目 次

3. 長期大型プロジェクト研究（【　】内は研究番号）

4. 奨励研究（【　】内は研究番号）

5.　特別研究

研究重点教員研究

動力・エネルギーシステム工学研究

研究代表者　天野　嘉春
（理工学研究所　教授）

1.　研究課題

2014 年度に取り組んだ重点領域研究は，以下の A~C の 3 分野である．

A:エネルギーシステムを対象とするもの

A-1　低温排熱駆動型エネルギーシステムについての研究

A-2　エクセルギー回収型オープンヒートポンプサイクルの研究

A-3　最適化に基づくエネルギーシステムの研究

B:自律移動システムを対象とするもの

B-1　GNSS に関する研究

B-2　災害現場突入撤退判断システムに関する研究

C:その他

C-1　月惑星表面探査用自律移動体の絶対自己位置標定手法の研究

C-2　月惑星探査用能動型分光計の開発

2.　主な研究成果

2.1 （A-1）低温排熱駆動型エネルギーシステムについての研究成果

2.1.1　混合媒体を用いた低温排熱駆動の動力・冷凍（冷房）ハイブリッドサイクルの理論モデルを提示

2014 年度は，前年度に引き続き動力・冷凍（冷房）ハイブリッドサイクルを対象に，混合媒体を用いた場合に適した理論モデルの改善を行った．具体的には，アンモニア・水混合媒体を用いた場合を対象に，MP(Maximum Power)／MIR(Minimum work Input Refrigeration)サイクルを理論参照モデルとして比較することによって，３つのハイブリッドサイクルを取り上げ，これらの駆動熱源に応じた優位性の評価を理論上限となる最大出力への到達度として比較することでエクセルギー的な視点からサイクルを評価した．本研究で対象とする発電冷凍ハイブリッドサイクルは，アンモニア・水混合媒体を作動流体とする吸収式熱サイクルである．サイクルシステムとしてやや複雑な構成の発電・冷凍ハイブリッドサイクル(APC : Absorption combined Power/Cooling cycle)，より単純な構成のハイブリッドサイクル(CPC : Combined Power and Cooling cycle), CPC に熱交換器や加圧ポンプを追加した構成のハイブリッドサイクル(PRPC : Parallel Refrigeration/Power Combined cycle)の 3 種類を対象とした．それぞれのフローを図 1~ 3 に示す．

温度 200~300[°C], 単位質量流量 1[kg/s]の都市ガス燃焼後の排ガスを熱源に用いたときについて，各サイクルのタービン入口圧力範囲を 1.4～4.0[MPa], 発生器(Desorber)圧力範囲を 1.4～1.6[MPa], 発生器出口希溶液濃度範囲を 0.01~0.30[$_{NH3}$kg/kg]として，正味仕事と冷凍能力の最大値をとる動作点を求める．算定にあたっては蒸発温度－15[°C]の冷熱を回収するブライン戻り温度を 0[°C]，冷却水入口温度 30[°C]，出口温度 35[°C]とするなど，外部条件を等しくしている．また，精留器高濃度側出口のアンモニア質量分率(濃度)を 0.998[$_{NH3}$kg/kg]，各熱交換器のピンチ点温度差を 10[°C]とす

るなど，共通する内部条件も等しいものとした．また，全て理想的な条件を仮定し，系外への熱損失や圧力損失を考えないものとした．

高温熱源から回収できる最大正味仕事と最大冷凍能力を求めた上で，理論最適サイクルと比較することで以下の結論を得た．

- 冷凍能力を最大とする場合，その大きさは PRPC が最大で，CPC，APC の順に小さくなった．同時に得られる正味仕事の大きさは，熱源温度が 250[°C]以下においては，PRPC, APC, CPC の順，260[°C]以上においては APC，PRPC，CPC の順となる．総熱コンダクタンスの大きさは PRPC，CPC，APC の順に小さくなった．
- 正味仕事を最大とする場合，その大きさは熱源温度が 250[°C]以下においては PRPC が最大で，CPC，APC の順に小さくなり，260[°C]以上においては PRPC，APC，CPC の順となった．この時，同時に得られる冷凍能力はどのサイクルについてもほぼ 0 [kW]となった．総熱コンダクタンスの大きさは PRPC，CPC，APC の順に小さくなった．
- 実サイクルと理論最適サイクルを *T-S* 線図上で併記することで，どれ程のエネルギーを熱源から回収し，サイクルの構成によってどれ程の便益（正味仕事・冷凍能力）が得られるかを定性的に評価出来ることを示した．

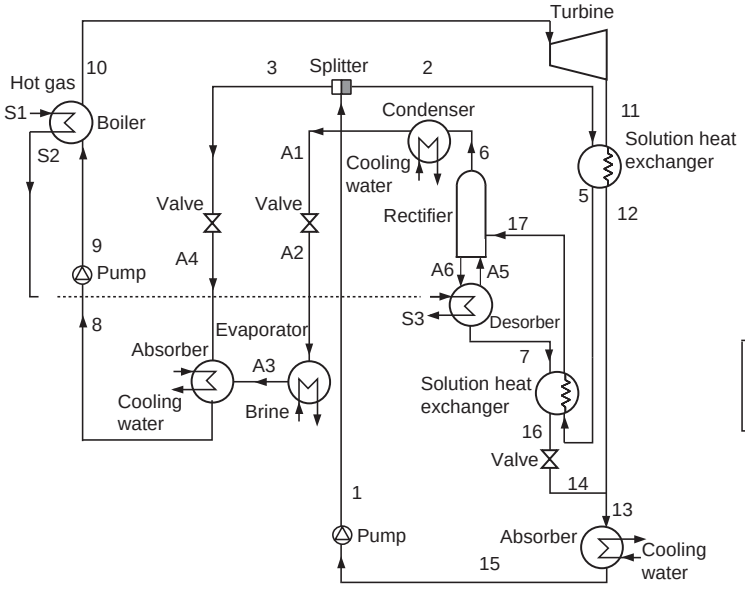


Fig. 1　Schematic illustration of APC

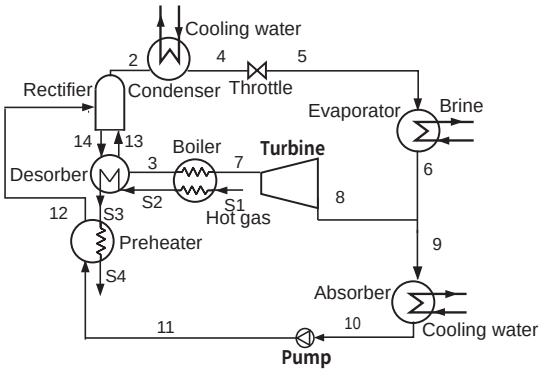


Fig. 2　Schematic illustration of CPC

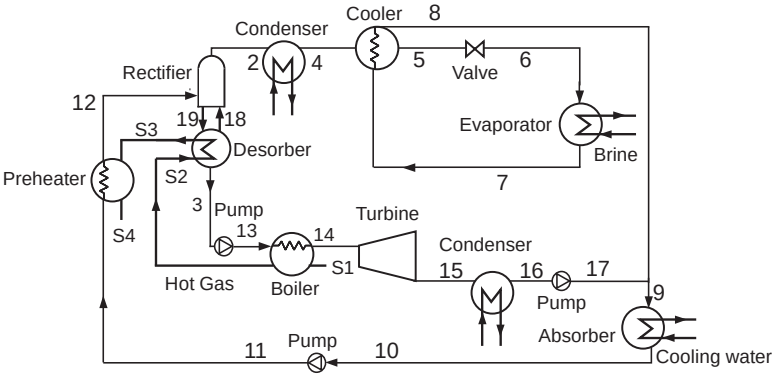
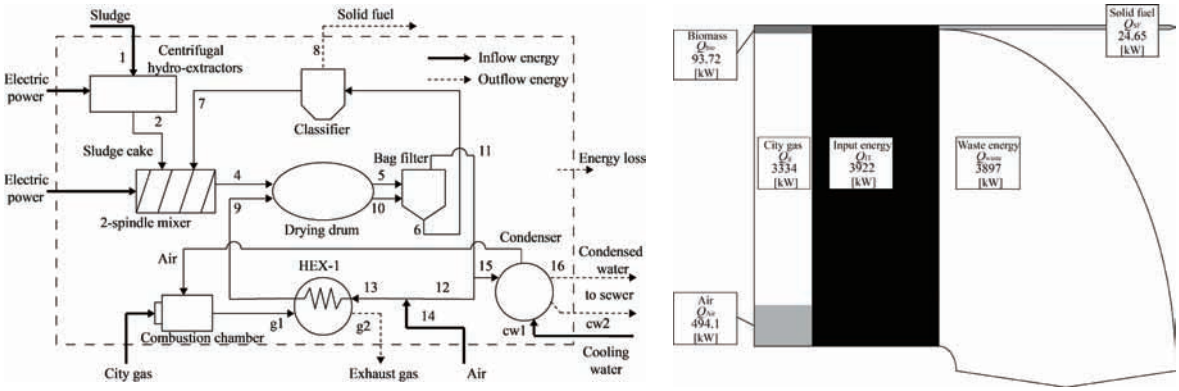


Fig. 3　Schematic illustration of　PRPC

2.2 （A-2）エクセルギー回収型オープンヒートポンプサイクルの研究成果

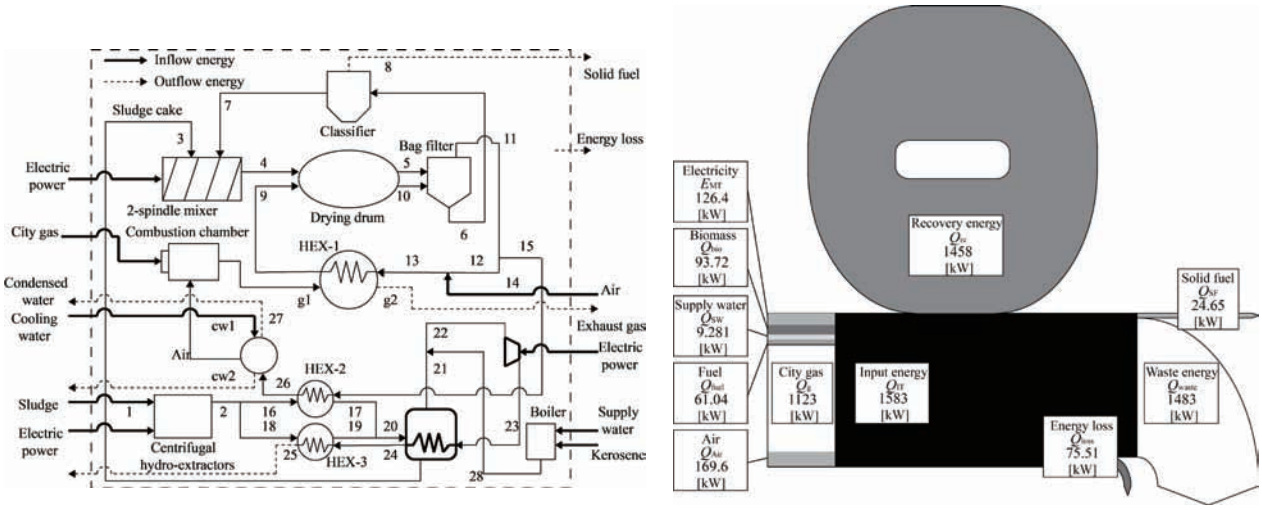
2.2.1 水蒸気圧縮機における気液二相圧縮実験と理論解析

2014 年度には，下水汚泥をペレット状燃料に加工する造粒乾燥システムに VCC 蒸発脱水システムを適用したシステムを提案し，その省エネルギー性を明らかにした．すなわち，ピンチ解析によりプロセスの改善案を提示し，一次エネルギー消費量を比較することで提案プロセスの優位性を 2014 年日本機械学会動力・エネルギーシンポジウムにて報告した．



a) Flow sheet of original process　　b) Energy flow in Sankey-diagram of original process

Fig. 4　Original granulating-drying system



a) Flow sheet of proposed process　　b) Energy flow in Sankey-diagram of proposed process

Fig. 5　Proposed granulating-drying system including VRC

2.3 （A-3）最適化に基づくエネルギーシステムの研究成果

2.3.1 快適性を考慮した家庭用エネルギーシステムの最適運用方策の検討

家庭用エネルギーシステムの合理的な運用には,省エネルギー性,経済性のみに留まらず,環境性,利便性,快適性などからの総合的な分析，検討が必要である．人体の熱的快適性を評価する指標として Predicted Mean Vote(PMV)が ISO 7730 として定義され,冷暖房負荷の算出と温熱環境の制御に用いられている．一例として,Cigler らは PMV を基準としたモデル予測制御による制御系の定式化を提案している．システム論的観点からは,Home Energy Management System(HEMS)という概念の

元，各機器における温湿度等の目標値，制御量をはじめ様々な情報を通信することによって，協調して複数機器を制御することで全体最適を達成するための方策が，提案され始めている．

本研究では，快適性とエネルギー消費量の関係性に注目し，家庭用エネルギーシステムの最適運用計画問題に対して，熱的快適性，および，エネルギー負荷等の将来事象の不確実性を取り込む拡張を行い，その評価・分析を実施した．快適性の指標である PMV による温熱環境の評価を基にして，冷暖房負荷の削減に着目し，快適性，エネルギー収支および，機器特性を制約条件として，一次エネルギー消費量を最小化する確率計画法による定式化を行った．すなわち，将来事象の不確実な係数として発生確率をそれぞれ持ったエネルギー需要シナリオ□ = 1,...,□ を採用し,□本のシ ナリオに対する一次エネルキギー消費量の期待値を最小化する問題を構成する．このとき，PMV を±0.0,0.2,0.5 および 1.0 と変更し感度分析を行う ことで，熱的快適性とエネルギー消費量との関係評価，および，最適運用方策の比較・分析を実施した．

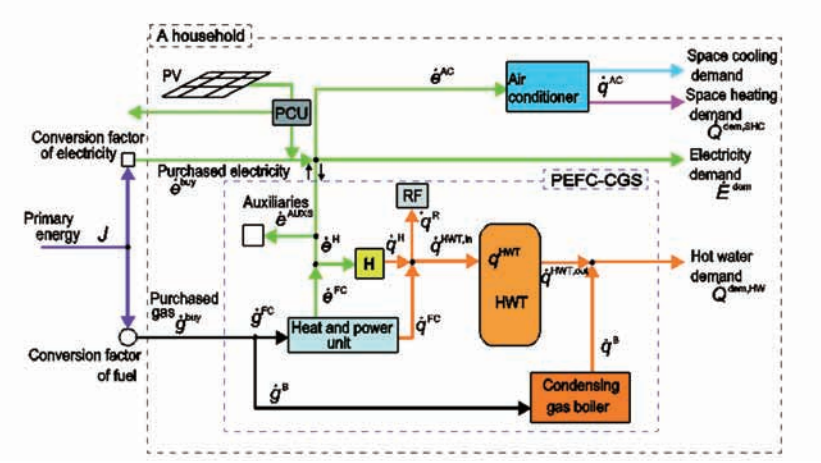
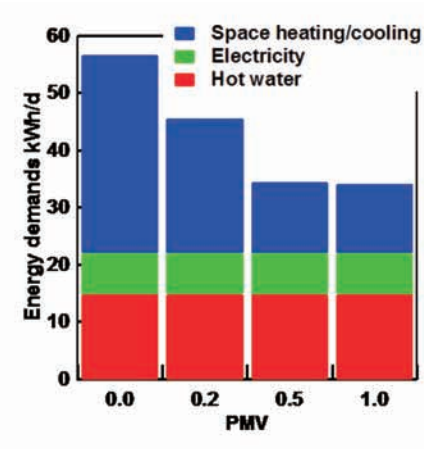


Fig. 6 Residential energy system



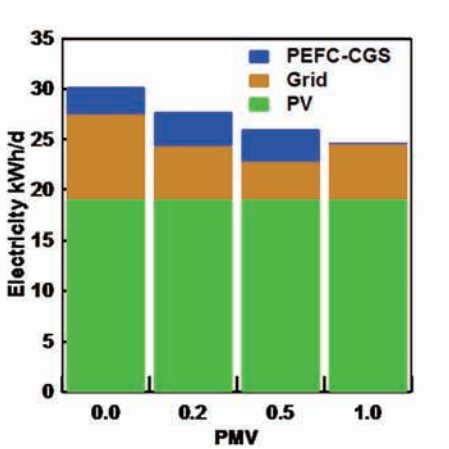


Fig. 7 Energy demand of each PMV　　Fig. 8 Averaged electricity supply from sources.

夏の代表日における 10 シナリオの平均エネルギー需要量を図 7 に示す．青色で示された冷暖房負荷の削減が確認できる．冷暖房負荷はエアコンで賄われており，電力は PV，PEFC-CGS および系統より供給される．その内訳を 10 シナリオの平均値として図 8 に示す．

. 評価の結果，確率計画法を用いて，冷暖房・電力・給湯負荷，および PV 発電出力の予測シナリオに基づき，快適性，エネルギー収支および，機器特性を制約条件として定式化した．エアコン，PEFC-CGS および PV からなる家庭用エネルキギーシステムの最適運用計画問題を構築し，冷暖房負荷の削減を考慮できる枠組みへ拡張した．

. 温熱環境の許容域を PMV±1.0 へ拡大することで，最大 33%の省エネルギー率向上が可能であることを明らかにした．

2.4 （B-1）GNSS（global navigation satellite system）に関する研究

2.4.1 GPS 不可視衛星棄却のための可視光魚眼カメラ画像を用いた障害物抽出の研究

都市部での GPS 測位精度劣化を抑制するために，取り扱いが容易な可視光魚眼カメラを用いて，不可視衛星を正確に棄却する手法を構築することを目的とした．そのアプローチとして，移動体から可視光魚眼カメラにより撮影した空の連続画像を用いて障害物認識を行った．使用した魚眼画像は，図 9 に示すような上空を撮影した可視光カメラ画像である．図から分かる通り，都市部では空の大部分が高層ビルに覆われてしまっている．これらの建物や樹木等，空以外の部分を障害物領域として判別し，画像上に衛星位置を配置 することで，全自動で不可視衛星棄却を行った．障害物抽出は以下の手順で行う．まず,移動体から撮影した RGB 空間表現の画像を，人間の色彩感覚に近い Lab 空間へ変換し，Lab 空間表現を指標 にした K-means クラスタリングにより細かな領域に分割する．次に，移動しながら撮影した連続画像において 10[m]離れた場所で撮影した 2 画像間で SIFT 特徴量マッチングを行い,その 対応点の半数以上が移動している点であった場合にこれを障害物と決定する．以上により抽出した障害物領域をもとに，不可視衛星を判別，棄却し，都市部での衛星測位精度劣化を抑制する．実際に都市部で撮影した可視光魚眼カメラ画像により本手法を適用した結果，障害物抽出が適切に行われ不可視衛星判別が正確にできることを確認した．

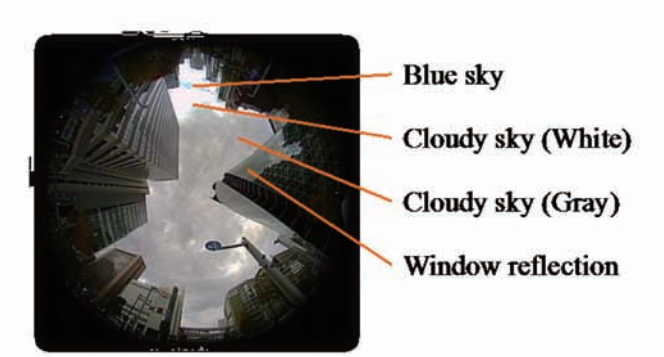


Fig. 9 Fish-eye camera image.

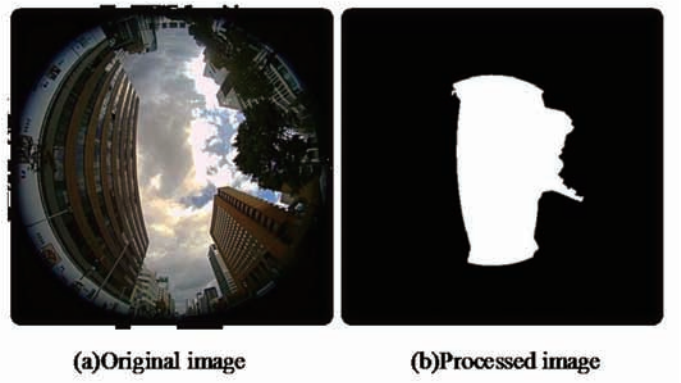


Fig.10 Obstacle detection succeeded

今後解決すべき事項として，ガラスへ空が映り込むことによる誤判別を回避するために，偏光板による反射面抽出の検証，および提案手法を適用した測位試験での精度検証を行う予定である．

2.4.2 準天頂衛星を利用した都市部環境下におけるマルチ GNSS 複合測位の利用性向上に関する研究

都市部における衛星測位の利用性と精度向上を目的とする．具体的には，QZSS を唯一の主衛星とする測位手法を提案することで,マルチ GNSS 複合測位の衛星数の増加を図る.また，QZSS が配信する LEX 信号の内容は一切用いず，その搬送波を利用することで，測位の精度向上を図った．具体的な手法の流れは，以下の通り．

i) ワイドレーン法により QZSS 一重差アンビギュイティ決定

ii)二重差観測値を作成 (主衛星:QZSS，従衛星:他の GNSS)

iii)整数性が保存されたアンビギュイティを探索決定する

Open sky, Narrow sky 条件下での試験結果を図 11，12 に示す.

Open sky 環境において本提案手法による測位は，RTKLIB と比較して精度が劣るものの，水平 RMS 誤差 1.6 cm の高精度な測 位を実現していることが確認できる.また,FIX 率は,RTKLIB，本提案手法ともに 100%であった.評価試験の結果,理想的な 環境における本提案手法の測位精度を確認することができた．また，Narrow sky 条件での RTKLIB では FIX 率が 0%であったのに対し，本提案手法では 92%の高い FIX 率を得ており,更に測位精度も 4.2cm の高精度な測位 を実現していることが確認できる.このことから，本提案手法を利用することで，都市部環境下における測位の利用性と精度の向上を実現した.

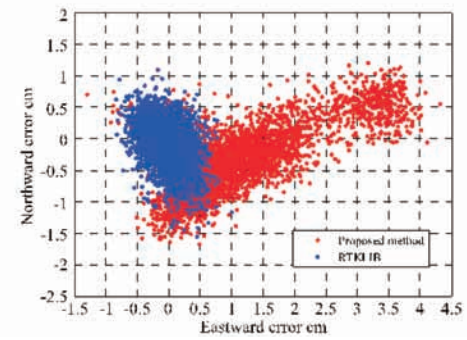


Fig.11 Experimental result of proposed method in Open sky

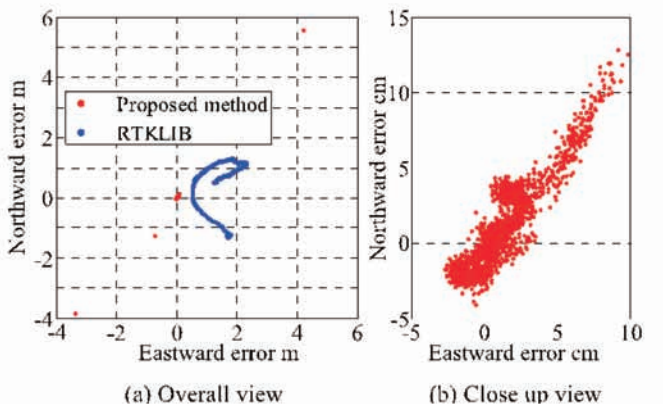


Fig.12 Experimental result of proposed method in Narrow sky

2.4.3 準天頂衛星による GPS 補強測位の測位精度評価

日本が管理・運用する測位衛星システムである準天頂衛星（QZSS: Quazi-Zenith Satellites System）から GPS のシステムに起因する誤差情報が配信されている．GPS 補強機能と呼ばれるこの情報を利用することで，GPS 測位精度の向上が期待されている．しかし，QZSS は 2010 年 9 月に打ち上げられた新しい測位衛星システムであるため，QZSS に搭載された機能の実際の効果は明らかになっていない．そこで，本研究では，QZSS の GPS 補強機能である，L1-SAIF 信号と LEX 信号の測位精度評価を行った．評価を行った結果，GPS による最も一般的な測位手法（単独測位: Point

positioning）と比較して，L1-SAIF を利用した測位精度は，L1-SAIF 信号の目標精度と同等のサブメートル級を達成していることが確認された．また，LEX 信号を用いた測位では，目標精度がセンチメータ級であるのに対し，デシメートル級の測位精度であるという結果が確認された．しかし，単独の受信機でデシメートル級の測位を実現することは現存する他の手法では困難であるため，LEX 信号の有用性が確認された．

2.5 （B-2）Mobile Mapping System に関する研究成果

2.5.1 GNSS の可視性を考慮した Mobile Mapping System の計測経路計画

無人機を遠隔操縦し,災害現場の情報収集を行うシステムの関連研究として,2013 年 2 月に NEDO が発表した 「災害対応無人化システム」がある.このシステムは災害等によって家屋や産業施設等が被災して,作業員の立ち入りが困難となった状況において，速やかに状況把握，機材等の運搬,復旧活動等を行うことを目的としている.現在,無人機による災害現場の情報収集について,様々な 研究が行われているが,それらは上記のような建物内部での 運用を想定しているものが大半であり,活動現場となる被災 施設までの突入ルートの情報収集を行い,全体のシステムと して統合されているものは少ない.

そこで我々は,屋外環境において長距離を移動可能な遠隔 無人情報収集システムと,GIS(Geographic Information System) から構成される突入判断システムとを提案している.Fig. 13 に開発した遠隔無人情報収集システムについて記述する.

実験を行った結果,カメラ画像を目視しない状態であって も,操縦可能であり,初めて操作する人であっても,すぐに操縦可能であった.また,障害物に関しては,LRF で検 出可能なものに関しては,回避可能であった．今回の試験では,不整地ではなく平坦な道路で実験を行ったが，今後は不整地における経路計画手法を確立する必要がある.また複数の中継局を介したため，補助的に伝送したカメラ画像には 1 秒近い伝送遅延が発生していたが,半自律的に動作する本システムでは問題なく遠隔操縦可能であった.

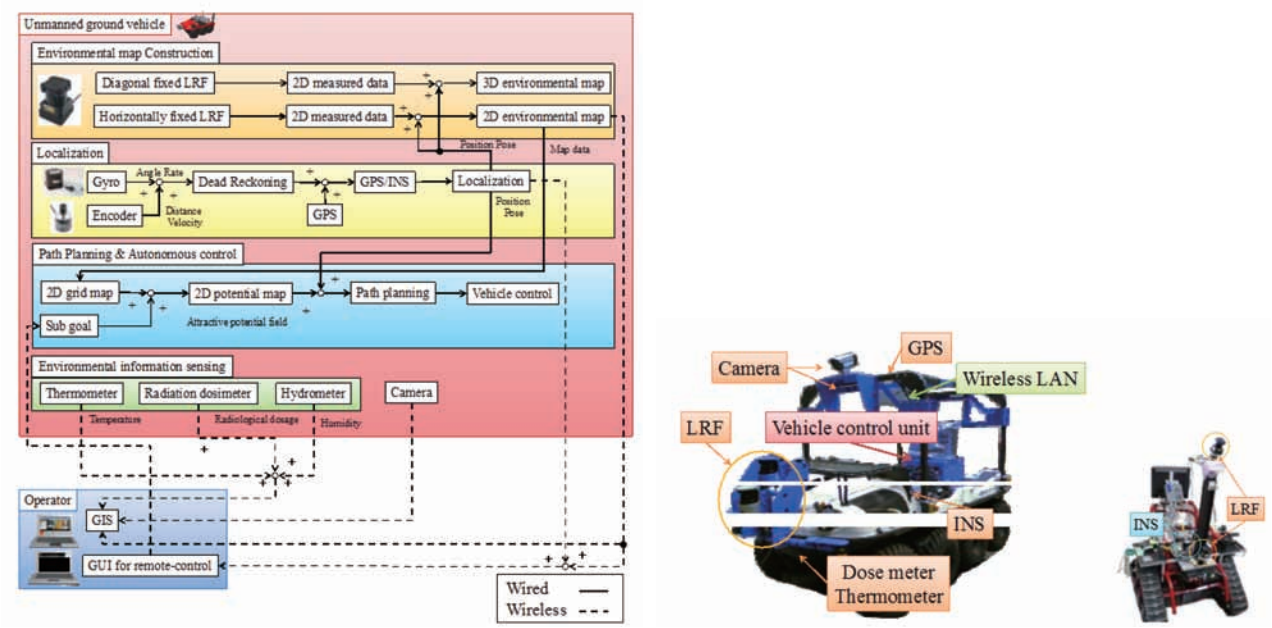


Fig.13 System configuration of attack and retreat judgment system.

2.6 （C-1）月惑星表面探査用自律移動体の絶対自己位置標定手法の研究

惑星探査ローバの自己位置推定は,狭域自己位置推定の誤差が累積する上,高精度な広域自己位置推定が困難であるため，累積誤差の補正が困難であるという課題がある．そこで，累積誤差の補正に用いることが可能な広域自己位置・姿勢推定手法を提案し，惑星探査ローバにおけるデッドレコニングの累積誤差の補正を行い，自己位置・姿勢推定精度の向上を図ることを目的とした．2012 年度から引き続き実施した伊豆大島での試験の結果，理想的な相対方位角の推定精度が 1deg 以内で得られ，最終的に位置推定精度が 70%程度向上した．今後の課題として，スカイラインマッチングによる方位角推定精度の向上や,デッドレコニングをより精密にモデル化することでモデル化誤差を低減することかが挙げられる．本研究の一部は JAXA(ISAS)宇宙工学班，月惑星表面自律移動探査技術の研究の一環として行われた．

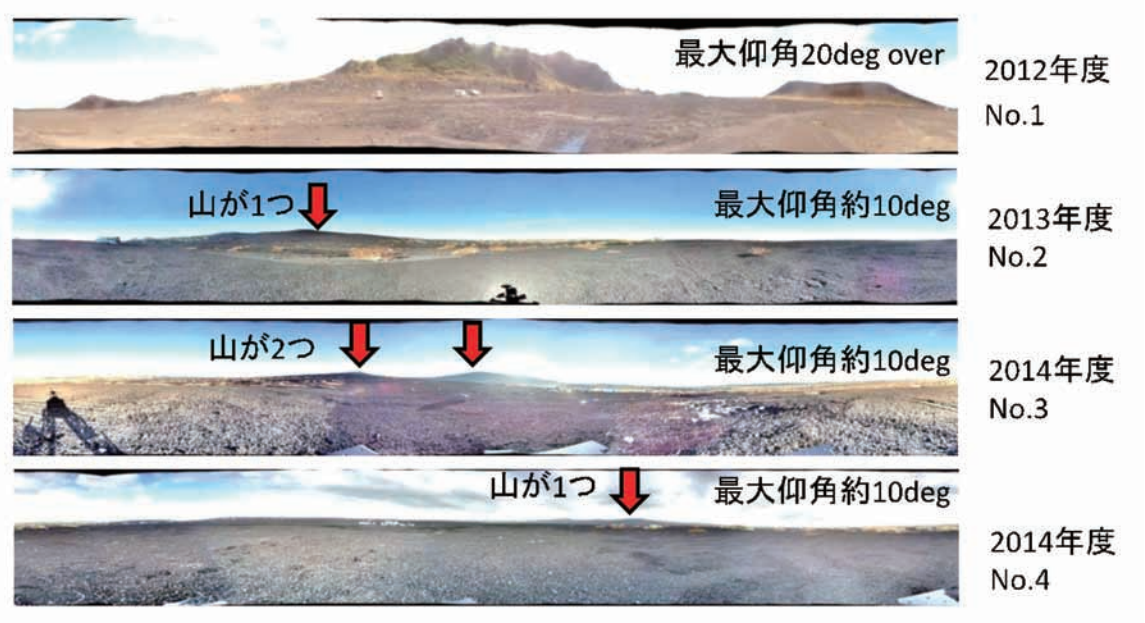


Fig.14 Skyline at Izu-Oshima experiments

Data	最大仰角	位置推定残差		
	deg	傾斜計補正なし	傾斜計補正あり（センサ不確かさ考慮せず）	傾斜計補正あり（センサ不確かさ考慮あり）
2012 年度 No.1	20 over	60 m	NA	NA
2013 年度 No.2	~10	1030 m	NA	NA
2014 年度 No.3	~10	978 m	86 m	284 m
2014 年度 No.4	~10	742 m	624 m	60 m

Table 1 Experimental results at Izu-Oshima

2.7 （C-1）能動型蛍光 X 線分光計（AXS）の開発研究

焦電素子を使用した X 線源（XRG）は，熱電変換素子で 20～100℃の周期的な温度変化を与える．一方で，シリコンドリフトディテクタ SDD を用いた X 線検出部は観測ノイズ低減のために– 20℃以下に保つ必要がある．これらの温度条件を狭いセンサーヘッド 66mm 一方程度の内部に実装するにあたり，（１）熱的に干渉しない構造設計，（２）消費電力最小の条件下で X 線照射の再現性を確保するための温度制御方式の検討を行った. その結果，（１）を検討するための詳細なマルチフィジクスモデルを構築し，プロトタイプ設計で，十分熱的に干渉しないことを検証した．また，（２）の詳細実験装置の設計を実施して，翌年度から実験開始できる準備が整った.

3. 共同研究者

吉田彬（基幹理工学部・助手），石川貴一朗（理工研・招聘研究員）

2.7 の研究体制は国際協調のもと以下の通りとした.

PI: Yoshiharu Amano (Waseda Univ.),

Co-PI: Kyeong Ja Kim (KIGAM),William V. Boynton(LPL, Univ. of Arizona)

Co-I: Goestar Klingelhoefer (JGU), Dave Hamara (LPL, U of A), Richard D. Starr (Catholic Univ./NASA), Lucy F. Lim (NASA GSFC), Nobuyuki Hasebe (Waseda Univ.), Gwanghyeok Ju (KARI), Timothy J. Fagan (Waseda Univ.), Tohru Ohta (Waseda Univ.), Eido Shibamura (Waseda Univ.), Tatsuaki Okada(ISAS/JAXA), Yoon Yeul Yoon; Jung-Hun Park (KIGAM), Seung Ryeol Lee; Young Woo Kil (KIGAM), Takao Kobayashi (KIGAM), Sang-Ryool Lee; Jung Hun Kim; Sang Hoon Lee; Jong-Min Im (KARI), Kyung bum Lee; Hyunseo Park (KRISS), Kyoung Wook Min (KAIST); Yu Yi (CNU); Yong Kyun Kim (HYU)

4. 研究業績

4.1 学術論文

(1) Yoshida, A., & Amano, Y. (2014). Evaluation of Optimal Capacity of Hot Water Tank in PEM Cogeneration System for Residential Energy Demand Profiles. In *ECOS 2014 - THE 27TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON EFFICIENCY, COST, OPTIMIZATION, SIMULATION AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF ENERGY SYSTEMS*. TUKU，FINLAND.

(2) Yoshida, A., Sato, T., Amano, Y., & Ito, K. (2014). Impact of electric battery ’ s degradation on economic and energy saving characteristics of residential photovoltaic system. In *ECOS 2014 - THE 27TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON EFFICIENCY, COST, OPTIMIZATION, SIMULATION AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF ENERGY SYSTEMS* (pp. 1–13). TURKU,FINLAND.

(3) Hiroki Kusano ; Yuki Oyama ; Masayuki Naito ; Hiroshi Nagaoka ; Haruyoshi Kuno ; Eido Shibamura ; Nobuyuki Hasebe ; Yoshiharu Amano ; Kyeong J. Kim ; José A. Matias Lopes; Development of an x-ray generator using a pyroelectric crystal for x-ray fluorescence analysis on planetary landing missions. Proc. SPIE 9213, Hard X-Ray, Gamma-Ray, and Neutron Detector Physics XVI, 921316 (September 5, 2014); doi:10.1117/12.2061547.

4.2 総説・著書

なし.

4.3 発表講演・ポスター

(1) 正垣淳，関良高，天野嘉春，（2014），発電冷凍ハイブリッドサイクルの理論最適サイクルによる評価, *日本機械学会 2014 年度年次大会講演論文集*, S0840102, pp.1-5.

(2) 正木亮，中村宗平，日野俊之, & 天野嘉春. (2014). ピンチ解析による VCC プロセスの造粒乾燥システムへの複合効果の評価 An integration of a granulating-drying system and Vapor Compression-Condensation process. *第 19 回動力・エネルギー技術シンポジウム*. 福井: 日本機械学会.

(3) Yoshida, A., Fujimoto, Y., Murata, N., Wakao, S., Tanabe, S., & Amano, Y. (2014).快適性を考慮した家庭用エネルギーシステムの最適運用方策の検討.*日本機械学会 2014 年度年次大会講演論文集* S0840101 (pp. 8–12).

(4) (4) Shoji, T., Sato, T., Ebe, M., Hirohashi, W., Fujimoto, Y., Hayashi, Y., & Amano, Y. (2004). ベイジアンネットワークを適用した 機器使用傾向学習型 HEMS の開発, (2), 2–3.

(5) 吉田，彬，小方，亮平，村田，昇, & 天野，嘉春. (2014). 確率計画法を用いたエネルギー需要シナリオに対する家庭用 PEFC システムの最適運用方策の検討. 福井: 日本機械学会.

(6) 小方，亮平，吉田，彬，村田，昇, & 天野，嘉春. (2014). 家庭用 PEFC システムにおける級長需要予測誤差が省エネルギー性に及ぼす影響の評価. In 第１９回動力・エネルギーシンポジウム (pp. 97–100). 福井: 日本機械学会.

(7) 小方，亮平，吉田，彬，藤本，悠，村田，昇，若尾，真治，田辺，新一, & 天野，嘉春. (2015). 予測・運用計画・制御手法に基づく家庭用エネルギーシステム の時間帯別料金を考慮した経済性評価. In 第３１回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集 (pp. 687–692). 東京: エネルギー・資源学会.

(8) 渡邉研，太田哲平，北村光教, & 天野嘉春. (2014). GPS 不可視衛星棄却のための可視光魚眼カメラ画像を用いた障害物抽出. In *Proc. 2014 JSME Conference on Robotics and Mechatronics* (pp. 1P1–W08(1)–(3)). Toyama, Japan: JSME.

(9) 北村光教，渡邉研，太田哲平, & 天野嘉春. (2014). 準天頂衛星を利用した都市部環境下における マルチ GNSS 複合測位の利用性向上 Improving availability and accuracy of Multi-GNSS in Urban Environment. In *平成 26 年度 測位航法学会 全国大会* (p. 1). Tokyo: 測位航法学会.

(10) 北村光教，渡邉研，太田哲平, & 天野嘉春. (2014). 準天頂衛星を利用した都市部環境下における マルチ GNSS 複合測位の利用性向上に関する研究. In *Proc. 2014 JSME Conference on Robotics and Mechatronics* (pp. ２A2–T06(1)–(3)). Toyama, Japan: JSME.

(11) 明比建，北村光教，大津恭平，大槻正嗣，天野嘉春，スカイラインマッチングによる方位角推定を用いた惑星探査ローバの自己位置補正，ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014，1P2-L06，富山，2014/05.

(12) Masayuki Naito, Nobuyuki Hasebe, Hiroki Kusano, Hiroshi Nagaoka, Yuki Oyama, Masaki Kuwako, Eido Shibamura, Yoshiharu Amano, Haruyoshi Kuno, Timothy J. Fagan, Toru Ohta, Kyeong Ja Kim, Jose A. Matias Lopes, Etsuo Uchida, (2014), EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDIES ON X-RAY FLUORESCENCE

ANALYSIS FOR ACTIVE X-RAY SPECTROMETER ON SELENE-2, Proc. ISRS 2014

(13) Kusano, H., Oyama, Y., Naito, M., Nagaoka, H., Kuno, H., Shibamura, E., … Lopes, J. A. M. (2014). DEVELOPMENT OF A PYROELECTRIC X-RAY GENERATOR FOR X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS ON FUTURE LUNAR AND PLANETARY LANDING MISSIONS. In *ISRS* (pp. 4–7).

5. 研究活動の課題と展望

A: エネルギーシステムの最適化に関わる研究を進め,特に再生可能エネルギーの導入評価のための不確定性を考慮したモデル化手法を継続して検討する.制御性検討を含めた,全体最適を目指すシステム評価・計画のためのフレームワークを作成する.

B: 引き続き，準天頂衛星を用いた測位精度向上に係わる技術を継続する．MMS に関しても，踏破性を向上した装置へのアップグレードと，画像情報以外のセンサーを組み合わせるなどの工夫を盛り込むことで，よりロバストな進入可能性の判断アルゴリズムの構築を目指す.

C: 国際協調を進めつつ,焦電素子による X 線照射特性と熱入力に対する制御性の確認実験を継続し，エンジニアリングモデルのための設計資料とする.また新たな宇宙用計測装置の検討・国際協調提案を予定している.

次世代放射線検出器開発と宇宙・医療への応用

研究代表者　片岡　淳
（先進理工学研究科・理工学術院総合研究所　教授）

1. 研究課題

近年、光電子増倍管(PMT)に代わる高性能半導体光素子の登場により、放射線計測も新たな局面を迎えている。たとえば APD (Avalanche Photo Diode), MPPC(Multi-Pixel Photon Counter)といった内部増幅素子は小型・軽量・省電力、また耐磁場性能に優れ、宇宙・素粒子・原子核・医療・環境計測など多方面で注目を集めている。これに伴い、放射線を可視化するシンチレータも優れた素材が続々と開発され、CdTe , CZT に迫る高エネルギー分解能をシンチレータ（たとえば LaBr, SrI2）でも簡単に実現することが可能になりつつある。本研究では近年開発が目覚ましいこれら計測技術を統合し、理工医の枠組みを超えた次世代放射線計測の開拓を目指す。具体的には [1] X 線・ガンマ線天文衛星を用いた高エネルギー宇宙物理実験への展開（学術研究） [2] 最先端の放射線センサーの開発と産業・医療・工学分野への展開（応用研究）の二つを掲げている。以下では 2014 年度における主たる研究進捗について概説する。

2. 主な研究成果

2.1 フェルミ衛星・すざく衛星を用いた宇宙観測

フェルミ宇宙ガンマ線望遠鏡（以下、フェルミ衛星）は 2008 年に打ち上げられ、6 年を経た現在も順調な観測を続けている。本年度は電波銀河 NGC1275 や 3C120 多波長観測(図 1 左 : Aleksic et al. 2014, A&A; Tanaka et al. 2015, ApJ) のX線・ガンマ線解析を担当するほか、活動銀河核の 3rd カタログ (Ackermann et al. 2015, submitted) への貢献、フェルミ・バブルの X 線詳細観測

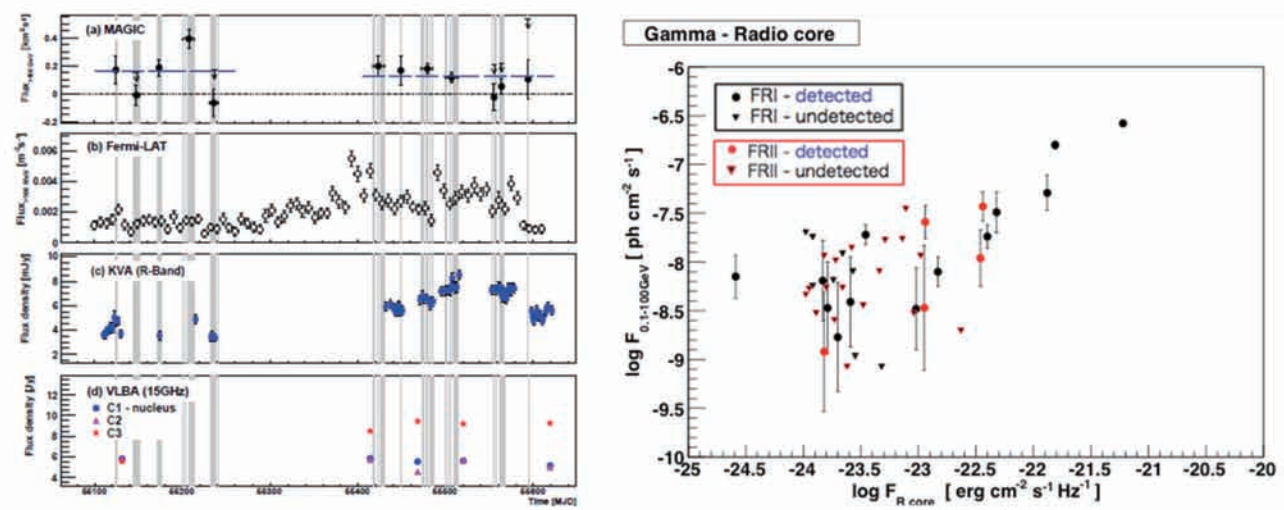


図 1: (左)電波銀河 NGC1275 の多波長時間変動 (Aleksic et al. 2014)。当研究室で 2 段目パネルの Fermi-LAT のデータ解析をすべて担当した。(右) 5 年間のフェルミ衛星観測データを用いた電波銀河 44 天体の系統解析。ガンマ線と電波コア光度の相関をはじめて示した (向江卒論 2015)。

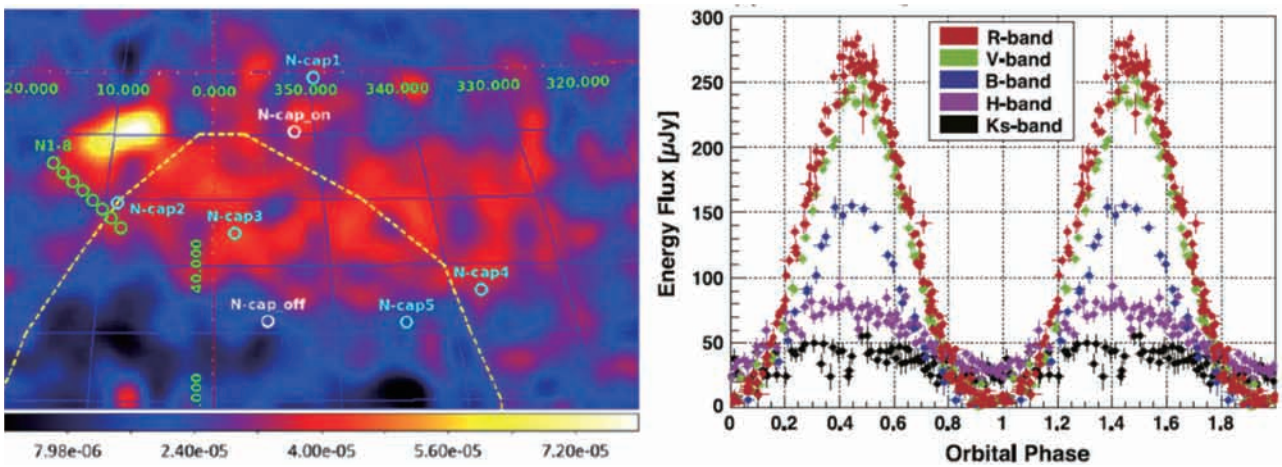


図 2: (左) MAXI-SSC で捕らえたフェルミ・バブル の X 線 N-cap 構造と「すざく」による追観測 (右) 2FGL J2339.6-0532 の赤外～光学ライトカーブ。周期 4.63 hr でフォールドしてある。

(Ackermann 2014, ApJ), さらには内部レフェリーとして多くのフェルミ論文を出版まで導いた。一方で、過去 5 年分のデータを積算し、電波で明るい活動銀河核 44 天体(FR I 21 天体/FR II 23 天体)を候補としたガンマ線の系統的探査を行い、そのうち 18 天体から有意なガンマ線検出に成功した（向江卒論 2015：図 1 右）。これら 18 天体に対し電波からガンマ線にわたる多波長スペクトル解析を行い、ブレーザーの放射モデルを用いた磁場・相対論的ビーミング因子、領域サイズなどの物理量の導出を試みた。ガンマ線と電波コアフラックスの関係から、FR II 電波銀河がビーミングの影響で相対的に検出されにくいことを初めて示した。

X 線のデータ解析については、2013 年に引き続き“フェルミ・バブル”(天文学会誌解説：2012 年 9 月号；片岡 淳ほか)の「すざく」衛星・スウィフト衛星系統解析を行い、2 報目の論文にまとめた (Tahara et al. 2015, ApJ)。図 2（左）に示す通り、本論文では特に MAXI が初めて観測したバブル北端のキャップ構造(North Cap)、及び南東低銀緯にある「爪」構造（South Claw）に着目し、その放射起源に迫った。North Cap の詳細観測ではこれまで知られていた kT = 0.3 keV の熱的プラズマに加え、0.7 keV の高温成分の存在示唆が得られた。銀河中心から噴出するガスが、周辺物質と衝突することでさらに加熱された成分であると考えられ、今後の検証を待ちたい。一方、東工大の共著者と 2012 年にプレス・リリースをした「毒蜘蛛パルサー」2FGL J2339.6-0532 の詳細なスペクトル・時間変動解析を行い、赤外からガンマ線にわたる広い領域の放射機構に新たな制限を与えることに成功した (Yatsu et al. 2015, ApJ；図 2（右）)。

2.2 Astro-H 衛星搭載硬 X 線撮像検出器(HXI)のエネルギー較正

2015 年に打ち上げ予定の Astro-H 衛星には硬 X 線イメージャ(Hard X-ray Imager:HXI)が搭載され、5～80 keV の領域で撮像観測を行うことで従来より 100 倍感度のよい観測を実現する。HXI の検出器は 4 層のシリコンストリップ検出器と 1 層の CdTe 検出器からなるが、各層の両面には 128 本のストリップ電極が形成され、4 つの ASIC（アナログ集積回路）で読み出しを行う。HXI の地上キャリブレーションには複数の線源を用いた実測データが用いられるが、地上で完全に宇宙環境を再現することは難しく、また、軌道上では非常に微弱な(3~4Bq)一種類の 241Am 較正線源しか用いることができない。そのため、本年度は ASIC に付随したテストパルス機能を用いて軌道上でより迅速かつ正確なエネルギー較正を行う方法を新たに検討した（三村卒論 2015）。具体的にはテ

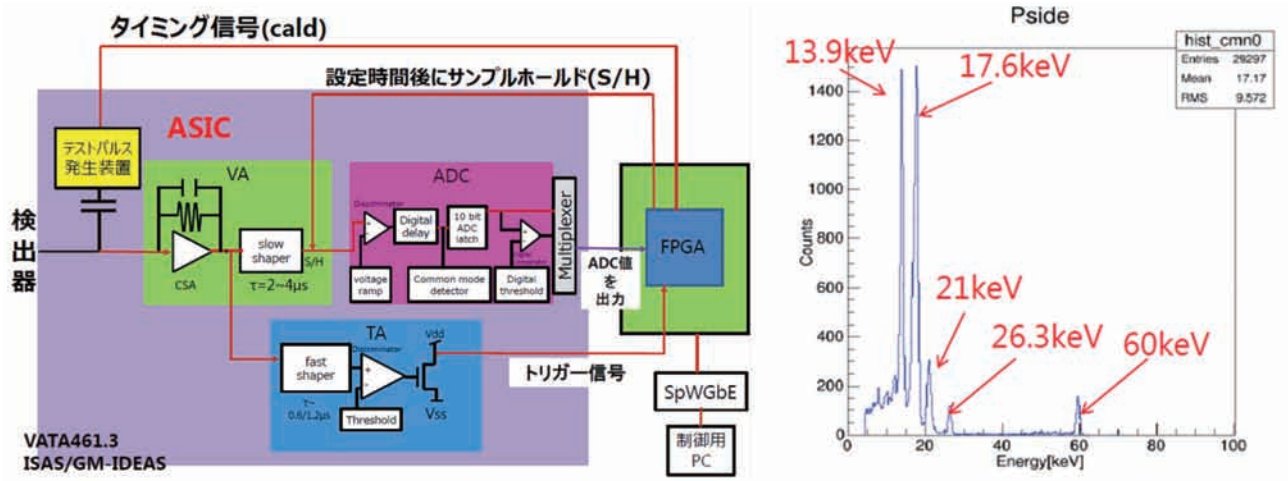


図 3: (左) Astro-H 衛星 HXI 検出器のテストパルス読み出しスキーム (右) 本手法でエネルギー較正を施した後の、241Am スペクトル(P-side の DSSD)。全エネルギー帯で精度 2%以下を達成

ストパルスから出力する電荷量を順次大きくし、回路干渉や ASIC の線形性、walk 等まで考慮した ADC の補正関数を精確に求め、線源で取得したデータと比較した。結果、テストパルスを用いても HXI のエネルギー領域で 2% の精度でエネルギー較正が可能であることを示した。今後は同手法を全チャンネルに拡張し、また検出器が温度変化した場合の影響などについても詳細に調べる。

2.3 次世代 PET 技術開発 (MPPC-PET)

科学研究費補助金・基盤研究(S)の支援のもと、コンパクトかつ 10^6 ものゲインを持つ光素子 MPPC を用いて、次世代 PET 装置の開発を進めた。本年度は開発の最終年度にあたり、(1) 新規 DOI 技術を用いた 8ch 小動物用 PET ガントリの製作・評価 (2) MRI/PET 併用による同ガントリの性能評価 (3) TOF-PET 実現に向けた MPPC 時間応答の限界性能評価を行なった。(1) においては当研究室で開発した「3 次元構造シンチレータ」(特願 2011-284980) を PET 検出器に応用し、視野中心から視野端のすべてにわたって解像度 1.5mm(FWHM)の歪みのない高品質画像を得ることに成功した（図 4 : 左・中)。同成果をまとめた藤田修論は 2014 年度の物理応物専攻・優秀修士論文賞（宮部賞）を受賞している。(2)については MPPC の磁場耐性を生かした ABS 樹脂製の PET ガントリを新たに構築して 4.7T の強力磁場を持つ MRI 中に配置し、FE(Fast Spin Echo), GE

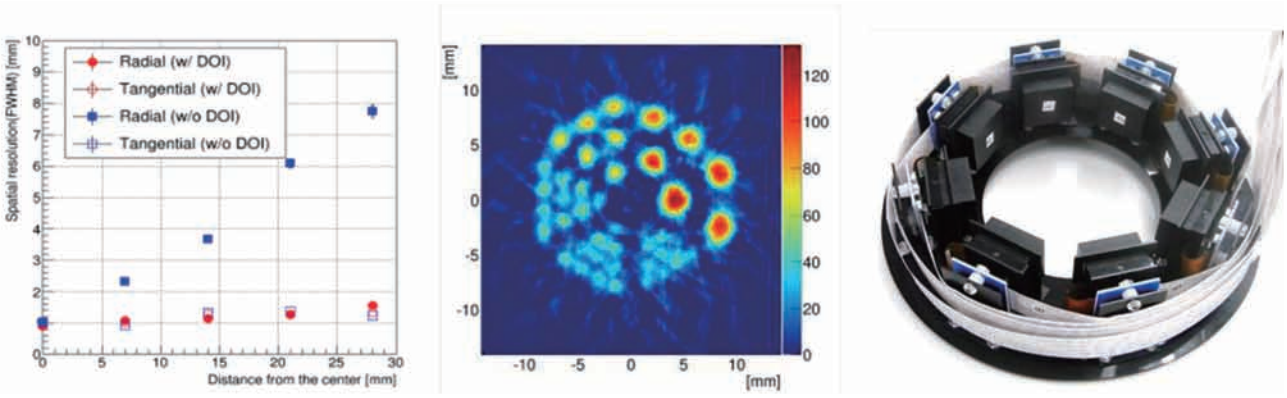


図 4: (左) 開発した DOI-PET 検出器（赤丸）による解像度の改善。従来型の Non-DOI 検出器は青丸。(中)同検出器を用いた場合のファントム画像シミュレーション (右) 新規に開発した MRI-PET 検出器（小動物用サイズ）

(Gradient Echo)の撮影中においても PET/MRI 双方の画像にまったく影響が無いことを確認した（図４右；呉井修論 2015）。(3)の TOF 測定においては２段階トリガを用いた時間分解能の改善、また、デジタルオシロスコープによる波形取り込み処理により、20℃の環境で 213ps (FWHM)の時間分解能を達成した。この値は、現状 TOF-PET で得られる値としてはトップレベルといえる(Tsujikawa et al. 2014; IEEE-conf series)。

2.4 高精細カラー放射線イメージセンサーの開発

2013 年度に引き続き、Ce:GAGG と大面積 MPPC アレイを用いた高精細放射線イメージセンサの開発を進めた。本年度は (1) シンチレータ及び MPPC の大面積化 (20x20mm 以上) (2) 多色エネルギー情報を用いた物質同定 (3) 3 色による被写体のカラー撮影など、大きな進展が得られた。成果は大島卒論および投稿論文(Oshima et al. 2015, in prep)にまとめられている。図 5(左)は 122keV ガンマ線における微細スリット透過画像である。0.3mm のスリットまで明確に分離していることがわかる。図 5(中)はシンチレータで得られるエネルギースペクトルで、エネルギー分解能は 122keV で 12% (FWHM), 60keV で 18%(FWHM)であった。最後に 図 5（右）にライター先端分の３色(31 keV, 60keV, 88keV)にカラー合成画像を示す。

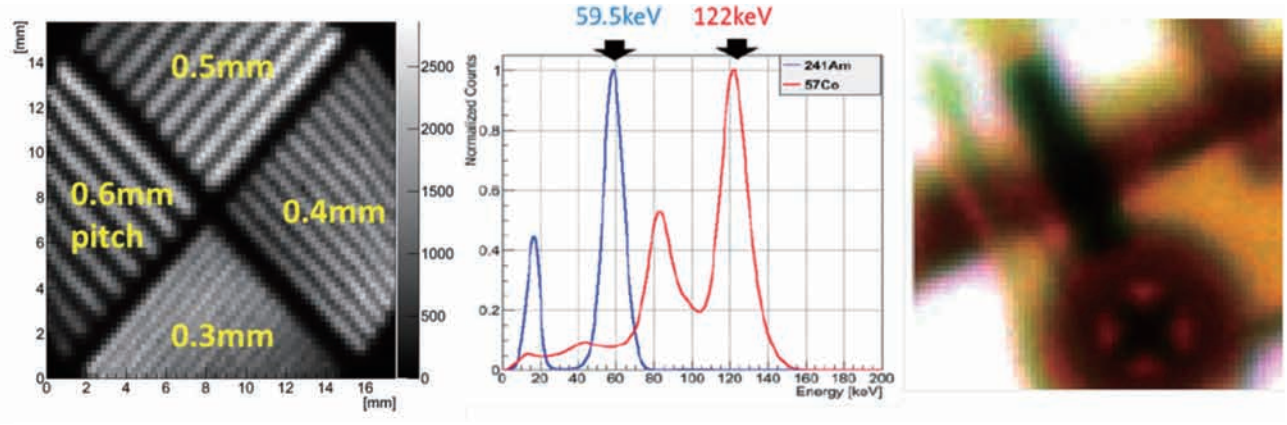


図 5: (左) 122keV 照射による微細スリットの透過画像 (中) 同センサーを用いた 60keV, 122keV のガンマ線スペクトル (右)ライター先端部の３色同時撮影画像 (31, 60, 88keV を照射)

2.5 携帯型ガンマ線カメラの開発と医療応用

2013 年 9 月に発表した初版ガンマ線カメラをもとに、浜松ホトニクス社と共同でさらに高解像度・高感度の改良版ガンマ線カメラの開発に成功した(Kataoka et al.2015; Kishimoto et al. 2014：西山卒論 2015)。同成果については 2014 年 7 月 24 日に早稲田大学・浜松ホトニクス・科学技術振興機構(JST)で同時プレスリリースを行なった。従来型カメラの解像度が約 15°(FWHM)であったのに対し改良型は約 8°(FWHM)、感度に関しては 70%の向上に成功している。鍵となる技術は DOI-PET 装置（2.3 章）でも記載した「３次元式」シンチレータアレイと、これを用いたコンプトンカメラ技術（特願 2012-157920・2013-212844）である。これにより、四方を囲まれた数μSv/h 程度のバックグラウンドをもつ森林環境下でも、10μSv/h のホットスポットを３分程度で迅速に可視化することが可能になった。図 6(左)は従来型カメラと新カメラの外観比較である。重量は 2.5kg と わずかに重くなったが、性能の改善は劇的である。 図 6(中)は福島・浪江の里山における試験撮影で、林道にそって放射性セシウムが沈着している様子が僅か 3 分の撮影時間でわかった。図 6(右)は同カメラを樹冠に向けて撮影したもので、木々の情報からも薄っすらとガンマ線が到来し

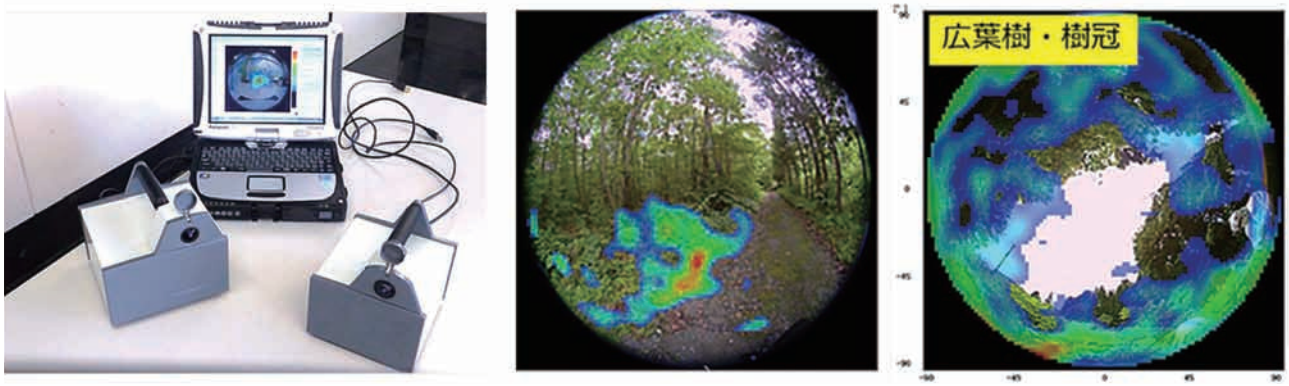


図 6: （左）従来型カメラ・新規カメラの概観 (中) 福島浪江の里山における撮影例。撮影時間は３分。（同）同・浪江における広葉樹樹幹の撮影例。撮影時間は３分

てることが見て取れる。福島県下において、樹幹のような微弱なガンマ線の撮影に成功した例は過去に無く、今後ヘリ等による森林情報からの撮影にもチャレンジする予定である。また、福島県下における測定スペクトル・イメージから、ガンマ線のスペクトルの散乱成分・直接成分を比較すること、ならびに散乱ガンマ線のイメージの広がりが、土壌深さ方向における放射線セシウムの沈着情報を探る上で有効なプローブとなることを考案して特許を出願(特願 2015-12203: 岩本卒論)、同概念に基づいた新規 3 次元計測カメラの設計を始めている。

最後に、同カメラを医療分野、とくに粒子線治療のオンラインモニタとして使用する検討と予備実験を始めている（多屋卒論 2015）。陽子線や炭素線を用いた粒子線治療は QOL（Quality of Life: 生活の質）を重視した理想的な治療として注目されるが、正確な照射を行わないと正常細胞を壊死させ、ガン細胞を残存する危険性を孕んでいる。現在、ビームの照射位置はオンラインで確認することができず、隣室の PET 装置などへ運んでオフラインによる事後確認が行われるが、これは二度手間であると同時に、再現性や精確性の面で課題も多い。本研究では即発ガンマ線を用いたリアルタイム撮像や、コンプトンカメラを用いた 3 次元分子イメージングへの応用を検討している。図 7（左）は国立がんセンター東病院の陽子線治療室で取得したガンマ線スペクトルと 511keV ガンマ線画像（右）で、ビーム照射口に集中した画像が確認できる。現状では解像度が十分でないが、511keV に限らず即発ガンマ線を精度よくモニタすることで次世代医療への新たな突破口となる可能性が高い。

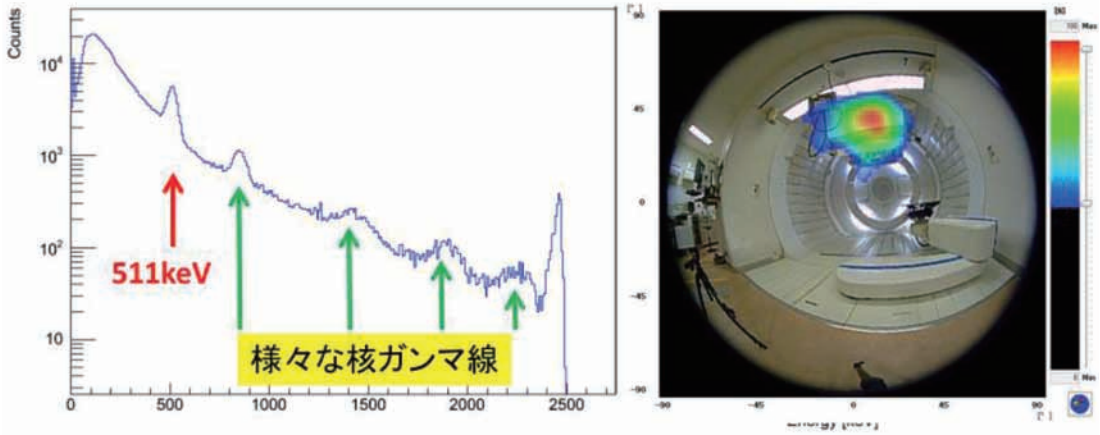


図 7：国立がんセンター東病院の陽子線治療室で取得したガンマ線スペクトル（左）と 511keV ガンマ線画像（右）。ビーム照射口に集中した画像が確認できる。いずれも治療 10 分後に入室してデータを取得。

3. 共同研究者

佐藤　悟朗　（早稲田大学理工学研究所・研究員講師）

4. 研究業績

4.1 学術論文（主要な査読付き論文のみ）

- J.Kataoka, A.Kishimoto, T.Fujita, et al., “Recent progress of MPPC-based scintillation detectors in high precision X-ray and gamma-ray imaging”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A, 出版中, 7 pages, (2015)
- Y.Yatsu, J.Kataoka, Y.Takahashi, et al, for the OISTER team, “ Multi-wavelength observations of the black widow pulsar 2FGL J2339.6-0532 with OISTER and Suzaku”, Astrophysical Journal, vol.802, p.84, 11 pages, (2015)
- M.Tahara, J.Kataoka, Y.Takeuchi, et al.,“ Suzaku X-ray Observations of the Fermi Bubbles: Northernmost Cap and Southeast Claw Discovered with MAXI-SSC”, Astrophysical Journal, vol.802, p.91, 13 pages, (2015)
- T.Ambe, H.Ikeda, J.Kataoka, et al., “Development and evaluation of an ultra-fast ASIC for future PET scanners using TOF-capable MPPC array detectors”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A, vol.771, pp.66-73, (2015)
- T.Nishiyama, J.Kataoka, A.Kishimoto, et al., “A novel Compton camera design featuring a rear-panel shield for substantial noise reduction in gamma-ray images”, Journal of Instrumentation, vol.9., C12031 (12 pages), (2014)
- Y.Kurei, J.Kataoka, T.Kato, et al.,“Development of a MPPC-based prototype gantry for future MRI-PET scanners”, Journal of Instrumentation, vol.9., C12032 (12 pages), (2014)
- T.Fujita, J.Kataoka, A.Kishimoto, et al., “Development of prototype PET scanner using dual-sided readout DOI-PET modules”, Journal of Instrumentation, vol.9., C12015 (12 pages), (2014)
- A.Kishimoto, J.Kataoka, T.Nishiyama, et al., “Performance and field tests of a handheld Compton camera using 3-D position-sensitive scintillators coupled to multi-pixel photon counter arrays”, Journal of Instrumentation. vol.9, P11025(15 pages), (2014)
- Y.Kurei, J.Kataoka, T.Kato, et al., “ Qualification test of a MPPC-based PET module for future MRI-PET scanners”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A, vol.765, pp.275-279, (2014)
- T.Fujita, J.Kataoka, T.Nishiyama, et al., “ Two-dimensional diced scintillator array for innovative, fine-resolution gamma camera”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A, vol.765, pp.262-268, (2014)
- T.Tsujikawa, H.Funamoto, J.Kataoka, et al., “Performance of the latest MPPCs with reduced dark counts and improved photon detection efficiency”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A, vol.765, pp.247-251, (2014)
- K.Takeuchi, J.Kataoka, T.Nishiyama, et al., “stereo Compton cameras for the 3-D localization of radioisotopes”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A, vol.765, pp.187-191, (2014)
- The Fermi-LAT collaboration, M.Ackermann, J.Kataoka (72 番目/135 人) et al, “The Spectrum and Morphology of the Fermi Bubbles”, Astrophysical Journal. vol. 793, 64 (34

pages) , (2014)
ほか共著論文 9 編

4.2 招待講演・口頭講演（国際学会）・セミナー

- J.Kataoka, “ Recent Progress of MPPC-based scintillation detectors in high precision X-ray and gamma-ray imaging” （次世代半導体光素子 MPPC を用いた高精度 X 線・ガンマ線イメージング）, Symposium on Radiation Measurements and Applications (SORMA XV 2014), ミシガン大学、2014 年 6 月 10 日~13 日
  【参考 URL】http://rma-symposium.engin.umich.edu/
- J.Kataoka, *INVEITED REVIEW*: “Observational aspects of AGN jets at high energy”, 高エネルギーX 線・ガンマ線でみた活動銀河ジェットの観測的特徴）, IAU Symposium 313 (国際天文学連合シンポジウム), ガラパゴス諸島、エクアドル, 2014 年 9 月 8 日～11 日
  【参考 URL】http://iau313ecuador.epn.edu.ec/invited.html

4.3 特許の申請

- 特願 2015-12203「放射性物質の三次元分布を計測する方法及びその装置」片岡 淳, 岸本 彩, 岩本 康弘（早稲田大学）

4.4 報道発表・プレスリリース

- 2014 年 7 月 23 日
  ガンマ線撮像用コンプトンカメラの高性能化に成功
  ～除染のさらなる効率化、環境調査、医療・理学応用へ期待～
  JST ページ： http://www.jst.go.jp/pr/announce/20140723-2/index.html

【静岡第一テレビ、日経産業新聞、日刊工業新聞、ハフィントンポスで紹介・掲載】

- Asia Research News 2015 - Environment
  “Gamma ray camera may help with Fukushima decontamination”

4.5 受賞

- 2014 年度第 1 回 早稲田大学リサーチアワード（国際研究発信力）,
  片岡 淳（理工学術院）
  http://www.waseda.jp/top/news/16449
- 2014 年度 物理応物・修士論文賞（宮部賞）: 藤田 卓也（片岡研究室）
  「3 次元シンチレータと MPPC を用いた高解像度 DOI-PET 装置の開発」
- 2014 年度 早稲田物理会賞 (並木賞) : 大島 翼（片岡研究室）

5. 研究活動の課題と展望

2015 年度は Astro-H 衛星が打ち上げられ、ファーストライトの貴重なデータが期待できる。Science Working Group (Galactic Center group) のサブ・リーダーとしてチーム全体を良く統括し、Astro-H のサイエンスを最大限に引き出すべく努力したい。医療放射線検出器の開発においては、2015 年度は科研費・基盤研究(S) ないしは(A) の初年度にあたり、「実用化へ向けた高解像度

3D カラー放射線イメージング技術の開拓」をテーマに研究に尽力したい。レントゲン撮影や X 線 CT, PET 検査や手荷物検査に至るまで、一般に放射線イメージングは 2 次元静止画像を基本とし、かつエネルギー情報を持たない。もし放射線の多色（カラー）イメージを高解像度・3 次元 (3D) でリアルタイムに取得できれば、被写体の立体構造や材質、現象のダイナミクスに至るまで、得られる情報量は飛躍的に向上する。本研究ではこれまで独自に開発したガンマ線可視化技術を応用・発展し、世界に先駆けた 3 つの革新技術を創生する。すなわち A) 超解像度 X 線・ガンマ線イメージング技術 B) 医療用リアルタイム 3D コンプトンカメラの開発 C) 広視野 3D エリアモニタの開発と環境計測への応用を目指す。システム全体を国産ベースで開発し、放射線・医療分野の活性化と産業界への迅速なフィードバックを目標としている。

染色体における遺伝子の発現・維持・継承のメカニズムの解明

研究代表者　胡桃坂　仁志
（先進理工学部 電気・情報生命工学科　教授）

１．研究課題

真核生物のゲノム DNA は、DNA 結合タンパク質と結合したクロマチン構造として細胞核内に収納されている。クロマチンはダイナミックに構造変換することが分かっており、クロマチン動態こそが遺伝情報発現制御の根幹をなすと考えられている。しかし、このクロマチン動態制御の詳細な機構は未だ明らかになっていない。クロマチンの最小機能単位は、４種類のヒストンタンパク質から構成されるヒストン８量体の周りに DNA が約１．７周巻き付いたヌクレオソームと呼ばれる円盤状の構造体である。さらに、４種類のヒストンには“ヒストンバリアント”と呼ばれる亜種が非常に多く存在し、この多様なヒストンバリアントによって形成される特殊なクロマチン構造によって、DNA の転写、複製、修復、組換えなどの DNA 機能発現制御が厳密に制御されると考えられている。本研究では、ヒストンバリアントが規定するクロマチンドメインの機能および構造解析、さらにクロマチン上で起こる DNA 修復機構の解明を目的とする。

２．主な研究成果

2.1　がん細胞の染色体に見られる CENP-A/H3 ハイブリッドヌクレオソームの構造解析

細胞分裂期において、クロマチンは非常に密に凝縮し、染色体と呼ばれる構造体になる。染色体には中央付近に一次狭窄部位が観察され、その領域をセントロメアと呼ぶ。セントロメア領域にはヒストンバリアント CENP-A が存在し、CENP-A によって特殊なクロマチン構造が形成されると考えられている。これまでに我々は、CENP-A を含むヌクレオソームの立体構造を解明し、セントロメア領域における CENP-A の機能を明らかにした（Tachiwana, *et al.*, *Nature*, 2011）。また、先行研究によって、がん細胞において過剰に発現した CENP-A がセントロメア領域以外の染色体領域に局在し、これが染色体の不安定化を引き起こすことが報告された。さらに、セントロメア領域以外の染色体領域に局在する CENP-A を含むヌクレオソームには、CENP-A と H3.3 が１分子ずつ含まれることが報告された。CENP-A と H3.3 を含むハイブリッドヌクレオソームによるクロマチン構造を明らかにするために、CENP-A/H3 ハイブリッドヌクレオソームを試験管内で再構成し、X 線結晶構造解析を行った。その結果、ヌクレオソーム中で CENP-A と H3.3 のそれぞれの特徴的な性質が観察された。さらに、CENP-A を２分子含むヌクレオソームと比較して、ハイブリッドヌクレオソームは構造安定性が高いことが明らかになった。このことは、がん細胞において高発現した CENP-A がセントロメア以外の領域に安定に局在することで、細胞分裂期における正常な染色体分配が行われない原因に

なることを示唆している。

2.2　高次クロマチン上での DNA 二重鎖切断損傷修復メカニズムの解明

生物のゲノム DNA は紫外線や放射線、活性酸素などによって恒常的に損傷を受けており、その中でもDNAの二重鎖切断損傷は、遺伝情報を失う可能性の高い極めて重篤な損傷である。この損傷を修復する機構の一つに相同組換え修復がある。真核生物においては、Rad51 タンパク質が相同組換え修復の中心的な役割を果たすことが分かっており、これまで相同組換え修復機構に関するさまざまな研究がなされてきた。しかし、多くの研究が相同組換え修復タンパク質の DNA 上での機能を解析したものであり、クロマチン上での機能を解析した例は非常に少ない。真核生物のゲノム DNA はヌクレオソームを基盤としたクロマチン構造を形成しており、リンカーヒストン H1 によってクロマチンが凝集した状態にあることが分かっている。それゆえに、真核生物においてはDNA修復が行われる際、大規模なクロマチン再編成が行われ、修復されるゲノム領域が露出される必要がある。本研究において、ヌクレオソーム-H1 複合体であるクロマトソーム上では、Rad51 および Rad51 と協同的に働く Rad54 の機能が阻害されること、さらにヒストンシャペロン Nap 1 が H1 を除去することによって、相同組換え修復因子の機能が活性化されることを明らかにした。

３．共同研究者

木村宏（東京工業大学）
田代聡（広島大学）
井倉毅（京都大学）
深川竜郎（大阪大学）
Geneviève Almouzni（キュリー研究所）
香川亘（明星大学）
有村泰宏（早稲田大学）
町田晋一（早稲田大学）
高久誉大（早稲田大学）
立和名博昭（早稲田大学）
越阪部晃永（早稲田大学）
佐藤浩一（早稲田大学）
堀越直樹（早稲田大学）
小林航（早稲田大学）
藤田理紗（早稲田大学）

４．研究業績

4.1　学術論文

Kono H., Shirayama K., Arimura Y., Tachiwana H., Kurumizaka H., Two arginine residues suppress the flexibility of nucleosomal DNA in the canonical nucleosome core, *PLoS One*, **10**, e0120635 (2015)

Saikusa K., Shimoyama S., Asano Y., Nagadoi A., Sato M., Kurumizaka H., Nishimura Y., Akashi S., Charge-neutralization effect of the tail regions on the histone H2A/H2B dimer structure, *Protein Sci.*, in press (2015)

Ichikawa Y., Nishimura Y., Kurumizaka H., Shimizu M., Nucleosome organization and chromatin dynamics in telomeres, *Biomol Concepts*, **6**, 67-75 (2015)

Kato D., Osakabe A., Tachiwana H., Tanaka H., Kurumizaka H., Human tNASP promotes in vitro nucleosome assembly with histone H3.3, *Biochemistry*, **54**, 1171-1179 (2015)

Saikusa K., Nagadoi A., Hara K., Fuchigami S., Kurumizaka H., Nishimura Y., Akashi S., Mass spectrometric approach for characterizing the disordered tail regions of the histone H2A/H2B dimer, *Anal. Chem.*, **87**, 2220-2227 (2015)

Sato K., Ishiai M., Takata M., Kurumizaka H., Defective FANCI binding by a fanconi anemia-related FANCD2 mutant, *PLoS One*, **9**, e114752 (2014)

Arimura Y., Shirayama K., Horikoshi N., Fujita R., Taguchi H., Kagawa W., Fukagawa T., Almouzni G., Kurumizaka H., Crystal structure and stable property of the cancer-associated heterotypic nucleosome containing CENP-A and H3.3, *Sci. Rep.*, **4**, 7115 (2014)

Nishibuchi G., Machida S., Osakabe A., Murakoshi H., Hiragami-Hamada K., Nakagawa R., Fischle W., Nishimura Y., Kurumizaka H., Tagami H., Nakayama J., N-terminal phosphorylation of HP1α increases its nucleosome-binding specificity, *Nucleic Acids Res.*, **42**, 12498-12511 (2014)

Osakabe A., Takahashi Y., Murakami H., Otawa K., Tachiwana H., Oma Y., Nishijima H., Shibahara K.I., Kurumizaka H., Harata M., DNA binding properties of the actin-related protein Arp8 and its role in DNA repair, *PLoS One*, **9**, e108354 (2014)

Taguchi H., Horikoshi N., Arimura Y., Kurumizaka H., A method for evaluating nucleosome stability with a protein-binding fluorescent dye, *Methods*, **70**, 119-126 (2014)

Hayashi-Takanaka Y., Stasevich T.J., Kurumizaka H., Nozaki N., Kimura H., Evaluation of chemical fluorescent dyes as a protein conjugation partner for live cell imaging, *PLoS One*, **9**, e106271 (2014)

Takahashi D., Sato K., Shimomuki M., Takata M., Kurumizaka H., Expression and purification of human FANCI and FANCD2 using Escherichia coli cells, *Protein Expr. Purif.*, **103**, 8-15 (2014)

Sugiyama M., Arimura Y., Shirayama K., Fujita R., Oba Y., Sato N., Inoue R., Oda T., Sato M., Heenan R.K., Kurumizaka H., Distinct features of the histone core structure in nucleosomes containing the histone H2A.B variant, *Biophys. J.*, **106**, 2206-2213 (2014)

Machida S., Takaku M., Ikura M., Sun J., Suzuki H., Kobayashi W., Kinomura A., Osakabe A., Tachiwana H., Horikoshi Y., Fukuto A., Matsuda R., Ura K., Tashiro S., Ikura T., Kurumizaka H., Nap1 stimulates homologous recombination by RAD51 and RAD54 in higher-ordered chromatin containing histone H1, Sci. Rep., **4**, 4863 (2014)

Unno J., Itaya A., Taoka M., Sato K., Tomida J., Sakai W., Sugasawa K., Ishiai M., Ikura T., Isobe T., Kurumizaka H., Takata M., FANCD2 binds CtIP and regulates DNA-end resection during DNA interstrand crosslink repair, *Cell Rep.*, **7**, 1039-1047 (2014)

Urahama T., Horikoshi N., Osakabe A., Tachiwana H., Kurumizaka H., Structure of human nucleosome containing the testis-specific histone variant TSH2B, *Acta Crystallogr. F Struct. Biol. Commun.*, 70, 444-449 (2014).

4.2　総説・著書

越阪部晃永、胡桃坂仁志、クロマチン構造基盤の多様性ー古くて新しい動的構造体の不思議ー Structural Versatility of the　Fundamental Unit of Chromatin、ナノ学会会報、13、3-7

越阪部晃永,堀越直樹,胡桃坂仁志、エピジェネティクスの構造基盤、構造生命科学で何がわかるのか，何ができるのか、羊土社、216-220、2014

胡桃坂仁志、ヒストンバリアントーベールの向こうの多様な機能、羊土社、2058-2063、2014

4.3　招待講演

Structure and dynamics of the nucleosome isoforms、高等研カンファレンス 2014「クロマチン・デコーディング」、京都

エピジェネティクスにおけるヒストンバリアントの役割、第８回日本エピジェネティクス研究会年会、東京

Structures and physical properties of nucleosome isoforms with histone variants, EMBO meeting on Histone Variants, Strasburg, France

ワークショップ「クロマチンの動態構造と DNA 機能発現機構」、第 14 回日本蛋白質科学会年会、横浜

BIOCHEMICAL ANALYSES OF RICE DNA RECOMBINASES RAD51 AND DMC1, Plant Genome Stability and Change 2014, Pacific Grove, USA

クロマチン構造とダイナミクスの多様性による遺伝子のエピジェネティクス制御機構、第 26 回高遠・分子細胞生物学シンポジウム、長野

クロマチン動構造とヒストンバリアント、第 52 回日本生物物理学会年会、北海道

創薬や再生医療の基盤となる「動くクロマチン構造」を追う、第 87 回日本生化学会大会、京都

Biochemical studies for homologous recombination reaction in chromatin, The 9th 3R Symposium, 大阪

クロマチンのエピジェネティック制御と創薬、第 37 回日本分子生物学会年会、横浜

Structural and functional studies of various nucleosomes as fundamental building blocks for Chromatin, 国際シンポジウム「The　4D Nucleosome 2014」, 広島

4.4　受賞・表彰

4.5　学会および社会的活動

NIH セミナー、タイトル "Structural basis of the centromeric chromatin formation"

同志社女子高等学校講演、タイトル「遺伝子を操る染色体のしくみと創薬」

㈱リバネス バイオガレージセミナーVol.3、タイトル「クロマチン機能制御機構の構造生物学的研究」

広島大クロマチン動態数理研究拠点ミニシンポジウム講演、タイトル "Contribution of histone variants in chromatin structure"

動的クロマチン構造と機能一般公開シンポジウム第 2 弾「生き物と細胞の設計図～DNA・クロマチン・核」、講演、タイトル「原子レベルで見る生命の設計図」

東京大学集中講義、タイトル「ゲノムと生体情報の科学」

東京薬科大学講演、タイトル「生命現象を支配するエピジェネティクスの構造基盤」

座長、ワークショップ「クロマチンのエピジェネティック制御と創薬」、第 37 回日本分子生物学会年会

座長、シンポジウム「創薬や再生医療の基盤となる「動くクロマチン構造」を追う」、第 87 回日本生化学会大会

５．研究活動の課題と展望

近年、大規模なゲノム解析によって、ヒストンにおける変異やヒストンバリアントの発現量と発がんやがんの悪性化との関連が示唆されている。これらの関係やそのメカニズムを原子・分子レベルで解明することは、がん発生機序の解明および新規抗がん剤の創出への多大な貢献につながると期待される。今後は、がん細胞で見つかったヒストン変異体によるクロマチン動態や色素性乾皮症の原因である DNA の紫外線損傷がクロマチンにおよぼす影響を構造生物学的解析や細胞生物学的解析によって明らかにする。

流体数学研究

研究代表者　柴田 良弘
（理工学研究所（基幹理工学部・数学科）　教授）

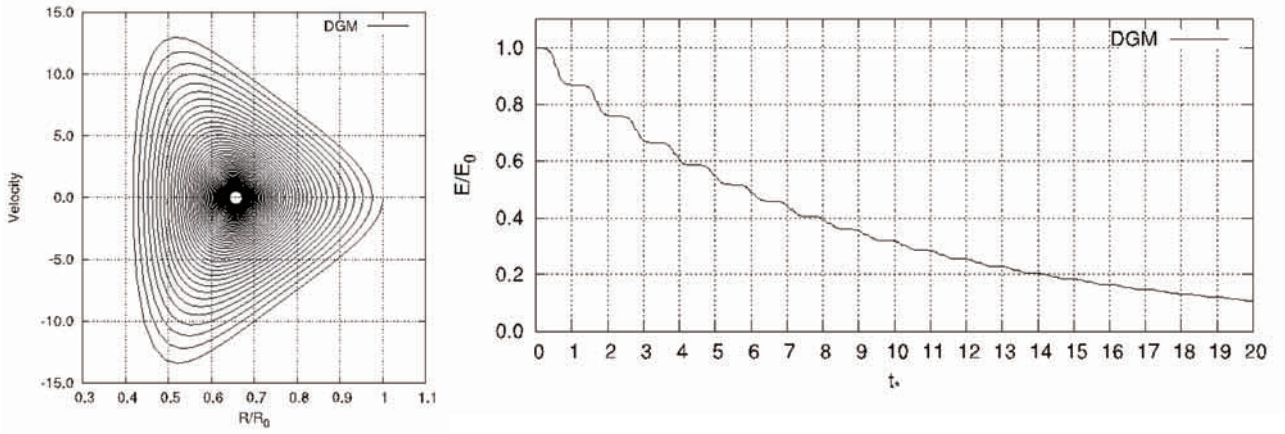
1.　研究課題

Navier-Stokes 方程式は粘性流体を記述する方程式として，物理学や工学などのさまざまな分野で幅広く用いられている．近年では Navier-Stokes 方程式の大規模数値シミュレーションが可能になり，様々な工業製品の設計に役立てられている．一方， Navier-Stokes 方程式の時間大域解な古典解の存在証明が，クレイ数学研究所のミレニアム問題の１つとなっているように，数学的には未解明なことが非常に多く，基礎理論の構築には新しいアイデアの創出やブレークスルーが要求される．本研究では Navier-Stokes 方程式の自由境界問題の数学解析や，数学理論を基盤とした信頼性の高い数値解析手法の確立を目指す．応用としてキャビテーション現象の解明などを意図しており，流れのメカニズムを数学的に解明することで，より独創的な設計への道が開かれると期待される．さらに多重スケールの関わる複雑な現象を記述する基礎方程式として，本質的に確率項を含むメゾレベルの Navier-Stokes 方程式を導出し，それに対する数学解析および数値解析の手法を構築する．

2. 主な研究成果

キャビテーション現象の数理解析の目標に，単一気泡の挙動を記述する Keller 方程式の数学解析および数値解析の研究を行った．Keller 方程式の時間大域解の存在と，平衡点への収束を示し，数学的な正当性を確認した．さらに，古典的な Rayleigh-Plesset 方程式のハミルトニアンが，Keller 方程式においては，時間減衰するエネルギーに相当することを発見した．離散勾配法と呼ばれる数値計算法を Keller 方程式に適用し，エネルギーが正確に減少する数値計算スキームを導出し，数学解析を行った．数値実験により，近似解が平衡点へ収束し，エネルギーが単調減少することを確認した(下図)．

非圧縮及び圧縮性 Navier-Stokes 方程式の自由境界問題に関して，時間 L_p 空間 L_q の枠組みで数学解析を行った．表面張力がない場合，時間 L_p 空間 L_q 最大正則性が成り立つ関数空間のクラスで，時間局所解の存在を証明した．



また，数値解析に関しては，自然対流問題に対する Lagrange-Galerkin 有限要素スキームを導出し，数値実験により，精度および安定性について検証を行った．確率解析に関しては，Kardar-Parisi-Zhan(KPZ)方程式からある種の変換により得られる線型確率熱方程式について，幾何的ブラウン運動の分布が不変束であることを示した．さらに，他成分がカップルした KPZ 方程式への拡張を行った．

3. 共同研究者

小澤 徹 (先進理工学部応用物理学科教授)　小薗 英雄(基幹理工学部数学科教授)
山崎 昌男(基幹理工学部数学科教授)　田端 正久(基幹理工学部数学科教授)
吉村 浩明(基幹理工学部機械科学航空学科教授)　舟木 直久(東京大学大学院数理科学研究科教授)
柳尾 朋洋(基幹理工学部機械科学航空学科准教授)　野津 裕史(高等研究所講師)
鈴木 幸人(基幹理工学部数学科主任研究員)　及川 一誠(基幹理工学部数学科次席研究員)
大縄 将史(重点領域研究機構研究助手)　横山 聡(東京大学大学院数理科学研究科特任研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文

Y. Shibata, “On some free boundary problem of the Navier-Stokes equations in the maximal Lp-Lq regularity class”, J. Differential Equations 258 (2015), 4127--4155.

H. Saito and Y. Shibata, “On decay properties of the Stokes equations with surface tension and gravity in the half space”, to appear in J. Math. Soc. Japan.

Y. Shibata, “R-boundedness for the two phase problem with phase transition: compressible-incompressible model problem”, to appear in Funkcial Ekvac.

T. Funaki, M. Ohnawa, Y. Suzuki, S. Yokoyama, “Existence and uniqueness of solutions to stochastic Rayleigh-Plesset equations”, J. Math. Anal. Appl., 425(2015), 20-32.

H. Notsu, M. Tabata, “Error estimates of a pressure-stabilized charcteristics finite element scheme for the Oseen equations”, to appear in J. Sci. Comput.

他多数

4.2 総説・著書

柴田 良弘，流体力学の数学的理論，岩波数学叢書，2014.

4.3 招待講演

Y. Shibata, “On some free boundary problem for the compressible barotropic viscous fluid flow”, Compflow2014, Conference Center of Institute of Mathematics of the Polish Academy of sciences (IMPAN) in Bedlewo, March 2014. 他

T. Ozawa, “Nonlinear Schrödinger Equation in Two Dimensional Domains”, 2014 International Conference, of the Honam Mathematical Society Chosun University, Gwangju, Republic of Korea, June 2014. 他

M. Tabata, “Energy-stable Lagrange-Galerkin finite element schemes for two-fluid flow problems”, The 5th China-Japan-Korea Joint Conference on Numerical Mathematics, Ningxia University, Yinchuan, China, Aug. 2014. 他

H. Yoshimura, “Dirac dynamical systems with symmetry and applications to nonholonomic systems,” 10th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications, Madrid, Spain, July 2014. 他

T. Funaki, “Mathematical approach connecting the microscopic with the macroscopic”, AIMR International Symposium 2015 --A new horizon for materials science with mathematics collaboration--, Sendai International center, Japan, Feb. 2015. 他

他多数

4.4 受賞・表彰

小薗 英雄,「非圧縮性ナビエ・ストークス方程式の定常・非定常流の調和解析的研究」, 2014 年度日本数学会賞秋季賞.

4.5 学会および社会的活動

柴田 良弘, 国際会議主催, “International Conference on Mathematical Fluid Dynamics, Present and Future”, 西早稲田キャンパス, 2014 年 11 月 11—14 日, 他

小澤 徹, 国際会議組織委員, Sapporo Symposium on Partial Differential Equations(A satellite conference of the ICM2014), Hokkaido University, Sapporo, Japan, Aug. 25—27, 2014.

舟木 直久, 日本数学会 理事長, Stochastic Partial Differential Equations: Analysis and Computations, editor, 岩波書店「数学叢書」編集顧問 他

野津 裕史, 日本数学会応用数学分科会委員 , 日本応用数理学会論文誌 編集委員.

他多数

5. 研究活動の課題と展望

キャビテーションの解析に関しては, Keller 方程式による単一気泡のリバウンド挙動の解析結果を基に, 気泡から放出される衝撃波の研究を行う. 気泡遠方の圧力場を解析するために, 圧縮性 Navier-Stokes 方程式あるいは Euler 方程式等を用いて数学モデルを構成する. 以上の結果を発展させ, 気泡雲の挙動と衝撃波形成のメカニズムを解析する.

数値解析に関しては, 相変化を伴う自由境界問題などの, 領域が変形するインターフェース問題について研究を進める予定である. 数学理論に基づいた高精度かつ安定的な数値計算スキームの開発を目指す. また, 確率解析に関しては, 様々なノイズ(非整数ブラウン運動など)や空間に依存するノイズを考慮した確率偏微分方程式を導出し, 数学的な適切性を検討する予定である.

理論核物理学研究

研究代表者　鷹野　正利
（理工学研究所　教授）

１．研究課題

現実的核力から出発して一様核物質の状態方程式(EOS)を決定するための多体変分法の研究を行う。また多体変分計算に基づく核物質 EOS を拡張し、超新星爆発（SN）等の高エネルギー天体現象の数値シミュレーションへの適用を目指す。

２．主要な研究成果

2.1 現実的核力に基づく、SN シミュレーションに適用可能な核物質 EOS の作成

現実的核力から出発して、SN 等の天体現象に対する数値流体シミュレーションに適用可能な核物質 EOS を作成する研究を、昨年から継続して遂行した。

昨年度までで､現実的な核力として２体核力 Argonne v18(AV18)と３体核力 Urbana IX(UIX)から出発し、クラスター変分法を用いて有限温度一様非対称核物質の自由エネルギーを求め、そこから得られた各種熱力学量を用いて、一般相対論的星の一次元重力崩壊の数値シミュレーションを行った。この際非一様核物質 EOS は Shen EOS を代用した。また並行して非一様核物質の自由エネルギーの Thomas-Fermi（TF）計算も推進してきた。

今年度は TF 計算で作成した非一様核物質 EOS も含め、一様相と非一様相を自己無矛盾とした核物質 EOS を、一般相対論的星の一次元断熱重力崩壊の数値シミュレーションに適用した。Woosly-Weaver の太陽質量の１５倍の星のコアを初期状態とし､その時間発展を追ったところ､Shen EOS を用いた場合に比べて中心のコアはより高密度状態まで圧縮し、その結果爆発現象に有利であることが判明した｡ただしこの結果は一様核物質の場合のみを本変分法に基づく EOS に置き換えた結果と大きく異ならない。また高温低密度状態で出現する核種を Shen EOS のそれと比較すると、両者に大きな違いは見られなかった。これは本計算が断熱シミュレーションであり、陽子混在度が初期状態で与えられる値（およそ 0.4～0.5）から変化しないことが主な原因である。本研究で作成された非一様物質 EOS での核種は、比較的大きな陽子混在度では Shen EOS での核種と大きく異ならないが､陽子混在度が小さい中性子過剰領域では､Shen EOS で予言される核種よりも中性子過剰で大きな核種が現れるようになる。よって今後ニュートリノ輸送を取り入れた SN シミュレーションを実行した場合には、出現する核種の違いが期待される。

なお、本研究は東京理科大学鈴木研究室及び沼津高専住吉氏との共同研究である。

2.2 エネルギー汎関数を用いた変分法の改良

現実的核力から出発して一様核物質のエネルギーを計算するための、陽なエネルギー汎関数（Explicit Energy Functional: EEF）を用いた変分法の改良を行った。

昨年度までの研究では、取り扱う２体核力成分として中心力とテンソル力に加え、中性子物質に

対しスピン・軌道力を含むように EEF を拡張した（AV8'ポテンシャル）。今年度はこれに加えて３体核力 UIX ポテンシャルの斥力項を取り入れるように EEF の拡張を行った。この EEF を用いて得られた中性子物質の一核子当たりのエネルギーのテスト計算結果は、図１に示すとおり、Monte Carlo（AFDMC）計算結果に近い値となった。ただし AFDMC 計算結果は本研究結果より若干高いエネルギー値を示している。これは本研究計算において、UIX ポテンシャルの 2π交換項が取り扱われていないことが原因の一つと考えられる。

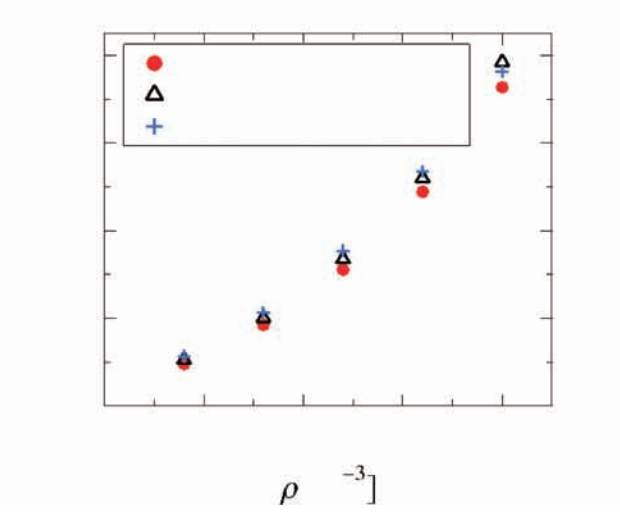


図１：AEE で求めた中性子物質の一粒子当たりのエネルギーE/N。ρは中性子数密度。２体核力ポテンシャルとして AV8'を、３体核力ポテンシャルとして UIX 斥力項を用いている。AFDMC と FHNC の結果も示されている。

上記研究に加え、AEE の有限温度核物質への拡張の研究も推進した。特に昨年度までは２体中心力および３体斥力で相互作用している中性子物質に対して、その自由エネルギーを計算した。そこで今年度は同様のハミルトニアンを持つ対称核物質に対して、自由エネルギーを求めた。テスト計算の結果は妥当な値を示したが、中性子物質の場合と同様に、高温低密度の領域では収束解が得られない困難が生じた。そこで本研究では絶対零度核物質に対する Mayer 条件の拡張を、有限温度核物質自由エネルギー計算へと適用し、収束解を得る改善を行った。ただしこの改良において導入される healing distance の値の選択方法に不定性があるため、今後の改良が必要である。

2.3　クラスター変分法によるハイペロン物質の研究

2.1 で報告したクラスター変分法の研究を拡張し、中性子星内部で実現すると考えられるハイペロン混合を考慮するように、ハイペロン物質の状態方程式を調べる研究を行った。ただし核子ハイペロン間相互作用、及びハイペロン間相互作用には大きな不定性があるため、ハイパー核構造から情報が得られるチャネルに対してはそのポテンシャルを用い、ハイパー核構造からも決定出来ない相互作用に関してはその不定性が中性子星構造に与える影響を調べる研究を推進中である。

なお本研究は理化学研究所の富樫氏、肥山氏、山本氏との共同研究である。

３．研究業績

3.1 学術論文

H. Togashi, Y. Takehara, S. Yamamuro, K. Nakazato, H. Suzuki, K. Sumiyoshi and M. Takano, “Nuclear equation of state for core-collapse supernovae with realistic nuclear forces” PoS (NIC XIII) 169 (2015).

S. Nishimura and M. Takano, “Shell effects in hot nuclei and their influence on nuclear composition in supernova matter”, AIP Conf. Proc. 1594 (2014) 239-244.

M. Takano, K. Kato and M. Yamada, “Explicit energy functional for infinite nuclear matter with the tensor force”, J. Phys. Conf. Ser. 529 (2014) 012025.

H. Togashi, Y. Takehara, S. Yamamuro, K. Nakazato, H. Suzuki, K. Sumiyoshi and M. Takano, “Equation of state for nuclear matter in core-collapse supernovae by the variational method”, J. Phys. Conf. Ser. 569 (2014) 012058.

3.2 総説・著書

「原子力・量子・核融合辞典」（丸善出版）第 I 分冊分担執筆

3.3 講演

H. Togashi, Y. Takehara, S. Yamamuro, K. Nakazato, H. Suzuki, K. Sumiyoshi and M. Takano, “Equation of state for nuclear matter in core-collapse supernovae by the variational method”, 3rd International Workshop on State of the Art in Nuclear Cluster Physics (SOTANCP3), May 28, 2014, Yokohama, Japan (Oral presentation).

H. Togashi, Y. Takehara, S. Yamamuro, K. Nakazato, H. Suzuki, K. Sumiyoshi and M. Takano, “Variational study of the supernova equation of state with realistic nuclear forces”, 4th Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and the Physical Society of Japan, October 9, 2014, Hawaii, USA (Oral presentation).

M. Takano and K. Kato, “An Explicit Energy Functional for Neutron Matter Taking into Account the Spin-Orbit Forces”, 4th Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American Physical Society and the Physical Society of Japan, October 9, 2014, Hawaii, USA (Oral presentation).

H. Togashi, E. Hiyama, M. Takano and Y. Yamamoto, “Cluster variational method for nuclear matter with hyperons”, Strangeness Nuclear Physics 2014 (SNP2014), December 13, 2014, Changsha, China (Oral presentation).

H. Togashi, E. Hiyama, M. Takano and Y. Yamamoto, “Equation of state for hyperonic nuclear matter with the cluster variational method”, HPCI and iTHES workshop on “Study of Neutron stars and Core-Collapse Supernovae”, December 16, 2014, Wako, Japan (Oral presentation).

H. Togashi et al., “Variational study of nuclear equation of state fore core-collapse supernovae and hyperonic neutron stars”, International Workshop on NEUTRINO PHYSICS and ASTROPHYSICS, March 16, 2015, Istanbul, Turkey (Oral presentation).

富樫甫、肥山詠美子、鷹野正利「変分法によるハイペロン物質状態方程式の研究」「ストレンジネスを含む原子核の最近の展開」研究会（静岡県熱川）2014 年 9 月 25 日（口頭発表）

加藤浩平、鷹野正利「有限温度一様核物質に対するエネルギー汎関数を用いた変分法」新学術領域研究『実験と観測で解き明かす中性子星の核物質』第３回研究会（静岡県熱川）2014 年 9 月 23 日（ポスター発表）

富樫甫、肥山詠美子、鷹野正利、山本安夫「変分法によるハイペロン混合を考慮した核物質状態方程式」新学術領域研究会「中性子星核物質」（京都大学基礎物理学研究所）2015 年 3 月 12 日（口頭発表）

富樫甫、肥山詠美子、鷹野正利、山本安夫「一様ハイペロン物質に対するクラスター変分法の研究」日本物理学会第 70 回年次大会（早稲田大学）2015 年 3 月 24 日（口頭発表）

H. Togashi, Y. Takehara, S. Yamamuro, K. Nakazato, H. Suzuki, K. Sumiyoshi and M. Takano, “NUCLEAR EQUARION OF STATE FOR CORE-COLLAPSE SUPERNOVAE WITH REALISTIC NUCLEAR FORCES”, 13th Symposium on Nuclei in the Cosmos (NIC XIII), July 7-11, 2014, Debrecen, Hungary (Poster presentation).

４．研究活動の課題と展望

SN シミュレーション用核物質 EOS 作成の研究では、非一様相も含めた最終的な SN-EOS テーブルを完成させ、公開する。また EEF 変分法については、これまでの段階までの計算の精度向上および対称核物質への EEF の拡張を行う。クラスター変分法によるハイペロン物質 EOS の研究では、ハイペロンとしてΛとΣを考慮した場合の結果を整理し、さらにハイペロンの種類を増やした場合へと計算を拡張する。

統計科学と金融工学

研究代表者　谷口　正信
（基幹理工学部 応用数理学科　教授）

独立標本においては種々の James-Stein 型の縮小推定量が提案され、それらの最小２乗誤差(MSE)が評価され、従来のスタンダードな推定量を改善する条件が求められてきた。従属標本の統計学においては、縮小推定量の議論は、極めて未熟な状態であり、本研究では多変量非線形非正規時系列を含む従属標本の未知母数ベクトルに対して、不偏性をはずした縮小型(Biased Shrinkage(BS))推定量を提案し、尤度比過程の漸近理論(LAN)に基づいて、その MSE を評価して、従来のスタンダードな推定量の MSE を改善する条件をもとめる。本研究では、極めて一般的な従属モデルに対して、現代的な LAN に基づく縮小推定量の統一的理論構築することである。

具体的には、従属モデルも含む曲確率過程モデルの母数の最尤推定量(MLE) とその縮小推定量を提案し、MLE と縮小推定量の MSE を３次のオーダーまで評価して、それらの差を求めた。これより、縮小推定量が MLE を３次のオーダーまで改善する十分条件を求めた。この結果は極めて一般的で、多次元確率過程の平均ベクトル、自己共分散行列、時系列回帰モデルの回帰係数推定に適用できる。

曲確率過程モデルを導入したのは、従属収益率過程の平均・分散ポートフォリオ推定量は収益率過程の標本平均と標本共分散関数の関数で表わせる。従って曲構造が本質的に現れる設定である。ここでポートフォリオ係数の MLE とその縮小推定量の MSE の差を３次まで評価でき縮小推定量が MLE を改善するための十分条件を求めた。設定、解析とも極めて一般的なので縮小推定量の高次での改善を主張しているので、応用は広汎である。

本研究では確率過程の次元、未知母数の次元が、共に有限であると仮定した設定であったが、今後は高次元確率過程や、高次元回帰モデルに対する縮小推定量の導入とその漸近てきな良さの評価を行う。

インシリコ・ケミストリーの確立：
大規模量子化学計算手法の高精度化・高速化・汎用化

研究代表者　中井　浩巳
（理工学研究所　教授）

１．はじめに

本重点教員研究では、材料設計・開発を目的としたインシリコ・ケミストリーの確立を目指す。実践的なインシリコ・ケミストリーを確立するために、量子化学計算の高精度化・高速化・汎用化を目的の一つとする。ただし計算手法の開発だけでは、実践的インシリコ・ケミストリーを様々な材料開発の分野へ浸透させるには不十分である。そこで、高度化された量子化学計算をどのように用いるのかという実践的な『レシピ』作りも本研究における目的の一つとする。本重点教員研究の学術的な研究成果は、プロジェクト研究「相対論的電子論が拓く革新的機能材料設計」と共通であり、同年次報告を参照されたい。

一方、重点教員研究としては、学術的な活動に加えて、以下の 5 点の目標を設定した。(i) 「京」コンピュータに関する国家プロジェクトへの参加、(ii) 世界標準の量子化学プログラムパッケージへの公開、(iii) 早稲田大学における理論化学物理に関する国際会議の開催、(iv) グローバル COE「実践的化学知」への積極的貢献、(v) 外部資金の獲得。以下に具体的な成果を示す。

２．主な活動実績

(i) 「京」コンピュータに関する国家プロジェクトへの参加

分子研・計算分子科学研究拠点(TCCI)は、文部科学省「革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ（HPCI）の構築」の HPCI 戦略分野 2「新物質・エネルギー創成」を担う計算物質科学イニシアティブ(CMSI、代表機関：東大物性研)の一員で、分子研が戦略機関としての活動するための拠点である。本研究代表者は、TCCI の第 3 部会において特別支援課題「ナノ・生体系の反応制御と化学反応ダイナミクス」の代表として、研究を推進している。

本年度は、「化学反応シミュレーションによる CO_2 分離回収のためのアミン溶液の探索」という課題で「京」コンピュータの利用に採択され、量子動力学計算プログラム DC-DFTB-K のさらなる高並列化・高効率化を行った。同時に、CO_2 の吸収過程及び放散過程のシミュレーションを行い、その反応メカニズムを明らかにした。

また、文部科学省「ポスト「京」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関するアプリケーション開発・研究開発」という研究公募に対しても、分子研を研究拠点として「重点課題：⑤エネルギーの高効率な創出、変換・貯蔵、利用の新規基盤技術の開発」に申請し、採択に至った。早稲田大学は分担機関と位置づけられ、今後、最長で平成 31 年度まで本プロジェクトを遂行することとなった。

(ii)世界標準の量子化学プログラムパッケージへの公開

本研究代表者らは、世界的な量子化学計算プログラム GAMESS に、独自に開発した理論的手法である分割統治(DC)型線形スケーリング法と密度汎関数理論(DFT)に対する局所応答分散力(LRD)法を実装し、公開している。本年度は、これらの方法に新たな機能を追加し、GAMESS プログラムの更新準備を行った。また、独自に開発した 2 成分相対論法に関しても新たに GAMESS プログラムに導入するための準備を行った。

(iii) 早稲田大学における理論化学物理に関する国際会議の開催

本研究代表者は、平成 25 年 9 月に第 7 回理論化学物理国際会議(ISTCP-VII)を組織委員長とした開催し、成功裏に終わった。その他、いくつの国際会議においても諮問委員(Scientific Board)を務めてきた。これらの功績により平成 26 年 9 月には国際学会 WATOC (World Association of Theoretical and Computational Chemists)の理事(Board of Directors)、平成 26 年 11 月には英国王立化学会(Royal Society of Chemistry)のフェローに選ばれた。

(iv) グローバル COE「実践的化学知」への積極的貢献

本研究代表者は、GCOE の後継プロジェクトである「卓越した大学院拠点形成支援補助金」にもナノ・エネルギー材料の PI として活動した。

(v) 外部資金の獲得

本研究代表者は、平成 24 年 9 月から科学技術振興機構(JST)の戦略的創造研究推進事業(CREST)プロジェクトの「相対論的電子論が拓く革新的機能材料設計」を推進している。同時に、他大学の 5 グループとの連携を計り、より大きな成果へ繋げる努力をしている。

また、本研究代表者は、平成 24 年度から京都大学触媒・電池元素戦略拠点(ESICB)の拠点教授として、プロジェクトに参画している。そして、その研究の一環として東京大学の山田淳夫研究室との共同研究を実施し、その成果を論文発表した。

平成 26 年度は、「ユビキタス水素の機能とダイナミクスに関する理論的研究」という研究題目で科学研究費 基盤研究(A)に研究代表者として採択され、研究を推進した。

３．共同研究者

菊池　那明（理工学術院・次席研究員）
清野　淳司（日本学術振興会・特別研究員）
石川　敦之（理工学術院・次席研究員）
王　祺（理工学術院・次席研究員）
五十幡　康弘（理工学術院・化学・生命化学科・助手）
西村　好史（分子科学研究所・拠点研究員、理工学研究所・招聘研究員）

４．研究業績

4-1　学術論文

1. “Acceleration of self-consistent field convergence in ab initio molecular dynamics simulation with multi-configurational wave function”, M. Okoshi, H. Nakai, *J. Comput. Chem.*, **35** (20), 1473–1480 (2014).
2. “Extension of accompanying coordinate expansion and recurrence relations method for general-contraction basis sets”, M. Hayami, J. Seino, H. Nakai, *J. Comput. Chem.*, **35** (20), 1517–1527 (2014).

3. “Theoretical study on excess-electron transfer in DNA based on the Marcus theory”, Y. Takada, M. Okoshi, M. Hoshino, A. Ishikawa, M. Ishikawa, H. Nakai, *J. Comput. Chem. Jpn.*, **13** (4), 242–249 (2014).
4. “Quantum chemical approach for condensed-phase thermochemistry: Proposal of a harmonic solvation model”, H. Nakai, A. Ishikawa, *J. Chem. Phys.*, **141** (17), 174106 (9 pages) (2014).
5. “Linear-scaling self-consistent field calculations based on divide-and-conquer method using resolution-of-identity approximation on graphical processing units”, T. Yoshikawa, H. Nakai, *J. Comput. Chem.*, **36** (3), 164–170 (2014).
6. “Linearity condition for orbital energies in density functional theory (V): Extension to excited state calculations”, Y. Imamura, K. Suzuki, T. Iizuka, H. Nakai, *Chem. Phys. Lett.*, **618**, 30–36 (2015).
7. “Local response dispersion method in periodic systems: Implementation and assessment”, Y. Ikabata, Y. Tsukamoto, Y. Imamura, H. Nakai, *J. Comput. Chem.*, **36** (5), 303–311 (2015).
8. “Effect of Hartree-Fock exact exchange on intramolecular magnetic coupling constants of organic diradicals”, D. Cho, K. C. Ko, Y. Ikabata, K. Wakayama, T. Yoshikawa, H. Nakai, J. Y. Lee, *J. Chem. Phys.*, **142** (2), 024318 (7 pages) (2015).
9. “Quantum chemical approach for condensed-phase thermochemistry (II): Applications to formation and combustion reactions of liquid organic molecules”, A. Ishikawa, H. Nakai, *Chem. Phys. Letters*, **624**, 6–11 (2015).
10. “Revisiting the extrapolation of correlation energies to complete basis set limit”, M. Okoshi, T. Atsumi, H. Nakai, *J. Comput. Chem.*, **36** (14), 1075–1082 (2015).
11. “A divide-and-conquer method with approximate Fermi levels for parallel computations”, T. Yoshikawa, H. Nakai, *Theor. Chem. Acc.*, **134** (5), 53 (11 pages) (2015).

