

目 次

1. 研究重点教員研究

1) 動力・エネルギーシステム工学研究	天野 嘉春	1
2) 遺跡建造物における亀裂変位のモニタリング手法に関する研究	新谷 真人	9
3) 次世代放射線検出器開発と宇宙・医療への応用	片岡 淳	13
4) 遺伝情報の維持と継承の分子機構： 染色体基本構造と DNA 組換え機構の解明を目指して	胡桃坂 仁志	19
5) 理論核物理学研究	鷹野 正利	23
6) 統計科学と金融工学	谷口 正信	27
7) 高エネルギー宇宙粒子物理学研究	鳥居 祥二	31
8) 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	中井 浩巳	33
9) カンボジア・アンコール遺跡とベトナム・フエ歴史的建造物群 を中心とした東南アジアの世界文化遺産の保存に関する研究	中川 武	37
10) 高エネルギー素粒子物理学実験研究	寄田 浩平	41
11) 加速器科学・放射線科学	鷲尾 方一	47

2. プロジェクト研究（【 】内は研究番号）

1) 【10P01】材料設計・開発のための実践的インシリコ・ケミストリー	中井 浩巳	51
2) 【10P02】巨大分子設計の実現を目指した SAC/SACCI 科学の発展	中井 浩巳	55
3) 【10P03】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	甲藤 二郎	59
4) 【10P04】サステイナブル・デザインプロセス研究	高口 洋人	69
5) 【10P08】ネットワークにおける体感品質	田中 良明	77
6) 【10P25】ナノ／マイクロバイオシステムの研究	庄子 習一	83
7) 【10P26】ロボティック・センス・オブ・ムーブメント	高西 淳夫	85
8) 【10P28】国際宇宙ステーションにおける 高エネルギー宇宙線観測（CALET）	鳥居 祥二	89
9) 【10P52】軽水冷却スーパー高速炉に関する研究開発	岡 芳明	93
10) 【10P53】光と物質の相互作用 - 基礎物理からデバイス応用まで -	多辺 由佳	97
11) 【10P54】宇宙飛翔体を用いた宇宙線観測実験の研究	鳥居 祥二	103
12) 【10P55】次世代ヒートポンプ技術に関する研究	齋藤 潔	105

13)	【10P58】 エジプト、メンフィス・ネクロポリスの文化財保存面から 観た遺跡保存計画の学際的研究	近藤 二郎	113
14)	【10P59】 材料表面高機能化の研究	寄田 浩平	117
15)	【11P00】 生理活性物質科学	竜田 邦明	119
16)	【11P01】 建築デザインを介した生活空間支援の実践的研究	入江 正之	123
17)	【11P02】 各種建築物の制振構造デザイン手法の高度化	曾田 五月也	127
18)	【11P03】 アーバンデザイン部活動を通じた 若い世代まちづくりの参加促進事業	古谷 誠章	131
19)	【11P03】 川場村の既存リソースを活かした 地域再生デザインの提案	古谷 誠章	135
20)	【11P05】 金融数理および年金数理研究	谷口 正信	139
21)	【11P06】 次世代宇宙システム技術開発	鳥居 祥二	142
22)	【11P07】 海洋天然物化学を基盤としたケミカルバイオロジー研究	中尾 洋一	145
23)	【11P10】 低炭素社会構築のための先端技術開発成果の適用	勝田 正文	148
24)	【11P12】 微生物機能高度活用プロジェクト	木野 邦器	151
25)	【11P16】 人間中心機械の設計と制御に関する研究	菅野 重樹	155
26)	【11P20】 応用音響	山崎 芳男	159
27)	【11P21】 景観まちづくり研究	後藤 春彦	163
28)	【11P24】 バイオンを中心としたアンコール回廊の 調査・研究と重要遺構の保存修復計画案の策定	中川 武	167
29)	【11P26】 大都市圏における自立分散型エネルギー供給 システム導入可能性検討	長谷見 雄二	173
30)	【11P27】 地球温暖化対策に向けた建設工事における 木杭活用に関する研究	濱田 政則	177
31)	【11P28】 建築人間行動学	渡辺 仁史	183
32)	【11P29】 電気化学ナノテクノロジーの工学応用	逢坂 哲彌	187
33)	【11P30】 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	片岡 淳	191
34)	【11P31】 地球環境を考慮した電気エネルギー利用技術	岩本 伸一	193
35)	【11P33】 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	三輪 敬之	197
36)	【11P41】 次世代医療施設の研究	古谷 誠章	201

37)	【11P41】	オフィス等の設計における、産学共同プロセスの研究_その 1 1/2-OFFICE, スペースの余剰と オフィス評価の相乗的価値の連鎖をつくる	古谷 誠章	205
38)	【11P41】	オフィス等の設計における、産学共同プロセスの研究_その 2 -不連続統一体を目指して-	古谷 誠章	209
39)	【11P42】	原子力発電所高経年化のための電気設備劣化診断	大木 義路	211
40)	【11P51】	建築生産における品質、安全と生産性向上を目指した 3次元部材情報の活用に関する研究	嘉納 成男	215
41)	【11P61】	医療工学研究拠点形成プロジェクト	逢坂 哲彌	219
42)	【11P62】	NEDO 革新型蓄電池先端科学基礎研究 2	門間 聰之	223
43)	【11P63】	実践的博士人材養成プログラム	大野 高裕	229
44)	【12P02】	地盤・基礎・建物の動的相互作用の研究	前田 寿朗	233
45)	【12P03】	医学教育用ヒューマノイドの開発	高西 淳夫	237
46)	【12P05】	医療福祉ロボット実用化研究	藤江 正克	241
47)	【12P21】	高品質ビームの発生及びその応用研究	鷺尾 方一	245
48)	【12P22】	作業機械の知能化インタフェースに関する研究	菅野 重樹	251
49)	【12P30】	産業用オープンネットワークシステムに関する研究	天野 嘉春	255
50)	【12P31】	各種建物用エネルギー供給システムの最適計画	天野 嘉春	259
51)	【12P51】	公共所有不動産の経営研究	小松 幸夫	263
52)	【12P52】	エネルギー・ネクスト研究プロジェクト	朝日 透	269
53)	【12P53】	NEDO 革新型蓄電池先端科学基礎研究 1	逢坂 哲彌	273
54)	【12P54】	先端メディアの生体影響研究	河合 隆史	279

3. 長期大型プロジェクト研究 (【 】内は研究番号)

1)	【08L01】	非臨床評価の確立による先進医療実現の 加速化に関する医工学的研究	梅津 光生	283
2)	【08L03】	自然と共生する知能情報機械系に関する基盤研究	橋本 周司	287
3)	【08L04】	建築・空調におけるエネルギー有効利用に関する研究	田辺 新一	297
4)	【11L01】	量子ビームが可能にする高分子ナノ構造体の創製	鷺尾 方一	301
5)	【12L20】	室内空気質と熱的快適性に関する研究	田辺 新一	305

4. 奨励研究 (【 】内は研究番号)

- 1) 【12C01】 L-アミノ酸リガーゼ RizA および RizB の X 線結晶構造解析 ……新井 利信 309
- 2) 【12C02】 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 ……石井 裕之 313
- 3) 【12C04】 ファシズム期以降の 20 世紀イタリア建築史の再検討 ……奥田 耕一郎 315
- 4) 【12C05】 液体アルゴンを用いた暗黒物質の直接探索 ……田中 雅士 319
- 5) 【12C06】 トランジスタバイオセンサを用いた
糖鎖認識タンパク質検出法の開発 ……秀島 翔 323
- 6) 【12C07】 過酷な地震動に対する中高層木造建築物の
耐震安全性の向上に関する研究 ……宮津 裕次 327
- 7) 【12C09】 特異性のある楕円型微分作用素の高精度な固有値評価について ……劉 雪峰 331

5. 助教研究 (【 】内は研究番号)

- 1) 【12K01】 CALET の開発に立脚した超強磁場中性子星の
高エネルギー現象の解明 ……中川 友進 335

6. 助手研究 (【 】内は研究番号)

- 1) 【12J04】 新規可逆的脱炭酸酵素の探索 ……広川 安孝 339

7. 特別研究

- 1) 次世代 e-learning に関する研究 ……後藤 正幸 343

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

2012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 Global Navigation Satellite System(GNSS)に関する研究
- B-2 Mobile Mapping System に関する研究

C:その他 能動型蛍光 X 線分光計 (AXS) の開発研究

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

2012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、理論上限となる最大出力への到達度を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することが可能であることを明らかにした。

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

2012年度には、水蒸気圧縮過程で気液二相圧縮を伴う場合の詳細な解析モデルの提示した。また Fig.1 に示す試験装置を構築し、水蒸気圧縮機の基礎的なデータ収集の体制を整えた。解析モデルの成果の一部は、日本機械学会で発表した。圧縮機への液インジェクションが水蒸気再圧縮プロセスに適しており、吐出温度の過熱度低減に効果的であることと明らかにした。また、実験装置によって取得した基礎データおよびその後の解析モデルの改良については、2013年度中に同じく日本機械学会動力エネルギーシンポジウムにて発表する。

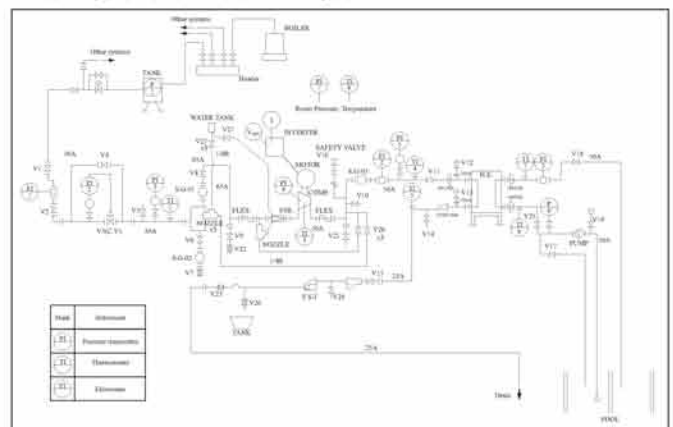


Fig. 1 Flow sheet of steam compressor test system.

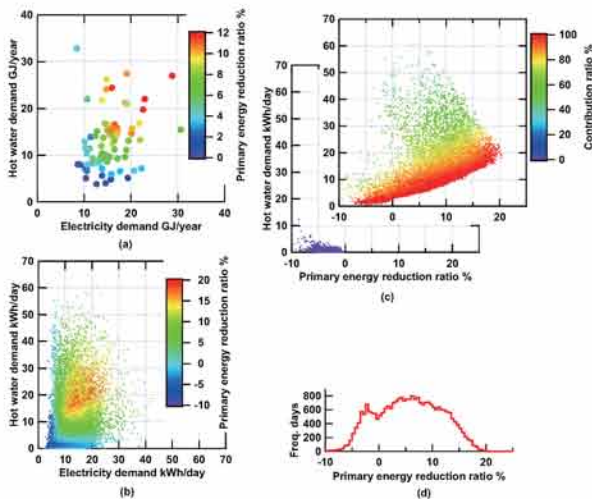


Fig. 2 PEFC-CGS モデルと最適運用時の一次エネルギー消費量削減率。(a) 年間値、(b) 日間値、(c) 給湯需要 vs 一次エネルギー消費量削減率、(d) 一次エネルギー消費量削減率の頻度分布

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 家庭用エネルギーシステムの最適運用計画と需要特性との整合性を確認

混合整数線形計画法による PEFC-CGS の数理モデルを作成し、72 世帯の需要家の年間にわたる実測の需要パターンに対して、電力および給湯需要量を満足する 1 日毎の最適運用方策を求めた。最適運用の評価関数は一次エネルギー消費量とした。PEFC-CGS の最適運用をした際の一次エネルギー消費量は、ガス給湯器と系統電力を組み合わせたシステムの一次エネルギー消費量を比較基準とした。その結果、Fig.2 に示すように、PEFC-CGS のシステムの特徴として、PEFC ユニットの出力熱電比 1.4 近傍で、高い省エネルギー性を発揮することを明らかにした。また、需要量の年間値が近い需要家においても、1 日単位の需要量の分布が異なり、そのために年間の省エネルギー性は 2% 以上差があることが明らかにした。また、階層的クラスタリング手法を用いて典型的な需要パターンを抽出した。Fig. 3 (b) は需要パターンを 16 クラスに分類した結果を示す。また、Fig. 3 (a) は各クラスにおける一次エネルギー消費量削減率の分布を示している。クラスタリング手法は、需要パターンの特徴を抽出するのに有用であり、給湯需要量が常に一定量以上のレベルのパターンでは、省エネルギー性に優れる結果となった。また世帯毎の需要パターン、すなわち需要発生時刻と量は、季節毎に似た傾向を示した。このことから需要家の特性を表す指標として、日毎の需要量に加えて季節ごとの代表日の需要パターンも有用であることを明らかにした。

この他に、モデル予測制御による PEFC コージェネレーションシステムの最適運用制御構築のためのプロトタイプを提示した。これには、入出力特性に不確定性を含むエネルギー需要や日射などの入力特性を繰り返すためのフレームワークを作成するための基礎的な検討を行った。

なお、本研究の成果の一部は学内重点領域研究、CREST（代表：林泰弘教授）による共同研究による。

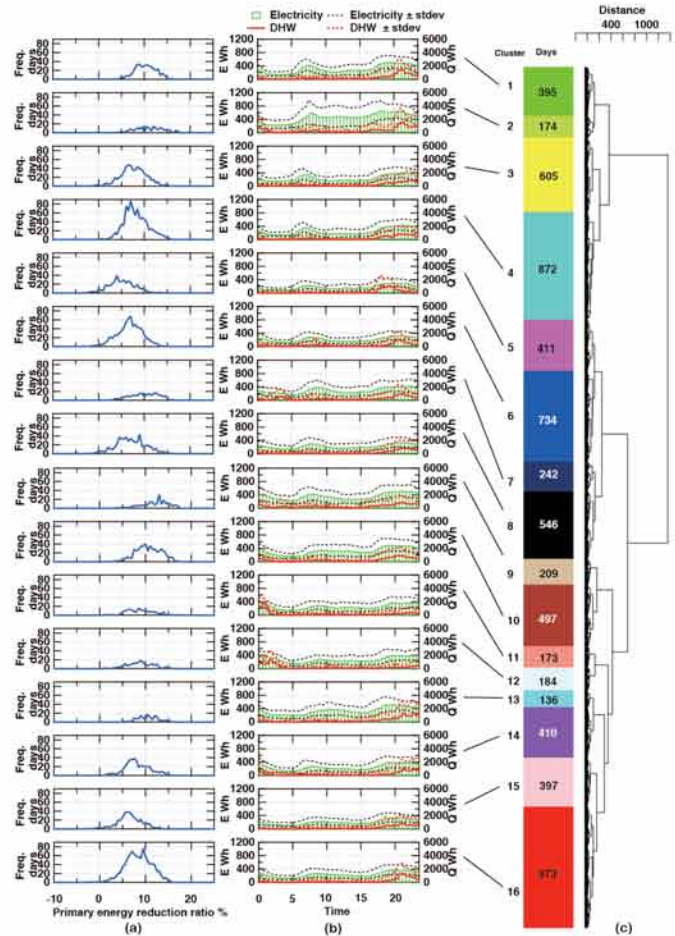


Fig. 3 抽出された需要パターン。(a) 一次エネルギー消費量削減率、(b) 需要パターン、(c) デンドログラム

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

2.4.1 GPS-GLONASS 複合による移動体測位の信頼性の向上に関する研究

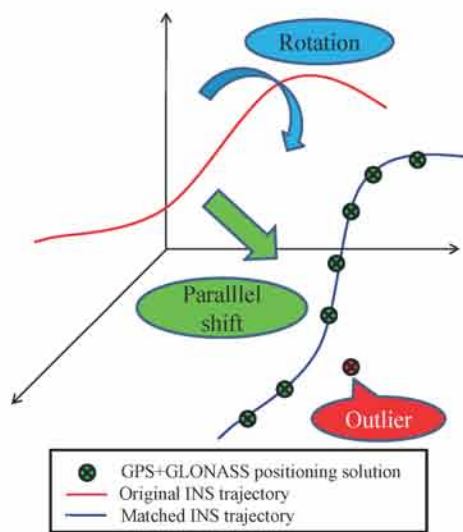


Fig. 4 ロバスト推定による軌跡マッチング

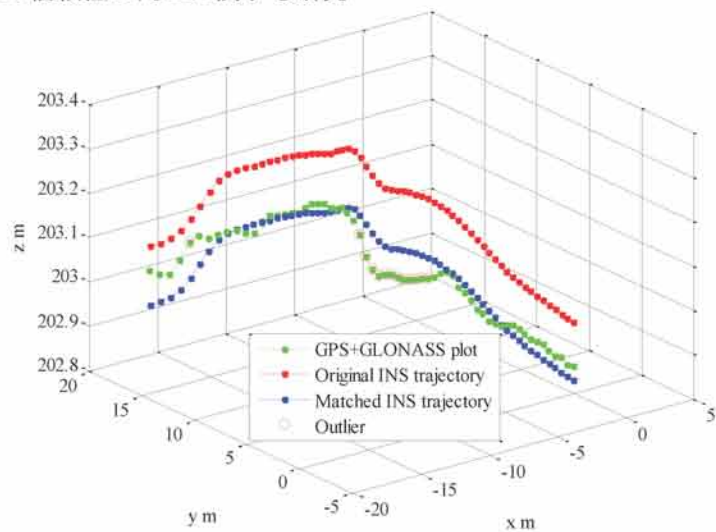


Fig. 5 外れ値検出結果 (評価試験)

GNSS として米国の GPS とロシアの GLONASS とを複合し、測位解を得るシステムの信頼性評価手法の構築を行った。具体的にはまず、本手法の適用対象を車両による移動測位とし、オドメトリによるデッドレコニング (DR) の軌跡は、累積誤差は含むものの、短時間であればその形状は信頼性が高いと仮定した。そこで連続的に得られた GPS-GLONASS 複合測位解と、同時刻の DR 軌跡をロバスト推定により三次元マッチングを行い、GPS-GLONASS 複合測位解の外れ値 (Outlier) を検出するものとした (Fig. 4)。評価試験の結果 (Fig. 5)、外れ値を効果的に検出し、GPS-GLONASS 複合測位解の信頼性が向上した。

2.4.2 可視衛星数地図を用いた自律移動システムの経路計画

事前取得した環境の三次元地図を利用して、遮蔽されことなく観測できる衛星数の分布図 (可視衛星数地図: Satellites Visibility Map) を作成し、この可視衛星数地図に基づいて経路計画を行う事で、信頼性の高いロボットの自律移動を目指した。走行評価試験を行った結果 (Fig. 6)、本手法を利用することで、走行中の可視衛星数を向上させ、FIX 解と呼ばれる高精度な GPS 測位解の利用性が向上することを確認し、本手法による衛星測位環境の改善効果を確認した。

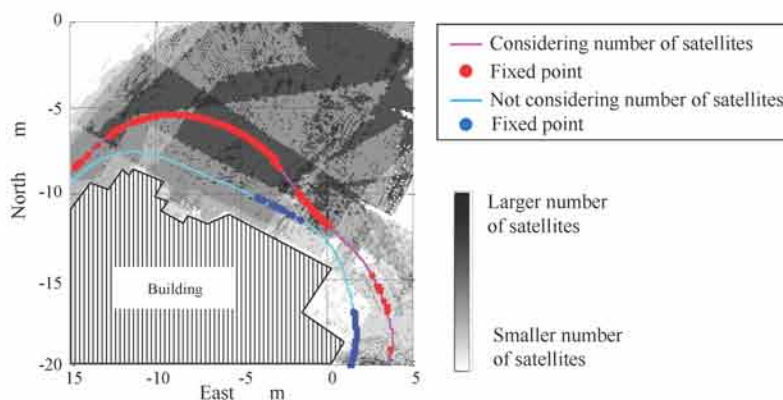


Fig. 6 可視衛星数地図を利用した経路計画とその走行結果

2.4.3 可準天頂衛星による 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: Quasi-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トル級であるのに対し、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

MMS (Mobile Mapping System) による計測現場において、オープンスカイ環境を探し、GNSS 環境に配慮すると同時に効率的に計測作業を行うことは困難である。そこで、本研究では GNSS の受信状況を考慮した最適計測経路計画手法を構築することを目的とした。

提案手法を、GNSS の測位率に着目して従来の作業員による経路誘導と比較することで評価を行った。Fig. 7 に可視衛星数マップを、Fig. 8 高精度解を得た箇所を示す。評価試験により、Fig. 9 に示すように高精度解が得られた箇所の測位率が従来手法と比べて向上し、また、衛星数 6 基以上の計測時間全体に対する観測率が 17.6%であったのに対して、提案手法では 20.2%と向上したことを明らかにした。

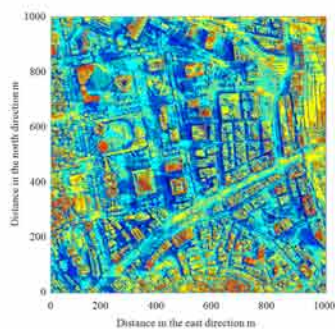


Fig. 7 可視衛星数マップ

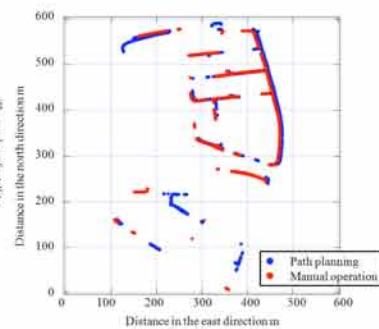


Fig. 8 高精度解を得られた箇所

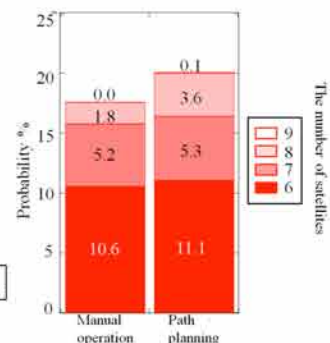


Fig. 9 GPS の FIX 率

2.5.2 Mobile Mapping Systemによる道路視点からの東日本大震災被災地域調査

これまで大規模災害発生時における調査は、航空機による広域な調査や、人員による詳細な現地調査が行われてきた。しかしながら、航空機による調査は上空からの調査という特性上、建物側面などの上空から死角になる箇所の情報を取得できない。また、こうした箇所を人員による調査により詳細な被災情報を収集する場合においては、被害が広範囲に渡る場合、調査が一通り終了するまでに多くの時間を要した。そこで、中越地震における MMS による運用実績をもとに、東日本大震災被災地の東北地方沿岸部においても MMS による情報収集および被害状況の記録を行い、MMS による計測データを活かすことで今後の復興に役立てることを目的とした。

2011 年 6 月初旬と同年 11 月下旬に MMS を用いて、南は宮城県亘理町から北は岩手県宮古市までの沿岸部を中心に調査を行った。内陸部では、宮古市から盛岡市に至る国道と気仙沼市から一関市に至る国道を計測した。この 2 回の計測データの高さ方向と水平方向の差分を算出することで、変化域の抽出を行った。行動方向は全体的に高度が上昇傾向にあることが分かる他、道路の陥没箇所に対し

て補修工事を行った箇所や、わだち掘れ、瓦礫の撤去状況を広域に渡って調査することも可能であることを明らかにした。また水平方向に関しては、縁石や電柱などを基準に比較することで、余効変動量の把握を行った。その結果、震災後約半年とともに震源のある東南東方向に $20\sim 30\text{cm}$ の変動量を示していることを明らかにした。

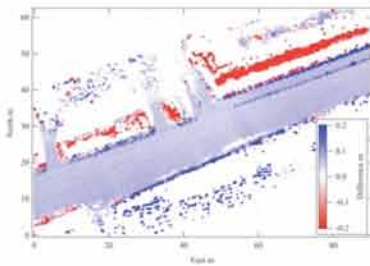


Fig.10 MMSによる道路高さ方向の差分測定結果

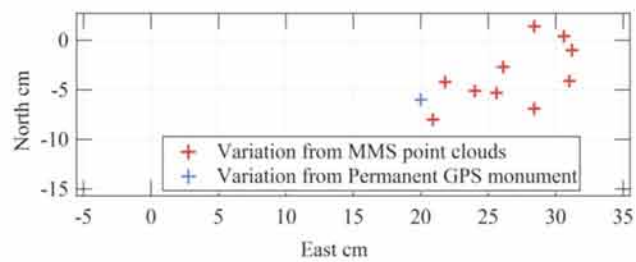


Fig.11 MMSによる道路水平方向の差分測定結果

2.5.3 Mobile Mapping データにおける大規模三次元点群からの道路周辺地物の認識

MMS (Mobile Mapping System) により取得した大規模三次元点群からの物体認識において、樹木などの他の地物と隣接する電柱や標識などの認識困難な柱状物体や、大きさ形状が多様で機械学習の難しい壁面、ガードレールなどを認識する手法を構築し、実用化を目指した。

本研究では底面が 1m 四方の直方体領域の局所領域に対し識別機を適用することで認識を行う手法を構築し、その有効性を明らかにした。識別機は、31次元の形状特徴量を SVM (Support Vector Machine) により学習させ作成したものを用いた。提案手法の有効性を確認するため、実環境より取得したデータに対し作成した識別器を適用し、壁面、柱状物体、ガードレールについて認識率、誤認識数について評価した。壁面、柱状物体、ガードレールの認識率はそれぞれ 99.0% 、 98.3% 、 62.8% という結果が得られた。一方で、壁面の一部を柱状物体として誤認識した数が 132 か所あった。また、従来認識することが困難であった、樹木に隣接する柱状物体を認識することを可能にした。

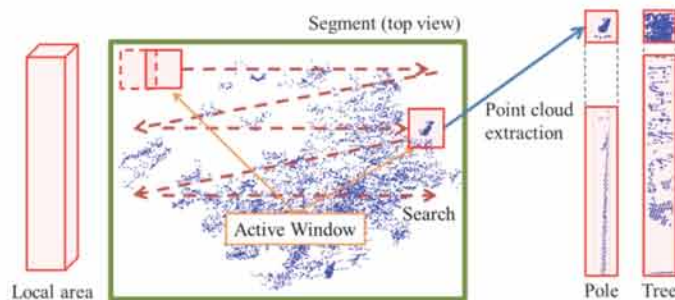


Fig.12 SVMによる局所領域からの点群抽出結果

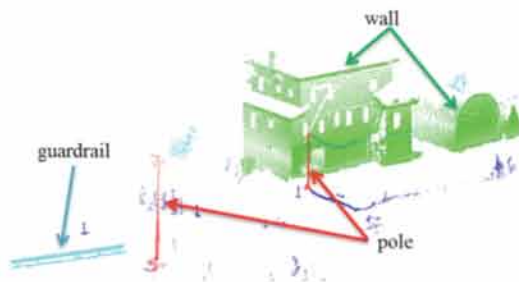


Fig.13 MMSによる道路道路地物認識結果

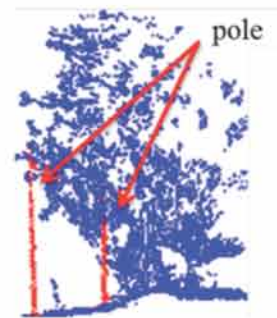


Fig.14 樹木近傍の柱状物体認識結果

2.6 (C) 能動型蛍光 X 線分光計 (AXS) の開発研究

JAXA の次期月探査プロジェクトの SELENE-2 におけるローバーミッション搭載を予定している X 線分光計の開発を、国際協調のもと 2012 年度は、韓国、米国共同研究者と共に長谷部研究室にて科学テーマの検証が進むなか、本研究室では熱解析モデルの詳細化をおこなった。これにより、熱電変換素子の温度依存性を FEM モデルに適用するための準備を完了した。共同研究者には、新たに JAXA から岡田達明氏が参加することとなった。

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

. Co-I: Goestar Klingelhofer (JGU), Johannes Brueckner (MPIC), 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)

3. 共同研究者

伊東弘一 (理工学研究所・客員教授 (専任扱い)), 日野俊之 (理工学研究所 招聘研究員), 石川貴一郎 (基幹理工学部・助教)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- (1) A. Yoshida, Y. Amano, N. Murata, K. Ito, T. Hashizume, A Comparison of Optimal Operation of a Residential Fuel Cell Co-generation System Using Clustered Demand Patterns Based on Kullback-Leibler Divergence, *Energies*, 6, p374-399, (2013).
- (2) Mitsunori Kitamura, Taro Suzuki, Yoshiharu Amano and Takumi Hashizume, "Evaluation for Vehicle Positioning in Urban Environment using QZSS Enhancement Function," *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.24 No.5, pp.894-901, (2012).
- (3) 鈴木 太郎, 北村 光教, 天野 嘉春, 橋詰 匠, GNSS マルチパス波判別を複合した精密単独測位による屋外移動ロボットの位置推定, 計測自動制御学会論文集, Vol. 48, No. 7, pp. 399-405, (2012)

4.2 総説・著書

天野嘉春, アンモニア/水系サイクルシミュレーション手法, 日本機械学会 [No. 12-60] 講習会教材, 日本機械学会, 東京, (2012/5/8), pp. 33-68.

4.3 発表講演・ポスター

- (1) A. Yoshida, Y. Amano, N. Murata, K. Ito, T. Hashizume, A Comparison of Optimal Operation of Residential Energy Systems Using Clustered Demand Patterns Based on Kullback-Leibler Divergence, *Proc. ECOS2012* (2012). (査読あり)
- (2) 北村光教, 天野嘉春, 橋詰匠, 準天頂衛星による GPS 補強測位の測位精度評価, 第 18 回ロボティクスシンポジウム講演集, pp.278-283, (2012). (査読あり)

- (3) 蓮井大介, 天野嘉春, 橋詰匠, 理論最適サイクルに基づく発電・冷凍ハイブリッドサイクルの評価法, 日本機械学会, 第十七回動力・エネルギー技術シンポジウム[No.12-11], F213, (2012/6), p445-448.
- (4) 藤原史明, 日野俊之, 天野嘉春, 水蒸気圧縮過程における水噴霧効果の解析, 日本機械学会, 第十七回動力・エネルギー技術シンポジウム[No.12-11], F214, (2012/6), p. 441-444.
- (5) 森 一馬, 関 良高, 天野嘉春, アンモニア・水混合媒体を用いた発電・冷凍ハイブリッドサイクルのエクセルギー評価, 日本機械学会 2012 年度年次大会 [2012.9.9-12], G080013, (2012/9).
- (6) Kiichiro ISHIKAWA, Fumiki TONOMURA, Yoshiharu AMANO, Takumi HASHIZUME, Recognition of Road Objects from 3D Mobile Mapping Data, Asian Conference on Design and Digital Engineering, Dec.6-8, 2012, Niseko, Hokkaido, Japan. (2012/12)
- (7) 北村光教, 大西正光, 渡邊輝, 鈴木太郎, つくばチャレンジ2012における自律移動ロボットの開発, つくばチャレンジ2012シンポジウム, (2012).
- (8) 外村史輝, 石川貴一郎, 天野嘉春, 橋詰匠, Mobile Mapping データにおける大規模三次元点群からの道路周辺地物の認識(第3報)-局所領域の点群孤立度に着目した柱状物体の認識-, 2012 年度精密工学会秋季大会学術講演会, (2012).
- (9) 石川貴一郎, 天野嘉春, 橋詰匠, GNSS の可視性を考慮した Mobile Mapping System の計測経路計画, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集, (2012).
- (10) 外村史輝, 石川貴一郎, 天野嘉春, 橋詰匠, SVM 機械学習による大規模三次元点群からの道路周辺地物の認識, 2012 年度精密工学会春季大会学術講演会, (2012).
- (11) 北村光教, 安岡洋一, 鈴木太郎, 天野嘉春, 橋詰匠, 準天頂衛星と可視衛星数地図を用いた自律移動システムの経路計画, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集, (2012).
- (12) 太田哲平, 高橋貴大, 天野嘉春, 橋詰匠, 鈴木真二, 土屋武司, 山場淳史, 小型自律飛行ロボットを用いた機械学習による植生分類図作成, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集, (2012).
- (13) 大西正光, 北村光教, 鈴木太郎, 天野嘉春, 橋詰匠, 金子幸司, GPS と GLONASS 複合による移動体測位の信頼性の向上に関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集, (2012).
- (14) 桐生翔太, 石川貴一郎, 佐久間裕, 外村 史輝, 天野嘉春, 橋詰匠, Mobile Mapping System による道路視点からの 東日本大震災被災地域調査 一時系列三次元点群比較による道路周辺環境の変化域抽出, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集, (2012).
- (15) 外村史輝, 石川貴一郎, 天野嘉春, 橋詰匠, 大規模三次元点群からの機械学習による柱状物体の認識, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集, (2012).
- (16) 外村史輝, 石川貴一郎, 天野嘉春, 橋詰匠, Mobile Mapping データにおける大規模三次元点群からの道路周辺地物の認識(第4報) -Mobile Mapping データにより作成した識別器の他システムにおける性能評価-, 2013 年度精密工学会春季大会学術講演会, (2013/3)
- (17) 鈴木 太郎, 間野 直哉, 北村 光教, 天野 嘉春, 橋詰 匠, 複数の一周波 GPS 受信機を用いた小型 UAV の高精度姿勢計測, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集, 1A2-B08, (2012)
- (18) G. Klingelhöfer, J. Brückner, K. J. Kim, Y. Amano, B. Bernhardt, M. Blumers, W. V. Boynton, T. J. Fagan, D. Hamara, N. Hasebe, G. Ju, P. Lechner, L. F. Lim, T. Ohta, E. Shibamura, and R. D. Starr, AN ACTIVE X-RAY SPECTROMETER (AXS) FOR THE ROVER OF THE JAPANESE SELENE-2 MISSION FOR CHEMICAL IN-SITU CHARACTERIZATION OF LUNAR MATERIAL, European Lunar Symposium, DLR Berlin, (2012/4)
- (19) Y. Amano, N. Hasebe, T.J. Fagan, T. Ohta, E. Shibamura, K.J. Kim, J. Gwanghyeok, G. Klingelhöfer, J. Brückner, W. V. Boynton, D. Hamara, L. F. Lim, R. D. Starr, An Active X-Ray Spectrometer (AXS) for the Rover of the SELENE-2, Lunar Planetary Symposium, JAXA, (2012/8).

- (20) K. J. Kim, Y. Amano, W. V. Boynton, G. Klingelhöfer, J. Brückner, N. Hasebe, D. Hamara, R. D. Starr, L. F. Lim, G. Ju, T. J. Fagan, T. Ohta, E. Shibamura, AN ACTIVE X-RAY SPECTROMETER PROPOSED FOR THE SELENE-2 ROVER, IPM2012, (2012/10).
- (21) 天野嘉春, 長谷部信行, 柴村英道, Timothy J. Fagan, 太田亨, 草野広樹, 大山裕輝, 田中玲子, 児玉拓郎, 長岡央, 久野治義, 岡田達明, Kyeong J. Kim, Gwanghyeok Ju, Göstar Klingelhöfer, Johannes Brückner, William V. Boynton, Dave Hamara, Lucy F. Lim, Richard D. Starr, SELENE-2 用月面探査車搭載に向けた化学分析装置 AXS の開発, 宇宙科学シンポジウム, P2-158, (2013/1)

4.4 受賞

日本精密工学会【Best Presentation 賞】

外村史輝, 石川貴一郎, 天野嘉春, 橋詰匠, SVM 機械学習による大規模三次元点群からの道路周辺地物の認識, 2012 年度精密工学会春季大会学術講演会, G06, pp.521-522. 2012/5/23)

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, GNSS が利用困難な環境へのシームレスな三次元環境地図作成のための研究を予定している.

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, エンジン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.

遺跡建造物における亀裂変位のモニタリング手法に関する研究

研究代表者 新谷 真人
(理工学術院 特任教授)

1. 研究課題

カンボジアのアンコール遺跡群は 1992 年に登録されたユネスコの文化遺産である。その中のアンコール・トム内にあるバイヨン寺院は 12 世紀後半に建立された遺跡であり、現在は突発的な落石が起こるなど塔の部分的崩壊の危険性が指摘されている。このことからバイヨン寺院の早急かつ恒久的な対策が求められている。それら対策、研究としてバイヨン寺院中央塔の図面化並びに不連続変形法(DDA)などによる塔体安定性評価、ステンレスピン補強による梁の強度試験など行ってきた。本報告ではその中で観測モニタリングに関しての研究成果を記載する。1997 年より、バイヨン中央塔ではクラックの進展の観察が構造的に重要であると選定された箇所を中心に、変動幅の変位形を用いたモニタリングが実施されてきた。それら観測された亀裂の変位に対して、温度、水分を要因とする線形モデルを構築し、分析する研究を行った。それにより、より詳細な亀裂変位の分析が今後可能にすることを目標としている。

2. 主な研究成果

2.1 線形モデルによる分析

亀裂変位の原因の分析の具体的な方法として、気温、降雨量などの各成分を定量的に分解し線形モデルに組み込み、分析を行う。モデルに関しては式(1)を用いる。分析に用いるデータに関しては岩崎ら（地盤研究財団理事）によって 2003 年に観測されたバイヨン寺院中央塔主塔中段（ギャラリーレベル）の 2 箇所での亀裂の変動幅、気温、降雨量とする。時系列データはそれぞれ移動平均を用いて前後 15 日分平滑化を行い、降雨量成分に関しては 2~3 日分の降雨量をため込む Fig.1 のようなモデルを想定し、分析を行った結果、一定のモデルの妥当性が得られた (Fig.2)。

$$y_{(t)} = a_1 T_{(t)} + a_2 R_{(t)} + a_3 \quad (1)$$

$y_{(t)}$: 目地幅、 $T_{(t)}$: 気温成分、 $R_{(t)}$: 降雨量成分、 a_1, a_2 : 偏回帰係数

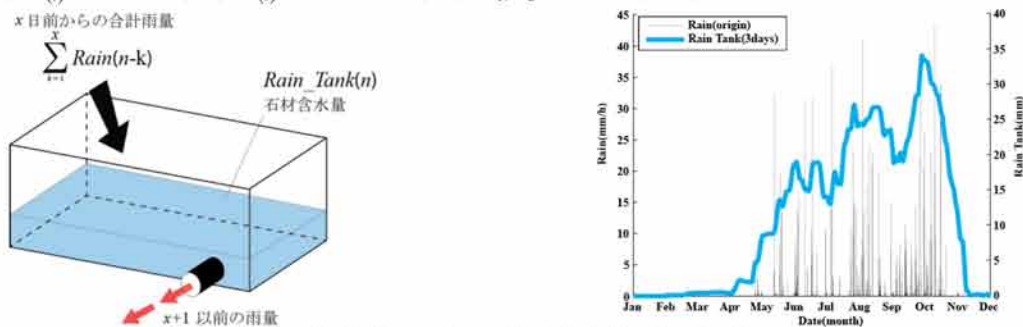


Fig.1 左:含水量モデル、右:降水量データ (2003)

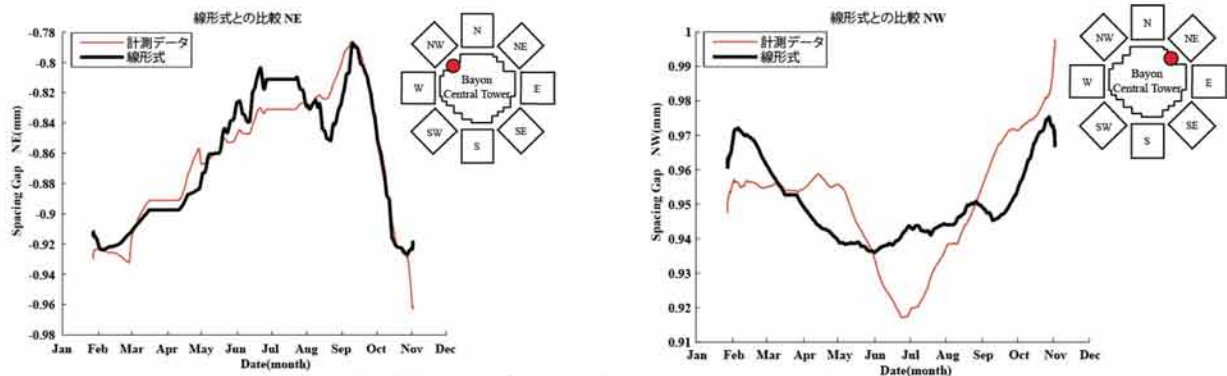


Fig.2 計測値とモデルの比較 (左 : NE、右 : NW)

2.2 計測機器の設置に関して

バイヨン寺院中央塔ギャラリーレベルにおいては、継続的に亀裂変位及び気象観測が行われてきた。近年、観測機材の故障により観測が中断されていたが、今夏にデータロガー、気温、降雨量、の再設置に加え、一部に表面温度、含水率センサを 5 箇所選定し、設置を行った (Fig.3)。これにより、今後も亀裂変位の観測を続ける共に、亀裂変位の原因の分析もより詳細に行うことを可能とした。

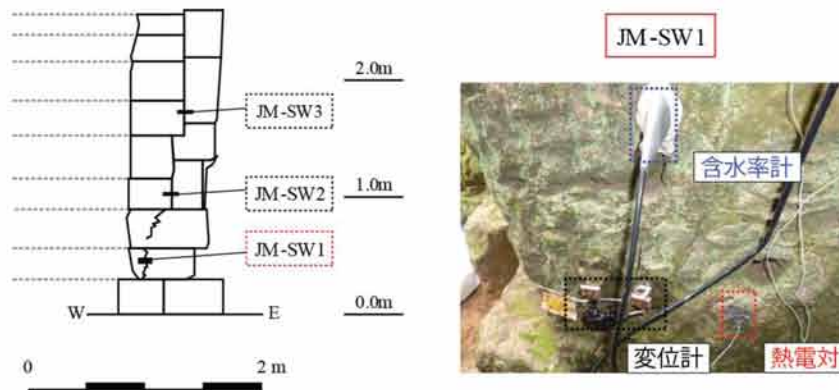


Fig.3 観測センサ設置状況(左 : センサ位置、右 : 各センサ概要)

2.3 測定データでの分析

今夏での約 1 ヶ月分の変位、気温、降雨量との関係性を分析したものである。測定箇所によって、気温、降雨量の影響が確認され、そのことに起因すると考えられる亀裂変位も確認することができた。

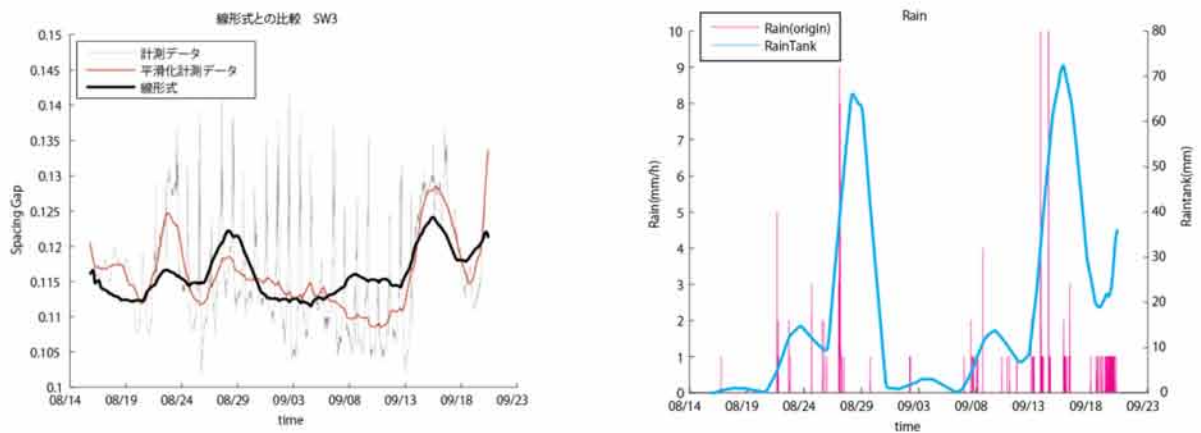


Fig.4 左 : 計測値とモデルの比較、右 : 降水量データ

2.4 研究成果のまとめ

亀裂変位の原因分析として、一次の線形式に含水量モデルなどを組み込んだ分析方法を行った。1年間の変位、気温、降雨量を成分としたモデルから得られた値は、観測された実際の変位変動に近い値を示した。このことから、変位に関して分析方法の有効性が確認できた。今夏より設置した新たな観測機材によって上記に挙げた成分のほか、より詳細な石材の温度や水分量などのデータを得ることを可能とした。これにより、バイヨン寺院ギャラリーレベルでの気温と石材表面温度、降雨量と石材含水量の相関性を明解することが可能であると考えている。

3. 研究業績

3.1 学術論文

清本莉七, 寺田絵美, 新谷真人, 『皺構造の生成と力学特性に関する基礎的研究』, コロキウム構造形態の解析と創生 2012, 日本建築学会, pp.113-118, 2012.10

橋本涼太, 小山倫史, 菊本統, 山田俊亮, 福田光治, 新谷真人, 岩崎好規, 大西有三, 『弾塑性 NMM-DDA によるプラサート・スープラ N1 塔の安定解析および補修効果の事後検討』, 第 13 回 岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 2013, pp.271-276

R.Hashimoto, T.Koyama, M. Kikumoto, S.Yamada, M.Araya, Y.Iwasaki & Y.Ohnishi, Application of coupled elasto-plastic NMM-DDA procedure for the stability analysis of Prasat Suor Prat N1 Tower, Angkor, Cambodia, Geosystem Engineering, 16:1, 62-74

R.Hashimoto, T.Koyama, M. Kikumoto, S.Yamada, M.Araya, Y.Iwasaki & Y.Ohnishi, Y. Development of elasto-plastic NMM-DDA and its application to the stability analysis of Prasat Suor Prat, Angkor. In: Proc. of the 7th Asian Rock Mechanics Symposium (ARMS7), Seoul, Korea, 15-19, October, 2012, pp.796-805

R.Hashimoto, T.Koyama, M. Kikumoto, S.Yamada, M.Araya, Y.Iwasaki & Y.Ohnishi, Stability analysis of masonry structure at Angkor Thom in Cambodia using elasto-plastic NMM-DDA. In: The 4th Central Asian Geotechnical Symposium: Geo-Engineering for Construction and Conservation of Cultural Heritage and Historical Sites - Challenges and Solutions, Samarkand, Uzbekistan, 21-23, September, 2012, pp.84-89.

3.2 総説・著書

3.3 招待講演

“作品を語る ～2012 年日本建築学会賞（作品）受賞者記念講演会～ （東京会場）”
一般社団法人日本建築学会, 東京, July 2012

“作品を語る ～2012 年日本建築学会賞（作品）受賞者記念講演会～ （高知会場）”
一般社団法人日本建築学会, 高知, October 2012

3.4 受賞・表彰

真壁伝承館 日本建築学会賞 日本建築家協会賞
金沢海みらい図書館 日本建築家協会賞
小布施町図書館 日本建築学会作品選奨
宇土市立宇土小学校 第26回村野藤吾賞

3.5 学会および社会的活動

日本建築構造技術者協会 理事、JSCA 賞委員
コロキウム構造形態の解析と創生 2013 -colloquium 2013- 形態創生コンテスト 審査委員長

4. 研究活動の課題と展望

本研究はバイヨン寺院中央塔での亀裂箇所におけるモニタリング、分析に関する研究である。今後は分析に用いるモデルの精度の向上、並びに気温、降雨量と石材の表面温度や含水率との関係性を明らかにしていくことが必要である。それら分析の向上と継続的なモニタリングによって得られたデータからバイヨン主塔の経時的挙動を把握し、その安定性、原因の解明を目指す。

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
(理工学術院総合研究所 准教授)

1. 研究課題

近年の CCD や CMOS デバイスの技術革新により、デジタルカメラやスキャナーなど様々な光センサーが生活の一部として定着している。物理計測も例外でなく、高感度光センサーの開発は、常に時代が求める最先端のニーズである。本研究は宇宙・放射線・素粒子・医療など様々な局面を担う次世代光センサーの開発と、これを用いた理工医学実験を系統的に推進する。具体的には(1) 既存の X 線・ガンマ線天文衛星を用いた高エネルギー宇宙物理現象の解明 (2) 次期 Astro-H 衛星や宇宙ステーション搭載を目指した放射線検出器の開発 (3) 最先端の光センサーを用いた産業・医療・工学分野への新展開、の 3 つのテーマを掲げている。以下では 2012 年度における研究進捗について、各項にわけて詳説したい。

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が発見した未同定ガンマ線天体の多くが、ようやくベールを脱ぎつつある。当研究室はフェルミ衛星打ち上げ当初よりその究明にあたっており、昨年度は伴星をとかす「毒蜘蛛」ガンマ線パルサー 2FGL J2339.0-531 の存在を発見し、ApJ 誌(The Astrophysical Journal 誌)に報告、また早稲田大学よりプレスリリースを行った (2011 年 3 月 21 日、早稲田大学ホームページ http://www.waseda.jp/jp/news11/120322_blackwidowpulsar.html)。本年度はこれに引き続き、二例目となる radio-quiet なミリ秒パルサー 1FGL J1311.7-3429 を新たに報告し、CGRO 衛星以来 20 年謎であった、本天体の正体を明らかにした (Kataoka et al. 2012, ApJ, 757, 176 : 図 1)。とくにこの天体は X 線で激しく時間変動をしていることが特徴で、今後のさらなる観測により 2FGL2339.7-0531 の放射機構との差異、中性子星の進化の過程に新たなメスを入れることが期待される。本年度はさらに、フェルミ衛星が発見した銀河中心の巨大な泡構造“フェルミバ

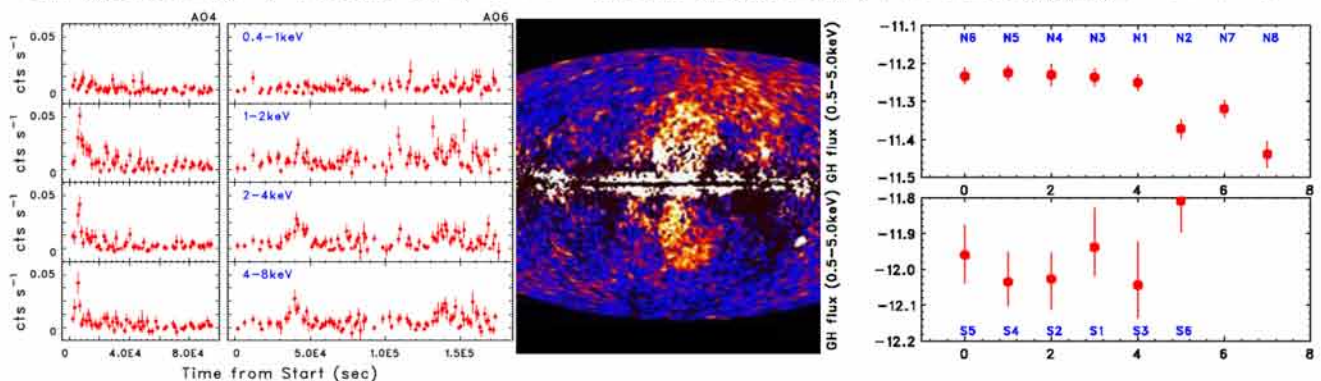


図 1: (左) 1FGL J1311.7-3429 の X 線光度曲線[Kataoka et al. 2012, ApJ] (中)フェルミ衛星の発見した「フェルミバブル」(右) すざく衛星による、バブル境界での強度変化

ブル” (天文学会誌解説記事：2012 年 9 月号；片岡淳ほか)を日本の「すざく」衛星で系統的かつ長時間 (280ksec 観測) し、現在詳細な解析を進めている。招待講演としては、6 月に韓国で開かれた 3rd Fermi Asian Network、10 月に米国モンレーで行われた 4th Fermi symposium において、フェルミ衛星・すざく衛星による最新の観測成果について発表した (いずれも招待講演：片岡)

2.2 Astro-H 衛星、宇宙ステーション搭載を目指した光センサー開発

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)、軟ガンマ線検出器(Soft Gamma-ray Detector: SGD)が搭載される。HXI, SGD とともにコンパクトで高性能な光半導体増幅検出器 APD(Avalanche Photodiode) を用いて BGO シールド検出器の信号を読み出す。本年度は [1] APD アセンブリの接着問題の解決と最適化 [2] フライトモデル APD-BGO シンチレータの組み合わせ決定 [3] アナログ処理部フライトモデルの開発を行った (図 2)。とくに、[1] では EM 品の製作・試験過程において、APD センサーのブレイクダウン電圧が 50V 程度低下する異常が発覚し、原因究明に努めた。結果、APD と BGO の接着に用いる接着剤の硬化収縮でワイヤにテンションがかかり、トラブルを引き起こすことを突き止めた。APD アセンブリの構造に改修を加え、また接着剤を選択することで異常は解消した。振動試験・熱サイクル試験などで最終検証を行っている。[2] 機上で用いる APD のゲインと BGO 光量の組み合わせから、個性を一様化する最適な組み合わせを求め、フライト品の製作に反映する。[3] については前年度までに検討してきたアナログ部パラメータの最終案を用いて試験基板製作を行い、現在最終的な調整を行っている(Saito et al. 2013)。同 APD 検出器は理工学研究所・鳥居教授が主導する CALET 検出器においても TASC 検出器の読み出しに用いられる予定であり、Astro-H と並行・協力しながら試験が進められている。

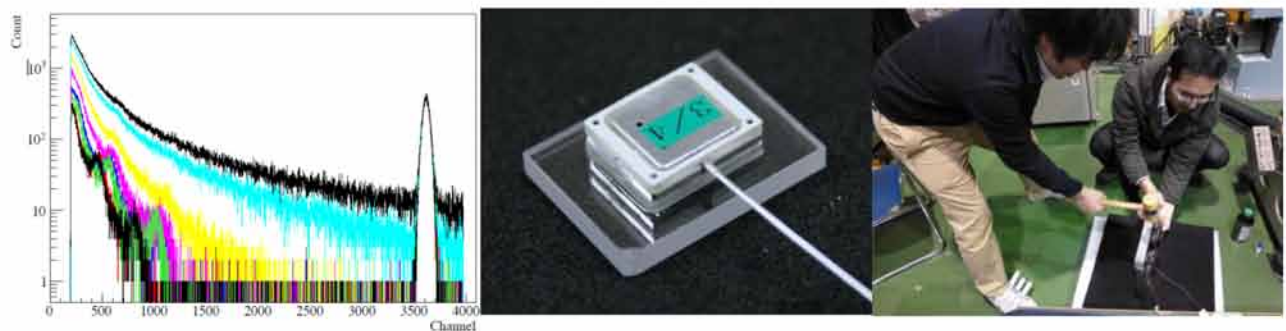


図 2: (左)EM 試験で発覚した APD のノイズ異常 (中) 新規 APD アセンブリ。BGO との接着方法、接着剤を変更 (右)新規 APD アセンブリを用いた高周波衝撃試験の様子 (@ISAS/JAXA)

2.3 次世代 PET 技術開発 (MPPC-PET)

Astro-H, CALET で用いる APD 素子は極めてコンパクトかつ高い量子効率を実現するが、一方ではゲインが低く、ノイズの影響を受けやすい。近年、APD をガイガーモードで動作させる MPPC 光素子が注目を集めており、当研究室では次世代医療用検出器およびコンプトンカメラなどの環境計測 (次章) への応用を進めている (Kato et al. 2013; Kishimoto et al. 2013)。特に本年度は [1] MPPC を用いた 8ch PET ガントリの構築と、臨床試験 [2] TOF-PET 用 LSI の開発 [3] MRI-PET 併用時のノイズ性能評価を行った。[1] について、LYSO の微細シンチ(0.5mm 角)と大面積 MPPC アレーを一体化した小型 PET ユニットの製作、大阪大学医学部においてファントム実験、マウスを用いた臨床実験を行った。いずれにおいても 0.9mm (FWHM: 図 3)の優れた解像度が得られた

が、感度に関してはユニット数を増やすなどして向上をはかりたい。[2] については超高速 LSI を試作し、実機により 200 psec 程度(ただし LSI 単体)の時間分解能が達成されることを示した。今後は MPPC アレー+LYSO シンチレータを用いた 511keV ガンマ線の対向測定により、検出器システム全体の時間分解能向上を目指す。[3] は小動物用の MRI(磁場 4.7T) の RF コイル外側に MPPC-PET ユニットの対向して配置し、MRI-PET 間の相互の影響を定量的に調べた。結果、5% 程度 MRI 画像の S/N が悪化するものの、PET, MRI の同時併用に何ら支障が生ずることもないことが実証された。簡単な試験ではあるが、今後の MRI-PET 開発にむけ大きな一歩となった。

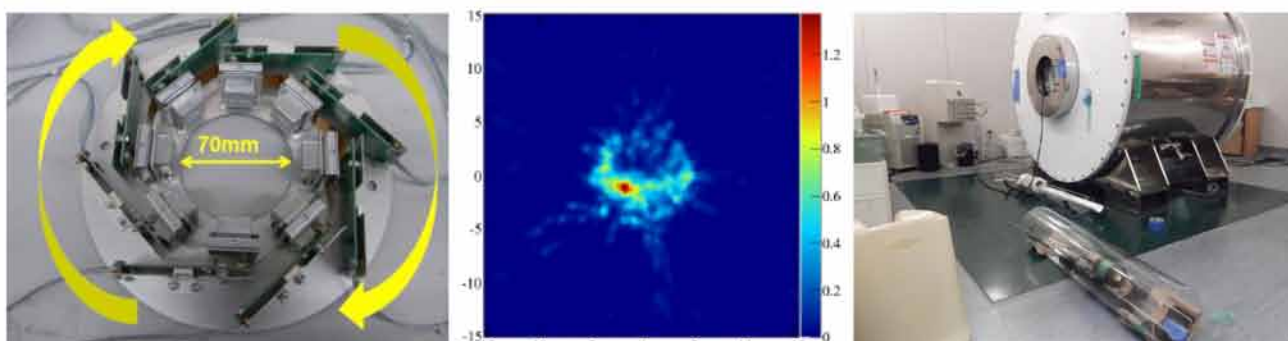


図 3: (左)今年度製作した、8ch MPPC-PET ガントリ (中) 臨床実験により得られたマウス頭部の PET 画像(@阪大医学部) (右) 4.7T 小動物用 MRI と PET 併用実験 (協力: BioView 株式会社)

2.4 革新的ガンマカメラの開発

福島第一原発事故で飛散した放射性核種(おもに ^{137}Cs , ^{134}Cs)はいまだ大きな社会問題とであり、特に線量が高いホットスポットの迅速な発見と除染作業の効率化は急務の課題といえる。通常用いられるサーベイメータは簡便な装置であるが、線量の源を知るために現場をくまなく走査する必要があり、観測中での被爆や作業の非効率性が指摘される。これに対し、ガンマカメラは遠方からガンマ線の画像を取得する新しい技術であるが、既存の製品は感度が低く一枚の画像取得に数十分もの時間がかかること、また、視野外からのガンマ線の混入を防ぐために 10 キロ以上にも及ぶ重厚なシールドが必要など、多くの問題を抱えている。本年度より、当研究室は浜松ホトニクス社と共同で、携帯可能かつ高感度な「革新的ガンマカメラ」の開発を進めている (JST 先端計測プロジェクト: 浜松ホトニクス+早稲田大学: 図 4)。本開発のガンマカメラは 15cm 角程度の小型かつ 1-2 kg と非常に軽量であるが、感度は従来のガンマカメラより 50 倍程度高く、ほぼリアルタイムでガンマ線画像を取得することが可能である。解像度も 10° (FWHM) 程度と十分良好な値が見込まれる。本年度は、この技術の鍵であるガンマ線反応位置の 3 次元画像化技術の開発実証を行い、プロトタイプ

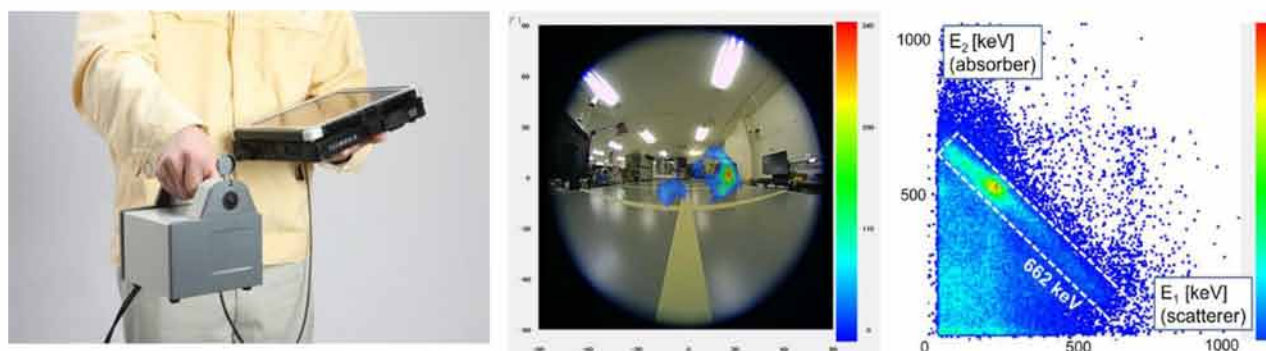


図 4: (左)本研究で浜松ホトニクス社と開発中の携帯型ガンマカメラ (中)ガンマ線源($5\mu\text{Sv/h}$ 相当)の 30 秒集積画像 (右) 画像再構成に用いたスペクトルデータ (コンプトン方式)

ブ機を製作して福島現地で初期実験を行った。リアルタイムで画像を表示するために高速統計画像再構成法 Fast ML-EM (Maximum Likelihood-Expectation Maximization) を新たに開発し、プロトタイプ機に実装することに成功した。来年度はカメラの完成度をさらに高め、早急に除染作業などに適用可能な製品化を目指したい。

3. 共同研究者

中森 健之 (応用物理学科・助教) 渡辺 伸 (JAXA 宇宙科学研究所・客員研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文 (主要なもの)

- A.Kishimoto, J.Kataoka et al., “Development of a dual-sided readout DOI-PET module using large-area monolithic MPPC-arrays”, IEEE-TNS, in press
- H.Matsuda, J.Kataoka, H.Ikeda et al., “Development of ultra-fast ASIC for future PET scanners using TOF-capable MPPC detectors”, NIM-A, 699, 211 (2013)
- T.Kato, J.Kataoka, T.Nakamori et al. “A novel gamma-ray detector with submillimeter resolutions using a monolithic MPPC array with pixelized Ce:LYSO and Ce:GAGG crystals”, NIM-A, 699, 235 (2013)
- 片岡 淳, 戸谷 友則, 井岡 邦仁 「フェルミ・バブルから探る銀河系中心の過去の活動性」 日本天文学会誌 vol.105 p.542-553, 2012 年 9 月発表
- J.Kataoka, T.Saito, M.Yoshino et al. “Expected radiation damage of the reverse-type APDs for the Astro-H mission”, Journal of Instrumentation, 10.1088/1748-0221/7/06/P06001(14pages), (2012)
- J.Kataoka, Y.Yatsu, N.Kawai et al. “Toward Identifying the Unassociated Gamma-ray Source 1FGL J1311.7-3429 with X-ray and Optical Observations”, The Astrophysical Journal, 757, 176 (2012)
- Y.Takeuchi, J.Kataoka, L.Stawarz et al. “Suzaku X-ray Imaging of the Extended Lobes in the Giant Radio Galaxy NGC6251 Associated with the Fermi-LAT Source 2FGL J1629.4+8236”, The Astrophysical Journal, 749, 66 (2012)

ほか共著論文 20 編

4.2 招待講演・口頭講演 (国際学会)

- J.Kataoka et al, “Handy Compton camera using 3D position-sensitive scintillators coupled with large-area monolithic MPPC arrays”, VCI2013, 2/13, Wien (2013)
- J.Kataoka et al, “Expected radiation damage of reverse-type APDs for the Astro-H mission”, IEEE-MIC/NSS, 10/30, California (2012)
- J.Kataoka, “Non-Blazar AGN and AGN Unification in the Fermi Era”, 4th Fermi Symposium, Monterey, Oct 31, (2012)

- 片岡 淳, “大面積 MPPC-array を用いた 放射線検出器の新展開”, (2012)、第 4 回光センサーワークショップ, 12/26, 大阪大学 (2012)
- 片岡 淳, “大面積 MPPC-array を用いた 放射線検出器の新展開”, 応用物理学会・放射線分科会・定期講演会, 11/17, 東京大学 (2012)
- J.Kataoka, “Fermi LAT observations of AGN & unID sources: Update”, FAN3 workshop, June 20-24, Korea (2012)
- 片岡 淳, “「3 次元」高解像度・高時間分解能 次世代 PET モジュールの開発状況”, 放射線プロセスシンポジウム, 6/28, 東京大学 (2012)

4.3 特許の申請

- 特願 2012-157920 「コンプトンカメラ」片岡 淳、岸本 彩、加藤 卓也（早稲田大学）大須賀 慎二、中村 重幸、平柳 通人（浜松ホトニクス）
- 特願 2011-289480 「放射線検出器」片岡 淳、岸本 彩（早稲田大学）鎌田 圭（古河機械金属）：日・米・欧 国際特許として申請（PCT/JP2012/008129）特願 2011-289480 「放射線検出器」

5. 研究活動の課題と展望

宇宙物理実験については、Astro-H 衛星の打ち上げに向けハードウェア開発に従事すると同時に、Science Working Group (Galactic Center group) のサブ・リーダーとして全体を良く統括し、Astro-H のサイエンスを最大限に引き出すべく努力したい。データ解析については、「すざく」AO8 においてフェルミ・バブルの追観測が採択され(PI: M.Tahara)、前年度までのデータを完成させる意味においても重要な観測となると期待される。医療系検出器の開発においては、本年度までにおいて TOF, DOI, MRI を視野に入れた基盤技術が完成し、いよいよ平成 25 年度から PET 装置としての性能評価試験を始める。まずは 8ch 程度のガントリに非磁化対策を施し、MRI との併用実験に臨みたい、その後、DOI を組み込んだ 2-4 ch のガントリを組み、画像視野端での歪み改善を目指す。最後に、ガンマカメラに関しては福島への早急な対応を意識して、急ピッチな開発を進める。とくに、本年度は 3 次元シンチレータ方式のコンプトンカメラの開発を行い、本年度開発したプロトタイプ機よりも解像度がさらに向上することを実機で確認したい。

遺伝情報の維持と継承の分子機構：

染色体基本構造と DNA 組換え機構の解明を目指して

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

DNA は生物の遺伝情報を担う本体であり、ヒトを含め真核生物では染色体という構造体として細胞の核内に緻密に収納されている。この染色体の立体構造およびそのダイナミクスを通して、遺伝子の機能・発現制御が行われている。しかし、染色体の細胞核内での高次の折りたたみ構造の詳細に関しては明らかになっていない。そこで我々は、染色体の構成タンパク質や DNA を調製し、試験管内で再構成によって組み立てることで、真核生物の染色体における遺伝子の収納、複製および修復といった機能発現のメカニズムの解明を目指し、研究を行っている。

2. 主な研究成果

2-1. セントロメアタンパク質のセントロメア領域への特異的な結合メカニズムの解明

ヒトのゲノム DNA は、S 期に複製されたのち M 期に染色体構造を形成し、2 つの娘細胞に均等に分配されるが、この均等分配に重要な ゲノム DNA 上領域がセントロメア領域である。セントロメア領域の形成不全は、染色体の均等分配の異常による染色体の異数性を引き起こす。これまでに、染色体セントロメア領域に局在する DNA 結合タンパク質として、CENP-A、CENP-B、CENP-C などが同定されている。CENP-A および CENP-C は、セントロメアの基盤構造形成に必須である。一方、CENP-B はヒト培養細胞での人工染色体の確立に必須であることから、de novo のセントロメア領域形成に重要であると考えられている。しかし、CENP-B のセントロメア領域以外への結合は、その周辺のヘテロクロマチン化を引き起こし、セントロメア領域形成に重要なヒストンバリエントである CENP-A を含むヌクレオソームの形成が抑制されることが明らかになっている。このことから、CENP-B のセントロメア領域以外への非特異的な結合は、細胞にとって有害であると考えられる。従って細胞には、CENP-B の染色体との不適切な相互作用を抑制する仕組みが存在すると考えられるが、そのメカニズムは不明であった。今回我々は、ヒストンシャペロンタンパク質である Nap1 が CENP-B のクロマチンへの非特異的な結合を抑制し、CENP-A を含むクロマチンへの特異的な結合を促進することを明らかにし、Nucleic Acids Research に発表した(図 1)。本研究によって、Nap1 と

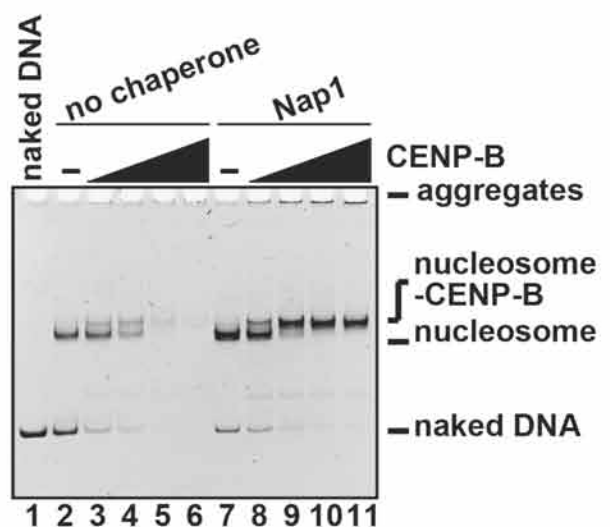


図 1. Nap1 による CENP-B のヌクレオソームとの特異的結合の促進

CENP-B との機能的な関連が明らかになり、セントロメア領域のクロマチンの形成機構解明に向けての重要な知見が得られた。

2-2. DNA 架橋修復因子の機能解析

生物のゲノム情報を担う DNA は、紫外線や放射線等の外的要因や、細胞内代謝物などによる内的要因により常に損傷を受けている。中でも、アルコールの細胞内代謝で生じるアルデヒドは、二重鎖 DNA の相補鎖同士を架橋することが知られている。このような DNA 損傷は DNA 鎖間架橋 (ICL) と呼ばれ、二重鎖 DNA の開裂を妨げるため、細胞が機能する上で必要不可欠な DNA 複製や転写が強く阻害される。生物は、このような損傷を効率良く修復する反応経路を、進化

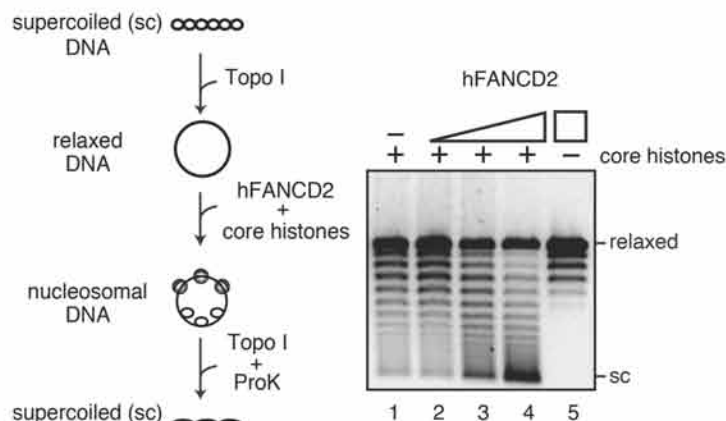


図 2. FANCD2 のヒストンシャペロン活性解析

の過程で獲得してきた。しかし、その分子機構の詳細については依然不明瞭である。ヒトをはじめとする高等真核生物の ICL 修復経路では、特に FANCI-FANCD2 複合体 (ID 複合体) と呼ばれるタンパク質のヘテロ二量体が中心的な役割を担っていることが、遺伝学的解析および細胞生物学的解析などから明らかになってきた。しかし、ID 複合体のクロマチンでの DNA 修復における機能は明らかになっていない。そこで我々は ID 複合体の機能を明らかにし、ICL 修復機構を解明することを目的に研究を行った。まず、ID 複合体が染色体構成因子であるコアヒストンと直接相互作用することを見だし、コアヒストンを DNA 上へとアセンブリーする活性 (ヒストンシャペロン活性) を有することを生化学的解析によって発見した。コアヒストンと相互作用し、アセンブリーする触媒サブユニットは FANCD2 であり、FANCI がその活性を促進する活性調節サブユニットであることも明らかにした。このような活性を有するヒストンシャペロンタンパク質群は、細胞内のコアヒストンの貯蔵や動態を調節することが知られている。実際、FANCD2 をノックダウンした細胞ではコアヒストンの動態が低下したことから、ID 複合体は、コアヒストンの動態を制御することによって、クロマチンにおける DNA 修復を行う重要な因子であることが明らかになった。本研究成果は、EMBO Journal 誌に発表した。

3. 研究業績

3-1. 学術論文

1. Osakabe A, Tachiwana H, Takaku M, Hori T, Obuse C, Kimura H, Fukagawa T, Kurumizaka H. Vertebrate Spt2 is a novel nucleolar histone chaperone that assists in ribosomal DNA transcription. *J Cell Sci.*, 2013, in press
2. Ichikawa Y, Kagawa W, Saito K, Chikashige Y, Haraguchi T, Hiraoka Y, Kurumizaka H. Purification and characterization of the fission yeast telomere clustering factors, Bqt1 and Bqt2. *Protein Expr. Purif.*, 2013, 88(2):207-213.
3. Tachiwana H, Miya Y, Shono N, Ohzeki JI, Osakabe A, Otake K, Larionov V, Earnshaw WC, Kimura H, Masumoto H, Kurumizaka H. Nap1 regulates proper CENP-B binding

- to nucleosomes. *Nucleic Acids Res.*, 2013, in press
4. Sato K, Ishiai M, Toda K, Furukoshi S, Osakabe A, Tachiwana H, Takizawa Y, Kagawa W, Kitao H, Dohmae N, Obuse C, Kimura H, Takata M, **Kurumizaka H**. Histone chaperone activity of Fanconi anemia proteins, FANCD2 and FANCI, is required for DNA crosslink repair. *EMBO J.*, 2012, 31(17):3524-36.
 5. Harada A, Okada S, Konno D, Odawara J, Yoshimi T, Yoshimura S, Kumamaru H, Saiwai H, Tsubota T, **Kurumizaka H**, Akashi K, Tachibana T, Imbalzano AN, Ohkawa Y. Chd2 interacts with H3.3 to determine myogenic cell fate. *EMBO J.*, 2012, 31(13):2994-3007.
 6. Arimura Y, Tachiwana H, Oda T, Sato M, Kurumizaka H. Structural Analysis of the Hexasome, Lacking One Histone H2A/H2B Dimer from the Conventional Nucleosome. *Biochemistry*, 2012, 51(15):3302-3309.
 7. Sato K, Toda K, Ishiai M, Takata M, Kurumizaka H. DNA robustly stimulates FANCD2 monoubiquitylation in the complex with FANCI. *Nucleic Acids Res.*, 2012, 40(10):4553-4561.
 8. Shigechi T, Tomida J, Sato K, Kobayashi M, Eykelenboom JK, Pessina F, Zhang Y, Uchida E, Ishiai M, Lowndes NF, Yamamoto K, **Kurumizaka H**, Maehara Y, Takata M. ATR-ATRIP kinase complex triggers activation of the Fanconi anemia DNA repair pathway. *Cancer Res.*, 2012, 72(5):1149-1156.
 9. Kujjo LL, Ronningen R, Ross P, Pereira RJ, Rodriguez R, Beyhan Z, Goissis MD, Baumann T, Kagawa W, Camsari C, Smith GW, **Kurumizaka H**, Yokoyama S, Cibelli JB, Perez GI. RAD51 Plays a Crucial Role in Halting Cell Death Program Induced by Ionizing Radiation in Bovine Oocytes. *Biol Reprod.*, 2012, 86(3):76.
 10. Morozumi Y, Ino R, Takaku M, Hosokawa M, Chuma S, Kurumizaka H. Human PSF concentrates DNA and stimulates duplex capture in DMC1-mediated homologous pairing. *Nucleic Acids Res.*, 2012, 40(7):3031-3041.

3・2. 総説・著書

Kurumizaka H, Horikoshi N, Tachiwana H, Kagawa W. Current progress on structural studies of nucleosomes containing histone H3 variants. *Curr. Opin. Struct. Biol.*, 2013, 23(1):109-115.

3・3. 招待講演

1. Telluride Workshop on Chromatin Structure and Dynamics 「Structural basis for the functional versatility of human nucleosomes containing histone variants」、2012年8月7日 (Telluride)
2. 3R Symposium 「Nucleosome structures during transcription and DNA repair」、2012年11月27日 (淡路)
3. 第35回日本分子生物学会年会「エピゲノムを担う機能的クロマチンにおけるヒストンバリエーションの構造的役割」、2012年12月12日 (福岡)
4. 第85回日本生化学会大会「ヒストンとヒストンシャペロンによるクロマチンダイナミクス機構」、2012年12月15日 (福岡)
5. ヒストンバリエーション研究会「ヒストンバリエーションによるヌクレオソームの構造多様性」、2013

年 3 月 8 日 (福岡)

3-4. 学会および社会的活動

第 85 回日本生化学会大会「再構成系によるクロマチンでの相同組換え機構の解析」、2012 年 12 月 16 日 (福岡)

(他多数)

3-5. 新聞発表

1. “がん化抑制因子特定 遺伝子の修復機能解明 早大”, 日刊工業新聞, 7 月 25 日 (2012)
2. “ヒストン除去しがん抑制 ファンconi貧血の原因遺伝子産物 早大、仕組み解明”, 化学工業日報, 年 7 月 25 日 (2012)

4. 研究活動の課題と展望

これまでに、種々のヒストンバリエーションや変異体を含むヌクレオソームを試験管内で再構成し、それら単体の構造を原子レベルで明らかにすることに成功してきた。また、これらによって染色体の機能発現に重要な、クロマチンの高次構造やそのダイナミクスを原子レベルで解明することが可能になってきた。我々は、クロマチンの基盤であるヌクレオソームが複数個繋がったポリヌクレオソームや、高次構造形成に重要なリンカーヒストンを含むヌクレオソーム (クロマトソーム) の再構成に成功している。今後は、これらのヌクレオソーム、クロマトソーム、クロマチンなどの構造生物学的および生化学的解析を通して、機能的な高次クロマチン構造の解明を目指す。また、**CENP-A** ヌクレオソームに **CENP-B** が結合した複合体の立体構造を明らかにし、セントロメア領域特異的なクロマチンの構築原理の解明をも目指す。さらには、高次クロマチン構造上での相同組換え反応についても解析し、染色体安定維持機構の欠損に起因する、がんや遺伝病の発症機構の解明を目指す。また、平行して相同組換え修復因子の活性制御化合物の探索を行い、相同組換え修復経路を標的とした分子標的薬の開発にも貢献する。

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。

昨年度は、絶対零度及び有限温度の一様核物質に対するクラスター変分法 (有限温度核物質に対しては Schmidt-Pandharipande の方法) による、最終的な SN-EOS テーブルで用意する予定の密度・温度・陽子混在度の組み合わせの全てにおいて、一様核物質の (自由) エネルギーの計算を終了した。今年度はその自由エネルギーから各種熱力学量を導出し、様々な密度、温度、陽子混在度において、その熱力学量に不自然な振る舞いが無いかを調べた。その結果、特に温度効果が相対的に小さい領域において、運動量空間における核子状態の平均占有確率を表す Fermi 分布関数の数値的取り扱い等に困難が生じ、熱力学量の不自然な振る舞いが見つかった。またこの問題を回避するためには、Fermi 分布関数の低温近似表式を用いることが有効であることも判明した。

次に、この有限温度一様非対称核物質 EOS が SN シミュレーションに有効であることを確認するために、非一様な低密度領域を既存の SN-EOS の一つである Shen-EOS で代用し、SN の一般相対論的 1 次元断熱流体計算を実行した。SN 計算コードは問題無く動作し、球対称断熱近似において、本研究による SN-EOS は、Shen-EOS に比べて柔らかい傾向にあることが確認された。

また、本研究による一様核物質 EOS に基づき、非一様核物質の自由エネルギーを Thomas-Fermi (TF) 近似によって計算する研究において、昨年度は計算時間の短縮のために、陽子混在度 Y_p による補間方法を工夫することで、少ないデータ数の一様核物質 EOS で TF 計算の精度を保つ処方を提案した。しかし今年度、TF 計算を遂行した結果、上記提案のデータ数では十分な精度での TF 計算が困難であることが判明した。そこで TF 計算結果が十分な精度を得るまで、一様相の自由エネルギーのデータを増やす研究を進めた。具体的には KEK のスーパーコンピュータ IBM Blue Gene/Q を利用した計算を行い、当初予定していたデータ数の 10 倍以上の数のデータを完備することで、典型的な平均密度、温度、平均 Y_p における TF 計算の精度を保証することが可能となった。

さらに SN-EOS では、有限温度核物質相において、 α 粒子を典型とする軽元素の混在が重要な役割を果たす。そこで本研究では Shen-EOS の処方に習って、 α 粒子を相互作用しない有限体積を持つ古典粒子として扱い、一様相における α 粒子の混合を取り扱った。その結果 α 粒子は、

Shen-EOS の場合と類似の混在度を示すことが判明した。

図 1 に、本研究で得られた絶対零度一様非対称核物質 EOS に基づく中性子星構造計算結果を示す。我々の作成した EOS は中性子星の観測データと矛盾しないことが分かる。

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。特に核力として、2 体の中心力およびテンソル力を考慮した場合を取り扱った。

まず中性子物質の場合、EEF は一核子当たりのエネルギー E/N をスピン依存の動径分布関数 $F_s(r)$ (s は 2 核子のスピン) とテンソル型分布関数 $F_T(r)$ で表す。そしてこれらの関数についての変分により Euler-Lagrange 方程式を求め、それを数値的に解くことで、最小化したエネルギーを得る。昨年度は、この変分計算結果が、粒子数保存の条件である Mayer 条件を破る場合、healing distance を導入することで Mayer 条件を保証する処方を提唱した。すなわち中性子物質の場合、 $F_s(r)$ と $F_T(r)$ はそれぞれ中心力的 healing distance r_c およびテンソルの healing distance r_T 以上の長距離相関を持たない、と仮定する。Mayer 条件は、構造関数 $S_{cl}(k)$ が k の原点で 0 になる、という表式で与えられるため、昨年度は $|S_{cl}(0)|$ を極小にするように、 r_c , r_T を決定した。この方法は従来提唱していた Moderately Constrained Variational Method (MCVM) に比べて不定性が少ない点で優れているが、今年度の研究で、上記の healing distance r_c , r_T の決定方法にも若干の不定性が残ることが判明した。そこで新たに、 $\varepsilon_n = E/N + \Lambda |S_{cl}(0)|^2$ を最小にするように、 r_c , r_T を決定する方法を用いた ($\Lambda = 1000$ MeV)。さらに r_c を s に依存させ、それらを独立に扱って ε_0 を最小化する試みも行った。その結果、得られる E/N は、上記の healing distance の決定方法の違いには大きく影響しないことが確認された。さらに同様の研究を対称核物質の場合にも行った。この場合、粒子数保存の条件は陽子数と中性子数それぞれの保存を意味し、通常の構造関数 $S_{cl}(k)$ に加え、アイソスピンを重みとした構造関数 $S_{c3}(k)$ が共に k の原点で 0 となる条件と等価である。従って $\varepsilon_s = E/N + \Lambda [|S_{cl}(0)|^2 + |S_{c3}(0)|^2]$ を、まず r_c , r_T について最小化する計算を行った。その結果は中性子物質の場合と同様に、昨年度の healing distance 決定方法による E/N と大きく異ならないことが確認された。さらに対称核物質の場合は分布関数が 2 核子のアイソスピン t に依存するため、 r_c , r_T を t, s に依存させた 6 個のパラメーターでの ε_s の最小化を、現在遂行中である。

3. 研究業績

3.1 学術論文

H. Togashi and M. Takano, "Variational study for the equation of state of asymmetric nuclear matter at finite temperatures", Nucl. Phys. A 902 (2013) pp. 53-73.

M. Takano, T. Togashi, S. Yamamuro, K. Nakazato and H. Suzuki, "Variational Method for Nuclear Matter with an

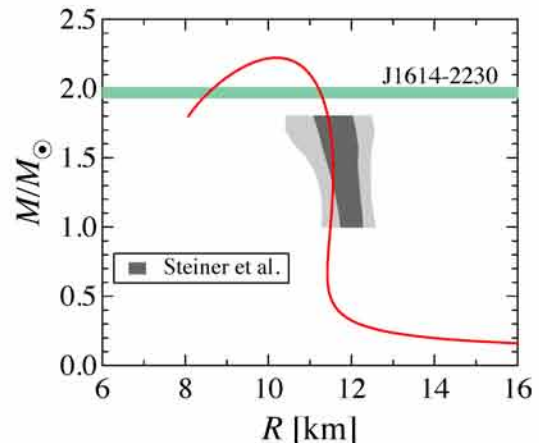


図 1 : クラスタ変分法により作成した一様核物質の状態方程式に基づく中性子星の質量 M (太陽質量単位) と半径 R の関係。緑の帯は PSR J1614-2230 の質量観測値を表す。また灰色の領域は Steiner らが複数のパルサーの観測データから解析した中性子星の M と R の関係 (濃い灰色と薄い灰色はそれぞれ 1σ , 2σ の誤差) を示す。

Explicit Energy Functional”, PoS (NIC XII) 236 (2012).

M. Takano, T. Togashi, S. Yamamuro, K. Nakazato and H. Suzuki, “Cluster Variational Method for Nuclear Matter with the Three-Body Force”, AIP Conference Proceedings 1484 (2012) 378.

3.3 講演

鷹野正利, 山田勝美「一様核物質に対するエネルギー汎関数を用いた変分法の改良 II」日本物理学会（広島大学東広島キャンパス）2012年3月26日

富樫甫, 山室早智子, 中里健一郎, 鷹野正利, 鈴木英之, 住吉光介「クラスター変分法による超新星爆発計算用核物質状態方程式」日本物理学会（広島大学東広島キャンパス）2012年3月26日

山室早智子, 鈴木英之, 中里健一郎, 富樫甫, 鷹野正利「有限温度超新星物質における α 粒子を考慮した非一様状態相の計算」2013年3月20-23日、日本天文学会（埼玉大学）（ポスター発表）

Hajime Togashi, Sachiko Yamamuro, Ken'ichiro Nakazato, Hiroaki Kanzawa, Masatoshi Takano and Hideyuki Suzuki, “Nuclear Equation of State for Supernova Simulations with the Cluster Variational Method”, 早稲田大学大学院先進理工学研究科物理学及応用物理学専攻「卓越した大学院拠点形成支援事業 スタートアップ・シンポジウム」2013年3月19日

H. Togashi, H. Kanzawa, M. Takano, S. Yamamuro, H. Suzuki, K. Nakazato, K. Sumiyoshi and H. Matsufuru, “Variational Study of a Nuclear Equation of State for Core-Collapse Supernovae”, Quarks to Universe in Computational Science (QUCS 2012), Dec. 14, Nara, Japan (Oral presentation).

M. Takano, Variational Method with an Explicit Energy Functional for Nuclear Equation of State, Quarks to Universe in Computational Science (QUCS 2012), Dec. 13 Nara, Japan (Poster presentation).

鷹野正利「変分法による核物質状態方程式の天体現象への応用」国立天文台理論天文学研究会 2012（マホロバ・マインズ三浦）2012年11月6日（招待講演）

山室早智子, 鈴木英之, 中里健一郎, 富樫甫, 鷹野正利, 「超新星核物質の有限温度、低密度状態における代表的原子核の計算」日本物理学会（京都産業大学）2012年9月13日

鷹野正利, 田中利典, 山田勝美, 富樫甫, 山室早智子, 中里健一郎, 鈴木英之, 住吉光介, 松古栄夫「現実的核力を用いた変分法と核物質状態方程式」基研研究会「ハドロン物質の諸相と状態方程式- 中性子星の観測に照らして-」2012年8月30日

M. Takano, K. Tanaka, M. Yamada, S. Yamamuro, H. Suzuki, K. Nakazato, K. Sumiyoshi and H. Matsufuru, “Variational Method for Nuclear Matter with an Explicit Energy Functional”, Nuclei in the Cosmos XII, Aug. 12-17, 2012, Cairns, Australia. (Poster presentation)

3.5 学会及び社会的活動

「サマースクール「クオークから超新星爆発まで」- 基礎物理の理想への挑戦-」2012年7月27-31日、宇宙分野分担（京大基礎物理学研究所）

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、最終的なEOSテーブルの完成に向けてTF計算を進め、必要に応じて一様核物質データの追加計算を行う。エネルギー汎関数を用いた変分法については、スピン・軌道力への拡張、3体力への拡張をさらに進め、また有限温度への拡張および非対称核物質への拡張も行う。

統計科学と金融工学（研究重点研究）

研究代表者 谷口 正信
(研究重点教員/ 応用数理学科教授)

1. 研究課題

極めて一般的な確率過程の最適推測理論の構築を基礎として以下に取り組んだ。

- (1) 極めて一般的な確率過程として、従来の解析では適当な次数のモーメントを持つものを取り扱うが、本研究ではモーメントを持たない安定過程の推測理論の構築や経験尤度法、非母数手法の導入を行った。
- (2) 因果性解析を Whittle 尤度の基づいて行い、Granger 因果性検定統計量の構築と、その局所検出力の評価や最適ポートフォリオの統計推測を因果変数がある場合、正準相関解析を用いて解析をおこなった。

2. 主な研究成果

基礎的研究としては、確率過程に対する統計的最適推測論の研究である。まず従来の推定量を縮小したものの提案とその「よさ」を2次損失で評価したものや、最良線形予測子を縮小化して予測2乗平均をより小さくする研究も遂行した。また Whittle 推定量は、基本的なよさを持つ推定量として知られているが、2次のバイアスが大きくなることがあり、これを改善すべく、周波領域での Jackknife 推定量を提案して、2次バイアスを消せることを示した。

金融数理においては、金融資産の収益率は、実証分析の立場より、非正規、非線形、従属過程で記述されると想定される。これを記述する数理モデルは確率過程である。まず、このような確率過程に対する最適統計的推測論は局所漸近正規性に基づき、研究代表者のグループやベルギー学派が推進してきた。2012年度は、この流れに乗って革新過程がモーメントを持たない安定分布に従う多次元線形過程のポートフォリオ推測を経験尤度法で推測、検定を行った。多くの統計解析は、母数型モデルを仮定して行われるが、金融、経済分野では、この設定はきつく非母数解析が望まれる。この方向では、時系列解析における経験尤度法が重要で、特に安定過程に対して基準化されたピリオドグラムに基づく Whittle 尤度型の経験尤度の導入とその基礎理論構築を推進した。具体的には一般的ダイバージェンスに基づいた時系列の経験尤度検定、推定法の提案とその統計的性質の研究。またこれらのポートフォリオ解析への適用を行った。また非正規多変量収益率過程のポートフォリオに、外生的因果変数がある場合に、この因果性変数の情報を用いる正準相関解析を用いてポートフォリオ係数を推測することを提案した。

上記の基礎理論的成果に基づき時系列収益率過程に対するポートフォリオ係数の最適推測論を展開した。通常は、標本平均と標本分散で記述される平均・分散ポートフォリオが主流であるが、研究代表者等は、従属収益率を想定すると、これは一般に最適推定量にならないことが示したが、本研究では、分布の裾の厚さに対処するため、基準化された統計量に基づくポートフォリオ推定の基礎を論じた。また、諸成果の年金ポートフォリオへの応用として、現行ポートフォリオの予測最適性を摂動型説明変数をもちいた線形予測子で予測することにより、現行ポートフォリオ構成での3時点過去まででのある種の予測最適性を示した。

3. 研究業績

- [1] Amano, T., Kato, T. and Taniguchi, M. (2012). Statistical estimation for CAPM with long-memory dependence. Advances in Decision Sciences : Special Issue on "Statistical Estimation of Portfolios for Dependent Financial Returns". Lead Guest Editor, Taniguchi, M. Article ID 571034, 12 pages.
- [2] Taniguchi, M. and Hirukawa, J. (2012). Generalized information criterion. J. Time Series Analysis. 33, 287 - 297.
- [3] Taniguchi, M., Tamaki, K., DiCiccio, T.J. and Monti, A.C. (2012). Jackknifed Whittle estimators. Statistica Sinica. 22-3, 1287 - 1304.
- [4] Taniguchi, M., Petkovic, A., Kase, T., DiCiccio and Monti, A.C. (2012). Robust portfolio estimation under skew-normal return processes. The European Journal of Finance .1 - 22, iFirst.
- [5] Hamada, K., Dong Wei Ye and Taniguchi, M. (2012). Statistical portfolio estimation under the utility function depending on exogenous variables. Advances in Decision Sciences : Special Issue on "Statistical Estimation of Portfolios for Dependent Financial Returns". Lead Guest Editor, Taniguchi, M. } Article ID 127571, 15 pages.
- [6] Shiraishi, H., Ogata, H., Amano, T., Patilea, V., Veredas, D. and Taniguchi, M. (2012). Optimal portfolios with end-of-period target. Advances in Decision Sciences : Special Issue on "Statistical Estimation of Portfolios for Dependent Financial Returns". Lead Guest Editor, Taniguchi, M. Article ID 703465, 13 pages.
- [7] Hamada, K. and Taniguchi, M. (2012). Multi-step ahead portfolio estimation for dependent return processes. To appear in ASTE, Research Institute for Science and Engineering, Waseda University Special Issue "Financial and Pension Mathematical Science : Editor, M. Taniguchi.
- [8] Taniai, H., Usami, T., Suto, N. and Taniguchi, M. (2012). Asymptotics of realized

volatility with non-Gaussian ARCH(infty) microstructure noise. J. Financial Econometrics. 10, 617 – 636.

本研究の成果の多くは

(1) 理工研報告特集号 第9号2013年3月「金融および年金数理」編集委員長 谷口 正信

(2) 英文著書：

“Statistical Inference for Financial Engineering”.

by Taniguchi, M., Amano, T., Ogata, H. and Taniai, H.

Springer Briefs 2013, Springer-Verlag.

に掲載予定である。

4. 研究活動の課題と展望

本研究は、研究代表者個人と年金関係の研究者達と大学に籍を置く統計科学の研究者達の共同研究を基礎として遂行された。この研究関係で開催されたセミナー、研究業績等の一覧は

<http://www.taniguchi.sci.waseda.ac.jp/>

に置いている。研究論文や協業的セミナーは、予想以上にできたと思われる。あえて課題を述べるとすれば、本格的な統計データ解析の専門家を入れるべきであったかと思われる。

年金研究者からは、ポートフォリオ係数は、因果的影響をもつ外生変数に依存すべきとのモチベーションを貰い、大学側統計理論の専門家は、新しい理論構築をすべき問題を得た。このように将来の展望とするとすれば、理論→ 応用 → 理論 → の形での輪廻的發展を図っていきたい。また、現プロジェクトでも、製薬企業の研究者にも加わってもらったが、統計数理の立場からは、年金、金融、生体、医学、等は、それぞれの分野でデータを変えれば同一の視点で解析可能でさらなる広汎な展開を目論んでいる。

高エネルギー宇宙粒子物理学研究

研究代表者 鳥居 祥二
(理工学研究所 教授)

1. 研究課題

宇宙における高エネルギー現象の研究は、宇宙の成り立ちや宇宙における様々な物理現象の解明に不可欠であり、新たな物理法則の発見も期待される自然科学における重要な分野である。とりわけ、宇宙から降り注ぐ素粒子や原子核（宇宙線と呼ぶ）の研究は、電磁波では得られない宇宙における高エネルギー天体（超新星、パルサー等）の物理現象の解明や銀河構造の解明に重要な情報をもたらす。さらに、宇宙初期に生成され現在も宇宙の質量の多くの部分をしめるといわれる暗黒物質の解明にも有力な手掛かりを与えることができる。

しかしながら、宇宙線が発見されて100年を経た今でも、その正体を解明するに十分な観測が実施されたとは到底言えない状況である。その理由は、宇宙線は電磁波（放射線）と異なり観測が困難で、しかもエネルギーが高くなるほどその数が急激に減少するため、大型かつ高性能な観測装置による宇宙空間での長期間観測が不可欠なためである。本研究では、宇宙空間や高山における観測手段を駆使して、宇宙線の加速・伝播機構の総合的な解明を目指す。

2. 主な研究成果

宇宙における高エネルギー現象の総合的解明のため、気球実験の経験をもとに国際宇宙ステーション(ISS)「きぼう」での宇宙線観測計画を立案し、宇宙航空研究開発機構(JAXA)との共同研究として、高エネルギー宇宙線観測プロジェクト(CALET)をプロジェクトリーダーとして推進している。この研究では、超新星爆発やパルサー等で加速される高エネルギー宇宙線の観測により、高エネルギー宇宙の体系的解明を目指すとともに、宇宙物理学最大の謎である暗黒物質の探索を実施することをめざしている。このため、プロジェクト研究 (CALET)と連携して、ISS 搭載装置の基礎的な開発として主検出器であるカロリメータの各コンポーネントについて、気球実験装置を用いた性能評価試験を加速器ビーム実験等により実施した。これに関連して、中国の将来計画である暗黒物質探索実験との共同研究を、日本学術振興会の日中二国間交流事業（共同研究）により推進し、観測データの解析手法の開発について相互に検討を行った。

この他、本研究では東京大学宇宙線研究所を日本側ホスト機関とする日中共同のチベット高原における空気シャワー観測実験により、さらに高エネルギー領域での宇宙線研究に参加している。また、日本とイタリアを中心とする欧米諸国との共同研究として、欧州共同原子核研究所(CERN)の Large Hadron Collider (LHC) のプロジェクトである LHCf 実験に参加して、装置開発及びデータ解析を日本側の主要メンバーとして実施している。本研究では、高エネルギー宇宙線の研究に不可欠な、ハドロン相互作用のシミュレーションモデルの確立をめざして、宇宙線観測に必要な二次粒子エネルギースペクトルの測定を世界最高エネルギー領域で行っている。

3. 共同研究者

笠原克昌（理工学術院総合研究所 客員教授）

小澤俊介（重点領域研究機構 次席研究員）

小谷太郎（重点領域研究機構 次席研究員）

中川友進（理工学研究所 次席研究員）

槇野文命（理工学研究所 招聘研究員）

水谷興平（理工学研究所 招聘研究員）

4. 研究業績

4.1 学術論文

鳥居祥二, "CALET Mission for exploring the high energy universe", IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, 132(8) (2012) pp.603-608.

