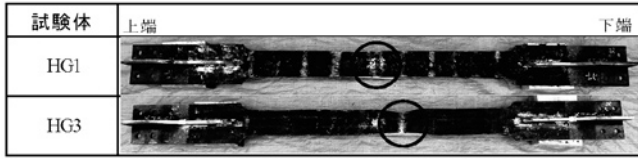


写真2 芯材終局状況 (HG1, HG3)

表8 終局状態と降伏耐力比の最大

試験体	終局時の歪振幅と載荷回数	終局状態	降伏耐力比の最大	
			引張	圧縮
HG1	1.0%歪337回目引張	引張破断	1.24	1.32
HG3	3.0%歪 9回目引張		1.35	1.71

表9 性能評価

試験体	累積塑性歪エネルギー E_t (kN・m)	累積塑性歪エネルギー率 ω	圧縮引張耐力比の最大 α	座屈モード数
HG1	4,148	6,090	1.06	19
HG3	695	1,021	1.26	17

5.4 性能評価

表9に各試験体の累積塑性歪エネルギー率 ω 、圧縮引張耐力比 α の最大、座屈モード数を示す。

累積塑性歪エネルギー率 ω は、両試験体ともに引張破断となったため大きな値を示している。圧縮引張耐力比 α は、HG3試験体で1.26となり、1.15を大きく超える値となっている。 α が大きいため、柱梁等の主架構や接合部に損傷を与える可能性が高い。拘束指標 R を6.0前後としたため局部変形は生じなかったが、 R が小さい場合には α の上昇により早期の局部変形となる可能性がある。

座屈モード数はHG1試験体が19、HG3試験体が17である。内部ギャップが必要値に満たなくても R が大きい場合、累積塑性歪エネルギー率 ω が大きいため、エネルギー吸収能力は十分であることがわかる。しかし、圧縮引張耐力比 α が柱梁等の主架構や接合部に損傷を与えてしまう可能性が高くなる。

6. 実大モックアップによる品質管理値の検証

品質管理にあたって、製作上で最大寸法の実大モックアップを製作し、品質管理項目毎に実測し、設定した品質管理値の妥当性を検証する。

6.1 モックアップ試験体

モックアップ試験体は図2(a)に示す基本タイプとし、表10に設計値および実測値を示す。芯材の長さ L を12,000mm、塑性化部長さ L_p を10,020mm、厚さ t を40.0mm、幅 B を440mm。拘束材の長さ L_s は10,912mm、幅 B_s は533mm、高さ H_{S1} が192.5mm、 H_{S2} が378mm。クリアランスは4.0mm、片側分の内部ギャップは80mmとする。写真3にモックアップ試験体を示す。

モックアップ試験体の長さは、道路法に基づく車両制限の12mとする。また、芯材の断面は、JIS規格により降伏点の低減の制約が無い範囲の最大寸法である板厚40mmとし、既往の研究⁹から幅厚比の適用範囲の最大値11.0を考慮して、幅は440mmとする。クリアランス比は10.0%として、板厚40mmに対してクリアランスを4.0mmとしている。片側分の内部ギャップは、軸歪1.5%を想定と

表10 モックアップ試験体設計値および実測値

対象部材	測定項目		設計値 (mm)	実測値 (mm)	管理許容差 (mm)	限界許容差 (mm)		
	芯材	長さ	L	12,000	12,000	±3	±5	
幅		左端	440	441	±2	±3		
		右端		440				
	板厚	t	40.0	40.0	±1	±2		
塑性化部	長さ	表側	L_p	10,020	10,022	±3	±5	
	幅		B_p	440	441	±2	±3	
芯材リブ	長さ	表側左端	L_r	990	989	±3	±5	
		表側右端	L_r		989			
	幅	表側左端	B_r	200	201	±2	±3	
		表側右端	B_r		201			
		板厚	t_r	40.0	40.0	±1	±2	
	拘束材	長さ	表側	L_s	10,912	10,912	±3	±5
高さ			表側左端	H_{S1}	192.5	193.4		
			H_{S2}	378.0	378.6			
		表側右端	H_{S1}	192.5	192.6			
			H_{S2}	378.0	378.4			
幅		表側左端	B_s	533.0	532.2	±2	±3	
		表側右端	B_s	533.0	531.2			
対象部材		測定項目	設計値 (%)	計測位置および実測値 (%)			品質管理値 (%)	
				A	4.8	J	8.8	1.5% ≤ C/t ≤ 15%
BRBSM		クリアランス比 C/t	10.0	B	12.2	K	10.5	
	C			12.8	L	10.8		
	D			8.2	M	11.5		
	E			10.1	N	14.6		
	F			10.8	O	12.5		
	G			13.5	P	11.5		
	H			11.0	Q	11.5		
	I			8.9	R	7.4		
	対象部材			測定項目		設計値 (mm)	実測値 (mm)	品質管理値 (mm)
内部ギャップ		右端	$g/2$	160.0	159.0	150.3~		
	左端	$g/2$	159.0					



写真3 モックアップ試験体

して変形量を最小値としている。塑性化部長さの片側0.75%である品質管理値の最小値75.2mmに対して、製作寸法精度を考慮して80.0mmとしている。これらを基本にして他の設計値も設定する。

6.2 クリアランス比および内部ギャップの検証

表10に示すようにモックアップ試験体のクリアランス比と内部ギャップは、共に品質管理値内に収めることができている。

1) クリアランス比

クリアランス比 (C/t) は、写真4(a)に示す組立後のBRBSMの高さから、写真4(b)に示す組立前に計測した拘束材2枚分の高さを減じ、芯材厚を引いて算出している。図3(d)に示すA~Rの18か所について計測を行っている。最小値が4.8%、最大値が14.6%、平均値が11%とバラつきはあるものの品質管理値内の15%に収まっている。拘束材端部のA、J、I、R位置の実測値が比較的小さい値となっているのは、芯材長さ方向に潰れたアンボンド材がはみ出すスペースがあるからと考える。

2) 内部のギャップ

拘束材のクッション材を除いたモルタル箱抜き部分を実測し、

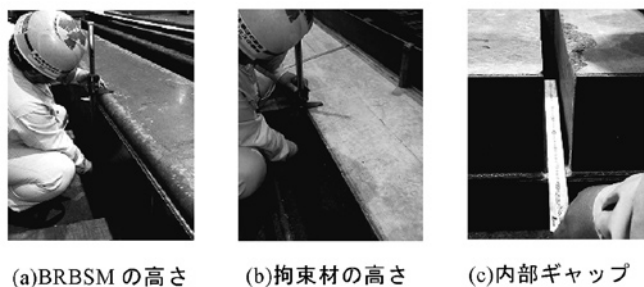


写真4 計測状況

芯材長さを差し引いて算出している。左右のギャップ $g/2$ の実測値は共に79.5mmとなり、75.2mmより大きいため品質管理値を満足している。

6.3 その他の品質管理

表10に示すようにモックアップ試験体のその他の品質管理項目について、品質管理値の管理許容差内に収めることができています。

1) 長さ

芯材長さ L は設計値12,000mmに対して実測値12,000mm、上部のリップ長さ L_r は設計値990mmに対して実測値は左右リップ共に989mmであり、精度良く製作できている。塑性化部の長さ L_p は、左右のリップ長さ L_r が共に1mm小さいことから、設計値より2mm大きくなっている。

2) 幅

芯材幅 B は設計値440mmに対して実測値は左側が441mm、右側が440mm、芯材リップ B_r も設計値200mmに対して実測値は左右共に201mmと各々独立しているため、精度良く製作できている。上部の拘束材幅 B_s は設計値533.0mmに対して実測値は左側で532.2mm、右側で531.2mmとなっている。

3) 高さ

拘束材高さ H_{s1} は設計値192.5mmに対して実測値が左側で193.4mm、右側で192.6mm、 H_{s2} は設計値378mmに対して実測値は左側で378.6mm、右側で378.4mmとなっている。拘束材は1枚の鋼板の2か所を折り曲げるにより製作するため、拘束材の幅および高さは鋼板の切断精度や折り曲げ精度が関係し、品質管理値内に収まっているものの、バラつきが多くなっている。

4) 板厚

芯材厚さ t および芯材リップ厚さ t_r は設計値40mmに対して実測値40mmとなっている。規格品のため、全ての対象部材において精度が良い。

以上のことから、実大モックアップの実測値は品質管理値内に収まっている。

7. 結

本研究では、鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースに関して、構造性能を満たすための製作時の品質管理値について検討した結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 既往の研究から構造性能に影響があるクリアランス比とギャップについて、製作時の品質管理値を設定した。
- 2) クリアランス比が品質管理値内に収まっている試験体は安定した復元力特性を示し、累積塑性歪エネルギー率 ω は大きい値を示

した。品質管理値を満たさない試験体はクリアランス比が大きくなる程、繰返し回数が少なくなり、累積塑性歪エネルギー率 ω は小さくなる。その復元力特性は圧縮側で不安定となる。

- 3) 内部ギャップが品質管理値を下回っている場合、リップとモルタルが接触することにより圧縮側の荷重の増大に伴い、圧縮引張耐力比 α は大きくなる。
- 4) 実大モックアップを製作し、設定した品質管理値内に収めることができた。

謝辞

本研究は、平成26、27、28年度住宅・建築関連先導技術開発助成事業費の補助を受けて実施いたしました。実験に際して川田工業株式会社の協力をいただきました。研究を進めるにあたり、元神奈川大学主任技術員の村井正敏氏、元神奈川大学学部の室伏堅斗氏のご協力をいただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- [1] 村瀬亮, 村井正敏, 岩田衛, 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験的研究—その4 芯材幅厚比と拘束力および断面ディテールの影響, 日本建築学会構造系論文集, 620, 117-124 (2007.10).
- [2] 中村慎, 山下哲郎, 村井正敏, 岩田衛, 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験的研究—芯材の降伏耐力および軸剛性の調節—, 日本建築学会構造系論文集, 629, 1143-1150 (2008.7).
- [3] 小川健, 村井正敏, 前田親範, 岩田衛, 鋼モルタル板あるいは鋼材を拘束材に用いた座屈拘束ブレースの比較実験, 日本建築学会技術報告集, 33, 517-521 (2010.6).
- [4] 緑川光正, 佐々木大輔, 麻里哲広, 村井正敏, 岩田衛, 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験的研究—クリアランスの圧縮耐力への影響と圧縮耐力に応じた座屈モード数の評価—, 日本建築学会構造系論文集, 653, 1361-1368 (2010.7).
- [5] 飯塚亮太, 小谷野一尚, 緑川光正, 岩田衛, 累積塑性歪エネルギー率の大きな座屈拘束ブレースの研究, 日本建築学会構造系論文集, 701, 1015-1023 (2014.7).
- [6] 小谷野一尚, 中込忠男, 緑川光正, 岩田衛, 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの疲労性能の研究, 日本建築学会構造系論文集, 736, 921-928 (2017.6).
- [7] 和田章, 岩田衛, 清水敬三, 安部重孝, 川合廣樹, 建築物の損傷制御設計, 丸善 (1998.9).
- [8] 小谷野一尚, 藤田正則, 岩田衛, 座屈拘束ブレースのライフサイクルトレーサビリティに関する研究—その1 研究概要, 2016年度日本建築学会大会梗概 (九州), 787-788 (2016.8).
- [9] 藤田正則, 小谷野一尚, 岩田衛, 座屈拘束ブレースのライフサイクルトレーサビリティに関する研究—その2 製造時の品質管理項目の確認実験, 2016年度日本建築学会大会梗概 (九州), 789-790 (2016.8).
- [10] 建築工事標準仕様書 JASS6鉄骨工事, 日本建築学会 (2015.4).
- [11] 鉄骨精度測定指針, 日本建築学会 (2014.10).
- [12] 鉄骨工事技術指針・工場製作編, 日本建築学会 (2014.7).

ナノ空間制御シリカへのペプチド固定化による高性能不斉触媒の開発

吉田 暁弘*

Development of heterogeneous peptide catalysts by immobilization of peptide molecules on nano-structured silica supports

Akihiro YOSHIDA*

1. 緒言

本研究は、神奈川大学工学研究所の共同研究として、2015、2016年度の二年間にわたりご支援を頂いたものである。本来、本稿には2016年度の成果を掲載すべきであったが、2016年の末に発刊の工学研究所報告にほぼ二年間分に渡る全成果を掲載してしまったため、本稿ではその二年間の成果を集約した上で、新たな考察を加えて紹介する。

本研究における筆者らの取り組みの要点は、ペプチド触媒を自由空間ではなく2~10nm程度のナノ細孔を有するメソポーラスシリカの細孔内に導入することで、ペプチド触媒分子やそこに基質が吸着した反応中間状態の分子に対して立体的なストレスを与えることで、ペプチド分子の触媒特性をチューニングし、いわば酵素が行っていることを人工的に実現しようとするものである。検討を行うに当たっては、触媒活性なペプチドとしてアルドール反応に高活性を示すことが知られる Pro-Pro-Asp (プロリン-プロリン-アスパラギン酸) トリペプチドを⁽¹⁾、各種メソポーラスシリカ及び本学の金教授らによって開発されたキラルシリカ⁽²⁾上に固定化したものを合成し、不斉アルドール反応を行って触媒特性を比較検討した。使用したペプチド種やシリカ種の選定、シリカ上へのペプチドの固定化法、触媒反応の条件、各種反応結果やスペクトルについては重複を避けるため本稿には記載しないが、既報に詳細に記載したので参照されたい⁽³⁾。

2. 各種メソポーラスシリカ担体に固定化した Pro-Pro-Asp の不斉アルドール反応特性

まず、固定化ペプチドの触媒能に対する固定化担体側のナノ空間サイズの影響を検討するために、異なる細孔サイズ、形状を持つ種々のシリカ担体にペプチドを固定化した触媒を調製し、触媒反応に適用し比較検討を行った。

いずれのシリカを固定化担体を使用した場合も4-ニトロベンズアルデヒドとアセトンの不斉アルドール触媒に対する活性が発現したが、その活性序列は使用するシリカ種によって大きく異なった。具体的には、各担体使用時の活性序列は、MCM-41 (68%, 833m²/g)

>SBA-15 (35%, 580m²/g)>KIT-6 (26%, 642m²/g)>非メソポーラス SiO₂ (17%, 276m²/g) (カッコ内は同一条件下における生成物の収率と担体の BET 表面積) となり、メソポーラス担体の使用が活性向上に有効であることが明らかになった。この活性序列は概ね触媒の表面積の序列と対応しているが、MCM-41を使用した際の同一反応時間での収率は SBA-15や KIT-6を使用した場合に比べて二倍程度の値となっており、MCM-41を使用した際の活性が表面積との比較では説明ができないほど高いことがわかる。現在のところ詳しい解析はできていないが、この結果から、i) MCM-41の狭隘なナノ細孔内でペプチド分子のコンフォメーションが規制され、活性点である末端の Pro 残基のイミノ基部分とアスパラギン酸残基のカルボキシル基が反応に適した配置となった、あるいはii) 他の担体よりも広い MCM-41の細孔表面でペプチド分子が高分散で存在しており、活性の低下を招く隣接した固定化ペプチド間での相互作用が減少した、等の理由により活性が向上したのではないかと推測される。また、同様の表面積と活性の比較から、SBA-15を使用した場合に KIT-6よりも表面積が低いにも関わらず、高い活性が発現していることがわかる。これは、KIT-6の方が SBA-15に比べて半分以下の細孔体積しか持たないことと、SBA-15が直線状の細孔を持つものに対し、KIT-6は三次元網目状の細孔であることから、基質の細孔内への拡散性が SBA-15の方が高かったことに由来するのではないかと推測される。

以上のように、三種のメソポーラスシリカを固定化担体を使用することで、各シリカの細孔特性の違いに基づくと考えられる触媒活性の差異が発現することが明らかとなった。しかし、生成物の立体選択性については、各メソポーラスシリカ担体間での差異はほとんど見られず、さらにはメソ細孔を持たないシリカを担体とした場合ともほとんど違いが見られなかった。つまり、ペプチド触媒の立体選択性は、シリカ担体のナノ構造にほとんど影響を受けないことが分かった。しかしながら、重要な知見として、いずれのシリカ担体を使用しても優先的に生成する生成物が R 体であったことが挙げられる。これは、同一基質を用いた液相均一系において H-Pro-Pro-Asp-NH₂トリペプチドが S 体を優先的に生成することが報告されていること⁽¹⁾、ならびに本研究で対照試料として使用した同一ペプチドを有機レジンに固定化した場合にやはり S 体の生成が優先した結果とは異なっている。つまり、当初の期待のように、シリカ上のナノ構造により活性のみならず立体選択性も変化させることには実現できなかったものの、シリカという固定化担体を使用そのもの

*助教 物質生命化学科 (～2017.2)

Assistant Professor, Dept. of Material and Life and Chemistry

(現准教授 弘前大学北日本新エネルギー研究所)

Associate Professor, North Japan Research Institute for Sustainable Energy, Hirosaki University)

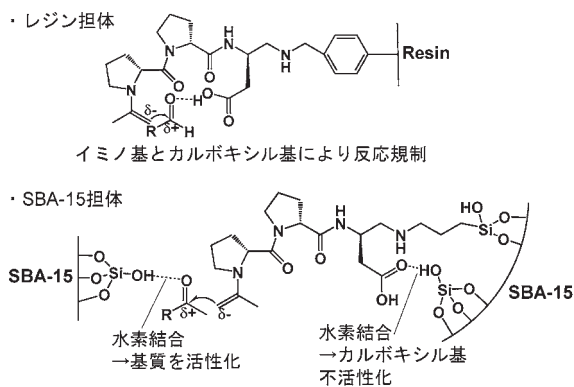


図1. 想定されるシリカの担体効果 (神奈川県工学研究所所報第39号 p113から転載)

が、ペプチド触媒の立体選択性に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。更なる検討の結果、SBA-15を始めとするシリカ担体上でPro-Pro-Aspのカルボキシル基が立体選択性の発現に寄与しないのは、シリカ表面上に存在するシラノール基とカルボキシル基間の水素結合が原因ではないかと推測された (図1)。

3. キラルシリカ担体に固定化したPro-Pro-Aspの不斉アルドール反応特性

前項までに記したように、シリカ担体上へのペプチドの固定化により、ペプチドとシラノール間に基づいてペプチド触媒の立体選択性や活性が変化することが明らかとなった。そこで、キラリティを持ったシリカ上にペプチドを固定化することで、ペプチド触媒の立体選択性の制御を試みた。緒言にも記したように、キラルシリカとしては本学の金教授らの開発したものを使用した⁽²⁾。

L-酒石酸、D-酒石酸を原料に合成したキラルシリカ (以下L-tart-CS, D-tart-CS) に対し、前項と同様の方法でPro-Pro-Aspトリペプチドを導入した (以下PPA-tart-CS)。合成の過程で、ペプチド末端に紫外域に吸収を持つフルオレニル基が保護基として結合したFmoc-Pro-Pro-Asp-tart-CSが得られるが、この物質のCD測定において、Fmoc基の吸収領域にコットン効果が観測されたことから、ペプチド上にもキラルシリカ由来のキラリティが伝達されるものと推測された。

この結果から、大いなる期待をもってPPA-tart-CSを触媒とした不斉アルドール反応を実施したが、実際にはtart-CSを固定化担体に用いても立体選択性にほとんど変化は見られなかった。またL体、D体どちらのtart-CSを使用しても立体選択性が変化しないことから、tart-CSのキラリティが本条件下ではほとんど立体選択性に影響を及ぼさない結果となった。この原因を探るべく、反応溶媒であるアセトンの湿潤下で紫外光応答性の官能基を持つペプチドで修飾したキラルシリカの固体CDスペクトルを測定したところ、乾燥状態では明確なコットン効果が観測されたのに対し、湿潤下ではほとんどコットン効果が観測されなかった。つまり、溶媒和された条件下では、シリカ由来のキラリティが表面上の修飾分子にうまく伝達されていないということが推測された。また、シリカ表面のキラリティについて、外部に露出した面のうちどの程度の割合がキラリティを持っているか、どの程度の密度でキラリティが発現している

か、あるいは、シリカ上のキラリティによってペプチド分子の配座がどの程度変化したか、といった要素が触媒反応における立体選択性に影響を与えるためには不十分であった可能性も推測される。すなわち、触媒反応において立体選択性に影響を与えるためには、例えばシリカ表面上のペプチドのうち1割が影響を受けている程度では立体選択性の変化は判別不可能なほど微小なものになるため、ペプチド種の大半がシリカ上のキラリティの影響を受けてその配座を変化させる必要があると考えられる。また、仮に大半のペプチド分子の立体的配座がシリカ上のキラリティに呼応して変化したとしても、それが触媒反応時の選択性に及ぼす形状に変化しなければ、結果的には立体選択性の変化として観測することはできない。現状、シリカ表面上でのキラリティの有無を判定可能な方法は固体CDスペクトルのみであるが、本測定法ではキラリティの有無は判定可能であっても、シリカ表面上のキラリティの量的、密度的な情報や、ペプチド分子にどれだけの影響が及んでいるかといった質的な情報を得ることはできない。今後、キラルシリカの表面構造の解明、固体表面上のキラリティについて新たな知見を与える新規な分光法の開発、これらの分野に関する計算化学的取り組み等、いくつかのブレイクスルーがあれば、これらの問題に取り組むことができるようになるものと考えられる。

4. 結言

ペプチド触媒の機能性向上を期待して、Pro-Pro-Aspトリペプチドをシリカ系担体に固定化したところ、ペプチド固定化担体として一般的なレジン担体にPro-Pro-Aspトリペプチドを固定化した場合に比べて、高表面積と細孔を持つメソポーラスシリカを担体とした場合に著しい活性向上が観測された。さらに興味深いことに、レジン担体とシリカ系担体では立体選択性が反転することを見出した。各種検討の結果、シリカ担体上ではシラノール基との水素結合によりペプチド上のカルボキシル基が反応に関与しなくなったことが立体選択性の変化をもたらしたものと推測された。さらなる立体選択性の制御を期待して、キラルシリカ上にPro-Pro-Aspトリペプチドを固定化して反応を行ったところ、期待に反して立体選択性はキラリティを持たないシリカ担体を使用した時と同様であった。乾燥条件下では、CD測定によりアミノ基やペプチド近傍に存在する紫外域に吸収を持つ保護基にキラリティが誘起されることを確認したが、反応溶媒の存在下ではCDスペクトルが消失することから、溶媒和によってキラルシリカとペプチド間の相互作用が弱くなり、キラリティの伝達が溶媒非存在下に比べてほとんど起こらなかったことが立体選択性の制御に至らなかった一因と推測された。

上述した成果は、平成27~28年度の工学研究所共同研究Aの採択課題としての実施により得られたものである。本研究の遂行に当たって、活発なご議論とご指導を賜った本学の内藤周弼名誉教授、上田渉教授、引地史郎教授、ならびにキラルシリカの合成に関してもご指導を賜った金仁華教授に御礼を申し上げます。

参考文献

- (1) P. Krattiger, R. Kovasy, J. D. Revell, S. Ivan, H. Wennemers, "Increased Structural Complexity Leads to Higher Activity: Peptides as Efficient and Versatile Catalysts for Asymmetric Aldol Reactions", Org.

Lett., 7, 1101 (2005).

- (2) H. Matsukizono, R.-H. Jin, “High-Temperature-Resistant Chiral Silica Generated on Chiral Crystalline Templates at Neutral pH and Ambient Conditions”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 124, 5964 (2012).
- (3) 吉田曉弘, ペプチド固定化シリカ触媒の不斉アルドール反応特性, 神奈川大学工学研究所所報, 39, 110 (2016).

混合価数酸化物 Sn_3O_4 光触媒を用いた各種犠牲剤溶液からの水素発生の検討

田邊 豊和* 松本 太**

Hydrogen evolution from aqueous solution in the presence of various sacrifice agents over mixed-valence tin oxide Sn_3O_4 photocatalyst

Toyokazu TANABE* Futoshi Matsumoto**

1. 緒言

地球エネルギー問題の根本解決には無尽蔵の再生可能エネルギーである太陽エネルギーの変換システム構築が必須である。近年、ペロブスカイト型太陽電池など高効率な変換技術の研究が盛んに行われているが、精密制御のためのコストや有害元素を含んでいるなど、一般社会へ広く普及可能な技術として見通しが立っていない。その中で米国エネルギー省 DOE レポートでは「光触媒を用いた水分解による水素製造」を実用化への課題とされるエネルギーコストの壁（約2円/メガジュール \approx 石油レベル）をクリアできる数少ない太陽エネルギー変換技術の代表として位置づけている⁽¹⁾。光触媒による水分解は「太陽光+水+光触媒」のみという非常にシンプルかつ究極的にクリーンなシステムであり、工業的に利用価値の高い水素エネルギーとして直接変換・貯蔵できる大きな利点がある（図1）。

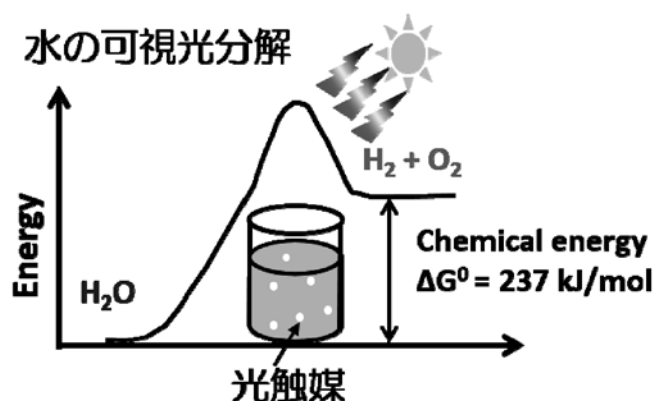


図1 太陽光エネルギーを利用した光触媒による水分解反応

光触媒による水素製造の基幹物質となるのが太陽光を吸収し電荷（励起電子-正孔ペア）を作り出す可視光応答型の光触媒である。現在の最高性能な光触媒（ $\text{Ga}_{1-x}\text{Zn}_x$ ）（ $\text{Ni}_{1-x}\text{O}_x$ ）では可視光量子収率2.5%（410nm）、太陽エネルギー変換効率0.5%が報告されている⁽²⁾。しかし NEDO の水素製造ロードマップ（2020年、水素製造

コスト30円/ Nm^3 目標）を達成するためには量子収率10%が要求され⁽³⁾、さらに高効率な光触媒が必要とされている。従来の異種元素ドーピング・置換を用いた材料系ではドーピングによる欠陥サイトも同時に導入されるため電荷の再結合を誘発し、今後の飛躍的な反応効率の向上は望めない。そのため高い量子収率が見込めるドーピングや置換を用いない新規の可視光応答型光触媒の開発が必要である。

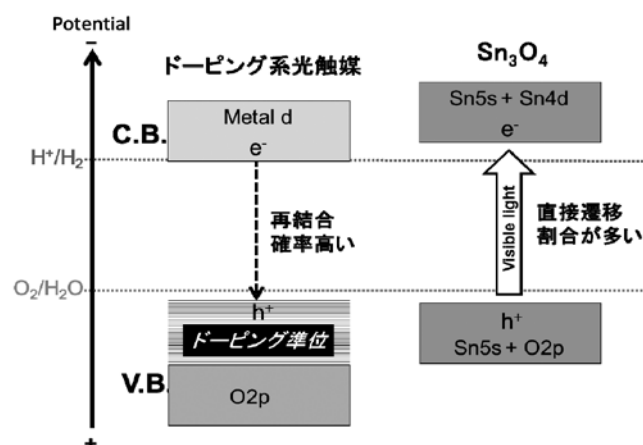


図2 ドーピング系光触媒と Sn_3O_4 のバンド構造。 Sn_3O_4 は結晶欠陥サイトが少なく直接励起割合が多いため、高い光吸収効率と量子収率の両立が可能

近年、申請者は水熱合成法によりドーピングや置換を必要としない可視光応答型光触媒 Sn_3O_4 の合成に成功し、可視光下での水素発生を世界で初めて報告した⁽⁴⁾（JST よりプレスリリース、H26年3月24日）。合成した Sn_3O_4 粉末は不純物を相当量含んでいるにも関わらず可視光量子収率は約2%（410nm）と極めて高く、高性能ドーピング系光触媒に匹敵する。これまで不純物除去が難しく光触媒反応の活性自体が低かったが、最近の我々研究グループの報告⁽⁵⁾により不純物低減に有効な諸条件を見出すことができ、今後飛躍的に反応効率の向上が見込まれる材料である。

光分解の反応効率は [光吸収効率] × [量子収率] によって決定される。従来盛んに研究されてきたドーピング系光触媒はバンドギャップの広い半導体（ TiO_2 など）に異種元素をドーピングし、バンドギャップを狭めることで [光吸収効率] を向上させてきた。しかし欠点として欠陥サイトも同時に導入されるため不純物（ドーピング）

*助教 物質生命化学科

Assistant Professor, Dept. of Material & Life Chemistry

**教授 物質生命化学科

Professor, Dept. of Material & Life Chemistry

準位での電荷の再結合を誘発し、[量子収率]の改善が困難であることが挙げられる(図2)。Sn₃O₄は混合原子価(Sn²⁺, Sn⁴⁺)-O原子層で構成される積層構造を有し(図2)、層間距離の制御により可視光吸収できるバンドギャップと水分解可能なバンド端位置を実現させている。結晶欠陥サイトが少ないため直接励起の割合が多く、ドープ系光触媒よりも高い光吸収係数と再結合の抑制が期待できる。Sn₃O₄は従来困難であった高レベルでの[光吸収効率]と[量子収率]の両立が可能となる革新的な光触媒である。

混合原子価酸化物Sn₃O₄は安価で環境調和性の高い可視光応答性のSn酸化物であり、水素発生に十分な伝導帯位置を有していることから、太陽光を利用したクリーンな水素発生に適している。そこで本研究では水分解反応への応用検討を目的としたSn₃O₄の可視光照射下における各種アルコール犠牲剤水溶液からの水素発生について検討を行った。

2. 実験方法

Sn₃O₄の合成は水熱反応により行った。純水に塩化スズ二水合物(SnCl₂・2H₂O)、クエン酸三ナトリウム(Na₃(C₆H₅O₇))を溶解させ、NaOHでpHを調整した後、オートクレーブ中180°Cで反応を行った。犠牲剤水溶液からの水素発生反応は閉鎖循環装置を用い、可視光(光源300W Xeランプ, Hoya L-42λ>420nm)照射下で行い、気相成分はGC-TCD、液相成分はICで分析した。

3. 結果と考察

図4-aに水熱合成によって作製したSn₃O₄のX線回折図形を示す。X線回折図形にはSn₃O₄構造(JCPDS 016-0737)に帰属されるピークが明確に観察されるがそれ以外には、炭化水素や塩化物などの不純物に相当するピークは観察されなかったことから、得られた試料はSn₃O₄の単相であることを確認した。図4-bに作製したSn₃O₄試料と比較試料としてSnO₂のUV-Vis拡散反射スペクトルを示す。SnO₂は紫外光(UV)領域(λ<400nm)に鋭い吸収端を示しており紫外光応答性を有している。一方でSn₃O₄試料は可視光領域(λ>

400nm)に吸収端を示していることから可視光応答性を有しており、さらに鋭い吸収端であることから不純物準位による吸収ではなく、バンド間遷移による光吸収であることが分かる。可視光応答性を示すことから試料の色はオレンジ色を呈していた(図4-b挿入図)。また、注目すべきは、Sn₃O₄試料は2段階の吸収端を持っていることである。すなわち、紫外光領域の300nm程度と可視光領域の400nmあたりに吸収端を有している。最近の理論計算の研究結果⁽⁶⁾から、前者の吸収端はO2p軌道から伝導帯(C.B.)への吸収と帰属される。一方、後者の吸収端はSn²⁺とO2pの混成軌道からC.B.への吸収として帰属される。図4-cに作製したSn₃O₄試料の走査型電子顕微鏡(SEM)像を示す。作製したSn₃O₄試料はプレート形状試料が凝集したナノフラワー状であることが分かる。図4-dに作製したSn₃O₄試料のプレート形状片からの透過型電子顕微鏡(TEM)像を示す。Sn₃O₄試料は300×300×20nm³程度の薄いプレート片から構成されていることが分かった。このプレート片から得られる電子回折図形はシャープな回折スポットを示し、Sn₃O₄構造に帰属されることから、個々のプレート片は高い結晶性を有したSn₃O₄ナノプレート片であることが分かった。また、STEM-EDSにより組成分析を行ったところ(図5)、Sn/O≒3/4(Sn:O=42.96:57.04at%)であり、ほぼSn₃O₄の元素比であることが分かった。また、SnとOの元素マッピング像からも、SnとOは試料全体に偏りなく分布していることからSn₃O₄の単相であることが分かった。

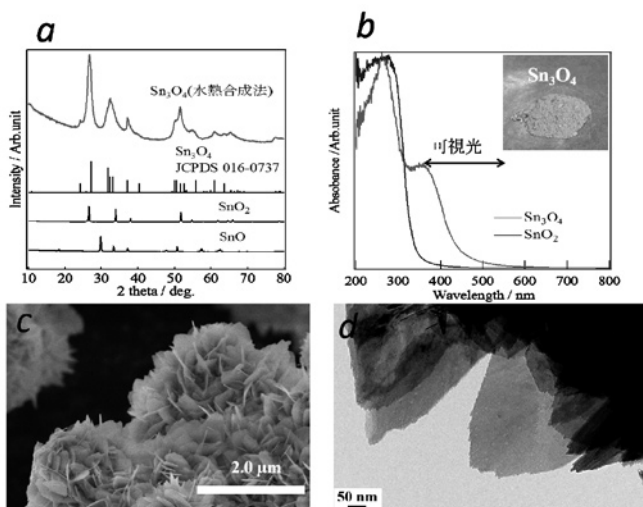


図4 作製したSn₃O₄試料のキャラクタリゼーション: (a)X線回折図形, (b)UV-Vis拡散反射スペクトル, (c)走査型電子顕微鏡像, (d)透過型電子顕微鏡像

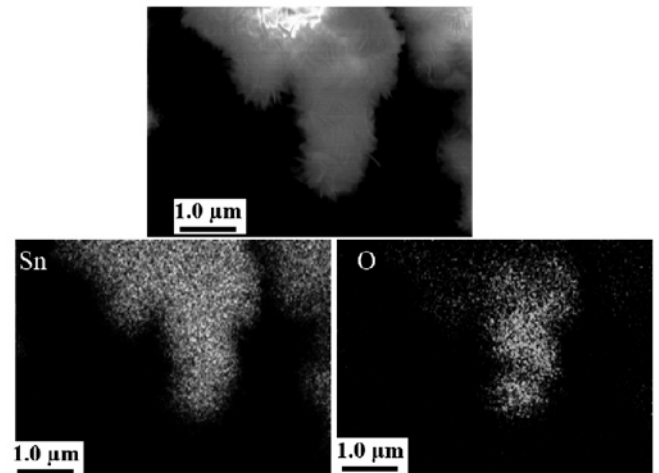


図5 作製したSn₃O₄試料のSTEM-EDSによる元素マッピング像

図6に可視光照射下における各種アルコールからの水素発生活性を示す。炭素数1-4までのアルコール及び多価アルコールであるGlycerinから水素発生を確認した。tert-butanol及びGlycerinからは、犠牲剤として多用されているMethanolよりも多くの水素生成量を確認した。また、EthanolやPropanol及びButanolの各異性体においてCO₂が観察されたことから、これらの一部は完全酸化まで進行していると考えられる。

Methanolの酸化反応経路を検討するためMethanol及びその酸化反応中間体であるCH₂O, HCOOH各溶液を用いて同条件下での反応を行い、気相及び液相における生成物の定量を行った(図7及び表1)。反応前の2.5Mメタノール水溶液をGC-FIDにより調べたところ、メタノール以外のピークは検出されなかった。また、反応後の

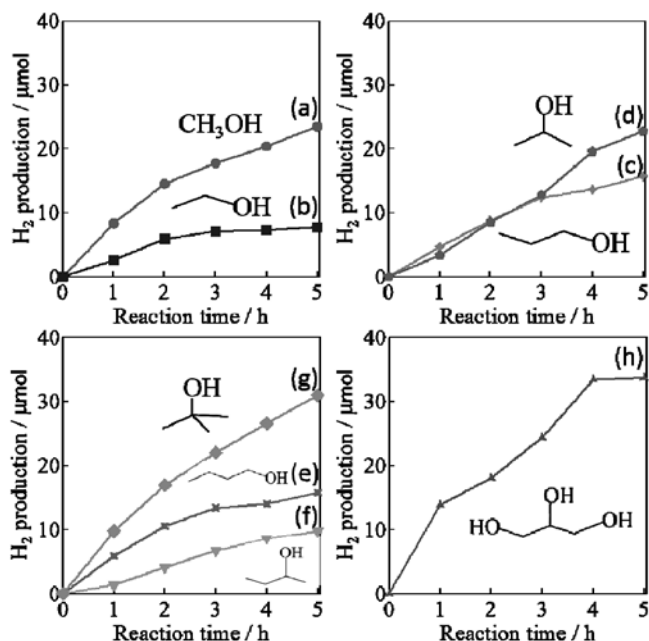


Fig. 6. Hydrogen production from aqueous solution in the presence of various alcohols over Sn_3O_4 under visible light irradiation ($\lambda > 420\text{nm}$): (a)Methanol, (b)Ethanol, (c)1-propanol, (d)2-propanol, (e)1-butanol, (f)2-butanol, (g)tert-butanol, (h)Glycerin

2.5M メタノール水溶液を GC-FID により調べたところ、メタノール以外のピークは検出されなかった。アセチルアセトン法によるホルムアルデヒドの定量において、反応経過時間ごとに定量を行ったが、ホルムアルデヒドは検出されなかった。これは、溶液に含まれるホルムアルデヒドが極微量なためにホルムアルデヒドは検出されなかったと考えられる。

図7の水素生成量より、メタノールとホルムアルデヒドにおいて水素が生成していることや、IC による反応後溶液の分析結果から酸化反応が進行していると考えられる。また、 CO_2 定量においては図7の CO_2 生成量より、メタノール、ホルムアルデヒド、ギ酸すべてにおいて、 CO_2 が生成されないことが分かった。ギ酸を犠牲剤として用いた場合の水素生成活性が極端に低いことや CO_2 が生成されないことから、メタノールは酸化され、ホルムアルデヒドが選択的に容易に酸化され、ギ酸で酸化反応が停止していると考えられる。ギ酸の酸化反応が進行しないのは、酸による影響で Sn_3O_4 表面が侵されたためと考えられる。

図7の2.5M メタノール溶液を用いた場合の反応後の液相成分分析より、ギ酸の生成量は約 $15\mu\text{mol}$ であった (表1)。メタノールの酸化反応を考えると、メタノールからホルムアルデヒドへの反応は 2h^+ 消費される反応であり、ホルムアルデヒドからギ酸への反応は 1h^+ 消費される反応である。一方でプロトン還元反応により2個のプロトンから1個の H_2 を生成するために必要な e^- は2個である。光励起によって得られる h^+ と e^- の数の比は1:1であり、両方の励起キャリアが偏りなく酸化・還元反応を進行した場合、光触媒反応によって生成するギ酸: H_2 の mol 比は2:3である。

2.5M メタノール水溶液からのギ酸生成量と水素生成量を比べると (表1)、2:3の比で生成している。このことから、有機物が電子

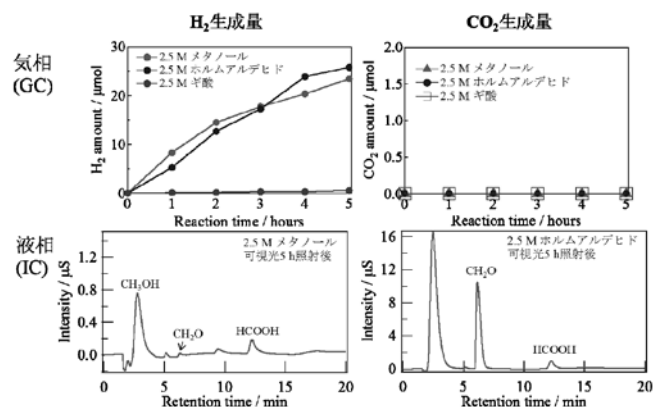


図7 作製した Sn_3O_4 試料におけるメタノール酸化反応経路の検討。2.5M メタノール、ホルムアルデヒド、蟻酸存在下における水素及び CO_2 発生量と反応後の液相成分分析

Table 1 Reaction products measured after visible light irradiation ($\lambda > 420\text{nm}$) for 5h from 2.5M CH_3OH , CH_2O , and HCOOH solution.

	H_2 (μmol)	CH_2O (μmol)	HCOOH (μmol)
Reactant (2.5M)			
CH_3OH	23.5	<1	15
CH_2O	25.8	—	45
HCOOH	0.6	No data	—

供与体として働き、水溶液中のプロトンを還元したことによる水素生成であることが分かる。

また、図7の2.5M ホルムアルデヒド溶液を用いた場合の反応後の液相成分分析において、生成したギ酸は約 $45\mu\text{mol}$ である (表1)。ホルムアルデヒドが過剰に存在する場合、ホルムアルデヒドから選択的に反応するため、ホルムアルデヒドからギ酸への反応だけを考える。ホルムアルデヒドからギ酸への反応は 1h^+ 消費する反応であるため、光触媒反応によって生成するギ酸: H_2 の mol 比は2:1である。2.5M ホルムアルデヒド水溶液からのギ酸生成量と水素生成量を比べると、2:1の比で生成している。このことから、2.5M メタノール水溶液での反応と同様に、有機物が電子供与体として働き、水溶液中のプロトンを還元したことによる水素生成であることが分かる。

メタノール水溶液の濃度依存性を図8に示す。メタノールの濃度を上げて測定を行うと水素生成活性が下がる結果が得られた。これはメタノールと反応する際に、直接メタノールと反応するのではなく、 h^+ が純水と反応し、OH ラジカルを形成し、その OH ラジカルがメタノールと反応して分解しているためと考えられる。

Sn_3O_4 光触媒のメタノール50vol %における触媒耐久試験結果を図9に示す。Xe ランプ OFF 時では水素発生は確認されず Xe ランプ ON 時のみ水素が発生したことから、水素発生は光照射によって生成した励起電子によるプロトン還元反応により生成していると考えられる ($2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 \uparrow$)。また、長時間反応による活性劣化が見られた。これはギ酸生成により Sn_3O_4 表面がダメージを受けたため

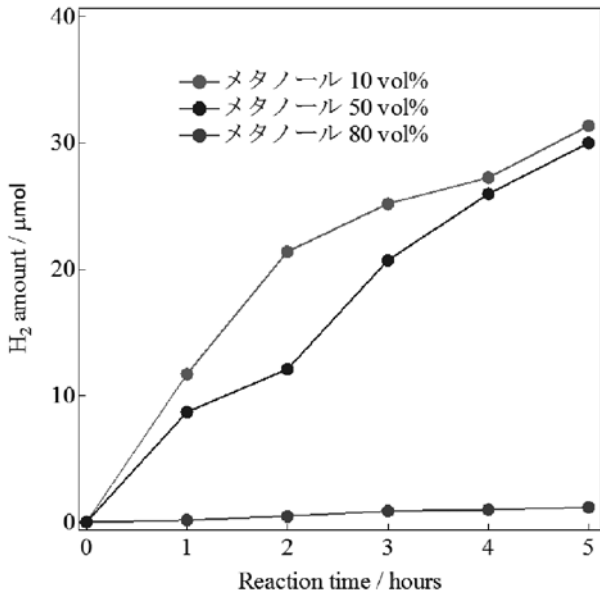


図8 Sn_3O_4 試料における可視光照射下水素生成反応におけるメタノール濃度依存性

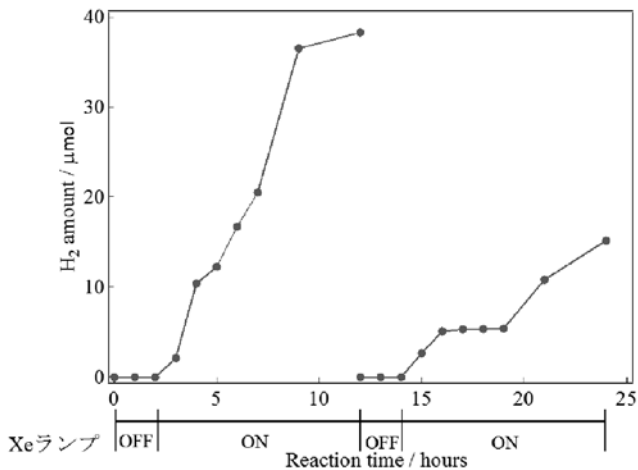


図9 Sn_3O_4 試料における50vol %メタノール水溶液からの可視光照射下水素生成反応における経時変化

と考えられる。

4. 結言

可視光分解用光触媒として Sn_3O_4 の単相合成及び各種犠牲剤水溶液からの可視光照射下における高効率での水素生成反応に取り組んだ。水熱合成条件を最適化することで Sn_3O_4 単相作製条件を見出すことに成功し、 Sn_3O_4 相が可視光応答性を有していることを実験的に明らかにした。 Sn_3O_4 単独で可視光下での水素発生が可能であることを確認し、可視光照射によって励起された電子によってプロトンを還元し水素発生反応が進行していることを明らかにした。今後の展望としては Pt や酸化物系の微粒子助触媒を担持することで従来のドーブ系光触媒を凌ぐ高効率での水素発生が可能であることと予想する。

本研究は H28-29年度の神奈川大学工学研究所共同研究の支援を受けて行われた。ここに謝意を示す。

参考文献

- [1] B.D. James, G.N. Baum, J. Perez, K.N. Baum, "Technoeconomic Analysis of Photoelectrochemical (PEC) Hydrogen Production", DOE Report (2009).
- [2] K. Maeda, T. Takata, M. Hara, N. Saito, Y. Inoue, H. Kobayashi, K. Domen, "GaN:ZnO Solid Solution as a Photocatalyst for Visible-Light-Driven Overall Water Splitting", J. Am. Chem. Soc. 127-23, 8286-8287(2005).
- [3] NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ, 201, (2010).
- [4] M. Manikandan, T. Tanabe, P. Li, S. Ueda, G. V. Ramesh, R. Kodiyath, J. Wang, T. Hara, A. Dakshnamoorthy, S. Ishihara, K. Ariga, J. Ye, N. Umezawa, H. Abe, "Photocatalytic Water Splitting under Visible Light by Mixed-Valence Sn_3O_4 ", ACS Appl. Mater. Interfaces 6-6, 3790-3793 (2014).
- [5] T. Tanabe, M. Hashimoto, K. Mibu, T. Tanikawa, T. Gunji, S. Kaneko, H. Abe, M. M., F. Matsumoto, "Synthesis of single phase Sn_3O_4 : native visible-light-sensitive photocatalyst with high photocatalytic performance for hydrogen evolution", Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 17(5), 3454-3459 (2017).
- [6] J. Wang, N. Umezawa, H. Hosono, "Mixed Valence Tin Oxides as Novel van der Waals Materials: Theoretical Predictions and Potential Applications" Adv. Energy Mater, 6-1, 1501190-1 (2016).

無機触媒/半導体ハイブリッド型水素・酸素生成太陽光熱電池の創製

松木 伸行¹ 山口 栄雄² 本橋 輝樹³ 米田 征司¹ 佐藤 知正⁴

Development of inorganic catalyst/semiconductor hybrid-type hydrogen-oxygen-production photothermal cells

Nobuyuki MATSUKI¹ Shigeo YAMAGUCHI² Teruki MOTOHASHI³ Seiji YONEDA¹ Tomomasa SATO⁴

1. 緒言

現在の集中型大規模ネットワークによる電力供給では、変圧・電送における抵抗損失、災害時に供給停止・復旧までに時間がかかるといった課題が存在する。また、火力発電においては気候変動や大気汚染の原因となるCO₂、NO_xおよびSO_xを排出するため、これを抑制することが世界規模で喫緊の課題となっている。原子力発電においては使用済核燃料の保管・処理方法が未解決であることや原子力災害時に莫大な人的・経済的損害が発生するという問題も未解決である。上記の諸問題を解決するため、それぞれの住宅・オフィスビル・商業施設・工場・公共施設が個々に再生可能エネルギーにより光熱・電力源を供給できるように社会全体のシステムを転換していくことが望ましい。エネルギーを自給自足することによって、自然災害への対策が強化されるのみならず、各個人の省エネルギー意識も高めることができる。2014年に閣議決定されたエネルギー基本計画に基づき経済産業省・資源エネルギー庁の主導によりネット・ゼロ・エネルギー・ハウス（ZEH：ゼッチ）の普及が促進され、個々の住宅へ積極的に再生可能エネルギーを導入することが推奨されている^[1]。

本研究では、ZEHを実現するため、「無機触媒/半導体ハイブリッド型水素・酸素生成太陽光熱電池」の創製を目的とする。本共同研究では、(i) Siと有機無機ハライドペロブスカイトとのヘテロ接合による可視光領域発電太陽電池、(ii) π 共役系導電性高分子とワイドギャップ無機半導体とのヘテロ接合による近紫外領域発電太陽電池 (iii) 熱電半導体材料 (iv) 高い酸化還元触媒能力を有するペロブスカイト酸化物材料を融合し、太陽光および太陽熱から電力と水素・酸素を同時生成可能な太陽光熱電池の創製を行うことを目指す。

2. 本研究の目的・基本構成

2-1. 本研究の最終的目標

本研究の最終的な目標は、住宅・オフィスビル・商業施設・工場・

公共施設などで使用する電力の全て、または一部を太陽光・熱の変換により自給自足可能なシステムの要素技術を確立することにある。

図1は本研究の最終的な目標となるZEHの概念を図示したものである。a. 水素・酸素生成太陽光熱電池では、可視光領域による発電を行うとともに、遠赤外領域すなわち熱線による循環水の昇温と熱電変換素子による発電を行う。b. 紫外光遮光発電窓ではUV-A (315-380nm) 近紫外光を遮蔽しつつ、電力に変換する。a, bで発電された電力は分配器によってc. 水素生成・貯蔵機 e. 蓄電池に配電され、c. 水素生成・貯蔵機では水素を生成してタンクに貯蔵する。また、e. 蓄電池ではa, bからの電力を蓄電する。d: 燃料電池はc. で貯蔵された水素による発電が可能である。またf. には温水タンクがあり、a. で昇温された水道水を保温貯蔵する。

このシステムにより、住宅では自動的に電力・温水・水素ガスの供給が可能となる。

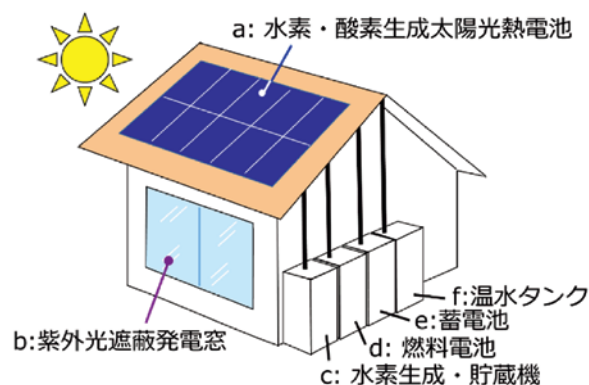


図1 本研究におけるZEH（ゼッチ）の概念図

図2は、この水素・酸素生成太陽光熱電池部とその周辺機構をより詳細に表したものである。この機構は松木らによって既に特許公開されている技術に基づいている（特開2003-288955^[2]）。以下に、同機構の動作説明を行う。(1)太陽光が水素・酸素生成太陽光熱電池部の封入された水電解槽パネルに入射すると、太陽光熱電池部の発電により水素と酸素が発生する。(2)発生した水素と酸素は圧縮機によりガス貯蔵タンクに圧縮貯蔵される。(3)水電解槽パネル内の水は熱対流によって槽上部から熱交換器に流入し、熱を放出したのちに槽の取り込み口より再び槽内に流入する。(4)ガス貯蔵タンクの酸素・水素は燃料電池へ送られ、発電を行う。(5)太陽光熱電池部の発電電力は蓄電池へ充電される。(5), (6)の直流電力はコンバータを通じて家庭内に配電される。

¹准教授 電気電子情報工学科

Associate Professor, Dept. of Electrical, Electronics and Information Engineering

²教授 電気電子情報工学科

Professor, Dept. of Electrical, Electronics and Information Engineering

³教授 物質生命化学科

Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

⁴助手 電気電子情報工学科

Research Assistant, Dept. of Electrical, Electronics and Information Engineering

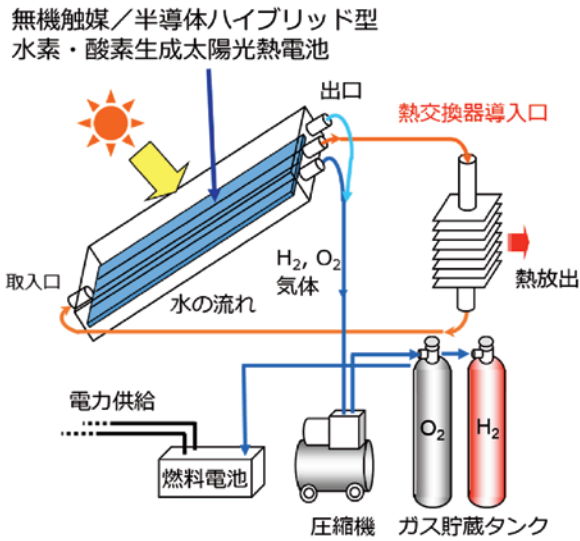


図2 水素・酸素生成太陽光熱電池部とその周辺機構の詳細。

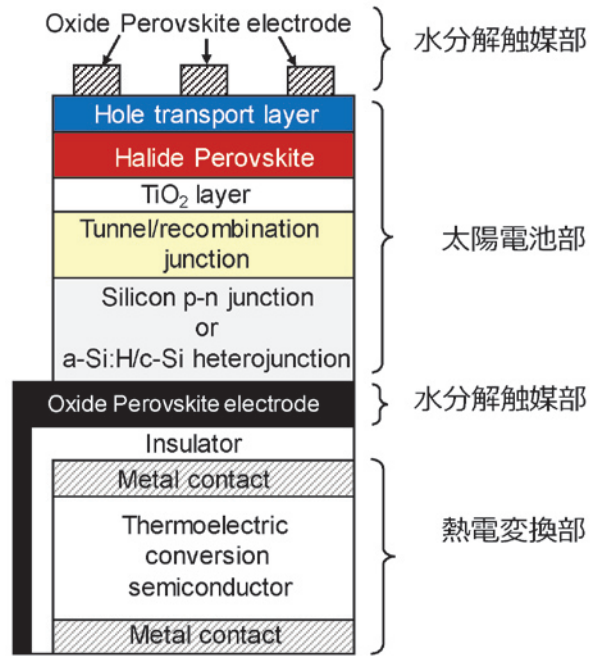


図3 無機触媒/半導体ハイブリッド型水素・酸素生成太陽光熱電池の構造概略図。

2-2. 目標達成に向けて開発すべき要素技術

本研究で目指す ZEH は、既存の太陽光発電パネルや水電解槽などを組み合わせて構成するというものではない。よりエネルギー収集効率を向上させるため、以下の I. ~ IV. に記す新規な要素技術開発を行う必要がある。なお、I. ~ IV. はそれぞれ緒言に示した具体的なデバイスや材料の創製目標 (i) ~ (iv) に対応する。

- I. 太陽光発電パネル部における光電変換波長範囲の拡張：Si 太陽電池だけでは 500nm よりも短波長側領域に対する分光感度の低下が避けられない。そこで、400~800nm に分光感度を有する「有機・無機ハライドペロブスカイト材料」によるタンデム構造セルを開発する必要がある；(i) Si と有機無機ハライドペロブスカイトとのヘテロ接合による可視光領域発電太陽電池。
- II. 紫外光に対して発電し、かつ透明な発電窓（材料）の開発；(ii) π 共役系導電性高分子とワイドギャップ無機半導体とのヘテロ接合による近紫外領域発電太陽電池。
- III. 100°C 以下の低温で発電する熱電変換層の開発；(iii) 熱電半導体材料。
- IV. 過電圧（水電気分解の理論電圧 1.23V よりも余分に必要な電圧）を抑制させる触媒電極材料の開発；(iv) 高い酸化還元触媒能力を有するペロブスカイト酸化物材料。

上記 I~IV の各機能を統合したハイブリッドな新規デバイスとして最終的に構築を目指しているのが、図3に示す構造の「無機触媒/半導体ハイブリッド型水素・酸素生成太陽光熱電池」である。次に、この要素技術を開発するにあたり構成した共同研究グループの構成研究者および各研究者の研究背景について述べる。

2-3. 共同研究グループの構成人員および研究背景

(i) Si と有機・無機ハライドペロブスカイトとのヘテロ接合による可視光領域発電太陽電池および(ii) π 共役系導電性高分子とワイドギャップ無機半導体とのヘテロ接合による近紫外領域発電太陽電池の開発は、松木伸行准教授・佐藤知正助手によって推進する。松木准教授らは、これまでに有機・無機ハライドペロブスカイトによる太陽電池作製プロセスと π 共役系導電性高分子とワイドギャップ無機半導体とのヘテロ接合による近紫外領域発電太陽電池について

研究を推進してきた^[3~7]。この経験を生かして、上述の太陽電池部分の開発を担当する。

(iii) 熱電半導体材料については、山口栄雄教授・米田征司准教授によって開発を進める。山口教授は化合物半導体の高効率熱電変換素子材料の開発を実施してきた^[8]。また、米田准教授はカルコゲン系化合物熱電材料により、カスケード型モジュールの創製などを行ってきた^[9]。

(iv) 高い酸化還元触媒能力を有するペロブスカイト酸化物材料については、これまでに BaYMn_2O_5 などのペロブスカイト系触媒材料による新奇な高速酸化還元現象^[10]。を見出してきた本橋輝樹教授によって行う。

特に本共同研究が必要となる点は粉体・バルク材料の薄膜化である。高い機能が確認されながらも電子機能材料としての組み込みがなされていなかった酸化還元触媒材料や熱電材料をスパッタリング法によってサブミクロン膜厚で均質薄膜化することである。この薄膜化によって、電子輸送特性や光学特性等のより詳細な物性評価を遂行できるようになるとともに、多層構造として形成することが可能となる。

3. 実験設備

3-1. 高周波マグネトロンスパッタリング製膜装置

水分解触媒電極材料および熱電材料の製膜装置として、高周波マグネトロンスパッタ装置を立ち上げた。図4にその構造概略(a)および外観(b)を示す。本装置は、シングルチャンバーに2台のスパッタカソードを取り付けられるようになっており、ターボ分子ポンプおよびロータリーポンプによって 10^{-4} Pa までの高真空排気が可能である。また、マスフローコントローラによって、チャンバー内に Ar と O_2 を導入できるようになっており、一般的な酸化物用高周波マグネトロンスパッタリング製膜装置に準ずる構成である。

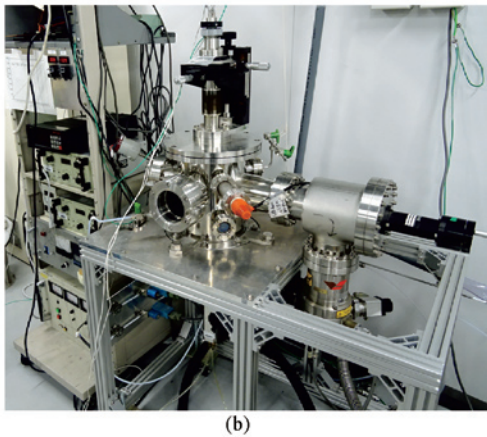
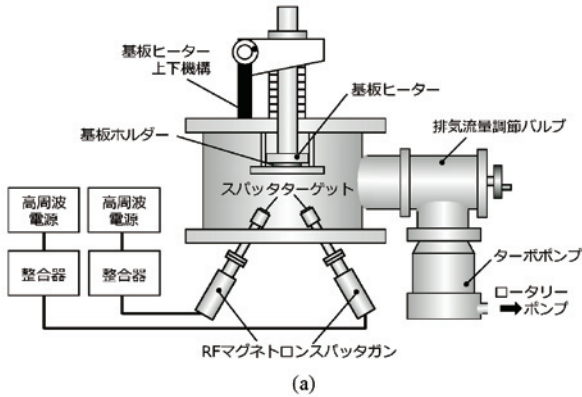


図5 スピンコート薄膜作製設備

図4 高周波マグネトロンスパッタ装置の構造概略(a)および外観(b).

3-2. スピンコート薄膜作製設備

有機・無機ハライドペロブスカイト太陽電池（以下、ペロブスカイト太陽電池）部の作製は、図5に示すスピンコート薄膜作製設備で実施した。スピンコートとは、薄膜を形成させたい基板を高速回転（1000～6000rpm）させ、その表面に薄膜の原材料となる試薬溶液を滴下して遠心力により溶液を薄膜化、その後加熱などを行うことによって機能性薄膜を形成する手法である。特に、ペロブスカイト太陽電池はスピンコート法と低温加熱結晶化（70℃）によって最高20%以上の変換効率が得られており、プロセスの簡便性と変換効率の高さによって近年非常に研究が活性化している対象である。本研究では、有機無機ペロブスカイト薄膜の大気中水分による劣化を防ぐため、スピンコート雰囲気制御可能にするため、グローブボックス内にスピンコーターを設置し、除湿できる構造とした。除湿装置を3時間ほど作動させることによって、グローブボックス内の湿度が10%に程度まで低減できることが確認された。

4. 太陽電池部の作製プロセスおよび評価方法

以下に、本研究で実施したペロブスカイト太陽電池の作製プロセスを述べる。ペロブスカイト太陽電池は2009年に桐蔭横浜大学の宮坂力教授による色素増感太陽電池の研究から派生し、2012年には変換効率10%を超え、現在は最高効率が22%以上という驚異的な進展を示している新型太陽電池である。本研究では、現在広く行われている PbI_2 と $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}$ を原料として溶媒（DMF：N,N-ジメチルホルムアミド）に溶解した原液を用いて、スピンコートによって薄膜化するウェット法により作製を行った。図6に作製したペロブスカ

イト太陽電池の断面構造概略図を示す。

一般に、緻密 TiO_2 層は $\text{Ti}(\text{iPrO})_4$ （オルトチタン酸テトライソプロピル）溶液をスピンコートし、高温酸化焼成によって形成するが、本研究ではペロブスカイト太陽電池の特性向上を目指し、高周波マグネトロンスパッタリングにより製膜した TiO_2 薄膜および、導電率を向上させるために Nb をドーピングさせた $\text{TiO}_2:\text{Nb}$ 薄膜を緻密 TiO_2 層として用い、太陽電池特性に対する影響を調べた。ナノ多孔性 TiO_2 層、ペロブスカイト層、有機正孔輸送層はスピンコートによるウェット法を用いて形成し、裏面の金属電極（正極）の Au は真空蒸着装置により形成した。また負極の金属電極はセラミックス融着用の Sn-Zn 合金ハンダ「セラソルザ」により形成した。

TiO_2 層における結晶構造の評価には工学研究所の X 線回折装置を用い、また、ペロブスカイト太陽電池の特性は当研究室で構築した擬似太陽光照射電流-電圧測定装置により評価した。

5. 実験結果および考察

緻密 TiO_2 層として、スピンコート製膜 TiO_2 (Spin- TiO_2)、および高周波 (RF) マグネトロンスパッタリングにより作製した TiO_2 (RF- TiO_2) と $\text{TiO}_2:\text{Nb}$ (RF- $\text{TiO}_2:\text{Nb}$) の3種類を形成し、その構造物性および太陽電池特性への影響を調べた。図7に高周波マグネトロンスパッタリングによって石英基板上に基板温度300℃で製膜した平均膜厚30nmの RF- TiO_2 （圧力8Pa, Arのみ）および平均膜厚100nmの RF- $\text{TiO}_2:\text{Nb}$ （圧力1Pa, Ar: O_2 分圧比97:3）における X 線回折パターンを示す。RF- TiO_2 および RF- $\text{TiO}_2:\text{Nb}$ に対して 25.4° および 27.4° 付近に回折ピークが観察され、それぞれルチル型、アナターゼ型の TiO_2 薄膜が形成されていることがわかる。

図8に、作製したペロブスカイト太陽電池の外観 a および、形成

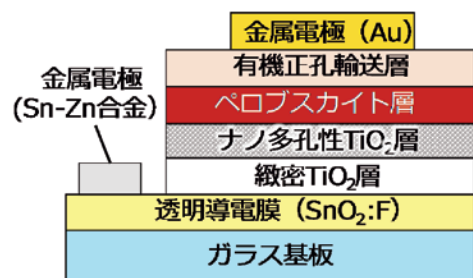


図6 作製したペロブスカイト太陽電池の断面構造概略図。

プロセスの異なる緻密 TiO₂層を用いて作製したペロブスカイト太陽電池の特性 b を示す. 図8bの太陽電池電流-電圧特性から, 変換効率は Spin-TiO₂=10.1%, RF-TiO₂=9.6%, RF-TiO₂:Nb=12.0%と算出され, RF-TiO₂:Nb を緻密 TiO₂層として用いたペロブスカイト太陽電池で最も高い値を得られた. これは, TiO₂に Nb をドーブしたことにより緻密 TiO₂層の抵抗率が低減し電流値と曲線因子が増大したためと考えられる. RF-TiO₂では従来型 Spin-TiO₂よりも変換効率が低くなったが, これは RF-TiO₂の抵抗率が SP-TiO₂よりも増大し, 電流値と曲線因子が低下したためだと考えられる. 本研究の結果から, 緻密 TiO₂層に RF-TiO₂:Nb を用いることによってペロブスカイト太陽電池の特性を向上できる可能性があることを明らかにした.

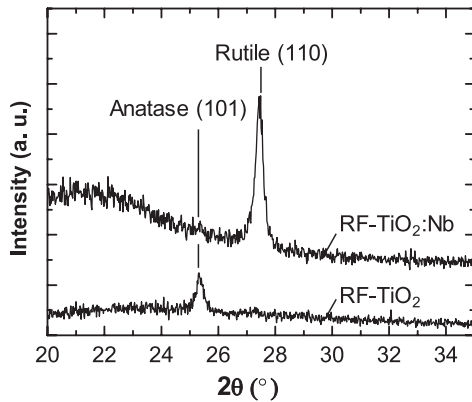
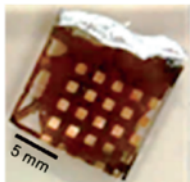
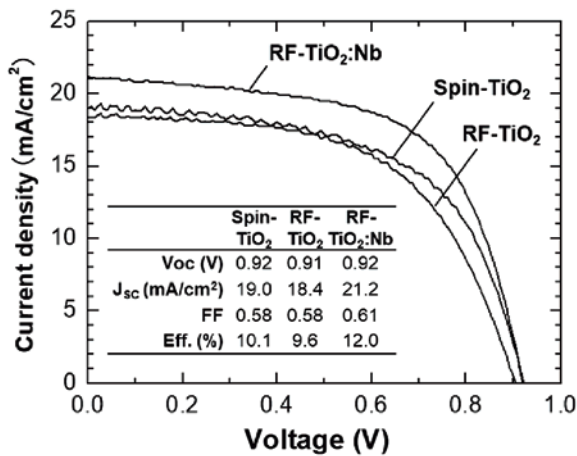


図7 高周波マグネトロンスパッタリングにより石英基板上に製膜した TiO₂薄膜の X 線回折パターン.



(a)



(b)

図8 作製したペロブスカイト太陽電池の外観(a)および形成プロセスの異なる緻密 TiO₂層を用いて作製したペロブスカイト太陽電池の特性(b) (図中電流-電圧特性はいずれも+側から-側への掃引データ).

6. 結言

本研究では無機触媒/半導体ハイブリッド型水素・酸素生成太陽光熱電池の創製を目指して太陽電池部の研究開発を行い, 有機無機ハイブリッドペロブスカイト太陽電池において高周波マグネトロンスパッタリングにより製膜した TiO₂:Nb 層が同太陽電池特性の向上に有効である可能性を実証した. 引き続き, 同太陽光熱電池の創製に向け, 触媒部・熱電変換部の開発を含め研究を推進する.

7. 参考文献

- [1] 平成26年4月閣議決定「エネルギー基本計画」p.34.
- [2] 松木伸行, 山田羊治, 大森隆, 鈴木栄二, 豆塚廣章, 松田彰久, 近藤道雄, 「太陽光を利用した水素の製造方法及び太陽光を利用した水素の製造装置」, 特開2003-288955 (2003).
- [3] K. Kawashima, Y. Okamoto, O. Annayev, N. Toyokura, R. Takahashi, M. Lippmaa, K. Itaka, Y. Suzuki, N. Matsuki and H. Koinuma, Combinatorial screening of halide perovskite thin films and solar cells by mask-defined IR laser molecular beam epitaxy, *Science and Technology of Advanced Materials* 18, 307-315 (2017).
- [4] N. Matsuki, Y. Irokawa, Y. Nakano, M. Sumiya, π -Conjugated polymer/GaN Schottky solar cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95, 1, 284-287, (2011).
- [5] N. Matsuki, Y. Nakano, Y. Irokawa, M. Sumiya, Heterointerface properties of novel hybrid solar cells consisting of transparent conductive polymers and III-nitride semiconductor, *J. Nonlinear Opt. Phys. Mater.*, 19, 4, 703-711, (2010).
- [6] Y. Nakano, N. Matsuki, Y. Irokawa and M. Sumiya, Electrical characterization of n-GaN epilayers using transparent polyaniline Schottky contacts, *Physica Status Solidi (c)*, 7, 7-8, 2007-2009, (2010).
- [7] N. Matsuki, Y. Irokawa, T. Matsui, M. Kondo, and M. Sumiya, Photo-voltaic action in polyaniline/n-GaN Schottky diodes, *Applied Physics Express*, 2, 9, 092201-1~3, (2009).
- [8] 山口栄雄, AlGaInN 系および GaInAsSb 系薄膜熱電材料, セラミックス 11, H103 (2008).
- [9] S. Yoneda, Anomaly in the specific heat of lead tellurides, *J. Theoretical and Applied Phys.* 7, 11 (2013).
- [10] T. Motohashi, Remarkable oxygen intake/release of BaYMn₂O_{3+d} viewed from high-temperature crystal structure, *J. Phys. Chem. C* 119, 2356 (2015).

次世代型医薬品開発を目指した希少糖や核酸誘導体の合成と生物活性評価システムの構築

赤井 昭二* 實吉 尚郎** 小野 晶***

Synthesis of rare sugar and nucleos(t)ide analogues for the development of next-generation medicines and construction of the system for evaluating biological activity of their compounds.

Shoji AKAI* Hisao SANEYOSHI** Akira ONO***

1. 緒言

近年、癌細胞の増潤・転移などのメカニズムが分子レベルで解明されるにともない、分子標的薬の開発が進められている。これまでにない新規な構造を有する化合物は、新たな作用機構を示し、標的選択性を持つ医薬品開発の可能性が見出されてきた。つまり効果が高く副作用の少ない薬剤となる可能性である。

そのひとつは、エピジェネティクスの異常に着目した研究である。エピジェネティクスとは、DNAの塩基配列によらない遺伝子発現制御に関わる機構で、DNAの複製・組換えなど様々な生命現象に関与して、疾患の原因の一つであると推測されている^[1]。もうひとつは、アンチセンス核酸などの核酸医薬を用いた手法である。例えば、核酸医薬の手法の一つであるアンチセンス法は、遺伝子の働きを阻害する。人工的に合成できるだけでなく原理的には配列を変えるだけで様々な標的(mRNA)に対応でき、より広範囲な疾患に対応することが可能と考えられる。それゆえ、抗体医薬や遺伝子治療薬とともに次世代型の医薬品として期待されている^[2]。特に抗癌剤に注目すると核酸誘導体やペプチド誘導体が阻害剤として注目され、活発に研究されている。

我々の研究グループでは、糖やアミノ酸、核酸を原料に、様々な生物活性物質や機能性物質の創製に日常的に取り組んでいる。それら物質の合成過程における中間物質には、様々な生物活性や機能性を秘めているが、それらを一つひとつ明らかにするためには、独自の生物活性評価システムを保有し、化合物をこまめにスクリーニングしていなければ、系統的な研究が難しいのが現状である。しかしながら、本学の中には、そのような研究を共同で進められる設備もプロジェクトも存在していなかった。そこで本共同研究では、我々研究者がこれまで合成してきた糖や核酸誘導体化合物ライブラリーの中で、阻害剤として次世代型の医薬リードになり得ると予想される物質を中心に、その誘導体も含め再度合成し、生物活性評価システムを構築して評価するサイクルを確立して新規な医薬リード化合物の発見を目指すものである。特に本年度は、糖誘導体と、

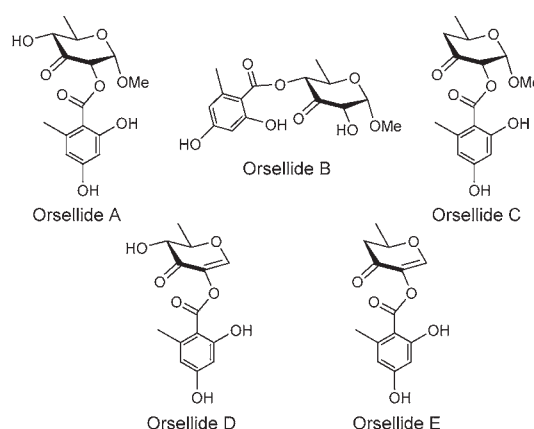
核酸誘導体に分けて、その合成や予備的に行った生物活性評価の結果について述べる。また、最後に現在構築中の生物活性評価システムについて簡単に報告する。

2.1. 希少糖を基盤とする抗腫瘍剤の開発研究

グルコース(ぶどう糖)に代表される単糖類は、生物のエネルギー源等として自然界に広く豊富に存在する。一方で、微量ながらも存在してきた単糖類も存在し、それらは希少糖と呼ばれる。それら希少糖の存在理由は、現在でも未だ明確には解明されていない。近年ではバクテリアや真菌類の二次代謝産物としても、希少糖が見出され、その生物活性と構造との相関が注目されている。

これに関連し、2006年に Zeeck らは、真菌類の一種である *Chaetomium sp.* (ケタマカビ) の二次代謝産物から、新たに5種の天然物オルセリド A-E を単離・構造決定した(図1)^[3]。

これらは、希少糖である 6-デオキシ-3-ケト-ヘキソースを骨格にオルセリン酸がエステル結合した特異な構造を持つ化合物である。また、これらは大腸菌、枯草菌、黄色ブドウ球菌に対して感受性をもつ抗菌性物質であると報告された^[3](図1)。このオルセリド



単離されたオルセリド類の抗菌活性(ディスク法による)

化合物	<i>E. coli</i> (大腸菌)	<i>B. subtilis</i> (枯草菌)	<i>S. aureus</i> (黄色ブドウ球菌)
Orsellide A, B	11	18	9
Orsellide C	14	30	12
Orsellide D	12	21	8
Orsellide E	---	13	---

※細胞培養器にそれぞれの化合物を15 μ g滴下したときの菌の繁殖抑制領域の直径(mm)

図1. 天然産オルセリド類の構造と生物活性^[3]

*准教授 物質生命化学科

Associate Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

**助教 物質生命化学科

Assistant Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

***教授 物質生命化学科

Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

の基本骨格であるデオキシヘキソース類は、抗生物質や抗腫瘍剤をはじめとする生物活性物質中に多く含まれ^[4]、その活性発現にしばしば重要な役割を担っていることが良く知られているが、真菌類から、しかも抗菌物質として見つかった例としては極めて稀である。一般的に抗菌活性物質には、同時に他の生物活性を示すことが多く、抗腫瘍活性や抗マalaria活性などが期待できる。そこで我々研究グループでは、このオルセリドが持つ特異な糖誘導体(希少糖誘導体)の構造と生物活性に興味を持ち、天然型オルセリドとその誘導体を合成し、生物活性試験を行うことで、新規な生物活性を持つ医薬リードを見出せるものと期待した。

まず、天然型オルセリドを図2に従って合成した。

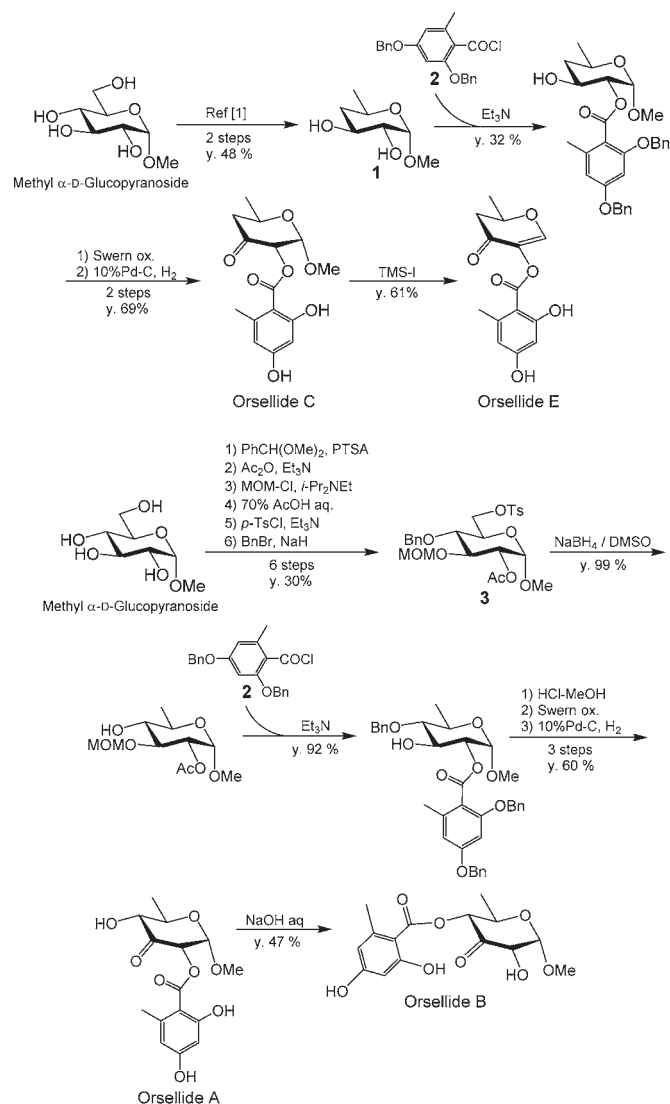


図2. 天然型オルセリド A-C, E の合成

Methyl α -D-glucopyranoside を出発原料に、文献^{[5],[6]}にしたがって 4,6-dideoxy 体1を合成後、オルセリン酸誘導体2と縮合、次いで酸化することでオルセリドCを、さらにアノマーを脱離させてオルセリドEを合成した。同様に Methyl α -D-glucopyranoside から常法に従って6位を選択的にスルホン酸エステル化した3とした後、6位デオキシ化、先と同様にオルセリン酸誘導体2と縮合、次いで酸化することでオルセリドAを、その後アルカリ溶液によってアシル

基を転位させて、オルセリドBを得た。

得られたオルセリドA-C, Eの抗菌活性をMICs法によって簡易的に評価した(表1)。

表1. 細胞増殖最小阻害濃度 (MICs μ g/mL).

Compound	<i>E. coli</i> (大腸菌)	<i>B. subtilis</i> (枯草菌)	<i>S. aureus</i> (黄色ブドウ球菌)	<i>S. typhimurium</i> (チフス菌)
Orsellide A	>1024	>1024	>1024	>1024
Orsellide B	>1024	>1024	>1024	>1024
Orsellide C	>1024	>1024	1024	>1024
Orsellide E	>1024	128	64	512

しかし、オルセリドEに弱いながら抗菌活性が見られただけで、Zeec らが報告しているほど顕著な活性^[3]は残念ながら見られなかった。菌株の違いにより活性に差異が生じる可能性も残されたが、そう大きく異なる実験結果は得られ無いと我々は判断し、他の側面へ研究を切り替えることとした。すなわち、前述したように天然産の抗菌物質には、同時に抗腫瘍活性や抗マalariaなどを示す事例が多いことから、合成したオルセリドA-C, Eの抗腫瘍活性と抗腫瘍剤の効果を増強させる効果(増感作用)について予備的に試験した。抗腫瘍剤には広い癌種に効果があり一般的なアントラサイクリン系のドキソルビシン(DOX)を用い、腫瘍細胞にはA549肺ガン細胞を用いた。その結果を図3に示す。

いずれのオルセリドにも抗腫瘍剤(DOX)の効果を強める増感作用を有する可能性が示唆された。またオルセリドEには単独でも抗腫瘍活性がみられた。そこで、さらにエステル部分の異なる誘導

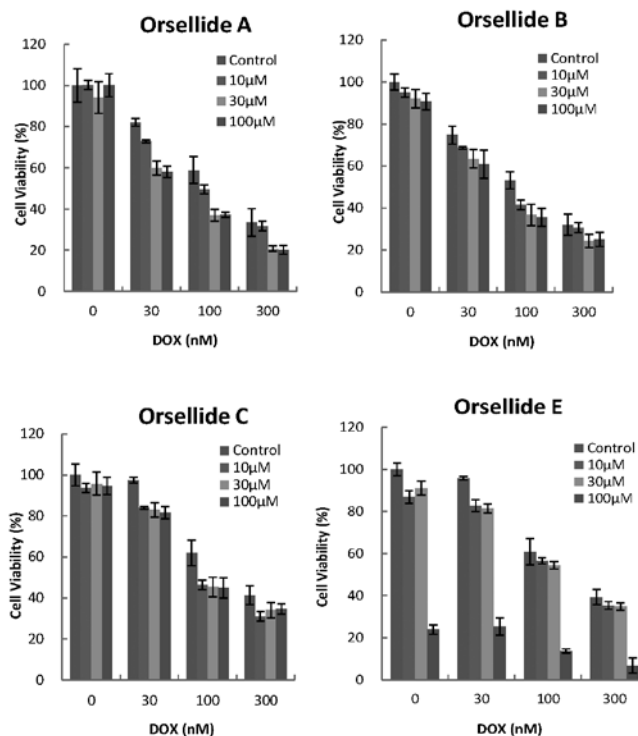


図3. MTT法によるオルセリド類のA549腫瘍細胞に対する細胞毒性試験の結果

※A549肺腫瘍細胞; 試験化合物: Orsellide A, B, C, and E; 抗腫瘍剤: ドキソルビシン (DOX)

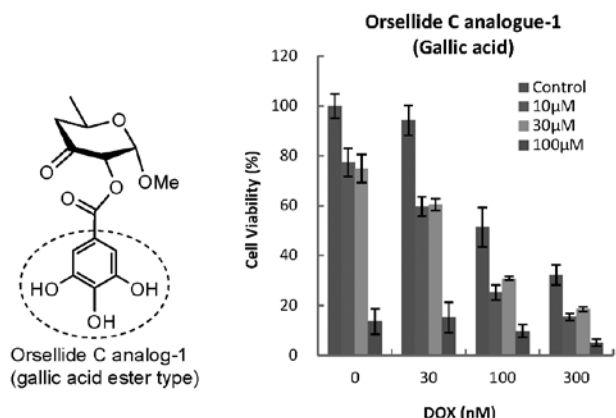


図4. オルセリド C 誘導体-1の細胞毒性試験の結果

※A549肺腫瘍細胞；試験化合物：Orsellide A, B, C, and E)；抗腫瘍剤：ドキシルピシリン (DOX)

※没食子酸は、日本茶カテキンに多く含まれるエピガロカテキンガレートのエステル成分である。このカテキンは、強い抗酸化作用もち抗腫瘍活性も示唆されているが、明確な根拠はない^[7]。

体、オルセリド C 誘導体 (analog-1: 没食子酸エステル型) を合成し、その細胞毒性試験を行ったところ、オルセリド E と同様に単独での抗腫瘍活性が見られた (図4)。

これらの結果からエステル部分の交換では、その活性には劇的な変化が見られないこと、対応する芳香族カルボン酸およびエステルのみでは、これまで抗腫瘍活性を明確に示すデータが見られないことから、オルセリン酸や没食子酸が特異なこのケトヘキソース (希少糖) との複合体になることで腫瘍細胞へ何らかの働きがあるものと推測される。

現段階での詳細は割愛させていただくが、現在、デオキシおよびケトヘキソース誘導体の合成をさらに行い、その細胞毒性試験を進めており、希少糖の構造-活性相関についてより詳しい知見が得られるものと考えている。今後、新規な次世代型抗腫瘍剤の開発につながる知見が得られるものと期待する。

2.2. 核酸誘導体を基盤とする抗腫瘍剤の開発研究

合成オリゴヌクレオチドを基盤構造とする医薬品は総称して核酸医薬と呼ばれる。この核酸医薬は、化学合成で製造することができ、近年開発が盛んな抗体医薬と同様 (あるいはそれ以上) の高い標的選択性を有している。そのため核酸医薬は、低分子医薬と抗体医薬の双方の利点を兼ね備えている。加えて、核酸医薬は、疾患対象が広く低分子や抗体医薬では、対応が困難であった細胞内部の標的 (mRNA や miRNA) にも設計が可能であり、次世代の分子標的薬として期待されている。以上のように、非常に潜在性の高い医薬品であるが、市場に出た例は少数に過ぎない。その主な原因は、核酸医薬特有の分子構造により、作用部位への薬剤の送達に困難であることが挙げられる。現在、世界中で核酸医薬のドラッグデリバリーシステム (Drug Delivery System=DDS) の研究が盛んに行われている。本研究では、次世代型の医薬品開発を目指し、核酸医薬開発、とくに DDS に必要な新規生分解性ユニットの開発について以下検討した。

核酸医薬の主な作用部位は、細胞内であり細胞内部に到達する

必要がある。しかしながら、核酸医薬は、その分子構造中に多数の負電荷を有するため、細胞膜を透過しにくい特徴を持つ。先にも述べたが、核酸医薬開発の中心は、デリバリーと同義であるといっても過言ではない。現在利用されているアプローチは、1) キャリア法 (ナノ粒子など) 2) プロドラッグ法である (図5)。上記アプローチに加えて、細胞膜透過性ペプチドや糖などの機能性分子をコンジュゲートする手法も利用される。そこで本年度の研究では、特に核酸医薬のプロドラッグ法に利用可能な細胞内で除去可能な保護基の開発について検討した結果を報告する。

核酸医薬のプロドラッグ化は、1990年代に最初に報告された^[8]。リン酸ジエステル部位に細胞内のエステラーゼにより除去可能な保護基を導入して、可逆的かつ電荷的に中性なリン酸トリエステルとするものであった。このオリゴヌクレオチドは、細胞膜を透過するだけではなく生体液中に豊富に存在する核酸分解酵素に対して抵抗性を示した。さらに、保護基はエステラーゼにより除去されることが示された。

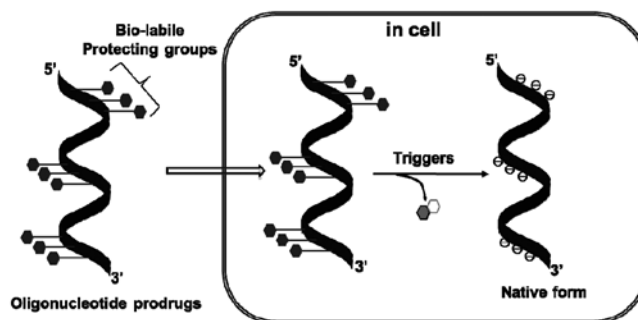


図5. 核酸医薬プロドラッグの期待される活性化機構

近年になり、エステラーゼ応答性の RNA 干渉能を持つ RNA の合成と生物学的評価がなされ、保護基の除去反応が活性のスイッチを担うことが明らかとなった^[9]。

我々の研究グループにおいても、核酸医薬のプロドラッグ化を志向して、ある種の癌細胞内にしばしば見受けられる低酸素環境での還元反応に注目した保護基の開発を行ってきた^[10]。(図6)

3-(2-ニトロフェニル) プロピル基を新規に設計し、リン酸ジエステル部位に対して導入することにした。期待される除去機構は、細胞内でニトロ基が還元され、引き続き環化反応により除去されるものである。

紙面の都合上、合成スキームは省略するが、標準的な DNA 固相合成プロトコールに従って保護基を有するオリゴヌクレオチドを合成できた。ニトロ基の還元によって保護基が除去されるかどうか、試験管内にて保護基の除去実験を行った。図7(a)は、還元によって除去可能な保護基を有するオリゴヌクレオチドの結果である。市販のニトロレダクターゼを用いて除去反応をおこなったところ、速やかに保護基が除去された。一方、ニトロ基が無い保護基は、酵素を添加しても除去されることはなかった。

ニトロ基の還元を引き金として脱保護可能な生分解性保護基の開発に成功した。次に、この保護基を足場にして、核酸医薬に対する生体適合性の付与や細胞内動態の改善を可能にする機能性分子をとりつける簡便な手法の開発を行った^[11]。設計としては、先ほど

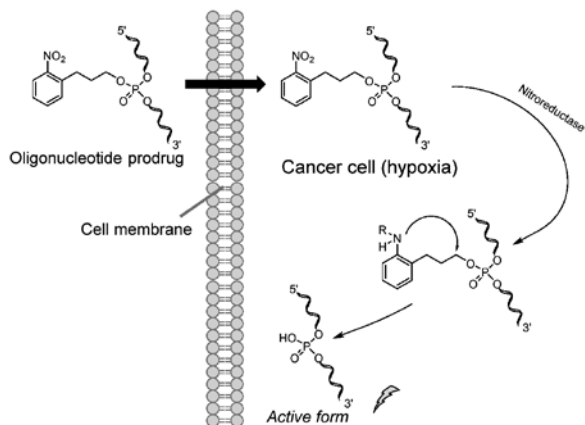


図6. 癌細胞内で活性化される核酸医薬の設計と期待される保護基の脱保護機構

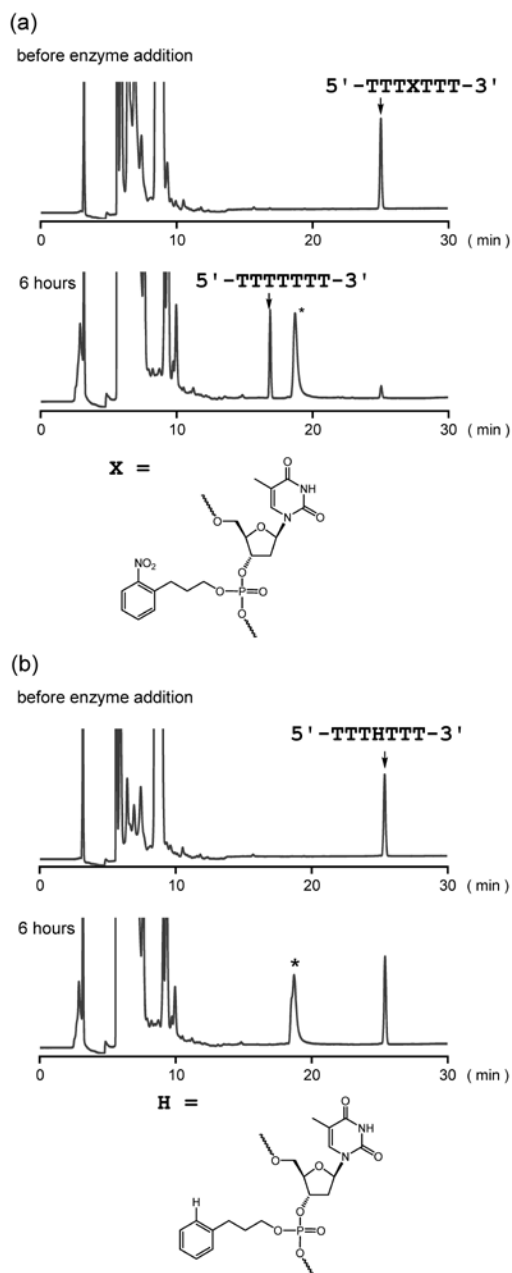


図7. ニトロ基の還元による保護基の除去反応 (*は酵素溶液由来のピーク)

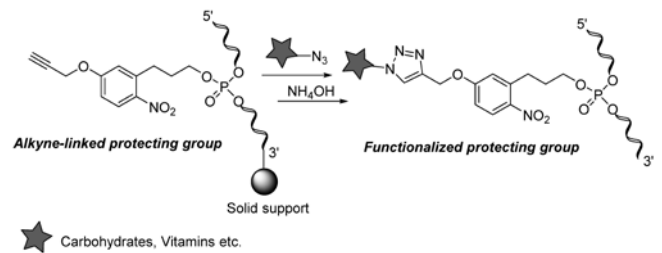


図8. 機能性分子で修飾された保護基を有する核酸医薬の合成

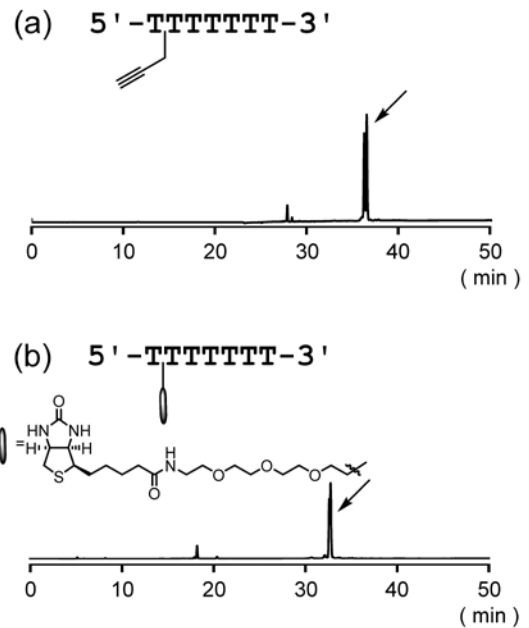


図9. 機能性分子で修飾された保護基を有する核酸医薬の HPLC チャート (a) CuAAC 反応なし (b) CuAAC 反応後

の保護基上にアルキン残基を導入し, copper-catalyzed azide alkyne cycloaddition (CuAAC) reaction を用いて機能性分子を簡便に導入できる構造とした (図8)。

アルキン残基を有する保護基が導入されたオリゴヌクレオチドを固相担体上で合成した。図9(b)は, 固相担体からの切り出しを行うことなく, 機能性分子 (ビオチン) を取り付けた HPLC チャートである。図9(a)は, CuAAC 反応を行わずに, 固相担体から切り出したのみの結果である。この結果から, 定量的に機能性分子のコンジュゲーションが行えたことを示している。以上より, 簡便に機能性残基を核酸医薬のバックボーン上に取り付けることが可能な手法を開発できた。

詳細は割愛させて頂くが, 機能性分子が導入された保護基は, ニトロ基の還元によって同様に除去されることを確認している。

今後は, 低酸素培養した癌細胞内部で実際に除去されるか, 現在構築中の生物活性評価システムを用いて検討を進める。

2.3. 生物活性評価システムの整備・構築

有望な化合物をみれなく見つけるためには, 外部への活性試験の依頼ではなく, 自前で活性試験を適宜行えることが鍵となる。

平塚キャンパス理学部を含め, 動物細胞の培養とそれを用いた生物活性試験を共同研究できる教員および設備は残念ながら無かつ

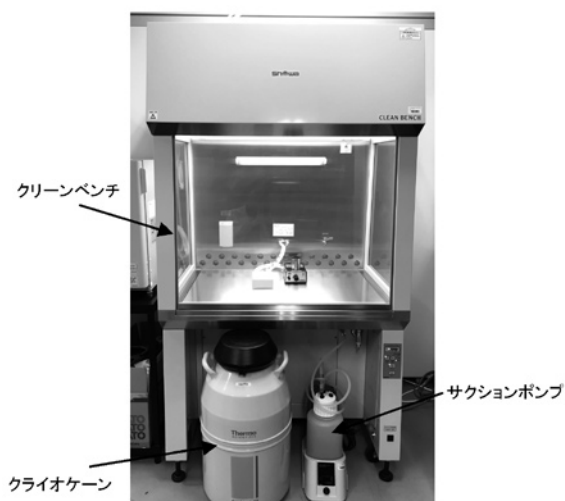


図10. クリーンベンチ式と細胞の凍結保用クライオケーン

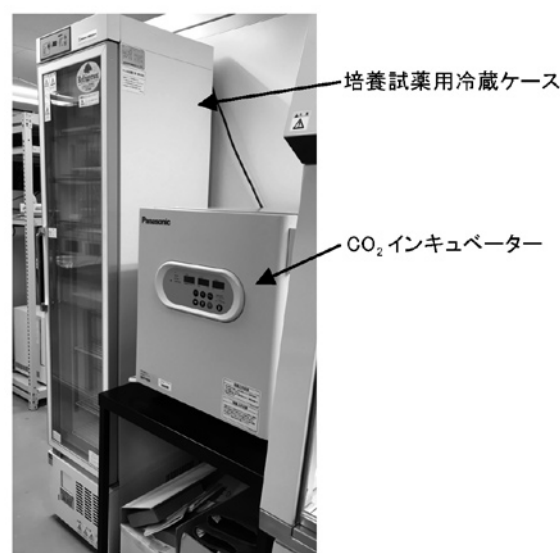


図11. CO₂インキュベーターと細胞培養試薬用冷蔵ケース

ため、一からすべてを揃え実験技術も確立することにした。

図10、図11のように、細胞培養と活性評価に不可欠なクリーンベンチ、CO₂インキュベーター、試薬保管用冷蔵ケース、細胞凍結保存用クライオケーンを揃えることができた。実験技術に関しては、細胞の培養（継代）について専門機関で講習を受け習得した。

今後、細胞観察用の位相差・蛍光顕微鏡が加われば、培養および簡易的な活性試験を開始できるようになる。また、合成実験と並行して、詳細な活性試験の実施方法について、これまでの共同研究者から教示いただけるように準備を進めている。

4. 結言

希少糖や核酸誘導体には、我々が目的とした以外の生物活性を持つものが、今後、生物物活性試験を行うことで数多く見出せるものと考えられる。本共同研究によって整備された生物活性評価システムを用いて、来年度以降、これまでに合成してきた数多くの新規化合物についても、もう一度精査して、活性試験を行うとともに、今年度得られた結果を基に、さらに高活性の化合物の合成に取り組

む予定である。

最後に、現在、生物活性評価システムは構築・整備中であり、ここに記された生物活性については、これまで共同研究を行ってきた新潟薬科大学応用生命科学部の西田浩志准教授と永塚隆弘助教、岡山大学薬学部の勝孝教授にお願いし、測定いただいた結果である。この場をかりて感謝申し上げる。

5. 参考文献

- [1] 延山嘉真, 牛島俊和, エピジェネティクスと発がん, 臨床化学, 2007, 36(4), 288-295.
- [2] 横田隆徳, 仁科一隆, 桑原宏哉, 核酸医薬を用いた遺伝子治療の展望, 神経治療, 2016, 33(3), 303-306.
- [3] O. Schlörke, A. Zeeck, Orsellides A-E: An Example for 6-Deoxyhexose Derivatives Produced by Fungi, *Eur. J. Org. Chem.*, 2006, 1043-1049.
- [4] Deoxysugar find in macrolide antibiotics consist of a core aglycone, of polyketide origin: Erythromycin, Tylosin, and Spinosyn A etc.
- [5] V. Velvadapu, R. B. Andrade, Concise syntheses of D-desosamine, 2-thiopyrimidinyl desosamine donors, and methyl desosaminide analogues from D-glucose, *Carbohydr. Res.*, 2008, 343, 145-150.
- [6] S. Hanessian, T. Focken, X. Mi, R. Oza, b. Chen, D. Ritson, R. Beaudignies, Total Synthesis of (+)-Ambruticin S: Probing the Pharmacophoric Subunit, *J. Org. Chem.*, 2010, 75(16), 5601-5618.
- [7] a) C. Hu, D. D. Kitts, Evaluation of antioxidant activity of epigallocatechin gallate in biphasic model systems in vitro, *Mol. Cell Biochem.*, 2001, 218(1-2), 147-155; b) M. Leone, D. Zhai, S. Sareth, S. Kitada, J. C. Reed, M. Pellecchia, Cancer prevention by tea polyphenols is linked to their direct inhibition of antiapoptotic Bcl-2-family proteins, *Cancer Res.*, 2003, 63(23), 8118-8121.
- [8] G. Tosquellas, K. Alvarez, C. Dell'Aquila, F. Morvan, J.-J. Vasseur, J.-L. Imbach and B. Rayner, The pro-oligonucleotide approach: Solid phase synthesis and preliminary evaluation of model pro-dodecathymidylates, *Nucleic Acids Res.*, 1998, 26, 2069-2074.
- [9] B. R. Meade, K. Gogoi, A. S. Hamil, C. Palm-Apergi, A. v. d. Berg, J. C. Hagopian, A. D. Springer, A. Eguchi, A. D. Kacsinta, C. F. Dowdy, A. Presente, P. Lonn, M. Kaulich, N. Yoshioka, E. Gros, X.-S. Cui and S. F. Dowdy, Efficient delivery of RNAi prodrugs containing reversible charge-neutralizing phosphotriester backbone modifications, *Nat. Biotechnol.*, 2014, 32, 1256-1261.
- [10] H. Saneyoshi, K. Iketani, K. Kondo, T. Saneyoshi, I. Okamoto and A. Ono, Synthesis and Characterization of Cell-Permeable Oligonucleotides Bearing Reduction-Activated Protecting Groups on the Internucleotide Linkages, *Bioconjug. Chem.*, 2016, 27, 2149-2156.
- [11] H. Saneyoshi, K. Kondo, K. Iketani and A. Ono, Alkyne-linked reduction-activated protecting groups for diverse functionalization on the backbone of oligonucleotides, *Bioorg. Med. Chem.*, 2017, 25, 3350-3356.