4-2　著書（総説を含む）

1. “1-4 相対論的量子化学”, 中井浩巳, 錯体化学会選書１０「金属錯体の量子•計算化学」, 70–94 (共立出版，2014).
2. “Large-scale relativistic quantum-chemical theory: Combination of the infinite-order Douglas-Kroll-Hess method with the local unitary transformation scheme and the divide-and-conquer method”, J. Seino, H. Nakai, *Int. J. Quant. Chem. (Perspective)*, 115 (5), 253–257 (2015). (Special Issue of Theoretical Chemistry in Japan)
3. “Local response dispersion method: a density-dependent dispersion correction for density functional theory”, Y. Ikabata, H. Nakai, *Int. J. Quant. Chem. (Tutorial Review)*, 115 (5), 309–324 (2015). (Special Issue of Theoretical Chemistry in Japan)
4. “キャリアイオンの脱溶媒和過程の理論的解析”, 大越昌樹，中井浩巳, *Electrochemistry*, 82 (12), 1098–1101 (2014). (特集: 実験と理論のインタープレイによる新規機能性電解液開発)
5. “Energy expression of the chemical bond between atoms in hydrides and oxides and its application to materials design”, M. Morinaga, H. Yukawa, H. Nakai, pp. 183–213 in *‘The DV-Xα Molecular-Orbital Calculation Method’*, T. Ishii, H. Wakita, K. Ogasawara, Y. Kim (Eds.) (Springer, 2015).

4-3　招待講演

1. “Development of efficient two-component relativistic method for large systems”, H. Nakai, *The 11th International Conference on Relativistic Effects in Heavy-Element Chemistry and Physics (REHE-2014)*, (Smolenice Castle, Slovakia), September 20-24, 2014.

2. “Harmonic solvation model (HSM) for quantum chemical calculation of condensed-phase free energy”, H. Nakai, *The XIX Workshop on Quantum Systems in Chemistry, Physics and Biology (QSCP-XIX)*, (Tamsui, Taipei, Taiwan), November 11-17, 2014.
3. “Efficient two-component relativistic method for large systems”, H. Nakai, *11th International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering (ICCMSE 2015)*, (Metropolitan Hotel, Athens, Greece), March 20-23, 2015.
4. “量子化学・統計力学・熱力学：新しい凝縮系の自由エネルギー計算”, 中井浩巳, *第8回シンポジウム「革新的量子化学の展開」*, キャンパスプラザ京都(京都), 2014 年 5 月 3 日.
5. “凝縮系の熱力学に対する量子化学計算：調和溶媒和モデル(HSM)の開発と応用”, 中井浩巳, *先端化学・材料技術部会 コンピュータケミストリ分科会 次世代 CCWG 次世代計算化学技術セミナー*, 一碧荘(日本ゼオン保養所) (伊東), 2014 年 8 月 21-22 日.
6. “凝縮系の熱力学量の高精度量子化学計算”, 中井浩巳, *第37回情報化学討論会*, 豊橋商工会議所 (豊橋), 2014 年 11 月 27-28 日.
7. “量子化学における第 2 量子化の手法”, 中井浩巳, *第4回量子化学ウィンタースクール～大規模系を目指した基礎理論～*, 岡崎コンファレンスセンター(岡崎), 2014 年 12 月 15~16 日.

4-4　国内学会・国際会議等運営

1. 第 16 回理論化学討論会，理論化学研究会・世話人，2014 年 5 月 22 日-24 日，名古屋大学，参加者約 200 名，優秀講演賞・優秀ポスター賞を新設.
2. 日本化学会第 94 回春季年会・アジア国際シンポジウム，日本化学会　理論化学・情報化学・計算科学ディビジョン・主査, 2015 年 3 月 26 日-29 日，日本大学（船橋キャンパス），シンポジウム参加者約 50 名，物理化学ディビジョンと共催.
3. Second China-Japan-Korea Tripartite Workshops on Theoretical and Computational Chemistry (CJK-WTCC-II), Steering Committee (Founding Member), 2015 年 1 月 20 日-23 日, RIKEN AICS (Kobe), 参加者約 50 名.

宇宙放射線科学の実験的研究

研究代表者　長谷部 信行
（理工学術院所　教授）

１．　研究課題

宇宙で繰り広げられている様々な高エネルギー現象を観測することは、宇宙の起源とその後の進化、宇宙の成り立ち等、それぞれの時空で生起している物理現象の解明の手掛かりになるだけでなく、新しい世界へと導く自然科学の魅力を有している。また、宇宙は、今後の人類が恒常的に進歩していく上で、開発すべき重要な活動領域といえる。本研究は、地球科学を含め惑星科学、宇宙線･宇宙空間物理学に深く関連している宇宙放射線物理学の実験的研究である。特に、MeV領域のγ線、中性子線、粒子線、またkeV領域のＸ線は、惑星・宇宙を構成している重要な物質情報（原子核や原子成分）を担っている。それらの情報から月・惑星・小惑星や天体の形成や進化、天体の表面や宇宙空間で生起している壮大な高エネルギー現象の謎の解明に取り組んでいる。また、それらの観測・実験分野で要求される新しい検出器技術やエレクトロニクスの技術開発、その周辺技術の開発を進めている。

A）地球・月・惑星科学と探査

A.1 月探査「かぐや」のガンマ線観測、月隕石と月科学
A.2 月面、月の地下、月の縦穴などの放射線量の評価
A.3 放射線帯下層域の補足電子群の下降現象と地震との関連
A.4 月･惑星探査機に搭載する高性能な小型元素分析装置及び光学機器の基礎開発

B）放射線物理学及びその応用

B.1 放射線の検出媒体としての希ガスの基礎研究とその応用
B.2 超重核検出用の固体飛跡検出器の基礎開発とその応用

２．　主な研究とその成果

A．地球・月・惑星科学と探査

A．1　月探査「かぐや」のガンマ線観測、月隕石と月科学

月表層における主要元素や微量元素（特に天然放射性元素）の元素濃度分布に関する情報は、月地殻の起源と進化を理解する上で必要不可欠な情報である。月探査衛星かぐやに搭載されたガンマ線分光計（KGRS）には、エネルギー分解能に優れたゲルマニウム結晶が用いられており、多くの元素由来のガンマ線を高精度で観測することができ、更に元素分布の全球図を作成することができた。KGRSの観測でえら得た全球図は、月表面から放出される様々なエネルギーのガンマ線の分布だけでなく、高速中性子の強度分布に関する全旧図も作成することができた。

月隕石 Northwest Africa 2200 について、その元素組成・鉱物組成を求めた。これらの斜長岩片中にみられる鉱物組成は、アポロ計画で表側から回収された鉄に富む斜長岩によく似ており、隕石衝突の影響を強く受け多様に角礫化を経験している。一方、全岩組成は、Th や希土類元素が大きく枯渇していることから、その起源地域はアポロ回収地点とは異なる高地地域である。Dhofar 489 と Dhofar 911 という隕石試料の詳細な薄片観察から、ほぼ 100%斜長石で構成される岩石片（純粋斜長岩）を初めて見つけた。月隕石の分析結果と月探査衛星「かぐや」の反射スペクトル結果から、純粋斜長岩体は全球的に分布していることを明らかにし、従来の月地殻形成モデルの再考が必要であることを指摘した。

業績

論文

[1] H. Nagaoka, H. Takeda, Y. Karouji, M. Ohtake, A. Yamaguchi, S. Yoneda, N. Hasebe.“Implications for the origins of pure anorthosites found in the feldspathic lunar meteorites, Dhofar 489 group”, Earth, Planets and Space, 66, 115, 2014.

国内・国際学会

[2] N. Hasebe, H. Kusano, H. Nagaoka, E. Shibamura, R. Mitsuhashi, J.A.M. Lopes, “Lunar gamma-rays and neutrons measured by Kaguya gamma-ray spectrometer”, 24th European Cosmic Ray Symposium (ECRS2014), Kiel, Germany, Sep. 1 - 5, 2014.

[3] N. Hasebe, H. Nagaoka, H. Kusano, Y. Sakuramoto, M. Hareyama, Y. Karouji, N. Yamashita, S. Kobayashi, K.J. Kim, “Elemental distributions of iron and titanium on the lunar surface observed by Kaguya gamma-ray spectrometer”, 40th COSPAR Scientific Assembly (COSPAR 2014), Moscow, Russia, Aug. 2-10, 2014.

[4] H. Nagaoka, Y. Sakuramoto, Y. Karouji, N. Yamashita, M. Hareyama, S. Kobayashi, H. Kusano, N. Hasebe, “Distributions of Titanium on the Moon by Kaguya Gamma-ray Spectrometer (KGRS)”, 11th Annual Meeting of Asia Oceania Geoscience Society (AOGS 2014), Sapporo, Japan, Jul. 28-Aug. 1, 2014.

[5] Nobuyuki Hasebe, Yusuke Ideguchi, Sota Shimizu, Eido Shibamura, Hiroshi Nagaoka, Hiroki Kusano, Kunitomo Sakurai, Masanori Kobayash, “Global Distribution of counting rates observed by a thin plastic scintillator of KAGUYA gamma ray sectrometer”, International Symposium on Remote Sensing 2014 (ISRS2014), Busan, Korea, Jun. 16-18, 2014.

[6] H. Nagaoka, Y. Sakuramoto, H. Kusano, Y. Takami, M. Naito, N. Hasebe, “Global distribution of titanium on the Moon observed by Kaguya gamma-ray spectrometer: Implication of the enrichment of Ti in Mare Tranquillitatis”, International Symposium on Lunar and Planetary Science 2014 (ISLPS2014), Macau, China, Jun. 3-5, 2014.

[7] N. Hasebe, H. Kusano, H. Nagaoka, Y. Sakuramoto, S. Shimizu, E. Shibamura, K. Sakurai, M. Hareyama, Y. Karouji, J. Haruyama, “Lunar radiation measurement by Kaguya gamma-ray spectrometer”, International Symposium on Lunar and Planetary Science 2014 (ISLPS2014), Macau, China, Jun. 3-5, 2014.

[8] H. Nagaoka, N. Hasebe and KGRS team. “Composition from SELENE Data and Meteorite Analysis (2)”, SELENE Symposium 2014, Tokyo, Japan, March 4-5, 2014.

[9] 長岡央，長谷部信行，草野広樹，内藤雅之，柴村英道，天野嘉春，太田亨，T. J. Fagan，Waseda AXS team “将来の惑星探査に向けた小型放射線分光装置の提案”，日本惑星科学会 2014 年秋季講演会，仙台，日本，9/24-26，2014

卒論

[10] 林田陵介、“かぐや搭載ガンマ線分光計による高エネルギーガンマ線放射気候に関する研究”、2014年度卒論.

A.2 月面、月の地下、月の縦穴などの放射線量の評価

月や火星は地球に近い天体であり、アクセスや通信が比較的容易であるために、近い将来には長期的な有人探査地域となるであろう。しかし、月面や火星表面の放射線環境は、地球表面とは大きく異なっている。月・火星では大気が殆どないか薄い、そして磁場は非常に弱いために、高エネルギー荷電粒子はもちろんのこと低エネルギー粒子も直接月や火星の表面に到達する。月面や火星表面での居住者や作業者は、長期にわたって過酷な環境にさらされることになる。最近、月や火星に直径数 10 m 以上の縦穴がいくつも見つかっている。有人基地として月や火星の溶岩チューブなどの空洞を考えた場合、放射線や微小隕石への曝露からの遮蔽、安定な温度環境など、長期滞在の居住環境として適した場所といえる。

月の表面、地下、ラバチューブでの放射線環境について述べ、一様で平滑な表面、巨大岩体周辺、縦穴、ラバチューブの特殊地域での放射線被曝および人的活動のための放射線防護に関する評価を行った。縦穴または溶岩チューブでの活動は、殆んど地球の表面で受ける放射線の被ばく線量と殆んど変わりがないがわかった。月の縦穴、或はラバチューブ内での有人活動は、放射線だけでなく微小隕石、また過酷な温度環境などの点から、将来の人類の活動に適した環境であるといえる。

業績

国内外学会・会議等

[1] Nobuyuki Hasebe, Takuma Saito, Hiroki Kusano, Hiroshi Nagaoka, Mitsuhiro Miyajima, Eido Shibamura, Kunitomo Sakurai, Shuya Ota, Satoshi Kodaira, Kyeong Ja Kim, “Radiation Dose in the Vertical Hole of the Moon”, International Symposium on Remote Sensing 2014, Busan, South Korea, 16-18 Apr., 2014.

[2] Nobuyuki Hasebe, Takuma Saito, Hiroki Kusano, Hiroshi Nagaoka, Sota Shimuzu, Shuya Ota and Jun’ichi Haruyama, “Radiation

Environment on the Moon", 11th Annual Meeting of Asia Oceania Geoscience Society, Sapporo, Japan, 28 Jul. - 1 Aug., 2014.
[3] N. Hasebe, Y. Ideguchi, H. Kusano, H. Nagaoka, S. Shimizu, E. Shibamura, M. Hareyama, "Radiation environment above the lunar surface by Kaguya gamma-ray spectrometer", 40th COSPAR Scientific Assembly (COSPAR 2014), Moscow, Russia, Aug. 2-10, 2014.
[4] N. Hasebe, H. Kusano, H. Nagaoka, Y. Sakuramoto, S. Shimizu, E. Shibamura, K. Sakurai, M. Hareyama, Y. Karouji, J. Haruyama, "Lunar radiation measurement by Kaguya gamma-ray spectrometer", International Symposium on Lunar and Planetary Science 2014 (ISLPS2014), Macau, China, Jun. 3-5, 2014.
[5] 長谷部信行、"月・火星表面及び縦穴内での放射線線量の評価"、第5回月と火星の縦孔・地下空洞探査研究会, JAXA/ISAS, March2-Mrch 3, 2015

修論

[6] 斉藤琢磨、"月面及び月溶岩チューブ内での放射線線量の評価"、2014年度修士論文
[7] 林田陵佑，長岡央，長谷部信行，草野広樹，小平聡"月周回衛星による月ガンマ線および中性子の線量空間分布"，第62回応用物理学会春季学術講演会，2015年3月11日，東海大学

A.3 放射線帯下層域の補足電子群の下降現象と地震との関連

地球放射線帯におけるエネルギー粒子の強度は、太陽活動などの外的要因によって大きく変動することが知られている。その一方で、地圏から放射された強力な低周波電波（ULF)、雷から発生した電磁波現象に伴って、大気圏や電離層が大きく乱れることが知られている。また、VLF／LF 送信局電波により、ている。地上観測点での振幅や位相に異常が出現することが知られている。本研究室では、VLF 送信局電波との相互作用により生じた、放射線帯下層領域での高エネルギー電子群の下降の増大を SERVIS 衛星のデータにより確認している。そこで、地震に伴う電磁気現象と放射線帯下層域に存在する下降電子群との相関を調べ、適度な相関が見つかれば地震予知につながり、巨大な損害を未然に抑えられ、防災上からも極めて重要であると考え、研究を進めている。本研究では、2009 年 4 月から観測を開始した温室効果ガス観測技術衛星(Greenhouse gases Observing SATellite: GOSAT）に搭載された粒子線計測装置群（LPT）のデータを使用し、衛星が観測中に発生した東日本大震災などの日本近郊で発生した大規模な地震を中心に地震と放射線帯における電子降下の関係を調査している。強い相関の見られる現象はまだ見つけられてないが、現状報告として、国内の学会で報告した。今後は他の衛星に搭載された粒子検出器も含めて、地震との関連を調べていく予定である。

業績

国内学会発表

[1]大野恭平、三橋怜、長谷部 信行, 小山 孝一郎, 児玉 哲哉、"地震に伴う高エネルギー粒子降下"、第 58 回 宇宙科学技術連合講演会　長崎ブリックホール、2014/11/12-14.
[2]三橋怜、大野恭兵, 長谷部信行,小山孝一郎, 児玉哲哉, 松本晴久, 奥平修、"地震前兆現象に関連する電子降下の研究"、日本地震予知学会　第 1 回学術講演会、電気通信大学、2014/12/25-26.

修論

[3]大野恭平、"放射線帯下層領域の電子降下現象と東北地方太平洋沖地震との関連性"、2014 年度修論.

A.4. 月・惑星探査機に搭載する高性能な小型元素分析装置及び光学機器の基礎開発

A.4.1. X線発生装置の開発

惑星表面に着陸して、その場で元素分析する装置として、小型軽量で高性能な能動型蛍光 X 線分光計の開発を進めている。着陸機と表面探査車に搭載する観測機器は、そのサイズや重量、消費電力という点で厳しい制限が課せられる。蛍光 X 線分析は X 線を励起源とする元素分析法で、短時間で非破壊分析が可能であり、比較的小型で低電力であることから着陸探査での元素分析手法として適している。蛍光 X 線分析装置としては優れたエネルギー分解能を有するシリコンドリフト検出器を利用する。一方、これまで惑星探査機に採用された X 線励起源は、放射性物質を利用する方法であるが、日本では放射線源を宇宙機に搭載することは困難である。そこで、本研究室では、焦電結晶型 X 線発生器(PEXG)とカーボンナノチューブを用いた小型 X 線発生器(CNXG)の開発を進め

ている。

低圧ガス中に焦電結晶を配置して、結晶を温度変化させ自発分極を起こして高電場を形成して、電子を加速して X 線を発生させる。PEXG には発生する X 線強度が比較的弱く、不安定であるという問題があり、それを改善する研究を実施している。高電圧電源が不要である点に大きな魅力がある。

電子源としてカーボンナノチューブ（CNT）を用いて、発生した電子を高電場で加速して標的に照射して X 線を発生させるものである。高電圧電源が必要であるが、X 線管と違い冷陰極で済むことから、小さい電力で高輝度の電子源が容易に作れる特徴がある。

両者とも、実用に向け実験が進められている。

業績

論文

[1] H. Kusano, Y. Oyama, M. Naito, H. Nagaoka, H. Kuno, E. Shibamura, N. Hasebe, Y. Amano, K. J. Kim, J. A. M. Lopes, “Development of an x-ray generator using a pyroelectric crystal for x-ray fluorescence analysis on planetary landing missions", Proceedings of SPIE, 9213, 921316-921326, 2014.

[2] M. Naito, N. Hasebe, H. Kusano, H. Nagaoka, M. Kuwako, Y. Oyama, E. Shibamura, Y. Amano, T. Ohta, K. J. Kim, J. A. M. Lopes, “Future lunar mission Active X-ray Spectrometer development: Surface roughness and geometry studies", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, to be published.

[3]長岡央、長谷部信行、草野広樹、大山裕樹、柴村英道、久野治義、“惑星探査機搭載に向けた蛍光 X 線分光計の焦電結晶 X 線発生装置の基礎開発”、X 線分析の進歩、46（2014）347-354.

国際会議

[4] H. Kusano, Y. Oyama, M. Naito, H. Nagaoka, H. Kuno, E. Shibamura, N. Hasebe, Y. Amano, “Development of a pyroelectric X-ray generator for X-ray fluorescence analysis on future lunar and planetary landing missions", International Symposium on Remote Sensing 2014, Busan, South Korea, 16-18 Apr., 2014.

[5] M. Naito, N. Hasebe, H. Kusano, H. Nagaoka, Y. Oyama, M. Kuwako, Y. Amano, H. Kuno, T. J. Fagan, T. Ohta, K. J. Kim, J. A. M. Lopes, E. Uchida, “Experimental and numerical studies on X-ray fluorescence analysis for active X-ray spectrometer on SELENE-2", International Symposium on Remote Sensing 2014, Busan, South Korea, 16-18 Apr., 2014

[6] M. Naito, H. Hasebe, H. Kusano, H. Nagaoka, Y. Oyama, E. Shibamura, Y. Amano, H. Kuno, T. J. Fagan, T. Ohta, K. J. Kim, J. A. M. Lopes, “Increased Luminosity of Pyroelectric X-ray Generator for Active X-ray Spectrometer on SELENE-2", 11th Annual Meeting of Asia Oceania Geoscience Society, Sapporo, Japan, 28 Jul. - 1 Aug., 2014.

[7] H. Kusano, Y. Oyama, M. Naito, H. Nagaoka, H. Kuno, E. Shibamura, N. Hasebe, Y. Amano, K. J. Kim, J. A. M. Lopes, “Development of an X-ray generator using a pyroelectric crystal for X-ray fluorescence analysis on planetary landing missions", SPIE Optical Engineering + Applications 2014, San Diego, United States, 17-21 Aug. 2014.

[8] H. Nagaoka, M. Naito, N. Hasebe, H. Kusano, E, Shibamura, H. Kuno, K. J. Kim, J. A. M. Lopes, J. Martínez-Frías, and JP team of AXS, “X-ray generator for active X-ray fluorescence spectrometer on-board landing rover for future planetary missions", 46th Lunar and Planetary Conference, Woodlands, United States, 16-20 Mar., 2015.

[9] M. Naito, N. Hasebe, H. Kusano, H. Nagaoka, H. Kuno, E. Shibamura, J. A. M. Lopes, “X-ray Emission using the Pyroelectric Crystal for the Active X-ray Spectrometer", 30th International Symposium on Technology and Science, Kobe, Japan, 4-10 Jul., 2015.

[10] M. Naito, N. Hasebe, H. Kusano, E. Shibamura, H. Kuno, J. A. M. Lopes, J. Martínez-Frías, “Stable and Increased X-ray Luminosity of Pyroelectric X-ray Generator for Planetary X-ray Spectrometer", 12th Annual Meeting of Asia Oceania Geoscience Society, Suntec, Singapore, 2-7 Aug., 2015.

国内会議

[11] 草野広樹，大山裕輝，内藤雅之，久野治義，柴村英道，長谷部信行，“焦電結晶を用いた X 線発生器の動作特性", 第 61 回応用物理学会春季学術講演会，相模原市，3/17-20，2014.

[12] 内藤雅之，長谷部信行，草野広樹，長岡央，大山裕輝，桑古昌輝，天野嘉春，柴村英道，久野治義，T. J. Fagan，太田亨, 内田悦生, “月惑星探査に向けた能動型 X 線分光器 AXS の基本特性(Ⅳ)", 第 61 回応用物理学会春季学術講演会，相模原市，3/17-20，2014.

[13] 内藤雅之，長谷部信行，草野広樹，長岡央，久野治義，柴村英道，J. A. M. Lopes，“焦電結晶を用いた X 線発生器の動作特性(Ⅱ)"，第 62 回応用物理学会春季学術講演会，平塚市，3/11-14，2015.

[14] 長岡央，長谷部信行，草野広樹，内藤雅之，“月着陸探査に向けた能動型蛍光 X 線分光計の開発状況"，日本地球惑星科学連合 2015 年大会，千葉市，5/24-28，2015.

[15] 内藤雅之，長谷部信行，長岡央，草野広樹，桑古昌輝，大山裕輝，柴村英道，天野嘉春，太田亨，J. A. M. Lopes，“次期惑星探査計画に向けた蛍光 X 線分析法の検討—試料表面の粗さと特性 X 線強度比の関係—"，日本地球惑星科学連合 2015 年大会，千葉市，5/24-28，2015.

[16] 長岡央，長谷部信行，草野広樹，内藤雅之，柴村英道，天野嘉春，太田亨，T. J. Fagan，Waseda AXS team “将来の惑星探査に向けた小型放射線分光装置の提案”，日本惑星科学会 2014 年秋季講演会，仙台，日本，9/24-26，2014

卒論・修論

[17] 内藤雅之，“次期惑星探査に向けた能動型 X 線分光計の開発—焦電結晶による X 線発生機構—"，2014 年度修士論文.
[18] 溝根美穂，“焦電結晶型 X 線発生装置の高輝度化に関する基礎研究"，2014 年度卒業論文.
[19] 木村優里，“着陸探査機搭載に向けた CNT 小型 X 線発生装置の基礎開発"，2014 年度卒業論文.

A.4.2 HPGe を用いた小型高性能ガンマ線分光計の開発

月や小惑星の表面全域の元素構成を特定することは、天体の形成や進化の過程を解明するために不可欠である。また、人類の活動域の拡大という観点からも、宇宙の資源や宇宙利用は不可欠であるといえる。本研究は太陽系科学と宇宙資源の観点から、元素分析器として、高純度ゲルマニウム（HPGe）を用いた高性能ガンマ線分光計を開発している。天体から放射されるガンマ線を観測し、元素分布を調べるために使用されている有用な観測手段である。本研究では、50－60 ㎏級の超小型衛星（超小型イオンエンジン付き）に搭載し、地球近傍の周回衛星ではなく地球近傍の軌道を有する惑星探査機、すなわち地球近傍小惑星(NEAs)の探査機に搭載する核分光装置を提案している。核分光装置は、高性能ガンマ線装置（GNS）と中性子分光計からなる。GNS は、小型冷凍機 K508 を用いて近年注目されている超小型衛星にも搭載可能な小型軽量の月･惑星探査用の GRS である。HPGe 冷却に関する熱解析と打ち上げ時の衝撃に関する装置の強度解析を考慮した設計で、装置全体重量として約 3.6kg となり小型化に成功した。HPGe の優れた分解能を活かすために、振動吸収に優れた熱経路による冷凍機のマイクロフォニックスの抑制とプラスチックシンチレータを用いた反同時計数法でバックグランド低減を行う。現在進行中である。

業績

国際学会

[1] N. Hasebe, H. Kusano, H. Nagaoka, K. Sakurai, M. Miyajima, E. Shibamura, S. Shimizu, Y. Amano, T.J. Fagan, T. Ohta, K.J. Kim, J.A.M. Lopes, “Nuclear spectroscopic approach to study M-type asteroids”, International Symposium on Lunar and Planetary Science 2014 (ISLPS2014), Macau, China, Jun. 3-5, 2014.

卒論

[2] 安達拓人，2015，卒業論文「小型冷凍機を用いた HPGe ガンマ線分光計の軽量化に関する研究」

A.4.3 中心窩を有する広視野センサの開発

この研究は、宇宙機搭載に向けて重要な項目である重量・サイズ、消費エネルギー量の制限、情報通信速度のボトルネックの軽減・解消を目指した多機能的利用可能なセンサ開発を目的とするプロジェクトである。本研究は、特に可視光帯域にフォーカスを当てたセンシング技術確立に寄与する研究内容となっており、本年度の主な取り組みは、(1)広角中心窩センサ研究と(2)特殊広角レンズを用いたセンサの開発である(詳細は、清水創太准教授の年次報告を参照)。

（１）広角中心窩センサを多機能的利用可能な可視域視覚センサとして月面探査ローバーへの搭載する、という計画のもとに韓国・KIGAM との国際共同研究に基づいて遂行している。また、広角中心窩センサのさらなる小型化・省エネルギー化ひいては高機能化を目的としたノンメカニカル化の取り組みを実施した。月面探査ローバーへの応用研究は、視線入力デバイスとの組み合わせにより利便化を図ったシステムの構築と考察を目的として、研究を実施してきた。

（２）特殊広角レンズを用いたセンサの開発は、JKA 財団から 3 年連続して採択されている研究テーマ(代表：清水創太)の一環であり、2013 年度はドライブレコーダ用の視覚センサとして交通事故の起こり易い夕暮れ時に撮影された動画像の品質を向上させることを目的として実施された。特殊な広角光学系を設計・試作した。

業績

査読付き国際学会

［1］ Sota Shimizu, Takumi Kadogawa, Masayuki Naito, Takumi Hashizume, Hiroki Kusano, Hiroshi Nagaoka, Nobuyuki, Hasebe, Yoshiaki Tanzawa, “A study on Color Information Corrected in Human Brain-Measurement and Evaluation of Color Propagation”,

Proc. of IECON, pp.5230-5235 (2014.10)
［2］Sota Shimizu, Nobuyuki Hasebe, Kazutaka Nakamura, Kyeong Ja Kim, Yi Re Choi, Eung Seok Yi, Hiroki Kusano, Hiroshi Nagaoka, “Multi-purpose Wide-Angle Vision System for Remote Control of Planetary Exploring Rover”, Proc. of IECON, pp.5260-5265 (2014.10)
［3］Sota Shimizu, Takumi Hashizume, Shuu-ichi Kikuchi, Nobuyuki Hasebe, Hiroki Kusano, “Mona Lisa might be displeased? -Emotion Propagation from Central Field of View to Periphery in the Brain-“, Proc. of the 10th anniversary of France-Japan and 8th Europe-Asia Congress on Mechatronics, pp.279-284 (2014.11)
［4］Sota Shimizu, Yukihiro Nishiyama, Nobuyuki Hasebe, “A Solution of Time-delay Problem in Remote Operation of Active Vision Sensing Device -Visual Tracking in Time-series of Images from Past to Future –“, Proc. Of IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, and Motion Control, pp. 000-000 (2015.3)

その他の学会発表

［5］Sota Shimizu, Nobuyuki Hasebe, Kazutaka Nakamura, Kyeong Ja Kim, Yi Re Choi, Eung Seok Yi, Hiroki Kusano, Hiroshi Nagaoka, “Multi-purpose Use of Wide-Angle Fovea Vision System for Planetary Exploring Rover”, Proc. of ISRS (2014.4)
［6］清水創太，総論：高度センサ応用による計測制御技術創生，平成 26 年電気学会産業応用部門大会シンポジウム講演論文集 (2014.8)
［7］西山裕之，清水創太，長岡央，長谷部信行，遠隔操作時の時間遅れ問題を解決する SIFT を用いた過去から未来へのビジュアルトラッキング，日本地球惑星科学連合 2015 年大会 (2015.5)
[8] 中村和貴、清水創太、長谷部信行、 草野広樹、長岡央、〝惑星探査ローバー遠隔操縦のための広視野視覚システムの開発”，電気学会研究会資料、 産業計測制御研究会、 IIC-014-038, (2014.3).
[9] 清水創太、 長谷部信行、“ドライブレコーダ用広視野センサの開発”、電気学会研究会資料、 産業計測制御研究会、 IIC-014-037、(2014.3).

卒論

[10] 西山裕之 “遠隔操作時の時間遅れ問題を解決する SIFT を用いた過去から未来への Visual Tracking”

賞

[11] 清水創太,◎中村和貴，惑星探査ローバー遠隔操縦のための広視野視覚システムの開発
2014 年電気学会産業計測制御技術委員会優秀論文発表賞

B）放射線物理学及びその応用

B.1 放射線の検出媒体としての希ガスの基礎研究とその応用

本研究室では常圧から高圧に至る範囲で、放射線による電離と蛍光へのエネルギー分配をイベント毎に測定する実験を進めている。これは放射線エネルギーの分配方法を詳細に調べようとする計画で、装置としてキセノンを充填した気体電離箱を利用している。現在は、アルファ線源を用いて従来型の Frisch グリッドを有する電離箱とグリッドのないコレクター電極分割型の Luke 電離箱の性能比較実験を実施している。電離箱は 10 数 cm 以下の小型であるが、アルファ線分光器として良好な性能を有し、これまでの実験から大型化の可能性が示唆されている。大型堅牢な Luke 型気体電離箱を製作し、測定回路系を含め性能評価（エネルギー分解能、長期間の安定性、動作のシミュレーション等）が終了し、本年度は極のパターンを最適化し、セ像試験に着手した。今後は、実験的に最適条件を求め、測定を実施する。

Luke 型電極の特徴は、Frisch グリッドの欠点である機械的強度が小さく、電気的雑音が大きく、大型化が困難などの欠点を取り除くことができることである。更に、測定系を単純化できことに新規性がある。

この電極構造有する大型の α 線電離箱が実現できれば、宇宙用の γ 線電離箱に応用できるだけでなく、環境計測や現在問題になっている原子力施設とその周辺の放射層汚染の精密測定も可能になる。大きな社会的問題解決の一助となり、システムを普及させることにより、人の日常生活での放射性物質含有問題に安全性を提供出来る。

B.2 その他： 超重核検出用の固体飛跡検出器の基礎開発とその応用

業績

学会・研究会発表

[1] 四之宮創，小平聡，川島元，蔵野美恵子，長谷部信行“CR-39 と銀活性リン酸塩ガラスを用いた超重核測定法の検討”，第 29 回固体飛跡検出器研究会，2015 年 3 月 30 日，敦賀

[2] 花岡慶祐，小平聡，川嶋元，蔵野美恵子，長谷部信行，四之宮創“CR-39 プラスチック飛跡検出器を用いた重粒子線の電荷交換断面積の測定”，第 28 回固体飛跡検出器研究会, 2014 年 3 月 27 日－28 日，神戸大学
[3] 吉村亮, 佐竹 亮祐, 川端 修， 草野 広樹，宮島 光弘, 柴村 英道，長谷部 信行,“Coplanar 電極を用いた希ガス電離箱の開発”，2014 年 第 61 回応用物理学会春季学術講演会，2014 年 9 月 17 日－20 日，青山学院大学
[4] 吉村亮, 川端修，粟田光紀, 岩崎健太, 草野広樹，宮島光弘, 柴村英道，長谷部信行,“Coplanar 電極を用いた希ガス電離箱の開発Ⅱ”，2014 年 第 75 回応用物理学会春季学術講演会，2014 年 9 月 17 日－20 日，北海道大学

卒・修論

[5] 花岡慶祐、“CR-39を用いた秘跡追跡法による重イオンの核破砕反応断面積の測定”、 2014年度修論.
[6] 吉村亮、“Coplanar型希ガス電離箱の波高値とそのエネルギー分解能に関する研究
—電極構造の幾何学的形状及び線源の位置依存性—”、2014年度修論.
[7] 粟田光紀、“形状の異なるCoplanar電極を用いた希ガス電離箱の性能評価”、2014年度卒論.
[8] 岩崎健太、“Coplanar電極を有する円筒型電離箱の動作特性”、2014年度卒論.
[9] 川端修、“Luke型電離箱の性能比較のためのFrish grid型電離箱の動作特性”、2014年度卒論.

３． 共同研究者

名誉研究員(名誉教授)： 菊池 順
主席研究員准教授： 清水創太
次席研究員助教： 草野広樹
助手： 長岡 央
招聘研究員 ： 宮島光弘、桜井邦朋、久野治義、柴村英道、小平聡、小林進悟、大田周也、山下直之、小林正規、春山純一、森国城、藤井雅之 古内ちゆみ

海外の協力研究者

韓国： K.J. Kim (KIGAM), G.Ju (KARI) , K.B. Lee(KRISS)
仏蘭西： C.d’Uston, O. Forni, O. Gasnault, S. Maurice (IRAP)
独逸： G. Klingelfoefer (JGU), J. Brueckner(MPIC)
米国： B.W.Boynton, D. Hamara (UoA), L. Lim, R. Starr (GSFC), R. Reedy(LPI) N. Yamashita(LPI)
葡萄牙： J.A. Matius-Lopes (UoC)
西班牙： Jesús Martínez-Frías(CSIS-CUM)
中国： M. Zhu (MUST)

奄美群島徳之島における空間利用及びワークショップ運営の研究

–徳之島アートプロジェクトを通して–

研究代表者　古谷　誠章
（創造理工学部 建築学科　教授）

1.研究課題

2014 年 7 月 26 日～8 月 31 日、鹿児島県奄美群島の徳之島において「徳之島アートプロジェクト　奄美の島の芸術祭 2014」が実施され、古谷研究室ではワークショップの企画や運営、作品出展を行った。

徳之島は、離島という環境の中、農業問題、高齢化、過疎化など多くの問題に直面しており、現在、その独自性が失われようとしている。徳之島の生活環境が活性化していくためには、島民自身が、徳之島の魅力や特徴を再発見、再確認することが必要である。本アートプロジェクトは、徳之島の北から南まで、各地に現代アートを展示することで島全体を包み込むような試みを展開している。島民が展示物をめぐったり、島外から訪れた人の気づきを通して、自らが島の魅力を再発見することの一助となることを目的としている。

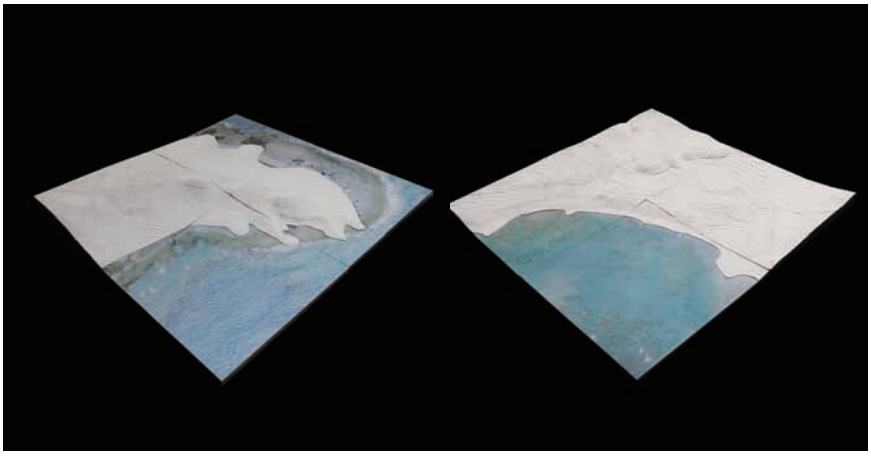
2.主な研究成果

具体的には、古谷研究室では以下のワークショップ、作品制作を行った。

・2 箇所の集落における、模型を使用したワークショップ、意見交換会
・やぐらの作品制作

2.1 模型ワークショップ

2013 年夏に行った集落調査をもとに、2 箇所の集落（金見集落、面縄集落）の模型を製作した。その模型を使用し、住民の方を対象としたワークショップを行った。



（左）金見集落模型（右）面縄集落模型

ワークショップのチラシ作成

ワークショップでは、白い模型に着色をしたり、住民ひとりひとりが知っている集落の歴史や知識を模型に書き込んだ。集落の歴史、そして現在の様子について、多くの住民と話しながら模型を完成させていった。ワークショップ最終日には、完成した模型を見ながら住民とともに集落のこれからについて、話し合う意見交換会を実施した。

このワークショップを通し、集落の魅力、特徴の再発見につながることを目的としている。完成した集落模型は両集落に寄贈した。集落の記憶を記録として残すと同時に、この模型を使い、大人から子供へ、集落の歴史を語り継ぐきっかけが増えていくことが期待できる。

ワークショップ前の白模型

ワークショップの様子

面縄集落模型完成

金見集落模型完成

模型に記憶の端を立てる

意見交換会の様子

2.2 やぐら製作

徳之島では昔から大きな木にやぐらと呼ばれる足場をつくり、そこで涼んだり、子どもたちが遊んでいたという。今はほとんどなくなってしまったこのやぐらの考えに基づき、現代のやぐらの提案を行なった。

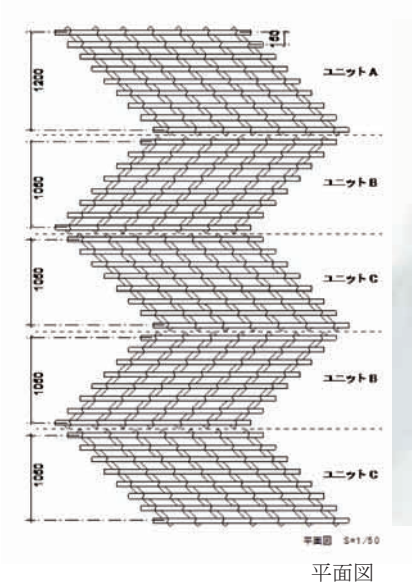
面縄集落公民館前に、やぐらを製作した。大きな木の下で涼むことができるような空間を目指した。このやぐらは折りたたみ、持ち運ぶことができるようになっている。これにより、海辺にやぐらを移動させることが可能である。

やぐらの材料はすべて徳之島にあるものを使用しており、住民自身によるメンテナンスが可能なよう、紐で木をくくっていく簡易な構法とした。また、やぐらに座る際に使用する座布団も、集落の住民とともに製作した。徳之島で昔から作られる編み方でもって藁を編みこんで製作した。

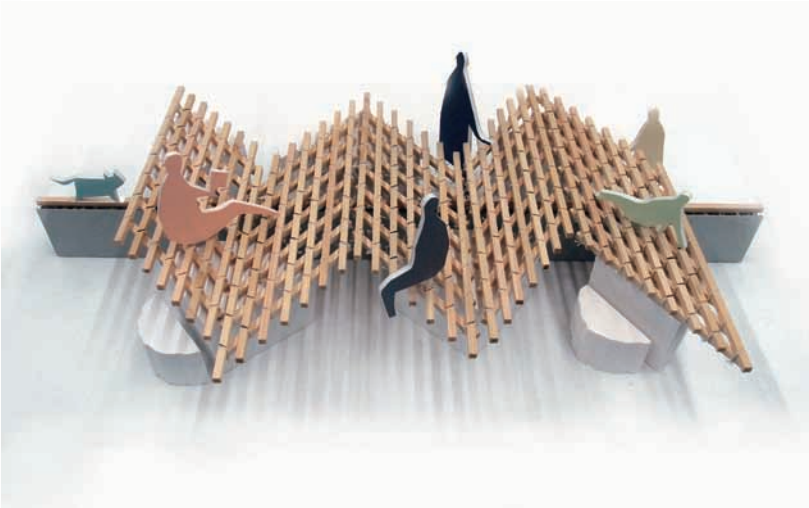
やぐら製作のチラシ作成

完成後は、集落の方とお披露目会や懇親会を行った。

今後は、集落行事での使用はもちろん、日常的にやぐらで涼んだり会話をするなど、集落の住民が集まることの出来る場所として、自由な使用が可能である。



平面図


模型製作


やぐら製作風景


座布団を編む様子

3.共同研究者

斎藤　信吾（創造理工学部・助手）

根本　友樹（創造理工学部・助手）

4.研究活動の課題と今後の展望

模型着色ワークショップや意見交換会により、集落内のいたる場所に名前がつけられていることが分かったが、それらのほとんどの名前は下の世代へ伝えられていない。徳之島特有の発音は表記が難しく、音声による記録が必要であると考えられる。今後も、引き続き集落の記憶を記録化していくことを目指していきたい。

またさらに、近年、金見集落、面縄集落ともに空家や空地が増加している。今後はこれらの遊休施設、空地の活用方法についても検討する必要がある。

徳之島は今後、世界自然遺産登録に向けて観光地化のための計画が行われる。島の住民がいかにして観光地化を受け入れていけるかを考えながら、上記の研究活動を行なっていく。

やぐら完成写真

やぐら完成写真

やぐら完成写真

住民とのやぐらお披露目会

空き家の増加

面縄集落では空地も増加している

小豆島町堀越地区における予備調査実施報告書

研究代表者　古谷　誠章
（創造理工学部 建築学科　教授）

1.　研究課題

本事業では、高齢化、空き家の増加が進む一方で移住者の転入が見られる香川県小豆郡小豆島町堀越地区において、堀越地区が今後どのような地区になっていくべきかを住民と検討し、現在全国的な問題となっている空き家活用の手法やデザイン提案を行うことを目的とする。

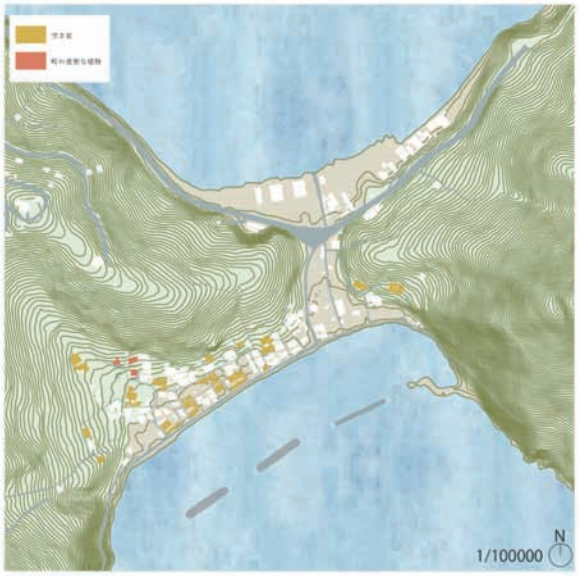
2.　主な研究成果

2.1　香川県小豆島町堀越地区について

堀越地区は、人口総数91人、高齢化率51%の過疎地域である。しかし、総世帯数45のうち、6世帯は移住者の世帯である(2013年度調査当時)。そのうち4世帯が空き家バンクを利用し移住した世帯であり、残りの2世帯は空き家バンクを使用せず空き家へ移住した世帯である。このようにこの地区は移住者による空き家活用が他地域と比較して積極的に行われている。

堀越地区は南北の海に向かって斜面した土地に住戸が立ち並び、南岸の西奥には荒神社と小豆島遍路五番札所の堀越庵、隣接して堀越分校跡が並ぶという構成になっている。道路は最も南側の海沿いにある浜道が主要な動線となっており、そこから小さな道が斜面に向かって伸びているという構成である。

小豆島町堀越地区の位置



堀越地区概要

2.2　フェーズ別提案

全体計画として提案を毎回単発で行うのではなく、堀越地区内に提案からフィードバックまでの流れが継続する提案とする。その地区のリソースであり問題の１つでもある空き家をいかに活用しつつ町を更新していくかを考える。以下にそのフェーズを示す。

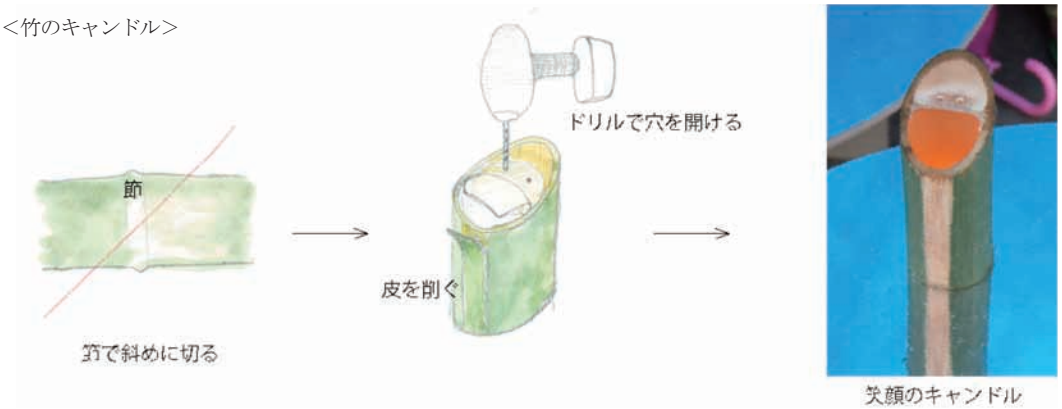
第1期：堀越の魅力・問題の「発見」
第2期：堀越の魅力・問題の「共有」
第3期：堀越の魅力・問題の「改善・発展」
第4期：堀越における新たな価値の「提案」

□　納涼祭での提案

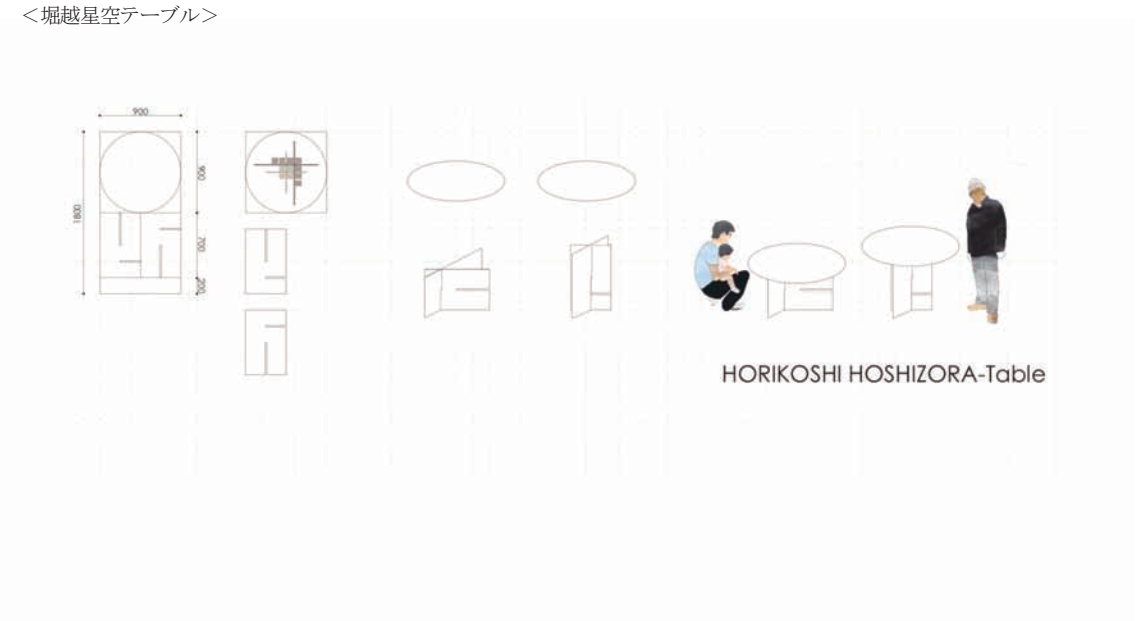
堀越地区の夏祭りである「納涼祭ビアガーデン」において、フェーズ別提案のうち「竹のキャンドル」「堀越星空テーブル」の試作を行った。

- 竹のキャンドル：昔から醤油樽の箍として利用される堀越地区の竹を使用し、納涼祭に訪れる人の誘導灯を制作した。訪れる人に笑顔になってほしいという意味を込め竹が笑っているようなデザインとした。
- 堀越星空テーブル：街灯の少ない堀越地区は夜真っ暗になる。この魅力を活かして星空を映すテーブルの提案を行った。納涼祭で使用する際座卓・立卓両用となるように脚部分に工夫をした。

＜竹のキャンドル＞



＜堀越星空テーブル＞



2.3　未来の堀越分校プロジェクト提案

□堀越分校と教員住宅

住民へのヒアリングの中でかつて堀越地区には「二十四の瞳」にも登場した分校があったこと、その分校の存在が子供達や地域の結束に繋がっていた事が分かった。分校自体は取り壊され広場が残るのみであるが、教員住宅は現存し、空き家となっている。

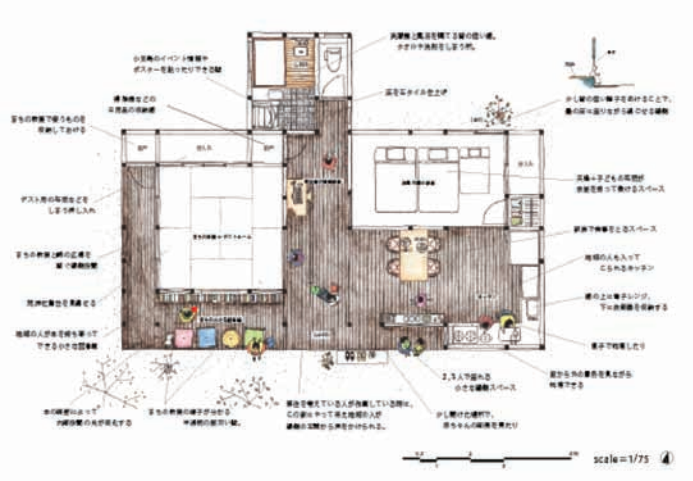
□未来の堀越分校

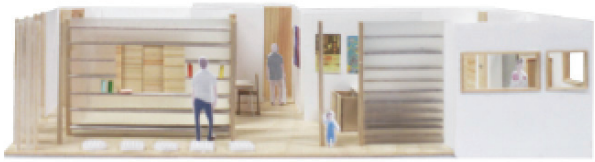
教員住宅の改修をきっかけに、地区の空き家活用方法を模索し、堀越地区が新たな住民を受け入れながら継続していく道筋を考える。その際意見交換会のなかで出された「暮らしを学ぶ場」「訪れた人が堀越の文化を学ぶ場」「新住民と地域住民の交流拠点」「子供達の場」の4つの機能を持つ場とする。

□教員住宅改修提案

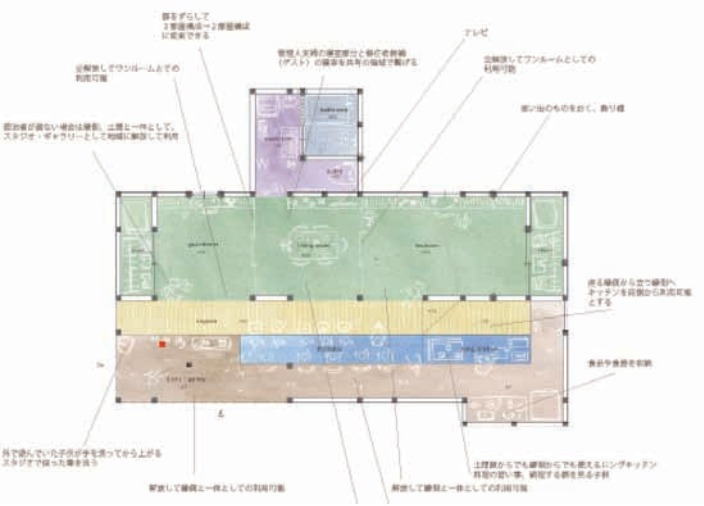
上記4つの場を計画するにあたり、「縁側」「土間」という2つの場を取り入れたデザイン計画を行った。来た人が中の様子を伺え、また中の明かりが外に見える様、内と外の関係の曖昧な空間を作る事を考えた。

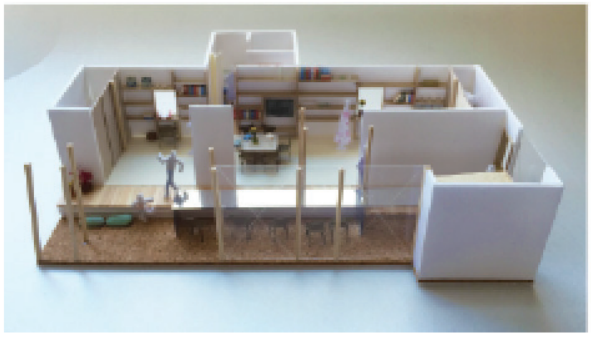
＜縁側案＞





＜土間案＞





3. 共同研究者

斎藤　信吾（創造理工学部・助手）
根本　友樹（創造理工学部・助手）

4. 研究活動の課題と展望

全堀越会での意見交換会において地域住民より得られた課題点を以下に列挙する。今後プロジェクトを進めていく上で重要な指針であり、反映を目指す。

4.1 提案に対する留意点

□立地の問題について

教員住宅は現在地区の中でも比較的高所にあり、高齢者の中にはアクセスへの懸念を示す者も多い。その意見に対しこの場で活動を行っていく理由を共有する必要がある。

□地区のビジョンの共有

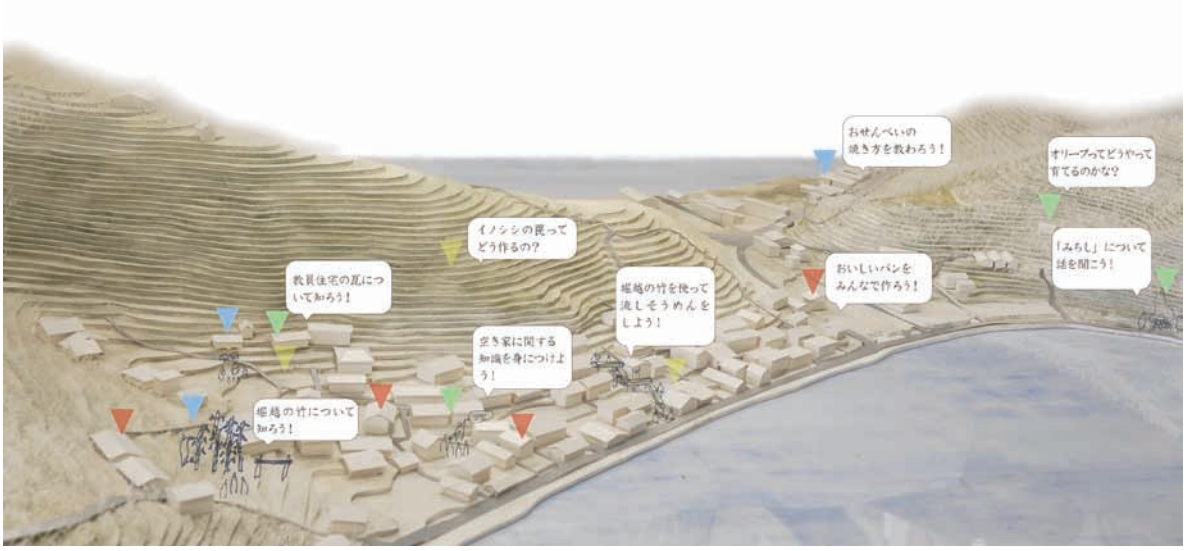
今後の地区の継続の仕方を住民と共有しつつ活動を進めていく必要がある。そのためにはワークショップ形式をとるなど、住民が意見を発しやすい場作りを作る事が必要である。

□子供のための場について

意見交換会のなかで、堀越地区だけでなく他地区においても子供の遊ぶ場所が少ないという意見があった。今後移住者を受け入れながら町づくりを進めていく上で、子供を育てる環境については考慮すべき点である。

4.2 今後の進め方

今後も地域住民、行政、早稲田大学古谷誠章研究室の三者で協力しながら、意見交換会の中で将来の堀越地区の姿を具体化していく。意見交換会が続いていく中で、その会自体が未来の堀越分校の授業へと変わっていくことを考える。意見交換会に参加する事で、堀越の歴史や人と触れる機会になるよう企画を続けるとともに、空き家を活用した地域更新の手がかりとなるようなデザイン提案としたい。



教員住宅をきっかけとした未来の堀越分校のマスタープラン

高エネルギー素粒子物理学実験研究

研究代表者　寄田　浩平
（理工学術院総合研究所（先進理工学部物理学科）　准教授）

1. 研究課題

現代の素粒子物理学は LHC 実験のような高エネルギー加速器を用いたエネルギーフロンティア実験によってテラスケール（TeV 領域）の現象を観測することが可能となり、その発展が急速に進んでいる。本研究の目的は、世界屈指のエネルギーフロンティア実験 LHC/ATLAS に参加し、ヒッグス粒子の性質解明、また超対称性粒子に代表される全く新しい現象を発見することにより、より深い素粒子像、宇宙像を解明することにある。2012 年 7 月、欧州原子核共同研究機構（以下 CERN 研究所）における LHC 加速器を用いた ATLAS/CMS 実験で発見されたヒッグス粒子は、今後の素粒子物理学の方向を位置付ける上で重要な意義をもっている。本研究課題の主軸は、ATLAS/LHC 実験を利用したさらなるヒッグス粒子の精密測定（＝ヒッグス機構の解明）に向け、湯川結合・質量・スピン・パリティ等のパラメータの多角的な検証や新粒子・新現象探索を行うことである。また、今後の LHC 加速器の高エネルギー化・高輝度化に伴うパイルアップ問題を解決するための新しいトリガーハードウェアシステムの開発構築を達成したうえで、その利用方法（オンライントリガーでの τ 識別や衝突点再構成）についても新しいアイディアを提案しながら、より汎用的な研究を展開している。

一方、暗黒物質探索を目的とした高感度検出器（気液 2 相型アルゴン光検出器）の開発も行っている。この検出器は、ニュートリノ CP 位相測定や陽子が K 粒子とニュートリノに崩壊する過程での陽子崩壊探索にも特に有用であるが、本研究の主目的としては低質量領域（～10GeV）暗黒物質発見（又は棄却）に向けた高感度化開発に焦点を当てている。2014 年度には 75 リットルの容器を用いて、アルゴン蛍光～10 pes/KeVee という世界最高の光検出効率を得ることに成功し、γ 線源と中性子線源を利用して波形分別法による γ 事象と信号事象の識別能力も評価した。その結果、ターゲットとしている低質量領域の暗黒物質をとらえるための条件をクリアーする目処をつけることができた。今後の本格的な探索のための極低バックグラウンド技術や地下実験に向けた検討を含め、東京大学宇宙線研究所共同利用に参画している。この研究に関する詳細は共同研究者である理工研次席研究員・田中雅士氏の年次報告に記述されているため、この報告書では詳細を割愛することとする。

2. 主な研究成果

2.1 ATLAS/LHC 実験（重心系エネルギー 8TeV の陽子・陽子衝突型実験）

ATLAS 実験における早稲田グループの成果を以下の４つの項目に大別して記述する：

１．ヒッグス粒子の τ -Yukawa 結合の証拠

2012 年度までに発見されていた“ヒッグス粒子”は、主に $\gamma\gamma$ と ZZ/WW 崩壊過程の解析からであり、その粒子はスピン・パリティーも含め、標準理論と矛盾しないことを示すことができていた。無論、ヒッグス粒子のゲージ結合やループ効果の議論も重要だが、もっとも大事な検証はヒッグス粒子とフェルミオンとの直接結合（湯川結合）を確証することで

ある。H→τ τ過程は、τの崩壊モードにより leplep,lephad,hadhad の三種類に分類できるが、早稲田大学はその中でも最も発見感度の高い lephad 過程を用いた。2013 年度の成果をもとに 2014 年度はさらに解析の質をあげ、τ τに崩壊する過程の証拠を得て、学術論文で公表することができた。図 1 は、7/8TeV、5/20fb-1 のデータに対して多変量解析を駆使して事象ごとにその“信号らしさ”を計算、そのスコア毎の S/B 比の対数をとった分布の最終結果である。信号領域にあきらかな超過を観測することに成功した。図 2 は、横軸に質量をとった場合の統計的有意度である。標準模型からの期待値に比べ観測量の方が多い結果となっており、最終的には 4.5σの証拠を得た。これらの結果から、ヒッグス粒子のτレプトン対崩壊過程の世界初の証拠を示すことができた。これは、ヒッグス粒子がレプトンと結合すること、ダウンタイプの粒子と結合すること、レプトンユニバーサリティーを破ることの直接的証拠となっている点で物理的意義が非常に深い結果である。

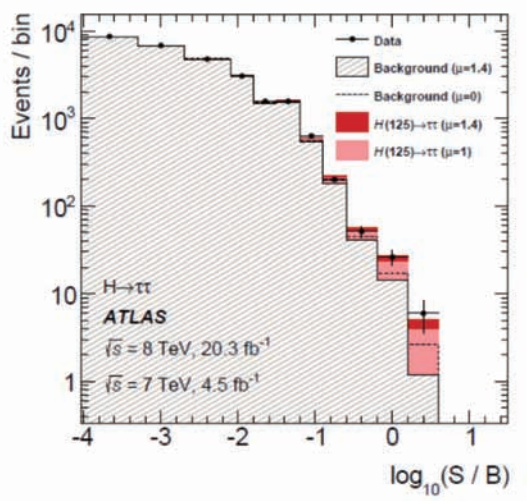


図 1:H→ τ τの BDT 分布(最終結果)

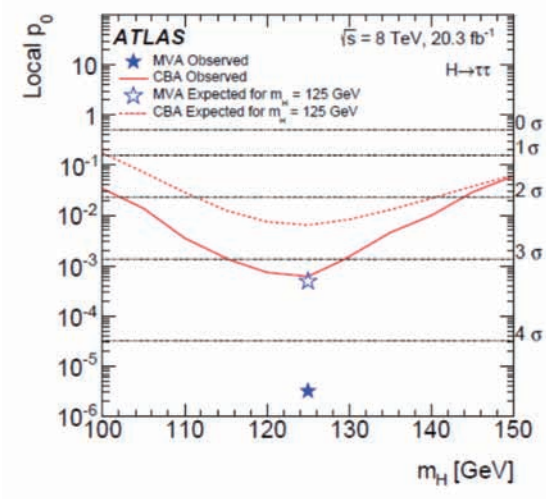


図 2: 信号有意度の分布(最終結果)

2. H→τ τ崩壊す過程における CP 測定感度の評価物理解析

標準模型で予言されているヒッグス粒子は CP-even の粒子であるが、その是非は実験的に確認するべき物理対象である。これまで ZZ 過程を用いて CP-odd state を 95%以上の CL で棄却しているが、2014 年度のτ τ発見を踏まえて、新しくτ τ過程で CP 測定を試みた。

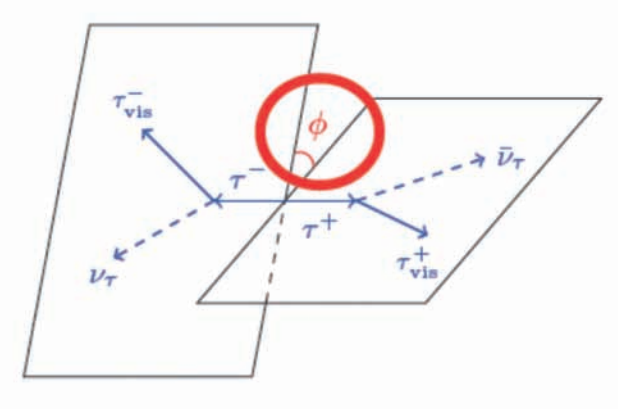


図 3: τ τ崩壊過程の角度相関Φの定義

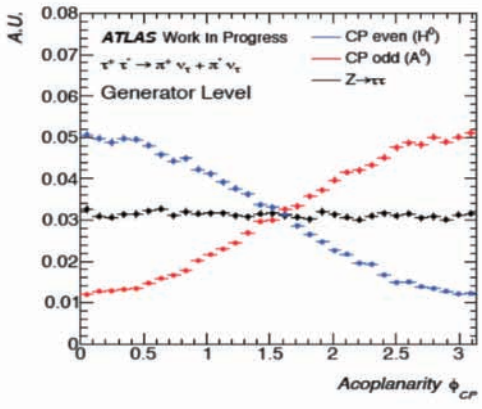


図 4: CP-even/odd と Z 生成のΦ分布

この崩壊課程での CP 測定を達成するためには、図 3 に示すようなτそれぞれの崩壊面を定義し、その間の角度相関（Φ）を測定することが重要である。図 4 は generator level の Φ分布であり、CP-add と even が明確に分かれていることが確認できる。実際にはニュートリノは測定できないため、インパクトパラメータを用いる方法と荷電πと中性πの成す平面で近似する方法を採用し、Run 1 データに適用したところ、56%信頼度で CP-odd を棄却できることがわかった。これを Run2 に外挿するとおおよそ 70～80fb-1 のデータ量があれば、95% CL で棄却できる感度があることを算出することができた。また、今後を見据えて新しいニュートリノの再構成法の提案も並行して行っている。

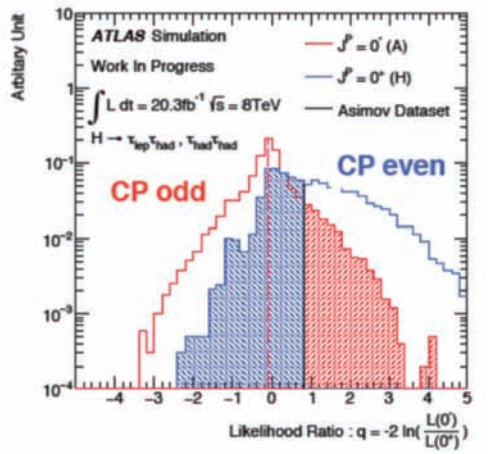


図 5: CP 測定に関する有意度

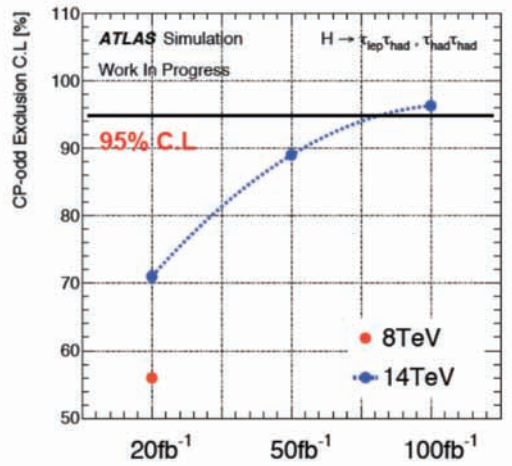


図 6: Run2 実験における CP 測定感度予想

3． ttH→alljets+τ τ過程におけるトップ湯川結合測定の研究

ヒッグス湯川結合の中でもっとも興味深く、かつ解析が困難なのはトップクォークとの直接結合の探索・測定である。2014 年度はあらたに ttH→alljets+τ τという過程を用いた解析を提案し、その実行性を確かめた。この解析は LHC 実験ではこれまで誰もしたことがない独創性の高い解析であり、発見できればきれいなτ τヒッグス質量の山が確認できる貴重なチャンネルである。解析はトリガー選択から始まり、バックグラウンドモデル、事象選択の最適化など多岐に渡るが、今年度は Run2 に向けた暫定的な研究を行った。その結果、他のチャンネルと同等かそれ以上の感度が期待できることがわかった。

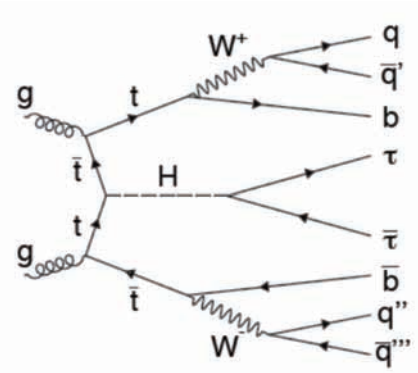


図 7: ttH→alljets+τ τのダイアグラム

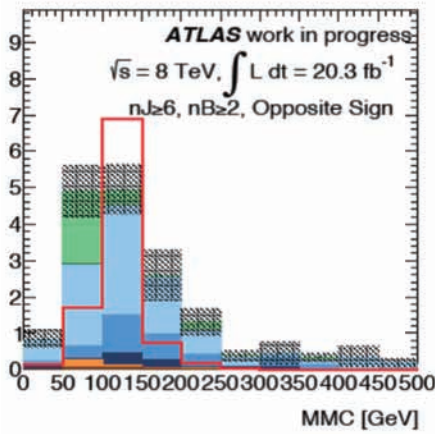


図 8: τ τ質量分布（信号は赤で 30 倍）

４．新しい高速飛跡トリガー回路システム（FTK）の開発・構築

ATLAS Upgrade として 2015 年を目途に挿入が計画されている Fast tracking trigger システム（FTK）のエレクトロニクス回路開発を行っている。

図 9: 最終版の IM ボード

本プロジェクトはATLAS実験で正式承認されている増強計画の一つである。我々早稲田グループは、実機開発として特に FTK システムの最上流でシリコン検出器から 40MHz という高速通信（optical fiber）で送信されるヒット情報を受信し、クラスタ化する機能をもつ受信カードの設計を行い、プロトタイプを製作してテストを行ってきた。2014 年度はこの設計を完遂し、最終実機(v3.3+production)を製作（図 9）し、ATCA 規格で実装されるマザーボード（DF:Data Formatter）との接続テストを行った。また、CERN において一部実機テストを行い、量産要請を満たしていることを確認した。その後、ATLAS 実験の公式の Design review、Production review を経て、2015 年 2 月に IM80 台の量産を行った。私を含め、早稲田から数名の学生とともに製作会社に赴き、出来上がったばかりの IM をその場でテストし、フィードバックをかけながら慎重に量産手続きを行った。特に顕著であったのが、始め 5 台の量産機を丁寧に調査した結果、図 11 にあるような FMC ピンのコネクター部に欠損があることがわかったことである。これを解決するため、業者と様々な角度で議論を行い、残り 75 台の量産時には FMC コネクターの下だけ半田の量を増やす工夫を行うように指示をした。その結果この問題は 0/75 台となった。

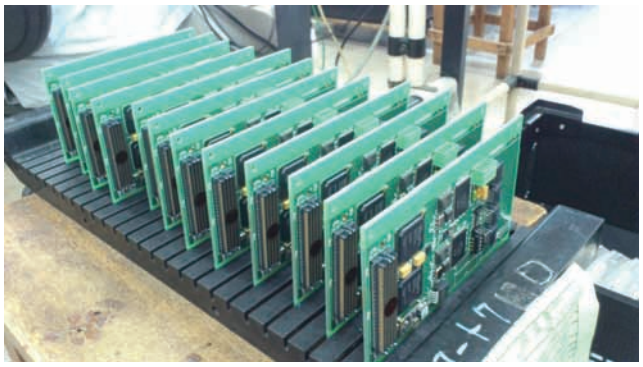


図 10: 量産中の IM ボード

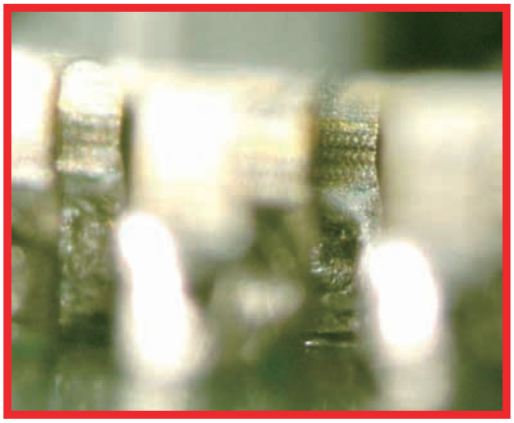


図 11:量産中に発見した FMC コネクター部の欠損

早稲田大学に構築したテストベンチで debug/monitoring のためのスキームを高速シリアル通信(I2C)などを利用して確立した。この開発テストと CERN 現場での実装試験を相互に行うことで、効率的で確実な開発を行うことができた。

図 12: 2015 年 2 月末に納品された 80 台の IM ボード

大規模国際協力実験の中でトリガー回路基板の開発・製作とアルゴリズムの提案から物理解析まで同時に遂行している。こういった研究をさらに進め、本格的なヒッグス粒子探索、ヒッグス機構の検証や Run2 での 13TeV というエネルギーフロンティアでの新物理・新現象の発見を行うのが次年度以降の課題である。

＊なお 2 相型 Ar 光検出器による暗黒物質探索については、年次報告 14C12 を参照のこと。

3. 共同研究者

田中　雅士（理工学研究所・次席研究員）
木村　直樹（5 月末迄早大助教→アリストテレス大学テサルニキ校・シニアフェロー）
The ATLAS Collaboration（国際協力：CERN LHC, Switzerland）
ATLAS-FTK group (国際協力：University of Chicago, INFN Pisa, Frascati 等)
The CDF Collaboration（国際協力：FNAL, USA）
東京大学宇宙線研究所共同利用

4. 研究業績

4.1 学術論文（主要なものを抜粋）

“Evidence for the Higgs-boson Yukawa coupling to tau leptons with the ATLAS detector”
G.Aad, K.Yorita et. al., The ATLAS Collaboration, arXiv: 1501.04943[hep-ex]
→　JHEP04 (2015) 117 (2015 年 4 月受領)

“A neural network clustering algorithm for the ATLAS silicon pixel detector”

G. Aad, K.Yorita et.al., The ATLAS Collaboration, JHEP 9 (2014) P09009

"Operation and performance of the ATLAS semiconductor tracker"
G. Aad, K.Yorita et.al., The ATLAS Collaboration, CERN-PH-EP-064 (2014)

"Search for susy in events with large missing transverse momentum, jets, and at least one tau lepton in 20 fb^{-1} of 8 TeV pp collision data with the ATLAS detector"
G. Aad, K.Yorita et.al., The ATLAS Collaboration, JHEP 1409 (2014) 103

"Search for the Standard Model Higgs Boson in the H to τ+τー to lepton-hadron and hadron-hadron Decay Modes with the ATLAS Detector"
Y. Sakurai, Nucl.Phys.Proc.Suppl. 253 (2014) 226, 10.1016/j.nuclphysbps.2014.09.061

"Search for neutral MSSM Higgs Bosons in the h/A/H to τ+τー Decay Mode with the ATLAS Detector"
T. Mitani, Nucl.Phys.Proc.Suppl. 253 (2014) 220, 10.1016/j.nuclphysbps.2014.09.058

"Performance of VUV-sensitive MPPC for Liquid Argon Scintillation Light"
T. Igarashi, S. Naka, M. Tanaka, T. Washimi, K. Yorita,
arXiv:1505.00091[physics.ins-det]　http://arxiv.org/abs/1505.00091

＊その他共著論文多数

4.2 講演

日本物理学会：

2015 年 3 月：日本物理学会年次大会@早稲田大学　２１－２４

(招待講演) 寄田浩平「ATLAS 実験　Run1 の成果」
白神賢、寄田浩平他「ATLAS 実験における FTK の開発試験状況と挿入に向けた今後の計画」
川口佳将、寄田浩平他「ATLAS 実験における受信モジュールの量産結果」
飯澤知弥、寄田浩平他「ATLAS 実験 Run2 での新粒子探索に向けた MET トリガーの改善」
桜井雄基、寄田浩平他「ATLAS 実験における H→ττ 崩壊過程を用いたヒッグス粒子の CP 測定」
新田龍海、寄田浩平他「ATLAS 実験における H→ττ 崩壊を用いた CP 測定のための τ 粒子再構成法の開発」
三谷貴志、寄田浩平他「ATLAS 実験 Run2 におけるトップ随伴生成による H→ττ 過程探索」
藤崎薫、寄田浩平他「ANKOK 実験 1：気液 2 相型アルゴン光検出器による暗黒物質探索」
加地俊瑛、寄田浩平他「ANKOK 実験 2：原子核・電子反跳事象の分離能力評価」
川村将城、寄田浩平他「ANKOK 実験 3：背景事象の理解と低減」
木村眞人、寄田浩平他「ANKOK 実験 4：現状の課題と今後の展望」
鈴木優飛、寄田浩平他「アルゴンを用いた検出器の方向感度化に関する基礎研究」
鷲見貴生、寄田浩平他「アルゴン蛍光 128nm に感度のある MPPC の性能評価」

2014 年 9 月：日本物理学会秋季大会@佐賀大学　１８－２１

白神賢、寄田浩平他「ATLAS 実験における高速飛跡トリガー（FTK）の構築状況と今後の展望」
昌子貴洋、寄田浩平他「ATLAS 実験における FTK 受信モジュールの統合試験結果及び量産計画」
仲松弥、寄田浩平他「ATLAS 実験における FTK 飛跡を使ったトリガーシステムの改善」
藤崎薫、寄田浩平他「気液 2 相型アルゴン光検出器による暗黒物質探索（ANKOK 実験）」
加地俊瑛、寄田浩平他「気液 2 相型アルゴン光検出器の蛍光（S1・S2）基礎特性」
川村将城、寄田浩平他「気液 2 相型アルゴン光検出器における背景事象評価」
鷲見貴生、寄田浩平他「ANKOK 実験　本検出器製作に向けた現状の課題と今後の展望」

国際会議：

Y. Sakurai for the ATLAS collaboration
Search for the Higgs boson in fermionic channels using the ATLAS detector
PHENO2014, 2014 年 5 月 9 日 ピッツバーグ (USA)

N. Kimura for the ATLAS FTK group
A Highly Parallel FPGA Implementation of a 2D-Clustering Algorithm for the ATLAS Fast TracKer (FTK) Processor
19th IEEE Real-Time conference, 2014 年 5 月 24 日, 奈良 (奈良県)

Y. Sakurai for the ATLAS collaboration
The ATLAS Tau Trigger performance during Run1 and prospects for Run2
LHCP2014, 2014 年 6 月 4 日, ニューヨーク (USA)

T. Iizawa for the ATLAS FTK group
The ATLAS FTK System: how to improve the physics potential
ICHEP2014, 2014 年 7 月 2 日, バレンシア (スペイン) (poster)

T. Mitani for the ATLAS collaboration
The ATLAS Tau Trigger performance during Run1 and prospects for Run2
ICHEP2014, 2014 年 7 月 2 日, バレンシア (スペイン) (poster)

T. Iizawa for the ATLAS FTK collaboration
ATLAS FTK: Fast Track Trigger
Vertex2014, 2014 年 9 月 18 日, プラハ（チェコ）

他研究会、シンポジウム等：

(招待講演) 寄田浩平「気液 2 相型アルゴン光検出器を用いた暗黒物質探索」
宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究会　大阪大学　2014 年 8 月
(招待講演) 寄田浩平「FastTracKer」アトラス日本総会　長崎　2014 年 9 月
(招待講演) 寄田浩平「FastTracKer」テラスケール研究会　大阪大学 2014 年 11 月
(招待講演) 寄田浩平 「気液 2 相型アルゴン光検出器を用いた暗黒物質探索」
東大宇宙線研究所共同利用研究成果発表会　東京大学　2014 年 12 月

飯澤知弥「FTK Global Integration Report」ATLAS TDAQ Week コペンハーゲン 2014 年 7 月

鷲見貴生「ANKOK 実験：2 相型アルゴン検出器の光検出効率最大化」
21st ICEPP Symposium@白馬　2015 年 2 月 8-11 日

加地俊瑛「ANKOK 実験におけるシミュレーションの構築」
21st ICEPP Symposium@白馬　2015 年 2 月 8-11 日

白神賢「ATLAS 実験における高速飛跡トリガー（FTK）の開発、試験状況と量産」
21st ICEPP Symposium@白馬　2015 年 2 月 8-11 日

藤崎薫、寄田浩平他　「ANKOK Phase-0」
高エネルギー春の学校　琵琶湖　2014 年 5 月

五十嵐貴弘、寄田浩平他「Ar 赤外光の性質とその利用法の検討」
高エネルギー春の学校　琵琶湖　2014 年 5 月

藤崎薫、寄田浩平他「Backgrounds in Ar double phase detector」
ポスター発表　極低バックグランド研究会　淡路島　2015 年 3 月

4.3 その他、学会および社会的活動等

2013 年 11 月～現在　ATLAS-Japan 物理解析審査員

2014 年 9 月「グローバル社会について～国際的素粒子研究を通して～」筑波大学附属高等学校

2014 年 9 月 日本物理学会秋季大会@佐賀大学　暗黒物質探索セッション座長

2014 年 11 月　早稲田大学物理学科創立 50 周年記念講演会　記念講演　早稲田大学
「ヒッグス粒子の発見とこれからの素粒子物理実験」

2015 年 1 月　早稲田応物・物理会 会報第 26 号寄稿

4.4　学位論文

修士論文：

加地俊瑛「ANKOK 実験におけるシミュレーションの構築」

川村将城「ANKOK 実験のための地上環境中性子事象の測定と評価」

昌子貴洋「ATLAS 実験における FTK 受信モジュールのモニタリングシステムの構築と量産試験」

白神賢「ATLAS 実験における FTK 受信モジュールのハードウェアエミュレーションを用いた性能評価」

仲松弥「ATLAS 実験における FTK によるトリガーの改善とシミュレーションの高速化」

鷲見貴生「ANKOK 実験における大光量 2 相型プロトタイプ検出器の開発と性能評価」

学士論文：

猪飼孝「Hadronic tau 粒子対と jet を終状態に含む事象のトリガー選択に関する研究」

川口佳将「ATLAS 実験における FTK を用いた一次衝突点再構成の事象トポロジー依存性の研究」

木村眞人「2 相型 Ar 光検出器の電場最適化と電子比例蛍光発生機構の研究」

鈴木優飛「アルゴン中の柱状再結合効果を利用した検出器の方向感度化に関する基礎研究」

中新平「暗黒物質探索のための MPPC を用いた発光位置同定手法の基礎研究」

新田龍海「ATLAS 実験におけるハドロン崩壊する τ 粒子対を用いた Higgs 粒子の CP 測定感度の評価」

横山寛至「アルゴン中の U・Th 系列放射線核種の測定とその時間依存性」

亘龍太郎「GTP トランシーバを用いた FTK 受信モジュールの機能追加開発」

5. 研究活動の課題と展望

LHC 加速器は 2015 年 6 月を目処に重心系エネルギーが 13TeV（→14TeV）に増強され、さらに瞬間輝度も上昇させて運転を再開する。これに伴う急務な課題として、FTK システムの各ボードの統合試験を行うこと、また我々が制作した電子回路ボードの ATLAS 検出器への挿入を完遂することである。加速器再開とともに磐石な状況を構築し、2015 年度のコミッショニングに備えることが重要である。この課題に対しては、早稲田大学として私を含め博士課程学生 4 名と修士課程学生 4 名のメンバーを総力して、包括的に取り組む予定である。一方、ヒッグス粒子が τ 粒子対へ崩壊する過程での CP 測定、トップクォークとの随伴生成過程を探索し、ヒッグス機構の本質的な検証であるフェルミオンの湯川結合の測定とその性質解明を包括的に行う。そのためにも FTK システムの構築やその前後でのトリガーパフォーマンスの研究が必須である。また、ヒッグス粒子探索のみならず、トップクォークの性質測定や超対称性粒子に代表される新現象探索も現地海外研究者との密な議論を行った上で、早稲田独自の大きな役割を果たしていく。

暗黒物質探索のための気液 2 相型アルゴン光検出器の構築をすすめる。特に γ 線と WIMP の識別能力の定量評価と中性子背景事象の評価を行ったうえで最適な検出器を設計構築し、神岡地下施設で予備実験を行い、物理感度を算出、本実験へつなげる計画である。

LHC 加速器を利用した最先端素粒子物理学と非加速器実験による暗黒物質探索を並行して行うことで、まったく新しい指針を見出していきたいと考えている。

加速器科学・放射線科学

研究代表者　鷲尾　方一
（理工学研究所　教授）

1. 研究課題

我々は加速器から得られる高品質電子ビームを用いてレジスト材料とその誘導体の放射線化学初期反応に関する研究を行っている。

パーソナルコンピュータや携帯端末の性能を決定している集積回路は、基板（ウェハ）に微細な回路パターンを転写するリソグラフィ技術により作製されている。本研究において対象としているレジスト材料とは、リソグラフィ工程において微細な回路パターンを露光する前にウェハに塗布する感光性の材料であり、リソグラフィの効率や解像度・粗さを左右する重要な機能性材料である。現在のリソグラフィ技術では紫外光(UV 光)が露光光源として用いられており、ダブルパターニング・液浸露光に代表される技術の進歩によって加工の空間分解能は年々向上を続けている。しかし、UV 光を利用した加工は既に限界に達しつつあり、集積回路のさらなる高度化・高集積化に向け、電離放射線領域である極端紫外光(EUV)・X 線・電子線等の量子ビームの利用へと大きな転換期を迎えている。大強度の EUV 光源や加工技術の確立が急がれる一方で、レジスト中で誘起される反応は光化学反応から放射線化学反応へと変化するため、放射線化学反応の理解が今後のリソグラフィ技術においては不可欠となる。本研究では加速器からの電子ビームを用いて、パルスラジオリシス法によるレジスト材料とその誘導体高分子の放射線化学反応初期過程に関する実験・考察を行った。

2. 主な研究成果

ポジ型電子線レジスト ZEP(日本ゼオン)は塩素原子とフェニル基を含む高分子レジストであり、高い解像度と感度、ドライエッチング耐性を併せ持つ電子線レジストとしてフォトマスク作製などに実際に用いられている材料である。ZEP は化学増幅型でないレジストとしては高い感度を持つがその高い感度を支える放射線分解機構に関する報告は少ない。我々はレジストの高感度化を目指し、パルスラジオリシス法を用いた ZEP とポリスチレン系高分子の放射線化学反応初期過程に関する研究を行った。物質に電離放射線を照射した際に発生する短寿命の活性種を短パルス放射線を用いて測定する方法をパルスラジオリシス法と呼ぶ。今回報告するパルスラジオリシス実験は吸光法による溶液中過渡吸収スペクトル測定であり、大阪大学産業科学研究所の L バンド電子ライナックからのエネルギー28 MeV・バンチ幅 8 ns の電子ビームパルスを用いて行われた。

前述のように ZEP はフェニル基と塩素を含む高分子である。これらを含む溶液に電離放射線を照射すると、数百ナノ秒ほどの寿命を持つフェニル基と塩素の電荷移動錯体(CT 錯体)が形成される。この CT 錯体は 500 nm 付近の可視領域に幅広い光吸収を持つため吸光法による観測が容易であり、ZEP においては分解のプレカーサーである事が我々の過去の研究で提案されている。これまでの実験により、ZEP を THF へ溶解させたサンプルにおいて CT 錯体とフェニルマルチマーラジカルカ

チオンによる弱い吸収が観測されており、この結果からフェニル基のラジカルカチオンが THF 溶媒中で生成された事が読み取れる。一方で、電子ビーム照射時にまず生成される溶媒の THF のラジカルカチオンは素早く他の THF 分子と反応しラジカルとカチオンに分離するため、フェニル基のラジカルカチオンは THF からのホール移動では生成されないと考えられる。これらの結果及び考察から、ZEP の THF 溶液において、溶質である ZEP の直接イオン化によりフェニル基のラジカルカチオンが生成されたと結論付けることができ、この事は THF 溶媒中のパルスラジオリシス実験により固体中で発生する放射線化学反応を模擬できる可能性を示唆している。

この結果を踏まえ、今年度の実験では溶液の粘度を上げることで固体状態に近づけ実際の使用環境をより良く模擬できると考え、THF 環の存在下において溶液の粘度を変え溶質の動きを制限した環境下での実験を行った。THF 環を含む高粘度環境を実現するため、ポリ α-アリルオキシメチルアクリル酸メチル（以下、THF ポリマー）（日本触媒）を用いた。

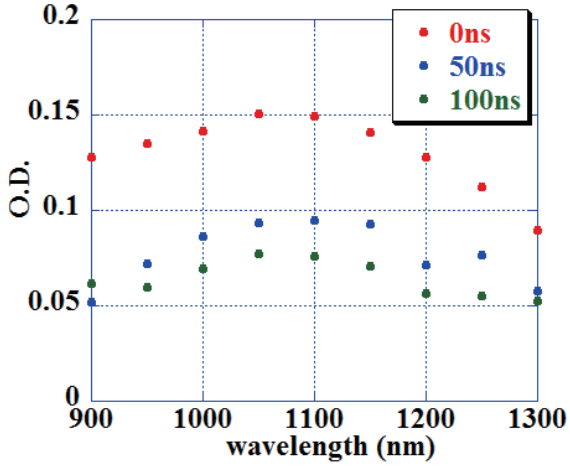


Fig. 1 NIR Transient absorption spectra in 200 mM polystyrene and 2.7 M poly (α-allyloxymethyl methyl acrylate) solution in MEK

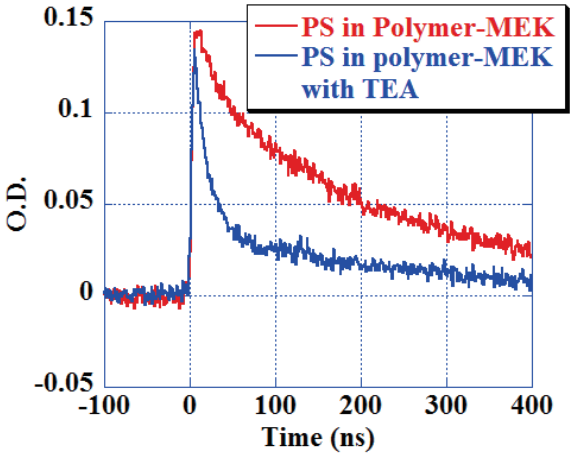


Fig. 2 Time dependence of transient absorption in the solution with TEA and without TEA at 1100 nm

THF ポリマーはメチルエチルケトン(MEK)に溶解した状態であったため今回の実験では MEK を溶媒として用いた。しかし ZEP では MEK に対する溶解度に問題があったため、まずはフェニル基を含む基本的な高分子であるポリスチレンを溶解させ実験を行った。Figure 1 に 200 mM ポリスチレンを溶解させた溶液での近赤外での過渡吸収スペクトルを示す。近赤外ではフェニル基のマルチマーラジカルカチオンによる電荷共鳴の吸収帯が存在することが知られており、ポリスチレン溶液ではジクロロメタン等の塩素系溶媒中で約 1200 nm を中心とした過渡吸収光吸収スペクトルが報告されている。ゆえに Figure 1 にみられる 1100 nm を中心とした幅広い光吸収はフェニルラジカルカチオンによるものだと推測できるが、確証を得るためさらにカチオンスカベンジャーとして 20 mM のトリエチルアミン(TEA)を添加し実験を行った。1100 nm における TEA 有無での過渡吸収挙動の差異を Figure 2 に示す。1100 nm の吸収は TEA の添加により短寿命化したことが明らかであり、この結果からフェニルラジカルカチオンがこの系でも生成されていることが確認された。高濃度の THF 環が存在しているため溶質のポリスチレンが直接イオン化され生成したフェニルラジカルカチオンが観測されている可能性があり、今回の実験結果はレジスト固体中における放射線化学反応を解明するための知見となる。

3. 共同研究者

大島明博（理工研　招聘研究員、大阪大学・産業科学研究所特任研究員）
保坂　勇志（先進理工学研究科・共同原子力専攻・助手）
田川精一（研究院、招聘研究教授、大阪大学・産業科学研究所特任教授）
伊藤　政幸（理工学研究所・招聘研究員）　　三浦　喬晴（理工学研究所・招聘研究員)
佐々木　隆（理工学研究所・招聘研究員）

4. 研究業績

4.1　学術論文

4.2　総説・著書

4.3　講演

“Study on Early Reactions of the Chlorinated Electron Beam Resist with Pulse Radiolysis”, the 5th Asia Pacific Symposium on Radiation Chemistry, The University of Tokyo, Tokyo, September 2014.

早稲田大学におけるスーパーコンティニウム光を用いたパルスラジオリシスシステム開発、伊藤孔明、添田　雄史、保坂　勇志、坂上　和之、鷲尾　方一、日本物理学会第 70 回年次大会

4.4　受賞・表彰

4.5　学会および社会的活動
　日本放射線化学会　会長

5. 研究活動の課題と展望

今回の結果により高粘度の THF ポリマー環境下でもフェニルマルチマーラジカルカチオンが観測された。今後は THF ポリマー溶液の濃度・粘度を変化させて実際のレジストの使用環境を再現し、パルスラジオリシス法による固体中初期反応の解明を計画している。固体レジスト中での放射線化学反応初期過程が解明できればレジストの高感度化・半導体素子の高集積化への寄与が可能であり、産業に大きく貢献できる研究である。

プロジェクト研究

建設産業における BIM 技術の開発

工事現場における物流に関するモデル化とそのシミュレーション

研究代表者　嘉納　成男
（創造理工学部 建築学科　教授）

1. 研究課題

建築工事の進捗状況をコンピュータシステムによって正確に再現出来れば、与えられた条件や工事計画の内容によって、工事がどの様に進むかを事前に検討することが出来る。工事計画の改善や最適化を行うためには重要な計画技術である。しかしながら、様々な作業や数多くの資機材の動きをシミュレーションモデルとして正確に構築することが難しく、又モデル化には多くの手間が掛かる問題点がある。

施工シミュレーションの研究は、1970 年代から D.W.Halpin や著者ら多くの研究者によって為されてきたが、上記の理由のために実務に活かされる技術として今なお確立していない。

本研究では、工事のモデル化の方法論とそのシステム化について提案し、鉄筋コンクリート工事について試行と有用性について検証した。本報では資材の運搬・保管・揚重等に関する物流をモデル化する方法論を示すとともに、工事用エレベータの物流作業を正確にモデル化する仕組みを示す。

2. 主要な研究成果

2.施工シミュレーションモデルの概要

工事のモデル化についての基本的な仕組の概要を示す。モデルは、ノードとアローによってグラフ構造として視覚的且つ論理的なモデルとして成立するように、表現方式や記述規則を定めている。本モデル化においては、工事活動をワークパッケージの集合として捉え、一つのワークパッケージは作業が資材を Input して、他の資材（又は部材）を Output する活動であると定式化している。また、作業は労働者や工事用機械を使用（Use）して、Output を創出するものとしている。これを模式的にグラフ構造として示すと、図.1 の如くなる。図. 1 では、以下の工事内容を表現している、

(1) 仮置き場に置かれている柱部材を、柱取付作業によって、設計位置に取り付ける。

(2) そして、既に取り付けられた２本の柱（柱１、柱２）の間に、仮置き場に置かれている梁部材を、梁取付作業によって、その設計位置に取り付ける。

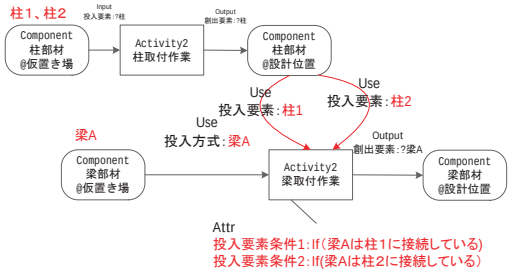


図.1 施工モデルの記述方式

3.物流作業モデル

3.1.建築工事における物流作業

工事では、取り付けや組み立て作業とともに、それに用いる諸資材を搬入、運搬、揚重、保管する作業が存在する。これらの作業では、資材をハンドリングするために、時々刻々と位置を変える資材をその運搬作業や使用される工事用機械の動きに連動させて、モデル化することが必要になる。また、資材の工事用機械への積み込みや荷の降ろしなどをモデルとして正確に表現する必要がある。

物流作業をモデル化するには、以下の事柄をモデル化する。

(1) 資材の搬入から取り付けまでの資材の流れのモデル化
(2) 資材の取り纏めと荷解きに関するモデル化
(3) 資材の取り込みと取り外しに関するモデル化
(4) 工事用機械と物流とを同期した動きのモデル化

3.2.搬入から取り付けまでの資材の流れのモデル化

資材を運搬・揚重する作業をモデル化するには、作業ノードを用いて、その作業に必要な作業者や工事機械を Use アローによって結びつける。運搬作業が資材を取り込むには、図.2 に示す如く、Input アローを用いて、運搬先は Output アローを用いてモデル化する。このとき、運搬元と運搬先のノードには、運搬対象となる資材の種類名にその保管場所を表す空間名に「@」を付けて、資材（内装パネル部材@工場、内装パネル部材@搬入仮置き場、など）とその保管空間（@工場、@搬入仮置き場、など）を表現する。これによって、運搬作業と資材の保管空間の関係を明確にすることが出来、運搬作業によって各資材がいずれの場所に運ばれるかをモデル化することが出来る。

なお、図.2 で図中の「○」は、運搬作業によって移動する資材の位置を模式的に示している。

一つの保管空間に複数の種類の資材が置かれている場合は、上記とは別途に、保管空間をノードとして表現する方法を用いて、図.3 に示す如く物流を表現する。

この場合、搬入作業で搬入する資材の種類を指定することによって、搬入する資材を特定する。

また、保管空間は、その床面積に応じて、保管可能な資材の容量が制約される。この制約は、空間に保管可能面積を設定することによって、保管容量の上限を設定することが出来る。このとき、運搬作業は、行先の空間の制約条件を満たした場合にのみ、運搬が開始される。

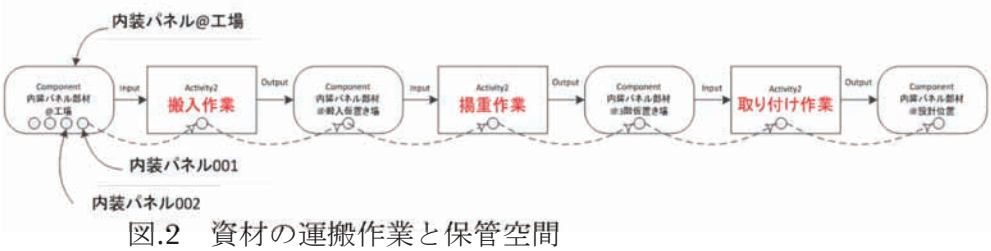


図.2　資材の運搬作業と保管空間

図.3　複数の資材を扱う保管空間とその運搬作業

3.3.資材の取り纏めと荷解きに関するモデル化

3.3.1. Pack 機能と Unpack 機能

工事現場に搬入される資材の多くは、梱包され台車等に乗せられている。そのため、複数の資材を取り纏めた状態で梱包された資材として運搬する場合がある。このとき、資材は運搬先の保管空間において荷解きされ、複数の資材に分けられる。これを表現するために、本モデルでは、Pack

機能と Unpack 機能を定義し、複数の資材を梱包して、それを運搬した後、この梱包材を荷解きするプロセスをモデル化する。

3.3.2.資材の取り纏め（梱包）

バラバラになっている部材を一つの梱包体に取り纏めるには、以下の二つの方法を用いる。

(1) 梱包材を意味するインスタンスの属性（例えば、要素集合）にそれが含む複数のインスタンスの名称を登録し、梱包作業によって梱包材が属性「要素集合」に基づいて指定された資材を取り纏める。（図.4）

(2) 取り纏められるインスタンスに属性（例えば、現場運搬梱包材）を定義し、それが該当する梱包材の名称を登録して、梱包作業で梱包材の名称に対応した属性（現場運搬梱包材）を有する資材をその中に取り纏める。（図.5）

図.4 は、1 階仮置き場 A において、複数の資材を梱包材によって取り纏める作業をモデル化している。図.5 では、図.4 と同様な作業を意味しているが、梱包作業で梱包する資材の名称を特定することによって、梱包される側の資材の属性「現場運搬梱包材」と合致する資材を見つけ出して梱包する作業をモデル化している。

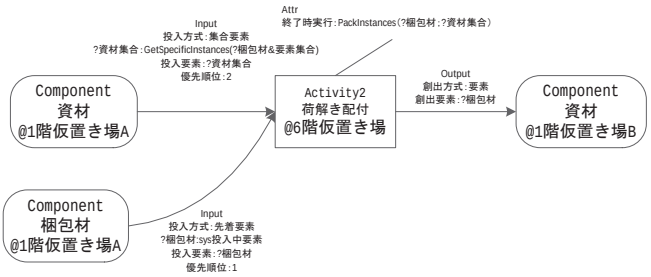


図.4　PackInstances 関数による資材の取り纏め（その１）

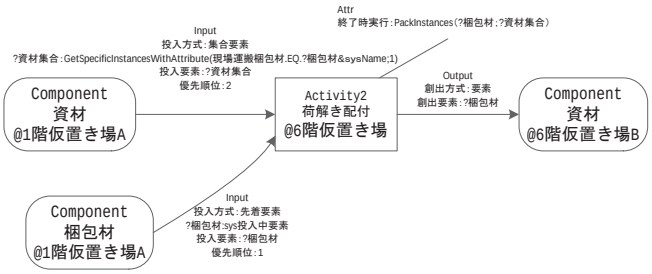


図.5　PackInstances 関数による資材の取り纏め（その２）

なお、部材の梱包は通常、工場など工事現場以外で行われるため、ここで記載した部材の取り纏めについては、工事現場内を示す施工モデルで記述することは少ない。このような場合は、初期値として、梱包材が取り纏めている複数の資材を定義する。

3.3.3.資材の荷解き

梱包材として纏まれた資材は、運搬された後、作業場所で荷解きをされる。

図.6 は、6 階仮置き場の梱包材に対して荷解き作業を行い、作業終了時点で UnpackAllInstances 機能を実行することによって、梱包材の中に取り纏められているすべての資材を取出し、6 階作業場に間配りしている。

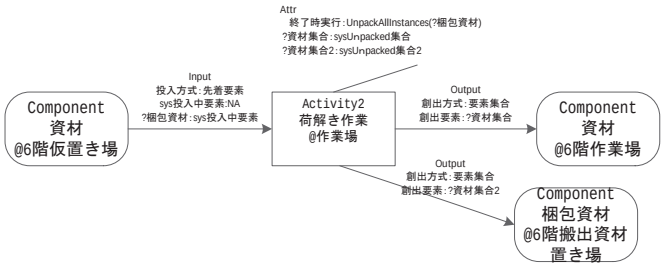


図.6　UnpackAllInstances 関数による資材の荷解き

3.4.資材の取り付けと取り外しのモデル化

3.4.1. Attach 機能と Detach 機能

資材を工事用エレベータで揚重する場合には、重機の動きと連動して資材の位置を変化させる必要がある。例えば、エレベータ荷台が上昇すると、積み込んだ資材の位置もエレベータの動きに合わせて変化させる必要がある。これを可能にすることによって、視覚的にもエレベータの動きと資材の動きが連動することになる。これを実現するには、資材を他のインスタンスに一時的に取り付ける(接着させる)機能と取り外す機能が必要になる。

これ仕組みを、本モデルでは、Attach 機能と Detach 機能によって定義し、重機が動くと、取り付けられた（積み込まれた）資材の位置も連動して動くようにした。

3.4.2.資材の取り付け

図.7 は、工事用エレベータへの資材の積み込みによって、エレベータとともに、積み降ろし階まで荷が移動するようにモデル化している。

作業「資材の積み込み」は、積み込む資材（?資材 0）の重量を既に積まれている資材の総重量に合計して、エレベータの許容最大重量を超えていなければ資材を積み込み、その終了時に AttachAnInstance 関数によって、資材（?資材 0）を荷台（?荷台）に積み込んでいる

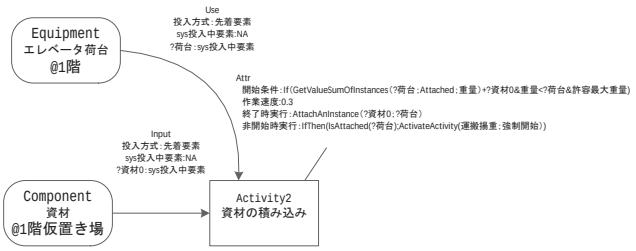


図.7　AttachAnInstance 関数による資材の取り込み

3.4.3.資材の取り外し

積み込まれた資材は、その資材の目標階において積み降ろしされることになる。この積み降ろし作業をモデル化すると、図.8 となる。

作業「資材の積み降ろし」では、作業終了時点で DetachAllInstancesWithAttribute 関数を用いて、荷台が到着している階（現在階）と資材の属性（目標階）が一致する資材を荷台（?荷台 2）から取り外して、6 階資材置き場に移動している。

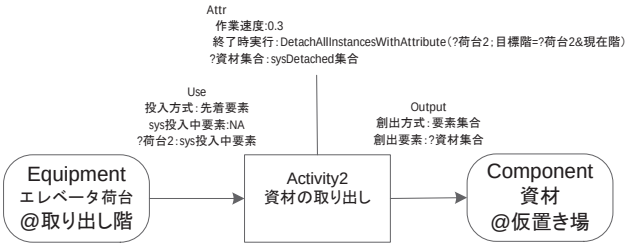


図.8　DetachAllInstancesWithAttribute 関数による資材の荷台への取り込み

4.工事用エレベータを用いた物流のモデル化

4.1.物流における搬入時期の調整方法

高層建築物の工程では、仕上段階における内装資材の揚重は、その後の資材の取り付け工程に大きな影響を与える。

工事エレベータで揚重する資材の搬入時期や積み込み時期は、その資材の取り付け時期が決まった後にその物流に要する時間を考慮して、逆算的に求める必要がある。しかし、一日の揚重エレベータの揚重負荷がその能力を超えた場合は、物流に要する時間は予定通りには進まない。この場合には、物流の遅れによってその資材の取り付け時期が遅れることになる。すなわち、資材の揚重時期が定まらなければ、その取付時期は決まらないことになる。

4.2.工事用エレベータに関わる作業のモデル化

本報では、エレベータと物流の資材の動きを以下の事項を踏まえて、モデル化した。

(1)エレベータには最大積載荷重を設定し、積み込み資材はその制限を超えない様に、エレベータ前の資材置き場にある資材を積み込む

(2)荷台は積み込まれた資材に付与されている目標階タグに基づいて、目標階まで揚重作業を行う。（複数の目標階がある場合は最も近い階に先ず揚重する）

(3)荷台が目標階に到着した後、その階と資材の目標階が一致する資材を積み降ろす。

(4)荷台に資材が無くなるまで(2)(3)を繰り返す。

(5)荷台が空になった場合は、空運転作業により積込み階まで荷台を移動する。

以上の一連の流れの概要を物流モデルで示すと図.9 の如くなる。

3. 資材の搬入・揚重時期の計画手法

前述の如く、資材の搬入及び揚重時期は、仮の初期値を与えて（最早開始時期）で実施することとし、その資材が取り付け場所に到着した後、資材がどの程度の待ち状態になるかを先ず求めている。そして、このデータに基づいて、待ち状態が出来るだけ少なくなるように、資材の搬入と揚重を遅らせて適切な時期を再度シミュレーションを実行して、決める方法を採用している。

資材の搬入時期を調整する手法としてまず、取付場所における資材の待ち時間から 作業の開始時期までのどれだけ前に資材が到着している必要があるかを示す余裕時間を引くことで調整する搬入時間を求める。

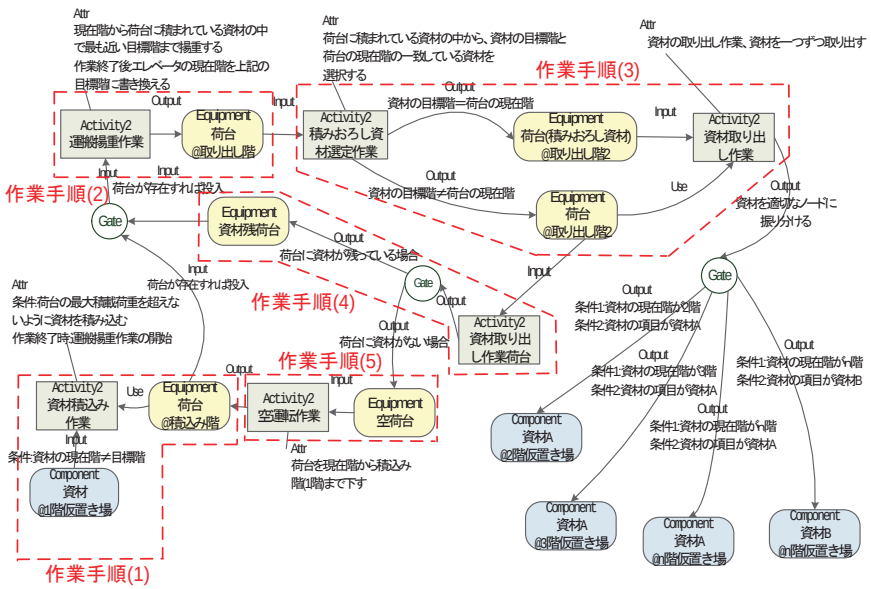


図.9　エレベータへの資材の積み込み

6.結言

資材の物流シミュレーションは、資材の梱包や荷解きによる資材の動き、及び揚重設備の動きと資材の位置の移動を連動させる必要がある。これをモデル化するには、グラフ構造のアローやノードに関数を工夫することによって、簡潔に表現し得ることが判った。

3. 研究業績

(1) 嘉納成男・岩崎辰哉・熱田和也・両角星紀：施工シミュレーションに関する研究　－工事現場における物流に関するモデル化とそのシミュレーション－、建築生産シンポジウム、2014 年 7 月、日本建築学会

(2) 嘉納成男：建設におけるロボット化の将来を考える、建設の施工企画、2014 年 11 月、日本建設機械化協会

(3) 中村紗綾・嘉納成男：建築の形状・部材構成・造り方の創出方法に関する研究―建築外装工事計画を事例検討に用いて―、関東支部研究報告書、2015 年 3 月、日本建築学会

(4) 小川健・嘉納成男：施工シミュレーション手法に関する研究、―内装工事における作業者人数変動の比較―、関東支部研究報告書、2015 年 3 月、日本建築学会

(5) 嘉納成男・熱田和也・両角星紀：施工シミュレーションに関する研究、その 3　物流における資材と作業のモデル化、大会梗概集、2014 年 9 月、日本建築学会熱田和也・嘉納成男・両角星紀：施工シミュレーションに関する研究、その 4　工事用エレベータのシミュレーションの試行、大会梗概集、2014 年 9 月、日本建築学会

4. 研究活動の課題と展望

本研究では、円滑な建設活動を推進する方法論の一つとして、現在次第に浸透しつつある建設産業における BIM（Building Information Modeling）技術を幅広く建築現場に展開する技術の開発を目的とするとともに、BIM 技術によって建設産業がどのように変革を為していけば良いかについて、産業的な視点から研究していく。BIM 研究は、現在多くの研究が為されているが、工事現場における BIM 情報を活用した新しい「もの造り」や「工事プロセス」の方法論を目指して研究していく。

機能性レドックスポリマー

研究代表者　西出　宏之
（先進理工学部 応用化学科　教授）

1. 研究概要・目的

可逆的かつ速い電子授受能もつ有機高分子「レドックスポリマー」にはじめて着目し、世界に先駆け合成してきたラジカルポリマーによる高速電荷輸送と高密度電荷貯蔵の発見とその応用を起点として、π共役電子物性に支配される従来の導電性ポリマーから脱却した、電子交換反応に基づく導電・蓄電物質「レドックスポリマー」の科学を確立するとともに、その新たな機能を開拓することを目的としている。本プロジェクトは、レドックスポリマーでの電子授受を「電荷分離・輸送・貯蓄」の新機能として捉え、分子レベルから界面まで俯瞰した高次構造により機能を増幅し、斬新な光・電子機能性有機材料として展開している。具体的には、(1)レドックスポリマーのヘテロ界面での整流輸送に基づく新規な湿式太陽電池、(2)レドックスポリマーにより酸素を効率高く利用した全く新しい空気二次電池、(3) レドックス活性なボトルブラシポリマーの精密構造制御とフローセル、などである。これをもって持続可能な未来技術と期待されながら具体化の決め手を欠いていた有機エレクトロニクスに一つの突破口を拓くと共に、新型太陽電池や次世代蓄電池など実デバイスに波及する、実践的物質群として「機能性レドックスポリマー」を確立したく展開している。

2. 主な研究成果

2.1　蓄発一体型色素増感太陽電池

これまで当研究室では、レドックスポリマーから成る有機二次電池を色素増感太陽電池に付与することで、蓄発一体型素子による暗条件下での安定な出力供給を実証してきたが、メディエータによる自己放電が課題となっていた。素子構成として色素層上に正孔蓄電極を担持した 2 極系による蓄電構成(図 1)を新規に提案、色素を担持した酸化チタン電極上に TEMPO 置換ポリマー(PTMA)を直接塗布し、対極を貼り合わせることでメディエータフリーの蓄発一体型素子を作製した。光照射下による発電とそれにともなう暗条件下での放電が認められ、2 極系蓄発一体型の太陽電池の作動を実証、蓄電効率は 3 極系の約 2 倍(78 %)まで向上した。

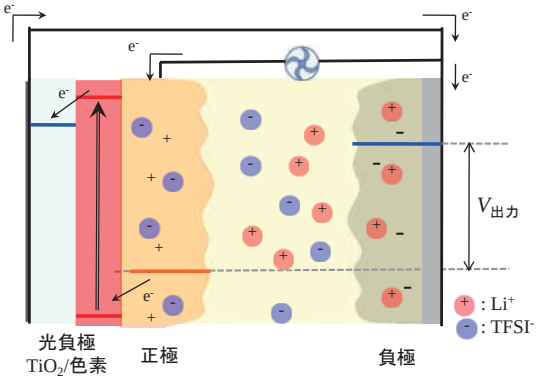


図 1　蓄発一体型太陽電池の模式図

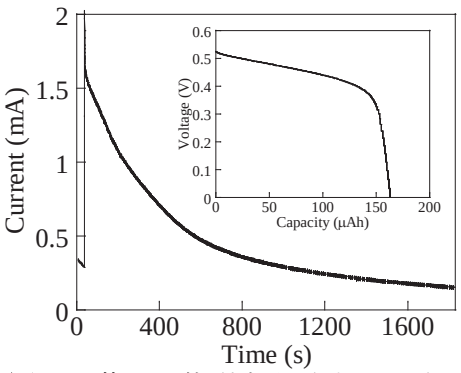


図 2　蓄発一体型太陽電池の発電・放電挙動

2.2　アントラキノンポリマーを負極とした有機空気二次電池

空気電池は環境適合、軽量、大容量が期待され、二次電池としての試みが多くなされている。当研究室では、これまで n 型の酸化還元能もつアントラキノンのポリマーを開発してきた。主鎖骨格にノルボルネン骨格を採用、繰り返し単位当たりのアントラキノン部位を二置換とすることで容量増加を目指した PQNB を新規に合成した。空気二次電池の負極活物質へ応用した。作成した空気二次電池は、高容量(143 mWh/g)かつ 300 サイクル以上繰り返し充放電可能であった。

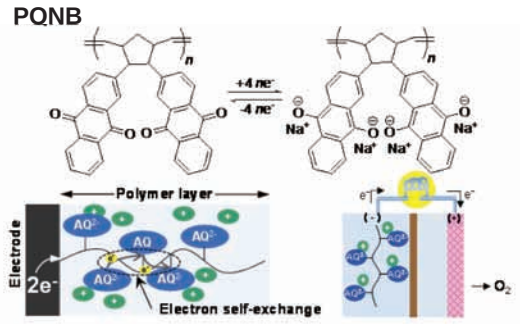


図 3 PQNB の酸化還元挙動(上図)、PQNB 層中の電子移動(下左図)および PQNB を負極とした有機空気二次電池(下右図)

2.3　レドックス活性なボトルブラシポリマーを活物質とした蓄電フローセル

可逆な酸化還元を示す有機ラジカルである TEMPO を置換したポリマーを正極活物質として適用し、高速充放電や優れたサイクル安定性を当研究室では報告してきた。レドックスポリマーの電荷輸送性はポリマーの精密な構造により向上すると考えた。今年度はポリノルボルネンを主鎖、ポリ TEMPO 置換メタクリレートを側鎖としたボトルブラシ型のポリマー (PNB-*g*-PTMA) を精密に合成して電荷輸送、貯蔵特性を評価した。アニオン重合と開環メタセシス重合により、低い分子量分散度 (< 1.20) かつ高いラジカル濃度 (> 95%) で PNB-*g*-PTMA を得た。PNB-*g*-PTMA は可逆な酸化還元を示し、120 C (30 秒) の高レートで充放電が可能であった。ブラシ構造により低い粘性の溶液を組み込み、レドックスフローセルへ応用した。理論容量比 95%と高い効率で充電できた。

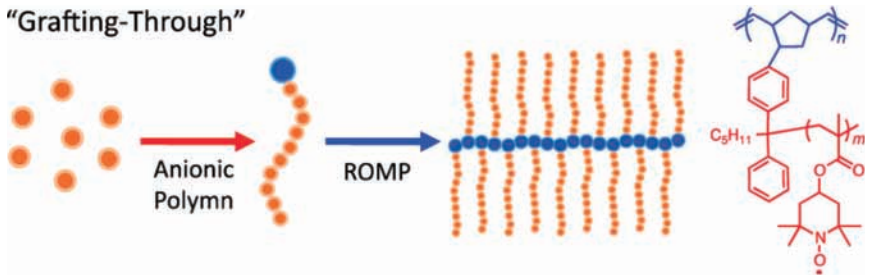


図 4 PNB-*g*-PTMA の構造と合成スキーム

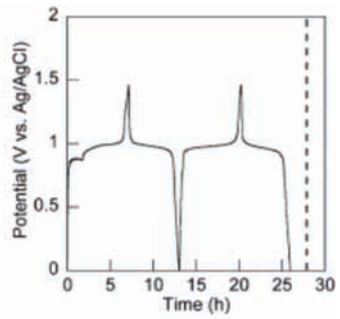


図 5 PNB-*g*-PTMA 溶液のフロー下での充放電

以上、レドックス活性なポリマーの分子構造と機能の相関を検討し、新しい電子機能有機材料として展開する知見としてまとめている。

3.　共同研究者

小柳津 研一 (理工学術院・応用化学科・教授)

4. 研究業績

4.1 学術論文

1. T. Sukegawa, I. Masuko, K. Oyaizu, H. Nishide, "Expanding the Dimensionality of Polymers Populated with Organic Robust Radicals Toward Flow Cell Application: Synthesis of TEMPO-Crowded Bottlebrush Polymers Using Anionic Polymerization and ROMP", *Macromolecules*, **47**, 8611-8617 (2014).
2. M. Suzuka, S, Hara, T. Sekiguchi, K. Oyaizu, H. Nishide, "Kinetic Control of Electron Transfer at Doped Zinc Oxide/Redox-active Molecule Interface for Photocurrent Rectification", *Chem. Lett.* **44**, 41-43 (2015).
3. H. Maruo, K. Oyaizu, H. Nishide, " Electrochemical formation of a polyviologen-ZnO composite with an efficient charging capability", *Chem. Lett.* **44**, 393-395 (2015).
4. T. Sukegawa, K. Sato, K. Oyaizu, H. Nishide, "Efficient charge transport of a radical polyether/SWCNT composite electrode for an organic radical battery with high charge-storage density" *RSC Advances*, **5**, 15448-15452 (2015).
5. T. Kawai, K. Oyaizu, H. Nishide, " High-density and robust charge storage with poly(anthraquinone-substituted norbornene) for organic electrode-active materials in polymer-air secondary batteries", *Macromolecules*, **48**, 2429-2434 (2015).