仁井田多絵、鳥居祥二、小澤俊介 他、「気球搭載型 CALET プロトタイプ (bCALET-2) による電子・ガンマ線観測」宇宙航空研究開発機構 大気球研究報告 JAXA-RR-11-008 (2012) pp.17-46.

H. Menjo, K. Kasahara, S.Torii et al., "Forward photon energy spectrum at LHC 7 TeV p-p collisions measured by LHCf", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: 692 (2012) 224-227.

O. Adriani, K. Kasahara, S.Torii et al., "Measurement of forward neutral pion transverse momentum spectra for $\sqrt{s}=7\text{TeV}$ proton-proton collisions at the LHC", Physical Review D 86(9) (2012) [092001].

O. Adriani, K. Kasahara, S.Torii et al. "Measurement of zero degree inclusive photon energy spectra for $\sqrt{s}=900\text{GeV}$ proton-proton collisions at LHC", Physics Letters, Section B 715(4-5) (2012) 298-303.

M. Amenomori; S.Ozawa, K.Kasahara, S.Torii et al., "Is the large-scale sidereal anisotropy of the galactic cosmic-ray intensity really unstable at TeV energies?", Astroparticle Physics. 36(1) (2012) 237-241.

T. Mase, K. Kasahara, S.Torii et al. "Calibration of LHCf calorimeters for photon measurement by CERN SPS test beam", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A, 671 (2012) 129-136.

K. Taki, K. Kasahara, S.Torii et al., " Luminosity determination in $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ proton collisions using the LHCf front counter at LHC", Journal Instrumentation. 7(1) (2012) [T01003].

4.2 総説

鳥居祥二, "宇宙線を直接捉える", 日本物理学会誌 (特集 宇宙線100周年) 第67巻 pp. 821-826 (2012).

5. 研究活動の今後の展望

CALET プロジェクトは、すでに JEM/EF の次期ミッション候補として、JAXA 有人宇宙環境利用ミッション本部（宇宙環境利用センター）においてプロジェクト化されて2014年度の打ち上げにむけてメーカーとの共同による開発が進行している。打ち上げ後は、軌道上データの解析を国際研究チームのリーダーとして実施して、宇宙線の近傍加速源や暗黒物質の探査により、世界に先駆けて宇宙科学における未知領域での新たな研究の展開を図る。さらに、加速器実験や空気シャワー観測等の研究手段による成果も総合的に取り入れて、高エネルギー宇宙線の包括的解明を目指す。

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、実践的なインシリコ・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「材料設計・開発のための実践的なインシリコ・ケミストリー」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・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。本年度は特に、分割統治(DC)法と密度汎関数強束縛(DFTB)法を組み合わせることにより、10 万原子程度のエネルギー計算および数万原子の構造最適化および動力学計算を可能とさせた。

(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、前者に対して構造最適化計算のための解析的微分法を開発し、論文発表するとともに、GAMESS プログラムの更新を行った。

(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、2011 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た。その学術的成果として、論文集を国際論文 IJQC(International Journal of Quantum Chemistry)の特集号としてまとめ、発行した。特集号には、58 報の論文が掲載された。本研究代表者のグループからも 5 報の論文を発表した。また、特集号の招聘編集員として巻頭言もまとめた。

(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平成 24 年度「卓越した大学院拠点形成支援補助金」にも PI として参加した。

(v) 外部資金の獲得

本研究代表者は、科学技術振興機構(JST)が募集する戦略的創造研究推進事業(CREST)の「元素戦略を基軸とする物質・材料の革新的機能の創出」研究領域(玉尾皓平研究総括)に応募し、採択された。研究期間は平成 24 年 9 月から平成 29 年 3 月までの 5 年半に及ぶ長期プロジェクトである。採択課題は、「相対論的電子論が拓く革新的機能材料設計」であり、本研究領域 12 チームのうち唯一の理論研究者のみからなるチームであり、提案課題に加えて他のチームとの連携などが期待されている。

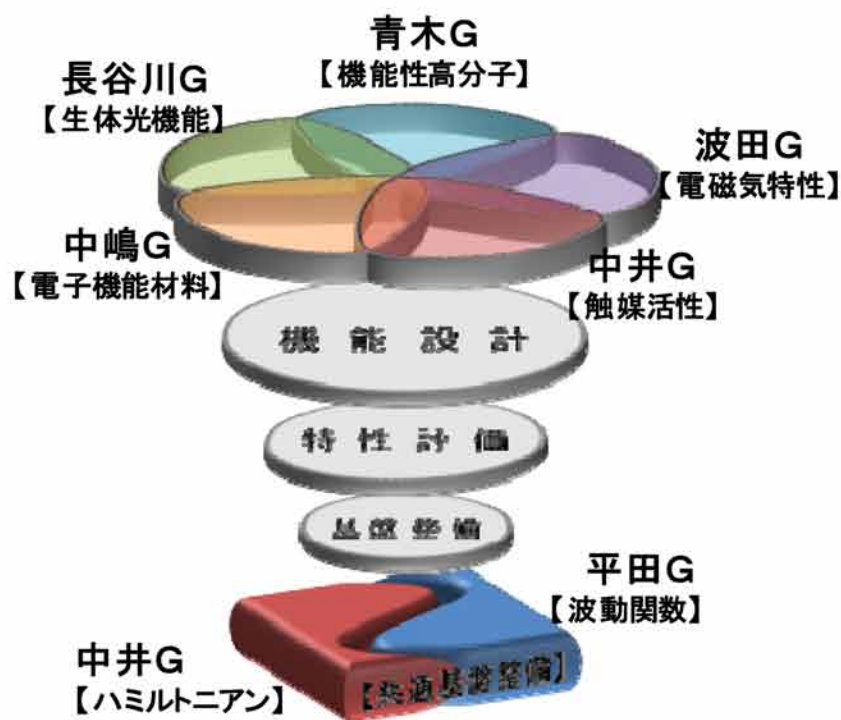


図 1. JST-CREST 中井チームのグループ構成と各グループの研究テーマの概念図

3. 共同研究者

- 今村 穰 (理工学術院・客員次席研究員)
- 菊池 那明 (理工学術院・客員研究員)
- 小林 正人 (高等研究所・助教)
- 清野 淳司 (学振 特別研究員)
- サバパコーン パシヤリーナ (理工学術院・助教)
- 五十幡 康弘 (理工学術院・化学・生命化学科・助手)

4. 研究業績

4-1 学術論文

1. “Theoretical analysis of adsorption structure of hydrated hypophosphite ion on Pd (111) surface”, M. Kunimoto, K. Seki, H. Nakai, T. Homma, *Electrochemistry*, **80** (4), 222–225 (2012).
2. “Accelerating convergence in the antisymmetric product of strongly orthogonal geminals method”, M. Tarumi, M. Kobayashi, H. Nakai, *Int. J. Quantum Chem.*, **113** (3), 239–244 (2013).
3. “Constrained self-consistent field method revisited toward theoretical designs of functional materials under external field”, Y. Yamagata, Y. Imamura, H. Nakai, *Chem. Phys. Lett.*, **530**, 132–136 (2012).
4. “Dynamic hyperpolarizability calculations of large systems: the linear-scaling divide-and-conquer approach”, M. Kobayashi, T. Touma, H. Nakai, *J. Chem. Phys.*, **136** (8), 084108 (10 pages) (2012).
5. “Linearity condition for orbital energies in density functional theory (IV): determination of range-determining parameter”, Y. Imamura, R. Kobayashi, H. Nakai, *Int. J. Quantum Chem.*, **113** (3), 245–251 (2013).
6. “Divide-and-conquer-based symmetry adapted cluster method: synergistic effect of subsystem fragmentation and configuration selection”, T. Yoshikawa, M. Kobayashi, H. Nakai, *Int. J. Quantum Chem.*, **113** (3), 218–223 (2013).
7. “Self-consistent field treatment and analytical energy gradient of local response dispersion method”, Y. Ikabata, T. Sato, H. Nakai, *Int. J. Quantum Chem.*, **113** (3), 257–262 (2013).
8. “Development of the explicitly correlated Gaussian-nuclear orbital plus molecular orbital theory: incorporation of electron-electron correlation”, H. Nishizawa, Y. Imamura, Y. Ikabata, H. Nakai, *Chem. Phys. Lett.*, **533**, 100–105 (2012).
9. “Divide-and-conquer based quantum chemical study for interaction between HIV-1 reverse transcriptase and MK-4965 inhibitor”, P. Saparpakorn, M. Kobayashi, S. Hannongbua, H. Nakai, *Int. J. Quantum Chem.*, **113** (4), 510–517 (2013).
10. “Direct alkoxysilylation of alkoxysilanes for the synthesis of explicit alkoxysiloxane oligomers”, R. Wakabayashi, M. Tamai, K. Kawahara, H. Tachibana, Y. Imamura, H. Nakai, K. Kuroda, *J. Organometallic Chem.*, **716**, 26–31 (2012).
11. “Local unitary transformation method for large-scale two-component relativistic calculations: case for a one-electron Dirac Hamiltonian”, J. Seino, H. Nakai, *J. Chem. Phys.*, **136** (24), 244102 (13 pages) (2012).
12. “Divide-and-conquer electronic-structure study on the mechanism of the West Nile Virus NS3 protease inhibitor”, P. Saparpakorn, M. Kobayashi, H. Nakai, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **86** (1), 67–74 (2013).
13. “Extension of local response dispersion method to excited state calculation based on time-dependent density functional theory”, Y. Ikabata, H. Nakai, *J. Chem. Phys.*, **137** (12), 124106 (9 pages) (2012). (**Top 20 Most Downloaded Articles—October & November 2012; Research Highlight**)
14. “Local unitary transformation method for large-scale two-component relativistic calculations. II. Extension to two-electron Coulomb Interaction”, J. Seino, H. Nakai, *J. Chem. Phys.*, **137** (14), 144101 (15 pages) (2012).
15. “Acceleration effect of thiourea on the oxidation reaction of hypophosphite ion on Ni surface”, M. Kunimoto, K. Endo, H. Nakai, T. Homma, *Electrochimica Acta*, *in press* (2013).
16. “Generalized Møller–Plesset multiconfiguration perturbation theory applied to open-shell antisymmetric product of strongly orthogonal geminals reference wavefunction”, M. Tarumi, M. Kobayashi, H. Nakai, *J. Chem. Theory Comp.*, **8** (11), 4330–4335 (2012).
17. “Cristaxenicin A, an antiprotozoan xenicane diterpenoid from the deep sea gorgonian *Acanthoprimnoa cristata*”, S. Ishigami, Y. Goto, N. Inoue, S. Kawazu, Y. Matsumoto, Y. Imahara, M. Tarumi, H. Nakai, N. Fusetani, Y. Nakao, *J. Org. Chem.*, **77** (23), 10962–10966 (2012).
18. “Assessment of local response dispersion method for open-shell systems”, Y. Ikabata, H. Nakai, *Chem. Phys. Lett.*, **556**, 386–392 (2013).

19. “An analytical energy gradient method for divide-and-conquer second-order Möller–Plesset perturbation theory”, M. Kobayashi, H. Nakai, *J. Chem. Phys.*, **138** (4), 044102 (11 pages) (2013).
20. “Linearity condition for orbital energies in density functional theory (III): Benchmark of total energies”, Y. Imamura, R. Kobayashi, H. Nakai, *J. Comput. Chem.*, in press(2013).

4-2 論文（査読付きプロシーディング）

1. “Development of divide-and-conquer quantum chemical code for biomolecules and nano materials”, M. Kobayashi, P. Saparpakorn, H. Nakai, *Proceedings of ‘31st Annual Conference of Japan Society for Simulation Technology (JSST 2012)’* (Kobe, Japan, 27-28 September, 2012), 330–333 (2012).
2. “Special Issue: Seventh Congress of the International Society for Theoretical Chemical Physics”, H. Nakai, K. Yoshizawa, K. Ando, T. Nakajima, E.J. Brandas, *Int. J. Quant. Chem. (Preface)*, **113** (3), 171–172 (2013). (the Special Issue for the 7th Congress of the International Society for Theoretical Chemical Physics)

4-3 著書（総説を含む）

1. “How does it become possible to treat delocalized and/or open-shell systems in fragmentation-based linear-scaling electronic structure calculation: the case of divide-and-conquer method”, M. Kobayashi, H. Nakai, *Phys. Chem. Chem. Phys. (Perspective)*, **14** (21), 7545–7876 (2012).
2. “化学原理の発見：縮重系励起の対称則”, H. Nakai, *J. Comput. Chem. Jpn.*, **11** (1), 1–12 (2012). (Special Issue of the 10th Anniversary 2)
3. “Description of core ionized and excited states by density functional theory and time-dependent density functional theory”, Y. Imamura, H. Nakai, pp. 275–308 in ‘*Quantum Systems in Chemistry and Physics: Progress in Methods and Applications*’ *Progress in Theoretical Chemistry and Physics*, **B 26**, K. Nishikawa, J. Maruani, E. J. Brändas, G. Delgado-Barrio, P. Piecuch, (Eds.) (Springer, 2012).

4-4 招待講演

1. “Linear-scaling divide-and-conquer calculations for nonlocal excited states of large systems”, H. Nakai, *17th Quantum Systems in Chemistry and Physics (QSCP-XVII)*, (Turku, Finland), August 19-25, 2012.
2. “Symmetry rules for electronic excitations between degenerate orbitals in high-symmetry systems”, H. Nakai, *XXI International Symposium on The Jahn-Teller Effect: Physics and Chemistry of Symmetry Breaking (JT-XXI)*, (Tukuba, Japan), August 26-31, 2012.
3. “Expansion and deepening of quantum chemical methods toward real science”, H. Nakai, *17th International Annual Symposium on Computational Science and Engineering (ANSCSE17)*, Khon Kaen University (Khon Kaen, Thailand), March 27-29, 2013. **(Keynote)**

4-5 国内学会・国際会議等運営

1. 第6回分子科学会シンポジウム, 2012年6月9日, 早稲田大学・東京, 参加者82名. (理工学研究所第2種行事)
2. 日本化学会第93回春季年会, アジア国際シンポジウム, 2013年3月24日, 立命館大学・滋賀, 参加者約50名.
3. 第1回中日韓三国理論・計算化学ワークショップ(First China-Japan-Korea Tripartite Workshops on Theoretical and Computational Chemistry (CJK-WTCC-I)), 運営委員, 2012年7月20-22日, 北京・中国, 参加者約50名.
4. 第17回化学および物理における量子システムに関する国際ワークショップ(XVIIth International Workshop on Quantum Systems in Chemistry and Physics (QSCP-XVII)), 国際科学委員, 2012年8月19-25日, トウルク・フィンランド, 参加者約100名.

カンボジア・アンコール遺跡とベトナム・フエ歴史的建造物群を中心とした 東南アジアの世界文化遺産の保存に関する研究

研究代表者 中川 武
(理工学術院 教授)

1. 研究課題

ユネスコ世界遺産の登録を目指す動きは加熱の一方で、途上国や新しい考え方による遺産の記載は増加が予想される。しかし、記載実現のためには、その固有の価値とともに、顕著な普遍的価値の証明や保護体制の構築などが必要である。記載を目指す運動自体が、必然的に地球的広がり人類史的な長期的視点からの遺産と地域の結びつきを見つめ直すきっかけとなる。また、記載後も遺産の保存活用のための人材育成が今後の課題として注目されており、多角的な国際協力体制の実現が求められている。環境・災害・食糧・資源・格差・紛争等の21世紀的世界の危機の深刻化の中で、遺産研究が地域や国の歴史文化の理解にとって不可欠であり、その保存・再生が疲弊した社会の復興の礎となり、人々の精神的一体性の源泉である公共空間回復に寄与すること、そして保護のための国際協調活動が、国際交流と平和構築に大きな役割を果たすことの期待がその背景にある。本研究の申請者は、カンボジア・アンコールとベトナム・フエを中心とした世界遺産の調査研究・保存・修復に関する高い評価を得た活動実績があり、これらの実績を有機的に融合させるための学際研究の深化発展を基礎として、文化遺産の保存活用学を創成し、世界に発信することを目指す。

2. 主な研究成果

2-1. ベトナム

王宮の復元的研究：ベトナム・フエ阮朝王宮の復元的研究は、現在では基壇のみが残る勤政殿の復原を多面的に考察するために、宮殿建築から、陵墓、軍事施設、伝統住宅まで多様な遺構を対象とし、各々の関連する課題の調査も、従来の手測りによる実測から、GPS/TPS 測量、写真測量など多岐にわたる技術を活用して行ってきた。また、TPS 測量の活用により、皇城内の宮殿建築における立面方向のより詳細な部材寸法を取得することができた。その他には、各種細部意匠調査や漆の成分分析など様々な調査を行い、勤政殿の復原計画に資する重要な一次資料の収集を着実に進めている。



文化的背景の復原：文化的背景の復原では、無形文化遺産に指定されているフエの宮廷音楽・雅楽「ニャーニャック」をはじめとした現存する伝統文化の収録、そして阮朝の文献—漢喃史料の読解研究を行ってきた。伝統文化の収録は、音響工学専門の山崎芳男教授の参加によって、「ニャーニ

ヤック」のデジタル録音を行った。また、文献読解では、既に失われた阮朝当時の様々な文化的な背景が、徐々に明確になりつつある。

延福長公主祠修復工事：2012 年度より、早稲田大学ユネスコ世界遺産研究所とベトナム・フエ遺跡保存センターとの共同により、延福長公主祠の修復工事が開始されたのに伴い、本研究においても、現地での現状・復原および修復方法に関する調査を共同で実施した。

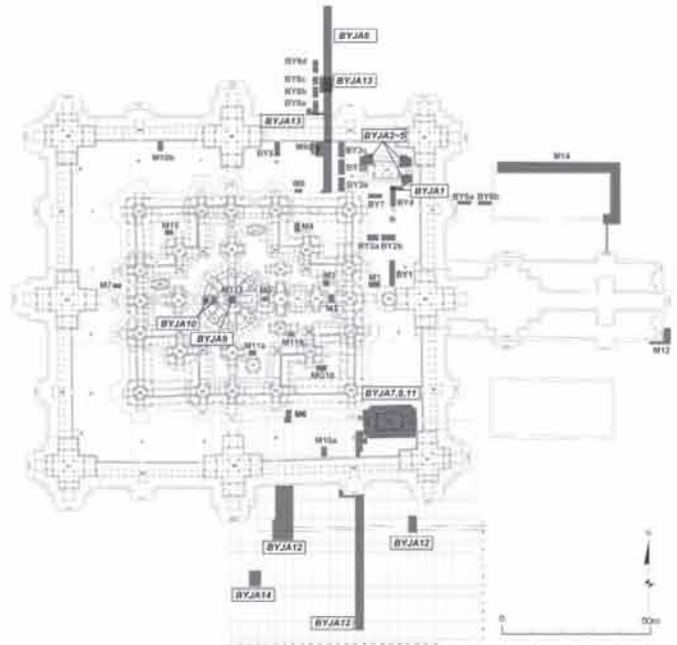
2-2. カンボジア

クメール寺院遺跡における建築設計技術：建築設計技術の分析にとって重要なことは、比較分析のために複数の遺構を同時に説明できる共通した造営尺度とその運用の技法を見いだすことであり、1993 年からの調査・分析の成果は、当時の造営尺度（おそらく公定尺）の実長が $412\text{mm} \pm 1\text{mm}$ であること、伽藍計画が基本となる規模計画（面積計画）に基づいて平易な面積（あるいは平易な完数値を持つ辺で構成された正方形）を計画の出発点とし、ここから原則として東西に長軸をとる矩形平面を導き、これを基本計画として中軸線の位置の決定、内側の回廊の大きさと位置の決定、各建物の位置決定などの個別の計画へ向かうことが明確になりつつある。

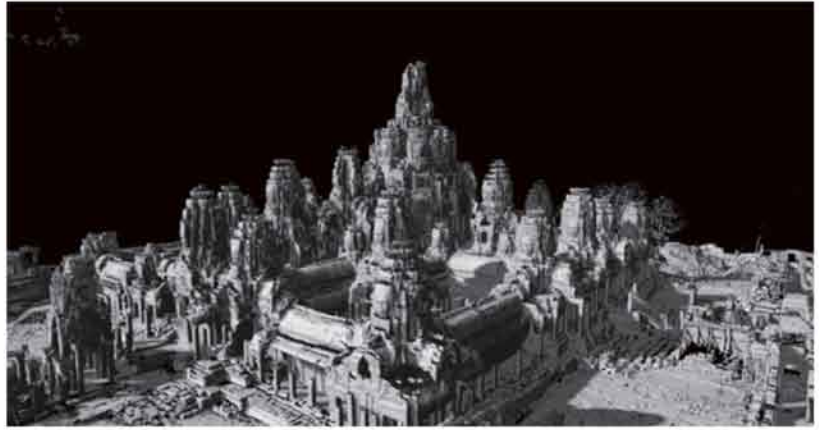
バイヨンの考古学：バイヨン寺院は増改築を繰り返し複雑な造成過程を経たとされ、そのため変遷についても学説の異同がある。バイヨンは中央塔、内回廊、外回廊の順に建設されたという点では大きな差異はないが、外回廊までの計画性について「はじめから計画された」、「後で計画された」という点で二分される。JASA ではバイヨンの保存修復に伴う考古学調査を継続しており、バイヨンの変遷に関する検証作業を進めている。すでに北経蔵、外回廊北東内外、南経蔵、外回廊南東部内外、中央塔室内、中央塔西室内などの調査が実施された。このことでバイヨン変遷過程に関する基礎的な事実解明が進んでいる。一方、造成に関して土木工法の一般論では解釈し難い部分もあるが、これについては政治、宗教的背景も重ねて分析し課題とした。

バイヨン中央塔における上部構造と基盤：バイヨン寺院の主塔における問題として、尊顔石材の脱落と隅角部石材の崩落が挙げられる。また、版築土の周囲には塔体直下からずれて深さと巾が 6m のラテライト構造があることが明らかとなっているが、この状態が塔体に与える影響については更なる調査が必要である。石材の破壊要因または作用に関しては、亀裂の大半が石材角部の接触箇所にて生じている事実から、塔体における石材の亀裂は、空積みの角部の接触による応力集中と水分や化学的劣化等による強度低下との複合現象で発生したと考えられる。

デジタルバイヨンプロジェクト：バイヨン寺院では東京大学生産技術研究所の池内克史研究室との協力で、三次元測量を行ってきた。大型かつ複雑な建築物であるバイヨン寺院は、一般的なセンサーでは測量が困難であったため、木登りセンサー、気球センサーといった 3 種類のセンサーを開発し、それら膨大なデータを分散処理するソフトも開発した。また、確認されている 173 個の尊顔全てを三次元モデル化し、「尊顔ライブラリ」を作成、さらにそれらのクラスター分析を行った。屋根妻破風飾り等の通常の写真撮影が不可能な箇所でも、鏡の利用により三次元データ取得し、見え



を再現することができることを示した。また、現状の内外回廊レリーフは、実際の写真では、表面に付着している生物や塩の流失の跡などの影響を受けるため浮彫りが見づらくなっているが、合成写真の方では観察しやすい。得られたデータは、単に映像としてみるだけでなく、保存修復、研究教育、観光など多角的に利用が可能であることが実証された。



3. 共同研究者

新谷 真人（早稲田大学・教授）

池内 克史（東京大学大学院情報学環・教授）

溝口 明則（名城大学・教授）

山本 信夫（早稲田大学・客員准教授）

4. 研究業績

4-1. 講演・シンポジウム

- ① 中川武「ベトナム・フエ阮朝王宮の歴史的都市環境全体から勤政殿を中心とした文化遺産の保存修復再生のための総合研究」, アンコール遺跡修復技術 ベトナム・フエ王宮復原研究報告会（アンコールとベトナム・フエの会）, 2012.07.07.
- ② 溝口明則「クメール寺院遺跡における建築設計技術について」, アンコールとベトナム・フエの会, 2012.07.07.
- ③ 山本信夫「バイヨンの考古学—その変遷と謎」, アンコールとベトナム・フエの会, 2012.07.07.
- ④ スー・ソティ「The Restoration and Conservation of the Southern library, Bayon」, アンコールとベトナム・フエの会, 2012.07.07.
- ⑤ 新谷真人「バイヨン中央塔における上部構造と基盤における現象の分析と課題」, アンコールとベトナム・フエの会, 2012.07.07.
- ⑥ 池内克史「デジタルバイヨンプロジェクト」, アンコールとベトナム・フエの会, 2012.07.07.

4-2. 論文

- ① 齋藤潮美, 中川武「漢喃史料等を通してみたフエ王宮の伝統的建築飾技術に関する復原的研究」『日本建築学会計画系論文集 77(675)』, pp.1231-1240, 2012.05
- ② 齋藤潮美, 中川武「フエ王宮宮殿建築・太和殿における柱飾技術の復原的研究」『日本建築学会計画系論文集 77(679)』, pp.2191-2200, 2012.09

4-3. 学会・社会的活動

- ① 土井太智, 六反田千恵, 中川武「フエ・阮朝思陵凝禧殿の造営過程—ヴィエトナム・フエ阮朝王宮の復原的研究（その 171）—」『日本建築学会関東支部研究報告集』, 2012
- ② 朝井達也, 六反田千恵, 中川武「明命帝陵に関する史料記述比較—ヴィエトナム・フエ阮朝王宮の復原的研究（その 172）—」『日本建築学会関東支部研究報告集』, 2012

- ③ 六反田千恵, 朝井達也, 中川武「明命帝陵に関する史料記述比較 その2—ヴィエトナム・フエ阮朝王宮の復原的研究(その173)—」『日本建築学会関東支部研究報告集』, 2012
- ④ 中川武, 下田一太, 山田俊亮, 新谷真人「アンコール遺跡群バイヨン寺院中央塔群の基礎構造に関する研究」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2012, pp.269-270
- ⑤ 下田一太, 松井敏也, 千葉麻由子, 中川武「アンコール遺跡群バイヨン寺院内回廊の浮き彫り保存研究」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2012, pp.271-272
- ⑥ 千葉麻由子, 下田一太, 中川武「バイヨン寺院内回廊の床滞水現況調査」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2012, pp.273-274
- ⑦ チュンメンホン, 下田一太, 中川武, 島田麻里子「クメール古代都市イーシャナプラにおける出土遺構 2012年2月の道路建設に伴う緊急発掘の成果より」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2012, pp.479-480
- ⑧ 蜂須賀瞬, 佐藤桂, チュンメンホン, 中川武「プレア・ヴィヘア寺院の増改築の痕跡について」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2012, pp.481-482
- ⑨ 溝口明則, 中川武, 下田一太「アンコール・ワット伽藍中央部の寸法計画」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2012, pp.483-484

5. 研究活動の課題と展望

今後は、二つの世界遺産—カンボジアのアンコール遺跡とベトナムのフエの遺跡—における修復活動の実績を生かし、東南アジア圏における世界文化遺産の保存活用というより広い視点に立ち、学際研究の深化発展を基礎として、文化遺産の保存活用学を創成し、世界に発信していきたい。

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 准教授)

1. 研究課題

現代の素粒子物理学は LHC 実験に代表される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。本研究課題は、世界のエネルギーフロンティア実験に参加し、トップクォークの精密測定やヒッグス粒子探索、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。2010 年 3 月に世界最高エネルギーの加速器実験となった LHC 加速器に設置された ATLAS 検出器 (@欧州原子核共同機構、以下 CERN) を用いて行う研究を主軸とする。電弱理論と量子色力学からなる素粒子の標準理論は、これまでの実験結果との整合性を含め、実行理論としての体系をほぼ確立しているが、その枠組みの中で予言されている質量の起源であるヒッグス粒子が年度当初は未発見であった。しかし、我々実験グループはようやく年度途中の 2012 年 7 月にそのヒッグス粒子と矛盾しない新粒子の発見を主張する論文を出すことに成功した。今後も ATLAS/LHC 実験では、ヒッグス粒子の精密測定 (=ヒッグス機構の解明) に向け、様々な検証を重ねるとともに高輝度化に向けた新しいトリガーシステムの構築をすることが極めて重要な課題となっている。

一方、LHC が稼働するまでの 20 年間エネルギーフロンティア実験を独走していた Tevatron 加速器における CDF 実験 (@米国フェルミ国立加速器研究所、以下 FNAL) の最終結果として、ヒッグス粒子の探索結果を学術論文にまとめることができた。これら二つの実験で矛盾しない結果をだせたことは、相互確認という観点から非常に重要な成果といえる。

一方、暗黒物質探索にむけた新しい検出器、気液 2 相型アルゴン光 TPC 検出器の開発を急速に進めた。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有用である。本研究課題としては、近年その発見が急務の課題である暗黒物質の発見に向けた開発に焦点を当てている。放電対策や高純度、低温維持や大型化など様々な課題があるものの、2012 年度には 75 リットル、有効質量 10kg の検出器の構築に成功し、実際の物理目標にどれだけ実行性があるのかを定量的に評価することができた。

2. 主な研究成果

2.1 CDF/Tevatron 実験@FNAL (重心系エネルギー 2 TeV の陽子・反陽子衝突型実験)

CDF 実験での現在の最大目標の一つはヒッグス粒子の発見・棄却であり、LHC 実験とは異なる粒子同士かつエネルギーでの衝突実験のため、その相互確認は極めて重要である。図 1、2 に最終的な探索結果を示す。全ての崩壊過程を統合することにより、ヒッグス粒子の質量領域 [147-180 GeV] を棄却することに成功し、125GeV 付近に 3σ 近い超過現象を観測した。これらの結果を包括的にまとめ Tevatron 実験の最終結果として論文出版した。この結果は、LHC 実験で行った解析結果と矛盾するものではない。

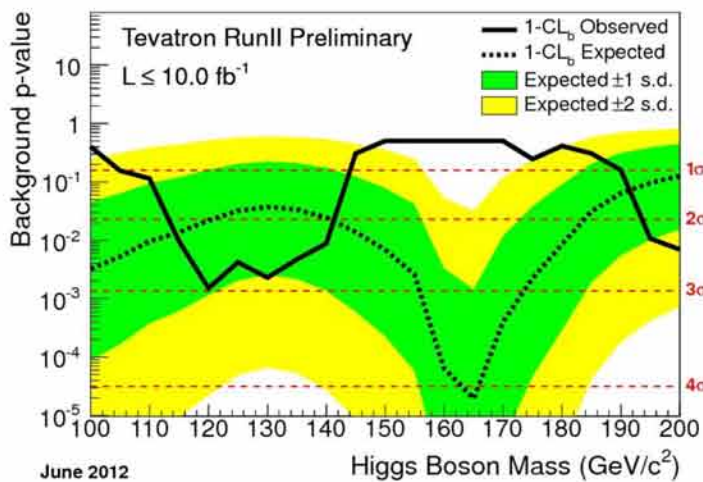


図 1: ヒッグス粒子探索の最終結果 (Tevatron)

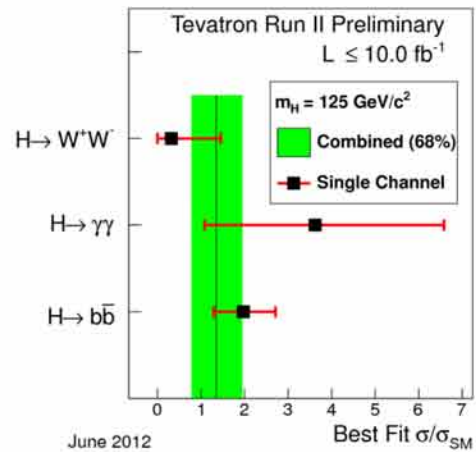


図 2: それぞれの過程での信号強度

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

ATLAS 実験における我々の早稲田グループの研究課題と成果を以下に纏める：

1. ヒッグス粒子の物理解析と信号トリガー論理の提案

ヒッグス粒子と矛盾しない新粒子は、主に $\gamma\gamma$ と ZZ 崩壊過程で発見されている。ヒッグス粒子のゲージ結合やループ効果で議論も重要だが、もっとも大事な検証はヒッグス粒子の直接的なフェルミオンとの結合(湯川結合)を確認することである。したがって 2012 年度の研究はヒッグス粒子が $\tau\tau$ に崩壊する過程の探索を行った。図 3, 4 はその結果である。もしヒッグス粒子が τ レプトン対に崩壊しなければ、95%の信頼度でほぼ棄却できる感度があるものの、実データを用いた解析で観測された事象では棄却できず、優位度は 1σ レベルであるがその存在を示唆している。図 3 からわかるとおり、今後統計的に優位な結果を出すためにはより多くのデータが必要となる。

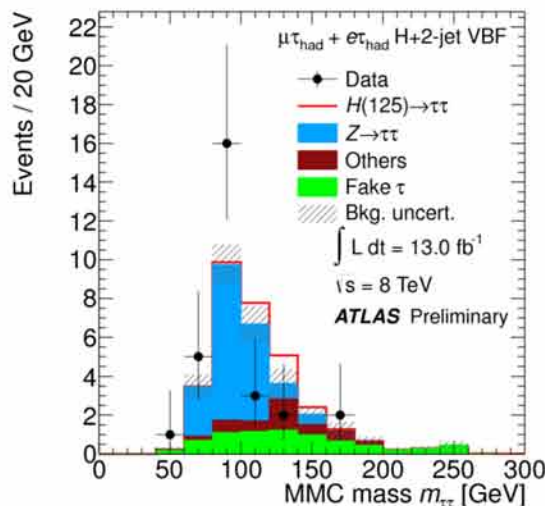
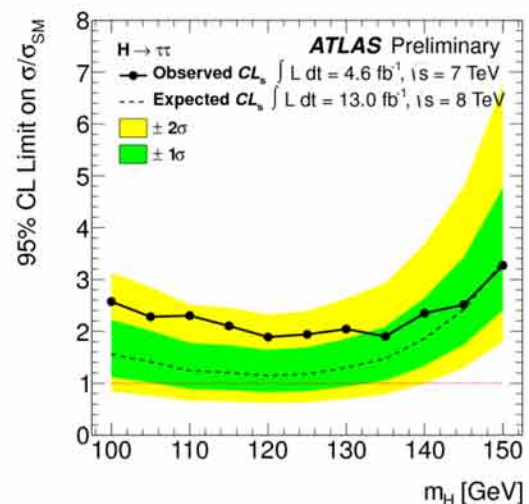
図 3: $\tau\tau$ 質量分布

図 4: 95%信頼度での棄却曲線

LHC 実験は 2013 年から一度シャットダウンし、2015 年から 13(or 14) TeV の重心系エネルギーで再運転する。より多くの統計量が必要となるため、瞬間輝度は現在よりも増強される予定である。この状況でヒッグス粒子探索に極めて重要な課題は、ハドロン崩壊する過程 τ 粒子のトリガー条件を

整えることである。そこで本研究は、とくにパイルアップと呼ばれる現象により雑音事象と信号事象の選別が難しくなる問題点を、飛跡の情報を積極的に取り入れることによって解決できるという方針を得ることに成功した。

2. 新しい高速飛跡トリガー回路システムの開発と構築

ATLAS Upgrade として 2014 - 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シカゴ大学・ピサ大学など共に行ってきた。本プロジェクトは現段階で正式承認されている 2 つの増強計画の一つであり、本格的な開発構築に着手することができている。2012 年度、我々早稲田グループは、研究活動を広げるために ATLAS-TDAQ グループに参入要請を行い、正式に承認された。実機開発としては、特に FTK システムの最上流で検出器のヒット情報を受信する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た (図 5, 6)。また、CERN において一部実機テストを行い、これまでの開発が実際に実機レベルで動くことを確認した (図 7)

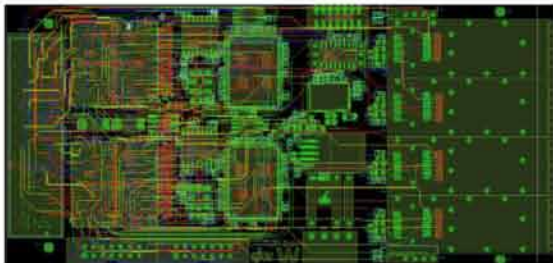


図 5: 早稲田が設計した 10 層回路基板



図 6: ATCA 規格に互換性をもつプロトタイプ

また、トリガーシステムで最も重要な処理時間が高輝度化 (3×10^{34}) でも平均 $30 \mu s$ で処理できることを確かめることができた (図 8)



図 7: CERN での作業

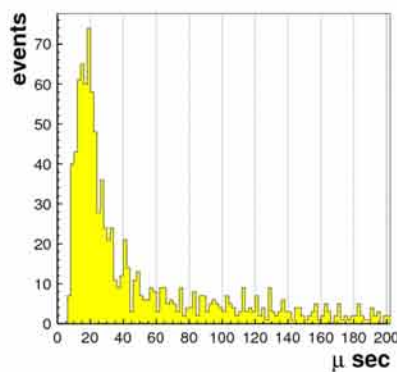


図 8: FTK 処理時間



図 4: 大容量 AM チップ搭載ボード

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を行うのが次年度以降の課題である。

* なお暗黒物質探索用のアルゴン TPC 開発については、ここでの年次報告は割愛する。

3. 共同研究者

木村 直樹 (先進理工学部・物理学科 助教)

田中 雅士 (理工学研究所・次席研究員)

The ATLAS Collaboration (国際協力 : CERN, Switzerland)

The CDF Collaboration (国際協力 : FNAL, USA)

ATLAS-FTK group (国際協力 : University of Chicago, INFN Pisa)

丸山 和純 (高エネルギー加速器研究機構・准教授)

4. 研究業績

4.1 学術論文 (主要なものを抜粋)

“Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC”

G. Aad, K. Yorita et.al., The ATLAS Collaboration, Phys. Lett. B 716 (2012) 1-29

“Search for the Standard Model Higgs boson in the $H \rightarrow \tau\tau$ decay mode in $\sqrt{s} = 7$ TeV pp collisions with ATLAS”

G. Aad, K. Yorita et.al., The ATLAS Collaboration, JHEP09 (2012) 070

“Combination of searches for the Higgs boson using the full CDF data set”

T. Aaltonen, K. Yorita et. al., The CDF Collaboration, submitted to PRD. January 2013.
Fermilab-Pub-13-031-E. arXiv: 1301.6668.

“Combined Search for the Standard Model Higgs Boson Decaying to a $b\bar{b}$ Pair Using the Full CDF Data Set”

T. Aaltonen, K. Yorita et. al., The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 109, 111802 (2012).

“FTK: A fast track trigger at ATLAS”

K. Yorita 他 JINST 7 (2012) C10002

“The Fast Tracker real time processor and its impact on muon isolation, tau and b-Jet online selections at ATLAS”

K. Yorita 他 IEEE Trans.Nucl.Sci. 59 (2012) 348-357

* その他共著論文多数

4.2 講演

日本物理学会 :

2013 年 3 月 : 日本物理学会年次大会 (広島大学)

寄田浩平 「LHC/ATLAS アップグレード」 LHC によるテラスケールの物理の展開 (シンポジウム)

飯澤知弥、寄田浩平他 「ATLAS 実験における高速飛跡トリガーシステムの開発と構築 1」

郡川智洋、寄田浩平他 「ATLAS 実験における高速飛跡トリガーシステムの開発と構築 2」

大矢章晴、寄田浩平他 「ATLAS 実験における高速飛跡トリガーシステムの開発と構築 3」
 三谷貴志、寄田浩平他 「ATLAS 実験での $H \rightarrow \tau \tau \rightarrow \text{hadhad}$ 過程探索の新 di-tau trigger の検証」
 桜井雄基、寄田浩平他 「ATLAS 実験における $H \rightarrow \tau \tau \rightarrow \text{lephad}$ 崩壊探索のための背景事象の研究」
 田中雅士、寄田浩平他 「気液 2 相型アルゴン光 TPC 検出器の開発構築」
 川村将城、寄田浩平他 「気液 2 相型アルゴン光 TPC 検出器の設計と性能評価の現状」
 加地俊瑛、寄田浩平他 「気液 2 相型 Ar 光 TPC のための Ar 蛍光検出効率の定量的評価と向上」
 杉田慎一郎、寄田浩平他 「気液 2 相型 Ar 光 TPC による暗黒物質探索感度の評価と今後の展望」

2012 年 9 月：日本物理学会秋季大会（京都産業大学）

木村直樹、寄田浩平他 「ATLAS 実験における高速トラッキングトリガーシステムの開発状況」
 飯澤知弥、寄田浩平他 「ATLAS 実験での高速トラッキングトリガーシステムの効率化と最適化」
 桜井雄基、寄田浩平他 「ATLAS 実験における実データを用いたタウ粒子トリガーの性能評価」
 三谷貴志、寄田浩平他 「ATLAS 実験における W 事象を用いた τ 粒子同定効率の測定とその改善」
 田中雅士、寄田浩平他 「気液 2 相型アルゴン TPC・光検出器の構築と高性能化」
 橋場裕之介、寄田浩平他 「気液 2 相型アルゴン検出器の高電圧印加と電場設計」
 鷲見貴生、寄田浩平他 「気液 2 相型アルゴン検出器のための光検出最適化」

国際会議：

Tomoya Iizawa on behalf of the ATLAS Collaboration
 FastTracker Performance Using the New Variable Resolution Associative Memory for Atlas
 国際会議 IEEE-NSS2012 2012 年 10 月 30 日 Anaheim, CA, USA

Naoki Kimura for the ATLAS Collaboration（招待講演）
 A Fast Tracker for the ATLAS Trigger System
 国際会議 PIXEL 2012 2012 年 9 月 5 日 猪苗代、福島県

Naoki Kimura on behalf of the ATLAS Collaboration（招待講演）
 Top Quark Production at ATLAS
 16th International Conference in QCD 2012 年 7 月 4 日 Montpellier, France

4.3 学会および社会的活動

2012 年 5 月 21 日「素粒子物理学の最前線」高校生向けモデル授業 早稲田大学
 2012 年 7 月 2 日 「ATLAS 実験の最新結果」未来エネルギーシンポジウム 早稲田大学
 2012 年 7 月 4 日 プレスリリース「ヒッグス粒子の発見」日本アトラスグループ共同
 2012 年 9 月「グローバル社会と素粒子研究」筑波大学附属高等学校
 2012 年 9 月 日本物理学会秋季大会 ニュートリノ、 μ の物理セッション座長
 2012 年 12 月「LHC 実験が切り拓く質量起源の解明と新しい対称性への道筋」金沢大学 集中講義
 2012 年 12 月「ATLAS 実験の最新結果」金沢大学・富山大学素粒子理論合同セミナー
 * 記事：トップランナー（2012 年 7 月）早稲田大学広報
<http://www.ase.sci.waseda.ac.jp/toprunner/vol005.html>

5. 研究活動の課題と展望

ATLAS 実験において新しいトリガーハードウェアの開発をさらにすすめ、Technical Design Report を書き上げ、2015 年度挿入に向けてより現実的な段階に入る。一方、ヒッグス粒子が τ 粒子対と b クォーク対へ崩壊する過程を探索し、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を行う。そのためには 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 TPC 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。

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

昨年度に続き、リソグラフィ技術に用いるレジスト材料に関する研究を行った。現代社会の産業を支える半導体素子は、まずレジストと呼ばれる感光性材料に微細な回路パターンを露光・形成し、そのパターンを基板に転写するリソグラフィ技術により作製されている。露光光源の短波長化と技術の進歩によって加工分解能は年々向上を続けているが、光化学反応を利用した加工は既に限界に達しつつあり、素子のさらなる高度化・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(EB)等の量子ビームの利用へと大きな転換期を迎えている。露光光源や加工技術の確立が急がれる一方で、レジスト中に誘起される放射線化学反応の理解と制御が今後のリソグラフィ技術においては不可欠となる。

今年度は大きく分けて二つの研究を行った。一つは電子線によって塩素系レジスト中に誘起される放射線化学反応初期過程の解析であり、大阪大学産業科学研究所のLバンドライナックをビーム源とするパルスラジオリシス法を用いて研究を行った。もう一方は早稲田大学理工学研究所のSバンド電子銃をビーム源とするコンパクトなパルスラジオリシスシステムの構築・改良であり、レジスト材料の放射線化学反応を解析可能なシステムの構築を目的として研究を行った。

2. 主な研究成果

2.1 ZEP520Aの放射線化学反応初期過程の解析

ポジ型電子線レジストZEP520A(日本ゼオン)は、塩素とフェニル基を含む塩素系ポリスチレン誘導体の一種であり高い分解能と感度を併せ持つレジストである。塩素系のポリスチレン誘導体は電離放射線により容易く主鎖切断や架橋を引き起こし、かつドライエッチング耐性を持つ芳香族分子を含むので、ドライエッチング耐性を持つレジスト材料として用いられている。ZEP520Aの構造をFig.1に示す。ZEP520Aは化学増幅型でないレジストとしては非常に高い感度を持つ材料だがその分解機構は解明されていないため、ZEP520Aの放射線化学反応を解明する事はレジストの高度化につながる研究である。

塩素を含むポリスチレン誘導体、もしくはポリスチレン誘導体の塩素系溶媒溶液に電離放射線を照射すると、数百 ns 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)が観測される。このCT錯体はパルスラジオリシス・フォトリシスによる研究により、分解や架橋のプレカーサーとなる事が分かっている。例えばクロロメチルポリスチレンは放射線照射によりCT錯体の生成を経て架橋し、一方で α メチルポリスチレンは塩素系溶媒中で放射線照射によりCT錯体の生成を経て分解する。ゲル透過クロマトグラフィ・NMR等を用いた我々のZEP520Aの研究ではイオン化のG値を超える非常に高い分解のG値が得られた。そのゆえZEP520Aには複数の分解チャンネルが存在しており、CT錯体はZEP520Aにおいては分解のプレカーサーである事が提案されている。この結果を踏まえてレジスト材料の高感度化を目的に、電子線照射によるZEP520Aの化学反応初期過程を溶液中のパルスラジオリシス法を用いて追跡しZEP520Aの分解機構に関する研究を

行った。

ポジ型電子線レジスト ZEP520A のアニソール溶液から、イソプロピルアルコールを用いた再沈殿精製により純粋な ZEP520A 粉末試料を精製し、得られた ZEP520A 粉末をテトラヒドロフラン (THF) へ溶解させ、阪大産研の L バンド電子ライナックからのエネルギー 28MeV、パンチ幅 8ns の電子ビームを用いた溶液中での吸光法パルスラジオリシスによる測定を行った。Ar バブリングによって酸素除去したサンプル溶液を石英セルに密封し、キセノンランプからの白色光を分析光として測定を行った。

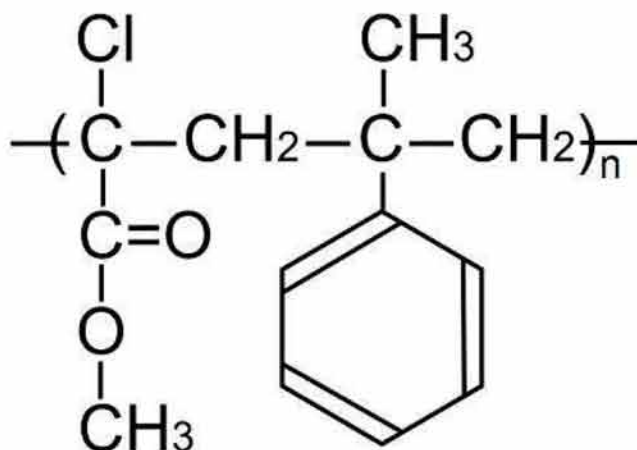


Fig.1 塩素系電子線レジスト ZEP520A

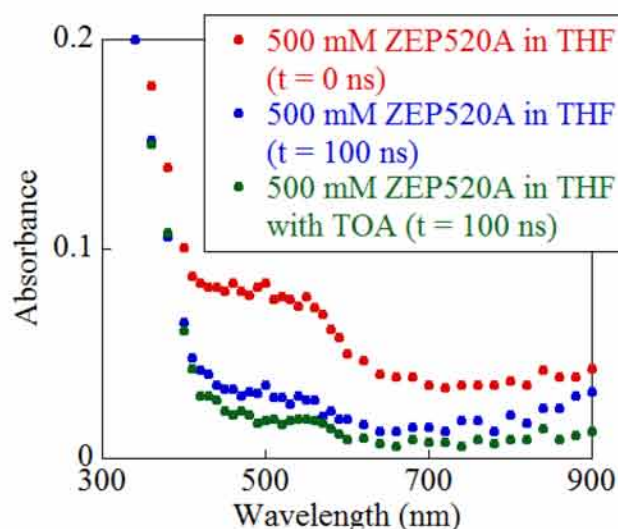


Fig.2 ZEP520AのTHF溶液で得られた電子線照射後の過渡吸収スペクトル

Fig.2 は THF に 500 mM ZEP520A を溶解させた試料と、同試料に 5 mM トリオクチルアミン (TOA) を添加した試料に電子線照射して得られた過渡吸収スペクトルである。両試料ともに 500 nm 付近に弱い吸収が確認され、TOA を添加しない試料では赤外領域付近に 100ns 以上の寿命の幅広い吸収が確認された。

赤外領域付近に観測された長寿命の吸収はカチオンスカベンジャーである TOA を添加する事で明らかに短寿命化された。フェニル基のダイマーラジカルカチオンは赤外領域を中心とした幅広い吸収帯を持つことが知られているため、これはフェニルダイマーラジカルカチオンによるものだと考えられる。しかし溶媒である THF に生じたラジカルカチオンは他の THF により直ちにラジカルとカチオンに分離されてしまうため、溶媒からフェニル基へのホール移動によるフェニルラジカルカチオンはほぼ発生しない。それにもかかわらずフェニルダイマーラジカルカチオンによると思われる吸収が観測されたため、ZEP520A のフェニル基が直接イオン化されることによってフェニルラジカルカチオンが生成されたと考えられる。ただし ZEP520A は交互共重合体であり分子鎖内ではダイマーを形成するフェニル基が存在しないので、非常に高濃度の ZEP520A により分子間のダイマーが少量生成されたと推測できる。

500 nm 付近に観測された吸収は TOA の添加により若干短寿命化されたが長寿命の吸収が残っている。従って 500 nm 付近は長寿命の CT 錯体による吸収と TOA により短寿命化されたモノマーのフェニルラジカルカチオンによる吸収の重なりであると考えられる。CT 錯体は 500 nm 付近に吸収帯を持っており、またその生成にはフェニルラジカルカチオンと塩素イオンが必要である。

THF 溶媒中でも ZEP520A の直接イオン化によってラジカルカチオンが生成される事が赤外領域付近の吸収により確認できており、別のパルスラジオリシス実験で THF 溶媒中に生じた溶媒和電子が ZEP520A によりスカベンジングされ塩素イオンを生じてことが確認できているため、THF 溶媒中において CT 錯体がフェニルラジカルカチオンと塩素イオンによって生成される事が説明できる。これらの ZEP520A による電子スカベンジングや CT 錯体生成が分解のプレカーサーとなり、一度のイオン化により複数の分解反応が発生する事が ZEP520A に高い感度をもたらしていると推論できる。

2.2 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構築

我々はレジスト材料等の放射線化学反応初期過程を測定可能なパルスラジオリシスシステムを目指し、早稲田大学理工学研究所の S バンド電子銃をビーム源とするコンパクトなパルスラジオリシスシステムを構築してきた。現在特に注力している測定システムはフォトニック結晶ファイバ(PCF)を用いたスーパーコンティニウム光(SC 光)を分析光とするパルスラジオリシスシステムである。PCF は多数のマイクロオーダーの小さな空孔を持っており、その空孔を低屈折率のクラッド部とする特殊な光ファイバである。コア部と空孔の大きな屈折率差により高い光の閉じ込め効果が得られるため、PCF は非線形光学効果がより効率的に発生するよう設計できる。非線形光学効果が発生するよう設計された PCF に短パルスの単色レーザーを入射すると、短パルスの白色光である SC 光が生成される。

Fig.3 に我々が PCF を用いて生成した SC 光の波形を示す。他の短パルス白色光生成技術よりも必要なレーザーパワーが小さいため、多少の増幅を行うだけで全てのパルスが容易に SC 光となる。それゆえ SC 光は短パルス性と長時間安定性の両方を併せ持ち、長時間安定性が必要なナノ秒パルスラジオリシス測定及び、短パルス性が必要なストロボスコピック法(ピコ秒)パルスラジオリシス

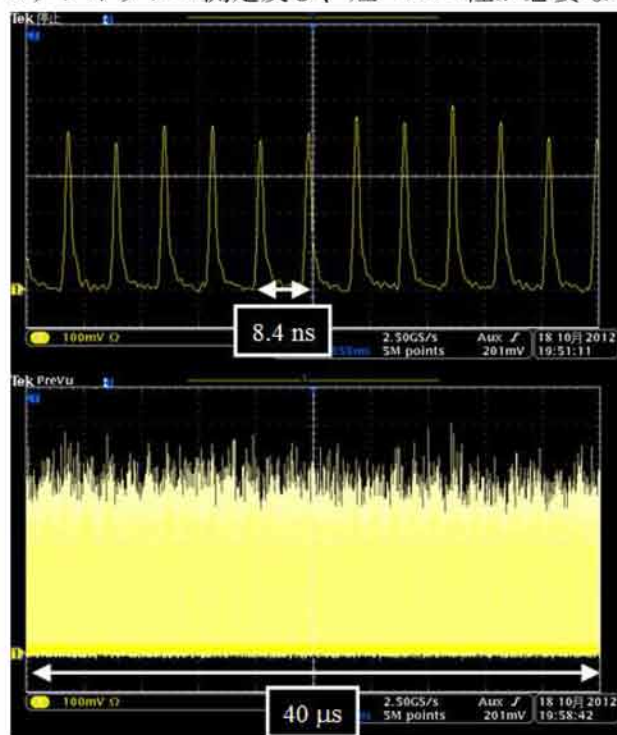


Fig.3 フォトニック結晶ファイバによるスーパーコンティニウム光の波形

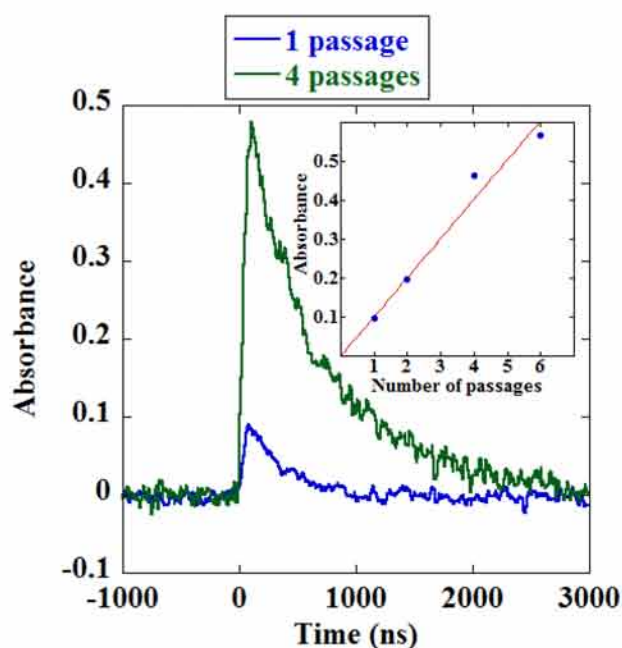


Fig.4 SC光を用いた複数回通過法によるナノ秒パルスラジオリシスのシグナル値の向上

測定の方々に分析光として用いる事が出来る。この特性を生かし、幅広い時間領域に対応できる一つの光源を分析光とするシンプルな測定システムの構築に成功した。

また、SC 光は生成される前のレーザーのコヒーレンスのある程度維持するため、レーザーと比較できる水準の集光能力・ダーバージェンスの小ささを持つ。Fig.4 にその利点を生かして試料セルを複数回通過させ、シグナル値を増強したナノ秒パルスラジオリシス実験の結果を示す。通過回数とシグナル値がほぼ比例関係となっている傾向が見られ、シグナル値向上による測定精度の改善に成功した。

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）

大山(五輪)智子（日本学術振興会特別研究員）

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

Y. Hosaka, R. Betto, K. Sakaue, R. Kuroda, S. Kashiwagi, K. Ushida, M. Washio, Construction of nanosecond and picosecond pulse radiolysis system with supercontinuum probe, Radiat. Phys. Chem., **84**, 10-13 (2013).

4.2 講演

“The New Pulse Radiolysis System with the Pulsed White Light Generated by Photonic Crystal Fiber”, 4th Asia Pacific Symposium on Radiation Chemistry, Huangshan, Anhui, China, November 2012

5. 研究活動の課題と展望

早稲田大学 S バンド電子銃を用いたパルスラジオリシスシステムでは、レーザー基本波長から波長が離れるほど SC 光の安定度が悪くなるといった課題を抱えている。今後は SC 光の高出力化・安定化によるシステム改良に加え、SC 光の赤外領域を利用しフェニルダイマーラジカルカチオンや溶媒和電子を測定できるよう改良する等、各種レジスト材料の放射線化学反応を解析可能なシステムの構築を目指していく。

プロジェクト研究

材料設計・開発のための実践的インシリコ・ケミストリー

研究代表者 中井 浩巳
(理工学研究所 教授)

1. 研究課題

材料設計・開発を目的とした実践的インシリコ・ケミストリーの確立を目指す。ここでインシリコ(半導体内: in-silico)とは、量子化学計算を試験管内(in-vitro)や生体内(in-vivo)で行うのと同等の実験として評価する際に用いられる造語である。インシリコの『測定装置』によるスクリーニング、すなわち、実験を行う前に候補化合物の絞り込みを行うと、材料開発の現場において期間短縮やコスト削減が期待される。また、インシリコは安全にかつ環境負荷を少なく実験を行うことができるエコロジーな手法でもある。

実践的インシリコ・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。

2. 主な研究成果

DFTB 法によるリチウムイオンデバイスの量子化学的分子動力学シミュレーション

リチウムイオンデバイスの性能には、グラファイト負極表面で溶媒分子が還元的に電気分解して生成する solid-electrolyte interphase (SEI)膜が大きく寄与する。その機能は経験的に知られているものの、組成・構造は明らかでない。本研究では、SEI 膜の構造の推定及び性質の解明を目的として、DFTB 法に基づいた量子化学的分子動力学シミュレーションを用い、一般的な電解質溶媒であるエチレンカーボネート(EC)の還元的電気分解反応を追跡した。この結果、溶媒の分子内分解反応(図 1(a))及び、極板・溶媒間における結合の形成反応(図 1(b))が得られた。極板との結合形成において、多くのトラジェクトリーが図 2 に示す反応経路によって進行していた。すなわち、①負に帯電した極板に対して、静電的引力によって溶媒分子が水素側から接近し、②③グラファイトのエッジ面に水素が引き抜かれる。その後、④水素を引き抜かれた炭素が極板との間で C-C 結合を形成する。この過程が SEI 膜生成反応のファーストステップとして支配的であると考えられる。

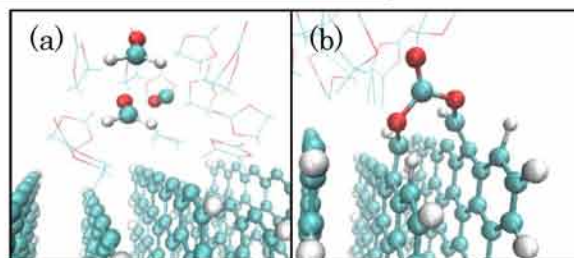


図 1. スナップショット:(a)溶媒の分解反応, (b)溶媒・極板間での結合形成

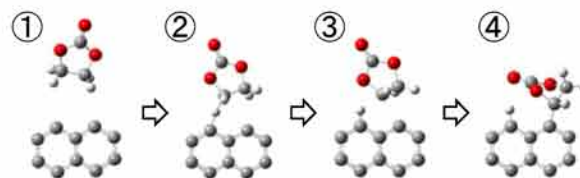


図 2. 極板・溶媒間の結合形成過程

3. 共同研究者

今村 穰 (理工学術院・客員次席研究員)
 菊池 那明 (理工学術院・客員研究員)
 清野 淳司 (学振 特別研究員)
 サパパコーン パシヤリーナ (理工学術院・助教)
 五十幡 康弘 (理工学術院・化学・生命化学科・助手)

4. 研究業績

4-1 学術論文

1. “Theoretical analysis of adsorption structure of hydrated hypophosphite ion on Pd (111) surface”, M. Kunimoto, K. Seki, H. Nakai, T. Homma, *Electrochemistry*, **80** (4), 222–225 (2012).
2. “Accelerating convergence in the antisymmetric product of strongly orthogonal geminals method”, M. Tarumi, M. Kobayashi, H. Nakai, *Int. J. Quantum Chem.*, **113** (3), 239–244 (2013).
3. “Constrained self-consistent field method revisited toward theoretical designs of functional materials under external field”, Y. Yamagata, Y. Imamura, H. Nakai, *Chem. Phys. Lett.*, **530**, 132–136 (2012).
4. “Dynamic hyperpolarizability calculations of large systems: the linear-scaling divide-and-conquer approach”, M. Kobayashi, T. Touma, H. Nakai, *J. Chem. Phys.*, **136** (8), 084108 (10 pages) (2012).
5. “Linearity condition for orbital energies in density functional theory (IV): determination of range-determining parameter”, Y. Imamura, R. Kobayashi, H. Nakai, *Int. J. Quantum Chem.*, **113** (3), 245–251 (2013).
6. “Divide-and-conquer-based symmetry adapted cluster method: synergistic effect of subsystem fragmentation and configuration selection”, T. Yoshikawa, M. Kobayashi, H. Nakai, *Int. J. Quantum Chem.*, **113** (3), 218–223 (2013).
7. “Self-consistent field treatment and analytical energy gradient of local response dispersion method”, Y. Ikabata, T. Sato, H. Nakai, *Int. J. Quantum Chem.*, **113** (3), 257–262 (2013).
8. “Development of the explicitly correlated Gaussian-nuclear orbital plus molecular orbital theory: incorporation of electron-electron correlation”, H. Nishizawa, Y. Imamura, Y. Ikabata, H. Nakai, *Chem. Phys. Lett.*, **533**, 100–105 (2012).
9. “Divide-and-conquer based quantum chemical study for interaction between HIV-1 reverse transcriptase and MK-4965 inhibitor”, P. Saparpakorn, M. Kobayashi, S. Hannongbua, H. Nakai, *Int. J. Quantum Chem.*, **113** (4), 510–517 (2013).
10. “Direct alkoxysilylation of alkoxysilanes for the synthesis of explicit alkoxysiloxane oligomers”, R. Wakabayashi, M. Tamai, K. Kawahara, H. Tachibana, Y. Imamura, H. Nakai, K. Kuroda, *J. Organometallic Chem.*, **716**, 26–31 (2012).
11. “Local unitary transformation method for large-scale two-component relativistic calculations: case for a one-electron Dirac Hamiltonian”, J. Seino, H. Nakai, *J. Chem. Phys.*, **136** (24), 244102 (13 pages) (2012).
12. “Divide-and-conquer electronic-structure study on the mechanism of the West Nile Virus NS3 protease inhibitor”, P. Saparpakorn, M. Kobayashi, H. Nakai, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **86** (1), 67–74 (2013).
13. “Extension of local response dispersion method to excited state calculation based on time-dependent density functional theory”, Y. Ikabata, H. Nakai, *J. Chem. Phys.*, **137** (12), 124106 (9 pages) (2012). (**Top 20 Most Downloaded Articles—October & November 2012; Research Highlight**)
14. “Local unitary transformation method for large-scale two-component relativistic calculations. II. Extension to two-electron Coulomb Interaction”, J. Seino, H. Nakai, *J. Chem. Phys.*, **137** (14), 144101 (15 pages) (2012).
15. “Acceleration effect of thiourea on the oxidation reaction of hypophosphite ion on Ni surface”, M. Kunimoto, K. Endo, H. Nakai, T. Homma, *Electrochimica Acta*, *in press* (2013).

16. “Generalized Møller–Plesset multiconfiguration perturbation theory applied to open-shell antisymmetric product of strongly orthogonal geminals reference wavefunction”, M. Tarumi, M. Kobayashi, H. Nakai, *J. Chem. Theory Comp.*, **8** (11), 4330–4335 (2012).
17. “Cristaxenicin A, an antiprotozoan xenicane diterpenoid from the deep sea gorgonian *Acanthoprimnoa cristata*”, S. Ishigami, Y. Goto, N. Inoue, S. Kawazu, Y. Matsumoto, Y. Imahara, M. Tarumi, H. Nakai, N. Fusetani, Y. Nakao, *J. Org. Chem.*, **77** (23), 10962–10966 (2012).
18. “Assessment of local response dispersion method for open-shell systems”, Y. Iwabata, H. Nakai, *Chem. Phys. Lett.*, **556**, 386–392 (2013).
19. “An analytical energy gradient method for divide-and-conquer second-order Møller–Plesset perturbation theory”, M. Kobayashi, H. Nakai, *J. Chem. Phys.*, **138** (4), 044102 (11 pages) (2013).
20. “Linearity condition for orbital energies in density functional theory (III): Benchmark of total energies”, Y. Imamura, R. Kobayashi, H. Nakai, *J. Comput. Chem.*, in press(2013).

4-2 論文（査読付きプロシーディング）

1. “Development of divide-and-conquer quantum chemical code for biomolecules and nano materials”, M. Kobayashi, P. Sarpapakorn, H. Nakai, *Proceedings of ‘31st Annual Conference of Japan Society for Simulation Technology (JSST 2012)’* (Kobe, Japan, 27-28 September, 2012), 330–333 (2012).
2. “Special Issue: Seventh Congress of the International Society for Theoretical Chemical Physics”, H. Nakai, K. Yoshizawa, K. Ando, T. Nakajima, E.J. Brandas, *Int. J. Quant. Chem. (Preface)*, **113** (3), 171–172 (2013). (the Special Issue for the 7th Congress of the International Society for Theoretical Chemical Physics)

4-3 著書（総説を含む）

1. “How does it become possible to treat delocalized and/or open-shell systems in fragmentation-based linear-scaling electronic structure calculation: the case of divide-and-conquer method”, M. Kobayashi, H. Nakai, *Phys. Chem. Chem. Phys. (Perspective)*, **14** (21), 7545–7876 (2012).
2. “化学原理の発見：縮重系励起の対称則”, H. Nakai, *J. Comput. Chem. Jpn.*, **11** (1), 1–12 (2012). (Special Issue of the 10th Anniversary 2)
3. “Description of core ionized and excited states by density functional theory and time-dependent density functional theory”, Y. Imamura, H. Nakai, pp. 275–308 in ‘*Quantum Systems in Chemistry and Physics: Progress in Methods and Applications*’ *Progress in Theoretical Chemistry and Physics*, **B 26**, K. Nishikawa, J. Maruani, E. J. Brändas, G. Delgado-Barrio, P. Piecuch, (Eds.) (Springer, 2012).

4-4 招待講演

1. “Linear-scaling divide-and-conquer calculations for nonlocal excited states of large systems”, H. Nakai, *17th Quantum Systems in Chemistry and Physics (QSCP-XVII)*, (Turku, Finland), August 19-25, 2012.
2. “Symmetry rules for electronic excitations between degenerate orbitals in high-symmetry systems”, H. Nakai, *XXI International Symposium on The Jahn-Teller Effect: Physics and Chemistry of Symmetry Breaking (JT-XXI)*, (Tukuba, Japan), August 26-31, 2012.
3. “Expansion and deepening of quantum chemical methods toward real science”, H. Nakai, *17th International Annual Symposium on Computational Science and Engineering (ANSCSE17)*, Khon Kaen University (Khon Kaen, Thailand), March 27-29, 2013. **(Keynote)**

4-5 国内学会・国際会議等運営

1. 第6回分子科学会シンポジウム，2012年6月9日，早稲田大学・東京，参加者82名。（理工学研究所第2種行事）

2. 日本化学会第 93 回春季年会, アジア国際シンポジウム, 2013 年 3 月 24 日, 立命館大学・滋賀, 参加者約 50 名.
3. 第 1 回中日韓三国理論・計算化学ワークショップ(First China-Japan-Korea Tripartite Workshops on Theoretical and Computational Chemistry (CJK-WTCC-I)), 運営委員, 2012 年 7 月 20-22 日, 北京・中国, 参加者約 50 名.
4. 第 17 回化学および物理における量子システムに関する国際ワークショップ(XVIIth International Workshop on Quantum Systems in Chemistry and Physics (QSCP-XVII)), 国際科学委員, 2012 年 8 月 19-25 日, トゥルク・フィンランド, 参加者約 100 名.

3. 研究活動の課題と展望

本年度は DFTB 法による分子動力学計算をリチウムイオンデバイスにおける電解質溶媒の電気分解反応過程に適用し、興味深い知見を得た。しかし本研究では純溶媒のみを取り扱っており、より現実の系に近づけるためにはリチウムイオンの効果を含めることは必須である。また、SEI 膜生成時の電極電位の見積もりを行うことも重要であり、その実現にはさらなる大規模化も視野に入れる必要がある。

巨大分子設計の実現を目指した SAC/SACCI 科学の発展

研究代表者 中井 浩巳
(理工学研究所 教授)

1. 研究課題

SAC/SACCI 理論は中辻らにより作り上げられた信頼性の高い電子基底・励起状態計算法である。SAC/SACCI 理論の高効率化を図り、巨大分子設計を可能とするための理論的基盤を構築することを目的とする。また、この基盤理論を用いて巨大系(具体的には結晶や高分子、タンパク質や DNA などの生体系)の光・電子過程の計算に応用する。

SAC/SACCI 法はその高い精度から、分子の電子状態の分光学的予測に用いられてきた。しかし、系の大きさに対して計算コストが飛躍的に増大するため、巨大分子に適用するためには抜本的な取り扱いの革新が必要である。そこで本プロジェクト研究では、我々がこれまでに開発を進め、様々な電子状態理論に応用してきた分割統治(DC)法を用いる。これにより巨大系の電子基底状態だけでなく励起状態の高精度計算も可能となる。また、本手法によりエネルギーだけでなく様々な物性値を求めることで、巨大な実在系に近いモデルを用いた材料設計を実現する。本プロジェクトの知見を蓄積し、理論主導による新奇材料設計のレシピを確立することを目指す。

2. 主な研究成果

DC 法は、対象をいくつかの部分系に分割して計算することで、膨大にかかる大規模量子化学計算のコストを削減する理論である。我々はこれまで DC 法に基づく大規模系の高精度計算手法を開発し、大幅な計算コストの削減に成功してきた。本研究では巨大系の高精度量子化学計算へのアプローチとして、DC 法に基づく SAC/SAC-CI 計算理論を開発する。昨年度は、大規模高精度基底・励起状態計算法である DC-SAC/SAC-CI 法の理論・プログラム開発を行った。今年度は DC-SAC/SAC-CI 法を光活性イエロータンパクに適用した。さらに、非局所励起状態に対して適用可能とするために分割統治型時間依存結合摂動(DC-TDCP)法を利用した計算手法の開発・検討を行った。

①DC-SAC/SACCI 法による光活性タンパク(PYP)の励起状態計算

光活性イエロータンパク(PYP)における励起エネルギーの大きなレッドシフトは、反応中心部のみを切り出したモデル計算では十分に説明できない現象の一つである。周囲のアミノ酸とレッドシフトの関係を検討するためモデルサイズごとに DC-CIS, DC-TDDFT, DC-SAC-CI 計算を行った。図 1 に各モデルサイズに対する最低 π - π^* 励起エネルギーを示す。全タンパクの効果を入れた SAC-CI 計算を行うことにより 0.1 eV 程度の誤差で、高精度に励起エネルギーを再現することに成功した。計算時間の点においても、推定 35 億年掛かると予測されるところ、DC 法を用いることにより 11.07 時間と計算コストの大

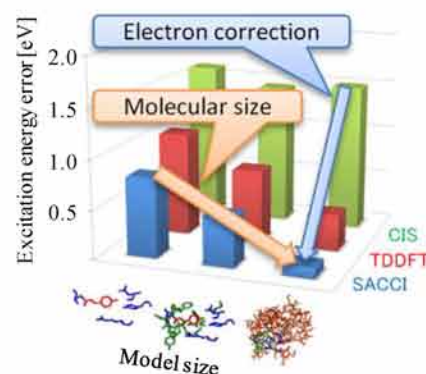


Fig. 1 Excitation energy error of PYP [eV]

幅な削減を可能とした。

②分割統治型理論を用いた大規模非局所励起状態計算法の開発:DC-TDCP 法の利用

周波数依存分極率を求める手法である DC-TDCP 法を利用して、分極率の極から励起エネルギーを求められることを数値的に検証する。今回の検証では、SAC/SAC-CI よりも比較的精度の低い DFT を用いて計算を行った。非局在系であるポリエン鎖 $C_{30}H_{32}$ に対して DC-TDCPDFT を行った。二重結合間の二つの炭素とそれらに結合する水素からなるユニット (-CH=CH-) を部分系とした。基底関数は 6-311G**、汎関数は LC-BLYP を用いた。これによって求められた励起エネルギーと、同じく汎関数 LC-BLYP を用いた TDDFT によるポリエンの励起エネルギーと振動子強度の結果を表 1 に示す。この 2 つを比較すると、振動子強度が比較的大きい励起状態 $1B_u$, $2B_u$, $4B_u$ の励起エネルギーを誤差 0.11 eV 以下で精度良く記述できていることがわかる。禁制遷移や振動子強度の非常に小さな励起は分極率の極として現れなかった。以上の検証から、周波数依存分極率を用いることで振動子強度が大きい励起に関しては励起エネルギーを正しく見積れることがわかる。

Table 1. Excitation energy E_{ex} and oscillator strength of polyene chain $C_{30}H_{32}$ calculated by standard TDDFT and DC-TDCPDFT.

State	TDDFT			DC-TDCPDFT
	E_{ex} [eV]	f	Nature	E_{ex} [eV]
$1B_u$	2.96	6.08	allowed	2.97
$2A_g$	3.62	0.00	forbidden	-
$2B_u$	4.28	0.52	allowed	4.26
$2A_g$	4.66	0.00	forbidden	-
$3A_g$	4.88	0.00	forbidden	-
$3B_u$	5.01	0.00	allowed	-
$4A_g$	5.42	0.00	forbidden	-
$4B_u$	5.43	0.17	allowed	5.54

3. 共同研究者

今村 穰 (理工学術院・客員次席研究員)

菊池 那明 (理工学術院・客員研究員)

清野 淳司 (学振 特別研究員)

サバパコーン パシヤリーナ (理工学術院・助教)

五十幡 康弘 (理工学術院・化学・生命化学科・助手)

4. 研究業績

4-1 学術論文

1. “Theoretical analysis of adsorption structure of hydrated hypophosphite ion on Pd (111) surface”, M. Kunimoto, K. Seki, H. Nakai, T. Homma, *Electrochemistry*, **80** (4), 222–225 (2012).
2. “Accelerating convergence in the antisymmetric product of strongly orthogonal geminals method”, M. Tarumi, M. Kobayashi, H. Nakai, *Int. J. Quantum Chem.*, **113** (3), 239–244 (2013).
3. “Constrained self-consistent field method revisited toward theoretical designs of functional materials under external field”, Y. Yamagata, Y. Imamura, H. Nakai, *Chem. Phys. Lett.*, **530**, 132–136 (2012).
4. “Dynamic hyperpolarizability calculations of large systems: the linear-scaling divide-and-conquer approach”, M. Kobayashi, T. Touma, H. Nakai, *J. Chem. Phys.*, **136** (8), 084108 (10 pages) (2012).
5. “Linearity condition for orbital energies in density functional theory (IV): determination of range-determining parameter”, Y. Imamura, R. Kobayashi, H. Nakai, *Int. J. Quantum Chem.*, **113** (3), 245–251 (2013).
6. “Divide-and-conquer-based symmetry adapted cluster method: synergistic effect of subsystem fragmentation and configuration selection”, T. Yoshikawa, M. Kobayashi, H. Nakai, *Int. J. Quantum Chem.*, **113** (3), 218–223 (2013).
7. “Self-consistent field treatment and analytical energy gradient of local response dispersion method”, Y.

- Ikabata, T. Sato, H. Nakai, *Int. J. Quantum Chem.*, **113** (3), 257–262 (2013).
8. “Development of the explicitly correlated Gaussian-nuclear orbital plus molecular orbital theory: incorporation of electron-electron correlation”, H. Nishizawa, Y. Imamura, Y. Ikabata, H. Nakai, *Chem. Phys. Lett.*, **533**, 100–105 (2012).
 9. “Divide-and-conquer based quantum chemical study for interaction between HIV-1 reverse transcriptase and MK-4965 inhibitor”, P. Saparpakorn, M. Kobayashi, S. Hannongbua, H. Nakai, *Int. J. Quantum Chem.*, **113** (4), 510–517 (2013).
 10. “Direct alkoxylation of alkoxy silanes for the synthesis of explicit alkoxy siloxane oligomers”, R. Wakabayashi, M. Tamai, K. Kawahara, H. Tachibana, Y. Imamura, H. Nakai, K. Kuroda, *J. Organometallic Chem.*, **716**, 26–31 (2012).
 11. “Local unitary transformation method for large-scale two-component relativistic calculations: case for a one-electron Dirac Hamiltonian”, J. Seino, H. Nakai, *J. Chem. Phys.*, **136** (24), 244102 (13 pages) (2012).
 12. “Divide-and-conquer electronic-structure study on the mechanism of the West Nile Virus NS3 protease inhibitor”, P. Saparpakorn, M. Kobayashi, H. Nakai, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **86** (1), 67–74 (2013).
 13. “Extension of local response dispersion method to excited state calculation based on time-dependent density functional theory”, Y. Ikabata, H. Nakai, *J. Chem. Phys.*, **137** (12), 124106 (9 pages) (2012). (**Top 20 Most Downloaded Articles—October & November 2012; Research Highlight**)
 14. “Local unitary transformation method for large-scale two-component relativistic calculations. II. Extension to two-electron Coulomb Interaction”, J. Seino, H. Nakai, *J. Chem. Phys.*, **137** (14), 144101 (15 pages) (2012).
 15. “Acceleration effect of thiourea on the oxidation reaction of hypophosphite ion on Ni surface”, M. Kunitomo, K. Endo, H. Nakai, T. Homma, *Electrochimica Acta*, *in press* (2013).
 16. “Generalized Møller–Plesset multiconfiguration perturbation theory applied to open-shell antisymmetric product of strongly orthogonal geminals reference wavefunction”, M. Tarumi, M. Kobayashi, H. Nakai, *J. Chem. Theory Comp.*, **8** (11), 4330–4335 (2012).
 17. “Cristaxenicin A, an antiprotozoan xenican diterpenoid from the deep sea gorgonian *Acanthoprimnoa cristata*”, S. Ishigami, Y. Goto, N. Inoue, S. Kawazu, Y. Matsumoto, Y. Imahara, M. Tarumi, H. Nakai, N. Fusetani, Y. Nakao, *J. Org. Chem.*, **77** (23), 10962–10966 (2012).
 18. “Assessment of local response dispersion method for open-shell systems”, Y. Ikabata, H. Nakai, *Chem. Phys. Lett.*, **556**, 386–392 (2013).
 19. “An analytical energy gradient method for divide-and-conquer second-order Møller–Plesset perturbation theory”, M. Kobayashi, H. Nakai, *J. Chem. Phys.*, **138** (4), 044102 (11 pages) (2013).
 20. “Linearity condition for orbital energies in density functional theory (III): Benchmark of total energies”, Y. Imamura, R. Kobayashi, H. Nakai, *J. Comput. Chem.*, *in press* (2013).

4-2 論文（査読付きプロシーディング）

1. “Development of divide-and-conquer quantum chemical code for biomolecules and nano materials”, M. Kobayashi, P. Saparpakorn, H. Nakai, *Proceedings of ‘31st Annual Conference of Japan Society for Simulation Technology (JSST 2012)’* (Kobe, Japan, 27–28 September, 2012), 330–333 (2012).
2. “Special Issue: Seventh Congress of the International Society for Theoretical Chemical Physics”, H. Nakai, K. Yoshizawa, K. Ando, T. Nakajima, E.J. Brandas, *Int. J. Quant. Chem. (Preface)*, **113** (3), 171–172 (2013). (the Special Issue for the 7th Congress of the International Society for Theoretical Chemical Physics)

4-3 著書（総説を含む）

1. “How does it become possible to treat delocalized and/or open-shell systems in fragmentation-based

- linear-scaling electronic structure calculation: the case of divide-and-conquer method”, M. Kobayashi, H. Nakai, *Phys. Chem. Chem. Phys. (Perspective)*, **14** (21), 7545–7876 (2012).
2. “化学原理の発見：縮重系励起の対称則”, H. Nakai, *J. Comput. Chem. Jpn.*, **11** (1), 1–12 (2012). (Special Issue of the 10th Anniversary 2)
 3. “Description of core ionized and excited states by density functional theory and time-dependent density functional theory”, Y. Imamura, H. Nakai, pp. 275–308 in ‘*Quantum Systems in Chemistry and Physics: Progress in Methods and Applications*’ *Progress in Theoretical Chemistry and Physics*, **B 26**, K. Nishikawa, J. Maruani, E. J. Brändas, G. Delgado-Barrio, P. Piecuch, (Eds.) (Springer, 2012).

4-4 招待講演

1. “Linear-scaling divide-and-conquer calculations for nonlocal excited states of large systems”, H. Nakai, *17th Quantum Systems in Chemistry and Physics (QSCP-XVII)*, (Turku, Finland), August 19-25, 2012.
2. “Symmetry rules for electronic excitations between degenerate orbitals in high-symmetry systems”, H. Nakai, *XXI International Symposium on The Jahn-Teller Effect: Physics and Chemistry of Symmetry Breaking (JT-XXI)*, (Tukuba, Japan), August 26-31, 2012.
3. “Expansion and deepening of quantum chemical methods toward real science”, H. Nakai, *17th International Annual Symposium on Computational Science and Engineering (ANSCSE17)*, Khon Kaen University (Khon Kaen, Thailand), March 27-29, 2013. **(Keynote)**

4-5 国内学会・国際会議等運営

1. 第6回分子科学会シンポジウム, 2012年6月9日, 早稲田大学・東京, 参加者82名. (理工学研究所第2種行事)
2. 日本化学会第93回春季年会, アジア国際シンポジウム, 2013年3月24日, 立命館大学・滋賀, 参加者約50名.
3. 第1回中日韓三国理論・計算化学ワークショップ(First China-Japan-Korea Tripartite Workshops on Theoretical and Computational Chemistry (CJK-WTCC-I)), 運営委員, 2012年7月20-22日, 北京・中国, 参加者約50名.
4. 第17回化学および物理における量子システムに関する国際ワークショップ(XVIIth International Workshop on Quantum Systems in Chemistry and Physics (QSCP-XVII)), 国際科学委員, 2012年8月19-25日, トゥルク・フィンランド, 参加者約100名.