炭素ナノ材料に内包された水の熱物性

客野 遥* 佐々木 志剛**

Measurement of Thermophysical Properties of Water Confined in Carbon Nanomaterials

Haruka KYAKUNO* Munetaka SASAKI**

1. 緒言

ナノサイズの空間に束縛された水は、バルクとは異なる振る舞いを示す^[1]。このような水の性質を理解することは、ナノサイエンスの分野に留まらず、バルク水の未解明物性（たとえば、4°Cで密度が最大になることなど）を明らかにする上でも重要な知見を与えるものと期待されている。

バルク水の物性を理解するための仮説の1つとして、「低温の水には2種類の液体状態が存在する」という説（水のポリアモルフィズム）が現在広く議論されている^[2]。この水のポリアモルフィズムを検証するためには、過冷却状態の水を調べる必要がある。しかし過冷却領域には、バルク水が急速に結晶化してしまう圧力-温度領域（たとえば1気圧下では、235K から150K までの温度領域）が存在するため、実験による検証は非常に困難である。そこで、ナノサイズの空洞に水を閉じ込めてその結晶化を抑制し、低温での液体状態を調べる試みが行われている。これまで、多孔質シリカ材料などを用いた研究が盛んに行われ、シリカ空洞中の水が230K 近傍で異常な振る舞いを示すことが様々な実験によって報告されている。この異常を、水のポリアモルフィズムによる2液体状態間のクロスオーバーであると主張する研究グループもあり、議論を呼んでいる^[3-5]。

以上をふまえ、本研究では、炭素ナノ材料に内包された水の振る舞いを熱物性の観点（状態変化やそれに伴う潜熱など）から明らかにすることを目的とし、示差走査熱量測定（differential scanning calorimetry; DSC）を行った。

2. 炭素ナノ材料と水

本研究で用いた炭素ナノ材料は、ゼオライト鋳型炭素（zeolite-templated carbon; ZTC）と単層カーボンナノチューブ（single-walled carbon nanotubes; SWCNTs）である。本節では、ZTC および SWCNT に内包された水の性質について、主に X 線回折（XRD）実験、核磁気共鳴（NMR）測定、古典分子動力学（MD）計算などの手法によってこれまでに明らかになっていることを簡単に紹介する。

ZTC とは、Y 型ゼオライトを鋳型として合成された新しい多孔性炭素材料であり、均一な直径（1.2nm）のナノ細孔、および鋳型

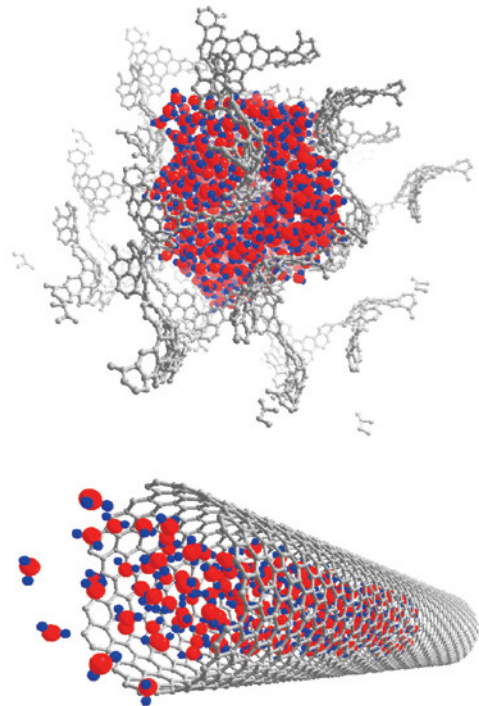


図1 水を内包した ZTC（上）および SWCNT（下）の模式図。水内包 SWCNT では、低温（ $T_{wd}=220\sim 230\text{K}$ ）で内包水の一部が SWCNT 外部へ排出される現象（wet-dry 転移）が起こる。図中の灰色が炭素原子、赤色と青色は水分子（それぞれ酸素原子と水素原子）を表す。

である Y 型ゼオライトに由来する規則的な3次元構造を有する^[6]。一方 SWCNT は、グラフェンのリボンを筒状に丸めてつなげた中空円筒空間（直径1~4nm 程度）を有する1次元性のナノ炭素物質である^[7]。ZTC と SWCNT はともに、疎水性である炭素原子から構成されるにも関わらず、その空洞内に高密度の水を内包することができる。

ZTC に内包された水は、室温ではバルク水様の振る舞い（構造、ダイナミクス）を示す。ところが温度を下げると、200K 以下まで十分に速い回転運動をし（すなわち液体状態であり）、結晶化しない。低温構造は、発達した水素結合ネットワークをもつ低密度アモルファス様固体であり、そのガラス転移温度は $T_g\sim 143\text{K}$ であると見積られている^[8]。SWCNT では、内包水の振る舞いは SWCNT 直径 D によって異なる。比較的直径の小さい SWCNT ($1.1\text{nm} < D <$

*助教 物理学教室

Assistant Professor, Institute of Physics

**准教授 物理学教室

Associate Professor, Institute of Physics

1.45nm) においては、内包水は低温で液体-固体様転移を起こし、筒状の氷を形成する^[9-11]。一方、より直径の大きいSWCNT (1.6nm < D < ~4nm) においては、内包水の一部が低温 ($T_{wd}=220\sim 230\text{K}$) でSWCNT 内部から外部へと排出される現象 (wet-dry 転移) が起こる^[11,12]。ごく最近、wet-dry 転移温度 T_{wd} より低温 ($T_c=200\sim 210\text{K}$) において、内包水 (wet-dry 転移後も SWCNT 内部に留まった水) の構造が著しく変化することも示唆された^[12]。

3. 示差走査熱量測定 (DSC)

物質の状態が変化する (融解, 結晶化, ガラス転移, 化学反応など) ときには、必ず熱の出入りがある。この熱の出入りに注目した熱分析手法が DSC であり、物質の融点, ガラス転移温度, 潜熱, 熱容量などを比較的容易に調べることができる。DSC による熱分析は、医薬品や食品をはじめ、高分子材料や電子材料などの研究開発や品質管理において大いに役立っている^[13]。

3.1. 測定原理

DSC は熱の出入りに注目した熱分析手法である。熱を直接測定することは困難なので、実験で直接測定している量は、試料と基準物質との温度差である。本研究では、株式会社島津製作所の島津示差走査熱量計 DSC-60を使用した (図2)。

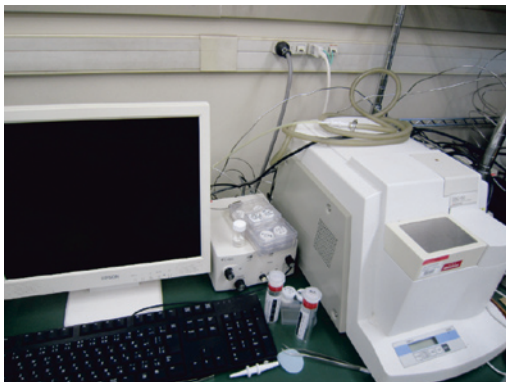


図2 測定装置 (島津示差走査熱量計 DSC-60)。

DSC には熱流束 DSC と入力補償 DSC の2種類があり、DSC-60 は熱流束 DSC である。熱流束 DSC では、試料と基準物質の外側にある温度計の示す温度差 (ΔT) を記録する。例えば、融解現象を観測すると図3のような信号が記録される。ここで T_r , T_s はそれぞれ基準物質系と試料系の温度である。融解開始まで定常状態を実現していたものが、融点では融解し終わるまで試料の温度が一定にとどまるので、基準物質と試料との温度差が大きくなる。融解が終了すると、周囲と試料の温度差が大きいため急速に熱が流入し、やがて定常状態に戻るようになる。このように、DSC では試料の融解, 気化, 昇華などの相転移現象やガラス転移を検出することができる。また、ピーク面積は試料の発熱 (吸熱) 量に比例するため、ここから潜熱や熱容量の情報を得ることができる。

DSC-60では、熱源温度 (T_h) と試料系温度 (T_s) の測定にクロメル-アルメル熱電対を、 ΔT の測定にクロメル-コンスタンタンによる示差熱電対を用いている。温度は PID 式で制御しており、ヒーター加熱, 冷媒として液体窒素を用いている。温度と熱容量は、標準試料としてインジウムを用いて校正した。試料部の雰囲気は外

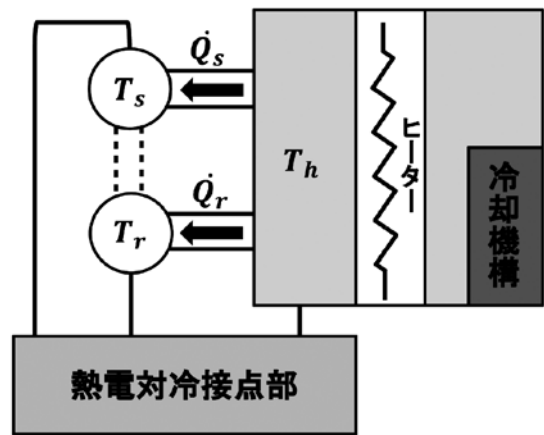
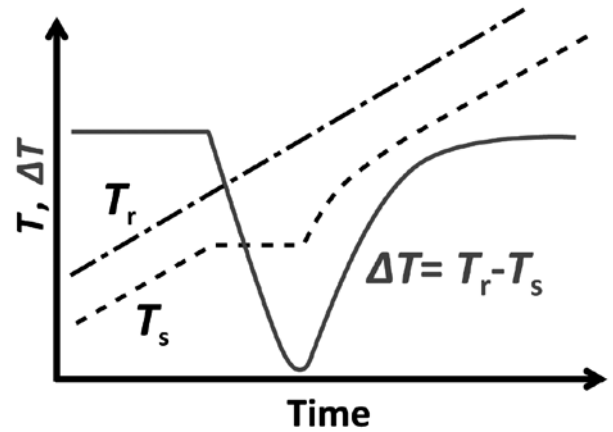


図3 典型的な DSC 信号 (上) と測定装置の模式図 (下)。 \dot{Q}_s と \dot{Q}_r はそれぞれ、試料系と基準物質系に流れ込む熱量。

部からガスを供給することで制御できる。本研究では窒素 (または乾燥空気) ガスを 30ml/min で供給し、ガス雰囲気下での測定を行った。

3.2. 「ナノ炭素材料+水」系の DSC 測定の方法

一般に、未処理の SWCNT 試料はチューブ先端が閉じた構造をしている。そこで、600°C 以上で空気中加熱処理を行うことによりチューブの先端や壁面に穴を開け、内部空洞を利用可能にした。本研究では、平均直径の異なる7種類 (1.33 < D < 2.5nm) の SWCNT 試料を用いた。本報では、主に平均直径 2.18nm の測定データについて説明する。

DSC 測定セルには、密封可能なアルミニウムセルを使用した。アルミニウムセルの中にナノ炭素試料 (ZTC 粉末または SWCNT 試料) を 2mg~4mg 程度入れ、上蓋を圧着させて封じた。その後、水の出し入れが可能ないように上蓋に小さな穴をあけた。リファレンスセルには、空の同種のアルミニウムセルを用いた。試料に水を吸着させるため、測定セルは超純水の飽和水蒸気中に6時間程度放置した。吸着量が目標量に達していない場合はさらにピペットで超純水を滴下した。

4. 測定結果と考察

4.1. 「ZTC + 水」系の DSC 曲線と内包水量の見積り

ZTC に水を加えたときの典型的な DSC 曲線を図4に示す. 水の量が比較的多い場合には, 降温/昇温時に発熱/吸熱ピークが260K と 275K 付近にそれぞれ現れる. これらのピークは, その出現温度からバルク水のものであると考えられる. すなわち, 260K のピークは過冷却されたバルク水の凍結, 275K のピークはバルク氷の融解に対応する. 測定セルに加える水の量を徐々に少なくすると, やがてバルク水によるピークは消失する. これは, 測定セル内の水が全て ZTC の内部空洞に吸着されたためであると考えることができる. また図4の DSC 曲線には, バルク水のピーク以外には明白なピークが見られない. これは, ZTC 内包水が少なくとも150K 以上では相転移様の振る舞いを起こさないことを示唆している.

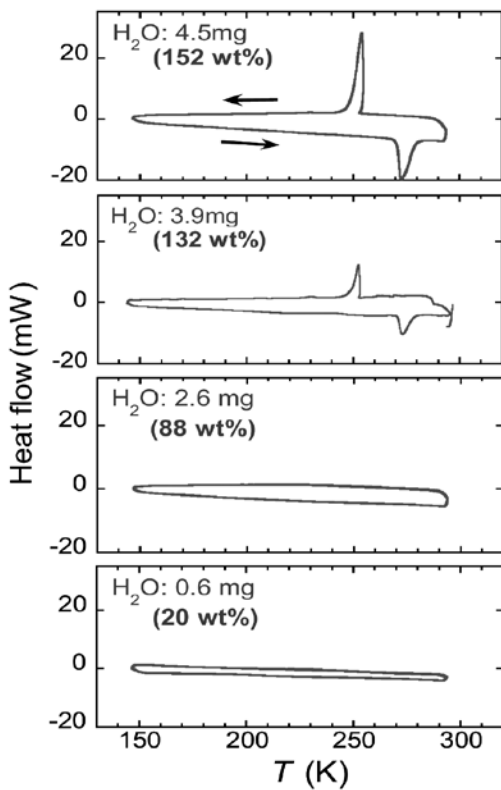


図4 ZTC+水系の DSC 曲線. ZTC 試料量は2.96mg である.

次に, ZTC の内部空洞に吸着された水を定量的に見積る. 図5に, 測定セルの含水量とバルク氷の吸熱ピークの熱量との関係を示す. 含水量の多い領域においては, バルク氷の融解ピーク強度と水量が比例すると考えて外挿し, 横軸と交わる点を内部空洞に吸着された水の量とする. すると, ZTC 試料2.96mg に吸着された水の量は 3.48mg と見積られた. これは ZTC 重量あたりに換算すると, ~118wt% に相当する. この内包水量は, XRD 実験や MD 計算の結果から見積られた内包水量と良く一致しており, ZTC 内部空洞がほぼ完全に水で満たされうことを示している.

4.2. ZTC 内包水の比熱測定

比熱測定には, ステップワイズ法を用いた^[4]. この方法では, 試料温度を階段状に変化させる. これにより, DSC 曲線のベースラインの影響を受けずに試料の熱容量を直接測定することができ

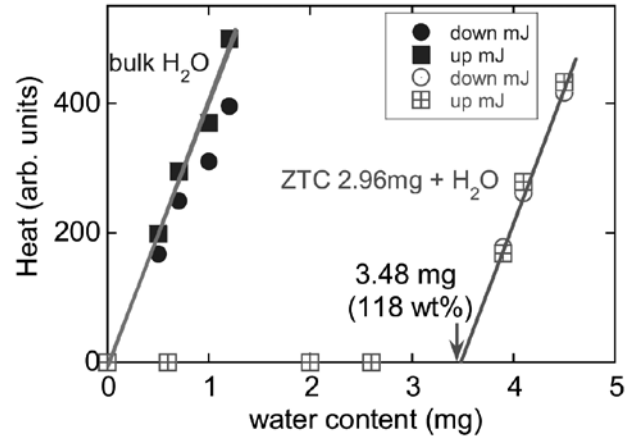


図5 ZTC+水系におけるバルク氷由来の吸熱ピーク強度の含水量依存性.

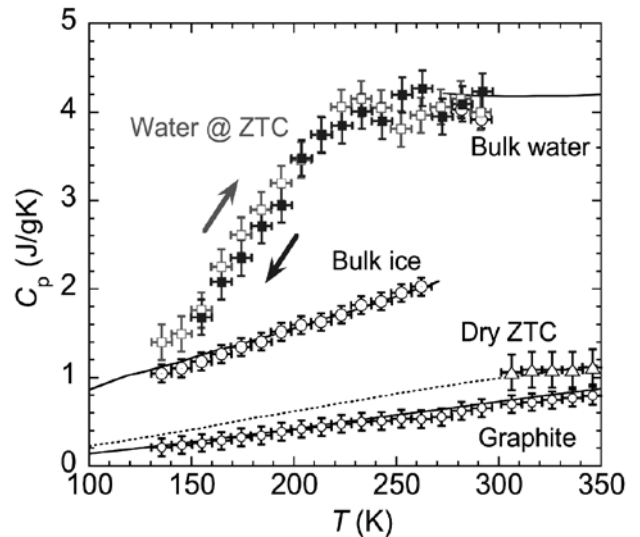


図6 ZTC 内包水の比熱の温度依存性. ZTC 試料量は3.7mg, 含水量は約4mg である.

る. 今回の測定では, 冷却/加熱速度を5K/min とし, 温度を10K 変化させるごとに3分間温度一定を保つようにした. 標準試料として, バルク超純水とグラファイト粉末 (純度 > 99.99%) の比熱をそれぞれ測定し, 測定の信頼性を確認した.

測定結果を図6に示す. 内包水の比熱は, 含水 ZTC 試料および乾燥 ZTC 試料の測定をそれぞれ行い, これらの差分をとることで求めている. 図より内包水の比熱は, 室温近傍ではバルク水と同程度の値であるが, 温度を下げるとバルク水とは異なる振る舞いを示し, ~230K 以下でその値が急激に減少することが分かる. これと類似する比熱の異常な振る舞いは, 多孔質シリカ材料などの細孔に内包された水でも観測されており, 水の2つの液体状態 (高密度液体と低密度液体) の間のクロスオーバー現象に由来する異常であると考えられている^[5].

ZTC 内包水の構造については, これまでに XRD 実験や MD 計算によって調べられており, 室温ではバルク水に類似した液体構造 (すなわち高密度様液体), 低温では発達した水素結合ネットワークをもつ低密度アモルファス様固体であることが示唆されていた. し

かし、高密度様液体から低密度様液体へのクロスオーバーを明白に示す実験結果は得られていなかった。本研究結果は、ZTC 内包水には2つの液体状態が存在し、それらが230K 近傍でクロスオーバーを起こすことを強く示唆するものである。すなわち、水のポリアモルフィズムを支持する結果といえる。

4.3. 「SWCNT+水」系の DSC 曲線

開口処理をした SWCNT に水を加えて測定した DSC 曲線（昇温時）を図7に示す。ZTC 内包水の DSC 曲線と同様、275K 付近に現れるピークは、バルク氷の融解による吸熱ピークである。前節で述べた ZTC の測定と同じように含水量を調整した測定を行い、SWCNT の内包水量を見積った。その結果、例えば平均直径2.18nm の SWCNT 試料の内包水量は～53wt %と見積られ、XRD 実験や MD 計算の解析結果とほぼ一致した。

4.4. SWCNT 内包水の DSC ピーク

次に、低温側のピーク（図7の peaks I, II）に注目する。測定セル内の含水量が減少するとともに、バルク氷由来の吸熱ピーク強度も小さくなる。これに対し、peaks I, II の強度はほとんど変化しない。これは、peaks I, II が SWCNT に内包された水に由来することを示唆している。

図8に、水を過剰に加えた場合と、SWCNT の内部空洞をほぼ100%充填できる水量を加えた場合の DSC 昇温曲線を示す。図より、過剰に水を加えると Peak II が消失することがわかる（図中の矢印）。これは、SWCNT の周囲をバルクの氷が覆ってしまい、wet-dry 転移が妨げられたためと推測される。すなわち、Peak II は wet-dry 転移にともなう吸熱ピークであると考えられる。

次に、Peak I の起源を検討するために、冷却速度と昇温 DSC 曲線の関係を調べた。結果を図9に示す。昇温速度はすべて10K/min とした。ガラス転移を有する物質の場合、冷却速度を遅くするにしたがって構造緩和が進んでいくため、緩和エンタルピーが大きくなり、昇温時のガラス転移にともなう熱量が増大するはずである。しかし図9のように、冷却速度を変えても Peak I の強度に顕著な変化は見られなかった。すなわち、Peak I の起源はガラス転移ではない。冷却速度に依存しない熱量をとともなう転移なので、1次構造相転移の可能性が高い。対応する XRD 実験では、Peak I の出現する温度範囲で内包水の構造変化が起こることが示唆されている。本 DSC 測定は、この構造変化が1次構造相転移である可能性を示唆するも

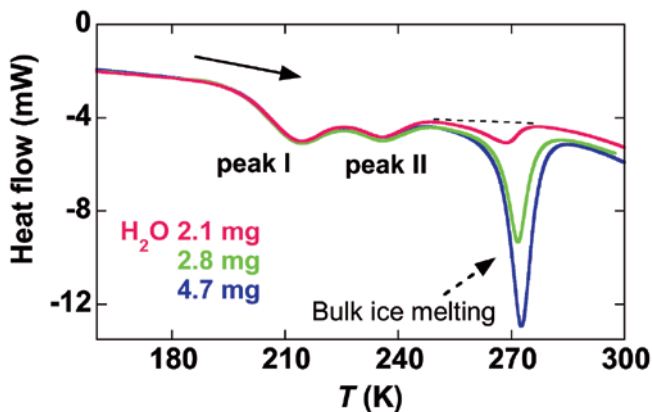


図7 開口 SWCNT の DSC 昇温曲線。加えた水の量は2.1mg, 2.8mg, 4.7mg, SWCNT 試料量は3.24mg である。破線はベースライン。

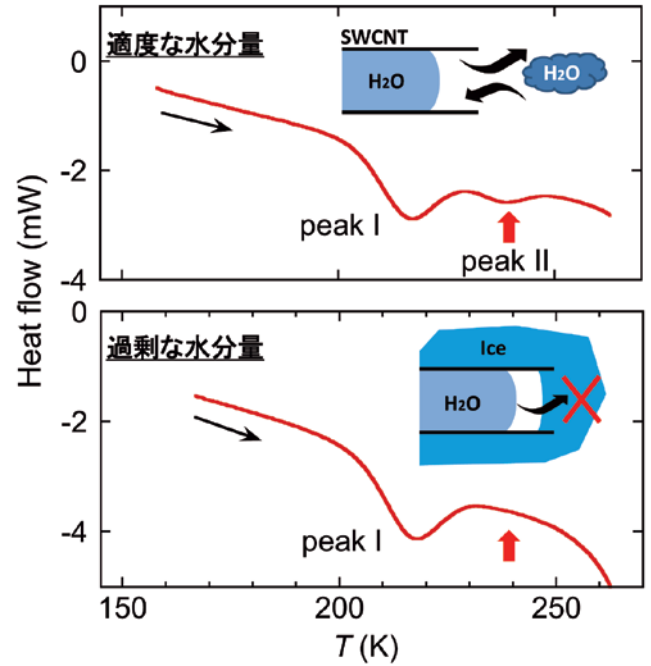


図8 SWCNT+水系の DSC 曲線の含水量依存性。上図：含水量1.33mg (SWCNT との重量比54wt %に相当し SWCNT 内部空洞をほぼ100%充填する水量)。下図：含水量10.95mg (SWCNT との重量比442wt %)。スキャン速度は上図、下図とも±10K/min。使用した SWCNT 試料量は2.48mg。

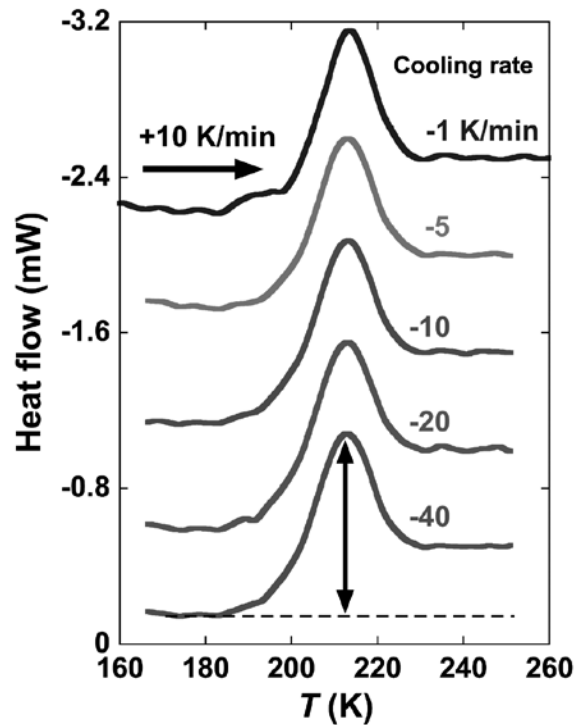


図9 Peak I の冷却速度依存性。図中の各データは、各速度の昇温 DSC 曲線からベースラインを差し引き、上下方向にシフトさせたものである。SWCNT 試料2.48mg に水を9.36mg (377wt %) 加えた。設定した冷却速度は順に1K/min, 5K/min, 10K/min, 20K/min, 40K/min である。

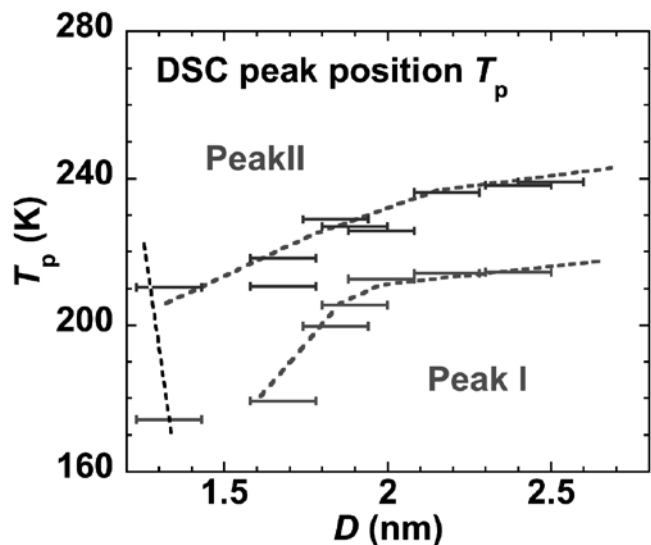


図10 Peaks I, IIそれぞれのピークトップ温度とSWCNT直径の関係。エラーバーは、試料のSWCNTの直径分布幅を目安とした。

のである。

直径の異なるSWCNT試料についても、同様にDSC測定を行った。その結果、平均直径1.6~2.5nmの試料においてpeaks I, IIの出現が確認された。図10に、peaks I, IIそれぞれのピークトップの温度とSWCNT直径との関係を示す。図より、SWCNT直径が大きくなるほど、peaks I, IIの出現温度が上昇することが分かる。また、どの直径においても、Peak IIの方がPeak Iよりも高温で出現する。すなわち、室温から温度を下げるとまずwet-dry転移が起こり、SWCNT内包水の一部は外部へと排出される。さらに温度を下げると、内包水(wet-dry転移後もSWCNT内部に留まった水)は構造転移を起こす、ということを示唆している。以上の結果は、内包水のwet-dry転移と構造転移を調べたXRD実験の結果とも矛盾しない。

5. 結言

本研究では、炭素ナノ材料に内包された水のDSC測定を行った。ZTC内包水の測定では、~118wt%もの大量の水がZTCに内包され、この内包水が150K以上では相転移様の振る舞いを起こさないことを明らかにした。また、ZTC内包水の比熱を初めて測定し、230K近傍で比熱の急激な減少を観測した。この比熱の異常は、ZTC内包水に2つの液体状態が存在し、それらが230K近傍でクロスオーバーを起こすことを強く示唆するものである。SWCNT内包水の測定では、内包水の転移挙動に由来する2つのDSCピーク(Peak IとPeak II)を観測した。高温で出現するPeak IIは、wet-dry転移にもなる熱量のピークであることがわかった。低温で出現するPeak Iは内包水の構造変化に由来するものであり、この構造変化が1次相転移である可能性が示唆された。本研究では、先行研究を補間する結果が得られただけでなく、先行研究では裏付けが不十分であった内包水の転移現象を熱物性の観点から明らかにすることができた。今後も研究を進め、炭素ナノ材料内包水の研究を通して水のポリアモルフィズムの検証を行っていきたい。

謝辞

本研究は、真庭豊教授、市村遼太氏(首都大学東京)、斎藤毅博士(産業技術総合研究所)、京谷隆教授、西原洋知准教授(東北大学)をはじめとする多くの方々との共同研究として行われたものである。共同研究者の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] N. E. Levinger, Water in confinement, *Science* 298(5599), 1722-1723 (2002).
- [2] O. Mishima and H. E. Stanley, The relationship between liquid, supercooled and glassy water, *Nature* 396(6709), 329-335 (1998).
- [3] L. Liu et al., Quasielastic and inelastic neutron scattering investigation of fragile-to-strong crossover in deeply supercooled water confined in nanoporous silica matrices, *J. Phys.: Condens. Matter* 18, S2261-S2284 (2006).
- [4] J. Swenson and J. Teixeira, The glass transition and relaxation behavior of bulk water and a possible relation to confined water, *J. Chem. Phys.* 132(1), 014508 (2010).
- [5] A. Nagoe et al., Findings of C_p Maximum at 233 K for the Water within Silica Nanopores and Very Weak Dependence of the T_{max} on the Pore Size, *J. Phys. Chem. B* 114(44), 13940-13943 (2010).
- [6] H. Nishihara et al., A possible bucky bowl-like structure of zeolite templated carbon, *Carbon*, 47(5), 1220-1230 (2009).
- [7] S. Iijima and T. Ichihashi, Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter, *Nature*, 363(6430), 603-605 (1993).
- [8] H. Kyakuno et al., Amorphous water in three-dimensional confinement of zeolite-templated carbon, *Chem. Phys. Lett.* 571, 54-60 (2013).
- [9] Y. Maniwa et al., Ordered water inside carbon nanotubes: formation of pentagonal to octagonal ice-nanotubes, *Chem. Phys. Lett.* 401(4), 534-538 (2005).
- [10] F. Mikami et al., Dielectric properties of water inside single-walled carbon nanotubes, *ACS nano* 3(5), 1279-1287 (2009).
- [11] H. Kyakuno et al., Confined water inside single-walled carbon nanotubes: Global phase diagram and effect of finite length, *J. Chem. Phys.* 134(24), 244501 (2011).
- [12] H. Kyakuno et al., Diameter-dependent hydrophobicity in carbon nanotubes, *J. Chem. Phys.* 145(6), 064514 (2016).
- [13] 吉田博久, 古賀信吉, 熱分析第4版, 講談社(2017).
- [14] M. J. O'neill, Measurement of Specific Heat Functions by Differential Scanning Calorimetry, *Anal. Chem.* 38(10), 1331-1336 (1966).

6. 工学研究所プロジェクト研究

- 6-1 高周波回路の解析・設計理論の整備と対応ソフト開発－方形断面光導波路の導波姿態計算－
平岡 隆晴, 許 瑞邦
- 6-2 高安心超安全交通研究所 (KU-WIRF) 活動報告 (2016) ドライブレコーダー活用最前線
松浦 春樹, 森 みどり, 堀野 定雄, 久保 登, 石川 博敏, 龍 重法, 石倉 理有, 北島 創
- 6-3 一次卓越周期における地震動増幅率の簡便評価法
張 海仲, 齊藤 隆典, 趙 衍剛
- 6-4 “新たな低炭素エネルギー社会に対応した新型電池の開発(2)”
松本 太, 池原 飛之, 田邊 豊和, 片岡 利介, 大坂 武男, 長澤 浩, 持田 由幸, 入井 友海太
- 6-5 振動騒音低減のための二段階設計
山崎 徹, 三山 壮, 中村 弘毅, 田中 俊光, 石濱 正男, 伊東 圭昌, 菊地 通
- 6-6 多分岐ポリマー系ナノハイブリッド材料の開発と応用
横澤 勉, 池原 飛之, 山田 保治, 花畑 誠, 工藤 宏人
- 6-7 グリーンイノベーションの基盤となるナノ構造制御触媒の開発研究
引地 史郎, 内藤 周弑, 上田 渉, 中澤 順, Shigeo T. Oyama, 宮尾 敏広, 赤間 弘, 星野 真樹
- 6-8 車両等に装備するためのポリカーボネート窓の表面改質に関する研究 (3)
新中 新二, 井上 成美, 大越 昌幸, 野尻 秀智, 植田 博臣, 岩井 和史, 中村 先男
- 6-9 超精密加工による高品位表面の創成に関する研究
中尾 陽一, 林 晃生, Sangkee Min
- 6-10 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースのクリアランスとモルタル強度が力学性能に及ぼす影響
小谷野 一尚, 岩田 衛, 荏本 孝久, 緑川 光正, 中込 忠男, 大熊 武司
- 6-11 建物の熱・換気性能の現場測定法－最適の励振と移動平均の期間－
奥山 博康, 吉浦 温雅, 深井 一夫
- 6-12 難焼結性セラミックス SnO₂ の高密度化と応用に向けたキャラクターゼーション
齋藤 美和, 伊藤 滋啓
- 6-13 潮流発電ユニット開発の最先端技術：相反回転化
中西 裕二, 船見 祐揮, 金元 敏明
- 6-14 パルスレーザー光を利用した反応開発および機構解析
岩倉 いずみ, 赤井 昭二, 簗下 篤史, 岡村 幸太郎, 織作 恵子

高周波回路の解析・設計理論の整備と対応ソフト開発 — 方形断面光導波路の導波姿態計算 —

平岡 隆晴* 許 瑞邦**

Construction of High Frequency Circuit Analysis/Synthesis Theory and Development of the Corresponding Software — Mode Calculation of Rectangular Cross-section Optical Waveguide —

Takaharu HIRAOKA* Jui-Pang HSU**

1. 方形断面光導波路の導波姿態計算

図1(a)に示す方形断面導波路は光波帯で使用する導波路である。伝搬時の電磁界（伝搬姿態）及び伝搬速度（実効屈折率）を正確に求めることは光回路の設計で重要である。伝搬姿態及び実効屈折率はMaxwellの電磁界方程式を所与の境界条件で解けば求まる。一般に有限個の伝送姿態があり、伝搬に使用されるのは実効屈折率が一番大きい基本姿態である。この種の導波路は、1970年代より姿態整合法・変分法・数値解析等で計算されているが、高精度の回路設計には高次伝搬姿態を含めて電磁界分布・実効屈折率を厳密に計算する必要とある。ここでは、スラブ姿態展開・平面回路方程式・横方向等価回路の手法を活用して高次を含めた伝送姿態の電磁界分布・実効屈折率を厳密に求める手法を提案し、具体的に適用する。

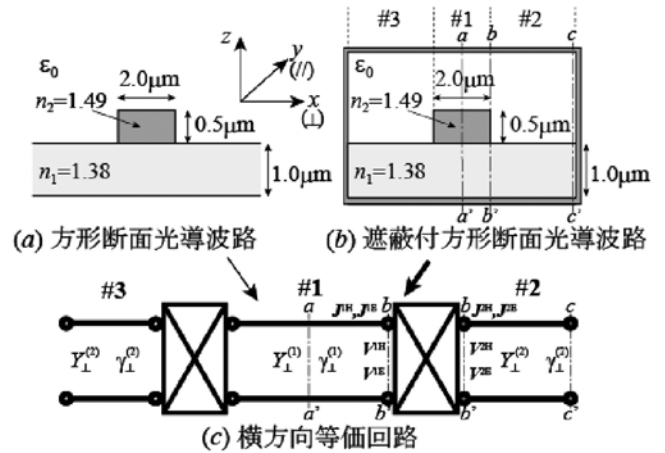


図1 方形断面導波路と横方向等価回路

2. 導体遮蔽壁の導入と横方向等価回路

図1(a)に示す方形断面光導波路は、断面外部が無限に広がるが所望の伝搬姿態の電磁界は断面外部に放射せず断面内及びその付近に電磁界が集中しているので電磁界解析を容易にするため図1(b)に示すように方形断面光導波路断面周辺に導体遮蔽壁を両側面及び上下に設ける。この構造を中心導波領域#1及び導波路外部領域#2、#3に分けると各領域は平面回路構造となり各領域で平面回路理論・変数分離法・横等価伝送線路を適用すると電磁界は表1で与えられる。 $f_{m/n}^{E/H}(z), g_{m/n}^{E/H}(z), h_{m/n}^{E/H}(z)$ は平面構造の水平偏波 (H) 及び垂直偏波 (E) 姿態の高さ方向固有関数、導波路に直角・平行・面に垂直の方向を $\perp, //, k$ と定義したとき $V, J_{\perp}, J_{//}$ は圧 (電圧・磁圧) と流 (電流, 磁流) 方向成分である。平面構造での面内伝搬定数と面アドミタンス次式で与えられると

$$\gamma_p^E \quad \gamma_p^H \quad Y_p^E = j\omega\epsilon/\gamma_p^E [S] \quad Y_p^H = j\omega\mu_0/\gamma_p^H [\Omega]$$

横等価伝送線路の伝搬定数と特性アドミタンスは次式で与えられる。

$$\gamma_{\perp} = \sqrt{\gamma_p^2 - \gamma^2} \quad Y_{\perp} = Y_p(\gamma_{\perp}/\gamma_p) \quad Y_{//} = Y_p(\gamma_{//}/\gamma_p)$$

各領域の横等価伝送線路は水平偏波・垂直偏波の高さ方向姿態に対応した無限個の多線条線路で表現される (図1(c))。導波路方向の伝搬定数 γ とすると導波路方向の変数分離形は $\exp(-\gamma y)$ となるがこの項は表1では省略して表記する。

表1 導波路断面での電磁界

電界	$E_z(x, z) = -\sum_m V_m^E(x) g_m^E(z)$ $E_{\perp}(x, z) = \sum_n J_{n//}^H(x) f_n^H(z) + j\eta_0 \sum_m J_{m\perp}^E(x) h_m^E(z)$ $E_{//}(x, z) = -\sum_n J_{n\perp}^H(x) f_n^H(z) + j\eta_0 \sum_m J_{m//}^E(x) h_m^E(z)$
磁界	$H_z(x, z) = -\sum_n V_n^H(x) g_n^H(z)$ $H_{\perp}(x, z) = -\sum_m J_{m//}^E(x) f_m^E(z) + j/\eta_0 \sum_n J_{n\perp}^H(x) h_n^H(z)$ $H_{//}(x, z) = \sum_m J_{m\perp}^E(x) f_m^E(z) + j/\eta_0 \sum_n J_{n//}^H(x) h_n^H(z)$

3. 横方向等価伝送線路の端末条件 (固有値問題)

解析する導波路 (図1) は対称構造なので右半分の構造に対して解析する。側壁 c-c' は電気壁, 中心面 a-a' は偶対称で磁気壁, 奇称性で電気壁となる。導波路不連続部 b-b' では電磁界接線成分の連続性から以下の数学的關係式が得られる。 $F^{EE}, F^{HH}, H^{EH}, H^{HE}$ は不連

*准教授 電気電子情報工学科
Associate Professor, Dept. of Electrical, Electronics and Information Engineering
**客員研究員 工学研究所
Invited Researcher, Research Institute for Engineering

続部での姿態結合係数行列を表す.

$$v^{2E} = (F^{1E2E})^T v^{1E} \quad \tilde{J}_\perp^{1E} - \frac{1}{jn_0} H^{1E1H} J_{11}^{1H} = F^{1E2E} \tilde{J}_\perp^{2E} - \frac{1}{jn_0} H^{1E2H} J_y^{2H}$$

$$v^{2H} = (F^{1H2H})^T v^{1H} \quad \tilde{J}_\perp^{1H} - jn_0 H^{1H1E} J_{11}^{1E} = F^{1H2H} \tilde{J}_\perp^{2H} - jn_0 H^{1H2E} J_{11}^{2E}$$

領域1b-b'で姿態圧縦行列を V^H , V^E としたとき左右に流れる流が同一なので, 以下の固有値方程式を得る. この固有値方程式を解いて伝送姿態の伝搬定数と電磁界分布を得る.

$$\begin{bmatrix} Y^{HH} & Y^{HE} \\ Y^{EH} & Y^{EE} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V^H \\ V^E \end{bmatrix} = 0$$

4. 計算結果

TE/TM 各30姿態を考慮して固有値問題を解いた結果, 方形誘電体の幅を変えたときの固有値 (実効屈折率) の計算結果をを図2に示す. 実線は中心電気壁, 点線は中心磁気壁で両者とも5次姿態まで計算した. 導波路幅2.0 [μm] で1番目 (TE 様水平偏波動作) と2番目 (TM 様垂直偏波動作) の伝搬姿態の電磁界6成分を図4, 5に示す. 図4の水平偏波動作では主要電磁界成分は E_y と H_z , 図5の垂直偏波動作では H_y と E_z である. 両者の電磁界分布は電界と磁界を取り換えればかなり分布が一致していることが分かる. 解析手法の性質上, 導波路中心部は30個の姿態で十分な精度があると考えられるが, 図1(b)の不連続部 b-b'では高次姿態が励振されるので十分ではないことが推察される. 実際, 不連続部 b-b'前後での電磁界接線6成分計算した. 不連続部前後 (導波路内側内側・外側) での H_y , E_y 成分の計算結果を実線・点線で図3に示す. 本来両者は電磁界の接線成分として一致しなくてはならない. E_y 成分は一致しているが, H_y 成分は一致しない所がある. 他の電磁界成分でも同様の状況があり, この不一致は考慮姿態数の増加で解消できると考えている.

謝辞

穴田名誉教授及び陳春平准教授にお世話になりました.

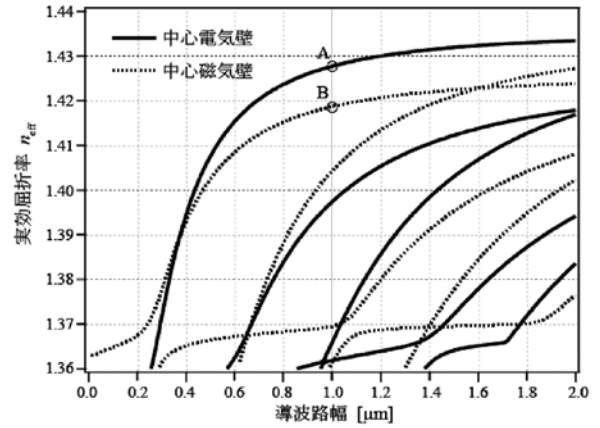


図2 1~5次実効屈折率対導波路幅

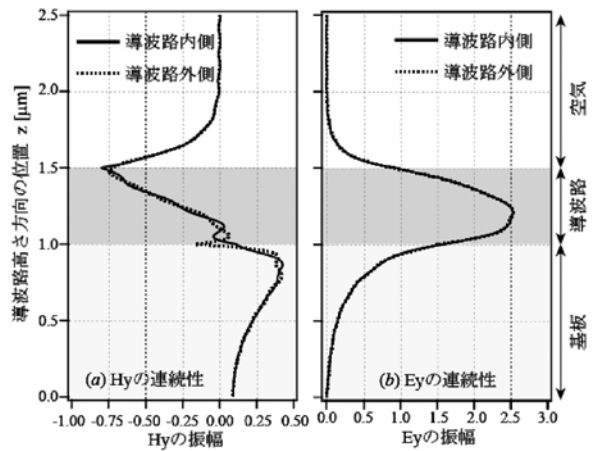


図3 不連続 b-b'前後での電磁界接線成分の連続性

参考文献

[1] Hsu, Jui-Pang and T.Anada, "Proposal of Surface-Wave Planar Circuit, Formulation of its Planar Circuit Equations and its Practical Applications", 1986 IEEE MTT-S Digest, GG-4, pp797-800

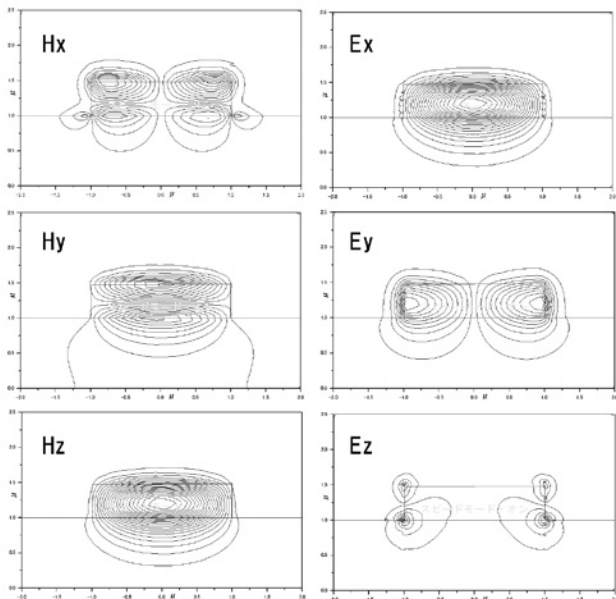


図4 中心電気壁の姿態 (A TE 様姿態 水平偏波動作)

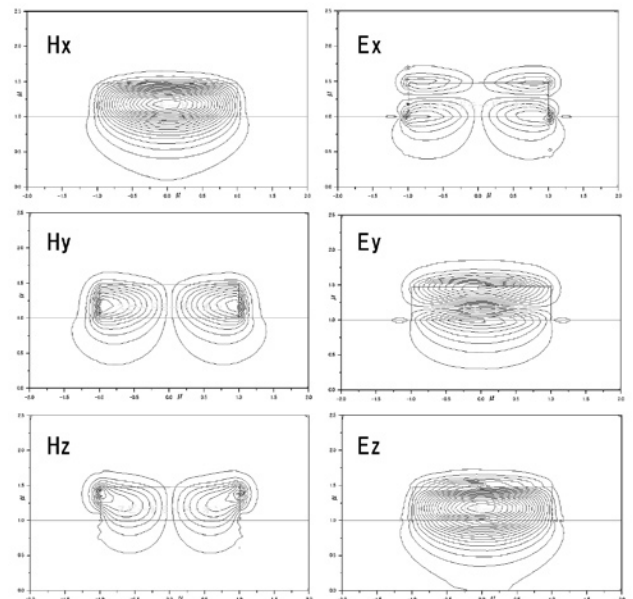


図5 中心磁気壁の姿態 (B TM 様姿態 垂直偏波動作)

高安心超安全交通研究所 (KU-WIRF) 活動報告 (2016)

ドライブレコーダー活用最前線

松浦 春樹¹, 森 みどり², 堀野 定雄³, 久保 登³, 石川 博敏³, 龍 重法³, 石倉 理有³, 北島 創⁴

Annual Report 2016 on Activity of KU-WIRF (Kanagawa Univ., Research Institute for Well-Informed and Risk Free Transportation): The Latest Situation of Drive Recorder

Haruki MATSUURA¹, Midori MORI², Sadao HORINO³, Noboru KUBO³, Hirotoishi ISHIKAWA³, Shigenori RYU³, Masatomo ISHIKURA³, Sou KITAJIMA⁴

1. 「ドラブリ2016」成果：拡大する支援セクター

神奈川県工学研究所高安心超安全交通研究所 (KU-WIRF) は (一社) ドライブレコーダー協議会と共催して「ドライブレコーダー・アプリケーション・シンポジウム」略称「ドラブリ2016」を「交通事故のトラブルをなくせ. 劇的に普及するドライブレコーダー活用の挑戦!」というテーマで開催しました (2016-12-13)¹⁾.

ドライブレコーダーメーカー, ドライブレコーダー活用実践家, 損保企業, 交通安全管理コンサルタント, 運輸事業者, 行政関係者, マスコミ, 研究者など各セクターから160名強が参加, 会場: 日大理工学部駿河台校舎1号館 CST ホールは満席で活発な議論を展開し有意義な成果を挙げました.

例年通り, 国土交通省, (一社) 日本人間工学会, (公財) 福岡県産業・科学技術振興財団 (ふくおか IST), (公社) 自動車技術会, 今回から (独立行政法人) 自動車事故対策機構 (NASVA), (一社) 電子情報技術産業協会 (JEITA), (一財) 環境優良車普及機構 (LEVO), (公社) 全日本トラック協会から後援を頂きました. この場を借りて皆様に感謝します.

ドライブレコーダー協議会の活動が関係する各セクターに共感が拡大している証拠として喜ばしい限りです.

2. ドラブリ2016の講演内容要点：成果報告概観

今回取り上げたテーマは素朴ながら原点に立ち戻った感のある企画でした. 2016年1月15日, 軽井沢碓氷峠で多くの学生が犠牲者になる悲惨なスキーバス転落事故が発生しました. バスはドライブレコーダーを搭載していなかったため, すぐに原因究明ができず, 2017年7月5日, 国土交通省が事故調査報告²⁾を公開するまで, 約1年半もの間, 大変な社会的コストを要しながら結局真相解明には至りませんでした. 搭載されていれば, 短時間, 最少コストで原因真相解明ができたことでしょう.

一方, 事故直後に国交省が, 全ての貸切りバスにドライブレコーダー装着を義務付けたのは, 時宜を得た英断でした.

また, 昨今, 高齢ドライバー暴走事故が頻繁に報じられますが, ドライブレコーダー搭載事実がなかなか報じられません. 高齢者運転の事故率増加 (後述警察庁岡本氏講演参照) 傾向もあり車にドライブレコーダーの積極的装着・普及の仕組みづくりが急務です.

今回のシンポジウムでは, 国土交通省から安全行政の根幹を担う自動車局安全政策課長 平井氏が「軽井沢スキーバス事故から」の演題で恒例の基調講演をし, 事故概要と国の対策を紹介しました. ドライブレコーダーを活用した指導・監督の新制度の全体像, 特に施行日を明示した判りやすい説明でした.

①平成29(2017)-12-1より新車にドラレコ装着・記録保存義務化, ②平成32(2020)-12-1より既販車についても①の内容義務化, ③平成29(2017)-12-1時点で一定要件を満たす既装着のドラレコは2024-12-1まで使えると, 実践的できめ細かい現場配慮が行届いています³⁾.

次に, 我が国ドラレコ創世期製品「ウィットネス」(“目撃者”)を開発した(株)日本交通事故鑑識研究所代表の, 大慈彌 (おおじみ) 拓也氏が講演しました.

題して「ドライブレコーダー映像活用による効果的安全教育」で, 日常的に展開されているドラレコ活用の交通安全教育コンサルタント業務では, 現場密着型のドライブレコーダー活用を絶えず心がけておられ, 導入目的はあくまでも「事故の原因究明, 防止削減」に徹し, 記録されたニアミスデータや事故データを科学的に分析し, 活用のマンネリ化や活用限界, 人材不足など企業が現場で直面する実践的課題をクライアントと共に悩み, 解決する方針を貫く経営姿勢を示されました⁴⁾.

次は, 竹村公一氏 (SOMPO リスクアマネジメント(株)自動車コンサルティング事業部特命部長) の「事故防止に向けたドライブレコーダーの活用事例」でした.

損保企業としてドライブレコーダーデータを活用して, 運輸事業者の事故防止コンサルタント業務, 顧客ニーズに対応したコンサルタント業務を主要業務としておられます. その特徴は従来 SD カードなどメモリ媒体をデータ分析ソフト内蔵パソコンに挿入して解析していた従来方式に対して, 通信技術と合体し走行データを通信回線経由で直接データセンターに入力する新しいテレマティクス技術を活用したところにあります⁵⁾.

安定したデータ提供が保証される飛躍的な発達を遂げつつある技術を紹介して頂きました. 誠に新鮮な切り口で着実な発展を期待

1. 教授 経営工学科 Prof., Dept. Ind. Eng. & Manag't.

2. 准教授 経営工学科 Assoc. Prof. Dept. Ind. Eng. & Manag't.

3. 客員研究員 工学研究所 Guest Res.'er, Res. Inst. for Eng.

4. 特別研究員 工学研究所 Special Res.'er, Res. Inst. for Eng.

します。

次に、警察庁交通局運転免許課高齢運転者等支援室長の岡本 努氏の講演『「高齢運転者対策の推進」について～高齢者講習においてドライブレコーダー等を活用～』を頂きました。

75歳以上の高齢運転者交通死亡事故件数（構成比）は10年間（平成17-27年）で457件（7.4%）から458件（12.8%）と約1.7倍と急増しています。

対応策として、警察庁は改正道路交通法（平成29年3-12施行）で高齢者講習制度を改正しました。ハイライトはドライブレコーダー活用です。75歳未満の高齢者対象講習では従来の3時間を1時間短縮し2時間とし、75歳以上の講習でも、従来の2時間半を30分短縮して2時間とし、両者共通に実車指導（60分）にドライブレコーダー導入を決定したのが新しい改正点です⁶⁾。

特に期待される効果は、一時停止指示に対して理解を示さない者に対して、映像で確認させることで効果を発揮する狙いがあるようです。この新制度導入で顕著な効果が出ると思定できます。大いに期待しましょう。

ここで、逆三角形の「止まれ」標識がある交差点での「一時停止」実行各論を確認しましょう。必ず停止線で一旦停止し「1, 2, 3」と声を出してカウントします。それから徐行前進、合流する道の左右方向に接近中の車がないことを直接確認してから発進します。特に目の横断歩道に歩行者を現認すれば、必ず歩行者優先を厳守し横断するまで待ちます。運転中はこれを繰り返し励行します。これが事故を防ぐ有効な一時停止の方法です。

全バス805両にドライブレコーダーを装着し、事故削減している東武バスセントラル社取締役社長相川氏の講演「安全対策の取り組みと成果」を頂きました。

東武バスは年間の総走行距離3900万 km（2015）、走行10万 km 当たり事故発生件数は0.833（2008）-0.649（2015）と毎年減少しています⁷⁾。ドライブレコーダーは路線バスに原則6台のカメラ（前方用、スピードメータ用、車内前方用及び車内中～後方用ドームカメラ、左側方用：左ミラーステー、右側方用：右ミラーステー）、貸切りバスは5台のカメラを装着しています。特徴はスピードメータ用カメラで、運転士現認車速を直接常時記録しています。

相川氏は導入効果を「ドラレコ映像は個人情報保護の処理を加えた上で、事故内容に応じてDVDに編集し、全運転士を対象とした教育においても活用しております。『百聞は一見に如かず』の諺どおり、他人事ではない『事実』のインパクトは非常に大きく、職場ごとの安全風土の定着に大きく貢献しています。」と説明、開発に関わった著者らに手応えが伝わるメッセージでした。

最後の講演は山田貴範氏（豊田通商株式会社化学品・エレクトロニクス本部次世代モビリティ事業推進部テレマティクス事業グループ課長代理）の「V2X（車車間・路車間・歩車間通信システム）の普及にむけて」でした。

“V2X”とは、車と車（V2V）、路側機（V2I: Vehicle to Infrastructure）、歩行者（V2P: Vehicle to Pedestrian）が直接通信することで、ドライバーの安全運転を支援するシステムと言う意味です。車（V）と色々なもの（X）がつながるという意味で“V2X”と呼びます。

山田氏は交通事故実態（2014）から、「追突事故（36%）の次に車同士の出会い頭事故（25%）が多い。『追突はカメラ、レーダー等の

自律センサーで検知可能』だが、交差点や『死角が発生し易い道路での出会い頭事故低減』に追突検知技術は役に立たず、『死角にある対象物を検知可能なシステムの導入が望ましい』と強調しました。

そこで、総務省が2009年に従来「アナログTVに活用されていた700MHz帯をITS周波数帯に活用することを決定」、欧米が使用する「5.8GHz帯に比べて電波の回折量が多く、建物などの陰に回り込んで到達する」ので「確実な情報伝達が可能」で、「日本は世界に先駆け」「2015年末より世界初の”V2X”搭載車を販売開始」しました。「東京/愛知を中心とした都市部52ヵ所で路側機を設置、順次全国へ拡大予定」で、「ドライブレコーダーはV2Xを搭載するためのアフターマーケット製品としては最適」で、「今後大きな市場拡大が見込まれ」ています⁸⁾。

3. まとめ 機能進化：記録/分析から未然防止へ

KU-WIRF 活動2016を概観しました。各講演はドライブレコーダー活用で交通事故が如何に激減したか、行政、運輸事業者、交通安全管理コンサルタント、損保企業、新技術開発技術者の視点で最新動向を紹介し、新しい幅広い活用が見えました。

KU-WIRFは交通事故激減を目指し今後も活動します。皆様のご理解/ご支援をよろしく願います。

4. 参考文献

- 1) JDRC（一般社団法人）ドライブレコーダー協議会、KU-WIRF 神奈川大学、工学研究所、高安心超安全交通研究所、Drappli 2016ドライブレコーダーシンポジウム 講演資料集「交通事故のトラブルをなくせ。劇的に普及するドライブレコーダー活用の挑戦」、日本大学理工学部、駿河台校舎1号館 CST ホール、2016-12-13.
- 2) 事業用自動車調査報告書〔特別重要調査対象事故〕貸切りバスの転落事故（長野県北佐久郡軽井沢町）平成29年6月29日、国土交通省自動車局 事業用自動車事故調査委員会、（公益財団法人）交通事故総合分析センター、<http://www.mlit.go.jp/common/001191587.pdf>.
- 3) 貸切りバスのドライブレコーダーの映像を活用した指導・監督マニュアル 平成29年3月 自動車運送事業に係る交通事故対策検討会 国土交通省自動車局安全政策課 <http://www.mlit.go.jp/common/001211423.pdf>.
- 4) ㈱日本交通事故鑑識研究所 ドライブレコーダー映像活用支援プログラム 交通死傷事故ゼロへの挑戦、<http://www.nikkouken.com/trainings/dr-app/>.
- 5) テレマティクス Wikipedia：ウィキペディア <https://ja.wikipedia.org/wiki/>
- 6) 政府広報オンライン 暮らしに役立つ情報 3月12日スタート、改正道路交通法の主なポイント（その2）運転免許を持つ75歳以上の方へ。認知機能の状況に応じ診断や講習の機会が増えます。<https://www.gov-online.go.jp/useful/article/201702/2.html>
- 7) 乗合バス事故実態 自動車運送事業に係る交通事故対策検討会報告書（平成28年度）、〔第1分冊〕事業用自動車の交通事故統計（平成27年版）p.38-53、国土交通省自動車局安全政策課
- 8) 堤坂康博 安全支援システムとITS通信の役割 計測と制御 54巻（2015）11号、p.845-848

一次卓越周期における地震動増幅率の簡便評価法

張 海仲* 齊藤 隆典** 趙 衍剛***

Simple Calculation Method of Seismic Motion Amplification Ratio Corresponding to Fundamental period

Haizhong ZHANG* Takasuke SAITO** Yan-Gang ZHAO***

1. はじめに

2000年の改正建築基準法に導入された限界耐力計算法では、一次卓越周期とそれに対する増幅率をパラメータとして、表層地盤による地震動の増幅効果を評価する簡便法が採用された^[1]。また、一次卓越周期における地震動増幅率 G_{s1} を評価するのは、多層からなる表層地盤を等価1層地盤に置き換え、等価1層地盤の増幅率 G_{s1} を用いて評価する^[1]。しかしながら、林ら^[2]は、表層多層地盤を1層地盤に近似することで増幅率 G_{s1} の算定では、地盤構造が複雑な場合に増幅率の計算精度が良くない事を指摘した。そこで、本論文では、成層地盤の一次卓越周期における地震動増幅率 G_{s1} に着目し、新たに簡便な計算法を提案する事を目的とする。

2. 3層地盤の地震動増幅率 G_{s1}

限界耐力計算法では、多層地盤の増幅率 G_{s1} を評価するには、表層多層地盤を等価1層地盤に置き換えしたモデルを用いる。等価1層地盤のせん断波速度と密度は、層厚で重み付けた各層のせん断波速度と密度を平均して算出されるため、表層地盤のインピーダンスが不均一になるに従い、平均による増幅率 G_{s1} の計算誤差が大きくなることが容易に想像される。本研究では、インピーダンスが大きく変化する地層を平均計算することを避けるため、表層地盤インピーダンスのコントラストが一番大きい層境界で表層多層地盤を2層地盤に等価する。また、等価した表層2層地盤と工学的基盤からなる3層地盤について、3層地盤の増幅率 G_{s1} の計算式を用いて評価する。本章では、まず、3層地盤の増幅率 G_{s1} 計算式を提案する。

3層地盤の一次卓越周期における増幅率 G_{s1} を求めるため、地盤伝達関数を求める必要がある。一次元成層地盤の運動方程式により、地盤伝達関数は次のように表せる。

$$H_2(\omega) = \frac{1}{(\cos C_1 \cos C_2 - a_1 \sin C_1 \sin C_2) + i(a_2 a_1 \sin C_1 \cos C_2 + a_2 \cos C_1 \sin C_2)} \quad (1)$$

ここで、

$$C_m = \frac{\pi T_m}{2T\sqrt{1+2ih_m}} \quad T_m = \frac{4H_m}{V_m} \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

*大学院生 建築学科
Graduate (D.C.), Dept. of Architecture

**助教 建築学科
Assistant Professor, Dept. of Architecture

***教授 建築学科
Professor, Dept. of Architecture

ここで、 m は層番号、 ρ_m は第 m 層の密度、 G_{m0} は第 m 層のせん断弾性係数、 h_m は第 m 層の減衰定数、 i は虚数単位である。 a_m は m 層と $m+1$ 層地盤のインピーダンス比と表し、次式で定義する。

$$a_m = \frac{\rho_m V_m}{\rho_{m+1} V_{m+1}} \quad (2)$$

式(1)から3層地盤の一次卓越周期における地震動増幅率 G_{s1} の計算式を近似的に次式のように提案する。

$$G_{s1} = \frac{1}{a_2 \left| a_1 \sin \frac{\pi T_1}{2T_0} \cos \frac{\pi T_2}{2T_0} + \cos \frac{\pi T_1}{2T_0} \sin \frac{\pi T_2}{2T_0} \right| + 1.57h_{eq}} \quad (3)$$

ここで、 h_{eq} は二層地盤の等価減衰定数であり、文献4) を参考にし、計算される。

3. 多層地盤の地震動増幅率 G_{s1}

本研究では、インピーダンスが大きく変化する地層を平均計算することを避けるため、図1に示すような多層地盤に対して、表層地盤インピーダンスのコントラストが一番大きい層境界で表層多層地盤を2層に近似する。等価2層地盤のせん断波速度、 V_{e1} 、 V_{e2} と密度 ρ_{e1} 、 ρ_{e2} は平均で計算される。そして、等価2層地盤と工学的基盤からなる3層地盤の増幅率 G_{s1} が提案式(3)を用いて計算できる。

多層地盤に適用可能な増幅率 G_{s1} の計算法について、その実地盤への適用性を確認するため、強震観測網から任意の68箇所の多層地盤を選択して、検討を行う。選択した68箇所の地盤について、SHAKE による初期一次卓越周期は0.05s から1.72s となる。

提案法と一次元波動理論 (ここで、SHAKE プログラムを使う) による結果の比較を図2に示す。提案法による結果の平均誤差がわ

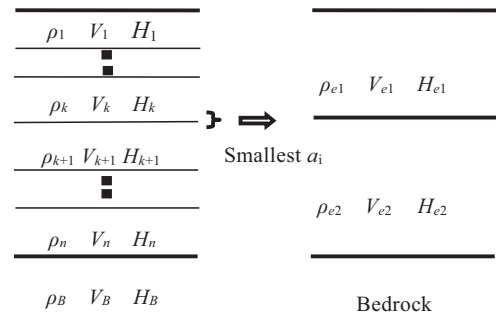


Fig. 1 Illustration of the concept of replacing a multi-layer soil profile on bedrock by an equivalent two-layer soil profile.

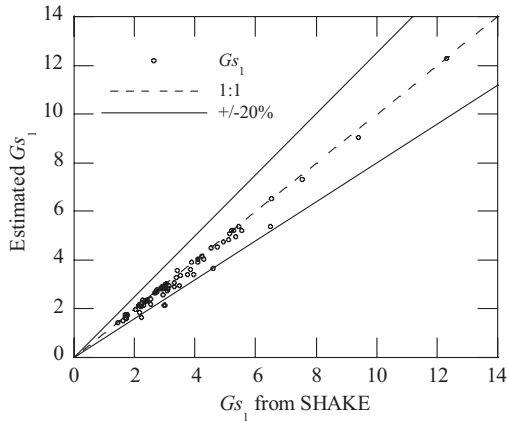


Fig. 2 Verification of proposed method of G_{s1} for multi-layer soil profiles on bedrock

ずか5.7%程度であり，提案法と一次元波動理論による結果がよく対応することが分かる．分析した地盤の94%について，提案法による計算誤差が20%を超えない範囲に収まった．

4. 提案法の限界耐力設計法への適用性の検討

増幅率 G_{s1} の提案法の限界耐力設計法への適用性を確認するため，提案法を用いて地表面での加速度応答スペクトルを計算する．また，計算した結果を SHAKE による結果と比較する．解析に用いた地盤モデルは図3にそれら地盤の S 波速度と土質特性を示す．土の非線形特性は文献 [4] に示した曲線を用いる．

2箇所の地盤を解析することより，各層の有効せん断歪が1%以下となっており，等価線形法の適用範囲以内になっている．増幅率 G_{s1} 提案法を用いて算出した地表面加速度応答スペクトルと SHAKE による結果の比較を図4に示す．Site-1と Site-2について，提案法と SHAKE による結果は概ね対応することが分かる．

告示法^[1]，井上ら^[3]の方法による地表面加速度応答スペクトルも図4に重ねて示す．これらの方法による一次卓越周期における応答スペクトルを提案法による結果と比較することにより，いずれの地盤に対しても，提案法の方がより精度よくなる事が分かる．

5. まとめ

多層地盤の一次卓越周期における地震動増幅率 G_{s1} の計算法を提案した．以下に，本研究で得られた知見を示す．

- (1) 表層2層地盤と工学的基盤からなる3層地盤の伝達関数を誘導し，それに基づいて，3層地盤の一次卓越周期に対する地震動増幅率 G_{s1} の計算式を提案した．
- (2) 多層地盤の増幅率 G_{s1} を評価するため，多層地盤を3層地盤に近似し，3層地盤の増幅率 G_{s1} 計算式を用いて評価する方法を提案した．また，68箇所の地盤を解析することで，提案法の実地盤への適用性について確認した．
- (3) 多層地盤の増幅率 G_{s1} の提案法について，限界耐力設計法への適用性を確認するため，提案法を用いて，2箇所地盤の地表面加速度応答スペクトルを算出した．また，SHAKE による結果と比較，検討を行い，この適用性を確認した．

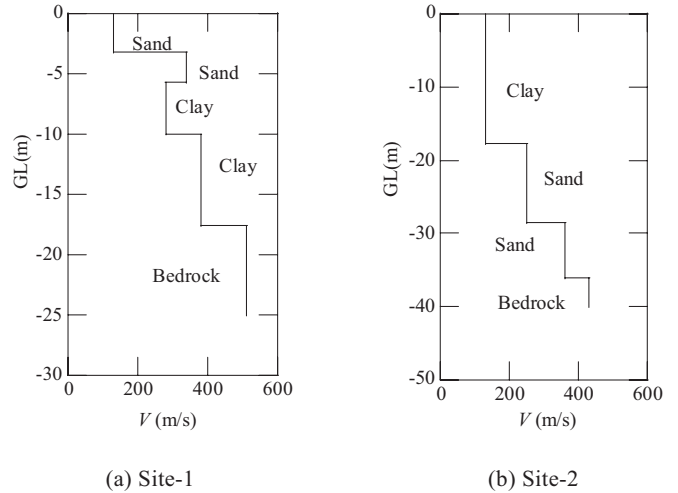
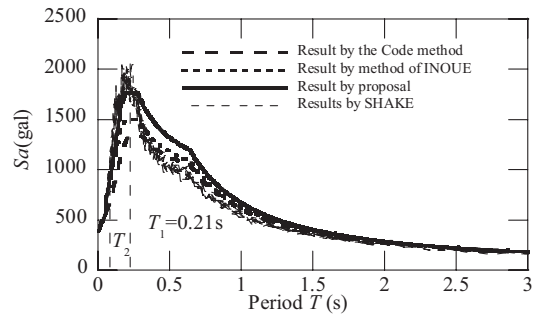
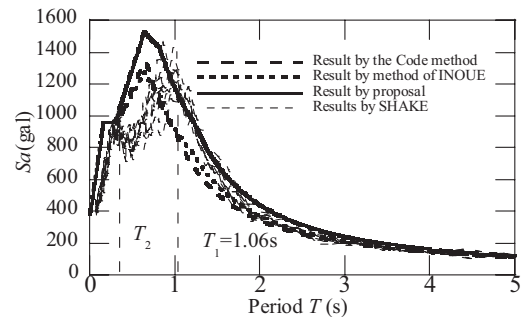


Fig. 3 Shear wave velocity of multi-layer soil profiles on bedrock used for analysis



(a) Site-1



(b) Site-2

Fig. 4 Comparison of free field acceleration response spectrum of the multi-layer soil profiles calculated by different methods

参考文献

[1] 告示1457, 2007年改訂
 [2] 林康裕, 森井雄史, 鬼丸貞友, 吉川正隆, 限界耐力設計法における地盤増幅係数評価に関する研究, 日本建築学会構造論文集, 567号, pp.41-46, 2003.1
 [3] 井上和歌子, 林康裕, 新井洋, 中井正一, 飯場正紀, 表層地盤による地震動増幅率評価法に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 32号, pp.107-112, 2010.2
 [4] 古山田耕司, 宮本裕司, 三浦賢治, 多地点での原位置採取試料から評価した表層地盤の非線形特性, 第38回地盤工学会研究発表会, pp.2077-2078, 2003.7

“新たな低炭素エネルギー社会に対応した新型電池の開発(2)”

松本 太¹・池原 飛之²・田邊 豊和³・片岡 利介⁴・大坂 武男⁵・長澤 浩⁶・持田 由幸⁷・入井 友海太⁸

“Development of Novel Battery towards New Low Carbon Energy Society (2)”

Futoshi MATSUMOTO¹・Takayuki IKEHARA²・Toyokazu TANABE³・Toshiyuki KATAOKA⁴・Takeo OHSAKA⁵・
Hiroshi NAGASAWA⁶・Yoshiyuki MOCHIDA⁷・Yuuta IRII⁸

1. 緒言

本プロジェクトでは、学内外の電池に関する専門家を機能的に集約し、次世代のエネルギー社会に対応した新型電池に関する研究を行っている。本プロジェクトの特徴は、積極的に企業との研究を進めることで、双方の専門性を生かした研究開発である。このような状況の中で、平成29年度「ベンチャー企業等による新エネルギー技術革新支援事業」フェーズA, “高速クロノポテンショグラムを用いたリチウム二次電池劣化度の機械学習的評価法の開発”, フェーズB, “電極の三次元化やリチウムイオンドーピング技術に向けた連続レーザー穿孔装置の開発”の研究を精力的に行ってきた。

2. 研究結果紹介

本文ではその中の, “電極の三次元化やリチウムイオンドーピング技術に向けた連続レーザー穿孔装置の開発”において, 得られた2件の結果を簡単に報告する。

2.1 穴あき集電箔を用いたリチウムイオンプレドープの促進

リチウムイオンキャパシタ (LIC) においては炭素系負極へのLi⁺イオンプレドープにより負極の電位を下げることで正極との電位差が大きくなり, より高電圧かつ高エネルギーな蓄電デバイスと

- 1: 教授 神奈川大学工学部物質生命化学科
Professor, Dept. of Material and Life Chemistry, Kanagawa University
2: 教授 神奈川大学工学部物質生命化学科
Professor, Dept. of Material and Life Chemistry, Kanagawa University
3: 助教 神奈川大学工学部物質生命化学科
Assistant Professor, Dept. of Material and Life Chemistry, Kanagawa University
4: 助教 神奈川大学工学部物質生命化学科 Assistant Professor,
Dept. of Material and Life Chemistry, Kanagawa University
5: 客員教授 神奈川大学工学研究所
Visiting Professor, Research Institute for Engineering, Kanagawa University
6: 客員教授 神奈川大学工学研究所
Visiting Professor, Research Institute for Engineering, Kanagawa University
7: 客員研究員 神奈川大学工学研究所
Visiting Researcher, Research Institute for Engineering, Kanagawa University
8: 客員研究員 神奈川大学工学研究所
Visiting Researcher, Research Institute for Engineering, Kanagawa University

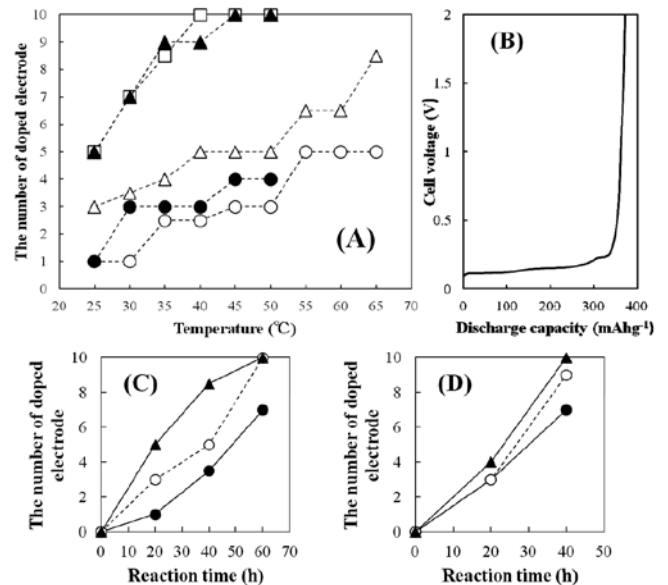


Fig. 1 (A) Dependence of the number of doped electrode in the graphite/porous Cu current collector (average pore diameter: 20 μ m) anodes, which were laminated, after pre-doping reaction for 20 (○, ●), 40 (△, ▲) and 60 (□) h on the reaction temperature. The opening rates of pore on the Cu current collectors are 1 (○, △, □) and 4 (●, ▲) % .(B) : a discharge curve of pre-doped graphite/porous Cu current collector (1% opening rate, 40 h pre-doping reaction) electrode at 8th from Li metal at 65°C. (C) and (D): The number of doped electrode vs. reaction time for the opening rate of 1 (C) and 4 (D) % at 30 (●), 50 (○) and 65 (▲)°C in the case of (C), and 30 (●), 40 (○) and 50 (▲) °C in the case of (D).

なっている。LICの作製には負極へのLi⁺プレドープが必要となる。プレドープにおいては穴あき集電体を用いた垂直ドープ法が用いられている。我々は、レーザーを用いて細孔を規則的に空ける穴あき集電箔の作製方法を開発した。これらの開口条件で作製した穴あき集電箔を用いてLi⁺イオンのプレドープ反応速度を比較し、穴あき集電箔の有効性について検討を行った。Cu集電箔には、厚さ10 μ m, 幅220mmのリチウム二次電池用Cu集電箔を用いた。Cu集電箔の100mm×150mmの範囲に開口率1, 2.5, 4%, 開口径3–50 μ mの大きさの穴をあけた。穴あきCu集電箔の表面に200 μ mギャップのドクターブレードを用いてGraphite (Gra)スラリーを塗布した。

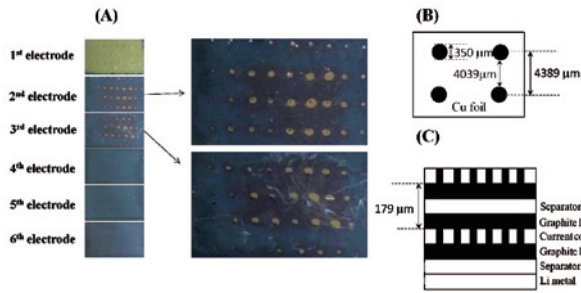


Fig. 2 (A) Micrographs of graphite/porous Cu current collector electrodes (average pore diameter: $350\mu\text{m}$, opening rate 0.5%) pre-doped for 40 h at 25°C . Schematic descriptions of (B) pore design on the Cu current collector and (C) cell design in the laminated cell.

塗布された集電箔を真空乾燥機によって 80°C で1時間乾燥させた。同様に裏面にもスラリーを塗布し、真空乾燥を行った。

反応温度とドーブ速度との関係を明らかにするために、25から 65°C の反応温度においてプレドーブ反応速度を評価した (Fig. 1)。反応温度を上げるとドーブする枚数が増えていることからドーブ速度が大きくなっていることが分かる (A)。 65°C の高温度でのプレドーブ反応 (B) においても、電気化学的にフル充電した Gra 電極の放電曲線と同様な3つの平坦部が観察される曲線になっており、高い温度での反応も問題なく Li^+ イオンのドーブができていないことが確認できる。Fig. 1-(A)の結果から反応速度を求めるために、開口率1および4%について各反応温度で反応時間に対するドーブできた電極の枚数をプロットした結果を Fig. 1-(C) および (D) に示す。これらのプロットの傾きがドーブ速度を示している。Fig. 1-(C)の開口率1%の場合においては、反応温度が高くなると反応速度も大きくなることが分かる。 50°C の反応温度において開口率1%の場合の反応速度は、0.17枚 (電極)/h であり、 25°C の0.08枚 (電極)/h の2倍になっている。一方、Fig. 1-(D)の開口率4%の場合には、反応温度に対する速度変化が非常に小さいことがわかる。このような開口率が大きい場合に、温度の上昇による反応の促進効果が少ないことを考えると、積層 Gra 電極におけるドーブ反応は、細孔内のイオンの移動が律速段階であると結論できる。また、従来の方法で作成できる最小の開口径でドーブ実験を行ったところ (Fig. 2)、ドーブは1枚目の電極しか進まず、本研究で作製した数十マイクロメートルの開口径がドーブ速度を向上させる重要な因子であることが明らかとなった。

2.2 穴あき集電箔を用いたエネルギー移動型新型電池の開発

近年、蓄電デバイスは、高エネルギー密度と高出力密度の両方の特性の向上が要求されている。しかしながら、既存のリチウムイオン二次電池 (LIB) やキャパシタにおいては、LIB では、エネルギー密度は高いものの出力密度が低いという問題があり、電気二重層キャパシタ、リチウムイオンキャパシタでは、出力密度は高いもののエネルギー密度が低いという課題が残っている。エネルギー密度と出力密度の両方を向上させるために新たな材料の開発が試みられているが、これまでのところ両方の要求を満たす材料は開発されていない。我々はピコ秒レーザーを用いた穴あき技術を確立したため、次に、穴あきアルミニウム (Al) 集電箔の片面に LiCoO_2 など

の層を、もう一方の片面に活性炭 (AC) の層を形成させたハイブリッド電極において、高電流密度での放電においては高出力特性を有する AC が放電反応において機能し、放電反応の途中において高容量を有する LiCoO_2 などの材料から AC 側へエネルギー移動が起こり、このハイブリッド正極材料は高エネルギー密度と高出力密度の両方の要求を満たすことができると考えた。この電極に必要な因子は、エネルギー移動 (電子移動) に伴って Li^+ イオンも AC 層から LiCoO_2 などの層に移動しなければならず、集電箔に穴があいていることが必要である。我々はこれまでに、ピコ秒レーザーを用いて開口率1–10%、開口径 $5\text{--}20\mu\text{m}$ の穴あき集電箔が作製できることを報告している。本研究では、LIB 正極材料/AC ハイブリッド正極に直接穴を開け (Fig. 3)、エネルギー移動型のハイブリッド正極の出力特性を検討することによって、エネルギー移動型の機構によってどれほど高エネルギー密度と高出力密度の両方の要求を満たす正極が作製できるかについての基礎的検討を行うことを目的とした (Fig. 4)。

Fig. 5に平均開口径 $22\mu\text{m}$ 、開口率0.5(A)および0(B)%のLFP/ACハイブリッド正極、片面塗工LFP電極(C)の急速放電/休止サイク

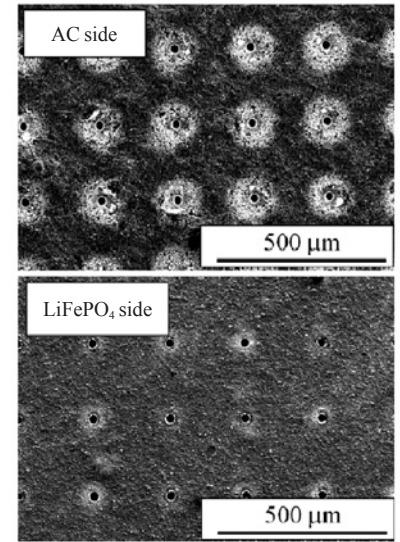


Fig. 3 SEM images of $\text{LiFePO}_4/\text{AC}$ cathodes.

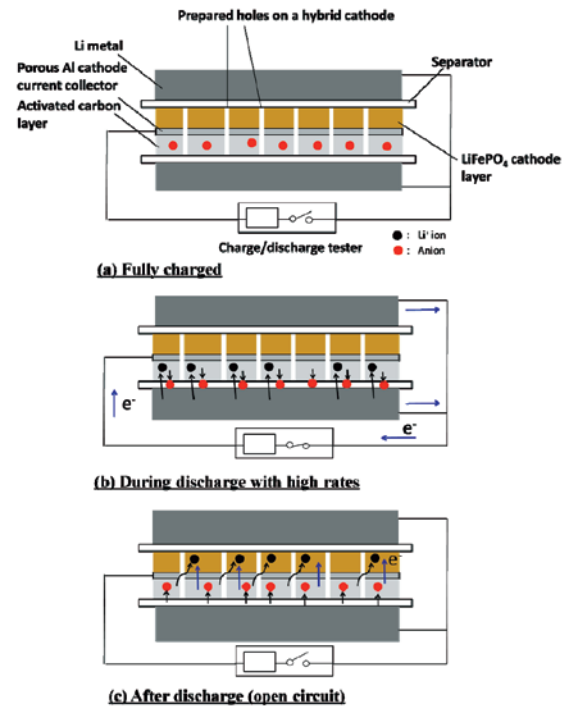


Fig. 4 Schematic drawing of discharge/open circuit process of LFP/AC hybrid cathode.

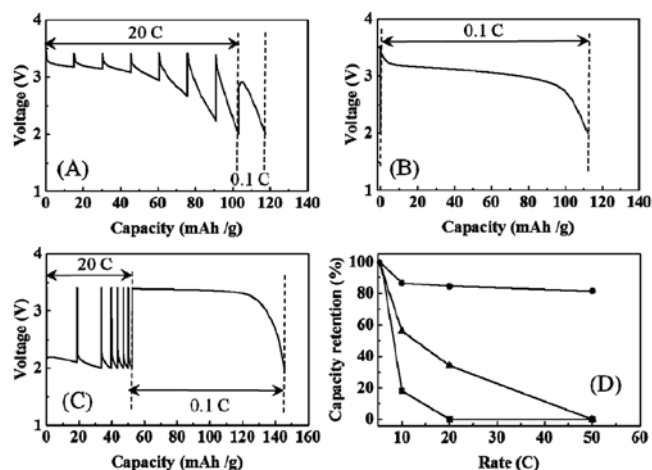


Fig. 5 Discharge curves of LFP/AC electrodes with 0.5 (A) and 0 % (B) of the opening rate of hole and $22\mu\text{m}$ of average hole diameter, and LFP electrode (C) at 20 C, where the discharge of 20mAhg^{-1} was repeated by 7 times and then the cells were finally discharged at 0.1 C, and the open circuit time (5 min) was inserted between discharge processes. (D) Total discharge capacity observed after 7 times-discharge/open circuit processes vs. the discharge rate. ● : LFP/AC electrode with 0.5 % of the opening rate, ▲ : LFP/AC electrode with 0 % of the opening rate, ■ : LFP electrode.