4.2 総説・著書

1. 小柳津研一, 西出宏之, "高分子ラジカル電池"『分子磁性の新展開』,日本化学会編, 化学同人, 79-85, 2014.

4.3 招待講演

1. H. Nishide, "Charge-Transport and – Storageable Redox Polymers" , International Conference on Polymer Chemistry 2014, Shanghai, China, 2014.6.
2. H. Nishide, "Redox Polymers for Energy-Saving Devices" 2nd International Sympoium of Polymer Ecomaterials, Kunming, China, 2014.8.
3. H. Nishide, "Organic Radical Batteries" Gesellschaft Deutscher Chemiker, Jena, Germany, 2014.9.
4. H. Nishide, "Redox Polymers for Soft Energy Devices", Federation of Asian Polymer Societies Symposium 2014, Pune, India, 2014. 10.
5. H. Nishide, "Redox Polymers for Organic-Based Energy-Related Devices", International Polymer Conference 2014, Tsukuba, Japan, 2014. 12.

4.4 学会および社会的活動

日本化学連合前会長、The Federation of Asian Polymer Societies (FAPS)前会長

5. 研究活動の課題と展望

ユニークな機能性レドックスポリマーを起点に実学的な応用展開を目的としており、その波及効果は産学ともに多いと考えている。

医療福祉ロボット実用化研究

研究代表者　藤江　正克
（創造理工学部 総合機械工学科　教授）

1　研究課題

近年，低侵襲医療と介護・福祉の促進に伴い，種々のロボットにて医療支援と福祉支援をする取り組みが盛んである．藤江正克研究室では，医療支援と福祉支援のロボット技術は共通の基盤技術から形成されるという理念の下，様々な医療支援ロボット・福祉支援ロボットの技術開発に取り組んでいる．本研究室の実用化プロジェクトとして，「本態性振戦抑制ロボット」の開発があり，本年度の研究成果を次節より報告する．本項では，「本態性振戦」の社会背景，特徴，及び課題点を下記に述べる．

日常動作を行う際に上肢を主として体の一部が振動してしまう本態性振戦という疾患がある．日本人のおよそ 2.5~10%が本態性振戦の症状を有するとされるほど有病率の高い疾患であるが，「本態性」という名称が示す通り，病態機序は明らかにされていない．動作をする際や姿勢を維持する際にふるえを生じるため，日常動作の遂行に支障を来たすことから，ふるえを抑制することが求められる．本研究室では装着型ロボットを用いて，ふるえを抑制する手法の研究開発を進めている．

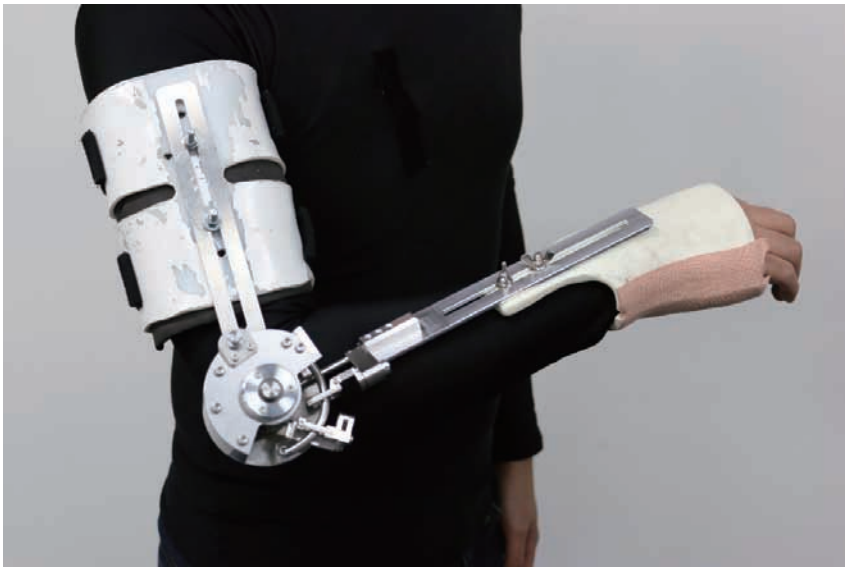


Fig. 1 肘前腕連動装具

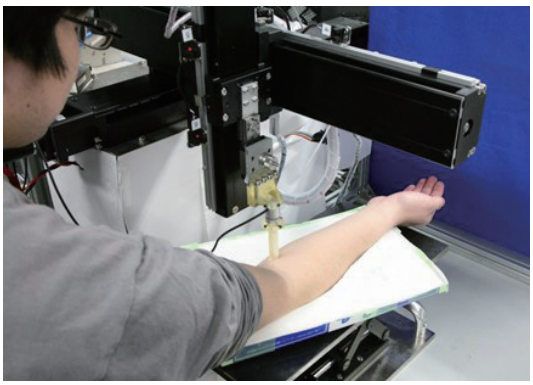


Fig. 2 3 軸リニアマニピュレータ

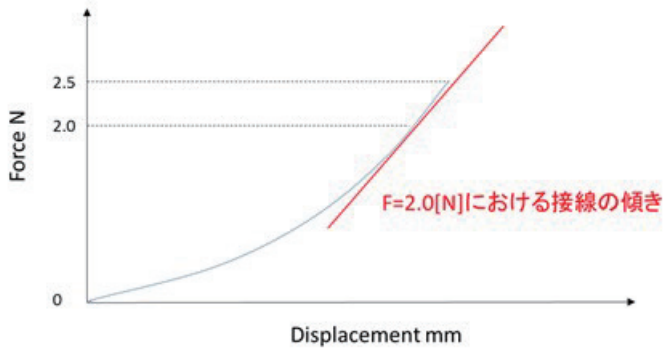


Fig. 3 硬さ算出手法

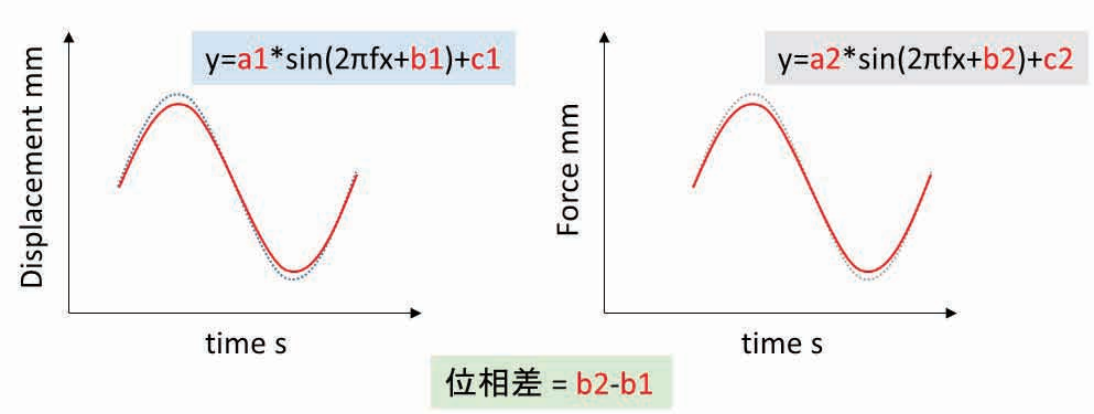


Fig. 4 位相差算出手法

2　主な研究成果

2.1　硬さ・粘弾性測定実験

2.1.1 実験目的

効果的にふるえを抑制することを考える上で，ロボットと人体は物理的に接触するため，人体の軟部組織が接触時に変形する点を考慮する必要がある．そこで，本研究ではふるえを抑制する上で効果的なロボットのフレームの通過点を導出するために，人体の軟部組織の硬さと粘弾性の特性分布を計測する実験を行う．前腕の回内外の動きにふるえを生じている患者を想定すると，効果的にフレームによる拘束力を伝達するためには，筒状の前腕部よりも手掌部にてフレームが人体と接触する構造とする必要がある．そこで，本研究では手掌部の硬さと粘弾性の特定分布を計測することを目的とする．

2.1.2 使用機器

本実験では 6 軸力覚センサが搭載されたプローブを有する 3 軸リニアマニピュレータ（Fig.2）を用いて，人体の押し込みを行う．6 軸力覚センサは定格 11.8[N]であり，プローブは直径 10[mm]の円柱の先端がφ10[mm]の半球形状となっている棒を使用している．また，被験者の腕が実験中に動いてしまうことを防止するため，腕を安置する石膏型を製作する．分布計測は掌と手の甲の 2 面に関して実施するため，石膏型も 2 面分を製作する．

2.1.3 実験方法

被験者は若年健常男性 3 名とし，プローブによって人体を押し込んだ際の各押し込み点における，力と変位の関係より，硬さと粘弾性の分布を計測した．　プローブは以下の手順で制御した．

a. プローブが格子点上にて押し込みを実施できるよう，石膏型の位置を調整し，石膏型の上に腕を安

置する．

b. プローブを計測点に移動する．

c. プローブを下げ，人体と接触（0.1[N]）後，5 秒間静止する．

d. 低速（3.6[mm/s]）で人体を押し込む

e. 人体の押し込み反力が 2.5[N]になったところで，プローブを停止し，5 秒間静止する．

f. プローブの体視点を原点として，振幅 0.5[mm]，周波数 4[Hz]の変位の正弦波強制振動を 8 秒間印加する．

g. プローブを上昇させながら除荷する．

h. すべての計測点での押し込みを完了するまで，b ~ g を繰り返す．

硬さは，変位と力の測定結果を 3 次式で近似（制約：3 次の係数は正）し，F=2.0[N]における接線の傾きとして算出する（Fig.3）．また，粘弾性は印加した変位の正弦波強制振動よる変位（入力）と力（出力）の位相差とし，強制振動の 1 周期ごとに sin 波近似（非線形多変数最適化，目的関数：残差の平方和の最小化，変数：振幅 a，位相ずれ b，切片 c，$y = a*\sin(2\pi fx+b)+c$）した式から，算出した（Fig.4）．

2.1.4 実験結果

被験者 3 名分の計測結果を平均した結果を示す（Fig.5）．結果は硬さ分布，位相差（粘弾性）分布，硬さと位相差を平均した分布を示している．分布から以下のような特徴があることがわかる．

・硬さ分布：掌面では中手骨付近（とくに中指中手骨付近）に硬い部位があり，橈側の付け根付近にも硬い部位がある．また，甲面では示指と中指の付け根付近で硬い部位が存在することが分かった．

・位相差分布：掌面では母指球付近や尺側の部位で位相差が大きい（粘性の影響が大きい）ことがわかった．また，甲面では，母指付け根付近の位相差が大きいことが分かった．

・平均の分布：掌面では，中心部を除いて環状に値が大きくなっている傾向がみられ，また，甲面では，示指と中指の付け根付近で大きな値を取っていることがわかった．

以上の分布の結果から，各分布ごとで異なる傾向がみられることが分かった．

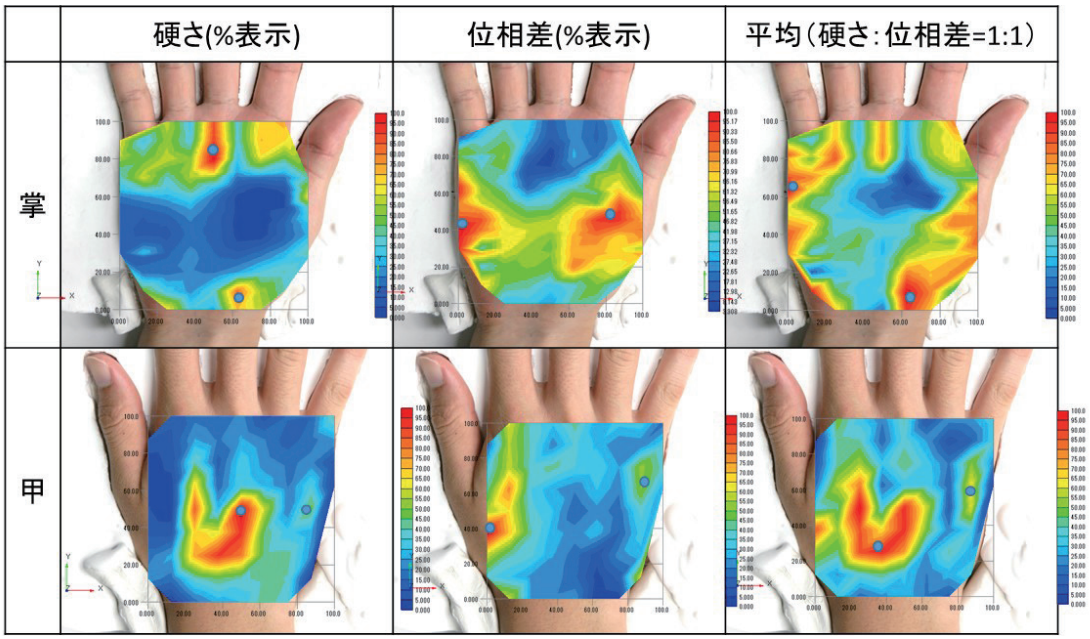


Fig. 5 人体特性分布算出結果

3　共同研究者

菅野　重樹（理工学術院・教授）
高西　淳夫（理工学術院・教授）
山川　宏（理工学術院・教授）
宮下　朋之（理工学術院・教授）
岩田　浩康（理工学術院・准教授）
小林　洋（理工学術院総合研究所・主任研究員）
関　雅俊（理工学術院総合研究所・客員次席研究員）
張　博（理工学術院総合研究所・客員次席研究員）
安藤　健（理工学術院総合研究所・客員次席研究員）
星　雄陽（理工学術院総合研究所・客員次席研究員）

4　研究業績

4.1　国際学会

[1] Y.Matsumoto, Y. Nakashima, M. Seki, T. Ando, Y. Kobayashi, H. Iijima, M. Nagaoka, M. G. Fujie, "Development of a Filtering Algorithm to Demodulate Electromyogram Signal of Essential Tremor Patients", Hawaii, USA, August 3 - 7, 2014

[2] Yuya Matsumoto, Motoyuki Amemiya, Daisuke Kaneishi, Yasutaka Nakashima, Masatoshi Seki, Takeshi Ando, Yo Kobayashi, Hiroshi Iijima, Masanori Nagaoka, Masakatsu G. Fujie, "Development of an Elbow-forearm Interlock Joint Mechanism Toward an Exoskeleton for Patients with Essential Tremor",2014IEEE/RSJ International Conference on Robots and Systems, pp.2055-2062, Chicago, Illinois, USA, September 14-18, 2014,

4.2　国内学会

[3] 松本侑也，川崎基資，金石大佑，雨宮元之，中島康貴，關雅俊，安藤健，小林洋，飯島浩，長岡正範，藤江正克，"手先の加速度と上肢の姿勢計測に基づく本態性振戦患者の振戦発生自由度特定手法の構築", 日本機械学会 ロボティクス･メカトロニクス講演会（ROBOMECH 2014）, 3P2-X07，富山，May 25-29 2014

[4] 川崎基資，築根まり子，松本侑也，小林洋，宮下朋之，藤江正克，ふるえを抑制する上肢装具の設計に向けた前腕の粘弾性分布の測定, 第 2 回看護理工学会学術集会概要集, O3-04, p. 41, 大阪，Oct. 4-5，2014

4.3　受賞

[5] 松本 侑也，日本機械学会若手優秀講演フェロー賞，日本機械学会

[6] 松本 侑也，Madni & Jamshidi Award (WAC2014 Student Award)，World Automation Congress(WAC2014)

5　研究活動の課題と展望

本研究の成果として，手掌部における硬さと粘弾性の特性分布を明らかにした．効果的なフレーム形状の決定を実現するため，今後は人体の拘束位置を調整した複数パターンのフレームを作成し，抑制効果の違いを検討する予定である．複数パターンのフレームは，フレームと人体が接触する部位における硬さと粘弾性の特性分布に基づいて定量化され，抑制効果の違いと人体の力学的特性分布の対応付けを行う．

高品質ビームの発生及びその応用研究

研究代表者　鷲尾　方一
（理工学研究所　教授）

1. 研究課題

我々は非常に良く制御された高品質ビーム、ここでは電子ビーム・X 線ビーム・レーザービーム等、を発生し、それを用いることによる応用研究を行っている。これらはエネルギーフロンティアである高エネルギー実験用加速器施設のベースとなる技術であるとともに、非常に高品質であるが故、様々な応用が可能である。これらのテーマの中から最近大きな成果のあがっているものに関して記載する。

1 つ目の成果報告は Yb 添加ファイバによるフェムト秒レーザー発振器の構築と評価、2 つ目としては、電子線傾き制御によるコヒーレントチェレンコフ光生成に関する報告を記載する。

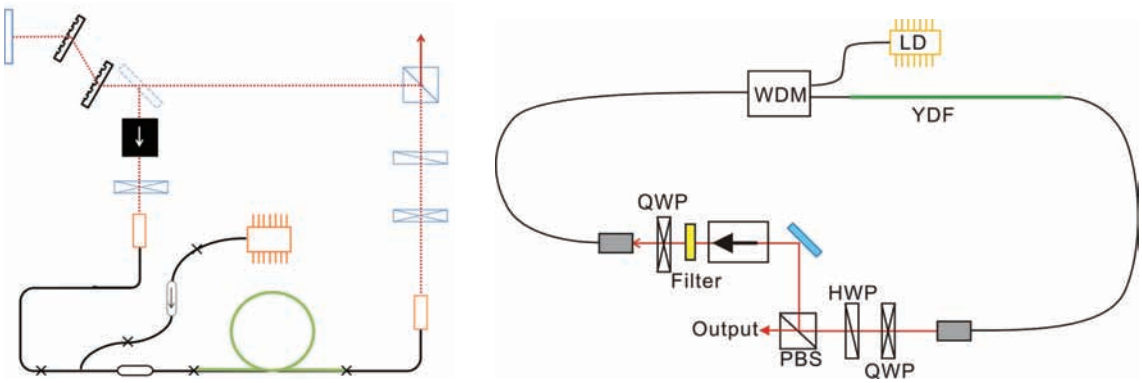
2. 主な研究成果

我々の研究プロジェクトでは喜久井町キャンパスに設置したレーザーフォトカソード高周波電子銃(RF-Gun)と呼ばれる高品質電子ビーム発生装置が基幹となっている。この装置ではレーザー光を光陰極に照射することによって電子ビームを取出し、即座に加速できることから世界トップレベルの高品質ビーム生成に成功している。2.1 節より高品質な電子線を生成するためのレーザー光の開発に関して述べる。このレーザーはフェムト秒の時間幅を持っていることから光電子生成以外にも後述するテラヘルツ波計測などでも利用可能なレーザーである。2.2 節では電子線を直接掃引することができる高周波偏向空胴を用いた電子線傾き制御によるコヒーレントチェレンコフ光の発生を行った結果について報告する。

2.1　Yb 添加ファイバレーザー発振器開発

レーザーフォトカソード高周波電子銃において、レーザー光は電子線の初期形状を決定する非常に重要なコンポーネントである。要求される電子線パラメータに対して最適な初期形状が決定されるため、レーザー光を適切にハンドリングすることが非常に重要である。レーザー光のサイズはレンズ等によって容易に変更することが可能であるが、進行方向長さであるパルス幅を変更することは容易ではない。そこで我々は 3 次元的に最適な形状を用いるためにレーザー発振器開発を開始した。目標としては、フェムト秒のパルスレーザー発振を行うことで、非常にスペクトル幅の広いレーザーとなり、分散を用いて比較的容易にパルス幅の選択、ひいては電子線の初期長さを決定することが可能となる。

製作したレーザー発振器は Yb(イッテルビウム)を添加したファイバレーザーであり、ファイバ内の非線形偏波回転によるモードロッキングが報告されている。Fig.1 に製作した発振器 2 種類を示す。



(a)ソリトン型発振器　　(b)シミラリトン型発振器

Fig.1：製作した Yb ファイバレーザー発振器

どちらも Yb ファイバを基礎としたモードロックレーザーであるが、ファイバ内で高強度を得る手法に関して異なっている。(a)ではファイバ内において生じた分散をグレーティングを用いて補償することで高ピーク強度をファイバ内で達成し、パルス生成を行っている。(b)では、ファイバ入射前に狭帯域のフィルタを用いることによって高ピーク強度を実現する。それぞれ発振器としての閉ループの解として、ソリトン型・シミラリトン型パルスが存在することから、それぞれそのような名前で呼ばれている。どちらのタイプにおいても発振は確認でき、評価を行った。特性に関してはどちらも同程度であったため、ここでは(b)シミラリトン型に関して述べる。

以下の Fig. 2 にパルス発振した際の波形を示す。

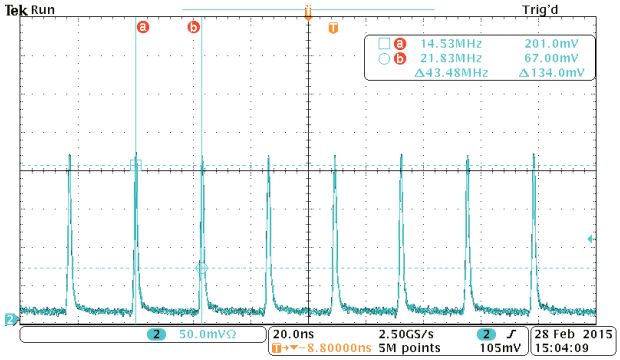


Fig.2：Yb ファイバレーザー発振器から得られたパルス列

ファイバ発振器周回周波数の約 40MHz にてパルス発振が行われていることが確認できる。出力は 44.7mW と十分な出力を確認した。そのパルス幅計測結果に関して以下の Fig. 3 に示す。シミラリトン型発振器から出力されるレーザー光は分散補償されていないため、スペクトル帯域幅に対して広くなる。出力されたパルス幅は 583fs (rms)であったが、後段に圧縮器を設置することで Fig. 3 のようなパルス幅を得ている。最適値において、69.1fs のパルス幅を得ることができた。このような非常にパルス幅の短いレーザー光は容易なパルス幅可変性から前述電子線生成時に最適に整形することももちろん可能ではあるし、他の用途としても利用価値のある光源である。例えば、パルスラジオリシス実験においては短パルスの白色分析光が必要であるが、この Yb ファイバレーザーを用いることによって Super-Continuum 光として取り出すこと

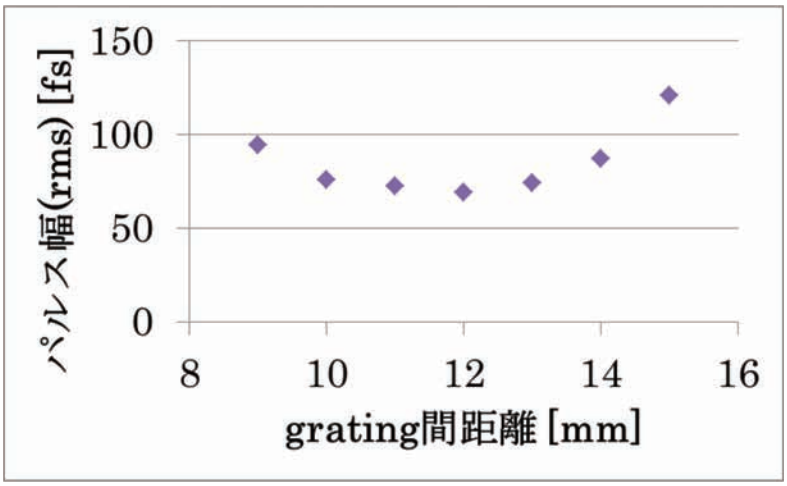


Fig.3：加速位相と電荷量・THz 光強度の関係

も可能である。また、後述するテラヘルツ光の検出に関しては、EO (Electro-Optic)サンプリングという手法においてレーザープローブとして用いることも可能である。本レーザー光はまずはテラヘルツ光検出として、展開し、その後増幅器などを構成して電子生成用レーザーとしてブラッシュアップしていく。本節のまとめとして、今回得られた Yb ファイバレーザーのパラメータを以下の Table 1 にまとめる。

Table1：構成した Yb ファイバレーザーの性能

Parameters	Value
Center Wavelength	1030 nm
Pulse Repetition	40-119 MHz
Power	44.7 mW
Pulse Energy	1.03 nJ
Pulse Duration (rms)	69.1 fs
Spectral Bandwidth	10-20 nm

2.2　電子線傾き制御によるコヒーレントチェレンコフ光の発生

高エネルギーの電子線はその特性から非常に多くの利用可能性がある。制動放射による X 線は胸部レントゲン検査などにも用いられるし、軌道放射光は現在最先端の計測ツールとして放射光施設で用いられている。電子線に対して新たな付加価値を与えることは新たな研究開発テーマとして非常に重要であるとともに、本研究課題である高品質ビーム生成にも資する内容である。本節では、ほぼ光速で進行する電子線に対して傾きを付加することによってコヒーレントなチェレンコフ放射を取り出す手法を提案し、その原理試験を行ったので報告する。

チェレンコフ放射は媒質内において荷電粒子が媒質中の光速度を越えて伝搬するときに衝撃波のようにある角度に放出される光である。その角度は媒質の屈折率によって決定される。放出角を持つチェレンコフ放射では電子線の伝搬方向と異なった方向に放出されるため、通常の方法では位相整合させてコヒーレント放射として取り出すことができない。そこで、電子線に傾きを施すことを試みる。以下の Fig. 4 に本研究の概念図を示す。三角形の形状をしたターゲット媒質に対して電子線に適切な傾きを与えて照射する。この傾き、ターゲット角度ともにチェレンコフ光の放射角と一致させることによって位相整合を実現することが可能である。この手法はチェレンコフ条件を満たす波長であればどのような波長でも実現可能であるが、今回は

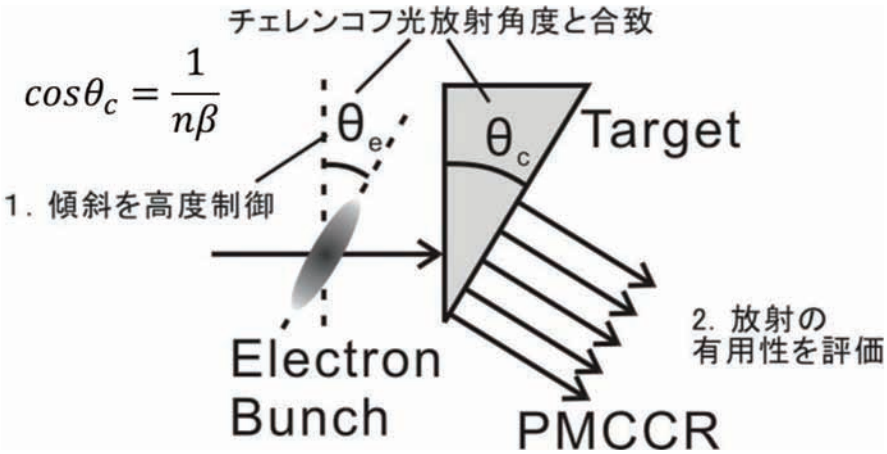


Fig.4：位相整合チェレンコフ放射の概念図

特に有用であるテラヘルツ光の生成を試験した。テラヘルツ光を取り出すためにテラヘルツ光に対して透明な高分子である TOPAS という材料をターゲットとして用いた。チェレンコフ放射角度は 48.5 度との計算結果であった。

本研究の実験セットアップを以下の Fig. 5 に、その写真を Fig. 6 に示す。

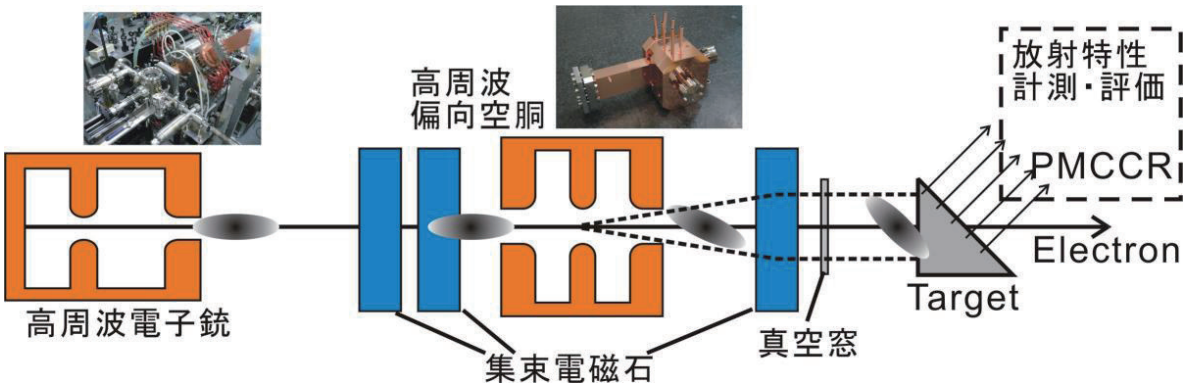


Fig.5：実験セットアップ図

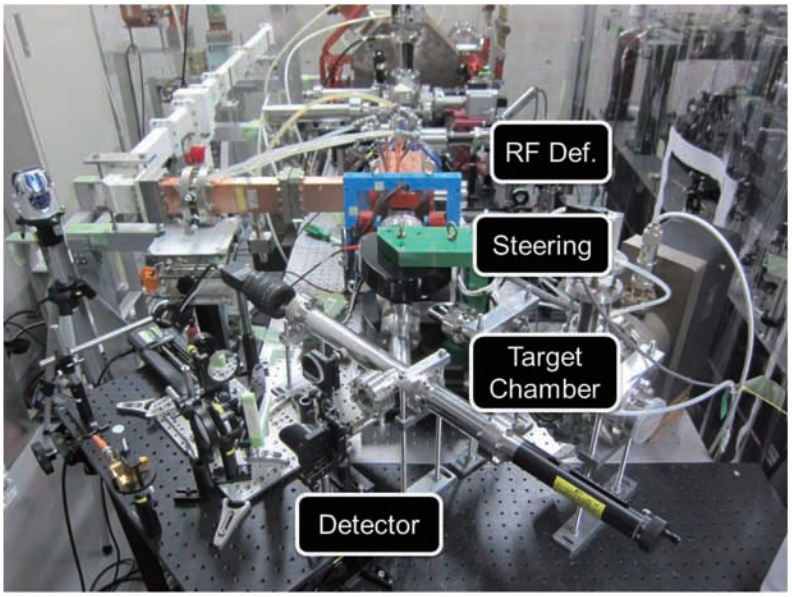


Fig.6：実験セットアップ写真

電子線の傾き付与には高周波偏向空胴と呼ばれる一種の加速器を用いる。これは電子線の直接ストリークカメラになっており、電子線を掃引することが可能である。この掃引の程度は高周波空胴に印加する高周波電力の強さによって制御することができる。テラヘルツ光の検出にはテラヘルツショットキーバリアダイオードを用いて行った。それぞれ感度帯域が決定しているものとして、0.05THz/0.06THz/0.1THz/0.3THz/0.6THz を用い、全てにおいて検出した。また、1.5THz まで検出可能なダイオードとバンドパスフィルタ(1THz/1.5THz)を用いても検出を確認した。つまり、0.05～1.5THz までに渡る広帯域のテラヘルツ放射を得たと言える。

次に電子線の傾きやターゲット上の位置に対する 1THz の放射強度分布を計測した結果を以下の Fig. 7 に示す。

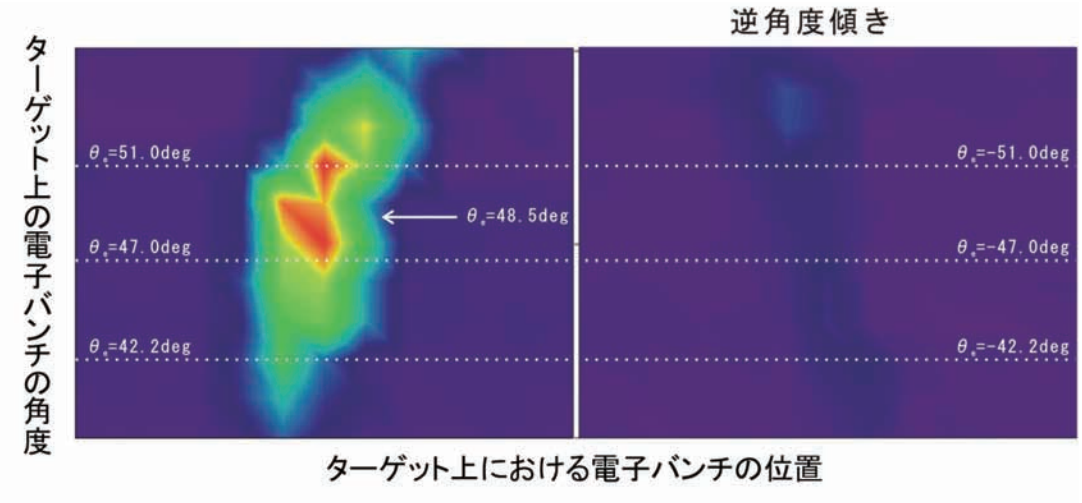


Fig.7：1THz 放射強度と電子線の傾き・位置の関係

Fig. 7 に示すように、適切な角度である 48.5 度近傍にて最も強い放射が観測できていることがわかる。右側はターゲットに対して逆の傾きを付加した場合を示しており、放射強度は 10 倍以上となっている。このことからも予想した通りの放射が得られていることを確認した。

3. 共同研究者

遠藤　彰　(理工学研究所・客員教授)　坂上　和之　(理工学研究所・次席研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文

“Temporal profile measurement of an electron bunch with the two-cell rf deflecting cavity at Waseda University” K. Sakaue, Y. Nishimura, M. Nishiyama, T. Takahashi, M. Washio, T. Takatomi, J. Urakawa, *Jap. J. Appl. Phys.* 54(2015)026301-1-6.

“Characterization of THz Radiation Generated by Ultra-Short Bunch from Energy Chirping Cell attached RF Electron Gun” Y. Koshiba, K. Sakaue, M. Mizugaki, M. Washio, R. Kuroda, T. Takatomi, J. Urakawa, *Vibrational Spectroscopy*, 75(2014)184-189.

“Design of a two-cell rf-deflector cavity for ultra-short electron bunch measurement” Y. Nishimura, K. Sakaue, M. Nishiyama, T. Takahashi, M. Washio, T. Takatomi, J. Urakawa, *Nucl. Instrum. Meth. A* 764(2014)291-298.

“Observation of the stimulated coherent diffraction radiation in an open resonator at LUCX facility” A. Aryshev, S. Araki, M. Fukuda, P. Karataev, A. Konkov, G. Naumenko, A. Potylitsyn, K. Sakaue, L. Sukhikh, N. Terunuma, D. Verigin, J. Urakawa, *Nucl. Instrum. Meth. A* 763(2014)424-432.

「早稲田大学先端電子線加速器の開発と現状」放射線化学会誌　Vol. 99 (2014)、2014 年　坂上和之

4.2 総説・著書

なし

4.3 招待講演

「加速器ベース EUV リソグラフィ光源の展望」 NGL2014　東京工業大学 2014 年 7 月　坂上和之、鷲尾方一、遠藤彰

「エネルギー変調セルを付属した高周波電子銃によるフェムト秒電子線パルスの発生」*第 69 回日本物理学会年会　フェムト秒・アト秒電子ビームの生成・測定・応用シンポジウム*　東海大学 2014 年 3 月 坂上和之

4.4 受賞・表彰

第 10 回加速器学会賞(奨励賞)受賞**“光陰極高周波電子銃の高度化に関する研究”**

4.5 学会及び社会的活動

日本物理学会若手奨励賞、ビーム物理領域審査委員長

5. 研究活動の課題と展望

本研究課題ではこれまでに電子線の高品質化として、3 次元的により小さな領域に多数の電子を詰め込む研究開発を推進してきた。これに関しては引き続き電子生成用レーザーの高度化などを行うことによって推進する。電子線への新たな付加価値を与える手法として、電子線に傾きを与える手法を提案し、その原理実証を行った。特にテラヘルツ帯では光源強度が小さいということが課題として挙げられており、今後より高強度なテラヘルツ光源への展開を行っていく。また、テラヘルツ光評価においては、テラヘルツ波の電場を直接計測できる EO サンプリングを行う予定である。テラヘルツ電場によって複屈折材料内での偏光回転を実現し、プローブレーザーとして前述のフェムト秒レーザーを用いることによってテラヘルツ波形を直接観測する。この技術をあるサンプルに対して用いることによって、サンプル物質における吸収や屈折率などを観測することが可能になっていくとともに、大強度化によってリアルタイムイメージングの可能な装置を構築していく。

作業機械の知能化インタフェースに関する研究

研究代表者　菅野 重樹
（創造理工学部 総合機械工学科　教授）

1. 研究課題

大型油圧マニピュレータを有する重機は，災害現場での瓦礫撤去をはじめとする災害対応作業への適応が期待されている．これらの作業を効率的かつ安全に進めるためには，機械操作者への操作補助を提供する知能化インタフェースの構築が重要となる．効果的な操作補助の提供には，適切な状況把握技術が重要となるが，マニピュレータにかかる外力負荷は識別精度を左右する重要な情報の１つとなる．これまでに，駆動関節に利用される油圧シリンダに生じる外力負荷計測や手先負荷の有無検出システムの開発を行ってきた．上記の災害対応作業において代表的なタスクとなる運搬・引き剥がし・押し潰しなどでは，安全性や微操作性が求められる高難易度のハンドでの掴み操作が必要となる．このとき，把持物体の重量が高精度で計測できれば，安定性判定や積載重量判定などの支援が可能になると考えられる．そこで，本研究では，これまでの研究成果をベースに把持物体重量の計測システムを開発する．不確定性と非線形性の大きなシステムであること，具体的な数値出力が必要であることから，よりロバストで信頼性の高い測定手法を検討する．

2. 主な研究成果

測定値の信頼性を高めるための，情報処理スキームを内包した把持物体の重量測定システムの開発を行った．以下に主な研究成果について述べる．

2.1. 測定値の信頼性の相対的向上

把持物体の質量中心が既知である(ここでは，ハンドの幾何中心と常に一致すると仮定)場合，物体の荷重は，以下の手順で計算できる．まず，シリンダに生じる外力負荷を計算する．油圧センサから計算される生負荷から，重力成分 F_g と駆動力成分 F_f を除去する．

$$F_{ec} = F(P_1, P_2) - (F_g(\theta) + F_f(\dot{x_c})) \tag{1}$$

ただし，P_xは各領域の圧力，θは関節角度，$\dot{x_c}$はシリンダ速度である．さらに，幾何計算により，物体荷重が算出される(図 1(2))．#1 関節の負荷データを利用すると，

$$F_{ex1} = (L_{c1}\sin\theta_1 / L_{1E}\sin\theta_{1E})F_{ec1}\sin\theta_{c1} \tag{2}$$

となる．本研究で利用するマニピュレータは，3 つのピッチ軸が搭載されているので，同時に 3 種類のF_{ex}を算出できる．各シリンダ(センサ)に生じる誤差が，計測条件に応じて大きく変わることが分かっている．この原因の１つは，モデル化誤差によるものであるが，これを完全になくすことは現実的に難しい．そこで，誤差が少ないと考えられる条件にあるデータ区間およびセンサを使って把持物体重量の計測を行う．

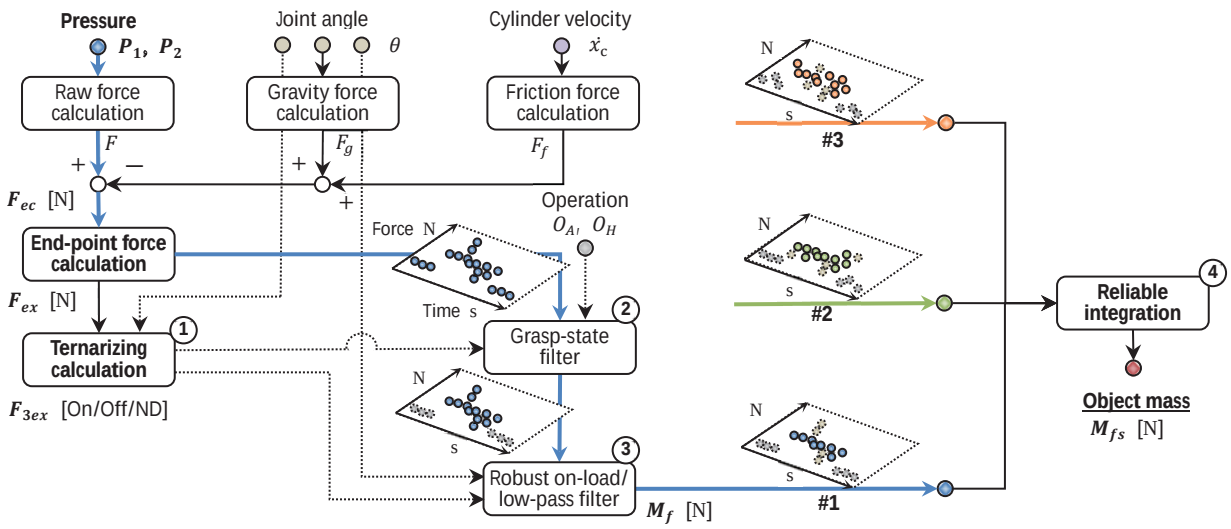


Fig. 1 Practical object-mass measurement flowchart

2.2. 測定条件に応じたデータ選定

まず，手先負荷有無検出を行い，物体把持状態のみのデータ区間を定義する．さらに，計測条件の評価から，正しい計測がされている可能性の高い区間を抽出し，フィルタによってノイズ除去を行う．最後に，誤差の累積を避けるため，内在誤差が少ないと考えられるセンサを絞り込み，平均化により最終出力する．図 1 にシステムの概要を示す．

(1)負荷有無検出:負荷有無の判別および負荷計測が正しくできない条件にあるセンサデータを除外する．F_{ex}が閾値以下の場合，負荷なし判定となる．シリンダが関節角度限界と特異姿勢にある場合には，物理的に計測ができない．また，頻繁な負荷有無状態の変化は，マニピュレータの振動が影響している可能性が高い．そこで，これらの条件が発生している場合，判定不能状態(ND)を出力し，利用データから除外する(図 1(1)，(3))．

(2)把持状態検出 : 把持物体状態のみで計測を行うために，エンドエフェクタ(ハンド)とマニピュレータ(アーム)の操作有無情報と負荷有無情報を用いた状態遷移により把持状態を識別する．ハンドの閉操作中にハンドの内側に負荷が生じ，さらに，アームの操作に伴いアーム負荷が生じることを利用する(図 1(2))．

(3)フィルタ処理 : 大型の油圧駆動型マニピュレータでは，機械系の大きな周期振動や油圧回路内部のインパルス状の誤差成分が生じる．簡易的なローパスフィルタにより高周波成分を除去する．本研究では，16 次の FIR(有限インパルス応答)フィルタを適応した(図 1(3))．

(4)データ統合 : 厳選された 3 つのセンサデータ区間の中には，なお誤差値が含まれているため，それらの単純な平均は誤差の累積を招きかねない．そこで，同一時刻において最も良い状態のセンサのみを選出して平均をとって出力する．先端の関節(#3)は，モーメントアームの影響で外力が大きくかからないため，誤差成分の影響を相対的に大きく受けやすい．つまり，S/N 比が根元関節(#1)に比べ低いということである．そこで，#1→#2→#3 を統合の優先順位とする(図 1(4))

2.3. 実機を用いたシステム評価

油圧駆動型マニピュレータを用いて，リーチング動作を含む 40kg(392 N)の物体運搬実験を行った．実験の結果，フィルタ処理を適用していくにしたがって，真値から大きく離れた計測値が除外されていくのが分かった．各センサでの平均値(データ区間選択)，さらに，センサデータ統合をし

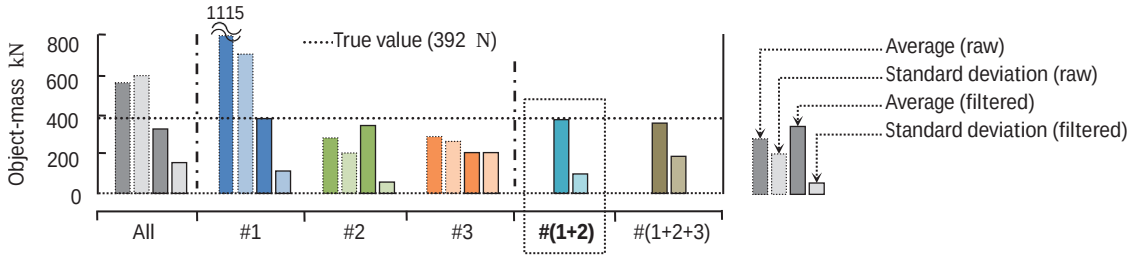


Fig. 2 Estimated object-mass in each measurement method

た場合の計測値を図 2 に示す．データ区間選択を行ったほうが，平均値，標準偏差ともに改善されていることが分かる．さらに，センサデータ統合を行った場合，すべて使った場合(#(1+2+3))より，根元 2 関節(#(1+2))を使った場合のほうが，計測精度および信頼性が高いことが分かった．これは，既述の通り，先端の関節ほど誤差の影響を受けやすいことに起因すると考えられる．また，#1 では，379.8 N(113.6 N)であり，#(1+2)では，374.5 N(99.3 N)であることから，平均値はほぼ同じであるが，標準偏差が小さい#(1+2)のほうが，信頼度が高い計測値といえる．このように，データ区間選択だけでなく，データ統合を工夫することで，より高精度で信頼性の高い計測値の算出が可能になる．

3. 共同研究者

岩田 浩康（創造理工学部 総合機械工学科・准教授）
亀﨑 允啓（理工学術院総合研究所(理工学研究所)・次席研究員(研究院講師)）

4. 研究業績

■学術論文

M. Kamezaki, H. Iwata, and S. Sugano, “A Practical Operator Support Scheme and Its Application to Safety-Ensured Object Break Using Dual-Arm Machinery”, *Advanced Robotics*, Vol. 28, No. 23, pp. 1599-1615, Dec. 2014.

M. Kamezaki, H. Iwata, and S. Sugano, “A Pragmatic Approach to Modeling Object Grasp Motion Using Operation and Pressure Signals for Demolition Machines”, *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (JCMSI)*, Vol. 7, No. 6, pp. 356-363, Nov. 2014.

M. Kamezaki, H. Iwata, and S. Sugano, “Time-Series Primitive Static States for Detailing Work State and Flow of Human-Operated Work Machine”, *Advanced Robotics*, Vol. 28, No. 20, pp. 1357-1374, Oct. 2014.

M. Kamezaki, J. Yang, H. Iwata, and S. Sugano, “A Basic Framework of Virtual Reality Simulator for Advancing Disaster Response Work Using Tele-Operated Work Machines”, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 26, No. 4, pp. 486-495, Aug. 2014.

■総説・著書

亀﨑允啓，岩田浩康，菅野重樹，“無人化施工の効率・安全性を高める映像の注視・解釈支援に関する調査研究”，*建設機械施工*，Vol. 67, No. 3, pp. 64-73, 2015 年 3 月.

亀﨑允啓，岩田浩康，菅野重樹，“無人化施工における環境カメラのための半自動制御システムの

基礎研究”，*建設機械施工*，Vol．67，No．2，pp．92-100，2015 年 2 月．

■講演

(国際会議)

M. Kamezaki, H. Iwata, and S. Sugano, “Robust Object-Mass Measurement Using Condition-Based Less-Error Data Selection for Large-Scale Hydraulic Manipulators”, in *Proc. 2011 IEEE Int. Conf. Robotics and Biomimetics (ROBIO2014)*, pp. 1679-1684, Dec. 2014..

M. Kamezaki, H. Iwata, and S. Sugano, “An Adaptive Basic I/O Gain Tuning Method Based on Leveling Control Input Histogram for Human-Machine Systems”, in *Proc. 2014 IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS2014)*, pp. 1926-1931, Sept. 2014.

J. Yang, M. Kamezaki, H. Iwata, and S. Sugano, “Analysis of Effective Environmental-Camera Images Using Virtual Environment for Advanced Unmanned Construction”, in *Proc.2014 IEEE/ASME Int. Conf. Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2014)*, pp. 664-669, July 2014.

M. Kamezaki, J. Yang, H. Iwata, and S. Sugano, “An Autonomous Multi-Camera Control System Using Situation-Based Role Assignment for Tele-Operated Work Machines”, in *Proc. 2014 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (ICRA2014)*, pp. 5971-5976, May 2014.

(国内学会)

亀﨑允啓，三矢隆史，岩田浩康，菅野重樹，“測定条件に応じたデータ選定によるロバストな把持物体重量計測システムの開発”，*第 15 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(SI2013)*，pp．1139-1140 (2B2-3)，2014 年 12 月．

亀﨑允啓，小坂拓未，谷川雄介，岩田浩康，菅野重樹，“操作量ヒストグラムを用いた BIOG 自動調整手法～操作頻度の平準化による操作感の統一～”，*第 32 回日本ロボット学会学術講演会論文集(RSJ2014)*，paper no．3J2-06，2014 年 9 月．

亀﨑允啓，楊俊傑，岩田浩康，菅野重樹，“遠隔重機作業の高度化に関する研究―作業状況に応じたロールアサインメントに基づく環境カメラの向き・画角調整―”，*日本機械学会ロボティクス･メカトロニクス講演会 2014 論文集(Robomec ’14)*，paper no．1A1-K02，2014 年 5 月．

■受賞・表彰

―――

■学会および社会的活動

―――

5. 研究活動の課題と展望

相対的な計測精度向上のため，計測条件に応じたデータ選択を行うスキームを開発した．実機にて実験を行った結果，データ選択を行うことで精度と信頼性が向上することが確認された．今後は，フィルタの設計手法やより実際的なパラメータ設定手法について検討する．

産業用オープンネットワークシステムの研究

研究代表者　　天野　嘉春
(理工学研究所　教授)

1. 研究目的

近年，スマートグリッドなど，エネルギーの効率的利用に関わる研究に注目が集まっている．オートメーション産業に特化した，いわゆるディジタル・プラントの基盤技術として，オープンな国際通信規格がいくつか存在する．プロセス産業用の自動制御に用いられる制御信号のISO準拠通信規格として,「フィールドバス」がある．これまでの一方向的な制御信号のやりとりだけではなく，双方向ディジタル通信を装備することによって，これまでには実現できなかった，フィールドへの制御の分散が実現可能となる．制御用に伝送したそのプロセス信号には信頼度などのステータス情報が付加されており，信号の値だけではなく，その信頼度に応じたモード遷移によるロバストな制御系を構成できる．また，機器内部情報の周期的な監視による機器診断，そしてプラント診断が可能となる．このような次世代プラントに必須である基盤技術としてのフィールドバスを中心として，プロセス用デバイスの診断技術の研究とあわせて，プロセス制御系に特化したFoundationフィールドバスの技術教育を，学生，一般技術者を対象に行うことを本プロジェクトの目的とする．

2. 主な研究成果

本年度は，Fig.1およびFig.2に示したデモシステム（温度制御系および圧力制御系）のアップデートを行い，物理層診断技術の簡易試験，デモを可能とした．

また，複数のワイヤレス通信規格の，Foudation Filedbusによる統合技術の検討と技術課題の抽出を実施し，複数の通信規格の混在する環境下でのプラントの制御・管理における基盤技術を総括的に検討した．

2014年度の技術セミナーは，フィールドバス協会の教育プログラムとして認証されている教育プログラムとして４回開催した．

デバイス開発の例として，コリオリ質量流量計の診断手法についての研究を展開した．2014年度は，コリオリ質量流量計におけるセンサコイル電圧を用いた気泡混入診断と流量補正の方法を提示し，その成果は共同研究先との共同特許出願した．

2.1. 物理層診断技術

フィールバスの H1 セグメントに電力を供給するパワーコンディショナには，DC 電源から信号成分を維持することを目的とした電気回路で構成される．アワーコンディショナに物理層信号を監視する機能を持った物理層診断モジュール（Fig.2 中の PLDM）を追加設置した．これにより物理層信号の診断状況を H1 セグメント上で常時監視することが可能となった．すなわち，これまでは個々のデバイスに付帯した，デバイス特有の診断機能を付帯したものは存在し，個々のデバイス異常は検知できる状況にあったが，加えて，セグメント全体における通信異常の検知などが可能となった．

これにより，セグメント内部での結線不良などの異常デバイス内部には属さない異常を検知可能となった．

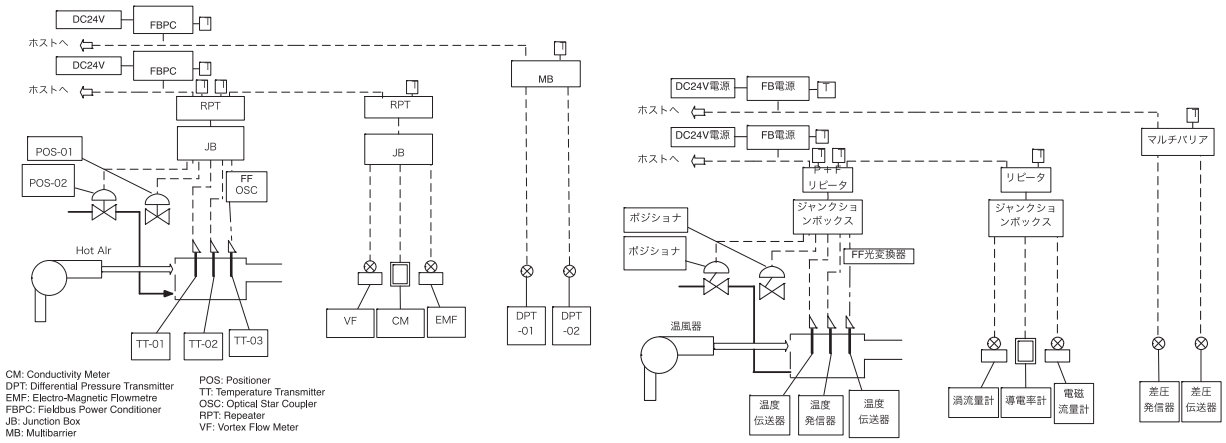


Fig.1　Temperature-control segment in Fieldbus demo system.

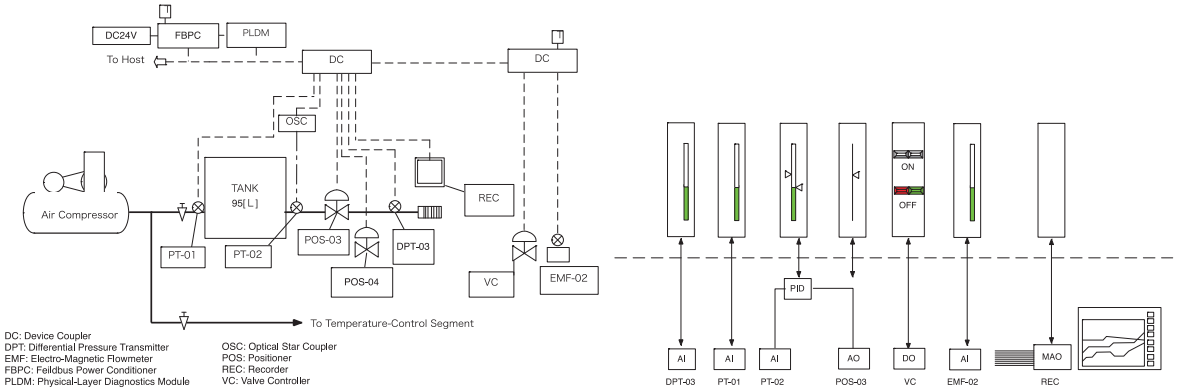


Fig.2　Pressure-control segment in Fieldbus demo system.

2.2. 複数通信規格の統合技術

現在，センサーやフィールドデバイス用には業態に応じて，それぞれ様々なディジタル通信規格が制定されている．特に無線を使ったセンサー用通信規格は複数存在するが，これらの通信規格が混在したフィールドにおいては，統合的な取り扱いへのがユーザー側から強く要求されている．本研究では Foundation™ Fieldbus の基盤技術をもとにした遠隔運転管理のための，複数通信規格のシームレスな統合への取り組みに注目し，機器ベンダー，日本フィールドバス協会そしてプロセス自動制御のユーザーとからなるワークショップを開催した．また，ガスヒートポンプ試験装置には実際に 2 系統，4 組のバルブ-ポジショナ系の他，大気圧計，直達日射量計などの遠隔にある計測器からの情報を 2 つの無線規格による通信を介して，試験装置の制御，監視システムに取り込み表示，操作できるよう，設備した．

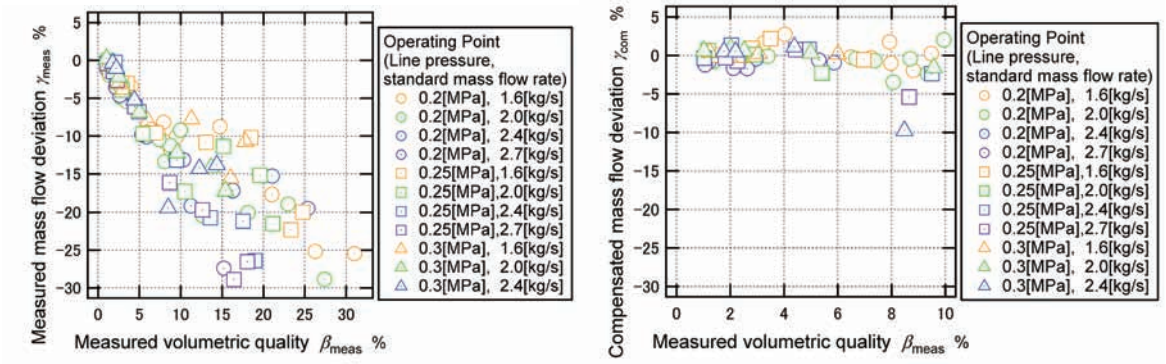
2 日コースのワークショップを 10 月 21-22 日，12 月 16-17 日，2 月 12-13 日と開催した．毎回ベンダー，ユーザー企業から 20～30 名ほどの参加を得，2015 年度前期中に成果を取りまとめ，一般に広く公開することとなった．

2.3. 技術セミナー

2012 年度から開始した，米国フィールドバス協会の認証を得た新しい教育プログラムに則り，毎年 4 回, 2 日間コースとして開催してきたフィールドバス技術セミナー「サポートスペシャリストコース」は累積受講者が 100 名を突破した.

2.4. 質量流量計における診断技術

コリオリ質量流量計において，気泡混入の有無を診断できる従来手法に追加して，センサコイル電圧の実効値から流量を補正する手法を提案した. これまでは容積流量比 1%までは補正不要であり，それ以上は補正する方法がなかった. しかしながら，センサコイル電圧を指標とすることにより容積流量比βが 1%～8%かつ 1.2[kg/s]以上の質量流量の領域で補正できる見通しを得た. また実流試験により, 容積流量比 8%程度までならば＋2.8～－3.4%で補正できるという結果を得た.



a) Before compensation　　b) After compensation

Fig. 3 Mass flow deviation vs volumetric quality

今後，さらに多量の気泡混入に対して流量補正ができる手法の提案を目指す. また，気泡の量だけでなく，流動様式も考慮に入れて提案手法の改良を目指す.

3. 共同研究者

森岡義嗣(理工学研究所・招聘研究員)，池田卓史（理工学研究所・嘱託），津金 宏行（理工学研究所・嘱託），喜多井剛（理工学研究所・嘱託），黒川 晋平（理工学研究所・嘱託）

4. 研究業績

4.1 学術論文

・廣瀬 優，天野 嘉春，吉野 晶紀，角口 開道，渡邉 敦，小山 弘，コリオリ質量流量計におけるセンサコイル電圧を用いた気泡混入診断と流量補正，計測自動制御学会 2014年度産業応用部門大会，東京，2014/11/12，pp.40-45.

4.2 特許

特願 2014-228332，コリオリ質量流量計

5. 研究活動の課題と展望

本研究課題は，2006 年度から開始し，2014 年度でプロジェクトの３期目の最終年度となった．プラントのディジタル通信による統合的管理技術は，これまでの個別の制御技術から，より大規模なシステムを対象とした管理・意思決定システムへと発展しつつある．本プロジェクトで得た課題は新たなプロジェクトへと引き継ぎ，発展させていく予定である．

各種建物用エネルギー供給システムの最適計画

研究代表者　　天野　嘉春
(理工学研究所・教授)

１．研究課題

社会経済レベルの向上に伴って、我が国では民生部門のエネルギー需要量が増大しており、省エネルギー化の促進が重要課題となっている。また、重要な電力供給という視点からは、原子力発電停止による影響が甚大となっており、各ユーザーサイドにおけるピークカット努力により供給不足を回避することが必要となっている。本研究プロジェクトでは、オフィスビルや病院等の業務用建物や一般家庭におけるエネルギー供給システムを対象として、各種代替システムの経済性・省エネルギー性・環境性等の総合的比較評価を、最適化手法に基づいて実施してきた。特に業務用建物については、初期システム導入計画問題のみならず、長期的なシステムの更新計画についても検討を加えてきた。

本年度は特に業務用建物の代表例として公共庁舎を取り上げ、以下に述べる各種課題に対する検討を加えた。まず、対象施設の年間に渡るエネルギー需要量を推定する。次に、月別・時間別電力・冷暖房用需要量をまかなうための電気式・ガス式・重油式等の各種エネルギー供給システムを、具体的に取り上げ検討する。さらに、これらのシステムに太陽電池および蓄電池を組み込んだシステムも考察する。上記システムに対し、各種構成機器の変換効率を含む機器性能特性、エネルギーフロー関係、需給条件等を制約条件として定式化し、さらに一次エネルギー消費量を目的関数として与え、最適化問題を構成する。数理計画法の一つである混合整数線形計画法に基づいて、上記問題に対する最適解を求め、システムの総合的比較分析と評価を実施する。上述のフレームワークで、今年度は特に太陽電池や蓄電池等の導入容量とピークカット電力量等の相互関係と、省エネルギー性に対する影響等を中心に分析評価を実施した。

２．主な研究成果

ある地域の中規模程度の公共庁舎(延床面積約 5000m^2）を対象とし、建物の実情に合わせた電力および暖房需要を想定して、電気式(集中型空調方式)（ＥＣ）、電気式(分散型個別空調方式)（ＥＵ）、重油式（D）およびガス式（G）の４システムに、太陽電池、蓄電池および非常用ディーゼルエンジン発電機を導入した場合の最適な運用方策を導出するとともに、それらの有用性について分析・評価を行った。また、前述したように、ピークカット問題も検討に加えた。

図１は、検討対象システムの一例として取り上げたＥＵの構成図を示したものである。分析の結果の一例として、図２に各種システムの年間運用費および一次エネルギー消費量の比較図と主要な結果を以下に示す。

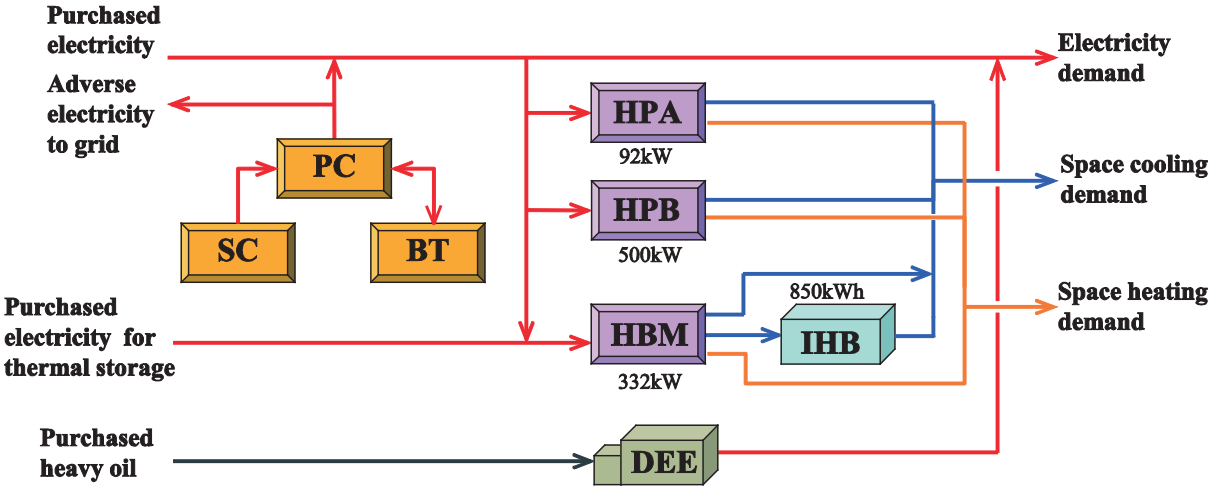


図１　電気式(分散型個別空調方式)（ＥＵ）のシステム機器構成

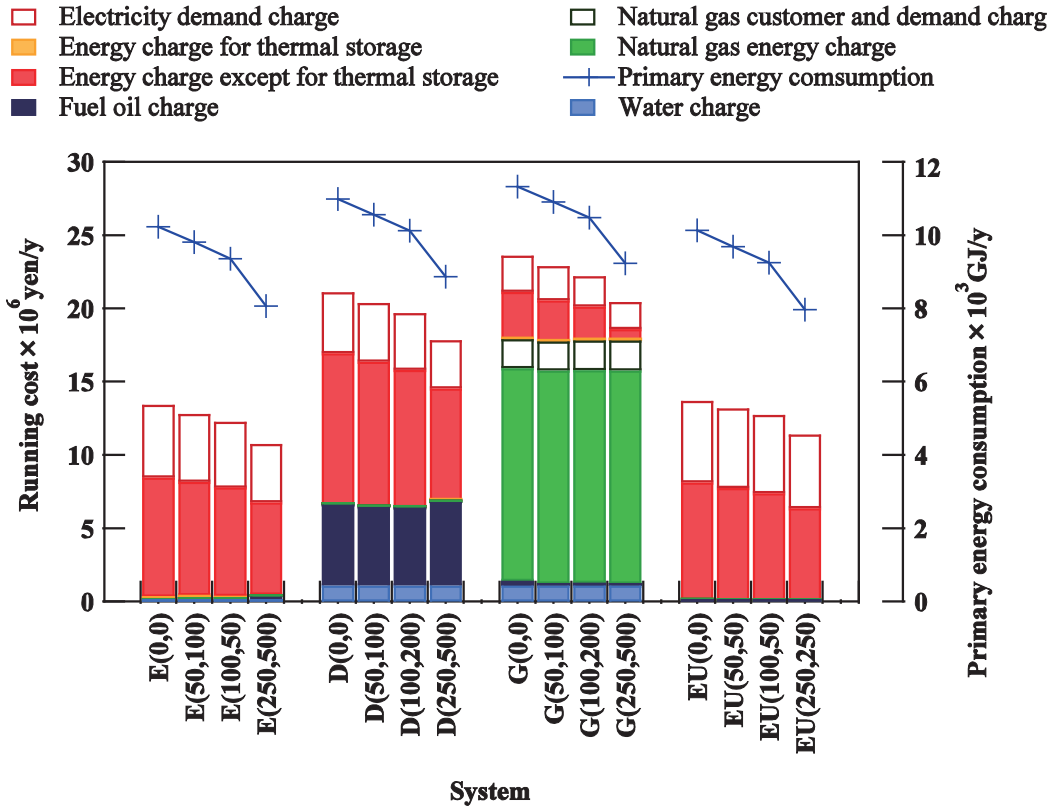


図２　各種システムの年間運用費および一次エネルギー消費量の一例

(a)　対象とする４種のシステムでは、システム EC、EU、D および G の順で年間運用費および一次エネルギー消費量が小さいことがわかった。

（b）各システムに太陽電池および蓄電池を導入する場合、太陽電池容量が大きいほど省エネルギー性は向上するが、蓄電池容量は単純に大容量ほど向上するという結果にはならなかった。したがって、太陽電池と蓄電池を組み合わせる場合、導入するエネルギー供給システムの方式や、運用方法にあわせた最適な容量の組み合わせを検討する必要がある。

(c）システム EC および EUにおいては、ディーゼルエンジン発電機を常用運転し、冷暖房機器運用を変化させることで運用費削減に有効であることがわかった。また、システム G においても運用の変化が見られたが、自家発電設備の増加により電力基本料金が増加するケースもあり、運用費削減効果は単純に必ずしも得られないこともある。

（d）日毎の詳細な機器運用を見ると、システム EC および EUにおいては、ディーゼルエンジン発電機を常用運転するとともに、夜間電力を利用した氷蓄熱運転を行うことで電力ピークカットが可能となり、運用費削減効果を得ていることがわかった。また、太陽電池や蓄電池容量と購入電力量のピークカット量の相互関係についても、数値的に明確化することができた。

３．共同研究者

伊東　弘一(理工学研究所・招聘研究員)，吉田　修（理工学研究所・招聘研究員），吉田彬（基幹理工学部・助手）

４．研究業績

4.1　学術論文

・吉田彬、伊東弘一、天野嘉春：　太陽電池・蓄電池組込み型PEFCシステムの省エネルギー性評価；日本機械学会論文集、80巻816号、p.TEP0229(2014)

・Akira Yoshida, Tomikazu Sato, Yoshiharu Amano and Koichi Ito: Impact of electric battery’s degradation on economic and energy saving characteristics of residential photovoltaic system; Proceedings of ECOS 2014-The 27th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, June 15-19, 2014, Turku, Finland

・Akira Yoshida, Koichi Ito and Yoshiharu Amano: Energy-saving Evaluation of SOFC Cogeneration Systems with Solar Cell and Battery; ASME Journal of Fuel Cell Science and Technology, Vol.11(6), Paper No: FC-14-1061(Dec.,2014)

4.2　学会および社会的活動

NEDO 技術委員・研究評価委員会委員、　エネルギー・資源学会参与等

５．研究活動の課題と展望

本研究課題は、2006 年度から開始されてきたプロジェクトの３期目の最終年度において取り上げられたものであり、今後得られた成果をＥＣＯＳ等の国際会議や学術論文として発表を行っていく。

公共所有不動産の経営研究

研究代表者　小松　幸夫
（創造理工学部 建築学科　教授）

１．研究課題

わが国の地方自治体や政府が所有する公共の不動産は、ストック量の肥大化に伴う総量の適正化、老朽化対応、運営体制の効率化や高度化、ライフサイクルコストの適正化など様々な課題を抱えている。本研究は公共の不動産、特に学校施設を中心として公共施設の運営段階における経営およびマネジメントに関する研究を行う。

２．主な研究成果

1) 町田市を対象とした調査研究

2014 年度からの共同研究である。町田市の現状を人口、財政、施設性能の視点から把握し、全施設を対象とした総量適正化のための基礎資料を作成した。そのために、施設の品質評価、施設内での機能性評価、施設の立地評価を行った上、将来的には公共資産所有のスリム化と公共サービスレベルの適正化を目指した再整備プロセスを提案した。

2) 大和郡山市を対象とした調査研究

2013 年度から 2 年間の共同研究を行った。大和郡山市の市有施設に関する基本情報の整理を元に、施設の今後のあり方を施設評価やシミュレーションを行った上で教育施設をモデルケースとした再生案を提案した。まず施設の質についての評価手法を検討した。まず、それぞれの施設の建物情報から耐震性能と建物性能（劣化度）を評価し、A～C の３段階で簡易的な評価を行った。さらに評価の妥当性を検証するために現地調査を実施した。その結果、この簡易的な評価手法が概ね妥当であることを確認した。評価の結果によって、大和郡山市では市有施設の中でも特に子育て支援施設を優先的に性能改善する必要があると判断し、モデルケースを設定した上でのシミュレーションを行い、複数の実践案を提案した。

3) 天理市を対象とした調査

2014 年度から 2 年間の予定で実施中の共同研究である。まず天理市の公共施設の現状を人口や財政状況と合わせて分析を行った。その結果、将来には全施設をそのまま維持できない可能性が高いことが明らかになった。また学校施設に焦点を当て、運営維持管理データを収集・分析した上、施設ごとの運営維持管理にばらつきがあることを確認し、個別施設の調査により改善の方向等を確認した。

4) シンポジウム等の開催

次のシンポジウムを開催した。

第 31 回 MoGRE 勉強会 ＆ MoRE Project 2015 第 4 回公共施設管理シンポジウム「地方自治体における既存施設の有効活用」、[主催]MoGRE＋MoRE、[後援]群馬県・前橋市・前橋工科大学・高崎経済大学・上毛新聞社、2015.3

３．共同研究者

堤　洋樹　　（前橋工科大学・工学部・准教授、招聘研究員）
板谷　敏正　　（プロパティデータバンク・代表取締役、招聘研究員）
李　祥準　　（首都大学東京・都市環境学部・建築都市コース・助教（当時）、招聘研究員）
平井　健嗣　　（株式会社 KMK・代表取締役、招聘研究員）
駒井　裕民　　（青森県総務部財産管理課・主幹、招聘研究員）
池澤　龍三　　（建築保全センター・保全技術研究所・次長、招聘研究員）
松村　俊英　　（ジャパンシステム株式会社・公共事業本部ビジネス推進室・室長、招聘研究員）

４．研究業績

学術論文

１．Sangjun YI、 Kenji HIRAI、 Hiroki TSUTSUMI、 Yukio KOMATSU、 Ryo SANUKI：Improving the Efficiency of Public Facilities Management in Municipalities -Focused on the Present Conditions and the Prospects of Municipalities-、Architectural Institute of Korea
２．大舘峻一、角田誠、李祥準、堤洋樹、水出有紀：公共施設整備に伴う町並み整備計画 -施設の評価と整備方針の検証-、日本建築学会第 30 回生産シンポジウム
３．讃岐亮、堤洋樹、李祥準：公共施設マネジメント広域連携がもたらす利便性向上効果の分析、日本建築学会第 30 回生産シンポジウム
４．水出有紀、堤洋樹、松村俊英、内山朋貴：新地方公会計制度の活用による公共施設評価指標の検討、日本建築学会第 30 回生産シンポジウム
５．橋本直子、池澤龍三、堤洋樹、水出有紀：所管と利用から見る公共施設の建物用途分類の実用性について、日本建築学会第 30 回生産シンポジウム
６．内山朋貴、堤洋樹、水出有紀、李祥準、讃岐亮、恒川淳基：公共施設ベンチマーキング手法に関する研究 公開情報を利用した施設総量の検討、日本建築学会第 30 回生産シンポジウム
７．Kwanjong LEE、 Sangjun YI、 Tsunoda MAKOTO、 Chun-Kyong LEE 、Tae-Keun PARK ：Current Status of Evaluation of Facility Condition in Korea、 Proceedings of the 10th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia、2014.10
８．中村明惟子、李祥準、平井健嗣、小松幸夫：地方自治体の公共施設維持管理費に関する研究、2013 年度日本建築学会関東支部優秀研究報告集、pp.153-156、2014.4
９．山本紫月、小松幸夫、李祥準：基礎自治体における資産及び財政についての評価手法に関する研究 ―基礎自治体類型化による比較・評価―、2013 年度日本建築学会関東支部優秀研究報告集、pp.157-160、2014.4

著書

１．小松幸夫、板谷敏正、李祥準、堤洋樹、松村俊英、他７名：公共施設マネジメントハンドブック「新しくつくる」から「賢くつかう」へ、日刊建設通信新聞社
２．五十嵐建、嘉納成男、板谷敏正他：次世代建設産業戦略 2025 活力ある建設ビジネス創成への挑戦、日刊建設通信新聞社,
３．板谷敏正：企業価値向上に貢献する CRE マネジメント、JFMA ジャーナル 2015 春号、公益

社団法人日本ファシリティマネジメント協会

４．李祥準：失敗しない公共 FM の推進のためには、JFMA ジャーナル 2015 春号、公益社団法人日本ファシリティマネジメント協会

５．李祥準：大学施設マネジメントの必要性、月刊 School Amenity12 号、Vol.29、No.345、ボイックス

講演

６．池澤龍三、堤洋樹、水出有紀、松村俊英、橋本直子：「公共施設等総合管理計画」に係る公共施設マネジメント推進方法に関する検討、日本建築学会関東支部発表会

７．橋本直子、堤洋樹、水出有紀、池澤龍三：施設点検結果の効率的な活用方策に係る検討、日本建築学会関東支部発表会

８．堤洋樹、高橋康夫、内山朋貴、水出有紀：地方行政における空き家対策の事例と課題、日本建築学会関東支部発表会

９．松村俊英、堤洋樹：施設評価における新地方公会計制度の活用について、日本不動産学会 2014 年度秋季全国大会（第 30 回学術講演会）

１０．　恒川淳基、堤洋樹、李祥準、水出有紀、讃岐亮：公共施設の再整備手法に関する研究　施設の評価と整備方針の検証、日本建築学会 2014 年度大会（近畿）

１１．　大舘峻一、角田誠、李祥準、堤洋樹、水出有紀：公共施設整備に伴う町並み再整備計画　施設の評価と整備方針の検証、日本建築学会 2014 年度大会（近畿）

１２．　松村俊英、堤洋樹、水出有紀、内山朋貴：公共施設管理における新地方公会計制度の活用　その 1 財務指標分析による有用性の検討、日本建築学会 2014 年度大会（近畿）

１３．　水出有紀、堤洋樹、松村俊英、内山朋貴：公共施設管理における新地方公会計制度の活用　その 2 評価結果を応用した将来予測の有用性の検討、日本建築学会 2014 年度大会（近畿）

１４．　池澤龍三、橋本直子、堤洋樹、水出有紀：自治体における効率的 FM 体制に関する研究、日本建築学会 2014 年度大会（近畿）

１５．　内山朋貴、堤洋樹、恒川淳基、水出有紀、池澤龍三、橋本直子、讃岐亮、松村俊英：施設白書の位置づけと評価手法に関する研究　公共施設白書に求められる情報の検討、日本建築学会 2014 年度大会（近畿）

１６．　平井健嗣、鶴原太郎、李祥準、堤洋樹、小松幸夫：公開情報を利用した地方自治体の現状把握の可能性、日本建築学会 2014 年度大会（近畿）

１７．　山本紫月、小松幸夫、李祥準：基礎自治体における資産および財政についての評価手法に関する研究 基礎自治体類型化による比較・評価、日本建築学会 2014 年度大会（近畿）

１８．　中村明惟子、李祥準、平井健嗣、小松幸夫：地方自治体の公共施設維持管理費に関する研究、日本建築学会 2014 年度大会（近畿）

１９．　讃岐亮、堤洋樹、恒川淳基：都道府県と市区町村の公共施設保有量の関係、日本建築学会 2014 年度大会（近畿）

２０．　井上まどか、小松幸夫、板谷敏正：国内上場企業における企業不動産マネジメントの実態調査、日本建築学会 2014 年度大会（近畿）

２１．　板谷敏正、小松幸夫：法人所有不動産の施設再投資に関する研究　その 6　施設再投資を含む FM コストに関する分析、日本建築学会 2014 年度大会（近畿）

２２．　網代智子、板谷敏正、小松幸夫：投資用不動産を対象とした環境不動産に関する実態調査、日本建築学会 2014 年度大会（近畿）
２３．　高野祐輔、小松幸夫、板谷敏正：投資用不動産における維持保全工事の実態調査 J-REIT 投資法人の開示情報を利用した分析、日本建築学会 2014 年度大会（近畿）
２４．　山下悦男、平井健嗣、李祥準、小松幸夫：既存ＲＣ建築物の性能向上改修に関する実験的研究その２ 実大モデルを用いた外断熱改修の効果、日本建築学会 2014 年度大会（近畿）
２５．　反町将之、小松幸夫、板谷敏正：本社施設の所有形態に関する実態調査研究、日本建築学会 2014 年度大会（近畿）
２６．　宮下このみ、李祥準、小松幸夫：合併都市における既存建築の活用実態に関する研究、日本建築学会 2014 年度大会（近畿）

学会および社会活動

日本建築学会において小松、板谷、李、池澤、松村が建築社会システム委員会・施設マネジメント小委員会に参画している。

日本ファシリティマネジメント協会において板谷が「CRE ハンドブック」作成・出版に参画している。

早稲田大学と奈良県の包括協定に基づき、2014 年度より小松幸夫研究室として奈良県との共同研究を行っている。

また以下のような講演会活動を行った。ここでは公共的な団体主宰の主要なもののみを示す。

・小松幸夫、堤洋樹、李祥準、池澤龍三他：公共施設マネジメント市民シンポジウム　～みんなで考える！これからの公共施設～、会津若松市、2014.11
・堤洋樹他：未来の子どもたちのために ～公共施設でまちづくり～、長崎市、公共施設マネジメントシンポジウム、2015.3
・堤洋樹：公共施設マネジメントの視点から見た総合管理計画、平成 26 年度第 2 回自治体等 FM 連絡会議福島県地域会、福島県、2015.3
・堤洋樹：公共施設マネジメントの視点から見た総合管理計画、平成 26 年度熊本県ファシリティマネジメント講演会、熊本県、2015.1
・堤洋樹：情報分析と施設整備のプロセス、高崎経済大学地域政策研究センター、第 5 回地域政策セミナー、2014.8
・堤洋樹：施設整備のプロセス～総論から各論へ～、前橋市、2014.8
・板谷敏正：企業価値向上に貢献する CRE マネジメント,公益社団法人日本ファシリティマネジメント協会、JFMA フォーラム 2015、2015.3
・李祥準：建物の LIFE-CYCLE と日本の公共施設マネジメントについて、大連理工大学建築学科講堂（中国）、2015.3
・李祥準：失敗しない公共 FM の推進のためには、JFMA FORUM 2015、タワーホール船堀、2015.2
・李祥準：ストック時代における日本の公共施設マネジメントの現在、新北市都市更新所会議室（台湾）、2015.1
・李祥準：ストック時代における日本の公共施設マネジメントの現在、台北市市場所資産管理課会議室（台湾）、2014.12
・李祥準：地方自治体の公共施設問題と戦略的な公共施設マネジメントのあり方、八尾市主催、公共施設マネジメント研修会、八尾市商工会議所、2014.11

５．研究活動の課題と展望

2014 年に総務省から全国の自治体へ公共施設の総合管理計画作成についての要望が出されたことにより、各自治体で公共施設マネジメントへの取り組みが本格化している。本プロジェクトの参加メンバーも自治体への助言や講演などで各地をまわる機会が増えてきている。

施設マネジメントはまず施設の全容を把握して「施設白書」を作成するまでが第 1 段階、それに基づき施設再配置などの計画を策定するのが第 2 段階とすれば、第 2 段階まで到達している自治体はまだ数少ないのが実情である。今後は人口減少にともなう歳入の減少および人口の高齢化にともなう扶助費の増大など、各自治体にとっては厳しい状況が控えている。公共施設の老朽化問題に対しては、おそらく総量削減だけが唯一の有効な解決策と思われる。具体的な行動をともなう第 3 段階となるこのプロセスは、住民の合意を得ながら今後時間をかけて進めていく必要があるが、単に削減対象を選定するにとどまらず、いずれは公共サービスそのものを再検討する必要があると思われる。こうした状況はかつてわが国では経験したことのない事態であって衆知をあつめて乗り切っていくことが必要であり、そのための情報交換の場が重要になってくる。大学はその任を担うべき存在であり、早稲田大学が何らかの貢献できればと考えている。

エナジー・ネクスト研究

研究代表者　朝日　透
（先進理工学部 生命医科学科　教授）

１．研究課題

エネルギー問題が叫ばれて久しい今日、次世代エネルギー材料・デバイスに関する研究は国際社会および日本社会の抱えるエネルギー問題解決に大きく貢献する。本プロジェクトではエネルギー変換・貯蔵および分子エネルギープロセスに着眼し、次世代・次々世代のエネルギーの材料、デバイス、およびシステムなど開発を推進できる拠点形成を目指す。

一方、海洋は有用微生物の宝庫であり、これらの生物資源を利用した新たなエネルギー生産が期待されている。エネルギー生産においては特に藻類バイオ燃料開発が注目されているが、自然海洋環境においては、これらの藻類や細菌が共在し多様な生物圏を形成している。海藻やサンゴに共在する細菌を対象として、エネルギー生産に関わる酵素などの遺伝子スクリーニングを進める。

２．主な研究成果

本年度は昨年度に続いてフォトメカニカル効果を示すサリチリデンアニリンにキラリティを導入した材料の合成、及び分光学的研究と構造解析の研究を関連の無機結晶・有機結晶も含め実施した。とくに、Generalized High Accuracy Universal Polarimeter（略称、G-HAUP）を用いて、紫外光の照射前後での直線複屈折、直線二色性、円複屈折、円二色性の違いを明らかにした。

さらに，エネルギー生産の資源となる海藻などの共在細菌を用いてメタゲノムライブラリーの作成を行い、標的となるリファイナリー酵素の探索を開始した。同時に酵素生産菌の単離培養を行い、単離した菌株から酵素遺伝子を取得し、当該酵素の活性評価も行った。

３．共同研究者

逢坂哲彌(先進理工学部・応用化学科・教授)
竹山春子(先進理工学部・生命医科学科・教授)
森康郎(次世代蓄電エネルギー連携研究所・上級研究員)
横島時彦(理工学研究所・主任研究員)
秀島翔(ライフサポートイノベーション研究所・次席研究員)

４．研究業績

４．１．学術論文

Kenta Nakagawa, Heather Harper-Lovelady, Yuji Tanaka, Masahito Tanaka, Masayuki Yamato and Toru Asahi,A high-accuracy universal polarimeter study of optical anisotropy and optical activity in laminated collagen membranes, *Chemical Communications*, **50**,

15086-15089.2014
Akifumi Takanabe, Masahito Tanaka, Atsuo Taniguchi, Hisashi Yamanaka, Toru Asahi, Quantitative analysis with advanced compensated polarized light microscopy on wavelength dependence of linear birefringence of single crystals causing arthritis, *Journal of Physics D: Applied Physics*, **47**, 285402.2014
Hosokawa M, Hoshino Y, Nishikawa Y, Hirose T, Yoon DH, Mori T, Sekiguchi T, Shoji S, Takeyama H. 2015. Droplet-based microfluidics for high-throughput screening of a metagenomic library for isolation of microbial enzymes. *Biosensors and Bioelectronics*, **67**,379-385.
Mori T, Takahashi M, Tanaka R, Shibata T, Kuroda K, Ueda M, Takeyama H. Draft Genome Sequence of Falsirhodobacter sp. Strain alg1, an Alginate-Degrading Bacterium Isolated from Fermented Brown Algae. 2014. *Genome Announcement*. **2** (4).

４．２．学会発表

A. Takanabe, M.Tanaka, M.Shiro, H.Koshima, T. Asahi, “OPTICAL PROPERTIES OF CHIRAL SALYCILIDENEPHENILETHYLAMINE CRYSTALS WITH PHOTOMECHANICAL FUNCTION”, XXVth IUPAC Symposium on Photochemistry, Bordeaux・France, 2014 年 7 月.

K.Ishikawa, M.Tanaka, M.Shiro, T. Asahi, “The absolute structure and optical activity of alanine crystals”, Chirality 2014 (ISCD-26), Prague, Czech Republic, 2014 年 7 月.

K.Nakagawa, K.Ishikawa, T. Asahi, “Absolute structure and chiroptical properties of benzil crystals”, Chirality 2014 (ISCD-26), Prague, Czech Republic, 2014 年 7 月.

K.Nakagawa, K.Ishikawa, T. Asahi, “Chiroptical study on benzil crystal using G-HAUP”, IUCr 2014 (23rd IUCr Congress), Montreal・Canada, 2014 年 8 月.

T.Asahi, K.Otogawa, Y.Ogino, K.Ishikawa, M.Tanaka, M. Shiro, T. Osaka, “Structural and thermal analyses of a hydrolysis compound of thalidomide”, IUCr 2014 (23rd IUCr Congress), Montreal・Canada, 2014 年 8 月.

K.Ishikawa, M.Tanaka, M.Shiro, T. Asahi, “Determination of chirality of the chiral space groups with two-fold screw axis”, IUCr 2014 (23rd IUCr Congress), Montreal・Canada, 2014 年 8 月.

A.Takanabe, M.Tanaka, S. Motoo, H. Koshima, T. Asahi, “Optical properties of chiral photomechanical salicylideneaniline crystal”, IUCr 2014 (23rd IUCr Congress), Montreal・Canada, 2014 年 8 月.

T.Taniguchi, K.Ishikawa, K.Nakagawa, M.Tanaka, T. Asahi, “Measurement of chiroptical properties of nickel sulfate hexahydrate with G-HAUP”, IUCr 2014 (23rd IUCr Congress), Montreal・Canada, 2014 年 8 月.

谷口卓也，藤澤珠里，小島秀子，朝日透，“キラルなアゾベンゼン結晶のフォトメカニカル機能の探索”，第 23 回有機結晶シンポジウム，千葉，2014 年 9 月.

T.Nomaguchi, N.Sawamura, T.Shinada, T.Asahi, “Doping gold ion into living cells with a low energy focused ion-beam increases proliferation activity”, 19th International Conference on

Ion Beam Modification of Materials, Leuven・Belgium，2014 年 9 月.
高鍋彰文,田中真人,城始勇,小島秀子,朝日透,“キラルなサリチリデンフェニルエチルアミン結晶の光屈曲とキラル光学的性質”, 2014 年光化学討論会，北海道,2014 年 10 月.
谷口卓也，藤澤珠里，小島秀子，朝日透,“キラルなアゾベンゼン結晶のフォトメカニカル機能”, 2014 年光化学討論会，北海道,2014 年 10 月.
宇田川瑛弘，JOHNSTON.P,齋藤敬,左近彩,豊島良祐,植草秀裕,小島秀子,朝日透,“[2+2]光環化付加・開裂反応を利用したチミン誘導体の可逆的光トポケミカル重合”, 2014 年光化学討論会，北海道,2014 年 10 月.
萩原裕樹, 石川和彦, 小島秀子, 朝日透,“ベンゾフェノン結晶の絶対構造と光学活性”, 第 4 回 CSJ 化学フェスタ 2014，東京,2014 年 10 月.
A.Takanabe，M.Tanaka，S.Motoo，H.Koshima,T. Asahi,“Chiroptical properties of photomechanical and anisotropic crystals of salicylidenephenylethylamine”,13th Symposium on Chemical Approaches to Chirality，東京，2014 年 11 月.

４．３．招待講演
T.Asahi“Solid State Chiroptics”,Molecular Chirality Asia 2014(MCASIA2014) ,China, October 2014.
朝日透,“Chiral spectroscopic study on thalidomide”, EMNT2014 (10th International Symposium on Electrochemical Micro & Nanosystem Technologies) , November 2014.
T.Asahi,“Chiropics of condensed matters”, 11th CMCEE(11th International Conference on Ceramic Materials and Components for Energy and Environmental Applications) ,November 2014.
竹山春子、海洋無脊椎動物共在微生物の遺伝子情報の解析と利活用、2014 年生物工学フォ　　ーラム「先端技術による新たなバイオテクノロジー」、理化学研究所大河内　記念ホール、埼玉、2014 年 7 月 25 日
竹山春子、海洋遺伝子資源利用と解析ツール開発、「生合成マシナリー：生物活性物質構造多様性創出システムの解明と制御」第 7 回公開シンポジウム、東工大蔵前会館くらまえホール、東京、2014 年 6 月 21 日

５．研究活動の課題と展望
Ｘ線構造解析によりキラルなサリチリデンアニリン単結晶の構造を明らかにする。また、細菌の代謝に関わる酵素の活性評価および遺伝子の取得。

NEDO 革新型蓄電池先端科学基礎研究 1

研究代表者　逢坂　哲彌
（先進理工学部　応用化学科　教授）

1. 研究課題

直流作動の電気化学デバイスにおいて、系を大きく乱すことなく作動中に測定が可能な交流インピーダンス法は、電気化学反応を解析するのに非常に有意義なツールとして広く用いられている。本研究ではリチウムイオン電池内部状態解析に交流インピーダンス法を適用し、非破壊による劣化要因推測のための評価解析手法の提案を行う。電気化学インピーダンス応答の解析により電極合剤層内電子伝導、電極電解質界面に存在する SEI(Solid Electrolyte Interphase)層のイオン抵抗と電荷移動抵抗、電解質イオン移動抵抗を各界面および層の容量値を一つの判断基準として、全電池インピーダンスの解析につなげるともに、リチウムイオン電池の劣化要因を電気化学的パラメータから明示する。

2. 主な研究成果

(1) 電気化学インピーダンス法による市販リチウムイオン電池（LIB）の状態解析

これまでの報告で、市販および自作の LIB のインピーダンス解析として、種々の等価回路の提案や LIB の劣化、参照極の導入による正・負極の周波数応答の分離などについて報告してきたが、本報告では、同一条件で作製され、初期放電容量の差が数%程度に収まる自作の実セル群を用いて、それぞれのセル固有の電池特性とインピーダンス解析により得られる周波数応答との関係性を整理し、各種高性能化に向けたセルの設計指標として周波数応答に関する基礎的知見を提供することを目的とした。本検討では、市販グラファイト負極、$LiCoO_2$ 正極、1.0 M $LiPF_6$ / EC:DEC = 1:1（vol%）に添加剤 Vinylene carbonate 3 wt%を添加した電解液からなるラミネート型 LIB を作製し実験を行った。前処理として、定電流-定電圧（CC-CV）モード（0.1 C、0.1 mA）により 2 サイクル充放電した 6 セルを、後の試験に供した。交流インピーダンス法により周波数応答を測定した。インピーダンスの測定条件は、周波数範囲 100 k － 1 mHz、振幅電圧 5 mV で行った。Fig. 1 に、同一条件で作成されたセル群の放電曲線を示す。各セルから得られた放電容量（Fig. 1）より、平均容量は 50.43 mAh で、平均よりの差異は最大で 2.9%（WV006）であった。これらのセルに対して SOC 50%におけるインピーダンス測定を行ったところ、複数の半円が重畳された応答と、拡散の挙動として特徴的な 45 度の立ち上がりを有する応答が確認された（Fig. 2）。ここで、

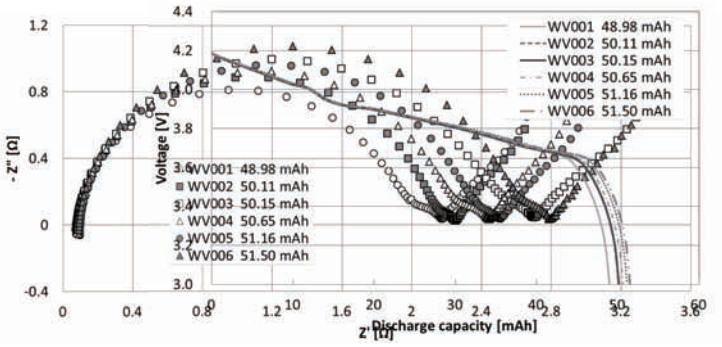


Fig. 1. Discharge curves of LIBs assembled with same condition.

Fig. 2. Nyquist plots of laminated LIBs. SOC: 50%, Frequency range: 100 kHz – 1 mHz, Amplitude 5 mV.

周波数範囲 100 k – 1 mHz の全インピーダンス抵抗の平均よりの差異は、最大で 12%（WV006）と大きく、放電容量の変化傾向との間に相関は示されなかった。また、重畳された半円の抵抗値も、放電容量との間に相関は得られなかった。これらの結果から電池内部の素過程を分離して、詳細に解析する必要が今後の課題として詳細な検討を進める予定である。

(2) 微小参照極導入ラミネート型LIBのインピーダンス解析

我々のグループでは、市販ラミネートセルのインピーダンス応答について等価回路の設計及び劣化挙動について詳細に検討し、特に低周波数域応答については正極活物質の粒径分布を離散的な2種の粒径で模擬した等価回路を用いて解析を行ってきた。しかし、粒径分布が制御されていると考えられる市販セルの解析に用いた等価回路では、粒径分布の広い市販活物質を使用したラボ内製セルの解析で十分な精度が得られなかった。そこで本年度は、粒径分布が広いラボ内製セルに適用可能な等価回路を展開した。さらに、粒径分布と拡散長、限界容量等のパラメーターとの相関を調査するため、正極活物質の粒径分布を変化させた電極でも解析を行った。

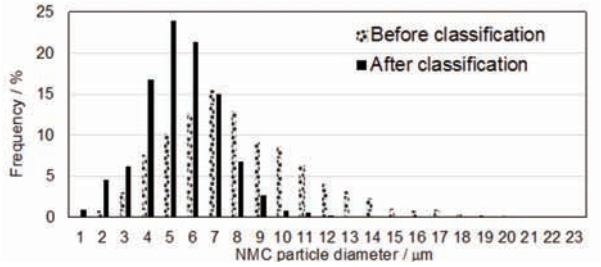


Fig.3. Grain size distribution of NMC.

孔径5 μmの電成ふるいを用いて分級を行いFig.3に示す粒径分布の異なるNMC粉末を用意した。正極にNMC、負極にグラファイト、電解液に1 M $LiPF_6$ /EC:DEC (1:1) 、電極面積49 cm^2としたラミネートセルを作製した。参照極には φ 25 μm × 4 mmのAl線に正極からLiをドープしたLi-Alを用いた。電気化学インピーダンス測定は振幅電圧10 mV、周波数範囲100 kHz - 0.1 mHz、SOC 33%で行った。

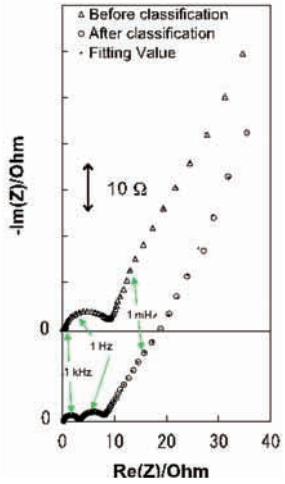


Fig.4. Nyquist plot NMC cathode before a after classification.

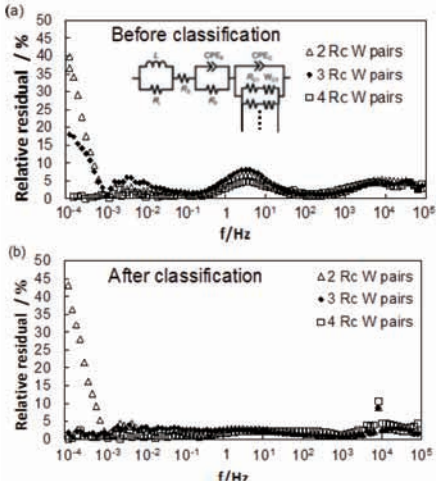


Fig.5. Residual error between the obtained and the fitted values. (a) before and (b) after classification.

Fig.4 に分級前後の NMC 電極のインピーダンス応答を示す。両者の高周波数側で異なる応答が得られたがともに 1 kHz と 1 Hz に半円、10 mHz 以下に立ち上がりが確認された。これらはそれぞれ皮膜あるいは粒界、電荷移動過程、固体内 Li 拡散に由来するものと考えられる。そこで、2,3,4,5 種の粒径(電荷移動抵抗 Rc とワールブルグインピーダンス W の直列ペアの並列数)からなる離散的な粒径分布を仮定した回路を用いて解析したところ、低周波数域の誤差(ナイキスト線図上での実験値と計算値との距離 / インピーダンス絶対値)が、分級前は 2,3,4 種の順で小さくなり 4 種で平均 3%を切り十分な精度が得られ 5 種に増やしても変化がなかった。分級後は 2 種から 3 種に増やした時点で平均誤差が 3%を切り 4 種以上に増やしても変化がなかった。(Fig.5) 。これは分級で粒径分布がそろったことで模擬に必要な粒径数が減少したためと考えられる。そこで、分級前を 4 種、分級後を 3 種の粒径の回路で解析して得られた NMC 粒子の拡散長を比較すると、分級後の 3 つの値が、分級前の 4 つのうち最も大きいものを除いた 3 つとほぼ一致した．以上から、Rc と W

の並列要素が粒径分布に由来することが確認され、分布が広い系であっても並列数を増やすことで精度よく解析可能であることが示唆された。

(3) 大型蓄電池に適用可能な劣化診断技術の開発（周波数応答解析）

大型蓄電池への対応として、我々はFFTインピーダンス法を応用したFRAを用いないリチウムイオン二次電池のインピーダンス応答の測定について、矩形波インピーダンス法（SC-EIS）として検討を行っている。本報告では、数年をかけて行っていた劣化試験の結果を報告するとともに、従来のインピーダンス測定と同様にSC-EIS法が周波数応答を測定可能であることを目的とした。サンプルには市販電動アシスト自転車用の5Ahのセルを用い、45℃環境下において2Cレート、電圧範囲3 - 4.2V、12,200サイクルまでの充放電を行い、セルを劣化させた。Fig.6に劣化前後のLIBのSOC 50%における周波数応答の結果を示す。○で示される従来法で測定した場合、12,200サイクルで40%まで容量の劣化したLIBでは、1 kHz付近の実軸との交点の抵抗値が増加し、劣化に伴う周波数応答の変化が認められた。このようなインピーダンス応答の変化に対して、筆者らが提案するSC-EIS法による周波数応答は10 kHzから5 Hzの範囲においてEIS法とほぼ同様の傾向を示し（図中・）、本検討から市販LIBの状態変化の評価に対して、SC-EIS法が適用可能であることが示された。

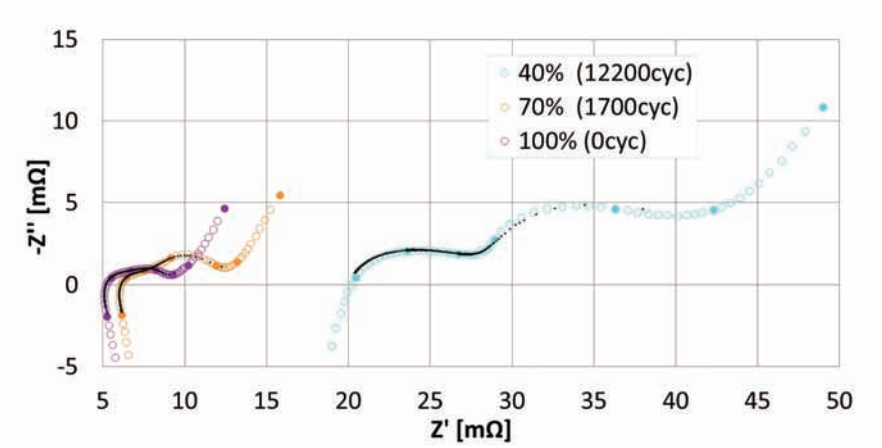


Fig.6. Nyquist plot of commercial LIB. SOC: 50%, Frequency range: 100 kHz – 1 mHz, Amplitude 5 mV.

3. 共同研究者

門間聰之(先進理工学部・教授)　　横島時彦(理工学研究所・主任研究員)
向山大吉(理工学研究所・次席研究員)　　奈良洋希(理工学研究所・次席研究員)

4. 研究業績

4.1. 学術論文

- M. Jeong, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma, T. Osaka, “Influence of the diffusion-layer thickness during electrodeposition on synthesis of nano core/shell Sn-O-C composite as an anode of lithium secondary battery”, *RSC Adv.*, **4**, 26872-26880 (2014).
- J. Liu, H. Nara, T. Yokoshima, T. Momma, T. Osaka, “Carbon Coated Li_2S Synthesized by Poly(vinylpyrrolidone) and Acetylene Black for Cathode of Lithium Ion Batteries”, *Chem.*

Lett., 43, 901-903 (2014).

- S. Shanmugam, J. Sanetuntikul, T. Momma, T. Osaka "Enhanced Oxygen Reduction Activities of Pt Supported on Nitrogen-Doped Carbon Nanocapsules", *Electrochim. Acta*, **137**, 41-48 (2014).
- M. Prabu, P. Ramakrishnan, H. Nara, T. Momma, T. Osaka, S. Shanmugam, "Zinc-Air Battery: Understanding the Structure and Morphology Changes of Graphene Supported $CoMn_2O_4$ Bifunctional Catalysts Under Practical Rechargeable Conditions", *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **6**, 16545-16555 (2014).
- N. Nakamura, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma, T. Osaka, "Suppression of polysulfide dissolution by polypyrrole modification of sulfur-based cathodes in lithium secondary batteries", *J. Power Sources*, **274**, 1263-1266 (2014).
- J. Liu, H. Nara, T. Yokoshima, T. Momma, T. Osaka, "Li_2S cathode modified with polyvinylpyrrolidone and mechanical milling with carbon", *J. Power Sources*, **273**, 1136-1141 (2014).
- M. Jeong, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma, T. Osaka, "Effect of electrolyte on cycle performances of the electrodeposited Sn-O-C composite anode of lithium secondary battery", *J. Power Sources*, **275**, 525-530 (2014).
- X. Qian, T. Hang, H. Nara, T. Yokoshima, M. Li, T. Osaka, "Electrodeposited three-dimensional porous Si–O–C/Ni thick film as high performance anode for lithium-ion batteries", *J. Power Sources*, **272**, 794-799 (2014).
- J. Lee, K. Hasegawa, T. Momma, T. Osaka, S. Noda, "One-minute deposition of micrometre-thick porous Si-Cu anodes with compositional gradients on Cu current collectors for lithium secondary batteries", *J. Power Sources*, **286**, 540-550 (2015).

4.2. 学会発表

- 奈良洋希，横島時彦，大塚直哉，門間聰之，逢坂哲彌，"三次元網目構造体へのリチウム二次電池用 Si-O-C 複合負極の電析"，電気化学会第 81 回大会，大阪，2014 年 3 月.
- 横島時彦，加藤崇徳，寺尾竜哉，玉川諒，藪田宗克，M. Jeong，奈良洋希，朝日透，門間聰之，逢坂哲彌，"リチウム二次電池用電析 Si-O-C 複合負極作製における基板前処理の効果"，電気化学会第 81 回大会，大阪，2014 年 3 月.
- 中村夏希，高松翔大，榎智和，横島時彦，門間聰之，逢坂哲彌，"Li 二次電池を目的としたポリピロール被覆 S/KB 複合体正極の重合条件によるポリスルフィド溶出抑制改善"，電気化学会第 81 回大会，大阪，2014 年 3 月.
- 中澤和博，横島時彦，向山大吉，門間聰之，森康郎，逢坂哲彌，"矩形波インピーダンス法の低周波領域への拡張"，電気化学会第 81 回大会，大阪，2014 年 3 月.
- 横島時彦，向山大吉，中澤和博，伊澤英彦，伊藤由美子，奈良洋希，門間聰之，森康郎，逢坂哲彌，"矩形波インピーダンス法のリチウムイオン二次電池状態評価技術への適用"，電気化学会第 81 回大会，大阪，2014 年 3 月.
- 渡辺勇太，横島時彦，門間聰之，逢坂哲彌，"メソポーラス PtRuCo を担持した三次元網目構造 DMFC アノード触媒層の作製と評価"，電気化学会第 81 回大会，大阪，2014 年 3 月.
- C. Chen, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma, T. Osaka, "Two-Dimensional Ultrathin

Single-Crystalline Sns Nanoflakes As Anode Material for Li-Ion Batteries", 225th Meeting of The Electrochemical Society (ECS), Orland, USA, May 2014.

- H. Nishihara, S. Iwamura, Y. Ono, H. Morito, H. Yamane, H. Nara, T. Osaka, T. Kyotani, "Eutectic $Li_{21}Si_5$ Alloy As a Lithium-Containing Negative Electrode Material", 17th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB), Como, Italy, June 2014.
- H. Nara, T. Yokoshima, N. Otuska, T. Momma, T. Osaka, "Electrodeposition of Si-O-C Composite Anode Onto Three Dimensional Structures for Lithium Secondary Batteries", 17th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB), Como, Italy, June 2014.
- M. Agostini, J. Liu, M. Jeong, H. Nara, T. Momma, B. Scrosati , Y. K. Sun, T. Osaka, J. Hassoun, "Characterization of a Lithium Ion Battery Based on Carbon-Coated Lithium Sulfide Cathode and Electrodeposited Silicon Based Anode" 17th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB), Como, Italy, June 2014.
- T. Momma, N. Togasaki, T. Osaka, "Cycle Life Enhancement of Metalic Li Anode By H_2O and CO_2 in Organic Electrolyte for Li-Air Battery" 17th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB), Como, Italy, June 2014.
- T. Yokoshima, D. Mukoyama, K. Nakazawa, H. Isawa, Y. Ito, H. Nara, T. Momma, Y. Mori, T. Osaka, "Introduction of Square-Current Electrochemical Impedance Spectroscopy (SC-EIS) to Diagnosis Technology of Laminated Lithium-Ion Battery", 17th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB), Como, Italy, June 2014.
- T. Osaka, "Beyond the construction on International Battery R&D Center for smart life support", The 7th German-Italian-Japanese Meeting of Electrochemists, Padova, Italy, June 2014.
- T. Momma, H. Nara, T. Yokoshima, T. Osaka, "Electrodeposited Si and Sn for Lithium Battery Anodes", The 7th German-Italian-Japanese Meeting of Electrochemists, Padova, Italy, June 2014.
- 横島時彦，"電気化学インピーダンス法を用いたリチウムイオン二次電池の劣化挙動解析手法の開発"，神奈川大学 リチウムイオンバッテリー（LIB）オープンラボ第八回，神奈川，2014 年 7 月.
- T. Yokoshima, D. Mukoyama, H. Isawa, H. Nara, T. Momma Y. Mori, T. Osaka, "Application of Square-Current Electrochemical Impedance Spectroscopy (SC-EIS) to Battery Diagnosis Technology for Large-scale LIB", 7th International Conference on Advanced Lithium Battery for Automobile Applications (ABAA-7), Nara, Japan, July 2014.
- C. Chen, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma, "SnS_2/SnO_2/C Hierarchical Heterostructures for Li-ion Batteries Anode with High Rate Capabilities", 65th International Society of Electrochemistry (ISE), Lausanne, Switzerland, August 2014.
- H. Nara, D. Mukoyama, T. Yokoshima, T. Momma, T. Osaka, "Impedance Analysis for Deterioration Evaluation of Laminated Lithium-ion Battery Containing Vinylene Carbonate Additive with Micro Reference Electrode", 65th International Society of Electrochemistry (ISE), Lausanne, Switzerland, August 2014.
- T. Yokoshima, D. Mukoyama, H. Isawa, Y. Ito, H. Nara, T. Momma, Y. Mori, T. Osaka, "Introduction of Square-current Electrochemical Impedance Spectroscopy (SC-EIS) to

Diagnosis Technology of Lithium Ion Battery", 65th International Society of Electrochemistry (ISE), Lausanne, Switzerland, August 2014.