5. 研究活動の課題と展望

これまでのプロジェクト研究にて、様々な電子状態理論に対して応用し、大幅な高速化に成功してきた DC 法を用いて、高精度基底・励起状態計算法である SAC/SAC-CI 理論の高速化(DC-SAC/SAC-CI 法)を行った。これにより、精度と計算コストのトレードオフの問題の克服に成功した。また、TDCP 法を利用することによって分割型計算理論では困難であった非局所励起状態に対しても、巨大分子シミュレーションが可能となった。ただし、非局所励起状態に対しては比較的低精度な DFT への適用にとどまっている。今後は、TDCP 理論を SAC/SAC-CI 理論に拡張を行い、巨大系に対する量子化学計算の広範囲な適用を実現する。

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 教授)

1. 研究課題

近年、携帯電話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す。図 1に本研究の研究概要図を示す。

まず初めに、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。その後、複数ユーザ間での複合的な分析を行うことで、社会的意義の高いサービスの提供に貢献できると考えられる。例えば、多くの人々の移動経路情報や移動手段情報が把握できれば、通行量や交通量により詳細かつ低コスト、リアルタイムに把握できるようになるため、交通インフラ整備や都市計画立案支援の際に大きな意義をなすと考えられる。また、階段や平地といった歩行時の地形情報を収集できれば、位置情報と組み合わせることで、車椅子利用者が通行できる道を表示した「車椅子利用者用マップ」といったものも作成できると考えられる。

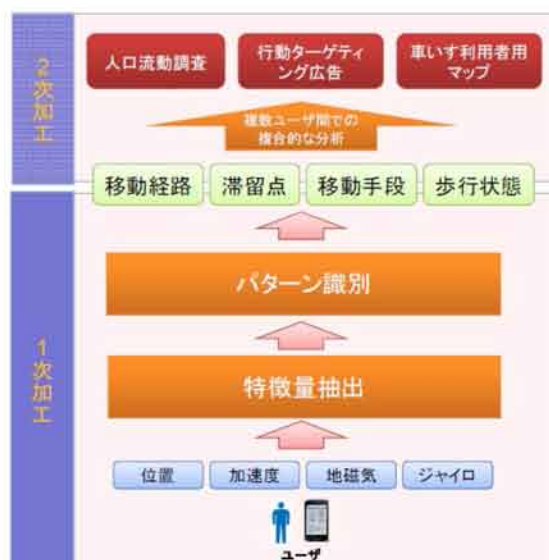


図 1 研究概要図

2. 主な研究成果

2.1 携帯端末の加速度センサを用いた歩行認証

2.1.1 目的

携帯端末には、スケジュールや電話帳などの様々な個人情報や、電子商取引などで用いる情報などが記録されており、端末の紛失によりそれらの情報が他人に悪用される危険性がある。これらの情報を保護するために、一般的にはパスワードや物理的なキーが用いられているが、情報を参照するたびに、煩雑な動作を行う必要があるため、パスワードを設定しない原因にもなっている。そのため、ユーザの所有や記憶に依存しない、身体的な特徴や、特性を用いたバイオメトリック認証が着目されている。バイオメトリック個人認証は、身体的特徴を用いる認証と、行動的特徴を用いる認証に分類できる。身体的特徴を用いた個人認証は時間軸上の一点を対象として本人確認を行うが、行動的特徴を用いた個人認証は、日常的な動作と同時に本人確認が行えるため、認証時だけでなく認証後も連続的に本人確認を行うことができる。また、ユーザの心理的抵抗が弱いことが利点として挙げられる。そこで本研究では、携帯端末向けの個人認証手法として、行動的特徴である人物の歩行動作における加速度データに着目し、携帯端末に搭載されている加速度センサを用いた歩行認証の検討を行った。

2.1.2 歩行認証

歩行時の加速度データ携帯端末はユーザが日常的に所持するものであり、常に携帯端末に搭載されているセンサでユーザの行動によるセンサ情報が取得されている。近年、監視システムなどのための個人認証システムとして歩容認証が検討されている。カメラから得られる動画像を処理することで、個人認証が可能であることが示されており、歩き方は個人によって異なることが確認されている。そこで本研究では、個人の歩き方の違いが歩行中の加速度に現れると考え、所持している携帯端末の加速度センサから得られる加速度データに着目した。

本研究では、携帯端末に搭載されている3軸加速度センサから取得される加速度データに対して式(1)を用いて合成した値 r を求め、センサが受けた加速度の大きさを用いて認証を行う。3軸合成加速度の一例を Fig.1 に示す。

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1)$$

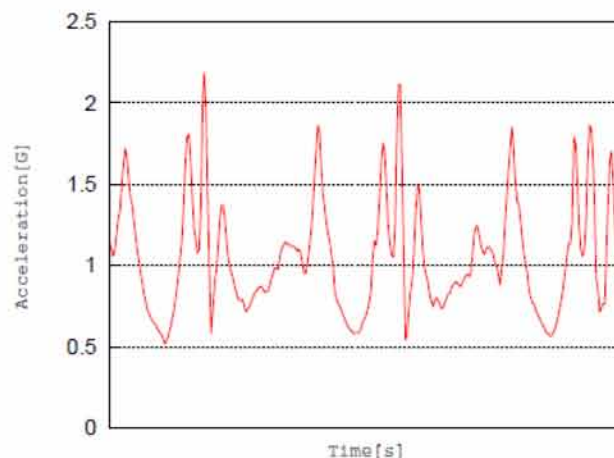


Figure 1: 3軸合成加速度の一例

本研究では、パターン認識技術を用いて Fig.2 のような歩行認証システムを設計し、歩行認証の認証能力を評価した。

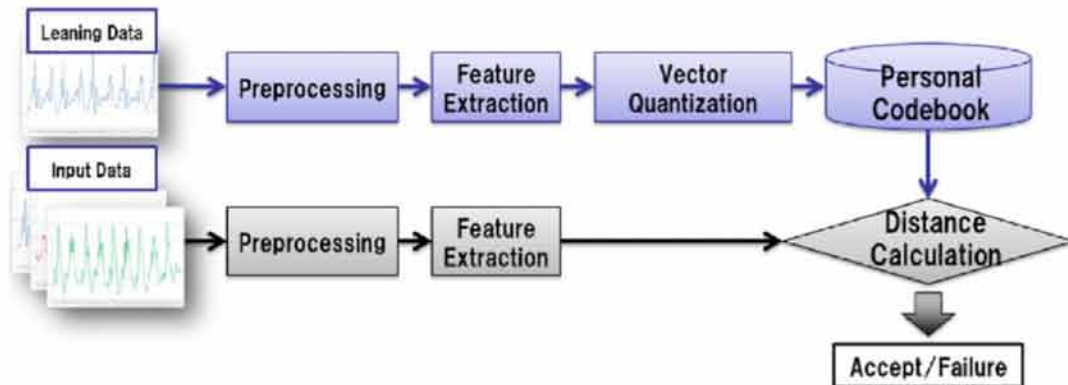


Figure 2: 歩行認証システム

前処理部において端末から取得される加速度データを特徴抽出しやすい形に変換し、特徴抽出部において特徴量の算出を行う。学習時には LBG+Splitting アルゴリズムを用いたベクトル量子化により、個人毎のコードブックを作成する。認証時には、入力された歩行データから特徴量を算出し、各コードブックとのユークリッド距離を算出することで認証を行う。

2.1.3 提案手法

ケプストラムは、短時間振幅スペクトルの対数の逆フーリエ変換として定義され、スペクトル包絡と微細構造を近似的に分離して抽出できる特徴がある。スペクトル包絡は、時間波形における大局的な特徴を表し、微細構造は、時間波形における基本周期を表す。LPC ケプストラムでは、LPC による線形波形モデルに対してケプストラム分析を行うため、元の波形に対するケプストラム分析よりも、スペクトルのピーク特性が抽出しやすいという利点がある。本研究では、歩行データの特徴量として、この LPC ケプストラム係数を用いた。

1 つのフレーム(ケプストラム分析の適用する範囲)から得られる特徴量から算出されるユークリッド距離を用いて認証を行うと、フレーム毎の特徴量に少しばらつきがあるために、認証性能が高くなると考えられる。そこで本研究では、統計量を用いた認証と k 数決法を用いた認証を行う。統計量を用いた認証とは、任意個のフレームから算出された特徴量からユークリッド距離を算出し、任意個のユークリッド距離の平均値、最大値、最小値を任意個のフレームの代表値として本人・他人の判定基準となる閾値と比較を行うことで認証を行う。また k 数決法とは、任意個のフレームのそれぞれの特徴量からユークリッド距離を算出し、それぞれ本人・他人の判定基準となる閾値と比較し、任意個の中で k 個以上のフレームにおいて閾値を満たした場合に、その任意個のフレームは本人であると判定する手法である。

2.1.4 評価実験

本研究では、実装した歩行認証システムを用いて評価実験を行った。認証性能の評価尺度としてバイオメトリクスの性能評価尺度として一般的な、他人受入率(False Match Rate, FMR)、本人拒否率(False Non-Match Rate, FNMR)を利用した。FMR と FNMR の関係を表す

ROC(ReceiverOperatingCharacteristic) 曲線を用いて本人・他人判定の基準となる閾値を変化させた際の精度を評価した。この曲線が原点に近くなるほど認証性能が高いことを示す。また、他人受入率と本人拒否率が等しくなったときの値を EER(EqualErrorRate)といい、認証性能評価の指標としてよく用いられる。EER が小さいほど認証性能が高いことを示す。

歩行時の加速度データ取得実験の実験諸元を Tab.1 に示す。被験者 20 名について、端末を右腰に固定し 1 人あたり 100 秒間の歩行データを取得した。

Table 1: 実験諸元

日付	2012 年 10 月 6 日
使用端末	iPhone4S
サンプリング周波数	100Hz
データ量	100 秒/人
被験者数	20 名

従来研究で用いられている平均値、標準偏差、最大値、最小値の 4 種類の特徴量と LPC ケプストラムの計 5 種類の特徴量を 1 フレーム毎に算出し、評価実験を行った。評価結果を Fig.3 に示す。従来特徴量と比較して、LPC ケプストラムを用いた場合が最も認証性能が高いことがわかる。

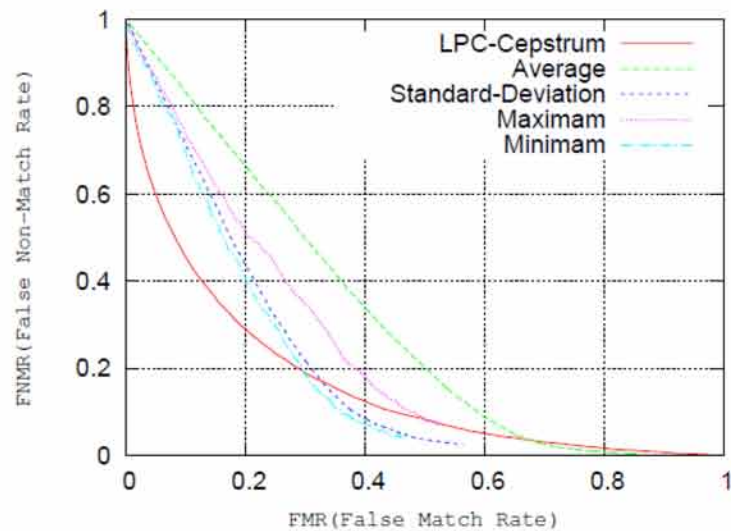


Figure 3: 従来特徴量との比較

複数フレームを用いた認証を行った結果を Fig.4 に示す。統計量を用いた認証において最も認証性能が高い 16 フレームの平均値と比較して、 k 数決法を用いた場合に認証性能が高くなった。また、 k 数決法においては、 $k=2$ とした場合に、EER が 12.6% となり、認証性能が最も高くなった。

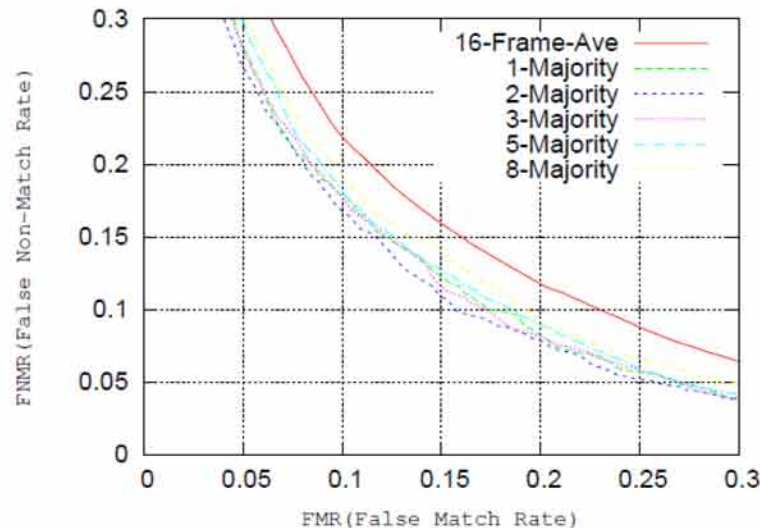


Figure 4: 複数フレームを用いた認証

2.1.5 まとめ

本研究では、携帯端末の加速度センサから得られる加速度データを用いた歩行認証の手法を提案し、その評価を行った。特徴量として LPC ケプストラムを用いること、また認証手法として k 数決法($k=2$)を用いることの有効性を実装した歩行認証システムを用いて認証を行い、ROC 曲線や EER を用いて定性的・定量的に評価した。

2.2 携帯端末のセンサ情報を用いた人物移動状態の識別

2.2.1 目的

近年、高機能な携帯端末の急激な普及に伴い、個人の生活の履歴であるライフログを利活用したビジネスが注目されてきており、携帯端末に蓄積されるライフログ情報を収集し分析することで、個人の行動に基づく詳細なユーザ特性を把握でき、本人だけでなく第三者にも有益な情報を提供できる。その中でもユーザの時々々の移動状態を把握することは、人口流動調査や、交通インフラの整備および評価、行動ターゲティング広告などにも広く利用できる可能性があり、極めて有用な情報であると考えられる。そのため、本研究では、地磁気センサ、加速度センサ、測位センサから取得したセンサデータを用いることにより、徒歩、電車、バス、自動車といったユーザの移動状態を識別するため、各移動状態のデータの性質や特徴分布空間の様子について検討を行った。

特に従来の研究では、電車、バス、自動車についての識別精度が、他移動状態と比較すると、ユーザの着席・起立状態などの要因により影響を受けるため安定性に欠けるという問題点があった。そこで、電車、バス、自動車では、駆動源や車載電子機器などの影響により、車内における磁気データに差異が存在する可能性があると考え、最近携帯端末の搭載機能として標準採用される傾向にある地磁気センサに着目した。各移動状態における磁気データにそれぞれ固有の特徴があることを確認できれば、前述の識別精度の問題を改善できる可能性がある。そのため、本研究では、従来研究で用いられている加速度センサに加え、新たに地磁気センサを用いて移動状態の

識別をすることによって全体の精度向上を目指す。

2.2.2 調査実験

本研究では、識別対象とする移動状態として徒歩、電車、バス、自動車の四種類を選択し、各移動状態において取得される磁気データおよび加速度データにそれぞれ固有の特徴が見られな
いかを調査するため、各移動状態で iPhone4S を右脚ポケットに装着した状態でのデータ取得を
行い、各移動状態のデータの性質や特徴分布空間の様子について比較を行った。なお、電車には
総武線の三鷹ー中野間、バスには京王バスの日野駅付近、自動車には日産のブルーバードシルフ
ィを用いてバス同様に日野駅付近を走行したデータを用いた。

まず、特徴分布空間の様子を調べるために、各移動状態における三軸合成磁気量の平均値と標
準偏差値について散布図を用いて比較した (Figure1)。その結果、電車は他移動状態とは異なる
分布を示しており、これらの特徴量を用いることによる識別の可能性が確認できた。

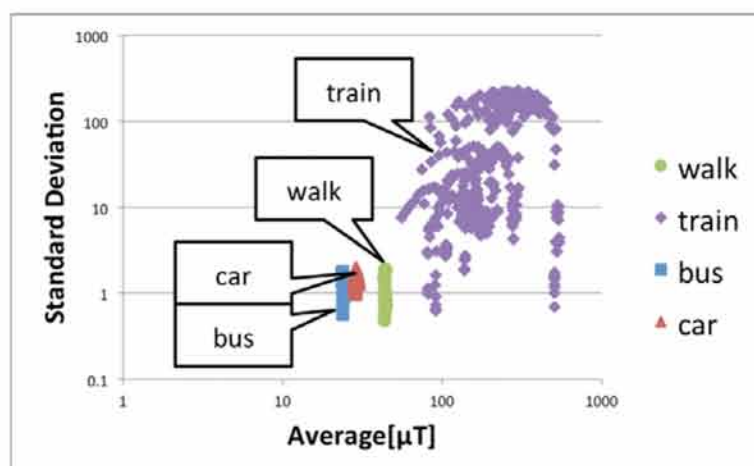


Figure 1: Feature Distribution of 3-axis Magnetism

次に、各移動状態における三軸合成加速度の平均値と標準偏差値について比較を試みた
(Figure2)。その結果、徒歩は他移動状態とは異なる分布を示しており、これらの特徴量を用い
ることによる識別の可能性が確認できた。

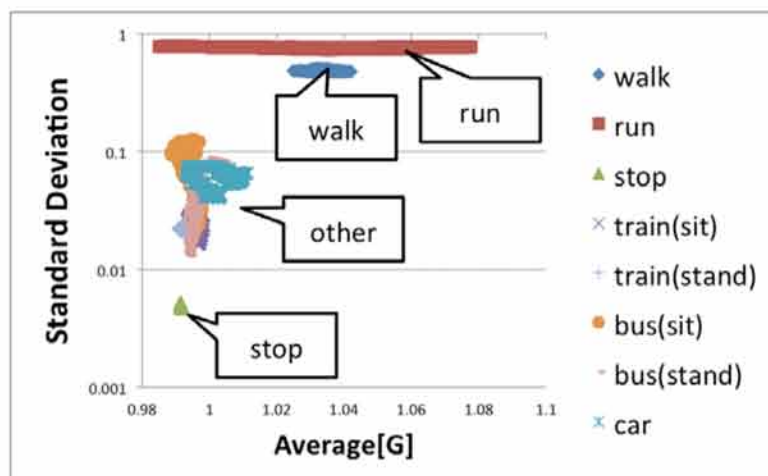


Figure 2: Feature Distribution of 3-axis Acceleration

続いて、バスと自動車における三軸合成加速度のパワースペクトルの最大値について比較した (Figure3)。その結果、バスは着席・起立状態、進行中・停止中に関わらず自動車よりも値が高く、この特徴量を用いることによる識別の可能性が確認できた。

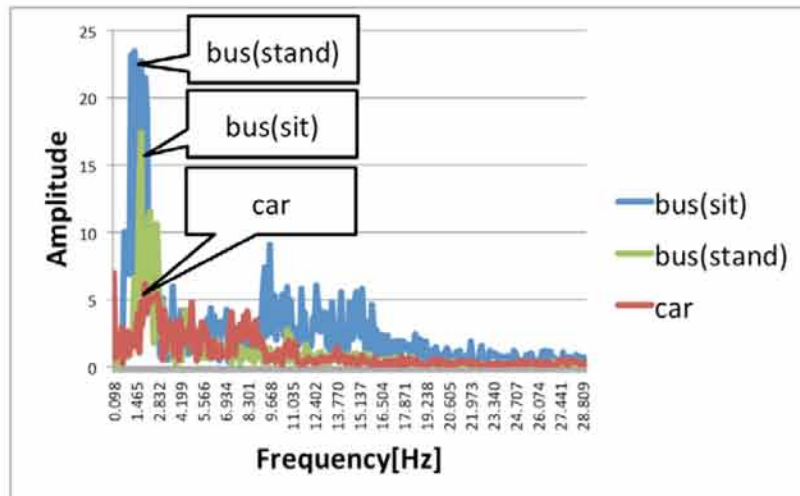


Figure 3: Spectrum of 3-axis Acceleration (Moving)

2.2.3 提案手法

前節での知見を踏まえ、以下の識別手法の検討を行う。下記の手法でどの程度識別できるかを実データを用いて確認した。

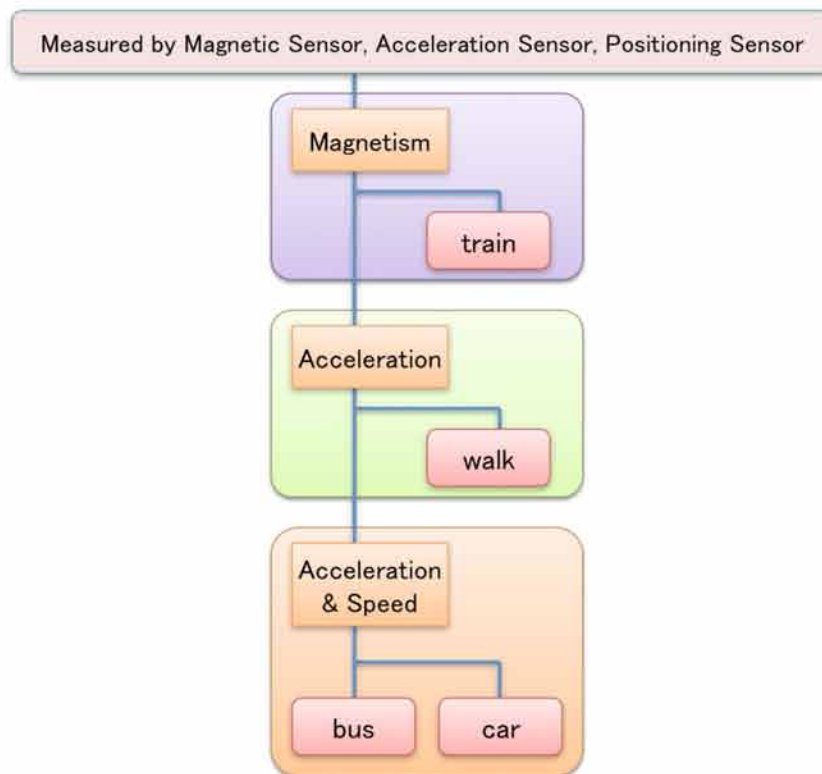


Figure 4: Schematic View

まず、三軸合成磁気量の平均値を用いて、電車と他移動状態の識別を行う。Figure5 より、電車以外の移動状態が明確に区別できる閾値を設定することで、電車のデータの約 98%を切り分けられることが確認できた。

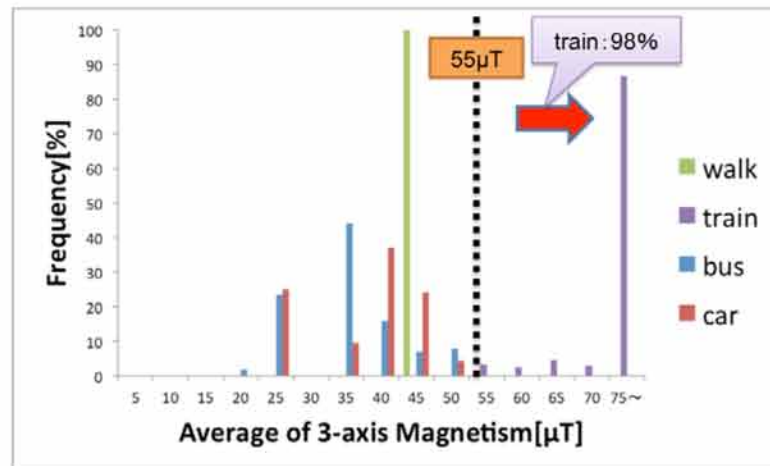


Figure 5: Average of 3-axis Magnetism

次に、鉛直方向加速度の標準偏差値を用いて、徒歩と他移動状態の識別を行う。Figure6 より、徒歩以外の移動状態が明確に区別できる閾値を設定することで、徒歩のデータの 100%を切り分けられることが確認できた。

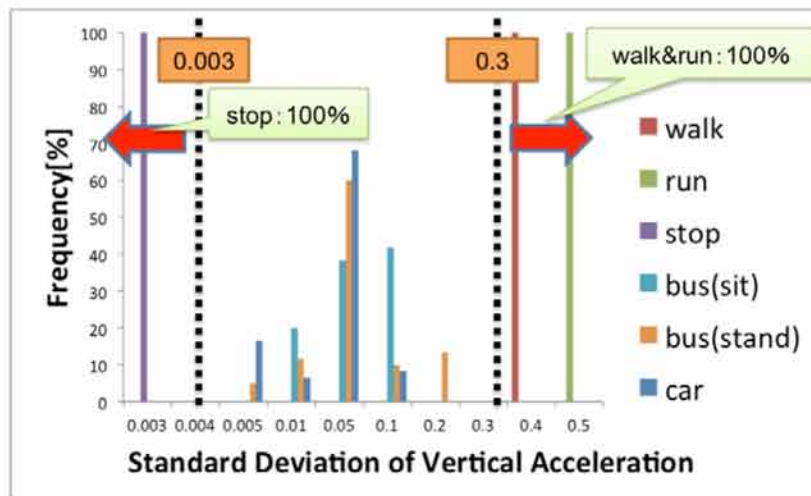


Figure 6: Standard Deviation of Vertical Acceleration

最後に、三軸合成加速度のパワースペクトルの最大値と速度を用いて、バスと自動車の識別を行う。Figure7 より、速度を用いて運転状況の場合分けをした上で閾値を設定することで、バスと自動車のデータの約 90%を切り分けられることが確認できた。

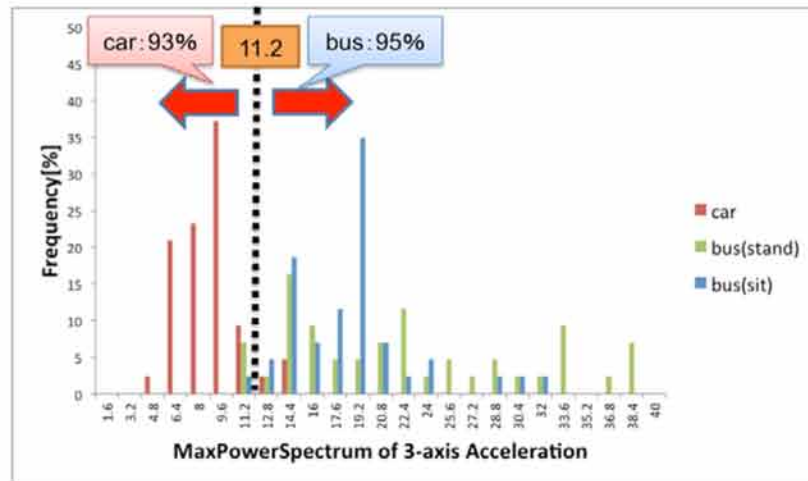


Figure 7: Max Power Spectrum of 3-axis Acceleration

2.2.4 まとめ

本研究では、携帯端末に搭載された地磁気センサと加速度センサ、測位センサから取得できるセンサデータの、徒歩、電車、バス、自動車といった移動状態の識別における有効性を示した。既存研究から、加速度センサ単体では電車、バス、自動車の識別精度は不安定であることが推測されているが、本研究で提案したように、地磁気センサを加えて、あらかじめ電車を加速度データによる識別対象から除くことで、加速度センサによるバス、自動車の識別精度が向上する可能性があることを確認した。

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）
 大木 哲史（早稲田大学・次席研究員）
 鶴丸 和宏（早稲田大学・嘱託研究員）

4. 研究業績

- [1] 笠原弘樹、市野将嗣、吉井英樹、鶴丸和宏、甲藤二郎、小松尚久：“携帯端末のセンサ情報を用いた個人認証に関する検討,” 電子情報通信学会 バイオメトリクス研究会, 東京, Aug.2012.
- [2] 上原聡介、市野将嗣、吉井英樹、鶴丸和宏、甲藤二郎、小松尚久：“携帯端末のセンサ情報を用いた人物移動状態の識別に関する検討,” 電子情報通信学会 LOIS 研究会, LOIS2012-65, pp.103-108, 佐賀, Jan.2013.
- [3] 笠原弘樹、市野将嗣、吉井英樹、鶴丸和宏、甲藤二郎、小松尚久：“携帯端末の加速度センサを用いた歩行認証に関する検討,” 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS 2013), 3D1-4, 京都, Jan.2013.

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.

- 携帯端末の加速度センサを用いた歩行認証

本研究では, 音声処理で用いられている特徴量の LPC ケプストラムが従来の特徴量と比較して, 歩行認証に有効であると示した. 今後は, バイオメトリック認証で用いられている特徴量や, 他のケプストラム分析を歩行認証に適用した場合の有効性の評価を行う.

- 携帯端末のセンサ情報を用いた人物移動状態の識別

今後の検討として, 磁気量と加速度は環境に依存すると予想されることから, 環境変化による差異の調査をする必要性和, 特定の速度の状態が最も識別しやすいという可能性があることから, バスと自動車における加速度と速度の関係性の調査をする必要性がある.

サステイナブル・デザインプロセス研究

研究代表者 高口 洋人
(理工学術院 教授)

1. 研究課題

本プロジェクト研究は、建築設計や都市デザインに関連する社会システムを、よりサステイナブルなものに改善していくためのデザインプロセスを提案・開発することにある。

ここで報告するのはサステイナブル・デザインプロセス研究の一環として行った、①快適な天然素材住宅の生活と脱温暖化を『森と街の直接連携で実現する』（以下、森街プロジェクト）、②サステイナブルデザインプロジェクト、③グリーンストックプロジェクトの成果内容を報告する。

2. 主な研究業績

2.1 森街プロジェクト

(1) はじめに

日本は国土の67%を森林が占める木材資源豊かな国である。しかし現在、新設住宅着工の約57%、戸建住宅に限ると87%が木造²⁾であるにも関わらず、日本の木材自給率(用材)は41.7%と低い¹⁾。この背景には、1960年代の木材輸入自由化により、価格の安い外材が市場に参入し、国産材の競争力が低下したことや、国内林業が弱体化したことが挙げられる。しかし、国産材の利用が促進されていない背景には、国内林業の弱体化のみならず、国内林業から林産業・建設業そして住宅購買者・非住宅施主をとりまく社会構造(以下、国産材・木造建築需給システム)において複数の問題が複雑に絡み合っているため、国産材・木造建築需給システム(以下、需給システム)内の1つの問題を解決するだけでは国産材需要拡大には至らないことが挙げられる。よって、今後国産材需要拡大を進めるにおいては、需給システム内の全問題とその関係性を把握し、需給システム全体の改善が必要であると考えられる。

そこで本研究では、文献調査とヒアリング調査を通して、需給システムにおける各ステークホルダーの国産材需要拡大への課題認識を把握した上で、需給システムにおける問題点の抽出とその関係性の整理を行う。次に、システムダイナミクス理論を用いた木材需給システムのモデル化を行い、国産材需要拡大のための現状の需給システムのボトルネック抽出を行う。それらの考察から、抽出されたボトルネックを解消するための社会技術の提案を行い、提案された社会技術が需給システムに与える影響を検証する。

(2) 国産材・木造建築需給システムの現状調査

国産材の需給における主要なステークホルダーの三者(林業者・製材工場・建設業者における国産材需要拡大に対する課題の認識を調査し、課題に対して考えうる解決策・既存の策を整理することで、課題に対する策が国産材需要拡大に現状どのような影響を及ぼしているかについて把握した。その結果、林業者、林産業者、建設業者ともに、国産材需要拡大における課題に対して策を講じている。しかし、それらの策が他分野の協力が必要であったり、新たな問題を誘発したり、システムとしては有効に機能していないことが明らかとなった。

これらの需給システム全体の問題点とその因果関係を図1に示す。なお、問題間の関係性には正と負の影響関係が存在し、例えば負の影響については「製材工場の規模拡大が進まない」と「素材価格の低下」における関係においては相反する関係となっており、製材工場の規模が拡大するほど素材価格の低下が起こることを示している。結果、林業では建設業から影響を受ける1項目を含む12項目、林産業では林業から影響を受ける1項目を含む6項目、建設業者では林産業から影響を受ける3項目と購買者・建築施主から影響を受ける1項目を含む8項目、購買者・建築施主では建設業から影響を受ける2項目を含む6項目が問題点として抽出された。すなわち、需給システムにおける国産材需要の縮小には、32項目が関連し合い影響を与えていることが明らかとなった。

(3) 需給システムのボトルネックの抽出

国産材需要拡大のボトルネックを把握し、根本的な問題解決を図るため、システムダイナミクスを用いた需給システムの要素間影響モデル（以下、需給システム現状モデル）の作成を行った。

作成した需給システム現状モデルを用いて感度分析を実施した。感度分析においては、32要素の中でも現状調査により国産材需要拡大に、より影響を及ぼすと考えられる10要素。32の要素以外で国産材需要拡大に寄与すると考えられる「木造住宅一戸あたりの木材使用量」、「非住宅建築の木造代替率」の2要素、合わせて12要素を対象とした。各要素±30%変移に対する国産材需要量の現状値からの変移率を求めることで、まずは需給システム全体の国産材需要量に最も影響をおよぼす要素の抽出を行う。感度分析結果を図2に示す。国産材需要量に最も影響をおよぼすのは国産製材価格であり、±30%の変移で国産材需要量が

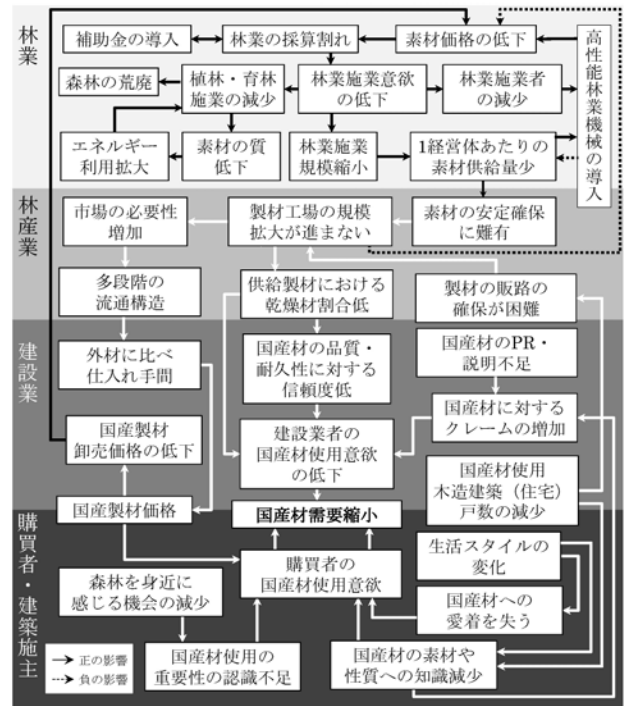


図1 国産材・木造建築需給システムにおける問題点と因果関係

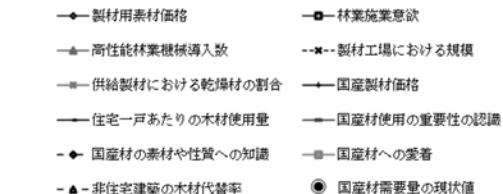


図2 各要素値±30%の変移に対する国産材需要量の感度

min-12.7%~max17.3%と変移する。これは製材価格を抑制すると国産材の需要が増加することを示す。その他、住宅一戸あたりの木材使用量(min0%、max13.1%)、製材用素材価格(min-4.8%、max12.8%)、製材工場の規模(min-5.4%、max7.2%)、国産材の素材や性質に対する知識(min-6.3%、max6.3%)、非住宅建築木材代替率(min-4.0%、max4.0%)が国産材需要量に影響を与える上位6要素となった。

次に製材価格低下と他要素を再び感度分析することで、現状システムが抱えるボトルネックを抽出する。感度分析対象は、32要素のうち現状調査より国産製材価格に強く影響を受けると考えられる6要素と、「立米あたりの利益」を含む計7要素とする。結果は、現状の需給システムにおける国産材需要拡大のボトルネックは『素材価格』となった。従って、国産材需要拡大を図るためには、国産製材価格の抑制と国産素材価格の引き上げを同時に実現することが必要であり、取り組むべきは『素材価格の引き上げ』であることが分かった。

2.2 サステイナブルデザインプロジェクト

(1) はじめに

1950年代前半に高度経済成長の影響を受け、生活に対する価値観が多様化し、生活の基盤を支える建築物の機能は複雑化や規模の拡大化が求められるようになった。一方で、工期の短縮や生産性の向上が求められるようになり、経験と勘に基づいて行われていた非効率的な設計行為を改善すべく、1963年に設計方法小委員会の設立を足がかりに設計手法や設計プロセスに関する研究が始まった。太田や池辺、外山らはブラック・ボックスとされていた建築物の設計プロセスに対してモデルの提案や技術的に高度化した建築物の設計を創造的設計で可能にするシステムの模索を行った。

しかし、建築業界では他分野の機械工学の設計プロセスの研究と比較しても、企画から実施設計を通した設計手順に関する研究は進んでいないのが現状である。更に近年の建築物の設計プロセスを見ると、設計者や発注者だけではなく、行政や金融関係者、環境コンサルタントなど様々な関係者が関わるようになってきている。また環境配慮に対する社会的要請の高まりやニーズの多様化、法規制の緻密化など、設計において検討すべき事項も増加している。検討項目が増加しつつある現在、従来通り漫然と手戻りを許容すると、設計者の負担は大きくなる一方である。これらの理由から、設計プロセスの円滑化が必要であると考えられる。そこで本研究では、DSMモデルを用いて事務所建築物の模範的な設計手順を作成し、この模範設計作業手順と実際の設計事例のプロセスを比較し、手戻りの発生原因を分析することで、設計プロセスの問題点の可視化と、改善による設計作業の効率化の可能性を示す。

(2) 模範設計作業手順

事務所ビル設計作業項目を文献より抽出する。その結果を表1に示す。さらに事務所ビルの設計作業項目間の依存関係について文献を基に整理した。さらに依存関係は事務所ビルの設計者7名に対してヒアリング調査を行い実情に合わせて修正を加えた。これらの依存関係をもとにDSM分析を行い、事務所ビルにおける模範的な設計作業手順を作成した。(図3)

(3) 事務所ビルにおけるケーススタディ

実際の事務所建築物の設計プロセスを4件のケーススタディとして分析を行う。ケーススタディでは環境配慮建築物(環境配慮を実現した事務所ビル)の設計時に使用された議事録等の閲覧と、設計を担当した設計実務者へのヒアリングを行う。議事録等の閲覧から各打ち合わせでの検討、決定、変更事項や打ち合わせの参加者を把握し、議事録等に記載されていない、詳細な打ち合わせ内容や作成書類の内容はヒアリング調査で把握した。

議事録・図面・ヒアリングの調査結果をもとに、対象事例の設計プロセスを整理しても、事例毎に議

表1 事務所ビルの99の設計作業項目

No.	作業項目名称	No.	作業項目名称	No.	作業項目名称
1	要求条件の把握	34	動線計画(その他)	67	間仕切壁の設計
2	敷地・周辺状況調査	35	昇降機の計画	68	防火・防煙区画の検討
3	敷地特性の把握	36	モジュールの設定	69	廊下の設計
4	インフラ調査	37	柱スパンの決定	70	塵芥室の設計
5	環境調査	38	執務室の奥行き設定	71	湯沸室の設計
6	制約条件の把握	39	ワークプレイス形状の決定	72	便所の設計
7	所有形態(区分所有、共有)の把握	40	柱寸法の設定	73	リフレッシュコーナーの設計
8	法規制・許認可スケジュールの把握	41	梁寸法の設定	74	管理諸室のゾーニング・設計
9	業務形態(職種別人員構成、職種間の関連性等)の把握	42	天井システムの決定	75	会議室の設計
10	オフィスに対するニーズの調査	43	執務室の窓まわりの設計	76	役員諸室の設計
11	計画コンセプトの検討	44	OAフロアの設計	77	福利厚生施設の設計
12	環境性能評価・環境影響評価の導入検討	45	執務室内の装飾性能・材料の設定	78	食堂の設計
13	省・創エネルギー計画	46	オフィスレイアウトの検討	79	その他特殊室の検討
14	スケジュールの検討	47	空調熱源計画	80	階段の設計
15	建物配置計画	48	換気計画	81	消火設備システムの決定
16	法定ボリュームの把握	49	エントランスホールの計画	82	防火・防災システムの決定
17	開発手法の決定	50	エレベーターホールの設計	83	床稼働荷重(標準部とヘビーデューティーゾーン)の設定
18	階高の設定	51	エントランスホールの防犯計画	84	床稼働性能の設定
19	ボリュームの検討	52	風除室の設計	85	屋上階の計画
20	グレード設定	53	外構計画	86	ペリメータの計画
21	建設費の検討	54	駐車場計画	87	照明計画
22	レンタル仕様の検討	55	外壁の工法の決定	88	窓の配置(採光・眺望)
23	用途(面積)構成の検討	56	外装性能・材料の設定	89	窓の設計(種類・デザイン)
24	特殊階の検討	57	排煙設備システムの決定	90	配管等スペース(PS、設備シャフト、DS、EPS等)の設計
25	外観デザインの計画	58	情報通信システムの決定	91	空調ゾーニング
26	開口部の検討	59	衛生器具設備の検討	92	設備機器用スペースの設計
27	コア計画	60	排水システムの決定	93	維持・管理計画
28	構造基本計画	61	給水システムの決定	94	セキュリティシステムの決定
29	環境・設備基本計画	62	給湯システムの決定	95	セキュリティゾーニング
30	防災・防犯基本計画	63	ガス供給システムの決定	96	概算見積
31	ライフサイクルコスト(イニシャル・ランニング)の検討	64	中央監視システムの決定	97	VE、CD項目の検討
32	バリアフリー・ユニバーサルデザインへの配慮	65	契約電力の想定、受電電圧・電力供給システムの想定	98	確認申請図書等の作成
33	主動線計画	66	非常用発電機、備蓄燃料の確保	99	工事発注図書の作成



図3 事務所ビルの模範的な設計手順と全設計手順の依存関係のDSM

事録・図面の体裁や、作業内容に関する言及方法は各社それぞれ異なるため、各事例の設計プロセスについてこのまま比較・分析を行うことはできない。そこで本研究では、設計作業項目との変換表を作成し、各事例の設計プロセスの作業内容を共通の設計言語である設計作業項目に変換を行った。これにより、各事例の全設計作業手順が明らかとなり、全ての事例に対して同様の分析を行うことを可能とした。

各事例での手戻りを確認すると、事例 1 では、

「外壁の工法の決定」や「外壁性能・材料の設定」、事例 2 では「エレベーターホールの設計」や「執務室の内装性能・材料の設定」、事例 3 では「管理諸室のゾーニング・設計」や「ペリメータの設計」、事例 4 では「階段の設計」や「管理諸室のゾーニング・設計」が多くの手戻りの起因となっていた。また、事例 1 では「維持・管理計画」や「設備機器用のスペースの検討」、事例 2 では「管理諸室のゾーニング・設計」や「設備機器用のスペースの検討」、事例 3 では「維持管理計画」、事例 4 では「設備機器用スペースの設計」や「湯沸室の設計」に関して、作業完了に必要な情報が十分に揃っていない段階で検討を行っていたことも手戻りの原因となっていた。各事例での手戻り発生原因となる作業項目は共通しておらず、各物件の特徴やプロジェクトの進行方法によって異なることが明らかとなった。

各事例での手戻り発生率を式 1 にて算出し、ケーススタディの指標とする。

表 2 各事例における手戻り率

	事例 1	事例 2	事例 3	事例 4	平均
設計作業の 総数	384	294	409	964	512.8
手戻りのある 設計作業の 総数	109	112	119	173	128.3
手戻り率	28.4 %	38.1 %	29.1 %	17.9 %	25.0 %
CASBEE 相当ランク	A	B+	A	S	-

手戻り率 γ = 手戻りのある設計作業の総数 / 設計作業の総数 式 1

各事例において算出した手戻り率の結果を表 4 に示す。CASBEE ランクが B+~A の事例 1~3 では 28.4%~38.1%の手戻り率であったのに対し、CASBEE 相当ランクが S である事例 4 では 17.9%と手戻り率が低かった。事例 4 では施主側から CASBEE の S ランク取得を設計の初期段階から要請されていた。これに答えるため、多くの環境配慮技術の導入が求められた。そのため、検討事項が多くなることで設計プロセスの管理に関して設計チーム内で危機感が生じ、設計当初から設計プロセスを効率的に行うという気運がプロジェクトの関係者内にあり、そのため手戻り率も低くなったと考えられる。設計プロセスを適切に管理することで、手戻り率を大幅に低減させることの可能性が示唆された。一方で研究を通して行った設計者へのヒアリング調査からは建築物の設計の質向上のためには一定の手戻りは必要であるとのコメントも多く見られた。

2.3 グリーンストックプロジェクト

(1) はじめに

改正省エネ法では、300 m²以上の建築物について、新築・増改築時における省エネルギー措置の届出及び維持保全の状況の報告が義務付けられた。さらに、事業所ごとにエネルギー管理統括者、エネルギー管理企画推進者を選任し、定期報告書・中長期計画書の提出が必要となった。また、2010 年度より東京都は産業・業務部門の CO₂ 排出量の約 6 割を占める中小規模事業所を対象とした「地球温暖化対策報告書制度」の運用が開始された。これらのエネルギー消費抑制施策により、大規模事務所ビルへの規制・対策は整いつつあり、今後は中小既築事務所ビルへと対象が移行すると考えられる。

そこで本研究では、中小既築事務所ビルの省エネ化に関する現状把握を行う。その上で中小既築事務所ビルの省エネ化阻害要因を特定する。そして各阻害要因に対し、現状の打開策より解決方法や課題点等を明らかにする。

(2) 中小既築事務所ビルの省エネ化阻害要因

ヒアリングによる現状把握では、光熱費削減効果が建物オーナーに還元されず、費用負担の動機が薄いという実情が共通して挙げられ「建物オーナー・テナント間の受益分配問題」が阻害要因として考えられる。またバブル経済の崩壊により、当初見込んでいた賃料収入が得られないため、自己資金不足が生じているのが現状である。そして自己資金不足の影響により、金融機関から与信が受けられないことから、「建物オーナーの資金不足及び与信能力不足」が阻害要因として考えられる。

情報について、収益に直接結びつかない環境性能向上の重要性は認識・評価されていない、低炭素建物が不動産市場で評価されていない、ということから、環境性能が高い建物という理由で家賃を高くできる状況ではない現状が挙げられている。これより「賃料への環境性能の影響小」が阻害要因として考えられる。そして欧米に比べ、公開されている環境性能の情報が圧倒的に少ないこと、投資パフォーマンスの根拠が不十分であることから、「社会に流通する環境性能に関する情報不足」が生じている。これにより、入居希望者が「環境性能でビルを差別化できない」のが現状である。また建物オーナーはテナントを刺激するような情報の公開を避けており、環境性能に関する情報がテナントに届いていないのが現状である。これを「建物オーナー・テナント間の情報不足」とまとめた。

図4に中小既築事務所ビルの省エネ化におけるステークホルダーとその関係を示す。図5には中小既築事務所ビルにおける省エネ化阻害要因の関係を示した。主に建物オーナー・テナント間の問題と、建物オーナー・仲介業者・入居希望者間の問題の2つに分類できる。

(3) 阻害要因の解消策

整理された省エネ化阻害要因のうち、5つの省エネ化阻害要因に対し、6つの解消策を提案する（図

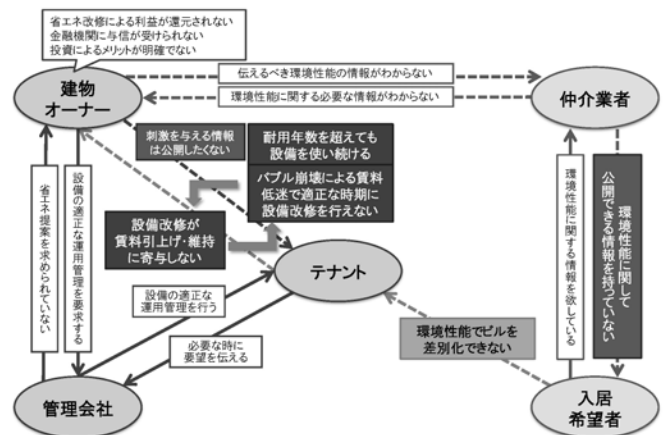


図4 中小既築事務所ビルの省エネ化における
ステークホルダーとその関係

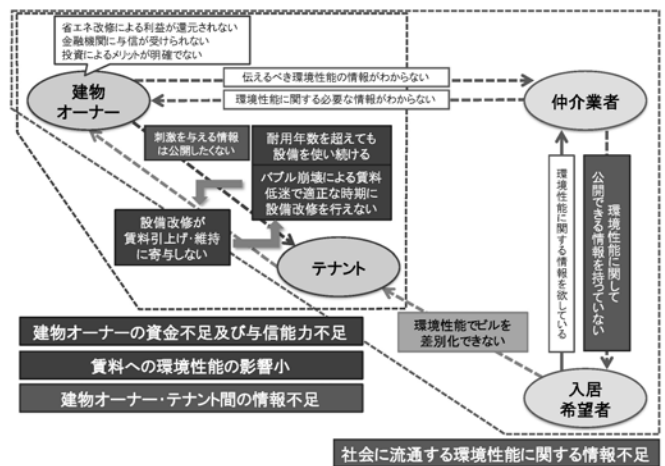


図5 中小既築事務所ビルにおける省エネ化
阻害要因の関係

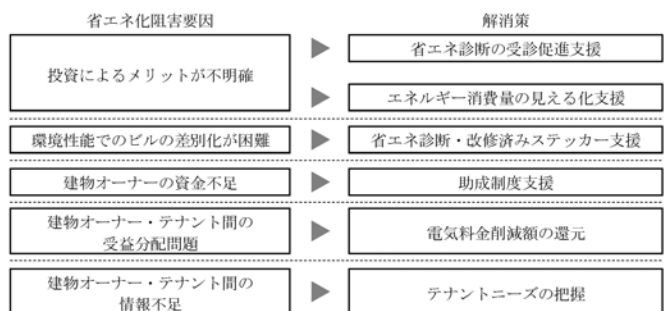


図6 省エネ化阻害要因とその解消策

6)。「省エネ診断の受診促進支援」、「エネルギー消費量の見える化支援」、「省エネ診断・改修済みステッカー支援」、「助成制度支援」の4つの解消策は、自治体などですでに実施されている省エネ化促進支援策である。その他「電気料金削減額の還元」、「テナントニーズの把握」を提案するが、具体的な策については次年度以降に報告する。

3. 共同研究者

外岡 豊(埼玉大学・経済学部・教授) 中島裕輔(工学院大学・建築学部・准教授)
田中 優(天然住宅) 相根昭典(天然住宅)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- ・ 高口洋人, 井筒進平, 鷺谷聡之, 他『非住宅(民生業務部門)建築物の環境関連データベース(DECC)の構築と解析(その1)基礎データベースの構築』, 日本建築学会環境系論文集, NO.678, p699-705, 2012.8
- ・ SU Yuan, 高口洋人, WANG Fulin, 『中国北方における某大学建物のエネルギー消費特性と省エネルギー対策の効果評価』, 日本建築学会環境系論文集, NO.677, p.605-614, 2012.7
- ・ SU Yuan, 高口洋人, YAN Junwei, 『中国南方にある理工系大学キャンパスにおけるエネルギー消費構造の分析』, 日本建築学会環境系論文集, NO. 675, p399-407, 2012.5

4.2 授賞

- ・ 内田俊平 『国内林業・木造住宅生態系再生のための社会技術の提案』, 2012年日本建築学会関東支部研究発表会若手優秀研究報告賞

5. 研究活動の課題と展望

本報告では、①快適な天然素材住宅の生活と脱温暖化を『森と街の直接連携で実現する』(以下、森街プロジェクト)、②サステイナブルデザインプロジェクト、③グリーンストックプロジェクト、について報告した。いずれも従来の技術探求型の研究開発では解決が困難な、ホリスティックなアプローチが求められるテーマである。

現時点では問題解決に向け試行錯誤している状況であるが、今後は解法を方法論化、学問化していく必要があると考えており、これから取り組む予定である。これ以外にも建築物のレジリエンス評価手法の開発や集合集宅のゼロエネルギー化など、研究テーマは広がっており今後の報告に期待して欲しい。

ネットワークにおける体感品質

研究代表者 田中 良明
(大学院国際情報通信研究科 教授)

1. 研究課題

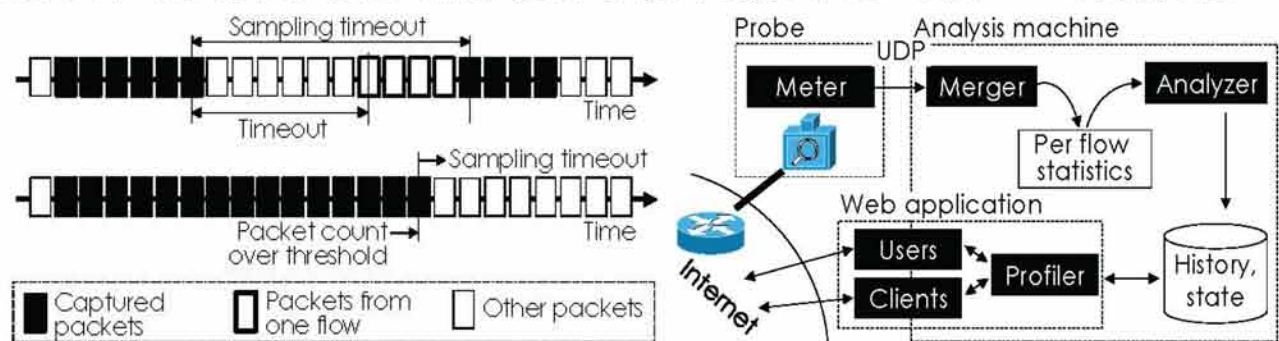
従来、通信ネットワークの品質といえば QoS (Quality of Service) を指した。QoS とは、遅延時間、パケット損失率など物理的に測定ができる客観品質である。しかし、通信を行うのは人間である。そこで最近、人間が感じる品質すなわち体感品質が重視されている。体感品質は QoE (Quality of Experience) といい、主観品質である。QoS と QoE は一致しない。例えば、遅延時間が 2 倍になると、QoS では 1/2 に品質が落ちたことになる。しかし、人間は品質が 1/2 まで下がったとは感じない。せいぜい 3/4 程度と感じる。すなわち、QoE では、1/2 でなく 3/4 に品質が落ちたことになる。

本研究では、QoE を二つの側面から検討する。第一は、QoE を経済学における支払意思額と結び付けることである。ユーザが感じる品質に対する支払意思額を QoE の値とすれば、ユーザの便益（効用－料金）や事業者の収益（収入－コスト）を最大化する検討に直接結び付けることができる。調査や実験を行い、その結果に基づいて理論を構築する。また、最大化手法についても検討を行う。第二は、ネットワークを通して得られる物理的な測定値から QoE を求める手法を開発することである。すなわち、送信側からプローブパケットを受信側に送って測定した物理的な測定値から、受信側の QoE を求める。ネットワークを通した測定では、測定方法によって物理的な測定値が大きく変わること、バックグラウンドトラフィックの流れの違いによっても測定値が大きく変わることなど重要な点を検討し、実用になる手法を開発する。

2. 主な研究成果

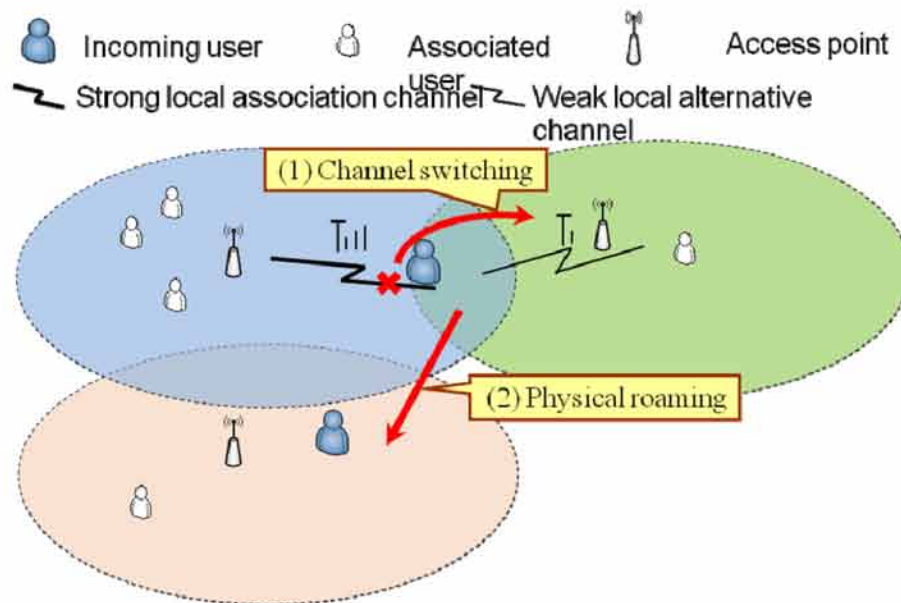
2.1 パケットサンプリングによる QoS と QoE の測定

高速ネットワークにおける品質測定を全部のパケットを元に行うことは、非常に大きな処理能力が必要であり、実現が難しい。そのため、パケットサンプリングを行って、一部のパケットから品質を推定するのが普通である。しかし、どのような間隔でサンプルするかにより、推定精度が異なる。本研究では、いくつかのサンプリング法を比較し、推定精度が高い方法を見出だした。QoE は複数の QoS パラメータから変換して求めることができるが、そのためには複数の QoS パラメータを高い精度で求める必要があり、本方式は有用である。また、QoS から QoE に変換するときの誤差についても検討した。



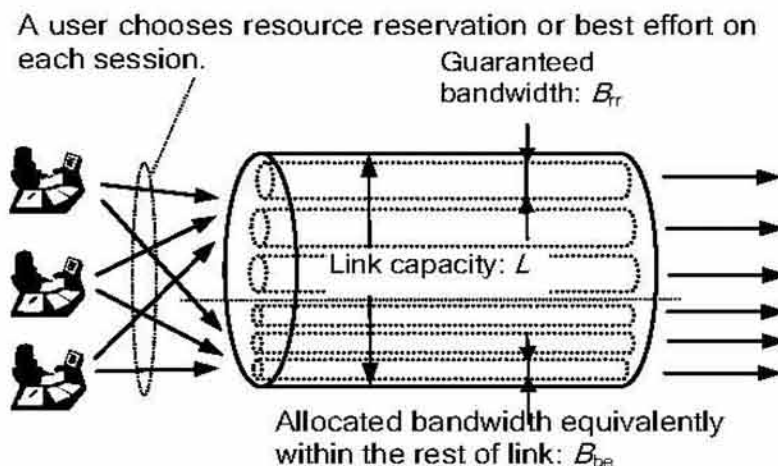
2.2 無線アクセスネットワークにおけるアクセスポイント選択

無線アクセスネットワークにおいては、アクセスポイントが複数利用可能なことが多い。ユーザは通常信号強度が最も大きいアクセスポイントを選択する。しかし、信号強度に基づく選択では、ユーザが集中するアクセスポイントが生じて輻輳が起こり、伝送速度の低下や遅延の増大が生じる。それらは、ユーザの QoE の低下につながる。そこで、各アクセスポイントの利用料金を適応的に変化させてユーザをすいているアクセスポイントに誘導する方式について、ゲーム理論を適用して検討を行った。これによりアクセスポイントの負荷の均等化を図ることができ、ユーザの QoE を向上させることができる。



2.3 企業ユーザに対する帯域確保サービス

ネットワークユーザの QoE は、帯域が大きくなるに従って大きくなる。QoE に基づいて料金を支払うと考えれば、QoE は支払意思額(WTP, Willingness To Pay)であるともいえる。企業ユーザの場合、ある一定の帯域が確保できなければ業務が成り立たないことが多く、この点が一般のユーザと異なる。そこで、ユーザが帯域確保サービスとベストエフォートサービスの選択を行うことができるサービスに関して、ユーザの便益や事業者の収入が大きくなる設計法を示し、具体的なパラメータ設定の仕方も明らかにした。



3. 共同研究者

岩村 充 (大学院商学研究科・教授)

三好 匠 (国際情報通信研究センター・研究院客員教授)

矢守恭子 (国際情報通信研究センター・客員准教授)

徐 蘇鋼 (国際情報通信研究センター・招聘研究員)

ザニケエフ・マラット (国際情報通信研究センター・招聘研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- (P1) B.Gu, K.Yamori, S.Xu, and Y.Tanaka, "A Game Theoretic Framework for Bandwidth Allocation and Pricing in Federated Wireless Networks", IEICE Transactions on Communications, Vol.E95-B, No.4, pp.1109-1116, April 2012.
- (P2) M.Zhanikeev and Y.Tanaka, "Modelling Network Performance of End Hosts", IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E95-D, No.7, pp.1872-1881, July 2012.
- (P3) B.Gu, K.Yamori, S.Xu, and Y.Tanaka, "An Incentive-Compatible Load Distribution Approach for Wireless Local Access Networks with Usage-Based Pricing", IEICE Transactions on Communications, Vol.E96-B, No.2, pp.451-458, February 2013.

4.2 講演 (国際学会)

- (I1) R.Yamamoto, T.Miyoshi, and Y.Tanaka, "Neighbour Traffic-Aware Load Balancing Method in Ad Hoc Networks", 4-th International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS-2012), Bucharest, Romania, pp.193-197, September 2012.
- (I2) X.Wang, F.Balasis, S.Xu, and Y.Tanaka, "Distributed GMPLS Optical Control in Translucent Wavelength Convertible WDM Networks", 14th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS 2012), Seoul, Korea, Paper No.TS5-2, 8 pages, September 2012.
- (I3) B.Gu, C.Zhang, K.Yamori, S.Xu, and Y.Tanaka, "Utility-Based Load Distribution for QoS Provisioning and Utility Maximization in Wireless Random Access Networks", 2nd International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT 2012), Changchun, China, pp.406-410, December 2012.
- (I4) F.Balasis, X.Wang, S.Xu, and Y.Tanaka, "A Dynamic Physical Impairment-Aware Routing and Wavelength Assignment Scheme for 10/40/100 Gbps Mixed Line Rate Wavelength Switched Optical Networks", 15th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT2013), Phoenix Park, Korea, Session 01F-02, January 2013.

4.3 講演 (研究会)

- (T1) B.Gu, K.Yamori, S.Xu, and Y.Tanaka, "Exploiting User Mobility for Load Balancing and Improving QoS in Wireless LANs", IEICE Technical Report on Communication Quality, Paper No.CQ2012-3, Vol.112, No.10, pp.13-18, April 2012.
- (T2) 矢守恭子, 于冰, 山形俊介, 田中良明, "無線データ通信サービスにおける通信品質と移動行動の関係分析", 電子情報通信学会技術研究報告, Paper No.CQ2012-19, Vol.112, No.119, pp.11-16,

2012 年 7 月.

- (T3) M.Zhanikeev and Y.Tanaka, “A Many-to-One Content Aggregation Model for Highly Heterogeneous Environments”, IEICE Technical Report on Network Systems, Paper No.NS2012-82, Vol.112, No.231, pp.13-18, October 2012.
- (T4) M.Zhanikeev and Y.Tanaka, “Advances in HTML5 and P2P Video Streaming from the Viewpoint of Network Dependability and Availability”, IEICE Technical Report on Dependable Computing, Paper No.DC2012-23, Vol.112, No.270, pp.13-18, October 2012.
- (T5) M.Zhanikeev and Y.Tanaka, “Analytical Models for L2 versus L3 QoS Provisioning”, IEICE Technical Report on Photonic Network, Paper No.PN2012-24, Vol.112, No.276, pp.1-6, November 2012.
- (T6) M.Zhanikeev and Y.Tanaka, “Popularity-Based Modelling of Flash Events in Synthetic Packet Traces”, IEICE Technical Report on Communication Quality, Paper No.CQ2012-57, Vol.112, No.288, pp.1-6, November 2012.
- (T7) M.Zhanikeev and Y.Tanaka, “Randomness Optimizer for Trajectory Performance Sampling” , IEICE Technical Report on Information Networks, Paper No.IN2012-123, Vol.112, No.352, pp.7-12, December 2012.
- (T8) M.Zhanikeev and Y.Tanaka, “Time-Based Emulation of Counter-Based Packet Sampling”, IEICE Technical Report on Communication Quality, Paper No.CQ2012-75, Vol.112, No.414, pp.11-14, January 2013.
- (T9) M.Zhanikeev and Y.Tanaka, “Control over Precision of Flow Volume Sampling using Random Batch Sampling”, IEICE Technical Report on Network Systems, Paper No.NS2012, Vol.112, March 2013.
- (T10) 山本嶺, 山崎託, 三好匠, 田中良明, “MANET における伝搬遅延推定に基づく Opportunistic Routing”, 電子情報通信学会技術研究報告, Paper No.NS2012, Vol.112, 2013 年 3 月.

4.4 講演 (大会)

- (N1) 山本嶺, 三好匠, 田中良明, “アドホックネットワークにおける近傍端末の通信状態に基づく経路制御手法”, 2012 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, 通信講演論文集 2, No.B-6-16, p.16, 2012 年 9 月.
- (N2) 岡本司, 三宅功, 矢守恭子, 田中良明, “企業ユーザの条件変化に対する帯域確保サービス設計法”, 2012 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, 通信講演論文集 2, No.B-11-11, p.285, 2012 年 9 月.
- (N3) M.Zhanikeev R.Yamamoto, and Y.Tanaka, “On Why Distributed Monitoring Needs Distributed PASTA”, 2012 IEICE Communications Society Conference, No.BS-4-5, pp.S-24-S-25, September 2012.
- (N4) C.Zhang, K.Yamori, S.Xu, and Y.Tanaka, “Time-Dependent Pricing for Revenue Maximization”, 2012 IEICE Communications Society Conference, No.BS-5-3, pp.S-32-S33, September 2012.
- (N5) M.Zhanikeev and Y.Tanaka, “Building a Media Player in Browser using HTML5 WebWorkers”, 2012 IEICE Communications Society Conference, No.BS-5-9, pp.S-44-S-45, September 2012.

- (N6) B.Gu, K.Yamori, S.Xu, and Y.Tanaka, "Analysis of Combined Connection Admission Control and Pricing in Wireless LANs", 2012 IEICE Communications Society Conference, No.BS-5-26, pp.S-76-S-77, September 2012.
- (N7) B.Yang, R.Yamamoto, and Y.Tanaka, "A Novel Mitigation Strategy against Malicious Actions based on Risk Evaluation Aware Trust Management in MANETs", 2012 IEICE Communications Society Conference, No.BS-5-37, pp.S-98-S-99, September 2012.
- (N8) B.Yu, K.Yamori, and Y.Tanaka, "Relationship between User Mobility and QoS in Wireless Data Communication Services", 2012 IEICE Communications Society Conference, No.BS-5-41, pp.S-106-S-107, September 2012.
- (N9) S.Ma, M.Zhanikeev, and Y.Tanaka, "Accuracy of Streaming Media QoE Metrics", 2012 IEICE Communications Society Conference, No.BS-5-42, pp.S-108-S-109, September 2012.
- (N10) X.Wang, F.Balasis, S.Xu, and Y.Tanaka, "Performance Comparison among 3 Types of 3R Regenerator with Different Wavelength Convertibility in WDM Networks", 2012 IEICE Communications Society Conference, No.BS-5-44, pp.S-112-S-113, September 2012.
- (N11) F.Balasis, X.Wang, S.Xu, and Y.Tanaka, "A Physical Impairment-Aware RWA Scheme for Mixed-Line-Rate Wavelength Switched Optical Networks", 2012 IEICE Communications Society Conference, No.BS-5-46, pp.S-116-S-117, September 2012.
- (N12) 山本嶺, 山崎託, 三好匠, 田中良明, "アドホックネットワークにおける伝搬遅延に基づくオプティミスティック経路選択", 2013 年電子情報通信学会総合大会, 通信講演論文集 2, No.B-6-139, 2013 年 3 月.
- (N13) 岡本司, 三宅功, 矢守恭子, 田中良明, "企業ユーザ向け帯域確保サービスのパラメータ変更による効果", 2013 年電子情報通信学会総合大会, 通信講演論文集 2, No.B-11-8, 2013 年 3 月.
- (N14) 神谷優, 矢守恭子, 田中良明, "ソーシャルネットワークサービスにおける推薦選好の調査", 2013 年電子情報通信学会総合大会, 通信講演論文集 2, No.B-11-20, 2013 年 3 月.
- (N15) B.Gu, K.Yamori, S.Xu, and Y.Tanaka, "Stackelberg Game Modelling of Wireless Access Point Selection by Mobile Users", 2013 IEICE General Conference, No.BS-1-1, March 2013.
- (N16) O.R.Abidakun, R.Yamamoto, and Y.Tanaka, "Energy Saving Strategy Based on SPIN Routing Protocol in Wireless Sensor Network", 2013 IEICE General Conference, No.BS-1-6, March 2013.
- (N17) S.Ma, M.Zhanikeev, and Y.Tanaka, "Mathematical Properties and Analysis of Accuracy in oQoE Assessment", 2013 IEICE General Conference, No.BS-1-30, March 2013.
- (N18) D.Wei, M.Zhanikeev, and Y.Tanaka, "A New Optimization Method for Virtual Network Embedding", 2013 IEICE General Conference, No.BS-1-34, March 2013.
- (N19) B.Yu, B.Gu, K.Yamori, and Y.Tanaka, "Relationship between User Mobility and Influential Factors in Wireless Data Communication Services", 2013 IEICE General Conference, No.BS-1-41, March 2013.
- (N20) B.Yang, R.Yamamoto, and Y.Tanaka, "Game Theoretic Analysis of Reputation based IDS for Preventing Black Hole Attack in MANETs", 2013 IEICE General Conference, No.BS-1-45, March 2013.
- (N21) X.Wang, F.Balasis, S.Xu, and Y.Tanaka, "Performance of Fixedly Tuned Wavelength Convertible 3R Regenerators in Translucent WDM Networks", 2013 IEICE General

Conference, No.BS-1-46, March 2013.

(N22) F.Balasis, X.Wang, S.Xu, and Y.Tanaka, "Offline Impairment-Aware RWA and Regenerator Placement in Optical Networks with Mixed Line Rates", 2013 IEICE General Conference, No.BS-1-47, March 2013.

(N23) Q.Liu, S.Xu, and Y.Tanaka, "An Architecture of AWG-based WDM-PON for Multiple Optical Line Terminals", 2013 IEICE General Conference, No.BS-1-48, March 2013.

(N24) M.Zhanikeev and Y.Tanaka, "VM Migration Avoidance based on Flow Workload Classification", 2013 IEICE General Conference, No.BS-1-50, March 2013.

(N25) C.Zhang, K.Yamori, S.Xu, and Y.Tanaka, "A Time-Dependent Pricing Scheme in Stochastic Environment", 2013 IEICE General Conference, No.BS-1-54, March 2013.

4.5 受賞・表彰

(A1) 古博, 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会奨励賞.

(A2) X.Wang, F.Balasis, S.Xu, and Y.Tanaka, APNOMS Best Paper Award.

(A3) F.Balasis, ICACT Outstanding Paper Award.

(A4) 張成, 電子情報通信学会学術奨励賞.

4.6 学会及び社会的活動

(S1) 日本 ITU 協会出版編集委員会委員長, 1995 年 1 月～現在.

(S2) Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies, International Advisory Board Member, 1998 年 12 月～現在.

(S3) 電子情報通信学会ネットワークシステム研究専門委員会顧問, 2001 年 5 月～現在.

(S4) 電子情報通信学会情報通信マネジメント研究専門委員会顧問, 2004 年 5 月～現在.

(S5) Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium, 常任委員, 2004 年 11 月～現在.

(S6) International Journal of Network Management, John Wiley & Sons, Editorial Advisory Board Member, 2008 年 7 月～現在.

(S7) 電子情報通信学会編集顧問, 2010 年 5 月～現在.

(S8) 電子情報通信学会通信ソサイエティ会長, 2012 年 5 月～2013 年 5 月.

(S9) 電子情報通信学会アクレディテーション委員会委員長, 2011 年 5 月～現在.

(S10) 日本技術者教育認定機構理事, 2011 年 6 月～現在.

(S11) 13th IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management (IM 2013), Technical Program Committee Member, 2012 年 3 月～2013 年 5 月.

5. 研究活動の課題と展望

人間が感じる品質は QoS ではなく QoE であり, それらはかなり大きく異なっていることが分かってきた. QoE に基づいてネットワークの制御を行えば, ネットワークを有効利用することが可能である. また, QoE は支払意思額にも結び付くので, ネットワーク事業の面からの検討においても有用である.

QoE は状況によっても変わる. 災害のときは, QoS が低くても QoE は高く感じる. したがって, 災害のときは QoS を下げ, 通信の疎通を増やす制御法もあり得る.

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
(理工学術院 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) MEMS 技術を応用した実用的高機能 LC マイクロチップ

高効率・高速化学分析技術の確立を目的として MEMS 技術を用いて液体クロマトグラフィー(LC)のマイクロチップ化を行って来ている。従来は内径と外径の長さが等しい低分散カーブを用いることでサンプルの分散を抑え、分離性能を向上させてきた。しかし、その構造では断面積が狭まった流路をもつことから流路抵抗が上昇してしまう。LC の分離性能は分離流路の長さに比例するため蛇行流路が必要である。新低分散カーブを搭載した LC チップを作製し、3 種類のカーブについて分離能と送液圧力について評価を行った。新低分散カーブは従来の低分散カーブが示した理論段数 1135 に匹敵する数値(1233)を示した。さらに流量 $10 \mu\text{L}/\text{min}$ において新低分散カーブは従来の低分散カーブの 6 分の 1 以下の圧力 (0.4Mpa)での送液に成功した。今後はさらなる流路の延長による理論段数 1 万の達成と、流量を上げることによる短時間高速分離へ応用する予定である。

(2) 高機能液滴ハンドリングデバイス

マイクロ流体デバイスを用いた極微量・精密化学反応制御がナノリットルを対象とした化学・生化学分析および化学合成分野で注目されている。特に、混じり合わない油相・水相の流れを利用してナノリットル・ピコリットルオーダーの体積のマイクロ液滴を生成し、それを反応層として用いる研究が盛んである。精密なマイクロ液滴生成とその融合操作は、定量的な化学・生化学実験には必要不可欠である。そこで、一定数のマイクロ液滴をオンディマンドで融合できるマイクロ液滴融合デバイスを開発した。これはアレー状に並んだマイクロピラー構造とそれを挟んで対向した 2 つ水平型ニューマチックマイクロバルブで構成されるマイクロ流体デバイスであり、DeepRIE をにより作成される Si 構造を鋳型として PDMS を構造体として用いる。2 つの水平型ニューマチックマイクロバルブに供給する圧縮空気の圧力を調整することにより、融合する液滴の数を能動的に制御できる。このデバイスにより化学・生化学の合成反応をデジタル的に行うことが可能となる。

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)

4. 研究業績

1. K. Hasegawa, D.H. Yoon, A. Nakahara, T. Sekiguchi, S. Shoji, "A Study on Simple Assembly Method of Polymeric Microlens Using Buoyancy of Droplets", The 4th International Symposium on Microchemistry and Microsystems (ISMM 2012), 2012.06.10-13, Hsinchu, Taiwan (2012) pp.55-56
2. K. Takatsuki, M. Noguchi, Y. Song, D.H. Yoon, T. Sekiguchi, J. Mizuno, T. Funatsu, M. Tsunoda, S. Shoji, "Low Dispersion and Low Pressure Drop Turn Structure Using Distribution Controlled Micro Pillar Array for Efficient LC Microchip", The 4th International Symposium on Microchemistry and Microsystems (ISMM 2012), 2012.06.10-13, Hsinchu, Taiwan (2012) pp.108-109
3. K. Miyamoto, R. Yamamoto, K. Kawai, S. Shoji, "Stand-Alone Micro Fluidic System Using Partly Disposable PDMS Microwell Array for High Throughput Cell Analysis", Sensors and Actuators A, Vol.188 (2012) pp.133-140
4. T. Kasahara, S. Shoji, J. Mizuno, "Surface Modification of Polyethylene Terephthalate (PET) by 172-nm Excimer Lamp", Transactions of The Japan Institute of Electronics Packaging Vol.5, No.1 (2012) pp.47-54
5. T. Funabashi, M. Sato, M. Kitajima, S. Shoji, J. Mizuno, "Fabrication and Surface Modification of Flat Lignocellulosic Carbon Materials", Japanese Journal of Applied Physics Vol.52 (2013) 010203
6. A. Jamshaid, M. Igaki, D.H.Yoon, T.Sekiguchi, S.Shoji, "Controllable Active Micro Droplets Merging Device Using Horizontal Pneumatic Valves", 1st International Conference on Microfluidic Handling Systems (MFHS 2012), 2012.10.10-12, Enschede, The Netherlands (2012) p.42-45
7. D.H. Yoon, J. Ito, T. Sekiguchi, S. Shoji, "Active and Precise Control of Microdroplet Division Using Horizontal Pneumatic Valves in Bifurcating Microchannel", 1st International Conference on Microfluidic Handling Systems (MFHS 2012), 2012.10.10-12, Enschede, The Netherlands (2012) p.46-49
8. T. Hirose, Y. Hoshino, D.H. Yoon, A. Nakahara, T. Mori, T. Sekiguchi, H. Takeyama, S. Shoji, "Uniform and High Throughput Agarose Gel Micro Droplet Generation Device for Single Cell Analysis", The 16th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (μ TAS 2012), 2012.10.28-11.01, Okinawa (2012) pp.500-502
9. Y. Harada, S. Numakunai, D.H. Yoon, T. Sekiguchi, S. Shoji, "High Throughput Size-Oriented Passive Droplet Sorting Device Using Surface Free Energy with Simple Parallel Guide Grooves", 25th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2012), 2012.10.30-11.02, Kobe (2012) 2B-8-3
10. K. Takatsuki, M. Isokawa, Y. Song, A. Nakahara, D.H. Yoon, T. Sekiguchi, J. Mizuno, T. Funatsu, M. Tsunoda, S. Shoji, "MEMS LC Microchip with Low Dispersion and Low Pressure Drop Turn Structure Using Distribution Controlled Micro Pillar Array", The 26th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2013), 2013.01.20-24, Taipei (2013) p.94

5. 研究活動の課題と展望

本年度は、昨年度に引き続きナノ／マイクロデバイスの要素技術・基本デバイスの改良を中心に研究を進め、一部システム化に向けた基礎検討を進めてきた。継続となる2期目の来年度はナノ／マイクロデバイスの要素技術・基本デバイスの改良およびシステム化の研究を引き続き行う。

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
(理工学術院・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。しかし、歩行の様子はヒトと同じように見えるが、ロボットの運動制御系はヒトの動きを参考にしていなかった。そこで本研究では、ヒトの歩行解析に基づきバランス制御を開発することで、ロボット内面の運動制御系もヒトに近づけることを目指す。また、脳科学の分野で提唱されている“Head Stabilization”についてもモデル化し、ロボットへの実装を通してヒト感覚・運動機能の解明を目指す。

2. 主な研究成果

2.1 歩行解析に基づいたバランス制御

三次元動作分析装置 VICON と床反力計を用いて、人間の剛体平地路面における自由歩行を計測した。被験者は成人男性3名とし、一被験者あたりの試行回数は5回とした。なお、被験者の平均身長は 1737 ± 124 [mm]、平均体重は 63.0 ± 3.3 [kg]である。歩行解析の結果、次の2つのポイントからなるバランス制御を考案した。

- ・ 立脚を原点とした極座標空間において、重心の転倒する方向を検出し、遊脚を同じ方向に着地させる。
- ・ 遊脚が着地する前に重心の転倒角度・角速度から着地時の力学的エネルギーを推定し、これを任意の範囲に収めるように歩間隔を修正する。

極座標を用いる理由としては、矢状面・前額面の区別なく統一的に力学的エネルギーを計算し、着地位置が決定できるためである。具体的なアルゴリズムとしては、まず、ロボット体幹部に搭載されたIMU (Inertial Measurement Unit) で重心の転倒する角度、角速度を取得し、これらを用いて着地時の力学的エネルギー E を計算し、これが事前に設定された閾値 E_{min} 、 E_{max} に対して $E_{min} \leq E \leq E_{max}$ を満たさない場合に着地位置を修正する。

開発したバランス制御を評価するために、本制御法を2足ヒューマノイド・ロボット WABIAN-2に実装し、評価実験を行った。足部機構としては、着靴可能な人間形足部機構(全長 220[mm]、横幅 83[mm]、質量 0.85[kg])を使用し、ロボットが剛体平板の大きな足部を使用した時よりも転倒しやすい状態にしている。考案したバランス制御を用いなければロボットは転倒するが、バランス制御を用いることで安定した前進歩行を実現し、提案手法の有効性を確認した。

2.2 Head Stabilization モデルの評価実験

前年度までに Head Stabilization のモデル化が完了しているため、本年度は実際に 2 足ヒューマノイド・ロボット KOBIAN にそのモデルを実装し、評価実験を行った。

まず、提案モデルが歩行中のロボット頭部の姿勢角変化を抑えることに寄与するか検証した。実験の結果、提案モデルを用いた場合は用いない場合と比べ、頭部ピッチ角の振幅が 2.6[deg]から 2.1[deg]に、ロール角の振幅は 4.0[deg]から 2.5[deg] (図 1) へと減少し、頭部が安定化されること確認した。次に、歩行中の視標追従性能を比較した。図 2 に実験結果を示すが、提案モデルを用いることで、目標視標までの誤差の標準偏差は左右方向に 1.7 倍、上下方向に 1.4 倍改善された。以上の実験結果より、提案モデルの有効性が確認された。

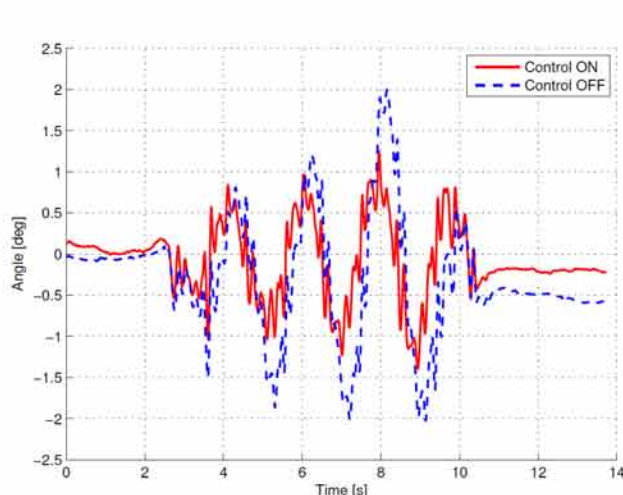


Fig. 1 ロボットが歩行中の頭部ロール角度

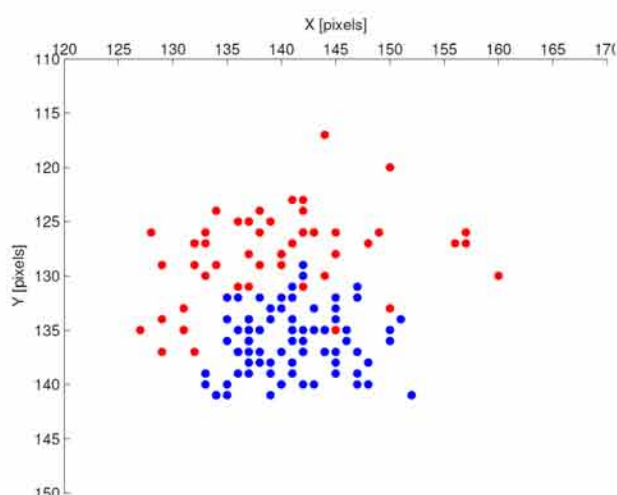


Fig. 2 カメラフレーム内の目標視標点群
(赤：制御あり，青：制御なし)

3. 共同研究者

橋本 健二 (理工学術院・次席研究員)

遠藤 信綱 (理工学術院・助手)

Przemyslaw Kryczka (理工学術院・RA)

Aiman Musa Mohamed Omer (理工学術院・RA)

姜 賢珍 (理工学術院・研究助手)

林 憲玉 (理工研・客員教授)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- Giovanni G. Muscolo, Carmine T. Recchiuto, Kenji Hashimoto, Paolo Dario and Atsuo Takanishi, "Towards an Improvement of the SABIAN Humanoid Robot: from Design to Optimisation," Journal of Mechanical Engineering and Automation, Vol. 2, No. 4, pp. 80-84, July, 2012.

4.2 総説・著書

- Takuya Otani, Tatsuhiro Kishi, Przemek Kryczka, Nobutsuna Endo, Kenji Hashimoto and Atsuo Takanishi, "Development of Distributed Control System and Modularized Motor Controller for Expressive Robotic Head," ROMANSY19: Robot Design, Dynamics and Control, pp. 183-190, Springer, January, 2013. (ISBN 978-3-7091-1378-3)

4.3 招待講演

- “Implementations of ZMP to Waseda Biped and Personal Memories with Prof. Vukobratović,” [Memorial workshop of Miomir Vukobratovic] Robo erectus erectus: from dawn to day of humanoid robot control, 2012 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, Osaka, Japan, November 29th, 2012.

4.4 受賞・表彰

- 第13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（SI2012） 優秀講演賞.

4.5 学会および社会的活動

- Steering Committee, “RoManSy 2012: 19th CISM-IFTToMM Symposium on Robot Design, Dynamics, and Control,” Paris, France, June, 2012.
- RAS EMBS Advisory Board, “BioRob 2012: 2012 IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics,” Rome, Italy, June, 2012.

4.6 国際会議における発表

- Przemyslaw Kryczka, Egidio Falotico, Kenji Hashimoto, Hun-ok Lim, Atsuo Takanishi, Cecilia Laschi, Paolo Dario and Alain Berthoz, “A robotic implementation of a bio-inspired head motion stabilization model on a humanoid platform,” Proceedings of the 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2076-2081, Vilamoura, Algarve, Portugal, October, 2012.
- Kenji Hashimoto, Hyun-jin Kang, Masashi Nakamura, Egidio Falotico, Hun-ok Lim, Atsuo Takanishi, Cecilia Laschi, Paolo Dario and Alain Berthoz, “Realization of Biped Walking on Soft Ground with Stabilization Control Based on Gait Analysis,” Proceedings of the 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2064-2069, Vilamoura, Algarve, Portugal, October, 2012.
- Przemyslaw Kryczka, Egidio Falotico, Kenji Hashimoto, Hun-ok Lim, Atsuo Takanishi, Cecilia Laschi, Paolo Dario and Alain Berthoz, “Implementation of a Human Model for Head Stabilization on a Humanoid Platform,” Proceedings of the fourth IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics, pp. 675-680, Rome, Italy, June, 2012.
- Kenji Hashimoto, Yuki Takezaki, Hiromitsu Motohashi, Takuya Otani, Tatsuhiro Kishi, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, “Biped Walking Stabilization Based on Gait Analysis,” Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 154-159, St. Paul, Minnesota, USA, May, 2012.

5. 研究活動の課題と展望

2010年度～2012年度の1期目では、脳科学分野で提唱されている Head Stabilization をモデル化し、ロボットへの実装を通して、モデル化の妥当性を検証した。2013年度からの2期目はその内容をさらに展開し、ヒトの不整地での走歩行運動制御メカニズムと、動的な屋外環境におけるナビゲーションのための視知覚システムを構築することを目指す。

国際宇宙ステーションにおける高エネルギー宇宙線観測（CALET）

研究代表者 鳥居 祥二
(理工学研究所 教授)

1. 研究課題

宇宙における高エネルギー現象の研究は、宇宙の成り立ちや宇宙における様々な物理現象の解明に不可欠であり、新たな物理法則の発見も期待される自然科学における重要な分野である。とりわけ、宇宙から降り注ぐ素粒子や原子核（宇宙線と呼ぶ）の研究は、電磁波では得られない宇宙における高エネルギー天体（超新星、パルサー等）の物理現象の解明や銀河構造の解明に重要な情報をもたらす。さらに、宇宙初期に生成され現在も宇宙の質量の多くの部分をしめるといわれる暗黒物質の解明にも有力な手掛かりを与えることができる。

2. 主な研究成果

気球実験や装置開発の実績をもとに、国際宇宙ステーション「きぼう」の船外実験プラットフォーム（JEM-EF）での宇宙線観測計画を立案し、宇宙航空研究開発機構(JAXA)のミッション公募に採択されている。そして、早大と JAXA の共同プロジェクトとして、高エネルギー宇宙線観測（CALET）ミッションをプロジェクトリーダーとして推進している。この研究は、早大-JAXA 包括協定における主要な研究テーマであり、早稲田大学重点領域研究「最先端宇宙科学観測による新たな宇宙像の探求」における主要プロジェクトでもある。

CALET による高エネルギー宇宙線（電子、ガンマ線）の観測は世界でも最高水準にあり、米国、イタリアからも著名な研究機関(NASA ゴダード研究所、Pisa 大学、Rome 大学等)から多くの研究者が参加しており、国際的に注目されるプロジェクトである。特に、我々が開発したシャワー解像型カロリメータは、宇宙線観測でもっとも優れた性能を有し、ISS での観測が実現すれば、近傍加速源や暗黒物質などの新発見が期待でき、世界に先駆けて宇宙科学における未知領域での新たな研究の展開が可能となるため、その成果に大きな期待が寄せられている。（新聞報道：日本経済新聞 2012 年 2 月 23 日、2012 年 4 月 1 日：日曜版サイエンス欄）

CALET は 2014 年度の打ち上げを目指して、詳細概念設計審査（CDR）を終え搭載装置（フライトモデル：PFM）の製作が開始されている。図 1 に完成時の概念図を示す。早大側では装置開発技術支援と PFM 性能検証実験とともに、打ち上げ後の軌道上運用及びデータ解析を担当している。今年度の成果としては、これまでの気球実験での経験をもとに、多チャンネルセンサーとそのデータ取得回路システムの要素技術開発を実施し、国内外での加速器ビーム実験による性能実証を行った。さらに、喜久井町キャンパスにおいて軌道上データをリアルタイムで運用・管制が可能なオペレーション室とサイエンスデータの解析室の立ち上げを行った。以上より、本プロジェクト研究は、今期における所期の目的を達成しており、来期における観測の実現に向けて準備を開始している。

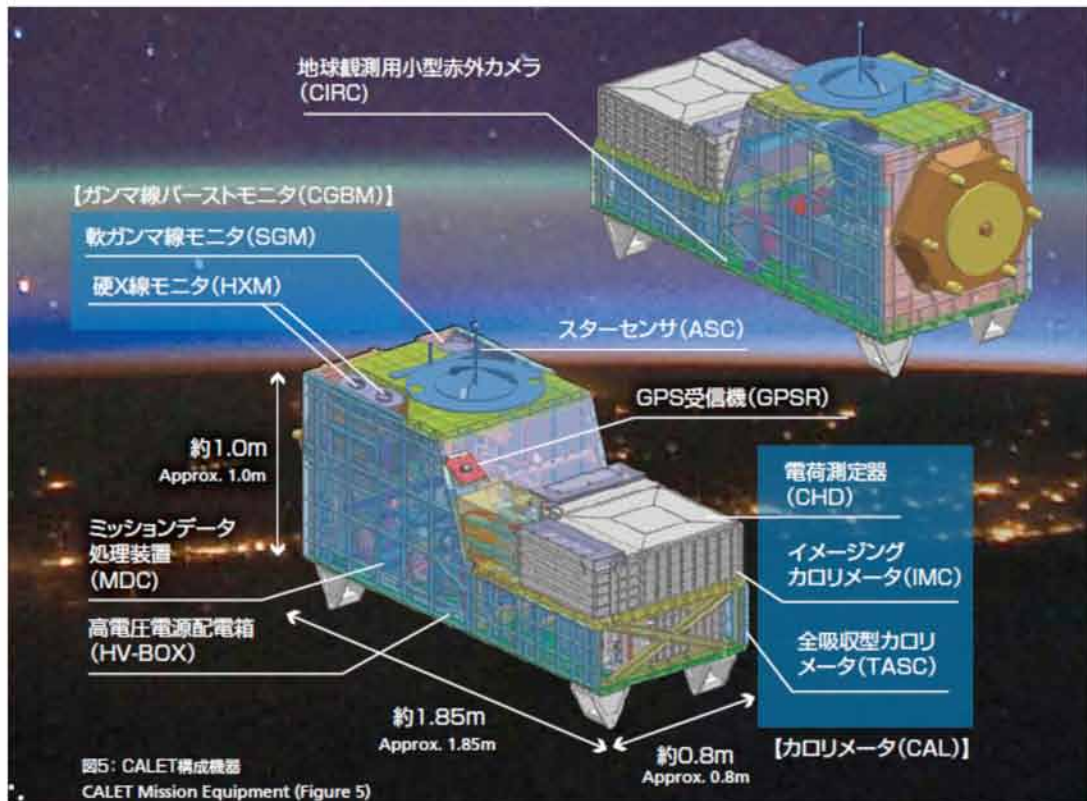


図 1 : CALET 概念図 (JAXA 提供)

3. 共同研究者

笠原克昌 (理工学術院総合研究所 客員教授) 小澤俊介 (重点領域研究機構 次席研究員)
 小谷太郎 (重点領域研究機構 次席研究員) 中川友進 (理工研 次席研究員)
 清水雄輝 (JAXA プロジェクト研究員, 理工研 招聘研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文

鳥居祥二, "CALET Mission for exploring the high energy universe", IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, 132(8) (2012) pp.603-608.

4.2 総説

鳥居祥二, "宇宙線を直接捉える", 日本物理学会誌 (特集 宇宙線100周年) 第67巻 pp. 821-826 (2012).

4.3 学会発表

"CALET 熱構造モデルの CERN-SPS ビーム実験におけるデータ取得システム", 植山良貴, 鳥居祥二, 小澤俊介, 小谷太郎, 中川友進, 清水雄輝 他、日本物理学会 (広島大学) 2013.3
 "CALET における高エネルギートリガーシステム", 金子翔伍, 鳥居祥二, 小澤俊介, 清水雄輝 他、日本物理学会 (広島大学) 2013.3
 "CERN-SPS ビーム実験による CALET のエネルギー測定性能", 片平亮, 小澤俊介, 笠原克昌,

小谷太郎, 鳥居祥二, 中川友進, 清水雄輝 他、日本物理学会 (広島大学) 2013. 3
“電荷測定装置の重粒子検出性能”, 小澤俊介, 笠原克昌, 清水雄輝, 鳥居祥二, 他
日本物理学会 (広島大学) 2013. 3

“CALET プロジェクト: 「きぼう」 曝露部における高エネルギー宇宙線・ガンマ線観測”,
鳥居祥二, 宇宙科学シンポジウム, (JAXA 宇宙科学研究所) 2013. 1

5. 研究活動の今後の展望

CALETプロジェクトは、すでにJEM-EFのポート占有ミッションとして、JAXA有人宇宙環境利用ミッション本部 (宇宙環境利用センター) においてプロジェクト化されて、2014年度の打ち上げにむけてメーカーとの共同による開発が進行している。我々が開発したシャワー解像型カロリメータは、宇宙線観測でもっとも優れた性能を有し、ISSでの観測が実現すれば、世界に先駆けて宇宙科学における未知領域での新たな研究の展開により、宇宙線の近傍加速源や暗黒物質の探査により、高エネルギー宇宙の解明が進む事が期待でき、次期研究期間において観測の実現によるサイエンス成果の発信を目指す。

軽水冷却スーパー高速炉に関する研究開発

研究代表者 岡 芳明

(先進理工学研究科・共同原子力専攻・特任教授)

1. 研究課題

地球温暖化防止やエネルギー安定供給に貢献するために原子力の技術革新を進める必要がある。超臨界水を冷却材に用いる軽水冷却スーパー高速炉（以下スーパー高速炉という。）は、貫流型による原子炉システムの簡素化・コンパクト化および高い発電効率という特徴がある。この貫流型炉では炉心流量が軽水炉よりはるかに少なくポンプも強力なので、圧力損失やポンプ動力の増加が設計上の制約にはならず高速炉心との適合性がよい。成熟した超臨界圧火力発電と軽水炉技術が基盤にあり、ボイラの発展法則にもしたがう。

本プロジェクトでは、火力発電で経験豊富な超臨界圧水冷却を用い、熱中性子炉より高出力密度である高速炉の利点を生かして、安全性と経済性に優れた大型スーパー高速炉(図1)の概念と特性を炉心設計と安全解析で明らかにする。開発上の重要課題である炉物理、伝熱流動、材料・冷却材相互作用の試験を行い基盤となるデータベースを構築する。

これらの課題を早稲田大学が代表機関となり、東京大学、九州大学、東北大学と日本原子力研究開発機構の協力を得て実施する。

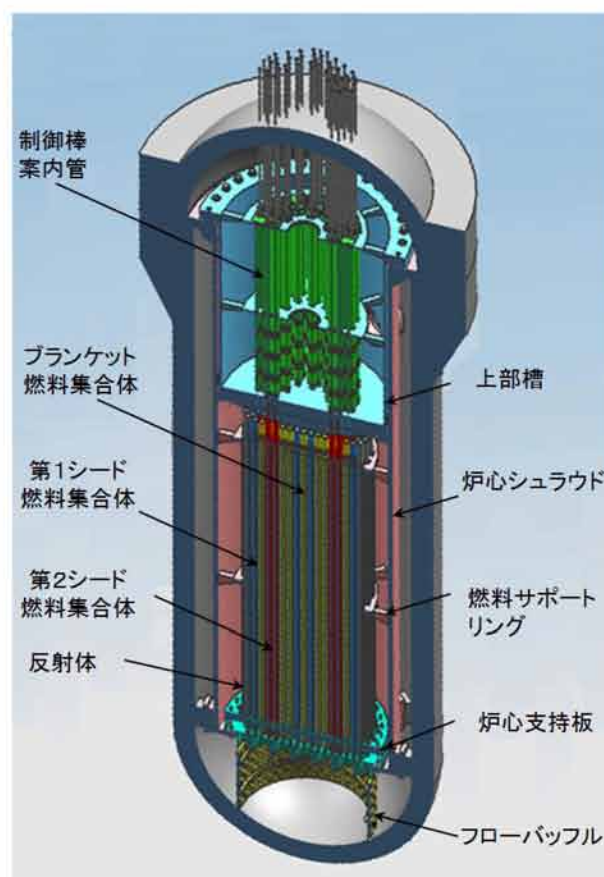


図1 スーパー高速炉の炉内構造

2. 主な研究成果

平成24年度は4年計画の3年目である。その成果の概要を以下に述べる。

2.1 プラント概念の構築

2.1.1 大型炉設計（炉心設計、安全解析）

設計改良と安全解析を実施し、すべての燃料集合体を上昇流冷却とする燃料・炉心特性を求めた。改良炉心の異常な過渡変化、事故並びに原子炉スクラム失敗を伴う異常な過渡変化を解析し、いずれも安全基準を満たすことを明らかにした。汎用数値流体力学（CFD）計算コードで原子炉容器内の流動を解析し、この流動方式の妥当性や特徴を確認した。スパーサの改良形状をCFD解析で求め、伝熱促進効果を評価した。非定常サブチャンネル解析により燃料被覆管温度への影響を求めた。燃料集合体の形状・炉内構造の設計検討を行った。

2.1.2 大型炉設計（安全解析）

冷却材喪失事故（LOCA）解析を実施し、新炉内流動方式が安全性に及ぼす影響を検討した。

2.1.3 原子炉特性考察

核熱設計と構造設計の両者を整合し、大型炉心の安全特性をいかに実現するかを考察した。

2.2 炉心伝熱流動に関する研究開発

2.2.1 模擬流体伝熱流動試験

4本バンドル試験体を製作し、熱流動試験を実施して、バンドル流路における乱流混合および加熱時のサブチャンネル間クロスフローに関する基礎データを得た。

2.2.2 超臨界水伝熱流動試験

平成23年度に整備した単管伝熱流動試験装置を用いて、液体領域から超臨界点近傍および過熱蒸気域までの超臨界圧水円管内鉛直上昇流の伝熱流動試験を実施し、模擬流体を用いた伝熱流動試験結果の検証用基盤データを取得した。

2.2.3 伝熱流動解析

燃料集合体を模擬した体系で熱流動解析を行い、サブチャンネル内に発生するクロスフロー挙動を総合的に評価してクロスフロー量評価に関する解析手法を確立した。また、4本バンドル実験や単管伝熱試験などの実験解析を行い、解析手法の予測精度を検証した。

2.3 材料・冷却材相互作用に関する研究開発

2.3.1 質量移行試験

質量移行試験装置を稼働し、燃料チャンネル流路に沿った腐食現象を模擬した条件（流路入口温度 250℃、出口温度 550℃）で質量移行試験を実施した。これで得られた腐食試験済み試料を万能小型切断機を用いて表面分析用の試料に切断加工した。これらの材料の腐食・溶解・析出を分析し、水化学基礎データを取得した。

2.3.2 高温水蒸気酸化試験

溶存水素調整ユニットを導入し、酸素ポテンシャル範囲を拡大して超臨界圧水中あるいは常圧水蒸気中での酸化試験を実施し、酸化挙動に及ぼす試験パラメータの影響を評価した。固体分析・観察手法により、形成された皮膜の特徴を抽出し、酸化速度影響因子について検討した。以上の結果から酸化速度則ならびに酸化速度定数の材料依存性・温度依存性・酸素分圧依存性を明らかにし、燃料被覆管候補材料の酸化皮膜成長予測の基盤を構築した。

3. 共同研究者

師岡 慎一 （先進理工学研究科・共同原子力専攻・特任教授）
Liu Qingjie （次席研究員）
Zhu Xiaojing （次席研究員）
Li Haipeng （次席研究員）
Ma Yuan （次席研究員）
内川 貞夫 （客員上級研究員）
山川 正剛 （客員主任研究員）

4. 研究業績

4.1 学術論文

[1] Y. Oka, *et al.* "Progress of Super Fast Reactor and Super LWR R&D", *The 6th International*

Symposium on Supercritical Water Cooled Reactor (ISSWR-6), Shenzhen, China. March 03-07, 2013. Proc.ISSCWR6-13035.

- [2] T. Kamata and Y. Oka: "Safety characteristics of Super FR with upward flow core cooling in two pass", *J.Nucl. Eng. and Des.* Volume 257, Pages 155–160, April, 2013, (in press).
- [3] Q. Liu and Y. Oka: "Core design for Super Fast Reactor with all upward flow core cooling", *J. Annals of Nuclear Energy*, Volume 57, Pages 221-229, July, 2013, (in press).

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

- [1] Y.Oka: "keynote speech, Progress of Super Fast Reactor and Super LWR R&D", *The 6th International Symposium on Supercritical Water Cooled Reactor (ISSWR-6)*, Shenzhen, China. March 03-07.