ルにおける放電曲線とレート特性(D)を示す。放電は、電極に固定されたACが示す容量 (20mAhg^{-1}) だけが取り出された後、放電を止め、5minの一定時間を置くことで、電子とリチウムイオンの移動が起こる休止時間を取った。(A-C)では各正極において20C放電、休止を7回繰り返す放電過程を行っている。その後、すべての容量を放電させるために0.1Cで1回だけ放電を行った。5minの休止時間を置いた場合、穴あき電極(A)では、7回の放電の繰り返して 100mAhg^{-1} 付近まで放電容量を取り出せたが、穴がない電極(B)では放電を繰り返しても放電容量を全く取り出せなかった。片面LFP塗工の電極(C)では、 50mAhg^{-1} 程度であった。すべての電極において、最後に0.1Cで放電を行うと容量は(A, B)の場合 120mAhg^{-1} 付近まで、(C)の場合 150mAhg^{-1} 付近であり、理論容量の近くまで容量が到達できており、電極自体の性能の低下はほとんど無いことも確認した。急速放電を休止を挟んで7回繰り返す実験において、放電に用いる電流値(放電レート)を変えて、最終的に到達する放電容量を検討した実験結果を用いて、放電レートに対して到達放電容量をプロットした場合(D)、穴あき電極において最も高い放電容量を示しており、50Cの条件で放電を繰り返しても0.1Cの条件で放電したときに得られる容量の83%の放電容量を保持している。片面LFP塗工の電極の結果とも優位な差が見られ、穴あきLFP/ACハイブリッド正極を用いる有効性が示された。

3. 終わりに

これまでのLIBの出力特性の研究において、材料の開発は数多く行われているが、出力特性が高い正極は開発できていない状態であり、材料開発には高いハードルがある。一方で、電池内の構造を工夫することによって出力特性を改善しようとする研究はこれまで

ほとんど行われていない。少ない中で、我々と同様の考えに基づきLIBと電気二重層キャパシタとの正極集電体を互いに接続するとともに、LIBと電気二重層キャパシタとの負極集電体を互いに接続するようにした蓄電デバイスが提案しているが、この場合、互いに接続された電極間における電位のずれを解消することが困難であることから、LIBや電気二重層キャパシタの過放電や過充電を招いてしまう恐れがある。また、1つの集電体に対して活性炭等を含む合材とLiCoO₂等を含む合材とを二層塗工する、あるいは1つの集電体に対して活性炭とLiCoO₂とを混合した合材を塗工するようにした蓄電デバイスが考えられるが、LiCoO₂とACが接触しているとLiCoO₂の電子伝導性の低さによって、ACの高出力特性が発揮できなくなる。よって、本研究で提案した、集電体の片面ずつにLiCoO₂とAC層を設けることは非常に有効な方法であると考えられる。また、LiCoO₂などのLIBの高容量正極からACへのエネルギー移動は、Li⁺イオンのAC側からLiCoO₂などのLIBの高容量正極への移動を必要とすることから、電極に微細な穴が空いていることは必須条件である。レーザーで穴を開ける方法により、従来の方法では到達できなかった数ミクロンの径を有する穴のデザインが可能になり、デザインによってはリチウムイオンの拡散がそれほど阻害されない構造をこれらの電極を用いて実現できることが明らかとなった。これらの研究を進め、穴空きの有効性を示すことによって、将来的には穴あき工程が電池作製の工程にインライン化することになると期待できる。

4. 発表論文

- 津田喬史, 井波祐貴, 中村亮介, 安藤風馬, 望月康正, 郡司貴雄, 田邊豊和, 金子信悟, 板垣薫, 柚直彦, 松本太, 積層型グラファイト/穴あき集電箔負極における集電箔上の開口条件および反応温度とLi⁺イオンブレード速度との関係, *Electrochemistry*, 85 (4) 186-194 (2017).
- 津田喬史, 安東信雄, 郡司貴雄, 田邊豊和, 金子信悟, 板垣薫, 柚直彦, 中村奨, 松本太, 穴あきLiFePO₄/活性炭ハイブリッド電極構造によるLiFePO₄正極の高出力化, *Electrochemistry*, 86 (1) 10-18 (2018).
- Takashi Tsuda, Nobuo Ando, Naoto Mitsuhashi, Toyokazu Tanabe, Kaoru Itagaki, Naohiko Soma, Susumu Nakamura, Narumi Hayashi, Futoshi Matsumoto, Fabrication of Porous Graphite Anodes with Pico-Second Pulse Laser and Enhancement of Pre-Doping of Li⁺ Ions to Laminated Graphite Anodes with Micrometre-Sized Holes Formed on the Porous Graphite Anodes, *ECS Transactions*, Electrochemical Society, Inc., 80 (10) 1391-1397 (2017).

振動騒音低減のための二段階設計

山崎 徹* 三山 壮** 中村 弘毅*** 田中 俊光**** 石濱 正男**** 伊東 圭昌***** 菊地 通*****

Two-Step Structural Design for Reducing Vibration and Noise on Machinery

Toru YAMAZAKI* Takeshi MIYAMA** Hiroki NAKAMURA*** Toshimitsu TANAKA**** Masao ISHIHAMA****
Yoshiaki ITOH***** Toru KIKUCHI*****

1. 緒言

機械製品の静粛性は重要な製品価値であり、今後の更なる電動化などにより対処すべき周波数帯は高く、広がってきている。振動騒音問題の解決は共振回避を基本とするが、広帯域の問題には工夫が必要となる。

いま例として、図1に示す両端単純支持はりの駆動点アクセラランスを運動方程式に基づき算出した結果 (EOM, 細線) と無限系はりの波動解析により算出した結果 (Infinite, 太線) を考える。振動騒音の低減はピーク値を下げることであり、そのためには“ピークを下げる・ピーク周波数を移動させる”という考えと、“全体的に下げる (平均を下げる)”という考えがあり得る^[1]。共振回避は前者の考えに属し、固有振動数や減衰といった固有振動視点のもので、単一のピーク問題に有効である。後者の考えは、一自由度振動系に基づく剛性コントロールや質量コントロールといった考えを含み、構造境界などによる反射の無い波動伝搬視点のもので、広帯域の問題に有効と思われる。

このような背景の下、著者らは、広帯域の振動騒音問題を対象に、伝搬視点と固有振動視点を組み合わせた二段階設計を考えている^{[2][3]}。第一段階設計 (大局設計) は、平均的挙動に着目し主として伝搬視点によるロバスト性の高い“素性のよい設計”を意図する。第二段階設計 (詳細設計) は、ピーク挙動に着目し主として固有振動視点によって低振動化のみならず、音質などを考慮したピークコントロールを行う“味付け設計”を意図する。

ここでは、この二段階設計の実例として、簡易平板構造物 (図2) を例に、第一段階設計に解析 SEA (解析式に基づく統計的エネルギー解析法)^[4]、第二段階設計に振動インテンシティ^{[5][6]}の FEM 解析を用いることで、低振動化設計ができることを示す。

2. 第一段階設計

図1の対象物を図中に数字で示す8個の要素からなる系と考え、要素1と2への振動入力時の要素3と4の振動の低減を、解析 SEA と最適化を用いた第一段階設計で実施する。

本対象の SEA 基礎式は $P = \omega LE$ であり、 ω は角振動数、 P は入力パワーベクトル、 E は要素エネルギーベクトル、 L は損失率マトリクスで、要素減衰と要素間伝達のパラメータで構成される。これらのパラメータを数式で評価する解析 SEA では、パラメータに含まれる板厚などを設計変数に、目的関数を要素3と4の要素エネルギーとし、その最小化最適問題を容易に解くことができる。

板厚を設計変数とした最適化の結果は、要素5から8は薄く、要素3と4は厚くするというものであった。この結果の振動低減効果を確認するために、図3に、初期構造 (Initial)、最適化後の構造 (1st step) の FEM による要素3の応答比較を示す。Initial に比べ1st step の応答は多くの振動数域で低減されていることが確認できる。しかしながら、40Hz や130Hz 近傍では増大されていることもわかる。

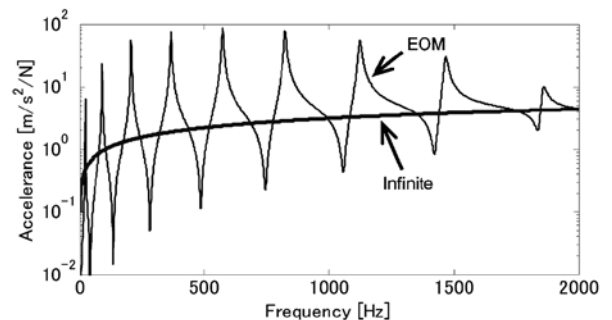


図1 両端単純支持はりの駆動点アクセラランスの算出例

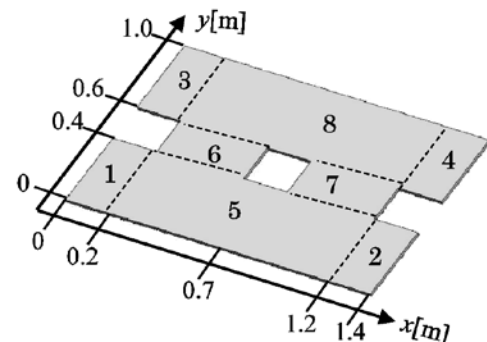


図2 対象平板構造物 (8要素)

*教授 機械工学科

Professor, Dept. of Mechanical Engineering

**大学院 (博士前期課程) 機械工学専攻

Graduate (M.C.), Dept. of Mechanical Engineering

***助教 機械工学科

Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering

****客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering

*****客員研究員 工学研究所

Guest Researcher, Research Institute for Engineering

*****特別研究員 工学研究所

Researcher, Research Institute for Engineering

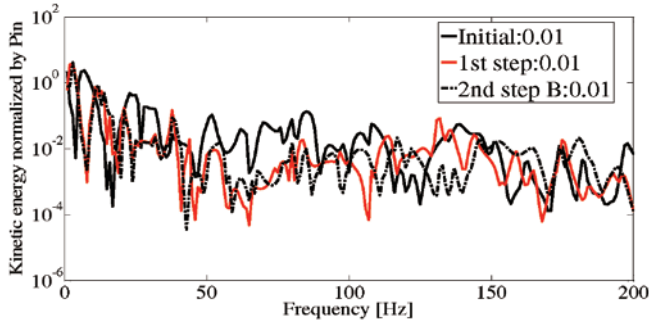


図3 対象平板構造物 (8要素)

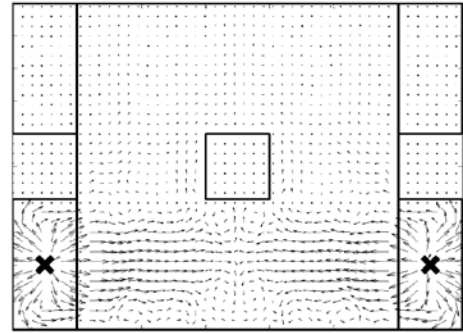
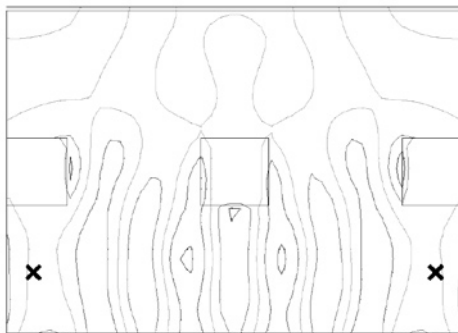
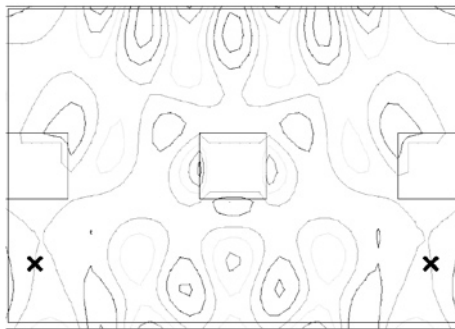


図5 SIの進行波成分



(a) 131 Hz



(b) 135 Hz

図4 130Hz 付近の固有モード例 (4Hz の違いで大きな違い)

3. 第二段階設計

ここでは、第一段階設計で振動低減効果がなかった130Hz 付近を対象に、振動インテンシティ (SI) に基づく第二段階設計を行う。

130Hz 近傍には複数の固有モードが存在し、わずか4Hz の違いで図4に示すように振動分布は大きく異なる。一方、SI 分布 (減衰を大きくしたとき) は、この振動数域では共通して、図5のように要素5を横切り要素3と4に伝わる流れが主要となっている。そのため、この主要な流れを阻害するように図6に四角で示す箇所の板厚を初期状態に戻し、要素3と4へのエネルギー伝搬を抑制することを第二段階設計として考えた。

第二段階設計による振動低減効果を確認するため、前章と同様に、FEM による要素3の応答 (2nd step) を図3に示す。着目した130Hz 付近において振動の低減ができていないこと、その他の振動数域の多くで第一段階設計時の特性を悪化させていないことが分かる。ただし、180Hz 付近では悪化していることも分かる。

本報では、SI 分布に基づき部分的な構造変更を論じたが、主要

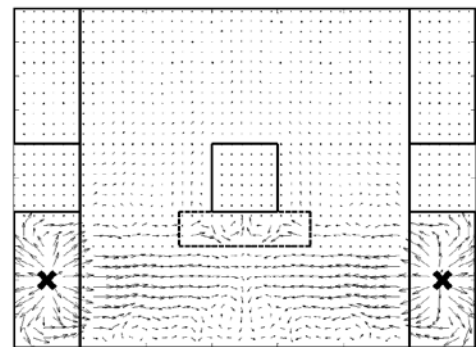


図6 第二段階設計

な伝搬部のなかで効率的な変更箇所の特定、どの程度の構造変更が必要であるか、着目した周波数を挟むどの程度の帯域で振動低減が期待できるのかなど、今後、明らかにしていく。

4. 結言

ここでは、広帯域の振動問題に対する低振動構造の二段階設計を紹介した。第一段階設計には解析 SEA を使用し、第二段階設計には振動インテンシティの FEM 解析を用いた。いずれの設計においても、流れを阻害する、流れを滞留させる、ということで振動を低減できるといえる結果である。

参考文献

- [1] 山崎徹：日本機械学会設計工学・システム部門 No.16-168 講習会、1DCAE 概念に基づくものづくり設計教育 (第八弾)：1DCAE によるものづくりの革新、音振動設計の1DCAE (2016)
- [2] 山崎徹、三山壮、中村弘毅、宮崎敦子：モードと波動の両視点による機械構造物の振動低減設計、自動車技術会論文集、Vol.47, No.6, pp.1373-1379 (2016)
- [3] 三山壮、宮崎敦子、中村弘毅、山崎徹：振動エネルギー流れの促進と抑制に基づく低振動構造設計、自動車技術会2017年春季大会学術講演会講演予稿集、20175061, pp.336-341 (2017)
- [4] 山崎徹、黒田勝彦、固体音解析における解析 SEA パラメータの FEM による検証、日本機械学会論文集 C 編、74 巻 744 号、pp.1963-1970 (2008)
- [5] 沼田臨、村上雄太、山崎徹：振動エネルギー流れを考慮した低騒音構造設計に向けた新たな指針の提案：日本機械学会論文集 C 編、78 巻 788 号、pp.1072-1084 (2012)

多分岐ポリマー系ナノハイブリッド材料の開発と応用

横澤 勉* 池原 飛之* 山田 保治** 花畑 誠*** 工藤 宏人***

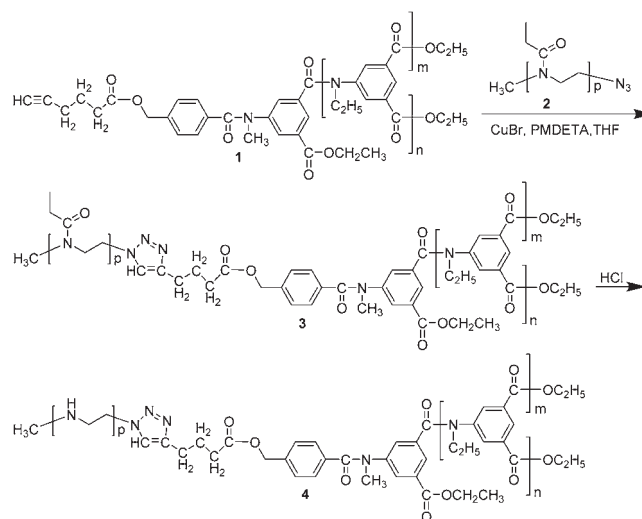
Development and Application of Nano Hybrid Materials from Hyperbranched Polymers

Tsutomu YOKOZAWA* Takayuki IKEHARA* Yasuharu YAMADA** Makoto HANABATA** Hiroto KUDO***

1. 緒言

有機成分と無機成分をナノレベルで複合化した有機-無機ナノハイブリッド材料の研究は様々な分野で注目されている。これまでにポリ(3-(トリエトキシシリル)プロピルメタクリレート)とポリ(2-ビニルピリジン)(P2VP)とのブロック共重合体のゾルゲル反応を塩酸存在下で行うと、ブロック共重合体の組成比によって形状の異なるシリカが得られている^[1]。一方、金らは直鎖状ポリエチレンイミン(LPEI)の結晶表面がテトラアルコキシシランからのシリカ化の触媒となることに注目し、同一分子量のLPEIから結晶条件を変えることによって得られる様々な構造のLPEI結晶を転写して形状の異なるシリカを得ている^[2,3]。また、開始剤存在下で5-(*N*-アルキルアミノ)イソフタル酸ジエステルAB₂モノマーの連鎖縮重合を行うと、分子量と分子量分布および末端構造の制御されたハイパーブランチポリアミド(HBPA)が得られることも報告している^[4]。そのため、HBPAとLPEIとのブロック共重合体(HBPA-*b*-LPEI)が合成できれば、疎水性の高いHBPA部分が存在するため、水中と有機溶媒中でそれぞれ親水性のLPEIのホモポリマーの場合とは異なる自己組織体が形成され、形状の異なるシリカが得られると考えた。この複合シリカはHBPAが多数の空孔を持つことから分子の吸着や透過の制御が可能で高性能分離材料として応用が期待される。

昨年度までは臭化ベンジル部位を有するHBPAマクロ開始剤から2-メチル-2-オキサゾリン(MOZ)の開環重合を行った後に加水分解することで、HBPA-*b*-LPEIを合成してきた^[5,6]。しかし、HBPAマクロ開始剤を純度よく合成しないとMOZの単独重合体もブロック共重合体に含まれる問題点があった。そこで今年度は種々の重合度のHBPAとLPEIのブロック共重合体を容易に合成するために2つの成分のクリック反応を検討し、HBPA-*b*-LPEIの合成を行った(Scheme 1)。



Scheme 1. Synthesis of HBPA-*b*-LPEI via click reaction.

2. 結果と考察

まず、AB₂モノマーの連鎖縮重合を行い、末端官能基化することでアルキン末端を有するHBPA 1 ($M_n(\text{MALLS})=9100$)を得た。次に、MOZの開環重合を行った後にアジ化ナトリウムを作用させて、アジド末端のPMOZ 2 ($M_n(\text{MALLS})=4900$)を得た。得られた1と2を用いて臭化銅(I)と配位子存在下でクリック反応を行った。ホモポリマーのPMOZが水に溶ける性質を利用し、粗生成物を少量の酢酸エチルに溶かし、水に加えて、減圧下で溶液中の酢酸エチルを留去した際の析出物を回収して3a(組成比:PMOZ/HBPA=35/65)を得た。次に、組成比の異なる3を合成するために、1 ($M_n(\text{MALLS})=8300$)と2 ($M_n(\text{MALLS})=15000$)のクリック反応を行い、上記と同様の精製法を試みたが析出しなかったため、分取

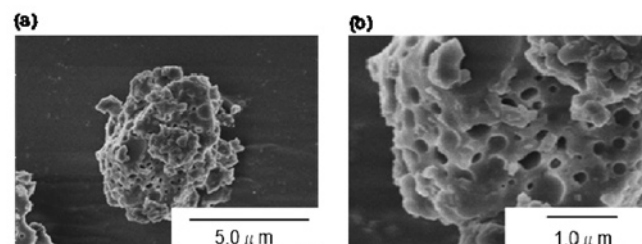


Figure 1. SEM images of self-assembled structure of 4a in H₂O.

*教授 物質生命化学科

Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

**客員研究員 工学研究所

Guest Researcher, Research Institute for Engineering

***客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering

****准教授 関西大学工学部

Associate Professor, Faculty of Engineering, Kansai University

HPLC (溶離液: クロロホルム) によって精製して, **3b** (組成比: PMOZ/HBPA=64/36) を得た.

まず, **3a** を3M 塩酸によって加水分解し, LPEI とのブロック共重合体**4a** を得た. 蒸留水を加えて加熱し, 溶解後に氷を加えて急冷し, 析出した固体を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察した. その結果, 丸い穴が開いたような, 塊状の構造体が観察された (Figure 1).

これにテトラメトキシシラン (TMOS) を作用させて2時間攪拌してシリカ化し, 得られた固体の SEM 測定を行った結果, 塊状の構造体であり, ナノ構造体は観察されなかった (Figure 2).

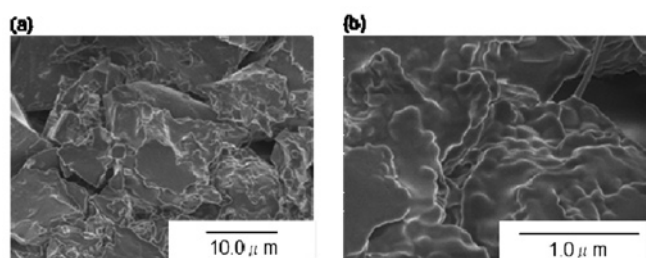


Figure 2. SEM images of (a) silica @4a and (b) magnified image from (a).

続いて, PMOZ 鎖が長いブロック共重合体**3b** も同様に3M 塩酸によって加水分解し, LPEI とのブロック共重合体**4b** とした. 蒸留水を加えて加熱し, 溶解後に氷を加えて急冷し, 析出した固体を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察した. その結果, LPEI に由来すると思われる盤上の微細凝集構造物が見られた (Figure 3).

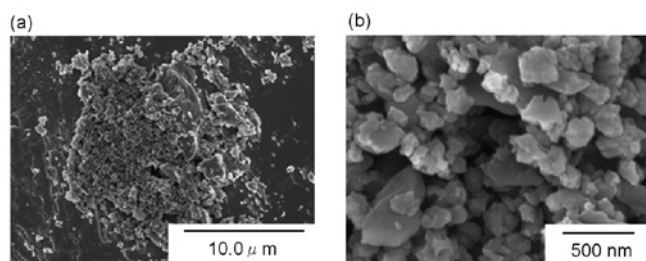


Figure 3. SEM images of self-assembled structure of 4b in H₂O.

これに TMOS を作用させて2時間攪拌してシリカ化し, 得られた固体の SEM 測定を行った結果, ネットワーク構造を有する塊状のシリカが観察された (Figure 4a). さらに拡大して観察すると球状のシリカが連なってネットワークを形成しているように見えた (Figure 4b). これは, TMOS を加えて加水分解縮合が進行すると,

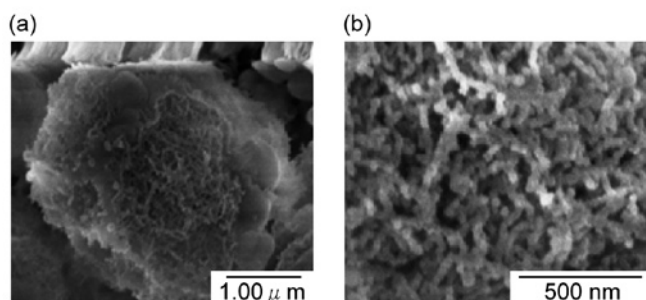


Figure 4. SEM images of (a) silica @4b and (b) magnified image from (a).

脱離成分としてメタノールが生成するため, **4b** の凝集体がメタノールによって, 徐々にほどけて球状のミセルができつつシリカ化が起こり, 球状ミセルが繋がったようなネットワーク状のシリカが形成されたと思われる.

3. 結論

クリック反応を利用して, HBPA と LPEI のそれぞれ長さの異なるブロック共重合体が容易に合成できるようになり, その自己組織化とシリカ化が検討できるようになった. その結果, ほぼ同じ分子量の HBPA セグメントに対し, 分子量の低い LPEI セグメントを持つブロック共重合体では, その自己組織体もシリカ複合体もナノ構造体は観察できなかった. 一方, 分子量の高い LPEI セグメントを持つブロック共重合体では, その自己組織体は盤上のナノ構造体が, シリカ複合体は球状シリカが連なったネットワーク状のナノ構造体が観察できた. HBPA は結晶性がないことからナノ構造体は LPEI の結晶構造に基づいていると思われる. すなわち, 疎水性の高い HBPA を多く含むブロック共重合体では LPEI の結晶化を阻害, または結晶部位を包摂してナノ構造体が観察されなかったと思われる. しかしながら, 今回は水溶液中におけるブロック共重合体の自己組織化とシリカ化を検討したことから, もう少し HBPA も溶媒和されて LPEI が結晶化できる溶媒を見出せば, このブロック共重合体に特有な自己組織体とシリカ複合体を構築できるものと思われる. 今後は HBPA を含むシリカ複合体の高性能分離材料としての応用を検討していく.

参考文献

- [1] K. Zhang, L. Gao, and Y. Chen, *Macromolecules* **2008**, *41*, 1800-1807.
- [2] R.-H. Jin and J.-J. Yuan, *Chem. Commun.* **2005**, 1399-1401.
- [3] R.-H. Jin and J.-J. Yuan, *Macromol. Chem. Phys.* **2005**, 2160-2170.
- [4] Y. Ohta, S. Fujii, A. Yokoyama, T. Furuyama, M. Uchiyama, and T. Yokozawa, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2009**, *48*, 5942-5945.
- [5] Y. Ohta, K. Sakamoto, D. Inoue, M. Saito, R.-H. Jin, and T. Yokozawa, *Polym. Prepr. Jpn.* **2015**, *64*, 1Pg007.
- [6] 柳田一樹, 平成 27 年度神奈川大学工学部物質生命化学科卒業論文.

グリーンイノベーションの基盤となるナノ構造制御触媒の開発研究

引地 史郎* 内藤 周次** 上田 渉* 中澤 順***
 Shigeo T. Oyama**** 宮尾 敏広***** 赤間 弘***** 星野 真樹*****

Development of Nano-structure Controlled Catalysts for Green Innovation

Shiro HIKICHI* Shuichi NAITO** Wataru UEDA* Jun NAKAZAWA***
 Shigeo T. Oyama**** Toshihiro MIYAO***** Hiroshi AKAMA***** Masaki HOSHINO*****

1. プロジェクト研究の概要

2014年4月より開始した本プロジェクト研究⁽¹⁾では、再生可能エネルギー創出反応の効率向上やグリーン化学合成の達成に資する“革新的触媒技術”の確立を目指して、バイオマス資源の有用化学物質への転換反応に活性な触媒⁽²⁻⁵⁾や、炭化水素資源の環境調和型酸化プロセスに適用するための酵素模倣型錯体触媒や有機-無機ハイブリッド触媒^(6,7)の開発を進めてきた。これまで開発してきた触媒は、金属元素が持つ触媒性能を極限まで引き出すべく、金属触媒活性点およびその周辺構造がサブナノ～ナノスケールで精緻に設計・制御されたものや、天然の高性能触媒である酵素のエッセンスを取り入れた分子設計が施されたものであり、それらをベースに様々な機能を併せ持つ触媒デバイスの構築を目指している。

“革新的触媒技術”の研究は、将来にわたる持続的成長社会の発展を図る上で必須な、安定的なエネルギー供給体制の構築と低炭素社会の実現を目指したグリーンイノベーションを推し進める上で重要な研究課題である。本プロジェクトにおいては、2014年度から2015年度にかけて、クリーンエネルギーソースである水素を、化石燃料資源ではなくバイオマスから製造することを目的とした触媒の開発を実施してきた。

一方で石油や天然ガス等の化石燃料資源は依然として重要なエネルギーソースならびに化学原料となっていることから、2014年度のプロジェクト開始以来、炭化水素類の化学変換効率の向上を図りつつ、エネルギーの過剰消費や環境負荷物質排出を抑制した環境調和型物質変換プロセスを構築するための触媒についての研究を継続している。具体的には、きわめて温和な条件でも炭化水素類への酸

素添加反応を触媒する遷移金属含有酸化酵素の触媒活性点とそれを取り巻く環境に想を得て、酵素と同様な活性を有しながら、たんぱく質を主成分とする酵素よりも安定性に優れた人工的な触媒素子、すなわち“人工酵素”の構築を目指している。この目標達成のため、①酵素の触媒活性点において遷移金属イオンの支持体となっているアミノ酸残基群と同様な働きをする有機分子配位子の精密分子設計に基づく酵素模倣型錯体触媒の開発、および②触媒活性点を固体担体に固定した有機-無機ハイブリッド触媒における、反応場の3次元構造及び親・疎水性の制御を検討している。以下本稿では、錯体化学を基盤とする酸化触媒の開発に関する2016年度の研究成果の概要を紹介する。

2. 酵素模倣型錯体触媒

引地らは、本プロジェクト開始以前に Tp^{R} (図1(a)) を配位子とする Ni 錯体が有機過酸を酸化剤とするアルカン水酸化に触媒活性を示し、錯体の分子構造と触媒特性の相関の解明、および反応中間体の検出・同定に基づく反応機構の考察を行ってきた⁽⁸⁾。そこで本プロジェクトにおいては、触媒活性の向上を目指して Tp^{R} 錯体と同様な分子構造を形成しつつ、電子的特性に摂動を加えられる To^{M} (図1(b)) の適用を検討した。触媒前駆体の出発原料となる Ni(II)-クロロ錯体の分子構造を単結晶 X 線構造解析により明らかにした⁽⁹⁾。この錯体に *m*-クロロ安息香酸イオン (*m*CBA) を反応させることにより得た Ni(II)-*m*CBA 錯体を触媒前駆体とした場合、 Tp^{Me2} を配位子とする Ni 錯体よりも大幅な反応初期速度の向上が認められた。さらに4座キレート剤として機能するトリス (オキサゾリニルメチル) アミン TOA^{Me} (図1(c)) を配位子とするニッケル錯体は、同様な骨格構造を持つトリス (ピリジルメチル) アミン TPA (図1(d)) を配位子とする錯体よりも高活性であることを見出した。これは To^{M} や TOA^{Me} において金属に直接配位しているオキサゾリニル基の高い電子供与能によるものと考えられ、オキサゾリン誘導体がアルカン酸化に活性な錯体触媒の配位子として適用可能であることが明らかになった。

また本プロジェクトで検討してきた、酸素分子活性化能を有する Fe および Co 錯体⁽⁶⁾や、固定化 Fe 錯体触媒⁽⁷⁾では、酵素における金属配位基の一種であるイミダゾールを含むアニオン性二座キレート配位子 L^{X} (図1(e)) が用いられてきた。そこで L^{X} を用いて種々の金属錯体を調製して触媒特性を精査してきた。その結果、

*教授 物質生命化学科

Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

**客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering

***助教 物質生命化学科

Assistant Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

****教授 東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻

Professor, Dept. of Chemical System Engineering, School of Engineering, The University of Tokyo

*****教授 山梨大学燃料電池研究センター

Professor, Fuel Cell Nanomaterials Center, University of Yamanashi

*****主任研究員 日産自動車総合研究所

Senior Researcher, Nissan Research Center, Nissan Motor Corporation

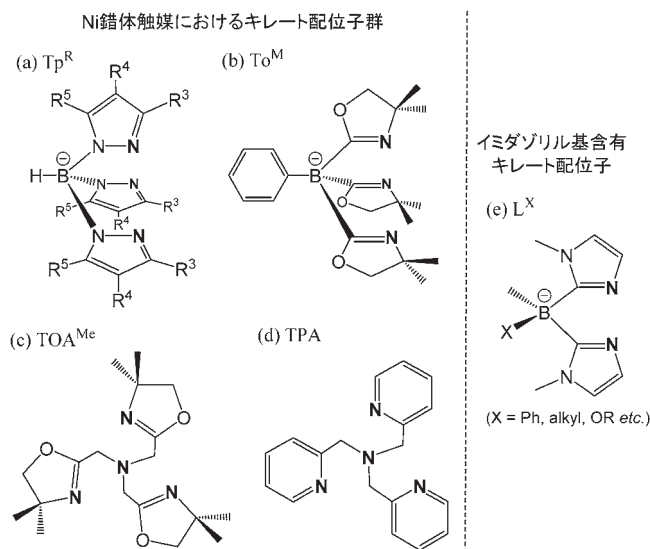


図1. 錯体触媒におけるキレート配位子

L^{Ph}を配位子とするPd(II)-ヒドロキシ錯体がアルコール類の酸素酸化反応に対して活性であることを明らかにした⁽¹⁰⁾.

3. 有機-無機ハイブリッド触媒

上記のTp^R配位子におけるホウ素上のヒドリド基をアリル基に置換したallyl-Tp^{CF3}を開発し、これを昨年度まで開発してきた有機-無機ハイブリッド触媒における担体と同様の手法⁽⁷⁾で調製した、有機チオール(-SH)基修飾メソ多孔性シリカゲル担体に固定することに成功した。このTp^{CF3}配位子固定化担体にCo(II)塩を反応させることにより得た固定化Co錯体触媒について、担体上に構築されている錯体種の構造を明らかにするために固体拡散反射UV-visスペクトルを測定したところ、Tp^{CF3}配位子とシリカゲルの連結基となっているチオール基修飾量や、Tp^{CF3}が連結されなかった残留チオール基の有無に応じてCo中心の構造(配位数)が異なることが判明した。チオール基修飾量が少ない担体上では、主に4配位Co錯体種が形成されていた。一方チオール基修飾量が多い場合には、チオール基の約3割にTp^{CF3}が連結しておらず、この残留チオール基をアシル化した場合に生じるCo錯体は5配位種に帰属されたのに対して、残留チオール基をアシル化した場合には5配位種と6配位Co錯体種が共存していた。調製した触媒はtert-BuOOHを酸化剤とするアルケンの酸化に対して活性であった。いずれの触媒を用いてもアリル位酸化が優先的に進行していた。Co原子1個当たりの活性(触媒回転数; TON)は残留チオール基をアシル化処理したもののほうが高く、またチオール基修飾量が少ないものの方が高活性であった。また担体に固定していないCo(II)-ブromo錯体[Co^{II}(allyl-Tp^{CF3})(Br)]やCoBr₂を液相均一系反応に供した場合よりも、固定化錯体触媒の方が高活性であった⁽¹¹⁾。本研究の結果は、錯体分子触媒を適切な条件で固定することで、触媒間での反応による失活が抑制できるとともに、担体表面の官能基の導入量やその状態に応じて触媒活性点構造を精密に制御することも可能であることを示している。

ところで前年度開発に成功した、チオール基修飾メソ多孔性チタノシリケート(Siの一部をTi(IV)イオンに置換したシリカゲル)を担体とするAuナノ粒子触媒は、Au活性点でのアルコールの酸

素酸化に伴って過酸化水素が生成し、この過酸化水素がTi(IV)で活性化されることでアルケンへの酸素添加反応が進行する⁽¹⁾ものの、アルコール酸化活性に比してアルケン酸化活性は極めて低いことが判明した。その原因はAuナノ粒子に隣接するTi(IV)が少ないためであると考えられたが、担体調製時にSiに対するTi(IV)前駆体の仕込み比(物質質量比)を増加させると、SiとTi(IV)の安定な配位構造が異なるためにメソポーラスチタノシリケート自体が形成されなくなってしまうことが明らかとなった。そこでAuナノ粒子と錯体触媒活性点からなる触媒デバイスを設計した。2016年度は、Auナノ粒子固定に必要なチオール基と、アルキニル(-C≡CH)基を含むキレート配位子と担体の連結基となるアジド(-N₃)基の双方で修飾したメソ多孔性シリカゲル担体を開発した。このチオール基-アジド基修飾メソ多孔性シリカゲルに対して先にキレート配位子(アルキニル含有ビス(ピリジルメチル)アミン)を固定した後にAuナノ粒子の固定を行ったところ、固定されていた配位子が分解してしまっただけでなく、Auナノ粒子を固定した後に同じキレート配位子を固定することは可能であることが判明した。このキレート配位子に適切な遷移金属イオンを作用させることで、新規触媒デバイスの構築が期待される。

4. 結言

以上の通り、サブナノ~ナノスケールでの構造制御に基づく酸化触媒の開発が継続中である。2017年度以降も活性点の構造と触媒特性の相関解明と、触媒活性の向上を目指した研究を推進していく計画である。

参考文献

- (1) 引地史郎, 内藤周次, 上田渉, 吉田暁弘, 中澤順, S.T. Oyama, 宮尾敏弘, 赤間弘, 星野真樹, 神奈川大学工学研究所報, 39, 155-156 (2016).
- (2) T. Nozawa, Y. Mizukoshi, A. Yoshida, S. Naito, Appl. Catal. B: Environ., 146, 221-226 (2014).
- (3) T. Nozawa, A. Yoshida, S. Hikichi, S. Naito, Int. J. Hyd. Energy, 40, 4129-4140 (2015).
- (4) S. Naito, T. Nozawa, S. Hikichi, アメリカ電気化学会第229回年会, Z03-2135 (招待講演) (2016年5月).
- (5) T. Nozawa, Y. Mizukoshi, A. Yoshida, S. Hikichi, S. Naito, Int. J. Hyd. Energy, 42, 168-176 (2017).
- (6) F. Odon, Y. Chiba, J. Nakazawa, T. Ohta, T. Ogura, S. Hikichi, Angew. Chem. Int. Ed., 54, 7336-7339 (2015).
- (7) T. Tsuruta, T. Yamazaki, K. Watanabe, Y. Chiba, A. Yoshida, S. Naito, J. Nakazawa, S. Hikichi, Chem. Lett., 44, 144-146 (2015).
- (8) J. Nakazawa, S. Terada, M. Yamada, S. Hikichi, J. Am. Chem. Soc., 135, 6010-6013 (2013).
- (9) T. Takayama, J. Nakazawa, S. Hikichi, Acta Cryst., C72, 842-845 (2016).
- (10) K. Ando, J. Nakazawa, S. Hikichi, Eur. J. Inorg. Chem., 2016, 2603-2608 (2016).
- (11) A. Nakamizu, T. Kasai, J. Nakazawa, S. Hikichi, ACS Omega, 2, 1025-1030 (2017).

車両等に装備するためのポリカーボネート窓の表面改質に関する研究 (3)

新中 新二* 井上 成美** 大越 昌幸** 野尻 秀智** 植田 博臣*** 岩井 和史*** 中村 先男***

Study on Surface modification of Polycarbonate Windows for Vehicles

Shinji SHINNAKA* Narumi INOUE** Masayuki OKOSHI** Hidetoshi NOJIRI**
Hiroomi UEDA*** Kazufumi IWAI*** Sakio NAKAMURA***

1. 緒言

地球温暖化防止のため、CO₂を中心とする温室効果ガス削減の取り組みが続けられてきた。CO₂全排出量の20%が自動車に代表される車両からのものであり、燃費向上や車体の軽量化が切実なものとなっている。ハイブリッド電気自動車 (HEV) やプラグインハイブリッド (PHV)、クリーンディーゼルなど、燃費向上や環境負荷の低減に寄与する技術が開発され実用に供されてきたが、ここにきて欧州を代表する国々が2040年までにガソリン車を撤廃し、無排出車両 (ZEV) の販売を一定量義務付ける方針を打ち出した。これにより従来の燃費規制の枠を大幅に超えたハードルが課せられることになった。我々は工学研究所のプロジェクトとして、車両窓の軽量化に取り組んできた¹⁾。無機ガラスをポリカーボネート樹脂 (PC) に置き換えることを目的とし、樹脂の傷付きを防ぐための方法として、PC上に塗布したシリコン樹脂に光を照射し SiO₂に改質する技術を検討した²⁻⁴⁾。さらに、SiO₂層に生ずるクラック等、本プロセス固有の問題解決にも取り組んできたが⁵⁾、シリコン樹脂の種類や光源の違いによる物性の差異については、これまで十分な知見がなかった。本報告では、シリコン樹脂の光学物性および、光源波長の SiO₂改質層への影響について、新たに得られた知見を述べる。

2. 実験方法

2.1 シリコン樹脂の分光透過率測定

厚さ1mm、大きき5×5cm²の合成石英基板 (東ソー, ES材) に、2種類のシリコン樹脂を塗布した。シリコン樹脂 A は UV 吸収剤を含まない組成のもので、シリコン樹脂 B は UV 吸収剤を含み、車両用途のハードコートとして市販されているものである。シリコン樹脂が所定の厚みになるよう、塗布条件を調整した。次いで、分光光度計 (日本分光, VUV-2000) により、波長150~300nm における分光透過率を測定した。このとき、石英基板の透過率を差し引き、シリコン樹脂膜のみの分光透過率を求めた。

2.2 シリコン樹脂への真空紫外光の照射

厚さ3mmの透明 PC 基板 (10×10cm²) に、プライマー層とシリコン樹脂の組み合わせを変えた試料1および2を作製した。各層の厚さはメーカーの推奨範囲とし、表1に示すように設定した。次いで、これらの試料に対し、波長157nmのF₂レーザー、または波長172nmのXeエキシマランプを照射した。照射条件を表2に示す。照射中は、試料表面付近が脱酸素雰囲気になるよう窒素ガスを導入した。試料はXYステージ上に設置し、ステージを一定速度で動かすことにより試料表面全体が所望の積算エネルギーで照射されるようにした。照射後の試料について、SiO₂改質層の厚さ測定およびテーパー摩耗試験 (ASTM D1044) を実施した。

3. 実験結果および考察

3.1 シリコン樹脂の分光透過率

図1に、真空紫外領域における分光透過率の測定結果を示す。シリコン樹脂 A は200nm以下の波長においても透過率は高く、160nm付近で透過率はゼロになった。これに対し、シリコン樹脂 B は190nmで透過率がほぼゼロになった。シリコン樹脂 B には、波長290nmの吸収が観察されたことから、フェニル基を基本構造とした UV 吸収剤が添加されていると推定される。これに対し、合成石英基板の吸収端はさらに短波長側に位置し、SiO₂改質層も同様の特性を有するものと考えられる。以上のことから、F₂レーザーの157nmにおいては、シリコン樹脂 A、Bともに透過率がゼロであ

表1 プライマー, シリコン樹脂の膜厚

試料の種類	膜種	膜厚 (μm)
試料 1	プライマーA	4
	シリコン樹脂 A	4
試料 2	プライマーB	3
	シリコン樹脂 B	7

表2 F2レーザーと, Xeエキシマランプの照射条件

項目	F ₂ レーザー	Xeエキシマランプ
波長	157 nm	172 nm
光子エネルギー	14 mJ/cm ² /pulse	70 mJ/cm ² /s
パルス周波数	10 Hz	連続
積算エネルギー	1.5~9 J/cm ²	1.5~5.6 J/cm ²

*教授 電気電子情報工学科

Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering

**客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering

***客員研究員 工学研究所

Guest Researcher, Research Institute for Engineering

るが、エキシマランプの172nmにおいては、シリコン樹脂 A について、50%以上の透過率を有する。すなわち、172nmの光は、シリコン樹脂 A を透過し下地のプライマー層に到達する。プライマー層はアクリル樹脂であり、ここに光が到達すると構造の解離が起こる。特に、シリコン樹脂とアクリル樹脂の界面を破壊すると、両者の密着性が著しく低下することとなる。以上のことから、シリコン樹脂 B は、F₂レーザー、エキシマランプ共に SiO₂形成のための改質光源として使用できるが、シリコン樹脂 A の改質は、F₂レーザーのみに限定される。シリコン樹脂 A に、酸化亜鉛 (ZnO) ナノ粒子を、2%または5%添加した場合の特性も図1中に示した。ZnOの添加濃度の増加に従い、吸収端が長波長側に移動する様子が認められた。このように、172nmを光源波長とするためには、UV吸収剤を添加するのが、密着性保持の観点で有効であると考えられる。以上のように、吸収端や光源波長を適切に選ぶことにより、図2に示すように SiO₂改質層を傾斜組成化することができる

3.2 レーザーとエキシマランプによる SiO₂改質層の物性比較

図3は、投入積算エネルギーに対する SiO₂改質層の厚みを示したグラフである。F₂レーザーと Xe エキシマランプの両プロットは、ほぼ同じ曲線上に描かれており、両者に差異はないものと考えられる。図4は、1000cycleにおけるテーバー摩耗試験の結果である。投入エネルギーの増加とともに、デルタヘイズ (ΔH) の値は小さくなっている。ΔHが小さいほど、優れた耐摩耗性を示す。自動車の運転視界に関わる窓に使用する場合は、ΔH₁₀₀₀ ≤ 2%が求められるが、レーザー、ランプともに2J/cm²以上の照射により、達成できる数値である。従って、レーザーとランプによる SiO₂改質層の物性

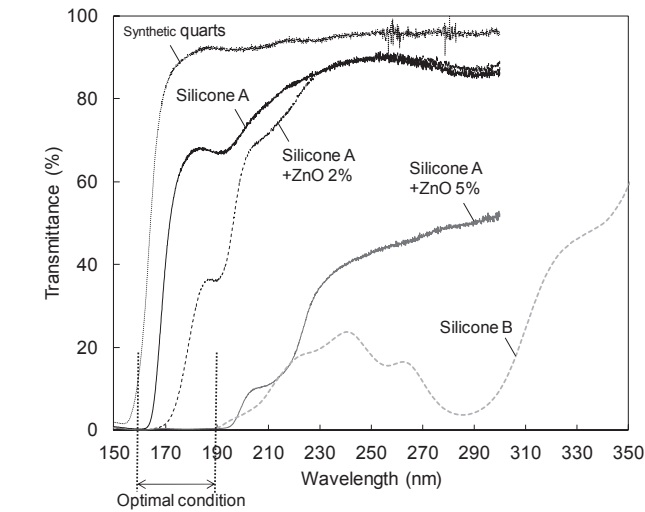


図1 真空紫外領域におけるシリコン樹脂の分光透過率

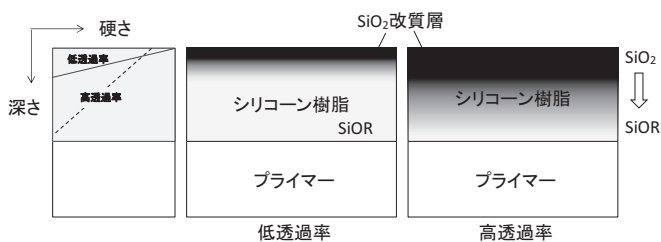


図2 2種類の傾斜組成における模式的な組成プロファイル

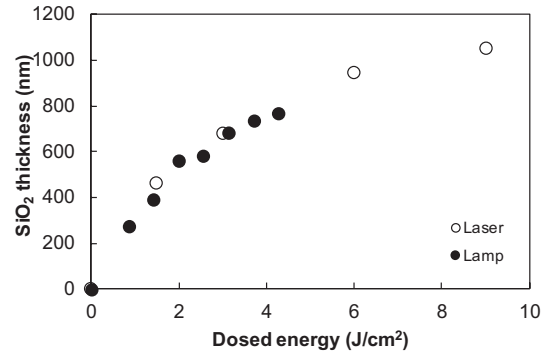


図3 投入積算エネルギーに対する SiO₂改質層の厚み

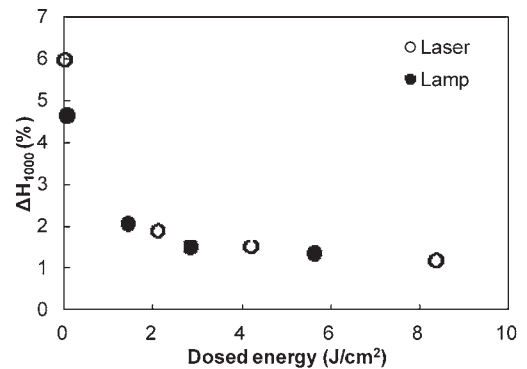


図4 1000cycleにおけるテーバー摩耗試験の結果

的な違いはほとんどないものと考えられる。

4. 結言

EV等の次世代の自動車に使用する、軽量のPC樹脂製窓の開発において、表面保護膜として使用するシリコン樹脂および、その表面の SiO₂改質層の形成方法として、F₂レーザーと Xe エキシマランプのいずれも使用できることを明らかにした。生産性や窓の形状を考慮し、照射に適した光源を選定することができる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費16K06754の助成を受けてなされたものです。

参考文献

[1] 新中新二他, 神奈川大学工学研究所所報, 38, 79 (2015).
 [2] Y. Nojima, M. Okoshi, H. Nojiri, and N. Inoue: Jpn. J. Appl. Phys. 49, 072703 (2010).
 [3] 大越昌幸, 電気学会論文誌 C 135, 1071 (2015).
 [4] K. Iwai, S. Honda, Y. Nojima, M. Okoshi, N. Inoue, and H. Nojiri, Proc. 79th Laser Materials Processing Conf., 133 (2013).
 [5] H. Nojiri and M. Okoshi, Jpn. J. Appl. Phys. 55, 122701 (2016).

超精密加工による高品位表面の創成に関する研究

中尾 陽一* 林 晃生** Sangkee Min***

Study on Generation of Advanced Surfaces by Means of Ultra-Precision Machining Processes

Yohichi NAKAO* Akio HAYASHI** Sangkee MIN***

1. 研究背景

超精密加工分野における代表的な加工が単結晶ダイヤモンド工具による切削および研削加工である。本加工は、従来より、各種光学部品の創成に使用されてきているが、近年では精密なマイクロ部品の創成に対する需要が高まってきている。具体的には、航空機、先端医療分野、また、乗用車の自動走行システムの開発が活発になるとともに、当該分野に使用される各種センサや光学部品の加工にも超精密切削加工の重要性が高まってきている。

超精密切削加工は、一般的な工作機械よりも高精度の超精密工作機械が使用される。特に、マイクロ部品の創成には、超精密工作機械用テーブルの運動精度の向上が望まれており、その要求精度は数十 nm になっている。

そこで、超精密工作機械用テーブルの運動の真直度を向上させる制御システムの開発を進めた。従来、運動の真直度の制御を行った研究は皆無であり、その方法も確立されていなかった。また、本プロジェクト研究では、単結晶ダイヤモンドバイトにより、従来から加工対象であった主要材料ではなく、適用が難しいとされている数種類の難削材料に対して、鏡面加工方法の開発を試みている。

本稿では、これらの研究のうち、これまでの研究で開発したウォータードライブステージの運動の真直度制御、すなわち、姿勢制御と送り方向に垂直な変位制御について述べる。

2. プロジェクト研究の実施状況

超精密工作機械に対する要求加工精度は、サブミクロンからナノメートルオーダーに達している。このため、工作機械にも同レベルの変位制御が必要になりつつある。本研究では、これまでに開発したウォータードライブステージと水静圧スピンドルに対して、静圧軸受に制御機構を具備させることによる高機能化を実現した。

2.1 ウォータドライブステージの姿勢および真直度制御系の開発

昨年までの研究で図1に示すウォータードライブステージに対して、ピッチング等の姿勢並びに送り方向に垂直方向の変位（以下、垂直変位と記す）の同時制御系を開発した。これまでの研究では、テー

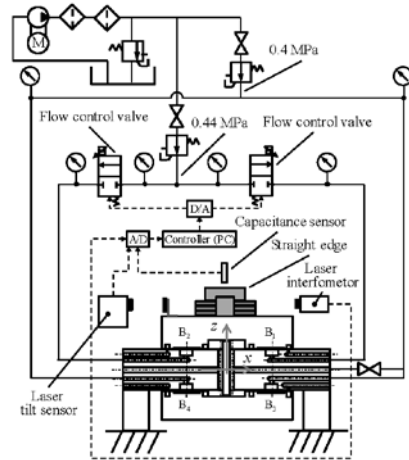
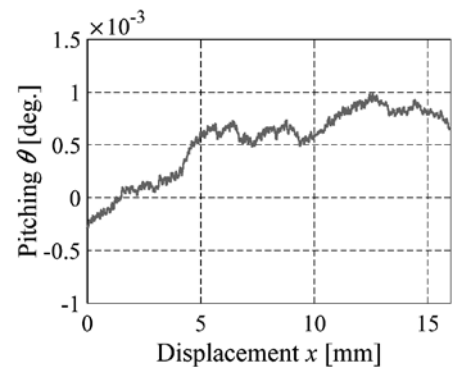
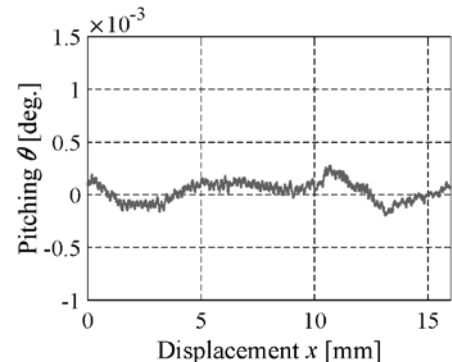


図1 ウォータドライブステージの姿勢制御システム^[1]



(a) 開発した制御系を使用しない場合



(b) 開発した制御系を使用した場合

図2 送り動作中のウォータードライブステージの姿勢制御性能

*教授 機械工学科

Professor, Dept. of Mechanical Engineering

**助教 機械工学科 (現 金沢工業大学機械工学科講師)

Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering

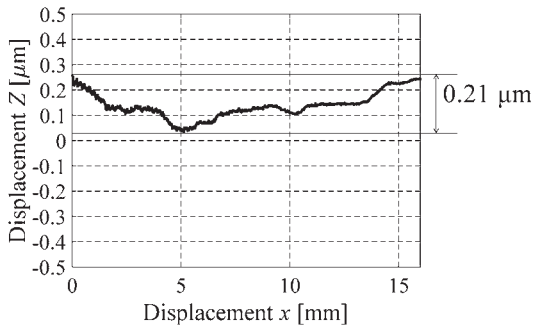
***客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering

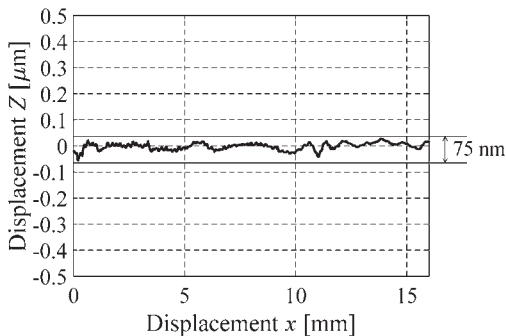
ブルに送り動作を与えない条件下における姿勢と垂直変位の制御に成功していた。今年度は、テーブルに送り動作を与えた場合の姿勢と垂直変位の制御系を開発し、その制御性能を実験により検討した。さらに、送り動作中のテーブルに対して、外部荷重をステップ状に与えた場合の制御性能についても実験によって調べた。

以下に実験結果^{[2],[3],[4]}を示す。図2は送り動作中のテーブルの姿勢変化を示す。これによれば、開発した制御系を用いない場合、 1.0×10^{-3} deg. 程度の姿勢誤差が発生している。これに対して、開発した制御系を組み込むことにより、図2(b)に示すように姿勢誤差は、 0.4×10^{-3} deg. 程度にまで減少させることに成功している。

同様にして、垂直変位についても制御性能の評価を行った。図3(a)に示す結果によれば、開発した制御系を用いない場合、 $0.21 \mu\text{m}$ 程度の垂直変位誤差が発生している。これに対して、開発した制御系を組み込むことにより、図3(b)に示すように誤差は、 75nm 程度にまで減少しており、開発した制御系をウォータドライブステージの制御系に組み込むことにより、大きな加工精度の向上が期待でき



(a) 開発した制御系を使用しない場合



(b) 開発した制御系を使用した場合

図3 送り動作中のウォータドライブステージの垂直変位制御性能

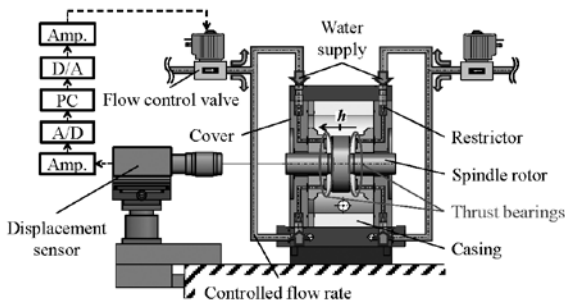


図4 静圧軸受の微小変位制御システム

ることを確認した。

2.2 水静圧スピンドルの微小変位制御系の開発

次に水静圧スピンドルの変位制御に関する研究成果を示す。昨年度までの研究では、図4に示す水静圧スピンドルに対して、外部に設けた流量制御弁による流量制御により、水静圧軸受の変位フィードバック制御系を開発した。これまでに軸受剛性の無限大化に加え、静的な性能評価によって、 10nm の位置決め分解能を実現した。今回、外部負荷荷重に対する制御性能や時間とともに変化する目標値に対する制御性能の評価を行った。

図5はステップ状に変化する 1N の外部荷重を与えたときの制御応答を示す^[5]。これによれば、加えられた外部荷重によって、一旦、 20nm 程度の軸変位が発生しているが、開発した制御系によって 0.1 秒の後には、初期の状態が維持されることが確認できる。

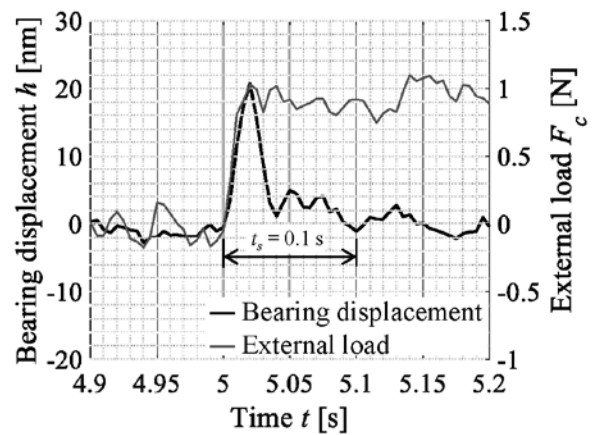


図5 ステップ状の外部負荷に対する制御応答

3. まとめ

本研究プロジェクトでは、超精密加工による高品位表面の創成を目指して、超精密工作機械用の高度機械要素技術の開発と従来材料からの代替が期待される新材料に対する超精密加工の研究を行ってきた。これまでの研究成果により論文賞を受賞するとともに、産業界との連携にも繋がりがつつある。

参考文献

[1] 中尾, 林, S. Min, 神奈川大学工学研究所報39号, 159.
 [2] S. Shibata, A. Hayashi and Y. Nakao, Trial study on pitching and vertical displacement control of water driven stage, Proceedings of ICPE2016 (Hamamatsu, 2016. 11).
 [3] S. Shibata, A. Hayashi and Y. Nakao, Measurement of vertical displacement of water driven stage for pitching control during feed motion, Proceedings of 31th ASPE Annual Meeting (Portland, 2016.10).
 [4] 柴田悟史, 林晃生, 中尾陽一, ウォータドライブステージの姿勢制御の試みー第二報送り動作時におけるピッチングと上下方向の変位制御ー, 日本機械学会北陸信越支部第54期総会・講演会論文集 (2017.3).
 [5] Y. Yamada, A. Hayashi and Y. Nakao, Design of positioning control system of opposed pad water hydrostatic thrust bearings, Proceedings of 31th ASPE Annual Meeting (Portland, 2016.10).

鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの クリアランスとモルタル強度が力学性能に及ぼす影響

小谷野 一尚* 岩田 衛** 荻本 孝久** 緑川 光正*** 中込 忠男**** 大熊 武司*****

Effect of Clearance and Mortar Strength of the Buckling-Restrained Brace Using Steel Mortar Planks on Structural Performance

Kazuhiya KOYANO* Mamoru IWATA** Takahisa ENOMOTO** Mitsumasa MIDORIKAWA***
Tadao NAKAGOMI**** Takeshi OHKUMA*****

1. 序

鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレース（以下、BRBSM: Buckling-Restrained Brace Using Steel Mortar Planks）は、既往の実験結果により、拘束指標 $R(=P_E/P_y)$ 、 P_E : 拘束材のオイラー座屈荷重^[1,2]、 P_y : 芯材の降伏荷重) を大きくすることで、エネルギー吸収性能を表す累積塑性歪エネルギー率 ω （復元力特性から算出した累積塑性歪エネルギー E_r を、芯材の降伏荷重 P_y と弾性限界変形量 δ_y を乗じた値 W_y で除した無次元化量）が大きくなることとが分かり、 ω の下限値を表す性能評価下限式を見出している^[1~3]。しかし、同じ R においても、終局状態は局部変形や引張破断が混在し、 ω は大小ばらついている。 R 以外にも力学性能に影響を及ぼす要因があることが推測され、終局状態や ω を決定づける要因は何なのか明らかにする必要がある。

終局状態が芯材の弱軸回りへの変形よりも、鋼材である芯材を最大限に利用することになる引張破断とすることで、一般的に、より大きなエネルギー吸収性能^[2]や疲労性能^[4]を有することができる。

本研究では、 R に反映されていない要因である荷重パターン、クリアランス、モルタル強度に着目し、各々をパラメータとした比較荷重実験を行い、BRBSM の力学性能に及ぼす影響を明らかにする。

2. 性能因子

2.1 既往の性能因子

既往の実験で解明された性能因子を整理する。

1) 累積塑性歪エネルギー率 ω と拘束指標 R

既往の実験結果から得られた累積塑性歪エネルギー率 ω と拘束指標 R の関係、および下限値 ω を表す性能評価下限式 ($\omega = 150 \times R$)

*助手 建築学科

Research Associate, Dept. of Architecture

**教授 建築学科

Professor, Dept. of Architecture

***客員教授 工学研究科, 名誉教授 北海道大学

Guest Professor, Research Institute for Engineering

Professor Emeritus, Hokkaido University

****名誉教授 信州大学

Professor Emeritus, Shinshu University

*****客員研究員 工学研究科

Guest Researcher, Research Institute for Engineering

≤ 6), $\omega = 900 (R > 6)$) を合わせて図1に示す。 R を大きくすることで、 ω の下限値は大きくなっている。また、同じ R においても終局状態は局部変形および引張破断が混在し、 ω は大小ばらつきがある。

2) 終局状態

終局状態は、耐力が最大耐力の80%まで低下、または引張破断するという荷重条件下で、荷重を止めた状態を言い、局部変形、引張破断の2種類がある。図1から局部変形の下限值 ω は R で変化する性能評価下限式によって決まる。また、既往の実験結果が満足するように新たに引張破断の下限値 ω について、性能評価下限式を設けると、 R とは関係なく $\omega = 900$ になる。強軸変形に関しては、面外への変形が進んだことで、荷重装置の最大出力に近づき、荷重装置に悪影響を及ぼすと判断したため荷重を止めたもので、終局状態とは言えない。

2.2 本研究の性能因子

本研究で確認する性能因子について整理する。

1) 荷重パターン

ω と R の実験結果である図1には、表1に示すように荷重パターンが2種類ある。

共通で軸歪 (%) 毎の復元力特性への影響を確認するために正負交番漸増繰返し荷重とし、パターン A は試験体や治具のならしのために歪振幅 $1/3\epsilon_s$, $2/3\epsilon_s$, 0.25% を1回ずつ荷重した後、 0.5% , 0.75% を2回ずつ、 1.0% を5回、 1.5% , 2.0% , 2.5% を2回ずつ荷重

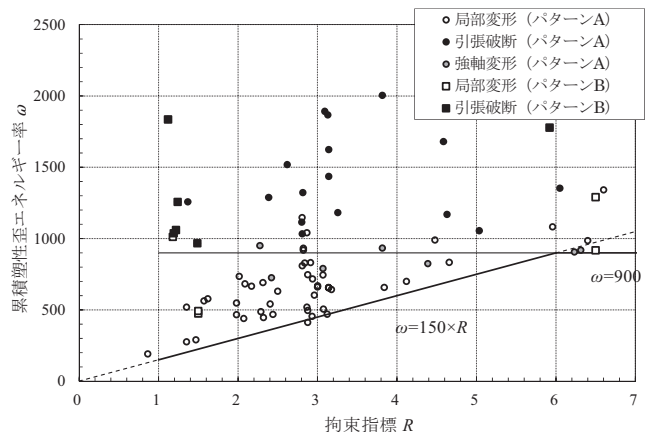


図1 累積塑性歪エネルギー率 ω と拘束指標 R の関係

する。3.0%では、耐力が最大耐力の80%まで低下、または引張破断するまで繰返し載荷している。載荷パターンBは載荷パターンAとほぼ同じだが、歪振幅1.0%は2回である。

2) クリアランス

様々な力学的特性のうち、図2(a)に示す芯材とモルタル面とのクリアランスは力学性能を左右する重要な因子である。クリアランスが小さい程 ω は大きくなる^[1,2]。しかし、あまりに小さすぎるとポアソン比の影響により芯材と拘束材が接触し、拘束材も圧縮力を負担するため圧縮引張耐力比 α (圧縮耐力 P_c を引張耐力 P_t で除した値)が大きくなる^[5]。一方、クリアランスが大きいと座屈モードの振幅が大きくなり、芯材の一部に局部座屈による変形が集中するため、早期の局部変形が生じる。

クリアランスは拘束材のモルタル表面平坦さの精度やクリアランス調整材の変化により変動するため、組立前後で計測する。組立後の高さ H_R から、組立前の拘束材のモルタル面までの高さ H_{m1} 、 H_{m2} 、芯材厚 t を減じることにより以下に設定する。

$$C = C_1 + C_2 = H_R - H_{m1} - H_{m2} - t \tag{1}$$

クリアランスの管理にあたっては、図2(b)に示す均等間隔にしたA~Jの位置について計測する。また、クリアランスは芯材厚によって変化するため、クリアランス比(=C/t)によって評価する。

3) モルタル強度

$R (=P_c/P_y)$ の分子である P_c は以下によって設定されている^[1,2]。

$$P_c = \frac{\pi^2 (E_s I_s + E_m I_m)}{L} \tag{2}$$

ここで、 E_s は拘束材の鋼のヤング係数 (2.05×10^5 (N/mm²)), I_s は拘束材の鋼の断面2次モーメント, E_m は拘束材のモルタルのヤング係数 ($E_s/20$ (N/mm²)), I_m は拘束材のモルタルの断面2次モーメント, L は芯材長さである。(2)式では、モルタル強度は直接反映されていない。また、Lin らが提案した局部変形に対する設計式^[6]の中

表1 載荷パターン

載荷回数	歪振幅									
	1/3 ϵ_y	2/3 ϵ_y	0.25%	0.5%	0.75%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%
パターンA	1	1	1	2	2	5	2	2	2	-
パターンB	1	1	1	2	2	2	2	2	2	-

で用いている圧縮荷重を受けて座屈変形した芯材を拘束するための補剛力においても、モルタル強度は考慮されていない。しかし、モルタル強度のみの違いによる比較実験^[7]では力学性能に差が生じている。

3. 載荷パターンの違いによる比較実験

載荷パターンの違いが、BRBSMの力学性能に及ぼす影響を検証する。

3.1 試験体

試験体の形状は基本タイプ^[4]とし、平面図および断面図を図3(a), (b)に示す。試験体諸元を表2に示す。試験体は2体とし、載荷パターンのみをパラメータとするため、芯材や拘束材等は全て共通とする。芯材長さは2,351mm、塑性化部長さを1,251mm、塑性化部断面は幅112mm、厚さ16mm、幅厚比7.0とする。拘束材は拘束指標 R が1.2程度となるようにする。クリアランスを確保するためのクリアランス調整材は2mm (片面1mm ずつ) とする。

拘束材に充填するモルタルの圧縮強度は両試験体共に69.1N/mm²である。図2(b)に示す、芯材と拘束材の合体後に測定した10か所の平均クリアランス比を表3に示す。平均クリアランス比はBMC25で11%、BMC22で12%である。

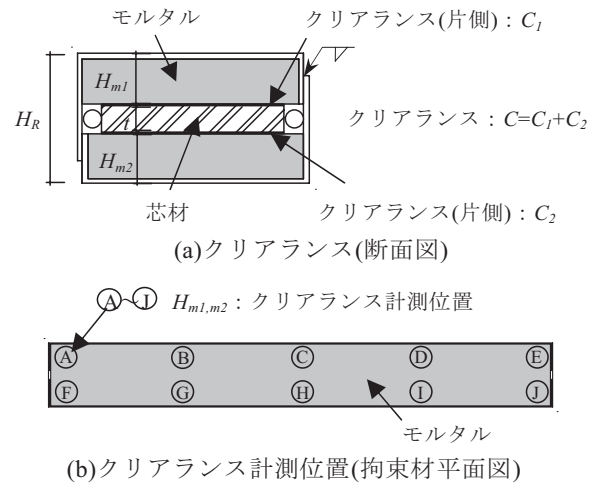


図2 クリアランス (no scale)

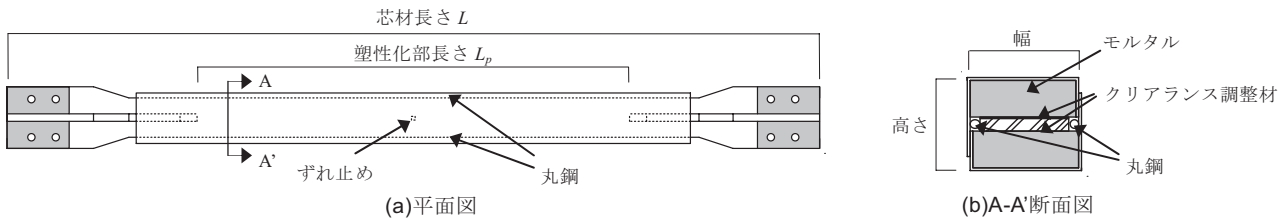


図3 試験体平面図および断面図

表2 試験体諸元

試験体	芯材(SN400B)							拘束材(SS400)						モルタル 圧縮強度 (N/mm ²)	載荷パターン	
	寸法 (mm)	断面積 (mm ²)	幅厚比	σ_y (N/mm ²)	P_y (kN)	芯材長さ (mm)	塑性化部長さ (mm)	高さ (mm)	幅 (mm)	板厚 (mm)	長さ (mm)	$I \times 10^4$ (mm ⁴)	P_E (kN)			拘束指標 $R(=P_E/P_y)$
BMC25	16×112	1,792	7.0	299	536	2,351	1,251	80.0	142.4	3.2	1,605	1,780	652	1.22	69.1	A
BMC22																B

3.2 荷重計画

1,000kN 水平アクチュエータを用い、荷重装置は柱脚部をピン支持とし、試験体の設置角は45度とする(図4)。

荷重パターンは軸方向変位制御で、BMC25が表1に示す荷重パターン A、BMC22が荷重パターン B とし、正負交番漸増繰返し荷重とする。試験体の軸変形量 δ は、芯材の第一ボルト間(図4, AB間)の試験体手前と奥側に変位計により測定し、その平均値とする。

3.3 実験結果

各試験体の復元力特性である降伏耐力比 P/P_y (P : 軸方向荷重) と芯材の軸歪 ϵ (軸変形量 δ /塑性化部長さ L_p) の関係を図5に示す。終局状況および降伏耐力比の最大値を表4に示す。

復元力特性は両試験体ともに安定している。BMC25は3.0%至9回目の圧縮で局部変形、BMC22は3.0%至11回目の引張で引張破断となり、終局状態は異なっている。降伏耐力比の最大値は、引張側で両試験体ともに1.48と同じであるが、圧縮側でBMC25が1.64、BMC22が1.67となり、BMC25が若干小さい値となっている。

3.4 性能評価

累積塑性歪エネルギー率 ω 、圧縮引張耐力比 α の最大値、座屈モード数(半波の数)を表5に示す。

1) 累積塑性歪エネルギー率 ω

ω は、BMC25が1,118、BMC22が1,510である。BMC25は軸歪1.0%を3回多く載荷しているものの、BMC22は軸歪3.0%の繰返し回数が3回多いために、BMC25より BMC22が400程度大きくなっている。

2) 圧縮引張耐力比 α

α の最大値は、BMC25が1.11であり、BMC22の1.12より若干小さい値となっている。

3) 座屈モード数

弱軸回りの座屈モード数は、BMC22が22であるが、BMC25は17と少ない。強軸回りの座屈モード数も同様にBMC22は6であるが、BMC25は4と若干少ない。

表3 クリアランス比

試験体	クリアランス比(%)										平均
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
BMC25	11.7	12.3	13.0	9.9	9.3	8.6	12.3	12.3	10.5	10.5	11
BMC22	9.3	13.6	12.7	12.3	8.6	11.1	15.4	11.7	9.3	11.1	12

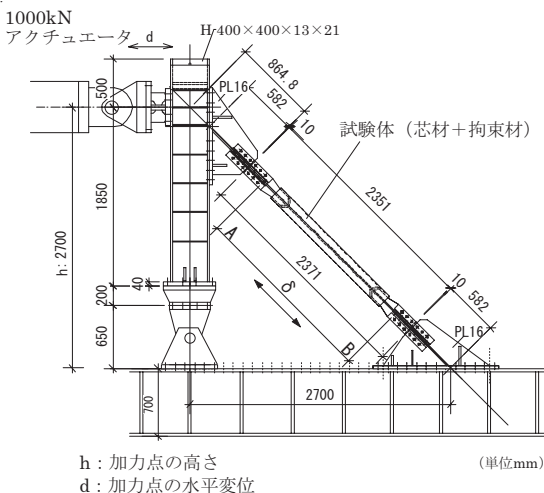


図4 荷重装置図

4. クリアランスとモルタル強度の実験

クリアランスおよびモルタル強度が BRBSM の力学性能に及ぼす影響を検証する。

4.1 試験体

試験体は荷重パターンの違いによる比較実験と同様とする(図4)。試験体諸元を表6に示す。クリアランスとモルタル強度の比較を行うため、芯材および拘束材の材質・寸法は共通とし、クリアランスとモルタル強度のみをパラメータとする。

拘束指標 R は、クリアランスとモルタル強度の影響を受けて局部変形しやすい1.2程度と小さくする。クリアランスを確保するためのクリアランス調整材は2mm(片面1mm+片面1mm)、4mm(片面2mm+片面2mm)、6mm(片面3mm+片面3mm)の3種類とする。クリアランス比を表7に示す。クリアランス2mmは平均クリアランス比が11~13%、4mmは22~28%、6mmは34~42%である。

モルタルは無収縮モルタルを使用し、低強度、中強度、高強度の3種類とする。モルタルの圧縮試験結果を合わせて表6に示す。低強度が21.3N/mm²、中強度が71.2N/mm²、高強度が108.3N/mm²である。試験体名はLが低強度、Mが中強度、Hが高強度のモルタルを用い、数字は両面のクリアランス(mm)を表している。

4.2 荷重方法

荷重装置と計測方法は図4に示す荷重パターンの違いによる比較実験と同じとする。荷重パターンは表1に示す、軸歪1.0%を2回載荷するパターン B とする。

4.3 実験結果

各試験体の降伏耐力比 P/P_y と芯材の軸歪 ϵ の関係を図6に示す。終局状況および降伏耐力比の最大を表8に示す。

1) 復元力特性

BLC2, BMC2, BHC2, BHC4は安定した復元力特性を示している。

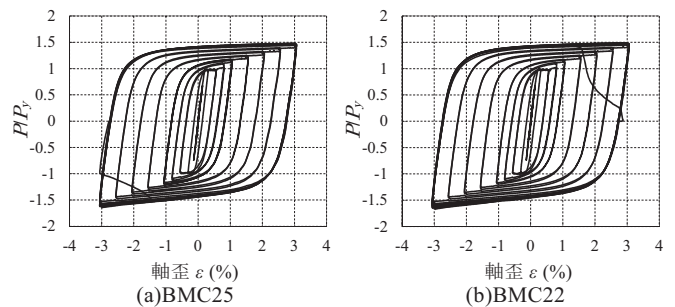


図5 P/P_y -軸歪 ϵ 関係

表4 終局状態と降伏耐力比の最大

試験体	終局時の歪振幅と載荷回数	終局状態	降伏耐力比の最大	
			引張	圧縮
BMC25	3.0%至9回目圧縮	局部変形	1.48	1.64
BMC22	3.0%至11回目引張	引張破断	1.48	1.67

表5 性能評価

試験体	累積塑性歪エネルギー E_t (kN・m)	累積塑性歪エネルギー率 ω	圧縮引張耐力比(最大) α	座屈モード数
BMC25	1,095	1,118	1.11	弱17、強4
BMC22	1,478	1,510	1.12	弱22、強6

表6 試験体諸元

試験体	芯材(SN400B)							拘束材(SS400)							モルタル 圧縮強度 (N/mm ²)	クリアランス 調整材(両面) (mm)	
	寸法 (mm)	断面積 (mm ²)	幅厚 比	σ_y (N/mm ²)	P_y (kN)	芯材 長さ (mm)	塑性化部 長さ (mm)	高さ (mm)	幅 (mm)	板厚 (mm)	長さ (mm)	$I \times 10^4$ (mm ⁴)	P_E (kN)	拘束 指標 $R(=P_E/P_y)$			
BLC2	16×112	1,792	7.0	298	534	2,351	1,251	80.0	142.4	3.2	1,605	1,780	652	1.22	21.3	2.0	
BLC4								82.0				1,880	688	1.29			4.0
BLC6								84.0				1,983	726	1.36			
BMC2				303	542			80.0				1,780	652	1.20	71.2	2.0	
BMC4								82.0				1,880	688	1.27			4.0
BMC6								84.0				1,983	726	1.34			
BHC2				298	534			80.0				1,780	652	1.22	108.3	2.0	
BHC4								82.0				1,880	688	1.29			4.0
BHC6								84.0				1,983	726	1.36			

表7 クリアランス比

試験体	クリアランス比(%)										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	平均
BLC2	13.7	16.1	18.0	18.6	14.9	10.6	13.0	7.5	12.4	9.9	13
BLC4	33.5	28.6	26.1	21.1	18.0	21.1	22.4	24.2	27.3	13.7	24
BLC6	42.2	37.3	33.5	41.0	34.2	48.4	51.6	46.6	42.9	44.1	42
BMC2	6.2	13.2	13.6	14.2	13.6	5.2	16.9	14.8	11.1	11.4	12
BMC4	22.2	28.4	24.1	26.9	34.8	25.9	29.0	29.0	27.2	30.9	28
BMC6	38.1	30.2	34.6	32.7	30.9	38.3	41.2	34.6	31.7	32.5	34
BHC2	9.3	9.9	8.1	19.3	8.7	10.6	14.3	2.5	14.9	8.1	11
BHC4	24.8	23.6	20.5	25.5	20.5	18.0	22.4	16.1	28.0	23.6	22
BHC6	32.9	41.6	40.4	46.0	41.6	45.3	39.8	28.0	40.4	27.3	38

表8 終局状況および降伏耐力比の最大

試験体	最終状況	降伏耐力比 (最大)			
		引張	圧縮		
BLC2	3.0%歪1回目圧縮	局所変形	1.40	1.48	
BLC4	2.5%歪1回目圧縮		1.32	1.33	
BLC6	2.0%歪2回目圧縮		1.30	1.28	
BMC2	3.0%歪11回目圧縮		1.47	1.66	
BMC4	3.0%歪3回目圧縮		1.43	1.56	
BMC6	3.0%歪2回目圧縮		1.42	1.52	
BHC2	3.0%歪8回目引張		引張破断	1.49	1.71
BHC4	3.0%歪6回目圧縮		局所変形	1.50	1.65
BHC6	3.0%歪4回目圧縮			1.46	1.60

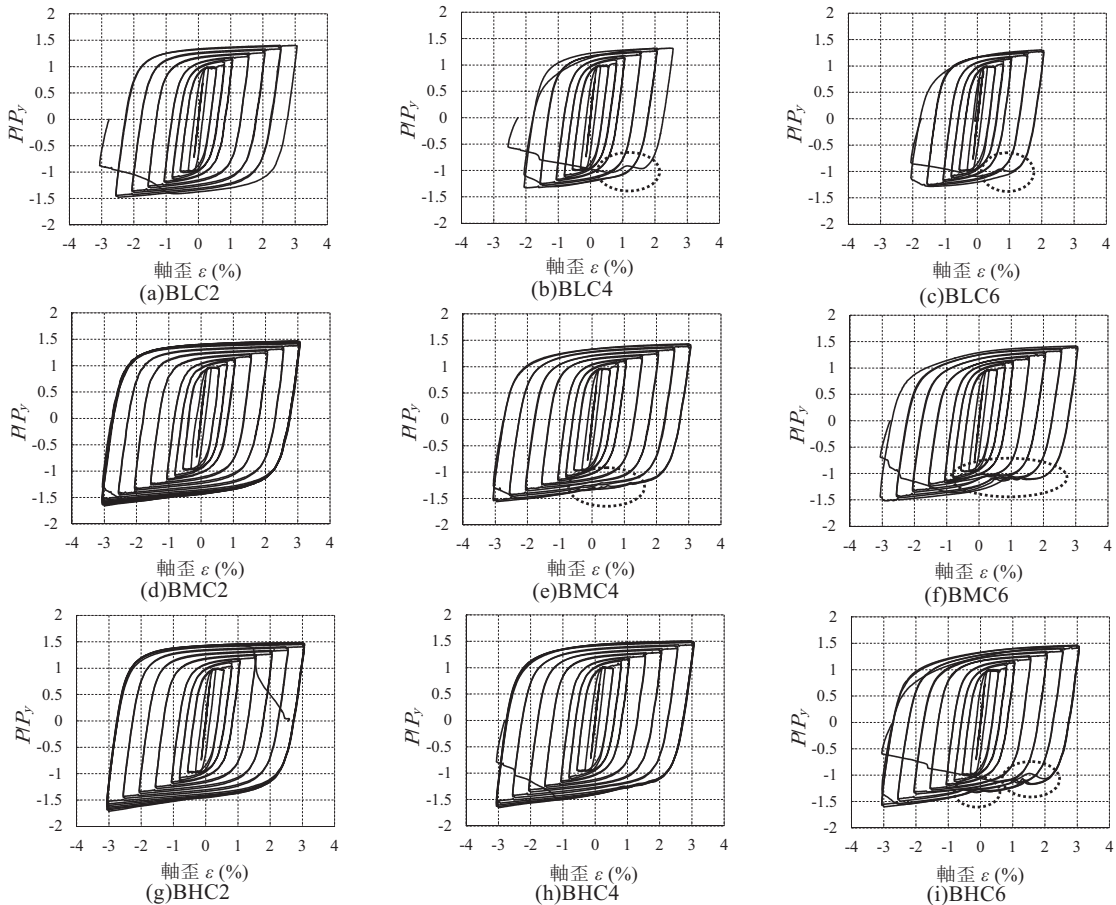


図6 P/P_y -軸歪 ϵ 関係

その他については、図中に破線の楕円で示すように不安定な箇所がある。

(a) クリアランスによる影響

クリアランス比が大きい BLC6, BMC6, BHC6 で圧縮時に荷重が下がる箇所があり、復元力特性が不安定である。BLC6 は軸歪 2.0% 圧縮載荷時の 1.0% 付近、BMC6 は軸歪 1.5% から 3.0% 圧縮載荷時の 1.5% 付近、BHC6 は軸歪 2.5% および 3.0% 圧縮載荷時の 1.5% 付近で荷重が下がっている。これらは、クリアランスが大きいため、芯材が座屈した際、すぐにモルタルによる拘束ができず荷重が下がり、座屈が進行してからモルタルに接触し、拘束し始めることで耐力が上昇するためである。

(b) モルタル強度による影響

BMC4 で軸歪 3.0% 圧縮載荷時の 0.5% および -0.5% 付近で少し荷重が下がっている箇所がある。同様に、BHC6 の軸歪 2.5% と 3.0% 圧縮載荷時の 1.0% 付近および -0.5% 付近で少し荷重が下がっている。これらは、モルタルが芯材の局部座屈による補剛力に耐えられなくなり、圧壊するためである。BLC4 は軸歪 2.5% 圧縮載荷時の 1.5% 付近でモルタルが圧壊して荷重が下がり、荷重は上がりそのまま局部変形している。

2) 終局状態および繰返し回数

平均クリアランス比が 11% と小さく、モルタル強度を 108.3N/mm² と高くとした BHC2 のみ軸歪 3.0% 8 回目で引張破断となっている。その他の試験体は全て局部変形となっている。同じ局部変形でも繰返し回数は異なる。以下に各々の因子による影響を示す。

(a) クリアランスによる影響

BLC6 は軸歪 2.0% 2 回目、BLC4 は軸歪 2.5% 1 回目、BLC2 は軸歪 3.0% 1 回目で局部変形している。BMC6 は軸歪 3.0% 2 回目、BMC4 は軸歪 3.0% 3 回目、BMC2 は軸歪 3.0% 11 回目で局部変形している。BHC6 は軸歪 3.0% 4 回目、BHC4 は軸歪 3.0% 6 回目で局部変形している。クリアランス比が小さい程、繰返し回数は多くなる。

(b) モルタル強度による影響

BLC6 は軸歪 2.0% 2 回目、BMC6 は軸歪 3.0% 2 回目、BHC6 は軸歪 3.0% 4 回目で局部変形している。BLC4 は軸歪 2.5% 1 回目、BMC4 は軸歪 3.0% 4 回目、BHC4 は軸歪 3.0% 6 回目で局部変形している。BLC2 は軸歪 3.0% 1 回目で、BMC2 は軸歪 3.0% 11 回目で局部変形している。モルタル強度が高い程、繰返し回数は多くなる。

3) 降伏耐力比

(a) クリアランスによる影響

圧縮側の降伏耐力比の最大値について、BLC6 は 1.28, BLC4 は 1.33, BLC2 は 1.48. BMC6 は 1.52, BMC4 は 1.56, BMC2 は 1.66. BHC6 は 1.60, BHC4 は 1.65, BHC2 は 1.71 となっている。クリアランス比が小さい程、圧縮側の降伏耐力比の最大値は大きくなる。

(b) モルタル強度による影響

圧縮側の降伏耐力比の最大値について、BLC6 は 1.28, BMC6 は 1.52, BHC6 は 1.60. BLC4 は 1.33, BMC4 は 1.56, BHC4 は 1.65. BLC2 は 1.48, BMC2 は 1.66, BHC2 は 1.71 となっている。モルタル強度が高い程、圧縮側の降伏耐力比の最大値は大きくなる。

4.4 性能評価

表 9 に累積塑性歪エネルギー率 ω , 圧縮引張耐力比 α の最大値, 座屈モード数 (半波の数) を示す。

1) 累積塑性歪エネルギー率 ω

図 7 に ω と各性能因子との関係を示す。図 7 (a) に拘束指標 R , 図 7 (b) にクリアランス比, 図 7 (c) にモルタル強度との関係を示す。 R を 1.2 程度で揃えたが、一番小さい値となった BLC6 で 274, 一番大きい値となった BMC2 で 1,530 となり、図 7 (a) に示すように各試験体で広範囲にばらついている。

(a) クリアランスによる影響

BLC6 は 274, BLC4 は 340, BLC2 は 530. BMC6 は 585, BMC4 は 703, BMC2 は 1,530. BHC6 は 602, BHC4 は 892, BHC2 は 1,202 となっている。モルタル強度が 21.3N/mm² の BLC ではクリアランス比が 42% から 13% となることで ω は約 1.9 倍, モルタル強度が 71.2N/mm² の BMC ではクリアランス比が 34% から 12% となることで ω は約 2.6 倍, モルタル強度が 108.3N/mm² の BHC ではクリアランス比が 38% から 11% となることで ω は約 2.0 倍となる。すなわち、クリアランス比が小さい程 ω は大きくなる。

表 9 性能評価

試験体	累積塑性歪エネルギー Et (kN・m)	累積塑性歪エネルギー率 ω	圧縮引張耐力比 (最大) α	座屈モード数
BLC2	516	530	1.08	弱14、強0
BLC4	331	340	1.06	弱7、強0
BLC6	267	274	1.04	弱9、強0
BMC2	1,532	1,530	1.13	弱16、強0
BMC4	704	703	1.10	弱16、強0
BMC6	586	585	1.09	弱11、強0
BHC2	1,170	1,202	1.16	弱33、強7
BHC4	868	892	1.10	弱20、強0
BHC6	586	602	1.10	弱29、強0

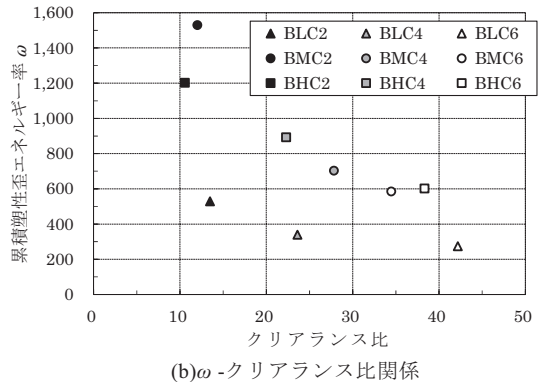
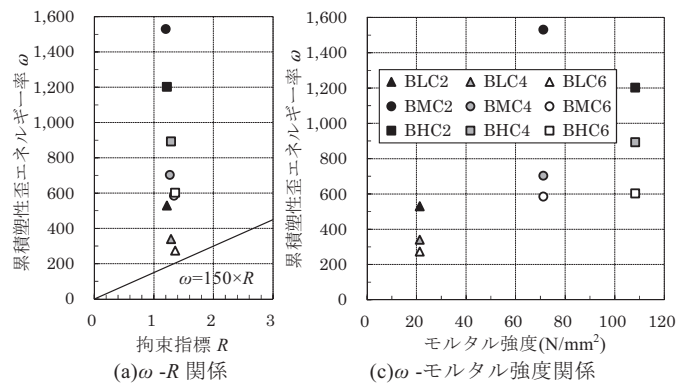


図 7 累積塑性歪エネルギー率 ω との関係

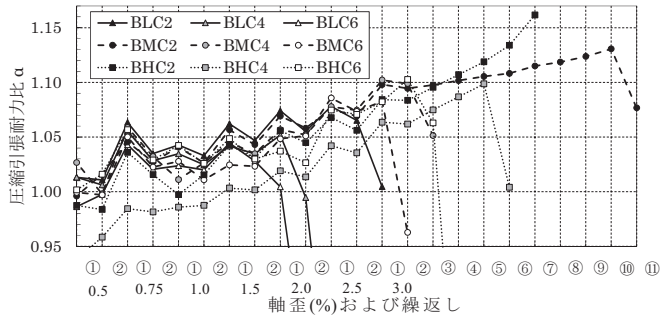


図8 軸歪毎の圧縮引張耐力比 α

(b) モルタル強度による影響

BLC6は274, BMC6は585, BHC6は602. BLC4は340, BMC4は703, BHC4は892. BLC2は530, BMC2は1,530, BHC2は1,202となっている. クリアランス比が34%~42%の範囲ではモルタル強度が21.3N/mm²から108.3N/mm²になると ω は約2.2倍, クリアランス比が22%~28%の範囲ではモルタル強度が21.3N/mm²から108.3N/mm²になると ω は約2.6倍, クリアランス比が11%~13%の範囲ではモルタル強度が21.3N/mm²から108.3N/mm²になると ω は約2.3倍となる. BMC2が突出して大きくなっているが, モルタル強度が大きい程 ω は大きくなる.

2) 圧縮引張耐力比 α

図8に軸歪毎の α の推移を示す. 軸歪が大きくなる毎に α は大きくなり, 局部変形となることで小さくなる. 唯一, 引張破断となったBHC2は破断する直前で α が上昇している.

(a) クリアランスによる影響

α の最大値は, BLC6は1.04, BLC4は1.06, BLC2は1.08. BMC6は1.09, BMC4は1.10, BMC2は1.13. BHC6は1.10, BHC4は1.10, BHC2は1.16となっている. モルタル強度が21.3N/mm²のBLCではクリアランス比が42%から13%となることで α の最大値は0.04上がり, モルタル強度が71.2N/mm²のBMCではクリアランス比が34%から12%となることで α の最大値は0.04上がり, モルタル強度が108.3N/mm²のBHCではクリアランス比が38%から11%となることで α の最大値は0.06上がる. クリアランス比が小さくなると, α の最大値が多少大きくなる.

(b) モルタル強度による影響

α の最大値は, BLC6は1.04, BMC6は1.09, BHC6は1.10. BLC4は1.06, BMC4は1.10, BHC4は1.10. BLC2は1.08, BMC2は1.13, BHC2は1.16となっている. クリアランス比が34%~42%の範囲ではモルタル強度が21.3N/mm²から108.3N/mm²になると α の最大値は0.06上がり, クリアランス比が22%~28%の範囲ではモルタル強度が21.3N/mm²から108.3N/mm²になると α の最大値は0.04上がり, クリアランス比が11%~13%の範囲ではモルタル強度が21.3N/mm²から108.3N/mm²になると α の最大値は0.08上がる. モルタル強度が大きくなると α の最大値が多少大きくなる.

3) 降伏耐力比

弱軸回りの座屈モード数は, ω が同程度の600弱であるBLC2, BMC6, BHC6を比較すると14, 11, 29と様々であり, ω との相関性はみられない. ただし, モルタル強度が低いBLC6, BLC4, BLC2が9, 7, 14で, モルタル強度が高いBHC6, BHC4, BHC2が29,

20, 33となっており, モルタル強度が高い方が座屈モード数は多くなる. また, 引張破断となったBHC2のみ, 強軸回りに座屈モード数が発生している.

5. 結

鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレース対象として, 载荷パターン, クリアランス, モルタル強度をパラメータとした载荷実験を行った結果, 今回の試験体において, 以下の知見を定量的に得た.

- 1) クリアランス比が34%~42%の範囲から11%~13%の範囲に小さくなると, 累積塑性歪エネルギー率 ω は約1.9~2.6倍大きくなる. また, 圧縮引張耐力比 α の最大値は0.04~0.06大きくなる.
- 2) モルタル強度が21.3N/mm²から108.3N/mm²と大きくなると, 累積塑性歪エネルギー率 ω は約2.2~2.6倍大きくなる. また, 圧縮引張耐力比 α の最大値は0.04~0.08大きくなる.
- 3) 载荷パターンの軸歪1.0%が2回の試験体では, 終局状態は局部変形となり, 累積塑性歪エネルギー率 ω は1,118であった. 軸歪1.0%が5回の試験体では引張破断となり, 累積塑性歪エネルギー率 ω は1,510であった.