- J. Liu, H. Nara, T. Yokoshima, T. Momma, T. Osaka, "A novel method to prepare micro-scale carbon coated Li_2S from Li_2SO_4 for cathode of lithium ion battery", 10th International Symposium on Electrochemical Micro & Nanosystem Technology (EMNT2014), Okinawa, Japan, November 2014.
- H. Nara, T. Yokoshima, D. Mukoyama, T. Momma, T. Osaka, "Impedance Analysis with Transmission Line Model on 3D Structured Energy Devices", 10th International Symposium on Electrochemical Micro & Nanosystem Technology (EMNT2014), Okinawa, Japan, November 2014.
- N. Togasaki, T. Momma, T. Osaka, "Role of solid electrolyte interphase (SEI) on a Li metal anode in dimethyl sulfoxide for Li-O_2 battery", , 10th International Symposium on Electrochemical Micro & Nanosystem Technology (EMNT2014), Okinawa, Japan, November 2014.
- M. Jeong, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma, T. Osaka, "Cu incorporated Si-O-C composite anode with improved areal capacity", 10th International Symposium on Electrochemical Micro & Nanosystem Technology (EMNT2014), Okinawa, Japan, November 2014.
- C. Chen, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma, T. Osaka, "One-Step Hydrothermal Synthesis of SnS_2/SnO_2/C Hierarchical Heterostructures for Li-ion Batteries Anode", 10th International Symposium on Electrochemical Micro & Nanosystem Technology (EMNT2014), Okinawa, Japan, November 2014.
- 中村夏希，横島時彦，奈良洋希，門間聰之，橋本正洋，逢坂哲彌，"Li 二次電池正極を目的とした S/KB 複合体へのポリピロール被覆膜の特性評価"，第 55 回電池討論会，京都，2014 年 11 月.
- 森田圭祐，奈良洋希，横島時彦，向山大吉，門間聰之，逢坂哲彌，"Li イオン電池正極活物質の粒径分布を因子とした低周波数域インピーダンス応答特性"，第 55 回電池討論会，京都，2014 年 11 月.
- 中澤和博，横島時彦，向山大吉，門間聰之，逢坂哲彌，"市販リチウムイオン電池の電気化学インピーダンス評価における入力波形の影響"，第 55 回電池討論会，京都，2014 年 11 月.
- 横島時彦，向山大吉，伊澤英彦，中嶋康乃，奈良洋希，門間聰之，森康郎，逢坂哲彌，"矩形波インピーダンス法の運用中リチウムイオン電池状態把握技術への導入"，第 55 回電池討論会，京都，2014 年 11 月.
- 向山大吉，奈良洋希，横島時彦，門間聰之，逢坂哲彌，"交流インピーダンス法によるラミネート型リチウムイオン電池セル特性の個体差評価"，第 55 回電池討論会，京都，2014 年 11 月.
- 川野誠，阿久津智美，友定伸浩，山崎大輔，横島時彦，奈良洋希，逢坂哲彌，"交流インピーダンス測定と内部分析による市販 Mn 系リチウムイオン二次電池の劣化解析"，第 55 回電池討論会，京都，2014 年 11 月.
- 加藤崇徳，寺尾竜哉，M. Jeong，横島時彦，奈良洋希，朝日透，門間聰之，逢坂哲彌，"リチウム二次電池用電析 Si-O-C 複合負極の前処理プロセス効果", 第 55 回電池討論会, 京都, 2014

年 11 月.

- M. Jeong, T. Kato, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma, T. Osaka, “Cu incorporated Si-O-C composite anode for increasing battery capacity”, 第 55 回電池討論会，京都，2014 年 11 月.

4.3. 招待講演

- T. Osaka, T. Yokoshima, D. Mukoyama, H. Nara, T. Momma, “Impedance Analysis of Lithium-Ion Battery for Future”, 17th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB), Como, Italy, June 2014.
- T. Momma, “Non Destructive Inspection for Diagnosis of LIB by Electrochemical Impedance Analysis”, 7th International Conference on Advanced Lithium Battery for Automobile Applications (ABAA-7), Nara, Japan, July 2014.
- T. Osaka, “Innovation Process from Academic Activities to Industrial Products”, 2014 ECS & SMEQ Joint International Meeting, Cancun, Mexico, October 2014.
- 奈良洋希，“正負極インピーダンス分離解析手法”，2014 年電気化学会関東支部セミナー 「リチウムイオン二次電池を解析するための電気化学インピーダンス測定」，東京，2014 年 11 月.
- 横島時彦，“フーリエ変換を用いるインピーダンス測定 ”，2014 年電気化学会関東支部セミナー 「リチウムイオン二次電池を解析するための電気化学インピーダンス測定」，東京，2014 年 11 月.
- 横島時彦，“リチウムイオン電池の高寿命化を可能にする高容量 Si 系負極材料の開発”，第 6 回国際二次電池展 専門技術セミナー，東京，2015 年 2 月.
- 門間聰之，“リチウム電池用電析負極材料（仮）”，表面技術協会第 131 回講演大会，神奈川，2015 年 3 月.
- T. Osaka, “New diagnosis method for LIB health conditions using EIS”, BASF Science Symposium 2015 "Science Symposium Ludwigshafen", Ludwigshafen, Germany, March 2015.
- 前田傑，中澤和博，横島時彦，向山大吉，門間聰之，逢坂哲彌，“鋸歯状波を用いた FFT インピーダンス法による Li 電析過程の in-situ 測定”，電気化学会第 82 回大会，神奈川，2015 年 3 月.
- 逢坂哲彌, “実用化へ向けたリチウム電池作製技術の紹介”, 日本化学会第 80 年会, 東京, 2015 年 3 月.
- 門間聰之，“有機電解液中での電析で形成されるリチウム二次電池用 Si-O-C 負極”，日本化学会第 80 年会，東京，2015 年 3 月.

4.4. 総説・著書

4.5. 特許

- 特願 2014-077894，逢坂哲彌、門間聰之、横島時彦、奈良洋希（早稲田大学，2014.4.4）
- 特願 2014-195828，西弘貴、木庭大輔、松田悠介、鈴木雄太、鈴木均、逢坂哲彌（プライムアース EV エナジー，2014.9.25）
- 特願 2014-195829，西弘貴、木庭大輔、松田悠介、鈴木雄太、鈴木均、逢坂哲彌（プライムアース EV エナジー，2014.9.25）

- 14/351,361，逢坂哲彌、門間聰之、横島時彦、向山大吉、奈良洋希（早稲田大学，2014.4.11）

5. 研究活動の課題と展望

本研究の進展に伴い、市販 LIB 内部における素過程それぞれの周波数応答を分離できることが示され、実際の活物質の粒径分布等の細かな条件についても測定可能なことが示された。これらの成果は市販 LIB の劣化解析を行う際の重要な指標となり、市販 LIB 劣化解析を大幅に加速させることが出来る。さらに矩形波インピーダンス法を深化により、大容量な LIB においても高精度なインピーダンスインピーダンス取得が期待出来る。本手法は、作動中の電源システムにも適用可能性があり、様々な蓄電池アプリケーション搭載される可能性を秘めている。今後、結果をより確実なものにすべくデータの蓄積を行い、汎用性の高い解析手法として深化を目指す。

先端メディアの生体影響研究

研究代表者　河合　隆史
（基幹理工学部 表現工学科　教授）

１．研究課題

情報通信技術の発達に伴い、デジタルメディアの生体影響に対する関心が、国際的に高まっている。特に、立体視映像（3D）やバーチャルリアリティ、ウェアラブルコンピュータ等に代表される、近い将来にさまざまな形で普及が予想される先端メディアにおいては、その安全性や快適性、機能性に関する科学的な評価手法を確立し、エビデンスを蓄積していくことが、急務とされている。

そこで本プロジェクト研究では、3D をはじめとした多様な先端メディアを対象に、人間工学的なアプローチにより生体影響について実験的な検討を行っている。

２．主な研究成果

本プロジェクト研究では、3D による生体影響を 1) ディスプレイ側、2) コンテンツ側、3) 視環境、4) ユーザ特性の四つに分類し、検討を行っている。本稿では、「3D は、2D よりも感動するのか？」という問いに対する継続的な取り組みの、2014 年度の成果概要について紹介する。

本プロジェクト研究では、米ハリウッドで制作された著名な 3D 映画から、情緒的表現を意図したと考えられるシーンを抽出・分類し、基本感情別に含まれる両眼視差の特徴について、再生される 3D 空間の中心と範囲を指標として分析を行った。その結果を 3D による情緒的表現の一手法として捉え、感情毎の視差操作パターンと定義した。前年度は、同一の映像に対して異なる視差操作パターンを反映した際の、覚醒度への影響について、実験的な検討を行った。結果から、覚醒度を増進するための視差操作においては 3D 空間の範囲が重要であり、その拡張率の設定によって、影響の度合いが異なることが認められた。2014 年度は、視差操作による覚醒度の増進による影響の一つとして時間知覚に着目し、時間評価と応答時間を指標とした検討を行った。結果から、呈示時間の延長に伴い、視差操作条件の評価時間に延長がみられ、その傾向は覚醒度の高い画像において顕著であった。

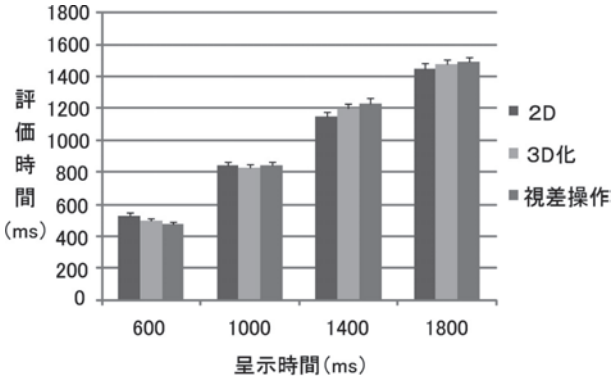


Fig.1　高覚醒度画像における評価時間

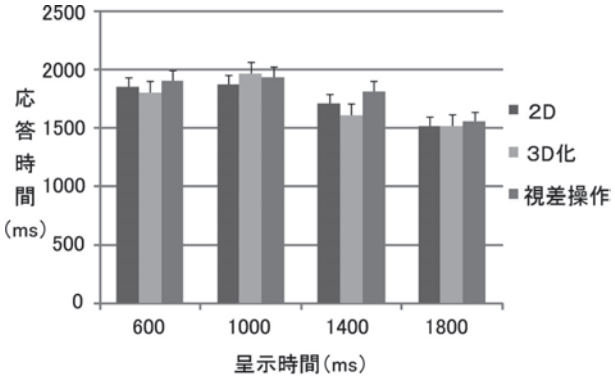


Fig.2　高覚醒度画像における応答時間

３．研究業績

３．１　学術論文

・ Ryo Kato，Takashi Kawai et al.：“Evaluation of User Experience in a Stereoscopic Video Game”，The Journal of Game Amusement Society，Vol.4，No.1，pp.33-40，2015.

３．２　総説

・ 河合隆史：“3D 人間工学の現状と展望”，人間工学，Vol.50，No.3，pp.106-111，2014.

３．３　国際会議

・ Takashi Kawai, Daiki Atsuta et al.：“Disparity modification in stereoscopic images for emotional enhancement”，SPIE，Vol.9391，印刷中，2015.
・ Sanghyun Kim, Hiroyuki Morikawa et al.:“Partially converted stereoscopic images and the effects on visual attention and memory”，SPIE，Vol.9391，印刷中，2015.
・ Reiko Mitsuya，Takashi Kawai et al.：“Evaluation of ergonomic keyboard using the EMG measurement and questionnaire prevention of musculoskeletal disorder”，Mixed Methods International Research Association (MMIRA)，2014.
・ Sanghyun Kim，Harumi Itaoka et al.：“Cognitive characteristics of directional judgment through binocular disparity on a virtual tilted screen”，Asian Conference of Ergonomics and Design (ACED 2014)，2014.

３．４　国内大会

・ 山本夏帆，西部杏奈 他：“局所 3D 化を用いた広告表現と視覚特性”，2014 年度画像電子学会第 42 回年次大会，2014.
・ 山村英介，金相賢 他：“3D 撮影におけるコンバージェンスの操作と心理的影響”，2014 年度画像電子学会第 42 回年次大会，2014.
・ 富田平，金相賢 他：“映像資産の 3D 化と強調手法の提案と評価”，2014 年度画像電子学会第 42 回年次大会，2014.
・ 河合隆史：“3D コンテンツの機能性解明への取り組み”，人間工学，Vol.50，特別号，50-51，2014.
・ 尹夏英，河合隆史 他：“ユーザの仮想身体モデルが臨場感に与える影響”，人間工学，Vol.50，特別号，pp.270-271，2014.
・ 熱田大貴, 金相賢 他:“立体視映像における感情喚起を促す視差設計の検討”, 人間工学, Vol.50，特別号，pp.272-273，2014.
・ 平賀大貴，松浦訓人 他：“立体映像に対する選好判断と視知覚特性”，人間工学，Vol.50，特別号，pp.274-275，2014.
・ 日置友梨，北村秀介 他：“カーブスクリーンを用いた立体視コンテンツの主観評価（１）”，人間工学，Vol.50，特別号，pp.276-277，2014.
・ 金 相賢，陳ソキ 他：“カーブスクリーンを用いた立体視コンテンツの主観評価（２）”，人間工学，Vol.50，特別号，pp.278-279，2014.
・ 盛川浩志，西部杏奈 他：“特定領域への動的両眼視差付加と視覚性短期記憶への影響”，人間工学，Vol.50，特別号，pp.356-357，2014.

３．５　学会および社会活動

・　国際会議 議長：Stereoscopic Displays and Applications 2015, Conference Chair，2015 年 2 月，米サンフランシスコ.

・　国際業界団体 日本部会長 : International 3D & Advanced Imaging Society, Japan Committee Chair，2014 年度

４．研究活動の課題と展望

本プロジェクト研究では、3D をはじめとした多様な先端メディアを対象として、人間工学的なアプローチにより生体影響について実験的な検討を行っている。筆者らが次年度以降の取り組みに向けて認識している課題と展望としては、引き続き以下の 3 点を挙げることができる。

・　3D の認知特性を活用したアプリケーション技術と有効性の検討

・　ウェアラブルデバイスのユーザビリティとコンテンツのデザイン

・　視触覚の相互作用（クロスモーダル）に着目したインタフェースの設計

以上。

相対論的電子論が拓く革新的機能材料設計

研究代表者　中井　浩巳
（理工学研究所　教授）

１．研究課題

本プロジェクト研究では、理論的手法を用いて元素の特性を理解し、革新的な機能を持つ物質・材料を設計することを目的とする。また、必要となる理論的基盤の構築も目指す。

元素の特性を理解するためには、ある元素が種々の環境下においてどのような電子状態を取ろうとするかを正確に決定する必要がある。本プロジェクト研究では、この特性理解のアプローチとして量子化学計算を活用する。元素戦略では希少元素の使用を極力控え、ユビキタス元素を活用することを目指している。元素戦略に沿った機能設計には、さまざまな組成・スピン状態・分子サイズに対する豊富な知見が必要となる。不安定物質や仮想的な材料に対して容易に構造予測・物性評価ができることが、量子化学計算を用いる最大の利点である。しかし希少元素や規制元素の多くは重元素であり、相対論的効果が無視できないため、元素戦略を理論的に推進するためには、相対論的な量子化学理論へのパラダイムシフトが不可欠である。

２．主な研究成果

凍結内殻ポテンシャルを用いた相対論的量子化学計算法の開発

高周期元素を含む系を取り扱うためには、非相対論的な Schrödinger 方程式ではなく相対論的な Dirac 方程式を解く必要がある。Dirac 方程式を直接解く 4 成分法は、電子だけでなく陽電子も取り扱うため計算コストが高く、また負エネルギーも存在するため解の安定性が問題となる。電子のみを近似的に取り扱う 2 成分法も種々開発され、なかでも無限次 Douglas-Kroll-Hess (IODKH)は 4 成分法と同等の精度であることが確かめられてきた。昨年度までに、相対論効果の局所性に着目した局所ユニタリー変換(LUT)-IODK 法を開発し、大幅な高効率化に成功した。本年度は、より実用的な観点から必要となる、(1) 内殻電子の高効率な取り扱い、(2) 分子積分の高速化、 (3) スピン依存項への拡張を行った。以下に(1)についての内容をより具体的に説明する。

相対論効果の考慮が不可欠となる重原子系では多数の内殻電子を含む。そこで内殻電子の効果をポテンシャルに置き換えることで露に取り扱う電子数を減らす擬ポテンシャル法やモデルポテンシャル (MP) 法が従来広く用いられてきた。本研究では、全電子計算 (AE) 法と MP 法を理論的にシームレスに連結可能であり、最新の相対論的手法に対応できる凍結内殻ポテンシャル (FCP) 法を開発した。種々のハミルトニアンを用いた精度検証の結果、AE 法との誤差は全エネルギー、軌道エネルギーいずれにおいても数 kcal/mol 以内であることが確認された。FCP 法の適用により AE 法にてボトルネックとなる 2 電子積分 (TEI) の計算時間が大幅に削減された（表 1）。

Table 1. CPU times (in seconds) for four steps and total SCF in the AE and FCP calculations for M_2 (M = Cu, Ag, and Au) molecules at the LUT-IODKH/LUT-IODKH level: one-electron integral (OEI), two-electron integral (TEI), construction of Fock matrix (Const.), and diagonalization of Fock matrix (Diag.).

Molecule	Step	AE	FCP	Ratio
Cu_2	OEI	0.33	0.33	1.00
	TEI	12.84	5.69	0.44
	Const.	0.34	0.32	0.95
	Diag.	0.04	0.02	0.50
	SCF Total	13.55	6.36	0.47
Ag_2	OEI	1.05	1.04	0.99
	TEI	83.93	18.55	0.22
	Const.	0.99	0.51	0.52
	Diag.	0.12	0.04	0.33
	SCF Total	86.09	20.14	0.23
Au_2	OEI	5.72	5.70	1.00
	TEI	1693.54	32.59	0.02
	Const.	4.43	0.60	0.14
	Diag.	0.11	0.04	0.36
	SCF Total	1703.80	38.93	0.02

３． 研究活動の課題と展望

本年度までに、本プロジェクトの理論基盤である 2 成分相対論に関して種々の手法を開発してきた。しかし、数値計算は既存の量子化学プログラム GAMESS や HONDO を修正して行ってきた。今後は、これらの手法を統一して、独自の 2 成分相対論プログラムの開発に繋げる必要がある。

４．共同研究者

菊池　那明（理工学術院・次席研究員）
清野　淳司（日本学術振興会・特別研究員）
石川　敦之（理工学術院・次席研究員）
王　祺（理工学術院・次席研究員）
五十幡　康弘（理工学術院・化学・生命化学科・助手）

５．研究業績

5-1　学術論文

1. “Acceleration of self-consistent field convergence in ab initio molecular dynamics simulation with multi-configurational wave function”, M. Okoshi, H. Nakai, *J. Comput. Chem.*, **35** (20), 1473–1480 (2014).
2. “Extension of accompanying coordinate expansion and recurrence relations method for general-contraction basis sets”, M. Hayami, J. Seino, H. Nakai, *J. Comput. Chem.*, **35** (20), 1517–1527 (2014).
3. “Theoretical study on excess-electron transfer in DNA based on the Marcus theory”, Y. Takada, M. Okoshi, M. Hoshino, A. Ishikawa, M. Ishikawa, H. Nakai, *J. Comput. Chem. Jpn.*, **13** (4), 242–249 (2014).
4. “Quantum chemical approach for condensed-phase thermochemistry: Proposal of a harmonic solvation model”, H. Nakai, A. Ishikawa, *J. Chem. Phys.*, **141** (17), 174106 (9 pages) (2014).
5. “Linear-scaling self-consistent field calculations based on divide-and-conquer method using resolution-of-identity approximation on graphical processing units”, T. Yoshikawa, H. Nakai, *J. Comput. Chem.*, **36** (3), 164–170 (2014).
6. “Linearity condition for orbital energies in density functional theory (V): Extension to excited state

calculations", Y. Imamura, K. Suzuki, T. Iizuka, H. Nakai, *Chem. Phys. Lett.*, **618**, 30–36 (2015).

7. "Local response dispersion method in periodic systems: Implementation and assessment", Y. Ikabata, Y. Tsukamoto, Y. Imamura, H. Nakai, *J. Comput. Chem.*, **36** (5), 303–311 (2015).
8. "Effect of Hartree-Fock exact exchange on intramolecular magnetic coupling constants of organic diradicals", D. Cho, K. C. Ko, Y. Ikabata, K. Wakayama, T. Yoshikawa, H. Nakai, J. Y. Lee, *J. Chem. Phys.*, **142** (2), 024318 (7 pages) (2015).
9. "Quantum chemical approach for condensed-phase thermochemistry (II): Applications to formation and combustion reactions of liquid organic molecules", A. Ishikawa, H. Nakai, *Chem. Phys. Letters*, **624**, 6–11 (2015).
10. "Revisiting the extrapolation of correlation energies to complete basis set limit", M. Okoshi, T. Atsumi, H. Nakai, *J. Comput. Chem.*, **36** (14), 1075–1082 (2015).
11. "A divide-and-conquer method with approximate Fermi levels for parallel computations", T. Yoshikawa, H. Nakai, *Theor. Chem. Acc.*, **134** (5), 53 (11 pages) (2015).

5-2　著書（総説を含む）

1. "1-4 相対論的量子化学", 中井浩巳, 錯体化学会選書１０「金属錯体の量子•計算化学」, 70–94 (共立出版，2014).
2. "Large-scale relativistic quantum-chemical theory: Combination of the infinite-order Douglas-Kroll-Hess method with the local unitary transformation scheme and the divide-and-conquer method", J. Seino, H. Nakai, *Int. J. Quant. Chem. (Perspective)*, 115 (5), 253–257 (2015). (Special Issue of Theoretical Chemistry in Japan)
3. "Local response dispersion method: a density-dependent dispersion correction for density functional theory", Y. Ikabata, H. Nakai, *Int. J. Quant. Chem. (Tutorial Review)*, 115 (5), 309–324 (2015). (Special Issue of Theoretical Chemistry in Japan)
4. "キャリアイオンの脱溶媒和過程の理論的解析", 大越昌樹，中井浩巳, *Electrochemistry*, 82 (12), 1098–1101 (2014). (特集: 実験と理論のインタープレイによる新規機能性電解液開発)
5. "Energy expression of the chemical bond between atoms in hydrides and oxides and its application to materials design", M. Morinaga, H. Yukawa, H. Nakai, pp. 183–213 in *'The DV-Xα Molecular-Orbital Calculation Method'*, T. Ishii, H. Wakita, K. Ogasawara, Y. Kim (Eds.) (Springer, 2015).

5-3　招待講演

1. "Development of efficient two-component relativistic method for large systems", H. Nakai, *The 11th International Conference on Relativistic Effects in Heavy-Element Chemistry and Physics (REHE-2014)*, (Smolenice Castle, Slovakia), September 20-24, 2014.
2. "Harmonic solvation model (HSM) for quantum chemical calculation of condensed-phase free energy", H. Nakai, *The XIX Workshop on Quantum Systems in Chemistry, Physics and Biology (QSCP-XIX)*, (Tamsui, Taipei, Taiwan), November 11-17, 2014.
3. "Efficient two-component relativistic method for large systems", H. Nakai, *11th International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering (ICCMSE 2015)*, (Metropolitan Hotel, Athens, Greece), March 20-23, 2015.
4. "量子化学・統計力学・熱力学：新しい凝縮系の自由エネルギー計算", 中井浩巳, *第 8 回シンポジウム「革新的量子化学の展開」*, キャンパスプラザ京都(京都), 2014 年 5 月 3 日.

5. “凝縮系の熱力学に対する量子化学計算：調和溶媒和モデル(HSM)の開発と応用”, 中井浩巳, *先端化学・材料技術部会 コンピュータケミストリ分科会 次世代 CCWG 次世代計算化学技術セミナー*, 一碧荘(日本ゼオン) (伊東), 2014 年 8 月 21-22 日.
6. “凝縮系の熱力学量の高精度量子化学計算”, 中井浩巳, *第37 回情報化学討論会*, 豊橋商工会議所 (豊橋), 2014 年 11 月 27-28 日.
7. “量子化学における第 2 量子化の手法”, 中井浩巳, *第4 回量子化学ウィンタースクール～大規模系を目指した基礎理論～*, 岡崎コンファレンスセンター(岡崎), 2014 年 12 月 15~16 日.

エネルギー需給ネットワークのモデリングと統合メカニズム

研究代表者　内田　健康
（先進理工学部　電気・情報生命工学科　教授）

１．研究課題

エネルギー伝送ネットワークと双方向情報伝達ネットワークをインフラとして、ダイナミクスを持つエネルギー需要者及びエネルギー供給者、並びに公益事業体をエージェントとする次世代のエネルギー需給システムを想定する。このエネルギー需給システムにおいて。エネルギー需要者とエネルギー供給者が利己的かつ戦略的に決定する分散制御を束ねて公共の利益に導く最適な統合メカニズム（公益事業体の機能）を構築するために、エネルギー需給ネットワークをモデリングし、同時に統合メカニズムの理論的な基礎を築き、統合メカニズムの設計法を確立することを目指す。

２．主な研究成果

個々のエージェントに運用状態決定の権利を与える分散型の情報処理のもとで、エネルギーの需要と供給のバランス成立を達成する統合化された解を実現するという観点に立ち、価格提示を利用し統合化された解への誘導を実現する動的ネットワークの運用法を提案した。特にここでは，（エージェントの動特性）＋（エージェントによる分散最適化）に対する（実時間価格策定方策）を提案し、構成される閉ループシステムの理論的な安定性までを示した。提案する価格策定方策の有効性は、電力送電系統の需要・供給バランス実現問題に対する数値実験により検証されている。さらに提案する運用法を、マイクログリッドを想定した価格策定方策の高速化、大規模なネットワークで問題となる通信遅延を考慮した場合の価格策定方策の提案などへと展開することができている。

価格を利用したエネルギー需要，供給ネットワークの制御では、価格策定に必要な各時刻でのエージェントの動作状態が報告される必要がある。しかしながら、提示する情報により価格が決定されることを知るエージェントには、作為的な偽り情報の提示により、自身の利得のみを向上させる誘因が生じる。利己的なエージェントによる価格操作の問題に対し、経済学の分野を中心に発展しているメカニズムデザイン理論の考えに着目したエネルギー需要，供給ネットワークのための社会システムのデザインを提案している。これにより、作為的な情報操作が利益を生まない社会システムのデザインが可能であることを明らかにした。またこの成果を、予測モデルを利用した制御系との融合、再生可能エネルギーの導入を想定した確率的外乱の考慮、エージェントの選好およびパラメータの不確かさに起因する特性変動の考慮、予算均衡性を達成する新たなメカニズムの提案などへと展開することに成功した。さらに、真の情報の報告を促す制御系を、各エージェントとユーティリティー間の交渉を許容する、より実用的な制御系へと発展させるには、エージェントによる利己的な情報報告に関する考察が不可欠となるとの観点から、最適な利己的情報報告を特徴づけることにも成功している。

以下に具体的な研究成果として 2 点を挙げる。**１．LQG 電力需給ネットワークに対する動的統合メカニズムの設計：**需要と供給に基づいて動的に価格が変動するような次世代のエネルギー需給ネットワークシステムを LQG 制御問題の枠組みで定式化し、利己的かつ戦略的に動く需要者及び供給者が、価格を決める系統運用者に対して嘘の報告をせずに真の報告をすることが自身の利益の最大

化につながる動的統合メカニズムの構築を行った。 **２．リアルタイムプライシングによる最適運用状態への誘導と安定性：**自身の利得を追求する動的なエージェントと公共の利得実現を目指すユーティリティーの相互作用により運用されるネットワークを想定し、公共利得を達成する最適な運用状態へと導くためのユーティリティーによる実時間価格策定方策を提案した。この提案手法については、エージェントの動特性を陽に考慮した上で、価格提示により運用される閉ループシステムの安定性の条件を明らかにした。

３．共同研究者

赤尾健一　（社会科学総合学術院　教授）　　塚本幸辰　（理工学術院　招聘研究員）
辻　隆男　（理工学研究所　招聘研究員）

４．研究業績

４．１　学術論文

●Kenji Hirata, Joao Pedro Hespanha and Kenko Uchida, “Real-time Pricing Leading to Optimal Operation under Distributed Decision Makings”, Proc. of the 2014 American Control Conference, pp. 1925-1932, 2014

●Truc Pham-Dinh, Hai Nguyen-Thanh, Kenko Uchida and Nguyen Gia Minh Tao, “Modified Controls for Grid-Connected Wind-Turbine Doubly Fed Induction Generator under Unbalanced Voltage Dip for Torque Stability and Reduction of Current Harmonic”, Proc. of the SICE Annual Conference 2014, pp. 1493-1500, 2014

●Yusuke Okajima, Toshiyuki Murao, Kenji Hirata and Kenko Uchida, “Integration Mechanisms for LQ Energy Day-ahead Market Based on Demand Response”, Proc. of the 2014 IEEE Multi-conference on Systems and Control, pp. 1-8, 2014

●Takao Tsuji, Frédéric Magoulès, Takaonori Sakamoto, Tsutomu Oyama and Kenko Uchida, “Global Initialization Technique in Waveform Relaxation Method for Transient Stability of a Japanese Power System”, Proc. of the 5th IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies European 2014 Conference, Paper ID ISGTEU-0596, 2014

●Nguyen Gia Minh Tao, Kenko Uchida, Kentaro Kofuji, Toru Jintsugawa and Chikashi Nakazawa, “A Comprehensive Analysis Study about Harmonic Resonance in Megawatt Grid-Connected Wind Farms”, Proc. of the 2014 International Conference on Renewable Energy Research and Applications, pp. 387-394, 2014

●Toshiyuki Murao, Yusuke Okajima, Kenji Hirata and Kenko Uchida, “Dynamic Balanced Integration Mechanism for LQG Power Networks with Independent Types”, Proc. of the 53rd IEEE Conference on Decision and Control, pp. 1395-1402, 2014

●Nguyen Gia Minh Tao and Kenko Uchida, “A Control Strategy based on Fuzzy Logic for Three-phase Grid-connected Photovoltaic System with Supporting Grid-Frequency Regulation”, Proc. of the 3rd International Conference on Intelligent and Automation Systems, Paper ID S0009, 2015

●Nguyen Gia Minh Thao and Kenko Uchida, “Active and Reactive Power Control Techniques based on Feedback Linearization and Fuzzy Logic for Three-phase Grid-connected

Photovoltatic Inverters", Asian Journal of Control, Vol. 17, No. 5, 2015 (to appear)
●Takao Tsuji, Frédéric Magoulès, Kenko Uchida and Tsutomu Oyama, "A Partitioning Technique for a Waveform Relaxation Method Using Eigenvectors in the Transient Stability Analysis of Power Systems", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 30, 2015 (to appear)
●MingHui Wang and Kenko Uchida, "Interval Consensus Problem of Multi-agent Systems in accordance with Switching Protocol", International Journal of Systems Science, Vol 46, 2015 (to appear)

４．２　招待講演
●内田健康，電力ネットワークに対するリアルタイムオークションメカニズム，平成 26 年電気学会電力・エネルギー部門大会 座談会 科学技術振興機構・CREST の中間成果報告会: 2020 年に向けた多様性を考慮した次世代型 EMS の研究・開発，京都, 2014 年 9 月 11 日
●村尾俊幸，平田研二，内田健康，LQG 電力需給ネットワークに対するリアルタイムプライシング手法の提案－動的メカニズムデザインアプローチー，SICE 産業応用部門 2014 年度大会，東京, 2014 年 11 月 12 日
●庫川幸秀，小西秀樹，電力産業における新旧事業者間の技術格差と配分効率を考慮した最適垂直構造, SICE 産業応用部門 2014 年度大会，東京, 2014 年 11 月 12 日
●辻隆男，再生可能エネルギーの普及と電力システムの制御技術，第 2 回制御部門マルチシンポジウム システム構築と制御技術チュートリアル，東京, 2015 年 3 月 5 日
●赤尾健一，経済動学モデルについて : 競争均衡モデルと微分ゲームモデルの紹介，第 2 回制御部門マルチシンポジウム システム構築と制御技術チュートリアル，東京, 2015 年 3 月 5 日

４．３　学会発表
●Takao Tsuji, Kei Kawamata, Tsutomu Oyama and Kenko Uchida, Transient Stability Analysis in Japanese Power System considering Wind Turbines, The 13th Wind Integration Workshop, Berlin, Germany, Nov. 13, 2014
●Kenta Tanaka, Yukihide Kurakawa, Eiji Sawada, Ken-Ichi Akao and Shunsuke Managi, Experimental Study of Consumer Behavior under the Risk of Electric Outage, The 11th International Conference, Western Economic Association, Wellington, New Zealand, Jan. 10, 2015
●岡島佑介，村尾俊幸，平田研二，内田健康，不確かな情報環境における LQ エネルギー需要ネットワークの Interim 誘因と Ex Post 誘因，第 58 回システム制御情報学会研究発表講演会，京都, 2014 年 5 月 22 日
●田中健太，庫川幸秀，澤田英司，赤尾健一，馬奈木俊介，経済実験によるリアルタイムプライシング制度の検証，環境経済･政策学会 2014 年大会，東京, 2014 年 9 月 14 日

５．研究活動の課題と展望
動的ゲーム理論並びに最適制御理論を基礎として、メカニズムデザインの方法、戦略的 Bidding による最適化（均衡化）、最悪プライシングの方法、並びにそれらの動的システムへの展開を検討し、動的統合メカニズム理論の更なる展開と体系化を目指す。

震災復興のためのコンクリート技術開発

研究代表者　清宮　理
（創造理工学部 社会環境工学科　教授）

１．研究課題

東北大震災により公共施設、建物などに地震・津波により大被害を受けるとともに福島原子力発電所の爆発により大量の放射能が放出した。放射能の影響は長期間にわたりかつ人間活動に大きな影響を与えている。一刻も早い復興が望まれている。本研究では地震・津波により海水につかり、また放射能の影響を受けたコンクリートをどのように再利用するかまたどのような形態で保管するか研究するものである。主要な研究結果は以下の通りである。

2.　主な研究成果

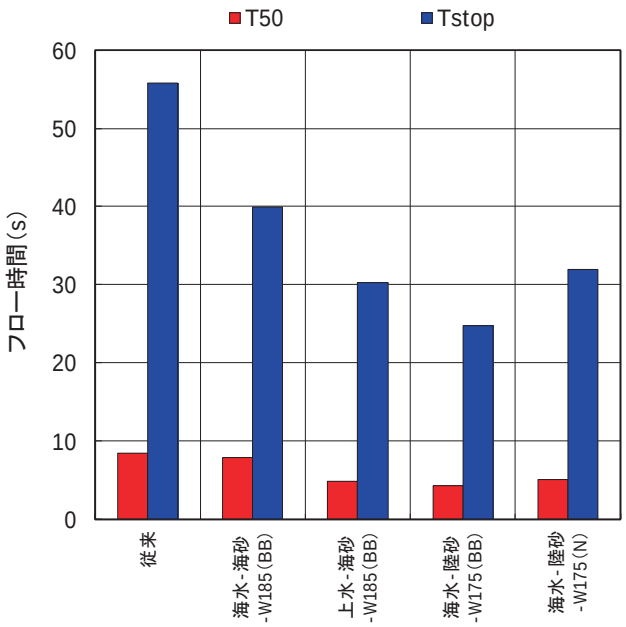
2.1　海水の混じったコンクリートの基本性状

塩分の影響を調べるためにコンクリート配合は練混ぜ水に上水道水，細骨材に陸砂を使用した基本配合（OC）に加え，練混ぜ水に海水，細骨材に海砂を使用した配合（SW-SS）と，練混ぜ水に海水，細骨材に陸砂を使用した配合（SW-LS）の 3 水準試験を行った。コンクリートの水セメント比は 45%，単位粗骨材絶対容積は 0.330m^3/m^3 で一定とし，スランプフローが 600 ± 50mm の範囲になるよう，単位水量および混和剤の添加率を調整した。

練混ぜ水に用いた海水は相模湾で採水したものであり，海水中に質量比で 1.80%の塩化物イオンを含有していた。海砂には除塩処理を施していない状態のものを使用しており，塩化物イオン量は質量比で 0.187%であった。流動性保持剤は、ポリカルボン酸系で流動性の経時保持性に優れている。試験項目は、流動性と力学特性である。スランプフローは，練混ぜ完了後に試験を行った後，試料を静置した状態で，最長 90 分まで 500mm 到達時間（T500）および停止時間（Tstop）の経時変化を確認した。全ての配合で練混ぜ完了後のスランプフローが 600mm 以上となり，優れた流動性を有することが認められた。その後，海水と海砂を使用した配合（SW-SS）で 90 分，基本配合（OC）と海水と陸砂を使用した配合（SW-LS）で 60 分程度まではスランプフローの目標値（600 ± 50mm）を維持することができた。

今回検討した配合で，500mm フロー到達時間は 3～5 秒程度，フロー停止時間は 30～40 秒程度であった。従来の増粘剤系の高流動コンクリートと比較すると，500mm フロー到達時間とフロー停止時間が早まり，特にフロー停止時間については 20 秒程度短縮した。コンクリートの流動時間の短縮は，打込みに要する時間の削減に繋がるため，施工効率の向上の観点からは有利であるといえる。

材齢と圧縮強度の関係で、海水や海砂を使用した配合（SW-SS，SW-LS）のほうが，基本配合（OC）に比べて初期材齢における圧縮強度が大きくなった。コンクリート中に塩化ナトリウムなどが含有することで，硬化が促進されることが明らかとなった。



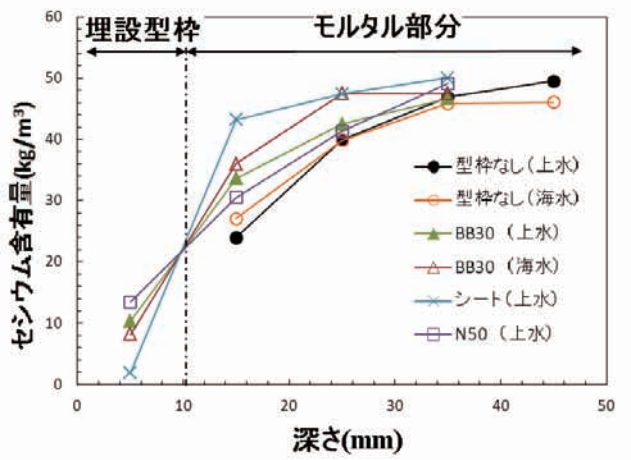
図―１　スランプフロー試験の結果

写真―１　スランプフロー試験の状況

2.2　放射性物質の封じ込めコンクリート要素の浸透試験

試験ケースに応じて埋設型枠を想定したセシウムを含まないモルタル･放射線遮蔽ポリウレタンシートを先行して配置した。シートの役割として放射線を遮断することコンクリートにひび割れが生じても防水性を確保することである。また耐久性、耐火性に優れていることである。このシートは2㎜厚さでＸ線を数十％、数枚重ねればほぼ 99%放射能を遮蔽できる。一方γ線遮蔽効果は１枚で 1.3%、10 枚で16%である。γ線の遮蔽効果はやや小さい。この材料の引張強度は 26-32 N/mm^2 でのびは 21-31%である。シートは高周波により現場で自由に接合できる。埋設型枠の厚さは、一律 10mm とした。海水は JISA6205 に準拠して NaCl,Na_2SO_4,MgCl・$6H_2O$ などを上水に添加した。セシウムを含むモルタルを打設･養生後、試験体表面は溶脱面とする底面以外に樹脂被膜を塗布することでセシウムの移動方向を限定した。また塩ビ管により樹脂被膜を防護するとともに試験は浸漬溶液の成分分析を、原子吸光光度法を用いて行う。また、所定の期間浸漬試験を行った供試体断面のセシウム移動の評価を蛍光Ｘ線分析とEPMA（Electron Probe Micro Analyzer）にて行う。強度試験としてφ5×10cm 円柱供試体を用いて材齢 28 日強度試験を行った。普通セメントを用いた水セメント比 50%では 37.8N/mm^2、高炉セメントの水セメント比 30%では 49.5 N/mm^2、セシュウム入りのモルタルでは 39.9 N/mm^2 であった。これら試験体を上水と海水が入った容器内に設置して溶出量を計測することにした。溶液中に溶出した量は、原子吸光光度法にて行う。溶液採取量は、100-200cc/1 回である。型枠無しの場合は２週目からかなり溶出していることが分かる。一方型枠がある場合は、溶出は１３週までほぼ遮蔽されていることが分かる。

蛍光Ｘ線分析による試験体内のセシュウム含有量の表面からの深さ方向への分布では、型枠と、シートではほぼセシュウムは型枠内に浸透していない。型枠のみの場合は若干浸透しているがこの時期では外部にはセシュウムは溶出していないことが分かる。セシュウムがコンクリートの浅い部分から拡散して溶出すると仮定するとフィックの第二法則により見かけ上の拡散係数が求まる。型枠のみの場合には 13 週目で 0.84x10^{-6}cm^2/s、型枠とシートで 4.43x10^{-10}cm^2/s の見かけの拡散係数が得られた。拡散係数は、非常に小さく今回の方法が有効であることを示している。



図―2 セシウム含有量の分布

写真―2 蛍光分析

3. 共同研究者

山路　徹　　（港湾空港技術研究所　構造研究領域　材料研究チームチームリーダー
　　早稲田大学客員教授）
佐野　清史　　（東洋建設株式会社 技術本部 総合技術研究所 部長　早稲田大学客員教授）
末岡　英二　　（東洋建設株式会社　美浦研究所長（工博））
内 藤 英晴　　（五洋建設株式会社　技術研究所部長（工博）早稲田大学客員教授）
羽渕　貴士　　（東亜建設工業(株)技術研究開発センター新材料・リニューアル技術室長（工博）
　　早稲田大学客員教授）
安　同祥　　早稲田大学　理工学術院　　准教授）

4. 研究業績

4.1学術論文

1) 清宮理、佐野清史、内藤英晴、羽渕貴士：論文　放射能に汚染され塩分を含有するコンクリートがらの封じ込め要素試験、第３回コンクリート技術大会(郡山)、2013.11,pp71-76

2) 酒井 貴洋、澤田巧、山路 徹、清宮 理：海水・海砂を用いた自己充填型コンクリートの水中コンクリートへの適用性に関する検討、コンクリート工学年次論文集、 Vol.36, 2014.7

3) 竹中寛、末岡英二、小山広光、清宮理：海水および海砂を用いた高流動コンクリートの諸特性、コンクリート工学年次論文集、 Vol.36, 2014.7,pp.753-754

4) 審良善和、佐野清史、羽渕貴士、清宮理：軍艦島湾岸コンクリートの耐久性に関する一考察、コンクリート工学年次論文集、Vol.36, 2014.7,pp.754-759

5) 田中亮一、山路 徹、審良善和、清宮理：海水・海砂を用いた自己充填型コンクリート中の鋼材の腐食特性に関する検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.36, 2014.7,pp.1216-1221

6) 清宮　理：外洋に曝せる廃墟の島の産業遺産に求められる護岸の保存技術,Challenge of Industrial Heritage Conservation, Session 7 ,July,2014

4.2　雑誌

1) 清宮理、佐野清史、内藤英晴、羽渕貴士：論文　放射能を含んだコンクリート瓦礫の作業船上での再利用化技術、機関誌「作業船」,312号,2013.6

5.　研究活動の課題と展望

本研究は震災後の復旧に関する基本となる震災瓦礫の処分法と対策の研究で社会的意義は高い。津波と放射能の影響は今後長期にわたり東北地方の経済活動、生活にとって大きな阻害要因となっている。この中でコンクリート瓦礫の処分方法を効率よく行うには再使用が有効である。特に高品質を求めない防潮堤、護岸、消波ブロックなどに適用が考えられる。ただコンクリート瓦礫には津波により塩分が付着浸透しており、この塩分はコンクリートの製造と耐久性に影響を及ぼす。これらの影響を明らかにし実用化できる海水コンクリートの製造と施工方法を検討する。また放射能に汚染されたコンクリートをどのように封緘するか、コンクリート型枠や放射線防止シートでの方法の有効性を確認するとともに、経済性、長期安定性について検討する必要がある。

金融数理および年金数理研究

研究代表者　谷口　正信
（基幹理工学部 応用数理学科　教授）

以下は早稲田大学理工学研究所プロジェクト研究「金融数理および年金数理」 の 2014 年４月---2015 年３月期間の研究年次報告である。統計数理理論としては、金融統計数理と金融時系列解析の基礎研究を発展させた。また応用としては、年金積立金のポートフォリオ運用への数理基礎理論の構築を行った。

年金積立金管理運用独立行政法人(GPIF)は、年金積立金は長期的な観点で安全かつ効率的運用を行なわれるべきであり、年金財政の安定化の視点から資産の構成(ポートフォリオ)は年金財政上の諸前提と整合的なものとなるように策定すべく動いている。また運用環境変更などによる検証を行い、必要に応じて随時見直しを行ってきた。研究代表者は、すでに GPIF 企画調査研究「公的年金運用におけるポートフォリオ最適化についての研究」(2009 年 10 月---2010 年２月)を遂行し、今回「長期運用を前提とした公的年金積立金運用の枠組みについての基礎的研究」(2011 年４月---2014 年３月)を遂行しており最新の統計的最適なポートフォリオ推測の基礎理論構築とその年金投資ポートフォリオへの応用の基礎的研究を発展させている。

本年度は、2014 年 10 月に出された新ポートフォリオのリスク評価、予測特性を調べた。
年金ポートフォリオと連動する指標との関連をみてその残差系列を調べ、連動する変数と共和分がないかを見た。また関連する基礎研究としては金融時系列モデルの Granger 因果性検定を行い、為替レートと来日観光者数の因果性をしらべ観光統計学への端緒を開いた。またオーストラリアのインフルエンザデータに因果性解析を行い、どのように感染が広まったか、Granger 検定を用いて検証した。さらには２つの時系列の相関構造を議論するとき、もうひとつの時系列データが双方に強く影響して、この影響を取り除くと、もとの２系列の相関が極めて小さくなるような場合の基礎理論構築と応用を行った。
また近年、高次元データの解析への需要が高まってきている。ただ、多くの解析は高次元独立標本での解析であった。本研究では、高次元時系列の標本平均や共分散行列にに基づく統計量の漸近的性質を種々の設定から明らかにして、高次元の影響の出方をしらべた。これは、多数の外生変数がある場合のポートフォリオ推測、リスク評価にも応用が出来ると思われる。
また、適合度検定について、ポートマントウ検定のカラクリを統計的漸近理論の立場からカイ２乗近似の有効性を明らかにした。さらには、極めて一般的な統計モデルに於いて、縮小推定量を導入して、３次の意味で、これが通常の推定量を改善する条件を求めた。これに基づいて、縮小ポートフォリオ推定量も提案した。

結論として、年金投資の現場と大学における統計数理の基礎理論の間で、意義ある協業が遂行できたと思われる。

本研究は GPIF との共同研究資金「長期運用を前提とした公的年金積立金運用の枠組みについての基礎的研究」と科学研究費基盤(A)「非対称・非線形統計理論と経済・生体科学への応用」(研究代表者：谷口正信 (A11501000))で支援された

非線形問題に対する精度保証法の確立

研究代表者　大石　進一
（基幹理工学部　応用数理学科　教授）

１．研究課題

本プロジェクトでは，大きく二つの事柄を達成する．

① 初等関数と特殊関数の高精度な精度保証付き数値計算法の確立

② 精度保証付き数値計算の非線形偏微分方程式への応用

丸め誤差や打ち切り誤差などの全ての誤差を考慮した上で，数学的に正しい結果を数値計算によって導く計算法を精度保証付き数値計算と呼ぶ．研究代表者は全ての非線形問題に対する精度保証付き解法の基礎となる区間演算を中心に，従来の計算法より高速で高可搬な効率的手法を提案し，非線形問題に対する精度保証付き数値計算の基盤を確立した．

ここではこれまでの理論を発展させ，逆三角関数などの初等関数やガンマ関数やベッセル関数などの特殊関数の数値計算について倍精度数だけを利用して（高可搬），内部では倍精度数の倍の精度で計算を行ない（高精度），精度保証付きで達成する（高信頼），既存手法より実行時間が早い（高速），計算アルゴリズムの設計法を構築する．さらに非線形偏微分方程式の数値解を含む近傍に100%間違いなく解が存在する事を計算機援用証明する手法を発展させ，「理論の高精度化」と「実用問題への応用」を目指す．

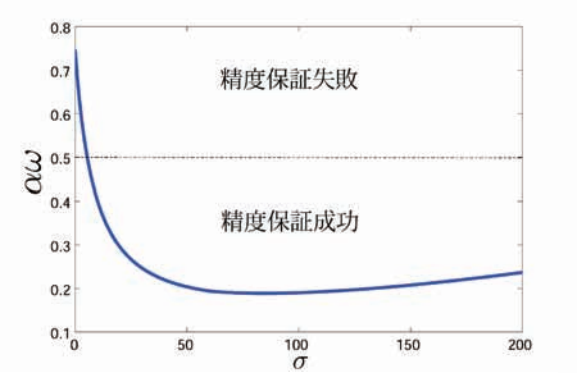
２．主な研究成果

2.1 自己共役微分作用素の固有値評価法の提案

双線形形式で表される一般的な偏微分作用素について，作用素が自己共役微分作用素の場合の固有値の下界評価のフレームワークを提案した．本フレームワークは劉・大石によって提案されたハイパーサークル法（ハイパーサークル方程式に基づく解の特異性の回避手法）の一般化である．本フレームワークと非適合有限要素法との組み合わせにより，ラプラス作用素と重調和作用素の固有値評価が可能となった．

2.2 特異摂動問題に対する精度保証付き数値計算

パターン形成などの現象を記述する偏微分方程式の特異摂動問題は，解の微分値が大きいため精度保証付き数値計算による解の検証が行いにくい．そこで，本成果では重み付き内積を解の検証のための定式化に導入し，微分値が大きい解でも精度保証ができる手法を考案した．右図の縦軸αωが0.5以下であれば精度保証付き数



図．特異摂動問題の解に対する検証結果

値計算法が成功を表す．横軸 σ が本成果において導入した重みであり，σ が 0 のときが従来手法である．従来手法では解の検証に失敗していた問題に対しても，重み内積を導入することで解の存在検証に成功するようになった．

2.3 高速精度保証法の精度改善

LU 分解を用いた連立一次方程式の精度保証付き数値計算法における適応問題の拡張を行った．大石-Rump，荻田-大石によって LU 分解を用いた高速な精度保証付き数値計算法が提案されている．本成果では，荻田-大石の手法に着目し，その誤差を改良する評価を提案した．具体的には荻田-大石の手法における正則性の検証にあらわれる三角行列の近似逆行列の事前誤差評価を改良した．本手法では H 行列の性質を利用し，三角行列の真の逆行列の誤差評価を行う事に成功し，誤差評価の改善を行った．

2.4 鞍点型行列を仮定した線形方程式に対する高速精度保証

鞍点型行列を係数にもつ線形連立方程式に対する数値解の誤差評価法を開発した．本成果は木村・陳の誤差評価法の適用範囲を拡張したものである．係数行列を鞍点型であると仮定する事により，一般的な精度保証付き数値計算手法の評価よりも高速な誤差評価が可能となった．鞍点型行列は偏微分方程式の離散化問題においてしばしば現れるため，偏微分方程式に対する解の精度保証付き数値計算への応用が期待できる．

2.4 中尾の方法を用いた楕円型偏微分作用素の可逆性検証

楕円型偏微分作用素の可逆性を検証するための精度保証付き数値計算法を提案し，既存の手法との比較を行った [Nakao et.al. 2015, JJIAM]．提案手法は，問題によっては，より低コストで可逆性を検証できるようになり，中尾の方法と呼ばれる偏微分方程式に対する解の精度保証付き数値計算手法の発展に寄与している．

３．共同研究者

劉 雪峰（理工学術院総合研究所・次席研究員）木村 拓馬（理工学術院総合研究所・次席研究員）
高安 亮紀（応用数理学科・助教）　　森倉 悠介（応用数理学科・助教）
関根 晃太（応用数理学科・助手）

４．研究業績

4.1 学術論文

Xuefeng Liu, A framework of verified eigenvalue bounds for self-adjoint differential operators, *to appear in Applied Mathematics and Computation*, 2015. (DOI:10.1016/j.amc.2015.03.048)

Neil Hoffman, Kazuhiro Ichihara, Masahide Kashiwagi, Hidetoshi Masai, Shin'ichi Oishi, and Akitoshi Takayasu, Verified computations for hyperbolic 3-manifolds, *to appear in Experimental Mathematics*.

Atsushi Minamihata, Kouta Sekine, Takeshi Ogita, Siegfried M. Rump, and Shin'ichi Oishi, Improved error bounds for linear systems with H-matrices, *to appear in NOLTA*.

Mitsuhiro T. Nakao, Yoshitaka Watanabe, Takehiko Kinoshita, Takuma Kimura, and Nobito Yamamoto, Some considerations of the invertibility verifications for linear elliptic operators, *Japan J.Indust.Appl.Math.*, Vol. 32, Issue 1, pp. 19-31, 2015.

Kazuaki Tanaka, Akitoshi Takayasu, Xuefeng Liu, and Shin'ichi Oishi, Verified norm estimation for the inverse of linear elliptic operators using eigenvalue evaluation, *Japan J.Indust.Appl.Math.*, Vol. 31, Issue 3, pp. 665-679, 2014.

Yuka Yanagisawa, Takeshi Ogita, and Shin'ichi Oishi, Convergence analysis of an algorithm for accurate inverse Cholesky factorization, *Japan J.Indust.Appl.Math.*, Vol. 31, Issue 3, pp. 461-482, 2014. (DOI:10.1007/s13160-014-0154-4)

4.2 総説・著書

なし

4.3 招待講演

"Numerical Verification of Hyperbolicity for 3-Manifolds", The Second International Conference on Engineering and Computational Mathematics(ECM2013), The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, December 2013.

4.4 受賞・表彰

K. Tanaka, JSST 2013 International Conference, Student Presentation Award.

５．研究活動の課題と展望

今後は非線形問題に対する精度保証付き解法のためにこれまでの高速精度保証手法をさらに高精度化する．具体的には LU 分解を用いた手法の改良を行う．本年度の成果により従来の手法より優れた適応範囲を示したが，これまで大規模問題では実験が行われたことがない．今後は数値実験を通して，詳細な数値実験結果をもとに大規模問題に対する高速な手法を開発，改良を行っていく．

また，非線形問題に対する精度保証付き数値計算手法の実用問題への応用として重み付き内積を反応拡散方程式に応用する．さらに解析学と結び付けて重み付き内積を検討することで，特異摂動問題以外の多くの実用問題にまで発展させる必要がある．

携帯ライフログを用いた行動支援システムに関する研究

研究代表者　甲藤　二郎
（基幹理工学部　情報理工学科　教授）

1.　研究課題

近年、携帯電話（スマートフォンを含む）は端末の普及や高度化に伴い、単なる情報発信・情報収集に加えて生活や行動を支援する高機能ツールとして発展してきた。最近では、利用者のネット内外の活動記録であるライフログを活用し、利用者の属性情報に応じたコンテンツや広告を提供するサービスの進展に期待が集まっている。そこで本研究では、携帯電話から取得したセンサ情報（位置、加速度、地磁気など）から人の移動にかかわる情報（移動履歴、移動手段等）や、本人確認情報（歩き方等）を把握し、複合的に分析することで新しいサービスの提供を目指している。

これまでは、携帯端末から取得したセンサ情報（位置、加速度、地磁気など）から特徴量を抽出し、パターン識別処理を行うことで、ユーザの移動経路、滞留点、移動手段、歩行状態（平地を歩いている、階段を上っている等）を把握することを試みた。また、その後は、携帯端末から取得したセンサ情報を活用して、通信品質の良好な移動経路を提供するナビゲーションシステムや、移動経路に沿って省電力特性の優れたコンテンツ配信を実現するシステムの開発を試みている。

本報告では、特に後者の話題を取り上げ、携帯端末を用いた通信品質情報の取得とそれを活用したコンテンツ配信技術の開発、ならびに、各種の無線通信手段を用いた場合の高精細コンテンツ配信の特性評価、に関する研究成果を紹介する。

2. 主な研究成果

2.2. 無線ネットワークの通信品質の可視化

2.2.1. 目的

近年、スマートフォンやタブレット端末などで利用できる無線規格は多様化してきている。さまざまな無線規格がある中で、バッテリーの持ちに不満がある多くのユーザは通信速度や消費電力を気にかけながら端末を利用しなければならない。したがって、本稿では消費電力モデルを作成し、ユーザの位置情報や基地局の位置情報、RSSI、スループット、CPU 使用率、消費電力を計測することによって無線通信のネットワーク品質の可視化を行う。さらに、それをもとに MPEG-DASH によって 4K 映像配信時の QoS、QoE 評価を行う。

2.2.2. MPEG-DASH

MPEG-DASH は適応レート制御方式であり、マルチメディアコンテンツを複数ビットレートで圧縮・保存しておくことで、ネットワークの状態に応じて映像の品質を変化させることができる。MPEG-DASH ではコンテンツをレプリゼンテーションと呼ばれる階層構造で定義している。1 つの映像は、k 秒（典型値は 2～3 秒）ごとに分割された複数のセグメントで構成されている。各セグメントは、複数のビットレートが定義され、階層的に圧縮されている。クライアント側では、セッション開始前に Media Presentation Description(MPD)と呼ばれるセグメント情報の階層構造を定義した XML ファイルを読み込むことで、ネットワーク品質の変動に適応して適切なビットレートのコンテンツを選択することができる。

2.2.3. 予備実験

本実験では、ネットワーク品質の可視化に向けて消費電力予測モデルの作成を行った。今回作成する予測モデルは、スループットと消費電力の関係、CPU 使用率と消費電力の関係である。消費電力の測定機器には Monsoon Power Monitor を使用する。計測消費電力は、計測時間に対する平均値[mW]である。今回は、この計測値を、通信に関する消費電力の場合は 1bit 受信するためにかかる消費電力量[mJ/bit]、それ以外の場合は[mJ]に変換する。

2.2.3.1. スループットと消費電力の関係

この実験では、研究室内の Ubuntu サーバから、LTE や Wi-Fi を用いて、スマートフォン GalaxyS4 を用いて動画 1 セグメントをダウンロードする。そのダウンロードにかかった時間を計測し、スループットを算出し、その時の消費電力を計測する。その結果に基づくスループットと消費電力の関係の近似式を以下に示す。

LTE の場合：

$$y=2.42\times 10^{-6}+1008.3\times 10^{-6} \quad (1)$$

(最大誤差：233×10^{-6} [mJ/bit]、平均誤差：59.7×10^{-6} [mJ/bit])

2.4GHz 帯 WiFi の場合：

$$y=1.61\times 10^{-6}x+584.4\times 10^{-6} \quad (2)$$

(最大誤差: 260×10^{-6} [mJ/bit]、平均誤差：68.9×10^{-6} [mJ/bit])

5GHz 帯 WiFi の場合：

$$y=1.14\times 10^{-6}x+629.1\times 10^{-6} \quad (3)$$

(最大誤差：251×10^{-6} [mJ/bit]、平均誤差：63.3×10^{-6} [mJ/bit])

ここで x はスループット[Mbps]の値、y は消費電力[mJ/bit]の値を示している。また、式(1)は LTE、式(2)は 2.4GHz 帯の Wi-Fi、式(3)は 5GHz 帯の Wi-Fi を使用したときの式である。上記の計測消費電力は、通信以外の機能にかかる消費電力を減算して算出している。この結果から、LTE は Wi-Fi に比べて比例定数と切片が大きくなり、消費電力が大きくなることがわかる。LTE は、Wi-Fi より端末と基地局、AP 間の制御が多いことから消費電力が多くなっていることが予測できる。

2.1.3.2. CPU 使用率と消費電力の関係

この実験では、GalaxyS4 内で様々なアプリケーションを使用し、そのアプリケーション使用時の CPU 使用率と消費電力を計測する。その結果を以下に式に示す。

$$y=14.02x+1107.7 \quad (4)$$

(最大誤差 830.7[mJ]、誤差平均：422.1[mJ])

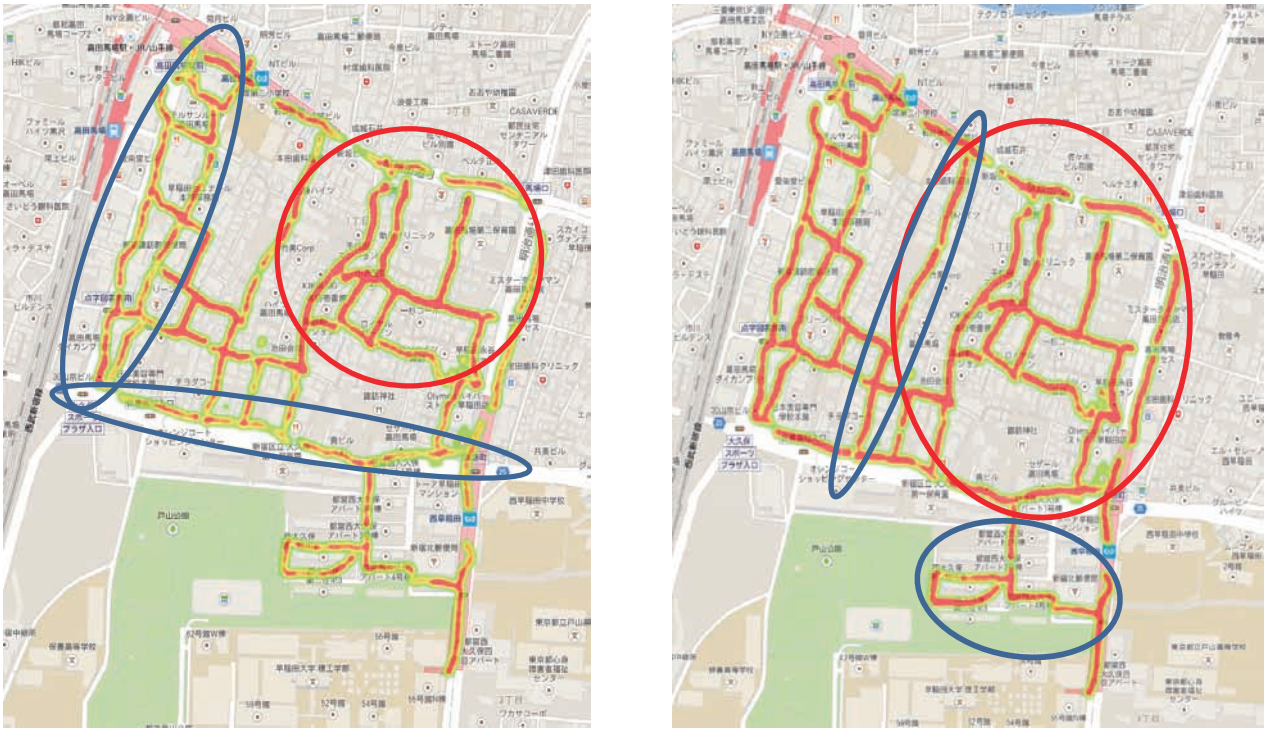
ここで x は CPU 使用率[%]の値、y は消費電力[mJ]の値を示している。上記の式の消費電力は CPU 使用率を計測しているアプリケーション以外にかかる消費電力を減算して算出している。この結果から、式(1)、(2)、(3) に比べて最大誤差と誤差平均が大きくなっていることがわかる。これは、計測に使用しているスマートフォンで、CPU 使用率を計測するアプリケーションの裏で他の処理が行われており、その分の消費電力を減算できていなかったことが原因として考えられる。

2.1.4. 評価実験

2.1.4.1. 実験 1 ～スマートフォン端末によるクラウドコンピューティング活用～

実験 1 では、GalaxyS4 を用いて、徒歩での移動を行いながら、スループット[Mbps]、受信電波強度(RSSI)[dBm]、ユーザの位置情報、基地局の位置情報、CPU 使用率[%]を計測し、ネットワーク品質を Google マップ上に可視化する。早稲田大学理工キャンパスのタリーズ前を出発地点として、なるべく遠回りをしないことを前提に、目的地である高田馬場ロータリーまで向かう経路上の通信品質の可視化を行った。その結果を図 1 に示す。

図 1(a)の実験結果では、赤丸はスループットの高い地点を、青丸はスループットの低い地点を示している。この結果から、住宅が密集する地帯のスループットが高く、大通りに面する地帯で、かつ昼間の人が密集する地点のスループットが低い傾向が見られる。また、この実験では基地局の位置情報の取得も行っている。この取得した基地局の位置情報から、住宅が密集する地帯に多くの基地局が建てられていることがわかる。このようなことから、1 つの基地局あたりに接続しているユーザ数が少なくなる赤丸の地点のスループットが高くなるということがわかる。



(a) スループット　　(b) 消費電力

図 1: スループットマップ(左)と消費電力マップ(右)

さらに、図 1(b)の実験結果では、赤丸は消費電力の高い地点を、青丸は消費電力の低い地点を示している。しかし、視覚的に品質の差がわかるような実験結果は得られなかった。この可視化の重みづけ係数に用いている CPU 使用率は、あまり通信品質によって大きく異ならず、そのほかのディスプレイ表示やデータの書き込みなどの処理によって大きく変化するという予測のもと、LTE のスループットに対する CPU 使用率を測定した。その結果を以下の式に示す。

$$y = 15.241\ln(x) + 33.638 \tag{5}$$

(最大誤差 29.3[%]、誤差平均 14.6[%])

この近似式から、スループットが極端に小さい値をとるとき以外は、あまり CPU 使用率の値は変化しないということがわかり、視覚的に品質の差がわかるような実験結果は得られなかったのではないかと予測する。

2.1.4.2. 実験 2 ～4K 映像を用いた DASH 配信評価～

この実験では、図 1 を用いて経路を視覚的に選択し、その経路を徒歩で移動しながらの DASH 配信評価を行う。DASH-JS で構築された Ubuntu サーバから、MPEG-DASH を用いてコンテンツを GalaxyS4 に携帯電話事業者の LTE 通して配信する。その時のレプリゼンテーションの選択レート[Mbps]とスループット[Mbps]を計測し、その平均値を比較することでネットワーク品質可視化マップの有効性を評価する。まず、図 1 の左図を用いて最も通信品質が良いと予測される経路 1 と最も通信品質が悪いと予測される経路 2 を視覚的に選択し、以下の図 2 に示す。

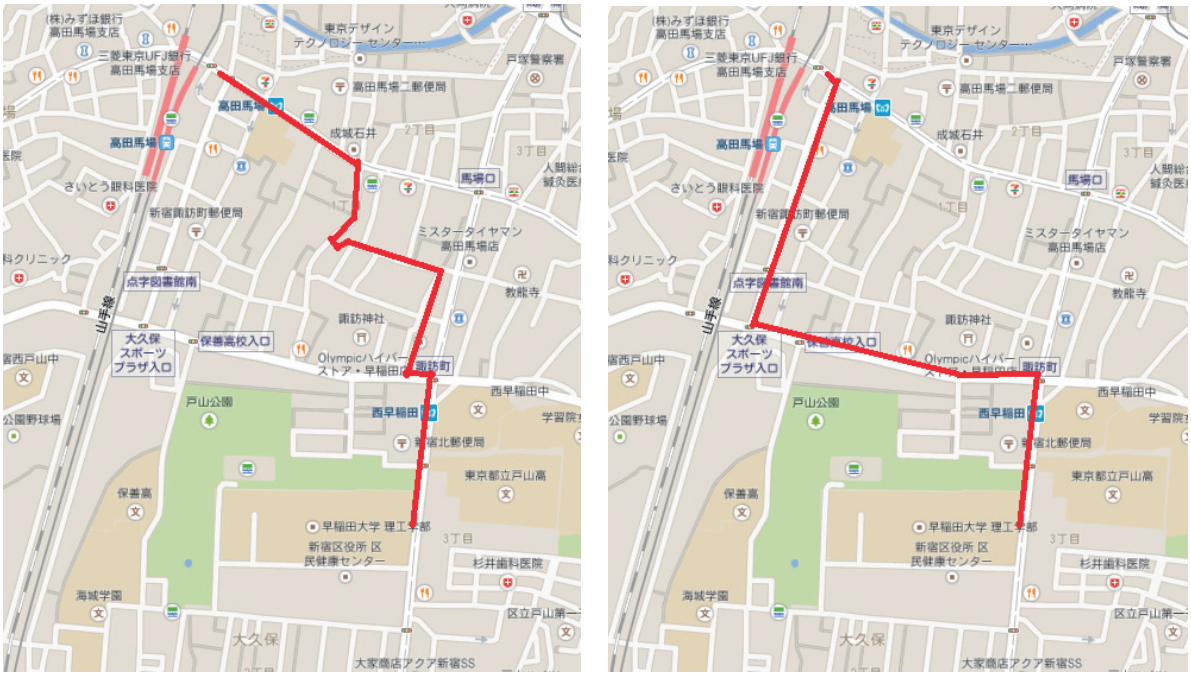


図 2:: 最良品質が予測される経路 1(左)と最悪品質が予測される経路 2(右)

上記の経路を移動することで計測した通信品質の比較実験結果を図 3 に示す。スループットマップから予測される通信品質の良好な経路を選択することで、通信速度が速く、高画質なビットレートの動画が配信されることがわかり、ネットワーク品質可視化の有効性が示せた。

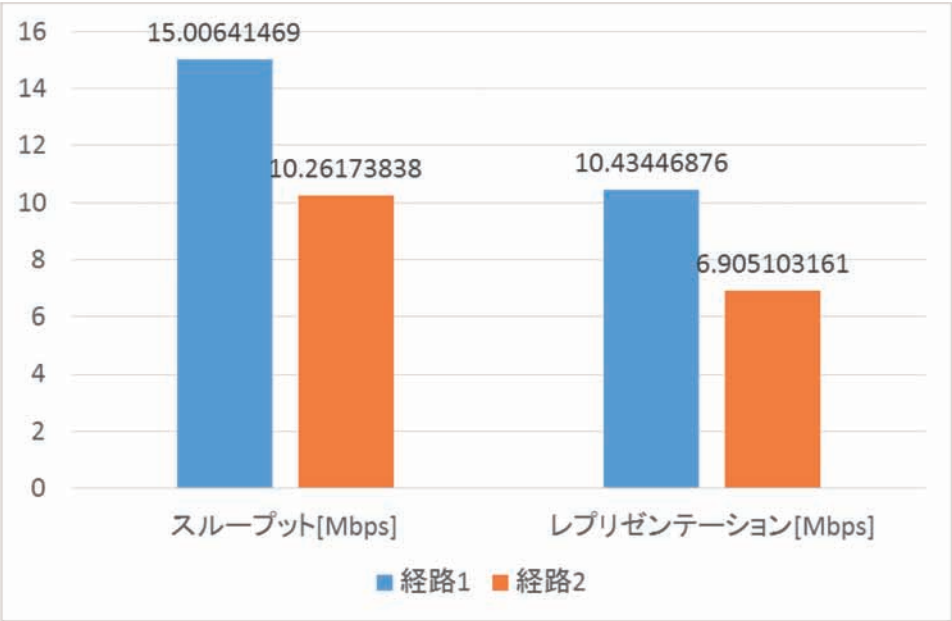


図 3: 経路 1 と経路 2 の通信品質の比較

2.1.5. まとめ

本研究では、通信速度と消費電力の観点からネットワーク品質の可視化を行った。まず、Monsoon

Power Monitor を用いて消費電力モデルを作成した。このモデルから作成したネットワーク品質可視化マップを用いて経路を選択し、4K 映像の DASH 配信実験を行った結果、スループットマップから予測される通信品質の良い経路を選択することで、通信速度が速く、高画質なビットレートの動画配信を実現できた。今後は消費電力マップの評価実験を進める予定である。

2.2. 無線ネットワークにおける 4K/2K 映像の DASH 配信評価

2.2.1. 目的

近年、無線ネットワークの広帯域化に伴い高品質な映像配信の需要が増加している。またその視聴形態は多様化し、移動環境やアクセスユーザ数が多い環境においても高品質な映像配信の提供が求められる。本研究では MPEG-DASH を用いて、LTE、2.4GHz 帯 WiFi、5GHz 帯 WiFi のそれぞれで映像配信を行った際の品質特性の評価を行った。

2.2.2. 実験環境と評価項目

DASH 配信を行うため、研究室内に DASH-JS を用いた配信サーバを構築した。配信映像の解像度は 4K と 2K の 2 つを用意し、いずれも H.264/AVC で圧縮した。圧縮レートを示すレプリゼンテーションは 4K は 3〜50[Mbps]の範囲で、2K は 1〜5[Mbps]の範囲で行った。評価項目は、受信端末のバッファサイズ[sec]、スループット[Mbps]、レプリゼンテーション[Mbps]、RSSI[dBm]、PSNR[dB]の 5 つとした。

2.2.3. 移動環境における DASH 配信評価（少ユーザ数の場合）

移動無線環境における 4K 映像の配信実験として、副都心線の西早稲田駅〜池袋駅間においてサーバへの同時アクセスユーザ数を変化させながら、LTE を用いた配信実験を行った。そのときのスループットとレプリゼンテーションの平均値を表 1 に示す。

表 1: 地下鉄乗車時の平均受信品質

ユーザ数 [台]	Throughput [Mbps]	Representation [Mbps]
1	18.4	11.3
2	9.8	6.4

表 1 より、ユーザ数の増加に伴い、通信品質は低下することがわかる。静止している場合に比べて移動している場合は、RSSI 変動に伴い品質変動が激しく、平均品質は低下し再生中断が発生することもある。ここに、1 ユーザの場合の配信品質の時間遷移を図 4 に示す。この図を見ると、現在の東京の地下鉄では移動中も LTE 接続が可能になっており、区間によって変動はあるものの、比較的安定した通信品質が提供されていることがわかる。また、ライブ配信とは異なり、事前の圧縮が完了している VoD (Video on Demand) 型の配信の特徴として、周期的にコンテンツをまとめて送信しては（プリフェッチを行っては）休止する ON-OFF 配信制御（後述）の様子が受信バッファ量の挙動として読み取れる。

結果は省略するが、ユーザ数増加に伴う品質低下は、WiFi を用いた場合も同様であり、周辺 AP からの干渉を大きく受ける 2.4GHz 帯よりも、チャネルに余裕がある 5GHz 帯を用いた方が品質は高く、移動時の最高スループットは LTE を用いた場合よりも高い。しかし、池袋駅(丸ノ内線ホーム〜副都心線

ホーム間)を徒歩で移動した際、平均スループットは 31.4[Mbps]であったが、AP あたりのカバレッジが狭いために頻繁に RSSI が低下し、それに伴い 3 回に渡ってハンドオーバを行い、そのタイミングで品質が低下し、再生の中断が発生することも確認した。

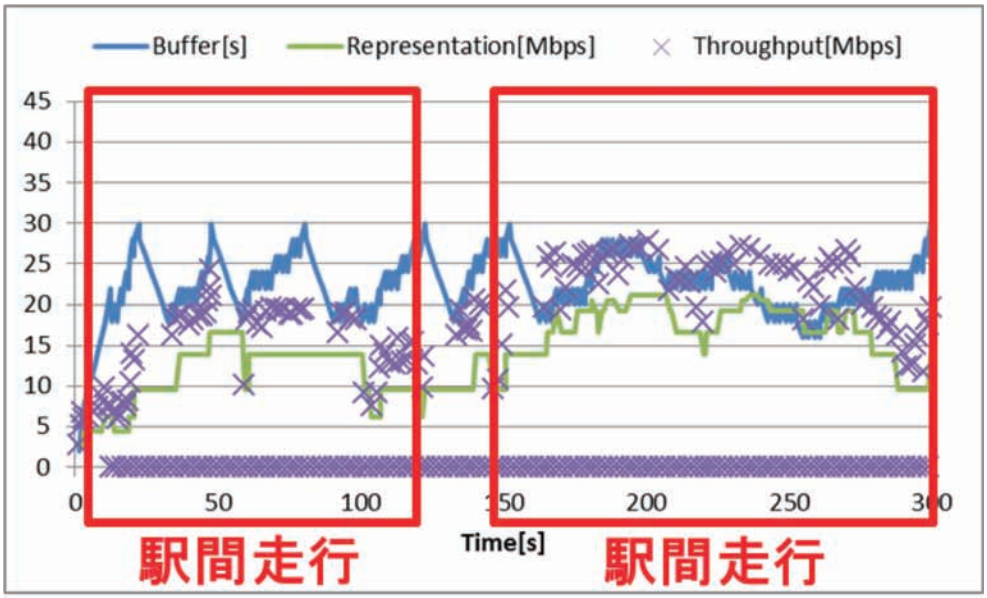


図 4: 地下鉄乗車時の通信品質の時間遷移(1 ユーザの場合)

2.2.4. 移動環境における DASH 配信評価（多ユーザ数の場合）

DASH-JS では Long On-OFF Cycles と呼ばれるバッファリング手法を採用している。これは、通信フェーズ（セグメントの取得と映像再生を同時に行う）と非通信フェーズ（映像再生のみ）を周期的に繰り返す動作を示し、受信側の最大・最小バッファサイズで規定される。デフォルトの DASH-JS では、最大バッファサイズは 30[sec]、最小バッファサイズは 20[sec]と設定されている。本節では、最大サイズを 30、 40、 50[sec]と変化させ、その際の品質特性を評価した。図 5 と図 6 に実験結果を示す。

図 5 を見ると、2.4GHz 帯の WiFi を用いた 4K 映像配信では、レプリゼンテーションがスループットを上回ってしまうため、途中で再生が中断していることがわかる。また、最大バッファサイズの増加に伴いスループットが減少しているが、これは、長期間に渡って複数ユーザ間の競合が発生したことによる品質低下であると考えられる。 ユーザ間の競合は、ストリーミング配信の ON-OFF 制御の ON 期間（セグメント取得期間）の長さに関係し、最大バッファサイズの増加に伴い、ON 期間も増加するために競合の発生頻度も増大する。

一方、2.4GHz 帯の WiFi を用いた 2K 映像配信では、最大バッファサイズが 40[sec]、50[sec]、30[sec]の順にスループットが高くなっていることがわかる。これは、2K 映像の場合は帯域に余裕があり、最適な配信レートの動画を取得できているため、動画セグメントの取得時間が長引くことは無く、ある程度まで最大バッファサイズを大きくすることで非通信フェーズの期間が長くなり、ユーザ間の競合が発生しにくくなるためだと考えられる。しかし、最大バッファサイズを大きくし過ぎると、バッファを満たすのに時間がかかるようになり、複数ユーザ間の競合時間が長くなってしまい、スループットの低下が発生すると考えられる。この現象は、図 6 の 5GHz 帯 WiFi を用いた 4K 配信においても見て取ることができる。

最後に、図 6 における 5GHz 帯 WiFi を用いた 2K 映像配信では、最大バッファサイズを大きくとるにつれてスループットが単調増加することがわかる。これは、可用帯域に対して配信レートが小さいため、バッファを満たすのに要する時間が短く、実験した範囲内において、最大バッファサイズを上げても ON 期間の増加が十分に小さく抑えられたためである。それに伴い、バッファの最大サイズ到達後の OFF 期間（非通信フェーズ時間）が長くなることで、ユーザ間の競合をより避けやすくなると考えられる。

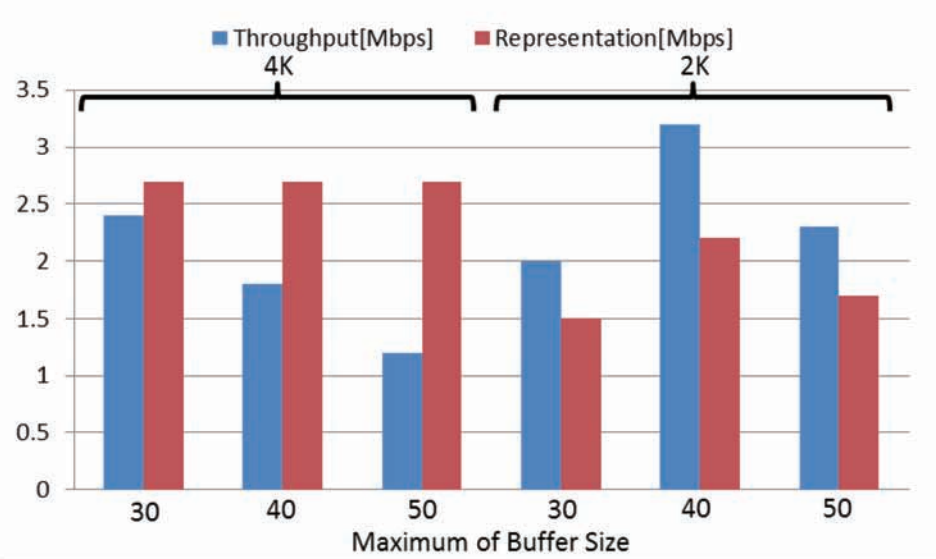


図 5: 2.4GHz 帯 WiFi を用いた場合の配信特性

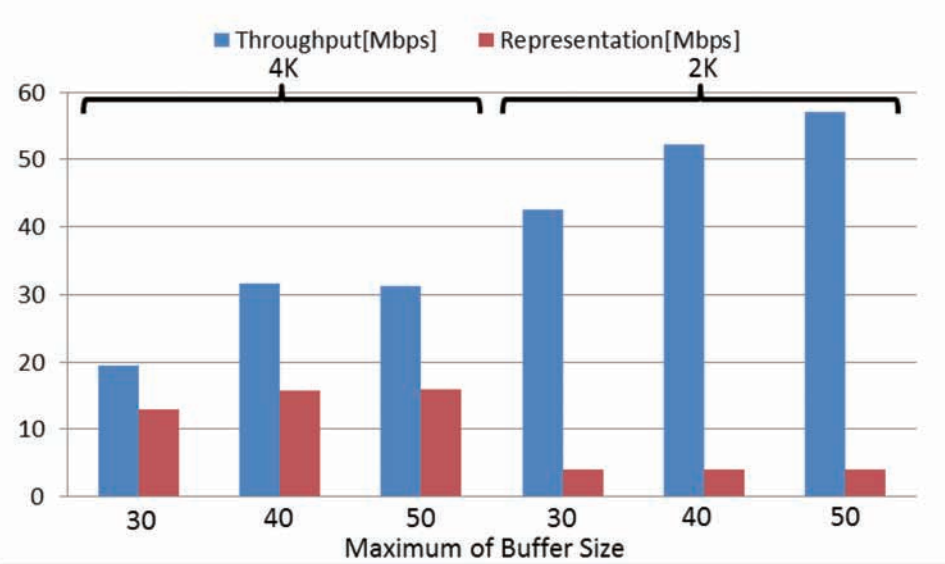


図 6: 5GHz 帯 WiFi 帯を用いた場合の配信特性

2.2.5 まとめ

本稿では、無線通信環境における MPEG-DASH を用いた映像配信特性を評価した。今回は実験的な観測を行ったが、今後は ON-OFF 制御とバッファリングに関する解析モデルの構築や、他人数環境における映像配信品質の改善方法の提案を検討している。

3. 共同研究者

山崎　恭（北九州市立大学・准教授）
市野　将嗣（電気通信大学・助教）

4. 研究業績

[1] 竹中幸子他: “4K 映像を用いた無線ネットワーク上での DASH 配信評価”、電子情報通信学会ネットワークシステム研究会、Nov.2011.
[2] 原田臨太朗他: “4K/2K 映像を用いたマルチユーザ DASH 配信評価”, 電子情報通信学会総合大会、Mar.2015.
[3] 市野将嗣他: “交通機関を利用したコンテンツ配信システムのための電車による移動状態の識別に関する検討”、電子情報通信学会総合大会、Mar.2015.

5. 研究活動の課題と展望

今後検討すべき課題を以下に示す。

- 携帯端末による通信品質収集と省電力コンテンツ配信
  今回の報告では、消費電力マップの作成までは行ったが、スループットと同様の消費電力予測に基づくコンテンツ配信は未着手であり、2015 年度中の完了を目指す。また、今回の報告は小規模なものであり、観測者、端末数、観測場所などを拡大した通信品質収集を行う。
- 人間の行動識別に基づくインタラクティブなコンテンツ配信
  昨年度からの継続課題として、各種のセンサ情報や画像音響処理を組合せ、よりインタラクティブなコンテンツ配信を行う手段の開発を進める。

ナノ／マイクロバイオシステムの研究

研究代表者　庄子　習一
（基幹理工学部 電子光システム学科　教授）

１．研究課題

細胞から生体一分子を、機能を損なうことなく抽出・分離・集積し、その機能観察及び計測をリアルタイムに行う、新しいマイクロ流体システムの構築を目的とする。この目的の実現のため、細胞からオルガネラ／タンパク質を、機能は維持したまま取り出す技術の構築、細胞及びオルガネラ/タンパク質の機能を維持したまま分離するソーティング技術の構築、多サンプルの同時処理のためにマイクロ流路を三次元化する技術の構築、および、生体分子の機能を維持したまま外界刺激が可能で、ある期間生体分子の機能が維持される IN LINE 観察場の構築に関する要素技術の確立と、それら要素技術を集積化したマイクロ流体システムの構築を行う。

２．主な研究成果

(1) 三次元シースフローを用いたマイクロ流体デバイス

マイクロ流路中では、レイノルズ数の構成パラメータのうち流路壁面との摩擦係数が支配的になるので、流れは基本的に全て層流となる。これを利用して、流路中でさや流（シースフローと呼ぶ）を三次元的に形成し、これを利用して生物試料等を搬送する方法について研究を進めてきた。これにより、柔らかい物質が流路壁に接触することなく搬送可能となり、細胞やオルガネラの搬送に関して新しい道が開ける。また、三次元シースフローの断面形状を利用して環状の構造物を作製する事も可能となり、新しい材料の作製方法として用いることもできる。そこで今年度は、三次元シースフローを用いた人工血管作製に関する基礎実験を行った。その結果数十 cm 単位での人工血管の作製に成功した。（図 1）

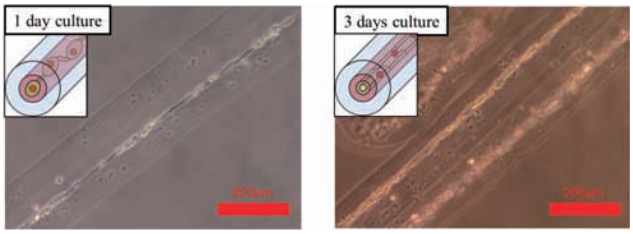


図１：三次元シースフローを用いた
人工血管の作製

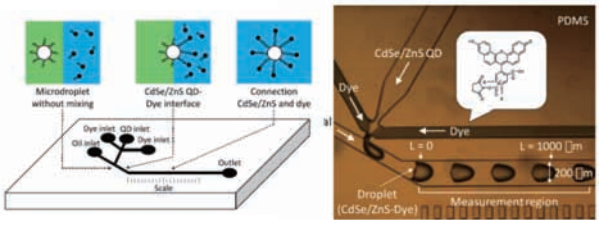


図２：液滴内でのナノ粒子表面に対する
たんぱく質の修飾

(2) マイクロ液滴を用いたマイクロ流体デバイス

マイクロメートルスケールの流路の中を流れる液体は層流となる性質があり、液体の粘性がある程度高いと流れが安定となる。この性質を利用して混じり合わない液体、例えば水と油の２層流をＴ字型あるいは十字型流路に導入することで均一な微小液滴を生成することが可能である。今後、実用的なナノ・マイクロバイオシステムを実現する上で、細胞や生体分子を液滴に閉じ込めて搬送することで流路壁との衝突などで生じるダメージから保護すること、液滴自体を反応や培地として用いることが有効と考えられる。今年度は昨年度までに開発したマイクロ流路を用いたそれぞれの微小液滴の生成技術を応用して、液滴の分割と融合に関する技術を開発した。また、本技術を用いて実際に液滴内でのナノ粒子表面に対するたんぱく質の修飾に成功した。（図 2）

３．共同研究者

船津　高志　（東京大学・薬学系研究科・教授）
本間　敬之　（理工学術院・教授）
武田　直也　（理工学術院・准教授）
福田　武司　（埼玉大学　理工学研究科　助手）

４．研究業績

【学術論文】

1. Dong Hyun Yoon, Daisuke Wakui, Asahi Nakahara, Tetsushi Sekiguchi and Shuichi Shoji, “Selective droplet sampling using a minimum number of horizontal pneumatic actuators in a high aspect ratio and highly flexible PDMS device”, RSC Adv., 2015, 5, pp.2070–2074
2. T. FUKUDA, T. KURABAYASHI, H. UDAKA, N. FUNAKI, M. SUZUKI, D.H. YOON, A. NAKAHARA, T. SEKIGUCHI, and S. SHOJI, “Chemical reaction in microdroplets with different sizes containing CdSe/ZnS quantum dot and organic dye”, IEICE Transactions on Electronics Vol. E98.C(2015) No. 2, pp.123-126
3. T. Fukuda, N, Funaki, T. Kurabayashi, M. Suzuki, D.H. Yoon, A. Nakahara, T. Sekiguchi, S. Shoji, “Real-Time Monitoring of Chemical Reaction in Microdroplet Using Fluorescence Specctroscopy”, Sensors and Actuators B 203 (2014) pp.536-542 DOI: 10.1016/j.snb.2014.06.045
4. D.H. Yoon, A. Jamshaid, J. Ito, A. Nakahara, D. Tanaka, T. Akitsu, T. Sekiguchi, S. Shoji, “Active Microdroplet Merging by Hydrodynamic Flow Control Using a Pneumatic Actuator-Assisted Pillar Structure”, Lab on a Chip (2014) pp.3050-3055, DOI: 10.1039/c4lc00378k
5. Dong Hyun Yoon, Satoshi Numakunai, Asahi Nakahara, Tetsushi Sekiguchi and Shuichi Shoj, ” Hydrodynamic on-rail droplet pass filter for fully passive sorting of droplet-phase samples”, RSC Adv., 2014,4, 37721-37725, DOI:10.1039/C4RA08354G
6. Dong Hyun Yoon, Hironobu Sato, Asahi Nakahara, Tetsushi Sekiguchi, Satoshi Konishi, Shuichi Shoji,” Development of an electrohydrodynamic ion-drag micropump using three-dimensional carbon micromesh electrodes”, Journal of Micromechanics and Microengineering 07/2014; 24(9):095003. doi:10.1088/0960-1317/24/9/095003

【講演】

1. S. Shoji, D.H. Yoon, J. Ito, S. Numakunai, T. Sekiguchi, “In Channel Microdroplet Handling Devices for Precise Bio/Chemical Analysis and Synthesis”, The 6th International Symposium on Microchemistry and Microsystems (ISMM 2014), 2014.07.30, Singapore (2014) pp.17-18
2. S. Shoji, D.H. Yoon, A. Nakahara, J. Mizuno, T. Sekiguchi, “High Throughput Micro/Nano Systems for Chemical and Biochemical Applications”, The 18th Nano Engineering and Microsystem Technology Conference (NMC 2014), 2014.08.21, Southern Taiwan University, Tainan, Taiwan (2014)
3. S. Shoji, “Digital/Analog Micro Fluidic Devices and Systems for Bio/Chenical Applications – Symmetry between Integrated Circuits and Micro Fluidic Systems –“, IEEE CPMT Symposium Japan 2014, 2014.11.04, Kyoto (2014)
4. S. Shoji, D.H. Yoon, T. Sekiguchi, “Microdroplet Based Fluidic Devices and Systems for Bio/Chemical Analysis”, 10th International Symposium on Electrochemical Micro & Nanosystem Technologies, 2014.11.08, Okinawa (2014)

【受賞】

1. 「IEEE CPMT Japan Chapter Young Award」、M. Ajayan, A. Shigetou, J. Mizuno, S. Shoji, “Room-Temperature Direct Bonding of Graphene Films by Means of Vacuum Ultraviolet (VUV)/Vapor-Assisted Method”, 2014 International Conference on Electronics Packaging (ICEP 2014), 2014.04.25, Toyama (2014)

【学会】

1. T. Fukuda, T. Kurabayashi, H. Udaka, D.H. Yoon, M. Suzuki, A. Nakahara, T. Sekiguchi, S. Shoji, “Quantitative Analysis of Chemical Reaction in Microdroplets with Different Sizes Containing CdSe/ZnS Quantum Dot and Organic Dye”, 2014 MRS (Material Research Society) Fall Meeting, 2014.11.30-12.05, Boston, USA (2014) （12/2　Poster）
2. K. Shih, M. Isokawa, T. Kanamori, D.H. Yoon, T. Sekiguchi, J. Mizuno, T. Funatsu, M. Tsunoda, S. Shoji, “Porous Pillar Array Formation Using Isotropic Xenon Difluoride Etching for Liquid Chromatography Microchip”, 2nd International Conference on Microfluidic Handling Systems (MFHS 2014), 2014.10.08-10, Freiburg, Germany (2014)
3. T. Sakurai, R. Iizuka, R. Sekine, Y. Nakamura, D.H. Yoon, T. Sekiguchi, J. Ishii, A. Kondo, S. Shoji, and T. Funatsu, “PEPTIDE-BASED LIGAND SCREENING SYSTEM FOR GPROTEIN-COUPLED RECEPTORS USING WATER-IN-OIL MICRODROPLETS”, The 18th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, pp.965, µTAS 2014 Conference - October 26-30, (2014) - San Antonio, Texas, USA. (Poster)

５．研究活動の課題と展望

今後は、引き続きナノ／マイクロデバイスの要素技術・基本デバイスの改良を進めるとともに，システム化とその応用をさらに進めていくことによって、新しい知見が得られることを期待している。

ロボティック・センス・オブ・ムーブメント

研究代表者　高西　淳夫
（創造理工学部　総合機械工学科　教授）

1.　研究課題

本研究では，外見だけでなく内面の運動制御系についても人体運動が模擬可能な２足ヒューマノイド・ロボットの開発を通して，ヒト感覚・運動機能を解明することを目的とする．

これまでに２足ヒューマノイド・ロボット WABIAN-2 を開発し，ヒトと同じく骨盤の回旋運動を巧みに利用することで，従来の２足歩行ロボットでは難しかった膝関節を伸ばした歩行を実現してきた．また，ヒトの歩行解析を通してバランス制御を開発し，ロボット内面の運動制御系もヒトに近づけてきた．しかし，そのロボットの足部に注目すると，ヒト足部の機械的特性が模擬できていなかった．そこで本年度は，ヒト足部の内側縦アーチの機械的特性や皮膚の機械的特性，靴の機械的特性を模擬可能な足部機構を開発することを目的とする．

2.　主な研究成果

2.1　アーチ構造の機械的特性の模擬

ヒト足部には，内側縦アーチ，外側縦アーチ，横アーチの 3 つのアーチ構造がある．特に，内側縦アーチが歩行中に変形することで柔軟性が変化することに特徴があり，単に「アーチ」と呼ぶ場合，この内側縦アーチのことを指す．外側縦アーチと横アーチは内側縦アーチに比して変形量が小さく，柔軟性の変化が乏しいため，本研究では歩行への影響が大きいと考えられる内側縦アーチのみに注目する．アーチ弾性の模擬は，高さの異なる 2 種類のばねを並列に用いることで実現することとした．

2.2　皮膚の機械的特性の模擬

ヒト足部の皮膚は体表から表皮，真皮，皮下組織の 3 層に分かれており，部位によって皮膚の厚さも異なるが，本研究では，図 1 に示すように，圧縮方向とせん断方向に弾性をもつ一定の厚さの弾性体としてモデル化した．皮膚の圧縮弾性係数の目標値に関しては，先行研究を参考に 0.136MPa とした．しかし，せん断弾性係数については先行研究例が見当たらなかったため，足裏のせん断弾性特性を測定するための装置を開発し，実際に測定することとした．

開発した測定装置を用いて，足裏のせん断弾性の測定を行った．被験者は男性 3 名（年齢：23.2 ± 0.70 歳，体重：61.0 ± 3.5kg，身長：1670 ± 42mm）である．重りを 1.5〜7.5kg の範囲で 1.5kg ごとの 5 段階に変え，せん断力と足裏の変形量を測定した．なお測定は，それぞれの荷重に対して 5 回行い，前後方向と左右方向の 2 通りで行った．測定データから一次関数の最小二乗法によりせん断弾性係数を求めた．この結果より，足裏皮膚のせん断弾性係数の目標値を 11.2N/mm と設定した．

足裏皮膚の機械的特性を模擬する軟素材に関しては，まず圧縮弾性係数の目標値である 0.136MPa よ

り，アスカーC 硬度 0 の人肌ゲル（圧縮弾性係数：0.12MPa）を選定した．人肌ゲルは人肌に近い柔らかさを持った超軟質ウレタン造形用樹脂（株式会社エクシールコーポレーションより販売）である．そして，せん断弾性係数の目標値の 11.2N/mm を満たすように，人肌ゲルの厚みを調整した．

2.3　着靴可能な足部機構

開発した着靴可能な足部機構を図 2 に示す．足部重量は 0.85kg であり，足部全体の寸法および関節軸の位置は，成人女性の足部の平均寸法を 2 足ヒューマノイド・ロボット WABIAN-2R の身長 1500mm で換算した数値をもとに決定した．なお，足部機構の外形は靴が履けるように設計している．爪先関節は受動関節となっており，アーチ軸と内側爪先軸，外側爪先軸の計 3 自由度の受動関節を持つ．

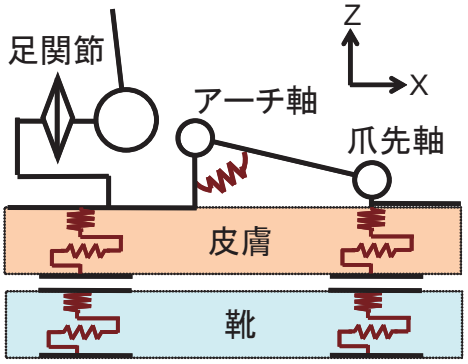


Fig. 1　ヒト足部のモデル化

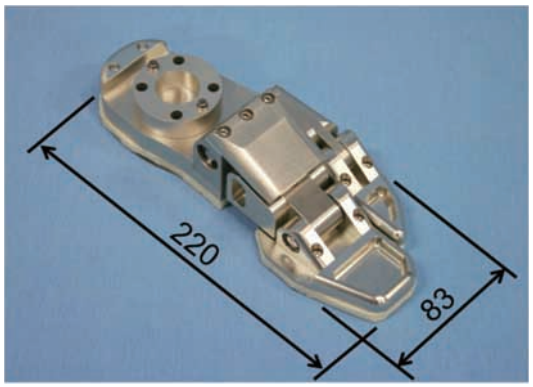


Fig. 2　ヒト足部の機械的特性を模擬した着靴可能な足部機構

3.　共同研究者

橋本　健二（理工学研究所・次席研究員）　　Aiman Musa Mohamed Omer（理工学術院・助教）
林　憲玉（理工研・客員教授）

4.　研究業績

4.1　学術論文

- Yueh-Hsuan Weng, Yusuke Sugahara, Kenji Hashimoto and Atsuo Takanishi, “Intersection of “Tokku” Special Zone, Robots, and the Law: A Case Study on Legal Impacts to Humanoid Robots,” International Journal of Social Robotics, February, 2015.
- Matthieu Destephe, Martim Brandao, Tatsuhiro Kishi, Massimiliano Zecca, Kenji Hashimoto and Atsuo Takanishi, “Walking in the Uncanny Valley: Importance of the Attractiveness on the Acceptance of a Robot as a Working Partner,” Frontiers in Psychology, Vol. 6, No. 204, February, 2015.
- Aiman Omer, Kenji Hashimoto, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, “Study of Bipedal Robot Walking Motion in Low Gravity: Investigation and Analysis,” International Journal of Advanced Robotic Systems, 11:139, 14 pages, September, 2014.

4.2　総説・著書

- Kenji Hashimoto, Hideki Kondo, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, “Online Walking Pattern Generation

Using FFT for Humanoid Robots," Motion and Operation Planning of Robotic Systems: Background and Practical Approaches, pp. 417-438, Springer International Publishing, March, 2015.

4.3　招待講演

- "Humanoid Robotics Research and Its Applications", 2014 IEEE International Conference Robotics and Biomimetics, Bali, Indonesia, December, 2014.
- "Humanoid Robotics, and History and Culture of Japan -Comparison between Western Countries and Japan through the View of Humamoid", the 2nd International Conference on Universal Village, Boston, USA, June, 2014.

4.4　受賞・表彰

4.5　学会および社会的活動

- 日本ロボット学会副会長.
- International Steering Committee, "ROMANSY-2014 XX CISM-IFToMM SYMPOSIUM on Theory and Practice of Robots and Manipulators," Moscow, Russia, June, 2014.

4.6　国際会議における発表

- Martim Brandão, Kenji Hashimoto, José Santos-Victor and Atsuo Takanishi, "Gait planning for biped locomotion on slippery terrain," Proceedings of the 14th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2014), pp. 303-308, Madrid, Spain, November, 2014.
- Yukitoshi Minami, Przemyslaw Kryczka, Kenji Hashimoto, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, "Heel-contact Toe-off Walking Model Based on the Linear Inverted Pendulum," Proceedings of the 5th IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob 2014), pp. 221-226, São Paulo, Brazil, August, 2014.

4.7　国内学会における発表

- 橋本健二，本橋弘光，吉村勇希，林憲玉，高西淳夫，"ヒト足部の機械的特性を模擬した着靴可能な足部機構の開発，" 第 32 回日本ロボット学会学術講演会予稿集，1M3-05，福岡県，2014 年 9 月.
- 猪飼哲夫，高西淳夫，橋本健二，"２足歩行ロボットのリハビリテーションへの応用，" 第 51 回日本リハビリテーション医学会学術集会，S338，名古屋，2014 年 6 月.

5.　研究活動の課題と展望

本年度は，ヒト足部の機能解明を目指し，アーチ構造と足裏の皮膚の機械的特性を模擬した着靴が可能な足部機構を開発した．開発した足部機構を用いれば，アーチ構造や皮膚，靴が歩行に与える影響を検証することができる. 2015 年度は, 歩行運動だけでなく走行運動に関しても解析を行い, よりダイナミックな運動の模擬を目指す.

実践的博士人材養成プログラム

研究代表者　大野　髙裕
（創造理工学部　経営システム工学科　教授）

１．研究課題

本プロジェクトでは、文部科学省「実践型研究リーダー養成事業」の委託を受け、博士課程学生を主な対象として、わが国のイノベーションや課題解決を担う能力を有した人材育成の具体的実践と、その方法論についての調査研究を行う。

本プロジェクトでは、「博士キャリアセンター」を拠点として、「社会問題解決リーダーのための文理相乗連携プログラム」を展開する。本プログラムは、博士人材がリーダーとなって文理融合のチームを編成し、企業や自治体と連携しつつ、社会問題の解決に向けた手段を提案する演習を行うものである。

また、異分野・融合領域への挑戦など、社会の多様な場で創造的な成果を生み出す能力を身につけるための大学院カリキュラム（実践カリキュラム）を展開する。

これらを通じて、産業界など実社会で課題解決のためのリーダーとなる若手人材の養成を進め、合わせてそこで試みられた教育システムの効果を検証することで、研究と教育の両面に及ぶ大学院制度の改革に資することを目的とする。

２．主な研究成果

前年度から引き続き博士キャリアセンターを中心に事業体制の整備を行い、「社会問題解決リーダーのための文理相乗連携プログラム」の演習モデルを企画、実施した。

①　事業体制の整備

事業運営に関し、運営責任者を補佐し企業と学生のマッチングを行うキャリアアドバイザ、企業群と連携し企業演習の運営を支援する企業コーディネータと、企業演習で学生チームを指導するチームコーディネータを配置した。

②　演習モデルの実施

ａ．基礎学習

企業演習に先立ち、基礎学習を実施した。ここでは企業演習に向けて、対象となる連携企業に関する基礎調査などを行い、課題対応の準備を行った。また本年度は実践カリキュラム（下記）の講義のうち、博士実践特論Ａ、ＢまたはＳを受講した。

ｂ．企業演習

連携企業・機関が指定するテーマに基づいて、問題解決型の企画を立案し、企業・機関のニーズを受けた現地調査や技術調査を行う演習を実施した。本年度は博士をリーダーとする文理混成チームを３チーム編成し、２企業１地方自治体と協働した。演習課題は外部委員による選考評価委員会

で演習前および演習後のアドバイス・評価を受けた。企業演習のアウトプットについては連携企業・機関からも高い評価を受けており、非常に高い学習効果が確認できた。

ｃ．応用学習

リーダーシップやマネジメント等、組織をけん引する人材として必要な能力を身につけ、また企業演習の基礎的事項を学習する基礎学習科目に対し、企業に有用な調査研究実務に通じる技能等を学ぶ応用学習を実施した。

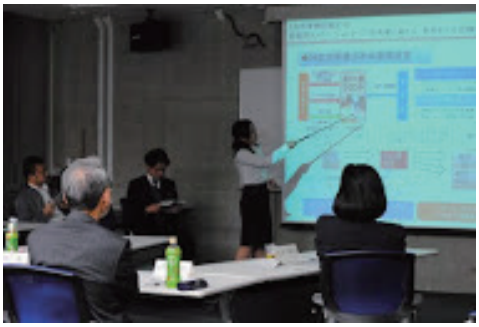
なお、本プログラムで実証された演習モデルは、その成果を文部科学省グローバルアントレプレナー育成促進事業で採択された「WASEDA-EDGE 人材育成プログラム～共創館イノベーション・エコシステムの構築～」に波及されることになった。具体的には、基礎学習は「アントレプレヌールシップ教育プログラム」に、企業演習及び応用学習は「ビジネスモデル仮説検証プログラム」にその成果が反映されている。

③　シンポジウムの開催

本学を含めた文部科学省「実践型研究リーダー養成事業」採択校 4 校が合同で、昨年度に続き「実践型研究リーダー養成事業　実施４大学合同シンポジウム」を開催した。また、2014 年 10 月よりスタートした文部科学省グローバルアントレプレナー育成促進事業（EDGE プログラム）WASEDA-EDGE 人材育成プログラム』とのジョイントシンポジウム「羽ばたけダイヤモンド人材」を開催した。

④　委員会の開催

外部有識者を中心に選考評価委員会、外部評価委員会を設置した。選考評価委員会では、本プログラムを通じた学生の達成度について客観的な評価を受けた。また、外部評価委員会ではプログラムの進捗についてコメントとアドバイスを受けた。それら外部委員の評価を、学内委員を中心にした企画評価委員会で検討し、事業の改善にフィードバックした。



第 9 回選考評価委員会

ジョイントシンポジウム
「羽ばたけダイヤモンド人材」

2.2　実践カリキュラム

博士キャリアセンターの研究員が教員・研究員が中心となり、大学院の正規科目として「博士実践特論 A－イノベーション・リーダーシップ」「博士実践特論 B－産業イノベーション」「博士実践特論 S－ロジカルコミュニケーション」の講義を開講した（実践カリキュラムとしてはこのほか、英語教育センターによる「実践的英語カリキュラム）が展開）。これら講義は、本プログラムを通じて蓄積された、実践力のある博士人材を養成する教育カリキュラムを大学の教育システムに定着される試みであり、いずれの科目も多くの参加者を得ていることから、かかるカリキュラムが学生

に対して十分な訴求力を持つものであることが認められた。

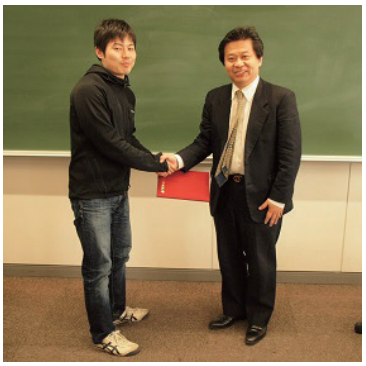
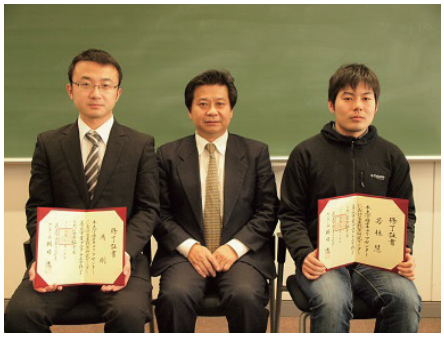
３． 共同研究者

朝日　透（先進理工学部・生命医科学科・教授）
西出　宏之（先進理工学部・応用化学科・教授）
中里　弘道（先進理工学部・物理学科・教授）
古川　行夫（先進理工学部・化学・生命化学科・教授）
高橋　浩（理工学研究所・客員上級研究員）
黒澤　正一（理工学研究所・客員上級研究員）
阿部　正博（理工学研究所・招聘研究員）
高橋　源昭（理工学研究所・招聘研究員）
渡邉　純一（理工学研究所・招聘研究員）
レイン ローレンス ユハン
（理工学研究所・招聘研究員）

４． 研究実績

主なイベント開催実績

・「実践型研究リーダー養成事業　実施４大学合同シンポジウム」2014 年 11 月 28 日
・「社会問題解決リーダー育成のための文理相乗連携プログラム　第 2 回成果報告会」
　2013 年 11 月 22 日
・ジョイントシンポジウム「羽ばたけダイヤモンド人材」2014 年 12 月 19 日
・「2014 年度前期認定証書授与式」2015 年 3 月 25 日

2014 年度前期認定証書授与式

５． 研究活動の課題と展望

文部科学省委託「実践型研究リーダー養成事業」は本年度で終了したが、今後も大学機関はわが国のイノベーションや課題解決を担う実践力を有した若手研究人材の養成を強力に推進してゆく必要がある。本学では、本プロジェクトで先駆的に実施してきた能力開発の方法論や、人材養成を通じた産学連携の取り組みを大学全体でさらに発展させてゆくため、2015 年度より博士キャリアセンターの活動を本学の中長期戦略 WASEDA Vision150 の取り組みの一つとして事業化することとした。

今後、博士キャリアセンターは、WASEDA Vision150 のもと人間力・洞察力を備えたグローバルリーダーの養成をめざすグローバルエデュケーションセンター（GEC）の関連組織として、全学的な人材養成や産学連携の一翼を担ってゆく。

生物制御機構のモデリングと治療戦略確立への応用

研究代表者　内田　健康
（先進理工学部　電気・情報生命工学科　教授）

１．研究課題

生物には様々な制御機構が働いている。①個体レベルの脳の運動制御、②臓器レベルのホメオスターシス、③細胞レベル遺伝子発現や代謝の制御など、生物のあらゆる種、あらゆるレベルでさまざまな生体機能を支えている。制御が機能を果たすことが出来なくなったときに人間は病気に犯され、場合によっては死の危機に直面する。従って、病気の発生、その重篤化、さらに死へのプロセスを解明し、それを防ぐ合理的な治療戦略を確立するには、生物の制御のメカニズムとダイナミックスを定量的に理解することが必要である。生物制御、特に人間の健康保持のための制御には、自律神経系、内分泌系、免疫系の三つのシステムがあり、これらが相補い合って活動している。これらの三つの制御系が機能を分担し適切な相互作用を通して作用機序が統合するネットワークを構成している。この制御のネットワークを定量的に解析するためには、人間の全体的な統合生理モデルを構築することが不可欠である。統合生理モデルは、検査の当否、投薬効果の予測や治療法の選択など個々の疾病へ治療戦略確立に極めて有用であるだけでなく、病態進行の遅い高齢者の場合は個人ごとのモデルを治療経験や検査データにもとづいて逐次時間をかけて更新し、遠隔治療への道を切り開くことが出来る。モデルの利用による診断と治療の高度化はシステム医療への重要な一里塚であり、「技」に頼ることの多い労働集約的な医療の現場を改変することを目標としている。本研究プロジェクトでは以下の課題に取り組む。

① 敗血症の動態解析モデルの投薬戦略確立への展開：すでに申請者らが確立した敗血症の動態解析モデルを用いて治療戦略を確立する。統合モデル構築のための具体例として検討する。

② 統合生理モデルの構築：従来の生理モデルは各臨床科別、疾病個々に対応した部分モデルのみしか存在せず、循環系、消化系、呼吸系、温熱系、血糖系などを結び付けた統合モデルは必要性が高いにも拘わらず存在しない。数理科学と臨床医学での循環系、消化系、呼吸系、温熱系、血糖系の各系融合による「人体統合モデル」を構築し、疾病の発生と進行メカニズム解明へ繋げる。

③ 自律神経系、内分泌系、免疫系の統合制御モデルを統合生理モデルの上に構築し、臨床データによるその実証を行う。

④ 高齢者の遠隔医療システムへの適用：高齢者の場合病気が急性でなく、慢性化して進行が穏やかである場合が多く、ケアに十分時間を掛ける余裕があり時間を掛けた日常的な生理状態の計測検査により、モデルを精密化できる。これにより要介護者の生理機能の変化に応じモデルを進化させる方法を検討する。

２．主な研究成果

昨年度は、共同研究者の木村により提案された免疫系システムとの相互作用を考慮した心臓循環システムの数理モデルの再検討から始め、シミュレーションプログラムを作成し動作の確認をおこなった。次にこのモデルを用いた病態のシミュレーションを行い、文献および医師の経験に基づく実際の病態との比較を行った。その結果から明らかになった問題点を克服するために、構成要素モデルの特性確認、

要素モデル間の関係性の見直し、並びにパラメータ調整などの修正を加えた。その結果、典型的な急性循環器不全病態を定性的に再現できるようになった。特に、血圧低下の非代償性を再現できる数理モデルを構築することができた。

本年度は、この数理モデルを用いて敗血症の治療戦略に向けた研究を開始した。敗血症は感染よって過剰な免疫反応が働き血液が血管外へ流出する病態であり、敗血症患者の 25%程度が死に至るという非常に危険な疾病である。この疾患への診察指針は明確な基準で作られたものは少なく医師の経験則による面が強い。医師によって治療方式の違いがあり、合理的な治療のガイドラインを作ることが望ましい。そこで、本研究では数理モデルを用いた解析により、定住的な治療プロトコルの提案を目指した。

数理モデルを用いた敗血症の研究は盛んに行われているが、それらの多くは心臓循環系に限定されており、疾病解析に必要な薬理、免疫については考慮されていない。さらに生命現象を正確に表現するためには、初期条件やパラメータによって平衡点が変わる非線形モデルを用いる必要がある。昨年度までに構築した数理モデルはこのような従来のモデルの欠点を克服した心臓循環系と免疫系による非線形統合数理モデルである。そこで本年度は、このモデルに薬理効果と輸液効果を制御入力として加えたモデルを構築し、その上で制御理論的な解析を通して生理学的な正当性をもつ最適な治療プロトコルを確立することを目標とした。本年度の主要な研究成果として、まず心臓循環系モデルと免疫モデルによる非線形統合モデルを作成して非代償性ショックを再現し、さらに輸液・投薬効果を導入し、それらのモデルが敗血症の程度による回復状況の違いを表現できることを確認できた。つぎにノルアドレナリン・バソプレシンの薬理効果の違いが神経系、心臓循環系の反応プロセスの違いであることをシミュレーションによって明らかにした。また輸液量を最小化する上で、血圧変化を観測することが有効であると明らかにした。

３．共同研究者

木村英紀（理工学研究所　招聘研究教授）　　柴田重信（理工学術院　教授）

４．研究業績

●堤 雄飛，林 和敏，八幡 泉，下田慎吾，内田健康，木村英紀 “数理モデルにもとづく敗血症の治療戦略”，第 2 回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム，東京，2015 年 3 月 6 日

５．研究活動の課題と展望

今後の課題としては、治療効果の最適化が挙げられる。具体的には本研究で構築したモデルに基づいて、制御理論を用いて輸液・投薬の時間や投与量を決定することである。そして臨床データを用いてキャリビュレーションを行うことでモデルの精度を高め、最終的には患者個々に対応したオーダーメイドな治療プロトコルを提案することが望まれる。

生理活性物質科学

研究代表者　竜田　邦明
（早稲田大学栄誉フェロー　名誉教授）

1. 研究課題

多様な生理活性を併せもつ天然生理活性物質（天然物）においては、ある活性が他の活性の副作用として働き、実用化に問題を生じる場合が少なくない。したがって、それらの活性発現機構を明らかにすることによって、活性を構造ユニット別に分離することができれば、副作用の低減のみならず望みの活性を増強できる可能性がある。それはナノレベル以下で精密に分子設計・合成することにより初めて成し遂げられる。

そこで、本研究は多様な活性をもつ天然物の実践的な全合成を完成することを第一の目的とする。つぎに、その合成手法を用いて種々の構造ユニットを合成して、構造-活性相関研究をナノレベルで行い、それぞれの活性発現に必要な最小ユニットを明らかにすること（活性分離）を第二の目的とする。さらに、天然物より優れた生理活性や新しい活性をもつリード化合物を創製して創薬に資することを第三の目的とする。すなわち、全合成は最終目的ではなく、学際領域を広く活性化することから、つぎの科学への出発点であるという概念を例証する。すなわち、“すべては全合成から始まる”。

社会問題にもなっている生活習慣病（がん、糖尿病、高血圧症など）に有効な医薬品を主に指向して研究対象の天然物を選択してきた。

２．主な研究成果のまとめ

１）これまで 102 種の天然生理活性物質（天然物）の全合成の完成に成功したが、そのうち 96 種については世界最初の全合成である。その完成数は世界的にも傑出しており、平成 24 年 10 月の朝日新聞に「神の業、世界初連発」と報道されるなど特筆すべきである。また、その合成研究において、新規の反応も見いだし、独創的な合成法も確立している。

２）特に、主要な医薬品として実用されている四大抗生物質群の全合成研究において多大の功績を挙げている。特異な構造と抗菌活性を示すことから、アミノグリコシド系、マクロライド系、テトラサイクリン系およびベーターラクタム（ペニシリン）系抗生物質は四大抗生物質群と称されているが、それぞれの代表物質の世界最初の全合成を含むすべての光学活性な天然型の全合成に世界に先駆けて成功し、国内外に極めて大きいインパクトを与えた。五大陸の最高峰制覇に匹敵すると報道された。中でも、テトラサイクリンの全合成（平成 12 年に完成）は、発見以来約 50 年ぶりの世界初の完成であった。

３）糖質を原料に用いる合成法を開拓して、多種多様な天然物の全合成を完成し、絶対構造のみならず生理活性も確証した。特に、上記の光学活性体の全合成は、すべて糖質を不斉炭素源に用いて達成されたものであり、その他の約 60 種の天然物の全合成にもその方法論と概念の有用性と重要性を例示したことから、糖質を不斉炭素源として用いる天然物の合成法は有機合成化学の重要かつ一般的な方法となり、有機合成化学の発展に貢献した。

抗生物質を始め自然界に存在する天然物の多くは不斉炭素原子を含み、ほとんどの場合その立体異

性体はもとの生理活性を示さないので、天然物と同じ立体配置を持つ化合物を合成し、天然物の構造と生理活性の確証を得るには、立体配置の確定している物質を原料として、立体特異的な反応を組み合わせて目的の天然物のみを合成することが重要となる。

すなわち、立体配置が確定している糖質を出発原料（不斉炭素源）に選び、目的の天然物のみを合成する立体特異的合成法を開拓して、多種多様な天然物の全合成に成功した。また、天然物の全合成や関連物質の合成に有用な数々の新しい有機合成反応も創出した。これら一連の研究によって、糖質を不斉炭素源に用いる方法は多種多様な構造を有する複雑な天然物の合成にも極めて有用であることを示し、有機合成の重要な一つの方法論としての基礎を築いた。

４）天然物の全合成研究をさらに発展させ、その知見と方法論を駆使、結集して構造-活性相関研究を行って、活性発現の最小ユニットを明らかにし、多くの天然物の活性発現機構を化学的に解明した。特に、糖尿病、肥満症、がん転移ウイルスなどに関与する糖質分解酵素の阻害物質の研究において、阻害活性を示す天然物を全合成した後、構造-活性相関研究を分子レベルで行い、それらが相当する酵素に拮抗的に作用して阻害することを見いだし、理論的にすべての糖質分解酵素（グリコシダーゼ）阻害物質の創製が可能であることを初めて例証した。このことは、抗糖尿病薬の開発に寄与すると共に、糖質分解酵素を多用する糖鎖工学、生化学などの発展にも貢献した。

５）さらに、実用化にも力を注ぎ、構造-活性相関研究により天然物より強力な活性を示す多くの新規化合物を創製した。中でも、アドリアマイシンの誘導体の構造-活性相関研究を徹底的に行った結果、従来の心臓毒性、脱毛などの副作用が極めて低く、制がん活性が強力である THP-アドリアマイシンを創製し、抗腫瘍剤(制がん剤)ピラルビシンとして実用に供した。これは、特に膀胱がんの特効薬として評価されている。また、歯周病菌検出薬（ペリオチェック）も開発・実用化した。

６）全合成の知見を活用して基礎的な新規合成法のみならず工業化可能な実践的合成法を数多く開発し、いくつかの実用化を実現している。中でも、独自の骨格転位反応を用いて開発したセフェム系抗生物質（ファーストシン）の側鎖部分の合成法の工業化は、有機合成化学のみならず有機工業化学の発展にも貢献した。また、有害な塩素系有機溶剤の代替溶剤としてチアジアゾールを実用化した。

３．研究業績

3.1　巻頭言

Kuniaki Tatsuta, Synthetic Organic Chemistry – At the Center of Science. *Synthetic Organic Chemistry Japan*（有機合成化学協会 英文誌）, **72**(11), 1197 (2014).