4.4 受賞・表彰

4.5 学会および社会的活動

- [1] 岡 芳明: "軽水冷却スーパー高速炉の研究開発 全体計画", 第7回超臨界圧軽水冷却炉研究開発成果報告会、(平成24年5月31日、早稲田大学 西早稲田キャンパス)
- [2] 岡 芳明、師岡慎一、他: "プラント概念の構築 第5報 大型炉設計", 第7回超臨界圧軽水冷却炉研究開発成果報告会、(平成24年5月31日、早稲田大学 西早稲田キャンパス)
- [3] 石渡祐樹、岡 芳明、Ma Yuan: "プラント概念の構築 第6報 安全解析", 第7回超臨界圧軽水冷却炉研究開発成果報告会、(平成24年5月31日、早稲田大学 西早稲田キャンパス)
- [4] 岡 芳明: "軽水冷却スーパー高速炉に関する研究開発", (独) 科学技術振興機構 平成24年度成果報告会 資料集115-118、(JST東京本部 平成25年2月22日)

5. 研究活動の課題と展望

平成25年度にさらに研究開発を行い当初の目的を達成する。具体的には、高出力密度の高速炉の利点を生かしつつ改良を進め、電気出力100万キロワット級の大型炉心の概念と特性を炉心設計と安全解析で明らかにする。炉心設計・安全解析に資するために炉物理基盤データを整備する。

本報告書は、文部科学省のエネルギー対策特別会計委託事業による委託業務として学校法人早稲田大学が実施した平成24年度「軽水冷却スーパー高速炉に関する研究開発」の成果を取りまとめたものです。

光と物質の相互作用 - 基礎物理からデバイス応用まで -

研究者(代表) 多辺 由佳

研究者 竹内 淳

研究者 勝藤 拓郎

研究者 片岡 淳

研究者 竹延 大志

研究者 新倉 弘倫

研究者 青木 隆朗

(先進理工学術院 物理学及応用物理学専攻)

1. 研究課題

本プロジェクトでは、光と物質の相互作用に関して「新しい現象」を追求し、それを基にした新たなデバイス応用を目指す。

2. 主な研究成果

2-1. 量子井戸の超高速スピン緩和検出 (竹内)

半導体中のキャリアスピンのデバイス応用では、用途によって短いスピン緩和と長いスピン緩和の両者が求められる。今年度は、InGaAs/AlAsSb 結合量子井戸のスピン緩和過程を、高い時間分解能を持つスピン依存ポンプ・プローブ測定によって調べた結果、応用上重要な室温で 8.8 ps という超高速のスピン緩和時間を持つことが明らかになった。また、Ge 基板上に成長させた高 Si ドープの GaInP では 210ns という極めて長いスピン緩和時間を持つことが明らかになった。

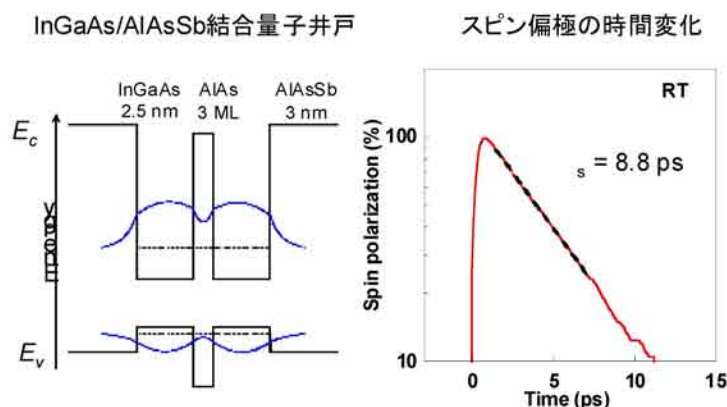


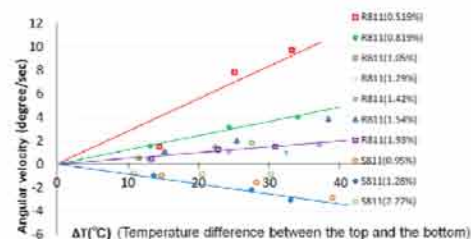
図 1. InGaAs/AlAsSb 量子井戸のスピン緩和時間

2-2. コレステリック液晶の熱流による回転制御 (多辺)

排熱による液晶の回転運動制御を目指し、種々のコレステリック液晶を用いて作製したセルに、温度勾配を与えたときの液晶の一方向回転挙動を調べた。その結果、コレステリック液晶滴の回転速度は与えた温度勾配に比例すること、重心回転と配向回転の 2 つのモードが系のサイズ



図 2. 温度勾配下で回転するコレステリック液晶滴 (左)



液晶滴の回転速度の温度勾配依存性 (右)

と基板表面でのアンカリングにより制御できることが明らかになった。また熱から液晶の回転運動へのエネルギー変換効率は、最大で 2.6 [rad mm/sec/K] となった。

2-3. 光誘起ダイナミクスにおける電荷-スピン分離 (勝藤)

70K 以下で強磁性相転移を起こすモット絶縁体 $\text{Yb}_2\text{V}_2\text{O}_7$ のポンブプローブ分光測定による光誘起ダイナミクスを測定した結果、光誘起によって 1ps より速い時間でモット励起が抑制され、さらに数 10ps の緩和時間で強磁性秩序の融解に伴うモット励起のシフトを観測した。昨年度の $\text{Mn}(\text{V}_{2-x}\text{Al}_x)_2\text{O}_4$ の結果と合わせて、モット絶縁体の光誘起ダイナミクスにおける電荷-スピン分離の様子を统一的に明らかにした。

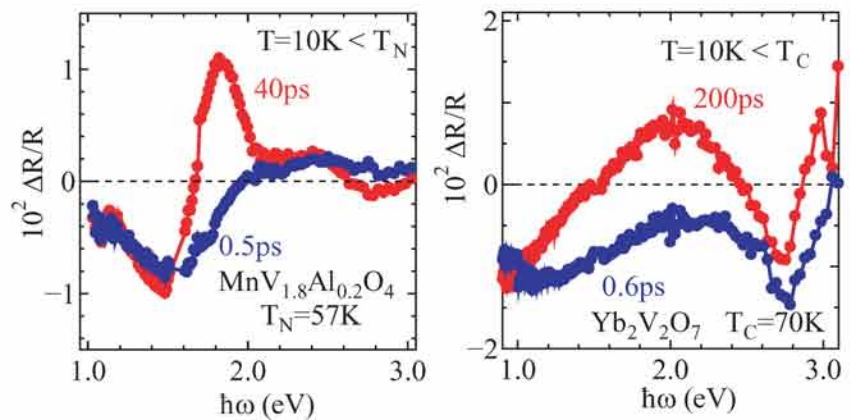


図 3. $\text{Yb}_2\text{V}_2\text{O}_7$ の光誘起反射率スペクトル変化

2-4. サブミリ解像度を持つ PET ガントリとガンマカメラの開発 (片岡)

大面積 MPPC アレーを用いた 8 ユニットから成る PET ガントリを用いてマウスの臨床実験を行い、目的とするサブミリ解像度が得られることを確認した。また、独自に開発した新規技術（シンチレータ内部の高精度 3 次元ガンマ線位置計測：【国際特願 PCT/JP2012/008129】）を応用し、浜松ホトニクス社と共同で高感度かつ携帯可能な 1.5kg 程度のガンマカメラ試作機を開発した (JST 先端計測プロジェクト H25-26:【特願 2012-157920】)。本技術により数 $\mu\text{Sv/h}$ のガンマ線源 (662keV) を 10 秒程度で可視化することが可能となり、解像度も約 10° の良好な画像が得られる。センサーの高感度化に伴い、統計的画像再構成 (ML-EM 法) を高速に行うアルゴリズムも併せて開発した。試作機は本年 2/12 に福島県浪江町に搬入し、実際のフィールドで撮影することで良好なガンマ線画像が取得できることを確認した。

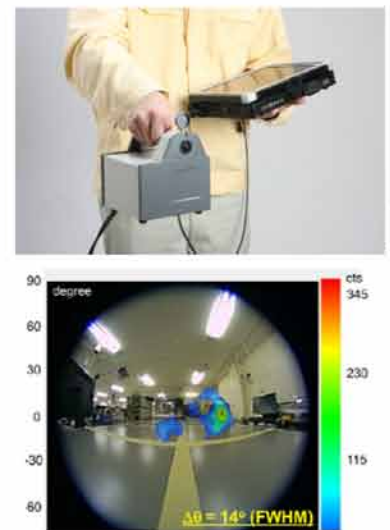


図 4. 開発された携帯コンプトンカメラ

2-5. 両極性発光トランジスタとフォトニック結晶の作製 (竹延)

ナノインプリント法を発展させてより有機単結晶にダメージを与えないプロセスを構築し、1 次元グレイティング構造を有する両極性発光トランジスタ作製に成功した。特に、単結晶の屈折率の導出と発光の角度分解分光を行う事により、素子構造とフォトニックバンド構造の関係を明らかにした。加えて、2 次元のフォトニック結晶作製にも成功しており、今後の高機能化の基盤を構築した。

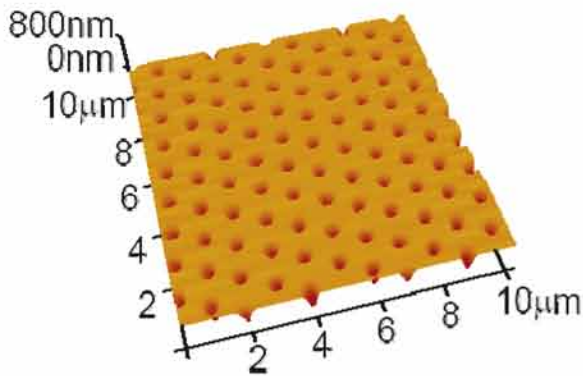


図 5. 有機単結晶状にナノインプリント法を用いて作製した 2 次元フォトニッククリスタルの AFM 像

2-6. アト秒レーザーによる分子軌道測定 (新倉)

高強度の超短レーザーパルスを原子や分子に照射すると、束縛電子のポテンシャルが大きなシュタルク効果により歪み、イオン化することが出来る (トンネルイオン化過程)。イオン化によって放出された電子はレーザー電場によって加速され、元の原子や分子と衝突し (再衝突過程)、高次高調波と呼ばれる極端紫外領域の光を発生する。高次高調波のスペクトルには、それが発生した原子や分子の情報が記載される。発生した高次高調波の偏光方向に注目し、再衝突する電子の角度を制御することで、(1)トンネルイオン化過程に関与する分子軌道の対称性および(2)アト秒の時間精度で時間発展する分子軌道を測定する方法を開発した。

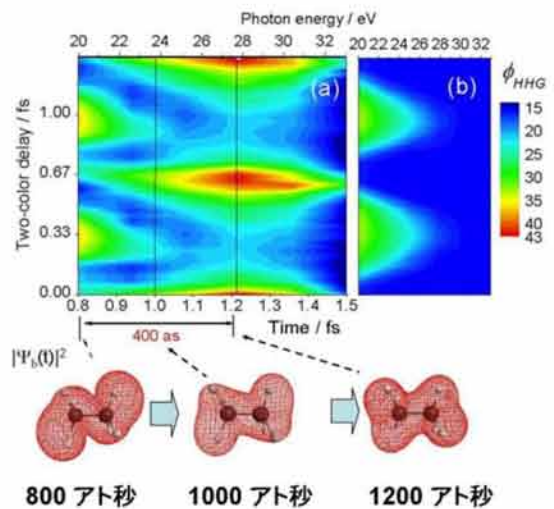


図 6. (a)エタン分子、(b)水素分子から発生した高次高調波スペクトルの偏光を表す二次元図。分子軌道の時間変化 (下図)

2-7. 非線形チャープレーザーパルスを用いたテラヘルツパルスのチャープ制御法を開発 (青木)

光の波長程度の極めて小さな領域に強く光を閉じ込める微小光共振器を開発した。特に、直径 $14\mu\text{m}$ の微小球状共振器に関して得られた共振線幅 3.5MHz (Q 値 $=1 \times 10^8$) はモノリシック微小球状共振器として世界最高値である。さらに、光の波長程度の直径を持つ「ナノ光ファイバー」を用いた高効率集光デバイスを開発した。単一モード光ファイバーの出射モードを波長以下のスポットに集光できることを数値シミュレーション及び実験によって示した。また、テラヘルツ領域における物質の量子状態のコヒーレント制御を目指して、非線形チャープレーザーパルスを用いたテラ

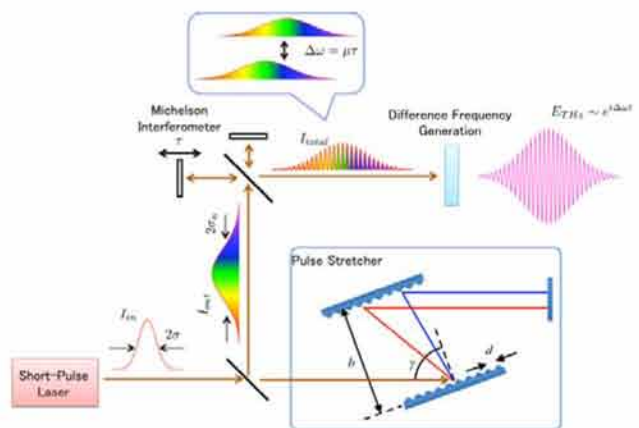


図 7. 非線形チャープレーザーパルスを用いたテラヘルツパルスのチャープ制御法

3. プロジェクトメンバー (7名)

多辺 由佳 (先進理工・応用物理学科・教授)

竹内 淳 (先進理工・応用物理学科・教授)

勝藤 拓郎 (先進理工・物理学科・教授)

片岡 淳 (先進理工・応用物理学科・准教授)

竹延 大志 (先進理工・応用物理学科・准教授)

新倉 弘倫 (先進理工・応用物理学科・准教授)

青木 隆朗 (先進理工・応用物理学科・准教授)

4. 研究業績

4.1 学術論文

"Observation of optical anisotropy of highly uniform InAs quantum dots", M. Uemura, J. Ohta, R. Yamaguchi, K. Yamaguchi, A. Tackeuchi, Journal of Crystal Growth (2013) in press.

"Picoseconds Carrier Spin Relaxation in In_{0.8}Ga_{0.2}As/AlAs/AlAs_{0.56}Sb_{0.44} Coupled Double Quantum Wells", Ryo Yamaguchi, Shinichiro Gozu, Teruo Mozume, Yoshitsugu Oyanagi, Mitsunori Uemura, Atsushi Tackeuchi, Japanese Journal of Applied Physics (2013) in press.

"Photoluminescence and Raman studies on Ge-based complexes in Si-doped GaInP epilayers grown on Germanium", W. He, S.L. Lu, D.S. Jiang, J.R. Dong, A. Tackeuchi, H. Yang, Journal of Applied Physics, 112, 023509 (2012).

"Exciton and carrier spin relaxations in InGaAs lattice-matched to off-cut Ge substrates", Takenori Ushimi, Hiromi Nakata, Toshihiro Ishizuka, Kazutoshi Sasayama, Shulong Lu, Jianrong Dong, and Atsushi Tackeuchi, Applied Physics Letters, 100, 252414 (2012).

"Change of the optical conductivity spectra with orbital and spin ordering in spinel MnV₂O₄", T. Katsufuji, K. Takubo, and T. Suzuki, Phys. Rev. B 87, 054424-1~11 (2013).

"Orbital states of V trimers in BaV₁₀O₁₅ detected by resonant x-ray scattering", K. Takubo, T. Kanzaki, Y. Yamasaki, H. Nakao, Y. Murakami, T. Oguchi, and T. Katsufuji, Phys. Rev. B 86, 085141-1~8 (2012).

"Change of phonon Raman spectra with V trimerization in BaV₁₀O₁₅", T. Kanzaki, R. Kubota, and T. Katsufuji, Phys. Rev. B 85, 144410-1~8 (2012).

"Development of a dual-sided readout DOI-PET module using large-area monolithic MPPC-arrays", A.Kishimoto, J.Kataoka et al., IEEE-TNS, in press

"Development of ultra-fast ASIC for future PET scanners using TOF-capable MPPC detectors", H.Matsuda, J.Kataoka, H.Ikeda et al., NIM-A 699, 211 (2013)

"A novel gamma-ray detector with submillimeter resolutions using a monolithic MPPC array with pixelized Ce:LYSO and Ce:GAGG crystals", T.Kato, J.Kataoka, T.Nakamori et al., NIM-A 699, 235 (2013)

"Development of High Performance Avalanche Photodiodes and Dedicated Analog Systems for HXI/SGD onboard the Astro-H mission", T.Saito, T.Nakamori, J.Kataoka et al., NIM-A 699, 235 (2012)

"Expected radiation damage of the reverse-type APDs for the Astro-H mission", J.Kataoka, T.Saito, M.Yoshino et al., Journal of Instrumentation 10.1088/1748-0221/7/06/P06001(14pages) (2012)

"Ambipolar organic single-crystal transistors based on ion-gels", Y. Yomogida, J. Pu, H. Shimotani, S. Ono, S. Hotta, Y. Iwasa, T. Takenobu, Advanced Materials, 24, 4392-4397 (2012)

"Organic Single-Crystal Light-Emitting Transistor Coupling with Optical Feedback Resonators", S. Z. Bisri, K. Sawabe, M. Imakawa, K. Maruyama, T. Yamao, S. Hotta, Y. Iwasa and T. Takenobu, Scientific Reports, 2, 985 (2012)

"Current-Confinement Structure and Extremely High Current Density in Organic Light-Emitting Transistors",

K. Sawabe, M. Imakawa, M. Nakano, T. Yamao, S. Hotta, Y. Iwasa, and T. Takenobu, *Advanced Materials*, 24, 6141(2012)

“Order-dependent structure of high harmonic wavefronts” E. Frumker, G.G. Paulus, H. Niikura; A. Naumov; D.M. Villeneuve; P.B. Corkum, *Optics Express* 20, 13870 (2012)

“On the Chirp of Narrowband Terahertz Pulses Generated by Photomixing with Nonlinearly Chirped Laser Pulse Pairs”, S. Kamada, S. Murata, and T. Aoki, *App. Phys. Express* 6, 032701 (2013)

4.2 招待講演

多辺由佳 “Orientational and hydrodynamic motions in chiral liquid crystalline films induced by transmembrane vapor transfer”, 24th International Liquid Crystal Conference (2012年8月)

勝藤拓郎 “Exotic electronic phase transitions with V^{3+} or Ti^{3+} ions on triangle-based lattices”, 13th JKT workshop (2013年1月)

勝藤拓郎「3d遷移金属酸化物の軌道整列と磁性」名大VBL第16回シンポジウム (2012年12月)

片岡淳「大面積MPPC-arrayを用いた放射線検出器の新展開」第4回光センサーワークショップ (2012年12月)

竹延大志 “Ambipolar functionalities of organic single-crystal transistors”, MRS Fall Meeting & Exhibit (2012年11月)

竹延大志 “Inkjet-printing of Single-walled Carbon-nanotube Thin-film Transistors” 2012 MRS Spring Meeting & Exhibit (2012年4月)

4.3 受賞

片岡淳「平成24年度 文部科学大臣表彰 若手科学者賞」“高エネルギー宇宙と先端医療を結ぶ放射線応用物理学の研究”

新倉弘倫「平成24年度 文部科学大臣表彰 科学技術賞 研究部門」“再衝突電子を用いたアト秒分子ダイナミックスの研究”

新倉弘倫「第九回(平成24年度)日本学術振興会賞」“アト秒時間分解能での分子の波動関数変化測定”

5. 課題と展望

本課題は2012年度をもって終了する。個々人の研究はほぼ順調に進んだが、分野を超えた共同研究にまでは至らなかった。3年間で得られた新しい研究の芽を、今後実質的な共同研究に結び付けたい。

宇宙飛翔体を用いた宇宙線観測実験の研究

研究代表者 鳥居 祥二
(理工学研究所 教授)

1. 研究課題

近年の宇宙物理学の発展には人工衛星による可視光やX線などの光学的観測が大きく寄与してきた。今後の更なる天体現象や宇宙構造の総合的理解のためには、これらの熱的成分の観測に加え、宇宙線による非熱的な高エネルギー宇宙現象の観測が不可欠であり、今後宇宙線の観測技術上の発展が強く期待される分野と言える。

本研究では、将来の宇宙物理学の発展に寄与し得る宇宙飛翔体を用いた宇宙線観測実験の実現性について調査、検討を行なう。このため、宇宙環境において利用可能な検出器や電子回路の設計について調査・検討を実施する。また、併せて上記の検出器および電子回路を宇宙飛翔体に搭載するにあたり必要な耐環境性（高真空、打上振動、熱、放射線等）および宇宙搭載用としての信頼性の確保の方法についても調査、検討を行なう。

2. 主な研究成果

本プロジェクト研究においては、将来の宇宙飛翔体を用いた宇宙線観測実験に必要な検出器および電子回路の設計について調査、検討を実施しているが、平成24年度は、熱真空チェンバーによる光電子増倍管やアバランシェ・フォトダイオードにおける高電圧印可時の耐放電性能試験を実施した。その結果、一部に放電現象が確認されたため、ポッティング方法の改良を実施して放電防止対策を確立した。その成果により、マルチアノード光電子増倍管やアバランシェ・フォトダイオードを用いた多チャンネル読み出し前置回路のコンポネントレベルでの性能評価試験を終了している。そして、これらの検出器および電子回路を宇宙飛翔体に搭載するために必要なその他の耐環境性（打上振動、放射線等）、および宇宙搭載用としての信頼性の確保の方法についても調査、検討を実施した。このため、欧州原子核研究機構のスーパープロトンシンクロトロン（CERN-SPS）におけるビーム実験によって、熱構造モデルと試作回路を組み合わせた搭載装置としての総合的な性能評価を行った。

本プロジェクト研究は本年度で3年間の第一期の研究を予定通り完了して、所期の目的であった、宇宙飛翔体に搭載する宇宙線観測装置に不可欠な多チャンネル読み出し回路システムの開発における技術的な課題を解決し、搭載装置製作へ向けての展望を切り開く事ができた。

3. 共同研究者

小澤俊介（理工研 次席研究員）
脇村明宏（理工研 招聘研究員）

村上浩之（理工研 招聘研究員）

4. 研究業績

学会発表

“CALET 熱構造モデルを用いた CERN-SPS ビーム実験(2012)の概要”

赤池陽水, 鳥居祥二, 小澤俊介, 他 日本物理学会 2012 年秋季大会 2012. 9 (京都産業大学)

“CALET-IMC プロトタイプ of CERN-SPS による性能実証試験”

村田 彬, 小澤俊介, 鳥居祥二, 他 日本物理学会 2012 年秋季大会 2012. 9 (京都産業大学)

“CALET-TASC プロトタイプ of CERN-SPS による性能実証試験”

片平 亮, 小澤俊介, 鳥居祥二, 他 日本物理学会 2012 年秋季大会 2012. 9 (京都産業大学)

5. 研究活動の課題と展望

本研究の目的とする宇宙機搭載のための宇宙線観測装置に不可欠な多チャンネル検出器システムの実証化研究を宇宙機メーカーである IHI エアロスペースとの共同研究により実施した。その結果、これまでは困難であった宇宙環境化での実証化への課題を克服するとともに、CERN-SPS によるビーム実験により観測装置としての総合的な性能確認に成功している。今後は、第二期研究により搭載装置の製作・試験を実施する予定である。

次世代ヒートポンプ技術に関する研究

研究代表者 齋藤 潔

(基幹理工学部 機械科学・航空学科 教授)

1. 研究課題

省エネルギー性が極めて高いヒートポンプのさらなる高効率化, 利用拡大を実現するために, ヒートポンプの要素からシステムの高性能化, 高効率化の実現を目指す. 本年度は高性能熱交換器として期待されているマイクロチャンネル熱交換器の特性解明を進めるとともに, 圧縮式ヒートポンプの断続運転解析, 空調空間とヒートポンプを連成させた解析を行い, ヒートポンプの最適制御手法の確立への指針を得ることを目的とする.

2. 主な研究成果

2.1 デシカントロータの動的数理モデルの構築とその挙動の解明

デシカント空調システムの主要要素であるデシカントロータは, その内部で複雑な熱・物質移動現象が生じている. また, デシカントロータの性能・特性などを決定する因子は非常に多い. このことから, デシカント空調システムの最適設計や最適運転手法の検討には数値計算によるシミュレーションが必要不可欠であると言える.

これまでに, その熱・物質移動現象の解明と, 広範囲な運転条件化で性能予測が可能な静的数理モデルの構築を行ってきた. このモデルは, デシカントロータ内部の熱・物質移動現象を, 空気流路内対流熱・物質伝達と, 吸着材壁内部の熱伝導, 物質拡散に分けて考える詳細なモデルであった. 実験結果との比較を行った結果, 非常に広範囲な運転条件下において, よく一致していたことからその妥当性が確認された.

本研究ではさらに, デシカント空調システムの制御・運転手法等の検討に必要な不可欠なデシカントロータの動的数理モデルの構築を目指す. 本報で構築する動的数理モデルは, 計算負荷を低減し, また必要となるパラメータを削減するため, これまでに著者らが提案した静的数理モデルのような詳細なモデルではなく, 比較的簡易なモデルを構築する.

動的数理モデルの妥当性は, 実験との比較により確認する. 実験では, デシカントロータの基礎的な動的挙動の一例として, ロータ回転数のステップ入力応答について調べる. その結果以下のことが分かった.

- (1) Fig.1 に示すようにロータ回転数のステップ入力に対して, 処理空気出口温度, 相対湿度, 絶対湿度の応答は, 振動的である. また, その振動周期はロータの回転周期と一致する.
- (2) 計算結果は, 実験結果の特徴的な振る舞いをよく再現できており, また, 全体としてよく一致している. したがって, 本報で構築した動的数理モデルの妥当性が確認された.

2.2 第二種多段昇温型吸収式ヒートポンプの特性評価

産業分野において, 工場から排出される 250°C 以下の排ガス, 100°C 以下の排温水は, 温度が低いため再利用が難しく, 排熱として排出される場合が多い. 一方で, 蒸気の需要は多く, その大半はボイラで燃料を直接燃焼することで得ており, 化石燃料を多量に消費している. このことから, 未利用の低温排熱を利用して, 蒸気を生成することができれば, 省エネルギー化に多大な貢献ができることは確実である.

そこで本研究では, 低温排熱を昇温し, 蒸気を取り出すことを可能とする蒸気生成第二種吸収式ヒートポンプに着目する. 現在, 実用化されている単段吸収式ヒートポンプでは, 120°C 程度の蒸気を取り出

し温度が限界である．産業分野では 150°C 以上の蒸気の需要が多いため，このレベルの蒸気を生成するためには多段化が必要となる．多段化された吸収式ヒートポンプは構造や制御手法が複雑となること，容器内が大気圧を超えて法規上問題となることもあり，未だ実用化に至っていない．

そこで本研究では， 150°C の蒸気生成を可能とするとともに容器内を大気圧以下に保持することを可能とする三段昇温型吸収式ヒートポンプを研究対象として，大気圧以下での駆動を可能としながらも蒸気生成を可能とするシステムの最適設計・制御手法の確立を目指す．

すでに大気圧以下での運用が可能であることは，数値解析，実験により確認ができています．そこで，制御系の設計検討に必要な不可欠となるシステムの非定常数理モデルを構築するとともに，その詳細な非定常特性の把握を行う．また，設計，製作した試験装置を用いてそのモデルの妥当性を検証した．その結果，**Fig.2** に示すように解析結果が試験結果と非常によく一致したことから，制御系の検討には十分に耐えうる数理モデルの構築ができたものと考えている．今後は，他のパラメータについても特性試験を行い，システムの更なる特性把握を進めていきたい．また，モデルについて更なる精度向上も同時に目指していきたい．

2.3 太陽集熱器の数理モデルの構築とその特性解析に関する研究

再生可能エネルギーの積極的な活用が今後のエネルギー問題をクリアーするために必要不可欠な状況となっていることは周知の事実である．再生可能エネルギーの一つである太陽熱は，給湯や暖房として利用されており，今後は，吸収式冷温水器やデシカント空調機の熱源としての利用が期待されている．

しかし，太陽熱を有効に利用するには，日射の変動，天候，外気温，風などの影響を直接受けるため，それらを十分に考慮したエネルギーシステム全体の設計や運転手法の検討が必要不可欠である．

そこで以上のような検討を可能とするために太陽集熱器の高精度な数理モデルを構築する．その第一歩として，2種類の太陽集熱器を対象に数理モデルを構築し，その妥当性について検証するため，実機を用いた実運転試験を行った．具体的には，水を熱媒とした平板型太陽集熱器と真空ガラス管型太陽集熱器を対象とする．実験装置は本学に設置し，東京の冬期の運転条件にて集熱器入口の熱媒の温度がその特性に与える影響を検討した．その結果，**Fig.3** に示すように構築した数理モデルは良好な妥当性を得られた．今後の展望としては，流量を変化させた実験により更なる妥当性の検証を行うとともに，光入射角度による依存性を考慮に入れたより詳細なモデルを構築する

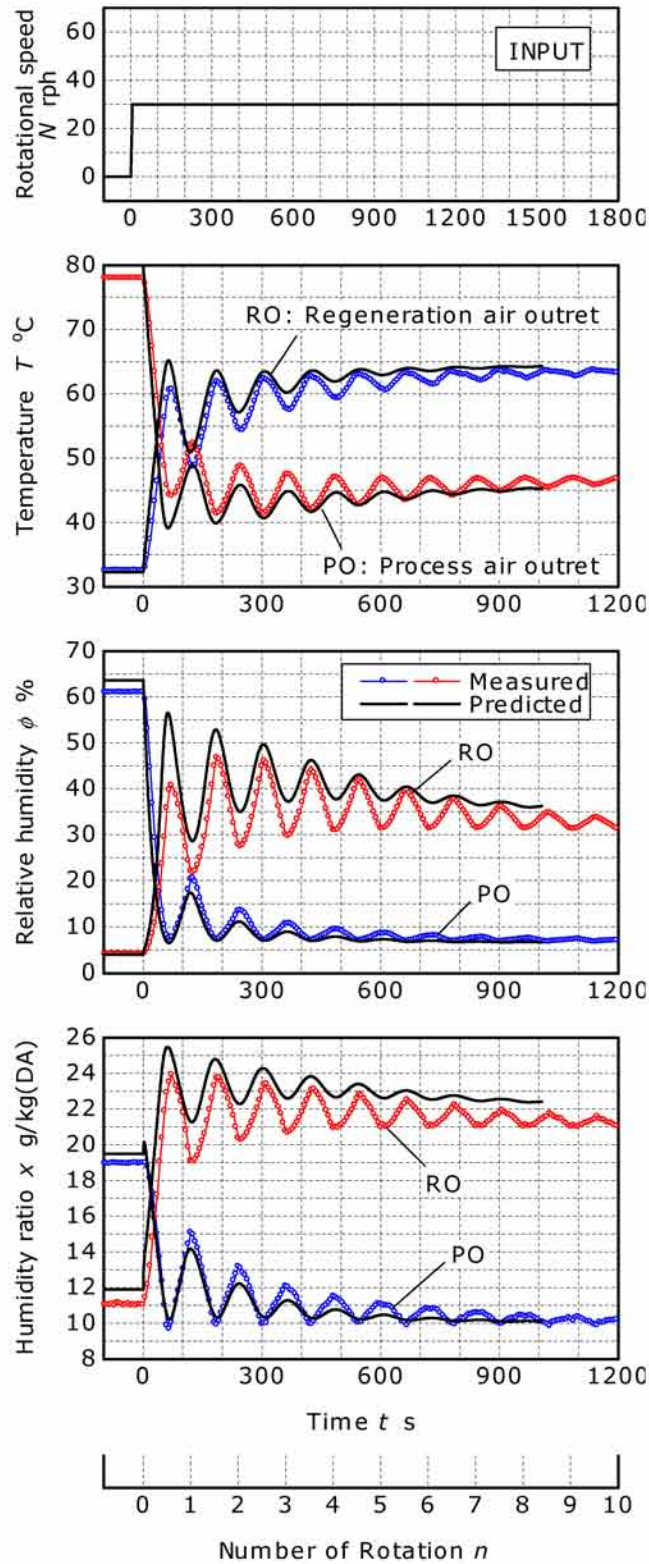


Fig. 1 Dynamics of desiccant wheel

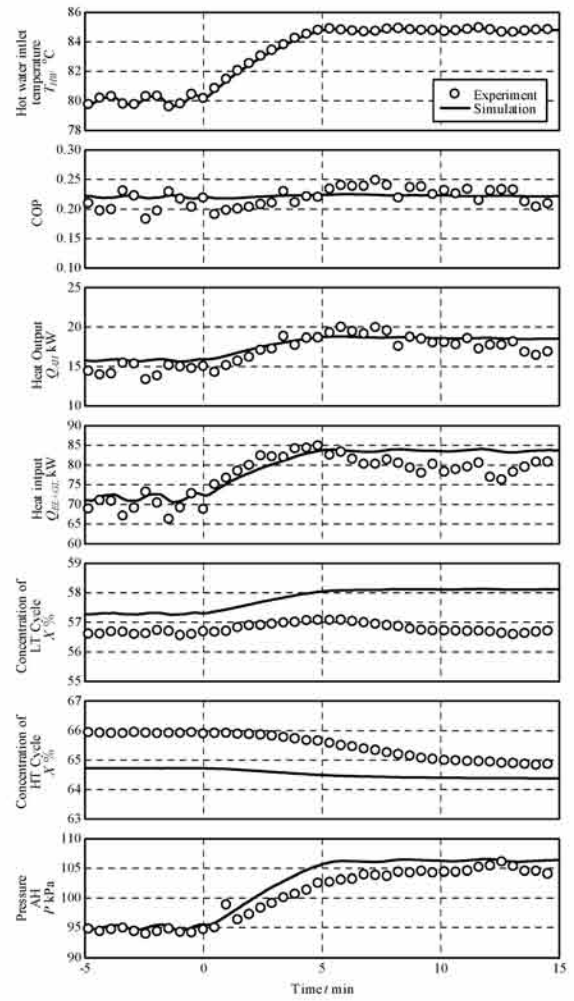


Fig.2 Dynamics of Triple-lift absorption heat transformer

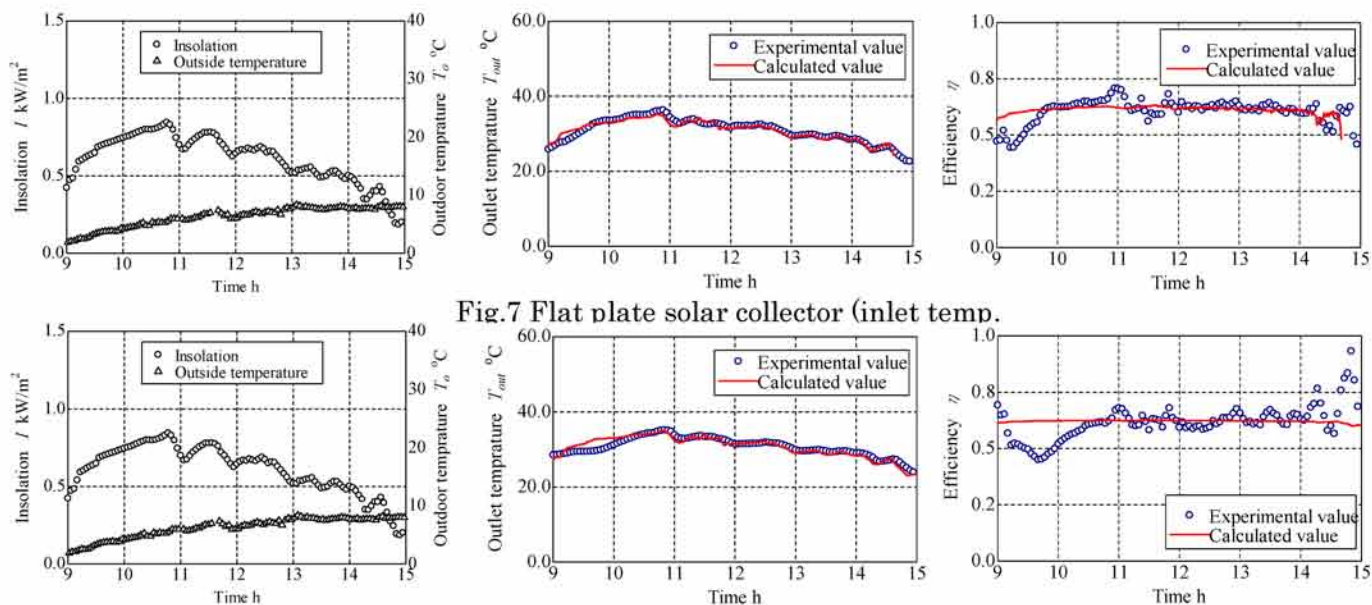


Fig.3 Response of evacuated glass tube solar collector

3. 共同研究者

井上 修行 (理工学研究所 客員教授)
 粥川 洋平 (理工学研究所 客員准教授)
 東條 健司 (理工学研究所 客員研究員)
 前野 一夫 (理工学研究所 客員教授)

鄭 宗秀 (理工学研究所 客員准教授)
 山口 誠一 (理工学術院 助教)
 大野 慶祐 (理工学術院助手)

4. 研究業績

4.1 論文

Kyudae Hwang, Chan Ho Song, Sung Ki Kim, Kiyoshi Saito, Sunao Kawai, Thermodynamic performance of a hybrid air cycle refrigeration system using a desiccant rotor, Heat and Mass Transfer, Volume 49 Issue 3, pp. 359-367, 2012-10

Seiichi Yamaguchi, Kiyoshi Saito, Numerical and experimental performance analysis of rotary desiccant wheels, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 60, pp. 51-60, 2012-12

4.2 国際会議

Szu-Wei Chen, Satoshi Takabayashi, Kiyoshi Saito, Kimitaka Kadowaki, Masashi Kato, FLOW BOILING HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF AMMONIA IN HORIZONTAL SMALL DIAMETER TUBES, 10th IIR Gustav Lorentzen Conference 2012, 2012-6

Kiyoshi Saito, Jongsoo Jeong, Yosuke Udagawa, NEXT-GENERATION HEAT TRANSPORTATION SYSTEM FOR DATA CENTER USING CO₂ AS REFRIGERANT — 1ST REPORT: OUTLINE AND FORCED CIRCULATION, 10th IIR Gustav Lorentzen Conference 2012, 2012-6

Kiyoshi Saito, Jongsoo Jeong, Yosuke Udagawa, NEXT-GENERATION HEAT TRANSPORTATION

SYSTEM FOR DATA CENTER USING CO₂ AS REFRIGERANT –2ND REPORT : NATURAL CIRCULATION, 10th IIR Gustav Lorentzen Conference2012, 2012-6

Jong-Teak Oh,Kwang-II Choi,Kiyoshi Saito,Jong sooJeong,Hoo-kyu Oh, COMPARISON OF HEAT TRANSFER COEFFICIENT DURING EVAPORATION OF NATURAL REFRIGERANTS AND R-1234YF IN HORIZONTAL SMALL TUBES, 10th IIR Gustav Lorentzen Conference2012, 2012-6

Kuniyasu Matsumoto, Kiyotaka Ueno,Kiyoshi Saito, Keisuke Ohno, Unsteady State Simulation of Vapor Compression Heat Pump Systems With Modular Analysis, International Refrigeration and Air Conditioning Conference,2012-7

Kiyoshi Saito,JongsooJeong,Latest System Simulation Models in Field of Heating, Refrigeration, and Air-conditioning, and Development of System Simulator, The 5th International Meeting on Advances in Thermo-fluids (IMAT),2012-11

4.3 国内発表

安田直史,山口誠一,齋藤潔,宮内彦夫,原田政利,リキッドデシカント空調システム用除湿・再生器の熱・物質移動特性の究明,第46回空気調和・冷凍連合講演会,2012-4

山口誠一,齋藤潔,伊藤卓,潮田尚史,大曲康仁,野間節,デシカントロータの動的数値モデルの構築とその挙動の解明,第46回空気調和・冷凍連合講演会,2012-4

山口翔平,鄭宗秀,宇田川陽介,齋藤潔,自然循環方式 CO₂ 熱輸送システムの数値モデルの構築と妥当性の検証,第46回空気調和・冷凍連合講演会,2012-4

大塚隆平,田野秀明,齋藤潔,井上修行,福住幸大,第二種多段昇温型吸収式ヒートポンプの特性評価,第46回空気調和・冷凍連合講演会,2012-4

伊藤卓,潮田尚史,大曲康仁,野間節,山口誠一,齋藤潔, MATLAB/Simulink によるデシカント空調機のシミュレータの構築,第46回空気調和・冷凍連合講演会,2012-4

大野慶祐,齋藤潔,エネルギーシステム汎用解析シミュレータ“ENERGY FLOW+M”の開発～エクセルによる圧縮式ヒートポンプシミュレータの非定常解析コードの開発～,第46回空気調和・冷凍連合講演会,2012-4

松本邦康,上野清隆,齋藤潔,大野慶祐,個別分散空調機器の断続運転性能評価,第46回空気調和・冷凍連合講演会, 2012-4

今林正剛,鈴山晃弘,齋藤潔,太陽集熱器の数値モデルの構築とその特性解析に関する研究,第46回空気調和・冷凍連合講演会,2012-4

今林正剛,齋藤潔,太陽集熱器の数値モデルの構築とその特性解析に関する研究,第 22 回環境工学総合シンポジウム 2012,2012-7

山口翔平,鄭宗秀,宇田川陽介,齋藤潔,次世代 CO₂ 熱輸送システムの循環方式の違いによる性能比較,第 22 回環境工学総合シンポジウム 2012,2012-7

山口翔平,鄭宗秀,宇田川陽介,齋藤潔,データセンター用 CO₂ 熱輸送システムにおける熱交換器の性能評価,第 22 回環境工学総合シンポジウム 2012,2012-7

木村健,山口誠一,齋藤潔,井上修行,中川安明,多重効用淡水化法による個別分散飲料水生成システムのモデル化と特性解析,第 22 回環境工学総合シンポジウム 2012,2012-7

伊藤卓,大曲康仁,山口誠一,齋藤潔, MATLAB/Simulink を用いたデシカント空調機のシミュレータの構築 (第二報) 操作量の制御性検討,平成 24 年度空気調和・衛生工学会大会,2012-9

大野慶祐, 中村啓夫, 齋藤潔, 高藤亮一,チューブ形状・配列を考慮したプレートフィンチューブ熱交換器の詳細解析,2012 年度日本冷凍空調学会年次大会,2012-9

山口誠一, 齋藤潔, 伊藤卓, 大曲康仁,デシカントロータの非定常振動現象に関する研究,2012 年度日本冷凍空調学会年次大会,2012-9

松本邦康, 上野清隆, 齋藤潔, 大野慶祐,業務用空調機器の運転台数変更時の挙動解析について—シミュレーションモデルを用いた定量評価—,2012 年度日本冷凍空調学会年次大会,2012-9

宇田川陽介, 関口圭輔, 柳正秀, 齋藤潔, 大野慶祐,データセンタ向け冷媒ポンプ併用型パッケージ空調機に関する研究 (第 1 報) 空調機のモデル化および妥当性検討,2012 年度日本冷凍空調学会年次大会,2012-9

大野慶祐, 齋藤潔, 宇田川陽介, 関口圭輔, 柳正秀,データセンタ向け冷媒ポンプ併用型パッケージ空調機に関する研究 (第 2 報)パラメータスタディ,2012 年度日本冷凍空調学会年次大会,2012-9

藤本勲, 竹村和久, 齋藤潔, 大野慶祐, 村田博道, 中村北斗,空調システム自動制御運転時の部分負荷性能,2012 年度日本冷凍空調学会年次大会,2012-9

竹村和久, 上野清隆, 佐々木常久, 齋藤潔, 大野慶祐,簡略化したコンプレッサーカーブ法によるルームエアコンディショナの性能把握,2012 年度日本冷凍空調学会年次大会,2012-9

田野秀明, 齋藤潔, 井上修行, 福住幸大,二段昇温第二種吸収式ヒートポンプの特性解析,2012 年度日本冷凍空調学会年次大会,2012-9

大野慶祐, 西山教之, 齋藤潔,吸収式冷凍機における理論 COP の考察,2012 年度日本冷凍空調学会年次大会

会,2012-9

5. 研究活動の課題と展望

本プロジェクトの主要なテーマであるデシカント空調システム，第二種吸収ヒートポンプ，圧縮式ヒートポンプ，太陽熱集熱器の数理モデルを構築し，シミュレーションによりその詳細な動的挙動の解明が可能となった．今後は，これら数理モデルを用いて，各種システムの最適設計・制御の検討を行っていく．

エジプト、メンフィス・ネクロポリスの文化財保存面から見た 遺跡保存計画の学際的研究

研究代表者 近藤 二郎
(文学学術院 教授)

1. 研究課題

ユネスコの世界遺産として登録されているメンフィス・ネクロポリスは、その重要性にもかかわらず、様々な遺跡劣化の問題が表面化しつつあり、整備計画の必要性が高まっている。本研究はメンフィス・ネクロポリスの遺跡整備計画（Site Management Plan）の策定を目的とし、それに向けた保存科学、考古学、建築史学、地質学、観光学の各方面から調査を行う。このような問題意識のもと、早稲田大学エジプト学研究所を主体とするメンフィス・ネクロポリスの各遺跡の保存修復に関する調査研究が実施された。

2. 主な研究成果

(1) 太陽の船調査

クフ王第 2 の船の発掘、組み立てを目指す太陽の船プロジェクトは、2012 年、主に①部材のサンプリング、②サンプルの分析と強化処理方法のテストの 2 つの活動を行った。

①部材のサンプリング

サンプリングの準備として、ピットを覆う「小テント」とピットに人が降りるためのエレベーターを建造し、基礎的な計量機器を備えた現場ラボを設けた。またピット内における部材の収蔵状態を俯瞰撮影し、レーザースキャナーを用いて三次元測量した。それが終了したのち、6 日間のサンプリングで、合計 27 点のサンプルを採取した。内訳は木材 20 点、テキスタイル 2 点、プラスター 2 点、ロープ 1 点、銅製部品 1 点、生物の巣 1 点である。

②サンプルの分析と強化処理方法のテスト

サンプルは大エジプト博物館保存修復センターおよび(財)元興寺文化財研究所に持ち込まれ、劣化状況を調べる分析と、強化処理方法のテストが行われた。分析の結果、部材は劣化が進んでおり、木材の主要な成分であるセルロースが大幅に減少していることが判明した。また強化処理テストの結果、「パラロイド」によりハンドリングができる程度にまで部材

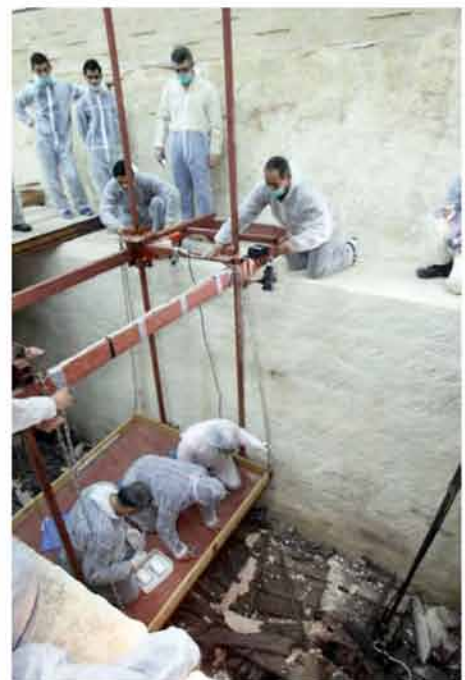


図 1 部材サンプリングの様子

の強度を回復し得ること、また微細化したセルロース（ナノセルロース）によって木材のセルロース不足を補うことで、さらなる強化も期待できることが判明した。

(2) アブ・シール南丘陵遺跡調査

アブ・シール南丘陵遺跡調査では、2009 年以降、約 3 年ぶりの発掘調査となる第 22 次調査を実施した。第 22 次調査では、主に①イシスネフェルトの石棺の保存修復作業と②丘陵および周辺における発掘調査を行った。

①イシスネフェルトの石棺の保存修復作業

まず、イシスネフェルトの石棺の保存修復作業については、今後の保存修復作業に備え、個々の石棺片の保存状態、図像、文字の記録を実施し、データベース化を行った。また、接合作業を実施し、90%程度の図像・文字の復元を完了した。そして、石棺のクリーニングを行うとともに、レリーフに施された青色顔料には強化処置を実施した。特に埋葬室壁際の石棺南面に処置が必要となった顔料の色味の変化を避けるために、パラロイド B72 の 2.5%アセトン溶液を用い、複数回の強化処置を行った。さらに、石棺のより適切な環境下での保存・記録作業を目的とし、石棺蓋の遺物倉庫への搬出作業を行った。古代の盗掘により石棺の蓋は 4 つに破壊されていたため、1 つずつ保護のための木箱を作成し、個別に搬出を行った。

②丘陵および周辺における発掘調査

第 22 次調査では、アブ・シール南丘陵とその周辺における埋蔵遺構の性格の理解を目的とし、丘陵頂部、丘陵南東斜面、丘陵南東部の 3 カ所で発掘調査を実施した。特に丘陵南東部において新しい遺構が検出された。丘陵南東部では発掘区 A と発掘区 B の 2 つの発掘区で調査を実施した。発掘区 A では、岩盤面を人為的に掘削した痕跡がみられ、その上に広い範囲で炭化物と焼成を受けた珪岩片を多く含む層が確認された。また、大型の珪岩も散在し、中には楔の痕がみられるものもあった。これらの証拠から、この場所で古代における石材の加工および採石の活動があったと推察された。発掘区 A の中央からは未完成シャフトが検出され、途中南西方向にアーチ状の天井を持つ横穴状の部屋が穿たれていた。この部屋は埋葬のために後に掘削されたとみられるが、明らかな埋葬の痕跡は認められなかった。発掘区 B では、岩盤面を掘削した痕跡がみられ、そこから 3 つのピットが検出された。これらも採石活動に関連するものと推察された。



図 2 シャフト A の発掘作業風景

3. 共同研究者

吉村作治（国際学術院・名誉教授）

青木繁夫（サイバー大学・教授）

柏木裕之（サイバー大学・教授）

馬場匡浩（総合研究機構・助教）

矢澤健（総合研究機構・招聘研究員）

中川武（理工学術院・教授）

黒河内宏昌（太陽の船復原研究所・教授）

河合望（文学学術院・非常勤講師）

高橋寿光（総合研究機構・客員次席研究員）

4. 研究業績

4.1 学術論文・報告

- 吉村作治、矢澤健、近藤二郎、西本真一 2013 年「エジプト ダハシュール北遺跡発掘調査報告—第 18 次発掘調査—」『エジプト学研究』第 19 号、pp.15-43.
- 柏木裕之 2013 年「アブ・シール南丘陵遺跡から発見された石積み遺構の造営時期に関する検討」『吉村作治先生古稀記念論文集～永遠に生きる～』、中央公論美術出版、pp.105-118.
- 高橋寿光 2013 年「青色彩文土器の破壊の意味について」『吉村作治先生古稀記念論文集～永遠に生きる～』、中央公論美術出版、pp.305-313.
- 西浦忠輝 2013 年「エジプトの砂漠地帯における遺跡の劣化と保存」『吉村作治先生古稀記念論文集～永遠に生きる～』、中央公論美術出版、pp. 401-409.
- 馬場匡浩 2013 年「ダハシュール北遺跡の未盗掘木棺からみる中王国時代の埋葬と葬送—セベクハトとセネトイトエスの墓を中心に」『吉村作治先生古稀記念論文集～永遠に生きる～』、中央公論美術出版、pp.429-445.
- 馬場悠男、坂上和弘 2013 年「イシスネフェルトの個体を同定するための人骨形態学研究入門」『吉村作治先生古稀記念論文集～永遠に生きる～』、中央公論美術出版、pp. 447-457.
- 張本路丹、阿部善也、中井泉「古代エジプトにおける青緑色ファイアンスの組成的変遷」『吉村作治先生古稀記念論文集～永遠に生きる～』、中央公論美術出版、pp. 459-470.
- 平田和明 2013 年「ダハシュール北遺跡出土ミイラの骨病変」『吉村作治先生古稀記念論文集～永遠に生きる～』、中央公論美術出版、pp.471-478.
- 河合 望、吉村作治 2013 年「古代エジプトの聖なる丘とその周辺を探索—アブ・シール南丘陵遺跡第 21 次調査～22 次調査（2011～2012）—」『第 20 回西アジア発掘調査報告会報告集』、日本西アジア考古学会、pp. 80-85.
- Nozomu Kawai, Kazumitsu Takahashi, Ken Yazawa 2012 “Middle Kingdom Pottery from the Waseda University Excavation at Northwest Saqqara”, Handbook of Pottery of the Egyptian Middle Kingdom, vol. 2: The Regional Volume, Verlag der Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien, pp. 147-160.

4.2 学会発表

- 岸田徹、津村宏臣、渡邊俊祐、矢澤健、吉村作治「ダハシュール北遺跡における地中レーダを用いたシャフト墓の調査」、日本文化財科学会第 29 回大会、京都大学、2012 年 6 月 23 日.
- 平田和明、吉村作治、近藤二郎、矢澤健「エジプト ダハシュール北遺跡出土人骨の大腿骨近位端部の骨病変例」、第 66 回日本人類学会大会、慶應義塾大学、2012 年 11 月 4 日.
- 馬場悠男、坂上和弘「エジプトのアブ・シール南丘陵遺跡出土人骨—ラムセス 2 世の孫娘はどの人骨か—」、第 66 回に本人類学会大会、慶應義塾大学、2012 年 11 月 4 日.
- 柏木裕之「イシスネフェルト岩窟墓の造営過程—エジプト、アブ・シール南丘陵遺跡の発掘調査」、日本オリエント学会第 54 回大会、東海大学、2012 年 11 月 25 日.
- 高橋寿光「エジプト、アブ・シール南丘陵遺跡の青色彩文土器について」、日本オリエント学会第 54 回大会、東海大学、2012 年 11 月 25 日.
- 矢澤健、河合望、吉村作治「アブ・シール南丘陵遺跡を対象とした携帯端末による遺跡ガイドの開発」、日本オリエント学会第 54 回大会、東海大学、2012 年 11 月 25 日.
- 阿部善也、矢澤健、河合望、吉村作治「非破壊科学分析によるエジプト新王国時代におけるコバル

ト着色剤の利用変遷の解明」日本オリエント学会第 54 回大会、東海大学、2012 年 11 月 25 日。

矢澤健「エジプト中王国時代の祭祀土器の器形組成—アブ・シール南丘陵遺跡の事例—」日本オリエント学会第 54 回大会、東海大学、2012 年 11 月 25 日。

吉村作治、河合望、近藤二郎、柏木裕之、高橋寿光「エジプト、アブ・シール南丘陵遺跡第 21 次調査・第 22 次調査 (2011~2012) 概報」日本オリエント学会第 54 回大会、東海大学、2012 年 11 月 25 日。

河合望、吉村作治「古代エジプトの聖なる丘とその周辺を探る—アブ・シール南丘陵遺跡第 21 次調査~第 22 次調査 (2011~2012)」、平成 24 年度 考古学が語る古代オリエント、第 20 回西アジア発掘調査報告会、日本西アジア考古学会、古代オリエント博物館、2013 年 3 月 24 日。

Nozomu Kawai “The Newly Discovered Tomb-Chapel of Isisnofret at Nothwest Saqqara”, The 63rd Annual Meeting of the American Research Center in Egypt, Providence, USA, 2012 年 9 月 11 日。

Sakuji Yoshimura and Nozomu Kawai “Waseda Univ.’s 40 Years Research in Egyptology and Application of High Technology”, The 4th Egyptian-Japanese Symposium on “Remote-Sensing and its Application: From Archaeology to Social Sciences, Cairo, Egypt, 2012 年 9 月 11 日。

Yoshinori Iwasaki, Ken Yazawa and Sakuji Yoshimura “The Measurements of Temperature and Humidity in Ancient Tomb in Northern Dahshur, Egypt”, 4th Central Asian Geotechnical Symposium: Geo-Engineering for Construction and Conservation of Cultural Heritage and Historical Sites, Samarkand, Uzbekistan, 2012 年 9 月 21 日。

4.3 学会および社会的活動

・太陽の船シンポジウム『クフ王の船 取り上げに向けて』、早稲田大学小野記念講堂、2013 年 1 月 25 日 (土)

4.4 WEB 上成果報告

メンフィス・ネクロポリス GIS マップ

(http://www.egyptpro.sci.waseda.ac.jp/map/mapview_ja.html)



図3 パネルディスカッション風景

5. 研究活動の課題と展望

いわゆるアラブの春以降、エジプトでは政情不安により文化財は危機的な状況にあり、エジプト全土で遺跡の盗掘、破壊、博物館での略奪が横行している状態である。こうした状況において、「遺跡整備計画の策定」を押しすすめる本プロジェクトは極めて重要である。本プロジェクトは、これまでメンフィス・ネクロポリスを対象として調査研究を実施してきたが、2013 年度から新たなプロジェクトとしてルクソール地区も含めたエジプトで調査を行っている全ての文化財を対象に研究活動を行うことになった。本プロジェクトが今後のエジプトの政情不安からの復興の一助になるようより一層の研究活動を推進していきたい。

材料表面高機能化の研究

研究代表者 寄田 浩平
(理工学研究所 准教授)

本プロジェクト研究の目的は特殊な鉱物微細粉末を摺動金属表面に用いて、その表面を高機能化することにある。

科学技術の飛躍的な発展と共に、材料科学においても新素材の開発、材料への高機能化付与、工作技術の高度化等が求められるようになり、これらに伴ってそれら機能発現のメカニズムの解明や新技術の開発も必修条件になっている。

本プロジェクトは天然由来の鉱物微粉末を潤滑剤や砥石等に添加することによって、種々の機械、器具における摩擦面や機能性材料の表面等の機械的、物性的な高機能化を見出し、応用してきた。プロジェクトのひとつの目的はそれらの機能発現のメカニズムを解明することにある。例えば、自動車や工作機械等の回転系や摩擦系の摩耗特性を改良できるならば、燃費の改良や、排出ガスのクリーン化、耐用期間の延長等産業界への寄与は大きい。我々が今まで開発してきた成果をさらに発展させ新しい機能性材料の開発とその応用の拡大を目指す。既に、特許申請し審査請求中である。

本プロジェクト研究期間においては、潤滑系における金属表面の高機能化、金属工作における工作機械、部品の性能向上、さらには長寿命化を目的とする手法の確立を目指すと共に、その機能発現のメカニズムを種々の分析手法を駆使して解明する。既に我々はその基本的な手法を開発しているが、その応用分野の拡大も目指していく。

最終的には本技術の産業界への普及を目指し、社会への貢献に寄与することを目的とする。

<研究スタッフ>

濱 義昌：早稲田大学名誉教授、理工学術院総合研究所名誉研究員

池田 潔：早稲田大学理工学研究所嘱託研究員

<研究成果>

既に、いくつかのシンポジウム等において、その研究成果を発表してきたが、そのひとつである金属加工における本機能材料の有用性を発表した結果を次ページに示す。

<金属加工への応用の一例>



金属加工高機能化改質材 “HiT”

金属加工の精度 20% UP！ 金属加工工具の寿命 20% UP !!!

～ 地球に優しい、金属加工のための魔法の粉の開発 ～



技術 DATA

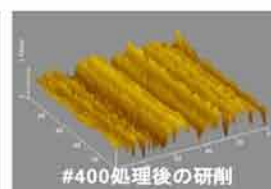
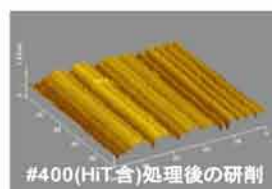
シリーズ名称: #797 切削研削用組成物、切削研削油剤、切削研削用ホイール及び表面改質
 ■ 出願人: 早稲田大学 ■ 発明者: 濱義昌(名誉教授)、池田寛(嘱託研究員)
 ■ 権利譲渡: 否 ■ 実施許諾: 可
 ■ 出願状況: 特願2008-023436(出願日2009/2/4)

概要

金属加工用高機能改質剤: HiT

超硬材をフライス加工した際の表面粗さ

砥石	#400 HiT(有)	#400 HiT(無)
面粗さ Ra	97.6	125.0



被削材表面のAFM三次元画像

砥石(#400)へのHiT添加による研削面粗さの違い

本剤は、フィロ珪酸塩鉱物を主成分とする微粒粉体であり、金属加工時に発生する構成刃先や被削材の溶着を抑制し、加工精度の向上と工具寿命を延長する。本法は従来法と併用できる。

● 改質材の主成分・成分比・粒度分布

主成分 フィロケイ酸塩鉱物・水酸化鉱物

成分比 O:50-60% Mg:13-19% Si:10-12% C:8-13% Al:6-9% Fe:>1%

粒度分布 $D_{10} = > 0.6\mu\text{m}$ $D_{50} = > 1.5\mu\text{m}$ $D_{90} = > 2.2\mu\text{m}$

● 使用量: 潤滑剤に対し0.1wt%

● 分散媒体: α -オレフィンとジカルボン酸ジブチルエステルのコポリマー、エタノール

● 環境負荷: 極めて低い(土壤中において高い安全性あり)

応用

金属加工用改質剤

● ダイヤモンドホイール、CBNホイール、研削油の充填材

改質材を充填材として配合すると、研削熱と砥粒の脱落と割れを抑制

● 切削油、金属加工油の添加剤

改質材を添加剤として配合すると、切削抵抗を低減

● 被削材および切削・研削工具の加工面塗付材の添加剤

改質材を添加剤として工具に塗付すると、乾式加工において効果を発揮



WTLO

生理活性物質科学

研究代表者 竜田 邦明
(早稲田大学荣誉フェロー・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

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 95 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な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 学術論文

K. Tatsuta, T. Fukuda, T. Ishimori, R. Yachi, S. Yoshida, H. Hashimoto, S. Hosokawa, “The first total synthesis of hibarimicinone, a potent v-Src tyrosine kinase inhibitor”, *Tetrahedron Lett.*, **53**, 422-425, (2012).

3.2 総説・著書

竜田邦明、細川誠二郎、“達成！ヒバリマイシノンの全合成”、*化学*, **67**(7), 12-18 (2012).

K. Tatsuta, “Total synthesis of the big four antibiotics and related antibiotics”, *J. Antibiot.*, **66**(3), 107-122 (2013).

3.3 招待講演

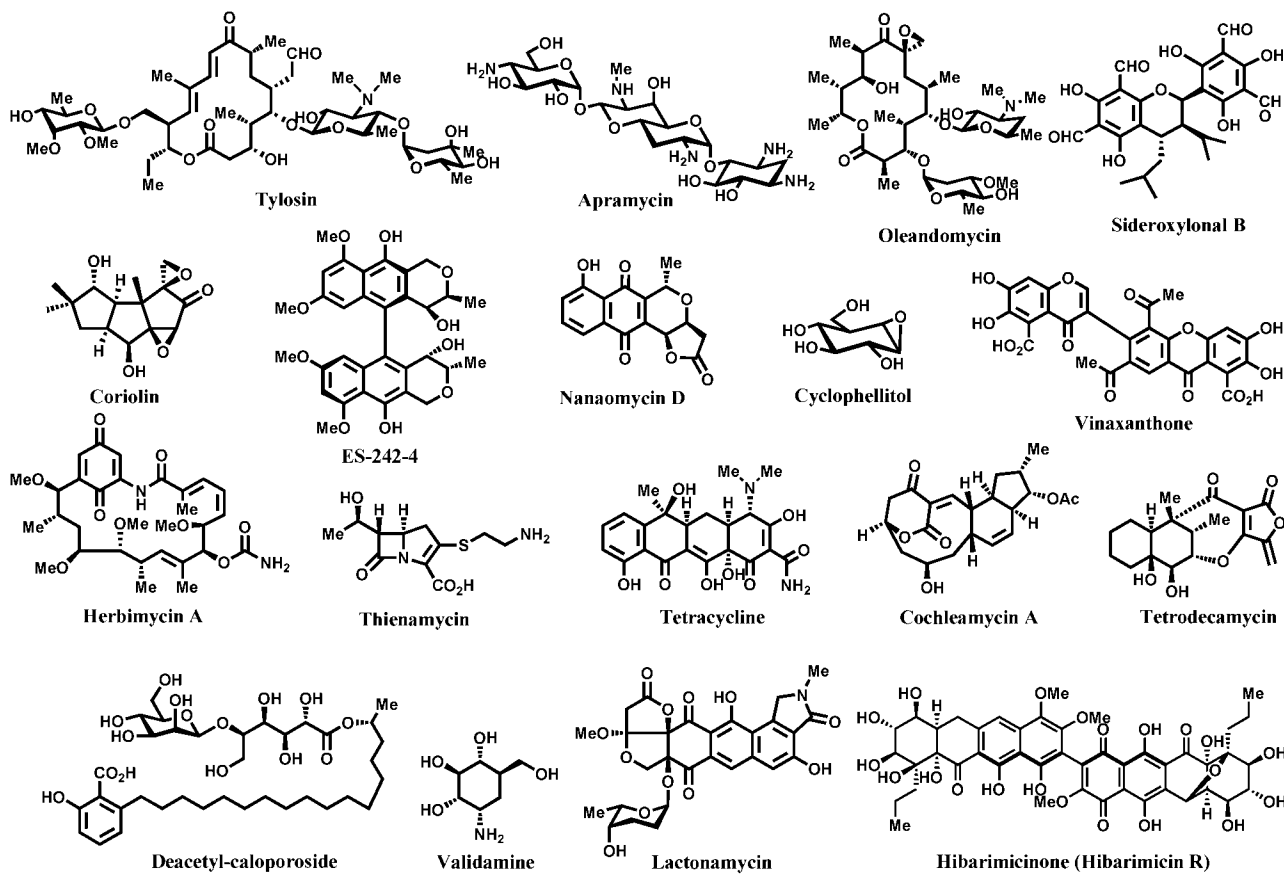
“天然生理活性物質の全合成”、有機合成化学協会四国中国支部講演会、2012年10月（松山）。

“すべては全合成から始まる”、有機合成化学協会特別賞授賞式、2013年2月（東京）。

3.4 受賞・表彰

竜田邦明、“有機合成化学協会 有機合成化学特別賞受賞、2012 年 2 月（東京）。

3.5 世界初の全合成を達成した天然生理活性物質の例



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（創造理工学研究科・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、それに依拠した街の活性化支援、高齢者医療や地域医療における医療施設の建築企画、省エネ・省資源に対応した建築計画、さらに建築材料のシックハウス対策対応に依拠した建築デザイン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

九州佐賀県の鹿島市は江戸時代から続く酒造りで、歴史的遺構群が街並みを形成することで知られる。これに伴うさまざまな歴史的建築遺構群や、有明海に面し背景に山々を頂く恵まれた自然環境によって、街づくりのためのアイデンティティをもった多様な資源が偏在する。これらを街づくりにおけるランドデザインとして、どのように関連付け、活性化するかを継続研究を進めている。



図1 (左)
歴史的建築遺構群
を活かした街並み
提案模型写真
図2 (右)
既存の「職」と「食」
に着目した中心市
街地活性化提案
模型写真

2.2 Z社C. I. のための本社ビルプロジェクト

都心主幹線道路に面して建つZ社の本社ビルを、コーポラティブ・アイデンティティの視点からデザインするプロジェクトである。本社部のみと、本社部と賃貸オフィス部の組み合わせ、さらに本社部と集合住宅の組み合わせなどの要求条件を踏まえて、Z社の新しい拠点としての顔をデザインすることで、Z社の経営戦略を建築デザインを通じて支援するものである。



図3 (左)
Z社（本社部のみ）外観模型写真
図4 (上)
Z社（本社部と集合住宅の組み合わせ）
外観イメージパース

2.3 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、カタロニア州のバンデジヨス市ファッチェスにあるマジア残存遺構について、当該研究室で10年来継続している標記研究は、第三段階を迎えている。マジア集落の祖型的構成における「era」、「badieu」という概念を踏まえて第三期の修復・再生計画を立案している。街づくりの視点からの修復・再生の活性化、工法・材料的視点からの自力建設ワークショップ、職人技術的視点からの雇用機会を維持する制度の運用史研究を重ねている。



図5(左)
全体計画模型写真
図6(中)
「era」の概念を組み込んだA-3住戸半屋外部分
模型写真
図7(右)
「badieu」の概念を組み込んだA-3住戸屋内部分
模型写真

3、共同研究者

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）

4、研究業績

4.1 建築作品

入江正之、和久田幸祐、入江高世、メディカルコートあやめ池、新建築 2012 年 10 月号、第 87 巻 16 号、p.p.183~189、2012 年 10 月 1 日。

4.2 学術論文

岩澤錠児、入江正之、カレル・タイゲの一連の論稿に見る建築思想とその変遷 カレル・タイゲ研究 (1)、日本建築学会計画系論文集、Vol.77, No.680, p.p.2463~2470, 2012 年 10 月。

4.3 記事

入江正之、生活空間の延長である医療の新しいシステム・大屋根軒先のディテール、新建築 2012 年 10 月号、第 87 巻 16 号、p.p.188~189、2012 年 10 月号。

4.4 招待講演

入江正之、建築デザインにおける既存・既在という場所を巡って-新たな環境創造における建築学、神戸大学、2012 年 12 月 15 日。

4.5 学術講演・講演

平井祐一、石垣充、入江正之 日本建築学会設計競技の研究 計画背景と応募案におけるその回答の変遷、日本建築学会 2012 年度大会（東海）、学術講演梗概集 5517、p.p.1075~76。

人見将敏、入江正之 近代建築運動体 GATCPAC による機関誌『AC』について (2) 1930 年代カタルーニャ近代建築運動研究、日本建築学会 2012 年度大会 (東海)、学術講演梗概集 9177、p.p.353~354。

瀧澤一貴、入江正之 曲木の実験彫刻にみるアルヴァ・アールトの自然観、日本建築学会 2012 年度大会 (東海)、学術講演梗概集 9200、p.p.399~400。

早田大高、斎藤慎一、入江正之 農民生活から見るマジアの拡張に関する建築論 (1) 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、日本建築学会 2012 年度大会 (東海)、学術講演梗概集 9364、p.p.727~728。

斎藤慎一、早田大高、入江正之 農民生活から見るマジアの拡張に関する建築論 (2) 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、日本建築学会 2012 年度大会 (東海)、学術講演梗概集 9365、p.p.729~730。

瀧田暁、飯田崇洋、山村健、入江正之 アントニ・ガウディ・イ・クルネットの石膏模型制作に関する研究、日本建築学会 2012 年度大会 (東海)、学術講演梗概集 9366、p.p.731~732。

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(6) アントニ・ガウディ・イ・クルネット研究、日本建築学会 2012 年度大会 (東海)、学術講演梗概集 9367、p.p.733~734。

入江正之、青年期の新聞投稿記事に見る創作態度について アントニ・ガウディ・イ・クルネット研究、日本建築学会 2012 年度大会 (東海)、学術講演梗概集 9368、p.p.735~736。

鈴木史瑛、山村健、入江正之、20 世紀初頭ドイツにおける建築家アントニ・ガウディの評価に関する研究 アントニ・ガウディ・イ・クルネット研究日本建築学会 2012 年度大会 (東海)、学術講演梗概集 9369、p.p.737~738。

アントニ・ガウディ 人と作品ー自然に基づく建築から学ぼう、早稲田大学オープンカレッジ講義 第 1 回 彼が生きた時代のカタルーニャ、ならびにバルセロナについて 2013 年 1 月 8 日。

第 2 回 歴史諸様式に学ぶ初期作品について 2013 年 1 月 15 日。

第 3 回 曲線や曲面によるガウディらしい作品の系譜 2013 年 1 月 22 日。

第 4 回 生命ある総合の建築としての二つの未完の教会に

4.6 受賞・表彰

4.7 学会および社会的活動

日本建築学会建築意匠・建築論小委員会委員、2011 年 4 月~2013 年 3 月まで。

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、維持していかうとしがちであり、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 曾田 五月也
(創造理工学部・建築学科・教授)

1. 研究課題

1995 年阪神淡路大震災を契機として建築物の耐震安全性確保のための方法の策定が各方面で行われて来ている。研究代表者も、1996 年 4 月に早稲田大学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・耐震補強への応用」(3 年間)に引き続き、1999 年 4 月より「高減衰構造に関する総合研究」(6 年間)、2005 年 4 月より「粘性系ダンパによる既存建築物の制振補強に関する研究」(6 年間)を実施してきた。これらプロジェクト研究で得られた最重要な知見は、想定すべき大地震動が極めて多様であることを踏まえながら、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という制振構造手法を一般化する事が優位であることである。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の高い事を多くの実験・解析に基づいて主張して来た点が特色である。この間、2000 年の建築基準法改定に続き、2009 年 6 月には長期優良住宅の普及の促進に関する法律が施行されているが、上記プロジェクト研究による成果の一部は第三者評価機関による技術評価も取得するなどして、建築物の耐震性能を合理的に高める手法として社会への普及に向けて動き始めている。

2011 年 4 月からは上記のプロジェクト研究の成果を体系化して、建築物の実施設計により適用しやすい形に整理するとともに、地震動予測に関する近年の研究成果を反映させてより合理的な耐震性能評価手法を構築し、我が国の建築地震防災に資する事を目指すこととして本研究をスタートさせている。

本研究では、はじめに過酷な地震動の作用を受ける時の建築物の損傷(変形)と相関性の高い地震動指標を策定する。過酷な地震動による建物への入力エネルギーは建築基準法で想定されている最低限基準地震地震動による入力エネルギーの約 4 倍にも達することを示す。過酷な地震動に対する安全性を保障するためには、建物の剛性や強度を上げる、あるいは変形能力を高めるばかりでは対応することが難しく、地震入力エネルギーを積極的に吸収するダンパを併用する事が合理的であることと、その応用検討例とを示す。この時に、低層・中層の既存建築物はその数が余りにも多く、適用可能な免震・制振のコストは余りにも高いのが現状である。そこで、DIY も含めてローコストで実現可能な耐震補強工法の普及にも言及することにする。

2. 主な研究成果

■地震動の過酷度指標と建築物の応答予測

昨年度は、地震動の入力エネルギーから換算した等価速度を縦軸、変位を横軸にとった VDRS Format を用いて、建物周期から決まる 2 つの周期 T_1, T_2 と Demand Spectrum とに囲まれる面積

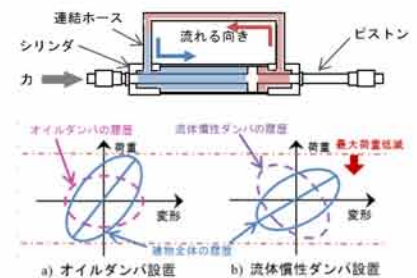
を用いた指標 SSI を定義した。本年度は SSI を多質点モデルに適用することを目的として、建物全体が吸収するエネルギーと各層に分配されるエネルギーとの関係を定式化し、時刻歴応答解析の結果との比較から提案式の妥当性を示した。

■リンク式オイルダンパによる多層建築物の地震応答制御に関する研究

多層建築物に地震動が作用する場合、建物の高さ方向の剛性および耐力のバランスや入力地震動の特性によっては、特定の層に損傷が集中する場合がある。このような建築物に対して建物全体に損傷を分散させる機構を付加できれば、地震に対する建築物の安全性を大きく向上できる。昨年度までは、各層の層間変形を任意の比率に調整できるリンク式オイルダンパを開発し研究を行ってきた。本年度はリンク式オイルダンパを設置することによる多層建築物の地震応答制御について解析的に検討し、ダンパを設置することで地震時の各層の応答層間変形を一様化できることを明らかにした。

■流体の慣性質量を利用したパッシブ負剛性ダンパに関する研究

本研究では、パッシブ制振で負剛性を簡易に発現できる装置として流体が高速に移動することで発生する慣性質量を利用した「流体慣性ダンパ」を製作し、単体性能試験により理論通りの力学特性を有していることを確認した。また、軽量低層鉄骨造建物を対象とした時刻歴地震応答解析により、地震応答低減効果について通常のオイルダンパおよび負剛性を発揮するスカイフックダンパとの比較を行い、流体慣性ダンパの優位性を示した。



流体慣性ダンパの機構と力学特性

■変形能力の異なる部材で構成されるハイブリッド構造の D_s 算定手法

建築物の耐震計算を保有耐力計算によって行う場合、対象建築物の構造特性係数 D_s を適切に評価することが重要である。本論では、変形能力の異なる部材からなるハイブリッド構造を対象に、部材の破壊による耐力低下を考慮した D_s の算定手法を提案した。また時刻歴応答解析により、提案手法によって評価した D_s を用いて建物耐力を設定することで、応答変形を目標値近くに制御できることを示した。

■DIY 制振補強構法の提案

本研究では、建物所有者本人あるいは耐震補強を専門としない内装業者やリフォーム業者等でも実施できる低層鉄骨造建築物の制振補強構法を提案し、その有効性について一連の実験により検証した。本年度は、鉄骨躯体の柱梁仕口にダンパを方杖型に設置することによる地震応答低減効果の検証および提案する構法の施工性の検証を目的として、ダンパを設置した実大鉄骨柱梁接合部の 1 方向振動台加振実験と、既存の 2 層鉄骨建築物の DIY による制振補強実験を実施した。実験結果より、提案する構法が低層鉄骨造建築物の耐震安全性を早期・短期に向上させることに極めて有効であることを示した。



鉄骨架構の実大振動台実験の状況

■滑り基礎構造の提案

本年度は、木造2層戸建住宅への滑り基礎構造の適用に向けて、上部構造を簡易的に2層とした実大試験体と、1層とした実大試験体を用いた振動台実験を実施し、両者の地震応答性状を比較することで、上部構造を2層とすることが応答に与える影響を実験的に検討した。実験結果より、上部構造を2層とした場合でも滑り性状は極めて安定しており、上部構造の最大応答変形に与える影響も小さいことが認められた。加速度応答については1層試験体と比較して若干増大する場合があるものの、上部構造に適切にオイルダンパを設置することで低減可能であることを確認した。



上部構造2層試験体の振動台実験の状況

3. 共同研究者

宮津裕次（早稲田大学）、岩田範生（近畿大学）、関谷英一（(株) 鴻池組）、袖山 博（三和テック（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））、脇田健裕（中部大学）、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）

4. 研究業績

■学会講演（日本建築学会大会）

- ・上倉理香，曾田五月也，柳下真吾：緩衝装置を併用した滑り基礎構造の実大振動台実験，2012年，B-2分冊，pp.271-272
- ・堀込克哉，曾田五月也：過酷な地震動入力に対する建築物の備え エネルギーに基づく地震動の過酷度指標の提案，2012年，B-2分冊，pp.717-718
- ・田中義輝，曾田五月也，瀬戸純平，谷敬成：流体の慣性質量を利用したパッシブ負剛性ダンパに関する研究 その1. 流体慣性ダンパの概要と制振性能，2012年，B-2分冊，pp.837-838
- ・瀬戸純平，曾田五月也，田中義輝，谷敬成：流体の慣性質量を利用したパッシブ負剛性ダンパに関する研究 その2. 流体慣性ダンパの単体性能試験と時刻歴応答解析，2012年，B-2分冊，pp.839-840
- ・宮津裕次，曾田五月也，津畑慎哉：オイルダンパによる木質ラーメン構造の高減衰化に関する研究 その1 オイルダンパによる地震応答低減効果の解析的検討，2012年，C-1分冊，pp.227-228
- ・津畑慎哉，宮津裕次，曾田五月也，：オイルダンパによる木質ラーメン構造の高減衰化に関する研究 （その2） 圧効きオイルダンパを用いた制振架構の強制応荷実験，2012年，C-1分冊，pp.229-230
- ・野口光裕，曾田五月也，宮津裕次，丸野悟司：圧効きオイルダンパによる木造住宅のねじれ応答抑制効果に関する研究，2012年，C-1分冊，pp.243-244
- ・内田郁子，曾田五月也，宮津裕次：高靱性H形鋼仕口を有する木質ラーメン構造の開発，2012年，C-1分冊，pp.521-522
- ・青野裕太，曾田五月也，中原政人：薄板軽量鋼造耐力パネルの高靱性化に関する研究 （その1.実大耐力パネルの正負交番繰返し応荷試験），2012年，C-1分冊，pp.873-874
- ・中原政人，曾田五月也，青野裕太：薄板軽量鋼造耐力パネルの高靱性化に関する研究 その2.地震応答解析による内挿型耐力パネルの耐震性能評価，2012年，C-1分冊，pp.875-876
- ・曾田五月也，宮津裕次，丸野悟司，花井勉，皆川隆之：低層鉄骨造の損傷抑制用 DIY 制震補強に関する技術開発 その1 技術開発の概要及びDIY用ダンパ接合部の検討，2012年，C-1分冊，pp.1003-1004
- ・丸野悟司，曾田五月也，宮津裕次，花井勉，皆川隆之：低層鉄骨造の損傷抑制用 DIY 制震補強に関する技術開発 その2 鉄骨柱梁接合部の慣性力応荷実験，2012年，C-1分冊，pp.1005-1006

■ポスター発表

宮津裕次，丸野悟司，曾田五月也，花井勉，皆川隆之：低層鉄骨造建築物のDIY制震補強の提案，東日本大震災2周年シンポジウム，2013年3月

■シンポジウム

早稲田大学創造理工学部建築学科曾田研究室主催：第1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 63号館2階201教室，2012年9月20日

5. 研究活動の課題と展望

本年度は、それぞれの研究テーマにおいて実大構造実験も数多く実施し、提案する制振構造技術の有効性を実証するとともに実用化のための重要な知見を得た。今後は、既往の研究成果を体系化し、実用化に向けて建築物の実施設計により適用しやすい形に整理することを進める。

アーバンデザイン部活動を通じた若い世代まちづくりの参加促進事業

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

まちづくりに関するワークショップの実施、地域イベントに関する企画運営を中高校生、大学生を巻き込んで実施することにより、まちづくりに関する若い世代のネットワークを構築する。

2. 主な研究成果

—ものづくりを通してネットワークの輪を広げる(さくらまつり事前準備を通して)—

地域の祭りとして定着しつつある木次のさくらまつりに対して、今年度の古谷研究室は「ものづくりを通してネットワークの輪を広げること」をコンセプトに取り組んだ。具体的には、祭りに向けて6台の屋台を制作し、その過程で地元の中高生や大学生と協力する場を設けた。また、祭り当日には小学生が屋台を使って、手作りの蒸しパンを売り歩いた。

ものづくりを介して、地域の人々のネットワークの輪を広げることを試みた。



完成した屋台。壁伊川出いの土手にて。



インフォメーションセンター入口部分に、看板や案内のためのブースを作った。



3台の屋台を並べてブースを作った。



商店街にも6台の屋台を並べて、蒸しパンや缶バッジの販売を行った。



手作りの蒸しパンを屋台に乗せて売り歩いた。



さくらまつりの企画の一つ、本の「かえっこ」の展示台として利用された。



1日目の夕方、屋台づくりに関わったメンバーで小さなシンポジウムを行った。

〈2012.04.03～05 : 屋台組み立てワークショップ〉

加工所で切り出していただいた木材を、大学生や中高生とともに組み立てるワークショップを行った。

ヤスリ掛けを丁寧に行ってから、ねじを打ち込む部分に鉛筆で印をつけたうえで、インパクトドライバーを使って部材同士の接合を行った。

インパクトドライバーを初めて手にした中高生も、大学生にコツを聞いたり手助けしてもらいながら、次第に器具を使いこなしていた。



〈2012.04.03 : 押し花ワークショップ〉

屋台の天井にはめるパネルを地元高校生とともに押し花で制作した。押し花は斐伊川沿いの散った桜の花びらを拾い集め、押し花を挟む和紙は斐伊川和紙を用いて行った。斐伊川の水系に散らばる要素のみに用いることで、木次にしかない押し花を作った。

ワークショップ形式で進行し、一枚一枚のパネルには高校生が押し花を用いて思い思いの木次の風景を描いた。



〈2012.04.04～05 : 屋台塗装ワークショップ〉

作業場である林業総合センター駐車場にて屋台のペンキ塗りワークショップを行った。室内では高校生と大学生による屋台の組み立てワークショップが並行して行われ、組み立てられたものから順に屋外に移動し塗装した。

地元の高校生、島根大学学生に加え、広島女学院の大学院生も参加し、屋台を媒介として雲南プロジェクトに関わる多くの学生が交流を持つことができた。



〈2012.04.05 : 缶バッジづくりワークショップ〉

スタッフ章としての缶バッジ、さくらまつり当日に販売する缶バッジの2種を制作した。

素材は、斐伊川によって育まれ作られている土手の桜の花びらと斐伊川和紙を用いたものとした。



〈2012.04.05 : 絞り染めワークショップ〉

桜の草木染めを専門に行っている木花工房にて、絞り染めのワークショップを行った。事前に下処理をしていただいた4枚の布に丸い小石を包み輪ゴムで止めたものを、桜色の液につけて染色した。

ワークショップの途中に、工房の方から、自身が桜の草木染めを始めた経緯に関する興味深いお話があり、参加メンバーはみな聞き入っていた。



3. 共同研究者

李 東勲 (創造理工学部 建築学科 助教)
 大森 葉月 (創造理工学研究科 建築学専攻 修士2年)
 竹味 佑人 (創造理工学研究科 建築学専攻 修士2年)
 田村 正 (創造理工学研究科 建築学専攻 修士2年)
 高栄 智史 (創造理工学研究科 建築学専攻 修士2年)
 青沼 克哉 (創造理工学研究科 建築学専攻 修士1年)
 稲葉 秀行 (創造理工学研究科 建築学専攻 修士1年)
 内田 亜理紗 (創造理工学研究科 建築学専攻 修士1年)
 久我 淳子 (創造理工学研究科 建築学専攻 修士1年)
 武井 光 (創造理工学研究科 建築学専攻 修士1年)
 福井 貴英 (創造理工学研究科 建築学専攻 修士1年)

4. 研究業績

・トウキョウ建築コレクション 2013 プロジェクト展への出展とパネル展示

5. 研究活動の課題と展望

イベントの際に中高生を集めアーバンデザイン部としてもものづくりの楽しさやまちづくり活動を体験することは、今後地域を担ってゆく人材を育てるという意味において重要である。しかし、ボランティアとして参加する生徒にとって、自分たちの活動が単なるボランティアに留まらず、まちづくり活動の一端を体験しているという意識は低いように感じる。それは、アーバンデザイン部活動の広報やボランティアの募集方法にも一因がある。

来年度も引き続きアーバンデザイン部という名のもと、地域の中高生を巻き込みながら様々なまちづくり活動を行ってゆく予定である。生徒が継続的に活動に参加したいと思える仕組みづくりや広報活動にますます力を入れてゆく必要がある。

川場村の既存リソースを活かした地域再生デザインの提案

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

近年の地方社会では、産業構造の変化、少子高齢化の進展、人口移動による地域社会の高齢化等の社会情勢の変化に従う中期社会構造の変化が見られる。地域社会構造変化と共に個別に計画される新たな施設は既存の施設との連携を持ちにくく、既存施設が有効に活かされない傾向があるため、新旧を合わせた相乗的な有効活用のシナリオが必要である。これらについては広域的な地域づくりの推進、住民の生活構築の観点から当初の施設用途を見直しながら地域住民のニーズを踏まえた効果的な用途転換等の具体的な再生指針を提案する。本調査および提案においては、第一に川場村の特性、地域再生デザインに活用可能な既存リソースについての調査、第二に川場村における固有の「風景」を記録し、それらを踏まえて既存・風景の活用に関して住民をはじめとする川場村関係者と意見交換を行う。今年度は中距離域、遠距離域のそれぞれのスケールに応じて昨年の成果を踏まえストリートファニチャー、新規ルート、川場村レンタサイクルの提案・計画を行った。

2. 主な研究成果

2-1 田園プラザ周辺の家具的な提案



家型の休憩所



パーゴラの並木道



川場のじゅたん



掘りごたつ



浮かぶ東屋



窓辺をつくる壁



風景を切り取る展望台



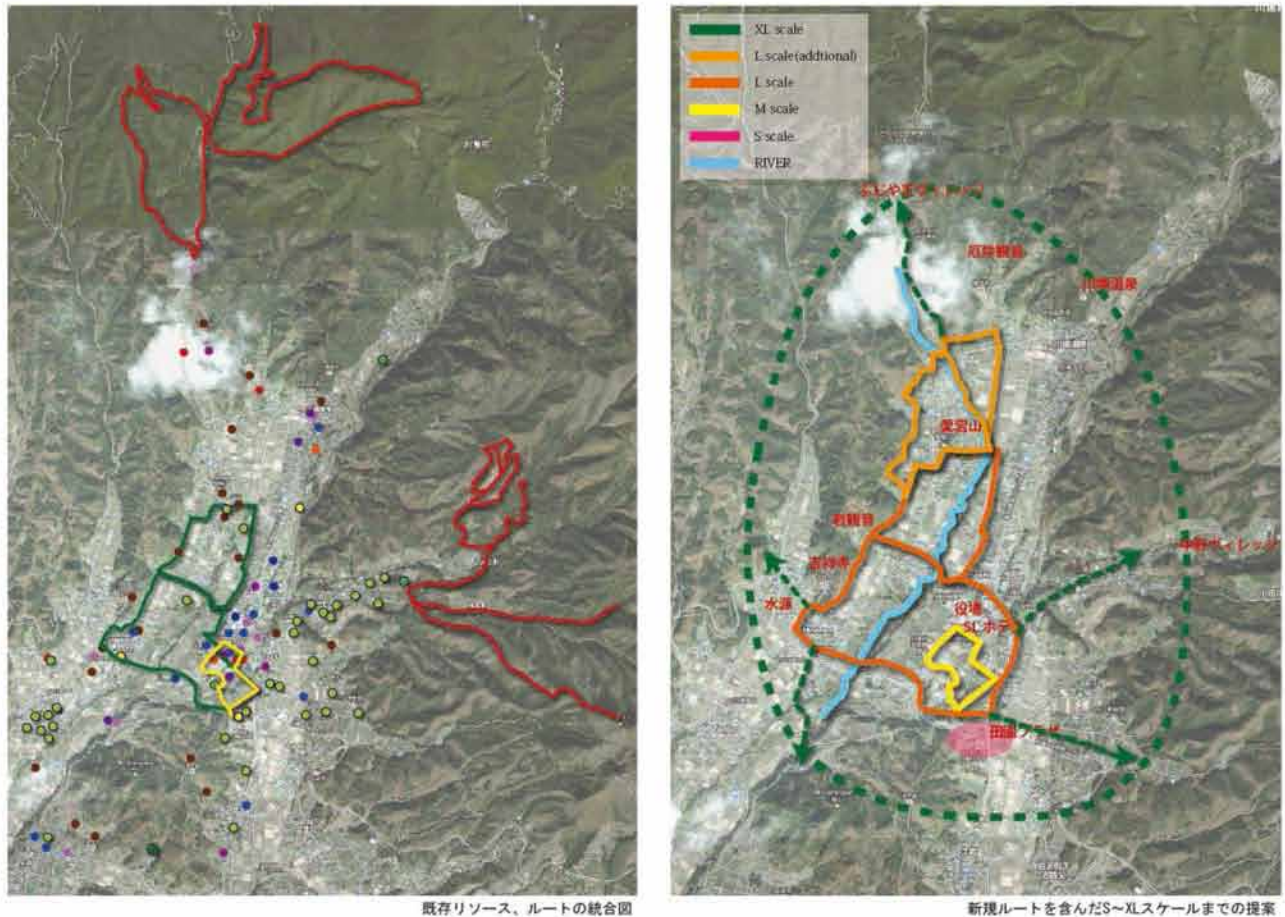
風景を切り取る東屋



座ることができるロッカー

多くの観光客が訪れ、交通の便も良い川場田園プラザであるが、その場で人々の流れが留まってしまっている。そこで、田園プラザから川場村周辺へ人の流れを緩やかに繋げることを目指す。具体的には中距離域に属するふれあい橋までのルート内においてストリートファニチャーを設置し、田園プラザ周辺まで歩いて散策できる提案を行った。

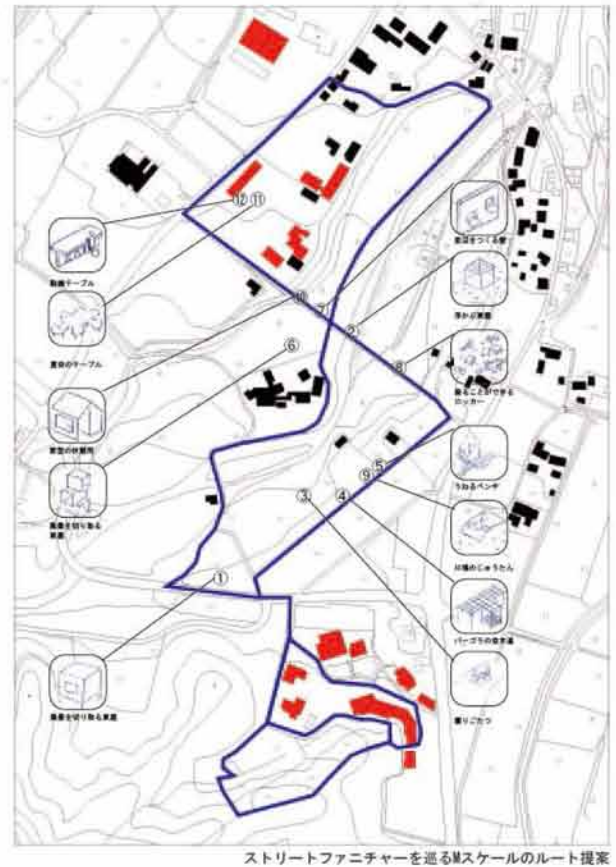
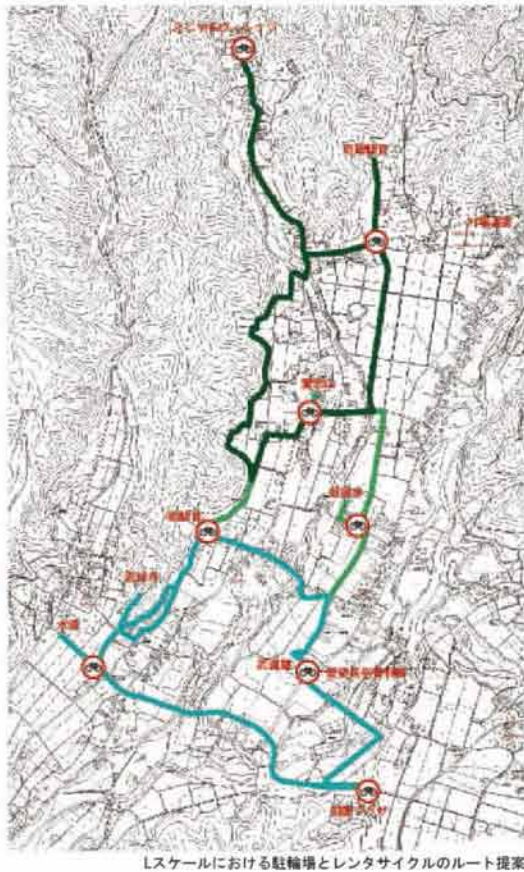
2-2 川場村広域での回遊性の促進



現在、川場村では散歩コースを複数設定している。さらに、東京都世田谷区の小学生が夏季に訪れる散策路の存在がワークショップを通して明らかとなった。しかし川場村の魅力を形成する種々の要素が盛り込まれていない部分も多く、新たに遠距離域の散策路を提案することで田園プラザに訪れる人々と、世田谷区の小学生の流れを繋げられると考えた。

2-3 レンタサイクルとストリートファニチャーを用いた風景の保存

川場村の歴史的文化財や役場、田園プラザなどを自転車の管理・運営を行うための駐輪場として選定した。駐輪場のデザインも行い、約1 km間隔で8箇所設置。結果として、徒歩と自転車で川場村の魅力である「風景」を見て周ることができる。さらに、レンタサイクルを利用することで、川場村の特産物である「米」のできる過程を山～川～田を通じて体感できるような回遊性を持った計画となった。また、2-1 で述べた中距離域に属するふれあい橋までのルート提案も同時に行った。



3. 共同研究者

李 東勲 (創造理工学部 建築学科 助教)
 内田 亜理紗 (創造理工学研究科 建築学専攻 修士1年)
 進藤 正人 (創造理工学研究科 建築学専攻 修士1年)
 三輪 萌子 (創造理工学研究科 建築学専攻 修士1年)
 渡邊 めぐみ (創造理工学研究科 建築学専攻 修士1年)

4. 研究業績

・ トウキョウ建築コレクション 2013 プロジェクト展への出展とパネル展示

5. 研究活動の課題と展望

川場村役場とのワークショップを通じて、広域的な川場の回遊性の検討を行ってきた。しかし、実際に利用する住民との意見交換があまり成されていない為、今後は住民との関わりを深め、イベント性のあるものを企画したり、空き家の改修など具体的な提案に繋げることが必要である。

金融数理および年金数理研究

研究代表者 谷口 正信
(研究重点教員 / 応用数理学科)

1. 研究課題

極めて一般的な確率過程の最適推測理論の構築を基礎として以下に取り組んだ。

- (1-1) 数理理論としては、金融資産を記述する極めて一般的な確率過程として、モーメントを持たない安定過程の推測理論の構築や経験尤度法、非母数手法の導入。
- (1-2) 最適ポートフォリオの統計推測を因果変数がある場合、正準相関解析を用いて構築。
- (1-3) 現行の年金ポートフォリオの予測最適性の統計数理的研究。

2. 主な研究成果

金融資産の収益率は、実証分析の立場より、非正規、非線形、従属過程で記述されると想定される。これを記述する数理モデルは確率過程である。まず、このような確率過程に対する最適統計的推測論は局所漸近正規性にに基づき、研究代表者のグループやベルギー学派が推進してきた。2012年度は、この流れに乗って革新過程がモーメントを持たない安定分布に従う多次元線形過程のポートフォリオ推測を経験尤度法で推測、検定を行った。多くの統計解析は、母数型モデルを仮定して行われるが、金融、経済分野では、この設定はきつく非母数解析が望まれる。この方向では、時系列解析における経験尤度法が重要で、特に安定過程に対して基準化されたピリオドグラムに基づくWhittle 尤度型の経験尤度の導入とその基礎理論構築を推進した。具体的には一般的ダイバージェンスに基づいた時系列の経験尤度検定、推定法の提案とその統計的性質の研究。またこれらのポートフォリオ解析への適用を行った。また非正規多変量収益率過程のポートフォリオに、外生的因果変数がある場合に、この因果性変数の情報を用いる正準相関解析を用いてポートフォリオ係数を推測することを提案した。

上記の基礎理論的成果に基づき時系列収益率過程に対するポートフォリオ係数の最適推測論を展開した。通常は、標本平均と標本分散で記述される平均・分散ポートフォリオが主流であるが、研究代表者等は、従属収益率を想定すると、これは一般に最適推定量にならないことが示したが、本研究では、分布の裾の厚さに対処するため、基準化された統計量に基づくポートフォリオ推定の基礎を論じた。また、諸成果の年金ポートフォリオへの応用として、現行ポートフォリオの予測最適性を摂動型説明変数をもちいた線形予測子で予測することにより、現行ポートフォリオ構成での3時点過去まででのある種の予測最適性を示した。

年金サイドからは、年金積立金のポートフォリオ係数は、平均賃金やその他の指標に連動すべきであるとの指摘をうけ、さらなる因果変数に依存した最適ポートフォリオ構成の問題提起や、さらにそれらが時系列因果性をもって影響与える等の理論と応用の間で、多種の協業的成果が得られた。

3. 共同研究者

山下 隆 (年金積立金管理運用独立行政法人・研究員、招聘研究員)
清水 信広 (厚生省・年金局・数理情報技術役、招聘研究員)
鈴木 武 (基幹理工学部・応用数理学科・教授)
蛭川 潤一 (新潟大学・自然科学系・准教授)
白石 博 (慈恵医科大学・数学教室・専任講師、招聘研究員)
天野 友之 (和歌山大学・経済学部・准教授、招聘研究員)
小方 浩明 (早稲田大学・国際教養学部・助教)
谷合 弘行 (早稲田大学・国際教養学部・助手)

4. 研究業績

- [1] Amano, T., Kato, T. and Taniguchi, M. (2012). Statistical estimation for CAPM with long-memory dependence. Advances in Decision Sciences : Special Issue on "Statistical Estimation of Portfolios for Dependent Financial Returns". Lead Guest Editor, Taniguchi, M. Article ID 571034, 12 pages.
- [2] Taniguchi, M. and Hirukawa, J. (2012). Generalized information criterion. J. Time Series Analysis. 33, 287 - 297.
- [3] Taniguchi, M., Tamaki, K., DiCiccio, T.J. and Monti, A.C. (2012). Jackknifed Whittle estimators. Statistica Sinica. 22-3, 1287 - 1304.
- [4] Taniguchi, M., Petkovic, A., Kase, T., DiCiccio and Monti, A.C. (2012). Robust portfolio estimation under skew-normal return processes. The European Journal of Finance .1 - 22, iFirst.
- [5] Hamada, K., Dong Wei Ye and Taniguchi, M. (2012). Statistical portfolio estimation under the utility function depending on exogenous variables. Advances in Decision Sciences : Special Issue on "Statistical Estimation of Portfolios for Dependent Financial Returns". Lead Guest Editor, Taniguchi, M. } Article ID 127571, 15 pages.
- [6] Shiraishi, H., Ogata, H., Amano, T., Patilea, V., Veredas, D. and Taniguchi, M. (2012). Optimal portfolios with end-of-period target. Advances in Decision Sciences : Special Issue on "Statistical Estimation of Portfolios for Dependent Financial Returns". Lead Guest Editor, Taniguchi, M. Article ID 703465, 13 pages.
- [7] Hamada, K. and Taniguchi, M. (2012). Multi-step ahead portfolio estimation for dependent return processes. To appear in ASTE, Research Institute for Science and Engineering, Waseda

University Special Issue "Financial and Pension Mathematical Science : Editor, M. Taniguchi.