謝辞

本研究は, 平成28年度住宅・建築関連先導技術開発助成事業費の補助を受けて実施いたしました. 研究を進めるにあたり, 元神奈川大学主任技術員の村井正敏氏のご協力をいただきました. 記して謝意を表します.

参考文献

- [1] 村瀬亮, 村井正敏, 岩田衛, 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験的研究—その4 芯材幅厚比と拘束力および断面ディテールの影響, 日本建築学会構造系論文集, 620, 117-124 (2007.10).
- [2] 飯塚亮太, 小谷野一尚, 緑川光正, 岩田衛, 累積塑性歪エネルギー率の大きな座屈拘束ブレースの研究, 日本建築学会構造系論文集, 701, 1015-1023 (2014.7).
- [3] 小川健, 村井正敏, 前田親範, 岩田衛, 鋼モルタル板あるいは鋼材を拘束材に用いた座屈拘束ブレースの比較実験, 日本建築学会技術報告集, 33, 517-521 (2010.6).
- [4] 小谷野一尚, 中込忠男, 緑川光正, 岩田衛, 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの疲労性能の研究, 日本建築学会構造系論文集, 736, 921-928 (2017.6).
- [5] 緑川光正, 田中康隆, 大竹誠寛, 麻里哲弘, 村井正敏, 岩田衛, 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験的研究—座屈モード数の評価および圧縮引張耐力比と細長比の関係—, 日本建築学会構造系論文集, 664, 1153-1160 (2011.6).
- [6] Pao-Chun Lin, Keh-Chyuan Tsai, Chieh-An Chang, Yu-Yun Hsiao, An-Chien Wu, Seismic design and testing of buckling-restrained braces with a thin profile, Earthquake Engineering and Structure Dynamics, 45, 339-358 (2015.9).
- [7] 山崎翔, 緑川光正, 岩田衛, 岡崎太一郎, 麻里哲弘, 座屈拘束ブレースの力学性能に及ぼすモルタル強度の影響, 鋼構造年次論文報告集, 23, 671-675 (2015.11).

建物の熱・換気性能の現場測定法—最適の励振と移動平均の期間—

奥山 博康* 吉浦 温雅** 深井 一夫***

Onsite measurement method for building thermal and ventilation performance — Optimum periods of excitation and moving average —

Hiroyasu OKUYAMA* Atsumasa YOSHIURA** Kazuo FUKAI***

1. はじめに

変動する外気温と日射量に曝された住宅等の実態の熱・換気性能の把握には動的測定法が必要となる。また従来の測定法では、有効熱容量と有効混合容積の推定法および信頼性と不確かさ評価方法も不十分である。そこで単室モデルで簡便に同定する理論と表計算ソフトを2014年度から開発し、熱と換気のシステム同定の励振発生装置の試作機を用いて、可能性実験を行った^[1]。2015年度には励振とするトレーサガスの炭酸ガス発生と電熱発熱の最適な周期と低周波濾波のための移動平均の期間等を実験により探った。

2. システム同定の表計算シートの概要

まず熱・換気測定の測定値に熱測定では9分間、換気測定では5分間の移動平均を施す。こうして得られる変化曲線を測定不確かさ平滑化曲線と名付け、元の測定値との偏差を測定期間で統計分析し測定不確かさ標準偏差を求める(図1)。次に、粗いモデルの同定に必要な低周波濾波を目的として、数十分から数時間と比較的に長い移動平均期間 T_m の移動平均を測定値に施す。幾つかの時間の移動平均を施した後に、最小二乗法によりシステムパラメータ推定を行い、其々のパラメータの不確かさ標準偏差と決定係数 COD および同定前提の不適合率 β を求める。図2に低周波濾波のための移動平均を施したガス発生量の移動平均期間別の形状を示す。移動平均期間によりガス発生量の形状は異なるが、各移動平均期間とも積算値は $0.032 \text{ [m}^3\text{]}$ となっている。システム同定の理論と表計算ソフトの詳細は文献^[1]を参照されたい。

3. 実験の概要

測定対象のプレファブ建物とシステム同定モデル、及び温度とガス濃度等の超小型データロガーと励振発生装置の配置を図3に示す。測定対象の設計上の総合熱損失係数は 53.1 [W/K] 、幾何的室容積は $17.8 \text{ [m}^3\text{]}$ である。

3.1 熱性能測定法の実験

同定期間は2015年12月4日4時～12月8日4時まで、測定時間間隔

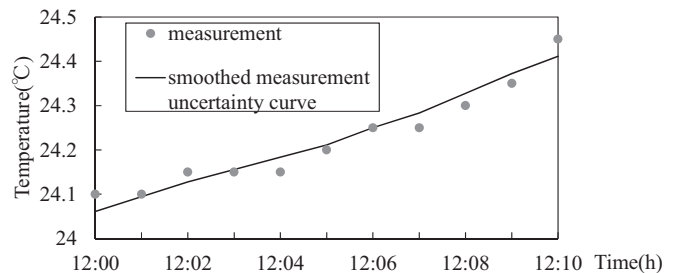


図1 測定不確かさ平滑化曲線と測定値

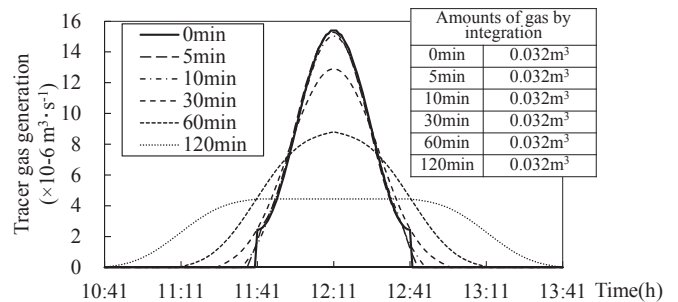


図2 ガス発生量の移動平均期間別の形状

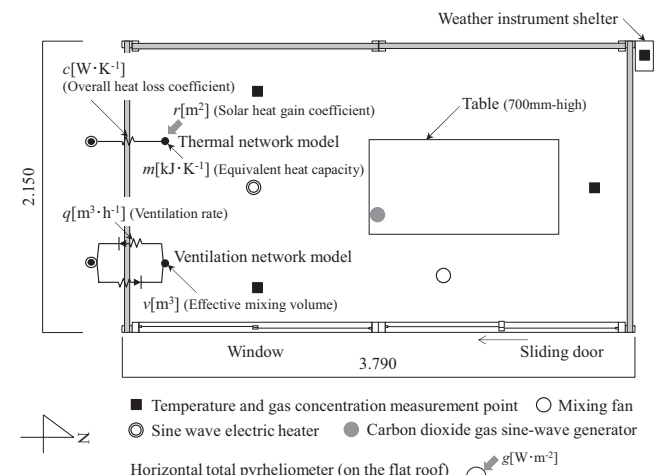


図3 実験建物平面図と同定モデル

*教授 建築学科

Professor, Dept. of Architecture

**助教 建築学科

Assistant Professor, Dept. of Architecture

***客員研究員 (非常勤講師 横浜国立大学)

Guest researcher, Part-time lecturer, Yokohama National University

も同定期間も $\Delta t = 1 \text{ [min]}$ とした。電熱器の加熱は2014年度と同じ試作装置により、周期72 [h]、最大1008 [W] の正弦波を1周期発生させ、室内温湿度、外気温湿度、水平面全日射量、室内電力消費量を測定した。電力消費量は他の電気機器も含めパルス出力電力センサで計測し、記録は他の測定量についても主に超小型データロ

ガーを用いた。図5には6日分の水平面日射量と外気温の変化を示す。また、図6には電熱器を含め室内にある全ての電気機器の消費電力を示す。

3.2 換気性能測定法の実験

本測定法ではトレーサガスの炭酸ガスをアルコール燃焼で発生させる。アルコール流量の正弦波の制御は、シリンジポンプをPC制御により行う試作装置を用いた。流量 [ml/min] に応じた炭酸ガス発生量 [l/min] は燃焼の化学反応式より0.60 [l/ml] とした。同定期間は炭酸ガスを発生させた後の減衰期間を含めて、2015年11月9日10時41分～11月10日15時40分、測定時間間隔も同定期間も $\Delta t=1$ [min] とした。この間の内外温度差は平均1 [°C] 程度である。アルコール流量の正弦波は、周期60 [min]、最大流量1.5 [ml/min] の1周期を試した。室内と外気の炭酸ガス濃度は超小型データロガーで測定した。

4. 実験の結果

熱性能測定の結果を表1に示す。2014年度と同じく低周波濾波である移動平均の期間を長くするに伴い決定係数は小さくなるが、日射熱取得係数以外は、大きな変化はない。不適合率 β は、移動平均期間が8時間で最小となるので、今回での最適期間と考えられる。換気測定の結果を表2に示す。移動平均期間を長くする程に決定係数は小さくなる。不適合率 β は60分で最小となっているので、本件

での最適期間と考えられる。これら今回での最適期間の同定結果は、設計上の総合熱損失係数と幾何的室容積に近い値である。また、同定されたパラメータで予測計算モデルを作りシミュレーションを行った。予測室温と測定室温、予測ガス濃度と測定ガス濃度の比較を図4と図7に示す。これらの予測値は実験値を良好に追随している。

5. まとめ

2014年度の励振は2周期与えたが、2015年度は1周期なので、比較的に変化は少ないにも関わらず、単室モデルでは良い結果が得られた。低周波濾波の移動平均期間は、伝熱系では8時間、換気系ではガス発生の一周期60分となった。

参考文献

[1] 奥山博康, 吉浦温雅, 菅野康介, 住宅の熱・換気性能現場測定法の理論と可能性実験, 空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集, A-62, 49-52, (2015)

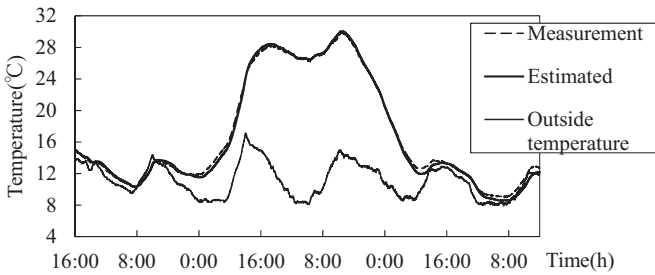


図4 内外気温変化の実験値と予測値の比較

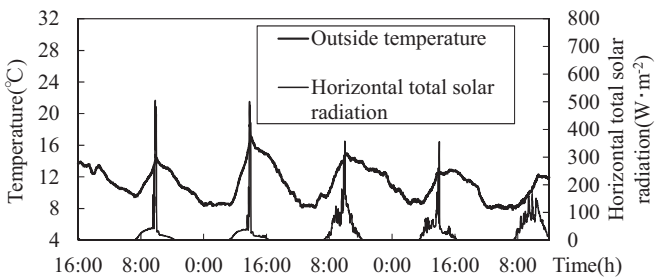


図5 水平面前日射量と外気温度

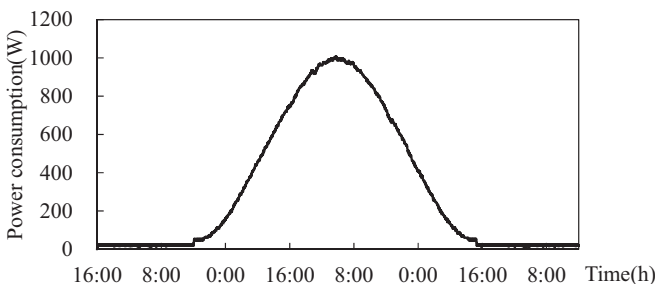


図6 電熱ヒーターの加熱

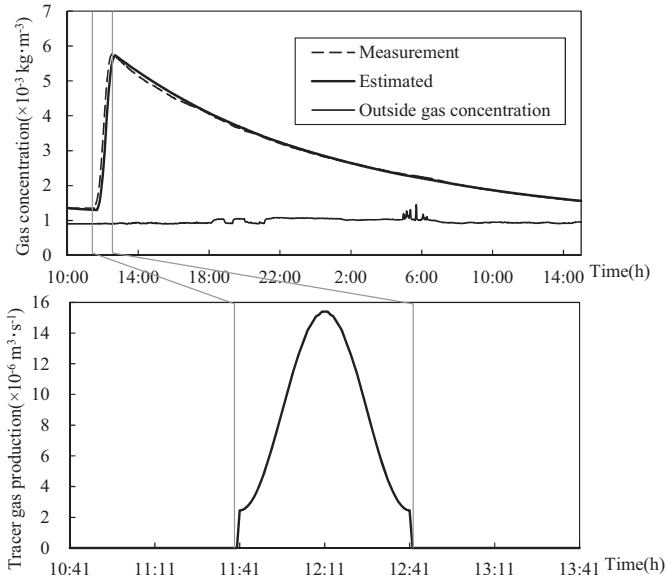


図7 ガス濃度変化の予測値と実験値およびガス発生量

表1 熱性能測定法の実験の同定結果

T_{mt} [min]	m [kJ·K ⁻¹]	c [W·K ⁻¹]	r [m ²]	COD	σ_m [kJ·K ⁻¹]	σ_c [W·K ⁻¹]	σ_r [m ²]	β
0	33.9	53.8	-0.39	0.976	0.42	0.080	0.015	3.3124
5	226.7	54.5	-0.10	0.893	2.75	0.167	0.030	1.0525
10	274.8	54.7	-0.03	0.847	3.33	0.200	0.036	1.0394
30	307.0	54.8	0.02	0.810	3.72	0.223	0.041	1.0360
60	316.7	54.8	0.05	0.798	3.84	0.230	0.042	1.0354
120	322.2	54.8	0.06	0.791	3.91	0.234	0.043	1.0352
480	332.6	54.9	0.11	0.777	4.03	0.241	0.044	1.0349
960	336.3	55.2	0.27	0.772	4.08	0.244	0.045	1.0367
1440	322.8	56.1	0.79	0.779	3.91	0.240	0.044	1.0622

表2 換気性能測定法の実験の同定結果

T_{mv} [min]	v [m ³]	q [m ³ ·h ⁻¹]	COD	σ_v [m ³]	σ_q [m ³ ·h ⁻¹]	β
0	12.8	1.06	0.942	0.077	0.033	1.1186
5	13.4	1.06	0.940	0.078	0.034	1.0872
10	13.5	1.06	0.939	0.078	0.034	1.0866
30	13.5	1.07	0.939	0.079	0.034	1.0860
60	13.6	1.08	0.938	0.079	0.034	1.0860
120	13.7	1.09	0.937	0.080	0.034	1.0869

難焼結性セラミックス SnO_2 の高密度化と応用に向けたキャラクターゼーション

齋藤 美和* 伊藤 滋啓**

Densification and characterization of sintering-resistant ceramics SnO_2

Miwa SAITO* Shigeharu ITO**

1. 緒言・目的

透明電極材料とは、380 nm～780 nm の可視光領域において80%以上の透過率、かつ、室温付近で $1.0 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下の抵抗率という2つの性能を合わせ持つ、8 μm （電極用では約40 μm ～60 μm ）程度の厚さの薄膜である。この透明電極材料はこれらの性質を利用して、太陽電池、携帯電話の表示素子用電極、帯電防止膜や電磁シールドとして幅広い分野で実用化されている。透明電極材料は酸化インジウム (In_2O_3) に酸化スズ (SnO_2) を数 mol % 固溶した Indium Tin Oxide (ITO) が主に用いられている。また、出光興産株式会社では長時間使用により発生するノジュール（黒点）やパーティクルといった異常放電発生の原因が非常に少ない、 In_2O_3 に酸化亜鉛 (ZnO) を少量固溶した Indium Zinc Oxide (IZO) の開発に成功している¹⁾など。しかし、これらの材料は主成分が In であり、In は希少元素で、10年後には枯渇の危機が訪れるという懸念もあり、In を含まない透明導電体 (ITO 代替材料) の開発は急務とされ、社会的な緊急性、経済に与えるインパクトともに非常に注目度の高い研究テーマとなっている。多くの研究者は代替材料として、 ZnO を基本材料として提案しており、 InGaZnO_4 を基本組成とした IGZO²⁾などが実用化された。しかしながら依然として In への依存度は大きい。

そこで、本研究では In フリー材料の開発を目指し、高い透明性および高い電気伝導性を有する酸化スズ (SnO_2) に着目した。これまでの研究において、ゾル・ゲル法により合成した均一で緻密な SnO_2 薄膜が報告されている³⁾。しかし、 SnO_2 は難焼結性であるため作製した薄膜の電気伝導度も低く、実用化にはまだ多くの課題がある。そこで、本研究では、 SnO_2 の難焼結性という欠点を改善するべく、 SnO_2 のバルク体における難焼結性の克服またそれに伴う電気的特性の向上を目的とし、ITO 代替材料の開発を目指すべく、 SnO_2 の薄膜化への応用を見据えて研究を行った。

2. 実験結果

2-1 異原子価カチオン固溶による高密度化

SnO_2 に数種類の金属を添加することにより、焼結性の向上⁴⁾が一部報告されているが、その理由は明確でない。そこで本研究では1

種の金属固溶と密度の関係を明確にすることを旨とした。また、ドーパントの選択はイオン半径に着目し、母体となる SnO_2 の4価の Sn (0.69 Å)⁵⁾ にイオン半径に近い異原子価イオンを置換することによって、より多くのドーパントを固溶させ、焼結性の向上が期待できる。ドーパントには5価の陽イオンである Nb (0.64 Å) と Ta (0.64 Å)⁵⁾ の2種類を選択した。

Fig. 1に Nb 固溶範囲 $0.00 \leq x \leq 0.05$ における $\text{Sn}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_2$ の XRD パターンを示す。

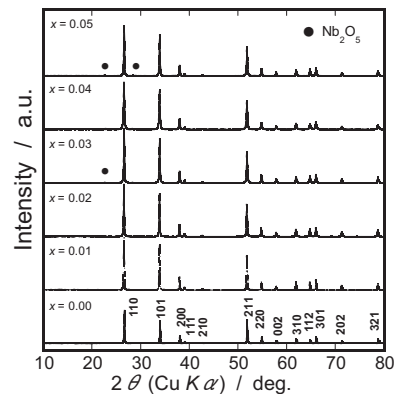


Fig. 1. $\text{Sn}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_2$ ($0.00 \leq x \leq 0.05$) の XRD パターン。

焼成温度1500℃、10時間で焼結させた結果、 $x=0.00, 0.01, 0.02$ では正方晶系ルチル型構造の単一相、 $x=0.03, 0.04, 0.05$ では Nb_2O_5 の原料ピークがみられ混合相が得られた。XRD パターンから算出した格子定数には大きな変化はみられなかった。焼結体および XRD 測定より算出した密度を用いて相対密度を算出した。Table 1 に $\text{Sn}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_2$ の相対密度を示す。

Table 1. $\text{Sn}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_2$ の相対密度。

Nb 固溶量	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
相対密度 (%)	46.2	40.4	77.0	94.1	90.5	93.3

相対密度は Nb の増加に伴い向上し、 $\text{Nb} \leq 0.03$ では90%以上と高い相対密度を示した。密度向上の原因を明らかにするべく SEM 観察を行った。

Fig. 2に $\text{Sn}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_2$ ($x=0.00, 0.01, 0.03, 0.05$) のバルク表面の SEM 画像を示す。Nb 固溶量が増加するに従い粒子は緻密になっており、固溶量 $x=0.03 \sim 0.05$ では針状の粒子がみられた。 $\text{Sn}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_2$ の相対密度向上には、この Nb_2O_5 であると考えられる針状粒子がバルク体の緻密化および相対密度向上に貢献していると考えられる。

*助教 物質生命化学科

Assistant Professor, Department of Material and Life Chemistry

**助教 鶴岡工業高等専門学校

Assistant Professor, NIT, Tsuruoka College

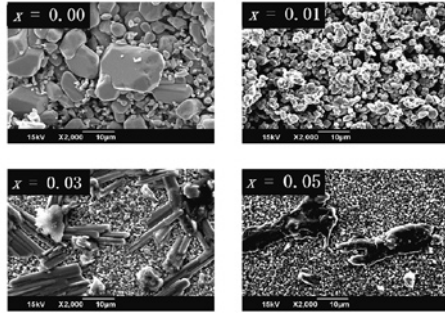


Fig. 2. $\text{Sn}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_2$ バルク表面のSEM画像.

透明電極材料に必須である導電性を評価するため、直流四端子法による電気伝導度測定を行った。Fig. 3に $\text{Sn}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_2$ ($x=0.00, 0.01, 0.03$) の電気伝導度のアレニウスプロットを示す。

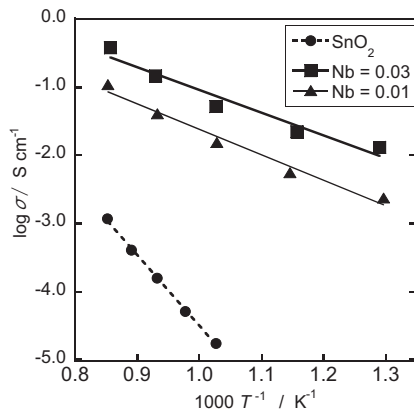


Fig. 3. $\text{Sn}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_2$ の電気伝導度のアレニウスプロット.

SnO_2 ($x=0.00$) と $\text{Nb}=0.01, 0.03$ を比較すると、 Nb 固溶試料は固溶量増加に伴い電気伝導度が向上する傾向が得られた。これは相対密向上に伴う電気伝導度の向上と、置換固溶によるキャリアの導入の効果であり、式 (1) に示すキャリア濃度 (n) がドーパントの増加に伴い増加したこと起因していると考えられる。

$$\sigma = ne\mu \quad (1)$$

σ : 電気伝導度, n : キャリア濃度,

e : 電子の素電荷, μ : 移動度

2-2 液相合成による微細粉末合成に高密度化 (SnO_2 バルク)

より緻密な SnO_2 バルク体を得るために液相法である炭酸アンモニウム共沈法⁶⁾を用いて SnO_2 粉末を合成した。炭酸アンモニウム共沈法によって調製した粉末についてXRD測定および相同定の結果、正方晶系ルチル型構造の単一相が得られた。また、得られた粉末のSEM観察の結果、固相法による SnO_2 の粉末が不均一で粒径が約 $2\mu\text{m} \sim 3\mu\text{m}$ であるのに対し、液相法によって得られた粉末は均一かつ約 $1\mu\text{m}$ 以下の粉末であった。液相法によって得られた粉末を 1500°C 、10時間で焼結し、そのバルク体の相対密度を算出した。Table 2に SnO_2 の固相法と液相法によるバルク体の相対密度を示す。

固相法で合成した SnO_2 は相対密度が46.2%であるのに対し、液

Table 2. 固相と液相合成による SnO_2 の相対密度.

合成法	固相法	液相法
相対密度 (%)	46.2	59.8

相法で合成した SnO_2 は59.8%と約10%の密度の向上が得られた。これはより均一で微細な SnO_2 粉末が合成できたためであると考えられる。次に、固相法と液相法で合成した試料の電気伝導度を直流四端子法により測定した結果をFig. 4に示す。固相法の SnO_2 と比較し、液相法の SnO_2 は電気伝導度が約1桁向上した結果が得られた。

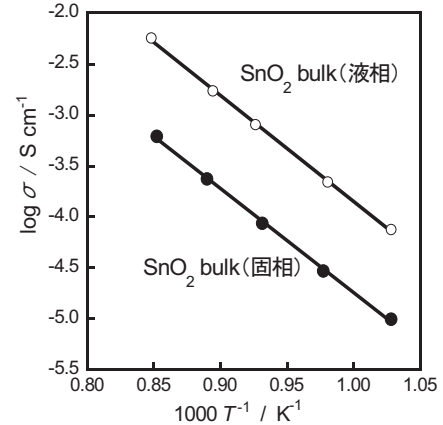


Fig. 4. 固相と液相合成 SnO_2 の電気伝導度のアレニウスプロット.

3. 結言

本研究において難焼結性 SnO_2 の高密度化のために「異原子価カチオンの固溶」と「アンモニア共沈法(液相法)による合成」を行った。前者について、高密度化と電気伝導度の向上が達成できた理由として、 Nb 由来の針状結晶が表面に偏析することにより SnO_2 の蒸発を抑制し高密度化に成功し、かつキャリア増加により電気伝導度が飛躍的に向上したと考えられる。また、後者により均一で微細な粉末の合成が達成され、固相法と比較してより緻密で相対密度の高い SnO_2 が得られた結果、電気伝導度の向上が観測された。今後の展望として他のドーパント(針状結晶の析出)や液相法で合成した SnO_2 粉末に Nb^{5+} などのドーパントを置換することで、より高密度で透明電極材料として有用な SnO_2 を主原料とした試料の合成が可能である。

4. 参考文献

- 1) Idemitsu Kosan Co., Ltd., Transparent conductive film, PCT/JP2010/004174.
- 2) W. Assenmacher *et al.*, Synthesis and crystal structure characterization of InGaZnO_4 with a new defect structure, *Journal of Solid State Chemistry* 215, 176-184 (2014).
- 3) K. Nomura *et al.*, Thin-Film Transistor Fabricated in Single-Crystalline Transparent Oxide Semiconductor, *Science* 300, 1269 (2003).
- 4) W. Xin-Wang *et al.*, Effects of Cr_2O_3 on the properties of (Co, Nb)-doped SnO_2 varistors, *Materials Science and Engineering B* 99, 470-474 (2003).
- 5) R.D. Shannon *et al.*, Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides, *Acta Crystallogr.* A32, 751-767 (1976).
- 6) X. Zheng *et al.*, Enhanced electrochemical performance of $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$ cathode materials obtained by atomization co-precipitation method, *Ceramics International* 42, 644-649 (2010).

潮流発電ユニット開発の最先端技術：相反回転化

中西 裕二* 船見 祐揮** 金元 敏明***

Cutting Edge of Tidal Stream Power Generation: Counter-Rotating Type Machine

Yuji NAKANISHI* Yuki FUNAMI** Toshiaki KANEMOTO***

1. 緒言

化石燃料に依存した現代社会が抱えるエネルギー問題を克服し、持続可能な循環型社会を構築することが急務となっている。そのような状況に対応するためには再生可能な自然エネルギー資源を有効利用することが必須となる。自然エネルギーには水力や風力など種々の形態のものが存在するが、それらの中でも海洋が有している潜在エネルギーは水力や風力に比べて理論的に2, 3桁以上大きい。海洋が有する運動エネルギーの代表格である潮流を有効利用することを目的として、本プロジェクト研究では新たな発電技術を取り上げる。

潮流の運動エネルギーを取り出す技術としてプロペラ型やダリウス型といった従来型タービンの採用が試みられているが、本プロジェクト研究ではそれらとは異なる「相反転方式」の発電ユニット⁽¹⁾を提案する。「相反転方式」の発電ユニット(図1)は、前後二段のプロペラと内外二重の回転電機子を持つ発電機で構成される。二段のプロペラがそれぞれ二重の回転電機子に連結され、それらを逆方向に駆動する。このことが以下のような従来型の発電ユニットに対する優位性を生み出す。

- ・磁界を切る際の回転電機子の相対速度が速くなる。これが、発電機径の縮小、起電圧の増加、極数の減少を可能にする。また、回転速度の減少にもつながり、キャビテーション抑制効果を得ることもできる。
- ・前後プロペラ間において、および、内外回転電機子間において回転トルクが相殺する。その結果、頑強な据え付けベッドやパイルが不要となる。
- ・前後プロペラ間で回転トルクがつり合い、角運動量変化も相殺するため、前後プロペラを通過した流れは旋回方向速度成分を持たず、自然の海流や潮流を乱すことがない。
- ・回転トルクが一致するのであれば、前後のプロペラ回転速度は任意に選定することができ、様々な海洋環境への対応も容易なものとなる。

本プロジェクト研究では相反転方式潮流発電ユニットを構成する要素のうち、前後のプロペラに焦点を絞って開発および研究を進

める。

潮流発電ユニットは周期的に流れの方向が変化する環境下で運用する必要があり、それに応じた対策が必要となる。いくつかの方法が提案されており、例えば、発電ユニットの向きを変える機構、ブレードピッチ角を制御する機構、双方向翼型が挙げられる⁽²⁾。双方向翼型は幾何学的に、完全に対称な形状となっており、複雑な機構を要せず、したがってコストも低く抑えることができる。本報告の研究においては双方向翼型方式を採用し、具体的な形状としてはHuangらが設計した翼型⁽³⁾を用いることとする。

本報告における研究では、双方向翼型を有する相反転方式潮流発電ユニットの風洞試験および数値解析を実施し、プロペラの性能評価を行う。また、比較のために、単一のプロペラを持つ潮流発電ユニットの試験および解析も併せて実施する。

2. 潮流発電ユニットの風洞試験

相反転方式および単一プロペラ方式の潮流発電ユニットの性能特性を得るために、潮流発電ユニットの風洞試験を実施した⁽⁴⁾。試験に使用したプロペラのブレード枚数は各段とも3枚とした。風洞の風速はおよそ10m/sに設定された。相反転方式においてはレイノルズ数が 3.3×10^5 から 1.7×10^6 の範囲で、単一プロペラ方式においてはレイノルズ数が 2.5×10^5 から 1.6×10^6 の範囲で試験が行われた。これらの試験の結果は、数値解析の結果と合わせて、図2に示す。

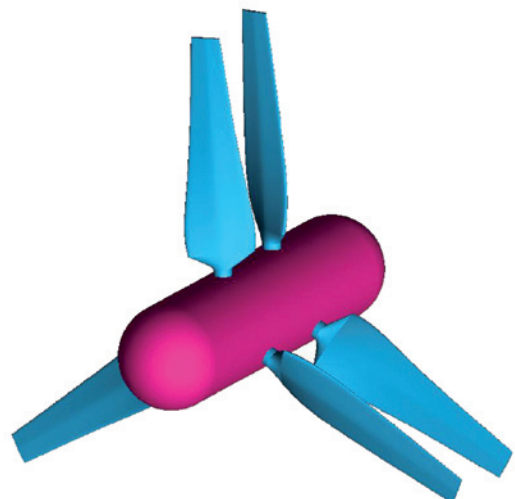


図1 相反転方式潮流発電ユニット

*教授 機械工学科

Professor, Dept. of Mechanical Engineering

**助教 機械工学科

Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering

***客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering

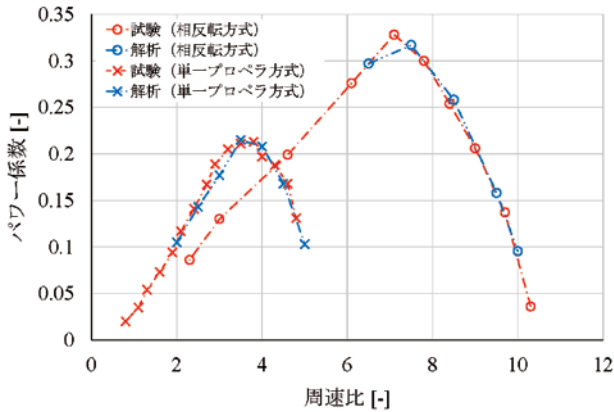


図2 風洞試験および数値解析から得られたパワー係数

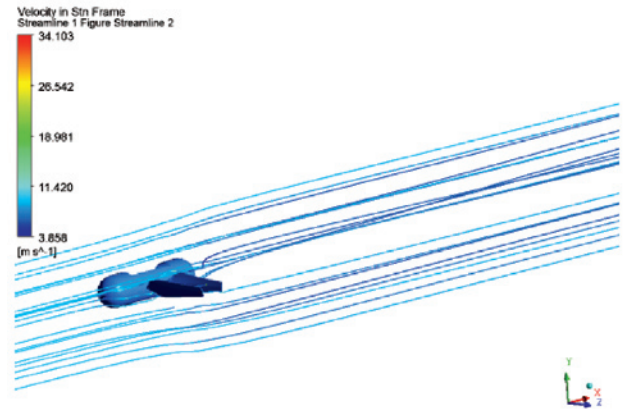


図3 相反転方式潮流発電ユニット周りの流線の一例

3. 潮流発電ユニット周りの流れの数値解析

相反転方式および単一プロペラ方式の潮流発電ユニット周りの流れ場に関して数値解析を実施し、性能指標の評価を行った^{(5),(6)}。

計算領域は、その内部に発電ユニットを含む直方体形状とした。プロペラ直径を D とおくと、その領域の大きさが $2D \times 3D \times 10D$ となるように設定した。計算領域はプロペラ周囲のブロックおよびその他のブロックに分割して作成した。プロペラ周囲のブロックは、相反転方式では前段と後段の二つ、単一プロペラ方式では一つとなる。また、計算負荷低減のために、プロペラ周囲のブロックは一枚のブレードを含む 120° 角の部分のみとし、周期境界を設定することで一段全体のプロペラを模擬した。計算格子は四面体形状の非構造格子とし、ブレード表面近傍のみプリズム形状格子を設けた。ブレード表面において無次元距離 y^+ の最大値が5以下になるように格子を作成した。

数値解析は、商用 CFD (Computational Fluid Dynamics, 数値流体力学) ソルバである ANSYS CFX 16.2 を用いて実施した。SST (Shear Stress Transport) $k-\omega$ 乱流モデルを導入した非圧縮性ナビエ・ストークス方程式と連続の式を流れ場の支配方程式として採用した。風洞試験と比較するため、作動流体は空気とし、流入速度 U はおよそ 10 m/s と設定した。相反転方式においてはレイノルズ数が 1.1×10^6 から 1.6×10^6 の範囲で、単一プロペラ方式においてはレイノルズ数が 6.3×10^5 から 1.6×10^6 の範囲で解析を行った。また、相反転方式での解析においては、前後のプロペラの回転トルクが一致する条件にて解析を行った。

数値解析の結果から得られたパワー係数 ($\equiv P/(0.5\rho U^3A)$) を、風洞試験の結果と合わせて、図2に示す。相反転方式における周速比 ($\equiv R\omega/U$) とパワー係数はいずれも、前段プロペラでの値と後段プロペラでの値を足し合わせた合計値でプロットしている。図2を見ると、相反転方式では周速比7付近でパワー係数は最大値(約0.33)となり、単一プロペラ方式では周速比3.5付近でパワー係数は最大値(約0.21)となる。また、相反転方式と単一プロペラ方式のいずれの場合においても、風洞試験と数値解析でパワー係数の良好な一致が見られる。

数値解析の結果から得られた相反手方式における流線の一例を図3に示す。図3を見ると、前後のプロペラを通過した流れは旋回方向速度成分をほとんど持たないことが確認できる。このことは発電ユニットを縦に複数並べて設置する場合に有利となる特徴である。

4. 結言

双方向翼型を有する相反転方式潮流発電ユニットを提案し、風洞試験および数値解析を行うことによってその性能特性を取得した。また、風洞試験と数値解析の結果は良好な一致が見られた。

今後の課題としては、単方向翼型および双方向翼型の好適化の継続検討、潮流発電ユニットをケーブルにて係留した場合における姿勢制御方式の検討、潮流発電ユニットから発生する音響の検討などが挙げられる。本プロジェクト研究では、継続してこれらの課題に取り組む予定である。

本研究の遂行にあたり、Zhejiang University の Bin Huang 博士および九州工業大学の Nak-Joong Lee 博士にご協力いただいた。ここに記してお礼申し上げる。

参考文献

- (1) T. Kanemoto, D. Tanaka, T. Kashiwabara, M. Uno and M. Nemoto, Counter-rotating type machine suitable for tidal current power generation, Proc. Tenth International Offshore and Polar Engineering Conference, 472-477 (Seattle, 2000.5-6).
- (2) P. Liu, N. Bose, R. Frost, G. Macfarlane, T. Lilienthal, I. Penesis, F. Windsor and G. Thomas, Model testing of a series of bi-directional tidal turbine rotors, Energy, 67, 397-410 (2014).
- (3) B. Huang, G. J. Zhu and T. Kanemoto, Design and performance enhancement of a bi-directional counter-rotating type horizontal axis tidal turbine, Ocean Engineering, 128, 116-123 (2016).
- (4) T. Kanemoto, N.-J. Lee, M.-W. Heo, B. Huang, Y. Nakanishi and Y. Funami, Counter-rotating turbine in unique power unit provided for bidirectional tidal streams, Proc. Twelfth ISOPE Pacific-Asia Offshore Mechanics Symposium, ISOPE-P-16-097 (Gold Coast, 2016.10).
- (5) Y. Funami, Y. Nakanishi, N.-J. Lee, B. Huang and T. Kanemoto, Counter-rotating type horizontal-axis bidirectional propellers for tidal stream power unit, Journal of Power and Energy Engineering, 5(7), 34-44 (2017).
- (6) Y. Funami, Y. Nakanishi, N.-J. Lee and T. Kanemoto, Bidirectional type horizontal-axis propeller installed in tidal stream power unit, Proc. Thirteenth International Symposium on Experimental and Computational Aerothermodynamics of Internal Flows, ISAI13-S-0034 (Okinawa, 2017.5).

パルスレーザー光を利用した反応開発および機構解析

岩倉 いずみ* 赤井 昭二** 簗下 篤史*** 岡村 幸太郎**** 織作 恵子*****

Development and Analysis of Chemical Reaction Triggered by Ultrashort Laser Pulse

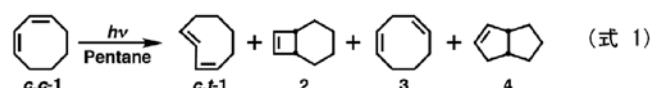
Izumi IWAKURA* Shoji AKAI** Atsushi Yabushita***
Kotarou Okamura**** Keiko Orisaku*****

1. 緒言

レーザー光が発振されて以来、パルス幅の短縮化が試みられ、2003年にはパルス幅3.9 fsのレーザー光が報告され、パルス幅は分子振動周期よりも短くなった。また、1980年代後半からTi:サファイアレーザーの開発が進み、レーザー光は急速に高強度化されてきた。現在ではレーザー光の専門家以外でも日常的にフェムト秒レーザー光を扱えるようになりつつある。またレーザー光の誕生に伴い、『高単色性・高強度・位相制御が可能』という特色を活かした反応の開発が志向されてきた。本プロジェクト研究では、上記のレーザー光の特色を活かした反応開発、および、レーザー光を用いた遷移状態分光に基づく反応機構解析を目的に研究を行う。具体的には、単色性に優れているナノ秒パルスレーザー光を用いた選択的励起による新反応開発や、パルス幅が分子振動周期よりも十分に短いフェムト秒パルスレーザー光を用いる“振動準位”の選択励起による新反応開発を目指す。また、パルス幅が分子振動周期よりも十分に短く、パルス幅が光電場の振動周期で1-2周期の極限的超短パルスレーザー光（パルス幅：sub-10 fs）を発生させ、様々な光反応や熱反応の反応遷移状態を光計測することで、反応機構を明らかにする。

2. レーザー光の単色性を利用する反応開発⁽¹⁾

従来は水銀ランプやカドミウムランプなどの輝線を利用して光反応開発がなされてきた。しかし、輝線スペクトルに幅があるため、同時に多種の励起種を生成し、複数の化合物が生成してしまう。例えば、*cis, cis*-1,3-cyclooctadiene (*c, c*-1)のペンタン溶液を水銀ランプ(185-254 nm)で照射すると、*cis, trans*-1,3-cyclooctadiene (*c, t*-1), *cis*-bicyclo[4.2.0]oct-7-ene (2), *cis, cis*-1,4-cyclooctadiene (3), *cis*-bicyclo[3.3.0]oct-2-ene (4), 4種類の化合物が生成することが報告されている(式1)。本研究では、光源に極めて線幅の狭い(数nm)ナノ秒パルスレーザー光を用いることで、反応性を検討した。



電子状態の選択的励起を目的とし、Nd:YAGレーザーから発振される1064 nm ナノ秒パルス光の第4高調波(266 nm, 7 mJ/pulse)を光源として用いた。原料 *c, c*-1は200-270 nm ($\lambda_{\max}=228$ nm)に幅広い吸収を有しており、266 nmのナノ秒パルス光を利用すると吸収端のみを励起できると考えた(図1)。

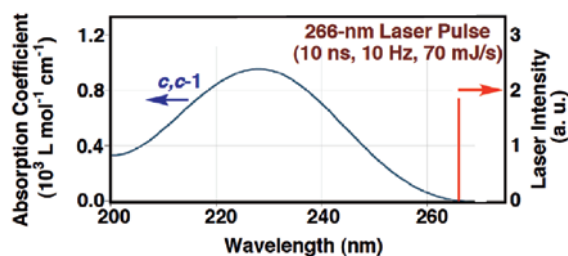


図1. 原料 *c, c*-1ペンタン溶液の吸収スペクトルとレーザー光スペクトル

二種類の異なる濃度の希薄ペンタン溶液(37.5 mMおよび150 mM)において生成物の経時変化を室温で観測した。その結果、150 mMの溶液では *c, t*-1の収率が2分で6%となり、以降はほぼ一定(7%)になった。さらに低濃度の37.5 mM溶液では *c, t*-1の収率は10分で7%となり、以降は徐々に減少し、60分で消失した。これに対し、環化体2の収率はいずれの濃度でも照射時間(光子量)の増加に伴って増え、150 mM溶液では120分で約30%になった。一方37.5 mM溶液では120分で収率95%に達し、選択率はほぼ100%となった。ナノパルスレーザーによる120分の照射時間を実際の光照射時間に換算すると総照射時間は約0.72 msになり、この短時間の光照射により0.39 mgの環化体2が生成していることになる。

3. 結論

高単色性光源としてNd:YAGレーザーパルスを用いることで、*cis*-bicyclo[4.2.0]oct-7-eneを高収率、高選択的に合成することができた。本結果は、レーザー光を利用することで、従来とは異なる選択性や反応性を持つ有機合成が可能になることを示している。

参考文献

(1) K. K-Orisaku. et al., *Photochem. Photobiol. Sci.*, 16, 146-150 (2017).

*准教授 化学教室

Associate Professor, Dept. of Chemistry

**准教授 物質生命化学科

Associate Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

***客員教授 工学研究所

Guest Professor, Research Institute for Engineering

****客員研究員 工学研究所

Guest Researcher, Research Institute for Engineering

7. 工学研究所テクノサークル

- 7-1 環境科学テクノサークル2017年活動報告 井川 学
- 7-2 ドラレコ・テクノサークル活動報告（2016）自転車通学路でウェアラブルカメラが記録した危険な側溝排水蓋
松浦 春樹, 堀野 定雄, 松田 洋, 後藤 航太, 高橋 綱喜, 金澤 優太, 浮穴 浩二
- 7-3 テクノサークル「けんちくをつくる会」2016年度活動報告 吉岡 寛之, 佐塚 将太
- 7-4 テクノサークルKURAFIT16-17シーズン活動報告 中村 弘毅
- 7-5 「神奈川大学宇宙ロケット部」活動報告 高野 敦
- 7-6 神奈川大学ロボットプロジェクト活動報告 江上 正, 秋谷 尚俊, 金子 光希

環境科学テクノサークル2017年活動報告

井川 学*

Reports of the Activities of Environmental Science Technocircle in 2017

Manabu IGAWA*

1. サークルの歩み

環境科学テクノサークルは、2011年の5月に始まったテクノサークルの中でも当初より設立されたサークルの一つです。設立当初の学生はすでに卒業し、また、運営に協力して頂いた南齋 勉特別助教は2016年度より静岡理工科大学の講師として転出されました。設立の当初は10人を超える部員がいましたが、最近では新入生勧誘が思うように進んでいません。ただ、設立以来、理系だけでなく文系の興味を持った学生が参加し、私にとっても、文系の本学学生と親しく話す唯一の機会となっています。

2. 2016~2017年のサークルの活動

サークル活動としては、一つは毎週水曜の昼休みに演習室に集まって、食事しながらプレゼンを聞くという活動です。雑談で終わることもあります。それぞれが関心のある広い意味で環境に関連するテーマを選んで発表するもので、私自身聞いていて知識が広がるとも楽しいプレゼンになることもあります。

サークル活動のもう一つの主要な活動は、テクノフェスタや神大フェスタの発表です。2016年は神奈川県の水源の一つとなっている酒匂川の水質調査を行い、その結果を報告しました。この調査は酒匂川の源流近くから相模湾の河口近くまで10点で採取、分析するというものです。私の研究室では酒匂川の源流に位置する丹沢山塊の調査研究を1988年から行っているのです、その研究と接続されることを期待しています。この他にも、身の回りの現象を科学的に解明することを目標に発表していますが、2016年度は家庭の除湿機の水の分析をしました。その結果、室内汚染によるガス状のギ酸や酢酸が除湿機の水に溶け込んでいることが確認されました。神大フェスタではこれらの発表だけでなく、先に述べたプレゼン内容を冊子にまとめて配布しています。

3. サークル活動の今後

サークル活動は、研究室の活動とは異なるので、研究テーマの設定が難しく、サークル員の確保も難しい課題です。しかし、学生が知的に刺激し合い友情を育む場として、このサークルが今後も活用されることを期待したいと思います。

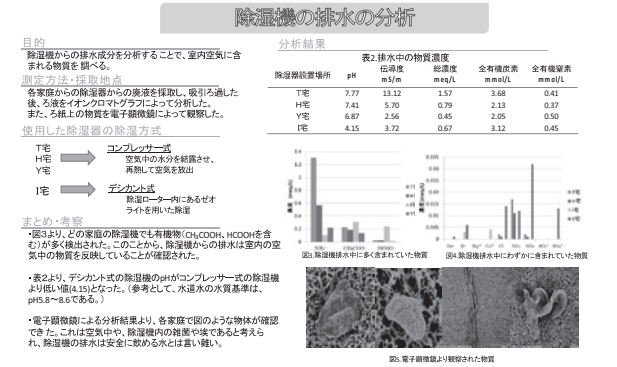
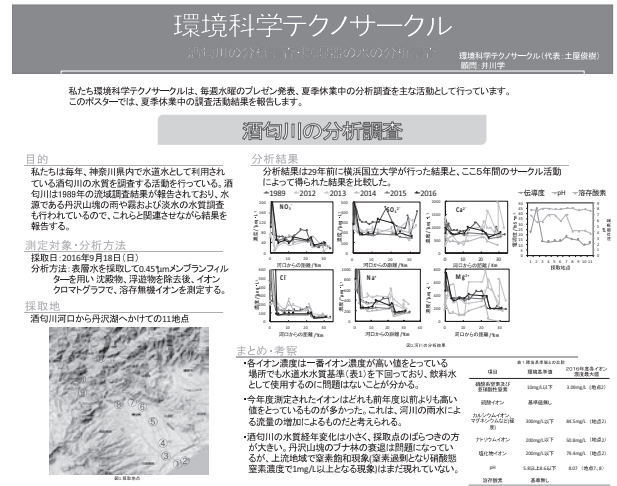


図1 2016年テクノフェスタ発表ポスター



図2 2016年神大フェスタ発表会場

*教授 物質生命化学科
Professor, Dept. of Materials and Life Chemistry

ドラレコ・テクノサークル活動報告（2016）自転車通学路で ウェアラブルカメラが記録した危険な側溝排水蓋

松浦 春樹¹, 堀野 定雄², 松田 洋³, 後藤 航太⁴, 高橋 綱喜⁵, 金澤 優太⁶, 浮穴 浩二⁷

Annual Report 2016 on Activity of “Drive Recorder Techno-Circle” Dangerous Side Ditch Cover Recorded by Wearable Camera on Cycling Ways to Kanagawa University

Haruki MATSUURA¹, Sadao HORINO², Hiroshi MATSUDA³, Kouta GOTOH⁴,
Koki TAKAHASHI⁵, Yuta KANAZAWA⁶ and Koji UKENA⁷

1. はじめに 活動概要：研究成果の社会的アピール

2016年度「映像記録型ドライブレコーダーによる安心安全快適自動車運転テクノサークル（ドラレコテクノサークル：代表松浦春樹教授，学生会員と社会人会員で構成）は実践活動報告と討論中心に3時間の研究会を3回開催しました（7/9土，9/19月：敬老の日，10/29土）。

又，学外活動として，神奈川県警察本部交通総務課会議室で現役警察官5名（含む研究職1名）との意見交換会（3月3日）でサークル学生会員2名が研究成果を発表し，その席で工研所報¹⁾及び人類働態学会発表予稿論文²⁾を配布しました。

県警の道路交通安全管理プロの前での発表は，自分達の日常生活の中でリンレコやウェアラブルカメラと言う科学的方法を使いこなして自分でデータ採取，分析し自信に満ちた基盤に支えられ道路管理と交通管理間の矛盾した不都合紹介とその解決策提案で，説得力がありました。

学生と県警の間をつなぐ場を作った責任上，堀野は冒頭挨拶で「神大工学研究所では，学生中心サークル運営を大学が支援する形で，交通共生をテーマに，映像記録型ドライブレコーダー又はウェアラブルカメラを車や自転車に装着して実車走行データを分析することで交通安全向上に資することを楽しく研究するプロジェクトを展開しています。今般，自転車視点で見た車道左端走行原則（道交法）と道路環境との不整合点すなわち，交通管理面と道路管理面の接点を観察記録し，学生なりに分析，改善提案を整理しました。皆様に聞いて頂ける場を設定して頂き，大変感謝しています。」

発表を真剣に聞いた警察官らは，学生を一人前の研究者と勘違いした様で，若者を励ますコメントや質問をする一方，非公式見解と断った上で専門的質問やコメントを数多く投げかけました。曰く，「体力を使った調査は素晴らしい」「大学って凄いなあ」「若い方々の交通安全への関心向上はありがたい」「道路の課題解決はハー

ド面だけでは難しい。「官民一体」との提案だが，雑草取り，ゴミ拾いなどは既に色んな所でやっている。これらも好事例に入るよ」「ウェアラブルカメラ動画を見て，Y字路で車と同速の車線変更は率直に危険と感じた。「スマートさ」と「安全」のどちらが正しいか再考して欲しい。回り道をしてでも「安全」を優先して欲しい。」「ウェアラブルカメラは視線方向を記録する』とのことだが『見ている方向』が判るから『認知している』とは意味しない。ウェアラブルカメラ映像記録が真に何を記録しているのか実験方法の証拠を詰めて欲しい。」など。

この様に，多くのきめ細かい専門的コメントを引き出す程，学生発表はインパクトが強く，充分社会的アピールを果たしました。尚，やり取りの詳細は工研所報 No.39, pp.164-166. (2016-12) のドラレコテクノサークル活動報告に掲載していますのでご参照下さい。

2. テクノフェスタ2016

2-1 発表内容：不意に迫る道路脇の危険！

そして，テクノフェスタ（2016-11-11）で，高橋綱喜（法4），松田洋（工4），後藤航太（経2）君らは「不意に迫る道路脇の危険：自転車通学路でウェアラブルカメラ（身体装着可能型常時録画カメラ）が記録した側溝排水蓋デザインの潜在危険」と題するポスター発表をしました。

発表要旨：「私たちは映像記録型ドライブレコーダーを活用，交通における共生をテーマに研究，自転車視点で危険実態を整理発表しています。今回も3人がウェアラブルカメラで自転車通学市内幹線道3路線累計43kmで走行風景を常時録画しました。自転車が気付く多様な危険の中，側溝排水蓋に着目，安全度に幅がある不統一な3種デザインの潜在危険が判明しました。道路管理者が道路危険を科学的に認知・改善する意義を再確認しました。」（図1参照）3）。

2-2 道路側溝蓋のデザイン：6種類，半分が危険！

実際に調べて判った事は側溝蓋のデザインは6種類（A，B，・・・F）もあり，そのうち3種類（A，B，C）は旧型でスポーツ車のタイヤ幅（23mm）に対してスリット幅は23-28mmもあり，走行中タイヤが嵌る危険性が高いです（図2，図3）。D，E，F型は新型（図4）で，旧型を新型に交換するには，道路管理者の認識を速やかに刷新することが最優先です。

1. 教授 経営工学科 Prof., Dep't. Ind. Eng. & Manag.¹t.
2. 客員研究員 工学研究所 Guest Res.²er, Res. Inst. for Eng.
3. 工学部4年 Faculty of Engineering, 4th grade
4. 経済学部2年 Faculty of Economics, 2nd grade
5. 法学部4年 Faculty of Law, 4th grade
6. 神大生協 Kanagawa University Co-operation
7. UK コンサルタント代表 CEO, UK Consultant

2-3 テクノフェスタポスター発表の主旨：再確認を

ポスター発表中複数の来訪者，特に審査教員との間で交わした対話を学生が記録しました。①「どういった目的でこの活動を行っているのか？」→「日本国内の道路は自動車優先だが，その中でどのようにしたら自転車が安全に通行できるかを提案するための活動です。」②「調べるだけでなく外への働きかけは行っているのか。調べるだけでは中学生レベルではないか？」→「昨年12月学会発表や今年の3月，神奈川県警での発表を行い社会的にアピールしました。」

学生曰く「質問自体は少なかったが，一つ一つが活動の根幹を問われる内容だったため，気持ちの面で非常に辛かったです。今までの一連の活動は，大学の先生目線では，学術的価値＝論文にまとめられるか否か，がないと判断する人も少なからず存在する事が判りました。」と正直に伝えてくれました。

これは，隣のコーナーでポスター発表している単位取得対象の卒論や修論と勘違いし，テクノサークル活動の主旨を正しく理解していない審査教員がいる事を示しており，困った事です。

この事実を知った社会人会員は「役に立つモノ（事）を世に送り出すのは大切だ。でも，貴君達は既に実行済みだよ。」と励ましました。すると「社会に役に立つモノ（事）を世に送り出すのは，社会では知的好奇心を満たす以上に大切なことなのだ。」と学生は考え直しました。しかし「社会に役に立つことも，知的好奇心を満たすことも大切だが，両立は不可能ではないか。」とジレンマに陥った様です。救って挙げたい気持ちで一杯です。

学生の結論は「社会に出れば（出る前でも）前者を意識しなければならないので広い視野を持ち，様々な活動をしなければなら

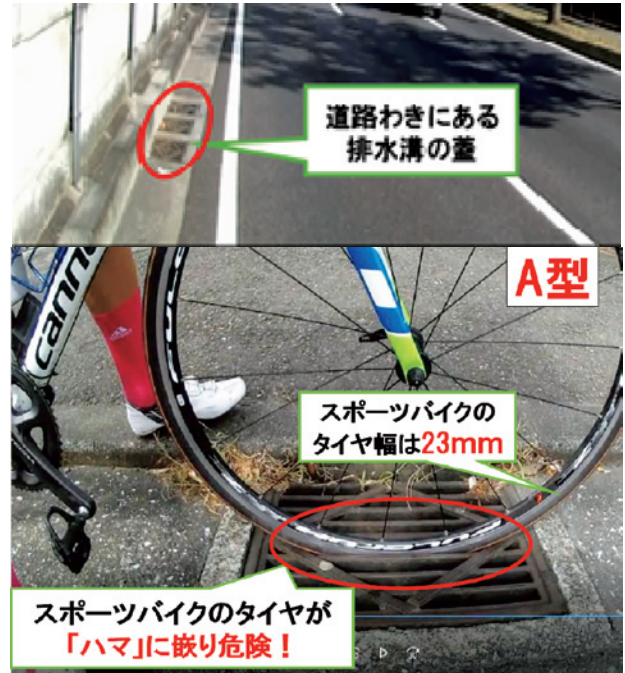


図2 道路側溝排水溝蓋のリスク：自転車のみ被害者
図3 排水溝蓋スリットにスポーツ自転車タイヤが嵌る
図4 改善された排水溝蓋：スポーツ自転車タイヤは嵌らない

いと思いました。」これは，テクノサークル活動で成長した明らかな証拠と自負しています。

3. 参考文献

- 1) 松浦春樹，堀野定雄 テクノサークル活動記録 映像記録型ドライブレコーダーによる安心安全快適自動車運転サークルの活動，神奈川大学工研所報第38号（2015-11-30）
- 2) 高橋綱喜，松田 洋，後藤航太，酒井聖紘他著「ウェアラブルカメラが記録した日常交通における自転車行動と道路環境」第44回人類動態学会東日本地方会（横浜，2015-12-20）
- 3) Kanagawa University Techno Festa 2016くらしと環境の未来 ポスター発表 テクノサークル 映像記録型ドライブレコーダーによる安心安全快適自動車運転サークル/松浦教授，高橋綱喜，松田洋，後藤航太「自転車通学路でウェアラブルカメラ（身体装着型常時カメラ）が記録した側溝排水蓋デザインの潜在危険」（展示物あり）p.31.

図1 テクノフェスタ2016 ドラレコポスター発表

テクノサークル「けんちくをつくる会」2016年度活動報告

吉岡 寛之* 佐塚 将太**

Reports of Annual works of the Techno Circle “Tuku-Ken”

Hiroyuki YOSHIOKA* Shota SAZUKA**

1. 活動の背景と目的

建築デザイン教育において、設計演習課題の中では頭で考え仮想の建築を組上げるところで終わり、実際に材料にふれ、身体を使って建築物をつくり出す機会は乏しい。実社会における設計活動において、材料を理解し、その特徴を取り込むプロセスが重要であり、設計活動の魅力である。そのような魅力を大学の授業の枠組みの中で面白さを伝える事は難しい。こうした経緯から立ち上げたのが、建築サークル「けんちくをつくる会」（通称つくけん）である。2011年設立で6期目を迎える。毎年建築学科1, 2, 3年生がメンバーとなり、今年度は2年生が中心となり活動を進めた。その中で、製作に至るさまざまな段階での共同作業における行動力や調整力の育成と、学年の枠を超えた交流の場が形成されることも目的である。

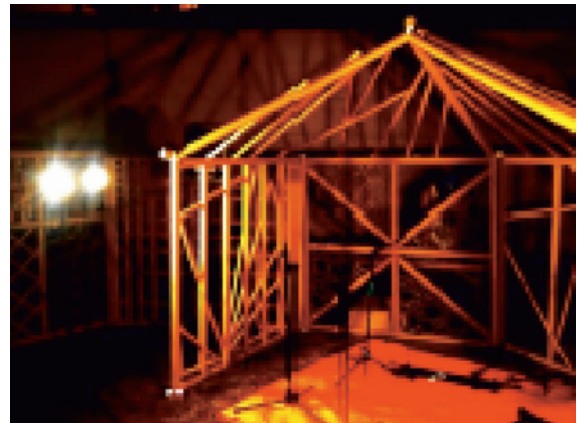


写真2 2014年度活動紙管

2. これまでのつくけんの活動

毎年春に1年の活動内容を学生主体で検討する。どの場所で、どのようなものをつくるかについて考え、つくるために必要な予算の手配や敷地の交渉も学生自身が全て行う。実社会での建築設計と同じように、限られた予算の中で現実の土地に小さな「建築」をつくるプロセスを体験することになる。実際の「建築」をつくることを



写真3 2015年度活動角材



写真1 2013年度活動ダンボール

表1 各年度の建築物の敷地、用途、材料

年度	敷地	用途	材料
1期 2011	旧3号館前 公開空地	神大フェスタ 休憩所	竹
2期 2012	東屋前空地	神大フェスタ 休憩所	布
3期 2013	六角橋商店街	どっきり闇市 ライブ会場	ダンボール
4期 2014	六角橋商店街	どっきり闇市 ライブ会場	紙管+ 3Dプリンター
5期 2015	六角橋商店街	どっきり闇市 ライブ会場	角材
6期 2016	六角橋商店街	食べくら横丁 ライブ会場	プラスチック ダンボール

*助教 建築学科

Assistant Professor, Dept. of Architecture

**つくけん代表

Leader, Techno Circle “Tuku-Ken”

目標に、自らが決めたテーマで空間を創造し、材料の特徴を考察し、実際に加工、組立までに至る方法を考えることは、演習課題では体験できない、建築に対する理解や意識を拡げるものとなる。

当初は神大フェスタにおけるフォリーの作成から始まった。その後、六角橋商店街の商店会にご協力いただきながら、商店街のイベントに合わせてそのイベント会場での空間づくりに関わることとなった。これまで竹、布、ダンボール、などがテーマ材料となり、昨年は角材を利用した空間構成が考えられ、商店街のドッキリヤミ市場では人々の賑わいの場として活用された。(写真1, 2, 3, 表1)

3. 2016年度の活動「プラスチックダンボール」

6年目となった2016年度の学生メンバーも、前年度の活動を引き継ぎ、六角橋商店街の一角に休憩所及びライブ会場を設営する事を課題とした。六角橋商店街は、戦後の闇市をルーツ^{※1}とした商店街で、木造アーケードの小道にお店が並ぶ仲見世通りは独特の雰囲気をもっている。この商店街では年に一度「食べくら横丁」が開催されている。同イベントは各店舗が通常よりも少量サイズを低価格で提供するので、まとめて食べ比べできる。また、地域の方々の様々な活動を披露できる場がある。その食べくら横丁の一角で行われるライブのステージや観客席、休憩スペースなどの設計及び施工を行った。そこで今年度のテーマとした材料は「プラスチックダンボール」とした。

内容としては、新しい素材の利用、六角橋の特色が現れるような空間の提案を軸に進行していった。新しい素材の利用としては、プラスチックに着目した。様々なプラスチック素材から、建築としての構成のしやすさ、加工のしやすさ、コスト面を考え、プラスチックダンボールを用いた。材料は面材とし接着剤を利用せず差し込み形式で組み立てを行えるようにした。そのプロセスの中で、六角橋商店街の名前にもある「六角」に着目し、六角形を造形ルールの基本として構成を考えた。

イベント空間として一体感を出すため、一つの単位を大きさ、高さ、数などの変化を与えることにより様々な機能が生み出される仕組みを考えた。サイズを変化させることで、屋根がかかっているような少し囲われた空間となりライブステージとなる。高さを変化させると、椅子や机になる。また数を変化させることで人数、場合



写真5 椅子机

によって組み換えることができ、ファサードとしても演出させた。

プラスチックダンボールを利用し、六角形の単位を様々に変化させることで、空間を創出した。(写真4, 5)

4. つくけんの活動の成果

6年目となるテクノサークルつくけんの活動は、授業だけでは味わえない建築の魅力や面白さを多くの学生に実感してもらうことが重要である。学生が主体となって活動し毎年代々受け継がれてきた。つくけんの活動を経験することで、建築への興味が深まる学生達の姿が見受けられると、実際に「建築」をつくり上げる試みに対して成果を見いだすことができる。またそれが日々の設計演習や卒業設計においても成長が見受けられる。一人ではつくり出せない建築を、多くのメンバー全員と共有しながら、計画通りには進まないところもありながらも直前まで試行錯誤を繰り返し、ようやく建築が完成する。その建築を訪れた多くの人に活用してもらった経験は、実社会で建築を携わっていく上で貴重な土台となる。本活動の経験がその後の学生たちの活躍につながれば幸いである。

参考文献

※1 RAKU review of architectural design course, vol.9, 六角橋商店街の歴史, 津田良樹, 2013



写真4 ライブステージ

テクノサークル KURAFT16-17シーズン活動報告

中村 弘毅*

Activity Reports of the Technocircle KURAFT

Hiroki NAKAMURA*

1. はじめに

近年の工学系大学では、実習や設計・製図などのカリキュラムが減少している。そういった状況を鑑みて、学生フォーミュラ大会は、学生自らがチームを組み1年間で1人乗り小型レーシングカーを開発・製作することによって、学生がものづくりの本質やそのプロセスを学び、ものづくりの厳しさ・おもしろさ・喜びを実感することを目的に掲げている。2003年から米国「Formula SAE®」のルールに準拠し、全日本学生フォーミュラ大会が開催されており⁽¹⁾、走行性能だけでなく、車両のマーケティング、企画・設計・製作、コスト等のものづくりにおける総合力を競う。また、2013年からEV（電気自動車）クラスが設立され、駆動ユニット以外はほぼ内燃機関エンジン車両と同じルールでEV車両の性能を競っている。

本学テクノサークル KURAFT は2013年10月に設立され、毎年9月に開催される全日本学生フォーミュラ大会への出場を主な目標として活動している。

また、地域貢献活動の一環として神奈川県下の中小企業と連携して展示会にて車両展示を行っている。これは神奈川大学 KURAFT の広報活動であるとともに、支援企業の技術を社会に広めることを目的としている。

2. KURAFT の2016-17シーズン活動

2.1 車両設計・製作

2017年大会向けの車両の主要な仕様を表1にまとめる。フレーム

表1 KF-03EV 車両仕様

全長×全幅×全高	2730mm×1440mm×1220mm
ホイールベース	1650mm
トレッド	1250mm
乾燥車重	357kg
フレーム構造	鋼管パイプスペースフレーム
材料・結合方法	STKM13A・TIG 溶接
モータ・最高出力	Motonagy 製ブラシレスモータ 38kW
バッテリーシステム	96V 20Ah AESC 製リチウムイオン電池 12 モジュール (2S2P, 計 48 セル)
ステアリング	ラックアンドピニオン
サスペンション	前後ダブルウィッシュボーン
ブレーキ	4 輪・油圧式アウトボードディスク

をはじめ機械部品の多くを昨年度車両から流用し、電気システムの信頼性向上に注力したため、基本設計は変更していない。

電気システム設計は、配線の簡略化、振動による動作不良の防止、降雨対策（水による漏電の防止）などに留意し、また製作時の誤配線の防止のために一本ずつの配線のラベリングを行った。その結果作業時間を大幅に削減することができ、昨年度以上に走行スムーズにシェイクダウンを迎えることができた。

2.2 ドキュメントの作成

大会出場要件を満たすため、デザインレポート、コストレポートを初め、電気システム診断（ESF）、故障モード診断（FMEA）など様々なレポート作成に着手した。特に、ESF、FMEA は危険箇所が見つかるごとに設計変更と当該書類の再提出を繰り返し、システムの安全性および信頼性の向上に努めた。

3. 第15回全日本学生フォーミュラ大会

3.1 大会概要

今年度大会は2017年9月5日～9日の5日間で開催された。

エントリーは計94校（書類審査通過校数）、ICVが93校、EVが13校であった。大会は車検と以下の静的審査3種目、動的審査4種目の総合得点で競われる（表2参照）。

表2 競技種目概要

種目	概要	配点
車検	車両の安全・設計要件の適合性の確認	
静的審査	コスト	100
	プレゼンテーション	75
	デザイン（設計）	150
動的審査	アクセラレーション	75
	スキッドパッド	50
	オートクロス	150
	エンデュランス	300
	燃費/電費	100

*特別助教 機械工学科

Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering

3.2 車検

大会で走行するためには技術車検（機械106項目、電気50項目）、チルト試験、レインテスト、ブレーキ試験に合格することが求められる。チルト試験は車両を横に60度傾けた状態で横転しないこと、液体漏れなどが起きないことを求められる。レインテストは3分間の放水、その後3分間漏電せずに電気システムが機能することを試験する。ブレーキ試験は制動時に4輪が機械的に同時にロックすることを試験する。本学 KURAFT は9月5日に電気車検の一部に合格し、9月6日に残りの車検項目すべてに合格した。

3.3 静的審査結果

デザイン審査は事前に提出したデザインレポートと、それに対する質疑応答を中心に審査される。設計コンセプトに対する十分な検証（実走行による解析）が行えていないという評価で全チーム中79位（3位 UP）であった。

コスト審査は事前に提出したコストレポートと当日の質疑で審査される。部品リストの整理、図面の統一に十分な時間をかけたため、昨年の書類不備による減点はなくなり、62位（16位 UP）であった。

販売戦略を競うプレゼンテーション審査では、空港での乗継待ち乗客を狙ったレンタルカート事業などのアイデアが高く評価され、全チーム中34位（15位 UP）という成績を収めることができた。



図1 静的審査の様子

3.4 動的審査結果

加速性能を競うアクセラレーションは、参加校中55位（初出走）であった。制御を最適化することができていない、車検に合格するために後から追加した部品による重量増が影響し、当初の設計ほどの性能は発揮できなかった。

定常円の旋回性能を競うスキッドパッドは、51位（初出走）であった。順位はアクセラレーションとほぼ同じであるが、モーターの性能による走行タイムの差は小さく、基本的な車両設計は問題なかったと言える。

同時に踏んだ時にブレーキを優先する回路（ルールにより規定）が正常に動作しなかったこともあり、車両の性能を十分に発揮することができなかった。

エンデュランスは3周目で電気システムのトラブルによりリタイアとなり63位（初出走）であった。直接の原因はバッテリーの温度



図2 大会走行の様子

を誤検知したことによる安全装置の作動であるため、今後安全システムの信頼性向上に努める。

4. まとめおよび今後の展望

KURAFT 創設4年目にて初めて大会の公式車検に合格し、動的競技に参加することができた。静的審査でもすべての審査で得点増加し、総合66位（21位 UP）、EV クラス7位（1位 DOWN、日本チーム中4位）という結果であった。EV クラスの参加校が増加、特に中国チームのレベルアップの影響で順位は下がったものの、総合得点は大幅に増加し、学生の技術力が向上していることを示せた。

今後は設計プロセスの基本である PDCA サイクルの評価（Check）を行い、次年度の車両性能向上を目指す。

また、車両評価の過程で、温度上昇の解析や、機械振動の解析なども行っているため、本活動での経験が、研究活動にも役立てられることが期待できる。

謝辞

KURAFT は神奈川大学工学部特別予算と以下の企業の支援を受けて活動を行っている。関係各位へ感謝の意を表する。

川崎市産業振興財団、日本モレックス、松山工業、日の出製作所、松井工業、西川精機製作所、堤工業、オートモーティブエナジーサプライ、SEVCON JAPAN、オズコーポレーション、D jac、富士重工業、NTN、JMC、フジテック、ヒラミヤ、サイマコーポレーション、ヒロテック、ソリッドワークス・ジャパン、ミスミ、日信工業、リニアテクノロジー、SHIFT UP、キタコ、エヌケーエヌ、TGM、FCC、他30社（順不同）

参考文献

- (1) 全日本学生フォーミュラ大会ホームページ <http://www.jsae.or.jp/formula/jp/> (2017年9月16日アクセス)
- (2) 2015-16 Formula SAE® Rules students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2015-16_fsae_rules.pdf

「神奈川県宇宙ロケット部」活動報告

高野 敦*

Annual Report of “Kanagawa University Space Rocket Club”

Atsushi TAKANO*

1. 緒言

「神奈川県宇宙ロケット部」は2014年9月に設立された、まだ日の浅いテクノサークルである。このサークルは、「ハイブリッドロケット」と呼ばれるエンジンを用い、超小型衛星を打ち上げるための超小型ロケットの設計・開発を目的としている。現在、超小型衛星の打ち上げが各地の大学で行われているが、これらは大型の衛星に相乗りで打ち上げるためその打ち上げ機会は限られている。そこで超小型ロケットを開発し、これら超小型衛星の安価な打ち上げを実現させることを最終目標としている。従来衛星打ち上げのために実用化されているロケットは、火薬を使用する固体ロケットか、液体燃料・液体酸化剤を使用する液体ロケットの2種類に大別されてきた。これらは、可燃性の高い火薬や燃料を使用するため、万一破損した場合爆発の危険性が高い。一方、ハイブリッドロケットは燃料にプラスチック樹脂を、酸化剤に液体を使用するため、ロケットが破損しても自然に消火する性質を持っている。つまり爆発の危険が無い^[1]。そのため、燃料の運用・管理コストを抑えることができ、従来のロケットに比べ大幅に打ち上げコストを抑えることができる。これを受けて、当サークルでは機械工学科航空宇宙構造研究室（以下、「研究室」と略記する）と共同でハイブリッドロケットの開発、打ち上げに取り組んできた。本報告ではこの1年間での活動実績を報告する。

2. テレメトリ装置の開発（2016年12月～2017年8月）

昨年度8月、日本最大の大学生・社会人による模擬衛星及びハイブリッドロケットの打ち上げ大会である能代宇宙イベントに宇宙ロケット部及び航空宇宙構造研究室も参加し、ハイブリッドロケットを海に向かって打ち上げた。他大学が上昇中の分解や機体の喪失、機体が回収できてもデータを喪失するなど苦戦し、最高でも1282m（しかもデータ喪失のため推定）のところ、宇宙ロケット部は機体及びデータを完全回収に成功し、高度2236mを達成した。その後、研究室が昨年度12月に、ロケット部も開発に参加した独自開発エンジンを用いたロケットを伊豆大島にて打ち上げたが、1機目は機体を喪失し記録が不明となってしまった。これはビーコンによる信号が着水後30秒ほど受信できたものの、その後は海水に電波が遮られたためか信号が途絶え、海流に流されてしまったためと考えられる。

漁船での回収方法を見直し2機目は回収できたものの、万一回収できない場合は実験データが全く回収できなくなるため、データの回収は大きな課題となった。そこで、宇宙ロケット部では飛行中にデータを電波で送信する、いわゆるテレメトリ装置の検討及び開発に着手した。

まず、将来性も考慮して高度100kmでも通信可能、または将来的に拡張可能な装置の構成を検討した。アマチュア無線帯や特定小電力帯の使用、携帯電話の使用、特定実験無線局として本格的に作成するなどの案についてトレードオフを行った。

当初、特定小電力帯の使用は高度100kmまでの拡張性を考えると実現性が低い、と考えていたが、最近開発が盛んになっている超小型衛星の通信用にLoRa（Low Power Wide Area）と呼ばれる通信方式の適用が検討されていることがわかり^[2]、それを使用することとした。この通信方式を利用したモジュールを用いて通信実験を行ったところ、小田原城から江の島まで30kmの通信に成功した。このモジュールを用いて大気圧センサおよび温度センサによる高度測定モジュール、GPSによる位置情報モジュールは開発が完了し、9月2～4日の伊豆大島での打ち上げに使用した。図1に開発した高度測定モジュールおよびGPS位置情報モジュールの外観を示す。重量はそれぞれ38.0gおよび44.5gと、非常に軽量にできている。

開発最終段階において、打ち上げ状態を模擬して計測モジュール

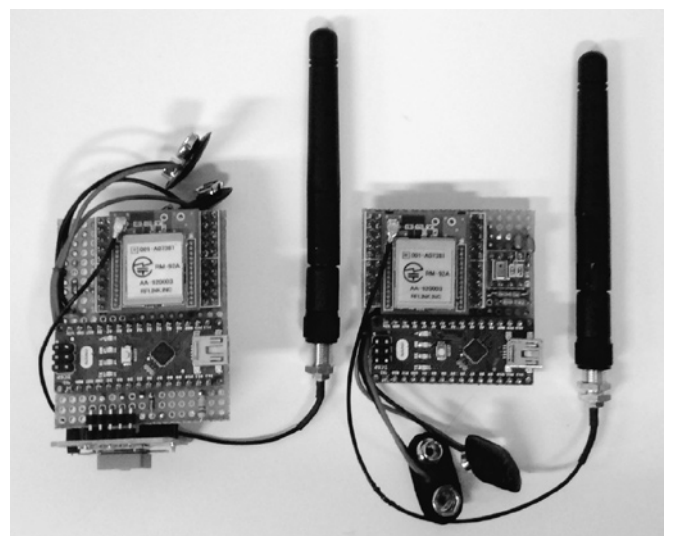


図1 高度測定モジュールおよびGPS位置情報モジュール

*准教授 機械工学科

Associate Professor, Dept. of Mechanical Engineering

ルにすべての発信機及び計測機器を搭載し、動作確認を行ったところ、近距離でも受信できなくなる不具合が発生したが、同じ周波数帯を用いた混信であることがわかり、各発信機のチャンネルを重ならないよう設定することで解決できた。さらに打ち上げ搭載状態で江の島から辻堂までの通信実験を行い、距離4.7km（今回打ち上げるロケットの落下分散範囲）での通信ができることを確認した。

3. M型エンジンを使用した機体開発（2017年4月～2017年8月）

昨年度の能代宇宙イベントでの打ち上げ成功を受け、さらなる高高度化を達成するために、購入品ではあるが昨年度使用したエンジンに比べ推力で1.8倍のM型と呼ばれるエンジンを採用した機体の開発を行った。信頼性を重視するため、機体の基本的なコンセプトは昨年の設計を踏襲した。図2に機体の3次元モデルを示す。

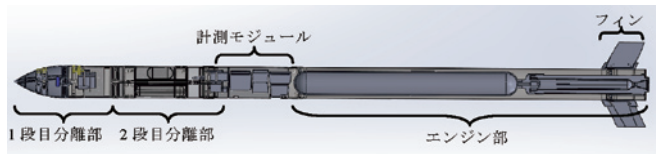


図2 機体の3次元モデル

機体はモジュール構成となっており、各部が独立して製造、組立、試験が実施できるように配慮されている。上部から1段目分離機構部、2段目分離機構部、中央部に計測モジュール、下部にエンジン及びフィンという構成になっている。

今年度の開発方針として、研究室側が新規開発エンジンとセパレーションナットを用いた分離機構を開発する一方で、宇宙ロケット部としては前述のテレメトリ装置を中心とした計測機器を開発の重点とした。そのため、1段目及び2段目分離機構部およびフィン部分は開発リスクを低減するため、昨年度研究室が伊豆大島で打ち上げ、実績のある設計を踏襲し、若干の改修を行って使用している。

エンジン部はM型を採用するにあたり、強度計算の見直しに伴う構造寸法の変更を行ったが、CFRP胴体部とジュラルミンリングで締結する方式は昨年の設計思想の踏襲である。

また打ち上げにおける失敗を想定し、同一設計の機体を2機用意している。この考え方の有効性は昨年度の研究室機体の伊豆大島での打ち上げにおいて、1機目は喪失したものの2機目は捜索方法の改善で回収できたことにより実証されている^[3]。

4. 伊豆大島での打ち上げ

前述の2機のほかに、研究室も同様に独自開発エンジンを搭載した2機同一設計の機体を準備し、宇宙ロケット部及び研究室合同で伊豆大島において打ち上げを行った。8月30日深夜23時に東京竹芝桟橋を出発し、翌8月31日は発射台組み立て、9月1日にリハーサル、9月2～4日の朝5時30分以降に打ち上げの予定であった。しかし8月30日に小笠原で台風が発生、そのまま伊豆大島の東方をかすめる形で北上した。その結果、8月31日の発射台組み立ては組立て途中から風雨が強まり危険と判断し、発射台を起立させる直前で中止した。続く9月1日のリハーサルおよび9月2日の打ち上げ初日も宿で待機となった。9月2日夜の時点で、翌9月3日は台風が過ぎる予報であったものの海上にうねりが残ることが予想され、機体回収のための漁船

が出せるかどうかはわからず、結局当日の朝、日の出を待っての判断となった。機体準備は打ち上げのことを前提で進めなければならない、かつ発射台組立ての残作業とリハーサル省略により作業に手間取ることが予想された。したがって当初の予定を2時間早め、宿で21時30分からミーティングを行い、22時に射場（伊豆大島差木地トウシキ園地）へ出発し、夜を徹して準備作業に取り組んだ（図3）。準備



図3 準備作業の様子

は順調に進み、朝5時には船が出港できるとの判断が示されたため、予定通り研究室機体を5時30分に、ロケット部機体を8時ちょうどに打ち上げ、いずれも機体の一部とデータの回収に成功した（図4、図5）。

研究室機体は高度4779m（2台の気圧計より求めたデータの平均、図6）と、昨年度の記録を2倍以上更新した。頂点付近での機体カメラから撮影した映像を図7に示す。

宇宙ロケット部の機体は事前の解析より速度が速くなり、音速を超えた模様で、その結果、残念ながら高度1000m付近でノーズコーンやフィンを固定する部材など、樹脂製の軽量の部品が分解してしまった。



図4 打ち上げの様子

しかし、いずれの機体にも宇宙ロケット部が開発した無線によるテレメトリ装置によって高度及びGPS座標データの受信に成功し、その結果機体の一部回収につながった。データが回収できたことで、機体の分解の原因究明に大きく役立つものと期待される。現在、不具合事象の整理と原因究明に着手した。

5. アウトリーチ活動

昨年度はアウトリーチ活動が弱いことが問題として挙げられていたが、今年度は学内での各種イベント（ホームカミングデー、テ

クノフェスタ、神大フェスタ)の参加はもちろんのこと、代表的なものとして平塚市博物館からの依頼で展示、発表を行ったこと、UNISEC (NPO 法人大学宇宙工学コンソーシアム)でのワークショップにおける発表をするなど、積極的な活動を行った。



図5 上昇する宇宙ロケット部機体

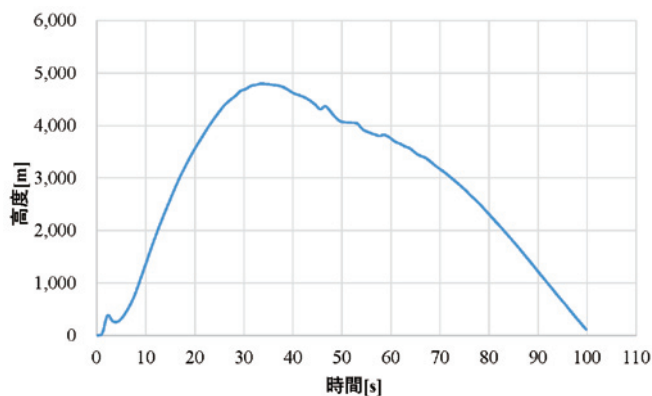


図6 高度データ



図7 頂点付近での機体カメラからの映像

平塚市博物館の展示、発表は、「知られざる平塚のロケット開発」と題した企画展(2016年10月22日~12月18日)への参加を依頼されたことを受け参加した。機体やエンジン、ポスターの展示及び企画展最終日における発表を学生代表が行った。平塚市は戦前、軍の火薬廠があり、その中でロケット開発が行われ、その成果が戦後の糸川博士のロケット研究の基礎となっている、という経緯を基に企画されたものである。宇宙ロケット部・研究室は湘南ひらつかキャンパスにエンジンの燃焼試験設備を持っており、その成果をSNSなどで学外に発信していることが目に留まったようである。

UNISEC ワークショップは2016年12月に行われ、その際2016年8月の能代宇宙イベントでのハイブリッドロケット打ち上げの成果が評価され、IST (インターステラテクノロジズ株式会社) 審査員特別賞が授与された(図8)。

6. 結言

宇宙ロケット部は今年の9月で3年目になり、設立当初1年生であった学生は3年生となった。当然のことながら、このような学生は4年生になって研究室に入る学生よりノウハウ的な知識の量は圧倒的に多く、4月から5月にかけては宇宙ロケット部学生が研究室学生に指導をする場面が見られた。その点、テクノサークルの趣旨が発揮され、よい結果が出つつあると考える。また、昨年度までは前年度の研究室の機体を踏襲して作成することが多かったが、今年はそのみならずロケット部独自にテレメトリ装置を開発し、それを研究室機体に供給するなど、テクノサークルとしての独自性という面でも向上が見られた。



図8 UNISEC ワークショップでの表彰

また、参加している学生は機械工学科の学生をリーダーとしているが、総合工学プログラムや経営工学科、建築学科、電気電子情報工学科の学生など、工学部の中でも多彩な学科の学生で構成されている。しかし

文系学生が確保できていないため、他大学の団体と比べ依然としてアウトリーチ活動やマネジメント活動などの点で弱い部分が見られ課題となっている。

7. 謝辞

1年間の活動を通じて協力いただいた本学関係者の方々、及び燃焼試験設備のある湘南ひらつかキャンパス周辺の方々への感謝の意を表します。また、打ち上げに際し協力いただいた東京都大島町役場、警察、消防の皆様、大島漁協の皆様はじめ大島町の方々のご支援、ご協力に感謝いたします。さらに打ち上げに際し発射台を無償で貸与くださった千葉工大和田研究室にもこの場を借りて謝意を表します。

参考文献

- [1] 嶋田徹他, “平成27年度ハイブリッドロケット研究 WG 成果報告書”, JAXA (2015-2), p.1.
- [2] 青柳賢英, 超小型衛星 TRICOM-1 の開発成果, 7th UNISEC Space Takumi Conference, (2017.3).
- [3] 館山哲也, 高野敦, 失敗許容設計及びマネジメント (ハイブリッドロケット開発・打上において), 7th UNISEC Space Takumi Conference, (2017.3).