竜田邦明、「化楽」から大志を抱け. *化学と教育*（日本化学会）、**63**(1)、1 (2015).

3.2　特別講演・特別講義

“自然に学び自然を超す － 知識を知恵に”、早稲田大学理工学術院 先進理工学部応用化学科 応用化学総論、東京、2014 年 4 月.

“すべては全合成から始まる”、 高知大学理学部セミナー、高知、2014 年 7 月.

“すべては全合成から始まる”、 立命館大学総合科学技術研究機構 創薬科学研究センターシンポジウム 2014、京都、2014 年 7 月.

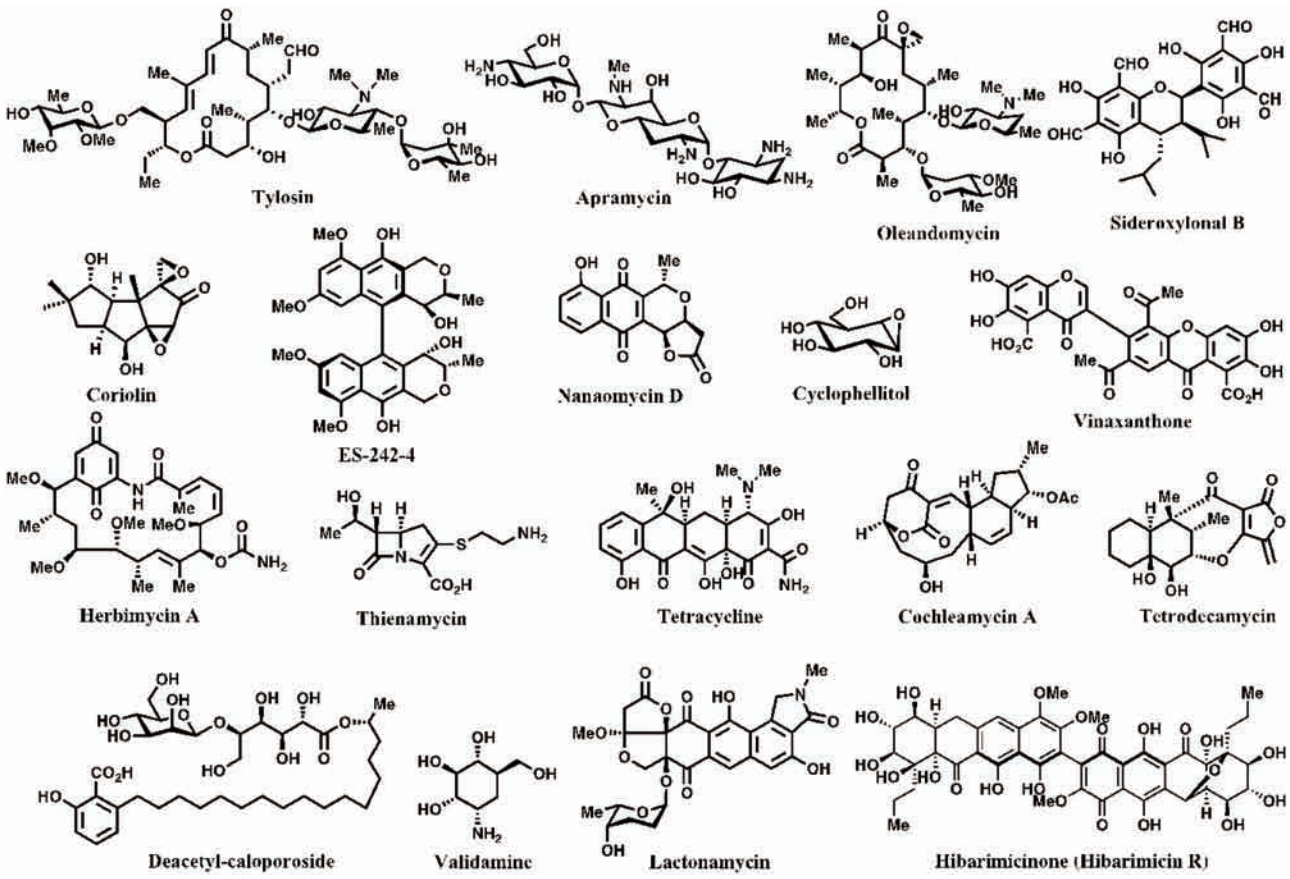
“自然に学び自然を超す － 知識を知恵に”、早稲田大学 地域交流フォーラム、 石巻、2014 年 9 月.

“すべては全合成から始まる”、 “自然に学び自然を超す － 知識を知恵に”、 九州大学、福岡、2014

年 9 月 24-27 日.
“自然に学び自然を超す － 知識を知恵に”、 早稲田大学 地域交流フォーラム、 岐阜、2014 年 11 月.
“自然に学び自然を超す － 知識を知恵に”、早稲田大学 地域交流フォーラム、 和歌山、 2015 年 2 月.

3.3　学会活動その他
“Editor-in-Chief, The Journal of Antibiotics”, Nature Publishing Group.
“International Advisory Board, The Chemical Record”, The Chemical Society of Japan.
九州大学客員教授、 2014 年 7 月 1 日– 9 月 30 日

3.4　世界初の全合成を達成した天然生理活性物質の例



スペーシャル・プランニング研究

研究代表者　後藤　春彦
（創造理工学部 建築学科　教授）

1. 研究課題

近年では都市計画の英訳として、City Planning や Town Planningではなく、Spatial Planningを用いられる様になってきた。スペーシャル・プランニングとは、直訳すれば空間計画となるが、ここで空間という単語をつかう理由をふたつあげることができる。ひとつは、都市のみならず非都市部もあわせて計画の対象とすることを意図していること。もうひとつは、物理的な空間のみならず社会的な空間もあわせて計画の対象とすることを意図していること。まさに、計画の対象と概念が、空間のネットワークや人間のネットワークへと拡大していることを前提として、本研究では、新しい計画概念と計画システムの構築をこころみる。

2. 主な研究成果

これまでの都市計画は、個別の都市の成長と産業化を前提とするものであった。計画システムは福祉国家としての重要な政策のひとつに位置づけられ、法的根拠を有した土地利用の規制や制御とプロジェクトを組み合わせることにより、機能の不足の解消をめざす方法がとられた。しかしながら、人口減少時代の都市計画は、都市の縮減を前提に地球環境に親和的な脱産業化をめざすものである。漸進的な縮減を計画的に管理しながら、あらたに出現する空隙にまちづくりの種子を埋め込みながら固有の文化や環境の継承をめざすような戦略が求められていることを確認した。

これは都市の拡大成長を目標に物理的空間へ機能の適正配置を行ってきた計画から、社会関係によって出現する社会的空間の質をより向上させる計画への変化とも理解できる。すなわち、整然とした計画の厳格な立案から、シームレスな環境像や空間像の大きな枠組みを提示することへプランニングのあり方も変化している実態を把握した。

その中でも、都市・農村連携と市民自治は、空間のネットワーク、人間のネットワークとも読み替える事が可能で、スペーシャル・プランニングの極めて重要なパラダイムに位置づけることにより、概念整理をこころみた。先に示した様に、前者は、都市のみならず非都市部もあわせて計画の対象とすることであり、後者は、物理的な空間のみならず社会的な空間もあわせて計画の対象とすることであると理解された。

前者は、都市・農村計画と呼ぶ方がイメージしやすいかもしれない。わが国では、都市部は都市計画法によって、非都市部は農地法・農振法・森林法等によって、それぞれ別個の法体系でコントロールされている。都市が急速に拡大した時代には、都市化の制御と優良農地や自然環境の保全への適切な対応が求められる時代であったが、都市が縮退をはじめた人口減少社会において都市と農村を区分するのではなく、あわせて一体的な計画対象とすることは理にかなっている。また、地方分権の視点に立てば、都市計画に関して分権がすすんだのに対して、農地に関してはそれほどでもない。研究代表者の参加する地方分権改革有識者会議では土地利用に関する各種法体系を総合的に運営する観点

から、法体系の一元化と住民に身近な市町村が権限と責任を担うことの必要性について議論をはじめた。

一方、後者に含まれる社会的空間とは、歴史・文化、社会・経済、そして自然環境を背景とした人間と人間の関係性によって生まれるものであり、東日本大震災以降は「絆」とか「つながり」といった表現が多用されるようになってきた。近年では、こうした社会的空間への計画的関与はコミュニティ・デザインとも表現され、地元の多様な主体のパートナーシップの構築や強化がはかられていることが確認できた。

3. 共同研究者

山村崇（理工学術院　助教）

4. 研究業績

4.1 学術論文

山村崇、後藤春彦「東京大都市圏における知識産業事業所の広域的移転流動パターンとその発生メカニズムに関する研究」日本建築学会計画系論文報告集　第 703 号　pp. 1913-1922　2014.9

森田椋也、後藤春彦、山崎義人、野田満「再祀後の神社の運営に関する基礎的研究」日本都市計画学会学術研究論文集　No.48-3　pp.1059-1064　2014.11

浜田麻里奈、後藤春彦、山村崇「テーマ型カフェを媒介とする地域活動ネットワークの展開に関する研究」日本都市計画学会学術研究論文集　No.48-3　pp.783-788　2014.11

遠藤瞭太、後藤春彦、山村崇　「大学生の学習場所としてのサードプレイスに関する研究」日本都市計画学会学術研究論文集　No.48-3　pp.1083-1088　2014.11

池尾恵里、後藤春彦、佐藤宏亮「介助を必要とする高齢者の外出行動の実態と外出支援の課題　－外出支援を行うデイサービスセンターに着目して－ 」日本都市計画学会学術研究論文集　No.48-3　pp.825-830　2014.11

齊藤千紗、後藤春彦、佐藤宏亮「横浜市郊外の交通脆弱地域に立地する公団団地における若年層の流入と定着要因」日本都市計画学会学術研究論文集　No.48-3　pp.807-812　2014.11

田中康雅、後藤春彦、山村崇「民間事業者によるひとり親家庭を対象としたシェアハウスの運営実態と社会的役割　－ 神奈川県川崎市高津区ペアレンティングホーム高津を対象として　－ 」日本都市計画学会学術研究論文集　No.48-3　pp.975-980　2014.11

加藤瞭、後藤春彦、馬場健誠「繁華街におけるデジタルサイネージの掲出実態」日本都市計画学会学術研究論文集　No.48-3　pp.817-822　2014.11

野田満、後藤春彦、山崎義人「人的支援の効果的活用に向けたコーディネート組織の役割」日本建築学会計画系論文報告集　第 705 号　pp.2423-2432　2014.11

馬場健誠、後藤春彦「米国におけるビッグデータを活用したシビック・テクノロジーの実態と課題」日本建築学会計画系論文報告集　第 706 号 pp. pp.2711-2719　2014.12

後藤春彦ほか「人口減少社会とコミュニティ」コミュニティ（地域社会研究所）No.153　pp.9-65　2014.11

4.2 総説・著書

後藤春彦「計画的圏域シティリージョン」自治日報　一面コラム　2014.7.4.

後藤春彦「スペーシャル・プランニングへの期待」自治日報　一面コラム　2014.11.28
後藤春彦ほか 「東日本大震災合同調査報告　都市計画編　（第 6 章)」 丸善 2014.12

4.3 招待講演

講演「市民がまちの経営に参画する時代を拓く」全国地域リーダー塾　地域活性化センター　大手町サンスカイルーム 2014.5.16
講演「まちづくり最前線」早稲田大学地域交流フォーラム　ホテル沼津キャッスル 2014.5.17
講演「自治と空間　城崎から考える」U30 都市計画– 都市設計提案競技　東京大学本郷キャンパス工学部 1 号館 15 号講義室 2014.7.26
PD　「人口減少時代の集約型都市づくり」自治体学会富山高岡大会　ウイングウイング高岡（+宮口侗廸、京田憲明、木谷弘司）2014.8.22
講演「地域資源から地域資本へ」リーダー塾修了者研修　アルカディア市ヶ谷（+上原佑貴）2014.8.28
講演「地域の再生とデザイン」全国地域リーダー塾　地域活性化センター　大手町サンスカイルーム 2014.10.01
講演「まちづくり、都市計画、Spatial Design を巡って」明日の扉の講演会　早稲田佐賀中学校高等学校　2014.11.21
基調講演＋PD 新宿景観シンポジウム「多様性を活かす新宿景観まちづくり　新しい景観要素としてのひとびとの流動」（新宿区＋美しい東京をつくる都民の会）　四谷区民ホール（+進士五十八、野澤康、宮沢功、岸ユキ）　2014.12.18
講演「景観と自治」福井県まちづくりセミナー2104 （福井県都市計画協会、福井県） 福井県国際交流会館多目的ホール　2014.12.19
講演 “Medicine-Based Town Planning” International Cooperation in Urban Development and Urban Regeneration Conference, Converging Technology Center, Korea University 2015.1.17
講演「都市の個性の読みとり方　景観まちなみを活かしたまちづくり」市町村アカデミー　市町村アカデミー教室 2015.1.27
講演「建築と都市デザイン」早稲田大学芸術学校　シルマンホール 1F　2015.1.27
講演「定住自立圏とシティ・リージョン」本庄地域定住圏研修会　本庄市役所大会議室 2015.2.06
講演「住民自治と景観まちづくり」にし阿波協働センター研修会　徳島県つるぎ町農業構造改善センター大会議室 2015.2.10

4.4 受賞・表彰

山村崇　日本建築学会奨励賞

4.5 学会および社会的活動

内閣府地方分権改革有識者会議・議員
内閣府地方分権改革有識者会議・地域交通部会・部会長
内閣府地域活性化プラットフォームワーキングチーム・主査
総務省地域力創造アドバイザー
東京都景観審議会・委員
富山県まちの未来創造会議・座長

世田谷区都市整備方針改定検討部会・委員
豊島区アメニティ形成審議会・会長代理
豊島区アメニティ形成審議会・景観計画策定部会・部会長
新宿区屋外広告物に関するガイドライン等検討委員会・委員・委員長
新宿歌舞伎町・屋外広告物を使ったエリアマネジメント広告表示自主審査委員会・委員長
宮城県加美町美しいまちなみづくり検討委員会・委員・委員長
宮城県加美町宮崎地区商店街活性化検討委員会・委員・委員長
（公）日本都市計画学会　オリンピック時における近距離輸送交通検討委員会・委員
（社）地域環境資源センター技術検討委員会・委員
（社）東京バス協会広告付きバス停留所第三者評価委員会・委員長
全国地域リーダー養成塾（財団法人地域活性化センター）　・主任講師
風景づくり夏の学校　U30 都市設計競技 2014・審査委員
Member, the World Society for Ekistics
台湾・徳霖技術学院不動産学群国際名誉講座教授
日本建築学会農村計画本委員会・委員
日本生活学会・理事
早稲田大学・参与

5. 研究活動の課題と展望

スペーシャル・プランニングとは従来の土地を区画し機能を割り当てる土地利用型ではなく、社会関係性にもとづき物理的空間と社会的空間をシームレスに統合していくアプローチをとるものであり、周辺領域もふくめた多主体間の関係に依拠するものである。そして、そのめざすべき目標は生活の質の向上であり、良質な物理的空間のみならず、連結性・連続性、社会的機会の公平性・公開性、持続可能性などを含む広い概念としての社会的空間の質の向上である。

今後の研究の展望として、都市農村計画法（仮称）の制定に向けて、ひろくロビー活動を展開したい。

ヘーベルハウスの二重壁構造システムについて
旭化成ホームズとの提案＋フィードバックを通して実現化を目指す標準化住宅

研究代表者　古谷　誠章
（創造理工学部 建築学科　教授）

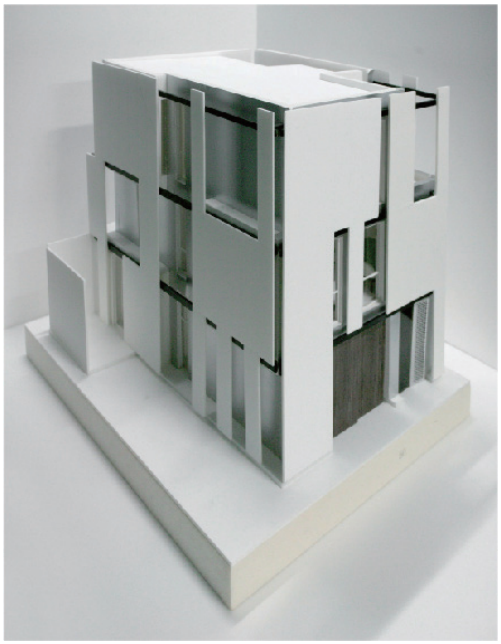
1.　研究課題

これまで研究をしてきた二重壁構造システムを使った住宅を、より実現可能性の高いものとすることを目標として、①基本構成の収まり、②窓の額縁やカーテンボックスの検討および③内壁 ALC や木パネルの検討などのディテール部分を行い、それを旭化成ホームズから現実的な詳細の収まりとしてフィードバックしてもらったものをさらに修正することで、現実的な提案を目標とする。

2.　主な研究成果

2.1　実現化に向けた検討事項

今年度は、古谷研究室で検討したディテールを旭化成ホームズから現実的な寸法や収まりの詳細図面でフィードバックしてもらい、それをまた修正するという流れで進めた。
そのうちの一つとして断熱材の収まりや、ALC パネルの寸法の検討など詳細部の基本構成の確認を行った。断熱材を柱の外側に回すように収めるか、柱にかみ合うように収めるかなど議論し、最終的に柱の外側に回す収まり方で確定した。また、図面に関しても断熱材や石膏ボードの寸法がずれているものがあったため、旭化成ホームズの図面を参考に修正を行った。(fig.1)



1/20 model

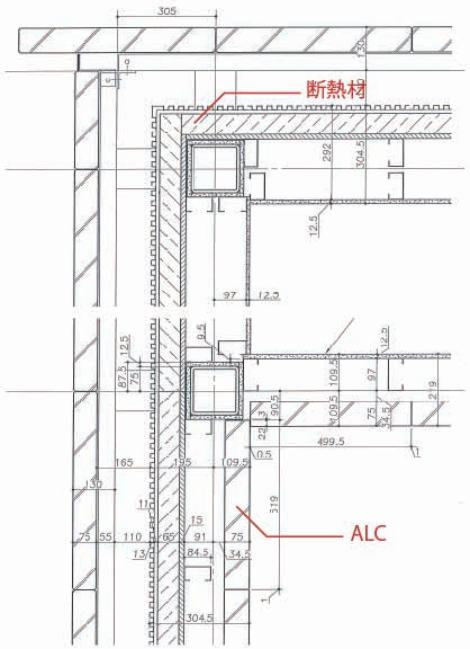


fig.1

2.2　試作棟

これまで早稲田大学と旭化成ホームズで共同研究を行ってきた二重壁構造システムを使った住宅を、旭化成ホームズの研究所の建物の一角を壊して試作できることになった。ALC パネルを利用した二重壁構造の中で様々な要素をできるだけ組み込めるようプラン(fig.3)を考え、パース(fig.2)を作り検討した。

fig.2

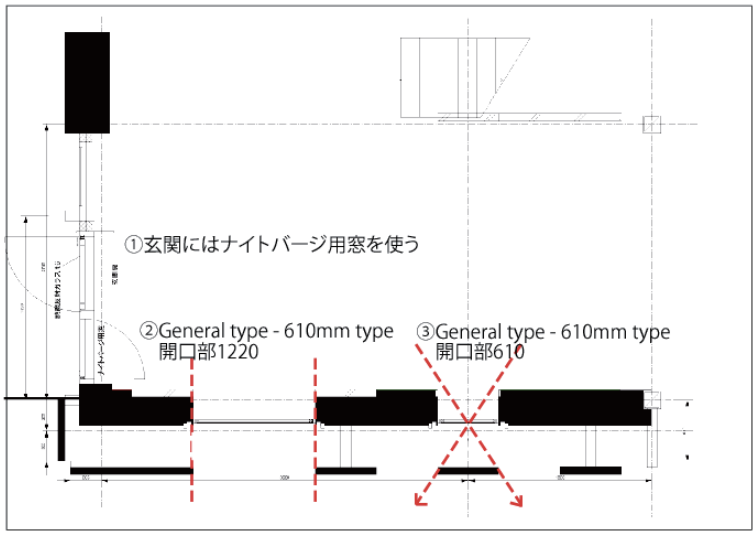


fig.3

試作棟が完成し実際に見学に行くと、今後検討する必要のある点が明確となった。

一点目は、ALC へ散布するマイカ粉を 0.25kg(サンプルよりは少なめ)とし試作した。比較のためマイカ粉なしの ALC を端部に使用している。素地感を残しつつ、シルバーマイカのキラキラ感をより強調できないか、検討が必要である。(fig.4)

二点目は、固定金物について、施工により少し曲がってしまっている部位が見られた。金物を小さくする、または半月形にすることで施工が不均一な場合においても、あまり気にならないデザインにすることができるのではないか。(fig.5)

三点目は、当初、キャンティ居室部分への室外機配置を予定していたが、幅狭のため配置は不可能である。そのため室外機を出来るだけ目立たない位置に配置するよう検討する必要がある。パネル間に置くと目立ってしまい、室外機を ALC パネルの裏へ設置すると、熱風をうまく排気できない。室外機の設置場所については要検討である。尚、キャンティ居室部分への設置可能幅は 610mm である。(fig.6)

fig.4

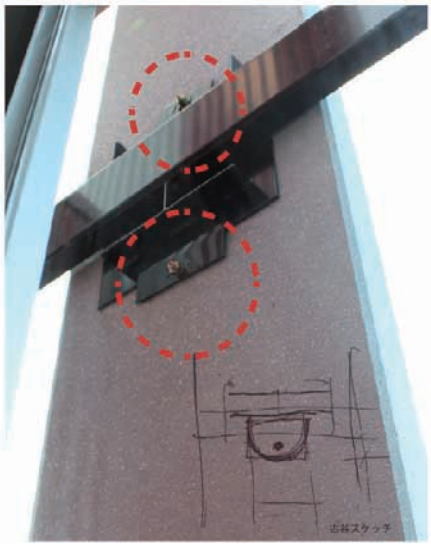


fig.5

fig.6

3. 共同研究者

李　東勲（創造理工学部・嘱託研究員）

斎藤　信吾（創造理工学部・助手）

4. 研究業績

「論文名」: 14103 商品化住宅に向けた環境配慮住居のプロトタイプとその標準仕様に関するプロジェクト研究(「普通」の建築をめざして(3),建築デザイン,2014 年度日本建築学会大会(近畿)学術講演会・建築デザイン発表会)

「著者名」: 李 東勲 （早稲田大学理工学研究所）,菅野 正太郎（早稲田大学理工学術院創造理工学研究科建築学専攻修士課程）,太原 豊（旭化成ホームズ株式会社住宅総合技術研究所）,古谷 誠章（早稲田大学創造理工学部建築学科・理工学研究所

5. 研究活動の課題と展望

今年度はこれまで継続して研究してきた二重壁構造システムを使った住宅を初めて試作する事ができた。この試作によって、検討してきた箇所が実際にどのような形として機能するか等、明らかにすることができた。今後はこの二重壁を使ったシステムを集合住宅という形で研究を継続し、今回の試作をフィードバックしながら進めることを目指す。

次世代医療研究

研究代表者　古谷　誠章
（創造理工学部 建築学科　教授）

1. 研究課題

現在日本では、急速な少子高齢化かつ医療技術の進歩によって、医療保険制度を維持することが困難な状況にある。これらの問題を解決するため、団塊の世代が 75 歳以上を迎える 2025 年にむけ、医療法改正が制定された。具体的な方策は、「医療の機能分化による質の高い医療サービスの提供」、「病床数の削減や平均滞在日数の短縮」、「生活習慣予防の徹底」などがあげられる。このような医療法改正に伴い、今後は日常生活圏において医療、介護、予防、住まいが切れ目なく継続的かつ一体的に提供される「地域包括ケアシステム」が主流になると考えられる。

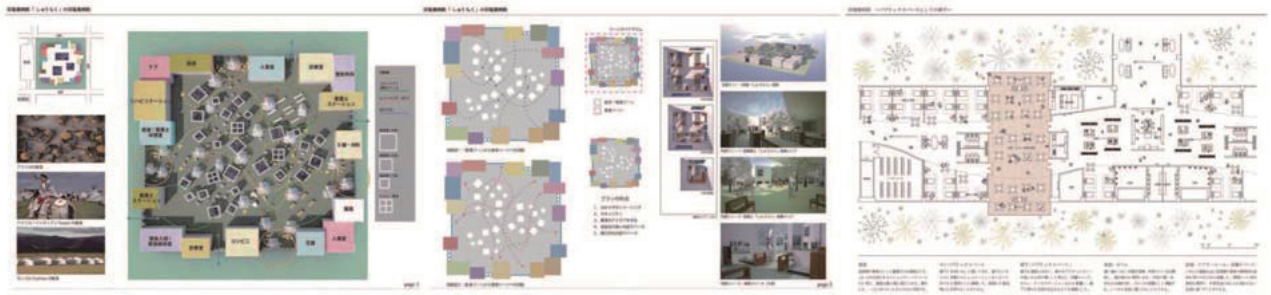
本研究では、上記の背景から「病院の日常化」をテーマに研究を行う。病院を日常生活の中で身近に感じられる存在にすることにより、今までの病院との関係性に変化がうまれる。病気になってから治療するのではなく、日常的に健康管理をすることで医療費適正化の推進につながると考える。本年度は病院内部の空間である「4 床室」を対象に検討・提案を行う。

2. 主な研究成果

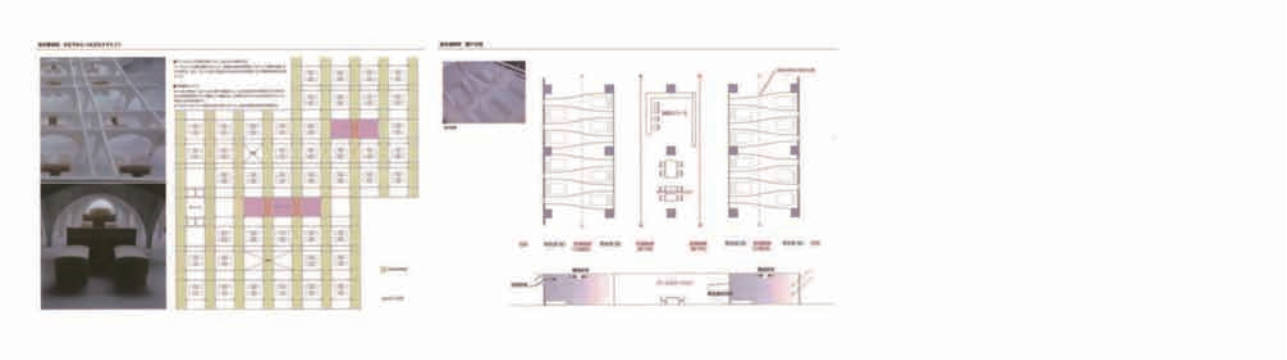
現在の病室計画は、一病床あたりの面積規模やベッド間隔寸法が小さいため、四床室はプライバシーのない居心地の悪い空間となっている。平面・断面での検討を行うことで多床室でのプライバシーを確保し、居心地のよい空間を検討・提案した。(下図)

「回復期病院」、「急性期病院」、「慢性期病院」と大きく三つの種類に病院が分類される。それぞれの病院の特徴・問題点を調査し、各病院が必要とする病室の提案を行った。

・回復期病院：自然とコミュニティーが生ずるような、病室とその環境を計画



・急性期病院：個室のような多床室を計画



・慢性期病院：居心地の良い空間作りができる病室を計画

3. 共同研究者

斎藤　信吾 (創造理工学部・助手)
根本　友樹 (創造理工学部・助手)

4. 研究業績

特になし

5. 研究活動の課題と展望

本年度は「病院の日常化」というテーマのもと、四床室の病室を対象に空間提案を行った。平面的な視点だけではなく、段差など断面的な視点やパーテンションなどの既存の設備を見直すこと、また廊下や中庭の外部空間との関係性を再考し新たな病室の在り方を提案した。標準的な四床室面積である 36 ㎡という限られた面積を多角的な視点を持ち計画することで豊かな空間を提供できる可能性を追求できた。しかし、コストや感染の問題など医療施設として欠かすことができない要素を考慮した空間提案をすることができなかった。今後、より実現可能な提案とするためには空間の豊かさに加え医療施設としての質を考慮し、ハード面・ソフト面の見直しを進めていきたい。更に、医療法改正に伴い病院そのものが変化を余儀なくされることが想定され、そのような変化にも柔軟に対応できるような病院を考えていくこともこれから重要な課題となる。

東日本大震災後の電力システム再構築

Reconstruction of Power System after the Great East Japan Disaster

研究代表者　岩本　伸一
（先進理工学部 電気・情報生命工学科　　教授）

１、研究課題

東日本大震災後、電力不足が大きな問題となり、それを考慮した電気エネルギー技術の開発に注目が集まっている。同時に環境問題や都市問題などを背景に、電気エネルギー分野を中心に、持続可能な街づくりは世界共通の課題になっている。本プロジェクトでは、これらの問題を解決すべく、様々な角度から総合的な研究を行う。特に、①地球環境を考慮した電力系統の計画・運用の研究 ②電気絶縁材料の劣化診断に関する研究 ③CO2 削減を目指した超電導応用電力機器の基盤技術に関する研究 ④太陽光発電システムの運用最適化に関する研究 ⑤次世代エネルギーマネジメントシステム（ＥＭＳ）技術に関する研究について実施する。

研究課題は、東日本大震災後、非常に重要であるエネルギー問題の中で、特に地球環境考慮下での電力供給の高信頼度化・低コスト化に焦点をあて、総合的に独特な組織の中で、学内・外の技術者が研究する。外部の協力として主要な電力会社、重電機メーカー、電線メーカーが加わる点で、先端の技術開発に寄与できると考えられる。

この研究プロジェクトは、本学が主体となり電力業界各社から構成される産学協同体「電力技術懇談会」（約３０社がメンバー）と一体となった研究組織である点に特徴がある。本懇談会と連繋させながら推進し、有用な研究成果を挙げる。また、産学交流の発展のため、約２ヶ月おきに講演会が企画されている。これも含めて総合的に研究に当たる。

２、主な研究成果

現在、電力系統への再生可能エネルギーの大量導入が、CO2 による地球環境問題の解決のために進められているが、電力系統は、この再生可能エネルギーの大量導入に適切に対応できるように技術的な整備がなされなくてはならない。そのため、「①地球環境を考慮した電力系統の計画・運用の研究」では、特に太陽光発電大量導入時における、電力系統上位系統における太陽光発電群の力率と調相設備・変圧器タップによる電圧上昇・電圧変動抑制手法、発電機出力と電力用コンデンサーを用いた計画手法、SOC を考慮した系統周波数制御手法を開発した。再生可能エネルギーの大量導入により、火力発電の出力を下げる必要が出てくるが、具体的に電圧安定性ならびに過渡安定度を考慮しながら、それを解決する手法も開発した。

また、「②電気絶縁材料の劣化診断に関する研究」のうち、テラヘルツ領域誘電分光の測定では、劣化評価，成分分析，ゲル分率測定の可能性があること、化学発光測定では酸化誘導期間を推定することにより酸化度合いの評価が可能であること、走査型プローブ顕微鏡による表面硬度測定では、高分子表面の顕微領域における酸化評価が可能であることを確認している。さらに、原子力発電所で使用されている電気ケーブルの劣化判定に資する目的で行っている非破壊劣化位置標定法とし

て、我々が開発している周波数領域反射測定法では、上記の酸化評価法による劣化度と相関する形でケーブル上の絶縁体の劣化位置を高精度で標定することが可能である。

「③CO2 削減を目指した超電導応用電力機器の基盤技術に関する研究」のうち、超電導応用電力機器としては、本年度はREBCO超電導テープ線材を用いた電力ケーブルの実用化に向けた研究・開発を行った。超電導ケーブルの実用化に向けた課題の一つとして、短絡事故電流通電時の発熱に対する冷媒（液体窒素）の挙動解析に基づく温度・圧力上昇への対応が挙げられている。一度短絡事故が発生し、過電流が流入することにより超電導状態が破れると、冷媒（液体窒素）の温度は発生するジュール熱により上昇し、ケーブルの下流に向かって徐々に上昇度が増す。したがって超電導ケーブル実用化に向けて、事故後に操作可能なレベルまで温度が戻るまでの温度・圧力分布の時間変化を推定・評価することが重要であると考えられる。本年度はこの課題の解決に向け、熊取試験場（住友電工）で行われた30m長ケーブルの試験（NEDOプロジェクト）を対象として、過電流通電時のケーブル内温度分布および液体窒素の温度・圧力分布の時間変化を求める数値解析プログラムコードの開発を行った。また実用化を想定し、循環ポンプを組み込んだ冷却システムにおける事故時の圧力解析コードの開発にも取り組んだ。さらにこれまでに開発した熱解析コードと圧力解析コードを連成することで、実システム運用時に短絡事故が発生した場合についてのシミュレーションを行い良好な結果を得た。

近年、環境・エネルギー問題への具体的な対策として太陽光発電（PV）システムが注目されている。しかし、PVシステムの出力は日射量に依存するため、PVシステムが電力系統に大量連系された場合、電圧上昇問題など電力品質の悪化が懸念されており、今後、PV 出力の予測情報に基づく蓄電池等によるエネルギーマネジメント手法の重要性は一層高まるものと思われる。このような背景のもと今年度は、Just-In-Time（JIT）Modelingを用い、日射量予測値の信頼性の指標である予測信頼区間を推定する方法を開発した。また、精度検証の結果、高精度な予測信頼区間推定が行えることを明らかにした。

「⑤次世代エネルギーマネジメントシステム（ＥＭＳ）技術に関する研究」では、地球温暖化対策となる風力発電をさらに電力系統に連系できるよう、発電量の急変に対する予測と、予測と組み合わせた蓄エネルギー制御技術開発を NEDO 技術開発機構の委託事業として進めている。発電量の急変に対する予測は、既存の予測が全体としての精度向上を目的としているのに対し、本研究では電力系統に影響を与える急変に重点を置き、その向上を目的としている。特に、機械学習的アプローチに基づくランプ予測に焦点を当て、本年度はランダムフォレスト回帰に基づく予測手法の初期実装と、既存の手法との比較、整理を進めた。また、蓄エネルギー制御技術開発では、出力の急変を蓄エネ設備による緩和と、蓄エネ設備を用いた発電量同時同量を行う。どちらも予測を用いる新しい運用手法の開発を目指す。蓄エネ設備は化学物質を用いず、大容量化が容易な圧縮空気エネルギー貯蔵（CAES）を対象とし、その特性を含めた検討を行う。本年度は連系要件をパラメータとした検討と、CAES特性１次モデルを構築した。

３、共同研究者

大木　義路（先進理工学部　電気・情報生命工学科　教授)
石山　敦士（先進理工学部　電気・情報生命工学科　教授)
若尾　真治（先進理工学部　電気・情報生命工学科　教授)
林　　泰弘（先進理工学部　電気・情報生命工学科　教授)

４、研究業績

・会田峻介，伊藤孝将，岩本伸一，北田亮平，有吉信行，電力系統上位系統における太陽光発電群の力率と調相設備･変圧器タップによる電圧上昇･電圧変動抑制手法, 電気学会論文誌. B, Vol.134, p.957-965，2014-12

・Aye Mya Mya Hlaing, Sho Ando, Yuki Kawaura, and Shinichi Iwamoto, “ Photovoltaic Power Penetration Planning with Generator Output and Capacitor Adjustments Using PSO Considering N-1 Contingency ” , IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference 2014, 2014. 12.

・Masato Toge, Yu Kurita, Takuya Omi, and Shinichi Iwamoto, “ LFC with Storage Battery considering SOC for Large-scale Wind Power Penetration ” , IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference 2014, 2014. 12.

・ Peng Yang, Fuqiang Tian, and Yoshimichi Ohki, “Dielectric Properties of Poly(ethylene terephthalate) and Poly(ethylene 2,6-naphthalate)”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 21, No. 5, pp. 2310-2317, 2014.10.

・Marina Komatsu, Masashi Hosobuchi, Xiaojun Xie, Yonghong Cheng, Yukio Furukawa, Maya Mizuno, Kaori Fukunaga, and Yoshimichi Ohki, “Terahertz Absorption Spectra of Oxidized Polyethylene and Their Analysis by Quantum Chemical Calculations”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 53, pp. 092402 1-9, 2014.8.8.

・ Yuka Hasegawa, Junya Takihana and Yoshimichi Ohki, “Estimation of Thermal Expansion Coefficients of Polymeric Insulating Films from Temperature Dependence of Dielectric Permittivity”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 53, No. 7, pp. 071501(1)- 071501(4), 2014.6.

・Yuta Masui, Xudong Wang, Atsushi Ishiyama, Tomonori Watanabe, Naoki Hirano, Shigeo Nagaya, “ Experiment and Numerical Simulation on Quench Detection in Cryocooler-Cooled YBCO Coil for SMES Application ” , IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 24, 4601005, 2014.

・Yusuke Sato, Koh Agatsuma, Xudong Wang, Atsushi Ishiyama, “ Temperature and Pressure Simulation of a High-Temperature Superconducting Cable Cooled by Sub-Cooled LN2 with Fault Current ” IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 25, 2387119, 2015.

・山嵜朋秀， 本間隼人， 若尾真治， 藤本悠， 林泰弘, 太陽光発電出力予測のための Just-In-Time Modeling を用いた日射量予測信頼区間の推定方法，電気学会論文誌 B, vol.135, no.3, 2014, DOI: 10.1541/ieejpes.135.1

・T. Yamazaki, Y. Hara, S. Wakao, Y. Fujimoto, Y. Hayashi, K. Nukada, T. Tamura, M. Takahata, Application of PV output prediction interval to battery operation of green base stations, The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6), 2014

・H. Homma, T. Yamazaki, S. Yoshizawa, H. Kikusato, S. Wakao, Y. Fujimoto, Y. Hayashi, Fluctuation range prediction of PV output by using Just-In-Time modeling, The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6), 2014

・藤本悠，高橋由佳，林泰弘，高次元説明変数に基づく風力発電ランプ予測に関する基礎検討，第

17 回情報論的学習理論ワークショップ(IBIS2014), 名古屋大学, 2014.11.
・Takeru Inoue, Norihito Yasuda, Shunsuke Kawano, Yuji Takenobu, Shin-ichi Minato and Yasuhiro Hayashi, Distribution Network Verification for Secure Restoration by Enumerating All Critical Failure, IEEE Transactions on Smart Grid, Volume:6, Issue 2, pp. 843-852, 2015.3.

５、研究活動の課題と展望

環境問題や東日本大震災後に顕著に現れた電力不足は喫緊の課題である。本プロジェクトでは電力系統運用・計画、材料の劣化診断、超伝導、発電量予測、エネルギーマネジメントの５つに焦点を当て、幅の広い総合的な研究アプローチを開始した。本年度実施した研究成果をベースに、世界共通の課題となっている環境問題や都市問題などの電気エネルギー分野を対象とした研究開発を進め、「電力技術懇談会」と連繋させながらこれらの問題の解決を目指す。

第 2 回メタンハイドレート海洋産出試験における生産手法の検討

研究代表者　栗原正典
（創造理工学部 環境資源工学科　教授）

1. 研究課題

メタンハイドレートはその賦存量の大きさから、「将来の夢のエネルギー資源」として注目されている。日本近海の海底下にも日本のガス消費量の 100 年分に相当するメタンハイドレートが賦存していると推定されており、中でも東海沖から熊野灘にかけての東部南海トラフの海底下にはメタンハイドレートが濃集している地域があることが、試験的なボーリングによって確認された。そのため日本政府は 2001 年 7 月に「メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム（MH21 研究コンソーシアム）」を組織し、日本近海におけるメタンハイドレートの商業生産を目標として、3 つのフェーズからなる「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」を開始した。2001 年～2008 年に実施されたフェーズ 1 での研究結果（試掘や地震探査等の結果）を反映し、フェーズ 2 では 2013 年 3 月に、愛知県と三重県の沖合で試験（第 1 回海洋産出試験）を行った。その結果、海底下に胚胎されるメタンハイドレートを分解･生産して、6 日間で約 120,000 m^3 のガスを産出することに成功したが、同時に砂の産出によるトラブルなど、問題点や課題も顕在化した。MH21 研究コンソーシアムでは、第 1 回海洋産出試験結果の定量的な評価を行い、試験の対象となったメタンハイドレート貯留層の解析（モデルの再構築、岩石力学的挙動の解明、等）や坑井内流動挙動の解析を行っている。この評価結果を反映して、2016 年か 2017 年に、同じく東部南海トラフで第 2 回海洋産出試験を実施する予定である。

本研究では、第 1 回試験で操業会社（オペレータ）を務め、第 2 回試験でもオペレータとなることが予定されている石油資源開発株式会社と共同で、第 2 回試験を有効かつ成功裏に実施することを目的として、試験の基本的な設計（生産手法、期間、モニタリングの仕様、等）を行うとともに、生産性を増大させる手法や、メタンハイドレートの分解･生産の観点から、測定すべき項目を提言する。

2. 主な研究成果

MH21 研究コンソーシアムが作成した当該エリアを対象とした広域 3 次元セクターモデル（図 1）より、各種の貯留層モデルを抽出・作成し、1 年間の試験挙動を予測した。予測に際しては、実際の試験で試みられる可能性のある手法や手順を想定して複数のシナリオを作成し、幅広い試験手法・手順を網羅してケーススタディを実施した。さらにメタンハイドレート貯留層特性の不確実性を考慮して、貯留層特性の変化に対する試験挙動の感度分析スタディを実施した。ケーススタディおよび感度分析スタディを合わせて、全体で 339 ケースのスタディを実施することにより、試験挙動の概要や貯留層特性に対する感度を把握することができた。

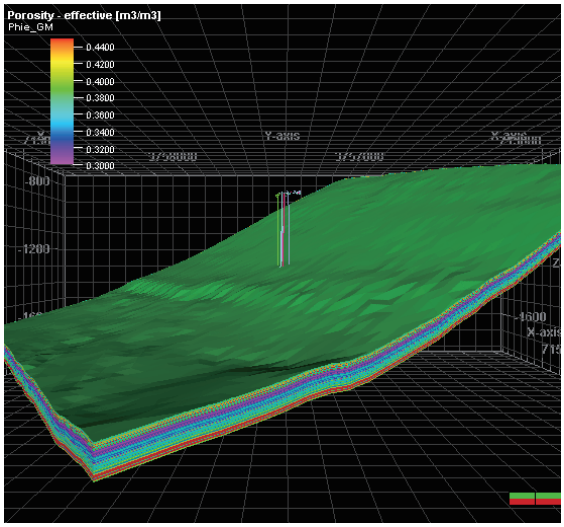


図 1　広域 3 次元セクターモデル

（1）メタンハイドレート貯留層モデルの確認･整理

MH21 研究コンソーシアムによってヒストリーマッチングシミュレーションを通して現時点で最適化されたメタンハイドレート貯留層広域 3 次元セクターモデルについて、モデル化した領域、堆積層区分、岩相の定義、レイヤー区分、貯留層特性の推定方法、初期条件、等を確認し、貯留層モデリングの参考とした。

（2）広域 3 次元セクターモデルの構築

長期産出試験で採用する試験井として 5 本の候補井を選択し、これらの坑井近傍を模した様々な貯留層モデルを構築した。

（3）基本的な試験挙動の予測

作成した各種の貯留層モデルを用いて、1 年間の産出試験を想定し、その挙動をシミュレートした。まず、円筒座標系モデルとセクターモデルのシミュレーション結果ができるだけ近づくように、セクターモデルのグリッドシステムを最適化した。次に、基本的なメタンハイドレート分解・生産手法の適用を想定して表 1 に示す 16 の試験シナリオを策定し､各々のシナリオに基づき貯留層モデルを選択して、合計で 135 ケースの挙動予測シミュレーションを実施した。

（4）感度分析シミュレーションスタディ

前項で実施したケースシミュレーションから重要と考えられるものを 8 ケース選択し､それぞれについて貯留層特性等を変化させ、合計で 204 ケースの感度分析シミュレーションを実施した。

（5）最適試験計画の提言

上記で実施したケーススタディおよび感度分析スタディの結果得られた重要な知見を整理することにより、最適試験計画策定に際して考慮すべき要素として提言した。さらには試験計画の例を作成し、提示した。

（6）予想される試験挙動の範囲の明示

試験計画策定、特に設置する機器類の仕様決定に資するために、試験で予想されるガス・水生産量および水圧入量の範囲を明確にした。

表 1　ケーススタディのシナリオ

生産手法	坑井形態	増産オプション	使用モデル	備考	シナリオ番号
減圧法	垂直	無し	R-1 ～ R-3 、FS-1	単純減圧	D1
		強減圧	R-1	単純減圧	D2
		坑径拡大	R-1	単純減圧	D3
		水圧破砕	FS-1	垂直方向フラクチャー	D4
		2 坑井	FS-2	単純減圧	D5
		無し	S-1	帯水層付	D6
		無し	S-2	帯水層付	D7
	水平	無し	FS-3	単純減圧	D8
		無し	S-1	帯水層付	D9
		無し	S-2	帯水層付	D10
	垂直	無し	FS-1	断層	D11
		2 坑井	S-3	帯水層付	D12
熱攻法	垂直	温水 Huff'n'Puff	R-1～R-3	減圧→H&P	T1
		Dump Huff'n'Puff	R-1～R-3	減圧→H&P	T2
		温水掃攻	FS-2	減圧→掃攻	T3
		Dump 温水掃攻	FS-3	減圧→掃攻	T4

3. 共同研究者

石﨑　理（石油資源開発株式会社新技術開発部）

4. 研究業績

本研究の結果・成果は現時点では国家機密であるため、公の発表は禁じられているが、2014 年 9 月 18 日には内部発表会で報告し、好評を得ている。また、本研究の成果を参照にして、より一般的な研究である「(メタンハイドレート) 流動シミュレータと岩石力学シミュレータの統合化手法の開発」を実施したが、この研究の成果については、2015 年度の石油技術協会春季講演会の口頭発表に応募し、受理されている。

5. 研究活動の課題と展望

本研究では、メタンハイドレートの長期海洋産出試験の計画策定に資するべく、MH21 研究コンソーシアムが作成した当該エリアを対象とした広域 3 次元セクターモデルより各種の貯留層モデルを抽出・作成し、1 年間の試験挙動を予測した。予測に際しては、実際の試験で試みられる可能性のある手法や手順を想定して複数のシナリオを作成し、幅広い試験手法・手順を網羅してケーススタディを実施した。さらにメタンハイドレート貯留層特性の不確実性を考慮して、貯留層特性の変化に対する試験挙動の感

度分析スタディを実施した。ケーススタディおよび感度分析スタディを合わせて、全体で 339 ケースのスタディを実施することにより、試験挙動の概要や貯留層特性に対する感度を把握することができた。

メタンハイドレートの長期海洋産出試験が極めて重要であることは言うまでもないが、それを成功裏に実施するためには、周到な計画策定が肝要となることも言うまでもない。そのためには更に精度の高い、かつ実践に即した試験挙動予測を継続することが重要であると考える。より高度な試験挙動の予測に向けて、以下の事項を考慮することを提言する。

- 本研究で参照した MH21 研究コンソーシアム作成の 3 次元セクターモデルは、現在でも更新中である。最新版のモデルを用いて挙動予測を行うべきであるが、最新版のモデル構築に際しては、各レイヤーの特性、特に初期水有効浸透率や BSR 以深のレイヤー特性を慎重に推定すべきである。
- 試験候補の領域では地層が約 20%傾斜しているため、2 次元円筒座標系モデルや水平セクターモデルでは、斜め下方あるいは上方からの水の浸入を再現できず、予測結果の信頼性が低下する。地層傾斜を再現した 3 次元セクターモデルを中心に用いて挙動予測計算を行うべきである。
- 本研究では温水による Huff'n'Puff を適用した場合の試験挙動を予測したが、Huff、Soak、Puff の各期間、圧入・生産量等を最適化した訳ではない。同様に温水による掃攻を想定した試験挙動の予測においても、圧入・生産量等を最適化していない。これらについては更なる検討を要する。
- 本研究を通して、メタンハイドレート胚胎区間が薄い領域においては、走向方向から少し方位をずらした水平坑井が有効であることが確認された。水平坑井の長さ、方位、坑底圧力等の影響・効果をより詳細に検討する必要がある。
- 本研究では、実際の試験時の操業や坑内・坑口・海上の機器の仕様とは無関係に作成したシナリオに基づいて挙動予測を行ったが、これらの仕様と連動させた、より実践的な予測計算を行う必要がある。
- 本研究では、各レイヤーにおいて貯留層特性が水平方向には均一であると仮定した。水平方向の貯留層特性の分布・変化、すなわち不均質性を考慮、仮定した試験挙動予測計算を行う必要がある。
- 本研究では、砂の流動や地層圧密などの岩石力学的な挙動は考慮していないが、将来的にはこれらの要素を考慮して予測計算を実施することが望ましい。

エネルギーキャリアのための非在来型触媒

研究代表者　関根　泰
（先進理工学部　応用化学科　教授）

１．研究課題

日本では一次エネルギー供給のほとんどを石油や天然ガス，石炭などの化石燃料が占めており，それらのほとんどを輸入に頼っている。エネルギーの中長期的な安定供給や温室効果ガスの排出量削減を実現するためには再生可能エネルギーの利用拡大が不可欠である。しかし風力や太陽光などの再生可能エネルギーは，地域や気候による出力変動が大きいという欠点を持つ。そのため，電気エネルギーを化学エネルギーに変換して貯蔵や輸送を行い，出力変動を緩和する方法が提案されている。その中でも，水素は，多様な原料からの製造が可能であり，燃焼時に生成物が水のみであるため，3E(Energy security, Economic efficiency, Environment)の観点からエネルギーのキャリアに適している。しかし，水素は常温常圧で気体であり，体積当たりのエネルギー密度が低い。また，爆発限界範囲が広いため, 取り扱いが難しい。そのため, 水素エネルギーを大規模に利用するためには, 水素を安全かつ高効率に貯蔵・輸送する方法の確立が不可欠である。水素の貯蔵法として，液体水素，有機ハイドライド，アンモニアなどが提案されている。これらの中で，我々は有機ハイドライドとアンモニアに注目した。有機ハイドライド法は芳香族化合物を水素貯蔵体とし，可逆的な水素化 - 脱水素反応を利用して水素を貯蔵する方法である。芳香族化合物やそれらを水素化して得られるナフテンは，ガソリン等に含まれる液体であり，タンカーやローリーなど既存のインフラを用いた輸送や貯蔵が可能である。シクロヘキサン，メチルシクロヘキサン，デカリンが物質として候補に挙げられるが，毒性や液体範囲などの観点からメチルシクロヘキサンが最も適している。一方，有機ハイドライド法が解決すべき課題として，排熱の有効利用および脱水素反応に用いられる Pt 触媒の寿命改善が挙げられる。

２．主な研究成果

これまで，我々はメチルシクロヘキサンの脱水素反応に対して高寿命な触媒担体の探索を行ってきた。その中で，TiO_2 が他の担体に比べて高い安定性を示すことがわかった。そこで，本研究では Pt/TiO_2 のメチルシクロヘキサン脱水素特性を詳細に調べることで, 脱水素触媒の長寿命化に必要な知見を得ることを目的とした。また，アンモニア法は，ハーバー・ボッシュ法により窒素と水素からアンモニアを合成しこれを輸送・貯蔵した上で，再度水素に戻すなどして用いる方法である。こちらはアンモニア合成の条件の緩和が課題となっており，水を水素源として低温・常圧で合成することができれば大きなブレイクスルーとなりうる。そのためのアンモニアの常温常圧合成のための触媒プロセスについても，電場を印加した触媒反応を中心として詳細な検討を行った。

実験に際して触媒の担体には，触媒学会参照の TiO_2(JRC-TIO-7)および Al_2O_3(JRC-ALO-8)を用いた。金属の担持は，Pt が全体の 1 wt%となるように蒸留水を溶媒とした含浸法で調製した。蒸発乾固後の試料は 343 K のオーブンで約 15 時間乾燥させた。試料を磁器るつぼに移した後，マッフル炉を用いて昇温速度を 5 K min^{-1} とし，673 K で 5 時間焼成を行った。焼成後の触媒は加圧成型器を用いて 60 kN で 10 分間圧縮した後，250~500 μm に整粒し，活性試験に用いた。活性試験は，常圧固定床流通式反応器を用いてメチルシクロヘキサン(MCH)の脱水素反応およびアンモニア合成を

行った。生成物の分析は，液体成分は氷水のトラップで回収し，GC-FID で分析した。気体成分はシリンジで採取し，GC-TCD で分析した。

MCH の脱水素に関しては，Pt/TiO_2 および Pt/Al_2O_3 を用いて活性試験を行った。Pt/Al_2O_3 は反応初期の水素収率が 85%と高い値を示したが，徐々に活性が低下した。一方，Pt/TiO_2 は反応初期 10 分程度の間に急速に活性が低下した後，徐々に上昇し，その後は安定な活性を示した（図 1 参照）。

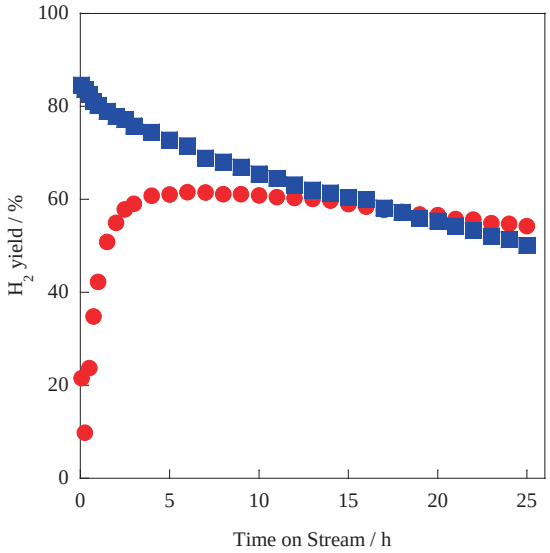


図 1　チタニアとアルミナを担体とした白金触媒における活性比較，
青プロットがアルミナ担体，赤プロットはチタニア担体を示す.

また，反応開始から約 18 時間後以降は Pt/Al_2O_3 よりも高い活性を示した。これより，Pt/TiO_2 は Pt/Al_2O_3 に比べて劣化耐性が高いことがわかった。そこで，Pt/TiO_2 と Pt/Al_2O_3 の活性や劣化挙動の違いを調べるために，TPO による炭素析出量の測定および TEM による Pt 粒子の観察を行った。炭素析出量については，Pt/TiO_2 は Pt/Al_2O_3 に比べて反応後の炭素析出量が少ないことがわかった。メチルシクロヘキサンの脱水素において炭素の析出は担体の酸点または Pt 上での芳香環の C-C 結合の解離をもとに起こるためと考えられる。しかし Pt/TiO_2 は反応後に炭素がほとんど析出していなかった。これより，担体よりも Pt の構造や状態が炭素析出に大きく影響を与えるのではないかと考えられる。

次に TEM による触媒上の Pt 粒子の観察について，Pt/Al_2O_3 は反応前，反応後のどちらも 1~3 nm 程度の Pt 粒子が確認でき，Pt 平均粒子径は 1.7 nm となった。反応後において Pt は凝集していないため，活性劣化の原因は Pt の構造変化ではなく，炭素析出などの触媒被毒によるものであると考えられる。Pt/TiO_2 は反応前において Pt 粒子が確認できなかった。今回の測定条件では観察できないほど Pt が高分散な状態であると考えられる。一方，反応後においては Pt/Al_2O_3 と同様，1~3 nm 程度の Pt 粒子が確認でき，平均粒子径は 1.7 nm となった。反応前において Pt が見えないほど高分散であると仮定すると，反応中に Pt が徐々に凝集していることになる。一方で，活性については初期において急速に低下した後，徐々に上昇することが分かっている。Pt が反応初期に凝集して活性が低下した後に電子状態の変化などにより活性が上昇した可能性が考えられる。

３．共同研究者

なし

４．研究業績

４．１　学術論文

K. Mukawa, N. Oyama, H. Ando, T. Sugiyama, S. Ogo, Y.Sekine*, Synthesis of stable anisotropic carbon particle aggregates covered by surface nano-graphitic sheets, *CARBON*, 88, 33–41, 2015.

S. Ogo, K. Shimizu, Y. Nakazawa, K. Mukawa, D. Mukai, Y. Sekine*, Steam reforming of ethanol over K promoted Co catalyst, *Appl. Catal. A:Gen.*, 495, 30-38, 2015

E. Kono, S. Tamura, K. Yamamuro, S. Ogo, Y. Sekine*, Pd/K/Co-oxide catalyst for water gas shift, *Appl. Catal. A:Gen.*, 489, 247–254, 2015.

T. Higo, T. Hashimoto, D. Mukai, S. Nagatake, S. Ogo, Y. Sugiura, Y. Sekine*, Effect of hydrocarbon structure on steam reforming over Ni/perovskite catalyst, *J. Jpn. Petrol. Inst.*, 58(2), 86-96, 2015.

D. Mukai, Y. Kondo, T. Eda, S. Ogo, Y. Sekine*, Partial oxidation of methane over modified Ni/α-Al_2O_3 catalyst at low temperature, *J. Jpn. Petrol. Inst.*, 58(1), 46–54, 2015.

K. Takise, M. Imori, D. Mukai, S. Ogo, Y. Sugiura, Y. Sekine*, Effect of catalyst structure on steam reforming of toluene over Ni/$La_{0.7}Sr_{0.3}AlO_{3-d}$ catalyst, *Appl. Catal. A:Gen.*, 489, 155–161, 2015.

Y. Sekine*, F. Sumomozawa, T. Shishido, Coking Technology using Heavy Oil Residue and Hyper Coal, *ISIJ International*, 54(11), 2446–2453, 2014.

M. Nagata, Y. Hanaki, A. Ikeda, Y. Sekine*, Effect of Ozone Addition to Lean NOx Trap Method using Plasma-Catalyst System, *Plasma Chem. Plasma Process.* (Springer) 34(6), 1303-1315, 2014.

Y. Sekine*, Y. Nakazawa, K. Oyama, T. Shimizu, S. Ogo, Effect of small amount Fe addition on ethanol steam reforming over Co/Al_2O_3 catalyst, *Appl. Catal. A:Gen.*, 472, 113–122, 2014.

D. Mukai, Y. Murai, T. Higo, S. Ogo, Y. Sugiura, Y. Sekine*, Effect of Pt addition to Ni/$La_{0.7}Sr_{0.3}AlO_{3-d}$ catalyst on steam reforming of toluene for hydrogen production, *Appl. Catal. A:Gen.*, 471, 157-164, 2014.

K. Oshima, T. Shinagawa, Y. Nogami, R. Manabe, S. Ogo, Y. Sekine*, Low temperature catalytic reverse water gas shift reaction assisted by an electric field, *Catal. Today*, 232, 27-32, 2014.

４．２　総説・著書

小河脩平・関根 泰, コバルト触媒を用いたバイオエタノールの水蒸気改質による水素製造, *ケミカルエンジニアリング*、3、2015

関根　泰, シェールガスをはじめとする非在来型化石資源と今後のエネルギー・化学, *水素エネルギーシステム*、水素エネルギー協会、39、2、116-121、2014.

矢部　智宏、真鍋　亮、関根　泰, 第 4 編第 1 章　シェール革命による石油化学原料生産への影響と今後の展望, *シェールガス～開発・生産と石油化学～*、NTS、229-240、2014.

大島一真、関根　泰, 電場中での天然ガスからの低温水素製造用触媒, *触媒技術の動向と展望*　「3－8 節・先端分野」、触媒学会、75-84, 2014.

関根　泰, 非在来型触媒反応での水素製造, *クリーンエネルギー*、41-46, 5, 2014.

４．３　招待講演

2015/3/8　宮城仙台・触媒学会東日本支部・東北地区講演会　シェールガス革命とメタンのこれから、○関根　泰

2015/3/6　東工大・学振委員会、環境エネルギー分野の現状俯瞰ならびに同分野におけるプラズマ

場・電場利用の化学、○関根　泰
2015/1/23　神奈川・第 50 回触媒フォーラム、資源エネルギーと触媒技術の展望、○関根　泰
2015/1/16　東京・化学会館・第 9 回工業触媒研究会フォーラム、水素製造・利用に関連する触媒技術の動向、○関根　泰
2014/11/11　東京・石油学会・触媒シンポジウム、水素製造と水素キャリアの現状とこれから、○関根　泰
2014/10/29　東工大・エネルギー・環境分野における非在来型触媒プロセスの現状と今後、シェールガス・天然ガス・石油を起源とした化学の今後、○関根　泰
2014/9/25-27　広島・触媒学会第 114 回触媒討論会、低温・電場中での触媒反応による酸化カップリングなどのメタン転換、○関根　泰
2014/07/04　東京・第二回 SPring-8 グリーンサステイナブルケミストリー研究会、担持金属触媒の XAFS による微細構造解析と触媒開発、○関根　泰
2014/05/30　東工大・日本電磁波エネルギー応用学会、プラズマ・電場を利用した化学反応の学理と応用、○関根　泰

5. 研究活動の課題と展望

今後、MCH 脱水素においてはトルエン選択率の更なる向上を目指す。2014 年度は触媒寿命の改善に注目してきたが，活性や選択性を向上させることでもプロセスのコスト削減に寄与することができる。Pt 使用量の削減については，第二金属の添加や担体の改良を中心に行っていく。トルエン選択率については，まず微量に生成するベンゼンやメタンの定量法を確立するとともに，より分解生成物が生成しやすい高温条件での選択率の評価を行う。その後，触媒の改良により選択率の向上を目指す。

微生物機能高度活用プロジェクト

研究代表者 木野 邦器
(先進理工学部 応用化学科　教授)

1. 研究課題

微生物や酵素による反応は、常温常圧において進行可能であり、高い立体選択性や位置選択性が発揮されることが期待される。本研究課題では、微生物や酵素の機能を高度に利用することで、有用性の高い水酸化化合物やペプチド、さらには、バイオマスを原料とした汎用化成品の合成プロセスを開発することを目的としている。本稿では、水酸化芳香族化合物の合成法の開発ならびにペプチド合成酵素の開発研究について報告する。

2. 主な研究成果

2.1　二成分型フラビン依存性モノオキシゲナーゼ HpaBC のピセアタンノール合成への応用

レスベラトロールの 3’位が水酸化された構造を有するピセアタンノール（Fig. 1）は、近年、レスベラトロールより優れた生理活性を示すことが明らかにされつつあり、アンチエイジング素材として食品や化粧品への応用に関心が寄せられている。例えば、コラーゲン産生の促進やメラニン合成の抑制においてピセアタンノールの方が効果的であり、さらに体内吸収性（ラット）はレスベラトロールの約 2 倍であることが明らかにされている。ピセアタンノールは現在、パッションフルーツ種子からの抽出法等により生産されているが、予想される今後の需要増加に備えて新たな生産法を開発することは、その安定供給に向けて重要である。我々はこれまでに、*Pseudomonas aeruginosa* 由来の二成分型フラビン依存性モノオキシゲナーゼ HpaBC が *p*-クマル酸を水酸化してカフェ酸に変換できることを報告しているが（Furuya T, et al., Appl. Microbiol. Biotechnol., 98, 1145 (2014)）、*p*-クマル酸とレスベラトロールの部分構造の類似性から HpaBC がレスベラトロールに対しても水酸化活性を示すのではないかと予想した。そこで本年度は、HpaBC のレスベラトロールに対する水酸化活性を評価してピセアタンノール合成への応用を試みた。

hpaBC 遺伝子を発現させた大腸菌をレスベラトロールと反応させたところ、HPLC 分析においてレスベラトロール変換産物と予想されるピークが検出された。本変換産物を NMR 分析に供したところ、レスベラトロールの 3’が水酸化されたピセアタンノールと同定された（Fig. 1）。そこで、HpaBC 発現大腸菌細胞を触媒としたピセアタンノール合成について検討した。本大腸菌細胞を 30 mM のレスベラトロールと反応させたところ、12 時間で 13 mM のピセアタンノールを生成した。さらに、界面活性剤の添加効果について検討したところ、反応液に Tween 80 を 1% (v/v)添加することにより生成量は大幅に増加し、12 時間で 23 mM（5.2 g/L）のピセアタンノール合成を達成した。これまでに放線菌 *Streptomyces avermitilis* が 78 μM のピセアタンノールを合成することが報告されているが、本研究では従来の約 300 倍の力価に値する効率的な合成手法を確立することができた。

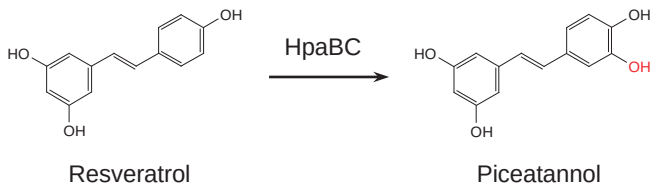


Fig. 1. Regioselective hydroxylation of resveratrol to piceatannol by HpaBC.

2.2 非リボソーム型ペプチド合成酵素におけるアデニル化領域タンパク質の基質特性評価

アミド結合は医薬品、機能性分子、化成品などの有機化合物や生体におけるタンパク質中に幅広く存在し、アミド結合形成反応は極めて重要である。一般に、アミド結合はカルボン酸とアミンの縮合によって形成されるが、カルボキシ基の反応性を高める活性化剤（縮合剤）が理論上等モル必要となるなどの課題がある。当研究室では、生物学的なカルボキシ基活性化に基づく非リボソーム型ペプチド合成酵素におけるアデニル化ドメインに着目し、カルボキシ基活性化と、それに続くアミンの非酵素的な求核攻撃によるアミド結合形成を見出している。

本研究では、アデニル化ドメインの簡便な基質特異性評価法の構築を試みた。通常、アデニル化ドメインの基質特異性の評価では、一度基質をアデニル化させた後、可逆性を利用し、過剰量の放射性同位体 ^{32}PPi を添加することで生じた放射性ラベル化 ATP を検出する。本手法は、放射性同位体を利用するため高感度ではあるが、煩雑な操作や特殊な装置を必要とするなど課題も多い。そこで、より簡便にアデニル化ドメインの基質特異性を評価できる可能性のあるヒドロキシルアミン比色分析に着目した。アデニル化ドメインによりアデニル化したアミノ酸に対して、求核剤であるヒドロキシルアミンを作用させることでアミド結合が形成され、ヒドロキサム酸が生成する。このとき、酸性条件、Fe^{3+}の存在下で錯体を形成する（λ_{max}=490）。古典的な方法ではあるが、アデニル化ドメインに適用した例はほとんどない。そこで代表的なアデニル化タンパク質であるチロシジン合成酵素のアデニル化ドメイン（TycA-A）とタンパク質構成性アミノ酸 20 種類をアデニル化の基質として用い、反応後に比色分析を実施したところ、TycA-A は本来の基質であるフェニルアラニンのみならず、従来知られていないトリプトファンやチロシンなどの芳香族アミノ酸、メチオニン、バリン、ロイシンなどの脂肪族アミノ酸に対してもアデニル化活性を有していた（Fig. 2）。一方、ヒドロキシルアミンの代わりにプロリンを求核剤として作用させると、アミノアシルプロリンが生成するはずである。そこで、比色分析において活性が見られたアミノ酸とプロリンを用いたアミド結合形成を検討したところ、予想通りそれぞれに対応したアミノアシルプロリンの生成を確認した。さらに、基質特異性の異なるアデニル化ドメイン（SrfB2-A および BacB1-A）を利用することでアスパルチルプロリン、リジルプロリンも合成可能となった。

以上の結果から、今回検討した比色分析がアデニル化ドメインの簡便な基質特異性のみならず、アミノアシルプロリン合成能の簡便な評価法に適用可能であることを明らかにした。

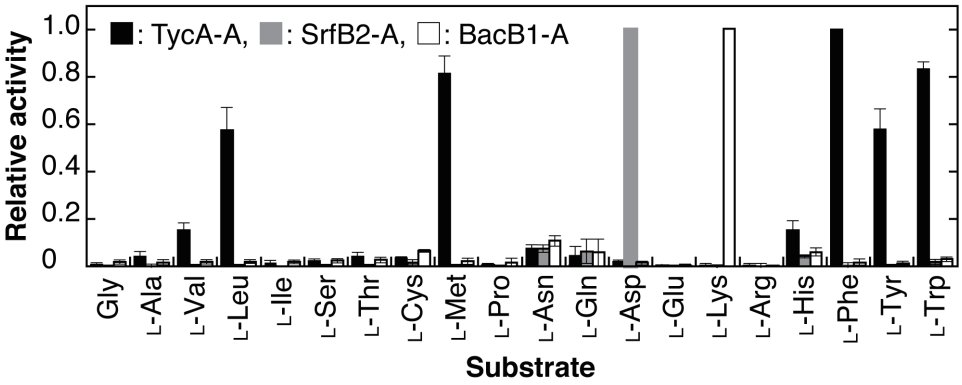


Fig. 2. Substrate specificities of the adenylation domains of tyrocidine synthetase(TycA-A), surfactin synthetase (SrfB2-A), and bacitracin synthetase (BacB1-A).

2.3 L-アミノ酸リガーゼ (Lal)の立体構造情報に基づく機能改変とポリアミノ酸合成酵素の結晶化

ジペプチドには血圧降下作用や抗うつ作用などの様々な機能性が知られているが、我々は呈味、とくに「塩味増強」に着目し、Lal を用いて構築したジペプチドライブラリーから Met-Gly にその効果があることを見出した（木野ら、食品科学工学会誌、in press）。また、Met-Gly は Lal の一種である *Bacillus* 属由来の BL00235 を用いると効率よく合成可能であるが、副生成物として Met-Met も生じる。そこで、BL00235 の立体構造情報に基づいて C 末端基質認識に関わる推定部位に対して変異導入を検討したところ、Met-Gly のみを選択的に合成する改変型酵素の取得に成功した（Fig. 3）。Lal の部位特異的変異導入による目的ジペプチドの選択的合成に成功した初めての例となる。

また、胡桃坂研究室の協力を得て、大腸菌由来ポリ-α-グルタミン合成酵素 RimK など 2 種類のリガーゼ酵素の結晶化と解析を検討した。RimK については単結晶の取得に成功し、得られた X 線回折像から分子置換法による解析によって立体構造の決定に至り、RimK の反応特異的な情報と基質認識部位の特定、及び RimK 改変戦略の方向性を得ることができた。

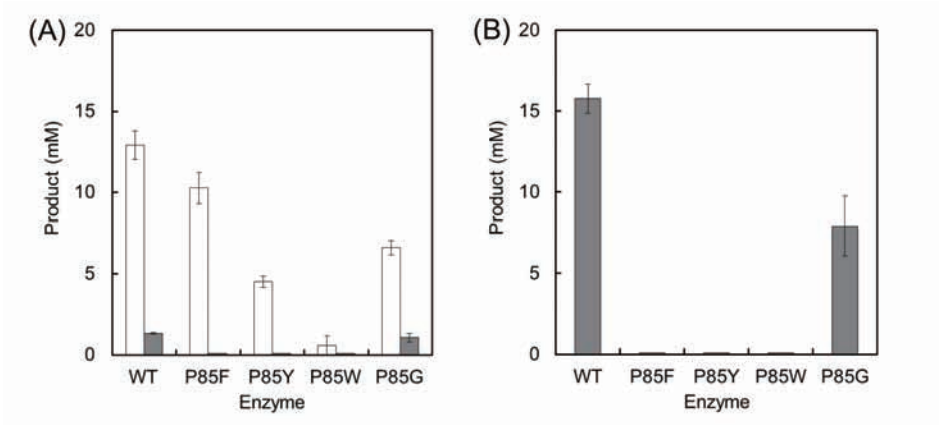


Fig. 3. Synthesis of Met-Gly or Met-Met by wild-type BL00235 or mutants. Reaction mixtures contained 20 mM Met and Gly (A) or 40 mM Met (B). Bars: white, Met-Gly; gray, Met-Met.

3. 共同研究者

胡桃坂 仁志(先進理工学部・電気・情報生命学科・教授)
古屋 俊樹(先進理工学部・応用化学科・助教)
原 良太郎(理工学術院・理工学研究所・次席研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文

1. R. Hara, N. Uchiumi, N. Okamoto, K. Kino, "Regio- and Stereoselective Oxygenation of Proline Derivatives by Using Microbial 2-Oxoglutarate-Dependent Dioxygenases", *Biosci. Biotech. Biochem.*, **78**(8), 1384-1388, (2014).
2. T. Furuya, M. Miura, K. Kino, "A Coenzyme-Independent Decarboxylase/Oxygenase Cascade for the Efficient Synthesis of Vanillin", *ChemBioChem.*, **15**, 2248-2254, (2014).
3. T. Furuya, Y. Shitashima, K. Kino, "Alteration of the Substrate Specificity of Cytochrome P450 CYP199A2 by Site-Directed Mutagenesis", *J. Biosci. Bioeng.*, **119**(1), 47-51, (2015).
4. K. Koketsu, Y. Shomura, K. Moriwaki, M. Hayashi, S. Mitsuhashi, R. Hara, K. Kino, Y. Higuchi, "Refined Regio- and Stereoselective Hydroxylation of L-Pipecolic Acid by Protein Engineering of L-Proline *cis*-4-Hydroxylase Based on the X-ray Crystal Structure", *ACS Synth. Biol.*, **4**(4), 383-392, (2015).
5. R. Hara, R. Sizuki, K. Kino, "Hydroxamate-based Colorimetric Assay to Assess Amide Bond Formation by Adenylation Domain of Nonribosomal Peptide Synthetases", *Anal. Biochem.*, **477**, 89-91, (2015).
6. T. Furuya, M. Misa, K. Mari, K. Kino, "High-Yield Production of Vanillin from Ferulic Acid by a Coenzyme-Independent Decarboxylase/Oxygenase Two-Stage Process", *N. Biotechnol.,* **32**(3), 335-339, (2015).
7. R. Hara, M. Nakano, K. Kino, "One-Pot Production of L-*threo*-3-Hydroxyaspartic Acid Using Asparaginase-Deficient *Escherichia coli* Expressing Asparagine Hydroxylase of *Streptomyces coelicolor* A3(2)", *Appl. Environ. Microbiol.*, **81**(11), 3648-3654, (2015).
8. 木野はるか，角谷政尚，服部宏一，東條博明，駒井強，南木昂，木野邦器，"L-アミノ酸リガーゼを利用した塩味増強効果を有するジペプチドの探索"（Screening of Salt Enhancing Dipeptide Based on a New Strategy with L-Amino Acid Ligase），食品科学工学会誌，in press.

4.2 総説・著書

1. 古屋俊樹，木野邦器，"解説　二核鉄型酸化酵素の異種発現と高選択酸化プロセスへの応用"—Heterologous Expression of Binuclear Iron Monooxygenases and Their Application to Selective Oxidation Processes—, バイオサイエンスとインダストリー, **72**(3), 213-217 (2014).

4.3 (招待)講演

4.4 受賞・表彰

1. 木野はるか，木野邦器，日本農芸化学会 2015 年度大会トピックス賞受賞，“立体構造解析に基づく L-アミノ酸リガーゼの改変と塩味増強効果を有する Met-Gly の選択的合成法の開発”

4.5 学会および社会的活動

1. 木野はるか,角谷政尚,服部宏一,東條博昭,駒井強,南木昂,木野邦器,“L-アミノ酸リガーゼを利用した塩味増強効果を有するジペプチドの探索”, 第 68 回日本栄養・食糧学会大会（北海道）, 講演要旨集 p.308，3O-13p，2014.6.1
2. T. Furuya, K. Kino, “Regioselective Hydroxylation of Aromatic Carboxylic Acids by Cytochrome P450 CYP199A2 and Its Mutants”, 16th ECB (16th European Congress on Biotechnology, Edinburgh, UK (July 13-16, 2014).
3. 古屋俊樹，斎政彦，木野邦器，“*Pseudomonas aeruginosa* 由来二成分型フラビンモノオキシゲナーゼを利用したジヒドロキシ芳香族化合物の位置選択的合成”, 日本生物工学会 2014 年度大会（北海道），講演要旨集 p.35, 1P-072，2014.9.9.
4. 古賀美千代，古屋俊樹，林未華，木野邦器，“*Mycobacterium* 属細菌由来二核鉄型酸化酵素複合体の大腸菌における発現”, 日本生物工学会 2014 年度大会（北海道）, 講演要旨集 p.35, 1P-071, 2014.9.9.
5. 木野はるか，角谷政尚，服部宏一，東條博昭，駒井強，南木昂，木野邦器，“L-アミノ酸リガーゼを利用した塩味増強効果を有するジペプチドの探索と効率的な生産法の開発”，日本生物工学会 2014 年度大会（北海道），講演要旨集 p.34，1P-067 2014.9.9.
6. 橋田紋佳, 中島翔太, 新井利信, 木野邦器, “結晶構造情報に基づく L-アミノ酸リガーゼ TabS の基質特異性の改変”，日本生物工学会 2014 年度大会（北海道），講演要旨集 p.391，1P-088，2014.9.9.
7. 原良太郎, 纐纈健人, 木野邦器，“2-オキソグルタル酸依存型水酸化酵素を利用したプロリンから *trans*-3-ヒドロキシプロリンへの直接水酸化”，日本生物工学会 2014 年度大会（北海道），講演要旨集 p.35，1P-103，2014.9.9.
8. 原良太郎, 山縣海, 三宅良磨, 川端潤, 木野邦器，“微生物由来新規リジン水酸化酵素の発見”, 日本生物工学会 2014 年度大会（北海道），講演要旨集 p.35，1P-104，2014.9.9.
9. 北辻早希, 原良太郎, 木野　邦器, “オルニチンシクロデアミナーゼの酵素化学的性質解析と有用ヒドロキシイミノ酸の合成”, 日本生物工学会 2014 年度大会（北海道），講演要旨集 p.35, 1P-105，2014.9.9.
10. 黒岩麻里，三浦美沙，古屋俊樹，木野邦器，“補酵素非依存型脱炭酸酵素と酸化酵素を利用したバニリンの効率的合成”, 第 4 回 CSJ 化学フェスタ 2014（東京）, 講演要旨集 p.37，P6-063, 2014.10.5.
11. 古屋俊樹，齋政彦，木野邦器，“フラビン依存性酸化酵素を利用したレスベラトロールの位置選択的酸化によるピセアタンノールの合成”，日本農芸化学会 2015 年度大会（岡山），講演要旨集 3A34a06，2015.3.28.
12. 原良太郎，山縣海，三宅良磨，川端 潤，木野邦器，“ヒドロキシリジン合成に有用な位置・立体選択的水酸化酵素の開発”，日本農芸化学会 2015 年度大会（岡山），講演要旨集 3A34a07, 2015.3.28.
13. 北辻早希，山縣海，原良太郎，木野邦器，“オルニチンシクロデアミナーゼを利用した有用ヒドロキシイミノ酸合成プロセスの開発”，日本農芸化学会 2015 年度大会（岡山），講演要旨集

3A34a08，2015.3.28.
14. 原良太郎，西川健幸，纐纈健人，木野邦器，“エクトイン水酸化酵素の特性解析とヒドロキシプロリン類縁化合物合成への応用”，日本農芸化学会 2015 年度大会（岡山），講演要旨集 3A34a09，2015.3.28.
15. 木野はるか，木野邦器，“立体構造解析に基づく L-アミノ酸リガーゼの改変と塩味増強効果を有する Met-Gly の選択的合成法の開発”，日本農芸化学会 2015 年度大会（岡山），講演要旨集 3A34a10，2015.3.28.

5. 研究活動の課題と展望

水酸化芳香族化合物の合成研究では、*P. aeruginosa* 由来の二成分型フラビン依存性モノオキシゲナーゼ HpaBC がレスベラトロールを水酸化してピセアタンノールに変換できることを新たに見いだし、有用な天然生理活性物質であるピセアタンノールの効率的合成手法を確立した。現在、ピセアタンノールのさらなる高生産に向けて検討中である。また最近、HpaBC のスチルベン類に対する新規な水酸化活性を見いだしており、本水酸化産物の構造決定や高生産についても検討する予定である。

アミド結合形成では、従来よりも簡便な比色法によるアデニル化ドメインの基質特異性評価法を構築した。今後、アミド化合物の汎用的合成法を開発するために、非リボソーム型ペプチド合成酵素のアデニル化ドメインに限定せず、アシル-CoA リガーゼ、ルシフェラーゼなどのカルボキシ基活性化酵素も検討することが重要と考えている。今回構築した手法を用いることで、多様なカルボキシ基活性化酵素の基質特異性を効率的かつ簡便に評価できると期待している。

ペプチド合成酵素の開発研究では、結晶構造情報に基づいた部位特異手的変異導入により目的のジペプチドの選択的合成が可能な改変型酵素の取得に成功した。Lal の研究は、これまでは基質特異性の異なる新規 Lal の探索が中心であったが、今年度の成果として報告したように、塩味増強効果を有するジペプチドの探索ならびに Lal の基質特異性改変による目的ジペプチドの選択的合成など利用法の提案と具体的な生産プロセス開発研究へと移りつつある。今後も保有する Lal の中から目的にあった Lal を選択し、それを利用した目的ジペプチドの合成検討や Lal の機能改変を行う予定である。

また、酵素の立体構造解析については、RimK の単結晶の立体構造情報を得ることはできたが、酵素機能の任意改変などの実現には、基質と複合体を形成した RimK の立体構造情報が必須である。今後は、ADP などの補因子や基質との複合体の結晶化ならびに立体構造解析を行う予定である。

建築デザインを介した生活空間支援の実践的研究

研究代表者　入江　正之
（創造理工学部 建築学科　教授）

1、研究課題

時代の変革期において、建築の概念も変化してきており、その自覚のもとに建築デザインを介して、社会における多様で、新しいニーズにどのように対応していくかが問われている。建築的遺構の修復・再生とそれに伴う街の活性化支援、地方歴史的都市の街づくり支援、また都市施設の多様な展開における宗教建築の今日的在り様、省エネ・省資源に対応した建築計画、さらに幼児・初等教育環境の空間的在り方などをキーワードとして、建築デザインが社会におけるニーズ動向に対応して、多様で、新しい生活空間要求に支援という視点で、実現できるかを、課題とするものである。

2、主な研究成果

2.1　人間生活遺構研究

九州、佐賀県鹿島市を対象に街づくり提案を行うとともに、江戸時代から続く酒蔵のある歴史都市である市のさまざまな研究を行ってきた。5 年目に入った今年度は、「鹿島学研究報告会 - これまでの鹿島、これからの鹿島」と題して、鹿島の歴史と魅力のひみつから、産業遺構論 - 多様な産業を育む藤津郡 - ということで酒造りや隣町の窯業などに触れた視点から、人々を場所へと繋げる鹿島の祭りから、さらに鹿島の色をつくるものから等、幅広く研究成果を市のエイブルホールを借り受けて、100 数十人を越える市民にむけて講演会を行った。

2.2　Z プロジェクト

東京の主要幹線である青梅街道に面して建つ、8 階建ての店舗、雑誌社の本社、集合住宅の複合建築の設計を行っている。外的な条件規制から決まってきたヴォリュームの、その表面を白い壁体のファサードとしてその輪郭や端部、さらに大きく刳りこまれた中央開口部の周縁部をステンレスのプレート等で見切ることで、薄く、くっきりとした面として街道に対峙して屹立させた。この建築が立つ場所を「都市の表象性」として現したかった。

もうひとつは街道に併行する街路面に対して、「青梅街道センターパティオ」と呼称する歩行者が足をとどめることのできる奥行きの深い路地空間を、安らぎが感ぜられる間の空間として付加した。

2.3　漱石山房記念館

新宿区主催の「漱石山房記念館設計プロポーザルコンペティッション」の一位作品で、現在実施設

計中のプロジェクトである。文豪夏目漱石は区内の喜久井町で生まれ、早稲田南町で亡くなっている。自宅跡地に漱石山房の復元と展示室を備えた記念館建設のための設計競技が行われたのである。

漱石は近代の受容の問題を自覚的に捉まえ、作品の舞台を常に既存の町並み、そこに生き抜いている人々、風景、地形を微細に描出する。この方法を受けて、町並み自身が記念館であり、記念館という場所を包み込む既存の町並みを山房記念館の空間を包み込むものとし、復元される「漱石山房」を浮き彫りにするように設計案をまとめたものである。

2.4　スペイン、カタロニアの伝統的石造民家マジアの修復・再生に関する研究

スペイン、カタルーニャ州の伝統的石造民家マジアの残存遺構について、タラゴナ県ファッチェス離村集落にある対象遺構Ａ棟について修復・再生を行ってきている。今年度も修復・再生の第三ステージとして、Ａ－3 住戸の西側から南側に至る擁壁的外部壁体の石積み作業を行った。石は崩落した壁体から採取し、バインダーの役割をするアルガマサは現地の粘土を使用し、砂、セメントは市場から調達したものを使うが、オリジナルに近い制作方法を踏襲している。第三ステージの計画案に沿って、左官工ジュゼップの指導の下、昨年度に記録できた道具類を駆使して、2mに達する壁体を施工することができた。来年度は主要部に取り掛かることになるが、その背景ができたと考えている。

2.5　知久屋

惣菜売場と連携する、水平的な空間の広がりのイートインスペースに配された薄っぺらな布地の幟の垂直的空間を際立たせている。安東陽子氏に生地の選定をお願いし、薄い、切れるような質が空間にすがすがしさを与えることができたと考えている。

2.6　Ｍ寺

埼玉県川口市に計画された浄土真宗の寺である。都市郊外とはいえ住居地域にたつことの課題は、都市域に立地する宗教的心性を本性とする宗教施設の在り様である。宗教施設は、俗世とは見分けられた聖性の場所であって、建築的な内、外観は言うに及ばず、どのようにして精神性を持する空間を生成することができるか、が問われている。本プロジェクトにおいて、この課題にたいして建設すべき領域が限られていることを建築そのものの在り様に重ね合わせ、内、外部における“おさまり”の取り扱いに主題を絞ることで、現代の寺院施設持たなければならない性格を浮き彫りにした。

3、共同研究者

小松幸夫（創造理工学部・建築学科・教授）
長谷見雄二（創造理工学部・建築学科・教授）
田辺新一（創造理工学部・建築学科・教授）
輿石直幸（創造理工学部・建築学科・教授）
s

4、研究業績（主要なもの）

4.1 建築作品

入江正之、和久田幸祐、入江高世、浄土真宗本願寺派　光輪山　明善寺、新建築 2014 年 9 月号、第 89 巻 12 号、p. p. 133～139.

入江正之、入江高世、和久田幸祐、早田大高、吉川由、新宿区立「漱石山房」建築設計プロポーザルコンペティッション第一位、1914 年 5 月 23 日

4.著作

川成洋、入江正之他著、マドリードとカスティーリャを知るための 60 章、明石書店、2014 年 6 月。

入江正之、もっと知りたいガウディ　生涯と作品、東京美術、2014 年 7 月

4ー3 論文

石垣充、入江正之、提案型設計競技の要項 - 提案 - 講評に関する研究、日本建築学会計画系論文集第 697 号、p. p. 845～854、2014 年 3 月

4.1 招待講演

入江正之、吉川由、他院生 5 名　「早稲田大学入江正之研究室　鹿島学研究報告会　– これまでの鹿島、これからの鹿島– 」　鹿島市生涯学習センターエイブル特別講演　2014 年 11 月 7 日

4.2 学術講演・講演

早田大高、入江正之　マジアの修復・再生における職人技術に関する研究　スペイン・カタルーニャの伝統的石造民家マジアの修復・再生に関する研究（８）、日本建築学会　2014 年度大会（近畿）、学術講演梗概集　9215、p.p.429-430

山村健、入江正之　美学者ミラ・イ・フンタナルスの思想について(8)　―アントニ・ガウディ・イ・コルネット研究―、日本建築学会　2014 年度大会（近畿）、学術講演梗概集　9286、p.p.571-572

吉川由、入江正之　歴史的な町並みを残す町の再生計画– 九州の歴史都市を事例として　Ｉ－ 、日本建築学会　2014 年度大会（近畿）、学術講演梗概集　9388、p.p.775-776

人見将敏、入江正之　『ミラドール』紙投稿記事に見るカタルーニャ建築家らの建築思想について – 1930 年代カタルーニャ近代建築運動研究、日本建築学会　2014 年度大会（近畿）、学術講演梗概集　9436、p.p.871-872

5、研究活動の課題と展望

建築デザインは社会動向（政治、経済、文化、生活等全般）に直崔に関わる事象であるがゆえに、常態が本質的に変容を旨としている。現在という状況は、ある傾向を不変として継続、維持していこうとしがちであり、建築デザインの本質的様態を時間の急速な展開の内に見逃してしまいかねない。社会の動向にあるニーズを改めてとらまえ、建築デザインの概念を生活支援に向けて、常に更新していくことが望まれる。生き生きとした取り組む姿勢が必要とされよう。

各種建築物の制振構造デザイン手法の高度化

研究代表者　曽田 五月也
（創造理工学部 建築学科　教授）

１．研究課題

2011 年 3 月 11 日に東北地方太平洋沖地震が発生した。大規模津波が沿岸部を襲い未曾有の災害をもたらした事が特筆されるが、内陸部での地震動による構造被害も多く発生した。最近の 20 年ほどの間に震度 7 クラスの地震動が何回も発生し、古い建築物の多くが倒壊したばかりでなく、比較的新しい建築物にも取り壊しを余儀なくされる程の構造被害が発生している。低層戸建住宅を例にして、その地震防災に取り組むための合理的な手法の開発に取り組んでいる。阪神淡路の大震災で失われた人命の約 8 割が戸建住宅の倒壊を原因としており、今後、本研究プロジェクトでは想定される大地震における同様な被害の再発を防止したいと考えるからである。1996 年 4 月に理工学研究所で開始したプロジェクト研究「粘弾性ダンパの開発と耐震設計・耐震補強への適用」から現在の「各種建築物の制振構造デザイン手法の高度化」へと継続してきている。得られた主要な成果は、地震動の多様性を考慮して建築物の耐震性能を十分に上げるためには、建築物の剛性・耐力を増すという従来型の構造法を踏襲するよりも、減衰性能を付加することがより効果的であることを明らかにした。特に、オイルダンパ、粘性ダンパ、粘弾性ダンパという速度依存性を有するダンパは、低レベルから高レベルの地震動に対して建築物の変形・加速度を抑える効果が高い。

本研究では、現行の建築基準法で想定する地震動の強さをはるかに超える地震動（過酷な地震動）に対する建築物の耐震安全性を保障するために地震入力エネルギーを積極的に吸収する制振デバイスを併用する構造法を更に飛躍的に向上させる技術につき、コスト低減を可能とする DIY 手法も視野に入れて検討することにする。

２．主な研究成果

■拡張 NCL モデルによる建築物の地震応答解析

強い地震動の作用により、建物に大きな塑性変形が生じる場合の応答性状を正確に予測するためには、建築物の復元力特性に顕著にみられるスリップや、ピンチング等に代表される強い非線形性、また、繰返し変形に伴う剛性や耐力の低下、さらには最大強度発揮後の崩壊過程をも考慮する必要がある。本年度は、拡張 NCL モデルを用いて一般木造軸組だけではなく薄板軽量形鋼造、土壁造、さらに鉄筋コンクリート造の復元力特性を高精度に模擬できることを明らかにした。

■コンクリートブロックの滑りに関する振動実験および摩擦振動の数値解析

滑り基礎構造に関しては実大振動台実験や時刻歴応答解析によってその優れた応答加速度低減効果を確認してきたが、それらの検討は主に水平１方向からの外乱に対するものであった。そこで、今年度の研究では滑り基礎構造の実用化に向けて、多方向から外乱が同様に作用することによる様々な応答への影響を明らかにした。また、各種の摩擦振動の解析モデルを用いて実験のシミュレーション手法の検討も行った。

■地震動の過酷度指標と最大地震応答予測

建築物の耐震性能評価において、最大変形の予測精度の高さが極めて重要となる。簡易計算による最大変形の予測手法としては限界耐力計算やエネルギー計算があるが、それぞれが対象とする構造に明確な差がある。本研究では、構造種別によらず高い予測精度を有する新たな最大応答変形予測手法を地震入力エネルギーと建築物の吸収エネルギーとのバランスにより最大変形が決まるという理論に基づいて提案した。

■滑り基礎構造

戸建て住宅において、ダンパ等による制振構造は徐々に普及しており、実用化されている例も多い。しかしながら、地盤に接した1層床には地震動と同じ加速度が発生するため、建築として低コストで設置可能な免震構造に準ずる構造として滑り基礎構造を提案した。本年度は、滑り基礎の実用化に向けて、すべり面の施工法の詳細を検討した（図1）。

■DIY工法のための接着剤接合

建築分野への接着剤の適用は昨今活発に行われてきており、その施工性の良さから適用範囲が広がってきている。しかしながら、構造部材同士の接合材としては一般的に認められてない。現在開発中のDIY制振補強工法においても、金物と鉄骨柱梁との接合工法が必要であり、施工性、耐久性の両面から検討した（図2）。

■リンク式流体慣性ダンパの制振効果に関する研究

アクティブ，セミアクティブ手法による構造制御では複雑な制御装置が必要となるため、費用がかかり、また制御自体の信頼性なども懸念されている。本研究では、リンク式流体慣性ダンパを用いた多層建築物に対する損傷集中抑制効果、また偏心を有する建築物に対するねじれ振動抑制効果について振動台実験および解析により有効性を確認した（写真1）。

■小規模建築物の外付け制振パネル

大地震時に小規模な低層建築物が特定の層への変形の集中により倒壊に至る事例が、多数報告されている。本研究では、2層木造住宅の各層の層間変形を一様化するメカニカルリンク装置と粘性系ダンパを併用した外付け制振パネルを提案し、実験と応答解析により本システムの有効性を確認した。（図3）

■高靭性・高減衰耐力壁工法

過酷な地震動に対して、薄板軽量形鋼造を用いて合理的に対応するためには、変形や加速度を過大にすることなく地震により建物に入力されるエネルギーを吸収する構造システムを構築する必要がある。本年度は、薄板軽量形鋼造に用いられる耐力壁の高靭性化及び高減衰化手法を提案した。本工法は従来型の工法に比べて、変形や加速度を過大にすることなく薄板軽量形鋼造の耐震性能を向上して、同構造の中層化を可能にする工法であることを示した（図4）。

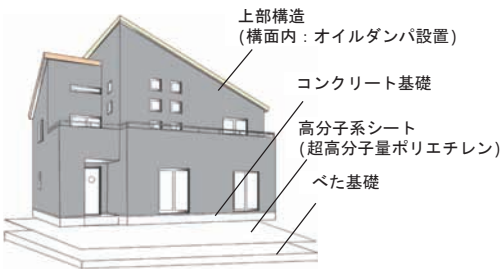


図1 滑り基礎構造概略図

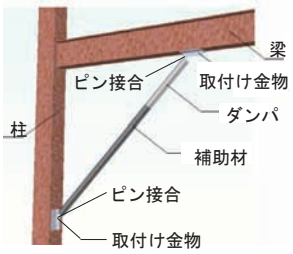


図2 接着材を用いたダンパの設置状況

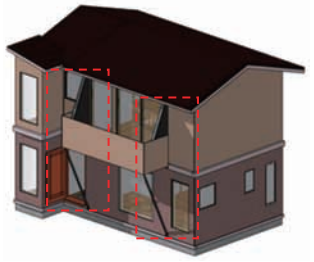


図3 外付け制振パネルを適用した2階建て木造住宅のイメージ

写真１ リンク式流体ダンパを設置した試験体

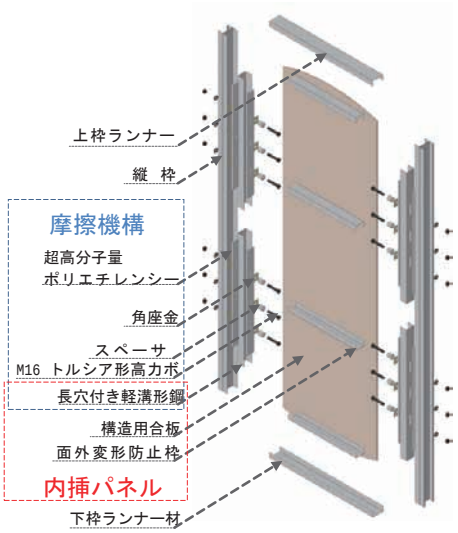


図４ 摩擦機構付耐力壁の仕様

３．共同研究者

宋成彬（早稲田大学）、宮津裕次（広島大学）、岩田範生（近畿大学）、関谷英一（(株）鴻池組）、袖山　博（三和テッキ（株））、高橋　治（(株）構造計画研究所）、平田裕一（三井住友建設（株））、岡野照美（光陽精機（株））、山崎久雄（ユニオンシステム（株））、武市英博（(株）ハウジングソリューションズ）、鵜野禎史（(株）川金コアテック）

４．研究業績

■学会講演（日本建築学会大会）

・宋成彬，曽田五月也：エネルギー応答に基づいた制振構造を適用した木質構造の最大変形予測手法，日本建築学会大会学術講演梗概集 B-3 分冊，pp.123-124，2014 年

・曽田五月也，久保和民,中原政人：薄板軽量形構造の高減衰化に関する研究　その 3.摩擦式エネルギー吸収機構を内蔵する高減衰耐力壁の開発，日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2 分冊，pp.1149-1150，2014 年

・曽田五月也，渡井一樹，瀬戸純平，矢嶋遥：リンク式流体慣性ダンパの高性能化に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2 分冊，pp.807-808，2014 年

・曽田五月也，宮津裕次（広島大学），宇平壮：外付け式層間変形制御装置による建築物の地震応答低減効果に関する研究　その 1. 工法の概要と時刻歴地震応答解析による検討，日本建築学会大会学術講演梗概集 B-3 分冊，pp.437-438，2014 年

・曽田五月也，宮津裕次（広島大学），宇平壮：外付け式層間変形制御装置による建築物の地震応答低減効果に関する研究　その 2.小型 2 層木造軸架構の強制載荷実験による効果検証，日本建築学会大会学術講演梗概集 B-3 分冊，pp.439-440，2014 年

■シンポジウム

・早稲田大学創造理工学部建築学科曽田研究室主催：第 3 回　制振構造デザイン技術の高度化に関するシンポジウムー過酷な地震動にどう備えるかー，早稲田大学西早稲田キャンパス 57 号館 2 階 201 教室, 2014 年 9 月 18 日

５．研究活動の課題と展望

来年度は、既往の研究成果をさらに拡充して建築物の実施設計により適合しやすい形に整理する。また、地震動予測に関する近年の研究成果を反映させることで、より合理的な耐震性能評価手法を構築し、建築構造のさらなる耐震化により社会の地震防災に資することを目指す。

遊休施設を活用した交流促進ゾーンの形成事業

研究代表者　古谷　誠章
（創造理工学部 建築学科　教授）

1. 研究課題

廃校・空き家などの遊休化した施設を交流促進ゾーンとして活用することを目的に、中高生など地域住民の参加によるワークショップや多様な交流を生み出す拠点の在り方の検討を行う。

2. 主な研究成果

2.1　木次町木次商店街における活動

2.1.1 さくらまつり 2015

本研究室が参加してから 8 年が経過したさくらまつりは、アーティストや地域住民、まちづくりを行っている NPO など、年々多様な専門・関係者が参画するようになってきた。一方、こうした各関係者同士の融合・協働と、それぞれの活動を地域に開くことが課題とされている。そこで、今年度は提案にあたって一年かけてゆっくりと関係者同士の連携体制を築きながら計画的に準備を進めることとした。(fig.1)本研究室では、特に市民演劇を主宰している西藤将人氏とその指導のもと活動している三刀屋高校演劇部の皆さん(fig.2)との意見交換を重ねながら、さくらまつり当日の劇中にも使用して頂く家具の制作に力を注いだ。

fig.1 模型を使った協議の様子

fig.2 三刀屋高校演劇部による当日の使用

建築を専門としない高校生の皆さんと建築学の専門家未満の学生が、雲南市と東京という距離を隔てた状態で認識の共有・意見の交換をすることはそう簡単なことではなく、入念な打ち合わせを重ねたように思っていた最終成果物である Cho Co.kagu も、舞台装置としては規格に不備があることが完成後判明した。しかしこの試行錯誤の経験からは、クライアントに使いこなしの想像を膨らませるプレゼンテーションや、そのアウトプット方法など、建築を志す学生として学ぶべきことが多くあった。

外部の参加者に頼りきるのではなく、地元の手で作り上げ、運営されるさくらまつりにしてゆくため

にも、こういった協働関係は今後も続けてゆくべきであると考える。また、今回その制作過程も地域に開いたいという思いから、作業場所の選択やWSの方法にも注意を払った。茶のん場ゑびす(2.1.2　茶のん場ゑびす第二次改修計画参照)の間口を開け放って人の目に触れるように制作をしていると、地域の方に声をかけて頂き、また小さな子ども達は飛び入り参加をしてくれた。些細な工夫の効果を実感した瞬間であった。

2.1.2 茶のん場ゑびす第二次改修計画

写真館、インターネット古書店の倉庫といった役割を経て、第一次改修を終えたゑびすは、2013年に地域の茶のん場として生まれ変わった。このあたりの地名にちなみ、毎月3のつく日に人々が集まってお茶を飲む場所である。第二次改修では飲食店としての営業登録も可能なように、衛生法などの法規を遵守して、キッチンをメインとする水回りを設え直すことを依頼された。(fig.3,4)鰻の寝床のようなこの町家には魅力的な中庭があるため、そこに人を引き込むことをコンセプトに設計を始めた。

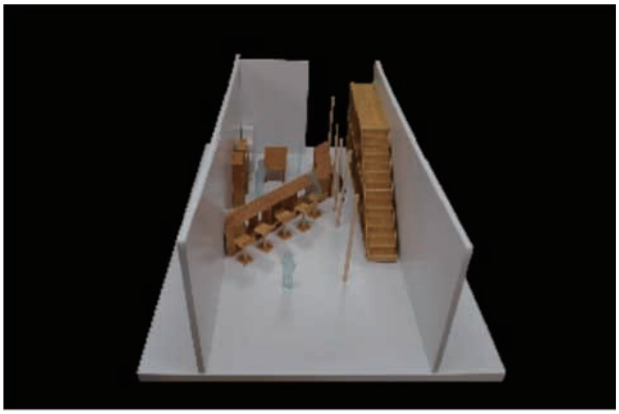


fig.3　第3回協議模型俯瞰

fig.4　第3回協議模型 キッチン部分拡大

第二次改修計画について、第2回提案を経て大まかなデザインの方向性や予算の使い方、改修の進め方が決定し、第3回提案からはデザインの詳細をつめていこうというフェーズにあった。本件では、クライアントにとって、頻繁に連絡を取り合う“デザイナー”である私達よりも現場に近い“施工者”である工務店の力が圧倒的に強いことを痛感した。今後、かつてのUD部構想にもつながる2階のゲストハウス化計画と階段下収納のリニューアルを行う第三次改修に臨むことが決定している。私達は状況を総合的に判断し、デザインのアローワンスを適切に設定する必要がある。改修を進めるにあたっては、まちづくり活動への参加者や移住希望者を中心とした来訪者を想定し、この場所を出雲市や松江市といった地域の中継地として広域的な視点で捉え直して中長期的な計画を行うべきである。

2.2　掛合町入間における活動

2010年に竣工した入間交流センターの計画以来、入間地区と古谷研との交流は続いており、地域の皆さんと自身や学生達の間で交わされたふとした会話がきっかけで、持ち上がったのがこの計画である。人が気軽に立ち寄れる場所をつくりたいというささいな思いの共有が発端である。検討の末、かつて魚屋を営んでいた旧・角場商店(fig.5,6)を、地域に活動の見える入間交流センターの分室として計画することとなった。現在ここで暮らすのはこの地域ご出身の婦人と猫達であり、管理に交流センターが介在しながらそのお宅の一画を時折開放して頂くご了承を得た。

fig.5　旧・角場商店外観

fig.6　旧・角場商店実測の様子

昔この地域で一般的に使われていた火鉢のような移動式の囲炉裏に着想を得て、可動式の家具を中心とした改修案が決定した。(fig.7)地域の皆さんのご協力を頂きながら、主にセルフビルドでの施工を 2 回に分けて行う。6 月、あるいは 7 月に家具を制作する第一次改修を行い、8 月に壁の塗り直しや角場商店のシンボルであった看板の修繕など仕上げを行う第二次改修を済ませる。一連の改修を終えた後、8 月 14 日の夏祭りには地域の方を招き入れて試運転が出来るスケジュールとした。交流センターの分室として、より地域の皆さんにその活動が目にふれ、気軽に立ち寄れる場所となるだけでなく、かつては多くの人で賑わったこの旧街道がまた人が立ち寄りたくなるような場所となるためのきっかけになることを期待したい。

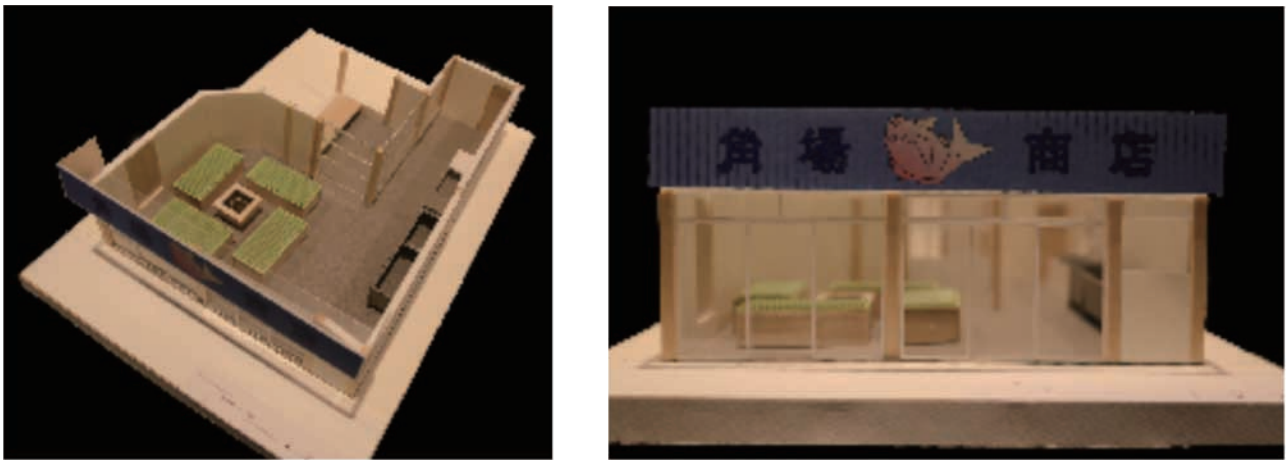


fig.7　球角場商店改修計画模型

2.3　吉田町民谷における活動

2012 年に統廃合により廃校となった旧・吉田小学校民谷分校は、2014 年より民谷交流センターとして生まれ変わった。(fig.8)昨年度は校舎の改修というハードの計画に重きを置いていたが、今年度はまず民谷を知り、地域との関係を築くことを重視した。地域一帯での活性化計画を考える中で、交流センターが地域の中心としてどんな役割や機能を持つべきなのかを、地域の皆さんと一緒にゆっくりと考えてゆくこととした。

fig.8　民谷交流センター

fig.9　地域資源調査(ヒアリング)の様子

交流センターとして初年度の事業も終盤を迎えた 12 月、協議の機会を頂いた。この日は、それまで一年間を全うすることに精一杯だった地域の皆さんが、その活動や自身の気持ちを振り返る契機となったように思う。それぞれの口からこぼれた本音の一つ一つが印象的であった。問題意識や目的意識の共有が急務とされ、これからの希望や要望についても徐々に地域の中でまとまりつつあるように感じた。
同じ文化系統を持つ入間地区、波多地区と合わせた 3 地区連携で、雇用を生み定住を促進する計画も持ち上がっている。今年度、夏の出張期間のうち 3 日間滞在して地域資源の調査を行い、(fig.9)地域の皆さんとふれあう中で距離がぐっと縮まったのを感じた。今後もその信頼関係を大切に、この地域のゆったりとした歩みに寄り添いながらも、外部の視点からこの地域の魅力を再発見していくことや、出来ることから計画の構想・実現をしてゆく実行力を大切に活動していきたい。

3.　共同研究者

斎藤　信吾（創造理工学部・助手）
根本　友樹（創造理工学部・助手）

4.　研究業績

なし

5. 研究活動の課題と展望

都市再生モデル調査以来、古谷研が雲南市に携わって 9 年目を迎えた。その間、関わる地域も計画も様々に変化してきた。初年度から継続して活動してきた木次町と、今年度から本格的に携わるようになった民谷地区をとっても、地域の抱える問題や背景、状況が異なるのはもちろんのこと、古谷研と地域との関係や計画の進行するフェーズも異なる。

大切なのは、それぞれの地域がいずれ私達の手を必要とせずとも持続、またはそれ以上のサイクルを確立出来る段階までを想定して計画することである。そういった思いから、さくらまつりを中心とした私達の活動に、より綿密に関わってくれる地元の中高生を募ることを考えている。自分達の暮らすまちをどうにかしたいという思いを持った若い力によって、ゆくゆくは地元の手でまちづくりがされていくようになることを期待したい。

応用音響

研究代表者　　及川　靖広
（基幹理工学部　表現工学科　教授）

1. 研究課題

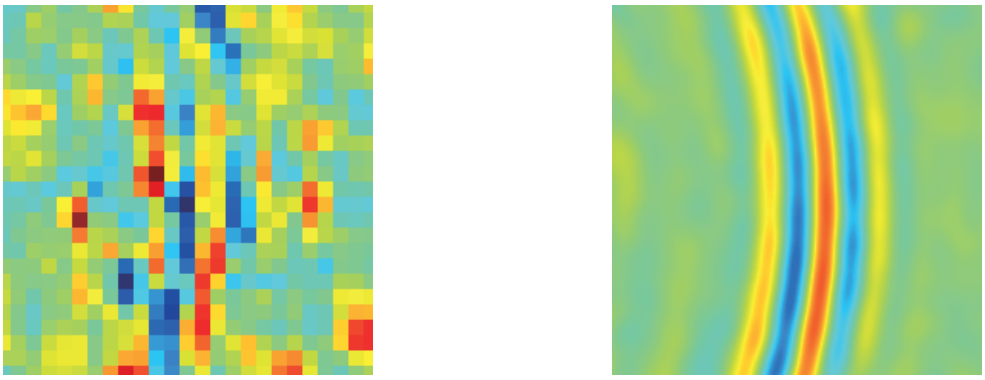
本プロジェクトでは、人間にとって最も基本的な意思／情報伝達手段である音コミュニケーションを、円滑／快適に行うことができる環境の実現を目標としている。具体的には音コミュニケーション空間を再構築する際に必要な空間的かつ時間的な特性を把握する手法の開拓を課題としている。この際、非専門家を含む多数の人間に音場の特性を正確かつ直感的に理解できるよう、必要な物理量との関係が明快な結果の視覚化を主眼としている。

2. 主な研究成果

音コミュニケーションを観測・解析する手法として、また円滑な音コミュニケーションを支える基幹手段として、従来のマイクロホンとは異なる原理や、理論的には知られていながらこれまでその忠実な具現化が難しかった方法を用いて、より詳細な音情報の獲得を実現した。具体的には音場観測結果の連続的な表示や歯骨伝導音に着目した音声取得の方法などである。

2.1 レーザドプラ振動計を用いた音場測定への数学的手法の導入

現在の測定手法において音場の物理量を厳密に計測するには、測定対象音波長の半分以下の間隔で測定点を配置しなければならない（空間の標本化定理）。これは本プロジェクトで研究を進めている走査型レーザドプラ振動計を使用して光路上の空気粗密／音波を計測する方法においても同様である。そこで音の物理的特徴を勘案しながら幾つかの数学的手法（逆解析等）を導入し、離散的な計測値から解析的に推定値を導き、測定結果に挿入して連続的に音波面表示する手法を提案した。**図－１**に比較例を示す。本手法を適用することにより、連続的な音場の記録が可能になると期待できる。

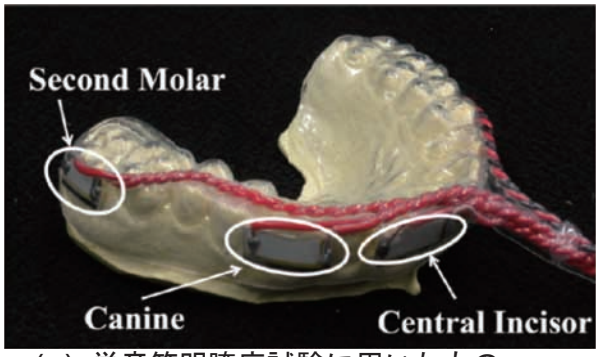


(a) 従来の離散的な計測の表示結果　　(b) 提案法による表示結果

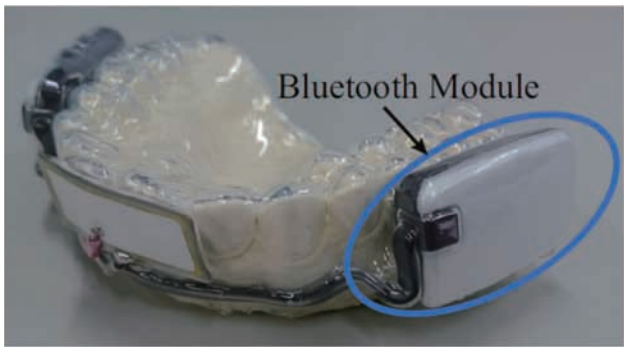
図－１　走査型レーザドプラ振動計による音波面観測例

2.2 歯を介した骨導に着目した音声取得

コミュニケーションにおいて音声は最も重要な音情報の一つと言える。ある空間において目的の音声を取得する際、周辺騒音や残響によって質の確保が困難な場合がある。本プロジェクトではこうした環境下においても明瞭な音声情報を得る方法として、歯を介して音声を取得する歯骨導アクチュエータの研究を行ってきた。本年度は数度の改良を重ねて試作したマウスピース型歯骨導マイクロホン（中切歯，犬歯，第二大臼歯の位置に圧電型ピックアップを配置；**図－２(a)**参照）を用いて、雑音（80・90dB の 2 種）有無別の単音節音声明瞭度の評価実験を、20～24 歳の平均的な聴覚を持つ男女 11 名の被験者を対象にして行った。その結果、従来法の取得音声（Air-conducted sound）と比較して、妨害雑音を付加しない条件では 10～25 ポイント明瞭度が悪化したが、妨害雑音を付加した条件では 3～15 ポイント向上した（**図－３**参照）。今後システムとして使いやすい仕様とする方策として、マウスピースの無線化（**図－２(b)**）等の改良が考えられる。

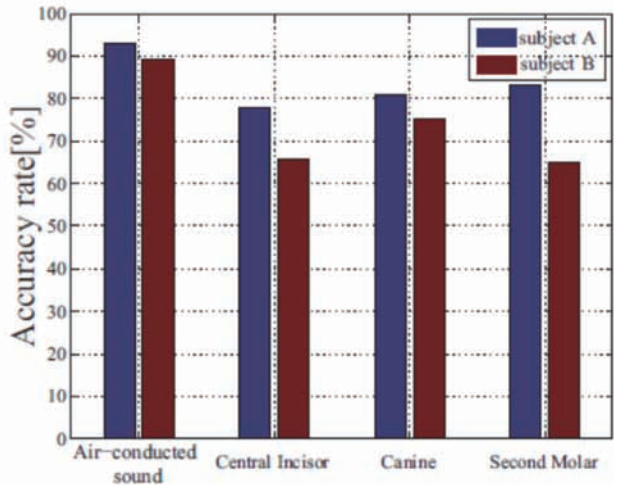


(a) 単音節明瞭度試験に用いたもの

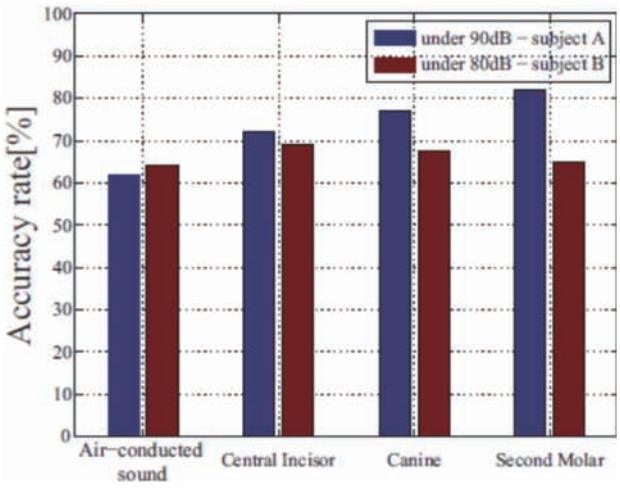


(b) 無線方式のもの

図－２　試作したマウスピース型歯骨導マイクロホン



(a) 妨害雑音無し時



(b) 妨害雑音無し時

図－３　単音節明瞭度試験結果

2.3 歴史的価値を持つ音記録の読み取り

録音機が発明された以降、取材や放送，学術研究の一次資料として音声記録は広く用いられてきた。当初の使用目的を終えた後も歴史的な価値を持ち無形の文化財として残されるべき記録が多い。これらの多くは記録当時の媒体で残されており、それ自体は意味を持つことであるが、原理的に経年劣化が避けられない媒体を用いている場合や、現在では再生にあたって特別な知識や配慮，技術

を要する場合が多い。これらの記録を後世に渡って使用容易な形で広く提供するには、情報を現代の情報機器環境に合う形に（いわゆるディジタルアーカイブ化）する必要がある。本プロジェクトでは人間科学学術院森本豊富教授の研究室および国立国語研究所の研究に協力する形で、日系移民者証言の磁気記録テープ（日本国外の大学等研究機関に保管されているアナログ方式のオープンリールテープ）のアーカイブ化を現地に趣いて行った。特性の優れた再生用磁気ヘッドを選別・調整して取り付けた 2～4 倍速再生が可能なオープンリールテーププレーヤを読み取りに用い、代表者らが開発した多チャンネル高速 1bi 方式のレコーダを読み取り後の記録に用いることにより、高速再生時に通常問題となる高周数帯域での音質劣化を回避しながらテープの複数トラック（左右チャンネルや再生方向別の記録音）の一括短時間読み取りを可能にした。読み取りを行ったのは、

① University of California, Los Angeles, Japan America Research Project Collection

② Sacramento, National Japanese American Historical Society

が所蔵するオープンリールテープである。読み取り作業例を**図－４に示す。**

図－４　オープンリールテープの読み取り作業の様子

3. 共同研究者

白井 克彦（放送大学学園 理事長／早稲田大学 名誉教授）
山﨑 芳男（東京都市大学総合研究所 特任教授／早稲田大学 名誉教授）
小林 哲則（理工学術院 教授）　誉田 雅彰（スポーツ科学学術院 教授）
菊池 英明（人間科学学術院 教授）　八十島 乙暢（理工学術院 助手）
藤森 潤一（理工学術院 非常勤講師）　米山 正秀（東洋大学 名誉教授）
小野 隆彦（総合研究機構波動コミュニケーション研究所 客員教授）
大内 康裕（総合研究機構波動コミュニケーション研究所 客員主任研究員）
小西 雅（総合研究機構波動コミュニケーション研究所 客員次席研究員）
池田 雄介（東京電機大学 CREST 助教）

4. 研究業績

4.1 学術誌論文・研究会

・“MEMS マイクロホンアレイによる音場の可視化,” 及川靖広, 矢田部浩平, 日本音響学会誌, Vol.70, No.7, pp.403-409, 2014.7.