[8] Taniai, H., Usami, T., Suto, N. and Taniguchi, M. (2012). Asymptotics of realized volatility with non-Gaussian ARCH(infty) microstructure noise. J. Financial Econometrics. 10, 617 - 636.

本プロジェクト研究の成果の多くは

(1) 理工研報告特集号 第9号2013年3月「金融および年金数理」編集委員長 谷口 正信

(2) 英文著書 :

"Statistical Inference for Financial Engineering".

by Taniguchi, M., Amano, T., Ogata, H. and Taniai, H.

Springer Briefs 2013, Springer-Verlag.

に掲載予定である。

5. 研究活動の課題と展望

本プロジェクト研究は、年金関係の研究者達と大学に籍を置く統計科学の研究者達の共同研究を基礎として遂行された。このプロジェクトで開催されたセミナー等の一覧は

<http://www.taniguchi.sci.waseda.ac.jp/nenkinsuuri.html>

に置いている。研究論文や協業的セミナーは、予想以上にできたと思われる。あえて課題を述べるとすれば、本格的な統計データ解析の専門家を入れるべきであったかと思われる。

年金サイドからは、ポートフォリオ係数は、因果的影響をもつ外生変数に依存すべきとのモチベーションを貰い、大学側統計理論の専門家は、新しい理論構築をすべき問題を得た。このように将来の展望とするとすれば、理論→ 応用 → 理論 → の形での輪廻的發展を図っていきたい。また、現プロジェクトでも、製薬企業の研究者にも加わってもらったが、統計数理の立場からは、年金、金融、生体、医学、等は、それぞれの分野でデータを変えれば同一の視点で解析可能でさらなる広汎な展開を目論んでいる。

次世代宇宙システム技術開発

研究代表者 鳥居 祥二
(理工学研究所 教授)

1. 研究課題

本研究の目的は、優れた日本のものづくり技術と早稲田大学における宇宙システム技術の融合により、次世代の宇宙システム技術の研究・開発を行うことである。具体的には以下の項目について、最先端の要素技術の開発を実施し、「次世代宇宙システム技術研究組合」や文科省等の行政機関と連携して、技術実証をおこなうとともに、製品化を前提とした研究から開発まで一貫した体制の構築を目指す。

- 1) 革新的要素技術の研究開発と製品化
- 2) 民生最先端技術の宇宙部品への適用
- 3) 既存の宇宙技術のさらなる小型・軽量化、低コスト化、省電力化
- 4) 国際市場で競争力をもつ超小型衛星の技術実証
- 5) 衛星データ解析の汎用サポートシステム開発

2. 主な研究成果

本研究では、理工学術院総合研究所(理工学研究所)のメンバーを中心とした早稲田大学側と「次世代宇宙システム技術研究組合(NESTRA)」(経産省認可)との共同研究を中心に、広く学内外の研究者・技術者の参加により目的の実現を図る。平成24年度は、前年度に喜久井町キャンパスの理工研施設(41号館B03)において設置・整備を行った、研究・技術開発施設(熱真空チェンバー:図1、クリーンブース、他)による国際宇宙ステーション搭載装置の要素技術開発やフライト品(図2)性能試験を実施している。さらに、民生品技術や既存宇宙技術をベースにした超小型衛星の基本設計を行い、次年度以降の実機開発への準備研究を行った。



図1: 熱真空チェンバー



図2: ISS-JEM 搭載小型衛星放出機構

3. 共同研究者

長谷部信行（理工研 教授）

片岡 淳（理工研 准教授）

山川 宏（理工学術院 教授）

宮下朋之（理工学術院 教授）

小澤俊介（理工研 次席研究員）

山口耕司（次世代宇宙システム技術研究組合 理事長）

4. 研究業績

4.1 学術論文

S.Torii, "CALET Mission for exploring the high energy universe", IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, 132(8) (2012) pp.603-608.

4.2 総説

鳥居祥二、“宇宙線を直接捉える”、日本物理学会誌（特集 宇宙線100周年）第67巻 pp. 821-826 (2012).

5. 研究活動の課題と展望

本研究では設備・施設面ではほぼ年次計画にそった進展が得られており、平成25年度には、超小型衛星（ほどよし衛星）の試験・インテグレーションを実施することができる見込みである。課題としては、研究の進展にともない研究施設の整備・維持やフライト品の試験に専従できる研究員の雇用や設備のさらなる充実が必要となっている。さらに、研究成果の製品化への応用が今後の課題となっている。

海洋天然物化学を基盤としたケミカルバイオロジー研究

研究代表者 中尾 洋一
(先進理工学部 教授)

1. 研究課題

海洋天然化合物にはユニークな構造や生物活性を有するものも多数知られているが、医薬品リードの探索源としては十分にそのポテンシャルが発揮されているとはいえない。この現状に関する原因のひとつとして、新規な構造を有する化合物を見出すことに研究の重点が置かれすぎてきたため、他分野の研究者の興味をひくような生物活性をアピールできていないことが挙げられる。

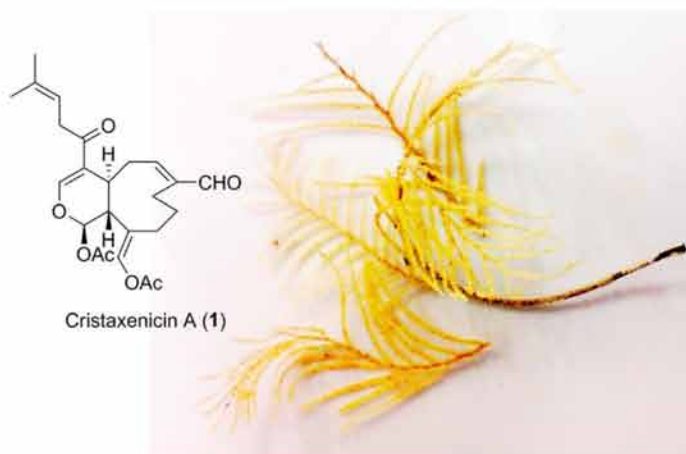
そこで、本研究は最新のアッセイ系と天然物化学を組み合わせる生命科学研究に欠かせない試薬・医薬を見出すことで、天然物化学という分野を21世紀の科学にふさわしい最先端生命科学研究の柱の1つとしての再活性化し、日本のケミカルバイオロジー研究の発展に貢献することを目的とする。

一方で、これらの天然化合物を作り出している海洋生物に共生している微生物にも注目し、共生微生物の生態や化合物の生合成に関わる遺伝子に関する知見を深めることで、貴重な海洋生物資源とそれらをはぐくむ海洋環境の保護という大きなテーマについて、理工学的なアプローチで取り組みたいと考える。

2. 主な研究成果

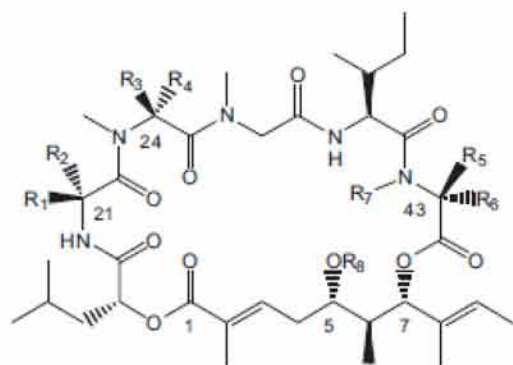
2.1 海綿由来の抗原虫活性物質の探索

東シナ海の海底火山（大島新曾根）山頂（水深150m）から採集した腔腸動物ヤギ *Acanthoprimnoa cristata* から、リーシュマニア原虫に対して強い抗原虫活性を示す新規化合物 **cristaxenicin** を単離・構造決定した。（新聞報道1参照）



2.2 海洋軟体動物由来の強力な細胞毒性物質の構造—活性相関

海洋性軟体動物由来の強力な細胞毒性物質 kulokekahilide-2 について、誘導体の合成を行い、構造—活性相関を明らかにした。この結果、天然を凌駕する活性を有する誘導体を新たに見出すことができた。



Compounds	21		24		43		5
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇
1	Me	H	H	Bn	H	Me	H
5	Me	H	H	Bn	H	Me	MTM
1a	H	Me	Bn	H	H	Me	H
1b	H	Me	Bn	H	Me	H	H
1c	Me	H	H	Bn	Me	H	H
5c	Me	H	H	Bn	Me	H	MTM
1d	Me	H	Bn	H	H	Me	H
5d	Me	H	Bn	H	H	Me	MTM
1e	H	Me	H	Bn	H	Me	H
5e	H	Me	H	Bn	H	Me	MTM
1f	Me	H	H	<i>p</i> -Cl-Bn	H	Me	H
5f	Me	H	H	<i>p</i> -Cl-Bn	H	Me	MTM
1g	Me	H	H	Bn	H	Me	H
5g	Me	H	H	Bn	H	Me	MTM
5g ⁺	Me	H	H	Bn	H	Me	(S)-MTPA
5g ⁺	Me	H	H	Bn	H	Me	(R)-MTPA
1h	Me	H	Bn	H	H	Bn	H
5h	Me	H	Bn	H	H	Bn	MTM

Fig. 1. Chemical structures of kulokekahilide-2 (1) and its analogues.

3. 共同研究者

1. 寺田泰比古（先進理工学部・化学・生命化学科・教授）
2. 鹿又宣弘（先進理工学部・化学・生命化学科・教授）
3. 胡桃坂仁志（先進理工学部・電気・情報生命工学科・教授）
4. 岡野俊行（先進理工学部・電気・情報生命工学科・教授）

4. 研究業績

4.1 学術論文

1. Murayama, S.; Imae, Y.; Takada, K.; Kikuchi, J.; Nakao, Y.; van Soest, R. W. M.; Okada, S.; Matsunaga, S. Shishicrellastatins, inhibitors of cathepsin B, from the marine sponge *Crella (Yvesia) spinulata* *Bioorg. Med. Chem.* **19**, 6594-6598, (2011).
2. Shengule, S.R.; Loa-Kum-Cheung, W. L.; Parish, C. R.; Blairvacq, M.; Meijer, L.; Nakao, Y.; Karuso, P. A One-pot Synthesis and Biological Activity of Ageladine A and Analogues *J. Med. Chem.* **54**, 2492-2503, (2011).
3. Takaku, M.; Kanuma, T.; Ishida, T.; Ishigami, S.; Suzuki, H.; Tashiro, S.; van Soest, R. W. M.; Nakao, Y.; Kurumizaka, H. Halenaquinone, a Chemical Compound That Specifically Inhibits the Secondary DNA Binding of RAD51 *Genes to Cells.* **16**, 427-436, (2011).

4.2 総説・著書

1. Nakao, Y.; Fusetani, N. Enzyme Inhibitors from Marine Invertebrates, In *Marine Natural Products Handbook*, Springer, Vol. 2, pp. 1145-1229, (2012).

4.3 出願特許

1. 発明の名称：Biologically active compounds derived from marine organisms

出願日：平成 24 年 1 月 30 日

発明者：中尾洋一、町田光史、切替照雄

出願番号：US 61/592,165

出願人：学校法人早稲田大学

2. 発明の名称：腔腸動物由来抗原虫化合物

出願日：平成 23 年 3 月 10 日

発明者：中尾洋一、石上進太郎、後藤康之、河津信一郎、井上昇

出願番号：PCT/JP2011/055715

出願人：学校法人早稲田大学、国立大学法人帯広畜産大学

4.4 学会および社会的活動

1. 日本ケミカルバイオロジー学会 世話人
2. 天然有機化合物討論会 世話人
3. 化学生態学研究会 世話人

4.5 新聞報道

1. 日経産業新聞 (2012.01.25)



5. 研究活動の課題と展望

有望な活性を有する化合物が順調に見出されており、知的財産についても特許申請を行っている。これらの知財をもとに産業化を図りたいというパートナーを探しており、近々海外の研究所と共同研究の契約を締結する予定である。この共同研究では化合物の供給や前臨床段階までの詳細な活性データを取得することを目的としており、これらのデータをもとに今後は産業化にむけて研究を進める予定である。

【11P10】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
(早稲田大学 教授)

平成24年度は過去に蓄積したヒートパイプ技術の成果を利用して次に掲げる2つの応用事例について検討し、低炭素社会構築への足掛かりとした。

① 鉄道

② 地中熱を利用したCO₂ 二元サイクルシュミレーションにおけるシュミレーションの構築～
地中熱用ヒートパイプの効果～

① においては

環境問題の観点から、CO₂ 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。鉄道車両に用いられる車両推進制御装置・VVVFに代表されるパワーエレクトロニクス応用技術製品の電力変換時に生じる発熱の冷却には、フロン又は代替フロンの冷媒を使用した沸騰式冷却器等の冷却方式が採用されている。冷却方式をHP(ヒートパイプ)に置換することにより、冷却装置の小型・軽量化と冷却効率向上及びメンテナンスフリーでの運用が期待できる。しかし、現在の量産型 HP では鉄道車両の停車時、低速時の熱密度に対応できないという問題がある。そこで本研究では太径 HP の蒸発部における熱源から作動液への伝熱構造に着目し、蒸発部の熱伝達率の向上によりヒートパイプの性能向上を目指し、偏心二重管構造を持つヒートパイプについて研究を行います。偏心二重管構造を持つパワー型 HP について、可視化実験を通して伝熱特性を把握することで、偏

心二重管構造を含む内部構造の有用性の確認を行うことを目的とした。

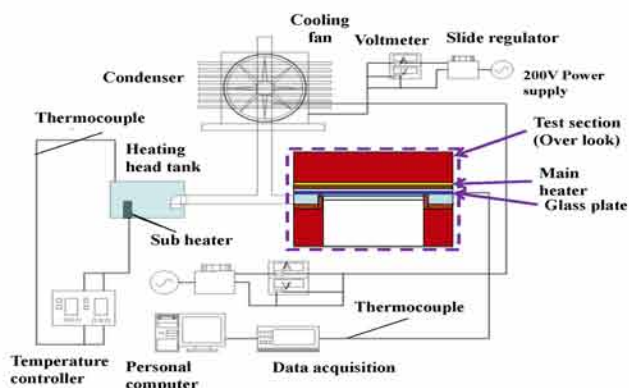


図1 実験装置概略図

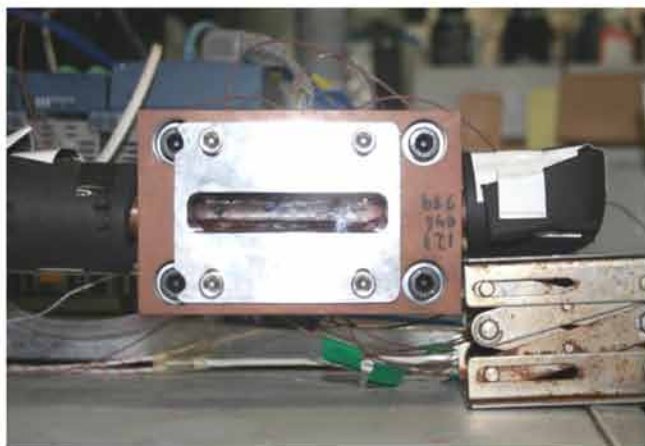


図2 テストセクション部外観

実験装置概略図を図1、テストセクション外観を図2に示す。実験装置はテストセクション、ヒーター、フィン、ファン、温度調節器等から構成されており、HP内部に近い、狭い間隙を再現した可視化実験モデル装置を製作。作動液に水を使用し、大気開放式で行った。テストセクション内の作動液の蒸発による水位減少を防ぐため凝縮部にフィンを取り付けファンによる冷却を行った。実験条件はガラス内管を伝熱面に対して偏心、同心と配置を変更し設置。内管と外管の間隙水位と熱流束をパラメータとした。実験と観察の結果、以下の結論を得た。

●外管、内管の間隙は狭い程、間隙内の水位の上昇がおり、それによる濡れ面積と打ち上げの拡大が伝熱を促進している。

●同心内管・偏心内管の比較では偏心内管の方がV字溝の効果によって伝熱が促進さ

れた。とくに、偏心内管では、設置をしていない場合に比べて最大 4.3 倍の熱伝達率を得た。

●内管の設置による周期的な打ち上げ効果、および蒸気が凝縮部に移動していく状態が VTR、写真により確認出来た。今後は以上のことを踏まえ、蒸発部の可視化及び蒸発部の周期現象のモデル化を作成し実機への搭載を目指す。

② においては

寒冷地において一世帯当たりのエネルギー消費量のうち、暖房に使用される量はエネルギー比率にして 64% を占めている。またこのうち多くは化石燃料の燃焼によっているのみ事実である。省エネルギーおよび CO₂ 排出削減を委はヒートポンプの普及が考えられる。しかしながら、寒冷地では外気温の影響で吸熱部の凍結等の障害によって、効率が悪化し普及の妨げになっている。サイクルに何らかの工夫をして高効率化することが不可欠であるとともに、再生可能エネルギーの積極的な適用も必要である。

このため、本研究では、寒冷地用の高性能 CO₂HP 式温水暖房・給湯システム開発を目的として、自然エネルギーである地中熱採熱システムの検討を行った。

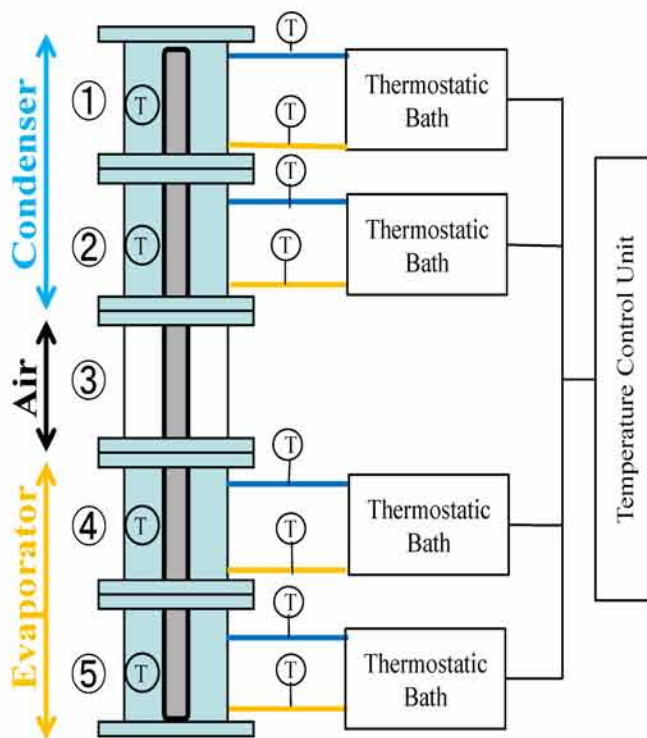


図3 5mヒートパイプ実験装置図

地中熱を採熱するために必要な 10m 長のヒートパイプの予測をするため、長さを縮小した 5m ヒートパイプと 1m ヒートパイプによる性能評価をおこなった。図 3 に 5m ヒートパイプの実験装置図を示す。パイプ部は高さ 4.9m、外径 17.3mm、壁厚さ 1.2mm であり、断熱部を設けた場合と設けない場合において実験を行った。実験方法は恒温槽にパイプ部を挿入し、凝縮部を 5℃ に保った状態で、CO₂ を 200~600g 封入し、蒸発部の温度を 10℃~23℃ と変更し、熱交換器との熱交換量と壁面温度、内部圧力の測定からヒートパイプの評価を行う。1m ヒートパイプにおいては断熱部を設けないで CO₂ を 20~40% 封入し同様の実験を行った。実験の結果として、以下に示す。

●断熱部を持たない CO₂ サーモサイフォンヒートパイプにおいて、最適な液体封入量はヒートパイプの長さに関わらず全体の 30% 程度である。

● 5 mのヒートパイプにおいて断熱部を設けたところ、断熱部がない場合と比較したところ図4で示すように3倍の最大熱輸送量を得ることができた。

● ヒートパイプの蒸発部熱伝達率の相関式を作成し、

10 mヒートパイプにおける地中からの採熱量を計算した結果、暖房条件では16本、暖房給湯条件においては23本必要であることが分かった。

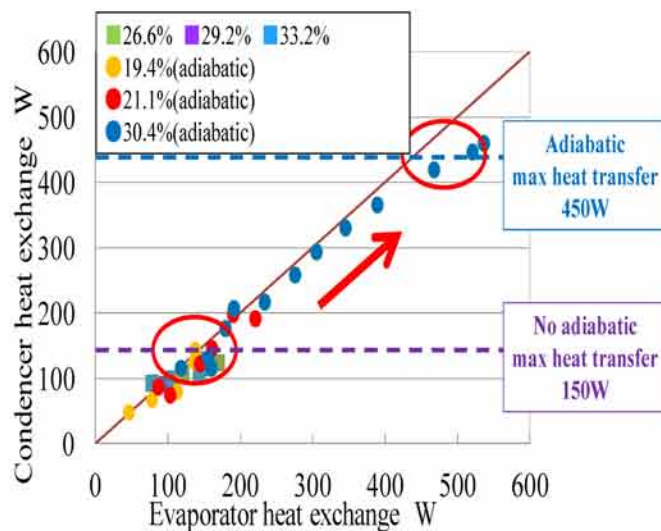


図4 ヒートバランス (5 mヒートパイプ)

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と水酸化アミノ酸の合成法の開発について報告する。

2. 主な研究成果

2.1. CYP199A2 の立体構造に基づいた機能改変とカフェ酸合成への応用

P450 モノオキシゲナーゼ CYP199A2 は、ゲノム情報を利用した探索により我々が見出した酵素で、芳香族カルボン酸に対して特異的にヒドロキシル基を導入するユニークな活性を有している。その機能は立体構造からも証明され (SG Bell et al., J Mol Biol, 383, 561 (2008))、活性中心近傍の 2 つのセリン残基 (S97, S247) が基質のカルボキシル基と相互作用して基質をアンカリングし、ヘム上に配向した芳香環に酸素が導入されることが明らかにされた。また、185 位のフェニルアラニン (Phe185) は基質の芳香環と相互作用し、基質選択性を制御している可能性が予想された。昨年度の研究において、Phe185 をロイシン (Leu) に置換することにより、*p*-クマル酸に対する高い酸化活性を CYP199A2 に付与することに成功した。*p*-クマル酸酸化生成物のカフェ酸は抗酸化活性や抗癌活性を有しており、エンジニアリングプラスチックのモノマーとしての用途も期待されている。そこで本年度は、改変酵素 Phe185Leu を発現させた組換え大腸菌を触媒として、フラスコスケールでのカフェ酸生産を試みた。具体的には、500 mL フラスコに 50 mL のリン酸バッファー (50 mM, pH 7.5) を添加し、ここへ基質の *p*-クマル酸 (20 mM) と触媒の組換え大腸菌 (9.0 g-DCW/L) を加えて、30℃で振とうすることにより反応を行った。その結果、24 時間で 5.1 mM のカフェ酸を生産した。CYP199A2 は反応に NADH を必要とするため、NADH を再生する目的で反応液にグリセロール (10% v/v) を添加した。その結果、生産性は飛躍的に向上し、24 時間で 15 mM (2.8 g/L) のカフェ酸を生産することに成功した。この生産量は、生体触媒を利用したカフェ酸合成に関するこれまでの報告の中で最も高い値である。

2.2. 微生物触媒を用いた D-ヒドロキシプロリンの生産

光学活性な環状水酸化イミノ酸は、医薬品原料、キラルビルディングブロックとして注目される有用な化合物である。その代表例である D-ヒドロキシプロリン (L-Hyp) は、微生物発酵技術と遺伝子工学技術の融合により、D-プロリンの直接水酸化によって工業的に安価かつ効率的な生産が可能となっている。一方、光学異性体である D-Hyp は選択的合成が困難であるため、その実用的な生産法が求められている。

昨年度の検討において、微生物における Hyp 代謝経路に着目し、ゲノム情報を利用した酵素の探索を行った結果、根粒菌 *Mesorhizobium loti* および *Sinorhizobium meliloti* から Hyp エピメラーゼを見出している。当該酵素を利用し、安価な L-Hyp をエピメリ化することによって D-Hyp の合成を可能となる。今年度は、本成果を踏まえ、実用的な休止菌体反応系による物質生産を検討することとした。精製酵素系における酵素特性の解析、大腸菌内での遺伝子発現状況を踏まえると、*M. loti* 由来 Hyp エピメラーゼ (HypE) が D-Hyp 生産に適していると考えられた。そこで、HypE 遺伝子高発現大腸菌の休止菌体を調製し、D-Hyp 生産における微生物触媒として用いた。基質は *trans*-4-L-Hyp および *cis*-4-L-Hyp を利用した。30℃、pH8.5、OD₆₀₀: 20 の条件にて変換反応を実施したところ、*trans*-4-L-Hyp 500 mM から *cis*-4-D-Hyp 216 mM が生成し、反応開始 3 時間で平衡に達していた。一方、*cis*-4-L-Hyp 500 mM からは *trans*-4-D-Hyp 277 mM が生成し、6 時間で平衡に達していた。通常のラセミ化反応とは異なり、いずれの反応も平衡が *trans*-体生成側に偏っていた (Fig.)。

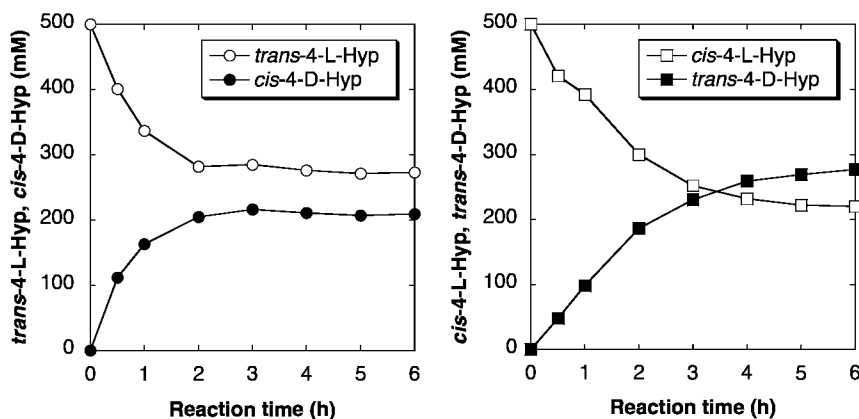


Fig. Production of D-Hyps using *Escherichia coli* whole cell reaction.

3. 共同研究者

古屋俊樹 (早稲田大学・理工学術院・助教)

新井利信 (早稲田大学・理工学研究所・次席研究員)

原良太郎 (早稲田大学・先端科学・健康医療融合研究機構・次席研究員)

広川安孝 (早稲田大学・理工学研究所・助手)

4. 研究業績

4.1. 学術論文

T. Furuya, M. Hayashi, H. Semba, K. Kino, The mycobacterial binuclear iron monooxygenases require a specific chaperonin-like protein for functional expression in a heterologous host, *FEBS J.*, **280**, 817–826 (2013).

T.M. Bach, R. Hara, K. Kino, I. Ohtsu, N. Yoshida, H. Takagi, Microbial production of N-acetyl *cis*-4-hydroxy-L-proline by coexpression of the Rhizobium L-proline *cis*-4-hydroxylase and the yeast N-acetyltransferase Mpr1, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **97**, 247–257 (2013).

T. Furuya, Y. Arai, K. Kino, Biotechnological production of caffeic acid by bacterial cytochrome P450 CYP199A2, *Appl. Environ. Microbiol.*, **78**, 6087–6094 (2012).

4.2. 総説・著書

木野邦器, “ペプチド合成活性を有する微生物酵素の探索と有用短鎖ペプチド合成法の開発”
Peptide Newsletter Japan, **85**, 4-11 (2012).

木野邦器 (分担執筆), “微生物酵素を活用した新世代の有用物質生産技術”, 監修穴澤秀治,
第6章 微生物酵素を用いたペプチド製造法の開発, pp.148-157, シーエムシー出版, 大阪,
2012年. 総頁数: 223.

4.3. (招待)講演

木野邦器, “機能性ペプチドの開発に向けたペプチド合成法の構築” (Development of the method
for enzymatic synthesis of peptides), 第16回生体触媒化学シンポジウム: 生体触媒化学研究会 S-08,
p.24 (招待講演), 富山県民会館 (富山), 2012年11月30日

4.4. 受賞・表彰

古屋俊樹、第13回酵素応用シンポジウム研究奨励賞 (2012年、天野エンザイム株式会社) .

4.5. 学会および社会的活動

古屋俊樹、木野邦器, “P450モノオキシゲナーゼ (P450cam) を利用したヒドロキシアダマンタノ
ンの生産”, 第68回酵素工学研究会、2012年10月、東京

原良太郎、木野邦器, “根粒菌由来ヒドロキシプロリンエピメラーゼの解析と D-ヒドロキシプロリ
ンの合成”, 2012年度日本生物工学会大会、2012年10月、兵庫

R. Hara and K. Kino, “Regio- and Stereoselective Synthesis of Various Hydroxyprolines Using
Microbial Hydroxylase and Epimerase”, 15th International Biotechnology Symposium and
Exhibition, Daegu, Korea, September 2012.

古屋俊樹, “*Mycobacterium*属細菌が有するユニークな酸化酵素の機能解析と応用”, 第13回酵素応
用シンポジウム、2012年6月、名古屋【第13回酵素応用シンポジウム研究奨励賞受賞講演】

T. Furuya, K. Kino, “Cytochrome P450 CYP199A2: a biocatalyst for the oxidation of various aromatic
carboxylic acids”, the 12th Japan-China-Korea Joint Symp. on Enz. Engineering, Kanazawa, May 2012.

他5件

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、CYP199A2の立体構造に基づいた遺伝子工学的改変により
カフェ酸合成酵素を創製し、組換え大腸菌を触媒としてカフェ酸の高生産に成功した。一方で、本
酵素は多様な芳香族カルボン酸に酸化活性を示すが、カルボキシル基を有さない基質に対しては活
性を示さないために用途が限られている。そこで来年度は、CYP199A2の基質選択性を立体構造に
基づいて遺伝子工学的手法により制御し、カルボキシル基を有さない基質に対しても酸化活性を付
与することを目指す。次に、水酸化アミノ酸合成研究では、HypEを高発現させた大腸菌の休止菌
体を微生物触媒として用いることで、シンプルな反応系において高濃度の *cis*-4-D-Hyp および
trans-4-D-Hyp を生産することに成功した。しかし、医薬品原料として D-Hyp を利用するには高い
光学純度が求められるため、反応系内に残存する L-Hyp の除去が必要となってくる。L-Hyp を選択
的に分解する微生物を探索し、作用させることにより光学純度の高い D-Hyp を取得できると予想
される。

人間中心機械の設計と制御に関する研究

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

本研究は、知的な機能をもった機械に関して、人間のためのインタフェース設計理論のフレームワークを構築することを目的とする。近年、コンピュータ技術、機械制御技術、機械設計・製造技術の進展により、産業用ロボットをはじめ機械応用は大きく進展した。しかし、人間が関わる領域での機械応用は未だ少ない。その理由は機械のハード、ソフト両面において、人間が触れる、あるいは利用すると言う観点での技術不足、理論不足であると考えられる。そこで本研究では、まず、「音・ことば」といったメディアを通した人間－機械インタフェースに着目し、人間からみた機械のあるべき姿を、文理融合の多角的アプローチで彫りだし、ヒューマンインタフェース設計理論を構築する。

具体的には以下に示す3つのサブテーマに取り組んだ。

A) 仮想の運動教示者への身体イメージ転移による見まね運動学習の促進

我々が新たな運動技能を獲得するとき、目標動作を実行する教師を観察して模倣する見まね運動学習を行う。人は見まね運動学習により、歩行や言語の発音といった日常生活に欠かせない基本的な動作から、スポーツにおける動作や楽器の演奏といった高度な運動技能まで様々な運動技能を獲得していると考えられている。

目標動作を模倣するには、脳は観察により認識した目標軌道から、それを自らの身体で実現するための運動司令を生成できるようにならなければならない。運動指令は観察により直接知ることができないため推定する必要があるが、筋骨格系の持つ冗長な自由度の下で、運動に関わる多数の筋肉を適切に制御することで滑らかで速い運動を実現しなければならず、目標軌道を実現する運動指令のパターンを取得することは計算理論的に極めて困難な問題である。

一方で、ミラーシステムと呼ばれる脳の仕組みの存在が報告されており、人間は他者の運動を自己の運動と共通のしくみを用いて認識していると考えられている。ミラーシステムは自己と他者の身体的相違にもかかわらず活動することから、見まね運動学習との関係が示唆される。本研究では、身体イメージ転移錯覚を利用することで、人間が本来持つ他者身体運動認識能力を最大限に発揮させることによる見まね運動学習支援の可能性を検証する。

B) 複数のマイクを用いた足音検出に関する研究

近年、ロボットなど様々な移動機械が、人間の行動空間内において作業や支援をすることが求められている。特に、室内などの限定された空間で、人間との衝突や接触を避けるためには、歩行者の検出が重要となる。人間の歩行を検出する手法としては、カメラを用いた手法や、圧力センサを用いた手法などが提案されている。しかし、これらの手法では、センサのカバーエ

リアが限定されるため、広範囲を移動する人間を検出することは難しい。また、照明・接触面の変化や、センサの死角、他の歩行者や障害物によるオクルージョンに性能が大きく影響を受けてしまう。これに対し、全方位距離センサを、複数設置する手法などが考えられるが、設置コスト面において課題がある。

本研究では、音響情報による歩行者検出を目指し、音響情報による足音検出を扱う。音響情報は、カバーエリアが広く、設置コスト面で有利であること、画像を用いないため、プライバシー保護の観点から有利であること、必要であれば画像など既存センサと組み合わせて性能向上が図れることから、その有用性は大きい。

C) 階層トピックモデルを用いて検索対象を広げる探索的な文書検索支援

電子化された情報は日々増え続けており、大量の情報の中から求める情報を探す必要性は増している。その中で、事実検索や質問応答など単一の要求によるキーワード検索にとどまらず、学習や調査、会話など抽象的な要求に基づいた探索的検索が注目されている。探索的検索は、必要な情報を抽出して検索対象を絞り込む具体化プロセスと、検索結果への理解・発見・構造化を通して検索対象を広げる遷移・抽象化プロセスの繰り返しである。

本研究では、遷移・抽象化プロセスを含めて探索的な文書検索を支援する方法を考える。そのためには、ユーザの求める検索対象の抽象度を推定することで、検索対象に含まれない情報を適度な範囲でユーザに推薦できる枠組みが必要である。しかし従来研究では、検索対象を絞り込む案内や、関連情報の推薦を行う検索支援が多く、検索対象を広げる支援方法は十分に検討されていない。そこで、①文書群から学習したトピックの階層構造上にユーザの情報要求を確率的にマッピングし、②行動履歴から確率分布を対話的に更新し、③階層構造と確率分布のばらつきによって求める検索対象の抽象度を推定する検索支援方法を提案する。また、ユーザ実験によって得られた検索行動から、提案方法の有効性やその条件などを検証し、支援方法の課題を検討することも本研究の目的である。

2. 主な研究成果

A) 仮想の運動教示者への身体イメージ転移による見まね運動学習の促進

図1に示す装置を用い、液晶モニタに表示した仮想の手に対しラバーハンドイルージョン様の錯覚を生起した状態で、仮想の手が示す動作を見まね運動学習させる実験を行なった。この実験を20～25歳の大学生20名（男性13名、女性7名）に対し行なった。まず被験者に視触覚刺激を1分間呈示した後、親指以外の4本の指により8回ボタンを押す目標動作を仮想の手が実行する映像を呈示する。その時、被験者には仮想の手による目標動作を見ながら、同時にその動き模倣するよう入力装置のボタンを押してもらった。このように仮想の

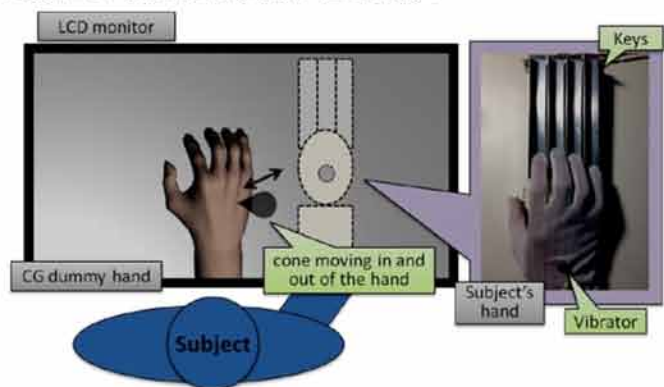


図1 錯覚を利用した運動教示装置

手の実行する映像を呈示する。その時、被験者には仮想の手による目標動作を見ながら、同時にその動き模倣するよう入力装置のボタンを押してもらった。このように仮想の

手の動きを見ながらボタン押しをする練習を5回繰り返した後、仮想の手の映像を見ることなく目標動作を再現してもらうテストを1回行なった。そして、練習とテストにおいて被験者がボタンを押したタイミングを記録した。以上の手順で、視触覚刺激を時間的に同期・非同期させる2つの条件に対し、被験者1人当たりそれぞれ10セット行なってもらった（各条件に対し練習計50回、テスト計10回）。

その結果、錯覚がより強く生起される同期の条件の方が、非同期の条件に比べボタンを押すタイミングの誤差がより早く減少した。特にテストの試行においては、非同期の条件で被験者全体の誤差平均が11.9%減少したのに対し、同期の条件では22.7%とおおよそ2倍の誤差減少がみられた。この結果から、運動教示者への身体イメージ転移による見まね運動学習の促進の可能性が示唆された。

B) 複数のマイクを用いた足音検出に関する研究

本研究では、複数のマイクロホンに環境に設置することで、SNRの低い足音検出を可能にすると同時に、複数のマイクロホンを用いることによって得られる足音の位置情報を利用することを提案した。さらに、足音以外の音響信号が混在する中でも足音のみを検出することを目指して、足音識別手法の基礎的な検討を行った。また、提案手法に対して、実際に収録した足音、音声、拍手の3種類の音響信号に対して、様々な雑音レベルで識別性能評価を行った。

本システムを評価するために、図2に示すグリッドの格子点に合計8本のマイクロホンを設置し、歩行者の検出実験を行った。音源

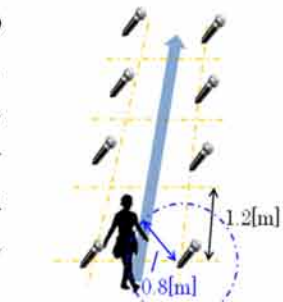


図2 マイクロホン配置

の録音条件、及びSNRを20[dB]から0[dB]に変化させた雑音付加信号を用いて、提案手法の雑音頑健性の評価を行った。さらに、マルチチャンネル特徴量の有効性を調べるため、足音・拍手・音声の識別率を、単チャンネル特徴量のみを用いた場合と比較した。その結果、足音以外の音響信号が混在する、信号対雑音比が低い環境下における、足音検出の検討を行った。単チャンネル特徴量に比べて、マルチチャンネル特徴量を用いると、識別率の雑音頑健性が向上することが確認され、複数のマイクロホンによる足音検出の有効性が示された。

C) 階層トピックモデルを用いて検索対象を広げる探索的な文書検索支援

本研究では、検索支援を実装するにあたり、検索エンジンと検索支援を互いに独立した処理として、検索画面と支援画面を並列したシステムを構築した(図3)。検索画面は、ユーザのキーワード検索や文書アクセスに対して検索結果や文書を表示し、推定した確率分布とは関係なくユーザの行動に対して決定的に動作する。支援画面は、検索結果や文書アクセス



図3 検索支援システム

と同時に情報推薦や案内を行う検索支援を表示し、推定した確率分布に基づいて用いて適応的に動作する。

提案するシステムを評価するために、一般募集した被験者に対して、6つのレポート課題を書くための材料を新聞記事検索によって制限時間内に集め、そのテーマを決める設定でユーザ実験を行った。具体化や抽象化のプロセスを明示的に引き出すために、6課題のうち3課題は、与えられた問題から検索対象を絞り込んで具体化したテーマを設定する具体化課題とし、残り3課題は、与えられた問題にとらわれず検索対象を広げて抽象化したテーマを設定する抽象化課題とした。また検索支援方法として、①ベースライン（コサイン類似度やクラスタリングに基づく従来の支援）、②提案方法で履歴を使わない支援、③提案方法、の3条件を設定し、課題ごとに条件の組み合わせを変えた。

実験結果として、提案手法によって対話的なマッピングで求める抽象度を推定できていることが確認できた。また、抽象化課題でユーザが有用だと判断した登録記事の数と内容の広がりや文書間の距離の和によって表すと、提案手法では他の手法に比べて広い範囲の情報を得られており、検索対象を広げる支援としての効果が確認できた。

3. 共同研究者

- 辻野 広司 Hiroshi Tsujino (株)ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン)
 中野 幹生 Mikio Nakano (株)ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン)
 中臺 一博 Kazuhiro Nakadai (株)ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン)
 仁科 繁明 Shigeaki Nishina (株)ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン)

4. 研究業績

A) 国内会議

- ・ 山崎翔太，中野幹生，船越孝太郎，菅野重樹，“質問意図の曖昧性を考慮して対話を行う情報検索対話システム”，人工知能学会全国大会，2012年，6月
- ・ 石井孝洋，金天海，仁科繁明，菅野重樹，“身体イメージ転移に対する視触覚刺激の時間的同期性の影響”，人工知能学会全国大会，2012年，6月

5. 研究活動の課題と展望

A) 仮想の運動教示者への身体イメージ転移による見まね運動学習の促進

今年度の研究では手指の運動を対象とした検討を行ったが、今後は全身運動に関して錯覚を利用した運動教示を行うことが可能か検討する必要がある。

B) 複数のマイクを用いた足音検出に関する研究

今年度はノイズ環境下において、足音と拍手・会話を判別する手法について検討を行ったが、今後は対象とする音の種類を増やす必要がある。それに伴い、音の種類を表す特徴量の再検討などを行う必要がある。

C) 階層トピックモデルを用いて検索対象を広げる探索的な文書検索支援

今年度の研究では、機械学習の手法を用いてあらかじめ知識データベースを構築する必要があり、計算量が膨大となるため1年分の新聞記事を扱うことしか出来なかった。今後は、知識データベースの構造やユーザの検索履歴の利用方法を見直し、大規模な情報資源から直接曖昧性を計算したり、自動的に聞き返しを生成したりする枠組みの構築を試みる。

応用音響

研究代表者 山崎 芳男
(基幹理工学部 表現工学科 教授)

1. 研究課題

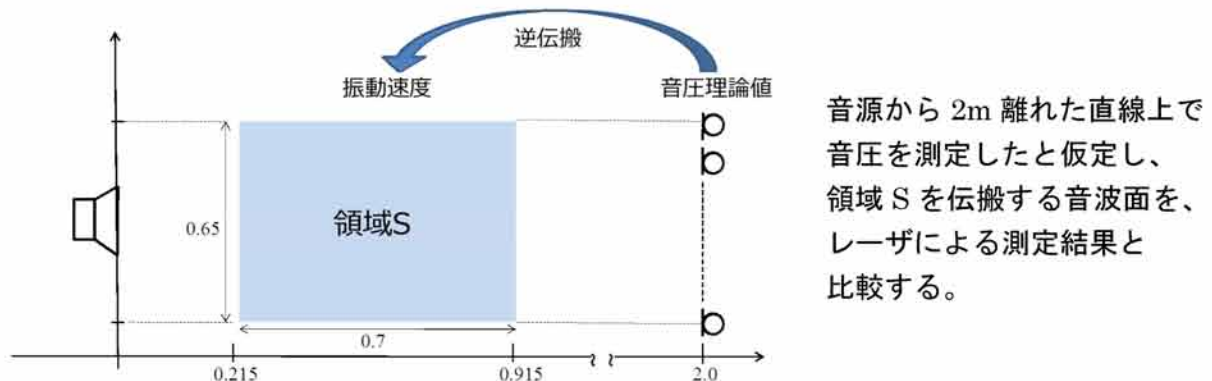
本プロジェクトの目標は、人間にとって最も基本的なコミュニケーション手段である音を「ありのまま」収録・再生する技術の開拓である。具体的には音コミュニケーション空間を再構築する際に必要な空間的かつ時間的な特性を把握する手法の開拓を課題としている。この際、非専門家を含む多数の人間に音場の特性を正確かつ直感的に理解できるよう、必要な物理量との関係が明快な結果の視覚化を主眼としている。

2. 主な研究成果

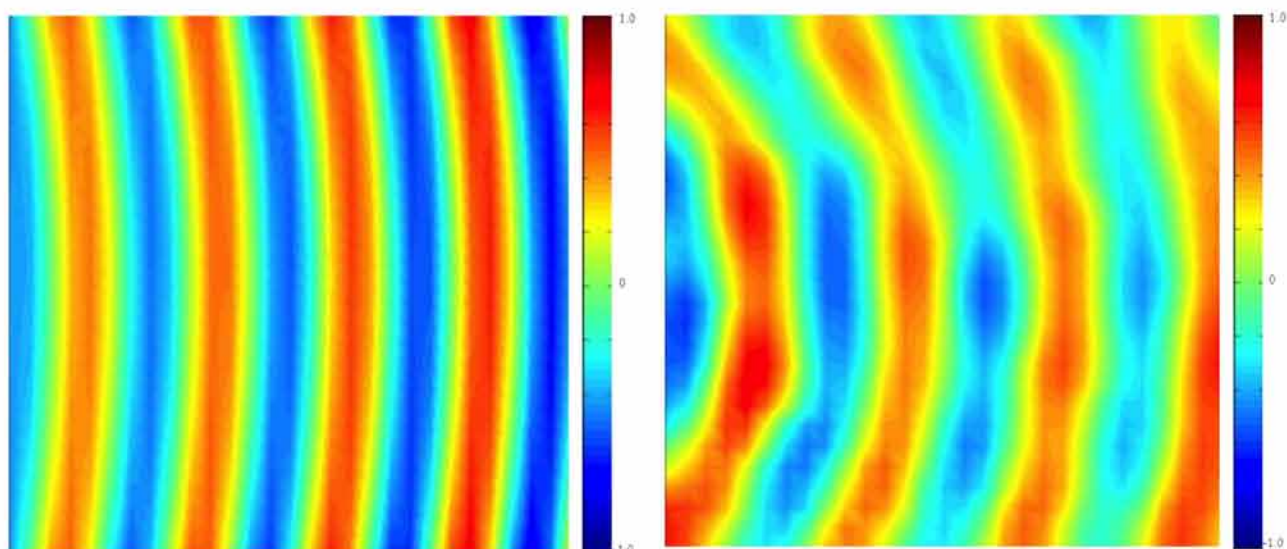
音コミュニケーションを観測・解析する手法として、従来のトランスデューサ（音響・電気変換器）とは異なる原理による音情報の獲得を実現した。具体的には、音響ホログラフィを用いた音場観測、高速度カメラを用いた口唇・頸部からの音声取得などである。また聴覚障害者の受聴を主用途として想定した、歯骨伝導アクチュエータを試作した。

2.1 近距離音響ホログラフィ法を用いた音場の観測

近距離場音響ホログラフィ法（Near-field Acoustical Holography method : NAH 法）は音源近傍の平行面で測定した音圧から逆伝搬の計算を施し、表面振動速度を再構成する手法である。本プロジェクトでは音場の媒質空気の疎密変化を照射レーザの経路変化として計測することにより、音情報を抽出する手法の研究を続けている。この際計測されるのは、レーザが音場を通過する線上の積分値となる。従って対象音場から離れた平面での測定値から逆伝搬計算して速度の変化を計測することができれば、三次元任意点の音情報の検出が可能となる。これに先立つ基礎研究として、スピーカ再生音場（音源信号は正弦波）を NAH 法でシミュレーション計算した結果と測定した結果との比較検討を行った。図－1 にシミュレーション・測定条件、図－2 に結果比較例を示す。



図－1 シミュレーション・測定比較条件



a. NAH 法シミュレーション結果

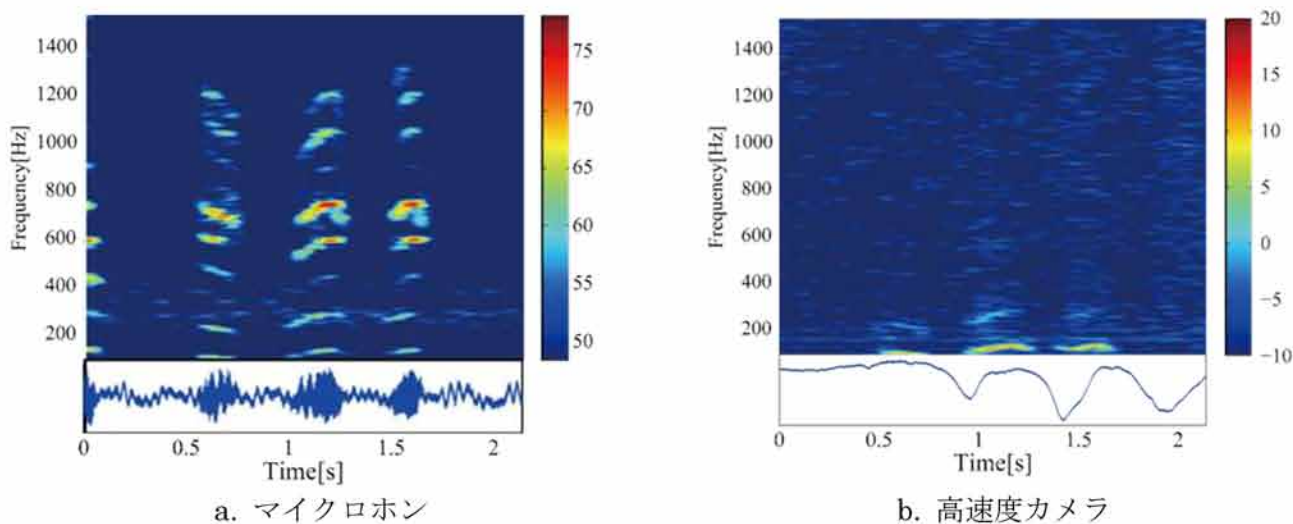
b. レーザによる測定結果

図-2 音波面シミュレーション・測定比較結果例 (2kHz の正弦波)

2.2 高速度カメラを用いた音声情報の取得

本研究は人の声質やイントネーションといった個人性も含めた発話内容の取得を、画像情報のみから目指す試みである。高速度カメラを用いることで発話音声による振動が直接記録であるので、文字情報としての発話ではなく音声情報としての発話を記録し、声質やイントネーションの記録することが可能である。また、映像中の解析区間を任意の設定、同時に複数点の情報の取得が可能という高速度カメラの利点を生かせば、映像中のある話者について解析可能であるので周囲の雑音の影響を受けず、映像中の複数人の話者分離のツールとしても利用できると考えられる。

図-3は成人男性が発話した単語「/tawara/」をマイクロホンと高速度カメラ撮影画像（頸部）から取得した信号のスペクトログラムを比較した例である。



a. マイクロホン

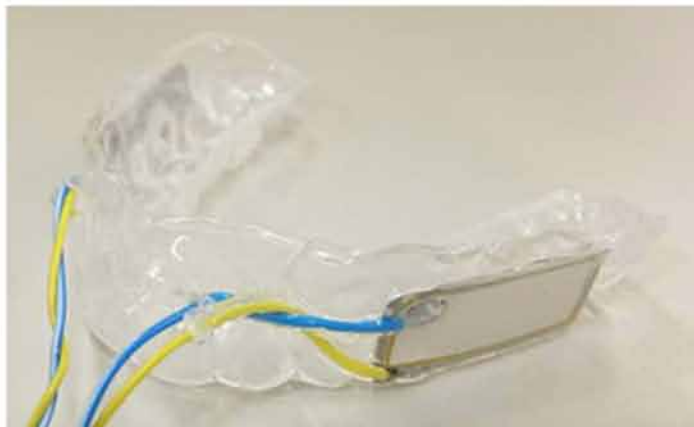
b. 高速度カメラ

図-2 男性発話単語「/tawara/」スペクトログラム例

2.3 歯骨伝導アクチュエータを使用した音情報の取得

骨導音は、音波によって生じる頭蓋骨の振動が、鼓膜を介さずに直接蝸牛に達することによって

知覚される音である。外耳および中耳に障害を抱えている場合であっても、内耳が正常であれば受聴することが可能であり聴覚障害者への聞こえ支援手段として有効である。また健常者に対しても周辺騒音が大きい状況下での受音システムとして有用である。骨伝導受音システムは古くから研究されているが、通常耳珠や乳様突起といった部位にアクチュエータ設置する事が多く、皮膚等の生体組織の影響を受けやすい。これに対し歯は皮膚で覆われていない部位でありアクチュエータで加振した場合に皮膚の影響を全く受けないので、効率よく振動を伝搬する事が可能であると考えられる。本研究では2種類の歯骨導音アクチュエータを作成し、さらに無線化についても検討を行った。図-3に試作したマウスピース型アクチュエータを、図-4に試作アクチュエータを用いて受音した音声のスペクトログラム例を示す。これら実験において歯骨伝導アクチュエータが新しいコミュニケーションエイドデバイスとして有用であることを確認した。

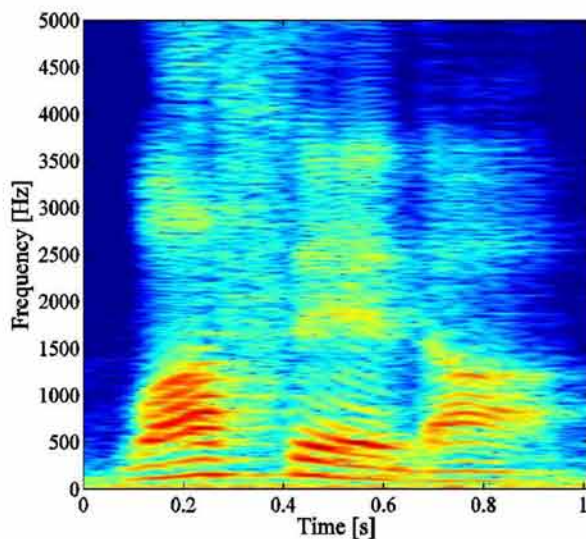


a. 有線方式

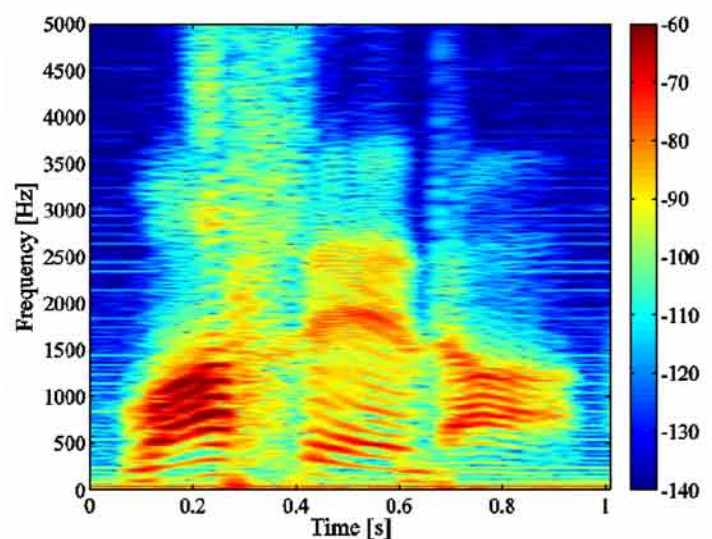


b. 無線方式

図-3 試作したマウスピース型骨伝導アクチュエータ



a. 騒音計マイクロホン



b. 歯骨伝導アクチュエータ

図-4 収音された音声信号のスペクトログラム例（「waseda」発声時）

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）

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)	及川 靖広 (理工学術院 教授)
米山 正秀 (東洋大学 名誉教授)	東山 三樹夫 (理工学術院 客員教授)
小野 隆彦 (IT 研究機構波動コミュニケーション研究所 客員教授)	
武岡 成人 (静岡理工科大学 講師)	池田 雄介 (東京電機大学 CREST 研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- 1) "歯骨伝導アクチュエータを用いたコミュニケーションエイド," 村松未輝雄, 及川靖広, 山崎芳男, 黒澤潤子, 電子情報通信学会論文誌, 基礎・境界ソサイエティ, Vol.J95-A, No.7, pp.623-630, 2012 年 7 月.
- 2) "Extraction of sound field information from high-speed movie of flowing dust," Mariko Akutsu, Yasuhiro Oikawa, Yoshio Yamasaki, Acoust.Sci.&Tech., Vol.33, No.5, pp.316-319, 2012.9.
- 3) "The driving system for piezoelectric speaker with low power consumption," Jun Kuroda, Yasuhiro Onishi, Motoyoshi Komoda, Yasuhiro Oikawa, Yoshio Yamasaki, Acoust.Sci.&Tech., Vol.33, No.6, pp.372-375, 2012.11.
- 4) "小空間における固有周波数の集合的特徴とその応用," 藤森潤一, 及川靖広, 山崎芳男, 日本音響学会誌, Vol.69, No.1, pp.16-23, 2013 年 1 月.

4.2 総説・著書

- 1) "ブラジル日本移民史料館レコードの非接触技術による読み取りとその意義," 山崎芳男, 八十島乙暢, 西川侑希, 黒澤潤子, 武岡成人, 大内康裕, 及川靖広, 森本豊富, トランスナショナルな「日系人」の教育・言語・文化・過去から未来に向かって-, 明石書店, pp217-232, 2012 年 6 月.
- 2) "メイド・イン・ジャパン 1 ビット $\Delta \Sigma$ 技術," オノ セイゲン, 山崎芳男, PC オーディオ fan, No.6, pp.66-67, 共同通信社, 2012 年 4 月.

4.3 招待講演

- ・ "聴こえを支える身近な道具," 山崎芳男, 日本音響学会春季研究発表会, 2013 年 3 月 14 日.

4.4 学会および社会的活動

2012 年 10 月 24 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 24 年度第 3 回アコースティックイメーシング研究会を開催した。講演件数は 5 件であった。

5. 研究活動の課題と展望

上記の方法により得られた音情報を細大洩らさず記録・伝送・再生可能とする機器を、研究代表者らが提案する高速 1bit 信号処理技術を元に開発し、実環境下における諸特性を把握する。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。

景観まちづくり研究

研究代表者 後藤 春彦
(理工学術院・創造理工学部・建築学科・教授)

1. 研究課題

本研究は、縮減社会の到来という転機を迎えた現在にあつて、景観まちづくりの実践的な取り組みを通して、20世紀型の都市計画技術を刷新し、時代が要請する景観まちづくりの理論的枠組みを構築していくことを目的とする。

景観まちづくりのマネジメントを地区住民が担っていくことは、景観のコモンズとしての特性を理解することが前提となる。そして、地区居住者が、資産としての景観を維持、管理していくことができるようなマネジメントの仕組みが必要となる。市場経済万能論から脱却し、地区レベルでのコミュニティ自治を再構築していくことで、居住者自身がマネジメントを担っていくための方法論の構築を目指す。

2. 主な研究事業

2.1 加美町まちなみづくり100年運動

宮城県加美郡加美町は、平成15年に中新田町、小野田町、宮崎町が合併した農村地帯であり、我が国の中山間地域にみる、中心市街地の衰退や農村集落の消滅を課題として抱えている。また、衰退や消滅において地域固有の資源が見失われつつあり、住民自治の展開が今まで以上に困難であることが予想される。

本活動は、「美しいまちなみづくり100年運動」として豊かな自然に恵まれた加美町らしい「美しいまちなみづくり」を中長期的に進める為に、住民主導型の持続可能な景観づくりの方針と実行力のある体制と仕組みづくりの発展を目指す。実現にあたって、「まちづくり・オーラルヒストリー」調査を実行し全町的に身近な生活を中心とした歴史の収集を行い、「地域とコミュニティ」「なりわい」「暮らしと生活」「学校生活」「遊び」「歴史的文化」「自然と災害」といった生活に関連したテーマに整理した。これらを活用して「世間遺産発掘ワークショップ」を行い、町民と新たな地域の魅力の共有と発見を試みた。また、調査・ワークショップで集めた情報を定期的に新聞（加美町景観だより）にとりまとめ全世帯配布を行うと共に Facebook 等のソーシャルネットワークを活用し情報の公開と若手のネットワークを広げ、町民が情報を共有できる場を形成した。

今後も町民の生活と環境の応答関係による、加美町ならではの「生活景史」に編纂し、新たな地域魅力や独自の文化資源の発掘と共有を行い、持続性と実行力のあるまちづくりへと発展させることを目的としている。

3. 共同研究者

佐藤 宏亮（理工学術院 助教）

馬場 健誠（理工学術院 助手）

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郊外自立生活圏の住環境特性に関する研究」日本建築学会計画系論文集 77(676), 1381-1390, 2012-06

山近 資成, 後藤 春彦, 山村 崇「居住支援をはじめとする極小エスニック集団の支援ネットワークにおける宗教施設の1役割: ミャンマー人チン族を事例として」都市計画論文集 (47), 955-960, 2012

横内 秀理, 後藤 春彦, 佐藤 宏亮「母親の地域参加からみた育児支援事業を支える商店街とNPOの協同関係構築プロセス: 東京都練馬区ニュー北町商店街育児支援事業「かるがも親子の家」を対象として」都市計画論文集 (47), 1033-1038, 2012

4.2 総説・著書

後藤 春彦 ほか「英国農村における新たな知の地平 -Centre for Rural Economy の軌跡-」農林統計出版 2012.7

4.3 招待講演

2012 年

4月26日 講演「景観を巡る思考」ローカルデザイン研究会 田町女性就業支援センター

5月11日 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

6月16日 講演「他山之石: 日本社区营造之新思维」台湾大学建築與城鄉研究所 台湾大学総図書館国際会議廳

7月22日 講演「市民自治と景観」伊勢市まちづくりシンポジウム 伊勢都市計画連絡協議会 いせシティプラザ

8月22日 講演「Urban Renaissance in Tokyo and Redevelopment on Public Land」The Construction and Planning Agency of the Ministry of Interior Affairs (台湾・内政部営建署)

9月12日 PD「場所性・地域継承空間システムと都市建築のフロンティア」日本建築学会総合論文誌委員会 名古屋大学ES総合館ESホール (+鈴木博之、陣内秀信、布野修司、神吉紀代子、宇杉和夫、菊池成朋、伊藤裕久ほか)

10月20日 基調講演「Lifescape: Discovery of Close Landscape Values and Community Empowerment」Tangible Cultural Heritage International Conference 台湾・新北市政府 淡江中學藝能大樓一樓

10月23日 基調講演「公共空間と屋外広告」景観まちづくりシンポジウム 新宿の広告景観を考える美しい東京をつくる都民の会・新宿区 新宿文化センター・ホール (+進士五十八、太田幸夫、中山弘子)

11月8日 PD「復興と防災まちづくり」区画整理フォーラム 2012 全国土地区画整理事業推進協議会 JA 共済ビル (+高見公雄、小山潤二、佐谷和江、新屋千樹)

11月9日 基調講演「あづましい景観をめぐる思考」景観フォーラム 弘前市 弘前ホテルニューキャッスル

11月29日 PD「巨大災害から生命と国土を守る 三十学会からの発信」日本学術会議学術フォーラム 日本学術会議講堂

11月23日 基調講演「まちづくり最前線」早稲田大学地域交流フォーラム ホテルフジタ福井

11 月 29 日 PD「巨大災害から生命と国土を護る」日本学術会議学術フォーラム 日本学術会議講堂

11 月 30 日 基調講演「持続可能な都市と地域のデザイン」日本都市計画学会九州支部 20 周年事業 福岡ガーデンパレス

2013 年

1 月 16 日 講演「アートの力で街は変わる 居心地の良い空間の作り方」 三沢市役所 三沢市商工会ホール

1 月 22 日 基調講演「持続可能でスマートなまちづくり」第 36 回都市計画セミナー 日本都市計画学会 早稲田大学国際会議場

4.4 学会および社会活動

日本都市計画学会・会長

日本建築学会・代議員（第 12 期）

日本建築学会農村計画本委員会・委員

日本建築学会賞作品部会・委員

5. 研究活動の課題と展望

研究成果をとりまとめ出版し、社会に還元するとともに、まちづくりの実践をこころみること。また、これまでの研究蓄積を活かし持続可能な景観計画技術の構築を試みること。

バイヨンを中心としたアンコール回廊の調査・研究と

重要遺構の保存修復計画案の策定

研究代表者 中川 武
(理工学術院 教授)

1. 研究課題

今日のカンボジア領土を中心として巨大な版図を擁したクメール帝国は、寺院建築を中心とした大小様々な無数の地方拠点となる宗教施設と、それらを連絡する幹線道路を通じて、往時の首都であるアンコールを核とした一つの緊密な文化圏を築いていた。しかしながら、こうしたクメール遺跡の中でも、観光地として近年急速な発展を遂げているシェムリアップに一極集中して、観光開発、保存修復事業、学術的関心が寄せられている。本研究では、こうしたシェムリアップに位置するアンコール遺跡群の中でも、地理的にも歴史的にも一つの極点をなしている王城アンコール・トムを中心寺院バイヨン遺跡の保存修復と調査研究を進め、またこれと並行して、周縁部に広がる重要なクメール遺跡の基礎調査を実施し、アンコール遺跡を回廊状に連結して理解を深め、将来的な文化観光整備のマスタープランを策定しようとするものである。



2. 主な研究成果

2-1. バイヨン寺院保存修復・調査研究

外回廊南東隅塔（塔 57）の修復工事：2011年 11 月より新たに開始された外回廊南東隅塔（塔 57）の修復工事であるが、2012年度は、遺構の修復前記録、散乱石材の現位置記録・移動・同定・仮組み、基壇の部分解体・仮構築、基壇間隙の補修、砂岩石材の補修、部材の発掘調査を行った。修復前記録作業では、修復工事開始前の平立断面（約 30 図面）の作成を行い、野帳の CAD 化作業、部材への番付、および破損状態の記録等の作業を行った。

T57 周辺に散乱する多数の石材に関しては、各石材の現位置記録後、部材の組み合わせと原位置を特定するための仮組み作業を進め、大多数の散乱石材の原位置の特定が完了している。基壇の部分



解体においては、内部構造の確認を行い、全面解体は不要であるが、基壇周縁の一部では構造安定化のために解体再構築が有効であると判断した。外周壁および歩道に生じる亀裂（石材間の間隙）については、それぞれに基準を設け、ポリマー・セメント・モルタル、粘土砂、ラテライトチップを用い適切な処置を施した。また、T57 に隣接する参道脇の沐浴池における考古学的発掘調査では、30 個の建造石材、および多数のクメール陶器と貿易陶磁器が発掘された。

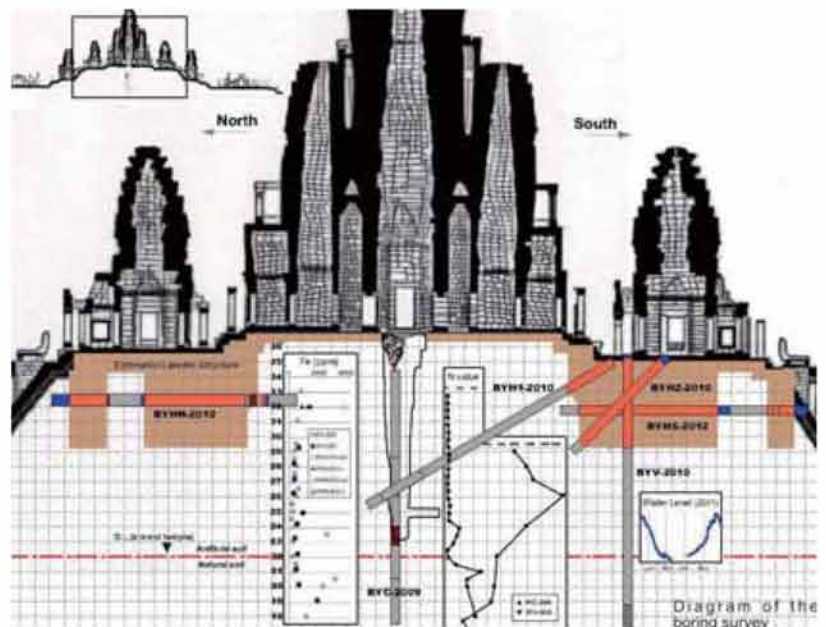
外回廊浮き彫り壁面・尊顔部材の散乱石材同定調査：外回廊東側には多数の浮き彫りが施された石材が散乱しており、それらの石材の同定・仮組み作業を進めた。また、寺院周辺の散乱石材の中には複数の尊顔彫刻の部材が含まれていることも確認されている。そのため、修復工事の対象である塔 57 の上部にも尊顔が刻まれていた可能性があり、塔の復元研究のためにも散乱している尊顔部材の同定調査を継続している。



内回廊浮き彫りの保存方法の研究：バイヨン寺院の長大な浮き彫りは、クメール王国の歴史や庶民の生活などが残された貴重な文化遺産であり、この素材である砂岩の強化が保存のための重要な課題である。全体の約半分の内回廊屋根が崩壊しており、屋根が現存しない箇所における石材劣化が顕著であることが観測されている。これまで、耐候性試験と周辺環境調査とを平行して行っており、耐候性試験では、二つの試験—強化剤投与後の暴露試験と撥水材塗布後の耐候試験—より、強化材料と撥水材の耐候性が徐々に明らかになりつつあり、擬岩を用いた修復・補充材の実験では、オリジナルの砂岩と同じように擬岩の表面処理を施すことによって耐候性を調整できることが明らかになった。2012 年度は、これまで JASA が歩道等の他の箇所で使用してきた消石灰モルタルの屋根への適性を判断するために、3 種類の構成比を用意し、暴露試験等を行った。

中央塔の恒久的保存方法の研究：

本研究では、基礎構造調査（地下探査、考古学的発掘調査、ボーリング調査）、および振動調査を主として行ってきた。これまでの基礎調査では、1933 年に行われた EFEO による発掘調査の埋め戻し土の強度が低いこと、中央塔の直下には壁体を支えるための組石造の構造体がないことの二点が明らかとなった。この事実をもとに進めた調査では、直接の支持構造体はないが、中央塔群の外縁部にラテライトの構造体の存在が明らかになっていた。2012 年には、さらに詳細な調査を行い、中央テラスの内部構造の大部分が明らかとなった。



考古学的発掘調査：2007～2008 年に南経蔵と中央塔の発掘調査、2009～2010 年にバイヨン寺院南東外郭部の発掘調査を行った。東外郭部の発掘調査では、今後のクメール文化の解明の鍵となる重要な要素が多く発見された。特に、14 世紀前半に行われた大規模土木工事と推定される整地、石

材加工や金属生産関連の遺構、排水施設、古期遺構の占地または道路を示唆するとみられる 2 本 1 対の細い溝状区画、豊富に出土した陶磁器類など、バイヨン造成過程の解明とクメール文化の解明の両方に資する貴重な発掘が多くあった。これら南経蔵と南東部外郭部の発掘調査を基に、バイヨン寺院造成過程における検証も行った。

バイヨン寺院本尊仏再安置計画：

バイヨン寺院中央にかつての本尊仏を安置する計画の一部として、その原寸大レプリカを制作する。

2011 年 12 月よりレプリカ制作のための準備を開始し、カンボジア北部のプレア・ヴィヘア州より総重量約 21 トンにも及ぶ石材を調達、プラサートスーブラ前の基礎に設置した。2012 年 8 月および



2013 年 3 月に、現地へ仏像彫刻師の日本人専門家を招き、現場での直接指導を依頼した。本レプリカ制作では、忠実に再現するために、現存する本尊仏の三次元測量データ等を活用しており、これまでのところ順調に彫り出し作業が進められている。

ナーガ像・シンハ像の修復：2012 年 8 月より、バイヨン寺院の景観改善のために日本ユネスコ協会連盟と共同で、バイヨン寺院の崩壊・損傷しているナーガ・シンハ像の修復および原位置への設置を行うプロジェクトを開始した。2012 年度は事前調査を行い、修復必要箇所の選定、新材の加工等を順次進めている状況である。

2-3. 地方のクメール遺跡における基礎調査

本年度（2012 年度）より開始された科研費・基盤研究 A（海外）『クメール帝国の空間構造と地方拠点都市遺跡に関する研究』は、2010 年度までのクメール建築の地方拠点に関する基礎調査研究の継続であり、コー・ケー、ベン・メアレア調査を主とした前回の研究から対象地域を広げ、コンボン・スヴァイのプレア・カーン、タイ国境に近いバンテアイ・チュマル、プレア・ヴィヘア等において記録作業を行い、保存修復のための



基礎資料の作成とともに、クメール帝国の発展の基幹を成した空間構造の解明を目的としている。2012 年度は、プレア・ヴィヘア機構と名城大学、早稲田大学が共同で、主にプレア・ヴィヘア遺跡を対象とした、8 月、12 月および 3 月の 3 回に及ぶ大規模な基礎的調査を実施した。主な成果とし



て、測量基準点の設置、トータルステーションと手ばかりを併用した対象遺跡の測量、東京大学生産技術研究所池内克史研究室との共同による三次元測量、予想復原図と現況の図面記録作成を行った。特に三次元測量では、プレア・ヴィヘア遺跡において、Goupra I および Goupra V の三次元データを取得することに成功した。さらに、プレア・ヴィヘア遺跡の立地的な特色の解明のため、地理・地形学的観点からの情報収集も行い、これらの総合的な調査結果を基に、周壁 I・II の寸法分析、木造架構屋根の考察、中央祠堂の上部構造の考察等を行い、今後のより発展的な調査・研究への重要な成果を上げることができた。

本年は、調査開始 1 年度目であるため、今後の発展的調査のための基礎的データの収集に注力し、複数の手法によって測量を行うことで、より誤差の少ない精緻なプレア・ヴィヘア遺跡のデータ資料作成に成功した。

3. 共同研究者

内田 悦生（創造理工学部・教授）
後藤 春彦（創造理工学部・教授）
前田 寿郎（創造理工学部・教授）
興石 直幸（創造理工学部・教授）
新谷 真人（理工学研究所・教授）
溝口 明則（理工学研究所・客員教授）
山本 信夫（理工学研究所・客員准教授）
赤澤 泰（理工学研究所・客員講師）
繁野 陽（理工学研究所・客員講師）
下田 一太（理工学研究所・客員講師）

4. 研究業績

4-1. 講演・シンポジウム

- ① NAKAGAWA Takeshi, “Project plan of the 4th phase of Japan-APSARA Safeguarding Angkor”, Presentation by JASA (JAPAN-APSARA Team for Safeguarding Angkor), International Co-ordinating Committee for the Safeguarding and Development of the Historic Site of Angkor (ICC), June 7th 2012.
- ② SOEUR Sothy, “Restoration plan of the façade area of the Outer Gallery, Bayon”, ICC, June 7th 2012.
- ③ IWASAKI Yoshinori, “Structural consolidation plan of the Central Tower, Bayon”, ICC, June 7th 2012.
- ④ SHIMODA Ichita, “Conservation research on the Bas-Relief of the Inner Gallery, Bayon”, ICC, June 7th 2012.
- ⑤ SHIMADA Mariko, “Restoration project of Naga and Lion images of the Outer Gallery cooperation with National Federation of UNESCO Associations in JAPAN”, ICC, June 7th 2012.
- ⑥ 溝口明則「クメール寺院遺跡における建築設計技術について」、アンコール遺跡修復技術 ベトナム・フエ王宮復原研究報告会（アンコールとベトナム・フエの会）、2012.07.07.
- ⑦ 山本信夫「バイヨンの考古学—その変遷と謎」、アンコールとベトナム・フエの会、2012.07.07.

- ⑧ スー・ソティ「The Restoration and Conservation of the Southern library, Bayon」, アンコールとベトナム・フエの会, 2012.07.07.
- ⑨ 新谷真人「バイヨン中央塔における上部構造と基盤における現象の分析と課題」, アンコールとベトナム・フエの会, 2012.07.07.
- ⑩ 池内克史「デジタルバイヨンプロジェクト」, アンコールとベトナム・フエの会, 2012.07.07.

4-2. 学会・社会的活動

- ① 中川武, 下田一太, 山田俊亮, 新谷真人「アンコール遺跡群バイヨン寺院中央塔群の基礎構造に関する研究」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2012, pp.269-270
- ② 下田一太, 松井敏也, 千葉麻由子, 中川武「アンコール遺跡群バイヨン寺院内回廊の浮き彫り保存研究」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2012, pp.271-272
- ③ 千葉麻由子, 下田一太, 中川武「バイヨン寺院内回廊の床滞水現況調査」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2012, pp.273-274
- ④ チュンメンホン, 下田一太, 中川武, 島田麻里子「クメール古代都市イーシャナプラにおける出土遺構 2012 年 2 月の道路建設に伴う緊急発掘の成果より」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2012, pp.479-480
- ⑤ 蜂須賀瞬, 佐藤桂, チュンメンホン, 中川武「プレア・ヴィヘア寺院の増改築の痕跡について」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2012, pp.481-482
- ⑥ 溝口明則, 中川武, 下田一太「アンコール・ワット伽藍中央部の寸法計画」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2012, pp.483-484

5. 研究活動の課題と展望

2011 年 11 月に開始された第 4 フェーズは、2016 年終了予定の 5 カ年計画であり、これまでに南経蔵の修復工事継続に加え、外回廊南東隅塔（塔 57）の修復工事に着手した。散乱石材の同定作業では、多くの石材の原位置の特定が進むが、遺失した塔の上部を復位するには相当数の石材が不足することも確認されている。散乱石材は寺院の周辺に広く分布しており、さらに記録範囲を拡張する予定である。また、前フェーズより継続している研究に、内回廊浮き彫りの保存方法の研究・中央塔の恒久的保存方法の研究・考古学的発掘調査の三つが挙げられる。内回廊浮き彫りの保存方法の研究では、内回廊屋根の本格的な修復に向け、回廊内の温度・湿度管理と耐候試験結果に基づいたバイヨン寺院独自の保存材料開発が今後の課題となる。中央塔の恒久的保存方法の研究では、より詳細なラテライト構造体の外郭の把握のためのさらなる調査を実施し、バイヨン本尊仏の再安置へ向けた基礎を整える予定である。一方、本年度より開始された科研費・基盤研究 A（海外）『クメール帝国の空間構造と地方拠点都市遺跡に関する研究』により、バイヨン寺院を中心としたクメール建築研究の深化が予想される。

以上に加え、2013 年度より開始される日本学術振興会の研究拠点形成事業（アジア・アフリカ学術基盤形成型）の「メコン川流域国における文化遺産の保存活用学の形成」が早稲田大学総合研究機構ユネスコ世界遺産研究所を中心として開始される。これに伴い、ユネスコ世界遺産研究所と協力し、カンボジアの遺跡保存活用において培ってきた様々な技術や課題をメコン流域における普遍的課題と地域的課題の比較検討を通して、地域間のより積極的な文化遺産保存活用の学術研究活動の交流促進をめざし、第 4 フェーズにおける重要な課題の一つである次世代のカンボジア人の育成—カンボジア人による持続可能な保存修復活動—と各国の文化財保存活用の若手研究者の育成・交流を統合し、文化保存活用学の形成へと国境を越えて取り組んでいく予定である。

大都市圏における自立分散型エネルギー供給システム導入可能性検討

研究代表者 長谷見 雄二
(理工学術院 教授)

1. 研究課題

2011年3月11日の東日本大震災と福島第一原子力発電所の被災に伴い、電力、ガス、熱等のエネルギーインフラのあり方を抜本的に見直さざるを得ない必要が生じた。とりわけ、今後の電力供給は不透明な状況となっている。そのため、都市部においては、今後とも増加するエネルギー需要に対し、地球温暖化防止への対策を図りながら、地震等の災害にも強く、地産地消型の自立性、抗担性（機能持続性）を有する「自立分散型エネルギー供給システム」を、中長期的視点で新しいエネルギーインフラとして形成していくことに期待がもたれている。

本調査は、東京圏、中部圏及び近畿圏において、阪神淡路大震災並びに今回の東日本大震災においても耐震性が証明された中圧ガス導管を活用した自立分散型エネルギー供給システムの導入計画を構築し、省エネ、CO₂削減効果及び自立性等について分析し、その導入可能性について検討を行った。

2. 主な研究成果

2.1 自立分散型エネルギー供給システムの導入計画

都市部では建物集積が著しく、エネルギー消費量がますます増加する傾向にある中で、低炭素化やエネルギーセキュリティを確保することが不可避な課題となっている。一方、大都市圏では阪神・淡路大震災並びに東日本大震災でも立証された地震時にも供給停止されない耐震性が高く非常用兼用発電機導入が可能で、BCP 対応可能な「中圧ガス導管」が敷設されている。

こうした状況を踏まえ、中圧ガス導管から直接ガス供給を受けるエネルギーシステムを導入し、既存の電力・熱ネットワークと連携し、エネルギーの融通・多重化を図りながら、情報技術によりエネルギー情報管理を行い、面的な自立性・抗堪性を有する新しいインフラとして「自立分散型エネルギー供給システム」を提案した。

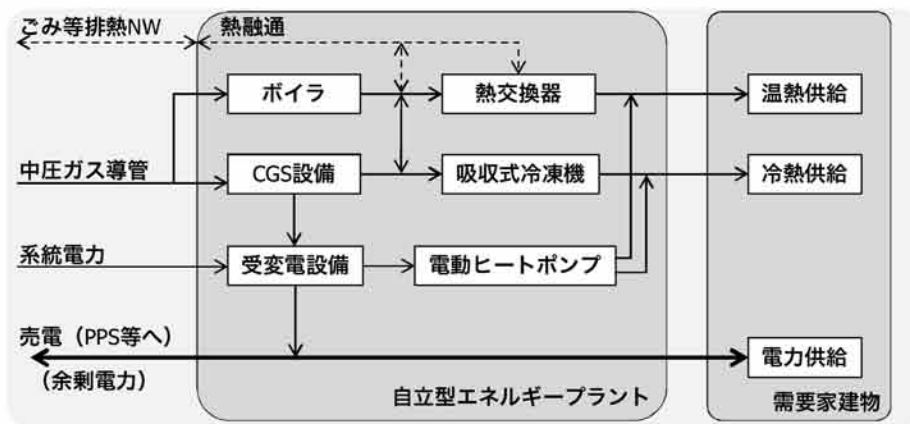


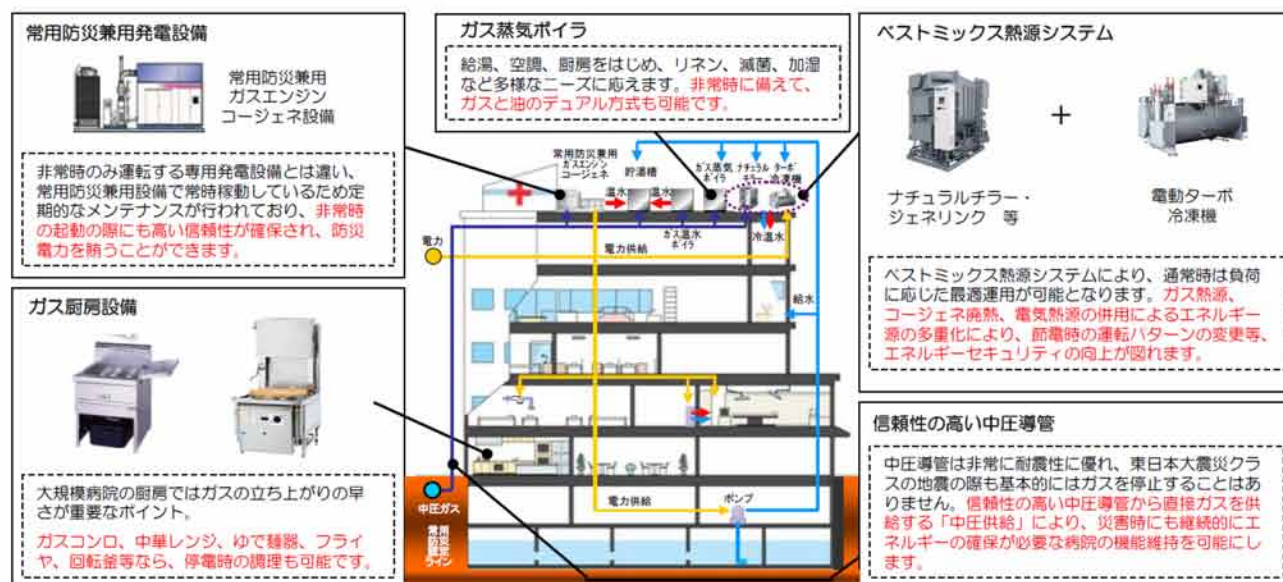
Fig.1 自立分散型エネルギー供給システム概念図

2.2 省エネ、CO₂削減効果及び自立性

本調査では、東京圏、中部圏、近畿圏において、現に大規模再開発事業が進められている地域や、まちびらきから20～30年が経過し再整備の時期を迎えている地域、今後開発の見込める地域などの異なる都市構造をもつ都市部を対象として、中圧ガス導管を活用した「自立分散型エネルギー供給システムの導入計画」を構築し、省エネ、CO₂削減効果及び自立性等について検討を行った。その結果、省エネルギー効果、CO₂削減効果が大きく、エネルギーの自立性が高いことが試算された。

2.3 都市ガスシステムの信頼性

都市ガスの供給信頼性について、ガス供給網の地震対策及び阪神大震災、東日本大震災における中圧ガス継続供給実績を調査するとともに、震災時のエネルギー供給対策として電力供給機能を備えるガスヒートポンプ、ガスエンジン並びに常用発電設備としてのガスコージェネレーションシステムについて導入イメージを整理した。特に、医療施設や福祉施設、避難所になり得る地域施設・学校等において非常時に電力供給を維持することが求められており、中圧ガス導管と接続した供給システムを導入することにより対策を講じることが可能となることが確認された。



出典：日本ガス協会エネルギーシステム部東日本大震災発生後のガス供給状況, 2011年9月

Fig.2 大規模医療施設を想定したエネルギー供給システムの例

2.4 まとめ

本調査では、東京圏、中部圏、近畿圏の都市部において、低炭素まちづくりと同時に、地震等の災害にも強く、地産地消型の自立性、機能持続性を有する「自立分散型エネルギー供給システム」の形成を目指して、中圧ガス導管を活用したシステムの検討を行い、省エネルギー効果、CO₂削減効果及び自立性の高い電源のあり方について確認された。

3. 共同研究者

尾島俊雄 (名誉教授・顧問研究員)
相田康幸 (理工研・招聘研究員)
堀 英祐 (理工学術院・助教)

中嶋浩三 (理工研・非常勤講師)
小林紳也 (理工研・招聘研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- ・ 大都市圏における自立分散型エネルギー供給システム導入可能性検討に関する研究 ～その1 検討方針と関東圏某地区におけるケーススタディ～, 2012.9, 日本建築学会, 日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 I
- ・ 大都市圏における自立分散型エネルギー供給システム導入可能性検討に関する研究 ～その2 関西圏某地区におけるケーススタディ～, 2012.9, 日本建築学会, 日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学 I

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

4.4 受賞・表彰

4.5 学会および社会的活動

- ・ 大都市圏における自立分散型エネルギー供給システム事業化可能性調査, 一般社団法人 都市環境エネルギー協会, 2012.10～2013.3

5. 研究活動の課題と展望

「自立分散型エネルギー供給システム」の導入のためには、計画面、技術面、事業面、法制度・行政面等の様々な検討課題がある。これらの課題は、導入対象地域の特性によって異なる面もあるが、今後、さらなる具体化検討のためには、地域の具体的な開発状況を考慮した計画とともに、事業試算等を行い、事業実現の可能性について検討を行う必要がある。

Table.1 今後の検討課題

検討課題	項目
(1) 計画面	・ 開発地区における低炭素化ビジョン（グランドデザイン）構築と自立分散型エネルギーシステム位置づけ検討 ・ まちづくりガイドライン等導入マニュアルや低炭素まちづくり計画の検討 ・ 対象地域の整備スケジュールに対応した段階的整備計画の検討 ・ 自立分散型エネルギーシステムプラントの確保 ・ 地域導管敷設ルートの検討と先行的確保
(2) 技術面	・ 地域特性を踏まえ、エネルギー需給バランスを考慮した「最適自立分散型エネルギーシステム計画」の具体的検討 ・ プラント並びに地域導管のローコスト化の検討 ・ プラント間のネットワーク化に関する技術検討 ・ バイオマス、自然エネルギー、都市排気熱等再生可能エネルギー活用の検討
(3) 事業面	・ 段階的整備を踏まえた事業収支計画、事業運営計画の検討 ・ 事業推進の仕組みや事業形態、事業化スキームの検討 ・ SPCを含む事業主体の形成 ・ 林地残材搬出の公共事業としての雇用機会創出、コスト低減等バイオマス利活用等の社会的仕組みや省庁連携の総合的取組体制の整備検討
(4) 法制度面 行政面	・ 新たな都市計画の施策（低炭素都市まちづくり方針、地域低炭素まちづくりマスタープラン等：都市計画学会提言）の取り組みによる都市政策への反映 ・ 地域防災や電源確保を含むエネルギー面的導入支援施策等公的助成措置の活用検討 ・ 地域導管の公共性の位置付けと補助助成策 ・ 加入促進のための加入協力インセンティブを含む施策や推進体制、仕組みの検討

地球温暖化対策に向けた建設工事における木杭活用に関する研究

研究代表者 濱田政則
(創造理工学部 社会環境工学科 教授)

1. 研究課題

建建設工事特に土木工事において木材を利活用することにより土木分野からも地球温暖化対策に貢献することが研究のゴールである。本研究では、液状化による盛土の沈下および法面のすべり抑制のため、基礎地盤に木杭を打設し、その効果を実験的に検証する。木杭を地中に打設することは CO₂ の地中封じ込め、森林資源の保護および国内木材流通システムの活性化に大きく寄与すると考えられる。

2. 主な研究成果

平成 24 年度まで 3 年間にわたり、木杭を建物および盛土下の基礎地盤に打設し、液状化による沈下・傾斜を防止する研究を行って来た。液状化対策の効果を重力場および遠心載荷場での模型振動実験により検証した。これらの一連の研究成果をまとめることにより、「間伐材による建物・盛土の傾斜・変形抑制対策指針」を策定した。

間伐材による建物・盛土の傾斜・変形抑制対策指針

(1) 基本指針

既設の地震の度に液状化により建物の傾斜および盛土等の沈下・変形が発生して来ている。本対策法は間伐材を建物および盛土の基礎地盤に適切な根入れ長と間隔をもって打設し、建物の傾斜および盛土の沈下と変形を抑制する方法である。

図-1 は 1964 年新潟地震における液状化による鉄筋コンクリート建物の被害を調査した結果である。直接基礎、木杭基礎、鉄筋コンクリート杭基礎毎の建物の被害状況の割合を示している。

これによれば、直接基礎とくらべ、木杭基礎を鉄筋コンクリート杭基礎の被害なしの割合が多い。また、木杭基礎は鉄筋コンクリート杭基礎と建物の被害状況に大きな差は認められない。

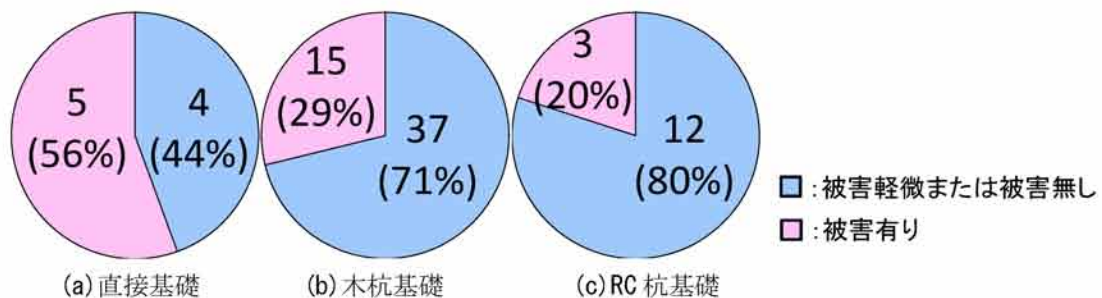


図-1 建物被害の有無と基礎形式の関係

木杭を建物の基礎地盤に打設することにより、建物の傾斜と沈下が抑制された要因は以下のように考えられる。図-2に示すように建物の基礎地盤が液状化した場合、地盤の支持力が減少し、建物が沈下して傾斜を起こす。建物下の液状化土が側方流動を起こし、これにより建物の傾斜と沈下がさらに増大する。建物下に木杭を適切な根入れ長と間隔によって打設することにより、液状化土の側方流動が防止され、これによって、建物の沈下と傾斜が大きく抑制される。

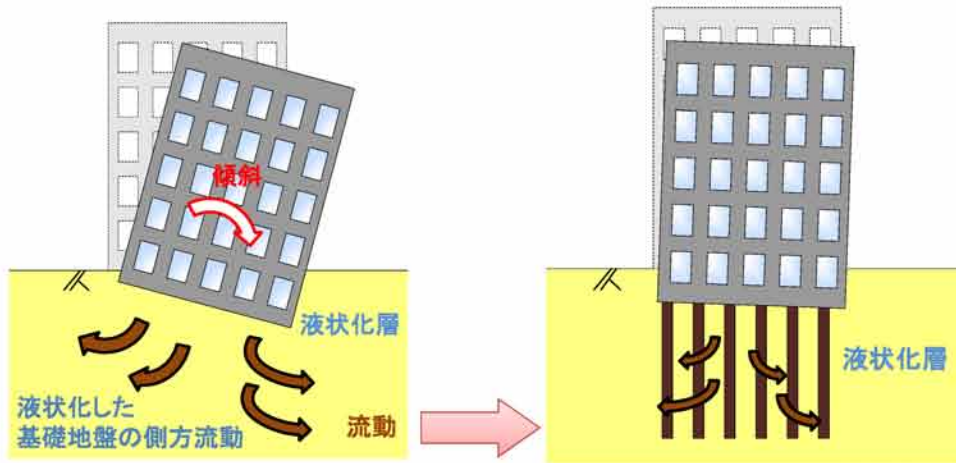


図-2 木杭打設による建物の沈下・傾斜抑制の考え方

(2) 間伐材による建物の傾斜抑制

間伐材を液状化層へ適切な根入れ長と間隔で打設することにより、建物の傾斜を抑制することが可能である。ただし、杭の根入れ長および間隔は地盤条件、予測される液状化層の厚さおよび液状化の度合いに応じて、模型等を用いた実験あるいは数値解析等により決定する必要がある。

図-3に示す建物と木杭基礎の模型により、液状化層の厚さに対する木杭の根入れ深さと建物の沈下・傾斜の抑制効果の検証が重力場の模型実験（実験模型の縮尺：1/50）で行われている¹⁾。