神奈川大学ロボットプロジェクト活動報告

江上 正* 秋谷 尚俊** 金子 光希***

Activity Reports of Kanagawa University Robot Project

Tadashi EGAMI* Takatoshi AKIYA** Mitsuki Kaneko***

1. 緒言

神奈川大学ロボットプロジェクトは、2008年度から活動を初め、2014年度までの7年間は神奈川大学の特別予算の支援を頂き、2015年度からは機械工学科とテクノサークルの支援を頂いて活動している。2016年度で創立9周年となり、機械工学科だけでなく、電気電子工学科や情報システム創成学科、経営工学科、物質生命化学科、総合工学プログラムなどから20名あまりの学生が所属している。各学生の興味によって、ロボット相撲、二足歩行ロボット、ロボット剣道、室内飛行ロボットの4チームに分かれて活動し、複数のチームに所属する学生もいる。これらのチームはそれぞれ設計やプログラムなどの担当に分かれ、各種大会への出場を目標として、ロボット製作に取り組むのが主な活動内容である。

これ以外にもオープンキャンパス、ホームカミングデー、神大フェスタなどでの実演展示で多くの来場者の注目を集めている。また小学生にモノづくりの楽しさを教える工作教室も行っており、従来は夏休みだけであったが、今年度は冬休みにも行き、小学生への人材育成にも貢献している。

本報告ではこれらの2016年度の活動を報告する。

2. ロボット相撲活動報告

全日本ロボット相撲大会は、富士ソフト株式会社主催、運営している大会である。第1回大会は1990年に開かれ、2016年度で27回目を迎える。ルールは、直径1,540mmの円状の鋼板上において、縦200mm×横200mm×高さ無制限、重量3kg以内の力士ロボット同士を戦わせる。実際の相撲と同様に土俵外へ出てしまったら1本となり2本先取で勝利となる。部門としては、手で操作するラジコン型、センサを搭載し、あらかじめ記述したプログラム通りに動作する自立型の2種類がある。

ロボット相撲チームは、全日本ロボット相撲大会へ出場し、全国大会へと進出することを目標としている。前年度の大会の反省から、今年度は全機体のパーツを統一させる方針とした。これによって設計、加工における負担が軽減され、他の機体のメンテナンス

の補助も行いやすくなった。また、新しい機体は昨年度までの機体をベースとし、主にギア比を変更してより操作しやすいトルクを重視した仕様に変更した。加工については、例年通り工作センターのフライス盤やプロジェクトで保有しているNCフライス盤を活用した。

今年度は従来の手動操作に加えて一部を自動操作する、通称「ラ自立」という機体の制御方法に挑戦している。この方法では、通常時には送信機のスティックによって機体を操作するが、土俵の縁にある白線を検出した際に自動で土俵の中心に戻したり、送信機からの信号に応じて、敵検出センサを用いて相手の機体の角を狙うなどする。

第28回全日本ロボット相撲大会においては、いずれもラジコンの部で東海大会、関東大会、北信越大会に計12台が出場した。大会の様子を図1に示す。その結果、関東大会では1台が4回戦まで勝ち進み、ベスト16まで進出した。6位までが全国大会出場枠だったので、非常に惜しい結果であった。ただし、その他の機体はすべて1,2回戦敗退であり、試合時の断線や操作ミスによる自滅などが目立ったので、より一層の注意と練習が必要となる。機体同士のぶつかり合いなどでも、性能的には決して他チームの機体に劣らないのを感じたので、今後は練習時と試合時の操作感の違いを減らすことを重視したい。そのために土俵に用いている鉄板のたわみ防止台や鉄板の塗装や傷などのメンテナンスにも注意が必要である。また、「ラ自立」では白線を検出しても土俵外に出てしまうことがあるので、プレーキや検出方法を改善する必要がある。さらに塗装が剥げた部分を白と認識してしまうことがあるなどの問題を解決するために、マイコンのソフトウェアの見直しも必要となる。



図1 第28回全日本ロボット相撲大会の様子

*教授 機械工学科 ロボットプロジェクト顧問

Professor, Dept. of Mechanical Engineering

**ロボットプロジェクト部長

President, Robot Project

***ロボットプロジェクト副部長

Vice President, Robot Project

3. ロボット剣道活動報告

ロボット剣道とは、アーム型ロボットによる剣道大会である。実際の剣道と同様に面、胴、小手、突きをそれぞれ技名を発しながら繰り返す。攻撃頻度や逃げの姿勢による反則なども定められており制限時間は3分、3本勝負の2本先取で勝敗が決まり、剣道の有段者が技の判定を行う。目視可能で人による操縦で戦う入門部門、カメラ映像のみを見ながら操縦及び半自律で戦う遠隔操縦部門、PCなどにより自律で戦う自律部門がある。

すべての部門混合での試合をおこない、現在は入門部門の機体が首位を独占しているが、自律部門の機体の技術が年々進化してきている。機体は画像処理ができるように機体の面、胴、小手それぞれが赤、青、黄と色分けされている。

ロボット剣道チームの機体は4軸のダイナミックセル RC サーボを使っている。一昨年度から参加しており、初年度は入門部門であったが、昨年度から自律部門で出場しており、今年度は昨年度と比較してプログラムを書き換えてより正確な部位へ技を打ち込めるように改良した。

2016年6月25日の神奈川県立青少年センターでの第4回 ROBO-剣大会に自律部門で出場したが、結果は初戦敗退だった。図2に準備の様子を示す。相手の機体はマスタースレーブ方式で制御されており、こちらの攻撃が巧みにかわされてしまった。相手の動きを予測して先打ちや相手の攻撃をかわせるような画像処理を行う必要性を感じた。また試合中の発声も聞き取りにくいものだったため、明瞭な発声を発せられるように改良する予定である。

4. 2足歩行ロボット活動報告

ROBO-ONE とは、2足歩行ロボットによる格闘競技大会である。ROBO-ONE と ROBO-ONE Light の2つのクラスと新しく自律機体部門として ROBO-ONE Auto が新設された。相手を倒すと1ダウンとなり、先に3ダウン取った方の勝利となる。また、倒された方は10秒以内に起き上がらなければ負けになってしまう。

今年度は今回から新設された ROBOONE-Auto への出場を目的として取り組んだ。攻撃や移動、起き上がり、動作に必要な情報など

を模索した結果、相手の居場所や自分の姿勢、場外を検知して適切な動作を行うために角速度センサや超音波距離センサ、赤外線センサを搭載した。これらの動作や搭載物を基に図3に示すように SolidWorks で機体を設計した。その後、各部品の加工に取り組んだが、残念ながら今大会では製作が間に合わず出場することができなかった。次大会では出場して上位を狙うために構想を練り直したい。

2017年2月25日にバンドー神戸青少年科学館で行われた第14回 ROBO-ONE Light には市販機体で出場した。この大会の様子を図4に示す。こちらの結果は3回戦突破のベスト16に入ることができた。

5. 結言

室内飛行ロボットチームは、飛行時の角度調節が難しく、まだ調整中であり今年度の大会への出場はできていない。今年度は3つのグループで大会出場を行い、全日本ロボット相撲の関東大会ベスト16と2足歩行ロボットの ROBO-ONE Light のベスト16が主な成果であった。

今後より上位の成績を残せるように努力を続けたい。また、今後は学内の宇宙エレベータープロジェクトと協力して、宇宙エレベーターに搭載して、上空から降下するロボットの開発や、新規大会への出場にも力を入れるなど活動の幅を広げて行く予定である。

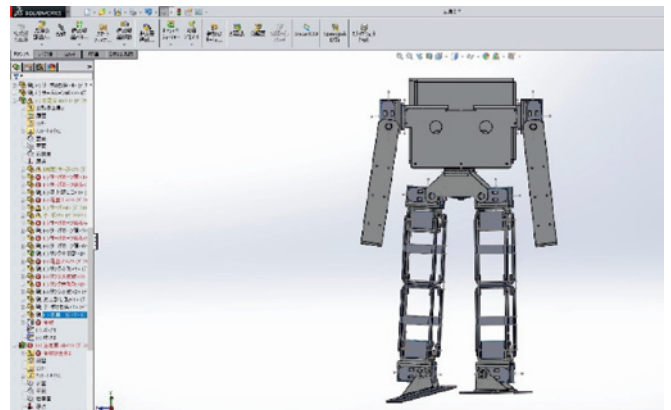


図3 SolidWorks 上で設計した機体

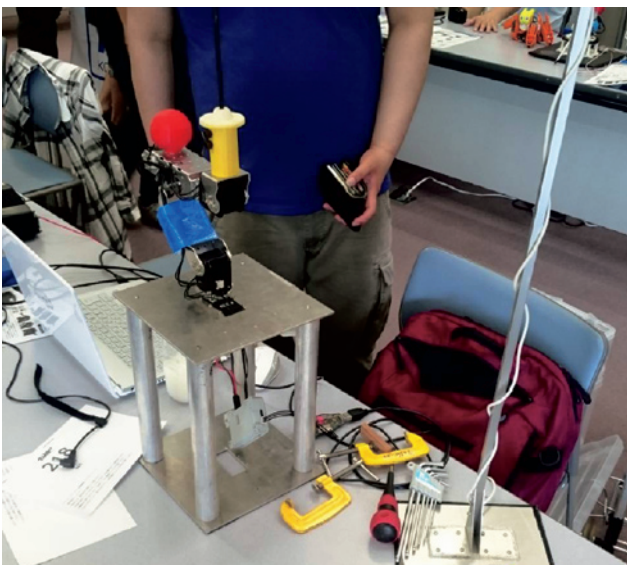


図2 第4回 Robo-剣大会での準備の様子

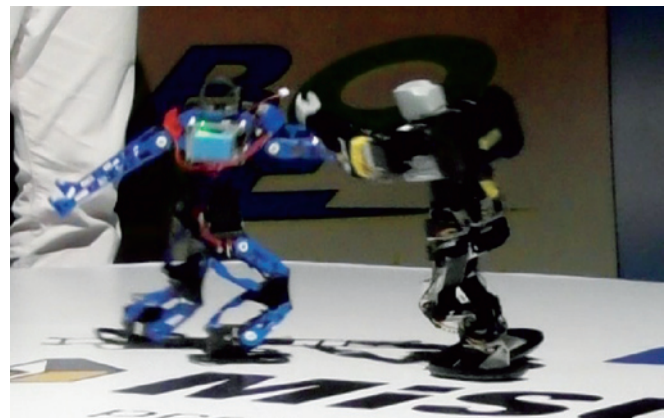


図4 第14回 ROBOONE-Light 大会の様子

8. 随想

- 8-1 研究と教育に纏わる思い出
- 8-2 一人の建築技術者の歩いた道
- 8-3 宇宙を“知る”

佐藤 憲一

岩田 衛

垣本 史雄

研究と教育に纏わる思い出

佐藤 憲一*

Memories of my academic and educational career

Ken-ichi SATO*

1. 緒言

自然観察が好きだった私は、子供の頃から植物や昆虫に触れてその美しさや生命の不思議に魅せられてきた。それゆえ、植物や昆虫採集に強く興味を持つ少し変わった少年だったかも知れない。また、祖父は当時の日本では数少ない技師であり、彼の残した道具箱にはドイツ製の懐中時計型のアンペアメーター、ボルタメーター、および鉱石ラジオ用の大きなゲルマニウムの結晶など見た事もないようなものが沢山入っていたので、遊び道具には苦労しなかった。子供の頃、そうした様々なものに触れてその不思議さ「何故だろう」に興味を持つようになったことが洞察眼を磨くのに役立ったのだと思う。中学時代は書棚にあった古い書物を頼りに、勉強そっちのけで大菊や朝顔作りに夢中になっていた。忠実に条件を再現してやると大輪（20cm前後）の花を咲かす事ができ、書物に記されている先人の知恵やデータの重要性に感銘を受けたのを覚えている。栽培に必要な薬品類は良き相談相手になってくれた町の薬屋から手に入れた。私が化学の道を歩み、研究者となったのは白衣を着た薬屋さんへの憧れがあったからかもしれない。

持ち続けた夢が現実になったのは、本学でのゼミ指導に当たった恩師との出会いである。様々な人生経験を積んでこられた先生は、研究の楽しさだけでなく、それを通して心豊かな人間が持つ志を折に触れて伝えてくれた。研究の合間にレクリエーションに出かけ、海や野山を駆け巡り自然と触れ、時には観光名所での歴史に触れ、博物館や美術館にもよく行った。また夏季は毎日のように野球もやった。お陰で、夏バテすることなく研究生生活を楽しむことができた。当時はエアコンなどない時代であった。今時の学生は恵まれ過ぎてバテている。こうしたレクリエーションの後は必ず飲み会があり、こうした共同生活の中で自然と社会勉強をさせてくれた。レクリエーションは文字通り再び創り出す力を与えるものであり、遊びもなくダラダラと研究するよりもはるかに効率が上がった。私にとって研究は楽しいものであり、さほど苦労せずとも人並み以上のことが出来た。しかし、卒業研究をやるまで、自分がこれまで培ってきた知識・思考法・技術が何に役立つかはっきりとは解らなかった。大学は基礎知識や専門知識を授けるだけでなく、卒業研究を通してその活用の仕方まで教えてくれた。

私が大学の教員となったのには、尊敬する二人の恩師との出会

いがある。先に述べた本学での学部・修士課程のゼミ指導に当たった先生と博士後期課程での指導教員であった東京工業大学の先生である。お二人は師弟関係にあり互いに人間的な魅力で結び付いていた。そうしたこともあり、学部卒業後は研究生として東京工業大学に籍を置きながら本学の修士課程の学生として研究生生活を送った。当時は外研が許されており、外の世界に触れる良い機会であった。しかし、多くの大学で学生運動が盛んで、大学は封鎖されていたので入構チェックは厳しかった。幸い妨害を受けることなく充実した研究生生活を送ることができ、修士課程では新規化合物を70以上合成し、論文をまとめた。この時扱ったテーマがフグ毒全合成原料としての分枝糖の立体選択的合成である。これが私のライフワークに繋がっている。分枝糖は通常の糖類とは異なり炭素鎖が枝分かれし、根元に水酸基やアミノ基といった特殊官能基を持つ化合物である。それらは、天然に極僅かしか存在しないため稀糖とも呼ばれる。これらの糖は、多くの抗生物質中に存在し、その活性発現と抗菌スペクトルを決める重要な構成要素である。また、私が糖化学に興味を持った理由は、自然界に最も豊富に存在する有機化合物が糖類であるからである。これらは光合成を通して地球上における炭素循環（酸素循環）とエネルギー循環を担っている。それゆえ、太古よりほとんどの生物は糖を利用することなくして生命活動を維持することはできなかった。従って、生命が関与する地球上に存在するすべての有機化合物は糖から作られると言っても過言ではない。不幸なことに、人類は生物が化石化して変性した成れの果てである石炭・石油を原料とする化学変換大系を発展させてきた。その結果、公害等の地球環境の悪化を招く結果となった。自然界で行われているのと同じように糖の持つ機能（化学原料、食料、エネルギー資源としてのバイオマス等）を最大限に生かす化合物の合成（新しい化学変換大系）を確立することは重要な課題である。

研究はよほどユニークでない限り、同じような発想をする人も多いため、スピードが競争において重要となる。ある組織で6ヶ月を要する研究量が、他の組織では1ヶ月であることもしばしばである。それ故、研究のスピードと研究哲学は組織の重要な伝統である。優れた環境に身を置けば、人は自然と優れた研究者として育つ。良い組織は伝統に更に磨きを加えられ少しずつ向上していく。しかし、せつかく築いた伝統も油断するとすぐに元の木阿弥と化すことも多く、指導者は繰り返し同じ事柄を伝えなければならないこともある。幸い私は大学で良き伝統と志を恩師から学ぶ機会を得た。この経験が私の研究・教育人生に大きな影響を与えた。修士課程卒業後、信

*教授 物質生命化学科

Professor, Dept. of Material and Life Chemistry

州にある医者向けの製薬会社の研究員として新薬開発に当たった。退職するまで1年9ヶ月と短い間であったが、抗アレルギー剤開発に関連する国際特許を7報申請し、喘息治療薬リザベンを開発できたことは幸運であった。会社ではラジオアイソトープ化合物の合成を任されるなど評価されていたが、大学時代の研究を続けたいという思いは捨て難く、東京工業大学の博士課程の学生として古巣に戻った。しかし、長津田新キャンパスへの研究室移転が重なったため、博士論文は実質2年ほどで仕上げなくてはならなかった。研究成果は、後に種々の分枝糖の立体選択的合成に道を開き、研究領域を拡張することが出来た。課程卒業後、私は同じ研究室に助手として勤め、研究者・教育者の道を歩むことになった。

研究に於いてよく耳にする「重箱の隅を突くな」「糟糠を嘗めるな」はテーマを考える時にいつも私が意識してきた事である。当時、研究室の天然産分枝糖及びそれらの誘導体合成は他をリードしていた。一方、複雑な構造の有機天然物は不斉炭素を多く持つ糖類(キラルシントン)を原料とするのが主流であった。私は、他研究者が入手しにくい分枝糖が活用できれば、フグ毒やより複雑な天然物の合成が可能であると考えた。そこで、糖類(キラルシントン)を原料とする天然物合成の第一人者に学ぶべくカナダのモントリオール大学へボスドクとして留学させてもらった。留学先の先生はアメリカ化学会でハドソン賞を受賞するなど気鋭の研究者でもあった。留学先で私はアップジョンカンパニーの基金による新規抗生物質の合成に従事することになった。着任早々、先生の授賞式出席と基金提供企業とのミーティングに私をアメリカに連れていくとの申し出があった。まだ研究が捗っている訳でもなく、図々しいのではないかと断ってしまった。この時、先生が発した言葉が「ケンイチもつとフレンドリーにやろう」であった。より多くを学ばせたいとゆう親心も理解せず、先生のせつかくの好意を受ける余裕のなかった己を悔いた。滞在中、カナダ生活をそれなりに楽しむ一方、与えられたテーマを予定通り完成させたかったので、しばしば土曜・日曜も研究した。先生から見ると、家族サービスを第1に考えない日本人が不思議な存在であったようである。1年を過ぎた頃、帰国するよきの手紙を恩師から受け取ったが、研究の進展上2ヶ月延長してもらった。それでも目的物の合成が完成したのは、カナダ出国当日の朝であった。その日は日曜日であったが、先生に研究室に来て頂き、完成を報告するとともにデータと完成祝い用のシャンパンを渡して帰国した。研究成果は後にアメリカ化学会誌に発表され、日の目を見た。カナダ滞在中、妻、長女とカナダ生まれの長男とともにケベックやカナディアンロッキー縦断の旅も楽しみ、他国の文化にも触れ多くを学んだ。研究室で使用した便利な実験器具は帰国後写真を基に特注し研究室のレベル向上に役立てた。助手に復帰後、留学先で得た様々な知見を後輩の指導に役立てた。私が東京工業大学の助手であった7年間に、私の研究テーマ関係で後輩が研究を進展させ数名が博士号を取得した事は嬉しい事だった。

その後母校である本学に助教授として赴任し、研究室を主宰する事になった。私が今日教員となっているのも、育ててくれた恩師や引き上げてくれた恩師がいたからである。本学の教員となっても、短期国外研修制度でドイツのダルムシュタット工科大学の客員教授として3ヶ月間訪問する機会を得た。ドイツ語が少し出来たことと東京工業大学の恩師が若かりし頃に留学した先であったから

である。研究室に顔を出すと、早速講演会が設けられ私の研究内容を紹介させられた。ケクレ講堂と呼ばれる講演会場はベンゼンの構造を決定した化学者ケクレに因んだ六角形をした記念講堂であった。ケクレは偉大な化学者であり、彼が使用した研究室は今でもその当時のまま保存されている。ドイツでは日本と異なり大学教授の数は少なく、彼らは超エリートかつ絶対的権威者である。学生は先生とのディスカッションに先立ち、まず私の部屋に研究の相談に来た。学生と先生は毎日、午後のティータイムを共にしているのに不思議な気がした。先生の指示と異なる実験をする時、学生は私の名前を上手いこと利用していた。滞在中、私の日課は論文のまとめと学生とのディスカッションが主なものであった。

週末になると、どこに出かけるのか?と先生は聞いてくる。近隣は先生が車を出して案内してくれた。時に、ハイデルベルクに行くと言え、その観光スポットを丁寧に教えてくれ、写真のベストショットの位置まで指示してくれた。先生自身がハイデルベルク大学出身だからかもしれない。また、南ドイツに出かけた時は、Prof. サトーが講演に行くので宜しくと、同僚のコンスタンツ大学教授に電話してくれた。ドイツのおもてなしの精神に触れた気がした。日本もドイツも学生の気質に大差はない。先生が出張でない時は、「鬼の居ぬ間に」とばかり羽を伸ばす。学生とはよくディスカッションしたしメンザで昼食を共にしたので、私持ちのステークパーティーを企画した。アルコール濃度の高いビール、自家製の林檎酒などいろいろなビールを飲み交わし、最終バスがなくなるまで楽しんだ。皆程よく酔い、何人かの学生をタクシーで送ったことも懐かしい思い出である。大学構内ばかりでなく、街中でも多くのドイツ人の人情に触れることができたことが私の人生をどれほど豊かにしてくれたか測り知れない。他国の文化に触れ、素晴らしい指導者たちと出会う機会を与えてくれたことに感謝している。

これまで、私は恩師から受け継いだ研究・教育に関する志を少しでも次世代に伝えるよう努力してきた。教員も学生も互いに刺激し合いながら成長していくものなので、熱心で誠実な学生に私は救われ、情熱的な指導ができた。今、私は年を取り、「青年老易く学成り難し」を実感している。せめてもの慰めとして期せずして、優秀講義賞、グッドティーチャー賞、Gerald Blunden Award(国際的な学術専門誌の優秀な論文に送られる賞)等を受賞したが、これも熱意ある学生のおかげである。また、私の研究室から10名の博士号取得が出て、そのうち大阪大学大学院教授を筆頭に7名が大学教員として活躍している。企業で社長・部長として活躍している卒業生も多い。恩師の志が代々後輩に伝わっていくことを願うとともに、研究と教育の場を与えてくれた本学と本学関係者に心から感謝している。

一人の建築技術者の歩いた道

岩田 衛*

The path an architectural engineer walked

Mamoru IWATA*

1. 生まれと勉学時代

18歳の春に、富士山麓の故郷（図1）、静岡県駿東郡小山町から、横浜市のアパートへ父の政雄の助けを借り、トラックで引っ越ししてから半世紀以上経った。道中の桜が満開であったことが今でも思い出される。父は静岡県の土木技術者であった。1956年に竣工した、戦後日本の土木技術史の原点となる、佐久間ダムの建設にも従事していた。ある時、祖父の嘉一から、父が設計した河岸護岸が洪水で流され、滅入っているようだと言われたこともある。祖父は器用な人で、商人、神官から大工仕事まで何でもこなしていた。



図1 富士山麓の故郷

父の影響で土木構造物に興味を持っていたが、大学2年の学科選択の時、東京工業大学では土木学科より建築学科の方が歴史を有し人気も高かったので、建築を選択した。建築でも土木と同じように構造物の設計ができるぐらいの気持ちであった。4年の卒業研究で藤本盛久研究室に所属、博士課程修了までの6年間、藤本先生の御指導を頂いた。藤本先生は鋼構造の権威で、東京工業大学退官後、神奈川大学に在籍し、学長、理事長を歴任された。藤本研究室では良き先輩と後輩に恵まれ、今でも変わらぬ絆が続いている。

学位論文は、「鋼圧縮材の座屈強度の確率論的方法による研究」、確率・統計論に基づく信頼性設計手法の先駆的な研究であり、その後、この分野の研究が進み、現在の限界状態設計法になっている。もし、博士課程修了後も大学で研究を続けていたならば、この分野

の研究者になっていたかもしれない。

27歳で工学博士を取得、新日本製鐵株式会社に入社した。当時の新日本製鐵は日本一の企業で世界一の製鉄会社であった。学位にはこだわらず、研究者よりも実務技術者の道を希望した。研修では三交代勤務、製鉄の現場も経験した。その道何十年の製鉄マンから真夜中に冷えた弁当を食べながら聞いた話が懐かしい。

2. 会社員時代

2.1 システムトラスの技術開発と実績

建築事業部配属後すぐに、サウジアラビアのリヤド空港のターミナルビル建設の国際入札があり、それに対応するためのシステムトラスの開発を任された。システムトラスとは、球体接合部（ノード）に1本ボルトにより鋼管部材を結びつけて成り立つ、システム化されたスペースフレーム（図2）である。その国際入札には負けたが、その後、一般化システムとして商品化を図った。

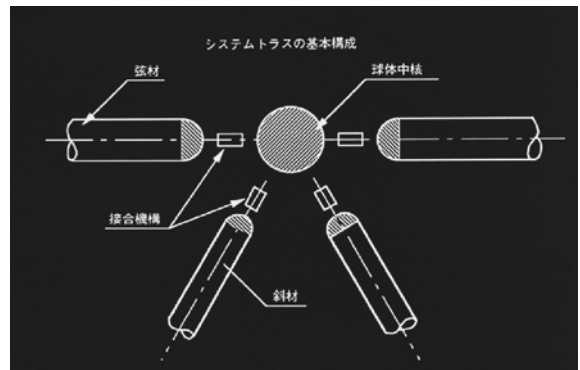


図2 システムトラスの基本構成

システムトラスの最初の適用プロジェクトとして、新宿NSビル大屋根（1982年竣工、設計：日建設計、図3）がある。トリプルレイヤー（3層）トラスで、新宿NSビルのアトリウム上部にあり、今でも空中回廊から近接して見ることができる。その後、システムトラスは多数の国内プロジェクトに適用された。犬山リトルワールドコンコース（1982年竣工、設計：日建設計、図4）、東京ドームコンコース（1988年竣工、設計：日建設計、図5）などがあげられる。

システムトラスは、海外プロジェクトにも展開した。苦勞したもの、インドネシアのジャカルタGMFハンガー（1985年竣工、図6）がある。地組（図7）したものを、リフトアップ工法で上部に

*教授 建築学科
Professor, Dept. of Architecture



図3 新宿 NS ビル大屋根



図7 地組



図4 犬山リトルワールドコンコース



図8 ニューヨーク・ジャヴィツコンベンションセンター



図5 東京ドームコンコース

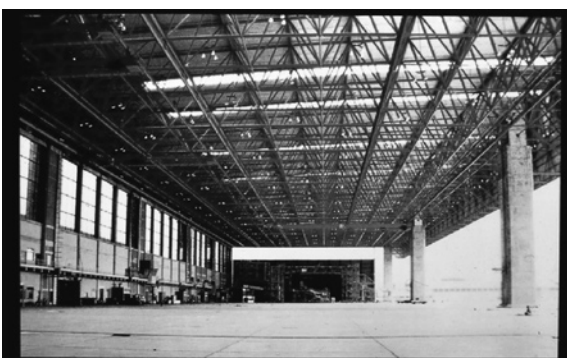


図6 ジャカルタ GMF ハンガー



図9 大連タワー

設置する途中で、水素脆性による太径ボルトの遅れ破壊が生じた。製造時の熱処理ミスが原因であると判明するまで、開発者でかつ設計者である私は大変なストレスを受けた。36歳の時である。

GMF ハンガーの問題が解決した頃に、新日本製鐵は関係なかったが、ニューヨーク・ジャヴィッツコンベンションセンター（1986年竣工、図8）のスペースフレームの建設で、同様な破壊が起こった。こちらは高張力鋼ノードの割れである。米国のメーカーでは、この問題への対処ができず、経験ある新日本製鐵が頼まれ、問題点を一番よく知っている私とその担当になった。このジャヴィッツコンベンションセンターはガラスの天井と壁を有する建築物であり、ヒラリー・クリントンが大統領選挙でトランプに負けた日に「ガラスの天井を破ることができなかった」と演説した処である。

中国の大連タワー（1990年竣工、設計：新日鐵、図9）はシステムトラスによる世界最初のタワーである。この頃の中国は日本の先進的技術を求めており、彼らにとっては少々高い買い物であったが、その代わりこの建設を通して確実に日本の技術を学ばれてしまった。シンガポール・インドアスタジアム（1989年竣工、図10）は有名建築家の丹下健三の設計であり、東洋の寺院が設計コンセプトになっている。1964年に彼が設計した名建築の代々木競技場に似ていなくもない。

後年、システムトラスに関する研究の業績により、1998年5月に日本建築学会論文賞を受賞した。

2.2 システムトラス以外にしたこと



図10 シンガポール・インドアスタジアム

システムトラスとは対照的な全溶接からなる独創的な Y 型接合角形鋼管トラス（図11）を、松尾橋梁・前田親範氏と発案し、横浜アリーナ（1989年竣工、設計：竹中工務店、図12）に適用した。また、施工オートメーションを前提にして、従来の高力ボルト接合や溶接接合ではない嵌合接合からなるビルシステム（図13）を発案し、広尾 BBKK ビル（1990年竣工、設計：日建設計、図14）に適用した。

1990年代初めは、中国、シンガポール、香港、台湾で多数の超高層鋼構造ビルが建設された。中国の深圳地王ビル（高さ322m、竣工1996年、図15）の耐風設計に際しては、神奈川大学・大熊武司教授の指導を受けた。

41歳の頃、1988年から1989年にかけて米国の MIT に Visiting Engineer として在籍した。昭和から平成へ変わった日をボストン・ビーコンヒルのアパートで迎えた。その頃に MIT に同じく在籍し

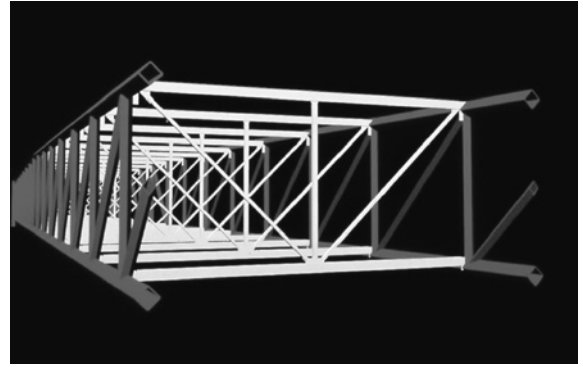


図11 Y型接合角形鋼管トラス



図12 横浜アリーナ



図13 嵌合接合

ていた、東京工業大学・和田章教授、日建設計・川合廣樹氏、そして MIT・J.J.Connor 教授とともに、「損傷制御構造」を議論した。それを1992年に論文としてまとめ、米国での国際会議で発表した。

損傷制御構造（図16）は、構造物は柱と梁からなる主体構造と制振部材の二つの独立な構造システムから構成されると考える。主



図14 広島 BBKK ビル



図17 目黒アイケイビル



図15 深圳地王ビル



図18 阪神大震災

出典： 1995年阪神・淡路大震災スライド集, 日本建築学会編

体構造は常時荷重を支持し、地震時にも弾性挙動する。制振部材のみが地震時にエネルギー吸収する。

目黒アイケイビル（1993年竣工，設計：日建設計，図17）で、

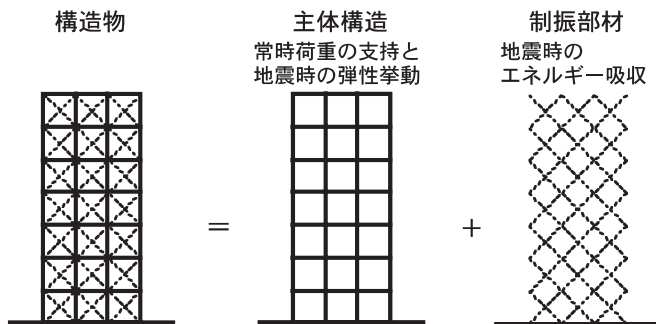


図16 損傷制御構造



図19 芦屋浜高層住宅

今にして思うと荒削りの設計ではあったが、損傷制御構造を初めて実現させた。この考え方は、1995年1月に起こった阪神大震災で、全体崩壊には至らなくとも部分的な損傷（図18）により、結局、建物を取り壊す事例が続出し、その後、世間のニーズが高まり一般的に認知された。

その阪神大震災で忘れられないのが、芦屋浜高層住宅（図19）における柱材の引張破壊（図20）である。原因調査の責任者として、



図20 柱材の引張破壊

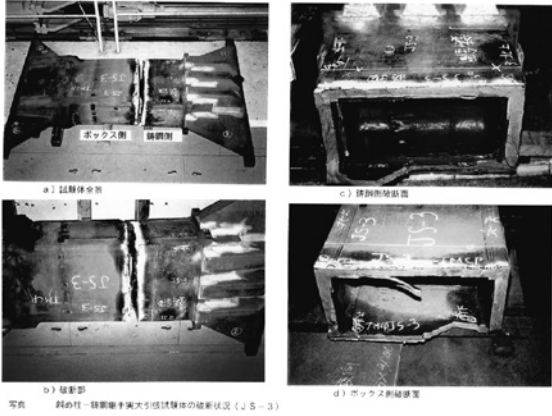


図21 柱材の実大引張試験



図22 サンキョウ渋谷ビル

問題解決に努力した。原因調査結果の詳細は建築主の要望により公表されなかった。残念であるが仕方がない。柱材の実大引張試験(図21)などの研究成果を踏まえ、サンキョウ渋谷ビル(1998年竣工, 設計: プランテック総合計画事務所, 図22)が建設された。このビルは外周柱が斜め格子のチューブ架構からなる。

損傷制御構造の開発は晴海トリトンスクエア(2001年竣工, 設計: 日建設計, 図23)でほぼ完成し、川合、和田の両氏と共に、2003年5月に日本建築学会技術賞を受賞した。このビルの制振部材である屈曲拘束ブレースには、損傷レベルが検知できる糸を用いた簡易的な最大変形計測センサーが取り付けられている。2011年3月の東北大地震後の損傷レベル把握に役立ったと聞いている。

3. 大学教員時代

1999年、51歳の時、新日本製鐵から神奈川大学に転職した。母の春子は長年小学校の教員を勤めていた。私が大学教員になった時には既に他界していたが、同じ教員になったことに母もきっと喜んでくれたと思う。やっとな親の遺伝子(技術者と教員)を公に受け継ぐことができ、嬉しかった。

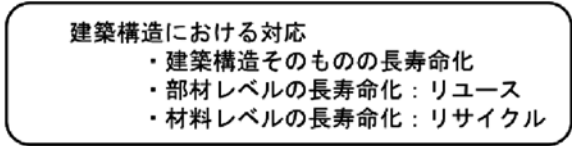
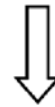
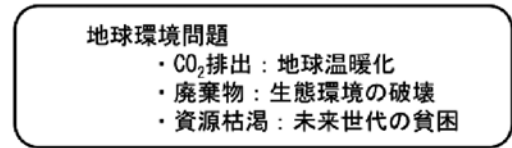


図24 サステナブル構造



図23 晴海トリトンスクエア



図25 アイアンブリッジ

神奈川県においてサステナブル構造研究室を立ち上げ、幾つかのテーマで研究を行った。サステナビリティ（持続性）を建築構造的に解釈すると、第一に構造物の長寿命化であり、それが叶わない時は、部材のリユースである（図24）。錆に弱い鉄であっても英国のアイアンブリッジ（1779年建設、図25）は200年以上使用されている。また、木構造でも、奈良の薬師寺東塔（730年建設、図26）の木材には、幾多の再建を通してリユースを繰り返し、一千年以上使用されているものもある（図27）。

3.1 研究テーマ



図26 薬師寺東塔



図27 1000年使用材

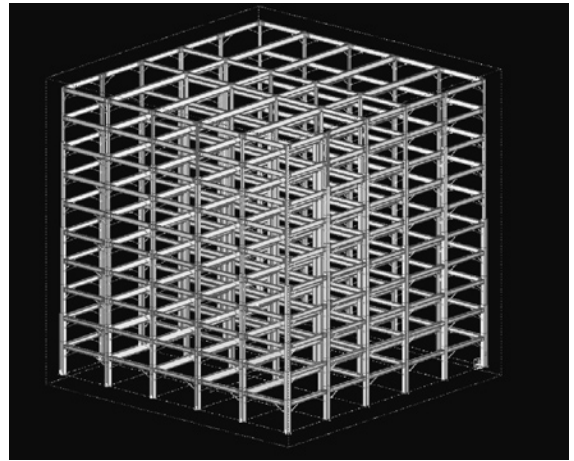


図28 サステナブルビル構造システム

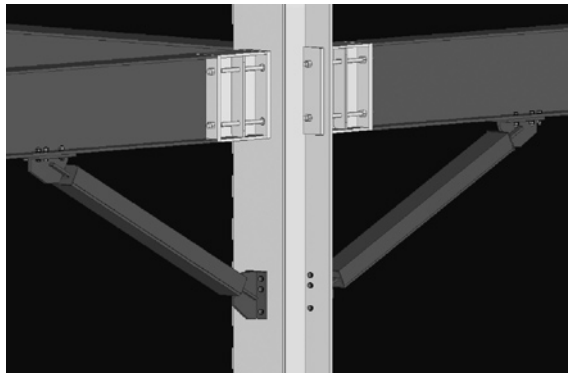


図29 柱梁接合部

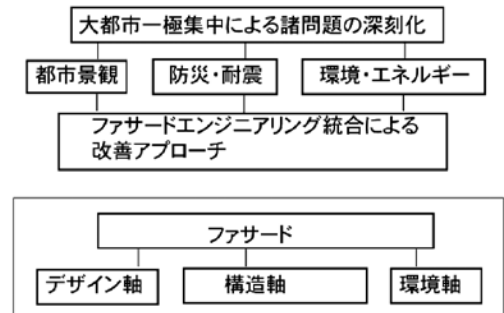


図30 統合ファサードシステム

1) サステナブルビル構造システム

長寿命化，容易な解体，リユースを可能とし，且つ，損傷制御構造の考え方を満たす「サステナブルビル構造システム（図28）」を，東京工業大学・山田哲教授と共同研究した。この構造システムは，梁端部に接合部ユニットから柱のフランジ部に鋼棒を通した柱梁接合部を有し，地震エネルギーは方杖状に設置した制振部材としての座屈拘束ブレースのみによって吸収する（図29）。

2) 統合ファサードシステム

建物の外壁面を構成するファサードは，都市景観を形成する重要な要素の一つであるとともに，建物内部を外的環境から保護し，消費エネルギー効率にも影響を与える。「統合ファサードシステム



図31 東工大緑ヶ丘1号館耐震補強

(図30)は、建築意匠と環境要素に防災・耐震性能の要素を加え、ファサードに関するエンジニアリングを統合することにより、都市問題を解決する一つの方策である。東京工業大学・竹内徹教授、神奈川大学・岩本静男教授らと共同研究した。東工大緑ヶ丘1号館耐震補強(2006年、設計：安田&竹内教授、図31)で実現された。

3) 建築鋼構造リユースシステム

現在の鋼材の流通では、使用された部材を電炉で溶解させ、再度、鋼材にするシステムが確立している。しかしながら、サステナビリティの観点から見ると、溶解の都度発生するCO₂を無視することができない。「建築鋼構造リユースシステム」は、溶解せず、最低限の加工によりリユースするという鋼材の新しい流通システムである。リユースデータベースとしてインターネットを利用する(図32)。山口大学・藤田正則教授と共同研究した。

4) 鋼木質複合構造；CSTS

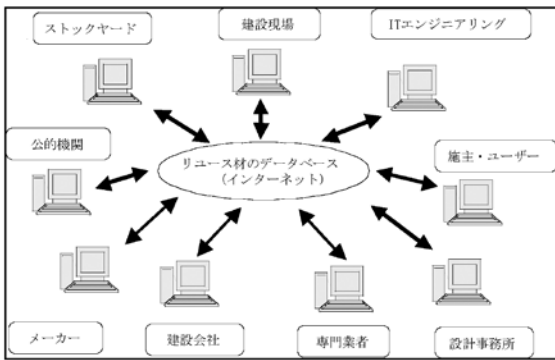


図32 リユースデータベース

従来の木質構造では、耐荷性能、耐震性能の問題から、4階建て以上に適用することに難がある。木質材料を中高層規模の建物に適用することを目指したものが、「鋼木質複合構造；CSTS (Composite Steel Timber Structure) (図33)」である。山口大学・藤田正則教授と共同研究した。CSTSの柱と梁は、鋼の周囲に木質材料を取り付けた複合部材で構成される。純ラーメン構造に適用する場合、鋼と木質材料の一体化の程度が異なるため、柱梁接合部を剛接合都することが困難である。これに対応するため、CSTSでもサステナブルビル構造システムと同様に、制振部材として方杖状に座屈拘束ブレースを配置している。

これら研究と振興の業績により、2011年4月に藤田教授と共に文部科学大臣表彰科学技術賞を受賞した。

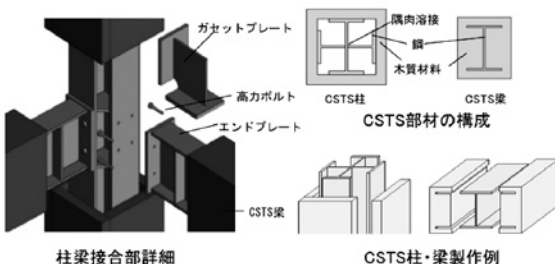


図33 鋼木質複合構造；CSTS

3.2 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレース；BRBSMの研究開発

前述した構造システム研究のキーテクノロジーとして「鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレース；BRBSM (Buckling-Restrained Brace using Steel Mortar planks)」の研究開発を、北海道大学の緑川光正教授、信州大学・中込忠男教授らと共に長年に亘り行ってきた。神奈川大学・村井正敏主任技術員と小谷野一尚助手には、多大な協力を得た。

BRBSMは、軸方向力を伝達するブレース(芯材)が座屈しないように鋼モルタル板を用いて補剛したものである(図34)。BRBSMは高歪状態においても安定した復元力特性を有し、品質管理を厳しく行え、両端部ディテールの設計自由度が高い。多くの実験(図35)により、BRBSMの弾塑性性状、補剛性状、累積塑性歪エネルギーなどが明らかになった。

BRBSMの実績；

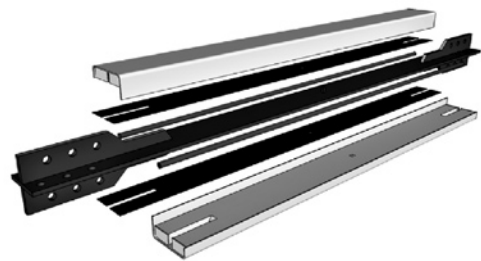


図34 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレース；BRBSMの構成



図35 実験

BRBSMは多くの建築物に適用されている。例えば、衆議院議員会館(2010年竣工、設計：三菱地所設計、図36)、ふじのくに千本松フォーラム(プラサヴェルデ)(2014年竣工、設計：長谷川逸子・建築計画工房、図37)、DPL川崎夜光物流施設(2017年竣工、設計：大和ハウス工業、図38)、また、中部電力通信鉄塔の耐震補強(2007年竣工、設計：中電不動産、図39)などがある。

4. 今後の展開

近年に経験した地震において、建築物の機能が損なわれるような重大な損傷が多くみられ、安全性に加えて建築物の機能維持性能(財産性、継続性、修復性)が必要であるとの認識が増えてきている。しかし、現在の建築基準法は安全性のみを考慮した最低基準であり、今後必要とされる性能との間に隔りがある。

損傷をBRBSMに集約した構造であれば、BRBSMのみに歪み計



図36 衆議院議員会館



図37 ふじのくに千本松フォーラム（プラサヴェルデ）



図39 中部電力通信鉄塔の耐震補強



図38 DPL 川崎夜光物流施設



図40 神奈川大学横浜キャンパス3号館

を設置することにより、簡易に建築物の現状、損傷レベル、余震あるいは後震に備えた残存性能をモニタリングすることができる。継続的モニタリングによりライフサイクルにおける建築物の健全性の評価を行うことができる。既に、神奈川大学横浜キャンパス3号館（2014年竣工，設計：横浜市建築設計協同組合，図40）で、建築物ヘルスマニタリングが先進的に試行されている（図41）。

BRBSM 付き建築物は、大地震後も主体構造の継続利用が可能であるため、長寿命化と財産保護につながる。防災拠点としての役割



図41 建築物ヘルスマニタリング

も期待できる。また、建物解体の頻度が少なくなり、建築廃材およびCO₂排出量を抑制でき、サステナブルな地球環境づくりに貢献できる。

更に、BRBSM 付き建築物の所有者は、BRBSM の損傷コストの期待値に基づき、そのリスクを自分自身で保有し、補修費用を予め用意しておくことができる。現在の地震保険は、損傷額が大きくなることが予想される建築物に対しては、保険金額が膨大になるため保険料も高くなる。BRBSM 付き建築物ならば、この問題解決の糸口となり、安い保険料の設定が可能になると考える。

半世紀も建築技術者をやっていて、飽きないかと言われている。70歳になっても、建築技術は好きだし楽しい。他に特別な趣味もなく、ずっとこれからもやり続けるつもりだ。40歳後半から20年以上研究開発してきた BRBSM を特殊な建築物だけでなく、一般の建築物まで広く普及させるという社会的使命もあると勝手に思い込んでいる。

実は、もう一つ今後やりたいことがある。日本建築学会の副会長の時（2012年～2014年）、気候変化による災害防止に関する特別調査委員会の委員長として、気候災害（水害、土砂災害、風害、雪害、暑熱化等）防止対策の体系的整理、現段階での対策と今後の課題をまとめた。近年、気候災害は増加の傾向にあり、これに対処するため、日本建築学会としての具体的な行動を起こしたいと考えている。

宇宙を“知る”

垣本 史雄*

“Understanding” The Universe

Fumio KAKIMOTO*

ふと見上げた夜空に輝く星々を見たとき、宇宙の中に存在する自分を強く意識し、宇宙の不思議に思いを馳せることは、殆ど全ての人が経験することである。このとき、人は、普段生活している世界とは全く次元が異なる時空間に放り出されたような恐怖感とともに、この大自然の中に存在していることに対する何とも言えない感動を覚える。そして、人は宇宙そのものを知り、自分自身の存在の意味を知りたいと願う。宇宙は、まさに人類究極の知的対象であり、これからも変わることはない。この動機に導かれて、人類は宇宙の謎の多くを解き明かしてきた。特に、現代の物理学の進展し、思いもよらぬ宇宙の仕組みによって、この宇宙が巧妙に誕生し、進化してきたことがわかってきた。私自身、宇宙に関する知識が増すにつれて、より深く感動するとともに、この知識が自分自身の生き方にも大きな影響を与えていることを自覚している。このように、宇宙に関する知識は、単に“知っている”だけに止まることなく、人の生き方に大きな影響を与える力を持っているのである。普通、日本人であれば、地球が球体で1日に一回自転していることは知っている。しかしそれは、例えば「横浜と白楽までの運賃がいくらか」といったぐいの知識と同列のものであろう。富士山頂でご来光を鑑賞しても、日の神々しさは感じて、足下の地球が雄大に回転していることを実感し、その地平線の下から太陽が姿を現し始めていることに感動している人は、殆どいないと思う。このように、一般の人が得ている宇宙に関する多くの“知識”は、データベースとしてのものであり、それがその人の人生で影響を及ぼすようなものとなっていないのが実情である。その一方で、多くの人が宇宙に関する話題に強い興味を示すのは、この不可思議な宇宙に存在している自分の意味を知りたいと本能的に願っているからに他ならない。たまたま、職業として宇宙に関わる教育研究に携わることになったが、多くの若い学生に宇宙に関する感動を伝える機会が与えられたことは、極めて光栄なことだと思っている。できるだけデータベースにとどまらない“知識”を授けることができるよう努力したい。

本学において、教養科目である「宇宙科学Ⅰ、Ⅱ」を担当し始めたのは2002年4月である。当時は、他大学の教員であったため、非常勤講師として担当させていただいた。当初、担当期間は2、3年くらいと考えていたが、十数年も過ぎ、2016年3月に本学の教員として採用していただき、さらに担当を続けることになるとは、全く

予想外のことであった。

この始まりは、桜井邦朋先生が本学の学長に就任されるとのことで、先生が担当していたこの講義を代役として担当してみないかとお誘いをいただいたことにある。桜井先生とは1976年に香港で開催されたアジア宇宙線国際会議で一緒させていただいた以来、国内外の学会等で挨拶をさせていただく程度の関係であった。これは、先生の専門分野が宇宙線物理学の中の一次宇宙線であるのに対して、私の方は高エネルギー宇宙線ということで、対象エネルギー領域が5桁以上離れていることから、直接の研究交流がないことが原因だった。すなわち、宇宙線のエネルギー領域は 10^9 から 10^{20} eV以上にもおよび、かつ、その到来頻度はエネルギーの-2乗に比例して減少していく。このため、対象エネルギー領域が桁単位で異なると、観測手法が全く異なるとともに、研究目的も多少異なっているためである。したがって、講義担当のお話をいただいたときは、少し意外な感じを抱いたことを今でも憶えている。ただ、本学と以前所属していた大学との距離が近いことが理由だったのだろうと理解している。

担当させていただくにあたって、不安に思ったことがある。桜井先生は、当時から多くの著作を發表され、高い博識を有する研究者として知られていた。したがって、その先生の講義の代役が務まるとはどうい思えなかった。つぎに、当時所属していた大学でも宇宙に関する講義を担当していたが、その講義回数は7回から14回程度であり、その内容も専門分野である「宇宙線物理学」を中心として、その関連分野の話題を取り上げるものであった。一方、本学の場合は、1年を通じて宇宙全般に関して約30回の講義を行うことになり、「かなりきつそうだ」との印象を強くもった。そして最後の不安は、本講義は教養科目であり、文系から理工系まで幅広い知識レベルの学生を対象としなければならない点である。これは、理工系教養科目全体にいえることなのかもしれないが、物理嫌いが蔓延する昨今、科学を話題にする講義ではやはり厳しいものがある。本講義を担当するに際して、まず要求されたことは「数式を使わずに、講義せよ」ということだった。いままで、少なくとも理工系の学生を対象とした講義しか経験がない私としては、極めて途方に暮れる思いだった。

さて、第一の不安に関しては、とにかく桜井先生に追いつくように勉学に励むしかない、との至極当たり前な結論を出した。二点目については、幸い、宇宙には多くの天体があり、それぞれに異なる現象が起こっており、1年間の講義で扱う話題には事欠かない。そこ

*教授 物理学教室
Professor, Dept. of Physics

で、方針としては、我々の近くから遠方へ、すなわち、太陽から始めて、惑星、恒星、銀河系、系外銀河、そして、宇宙空間そのものを話題にして終わる、と決めた。ただ、告白すれば、宇宙分野の中でも極めて狭い「宇宙線物理学」を専門にしているため、講義の準備に多くの時間を費やすことになった。また、宇宙に関する知識の進展は、極めて急速であり、教養科目の講義といえども、常日頃から情報収集に努める必要があることも依然として変わっていない。

問題は第三の点である。物理現象の正確な理解には、数式の導入は不可欠である。しかも、その数式をみて、それが表している物理現象が頭の中で思い描けるようであればならない。しかし、本講義を受講する学生は、専門家を目指してはいないのであるから、むしろ物理現象が起こった原因とその結果と結びつける“理屈”を理解させることに重点を置くべきであると決めた。この点を明確にしておけば、文系の学生も安心して申告ができるはずである。ただ、単にこのことを口で説明しても、なかなか理解してもらえないのも事実である。さらに、この理屈を理解する妨げとなる“習慣”が身につけていることを気づかせ、これを改めさせなければならない。これは、現象を理解するのに、理屈ではなく、「いつもそうだから」「当然だから」という理由づけを無意識にしている点である。この悪習は、われわれも注意しなければならないことであり、自然現象に対して常に謙虚でなければならないことを肝に銘ずる必要がある。過去の歴史を振り返るまでもなく、この謙虚さこそが多くの大発見に至るきっかけを与えてくれたのである。そこで、4月、9月のガイダンスの折に、次のような問を学生に考えさせ、その後、解説を行い、以上の点を理解してもらっている。

問) 赤道上の高い塔の上から手に持っている物体を静かに落とす。ただし、風や空気抵抗などの影響は無視するとして、この物体が地表に到達したときの位置はどこか、次の3つから正解を選べ。①塔の真下 ②塔の真下より西側 ③塔の真下より東側

これは、学部一年次の理工系学生が学ぶ「コリオリ力」に関する問である。このコリオリ力を式で憶えている学生は多いが、その“理屈”を本当に理解している学生は、極めて少ない。この問に対して、多くの学生は、「いくらなんでも、小学生、いや、幼稚園児じゃあるまいし」との不満げな表情を示す。さて、挙手で答えてもらった結果は、案の定①を正解とする学生が大部分で、②、③と答える学生は、約300名中数名である。ここで、答①を導く過程においては、理屈はなく、ただ頭にあるのは、「いつもそうだから、当然そうだから」であることは明白である。もちろん正解は③である。これを告げると、学生は、少し真顔になって、「そんな、冗談でしょう」という表情を示す。そこで、解説に移る。まず、学生が“当然”と思っている現象から始める。すなわち、等速直線運動している電車内で、両側の座席に相対して座っている2人AとBとの間で物体を渡す現象を説明する。AからBに投げ渡すとき、AはBに向かって物体を投げれば、物体はきちんとBに届く。これは、日常経験することだから、当然なこととして理解する。次に、1台の電車を2台の併走する電車に置き換える。はじめは、2台とも同じ速度で等速直線運動をしている場合。二台のうち一台にはAが、他にはBが、それぞれ同じ位置に乗車していて、同じようにAからBに物体を

投げる。これは、一台の電車が二台に分かれただけで何も変化はないので、AはBに向かって物体を投げれば、きちんとBに届くことになることは抵抗なく理解してもらえる。さて次に、Bが乗車している電車の速度が遅い場合を考える。AがBに物体を投げるタイミングは、Aが乗った電車がBの電車を追い抜くとき、Aの目の前にBが来たときとする。1つ前の考察では、Aが投げた物体がBの電車に到達したとき、Aの目の前にいるBに届いたのである。今度は、Bの電車の速度はそれより遅いのであるから、Bの電車に物体が届いたときは、BはAの面前より後方になることになる。したがって、物体はBより電車の進行方向前方に到達することになる。このあたりになると、多少不安げな表情を示す学生が出てくる。ここで最後の仕上げにかかる（下図）。地球は地球の中心の周りに自転している。宇宙から眺めたとき、塔の上の回転速度は、中心からの距離が地表よりさらに遠いため、地表の回転速度より大きいと説明する。すなわち、始めの間は、塔の上（速い速度の電車に乗ったA）から地表（遅い速度の電車に乗ったB）に向けて物体を投げたことに相当するということを理解させる。ここまでくれば、物体は、地表面に到達したとき、塔の真下より進行方向前方（東側）に落ちることが、自然と納得できることになる。もちろん、出席している学生全員が理解できているわけではないと思うが、すくなくとも、「このような説明方法で宇宙現象の解説をしてもらえるのだな」ということは理解され、講義を申告する上での学生の不安は、かなり解消されているものと自負している。

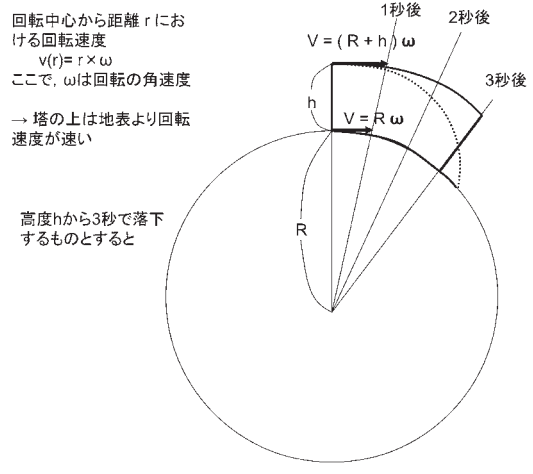


図. 図中、円は北極上空から眺めた地球の赤道面を表す。自転に伴う回転速度の大きさは、その場所の回転中心軸からの距離（回転半径）に比例して早くなる。

さて、実際の講義である。宇宙現象を理解するには、古典物理学の知識だけでは不十分であり、現代物理学、すなわち量子力学と特殊・一般相対性理論、さらには、それを基礎とした素粒子物理学や宇宙物理学の知識が不可欠である。しかし、これらに関する説明では、普段の我々の身の回りで起こる現象とは極めてかけ離れたもの、全く見たことも経験したこともない現象を題材としなければならない。そこで、まずは奇妙な実験事実を素直に受け入れてもらわねばならない。つまり、これこそが我々が生まれてきた宇宙の真の姿なんだと認めることから始める必要がある。これには、多く学生が抵

抗を憶えるであろうが、避けようがないことである。そこで、話の最後に、身の回りのよく知っている現象に対して、古典論だけでは説明ができないが、新たな考え方を導入することによってきちんと理屈が通ることを示すことによって、納得してもらうことにする。その1例を述べよう。量子力学に関しては、「太陽の元素組成」の項目で解説している。これに関するデータベース的知識を与えるだけなら、表を1つ提示すればすむ話である。講義では、この表がどのようにして得られたかについて解説を始める。すなわち、太陽光の分光スペクトル上に現れる暗線（ブラウンホーファー線）の分析によって分かったのであり、その理屈を理解するために、量子力学を説明する。そこで、最初に、電子線を狭いスリットに打ち込んだとき、粒子としての電子では考えられない回折、干渉現象が起こるといふ実験事実を示す。これにより、ミクロな世界では不確定原理で表現される現象が起こっており、粒子であるはずの電子（素粒子）が波動性を示すようになることを説明する。すなわち、ミクロ世界の電子は、この粒子・波動の2重性が両立できる状態でなければ存在できないと説く。以後、話を次のように続ける。ミクロな世界の代表である原子では、極小の原子核の周りに電子が存在している。この電子の波動性（波は1周して戻ってきたときスムーズに接続できないと消し合ってしまう）のために、電子に許される軌道は、とびとびのものに限定されてしまう。しかも、軌道ごとに電子の運動エネルギーが異なることから、原子内の電子のエネルギー状態がとびとびの値となる。これが、“量子”の名前の由来である。また、この電子のエネルギー値は、元素ごとに個数が異なる原子核中の陽子と電子との電気的な相互作用によって決まる。したがって、元素ごとに電子が取り得るエネルギー値の組み合わせが異なることになり、これが元素の存在証明に使われることになる。さらに、この軌道電子がその軌道に移る時には、軌道間のエネルギー差に相当するエネルギーを光（電磁波）として瞬時に吸収、放射する。以上から、太陽表面から放射された光は、表面付近に存在する太陽大気を通過する際に、そこに存在する原子ごとに定まった値のエネルギー光子（特定の色の光）が吸収され、これが地球上で暗線として観測されるのである、と結ぶ。さて、ここまでだと、多少知識は深まったものの、データベースの量が多くなっただけなのかもしれない。そこで、ミクロな世界で有効な量子力学という仕組みが、いかに我々の存在に大事なのかを話題にする。まずは身近なところから。毎日お世話になっている携帯電話やスマートフォンの情報交換手段には、電波が使われている。この電波は、電子（電流）を振動運動させ、周囲の電場を振動させることにより放射される。これに伴って、電子はエネルギーを失うことになる。一方、原子内の電子も原子核の周囲で振動運動をしている。したがって、本来なら電波を放射し、そのエネルギーを徐々に減少させ、ついには原子核に吸収されてしまうことが、古典物理学からは予測される。すなわち、宇宙に原子は存在しないことになってしまい、当然、今あるような天体も、我々自身も存在しないことになる。そのような状況になっていないのは、まさに、量子力学のお陰である。すなわち、原子内の電子は電波放射によるわずかなエネルギー減は許されず、軌道差に相当する大きなエネルギーを授受したときのみ、軌道変化＝エネルギー変化が可能なのである。このように、“当然だ”と思っている知識だけで普段目にする現象を考えると、辻褃が合わないことが多いこと

に気づいてもらう。そして、この新たに得た知見が、宇宙自身が有している極めて巧みな仕組みなのだと理解する。その例のいくつかを記してみよう。

電気には正負二種類の電荷があって、同じ電荷同士は反発し合い、異なる電荷同士は引きあう。また、二つの電荷間に働く電気力の強さは、電荷間の距離の2乗に逆比例する。すなわち距離が10分の1になれば、電気力の強さはもとの100倍になる。これらは、当然の知識であろう。さて、重い元素の原子核の内には、正電荷を帯びた多くの陽子が 10^{-15}m 程度の微小な領域におさまっている。当然の知識で考えれば、陽子間には強い斥力が生じているのだから、陽子はあつという間に原子核内から飛び出て、原子核は壊れてしまうと予想できる。もちろん現実には、原子核は存在し続けている。実は、ここにも宇宙に仕込まれた巧みなからくりが作用している。すなわち、原子核内には、陽子の他に中性子が存在しているが、これらの粒子を結合させる「強い力」とよばれるものが存在するのである。なぜ「強い力」とよぶのかというと、まさに、その結合力が、原子核内の陽子間に作用する電気斥力より約100倍も強いからに他ならない。さて、このような「強い力」が存在するなら、今度は、変なことが起こりはしないかと不安になる。たとえば、人と会って握手をすると、相手の手を構成している原子核と自分の手の原子核同士がこの強い力によって結合してしまい、離れられなくなると結論できる。もちろん、こんなことは起こらない。実は、この「強い力」は、不思議なことに、陽子や中性子が 10^{-15}m 程度まで近づいて初めて作用する性質を有しているのである。この力の存在も、この宇宙形成にはなくてはならない仕掛けの1つなのである。そして、この知識が、恒星の中心部で重い元素を作り出す核融合反応現象を理解する上で重要となる。

さて、中性子が登場したので、これに関わる不思議な話題の1例を紹介しよう。我々のような生命が存在するためには、多種多様な元素が不可欠である。異なる元素を特徴づけるのは、原子核内の陽子の数の違いである。しかし、原子核が安定であるためには、ほぼ同数の中性子が核内に含まれている必要がある。強い力が作用するとはいえ、陽子間の電気斥力は中性子の存在によって緩和される必要があるのである。すなわち、多様な元素が存在する宇宙が形成されるためには、中性子の存在は不可欠なのである。ところが、原子核外に存在する自由な中性子は、寿命約15分で陽子（+電子+ニュートリノ）に崩壊してしまうのである。宇宙誕生直後、宇宙は高温の状態にあり、陽子も中性子も自由な状態であった。この高温状態では、陽子と中性子は平衡状態にあり、それぞれの総粒子数は、同数であった。時間がたつにつれて宇宙の温度が低下し、中性子が陽子よりわずかに重いことが顕著になると熱平衡状態は解かれ、陽子数が中性子数を上回るようになる。さらに、中性子は徐々に崩壊をはじめ、中性子数は次第に減少していく。このままでは、中性子は崩壊により全て陽子になってしまうことになるのである。それを防いだのが、原子核の生成である。宇宙誕生約3分後、温度にして 10^9 度の時、陽子2個と中性子2個が結合してヘリウム原子核が生成されるのである。この温度は、陽子や中性子相互の結合エネルギーに相当するため、これより低い温度では、陽子や中性子は自由でいるより原子核を形成した方が安定して存在できるからに他ならない。これにより、自由であった全ての中性子は、ヘリウム原子核

内に取り込まれることになる。すなわち、殆ど全ての中性子は、量子力学に支配された状況になることにより、陽子への崩壊が抑制されることになった。この結果、現在まで生き延びた中性子は、多様な宇宙の形成に貢献することになるのである。ここで、強く感動するのは、中性子を生き延びさせた量子力学の仕組みより、この原子核生成が宇宙誕生後3分に起こったということである。もしこれが、誕生後15分以上経過した後起こったなら、殆どの中性子は陽子に変わってしまったのですから、この宇宙誕生後3分という時間は、必然だったのだろうか。この時間は、宇宙誕生時の状況、およびその直後の宇宙膨張の様相に大きく関わっているはずであるが、現在の物理学の知識では、まだその答えに至っていない。

宇宙初期における原子核合成では、ヘリウムの次に重いリチウム、ベリリウム、ボロンが不安定であるため、陽子そのものが原子核である水素とヘリウムのみが作られた。したがって、我々生命に必要な重い元素はどのようにして作られたのか、という間に答える必要がある。宇宙で最初にできた恒星の材料となったのは、水素とヘリウムであることは疑問の余地はない。これらの物質が万有引力により集まり始めるのであるが、ここでも不思議なことに気がつく。万有引力は電気力と極めて同じ性質を持っている。異なるところは、電気には、正負の電荷が存在し、それにより引力と斥力があるが、万有引力は引力のみであること。また、電気力は普段の生活のいたる所で活用されているのに対して、万有引力は天体規模にならなければ感じないほど極めて弱く、重力として認識できるのみである点である。ならば何故、天体の形成について、強い電気力ではなく弱い万有引力が有効なのだろうか。ここでも、宇宙の巧妙さを知ることになる。電気力は強く、正負二種類の電荷が存在することから、正電荷を有した陽子は、負電荷を有した電子を強い力で引き寄せ、電子を量子力学が支配する領域に引きずり込む。この結果、電子は容易に陽子がある原子核には落ち込むことができず、原子核内の陽子が作る強い正電場は周囲の電子が作る負電場によって中和され、原子の大きさ外には殆ど電場が存在しない状況を実現することになる。すなわち、電気力自体は、無限遠まで到達する性質を有しているが、現実の宇宙では、原子の大きさ程度の有限の到達距離を有した力として振る舞うことになる。このため、原子の化学的性質は原子外縁部にある電子の状態によって決まり、この電子が、原子相互の結合を司ることになるのである。この結果、遠方の物質まで力を及ぼすものは万有引力のみであり、これが天体を形成する原動力となるのである。しかも、これは引力のみであるので、周囲の物質はしだいに引き寄せられ、天体に成長していくことになる。この過程において、集められた物質の重力エネルギーが解放され、天体の中心部の温度が上昇する。この結果、中心部の陽子は高速で運動することになり、1200万度を超えると、陽子同士の電氣的斥力に打ち勝って

10^{-13}m 程度まで近づくことができるようになる。こうなると、陽子間に「強い力」が作用し、新たな原子核が形成されることになる。これが核融合反応であり、結果として4個の陽子から1個のヘリウムが形成される。この際、多量の熱が発生し、この熱による膨張力と万有引力が釣り合い、天体は一定の形を保つことになる。この核融合反応は、次にヘリウム原子核同士による反応で炭素を生成し、というよう次々に反応を繰り返し、最も安定な鉄の原子核までを生成することが可能である。しかし、反応を起こすために必要な温度

は、生成される原子核が重くなるにつれてより高温であることが必要となる。このことは、例えばヘリウム原子核は陽子2個を含むため、ヘリウム原子核同士に作用する電気斥力が、陽子1個同士の場合に比べて4倍となることから理解できる。このような高温状態を実現するには、天体自体がより重くなくてはならない。鉄までの元素を生成するには、太陽の約10倍の重さの天体である必要がある。さらに、天体の中心部で生成された重い元素は、宇宙に拡散される必要がある。これには、超新星爆発というからくりが用意されている。この爆発機構にはいくつかのパターンがあるが、ここでは、太陽の10倍以上の恒星の場合について述べる。恒星の中心部には核融合反応の燃焼灰である鉄が蓄積されてゆく。鉄は最も安定な元素であり、これ以上、核融合反応は起こさない。前にも記したように、天体としての形状を保つためには、重力収縮に釣り合う力が必要である。よって、鉄を成分とする中心部では、熱生成が起こらないため、重力収縮することになる。この収縮に伴って、中心部の温度は上昇する。ついには40億度に達すると、今度は、鉄が一挙に多数のヘリウム原子核他に分裂する反応が起こるのである。しかも、これは吸熱反応であるため、恒星の中心部は一挙に収縮し、中性子のみからなる固いコアが形成される。このコアに落下してきた恒星外層物質が衝突し、外向きの強い衝撃波が発生する。この衝撃波により、恒星を形成していた外層物質が吹き飛ばすことになり、これが超新星爆発と呼ばれる現象である。中心部の重さが、太陽の重さの約2倍より小さい場合は、中性子星があとに残るが、それ以上重たい場合はブラックホールが残ることになる。この爆発現象により、恒星内部で延々と生成されてきた重い元素が宇宙空間に放出される。また、爆発時には、放出される多量の中性子により、さらに重い元素が形成され、これも宇宙に拡散していくことになる。

このようにして拡散された重い元素を含む宇宙物質を材料として、我々の太陽系はできあがった。その第3惑星である地球には、幸運にも生命が誕生しうる環境が形成され、太陽誕生から約46億年たった、我々人類が誕生したわけである。普段はまったく考えもしないことであるが、地球上の生命が生命活動を維持していくために必要なエネルギーも太陽中心部の核融合反応によって生成されたものであることも強調しておくべき知識である。

紙面の関係上、宇宙に仕込まれたからくりの一部分、特に簡単に理解してもらえるものしか取り上げられなかった。しかし、これだけでも「なんて巧妙ですてきな仕掛けが、宇宙には組み込まれているのだろう」という感動を持っていただけたのではないだろうか。私は、「宇宙科学」の講義を通じて、全ての学生諸君に、この感動を味わっていただき、このようなすばらしい宇宙に生命として生まれてきたことを幸せに思っほしいと願っている。また、この覚醒により、ものの見方が激変し、自分自身も含めた広い世界を外から眺めることができるようになると思う。さらに、宇宙誕生以来138億年の永きにわたって、宇宙の進化の中で延々と生成されてきた原子核が、偶然より集まって形成されている自分というものの存在に気づき、自分自身が極めて貴重なものであるとの思いに至るのではないだろうか。こうして、この宇宙の中で、わずか100年くらいかもしれないが、この貴重な時間を、一人でも多くの学生が、すばらしく、楽しく、有意義な人生をおくられることを心より願い、筆を置くことにする。

9. 工学部通信

9. NEWS FROM FACULTY OF ENGINEERING

1. 研究活動（2016年10月～2017年9月）
2. 講演会開催記録（2016年10月～2017年9月）
3. 研究分野紹介および2016年度博士論文・修士論文・卒業論文テーマ一覧

1. The List of Research Activities (2016, Oct. ~2017, Sept.)
2. Public Lectures (2016, Oct. ~2017, Sept.)
3. The List of Laboratory Activities and Student Papers (Academic Year 2016)

神奈川大学工学部

FACULTY OF ENGINEERING, KANAGAWA UNIVERSITY

【1】研究活動

(2016年10月1日より2017年9月30日までの期間に公表したものについて記す)

凡例

研究活動成果報告の分類

- ・ 研究論文Ⅰ：査読のある学会誌に掲載された研究論文
- ・ 研究論文Ⅱ：査読のある会議の会議録に掲載された研究論文
- ・ 建築作品：建築学科
- ・ 口頭発表：会議の会議録に掲載された研究論文
- ・ 学術誌：専門学術誌に掲載された論文等
- ・ 著書
- ・ 調査報告書：学会等の委員会や公的機関が公表した調査報告書，科研費の最終報告書
- ・ 講演・展示会：学会等の招待講演や基調講演，展示を含む
- ・ 助成金：科研費等
- ・ 受託研究
- ・ 特許（取得）
- ・ 特許（公開）
- ・ 海外出張：学会，国際会議の論文委員会，座長，調査等による出張
- ・ 褒賞
- ・ 学位：学位授与
- ・ その他

機械工学科

研究論文Ⅰ（レフェリー付き論文）

1. 伊東弘行，高密度バイオマスブリケット燃焼挙動へのブリケットサイズおよび密度の影響，日本機械学会論文集，83(852)，1-13 (2017)。
2. M. Miura, T. Nagasaki and Y. Ito, Experimental investigation of heat transport with oscillating liquid column in pulsating heat pipe using forced oscillation system, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 106, 997-1004 (2017)。
3. H. Masuta, T. Motoyoshi, K. Sawai, K. Koyanagi, T. Oshima, H.-O. Lim, Direct Perception and Action Decision for Unknown Object Grasping, *International Journal of Artificial Life Research*, 7(1), 38-51 (2017)。
4. 江上正，長島祥，梅本和希，CMGユニットを用いたローブ型宇宙エレベーター実験用クライマーの昇降安定化制御，日本ロボット学会誌，35(1)，47-54 (2017)。
5. 江上正，渡邊孝之，梅本和希，横すべりを考慮した車両の経路制御手法の提案とその応用，計測自動制御学会論文集，53(4)，268-275 (2017)。
6. M. Sasada, R. Maruki, Study on pilot hole deformation by punching, *Advances in Materials and Processing Technologies*, 3(2), 222-230 (2016)。
7. A. Takano, Inferential Statistical Method for Structural Design, *AIAA Journal*, 55(3), 1026-1030 (2017)。
8. H. Katogi, K. Takemura and N. Iijima, Residual flexural property of water absorbed CFRP during thermal cycling, *WIT Transactions on the Built Environment*, 166, 277-286 (2016)。
9. H. Katogi, K. Takemura and R. Sebori, Fatigue property of natural fiber after alkali treatment, *WIT Transactions on the Built Environment*, 166, 343-350 (2016)。
10. H. Katogi and K. Takemura, Creep rupture of water-absorbed green composite, *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 116, 281-288 (2017)。
11. H. Katogi and K. Takemura, Interfacial shear strength of resin particles added to carbon fiber/maleic anhydride grafted polypropylene in a hot-wet environment, *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 116, 299-307 (2017)。
12. A. Hayashi, Z. Kimura and Y. Nakao, Simulation of Energy Consumption of

Machine Tool Motion for 3-Axis Machining, *Journal of Energy and Power Engineering*, 11(1), 37-43 (2017)。

13. Y. Funami, Y. Nakanishi, N.-J. Lee, B. Huang and T. Kanemoto, Counter-rotating type horizontal-axis bidirectional propellers for tidal stream power unit, *Journal of Power and Energy Engineering*, 5(7), 34-44 (2017)。
14. T. Arima, T. Ruggeri, M. Sugiyama and S. Taniguchi, Galilean invariance and entropy principle for a system of balance laws of mixture type, *Rendiconti Lincei-Matematica e Applicazioni*, 28, 495-513 (2017)。
15. T. Arima, T. Ruggeri and M. Sugiyama, Duality principle from rarefied to dense gas and extended thermodynamics with six fields, *Physical Review Fluids*, 2, 013401 (2017)。
16. 藤本滋，今井健嗣，一木正聡；圧電素子を用いた振動発電手法に関する研究（第3報，圧電素子の最適積層数の検討），日本設計工学会誌，52(9)，567-582 (2017)。
17. 中村弘毅，加茂利明，大澤秀樹，福島将太，坂之上浩，山崎徹，車体制振ダンパーの減衰特性のモデル化，自動車技術会論文集，47(6)，1367-1372 (2016)。
18. 山崎徹，三山壮，中村弘毅，宮崎敦子，モードと波動の両視点による機械構造物の振動低減設計，自動車技術会論文集，47(6)，1373-1379 (2016)。
19. 山崎徹，中村弘毅，小俣延明，和氣充幸，北原篤，角速度計を用いたはりの振動インテンシティ計測，日本機械学会論文集，83(845)，DOI: 10.1299/transjsme.16-00245 (2017)。

研究論文Ⅱ（レフェリー付き Proceedings）

1. H. Ito, M. Hirakawa and H. Nakamura, Study on the Influence of Briquette Size and Density on the Char Combustion Duration, *Proc. Eighth International Symposium on Scale Modeling (ISSM-8)*, F4-1 (Portland, 2017.9)。
2. M. Miura, T. Nagasaki and Y. Ito, Phase change with liquid column oscillation in pulsating heat pipe: Experimental study using forced oscillation system, *Proceedings of the Fourth International Forum on Heat Transfer, IFHT2016-1860* (Sendai, 2016.11)。
3. G.-Y. Yoon, A. Yamamoto, H.-O. Lim, Mechanism and Neural Network Based

- PID Control of Quadcopter, 16th International Conference on Control, Automation and Systems, 19-24 (Gyeongju, Korea, 2016.10).
4. S. Kumagai, K. Matsumoto, A. Takanishi and H.-O. Lim, Mechanism and Base Control of Human-Friendly Robot with Passive Collision Force Suppression Mechanism, 2016 16th International Conference on Control, Automation and Systems, 74-79 (Gyeongju, Korea, 2016.10).
 5. Y. Tamura, I. Kanai, K. Yamada, H.-O. Lim, Development of Pipe Inspection Robot using Ring-type Laser, 16th International Conference on Control, Automation and Systems, 211-214 (Gyeongju, Korea, 2016.10).
 6. R. Ozawa, Y. Kamogawa, Y. Tamura, H.-O. Lim, Gait Pattern Generation under Disturbance Force, 16th International Conference on Control, Automation and Systems, 1127-1131 (Gyeongju, Korea, 2016.10).
 7. Y. Yamamoto, H. Nishi, Y. Torii, A. Takanishi, H.-O. Lim, Mechanism and Jumping Pattern of One-Legged Jumping Robot with Pneumatic Actuators, 16th International Conference on Control, Automation and Systems, 1132-1136 (Gyeongju, Korea, 2016.10).
 8. T. Otani, K. Hashimoto, S. Miyamae, H. Ueta, M. Sakaguchi, Y. Kawakami, H.-O. Lim and A. Takanishi, Angular Momentum Compensation in Yaw Direction using Upper Body based on Human Running, Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 4768-4775 (Singapore, 2017.5).
 9. Y. Shimamura, K. Uematsu, H. Katogi, K. Tohgo and T. Fujii, Rupture of jute filament under constant loading, Proc. 9th International Conference on Green Composites, CD-ROM (4p), (Kobe, 2016.11).
 10. H. Katogi, K. Takemura and S. Kawasaki, Tensile property of Jute/PLA green composite under cyclic temperature, Proc. 9th International Conference on Green Composites, CD-ROM (2p), (Kobe, 2016.11).
 11. S. Sakata, A. Hayashi, T. Terajima and Y. Nakao, Influence of Cutting Condition on Surface Roughness in Single Point Diamond Turning of Zr-based Bulk Metallic Glass, Proc. IMECE2016, V002T02A005-009 (Arizona, 2016.11).
 12. Y. Yamada, A. Hayashi and Y. Nakao, Design of positioning control system of opposed pad water hydrostatic thrust bearings, Proc. of 31th ASPE Annual Meeting, USB (Portland, 2016.10).
 13. S. Shibata, A. Hayashi and Y. Nakao, Measurement of vertical displacement of water driven stage for pitching control during feed motion, Proc. of 31th ASPE Annual Meeting, USB (Portland, 2016.10).
 14. S. Sakata, A. Hayashi, T. Terajima and Y. Nakao, Influence of cutting condition on surface roughness in single point diamond turning of Zr-based bulk metallic glass, Proc. of ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2016-66289, V002T02A005 (Phenix, 2016.11).
 15. A. Hayashi and Y. Nakao, Measurement and evaluation of temperature change of water driven spindle, Proc. of ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, IMECE2016-66446, V002T02A007 (Phenix, 2016.11).
 16. S. Shibata, A. Hayashi and Y. Nakao, Trial study on pitching and vertical displacement control of water driven stage, Proc. 16th Intl. Conf. on Precision Engineering, USB (Shizuoka, 2016.11).
 17. Z. Kimura, A. Hayashi and Y. Nakao, Evaluation of tool path based on energy consumption simulation for three-control axis machining motion, Proc. 16th Intl. Conf. on Precision Engineering, USB (Shizuoka, 2016.11).
 18. Y. Nakao, Y. Yamada and A. Hayashi, Feasibility study on nano tracking control of axial displacement of spindle using hydrostatic thrust bearings, Proc. of 17th International Conference of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, 441-442 (Hanover, 2017.5).
 19. T. Kanemoto, N.-J. Lee, M.-W. Heo, B. Huang, Y. Nakanishi and Y. Funami, Counter-rotating turbine in unique power unit provided for bidirectional tidal streams, 12th (2016) ISOPE Pacific-Asia Offshore Mechanics Symposium, P16-097 (Gold Coast, 2016.10).
 20. T. Arima, T. Ruggeri, M. Sugiyama and S. Taniguchi, Molecular extended thermodynamics: comparison between rarefied polyatomic and monatomic gas closures, Ricerche di Matematica 66, 1-13, (2017).

21. K. Suzuki, Development of a water hydraulic pressure-compensated electromagnetic flow regulating valve to control small flow rate under low pressure, Proc. DVD-ROM of the ASME 2016 Intl. Mechanical Congress and Exposition, IMECE2016-66623.pdf (Phoenix, 2016.11).

口頭発表

1. 伊東弘行, 井出伸晃, 白井和, 高密度円筒バイオマスブリケット端面燃焼挙動への二次空気供給の影響, 第27回 環境工学総合シンポジウム 2017, 209(浜松, 2017.7).
2. 三浦正義, 長崎孝夫, 伊藤優, 自励振動ヒートパイプにおける液柱の往復振動に伴う熱輸送特性に関する研究 (作動流体の影響), 日本機械学会熱工学コンファレンス2016講演論文集, F231 (松山, 2016.10).
3. 深尾総史, 長崎孝夫, 三浦正義, 伊藤優, 1ターン自励振動ヒートパイプにおける液柱振動と熱輸送特性, 第54回日本伝熱シンポジウム講演論文集, C124 (さいたま, 2017.5).
4. 熊谷駿輔, 梁川浩幸, 高西淳夫, 林憲玉, ワイヤ式衝撃緩和機構を搭載した人間共存型ロボットの研究, Proceedings of the 2017 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 1A1-G02, (郡山, 2017.5).
5. 小澤理央, 斎藤英理人, 木下秀弥, 梶原滉一郎, 林憲玉, 2足ヒューマノイドロボットの研究-7自由度アームの軌道生成と物体認識-, Proceedings of the 2017 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 1A1-P10 (郡山, 2017.5).
6. 木島貴文, 田村泰人, 林憲玉, 片付けロボットの未知物体検出と把持感覚量の計算手法に関する研究, Proceedings of the 2017 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 2A2-I07 (郡山, 2017.5).
7. 山本湧也, 梅原彬, 西晴義, 高西淳夫, 林憲玉, 一脚ジャンピングロボットの跳躍パターンに関する研究, Proceedings of the 2017 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 2P1-K04, (郡山, 2017.5).
8. 尾原睦月, 大谷拓也, 橋本健二, 磯道貴矢, 夏原彬, 植田大貴, 赤堀孝太, 阪口正律, 川上泰雄, 林憲玉, 高西淳夫, 骨盤運動に着目した2足走行ロボットの開発 (第17報: 低速走行から高速走行への遷移に対応した広範囲剛性可変機構), 第35回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2L1-03 (川越, 2017.9).
9. 赤堀孝太, 大谷拓也, 橋本健二, 磯道貴矢, 夏原彬, 植田大貴, 尾原睦月, 阪口正律, 川上泰雄, 林憲玉, 高西淳夫, 骨盤運動に着目した2足走行ロボットの開発 (第16報: 広範囲剛性関節機構のための台形CFRP重ね板ばね), 第35回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3L1-04 (川越, 2017.9).
10. 大谷拓也, 磯道貴矢, 橋本健二, 林憲玉, 高西淳夫, 骨盤運動に着目した2足走行ロボットの開発 (第16報: 広範囲剛性関節機構のための台形CFRP重ね板ばね), 第35回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3L1-06 (川越, 2017.9).
11. 瀬口准一郎, 奥下脩平, 梅本和希, 江上正, アクティブ柔軟関節4脚ロボットの足先力制御, 第59回自動制御連合講演会, FrA6-5 (北九州, 2016.11).
12. 今野起希, 江上正, 梅本和希, スパイラル推進機構を用いた宇宙エレベーター実験用クライマーの開発, 第59回自動制御連合講演会, FrA8-2 (北九州, 2016.11).
13. 武田朋之, 志田拓哉, 梅本和希, 江上正, 宇宙エレベーター実験用クライマーの姿勢安定化のためのCMGユニットの開発, 第59回自動制御連合講演会, FrA8-3 (北九州, 2016.11).
14. 森出豪人, 井上秀斗, 吉川智康, 江上正, ステレオカメラによる立体形状認識を用いたパネハンドの開発, 第59回自動制御連合講演会, SaB3-1 (北九州, 2016.11).
15. 大森俊和, 出口巧真, 梅本和希, 江上正, 耐圧分布測定シートを用いた旋回可能な倒立振り型電動車椅子の開発と制御, 第59回自動制御連合講演会, SaB4-5 (北九州, 2016.11).
16. 出口巧真, 大森俊和, 梅本和希, 江上正, 倒立振り型電動車椅子の段差乗り越え補助機構の開発, 第49回計測自動制御学会北海道支部学術講演会

- 論文集, A22 (札幌, 2017.2).
17. 矢森雄大, 梅本和希, 江上正, 4輪車両のドリフト走行制御, 第49回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集, A25 (札幌, 2017.2).
 18. 武田朋之, 志田拓哉, 梅本和希, 江上正, 飽和回避機能を有するローブ型宇宙エレベータークライマーCMGユニットの開発, 第9回日本ロボット学会北海道ロボット技術研究専門委員会学術講演会論文集, HRT9 (札幌, 2017.2).
 19. 河合史憲, 梅本和希, 江上正, ロープ経路に対応する災害現場監視用走行ロボットの開発, 第9回日本ロボット学会北海道ロボット技術研究専門委員会学術講演会論文集, HRT16 (札幌, 2017.2).
 20. 姚磊, サリエバ・マクパール, 梅本和希, 江上正, ロープ経路を走行するインフラ点検用ロボットシステムの制御, ロボティクス・メカトロニクス講演会2017, 1P1-D01 (郡山, 2017.5).
 21. 志田拓哉, 武田朋之, 梅本和希, 江上正, 飽和回避機能を有するローブクライマーのCMGユニットの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会2017, 2A1-E07 (郡山, 2017.5).
 22. 大森俊和, 出口巧真, 梅本和希, 江上正, 段差乗り越え機構を用いた倒立振り型電動車椅子の開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会2017, 2A1-K03 (郡山, 2017.5).
 23. 今野起希, 梅本和希, 江上正, スパイラル推進機構を用いたローブ型宇宙エレベーター実験用クライマーの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会2017, 2P2-C11 (郡山, 2017.5).
 24. 志田拓哉, 武田朋之, 梅本和希, 江上正, 飽和回避機能を有するCMGユニットの開発, 第61回システム制御情報学会研究発表講演会, 312-3 (京都, 2017.5).
 25. サリエバ・マクパール, 姚磊, 吉川智康, 江上正, ロープ経路を走行するインフラ点検用ロボットシステムの開発, 第17回建築ロボットシンポジウム, P2-6 (東京, 2017.8).
 26. 笹田昌弘, 加藤秀, 半抜きされた材料への突起付きパンチを用いた穴抜き加工 (突起直径が切口面及びスクラップ形状に及ぼす影響, 第67回塑性加工連合講演会講演論文集, 17-18 (埼玉, 2016.10).
 27. 岡村祥太郎, 笹田昌弘, 平押し法における角丸みが切口面に及ぼす影響, 第67回塑性加工連合講演会講演論文集, 19-20 (埼玉, 2016.10).
 28. 高野敦, 上妻洋平, 山崎悠太, 齊藤慶紀, 3Dプリンタによる構造最適化トラス, 第59回構造強度に関する講演会, 3A08 (福井, 2017.8).
 29. 高野敦, 伊藤直由, 鈴木直人, 高山泰成, CFRP円筒殻の軸圧縮座屈試験, 第59回構造強度に関する講演会, 3A09 (福井, 2017.8).
 30. 館山哲也, 高野敦, CFRP強化軽量ハイブリッドロケットエンジンの開発, 日本航空宇宙学会 第48年大会講演会, 2D08 (東京, 2017.4).
 31. 上妻洋平, 山崎悠太, 高野敦, 3Dプリンタを利用した構造最適化トラス, 第32回宇宙構造・材料シンポジウム, B15 (神奈川, 2016.12).
 32. 高山泰成, 鈴木直人, 伊藤直由, 高野敦, CFRP円筒殻の座屈強度, 第32回宇宙構造・材料シンポジウム, B13 (神奈川, 2016.12).
 33. 川崎峻輔, 加藤木秀章, 竹村兼一, 繰返し温度変化がJute/PLA複合材料の静的引張特性に及ぼす影響, 日本材料学会第8回自動車用途コンポジットシンポジウム講演論文集, 119 (京都, 2016.11).
 34. 望月麻央, 加藤木秀章, 竹村兼一, 繊維表面に付着させた樹脂粒が, 水浸漬後のCFRTPの界面せん断強度に及ぼす影響 日本材料学会第66期学術講演会講演論文集, 93-94 (名古屋, 2017.5).
 35. 加藤木秀章, 竹村兼一, 原智明, アセトン処理を施した炭素繊維/ポリプロピレンの界面せん断強度に及ぼす吸水の影響, 日本機械学会2016年度年次大会 DVD 論文集, DVD-ROM (1p) (福岡, 2016.9).
 36. 加藤木秀章, 竹村兼一, 吸水後の平織りジュート繊維強化グリーンコンポジットの引張特性に及ぼすひずみ速度の影響 日本材料学会2017年度JCOM若手シンポジウム, 22 (岡山, 2017.8).
 37. 林晃生, 中尾陽一, ウォータドライブスピンドルの温度測定と評価, 日本機械学会第11回生産加工・工作機械部門講演会, A04, 5-6 (名古屋, 2016.10).
 38. 桐ヶ谷怜, 林晃生, 中尾陽一, 水静圧スピンドルの温度変化の測定, 日本機械学会第11回生産加工・工作機械部門講演会, A19, 31-32 (名古屋, 2016.10).
 39. 清水康弘, 矢口翔, 林晃生, 中尾陽一, 高い熱的安定性を有する水静圧スピンドルの開発, 日本機械学会 関東学生会第56回学生員卒業研究発表講演会, No.1117 (東京, 2017.3).
 40. 鎌田真伍, 渥美遥, 山田康雅, 林晃生, 中尾陽一, 複合サーボ系による水静圧スラスト軸受の変位制御, 日本機械学会 関東学生会第56回学生員卒業研究発表講演会, No.1110 (東京, 2017.3).
 41. 柴田悟史, 林晃生, 中尾陽一, ウォータドライブステージの姿勢制御の試みー第二報送り動作時におけるピッチングと上下方向の変位制御ー, 日本機械学会北陸信越支部 第54期総会・講演会, E012 (金沢, 2017.3).
 42. 矢口翔, 林晃生, 中尾陽一, マイクロフライス加工用水静圧スピンドルの温度変化 (第1報, 非回転時の温度変化), 日本機械学会2017年度年次大会, S1320105-1-S1320105-5 (さいたま, 2017.9).
 43. 桐ヶ谷怜, 林晃生, 中尾陽一, 水静圧軸受において発生するスピンドルの温度変化の検討, 精密工学会秋季大会学術講演会, 69-70 (大阪, 2017.9).
 44. Y. Funami, Y. Nakanishi, N.-J. Lee and T. Kanemoto, Bidirectional type horizontal-axis propeller installed in tidal stream power unit, 13th International Symposium on Experimental and Computational Aerothermodynamics of Internal Flows, ISAF13-S-0034 (Okinawa, 2017.5).
 45. 矢部一樹, 田中万里子, 原村嘉彦, β 型スターリングエンジン膨張空間内の流れ, 第19回スターリングサイクルシンポジウム, A08 (宇都宮, 2016.12).
 46. 田中万里子, 原村嘉彦, スターリングエンジン膨張空間内の流れの可視化と熱伝達の測定, 日本機械学会関東学生会第56回学生員卒業研究発表講演会, 403 (東京葛飾, 2017.3).
 47. 原村嘉彦, LED冷却を目的とした球面ヒートパイプの伝熱特性, 第54回日本伝熱シンポジウム, C133 (大宮, 2017.5).
 48. 石川裕太郎, 原村嘉彦, 大きな伝熱面における定常遷移沸騰伝熱特性, 第54回日本伝熱シンポジウム, F111 (大宮, 2017.5).
 49. T. Arima, Extended thermodynamics with six fields for dense polyatomic gases, Nonequilibrium thermodynamics and statistical physics: From rational modeling to its applications (博多, 2017.3).
 50. T. Arima, T. Ruggeri and M. Sugiyama, Extended thermodynamics of dense polyatomic gases with nonequilibrium temperatures, 19th Conference on Waves and Stability in Continuous Media (Bologna, 2017.6).
 51. 有馬隆司, T. Ruggeri, 杉山勝, 液体・濃密気体に適用可能な6変数の拡張された熱力学の構築, 日本物理学会2017年秋季大会, 24aPS-80 (岩手, 2017.9).
 52. 梅崎俊吾, 藤本滋, 並列設置型圧電素子の振動発電による加速度センサの駆動センサの駆動, 電気学会 (センサマイクロマシン部門), 第33回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム Web 講演論文集, 1-6 (平戸2016.10).
 53. 田代俊也, 藤本滋, 村野健一, 摩擦構造要素を持つ大型クレーンの耐震設計法に関する研究, 日本機械学会, 山梨講演会2016, CD-ROM 講演論文集, 160-1, 1-2 (甲府2016.10).
 54. 梅崎俊吾, 藤本滋, 一木正聡, エアコンプレッサの振動を用いた振動発電素子による加速度センサの駆動, 日本機械学会・関東支部, 第23期総会講演会 CD-ROM 講演論文集, 170-1, 1-2 (柏, 2017.3).
 55. 諸星陽裕, 梅崎俊吾, 藤本滋, 一木正聡; エアコンプレッサの振動を利用した並列設置型積層圧電素子を用いた振動発電素子による加速度センサの駆動, 日本機械学会, Dynamics and Design Conference 2017, USB 講演論文集, 17-13, 1-6 (豊橋, 2017.8).
 56. 藤本滋, 高田毅士, 成宮祥介, 飯島唯司, 伊神和忠, 梅本芳人, 大鳥靖樹, 田村伊知郎, 樋口智一, 美原義徳; 地震安全原則の必要性和その概要 (3)実務への適用性の検討, 日本原子力学会, 2017年秋の大会, Web 講演論文集, 2C_PL03, 1-4 (札幌, 2017.9).
 57. 鈴木健児, 浅田知也, ロータリー型四方弁による膝関節の水圧駆動パワーアシスト機構の試作, 日本機械学会北陸信越支部第54期総会・講演会講演論文集, 0117.pdf (金沢, 2017.3).

58. 村山誠英, 中満翼, 中村弘毅, 川端直人, 山崎徹, 実験 SEA による低振動化と軽量化の両立, 自動車技術会2016年秋季大会学術講演会講演予稿集, 20166077, 398-403 (札幌, 2016.10).
59. 亀山陽平, 山崎徹, 中島竜也, 中村弘毅, タイヤ単体の実験 SEA モデルと転動時放射音の相関, 自動車技術会2016年秋季大会学術講演会講演予稿集, 20166078, 404-409 (札幌, 2016.10).
60. T. Yamazaki, Reduction of transmitted power on a plane by using mode pair cancellation, 5th Joint Meeting of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, 140 (4), 3159-3161 (Honolulu, 2016.11).
61. 亀山陽平, 澤田克人, 中村弘毅, 山崎徹, 北原篤, スリックタイヤ単体振動の解析 SEA モデリング, 自動車技術会2017年春季大会学術講演会講演予稿集, 20175227, 1255-1260 (横浜, 2017.5).
62. 澤田克人, 亀山陽平, 中村弘毅, 北原篤, 山崎徹, ホイール付きスリックタイヤ単体の実験 SEA モデル構築法と転動放射音の低減, 自動車技術会2017年春季大会学術講演会講演予稿集, 20175226, 1249-1254 (横浜, 2017.5).
63. M. Ishihama, T. Yamazaki, Y. Nakashima, S. Kaneko, T. Haraguchi, H. Fujita, M. Nihei, I. Inoue, M. Waki, J. Makino, H. Houzu, Perspective of Technology Development for Improving Tire NVH and Accompanying Performances, 自動車技術会2017年春季大会学術講演会講演予稿集, 20175223, 1234-1239 (横浜, 2017.5).
64. 中村弘毅, 加茂利明, 大澤秀樹, 坂之上浩, 山崎徹, 車体制振ダンパーの減衰特性のモデル化 (第2報), 自動車技術会2017年春季大会学術講演会講演予稿集, 20175063, 348-353 (横浜, 2017.5).
65. 三山壮, 宮崎敦子, 中村弘毅, 山崎徹, 振動エネルギー流れの促進と抑制に基づく低振動構造設計, 自動車技術会2017年春季大会学術講演会講演予稿集, 20175061, 336-341 (横浜, 2017.5).
66. T. Murayama, T. Nakamitsu, N. Kawabata, H. Nakamura, T. Yamazaki, STRUCTURE DESIGN TO REDUCE WEIGHT AND VIBRATION BY USING STATISTICAL ENERGY ANALYSIS, Proceedings of 24th International Congress on Sound and Vibration, 428.pdf (London, 2017.7).
67. H. Nakamura, T. Yamazaki, T. Kamo, H. Ohsawa, H. Sakanoue, INVESTIGATION OF ATTENUATION MECHANISM OF NON-LINEAR DAMPER FOR SUPPRESSION OF MICRO-VIBRATION ON A CAR BODY, Proceedings of 24th International Congress on Sound and Vibration, 680.pdf (London, 2017.7).
68. 山崎徹, 中村弘毅, 石田滋樹, 岸田展明, トンネル発破工法における発破断発時間間隔に関する考察, 第27回環境工学総合シンポジウム2017, 17-9, 117.pdf (浜松, 2017.7).
69. 中村弘毅, 山崎徹, 笠原和則, 長沼寛樹, 松下修己, 縦振動連成を加味した翼軸連成ねじり振動計算の高精度化, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2017講演論文集, 17-13, 113.pdf (豊橋, 2017.8).
70. 山崎徹, 松村雄一, 伊東圭昌, 名倉英紀, 就活をきっかけにしたキャリア形成支援, 日本機械学会日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2017講演論文集, 17-13, 418.pdf, 2017-8 (豊橋, 2017.8).
71. 鈴木悠太, 松永聖也, 中村弘毅, 伊東圭昌, 田中俊光, 実験 SEA による三味線の振動エネルギー伝搬解析, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2017講演論文集, 17-13, 403.pdf (豊橋, 2017.8).
72. 三山壮, 宮崎敦子, 中村弘毅, 塩崎宏隆, 古屋耕平, 山崎徹, 波動とモードの両視点を用いた二段階設計の適用, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2017講演論文集, 17-13, 407.pdf (豊橋, 2017.8).
73. 山崎徹, 振動エネルギー伝搬解析によるシンキング CAE, 日本機械学会2017v-BASE フォーラム (豊橋, 2017.8).
74. 山崎徹, 菊地通, 振動エネルギー流れ可視化シートの開発, 日本機械学会2017年度年次大会講演論文集, 17-1, G1000201 (埼玉, 2017.9).

学術誌

1. 江上正, 榎恵介, 秋谷尚俊, 神奈川大学ロボットプロジェクト活動報告, 神奈川大学工学研究所所報, 39, 174-176 (2016).
2. 江上正, エレベーターで宇宙に?! 神奈川大学工学部江上研究室の挑戦,

マイウェイ, はまぎん産業文化振興財団, 100, 20 (2017).

3. 江上正, 宇宙エレベーターが運ぶ未来, 日本機械学会誌「メカトップ関東」120-1184, 6 (2017).
4. 鈴木健児, アクアドライブシステムの新たな構成機器の開発とその制御に関する研究委員会, フルードパワーシステム電子出版録陰特集号, 48 (E1), 42 (2017).
5. 山崎徹, 三山壮, 特集振動騒音をデザインする, 振動エネルギー伝搬解析を用いた振動低減のための二段階設計, 自動車技術, 71, 43-49 (2017).

著書

1. 江上正, 土谷武士, 現代制御工学—基礎から応用へ—, 産業図書 (2017).
2. Y. Haramura (分担執筆), Y. Koizumi, M. Shoji, M. Monde, Y. Takata, N. Nagai, (eds.), Boiling: Research and Advances, Chap. 3.6. Stability of Transition Boiling を執筆, Elsevier (2017).

調査報告書

1. 江上正, 松野千加士, 守屋元道, 平成28年度 SPIDER チャレンジ企画報告書 (2017).
2. 中尾陽一, グリーンマシン対応水静圧スピンドル開発とナノ多結晶ダイヤモンドによる高硬度材切削, 科学研究費助成事業研究成果報告書, 基盤研究(C), 課題番号25420069 (2017).
3. 中尾陽一, 林晃生, ナノオーダ変位制御機能を有する高速高剛性水静圧スピンドルの開発と変位制御, 工作機械技術振興財団研究成果報告書 (2017).

講演・展示会

1. 江上正, 神奈川大学のクライマー開発への取り組み, GSPEC キックオフイベント (東京, 2017.3).
2. 江上正, 相内友太, 真下恭輔, ボール&プレート経路制御装置の開発, テクノトランスフェア in 川崎 (川崎, 2017.7).
3. 笹田昌弘, 画像処理を利用したせん断加工における材料流動の観察, MF-Tokyo2017プレス・板金・フォーミング展 (東京, 2017.7).
4. 桐ヶ谷怜, 矢口翔, 林晃生, 中尾陽一, 水静圧スピンドルの熱的安定性の検討, 日本国際工作機械見本市 (JIMTOF2016) 研究発表と展示 (東京, 2016.11).
5. 木村然, 林晃生, 中尾陽一, NC 工作機械運転時および加工時の消費電力評価, 日本国際工作機械見本市 (JIMTOF2016) 研究発表と展示 (東京, 2016.11).
6. 中尾陽一, 水冷却機能を備えた水静圧スピンドルの開発, 砥粒加工学会 CBN & ダイヤモンド先進加工研究専門委員会 第15回研究講演会 (東京, 2017.8).
7. 中尾陽一, 水静圧軸受による超精密工作機械用スピンドルや直動テーブルの制御, 日本フルードパワーシステム学会, 水圧研究会 (横浜, 2017.8).
8. 藤本滋, 配管の振動を低減する「3次元動吸振器」, 日本フルードパワーシステム学会, アクアドライブシステムの新たな構成機器の開発とその制御に関する研究委員会 (JFPS 水圧研究会), (東京, 2017.6).
9. 藤本滋, 振動発電技術を用いた構造物モニタリングシステムの開発, 神奈川大学, テクノフェスタ2016 (横浜, 2016.11).
10. 鈴木健児, 水圧用ロータリー型サーボ弁の開発, 第25回フルードパワーシステム国際見本市カレッジ研究発表展示コーナー論文集, 61-62 (東京, 2017.9).
11. 鈴木健児, ADS 国際標準化テーマ WG-C1: ポベット弁の基本特性, 第25回フルードパワーシステム国際見本市 (東京, 2017.9).
12. 山崎徹, 低振動・低騒音設計に向けた V 字型開発プロセスと CAE 技術—振動騒音のモード視点, 波動視点からの考察—, Ricardo Software USERCON Japan Fluid Systems 2016 (東京, 2016.10).