・“時空間フィルタを用いたシュリーレン法による音場の可視化,” 柳沼啓太, Nachanant Chitanont, 矢田部浩平, 及川靖広, 日本音響学会アコースティックイメージング研究会資料, AI2014-3-04, 2014.10.

4.2 国際会議

4.2.1. ICASPP (IEEE International Conference on Acoustic, Signal Processing) 2014

・" PDE-Based Interpolation Method for Optically Visualized Sound Field," Kohei Yatabe, Yasuhiro Oikawa, Proc. ICASSP, pp.4771, 2014.5.

4.2.2. ForumAcusticum2014

・" Backscattering Measurement Method for Sound Field using Pulsed LASER," Kenji Ishikawa, Yasuhiro Oikawa, Yoshio Yamasaki, R01_6, Sep.2014.

4.2.3. AES(Audio Engineering Society) 137th Convention

・" Study of TV Sound Level Adjustment System for the Elderly with Speech Rate Conversion Function," Tomoyasu Komori, Atsushi Imai, Nobumasa Seiyama, Reiko Takou, Tohru Takagi, Yasuhiro Oikawa, Convention Paper 9167, Oct.2014.

4.2.4. Inter Noise(International Congress and Exposition on Noise Control Engineering) 2014

・" Acoustic Yagi-Uda Antenna Using Resonance Tubes," Yuki Tamura, Kohei Yatabe, Yasuhiro Ouchi, Yasuhiro Oikawa, Yoshio Yamasaki, 311, Nov.2014.

4.3 書籍

・八十島乙暢, 山﨑芳男, "「埋もれた声」のデジタルアーカイブス化, " 朝日祥之・原山浩介編, アメリカ・ハワイ日系社会の歴史と言語文化, pp.217-243, 東京堂出版, 2015 年 3 月.

4.4 学会および社会的活動

・ 平成 26 年度復興庁「新しい東北」先導モデル事業「風景と心の修景および創景事業」のイベント（2014 年 10 月 24 日；東京，2015 年 2 月 2～4 日；仙台）開催にあたり技術支援を行った。

・ 2014 年 5 月 23 日に早稲田大学西早稲田キャンパスを会場として、日本音響学会第 48 回通常総会を開催し、山﨑芳男名誉教授が特別講演を行った。

・ 2014 年 10 月 16 日に早稲田大学西早稲田キャンパスを会場として、日本音響学会平成 26 年度第 3 回アコースティックイメージング研究会を開催した。講演件数は 6 件であった。

・ 2014 年 11 月 7 日に早稲田大学西早稲田キャンパスを会場として、日本音響学会音バリアフリー調査研究委員会が主催する「音バリアフリーシンポジウム 2014」を開催した。講演件数は 7 件であった。

5. 研究活動の課題と展望

本プロジェクトおよび前プロジェクト（音空間研究／音響コミュニケーション）において開発した音および音場の観測記録手法は、従来とは異なる原理を用いるものであるが、これまでの研究の結果、原理通り音情報の取得に成功している。今後は研究代表者らが提案する高速 1bit 信号処理技術等を応用し、実環境下における諸特性の向上をめざす。また音声コミュニケーションの機能性・自然性の観点から、観測した音場の試聴を含む実験による定量的評価手法を課題としている。

低炭素社会構築のための先端技術開発成果の適用

研究代表者　勝田　正文
（創造理工学部　総合機械工学科　教授）

1. 二重管ヒートパイプ蒸発部の狭い間隙における沸騰促進について —画像情報による最適構造の検討—

1.1　研究目的

近年，CO_2排出量が少なく大量かつ効率的な輸送手段として，鉄道が注目されている．鉄道車両の駆動システムに用いられる VVVF インバータ制御装置の電力変換時の発熱の冷却方式には従来，フロン系冷媒を使用した沸騰冷却方式やファンによる強制冷却方式が用いられてきたが，構造面，気密性，液量，メンテナンスなどの観点から現在ではヒートパイプ冷却が主流となっている．現在の通勤電車のパワー密度は低いが，技術革新によるインバータ装置の小型軽量化に伴い，ヒートパイプ冷却方式の冷却可能範囲拡大が求められる．そこで本研究では鉄道等に用いられるパワー型のヒートパイプについて研究開発を行う．ヒートパイプの伝熱特性の中でも熱密度の増加に伴って重要となる蒸発伝熱特性に関し，水平置き蒸発部の熱伝達率を向上させる可能性のある二重管構造を持つヒートパイプに着目した．狭い間隙を持つプール沸騰モデル実験を通じ，微小隙間における伝熱特性の把握をし，基礎的なデータの蓄積を行った．また，間欠沸騰を抑制するために液戻り穴とキャビティを内管に設置し，その間隔が沸騰に与える変化などの解析・評価を通して，実用化に向けたヒートパイプ性能向上に対する偏心二重管構造を含む内部構造の最適化の指針を得ることを目的とした．

1.2　研究方法

実験装置の概略図を図 1 に示す．実験装置は内管を有するテストセクションをフレキシブルヒーターによって加熱する性能試験用装置と石英ガラスパイプ表面に金属を蒸着させて加熱を行う可視化装置の二種類を用い，テストセクションはともにヒートパイプの蒸発部を模したものになっている．蒸発部の断面図を図 2 に示す．また各装置のテストセクションを図 3，4 に示す．伝熱面には銅，作動液には純水を用い，実験は大気開放系で行った．性能試験用装置ではテストセクションに 9 点の温度測定点を設け，性能試験を行った．可視化装置では高速カメラとサーモカメラを用い，間隙における沸騰挙動の観察と温度分布の取得をした．

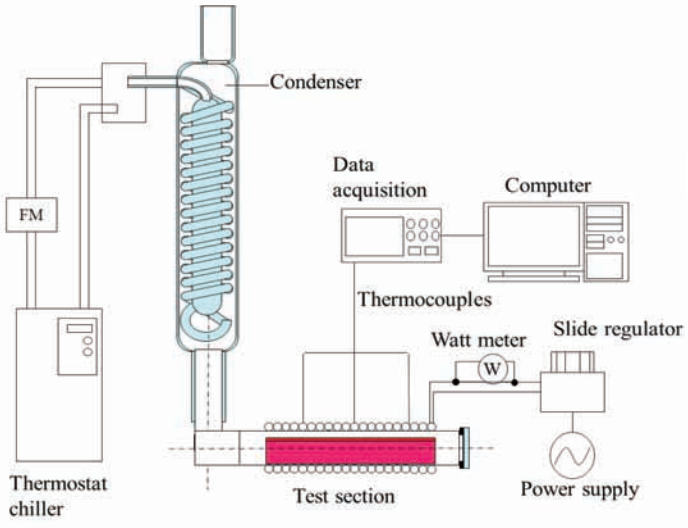


図 1　実験装置概略

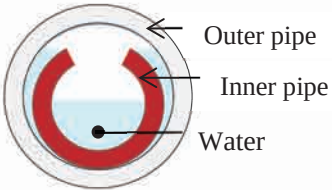


図 2　蒸発部断面図

図 3　性能試験用装置テストセクション

図 4　可視化装置テストセクション

実験条件としては内管中部（最下部から 75°の位置）にドライアウト防止用の液戻り穴，下部に発泡を促し過熱度の局所増加を防ぐためのキャビティを設け，液戻り穴やキャビティの数や位置を表 1 に示す通り変化させて実験を行った．

Table1 Parameters of inner pipes

	Inner tube		Holes			Cavities	
	Slit angle	Diameter	The number	Angle	Distance	The number	Distance
	θ[deg.]	d[mm]	a	a_y[deg.]	a_x[mm]	b	b_x[mm]
(Ⅰ)	60	15	None			None	
(Ⅱ)			2	0	30		
(Ⅲ)			3				
(a)		14	None			None	
(b)						2	30
(c)						3	25
(d)			1	75	—	2	30
(e)			2		30	1	—
(f)						2	30
(g)					60		
(h)					75	3	25
(i)			3		30	2	30
(j)					25	3	25
(k)			4				
(-)	None						

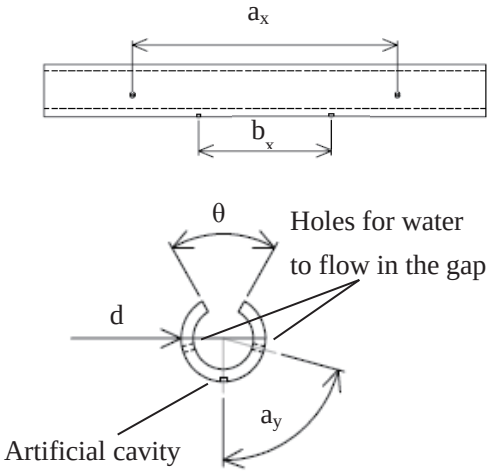


図 5　テストセクション

1.3　研究成果

各内管挿入時の熱伝達率の比較を図 6 に示す．どの条件においても，液戻り穴やキャビティを設けた内管を挿入した場合は，それらを設けていない内管を挿入した場合に比べて熱伝達率の向上が確認でき，液戻り穴やキャビティによって沸騰が促進されるということが期待できる．特に，図のグラフにおいて点線をつけた，キャビティ数 2 個，キャビティ間隔 30[mm]の内管挿入時は他の条件と比較して熱伝達率が向上しており，キャビティ間隔が性能に及

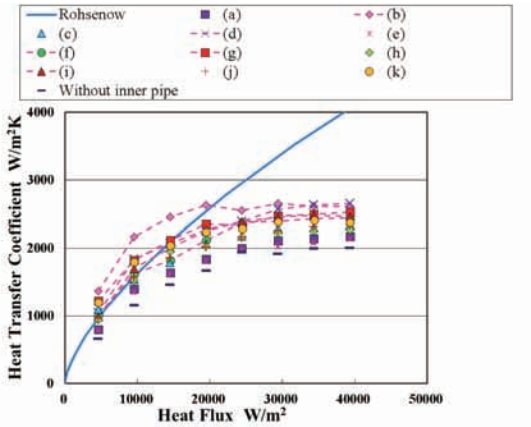


図 6　熱伝達率の比較

ぼす影響が大きいと考えられる．最も熱伝達率が向上したのはキャビティ数 2 個，キャビティ間距離 30[mm]，液戻り穴なしの内管を挿入した場合で，内管を挿入しない場合と比較して熱伝達率が q=5～40[kW/m^{2}K]の範囲で平均 1.67 倍, 加工を施していない内管と比較して 1.51 倍向上することが確認できた.

キャビティ位置の変化による沸騰挙動の比較と，液戻り穴位置の変化による沸騰挙動の比較をそれぞれ図 7，8 に示す.

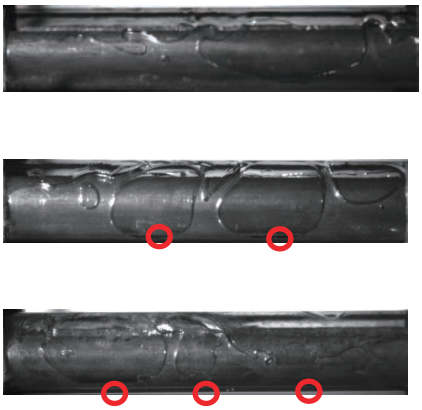


図 7　キャビティ位置の変化による沸騰挙動の比較 (q=30[kW/m^2])

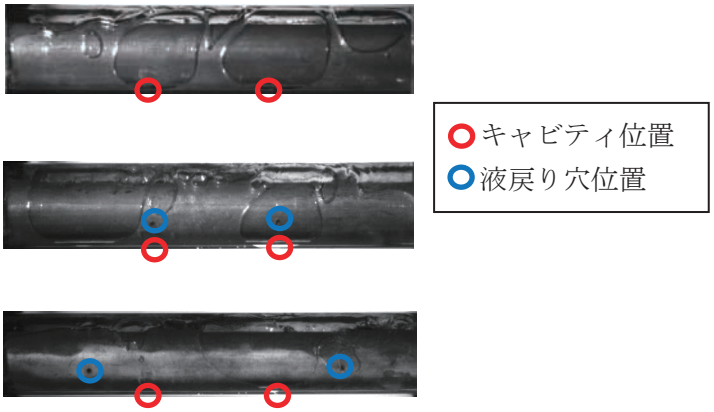


図 8　液戻り穴位置の変化による沸騰挙動の比較 (q=30[kW/m^2])

無加工の内管と比較するとキャビティを設置した内管はキャビティからの発泡が確認できる．しかしながら, 間隔が 25[mm]のものは発生した気泡が相互干渉して合体泡となり水面低下を引き起こしてしまうことが確認された. 以上のことからキャビティ間隔は 30[mm]以上にすることで気泡の相互干渉や合体が抑制できると考えられる．またキャビティには低過熱度域での発泡と気泡形状の制御効果があることが確認された．液戻り穴設置の効果としては内管内部から間隙内への飽和液の供給により，水面低下の防止をしていることが確認できたが，飽和液の流入により間隙内での過熱境界層の形成が阻害され，液の撹拌がなされていないことから，液戻り穴を設置していない内管よりも熱伝達率が低くなったと考えられる．特に，液戻り穴をキャビティの真上に設置した場合はそれが顕著でキャビティから発生した気泡が成長しにくくなっている様子が観察された.

まとめ

下部の 30[mm]間隔のキャビティは合体泡の形成を抑制し，相互発泡の促進が期待でき，キャビティ数 2 個，キャビティ間距離 30[mm]，液戻り穴なしの内管を挿入した場合は内管を挿入しない場合と比較して熱伝達率が q=5～40[kW/m^{2}K]の範囲で平均 1.67 倍，加工を施していない内管と比較して 1.51 倍向上した．また液戻り穴からの噴流は伝熱面温度を低下させ，気泡の成長を阻害する効果があることが分かった.

2014 年度も昨年に引き続き寒冷地ヒートポンプ用の地中表層からの採熱方式について検討を行っ

た。なお、この研究成果は、寒冷地用 HP 開発に係る国際プロジェクトである IEA の Annex41 において公表、参照成果として扱われている。

2. 寒冷地仕様 CO_2 冷凍サイクル用地中熱回収コルゲートサーモサイフォン —コルゲート管の形状効果ならびに表層部温度分布の影響—

2.1 研究目的

寒冷地においては暖房と給湯にかかるエネルギーが家庭全体の消費エネルギーの 81%を占めており，これを削減することで高い省エネルギー効果が期待できる．北海道では熱源として灯油が多く使用されているが，最近では CO_2 排出抑制および省エネルギーの方法としてヒートポンプ(以下 HP)や再生可能エネルギーの利用が推進されている．そこで本研究では冷媒に CO_2 を使用し再生可能エネルギーである地中熱を熱源として利用する 2 元サイクル HP システムの高効率化を目的とする．地中採熱の高効率化のために伝熱面積の増加が可能なコルゲート管を使用したサーモサイフォンを作成し，実験により性能把握を行った．また地中表層部の温度分布を再現した実験を 5[m]サーモサイフォンで行い，HP 性能予測シミュレーション用地中採熱モデルを構築した．

2.2 研究方法

次に示す 2 つの課題を設けて研究・開発を行った．

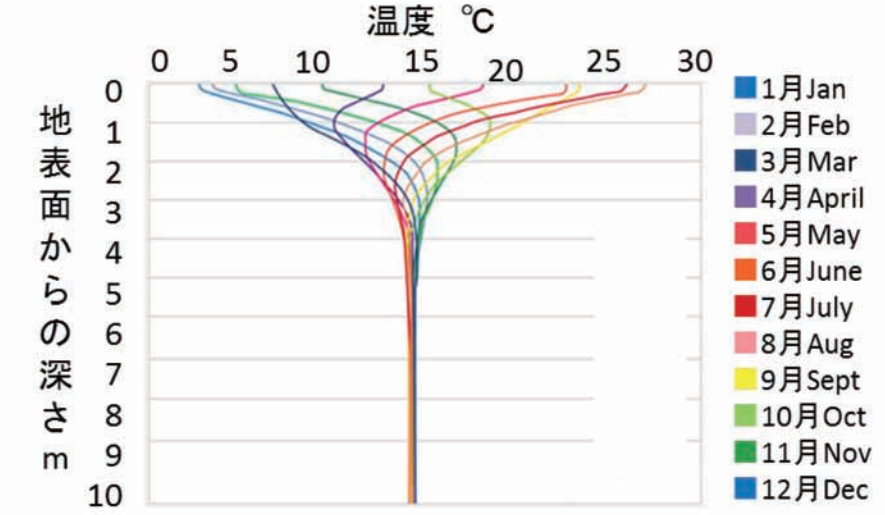


図 山口の年間地中温度分布(1)
(1)山口大学 アメダス山口市観測所データ

2.2.1 表層部温度分布を設けた 5m サーモサイフォン試験

昨年度も使用した 5[m]の平滑管サーモサイフォン実験装置を用いて冬季の地中表層の温度条件を再現し，蒸発部温度が採熱量に与える影響を観測した．この際、地中温度の季節変動は図に示す山口大学の資料を参照した．蒸発部のパイプ部を 5 つに分かれた恒温槽中に設置し，北海道の冬季気温を考慮し設定温度間に差を設けることで，冬季の地中表層の温度条件を再現した．蒸発部は長さ 4.9[m]，外径 17.3[mm]，壁厚さ 1.2[mm]のステンレス製パイプであり，凝縮部に次に示すコルゲート管の試験に採用した熱交換器を設置している．凝縮部温度の分布を変更した際の熱交換量から，冬季の採熱量の変化を求めた．

2.2.2 コルゲートサーモサイフォンの性能試験

地中熱を採熱する管に昨年度は平滑管を用いていたが，同じ径・長さあたりの伝熱面積の増加が

可能で，ある程度の柔軟性を合わせもつコルゲート管を使用することで採熱管本数と総長さの低減を期待した．そこで研究では，長さ 1[m]コルゲート管を用いたサーモサイフォンを試作し性能評価を行った．蒸発部は外径 15.0[mm]，壁厚さ 0.25[mm]，　溝ピッチ 2.4[mm]，溝深さ 2.25[mm]のステンレス製コルゲート管であり，外側に強度確保用の金属網が取り付けてある．凝縮部はプレート型熱交換器を設置している．熱交換量，壁面温度，内部圧力からサーモサイフォンの評価を行う．

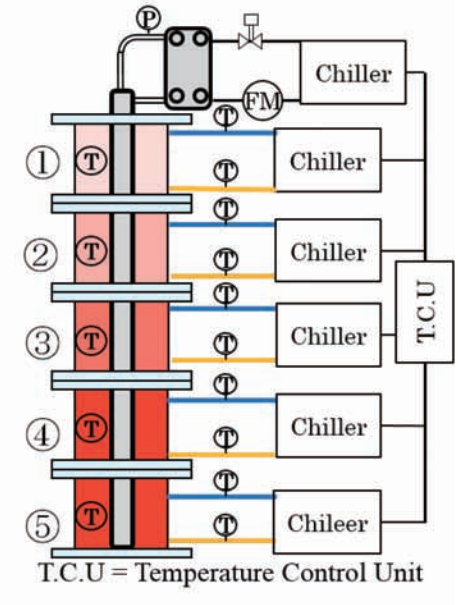


図 9　5m 実験装置

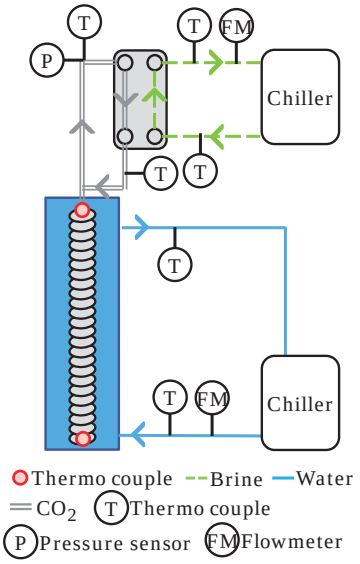


図 10　コルゲート管実験装置

2.3　研究成果

2.3.1　温度分布を設けた試験とＨＰ性能予測シミュレーション

表 2 に示すように，表層部の温度を低く設定すると温度分布を設けない場合(実験番号 IV)と比較して熱交換量が低下することを確認した．

温度分布を考慮した地中採熱モデルを用いて平滑管，長さ 10[m]，暖房給湯条件において HP サイクルの COP を計算した例を図 11 に示す．温度一定と仮定した場合と比較して，表層温度が低下するに伴い性能目標値 COP=2.8(図中点線)の達成に必要な採熱管本数が増加し，最も厳しい条件では 23[本]必要である．このため採熱管の設計時には表層部の温度を考慮する必要があると言える．

Table2 TD test parameter and results

Test No.		I	II	III	IV	V	VI
		Test parameter dig.C					
Cond.		0	0	0	0	0	0
Evap.	①	3	4	5	6	7	10
	②	5	6	7	7	8	10
	③	7	8	9	8	9	10
	④	10	10	10	10	10	10
	⑤	10	10	10	10	10	10
		Results W					
Heat exchange amount		381	397	432	427	477	606

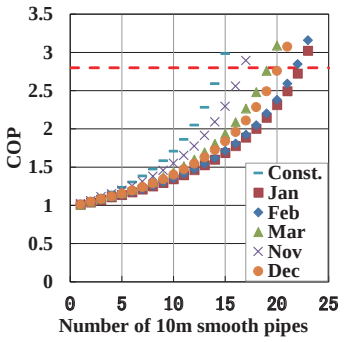


図 11　COP の予測値

2.3.2　コルゲートサーモサイフォンの性能試験

凝縮部の温度を一定とし，蒸発部を加熱した場合の CO_2 蒸気温度に対する凝縮部の熱交換量を図 12 に示す．CO_2 封入量 62[g]の場合，最大 330[W]の採熱が可能である．また，この際の蒸発部の熱流束と熱伝達率の関係を図 13 に示す．本コルゲート管の蒸発部熱伝達率は昨年度の平滑管より低い結果となったが，これは管外に設置された金属網の影響だと推察される．しかしながら，伝熱面積が増加した効果により 1[m]あたりの採熱量は平滑管と同程度を達成した．

コルゲート管内部では液膜の蒸発により蒸気が発生しており，壁面過熱度を増加させると蒸発部下部からドライアウトが発生し，熱交換量が飽和する．これは凝縮部から戻る CO_2 凝縮液が蒸発部内部壁面を流下する際にコルゲート部管壁の溝に滞留する効果によると考えられる．したがって，内部壁面全体への液の分配を促すことが性能向上に有効であると考えられる．

<u>まとめ</u>　　寒冷地の表層温度季節変化を考慮すると昨年のシミュレーションで得られた 15 本から 23 本のヒートパイプが目標 COP を達成するために必要である．コルゲート管仕様のヒートパイプは予想した性能向上は果たせず伝熱面積増加にもかかわらず直管と同様な性能となった。

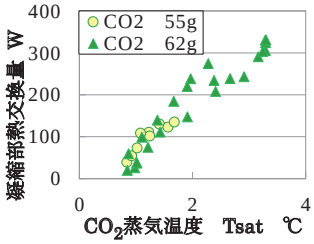


図 12　熱交換量の変化

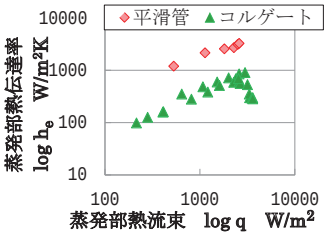


図 13　管の種類による比較

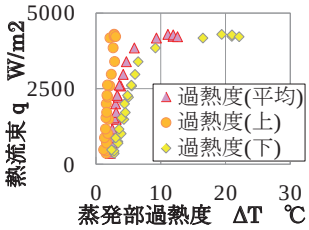


図 14　壁面過熱度の変化

規則性ナノ空間の化学

研究代表者　松方　正彦
（先進理工学部　応用化学科　教授）

1. 研究課題

エネルギー・資源・環境問題を研究の動機とし、触媒化学・膜分離工学・エネルギー化学に係わるサイエンスおよびエンジニアリングを研究対象としている。本研究では、ゼオライトを中心としたミクロ孔をもつ物質を材料として、その合成法や触媒・分離膜としての利用法の開発を行った。

2. 主な研究成果

【触媒開発】

◆自動車排ガス浄化触媒開発

ディーゼルエンジンはガソリンエンジンに比べ、低燃費かつ CO_2 排出量が少ないという利点があり、欧州や新興国を中心に需要が拡大している。しかし、排ガス中の NOx（窒素酸化物）濃度が高いことが課題の一つとして挙げられる。本研究ではゼオライトと鉄や銅を組み合わせた触媒の NOx 還元特性を検討した。

◆石油の有効利用に資する触媒開発（炭化水素転換反応）

付加価値の低い石油成分を、医薬品やプラスチック原料となる高付加価値成分に転換する触媒開発を行った。種々のゼオライトについて触媒特性を評価した結果、テトラリンのクラッキング反応やブタンの脱水素反応に有用な触媒を見出した（図 1 参照）。

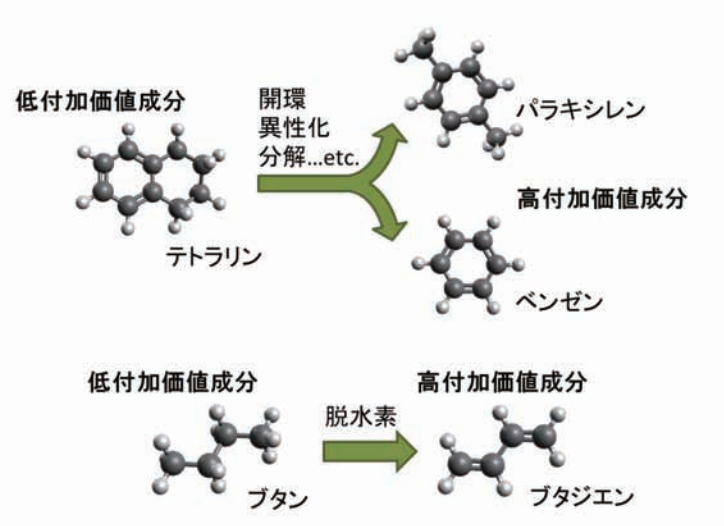


図 1　炭化水素転換反応のイメージ

【分離膜開発】

◆新規膜開発

これまでに分離膜としての報告がない複数種類のゼオライトについて、薄膜化手法を検討した。その結果、数種類のゼオライトをアルミナ基板上に薄膜化することに成功した。さらに、これら新規ゼオライト分離膜が有機酸やアルコールからの脱水に有用であることを示した。

◆ガス分離膜開発

低炭素社会実現に向けた天然ガスの有効利用に資する技術の一環として、メタン/CO_2混合ガスからのCO_2分離膜開発を行った。CO_2とメタンの分子径はそれぞれ 0.33 nm、0.38 nm であるため、本研究では結晶構造中に 0.38 nm の細孔を有するゼオライトを薄膜化し、CO_2／メタン分離膜として用いた（図 2 参照）。その結果、CO_2を高選択的に透過させるゼオライト膜の開発に成功した。

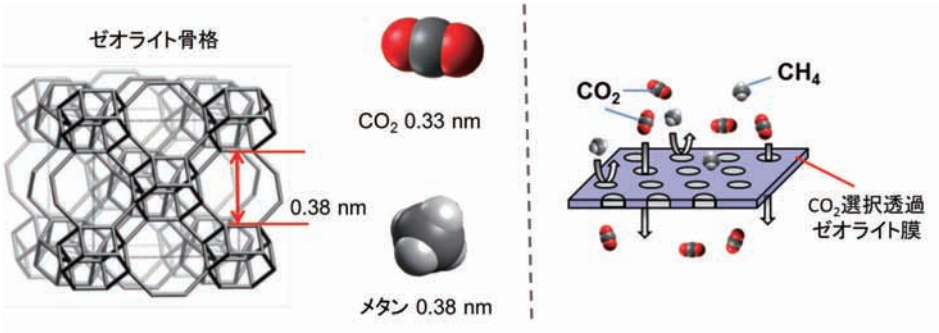


図 2　CO_2選択透過型ゼオライト膜のイメージ

3. 共同研究者

瀬下雅博（先進理工学部・応用化学科・助教）

酒井　求（先進理工学部・応用化学科・助手）

4. 研究業績

【学術論文】

Y. Izutsu, Y. Oku, Y. Hidaka, M. Matsukata *et al.*, *Physicochemical characterization of highly dispersed platinum and chromium on zeolite beta*, *J. Phys. Chem. C*, **118** (2014) 10746-10753.

【総説・著書】

Development of Hierarchical Pore Systems for Zeolite Catalysts, Masaru Ogura, Masahiko Matsukata, “Mesoporous Zeolites: Preparation, Characterization and Applications”
Ed. By Javier García-Martínez, Kunhao Li, ISBN: 978-3-527-33574-9, Wiley, May 2015, pp. 259-294.

【招待講演】

Prospects of zeolite membrane technologies for energy and chemical processes, M. Matsukata,

The 10th International Congress on Membrane and Membrane Processes (ICOM2014), 2014, July, Suzhou, China.
石油化学への導入を目的とした脱水膜開発、松方正彦、ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム、2014 年 11 月、東京.
ゼオライト分離膜を用いた CO_2 など分離回収技術、松方正彦、CO_2 分離・回収技術と応用・研究開発動向、技術情報センター、2014 年 12 月、東京.

【受賞・表彰】
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（PL として参加）、nano tech 大賞 2014 プロジェクト賞（グリーンナノテクノロジー部門）、nano tech 実行委員会「第 13 回国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」、2014 年 1 月.

【学会および社会活動】
松方正彦
（公社）石油学会　理事
日本ゼオライト学会　理事・副会長
（一社）触媒学会　経営委員会委員
グリーン・サステイナブル　ケミストリーネットワーク（GSCN）　運営委員長
日本吸着学会　評議員
膜学会　評議員

【特許】
膜分離技術、触媒技術で５件出願

5. 研究活動の課題と展望

今年度は様々なナノ空間材料を触媒反応や分離膜に応用し、その内いくつかの系ではそれらの材料が非常に興味深い性能を示すことを明らかにした。しかし、材料中のナノ空間が反応や分離にどのようにして寄与するか、そのメカニズムについては未だ未解明の部分が多い。そのため、来年度以降は、応用範囲の更なる拡大に加え、それらメカニズムの解明にも注力する。

電気化学ナノテクノロジーの工学応用

研究代表者　逢坂 哲彌
（先進理工学部 応用化学科　教授）

1. 研究課題

世界に先駆けて提唱し実践してきた「電気化学ナノテクノロジー」（電極／電解質界面設計と電気化学反応制御による材料創製）を機軸として，界面反応場を原子・分子界面単一層から設計し，その複合的な機能を発現させるデバイスの構築を図るだけでなく，実用化につながる実践的なデバイス開発研究を包括的に展開している．具体的には，開発研究対象とする代表的デバイスとして，エネルギーデバイス，センサ・医用デバイス，および磁性・電子デバイスを設定し，それぞれの次世代型技術の提案と理論的裏付けに基づく実用レベルをターゲットとした応用展開を目指すものであり，産業界からのニーズが高い分野を対象とした学術研究である．ここではその一端として，記録媒体として信頼性の高いハードディスクドライブ(HDD)の高容量化に向けて，磁性ナノ粒子合成の改良とその塗布成膜による磁性ナノ粒子高密度配列膜の形成に関する研究成果を報告する．

2. 主な研究成果

塗布成膜による磁性ナノ粒子の高密度配列膜形成

我々は，予め化学合成した数ナノメートル径の鉄白金（FePt）ナノ粒子を用いたビットパターンメディア向けの記録層作製プロセスの確立を目指してきた．塗布成膜の改善により粒子配列層の作製を達成してきたが, $L1_0$ 規則化相転移のための高温熱処理によって引き起こされる FePt ナノ粒子の焼結の改善が課題であった．そこで，急速加熱（rapid thermal annealing: RTA）による単一 $L1_0$ 相バリアント制御に着目し，孤立粒子規則化のための RTA 条件の選定・影響評価を行い，加えて非磁性材料を保護膜として成膜し, 基板上で物理的に孤立した $L1_0$-FePt ナノ粒子薄膜の形成プロセスについて検討した．その結果，孤立粒子の $L1_0$ 規則化において，RTA 処理時の昇温速度が速く，到達温度での保持が 0 h であることが粒子内の規則度向上に有効であることが示唆された．次に，塗布成膜した粒子サンプル基板を断面加工して TEM 観察した結果，Fig.1 に示すように，熱処理で顕著

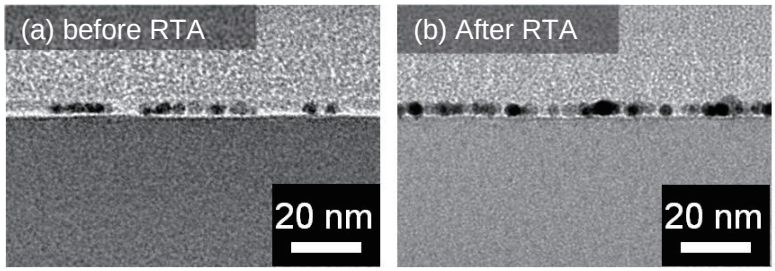


Fig.1 Cross-sectional STEM images of dispersed $L1_0$-FePt nanoparticles film on modified MPTMS/SiO_2/Si(100) substrate over coated TEOS layer (a) before RTA and (b) after RTA. The RTA conditions were at 800 °C (1560 ºC/min) for 0 h in the forming gas (Ar:H_2 = 90:10) .

な焼結が生じることなく，基板上で物理的に孤立した $L1_0$-FePt ナノ粒子薄膜の形成を確認した．また，規則度向上が確認されたアニール処理(昇温・冷却)を複数回繰り返すことで，現行磁気ヘッドで読み書き可能な保磁力を有する FePt ナノ粒子磁性層を塗布成膜(ウェットプロセス)により作製できることを確認した．モバイル向け HDD の主流なサイズとして地位を確立している 2.5 インチディスクに対して成膜した粒子ディスクサンプルの外観とその磁気特性評価結果を Fig.2 に示す．記録データの読み込みに必要な磁化量は少ないため改善が必要であるが，現行モデルの磁気ヘッドで読み書き可能な保磁力を有する磁性層を FePt ナノ粒子の塗布成膜で作製できることを確認した．さらに，引き上げ法により磁性層上に潤滑層を積層させたのち，現行磁気ヘッドを用いて信頼性試験を実施した結果，ヘッドスペーシング 2 nm で磁気ヘッド浮上飛行に成功した．以上より，合成 FePt ナノ粒子の塗布成膜というウェットプロセスを基幹技術とした次世代型テラビット級磁気記録媒体の確立が期待される．

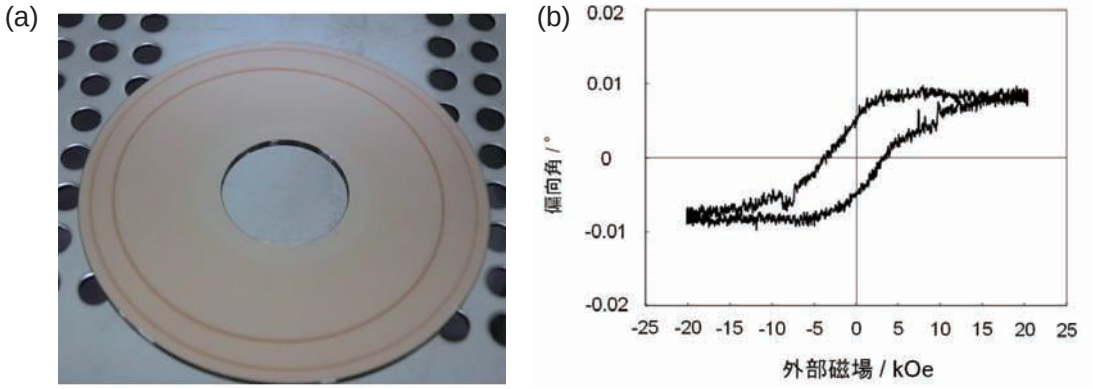


Fig.2 (a) Photographic image and (b) magnetic property of 2.5 inch disk immobilized FePt nanoparticles by spin-coating.

3. 共同研究者

門間　聰之（先進理工学部・応用化学科　教授）
本間　敬之（先進理工学部・応用化学科・教授）
黒田　一幸（先進理工学部・応用化学科・教授）
菅原　義之（先進理工学部・応用化学科・教授）
沖中　裕　（理工学研究所・客員研究員）
内海　和明（ナノ理工学研究機構・客員研究員）
津田　信悟（ナノ理工学研究機構・客員研究員）

4. 研究業績

4.1. 学術論文

- 相川健一郎，藤平誉樹，蜂巣琢磨，杉山敦史，逢坂哲彌，山根明，坂脇彰，茂智雄，“急速加熱処理による合成鉄白金ナノ粒子配列膜の規則化過程”，信学技報，**114**(327), 23-28 (2014).
- X. Qian, T. Hang, H. Nara, T. Yokoshima, M. Li, T. Osaka,“Electrodeposited three-dimensional porous Si–O–C/Ni thick film as high performance anode for lithium-ion batteries”, *J. Power Sources*, **272**, 794-799 (2014).
- S. Cheng, S. Hideshima, S. Kuroiwa, T. Nakanishi, T. Osaka, “Label-Free Detection of Tumor Markers

Using Field Effect Transistor (FET)-Based Biosensors for Lung Cancer Diagnosis", *Sens. Actuators B*, **212**, 329-334 (2014).

他，14 件

4.2. 総説・著書

- Y. S.-Diamand, T. Osaka, Y. Okinaka, A. Sugiyama, V. Dubin, "30 years of electroless plating for semiconductor and polymer micro-systems", *Microelectron. Eng.*, **132**, 35-45 (2014).

4.3. 招待講演

- 逢坂哲彌，実用化へ向けたリチウム電池作製技術の紹介，日本化学会第 95 回春季年会，招待講演，東京, 2015.3.27.
- T. Osaka, "New diagnosis method for LIB health conditions using EIS", BASF Science Symposium 2015 "Science Symposium Ludwigshafen, Ludwigshafen, Germany, 2015.3.10
- T. Osaka, "Introduction of our battery research", Argonne National Laboratory, Invited lecture, Argonne, Illinois, USA, 2015.1.16.
- T. Osaka, A. Sugiyama, T. Yokoshima, T. Hachisu, Y. Fujihira, K. Aikawa, "A new approach on nano-dot media by chemical processes for future magnetic recording", 10th International Symposium on Electrochemical Micro & Nanosystem Technology (EMNT2014), Okinawa, Japan, 2014.11.7.
- T. Osaka, "Innovation Process from Academic Activities to Industrial Products", 2014 ECS & SMEQ Joint International Meeting, Invited lecture, Cancun, Mexico, 2014.10.7.
- T. Momma, "Non Destructive Inspection for Diagnosis of LIB by Electrochemical Impedance Analysis", 7th International Conference on Advanced Lithium Battery for Automobile Applications (ABAA-7), Invited lecture, Kyoto, Japan, 2014.7.31.
- T. Osaka, T. Yokoshima, D. Mukoyama, H. Nara, and T. Momma, "Impedance Analysis of Lithium-Ion Battery for Future", 17th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB), Como, Italy, 2014. 6.14.

他，依頼講演および基調講演含め，8 件

4.4. 学会および社会的活動

- 相川健一郎，藤平誉樹，蜂巣琢磨，杉山敦史，逢坂哲彌，山根明，坂脇彰，茂智雄，"急速加熱処理による $L1_0$ 規則化鉄白金ナノ粒子薄膜の形成"，第 38 回日本磁気学会学術講演会，神奈川，2014.9.3.
- T. Osaka, "Beyond the construction on International Battery R&D Center for smart life support", The 7th German-Italian-Japanese Meeting of Electrochemists, Padova, Italy, 2014.6.15.

他，多数

5. 研究活動の課題および今後の展望

本研究の進展に伴い，材料開発とそのデバイス設計および評価を通して，更なる高機能性の付与といったプロセス提案に向けて有用な知見が見出された．引き続き，設計する高機能デバイスの実用化を見据えて研究を展開していく．

高機能性高分子を用いた植物栽培技術（ハイメック）の開発

研究代表者　片岡　淳
（理工学術院総合研究所・先進理工学研究科　教授）

1.　研究課題

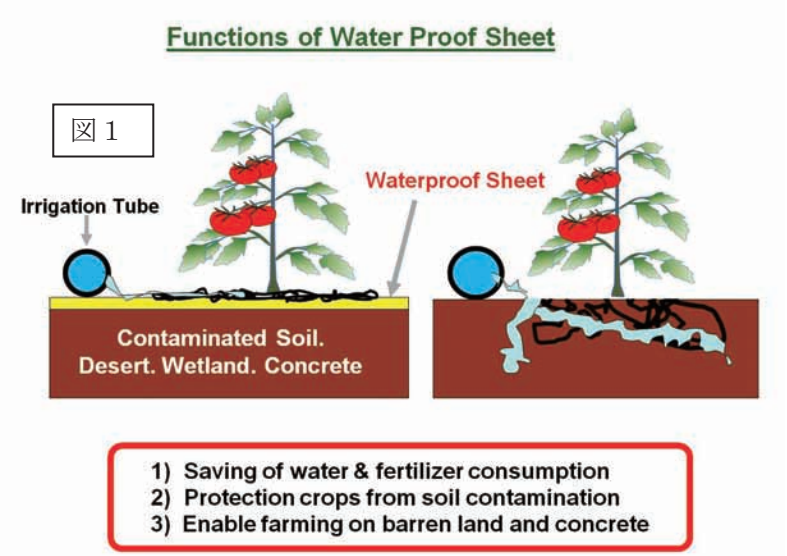
我々はハイドロゲルをフイルム状に成型した膜（ハイドロメンブラン）によって植物と養液あるいは土壌を隔離して栽培するという新しい技術（ハイメック）を開発した。本技術の特徴はハイドロメンブランの選択吸収性を利用して水分、栄養素などは吸収するものの、細菌、ウイルスは排除でき、養液、土壌からの病原菌汚染を、農薬などを使用せずに防止できることである。更に、ハイドロメンブラン中の水は結合水で吸収しにくいために植物は糖、アミノ酸を大量に合成し浸透圧を高めて水分を吸う。即ち、このフイルム農法によって安全、安心、高栄養価農産物の低コスト生産が可能になる。我々はこの技術によって、農家が抱える諸問題（高齢化、収益性の低さなど）を少しでも解決し、農業の再生を計ろうとしている。

2.　主な研究成果

今年度は、東日本大震災の被災農地にフイルム農法を導入した。岩手県陸前高田市は津波で壊滅的な被害を受け、市街地が全滅、農地も 383 ヘクタールが被災した。水田の被災は作付面積の７割に及び、津波で海水が入った水田の復旧は除塩などが必要で容易ではない。

一方、フイルム農法では止水シート (Water proof sheet) で大地と隔離して栽培区画を設けるため、土壌の塩害を受けることがない（図１）。

陸前高田市は、営農拠点整備地区の浜田川地区で 10 戸の被災農地約２ヘクタールを借り、被災地域農業復興総合支援事業（復興交付金事業）で全建設費を賄い、4,000m² の軽量鉄骨ハウス４棟を建設した（図２）。



この「陸前高田市大規模園芸施設」の内３棟（12,000m²）にフイルム農法が導入され、トマトの栽培が開始された（図３）。栽培は JA 出資法人の JA おおふなとアグリサービスが実施し、陸前高田市と JA おおふなとは、この施設を東日本大震災の被災農家の雇用と新規就農者の研修の場とし、復興のモデルにしていこうと計画している。

3. 共同研究者

森　有一（理工学術院総合研究所　招聘研究員）
吉岡　浩（理工学術院総合研究所　客員上級研究員）

4. 研究業績

4.1　論文・総説・著書

1) Yuichi Mori, “Functional polymeric membrane in agriculture”, ***Functional Polymers in Food Science, From Technology to Biology, Volume 2 : Food Processing,*** 33-45, 2015, Scrivener Publishing LLC
2) Yuichi Mori, “If agriculture can be done in Dubai, it can be done anywhere”, ***GovernanceNow, October 1-15,*** 28-29, 2014

4.2　講演

1) 森有一、“高機能フイルムによる高品質果菜類の実用生産の現状”、日本化学会第 95 春季年会アドバンスト・テクノロジー・プログラム依頼講演　2015 年 3 月 28 日

4.3　報道発表・プレスリリース

1) **広島テレビ**「テレビ派」“高品質なトマトを作り出す生産方法の秘密とは” 2015 年 3 月 12 日
2) **日本農業新聞**『復興めざして 高糖度トマト産地化へ』2015 年 3 月 11 日
3) **TBS テレビ**「夢の扉＋」“技術のチカラで被災地に笑顔を！” 2015 年 3 月 8 日
4) **テレビ東京**「ガイアの夜明け」“ありえない場所で絶品の味を作る！” 2014 年 8 月 19 日
5) **読売テレビ**「大阪ほんわかテレビ」“フィルムシートに農作物が育つ？” 2014 年 6 月 15 日

共感的な場の創出原理とそのコミュニケーション技術への応用

研究代表者　三輪　敬之
（創造理工学部 総合機械工学科　教授）

1. 研究課題

コミュニケーション支援には自身の存在を位置(意味)づけるための居場所づくりと，居場所における個人の表現や機能を支援する技術の両方が必要になると考えられる．一方で，現行のウェアラブル機器やコミュニケーションシステムでは，原理的に主客分離された記号的情報が伝達されるために，専ら個々人の機能を支援することに主眼が置かれてきた．しかしながら，居場所においては他者と共存在し，同時的かつ相補的に表現することによって生活のドラマを即興的に創出していくことが必要になる．そして，そこでは感情の共有を伴う共感的な出会いの場の創出が重要な働きを担うと考えられる．言い換えれば，一歩先の未来が意識下で他者と共有されることによって，「いま，ここ」の表現の合致が起こり，居場所感覚が生まれるのである．以上のことを筆者らは実験的，技術的に示してきた．本研究課題では，出会いの場の創出には身体的，集団的な気づきが必要になることを示すとともに，気づきを促すための表現メディアの設計手法について研究する．それにより，場の働きによって存在的なつながりへと向かうコミュニカビリティ支援技術の設計原理の確立を目指すことにする．

2. 主な研究成果

2.1　手合わせによる共創表現の遠隔支援

手のひら同士を触れ合わせながら身体全体で思いを伝え合い，即興的に表現を創りあう手合わせ表現では，双方の関係が深まることによって，私の動きやあなたの動きという固有の枠が希薄になり，“私たち”の動きとして感じられる一体感や共存在感が生まれることが経験的に知られている．このような共創表現の創出プロセスを捉えるために，本研究室では 1 自由度に簡略化した手合わせ表現の計測を行ってきた．その結果，意識に上らない身体全体の動き(COP)が手のひらの動作に対して時間的に先行し，2 人の間でその時間が頻繁に同期することを見出した．このことに着目し，自身の内側における 2 つの働きの関係性を多様にするために，無意識的な動作(COP)を相手と見立てて，自身の手の動きとの間で表現を創りあう一人手合わせ表現システムが開発された．そして，このシステムを継続して用いたところ，個の表現と表現の場の双方が耕され，表現そのものが深まっていく可能性が示された．そこで本研究では，本システムを活用することにより，自他間で表現の場を耕しあうことで，これまでに例がない遠隔での共創表現を目指すことにした．

具体的には，遠隔地間においてスライド板を介して手合わせを実現するため，一人手合わせ表現システムを 2 台開発し，システム間で互いの身体情報を送受信することにより，自身と相手の身体の動きに応じて力覚呈示を行うことを可能にした(図 1)．本システムの特徴は，バイラテラル制御と異なり，自身と相手の手が直接的にインタラクションしない点にある．つまり，通常の通信方式に見られるような，受動/能動の自他分離的な関係ではなく，自他非分離な関係を維持しつつ表現を共に創り合っていくことが可能なシステムを構想した．これを実現するために，本研究では，一人手合わせ表現システムにおける手にかかる反力(Fh)と自身の COP（Gx1)，相手の COP(Gx2)

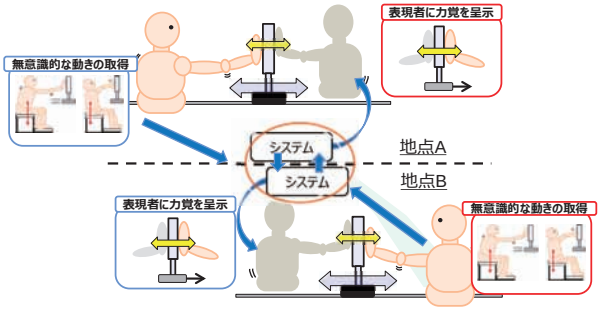


図1　一人手合わせ表現の通信システム

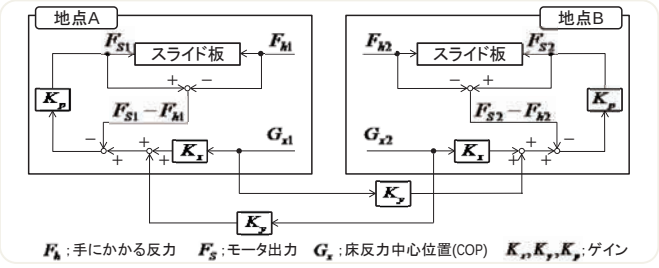
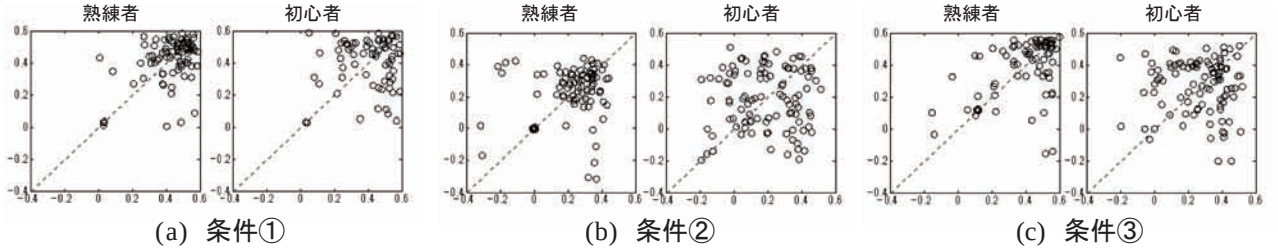


図2　システム構成



(a)　条件①　　(b)　条件②　　(c)　条件③

図3　遠隔手合わせ表現の結果

の 3 つをシステムの入力として，システム出力 Fs を，Fs－Fh = Kx･Gx1＋Ky･Gx2，つまり，スライド板を動かす力(Fs－Fh)が，互いの身体全体の動き Gx1，Gx2 によって決定される制御，通信方式を考案した(図 2)．開発したシステムを用いて，①Kx=0，Ky=50，②Kx=25，Ky=25，③Kx=－25，Ky=25 の 3 条件にて，遠隔地間での手合わせ表現を行った．その結果，自身の COP の値が戻ってこない条件①では，相手の動きや意図を読むことが難しく，表現を創り合うには至らなかった．自身と相手の COP の和により出力が決まる条件②では，「大きなボールを 2 人で一緒に動かしているようなイメージ」，「自分が能動的なのか受動的なのか，どちらともいえない双方で創り合っている感じ」といったコメントが得られた．自身と相手の COP の差により出力が決まる条件③では，「こちらに合わせてくるような感じがあるが，自分の主張もしてくる相手と手合わせ表現をしている感じ」，「多様な間合いみたいなものがでてきた」とのコメントを得た．また，スライド板の動きについてローレンツプロットを調べた結果，条件③では，熟練者だけでなく初心者にも単峰型のような構造が見られ，システムを介して意識と無意識の関係が多様になっている可能性が示された(図 3)．以上の結果は，個の表現と表現の場を双方で互いに耕しあうことによって，離れた場所間で表現の共創が促されることを示唆するものであり，共創コミュニケーション支援の道を切り拓くものである．

2.2　身体的共創における場の計測と評価に関する研究

障がいの有無や年齢，性別，舞踊経験などに関わらず，多様な活動者によって行われる集団での身体表現では，活動者の間に表現の場が創出されることで，即興的な共創表現が実現されていく．しかし，これまでに場を外側から計測・評価する手法については，ほとんど検討されておらず，集団による共創表現において場を計測した例もほとんど見当たらない．そこで，本研究では，集団の身体表現における個々人の動きを同時計測することにより，場を計測・評価する手がかりを得ることを目指した．その手始めとして，人の存在位置に着目し，人の頭部を個別認識するシステムの開発を行った．

集団全体が計測できるようにするため，本システムには，計測範囲が広いこと，各人の個別認識

図4 集団の位置計測結果

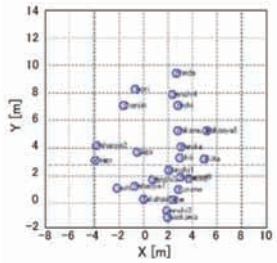


図5 集団の位置計測結果

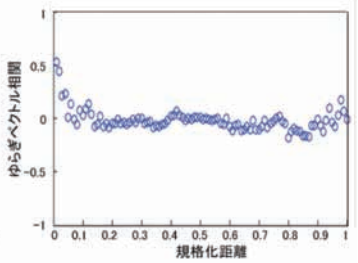


図6 ゆらぎベクトルと規格化距離の関係

ができること，現場で簡易に設置・計測できること，さらには，身体表現を妨げないことが求められる．そこで，本研究では図 4 に示すような，広角・高解像度のカメラを用いたマーカレスのステレオ計測システムを製作した．さらに，多様な身体表現を行っている人物の頭部位置検出をする際，カメラに映る頭部の色や形状が一様ではないことが問題となるため，本システムでは，3 つの異なる色空間(RGB 空間，HSV 空間，YUV 空間)を併用して，髪と顔を別々に検出し，各領域の論理和から頭部の検出を行っている． その結果，図 5 に示すように，幅 15[m]×奥行き 15[m]の空間において，30 名程度の存在位置を個別に計測することが可能になった．ただし，本システムでは，カメラに映る手前の人物による奥の人物の遮蔽(オクルージョン)が頻繁に生じるため，手動で位置合わせを行う作業が必要となることが問題となる．そこで，2 つのステレオカメラシステムを，計測範囲を挟むように対角に設置することで，オクルージョンを回避し，位置計測の自動化処理を実現するシステムについても検討した．

開発したシステムを用いて，障がい者を含む 10-50 代の男女約 30 名による身体表現活動(宮城県東松島市)における集団位置計測を実施した．この身体表現活動について，各人と他の全ての人物との関係を調べるため，規格化した個人間距離における各人の移動方向のゆらぎベクトルの内積(2 個体間の移動方向の一致度合い)の平均値をプロットした．その結果，ファシリテータにより場が創り出されていると評価されたシーンでは，ゆらぎベクトルの内積の値の大きさが個体間距離に必ずしも依存しない構造を持つことが分かった(図 6)．一方，動物(ミナミコメツキガニ)の群れには，スケールフリー相関，つまり，個体間距離の増大に伴ってゆらぎベクトルの内積の値が小さくなる構造があることが，これまでの研究から分かっている．したがって，本研究結果は，動物の群れ形成と人間の場の形成が異なることを示唆するものである．以上の知見は，多様な活動者による集団での共創表現における場を計測・評価する手がかりになると考えている．

3. 共同研究者

橋本周司（先進理工学部・応用物理学科・教授）
相澤洋二（先進理工学部・応用物理学科・教授）
上杉繁（創造理工学部・総合機械工学科・教授）
板井志郎（創造理工学部・社会文化領域・助教）
山川宏（創造理工学部・総合機械工学科・教授）
藪野健（基幹理工学部・表現工学科・教授）
西洋子（理工学研究所・客員教授）
渡辺貴文（理工学術院・次席研究員）

4. 研究業績

4.1 学術論文

・ Shiroh Itai, Taketo Yasui, and Yoshiyuki Miwa: Soft Interface with the Ambiguity - Creation of the Action by Avatar Controller Inducing the Embodiment, HIMI 2014, Part II,

LNCS 8522, pp. 413–422, 2014
- Yoshiyuki Miwa, Atsushi Nishide, Naruhiro Hayashi, Shiroh Itai, and Hiroko Nishi: Co-creative Bodily Expression through Remote Shadow Media System, HIMI 2014, Part II, LNCS 8522, pp. 445–454, 2014
- 上杉繁, 尾白大知, 川瀬元太, 玉地雅浩: 片麻痺歩行の擬似体験を目指した下肢関節への腱振動刺激に関する研究, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 19(4), 605-614, 2014
- Masaki Nakagawa and Yoji Aizawa: Observed Measures and Fluctuations in Dissipative Infinite Ergodic Systems: Randomization Theory for the Infinite-Modal Maps with Ant-Lion Property, J. Phys. Soc. Jpn. 83, 104004, 2014
- Hiroki Shigemune, Shingo Maeda, Yusuke Hara and Shuji Hashimoto: Design of paper mechatronics - Towards a fully printed robot, Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2014), pp.536-541, 2014, JTCF Novel Technology Paper Awardfor Amusement Culture 受賞

4.2 総説・著書
- Shiroh Itai and Yoshiyuki Miwa: Soft Entrainment - Co-emergence of “Maai” and Entrainment by Rhythm Controller; In Shuichi Fukuda(Eds.), Emotional Engineering (Vol.3), pp.73–92, Springer, 2015

4.3 招待講演
- 三輪敬之, Dual interface〜場がない世界、場がある世界〜, 日本箱庭療法学会 第 28 回大会公開シンポジウム, 2014
- Yoshiyuki Miwa, Shiroh Itai and Yasuaki Terada: Fog Display as Co-creative Expression Media, IDW’14 The 21st International Display Workshops, 2014

4.4 受賞・表彰
- 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（SI2014）優秀講演賞：
  三輪敬之, 西洋子, 板井志郎, 郡司ペギオ幸夫: 表現耕法による共創のシステムデザイン〜手合わせ表現における“私”と“わたし”〜

4.5 学会および社会的活動
- 計測自動制御学会　システムインテグレーション部門　共創システム部会　副主査
- 表現未来の会（西洋子, 三輪敬之）を通じた, 身体表現ワークショップの開催などによる定期的な被災地（石巻市, 東松島市など）での復興支援活動
- 三輪敬之: 身体表現で“自分である”実感取り戻す ―コトの復興としての居場所づくり―, 産学官連携ジャーナル, Vol.11, No.3, pp.21-24, 2015

5. 研究活動の課題と展望

これまでに研究してきた一人手合わせ表現システムなどの表現メディアシステムを, 年齢, 性別, 障がいの有無に関わらず, 多様な人々が集う身体表現ワークショップ等の現場に持ち込み, そこでの実践的な活動を通じて, 場の気づきを促す表現メディアの研究と開発をさらに進めていく. そして, この研究を通じて, 場の働きによって存在的なつながりへと向かうコミュニカビリティ支援技術の設計手法や共創表現の創出的ダイナミクスについて明らかにする.

溶融マグネ小滴の４塩化チタンの還元反応による新チタン製造法の研究

研究代表者　不破 章雄
（創造理工学部 環境資源工学科　教授）

1．研究課題

本研究は、高純度チタン製造における反応時間短縮、高純度化技術のシーズとして有望な、Mg小滴による$TiCl_4$の還元反応の基礎的知見を得る研究である。具体的には、溶融Mg小滴を生成し、$TiCl_4$の気体が導入されている円筒型の反応容器内に滴下、導入する。Mgの落下中に還元反応によって、Ti(固体)、$MgCl_2$(溶体)を得るものであり、反応界面積が増大し、反応速度の改善を図ることができる。さらに、Mg小滴、$TiCl_4$の連続導入により、クロール法操業の連続化、反応容器からの汚染低減の可能性によりチタンの高純度化に繋がる可能性がある。期間内に、溶融マグネシウム小滴生成条件の把握、小滴特性等の観察、$TiCl_4$の還元装置の考案、反応の様相観察等を行うものである。

本研究課題は、経済産業省、新構造材料研究組合の再委託研究である。

2．主な研究成果

（1）Mg 小滴生成装置に関して

昨年度に設計・製作を行った Mg 小滴生成装置を実験室に設置した。坩堝内の Mg に加える圧力を容器に調整するためにニードルバルブを設置した。

（2）水の滴下実験

実験方法の確立と小滴生成理論の検証のため、Mg 滴下実験に先立って水の滴下実験を行った。水の滴下実験には、オリフィスを有するノズルを取り付けた坩堝を使用した。この坩堝に水を供給した後、Ar を供給して水に圧力を加えることにより水を滴下した。容器で滴下物を捕集し、天秤にて連続的に重量変化を計測した。ただし、滴下した水の一部が炉心管や滴下観測部のガラス管内壁に付着してしまい、滴下した水の質量が正しく測定されないことから、炉心管や滴下観測部のガラス管は取り外して実験を行った。オリフィス直径は 0.1, 0.3, 0.5mm の 3 種類とし、加える差圧は 0～60kPa として実験を行った。これらの条件の基、実験を行った結果は、（A）オリフィスを通過した水がノズル先端で滞留し、成長してから低頻度で滴下する場合と、（B）オリフィスを通過した水がノズル先端で滞留せずにそのまま滴下する場合の２つに大別できた。（B）の場合、水はノズルから出た直後は連続流であるが、すぐに分離して水滴となり、滴下と共に分散していくことが分かった。（A）の滴下はオリフィス径が小さく、差圧が小さい場合に起きやすく、（B）の滴下はオリフィス径が大きく、差圧が大きい場合に起きやすい傾向があった。このことから、水がオリフィスを通過するための駆動力が大きく、抵抗力が小さい程、水はノズル先端で滞留しにくいと考えられる。なお、ピエゾ装置を用いて坩堝内の水に振動を付与する実験も行ったが、振動による滴下への影響は確認出来なかった。

滴下速度は、実験値と計算値は近い値を取った。直径が異なるオリフィスを用いた実験でも同様

の結果となったため、この実験にはベルヌーイ理論が適用できることが分かった。

（３）Mg 滴下実験

Mg と $TiCl_4$ の反応実験において、Mg 液滴の供給速度はオリフィス径や加える差圧のみで調節しなければならない。そのためには、Mg が安定して滴下する条件及び、オリフィス径や差圧と滴下速度の相関を知る必要がある。本年度はこれらの調査を目的として Mg 滴下実験を行った。Mg 滴下実験には、オリフィスを有するノズルを取り付けた坩堝、底面にオリフィスを有する坩堝、オリフィスを有するグラファイト製の部品を取り付けた坩堝の 3 種類を使用した。表面の酸化被膜を除去するため、使用する Mg は酸洗してから、この坩堝内に挿入した。その後、装置内を Ar 雰囲気にし、坩堝を加熱して Mg を溶融した。その後、Ar を供給して溶融 Mg に圧力を加える事により溶融 Mg を滴下した。計画では Mg 浴に振動を付与する予定であったが、振動の付与が Mg の滴下に必須でない事が判明したため、振動の付与はしなかった。

実験条件を表１にまとめて示す。表中の「栓」とは、溶融 Mg が実験開始までオリフィスに到達しないように塞ぐものである。

表１ Mg 滴下実験の実験条件

Mg 挿入量 (g)	100, 150, 200, 300
Mg 試料１つあたりの体積 (mm^3)	170, 25000
オリフィス径 (mm)	0.2, 0.3, 0.5
炉設定温度 (℃)	710～850
るつぼ内温度 (℃)	660～810
差圧 (kPa)	0～60
栓の有無	有り、無し

実験の結果は、（A）滴下せず、（B）オリフィス通過後に滞留してから滴下、（C）オリフィス通過後に滞留せずに滴下の 3 つに大別できた。（B）の場合、滞留箇所で成長してから滴下するため、（C）の場合よりも液滴径が大きくなると考えられる。液滴径が大きいと比表面積が小さくなり、反応の際に反応効率が低くなってしまうため、（B）は不適だといえる。栓を用いない実験では滴下しない事が多く、滴下しても挿入量の約 3 割程度しか滴下しなかった。この原因としては、Mg と観測部の残存酸素や、オリフィスの SUS 成分との反応による高融点・高粘性物質の生成が考えられる。Mg がオリフィス内に長時間存在するとこの反応が起きやすく、オリフィス閉塞に繋がった可能性が高い。このことから、Mg を安定して滴下するためには栓が必須である事が分かった。オリフィスを有するノズルを取り付けた坩堝を用いた実験では（２）の結果となる事が多かった。これは、オリフィス出口側に筒状の部分が存在し、Mg が滞留しやすい構造であったためだと考えられる。一方、底面にオリフィスを有する坩堝や、オリフィスを有するグラファイト製の部品を取り付けた坩堝のようにオリフィス出口側に構造物が無い場合は滞留する事が少なかった。そのため、オリフィス出口側には構造物が無い方が好ましい事が分かった。

底面に φ0.3mm のオリフィスを有する坩堝を用いた実験における差圧と流量の関係を、バラつきはあるが、実験値と計算値は近い値であった。底面に φ0.2, 0.5mm のオリフィスを有する坩堝を用いた実験でもベルヌーイ理論より算出した計算値と同程度の実験結果を得る事が出来た。来年度の反応実験での Mg 供給速度の制御はこれらの値を利用して行う予定である。ただし、オリフィス径が 0.5mm の場合は Mg 流量が大きく、反応実験の際に必要となる TiCl4 供給速度が非常

に大きくなってしまう。そのため、来年度の反応実験ではφ0.2, 0.3mmのオリフィスを用いるべきである事が分かった。

この実験で捕集された滴下物は金色粒と銀灰色塊の周囲に粒が存在するものの２種類に大別できた。金色粒はMg流量が少なく、C）の滴下が起きた場合に得られ、銀灰色塊はB）の滴下や流量の大きい滴下で得られた。このことから、流量及び液滴径が小さければ、Mgが滴下中に凝固する可能性がある事が分かった。ほとんどの捕集物が粒状で得られた実験における捕集物の粒度分布を測定したところ､粒径がオリフィス径の2.00～2.83倍であるものが多い事が分かった。

計画段階で考慮していたRayleighの不安定性理論、振動付与による液滴の生成理論は振動を付与した場合の理論であるため、本実験では考察に用いていない。

３．共同研究者

なし

４．研究業績

なし

5. 研究活動の課題と展望

今後、溶融Ｍｇ小滴と四塩化チタンとの反応を起こさせる装置の作製を行う。この装置は、予備実験で用いたMg小滴生成装置を改造して製作する予定である。具体的には、炉心管を長くし、観測部を１段のみにし、$TiCl_4$の給気・排気系統を設置する予定である。

以上

医療工学研究拠点形成プロジェクト

研究代表者　逢坂　哲彌
（先進理工学部 応用化学科　教授）

1. 研究課題

今後国内ではさらに少子高齢化が進み、医療現場を取り巻く環境は大きく変化していく。こうした状況下においては、バイオセンサを始めとする医療機器をこの分野で実用化することは、潜在的疾病や無自覚疾病の早期発見・早期治療を実現し、人間の QOL（Quality of Life：生活の質）を向上することに繋がる。医療機器を医療現場で実用化する場合、機器の性能向上は勿論のこと、医学的見地から見た機器の改良が重要である。即ち、現在の医学的視点と工学的視点が乖離した研究開発手法を発展させ、医学と工学が融合した研究開発体制を確立することで、医療現場のニーズに則した医療機器の効率的な開発が推進されると期待される。そこで本プロジェクトでは、臨床現場で求められている検出対象や検出手法等の有用な情報を医師や医療機関から収集し、そのアドバイスを積極的に機器開発に反映し、医療現場での実用化に則した医療機器の開発拠点を形成する。

2. 主な研究成果

2.1. 電界効果トランジスタバイオセンサの臨床応用に向けた研究開発

アルツハイマー病に特異的な生体分子として知られるアミロイドβの重合体の検出を目指して、コンゴーレッド分子を固定化した FET バイオセンサを開発し、緩衝溶液中での検出に向けた条件検討を行った。その結果、凝集体を形成している Aβ (1-42)の添加に対しては応答が得られたのに対し，それ以外の Aβ種に対しては応答がほとんど得られなかったことから，作製したコンゴーレッド修飾 FET が Aβ凝集体を特異的に検出可能であることが示唆された．また，コンゴーレッド修飾 FET の Aβ凝集体添加濃度依存性を調査したところ，10 fM～100 μM の濃度範囲で定量的な検出が可能であることが示唆された（図 1）。

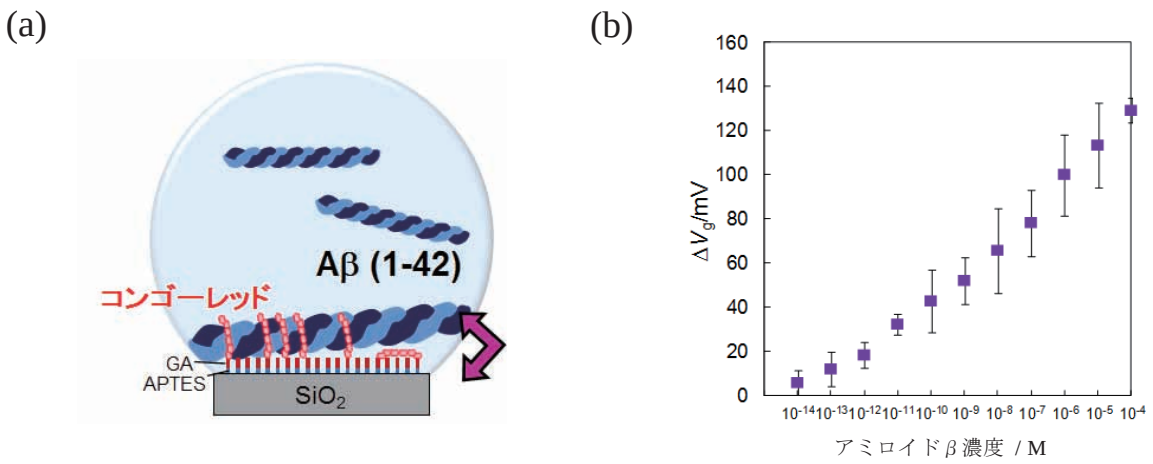


図 1　コンゴーレッド固定化 FET センサを用いたアミロイドβ凝集体の検出の模式図(a)、および濃度依存性(b)

また、異なるアミロイドタンパク質（ヒトプリオンタンパク質）を対象として、チアミン固定化FETバイオセンサを作製し、その検出可能性を検証した。その結果、作製したセンサがヒトプリオンタンパク質のオリゴマーを特異的に検出し、400pMから400nMの濃度範囲で定量的な検出が可能であることが示唆された。更に、金属イオン添加による同タンパク質検出の高感度化の可能性を示した。

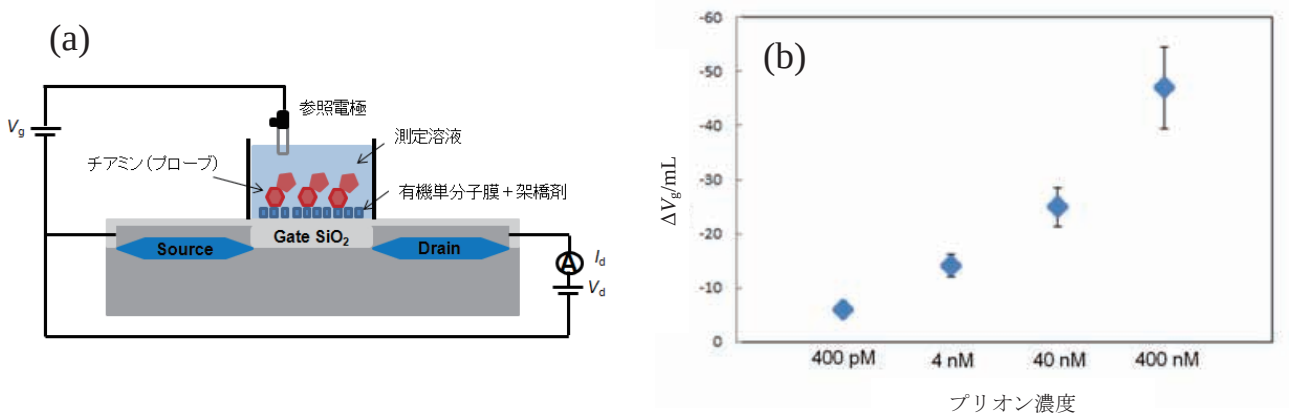


図2　チアミン固定化FETの模式図（a）、及び同センサによるプリオン検出の濃度依存性（b）

3.　共同研究者

朝日　透（先進理工学部・生命医科学科・教授）

森　康郎（ナノ理工学研究機構・上級研究員）　　秀島　翔（ナノ理工学研究機構・次席研究員）

4.　研究業績

4.1.　学術論文

T. Osaka *et al.*, Label-Free Electrical Assay of Fibrous Amyloid ß Based on Semiconductor Biosensing, *Chemical Communications*, 50, 3476-3479, 2014

T. Osaka *et al.*, Wustoni, S., Hideshima, S., Kuroiwa, S., Nakanishi, T., Hashimoto, M., Mori, Y. and, Osaka, T., Sensitive electrical detection of human prion proteins using field effect transistor biosensor with dual-ligand binding amplification, *Biosensors and Bioelectronics*, **67**, 256-262, 2014

T. Osaka *et al.*, Effects of chemical treatment of indium tin oxide electrode on its surface roughness and work function, *Surface and Coatings Technology*, **244**, 189-193, 2014

4.2.　総説・著書

逢坂哲彌監修、自動運転、日経BP(平成24年10月)

4.3.　招待講演・特別講演

Osaka, T., Innovation Process from Academic Activities to Industrial Products, Invited lecture, 2014 ECS & SMEQ Joint International Meeting (October 2014)

秀島翔、健康医療分野での応用に向けた半導体バイオセンシング、マルチモーダルバイオイメージセンサ研究会平成26年度第3回研究会（平成27年3月）

4.4. 受賞・表彰

逢坂哲彌、早稲田大学リサーチアワード（大型研究プロジェクト推進）(平成 26 年 11 月)

4.5. 学会および社会的活動

T. Osaka *et al.,* Detection of human prion protein using thiamine-immobilized field effect transistor biosensor, Biosensors 2014 (May 2014)

T. Osaka, S. Hideshima *et al.,* Effect of the Receptor Size on the Sensitivity of Field Effect Transistor Biosensor for Label-Free Detection of Cancer Biomarker, Poster, 225th Meeting of The Electrochemical Society (ECS) (May 2014)

T. Osaka, Y. Mori, S. Hideshima *et al.,* Effect of Metal Ion Addition on The Sensitivity of Prion Detection Using Field Effect Transistor Biosensor, Poster, 65th International Society of Electrochemistry (ISE), (August 2014)

T. Osaka, Y. Mori, S. Hideshima *et al.,* Toward Industrialization on Semiconductor-Based Biosensors in Health and Medical Fields, 2014 ECS & SMEQ Joint International Meeting (October 2014)

T. Osaka, S. Hideshiima *et al.,* Biofunctionalization of the surface of FET sensors with small receptors to improve their sensitivity, 10th International Symposium on Electrochemical Micro & Nanosystem Technology (EMNT2014) (November 2014)

T. Osaka, S. Hideshima *et al.,* Label-Free Detection of Proteins Using Field Effect Transistor (FET) Biosensors for Diagnosis of Cancer and Allergy, Conference for BioSignal and Medicine 第 13 回大会（CBSM 2014）（2014 年 11 月）

T. Osaka, S. Hideshima *et al.,* Development of field effect transistor (FET) biosensor for detection of amyloid prion protein, Conference for BioSignal and Medicine 第 13 回大会（CBSM 2014）（2014 年 11 月）

逢坂他、糖鎖固定化電界効果トランジスタによるインフルエンザウイルスから分離したヘマグルチニンの検出, 電気化学会第 82 回大会（2015 年 3 月）

5. 研究活動の課題と展望

今後、本プロジェクトで開発している FET バイオセンサや磁性ナノ粒子等の医療機器を、医者や医療関係者の知見を開発指針の策定に積極的に取り入れながら開発し、病院や医療機関での臨床研究を進めていく予定である。

NEDO 革新型蓄電池先端科学基礎研究 2

研究代表者　門間 聰之
（先進理工学部 応用化学科　教授）

1. 研究課題

本研究の目的は電池内部状態評価として測定されるリチウムイオン二次電池（LIB）の交流インピーダンス応答に対する解析を行い、電池内部の変化挙動を追跡するための解析法の提案である。LIB の交流インピーダンス応答は、直流作動の電気化学デバイスである LIB において，その反応系を大きく乱すことなく作動中および待機中に測定される．従来は，製品として組み上げられた LIB ではなく，3 電極式電気化学セルが用いられ，電極開発のために行われる電気化学的解析手法の一つとして利用されてきた。本研究では現行の LIB を模し基準電極を導入したラミネート電池の各種充電・放電状態のインピーダンス応答に対して，その評価解析を行う。特に、電池形状および測定機器との接続に起因するインピーダンス成分の把握と理解をする．また充電・放電の作動サイクル等による性能劣化を進行させた LIB の交流インピーダンス応答に対して、解析手法の開発および解析結果の評価を行い、LIB の劣化の要因と電気化学的パラメータ変化を相関させる．以上の検討より、LIB の交流インピーダンス応答解析手法を改良・提案するとともに，LIB の全電池インピーダンスから推測する手法・可能性を探る。

2. 主な研究成果

(1) 大型蓄電池に適用可能な劣化診断技術の開発

本年度は、前年度までに報告した市販自転車用のリチウムイオン電池のインピーダンス解析技術に加え、ハイブリッド自動車用電池として市販されたニッケル水素電池（NiMH）モジュール（10直列、公称電圧：12V、公称容量：95Ah）を用いて、インピーダンス測定の検討を行った。大型蓄電池システムとしてLIB以外の蓄電池がシステムに配置された際にも、本研究の劣化診断技術が適用可能であるかの調査のために、昨年度までに開発した矩形波を入力信号としたインピーダンス計測「矩形波インピーダンス法(SC-EIS)」により、いくつかの検討を行った。LIBの測定時と同様に、データサンプリングの最適化、入力波形の精度の影響とその対策、ノイズ除去処理を導入し、従来のFRAと同程度の精度でインピーダンス測定が可能であった。Fig. 1に一例を示すが、4種類の矩形波入力波形を用いることで、100 kHz – 50 mHzと極めて広い範囲でのインピーダンス

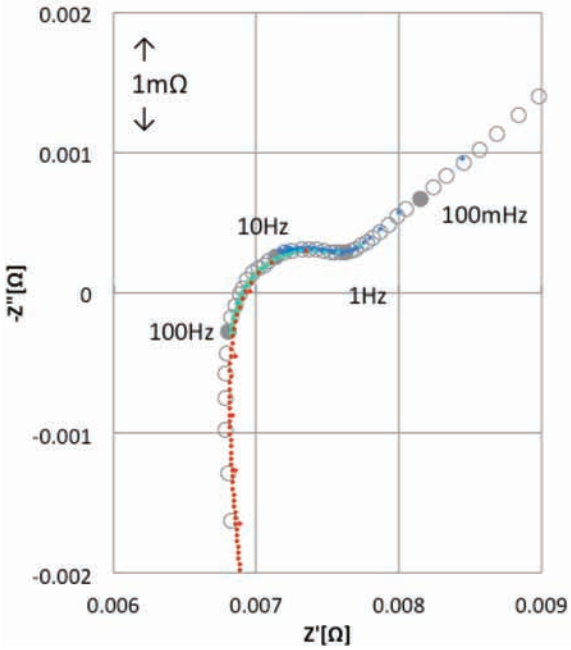


Fig.1 SC-EIS を用いた NiMH モジュールの 100 kHz - 10 mHz のインピーダンス測定結果（○は FRA、矩形波による結果はそれぞれ●45Hz、●5Hz、●0.5Hz、●50mHz）

測定が可能となった。

(2) 電力変動プロファイルを用いた劣化診断技術の検証

市場において実際に使われる電力使用状況に基づいた劣化診断技術とするため、実際の運用波に測定用の矩形波を重畳し、LIBのインピーダンス測定を試みた。運用波には、約500件分の家庭の負荷及び個人宅用ソーラーパネルの発電から生成した電力プロファイルを用いた。Fig.2a)に、LIBの出力が0A付近での充放電プロファイルと重畳した矩形波から得られたインピーダンス応答を示す。図中のSCと囲まれている部分に測定用に矩形波信号を重畳し3回積算を行った。図中Refで示す曲線は、プロファイルを0Aと一定としたときのSC-EISの測定結果を示している。図より電流の入出力があってもインピーダンス測定が可能であり，その値はrefとほぼ同じ値が得られた。Fig.2b)に、充放電プロファイルの出力が-3A付近の電流であるときのプロファイルと得られたインピーダンス応答を示す。図中Refは、電流運用波を3Aと一定にしたときのSC-EISの測定結果を示している。Fig.2a)にくらべ、データにばらつきが認められ測定精度の劣化が懸念されるものの、refとほぼ同等のインピーダンス応答が得られており、十分解析可能なインピーダンス応答を得ることが出来た。以上の検討から、運用中の蓄電システムにおいても測定用の矩形波信号を重畳してSC-EISによる解析を行うことで、運用を止めることなくインピーダンス計測が可能なことが示された。

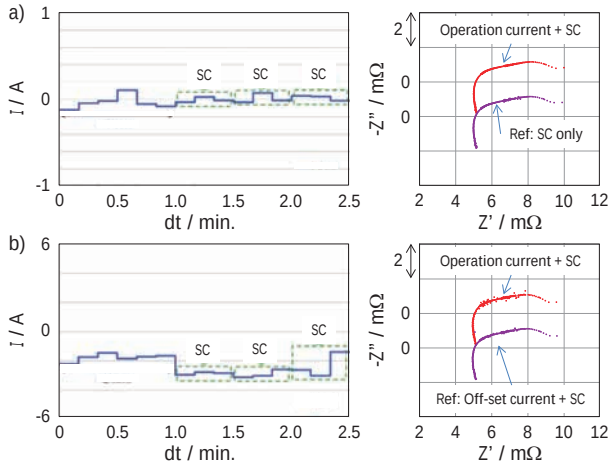


Fig.2 運用中の電流プロファイルと周波数応答 充放電プロファイルの違いにより a) 0A, b) -3A(discharge).

(3) 対称セルを用いたリチウムイオン二次電池のインピーダンス分離評価

我々がこれまでに開発した分解分解・組立が容易な分離セルを用いて、正極・負極それぞれのインピーダンスを詳細に解析してきた。分離セルにより劣化解析を行う際の問題として、ラミネートセルから分離対称セルを構成すると正極の電荷移動抵抗が経時的に増大することがあった。この様子をFig.3左図に示す。これは1 M $LiPF_6$ / EC:DEC (1:1)を電解液に用いる場合特有の現象であり、電解液のリチウム塩を$LiClO_4$や$LiBF_4$に変えると起こらないことが分かっていた（Fig.3右図）。Fig.3の正極対称分離セルにおいて、同じ時間間隔で電解液を200 μLずつ採取し

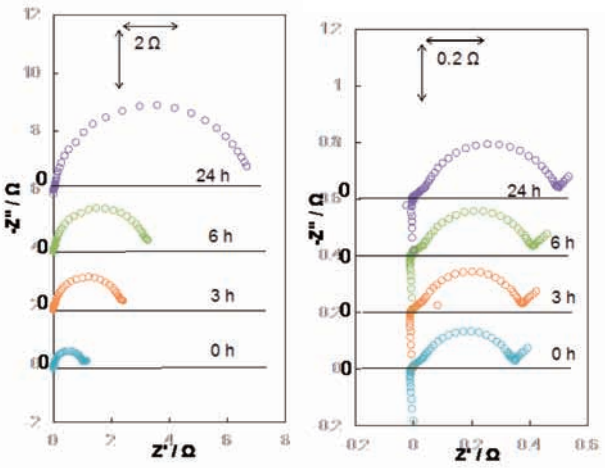


Fig. 3 正極対称分離セル中でのインピーダンスの経時変化変化．左図 1 M $LiPF_6$ / EC:DEC (1:1)，右図 1 M $LiClO_4$ / EC:DEC (1:1).

ICP-MSによりCoイオン濃度を定量した。その結果、$LiPF_6$を含む電解液を用いた時は、組み換え後のCoの量は24 hの範囲で増大し続けた。対して$LiClO_4$を含む電解液を用いた時は、組み換え後のCoの量は増大したが、$LiPF_6$ほど変化は激しくなかった。以上の傾向は、Fig.3.1およびFig.3.2のインピーダンスの経時変化の傾向と一致する。従って、正極対称セルの電荷移動抵抗の経時増大は、正極から電解液へのCoイオンの溶出と密接に関連していることが示唆された。また、この現象について詳細に調べたところ、リチウム塩であるPF_6が微量の水分と反応することで生じるHFの影響でCoが溶出していることが確認された。

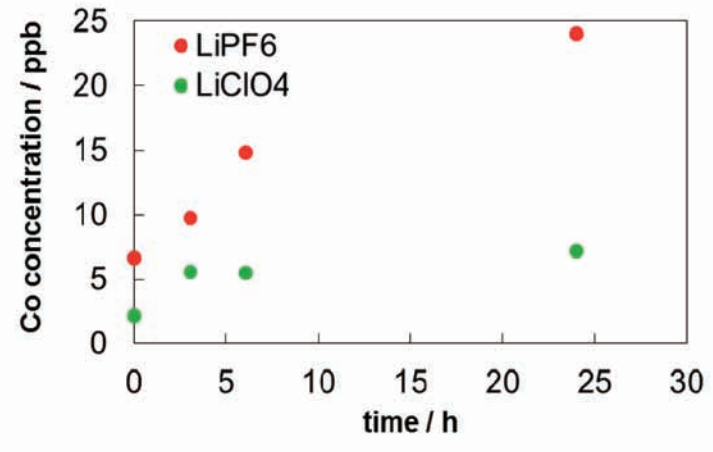


Fig. 4　正極対称分離セルの電解液中（1 M $LiPF_6$ / EC:DEC (1:1), 1 M $LiClO_4$ / EC:DEC (1:1)）における Co 濃度の経時変化.

3. 共同研究者

逢坂哲彌(先進理工学部・教授)　横島時彦(理工学研究所・主任研究員)
向山大吉(理工学研究所・次席研究員)　奈良洋希(理工学研究所・次席研究員)

4. 研究業績

4.1. 学術論文

- M. Jeong, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma, T. Osaka, “Influence of the diffusion-layer thickness during electrodeposition on synthesis of nano core/shell Sn-O-C composite as an anode of lithium secondary battery”, *RSC Adv.*, **4**, 26872-26880 (2014).
- J. Liu, H. Nara, T. Yokoshima, T. Momma, T. Osaka, “Carbon Coated Li_2S Synthesized by Poly(vinylpyrrolidone) and Acetylene Black for Cathode of Lithium Ion Batteries”, *Chem. Lett.*, 43, 901-903 (2014).
- S. Shanmugam, J. Sanetuntikul, T. Momma, T. Osaka “Enhanced Oxygen Reduction Activities of Pt Supported on Nitrogen-Doped Carbon Nanocapsules”, *Electrochim. Acta*, **137**, 41-48 (2014).
- M. Prabu, P. Ramakrishnan, H. Nara, T. Momma, T. Osaka, S. Shanmugam, “Zinc-Air Battery: Understanding the Structure and Morphology Changes of Graphene Supported $CoMn_2O_4$ Bifunctional Catalysts Under Practical Rechargeable Conditions”, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **6**, 16545-16555 (2014).
- N. Nakamura, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma, T. Osaka, “Suppression of polysulfide dissolution by polypyrrole modification of sulfur-based cathodes in lithium secondary batteries”, *J. Power Sources*, **274**, 1263-1266 (2014).
- J. Liu, H. Nara, T. Yokoshima, T. Momma, T. Osaka, “Li_2S cathode modified with polyvinylpyrrolidone and mechanical milling with carbon”, *J. Power Sources*, **273**,

1136-1141 (2014).

- M. Jeong, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma, T. Osaka, “Effect of electrolyte on cycle performances of the electrodeposited Sn-O-C composite anode of lithium secondary battery”, *J. Power Sources*, **275**, 525-530 (2014).
- X. Qian, T. Hang, H. Nara, T. Yokoshima, M. Li, T. Osaka, “Electrodeposited three-dimensional porous Si–O–C/Ni thick film as high performance anode for lithium-ion batteries”, *J. Power Sources*, **272**, 794-799 (2014).
- J. Lee, K. Hasegawa, T. Momma, T. Osaka, S. Noda, “One-minute deposition of micrometre-thick porous Si-Cu anodes with compositional gradients on Cu current collectors for lithium secondary batteries”, *J. Power Sources*, **286**, 540-550 (2015).

4.2. 学会発表

- 奈良洋希，横島時彦，大塚直哉，門間聰之，逢坂哲彌，“三次元網目構造体へのリチウム二次電池用 Si-O-C 複合負極の電析”，電気化学会第 81 回大会，大阪，2014 年 3 月.
- 横島時彦，加藤崇徳，寺尾竜哉，玉川諒，藪田宗克，M. Jeong，奈良洋希，朝日透，門間聰之，逢坂哲彌，“リチウム二次電池用電析 Si-O-C 複合負極作製における基板前処理の効果” ，電気化学会第 81 回大会，大阪，2014 年 3 月.
- 中村夏希，高松翔大，榎智和，横島時彦，門間聰之，逢坂哲彌，“Li 二次電池を目的としたポリピロール被覆 S/KB 複合体正極の重合条件によるポリスルフィド溶出抑制改善”，電気化学会第 81 回大会，大阪，2014 年 3 月.
- 中澤和博，横島時彦，向山大吉，門間聰之，森康郎，逢坂哲彌，“矩形波インピーダンス法の低周波領域への拡張”，電気化学会第 81 回大会，大阪，2014 年 3 月.
- 横島時彦，向山大吉，中澤和博，伊澤英彦，伊藤由美子，奈良洋希，門間聰之，森康郎，逢坂哲彌，“矩形波インピーダンス法のリチウムイオン二次電池状態評価技術への適用”，電気化学会第 81 回大会，大阪，2014 年 3 月.
- 渡辺勇太，横島時彦，門間聰之，逢坂哲彌，“メソポーラス PtRuCo を担持した三次元網目構造 DMFC アノード触媒層の作製と評価”，電気化学会第 81 回大会，大阪，2014 年 3 月.
- C. Chen, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma, T. Osaka, “Two-Dimensional Ultrathin Single-Crystalline Sns Nanoflakes As Anode Material for Li-Ion Batteries”, 225th Meeting of The Electrochemical Society (ECS), Orland, USA, May 2014.
- H. Nishihara, S. Iwamura, Y. Ono, H. Morito, H. Yamane, H. Nara, T. Osaka, T. Kyotani, “Eutectic $Li_{21}Si_5$ Alloy As a Lithium-Containing Negative Electrode Material”, 17th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB), Como, Italy, June 2014.
- H. Nara, T. Yokoshima, N. Otuska, T. Momma, T. Osaka, “Electrodeposition of Si-O-C Composite Anode Onto Three Dimensional Structures for Lithium Secondary Batteries”, 17th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB), Como, Italy, June 2014.
- M. Agostini, J. Liu, M. Jeong, H. Nara, T. Momma, B. Scrosati , Y. K. Sun, T. Osaka, J. Hassoun, “Characterization of a Lithium Ion Battery Based on Carbon-Coated Lithium Sulfide Cathode and Electrodeposited Silicon Based Anode” 17th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB), Como, Italy, June 2014.
- T. Momma, N. Togasaki, T. Osaka, “Cycle Life Enhancement of Metalic Li Anode By H_2O

and CO_2 in Organic Electrolyte for Li-Air Battery" 17th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB), Como, Italy, June 2014.

- T. Yokoshima, D. Mukoyama, K. Nakazawa, H. Isawa, Y. Ito, H. Nara, T. Momma, Y. Mori, T. Osaka, "Introduction of Square-Current Electrochemical Impedance Spectroscopy (SC-EIS) to Diagnosis Technology of Laminated Lithium-Ion Battery", 17th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB), Como, Italy, June 2014.
- T. Osaka, "Beyond the construction on International Battery R&D Center for smart life support", The 7th German-Italian-Japanese Meeting of Electrochemists, Padova, Italy, June 2014.
- T. Momma, H. Nara, T. Yokoshima, T. Osaka, "Electrodeposited Si and Sn for Lithium Battery Anodes", The 7th German-Italian-Japanese Meeting of Electrochemists, Padova, Italy, June 2014.
- 横島時彦，"電気化学インピーダンス法を用いたリチウムイオン二次電池の劣化挙動解析手法の開発"，神奈川大学 リチウムイオンバッテリー（LIB）オープンラボ第八回，神奈川，2014 年 7 月.
- T. Yokoshima, D. Mukoyama, H. Isawa, H. Nara, T. Momma Y. Mori, T. Osaka, "Application of Square-Current Electrochemical Impedance Spectroscopy (SC-EIS) to Battery Diagnosis Technology for Large-scale LIB", 7th International Conference on Advanced Lithium Battery for Automobile Applications (ABAA-7), Nara, Japan, July 2014.
- C. Chen, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma, "SnS_2/SnO_2/C Hierarchical Heterostructures for Li-ion Batteries Anode with High Rate Capabilities", 65th International Society of Electrochemistry (ISE), Lausanne, Switzerland, August 2014.
- H. Nara, D. Mukoyama, T. Yokoshima, T. Momma, T. Osaka, "Impedance Analysis for Deterioration Evaluation of Laminated Lithium-ion Battery Containing Vinylene Carbonate Additive with Micro Reference Electrode", 65th International Society of Electrochemistry (ISE), Lausanne, Switzerland, August 2014.
- T. Yokoshima, D. Mukoyama, H. Isawa, Y. Ito, H. Nara, T. Momma, Y. Mori, T. Osaka, "Introduction of Square-current Electrochemical Impedance Spectroscopy (SC-EIS) to Diagnosis Technology of Lithium Ion Battery", 65th International Society of Electrochemistry (ISE), Lausanne, Switzerland, August 2014.
- J. Liu, H. Nara, T. Yokoshima, T. Momma, T. Osaka, "A novel method to prepare micro-scale carbon coated Li_2S from Li_2SO_4 for cathode of lithium ion battery", 10th International Symposium on Electrochemical Micro & Nanosystem Technology (EMNT2014), Okinawa, Japan, November 2014.
- H. Nara, T. Yokoshima, D. Mukoyama, T. Momma, T. Osaka, "Impedance Analysis with Transmission Line Model on 3D Structured Energy Devices", 10th International Symposium on Electrochemical Micro & Nanosystem Technology (EMNT2014), Okinawa, Japan, November 2014.
- N. Togasaki, T. Momma, T. Osaka, "Role of solid electrolyte interphase (SEI) on a Li metal anode in dimethyl sulfoxide for Li-O_2 battery", , 10th International Symposium on Electrochemical Micro & Nanosystem Technology (EMNT2014), Okinawa, Japan, November

2014.

- M. Jeong, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma, T. Osaka, “Cu incorporated Si-O-C composite anode with improved areal capacity”, 10th International Symposium on Electrochemical Micro & Nanosystem Technology (EMNT2014), Okinawa, Japan, November 2014.
- C. Chen, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma, T. Osaka, “One-Step Hydrothermal Synthesis of $SnS_2/SnO_2/C$ Hierarchical Heterostructures for Li-ion Batteries Anode”, 10th International Symposium on Electrochemical Micro & Nanosystem Technology (EMNT2014), Okinawa, Japan, November 2014.
- 中村夏希，横島時彦，奈良洋希，門間聰之，橋本正洋，逢坂哲彌，“Li 二次電池正極を目的とした S/KB 複合体へのポリピロール被覆膜の特性評価”，第 55 回電池討論会，京都，2014 年 11 月.
- 森田圭祐，奈良洋希，横島時彦，向山大吉，門間聰之，逢坂哲彌，“Li イオン電池正極活物質の粒径分布を因子とした低周波数域インピーダンス応答特性”，第 55 回電池討論会，京都，2014 年 11 月.
- 中澤和博，横島時彦，向山大吉，門間聰之，逢坂哲彌，“市販リチウムイオン電池の電気化学インピーダンス評価における入力波形の影響”，第 55 回電池討論会，京都，2014 年 11 月.
- 横島時彦，向山大吉，伊澤英彦，中嶋康乃，奈良洋希，門間聰之，森康郎，逢坂哲彌，“矩形波インピーダンス法の運用中リチウムイオン電池状態把握技術への導入”，第 55 回電池討論会，京都，2014 年 11 月.
- 向山大吉，奈良洋希，横島時彦，門間聰之，逢坂哲彌，“交流インピーダンス法によるラミネート型リチウムイオン電池セル特性の個体差評価”，第 55 回電池討論会，京都，2014 年 11 月.
- 川野誠，阿久津智美，友定伸浩，山崎大輔，横島時彦，奈良洋希，逢坂哲彌，“交流インピーダンス測定と内部分析による市販 Mn 系リチウムイオン二次電池の劣化解析”，第 55 回電池討論会，京都，2014 年 11 月.
- 加藤崇徳，寺尾竜哉，M. Jeong，横島時彦，奈良洋希，朝日透，門間聰之，逢坂哲彌，“リチウム二次電池用電析 Si-O-C 複合負極の前処理プロセス効果”, 第 55 回電池討論会, 京都, 2014 年 11 月.
- M. Jeong, T. Kato, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma, T. Osaka, “Cu incorporated Si-O-C composite anode for increasing battery capacity”，第 55 回電池討論会，京都，2014 年 11 月.

4.3. 招待講演

- T. Osaka, T. Yokoshima, D. Mukoyama, H. Nara, T. Momma, “Impedance Analysis of Lithium-Ion Battery for Future”, 17th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB), Como, Italy, June 2014.
- T. Momma, “Non Destructive Inspection for Diagnosis of LIB by Electrochemical Impedance Analysis”, 7th International Conference on Advanced Lithium Battery for Automobile Applications (ABAA-7), Nara, Japan, July 2014.
- T. Osaka, “Innovation Process from Academic Activities to Industrial Products”, 2014

ECS & SMEQ Joint International Meeting, Cancun, Mexico, October 2014.

- 奈良洋希，“正負極インピーダンス分離解析手法”，2014 年電気化学会関東支部セミナー　「リチウムイオン二次電池を解析するための電気化学インピーダンス測定」，東京，2014 年 11 月.
- 横島時彦，“フーリエ変換を用いるインピーダンス測定”，2014 年電気化学会関東支部セミナー　「リチウムイオン二次電池を解析するための電気化学インピーダンス測定」，東京，2014 年 11 月.
- 横島時彦，“リチウムイオン電池の高寿命化を可能にする高容量 Si 系負極材料の開発”，第 6 回国際二次電池展　専門技術セミナー，東京，2015 年 2 月.
- 門間聰之，“リチウム電池用電析負極材料（仮）”，表面技術協会第 131 回講演大会，神奈川，2015 年 3 月.
- T. Osaka, “New diagnosis method for LIB health conditions using EIS”, BASF Science Symposium 2015 "Science Symposium Ludwigshafen", Ludwigshafen, Germany, March 2015.
- 前田傑，中澤和博，横島時彦，向山大吉，門間聰之，逢坂哲彌，“鋸歯状波を用いた FFT インピーダンス法による Li 電析過程の in-situ 測定”，電気化学会第 82 回大会，神奈川，2015 年 3 月.
- 逢坂哲彌, “実用化へ向けたリチウム電池作製技術の紹介”, 日本化学会第 80 年会, 東京, 2015 年 3 月.
- 門間聰之，“有機電解液中での電析で形成されるリチウム二次電池用 Si-O-C 負極”，日本化学会第 80 年会，東京，2015 年 3 月.