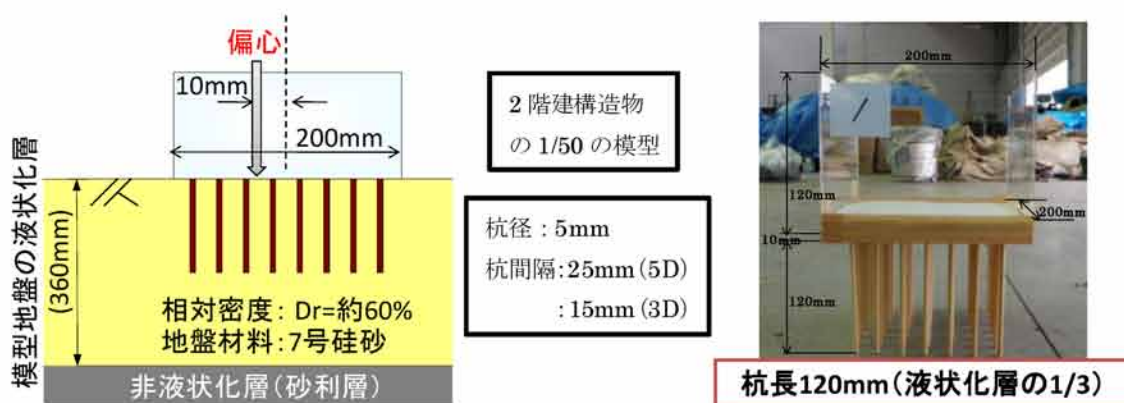
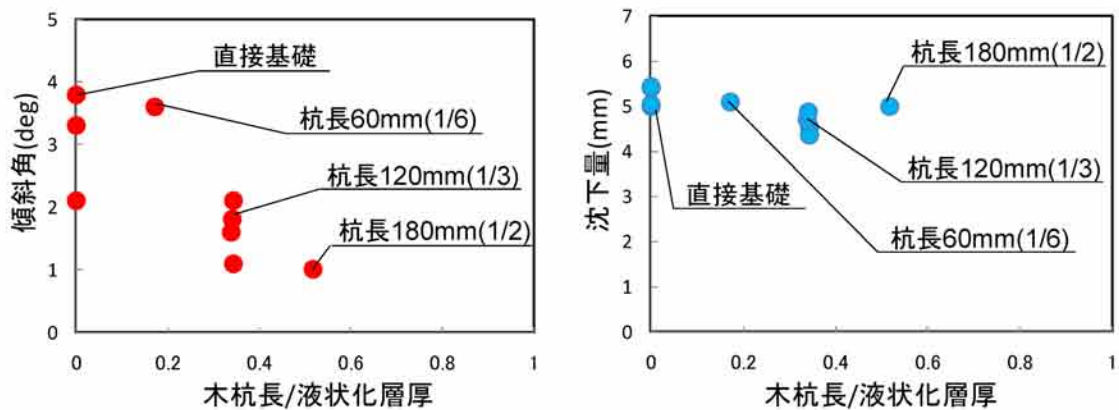


図-3 木杭が建物の沈下と傾斜抑制に与える効果の検証模型

模型実験により、木杭の根入れ長が建物の傾斜に与える影響として、図-4 が得られている。

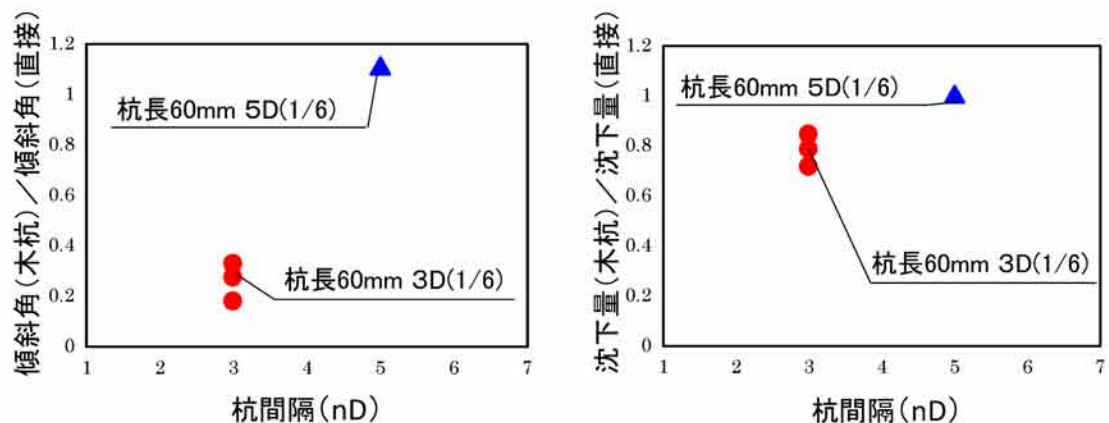


(* 液状化層厚=360mm, 括弧内は杭長/液状化層厚)

図-4 木杭の液状化層への根入れ長が建物の傾斜と沈下に与える影響

図示した結果によれば、木杭が液状化層の厚さの 1/3 以上根入れされていれば大きな傾斜抑制効果が認められることがわかる。しかし、根入れ長の沈下抑制効果は顕著でない。これは木杭が支持層に到達しておらず、杭先端の地盤も液状化を生じたことによる。建物の傾斜抑制効果に関しては、木杭の根入れ長を地盤条件や各地層の液状化の度合いに応じて適切に定める必要がある。

木杭の打設間隔が建物の傾斜と沈下抑制に与える影響を図-5 に示す。これによれば、杭の打設間隔が小さいほど建物の傾斜と沈下を抑制することがわかる。特に傾斜抑制効果は大きい。木杭の打設間隔に関しては地盤条件、液状化の度合いを考慮して適切に決定する必要がある。



(a) 杭間隔と最大傾斜角の関係

(b) 杭間隔と最大沈下量の関係

図-5 木杭の打設間隔が建物の傾斜・沈下抑制効果に与える効果

(3) 間伐材による盛土の沈下・変形抑制

間伐材を鉄道、道路等の盛土下の液状化地盤に適切な根入れ長で打設することにより、盛土の沈下と変形を抑制することが可能である。ただし、木杭の液状化層への根入れ長、打設間隔は地盤条件、液状化層の厚さに応じて模型実験や数値解析等により検証する必要がある。

図-6 に示す模型（重力場：1/40 模型縮尺、50G 遠心载荷場：1/50 模型縮尺）を用いた液状化実験により、木杭の盛土の沈下・変形抑制に対する効果が検証されている²⁾。

重力場および 50G 遠心载荷場での模型実験により、液状化層に対する杭の根入れ長の比と盛土天端の沈下量の関係を図-7 に示す。これによれば盛土基礎地盤に木杭を打設することにより盛土天端の沈下を抑制することが可能である。液状化層厚の 1/2 程度の杭長の木杭を打設すれば沈下量は約 1/2 程度に減少する。ただし、打設する木杭の長さ、間隔は地盤条件や盛土高さに応じて模型実験や数値解析で検証する必要がある。

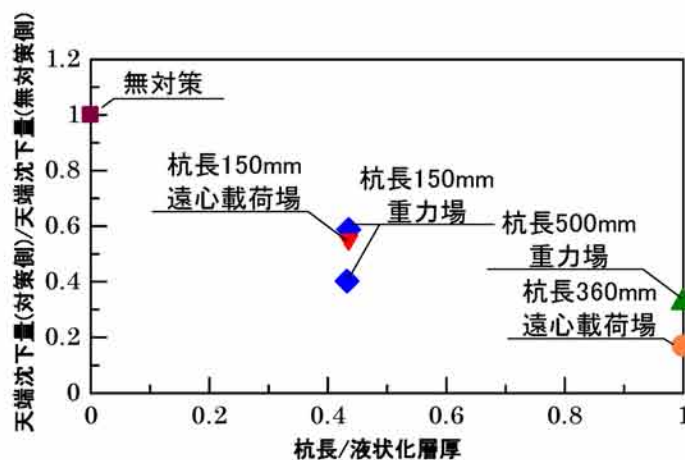


図-6 木杭が盛土の沈下・変形に与える効果の模型実験

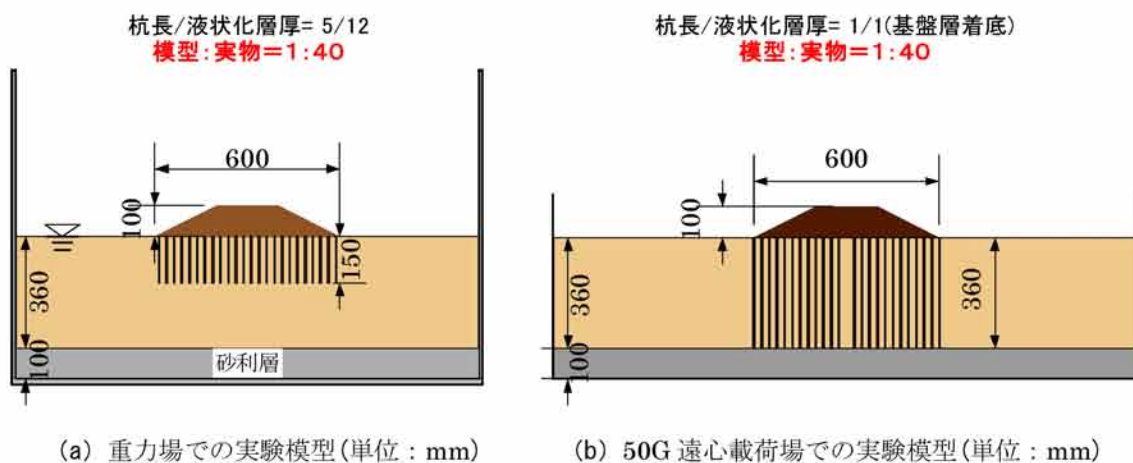


図-7 木杭の液状化層への根入れ長が盛土天端の沈下抑制に与える効果

(4) 参考文献

- 1) 堤圭司, 岸田健吾, 中谷史規, 濱田政則, 木杭基礎による構造物の液状化・流動化対策法に関する実験的研究(1)－建物対策法－, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 65:CS5-021 (2010)
- 2) 中谷史規, 岸田健吾, 堤圭司, 濱田政則, 木杭基礎による構造物の液状化・流動化対策法に関する実験的研究(2)－盛土対策法－, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 65:CS5-022 (2010)
- 3) 岸田健吾, 堤圭司, 濱田政則, 木杭基礎による構造物の液状化と地盤流動対策法に関する実験的研究, 土木学会全国大会年次学術講演会, 66:CS-13-011 (2011)

3. 共同研究者

沼田淳紀 (理工学研究所客員研究員、飛島建設株式会社技術研究所)
中村裕昭 (株式会社地域環境研究所)

4. 研究業績

- ・木杭基礎による構造物の液状化と地盤流動対策法に関する実験的研究：岸田健吾、堤圭司、濱田政則、土木学会全国大会第 66 回年次学術講演会、2011 年 9 月

5. 研究活動の課題と展望

木杭打設による建物の沈下・傾斜および盛土の沈下・変形抑制効果をさらに定量的に確認するため、実物大寸法の模型実験を計画するとともに、実構造物での実践に向けた計画を策定する。

建築人間行動学

研究代表者 渡辺 仁史
(理工学術院 教授)

1. 研究課題

携帯電話やスマートフォンの普及により、地図の閲覧など歩行者に対するさまざまなサービスが生まれているが、歩行者自身の状況や、同じ空間を共有する多数の人々の心理状況を知るサービスはいまだない。このようなサービスが実現すれば、自分自身や他者の心理状況をリアルタイムに知ることができるため、非常時だけではなく平常時にも歩行の判断の要素が増えることになる。

そこで本プロジェクト研究では、一昨年度は歩行中の加速度と心理との関係、昨年度は、他者の状況を知るためのシステム構築を行った

本年度は、スマートフォンを用いた行動の可視化、また KINECT を用いた動作のセンシングを行う。

2. 携帯情報端末を用いた Human Probe による都市行動のセンシング

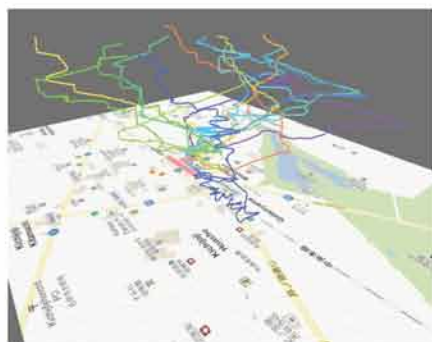
空間ではなく人間にセンサを持たせることで、人間自身がセンサノードとなり動的にセンシングを行う Human Probe の概念が登場した。移動体である人間自身がセンサとなり、自分自身、また自分を取り巻く環境をリアルタイムにそして時系列でセンシングすることを、GPS や加速度などのセンサが組み込まれた携帯情報端末の一つであるスマートフォンの普及が可能にしている。

このようにして蓄積された大量のデータはいわば空間や人間の時間変化そのものを表しているため、これを解析することでさまざまなサービスが生まれる可能性がある。歩行データは都市における消費者の購買行動に関するマーケティングにすでに使われているが、リアルタイムに歩行情報を送信する歩行者自身に対して、現在の自分自身の歩行状況を通知したり、同じ空間にいる他の人々の情報を共有したりするなどのさまざまなサービスが想像できる。

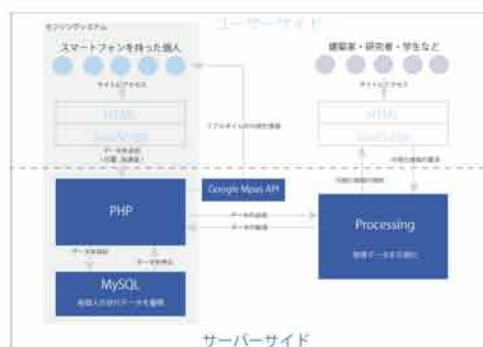
そこで、歩行者が日常で携帯しているスマートフォンから送信される位置および加速度の情報を受け取り蓄積するシステムを構築し、時系列で蓄積される歩行情報を可視化することが、都市や歩行を分析するためのツールとして有効であるかを検討する。

今回は、Android、iPhone のどちらからでもアクセス可能なように、HTML5 を用いて位置情報や加速度など端末の情報を取得できるように「歩行者情報取得システム」を構築した。ネイティブアプリは HTML5 に比べて実行速度は有利であるが、開発には相当の労力がかかり、それぞれの OS ごとに作成しなければならない。さらに、それをユーザーが使用するためには、ダウンロード

しなければならないという煩わしさがある。そこで、将来的には多くの人に利用してもらうことを想定しているため、実行速度の点では不利ではあるが、両 OS からブラウザで手軽にアクセス可能である HTML5 を採用した。



歩行の可視化



歩行情報取得システム



スマートフォンでの可視化

3. KINECT によりセンシングされた骨格位置を用いた動作判別ルール

マイクロソフト社のゲームに付属するセンサである KINECT は、人間の骨格の位置をほぼリアルタイムに取得し人間の動作を判別できるため、これまで使われてきた高価で、またキャリブレーションの手間があったモーションキャプチャシステムの代替としての可能性がある。また、非常時を判断するため身体に加速度センサを装着し転倒などの動作を識別するシステムに対しても、KINECT を使えば日常的な動作を撮影するだけで動作を判別し、人間の動作に合わせたさまざまなサービスが可能になる。さらに、モーションセンサが安価であれば空間に多数設置できるため、リアルタイムに、そして広範囲での人間の動作状態が取得可能となる。

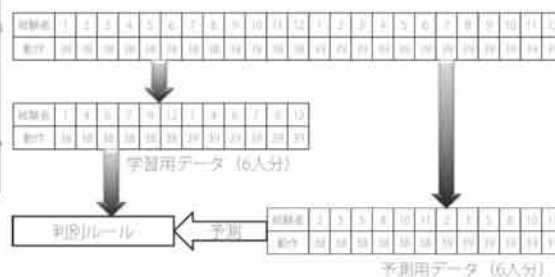
そこで、KINECT を用いて日常動作における骨格位置の変位を記録し、記録したデータをニューラルネットワークで学習させ、その学習データをもとに動作を予測することで、動作判別ルールの可能性を探った。

実験で取得した 57 動作それぞれに対する 12 人分のデータを、6 人分のデータを学習用データとしてニューラルネットワークを用いて学習させ、残りの 6 人分を予測用データとして予測した。

動作数が多い場合は、判別できると言えるまでの正解率を上げることはできなかったが、腕のように移動する骨格が少なく、移動距離が大きい動作の判別は、判別する動作の数が少なければその正解率は高く、3 つ程度の動作であれば十分正解率は高いことが明らかになった。



動作



ニューラルネットワークによる判別

4. 共同研究者

林田 和人（理工総研・客員准教授）

5. 研究業績

5.1 学会発表

- ・林田和人, 遠田敦, 渡辺仁史: 建築分野におけるローコストモーションセンサの利活用に関する研究 その2 動作と骨格位置との相関に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012.9, pp.101-102
- ・林田和人, 富田正裕, 石突光隆, 山本昌和, 渡辺仁史: 人物形状あてはめによる群集映像からの人間識別, 日本建築学会関東支部研究報告集, 5012, 2012.3
- ・余語悠里佳, 林田和人, 渡辺仁史: 駅コンコースにおける年代ごとの空間利用行動, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012.9, pp.651-652
- ・菊地弘祐, 木原己人, 遠田敦, 高柳英明, 木村謙, 林田和人, 渡辺仁史: 都市・建築像解析に向けた単語辞書データベース構築, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012.9, pp.15-16
- ・遠田敦, 林田和人, 渡辺仁史: 建築分野におけるローコストモーションセンサの利活用に関する研究 その1 居住者位置の計測精度の検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012.9, pp.99-100
- ・菊地弘祐, 木原己人, 遠田敦, 高柳英明, 木村謙, 林田和人, 渡辺仁史: SNS 情報に基づく都市・建築空間像の解析, 日本建築学会第 35 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 2012.12, pp.243-246
- ・石井宏樹, 林田和人, 渡辺仁史: SNS からみた都市間の移動行動に関する研究 -震災発生時の tweet からみた首都圏での人々の状態の考察-, 日本建築学会第 35 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 2012.12, pp.291-294
- ・林田和人, 小池太輔, 渡辺仁史: 携帯情報端末を用いた HumanProbe による都市行動のセンシング, 日本建築学会第 35 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 2012.12, pp.327-330
- ・遠田敦, 林田和人, 渡辺仁史: 建築分野におけるローコストモーションセンサの利活用に関する研究 -その 3 居住者の位置と人数の認識精度検証-, 日本建築学会第 35 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 2012.12, pp.355-358
- ・林田和人, 遠田敦, 渡辺仁史: 建築分野におけるローコストモーションセンサの利活用に関する研究 -その 4 骨格位置による動作判別ルール-, 日本建築学会第 35 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 2012.12, pp.359-362
- ・菊地弘祐, 木原己人, 遠田敦, 高柳英明, 木村謙, 林田和人, 渡辺仁史: ソーシャル・ネットワーク・サービスを用いた都市・建築空間像の抽出 その 1 ~利用者背景の分析と可視化の基本的手法の解明~, 日本建築学会関東支部研究報告集 II, pp.381-384, 2013.3
- ・菊地弘祐, 木原己人, 遠田敦, 高柳英明, 木村謙, 林田和人, 渡辺仁史: ソーシャル・ネットワーク・サービスを用いた都市・建築空間像の抽出 その 2 ~利用者背景分析と駅商圈分析手法の開発~, 日本建築学会関東支部研究報告集 II, pp.385-388, 2013.3
- ・遠田敦, 菊地弘祐, 林田和人, 木原己人, 木村謙, 高柳英明, 渡辺仁史: ソーシャルメディアに投稿された記事に基づく都市・建築空間像の解析 -建築・都市防災メディアとしての活用方策に関する基礎的検討-, 日本建築学会関東支部研究報告集 II, pp.389-392, 2013.3
- ・Kousuke Kikuchi, Tatsuto Kihara, Atsushi Enta, Hideaki Takayanagi, Kazuto Hayashida and Hitoshi Watanabe (2012) Collective Background Extraction for Station Market Area by

using Location Based Social Network, ISAIA2012, G-5-4, 2012.10

5.2 助成

渡辺仁史, 林田和人, 木村謙, 高柳英明, 遠田敦: 平成 23 年度(2011 年度) 文部科学省/日本学術振興会 科学研究費補助金 ソーシャルネットワーキングサービスに投稿された記事に基づく都市・建築空間像の解析, 挑戦的萌芽研究, 2011 年度~2013 年度

5.3 学会および社会的活動

林田和人、日本建築学会行動センサリング WG 委員、日本建築学会感性工学デザインシステム研究小委員会委員・幹事
など

6. 研究活動の課題と展望

本年度は、スマートフォンを用いた行動の可視化、また KINECT を用いた動作のセンシングを行った。

次年度は、歩行者の行動だけではなく、歩行中の心理の見える化を行っていく。

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

本課題では、固-液界面における電気化学反応に着目し、三次元構造や二次元反応場、さらにゼロ次元と位置付けたナノ粒子を取り扱った界面設計・制御を進める中で、電気化学系での新機能材料創製からデバイス構築手法までを学問領域として体系化することを目的としている。ここではその一端として、リチウム二次電池用負極の提案と、マグネタイト (Fe_3O_4) ナノ粒子 (MNPs) の生体安全性の評価に関する研究成果を報告する。

2. 主な研究成果

2.1. リチウム二次電池用負極の提案

我々は、これまで SiCl_4 を含むプロピレンカーボネート溶液から Si を電析させることでリチウムイオン電池用負極を作製し、7200サイクル後においても 800 mAh g^{-1} 以上の容量が得られる Si-O-C 負極を開発してきた。しかしながら、得られる Si-O-C 負極は厚膜化していくとその応力によって電極層が集電体から剥離するという問題があった。

そこで本研究では、この剥離の問題を解決するため、集電体上に Fig. 1 A の模式図に示すようなニッケルナノコーンを形成し、ニッケルナノコーン基板上への Si-O-C 負極電析を試みた。その結果、未処理の集電体に対して電析した場合に対して、25倍の電気量でも剥離することなく Si-O-C 負極の析出が可能となった。また、厚膜化により面積あたりの放電容量も10倍以上となり、初期放電容量で約 750 mAh/cm^2 、100サイクル後で約 600 mAh/cm^2 の値を得ることが可能となった (Fig.2)。

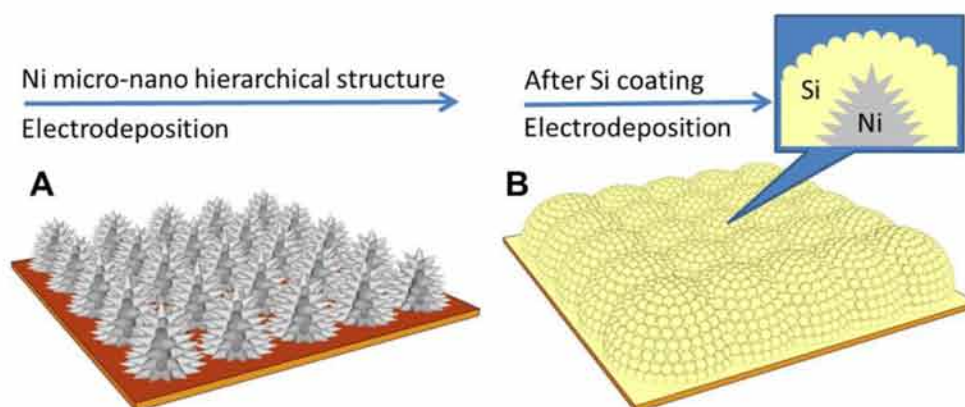


Fig. 1. Schematic diagram illustrating the fabrication of a nickel nanocone-array supported silicon anode architecture: (A) nickel micro-nanocones hierarchical structure: (B) after silicon composite electrodeposition.

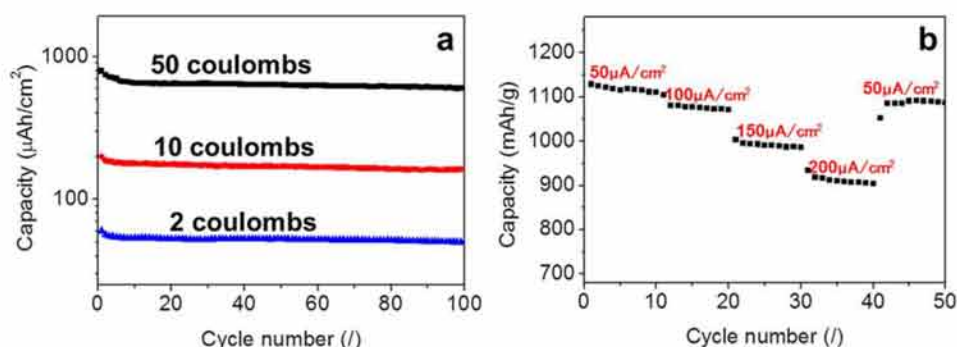


Fig. 2. (a) The cycling performance of the Si film electrodes with different quantities of electricity for Si electrodeposition and (b) the reversible capacities during continuous cycling at various current densities.

2.2. マグネタイトナノ粒子 (MNPs) の生体安全性の評価

MNPs は高い生体適合性および飽和磁化を有しているため、医療診断・治療への応用が期待されている。実際に静脈注射などによって生体に粒子を添加する場合、体内の正常な細胞にも MNPs の取り込みが起こることが考えられるため、MNPs の安全性の評価は重要である。特に、幹細胞は分化多能性および自己複製能を有しているため、医療応用において MNPs が幹細胞に悪影響を及ぼした場合、その被害は甚大なものとなる。

そこで本研究では、分化の流れとしては最上位に位置する胚性幹 (ES) 細胞に着目し、マウス ES (mES) 細胞に対して MNPs を添加した際の生体安全性評価を試みた。まず、フローサイトメトリーおよび分光光度計から、MNPs の添加量が $500 \mu\text{g}$ の際、取り込み量が極大値となることが確認された。また MNPs を取り込んだ際、mES 細胞の生存率および未分化維持能に関しては影響を与えないことが示された (Fig. 3)。さらに MNPs を添加後、MNPs を含む細胞の割合の低下よりも細胞数の増加の割合が小さいことと、ES 細胞には異物排出を行う輸送体が細胞表面に存在することから、細胞数は一定の状態、過剰量の MNPs が mES 細胞から排出されている機構が考えられる (Fig. 4)。以上の結果から、MNPs が mES 細胞に対して安全であることが示唆された。

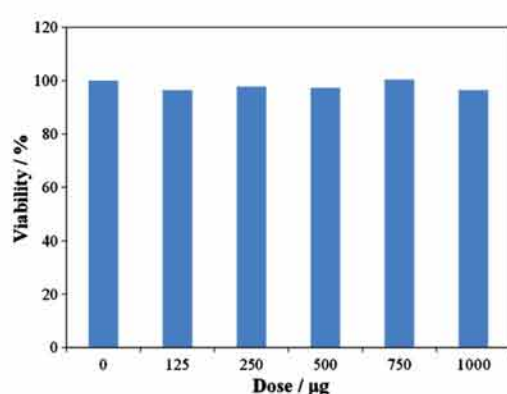


Fig. 3 Dose dependence of viability of mES cells.

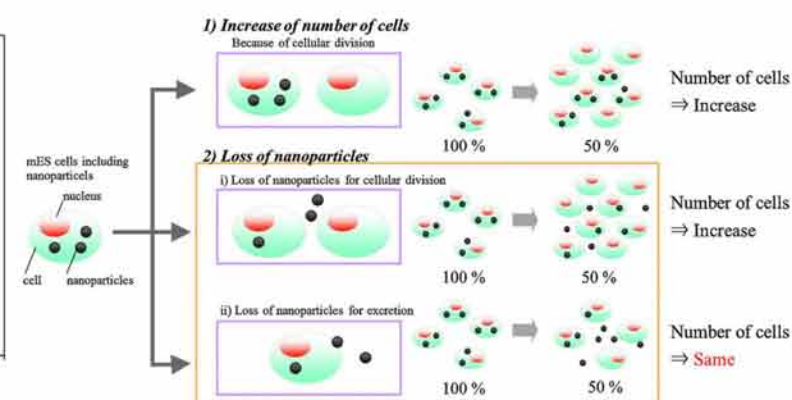


Fig. 4 Routes of reduction in proportion of mES cells containing MNPs.

3. 共同研究者

門間 聰之（先進理工学部・応用化学科・准教授）
 本間 敬之（先進理工学部・応用化学科・教授）
 松方 正彦（先進理工学部・応用化学科・教授）
 庄子 習一（基幹理工学部・電子光システム学科・教授）
 水野 潤（ナノ理工学研究機構・客員准教授）
 関口 哲志（ナノ理工学研究機構・客員准教授）

4. 研究業績

4.1. 学術論文

T. Hang, H. Nara, T. Yokoshima, T. Momma, T. Osaka, “Silicon composite thick film electrodeposited on a nickel micro-nanocones hierarchical structured current collector for lithium batteries”, *J. Power Sources*, **222**, 503-509 (2013).

C. Shundo, H. Zhang, T. Nakanishi, T. Osaka, “Cytotoxicity evaluation of magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles in mouse embryonic stem cells”, *Colloids Surf. B*, **97**, 221-225 (2012).

4.2. 総説・著書

逢坂哲彌（監修），森康郎，内海和明，山下勝己，仲森智博（著），“ものづくり大国の黄昏－巨大市場を目前に急失速する電池産業”，*日経BPコンサルティング*, 1-118 (2012).

電気化学会（編），“電気化学便覧 第6版”，丸善出版, 175-177, 732-736 (2013).

4.3. 招待講演

T. Osaka, H. Nara, “Alloy Anode System Fabricated by Electrodeposition for Lithium Secondary Batteries”, International Society of Electrochemistry (ISE, 63rd Annual Meeting), August 2012, Prague, Czech Republic.

T. Nakanishi, H. Zhang, T. Osaka, “Synthesis of Magnetite Nanoparticles with Organic Amines and Evaluation of Their Properties for Biomedical Applications”, ICAUMS 2012, October 2012, Nara, Japan.

4.4. 学会および社会的活動

T. Hang, H. Nara, T. Yokoshima, T. Momma, T. Osaka, “SiOC Composite Thick Film Electrodeposited on a Ni Nanocone-Array Current Collector for Li-Ion Batteries”, 221st Meeting of The Electrochemical Society (ECS), May 2012, Seattle, WA, USA.

筒井菜々子，張弘，中西卓也，田中あかね，松田浩珍，逢坂哲彌，“マウスマクロファージによるマグネタイトナノ粒子取り込み挙動の評価”，2012年12月，福岡．

5. 研究活動の課題と展望

本研究の進展に伴い，更なる高容量・高寿命のリチウム二次電池の実現に必要な高性能負極の提案，および，生体適合性を有する先進医療向けのマグネタイトナノ粒子設計のそれぞれに関して有用な知見が見いだされた．引き続き，実用化をターゲットとした研究展開を進めていく．

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
(理工学研究所 准教授)

研究経過

ハイドロゲルでできたフィルムで土壌から作物を隔離して栽培する新しい農業技術（ハイメック、アイメック）を開発している。このフィルムは病原菌やウィルスを通さないため、農薬を減らした安全な作物を作ることができる。また、作物はハイドロゲルフィルム中の水を吸おうとし、糖、アミノ酸、リコピン、ギャバなどの栄養素を高濃度で作り出す。更に、土壌と栽培部分を完全に隔離する止水シートによって、残留農薬、塩分、重金属、放射性物質などで汚染された土壌でも安全な作物を安定的に生産できる。当然なことに、砂漠、コンクリート、湿地帯など、従来の農業ができなかった場所でも農業を可能にする。現在、消費者の要望が最も大きい安全、安心、且つ高栄養価の野菜類を安定供給することにより、農業が抱える諸問題（高齢化、収益性の低さなど）を少しでも解決し、日本の農業の再生を計ろうとしている。

現在、この農業技術で国内 60 ケ所の施設（総面積 11 ヘクタール）で高糖度トマトを生産している。

更に、この農業技術を活用し、震災被災農地の復旧、復興を計画している。

発表論文

- 1) 森有一、「将来農業と機能性高分子」高分子、57、966－969、2008
- 2) 森有一、「先進高分子技術で次世代の農業技術に貢献する」 早稲田産学連携レビュー（日経ムック）、78－81、2009
- 3) 森有一、「何処でも、何時でも、誰でもできる農業技術を目指して」いっとじゅっけん、44－47、2009
- 4) 森有一、「高分子膜を組み込んだ節水農業の開発」第 61 回高分子学会シンポジウム「高分子 今 未来」講演、5 月 31 日、2012
- 5) Yuichi Mori, “New Agro-technology (Imec) by Hydrogel Membrane”, 9th International Gel Symposium, Keynote Lecture, October 9-12, 2012
- 6) 森有一、「高分子膜を活用した節水農業」 プラスチック産業年鑑（進歩編 2013）、54－57、2013
- 7) Yuichi Mori, “New Agro-technology (Imec) by Hydrogel Membrane”, Reactive

and Functional Polymers, In Press, 2013

- 8) 森有一、日本農芸化学会 2013、「高分子膜を活用した持続的農業」 日本農芸化学会、震災復興シンポジウム、講演、3月27日、2013

【11P31】地球環境を考慮した電気エネルギー利用技術

Electric Energy Utilization Technology Considering Earth Environment

研究代表者 岩本 伸一
(電気・情報生命工学科 教授)

1、研究課題

現在、地球環境が世界で問題となっており、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。それと共に電気エネルギー分野における環境問題の解決も切望されている。

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。①地球環境を考慮した電力システムの研究 ②環境負荷低減を目指した電気電子絶縁・構造材料の研究 ③CO₂削減を目指した超電導応用電力機器の設計最適化に関する研究 ④太陽光発電システムの設計手法に関する研究。これらの研究を本学が主体となって行っている産学協同体「電力技術懇談会」(約30社がメンバー)と連携させながら推進し、有用な研究成果を挙げる。特に新しい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。

2、主な研究成果

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、現在進められているが、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、本研究では、特に電力用貯蔵電池(二次電池)と新しい制御理論を用いて、系統周波数が従来の規定値範囲に入る新しい手法を開発した。また、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。

環境に優しい電気・電子材料の開発という視点から、絶縁性向上のためにナノメートルサイズと熱伝導性向上のためにマイクロメートルサイズの無機フィラーを分散させた高分子ナノ・マイクロコンポジットを開発している。また、福島事故で重要性が再認識されている原子力発電の安全性向上に資すべく、開発中の周波数領域反射測定法にもとづく位置標定法の感度を、ケーブル内に特性インピーダンスが0.1%程度の違っている箇所が2.5cm程度あれば、その位置標定が可能なレベルまで高めた。

HTS コイルは高い熱的安定性を有しているが、常電導領域の伝播が極めて遅いため、常電導伝播の検出が極めて難しいという課題がある。本研究は、伝導冷却 SMES 用 YBCO 超電導コイルの電流監視による検出法の開発に成功し、ダブルパンケーキコイルを用いた実験を行い、通電・伝熱特性解析を高速かつ精度よく解析評価するための数値解析プログラムを開発して比較検証した。実用時を想定した数 km 長の超電導電力ケーブルは中間接続を有する構造となる。本年度は、中間接続

を有する 275 kV 系統超電導モデルケーブルを用いて、最大 63 kArms・0.6 s の事故電流を模擬した過電流実験を行い、中間接続部の電流分布と熱特性を評価した。また中間接続部を含めたモデルケーブルの解析モデルを構築し、開発した数値解析プログラムの妥当性を実験と比較検討することにより評価した。

蓄電池併設型太陽光発電システムにおいて効率的に蓄電池運用を行うためには、PV 発電量・負荷量の予測情報の活用が有効であり、予測情報の導入方法や導入効果について詳細な検証が重要となる。一方、PV 発電量・負荷量等の太陽光発電に関する予測手法は、様々な手法が提案されており、今後これらの予測手法の特質を整理し、様々な蓄電池運用法への導入効果を予測精度も考慮した上で検証していく必要がある。そこで本年度は、予測情報を活用した PV システムの運用に関して、「1.予測情報を活用した蓄電池運用法」、「2.運用設計情報を抽出するデータ解析手法」、「3.予測誤差の影響評価手法」という予測活用における運用・解析・評価手法の開発を包括的に行い、数値実験を通してこれらの有効性を実証した。

配電系統に設置されている IT センサ内蔵開閉器からのリアルタイム系統情報を用いることで系統状態を集中管理可能な配電制御機器(LRT,SVR)の集中制御手法及び、今後導入が期待される静止型無効電力補償装置 SVC(Static Var Compensator)により集中制御方式をサポート可能な協調自律制御手法の開発を行った。また、アナログシミュレータ(ANSWER)上で実系統縮約モデルを用いて、配電系統への PV 導入可能量の観点から提案手法の有効性・妥当性を定量的に評価した。

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

- ・ Atsushi Enomoto, Shunsuke Aida, Shinichi Iwamoto, Capacitor control considering Voltage stability for Large Penetration of Photovoltaic Power, IEEE PES 2012 General Meeting, San Diego, 2012GM1154

- ・ Yuichi Morishita, Keisuke Suzuki, Shinichi Iwamoto, Lead-Lag PSS Design Based on H-Infinity Control Theory and Genetic Algorithm, IEEE PES 2012 General Meeting, San Diego, 2012GM0667

- ・ Yu Takamizawa, Fumihiko Nakatani, Shinichi Iwamoto, A Novel Index on Transmission Renewal Planning Considering Transmission Loss and Voltage Quality, IEEE PES 2012 General Meeting, San Diego, 2012GM1359

- ・ Yoshimichi Ohki and Naoshi Hirai, "Location feasibility of degradation in cable through Fourier transform analysis of broadband impedance spectra", Electrical Engineering in Japan, Vol. 183, No. 1, pp. 1-8, 2013.4.

- ・ Isamu Ikeda, Yuka Hasegawa, and Yoshimichi Ohki, "Factors Determining the Partial

Discharge Resistance of Polymers”, IEEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, Vol. 133, No. 3, pp. 75-80, 2013.3.

- ・ Jun Katayama, Yoshimichi Ohki, Norikazu Fuse, Masahiro Kozako, and Toshikatsu Tanaka, “Effects of Nanofiller Materials on the Dielectric Properties of Epoxy Nanocomposites”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 20, No. 1, pp. 157-165, 2013.2.

- ・ X. Wang, A. Ishiyama, M. Ohya, O. Maruyama, T. Ohkuma, “Numerical analyses of the electromagnetic force acting on high-temperature superconducting power cables due to fault current,” Supercond. Sci. Technol. 25 054018, 2012.

- ・ Xudong Wang, Yuji Kamiya, Atsushi Ishiyama, Masashi Yagi, Osamu Maruyama, Takeshi Ohkuma, “Current margin of 275 KV class HTS power cable with joint against fault current,” IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 22, 5801004, 2012.

- ・ H. Ueda, A. Ishiyama, K. Muromachi, T. Suzuki, K. Shikimachi, N. Hirano, S. Nagaya, “Quench Detection and Protection of Cryocooler-Cooled YBCO Pancake Coil for SMES,” IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 22, 4702804, 2012.

- ・ K. Suzuki, S. Wakao, N. Kawasaki, A. Usami, PV Output Estimation by Using Just-In-Time Modeling with Spectrum Center Information, 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference (27th EUPVSEC), Sept. 2012

- ・ T. Terazono, S. Wakao, H. Shen, H. Hino, N. Murata, Confidence Estimation of Solar Radiation Forecast with Just-In-Time Modeling, 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference (27th EUPVSEC), Sept. 2012

- ・ T. Hayashi, S. Wakao, Multi-Objective Design of Battery Operation in a Photovoltaic System by Means of PV Output and Load Power Forecasts, 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference (27th EUPVSEC), Sept. 2012

- ・ T. Fujimori, Y. Miyamoto, Y. Hayashi, “Verification of Reduction Effect on Output Suppression through Storage Battery in Residential Area with Clustered PV Systems” , Journal of International Council on Electrical Engineering (JICEE) ,October 2012, Vol. 2 No. 4, pp. 377-383

- ・ N. Takahashi, and Y. Hayashi, “Centralized Voltage Control Method Using Plural D-STATCOM with Controllable Dead Band in Distribution System with Renewable Energy” , 14-17 October.2012, IEEE PES ISGT Europe 2012, Berlin. Germany (2012 年 10 月)

- ・ S. Yoshizawa, Y. Hayashi, M. Tsuji, and E. Kamiya, “Centralized Voltage Control Method of Load Ratio Control Transformer and Step Voltage Regulator for Bank Fault Restoration” , 14-17 October.2012, IEEE PES ISGT Europe 2012, Berlin. Germany (2012 年 10 月)

5、研究活動の課題と展望

我が国の電力システムの運用と制御は、2011年3月11日の東日本大震災の後、ますます厳しいものとなってきている。原子力発電の減少は避けられず、再生可能エネルギーも2012年7月か

ら開始された固定価格買取制度で急速に増大するものと考えられる。本プロジェクトでは、これらの問題を解決すべく多方面からの研究を進める予定である。

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信息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ケーション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 影と音の身体性メディア循環による場の創出支援

これまで身体と非分離な影を変容させた影メディアにより“表現の場”の創出を支援するための研究を展開してきた。とくに二重残像影では、多様で持続的なイメージの創出が支援できるという結果を得ている。そこで本研究ではさらに、時間性が強い音に着目し、空間性が強い影メディアと組み合わせることで、より多様な「表現の場」の創出を支援するメディアの開発を目的とした。

身体を介して影メディアと音メディアを循環させて新たな時空(「表現の場」)を自己の内に創出させるためには、自己の明在的領域と暗在的領域の働きを音と影の双方で取り込むことが可能なメディアデザインが必要になる。その方法として、身体と非分離な二重残像影の内と外の関係性に着目し、これを音で表現することを考えた。しかし、これだけでは、音によって影が変化しないため、音から身体への働きかけがないという問題があることが、二三の実験を通じて分かった。この問題を解決するため、影メディア空間における背景(外部環境)を影と音の非分離的インタフェースとして活用する表現メディア手法を考案した。すなわち、影と背景の関係性を音により表現し、その音によって影を変化させることで図1に示すような影と音の身体性メディア循環を実現した。また循環的な関係を創る際、音は影を介して生成されるため、影を変化させるための情報として現在の音の情報を生かすことはできない。そこで、それまでに生成した音から自己回帰(AR)モデルを用いて予測的に生成した情報によって影を変化させる手法を考案、実装した。

舞踊熟練者を対象に、本メディアを用いて身体表現を行った様子を図2に示す。その結果、「それぞれのメディアが統合され、全体が一つに感じられた」、「身体と影とで表現を創り合い、それを可能とする環境づくりを音や背景がしている」などのコメントが得られた。また、2人一組で表現

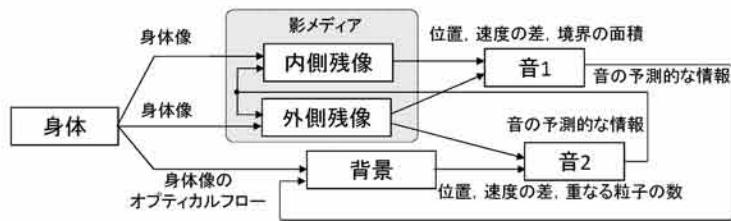


図1 影と音の循環的なメディアデザイン



図2 影・音メディアによる身体表現

を行った結果、「同じような音でも“今”の表現で聞こえ方が変わった」、「二人の世界ができてくると、空間が広がるように感じた」などのコメントが得られた。以上より、影と音の身体性メディア循環によって、新たな時空（表現の場）が生まれることが期待される結果を得た。

2.2 観客を取り込んだ影メディア通信システムの開発

集団によるドラマチックコミュニケーション（共創表現）の進行には、舞台の周囲を包む「観客の働き」が重要である。三輪研究室では、影メディアを投影するスクリーンをスリット状にすることで、舞台空間を観客や周囲の環境に開くインクルーシブな劇場型メディア空間をこれまでに開発してきた。このシステムにおいて観客は、舞台の外で演者を見まもるだけでなく、舞台に自由に入出することができ、表現に関わることも可能である。本年度は、このような、開かれたメディア空間を地理的に離れた場所の間で統合するコミュニケーションシステムを開発した。

具体的には、スリットスクリーンを用いた影メディアシステムを2箇所を設置し、各箇所の観客側の空間と舞台側の空間にいる人物の影メディアを、双方で共有できる通信システムと、各舞台の投影空間に合わせて、影メディアの投影位置（人物の立ち位置）や形状、大きさを整合的に合致させるソフトウェアを開発した（図4）。さらに、スクリーン面だけでなく、周囲の壁面にも背景メディアを投影することにより、空間全体で流れを創り、舞台全体を包み込むことで遠隔の舞台を統合することを構想した。これを実現するため、スリットスクリーン、周囲の壁、天井などにプロジェクションマッピングの手法を用いて背景メディアを整合的に投影するハードウェアとソフトウェアの開発を行い、これらを影メディアシステムに組み込んだ。

本システムを、実際の表現パフォーマンスの舞台で活用した。2012年10月13、14日に、せんだいメディアテーク（仙台市）にて開催された震災復興イベント「“ひびき” げんきッシモ!!」（主催：竹内将也）において、仙台と東京間をつなぎ、身体表現パフォーマンスを行なった。その様子を図4に示す。仙台側の演者と、東京側の演者が出会い、一つの表現を創り合うことや、仙台側で行われたパフォーマンスを、東京側の観客席から鑑賞するといったことが実現された。以上により、本システムを活用することで、遠隔地間において共存在の場を生成し、即興的な共創表現活動を支援できる見通しを得た。

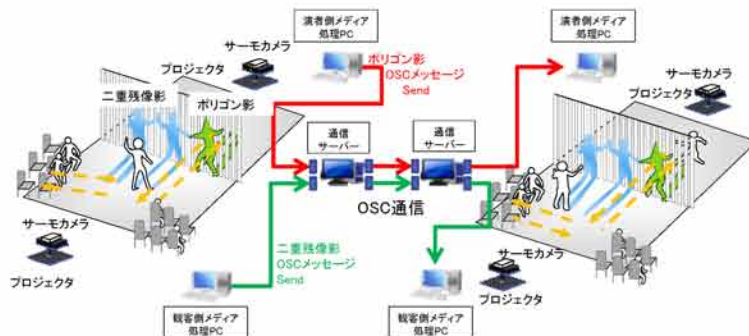


図3 観客を取り込んだ影メディア通信システム

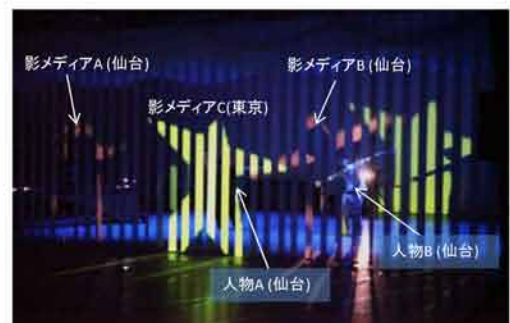


図4 スリットスクリーンを挟んだ出会いの様子

3. 共同研究者

橋本周司（先進理工学部・応用物理学科・教授） 山川宏（創造理工学部・総合機械工学科・教授）
 相澤洋二（先進理工学部・応用物理学科・教授） 藪野健（基幹理工学部・表現工学科・教授）
 上杉繁（創造理工学部・総合機械工学科・准教授） 西洋子（理工学研究所・客員教授）
 板井志郎（創造理工学部・社会文化領域・助教） 渡辺貴文（理工学術院・研究助手）

4. 研究業績

4.1 学術論文

- ・ T. Watanabe, Y. Miwa: Duality of Embodiment and Support for Co-creation in Hand Contact Improvisation, Journal of Advanced Mechanical Design, System, and Manufacturing, Vol.6(7), pp.1307-1318, 2012
- ・ T. Hasumi, C. Chen, T. Akimoto, and Y. Aizawa, "Earthquake-research and analysis", ed. S. D'Amico, INTECH, 2012, Chap.1, pp.3-24
- ・ T. Hasumi, C. Chen, T. Akimoto, and Y. Aizawa, "Earthquake-disaster forecasting and potential hazard", Ed. K. Konstantiou, Nova Science Publisher, 2013, Chap 5, pp.109-163

4.2 総説・著書

- ・ 三輪敬之：安心を生み出す共存在技術，自動車技術，Vol.66, No.12, pp.6-13
- ・ 三輪敬之，共創表現とコミュニケーション支援：計測と制御，Vol.51, No.11, pp.1016-1022, 2012
- ・ 板井志郎，三輪敬之，ソフトエントレインメント：計測と制御，Vol.51, No.11, pp.1059-1063, 2012

4.3 招待講演

- ・ 三輪敬之，モノとコトの表現インタフェース，早稲田大学複雑系ミニシンポジウム 複雑系研究とこれからの課題：一社会性，共創，身体性，表現，感性，…，2013

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（SI2012）優秀講演賞（2件）：
 - （1）栗栖広明，宮崎義之，林成紘，板井志郎，三輪敬之，共創表現メディアに関する研究-影メディアと音空間の統合による表現の場の創出支援-
 - （2）西洋子，柳澤裕樹，辻吉竜，渡辺貴文，三輪敬之，身体表現の共創-手合せ表現における身体動作創出過程の検討-

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
- ・ ヒューマンインタフェース学会 ヒューマンインタフェースシンポジウム 2013 大会長
- ・ 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（仙台市，名取市，石巻市，東松島市など）での復興支援活動

4.6 展示発表

- ・ Shadow Awareness "Dual 2012"، “ひびき” げんきッシモ!!，せんだいメディアテーク，2012.10.13-14

5. 研究活動の課題と展望

これまでに研究してきた影や音を活用した表現メディアシステムを，年齢，性別，障害の有無に関わらず，多様な人々が集う身体表現ワークショップや子供の遊び場に持ち込み，そこでの実践的な活動を通じて気づきを促す表現メディアとしての評価を行う．そして，この研究を通じて，共感的な場の創出には身体的な気づきが必要になることを示すとともに，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ケーション支援技術の設計手法を明らかにする．

次世代医療施設の研究

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

本研究は大成建設株式会社との共同研究であり、次世代医療施設をテーマとして月1回程度の打ち合わせを行い、提案・議論を行った。具体的には、某市民病院の計画を元に、外来部門の構成をもとに限られた面積の中でスタッフ作業空間と患者待合空間との関係を再構築する提案を行った。

2. 主な研究成果

2-1. 研究背景

今日の診療外来において、その待合空間に関しての患者の不満は大きい。平成20年度に厚生労働省によって発表されている「受療行動調査の概況」によると、「待ち時間」に対して外来患者の30.6%が「不満」であると感じており、特に大規模病院においてその傾向が強いことが明らかになっている。情報化社会において病院というビルディングタイプのあり方も変革を問われている。待合空間を中心として外来部門の構成を建築的に考察することにより、患者のみならず医療従事者にとっても快適で合理的な空間が今後必要である。

2-2. 研究目的

本研究は、下記の視点から、外来部門を再構成することを目的とする。

従来の外来空間は、スタッフの作業空間や器材スペースとなる裏動線と、診察室、患者の待合空間により構成されており、それぞれの空間は独立し互いに閉じられている場合が多い。

この状態は患者にとっても医療従事者にとっても快適とは言い難い。そこで、待合空間に日常生活や診察室の延長のような空間が含まれることが両者の快適性を上げると考える。

外待合—中待合—診察室—スタッフスペースという従来の外来空間を再考することで、特に中待合の空間が患者と医療従事者の行為をつなぐ領域となる可能性が生まれると考える。(図1)

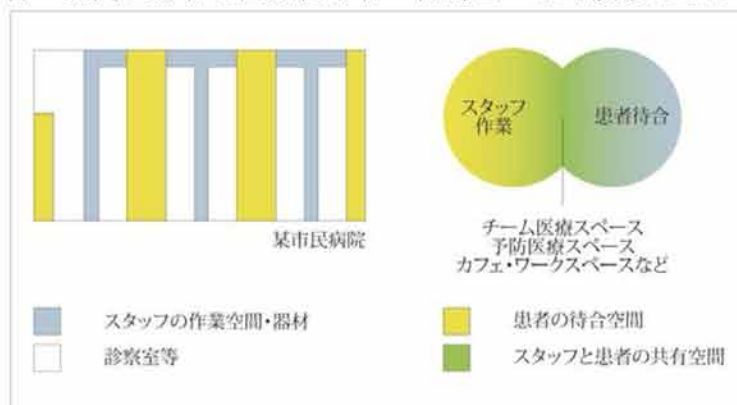


図1. 研究ダイアグラム

2-3. 研究対象・研究条件

某市民病院における外来部門の構成をもとに、限られた面積の中でスタッフ作業空間と患者待ち空間との関係を再構築する提案を行った。

提案に際しての条件は以下の項目の通りである。

○スパン

- ・柱スパンは 9m×9m グリッド
- ・北側と西側に 3m 幅のペリメーターゾーンがある

○外部環境

- ・外来エリア周辺の外部は北側と西側ともに外部環境が広がっている

○外来エリア

- ・面積は 995 m²、診察室は 34 室
- ・加えて、受付・相談・スタッフエリア・待合を設ける。

2-4. 外来空間形態の 3 つの提案プロトタイプ

スタッフと患者の共有空間を生み出すための提案として、以下の 3 つのプロトタイプを抽出した。

A. ギャレーが連続した待合

従来のスタッフゾーン重視のプランニングに対し、待合空間に比重を大きくとる提案。航空機や船に見られる、半開放的なスタッフゾーンであるギャレー空間が連続し、スタッフ同士の視認性が高く、待ち合う患者を見守ることもできる。(図 2)

B. ペリメーターゾーンを利用した待合

従来は診察室群の間に存在していた中待合をペリメーターゾーンにまとめ、外部に面した快適な待合空間を設ける提案。診察室を雁行配置とし、インテリアゾーンにまとめた診察室に緩やかに人々を誘導する動線をつくる。(図 3)

C. 多様なスケールの待合

スケールの異なる待合広場を配置し、それぞれの特徴に合わせて多様な待ち方を可能にする提案。待合空間に壁面が多くなり、家具やアートなどの配置をフレキシブルにすることができる。(図 4)



図 2. ギャレーが連続した待合

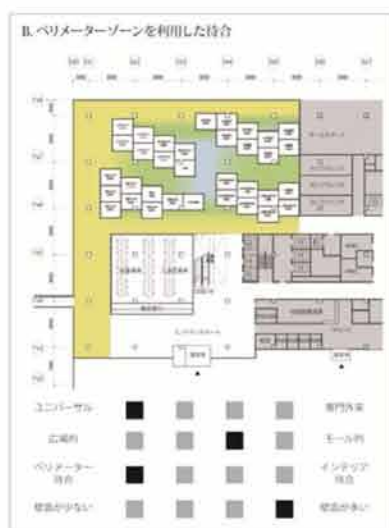


図 3. ペリメーターゾーンを利用した待合



図 4. 多様なスケールの待合

2-5. 外来空間に対するインテリアの提案

外来空間形態の3つのプロトタイプに対し、素材や家具から考えるインテリアの提案も行った。

a. 素材から考える待合

診療科や周辺環境空間の特徴に応じて、待合空間の素材、質（奥行き、照明、家具配置など）を決定する提案。床や壁が各通路のアイキャッチとなりスタッフも患者も分かり易い。素材の種類により健康増進にもつながる。

b. 家具から考える待合

診察室への入り口を、ギャレーに面するように配置することで、壁面を利用した多様な家具配置を提案。ギャレー空間には、予診・相談スペースや、光の入るスタッフ休憩スペースを配置することができる。

2-6. 提案への評価・考察

これら3つのプロトタイプに対し、以下の評価軸を設け、患者とスタッフとの双方の視点から外来空間を横断的に評価した。

- ・ユニバーサル／専門外来…診療科の配置と待合空間形態が多様で互いに関係を持っている場合は、専門外来に適しているが、空間が一樣である場合は、どの診療科にもユニバーサルに適用可能である。
- ・広場的／モールの…従来の中待合はモールの形状であるが、広場的な空間を設けることで、アクティビティの選択可能性が高まる。
- ・ペリメーター待合／インテリア待合…従来はインテリアゾーンに設けられがちな待合を、ペリメーターゾーンに移すことで、外部と接し健康的に待ち合うことができる。
- ・壁面が多い／壁面が少ない…従来の中待合には診察室に入る扉が多く面しているが、壁面を増やしていくことで、掲示や家具配置、情報提供などに利用することができる。

3. 共同研究者

松村正人、恒川真一、三橋啓史（大成建設株式会社一級建築士事務所）

李東勲（創造理工学部建築学科助教）

斎藤信吾、桂悠花、山口舞、符珊珊（創造理工学研究科修士課程）

孟童（創造理工学研究科科目履修生）

4. 研究業績

2013 年度日本建築学会大会（北海道）

建築デザイン発表会にて発表予定

- ・病院におけるこれからの外来部門の構成と待合空間の提案

5. 研究活動の課題と展望

以上の待合空間形態に対するA,B,Cの提案、およびインテリアに対するa,bの提案から、限られた面積の中でもスタッフと患者の共有空間を生み出し、チーム医療や予防医療スペースなどの診察室の延長としての待合や、カフェ・ワークスペースなどの日常生活空間の延長としての待合を得ることが可能となる。今後は実地調査結果などとも照らし合わせハード・ソフト面からの見直しを進める。医療技術・ニーズは日進月歩で変化するため、フレキシビリティの確保も今後の重要な課題となる。

オフィス等の設計における、産学共同プロセスの研究_その 1

1/2-OFFICE, スペースの余剰とオフィス評価の相乗的価値の連鎖をつくる

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

「レントابل比」一辺倒で評価されてきたこれまでのオフィスでは、ワークスペース以外の面積を圧縮するために、動線部分やユーティリティ部分などを最大限コンパクト化してきた。本課題ではこうした従来のオフィスの価値基準を定量的なものから定性的なものへと刷新し、これまでにない豊かな価値を持つ斬新なオフィス空間、ないしはプログラムをデザインする。

ちなみに、課題委託者からは特にビルディングスケールは特定されていないが、多様なオフィスの立地の可能性を勘案しつつ、その場所にふさわしい革新的なアイデアが求められている。また、ワークスペースの余剰が生むオフィスの価値についても、さらに高められたオフィスの価値がふたたびスペースの余剰を生み出すような、ポジティブブフィードバックの関係が期待されている。それはまた一人の人間にとっての、執務に従事している時間と、それから解放される時間とのオン・オフの関係に対する考察を求めるものである。

古谷誠章研究室では、近藤内科病院でのナースステーションの配置の考察において、従来の一文字廊下の中央、あるいはT字型、十文字型での交差部など、一望監視的な機能上の要請からの配置を見直し、口の字廊下の中央部分にゆるやかに陣取る「ルーズなナースステーション」の概念を導いた。便所や浴室、リネン庫など暗室化するボリュームをあえてまとめずに散漫に配置し、四方八方に開放されたゆとりある執務スペースとなっている。周囲のどの病室の患者もが身近に感じる安心感を生んでいる。同様に病室前の廊下の幅員もあえて最低限とせず、従来所狭しと作り付けられた各種収納を家具化して、廊下にも圧倒的な余裕をもたらした。この空間性を利用してホスピス入所者を阿波踊りの連が見舞ったエピソードが残されている。

この課題に参加する諸君は、これらの成果を参照し、かつ、そこからも大いに飛躍して価値観を転換するようなデザインを提案してほしい。委託者の認める特に優れたアイデアの提出者については、その後の実施プロジェクトへの参加を依頼することがある。

2. 主な研究成果

「1/2-Office + 1/2-Leisure」

〈00、コンセプト〉

時間に追われた日々の生活の中では、余暇時間の充実が仕事の充実につながる。例えば、1 時間のランチタイムや 30 分の読書時間、10 分間の昼寝でさえも仕事の質の向上をもたらす。また、現代の社会には、各個人が多様な価値観を持って生活をしている。

そこで私は、多様な価値観を受け入れ、それらに柔軟に対応できる余暇空間を内包したオフィスビルを提案したいと思う。

〈01、建築操作〉

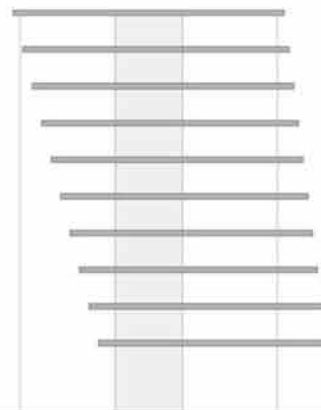
① 従来のオフィスビル：

同じ大きさ、同じ平面構成のフロアが縦に積層されている。



② 平面構成の脱均質化：

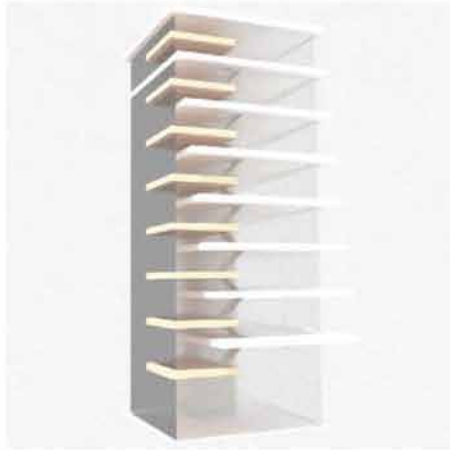
どのフロアも同じような平面構成を持つという均質感を崩すために、床を少しずつずらす。そのことにより、フロアごとにコアの位置が異なる平面ができる。また、北側に大きな明るい吹抜けが、南側には庇代わりのテラスが生まれる。



③ 余暇空間フロアの挿入:

執務空間のフロアの中に、余暇空間のためのフロアをはさむ。

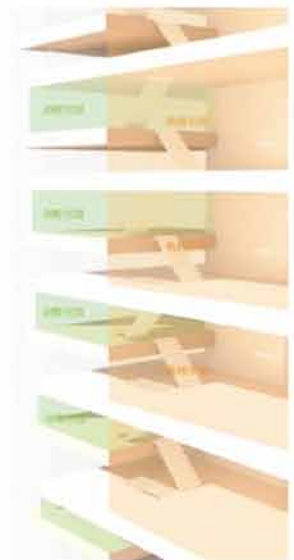
それぞれの余暇空間フロアは異なった機能の空間となっている。例えば、調べ物をしたり知識を増やせる図書スペース、雑誌などが置かれた情報収集スペース、カフェスペース、お酒販売スペースなどが想定される。



〈02、内部空間〉

出社時にエレベータに乗ってたどり着く先は、各執務空間フロアの中に位置する余暇空間フロアである。そこからスキップフロアで移動して、自分のデスクへと向かう。

余暇時にはエレベータで移動することで、どの階の余暇空間へも行くことが可能である。このオフィスでは、自分の習慣やそのときの気分に合わせて、余暇空間フロアと執務空間フロアを使い分けながら働くことができる。



3. 共同研究者

李 東勲 (創造理工学部 建築学科 助教)

久我 淳子 (創造理工学研究科 建築学専攻 修士1年)

4. 研究業績

5. 研究活動の課題と展望

本計画は、オフィス空間を豊かにするための概念の提案に留まっている。今後具体的な空間提案や他のビルディングタイプへの応用などを考えることによって、本計画の活かし方を検討することが可能である。

オフィス等の設計における、産学共同プロセスの研究_その2

-不連続統一体を目指して-

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

産学共同研究課題 「不連続統一体を目指して : PART III」

同一の都市内に点在し、あるいは別の都市間にまたがって散在する「点的」な建築に対し、「有機的つながり」を持って、互いに関連のある建築群としてネットワークすることのできるような、斬新な建築、ないしはプログラムをデザインする。ちなみに、課題委託者からは特にビルディングタイプは特定されていないが、オフィス、商業、ホテル、集合住宅、ないしはある種の公共施設や交通拠点などを含むアイデアが可能であろう。紋切り型の Building Identity の統一などの手法は求められていない。ある時には全く別個のものと感じられる建築群が、ふとした視点からは統一的、連続的に感じられるような、絶えず集合離散が繰り返される、画期的なネットワーキングのアイデアが求められている。

早稲田大学教授であった吉阪隆正はその「不連続統一体」の概念によって、人間、建築、都市、さらには自然や地球環境に対し、数々の独創的なアイデアを提示した。その多くは建築などを、「個」として顕在すると同時に、「群」としての相互作用によって動的に変化する、生命体あるいは生物群のような有機的な複合体と捕らえる視点に基づいていたと思われる。

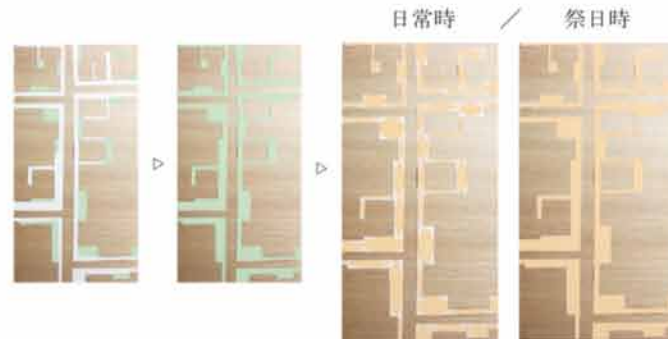
古谷研究室においては、その後これらの知見をもとに、絶えず成長変化する動的な建築や都市を「いつも工事中」の概念や、また散在する「個」を統合的に認識するための「ヴェネツィアの水」とよぶ媒介要素のアイデアを研究している。散在する新しい都市型大学キャンパスの提案（ハウジング・アンド・コミュニティ財団助成研究）は目に見えぬ点的な大学施設群をネットワークする構想であり、また点在する住居棟を道路と水路、さらにその間の緑地や農地で繋ぐ上海の「朱家角プロジェクト」は、生命的な循環型のリンクを考慮した群造形の一例だといえる。

この課題は過去に既に出題されたものだが、その際にある者は抽象的な設定に頼りすぎ、あるいは矮小な概念に陥りすぎて、委託者の求める「離散する要素を巧妙にネットワークするアイデンティティ」までになかなか至らなかった経緯がある。そこでこの課題に参加する諸君は、これら関連する知見や過去の出題の成果を精査し、かつ、そこから大いに飛躍して挑戦的なデザイン提案を目指す。

2. 主な研究成果

都市の中に点在するレストスペースに着目し、それらのレストスペースを線的に繋ぐ事で豊かな街空間を創出する。プログラムとしてお祭り、装置として可動式の門を道の上に計画し、日常時と祭日時の街空間の使

われ方 2 パターンを提案する。可動式の門は日常的に道に対して垂直に建っており道の空間を細分化し数珠状に繋げる。細分化された空間は日常的に人がくつろぐことができるポケットスペースとして緩やかに繋がっていく。祭日時には門は道と平行な向きに移動して道の直線的にのびた空間を強調する。道上に計画されたお祭りと可動式の門が相乗的に一体的な街空間を演出する。



(fig.1 点在するレストスペースを、道を介して一連に繋ぐ様子のダイアグラム)



(fig. 2 日常時の使われ方の様子、模型写真)

3. 共同研究者

李東勲 (創造理工学部建築学科助教授)

渡辺めぐみ (創造理工学研究科修士課程)

4. 研究業績

2012 年 7 月 25 日 55 号館 S 棟 8 階 E 系サロンにて開催。

後日、株式会社清水建設に研究内容報告。

5. 研究活動の課題と展望

本研究は点在する既存のレストスペースを用いて一連に繋げることで「不連続統一」的システムを新たに提案している。しかし提案に伴うデザインについてはまだ考慮すべき点が散見される。道上に幾つもの門が立ち並ぶ風景はある種の物々しさを感じられ、それを軽減させるデザインのあり方が考えられたのではないかな。また門は独立しているのではなく、道沿いに立ち並ぶ建築の一部として接合した状態であれば、また新たな提案の可能性が生まれたのではないかな。

原子力発電所高経年化のための電気設備劣化診断

研究代表者 大木 義路

(先進理工学部・電気・情報生命工学科・教授)

1. 研究課題

運転が長期化する原子力発電所を安全に運転するためには、使用されている電線・ケーブルをはじめとした電気設備の状態を監視・診断することが重要である。

約 1M~1.5GHz の広い周波数帯域で種々の周波数の電磁波をケーブルに入射し、その電磁波がケーブル中の複素インピーダンスの変化した箇所から反射する信号を測定する周波領域反射測定 (FDR)法を用いることにより、ケーブル全体にわたり熱・放射線を同時に与え劣化させたケーブル絶縁体、部分的に物理的損傷あるいは熱・放射線を同時に与えて劣化させたケーブル絶縁体について、劣化位置標定が可能であることを確認している。しかし、本手法の実用化のためには、さらなる検出感度および操作性の向上を目指す必要がある。この観点から、ケーブル絶縁体が温度の関数であることを利用して、ケーブルの温度を局部的に上昇させ、その位置を標定することによって、本手法の感度の評価を行うとともに、本手法が極めて優れた位置標定能力を有していることを示す。

2. 主な研究成果

上述のように、ケーブルの一部が高温に曝された状態において、その高温箇所の位置標定の可能性について検証した。対象ケーブルは、長さ約 32m の低密度ポリエチレン(LDPE)絶縁同軸ケーブルであり、測定端から約 11.0~11.4m の位置を恒温槽にて加熱し、加熱前(25℃)および 40℃から

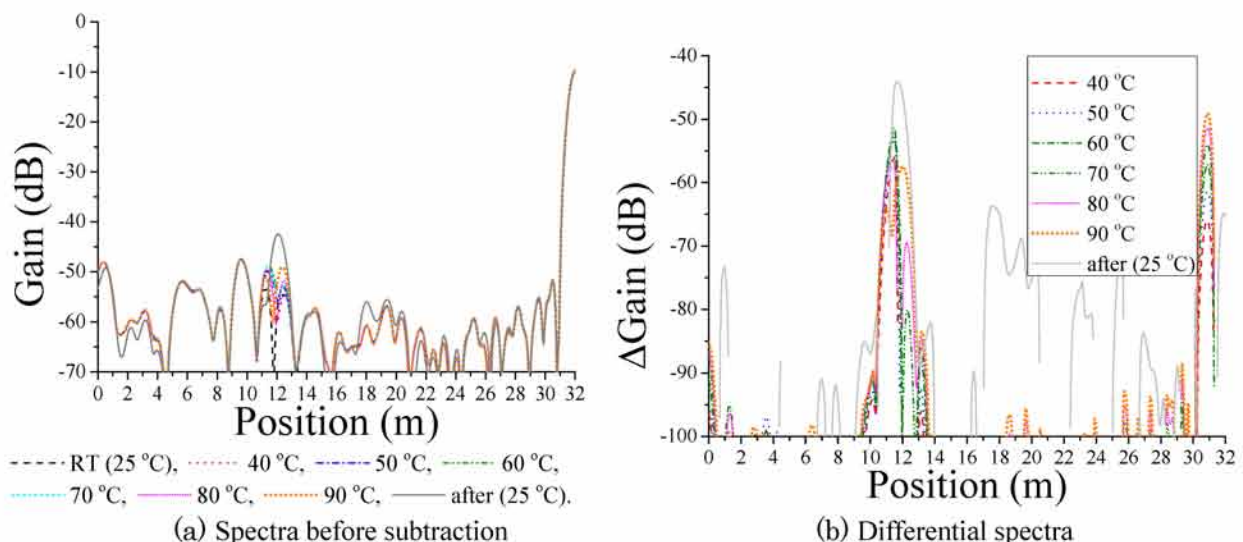


Fig. 1 (a) Gain/position spectra as a function of temperature, obtained for a coaxial cable heated at a position 11.0 - 11.4 m with a network analyzer. (b) Differential spectra obtained by subtracting the spectrum at 25 °C from the ones at 40 - 90 °C.

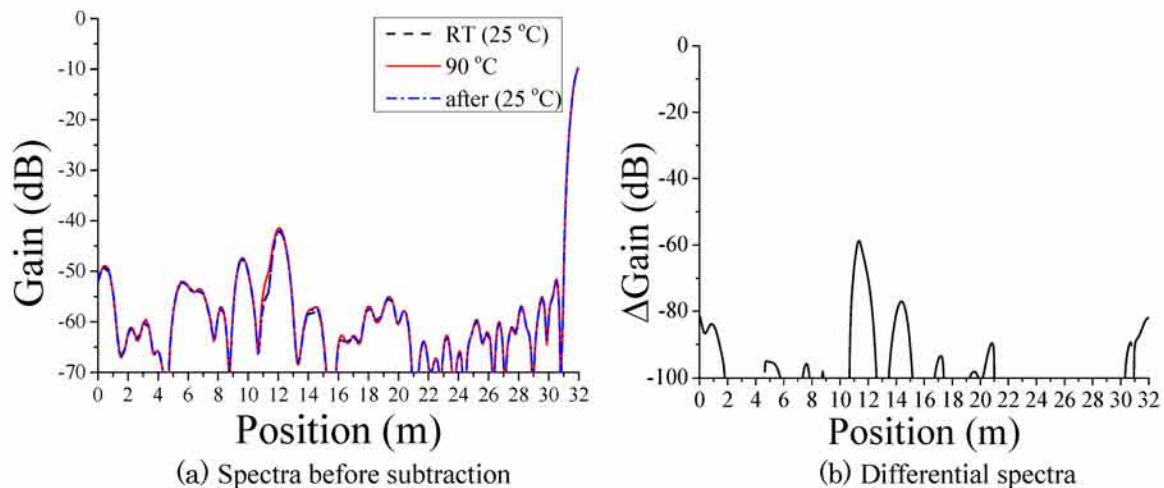


Fig. 2 (a) Gain/position spectra as a function of temperature, obtained for the coaxial cable heated at a position 11.7 m for a length of 2.5 cm. (b) The differential spectrum obtained by subtracting the spectrum at 25 °C from the one at 90 °C.

90°Cまでの 10°C毎と約 16 時間経過後に温度が室温まで下がってから、1~200MHz に亘り位置標定した。Fig. 1(a)に各温度における位置標定結果を、Fig. 1(b)に各温度におけるスペクトルから加熱前のスペクトルを引いた差スペクトルをそれぞれ示す。

また、加熱前(25°C)と測定端から 11.7m の位置を 2.5cm に亘りリボンヒーターで 90°Cに加熱した後、および約 16 時間経過後の室温で 1~200MHz に亘り位置標定を行った結果を Fig. 2(a)に示し、加熱前のスペクトルとの差スペクトルを Fig. 2(b)に示す。Fig. 1 と Fig. 2 を合わせ、FDR 法をベースとした本手法で得たスペクトルの差分を取ることで、絶縁体の温度上昇部の長さが 40cm 程度であれば温度上昇が 15°C、2.5cm の長さであれば温度上昇が 65°C以上で位置標定できることが分かる。

さらに、紙面の制約より図示しないが、測定周波数域を 1M~1.5GHz に広げると、加熱部が 2.5cm であっても、わずか 5°C上昇した位置の標定に成功している。これは、絶縁材料の特性インピーダンス変化が 0.1%あれば位置標定が可能であり、本手法が非常に優れた感度を持っていることを示している。

3. 共同研究者

平井 直志(理工学術院・次席研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文

Yoshimichi Ohki and Naoshi Hirai, "Location feasibility of degradation in cable through Fourier transform analysis of broadband impedance spectra", Electrical Engineering in Japan, Vol. 183, No. 1, pp. 1-8, 2013.4. (to appear)

4.2 国際会議報告

Yoshimichi Ohki, "Japanese Research Activities on Assurance of Cable Integrity in Nuclear Power Plants", 1st International Conference on Maintenance Science and Technology, pp.

145-146, Tokyo, 2012.11.14.

Naoshi Hirai, Takayuki Yamada, and Yoshimichi Ohki, “Comparison of Broadband Impedance Spectroscopy and Time Domain Reflectometry for Locating Cable Degradation”, Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, pp. 229-232, Bali, 2012.9.25.

Takayuki Yamada, Naoshi Hirai, and Yoshimichi Ohki, “Improvement in Sensitivity of Broadband Impedance Spectroscopy for Locating Degradation in Cable Insulation by Ascending the Measurement Frequency”, Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, pp. 677-680, Bali, 2012.9.24.

Yoshimichi Ohki, Naoshi Hirai, Toshio Yamamoto, Takefumi Minakawa, and Tatsuki Okamoto, “Improvement of Inspection and Maintenance Procedures of Polymeric Cable Insulation Used in Nuclear Power Plants in Japan”, CIGRE Session 44, D1-109, 2012.8.29.

Yoshimichi Ohki and Naoshi Hirai, “Chemiluminescence as a Clear Diagnostic Tool of Polymer Oxidation”, 2012 IEEE 10th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, 2. 2. 1, Bangalore, 2012.7.26.

Yoshimichi Ohki, Naoshi Hirai, Takefumi Minakawa, and Tatsuki Okamoto: “The Status Quo of Japanese Research on Assurance of Cable Integrity in Nuclear Power Plants”, Third International Conference on Nuclear Power Plant Life Management, IAEA-CN-194-076, Salt Lake City, UT, USA, 2012.5.15.

4.3 国内会議報告

高野さよ, 平井直志, 大木義路, “難燃エチレンプロピレンゴムの化学発光の特異性”, 平成 25 年電気学会全国大会講演論文集, Vol. 2, p. 47, 名古屋, 2013.3.21.

仁木貴之, 平井直志, 大木義路, “走査型プローブ顕微鏡による熱・放射線同時劣化難燃エチレンプロピレンゴムの表面観察”, 平成 25 年電気学会全国大会講演論文集, Vol. 2, pp. 88-89, 名古屋, 2013.3.20.

山田貴之, 平井直志, 大木義路, “周波数領域反射法によるケーブル事故点標定におよぼす終端インピーダンスの影響”, 平成 25 年電気学会全国大会講演論文集, Vol. 7, p. 212, 名古屋, 2013.3.22.

山田貴之, 平井直志, 大木義路, 熊谷進, “周波数領域反射法によるケーブルの異常温度箇所の位置標定”, 誘電・絶縁材料研究会／電線・ケーブル合同研究会電気学会研究会, DEI-13-035, pp. 39-44, 東京, 2013.2.13.

高野さよ, 平井直志, 大木義路, “生分解性高分子の酸化時の化学発光”, 2012 年放電学会年次大会講演論文集, pp. 121-122, 東京, 2012.12.01.

仁木貴之, 平井直志, 大木義路, “走査型プローブ顕微鏡による高分子中の酸化防止剤と表面における結晶性の評価”, 2012 年放電学会年次大会講演論文集, p. 116, 東京, 2012.12.01.

山田貴之, 平井直志, 大木義路, “周波数領域反射測定によるケーブル劣化位置標定の高感度化”, 第 43 回電気電子絶縁材料システムシンポジウム予稿集, pp. 187-190, 三島, 2012.9.11.

平井直志, 山田貴之, 高野さよ, 大木義路, “化学発光測定による架橋および未架橋ポリエチレンの酸化劣化評価”, 第 43 回電気電子絶縁材料システムシンポジウム予稿集, pp. 101-105, 三島, 2012.9.10.

4.4 学会および社会的活動

[本プロジェクトに特に密接に関係するものとして]

(独)原子力安全基盤機構(原子力発電所の規制に関する委員会の主査)

(社)日本電気協会(「電気設備技術基準」に関する委員会の委員)

IAEA (国際原子力機関-電気設備に関する委員会の委員)

環境省原子力規制庁(高経年化技術評価高度化事業 ケーブル劣化研究連絡会の委員長)

5. 研究活動の課題と展望

長さ 50m 程度のケーブルについて、FDR 法を原理とする本診断手法による劣化位置標定の分解能は、劣化部の長さ 2.5cm、ケーブルの特性インピーダンス変化率 0.1%に達していることを確認している。今後、本手法の適用範囲のさらなる拡大を考えると、まずは、より長いケーブルへの適用性を確認することが必要である。そのために、信号出入力系、ケーブルと測定機器との接続部、および信号処理系の改良、等により長尺ケーブルへの本手法の適用性を検証する。

建築生産における品質、安全、生産性向上を目指した

3 次元部材情報の活用に関する研究

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

既存建物の有効利用の必要性が重視される今日、建物の補強工事、改修・改装工事が益々盛んに行われる環境にある。しかし、建築物が長年に亘って修繕や部分改修を繰り返すことによって、建設当時の竣工図とは大きく異なった部分も多くなり、改修・改装時における現状図の新たな作成が課題となりつつある。

既存建築物の各部寸法や形状を計測することは、今後、建物資産の評価や改修工事等において増加して行くと考えられる。しかし、計測する時点で計測者は、どの部分を計測すればよいかが明確に判っていない場合が多い。また、現状図を作成するためには多くの計測箇所が必要となり、それらの計測箇所を精密に計測者に指示することは難しくなる。ある規則に従って網羅的に計測を実施し、後日、データに基づいて、計測者とは別のエンジニアがその物件に必要な箇所の採寸や形状の認識をすることになる。このような場合、既存建物を3次元スキャナーで計測してそのデータを取得する意義は大きいと云える。

本研究では、3次元スキャナーによる点群データに基づいて、既存建築物の3次元CADモデルを作成する技術について検討し、比較的短時間に点群モデルからCADモデルを作成するシステムの方法論を検討した。

2. 主要な研究成果

2. 1. 面モデルの自動化の手順

前章では、点群モデルに基づいて、多面体モデルを速やかに作成するシステムを紹介したが、面が多数存在する点群において、面を作成するには作業量が多くなる欠点がある。このため、概略面を自動的に作成するシステムが手動システムとともに必要になる。

概略面の自動作成する手順は、下記の通りである。

- (1) 点群モデルについて、微小領域について平面性を有する領域を特定する。
- (2) 平面性を有する領域を隣接する領域と比較して、平面領域を拡大する。
- (3) 拡大した平面領域を多角形平面として仮定する。
- (4) 多角形平面が相互に交差する箇所を稜線として特定する。
- (5) 稜線で囲まれる平面を取り出し、多面体を作成する。

2. 2. 多面体モデル作成のアルゴリズム

2. 2. 1. 平面性を有する微小領域の特定

点群モデルについて、半径 d の微小部分を取り出し、その点群に対する平面回帰分析を行い、点群が

平面から外れる程度（距離の標準偏差）を用いて、微小領域 i が平面性か否かを調べる。もし平面性を有していれば、この平面領域 i の法線ベクトル V_i と中心座標 P_i を求める。

2.2.2. 平面領域の拡大

平面性を有する微小領域 i の法線ベクトル V_i と中心座標 P_i について、隣接する微小領域 j の法線ベクトル V_j と中心座標 P_j を求め、以下の条件を満足する場合には、両者の微小領域は同一の平面を構成していると仮定する。

- (1) V_i と V_j の交差角が θ 以内（ただし、 θ は交差角の小さい方を意味する）
- (2) P_i と P_j の距離が L 以内

2.2.3. 平面多角形の作成

平面領域を拡大していくと一定以上の面積を有する平面を特定出来る。この平面領域を多角形平面として近似する。多角形領域は、平面近傍に存在する点群をすべて含む多角形として作成する。

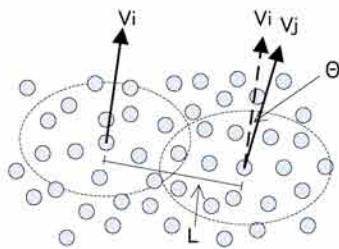
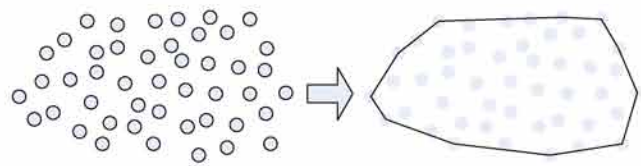


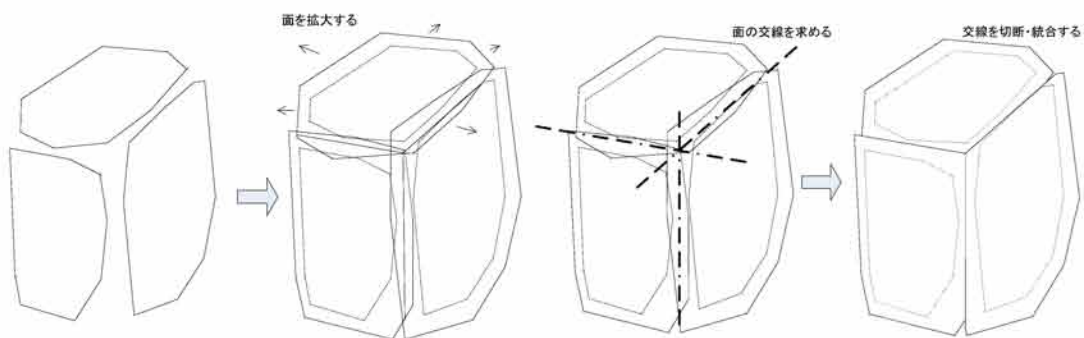
図.1 平面領域の拡大



a. 点群モデル b. 多角形モデル
図.2 近傍の点で構成される多角形平面

2.2.4. 稜線の設定

点群モデルを多角形平面で表現すると、それぞれの多角形によって、図.3.aの如く、多面体を構成することが出来る。しかし、この多面体は、面が交差する部分に僅かな隙間が生じるため、近傍の多角形平面と交差していると仮定して、稜線を求める。この稜線を求めるためには、多角形外周の縁を外部に拡大することによって近くに存在する多角形と交差するようにする。



a. 作成した多角形 b. 縁を拡張した多角形

図.3 多角形平面の拡張

a. 交差する多角形平面 b. 稜線を持つ多角形平面

図.4 稜線による多角形平面

これによって、図.3.bに示すそれぞれの多角形平面は交差し稜線が発生する。

2.2.5. 多面体の作成

図.4に示す如く、求められた稜線によって分離された不要な部分を削除して稜線で交差する多角形平面を作成する。この多角形平面を繋ぎ合せることによって多面体を構成する。

2.3. 事例による自動システムの試行

2.3.1. 対象とした点群モデル

前章で示した集合住宅の住戸部のコンクリート躯体の点群モデルについて、多面体モデルを自動作成するアルゴリズムを適用し、その実用性を検討した。

対象とした点群モデルは、概ね 5mm 間隔に密度調整された点群を用いており、密度調整後の点群数は住戸全体で約 760 万点である。自動化システムでは、このすべての点群を用いて、多面体を構成している。

2.3.2. 概略平面モデルの自動作成

A. 点群から平面領域の特定

点群モデルについて、微小領域 i の法線ベクトル V_i と中心座標 P_i を求めた後、前項で示したアルゴリズムに基づいて、平面領域を特定した。住戸部のコンクリート躯体における平面領域を多角形に変換した結果が、図. 5. a, b である。この図では、壁部分はほぼ 1 枚の平面としてモデル化されているが、一部では、平面が複数に分割されて面を表している。この原因は、点群モデルにおける計測誤差や躯体の型枠繋ぎ目の凹凸によって平面が複数に分離されている個所である。



図. 5 平面領域を多角形に変換されたモデル

B. 平面領域拡大した多角形

平面で構成した多面体はその出隅や入隅部分で面が分離されているが、その稜線の部分には隙間が空いている状態となる。この隙間を埋めるためには、平面が交差することを仮定して稜線を求め、その稜線に基づいて平面を繋ぎ合わせる。この操作を行うためには、それぞれの多角形を若干拡大（事例では 200mm）して交線を求め稜線とする。図. 6. a は多角形を拡大した状況を示しており、図はその拡大した平面相互の稜線を求めている。

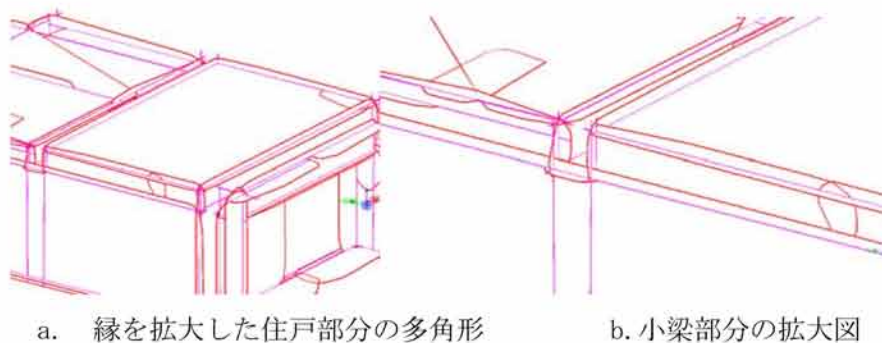


図. 6 多角形を拡大したモデル

2.4. 試行結果の考察

今回開発した CAD モデルの自動作成システムの開発とその事例への適用によって明らかになった点は以下の通りである。

- (1) 点群モデルの微小平面領域から法線ベクトルと中心座標を求めることによって、点群モデルを多面体モデルに自動変換することは、一部の問題点を除いて技術的に可能である。
- (2) 大きな平面領域については、比較的安定して多角形モデルに自動変換することが出来るものの、小さく細長い領域（例えば、幅 100mm × 2000mm）については、平面性の認識が難しく、平面性のテストで破棄される場合が多く平面が自動作成されない部分が発生した。例えば、床の段差部分の垂直面については、今回殆ど自動変換が適正に行われていない。
- (3) 点群から作成した多角形を拡大して稜線を求めて多面体として形成することはほぼ問題なく成功している。
- (4) 今回は、多角形を凸多角形と仮定しているため、開口部や凹部分を有する点群については自動作成された多角形を、手動で「開口部を開ける」、「多面体の面の一部を修正する」などの操作が必要になった。

3. 共同研究者

注) 本報で示す研究成果は、国土交通省平成 21, 22, 23 年度住宅・建築関連先端技術開発助成事業（研究組織：早稲田大学（代表）、新菱冷熱工業、前田建設工業）の研究成果の一部である。

4. 研究業績

- 1) 嘉納成男、五十嵐健、石田航星、酒本晋太郎、富田裕行、藤井裕彦、大澤雄司：点群モデルに基づく既存建築物の 3 次元 CAD モデルの作成に関する研究、建築生産シンポジウム、日本建築学会、2012. 07
- 2) 嘉納成男・五十嵐健・石田航星・福田結磨・酒本晋太郎・富田裕行・他：改修工事におけるエコ生産のための 3 次元レーザースキャナーを用いた計測技術の開発（その 4）既存設備配管・ダクト類の計測と点群モデルの解析、大会学術梗概集、2012. 09、日本建築学会
- 3) 富田裕行・嘉納成男・酒本晋太郎・澤田和美・田中幸悦・五十嵐健・他：改修工事におけるエコ生産のための 3 次元レーザースキャナーを用いた計測技術の開発（その 5）設備配管・ダクト類のプレカット部材の設計とレーザ照射による位置決め、大会学術梗概集、2012. 09、日本建築学会
- 4) 富田裕行・嘉納成男・酒本晋太郎・澤田和美・田中幸悦・五十嵐健・他：改修工事におけるエコ生産のための 3 次元レーザースキャナーを用いた計測技術の開発（その 6）既存躯体の点群を利用した 3 次元 CAD モデル作成、大会学術梗概集、2012. 09、日本建築学会

5. 研究活動の課題と展望

本報では、点群モデルから CAD モデルとして役立てることを目的として、概略的な平面モデルとして多面体モデルへの変換を提案し、その変換の手動システムを開発するとともに、この作業を自動的に行うためのアルゴリズムを検討しそのシステムを開発し事例に対して試行した。

試行した結果では、点群モデルを手動システムについては、ほぼ実務上利用価値の高い CAD モデルを作成し得ることが判った。また、自動システムについては、部分的には多面体モデルに変換出来ない箇所もあるものの、多くの部分については自動的に変換が可能であることが判った。自動化のアルゴリズムを改善するとともに、自動化を補う意味で手動システムを用いることによって、点群モデルから CAD モデルの作成は短い作業時間で行い得ることが出来る。

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

予防医療分野での診断技術の開発は、大きな産業化への役割を担うのみならず、今後の高齢化社会での大きな役割を担っている。バイオセンサを始めとする医療機器をこの分野で応用することは、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) の向上に大きく貢献する。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満たすべき性質を考慮に入れたその改良が重要となる。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の考え方を打破し、医学と工学が融合した研究開発スタイルを確立することで、医療現場のニーズに則した医療機器の開発が推進されると期待される。そこで本プロジェクトは、医療工学分野の連携研究を活性化することを目的とし、機器開発に有用な情報を医師や医療機関から収集し、それを実際の機器開発に活かす流れを考案することで、医療現場での実用化に則した医療機器の開発指針を提案できる拠点を形成する。

2. 主な研究成果

2.1. 臨床応用に向けた疾患検知用電界効果トランジスタバイオセンサの開発

電界効果トランジスタ (FET) センサはゲートに修飾する分子を変えるだけで、センサそのものを改めて設計し直す必要もなく、様々な用途に適用が可能となる。臨床現場での応用を目指し本年度は、がん診断に向けては肝臓がんマーカーである α フェトプロテイン (AFP) を定量検出可能となる抗体固定化 FET センサを、感染症診断に向けてはインフルエンザウイルスの迅速検出を目的とした糖鎖固定化 FET センサを、またアレルギー診断に向けては、卵アレルギー患者の発見を目的とした抗原固定化 FET センサを、Proof of Concept (POC) の例として開発した。また基礎検討として、疾患に関連するタンパク質分解酵素マトリックスメタロプロテアーゼ (MMP) を検出する FET センサの開発を行った (図 1)。

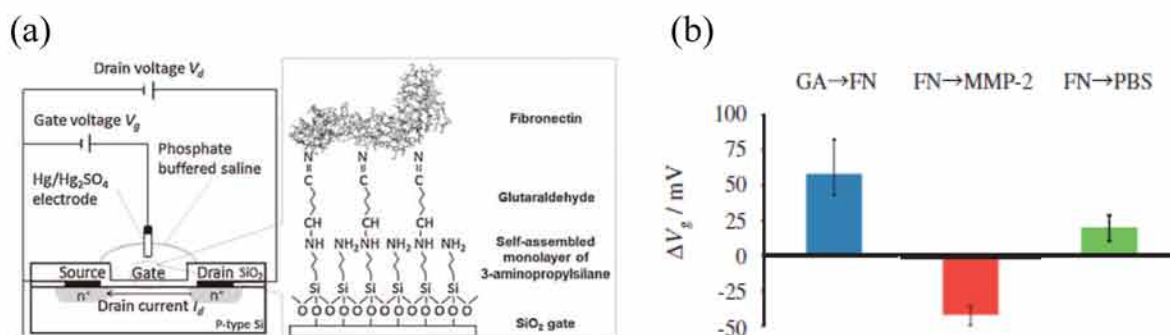


図 1 フィブロンectin固定化 FET を用いた MMP-2 の検出。
概略図 (a)、および MMP-2 添加時の応答 (b)

2.2. マグネタイトナノ粒子のがん治療への応用に関する研究開発

マグネタイトナノ粒子は磁性や生体適合性の側面から、ハイパーサーミヤの発熱体やドラッグデリバリーシステムのキャリアとしてがん医療への応用が期待されている。今年度は、マグネタイトナノ粒子の医療応用に向け、交流磁場印加時の発熱特性や細胞への取り込み効率、細胞内動態に関する研究を進めた。特にマグネタイトナノ粒子の安全性評価について、マグネタイトナノ粒子がマウス ES 細胞に対して安全であることを実証した (図 2)。

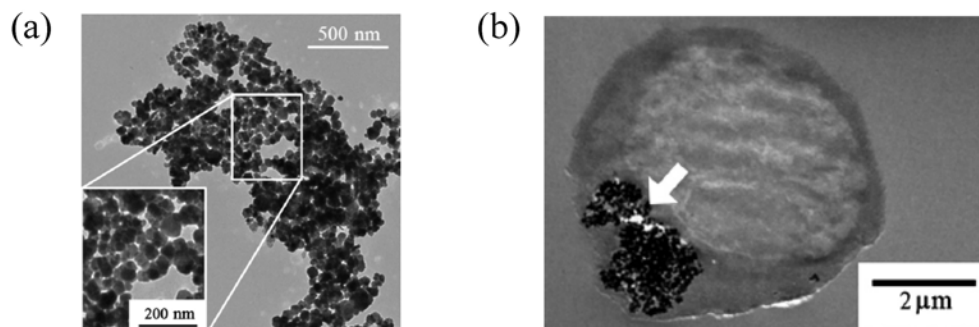


図 2 マグネタイトナノ粒子 (a)、およびそのナノ粒子を内包したマウス ES 細胞 (b) の透過型電子顕微鏡像

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 (生命医療工学研究所・客員主任研究員) 秀島 翔 (理工学研究所・次席研究員)

4. 研究業績

4.1. 学術論文

T. Osaka *et al.*, Detection of Matrix Metalloproteinase-2 by Field Effect Transistor with a Fibronectin-immobilized Gate, *Chemistry Letters*, **41**(8), 825-827, 2012

T. Osaka *et al.*, Effect of magnetite nanoparticles on living rate of MCF-7 human breast cancer cells, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, **95**, 254-257, 2012

T. Osaka *et al.*, Cytotoxicity Evaluation of Magnetite (Fe_3O_4) Nanoparticles in Mouse Embryonic Stem Cells, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, **97** 221-225, 2012

4.2. 総説・著書

森康郎他 (著)、逢坂哲彌 (監修)、ものづくり大国の黄昏—巨大市場を目前に急失速する電池産業、日経 BP コンサルティング (平成 24 年 8 月)

4.3. 招待講演・特別講演

逢坂哲彌他、有機アミンを用いたマグネタイトナノ粒子の合成とそのバイオ・医療応用に向けた評価、日本磁気学会ナノバイオ磁気工学専門研究会・電気化学会ナノマイクロファブリケーション研究会・表面技術協会表協エレクトロニクス部会合同研究会 (平成 24 年 6 月)

逢坂哲彌、半導体 FET デバイスを利用した医療用センサの試み、Conference for BioSignal and Medicine 第 11 回大会 (CBSM 2012) (平成 24 年 9 月)

T. Osaka *et al.*, Synthesis of Magnetite Nanoparticles with Organic Amines and Evaluation of Their Properties for Biomedical Applications, International Conference on the Asian Union of Magnetic Societies (ICAUMS 2012), Nara, Japan (October, 2012)

T. Osaka *et al.*, Modification of Solid Surface with Self-Assembled Monolayer for Chiral Sensing, PRiME2012, Honolulu, Hawaii (October, 2012)

T. Osaka *et al.*, Development of Specific Delivery of Magnetic Nanoparticles in Cancer Tissue for Hyperthermia and Their Establishment of System for Safety Assessment, PRiME2012, Honolulu, Hawaii (October, 2012)

4.4. 受賞・表彰

4.5. 学会および社会的活動

逢坂他、シアル酸含有糖鎖修飾電界効果トランジスタのニホンニワトコレクチンへの応答とその濃度依存性, 第2回 CSJ 化学フェスタ 2012, P5-11 (平成 24 年 10 月)

T. Osaka *et al.*, Detection of Amyloid Protein Using Congo Red-immobilized Field Effect Transistor Biosensor, The 5th International Workshop on Advanced Electrochemical Power Sources (WAEPS-5), P25 (November, 2012)

T. Osaka *et al.*, Detection of Specific IgE Using Antigen-immobilized Field Effect Transistor, The 5th International Workshop on Advanced Electrochemical Power Sources (WAEPS-5), P30 (November, 2012)

逢坂他、中皮腫細胞へのマグネタイトナノ粒子の取り込みと細胞毒性作用, 第35回日本分子生物学会年会, 4P-0361 (平成 24 年 12 月)

逢坂他、マウスマクロファージによるマグネタイトナノ粒子取り込み挙動の評価, 第35回日本分子生物学会年会, 4P-0463 (平成 24 年 12 月)

逢坂他、中皮腫細胞へのマグネタイトナノ粒子の取り込みとその交流磁場下での発熱による細胞死の評価, 電気化学会第80回大会, 1O28 (平成 25 年 3 月)

逢坂他、Detection of Sup35NM Depending on Its Growth Using Field effect Transistor, 電気化学会第80回大会, 3I03 (平成 25 年 3 月)

逢坂他、電界効果トランジスタを用いた凝集形態の異なるアミロイドβの検出, 電気化学会第80回大会, 3I04 (平成 25 年 3 月)

逢坂他、フィブロネクチンの分解反応を利用したマトリックスメタロプロテアーゼ-2のFETによる検出, 電気化学会第80回大会, 3I05 (平成 25 年 3 月)

5. 研究活動の課題と展望

現在までに、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が研究室レベルで良好に動作することを確認してきた。今後は、医療現場での実用化を目指し、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、また社会に受け入れられる医療機器のスタイルを考えながら、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 聡之
(先進理工学部・准教授)

1. 研究課題

本研究ではエネルギー有効利用の一手段として、リチウムイオン二次電池を主とする蓄電池の、作動中の劣化挙動の解析と、運用中の蓄電池の状態および寿命の推定手法を検討することを目的としている。現在電気自動車やハイブリッド自動車の普及が進みつつあるが、蓄電池の劣化現象の理解、および個々の蓄電池モジュールの寿命の推測が強く求められている。また、最近の自然エネルギー導入による再生可能エネルギー発電の大規模導入が求められている。自然エネルギーの代表的な太陽光発電や風力発電などはその出力が大きく変動するため、これらの電気エネルギーを利用するには、発電と電力消費の間に蓄電システムを導入し受給の平準化を行う必要があり、早急な対応がせまられている。本研究ではこれらの使用目的に対する蓄電池を非破壊で評価解析が可能なインピーダンス法を中心に蓄電池の解析手法・手順の提案と可能性評価を行う。その結果を破壊分析結果によって検証し、その確度向上をはかる。将来型リチウム電池材料にも拡張し、蓄電池一般の解析手法提案へとつなげることを目標としている。

2. 主な研究成果

2.1. 矩形波を用いた電気化学インピーダンスのリチウムイオン二次電池劣化評価への適用

電気自動車や電力貯蔵用等に実用化される蓄電池は、大容量化や低内部抵抗化が進み、従来の電気化学インピーダンスでの反応挙動解析は困難となってきた。しかし非破壊での蓄電池劣化予測の需要性はますます高くなってきており、従来からの FRA に変わる内部インピーダンスを測定する方法が求められる、本研究では、蓄電池の充放電を行うパワーコントローラに着目し、パワーコントローラより作成した矩形波電流の電圧応答をフーリエ変換することで、比較的抵抗なり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検討を行った。パワーコントローラとして北斗電工製充放電試験機 HJ-3010SD8 を用いた。矩形波の周波数 f_i -SC = 50 Hz, 5 Hz、疑似正弦波の周波数 f_i -qAC = 1 Hz, 0.1 Hz とし、電流振幅 dLiP-P = 1 A とした。実測値 5 Ah のラミネート型リチウムイオン電池を用いた。電流－電圧応答の測定には Agilent technologies 34410A マルチメータを用い、サンプリング周波数 f_s = 1 kHz とした。矩

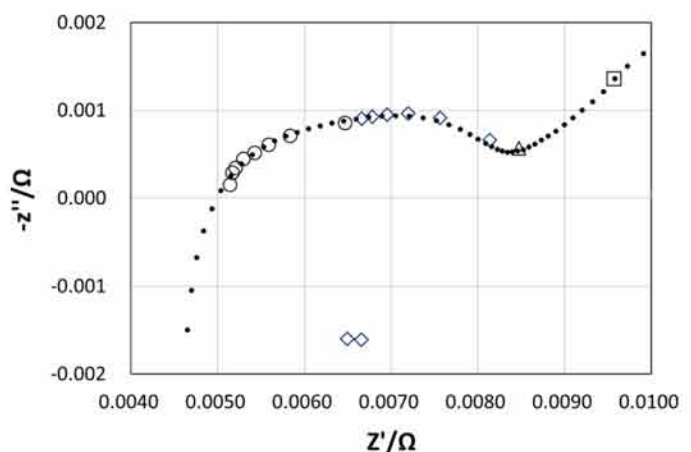


Fig.1 Nyquist plots of laminated lithium-ion battery; dots: results of AC impedance measurements, circle: 50Hz square current, diamond: 5 Hz square current, triangle: 1 Hz quasi AC current, square: 0.1Hz quasi AC current.