- 山崎徹, モード視点と波動視点による低振動低騒音化, 日本機械学会環境工学部門 No.16-122講習会 (東京, 2016.10).
- 山崎徹, 音振動設計のIDCAE, 日本機械学会設計工学・システム部門 No.16-168講習会 (東京, 2016.12).
- 山崎徹, スムースタイヤ単体の振動伝搬特性と転動時放射音の相関, 自動車技術会タイヤ/路面摩擦特性部門委員会 (東京, 2017.5).
- 山崎徹, 振動エネルギー伝搬解析とすべての設計段階での活用, 株式会社デンソー振動分析技術講演会 (刈谷, 2017.6).
- 山崎徹, 広帯域振動騒音を考慮した振動音響初期設計手法の検討, 自動車技術会国際標準記述によるモデル開発・流通検討委員会 (東京, 2017.6).
- 山崎徹, 振動エネルギー伝搬解析を用いた構造物の低振動V字型設計, 自動車技術会振動騒音部門委員会 (東京, 2017.7).
- 中村弘毅, 縦振動連成を加味した翼軸連成ねじり振動計算の高精度化, 回転機械振動セミナー (東京, 2017.2).

助成金

- 三浦正義 (代表), マイクロカプセル相変化物質を用いた自励振動ヒートパイプの熱輸送性能向上, 平成29年度科学研究費補助金, 研究活動スタート支援, 課題番号17H07197.
- 高野敦 (代表), 軽量・高性能ハイブリッドロケットエンジンの研究・開発, 平成29年度神奈川大学工学研究所共同研究.
- 寺島岳史 (代表), 金属ガラスの過冷却液体を利用した接合と接手評価, 平成29年度科学研究費補助金 (継続), 基盤研究(C), 課題番号16K06025.
- 中尾陽一 (代表), グリーンマシン対応水静圧スピンドル開発とナノ多結晶ダイヤモンドによる高硬度材切削, 平成28年度科学研究費補助金, 基盤研究(C), 課題番号25420069.
- 中尾陽一 (代表), 高速高精度液温制御システムの開発とフィードバック温度制御による工作機械用スピンドルの熱的安定化, メカトロクス技術高度化「研究助成」.
- 有馬隆司 (代表), 多成分流体系に対する拡張された熱力学理論の展開と応用, 平成27年度科学研究費補助金, 若手研究(B), 課題番号15K21452.
- 鈴木健児 (代表), 水圧用電磁比例流量調整弁の動特性向上を目的とした寸法最適化に関する研究, 一般社団法人神奈川大学宮陵会, 平成28年度教育研究奨励助成金.
- 鈴木健児 (代表), 丸洗い可能な食品搬送用アクアドライブパラレルリンクロボットの開発, 公益財団法人御器谷科学技術財団, 平成28年度研究開発助成.
- 鈴木健児 (代表), 水圧で駆動する3自由度パラレルリンクロボットシステムの設計製作, 一般社団法人神奈川大学宮陵会, 平成29年度教育研究奨励助成金.
- 山崎徹 (代表), 機械製品の広帯域振動抑制のための構造設計法の開発, 2017年度公益財団法人トランスコスモス財団調査研究助成.

受託研究

- 中尾陽一, プラスチック材料の鏡面加工技術の研究, HOYA 株式会社.
- 鈴木健児, 水圧用ロータリー型サーボ弁の特性把握, 中外テクノス株式会社.
- 山崎徹, 受託研究, 本田技術研究所.
- 山崎徹, 受託研究, 交通安全環境研究所.
- 山崎徹, 共同研究, ヤマハ.
- 山崎徹, 研究奨学寄附金, 一般社団法人次世代音振基盤技術研究会.
- 山崎徹, 研究奨学寄附金, 株式会社ブリヂストン.
- 山崎徹, 共同研究, 株式会社デンソー.
- 山崎徹, 共同研究, トヨタ自動車株式会社.
- 山崎徹, 共同研究, ヤマハ発動機.
- 山崎徹, 共同研究, 中電技術交サルタント株式会社.

- 中村弘毅, 共同研究, ヤマハ発動機.
- 中村弘毅, 共同研究, 電通国際情報サービス (ISID).

特許 (取得)

- 山崎徹, 菊地通, 中村弘毅, 振動検出装置, 振動特性計測システムおよび振動特性計測方法, 特許第6078860号.

海外出張

- 伊東弘行, Eighth International Symposium on Scale Modeling (ISSM-8), State of Oregon, USA (2017.9).
- 有馬隆司, 19th Conference on Waves and Stability in Continuous Media, Bologna, Italy (2017.6).
- 中村弘毅, The 24th International Congress on Sound and Vibration, UK (2017.7).
- 山崎徹, The 5th Joint Meeting of Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, USA (2016.11).

褒賞

- 三浦正義, 長崎孝夫, 伊藤優, 2016年度日本機械学会賞 (論文), 日本機械学会 (2017.4).
- T. Arima, T. Ruggeri, M. Sugiyama and S. Taniguchi, Recent results on nonlinear extended thermodynamics of real gases with six fields. Part I: general theory, Highlighted Articles に選出, Ricerche di Matematica 誌 (2017.2).
- S. Taniguchi, T. Arima, T. Ruggeri and M. Sugiyama, Recent results on nonlinear extended thermodynamics of real gases with six fields. Part II: shock wave structure, Highlighted Articles に選出, Ricerche di Matematica 誌 (2017.2).
- 山崎徹, 振動エネルギー伝搬解析によるシンキング CAE, v_BASE フォーラムベストオーディエンス賞, 日本機械学会 (2017.8).

学位

- 三浦正義, 自励振動ヒートパイプにおける液柱の往復振動に伴う熱輸送機構の解明, 博士 (工学), 東京工業大学 (2017.3).

その他

- 藤本滋, 全国理系学び舎紀行神奈川大学工学部 (振動発電の応用に着目), 電気新聞, 朝刊22面記事 (2016.11).

電気電子情報工学科

研究論文 I (レフェリー付き論文)

- 小松隆, 張鍵, 齊藤隆弘, 平均値分離型三次元 ST-DFT を用いた動画像復元法, 電子情報通信学会論文誌, vol. J100-D, no. 9, 842-845 (2017.9).
- 関野真吾, 新中新二, PMSM のための簡易高品質トルク制御, 誘起電圧歪みに起因したトルクリプルの補償, 電気学会論文誌 D, 136, 10, 819-828 (2016.10).
- 細岡竜・新中新二・中村直人: センサレス永久磁石同期モータのための離散時間搬送高周波電圧印加法, 電気学会論文誌 D, 136, 11, 837-850 (2016.11).
- 原田翔太, 新中新二, PMSM のセンサレス効率高速駆動のための自変力率位相ベクトル制御, 電気学会論文誌 D, 136, 11, 861-871 (2016.11).
- 新中新二, 180度空間位相差の逆二重三相巻線をもつ三相永久磁石同期モータ (二重巻線配置, 動的数学モデル, ベクトルシミュレータ), 電気学会論文誌 D, 137, 2, 75-86 (2017.2).

6. 原田翔太, 新中新二, PMSM のセンサレス効率高速駆動のための自変力率位相ベクトル制御 (電圧座標系上での構築), 電気学会論文誌 D, 137, 4, 358-366 (2017.4).
7. 新中新二, 粗分解のホールセンサを用いた永久磁石同期モータの耐故障形ベクトル制御, 電気学会論文誌 D, 137, 5, 414-426 (2017.5).
8. 新中新二, 細岡竜, 梅野和希, 中村直人, 異なる巻線起因特性をもつ独立二重三相巻線永久磁石同期モータの効率駆動法, 電気学会論文誌 D, 137, 7, 599-611 (2017.7).
9. 新中新二, 粗分解のホールセンサを用いた永久磁石同期モータの高追従形ベクトル制御, 電気学会論文誌 D, 137, 9, 713-724 (2017.9).
10. C. Xie, C.-P. Chen and T. Anada, 2D Microwave Metallic Photonic Crystal Point-Defect-Cavity Resonator, Microwave and Optical Technology Letters, 59 (10), 2547-2551 (2017.7).
11. 陳春平, 穴田哲夫, テラヘルツ帯における次世代無線通信のための電磁回路のシミュレーションと設計—フォトニック結晶によるテラヘルツ波の制御と新機能デバイス—, 電子情報通信学会誌, 100(5), 356-361 (2017.5).
12. 土屋健伸, 遠藤信行, 生体組織内の音波伝搬と温度上昇の数値解析の新技术, 日本超音波医学会誌 (オンラインファースト掲載) (2017).
13. R. Kanou, H. Suga, H. Utsumi, S. Takahashi, Y. Shirayama, N. Watanabe, S. Petit and T. Shimizu, Damage-free polymer surface modification employing inward-type plasma, Jpn. J. Appl. Phys., 56, 086201 (2017).
14. 松島裕康, 内種岳詞, 辻順平, 山下倫央, 伊藤伸泰, 野田五十樹: 実験計画法による実験数削減と有意なパラメータ探索の避難シミュレーション分析への適用, 人工知能学会論文誌, 31(6), AG-E_1-9 (2016).
15. K. Kawashima, Y. Okamoto, O. Annayev, N. Toyokura, R. Takahashi, M. Lippmaa, K. Itaka, Y. Suzuki, N. Matsuki and H. Koinuma, Combinatorial screening of halide perovskite thin films and solar cells by mask-defined IR laser molecular beam epitaxy, Science and Technology of Advanced Materials 18(1), 307-315 (2017).
16. S. Yamaguchi and T. Anzai, Impact of temperature dependence of resistivity on thermal time constant of direct-current-driven Peltier device, Physica Status Solidi C: Current Topics in Solid State, 14, 1700118, (2017).
- Discrete-Time Voltage Injection of PWM Carrier Frequency (Positive-and Negative-Phase Amplitudes Extraction Method)", Proc. of 32nd Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2017) (Tampa, Florida 2017.3).
10. C.-P. Chen, K. Kanazawa, T. Anada, T. Hiraoka, S. Takeda, "Computation and Measurement of Microwave Metallic Photonic Crystal Point-Defect-Cavity," Proc. Asia Pacific Microwave Conference 2016, 1-4 (New Delhi, India 2016.12).
11. Z. Ma, M. Ai, M. Ohira, Chun-Ping Chen and Tetsuo Anada, A compact quasi-millimeter-wave microstrip wideband bandpass filter, 2016 IEEE International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband (ICUWB), pp.1-3, 16-19 (2016.10).
12. C.-P. CHEN, T. ANADA, S. TAKEDA and Z. MA, Proposal and Theoretical Design of THz Bandpass Filters using Metallic Photonic Crystal Resonators, Proc. 46th European Micro. Conf., (Session EuMC06), 116-119 (London, UK. 2016.10).
13. T. Yudate, J. Toyozumi, M. Onuma, T. Kondo, K. Mori, T. Shimizu, S. Kawabata and N. Watanabe, The investigation of the electrical contact resistance through thin oxide layer on a nanometer scale, Proc. THE 62nd IEEE HOLM CONFERENCE ON ELECTRICAL CONTACTS, 60-64 (2016).
14. J. Tsuji and M. Noto, Distance Based Multiple Swarms Formation Method in Particle Swarm Optimization, Proc. of 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 1573-1578 (Budapest, 2016.10).
15. M. Numazawa and M. Noto, The Effect of Education and Learning Using Note-Taking Application, Proc. of 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 844-848 (Budapest, 2016.10).
16. N. Matsuki, N. Kasai and A. Masuda, Actions for Gender Equality in the Japan Society of Applied Physics, Proc. International Conference on Women in Physics - the 6th International Union of Pure and Applied Physics - P5.13 (Birmingham, UK, 2017.7).

口頭発表

研究論文 II (レフェリー付き Proceedings)

1. H. Kinoshita, T. Morizumi, "Access Control Model for the Inference Attacks with Access Histories", Proc. of IEEE COMPSAC 2017 (2017.7).
2. T. Saito and T. Komatsu, "Restoration of a Poissonian-Gaussian Color Moving-Image Sequence," in Proc. of the Invited Talks, 3rd Int. Workshop on Image Sensors and Image Systems (IWISS 2016), 21-25 (2016.11).
3. T. Komatsu, S. Kondou, T. Saito, "3D Redundant DCT Restoration Method for MPEG-Compressed Video," in Proc. of IEEE 2016 Region 10 Conference (TENCON 2016), 3075-3078 (2016.11).
4. T. Komatsu, K. Tyon, T. Saito, "3-D mean-separation-type short-time DFT with its application to moving-image denoising," in Proc. of 2017 IEEE Int. Conf. on Image Processing (ICIP 2017), 2961-2965 (2017.9).
5. N. Retdian, T. Shima, "Power Line Noise Suppression using N-path Notch Filter for EEG", IEEE ISPACS, 1-4 (2016.10).
6. N. Retdian, T. Shima, "N-path Notch Filter with a 43-dB Notch Depth Improvement for Power Line Noise Suppression", IEEE ISESD, 184-187 (2016.11).
7. S. Kozuki, T. Shima, "Experimental Study of the Oscillation Mode of the Coupled Oscillator ORIGAMI for TDC", IEEE MIXDES, 1-4 (2017.6).
8. R.Hosooka, S.Shinnaka and Nakamura, "New Sensorless Vector Control of PMSM by Discrete-Time Voltage Injection of PWM Carrier Frequency (Sine- and Cosine-form Amplitudes Extraction Method)", Proc. of 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2016) (Florence, ITALY 2016. 10).
9. R.Hosooka and S.Shinnaka, "New Sensorless Vector Control of PMSM by Discrete-Time Voltage Injection of PWM Carrier Frequency (Positive-and Negative-Phase Amplitudes Extraction Method)", Proc. of 32nd Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2017) (Tampa, Florida 2017.3).
10. C.-P. Chen, K. Kanazawa, T. Anada, T. Hiraoka, S. Takeda, "Computation and Measurement of Microwave Metallic Photonic Crystal Point-Defect-Cavity," Proc. Asia Pacific Microwave Conference 2016, 1-4 (New Delhi, India 2016.12).
11. Z. Ma, M. Ai, M. Ohira, Chun-Ping Chen and Tetsuo Anada, A compact quasi-millimeter-wave microstrip wideband bandpass filter, 2016 IEEE International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband (ICUWB), pp.1-3, 16-19 (2016.10).
12. C.-P. CHEN, T. ANADA, S. TAKEDA and Z. MA, Proposal and Theoretical Design of THz Bandpass Filters using Metallic Photonic Crystal Resonators, Proc. 46th European Micro. Conf., (Session EuMC06), 116-119 (London, UK. 2016.10).
13. T. Yudate, J. Toyozumi, M. Onuma, T. Kondo, K. Mori, T. Shimizu, S. Kawabata and N. Watanabe, The investigation of the electrical contact resistance through thin oxide layer on a nanometer scale, Proc. THE 62nd IEEE HOLM CONFERENCE ON ELECTRICAL CONTACTS, 60-64 (2016).
14. J. Tsuji and M. Noto, Distance Based Multiple Swarms Formation Method in Particle Swarm Optimization, Proc. of 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 1573-1578 (Budapest, 2016.10).
15. M. Numazawa and M. Noto, The Effect of Education and Learning Using Note-Taking Application, Proc. of 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 844-848 (Budapest, 2016.10).
16. N. Matsuki, N. Kasai and A. Masuda, Actions for Gender Equality in the Japan Society of Applied Physics, Proc. International Conference on Women in Physics - the 6th International Union of Pure and Applied Physics - P5.13 (Birmingham, UK, 2017.7).
1. 矢田一貴, 木下宏揚, 森住哲也, トピックモデルによる潜在的関連性を考慮した情報検索, 信学技報, 116(490), SITE2016-67, 37-40 (2017.3).
2. 松下智樹, 木下宏揚, 森住哲也, 機械学習を用いた推論を考慮した情報漏えいの検出, 信学技報, 116(490), SITE2016-65, 29-32 (2017.3).
3. 小松隆, 張建, 齊藤隆弘, 三次元冗長 DCT と三次元 ST-DFT の動画復元性能比較, 映像メディア処理シンポジウム (IMPS2016), P-3-10 (2016.11).
4. 宋先波, 森住哲也, 木下宏揚, テクストの相互情報量により非文字オントロジー間を接続する概念の提案とそのケーススタディ~潜在的テキストを確率変数として見る場合~, 信学技報, 117(126), SITE2017-18, 135-140 (2017.7).
5. 張建, 小松隆, 齊藤隆弘, 三次元 ST-DFT を用いた MPEG 圧縮動画復元法, 映像メディア処理シンポジウム (IMPS2016), P-4-13 (2016.11).
6. 小松隆, 齊藤隆弘, 平均値分離型三次元 ST-DFT を用いた動画復元法の性能評価, 電子情報通信学会2017年総合大会, D-11-12 (2017.3).
7. 張建, 小松隆, 齊藤隆弘, ポアソン-ガウシアンカラー動画の復元一分散安定化変換の有効性の評価~, 電子情報通信学会2017年総合大会, D-11-13 (2017.3).
8. 野村祐介, 小松隆, 齊藤隆弘, 雑音除去動画の客観的画質評価法の一検討, 電子情報通信学会2017年総合大会, D-11-14 (2017.3).
9. 齊藤隆弘, 小松隆, 動画 DFT 係数の二成分混合型球対称ガウス分布空間におけるクラスタリング, 2017年映像情報メディア学会年次大会, 12B-1 (2017.8).
10. 小松隆, 齊藤隆弘, 動画の平均値分離型三次元 ST-DFT 係数の確率分布モデルパラメータの推定, 2017年映像情報メディア学会2017年次大会, 12B-2 (2017.8).
11. 齊藤隆弘, 小松隆, 劣化画像復元のための DFT 係数の確率分布モデル: 多次元混合型球対称ガウス分布モデルとそのパラメータ推定, 第16回情報

- 科学技術フォーラム (FIT2017), I-001 (2017.9).
12. 小松隆, 齊藤隆弘, 平均値分離型三次元 ST-DFT 係数の確率分布モデルパラメータの推定と動画復元への応用, 第16回情報科学技術フォーラム (FIT2017), I-002 (2017.9).
 13. 上月駿, 島健, ORIGAMI 発振回路の発振モードに関する実験報告, 電気学会電子回路研究会, ECT-017-007 (大牟田, 2017.11).
 14. 新中新二, 梅野和希, 中村直人, 異なる巻線起因特性をもつ独立二重三相巻線永久磁石同期モータの効率駆動法, 一第1報: 5連立非線形方程式の構築一, 平成29年電気学会全国大会講演論文集, 4, 72-73 (富山, 2017.3).
 15. 梅野和希, 細岡竜, 新中新二, 異なる巻線起因特性をもつ独立二重三相巻線永久磁石同期モータの効率駆動法, 一第2報: 5連立非線形方程式の再帰形解法 I 一, 平成29年電気学会全国大会講演論文集, 4, 74-75 (富山, 2017.3).
 16. 細岡竜, 梅野和希, 新中新二, 異なる巻線起因特性をもつ独立二重三相巻線永久磁石同期モータの効率駆動法, 一第3報: 5連立非線形方程式の再帰形解法 II 一, 平成29年電気学会全国大会講演論文集, 4, 76-77 (富山, 2017.3).
 17. 中村直人・新中新二: 異なる巻線起因特性をもつ独立二重三相巻線永久磁石同期モータの効率駆動法, 一第4報: 効率電流の最小二乗近似一, 平成29年電気学会全国大会講演論文集, 4, 78-79 (富山, 2017.3).
 18. 細岡竜, 中村直人, 新中新二, センサレス永久磁石同期モータのための正相逆相高周波電流相関を用いた離散時間搬送高周波電流電圧印加法, 平成29年電気学会産業応用部門大会講演論文集, III, 107-112 (函館, 2017.8).
 19. 杉山文哉, 細岡竜, 新中新二, 軌跡指向形ベクトル制御法による永久磁石同期モータの非電圧制限下最大力率駆動法, 平成29年電気学会産業応用部門大会講演論文集, III, 161-162 (函館, 2017.8).
 20. 嶋田賢作, 中村直人, 新中新二, 鉄損を考慮した広範囲駆動のための電流指令値決定法, 一電圧・電流制限を考慮した再帰形アルゴリズム, 平成29年電気学会産業応用部門大会講演論文集, III, 163-166 (函館, 2017.8).
 21. 半田秀斗, 新中新二, 非正弦誘起電圧を持つ永久磁石同期モータのトルクセンサレストルク制御, 平成29年電気学会産業応用部門大会講演論文集, III, 333-336 (函館, 2017.8).
 22. 新中新二, 独立二重三相巻線永久磁石同期モータのモード分担形電流制御, 一 dq 同期座標系上における高速・低速モードの電流制御一, 平成29年電気学会産業応用部門大会講演論文集, III, 377-382 (函館, 2017.8).
 23. 中村直人, 新中新二, 異なる巻線起因特性をもつ独立二重三相巻線永久磁石同期モータの変換行列を用いた電流制御, 平成29年電気学会産業応用部門大会講演論文集, III, 383-388 (函館, 2017.8).
 24. 古泉一樹, 新中新二, 低分解能ホールセンサを用いた PMSM のベクトル制御法の実機検証, 平成29年電気学会産業応用部門大会講演論文集, Y-110 (函館, 2017.8).
 25. 鐵田大輔, 陳春平, 張沢君, 穴田哲夫, 馬哲旺, 先端短絡スタブ付き平行結合線路を用いた広帯域バンドパスフィルタの合成理論と一検討, 信学技報, vol.117, no.216, MW2017-79, 63-68 (埼玉大学 2017.9).
 26. 武田重喜, 久保田倫代, 一瀬裕弥, 穴田哲夫, 陳春平, 結合マトリクス法と設計自由度について, 2017年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-50, p.58 (東京都市大学 2017.9).
 27. 謝成龍, 陳春平, 穴田哲夫, 中山明芳, 武田重喜, 三角格子金属フォトニック結晶による CT-BPF の設計, 2017年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-51, p.59 (東京都市大学 2017.9).
 28. 鐵田大輔, 陳春平, 穴田哲夫, 張沢君, 武田重喜, 広帯域バンドパス/全阻止切替型フィルタに関する一検討, 2017年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-54, p.62 (東京都市大学 2017.9).
 29. 鐵田大輔, 陳春平, 穴田哲夫, 張沢君, 平行結合線路を用いたバンドパス/ストップ切り替え可能なフィルタの理論モデリング, 2017年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, PS1-1, 1508-1509 (高松 2017.9).
 30. 謝成龍, 陳春平, 張沢君, 穴田哲夫, 新たなミリ波帯狭帯域バンドパスフィルタの設計と実現に関する一検討, 2017年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, PS1-2, 1510-1511 (高松 2017.9).
 31. 木川駿, 陳春平, 穴田哲夫, 張沢君, 同軸ブローブ変化法を用いた電波吸収体の複素電磁パラメータの非破壊測定に関する一検討, 2017年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, PS1-3, 1512-1513 (高松 2017.9).
 32. 謝成龍, 鐵田大輔, 木川駿, 陳春平, 穴田哲夫, 張沢君, 金属フォトニック結晶による高 Q 点欠陥共振器を用いたバンドパスフィルタの合理的設計, 信学技報, 117(142), EST2017-28, 105-110 (帯広 2017.7).
 33. Z. Zhang, Y. Tsuji, M. Eguchi, C. Chen, Study on Cross-Talk Free Polarization Splitter Based on Photonic Crystal Fiber with Double-Hole Unit Core, 信学技報, 117(142), EST2017-36, 161-164 (帯広 2017.7).
 34. 陳春平, 謝成龍, 鐵田大輔, 木川駿, 穴田哲夫 (神奈川大), マイクロ波帯における金属フォトニック結晶点欠陥共振器の理論解析と測定, 信学技報, 117(16), MW2017-7, 29-34 (2017.4).
 35. 金澤和輝, 陳春平, 穴田哲夫, 中山明芳 (神奈川大), 武田重喜 (アンテナ技研), 金属フォトニック結晶構造による減衰極を有する3段 BPF の設計, 2017年電子情報通信学会総合大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-40, p.53 (名古屋 2017.3).
 36. 武田重喜, 久保田倫代, 一瀬裕弥, 穴田哲夫, 陳春平, 2ポート回路の設計一測定値の精度と妥当性について, 2017年電子情報通信学会総合大会講演論文集, エレクトロニクス, C-2-95, p.108 (名古屋 2017.3).
 37. 陳春平, 鐵田大輔, 木川駿, 穴田哲夫, 武田重喜, 金属円柱を装荷した M-PhC による点欠陥共振器のシミュレーションと測定, 2017年電子情報通信学会総合大会講演論文集, エレクトロニクス, C-15-20, p.217 (名古屋 2017.3).
 38. 張茹, 馬哲旺, 大平昌敬, 王小龍, 陳春平, 穴田哲夫, マイクロストリップコンポジット共振器を用いたデュアルバンド帯域通過フィルタの設計手法の改善, 信学技報, vol.116, no. 432, MW2016-181, 47-52 (2017.1).
 39. Z. Zhang, Y. Tsuji, and M. Eguchi, "Design of single-polarization photonic crystal fiber with circular air holes for application to polarization splitter", 信学技報, 116 (390), EST2016-118, 253-256 (2017.1).
 40. S. Fujii, T. Tsuchiya, H. Mori, N. Endoh, Numerical Analysis for Estimating Scattered Waveform from Complex-Shaped Object in Water, Proc. of Symposium on Ultrasonic Electronics, 37, 3P6-6, (Busan, 2016).
 41. 藤井俊一, 土屋健伸, 遠藤信行, 鰐を内包する魚体からの散乱波の角度依存性解析, 信学技報, 116(419), 91-94 (京都, 2017).
 42. 笹川陽祐, 遠藤信行, 土屋健伸, 松本さゆり, 片倉景義, 反転位相素子構成による超音波スピーカの送波方位制御に関する検討, 信学技報, 116 (419), 1-4 (京都, 2017).
 43. 藤井俊一, 土屋健伸, 遠藤信行, 任意形状の水中物体からの散乱波の角度依存性解析, 日本音響学会講演論文集 (春季), 1109-1110, (神奈川, 2017).
 44. 笹川陽祐, 藤井俊一, 土屋健伸, 遠藤信行, 松本さゆり, 片倉景義, 位相反転素子構成の超音波スピーカーによる放射方位制御, 2017年電子情報通信学会総合大会, 63 (名古屋, 2017).
 45. 藤井俊一, 峰島湖隆, 山中駿, 土屋健伸, 遠藤信行, 骨格を考慮した魚体モデルからの散乱波の角度依存性解析, 海洋音響学会2017年度研究発表会, 47-50 (東京, 2017).
 46. 峰島湖隆, 山中駿, 藤井俊一, 土屋健伸, 遠藤信行, 広角放物型方程式の位相誤差の検討, 海洋音響学会2017年度研究発表会, 51-54 (東京, 2017).
 47. 藤井俊一, 峰島湖隆, 土屋健伸, 遠藤信行, 骨を有する魚からの散乱波の周波数特性解析, 信学技報, 117(190), 11-13 (横浜, 2017).
 48. 峰島湖隆, 藤井俊一, 土屋健伸, 遠藤信行, 広角 PE 法により求めた太平洋中緯度域における伝搬波形の位相ずれの検討, 信学技報, 117(190), 7-10 (横浜, 2017).

49. 藤井俊一, 笹川陽祐, 峰島湖隆, 土屋健伸, 遠藤信行, 魚体内の骨による散乱波の周波数特性への影響, 日本音響学会講演論文集 (秋期), 1231-1232 (松山, 2017).
50. 峰島湖隆, 藤井俊一, 土屋健伸, 遠藤信行, 広角放物型により求めた海中を伝搬するパルス波の位相ずれの検討, 日本音響学会講演論文集 (秋期), 1233-1234 (松山, 2017).
51. 加藤拓貴, 山口拓也, 平岡隆晴, 豊嶋久道, 量子風進化的アルゴリズムを用いた外国為替取引システムの最適化, 2017年電子情報通信学会総合大会, ISS-P-43 (名古屋, 2017.3).
52. 山口雅昭, 松本達真, 平岡隆晴, 豊嶋久道, マイクロストリップ線幅広型面結合線路の固有伝送モードの計算, 2017年電子情報通信学会総合大会, ISS-P-91 (名古屋, 2017.3).
53. 松本達真, 山口雅昭, 平岡隆晴, 豊嶋久道, 粒子群最適化アルゴリズムを用いた方形導波管窓付き多段共振器の設計, 2017年電子情報通信学会総合大会, ISS-P-92 (名古屋, 2017.3).
54. 山口拓也, 加藤拓貴, 平岡隆晴, 豊嶋久道, テクニカル指標パラメータの適応的選択を用いた取引システムの最適化, 2017年電子情報通信学会総合大会, ISS-P-111 (名古屋, 2017.3).
55. 渡邊騎通, J. Szabelewski, 間宮広明, 大久保雅隆, 北澤英明, TOF-SIMSによるSi/Al界面の評価, 2016真空・表面科学合同講演会, 3Ha07 (名古屋, 2016.12).
56. 渡邊騎通, 間宮広明, 阿部富士雄, 大久保雅隆, 北澤英明, TOF-SIMSによる耐熱鋼中のボロン分布の観測, 日本金属学会2017年春期 (第160回) 講演大会, 67 (東京, 2017.3).
57. A. Kowalska, H. Mamiya, J. Ilavsky, E. Gilbert, N. Watanabe, M. Ohnuma, H. Kitazawa and M. Lewandowska, Study of the nanoparticles influence on the mechanical properties of Ni-free N-containing ODS alloy by alloy contrast variation analysis, 日本金属学会2017年春期 (第160回) 講演大会, 161 (東京, 2017.3).
58. 古川翔太, 辻順平, 能登正人, テーマパーク問題における合意形成のゲーム理論的分析, 情報処理学会全国大会 (第79回), 7P-06 (名古屋, 2017.3).
59. 小林賢一, 辻順平, 能登正人, ディープラーニングを用いた画像処理による農作物病害診断への Data Augmentation の応用, 情報処理学会全国大会 (第79回), 3N-02 (名古屋, 2017.3).
60. 辻順平, 能登正人, テーマパーク問題における訪問者プランのパレート効率性を考慮した負荷分散手法, 情報科学技術フォーラム (第16回), CF-009 (東京, 2017.9).
61. 小林賢一, 辻順平, 能登正人, Data Augmentation を用いた農作物画像病害診断における正答率低下の要因分析, 情報科学技術フォーラム (第16回), H-007 (東京, 2017.9).
62. 杉山友亮, 辻順平, 能登正人, 測域センサを用いた水中計測における防水カバー形状の影響, 情報科学技術フォーラム (第16回), H-014 (東京, 2017.9).
63. 松木伸行, 川嶋一裕, 伊高健治, 佐藤知正, 鯉沼秀臣, ペロブスカイト/Si タンデム型太陽電池のコンビナトリアルデバイスプロセス: 薄膜物性の高速 in-situ 解析法, 応用物理学会第64回春季学術講演会, 15p-303-16 (横浜, 2017.3).
64. 川嶋一裕, 岡本裕二, 豊蔵信夫, 伊高健治, 松木伸行, 鯉沼秀臣, コンビナトリアル IR レーザー-MBE によるハライドペロブスカイトのドライ薄膜成長と結晶方位の制御, 応用物理学会第64回春季学術講演会, 15p-303-14 (横浜, 2017.3).
65. 松木伸行, 科学技術の未来に向けたダイバーシティ推進～男女・文理・職種・国籍の観点から～, 応用物理学会第64回春季学術講演会, 15p-B5-5 (横浜, 2017.3).
66. N. Matsuki, N. Kasai and A. Masuda, Action of the Japan Society of Applied Physics on Women's Empowerment and Diversity, Gender Summit 10, P1-1 (Tokyo, 2017.5).
67. N. Matsuki, N. Kasai and A. Masuda, Actions for Gender Equality in the Japan Society of Applied Physics, International Conference on Women in Physics-the 6th

International Union of Pure and Applied Physics-P5.13 (Birmingham, UK, 2017.7).

68. 松木伸行, オロークブライアン, 大島永康, 上殿明良, a-Si:H/c-Si へテロ界面近傍ボイド構造の高速評価ーボイドサイズ・水素結合・Si 結合角ゆらぎの相互相関ー, 応用物理学会第78回秋季学術講演会, 6p-A204-8, (福岡, 2017.9).
69. 内田慧, 天沼博, 松澤和光, ニュース記事のラップ型要約文章への自動変換, 人工知能学会第54回ことば工学研究会, 1-4 (2017.3).
70. 村上立樹, 天沼博, 松澤和光, 具体物間の連想度計算法, 人工知能学会第54回ことば工学研究会, 31-34 (2017.3).
71. 清水慶太郎, 鈴木温, 米田征司, 山口栄雄, 振動法を用いた DNA の変性と増幅の定量的評価, 平成29年電気学会電子・情報・システム部門大会, PS3-2 (高松, 2017.9).

学術誌

1. 木下宏揚, 仮想通貨ビットコインを支える技術, KDDI 総研 Nextcom Vol.26 2016 Summer, 24-33 (2016.6).
2. 土屋健伸, 海洋音響の基礎と応用ー海洋音波伝搬ー(5)放物型方程式法による音波伝搬解析, 海洋音響学会誌, 44(1), 23-34 (2017).
3. 土屋健伸, 海洋音響の基礎と応用ー海洋音波伝搬ー(6)FDTD 法の基礎理論, 海洋音響学会誌, 44(3), 141-150 (2017).

著書

1. 木下宏揚, クラウドコンピューティングのための OS とネットワークの基礎, コロナ社, ISBN 978-4-339-02876-8 (2017.8).
2. 豊嶋久道, 新 MT4 対応ライブラリによるメタトレーダーEA 実践プログラミング, T&Y 総合研究所 (2017).
3. 豊嶋久道, デジタル信号処理のサブリ, T&Y 総合研究所 (2017).
4. 豊嶋久道, デジタルシステム基礎テキスト, T&Y 総合研究所 (2017).

講演・展示会

1. 木下宏揚, フィンテックーブロックチェーンの理解と応用ー, サトシ・ナカモトは現代のマルコーニカ?, 情報処理学会連続セミナー2016 第6回 (2016.12).
2. 木下宏揚, 通貨 Bitcoin を支える技術, 情報通信技術研究会 (2016.11).
3. T. Saito and T. Komatsu, "Restoration of a Poissonian-Gaussian Color Moving-Image Sequence," Invited Talk, 3rd Int. Workshop on Image Sensors and Image Systems (IWISS 2016) (Tokyo, 2016.11).
4. 須賀良介, 石川亮, 鳥居拓真, 陳春平, 安部素実, 吉田賢史, [特別講演] 2016年ヨーロッパマイクロ波会議出席報告 (2016.12).
5. N. Watanabe, H. Mamiya, F. Abe, M. Ohkubo and H. Kitazawa, Analysis of micrometer-sized precipitates in Heat-Resistant Steels by TOF-SIMS, NIMS WEEK2016 (東京国際フォーラム, 2016.10).
6. A. Kowalska, M. Ciemiorek, N. Watanabe, H. Mamiya, M. Ohnuma, H. Kitazawa, M. Lewandowska, Influence of Ti on mechanical properties and structure of Ni-free ODS steel, NIMS WEEK2016 (東京国際フォーラム, 2016.10).
7. 渡邊騎通, 間宮広明, 阿部富士雄, 大久保雅隆, 北澤英明, TOF-SIMS による耐熱鋼中のマイクロメートルサイズの析出物の解析, 共用・計測合同シンポジウム2017 (物質・材料研究機構, 2017.3).
8. 松木伸行, 佐藤知正, ハイブリッド型透明太陽電池: UV カット発電窓材の開発, イノベーション・ジャパン2017, E-16 (東京, 2017.8).

助成金

1. 齊藤隆弘 (代表), 小松隆 (分担), "低照度・高品質撮像のための画像疎表現理論に基づく新カラー動画像復元法の開発," 2015/2016/2017年度文部科学省科学研究費補助金, 基盤研究(C), 2015年4月~2018年3月.

2. 島健 (代表), 初期視覚モデルの応用による時間デジタル変換回路の研究, 平成29年度科学研究費補助金, 基盤研究(C), 課題番号16K06318.
3. 陳春平, 穴田哲夫, 「5G 無線通信を支えるマルチバンドとミリ波デバイスの理論設計による迅速開発」, 平成29年度年度科学研究費助成金・基盤研究(C), 課題番号16K06320.
4. 穴田哲夫, 陳春平, 「ミリ波・サブミリ波帯におけるフォトニック結晶構造を応用した電磁波回路の解析と応用」, 平成29年度年度科学研究費助成金・基盤研究(C), 課題番号24560423.
5. 土屋健伸 (代表), フォトニック結晶構造を用いた平面音響レンズの実用化に向けた最適化設計とクロッキング材に関する研究, 平成29年度科学研究費補助金, 基盤研究(C), 課題番号15K06624.
6. 中山明芳, 阿部晋, 穴田哲夫, 接合垂直磁界への超伝導トンネル電流の履歴現象の測定と新デバイスへの応用, 平成28年度～平成30年度科学研究費補助金, 基盤研究(C), 課題番号16K06319.
7. 松木伸行 (代表), a-Si:H/c-Si ヘテロ接合界面近傍のボイド構造解明, 平成27年度～29年度 科学研究費補助金基盤研究(C), 課題番号15K04663.
8. 松木伸行 (代表), 新エネルギーデバイス無機触媒/半導体ハイブリッド型水素・酸素生成太陽光熱電池の創製, 平成28年度工学研究所共同研究A.
9. 松木伸行 (代表), ネット・ゼロ・エネルギーハウス実現のための光熱エネルギー変換システム創製, 平成29年度神奈川大学共同研究奨励助成金.

受託研究

1. 土屋健伸, 海洋内の音波伝搬の数値解析, ㈱三菱電機

海外出張

1. T. Yudate, J. Toyozumi, M. Onuma, T. Kondo, K. Mori, T. Shimizu, S. Kawabata and N. Watanabe, 62nd IEEE HOLM CONFERENCE ON ELECTRICAL CONTACTS, Clearwater Beach, FL USA (2016.10).
2. N. Watanabe, S. Abe and A. Nakayama, 13th European Conference on Applied Superconductivity, Geneva, Switzerland (2017.9).
3. Suzuki, A. Nakayama, S. Abe and N. Watanabe, 13th European Conference on Applied Superconductivity, Geneva, Switzerland (2017.9).
4. 松木伸行, International Conference on Women in Physics-the 6th International Union of Pure and Applied Physics, Birmingham, UK (2017.7).

褒賞

1. 木川駿, 平成29年電気学会電子・情報・システム部門大会・優秀ポスター賞, 電気学会 (2017.9).
2. 謝成龍, 和田悠佑, 2017年度学生マイクロ波回路設計試作コンテスト・HPF 部門・特別賞, 電子情報通信学会・マイクロ波研究会 (2017.9).

物質生命化学科

研究論文 I (レフェリー付き論文)

1. K. Ueno, T. Doi, B. Nanzai, and M. Igawa, Selective transport of neutral amino acids across a double-membrane system comprising cation and anion exchange membranes, *J. Membr. Sci.*, 537, 344-352 (2017).
2. T. Ikehara and T. Kataoka, "Diverse morphological formations and lamellar dimensions of poly (ϵ -caprolactone) crystals in the monolayers grafted onto solid substrates", *Polymer*, 112, 53-60 (2017).
3. N. Napan, T. Takeguchi, T. Mori, S. Iwamura, I. Ogino, S.R. Mukai, and W. Ueda, "Effect of the mesopores of carbon supports on the CO tolerance of Pt₂Ru₃ polymer

- electrolyte fuel cell anode catalyst", *International J. Hydrogen Energy*, 41, 13697-13704 (2016).
4. T. Murayama, W. Ueda and M. Haruta, "Deposition of Gold nanoparticles on Niobium Pentoxide with Different Crystal Structures for Room-Temperature Carbo Monoxide Oxidation", *ChemCatChem*, 8, 2620-2624 (2016).
5. Y. Goto, K.-I. Shimizu, K. Kon, T. Toyao, T. Murayama, and W. Ueda, "NH₃-efficient ammoxidation of toluene by hydrothermally synthesized layered tungsten-vanadium complex metal oxides", *J. Catal.*, 344, 346-353 (2016).
6. S. Ishikawa, D. Jones, S. Iqbal, R. Christian, D. Morgan, D. Willock, P. Miedziak, J. Bartley, J. Edwards, T. Murayama, W. Ueda, and G. Hutchings, "Identification of the catalytically active component of Cu-Zr-O catalyst for the hydrogenation of levulinic acid to γ -valerolactone", *Green Chemistry*, 19, 225-236 (2017).
7. T. Murayama, J. Hirata, K. Nakajima, K. Omata, E. Hensen, and W. Ueda, "Hydrothermal Synthesis of a Layered-type W-Ti-O Mixed Metal Oxide and its Solid Acid Activity", *Catal. Sci. Technol.*, 7, 243-250 (2017).
8. Z. Zhang, M. Sadakane, S.-I. Noro, N. Hiyoshi, A. Yoshida, M. Hara, and W. Ueda, "All-inorganic porous soft-framework by assembly of metal oxide molecular wires", *Chem. Eur. J.*, 23, 1972-1980 (2017).
9. T. Igarashi, Z. Zhang, T. Haioka, N. Iseki, N. Hiyoshi, N. Sakaguchi, C. Kato, S. Nishihara, K. Inoue, A. Yamamoto, H. Yoshida, N. Tsumoji, W. Ueda, T. Sano, and M. Sadakane, "Synthesis of ϵ -Keggin-type Cobaltomolybdate-based 3D Framework Material and Characterization Using Atomic-scale HAADF-STEM and XANES", *Inorg. Chem.*, 56, 2042-2049 (2017).
10. D. Sun, Y. Yamada, S. Sato, and W. Ueda, "Glycerol as a potential renewable raw material for acrylic acid production", *Green Chem.*, 19, 3186-3213 (2017).
11. Q. Zhu, Z. Zhang, M. Sadakane, A. Yoshida, M. Hara, and W. Ueda, "Synthesis of crystalline molybdenum oxides based on a 1D molecular structure and the ion-exchange property", *New Journal of Chemistry*, 41, 4503-4509 (2017).
12. S. Ishikawa, Y. Goto, Y. Kawahara, S. Inukai, N. Hiyoshi, N. F. Dummer, T. Murayama, A. Yoshida, M. Sadakane, and W. Ueda, "Synthesis of Crystalline Microporous Mo-V-Bi Oxide for Selective (Amm) Oxidation of Light Alkanes", *Chemistry of Materials*, 29, 2939-2950 (2017).
13. T. Igarashi, Z.-X. Zhang, T. Haioka, N. Iseki, N. Hiyoshi, N. Sakaguchi, C. Kato, S. Nishihara, K. Inoue, A. Yamamoto, H. Yoshida, N. Tsumoji, W. Ueda, T. Sano, and M. Sadakane, "Synthesis of ϵ -Keggin-type Cobaltomolybdate-based 3D Framework Material and Characterization Using Atomic-scale HAADF-STEM and XANES", *Inorg. Chem.*, 56, 2042-2049 (2017).
14. H. Takada, T. Yamada, T. Hirose, T. Ishihara, T. Nakashima, Y. Takahashi, S. Ōmura and T. Sunazuka, "Total Synthesis and Determination of the Absolute Configuration of Naturally Occurring Mangromicin A, with Potent Antitrypanosomal Activity", *Org. Lett.*, 19(1), 230-233 (2017).
15. N. Katz, N. Araújo, P. M. Z. Coelho, C. M. Morel, A. R. Linde-Arias, T. Yamada, Y. Horimatsu, K. Suzuki, T. Sunazuka and S. Ōmura, "Ivermectin efficacy against *Biomphalaria*, intermediate host snail vectors of *Schistosomiasis*", *J. Antibiot.*, 70(5), 680-684 (2017).
16. T. Yamada, Y. Horimatsu, T. Hirose, A. Sugawara, S. Ōmura and T. Sunazuka, "Stereo- and substituent-enabled divergent synthesis of 5, 6-spiroketal analogs of avermectin containing a triazole function", *Tetrahedron Lett.*, 58(32), 3119-3124 (2017).
17. A. Ono, T. Sugawara, H. Saneyoshi, and J. Kondo, "Crystal structure of a DNA duplex containing four Ag(I) ions in consecutive dinuclear Ag(I)-mediated base pairs: 4-thiothymine 2Ag(I)4-thiothymine", *Chem. Comm.*, 53, 11747-11750 (2017). (Front Cover).
18. J. Kondo, Y. Tada, T. Dairaku, Y. Hattori, H. Saneyoshi, A. Ono, and Y. Tanaka, "A metallo-DNA nanowire with uninterrupted one-dimensional silver array", *Nature Chemistry*, 9, 956-960 (2017).
19. H. Saneyoshi, K. Kondo, K. Iketani, and A. Ono, "Alkyne-linked reduction-activated protecting groups for diverse functionalization on the backbone of oligonucleotides", *Bioorg. Med. Chem.*, 25, 3350-3356. (2017).
20. H. Saneyoshi, Y. Yamamoto, K. Kondo, Y. Hiyoshi, and A. Ono, "Conjugatable

- and Bioreduction Cleavable Linker for the 5'-Functionalization of Oligonucleotides", *J. Org. Chem.*, 82, 1796-1802 (2017).
21. X.-L. Liu, S. Tsunega, T. Ito, M. Takanashi, M. Saito, K. Kaikake, and R.-H. Jin, "Double chiral Organic/inorganic hybrid materials: Formation of chiral phenolic resins on polyamines-associated chiral silica", *Chem Lett.*, 46, 1518-1521 (2017). (selected as Editor's choice paper)
 22. D. Soma, R.-H. Jin, "Free-Standing Disk Mold Crystalline Polyethyleneimine Gels: Physical Properties and Chemical Function in Mineralization", *Colloid and Polym. Sci.*, 295, 1585-1594 (2017).
 23. D. Soma, R.-H. Jin, "Sub-5 μ m balls possessing forest-like poly (methyloxazoline)/polyethyleneimine side chains and templated silica microballs with unusual internal structures", *RSC Advances*, 7, 36302-36312 (2017).
 24. X.-L. Liu, S. Tsunega, and R.-H. Jin, "Unexpected "Hammer-like Liquid" to Pulverize Silica Powders to Stable Sols and Its Application in Preparation of Sub-10 nm SiO₂ Hybrid Nanoparticles with Chirality", *ACS Omega*, 2, 1431-1440 (2017).
 25. X.-L. Liu, S. Tsunega, and R.-H. Jin, "Self-directing chiral information in solid-solid transformation: unusual chiral-transfer without racemization from amorphous silica to crystalline silicon", *Nanoscale Horizons*, 2, 147-155 (2017).
 26. Y. Matsubara, D. C. Grills, and Y. Koide, "Experimental Insight into the Thermodynamics of the Dissolution of Electrolytes in Room-Temperature Ionic Liquids: From the Mass Action Law to the Absolute Standard Chemical Potential of a Proton", *ACS Omega*, 1, 1393-1411 (2016).
 27. Y. Matsubara, "Standard Electrode Potentials for the Reduction of CO₂ to CO in Acetonitrile-Water Mixtures Determined Using a Generalized Method for Proton-Coupled Electron-Transfer Reactions", *ACS Energy Lett.*, 2, 1886-1891 (2017).
 28. T. Takayama, J. Nakazawa, and S. Hikichi, "A pseudotetrahedral nickel (II) complex with a tridentate oxazoline-based scorpionate ligand: chloride [tris (4,4-dimethyloxazolin-2-yl) phenylborato] nickel (II)", *Acta Cryst.*, C72 (11), 842-845 (2016).
 29. T. Nozawa, Y. Mizukoshi, A. Yoshida, S. Hikichi, and S. Naito, "Formation of Ru active species by ion-exchange method for aqueous phase reforming of acetic acid", *Int. J. Hyd. Energy*, 42 (1), 168-176 (2017).
 30. A. Nakamizu, T. Kasai, J. Nakazawa, and S. Hikichi, "Immobilization of a Boron Center-Functionalized Scorpionate Ligand on Mesoporous Silica Supports for Heterogeneous Tp-Based Catalysts", *ACS Omega*, 2 (2), 1025-1030 (2017).
 31. Anjaneyulu, S. Ishii, T. Imai, T. Tanabe, S. Ueda, T. Nagao, and H. Abe, "Plasmon-mediated photothermal conversion by TiN nanocubes toward CO oxidation under solar light illumination", *RSC Advances*, 112 (6), 110566-110570 (2016).
 32. T. Tanabe, T. Imai, T. Tokunaga, S. Arai, Y. Yamamoto, S. Ueda, G.V. Ramesh, S. Nagao, H. Hirata, S. Matsumoto, T. Fujita, and H. Abe, "Nanophase-separated Ni₃Nb Alloy as Automobile Exhaust Catalysts", *Chemical Science*, 8, 3374-3378 (2017).
 33. M. Manikandan, G. V. Ramesh, T. Tanabe, A. Dakshnamoorthy, K. Ariga, and H. Abe, "Hierarchical SnO₂ Nanostructure with High Energy {113} Facet as Pt-Support for Improved Oxygen Reduction Reaction", *J. Nanosci. Nanotech.*, 17 (5), 2929-2936 (2017).
 34. T. Tanabe, M. Hashimoto, K. Mibu, T. Tanikawa, T. Gunji, S. Kaneko, H. Abe, M. Miyauchi, and F. Matsumoto, "Synthesis of single phase Sn₃O₄: native visible-light-sensitive photocatalyst with high photocatalytic performance for hydrogen evolution", *J. Nanosci. Nanotech.*, 17 (5), 3454-3459 (2017).
 35. K. Uehara, K. Yamazaki, T. Gunji, S. Kaneko, T. Tanabe, T. Ohsaka, F. Matsumoto, "Evaluation of Key Factors for Preparing High Brightness Surfaces of Aluminum Films Electrodeposited from AlCl₃-1-Ethyl-3-Methylimidazolium Chloride-Organic Additive Baths", *Electrochimica Acta*, 215, 556-565 (2016).
 36. T. Tanabe, T. Gunji, Y. Honma, K. Miyamoto, T. Tsuda, Y. Mochizuki, S. Kaneko, S. Ugawa, H. Lee, T. Ohsaka, and F. Matsumoto, "Preparation of Water-Resistant Surface Coated High-Voltage LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O₄ Cathode and Its Cathode Performance to Apply a Water-Based Hybrid Polymer Binder to Li-Ion Batteries", *Electrochimica Acta*, 224, 429-438 (2017).
 37. 田邊豊和, 川崎大樹, 金子信悟, 郡司貴雄, 松本太, "電流パルスめつき法を用いて作製した Ni/Cu および Ni/Ni-P 多層膜の断面観察と耐摩耗性の膜厚依存性", *表面技術*, 68 (4) 213-218 (2017).
 38. 津田喬史, 井波祐貴, 中村亮介, 安藤風馬, 望月康正, 郡司貴雄, 田邊豊和, 金子信悟, 板垣薫, 柚直彦, 松本太, "積層型グラファイト/穴あき集電箔負極における集電箔上の開口条件および反応温度と Li+イオンブレード速度との関係", *Electrochemistry*, 85 (4), 186-194 (2017).
 39. F. Ando, T. Tanabe, T. Gunji, T. Tsuda, S. Kaneko, T. Takeda, T. Ohsaka, and F. Matsumoto, "Improvement of ORR Activity and Durability of Pt Electrocatalyst Nanoparticles Anchored on TiO₂/Cup-Stacked Carbon Nanotube in Acidic Aqueous Media", *Electrochimica Acta*, 232, 404-413 (2017).
 40. T. Gunji, S. Noh, H. Seung T. Tanabe, B. Han, C.-Y. Nien, T. Ohsaka, and F. Matsumoto, "An Enhanced Electrocatalytic Activity of Carbon-Supported Ordered Intermetallic Palladium-Lead (Pd₃Pb) Nanoparticles towards Electrooxidation of Formic Acid", *Chemistry of Materials*, 129 (7), 2906-2913 (2017).
 41. 津田喬史, 安東信雄, 郡司貴雄, 田邊豊和, 金子信悟, 板垣薫, 柚直彦, 中村亮介, 松本太, "穴あき LiFePO₄/活性炭ハイブリッド電極構造による LiFePO₄正極の高出力化", *Electrochemistry*, 85 (8), 447-450 (2017).
 42. E. Tsuji, T. Motohashi, H. Noda, D. Kowalski, Y. Aoki, H. Tanida, J. Niikura, Y. Koyama, M. Mori, H. Arai, T. Ioroi, N. Fujiwara, Y. Uchimoto, Z. Ogumi, and H. Habazaki, "Brownmillerite-type Ca₂FeCoO₆ as a Practicable Oxygen Evolution Reaction Catalyst", *Chem. Sus. Chem.*, 10, 2814-2868 (2017).
 43. A. Kamura, Y. Masubuchi, T. Motohashi, and S. Kikkawa, "Preparation and optical property of gallium zinc oxynitride powder and nanocrystals with sawtooth-like appearance", *Materials Res. Bull.*, 87, 130-134 (2017).
 44. H. Naksugawa, M. Saito, and Y. Okamoto, "High-Temperature Thermoelectric Properties of Perovskite-Type Pr_{0.9}Sr_{0.1}Mn_{1-x}Fe_xO₃ (0 ≤ x ≤ 1)", *J. Electronic Materials*, 46, 3262-3272 (2017).
 45. Y. Tokita, M. Katoh, Y. Ohta, and T. Yokozawa, "Mechanistic investigation of catalyst-transfer Suzuki-Miyaura condensation polymerization of thiophene-pyridine biaryl monomer with the aid of model reactions", *Chem. Eur. J.*, 22 (48), 17436-17444 (2016).
 46. M. Nojima, Y. Ohta, and T. Yokozawa, "Additive-controlled switching from abnormal to normal unstoichiometric Suzuki-Miyaura polycondensation for poly (biphenylenevinylene)", *Chem. Lett.*, 46 (1), 35-37 (2017).
 47. H. Sugita, M. Nojima, Y. Ohta, and T. Yokozawa, "Unusual cyclic polymerization through Suzuki-Miyaura coupling of polyphenylene bearing diboronate at both ends with excess dibromophenylene", *Chem. Commun.*, 53 (2), 396-399 (2017).
 48. K. Mikami, M. Nojima, Y. Masumoto, Y. Mizukoshi, R. Takita, T. Yokozawa, and M. Uchiyama, "Catalyst-dependent intrinsic ring-walking behavior on π -face of conjugated polymers", *Polym. Chem.*, 8 (10), 1708-1713 (2017).
 49. A. Yokoyama, J. Kuramochi, R. Kiyota, K. Kishimoto, K. Takaishi, and T. Yokozawa, "Polymerization of 2, 5-diaminoterephthalic acid-type monomers for the synthesis of polyamides containing ladder unit", *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, 55 (14), 2365-2372 (2017).
 50. T. Kamigawara, H. Sugita, K. Mikami, Y. Ohta, and T. Yokozawa, "Intramolecular transfer of Pd catalyst on carbon-carbon triple bond and nitrogen-nitrogen double bond in Suzuki-Miyaura coupling reaction", *Catalysts*, 7 (7), 195 (2017).
 51. K. Iwashita, H. Katoh, Y. Ohta, and T. Yokozawa, Photodeprotectable N-alkoxybenzyl aromatic polyamides, *Polymers*, 9 (7), 246 (2017).

研究論文Ⅱ (レフェリー付き Proceedings)

1. T. Tsuda, H. Kokubun, Y. Asaoka, K. Miyamoto, Y. Mochizuki, T. Gunji, T. Tanabe, S. Kaneko, T. Ohsaka, F. Matsumoto, "Dependences of Discharge Capacity, Retention of Discharge Capacity, Average Discharge Voltage and Energy Density, and Rate Capability on the Composition of xLi₂MnO₃-yLiNi_{1/2}Mn_{1/2}O₂-(1-x-y) LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O₂ Li-rich Solid-Solution Cathode Materials for Li-Ion

- Battery”, ECS Transactions, 75 (20), 173-187 (2017).
2. T. Tsuda, N. Ando, N. Mitsuhashi, T. Tanabe, K. Itagaki, N. Soma, S. Nakamura, N. Hayashi, and F. Matsumoto, “Fabrication of Porous Graphite Anodes with Pico-Second Pulse Laser and Enhancement of Pre-Doping of Li⁺ Ions to Laminated Graphite Anodes with Micrometre-Sized Holes Formed on the Porous Graphite Anodes”, ECS Transactions, 77 (11), 1897-1903 (2017).

口頭発表

1. 上野健太, 南齋勉, 井川学, 「中性アミノ酸のイオン交換膜による選択輸送」, 第32回日本イオン交換学会研究発表会講演要旨集 IP-08 (大阪, 2016.10).
2. 横井陽一, 南齋勉, 井川学, 「土壌からのセシウムイオンの脱着」, 第32回日本イオン交換学会研究発表会講演要旨集, IP-02 (大阪, 2016.10).
3. 石山康也, 南齋勉, 井川学, 「エレクトロカインエティックリメディエーション法による土壌からのセシウムイオンの除去(II)」, 第32回日本イオン交換学会研究発表会講演要旨集, IP-03 (大阪, 2016.10).
4. 井川学, 小関泰典, 王一澤, 「大気中微量ガス成分の分析と濃度支配要因」, 第58回大気環境学会年会講演要旨集, 247 (神戸, 2017.9).
5. 井川学, 櫻井清, 木皿匠, 「横浜における微小雨滴の採取とその特性」, 第58回大気環境学会年会講演要旨集, 556 (神戸, 2017.9).
6. 矢口翔剛, 片岡利介, 池原飛之, 「結晶性高分子からなる薄膜の作製とプロトン伝導度」, 第66回高分子学会年次大会, 1P084 (千葉, 2017.5).
7. 岡里沙子, 片岡利介, 池原飛之, 「固体表面にグラフトされたブロックコポリマーの結晶モルフォロジー」, 第66回高分子学会年次大会, 2Pd058 (千葉, 2017.5).
8. 鈴木祐太, 片岡利介, 池原飛之, 「ポリアミドのシリコン基板へのグラフトと結晶化」, 第66回高分子学会年次大会, 2Pc059 (千葉, 2017.5).
9. 片岡利介, 伊藤和也, 加藤曜, 池原飛之, 「Poly (ϵ -caprolactone)/poly (methyl methacrylate) リアクティブブレンドにおける相挙動と結晶化速度」, 第66回高分子学会年次大会, 3Pb036 (千葉, 2017.5).
10. 石崎祐希, 片岡利介, 池原飛之, 「結晶性ブロックコポリマーの合成と球晶成長速度の解析」, 第66回高分子学会年次大会, 3Pa041 (千葉, 2017.5).
11. 池原飛之, 片岡利介, 小菅大樹, 小林翼, 「固体表面にグラフトされた結晶性高分子のラメラ形態と結晶化速度」, 第66回高分子討論会, 2103 (松山, 2017.9).
12. 片岡利介, 伊藤和也, 加藤曜, 池原飛之, 「Poly (ϵ -caprolactone)/poly (methyl methacrylate) ブレンドにおけるメルト反応と核形成」, 第66回高分子討論会, 2110 (松山, 2017.9).
13. 石崎祐希, 片岡利介, 池原飛之, 「結晶性トリブロックコポリマーの合成と球晶成長速度の解析」, 第66回高分子討論会, 1Pb042 (松山, 2017.9).
14. 片岡利介, 守野優介, 岸野将大, 池原飛之, 「Poly (L-lactic acid)/poly (D-lactic acid) ブレンドにおけるステレオコンプレックス球晶と PLLA 球晶の形成ダイナミクス」, 第66回高分子討論会, 1Pa043 (松山, 2017.9).
15. 岡里沙子, 池原飛之, 片岡利介, 「シリコン基板表面にグラフトされた poly (butylene succinate)-block-poly (ethylene oxide) の結晶化」, 第66回高分子討論会, 2Pe055 (松山, 2017.9).
16. 鈴木祐太, 片岡利介, 池原飛之, 「ポリアミドのシリコン基板へのグラフト及び結晶化」, 第66回高分子討論会, 2Pf056 (松山, 2017.9).
17. 矢口翔剛, 池原飛之, 片岡利介, 「結晶性高分子及び架橋した非晶性高分子からなるプロトン交換膜の物性」, 第66回高分子討論会, 2Pf088 (松山, 2017.9).
18. 鶴見翔太, 吉田暁弘, 上田渉, 金属水素化物と共役系高分子の複合体によるアンモニア合成反応, 京都大会 (第46回石油・石油化学討論会) (京都, 2016).
19. 篠田真衣, 元木裕太, 吉田暁弘, 上田渉, 含フッ素 V 族酸化物の合成とセルロース転換反応への応用, 京都大会 (第46回石油・石油化学討論会) (京都, 2016).
20. 中島清隆, 村山徹, 上田渉, 結晶性ニオブ酸によるトリオース水溶液からの乳酸合成, 京都大会 (第46回石油・石油化学討論会) (京都, 2016).
21. 上田渉, バイオマスを化学変換する複合酸化物触媒の開発, 私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 太陽光活用を基盤とするグリーン/ライフイノベーション創出技術研究拠点の形成～第7回公開発表会～ (横浜, 2016).
22. W. Ueda, “Structure unit-based design of complex metal oxide catalysts for biomass conversion”, Green Catalysis by Design Scientific Meeting (イタリア, 2017).
23. 上田渉, 「高次構造形成を基にした普遍元素酸化物触媒の創出」, NOVACAM プロジェクト最終公開シンポジウム (横浜, 2017.3).
24. W. Ueda and S. Ishikawa, “Selective oxidation and reaction mechanism over crystalline Mo-based oxide catalyst”, IV Scientific Conference BORESKOV READINGS (ロシア, 2017.5).
25. 舘野晴香, Z. Zhang, 吉田暁弘, 原亨和, 上田渉, 「置換型タングステン酸化物ナノワイヤーを酸触媒とするセルロースの転換反応」, 石油学会第60回年会 (第66回研究発表会) (東京, 2017.5).
26. A. Yoshida, Y. Motoki, M. Shinoda, H. Norito and W. Ueda, “Synthesis, structural characterization and acid catalysis of pore-structured niobium oxide and its fluorinated analogues”, 8th International Symposium on Acid-Base Catalysis (ブラジル, 2017.4).
27. W. Ueda, Importance of Research for Innovation, 22nd World Petroleum Congress (トルコ, 2017).
28. W. Ueda, New porous crystalline complex oxide catalysts synthesized by unit assembly, EUROPACAT 13th European Congress on Catalysis (イタリア, 2017).
29. Z. Zhang, M. Sadakane, N. Hiyoshi, A. Yoshida, M. Hara and W. Ueda, Acidic ultrathin inorganic molecular wire based on transition metal oxide for biomass conversion, EUROPACAT 13th European Congress on Catalysis (イタリア, 2017).
30. 平山純, S. Iqbal, 石川理史, 中島清隆, 福岡淳, G. Hutchings, レプリン酸水素化反応における Cu-ZrO₂触媒への Mn 添加効果, 第122回触媒討論会 (愛媛, 2017).
31. 吉田暁弘, 鶴見翔太, 上田渉, 水素化リチウム-共役系高分子複合材料のアンモニア合成触媒特性, 第123回触媒討論会 (愛媛, 2017).
32. 井関直, 定金正洋, 津野地直, 佐野庸治, Z. Zhang, 上田渉, ϵ -Keggin 型モリブデートを三次元に連結した新規ポリオキソモリブデート化合物の合成と構造解析, 第124回触媒討論会 (愛媛, 2017).
33. Z. Zhang and W. Ueda, Crystalline microporous transition metal oxide based on vanadotungstate, 第125回触媒討論会 (愛媛, 2017).
34. 矢田陽, 村山徹, 平田純, 中島拓哉, 上田渉, W-Ti-O 複合金属酸化物触媒によるアルコールの脱水交差エーテル化反応, 第125回触媒討論会 (愛媛, 2017).
35. 石川理史, 後藤文倫, 河原義人, 犬飼将慎, 日吉範人, N. Dummer, 村山徹, 吉田暁弘, 定金正洋, 上田渉, 結晶性 Mo-V-Bi 複合酸化物の合成とそれを用いた低級アルカン (アンモ) 酸化反応, 第125回触媒討論会 (愛媛, 2017).
36. 山田雄大, 石川理史, 吉田暁弘, 上田渉, 斜方晶 Mo-V-Cu-O 複合酸化物を用いたアクロレイン選択酸化反応による Cu の添加効果, 第125回触媒討論会 (愛媛, 2017).
37. W. Ueda, Atomic scale analysis of complex metal oxides and molecular level understanding of catalytic selective oxidation with molecular oxygen, 8th World Congress on Oxidation Catalysis (ポーランド, 2017).
38. S. Ishikawa, Y. Goto, Y. Kawahara, S. Inukai, N. Hiyoshi, N. Dummer, T. Murayama, A. Yoshida, M. Sadakane and W. Ueda, Synthesis of crystalline microporous Mo-V-Bi oxide for selective (amm) oxidation of light alkane, 8th World Congress on Oxidation Catalysis (ポーランド, 2017).
39. 廣瀬友靖, 中島琢自, 高田拓和, 岩月正人, 山田健, 落合純也, 神谷義之, 石原拓真, 長井賢一郎, 松本厚子, 石山亜紀, 乙黒一彦, 塩見和朗, 高橋洋子, 砂塚敏明, 大村智, 「抗トリパノソーマ活性を有するマングロマイシン類の単離, 構造決定ならびに不斉全合成, 第59回 天然有機化合物討論会」, 講演番号09 (札幌, 2017.9).

40. 高田拓和, 山田健, 廣瀬友靖, 石原拓真, 中島琢自, 高橋洋子, 大村智, 砂塚敏明, 日本薬学会第137年会, 講演番号27S-am10S (仙台, 2017.3).
41. 西川義昭, 三田裕大, 松野千加士, 岡本専太郎, 「チタニシクロペンテンとギ酸エステルの反応による置換シクロペンタジエンの合成」, 日本化学会第97春季年会, 1PB-112 (慶応義塾大学, 日吉, 2017.3).
42. Suchithra Madhavan, 進藤卓宏, 松野千加士, 岡本専太郎, 「シリカ担持銀触媒による2'-ヒドロキシカルコンとアゾメチンイリドの [3+2] 環化付加反応」, 日本化学会第97春季年会, 1PB-076 (慶応義塾大学, 日吉, 2017.3).
43. 中田春樹, 佐野俊一郎, 松野千加士, 岡本専太郎, 「ビタミンDのC,D環部誘導体の合成」, 日本化学会第97春季年会, 2PB-028 (慶応義塾大学, 日吉, 2017.3).
44. 砂塚敏明, 山田健, 廣瀬友靖, 大村智, 「薬作りへの有機分子触媒の活用」, 第6回CSJ化学フェスタ2016, (東京, 2016.11).
45. 高田拓和, 山田健, 廣瀬友靖, 石原拓真, 中島琢自, 高橋洋子, 大村智, 砂塚敏明, 「顧みられない熱帯病, トリパノソーマ症に有効なマングロマイシン類の全合成研究」, 第110回有機合成シンポジウム2016年(秋), 講演番号O-29 (東京, 2016.11).
46. 柳正致, 二宮良, 上田善弘, 山田健, 砂塚敏明, 川端猛夫, 「有機分子触媒による10-Deacetylbaicatin IIIの位置選択的アシル化」, 第66回日本薬学会近畿支部総会・大会, 講演番号B-15-3 (大阪, 2016.10).
47. A. Ono, H. Saneyoshi, J. Kondo, Y. Tanaka, "Characterization of DNA duplexes containing metal ion mediated base pairs" 17th Symposium on Chemistry of Nucleic Acid Components", Český Krumlov, Czech Republic, June 4-9, 2017 (招待講演).
48. 實吉尚郎, 日吉祐貴, 小野晶, 「細胞内で除去可能なリン酸ジエステル部位保護基の開発研究」, 日本化学会第97春季年会, 4C-2-33 (慶応大学・日吉キャンパス, 2017.3).
49. 小野晶, 菅原徹, 伊藤日香里, 飛鷹光, 蛭田結宇, 武藤千鶴, 横田陸, 實吉尚郎, 近藤次郎, "Metal ion binding by modified base pairs in DNA duplexes", 日本化学会第97春季年会, 2PB-118 (慶応大学・日吉キャンパス, 2017.3).
50. 荒川章裕, 矢口礼望, 小野晶, 鳥越秀峰, 「5-ヒドロキシウラシル塩基を含むミスマッチ塩基対と金属イオンの特異的結合」, 日本化学会第97春季年会, 4C4-36 (慶応大学・日吉キャンパス, 2017.3).
51. 小野晶, 近藤一彦, 日吉祐貴, 實吉尚郎, 「プロドラッグ型核酸医薬のための生分解性保護基の開発研究」, 日本薬学会第137年会, 27PA-am029 (仙台国際センター, 2017.3).
52. 實吉尚郎, 日吉祐貴, 山本祐太, 近藤一彦, 池谷浩一, 岡本聡, 小野晶, 「細胞内還元条件下で除去される保護基を有する核酸の合成と評価」, 第2回核酸医薬学会年会, O-1-2 (東京理科大学葛飾キャンパス, 2016.11).
53. 日吉祐貴, 小野晶, 實吉尚郎, 「細胞内グルタチオンで除去される保護基の開発とプロドラッグ型オリゴヌクレオチドへの応用」, 第2回核酸医薬学会年会, P21 (東京理科大学葛飾キャンパス, 2016.11).
54. 山本祐太, 小野晶, 實吉尚郎, 「還元条件下で開裂するリンカーの開発」, 第2回核酸医薬学会年会, P26 (東京理科大学葛飾キャンパス, 2016.11).
55. 竹淵はるか, 王文立, 貝掛勝也, 金仁華, 「PNIPAMを有する二重親水性歯ブラシ型ポリマーの水中における特異挙動」, 第66回高分子討論会, 2Pe027 (愛媛大学, 松山, 2017.9).
56. 相馬大貴, 金仁華, 「ポリエチレンイミン μ ゲルにテンプレートされる孤立酸化チタン/シリカ μ 粒子の合成と光触媒への応用」, 第66回高分子討論会, 2D15 (愛媛大学, 松山, 2017.9).
57. 王文立, 金仁華, 「両親媒性ジブロック構造を側鎖とするくし型ポリマーの自己組織化及びテンプレート機能」, 第66回高分子討論会, 2P032 (愛媛大学, 松山, 2017.9).
58. 一ノ木戸湧祐, 相馬大貴, 貝掛勝也, 金仁華, 「サブ $5\mu\text{m}$ 架橋化粒子の合成における階層構造の制御」, 第66回高分子討論会, 1Pa061 (愛媛大学, 松山, 2017.9).
59. 梅原悠磨, 金仁華, 「オキサゾリン系キラルポリマーの合成と機能性評価」, 第66回高分子討論会, 2Pe115 (愛媛大学, 松山, 2017.9).
60. 瀧田萌美, 王文立, 貝掛勝也, 金仁華, 「両親媒性歯ブラシ型ポリマーを用いる表面・界面設計」, 第66回高分子討論会, 1Pb114 (愛媛大学, 松山, 2017.9).
61. 伊崎真琴, 梅原悠磨, 金仁華, 「キラルポリオキサゾリンとアキラルポリオキサゾリンからなるブロック共重合体の合成」, 第66回高分子討論会, 2Pe115 (愛媛大学 (松山, 2017.9).
62. 恒賀聖司, 金仁華, 「キラルマトリックスとアキラル触媒にコントロールされるキラルフェノール系樹脂の合成」, 第66回高分子討論会, 2D05 (愛媛大学, 松山, 2017.9).
63. 井上予志人, 貝掛勝也, 金仁華, 「ポリエチレンイミン枝とポリカルボン酸柄からなる歯ブラシ型共重合体の合成とその物性」, 第66回高分子討論会, 2Pe031 (愛媛大学, 松山, 2017.9).
64. 貝掛勝也, 高田将文, 相馬大貴, 一ノ木戸湧祐, 金仁華, 「テオフィリン残基を有するポリスチレン系 μ -ボールを用いたパラジウム吸着特性」, 第66回高分子討論会, 3Y01 (愛媛大学, 松山, 2017.9).
65. 伊藤聡, 恒賀聖司, 貝掛勝也, 金仁華, 「レゾルシン及びその誘導体からのキラルフェノール系樹脂の合成」, 第66回高分子討論会, 3Pa079 (愛媛大学, 松山, 2017.9).
66. K. Kaikake, I. Yuhsuke, D. Soma, and R.-H. Jin, "Synthesis of Polystyrene-type μ -Bead Gels Bearing Polyamine Side Chain and Its Application for Adsorption heavy metal ions", 11th International Gel Symposium (Chiba, 2017.2).
67. D. Soma, R.-H. Jin, "Synthesis of Novel Microgel with Polyamine Brushes and Its Templating Function in Mineralization", 11th International Gel Symposium (Chiba, 2017.2).
68. S. Tsunega, and R.-H. Jin, "Chiral transfer systems based and mediated on silica frames, 29th International Symposium on Chirality, reg-00292 (Tokyo, 2017.7).
69. X.-L. Liu, R.-H. Jin, "Unusual Self-templating of Chiral Information from Amorphous Silica to Crystalline Silicon in the Solid-phase Reaction", 29th International Symposium on Chirality, reg-00293 (Tokyo, 2017.7).
70. Daiki Soma, Ren-Hua Jin, "Synthesis of Basic Microgel with Polyethyleneimine Brushes and Its Template Function in mineralization", Advances in Functional Materials Conference 2017 (Los Angeles, USA 2017.8).
71. Wen-Li Wang, Ren-Hua Jin, "Synthesis and Self-organization of comb-like polymers possessing amphiphilic diblock polymeric side chain", Advances in Functional Materials Conference 2017 (Los Angeles, USA 2017.8).
72. 伊崎真琴, 王文立, 貝掛勝也, 金仁華, ポリエチレンイミン骨格を有するトリブロック共重合体の合成と物性, 第66回高分子年次大会 (千葉2017.5) 1Pe003.
73. 伊藤巧, 劉新玲, 金仁華, キラルシリカ表面でのキラルレゾルシノール樹脂の合成及び炭化, 第66回高分子年次大会 (千葉2017.5) 1Pd078.
74. 井上予志人, 貝掛勝也, 金仁華, ポリエチレンイミン側鎖とポリメタクリレート主鎖を有する共重合体の合成とその物性, 第66回高分子年次大会 (千葉2017.5) 3PA009.
75. 王文立, 金仁華, 両親媒性ジブロック構造を側鎖とするくし型ポリマーの合成及び物性, 第66回高分子年次大会 (千葉2017.5) 2D16.
76. 恒賀聖司, 金仁華, 有機系ポリマーから無機材料へのリレー型キラル転写系構築, 第66回高分子年次大会 (千葉2017.5) 3H17.
77. 相馬大貴, 金仁華, ポリエチレンイミン?ゲル反応場での孤立無機 μ 粒子の合成, 第66回高分子年次大会 (千葉2017.5) 3H09.
78. 瀧田萌美, 貝掛勝也, 金仁華, ポリオキサゾリン・ポリエチレンイミン系歯ブラシ型両親媒性ポリマーの合成と物性, 第66回高分子年次大会 (千葉2017.5) 1PD052.
79. 竹淵はるか, 王文立, 貝掛勝也, 金仁華, ポリオキサゾリン・ポリエチレンイミンとポリイソブチルアクリルアミドからなる熱応答性くし型ポリマー, 第66回高分子年次大会 (千葉2017.5) 3Pb010.
80. 梅原悠磨, 金仁華, キラルポリオキサゾリン・ポリメチルエチレンイミンの合成及び物性, 第66回高分子年次大会 (千葉2017.5) 2F16.
81. 竹淵はるか, 王文立, 貝掛勝也, 金仁華, ポリ(アセチル)エチレンイミンをブラシ構造とする熱応答性ブロック共重合体の自己組織化, 日本化学会第97春季年会 (日吉2017.3) 3B6-13.

82. 梅原悠磨, 岡本専太郎, 金仁華, キラルポリオキサゾリンの合成と及び物性評価, 日本化学会第97春季年会 (日吉2017.3) 3A2-06.
83. 瀧田萌美, 貝掛勝也, 金仁華, ポリ (アセチル) エチレンイミン系歯ブラシ型両親媒性ブロック共重合体の合成と自己組織化挙動, 日本化学会第97春季年会 (日吉2017.3) 3B4-11.
84. Y. Matsubara, K. Abe, T. Iijima, K. Saito and Y. Koide, Study on colligative behaviors of redox couples in room-temperature ionic liquids, The 97th Annual Meeting of the Chemical Society of Japan, 3B3-38 (Kanagawa, 2017.3).
85. 岩倉いずみ, 織作恵子, 木村健太, 橋本征奈, 赤井昭二, 「コヒーレント分子振動励起を利用する糖の結晶化, 2017年光化学討論会, 1A09 (仙台, 2017.9).
86. 高洋, 藤永晃祐, 三橋明莉, 瀧涼, 赤井昭二, 佐藤憲一, D-Glucoseを出発原料とした万能型キラルビルディングブロックの合成研究, 日本化学会第97春季年会 (2017), 2C7-03 (横浜, 2017.3).
87. 酒巻健吾, 中澤順, 引地史郎, ビスオキサゾリンを配位子とする固定化錯体触媒の開発, 第49回酸化反応討論会講演要旨集, 140-142, P-24 (徳島, 2016.11).
88. 西浦利紀, 林優人, 田中熙, 千葉洋輔, 中澤順, 引地史郎, 単核コバルト錯体の酸素分子活性化能とアルカン酸素酸化触媒活性, 第49回酸化反応討論会講演要旨集, 155-157, P-29 (徳島, 2016.11).
89. J. Nakazawa, I. Terao, S. Horii, and S. Hikichi, Catalytic Reactivity of Tris (oxazolynylmethyl) amine Nickel Complexes for Alkane Oxidation Reaction with mCPBA Oxidant, 日本化学会第97春季年会, 2PA-049 (横浜, 2017.3).
90. 中澤順, 田中熙, 酒巻健吾, 引地史郎, 固定化 Ni (II) 錯体触媒と mCPBA を用いたアルカン酸化における活性サイトの分子構造の影響, 第120回触媒討論会, 3E-02 (松山, 2017.9).
91. 西浦利紀, 浦本貴博, 千葉洋輔, 中澤順, 引地史郎, 単核コバルト混合配位子錯体の酸素分子に対する反応性と配位子効果の解明, 錯体化学会第67回討論会, 1PE-010 (札幌, 2017.9).
92. 寺尾郁珠, 中澤順, 引地史郎, トリス (オキサゾリニルメチル) アミンを配位子とするニッケル (II) 錯体触媒のアルカン酸化触媒能の検証, 錯体化学会第67回討論会, 3PF-021 (札幌, 2017.9).
93. K. Miyamoto, T. Gunji, Y. Mochizuki, S. Kaneko, T. Tanabe, T. Ohsaka, F. Matsumoto, The Examination of the Composition of $x\text{Li}_2\text{MnO}_{3-y}\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_{2-z}\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ Solid-Solution Cathode Materials Exhibiting High Capacity, Discharge Voltage and Rate Performance, PRiME2016, 2016.10.2-7, Hawaii Convention Center, Honolulu, USA.
94. T. Gunji, T. Tanabe, S. Kaneko, T. Ohsaka, and F. Matsumoto, the Enhanced Electrochemical Activity over Carbon-Supported Pd-Based Ordered Intermetallic Compounds, PRiME2016, 2016.10.2-7, Hawaii Convention Center, Honolulu, USA.
95. F. Matsumoto, T. Gunji, T. Tanabe, S. Kaneko, and T. Ohsaka, Facile Route for the Preparation of Ordered Intermetallic Pt₃Pb-PtPb Core-Shell Nanoparticles and Its Enhanced Activity for Alkaline Methanol and Ethanol Oxidation, PRiME2016, 2016.10.2-7, Hawaii Convention Center, Honolulu, USA.
96. T. Ohsaka (Kanagawa University, Tokyo Institute of Technology), S. H. Noh, M. H. Seo, J. Kang, T. Okajima, B. Han, F. Matsumoto, Design of Metal Structure Encapsulated in N-Doped Carbon Layers As Tunable Catalyst for Electrochemical Applications, PRiME2016, 2016.10.2-7, Hawaii Convention Center, Honolulu, USA.
97. T. Tanabe, M. Hashimoto, T. Tanikawa, T. Gunji, S. Kaneko, T. Ohsaka, and F. Matsumoto, Mixed Valence Tin Oxide Sn₃O₄: A Visible-Light Driven Semiconductor for Photocatalytic Water Splitting Under Visible Light Irradiation, PRiME2016, 2016.10.2-7, Hawaii Convention Center, Honolulu, USA.
98. T. Tanabe, W. Miyazawa, T. Gunji, M. Hashimoto, S. Kaneko, T. Ohsaka, F. Matsumoto, Site-Selective Binary Alloy Nanoparticles Deposition on TiO₂ Nanorod for Acetic Acid Oxidative Decomposition Under UV-Vis Irradiation, PRiME2016, 2016.10.2-7, Hawaii Convention Center, Honolulu, USA.
99. T. Gunji, S. Kaneko, T. Tanabe, T. Ohsaka, F. Matsumoto, the Relationship Between Brightness of Aluminum Films Fabricated Using an AlCl₃-1-Ethyl-3-Methylimidazolium Chloride-Toluene Bath and Molecular Structure of Additives, PRiME2016, 2016.10.2-7, Hawaii Convention Center, Honolulu, USA.
100. K. Miyamoto, Y. Honma, T. Gunji, T. Tanabe, S. Kaneko, T. Ohsaka, S. Ugawa, H. J. Lee, Y. Ootsuka, F. Matsumoto, the Application of a Water-Based Hybrid Polymer Binder to a High-Voltage and High-Capacity Li-Rich Solid-Solution Cathode and Its Performance in Li-Ion Batteries, PRiME2016, 2016.10.2-7, Hawaii Convention Center, Honolulu, USA.
101. F. Ando, T. Gunji, T. Tanabe, S. Kaneko, T. Ohsaka, F. Matsumoto, Development of Metal Oxide-Supported Metal and Ordered Intermetallic Nanoparticles to Enhance the Oxygen Reduction Reaction in PEMFC, PRiME2016, 2016.10.2-7, Hawaii Convention Center, Honolulu, USA.
102. 安藤風馬, 田邊豊和, 郡司貴雄, 金子信悟, 大坂武男, 松本太, Pt系ナノ粒子/TiO₂/カップスタックカーボンナノチューブの電極触媒特性と耐久性の向上, 平成28年神奈川県ものづくり交流会, 2016.10.26, 神奈川県産業技術センター, 海老名.
103. 松本太, 田邊豊和, 郡司貴雄, 金子信悟, 大坂武男, AlCl₃-EMIC イオン液体からのアルミニウム電気めっきにおける添加剤の効果-添加剤の分子構造と光沢性の関係-, 平成28年神奈川県ものづくり交流会, 2016.10.26, 神奈川県産業技術センター, 海老名.
104. 松本太, 中村亮介, 望月康正, 郡司貴雄, 田邊豊和, 金子信悟, 大坂武男, 板垣薫, 柚直彦, 孔空き集電銅箔を用いた Li⁺イオンドープ反応の高速化のための孔デザインの最適化, 第57回電池討論会, 2016.11.29, 幕張メッセ.
105. 小山昇, 山口秀一郎, 古館林, 望月康正, 羽田睦雄, 大坂武男, 岡島武, 松本太, “多重インピーダンス計測によるリチウム二次電池モジュール劣化度診断の簡便法の開発”, 第57回電池討論会, 2016.11.29, 幕張メッセ.
106. 田邊豊和, 橋本真成, 谷川龍弘, 郡司貴雄, 金子信悟, 大坂武男, 松本太, “混合価酸酸化物 Sn₃O₄光触媒の単相合成と可視光水分解への応用”, 光機能材料シンポジウム, 第23回シンポジウム「光触媒反応の最近の展開」, 東京理科大学葛飾キャンパス, 2016.12.2.
107. 矢崎将志, 金子信悟, 郡司貴雄, 大坂武男, 田邊豊和, 松本太, 置換析出に基づくピスマステラライド系薄層の作製とその熱電変換特性, 表面技術協会第135回講演大会, 2017.3.9-10, 東洋大学川越キャンパス.
108. 郡司貴雄, 川崎大樹, 伊藤拳人, 金子信悟, 田邊豊和, 松本太, 多重定電流パルスめっき法を用いて作製した Ni/Cu および Ni/Ni-P 多層膜の断面観察と耐摩耗性の膜厚依存性, 表面技術協会第135回講演大会, 2017.3.9-10, 東洋大学川越キャンパス.
109. 田邊豊, 伊藤皇聖, 郡司貴雄, 宮内雅浩, 金子信悟, 大坂武男, 松本太, TiO₂ナノロッドの露出面制御と Pt-Pb 合金微粒子担持による高効率な VOC 酸化分解反応, 電気化学会第84回大会, 2017.3.25-27, 首都大学東京.
110. 郡司貴雄, 田邊豊和, 安藤風馬, 大坂武男, 松本太, 白金フリーを志向した新規電極触媒の創生および酸性水溶液中における酸素還元反応と触媒の構造・電子状態の相関, 電気化学会第84回大会, 2017.3.25-27, 首都大学東京.
111. 津田喬史, 井波祐貴, 中村亮介, 安藤風馬, 望月康正, 郡司貴雄, 田邊豊和, 金子信悟, 板垣薫, 柚直彦, 松本太, Li イオンキャパシタ用電極作製のための穴空き集電銅箔を用いた Li イオンドープ反応の高速化および穴空き集電箔のリチウムイオン二次電池への適用, 電気化学会第84回大会, 2017.3.25-27, 首都大学東京.
112. 松本太, 田邊豊和, 郡司貴雄, 望月康正, 金子信悟, 大坂武男, 鶴川晋作, 大塚巧治, イホジン, 水系バインダー適用のための LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O₄高電圧正極材料粒子の表面コーティングと充放電特性の安定化, 電気化学会第84回大会, 2017.3.25-27, 首都大学東京.
113. F. Ando, T. Tanabe, T. Gunji, S. Kaneko, T. Ohsaka, F. Matsumoto, Improvement of Electrochemical ORR Activity and Its Durability with Pt Electrocatalyst Nanoparticles Anchored on MOx/Cup-Stacked Carbon Nanotube in Acidic Aqueous Media, 231th ECS meeting, 2017.5.28-6.1, New Orleans, USA.
114. T. Tsuda, F. Ando, Y. Mochizuki, T. Gunji, T. Tanabe, S. Kaneko, T. Ohsaka, K. Itagaki, N. Soma, F. Matsumoto, Fabrication of Porous Current Collectors for Li Ion Capacitor with Pico-Second Pulse Laser and Acceleration of Li⁺ Ion Pre-

- Doping Reaction to Laminated Graphite/Porous Current Collector Anodes, 231th ECS meeting, 2017.5.28-6.1, New Orleans, USA.
115. F. Matsumoto, N. Tamura, T. Tsuda, T. Gunji, T. Tanabe, S. Kaneko, and T. Ohsaka, Dependences of Discharge Capacity, Retention of Discharge Capacity, Average Discharge Voltage and Energy Density, and Rate Capability on the Composition of $x\text{Li}_2\text{MnO}_3\text{-}y\text{LiNi}_{1/2}\text{Mn}_{1/2}\text{O}_2\text{-}(1-x-y)\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ Li-Rich Solid-Solution Cathode Materials for Li-Ion Battery (II), 231th ECS meeting, 2017.5.28-6.1, New Orleans, USA.
 116. F. Matsumoto, T. Tanabe, T. Gunji, T. Tsuda, S. Kaneko, T. Ohsaka, Evaluation of Key Factors for Preparing High Brightness Surfaces of Aluminum Films Electrodeposited from $\text{AlCl}_3\text{-1-Ethyl-3-Methylimidazolium Chloride-Organic Additive Baths}$ 231th ECS meeting, 2017.5.28-6.1, New Orleans, USA.
 117. F. Ando, T. Tanabe, T. Ohsaka, F. Matsumoto, Development of Metal oxide-Supported Metal and Ordered Intermetallic Nanoparticles to Enhance the Oxygen Reduction Reaction in PEMFC, *Advances in Functional Materials*, 2017.8.14-17, UCLA, Los Angeles, USA.
 118. 田邊豊和, 松本太, 亀岡聡, 蔡安邦, “AuCu₃前駆体ナノポーラス Au の微細組織観察” 日本金属学会2017年秋期大会, 2017.9.6-8, 北海道大学.
 119. 津田喬史, 安東信雄, 三橋直人, 中村奨, 田邊豊和, 板垣薫, 柚直彦, 林成実, 松本太, 積層型穴あきグラファイト電極における電極上の開口条件および反応温度と Li⁺イオンブレード速度との関係, 2017年電気化学秋季大会, 2017.9.10-11, 長崎大学.
 120. 安藤風馬, 田邊豊和, 郡司貴雄, 金子信悟, 大坂武男, 松本太, 担持体および第二元素を用いた Pt 系金属間化合物ナノ粒子の Pt *d*-バンドセンターのチューニングによる ORR 活性の向上に関する検討, 2017年電気化学秋季大会, 2017.9.10-11, 長崎大学.
 121. 劉雨彬, 入井友海太, 横文彦, 田邊豊和, 宮本康暉, 大坂武男, 松本太, 水系バインダー適用のための $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{O}_2$ ($x > 0.9$) 高容量正極材料粒子の表面コーティングと充放電特性の安定化, 2017年電気化学秋季大会, 2017.9.10-11, 長崎大学.
 122. 田邊豊和, 中森勝俊, 金子信悟, 大坂武男, 松本太, 混合原子価スズ酸化物を用いた純水及び犠牲剤水溶液からの可視光照射下水素発生の検討 (神奈川大学2017年電気化学秋季大会, 2017.9.10-11, 長崎大学).
 123. 安藤風馬, 田邊豊和, 郡司貴雄, 金子信悟, 大坂武男, 松本太, 高分解能透過電子顕微鏡を用いた高酸素還元触媒活性を有する PtPb/TiO₂/カーボスタックカーボンナノチューブの触媒表面の状態解析, 表面技術協会第136回講演大会, 2017.9.14-15, 金沢工業大学.
 124. 金子信悟, 國谷翔太郎, 矢崎将志, 大坂武男, 田邊豊和, 松本太, 置換析出により作製したビスマステルライド系薄層の熱電変換特性, 表面技術協会第136回講演大会, 2017.9.14-15, 金沢工業大学.
 125. Fuma Ando, Toyokazu Tanabe, Takao Gunji, Shingo Kaneko, Takeo Ohsaka, Futoshi Matsumoto, Improvement of Electrochemical ORR Activity and Its Durability with Pt Electrocatalyst Nanoparticles Anchored on MOx/Cup-Stacked Carbon Nanotube in Acidic Aqueous Media, The 6th International Seminar for Special Doctoral Program “Green Energy Conversion Science and Technology”, 2017.9.13-15, Nagano, Japan.
 126. 津田喬史, 安東信雄, 三橋直人, 中村奨, 田邊豊和, 板垣薫, 柚直彦, 林成実, 松本太, 積層型穴あきグラファイト電極における電極上の開口条件および反応温度と Li⁺イオンブレード速度との関係, 2017年電気化学関東支部夏の学校, 2017.9.25-26, 八王子大学セミナーハウス.
 127. 安藤風馬, 田邊豊和, 郡司貴雄, 金子信悟, 大坂武男, 松本太, 担持体および第二元素を用いた Pt 系金属間化合物ナノ粒子の Pt *d*-バンドセンターのチューニングによる ORR 活性の向上に関する検討, 2017年電気化学関東支部夏の学校, 2017.9.25-26, 八王子大学セミナーハウス.
 128. 劉雨彬, 入井友海太, 横文彦, 田邊豊和, 宮本康暉, 大坂武男, 松本太, 水系バインダー適用のための $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{O}_2$ ($x > 0.9$) 高容量正極材料粒子の表面コーティングと充放電特性の安定化, 2017年電気化学関東支部夏の学校, 2017.9.25-26, 八王子大学セミナーハウス.
 129. 本橋輝樹, 酒見拓孝, 木村誠, 大森淳平, 齋藤美和, 石田直哉, 北村尚斗, 井手本康, 酸素貯蔵材料 $\text{BaLnMn}_2\text{O}_{5+\delta}$ ($\text{Ln}=\text{La}, \text{Nd}, \text{Y}$) における酸素吸収放出反応の熱力学的考察, 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム, 3H14 (神戸, 2017.9).
 130. 大森淳平, 中川億人, 齋藤美和, 本橋輝樹, 酸素貯蔵材料 $\text{BaLnMn}_2\text{O}_{5+\delta}$ ($\text{Ln}=\text{Y}, \text{Gd}, \text{Nd}, \text{La}$) による水からの水素生成反応についての熱重量・ガス分析, 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム, 3H13 (神戸, 2017.9).
 131. 小宮山海兵, 遠藤絵梨奈, 田邊豊和, 齋藤美和, 本橋輝樹, 低温合成により得られた“低結晶性 $\text{YBaCo}_4\text{O}_{7+\delta}$ ”の微細構造観察, 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム, 1H23 (神戸, 2017.9).
 132. 新井健司, 齋藤美和, 本橋輝樹, ペロブスカイト型 $\text{Ba}(\text{Zn,Nb})\text{O}_{3-\delta}$ ($0 \leq \delta \leq 0.5$) の電気特性, 日本セラミックス協会第33回関東支部, 1B17 (湯河原, 2017.9).
 133. 遠藤絵梨奈, 小宮山海兵, 齋藤美和, 本橋輝樹, 低温合成した $\text{YBaCo}_4\text{O}_{7+\delta}$ における酸素吸収放出挙動の向上, 1B14 (湯河原, 2017.9).
 134. 富永希, 齋藤美和, 本橋輝樹, ペロブスカイト型ニオブ酸化物の水熱合成, 日本セラミックス協会第33回関東支部, 1B08 (湯河原, 2017.9).
 135. Y. Chiba, Y. Saito, M. Saito, T. Hagiwara, H. Takatsu, H. Kageyama, and T. Motohashi, Electrochemical Crystal Growths and Electronic Properties of Titanium and Vanadium Oxides with One-Dimensional Tunnel Structures, IUMRS-ICAM 2017, A6-P1-011 (Kyoto, Japan, 2017.8).
 136. K. Arai, M. Saito, and T. Motohashi, Thermogravimetric and desorbed-gas analyses of perovskite-type $\text{Ba}(\text{Zn}_x\text{Nb}_{1-x})\text{O}_{3-\delta}$, IUMRS-ICAM 2017, A7-P30-014 (Kyoto, Japan, 2017.8).
 137. N. Tominaga, M. Saito, and T. Motohashi, Hydrothermal syntheses of perovskite-type $\text{Ba}_3\text{Nb}_2\text{O}_{15}$ and $\text{Ba}(\text{Zn}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$, IUMRS-ICAM 2017, A7-P30-012 (Kyoto, Japan, 2017.8).
 138. 千葉裕介, 齋藤美和, 萩原健司, 高津浩, 陰山洋, 本橋輝樹, スピネル型チタン酸化物の電気化学的結晶育成と物性, 日本セラミックス協会2017年年会, 2K01 (神田, 2017.3).
 139. 富永希, 齋藤美和, 本橋輝樹, ペロブスカイト型 Ba-Nb-O および Ba-Zn-Nb-O 化合物の水熱合成, 日本セラミックス協会2017年年会, 1P191 (神田, 2017.3).
 140. 齋藤美和, 新井健司, 富永希, 植草奈美, 本橋輝樹, 高プロトン伝導性を有するペロブスカイト型 $\text{Ba}(\text{Zn}_{1-x}\text{Nb}_x)\text{O}_{3-\delta}$ および $\text{Ba}_2(\text{Zn}_{1-x}\text{W}_x)_2\text{O}_{6-2\delta}$ の熱挙動に関する研究, 第26回日本 MRS 年次大会, B3-P19-019 (横浜, 2016.12).
 141. 千葉裕介, 齋藤美和, 萩原健司, 高津浩, 陰山洋, 本橋輝樹, ホーランド型酸化物 $\text{Cs}_2\text{Ti}_2\text{O}_6$ の定電圧電解によるキャリア濃度制御, 第6回 CSJ 化学フェスタ2016, P9-127 (船堀, 2016.11).
 142. 小宮山海兵, 遠藤絵梨奈, 齋藤美和, 本橋輝樹, $\text{YBaCo}_4\text{O}_{7+\delta}$ 微粒子の顕著な酸素吸収放出特性, 第6回 CSJ 化学フェスタ2016, P6-137 (船堀, 2016.11).
 143. 時田遊, 小坂研太郎, 太田佳宏, 横澤勉, 触媒の分子内移動を利用したチオフェン-フルオレン交互共重合体の精密合成における触媒特性, 第6回 CSJ 化学フェスタ2016, p5-102 (東京, 2016.11).
 144. 行川毅, 岡林龍一, 太田佳宏, 横澤勉, A_2+B_2 縮合重合によって得られる不飽和環状ポリカーボネートのメタセシス交換反応による分子量と末端官能基制御, 第6回 CSJ 化学フェスタ2016, p7-105 (東京, 2016.11).
 145. Y. Tokita, K. Kosaka, Y. Ohta and T. Yokozawa, Catalyst-transfer condensation polymerization of thiophene-fluorene biaryl monomer with AmPhsPd catalyst, The 11th SPSJ International Polymer Conference (IPC 2016), 16P-G1-080b (Fukuoka, 2016.12).
 146. T. Namekawa, R. Okabayashi, Y. Ohta and T. Yokozawa, Control of molecular weight and end-functional groups by cross methathesis of cyclic unsaturated polycarbonate obtained by A_2+B_2 polycondensation, The 11th SPSJ International Polymer Conference (IPC 2016), 16P-G1-081a (Fukuoka, 2016.12).
 147. A. Morimitsu, Y. Ohta and T. Yokozawa, Optimization of synthesis of polypeptides by means of chain-growth condensation polymerization of amino acid monomers immobilized on polynorbornene support, The 11th SPSJ International Polymer Conference (IPC 2016), 16P-G1-079a (Fukuoka, 2016.12).