4.4.　総説・著書

4.5.　特許

- 特願 2014-077894，逢坂哲彌、門間聰之、横島時彦、奈良洋希（早稲田大学，2014.4.4）
- 特願 2014-195828，西弘貴、木庭大輔、松田悠介、鈴木雄太、鈴木均、逢坂哲彌（プライムアース EV エナジー，2014.9.25）
- 特願 2014-195829，西弘貴、木庭大輔、松田悠介、鈴木雄太、鈴木均、逢坂哲彌（プライムアース EV エナジー，2014.9.25）
- 14/351,361，逢坂哲彌、門間聰之、横島時彦、向山大吉、奈良洋希（早稲田大学，2014.4.11）

5.　研究活動の課題と展望

本研究の第２期のスタートとして、LIB の交流インピーダンスによる状態解析手法を市場での製品に適用可能な工夫として、矩形波を用いた電池内部の状態評価に手法を提案し、その適用可能性を調査している。また、実際の内部劣化過程の詳細についても広くデータの蓄積をおこない、次年度への LIB の劣化解析の検討を継続して行う。特に矩形波を用いたインピーダンスによる大型 LIB 適用を具体的に進めて実用化への検証を行う。

長期大型プロジェクト研究

量子ビームが可能にする高分子ナノ構造体の創製

研究代表者　鷲尾　方一
（理工学研究所　教授）

1. 研究課題

高分子材料は、その軽量性、耐薬品性、絶縁性、生体分子適合性等多くの特性を備えている。本研究ではこれらの特性を持つ種々の高分子材料に対し、イオンビームや電子線等のいわゆる量子ビームを利用し、マイクロメートルスケールからナノメートルスケールの 3 次元構造体の創製技術を開発するとともに、その応用開発を行い、本研究によりもたらされる新しい機能性材料の実用化も目指す。高分子のマイクロおよびナノ構造体は種々のメンブレンフィルター、反射防止膜、MEMS（マイクロマシン）、創エネデバイス作製技術等への応用が期待されているが、現在、ナノ構造体を効率良く作製する実用的な技術は非常に限られており、本研究開発では、汎用性の高い種々の量子ビームを縦横に駆使し、望まれる構造体を安価かつ大量に創製する技術の開を目指すものである。本年度は、イオンビームと電子ビームのエネルギー付与性の違いを利用し、空間内でナノ～マイクロ領域のイオン交換基の濃度を制御した新規ナノ構造体を創製し、固体高分子形燃料電池（PEFC/DMFC）への応用するために、イオンと電子ビームを組み合わせたハイブリッドグラフト重合法による電解質膜合成において、表面層の機能化領域の最適化を検討するため、超低エネルギー電子ビームの加速エネルギーを変えて照射し、その後、イオンビーム照射実験を行ったので、それらの結果について報告する。

2. 主な研究成果

2-1 イオン／電子ビームハイブリッドグラフト重合法によるナノ空間制御機能性材料の創製

大阪大学産業科学研究所のクリーンルーム内に設置されている浜松ホトニクス社製超低エネルギー電子ビーム加速器からの電子ビームを真空中室温で、フッ素系高分子試料の両面から加速電圧を 40 kV ～ 80 kV にそれぞれ変えて照射した。

照射後、ラジカルが失活しないように直ちに真空保持したのち、直ちに空輸し、C, N, Ne, Si, Ar, Fe, Kr, Xe の各種イオン（6MeV/u）を放射線医学総合研究所重粒子医科学センターの HIMAC 施設内の中エネルギー照射室(MEXP)にて室温・真空中(2×10^{-4} Pa 以下)照射した。試料内部に立体的な微細形状を有する空間機能制御材料の創製を行うため、イオンビームの空間的なエネルギー付与性ならびその直進性を利用して、ステンシルマスク(72 μm□)を通してイオン照射を行った。イオンビームサイズは典型的な場合でϕ 25 mm 程度である。

照射試料は、厚さ 25 μm ならびに 100 μm のヘキサフルオロプロピレン・テトラフルオロエチレン共重合体(FEP, Flon Industry)フィルムであり、フィルムを SRIM コードによる各種イオンの飛程分の膜厚になるように重ねあわせて、スタック構造として照射した。なお、電子ビームの照射から、イオン照射までの経過時間は、約 6 時間から 24 時間程度であり、これまでの ESR 実験からラジカルは失活せずに残っている状態である。

イオン照射後、大気中に取り出すことで、安定な過酸化ラジカルに転換し、早稲田大学にて後グラフト反応を利用して、スチレンモノマーをグラフトさせ、スルホン化処理を行うことで、空間的に機能制御された燃料電池用の電解質膜を合成した。

イオンと電子ビームを組み合わせたハイブリッドグラフト重合法による電解質膜合成において、表面層の機能化領域の最適化を検討するため、超低エネルギー電子ビームの加速エネルギーを変えて照射し、その後、C^{6+}イオンビーム照射(6 MeV/u)実験を行った。イオンビームのみでは、これまでに報告しているように、面方向でマスク形状に合わせた微細的に機能化された電解質膜が合成できるが、親水部の隆起により表面に生じる凹凸が観察された。

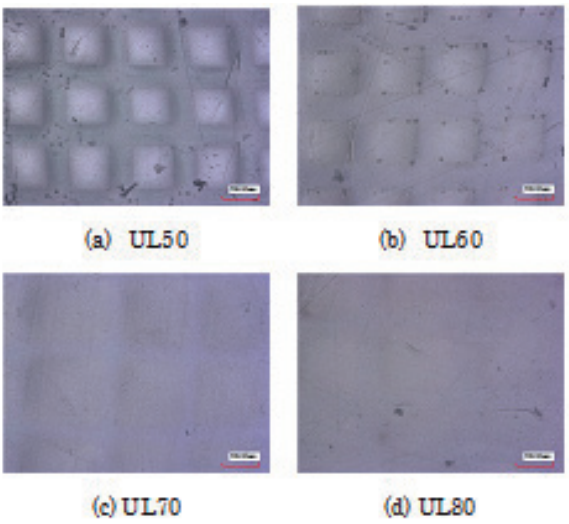


Fig.1 Laser microscope image of obtained micro functional PEMs using ion / EB hybrid beams grafting technique (a) UL50 (50 kV), (b) UL60 (60 kV), (c) UL70 (70 kV), (d) UL80 (80 kV)

Fig.1 は、100 μm の FEP フィルムを基材として、イオンと電子ビームのハイブリッドグラフト重合により得られた微細構造型電解質膜（MF-PEM）のレーザー顕微鏡像である。凹凸の高低差が、50 kV で電子ビーム照射を行った電解質膜（UL50）は 8 μm 程度であったのに対し、80kV の電子ビームで照射（UL80）では 1 μm 程度まで減少しており、電子線の加速電圧が高いほど凹凸が小さく平滑化されることが観察された。発電時における界面の抵抗は、この表面平滑性に起因するため、平滑性の向上は、発電性能に直結すると考えられる。また、SEM-EDX による断面観察により UL50 は表面から 30 μm 程度親水部を有するのに対し、UL80 は 60 μm 程度であった。各 MF-PEM に対する 30 ºC での燃料透過試験を行った結果、UL50 は UL80 と比較して燃料透過性が 7 割程度に抑制され、高濃度になるにつれて透過量の差が顕著になっていた。これは、電子線照射時の加速電圧が低いほど、メタノールバリア性に優れる疎水部の領域が保持されることに起因していると考えられる。

2-2 燃料電池用高分子電解質膜への応用

2.1 項の研究で得られた MF-PEM をホットプレスを用いて白金触媒付きカーボン電極シートと一体化することで膜／電極接合体（MEA）を得た。MEA をメタノール型燃料電池に組み込み、5wt%メタノール使用時における各電解質膜の発電試験結果を Fig.2 に示す。UL70 は、他の PEM と比較して、高い発電出力特性を示していることがわかる。これは微細構造形状による膜自身のガスバリア性の改善、ならびに超

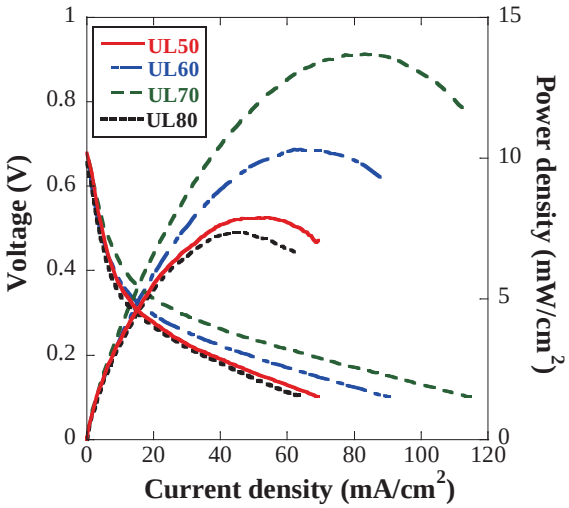


Fig.2 DMFC performance test. 5wt% methanol (flow 3 ml/min), O_2 50 ml/min (0.2 MPa) 30°C operation.

低エネルギー電子ビームによる表面改質による表面相の平滑性がバランスよく併せ持つことができたためであると考えられる。つまり、親水／疎水領域の機能制御による燃料バリア性の向上、ならびに表面平滑性の改善により電極触媒との三相界面形成がスムーズに行えたことにより、高い発電性能を示したものと考えられる。

3. 共同研究者

篠原 邦夫 (理工学研究所・招聘研究員)
伊藤 政幸（理工学研究所・招聘研究員）
佐々木 隆（理工学研究所・招聘研究員）
坂上 和之 (理工学研究所・次席研究員)
三浦 喬晴（理工学研究所・招聘研究員)
大島 明博（理工学研究所・客員准教授）

4. 研究業績

4.1 学術論文

Optimization of X-ray microplanar beam radiation therapy for deep-seated tumors by a simulation study, Kunio Shinohara, Takeshi Kondoh, Nobuteru Nariyama, Hajime Fujita, Masakazu Washio andYukimasa Aoki, Journal of X-Ray Science and Technology, 22 (2014) 395–406, DOI10.3233/XST-140434

5. 研究活動の課題と展望

今後、ステンシルマスクの格子間隔のマイクロオーダーからナノオーダーへの縮小や、本新規材料の産業利用を行うために、イオンビームに変えて電子ビームのみによるナノ空間機能性材料の作製方法を検討する予定である。

室内空気質と熱的快適性に関する研究

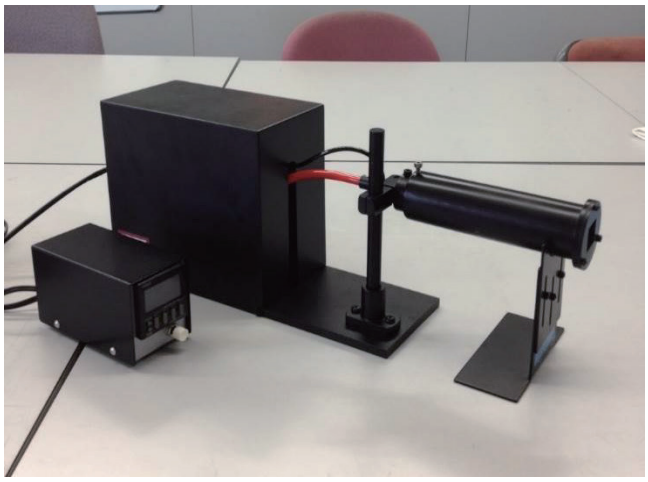
研究代表者　田辺　新一
（創造理工学部 建築学科　教授）

１．研究課題

今年度は、オフィス、住宅など様々な建築環境における快適性・知的生産性評価を継続した。また、東日本大震災により、オフィスなどでは節電対策が行われたことから、節電対策、節電と快適性・知的生産性との関係についても研究を進めた。新型インフルエンザなどによる病院における感染症対策も急務になっている。本プロジェクトでは医療福祉施設における感染リスク評価とリスク低減策に関する研究も行った。また、室内空気質だけでなくエネルギー、温熱環境の要因に関しても同時に検討を進めながら研究を行った。室内から発生するホルムアルデヒドや揮発性有機化合物（VOC）が一因とされるシックハウス・シックビル問題に関して、放散量の測定把握と定量的な対策方法に関する研究を行ってきた。特に厚生科学研究費を受け準揮発性有機化合物の知見を収集した。また、室内空気質を検討する際には、室内の温熱環境とのバランスを含めて検討することが重要である。本研究では、空調システムや半屋外環境を含めた総合的な温熱環境の評価及びシミュレーションツール開発や被験者実験を行った。本研究は、室内における健康衛生を改善するための極めて社会貢献度の高い研究である。建築分野のみの知見だけではなく、分析化学分野、機械分野などの領域を含み極めて学際的な研究である。博士在学生がアーヘン工科大学、デンマーク工科大学に滞在して国際的な共同研究も行っている。

２．主な研究成果

2.1　室内環境における準揮発性有機化合物(SVOC)に関する研究
2.2　感染制御に関する研究（順天堂大学との共同研究）
2.3　高気密・高断熱住宅の温熱環境
2.4　床冷暖房の快適性
2.5　人体体温調節モデルの開発
2.6　駅空間の快適性
2.7　快適睡眠空間に関する研究
2.8　車室内の快適性評価
2.9　ストレスと健康性に関する研究



咳マシン

３．共同研究者・研究協力者

木村　建一（名誉教授・顧問研究員）
針ヶ谷　純吉（招聘研究員）
長澤　夏子（理工研・次席研究員）
金　炫兌（理工研・次席研究員）
堀　賢　　（順天堂大学・教授・研究協力者）
秋元　孝之　（芝浦工大・教授・招聘研究員）
岩下　剛　（東京都市大学・教授・招聘研究員）
中野　淳太　（東海大学・准教授・招聘研究員）
望月　悦子（千葉工大・教授・招聘研究員）
舟木　理香　（建材試験センター・招聘研究員)
西原　直枝（聖心女子大学・講師・招聘研究員）
堤　仁美　　（昭和女子大学・講師・研究院講師）
金　勲　　（国立医療保健科学院・研究協力者）

４．研究業績

4.1 学術論文

・岩橋 優子、田辺 新一、對馬 聖菜、西原 直枝、平岡 雅哉、菰田 英晴、田渕 誠一、節電対策が快適性・知的生産性・省エネルギー性に与える影響　東日本大震災後の節電環境下におけるオフィス実態調査に関する研究、日本建築学会環境系論文集、No.704、pp.901-908、2014.10

・Naoe Nishihara, Pawel Wargocki, Shin-ichi Tanabe、Cerebral blood flow, fatigue, mental effort, and task performance in offices with two different pollution loads、Building and Environment、71（2014)、pp.153–164、2014.01

・R. J. de Dear, T. Akimoto, E. A. Arens, G. Brager, C. Candido, K. W. D. Cheong, B. Li, N. Nishihara, S. C. Sekhar, S. Tanabe, J. Toftum, H. Zhang and Y. Zhu、Progress in thermal comfort research over the last twenty years、Indoor Air、Volume 23, Issue 6、pp.442–461、

2013.12

・Yutaka Kobayashi, Shin-ichi Tanabe、Development of JOS-2 human thermoregulation model with detailed vascular system、Building and Environment、66（2013）、pp.1-10、2013

・加藤龍一、長澤夏子、堤仁美、松岡由紀子、秋元孝之、田辺新一、住環境と家事が女性の肩こりに及ぼす影響の構造分析、臨床雑誌　整形外科、Vol64, No.11、pp.1147-1154、2013

・田渕誠一、平岡 雅哉、菰田英晴、岩橋優子、對馬聖菜、田辺新一、節電対策が電力消費量削減に与える影響　東日本大震災後の節電環境下におけるオフィス実態調査に関する研究、日本建築学会環境系論文集、No.692、pp.793-、2013.10

・長澤夏子、堤仁美、松岡由紀子、加藤龍一、秋元孝之、田辺新一、居住環境と家事が慢性腰痛に及ぼす影響の属性別分析、日本建築学会環境系論文集、No.690、pp.655-661、2013.08

・山田裕巳、松下和彦、田辺新一、林基哉、建材選定が室内化学物質濃度に与える影響に関する実験、室内環境学会　室内環境、Vol.16、pp.23-34、2013.06.01

・堤仁美、長澤夏子、加藤龍一、松岡由紀子、秋山友里、秋元孝之、田辺新一、住環境満足度と居住者のストレス・健康感の関連分析、日本建築学会環境系論文集、Vol.78　No.686、pp.359-366、2013.04

4.2 海外会議発表

・Masayuki Ogata, Hitomi Tsutsumi, Shin-ichi Tanabe, Masakazu Setsujima, Kouichi Nakahara、Reducing Chlorine Dioxide Gas Concentrations After Fumigation Using Filters、Indoor2014、USB、2014.6

・Yoshiaki Ishii, Shin-ichi Tanabe, Tomoji Kitahara, Fumito Yamagata, Kengo Tatara、Thermal comfort of radiant ceiling panel cooling system installed in an office in Japan、Indoor2014、USB、2014.6

・Hyun-tae Kim, Shin-ichi Tanabe, Hirokazu Hatano、The concentration of phthalate in settled dust in kindergartens and emission source、Indoor2014、USB、2014.6

・HT. Kim, H. Hatano, S. Tanabe、The measurement of plasticizer concentration in housing、Architectural institute of Korea、pp.363-364、2013.10

・Mai Fujiwara, Ayako Okajima, Hitomi Tsutsumi, Shin-ichi Tanabe, Satoshi Hori, Shoichi Morimoto, Takao Ariga、Estimation of Infection Risks by Droplets Attached to Surfaces in a Patient Room、Clima 2013 WellBeing Indoors Proceedings、2013

・Hirokazu Hatano, Akihiro Kawamura, Hyuntae Kim, Hoon Kim, Shin-ichi Tanabe、Measurement of Semivolatile Organic Compounds Concentrations in Dust in Japanese Homes、Clima 2013 WellBeing Indoors Proceedings、2013

・Daiki Kawamata, Yuka Nakamura, Kotaro Ito, Tomoyuki Yokoyama, Miwa Higuchi, Kiyoshi Sakamoto, Tadashi Iino, Hiroshi Oishi, Junta Nakano, Shin-ichi Tanabe、Thermal Environment of Station O with Large-Scale Air-Conditioned Space、Clima 2013 WellBeing Indoors Proceedings、2013

・Ryo Morimoto, Hiromi Miyake, Naoe Nishihara, Takehito Imanari, Satoshi Ogawa, Katsumi Niwa, Masatoshi Kuboki, Shin-ichi Tanabe Comfort and Productivity Evaluation of Indoor Environment in Office Building Renovated to the ZEB under Electricity Saving、Clima 2013 WellBeing Indoors Proceedings、2013

・Manami Shinohara, Tomoyuki Yokoyama, Hirotaka Kubo, Shin-ichi Tanabe, Toshiaki Omori, Noboru Oohira, Ryuichi Tominaga, Yuki Nakagawa、Effects of Discontinuous Contact with the Floor on Human Thermal Sensation in Summer and Winter、Clima 2013 WellBeing Indoors Proceedings、2013

・Sayana Tsushima, Shin-ichi Tanabe, Yuko Iwahashi, Naoe Nishihara, Masaya Hiraoka, Shinichi Hiromoto, Hideharu Komoda, Seiichi Tabuchi、Comfort, Productivity, and Energy Conservation in Extreme Power-Saving Conditions: The Case of Office Buildings during the Summer after the Great East Japan Earthquake、Clima 2013 WellBeing Indoors Proceedings、2013

・Naoe Nishihara, Shin-ichi Tanabe、Cerebral Blood Flow during Mental Tasks with Individually Controlled Task Fans、Clima 2013 WellBeing Indoors Proceedings、2013

他 15 報

4.3 国内学会発表

【日本建築学会】

・松村美保、藤原舞、尾方壮行、堤仁美、田辺新一、堀賢、医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究　その 21 ATP を用いた高頻度接触面の測定手法、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.893-894、2014

・鈴木雅一、尾方壮行、新井啓太郎、堤仁美、田辺新一、森本正一、堀賢、医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究　その 24 多床室におけるベッド間パーティション寸法と感染リスクの関係、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.899-900、2014

・田辺新一、樋口美和、ワークプレイスにおける室内環境質と満足度、その 1 調査概要および温熱環境・空気質環境満足度に関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.119-120、2013

・樋口美和、田辺新一、ワークプレイスにおける室内環境質と満足度、その 2 光環境・音環境・空間環境満足度に関する考察および室内環境に対する総合的な満足度に関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.121-122、2013

・長澤夏子、加藤龍一、堤仁美、松岡由紀子、秋元孝之、田辺新一、居住環境における健康維持増進に関する研究 その 68 住宅内動作時の腰部への負担感と腰部負荷との関連、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1087-1088、2013

・對馬聖菜、西原直枝、田辺新一、東京・名古屋・大阪の地域別の節電対策および節電意識の実態調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.327-328、2013

・尾関 義一、田辺新一、人間—熱環境系快適性数値シミュレータ（その 48）人体モデルを用いた非定常状態における局所温冷感予測手法の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.329-330、2013

・中野淳太、加藤駿、海野賢、河又大起、樋口美和、加瀬史朗、坂本圭司、大石洋之、高橋晃久、田辺新一、駅空間における熱的快適性実測調査　その 29 環境配慮型駅舎化改修を終えた Y 駅の調査概要及び夏季温熱環境改善効果、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.359-360、2013

・藤原舞、堤仁美、森桜、田辺新一、堀賢、清水芳男、井尾浩章、濱田千江子、富野康日己、人工透析室における患者と医療スタッフの熱的快適性に関する研究　その 5：5 季節の透析室内温熱環境測定およびアンケート調査結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.387-388、2013

・岡島彩子、新井啓太郎、藤原舞、堤仁美、森本正一、田辺新一、堀賢、医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究　その 17 感染防止ベッドの性能検証実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.901-902、2013

・新井啓太郎、岡島彩子、藤原舞、堤仁美、森本正一、藤江創、田辺新一、堀賢、医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究　その 16 感染防止ベッドの開発、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.899-900、2013

他　43 報

【空気調和・衛生工学会大会】

・松村美保、尾方壮行、堤仁美、田辺新一、堀賢、医療・福祉施設における感染制御に関する研究 第 14 報 ATP 測定法による病院内環境表面汚染度の評価、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.85-88、2014

・鈴木雅一、尾方壮行、堤仁美、田辺新一、森本正一、堀賢、医療・福祉施設における感染制御に関する研究　第 15 報 4 床室におけるベッド間パーティション寸法が空気感染リスクに与える影響、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.89-92、2014

・對馬 聖菜、田辺新一、西原直枝、平岡雅哉、弘本真一、菰田英晴、田渕 誠一、東日本大震災後の節電環境下における夏季オフィスの快適性・知的生産性・エネルギー消費量（第 3 報）2012 年夏季の調査結果、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 、第 9 巻　pp.121-124、2013.9

・新井啓太郎、岡島彩子、藤原舞、堤仁美、森本正一、田辺新一、堀賢、医療・福祉施設における感染制御に関する研究（第 12 報） ベッド周辺の局所気流による空気感染防止対策、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、第 7 巻　pp.53-56、2013.9

・中村俊太、金勲、田辺新一、川本隆文、大西邦弘、接着剤からの揮発性有機化合物測定法に関する研究（第 2 報）ホルムアルデヒド放散、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、第 7 巻 pp.61-64、2013.9

・廣瀬文郁、篠原愛美、大森敏明、大平昇、冨永隆一、中川友貴、田辺新一、初期皮膚温および接触面の温度変化速度が非定常時の熱的快適性に与える影響、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、第 6 巻　pp.29-32、2013.9

・北原知治、山形史人、多々良研吾、田辺新一、石井義章、天井パネル式放射空調を導入したオフィス空間における運用実態把握（第 1 報）建物・設備概要及び実測調査概要、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、第 3 巻　pp.405-408、2013.9

・新井啓太郎、岡島彩子、藤原舞、堤仁美、森本正一、田辺新一、堀賢、医療・福祉施設における感染制御に関する研究　第 12 報 ベッド周辺の局所気流による空気感染防止対策、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.53-56、2013

他　23 報

５．研究活動の課題と展望

2007～2011 年度の１期目長期大型研究が終了し、2012 年度から２期目の研究がスタートした。順調に研究は展開している。

建築・空調におけるエネルギー有効利用計画に関する研究

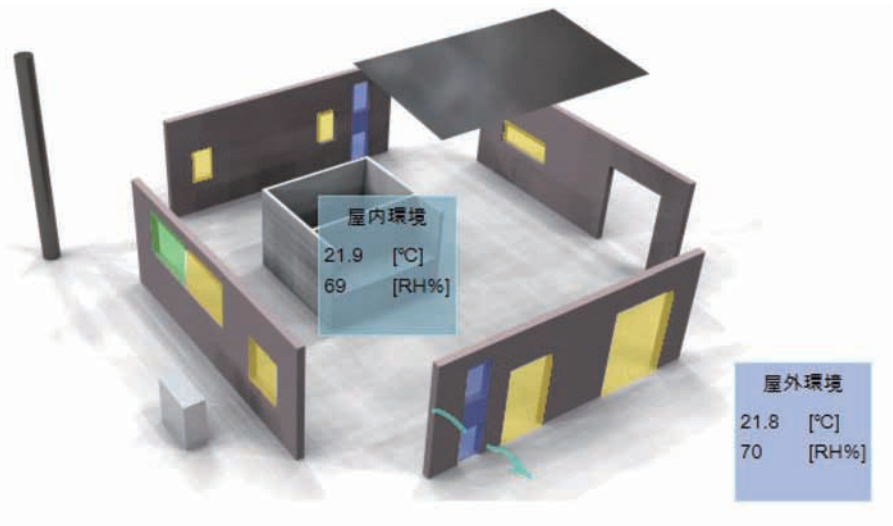
研究代表者　田辺　新一
（創造理工学部 建築学科　教授）

１．研究課題

本研究の目的は、建築環境を維持する上で消費される種々のエネルギーの種類や量について調査・分析を行い、省エネルギーや自然エネルギー利用によってそれがどの程度抑制可能となり、環境負荷削減にどの程度寄与するのかを定量的に明らかにすることにある。具体的には、オフィス、駅、学校など様々な空間における実測・実験を行い省エネルギーの可能性に関して検討を行っている。また、調査を通して、空調の省エネルギー手法や熱源の最適化検討を行う。また、放射空調、デシカント空調、パーソナル空調、床暖房など新しい空調システムの開発を行い、より環境負荷の小さな空調・換気システムの実現を図る。これらの研究を統括するものとして、エネルギーシミュレーションを行い、それぞれの要素技術の寄与率に関して把握をする。これらの研究を統括するものとして、エネルギーシミュレーションを行い、それぞれの要素技術の寄与率に関して把握をする。

２．主な研究成果

2.1　エネマネハウスに関する研究
2.2　放射空調システムに関する研究
2.3　ＺＥＢ化省エネビルの室内環境の通年評価
2.5　最先端ビルのエネルギー消費に関する研究



エネマネハウス（HEMS）

３．共同研究者

木村　建一（名誉教授・顧問研究員）
針ヶ谷　純吉（招聘研究員）
金　炫兌（理工研・次席研究員）
長澤　夏子（理工研・次席研究員）2015 年 3 月末時点
秋元　孝之　（芝浦工大・教授・招聘研究員）
岩下　剛　（東京都市大学・教授・招聘研究員）
中野　淳太　（東海大学・准教授・招聘研究員）
望月　悦子（千葉工大・教授・招聘研究員）
山田　裕巳（松江高専・教授・招聘研究員）
舟木　理香　（建材試験センター・招聘研究員)
西原　直枝（聖心女子大学・講師・招聘研究員）
堤　仁美　　（昭和女子大学・講師・研究院講師）
金　勲　　（国立医療保健科学院・研究協力者）

４．研究業績

4.1 学術論文

・對馬 聖菜、 西原 直枝、田辺 新一、東京・名古屋・大阪の地域別の節電対策および節電意識の実態調査、日本建築学会環境系論文集、No.695、pp.83-92、2014

・岩橋 優子、田辺 新一、對馬 聖菜、西原 直枝、平岡 雅哉、菰田 英晴、田渕 誠一、節電対策が快適性・知的生産性・省エネルギー性に与える影響　東日本大震災後の節電環境下におけるオフィス実態調査に関する研究、日本建築学会環境系論文集、No.704、pp.901-908、2014

・Naoe Nishihara, Pawel Wargocki, Shin-ichi Tanabe、Cerebral blood flow, fatigue, mental effort, and task performance in offices with two different pollution loads、Building and Environment、71（2014）、pp.153–164、2014.01

・R. J. de Dear, T. Akimoto, E. A. Arens, G. Brager, C. Candido, K. W. D. Cheong, B. Li, N. Nishihara, S. C. Sekhar, S. Tanabe, J. Toftum, H. Zhang and Y. Zhu、Progress in thermal comfort research over the last twenty years、Indoor Air、Volume 23, Issue 6、pp.442–461、2013.12

・Yutaka Kobayashi, Shin-ichi Tanabe、Development of JOS-2 human thermoregulation model with detailed vascular system、Building and Environment、66（2013）、pp.1-10、2013

・加藤龍一、長澤夏子、堤仁美、松岡由紀子、秋元孝之、田辺新一、住環境と家事が女性の肩こりに及ぼす影響の構造分析、臨床雑誌　整形外科、Vol64, No.11、pp.1147-1154、2013

・田渕誠一、平岡 雅哉、菰田英晴、岩橋優子、對馬聖菜、田辺新一、節電対策が電力消費量削減に与える影響　東日本大震災後の節電環境下におけるオフィス実態調査に関する研究、日本建築学会環境系論文集、No.692、pp.793-、2013.10

・長澤夏子、堤仁美、松岡由紀子、加藤龍一、秋元孝之、田辺新一、居住環境と家事が慢性腰痛に及ぼす影響の属性別分析、日本建築学会環境系論文集、No.690、pp.655-661、2013.08

・山田裕巳、松下和彦、田辺新一、林基哉、建材選定が室内化学物質濃度に与える影響に関する実験、室内環境学会　室内環境、Vol.16、pp.23-34、2013.06.01

・堤仁美、長澤夏子、加藤龍一、松岡由紀子、秋山友里、秋元孝之、田辺新一、住環境満足度と居住者のストレス・健康感の関連分析、日本建築学会環境系論文集、Vol.78　No.686、pp.359-366、2013.04

4.2 国際会議発表

・Jin-ho Yang, Hyun-tae Kim, Shin-ichi Tanabe, How to apply approved LEED simulation for sustainable buildings in Japan, Proc. of Indoor Air 2014, USB, 2004

・Issei Yumoto, Shin-ichi Tanabe, Development of a numerical thermoregulation model that considers the effects of aging, Proc. of Indoor Air 2014, USB, 2004

・Hitomi Tsutsumi, Mai Fujiwara, Shin-ichi Tanabe, Satoshi Hori, Yoshio Shimizu, Hiroaki Io, Chieko Hamada, Yasuhiko Tomino, Field measurement on thermal comfort of patients and medical staff in a dialysis room, Proc. of Indoor Air 2014, USB, 2004

・Ryo Morimoto, Hiromi Miyake, Naoe Nishihara, Takehito Imanari, Satoshi Ogawa, Katsumi Niwa, Masatoshi Kuboki, Shin-ichi Tanabe Comfort and Productivity Evaluation of Indoor Environment in Office Building Renovated to the ZEB under Electricity Saving、Clima 2013 WellBeing Indoors Proceedings、2013

・Yuka Mutoh, Keiichi Furuya, Naoe Nishihara, Shin-ich Tanabe, Mikio Takahashi, Kazuki Wada, Takashi Miyazaki、Operation of Task/ambient System with Ceiling Radiation Membrane for Thermal Comfort and Energy Conservation、Clima 2013 WellBeing Indoors Proceedings、2013

・Asami Nagareda, Shin-ichi Tanabe, Naoe Nishihara, Miwa Higuchi, Tsuyoshi Ito, Katsuaki Wada, Setsuko Yoshino, Ryohei Mase、Evaluation of Indoor Environmental Quality and Productivity in Green Buildings　、Clima 2013 WellBeing Indoors Proceedings、2013

・Manami Shinohara, Tomoyuki Yokoyama, Hirotaka Kubo, Shin-ichi Tanabe, Toshiaki Omori, Noboru Oohira, Ryuichi Tominaga, Yuki Nakagawa、Effects of Discontinuous Contact with the Floor on Human Thermal Sensation in Summer and Winter、Clima 2013 WellBeing Indoors Proceedings、2013

・Genki Unno, Erika Endo, Shin-ichi Tanabe、Thermal Environment of Temporary Houses Built in the Area Stricken by the Great East Japan Earthquake、Clima 2013 WellBeing Indoors Proceedings、2013

・Ken Unno, Erika Endo, Yutaka Kobayashi, Seiichi Kashihara, Yuko Tsukiyama, Nobuaki Furuya, Shin-ichi Tanabe、Design for a New Type of Environmentally Friendly House in Hot, Humid and Densely Populated Urban Areas in Japan、Clima 2013 WellBeing Indoors Proceedings、2013

・他 17 報

4.3 国内学会発表

【日本建築学会】

・海野玄陽、菅野正太郎、田辺新一、古谷誠章、長澤夏子、李東勲、渡辺直哉、遠藤えりか、Nobi-Nobi HOUSE ～重ね着するすまい（その 1）背景と建築概要、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.96-97、2014

・菅野正太郎、海野玄陽、田辺新一、古谷誠章、長澤夏子、李東勲、渡辺直哉、遠藤えりか、Nobi-Nobi

HOUSE～重ね着するすまい（その 2） 提案住宅の特徴、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.98-99、2014
・石井義章、原田尚侑、海野玄陽、加藤駿、竹中大史、都築弘政、山口莉加、田辺新一、長澤夏子、渡辺直哉、林泰弘、広橋亘、ゼロ・エネルギー・ハウスに関する実践的研究 （その 1）対象建物の熱的性能概要および電建協調制御シミュレーション解析方法、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1043-1044、2014
・原田尚侑、石井義章、海野玄陽、加藤駿、竹中大史、都築弘政、山口莉加、田辺新一、長澤夏子、渡辺直哉、林泰弘、広橋亘、ゼロ・エネルギー・ハウスに関する実践的研究 （その 2）躯体性能および電建協調制御導入時の省エネルギー効果予測、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1045-1046、2014
・海野玄陽、竹中大史、遠藤彰、田辺新一、細粒度電力測定データを用いた住宅の電力消費分析 その 1：世帯特性が電力消費構造に与える影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.667-668、2013
・竹中大史、海野玄陽、遠藤彰、田辺新一、細粒度電力測定データを用いた住宅の電力消費分析 その 2：生活パターン推定と測定間隔の違いによる影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.669-670、2013
・篠原愛美、久保洋香、廣瀬文郁、田辺新一、大森敏明、大平昇、冨永隆一、床面との接触を考慮した床暖房とエアコン暖房の熱的快適性 その 1：被験者実験概要と皮膚温・熱損失量測定結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.369-370、2013
・押久保正則、中村友香、阿部光伸、大嶋治雄、田口博晃、和田晋治、葛生恵理子、原田尚侑、流田麻美、樋口美和、田辺新一、知的創造活動を促進する建築物の運用評価（第 1 報） 建築計画概要、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1167-1168、2013
・小田島範幸、山根俊博、大嶋治雄、倉下啓、和田晋治、田口博晃、田辺新一、知的創造活動を促進する建築物の運用評価（第 6 報）運用実績に基づくマイクログリッドのファインチューニング、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1177-1178、2013
・森本涼、西原直枝、今成岳人、小川哲史、丹羽勝巳、久保木真俊、田辺新一、ZEB 化省エネビルにおける快適性・知的生産性評価 その 3：節電が行われた 2011 年夏季からの室内環境・快適性変化、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1211-1212、2013
・他 49 報

【空気調和・衛生工学会大会】
・石井 義章、海野 玄陽、加藤 駿、
竹中 大史、都築 弘政、原田 尚侑、山口 莉加、田辺 新一、長澤 夏子、渡辺 直哉、林 泰弘、広橋 亘、ゼロ・エネルギー・ハウスの実現に向けた実証研究(第 1 報)対象建物概要および導入設備概要、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、第 6 巻 pp.89-92、2014
・海野賢、築山祐子、千葉陽輔、田辺新一、温暖地における高断熱化住宅の空調負荷と室内温熱環境に関する研究（第一報）夏季及び中間期における開口面積と設置方位が及ぼす影響、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、第 5 巻、pp.89-92、2013
・平岡雅哉、弘本真一、菰田英晴、田渕誠一、田辺新一、對馬聖菜、個別分散型ヒートポンプパッケージの高度利用に関する研究、その 13 東日本大震災前後のエネルギー特性の評価、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、第 3 巻 pp.125-128、2013

・河又大起、田中宏昌、川田康介、田辺新一、オール電化高齢者福祉施設の温熱環境及びエネルギー消費量実態調査（第 1 報）調査概要及びアンケート結果、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、第 8 巻　pp.277-280、2013
・川田康介、田中宏昌、河又大起、田辺新一、オール電化高齢者福祉施設の温熱環境及びエネルギー消費量実態調査、（第 2 報）住戸部及び共用部の温熱環境及びエネルギー消費実態、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、第 8 巻　pp.281-284、2013
他 30 報

５．研究活動の課題と展望

長期大型研究の指定を受け、2013 年度から 5 年間の研究期間を予定している。順調に研究は進んでいる。

奖励研究

国際宇宙ステーションにおける高エネルギー宇宙線実験（CALET）

－Waseda CALET Operations Center（WCOC）の開発－

研究代表者　浅岡　陽一
（理工学研究所　理工研が募集する次席研究員）

1. 研究課題

宇宙線電子線望遠鏡(CALET)計画は，国際宇宙ステーション(ISS)に大面積カロリメータを有する高機能粒子検出器を搭載することで，GeV－TeVにわたる広いエネルギー領域で電子線とガンマ線流束の精密測定を行い，太陽系近傍の宇宙線加速源や暗黒物質を探索することを第一の目的としている．JAXA と早稲田大学の共同プロジェクトである CALET では，2015 年の ISS への打ち上げ後，2 年間(目標 5 年)の長期観測が予定されている．この観測データから，暗黒物質対消滅等の可能性が指摘されている sub-TeV での陽電子(+電子)過剰問題に決着をつけ，さらに 20TeV までの電子スペクトルの精密測定により近傍加速天体の証拠を発見することが期待されている．

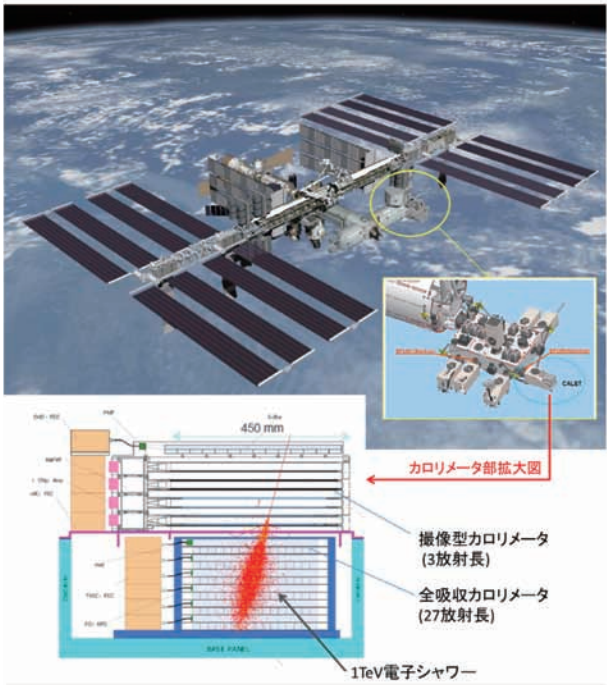


図 1： 国際宇宙ステーション搭載
CALET 検出器の概要

CALET検出器の最大の特徴は非常に分厚い，撮像型と全吸収型を組み合わせた高性能カロリメータである (図1参照)．放射長の30倍という物質量を誇るカロリメータはTeV領域の電子シャワーを完全に吸収することができ，その分厚いカロリメータで撮像されるシャワー像の発達の違いから，電子成分の観測に際して多大なバックグラウンドとなる陽子事象を排除することができる．sub-TeV領域での電子過剰問題に決着をつける上では，この分厚い高性能カロリメータによって実現される2%のエネルギー分解能と十分なバックグラウンド除去能力が特に鍵となる．さらに20TeVまでの電子スペクトルを得るためには，これらの特徴に加えてISS搭載によって可能となる大面積化と長期観測が非常に重要となる．宇宙線の主成分である陽子・ヘリウム等の核子成分に関してはPeVまでの測定が可能であり，電子・ガンマ線も含めて，これまでの直接測定の限界を大きく更新するユニークな観測が実現できる．なお，反粒子の識別を主目的としたAMS-02が陽電子比等で高精度の結果を発表しているが[L. Accardo et al., PRL 113 (2014) 121101 等]，各サブ検出器がマグネットスペクトロメータの限界である～1TeVをターゲットとして最適化されてため，～1TeVがエネルギー決定の限界となる．一方のCALETは，電荷の正負を判定できないもののPeVまでのエネルギー決定が可能であり，かつ高エネルギー領域では

AMS-02を大きく凌駕する面積立体角を有するため，AMS-02と相補的な検出器となっている．今後は，共にISSをプラットフォームとする両者が宇宙線の直接観測を牽引すること期待されている．

統計量や精度の限界に挑むことでユニークな物理目的を達成する CALET にとって，長期間に渡る軌道上観測において測定器の性能を確保し高効率で観測を遂行することは欠くことのできない重要事項であると言える．早稲田大学には，この目的でミッション運用やデータ解析を司る Waseda CALET Operations Center (WCOC)が設置されている．本研究では，WCOC のソフト面・ハード面での準備を進めてリアルタイムデータ監視やデータ処理のシステムを構築し，CALET の打ち上げに備えることを目的とする．

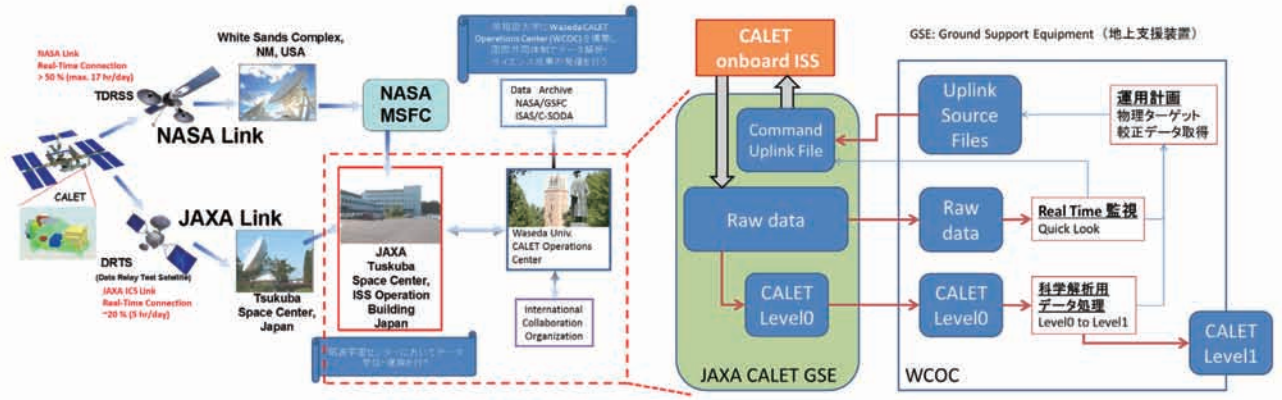


図 2： CALET データフローと地上システムの概要

2. 主な研究成果

国際宇宙ステーション軌道上で CALET が取得するデータは，これまでに実施されている他の船外実験と同様に，NASA と JAXA が有する 2 種類の伝送経路を利用して JAXA にて受信する(図 2 左)．軌道上での観測開始に向けて，CALET の状態を常時監視し適切な機器運用を行うための地上運用システムが JAXA にて準備されている．早稲田大学にも，JAXA の地上運用システムと連携し，ミッション運用とデータ解析を行う WCOC が設置され，観測開始に向けた準備の最終段階に到達している．WCOC におけるミッション運用は，(1)リアルタイム監視，(2)運用計画，(3)科学解析用データ処理によって構成される．図 2(右)には，WCOC のそれぞれの役割に対応する JAXA 地上システムとのインタフェースに着目して，CALET 地上システムの概要を示した．各項目について，以下にその概要と研究成果をまとめる．

(1) **リアルタイム監視**：CALET の観測状態をリアルタイムに監視するため，宇宙線イベントデータと状態監視データを集約して可視化する Quick Look (QL) システムを開発した．図 3(左)に開発した QL の概要を示す．検出器の読み出しが計 8164ch，データ処理装置の設定項目が，高圧電源 134ch，温度センサ 80ch をはじめとして計 320 項目以上と，大量のデータを網羅的かつリアルタイムに監視する必要があり，観測状態の要約や不具合発生時の自動検出が必須となる．開発した QL システムはそのような機能を備えており，例えば Summary Display は運用者が常時モニタする運用に必須な情報を集約し，QL プログラム自身が CALET の運用状況を総合的に判断して色や音で警告することができる．Event Display はリアルタイムに取得した宇宙線事象を視覚化することができ，センサの健全性確認を含めた直観的な検出器の状態把握に役立つ．ISS Orbit Monitor では軌道予測に基づいた運用計画を確認し，Trend Monitor は観測データの時間変化を監視することで，異常の予測と原因推定に重要な役割を果たす．また，

Current Data Monitor はある瞬間のデータを網羅的に表示し，必要に応じて生値も表示できる．データの分布を表示する Histogram Monitor 等も組み合せて，CALET の詳細な状態監視が可能なシステムとなっている．これらの QL は，CALET 実機のシステム試験の際にも使用され，既にリアルタイム監視の実績を有している．定常運用時には，WCOC に常駐する運用者がこれらの QL システムを駆使して，WCOC における CALET の 24 時間運用を行う．

(2) **運用計画**：CALET の運用は，コマンドシーケンスを時刻と共に記載したスケジュールコマンドファイルを活用して実施される．定常運用時の最優先事項は TeV 領域の電子スペクトルを高精度で決めるため，高エネルギシャワー粒子のデータを継続的に取得し続けることだが，一方で装置較正用のペデスタルや最小電離信号抽出用のトリガーモードを用いたデータ取得も必要である．また，CALET によって可能になる GRB 同期 GeV ガンマ線データの取得，高緯度地方での低エネルギー電子データ取得など，主たる物理目的に影響を与えない範囲で CALET の成果を最大化することも重要である．2014 年度には，CALET が ISS 軌道上で取得する宇宙線データを模擬した CALET テレメトリ模擬データを用いて，適切な観測条件の検討を行った．また，スケジュールコマンドファイルを GUI ベースで作成するツールの開発も行った．

(3) **科学解析用データ処理**：CALET の解析スキームを図 3 (右)に示す．科学解析用の生データに相当する Level0 データは JAXA の CALET-GSE にて作成され，WCOC に配信される．Level0 データは時系列補正，欠損補完は成されているものの，受信した全パケットを単純に結合した形式で，地上への伝送用フォーマットを踏襲している．WCOC ではこれを科学解析用の基礎データである Level1 データに変換して国内外の共同研究者に配信する．Level1 データを用いて検出器の較正が行われ，物理解析用の Level2 データが作成される．スペクトルデータや物理ターゲット毎のサブセットは，Level3 以降の高次データとなる．各データセットを用いた解析は各機関で独立に行われるが，論文化に使用される公式なデータセットは WCOC で作成することが決定されており，WCOC は CALET のデータ解析において中心的な役割を担うことになる．2014 年度は Level1 データのフォーマット定義を実施し，各機関でのデータ解析システムの開発に重要な CALET テレメトリ模擬データを用いたサンプルデータを共同研究者に配布した．また，Level0 データから Level1 データへの変換プログラムや Level1 データの I/F プログラムを開発し，I/F プログラムについては共同研究者に配布した．

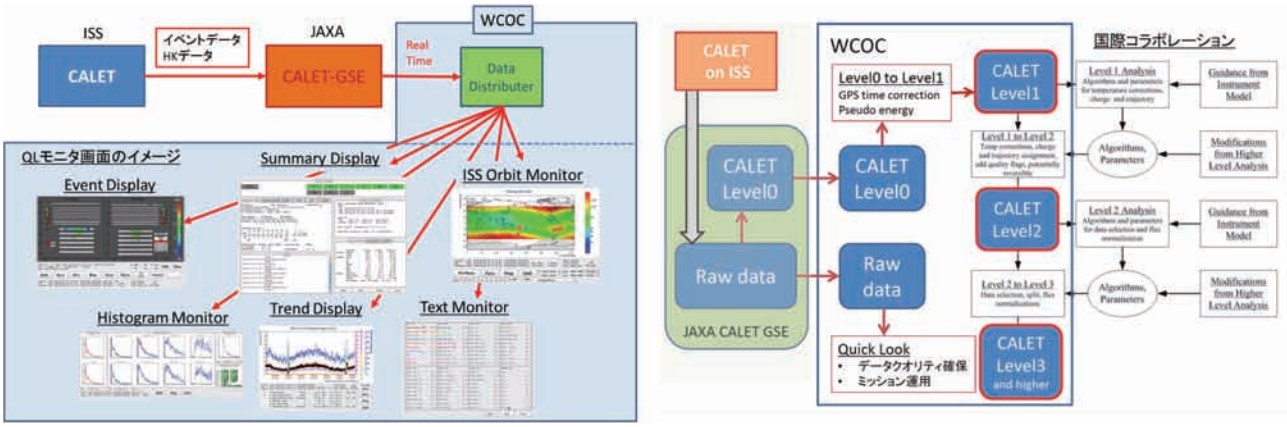


図 3：(左) CALET Quick Look システムの概要, (右) CALET 解析スキーム

3. 共同研究者

鳥居祥二 (理工学研究所・教授)，小澤俊介(先進理工学部・研究員)，赤池陽水 (先進理工学部・助教)，笠原克昌(理工学研究所・招聘研究員)，Holger Motz (国際教育センター・助教)，田村忠久 (神

奈川大学・教授)，清水雄輝(神奈川大学・准教授)，上野史郎 (JAXA/ISAS・主任開発員)，冨田洋 (JAXA/ISAS・主任開発員)，他 CALET 共同研究者

4. 研究業績

4.1 学術論文

1. 赤池陽水，浅岡 陽一，上野 史郎，田村 忠久，寺澤 敏夫，冨田 洋，鳥居 祥二，中川 友進，仁井田 多絵，「CALET の運用及びデータ解析・管理システムの概要」，JAXA-RR-13-010，99-107 (2014).
2. Tae Niita, Shoji Torii, Yosui Akaike, Yoichi Asaoka, Katsuaki Kasahara, Shunsuke Ozawa, Tadahisa Tamura, “Energy calibration of Calorimetric Electron Telescope (CALET) in space”, Adv. Space Res. 55 (2015) 2500-2508.

4.2 総説・著書

該当なし

4.3 招待講演

該当なし

4.4 受賞・表彰

該当なし

4.5 学会および社会的活動

1. 日本物理学会口頭発表，「Waseda CALET Operation Center(WCOC)における軌道上データ処理システムの開発」，浅岡陽一他 CALET 共同研究者，19aSC-6，日本物理学会，佐賀大学
2. 日本物理学会発表（共同研究者），「CALET 軌道上模擬データを用いた観測データ予測」，力石和樹他 CALET 共同研究者，19aSC-7，日本物理学会，佐賀大学
3. 日本物理学会発表（共同研究者），「WCOC における軌道上データ管制システムの開発」，下村健太他 CALET 共同研究者，19aSC-8，日本物理学会，佐賀大学
4. ISAS シンポジウムポスター発表，「Waseda CALET Operations Center (WCOC) におけるミッション運用」，浅岡陽一他 CALET 共同研究者，2015 年 1 月，JAXA/ISAS
5. 日本物理学会発表（共同研究者），「CALET 軌道上運用開始に向けたデータ管制システムの開発」，神尾大樹他 CALET 共同研究者，21pDC-5，2015 年 3 月，早稲田大学

5. 研究活動の課題と展望

WCOC にはリアルタイム監視，科学解析用データ処理，運用計画の 3 つの役割があり，これらを通してミッション運用を実施する．2015 年度の第一の課題としては，運用開始に向け CALET 全体のスケジュールと整合して準備を完了させることとが挙げられる．これまでのところ順調に進捗しており，打ち上げまでに WCOC におけるミッション運用を担う運用者の訓練や，地上システム全体の最終検証を行う計画である．打上げ後には WCOC の安定稼働が CALET の科学成果の礎となる．それまでの開発成果を活かして確実かつ効率的なミッション運用を実施する．

生態および行動の理解のための動物モニタリングロボットの開発

研究代表者　石井　裕之
（理工学研究所　理工研が募集する次席研究員）

1. 研究課題

東日本大震災の発生や，環境問題への世界的な意識の高まりを受けて，人間と自然との関係が大きく見直されつつある．このような社会背景のもと，環境保全や災害予防のための環境モニタリングシステムの必要性が認識されている．このような認識のもと，気象現象や地殻現象等をモニタングするさまざまなシステムの開発が行われている．しかしながら，自然の大切な要素の 1 つである動物モニタリングシステムについては，まだ十分な研究が行われていない．

そこで本研究では，野生動物およびその生態調査のための小型移動ロボットの開発と，それを用いて自然環境下で野生動物の生態調査を行う方法論の確立を目的としている．動物の行動モニタリングにロボットを用いる試みは，欧州にていくつかの先行事例がある．しかし既存の研究は，アヒルや鶏などの家畜を実験室あるいは限定された飼育施設内でモニタリングすることを対象としており，野生の動物を対象としたロボットはまだない．本研究では，本学が有するロボット技術とノウハウを駆使し，自然環境下での野生動物のモニタリングを可能とする高い移動性を有し，かつ堅牢で知的なロボットの開発を目指す．また，それを使用して実際の野生動物の生態調査を試みる．

申請者は 2013 年度までの奨励研究において，太陽電池と蓄電池を搭載し，楕円型脚によって不整地を移動可能な小型移動ロボットを開発した．また 2014 年度は，複数のロボットが計測したデータをクラウド上に集約し，そのデータにもとづいて各ロボットの動作を制御するシステムを構築した．2015 年度の奨励研究では，ロボットの制御の高度化をはかり，モニタリングの効率化を目指す．

2. 主な研究成果

まずロボット高度化として，これまでに開発したロボットへのレーザ式 3 次元形状センサの搭載に取り組んだ（図 1）．このセンサは，センサを中心に半径 10[m]以内にある物体の 3 次元形状を誤差 1[cm]以内で計測する精度を有している．センサによって計測されたデータは，無線 LAN を介して操作者の PC 等へ送信され，汎用 3D データ表示ソフト等を使用してモニタ上に描画される．このセンサの搭載によって，ロボットの適用範囲が大きく広がった．例えば，山林内での樹木の生息状況のモニタリングや災害現場での被害状況モニタリングが可能となった．そこで，国土交通省が主催する災害調査技術現場実証に参加し，災害現場を模したトンネル内での 3 次元形状データの取得を行った（図 2）．

またロボットによる環境モニタリングの実証実験として，牧草地での放射線のモニタリングを行った．これにより，5 台程度のロボットを同時に使用することで，実用にたる効率でモニタリングが実施可能なことが確認された．

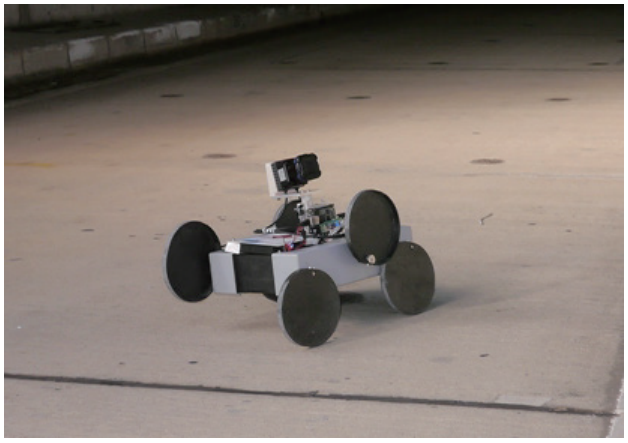


図 1　レーザ式 3 次元形状センサ搭載ロボット

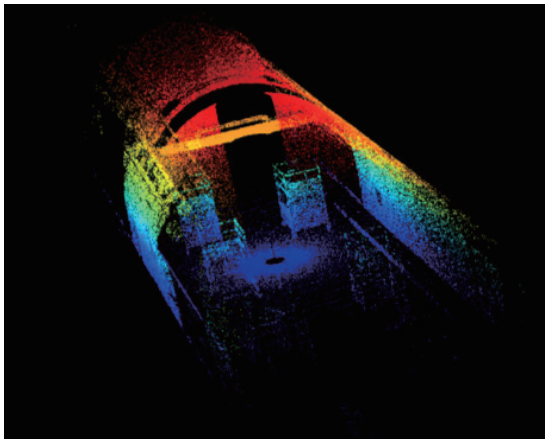


図 2　ロボットが撮影したトンネルの 3 次元形状

3. 共同研究者

4. 研究業績

4.1 学術論文

C. Fujii, H. Ishii, A. Takanishi,　A comparison of the effects of different equipment used for venipuncture to aid in promoting more effective simulation education, Journal of Blood Disorders & Transfusion, 5(8), 2014.

S. Qing, H. Ishii, Y. Sugahara, A. Takanishi, Q. Huang, T. Fukuda, Design and Control of a Biomimetic Robotic Rat for Interaction with Laboratory Rats, IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, 99 , pp. 1-11. 2014.

Qing Shi, Ishii H., Sugahara Y., Kinoshita S., Takanishi A., Okabayashi S., Qiang Huang, Fukuda T., "Control of posture and trajectory for a rat-like robot interacting with multiple real rats," Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2014), pp. 975-980, 2014.

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

石井裕之,「評価型シミュレータによる学習・教育支援ソフトウェアの開発」, 第 46 回日本医学教育学会大会産学連携セミナー, 2014 年 7 月.

4.4 受賞・表彰

2014 IEEE international Conference on Robotics and Automation, best cognitive paper award finalist.

4.5 学会および社会的活動

看護理工学会査読委員

5. 研究活動の課題と展望

これまでの研究によって，要素技術の開発は概ね完了した．そこで今後は，研究成果の社会実装に向けて，環境モニタリングロボットを運用する社会システムの構築と，実証実験の実施に取り組む．

量子化学による凝縮相の自由エネルギー計算法の開発と応用

研究代表者　石川　敦之
（理工学研究所　理工研が募集する次席研究員）

１．研究課題

原子や分子は、化学における最も基本的な構成要素を成しており、化学反応の進行などを原子・分子のレベルから理解・予測することは物理化学の持つ大きな使命の１つである。このようなきわめて小さいスケールの現象を取り扱う場合、実験的手法と並んで重要なのが理論的手法である。そのうち、電子や原子核といった原子・分子の内部構造をも取り扱う量子化学が最も一般性の高い方法論といえる。

現在の量子化学計算では、気相だけでなく液相にある原子・分子も取り扱うことが可能である。既存の手法では、熱力学量を算出する場合に理想気体モデル(ideal gas model, IGM)に基づき熱力学量を算出する取り扱いが広く行われている。しかし、気相中とは異なり凝縮相では分子の運動が制限されていることから､IGM をそのまま用いると凝縮相分子のエントロピーを過大評価することになる。このことは、Gibbs エネルギーの定量性を大きく損なうことにつながり、凝縮相の熱力学量計算において量子化学は大きな問題点を抱えていた。

２．主な研究成果

このような状況を解決するアプローチとして、我々は調和溶媒和モデル(Harmonic solvation model; HSM)を提案した。この方法では、凝縮相分子の並進・回転運動を、キャビティとの振動として記述する点がこれまでの量子化学計算法との大きな違いとなっている。

Table 1. Standard formation enthalpy and Gibbs energy of H_2O molecule.

	Gas		Liquid	
	ΔH	ΔG	ΔH	ΔG
IGM	–242.2	–228.9	–281.0	–267.7
HSM			–286.1	–237.0
Exptl.	–241.8	–228.6	–285.8	–237.1

本手法を用いて液相の水分子の標準生成エンタルピー・Gibbs エネルギーを算出した(Table 1)。IGM では実験値との差が 30 kJ/mol 程であり定量性を著しく欠いていたが､HSM を用いることで実験値との差が 1 kJ/mol 以下へと減少する｡また、Table 2 には様々な有機化合物の燃焼熱を計算した結果を示す。ここでも、HSM 法が IGM 法に比較して高精度な結果を与えていることが解る。

次に、水分子の Gibbs エネルギー(0 K を基準とした相対値)の温度依存性を示す(Figure 1)。実線

Table 2. Standard combustion enthalpy and Gibbs energy of organic molecules. Deviations from experimental values are shown in parentheses.

	Formic acid (liquid)		Methanol (liquid)		Ethanol (liquid)	
	ΔH	ΔG	ΔH	ΔG	ΔH	ΔG
IGM	–243.7 (+10.6)	–259.2 (+10.9)	–712.0 (+13.9)	–725.4 (+23.4)	–1343.2 (+23.6)	–1375.5 (-50.2)
HSM	–240.5 (13.8)	–264.1 (+6.0)	–715.1 (+10.8)	–695.9 (+6.1)	–1349.4 (+17.4)	–1314.9 (+10.4)
Exptl.	–254.3	–270.1	–725.9	–702.0	–1366.8	–1325.3

は気相の水分子の Gibbs エネルギーであり、鎖線と点線は、それぞれ熱力学量の計算において IGM と HSM を用いた場合の液相水分子の Gibbs エネルギーである。図から明らかなように、IGM を用いた場合は気相の Gibbs エネルギーと液相の Gibbs エネルギーはほぼ平行であるが、HSM を用いた場合は 382.8 K(109.7 ºC)において水の沸騰が起こると予測することができる。

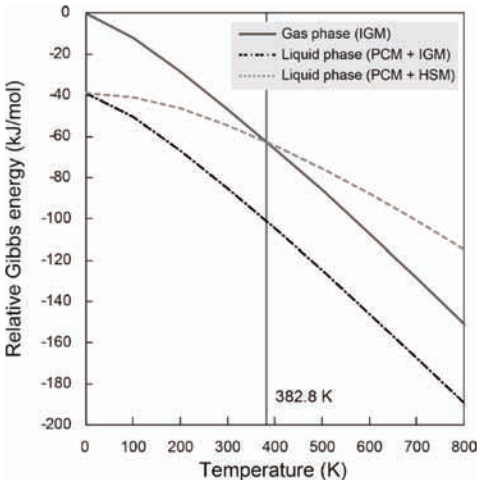


Figure 1. Temperature dependence of the Gibbs energy of gaseous and liquid water molecule.

３． 共同研究者

中井　浩巳（先進理工　化学・生命科学科　教授）

４． 研究業績

学術論文

[1] "*Quantum chemical approach for condensed-phase thermochemistry: Proposal of a harmonic solvation model*" H. Nakai and A. Ishikawa, *J. Chem. Phys.*, **141**, 174106 (2014).

[2] "*Quantum chemical approach for condensed-phase thermochemistry (II): Applications to formation and combustion reactions of liquid organic molecules*", A. Ishikawa and H. Nakai, *Chem. Phys. Lett.*, **624**, 6 (2015).

[3] "*Theoretical Study on Excess-Electron Transfer in DNA Based on the Marcus Theory*", Y. Takada, M. Okoshi, M. Hoshino, A. Ishikawa, M. Isikawa, and H. Nakai, *J. Comput. Chem. Jpn.*, **13**, 242 (2014). (in Japanese)

招待講演

石川 敦之、中井浩巳、「凝縮系のエンタルピー・エントロピーの量子化学計算：調和溶媒和モデル（HSM)」、シンポジウム「化学反応経路探索のニューフロンティア２０１４」

学会および社会活動

- 石川 敦之、中井 浩巳、「量子化学的手法による凝縮系の熱力学：実践的応用」、第 17 回理論化学討論会
- 石川 敦之、中井 浩巳、「量子化学計算による凝縮系のエンタルピー・エントロピー」、日本コ

ンピュータ化学会 2014 春季年会

- Atsushi Ishikawa, “Quantum chemistry calculation for condensed-phase free energy: application to chemical reactions in solution”、第３０回化学反応討論会
- 石川 敦之、出牛 史子、中井 浩巳、「酸化物表面の原子欠陥と金属クラスターの吸着エネルギー：エネルギー密度解析法による理論的研究」、第 8 回分子科学討論会

５．研究活動の課題と展望

以上のように、本研究では凝縮系における新しい熱力学量の算出法である HSM を考案した。この手法を用いることで、既存の量子化学計算手法に含まれていた熱力学量の誤差を大きく改善することができた。今後は、この手法を一般に広く用いられている量子化学計算パッケージに実装することにより、多くの研究者が本手法を利用できるような環境を整えたい。

血糖値上昇抑制／低下作用を有する[6]-gingerol 及び その類縁体の合成と生理活性評価

研究代表者　岡本　真由美
（理工学研究所　理工研が募集する次席研究員）

１．研究課題

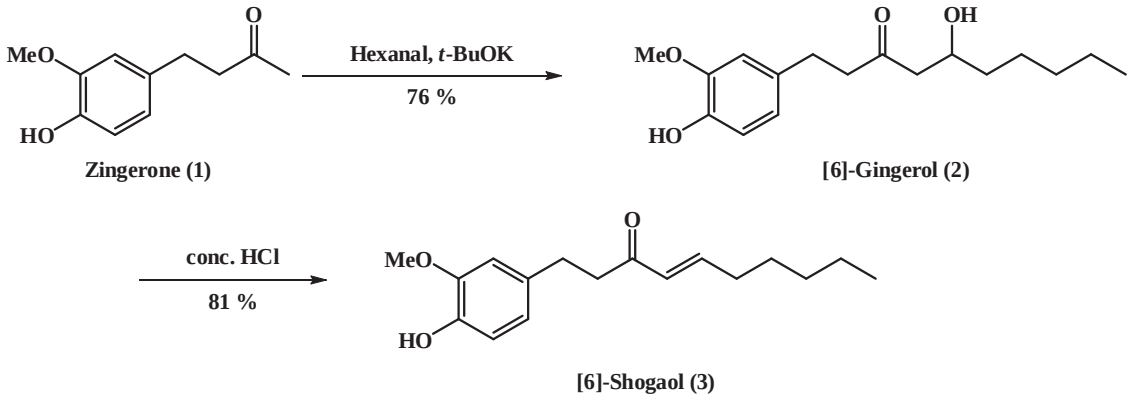
メタボリック症候群は内臓脂肪の蓄積を起因とする代謝性疾患の総称で、高血圧、高脂血症、糖尿病を発症する。申請者は、ショウガの成分の一つである[6]-gingerol およびその類縁体に血糖値上昇抑制作用及び低下作用、体重増加抑制効果を持つことを見出した。そこで本研究は、**メタボリック症候群予防治療の創薬に資する活性物質を天然素材から探索し、そのヒット化合物から最適化を行い、リード化合物への合成展開を行う**ことを目的としている。
計画している具体的な研究項目は**[6]-gingerol 誘導体の構造活性相関による薬効作用**である。

２．主な研究成果

２．１　[6]-Gingerol / [6]-Shogaol の合成

ショウガの成分である Zingerone (1) を出発原料とし、Hexanal との Aldol 反応を行い、[6]-Gingerol を合成した。塩基は t-BuOK、溶媒に THF を用いた。塩基は LDA でも反応は進行する。また、速度論支配化での反応が望まれるため、反応温度は-78 ºC にて、Zingerone を THF に溶解し、塩基に滴下した。その後 Hexanal を滴下した。

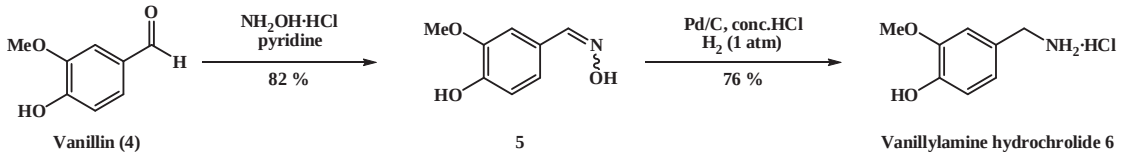
得られた[6]-Gingerol を酸性条件化で 70 ºC で加熱することで脱水反応が進行した。しかし、得られた化合物は E 体・Z 体の混合物であるため、MsCl 等を用いて E2 脱離反応を行えば E 体を選択的に得ることができる。



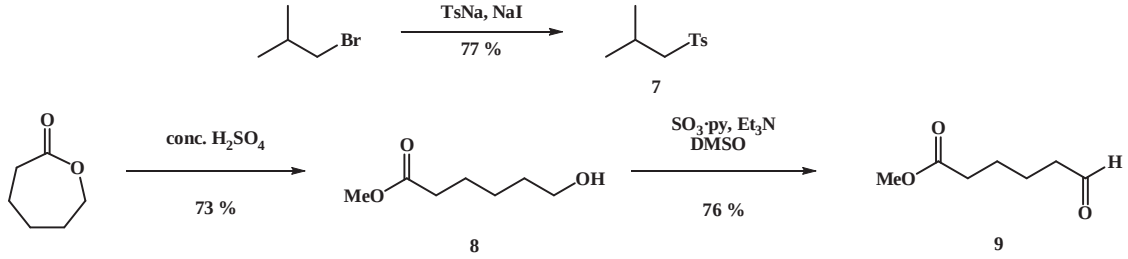
２．２　Capsaisin の合成

Capsaisin の合成を以下のスキームに示す。Vanillin を出発原料とし、pyridine を用いて塩基性条件化で塩化ヒドロキシルアンモニウムと反応させ Oxim 5 を合成した。
得られた Oxim を Pd/C 触媒、酸性条件化にて水素を添加することで Vanillylamine 塩酸塩 6 を得た。この化合物はアセトン・ジクロロメタン・酢酸エチルに不溶であり、DMSO・

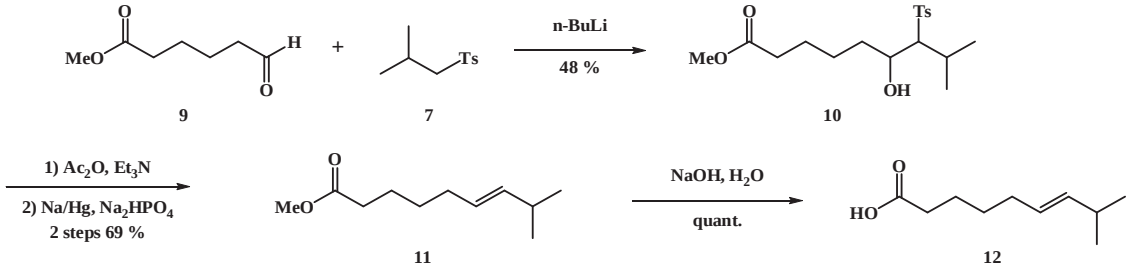
メタノール・水に可溶である。



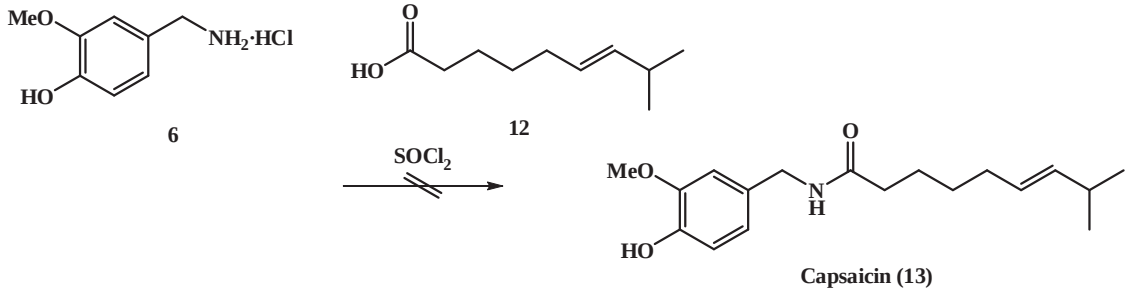
1-Bromo-2-methylpropane を出発原料とし、NaI を触媒化、TsNa と求核置換反応を行い、Ts 体 7 を得た。また、e-caprolactone を出発原料とし、酸性条件化、メタノールを用いた開裂反応を行い、アルコール８を得た。得られたアルコール体を Parikh-Doering 酸化によってアルデヒド９へと誘導した。



得られた Ts 体とアルデヒド体を Julia Olefination にて、オレフィン体１１を得た。E,Z 比は ^{1}H NMR より 7:3 であった。その後、塩基性条件化にて加水分解を行い、カルボン酸１２番を得た。

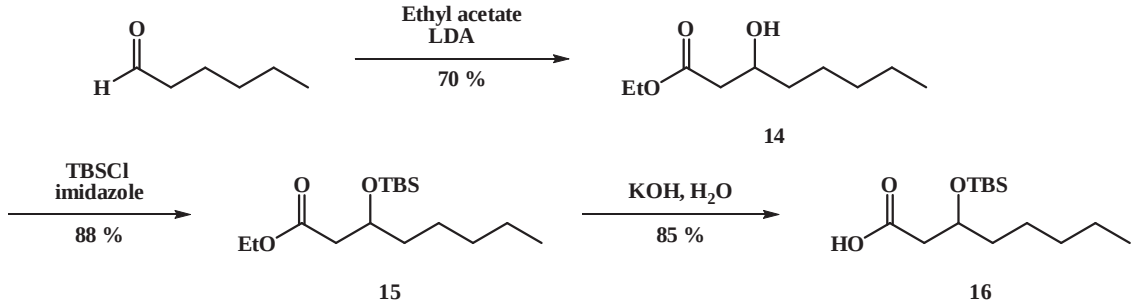


誘導されたカルボン酸に塩化チオニルを用いて、酸塩化物へと変換させたのち、Vanillylamine 塩酸塩とのカップリングを試みたが反応が多点化してしまい、目的である Capsaicin を得ることは出来なかった。

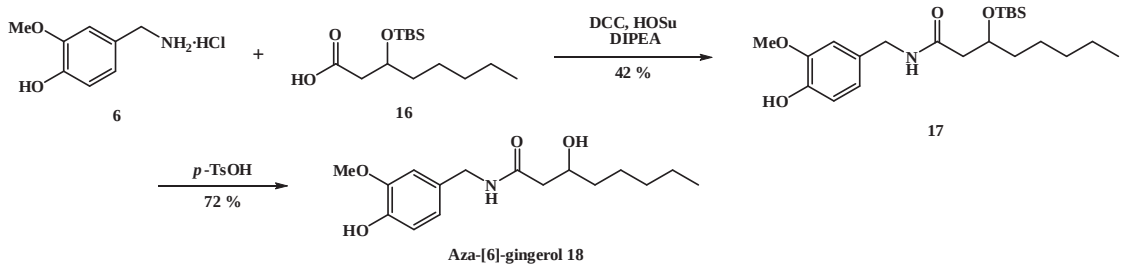


２．３　[6]-gingerol 誘導体の合成

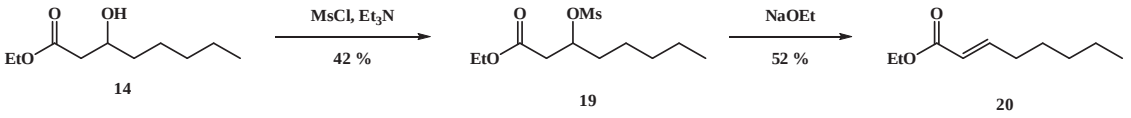
構造上、脱水反応を起こしにくいと考えられるケトン基をアミド基で置換した Aza-[6]-gingerol の合成スキームを以下に示す。ヘキサナールを出発原料とし、酢酸エチルとの Aldol 反応を行い、b-hydroxyester 体 14 を得た。この反応の際、塩基に LDA を調整し、溶媒に THF を用いた。得られた b-hydroxyester 体 14 の二級水酸基の TBS 保護を行い、TBS 保護体 15 を得た。溶媒に DMF を用いると速やかに反応が進行するが、CH_2Cl_2 の場合だと反応速度は遅い。得られた保護体の Ethylester 基を塩基性条件化で加水分解を行いカルボン酸１６へと変換した。カルボン酸の抽出は酸性条件化で行うが、抽出の際 TBS 保護が脱保護しないように 1NHCl で穏和に抽出を行うべきである。



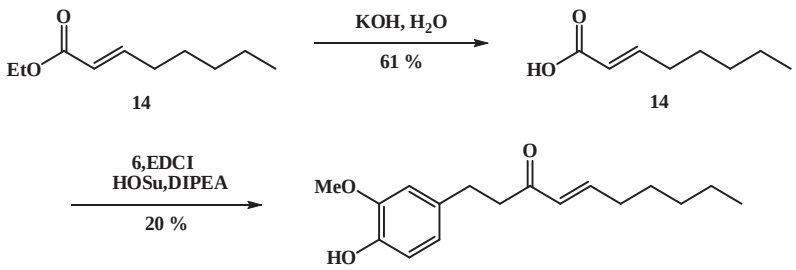
誘導されたカルボン酸と Vanillylamine 塩酸塩との脱水縮合反応を行い、アミド体 17 を得た。先ほどと同様、DMSO / CH_2Cl_2 の混合溶媒で行った。また縮合剤として用いた DCC はカラムによる除去が難しいが、ジエチルエーテルによる濾過を繰り返すことで DCC の除去が可能である。得られたアミド体の TBS 保護基を酸性条件化で脱保護を行い、目的である Aza-[6]-gingerol を得た。



続いて[6]-GIngerol の脱水体である[6]-Shogaol のケトン基をアミド基に変換した Aza-[6]-shogaol の合成スキームを以下に示す。酢酸エチルとヘキサナールとのアルドール反応によって得られた b-hydroxyester 体 14 の二級水酸基の Ms 保護を行った。この際塩基として用いた Et_3N を過剰量入れることによってオレフィン体 20 が得られると考えたが、Ms 保護体 19 で反応は停止した。得られた Ms 保護体 19 を、NaOEt を用いて E2 脱離反応を行い、オレフィン体 20 を得ることができた。

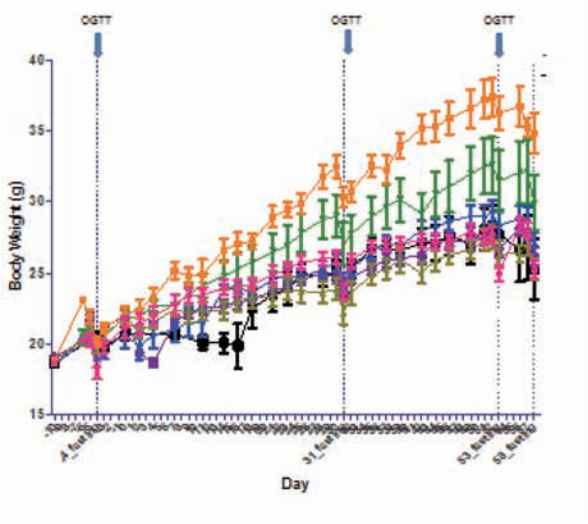


誘導した□□□□不飽和カルボン酸と Vanillylamine 塩酸塩との脱水縮合反応によって目的である Aza-[6]-shogaol を合成した。

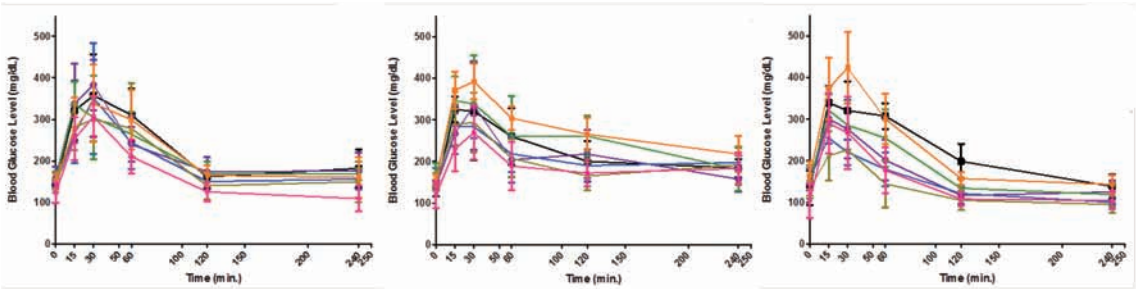


２．４　マウスへの[6]-gingerol 誘導体の高脂肪食混餌長期投与実験

高脂肪食による肥満化状況下における[6]-gingerol 誘導体の作用を調べるために、高脂肪食に[6]-gingerol 誘導体を混ぜて摂食させることとした。C57BL/6J マウスの 6 週齢のオスを１ゲージ当り４匹または５匹で飼い、１週間普通食(以下 RC)で飼い慣らした後、それぞれの実験食を９匹(２ゲージ分)に投与開始した。実験食は 6G、6S、A6G、A6S(以下、[6]-gingerol 誘導体)および Cap をそれぞれ 0.1% v/v で高脂肪食(リサーチダイエット社、D12492)(以下 HFD)に混合したもの、何も混ぜない高脂肪食をコントロールとし、自由摂食で約 60 日間投与した。また、健常マウスのモデルとするため、普通食を同様に投与した群も用意した。途中 Oral Glucose Tolerance Test(OGTT)を行う日と解剖日の前夜からは絶食を行った。Cap に関してはほぼ摂食せず死亡したため、12 日目から 0.05% v/v で新たに週齢を合わせたマウスに投与し、共食いを防ぐために１匹飼いをした。

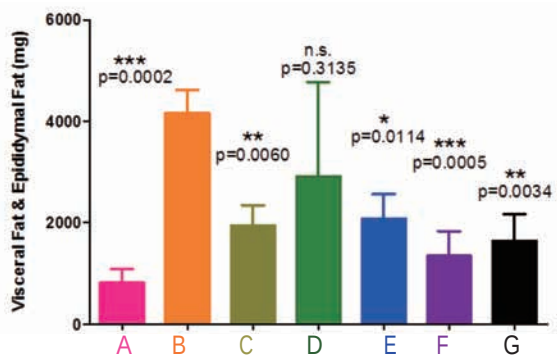


－：HFD(高脂肪食)群：対照群
－：HFD + 0.1% 6G 群
－：HFD + 0.1% 6S 群
－：HFD + 0.1% A6G 群
－：HFD + 0.1% A6S 群
－：HFD + 0.05% Cap 群
－：RC(普通食)群



OGTT の結果
左から、実験食投与開始前、投与後約１ヶ月、投与後約２ヶ月の結果
(－：RC(普通食)群、－：HFD(高脂肪食)群：対照群、－：HFD + 0.1% 6G 群、－：HFD + 0.1% 6S 群、－：HFD + 0.1% A6G 群、－：HFD + 0.1% A6S 群、－：HFD + 0.05% Cap 群)

解剖前夜から絶食し、体重を測定した。血液は心臓から採取してエッペン 1.5ml チューブに入れ、解剖終了後に遠心し、血清を採取した。血清は ELISA にて Adiponectin、TNF-α、インスリン、Leptin 濃度が測定されている(データなし)。肝臓、膵臓は全量を採取して重量を測り、エッペンドルチューブに分け入れて、液体窒素で冷凍した後、－80℃の冷凍庫で保存した。また、精巣周り、腸間膜周り、腎臓周りや皮下に存在する白色脂肪(以下 WAT、White adipose tissue)や肩甲骨周りの褐色脂肪(以下 BAT、Brown adipose tissue)もそれぞれ採取し、全量を測った後、同様に保存した。また、FDG-PET にて BAT の活性化を測定したマウスは解剖が後日行われた。

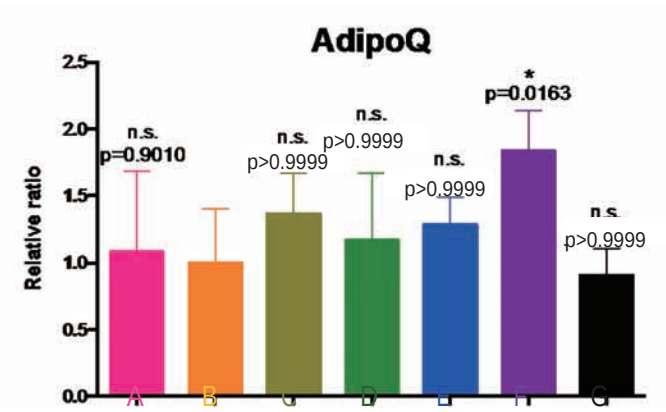


A)RC(普通食)
B)HFD(高脂肪食)：対照群
C)HFD + 0.1% 6G
D)HFD + 0.1% 6S
E)HFD + 0.1% A6G
F)HFD + 0.1% A6S
G)HFD + 0.05% Cap

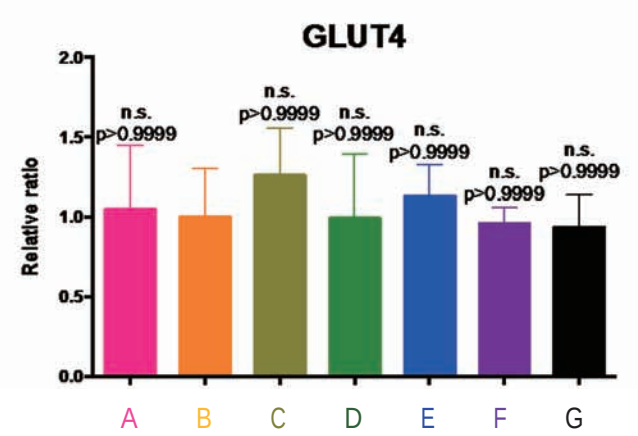
投与後 2 ヶ月での内臓脂肪(WAT)重量
Results are mean ± s.d. (n=4-6).
*P < 0.05, **P < 0.01, ***P < 0.001 vs. HFD group analyzed by repeated-measures one-way analysis of variance (ANOVA), with Bonferroni's multiple comparisons test.

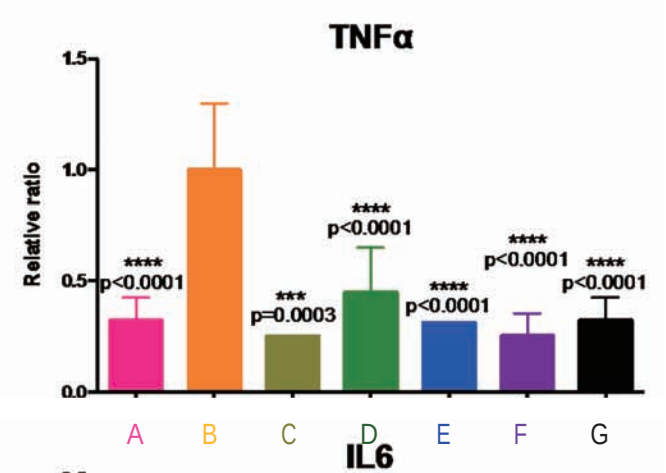
採取した精巣周り脂肪に対して遺伝子発現測定を行った(7 群×4 匹または 6 匹)。脂肪細胞は余剰エネルギーを中性脂肪として蓄積するのが主な機能であり、また、細胞に対して生理活性をもつサイトカインを放出する機能をもつ。通常蓄積した脂肪量が増加すると細胞の大きさも増加し、それと伴に放出されるサイトカインも変化するが、細胞の質が化合物の投与によってどのように変化するかを調べるため、脂肪細胞分化関連、脂肪の蓄積・分解関連、インスリン感受性・抵抗性関連で代表的な 11 種の遺伝子を選択した。

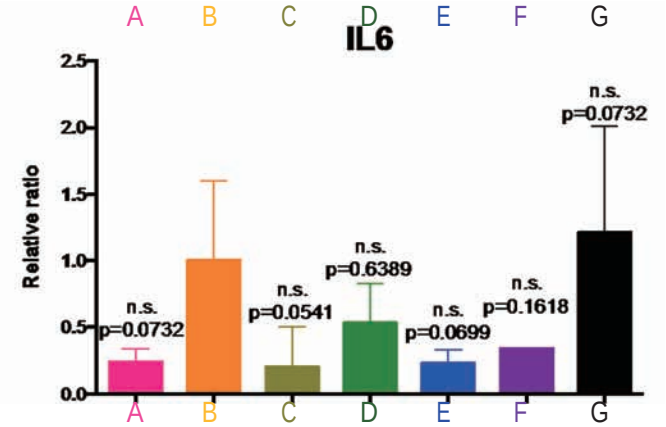
対照群である HFD 群の体重増加に比較して、化合物摂取群の体重増加は抑制傾向が見られた。

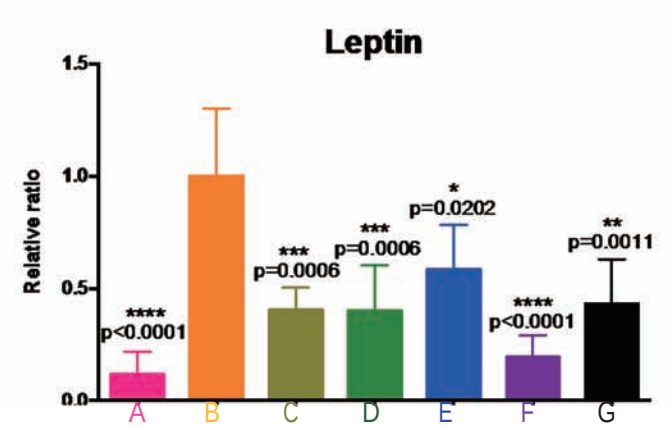


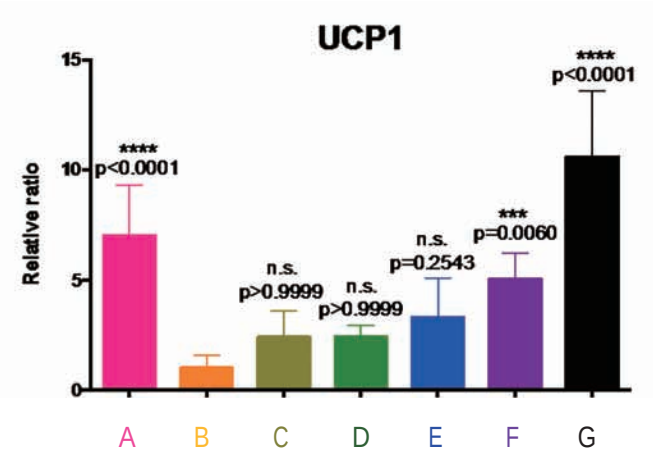
A)RC(普通食)
B)HFD(高脂肪食)：対照群
C)HFD + 0.1% 6G
D)HFD + 0.1% 6S
E)HFD + 0.1% A6G
F)HFD + 0.1% A6S
G)HFD + 0.05% Cap


GLUT4
Relative ratio
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
n.s.
p>0.9999
n.s.
p>0.9999
n.s.
p>0.9999
n.s.
p>0.9999
n.s.
p>0.9999
n.s.
p>0.9999
A
B
C
D
E
F
G


TNFα
Relative ratio
1.5
1.0
0.5
0.0
****
p<0.0001
***
p=0.0003
****
p<0.0001
****
p<0.0001
****
p<0.0001
****
p<0.0001
A
B
C
D
E
F
G


IL6
Relative ratio
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
n.s.
p=0.0732
n.s.
p=0.0541
n.s.
p=0.6389
n.s.
p=0.0699
n.s.
p=0.1618
n.s.
p=0.0732
A
B
C
D
E
F
G


Leptin
Relative ratio
1.5
1.0
0.5
0.0
****
p<0.0001
***
p=0.0006
***
p=0.0006
*
p=0.0202
****
p<0.0001
**
p=0.0011
A
B
C
D
E
F
G



Results are mean ± s.d. (n=4-6).
*P < 0.05, **P < 0.01, ***P < 0.001 vs. HFD group analyzed by repeated-measures one-way analysis of variance (ANOVA), with Bonferroni's multiple comparisons test.

３．研究業績

３．１　学術論文

Mayumi Okamoto, Kyosuke Naka, Yuya Kitagawa, et al., Synthesis and evaluation of 7α-(3-[18F]fluoropropyl) estradiol. 2015, *Nuclear Medicine and Biology*, in press.

Koshi Machida, Takahiro Abe, Daisuke Arai, Mayumi Okamoto, et al., an Estrogenic Steroid Containing Phenanthrene Nucleus, from a Marine Sponge Cinachyrella sp. 2014, *Organic Letters*, 16:1539-1541

Mayumi Okamoto*, Shun Kobayashi, Hiroshi Ikeuchi, *et al.*, Synthesis and bioassay of a boron-dipyrromethene derivative of estradiol for fluorescence imaging *in vivo*. 2012. *Steroids*, 77:845-849

Mayumi Okamoto*, Hiroyuki Irii, Hiroyuki Ishii, *et al.*, Synthesis of a new [6]-gingerol analogue and its protective effect with respect to the development of metabolic syndrome in mice fed a high-fat diet. 2011, *Journal of Medicinal Chemistry*, 54:6295-6304

Shinsuke Kato*, Mayumi Okamoto*, Takao Shinozawa, *et al.*, Midkine expression in the motor neurons in amyotrophic lateral sclerosis (ALS): Immunohistochemical studies on sporadic ALS, superoxide dismutase 1 (SOD1)-mutated familial ALS, and SOD1-mutated ALS animal models. *Yonago Acta medica in press*

３．２　学術論文（学会発表）

1. 桑原朋子，近野優也，沖山陽彦，岡本真由美他．テストステロン対掌体の合成研究．2014.5，第67回有機合成化学協会関東支部シンポジウム．(有機合成化学協会)
2. 芝山啓允，中　喬介，北川雄也，岡本真由美他．7α-[^{18}F]Estradiol の構造活性相関研究．2014.9，第14回放射性医薬品・画像診断薬研究会．(放射性医薬品・画像診断薬研究会)
3. 荒牧光紀，財津優人，岡本真由美他 光学活性 ^{11}C-Emopamil の標識合成と基礎評価．2014.9，第14回放射性医薬品・画像診断薬研究会．(放射性医薬品・画像診断薬研究会)

4. 居堯, 岡本真由美, 清水功雄他. ^{18}F 標識のカスタステロンの合成とマウス PET による体内動態の評価. 2014.9, 第 14 回放射性医薬品・画像診断薬研究会. (放射性医薬品・画像診断薬研究会)
5. 岩野新、桑原朋子、新関一馬、岡本真由美他. 全炭素の安定同位体標識化を指向したステロイド合成法の確立. 2014.10, 第 6 回日本安定同位体・生体ガス医学応用学会大会. (日本安定同位体・生体ガス医学応用学会)

その他　27 編

４．研究活動の課題と展望

本研究では『[6]-gingerol 誘導体』を用いてメタボリック症候群改善に効果のある類縁体の合成に成功した。高脂肪食負荷した動物を用いた実験結果より、体重増加抑制効果が示唆された。構造的に似ているカプサイシンとは[6]-gingerol 誘導体の効果が異なる機構であることが示唆された。

[6]-gingerol 誘導体*は in vitro* において脂肪細胞への直接的な作用で脂質の蓄積を阻害し、脂肪細胞の肥大化を阻害している可能性が示唆され、カプサイシンは糖の取込み及び脂肪合成が増加している可能性が示唆され、[6]-gingerol 誘導体とカプサイシンでは異なる機構で白色脂肪組織に作用する可能性が示唆された。

今後はこの結果を用いて、[6]-gingerol 誘導体とカプサイシンでは異なる機構の解明およびより有用な化合物合成を目指す。また、将来的にはヒト臨床への応用を目指す。

ファシズム期イタリアにおける O.N.D.専用施設の全国的様相

研究代表者　奥田　耕一郎
（理工学研究所　理工研が募集する次席研究員）

１．研究課題

ファシズム期イタリアの「全国ドーポラヴォーロ事業団」（Opera Nazionale Dopolavoro、以下 O.N.D.）がイタリア全土に設置した余暇専用施設の全体像を把握するため、研究代表者は O.N.D. が組織運営のために設定した全１５のゾーン管区に基づき、それらの現地・現況調査を継続してきた。本年度はイタリア半島東側の主要都市を中心的な対象地として調査を行い、さらなる情報・史料を収集および整理した上で、過去の成果を含めて考察し研究の総合化をはかった。

２．主な研究結果

これまでの研究と同様、1925 年創刊の O.N.D.一般会員向け機関誌「ジェンテ・ノストラ（Gente Nostra）」[1] をはじめとする O.N.D.発行の各種出版物を基礎的資料として用いて初期的現地調査を行い、並行して各地の文書館等にて当地の O.N.D.にかんする行政文書などを確認する史料調査を行った。この調査の結果明らかとなった O.N.D.関連施設の状況を下記に示す。

2-1. トリエステにおける O.N.D.専用施設について

ゾーン５（現在のフリウリ＝ヴェネツィア・ジューリア州にほぼ相当）における最大の都市トリエステは同名県の県都である。トリエステについては、O.N.D.専用施設として独立して県ドーポラヴォーロが建設されたことを示す写真絵葉書が残っており、これにかんする史料調査を行った。このトリエステ県ドーポラヴォーロについては、1933 年から 1937 年の間に同施設が所在した地の過去の住所が得られたが、現況における同定にまで至っていない。一方、同市の「カーサ・デル・ファッショ」は歴史的中心地区の外縁、古代ローマ劇場跡の正面に 1940 年から 42 年にかけて建設されており [2]、この完成以降にその機能の一部として O.N.D.事務局および余暇施設が入居した可能性も指摘できる。

2-2. ペスカーラ、アンコーナにおける O.N.D.施設について

ゾーン９（アブルッツォ、ラツィオ、ウンブリアの一部）にかんしては、すでに県ドーポラヴォーロ施設の現存を確認したキエーティに隣接するペスカーラにおいて調査を行った。ペスカーラは第二次世界大戦において市の広範囲に空襲を受けており、ファシズム期の都市計画にかんする史料は国立公文書館においても残されていない。この一方、同市の行政庁舎は比較的大規模で建設されており、これらのなかに、特に V.ピロッティ（Vincenzo Pilotti, 1872-1956）設計の市庁舎（図１、1935 年竣工か）に O.N.D.関連施設が入居していた可能性が指摘される。

ゾーン１０（現在のマルケ州、ウンブリア州の一部）にかんしては、マルケ州の州都アンコーナにおいて調査を行った。同市の中心部に 1931 年に整備されたカヴール広場には、その周囲を取り囲むように行政庁舎が複数建設されているが、このうちのひとつである A.L.ジェンティローニ

（Amos Luchetti Gentiloni, 1889-1969）設計の旧「カーサ・デル・ファッショ」（図２）は規模も大きく、この中に O.N.D.関連施設が入居していた可能性は他の類例と同様に高いと考えられる。


図１（左）ペスカーラの市庁舎　外観　2015 年 3 月撮影
図２（右）アンコーナの旧「カーサ・デル・ファッショ」　外観　2015 年 3 月撮影

2-3. バーリ県ドーポラヴォーロについて

ゾーン 13（現在のプーリア州とバジリカータ州の一部に相当）最大の都市バーリに、O.N.D.専用施設として県ドーポラヴォーロが設置されたことが、1938 年 8 月の「ジェンテ・ノストラ」から確認された（図３）[3]。同建築はバーリ中央駅近くに現存しており（図４）、現在その大部分は鉄道ドーポラヴォーロ・バーリ支部が使用している。このほか、１階東側は民間のスポーツクラブとして利用され現在も稼働し、建築中央部より西側の部分は民間の映画館として使用されていたが、現在はすでに休業している。

鉄道ドーポラヴォーロ・バーリ支部が所有する古写真から、同建築は少なくとも一度拡張工事を受けたことがわかる。その順としては、現在の中央部より西側の旧映画館にあたる部分がまず建設され、一度ドーポラヴォーロ施設として開館したのち、1938 年までに東側へ拡張工事が行われ現在とほぼ同規模となり、この状態での開館が「ジェンテ・ノストラ」にて報告されたと推測される。

現況においては、西側１階に付属した低層部分が解体されている。建築背面にあたる南側では、１階に鉄道ドーポラヴォーロのカードゲーム室、理髪店、バーが所在するが、外観にのこる痕跡からこれらは部分的に後補のものと推察される。また、現在の鉄道ドーポラヴォーロ事務所においては、県ドーポラヴォーロの時代から使われている木製の家具が残されている。

図３（左）「ジェンテ・ノストラ」1938 年 8 月 22-28 日号掲載の
バーリ県ドーポラヴォーロ　南側正面
図４（右）旧バーリ県ドーポラヴォーロ　南側正面現況　2014 年 7 月撮影

３．研究業績

3.1　学術論文（学会発表）

奥田耕一郎「ピエンツァの市ドーポラヴォーロとピエモンテ地方における県ドーポラヴォーロの設置状況について」、日本建築学会大会（近畿）学術講演梗概集 F-2 分冊、2014 年 9 月、pp.879-880

3.2　著書（共著）

奥田耕一郎「ファシズムのイタリア、余暇の建築」、中川武先生退任記念論文集刊行委員会編『世界建築史論集　中川武先生退任記念論文集　西アジア・西洋・南アジア・カンボジア・ベトナム編』（共著者 : 西本真一、柏木裕之、内田慶造、野崎勉、大田敬二ほか計 21 名、掲載順８番）、中央公論美術出版、pp.91-102、 2015 年 3 月

3.3　その他

（研究報告）

奥田耕一郎「カーサ・デル・ドーポラヴォーロ　ファシズム期イタリアの余暇建築」、平成 25･26 年度日本学術振興会科学研究費補助金･若手研究（B）「北イタリア３地方における県ドーポラヴォーロ施設の特定とその建築的特徴の解明（研究代表者：奥田耕一郎）」研究成果報告パンフレット、私家版、2015 年 3 月

（社会活動）

2014 年第 14 回ヴェネチア･ビエンナーレ国際建築展日本館研究員、2014 年 1 月～6 月

４．研究活動の課題と展望

以上を含む過去３年間にわたる調査によって、リグーリア地方（ゾーン３）、トレンティーノ・アルト・アディジェ地方（ゾーン４）、およびサルデーニャ島（ゾーン１１）をのぞく１２ゾーンの主要都市について、県ドーポラヴォーロ施設の設置および現存にかんする情報が整理された。

すなわち、全国規模でみると上記を除く１２ゾーン中、O.N.D.専用施設として建設されかつ現存する県ドーポラヴォーロは、ヴェルチェッリ、パルマ、フェラーラ、キエーティ、バーリの５施設のみである可能性が高い。当時の行政区分上、これら１２ゾーンには 80 の県が置かれており、このうちの 5 県という数値は全体に比して非常に少数である。これ以外の県では大型の「カーサ・デル・ファッショ」が建設されており、これらにおいては、例えばクーネオ県ドーポラヴォーロのようにその内部に O.N.D.関連施設が入居したと考えられる。

今後の課題としては、まず現存５事例の中で最も大規模なヴェルチェッリの事例についての追加調査の必要性が認められる。ヴェルチェッリ県はファシズム体制化の 1927 年にノヴァーラ県が分離して発足した新設の県であり、同施設がこの規模で建設された経緯については、地元ファシスト勢力との関係のなかで歴史的に検討されなければならない。また、これまでにも確認してきた市町村レベルでの O.N.D.専用施設の現存調査のほか、現時点で未だ行われていない３つのゾーンにかんする初期的調査が挙げられる。さらに、これらの施設が実際の市民生活にどのように影響を与えていたのか、当時営まれた日常生活との関係に着目してこれらの歴史的な意味を再度問い直し、ファシズム期の社会の実際のありさまをいまに伝える遺産として再考することに取り組みたい。

注

1) *Gente Nostra. Illustrazione fascista*, Anno I, n.1 (3 marzo 1929) - Anno XII, n.30 (28 ottobre 1940), *Gente Nostra in armi. Settimanale dell'OND*, Anno XIII, n.1 (3 novembre 1940) - Anno XV, n.19 (17 luglio 1943).

2) Nicoloso, Paolo, Rovello, Federica, a cura di, *Trieste 1918-1954. Guida all'architettura*, Trieste, MGS Press, Seconda edizione, 2008, pp.217-222

3) *Gente Nostra*, Anno X, n.45, 22-28 agosto 1938, p.14

手先の外力・移動方向を用いた重機の物体把持推定の高精度化

研究代表者　亀﨑 允啓
（理工学研究所　理工研が募集する次席研究員）

1. 研究課題

災害救助や復旧工事などの複雑かつ高度な重作業への適応が，建設作業機に期待されている．これらの作業において代表的なタスクとなる運搬・引き剥がし・押し潰しなどでは，安全性や微操作性が求められる高難易度のハンドでの掴み操作が必要となる．このとき，対象物をハンドが適切に把持できているか否かを認識できれば，掴み操作時の情報・操作支援が提供できる．把持動作は「オペレータの操作によりハンドを閉じていき，上下の刃で物体を挟み込み，掴み力によって物体をハンドに固定する一連の動作」，把持状態は「任意の方向および移動量でアームを動かしても，物体がハンドから外れない状態」と定義できる．2013 年度には，把持の最低条件である把持動作(必要条件)に着目し，実装性の高いロバストな推定手法の開発を行った．「ハンド閉操作(O_H^+)によりハンド内側負荷(L_H^+)が生じ，手先の移動(O_A)に伴いアーム負荷(L_A)が生じる」という物理量の有無フラグの遷移を参考に，把持動作状態 S_xとその状態遷移モデルを定義した．把持動作が進むにつれてS_0からS_4へ順次遷移し，S_4の時点で必要条件を満たす．この状態を把持状態とすることで，すべての把持状態を識別した上で，誤識別率を 6%まで低減できたが，0%とするまでには至らなかった．そこで，本研究では，把持状態を用いた把持推定の高精度化を検討する．任意の方向にアームを動かしても，対象物がハンドから外れないことを確認するためには，必要条件に利用した有無フラグではなく，大きさや向きといったベクトル情報などを用いる必要がある．把持の確からしさを高める条件を把持の累加条件(Enhancement condition for grasp: ECG)と呼ぶ.

2. 主な研究成果～手先の手先・移動方向を用いた把持推定の高精度化～

必要条件を満たした条件下において，把持の可能性を高める累加条件の定義を行い，実験機を用いた実験によりその有用性を確認した．以下に主な研究成果について概説する．

2.1. 把持の可能性を高める条件

実際に起こりうる現実的かつ支配的な現象を考慮し，動作量および動作方向と把持の確信度の関係性について，外力方向(L_A:Dir)・移動方向(M_A:Dir)・移動量(M_A:Mag)を用いて分析した(図 1).

(1)外力方向鉛直下向き C_1：物体を把持して地面や壁面などの環境から離脱させると，手先負荷には物体の自重のみがかかり，その方向は鉛直下向きになるはずである．そこで，アーム負荷の方向が鉛直下向き(L_A:Dir= Σ_W0)となることを累加条件C_1として用いる(図 1(a)).

(2)ハンド長手方向移動 C_2：アプローチ方向の反対方向であるハンド長手方向上向き(M_A:Dir= Σ_H180)にハンドが動いても，ハンド負荷が継続していることを累加条件 C_2として用いる(図 1(b)). 内あたりであればハンドが物体から離れる方向へ移動すれば接触が解除される可能性が高い.

(3)ハンド横方向往復移動 C_3：単純な横方向の運動だけでは，内あたりであっても物体の引きず

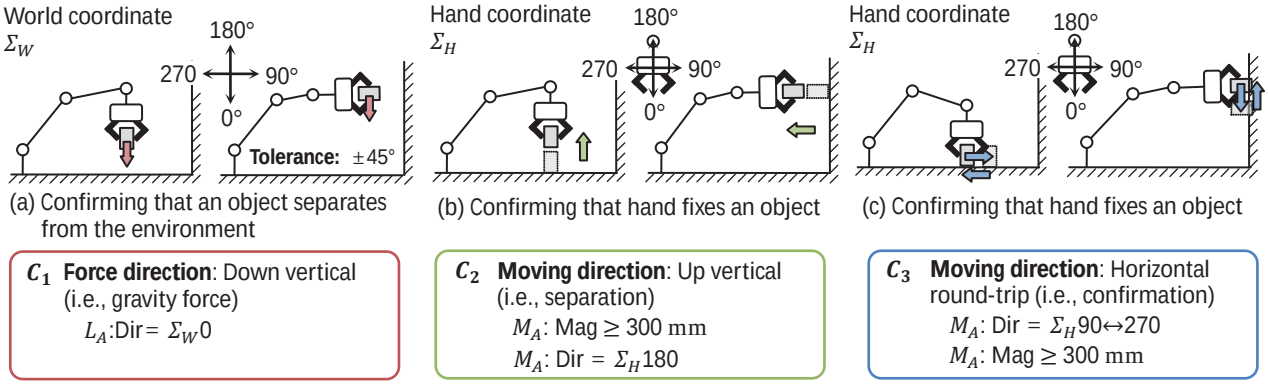


Fig. 1 Enhancement conditions for grasp

り摩擦により負荷が継続する可能性がある．そこで，手先がハンド横方向に往復運動(M_A:Dir= Σ_H90↔270)してもハンド負荷が継続することを累加条件 C_3として用いる(図 1(c))．

2.2 累加条件と把持評価値の定義

実システムおける不確実性や実装性を考慮したロバストな把持推定のため，に累加条件をモデル化した．動作方向は，直交する 2 つの軸上に分解して(0，90，180，270 °)で計算する．

(1)C_1：負荷方向許容範囲と継続時間の設定を行う．負荷方向の計測精度は，対象物の重量や動作速度などに大きく影響を受けるため，推定の確実性を考慮して許容誤差をΣ_W ±45° とした．慣性力による振動時間を考慮して，許容範囲内外の変化時に 3 秒以上継続しなければ変更を無効とした．

(2)C_2：手先のハンド長手方向移動量の設定を行う．物体が環境から離れる距離の最小値としてハンドの爪長さを利用する．本システムでは 300mmとなる．アームの移動によってハンドが対象物から離れればハンド負荷がなくなるため，負荷がなくなれば内あたりであったことがわかる．

(3)C_3：手先のハンド横方向移動量の設定を行う．物体が把持状態でないことを確認するための距離としてハンドの最大開き幅を利用する(本システムでは 300mm)．この距離以上を往復してハンド負荷が継続していれば把持の確信度は高まる．

次に，把持評価値 E を設定した．S_0からS_3では E = 0 であり，S_4に遷移した(必要条件を満たした)時点で E = 1 とする．必要条件の成立下にでは，累加条件に応じてポイントが加算されていく．加算は有向かつ不可逆であるため，一度条件を満たせば同一条件による加算が行われることはない．累加条件を 1 つ満たすごとに E に 1 ポイントを追加する．累加条件 3 つすべて満たすと E = 4 となる．0 は非把持，1 は把持最低条件を満たした状態，4 は把持の可能性が最も高い状態を示す．

2.3. 実験機を用いた評価実験

廃材運搬作業を模した一連の運搬作業を評価タスクとした(図 2)．形状・重量などが異なる運搬物計 8 個が，左側 3 段の廃材置き場にそれぞれ設置されている．操作者は，対象物を把持したのち，スイング(ヨー軸回転)を用いて右側の設置場所へ移動させる．本実験機の操作に精通した 8 人の素人操作者と 1 人の熟練操作者で，各 3 セットずつ作業を行った．把持推定の精度を検証するために，識別成功率 S_R(=D_T/N)と誤識別率 F_R(=D_F/D)を定義した． N は実際の把持回数(観測者による計測)，D_T はシステムによる検出回数 D 回のうち正しく検出された回数，D_F はD 回のうち誤検出であった回数である．図 3 に被験者 9 人の計 27 回のタスクにおけるハンド負荷 L_H，必要条件 S_4 (E=1)および累加条件状態(E=2–4)を用いた把持推定のS_Rおよび F_Rを示す．ハンド負荷による判定では，L_H^+もしくはL_H^- がある場合に把持と判定する．必要条件では S_4(E=1)では，全ての把持を検出しつつ，

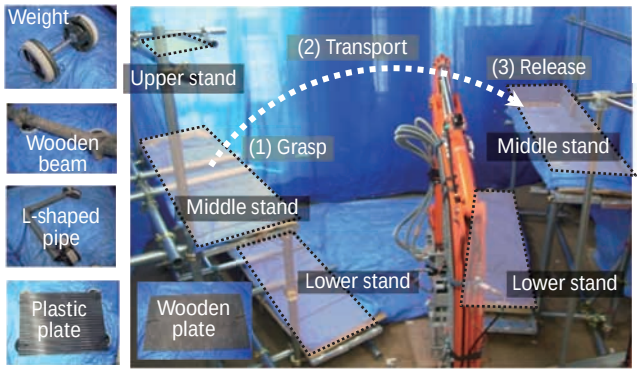


Fig. 2 Experimental work environment

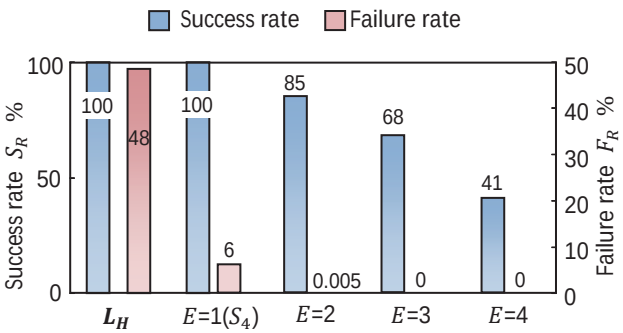


Fig. 3 Success and failure rate

F_Rを 6%まで減少できている(L_Hに比べ 87%減少)．累加条件を用いた把持推定の場合，F_Rは，E=2 で 0.005%(1 回)まで減少し，E=3 以上では 0%となった．つまり，必要条件に加えて累加条件を用いることで，さらに誤識別率を下げることができた．一方で，把持評価値を増加によりS_R が大きく減少しており，E=2 では 85%，E=3 では 68%，E=4 では 41%となった．識別成功率の向上と誤識別率の低下が相反の関係にあるため, 目的に合わせた把持判定閾値の設定が必要になると考えられる．

3. 共同研究者

菅野 重樹（創造理工学部 総合機械工学科・教授）
岩田 浩康（創造理工学部 総合機械工学科・教授）

4. 研究業績

■学術論文

M. Kamezaki, H. Iwata, and S. Sugano, “A Practical Operator Support Scheme and Its Application to Safety-Ensured Object Break Using Dual-Arm Machinery”, *Advanced Robotics*, Vol. 28, No. 23, pp. 1599-1615, Dec. 2014.