形波の入力波形の電圧、電流をフーリエ変換、信号処理を行うことで周波数応答を得た。交流インピーダンス測定は、Biologic 社製 電気化学測定装置 VMP を用い、測定周波数 $f = 10 \text{ kHz} - 1 \text{ mHz}$ 、電流振幅 $dIP-P = 1 \text{ A}$ にて行った。Fig.1 に、矩形波の電流-電圧応答より得られた周波数応答の結果を示す。一般に、矩形波をフーリエ変換すると、入力周波数 λ に対し、周波数 $(2n-1)\lambda$ ($n = 1, 2, 3 \dots$) にピークが得られることが知られている。本検討では $fi-qAC = 50 \text{ Hz}$ において $n = 8$, $fi-qAC = 5 \text{ Hz}$ において $n = 6$ まで安定した周波数応答が得られ、どちらの周波数においても入力周波数に対し 1 桁程度の高い周波数までの応答を得ることができた。また、得られた周波数応答は FRA を用いた一般的なインピーダンス計測結果と比較したところ、前記の周波数範囲においてほぼ同等の値が得られた。さらに、 $fi-qAC = 1 \text{ Hz}$, 0.1 Hz の疑似正弦波の電流-電圧応答から得られた周波数応答を Fig.1 に併せて示す。FRA を用いた一般的なインピーダンス測定結果と同等の結果が得られた。以上の検討より、矩形波インピーダンス(SC-EIS)により低抵抗なリチウムイオン二次電池のインピーダンス計測が可能なが示された。

2.2. チタン酸リチウムを負極とした 4Ah 級リチウム二次電池のインピーダンス解析

本研究室ではこれまでに市販 LIB のインピーダンス解析を行っており、Fig.2 に等価回路を用いて、 10 kHz から 1 mHz までの幅広い周波数応答に対応する解析法を提案してきている。ここで、従来市販されていたグラファイト系負極のリチウムイオン電池に加え、長寿命・高レート特性を有する負極の LIB について、(株) 東芝より供しされたセルを用いて、これまで同様にインピーダンス法による電池内部状態解析を試みた。4 Ah 級容量を有する LIB のサンプルは $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 負極と LiCoO_2 正極からなる。サイクル試験のための充放電は、constant current (CC) 法にて、 1.8 から 2.8 V の間で 4 C レート、室温で行った。インピーダンス測定は交流振幅 5 mV 、周波数範囲 $100 \text{ kHz} - 1 \text{ mHz}$ で行い、Fig.2 で示す等価回路によりフィッティング解析を行った。本系における特徴的なパラメータ変化を Fig.3 に示す。正・負極それぞれの電荷移動抵抗は、サイクルの増加に伴って増加した。正極の電荷移動抵抗は、1500 サイクル以降放電容量の減少カーブと相関のある加速した増加を示した。加えて、正・負極それぞれの限界容量変化を Fig.3 に合わせて示す。ここでも正極の限界容量が 1500 サイクルを越えたあたりから急激な減少を示した。これらの結果より、サイクル試験における電池容量の低下は、正極の電荷移動抵抗の増加と限界容量の減少に

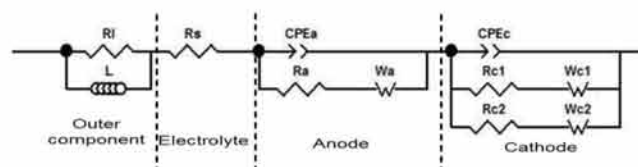


Fig. 2 Equivalent circuit for impedance analysis

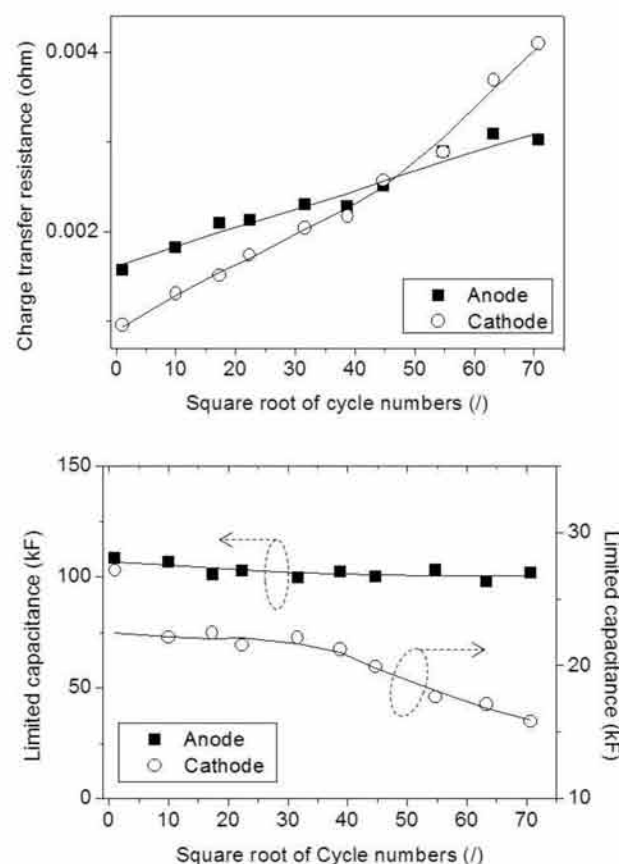


Fig. 3 Variation of the resistance and limiting capacity with the number of charge-discharge cycles.

支配されることがわかった。電荷移動抵抗の増加と限界容量の減少は、それぞれ、活物質の界面の被膜形成や微細構造の変化等が示唆されるが、今後より詳細な検討を進める。

3. 共同研究者

逢坂哲彌(先進理工学部・准教授)

横島時彦(理工研究所・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

- T. Hang, D. Mukoyama, H. Nara, N. Takami, T. Momma, T. Osaka, “Electrochemical Impedance Spectroscopy Analysis for Lithium-Ion Battery using $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ Anode”, *J. Power Sources*, **222**, 442–447 (2013).
- D. Mukoyama, T. Momma, H. Nara, T. Osaka, “Electrochemical Impedance Analysis on Degradation of Commercially Available Lithium Ion Battery during Charge-Discharge Cycling”, *Chem. Lett.*, **41**, 444–446 (2012).
- T. Momma, M. Matsunaga, D. Mukoyama, T. Osaka, “Ac impedance analysis of lithium ion battery under temperature control”, *J. Power Sources*, **216**, 304–307 (2012).
- T. Momma, M. Jeong, T. Yokoshima, H. Nara, A. Toyoda, T. Osaka, “Sn-O-C composite anode for Li secondary battery synthesized by an electrodeposition technique using organic carbonate electrolyte”, *J. Power Sources*, **242**, 527–532 (2013).
- T. Hang, H. Nara, T. Yokoshima, T. Momma, T. Osaka, “Silicon Composite Thick Film Electrodeposited on a Nickel Micro-nanocones Hierarchical Structured Current Collector for Lithium Batteries”, *J. Power Sources*, **222**, 503–509 (2013).

4.2. 学会発表

- T. Momma, M. Matsunaga, D. Mukoyama, H. Nara and T. Osaka, “Impedance Analysis of Li-Ion Battery at Low Temperature”, 16th International Meeting on Lithium Batteries, Jeju, Korea, June 2012.
- T. Momma, T. Yokoshima, H. Nara and T. Osaka, “Potential Controlled Electrodeposition of SnOC from Organic Solution for Lithium Secondary Battery Anode”, 63rd Annual Meeting of International Society of Electrochemistry, Prague, Czech Republic, August 2012.
- M. Jeong, H. Nara, T. Yokoshima, T. Momma and T. Osaka, “Electrochemical Analysis of Sn Electrodeposition to Optimize Preparation Process of SnOC Anode Material” 222nd Meeting of The Electrochemical Society, Honolulu, Hawaii, USA, October 2012.
- D. Mukoyama, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma and T. Osaka, “Ac Impedance Analysis of Low Frequency Region for Commercial Lithium Ion Battery under Temperature Control”, 222nd Meeting of The Electrochemical Society, Honolulu, Hawaii, USA, October 2012.
- T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma and T. Osaka, “Effect of Pattern Shape of Sn Anode on Charge-Discharge Performance for Lithium Secondary Batteries”, 222nd Meeting of The

Electrochemical Society, Honolulu, Hawaii, USA, October 2012.

- T. Hang, 向山大吉, 奈良洋希, 高見則雄, 門間聰之, 逢坂哲彌, “チタン酸リチウムを負極とした 4Ah 級リチウム二次電池のインピーダンス解析”, 第 53 回電池討論会, 福岡, 2012 11 月.
- 向山大吉, 門間聰之, 奈良洋希, 逢坂哲彌, “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の温度特性を利用した状態解析”, 第 53 回電池討論会, 福岡, 2012 11 月.
- 儀間裕平, 横島時彦, 奈良洋希, 門間聰之, 逢坂哲彌, “対称セルを用いたリチウムイオン二次電池電極のインピーダンス分離評価”, 電気化学会第 80 回大会, 宮城, 2013 3 月.
- T. Hang, H. Nara, T. Yokoshima, T. Momma and T. Osaka, “SiOC Composite Thick Film Electrodeposited on a Ni Nancone-Array Current Collector for Li-Ion Batteries”, 221st Meeting of The Electrochemical Society, Seattle, WA, USA, May 2012.
- T. Momma, H. Nara, S. Yamagami, C. Tatsumi and T. Osaka, “Solid Electrolyte Interphase on Anode Material for Lithium Battery Using BMP-TFSI Based Electrolyte” The International Meeting on Ionic Liquids for Electrochemical Devices (ILED-3), Rome, Italy, May 2012.
- T. Yokoshima, M. Otaki, H. Nara, T. Momma and T. Osaka, “Change in the Film Thickness of Highly Durable Electrodeposited Silicone Anode during Charge-Discharge Cycles”, 16th International Meeting on Lithium Batteries, Jeju, Korea, June 2012.
- H. Nara, T. Yokoshima, D. Mukoyama, T. Hirabaru, T. Momma and T. Osaka, “Impedance Analysis of Anode and Cathode Separated by Using Micro Reference Electrode on Li-ion Battery”, 222nd Meeting of The Electrochemical Society, Honolulu, Hawaii, USA, October 2012.
- 奈良洋希, 大瀧光俊, 中村実加, 横島時彦, 門間聰之, 逢坂哲彌, “SiOC 負極の電析時における電解液の影響”, 第 53 回電池討論会, 福岡, 2012 11 月.
- 横島時彦, 向山大吉, 亀岡大造, 伊澤英彦, 奈良洋希, 門間聰之, 森康郎, 逢坂哲彌, “矩形波を用いた電気化学インピーダンスのリチウムイオン二次電池劣化評価への適用”, 電気化学会第 80 回大会, 宮城, 2013 3 月.
- 横島時彦, 儀間裕平, 奈良洋希, 向山大吉, 門間聰之, 逢坂哲彌, “矩形波を用いた電気化学インピーダンスの周波数応答”, 電気化学会第 80 回大会, 宮城, 2013 3 月.
- 寺尾竜哉, 大瀧光俊, 奈良洋希, 横島時彦, 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 負極の充放電特性に及ぼす析出電位の影響”, 電気化学会第 80 回大会, 宮城, 2013 3 月.
- 加藤崇徳, 大瀧光俊, 横島時彦, 奈良洋希, 門間聰之, 逢坂哲彌, “VC および FEC を電解液添加剤に用いたリチウム二次電池用電析 Si-O-C 負極の充放電特性”, 電気化学会第 80 回大会, 宮城, 2013 3 月.
- 武井直子, 奈良洋希, 向山大吉, 横島時彦, 門間聰之, 逢坂哲彌, “サイクル劣化ラミネート型リチウムイオン二次電池の交流インピーダンス挙動と電極表面解析”, 電気化学会第 80 回大会, 宮城, 2013 3 月.

4.3. 招待講演

- T. Osaka and H. Nara, “Highly Durable Si Anode More than Several Thousand Cycles and

its Properties” 16th International Meeting on Lithium Batteries, Jeju, Korea, June 2012.

- T. Osaka, “EIS Analysis on Degradation Conditions of Commercially Available LIBs”, International Conference on the Frontier of Advanced Batteries, China International Battery Fair 2012 (CIBF 2012), June 2012, Shenzhen, China.
- T. Osaka and H. Nara, “Alloy Anode System Fabricated by Electrodeposition for Lithium Secondary Batteries”, 63rd Annual Meeting of International Society of Electrochemistry, Prague, Czech Republic, August 2012.
- T. Osaka, “Recent Trends in Electrochemical Nanotechnologies -Novel Approach in R&D of Future Energy Device-”, 6th Japanese-Italian-German Meeting of Electrochemists, July 2012, Ulm, Germany.
- T. Momma, T. Osaka, “AC Impedance Analysis of Lithium Ion Batteries”, 6th Japanese-Italian-German Meeting of Electrochemists, July 2012, Ulm, Germany.
- T. Osaka, T. Momma and H. Nara, “Material Design for Electrodes”, Symposium on Lithium-ion Batteries "The Inception, Development, and Future", Nice, France, October 2012.

4.4. 総説・著書

4.5. 特許

- 特願 2012-223124, 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, 2012.10.5)
- 特願 2012-248546, 逢坂哲彌、門間聰之、横島時彦、奈良洋希 (早稲田大学, 2012.11.12)
- 特願 2012-285550, 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, 2012.12.27)
- 特願 2013-003754, 逢坂哲彌、門間聰之、横島時彦、奈良洋希 (早稲田大学, 2013.1.11)
-

5. 研究活動の課題と展望

- リチウムイオン二次電池の矩形波を用いた電気化学インピーダンス解析において、電池内部の状態評価に適用するためには、データのばらつきを抑えさらなるインピーダンスデータの精度向上が必要である。これに対し、電圧、電流応答データの蓄積と FFT 解析プロトコルの改良を行う。
- 電池状態解析の精度を高めるべく、リチウム二次電池の内部インピーダンスの分離評価のため、正極と負極の応答の時定数解析を行う。

実践的博士人材養成プログラム

研究代表者 大野 高裕
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、文部科学省人材育成費補助金「ポストドクター・キャリア開発事業（イノベーション創出若手研究人材養成）」の補助ならびに文部科学省「実践型研究リーダー養成事業」の委託を受け、大学院生とポストドクターを対象として、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実践と、その方法論についての研究を行う。

本プロジェクトでは、事業の中核となる「博士キャリアセンター」が学内の関連組織と有機的に連携し、戦略的・組織的な人材養成の枠組みを構成する。博士キャリアセンターでは、大学院生やポストドクターが国内外の企業や研究機関等で研究開発を行うインターンシップや、文理融合のチームを編成し、企業が関心を持っている社会問題を解決する手段を提案する企業演習を行う。さらに異分野・融合領域への挑戦など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）を展開し、合わせてその効果を検証することで、産業界など実社会で課題解決のためのリーダーとなり、イノベーションを創出する若手人材の養成に資する。

2. 主な研究成果

2.1 実践的博士人材養成プログラム

文部科学省補助事業の最終年度として、博士キャリアセンターが企画・運営の中核となり、学内関連組織と連携しつつ人材育成の実践と効果の検証を行った。前年度から引き続き、主に実践カリキュラム及びインターンシップを通じて能力開発を進めた。

① 実践カリキュラム

独立研究科を除く理工学術院の3研究科において、7科目を大学院博士課程の正式科目とした。

学内外から公募した結果 233 名の養成候補者を得た。これは事業計画における目標で掲げた 100 名程度に対して 2.3 倍強の人数であり、カリキュラムが十分な訴求力を持つものと評価できる。



パイオ・ライフサイエンス系 博士人材への期待



第六回産業－博士交流マッチング会



実践的博士人材養成プログラム成果報告会

② インターンシップ

センター登録者の中から、140名（博士院生 93名、ポスドク 26名、博士進学希望の修士院生 21名）と面談を行った。海外及び国内の企業・研究機関（全 95 機関）と協働して研修を企画し、昨年度から継続および昨年度選抜済であり派遣先と詳細の調整を待っていた養成者を含む計 30 名（博士院生 25 名、ポスドク 5 名）が本年度のインターンシップに参加した。このうち、他大学・他機関出身者は 5 名であった。また、30 名の参加者中 11 名が、海外で研修を実施しており、内訳はドイツが 5 名、その他米国、フランス、スイス、シンガポール、スウェーデン、ベルギーが各 1 名であった。インターンシップは企業等の実務を直接体験させることで、博士人材に就職に向けた自己効力感を高めることができ、キャリアパスの開拓に非常に大きな効果があると評価できる。

③ セミナー・シンポジウムの開催

同じ文部科学省補助事業の採択校である神戸大学と共に、ジョイントシンポジウム「バイオ・ライフサイエンス系博士人材への期待」を開催した。また、文部科学省補助事業の最終年度となる本年度は「実践的博士人材養成プログラム成果報告会」を総長臨席のもと行い、事業期間 5 年間の成果を報告した。さらに、前年度から引き続き、博士人材と企業との出会いの場となる「産業－博士マッチング会」を 2 回実施した。

2.2 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

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、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ー、連携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。また、外部有識者を中心とした選考委員会と外部評価委員会を設置した。

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「実践的博士人材養成プログラム」によって設置されている実践カリキュラムの講義のうち、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、企業ニーズを受けた現地調査や技術調査を行う企業演習を開始した。今年度は連携企業が提示するテーマに基づき、博士人材をリーダーとした 4 つのチームを編成して実施した。企業演習のアウトプットについては連携企業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。

③ セミナー・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「産学協働による博士リーダー人材の育成—新しいスキームの実践—」を開催した。また、学生に本プログラムの取り組みを周知するため、西早稲田キャンパスと所沢キャンパスで学生説明会を実施した。



4 大学合同シンポジウム 産学協働による博士リーダー人材の育成—新しいスキームの実践—

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・客員教授）
 阿部 正博（理工学研究所・客員教授）
 渡辺 純一（理工学研究所・客員教授）
 佐野 正克（理工学研究所・客員上級研究員）
 高橋 源昭（理工学研究所・客員上級研究員）
 鈴木 広人（理工学研究所・次席研究員）



実践的博士人材養成プログラム成果報告会
総長挨拶

4. 研究実績

4.1 主なイベント開催実績

- ・「産学協働による博士リーダー人材の育成—新しいスキームの実践—」2012年5月31日
- ・「バイオ・ライフサイエンス系 博士人材への期待」2012年6月22日
- ・「第六回産業—博士交流マッチング会」2012年6月22日
- ・「第七回産業—博士交流マッチング会」2012年11月27日
- ・「特別ミニシンポジウム『日本企業に就職したい！』@北九州キャンパス」2013年1月30日
- ・「実践的博士人材養成プログラム成果報告会」2013年3月15日

4.2 主なマスメディア掲載

- ・『日刊工業新聞』2012年5月18日

5. 研究活動の課題と展望

文部科学省人材育成費補助金「ポストドクター・キャリア開発事業」は本年度で補助事業が終了となるが、その後も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本学で継続して実施してゆく必要がある。これまでは博士キャリアセンターで先駆的に実施してきた能力開発の方法論を、今後は本学の大学院改革で活用されるよう提言を進めてゆく。

地盤・基礎・建物の動的相互作用の研究

研究代表者 前田 寿朗
(理工学術院 教授)

1. 研究課題

地盤・基礎・建物の動的相互作用効果は地盤内の波動場に及ぼす基礎・建物の影響を表し、その工学的応用には耐震設計の合理化および環境振動評価の高度化が含まれている。本研究課題は以下の4点を主要なテーマとする。

- (1) 主要論文アーカイブスの構築：1950年代以降の重要かつ閲覧困難な著書および論文のアーカイブスを構築し、研究者に対する便宜を提供する。
- (2) 地盤構造同定手法の開発：主として微動測定を利用して動的相互作用解析に必要な地盤構造モデルの同定手法を開発する。
- (3) 環境振動評価手法の開発：地震動について発展した動的相互作用解析手法を、交通振動等の環境振動評価手法に応用する。
- (4) 教育および検定用プログラムの開発：学生および技術者教育、ならびに解析ベンチマークを与えるような、動的相互作用解析プログラムの整備・公開を行う。

2. 主な研究成果

2.1 主要論文アーカイブスの構築

以下の収集方針を定め、アーカイブスを構築中である。

- 入手困難な著書（例えばEwing et al. “Elastic waves in layered media”）、マイナーな国際会議等のProceedings（例えばCanadian Conference on Earthquake Engineering）の本文をアーカイブ化する。
- デジタル公開されている文献（例えば京都大学防災研究所年報）については、研究分類に基づいて主要な論文のリンクをアーカイブ化する。
- 著作権の関係から本文をWeb上で公開するのではなく、アーカイブの周知にとどめる。

2.2 地盤構造同定手法開発

2.2.1 地震被害集中に及ぼす表層地盤構造の影響

2011年3月12日の長野県北部の地震において、長野県栄村青倉地区は他地区に比べて被害が大きく、地区内にも被害の集中域が見られた。2011年に栄村内100点以上で収集した微動データよりH/Vスペクトルを計算し、その卓越振動数に合うように表層地盤層厚を評価すると、層厚急変部分で被害集中が生じている（図1a）ことがわかり、2次元FEMによる応答計算（図1b）によっても当該地域で地震動が大きく計算され被害と調和的な結果となった。したがって、微動測定により同定した表層地盤構造を用いて、地震被害集中地域をあらかじめ特定する可能性が示された。

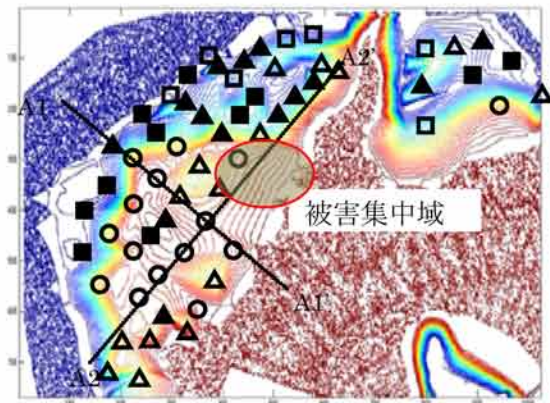


図 1a 青倉地区表層厚分布

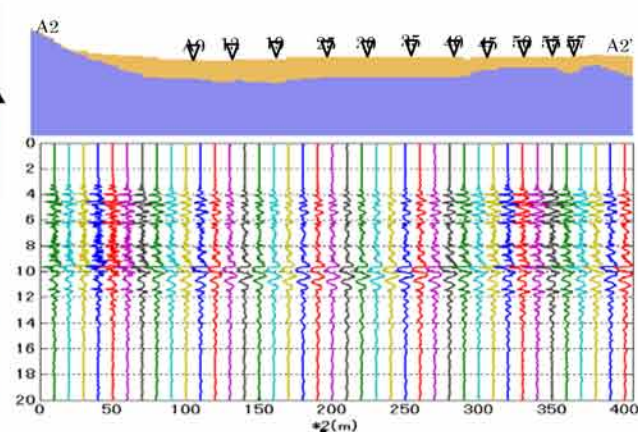


図 1b A2 側線に沿った計算波形

2.2.2 地震動H/Vスペクトルの検討

H/Vスペクトルは地表での水平動を上下動で除したスペクトル比であり、様々な測定条件に対して極めて安定している。微動のH/Vスペクトルは表面波の粒子軌跡でほぼ説明可能であり、そのシミュレーションにより地盤構造が同定される。地震動のH/Vスペクトルには実体波の影響が多く含まれるため、その説明は必ずしも明快で無かった。ここでは、H/Vスペクトルを露頭基盤に対する地表の伝達関数の上下成分に対する水平成分の比に、基盤の実体波速度比を用いた係数を乗じて評価できるものとし、拡散波動場理論との関連により同係数を設定して検討を行った。その結果、地表観測結果のH/Vスペクトルとスペクトルインバージョンのサイト特性から計算されたスペクトルは図2に例示するように調和的であり、本方法を用いた表層地盤構造の同定の可能性が示された。

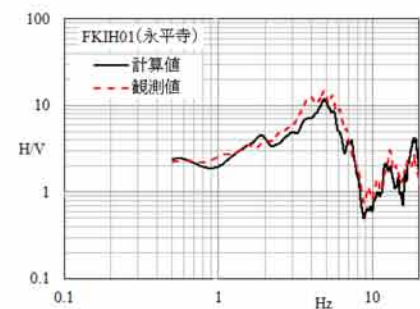


図 2 H/V スペクトルの評価例

H/Vスペクトルは地震動レベルによって変化し、大地震動では卓越振動数が低下する。この振動数の低下は図3に示すように水平成分の伝達関数（地表/地中）で顕著であり、上下成分伝達関数にはほとんど低下が見られない。その理由として、上下成分におけるP波速度のひずみ依存性が小さいことが考えられ、弾性パラメータの物理的観点より上記について説明することを試みている。

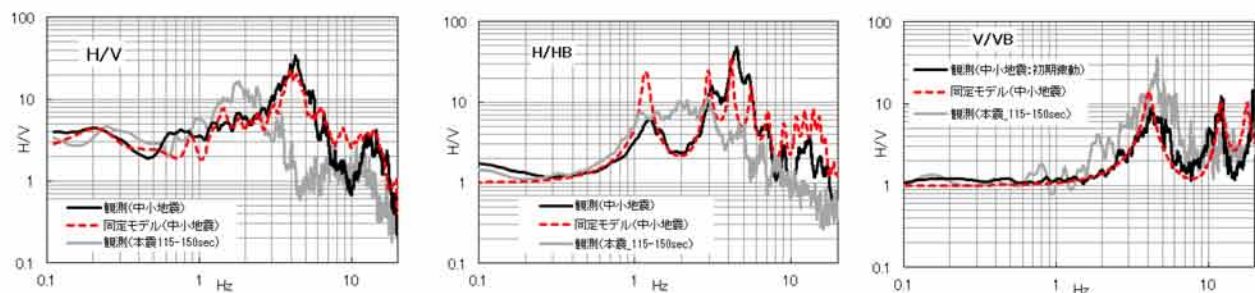


図 3 左より H/V スペクトル、水平伝達関数、上下伝達関数の大地震動と中小地震動の観測結果の比較

2.3 環境振動評価手法開発

本プロジェクトで開発している環境振動評価手法は、更地の状態での高密度測定に基づいて入力推定し、設計建物モデルに推定入力を作用させて応答を評価する簡易手法である。入力推定がガ

ウス積分点相当の地表での測定結果の積和により数値積分で評価する簡便なものであるのに対し、応答計算に必要な地盤ばね評価に計算パワーを必要とする課題があった。ここでは、地盤ばね評価に1次元弾性波動論に基づく簡便なコーンモデルを用いて性能評価を行い、表面基礎を用いた既往例題についてほぼ同程度の環境振動評価結果が得られることを示した。

2.4 教育用プログラム開発

2.2に関連して、H/Vスペクトルの計算およびその経時変化を視覚的に把握できる教育用プログラムを開発し、図4に示すように継続時間と共に地盤の非線形性が進んで卓越振動数が低下し、ある程度の時間の経過と共に一定の振動数で推移する様子を観察できるようにした。

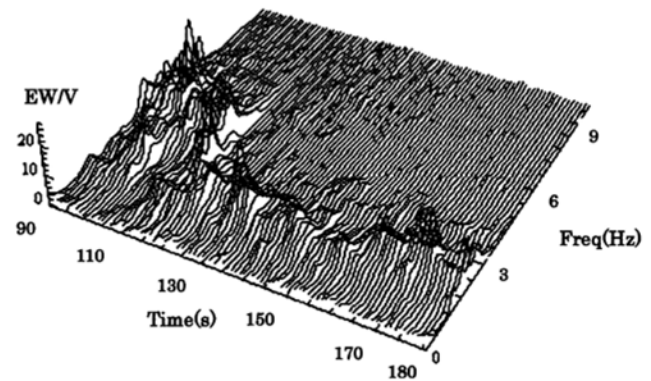


図4 2011年東北地方太平洋沖地震
Kik-net 芳賀の記録のH/Vスペクトル

3. 共同研究者

井口道雄（理工学術院・招聘研究員） 安井譲（理工学術院・招聘研究員） 佐々木文夫（理工学術院・招聘研究員，東京理科大学・教授）

4. 研究業績

4.1 学術論文

- 前田寿朗：2011年長野県北部の地震の栄村被害と微動測定による地盤モデル，日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2，167-168，2012.9 .
- 安井譲，吉田一博，前田寿朗，川瀬博：地盤の内部減衰が拡散波場理論に基づく微動H/Vスペクトルに与える影響について，日本地震工学会一大会2012梗概集，298-299，2012.
- 安井譲，吉田一博，前田寿朗，川瀬博：拡散波動場理論に基づく微動H/Vスペクトル計算法の適用性に関する考察—地盤の内部減衰の影響について—，日本地震学会講演予稿集，2012年度秋季大会，C21-05，p.91，2012.
- 安井譲，西川隼人，小嶋啓介，前田寿朗，瀬瀬一起，宮島昌克：拡散波場理論に基づく地震動H/Vスペクトルの計算法に関する考察—福井地域の地震観測記録を対象として—，第32回地震工学研究発表会，土木学会地震工学委員会，32-B-1，1-209，1-7，2012.
- 安井譲，西川隼人，前田寿朗，井口道雄，宮島昌克：大加速度を記録した観測地点の地盤同定と非線形性状の考察，東日本大震災2周年シンポジウム，日本建築学会，一般講演，P-06，2013.
- T. Maeda and K. Kimura：The effects of topography around mountain foot on damage concentration，15th World Conference on Earthquake Engineering，2012.9.

5. 研究活動の課題と展望

本研究の目的は、動的相互作用効果の研究の活性化に寄与するとともに、動的相互作用研究の拠点を築くことにあるが、今年度の成果にも見られるように弾性波動論に基づいて地盤構造の同定手法を明らかにしていくことも大きなテーマである。今後の展望として、動的相互作用効果と地盤構造同定手法を両輪とした研究活動を通じて、この分野の活性化に寄与していく計画である。

医学教育用ヒューマノイドの開発

研究代表者 高西 淳夫
(理工学術院・総合機械工学科・教授)

1. 研究課題

従来、診察や治療などの医療行為や看護や介助の訓練は、実地訓練形式で臨床の場面で患者を対象に実施実地されてきた。しかしながらこの方法では、未熟な医師や看護師による診察や治療によって患者が不利益を受けるリスクが大きい。このような問題に対する解決法として、医学教育シミュレータと呼ばれる機器を使用して臨床手技の訓練を行う方法論が普及しつつある。医学教育シミュレータとは患者の体の一部または全身を再現した模型で、訓練者はそれに対して模擬的に診察や治療を行うことでそれらの手技の習練を積むことができる。

このようななか近年、欧米のシミュレータメカより全身型患者シミュレータが相次いで発売されており、医学教育シミュレータの1つのトレンドを形成している。全身型患者シミュレータの利点は、シナリオ・ベースド・トレーニングが可能となる点にある。最新の全身型患者シミュレータは、コンピュータの画面上に心拍や血圧などのバイタルサインを表示することが可能となっており、バイタルサインの変化によって救命救急や麻酔管理に関するシナリオを表現することが可能となっている。全身型患者シミュレータは、もともと救急救命と麻酔管理の訓練を主な対象領域として開発されており、それに対応したシナリオが多数提供されている。一方、医学教育において最も重要なのは、初期段階、すなわち医科系・看護系の大学における学生に対する教育であり、そこでは基礎的な臨床手技を確実に学生に習得させることが最も重要である。麻酔管理と救急救命に特化した欧米の全身型患者シミュレータは、これらの領域を十分にカバーしきれないため、大学等での教育には適していない。そこで医学教育の現場では、基礎的な診察や治療の訓練に対応した医学教育シミュレータが求められている。

本研究では上記のような医学教育界のニーズに応えるべく、本学の有するロボット技術を応用した医学教育用ヒューマノイドの開発を目的としている。具体的には、神経診察のトレーニングが可能な全身型患者シミュレータの開発に取り組む。神経診察とは、問診と身体的検査によって、疾患の有無、疾患の存在が疑われる部位、疾患の原因などを推定する手技である。神経診察のトレーニングに対応した全身型患者シミュレータの開発を進めるうえで、特に顔面と腕がボトルネックとなると考え、まずはそれぞれの要素ごとに開発を進めることとした。

2. 主な成果

2.1 上腕ロボット

神経診察において腕では、肘関節を中心に筋力と筋反射の診察が行われる。肘関節には、上腕二頭筋と上腕三頭筋が拮抗するようについており、それぞれ屈曲と伸展の主導筋となっている。これらの骨格筋は、収縮力発生要素、弾性要素、粘性要素の並列接続によってモデル化される。このよ

うなモデルを規範にヒトの関節を再現する機構として、非線形ばねをもつ拮抗腱制御機構が提案されている。この機構では、前章で述べた各種検査での疾患の再現に必要な屈曲角度と関節の剛性を独立に制御することが可能である。

このモデルにもとづいて図 1 に示す肘関節ロボットを開発した。上腕部には、上腕二頭筋に相当するワイヤと上腕三頭筋に相当するワイヤを駆動するための DC サーボモータ（出力 22[w], ギア比 111:1）が、それぞれ 1 個ずつ実装されている。各ワイヤの経路には、非線形ばね機構が実装されている。また、肘関節には、関節の角度をフィードバックするために、ロータリー・パルス・エンコーダ（分解能：1[deg/plusl]）が実装されている。上腕の内側と外側には、それぞれ反射計測の際の腱打を検知する力センサが実装されている。また、前腕部には、前腕に加わる外力を計測するための 6 軸力覚センサが実装されている。

これにより肘関節ロボットは、パーキンソン患者や振戦患者の肘関節の状態を再現可能となっている。ロボットで再現された肘関節のさまざまな状態の評価を神経内科医に依頼したところ、医学教育に使用可能な水準にあるとの評価を得た。

2.2 顔面ロボット

神経診察において顔面では、脳神経の異常を発見するために、表情や眼球の動作の診察が行われる。例えば医師が患者に、額にしわを寄せる、目を固く閉じる、口角を上げるという 3 種の表情をとるように指示し、各表情形成時の変位量や左右での挙動の差異から疾患部位の特定が行われる。

神経障害により起こる表情筋の麻痺等を再現するためには、顔面の表皮を能動的に変形させる機能が必要となる。ヒトは頭部に持つ 30 以上の多種多様な筋肉を複合的に用いて表情を形成している。その中で、表情を形成する上で 11 種の筋肉が主なはたらきをすることが知られている。その中で顔面ロボットでは、前述の 3 種類の表情において特に重要な役割を担う前頭筋、眼輪筋、上唇挙筋・大頬骨筋を再現することとした。また、片麻痺など脳神経系診察における症例再現を可能とするために頭部の左右については独立に駆動可能とする必要があると考えた。

このモデルにもとづいて合計 13 自由度を有する顔面ロボットを開発した。具体的には、全 13 自由度のうち、下顎・瞼の動作計 3 自由度をリンク機構によって、前頭筋の動作の計 4 自由度をベルト機構によって、眼輪筋・大頬骨筋・下唇挙筋の動作の計 6 自由度をワイヤ機構によって実現した。

これにより顔面ロボットは、中枢性および末梢性の麻痺を再現可能となっている。

3. 共同研究者

石井裕之（理工学研究所・次席研究員） ノ ヨ
ハン（理工学術院・助手）

槇宏太郎（昭和大学・歯学部・教授） 尾 崎
眞（東京女子医科大学・麻酔科学分野・教授）

4. 研究業績

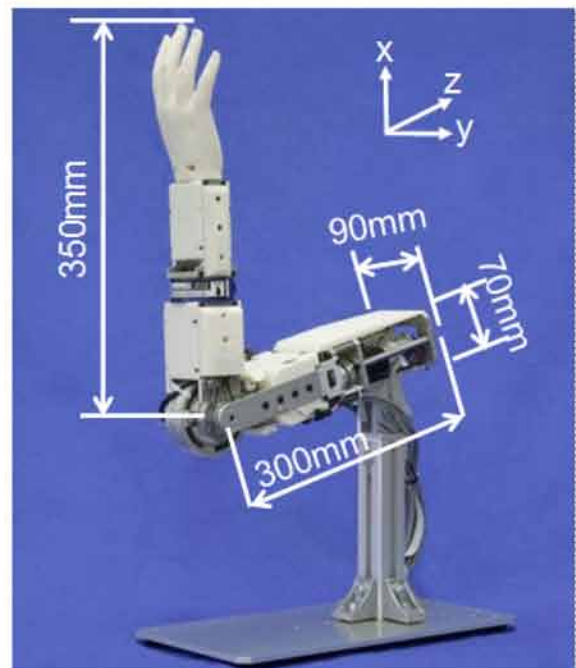


図 1 肘関節ロボット

4.1 論文発表

永井美鈴, 森岡宣伊, 石井裕之, 高西淳夫, 尾崎眞, 気管チューブカフにより気管壁に作用する圧力測定を試み, 医工学治療, 24(3), pp. 185-189, 2012

Wang, Chunbao, Nh, Yohan, Ebihara, Kazuki, Terunaga, Chihara, Tokumoto, Mitsuhiro, Okuyama, Isamu, Yusuke, Matsuoka, Ishii, Hiroyuki, Takanishi, Atsuo, Hatake, Kazuyuki, Shoji, Satoru, Development of an arm robot for neurologic examination training, Proceedings of 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2012.

4.2 受賞

Best conference paper award, CME2012.

4.3 招待講演

石井裕之, 手技評価と挿管困難症例の再現が可能な気道管理シミュレータ, 第 44 回日本医学教育学会大会ランチョンセミナー

5. 研究活動の課題と展望

今後は, 肘関節ロボットおよび顔面ロボットを基幹として, 全身型患者ヒューマノイドの開発に取り組む. また, シナリオ・ベースド・トレーニングに対応した全身型患者ヒューマノイドのための制御系の開発に取り組む.

医療福祉ロボット実用化研究

研究代表者 藤江 正克
(理工学術院総合研究所・教授)

1 研究課題

近年、低侵襲医療の促進に伴い、種々の医療行為をロボットにて支援する取り組みが盛んである。藤江正克研究室では医療行為の中でも多種多様に用いられる穿刺行為に着目し、研究開発を行っている。特に本プロジェクトでは、穿刺行為の中でも採血や輸血・輸液のためのカテーテル手技を対象として、医師による穿刺手技の工学的解明と同時に、穿刺行為をロボットが半自動で行う穿刺支援ロボットの開発と実用化を目指している。目指す製品は、穿刺手技を用いた診断・治療を支援する画期的なロボットシステムである。研究課題として、血管穿刺時の針刺入速度、刺入角度、血管内への針の留置判断と留置方法が挙げられ、本年度では特に、血管穿刺時の血管の逃げと潰れの関係について研究を進めてきた。本稿第2節にて、具体的な研究の取り組みと成果について述べる。

2 主な研究成果

2.1 穿刺支援ロボットの開発

Fig. 1に藤江正克研究室で開発した穿刺支援ロボットを示す。Fig. 1のロボットは、血管が皮下約10[mm]の深い位置に存在するため目視できず、カテーテル手技の中でも穿刺難度が高い中心静脈カテーテル（CVC: Central Venous Catheterization）を対象として開発された。現在、実用化に向け、ロボットの軽量化や穿刺機構の簡略化と製品化を進めている（製品用ロボットの画像は特許の関係から現在は非公開とする）。Fig. 2はCVCの穿刺開始からカテーテル留置を示した模式図であり、Fig. 1のロボットを用いて、穿刺時の血管の逃げと潰れの関係の定量化を行った。

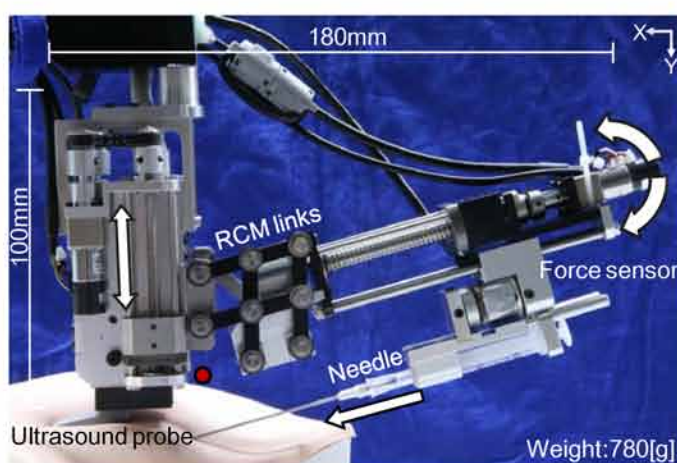


Fig. 1 Needle insertion robot

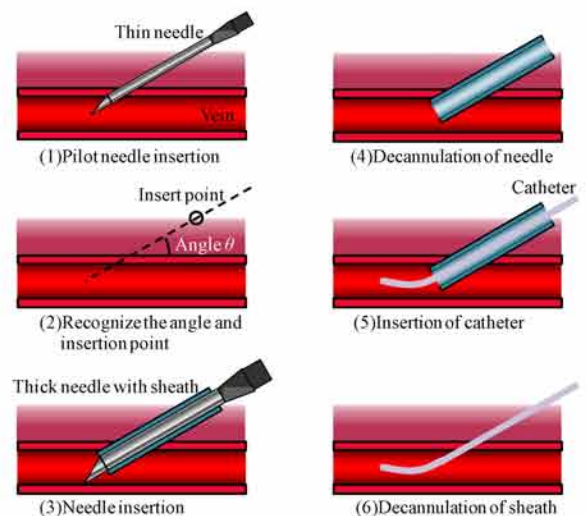


Fig. 2 Procedure of CVC

2.2 血管の逃げおよび潰れを防止する超音波プローブの使用条件

血管の逃げおよび潰れを考慮した超音波プローブの使用条件を提案する．ここで挙げる超音波プローブは静脈穿刺を支援する装置に組み込まれ、穿刺対象の探索に使用されている超音波プローブである．静脈穿刺を支援する装置を使用する際に、穿刺対象に接触し力を作用させる部分は超音波プローブおよび針のみである．ゆえに血管の逃げおよび潰れは、超音波プローブと針に起因すると考えられる．また、静脈穿刺を支援する装置はまず超音波プローブを固定し、その後に穿刺を行う．そのためプローブが血管に与える力によって血管の潰れ及び逃げが生じている場合、後の穿刺が困難となる．そこでまず超音波プローブの押し込み力と逃げ及び潰れの間関係を測定し、プローブの押し込み力の上限值を決定する．Fig. 3 に示す実験状況のもとで 2.2.1 節と 2.2.2 節の実験を行った．

2.2.1 血管の逃げが生じない超音波プローブの押し込み力の検証

血管の逃げが生じない超音波プローブの押し込み力の導出を行う．in vivo 環境下において豚の内頸静脈に対して超音波プローブを押し込み、押し込み力と血管の逃げの間関係を計測した．超音波プローブの押し込み力と血管の逃げの間関係から、血管の逃げが発生し始める超音波プローブの押し込み力を導出する．導出した超音波プローブの押し込み力以下の押し込み力で超音波プローブを押し込むことによって、血管の逃げが生じずに超音波プローブを使用可能である．

2.2.2 血管の潰れが生じない超音波プローブの押し込み力の検証

次に in vivo 環境下において豚の内頸静脈に対して超音波プローブを押し込み、押し込み力と血管の潰れの間関係を計測した．超音波プローブの押し込み力と血管の潰れの間関係から、血管の潰れが発生し始める超音波プローブの押し込み力を導出する．導出した超音波プローブの押し込み力以下の押し込み力で超音波プローブを使用することで、血管の潰れが生じずに超音波プローブを使用可能である．

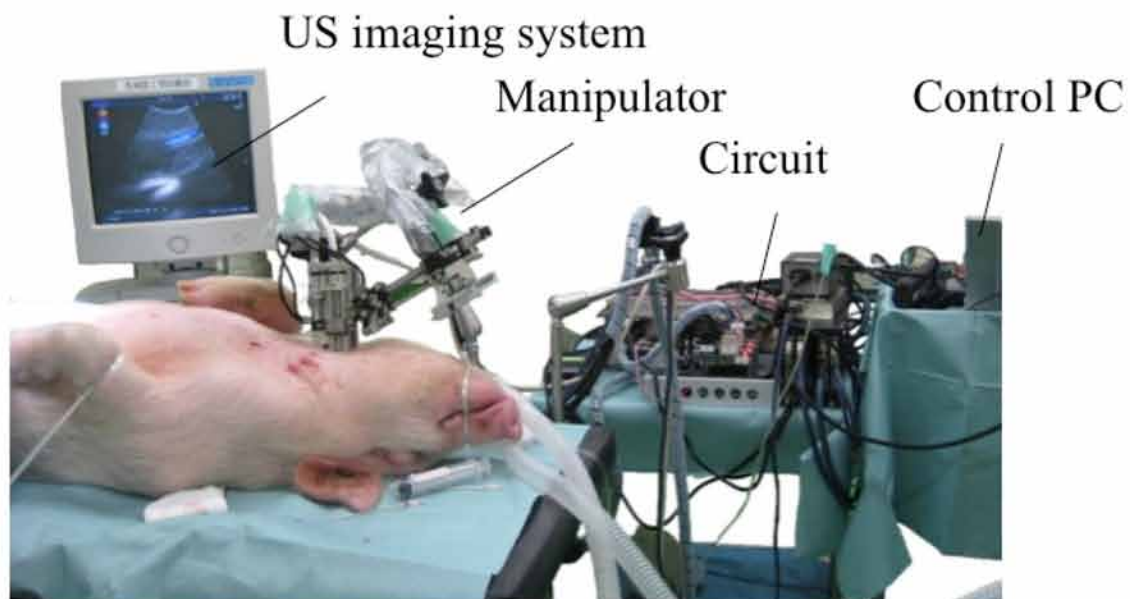


Fig. 3 Overview of puncture experiment under in vivo condition

2.2.3 結論

2.2.1 節と 2.2.2 節の実験を行うことによって、超音波プローブによる押し込みをある一定値以下にすることで、血管の逃げと潰れの双方を低減可能であることが分かった（該当研究成果の論文が未発表のため、具体的な数値の言及はここでは避ける）．また、開発している穿刺支援ロボットに実装し、血管の逃げと潰れを防止しつつ穿刺を可能とする血管穿刺アルゴリズムが開発できた．

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）

4 研究業績

4.1 原著論文

- [1] Yo Kobayashi, Makiko Suzuki, Atsushi Kato, Maya Hatano, Kozo Konishi, Makoto Hashizume and Masakatsu G. Fujie, “Enhanced Targeting in Breast Tissue using a Robotic Tissue Preloading-Based Needle Insertion System”, IEEE Transaction on Robotics, Vol. 28, No. 3, pp. 710-722, 2012
- [2] Yo Kobayashi, Atsushi Kato, Hiroki Watanabe, Takeharu Hoshi, Kazuya Kawamura and Masakatsu G. Fujie, “Modeling of Viscoelastic and Nonlinear Material Properties of Liver Tissue using Fractional Calculation”, Journal of Biomechanical Science and Engineering (JBSE), Vol. 7, No. 2, pp. 177-187, 2012
- [3] Yo Kobayashi, Takahiro Sato, Takeharu Hoshi and Masakatsu G. Fujie, “Modeling of Frictional Force based on Relative Needle Velocity into Liver Tissue for Needle Insertion Simulation”, Journal of Biomechanical Science and Engineering (JBSE), Vol. 3, No. 2, pp. 305-317, 2012
- [4] Yo Kobayashi, Akinori Onishi, Hiroki Watanabe, Takeharu Hoshi, Kazuya Kawamura and Masakatsu G. Fujie, “Developing a Method to Plan Straight Needle Insertion using a Probability-based Assessment of Puncture Occurrence”, Advanced Robotics, 2012 (accepted)

4.2 国内学会

- [1] 小林洋, 濱野竜太郎, 山崎望, 渡辺広樹, 豊田和孝, 植村宗則, 家入里志, 富川盛雅, 大平猛, 洪在成, 橋爪誠, 藤江正克, “静脈穿刺支援ロボットの開発と実用化に向けた取り組み”, 第21回日本コンピュータ外科学会, 12(SP)-2, 2012年11月, 口頭発表, 査読なし
- [2] 波田野麻耶, 小林洋, 鈴木麻記子, 白石泰之, 山家智之, 橋爪誠, 藤江正克, “乳がんの Preloading 穿刺手法における幾何学的影響の検討”, 第21回日本コンピュータ外科学会, 12(XVII)-85, 2012年11月, 口頭発表, 査読なし

4.3 国際学会

- [1] Maya Hatano, Yo Kobayashi, Makiko Suzuki, Yasuyuki Shiraishi, Tomoyuki Yambe, Makoto Hashizume, and Masakatsu G. Fujie, “Geometry Effect of Preloading Probe on Accurate Needle Insertion for Breast Tumor Treatment”, 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1933-1938, May 2012, Oral presentation, peer review

4.4 招待講演

- [1] 藤江 正克, “医工融合への challenge～医師の経験と知識を力学的に表現する～”, 第 51 回日本生体医工学会大会 パネルディスカッション パネラー, 2012 年 5 月 3 日, 福岡県福岡市
- [2] Masakatsu G. Fujie, “Intelligent medical and rehabilitation robot based on physical model of human”, BioRob'12 Workshop organizer and presenter, Jun. 24, 2012, Italy, Rome
- [3] Yo Kobayashi, “Future Trends in Medical and Rehabilitation Robotics- Methodical Robotics -”, BioRob'12 Workshop organizer, Jun. 24, 2012, Italy, Rome
- [4] Masakatsu G. Fujie, “Proactive activities for a healthier society with intelligent medical robot based on physical model of human”, BioRob'12 Symposium on Surgical Robotics - Session VI Invited Talk, Jun. 25, 2012, Italy, Rome
- [5] 小林 洋, “医療福祉ロボットの実用化に向けた取り組み”, 早稲田大学グローバル COE プログラムグローバルロボットアカデミア成果報告会, 2012 年 7 月 14 日, 東京都, 西早稲田 (早稲田大学)
- [6] Masakatsu G. Fujie, “How Robot Technology Benefits Society:Current and Future Directions at Waseda University”, ITRI-Waseda Workshop 2012, Oct. 15, 2012, Waseda Univ., Nishiwaseda, Tokyo
- [7] 藤江 正克, “精密な手術のためのロボット技術の未来”, 日本人類遺伝学会 第 57 回大会 ～未来の医学：再生医療とゲノム医療～, 2012 年 10 月 26 日, 東京都新宿
- [8] Masakatsu G. Fujie, “Introduction: Future trend on medical and rehabilitation robotics”, Frace-Japan Seminar, Nov. 8, 2012, Aoyama, Tokyo
- [9] Masakatsu G. Fujie, “Robot Project in Japan and Assistive ,rehabilitation Robotics for elderly of Waseda University”, E-JUST Mechatronics and Robotics Engineering MTR702, Nov. 18, 2012, Egypt, Alexandoria
- [10] Masakatsu G. Fujie, “Surgical Robot with Model based Control”, E-JUST Mechatronics and Robotics Engineering MTR702, Nov. 19, 2012, Egypt, Alexandoria
- [11] Masakatsu G. Fujie, “Proactive activities for a healthier society with intelligent medical robot based on physical model of human”, E-JUST Mechatronics and Robotics Engineering MTR702, Nov. 21, 2012, Egypt, Assuit Univ.
- [12] Masakatsu G. Fujie, “Robot History in Japan and Now”, Italy-Japan Workshop 2012- Assistance Robots for Disasters -, Dec. 3, 2012, Waseda Univ., Nishiwaseda, Tokyo
- [13] Masakatsu G. Fujie, “Surgical Robot with Model based Control”, Seminar at ASAN Medical Center, Dec. 17, 2012, ASAN Medical Center, Korea
- [14] Masakatsu G. Fujie, “Surgical Robot with Model based Control”, Seminar at Seoul National University Hospital, Dec. 17, 2012, Seoul National University Hospital, Korea

5 研究活動の課題と展望

本研究では、超音波プローブの押し込み力と穿刺速度の二つの要素に着目し、血管の変形を防止可能な穿刺手法を提案した。しかしながら、血管の変形を左右する要因として、他に、(1)静脈の血圧、(2)静脈の張力、(3)皮膚による軸摩擦力、が挙げられる。これらは施術する側が能動的にコントロールできる要因ではないが、患者の体調や体質を考慮し、それに対応する適切な穿刺条件を今後検証する必要があると考えられる。

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 つ目の成果報告はフォトカソード高周波電子銃による極短バンチ電子ビーム生成に関する結果、2 つ目としては、電子線プローブとしての極細電子ビーム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されているフォトカソード高周波電子銃(RF-Gun)と呼ばれる電子ビーム発生装置が基幹となっている。この装置はすでに世界トップレベルの高品質ビーム生成に成功しているが、より一層の高品質化を応用研究と並行して進めている。RF-Gun ではレーザーの光を用いて電子を生成する。電子ビームには様々な品質があるが、この 2.1 節では時間方向、つまり進行方向の長さを圧縮したビームの生成に関する研究について、2.2 節では電子ビームの横方向(進行方向と垂直方向)の密度をより高めるために非常に収束された電子ビームの生成について報告する。走査型電子顕微鏡においても非常に良く絞られた電子ビームを走査することで高分解能の顕微鏡イメージを得るが、この絞られたビームをレーザー光のプローブとして用いることを考えている。

2.1 極短バンチ電子ビーム生成

バンチ長と呼ばれる電子ビームの進行方向長さは電子ビームを評価する上で非常に重要なパラメータである。特に電子ビームからの放射を得ようとした場合、その光の波長よりもバンチ長が短い場合には放射の光の位相は同位相で重なりあい、強めあうことで、バンチ内の電子数倍($10^9 \sim 10^{10}$ 倍)の放射強度を得ることができる。このような放射光は非常に有用であり、特にテラヘルツ領域にこのようなコヒーレントな放射を得ることができれば、高強度なテラヘルツ光源として応用利用が可能である。このような背景の下、昨年度より極短バンチの電子ビームを生成できる電子銃の設計を開始した。

以下に我々の設計した極短バンチ生成用電子銃(ECC-RF-Gun)の概念図とその計算結果を示す。Fig.1 のような形状の電子銃を用い、ECC(Energy Chirp Cell)と呼ばれるセルにおいて線形にエネルギー差をつけることによってバンチの圧縮が可能な電子ビームが生成できる。

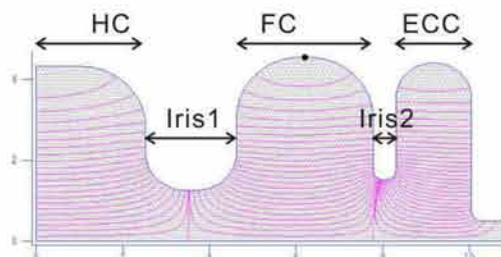


Fig.1 : ECC-RF-Gun の構造

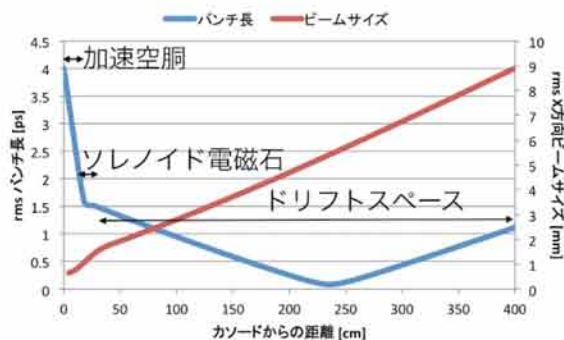


Fig.2 : ECC-RF-Gun から得られる電子ビーム(計算)

ECC-RF-Gun から得られるビームを計算機シミュレーションによって確認した結果が Fig.2 であり、電子ビームを生成するカソードからの距離が 240cm 程度の時に 100fs を切る電子ビームが生成できることがわかっている。

このように設計した電子銃を製作し、試験した。製作した電子銃の外観を Fig.3 に示す。

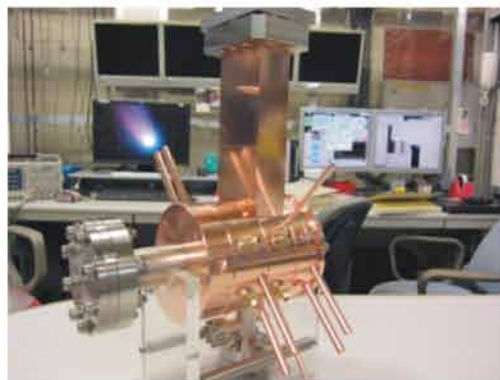


Fig.3 : 製作した ECC-RF-Gun の外観

外観としてはあまりこれまでの電子銃空洞と変わらない形状であるが、ECC を付属した形を取っており、製作後にビームを用いず電氣的な性能評価試験を行った結果もほぼ設計値通りの性能を確認できた。その後喜久井町キャンパスに設置している加速器施設に設置を行い、実際に電子ビームを生成しての性能評価を行った。1ps を下回るような非常に短いパンチの計測は非常に困難であるため、まずは電子ビームからの放射を確認することによって極短パンチが得られていることを間接的に評価した。

以下に ECC-RF-Gun から生成された電子ビームから得られた放射光の計測結果を示す。図 4 にそのオシロスコープでの波形を、図 5 に加速位相を変化させた場合の放射光強度を示す。

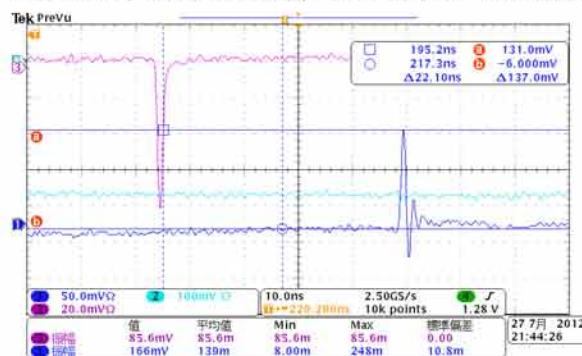


Fig.4 : ECC-RF-Gun から得られる電子ビーム波形(青線)と 0.1THz 光波形(赤線)

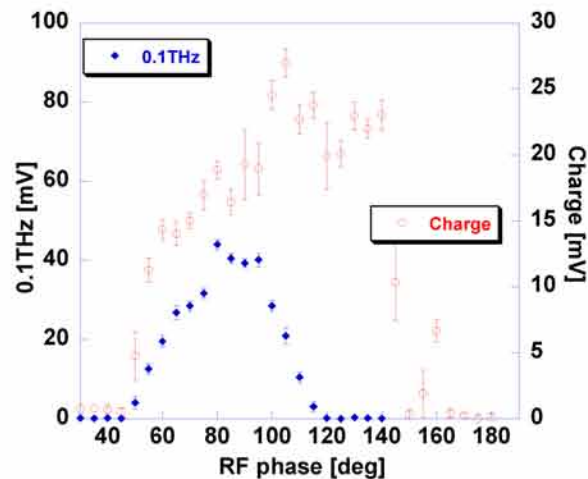


Fig.5 : 加速位相と電荷量・THz 光強度の関係

検出器としては 0.1THz の狭帯域検波器を用いることで、0.1THz の放射がどの程度得られているかを計測している。この検波器の感度より、コヒーレントな放射が得られている場合のみ検出が可能であることはわかっており、信号が得られている時には常に 0.1THz の光がコヒーレントに得られていることを示している。図 4 及び 5 を見てわかるとおり、電子ビームと同期した信号が得られており、図 5 の位相に関する強度検出試験においても特にバンチ圧縮が可能な左部の位相領域においてコヒーレントな放射、つまりはバンチの圧縮が確認できていることがわかる。0.1THz の放射が得られるということは 1ps 程度のバンチ長が得られていることに相当する。今後はこの ECC-RF-Gun の詳細計測及び THz 光の応用研究を進めていく予定である。

2.2 極細電子線プローブ生成

本節では電子ビームの進行方向と垂直方向(横方向)のサイズを非常に小さく収束した電子ビーム生成に関して報告する。非常に細く収束した電子ビームを実現することで、コンプトン散乱による大強度パルスレーザー光の直接プロファイル計測が可能となる。本研究では高品質な電子ビームはもちろんのこと、非常に重要なコンポーネントとして電子ビーム収束用の磁気レンズが必要である。まずはその設計研究を行った。磁気レンズとしてはソレノイド電磁石による収束を採用し、電子ビームとしては喜久井町キャンパス設置の RF 電子銃を用いてシミュレーションを行った。その結果を図 6・図 7 に示す。図 6 は生成した電子ビームのサイズの変化を、図 7 は焦点におけるプロファイルを示している。

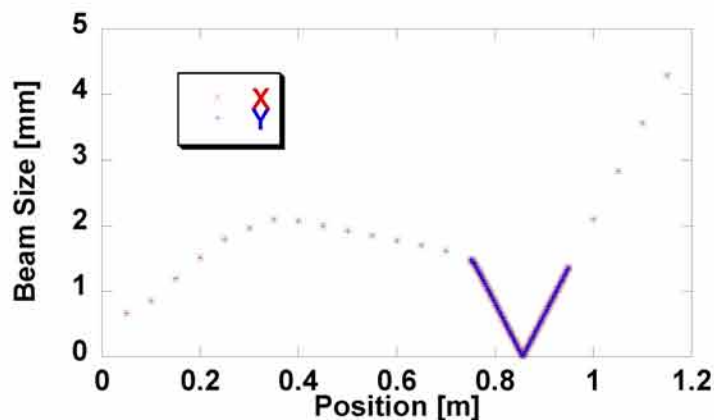


Fig.6 : 収束電子ビーム生成の計算結果

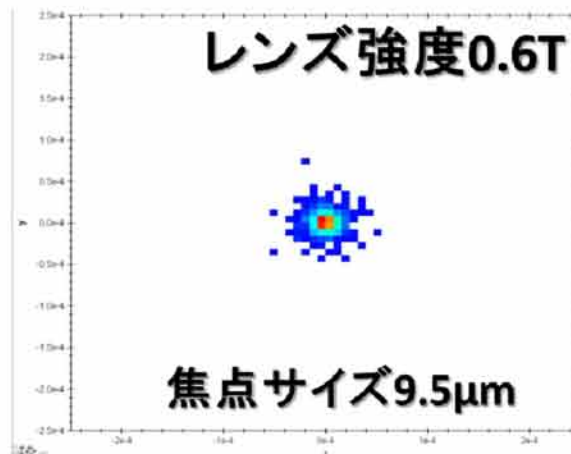


Fig.7 : 焦点における収束電子ビームのプロファイル(計算)

図 6 の 0.7m の位置に設計した磁気レンズを設置しており、それを通過した後、電子ビームが収束されている様子がわかる。最適化した磁気レンズを用いることで焦点において $10\mu\text{m}$ を下回る $9.5\mu\text{m}$ の電子ビームの生成が確認できた。これは走査型電子顕微鏡に比べるともちろん大きなサイズではあるが、パルス電子ビームであるため、ピーク電流は A 以上を実現したままこのような収束サイズが達成されており、これまでにこのような電子ビームが実現している報告は我々の知るところではない。

このように設計した磁気レンズを製作した。図 8 はその外観写真である。磁極サイズを小さくすることで、全体的に小さいながら非常に強い磁場強度を実現しており、強集束が可能である。

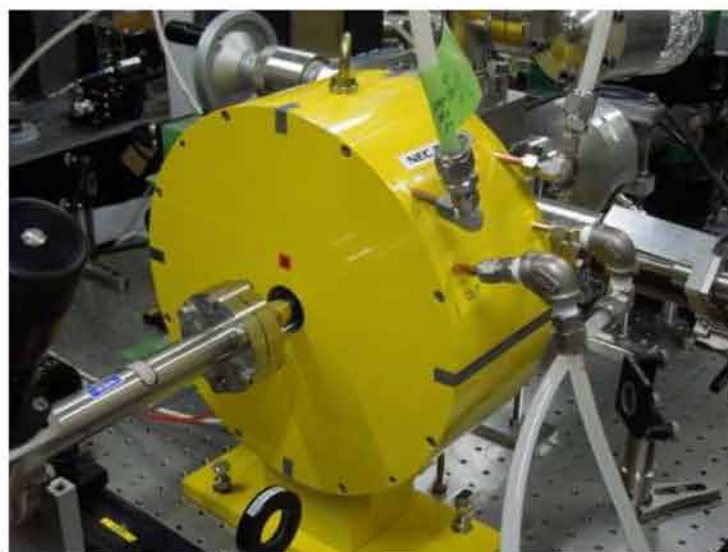


Fig.8 : 製作した磁気ソレノイドレンズの写真

この磁気レンズを用いて、収束した電子ビームのプロファイルを以下の図 9 に示す。

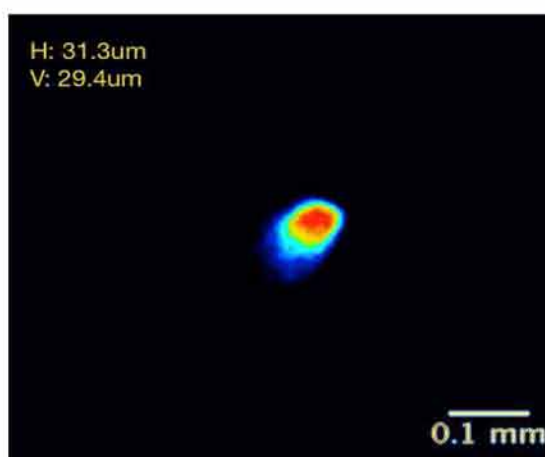


Fig.9 : ガフクロミックフィルムによって計測した収束電子ビームの焦点プロファイル
現時点では $30\text{ }\mu\text{m}$ 程度の電子ビームの生成を確認している。計測にはガフクロミックフィルムを用いた。計測する対象の電子ビームよりも厚い検出素子を用いてしまうとビームサイズが過大評価されてしまうため、厚さ $6\text{ }\mu\text{m}$ のフィルムを用いている。まだ電子ビームパラメータや磁気レンズの設置精度・磁場強度などに調整の余地が残されており、今後改善してく予定であるが、 $30\text{ }\mu\text{m}$ のサイズでも波長 $10\text{ }\mu\text{m}$ の CO_2 レーザーであればプロファイル計測が可能であり、十分な成果であると考えている。

3. 共同研究者

篠原 邦夫 (理工学研究所・客員教授) 遠藤 彰 (理工学研究所・客員教授)
坂上 和之 (理工学術院・応用物理科・助教)

4. 研究業績

4.1 学術論文

“1ms Pulse Beam Generation and Acceleration by Photo-cathode RF gun and Super-conducting Accelerator” Masao Kuriki, Hokuto Iijima, Seiichi Hosoda, Ken Watanabe, Hitoshi Hayano, Junji Urakawa, Goro Isoyama, Ryuko Kato, Keigo Kawase, Ayaka Kuramoto, Shigeru Kashiwagi, Kazuyuki Sakaue, *Jpn. J. Appl. Phys.*, in press. (2013)

“Development of a three dimensional four mirror optical cavity for laser-Compton scattering” T. Akagi, S. Araki, Y. Funahashi, Y. Honda, H. Kataoka, T. Kon, S. Miyoshi, T. Okugi, T. Omori, K. Sakaue, H. Shimizu, T. Takahashi, R. Tanaka, N. Terunuma, J. Urakawa, M. Washio, H. Yoshitama, *Nucl. Instrum. Meth. A*, in press. (2013)

“Construction of nanosecond and picosecond pulse radiolysis system with supercontinuum probe”, Yuji Hosaka, Ryosuke Betto, Kazuyuki Sakaue, Ryunosuke Kuroda, Shigeru Kashiwagi, Kiminori Ushida, Masakazu Washio, *Radi. Phys. Chem.*, 84, (2013)pp. 10-13.

”Design of high brightness laser-Compton source for EUV and soft X-ray wavelengths” Kazuyuki Sakaue, Akira Endo, Masakazu Washio, *SPIE Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS (JM3)* 11(2), (2012)021124-1-7.

“First refraction contrast imaging via Laser-Compton Scattering X-ray at KEK”, K. Sakaue, T. Aoki, M. Washio, S. Araki, M. Fukuda, N. Terunuma, J. Urakawa, *AIP Conf. Proc.* 1466, (2012)pp. 272-277.

「KEKにおけるレーザーコンプトン散乱を用いた小型 X 線源の開発の現状とアップグレード計画」
日本加速器学会誌 第 9 巻 3 号 2012 年 福田将史、Alexander Aryshev、荒木栄、本田洋介、坂上和之、照沼信浩、浦川順治、鷲尾方一

「L-band 常伝導 RF 電子銃による 1ms パルス長電子ビームの生成」*日本加速器学会誌* 第 9 巻 2 号 2012 年 渡邊謙、早野仁司、浦川順治、松本利広、福田将史、栗木雅夫、飯島北斗、坂上和之、倉本綾佳、Mathieu Omet

4.2 総説・著書

なし

4.3 招待講演

なし

4.4 受賞・表彰

Kazuyuki Sakaue, 第 9 回日本加速器学会 Poster Award “極短バンチ生成用光陰極高周波電子銃開発 (Development of photocathode rf electron gun for ultra-short bunch generation)”

4.5 学会及び社会的活動

該当なし

5. 研究活動の課題と展望

本研究での基幹である高品質電子ビーム生成をさらに促進する。特に進行方向・横方向両面の電子密度を向上させる研究に関して注力する予定である。今回の報告ですでに THz 光の生成を確認しており、これは十分に応用研究が可能なレベルである。すでに THz 光の水への吸収されやすさを用いた応用を始めており、今後実用レベルに昇華していく。また、横方向収束に関しても非常に細く絞られた電子ビームが確認されており、より研究を進めていくとともにレーザープロファイル計測、DTEM(Dynamic Transmission Electron Microscope)への応用など検討していく予定である。

作業機械の智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

災害復旧・救助などの複雑かつ高度な作業が求められる建設作業機においては、作業状態識別に基づいた操作者支援技術が有用になると考えられる。これまでに、作業環境の複雑性や操作熟練度の多様性に非依存かつロバストな作業状態識別手法として、マニピュレータ(アーム)・アタッチメント(ハンド)部位それぞれのレバー操作・負荷の有無 4 情報をパラメータとした基底作業状態 PSS(primitive static states)を提案している(Fig. 1)。リーチングや運搬、引き剥がしなどのすべての作業を 16 個の独立した状態(A, B, ..., P)いずれかに分類できることが PSS の特長である。一方、PSS は基礎的かつ抽象的な記号群であるため、物理的特徴が PSS レベルで同じ作業が同一の PSS に内包されてしまい状態詳述性に欠けること、作業のコンテキストによって PSS の解釈が異なることが問題となる。これらの問題を解決する 1 つの方法として、状態遷移分析に基づき導出された遷移条件や遷移確率から過去状態や現状態の解釈を行う方法が有用になると考えられる。これまでに、部位分類を省略した操作・負荷有無のみで構成される簡易化基底作業状態 s-PSS(A, B, C, D)における状態遷移分析を行っている(ASTE Vol. A19)。s-PSS の遷移条件分析から、操作有無は任意かつ無条件に変化する、負荷有無は操作があるときにのみ変化する、操作と負荷は同時に変化しないという状態遷移ルールを導出し、任意の作業に共通かつ頻繁に起こりうる 2 状態間遷移 $A \Leftrightarrow B$, $B \Leftrightarrow D$, $D \Leftrightarrow C$ および自己遷移を基本状態遷移 PST (practical state transition) として定義した。さらに、実作業における各状態遷移の解釈として本質的か非本質的かの観点から、 $B \Leftrightarrow D$ を本質的状态遷移 EST(essential state transition), $A \Leftrightarrow B$ および $D \Leftrightarrow C$ を非本質的状态遷移 NST(nonessential state transition)として定義した。本研究課題では、s-PSS における基礎分析結果を踏まえ、部位分類を含んだ PSS の状態遷移分析から作業状態の詳述に有用となる解釈および意味の導出を行う。

2. 主な研究成果

PSS 時系列における遷移条件や確率についての分析から、2 状態間の PST, および建機作業に共通の EST・NST の定義、状態の詳述に有用な解釈を得ることができた。これらの分析により、スキル解析や作業分析への応用可能性も示唆された。研究成果について以下に概説する。

2.1. 基本状態遷移 PST

s-PSS における状態遷移ルールに基づき、PSS 間の遷移条件および遷移頻度について分析を行った。分析結果の以下に示す(Fig. 1)。

(1) 無負荷時の操作変化: $[A \Leftrightarrow B]$ 操作部位の変化は任意であるためすべての B 要素へ遷移可能である。アームおよびハンドどちらか 1 つの状態変化($A \Leftrightarrow (B, E)$)は頻繁に起こるが、部位の状態が同

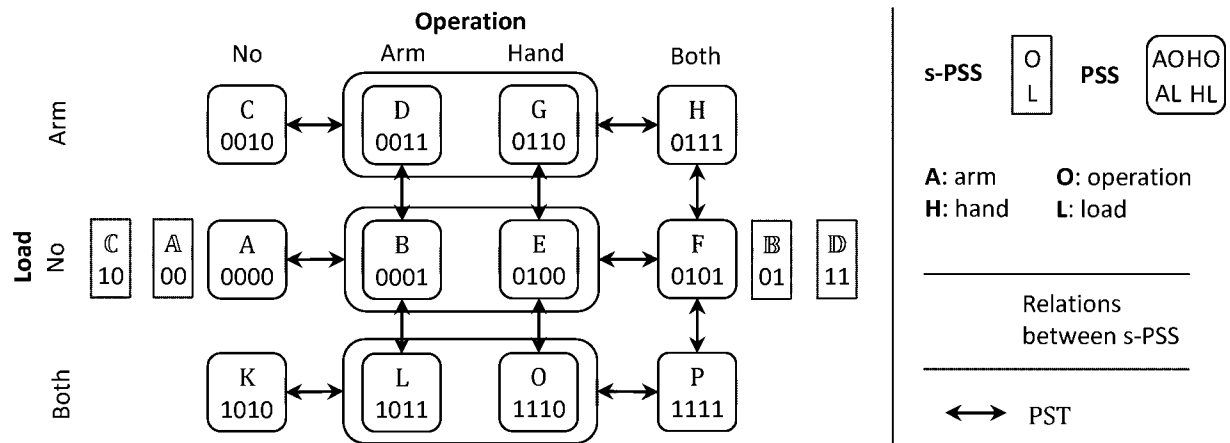


Fig. 1 基本状態遷移 (PSS レベル)

時に切り替わること ($A \Leftrightarrow F$) は少ない. $[B \Leftrightarrow B]$ 操作部位の追加および削除 ($(B, E) \Leftrightarrow F$) は頻繁に起こるが, 部位状態の同時変化 ($B \Leftrightarrow E$) は少ない.

(2) 負荷変化: $[B \Leftrightarrow B]$ s-PSS の状態遷移ルールによれば, 操作によってのみ負荷が生じるため負荷発生前後で操作部位は変わらないが, 負荷部位は環境との接触様式に依存して一様ではない. また, ハンド負荷が発生している状況ではマニピュレータの機構上アーム負荷も生じることから, ハンド負荷のみが生じる状態 (I, J, N, M) はほとんど発生しない. 以上より, $B \Leftrightarrow (D, L)$, $E \Leftrightarrow (G, O)$, $F \Leftrightarrow (H, P)$ は頻繁に起こるが, その他の 2 状態間遷移はほとんど生じない.

(3) 負荷時の操作・負荷変化: $[D \Leftrightarrow D]$ 負荷部位の変化は, 操作により一度除荷したのち異なる部位での再接触が必要となるため, 負荷状態での負荷部位変化は起こらない. 操作部位は 2) と同様に変化するため, $H \Leftrightarrow (D, G)$, $P \Leftrightarrow (L, O)$ は頻繁に起こるが, $N \Leftrightarrow (J, M)$ はほとんど生じない. $[C \Leftrightarrow D]$ 操作部位は任意に変化する, 負荷時の負荷部位変化は起こらない, ハンド負荷のみの状態はほとんど生じないため, $C \Leftrightarrow (D, G)$ および $K \Leftrightarrow (L, O)$ は頻繁に起こるが, その他の 2 状態遷移はほとんど起こらない. $[C \Leftrightarrow C]$ 環境の能動的運動がない限り負荷部位は変化しないため, C 内での遷移 (C, I, K) は起こらない.

2.2. 解釈の抽出 EST-NST

前節で抽出された PST を用いて, 実作業における各遷移の意味および解釈を導出した. EST および NST を PSS レベルで分析すると, タスクフェーズごとに以下のような解釈が得られる.

(1) リーチング: B は手先位置の調整時に生じるため, 手先位置の大きな移動が必要となる遠方物体へのアプローチ時に検出される. 把持を行う場合にはマニピュレータが物体に近づくにつれハンド操作が追加されるため F が検出される. ハンド開閉位置のみを正確に操作する場合には E が検出される. 押し付け作業時にはアーム操作が継続するため, このときの過剰なハンド操作は無駄操作とみなせる. 検出される PSS によって対象物との相対位置関係が間接的に推定できる.

(2) 接触・リリース: 接触フェーズは把持・ハンド内側接触・ハンド外側接触の 3 つの接触様式に分類できる. $E \Rightarrow O$ および $F \Rightarrow P$ は把持, $B \Rightarrow L$ は内側接触, $B \Rightarrow D$, $E \Rightarrow G$, $F \Rightarrow H$ は外側接触である. 把持タスクにおいては内側接触や外側接触は操作ミスによる誤接触とみなせる. リリースフェーズは接触フェーズと同様の解釈が可能である. 検出される PSS 遷移に応じて対象物との接触形態が推定できる.

(3) 負荷作業: 接触フェーズと同様に 3 つの状態に分類できる. $(E, F) \Rightarrow (O, P) \Rightarrow L$ は運搬, 折り曲

げ、引き剥がしなどの把持を伴う負荷作業である。強い把持力が必要な折り曲げや引き剥がし作業では、十分な把持力を維持するためにPが検出されやすい。運搬作業では、 $L \Rightarrow B$ は意図しない把持物体の落下としてみなせる。検出されるPSSから負荷作業に必要な負荷レベルが推定できる。

以上の分析から、通常の運搬作業は、 $A \Rightarrow B \Rightarrow (F, E) \Rightarrow (O, P) \Rightarrow L \Rightarrow (O, P) \Rightarrow (F, E) \Rightarrow B \Rightarrow A$ でモデル化でき、他のPSSが検出された場合には誤操作など非本質動作の可能性を示唆できる。

2. 3. 実験機を用いた作業分析実験

作業タスクを単腕運搬、双腕協調運搬、単腕引き剥がしの3つとし、それぞれ5人のオペレータにて双腕実験機を用いて作業分析実験を行った。PSTの一般性・共通性を確認したのち、ESTおよびNST分析から得られた状態の解釈を用いた作業分析への応用性について検証を行った。実験の結果、すべての作業タスクおよびオペレータにおいて、定義したPSSの状態遷移ルール(PST)に基づいて遷移していることが確認できた。作業特性の異なる運搬と引き剥がしにおいても適用できたことから、建機作業はPSTにより統一的に記述できることが分かった。作業の解釈として、(i)単腕運搬作業時：運搬状態でハンド負荷(HL)が検出されていないことから、物体を落下させてしまったこと、(ii)双腕運搬作業：対象物を掴んだ状態で把持の再確認のためのハンド操作(H0)が左右腕で入力されていることから、同一物体の協調運搬を行っていたこと、(iii)引き剥がし作業：大きな負荷をかけるための十分に強い把持力を発揮させるためにハンド操作が継続的に入力されていたことから、大負荷作業をしていたこと、がそれぞれ明らかになった。以上より、PSSの状態遷移分析から、作業フェーズ、アタッチメントと対象物の位置関係および接触形態、負荷作業におけるタスク特性に対する新たな解釈を導出できることが分かった。

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）

亀崎 允啓（創造理工学部 総合機械工学科・助手）

4. 研究業績

■学術論文

Mitsuhiro Kamezaki, Hiroyasu Iwata, and Shigeki Sugano, “A Symbolic Construction Work Flow Based on State Transition Analysis Using Simplified Primitive Static States”, *Journal of Robotics and Mechatronics (JRM)*, Vol. 24, No. 6, pp. 939-948, Dec. 2012.

Mitsuhiro Kamezaki, Hiroyasu Iwata, and Shigeki Sugano, “A Pragmatic Load Detecting System Based on Uncertainty Evaluation for Construction Manipulator”, *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (JCMSI)*, Vol. 5, No. 6, pp. 366-373, Nov. 2012.

■総説・著書

■講演

(国際会議)

Mitsuhiro Kamezaki, Yosuke Shimada, Hiroyasu Iwata, and Shigeki Sugano, “Operational Support for Ensuring Safety Object-Removal Using Dual-Arm Construction Machinery”, in *Proceedings of 2012 First International Conference on Innovative Engineering Systems (ICIES 2012)*, pp. 257-262, Dec. 2012.

Mitsuhiro Kamezaki, Hiroyasu Iwata, and Shigeki Sugano, “Quantification of Comprehensive Work Flow Using Time-Series Primitive Static States for Human-Operated Work Machine”, in *Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2012)*, pp. 4487-4492, May 2012.

(国内学会)

亀崎允啓, 中村皓祐, 橋本諭, 岩田浩康, 菅野重樹, “建機マニピュレータの手先外力ベクトル計測～内在誤差範囲推定に基づく相対的計測精度向上～”, *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011 論文集 (Robomec' 11)*, paper no. 1A1-C03, 2011 年 5 月.

亀崎允啓, 石井孝洋, 岩田浩康, 菅野重樹, “操作型作業機械の知能化に関する研究～第 9 報: 操作・負荷フラグの時系列遷移を利用した物体把持・非把持推定～”, *第 13 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 (SI2012)*, paper no. 1A1-1, 2012 年 12 月.

亀崎允啓, 楊俊傑, 小坂拓未, 岩田浩康, 菅野重樹, “複雑作業への適応を目的とした無人化重機の遠隔操作シミュレータ～操縦・映像提示系コンポーネントの基礎開発～”, *第 13 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 (SI2012)*, paper no. 3I1-4, 2012 年 12 月.

亀崎允啓, 橋本諭, 岩田浩康, 菅野重樹, “操作型作業機械の知能化に関する研究～第 8 報: 手先位置頻度マップを用いた大局的作業傾向の可視化～”, *第 30 回日本ロボット学会学術講演会論文集 (RSJ2012)*, paper no. 3L2-2, 2012 年 9 月.

亀崎允啓, 岩田浩康, 菅野重樹, “操作型作業機械の知能化に関する研究～第 7 報: 時系列遷移情報の利用による基底作業状態の識別性能向上～”, *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 論文集 (Robomec' 12)*, paper no. 1A2-F02, 2012 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

本年度は, 時系列遷移情報の利用による基底作業状態 PSS の識別性能向上に関する研究を行った. 今後は, 本年度の開発結果を含む作業状態識別手法を組み合わせることで発展させていくことにより, 作業実施内容の定量的評価手法の構築へ展開していく予定である.

産業用オープンネットワークシステムに関する研究

研究代表者 天野 嘉春
(理工学研究所・教授)

1. 研究課題

近年、スマートグリッドによる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が、オートメーション産業に特化した、いわゆるスマートグリッドの基盤技術として、オープンな国際通信規格がいくつか存在する。そのひとつに産業用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。フィールドバスは、オートメーション産業用の現場機器専用のデジタル双方向通信規格である。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、双方向デジタル通信を装備することによって、これまで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の基盤技術としてのフィールドバス技術を中心とした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、学生のみならず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している。

2012年度は、前年度の教育プログラムの内容の大幅改訂に引き続き、最新情報を適宜盛り込むことで年4回のセミナー実施時期に合わせてアップデートした。国際標準教育プログラムに則り、技術セミナー等を行うこと、および新規技術要件についてのユーザーとの意見交換をおこなった。

また、リアルタイム処理を補償するためのセグメント計画に於いて重要な、通信負荷の正確な定義と見積もり方法についての研究を展開し、成果を得た。

2. 主な研究成果

2.1 FCTP (Foundation Certified Training Program) への準拠と更新

Foundation Fieldbus は、プロセス制御分野におけるフィールドバス規格のデファクト・スタンダードとしての地位を確立している。本研究室では、Foundation Fieldbus を中心に技術教育プログラムを用意し、年四回開催する技術セミナーにおいて、実際のデモ装置による実習を交えた教育活動を展開している。2010年度末にはFCTP (Foundation Certified Training Program) への準拠を完了し、本研究室の招聘研究員および代表者が認定トレーナーとしてFieldbus Foundationから正式認定をうけた。同時に、教育プログラムで使用するテキスト内容についても、基準となる教育項目を適切に提示していること、および必要な実習内容を講義、デモできているかどうか審査を受けた。その結果、すべての審査をクリアし、2011年度からは世界標準の教育プログラムとしての認定を得た。「サポートスペシャリスト」コースを提供できるようになった。2012年度には、FCTP「サポートスペシャリスト」コースを4回開催した。

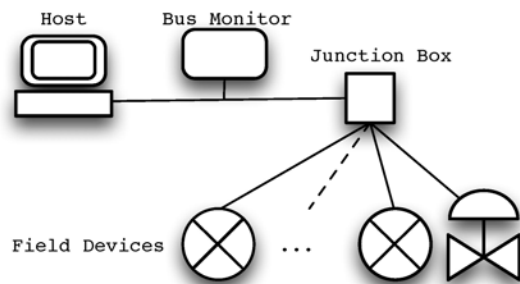


Fig. 1 Fieldbus configuration with Bus Monitor

また、震災によって一時的にラボを移転していたが、建物修復完了にともなって赤煉瓦棟の1階へと復旧を完了した。同時期までに、デモ用設備機器を更新し、2012年度末の時点で、ホスト4システム(National Instruments, 横河電機, アズビル, Smar), フィールドデバイス23器, 補器12器からなるデモ用セグメントが2系統と、テーブルトップデモが1セグメントで構成されている。

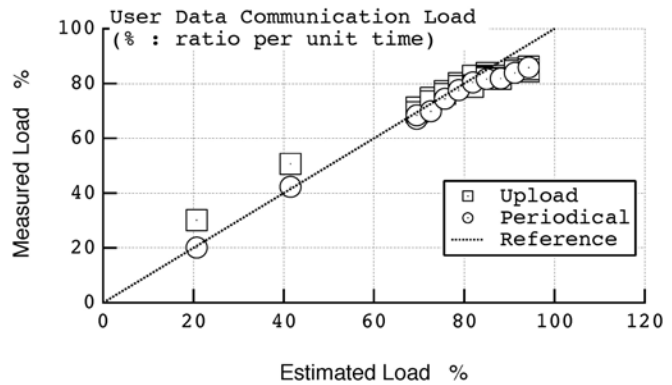


Fig. 2 Measured User Data Communication Load

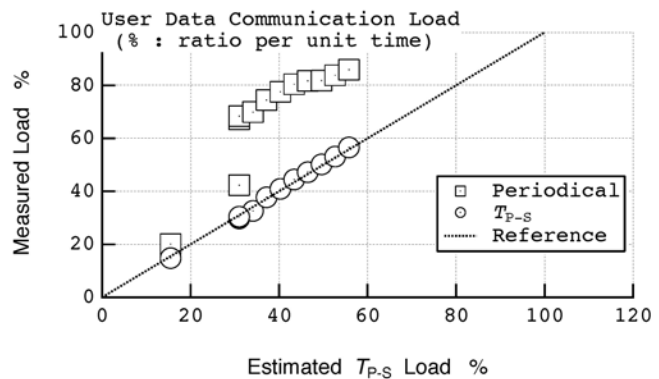


Fig. 3 Measured User Data Communication Load with proposed estimated Load (T_{P-S})

2.2 Foundation Fieldbus における通信負荷の定義と見積方法の提案

リアルタイム性が要求されるプロセス制御系において、デジタル通信によって制御信号の授受を行う場合、セグメント毎の通信負荷を正確に見積もることが設計段階で最も重要なタスクのひとつとなる。しかしこれまで、エンジニアリングにおけるガイドラインが定性的な説明のもと、70%程度の通信負荷となるようすべきであるとの説明がなされているのみであり、正確な通信負荷の定義が提示されておらず、少なからず混乱を招いていた。そこで2012年度には、図1に示すセグメント例に、セグメントにおける正確な通信負荷を「通信負荷は、ユニットタイムあたりのユーザーデータ転送時間の総和」と定義し、理論的な通信負荷のガイドライン値を検証した。

図2のPeriodicalには非周期通信を含まない場合を、Uploadは、非周期通信も含んだ場合の通信負荷の計測結果を示す。計測された通信負荷は80%あたりで頭打ちとなり、低負荷の場合には非周期的通信負荷は周期的通信負荷に対して常に10%程度を加算する効果となっていることが読み取れる。図3には、従来のPublisher-Subscriber型通信のみに基づく通信負荷の計測結果と、本研究で提案した通信負荷の定義とを示す。これより、従来の通信負荷の定義では、負荷が30%を超えたあたりから顕著に高く、実際と見積とが大きく乖離するが、本研究で提案した通信負荷の定義にしたがえば、正確に見積もることが可能であることを明らかにした。これにより、本研究で提案した正しい通信負荷の定義を使用することの妥当性を検証した。また、セグメント設計における通信負荷上限を70%に設定すること自体には、新しい通信負荷定義に基づいて計測した場合にも、適切であることも併せて検証した。この結果、ユーザーは正しく通信負荷を見積もることが可能となった。この成果は2013年度中に発行予定のSICE JCMSI論文に掲載が決定している。

3. 共同研究者

森岡義嗣（理工研 招聘研究員），池田卓史（理工研 嘱託），加瀬修司（理工研 嘱託），喜多井剛志（理工研 嘱託），津金宏行（理工研 嘱託）

4. 研究業績

4.1 論文，学会および社会的活動

技術セミナー

2012/06/04-05 FCTP サポートスペシャリストコース，日本フィールドバス協会（IONL）
2012/6.

2012/09/03-04 FCTP サポートスペシャリストコース，日本フィールドバス協会（IONL）
2012/9.

2011/12/03-04 FCTP サポートスペシャリストコース，日本フィールドバス協会（IONL）
2012/12.

2013/03/04-05 FCTP サポートスペシャリストコース，日本フィールドバス協会（IONL）
2013/03.