148. Y. Ohta, Y. Abe, E. Baba and T. Yokozawa, Synthesis and self-assembly of amphiphilic block copolymers consisting of hydrophilic and hydrophobic hyperbranched polyamides, The 11th SPSJ International Polymer Conference (IPC 2016), 15P-52-024b (Fukuoka, 2016.12).
149. R. Okabayashi, Y. Ohta and T. Yokozawa, Synthesis of block copolymers of polyester and polystyrene via cross metathesis of cyclic unsaturated polyesters with difunctional olefins, The 11th SPSJ International Polymer Conference (IPC 2016), 16P-G1-078b (Fukuoka, 2016.12).
150. T. Hirota, Y. Ohta and T. Yokozawa, Catalyst-transfer condensation polymerization of Grignard-type thienylene-phenylene dibromo AB₂ monomer for the synthesis of well-defined hyperbranched aromatic polymer, 5th Frontiers in Polymer Science, p2.084 (Seville, 2017.5).
151. T. Namekawa, R. Okabayashi, Y. Ohta and T. Yokozawa, Control over molecular weight and end-functional groups of polycarbonate by means of cross metathesis of cyclic polycarbonate with functional exchange reagent, 5th Frontiers in Polymer Science, p3.088 (Seville, 2017.5).
152. T. Uchida, Y. Tokita, Y. Ohta and T. Yokozawa, Intramolecular transfer propensities of Pd catalysts with bulky phosphine ligand in Suzuki-Miyaura coupling polymerization, 5th Frontiers in Polymer Science, p2.085 (Seville, 2017.5).
153. A. Kojima, S. Narumi, Y. Ohta, K. Mikami and T. Yokozawa, Kumada-Tamao coupling polymerization of o-bromophenylene Grignard monomer, 5th Frontiers in Polymer Science, p3.090 (Seville, 2017.5).
154. T. Kamigawara, H. Sugita, Y. Ohta and T. Yokozawa, Propensity for intramolecular transfer of tBu₃PPd catalyst on carbon-carbon triple bond and nitrogen-nitrogen double bond, 5th Frontiers in Polymer Science, p2.082 (Seville, 2017.5).
155. G. Zhang, Y. Ohta and T. Yokozawa, Reinvestigation of functionalization at one end of P3HT with ethynyl group and synthesis of diblock copolymer of P3HT and poly (2-ethyl-2-oxazoline) by means of click reaction, 5th Frontiers in Polymer Science, p3.092 (Seville, 2017.5).
156. K. Hoka, Y. Ohta and T. Yokozawa, Synthesis of amphiphilic block copolymers consisting of hyperbranched polyamide and polystyrene by means of click reaction and its self-assembly, 5th Frontiers in Polymer Science, p1.114 (Seville, 2017.5).
157. R. Okabayashi, Y. Ohta and T. Yokozawa, Synthesis of block copolymer of polyester and polystyrene by means of cross metathesis and radical polymerization, 5th Frontiers in Polymer Science, p1.038 (Seville, 2017.5).
158. T. Kimura, H. Sugita, Y. Ohta and T. Yokozawa, Synthesis of cyclic polyphenylene grafted with aromatic polyamides, 5th Frontiers in Polymer Science, p1.086 (Seville, 2017.5).
159. T. Kameyama, A. Morimitsu, Y. Ohta and T. Yokozawa, Synthesis of polypeptides by means of chain-growth condensation polymerization of amino acid monomers immobilized on a solid-phase support through safety-catch linker, 5th Frontiers in Polymer Science, p2.083 (Seville, 2017.5).
160. Y. Ohta, Y. Abe, E. Baba and T. Yokozawa, Synthesis of well-defined, amphiphilic block copolymers consisting of hydrophobic and hydrophilic hyperbranched polyamides and its self-assembly in water, 5th Frontiers in Polymer Science, p3.091 (Seville, 2017.5).
161. 廣田俊城, 太田佳宏, 横澤勉, Grignard型チエニレン-フェニレン二臭化 AB₂モノマーの触媒移動型連鎖縮合重合, 第66回高分子学会年次大会, 3Pd004 (幕張, 2017.5).
162. 亀山洗瑠, 森光亜実, 太田佳宏, 横澤勉, safety-catch linker を持つ固相担体に固定したアミノ酸モノマーの連鎖縮合重合によるポリペプチドの合成, 第66回高分子学会年次大会, 2Pe013 (幕張, 2017.5).
163. 補伽健太, 太田佳宏, 横澤勉, クリック反応による親水性ハイパーブランチポリアミドと疎水性ポリスチレンとのブロック共重合体の合成と自己組織化, 第66回高分子学会年次大会, 3Pd002 (幕張, 2017.5).
164. 張歌, 太田佳宏, 横澤勉, ポリチオフェンの片末端エチニル化の再検討, およびポリオキサゾリンとのクリック反応によるジブロック共重合の精密合成, 第66回高分子学会年次大会, 1Pf002 (幕張, 2017.5).
165. 小島あすか, 鳴海慎太郎, 已上幸一郎, 太田佳宏, 横澤勉, 熊田一玉尾カップリング重合によるポリオルトフェニレンの合成, 第66回高分子学会年次大会, 1Pf024 (幕張, 2017.5).
166. 木村泰介, 杉田一, 太田佳宏, 横澤勉, 側鎖に芳香族ポリアミドを有する環状ポリフェニレンの合成, 第66回高分子学会年次大会, 3Pc003 (幕張, 2017.5).
167. 菅原光太郎, 時田遊, 太田佳宏, 横澤勉, 片末端にボロン酸エステル部位を有する共役系高分子の合成, 第66回高分子学会年次大会, 1Pe027 (幕張, 2017.5).
168. 内田達也, 時田遊, 太田佳宏, 横澤勉, 鈴木-宮浦カップリング反応における種々のパラジウム触媒の分子内移動特性, 第66回高分子学会年次大会, 1Pe035 (幕張, 2017.5).
169. 杉田一, 野嶋雅貴, 太田佳宏, 横澤勉, 非等モル下鈴木-宮浦縮合における鎖状ポリマーと環状ポリマーの特異的合成, 第66回高分子討論会, 1D19 (松山, 2017年9月).
170. 上川原タケル, 杉田一, 已上幸一郎, 太田佳宏, 横澤勉, 炭素-炭素三重結合, および窒素-窒素二重結合上の Pd 触媒分子内移動と非等モル下縮合への応用, 第66回高分子討論会, 1Pc035 (松山, 2017年9月).
171. 小島あすか, 鳴海慎太郎, 已上幸一郎, 太田佳宏, 横澤勉, o-プロモフェニル Grignard モノマーの熊田一玉尾カップリング重合挙動, 第66回高分子討論会, 1Pd034 (松山, 2017年9月).
172. 内田達也, 時田遊, 太田佳宏, 横澤勉, tBu₃Neopent.PPd 触媒による鈴木-宮浦触媒移動縮合重合, 第66回高分子討論会, 1Pf038 (松山, 2017年9月).
173. 時田遊, 内田達也, 上川原タケル, 補伽健太, 太田佳宏, 横澤勉, 熊田一玉尾カップリング重合におけるポリ (3-ヘキシルチオフェン) 生長末端のアリアルボロン酸エステルによる鈴木-宮浦カップリング末端官能基化, 第66回高分子討論会, 1Pf042 (松山, 2017年9月).
174. 山口修平, 時田遊, 川口大輔, 横澤勉, 田中敬二, ポリ (3-アルキルチオフェン) の光電荷生成挙動に及ぼす側鎖の偶奇効果, 第66回高分子討論会, 2G07 (松山, 2017年9月).
175. 張歌, 太田佳宏, 横澤勉, ポリチオフェンとポリオキサゾリンのブロック共重合体の合成と自己組織化による有機・無機融合材料の創製, 第66回高分子討論会, 2Pe017 (松山, 2017年9月).
176. 岡林龍一, 太田佳宏, 横澤勉, クロスメタセシスとラジカル重合によるポリエステルとポリスチレンのトリブロック共重合体の合成, 第66回高分子討論会, 2Pd016 (松山, 2017年9月).
177. 補伽健太, 太田佳宏, 横澤勉, ハイパーブランチポリアミドまたはリアポリアミドとポリスチレンとのブロック共重合体の合成と相分離, 第66回高分子討論会, 2Pe021 (松山, 2017年9月).
178. 廣田俊城, 太田佳宏, 横澤勉, チエニレン-フェニレン二臭化 AB₂ Grignard モノマーの熊田一玉尾カップリング触媒移動型重合, 第66回高分子討論会, 2Pe023 (松山, 2017年9月).
179. 木村泰介, 杉田一, 太田佳宏, 横澤勉, 側鎖にビニルポリマーを有する環状ポリフェニレンの合成, 第66回高分子討論会, 2Pf022 (松山, 2017年9月).
180. 行川毅, 太田佳宏, 横澤勉, 非等モル下鈴木-宮浦カップリング縮合による環状ポリマーの合成, および不飽和環状ポリマーのメタセシス交換反応による分子量と末端官能基制御, 第66回高分子討論会, 3Pb004 (松山, 2017年9月).

学術誌

- 井川学, イオン交換学会功績賞を受賞して一膜分離化学の可能性一, イオン交換学会誌, 28(3), 45-50 (2017).
- 田邊豊和, 伊藤拳人, 金子信悟, 郡司貴雄, 大坂武男, 松本太, 多重電流パルスによって作製した Ni/Cu 電気めっき多層膜におけるナノ周期構造と耐摩耗性, まてりあ第55巻第12号特集601 (2016).
- 本橋輝樹, 酸素貯蔵材料 BaLnMn₂O_{5+δ} (Ln=La, Nd, Gd, Y) における酸素吸収放出の熱力学, 熱測定, 44, 9-13 (2017).
- 本橋輝樹, 新規酸素貯蔵材料の開発と酸素ガス製造・濃縮への応用, 耐火物68, 554-559 (2016).

- 横澤勉, 縮重合におけるリビング重合系の開発, 化学と工業, 70(5), 431-433 (2017-05).

著書

- 石川理史, 村山徹, 上田渉, ゼオライト, 33, 110-120 (2016).
- 石川理史, 村山徹, 上田渉, 触媒学会, 58, 269-272 (2016).
- 上田渉, メタン化学変換のための革新的触媒開発, エネルギー・資源, 131-135 (2017).
- Catalysis/Selective Oxidation by Metal Oxides, W. Ueda, Handbook of solid state chemistry, Vol.6 (ed. R. Dronskowski, S. Kikkawa, A. Stein), Wiley, 393-416 (2017).
- 實吉尚郎, 小野晶, “DDS 先端技術の製剤への応用開発. 3章プロドラッグ化/アンテドラッグ化による DDS の開発 4節 核酸医薬のプロドラッグ化”, 技術情報協会, 2017, 131-140.
- T. Yokozawa and Y. Ohta, Controlled synthesis of conjugated polymers in catalyst-transfer condensation polymerization: monomers and catalysts In Semiconducting Polymers: Controlled Synthesis and Microstructure, Christine Luscombe, Eds., RSC Publishing, 1-37 (2016).
- Y. Ohta and T. Yokozawa, chain-growth polymerization for the synthesis of π -conjugated polymers In Conjugated Objects: Developments, Synthesis, and Applications, Atsushi Nagai and Koji Takagi, Eds., Pan Stanford Publishing, 113-138 (2017).

調査報告書

- 池原飛之, 結晶性ブロック共重合体が形成する共連結ナノ構造を利用した機能空間の構築, 科学研究費助成事業研究成果報告書, 基盤研究(C), 課題番号26410228 (2017).
- 山田健, カスケード反応を駆使したマングロマイシン類の効率的合成と熱帯病治療薬の創製研究, 科学研究費助成事業研究成果報告書, 若手研究(B), 課題番号15K18836 (2017).
- 引地史郎, 錯体反応場の精密分子設計による均一系および不均一系選択酸化触媒の創製, 科学研究費助成事業研究成果報告書, 基盤研究(C), 課題番号26420788 (2017).
- 横澤勉, 「ナノ無機物と芳香族高分子・ π 共役系高分子との自己組織化」, 平成28年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「高度に秩序化された無機ナノ構造体と精密構造有機高分子との融合による高機能性材料の創製」報告書 (2017年3月).

講演・展示会

- 上田渉, メタンを代表とする軽アルカン資源の活用に向けた革新的触媒創出, CMC リサーチセミナー天然ガスによる化学品製造と二酸化炭素利用 (東京, 2017).
- 上田渉, 明日の化学を生み出すための触媒革新, 第6回 JACI/GSC シンポジウム (東京, 2017).
- W. Ueda, Can precious metal catalysts really be replaced with earth abundant materials?, Catalysis sustaining society's future (イギリス, 2017).
- 岡本専太郎, DEVELOPMENT OF ORGANIC AND ORGANOMETALLIC REACTIONS TOWARD ORGANIC SYNTHESIS, 第66回 KMC フロンティアセミナー (北里大学, 東京, 2017.2.8).
- 金仁華, ポリアミン系ナノ構造体及び複合キラルナノ材料, BioTech 2017アカデミックフォーラム (東京, 2017.6.28).
- 金仁華, 有機・無機固体材料におけるキラリティ転写のトリック, 第12回相模ケイ素・材料フォーラム, (神奈川綾瀬2017.8.30).
- Y. Matsubara, A Thermodynamic Study Bridging Ionics in Room-Temperature Ionic Liquids and Conventional Molecular Solvents, The 7th PHOeNICS International Symposium (Kumamoto, 2017.3)
- 金子信悟, 松本太, “めっき膜の物性向上に向けた体系的研究—物性と

結晶構造の関わり—”, ファインプレッシング研究会, (関東学院大学, 関内), 2016, 10.4.

- 松本太, 企業講演会 “電気化学反応と測定・解析”, サン工業株式会社 (長野県, 伊那市), 2016.10.21.
- 松本太, “高電圧・高容量正極材料への水系バインダーの適用と性能評価”, リチウム二次電池用正極材料の水系化技術, 技術情報協会セミナー (東京都, 五反田), 2017.3.23.
- 松本太, リチウムイオンキャパシタ, リチウムイオン二次電池ブレード・穴あき集電箔が開く次世代電池の未来, (公財) 横浜企業経営支援財団第219回産学交流サロン, 横浜メディアビジネスセンター (横浜関内), 2017.3.24.
- 松本太, “Pt系金属間化合物の電極触媒への適用—ナノ化, コアシェル化, 合金化などによる白金低減化技術—” 白金代替触媒および触媒開発における白金使用量の低減化, 技術情報協会セミナー (東京都, 五反田), 2017.4.11.
- Toyokazu Tanabe, “Visible light-driven water splitting using mixed-valence Tin oxide semiconductor photocatalyst”, EMN Meeting on Energy and Sustainability 2016, (Osaka), (2016.11.28).
- Toyokazu Tanabe, “Controlled deposition of Pt-Pb alloy nanoparticles on TiO₂ nanorods”, BIT's 6th Annual World Congress of Nano Science & Technology, (Singapol), (2016.10.28).
- 田邊豊和, “透過型電子顕微鏡 (TEM) の基礎と LIB への応用”, 神奈川大学新型電池オープンラボ第21回講演会 (神奈川大学, 2017.7.6).
- 横澤勉, 縮重合の基礎と最近の展開, 第1回ポリマーカレッジ, 高分子学会 (名古屋, 2016.11).
- 横澤勉, 二種の二官性モノマーを用いる一般的縮重合の制御, 東京工業大学物質理工学院講演 (大岡山, 2016.12).
- M. Nojima, K. Kosaka, M. Kato, H. Sugita, Y. Ohta and T. Yokozawa, Alternating intramolecular and intermolecular catalyst-transfer condensation polymerization, The 11th SPSJ International Polymer Conference (IPC2016), 15B12IL (Fukuoka, 2016.12).
- 横澤勉, 金属触媒の分子内移動を利用した共役系高分子の末端官能基化, 第66回高分子討論会, 1A08IL (松山, 2017.9).

助成金

- 井川学 (代表), 「丹沢山塊における大気汚染物質の沈着と環境影響」, 2017年度神奈川大学共同研究奨励助成金.
- 池原飛之, 平成28年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「高度に秩序化された無機ナノ構造体と精密構造有機高分子との融合による高機能性材料の創製」(研究代表者: 横澤勉)
- 片岡利介, 結晶性を有する二重網目構造の構築とプロトン交換膜としての展開, 平成29年度科学研究費補助金, 若手研究(B) (課題番号17K14538).
- 上田渉 (代表), 「新規 MoPOM 連結型細孔性無機結晶の創出と酸化還元ダイナミズム」, 科学研究費補助金, 基盤研究(A) (課題番号15H02318).
- 岡本専太郎, 2017年度文部科学省科学研究費補助金, 基盤研究(C), 「低原子価チタンの発生法を基盤とする精密合成手法の開発」 (課題番号17K05869).
- 山田健 (代表), 「光学活性2-ピリドンを共役酸・塩基触媒に用いた新規カスケード反応の開発と応用」, 平成29年度科学研究費補助金, 基盤研究(C) (課題番号17K08219).
- 岡本専太郎, 研究奨励寄付金, 日産化学工業㈱ (2017-7).
- 小野晶 (研究代表者), 2017年度文部科学省科学研究費補助金 (基盤 B) 「DNA 二重鎖中で無限に金属イオンが連続する超分子錯体: 精密合成・結晶構造・物性」(分担者: 實吉尚郎, 田中好幸, 鳥越秀峰, 浦田秀二, 近藤次郎, 山田亨) (課題番号17H03033).
- 實吉尚郎 (研究代表者) 2017年度日本学術振興会学術研究助成基金助成金 (基盤 C) 「細胞膜透過能を有する合成核酸の開発」, (課題番号17K01966).

10. 金仁華（企画班分担）配位アシンメトリー（新学術領域研究，2016～2020）。
11. 松原康郎（代表），二酸化炭素の資源化のための有機半導体-金属錯体複合光電極の創製（神奈川大学工学研究所共同研究 B）。
12. 松原康郎（代表），「CO₂資源化のための還元触媒を超低過電圧で駆動させる高性能なアゾリウム助触媒の開発」平成29年度科学研究費補助金，若手研究（B）（課題番号16K17883）。
13. 赤井昭二（分担），「レーザー分光による脱保護反応過程の機構解析—レーザー光を利用した選択的な励起による新規保護基の開発研究—」，神奈川大学共同研究奨励助成金（研究代表者：岩倉いづみ）。
14. 赤井昭二（代表），「希少糖や核酸誘導体を基盤とする次世代型エビジェネティック医薬の開発」，202017年度神奈川大学工学研究所共同研究（A）。
15. 佐藤憲一，イハラケミカル工業株式会社，研究奨学寄付金。
16. 佐藤憲一，日本理化学薬品株式会社，研究奨学寄付金。
17. 引地史郎（分担），後周期遷移金属オキシラジカル錯体によるメタンの酸化反応，戦略的創造研究推進事業（CREST），JPMJCR16P1。
18. 松本太（代表），「金属間化合物ナノ粒子表面の電子的・構造的修飾による触媒活性の向上および長寿命化」，平成29年度科学研究費補助金，基盤研究（C）。
19. 松本太（分担），戦略的基盤技術高度化支援事業「次世代型二次電池の集電体孔加工におけるインライン化を可能にするレーザー量産加工機の開発」，開発推進委員。
20. 松本太（分担），研究プロジェクト「太陽光活用を基盤とするグリーン/ライフインノベーション創出技術研究拠点の形成」文部科学省「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」（2012-2016）。
21. 松本太，金子信悟，研究奨学寄付金，ポリマーテック・ジャパン株式会社。
22. 松本太，研究奨学寄付金，株式会社アシザワファインテック。
23. 松本太，研究奨学寄付金，JSR株式会社。
24. 松本太，研究奨学寄付金，サン工業株式会社。
25. 田邊豊和，2017年度日本板硝子材料工学研究助成。
26. 田邊豊和，2017年度池谷科学技術振興財団研究助成。
27. 田邊豊和，日本私立学校振興・共済事業団 2017年度学術研究振興資金（若手研究者奨励金）。
28. 田邊豊和，2017年度徳山科学技術振興財団海外渡航助成。
29. 田邊豊和，村田学術振興財団平成29年度海外派遣助成。
30. 田邊豊和，公益財団法人横浜学術教育振興財団 平成29年度研究助成。
31. 田邊豊和（分担），神奈川大学工学研究所共同研究助成金（H29年度）。
32. 津田喬史，加藤科学振興会平成29年度研究奨励金。
33. 津田喬史，戸部真紀財団平成29年度奨励学生。
34. 津田喬史，電気化学会 若手研究者の国際交流支援 2017年度後期。
35. 津田喬史，立石科学技術振興財団 国際交流助成 2017年度後期。
36. 津田喬史，公益財団法人横浜学術教育振興財団 平成29年度海外渡航助成。
37. 安藤風馬，村田学術振興財団平成29年度海外派遣助成。
38. 安藤風馬，電気化学会 若手研究者の国際交流支援 2017年度前期。
39. 本橋輝樹，アニオン不定比性酸水酸化物の合成と結晶構造化学，新学術領域研究（研究領域提案型），課題番号17H05490。
40. 齋藤美和，「欠陥を導入した新奇プロトン伝導体の合成と評価」，神奈川大学宮陵会 平成28年度教育研究奨励助成金。
41. 齋藤美和（研究分担者），「単一母相あるいは同一結晶構造のpn素子から構成された酸化物熱電変換モジュールの開発」，基盤研究（C）（課題番号15K06479）。
42. 横澤勉（代表），「分子内—分子間接触移動による π 共役系交互共重合体の末端制御」，平成29年度科学研究費補助金，基盤研究（B）（課題番号15H03819）。
43. 横澤勉，「非等モル下重合の添加物による重合モード制御」，平成29年度科学研究費補助金・挑戦的研究（萌芽）（課題番号17K19162）。
44. 横澤勉，「高度に秩序化された無機ナノ構造体と精密構造有機高分子との融合による高機能性材料の創製」平成29年度私立大学戦略的研究基盤形

成支援事業。

受託研究

1. 上田渉，日本化薬株式会社。
2. 上田渉，旭化成株式会社。
3. 上田渉，昭和電工株式会社。
4. 上田渉，東ソー株式会社。
5. 上田渉，株式会社日本触媒。
6. 上田渉，三菱レイヨン株式会社。
7. 上田渉，カンパニア・ブラジレイア・メタルジア・イ・ミネラソン（CBMM）社。
8. 上田渉，研究奨学寄附金 株式会社ブリヂストン。
9. 上田渉，研究奨学寄附金 株式会社日本触媒。
10. 岡本専太郎，日立化成工業(株)（2017.7）。
11. 引地史郎，固体担持人工酵素を用いた炭化水素の酸化に関する研究，JXTG エネルギー株式会社。
12. 松本太，“リチウムイオン二次電池の開発”，日本化学産業株式会社。
13. 本橋輝樹，実用空気極用複合金属酸化物触媒材料開発，革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発（RISING II）（研究代表者：本橋輝樹，分担者：齋藤美和）。
14. 横澤勉，酸脱離基を有するポリアミドの合成，研究奨学寄付金，日立化成。
15. 横澤勉，研究奨学寄付金，日産化学工業。

特許（取得）

1. 金仁華，松木園裕之，特許第5958842，US9, 701, 542 B2
2. 横澤勉，江原和也，芳香族ポリアミド及び表面修飾剤，特願2017-014150。
3. 横澤勉，江原和也，ハイパーブランチ芳香族ポリアミド及び表面修飾剤，特願2017-021746。
4. 岩下健一，横澤勉，保護基が導入されたポリアミド樹脂，特願2017-087457。
5. 岩下健一，横澤勉，保護基が導入されたポリアミド樹脂の製造方法，特願2017-087464。
6. 横澤勉，片末端修飾ポリチオフェンの製造方法，特願2017-095666。

特許（公開）

1. 金仁華，キラルな金属化合物構造体の製造方法，及び金属化合物構造体 特開2016-037405。
2. 金仁華，キラルな固体金属及び固体複合体，並びにそれらの製造方法 特開2016-079057。
3. 金子信悟，松本太，「フレキシブル熱電変換部材の作製方法」，特開2017-50400（P2017-50400A）。
4. 本橋輝樹，酸素過剰型金属酸化物及びその製造方法，並びに，酸素濃縮装置及び酸素吸脱着装置，特開2016-193815。

海外出張

1. 上田渉，UK Catalysis Hub Winter Conference, London, UK（2016.12）。
2. 上田渉，Green Catalysis by Design Scientific Meeting, Padova, Italy（2017.2）。
3. 上田渉，IV Scientific Conference BORESKOV READINGS, Novosibirsk, Russia（2017.4）。
4. 上田渉，Catalysis sustaining society's future, Kavli Royal Society Centre, UK（2017.5）。
5. 上田渉，Importance of Research for Innovation, Istanbul, Turkey（2017.7）。
6. 上田渉，EUROPACAT 13th European Congress on Catalysis, Florence, Italy（2017.8）。

7. 上田渉, 8th World Congress on Oxidation Catalysis, Krakow, Poland (2017.9).
8. 石川理史, 8th World Congress on Oxidation Catalysis, Krakow, Poland (2017.9).
9. F. Matsumoto, T. Gunji, T. Tanabe, S. Kaneko, T. Ohsaka, Facile Route for the Preparation of Ordered Intermetallic Pt₃Pb-PtPb Core-Shell Nanoparticles and Its Enhanced Activity for Alkaline Methanol and Ethanol Oxidation, PRiME2016, Hawaii Convention Center, Honolulu, USA (2016.10).
10. F. Matsumoto, T. Tanabe, T. Gunji, T. Tsuda, S. Kaneko, T. Ohsaka, Evaluation of Key Factors for Preparing High Brightness Surfaces of Aluminum Films Electrodeposited from AlCl₃-1-Ethyl-3-Methylimidazolium Chloride-Organic Additive Baths, 231th ECS meeting, New Orleans, USA (2017.5).
11. Futoshi Matsumoto, Application of Ordered Intermetallic Nanoparticles to Polymer Electrolyte Fuel Cells as Electrocatalysts, International Symposium on the Kanagawa University- the National Taiwan University Exchange Program (2017.4).
12. T. Tanabe, W. Miyazawa, T. Gunji, M. Hashimoto, S. Kaneko, T. Ohsaka, F. Matsumoto, Site-Selective Binary Alloy Nanoparticles Deposition on TiO₂ Nanorod for Acetic Acid Oxidative Decomposition Under UV-Vis Irradiation, PRiME2016, Hawaii Convention Center, Honolulu, USA (2016.10).
13. Toyokazu Tanabe, "Controlled deposition of Pt-Pb alloy nanoparticles on TiO₂ nanorods", BIT's 6th Annual World Congress of Nano Science & Technology, Singapol (2016.10).
14. 横澤勉, Polymer editor meeting and Frontiers in Polymer Science (Symposium advisory committee), Spain, Seville (2016.5).

褒賞

1. 井川学, 新しい機能膜の開発研究および日本イオン交換学会発展への功績, 平成28年度イオン交換学会功績賞 (2016.11).
2. Mai Shinoda, Yuta Motoki, Akihiro Yoshida, Wataru Ueda, Cellulose conversion catalyzed by pore-structured niobium and tantalum oxides, 8th International Symposium on Acid-Base Catalysis, Catalysis Science & Technology Poster Prize (2017.5).

その他

1. Cover Picture "Brownmillerite-type Ca₂FeCoO₅ as a Practicable Oxygen Evolution Reaction Catalyst" ChemSusChem 10, 2840 (2017).
2. Cover Profile "Brownmillerite-type Ca₂FeCoO₅ as a Practicable Oxygen Evolution Reaction Catalyst" ChemSusChem 10, 2841 (2017).

情報システム創成学科

研究論文 I (レフェリー付き論文)

1. M. Otsuki, M. Akiyoshi, M. Samejima, Identification Method of Improvements in User Operations on Project Manager Skill-Up Simulator, IEEE Access, 5, 5811-5818 (2017).
2. H. Murakami, T. Niizato and Y. P. Gunji, Emergence of a coherent and cohesive swarm based on mutual anticipation. Scientific Reports, 7, 46447 (2017).
3. H. Murakami, T. Tomaru and Y. P. Gunji, Interaction between path integration and visual orientation during the homing run of fiddler crabs, Royal Society Open Science, 4, 170954 (2017).
4. X.-P. Xu and Y. Ide, Exact solutions and symmetry analysis for the limiting probability distribution of quantum walks, Annals of Physics, 373, 682-693 (2016).
5. T. Arai, C.-L. Ho, Y. Ide and N. Konno, Periodicity for space-inhomogeneous quantum walks on the cycle, Yokohama Mathematical Journal, 62, 39-50 (2016).
6. Y. Ide, N. Konno, S. Matsutani and H. Mitsuhashi, New theory of diffusive and coherent nature of optical wave via a quantum walk, Annals of physics, 383, 164-

180 (2017).

7. Y.Asaka, S.Okuno, et.al (CALET Collaboration), Energy calibration of CALET onboard the International Space Station, Astroparticle Physics 91, 1-10 (2017.5).
8. T. Sekozawa, A hybrid solution for an abstract-level daily-volume problem and hourly-level multilayer network problem and hourly-level multilayer network problem, WSEAS Transactions on systems, 15, 262-274 (2016.10).
9. Sergio Albeverio, Minoru W.Yoshida, HIDA DISTRIBUTION CONSTRUCTION OF INDEFINITE METRIC (ϕ^p)_d ($d \geq 4$) QUANTUM FIELD THEORY, Lecture Note Series 34, White Noise Analysis and Quantum Information Chapter2, World Sci. Publication (2017).

研究論文 II (レフェリー付き Proceedings)

1. H. Murakami and Y. P. Gunji, Autonomous change of behavior for environmental context: An intermittent search model with misunderstanding search pattern, AIP conference Proceedings: The 2nd International Symposium on Artificial, Biological and Bio-Inspired Intelligence, 1863, 360006 (2017).
2. T. Niizato, H. Murakami, K. Sangu, T. Tomaru, K. Sonoda, Y. Nishiyama and Y. P. Gunji, Local Perspectives of Plecoglossus altivelis Determine Searching Strategy, AIP conference Proceedings: The 2nd International Symposium on Artificial, Biological and Bio-Inspired Intelligence, 1863, 360007 (2017).
3. Y. Nishiyama, S. Okuda, M. Migita, H. Murakami and T. Tomaru, Effects of contrary individuals against the collective behaviors, AIP conference Proceedings: The 2nd International Symposium on Artificial, Biological and Bio-Inspired Intelligence, 1863, 360010 (2017).
4. Satoshi Uchida, THE 11-YEAR CONTINUOUS OPERATION AND IMPLEMENTATION OF WEBLEC, 24th International Conference on Production Research, 199 (Poznan, Poland, 2017).
5. A. Fujioka, One-round exposure-resilient identity-based authenticated key agreement with multiple private key generators, The International Conference on Cryptology & Malicious Security (Mycrypt 2016), 436-460 (Kuala Lumpur, 2016.12).
6. A. Fujioka, Adaptive security in identity-based authenticated key agreement with multiple private key generators, The 12th International Workshop on Security (IWSEC 2017), 192-211 (Hiroshima, 2017.9).
7. A. Takaoka, Recognizing Simple-Triangle Graphs by Restricted 2-Chain Subgraph Cover, Proc. WALCOM 2017, LNCS, 10167, 177-189, (Hsinchu, 2017.3).

口頭発表

1. 岡田宏一朗, 秋吉政徳, 真嶋由貴恵, 高橋弘枝, 田中小百合, 谷岡美佐江, 堀実和子, チームマネジメントの視点からの看護師ソフトウェアを用いたインシデント発生検知方式, 電気学会情報システム研究会, IS16-29, 13-16 (広島, 2016.10).
2. 元木誠, 岡本卓, 飯間等, 秋吉政徳, 自律移動ロボットのコントローラ設計のためのベンチマーク問題, 暖気学会システム研究会, ST-042, 1-6 (伊豆, 2016.12).
3. 奈良清仁, 森田瑛登, 村上久, 秋吉政徳, 地図画像からの曲がり角密集地域検出方式, 電気学会情報システム研究会, IS17-16, 83-86 (石垣, 2017.3).
4. 望月泰輝, 村上久, 秋吉政徳, キャラクターの“弱さ”はコミュニケーションの継続を促進するか?, 電気学会情報システム研究会, IS17-20, 103-106 (石垣, 2017.3).
5. 星野恵以子, 寺田篤史, 村上久, 秋吉政徳, くだけた表現を含む口語的表現の自動修正方式, 情報処理学会第79回全国大会, 7Q-02 (名古屋, 2017.3).
6. 奈良清仁, 森田瑛登, 村上久, 秋吉政徳, 地図画像からの曲がり角密集地域検出ツール, 情報処理学会第79回全国大会, 3ZB-04 (名古屋,

- 2017.3).
7. 鳥島雅史, 秋吉政徳, チャットボットを用いたコミュニケーションの考察, 電気学会情報システム研究会, IS17-40, 7-9 (利尻, 2017.8).
 8. 秋吉政徳, チャットボットがもたらすコミュニケーション, 平成29年電気学会電子・情報・システム部門大会, OS4-6 (高松, 2017.9).
 9. 村上久, 都丸武宜, 反射に介入する自発性: シオマネキのバサインテグレーション実験, 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, 1L2-5 (名古屋, 2016.12).
 10. H. Murakami, T. Niizato, T. Tomaru, Y. Nishiyama and Y.P. Gunji, Internal noisy movements contribute to information transfer in collective group: a simulating study, Proceedings of 22rd International Symposium on Artificial Life and Robotics, 727-730 (Oita, 2017.1).
 11. 井手勇介, はじめに, 日本物理学会第72回年次大会領域11, 領域1合同シンポジウム「量子ウォークの深化とその周辺」, 17aB11-1 (大阪, 2017.3).
 12. Yusuke Ide, Spectral analysis for discrete time quantum walks on the path, Special Session on Quantum Computation and Quantum Information, International Conference on Computational Modelling and Simulation 2017, Invited Talk S3(1) (Colombo, Sri Lanka, 2017.5).
 13. 菅原茉理絵, 奥野祥二, 内田智史, Profit Sharing を用いた強化学習の高速化に関する研究, 2016年電子情報通信ソサイエティ大会, A-17-8 (北海道大学, 2016.9).
 14. 仲見川弘大, 奥野祥二, 内田智史, 授業支援システムにおける基幹システムの設計・開発, 2016年電子情報通信ソサイエティ大会, B-16-2 (北海道大学, 2016.9).
 15. 谷谷大, 奥野祥二, 内田智史, 読者の理解度によって難易度が変化する電子書籍の提案, 2016年電子情報通信ソサイエティ大会, B-16-3 (北海道大学, 2016.9).
 16. 谷谷大, 奥野祥二, 内田智史, 難易度が変化する電子書籍記述用のテキストメディア, 2017年日本経営工学会春季大会 (K02) (龍谷大学深草キャンパス, 2017.5).
 17. 鳥居祥二, 奥野祥二, 他, CALET: 初期2年間の観測成果報告, 日本物理学会2017年秋季大会 (宇都宮, 2017.9).
 18. 進藤晋, Standard Interference Function に対する SIR Feasibility, 電子情報通信学会総合大会, N-1-19 (名古屋, 2017.3).
 19. S. Shindoh, Standard interference mappings and SIR feasibility problems, The 10th Anniversary Conference on Nonlinear Analysis and Convex Analysis, (Hokkaido, 2017.7).
 20. 進藤晋, 非負象限上で定義される単調劣同次写像に関連する最適化問題, 京都大学数理解析研究所研究集会「数理解析の発展: モデル化とアルゴリズム」, (京都, 2017.8).
 21. I. Kuwano, A characterization of N-person non-cooperative multiobjective games, The 10th Anniversary Conference on Nonlinear Analysis and Convex Analysis, (Hokkaido, 2017.7).
 22. ウェルフェアジャスティン飛鳥, 山口幸, 杉本剛, ニュートン力学誕生そしてヤコブ・ヘルマンの逆問題解析, 第82回形の科学シンポジウム講演予稿集, 5-6 (筑波, 2016.10).
 23. 杉本剛, 大航海時代の地図に見る地理情報の展開, かたちシユール2016 予稿集, 1-2 (東京, 2016.12).
 24. 杉本剛, ニュートンに見失われしケプラー順問題の普遍定数, 日本科学史学会第64回年会・総会研究発表講演要旨集, 60 (松山, 2017.6).
 25. 杉本剛, サンチアゴ号の遭難: 1585年8月19日, 第83回形の科学シンポジウム講演予稿集, 37-38 (金沢, 2017.6).
 26. 杉本剛, 水面直下での繊毛推進について, 日本流体力学会年会2017講演論文集, 001.pdf, 1-2 (東京, 2017.8).
 27. 河原崎俊之祐, 瀬古沢照治, 未探索冒険型 Q-learning の提案, 電気学会情報システム研究会資料, IS-17-7, 29-34 (石垣島, 2017.3).
 28. 李俊, 瀬古沢照治, リスク分析を用いた炭素回収システム事業の評価, 平成29年電気学会全国大会, 講演論文集, 3, 112-113 (富山, 2017.3).
 29. 河原崎俊之祐, 瀬古沢照治, 未探索開拓型 Q-learning の提案, 電気学会電子・情報・システム部門大会, 講演論文集, 1198-1203 (高松, 2017.9).
 30. 李俊, 瀬古沢照治, リスクオプションを用いた炭素回収システム事業の評価, 電気学会電子・情報・システム部門大会, 講演論文集, 1412-1415, (高松, 2017.9).
 31. 大友萌夢, 佐々木太良, 藤岡淳, ID ベース暗号における匿名性の考察, 電子情報通信学会技術研究報告, 116(380), 9-13 (広島, 2016.12).
 32. 岸優樹, 佐々木太良, 藤岡淳, Mix Columns が Minalpher の安全性に与える影響, 電子情報通信学会技術研究報告, 116(380), 59-62 (広島, 2016.12).
 33. 岸優樹, 佐々木太良, 藤岡淳, Minalpher における MC が安全性に与える影響—様々な MC 値で比較した場合—, 2017年暗号と情報セキュリティシンポジウム, 2B2-2 (那覇, 2017.1).
 34. 大友萌夢, 佐々木太良, 藤岡淳, ID ベース暗号における匿名性定義の関係性, 2017年暗号と情報セキュリティシンポジウム, 2F2-3 (那覇, 2017.1).
 35. 齋藤恆和, 藤岡淳, 鈴木幸太郎, 非対称ペアリングを用いた多重かつ分散された KGC を満足する ID ベース認証鍵交換, 2017年暗号と情報セキュリティシンポジウム, 2F2-4 (那覇, 2017.1).
 36. 坂井麻守, 森田光, Deep Learning の学習曲線を用いた CAPTCHA または画像パスワード認証, 電子情報通信学会, SCIS2017, ユーザ認証(1), 3B4-3 (那覇, 2017.1).
 37. A. Takaoka, A vertex ordering characterization of simple-triangle graphs, LA symposium, 11, (Kyoto, 2017.2).
 38. A. Takaoka, Recognizing Simple-Triangle Graphs by Restricted 2-Chain Subgraph Cover, IEICE Tech. Rep., COMP2016-51, 116(503), 5-9, (Nagoya, 2017.3).
 39. 坂井麻守, 森田光, Deep Learning の学習曲線を用いた CAPTCHA, 情報処理学会第79回全国大会, 機械学習によるセキュリティ, 4W-02 (名古屋, 2017.3).
 40. 森田光, 情報ハイディングのための確率モデルの変更による攻撃回避, 日本応用数理学会2017年度年会, 数理的技法による情報セキュリティ(1), 145-146 (東京, 2017.9).
 41. Minoru W. Yoshida, On \mathbb{R}^2 properties of the drift coefficient of operator corresponding to \mathbb{R}^4_3 stochastic quantization, International conference: Stochastic differential equations and related fields, Supported by DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft), SFB 701, held at Bielefeld Univ. (Germany, 2016.10).
 42. Minoru W. Yoshida, On conditional distributions of random variables on \mathbb{R}^4_3 Euclidean field on \mathbb{R}^3 , Japanese-German Open Conference on Stochastic Analysis 2017, Supported by DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft), held at Technische Universität Kaiserslautern (Germany, 2017.9).
- ## 学術誌
1. 今井崇雅, 高速光無線ネットワークによるリアルタイム超高精細映像伝送, 神奈川大学工学部報告, 55, 5-7 (2017).
 2. 中村久美, 内田智史, 奥野祥二, 初等音楽教育におけるリコーダー演奏練習支援システムの開発, 日本 e-Learning 学会誌 17, 47-61 (2017).
 3. 進藤晋, Fundamentals and Principles of Artifacts Science: 3M&I-Body System (書評), オペレーションズ・リサーチ (日本 OR 学会), 62(3), 185, (2017, 3).
 4. 藤岡淳, 「国際標準 ISO/IEC11770-3」に採録認証鍵交換 FSU 方式, 神奈川大学工学部報告, 55, 23-24 (2017).
- ## 著書
1. 秋吉政徳, クラウド環境と IoT がもたらす教育サービス基盤 (小坂満隆編, 第3世代のサービスイノベーション中の7.1節), 社会評論社 (2017.3).
 2. 今井崇雅, マルチメディア, 近代科学社 (2017).

- 井手勇介, 竹内幸雄, 不動点の話題コンタクトプロセスの最近の話題, 慶應義塾大学 (2017).
- S. Albeverio, M. Roeckner, Minoru W. Yoshida, Let us use White Noise, Chapter 2, Quantum Field Theory, World Sci. Publication (2017).

調査報告書

- 村上久, 内部ゆらぎによって促進される群れの情報伝達に関する研究, 科学研究費助成事業研究成果報告書, 研究活動スタート支援, 課題番号 15H06671 (2017).
- 井手勇介, 領域11, 領域1「量子ウォークの深化とその周辺」, 日本物理学会誌, 72(7), 525 (2017).

講演・展示会

- 今井崇雅, 情報ネットワークの現状と活用領域の拡大について, 神奈川県教育委員会ネットワークに係る県立学校担当者研修会, 神奈川県教育委員会 (横浜, 2017.8).
- 井手勇介, 連続時間量子ウォークと量子探索, ワークショップ「ドレスト光子・光合成・量子ウォーク」(横浜, 2017.7).
- 井手勇介, path 上の離散時間量子ウォークの固有解析, IMI 短期共同研究「レーザー同位体分離の実用化における量子ウォークの数理」(福岡, 2017.7).
- 井手勇介, 連続時間量子ウォークとグラフ構造, オペレーションズ・リサーチ学会研究部会「確率モデルとその応用」第22回研究会 (東京, 2017.8).
- 井手勇介, グラフの modular partition と量子ウォークの解析, 平成29年度「グラフゼータと量子ウォークの諸相」(2017.9).
- 西澤弘毅, Multi-valued multirelations, 第15回論理と計算セミナー (鹿児島, 2017.2).

助成金

- 秋吉政徳 (代表), 看護現場データに内在する医療安全のための暗黙知抽出への挑戦, 平成29年度科学研究費助成事業挑戦的研究 (挑戦), 課題番号17K19845.
- 井手勇介 (代表), 有限グラフ上の感染過程の有限時刻分布の解明, 平成29年度科学研究費補助金, 若手研究(B), 課題番号16K17652.

受託研究

- 秋吉政徳, 特許調査業務における AI 応用検討, 株式会社エムテック.

海外出張

- 村上久, Behaviour2017, Estoril, Portugal (2017.7-8).
- 井手勇介, 蘇州大学 Xin-Ping Xu 氏との研究打合せ・セミナーでの講演 (招聘), 蘇州市, 中国 (2016.11).
- 井手勇介, 淡江大学 Choon-Lin Ho 氏との研究打合せ (招聘), 新北市, 台湾 (2017.3).
- 瀬古沢照治, The fifth Asian Conference on Information System, Krabi, Thailand (2016.10).
- 藤岡淳, Mycrypt2016, Kuala Lumpur, Malaysia (2016.11-12).

経営工学科

研究論文 I (レフェリー付き論文)

- Y. Takano, N. Ishii and M. Muraki, Determining bid markup and resources allo-

cated to cost estimation in competitive bidding, Automation in Construction (in Press).

- 草野有希, 横山真弘, 劉功義, 田村智幸, 石井信明, 岡田公治, 横山真一郎, 経験データを活用したプロジェクト成否逐次予測法の提案, プロジェクトマネジメント学会誌, 19(3), 29-34 (2017).
- 谷崎隆士, 片桐英樹, 干渉する搬送設備を有するジョブショップ工程スケジューリング問題に対する GA 法を用いた解法, 日本経営システム学会誌, 33(3), 235-240 (2017).
- H. Wu and H. Katagiri, A mathematical programming model for optimal correction of jig position in PCB inspections and its nature-inspired solution algorithms, Scientiae Mathematicae Japonicae, e-2016(29) (2016).
- H. Katagiri, K. Kato and T. Uno, Possibilistic Stackelberg solutions to bilevel linear programming problems with fuzzy parameters, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 32(6), 4485-4501 (2017).
- T. Hasuie and H. Katagiri, An objective formulation of membership function based on fuzzy entropy and pairwise comparison, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 32(6), 4443-4452 (2017).
- Y. Kakiuchi, K. Kato and H. Katagiri, Modeling and solving open shop cooperative task scheduling problems based on satisfiability modulo, Scientiae Mathematicae Japonicae, e-2017(30) (2017).
- 滝聖子, 角田陵輔, 高野倉雅人, 山田哲男, 乳児を持つ母親のライフログと作業の計測・分析法, 日本経営工学会論文誌, 68(1), 47-55 (2017).
- M. Takanokura, T. Tanaka, I. Watanabe, M. Kakehi, H. Nojiri, H. Murata, H. Utsuki, A. Uchida and M. Nakamura, Posture-based ergonomic risk assessment for physical workload improvement: case study for an assembly line, Journal of Japan Industrial Management Association, 67(4E), 338-347 (2017).
- 高野倉雅人, 三田博也, 峯垣淳平, 戸塚健一, ロボット技術搭載歩行車による歩行アシスト効果, 日本経営工学会論文誌, 67(3), 261-271 (2016).
- 菅間敦, 大西明宏, 高野倉雅人, ロールボックスパレット (RBP) の初動加速度による回転操作性の評価—ハンドル幅と作業経験の有無による比較—, 日本経営工学会論文誌, 67(3), 225-231 (2016).
- K. Sato and K. Sawaki, Continuous-time dynamic pricing for stabilizing stochastic demand, Journal of the Operations Research Society of Japan, 60(2), 178-191 (2017).
- 平井裕久, 片岡洋人, 工程別計算における FIFO の計算構造と仕掛品評価への影響, 原価計算研究, 41(1), 90-102 (2017).
- 廣瀬喜貴, 平井裕久, 新井康平, MD&A 情報の可読性が将来業績に及ぼす影響: テキストマイニングによる分析, 日本経営分析学会, 経営分析研究, 33, 87-101 (2017.3).
- Sho Matsuura, Haruki Matsuura, and Akiko Asada, Designing insert buffers for mixed-model assembly lines, Asian Journal of Management Science and Applications 3(1), pp.75-95, Inderscience (2017-03)
- M. Matsumoto, Multi-part mirror for focusing diffuse light, Mechanical Engineering Journal, 4(3), 1-13 (2017).
- 松本光広, 減色混合およびグラデーション色を用いた可変カラーフィルタの基礎的検討, 光学, 45(10), 392-400 (2016).

研究論文 II (レフェリー付き Proceedings)

- N. Ishii, Y. Takano and M. Muraki, Resource flow based order selection method in project cost estimation process, Proc. of the 7th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, 155-162 (Madrid, 2017.7).
- T. Hasuie, H. Katagiri and H. Tsuda, Objective measurement for satisfaction values to sightseeing spots and route recommendation system, Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2016), 269-2704, 2016.
- H. Katagiri, Fuzzy Random Linear Optimization under Possibilistic Downside Risk Measures: Minimization of Possibilistic Low Partial Moment, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2017

- (IMECS2017), 2, 927-932 (2017).
4. T. Tanizaki, H. Katagiri, M. Aoe and H. Miyai, Scheduling method for production process with crane interference using GA with diversification generator, Proceedings of International Symposium on Scheduling 2017, 69-71 (Nagoya, 2017).
 5. K. Sato, K. Nakashima and C. Moriki, Optimal pricing for event tickets in a matching system, Proc. The 17th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (Taipei, 2016.12)
 6. H. Kataoka, H. Hirai, The Process Costing in The FIFO Perspective, Proc. Asian-Pacific Conference on International Accounting Issues (Hawaii, 2016. 11).
 7. Donghao Zhang, Haruki Matsuura, and Akiko Asada, Effect of splitting a mixed-model line on shortening the line length under open- and closed-boundary working area settings AIP Conference Proceedings 1829, Issue 1, 10.1063/1.4979767 (2017-04)
 8. Sho Matsuura, Haruki Matsuura, and Akiko Asada, Making a mixed-model line more efficient and flexible by introducing a bypass line, AIP Conference Proceedings 1829, issue 1, 10.1063/1.4979768 (2017-04)

口頭発表

1. 石井信明, 高野祐一, 村木正昭, サービス業務のスケジューリング, 情報システム学会 第12回全国大会・研究発表大会 (富山国際会議場, 2016.11).
2. 石井信明, 情報の価値によるサプライチェーンの分析と設計, 第7回横幹連合コンファレンス (慶應義塾大学, 2016.11).
3. 石井信明, 高野祐一, 村木正昭, 個別受注企業における見積工程への動的資源配分, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 春季研究発表会 (沖縄県市町村自治会館, 2017.3).
4. 石井信明, 高野祐一, 村木正昭, 資源流量に基づく見積り案件の選択手法, 日本経営工学会 2017年春季大会 (龍谷大学, 2017.5).
5. M. Matusi and N. Ishii, Artifacts Formulation & Realization: Matsui's Matrix Method, Riccati Equation and Enterprise Robot, The 24th International Conference on Production Research, ID_49 (Poznan, 2017.7).
6. 谷崎隆士, 片桐英樹, 青江正寛, 宮井浩行, 久保田大輝, 干渉する搬送設備を有するスケジューリング問題への GA 法の適用, スケジューリング・シンポジウム2016講演論文集, 109-112 (大阪, 2016.9).
7. 谷崎隆士, 片桐英樹, 干渉する搬送設備を有するスケジューリング問題の解法に対する GA 法の適用, 2016年日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, 22-23 (山形, 2016.9).
8. 谷崎隆士, 片桐英樹, 青江正寛, 宮井浩行, 久保田大輝, 干渉するクレーンを有するプロセスにおけるスケジューリング問題への GA 法の適用, 第59回自動制御連合講演会論文集, 347-349 (北九州, 2016.11).
9. 谷崎隆士, 片桐英樹, 干渉する搬送設備を有するスケジューリング問題の解法に対する多様化生成機構の適用, 日本オペレーションズ・リサーチ学会2017年春季研究発表会アブストラクト集, 81-82 (那覇, 2017.3).
10. 蓮池隆, 片桐英樹, 津田博史, 観光満足度最大化を実現する観光地ポートフォリオマネジメント, 日本オペレーションズ・リサーチ学会2017年春季研究発表会アブストラクト集, 285-286 (那覇, 2017.3).
11. 宇野剛史, 片桐英樹, 加藤浩介, 地域住民の動線および交通量の確率的不確実性を考慮した商業施設の立地最適化, 日本オペレーションズ・リサーチ学会2017年春季研究発表会アブストラクト集, 131-132 (那覇, 2017.3).
12. 木高大海, 澤圭祐, 加藤浩介, 片桐英樹, 羽森寛, 複数カメラを用いたプリント基板配線の電気検査経路最適化問題に対する一般化2-opt 法に基づく解法の改良, 2017 IEEE SMC Hiroshima Chapter Young Researchers' Workshop Proceedings, 10-11 (広島, 2017.7).
13. 山松哲也, 竹之内智也, 加藤浩介, 片桐英樹, 羽森寛, プリント基板配線の電気検査順序最適化問題に対する k-opt 法に基づく近似解法の性能改善, 2017 IEEE SMC Hiroshima Chapter Young Researchers' Workshop Proceedings, 24-25 (広島, 2017.7).
14. 蓮池隆, 片桐英樹, 津田博史, 観光プランからの逸脱行動を考慮した個人適応型観光地魅力度推定, 平成29年電気学会電子・情報・システム部門大会, 390-393 (高松, 2017.9).
15. R. Fujie, Opinion dynamics on complex networks with inference of state of others, Interdisciplinary Applications of Nonlinear Science, P1 (Kagoshima, 2016. 11).
16. 藤江遼, 他者の観測が不完全な状況下での合意形成ダイナミクス, 中部大学国際 GIS センター「問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究拠点」成果報告会 (春日井, 2017.3).
17. R. Fujie, Opinion dynamics on networks with inference of unobservable states of others, American Physical Society (APS) March Meeting 2017, M1.00384 (New Orleans, Louisiana, 2017. 3).
18. 藤江遼, 他者意見の推測を考慮したネットワーク上の合意形成, 日本物理学会第72回年次大会, 17pC23-3 (豊中, 2017.3).
19. 藤江遼, 合意形成のキーパーソンは誰かー他者の状態推測の影響ー, 平成28年度統数研共同研究集会「社会物理学の新展開」, 04 (立川, 2017.3).
20. 市東大樹, 滝聖子, 川上勝, 高野倉雅人, 山田哲男, 介護職従事者の職業性ストレスに関する考察, 産業保健人間工学会第22回大会抄録集, 59-60 (北海道千歳市, 2017.9).
21. M. Takanokura, Y. Shimosako, K. Karube, M. Kakehi and T. Yamada, Improvement of operation process for healthcare workers with wearable sensors at an elderly day care facility in Japan, 21st Conference of the International Federation of Operational Research Societies, 171 (Quebec City, Canada, 2017.7).
22. K. Karube, T. Yamada, M. Kakehi and M. Takanokura, Analysis of facility layout in elderly day care facility, 3rd International Conference on Health Care Systems Engineering, 10 (Florence, Italy, 2017.5).
23. 高野倉雅人, 山田哲男, 筑宗徳, 滝聖子, 川上勝, 高齢者施設における介護業務の可視化と改善に関する研究, 日本経営工学会2016年秋季大会, 232-233 (東京, 2016.10).
24. C. Zheng, K. Sato and K. Nakashima, Optimal production and procurement policies of closed-loop supply chain under uncertainties, International Conference on Industry 4.0 and Production Economics. (Chengdu, China, 2017.8)
25. K. Sato, Dynamic pricing for perishable assets with price lock-in options, International Federation of Operational Research Societies. (Quebec City, Canada, 2017.7).
26. K. Sato, K. Nakashima and C. Moriki. Optimal pricing for event tickets in a matching system, The 17th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference. (Taipei, Taiwan, 2016.12)
27. K. Sato and K. Nakashima, Joint control of inventory and policy switching against a demand ramp-up, 18th Asia Pacific Management Conference, (Sendai, Japan, 2016.11)
28. K. Sato and K. Nakashima, A finite horizon dynamic inventory model for supply chain under forecast errors, The 4th International Workshop on Production and Logistics, (Okinawa, Japan, 2016.10)
29. 佐藤公俊, 購買延期オプションを考慮した動的価格モデル, 日本オペレーションズ・リサーチ学会2017年春季研究発表会, アブストラクト集, 160-161, (関西大学, 2017.9)
30. 内山敬寛, 佐藤公俊, 中島健一, 「からくり改善」における発想力の向上, 日本経営工学会2017年春季大会, 102-103, (龍谷大学, 2017.5)
31. 佐藤公俊, 中島健一, 森木千聖, マッチングサービスによるチケット転売対策の評価モデル, 日本オペレーションズ・リサーチ学会2017年春季研究発表会, アブストラクト集, 297-298, (沖縄県市町村自治会館, 2017, 3).
32. 佐藤公俊, 中島健一, 森木千聖, サービス産業における需給調整システムを考慮した収益最大化モデル, JIMA 生産・物流部門第5回産学交流ワークショップ, (TRI 臨床研究情報センター, 2017.3).
33. 佐藤公俊, 竹澤直哉, 供給ネットワークの柔軟性と在庫管理モデル, 日本リアルオプション学会研究発表大会 (JAROS2016), (中央大学, 2016.11).
34. 岩田悦之, 平井裕久, 第三者割当増資における制限付新株予約権の価値

評価 ～事例からみる問題点, 日本管理会計学会2017年度第2回フォーラム, 3 (大阪, 2017.7).

35. H. Kataoka, H. Hirai, The Process Costing in The FIFO Perspective, Asian-Pacific Conference on International Accounting Issues (Hawaii, 2016.11).
36. Donghao Zhang, Haruki Matsuura and Akiko Asada, "Effect of splitting a mixed-model line on shortening the line length under open- and closed-boundary working area settings" 平成28年12月 "AMIME2016 4th International Conference on Advanced Manufacturing Technology and Materials Engineering (中国広州市)"
37. Sho Matsuura, Haruki Matsuura, and Akiko Asada, "Making a mixed-model line more efficient and flexible by introducing a bypass line" 平成28年12月 "AMIME2016 4th International Conference on Advanced Manufacturing Technology and Materials Engineering (中国広州市)"

学術誌

1. 石井信明, What と How を埋めるプロジェクトの「中間工程」The International Society of Logistics 国際ロジスティクス学会「SOLE」日本支部報告, ロジスティクス・ビジネス, 16(9), 76-79 (2016.12).
2. 石井信明, サービス業務の動的スケジューリング問題, 神奈川大学工学研究所 所報, 39, 9-14 (2016.12).
3. 高野倉雅人, 経営工学・人間工学の視点にもとづく子育てと高齢者介護の活動分析と改善に向けた取り組み, 地域ケアリング, 19(2), 68-73 (2017).
4. 松浦春樹, 堀野定雄, 松田洋, 後藤航太, 酒井聖紘, 高橋綱喜, 金澤優太, 浮穴浩二, "ドラレコ・テクノサークル活動報告 ウェアラブルカメラが記録した日常交通における自転車行動と道路環境" 平成28年12月 神奈川大学工学研究所報第39号(39), 164-166頁
5. 松浦春樹, 堀野定雄, 石川博敏, 龍重法, 石倉理有, 北島創, "高安心超安全交通研究所活動報告ドライブレコーダーと自動運転(高度運転支, 援平成28年12月," 神奈川大学工学研究所報第39号(39), 132-138頁
6. 松本光広, 自転車の車輪に生じる振れを修正するための作業支援装置の開発, 神奈川大学工学研究所所報, 39, 22-29 (2016).
7. 片桐英樹, 一般化集荷配送巡回セールスマン問題とその応用, 神奈川大学工学研究所所報, 39, 15-21 (2016).

著書

1. 村木正昭 (監修), 石井信明, 原田博幸, 峯尾啓司, 吉田透, 吉竹弘行, 布施憲夫, 増井伸博 (編修), 工業管理技術 新訂版, 実教出版 (2016).
2. T. Tanizaki and H. Katagiri, Genetic Algorithms with Simulation for a Job Shop Scheduling Problem with Crane Conveyance, Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing, IFIP Advances in Information and Communication Technology, 513, Springer, 483-491 (2017).
3. M. S. Hossain, M. Takanokura and K. Nakashima (coauthors), W. Powell, A. Rizzo, P. M. Sharkey and J. Merrick (eds.), Rehabilitation - Innovations and Challenges in the Use of Virtual Reality Technologies, Chap. 10, Nova Science Publishers (2017).
4. 水口剛, 平井裕久, 後藤晃範, 企業と会計の道しるべ, 中央経済社 (2017).

調査報告書

1. 窪浩浩人 (代表), 戸田幹人, 足立聡 (分担), 力学的に形成された量子絡み合いの統計的普遍性の広がりとその応用, 科学研究費助成事業研究成果報告書, 基盤研究(C), 課題番号26400421.
2. 藤江遼, 他者の観測が不完全な状況下での合意形成ダイナミクス, 中部大学国際GISセンター問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究拠点2016年度成果報告書, 課題番号 IDEAS201633

3. 佐藤公俊, JAROS 創立十周年記念大会ルポ, リアルオプションと戦略, Vol.9, No.1, pp.62-65, (2017年3月).
4. 佐藤公俊, 中島健一, 堀口正之, 講演会報告「アジア地域におけるサプライチェーンについて」, 神奈川大学アジア研究センター ニュースレター, 6,112-116, (2016).
5. 佐藤公俊, 調査報告「婦人靴におけるサプライチェーンリスクを調査して」, 神奈川大学アジア研究センター, ニュースレター, 7, 2-3, (2017).
6. 佐藤公俊, 高速鉄道と航空の提携効果に関する分析, オペレーションズ・リサーチ学会, 機関紙, 62, 9, 586-592, (2017).
7. 松本光広, 無作為な方向から入射する光を集光する複合鏡の製作, 日立財団倉田奨励金研究報告, 46, 82-83 (2016).
8. 松本光広, 分光情報の三次元地図から消化器系の病変を発見する分光センサの開発, 島津科学技術振興財団研究成果報告書, 31-35 (2017).
9. 松本光広, 分光情報の三次元地図から消化器系の病変を発見する分光センサの開発, 電気通信普及財団研究調査報告書, 31, 1-6 (2017).
10. 松本光広, 無作為な方向から入射する光を集光する複合鏡の製作, 矢崎科学技術振興財団研究成果報告, 2-5 (2017).
11. 松本光広, 液面から液体内部の環境をセンシングするカメラシステムの開発, 栢森情報科学振興財団 K 通信, 41, 22-23 (2017).
12. 松本光広, 非接触による光信号および電力伝送を用いた高速無限回転コネクタの開発, NSK メカトロニクス技術高度化財団研究助成・教育助成成果報告書, 27, 1 (2017).

講演・展示会

1. 藤江遼, ネットワーク上の合意形成に対する他者推測の影響, 第112回福工大土曜談話会 (福岡, 2017.2).
2. 高野倉雅人, 荻谷光晴, 少子高齢化時代の「ひと」に配慮したモノづくり・コトづくり, テクニカルショウヨコハマ2017 (横浜, 2017.2).
3. 松本光広, ヘッドホンで音楽を聴く人に音を消して危険を知らせるシステム, ハードウェアコンテスト GUGEN2016 (東京, 2016.12).
4. 松本光広, ヘッドホンで音楽を聴く人に周囲の危険を知らせるシステム, テクニカルショウヨコハマ2017 (神奈川, 2017.2).
5. 松本光広, 空間を感じる超人化スーツの実現, 平成28年度異能vation スプリングスクール (東京, 2017.3).

助成金

1. 石井信明 (代表), プロジェクトを成功に導く見積りと遂行体制・契約方式の研究, 平成29年度科学研究費補助金, 基盤研究(C), 課題番号16K01252.
2. 片桐英樹 (分担), データ駆動型統計的観光科学の確立とその有効性の実証研究課題, 平成29年度科学研究費補助金, 基盤研究(B), 課題番号26283019.
3. 片桐英樹 (代表), ファジィ確率計画に基づく健康障害発生リスクを考慮した最適献立作成, 平成29年度科学研究費補助金, 基盤研究(C), 課題番号17K01276.
4. 藤江遼 (研究代表者), 平成29年度統計数理研究所公募型共同利用 共同研究集会「社会物理学の新展開」, 課題番号29-共研-5009.
5. 高野倉雅人 (代表), 荻谷光晴 (分担), ヘルスケア・デリバリーシステムの構築とマネジメント, 平成29年度科学研究費補助金, 基盤研究(B), 課題番号26282091.
6. 高野倉雅人 (代表), ビッグデータ活用によるワークライフバランス支援サービスシステムの創成, 平成29年度科学研究費補助金, 挑戦的萌芽研究, 課題番号16K12829.
7. 佐藤公俊 (代表), 消費者の安心・安全の確保に向けた価格決定モデルに関する研究, 日本学術振興会科学研究費補助金, 若手研究 (B), 課題番号17K12985, (2017-2019年度).
8. 佐藤公俊 (分担), エネルギー資源の輸入計画のための統合的リスク評価モデルの開発, 日本学術振興会科学研究費補助金, 基盤研究(B), 課題

番号17H02042, (2017-2020年度), (研究代表者: 中央大学・鳥海重喜).

9. 佐藤公俊 (分担), 供給リスク低減のための数理モデル化手法による新規契約理論の開発, 日本学術振興会科学研究費補助金, 基盤研究(C), 課題番号15K01194, (2015-2017年度), (研究代表者: 秋田県立大学・嶋崎真仁).
10. 平井裕久 (代表), 類似企業比較法を用いた企業価値評価に関する実証研究, 平成29年度科学研究費補助金, 基盤研究(C), 課題番号17K04059.
11. 平井裕久 (分担), 予算管理論の再構築: グローバル経営におけるダイナミックな環境適応を切り口に, 平成29年度科学研究費補助金, 挑戦的萌芽研究, 課題番号16K13404, (2016-2019年度), (研究代表者: 立命館大学・浅田孝幸).
12. 松本光広 (代表), Multi-part mirror for focusing diffuse light, 中部電気利用基礎研究振興財団平成29年度出版助成.

受託研究

1. 高野倉雅人, 電動歩行車が使用者に与える身体的効果についての研究, 幸和製作所.

海外出張

1. 石井信明, The 7th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, Madrid, Spain (2017.7).
2. 片桐英樹, The 2017 IAENG International Conference on Operations Research, Hong Kong (2017.3).
3. AMIME2016 4th International Conference on Advanced Manufacturing Technology and Materials Engineering, 中国広州市 (2016.12).

褒賞

1. H. Katagiri, Fuzzy Random Linear Optimization under Possibilistic Downside Risk Measures: Minimization of Possibilistic Low Partial Moment, Best Paper Award of The 2017 IAENG International Conference on Operations Research, International Association of Engineers (IAENG) (2017.5).
2. 松本光広, ヘッドホンで音楽を聴く人に音を消して危険を知らせるシステム, おいしいね賞, GUGEN 実行委員会 (2016.12).

その他

1. 松本光広, 料理中にエプロン通じてスマホ遠隔操作ものづくりの登竜門「GUGEN2016」の傑作, エキサイトニュース (2016.12).
2. 松本光広, Do you know 異能?, 東京メトロポリタンテレビジョン (2017.4).

建築学科

研究論文 I (レフェリー付き論文)

1. W. Cho, S.Iwamoto and S.Kato, Condensation Risk Due to Variations in Airtightness and Thermal Insulation of an Office Building, Energies, 9(11), 875 (2016).
2. Z. P. Zeng, F. S. Liu, P. Lou, Y. G. Zhao and L. M. Peng, Formulation of three-dimensional equations of motion for train-slab track-bridge interaction system and its application to random vibration analysis, Applied Mathematical Model, 40 (11-12) 5891-5829 (2016).
3. Z. H. Lu, Y. B. Ou, Y. G. Zhao and C. Q. Li, Investigation of corrosion of steel stirrups in reinforced concrete structures, Construction and Building Materials, 127, 293-305 (2016).
4. Z. H. Lu, D. Z. Hu and Y. G. Zhao, Second-order fourth-moment method for

structural reliability, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, DOI:10.1061/(ASCE), EM.1943-7889.0001199, 06016010 (2016).

5. 大内京太郎, 山崎翔, 緑川光正, 岩田衛, 岡崎太郎, 麻里哲広, 座屈拘束ブレースの破壊モード・圧縮耐力上昇・エネルギー消費性能, 日本建築学会構造工学論文集, 63B, 543-552 (2017.3).
6. 菊池剛和, 小谷野一尚, 坂田弘安, 岩田衛, 鉄骨枠付き座屈拘束ブレースを用いたアンカーレス構法の研究, 日本建築学会技術報告集, 54, 507-511 (2017.6).
7. 小谷野一尚, 中込忠男, 緑川光正, 岩田衛, 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの疲労性能の研究, 日本建築学会構造系論文集, 736, 921-928 (2017.6).
8. 丹羽亮太, 井上隆, 前真之, 岩本静男, 佐藤誠, 森勇樹, 節湯型シャワーヘッドの物理特性と使用感に関する研究第2報使用感と物理量の関係と実入浴時における湯消費削減効果の検討, 日本建築学会環境系論文集, 81 (729), 987-995 (2016).
9. 姜明采, 内田青蔵, 須崎文代, 震災記念堂 (1930年竣工) の建設経緯について, 日本建築学会計画系論文集, 82(734), 1029-1038 (2017).
10. 淵上貴由樹, 内田青蔵, 居間の変化と客間・寝室の配置からみた二階建て住宅の理念形成, 日本建築学会計画系論文集, 82(735), 1255-1264 (2017).
11. 犬伏徹志, 宮本裕司, 荻本孝久, 山下忠道, 擁壁が弾塑性特性を有する場合の簡易評価法への適用—免震建物の擁壁衝突時における擁壁部水平抵抗の簡易評価に関する研究その2—, 日本建築学会構造系論文集, 81(730), 1993-2003 (2016.12).
12. 齊藤隆典, 井上圭一, 位相限定相関法を用いた構造模型振動実験の光学的動変位計測に関する基礎検討, 構造工学論文集, 63B, 335-341 (2017.3).
13. 白井佑樹, 島崎和司, 金本清臣, 戸澤正美, 部材中央に重ね継手を有するハーフプレキャストコンクリート梁の曲げせん断実験, コンクリート工学年次論文集, 39(2065), 385-390 (2017.6).
14. 毎田悠承, 木下澄香, 坂田弘安, 島崎和司, 和泉信之, 佐伯英一郎, 突起付き鉄製プレートとコンクリートの圧着接合面におけるせん断耐力の評価—突起付き鉄製プレート圧着接合法を用いたコンクリート系構造物へのダンパー適用に関する研究その1—, 日本建築学会構造系論文集, 82 (739), 1425-1435 (2017.9).
15. 須崎文代, 大正期から昭和初期における共同炊事場の展開と建築的特徴: 栄養学に基づく佐伯矩の取り組みに着目して, 生活文化史, 71, 3-35 (2017.3).
16. 安野彰, 大井隆弘, 須崎文代, 田中和幸, 水野僚子, 大正・昭和期の都市上中流住宅における水まわり空間の変容過程, 住総研研究論文集, 43, 137-148 (2017.3).
17. 張海仲, 齊藤隆典, 趙衍剛, 成層地盤の一次卓越周期における地震動増幅率の評価法, 構造工学論文集, 63B, 343-349 (2017.3).
18. 張海仲, 齊藤隆典, 趙衍剛, 一次卓越周期における地震動増幅率の簡便評価法, 日本建築学会構造系論文集, 82(734), 597-604 (2017.4).
19. 安田洋介, 廣瀬俊平, 関根秀久, 藪下満, 共鳴器仕様の違いが重量床衝撃音遮断性能に及ぼす影響に関する実験的検討—Helmholtz共鳴器を有する高性能乾式遮音二重床の開発—その2—, 日本建築学会環境系論文集, 81(729), 919-929 (2016).

研究論文 II (レフェリー付き Proceedings)

1. S. Iwamoto and K. Sakaue, Study on Numerical Prediction of Supply Water Temperature in the Building, Proceedings of the 2nd World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (Barcelona, 2017.4).
2. S. Iwamoto, A. Dempoya and K. Sakaue, The prediction method of supply water temperature for energy simulation of hot water supply system, the Proceedings of CIB-W062 Symposium (Haarlem, 2017.8).
3. 内田青蔵, 横浜にみる歴史的建造物の保存手法について, International Conference on Urban Cultural Heritage Research and Protection from Interdisciplinary Perspectives, 上海社会科学院歴史研究所, 47-57, (2017.7).

4. T. Inubushi, Y. Miyamoto, T. Yamashita, T. Enomoto, Analytical Study on Simple Modeling for Lateral Resistance of Retaining Wall in Collision with a Base-isolated Structure, 16th World Conference on Earthquake, 16WCEE 2017, 9-13 (Santiago Chile, 2017.1).
5. T. Enomoto, T. Inubushi, T. Kuriyama, M. Navarro: Analytical Study On Damping Effect Of Building Considering Dynamical Interaction Between Soil And Building, 16th World Conference on Earthquake, 16WCEE 2017, 9-13 (Santiago Chile, 2017.1).
6. T. Saito and Y. G. Zhao, OPTICAL FULL-FIELD DISPLACEMENT MEASUREMENT METHOD BASED ON PHASE-ONLY CORRELATION, 16th World Conference on Earthquake Engineering (16th WCEE), Paper No.1305 (Santiago, Chile, 2017.1).
7. H. Z. Zhang, T. Saito and Y. G. Zhao: RESPONSE SPECTRUM METHOD FOR SURFACE STRATA SITE AMPLIFICATION, 16th World Conference on Earthquake Engineering (16th WCEE), Paper No. 1430 (Santiago, Chile, 2017.1).
8. K. Shimazaki, Y. Shirai and N. Yaginuma, Shear performance of precast prestressed concrete beams using unbonded tendons, Proceedings of 42nd Conference on OUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES, 393-402 (2017.8).
9. Y. Shirai, K. Shimazaki and H. Sakata, Application of beam-on-elastic-foundation theory to single-anchor bolts under monotonic shear force, Proceedings of 42nd Conference on OUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES, 403-410 (2017.8).
10. Z. H. Lu, Y. B. Ou, Y. G. Zhao and C. Q. Li, A study on the chloride-induced corrosion configuration of reinforcing steel in RC structures, Proceedings of the 14th International Symposium on Structural Engineering (ISSE-14), 1670-1676 (Beijing, China, 2016.10).
11. Z. H. Lu, X. D. Yang and Y. G. Zhao: Flexural rigidity of corrosion-affected RC beam in marine environment, Proceedings of the 5th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE 2016) (Delft, The Netherlands, 2016.10).
12. Y. Yasuda, T. Masumoto and T. Sakuma, Fast calculation of far-field sound directivity based on HF-FMBEM, Proc. Inter-Noise 2017, 381-388 (Hong Kong, 2017.8).

建築作品

1. 石田敏明, 田野耕平, シェアフラット馬場川, TOTO 通信, 34-39 (2017.10).
2. 石田敏明, 田野耕平, シェアフラット馬場川, シェアハウス図鑑, 35-42, 彰国社 (2017.12).
3. 石田敏明, 福山・高美台の家.
4. 曾我部昌史, 加茂紀和子, 竹内昌義, マニユエル・タルディッツ, 伊吹島「イリコ庵」, 香川県広報誌「THE かがわ」, 4, 香川県 (2016.10).
5. 曾我部昌史, 加茂紀和子, 竹内昌義, マニユエル・タルディッツ, mAAchieve 神田万世橋, 建築画報, 146-149, 建築画報社 (2016.11).
6. 曾我部昌史, 加茂紀和子, 竹内昌義, マニユエル・タルディッツ, mAAchieve 神田万世橋, 建築案内@東京, 104-105, 日経アーキテクチュア (2016.11).
7. 曾我部昌史, 加茂紀和子, 竹内昌義, マニユエル・タルディッツ, 伊那東小学校 (図書館), 日本の美しい小学校, 111, エクスナレッジ (2016.12).
8. 曾我部昌史, 加茂紀和子, 竹内昌義, マニユエル・タルディッツ, 紫波オガール, 新建築, 142-155, 新建築社 (2017.5).
9. 曾我部昌史, 加茂紀和子, 竹内昌義, マニユエル・タルディッツ, 神宮前の家, JAPAN-NESS, Centre Pompidou-Mets (2017.9).
10. 曾我部昌史, 加茂紀和子, 竹内昌義, マニユエル・タルディッツ, LIK 軽井沢山荘, 新建築住宅特集, 78-85, 新建築社 (2017.9).
11. 曾我部昌史, 加茂紀和子, 竹内昌義, マニユエル・タルディッツ, 渋谷LOFT, 商店建築, 180, 商店建築社 (2017.9).
12. 曾我部昌史, 伊東豊雄, 桂英昭, 末廣香織, みんなの家のある応急仮設住宅の整備, 新建築, 176, 新建築社 (2017.9)

13. 曾我部昌史, 吉岡寛之, 丸山美紀, 長谷川明, さざなみ園, 愛媛新聞, 10, 愛媛新聞社 (2017.5.29).
14. 曾我部昌史, 吉岡寛之, 丸山美紀, 長谷川明, 赤松防災拠点, 徳島新聞, 徳島新聞社 (2017.7.28).
15. 中井邦夫, 鈴木成也, 三浦みづき, 記録者の墓, 多磨霊園
16. 吉岡寛之, 原浩人, 松野由夏, 北方のクリニック
17. 吉岡寛之, FC 今治新事務所改修

口頭発表

1. 石田敏明, 田野耕平, シェアフラット馬場川一リノベーションによる街中居住促進のための仕組みづくり, 日本建築学会中国大会建築デザイン発表会, 82-83 (広島, 2017.9).
2. 中村尚弘, 鹿嶋俊英, 東城峻樹, 犬伏徹志, 鈴木琢也, 近年の知見に基づく建築物の減衰と固有周期に関する検討 その1S造建物の1次, 2次の固有周期と減衰定数, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (構造II), 507-508 (広島, 2017.8).
3. 清水英, 山下忠道, 犬伏徹志, 佐藤大樹, 高山峰夫, 免震建物の耐震性能評価指標の提案に関する基礎的検討 その3異なる免震層の性能による地震動再現期間の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (構造II), 807-808 (広島, 2017.8).
4. 山下忠道, 清水英, 犬伏徹志, 佐藤大樹, 高山峰夫, 免震建物の耐震性能評価指標の提案に関する基礎的検討 その4上部構造と免震層に対する地震動再現期間の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (構造II), 809-810 (広島, 2017.8).
5. 土橋健治, 竹内貞光, 神田亮, 森隆浩, 山下忠道, 佐藤大樹, 犬伏徹志, 扇谷匠己, 超高層免震建築物に用いた高減衰ゴム系積層ゴムの地震及び風応答時における累積吸収エネルギー評価 その1解析諸元及び応答解析結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (構造II), 1011-1012 (広島, 2017.8).
6. 竹内貞光, 土橋健治, 神田亮, 森隆浩, 山下忠道, 佐藤大樹, 犬伏徹志, 扇谷匠己, 超高層免震建築物に用いた高減衰ゴム系積層ゴムの地震及び風応答時における累積吸収エネルギー評価 その2累積吸収エネルギーに関する評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (構造II), 1013-1014 (広島, 2017.8).
7. 成井涼平, 小谷野一尚, 中込忠男, 緑川光正, 岩田衛, 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの疲労性能の研究 その1 実験概要と結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1分冊, 1165 (広島, 2017.8).
8. 小谷野一尚, 成井涼平, 中込忠男, 緑川光正, 岩田衛, 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの疲労性能の研究 その2 実験考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1分冊, 1167 (広島, 2017.8).
9. 田畑卓, 伊藤隆之, 小谷野一尚, 岩田衛, 鋼コンクリート板で座屈拘束した耐震ブレースの性能検証実験 その1 実験概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1分冊, 1169 (広島, 2017.8).
10. 古谷祐希, 牧田敏郎, 小谷野一尚, 岩田衛, 鋼コンクリート板で座屈拘束した耐震ブレースの性能検証実験 その2実験結果の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1分冊, 1171 (広島, 2017.8).
11. 山崎翔, 緑川光正, 岩田衛, 岡崎太郎, 麻里哲広, 小谷野一尚, 座屈拘束ブレースにおける局部崩壊の制御, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1分冊, 1173 (広島, 2017.8).
12. 大内京太郎, 緑川光正, 岩田衛, 岡崎太郎, 麻里哲広, 小谷野一尚, 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの力学性能におよぼす芯鋼材の断面形状の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1分冊, 1185 (広島, 2017.8).
13. 平井宏幸, 傳野悟史, 本多仁, 川又哲也, 中原理揮, 菊田繁美, 竹中啓之, 岩田衛, 小谷野一尚, 座屈拘束ブレースに関する実験的研究 その1耐震ブレースの実験概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1分冊, 1187 (広島, 2017.8).
14. 傳野悟史, 中原理揮, 平井宏幸, 本多仁, 川又哲也, 菊田繁美, 竹中啓之, 岩田衛, 小谷野一尚, 座屈拘束ブレースに関する実験的研究 その2

- 実験結果の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1分冊, 1189 (広島, 2017.8).
15. 菊池剛和, 田中晋, 小谷野一尚, 坂田弘安, 岩田衛, 鉄骨枠付き座屈拘束ブレースを用いたアンカーレス構法の研究—その1—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1分冊, 1295 (広島, 2017.8).
 16. 田中晋, 菊池剛和, 小谷野一尚, 坂田弘安, 岩田衛, 鉄骨枠付き座屈拘束ブレースを用いたアンカーレス構法の研究—その2—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1分冊, 1297 (広島, 2017.8).
 17. 大瀧麻世, 藤田正則, 小谷野一尚, 岩田衛, CSTS 梁とボルト接合された CLT 床の一面せん断実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1分冊, 1325 (広島, 2017.8).
 18. 姜明采, 内田青蔵, 震災記念堂の設計競技応募図案から見る日本的要素に関する一考察, 日本生活学会第44回研究大会発表梗概集, 80-81, 亜細亜大学 (2017.5).
 19. 澁上貴由樹, 内田青蔵, 明治後期—昭和初期刊行の「住宅関係単行本」の言説にみる「居間」の機能変化に関する一考察, 日本生活学会第44回研究大会発表梗概集, 30-31, 亜細亜大学 (2017.5).
 20. 姜明采, 内田青蔵, 震災記念堂の設計経緯に関する一考察, 日本建築学会2017年度大会発表梗概集, 165-166 (広島, 2017.9).
 21. 木下和也, 内田青蔵, 地域別にみる古典主義様式の銀行建築の衣装に関する一考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 171-172 広島工業大学, (広島, 2017.9).
 22. 須崎代, 内田青蔵, 横浜市神奈川区白楽に現存する市原邸の建設経緯と建築概要について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 231-232 (広島, 2017.9).
 23. 松川英莉奈, 内田青蔵, 同潤会の勤人向け分譲住宅について 1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 263-264 (広島, 2017.9).
 24. 内田青蔵, 松川英莉奈, 同潤会の勤人向け分譲住宅について 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 265-266 (広島, 2017.9).
 25. 荻本孝久, 馬赫, 落合努, 井上駿, 犬伏徹志, 先名重樹, 2016年熊本地震被災地域の地盤構造と震動特性の検討 —その1単点微動観測と極小アレイ観測による検討—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (構造II), 265-266 (広島, 2017.8).
 26. 馬赫, 井上駿, 落合努, 荻本孝久, 犬伏徹志, 先名重樹, 2016年熊本地震被災地域の地盤構造と震動特性の検討 —その2建物被災状況と地盤震動特性の関係—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (構造II), 267-268 (広島, 2017.8).
 27. 落合努, 馬赫, 井上駿, 犬伏徹志, 荻本孝久, 先名重樹, 2016年熊本地震被災地域の地盤構造と震動特性の検討 —その3数値シミュレーションを用いた検討—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (構造II), 269-270 (広島, 2017.8).
 28. 栗山利男, 井上駿, 荻本孝久, 犬伏徹志, 落合努, 馬赫, 単点微動観測に基づく神奈川県域の地盤震動特性評価 その1H/V スペクトル比を用いた地盤震動特性情報データベース, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (構造II), 325-326 (広島, 2017.8).
 29. 井上駿, 荻本孝久, 犬伏徹志, 落合努, 馬赫, 栗山利男, 単点微動観測に基づく神奈川県域の地盤震動特性評価 その2卓越周期・増幅率分布とハザード評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (構造II), 327-328 (広島, 2017.8).
 30. 犬伏徹志, 宮本裕司, 荻本孝久, 免震建物模型の擁壁衝突実験に対するシミュレーション解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (構造II), 885-886 (広島, 2017.8).
 31. 奥山博康, 吉浦温雅, 移動一括最小二乗法による換気量の時間変化の測定法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 749-752 (広島, 2017.8).
 32. 吉浦温雅, 奥山博康, 気密性の相当隙間面積と測定の信頼性の評価方法の再考, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 875-876 (広島, 2017.8).
 33. 吉浦温雅, 奥山博康, 建物の気密性測定法における相当隙間面積と測定の信頼性の評価方法の再考, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 77-80 (高知, 2017.9).
 34. 島崎和司, 白井佑樹, アンボンド PC 圧着梁の曲げ降伏後のせん断耐力に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 23378, 755-756 (広島, 2017.8).
 35. 白井佑樹, 石井沢次郎, 島崎和司, RC 梁のせん断補強筋とクラック幅に関する研究その4. 付着剛性によるひび割れ幅の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 23213, 425-426 (広島, 2017.8).
 36. 佐藤宏貴, 白井佑樹, 島崎和司, 戸澤正美, 金本清臣, 山野辺宏治, 部材中央に重ね継手を有するハーフプレキャストコンクリート梁の曲げせん断実験その1実験の概要と結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 23027, 53-54 (広島, 2017.8).
 37. 戸澤正美, 白井佑樹, 金本清臣, 遠藤芳雄, 佐藤宏貴, 島崎和司, 部材中央に重ね継手を有するハーフプレキャストコンクリート梁の曲げせん断実験その2付着応力度の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 23028, 55-56 (広島, 2017.8).
 38. 石井沢次郎, 白井佑樹, 島崎和司, RC 梁のせん断補強筋とクラック幅に関する研究その5. 主筋量と試験体長さを変えた検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 23213, 425-426 (広島, 2017.8).
 39. 岩見遼平, 齋藤迅, 白井佑樹, 島崎和司, 染谷俊章, 毎田悠承, 粘弾性ダンパーを用いたアンボンド PC フレームの動的載荷実験その1実験概要とアンボンド PC フレームの挙動, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 23379, 757-758 (広島, 2017.8).
 40. 齋藤迅, 岩見遼平, 白井佑樹, 島崎和司, 染谷俊章, 毎田悠承, 佐伯英一郎, 粘弾性ダンパーを用いたアンボンド PC フレームの動的載荷実験その2粘弾ダンパーを付加した試験体の挙動, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 23380, 759-760 (広島, 2017.8).
 41. 渋谷敬一郎, 木下澄香, 坂田弘安, 毎田悠承, 島崎和司, 渡辺亨, 鋳鉄製接合パネルにより梁主筋を継いだ RC 造柱梁接合部の力学的挙動に関する研究その1実験概要と結果の考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 23264, 527-528 (広島, 2017.8).
 42. 木下澄香, 坂田弘安, 毎田悠承, 島崎和司, 渡辺亨, 佐伯英一郎, 鋳鉄製接合パネルにより梁主筋を継いだ RC 造柱梁接合部の力学的挙動に関する研究その2FEM 解析による耐力機構の検討及び適用方法の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 23265, 529-530 (広島, 2017.8).
 43. 根本夏帆, 石田雄太郎, 坂田弘安, 高瀬裕也, 毎田悠承, 白井佑樹, 佐藤匠, 複合応力下における接着系あと施工アンカーの3次元 FEM 解析モデル構築と考察その1 3次元 FEM 解析モデルの構築, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 23192, 383-384 (広島, 2017.8).
 44. 石田雄太郎, 坂田弘安, 高瀬裕也, 毎田悠承, 白井佑樹, 佐藤匠, 複合応力下における接着系あと施工アンカーの3次元 FEM 解析モデル構築と考察その2解析結果と考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 23193, 385-386 (広島, 2017.8).
 45. 須崎代, 宮川寿美子 (大江スミ) がイギリス留学で修得した住居衛生論について—ベッドフォード・カレッジにおける衛生学と衛生関連書籍に着目して—, 日本生活学会第44回研究大会発表梗概集, 26-27 (亜細亜大学, 2017.5).
 46. Y. G. Zhao, H. Z. Zhang and T. Saito, A simple approach for fundamental period of MDOF structures, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (構造II), 83-84 (広島, 2017.8).
 47. 齊藤隆典, 趙衍剛, 光学的全視野計測法を用いた RC 内部柱梁接合部の変形計測実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造IV), 535-536 (広島, 2017.9).
 48. H. Z. Zhang, T. Saito and Y. G. Zhao, A simple approach for analysis of fundamental mode shape of layered soil profiles, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造II), 363-364 (広島, 2017.9).
 49. 林思奇, 齊藤隆典, 趙衍剛, 軸圧縮力を受けるコンクリート充填円形鋼管短柱の鋼管応に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造III), 1387-1388 (広島, 2017.9).
 50. 葛方雯, 張海仲, 齊藤隆典, 趙衍剛, 統計による応答スペクトル増幅率とフーリエスペクトル増幅率の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (構造II), 369-370 (広島, 2017.9).
 51. Y. X. Yao, T. Saito and Y. G. Zhao, Third-moment method for the computation of

- load and resistance factors without limitation and iteration, 日本建築学会大会学術講演梗概集(構造 I), 71-72 (広島, 2017.9).
52. 傳法谷郁乃, 小柴朋子, 夏期の大学講義室における着衣行動と温熱環境との関係性, 日本家政学会研究発表要旨集69回大会, 89 (奈良, 2017.5).
53. 小柴朋子, 内田幸子, 傳法谷郁乃, 杉山智子, 加藤登志子, 森本美智子, 看護動作に対する使い捨て防護服の運動機能性上の問題点, 日本繊維製品消費科学会年次大会・研究発表要旨, 72 (京都, 2017.6).
54. 内田幸子, 小柴朋子, 杉山智子, 加藤登志子, 傳法谷郁乃, 森本美智子, 防護服のパターンに関する研究, 日本繊維製品消費科学会年次大会・研究発表要旨, 119 (京都, 2017.6).
55. 傳法谷郁乃, 小柴朋子, 田村照子, 立位時における膝囲への局所圧迫が人体生理・心理反応へ及ぼす影響, 日本繊維製品消費科学会年次大会・研究発表要旨, 155 (京都, 2017.6).
56. Y. Satsumoto, T. Aoyagi, A. Dempoya, T. Koshiba, T. Tamura, Effect of vapor permeability and opening design of outdoor parka on its water vapor transfer and ventilation rate, Abstracts of ARAHE 19th Biennial International Congress, 28 (Tokyo, 2017.8).
57. Y. Uchida, T. Koshiba, A. Dempoya, F. Tanabe, S. Arakawa, M. Morimoto, A study on mobility while wearing infection-protective clothing, Journal of Infection Prevention, 18 (IS), S40 (Manchester, 2017.9).
58. 東田萌, 中井邦夫, 鈴木成也, 道沿いの建物用途とつながりからみた温泉街の構成, 日本建築学会大会学術講演梗概集(建築歴史・意匠), 407-408 (広島, 2017.9).
59. 下山智加, 中井邦夫, 鈴木成也, 駅を含む街区におけるまちのつながり, 日本建築学会大会学術講演梗概集(建築歴史・意匠), 413-414 (広島, 2017.9).
60. 丹羽貴行, 中井邦夫, 鈴木成也, 既存の建物に設置されたインスタレーションにおける非日常体験をつくりだす表現手法, 日本建築学会大会学術講演梗概集(建築歴史・意匠), 437-438 (広島, 2017.9).
61. 須山高志, 中井邦夫, 鈴木成也, 蒲田駅東口地区における建物の建替え及び開発過程, 日本建築学会大会学術講演梗概集(建築歴史・意匠), 431-432 (広島, 2017.9).
62. 枝川和樹, 中井邦夫, 鈴木成也, 公開性のあるワイナリーにおける各室の特徴とつながり方からみた空間構成, 日本建築学会大会学術講演梗概集(建築歴史・意匠), 553-554 (広島, 2017.9).
63. Y. Yasuda, S. Hirose, H. Sekine and M. Yabushita, High-sound-insulation double floor structure with Helmholtz resonators: experimental study on effect of resonator specifications, 5th Joint Meeting ASA/ASJ, 5aNSb5 (Honolulu, 2016.12), The Journal of the Acoustical Society of America, 140(4), 3385 (2016).
64. 安田洋介, 榎本貴之, 佐久間哲哉, 遠方場における放射・反射指向性のFMBEMに基づく高速計算, 日本音響学会建築音響研究会資料, AA2016-41 (東京, 2016.12).
65. 岩根康之, 小林真人, 内田季延, 川澄卓也, 関根秀久, 安田洋介, 共鳴型消音装置による発破超低周波音の消音効果に関する検討, 日本音響学会講演論文集(春季), 793-794 (川崎, 2017.3).
66. 安田洋介, 榎本貴之, 佐久間哲哉, 遠方場における放射・反射指向性のHF-FMBEMに基づく高速計算, 日本音響学会講演論文集(春季), 907-910 (川崎, 2017.3).
67. 坂本慎一, 安田洋介, 福島昭則, 厚みのある障壁による回折音場の実用計算方法に関する検討, 日本音響学会騒音・振動研究会資料, N-2017-23 (東京, 2017.6).
68. 阿部菜摘, 米村美紀, 李孝珍, 安田洋介, 坂本慎一, 一般道における自動車走行音の実測調査: 車種別パワーレベルとパワースペクトルの検討, 日本建築学会学術講演梗概集(環境工学I), 279-280 (広島, 2017.8).
69. 阿部菜摘, 関根秀久, 安田洋介, 厚みのある障壁の回折補正量に関する検討 —ASJ RTN-Modelと3次元波動数値解析の比較—, 日本音響学会講演論文集(秋季), 879-880 (松山, 2017.9).
70. 岩根康之, 小林真人, 内田季延, 川澄卓也, 関根秀久, 安田洋介, 超低周波音を対象とした音響管の共鳴周波数と板剛性の関係, 日本音響学会講演論文集(秋季), 951-954 (松山, 2017.9).