M. Kamezaki, H. Iwata, and S. Sugano, “A Pragmatic Approach to Modeling Object Grasp Motion Using Operation and Pressure Signals for Demolition Machines”, *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (JCMSI)*, Vol. 7, No. 6, pp. 356-363, Nov. 2014.

M. Kamezaki, H. Iwata, and S. Sugano, “Time-Series Primitive Static States for Detailing Work State and Flow of Human-Operated Work Machine”, *Advanced Robotics*, Vol. 28, No. 20, pp. 1357-1374, Oct. 2014.

M. Kamezaki, J. Yang, H. Iwata, and S. Sugano, “A Basic Framework of Virtual Reality Simulator for Advancing Disaster Response Work Using Tele-Operated Work Machines”, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 26, No. 4, pp. 486-495, Aug. 2014.

■総説・著書

亀﨑允啓，岩田浩康，菅野重樹，“無人化施工の効率・安全性を高める映像の注視・解釈支援に関する調査研究”，*建設機械施工*，Vol. 67，No. 3，pp. 64-73，2015 年 3 月．

亀﨑允啓，岩田浩康，菅野重樹，“無人化施工における環境カメラのための半自動制御システムの基礎研究”，*建設機械施工*，Vol. 67，No. 2，pp. 92-100，2015 年 2 月．

■講演

(招待講演)

無人化施工の効率・安全を高める映像注目支援に関する調査研究，平成 24 年度研究開発助成対象成果報告(建設施工と建設機械シンポジウム)，東京，2014 年 11 月.

知的ヒューマンマシンインタフェースと事例紹介，第 3 回サステナブル／ロボティック・システムデザイン研究会，宮城，2014 年 8 月.

(国際会議)

M. Kamezaki, H. Iwata, and S. Sugano, "Robust Object-Mass Measurement Using Condition-Based Less-Error Data Selection for Large-Scale Hydraulic Manipulators", in *Proc. 2011 IEEE Int. Conf. Robotics and Biomimetics (ROBIO2014)*, pp. 1679-1684, Dec. 2014..

M. Kamezaki, H. Iwata, and S. Sugano, "An Adaptive Basic I/O Gain Tuning Method Based on Leveling Control Input Histogram for Human-Machine Systems", in *Proc. 2014 IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS2014)*, pp. 1926-1931, Sept. 2014.

J. Yang, M. Kamezaki, H. Iwata, and S. Sugano, "Analysis of Effective Environmental-Camera Images Using Virtual Environment for Advanced Unmanned Construction", in *Proc.2014 IEEE/ASME Int. Conf. Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2014)*, pp. 664-669, July 2014.

M. Kamezaki, J. Yang, H. Iwata, and S. Sugano, "An Autonomous Multi-Camera Control System Using Situation-Based Role Assignment for Tele-Operated Work Machines", in *Proc. 2014 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (ICRA2014)*, pp. 5971-5976, May 2014.

(国内学会)

亀﨑允啓，三矢隆史，岩田浩康，菅野重樹，"測定条件に応じたデータ選定によるロバストな把持物体重量計測システムの開発"，*第 15 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(SI2013)*，pp. 1139-1140 (2B2-3)，2014 年 12 月.

亀﨑允啓，小坂拓未，谷川雄介，岩田浩康，菅野重樹，"操作量ヒストグラムを用いた BIOG 自動調整手法～操作頻度の平準化による操作感の統一～"，*第 32 回日本ロボット学会学術講演会論文集(RSJ2014)*，paper no. 3J2-06，2014 年 9 月.

亀﨑允啓，楊俊傑，岩田浩康，菅野重樹，"遠隔重機作業の高度化に関する研究―作業状況に応じたロールアサインメントに基づく環境カメラの向き・画角調整―"，*日本機械学会ロボティクス･メカトロニクス講演会 2014 論文集(Robomec ' 14)*，paper no. 1A1-K02，2014 年 5 月.

■受賞・表彰

―――

■学会および社会的活動

会誌編集委員，日本ロボット学会(2014 年 2 月～)

5. 研究活動の課題と展望

本研究では，把持である確からしさを判定するための確率的なプロセスを用いて把持推定の精度を高める方法論の開発を行った結果，誤識別を低減させることが可能となった．今後は，累加条件ごとの加算値の設定や移動量の増加に応じた連続的な評価値増加方法などを考えている.

室内におけるSVOC汚染濃度に関する研究

（家庭用殺虫剤の再放散試験）

研究代表者　金　ヒョンテ
（理工学研究所　理工研が募集する次席研究員）

１．研究目的

現代人は1日の9割近く屋内で過ごしていると言われており、室内空気は食品・飲料水に匹敵する重要な曝露媒体である。一方、準揮発性有機化合物 (SVOC) と総称される沸点の高い化合物 (240乃至260℃～400℃) も室内における重要な汚染源であることが報告されている。ただし、SVOC成分の中ではガス状のみではなく、浮遊粒子状物質 (SPM) やダストに分配・吸着した状態で存在し、存在形態の差異により異なる摂取経路 (経気道、経口、経皮) を通じて体内に取り込まれる。

特にフタル酸は食物・飲料の包装材から医療用器具、チューブ、電気導管、建材、柔軟剤、香料、ヘアスプレー、化粧品、接着剤など様々な製品に使用されている。

フタル酸エステル類については規制がかけられつつあるが、生産量は依然と多く、可塑剤として用いられる物質中フタル酸エステル類が占める割合は85%に上っている[1)]。近年のプラスチック多用に伴い、フタル酸エステル類の人体曝露量は増加していると推測されており、ヒトへの健康影響も懸念されている。また、室内での使用量が増加している有機リン系・ピレスロイド系薬剤のヒトへの健康影響が注目されている。ピレスロイド剤は、長期間連続的に使用される電気蚊取り剤やタンスやクローゼット内で使用される衣料用防虫剤の他、噴霧式や蒸散式の殺虫剤などに広く用いられている。ピレスロイド剤の中には内分泌攪乱作用（環境ホルモン様作用）を有する物質や神経毒性作用を示す物質も含まれており、ヒトの健康への影響が懸念されている。[2) 3) 4)]

そこで、本研究ではチャンバー試験による経時変化による家庭用殺虫剤の再飛散試験と表面残留量について測定を行った。

２．測定方法

1)家庭用殺虫剤の選択

市販されている家庭用殺虫剤に対象とした化学物質が含まれているかどうかを確認し、イミプロトリン（Imiprothrin)、フェノトリン（Phenothrin)、トランスフルトリン（Transfluthrin)が含まれている家庭用殺虫剤を購入した。

2)測定方法

殺虫剤の再放散試験のため、マイクロチャンバー法を用いた。マイクロチャンバー内の空気中濃度はTenax TA管を用いて捕集した。実際の空間で殺虫剤を使用する際には、スプレーで殺虫剤を散布するが、本測定では4つの試験片を製作し、等量の殺虫剤を塗布することとした。そのため、殺虫剤をビーカに取り出し、液状の殺虫剤をマイクロピペットで建材試験片各々に0.1mlを滴下し、

薬さじの腹の部分を用いて均一に延ばした。試験に使用した家庭用の殺虫剤は 2 種類で、各々5ml ずつビーカに取り出し、混合して使用した。図 1 に殺虫剤の塗布風景を示す。

殺虫剤が塗布された 4 つの試験片を作製し、経時変化による殺虫剤の再放散を確認した。測定は殺虫剤を試験片に塗布した後、0 分、30 分、60 分、90 分後にマイクロチャンバーを用いて再放散試験を行った。また、時間の変化による試験片表面に残る殺虫剤量を確認するため、放散試験に使った同じ試験片を 4 つ作り、再放散試験と同じ時間に試験片に残留している殺虫剤の濃度を確認した。試験片の表面は 5ml のエタノールで洗い流して回収し、殺虫剤の残留量を測定した。殺虫剤が塗布された試験片は各々の試験を行うまで、実験室のドラフトチャンバーの中に入れて置いた。ドラフトチャンバー中に試験片を保管する際には気流の影響が当たらないように換気扇を停止した。表 1 に殺虫剤の再放散試験の測定概要を示す。

図 1　殺虫剤の塗布風景

表 1　殺虫剤の再放散試験の概要

測定項目	測定時間	サンプル名
試験に使用した原液の濃度測定	-	ORI-1
経時変化による殺虫剤の再放散試験	試験片に殺虫剤を塗布した後、0 分	TA-0
	30 分後	TA-30
	60 分後	TA-60
	90 分後	TA-90
再放散試験をする時、試験片の表面に残留した殺虫剤濃度	各放散試験の試験片の表面に残留した殺虫剤の濃度、また、24 時間後の残留量を測定した。	S-0
		S-30
		S-60
		S-90
		S-24h

3)対象物質

家庭用殺虫剤としてよく使用されている 3 種のピレスロイド剤を選定した。分析対象物質はイミプロトリン（Imiprothrin)、フェノトリン（Phenothrin)、トランスフルトリン（Transfluthrin)を対象物質とした。

３．測定結果

1)殺虫剤の原液と試験片の残留濃度

表 2 に殺虫剤の原液と試験片の表面残量濃度を示す。測定に使用した殺虫剤の原液から測定対象化学物質の濃度を測定した。トランスフルスリンは 0.36[mg/mL]、イミプロトリンとフェノとリンは各々13[mg/mL]、1.1[mg/mL]で、イミプロトリンの濃度が他の物質より最も高く検出された。この結果から、試験片に塗布した 0.1mL の殺虫剤に含まれる殺虫剤量はトランスフルスリンが 36[μg/0.1mL]、イミプロトリンとフェノとリンが各々1300[μg/0.1mL]、110[μg/0.1mL]であると推定し

た。原液を試験片に塗布した直後の S-0 の表面残留量の結果をみると、原液の濃度からトランスフルスリンが約 76%、イミプロトリンとフェノとリンが各々84、81%減衰していることが分かった。初期（S-0）試験片表面の殺虫剤残留量はトランスフルスリンが 8.5[ug]、イミプロトリンとフェノとリンが各々210、21[ug]であった

表 2　殺虫剤の原液と試験片の表面残量濃度[μg]

化学物質	S-0	S-30	S-60	S-90	S-24h	ORI-1[mg/mL]*
トランスフルスリン	8.5	1.6	1.7	0.8	<0.2	0.36
イミプロトリン	210	60	68	38	16	13
フェノとリン	21	3.0	3.0	1.2	0.3	1.1

＊：殺虫剤の原液濃度

2)殺虫剤の再放散試験

経時変化による殺虫剤の再放散試験を行った。表 3 に殺虫剤の再放散試験結果を示す。殺虫剤の 3 物質の中で、イミプロトリンの場合、TA-0 と TA-60 のサンプルから、各々4.6、2.7[ng]が分析された。しかし、トランスフルスリンとフェノとリンの場合、全てのサンプルが検出限界以下となった。GC/MS 上の検出限界は 2[ng]である。

表 3　殺虫剤の再放散試験結果[ng]

化学物質	TA-0	TA-30	TA-60	TA-90
トランスフルスリン	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
イミプロトリン	4.6	<2.0	2.7	<2.0
フェノとリン	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0

＜0.2：検出限界以下

４．研究業績

１）学術論文（学会発表）

金ヒョンテ、田辺　新一「半揮発性有機化合物（SVOC）の測定法に関する研究　その 25　家庭用殺虫剤の再放散と残留量の測定」2015 年の日本建築学会学術講演で発表する予定である。

５．参考文献

1)通商産業省（当時），化学工業統計年報, 1999

2)Environmental Health News, October 31, 2013, Common insecticides may be linked to kids' behavior problems, Synopsis by Lindsey Konkel
http://www.environmentalhealthnews.org/ehs/newscience/2013/10/insecticides-kids-behavior/, 2014.01.20

3)古賀公一，環境管理技術, 4（6）, 15～21（1986）

4)田中平三，土田満，手島石夫，しろあり, 73, 4～16（1990）

惑星探査機搭載に向けた蛍光 X 線元素分析装置の開発

研究代表者　草野　広樹
（理工学研究所　理工研が募集する次席研究員）

1. 研究課題

本研究では、将来の月・火星・小惑星などを対象とした惑星探査機搭載に向け、元素分析装置として蛍光 X 線分光計の研究開発を行っている。固体惑星表面を構成する元素の情報は、惑星の形成起源や進化過程を解明する手掛かりとして非常に重要である。元素組成を取得する有力な手法として、元素固有のエネルギーを持つ X 線やガンマ線の計測による蛍光 X 線分光および核ガンマ線分光がある。本研究では、特に今後ミッションの増加が予想される固体惑星表面への着陸探査に焦点を当て、ローバーに搭載し着陸地点付近の元素情報を詳細に取得できる「能動型蛍光 X 線分光計」の開発を目的とする。特に重要な点としては、主要元素（Mg、Al、Si、Ca、Fe）から微量元素まで多くの元素に対して高精度な分析が可能であることと、ローバー搭載のために小型軽量・低消費電力化が必要であることが挙げられる。

能動型蛍光 X 線分光計は X 線検出器と X 線源から構成される。X 線検出器はシリコンドリフト検出器を使用する。直径 10 mm 程度の比較的大面積でも優れたエネルギー分解能が得られ、Na までの軽元素に対して個々の元素の蛍光 X 線を分離して計測可能である。一方で X 線源の候補としては、現在、焦電結晶を利用した X 線源の研究開発を行っている。焦電結晶 X 線源は一般的な X 線管と比較して装置が小型軽量かつ低消費電力であり、高電圧電源や放射性物質が不要で、必要に応じて X 線の発生と停止が可能であるなど、惑星探査ローバーへの搭載のために魅力的な性質を持つ。しかし、現在の焦電結晶 X 線源は発生 X 線強度が弱く不安定であるという問題があり、分析時間の短縮や元素の濃度決定精度の改善のために X 線源の高輝度化・安定化が必須である。先行研究では、発生 X 線強度に影響する要因として気体の圧力、結晶の面積・厚さ、結晶とターゲットの距離などが指摘されている。本研究ではこれらの条件と発生 X 線強度との関係を明確にし、X 線源の高輝度化・安定化にために動作条件の最適化を行う。また、蛍光 X 線収率が低い Mg、Al、Si などの軽元素に対して、発生 X 線エネルギーを変更して分析効率の改善を図る。

2. 主な研究成果

焦電結晶 X 線源は、$LiTaO_3$ などの焦電結晶、金属薄膜ターゲット、ペルチェ素子などの加熱・冷却素子で構成される。本年度は、昨年度から継続している X 線発生特性の調査と、低エネルギー X 線源開発の試みを実施した。

図 1 は、シミュレーションコード PENELOPE で計算した特性 X 線の発生強度およびターゲットを透過する電子強度の結果である。ここでは、焦電結晶によって単一エネルギーの電子が発生することを仮定し、Cu と低エネルギーX 線源用の Mo のターゲットについて、最適な電子のエネルギーとターゲットの厚さの見積もりを行った。結果、最適な組み合わせの一例として、Cu の場合

厚さ 10 μm と電子エネルギー60 keV、Mo の場合厚さ 4 μm と電子エネルギー40 keV を得た。電子のエネルギーは焦電結晶の厚さと温度変化量に依存するため、得られたデータをもとにそれらの最適な条件を決定することが必要になる。

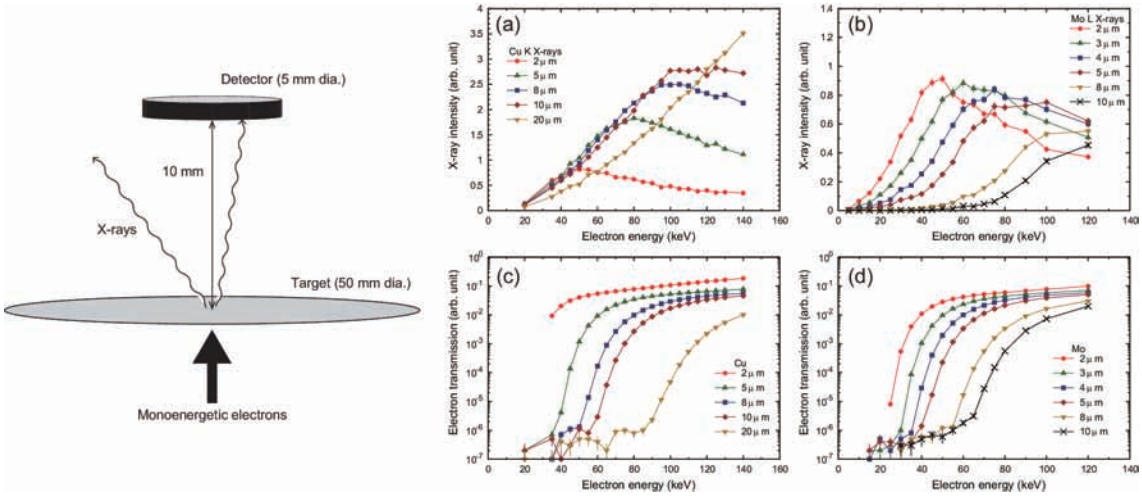


図 1. シミュレーションジオメトリ（左）と特性 X 線の発生強度（a, b）およびターゲットを透過する電子の強度（c, d）の計算結果（右）。Cu（a, c）と Mo（b, d）のターゲットについて示す。

図 2 に、厚さ 2 mm の $LiTaO_3$ 結晶と厚さ 4 μm の Mo ターゲットを用いて X 線発生実験を行った場合のエネルギースペクトルを示す。Mo の LX 線（2.29 keV）が強く観測されていることが分かる。また、この条件下での最大 X 線エネルギーが約 35 keV であったことから、シミュレーションにより決定した最適な条件をほぼ実現できている。これより、Mo ターゲットが Z=15 以下の元素に対して効率の良い X 線源として利用可能であることが確認できた。

図 3 は、結晶の面積を変更し、熱サイクルを繰り返した場合の発生 X 線強度の時間変化である。結晶の面積を大きくすることで発生 X 線強度が増加し、既製品の焦電結晶 X 線源（Amptek 社 COOL-X）と比較して約 65 倍の X 線強度が得られた。結晶を大きくすることは高輝度化に有効だが、X 線源のサイズや消費電力の点で不利になり得るため、それらの調整が必要と考えられる。

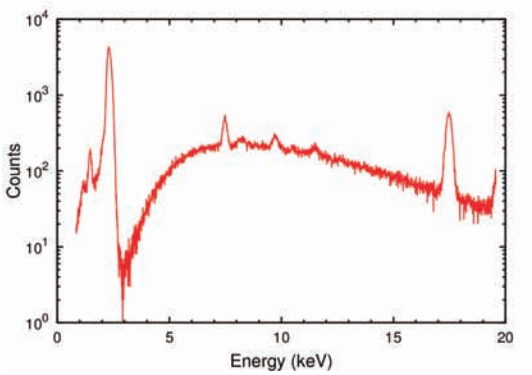


図 2. 発生 X 線スペクトル。実験条件：$LiTaO_3$ 結晶（直径 4.3 mm、厚さ 2 mm）、Mo ターゲット（厚さ 4 μm）、冷却時（温度変化量約 80℃）、N_2 ガス（圧力 1 Pa）、-Z 面をターゲット方向。

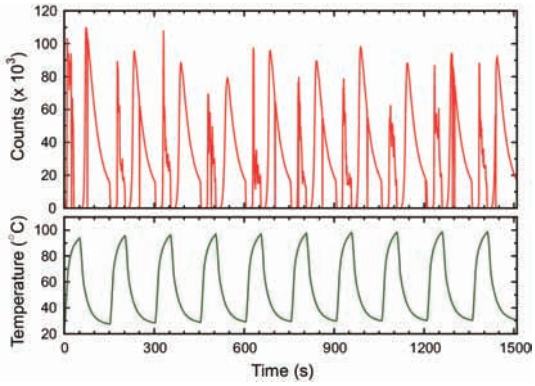


図 3. 発生 X 線計数率と温度の時間変化。実験条件：実験条件：$LiTaO_3$ 結晶（直径 7.1 mm、厚さ 4 mm）、Cu ターゲット（厚さ 10 μm）、N_2 ガス（圧力 1 Pa）、-Z 面をターゲット方向。

3. 共同研究者

長谷部 信行（理工学術院 教授）

4. 研究業績

4.1 学術論文

- H. Nagaoka, N. Hasebe, H. Kusano, Y. Oyama, M. Naito, E. Shibamura, and H. Kuno, “The development of X-ray generator with a pyroelectric crystal for future planetary exploration”, Adv. X-ray Chem. Anal., Japan **46** (2015) 347-354. (in Japanese)
- H. Kusano, Y. Oyama, M. Naito, H. Nagaoka, H. Kuno, E. Shibamura, N. Hasebe, Y. Amano, K.J. Kim, and J.A.M. Lopes, “Development of an x-ray generator using a pyroelectric crystal for x-ray fluorescence analysis on planetary landing missions”, Proc. SPIE 9213, Hard X-Ray, Gamma-Ray, and Neutron Detector Physics XVI, 921316 (September 5, 2014), doi:10.1117/12.2061547.

4.2 講演

- 草野広樹，他 7 名，“Coplanar 電極を用いた希ガス電離箱の開発 III”，2015 年 第 62 回応用物理学会春季学術講演会，2015 年 3 月 11 日－14 日，東海大学
- H. Kusano, 他 9 名, “Development of an X-ray generator using a pyroelectric crystal for X-ray fluorescence analysis on planetary landing missions”, SPIE Optical Engineering + Applications 2014, San Diego, United States, Aug. 17-21, 2014.
- H. Kusano, 他 5 名, “Hydrogen in the Surface Layer of Lunar Polar Regions from Kaguya Gamma-ray Observation”, 11th Annual Meeting of Asia Oceania Geoscience Society (AOGS 2014), Sapporo, Japan, Jul. 28-Aug. 1, 2014.
- H. Kusano, 他 9 名, “Development of a pyroelectric X-ray generator for X-ray fluorescence analysis on future lunar and planetary landing missions”, International Symposium on Remote Sensing 2014 (ISRS2014), Busan, Korea, Apr. 16-18, 2014.

他、国際学会共著 16 件、国内学会共著 3 件。

4.3 学会および社会的活動

- 2014 年 4 月～ 応用物理学会 放射線分科会 幹事

5. 研究課題の課題と展望

焦電結晶 X 線源の高性能化、すなわち高輝度化や安定化のために、実験的研究に基づいて最適な構造や動作条件についての基準を提案する。主に封入気体の圧力、結晶およびターゲットの大きさ、結晶とターゲットとの距離、温度変化の時間特性の条件による X 線発生量について調査し、高輝度な X 線が発生する条件を見積もる。また、発生 X 線強度の安定化のために、例えば結晶側面の沿面放電の低減などを試みる。さらに、実用化に向けて小型密封容器に封入された焦電結晶 X 線源試作機の設計・製作および性能評価を行う。焦電結晶を効率良く温度変化させるための熱設計、低圧気体の密封・保持技術、密封容器や X 線放出窓などについて、大きさや消費電力の制限を考慮しながら決定する。

ユネスコ世界文化遺産・ヴィエトナム・フエ王宮の
伝統的建築漆塗装技術に関する研究

研究代表者　齋藤　潮美
（理工学研究所　理工研が募集する次席研究員）

１．　研究課題

漆とは、ウルシ科ウルシ属から滲出する液で、そのまま放置すると被膜を形成して塗料となるものを指す。ヴィエトナム、カンボジア、日本など、アジアの各地で産出する漆は、先史時代より用いられ、この地域独自の文化を形成した。

本研究では、先行する中川武研究室とフエ遺跡保存センターの国際協同調査研究を踏まえ、ヴィエトナム・フエ王宮の太和殿と、カンボジア・アンコール遺跡の塗装に関する予備的な報告を通じて、伝統的建築漆塗装技術に関する考察と基礎的な研究資料の蓄積を目的とする。

２．　主な研究成果

２－１．ヴィエトナムに関する研究

太和殿は、嘉隆四年（1805）の創建後[1)]、移築や修理を経て、皇城内、紫禁城の正面中央に現存する宮殿建築である。ヴィエトナム・フエの歴史的建造物群における宮殿建築は、多くが木造建築であり、戦禍や社会情勢の影響を受けた。太和殿の後方に連なって位置していた主要な宮殿は、建物を失い、現在は基壇あるいは址を残している。太和殿では即位式や朝会、外国使節との引見などの重要な儀礼が執り行われ、その用途の重要性からも伝統塗装技術を考察する上で、最も重要な現存遺構である。太和殿の玉座後方に位置する扉には古式の黄色塗膜や文様が残存する（写真１）。太和殿の扉に関する先行研究を踏まえ、フエ遺跡保存センター協力のもと、扉付近から採取した黄色の剥落塗膜片の一部の分析を通じて、伝統的塗装技術に関する更なる考察を試みた[2)]。

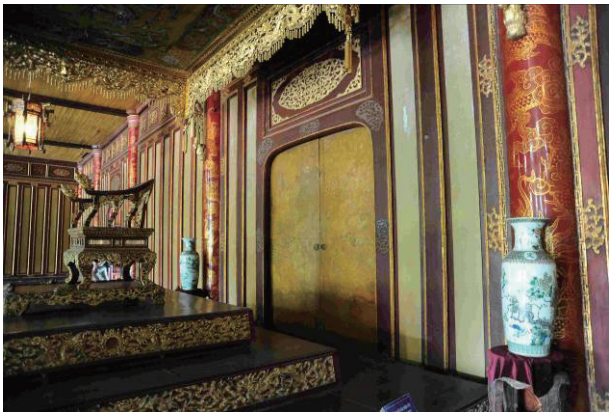


写真１　太和殿玉座後方に位置する扉

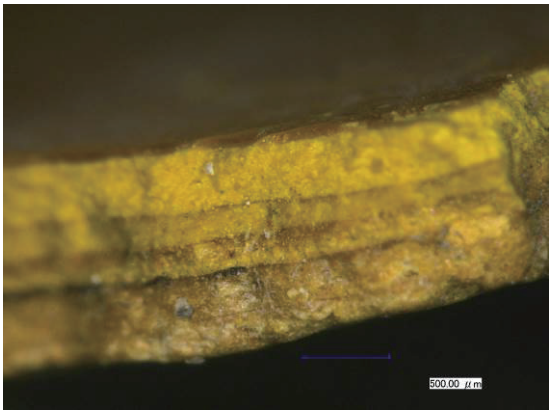


写真２　黄色塗膜片の塗装状況

太和殿玉座後方に位置する扉は、建物正面側に黄色が塗られた上に、龍文を主体とする文様が描かれ、文様の色彩は金色である。扉の塗膜は、黄色の塗膜層が重なる状況や、龍文の一部などには、文様の修理を経た痕跡などが確認できる。玉座後方以外に位置する扉の色彩は赤で、現状は文様が確認できない。修理年代に関する考察は、今後の検討課題としたい。

扉付近から採取した黄色の剥落塗膜片は、剥落場所と塗膜の状況観察から、扉の塗膜の一部であると推定した。黄色の塗膜片は、上層側は黄色の塗膜層が重なる状況を確認でき、最表面は褐色を帯びた黄色であること、反対面の下層側は黒褐色の塗膜層が重なる（写真２）。X 線回析測定結果より、上層の黄色顔料は、クロム酸鉛、下層の黄色顔料は、雌黄が認められ、黄鉛と雌黄による黄色彩色されていることが予測される[3)]。

黄色塗膜片の測定結果からは、黄色の色材として、雌黄が認められた。かつての扉の黄地は、雌黄を色材に用い、雌黄の発色によって鮮やかで美しい黄色の色彩に彩られていたことが推測できる。太和殿で朝会が執り行われた場面を想像してみると、黄色の豪華な衣装に身を包まれた皇帝が、金色の玉座に着座し、皇帝の後方から、黄色地の扉に金色で描かれた龍が後光のように皇帝を照らす。太和殿では、扉の塗装色彩が先行研究によると、龍文による荘厳は皇帝の権威を象徴すること、「瑞祥の龍といえば、一般に黄龍を指称したこと」[4)] などが指摘されている。太和殿では扉の色彩配置、文様構成などの塗装技術が空間秩序を形成するうえでの相関性をもつ可能性が考えられる。

２－２．カンボジアに関する研究

バイヨン本尊仏彫像は、中央塔に安置されていたが、1930 年代の EFEO による発掘調査後に、修復・再構築を経て、アンコールトム内に安置されている。バイヨン本尊仏彫像は、新技術を用いた修復処置や構造安定化事業が終了したのちに、バイヨン内の原位置に最安置するプロジェクトが執行委員会代表、ソク・アン氏によって組織され、プロジェクトが遂行されている[5)]。バイヨン本尊仏彫像のレプリカ制作に際し、矢野健一郎氏（東京藝術大学）が中心となり、カンボジアのスタッフとともに、現地調査と彫刻技術指導が行われている（写真３）。

本研究では、2015 年 1 月に、バイヨン本尊仏彫像の塗装痕跡調査、彫像の塗装痕跡調査、漆樹調査などを行った成果の一部を予備的に報告する[6)]。

バイヨン本尊仏彫像は石造であり、EFEO による修復や再構築を経ているが、塗装痕跡と思われる箇所が、右脇下などにみられる（写真４）。

写真３　バイヨン本尊仏彫像調査

写真４　バイヨン本尊仏彫像　右脇付近

アンコールワット中央祠堂など安置されている、石造の座像からは、塗装の痕跡が確認できる。肉眼による観察より、漆、赤色、黒色、金箔、布などを使用した可能性が考えられる。塗装材料については、今後の検討課題としたい。

２－３．漆塗り修理工事工程に関する研究

2013 年度・理工学研究所の奨励研究では、漆塗り工事工程に関する参考資料を作成し、日本で参考工程手板の制作を行い下地工程の一部が終了した。本研究では下地工程から塗り工程が終了した。実際の工事では、塗装のいたみなどの状況が同一ではなく、実際の修理はこれ以上の工程数が予測されるため、参考例として位置づけ、本研究の成果を今後の研究で活用したい。

３．　共同研究者

中川武（理工学術院・教授）

４．　研究業績

・齋藤潮美・中川武 2014.9「太和殿扉にみられる髹飾技術：ヴィエトナム・フエ阮朝王宮の復原的研究（その 184)」、『日本建築学会大会（北海道）学術講演梗概集』pp.685-686

・齋藤潮美 2015.3「ベトナム・フエ阮朝王宮太和殿の建築髹飾技術」、『世界建築史論集：アジア・西洋・南アジア・カンボジア・ベトナム篇』、中央公論美術出版、pp.159-169

５．　研究活動の課題と展望

本研究では、古式塗膜の色彩や塗装痕跡などの考察を通じて、伝統的建築漆塗装技術に関する基礎的な研究資料の蓄積を試みた。近年フエは観光地として急速な発展を遂げ、観光開発、保存修復事業、学術的な関心が高まっている。雨季には台風や洪水がおこる自然条件や虫害のために劣化が進行する状況下にある。遺構への保存修理とともに、阮朝王宮の造営を支えた伝統的な建築漆塗装技術に関する理解を深めることが望まれる。理工学研究所の奨励研究を通じて、ヴィエトナム・カンボジア・日本において、事情は異なるがこの領域の人材育成や学際研究を今後展開することが求められるという、共通する発展的な課題を抱えていることが明らかになった。今後は本研究成果を生かし、国境を越えた伝統漆文化の長期的な保存や活用を志した研究に励みたい。

注

1)『大南寔録』正編、第一紀、巻 26、5 葉。

2）平成 25 年文部科学省・科学研究費スタート支援（課題番号 255889059）により行った研究内容を踏まえ、本研究では更に考察を深化させた。フエ遺跡保存センターのフォー・タイン・ビン氏、ダン・ソン・カー氏、レ・ヴァン・フック氏、レ・ヴィン・アン博士、レ・チ・タイン・ビン氏、フィン・チ・アイン・ヴァン氏、グエン・ヴァン・フック氏、所長ファン・タン・ハーイ博士ほかの御協力を得た。また、新江利彦博士、齋藤敏彦氏、齋藤卯乃氏の御教示を得た。

3）X 線回析法による分析は，株式会社アグネ技術センターの協力を得て行った。

4）片倉譲 1994.3「ベトナム利生の龍崇拝：『大南史略』をとおして」『歴史研究』第 31 号、大阪府立大学、pp.35-50

5）中川武監修 2014.6『Annual Technical Report on the Survey of Angkor Monument 2012-2013:アンコール遺跡調査報告書』、日本国政府アンコール救済チーム

6）本調査に際し、矢野健一郎氏（東京藝術大学)、黒柳奈未子氏（彫刻作家)、行正絵里氏（東京藝術大学)、コウ・ベット氏（JASA)、宮腰哲雄氏（明治大学)、石塚充雅氏（JASA)、中川武教授ほかの御教示と御協力を得た。

摩擦式エネルギー吸収機構を用いた軽量低層構造物の制振構造システムの開発

研究代表者　宋　成彬
（理工学研究所　理工研が募集する次席研究員）

１．研究課題

1995 年兵庫県南部地震は都市直撃型の地震発生であり、日本の一般的な住宅と言われている木造住宅の倒壊被害は甚大であった。約 10 万棟を超える木造住宅が全壊し、建物の圧死による多数の人命が失われる原因の一つとなった。その後、2011 年 3 月 11 日に東北地方太平洋沖地震を含め、最近約 20 年間にも震度 7 クラスの地震は何回も発生してあり、建物の被害が多数報告された。これらの被害は地震により建物へ入力されるエネルギーが建物の吸収能力を超えることが原因であり、これまでに安全限界変形を超えることより倒壊に至ることを防ぐために様々な工夫が行われてきた。建築物の耐震性能の向上を目標として建物本来の耐力を上げる手法や制振デバイスを設置することにより減衰性能を上げること、地震入力エネルギーから建物を切り離す免震構造などの研究が行われている。ところが、実際に建物の耐震化は進んでいない。建築物に対して極大地震に備える耐震補強を行わない理由として施工費用の問題、改修中および居住性の問題などが挙げられるが、このような問題をクリアするのには、建築構造の立場から、施工性、経済性に優れた木質構造のための耐震構法の開発が重要と考えられる。

本研究では、地震発生時の 2 階建て木造住宅の耐震安全性向上を目的として、建物の各層がバランスよくエネルギーを吸収することを可能とする機構について検討を行ってきた。特に補強した制振デバイスのエネルギー吸収率を高めること、簡単に取り付けられること、施工性が良いこと、そして経済性に優れた様々な制振補強システムを考慮した結果、ワイヤーロープと摩擦式エネルギー吸収装置による制振補強システムの開発を目指す。

２．主な研究成果

２．１　本補強システムの概要

本システムで使用する摩擦式エネルギー吸収装置（以下、摩擦装置）のイメージを図 1 に示す。木造住宅へ適用するエネルギー吸収装置には高力ボルトによる摩擦機構を用いる。摩擦式エネルギー吸収装置は M16 高力ボルトの接合部が滑ることで生じる摩擦力によりエネルギーを吸収するシステムである。構造物が変形することにより装置に連結した鋼線の引張で鋼材板が滑り、GA(シルバーアロイ)同士の 2 面摩擦によるエネルギー吸収を行う機構である。また、摩擦機構の滑りによりエネルギーを吸収した後、摩擦機構の残留変形の対策として皿バネを用いることとする。この原点復帰機構を鋼材板に設置することにより摩擦機構に生じる残留変形を抑えられる機構である。

図 2 には、摩擦装置を用いて 2 階建て木造住宅に本制振補強システムを適用した概念図を示す。まず、1 層と 2 層の中央に摩擦装置を設置する。次に、鋼線と各層を締結するために、各層の左右端部に滑車を設置することとする。鋼線については、基礎にアンカーボルトで固定し、斜め方向に設置した滑車を通して摩擦装置に連結する（①→②）。摩擦装置$_1$ の反対側から 2 層に設定した摩擦装置$_2$ まで鋼線で連結する（③→④）。青い鋼線に対しても赤い鋼線と同じく鋼線で各層に設置した摩擦装置に連結させることより基礎から 1 層と 2 層の摩擦式エネルギー吸収装置に連結した形

状となる。このように各層の間に鋼線を繋ぐことより 1 層の変形に応じて各層に設置した摩擦式エネルギー吸収装置が働くことで地震により入力されるエネルギーを各層でバランス良く吸収することを目指した補強システムである。

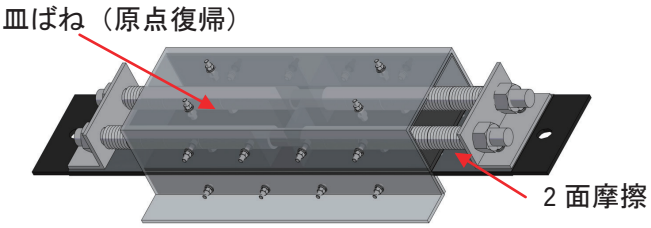


図 1　エネルギー吸収装置のイメージ

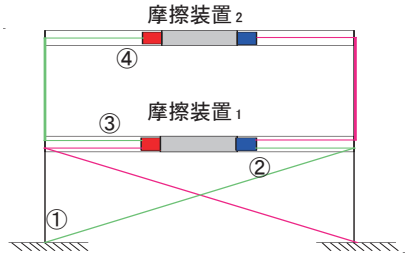


図 2　本補強システムの設置概要

２．２　本補強システムを適用した木質構造物の時刻歴地震応答解析による検討

2 階建ての木造住宅を想定して 2 質点せん断型モデルに置き換えて本補強システムを適用した場合と補強しなかった場合の時刻歴地震応答解析を行い、本システムによる耐震性能向上を確認した。まず、制振補強した場合としない場合のモデルに Sweep 波（変位一定）を入力し、その応答変形を用いたそれぞれの伝達関数を重ね合わせたものを図 3 に示す。補強しない場合より本システムを適用した場合は 1 次・2 次モードの応答低減効果があることが明らかになった。

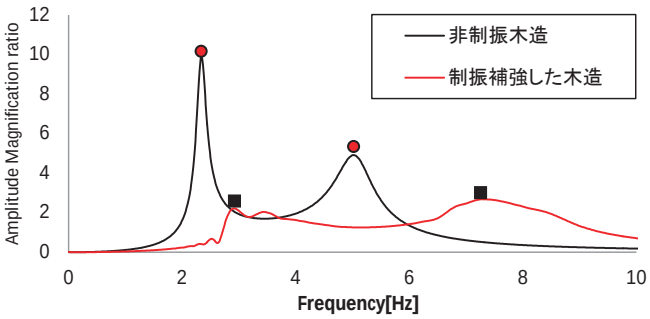
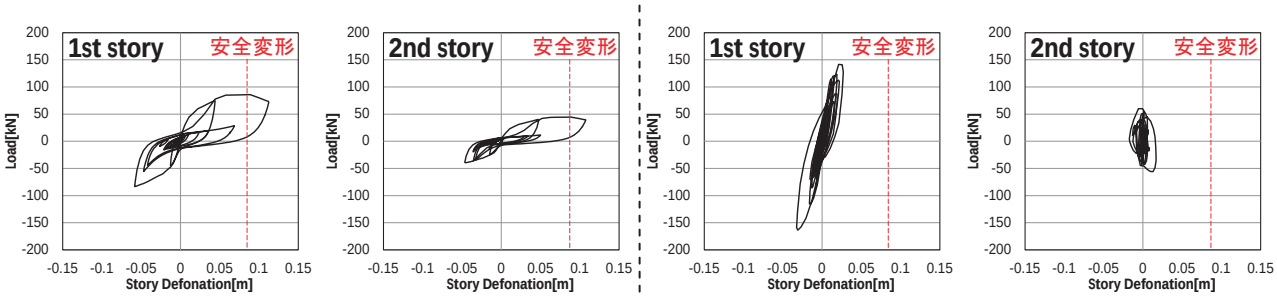


図 3　Sweep 波入力による応答変位の伝達関数

図 4 には応答解析結果の一例を示す。2 階建て住宅に対して（a）は補強しなかった場合、（b）には本システムを適用した場合に、地震波を入力して得られた荷重変形関係を比較して示している。同じ波の入力に対して非制振の木造住宅は安全変形を超えているが、本補強システムを適用した場合は 1 層と 2 層の最大変形が大幅に低減できていることが明らかとなった。



（a）非制振の木造住宅　　（b）本補強システムを適用した木造住宅

図 4　2 階建て木造住宅の地震応答解析の一例

２．３　実用化に向けた実験的な検討

本制振システムの実用化に向けた実験的な検討として 2 項目の実験を行った。一つ目は、スギ材

に接合する実大プーリーの強度評価試験である（写真 1）。強度実験より 24[kN]程度までの引張力に対して耐えることを確認し、各層に設置する制振デバイスの最大摩擦荷重は約 12[kN]程度まで許容することができる。

二つ目は、ワイヤーロープを設置した実大木質軸組を用いた静的加振によるワイヤーロープの弾性変形によるロス評価の試験である（写真 2）。本試験により木質軸組が左右に変形する際に斜めにかけられたワイヤーロープとプーリーの間にかけられたワイヤーロープの変位量はほぼ同じであることを確認した。

これらの検討により実大木造住宅の制振補強を目指した本システムへプーリーとワイヤーロープを適用することが可能であることが示された。

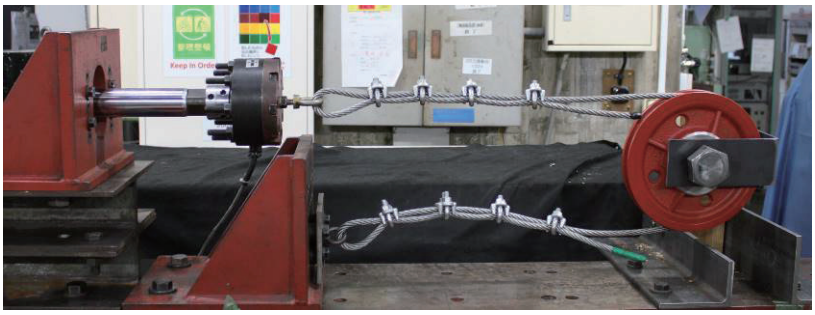


写真 1　プーリー接合部の強度試験状況

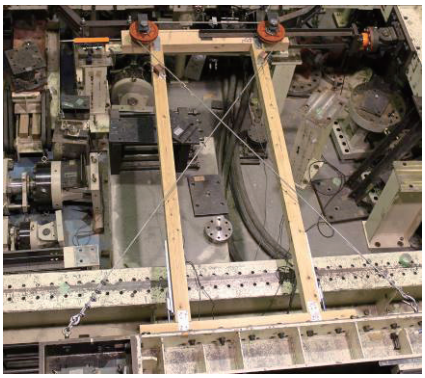


写真 2　実大木質軸組の試験状況

３．研究業績

■学会講演（日本建築学会大会）

・宋成彬，曽田五月也：エネルギー応答に基づいた制振構造を適用した木質構造の最大変形予測手法，日本建築学会大会学術講演梗概集構造Ⅲ，pp.123-124，2014 年 9 月

４．研究活動の課題と展望

本研究では、極めて稀に発生する地震時に 2 階建て木造住宅の層崩壊や損傷集中を防ぐ制振補強システムとして、ワイヤーロープと摩擦式エネルギー吸収を設置した地震応答解析によりその有効性を明らかにした。また、実験的な検討より本システムの実用化に一歩進んだ。今後は各種の制振デバイスの適用や本システムを適用した建築物の耐震計算法の整理を進める。

液体アルゴンを用いた暗黒物質の直接探索

研究代表者　田中　雅士
（理工学研究所　理工研が募集する次席研究員）

1. 研究課題

重力を通じた間接的な検証等により、この宇宙には光では検出できないが質量を持つ物質（暗黒物質）が存在することが強く示唆されている。この暗黒物質を直接検出することは、近年の素粒子・宇宙物理学の最重要課題のひとつである。現在世界中でさまざまな標的物質(半導体素子、結晶シンチレータ等)を用いた実験が行われているが、いくつかの実験(DAMA 実験、CoGent 実験等）がその兆候をとらえはじめている。これらの実験では、暗黒物質は約 10 GeV(炭素原子程度の重さ)を持ち、比較的低速(約 300km/s)で銀河系内を漂っていると考えられている。本研究の目的は、標的として液体アルゴンを用いてこの暗黒物質の直接観測をめざすことにある。

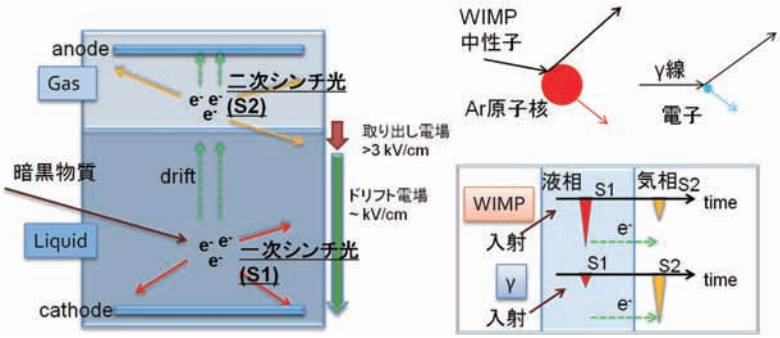


図 1　気液 2 相式アルゴン検出器の原理

液体アルゴンは粒子検出器として優れた性能を持ち、かつ安価であることから大型化が進む暗黒物質探索実験において大きな利点をもつ。一方で気液 2 相型検出器（図 1）の採用することにより、高い背景事象除去が実現可能となるため、同サイズの検出器でもより広い物理領域(暗黒物質質量)に感度をもつことが期待できる。本研究では、有効質量が数 10kg 程度の気液 2 相アルゴン検出器を製作し、地上および背景事象の少ない地下実験施設においてデータ取得を行い暗黒物質探索(ANKOK 実験)をおこなうことを目標とする。

2. 主な研究業績

2.1 小型プロトタイプ検出器を用いた原理検証実験

2014 年度には、直径 7cm 高さ 10 ㎝(有効質量約 0.5kg)の小型プロトタイプ検出器を製作し、気液 2 相アルゴン検出器の原理検証および性能評価を行った（図 2)。検出器設計に於いては、将来の大型化を見据えて、検出器を分割可能なモジュール構造とし拡張性を持たせた。暗黒物質探索においては、γ線、α線、中性子、β線等が背景事象となることが予想されるが、これら理解するために種々な放射線源(^{252}Cf、^{60}Co、^{222}Rn)に対するアルゴン検出器の応答を測定を行った。

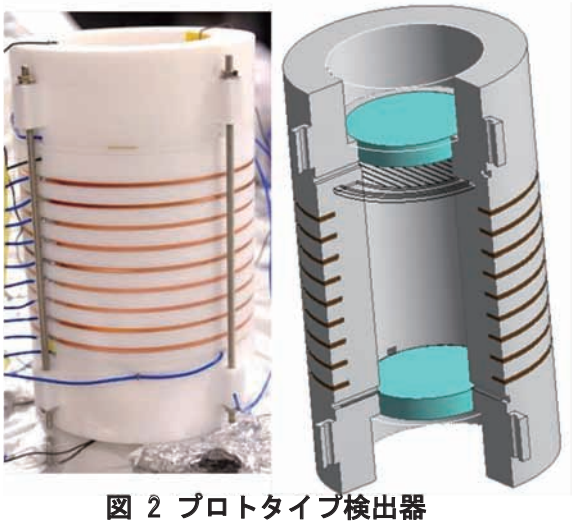


図 2 プロトタイプ検出器

2.2 新しい光センサーを用いたアルゴンシンチレーション光の検出

液体アルゴン検出器において暗黒物質は最終的には微弱なシンチレーション光信号として検出される。この光信号は比較的検出が難しい真空紫外光(波長128nm)であり、また低温(約-180℃)の液体アルゴン中で動作するという要件を満たす必要がある。現状では128nm光を波長変換剤(TPB)を用いて可視光に変換したうえで、低温駆動可能な光電子増倍管を用いて読み出す手法が一般的である。そこで、浜松ホトニクス社が新たに開発した128nm光に直接感度を持つMPPC(Multi-Pixel Photon Counter)を用いた液体アルゴンシンチレーション光の読み出しに取り組んだ。まずはMPPCの低温下での可視光検出に対する基礎特性(増倍率、量子効率等)の測定を行ったうえで、液体アルゴン光の検出に成功した(図3)。

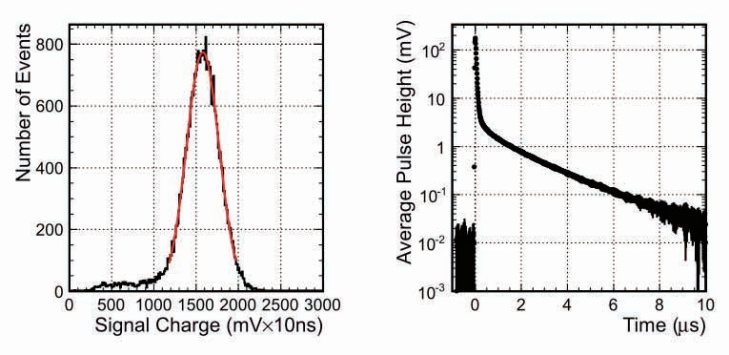


図 3 MPPCを用いた液体アルゴンシンチレーション光検出（左：発光量分布、右：発光時間分布）

2.3 暗黒物質飛来方向に感度持つ新しいアルゴン検出器の開発

太陽系は銀河系内で約200km/sの速度で公転している、一方で暗黒物質は銀河系に対して平均的には静止しているために、地球に設置した検出器では見掛け上暗黒物質は白鳥座方面から飛来して検出されることが期待される(図4)。そのため直接探索実験においては、その飛来方向を特定することにより暗黒物質と背景事象を強力に分離することが可能となる。従来の気液2相アルゴン検出器は飛来方向に対する感度を持たない。　しかし、高圧のアルゴンガス中に電場をかけることにより電場方向とその鉛直方向では、暗黒物質信号に対してシンチレーション光と電離電子の生成比が異なるという性質（柱状再結合効果）を利用することにより、検出器に方向感度を持たせられる可能性がある。本年度はこの柱状再結合効果の原理検証に取り組んだ。

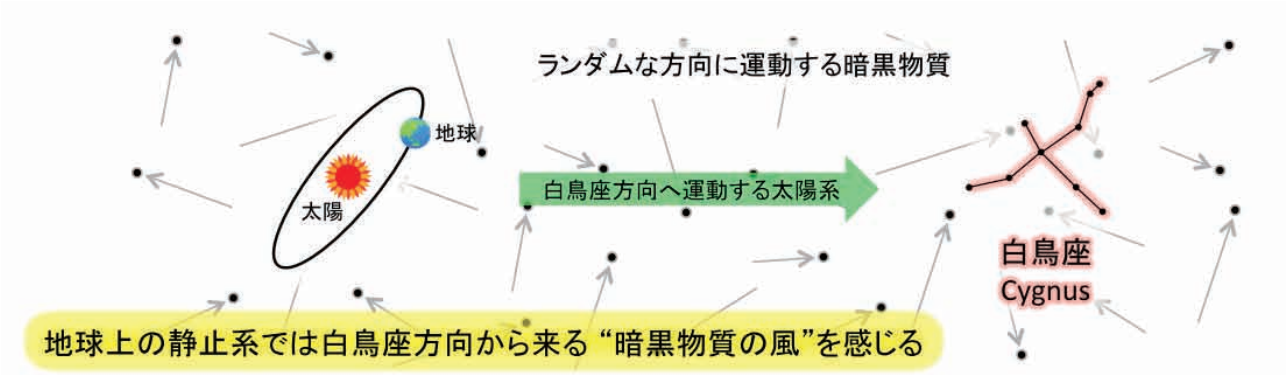


図 4 暗黒物質飛来方向

3 共同研究者

寄田　浩平　（理工学研究所　准教授）　　身内　賢太朗（神戸大学 理学研究科）
中　竜大（名古屋大学 KMI/高等研究院）

4. 研究業績

4.2　講演

2015 年 3 月　日本物理学会年次大会（早稲田大学）
藤崎薫，田中雅士他「ANKOK 実験 1：気液 2 相型アルゴン光検出器による暗黒物質探索」
加地俊瑛，田中雅士他「ANKOK 実験 2：原子核・電子反跳事象の分離能力評価」
川村将城，田中雅士他「ANKOK 実験 3：背景事象の理解と低減」
木村眞人，田中雅士他「ANKOK 実験 4：現状の課題と今後の展望」
鈴木優飛，田中雅士他「アルゴンを用いた検出器の方向感度化に関する基礎研究」
鷲見貴生，田中雅士他「アルゴン蛍光 128nm に感度のある MPPC の性能評価」
藤崎薫、田中雅士他「Backgrounds in Ar double phase detector」
ポスター発表　極低バックグランド研究会　淡路島　2015 年 3 月
寄田浩平、田中雅士他 「気液 2 相型アルゴン光検出器を用いた暗黒物質探索」
東大宇宙線研究所共同利用研究成果発表会　東京大学　2014 年 12 月
2014 年 9 月　日本物理学会　（高知大学）
藤崎薫，田中雅士他「気液 2 相型アルゴン光検出器による暗黒物質探索（ANKOK 実験）」
加地俊瑛，田中雅士他「気液 2 相型アルゴン光検出器の蛍光（S1・S2）基礎特性」
川村将城，田中雅士他「気液 2 相型アルゴン光検出器における背景事象評価」
鷲見貴生，田中雅士他「ANKOK 実験　本検出器製作に向けた現状の課題と今後の展望」
寄田浩平、田中雅士他「気液 2 相型アルゴン光検出器を用いた暗黒物質探索」
宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究会　大阪大学　2014 年 8 月

5. 研究活動の課題と展望

本年度の研究成果として、小型のプロトタイプ検出器の製作および性能評価に成功したことにより高い暗黒物質探索感度を持つ検出器の構築に一定の目途がついた。来年度はこれを基に本実験検出器の設計・製作に取り掛かる。その際新たに開発に背うこうした MPPC を有効活用することに寄り他競合実験との差別化を図る。検出器製作後には、地上(早稲田大学構内)において、データを取得し暗核物質探索実験を行う。背景事象の効率的な除去のためには、大深度地下環境におけるデータ取得が重要となる。本研究は 2014 年度より東京大学神岡宇宙素粒子研究施設の共同利用実験として採択されており、実験環境の整備等準備を進める。

骨盤運動に着目した歩行運動と走行運動が可能な２足ロボットの開発

研究代表者　橋本　健二
（理工学研究所　理工研が募集する次席研究員）

1.　研究課題

本研究では，膝関節と足関節に剛性可変機構を持ち，人体運動を模擬した“歩行運動”と“走行運動”が可能な２足ロボットの開発を長期的目的とする．これまでに研究代表者らは，人間の歩行の解明を目的として，人間の構造と運動を模擬した２足ヒューマノイド・ロボット WABIAN-2R を開発している．WABIAN-2R を用いて，人間らしい膝関節を伸ばした踵接地爪先離地歩行の模擬を実現し，歩行支援器などの福祉用具を評価してきている．

スポーツ科学の分野では，走法の違いが走行運動に及ぼす影響については経験的に論じられることが多く，定量的に評価されてきていない．それに対して，ロボットはそれ自身がセンサの集合体であり，歩行・走行に関わる様々なデータを取得することは人間に比べ容易であり，実験の再現性も高い．スポーツコーチング学ではスポーツ運動の量的把握が必須であるが，人間の走行運動を模擬した２足ロボットが開発できれば，スポーツ技能の向上に対してもロボット技術を利用することができ，新しいスポーツコーチング学が創出できるという点において，学術的に意義がある．

昨年度は，人間の走行運動の解析結果から前額面における骨盤揺動が地面の蹴り出しの補助および着地衝撃吸収に寄与している可能性があることを見出した．そして，骨盤を含めた新たな走行運動モデルを考案し，シミュレーションおよびロボット実機での実験を通して，その有効性を検証した．本年度は，その人体計測データおよびモデルをもとに，人間のような膝関節・足関節弾性を有する２足ロボットを開発し，跳躍運動を実現することを目的とした．

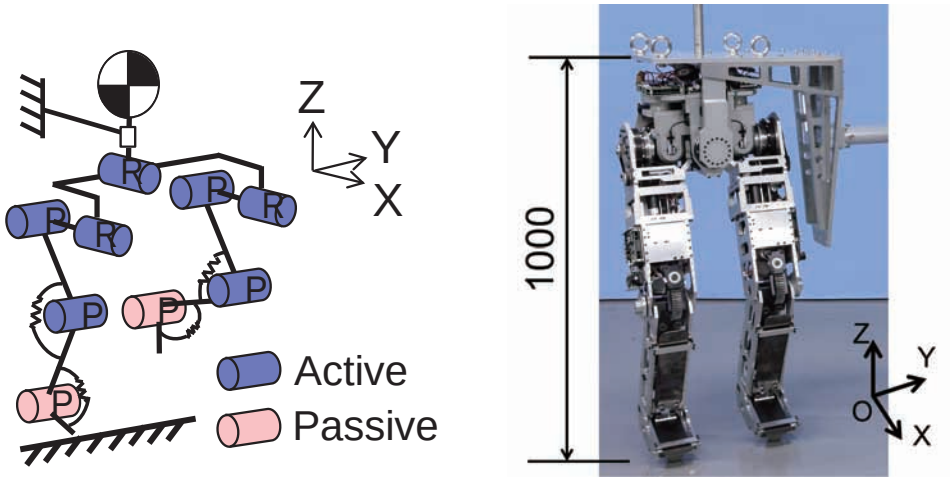
2.　主な研究成果

走行中の人間の脚は，立脚時には直動ばねのように振る舞い，そのばね性は膝関節や足関節の回転ばね性に起因することが分かっている．また，遊脚時には膝関節を高速に屈伸することで，地面からのクリアランスを確保し，かつ遊脚の慣性モーメントを小さくしながら，脚を前に振り出す．このような動作について，研究代表者らが行った走行運動計測データを参考に，２足ロボットの要求仕様を定めた．しかし，人間の走行中の立脚時に必要な約 1000[W]もの出力を得ることは既存の関節構造では難しいため，関節駆動部にセルフロック機構を持つウォームギアと膝・足関節の立脚中の回転弾性を模擬する CFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastic）製板ばねを用いることで，立脚時に要求される大出力と遊脚中に要求される高速屈伸を実現することとした．この関節機構と可動骨盤を有する２足ロボットを開発した（図 1）．弾性要素を取り入れたことにより，大出力の発揮が可能でありながら，脚の各部の寸法や質量は日本人成人女性と同程度に収めることに成功した．

また，人間のような多関節脚での走行運動を実現させるため，昨年度の骨盤揺動による跳躍制御に加え，多関節脚が直動ばね脚と同様に振る舞うように床反力方向を操作するための動力学モデルを導出し，跳躍中に次の着地位置を変更することによる走行速度制御を開発した．走行時には，足

関節の関節角度を計測することで着地判定を行い，それに基づき上記の制御を行う．

開発したロボットを用いて，骨盤揺動と脚弾性を利用することにより，機体の前傾後傾方向の回転を拘束した状態で片脚での走行運動を実現した．この走行においては，跳躍高さは約 30[mm]，走行速度は約 0.3[m/s]であった．また，跳躍時間が約 0.3[s]であったため，膝屈伸による脚入れ替えに十分な時間が確保できている．



(a) 自由度構成図　　(b) 開発したハードウェア

Fig. 1　多関節脚を持つ２足走行ロボット

3.　共同研究者

高西　淳夫（理工学術院・教授）

4.　研究業績

4.1　学術論文

- Kenji Hashimoto and Atsuo Takanishi, “Biped Robot Research at Waseda University,” Journal of Robotics, Networking and Artificial Life, Vol. 1, Issue 4, pp. 261-264, February, 2015.

4.2　総説・著書

4.3　招待講演

- “Biped Robot Research at Waseda University”, International Conference on Artificial Life and Robotics 2015 (ICAROB2015), Oita, Japan, January, 2015.

4.4　受賞・表彰

- 最優秀講演論文賞 Finalist，2014 年度日本 IFToMM 会議シンポジウム，2014 年 5 月 24 日．

4.5　学会および社会的活動

- Advisory Board, WALK-MAN (Whole-body Adaptive Locomotion and Manipulation), FP7 European Project (FP7-ICT 611832).
- Editorial Board of the International Journal of Advanced Robotics Systems.

- Review Editorial Board of the Frontiers in Robotics and AI (Humanoid Robotics).
- Review Editorial Board of the Frontiers in Bionics (Frontiers in Bioengineering and Biotechnology).
- 幹事，フランス政府科学部門フランス政府給費留学生の会（ABSCIF）.
- 日本ロボット学会『ヒューロビント研究専門委員会』副委員長.

4.6　国際会議における発表

- Takuya Otani, Thomas George, Kazuhiro Uryu, Masaaki Yahara, Akihiro Iizuka, Shinya Hamamoto, Shunsuke Miyamae, Kenji Hashimoto, Matthieu Destephe, Masanori Sakaguchi, Yasuo Kawakami, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, “Leg with Rotational Joint That Mimics Elastic Characteristics of Human Leg in Running Stance Phase,” Proceedings of the 14th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2014), pp. 481-486, Madrid, Spain, November, 2014.
- Takuya Otani, Masaaki Yahara, Kazuhiro Uryu, Akihiro Iizuka, Kenji Hashimoto, Tatsuhiro Kishi, Nobutsuna Endo, Masanori Sakaguchi, Yasuo Kawakami, Sang-Ho Hyon, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, “Running Model and Hopping Robot Using Pelvic Movement and Leg Elasticity,” Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2014), pp. 2313-2318, Hong Kong, China, May, 2014.

4.7　国内学会における発表

- 濱元伸也，大谷拓也，飯塚晃弘，宮前俊介，瓜生和寛，八原昌亨，橋本健二，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 8 報：膝関節に能動屈伸機構と弾性要素を有する２足走行ロボット脚部），” 第 32 回日本ロボット学会学術講演会予稿集，1B1-03，福岡県，2014 年 9 月.
- 大谷拓也，飯塚晃弘，宮前俊介，濱元伸也，八原昌亨，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 7 報：着地時間推定を用いた連続跳躍の実現），” 第 32 回日本ロボット学会学術講演会予稿集，1B1-02，福岡県，2014 年 9 月.
- 宮前俊介，大谷拓也，飯塚晃弘，濱元伸也，八原昌亨，橋本健二，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 6 報：走行運動を目指した腰部関節の強度強化），” 第 32 回日本ロボット学会学術講演会予稿集，1B1-01，福岡県，2014 年 9 月.
- 大谷拓也，八原昌亨，瓜生和寛，飯塚晃弘，濱元伸也，宮前俊介，橋本健二，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 5 報：人間の骨盤動揺と多関節脚の関節弾性を模擬した跳躍ロボット），”日本 IFToMM 会議シンポジウム前刷集（第 20 回），pp. 36-41，東京都，2014 年 5 月.

5.　研究活動の課題と展望

本年度は，多関節脚を持つ２足ロボットを開発し，片脚での前進走行運動を実現した．今後は，跳躍中の膝の屈伸による両脚での走行運動や，能動足関節を用いた歩行運動の実現を目指す.

微生物由来アミノ酸修飾酵素の探索と物質生産への応用

研究代表者　原　良太郎
（理工学研究所　理工研が募集する次席研究員）

1. 研究課題

現代社会における環境、食糧、エネルギーなどの問題解決に向け、バイオテクノロジーへ寄せられる期待は大きい。化学工業においても、従来型の化石資源に依存したプロセスからの脱却の必要性が求められる中、生物が有する高度な機能を産業に利用する動きが活発化してきている。本研究では、触媒機能を有するタンパク質（酵素）に着目し、医薬品やその合成原料、化成品として求められているアミノ酸誘導体、特にヒドロキシアミノ酸の生産に有用な酵素の探索と解析を行うとともに、ヒドロキシアミノ酸の効率的合成プロセスへの応用を実施した。

2. 主な研究成果

2.1　L-*threo*-3-ヒドロキシアスパラギン酸の高効率・高収量生産プロセスの構築

3-ヒドロキシアスパラギン酸には、2 位および 3 位が不斉炭素であるため理論上 4 種類の光学立体異性体が存在するが、このうちL-*threo*-3-ヒドロキシアスパラギン酸（L-THA）は医薬品やポリマー原料として特に有用である。化学合成法では多段階反応が必要となり、さらに、立体異性体が副生するため、煩雑な精製工程を要する。我々は、これまでにいくつかのアミノ酸水酸化酵素とその改変酵素を利用して酵素系でL-THA 合成を検討した結果、L-アスパラギンを基質として既知アスパラギン水酸化酵素（AsnO）とアスパラギナーゼの組み合わせが最も合成収率が良いことを見出している。本研究では、AsnO 遺伝子を過剰発現させた組換え大腸菌を触媒として用い、L-THA を選択的かつ効率的に合成可能なプロセスの構築を試みた。

当該プロセスでは、一段目の L-アスパラギンの水酸化と、二段目の加水分解が単一大腸菌内で共役する（Fig. 1A）。加水分解は大腸菌が元来有する酵素に依存するため、菌体反応においては L-アスパラギンの水酸化と加水分解が競合するため、AsnO とアスパラギナーゼの活性バランスが L-THA の収率に大きく影響する。そこで、大腸菌における二種類の内在性アスパラギナーゼ遺伝子をそれぞれ欠損させた株においてAsnO遺伝子を発現させ、L-THAのモル収率を比較した。その結果、アスパラギナーゼ I 欠損株を使用した場合に収率が高かったことから、本菌株を最適な宿主として選択した。以上の結果を踏まえ、構築した L-THA 生産プロセスのスケールアップを検討した。数種類の反応条件を検討したところ、ジャーファーメンターを利用した反応系において 90%を超える収率で L-THA 生産を達成した（Fig. 1B）。

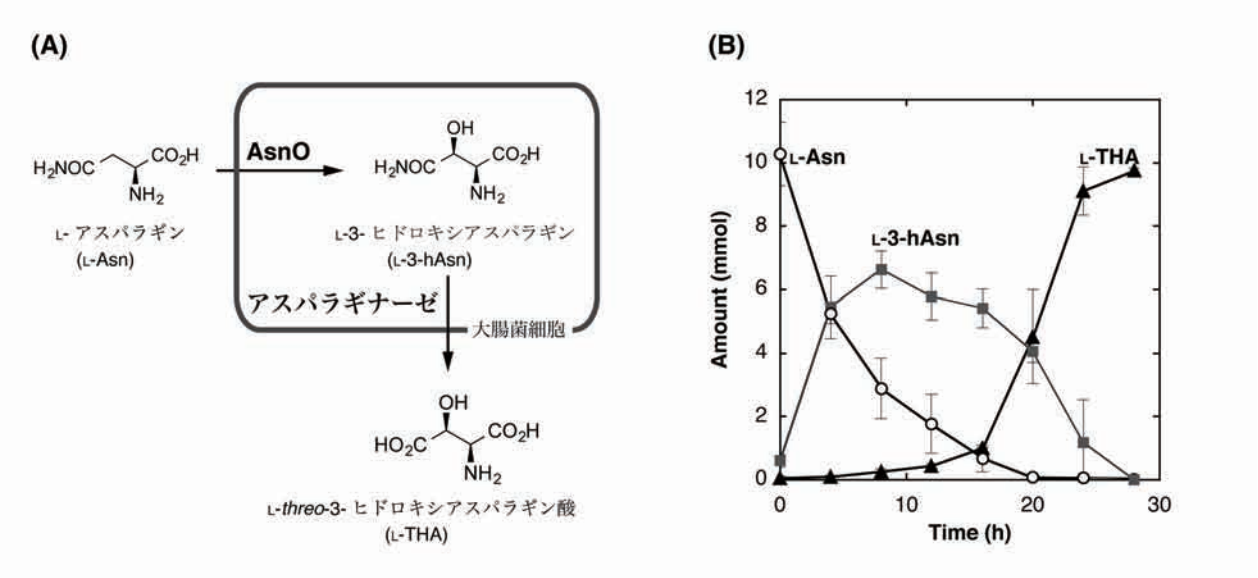


Fig. 1. (A)大腸菌細胞を触媒としたL-THAの合成スキームと(B)ジャーファーメンターを利用したL-THA生産.

2.2 環状ヒドロキシイミノ酸生産に向けた環化酵素の利用

環状ヒドロキシイミノ酸であるヒドロキシピペコリン酸（HPA）やヒドロキシプロリン（Hyp）は医薬品原料として有用な化合物である。これらは、当研究室で見出したL-プロリン *cis*-4-水酸化酵素を利用してL-ピペコリン酸やL-プロリンを直接水酸化することで合成可能ではあるが、HPA合成においては *cis*-3-HPAおよび *cis*-5-HPAが同時生成する問題があるため、高選択的かつHPAの多様な異性体に対応した合成法が求められている。本年度は、HPAやHypの前駆体として市販のヒドロキシリジンおよび合成したヒドロキシオルニチンに着目し、シクロデアミナーゼを利用したHPAおよびHypの合成を検討した。

根粒菌由来オルニチンシクロデアミナーゼを組換え大腸菌内でHis-tag融合タンパク質として発現させたところ、良好な可溶化発現が認められた。当該酵素をアフィニティクロマトグラフィーによって単一に精製し、機能を解析した。最適反応条件を検討したところ、30℃、pH 8.5において最大活性を示した。続いて、最適条件下でヒドロキシアミノ酸を中心に基質特異性を評価した。シクロデアミナーゼは本来、オルニチンを基質としてプロリンを生成する酵素である。ところが、今回の検討で、オルニチンのみならず、独自に合成した(2*S*,3*S*)-3-ヒドロキシオルニチンや市販のDL-ヒドロキシリジンに対する活性も有していることがわかった。それぞれの反応における生成物の構造を解析したところ、(2*S*,3*S*)-3-ヒドロキシオルニチンからは *trans*-3-Hyp、DL-5-ヒドロキシリジンからは *cis*-5-HPAおよび *trans*-5-HPAが生成することが判明した（Fig. 2）。また、*cis*-5-HPAおよび *trans*-5-HPAはそれぞれの立体に対応したヒドロキシリジンから選択的に生成していることが示唆された。以上より、シクロデアミナーゼは従来知られていたよりも幅広い基質に対して適用可能であったため、ヒドロキシアミノ酸を前駆体とした環状ヒドロキシイミノ酸の選択的な合成が期待できる。

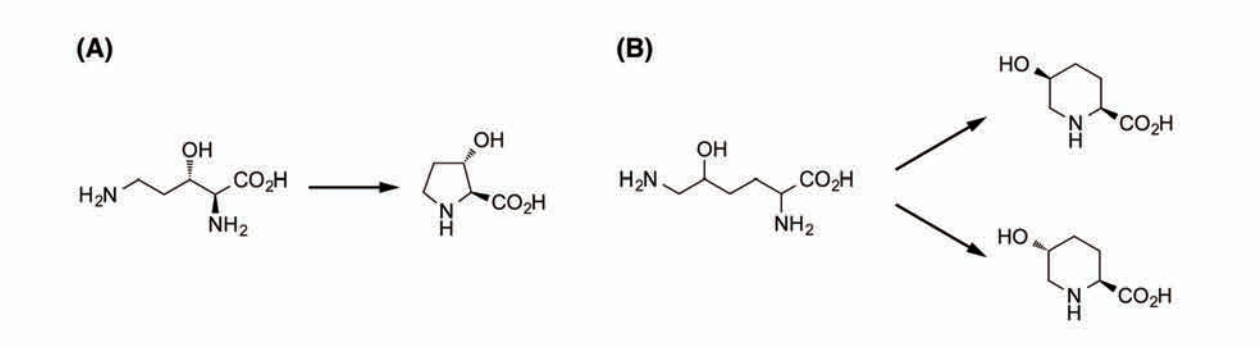


Fig. 2. (A)(2*S*,3*S*)-3-ヒドロキシオルニチンからの *trans*-3-Hyp 合成と(B)DL-5-ヒドロキシリジンからの *cis*-および *trans*-5-HPA の合成.

3. 共同研究者

木野　邦器（先進理工学部・応用化学科・教授）

4. 研究業績

4.1 学術論文

1. R. Hara, N. Uchiumi, N. Okamoto, K. Kino, “Regio- and Stereoselective Oxygenation of Proline Derivatives by Using Microbial 2-Oxoglutarate-Dependent Dioxygenases”, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **78**(8), 1384-1388, (2014).
2. K. Koketsu, Y. Shomura, K. Moriwaki, M. Hayashi, S. Mitsuhashi, R. Hara, K. Kino, Y. Higuchi, “Refined Regio- and Stereoselective Hydroxylation of L-Pipecolic Acid by Protein Engineering of L-Proline *cis*-4-Hydroxylase Based on the X-ray Crystal Structure”, *ACS Synth. Biol.*, **4**(4), 383-392, (2015).
3. R. Hara, R. Sizuki, K. Kino, “Hydroxamate-based Colorimetric Assay to Assess Amide Bond Formation by Adenylation Domain of Nonribosomal Peptide Synthetases”, *Anal. Biochem.*, **477**, 89-91, (2015).
4. R. Hara, M. Nakano, K. Kino, “One-Pot Production of L-*threo*-3-Hydroxyaspartic Acid Using Asparaginase-Deficient *Escherichia coli* Expressing Asparagine Hydroxylase of *Streptomyces coelicolor* A3(2)”, *Appl. Environ. Microbiol.*, **81**(11), 3648-3654, (2015).

4.5 学会および社会的活動

1. 原良太郎，纐纈健人，木野邦器，“2-オキソグルタル酸依存型水酸化酵素を利用したプロリンから*trans*-3-ヒドロキシプロリンへの直接水酸化”，日本生物工学会2014年度大会（北海道），講演要旨集p.35，1P-103，2014.9.9.
2. 原良太郎，山縣海，三宅良磨，川端潤，木野邦器，“微生物由来新規リジン水酸化酵素の発見”，日本生物工学会2014年度大会（北海道），講演要旨集p.35，1P-104，2014.9.9.
3. 北辻早希，原良太郎，木野　邦器，“オルニチンシクロデアミナーゼの酵素化学的性質解析と有用ヒドロキシイミノ酸の合成”，日本生物工学会 2014 年度大会（北海道），講演要旨集 p.35，1P-105，2014.9.9.
4. 原良太郎，山縣海，三宅良磨，川端 潤，木野邦器，“ヒドロキシリジン合成に有用な位置・立

体選択的水酸化酵素の開発”，日本農芸化学会 2015 年度大会（岡山），講演要旨集 3A34a07，2015.3.28.

5. 北辻早希，山縣海，原良太郎，木野邦器，“オルニチンシクロデアミナーゼを利用した有用ヒドロキシイミノ酸合成プロセスの開発”，日本農芸化学会 2015 年度大会（岡山），講演要旨集 3A34a08，2015.3.28.

6. 原良太郎，西川健幸，纐纈健人，木野邦器，“エクトイン水酸化酵素の特性解析とヒドロキシプロリン類縁化合物合成への応用”, 日本農芸化学会 2015 年度大会（岡山）, 講演要旨集 3A34a09，2015.3.28.

5. 研究活動の課題と展望

今年度、微生物由来アミノ酸水酸化酵素およびシクロデアミナーゼを利用した有用ヒドロキシアミノ酸の新規合成プロセスを構築した。2 段階プロセスは外来の酵素と大腸菌の本来の代謝酵素を組み合わせた結果であり、極めて効率の良い L-THA の生産法であるが、実用化のためにはさらに反応時間を短縮する必要がある。また、シクロデアミナーゼはヒドロキシリジンに対しても活性を有していたが、比活性としては低いため、タンパク質工学的な改変や、より活性の高い酵素の探索が必要となる。次年度はこれらの課題を改善し、工業生産に向けた効率的生産プロセスの開発を目指す。

ヒストンバリアントおよびヒストンの翻訳後修飾を含むヌクレオソームの機能解析

研究代表者　堀越　直樹
（理工学研究所　理工研が募集する次席研究員）

１．研究課題

真核生物の遺伝情報発現制御は、クロマチンと呼ばれる DNA-タンパク質複合体の高次構造変換によって厳密に制御されている。クロマチン構造は、4 種類のヒストンタンパク質から構成されるヒストン 8 量体の周りに DNA が 1.65 回転巻き付いたヌクレオソームと呼ばれる円盤状の構造を基盤とし、これが高次に折り畳まれることでクロマチンの高次構造が構築される。細胞核内においてクロマチンは単一な構造ではない。局所的に密に凝集した領域や脱凝縮した領域が存在し、それらは転写、組換え、修復、複製などの DNA 機能発現に応じて多様に変動していることが分かってきた。クロマチンの動態は、ヒストンの亜種であるヒストンバリアントやヒストンの翻訳後修飾、DNA のメチル化などによって制御されていると考えられているが、その詳細な制御機構は未だ明らかになっていない。本研究では、転写活性化領域におけるヒストンバリアントとヒストンの翻訳後修飾に着目し、これらによるクロマチン動態制御が転写に及ぼす影響を解析する。

２．主な研究成果

2.1　転写開始点近傍に局在する H2A.Z を含むヌクレオソームの構造生物学的解析

転写制御に関わるヒストンバリアントには、H2A.Z、H2A.B、H3.3 などが知られている。特に、H2A.Z については、転写開始点近傍に局在することが報告されており、H2A.Z の局在は酵母からヒトまで幅広い生物種間で保存されている。近年の報告で、転写開始点近傍の H2A.Z を含むヌクレオソームには、H2A.Z を２分子ずつ含むもの（ZZ ヌクレオソーム）や H2A と H2A.Z を１分子ずつ含むもの（AZ ヌクレオソーム）が存在し、これらの量的平衡が細胞周期依存的に変動することが示された。このことから、ZZ ヌクレオソームと AZ ヌクレオソーム間の可逆的な変換が転写制御において重要な役割を果たすことが示唆された。しかし、先行研究における H2A.Z の解析は、AZ ヌクレオソームと ZZ ヌクレオソームを区別していない、あるいは ZZ ヌクレオソームのみの解析であり、AZ ヌクレオソームの機能的役割や AZ ヌクレオソームと ZZ ヌクレオソームとの機能差異については、全く解析されていなかった。そこで本研究では、AZ ヌクレオソームに着目して、その構造的特徴から AZ ヌクレオソームと ZZ ヌクレオソームの機能差異を明らかにすることを考えた。そこで、まずヒストン H2A、H2A.Z、H2B、H3、H4 をリコンビナントタンパク質として精製し、ヒストン 8 量体を再構成した。さらに、DNA と混合しヌクレオソームを再構成した。この時点では、AA ヌクレオソーム、AZ ヌクレオソーム、ZZ ヌクレオソームが混在していたが、分取泳動装置 Prep Cell

を用いることで、AZ ヌクレオソームのみ高純度に精製する系を確立した。高純度に精製した AZ ヌクレオソームを用いてハンギングドロップ蒸気拡散法による結晶化を行った。得られた単結晶を用いて高エネルギー加速器研究機構 Photon Factory にて X 線回折データを収集した。得られた回折データと既知のヌクレオソーム構造をもとにAZヌクレオソームの立体構造を決定した。筆者らが既に構造決定した ZZ ヌクレオソームの立体構造と比較した結果、AZ ヌクレオソームはより安定な構造を形成していることが明らかになった。

３．共同研究者

木村宏（東京工業大学）
原田昌彦（東北大学）
香川亘（明星大学）
佐藤浩一（早稲田大学）
有村泰宏（早稲田大学）
立和名博昭（早稲田大学）
越阪部晃永（早稲田大学）

４．研究業績

4.1　学術論文

Arimura Y., Shirayama K., Horikoshi N., Fujita R., Taguchi H., Kagawa W., Fukagawa T., Almouzni G., Kurumizaka H., Crystal structure and stable property of the cancer-associated heterotypic nucleosome containing CENP-A and H3.3, *Sci. Rep.*, **4**, 7115 (2014)

Taguchi H., Horikoshi N., Arimura Y., Kurumizaka H., A method for evaluating nucleosome stability with a protein-binding fluorescent dye, *Methods*, **70**, 119-126 (2014)

Urahama T., Horikoshi N., Osakabe A., Tachiwana H., Kurumizaka H., Structure of human nucleosome containing the testis-specific histone variant TSH2B, *Acta Crystallogr. F Struct. Biol. Commun.*, 70, 444-449 (2014).

4.2　総説・著書

堀越直樹、実験医学　エピゲノムの本質はヒストンバリアントにあった！、ヒストンバリアントとヌクレオソームの構造多形、2014 年 8 月 1 日、32 巻、13 号、pp2081-2086

越阪部晃永、堀越直樹、胡桃坂仁志、実験医学増刊　構造生命科学で何がわかるのか、何ができるのか、第４章構造生命科学が目指すライフサイエンスの革新、８.エピジェネティクスの構造基盤、2014 年 6 月 10 日、32 巻、10 号、pp218-220 担当

4.3　招待講演

Horikoshi N., Sato K., Shimada K., Arimura Y., Osakabe A., Taguchi H., Tachiwana H., Hayashi-Takanaka Y., Iwasaki W., Kagawa W., Harata M., Kimura H., Kurumizaka H. Structural diversity of H2A.Z nucleosomes at the transcription start site, 第 87 回日本生化学会大会, 京都, 2014 年 10 月.

4.4　受賞・表彰

５．研究活動の課題と展望

転写が起こる際には、クロマチンからヒストンが取り除かれ、DNA が露出する必要があると考えられている。そのため、転写が活発に起こる遺伝子領域においては、不安定なヌクレオソームが DNA の露出を促進するのではないかと考えられている。ZZ ヌクレオソームと AZ ヌクレオソームの転写制御における役割は未だ不明な点が多いが、両者の構造安定性の違いが転写制御に重要なのではないかと考えられる。今後、細胞核内において ZZ ヌクレオソームと AZ ヌクレオソームを個別に検出する系を構築することによって、両者の機能差異が明らかになることが期待される。

太陽光発電の有効利用に向けたEVバッテリーによるV2Xを含めた最適運用手法の開発

研究代表者　山下　大樹
（理工学研究所　理工研が募集する次席研究員）

1. はじめに

スマートコミュニティの運用に関しては、現在の制度では特定電気事業者と呼ばれるような、アグリゲーターなどのエネルギーサービス・プロバイダー事業が今後大きく普及し、参入てくることが予見される。このような事業者によるコミュニティでは電力会社からの受電を行うため、「日々の最適運用」だけでなく「最大電力需要の抑制（ピークカット）」が課題となり、コミュニティにおけるエネルギーマネジメントはますます重要になってくると考えられる。

そこで、本研究では、スマートコミュニティのより一層の導入促進に向け、PV 及び電気自動車（EV）を持つコミュニティにおいて、通常のバッテリー導入の代わりにEVをバッテリーとして利用すること（V2C : Vehicle to Community）を提案し、その運用手法を検討した。具体的には15軒程度のコミュニティを対象とし、最大電力需要を考慮したEVバッテリーの最適運用手法の開発を行った。また、「運用コストの最小化」と「コミュニティ内のレジリエンス性の最大化」の 2 ケースを検討し、コミュニティにおける効果的なEVバッテリーの運用方法について考察を行った。

2. 主な研究成果

2．1　EVを持つスマートコミュニティのモデル化

本研究では、太陽光パネルと電気自動車からなるコミュニティを想定しモデル化を行った。このモデルは、15軒のスマートハウスから成るコミュニティである。このコミュニティでは、省エネ性や経済性の目的に応じて各住宅のEVバッテリーを活用した電力運用が行われる。本研究のコミュニティでは必要に応じて電力系統と買電、売電の取引を行えるものとしている。このモデルに対してシミュレーションを行う際に入力データとして①電力需要データ、②PV出力データ、③EV走行データの3つが与えられる。

PV出力は、早稲田大学・本庄キャンパスに設置した日射量計により 10 秒毎連続で日射量を計測し、その値を元に算出した。電力需要に関しては、1年間にわたり計測された50戸からなる集合住宅の電力消費データと各世帯の生活パターンから、平日・休日別に春・夏・秋・冬の季節ごとに平均化し、代表的な需要変動パターンを数種類に集約した。なお各家庭の消費電力量は最大電力により正規化している。本研究では発生頻度の高い代表的な 3 パターンを電力需要として用いている。最頻度パターンであるstandard type、昼間に電力需要が大きくなる daytime peak type、夜間に電力需要が大きくなる night peak type を用いた。モデルでは3パターンが5軒ずつあるものとしてシミュレーションを行った。EV走行パターンの想定としては、代表的と考えられる以下の走行パターンを3つ、通勤利用型（典型的な通勤利用パターン。朝に外出し、夕方に帰宅。日中の在宅率が低い。）、短距離利用型（昼に外出するが、通勤型に比べ日中の在宅率が高い。）、在宅型（EVを使用せず、1日中在宅している。）を想定した。消

費電力は走行距離に一定の電費を掛けて計算している。

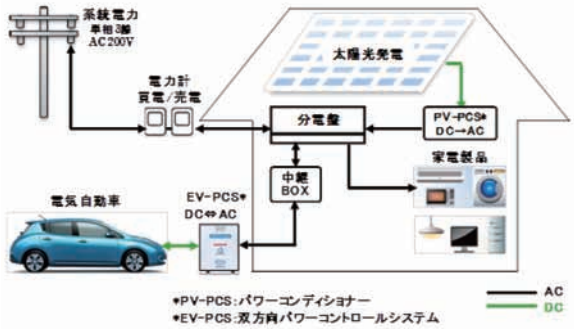


図 2.1　戸建住宅モデル

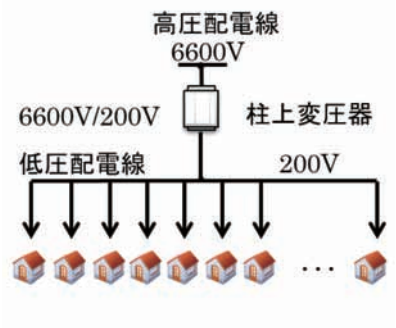


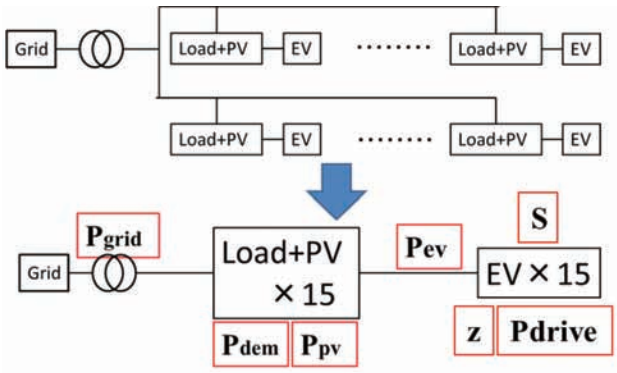
図 2.2　戸建住宅 15 軒の小規模コミュニティ

2．2　EV バッテリーの最適 V2C 運用計画手法の開発

本研究では最適計画法を用いて EV バッテリー最適運用を行い、「省エネ性の最大化」と「運用コストの最小化」それぞれのケースにおける EV バッテリーの効用を確認した。

本来はコミュニティ内の電気自動車 1 台 1 台の充放電量を決定変数として与え、SOC を算出することが望ましい。しかし、最適計画法を適用するにあたっては変数が多くなり、計算が複雑化してしまうという点に問題があった。そこで図 2.3 に示すように、複数の電気自動車バッテリーを縮約し、「容量が変化する 1 つの大容量バッテリー」のように考えた運用手法を考案した。「容量が変化する」というのは、15 台の EV の在宅状況が時間毎に変化するため、蓄電装置として使うことができる EV バッテリーの台数が変化するということを意味する。

今回の計算では一般的に使われている内点法、勾配法、及び動的計画法を最適化手法として適用することとした。



Pgrid	:	系統と買売する電力量[kWh]（正のとき買電、負のとき売電）
Pdem	:	電力需要[kWh]
Ppv	:	太陽光パネルの発電量[kWh]
Pev	:	バッテリーに充電される電力量[kWh]（正のとき充電、負のとき放電）
S	:	バッテリーの充電残量[Kwh]
Z	:	EV の在宅状況(Z=0 のとき在宅、Z=1 のとき外出)
Pdrive	:	走行消費電力[kWh]

図 2.3　コミュニティモデルと EV バッテリー縮約のイメージ図

2．3　提案した EV バッテリー運用手法の適用結果

各住宅の走行データの代表的な組み合わせとして、通勤型が 3 台、短距離利用型が 3 台、在宅型が 9 台としてシミュレーションを行い提案手法の有効性を確認した。電力需要データは平日のものを使用し、標準型、昼山型、夜山型がそれぞれ 5 軒ずつあるものとした。PV 出力データは晴れの際のデータを用いた。シミュレーションは春夏秋冬の 4 パターンについて行った。最適化手法を用いた際の結果と比較するために現在一般的と考えられる EV の利用方法を想定したシミュレーションを行った。このシミュレーションにおいては、EV バッテリーからの放電は行うことができないものとし、走行消費電力量だけを走行後に EV のバッテリーに充電するようにした。すなわち EV は単なる電力需要の一部と想定した。

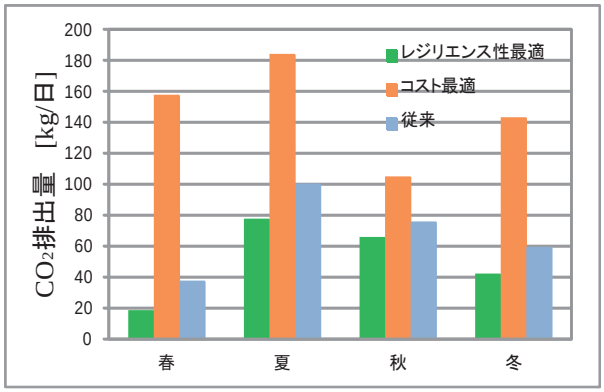


図 2.4　戸建住宅モデル

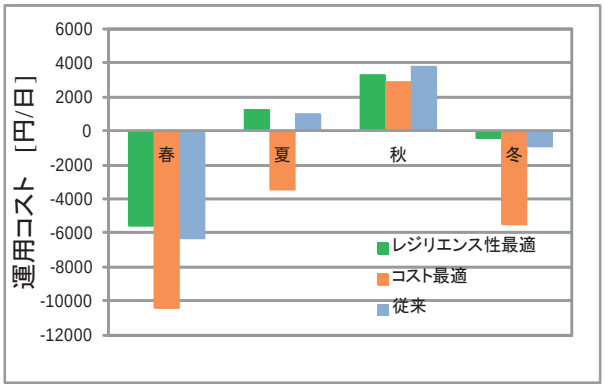


図 2.5　戸建住宅 15 軒の小規模コミュニティ

運用コスト最小化（コスト最適）の結果を見ると、従来の運用に比べて各季節の CO_2 排出量が非常に大きくなってしまっていることが確認できる。これは買電によって、できるだけ多く EV バッテリーに充電を行い、それを売電することで収入を増やしていることによる。買電量が増えるため CO_2 排出量が大きく増加していると言える。

一方で、運用コストは V2C を行うことで従来のコミュニティに対して低減できていることが確認できる。これはバッテリー活用による売電収入の増加によるものである。現状のパラメータでは売電により収入が大きいためコミュニティ内でのエネルギー自立運転（レジリエンス性最適）パターンでは、他のケースに比べて運用コストが上昇する場合があった。

３．研究業績

３．１　学術論文（学会発表）

Daisuke Satoya, Daiki Yamashita, Ryuichi Yokoyama, Yasuhiro Daisho, "Community Energy Management with Electric Vehicles for Effective Use of Solar Energy", IEEE ICAIET 2014, マレーシア, 2014.12

４．研究活動の課題と展望

本研究では、スマートコミュニティにおける EV の最適運用計画手法の開発を行った。この研究の今後の展望としては、スマートコミュニティにおけるエネルギー運用管理システムの開発に向け、他の分散電源との V2C の協調運用手法の開発を行う予定である。

近世神社における神仏習合にもとづいた建物・境内空間の研究

研究代表者　米澤　貴紀
（理工学研究所　理工研が募集する次席研究員）

１．研究課題

明治時代の神仏分離によりその大部分が失われたため、日本における神仏習合という特徴的な信仰が作り出した信仰空間とそれを取り巻く建築文化は未だ明らかになっていないことが多い。本研究ではその中でも寺社境内に着目し、戦前にまとめられた『明治維新神仏分離史料』を用いた分析と、幾つかの寺社における現状調査を通して神仏分離前後での建物の変化を把握した。そして、そこから当時の人々が習合信仰に基づいた境内建物に対して神・仏の違いをどのように見いだしていたのかということを考察した。

２．主な研究成果

２．１　『明治維新神仏分離史料』の分析による境内建物の状況の把握

『明治維新神仏分離史料』[1]は慶応３年（1867）の太政官布告に始まる神仏分離政策により起こった状況の報告集である。その内容は報告者により差が見られるが、報告されている寺社のうち境内施設に関する記述があるものについてその変遷を抽出し、整理した（表１、部分を掲載）。結果、これまで多く指摘されてきたように多くの建物が破却されたことが改めて確認できたが、移築・転用された事例も確認できた。また、習合した礼拝対象を神か仏か判断する根拠についても本史料中の記述をまとめ、そこから建築物に対する同様の判断基準を考察した。

表１　『明治維新神仏分離史料』による寺社境内建物の変化（部分）

『明治維新神仏分離史料』による
寺社境内建物の変化

■凡例

	確実	伝聞
破却		
移築		
転用		

	寺社名	都道府県名	資料名	報告者	巻、開始ページ	破却・転用した建物										備考
1	多武峰	奈良県	多武峰の神仏分離	辻善之助 高柳光寿	3巻、p.1	聖天堂	輪蔵 →聖林院中村雲洞宗某寺	鐘楼堂	護摩堂→観音（転用） →四寺開山堂（明治4）	十三重塔 →神廟	講堂 →神廟拝所	常行堂 →仮殿（権殿）	本殿堂 →清殿			
2	金峰山寺	奈良県	金峰山寺の神仏分離	後藤迂二郎	3巻、p.101											建物は多くが破転。吉水院は吉水神社に。大峰山蔵王堂は大峰山寺として独立。
3	伊勢	三重県	伊勢における廃寺の件	藤本了泰												山田の町の廃絶寺の名前一覧
4	鶴岡八幡宮寺	神奈川県	明治初年の鶴ヶ岡八幡	鈴木孝雄	3巻、p.415	仁王門 →仁王像は寿福寺へ	護摩堂	大塔	経蔵 →一切経は浅草へ	鐘楼	六角堂	愛染堂	本地堂 →安養院へ移す計画	鐘楼	法華堂 →本尊は来迎寺へ	
			鶴岡八幡宮神仏分離事件調査報告	高柳												
5	江ノ島	神奈川県	明治初年の鶴ヶ岡八幡	鈴木孝雄	3巻、p.420	銅鳥居（4基）	三重塔	竜宮門								
6	武蔵大国魂神社	東京都	武蔵大国魂神社神仏分離事件調査報告	菅尾禅敬	3巻、p.505	本地堂	阿弥陀堂	護摩堂	鐘楼 →勝明寺へ	鐘楼 →長瀬						
7	谷保天満宮	東京都	武蔵谷保天満宮神仏分離事件調査報告	菅尾禅敬	3巻、p.524	観音堂（本地堂）										
8	三峯神社	東京都	武蔵三峯山神仏分離の始末	菅尾禅敬	3巻、p.527											建物は壊されず、宝物も失われなかった
9	香取神宮	千葉県	香取神宮別当寺廃止の始末	伊藤泰徳	3巻、p.547	経蔵	愛染堂									別当寺本堂、庫裏、三重塔は破壊。
10			下総香取社神仏分離の始末	菅尾禅敬	3巻、p.558	経堂	愛染堂									神宮寺（別当寺）赤和宝寺　観音堂、三重塔、鐘楼、門 愛染堂～薬師堂に使われた
11	筑波山	茨城県	筑波山における神仏分離	竹岡勝也	3巻、p.573											堂塔の破壊には僅かに言及するも詳細は無し
12	白山比咩神社	富山県	白山比咩神社に関する神仏分離顛末	上田三平	3巻、p.836	地蔵堂	本地堂（白山蓮華堂） →竹橋白山神社拝殿	鐘楼堂								
13	平泉寺	福井県	平泉寺の神仏分離	武内勝也	3巻、p.873	明社八坂 →後酒転？	講堂	護摩堂	開山堂 →後酒転？	鐘楼	本坊（玄成院） →明社拝所？					

[1] 村上専精、辻善之助、鷲尾順敬編『明治維新　神仏分離史料』は 1926 年から 1928 年にかけて東方書院から出版された。本稿では 1970 年 3 月に名著出版より 5 巻本（当初本の上巻、中巻、下巻、続上巻、続下巻を 1 巻～5 巻として刊行）として復刻刊行されたものを使用した。

２．２　神仏分離後の寺社境内の現状調査

2.1 で挙げた史料を用いた神仏分離に伴う建築物の変遷の把握と並行して、実際の遺構を訪れ神仏分離を経た境内の様子を観察、史料に見られる様子との比較を行った。

○六條八幡宮（兵庫県神戸市）

六條八幡宮は京都・六條八幡を勧請した神社で、室町時代には将軍家の崇敬を受けた神社であり、境内には本殿（江戸中期、市指定）、舞殿（江戸中期、市指定）、諸末社、神厩舎の神道施設と三重塔（文正元年：1466、国重文）、薬師堂の仏教施設が混在し、かつての習合の様子を伝える（図１）。ただし、建物は残っているが、江戸時代に神社と共にあった円融寺は廃絶しており、日常の祭儀・礼拝から見れば仏教要素は無くなっている。

図１　六條八幡宮境内

○住吉大社（大阪府堺市）

住吉大社では平安時代に神前で読経がなされる [4]など比較的早くから習合が行われ、江戸時代には隣接して神宮寺が建てられていたが、神仏分離により取り壊され、跡地は神苑となっている。この旧神宮寺の建物のうち、現在招魂社となっている旧護摩堂（元和 5 年：1619、国重文）と切幡寺（徳島県阿波市）に移築された大塔（旧西塔、慶長 11 年：1607、国重文）が現存する。

招魂社は仏堂の社殿への転用の事例として注目すべき建物である。機能面から考えれば、この転用に無理はなく [5]、外観の印象が最も問題となろう。なお、建物の背面に縁が廻らず、脇障子が付く点は社殿的である。これらは後補であり [6]、外観に社殿色を付加することを意図したものかは調査が必要である。

切幡寺大塔は正方形平面が重なる珍しい塔で、比叡山総持院の大塔など、天台宗寺院に見られた形式である。建物はほぼそのまま移築されており、寺への移築であることからその宗教的意味合いも変わっていない。こうした遺構から神宮寺境内の配置の様子がある程度の実寸をもって復原でき、境内での祭礼、信仰を考える点からも重要な遺構である。

図２　住吉大社招魂社（旧護摩堂）

図３　切幡寺大塔
（旧住吉大社神宮寺西塔）

---

[4] 『日本三代実録』巻一二、貞観八年（866）二月十六日条に勅により僧十一名を遣して金剛般若経三千巻、般若心経三万巻を転読したとある。

[5] 内部の祭壇は後補の可能性がある。（『大阪府の近世社寺建築　近世社寺建築緊急調査報告書』大阪府教育委員会文化財保護課、1987.3、p.70）

[6] 『大阪府の近世社寺建築　近世社寺建築緊急調査報告書』大阪府教育委員会文化財保護課、1987.3、p.70

〇金刀比羅宮

金刀比羅宮は明治時代の神仏分離以前は真言宗松尾寺金光院であり、神仏習合が信仰の中心であった。神仏分離では多宝塔と経蔵は破却されたが、各仏堂は社殿に転じたとされる。現在も残るのはかつての松尾寺金堂である旭社（天保 8 年：1837、国重文）である。建物の改変はほとんど無いが、信仰の形態としては異なるものになっている点は六條八幡宮と同じである。

図 4　金刀比羅宮旭社（旧松尾寺金堂）

図 5　厳島神社千畳閣（旧大経堂）象鼻

２．３　境内建物の神仏の判別基準

以上の史料、遺構から境内建物を神のものと見るか仏のものと見るかの判断基準を示した。まず、多くの場合では祀られるものが神仏のどちらであるかを判断し、それが最重視され、建物自体の形式は問われていない。これは、祀られるものを神に変えることで、建物自体はそのままに社殿とした例などが示している。ただし、塔に関してはその形態から仏教施設であると見なされていた。

一方、建物の細部、部分要素に仏教色を見いだす事例も見られた。例えば、香取神宮では社殿の紅殻塗を仏教的として剥がしたとされ、厳島神社大経堂は豊国神社（千畳閣）への転用に際して象鼻（木鼻）が仏教的であるとして切り落としている。こうした事例は建築形式ではなく、細部がその建物に仏が祀られていることを連想させる影響力を持っていたためであると考えられる [7]。これを翻して見れば、神的要素と仏的要素を建物に反映させる際にこうした細部意匠を用いる手法も想定され、神仏習合信仰における建物の意匠的特徴を見いだすことにつながる成果である。

３．研究業績

３．１　学術論文（学会発表）

米澤貴紀「橘家神道書に見られる儀礼のための建物について」『日本建築学会学術講演梗概集（近畿）』pp.29-30、2014.9

米澤貴紀「神仏習合儀礼の場における結界について」『世界建築史論集　日本・東アジア篇』pp.105-114、2015.3

４．研究活動の課題と展望

本研究では『明治維新神仏分離史料』を用いて江戸時代の寺社境内建物の仏教／神道の性格付け、判別を見いだすことができたが、地誌や古写真、現地調査の成果などを用いることで、さらに多くの情報を得られることが分かった。今後はこうした調査研究を行い、基礎データを充実させることが必要である。そして、この新たなデータを用いて、今年度行った境内建物の神／仏の判別の分析を再度行い、より実態に則した判別基準の解明を目指す。また、本研究とは別に行っている習合信仰の儀式、教義についての研究と合わせてより多角的に宗教建築、信仰空間の分析を行う。

---

[7] 建物を残しながら転用するための方便とも考えられるが、その場合でもこうした細部が仏教的要素と見なされたことは指摘できる。

特別研究

次世代 e-learning に関する研究

研究代表者　後藤　正幸
（創造理工学部 経営システム工学科　教授）

1. 研究課題

本研究では 2013 年度に引き続き，以下の A から G までの 7 つの部会による研究課題を扱った．ただし，部会 A は研究成果を総括し論文にまとめ投稿を機に終了，部会 F・部会 G は 2014 年度後半の新設である．

部会 A :「クラウドコンピューティング環境における e-learning スタイル」（終了）
部会 B :「クラウド時代の協働学習ツールとそのユーザビリティ」
部会 C :「英語教育と e ラーニング」
部会 D :「モバイルラーニングと協働人材育成」
部会 E :「電子書籍に関する研究開発」
部会 F :「ラーニングアナリティクスとデータ解析」（新設）
部会 G :「ICT を用いた教育・学習などの地域社会への貢献」（新設）

2. 主な研究成果

2013 年度までは各部会が個々に活動をしていた．2014 年度では部会 E が中心となり，部会 B・部会 C と協力して，電子教材を用いた学習ログの収集・可視化・解析に焦点を合わせた．すなわち，電子化された英語「Discussion Tutorial English」（早稲田大学），「コンピュータ入門（仮題）」（湘南工科大学），「情報ネットワーク」（会津大学短期大学部）の教材を使い，詳細な学習履歴（ログ）の収集を可能とし，教師が学習者の学習活動を容易に把握出来るよう可視化する（図 1 参照）．そのため，LMS（Moodle）を利用した環境で，詳細なログ収集・可視化のためのアプリケーションソフトを試作・開発し実証実験を行っている．さらに，学習者モデルとデータ解析手法を用いてログデータの解析を行い，反転授業や協働学習の導入と評価により，効率良い授業運営方法を導いている．また教材の改善や学習指導の支援が可能になり（図 2 参照），同時に主体的学習（アクティブラーニング）に至るフレームワーク構築の可能性を探った．

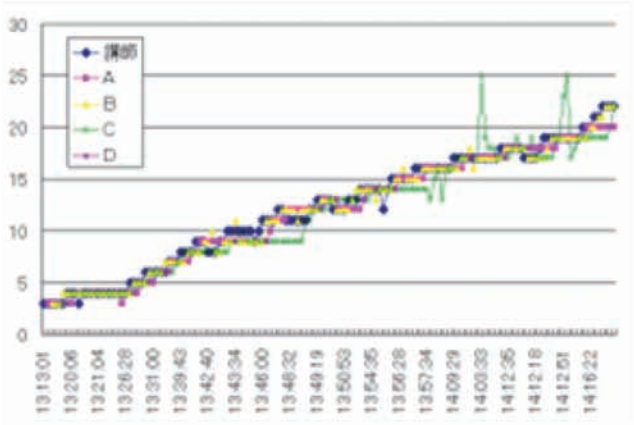


図 1：教師と学習者のページ閲覧の遷移
（縦軸：電子教材のページ，横軸：時間）

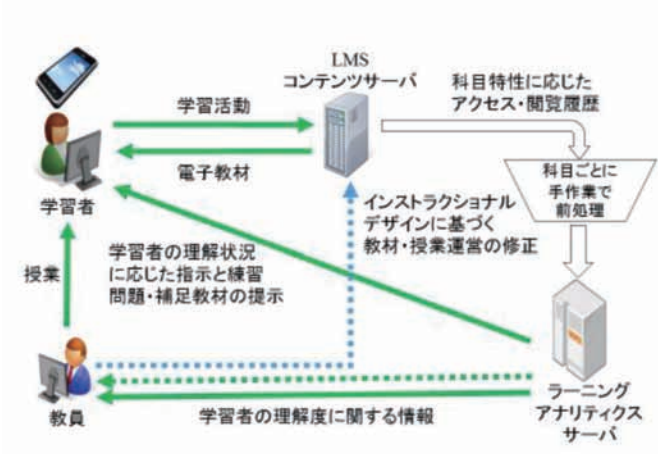


図 2：学習ログの収集と学習指導の支援

3. 共同研究者

荒本 道隆（アドソル日進株式会社 先端 IT 技術部・チーフスペッシャリスト）
石田 崇（高崎経済大学 経済学部・専任講師）
梅澤 克之（(株) 日立製作所 情報システム事業部・主任技師）
隈 裕子（サイバー大学 世界遺産学部・客員講師）
小泉 大城（青山学院大学 理工学部・助教）
小林 学（湘南工科大学 情報工学科・教授）
近藤 知子（ソフトバンクテレコム株式会社 営業開発本部）
近藤 悠介（早稲田大学 グローバルエデュケーションセンター・准教授）
後藤 祐介（岩手県立大学 ソフトウェア情報学部・准教授）
斉藤 友彦（青山学院大学 理工学部・助教）
佐藤 一裕（アドソル日進株式会社 先端 IT 技術部・部長）
須子 統太（早稲田大学 社会科学部・専任講師）
玉木 欽也（青山学院大学 経営学部・教授）
中澤 真（会津大学 短期大学部・准教授）
中野 美知子（早稲田大学 教育学部・教授 ）
中原 歌織（アドソル日進株式会社 先端 IT 技術部・チーフスペシャリスト）
平澤 茂一（早稲田大学 理工学研究所・名誉研究員）
吉田 諭史（早稲田大学 グローバルエデュケーションセンター・助教）
（五十音順，敬称略）

4. 研究業績

4.1 学術講演

[AHANT2014] 新目真紀,半田純子,合田美子,長沼将一,玉木欽也,“情報通信サービス業を中心とした実践的インターンシップ実施時の産学連携体制に関する考察,”教育システム情報学会 2014 年度第 1 回研究会，予稿集，pp.7-10，(2014.5).
[KGH2014] 小林学，大谷真，梅澤克之，後藤正幸，平澤茂一，“出席状況把握システム SAMS とその

解析,”経営情報学会春季全国研究発表大会 予稿集，pp.21-24，神奈川，(2014.5).
[KS2014] 小泉大城，須子統太，“統計基礎学修のためのブレンディッドラーニングの取り組み,”私立大学情報教育協会，平成 26 年度ＩＣＴ利用による教育改善研究発表会 予稿集，pp.28-29，東京，(2014.8).
[HANGYT2014] 半田純子，新目真紀，長沼将一，権藤俊彦，山根信二，玉木欽也，“ソーシャルコミュニティデザイナ認定プログラムにおける ID 手法に基づいたインターンシッププログラム設計,”第 30 回日本教育工学会全国大会講演論文集（一般研究），pp．399-400，（2014.9）.
[AGMW2014] 安藤健人，後藤裕介，南野謙一，渡邊慶和，“ICT 学習支援システムにおけるパフォーマンス評価の導入の検討,”計測自動制御学会 システム･情報部門第 7 回社会システム部会研究会，pp.67-70，北海道，(2014.9).
[HNKK2014] Shigaichi Hirasawa, Makoto Nakazawa, Daiki Koizumi, and Tomoko Kondo, “Learning Styles for e-learning Systems over Virtual Desktop Infrastructure,” Proc. of the 2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.3248-3253, October 5-8, 2014, San Diego, CA, USA.
[N2014] 中澤真，“Learning Analytics の現状と今後の課題”，日本経営工学会平成 26 年度秋季大会，(2014.11).
[HAT2015] Junko Handa, Maki Arame, Kinya Tamaki, “Designing Internship Program Based on the Instructional Design Method by Business-Academia Collaboration,” Hawaii International Conference on Education, January 2015, Hawaii, U.S.A.
[NGH2015] 中澤真，後藤正幸，平澤茂一，“Learning Analytics における学習履歴の情報構造と粒度のあり方”，日本 e-learning 学会第 17 回学術講演会 一般発表論文集，pp.1-8，東京，(2015.2).
[KMWNG2015] 葛巻沙文，南野謙一，渡邊慶和，中原歌織，後藤裕介，“段階的ヒント提示とピアフィードバックによる表現力の学習支援システムの開発,”2015 年電子情報通信学会総合大会 ISS 特別企画「学生ポスターセッション」，ISS-P-42，滋賀，(2015.3).
[AGMW2015] 安藤健人，後藤裕介，南野謙一，渡邊慶和，“多様性と曖昧性を考慮した主体的な学びの支援システムの有効性の評価,” 2015 年電子情報通信学会総合大会 ISS 特別企画「学生ポスターセッション」，ISS-P-43，滋賀，(2015.3).
[ASNH2015] 荒本道隆，佐藤一裕，中原歌織，平澤茂一，“詳細な学習ログを用いた英語リーディング過程の分析 ～(1)リーディング過程の可視化～,”情報処理学会第 77 回全国大会 講演論文集，pp.4-501～4-502，京都，(2015.3).
[NYSTE2015] 中野美知子，吉田諭史，須子統太，玉木欽也，ギエルモ エンリケズ，“詳細な学習ログを用いた英語リーディング過程の分析(2) ログデータから見た成績との関係,”情報処理学会第 77 回全国大会 講演論文集，pp.4-503～4-504，京都，(2015.3).
[NUKKGH2015] 中澤真，梅澤克之，小林学，小泉大城，後藤正幸，平澤茂一，“詳細な学習ログを用いた英語リーディング過程の分析 ～(3)リーディング過程における学習者モデル～,”情報処理学会第 77 回全国大会 講演論文集，pp.4-505～4-506，京都，(2015.3).
[UKINAH2015] 梅澤克之，小林学，石田崇，中澤真，荒本道隆，平澤茂一，“自習時のログ情報に基づく効率的な反転授業について,”情報処理学会第 77 回全国大会 講演論文集，pp.4-599～4-600，京都，(2015.3).
[KSH2015] 小泉大城，須子統太，平澤茂一，“電子教材とワークシートを用いた統計基礎教育におけるブレンディッドラーニングに関する一考察,”情報処理学会第 77 回全国大会 講演論文集，

pp.4-605～4-606, 京都, (2015.3).
[K2015] 近藤悠介, “日本人英語学習者の短い発話を自動採点するシステムの実現可能性の検討,” 情報処理学会第 77 回全国大会 講演論文集, pp.4-497～4-498, 京都, (2015.3).
[KS2015] 隈裕子, 佐野琴音, “オンライン大学における日本語リテラシー教育の取り組み その 2 受講生の主観評価調査,” 情報処理学会第 77 回全国大会 講演論文集, pp.4-499～4-500, 京都, (2015.3).
[NKO2015] 中谷祐介, 隈裕子, 尾崎明仁, “環境教育分野における建物性能評価ツールに対するユーザ支援システムの構築,” 情報処理学会第 77 回全国大会 講演論文集, pp.4-549～4-550, 京都, (2015.3).
[YEN2015] 吉田諭史, ギエルモ エンリケズ, 中野美知子, “言語学理論に基づいた英語学習者向けデジタル教材と HTML ウィジェットの開発,” 情報処理学会第 77 回全国大会 講演論文集, pp.4-585～4-586, 京都, (2015.3).

4.2 特許出願

[NNA2015] 中野美知子, 中澤真, 荒本道隆, 「e ラーニングシステム及び e ラーニング用プログラム」, 特願 2015-073652, 平成 27 年 3 月 31 日.

5. 研究活動のまとめ，課題と展望

2014 年度の活動では，研究成果の学外への発信として「次世代 e-learning」公開フォーラム（2014.12.19, 於：早稲田大学），情報処理学会全国大会イベント企画として「次世代 e-learning 研究シンポジウム」（2015.3.18, 午前：講演会，午後：パネル討論，於：京大），2 回のメンバー全体の意見交換・討論のためワークショップ（合宿形式）（2014.8.31-9.1, 於：鬼怒川，2015.2.20-21, 於：熱海）を開催し，また関連学会で 21 件の学術講演（内 2 件の査読付き国際会議で発表），1 件の特許出願を得た.

今後の課題と展望として，「統計入門（仮題）」など，他の電子教材の完成，大規模データ解析技術の活用とそのラーニングアナリティックスへの展開, 小中高などへの e-learning の応用と地域貢献，などがある．特に，主査はじめメンバーにはビッグデータの研究者が多数含まれ，従来の EC サイトなど購買データを対象の中心としたものから，データ解析技法の学習履歴解析への適用が期待される．一方そのためには，LMS (Learning Management System)とのインターフェース仕様の明確化，大規模ログ記憶（LRS: Learning Record Store）の導入を，これらの標準化動向を睨みながら研究を進める必要がある．その結果，多様な科目に対する実証実験データを蓄積し，学内・学外におけるアクティブラーニングの展開とその定着を図る.