71. 山家京子, オランダ大都市圏における広域連携—MRAとMRDHのジェンダの比較検討—, 日本建築学会学術講演梗概集, 11-12 (広島, 2017.8).
72. 佐藤混子, 山家京子, 鄭一止, 横浜市・郊外住宅地における地域資源の抽出及び発信の取組—その1.「十日市場たからものマップ」の作成—, 日本建築学会学術講演梗概集, 951-952 (広島, 2017.8).

学術誌

1. 岩本静男, 欧州のZEB視察〜ドイツ〜, 空気調和・衛生工学, 空気調和・衛生工学会, 90(10), 1-12, (2016).
2. 内田青蔵, 時代とともに変化する洋館とその魅力, 日事連, 日本建築士事務所協会連合会, 4-5 (2017.1).
3. 内田青蔵, 擬洋風建築としての演説館について, 近代日本研究, 慶應義塾福沢研究センター, 1-27, 33 (2016).
4. 内田青蔵, 洋館建設と行幸について, 清泉文苑, 清泉女子大学人文科学研究科, 43-51, 34 (2017.3).
5. 内田青蔵, 明治村の夏目漱石邸, すまいろん, 一般財団法人住総研, 46-47 (2017, 夏).
6. 内田青蔵, 日本のツーバイフォー建築の歴史1, ツーバイフォー, 一般財団法人日本ツーバイフォー建築協会, 2-4, 2134 (2017, 春).
7. 内田青蔵, 日本のツーバイフォー建築の歴史2, ツーバイフォー, 一般財団法人日本ツーバイフォー建築協会, 12-13, 214 (2017, 夏).
8. 内田青蔵, 洋館建設と行幸について, 旧島津公爵邸竣工100年記念 本館と島津山, 清泉女子大学人文科学研究科 (2017.5).
9. 内田青蔵(対談), 吉祥寺ワンダーストリー, 吉祥寺.mag, 亜細亜大学, 6-27 (2017).
10. 内田青蔵, “受け継ぐ”ことは“つくる”こと, コミュニケーション・レポート220, 一般社団法人 住宅産業研修財団, 3-12 (2017).
11. 内田青蔵, 日本常民文化研究所附設博物館構想について, 日本常民文化研究所年報2015, 38-39 (2017.8).
12. 内田青蔵, 受賞所感, 建築雑誌, 日本建築学会, 43 (2017.8).
13. 奥山博康, 熱・換気回路網とは, 空気調和・衛生工学, 91(5), 81-82 (2017).
14. 島崎和司, PC保有水平耐力指針(案)の現状, PC建築物の保有水平耐力設計を考える, 日本建築学会大会構造部門(PC構造)パネルディスカッション資料, pp.20-29, 2017.9.
15. 島崎和司, RC造建築物の地震時損傷評価 (1)RC造建築物の損傷評価技術の概要, コンクリート工学Vol.54, No.10, pp.1022-1027, 公益社団法人日本コンクリート工学会, 2016.10.

著書

1. 石田敏明(分担執筆), アジアのまち再生—社会遺産を力に, 鹿島出版会 (2017).
2. 石田敏明(分担執筆), 百書百冊—鹿島出版会の本と雑誌, 367, 鹿島出版会 (2017.12).
3. 内田青蔵, 新装版お屋敷拝見, 河出書房新社 (2017).
4. 内田青蔵(分担執筆), 日本近代建築家列伝, 丸山雅子監修, 141-148, 鹿島出版会 (2017).
5. 内田青蔵(分担執筆), 住まい再発見, 一般財団法人 住総研, 205-207, 建築資料研究社 (2017).
6. 内田青蔵(分担執筆), 私鉄郊外の誕生, 片木篤編, 49-53, 柏書房 (2017).
7. 内田青蔵(分担執筆), アジアのまち再生, 山家・重村・内田・曾我部・中井・鄭編著, 99-109, 鹿島出版会 (2017).
8. 曾我部昌史(分担執筆), アジアのまち再生(神奈川大学アジア研究センター叢書), 174-185, 鹿島出版会 (2017.3).
9. 吉岡寛之(分担執筆), アジアのまち再生(神奈川大学アジア研究センター叢書), 198-208, 鹿島出版会 (2017.3).

10. 曾我部昌史, 吉岡寛之, 編著, 新しいライフスタイルを大三島から考える, 72-75, NPO これからの建築を考える (2017.7).
11. 中井邦夫 (分担執筆), アジアのまち再生 社会遺産を力に, 138-149, 250-261 (総頁数310), 鹿島出版会 (2017.3).
12. 山家京子 (分担執筆), 日本建築学会編, 空間学事典【増補改訂版】, 井上書院 (2016).
13. 山家京子, 重村力, 内田青蔵, 曾我部昌史, 中井邦夫, 鄭一編著, アジアのまち再生—社会遺産を力に一, 鹿島出版会 (2017).

調査報告書

1. 石田敏明, 長尾亜子, 比護結子, 富永祥子, 旧大竹家煉瓦蔵の再生・利活用に関する研究, 工学研究所所報, 39 (2016).
2. 岩本静男 (共著), バイオマスエネルギー導入調査報告書, 一般社団法人 建築設備技術者協会 (2017.6).
3. 内田青蔵, 安野彰, 須崎代, 増淵貴由樹, “持家”志向の高まりに関する研究, 科学研究費助成事業研究成果報告書, 基盤研究(C), 課題番号 26420651 (2017.3).
4. 内田青蔵, 李勇太, 清直樹, 石本将之, 横山龍, 2016年度『建築史フィールドワーク』in 上海, 2017.3.
5. 内田青蔵 (分担), 歴史的価値を持つ大規模な木造宿泊施設の耐震的・防火的安全性を確保するための技術的・法的側面からの調査研究, 日本建築学会歴史の大規模木造宿泊施設の安全性能確保特別研究委員会, 139-140 (2017.3).
6. 内田青蔵 (分担), 第60回神奈川建築コンクール, 神奈川建築コンクール委員会, 1 (審査総評), (2016.10).
7. 中井邦夫, スタンリー・ラッセル, 三浦みづき, 鈴木成也, 県供給公社ビル跡地計画, BA/横浜防火帯建築研究, 8+9号 (2016.11).
8. 中井邦夫, 原山雅也, 鈴木成也, 魚津中央通り名店街防火建築帯, BA/横浜防火帯建築研究, 10+11号 (2017.7).

講演・展示会

1. 石田敏明, 神奈川7大学の先生による討論会—卒業設計の傾向と解説 2017, 日本建築家協会 (横浜, 2017.2).
2. 犬伏徹志, 免震建物の擁壁衝突問題に関する課題と解析モデルを用いた検討事例, シンポジウム「巨大地震への備えを目指す免震構造の取り組み」, 日本建築学会構造委員会免震構造小委員会, 41-52 (2017.1.23).
3. 犬伏徹志: 建物の振動特性に関する既往の知見と構造設計における課題, シンポジウム建築物の減衰と振動—今どこまで解っているか, 何が問題か—, 日本建築学会構造委員会荷重運営委員会建築物の減衰機構とその性能評価小委員会, 5-13 (2017.9.29).
4. 内田青蔵, 鼎談 (旧岩崎邸建築120周年記念), 公園事業部文化財庭園課 旧岩崎邸庭園サービスセンター, 東京 (2016.10.8).
5. 内田青蔵, 明治の洋風建築, 神大シルバー21講演会 (2016.10.13).
6. 内田青蔵, 日本のツーバイフォー建築の歴史 (日本ツーバイフォー建築協会設立40周年企画), 日本ツーバイフォー協会 (2016.10.17).
7. 内田青蔵, 文化財講演・江東区の近代建築, 江東区文化財課 (2016.11.11).
8. 内田青蔵, お屋敷拝見, 横浜建築探偵団 (2016.11.19).
9. 内田青蔵, 神奈川大学国際シンポジウム (2016.12.3).
10. 内田青蔵, 保存はつくること, 千葉工業大学特別セミナー (2016.12.7).
11. 内田青蔵, 都市と建築1-3, 千代田区社会福祉協議会 (2017.1.12, 19, 26).
12. 内田青蔵, “受け継ぐ”ことは“つくる”こと, 一般社団法人 住宅産業研修財団 (2017.1.27).
13. 内田青蔵, 建築家・保岡勝也について, 三菱地所設計, 東京 (2017.5.11).
14. 内田青蔵, 洋館建設と行幸について, 清泉女子大学講座, 東京 (2017.5.13).
15. 内田青蔵, 日本の洋風住宅, としま未来文化財団, 東京 (2017.6.16).

16. 内田青蔵, 自由学園について, としま未来文化財団, 東京 (2017.6.23).
17. 内田青蔵, 和敬塾について, としま未来文化財団, 東京 (2017.6.30).
18. 内田青蔵, 洋館の誕生, 公園事業部文化財庭園課旧岩崎邸庭園サービスセンター, 東京 (2017.7.5).
19. 内田青蔵, 「住まいの文化」その継承と未来, 職業能力開発短期大学校 東京カレッジ, 東京 (2017.7.16).
20. 内田青蔵, 学会賞受賞記念講演, 日本建築学会, 広島 (2017.9.3).
21. 奥山博康, 吉浦温雅, 熱と換気の性能の現場測定法, 日本建築学会・第46回熱シンポジウム (岡山, 2016.10).
22. 奥山博康, 建築物による自然エネルギー利用, (一社) 日本断熱住宅技術協会 (横浜, 2017.5).
23. 須崎代, 近代の台所設備, 愛知県岡崎市旧本多邸 (岡崎, 2017.11).
24. 曾我部昌史, シンポジウム, オープンハウス・ロンドンに学ぶまちの「開き方」～オープンシティ・横浜を目指して～, 横浜国立大学 (神奈川, 2016.11.4).
25. 曾我部昌史, シンポジウム, 第1回芸術不動産セミナー, 横浜市文化観光局 (神奈川, 2016.11.6).
26. 曾我部昌史, シンポジウム, 「熊本サイン計画」に見る新しいロゴのつくり方, 青山ブックセンター (東京, 2016.12.4).
27. 曾我部昌史, シンポジウム, 大高正人の出発点を語る, 文化庁 (東京, 2017.1.21).
28. 曾我部昌史, シンポジウム, 第2回芸術不動産セミナー, 横浜市文化観光局 (神奈川, 2017.2.23).
29. 曾我部昌史, 伊東豊雄, 桂英昭, 末廣香織, シンポジウム, 仮設を超えて—災害公営住宅とみんなの家—, 熊本県, 一般財団法人熊本県建築住宅センター (熊本, 2017.3.9).
30. 曾我部昌史, 伊東豊雄, 桂英昭, 末廣香織, 山本理顕, 妹島和世, アストリッド・クライン, 平田晃久, 大西麻貴, 近藤哲雄, 原田展幸, 山室昌敬, 甲斐健一, 工藤和美, 内田文雄, 岡野道子, シンポジウム, みんなの家, その先へ, 熊本県・くまもとアートポリス建築展2017実行委員会+NPO 法人 HOME-FOR-ALL (東京, 2017.9.2).
31. 曾我部昌史, 加茂紀和子, 竹内昌義, マニユエル・タルディッツ, 講演会, みかんの模型, 一般社団法人日本建築文化保存協会 (東京, 2017.2.22).
32. 曾我部昌史, 講演会, Creative Workshop in Beppu, 別府市・Beppu Project (別府, 2017.3.22).
33. Y. G. Zhao, Target Column Overdesign Factors of Steel Frames Considering System Reliability, International Symposium on Sustainability and Resiliency of Infrastructure (ISSRI 2016) (Keynote lecture) (Taipei, 2016. 11. 9-12).
34. Y. G. Zhao, Fast Integration for Dynamic Reliability Considering Parameter Uncertainties, International Forum on Advances in Railway Engineering and Engineering Mechanics (Invited Lecture) (Changsha, China, 2016. 11. 19-20).
35. 中井邦夫, まちの基点としてのコア・ビルディング—防火帯建築群・横浜一, 科研費研究課題 (基盤(C)2015~2017) 戦災による広域被害・長期避難からの住民帰還事業と複線型復興プロセスの解明中間報告会 (横浜, 2017.3).
36. 中井邦夫, (展示) ハマの防火帯建築, BA/横浜防火帯建築研究, 第28回 JIA 神奈川建築 WEEK かながわ建築祭 (横浜, 2017.2).

助成金

1. 岩田衛, 荏本孝久, 大熊武司, 緑川光正, 坂田弘安, 中込忠男, 機能維持性能に優れた座屈拘束ブレース付中高層建築物の技術開発, 平成28年度住宅・建築物技術高度化事業, 国土交通省 (2014.10-2017.3).
2. 岩本静男 (代表), 傳法谷郁乃 (分担), 建物内給水温度の推定法, 平成29年度科学研究費補助金, 基盤研究(C) (一般), 課題番号17K06682.
3. 奥山博康 (代表), 建物の熱・換気性能現場測定法の研究, 平成28年度科学研究費補助金, 基盤研究(C), 課題番号16K06623.
4. 齊藤隆典 (代表), 光学的計測技術に基づく建築構造の汎用的損傷評価法に関する基礎研究, 平成29年度科学研究費補助金, 若手研究(B), 課題

番号17K14766.

5. 内田青蔵 (代表), ケルムスコット・プレスとウィリアム・モリスのデザイン思想, 神奈川大学共同研究奨励助成, 2017-2019年度.
6. 内田青蔵 (分担), 日本建築和室の世界遺産的価値に関する建築学的総合研究 (平成29-31年度), 科研基盤研究 B.
7. 須崎文代 (代表), 大江スミのイギリス留学による明治期の住居衛生論の導入と国内での展開に関する研究, 平成28年度～平成30年度科学研究費補助金, 若手研究 (B), 課題番号16K18222.
8. 安野彰, 須崎文代, 戦前の日本における乾式構法住宅の研究と普及に関する研究, 文化学園大学住環境学研究所2016年度研究助成.
9. 安野彰, 大井隆弘, 須崎文代, 田中和幸, 水野僚子, 大正・昭和期の都市上中流住宅における水まわり空間の変容過程 — 吉田五十八による住宅作品の設備関連図面を基本資料として —, 一般財団法人住総研2016年度助成.
10. 白井佑樹 (代表), コンクリート系構造物に, 構造・非構造部材を取付ける接合要素の耐力と剛性評価法の確立, 平成28年度～平成29年度科学研究費補助金, 研究スタート支援, 課題番号16H07298.
11. 趙衍剛 (代表), 荏本孝久 (以下, 分担), 島崎和司, 山家京子, 犬伏徹志, 2015年ネパール大地震 (Mw7.8) による被害と地域社会への影響, 神奈川大学アジア研究所共同研究, 2016-2018年度.
12. 中井邦夫 (分担), 震災による広域被害・長期避難からの住民帰還事業と複線型復興プロセスの解明 (代表: 藤岡泰寛), 科学研究費補助金, 基盤研究 (C), 課題番号15K06352, 2015～2017.
13. 安田洋介 (分担), 低周波音の家屋内外伝搬特性の解明及び遮音対策の効果検証, 平成29年度科学研究費補助金, 基盤研究 (B), 課題番号17H03350.
14. 山家京子 (代表), 内田青蔵 (以下, 分担), 曾我部昌史, 趙衍剛, 中井邦夫, 鄭一止, 東アジア4国際都市の脆弱地区の調査, ならびに環境社会再生への方法の探求, 神奈川大学アジア研究所共同研究, 2016-2017年度.
15. 山家京子 (分担), 首都圏における都市整備計画のガバナンスのあり方に関する研究, 神奈川大学共同研究奨励助成, 2015-2017年度.
16. 山家京子 (分担), アジアの水に関する総合的研究, 神奈川大学アジア研究所共同研究, 2016-2017年度.

受託研究

1. 石田敏明, 中井邦夫, 田野耕平, 湘南地区の住宅地開発の研究 (ガーデンスクウェア辻堂新町), 研究奨学寄付金, レモンホーム.
2. 犬伏徹志, 質点系モデルを用いた免震建物の擁壁衝突解析, 株式会社大林組.
3. 岩田衛, 研究奨学寄付金, 松尾建設.
4. 岩本静男, 傳法谷郁乃, 全館空調システムの省エネルギー性能評価, アズビル株式会社.
5. 岩本静男, 研究奨学寄付金, 塩ビ工業・環境協会.
6. 島崎和司, 白井佑樹, 研究奨学寄付金, 日之出水道, 岡部.
7. 島崎和司, 白井佑樹, 共同研究, 閑建研.
8. 島崎和司, 白井佑樹, 共同研究, 閑安藤・間.
9. 曾我部昌史, 吉岡寛之, 北九州学術研究都市の考察と今後の未来像, 現代美術センターCCA 北九州 (2016.8-2017.3).
10. 曾我部昌史, 吉岡寛之, 丸山美紀, 長谷川明, 2017年度門前町再生, 徳島県美波町 (2017.7-2018.3).
11. 曾我部昌史, 吉岡寛之, 「くまもとアートポリス仮設住宅住環境構想計画業務に伴う実践的被災地支援活動」, 伊東豊雄建築設計事務所, 2016.9-2019.3.
12. 安田洋介, 発破消音装置の適用範囲拡大に関する研究, 飛鳥建設.
13. 山家京子, 公共空間の実態と再編に関する研究, 鎌倉市.

海外出張

1. 石田敏明, 東アジアワークショップ参加, ハルビン工業大学, 中国

(2017.8).

2. 石田敏明, 上海市街地及び周辺における地域再生の調査研究, 上海, 中国 (2017.7).
3. 犬伏徹志, エル・エヒード市におけるサイズミック・マイクロゾーニング調査, スペイン・グラナダ市およびエル・エヒード市 (2016.10).
4. 岩田衛, ニューヨーク都市防災調査, New York, USA (2016.11).
5. 岩田衛, アートによる都市再生調査, Bilbao, Spain (2017.8).
6. 内田青蔵, 非文字資料研究センターの協定校への表敬訪問 (フランス高等研究院), パリ (2016.10).
7. 内田青蔵, 須崎文代, 非文字資料研究センターの協定校への表敬訪問 (セインズベリー日本文化研究所), イギリス (2017.2-3).
8. 内田青蔵, 博物館視察, ヘルシンキ (2017.3).
9. 内田青蔵, 講演・横浜にみる都市型の保存建築について, 上海社会科学院, 上海 (2017.7).
10. 内田青蔵, 講義・建築史フィールドワーク, 上海 (2017.9).
11. 内田青蔵, ハンギル本博物館視察, ソウル (2017.9).
12. 須崎文代, フランスにおける共同生活体の居住施設の衛生事情に関する現地調査, 科学研究費補助金, フランス (2017.8).
13. 曾我部昌史, イタリア, 南イタリアの都市脆弱地区における調査研究 (2016.10).
14. 曾我部昌史, ロシア, 東ロシアの都市脆弱地区における調査研究 (2017.3).
15. 曾我部昌史, 中国, 上海における都市再生地区の調査研究 (2017.7).
16. 曾我部昌史, 中国, 上海と杭州における都市再生地区の調査研究 (2017.9).
17. 曾我部昌史, ドイツ・イタリア, 美術展による地域活性化地区に関する調査研究 (2017.9).
18. 傳法谷郁乃, Infection Prevention Annual Conference, Manchester, UK (2017.9).
19. 中井邦夫, 震災復興建築および都市再開発に関する研究打合せおよび視察調査, Dubai, UAE, Frankfurt am Main, Germany (2017.6).
20. 安田洋介, 5th Joint Meeting ASA/ASJ, Honolulu, Hawaii, USA (2016.12).
21. 安田洋介, Inter-Noise 2017, Hong Kong, China (2017.8).
22. 山家京子, ルアンパパンの地域資源とラオス伝統的住居の空間構成に関する調査, ルアンパパン, ラオス (2017.3).
23. 山家京子, 韓国のハンギル・ブック博物館の視察ならびに館長へのインタビュー, ソウル, 韓国 (2017.9).
24. 吉岡寛之, イタリア, 南イタリアの都市脆弱地区における調査研究 (2016.10-11).
25. 吉岡寛之, ロシア, 東ロシアの都市脆弱地区における調査研究 (2017.3).
26. 吉岡寛之, 中国, 上海における都市再生地区の調査研究 (2017.9).

褒賞

1. 石田敏明, シェアフラット馬場川一リノベーションによる街中居住促進のための仕組みづくり, 日本建築学会, 建築デザイン発表会/優秀発表者顕彰 (2017.9).
2. 傳法谷郁乃, The Effect of Local Pressure to the Knees on the Physiological and Psychological Responses of the Human Body, 平成28年度人間—生活環境系学会奨励賞, 人間—生活環境系学会 (2016.10).
3. 内田青蔵, わが国の住宅の近代化に関する一連の歴史研究, 2017年日本建築学会賞 (論文), 日本建築学会 (2017.5).
4. 重村力, 内田青蔵, 山家京子, 曾我部昌史, 中井邦夫 (神奈川大学工学部建築学科/横浜キャンパスマスタープラン推進チーム) 神奈川大学横浜キャンパス29号館 (国際センター) (基本構想・デザイン監修), 第8回横浜・人・まち・デザイン賞 (まちなみ景観部門) 横浜市 (2017.4).
5. 吉岡寛之, 原浩人, 松野由夏, こやまかわせみクリニック, JCD インターナショナルデザインアワード2017, BEST 100, 日本商環境協会 (2017.7).

学位

1. 王嬌, Proposition and Application of a Simple Third-moment Reliability Index, 博士 (工学), 神奈川大学 (2017.3).
2. 三澤温, 統合ファサードにおける意匠展開, 室内光・温熱環境, 火災安全に関する研究, 博士 (工学), 神奈川大学 (2017.3).

その他

1. 内田青蔵, 百年名家, BS 朝日 (2016.11.13).
2. 内田青蔵, 百年名家, BS 朝日 (2016.11.20).
3. 内田青蔵, 百年名家, BS 朝日 (2017.9.24).
4. 内田青蔵, 週刊新潮, 住まいの建築史1-10 (2017.7.20-9.28).
5. 内田青蔵, 週間読書人, 「建築人類学」書評 (2017.3.31).
6. 吉岡寛之, 木平岳彦, 愛媛新聞「今治北高大三島分校「島デザイン部」」 (2017.1.10).
7. 曾我部昌史, 吉岡寛之, 愛媛新聞「今治の小規模作業所」 (2017.5.29).

数学教室

研究論文 I (レフェリー付き論文)

1. T. Suzuki, Scattering theory for Hartree equations with inverse-square potentials, *Applicable Analysis*, 96 (12), 2032-2043 (2017).
2. T. Suzuki, Virial identities for nonlinear Schrödinger equations with a critical coefficient inverse-square potential, *Differential Equations and Applications*, 9 (3), 327-352 (2017).
3. M.H. Farshbaf-Shaker and N. Yamazaki, Optimal control of doubly nonlinear evolution equations governed by subdifferentials without uniqueness of solutions, pp.261-271, IFIP Conference on System Modeling and Optimization CSMO 2015: System Modeling and Optimization, Springer (2017).
4. M.H. Farshbaf-Shaker, T. Fukao and N. Yamazaki, Lagrange multiplier and singular limit of double-obstacle problems for the Allen-Cahn equation with constraint, *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 40, 5-21 (2017).
5. T. Suzuki, K. Takasao and N. Yamazaki, New approximate method for the Allen-Cahn equation with double-obstacle constraint and stability criteria for numerical simulations, *AIMS Mathematics*, 1, 288-317 (2016).
6. K. Shirakawa and N. Yamazaki, Convergence of numerical algorithm for approximating optimal control problems of phase field system with singular diffusivity, *Advances in Mathematical Sciences and Applications*, 25, 243-272 (2016).

口頭発表

1. 越野克久, Hyperspaces homeomorphic to Hilbert spaces, 日本数学会秋季総合分科会, (山形大学, 2017, 9).
2. 鈴木敏行, Construction of wave operators for generalized Hartree equations via the energy methods, 第42回発展方程式研究会, (日本女子大学, 2016.12).
3. 鈴木敏行, Construction of wave operators for nonlinear Schrödinger equations of L²-super-critical cases with inverse-square potentials, 日本数学会2017年度年会, (首都大学東京, 2017.3).
4. 山崎教昭, New class of doubly nonlinear evolution equations governed by double time-dependent subdifferentials, 日本数学会2017年度秋季総合分科会, (山形大学, 2017.9).

学術誌

1. 嶺幸太郎, 無限次元多様体の位相構造, 神奈川大学工学研究所所報, 39, 61-68 (2016).

調査報告書

1. 嶺幸太郎, Coarse 幾何学におけるコンパクト化とその境界の位相構造, 科学研究費助成事業研究成果報告書, 若手研究(B), 課題番号25800035 (2017).

講演・展示会

1. 嶺幸太郎, コンパクト化の近似定理, 玉原トポロジー・幾何セミナー (群馬, 2017.8).
2. Y. Shibata and M. Murata, Navier-Stokes-Korteweg system in RN, 若手による流体力学の基礎方程式研究集会 (名古屋, 2017.1).
3. Y. Shibata and M. Murata, The global well-posedness for the compressible fluid model of Korteweg type, *Mathflows 2017* (ポーランド, 2017.1).
4. Y. Shibata and M. Murata, Navier-Stokes-Korteweg system に対する時間大域解の一意存在性について, 第6-7回明治非線型数理セミナー (東京, 2017.6).
5. Y. Shibata and M. Murata, Decay estimates of solutions for the Navier-Stokes-Korteweg system in RN (リトアニア, 2017.8).
6. 平田康史, 矢島幸信, 順序数の部分空間による積空間の研究, 集合論的・幾何学的トポロジーとその応用・RIMS 研究集会, (京都大学数理解析研究所, 2016.10).
7. 平田康史, 矢島幸信, 可算離散空間の積への C*-₀, C- および P-埋め込み, 集合論的・幾何学的トポロジーの動向と諸分野の連携・RIMS 研究集会, (京都大学数理解析研究所, 2017.6).
8. N. Yamazaki, Doubly Nonlinear quasi-variational Inequalities with time-dependent constraints and nonlocal effects, The 14th International Conference on Free Boundary Problems: Theory and Applications, organized by Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, (中国, 2017.7).
9. N. Yamazaki, Singular optimal control problems for doubly nonlinear evolution equations governed by time-dependent subdifferentials, ワルシャワ大学, ICM, (ワルシャワ, ポーランド, 2017.6).

助成金

1. 越野克久 (代表), 非可分無限次元多様体と写像空間, 冪空間の位相に関する研究, 平成27~28年度科学研究費補助金, 若手研究(B), 課題番号15K17530.
2. 嶺幸太郎 (代表), Coarse 幾何学におけるコンパクト化とその境界の位相構造, 平成28年度科学研究費補助金, 若手研究(B), 課題番号25800035.
3. 村田美帆 (代表), 血流の解析を目標とした圧縮性粘性流体方程式の適切性, 平成29年度科学研究費補助金, 若手研究(B), 課題番号17K14225.
4. 村田美帆 (代表), 圧縮性粘性流体方程式を用いた血流の数学解析, 住友財団2016年度基礎科学研究助成, 助成番号161144.
5. 矢島幸信, 神奈川からはじめる『数学嫌い』を変える教育アニメーションの開発, 平成29年度大学発・政策提案制度, 神奈川県と神奈川大学.
6. 矢島幸信, 授業における教育用アニメーションの開発, 平成29年度教育改革推進事業, 神奈川大学.
7. 矢島幸信, 単調正規空間と D-空間の問題に関する定常集合による集合論的考察, 平成29年度日本学術振興会科学研究費補助金, 基盤研究(C).
8. 山崎教昭, 結晶粒界運動に関連する自由境界問題の数学解析と発展, 平成29年度日本学術振興会科学研究費補助金, 基盤研究(C).

海外出張

1. 村田美帆, 研究打ち合わせ及び CIME School “Mathematical Analysis of the Navier-Stokes Equations”への参加, Naples・Cetraro, Italy (2017.9).
2. 村田美帆, 研究打ち合わせ, Pittsburgh, USA (2017.9).

物理学教室

研究論文 I (レフェリー付き論文)

1. R.U. Abbasi, K. Hibino, F. Kakimoto, S. Udo, et al., Search for EeV Protons of Galactic Origin, *Astroparticle Physics*, 86, 21-26 (2017).
2. R.U. Abbasi, K. Hibino, F. Kakimoto, S. Udo, et al., First Upper Limits on the Radar Cross Section of Cosmic-Ray Induced Extensive Air Showers, *Astroparticle Physics*, 87, 1-17 (2017).
3. R.U. Abbasi, K. Hibino, F. Kakimoto, S. Udo, et al., The bursts of high energy events observed by the telescope array surface detector, *Physics Letters A* 381, 2565-2572 (2017).
4. D. Hayashi, Y. Nakai, H. Kyakuno, T. Yamamoto, Y. Miyata, K. Yanagi and Y. Maniwa. Improvement of thermoelectric performance of single-wall carbon nanotubes by heavy doping: Effect of one-dimensional band multiplicity, *Appl. Phys. Express* 9, 125103 (2016).
5. Y. Asaoka, Y. Akaike, Y. Komiyama, R. Miyata, S. Torii, O. Adriani, K. Asano, M.G. Bagliesi, G. Bigongiari, W.R. Binns, S. Bonechi, O. M. Bongio, P. Brogi, J.H. Buckley, N. Cannady, G. Castellini, C. Checchia, M.L. Cherry, G. Collazuol, V. Di Felice, K. Ebisawa, H. Fuke, T.G. Guzik, T. Hams, M. Hareyama, N. Hasebe, K. Hibino, M. Ichimura, K. Ioka, W. Ishizaki, M.H. Israel, A. Javaid, K. Kasahara, J. Kataoka, R. Kataoka, Y. Katayose, C. Kato, N. Kawanaka, Y. Kawakubo, H. Kitamura, H.S. Krawczynski, J.F. Krizmanic, S. Kuramata, T. Lomtadze, P. Maestro, P.S. Marrocchesi, A.M. Messineo, J.W. Mitchell, S. Miyake, K. Mizutani, A.A. Moiseev, K. Mori, M. Mori, N. Mori, H.M. Motz, K. Munakata, H. Murakami, Y.E. Nakagawa, S. Nakahira, J. Nishimura, S. Okuno, J.F. Ormes, S. Ozawa, L. Pacini, F. Palma, P. Papini, A.V. Penacchioni, B.F. Rauch, S. Ricciarini, K. Sakai, T. Sakamoto, M. Sasaki, Y. Shimizu, A. Shiomi, R. Sparvoli, P. Spillantini, F. Stolzi, I. Takahashi, M. Takayanagi, M. Takita, T. Tamura, N. Tateyama, T. Terasawa, H. Tomida, Y. Tsunesada, Y. Uchihori, S. Ueno, E. Vannuccini, J.P. Wefel, K. Yamaoka, S. Yanagita, A. Yoshida, K. Yoshida and T. Yuda, Energy calibration of CALET on-board the International Space Station, *Astroparticle Physics*, 91, 1-10 (2017).
6. M. Amenomori et al., Northern Sky Galactic Cosmic Ray Anisotropy between 10 and 1000 TeV with the Tibet Air Shower Array, *The Astrophysical Journal*, 836: 153 (7) (2017).
7. N. Serita, Y. Nakai, K. Matsuda, K. Yanagi, Y. Miyata, T. Saito, and Y. Maniwa, Intertube effects on one-dimensional correlated state of metallic single-wall carbon nanotubes probed by ^{13}C NMR, *Phys. Rev. B* 95, 035128-1-5 (2017).
8. D. Yamauchi, K. Ichiki, K. Kohri, T. Namikawa, Y. Oyama, T. Sekiguchi, H. Shimabukuro, K. Takahashi, T. Takahashi, S. Yokoyama and K. Yoshikawa, Cosmology with the Square Kilometre Array by SKA-Japan, *Publ. Astron. Soc. Jpn.* 68, 6 (2016).
9. D. Yamauchi, S. Yokoyama and K. Takahashi, Multitracer technique for galaxy bispectrum-An application to constraints on non-local primordial non-Gaussianities-, *Phys. Rev. D* 95, 063530 (2017).

研究論文 II (レフェリー付き Proceedings)

1. Y. Usami and R. Kinugasa, A Possibility of Fast Running of *TYRANNOSAURUS*, *Proc. Intern. Conf. Appl. Mech. Automation (DEStech Pub., 2017.6)* 187-196.
2. D. Yamauchi, K. Ichiki, K. Kohri, T. Namikawa, Y. Oyama, T. Sekiguchi, H. Shimabukuro, K. Takahashi, T. Takahashi, S. Yokoyama and K. Yoshikawa, Cosmology with the Square Kilometre Array by SKA-Japan, *Proceeding of Science DSU2015* (2016) 004.

口頭発表

1. 相澤啓仁, ハニカム格子ハバード模型におけるキャリアドーピングが引き起こす磁性と超伝導の二体自己無撞着法による解析, 京都大学基礎物理学研

究所研究会「超伝導研究の最先端: 多自由度, 非平衡, 電子相関, トポロジジー」, 6, (京都, 2016.10).

2. 相澤啓仁, ハニカム格子ハバード模型における磁気相図と超伝導に関する二体自己無撞着法による解析, 日本物理学会第72回年次大会, 20aL22-6, (大阪, 2017.3).
3. 相澤啓仁, 是常隆, 黒木和彦, 妹尾仁嗣, 有機導体 λ -(BETS) $_2$ GaCl $_4$ のスピンドラッグ媒介による超伝導ギャップの異方性, 日本物理学会2017年秋季大会, 22pC20-1, (岩手, 2017.9).
4. 有働慈治, 垣本史雄, 日比野欣也他, TA 実験289: TA 実験観測結果, 日本物理学会第72回年次大会, 17aK21-1, (大阪大学, 2017.3).
5. 富田孝幸, 有働慈治, 垣本史雄, 日比野欣也他, TA 実験290: TA 実験における大気蛍光望遠鏡の較正, 日本物理学会第72回年次大会, 17aK21-2, (大阪大学, 2017.3).
6. 木戸英治, 有働慈治他, TA 実験293: TA \times 4実験全体報告, 日本物理学会第72回年次大会, 17aK21-5, (大阪大学, 2017.3).
7. 佐原涼介, 有働慈治他, TA 実験294: TALE 実験全体報告, 日本物理学会第72回年次大会, 17aK21-6, (大阪大学, 2017.3).
8. 榊直人, 有働慈治他, TA 実験295: TA \times 4, TALE 実験用 SD エレクトロニクス試験結果, 日本物理学会第72回年次大会, 17aK21-7, (大阪大学, 2017.3).
9. S.Udo, et. al., The Telescope Array Low-energy Extension, 35th International Cosmic Ray Conference, CRI069, (Korea, 2017.7).
10. 川田和正, 有働慈治, 垣本史雄, 日比野欣也他, TA 実験297: 地表検出器アレイによる TA ホットスポットの最新結果, 日本物理学会2017年秋季大会, 12aU31-1, (宇都宮大学, 2017.9).
11. 池田大輔, 有働慈治, 垣本史雄, 日比野欣也他, TA 実験300: 大気蛍光望遠鏡全体報告, 日本物理学会2017年秋季大会, 12aU31-4, (宇都宮大学, 2017.9).
12. 木戸英治, 有働慈治他, TA 実験303: TA \times 4実験全体報告2, 日本物理学会2017年秋季大会, 12aU31-8, (宇都宮大学, 2017.9).
13. 荻尾彰一, 有働慈治他, TA 実験304: TALE 実験全体報告2, 日本物理学会2017年秋季大会, (宇都宮大学, 2017.9).
14. 佐原涼介, 有働慈治他, TA 実験305: TALE 実験, TA \times 4実験用地表検出器アレイのための制御エレクトロニクスとデータ収集システムの開発, 日本物理学会2017年秋季大会, 12aU31-9, (宇都宮大学, 2017.9).
15. 客野遥, 松田和之, 中井祐介, 市村遼太, 齋藤毅, 宮田耕充, 真庭豊, 単層カーボンナノチューブに内包された水のダイナミクスと相転移挙動, 日本物理学会第72回年次大会, 20pB23-5, (大阪大学, 2017.3).
16. 沢辺健太郎, 柳川勇治, 林大介, 中井祐介, 客野遥, 宮田耕充, 齋藤毅, 真庭豊, 配向単層カーボンナノチューブフィルムの熱電物性, 日本物理学会第72回年次大会, 17pC21-2, (大阪大学, 2017.3).
17. 林大介, 柳川勇治, 沢辺健太郎, 中井祐介, 客野遥, 宮田耕充, 山本貴博, 齋藤毅, 真庭豊, 単層カーボンナノチューブ薄膜の熱電物性: 接合界面の効果, 日本物理学会第72回年次大会, 17pC21-1, (大阪大学, 2017.3).
18. M. Sasaki, Aging Phenomena of Response to an External Field in the Biroli-Mezard Lattice Glass Model, *International workshop on Glasses and Related Non-equilibrium Systems*, (Osaka, 2017.3).
19. 佐々木志剛, 外場を導入した Biroli-Mezard 格子ガラスモデルの熱平衡状態, 日本物理学会2017年秋季大会, 21pJ17-7, (盛岡, 2017.9).
20. 福家英之, 浅尾義士, 井上剛良, 井上拓哉, 大塚壮平, 岡崎峻, 小川博之, 加藤千尋, 河内明子, 小池貴久, 小財正義, 郷田晃央, 崎本一博, 清水雄輝, 高橋克征, 高橋俊, 大丸拓郎, 永井大樹, 橋本岳, 養島温志, 宗像一起, 山田昇, 吉住雄大, 吉田篤正, 吉田哲也, 渡邊翼, 和田拓也, M. Boezio, S. Boggs, P.v. Doetinchem, R. Fabris, C.J. Hailey, R. Ong, K. Perez, 宇宙線反粒子探索計画 GAPS の進捗と展望, 日本物理学会第72回年次大会, 18aK21-6, (大阪大学, 2017.3).
21. 小財正義, 福家英之, 清水雄輝, 宗像一起, 加藤千尋, C. J. Hailey, K. Perez, 宇宙線反粒子探索 GAPS 実験用リチウムドリフト型シリコン検出器の開発, 日本物理学会2017年秋季大会, 12aU31-12, (宇都宮大学,

- 2017.9).
22. 和田拓也, 大塚壮平, 小財正義, 清水雄輝, 橋本岳, 福家英之, 養島志志, 吉田篤正, 吉田哲也, 渡邊翼, 宇宙線反粒子探索 GAPS 実験用 TOF シンチレーションカウンタの開発, 日本物理学会2017年秋季大会, 12aU31-12, (宇都宮大学, 2017.9).
23. 和田拓也, 大塚壮平, 小財正義, 清水雄輝, 橋本岳, 福家英之, 養島志志, 吉田篤正, 吉田哲也, 渡邊翼, GAPS 用 TOF シンチレーションカウンタの開発, 第17回宇宙科学シンポジウム (宇宙航空開発研究機構宇宙科学研究所, 2017.1).
24. 浅岡陽一, 鳥居祥二, 小澤俊介, 山口優幸, 赤池陽水, 清水雄輝, 田村忠久, 中平聡志, 吉田篤正, 坂本貴紀, 川久保雄太, 山岡和貴, 他 CALET チーム, CALET におけるガンマ線観測の初期成果, 日本物理学会第72回年次大会, 18aK21-1, (大阪大学, 2017.3).
25. 伊藤好孝, 上野真奈, 埜隆志, 佐藤健太, 篠田舞子, 周啓東, 牧野友耶, 増田公明, 松原豊, 松林恵理, 村木綏, 毛受弘彰, 吉田健二, 岩田大祈, 笠原克昌, 鈴木拓也, 鳥居祥二, 清水雄輝, 田村忠久, 櫻井信之, O. Adriani, I. E. Berti, L. Bonechi, M. Bongi, I. G. Catellini, R. D'Alessandro, I. M. Haguenaer, P. Papini, S. Ricciarini, A. Tiberio, A. Tricomi, L. W. C. Turner, LHC における宇宙線相互作用検証実験 LHCf 全体報告 (2017年春) および陽子-鉛衝突測定報告, 日本物理学会第72回年次大会, 18aK21-7, (大阪大学, 2017.3).
26. 鳥居祥二, 浅岡陽一, 小澤俊介, 笠原克昌, Holger Motz, 田村忠久, 清水雄輝, 日比野欣也, 奥野祥二, 吉田篤正, 坂本貴紀, 中平聡志, 西村純, 赤池陽水, 山岡和貴, 寺澤敏夫, 浅野勝晃, 森正樹, 吉田健二, 片寄祐作, 市村雅一, 宗像一起, 加藤千尋, 塩見昌司, 柳田昭平, 三宅晶子, 片岡龍峰, 晴山慎, 他 CALET チーム, CALET : 初期2年間の観測成果報告, 13pU31-1, (宇都宮大学, 2017.9).
27. 伊藤好孝, 上野真奈, 大橋健, 埜隆志, 佐藤健太, 篠田舞衣子, 周啓東, 増田公明, 松原豊, 村木綏, 毛受弘彰, 吉田健二, 笠原克昌, 鈴木拓也, 鳥居祥二, 清水雄輝, 田村忠久, 櫻井信之, O. Adriani, I. E. Berti, L. Bonechi, M. Bongi, I. G. Catellini, R. D'Alessandro, I. M. Haguenaer, P. Papini, S. Ricciarini, A. Tiberio, A. Tricomi, L. W. C. Turner, LHC における宇宙線相互作用検証実験 LHCf13TeV 陽子-陽子衝突での超前方中性子測定結果, 13pU31-3, (宇都宮大学, 2017.9).
28. 西野晃徳, 羽田野直道, G. Ordonez, 開放型二重量子ドットの電流期待値: 多電子散乱状態による解析, 日本物理学会第72回年次大会, (大阪大学, 2017.3).
29. 日比野欣也, 乗鞍岳における雷雲に伴う二次宇宙線の研究, 平成28年度東京大学宇宙線研共同利用研究成果発表会, (2016.12).
30. 宗像一起, 日比野欣也, 有働慈治, 他, チベット空気シャワーアレイで観測された太陽の影による太陽磁場構造の研究6, 日本物理学会第72回年次大会, 17pK21-2, (大阪大学, 2017.3).
31. 中村佳昭, 日比野欣也, 有働慈治, 他, チベット空気シャワーアレイで観測された太陽の影による太陽磁場構造の研究7, 日本物理学会第72回年次大会, 17pK21-3, (大阪大学, 2017.3).
32. 川田和正, 日比野欣也, 有働慈治, 他, チベット空気シャワーアレイにおける100TeV 領域ガンマ線のエネルギー決定方法, 日本物理学会第72回年次大会, 18aS11-11, (大阪大学, 2017.3).
33. 片岡厚典, 日比野欣也, 有働慈治, 他, ALPACA 実験4: ALPACA 実験のためのモンテカルロシミュレーション1, 日本物理学会第72回年次大会, 18pK21-6, (大阪大学, 2017.3).
34. 徳永恭助, 日比野欣也, 有働慈治, 他, ALPACA 実験5: フロントエンドエレクトロニクス開発2, 日本物理学会第72回年次大会, 18pK21-7, (大阪大学, 2017.3).
35. 大西宗博, 日比野欣也, 有働慈治, 他, ALPACA 実験2: ALPAQUITA 進捗状況, 日本天文学会2017年秋季年会, V337a, (北海道大学, 2017.9).
36. 堀田直己, 日比野欣也, 有働慈治, 他, ALPACA 実験6: ALPAQUITA 進捗状況, 日本物理学会第72回年次大会, 13aU32-5, (宇都宮大学, 2017.9).
37. 川田和正, 日比野欣也, 有働慈治, 他, チベット空気シャワーアレイで

- 観測された太陽の影による太陽磁場構造の研究8, 日本物理学会第72回年次大会, 14aU31-8, (宇都宮大学, 2017.9).
38. 中村佳昭, 日比野欣也, 有働慈治, 他, チベット空気シャワーアレイで観測された太陽の影による太陽磁場構造の研究, 日本物理学会第72回年次大会, 14aU31-9, (宇都宮大学, 2017.9).
39. 山内大介, 横山修一郎, 高橋慶太郎, Multitracer technique for galaxy bispectrum, 「銀河進化と遠方宇宙2017」研究会 (熊本, 2011.7.1).
40. 山内大介, 平松尚志, D. Steer, Collisions of superconducting strings with Y-junctions, 2017年日本物理学会第72回年次大会, 17aK41-3 (大阪, 2017.3)
41. 山内大介, B. Carter, D. Steer, M. Lilley, 平松尚志, Collisions of superconducting strings with Y-junctions, The 21st annual International Conference on Particle Physics and Cosmology (COSMO-17) (パリ, 2017.8).
42. 山内大介, 大規模電波サーベイによる宇宙論, 日本物理学会2017年秋季大会シンポジウム「低周波電波観測が切り開く宇宙物理学」, 14pU11-5 (宇都宮, 2017.9).

学術誌

1. 垣本史雄, チャカルタヤ山における宇宙線空気シャワー実験, 神奈川大学工学研究所報, 39, 38-52 (2016).
2. 客野遥, 放射光 X線回折によるナノ材料の構造研究, 神奈川大学工学研究所報, 39, 83-90 (2016).

調査報告書

1. 相澤啓仁, 擬一次元有機導体に対する有効モデルの導出と超伝導の解析, 平成28年度笹川科学研究助成完了報告書, 公益財団法人日本科学協会 (2017).
2. 相澤啓仁, 低次元有機導体の超伝導状態とバンド構造の関係, 平成28年度学術研究振興資金 (若手研究者奨励金) 実績報告書, 日本私立学校振興・共済事業団 (2017).
3. 佐々木志剛, 格子ガラスモデルにおける位相空間分割転移, 科学研究費助成事業研究成果報告書, 基盤研究(C), 課題番号25400387 (2017).
4. 田村忠久, 宇宙線観測装置 CALET の地上検証モデルを用いた CERN 加速器での検証実験, 科学研究費助成事業研究成果報告書, 基盤研究(A), 課題番号25257203 (2013-2016).
5. 松田和之, NMR と計算機実験によるカーボンナノ空間における高圧下での水の構造と相転移の研究, 科学研究費助成事業研究成果報告書, 基盤研究(C), 課題番号26400437 (2014-2016).

講演・展示会

1. 宇佐見義之, バーチャル地球史博物館, 神奈川大学付属中学見学会 (神奈川, 2016.11).
2. 垣本史雄, 東工大グループによる共同利用研究, 東京大学宇宙線研究所附属明野観測所設立四十周年記念講演会 (甲府, 2017.9).
3. 西野晃徳, 非対称な相互作用を持つ相互作用共鳴準位模型における電気伝導, 笹本研究室セミナー, 東京工業大学理学院物理学系 (2016.12).
4. 山内大介, Recent developments in open inflations, 立教大学理論物理学研究室セミナー (東京, 2016.12).

助成金

1. 相澤啓仁 (代表), キャリアドープされたハニカム格子ハバード模型の磁性と新奇超伝導, 平成28年度科学研究費補助金, 若手研究(B), 課題番号16K17754.
2. 相澤啓仁 (代表), λ 型有機導体の第一原理計算による一電子有効モデルの導出と超伝導状態の解析, 平成29年度研究助成 (公益財団法人横浜学術教育振興財団).

- 有働慈治 (代表), TA 実験サイトでの新型大気蛍光望遠鏡による極高エネルギー宇宙線観測, 平成29年度東京大学宇宙線研究所共同利用研究.
- 有働慈治 (代表), 大気蛍光望遠鏡による宇宙線観測のためのリアルタイム大気透明度測定法の開発, 平成29年度科学研究費補助金, 基盤研究(C), 課題番号17K05471.
- 客野遥 (代表), 制限空間内の水の研究: 圧力依存性と wet-dry 現象, 平成29年度科学研究費補助金, 若手研究(B), 課題番号15K17738.
- 客野遥 (代表), 佐々木志剛, 微細空間における流体の特異な挙動の解明とそれを利用した新規ナノ流体デバイスの創製, 平成29年度神奈川大学工学研究所共同研究 A.
- 客野遥 (代表), 佐々木志剛, 松田和之, 真庭豊, ナノカーボンの細孔利用による新規ナノ複合体の合成とその構造・電気・磁気物性の解明, 2017年度神奈川大学共同研究奨励助成金.
- 西野晃徳 (代表), 開放量子系における量子干渉と相互作用の協力現象: 多電子散乱状態による解析, 平成26年度科学研究費補助金, 基盤研究(C).
- 日比野欣也, 平成29年度神奈川大学科研費奨励助成金
- 日比野欣也 (代表), 有働慈治, 他, チベット高原における雷雲からの高エネルギー放射線の研究, 平成29年度東京大学宇宙線研究所共同利用研究.
- 日比野欣也, 有働慈治, 他, 乗鞍岳における雷雲に伴う二次宇宙線の研究, 平成29年度東京大学宇宙線研究所共同利用研究.
- 松田和之 (代表), カーボンナノチューブ内部微小誘電体の研究, 村田製作所学術振興財団助成金.
- 松田和之 (代表), 平成29年度科研費申請奨励研究費.

海外出張

- 相澤啓仁, 28th international conference on Low Temperature Physics (LT28), Gothenburg, Sweden (2017.8).
- 有働慈治, 宇宙線観測実験, State of Utah, USA (2017.2-3).
- 有働慈治, 国際会議, 釜山, 韓国 (2017.7).
- 客野遥, Liquids 2017, the 10th Liquid Matter Conference, Ljubljana, Slovenia (2017.7).
- 清水雄輝, 宇宙線反粒子測定実験 (GAPS) 研究打ち合わせ, State of California, USA (2017.3)
- 田村忠久, 研究打合せ CALET-TIM, State of Louisiana, USA (2016.2-3).
- 日比野欣也, 35th International Cosmic Ray Conference, Busan, KOREA (2017.7.14-19).
- 山内大介, The 21st annual International Conference on Particle Physics and Cosmology (COSMO-17), Paris, France (2017.8-9).

化学教室

研究論文 I (レフェリー付き論文)

- K. Tsuchiya, Y. Ishida, A. Kameyama, Synthesis of diblock copolymers consistent of POSS-containing random methacrylate copolymers and polystyrene and their cross-linked microphase-separated structure via fluoride ion-mediated cage scrambling, *Polymer Chemistry*, 8, 2516-2527 (2017).
- K. Komori-Orisaku, Y. Hirose and I. Iwakura, Pulsed Nd: YAG Laser-induced Photoreaction of cis, cis-1, 3-Cyclooctadiene at 266 nm: Selective Cyclization to cis-Bicyclo [4.2.0] oct-7-ene, *Photochemical & Photobiological Sciences*, 16, 146-150 (2017).
- S. Hashimoto, A. Yabushita and I. Iwakura, Transient process spectroscopy for the direct observation of inter-molecular photo-dissociation, *Structural Dynamics*, 4, 054901 (2017).
- S. Hashimoto, A. Yabushita and I. Iwakura, Real-time observation of interfragment vibration and charge transfer within the TCNQ₂ dimer, *Chemical Physics*, 493, 56-60 (2017).

口頭発表

- 岡田龍美, 石田良仁, 亀山敦, 側鎖にフェニル置換かご型シルセスキオキサンを有する種々のランダム共重合体のかご組換え反応によるゲル化, 第66回高分子学会年次大会, 3Pb024, (千葉, 2017.5).
- S. Hashimoto, A. Yabushita and I. Iwakura, Intermolecular disproportionation between two radical anions visualized by real-time transition state spectroscopy, *Stereodynamics* 2016, P2, (台北, 2016.11).
- 橋本征奈, 藪下篤史, 岡村幸太郎, 岩倉いずみ, 可視-5-fs パルス光を用いる遷移状態分光法~Na₂[TCNQ]₂の光反応機構解析~, 第6回 CSJ 化学フェスタ, P9-011, (東京, 2016.11)
- 小林琢真, 織作恵子, 岩倉いずみ, ピラジン誘導体を配位子とする希土類錯体の発光特性, 第72回有機合成化学協会関東支部シンポジウム, C09, (新潟, 2016.11).
- 橋本征奈, 藪下篤史, 岩倉いずみ, ジアニオン生成過程に対する電子吸引基の効果, 第72回有機合成化学協会関東支部シンポジウム, C10, (新潟, 2016.11).
- 木村健太, 橋本征奈, 織作恵子, 赤井昭二, 岩倉いずみ, 極限的超短パルスレーザー光を利用する糖の結晶化, 第72回有機合成化学協会関東支部シンポジウム, C12, (新潟, 2016.11).
- S. Hashimoto, A. Yabushita and I. Iwakura, EFFECT OF THE ELECTRON WITHDRAWING GROUP ON THE TRANSITION STATE IN DIANION FORMATION, The 9th Asian Photochemistry Conference (APC 2016), 1P-15, (シンガポール, 2016.12).
- 橋本征奈, 藪下篤史, 岩倉いずみ, 遷移状態分光法による分子間不均化反応過程の可視化と置換基効果の解析, 日本化学会第97春季年会, 1B3-49, (横浜, 2017.3).
- 岩倉いずみ, 廣瀬悠衣, 織作恵子, パルスレーザー光による cis, cis-1, 3-Cyclooctadiene の選択的光環化反応, 日本化学会第97春季年会, 1B3-51, (横浜, 2017.3).
- 織作恵子, 児玉拓哉, 岩倉いずみ, 発光性化合物によるランタニドイオンの励起と光学特性, 日本化学会第97春季年会, 3PA-014, (横浜, 2017.3).
- I. Iwakura, A. Yabushita and T. Kobayashi, Real-time vibrational spectroscopy during the thermal reaction using visible-5-fs laser pulses, The 13th Femtochemistry Conference, Poster number 14, (メキシコ, 2017.8).
- S. Hashimoto, A. Yabushita, T. Kobayashi, and I. Iwakura, Photo-reaction in bimolecule aggregate visualized by real-time transition state spectroscopy, The 13th Femtochemistry Conference, Poster number 47, (メキシコ, 2017.8).
- 岩倉いずみ, 織作恵子, 木村健太, 橋本征奈, 赤井昭二, コヒーレント分子振動励起を利用する糖の結晶化, 2017年光化学討論会, 1A09, (仙台, 2017.9).
- 橋本征奈, 藪下篤史, 岡村幸太郎, 岩倉いずみ, 光反応の時間分解分光に適した近紫外-紫色波長可変・極限的超短パルス光発生, 2017年光化学討論会, 1P-67, (仙台, 2017.9).

講演・展示会

- 岩倉いずみ, フェムト超高速ストロボを利用する化学反応の可視化, 神奈川大学宮陵会北陸ブロック会議記念講演会 (富山, 2016.10, 依頼講演).
- 岩倉いずみ, 遷移状態分光法による化学反応の可視化, 資生堂女性研究者サイエンスグラント式典2017 (新橋, 2017.7, 依頼講演).
- 岩倉いずみ, 反応に伴い化学結合が解離・生成する様子をみたいと思いませんか?, 女性技術者科学者国際会議 (GWST) (横浜, 2017.7, 依頼講演).
- 岩倉いずみ, コヒーレント分子振動励起反応の開発~熱反応遷移状態の可視化と糖の結晶化~, 化学最前線2017 (平塚, 2017.9, 依頼講演)

助成金

1. 亀山敦 (代表), 新奇な光転位反応を基盤とした屈折率変化高分子の創製, 平成29年度科学研究費補助金, 基盤研究(C), 課題番号17K05889.
2. 亀山敦 (分担), 高度に秩序化された無機ナノ構造体と精密構造有機高分子との融合による高機能性材料の創製, 平成29年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業, (研究代表者: 横澤勉)
3. 岩倉いずみ (代表), レーザー分光による脱保護反応過程の機構解析～レーザー光を利用した選択的な励起による新規保護基の開発研究～, 神奈川大学共同研究奨励助成金.
4. 岩倉いずみ (代表), アミノ酸誘導体による希土類錯体の合成: 同時多色発光材料の設計, キヤノン財団第6回キヤノン財団研究助成プログラム「産業基盤の創生」.
5. 岩倉いずみ (代表), 光反応遷移状態の可視化に基づく反応機構解析, 東京応化科学技術振興財団第30回「研究費の助成」.
6. 橋本征奈 (代表), 円偏光5-fs パルスレーザー発生装置の構築と不斉合成反応への応用, 2016年度神奈川大学大学院生研究助成.
7. 岩倉いずみ (代表), 超高速分光による分子間光反応過程の直接観測と機構解明, 東レ科学振興会第57回東レ科学技術研究助成金.
8. 岩倉いずみ (代表), 超短パルスレーザー光を利用する選択的な反応の開発, 公益財団法人高橋産業経済研究財団研究助成.
9. 岩倉いずみ (代表), パルスレーザー分光による反応機構解析と合成反応への応用, 神奈川大学共同研究奨励助成金.
10. 橋本征奈 (代表), 紫外-極限的超短パルスレーザー光発生装置の構築と分子間光反応過程の直接計測への応用, 平成29年度笹川科学研究助成.
11. 橋本征奈 (代表), 円偏光5-fs パルスレーザー発生装置の構築と不斉合

成反応への応用, 2017年度神奈川大学大学院生研究助成.

褒賞

1. 橋本征奈, 可視-5-fs パルス光を用いる遷移状態分光法～ $\text{Na}_2[\text{TCNQ}]_2$ の光反応機構解析～, 第6回 CSJ 化学フェスタ優秀ポスター発表賞, 日本化学会 (2016.12).
2. 岩倉いずみ, コヒーレント分子振動励起反応の開発と遷移状態分光の研究, 平成29年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞, 文部科学省 (2017.4).

生物学教室

口頭発表

1. 朝倉史明, 長谷川聖, 菊地理絵, 近藤勝彦, 河合義隆, シーベリー (*Hippophae rhamnoides* L.) 品種群の遺伝的分化の解析, 園芸学会平成29年度秋季大会, 園芸学研究16 (別2), p.129 (酪農学園大学, 2017.9).

助成金

1. 中川理絵, オーキシシン生合成阻害剤を用いた植物のオーキシシン生理作用の解析と高活性阻害剤の探索, 神奈川大学共同研究奨励助成金 (2016.4-2019.3).

【2】講演会開催記録

(2016年10月1日より2017年9月30日までの講演会について記す)

学科・教室開催講演会

機械工学科

演題：エレベーター世界最高速への挑戦

講師：藤田 善昭（東芝エレベーター株式会社 執行役員常務 統括技師長）

日時：2016年11月22日（火）16：20～17：50

場所：神奈川大学横浜キャンパス23号館301室

講演要旨：

東芝エレベーターは2004年12月、世界で初めて分速1kmを超える超高速エレベーターを開発し、台北101に納入した。安全性はもちろんエレベーターに世界で初めてアクティブ制振技術や気圧制御システムを採用した。そのプロジェクトや技術開発を紹介するとともに、その後の世界最高速をめぐる各社の争いを紹介した。

演題：Design of machine tool spindle with adjustable hydrostatic bearings

講師：Dmytro Fedorynenko 氏（Chemihv National University of Technology, Professor）

日時：2017年1月12日（木）16：20～17：50

場所：神奈川大学横浜キャンパス23号館306室

講演要旨：

本講演では、精密工作機械の中核要素ともいえる静圧スピンドルの特徴や基本構造などが紹介された。まず、一般的な静圧スピンドルの回転精度の解析結果が示された。次に、調整機能を有する静圧スピンドルに対して、確率的な手法を利用して行われた回転精度の解析手法が紹介された。本手法は、静圧スピンドルの設計、解析ならびに最適化に CAD/CAE システムなどを利用するものであり、静圧スピンドルの軸受面で発生しうる形状誤差を考慮した、静圧スピンドルの性能評価手法が示された。さらに、静圧スピンドルで形成される油膜の制御手法が紹介された。

電気電子情報工学科

演題：なぜ青色発光ダイオードはノーベル物理学賞受賞に至ったか

講師：井村 将隆（国立研究開発法人物質・材料研究機構ワイドバンドギャップ材料グループ 主任研究員）

日時：2016年10月18日（火）14：40～16：10

場所：神奈川大学横浜キャンパス23号館23-301室

講演要旨：

2014年ノーベル物理学賞で脚光を浴びた青色発光ダイオード。本講義では、青色発光ダイオードに用いられている III 族窒化物半導体をテーマに、その開発の歴史と近年の研究状況について概説した。また、III 族窒化物半導体を用いた光・電子デバイスを例に取り、特異な発光のメカニズムや電子の高速輸送メカニズムについて説明した。

演題：メディアの第3革命—テレビジョンの歴史とテクノロジー—

講師：桜井 優（神奈川大学大学院工学研究所客員教授）

日時：2016年11月5日（土）13：30～15：00

場所：神奈川大学 KU ポートスクエア

講演要旨：

「テレビ」は新聞・ラジオに続く第3のメディア革命であった。先人たちが実現しようとしてきたリアルな映像を遠隔地へ伝達する技術について、その原理・歴史を追いながら、他分野への技術波及効果とこれからのテレビの方向性について紹介した。

演題：「ムーア」を超えよ！一次世代情報材料を如何に産み出すか

講師：知京豊裕（国立研究開発法人物質・材料研究機構半導体デバイス材料グループグループリーダー）

日時：2016年11月5日（土）15：20～16：50

場所：神奈川大学 KU ポートスクエア

講演要旨：

現在市販の携帯端末に搭載されている集積回路は、いまや、アポロの月着陸計画で使われた大型計算機をはるかに凌駕する能力を持っている。しかし、その進化はもはや物理法則での限界点に近づいている。いかにして次世代の情報材料を開発するのか—その最新技術について解説した。

演題：天から降り注ぐクリーンエネルギー——太陽光発電の最前線

講師：磯村 雅夫（東海大学工学部電気電子工学科教授）

日時：2016年11月19日（土）13：30～15：00

場所：神奈川大学 KU ポートスクエア

講演要旨：

日本の総発電量における再生可能エネルギーの割合は、年平均10%（原発9基分）を超えるようになり、太陽光発電量はそのうちの2割を占めるようになるまで成長した。現在も年17%もの導入増加率を示す太陽光発電について、その仕組み・製造技術・設置の実際などを紹介した。

演題：スマートエネルギーとスマートグリッド—「スマート」社会とは

講師：佐々木 三郎（東京都市大学工学部電気電子工学科教授）

日時：2016年11月19日（土）15：20～16：50

場所：神奈川大学 KU ポートスクエア

講演要旨：

最近、「スマートフォン」などのように「スマート○○」という言葉をよく耳にする。そして現在、情報通信技術によって省エネや電力供給の安定化を行う「スマート社会」が始まりつつある。「情報」と「エネルギー」が不可分となる、新しい時代の幕開けを担う技術について概説した。

演題：太陽電池技術の現状とこれから

講師：齋 均（国立研究開発法人産業技術総合研究所太陽光発電研究センター主任研究員）

日時：2016年11月29日（火）14：40～16：10

場所：神奈川大学横浜キャンパス23号館23-301室

講演要旨：

本講義では、再生可能エネルギー源の一翼として期待されている太陽電池をテーマに、その発展の歴史や種類、最近の導入状況について概説した。また、結晶シリコン太陽電池を例にとり、その発電の仕組みや構造、今後の実用化が期待される高性能化技術や低コスト化技術について紹介した。

演題：資源エネルギー確保と再生可能エネルギーの今後

講師：酒井 宗寿

日時：2017年9月19日（火）14：40～16：10

場所：神奈川大学横浜キャンパス23号館23-301室

講演要旨：

今日の我々の生活においては、エネルギーの消費は欠かせない。一方、化石エネルギーの枯渇や環境問題への対策のために、新エネルギー源の研究開発が盛んにおこなわれている。その将来可能性の判断基準は、通常の商取引における「コストが回収できるか？」に加え、「得るためのエネルギーよりも、得ることができたエネルギーが大きいか？」という視点が重要であることを、燃料電池車と電気自動車の事例を用い、比較検討しながら紹介した。

物質生命化学科

演題：～私の研究履歴書 vol.1～「技術と共に会社を変えて、最後にリチウムイオンキャパシター実用化！！」

講師：安東 信雄 (JSR 株式会社機能高分子研究所)

日時：2017年1月20日 (金) 16:45～18:15

場所：23号館526号室

講演要旨：

安東氏は、現在、電池自動車の補助電源などに普及しつつあるリチウムイオンキャパシターの開発者である。リチウムイオンキャパシターの研究の黎明期から、その研究技術が他の会社を買収されることを繰り返されながら、その都度、技術と一緒に会社を移動し、苦労を重ねてリチウムイオンキャパシターの実用化まで技術を完成させた。講演では、リチウムイオンキャパシターの作動原理・性能、最新の研究結果と開発秘話をお話いただいた。また、これまでのキャリアアップの経験談、後輩研究者へのアドバイスなどについてもご講演頂いた。特に「坂の上の雲」を目指す学部・大学院生・若手研究者に聴講を促した。

演題：～私の研究履歴書 vol.2～「奈良大仏はなぜ若々しいのか？」

講師：笠井 俊夫 (国立台湾大学 客座教授 大阪大学名誉教授)

日時：2017年6月29日 (木) 16:30～18:15

場所：23号館208号室

講演要旨：

演者は、化学反応の立体効果や化学反応論を専門としており、長年、化学物質の吸着と反応の立体効果、エネルギー移動反応の立体ダイナミクスなどにおいて、多くの研究業績を挙げてきた。私たちの身近なところでは、研究対象を奈良の大仏とし、「奈良大仏はなぜ若々しいのか？」に関する科学的な観点からの材料分析などの研究も精力的に行っている。本講演では、これまでのご研究内容をご紹介いただき、さらに、これまでのキャリアアップの経験談、後輩研究者へのアドバイスなどについても講演頂いた。

演題：複合アニオン化合物の科学

講師：陰山 洋 (京都大学大学院工学研究科 教授)

日時：2016年10月18日 (火) 16:20～17:20

場所：神奈川大学 横浜キャンパス23号館305号室

講演要旨：

近年、物質中に酸素 (O^{2-})・窒素 (N^{3-})・水素 (H^{-}) などのアニオンが複数含まれる「複合アニオン化合物」が合成され、それらの示す新しい機能が注目を集めている。陰山先生は「複合アニオン化合物」についての研究を精力的に行っており、当年9月に開始された科研費・新学術領域研究「複合アニオン化合物の創製と新機能」の領域代表として当研究分野を先導している。本講演では、複合アニオン化合物における「合成」「解析」「機能」についての最先端研究を紹介して頂いた。

〈戦略的研究基盤形成支援事業主催〉

演題：Metal-Free Ring-Opening Metathesis Polymerization

講師：Prof. Andrew J. Boydston (Department of Chemistry, University of Washington)

日時：2017年6月1日 (木) 16:30～18:00

場所：神奈川大学 横浜キャンパス23号館303号室

講演要旨：

Our research team has discovered a method for conducting ring-opening metathesis polymerization without using transition metal catalysts or initiators. The approach makes use of reversible redox activation of vinyl ether initiators, which can be governed through the application of photoredox catalysts. The mechanism, molecular weight control, substrate scope, and applications of this polymerization strategy will be discussed.

〈戦略的研究基盤形成支援事業主催〉

演題：Functional dendrimer-hybrid polymer systems

講師：Prof. Rigoberto C. Advincula (Case Western Reserve University, Dept. of Macromolecular Sci. & Eng.)

日時：2017年8月3日 (木) 16:30～18:00

場所：神奈川大学 横浜キャンパス23号館311号室

講演要旨：

The preparation of new polymers and nanomaterials require hierarchical levels of ordering and structuring: from molecular to macroscopic. Dendrimers and other hyperbranched polymer systems are of interest for their functionality in catalysis, drug delivery, reactivity, etc. Of high interest are dendrimer functionality in electro-optical applications and nanopatterning. This includes dendrimers capable of hierarchical ordering and self-assembly. We highlight the convergent synthesis of a variety of polymer-hybrid dendrimers and their electropolymerizability. The synthesis of precise dendrons are modular building blocks for functional dendrimers. Our group has reported a number of these hybrid systems and have reported the step-by-step routes towards structure-property relationships. What is also important is the use of surface sensitive spectroscopic and microscopic analytical tools applied rationally to highlight evidence of order and function.

建築学科

演題：建築を、ひらく

講師：西田 司 (オンデザインパートナーズ)

日時：2016年10月3日 (月) 16:20～17:50

場所：神奈川大学横浜キャンパス16号館セレストホール

講演要旨：

建築のデザインは、建築家の考えだけではなく、依頼主の個性や敷地の条件、周辺の環境、運営方法や使われ方など、様々な側面からの検討を経ることで、人々やコミュニティ、社会へと開かれたものになりえる。本講演では、講演者がこれまでに手掛けてきたプロジェクトを通して、そうした新しい建築の在り方を目指したデザインのプロセスとその成果について、明快かつ具体的に紹介した。

演題：「建築構造と安全・安心について」

講師：井戸田 秀樹 (名古屋工業大学教授)

日時：2016年11月7日 (月) 16:20～17:50

場所：神奈川大学横浜キャンパス3号館3-305室

講演要旨：

建築構造学は、様々な外力から人命や財産を守るための正しい性能を建築物に与えるための学問である。しかしながら、従来の構造力学のみに頼ってはいかに安全で安心な構造物を建築することはできない。本講演では、古い木造住宅の耐震改修と梁の横座屈に関する研究内容と関連する事例紹介を通して、建築物の安全と安心に関する考え方について紹介した。

演題：2050年建築のカタチとシゴトを考える

講師：前 真之 (東京大学大学院工学系研究科准教授)

日時：2016年12月5日 (月) 16:20～17:50

場所：神奈川大学横浜キャンパス16号館セレストホール

講演要旨：

昨年12月のパリ合意を経て、地球温暖化緩和を目指したCO₂削減が、世界中で本格的に動き出した。日本では、2030年までに建築から排出されるCO₂を40%・2050年までに100%減らすことが計画されている。エネルギーの大量消費を前提とした、現在の建築の形は抜本的な変更を求められている。2016年の今に20代の学生たちは、2050年を軽々こえてバリバリ現役で働き続けることになる。その時の建築のカタチはどうなっているのか、誇りをもって建築のシゴトを続けるにはどうすればよいのか、をテーマにご講演をいただいた。

演題：谷口吉郎・谷口吉生の建築

講師：高宮 眞介（計画・設計工房代表取締役、谷口建築設計研究所取締役）

日時：2017年5月1日（月）16：20～17：50

場所：神奈川大学横浜キャンパス16号館セレストホール

講演要旨：

戦前から戦後にかけて活躍した、当時の日本の代表的な建築家である谷口吉郎と、その息子であり、現代日本の代表的な建築家である谷口吉生といった2人の建築家の代表的な作品群を比較しながら紹介し、両者の共通点や相違点について解説することを通して、日本の近現代建築におけるデザインの特徴や変化について、分かりやすく論じた。

演題：鋼構造建物の耐震・制振技術に関する最近の研究開発

講師：緑川 光正（国立研究開発法人建築研究所理事長、北海道大学名誉教授）

日時：2017年6月5日（月）16：20～17：50

場所：神奈川大学横浜キャンパス16号館セレストホール

講演要旨：

鋼構造建物を対象として、阪神・淡路大震災と東日本大震災における被害を振り返った後、最近の大型振動台による地震応答実験、新たに開発されている接合部・部材・構造システム、制振構造システム・部材などの研究開発事例を紹介した。

演題：地盤調査と構造物基礎のトラブル事例 ―地質リスクの観点から―

講師：木村 茂（㈱東京ソイルリサーチ）

日時：2017年6月26日（月）16：20～17：50

場所：神奈川大学横浜キャンパス3号館305講義室

講演要旨：

災害立国日本は、脆弱な国土で世界の主要都市と比較しても複雑多岐にわたる地盤から構成されている。このような地盤を対象にした基礎構造設計においては高度な技術と経験が必要である。本講演では、地盤の事前調査（机上調査）、地盤調査の計画、地盤調査方法の選択の重要性をトラブル事例をふまえて分かり易く解説した。

演題：建築の音づくり

講師：上野 佳奈子（明治大学理工学部建築学科教授）

日時：2017年7月10日（月）16：20～17：50

場所：神奈川大学横浜キャンパス16号館セレストホール

講演要旨：

建築における音は、人の社会的・文化的生活に欠かせない重要な役割を担っている。図面や写真に表れることはないものの、音環境は体感に大きく寄与しており、設計時には建築物の機能や使われ方に応じた音響性能を確保することが求められる。本講演では、コンサートホールに留まらず、様々な建築物における音環境面の課題や設計事例、改善事例を紹介し、建築の音づくりを考える視点について解説した。

化学教室

演題：タンパク質はなぜ正しくフォールドすることができるのか

講師：岩岡 道夫（東海大学理学部化学科教授）

日時：2016年11月2日（水）15：00～16：30

場所：23号館527教室

講演要旨：

タンパク質の立体構造に関する情報は、そのアミノ酸配列に暗号化されて刻まれている。この暗号を解き明かすことができれば、我々はタンパク質の立体構造、すなわちタンパク質の生化学的機能を自由に分子設計することができるようになる。このような興味から、我々は、タンパク質の立体構造の特徴とフォールディング経路を詳細に研究してきた。本講演では、水溶性セレン化合物を用いたタンパク質フォールディング経路の解析（実験的アプローチ）と、独自に開発を進めている SAAP 力場（単一アミノ酸ポテンシャル力場）を用いた研究（理論的アプローチ）について紹介した。

10. 工学研究所 2016年度（平成28年度）年次報告

10. ANNUAL REPORTS OF RESEARCH INSTITUTE FOR ENGINEERING IN 2016

1. 人事
2. 予算
3. 共同研究/プロジェクト研究
4. 講演会
5. 神大テクノフェスタ2016 「暮らしと環境の未来」
6. 大型装置使用実績

1. Personnel affairs
2. Budget
3. The List of Interdisciplinary Joint Researches and Project Researches
4. Public Lectures
5. Kanagawa University Techno Festa 2016 “The Future of Daily Life and Environment”
6. Total Machine Time of each Large Research Facility

神奈川大学工学研究所

RESEARCH INSTITUTE FOR ENGINEERING, KANAGAWA UNIVERSITY

工学研究所 2016年度（平成28年度）年次報告

1. 人事

1) 運営委員

所長	井川 学	物質生命化学科	教授
自己点検委員会	高野 敦	機械工学科	准教授
講演会企画委員会	松木 伸行	電気電子情報工学科	准教授
講演会企画委員会	本橋 輝樹	物質生命化学科	教授
所報編集委員会	吉田 稔	情報システム創成学科	教授
自己点検委員会	石井 信明	経営工学科	教授
幹事	趙 衍剛	建築学科	教授
所報編集委員会	岩倉 いづみ	教室系（化学教室）	准教授
研究支援委員会（所長氏名）	竹村 兼一	機械工学科	教授
大型装置管理委員会（所長氏名）	松本 太	物質生命化学科	教授

2) 研究所客員教授

伊東 圭昌 (2016.4~2017.3)	田中 俊光 (2016.4~2017.3)
孫 世国 (2016.10~2017.9)	長澤 浩 (2016.4~2017.3)
大坂 武男 (2016.4~2017.3)	山田 保治 (2016.4~2017.3)
花畑 誠 (2016.4~2017.3)	内藤 周弼 (2016.4~2017.3)
大越 昌幸 (2016.10~2017.9)	野尻 秀智 (2016.10~2017.9)
井上 成美 (2016.10~2017.9)	Min Sangkee (2016.10~2017.9)
緑川 光正 (2016.4~2017.3)	金元 敏明 (2016.10~2017.9)
藪下 篤史 (2016.10~2017.9)	小林 孝嘉 (2016.10~2017.9)
穴田 哲夫 (2016.4~2017.3)	桜井 優 (2016.4~2017.3)
武尾 英哉 (2016.4~2017.3)	重村 力 (2016.4~2017.3)
川口 春馬 (2016.10~2017.9)	松井 正之 (2016.10~2017.9)
山田 哲男 (2016.10~2017.9)	

3) 研究所客員研究員

石川 博敏 (2016.4~2017.3)	大和 裕幸 (2016.4~2017.3)
久保 登 (2016.4~2017.3)	龍 重法 (2016.4~2017.3)
石倉 理有 (2016.4~2017.3)	堀野 定雄 (2016.4~2018.3)
徐 剛 (2016.10~2017.9)	蘆 朝輝 (2016.10~2017.9)
周 建東 (2016.10~2017.9)	曾 志平 (2016.10~2017.9)
持田 由幸 (2016.4~2018.3)	鈴木 温 (2016.4~2017.3)
植田 博臣 (2016.10~2018.9)	岩井 和史 (2016.10~2018.9)
中村 先男 (2016.10~2018.9)	大熊 武司 (2016.4~2017.3)
深井 一夫 (2016.4~2017.3)	許 瑞邦 (2016.10~2017.9)
岡村 幸太郎 (2016.10~2017.9)	織 作恵子 (2016.10~2017.9)
友利 貴人 (2016.10~2018.9)	

4) 研究所特別研究員

北島 創 (2016.4~2017.3)	入井 友海太 (2016.10~2017.9)
望月 康正 (2016.10~2018.9)	秋山 昭 (2016.10~2017.9)
安倍 和弥 (2016.4~2018.3)	丸山 美紀 (2016.4~2018.3)
長谷川 明 (2016.4~2018.3)	勝谷 龍一 (2016.4~2017.3)
菊地 通 (2016.10~2017.9)	佐々木 敦朗 (2016.10~2018.9)
竹村 宏史 (2016.10~2018.9)	

5) 研究所職員

教務技術職員	萩原 健司	教務技術職員	金子 信悟
--------	-------	--------	-------

2. 予算

平成28年度の予算・決算額を表-1に示す。

表-1

業 務 項 目	予算額 (千円)		決算額 (千円)
研究所運営費	2,546		2,044
大型共同設備管理運営	4,000		4,434
工学研究所共同研究*	14,000		13,860
(特) テクノフェスタ	2,500		1,327
(特) テクノサークル	2,000		1,149
(特) 工学系紹介冊子作成	1,500		1,456
合 計	26,546		24,270

* 工学研究所共同研究内訳

共同研究代表者	予算額 (千円)
松木 准教授	3,000
赤井 准教授	3,000
客野 助 教	3,000
吉田 助 教	1,500
田邊 助 教	1,500
岩田 教 授	2,000
計	14,000

3. 共同研究/プロジェクト研究

平成28年度の工学研究所共同研究/プロジェクト研究を表-2に示す。

表-2

共同研究

研 究 課 題 名	研 究 代 表 者
無機触媒 / 半導体ハイブリッド型水素・酸素生成太陽光熱電池の創製	松木 伸行/電気電子情報工学
希少糖や核酸誘導体を基盤とする次世代型エビジェネティック医薬の開発	赤井 昭二/物質生命化学
微細空間における流体の特異な挙動の解明とそれを利用した新規ナノ流体デバイスの創製	客野 遥/物理学
ナノ空間制御シリカへのペプチド固定化による高性能不斉触媒の開発	吉田 暁弘/物質生命化学
金属間化合物を活性点とした CO ₂ 還元用助触媒の開発	田邊 豊和/物質生命化学
機能維持性能に優れた座屈拘束ブレース付中高層建築物の研究	岩田 衛/建築学

プロジェクト研究

区分	研 究 課 題 名	研 究 代 表 者
C	地元住民と協力して実施する町づくり研究所の創設と運営	曾我部昌史/建築学
A	高周波回路の解析・設計理論の整備と対応ソフト開発	平岡 隆晴/電気電子情報工学
C	高安心・超安全交通研究所	松浦 春樹/経営工学
A	建造物の耐震安全性及び耐久性の評価方法に関する研究	趙 衍剛/建築学
A	新たな低炭素エネルギー社会に対応した新型電池の開発	松本 太/物質生命化学
A	三次元周波数分析を用いた振動モデル化技術の構築	山崎 徹/機械工学
A	多分岐ポリマー系ナノハイブリッド材料の開発と応用	横澤 勉/物質生命化学
A	高速高精度 DNA 増幅装置の開発	山口 栄雄/電気電子情報工学
A	グリーンイノベーションの基盤となるナノ構造制御触媒の開発研究	引地 史郎/物質生命化学
A	車両等に装備するためのポリカーボネート窓の表面改質に関する研究	新中 新二/電気電子情報工学
A	超精密加工による高品位表面の創成に関する研究	中尾 陽一/機械工学
A	座屈拘束ブレースの風と地震における多段サイクル疲労性能の研究	岩田 衛/建築学
A	建物の熱・換気性能の現場測定法の研究	奥山 博康/建築学
A	潮流発電ユニット開発の最先端技術：相反回転化	中西 裕二/機械工学
A	パルスレーザー光を利用した反応開発および機構解析	岩倉いずみ/化学
A	疎表現理論に基づく知能的視覚情報処理システムに関する研究	齊藤 隆弘/電気電子情報工学
C	ミリ波・テラヘルツ波帯におけるフォトニック結晶構造を応用した電磁波回路の解析と応用に関する研究	中山 明芳/電気電子情報工学
A	新規物質の自己組織化を基盤とした界面制御	亀山 敦/化学
A	毒性金属イオン検出・除去システムの開発研究	小野 晶/物質生命化学
C	企業ロボット開発研究所	石井 信明/経営工学

4. 講演会

「暮らしの中のサイエンス」連続講演会

テーマ：『暮らしと社会が変わる：情報・エネルギー革新の最前線』

場 所：神奈川大学みなとみらいエクステンションセンター

オーガナイザー：松木 伸行（神奈川大学工学部准教授）

●第1回 2016年11月5日（土）13：30～15：00

○メディアの第3革命—テレビジョンの歴史とテクノロジー—

神奈川大学大学院工学研究所 客員教授 桜井 優

●第2回 2016年11月5日（土）15：20～16：50

○「ムーア」を超えよ！一次世代情報材料を如何に産み出すか

（国）物質・材料研究機構半導体デバイス材料グループグループリーダー

早稲田大学大学院ナノ理工学専攻 客員教授

ワシントン大学材料工学科 客員教授 知京 豊裕

●第3回 2016年11月19日（土）13：30～15：00

○天から降り注ぐクリーンエネルギー—太陽光発電の最前線

東海大学工学部電気電子工学科 教授 磯村 雅夫

●第4回 2016年11月19日（土）15：20～16：50

○スマートエネルギーとスマートグリッド—「スマート」社会とは

東京都市大学工学部電気電子工学科 教授 佐々木 三郎

5. 神大テクノフェスタ2016 —くらしと環境の未来—

日時：2016年11月11日（金）12：00—17：30

場所：神奈川大学横浜キャンパス1号館308会議室・2号館地下演習場

実施内容

1) 講演会（1号館308会議室）

工学系講演2件

「振動発電技術を用いた構造物モニタリングシステムの開発」 工学部機械工学科 教授 藤本 滋

「共役系高分子と金属水素化物の複合体による水素吸蔵」 工学部物質生命化学科 助教 吉田 暁弘

2) 研究ポスター発表（2号館地下演習場）

大学院生によるポスター発表・作品展示 27件

学部生によるポスター発表 34件

テクノサークルによるポスター発表・作品展示 6件 総計 67件

3) 実演展示 2件（宇宙エレベーター・フォーミュラマシン）

4) 企業交流会 36社（2号館地下演習場）

5) 研究相談窓口（2号館地下演習場）

6) 技術・情報交換会（3号館305講堂 18：00—19：30）

6. 大型装置使用実績

平成28年度の大型装置装置使用実績を表-3に示す。

表-3

(単位：時間)

研究室名	TEM	SEM	粉末 X 線	薄膜 X 線	XPS	ICP	単結晶 X 線	ZYGO
機械工学科	0	58.5	105	0	0	0	0	105.5
竹村研究室		58.5	16					
寺島研究室			82.5					
中尾研究室			6.5					105.5
電気電子情報工学科	0	228.5	151	0	36	0	0	76
新中研究室					36			
中山研究室								
松木研究室		228.5	151					76
山口研究室								
物質生命化学科	519.5	1031	662.5	347.7	385	1034	619.5	40.5
井川研究室		29				707.5		
池原研究室		47	59.5	185.5				28.5
上田研究室	46.5	224.5			75	33.5		
岡本研究室							28	12
小野研究室						74		
金研究室	97	383.5	44.5		17	62	24	
小出研究室	2	26.5	2					
引地研究室				3	21	50	465	
松本研究室	363	232	556.5	159.2	272	106.5		
本橋研究室	7	77.5					102.5	
横澤研究室	4	11						
化学教室	0	20.5	13	0	0	0	32	0
岩倉研究室							32	
亀山研究室		20.5	13					
三相乳化プロジェクト	4	36.5	9	0	0	0	0	0
合計時間	523.5	1375	940.5	347.7	421	1034	651.5	222
機械工学科 (%)	0.0	4.3	11.2	0.0	0.0	0.0	0.0	47.5
電気電子情報工学科 (%)	0.0	16.6	16.1	0.0	8.6	0.0	0.0	34.2
物質生命化学科 (%)	99.2	75.0	70.4	100.0	91.4	100.0	95.1	18.2
共通教室 (%)	0.0	1.5	1.4	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0
三相乳化 (%)	0.8	2.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

編集後記

この度、「神奈川大学工学研究」の記念すべき「第1号」を刊行することができました。今回の合併事業にあたり、ご協力とご助力をいただきました皆様、原稿をお寄せ頂きました各執筆者の皆様に、心から御礼申し上げます。「第1号」ということで、編集作業も新たな視点に立ち、研究報告書としての原点に立ち返ることを心がけて参りました。今後、この「神奈川大学工学研究」が報告書として対外的にも広く用いられ、一人でも多くの方に本学部の教育・研究活動を顕示する場として続けられますよう、皆様のご支援をよろしくお願いいたします。

(化学教室 岩倉 いずみ)

神奈川大学工学研究 第1号

神奈川大学工学研究 編集委員会

委員長	岩倉いずみ (准教授, 化学教室)	／工学研究所所報編集委員会
副委員長	高野倉雅人 (准教授, 経営工学科)	／工学部広報委員会
委員	小野 晶 (教授, 物質生命化学科)	／工学部広報委員会
五十音順	松木 伸行 (准教授, 電気電子情報工学科)	／工学研究所所報編集委員会
	安田 洋介 (教授, 建築学科)	／工学部広報委員会

TECHNOLOGY REPORTS, KANAGAWA UNIVERSITY (No. 1)

Editorial Board

Chief Editor	Izumi IWAKURA	(Associate Prof., Dept. of Chemistry)
Vice Chief	Masato TAKANOKURA	(Associate Prof., Dept. of Industrial Engineering and Management)
Editors	Akira ONO	(Prof., Dept. of Material and Life Chemistry)
	Nobuyuki MATSUKI	(Associate Prof., Dept. of Electrical, Electronics and Information Engineering)
	Yosuke YASUDA	(Prof., Dept. of Architecture)

神奈川大学工学研究 第1号

2018年3月28日 印刷

2018年3月30日 発行

編集兼発行者 神奈川大学工学研究所
221-8686 横浜市神奈川区六角橋3丁目27番1号

印刷所 昭和情報プロセス株式会社

RESEARCH INSTITUTE FOR ENGINEERING, KANAGAWA UNIVERSITY

3-27-1, Rokkakubashi, Kanagawa-ku, Yokohama 221-8686, Japan

KU