ユーザーセミナー講演

天野，フィールドバスの基礎，日本フィールドバス協会，2012/11/2、大阪

森岡，いまさら聞けないFoundation フィールドバス，フィールドバスユーザーセミナー in Tokyo, 日本フィールドバス協会，2013/2/26、早稲田大学

5. 研究活動の課題と展望

FCTP 準拠のプログラムの拡充につとめる．日本のユーザーからのニーズにあわせた，遠隔監視に係わるテーマなどの知見の集約を基に，新たな仕様定義へ寄与する予定である．

個別デバイスについての診断技術については，引き続きコリオリ式流量計を対象に進めていく．

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。本研究では、病院やオフィス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・環境性の総合的比較評価を、最適化手法に基づいて実施する。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、長期的なシステム更新計画についても検討する。

まず業務用建物の代表例として病院を取り上げ、年間に渡るエネルギー需要量を推定する。次に、上記月別・時間別電力・冷暖房・給湯用需要量をまかなうための各種代替エネルギー供給システムを、一般的なフレームワークシステムとして想定する。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、さらに経済性や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。数理計画手法を導入して、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。また、オフィスビルに関しては、太陽光発電・蓄電池を組み込んだシステムの分析・評価に加えて、地震発生時等の非常時対応問題についても考察する。

さらに、家庭用のエネルギー供給システムに関しては、給湯用CO₂ヒートポンプシステムや、PEFC・SOFC等の燃料電池コージェネレーションに太陽光発電・蓄電池を組み込んだハイブリッドシステム等の分析・評価に取り組んでいく。

2. 主な研究成果

2.1 病院用エネルギー供給システムの最適リニューアル計画

各種建物の耐用年数は60年以上と近年長寿命化が計られている。その一方で、建物用エネルギー供給システムの耐用年数は15～25年程度であり、複数回の更新が必要となる。システムの更新計画においては、導入機器の劣化や新しい高効率機器類の登場等に加えて、建物のエネルギー需要量に対するシステム運用問題も含めて、長期的視点から立案することが必要である。

本研究では、病院を対象として電力・冷暖房・給湯用各種エネルギー供給システムの2回更新問題に対する経済性の比較検討を、図1の計画問題フレームワークに基づく最適化手法を採用して行った。延床面積25,000m²の中規模の病院を対象建物とし、電気式、ガス式およびそれらを合わせたハイブリッド式システムを従来方式の基準システムと比較した。その結果、下記の事柄が判明した。

- ・電気式とガス式機器を組み合わせたハイブリッドシステムが最も経済性で優れていた。ただし、このシステムが現実の設計において採用されることは稀である。
- ・電気式システムの省エネルギー性削減率は、ハイブリッドシステムとほぼ等しい値となった。

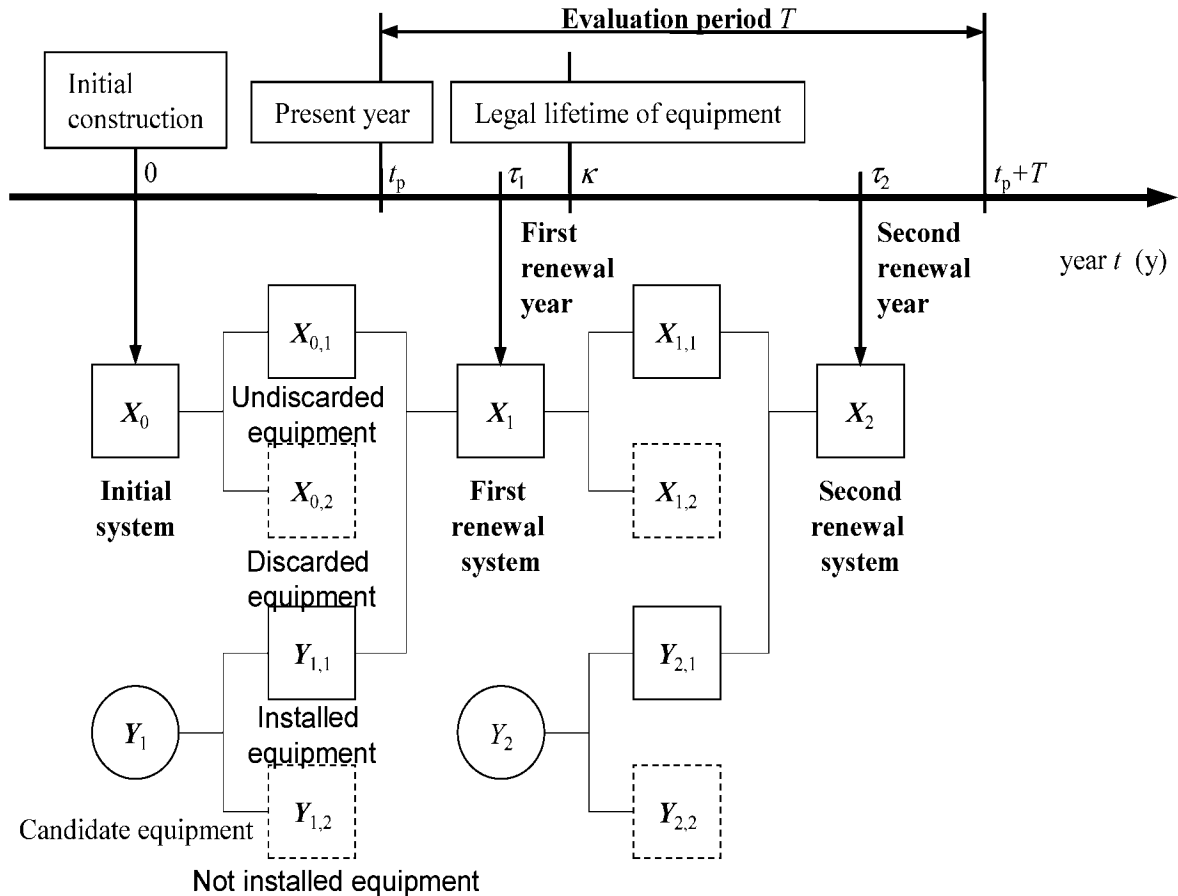


図 1. エネルギー供給システムの最適リニューアル計画問題のフレームワーク

また更新年度も、共に計画年と等しい7年目となった。

- ・ガス式システムの省エネルギー性削減率は低く、また更新年度は12年目まで遅れ、初期システムを長く使用する結果となった。

また、初期システムの相違によるリニューアル計画問題への影響分析も実施した。さらに、病院内における将来の建物断熱機能の強化や照明等の高効率機器の導入による省エネルギー化に伴う新規エネルギーシステムへの影響分析も行った。

2.2 オフィス用太陽光発電・蓄電池組み込ハイブリッド型エネルギー供給システムの特性分析

延床面積 5000m² のオフィスビルにおいて、従来型の空調用エネルギー供給システムに、太陽光発電・蓄電池が組み込まれたハイブリッド型システムを取り上げ、経済性・省エネルギー性・環境性に関する分析・評価を行った。従来型のシステムとしては、ヒートポンプを主機とする電気式に加えて、ディーゼルおよびガスエンジン・コージェネレーション・システムを、最適化手法に基づいて比較分析した。太陽光発電と蓄電池の機器容量を幅広く変化させて分析を行ったが、基本的にこれらが従来型のシステムに組み込まれて両者が総合作用して機能発揮していくためには、相当大規模な容量の太陽光発電および蓄電池が導入される必要があることが判明した。さらに、地震発生時等の非常時におけるシステムの対応能力に関する分析も実施した。

2.3 家庭用各種エネルギー供給システムの比較分析

実在する2家庭で年間に渡って計測された電力・冷房・暖房・給湯用エネルギー需要量に基づいて、CO₂冷媒利用ヒートポンプ給湯システムや、PEFC および SOFC 形燃料電池を採用し、さらに太陽電池および蓄電池を組み込んだ各種エネルギー供給システムの省エネルギー性を分析・評価した。その際、系統電力と潜熱回収型ガスボイラによる従来型システムを比較基準とし、システムの運用段階において最適化手法を導入した。

一般に、家庭という小規模ユーザーにおいては、各種エネルギー需要量は年間に渡り激しく変動する。従って、燃料電池を導入したコージェネレーションシステムは、ユーザーが必要とする熱電比が激しく変動するため、ヒートポンプ方式と相対比較してより高い省エネルギー性が得られないことが主要結果として判明した。

3. 共同研究者

伊東 弘一(理工学研究所・客員教授(専任扱い))

4. 研究業績

4.1 学術論文

- ・S.Yoshida, K.Ito, Y. Amano, S. Ishikawa, T. Sushi and T. Hashizume: Effect of initial systems on the renewal planning of energy supply systems for a hospital; Proc. of ECOS (2012)

4.2 学術講演会研究発表

- ・池田一樹・伊東弘一・天野嘉春： 実測データに基づく1kW級PEFCシステムの特性分析；エネルギー・資源学会第28回エネルギー・経済・環境コンファレンス（2012）
- ・吉田修・寿司貴大・伊東弘一・天野嘉春： 太陽光発電導入各種エネルギー供給システムの経済性・省エネルギー性比較分析； エネルギー・資源学会第29回エネルギー・経済・環境コンファレンス（2013）

4.3 学会および社会的活動

NEDO 技術委員

5. 研究活動の課題と展望

・オフィス用太陽光発電・蓄電池組み込ハイブリッド型エネルギー供給システムの特性分析に関して、前提条件で採用している各種入力データの精緻化を目指すと共に、パラメーター感度分析もより幅広く実施し、考察対象システムの本質的特性の分析・評価を深めていく。

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

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。これまでに地方自治体が行ってきた施設の維持保全における問題点としては、「管理体制の分散化」、「場当りのかつ属人的な管理」、「客観的評価手法の欠落」、「フィードバックサイクルの不在」、「人材不足の顕在化」などが挙げられる。しかしこうしたことは最近までは問題点として認識されてこなかったのが実情であった。なぜならば、こうしたことは縦割りの組織構造の中では表面化することが稀であり、経営的な視点から部門間の情報交流及びコミュニケーションが可能になってきて初めて見える問題であったからである。

本研究では公共所有不動産を、経営的かつ全庁的な視点から、施設の運営段階における経営およびマネジメントの問題として取り組む。本年度においては公共所有不動産の総量適正化プロセス構築のために、自治体の実際の公共施設を対象とした手法の検討、および公共不動産戦略提示のための調査分析を行った。

2. 主な研究成果

本年度は、主に前年度の佐倉市における志津公民館整備事業で検討を行った、公共施設の総量適正化手法について取りまとめを行うと共に、施設運営管理の効率化を目指した自治体間ベンチマーキング手法の検討を行った。さらに福島県の全施設を対象とした施設環境状況アンケート調査及び全施設のデータ分析を行い、今後の地方自治体における公共施設の資産戦略のあり方について提案を行った。

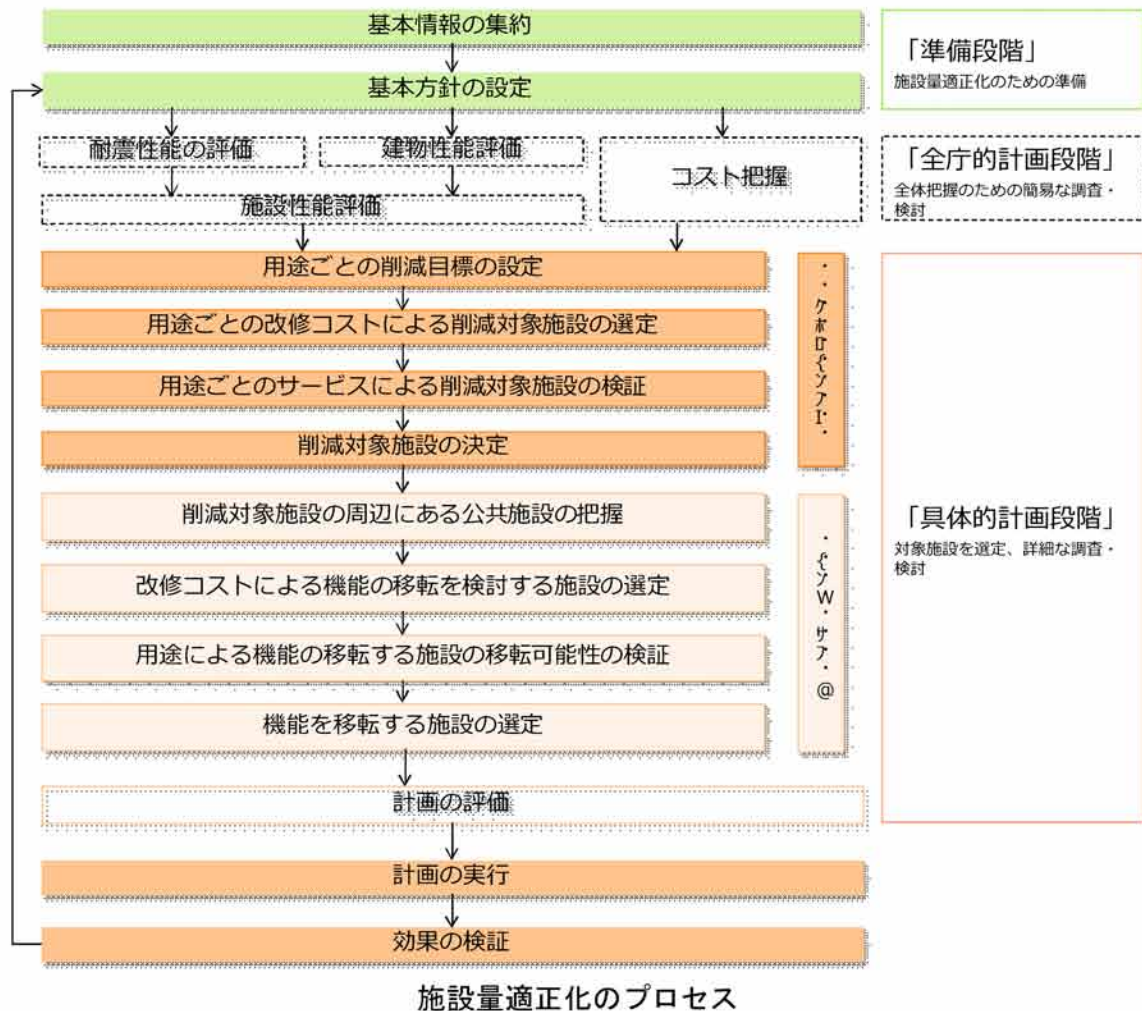
2.1 公共施設総量適正化手法の検討

本研究は、公共施設総量適正化の具体的な手法及びプロセスを検討するため、佐倉市の実際の施設を対象に配置などの適正化を試行したものである。公民館施設だけを建替えるという考え方からスタートし、周辺地域にある施設をも検討視野に入れて、施設の複合化および総量適正化の可能性を検討した結果、さらなるランニングコストの削減および施設総量の削減案を提示することができた。具体的な内容を以下にまとめる。

- ① 京成志津駅の周辺地域に立地している志津公民館および周辺施設について、延床面積や劣化程度などのハード面に関する調査に加え、各施設の利用状況や交通手段などのソフト面に関する調査により現状分析を行った。
- ② 対象施設に求められている市民サービスの機能を抽出するとともに、実態調査から対象施設の現状評価を行い、管理の方向を維持・改修・建替えに分類した。また各施設の機能から、従来の施設管理を続けた場合に必要になると考えられる施設総量とその運用費を、既存資料を基に算出した。
- ③ 対象施設の立地や機能の関係性を踏まえ、施設単体ではなく対象地域全体で市民サービスのレベル向上と、施設の総量削減による財政負担の低減を目指した志津公民館の整備手法を検討し、機能の統合を前提とした複合施設化による公民館の建替えまたは改修による複数の再生案を提

示した。また従来の施設管理と比較し、運用費の面から施設の総量削減の効果を検証した。

- ④ 複合施設化による市民生活の向上の効果をより明快にするため、今回の分析結果から最も費用対効果が高いと考えられる建替え案について再度施設評価を行うとともに、具体的な項目を列挙して周辺地域の環境や施設の利便性が如何に変化するかを示した。また建替え後の複合施設のイメージを共有するため、検討を行った複合施設化の基本計画案を示した。
- ⑤ これら志津地区における対象施設の配置・運営の方向性についての検討結果を踏まえ、今後の佐倉市全体の施設管理の方向性について提案を行った。

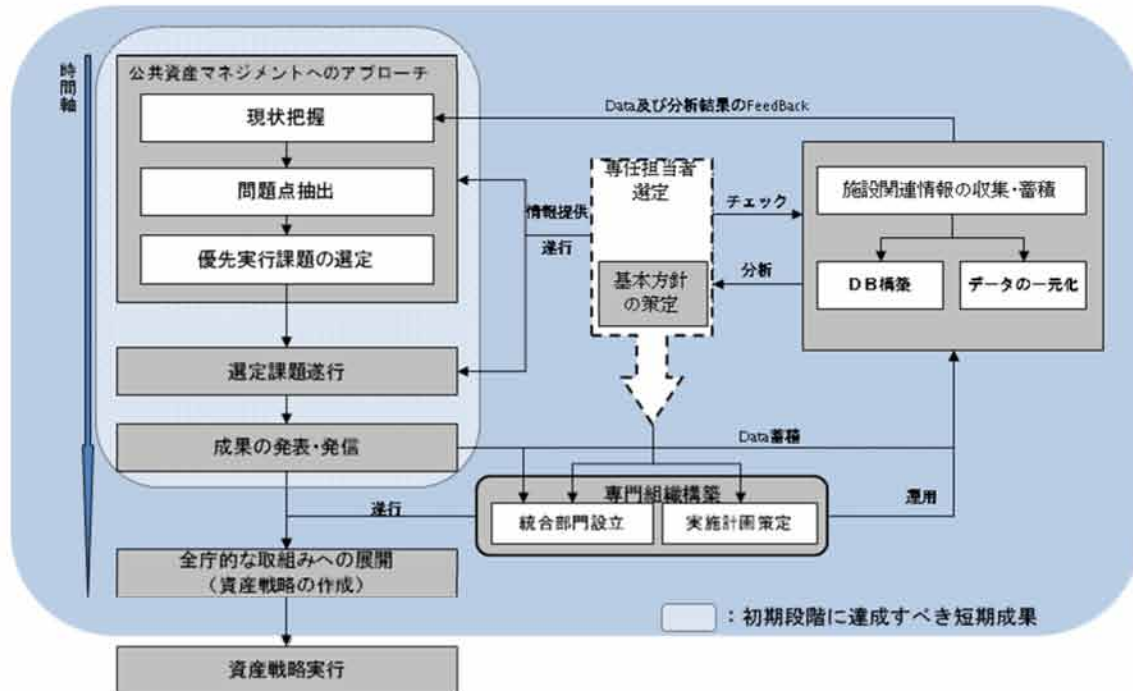


2.2 県有施設の資産戦略策定のための調査研究

福島県における県有全施設を対象とした資産戦略策定にあたっては、県の社会状況及び県有施設の状況についての分析、コストデータを活用したLCCシミュレーション、施設担当者による震災前後のアンケート調査結果についての集計・分析を行った上で、県有施設の保有数量等の将来的な目標値を設定する。保有数量等の目標値設定をさらに定量化するため、他自治体の施設関連データ調査・分析を踏まえた比較等の検討を行った。

続いて県有資産の現状把握を基に、最終的に資産戦略の柱となる「資産戦略の目的及び目標の設定」、「資産戦略の取組」、「施設戦略のケーススタディ」を提案し、地方自治体が公共施設の資産戦略策定のための一連の流れを整理した。以上の内容を実際に適用するため、福島県からのデータの

提供及び調査協力の下で検証を行った。



資産戦略策定までの公共施設マネジメント推進プロセス

3. 共同研究者

- 板谷 敏正（プロパティデータバンク・代表取締役社長）
 堤 洋樹（前橋工科大学・工学部・建築学科・准教授）
 李 祥準（首都大学東京・都市環境学部・建築都市コース・助教授）
 駒井 裕民（青森県・総務部財産管理課・主幹）
 池澤 龍三（佐倉市・資産管理経営室・主幹）
 平井 健嗣（(株)KMK・代表取締役）
 鈴木 晴紀（(株)PRE・CRE 戦略研究所・代表取締役社長）

4. 研究業績

4.1 学術論文

- (1) 運用面からみた公共施設の評価の手法に関する研究・水出有紀、堤洋樹、李祥準、増川雄二、小松幸夫、(日本建築学会建築生産シンポジウム論文集、第 28 巻、PP.245-250、2012.7)
- (2) アンケートを利用した公共施設現地調査のための優先順位付け手法の検討 -公共施設マネジメント効率化に関する研究-・佐久間直哉、小松幸夫、李祥準、堤洋樹、水出有紀(日本建築学会建築生産シンポジウム論文集、第 28 巻、PP.263-266、2012.7)
- (3) 公共文化施設の運営に関する実態調査・国立美術館の管理体制・維持費用の分析・山本広貴、李祥準、小松幸夫(日本建築学会建築生産シンポジウム論文集、第 28 巻、pp.235-240、2012.7)
- (4) 公共施設の維持管理に関する研究・藤原誓二、平井健嗣、李祥準、小松幸夫(日本建築学会建築生産シンポジウム論文集、第 28 巻、pp.241-244、2012.7)
- (5) 区分所有建物における公共施設の管理運営実態ー市有地再開発事業の事例を通じた調査研究・鶴原太郎、李祥準、小松幸夫(日本建築学会建築生産シンポジウム論文集、第 28 巻、pp.251-256、2012.7)
- (6) 自治体間の比較分析を考慮した分類項目の検討ーFM導入のための施設情報分析ー・恒川淳

基、堤 洋樹、水出有紀、海川拓也（関東支部審査付き研究報告集、PP.125-128、2012.6）

4.2 総説・著書

- (1) CRE マネジメントとFM、板谷敏正、JFMA JOURNAL、No.169、公益社団法人日本ファシリティマネジメント協会、2013.1
- (2) 地方自治体の公共資産マネジメントの推進プロセス、李祥準、JFMA JOURNAL、No.167、公益社団法人日本ファシリティマネジメント協会、2012.7
- (3) クラウドコンピューティングが実現するBCP、板谷敏正、JFMA JOURNAL、No.166、公益社団法人日本ファシリティマネジメント協会、2012.4

4.3 招待講演

- (1) 日本企業の求められる CRE マネジメントとは、板谷敏正、JFMA フォーラム 2013、2013.3.14
- (2) クラウドコンピューティングを活用した施設マネジメント、板谷敏正、公益社団法人土木学会建設マネジメント委員会／インフラPFI・PPP研究小委員会、2013.3.7
- (3) 弘前市ファシリティマネジメント研修会、駒井裕民、弘前市、2013.2.6
- (4) 地方自治体公共施設の運営・維持管理状況からみた施設マネジメントのあり方、李祥準、沖縄県沖縄市主催「公共FM研修会」、沖縄市役所会議室、2013.1.28
- (5) 地方自治体公共施設の運営・維持管理状況からみた施設マネジメントのあり方、李祥準、広島県主催「公共FM研修会」、広島県庁会議室、2013.1.23
- (6) 平成24年度熊本県ファシリティマネジメント講演会、駒井裕民、熊本県、2013.1.11
- (7) 行政課題研究セミナー（すてっぷあっぷ講座）、駒井裕民、彩の国さいたま人づくり広域連合事務局、2013.1.9
- (8) 地方自治体公共施設の運営・維持管理状況からみた施設マネジメントのあり方、李祥準、建築社会システム委員会・建築計画委員会主催「合同シンポジウム」、建築会館会議室、2012.11.6
- (9) Theories and Examples of the Life Cycle Management in Public Facilities、Sangjun YI、Mokwon 大学主催「特別招聘講演会」、Mokwon 大学（韓国）、2012.10.26
- (10) CMrのための不動産ファイナンス演習：事業会社が行う不動産ファイナンス、鈴木晴紀、2012年度CMスクール第二講座、：2012.10.13
- (11) 公共施設管理における情報管理のありかた/施設情報管理のフレームワークに関する提案、板谷敏正、日本建築学会大会建築社会システム部門PD、2012.9
- (12) 地方自治体の公共施設マネジメント、李祥準、福島県郡山市主催「公共FM研修会」、郡山市建築課会議室、2012.8.20
- (13) ファシリティマネジメント講演会、駒井裕民、奈良県、2012.7.25
- (14) ファシリティマネジメント職員研修会、駒井裕民、長野県、2012.7.13
- (15) 地方自治体の公共施設マネジメントの実態と推進プロセス、李祥準、JFMA 主催「公共FMセミナー」、内田洋行 東京ユビキタス協創広場 CANVAS、2012.5.11

4.4 学術発表

- (1) Sangjun YI, Kenji HIRAI, Hiroki TSUTSUMI, Yukio KOMATSU : Improving the Efficiency of Public Facilities Management (Conference on Architectural Institute of Korea, Vol.32, pp.581~582、2012.10)
- (2) Naoya SAKUMA, Sangjun YI, Hiroki TSUTSUMI, Yukio KOMATSU, Takuya UMIKAWA : Proposal of Facility Assessment Method for Optimization of The Total Facility(Part 1) -Improving the Efficiency of Public Facilities

- Management-(Conference on Architectural Institute of Korea, Vol.32, pp.599~600、2012.10)
- (3) Takuya UMIKAWA, Sangjun YI, Hiroki TSUTSUMI, Yukio KOMATSU, Naoya SAKUMA : Proposal of Facility Assessment Method for Optimization of The Total Facility(Part 2) -Improving the Efficiency of Public Facilities Management-(Conference on Architectural Institute of Korea, Vol.32, pp.601~602、2012.10)
 - (4) Junki TSUNEKAWA, Sangjun YI, Hiroki TSUTSUMI : A Tentative Method for Benchmarking of Public Facilities among Local Governments -Improving the Efficiency of Public Facilities Management- (Conference on Architectural Institute of Korea, Vol.32, pp.603~604、2012.10)
 - (5) Taro TSURUHARA, Sangjun YI, Yukio KOMATSU : MANAGEMENT OF PUBLIC FACILITIES IN COMPARTED OWNERSHIP BUILDINGS —Case study through Urban redevelopment Projects— (Conference on Architectural Institute of Korea, Vol.32, pp.605~607、2012.10)
 - (6) Kenji HIRAI, Sangjun YI, Hiroki TSUTSUMI, Yukio KOMATSU : Improvement Performance Method for Existing Buildings by Experimentation with Full-scale Model -Effectiveness by External Insulation Finishing System in Summer- (Conference on Architectural Institute of Korea, Vol.32, pp.579~580、2012.10)
 - (7) 平井健嗣、藤原誓二、李祥準、小松幸夫：公共施設の長寿命化を視野に入れた維持管理に関する研究 その4(日本建築学会大会学術講演梗概集、F-1、pp.175~176、2012.8)
 - (8) 山本広貴、李祥準、平井健嗣、小松幸夫：公共文化施設の運営に関する実態調査 国立美術館の管理体制と維持費用の分析(日本建築学会大会学術講演梗概集、F-1、pp.181~182、2012.8)
 - (9) 佐久間直哉、小松幸夫、李祥準、平井健嗣、堤洋樹：アンケートを利用した公共施設現地調査のための優先順位付け手法の検討(日本建築学会大会学術講演梗概集、F-1、pp.171~172、2012.8)
 - (10) 平井健嗣、李祥準、小松幸夫：公共施設の長寿命化を視野に入れた維持管理に関する研究 その3(日本建築学会大会学術講演梗概集、F-1、pp.173~174、2012.8)
 - (11) 鶴原太郎、李祥準、小松幸夫、安蘇秀徳：区分所有建物における公共公益施設の管理運営実態 市街地再開発事業を通じた事例研究(日本建築学会大会学術講演梗概集、F-1、pp.101~102、2012.8)
 - (12) 大館峻一、角田 誠、李祥準：既存木造店舗建築物の性能向上に関する調査研究—店舗ファサードの耐震補強に着目して—(2012年度(第83回)関東支部研究発表会、2013.3)
 - (13) 小松崎友理、小松幸夫、李祥準：公立学校施設の維持管理現状に関する研究—アンケート調査による日韓比較調査—(2012年度(第83回)関東支部研究発表会、2013.3)
 - (14) 齋藤真琴、角田 誠、李祥準：住宅リフォームにおける材工分離の工事体制に関する調査研究—施工業者に着目して—(2012年度(第83回)関東支部研究発表会、2013.3)

4.5 受賞・表彰

- (1) 2012年度日本ファシリティマネジメント大賞功績賞、李祥準、2013年3月
- (2) 2012年度日本建築学会関東支部研究発表会若手優秀研究報告賞、小松崎友理・李祥準・小

松幸夫、2013 年 3 月

- (3) 2012 年度大韓建築学会学術発表大会優秀発表論文賞（口頭発表部門）受賞、李祥準・平井健嗣・堤洋樹・小松幸夫、2012 年 10 月
- (4) 2012 年度大韓建築学会学術発表大会優秀発表論文賞（ポスター発表部門）受賞、鶴原太郎・李祥準・小松幸夫、2012 年 10 月

4.5 学会及び社会的活動

- (1) 施設マネジメント小委員会委員、小松幸夫・板谷敏正・堤洋樹・鈴木晴紀、日本建築学会
- (2) 固定資産評価小委員会委員、小松幸夫・堤洋樹、日本建築学会
- (3) 住宅ストック管理小委員会、李祥準、日本建築学会
- (4) 公共施設再編計画検討委員会委員、小松幸夫・李祥準、鎌倉市
- (5) 行政改革推進委員会委員、小松幸夫、秩父市
- (6) 公共資産改革検討委員会委員、李祥準、川崎市
- (7) 公共施設ベンチマーキング研究会、小松幸夫・堤洋樹・李祥準、建築保全センター

5. 研究活動の課題と展望

これまで民間不動産施設に比べて、公共不動産施設については見落とされがちであった。全国的に公共不動産施設の効率的な運営や維持保全がますます注目されているなかで、経営的かつ全庁的な視点を踏まえた研究者はあまり多く見られない状況を鑑みると、本研究の意義は大きい。今後は、マネジメント体制についての実態調査、施設の適正再配置、自治体間ベンチマークの可能性、公共不動産戦略の提示などに関する研究を継続的に行うとともに全国の地方自治体への普及を目指す。

エナジー・ネクスト研究プロジェクト

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を考案することで、次世代・次々世代のエネルギーの開発指針を提案できる研究推進と拠点形成を目指す。

2. 主な研究成果

2.2. リチウム二次電池用電析 Si-O-C 負極の充放電特性に及ぼす析出電位の影

リチウム二次電池への高容量化の実現のため、高容量を示す Si を負極材料に用いる研究が広く行われている。しかしながら、充放電反応に伴う体積変化により良好なサイクル特性を示さない。当研究室では、 SiCl_4 を含む有機電解液を用いた定電流電析法により、良好なサイクル特性を有する Si-O-C 負極の作製に成功している。これはマトリックス相により Si の体積変化が緩和されるためと考えられる。本年度は、電析物のより詳細な解析を目的とし、析出電位による組成や構造の制御が期待される定電位電析法に着目した。また、それらの形態観察および電気化学的評価を行い、析出電位と充放電特性への影響を検証した。Si-O-C 負極は Propylene carbonate (40 ml) に Tetra butyl ammonium perchlorate (6.85 g) および SiCl_4 (2.29 ml) を加えた溶液中で、Cu 基板上に定電流電析（電流密度 1.0 mA cm^{-2} 、通電電気量 2 C）または定電位電析により作製した。表面形態観察には FE-SEM を用い、充放電特性評価には 1 M LiClO_4 / EC:PC (1:1 vol.%) の電解液中で電流密度 $25 \mu\text{A cm}^{-2}$ 、0.01 V-1.2 V vs. Li/Li^+ の電位範囲で行った。析出電位と充放電特性の関係について詳細な検討をするため、定

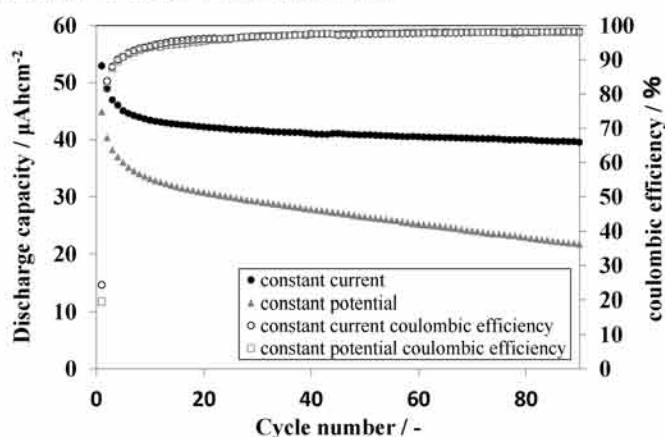


Fig. 1 Discharge capacity of Si-O-C anodes by constant current and constant potential

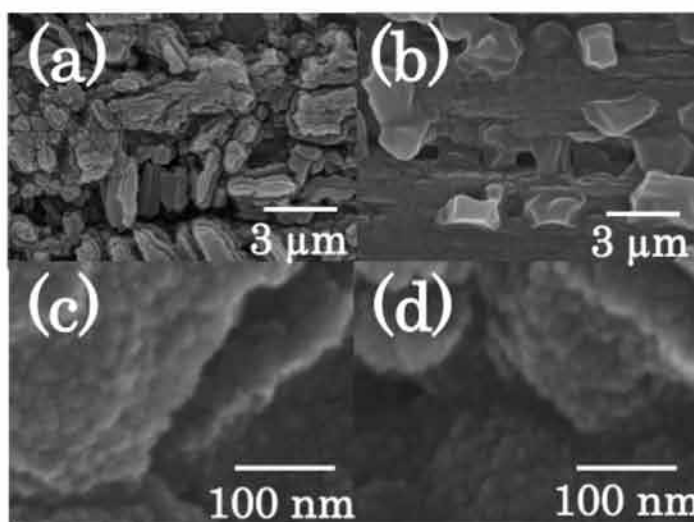


Fig. 2 FE-SEM images of Si-O-C as deposition/deposited (a) constant current (b) constant potential (c) magnified of (a) (d) magnified of (b)

電流電析での安定した析出電位である 1.0 V vs Li/Li^+ において定電位電析を行った。定電流電析で作製した Si-O-C 負極と比較して、初期充放電曲線は同様の電位を示したものの、サイクル数の増加に伴い容量が減少する傾向を示した(Fig. 1)。そこで、電析膜に関して FE-SEM を用いて電析後の表面形態観察を行った。Fig. 2 (a)の定電流電析表面では粒子状に析出したラフネスの大きい膜が確認されたのに対し、Fig. 2(b)の定電位電析表面では粒子状の析出は認められるものの、比較的連続なラフネスの低い膜が形成された。一方、(Fig. 2(c)(d)より 高倍率では、いずれも同様の析出表面であることが確認された(Fig. 2)。これより、定電位電析で作製された Si-O-C 負極は定電流電析で作製された Si-O-C 負極に比べ、充放電反応時の体積変化を緩和しにくい構造であることが示唆された。定電位電析と比較し、定電流電析の電位プロファイルは析出初期の電位が一度、卑にシフトする傾向が確認されることから、この初期析出電位の違いが表面形態の差異の一因になったと考えられる。

2. 1. 矩形波を用いた電気化学インピーダンスの周波数応答

電気自動車に用いられる蓄電池、さらに電力貯蔵用等に期待される蓄電池は、大容量化や低内部抵抗化が進み、従来の電気化学インピーダンスでの反応挙動解析は困難となってきた。しかし蓄電池の劣化予測など、蓄電池内の電極反応を非破壊で解析する必要性はますます高くなっており、従来からの FRA を用いた交流インピーダンス法に変わる測定手法が求められている。我々は、蓄電池の充放電を司るパワーコントローラに着目し、電流の正負反転により形成される矩形波の電流－電圧応答の活用について検討を行っている。

電気化学反応系において電圧の正負反転による矩形波の電圧－電流応答をフーリエ変換することで、入力した周波数及び入力周波数より高い周波数のインピーダンス応答の解析の可能性について検討を行った。矩形波インピーダンス法の妥当性を検証するために、基礎的な電気化学系として、電解液には、 $5 \text{ mM K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, $5 \text{ mM K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, $0.5 \text{ M KNO}_3 \text{ aq.}$ を用いた。セルは、W.E.: $3\text{mm}\phi$ glassy carbon, C.E.: Pt wire, R.E.: Ag/AgCl (3 M NaCl)とした。測定には Biologic 社製電気化学測定装置 VSP を用いた。矩形波での電位－電流応答は、漬浸電位にて入力周波数 $f_{\text{SP}} = 50 \text{ Hz}$, 振幅電圧 $dV_{\text{0-p}} = 5 \text{ mV}$, サンプルング周波数 $f_s = 5 \text{ kHz}$ とした。得られた電圧－電流応答をフーリエ変換、信号処理を行うことで周波数応答を得た。また、FRA を用いた周波数応答は、振幅電圧 $dV_{\text{0-p}} = 5 \text{ mV}$, 測定周波数 $f = 100 \text{ kHz} - 1 \text{ Hz}$ にて測定した。Fig. 3 に矩形波の電位－電流応答より得られた周波数応答の結果を示す。一般に矩形波をフーリエ変換すると、入力周波数 f に対し、周波数 $(2n-1)f$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) にピークが得られることが知られている。本検討では $n = 10$ までにおいて、安定した周波数応答を得ることが出来、入力周波数に対し 1 桁以上高い周波数までの応答を得ることが出来た。また、得られた周波数応答は FRA を用いた一般的なインピーダンス計測結果と比較したところ、得られた周波数範囲において同等の値が得られた。矩形波を入力信号に用いる矩形波インピーダンス法(Square-Potential Electrochemical Impedance Spectroscopy: SP-EIS)を用いることで入力周波数より 1 桁以上高い周波数までの周波数応答を得ることが出来た。

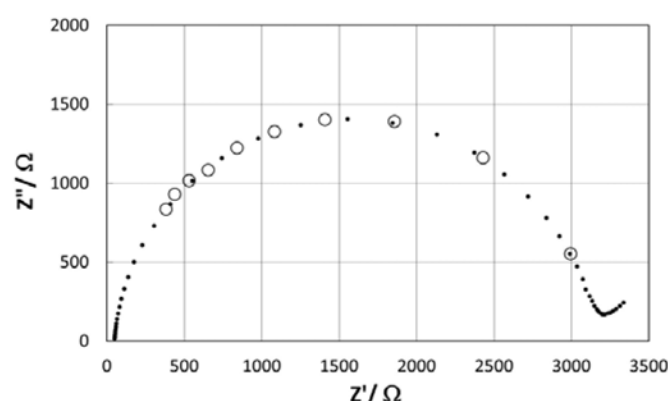


Fig.3 Nyquist plots of $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ solution. The dots show results of AC impedance measurements.

3. 共同研究者

逢坂哲彌（先進理工学部・応用化学科・教授） 森康郎（生命医療工学研究所・客員主任研究員）
横島時彦（理工学研究所・主席研究員） 秀島翔（理工学研究所・次席研究員）

4. 研究業績

4.1. 学術論文

- D. Mukoyama, T. Momma, H. Nara, T. Osaka, “Electrochemical Impedance Analysis on Degradation of Commercially Available Lithium Ion Battery during Charge-Discharge Cycling”, *Chem. Lett.*, **41**, 444–446 (2012).
- T. Momma, M. Matsunaga, D. Mukoyama, T. Osaka, “Ac impedance analysis of lithium ion battery under temperature control”, *J. Power Sources*, **216**, 304–307 (2012).
- T. Hang, D. Mukoyama, H. Nara, N. Takami, T. Momma, T. Osaka, “Electrochemical Impedance Spectroscopy Analysis for Lithium-Ion Battery using $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ Anode”, *J. Power Sources*, **222**, 442–447 (2013).

4.2. 学会発表

- 寺尾竜哉, 大瀧光俊, 奈良洋希, 横島時彦, 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 負極の充放電特性に及ぼす析出電位の影響”, 電気化学会第 80 回大会, 宮城, 2013 3 月.
- 横島時彦, 向山大吉, 亀岡大造, 伊澤英彦, 奈良洋希, 門間聰之, 森康郎, 逢坂哲彌, “矩形波を用いた電気化学インピーダンスのリチウムイオン二次電池劣化評価への適用”, 電気化学会第 80 回大会, 宮城, 2013 3 月.
- 横島時彦, 儀間裕平, 奈良洋希, 向山大吉, 門間聰之, 逢坂哲彌, “矩形波を用いた電気化学インピーダンスの周波数応答”, 電気化学会第 80 回大会, 宮城, 2013 3 月.
- T. Momma, M. Matsunaga, D. Mukoyama, H. Nara and T. Osaka, “Impedance Analysis of Li-Ion Battery at Low Temperature”, 16th International Meeting on Lithium Batteries, Jeju, Korea, June 2012.
- D. Mukoyama, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma and T. Osaka, “Ac Impedance Analysis of Low Frequency Region for Commercial Lithium Ion Battery under Temperature Control”, 222nd Meeting of The Electrochemical Society, Honolulu, Hawaii, USA, October 2012.
- T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma and T. Osaka, “Effect of Pattern Shape of Sn Anode on Charge-Discharge Performance for Lithium Secondary Batteries”, 222nd Meeting of The Electrochemical Society, Honolulu, Hawaii, USA, October 2012.
- T. Hang, 向山大吉, 奈良洋希, 高見則雄, 門間聰之, 逢坂哲彌, “チタン酸リチウムを負極とした 4Ah 級リチウム二次電池のインピーダンス解析”, 第 53 回電池討論会, 福岡, 2012 11 月.
- 向山大吉, 門間聰之, 奈良洋希, 逢坂哲彌, “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の温度特性を利用した状態解析”, 第 53 回電池討論会, 福岡, 2012 11 月.
- 儀間裕平, 横島時彦, 奈良洋希, 門間聰之, 逢坂哲彌, “対称セルを用いたリチウムイオン二次電池電極のインピーダンス分離評価”, 電気化学会第 80 回大会, 宮城, 2013 3 月.

- H. Nara, T. Yokoshima, D. Mukoyama, T. Hirabaru, T. Momma and T. Osaka, “Impedance Analysis of Anode and Cathode Separated by Using Micro Reference Electrode on Li-ion Battery”, 222nd Meeting of The Electrochemical Society, Honolulu, Hawaii, USA, October 2012.
- 武井直子, 奈良洋希, 向山大吉, 横島時彦, 門間聰之, 逢坂哲彌, “サイクル劣化ラミネート型リチウムイオン二次電池の交流インピーダンス挙動と電極表面解析”, 電気化学会第 80 回大会, 宮城, 2013 3 月.

4.3. 招待講演

- T. Osaka, “EIS Analysis on Degradation Conditions of Commercially Available LIBs”, International Conference on the Frontier of Advanced Batteries, China International Battery Fair 2012 (CIBF 2012), June 2012, Shenzhen, China.
- T. Osaka, “Recent Trends in Electrochemical Nanotechnologies -Novel Approach in R&D of Future Energy Device-”, 6th Japanese-Italian-German Meeting of Electrochemists, July 2012, Ulm, Germany.

4.4. 総説・著書

- 森康郎他 (著)、逢坂哲彌 (監修)、ものづくり大国の黄昏—巨大市場を目前に急失速する電池産業、日経 BP コンサルティング (平成 24 年 8 月)

4.5. 特許

- 特願 2012-223124, 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, 2012.10.5)
- 特願 2012-285550, 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, 2012.12.27)

5. 研究活動の課題と展望

本プロジェクトで開発している Si-O-C 負極は、新規な電極材料として注目を集めている。また、合わせて報告したインピーダンス解析法は、非破壊での内部評価法として in situ での電極解析に強みがある。今後は、これまでに得られた基礎的な知見を用いて、新規電極の実用化を目指し、実際のセルレベルでの新規電池系の内部状態評価に対して、インピーダンス解析を用いることにより研究開発を加速させる予定である。

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
(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を用いて、リチウムイオン電池内部状態解析を行い、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。また、リチウム二次電池用の電極材料開発として、新規負極材料の合成も平行して行う。

2. 主な研究成果

2.1. 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

市販 LIB の非破壊状態解析として、電気化学インピーダンス法を用いた検討を行っており、適切な物理モデルとそれに対応した等価回路を設計することで妥当性のある解析結果を得ている。その一方で、市販 LIB に適用する際の問題点として、正極・負極の界面反応、イオン拡散などの応答が重畳することで解析が複雑になることや、出力の向上を目指す実電池系で得られる応答の時定数の重なりにより解釈が困難になることが挙げられるため、電池全体の交流インピーダンス応答の時定数分離解析を目的とし、測定環境温度を変化させ解析を行うこととした。公称容量 約 0.8

Ah の市販リチウムイオン電池を用いて、測定温度環境を -20°C から 20°C 、SOC を 0 から 100% と変化させつつ、電気化学インピーダンスによる解析を行った。Fig. 1 に 20°C と -20°C で測定したナイキスト図を示す。測定温度を 0°C 以下に下げることによって、 20°C にて観測されていた半円の応答が分離し、複数の半円の応答からなる応答が明瞭に確認された。通常想定さ

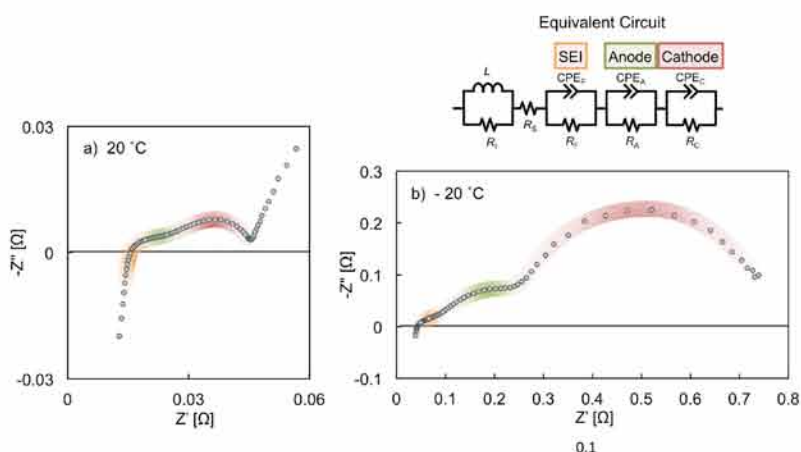


Fig. 1 Nyquist plots of electrochemical impedance for LIB (0.83 Ah, SOC 50%) at various temperatures and data fitting result using the equivalent circuit. Frequency range: 100 kHz – 1 mHz, Amplitude: $V_{0p}=5$ mV.

れうるアノード(頂点周波数: 40 Hz), カソード(7 Hz)のそれぞれの界面反応と SEI (1 kHz)を考慮した三つの R-CPE 並列回路を直列に接続した等価回路によりフィッティングが可能であった。以上より, 電池内部の素過程におけるそれぞれの周波数応答を分離できることが示された。

2.2. リチウム二次電池用新規 Sn 系負極材料の開発

有機無機コンポジット負極の電析 Sn-O-C 負極に関して, 良好なサイクル特性には多段に変化する電位による定電流電析(Fig.1)や, 多段階電位析出が有効であることが示唆されたことを受け, CV による電気化学的解析を行った。Fig.2(a)に, めっき液を用いて測定した CV を示す。図より 2.2 V, 1.5 V, 0.3 V vs Li/Li⁺に3つのピークが認められ, これらの電位は, 定電流電析時におけるプラトーと一致した。また, 各電位の前後にてマイナーループを Fig.2 (b) - (d) に示すが, 2.2 V のみ酸化側・還元側双方にピークが認められ, 他の電位でのマイナーループでは, ピークが認められなかった。従って, 2.2 V での析出は Sn が考えられる。過去の検討から, 電解液の分解は基板に依存し, Sn 条件下では比較的よく分解反応が認められることから, 1.5 V でのピークは, Sn 条件下での電解液の分解が考えられる。また, Fig.2 (a)において 0.3 V, 0.6 V にて酸化側還元側にそれぞれピークが認められ, Fig.2(b)に示すマイナーループにてピークが認められないことから, 先に析出した Sn に対して, 0.3 V の析出時には Li の合金化が起きている可能性が考えられる。また, 0.3 V 定電位電析により作製した Sn-O-C では, Sn の析出が認められ初期容量は極めて低いものの, 100 サイクル程度充放電を行うことで, 充放電が可能な Sn-O-C が形成することがわかっている。したがって, Sn 析出, Sn を反応界面とした電解液分解, Sn の Li 合金化もしくは Sn を反応界面とした Sn-Li 析出が複雑に絡み合うことで, 充放電容量及び充放電サイクル特性の優れた, Sn-O-C が形成されたものと考えられる。

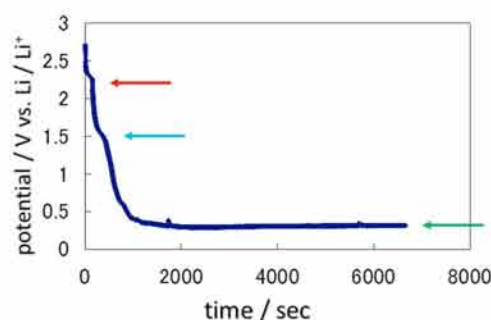


Fig.1. Constant current electrodeposition of SnOC; $i = 37.5 \mu\text{A cm}^{-2}$

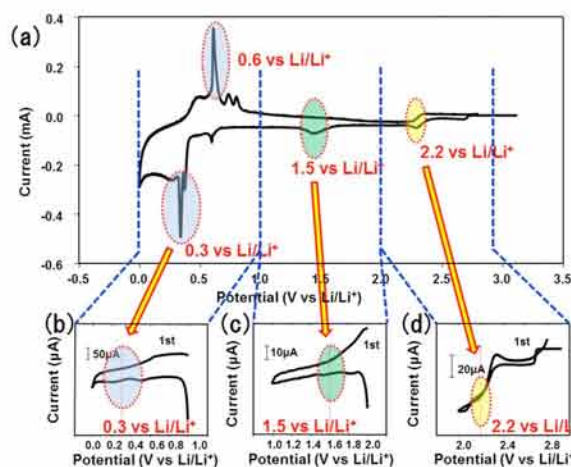


Fig.2. Cyclic voltammograms in the potential range of (a)

3. 共同研究者

門間聰之(先進理工学部・准教授)

横島時彦(理工研究所・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

- D. Mukoyama, T. Momma, H. Nara, T. Osaka, “Electrochemical Impedance Analysis on Degradation of Commercially Available Lithium Ion Battery during Charge-Discharge Cycling”, *Chem. Lett.*, **41**, 444–446 (2012).
- T. Momma, M. Matsunaga, D. Mukoyama, T. Osaka, “Ac impedance analysis of lithium ion battery under temperature control”, *J. Power Sources*, **216**, 304–307 (2012).
- T. Hang, D. Mukoyama, H. Nara, N. Takami, T. Momma, T. Osaka, “Electrochemical Impedance Spectroscopy Analysis for Lithium-Ion Battery using $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ Anode”, *J. Power Sources*, **222**, 442–447 (2013).
- T. Momma, M. Jeong, T. Yokoshima, H. Nara, A. Toyoda, T. Osaka, “Sn-O-C composite anode for Li secondary battery synthesized by an electrodeposition technique using organic carbonate electrolyte”, *J. Power Sources*, **242**, 527–532 (2013).
- T. Hang, H. Nara, T. Yokoshima, T. Momma, T. Osaka, “Silicon Composite Thick Film Electrodeposited on a Nickel Micro-nanocones Hierarchical Structured Current Collector for Lithium Batteries”, *J. Power Sources*, **222**, 503–509 (2013).

4.2. 学会発表

- T. Momma, M. Matsunaga, D. Mukoyama, H. Nara and T. Osaka, “Impedance Analysis of Li-Ion Battery at Low Temperature”, 16th International Meeting on Lithium Batteries, Jeju, Korea, June 2012.
- T. Momma, T. Yokoshima, H. Nara and T. Osaka, “Potential Controlled Electrodeposition of SnOC from Organic Solution for Lithium Secondary Battery Anode”, 63rd Annual Meeting of International Society of Electrochemistry, Prague, Czech Republic, August 2012.
- M. Jeong, H. Nara, T. Yokoshima, T. Momma and T. Osaka, “Electrochemical Analysis of Sn Electrodeposition to Optimize Preparation Process of SnOC Anode Material” 222nd Meeting of The Electrochemical Society, Honolulu, Hawaii, USA, October 2012.
- D. Mukoyama, T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma and T. Osaka, “Ac Impedance Analysis of Low Frequency Region for Commercial Lithium Ion Battery under Temperature Control”, 222nd Meeting of The Electrochemical Society, Honolulu, Hawaii, USA, October 2012.
- T. Yokoshima, H. Nara, T. Momma and T. Osaka, “Effect of Pattern Shape of Sn Anode on Charge-Discharge Performance for Lithium Secondary Batteries”, 222nd Meeting of The Electrochemical Society, Honolulu, Hawaii, USA, October 2012.
- T. Hang, 向山大吉, 奈良洋希, 高見則雄, 門間聰之, 逢坂哲彌, “チタン酸リチウムを負極とした 4Ah 級リチウム二次電池のインピーダンス解析”, 第 53 回電池討論会, 福岡, 2012 11 月.
- 向山大吉, 門間聰之, 奈良洋希, 逢坂哲彌, “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の温度特性を利用した状態解析”, 第 53 回電池討論会, 福岡, 2012 11 月.
- 儀間裕平, 横島時彦, 奈良洋希, 門間聰之, 逢坂哲彌, “対称セルを用いたリチウムイオン二次電池電極のインピーダンス分離評価”, 電気化学会第 80 回大会, 宮城, 2013 3 月.

- T. Hang, H. Nara, T. Yokoshima, T. Momma and T. Osaka, “SiOC Composite Thick Film Electrodeposited on a Ni Nanocone-Array Current Collector for Li-Ion Batteries”, 221st Meeting of The Electrochemical Society, Seattle, WA, USA, May 2012.
- T. Momma, H. Nara, S. Yamagami, C. Tatsumi and T. Osaka, “Solid Electrolyte Interphase on Anode Material for Lithium Battery Using BMP-TFSI Based Electrolyte” The International Meeting on Ionic Liquids for Electrochemical Devices (ILED-3), Rome, Italy, May 2012.
- T. Yokoshima, M. Otaki, H. Nara, T. Momma and T. Osaka, “Change in the Film Thickness of Highly Durable Electrodeposited Silicone Anode during Charge-Discharge Cycles”, 16th International Meeting on Lithium Batteries, Jeju, Korea, June 2012.
- H. Nara, T. Yokoshima, D. Mukoyama, T. Hirabaru, T. Momma and T. Osaka, “Impedance Analysis of Anode and Cathode Separated by Using Micro Reference Electrode on Li-ion Battery”, 222nd Meeting of The Electrochemical Society, Honolulu, Hawaii, USA, October 2012.
- 奈良洋希, 大瀧光俊, 中村実加, 横島時彦, 門間聰之, 逢坂哲彌, “SiOC 負極の電析時における電解液の影響”, 第 53 回電池討論会, 福岡, 2012 11 月.
- 横島時彦, 向山大吉, 亀岡大造, 伊澤英彦, 奈良洋希, 門間聰之, 森康郎, 逢坂哲彌, “矩形波を用いた電気化学インピーダンスのリチウムイオン二次電池劣化評価への適用”, 電気化学会第 80 回大会, 宮城, 2013 3 月.
- 横島時彦, 儀間裕平, 奈良洋希, 向山大吉, 門間聰之, 逢坂哲彌, “矩形波を用いた電気化学インピーダンスの周波数応答”, 電気化学会第 80 回大会, 宮城, 2013 3 月.
- 寺尾竜哉, 大瀧光俊, 奈良洋希, 横島時彦, 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 負極の充放電特性に及ぼす析出電位の影響”, 電気化学会第 80 回大会, 宮城, 2013 3 月.
- 加藤崇徳, 大瀧光俊, 横島時彦, 奈良洋希, 門間聰之, 逢坂哲彌, “VC および FEC を電解液添加剤に用いたリチウム二次電池用電析 Si-O-C 負極の充放電特性”, 電気化学会第 80 回大会, 宮城, 2013 3 月.
- 武井直子, 奈良洋希, 向山大吉, 横島時彦, 門間聰之, 逢坂哲彌, “サイクル劣化ラミネート型リチウムイオン二次電池の交流インピーダンス挙動と電極表面解析”, 電気化学会第 80 回大会, 宮城, 2013 3 月.

4.3. 招待講演

- T. Osaka and H. Nara, “Highly Durable Si Anode More than Several Thousand Cycles and its Properties” 16th International Meeting on Lithium Batteries, Jeju, Korea, June 2012.
- T. Osaka, “EIS Analysis on Degradation Conditions of Commercially Available LIBs”, International Conference on the Frontier of Advanced Batteries, China International Battery Fair 2012 (CIBF 2012), June 2012, Shenzhen, China.
- T. Osaka and H. Nara, “Alloy Anode System Fabricated by Electrodeposition for Lithium Secondary Batteries”, 63rd Annual Meeting of International Society of Electrochemistry,

Prague, Czech Republic, August 2012.

- T. Osaka, “Recent Trends in Electrochemical Nanotechnologies -Novel Approach in R&D of Future Energy Device-”, 6th Japanese-Italian-German Meeting of Electrochemists, July 2012, Ulm, Germany.
- T. Momma, T. Osaka, “AC Impedance Analysis of Lithium Ion Batteries”, 6th Japanese-Italian-German Meeting of Electrochemists, July 2012, Ulm, Germany.
- T. Osaka, T. Momma and H. Nara, “Material Design for Electrodes”, Symposium on Lithium-ion Batteries "The Inception, Development, and Future", Nice, France, October 2012.

4.4. 総説・著書

4.5. 特許

- 特願 2012-223124, 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, 2012.10.5）
- 特願 2012-248546, 逢坂哲彌、門間聰之、横島時彦、奈良洋希（早稲田大学, 2012.11.12）
- 特願 2012-285550, 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, 2012.12.27）
- 特願 2013-003754, 逢坂哲彌、門間聰之、横島時彦、奈良洋希（早稲田大学, 2013.1.11）

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た。この成果は、市販 LIB の劣化解析を行う際の指標となり、市販 LIB 劣化解析を大幅に加速させるものである。また同時に、新規負極材料の析出過程について詳細に解析した結果、その析出機構を明らかにした。この知見を元に析出過程を制御することでより高性能な負極材料の合成可能性が示唆された。

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、立体映像（3D）やバーチャルリアリティ、ウェアラブルデバイス等に代表される、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、コンテンツ側の要因を中心に、2012年度の取り組みの概要について述べる。

3Dによる生体影響を議論する上で、「どのようなコンテンツが呈示されたか」という点は、実用場面を想定する際に特に重要であり、3Dコンテンツの定量化と生体影響との対応による知見は、制作場面への応用も期待される。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。結果から、再生される3D空間の中心では、感情毎に違いがみられたが、3D空間の範囲では、いずれの感情においても増加する傾向にあり、その変化量は感情毎に異なっていた。これらの結果を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。2012年度は、この視差操作パターンの有効性について、実験的な検討を行った。具体的には、2D映像に対して人工的に両眼視差を付加する2D/3D変換技術を用いて、幸福・驚き・悲しみ・恐怖の視差操作パターンを反映した、評価用の3D映像刺激（E3）を作成した。結果から、情緒的シーンの分析結果に基づいた視差操作を加えることで、覚醒度を強調する効果が得られる可能性があることが分かった。

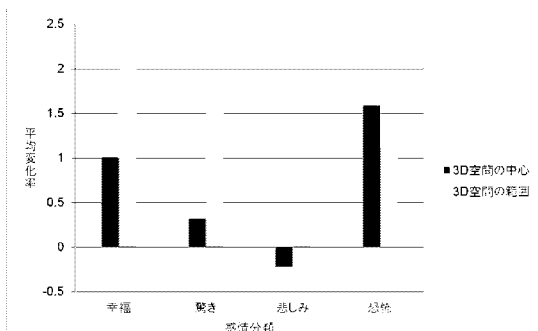


Fig.1 感情毎の視差操作パターンの例

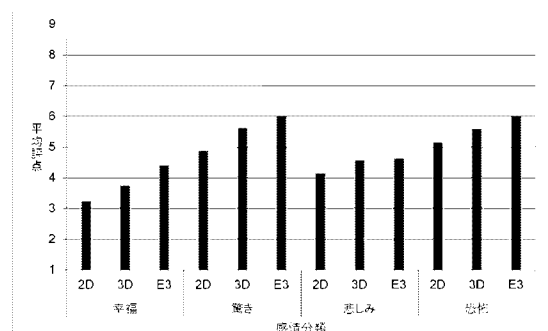


Fig.2 感情毎の視差操作パターンの例

3. 共同研究者

- ・ 安藤 紘平 (大学院国際情報通信研究科・教授)
- ・ 盛川 浩志 (基幹理工学部・表現工学科・助教)

4. 研究業績

4. 1 学術論文

- ・ Hanae Ikeshita-Yamazoe, Sumire Kiyono et al. : “Effects of digital picture books on mental engagement in young children”, ICIC Express Letters, Vol.6, No.12, pp.3021-3026, 2012.
- ・ 井澤修平, 吉田菜穂子 他 : “パニック障害患者における認知行動療法実施に伴う日中の唾液中コルチゾール分泌の変化”, 行動医学研究, Vol.18, No.1, pp.29-35, 2012.
- ・ 吉竹淳樹, 金相賢 他 : “二眼式立体映像の呈示方式によって生じるアーチファクトと生理・心理的影響”, 人間工学, Vol.48, No.4, pp.170-178, 2012.
- ・ Satoshi Toyosawa, Takashi Kawai et al. : “Differences in viewing history affect discomfort associated with stereoscopic video”, Journal of the Society of Information Display, Vol.28, No.8, pp.474-483, 2012

4. 2 国際会議

- ・ Takashi Shibata, Fumiya Muneyuki et al. : “Comfortable stereo viewing on mobile devices”, SPIE, Vol.8648, pp.86481D-1-7, 2013.
- ・ Yoshihisa Koido, Hiroyuki Morikawa et al. : “Applications of 2D to 3D conversion for educational purposes”, SPIE, Vol.8648, pp.86481X-1-9, 2013.
- ・ Hayoung Yoon, Hiroyuki Morikawa et al. : “A stereoscopic archive for the heritage of industrial modernization and its evaluation”, SPIE, Vol.8648, pp.86481Y-1-10, 2013
- ・ Takashi Kawai, Masahiro Hirahara et al. : “Disparity analysis of 3D movies and emotional representations”, SPIE, Vol.8648, pp.86480Z-1-9, 2013.
- ・ Takashi Shibata, Keisuke Oshima et al. : “Visual comfort and viewing time of S3D content on mobile devices”, SID2013 DIGEST, pp.497-500, 2013.
- ・ Remi Tanaka, Akihiro Shinki et al. : “Ergonomic evaluation of stereoscopic shooting condition using parallax analysis”, 3DSA2012 The 4th International Conference on 3D Systems and Applications, pp.199-203, 2012.
- ・ Hiroyuki Morikawa, Shusuke Kitamura et al. : “Effects of see-through head-mounted display for viewing 3D contents on visual function”, 3DSA2012 The 4th International Conference on 3D Systems and Applications, pp.204-208, 2012.

4. 3 国内大会

- ・ 上道寛子, 小井土慶久 他 : “特定領域への両眼視差の付加と注意・記憶への影響”, 人間工学, Vol.49, 特別号, pp.34-35, 2013.
- ・ 平賀大貴, 金相賢 他 : “立体視標に対する視差量の操作と選好判断”, 人間工学, Vol.49, 特別号, pp.36-37, 2013.
- ・ 高橋昌大, 金相賢 他 : “両眼視差による方向指示画面の傾斜と右左折判断”, 人間工学, Vol.49, 特別号, pp.38-39, 2013.
- ・ 熱田大貴, 富山勇也 他 : “立体映像の視差量の操作と情緒表現への影響”, 人間工学, Vol.49, 特別号, pp.40-41, 2013.

- ・ 河合隆史, 盛川浩志 他: “拡張現実感を用いた触感の呈示と知覚特性(1)”, 人間工学, Vol.49, 特別号, pp.148-149, 2013.
- ・ 盛川浩志, 金相賢 他: “拡張現実感を用いた触感の呈示と知覚特性(2)”, 人間工学, Vol.49, 特別号, pp.150-151, 2013.
- ・ 渡辺和史, 弓削綾香 他: “脳死ドナー多臓器摘出手術の教育アニメーション制作”, 人間工学, Vol.49, 特別号, pp.320-321, 2013.
- ・ 柴田隆史, 大島圭介 他: “モバイル型 3D ディスプレイにおける立体映像の見やすさと好み”, 人間工学, Vol.49, 特別号, pp.332-333, 2013.
- ・ 綱井裕美子, 北村秀介 他: “好みの個人差を考慮した感性評価方法の提案”, 人間工学, Vol.49, 特別号, pp.336-337, 2013.
- ・ 桐木崇行, 北村秀介 他: “実況型コミュニケーションシステムにおける画面構成の検討”, 人間工学, Vol.49, 特別号, pp.386-387, 2013.
- ・ 北村秀介, 桐木崇行 他: “アバターを介したコミュニケーションにおける社会的臨場感の評価”, 人間工学, Vol.49, 特別号, pp.388-389, 2013.

4. 4 学会および社会活動

- ・ 国際会議 プログラム委員: “Stereoscopic Displays and Applications 2013”, 2013 年 1 月, 米サンフランシスコ

5. 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、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。

長期大型プロジェクト研究

非臨床評価の確立による先進医療実現の加速化に関する医工学的研究

研究代表者 梅津 光生
(理工学術院・総合機械工学科・教授)

1. 研究課題

1.1 背景と目的

先進医療への期待が高まるなか、医療の不透明性、閉鎖性が叫ばれて久しい。その指摘に対して、医工学融合研究により医療効果効果を定量化する研究を推進している。2008 年度に開設した早稲田大学・東京女子医科大学連携研究施設(TWIns)において、動物や死体による従来の WET ラボに対して、非臨床・動物実験代替システムをコンセプトとし、血行力学・生体適合性・耐久性シミュレーション装置とその解析機器が並ぶ DRY ラボを構築した。医学領域では、生物統計をベースとした Evidenced Based Medicine(EBM)により医療効果を評価している。それに対して、我々は、Another EBM, すなわち、Engineering Based Medicine を提唱して、社会へのその普及に努めている。工学領域で培われたモデリング・シミュレーションを駆使した医療効果の評価法の構築は、医学部のない早稲田大学において、社会のニーズに合致した早稲田らしいアプローチと言えるだろう。本研究では、医療機器・医療行為の非臨床評価技術を確立することを目指しており、当該年度には、1) ステントレス僧帽弁(NORMO 弁)の流体性能評価による有効性の検証、2) 数値流体解析による血管吻合手技の定量評価についての研究、を報告する。

2. 主な研究成果

2.1 ステントレス僧帽弁(NORMO 弁)の流体性能評価による有効性の検証

日本胸部外科学会の報告では、弁膜症手術数は 1997 年から 2009 年の間に約 2 倍に増加しており、弁膜症外科治療の重要性は今後も増していくと考えられる。僧帽弁置換術においては、人工弁置換による左心室機能の低下、弁輪サイズの制限や長期間の抗凝固療法といった課題が残されている。このような状況を改善するために開発したのが、ヒトの僧帽弁構造と類似した、ステントレス僧帽弁(NORMO 弁)である。ステントレス僧帽弁は弁一乳頭筋の連続性が保持され、弁尖がステントに支持されないという世界に類をみない独創的な人工弁である。2000 年に僧帽弁形成術を工学的に正確に評価することを主な目的として、空気圧駆動装置を内蔵した拍動型循環シミュレータを開発し、ステントレス僧帽弁が左心室の生理的な収縮運動に伴う理想の形に近い挙動を示すことを確認した。本年度は本シミュレータを用いて、流体性能評価によるステントレス僧帽弁の有効性を検証した。拍動数 70BPM、平均大動脈流量 5.00L/min、平均大動脈圧 90.0mmHg とした。ほぼ同一の弁口面積を有する機械式弁とステントレス僧帽弁の平均通過流量を比較した結果、機械式弁では $3.55 \pm 0.13 \text{ L/min}$ 、ステントレス僧帽弁では $4.70 \pm 0.13 \text{ L/min}$ ($P < 0.01$) となった。ステントレス僧帽弁は機械弁と比較して、平均通過流量が約 30%高いことからその有効性を確認した。



図1 ステントレス僧帽弁(NORMO弁).従来弁とは異なり,弁輪,弁葉,腱索,乳頭筋の連続性を温存できる世界発のステントレス僧帽弁(左).僧帽弁シミュレータによる機械弁とステントレス僧帽弁(NORMO弁)の比較では,機械弁に比して平均流量が約30%増加することが判明(右).

2.2 数値流体解析による血管吻合手技の定量評価についての研究

若手医師の非臨床環境における手術教育が世界的課題となっており,Low fidelity シミュレーションの活用に期待が寄せられている.しなしながら,評価方法,及び訓練効果に関する科学的根拠に基づく報告例は少ない.ここでは,冠動脈バイパス手術を対象とし2004年から,シミュレータによる効果的な日常的訓練方法について医工学的観点から研究を進めてきた.その結果,手術教育においてはデバイス・環境・評価の3つが重要なファクターであることを見出した.2012年度は,独自開発した訓練シミュレータによる医工学的血管吻合手技評価方法として,数値流体解析(CFD)を用いた.評価対象として,狭窄モデルと非狭窄モデルを選定した.始めに,吻合モデルに対してマイクロCTを用いて内腔形状を測定し,3次元形状モデルを構築した.その後,同モデルに対してCFDを実施し,特に狭窄部が内部血流に及ぼす影響について検討し,吻合部エネルギー損失値を評価パラメータとして算出した.吻合断面積は狭窄モデルにおいて 5.3mm^2 ,非狭窄モデルでは 11.4mm^2 と差異を認めた.これらモデルに対するCFDの結果,吻合部エネルギー損失値は狭窄モデルにおいて $175.0\mu\text{W}$,非狭窄モデルでは $78.4\mu\text{W}$ と約2倍の差異を確認した.狭窄部においては,抹消側後流の剥離,狭窄部における局所的流速の増加を認め,エネルギー損失の原因となることが明らかになった.以上の結果より,数値計算により血管吻合手技を定量的に評価できる可能性が示唆された.

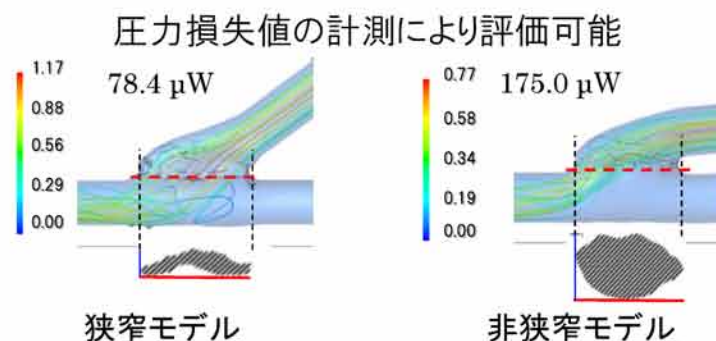


図2 数値流体解析(CFD)の結果,狭窄部においては,抹消側後流の剥離,狭窄部における局所的流速の増加が認められた.

3. 共同研究者

岩崎清隆(理工学術院・准教授)
坂口勝久(理工研・講師)
銭逸(理工研・客員研究教授)
藤本哲男(理工研・教授)
宗田孝之(理工学術院・教授)
大和雅之(東京女子医大・教授)
白石泰之(東北大学・准教授)
本村 禎(理工研・招聘研究員)

八木高伸(理工研・講師)
朴栄光(理工研・講師)
井街宏(理工研・客員教授)
村山雄一(慈恵医大・教授)
高西淳夫(理工学術院・教授)
馮忠剛(理工研・客員教授)
加瀬川均(総研・客員教授)
小坂眞一(理工研・客員教授)

4. 研究業績

4.1 学術論文

1. 梅津光生,岩崎清隆,笠貫宏,山崎健二,人工心臓の開発とリスクマネジメント,バイオフィリア電子版,vol.1, no.2, pp74-81,2012.
2. Kasegawa, K Iwasaki, S Kusunose, R Tatusta, T Doi, H Yasuda, M Umezu, Assessment of a novel stentless mitral valve using a pulsatile mitral valve simulator, J Heart Valve Dis,21(1),pp71-5, 2012.
3. 梶谷文彦,伊関洋,梅津光生,医工連携の新展開,HUMAN SCIENCE,pp4-12,財団法人ヒューマンサイエンス信仰財団,2012.
4. H Yamashita, S Ozaki, K Iwasaki, I Kawase, Y Nozawa, M Umezu, Tensile strength of human pericardium treated with glutaraldehyde, Ann Thorac Cardiovasc Surg,18(5),pp434-7,2012.
5. Y Haraguchi, T Shimizu, T Sasagawa, H Sekine, K Sakaguchi, T Kikuchi, W Sekine, S Sekiya, M Yamato, M Umezu, T Okano, Fabrication of functional three-dimensional tissues by stacking cell sheets in vitro, Nature Protocols, Vol.7,pp850-8, 2012.
6. T Yagi, A Sato, M Shinke, S Takahashi, Y Tobe, H Takao, Y Murayama, M Umezu, Experimental insights into flow impingement in cerebral aneurysm by stereoscopic particle image velocimetry: transition from a laminar regime, J.R.Soc. Interface ,10(83), 2012.
7. K Sakaguchi, T Shimizu, S Horaguchi, H Sekine, M Yamato, M Umezu, T Okano, In Vitro Engineering of Vascularized Tissue Surrogates, Sci. Rep.3,1316;DOI:10.1038/srep01316,2013.

4.2 総説・著書

1. 岩崎清隆:人工心臓弁,循環器疾患の最新医療,編集主幹:永井良三,許俊鋭,鄭忠和,澤芳樹,先端医療技術研究所,pp278-81,2012.
2. 加瀬川均,岩崎清隆,梅津光生:「新しいステントレス僧帽弁位ステントレス生体弁 NORMO」の開発,日本人工臓器学会誌,vol.41 no.3,pp176-9,2012.

4.3 招待講演

1. 梅津光生:医工学連携の成果と展望,第1回ステントレス僧帽弁臨床研究会学術集会,2012.
2. 梅津光生:日本発のイノベーションをどう展開するか,第1回ステントレス僧帽弁臨床研究会学術集会,シンポジウム I,2012.

3. 梅津光生：医工学連携の成果と展望，第 1 回ステントレス僧帽弁臨床研究会学術集会，ランチョンセミナー，2012.
4. 朴栄光,野竜太,津久井宏行,中野清治,山崎健二,梅津光生,冠動脈バイパス手術における血管吻合手技の訓練,及び医工学的評価方法の検討,第 42 回日本心臓血管外科学会学術総会,2012.

4.4 受賞・表彰

1. 馮忠剛,瀬谷大貴,北嶋龍雄,小沢田正,中村孝夫,梅津光生,Viscoelastic characteristics of contracted collagen gels populated with rat fibroblasts or cardiomyocytes, 人工臓器, vol.41.no.1,pp43-44, 第 49 回日本人工臓器学会大会, 2012.
2. 朴栄光, 第 1 回明日の象徴 ヘルスケア基盤部門 2012.
3. 八木高伸,壁面衝突する個々の赤血球のリアルタイム動態観察と溶血との関連性,第 40 回人工心臓と補助循環懇話会,最優秀アイデア賞(Crazy&Incredible 賞),2012.
4. Y Tobe,T Yagi, (掲載 2 番目,他 13 名)Investigation on a relationship between hemodynamics and wall-thinning in an unruptured human cerebral aneurysm, ASME Summer Bioengineering Conference 2012(Master student 1st Prize).

4.5 特許

1. 「外国における特許権を受ける権利の譲渡に関する契約書」
機関名:イービーエム株式会社 発明名称:手術訓練用血管モデル
早稲田大学管理番号:173-US, 173-EP(2012-097).
2. 岩崎清隆,梅津光生,錦織晃,坪内俊介,医療機器の耐久試験措置及び耐久試験方法,特許第 5051234 号,2012.

4.6 学会および社会的活動

日本・国際臓器学会会員	日本機械学会 学会賞選出委員
日本生体医工学会代議員	日本循環器制御学会理事
ライフサポート学会理事	
文科省 :科研費審査委員	
経産省 :課題解決型医療機器の開発・改良に向けた病院・企業間の連携支援事業評価委員	
NEDO :基礎研究から臨床研究への橋渡し促進技術開発評価委員	
厚労省 :早期探索型試験整備事業プログラムオフィサー など	

5. 研究活動の課題と展望

理工研の産学連携研究基盤と連動して,厚生労働科学研究費(医療機器開発推進研究事業(H23-H25))のもとに循環器系 DRY ラボセンターを駆使した治療リスクの低減システム構築と人材育成を行っていく.より具体的には, A) 手術訓練による技能研修の普及と技量の安定・高度化法の確立, B) 治療機器の実臨床に即した非臨床評価による適正使用法の確立,の二軸で研究を展開している.

自然と共生する知能情報機械系に関する基盤研究

研究代表者 橋本 周司
(理工学術院 教授)

1. 研究課題

自然、あるいは人体を対象とした知能情報機械系の基盤技術の確立を目的として、対象の変化に適応して働くセンサ・アクチュエータ系を理論的・実験的に検討する。

具体的には、屋外および屋内でのロボット位置と姿勢を把握しロボットをガイドする環境構造化インフラとのネットワーク援用技術、人体計測とそれに基づく医用ロボットシステム技術、人間とロボットの円滑なコミュニケーションを確立するインタフェース技術、様々な環境で柔軟に行動するための新しいアクチュエータの技術、微妙な制御を可能とする知的制御技術および環境への自律的な適応を実現する機械学習などが研究課題である。

2. 主な研究成果

学内外の多くの共同研究者が参加している研究プロジェクトであることから、様々な研究成果が生れている。ここでは、研究代表者の研究を中心に成果を紹介する。その他の主な成果については、研究業績に挙げた学術論文を参照されたい。

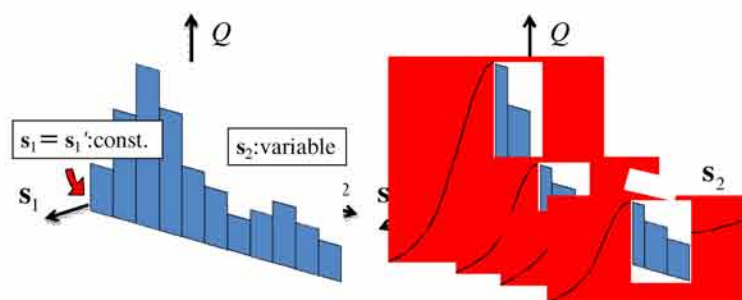
1) 段階的学習による高自由度ロボットの強化学習の効率化

近年、ロボットが自律的に行動を獲得するための方法として、強化学習が注目されている。しかしながら、強化学習にはロボットが取り得る自由度が増大すると、状態空間の大きさが指数関数的に広がり、学習時間が膨大になるという「次元の呪い」と呼ばれる問題がある。

この問題を解決するために、我々は段階的学習法を研究している。これは、強化学習を状態空間の探索範囲を限定して行う事前学習と、事前学習で得た学習結果を用いて状態空間全域を学習する発展学習の二段階に分けて行うことで、学習を効率化する手法である。これまでに、本手法を多関節アームロボットのリーチング動作獲得に適用し、シミュレータ上で学習時間を短縮できることを確認している。本年度は、段階的学習法を改良し、複数のパターンで事前学習を行った結果を合成してから追加学習を行うことで、より複雑なタスクの学習を効率化する手法を提案した。また、提案手法をアームロボットのボール打ち運動の獲得に適用し、提案手法の有効性を検証した。

<提案手法>

強化学習の代表的なアルゴリズムである Q-Learning を用いる。これは時刻 t の状態 s_t で行動 a_t を取った時、行動価値関数 $Q(s_t, a_t)$ を式(1)で更新していく手法である。



(a)事前学習による Q 値 (b)Q 値の拡張

図 1 段階的学習の概要図.

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow Q(s_t, a_t) + \alpha[r_{t+1} + \gamma \max_a Q(s_{t+1}, a) - Q(s_t, a_t)] \quad (1)$$

ここで r_t は時刻 t に得られる報酬, α は学習率, γ は割引率である。

段階的学習法は, 事前学習と発展学習の二段階で構成される。まず, 事前学習では状態空間の次元を制限し, 探索範囲を限定して強化学習を行う。つまり, 状態空間の次元数 N のうち n 個の値を固定して学習を行う (図 1(a))。つぎに, 事前学習で得た結果を Q 値を式(2)で状態空間全域に拡張する (図 1(b))。

$$Q(s=(s_1, s_2)) = C \cdot Q(s'_1, s_2) \exp\left[-\frac{(s_1 - s'_1)^2}{\sigma^2}\right] \quad (2)$$

ここで s_1, s_2 は固定した, 又は固定しなかった状態変数ベクトル, σ はガウス関数の標準偏差, C は補正定数である。展開学習では, この拡張された Q 値を初期値として, 状態空間全域を使った学習を行うことで, 最適な Q 値が獲得される。

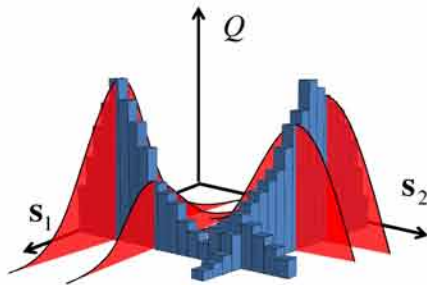


図2 事前学習の合成。

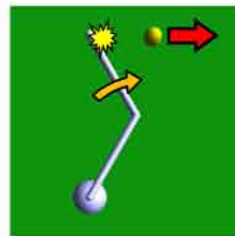


図3 アームロボット。

ここでは複数の次元制限パターンで行った事前学習を図2のように合成することで, 段階的学習法を拡張することを考える。まず, 事前学習を状態空間の次元の制限パターンを変えて行い, 複数の異なるパターンの Q 値を得る。次に(3)のように, パターンの Q 値を状態空間全域に拡張した後, 合成するのである。

$$Q(s=(s_1, s_2, \dots)) = \sum_i C \cdot Q(s_i, s_{j \neq i}) \exp\left[-\frac{(s_i - s'_i)^2}{\sigma^2}\right] \quad (3)$$

ここで s_i は事前学習にて固定する状態ベクトルである。この Q 値を用いて追加学習を行うことで, より高い自由度を持つロボットであっても, 学習にかかる時間を短縮できることが期待できる。

<評価値実験>

提案手法の有効性を検証するために, 多関節アームロボットに提案手法を適用して実験を行った。シミュレータ上に4関節及び5関節アームロボットを作製し, 4関節アームロボットには段階的学習法を, 5関節アームロボットには事前学習の合成手法を適用し, エピソードごとの累積報酬の推移を記録する。学習させるタスクは, 図3のように静止しているボールを特定方向へ出来るだけ強く打ち飛ばすこととした。

アームロボットの各関節(可動域は $-90^\circ \sim 90^\circ$)を 30° 刻みで分割した角度を状態 s , 各関節を時計回り又は反時計回りに 30° 回転させる動作を行動 a として Q -Learning を適用する。タスクを達成できた場合は報酬 r として打ち飛ばしたボールの速さの2乗値を与え, 間違った方向へ打ち飛ばした場

合は-100の罰則を与える。行動方策の選択則としてはSoftMax法を用いた。学習率と割引率は、4関節アームでは $\alpha=0.6$ 、 $\gamma=0.8$ を、5関節アームでは $\alpha=0.6$ 、 $\gamma=0.9$ を用いた。

この場合、状態 s の次元数はアームの関節数と等しい。事前学習では、アームロボットのいくつかの関節を固定して状態空間の次元を制限し、展開学習では全関節を動作させることで段階的学習法を行う。4関節アームロボットでは第2・4関節を事前学習で固定した。5関節アームロボットにおいては、第2・4・5関節及び第2・3・5関節の2パターンの事前学習を用意した。事前学習で得たQ値を拡張するガウス関数の標準偏差 σ と補正定数 C は、4関節アームでは $\sigma=0.3$ 、 $C=2.0$ 、5関節アームでは $\sigma=0.2$ 、 $C=1.0$ とした。

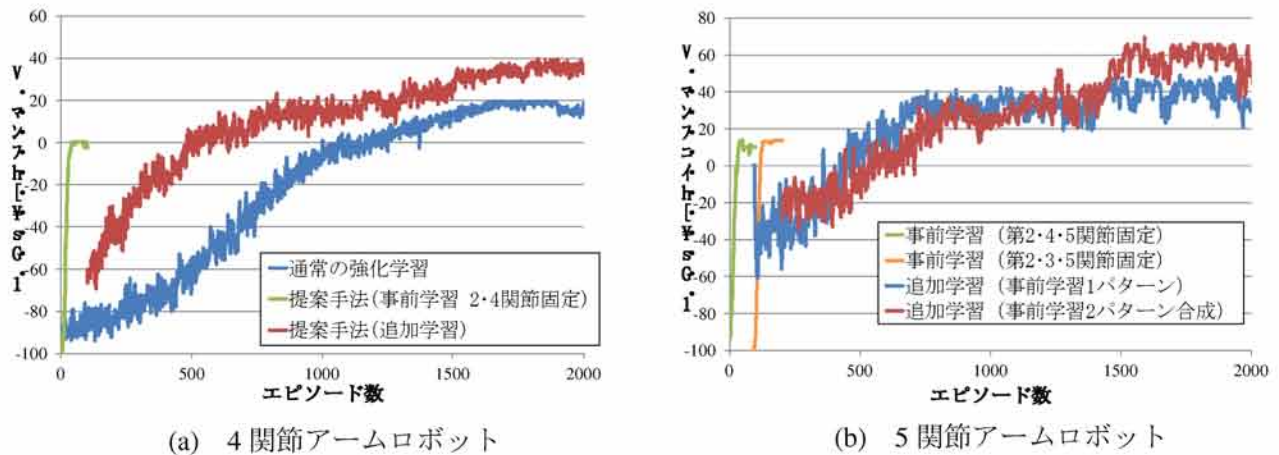


図4 エピソードごとの累積報酬の推移.

図4(a)に4関節アームロボットに段階的学習法、および通常のQ-Learningを適用した結果を、図4(b)には5関節アームロボットに事前学習1パターンのみ、又は2パターンを合成したQ値を追加学習に利用した結果を示す。それぞれ累積報酬を比較した。なお実験結果は100回の試行の平均である。図4(a)では、提案手法を適用した場合は通常の強化学習よりも累積報酬の上昇が早まり、さらに最高値も高くなっていることが確認できる。展開学習の前に必要な事前学習も短時間で収束している。図4(b)では、事前学習2パターンを合成した場合の展開学習は、事前学習1パターンのみしか用いなかった場合よりも最終的な累積報酬が高くなっているが、あまり有意な差は確認できなかった。これは、複数の事前学習の合成によってQ値が状態空間のより広域に広がったために、報酬の高い行動を探索しやすくなったが、学習の速度はあまり効率化できなかったものと考えられる。

今後はアルゴリズムの改良に取り組むと共に、提案手法をアームロボットの動作獲得以外のタスクに適用し、提案手法の応用範囲を広げたい。

2) ロボットのタスク達成可能性の評価

複数のロボットによる協調作業は、一体のロボットでは達成不可能な問題を解決する可能性を持つことから広く研究されており、その制御方法に関しても種々の提案があるが、ロボットのタスク達成可能性に関してはあまり研究が行われていない。本研究では、ロボットのタスク達成可能性の評価方法と機能の異なるロボットの役割分担によるタスク達成の可否判定への応用を検討した。

タスク達成可能性の判定は、1)ロボットの機能記述、2)タスクの特性記述、3)タスク特性とロボット機能の包含関係の判定、の3つの機能から構成される。

ここでは、ロボット R の機能のなかでも最も基本的な、移動と対象物体の搬送に注目して、その記述を考えた。具体的には、物理空間でのロボットの移動可能性を、単位時間で可能な重心の移動位置の分布 MR で表す。また、ロボットが対象物体へ及ぼす可能なアクションを、ロボットの重心から見た対象物体の重心の存在可能な位置の分布 AR で表す。これらは、いずれも 3 次元分布図となるが、ロボットの設計図からの運動解析あるいはロボットの様々な行動を観察することによって得ることができる。

タスクの特性記述の例題として、ロボットによる物体の搬送を考える。この場合のタスク T は、対象物体を計画された経路を通して、出発地点から目的地まで移動することである。タスクは単位時間ごとの物体の 3 次元座標として表すことができる。これから、物体の移動に関する特性は、単位時間ごとの移動距離ベクトルの分布 MT で表すことができる。またこの場合、移動以外のロボットによる作業はロボットが物体を把持して動かすことである。この作業の特性はロボットの重心と物体の重心の位置関係の b 分布 AT ということになる。以上の 2 つの特性もロボットの機能記述と同じ形式となる。

つぎに、タスクの達成可能性の判定について考える。ロボット R が、タスク T を実行できるためには、 MT が MR に包含され、かつ、 AT が AR に包含される必要がある。したがって、この両者の包含関係の把握がタスク達成可能性の判定となる。つまり、 MT 、 MR 、 AT 、 AR の分布を 3 次元空間の集合とすれば、

$$MT \subseteq MR \text{ かつ } AT \subseteq AR \quad (4)$$

となる。

また、2 台のロボット $R1$ 、 $R2$ があり、それぞれの機能が、 $(MR1, AR1)$ 、 $(MR2, AR2)$ であるとき、どちらも式(4)の条件が成立しなければ、ロボット単体ではタスク達成が不可能であるが、それぞれの和集合、 $MR=MR1 \cup MR2$ 、 $AR=AR1 \cup AR2$ について条件式(4)が成立すれば、2 つのロボットの共同でタスクが達成できることになる。

障害物を有する環境において運搬物を設置し、運搬物を目的地まで運ぶタスクの達成可能性を、機能の異なる 2 種のロボット A および B について判定する実験を行った。図 5 に今回設定したタスクの概略を示す。図 5 の青い物体を奥の薄赤色の物体の上に運ぶタスクを設定した。

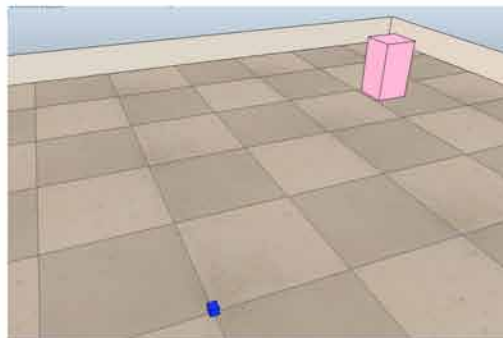


図 5 タスクの概略

ロボット A は物体を挟み、運ぶ機構を有している。一方、ロボット B は物体を挟み、持ち上げる機構を有しているが、物体を持ち上げる際には移動を行う事が出来ないという制限がある、とした。それぞれのロボットの機能記述、 (MA, AA) および (MB, AB) は、ロボットにランダムな指令を与えてその結果を観察して、移動とアクションの分布を蓄積することによって求めた。図 6 にその概形を示す。

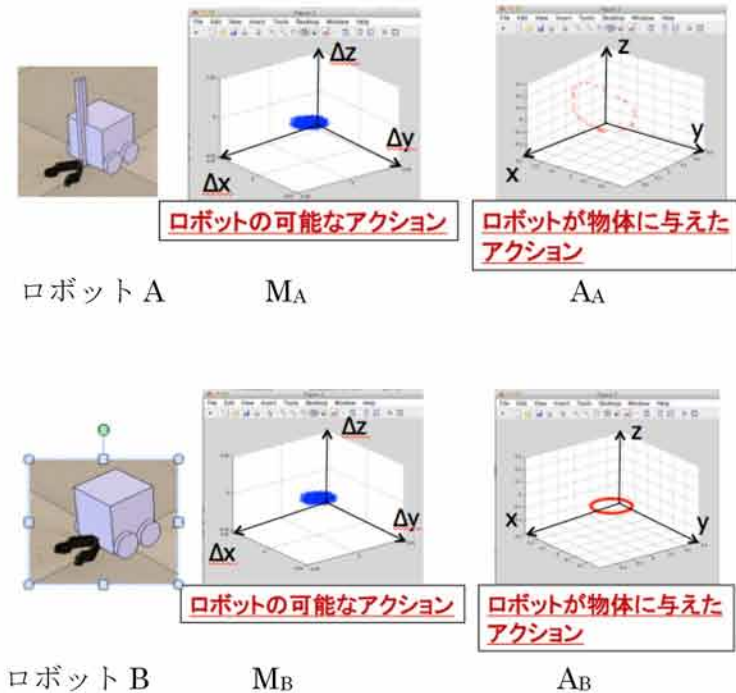


図 6 実験に用いたロボットの概略

ロボット A は物体を水平面上で任意の方向に動かせない。また、ロボット B は物体を上下に移動できない。したがって、どちらも単独では図 2 のタスクを実行できないが、両者が協力すれば、実行できることが、前述の判定条件から判る。以上のように、ロボットの機能記述とタスクの特性記述に基づいて、ロボットのタスク達成の可能性を判定する手法を提案した。この手法は、複数ロボットの共同によるタスク達成の可能性も判定できる。現在、さらに複雑な機能の記述法を検討している。

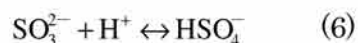
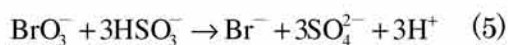
3) 酸触媒反応による管状ゲルの蠕動運動の実現

近年、機能性ゲルを用いた生物模倣型アクチュエータの研究が注目されつつあるが、軟体生物特有の運動機構を正確に再現したものは少ない。特にカタツムリ等の腹足類は、体の一部分を収縮させ伝播させることで収縮波を形成し、蠕動移動を実現している。また蠕動運動は、動物の消化器官に見られるように物体を運搬する機能を有する。そこで本研究では、収縮波により蠕動運動を実現するアクチュエータの開発を目指し、酸触媒反応により蠕動する機能性ゲルの創製を試みる。

本研究では、pH 応答性の管状ゲルを作製し、酸触媒反応である臭素酸一亜硫酸反応 (BS 反応) とのカップリングによる収縮波の生成を検討した。中空ゲルの内側に反応液を流入させることで反応拡散を制御し、収縮波の形成によって機能性ゲルを蠕動させる試みである。また、中空内で蠕動運動によって物体運搬するゲルアクチュエータも実現した。

<酸触媒反応による収縮波形成の原理>

BS 反応は酸を触媒とする自己触媒反応であり、簡易的に式(5)、(6)で記述される。



上記は溶液中の OH^- の供給状態に応じてアルカリ状態と酸状態に分岐する双安定状態を持つ反応である。BS 反応溶液を pH 応答性ゲルに浸透させ、ゲル内部に酸摂動を加えると、酸安定状態が反応拡散によって伝播する。この酸によりゲルが収縮すると、ゲル内部に OH^- が供給されて、アルカリ安定状態へと遷移する（図 7）。このような BS 反応の反応拡散、およびゲルの体積相転移という力学系のカップリングにより、ゲルの体積振動、および収縮波の伝播が実現可能であることが、実験的にも示されている。本研究の目的は、この系を中空ゲル内で実現し、外部環境の制御をせずにゲルを蠕動させることである。

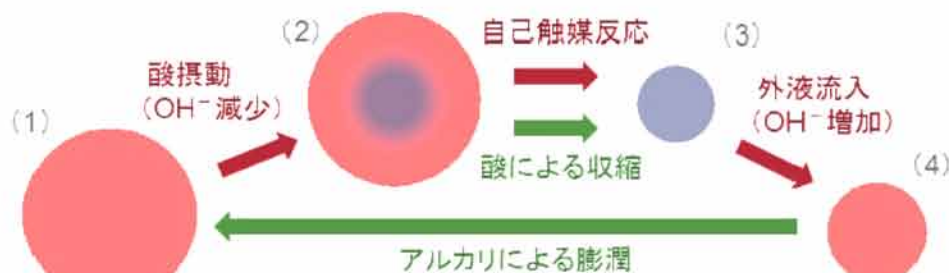


図 7 化学反応ネットワーク模式図

<実験方法と結果>

中空ゲルは pH 応答性を示すアクリル酸とアクリルアミドの共重合により合成した。内外径の異なるガラスキャピラリーを組み合わせ鋳型を作成し、外径 2mm、内径 1mm の pH 応答性管状ゲルを合成した。作製した管状ゲルを、臭素酸ナトリウム溶液、亜硫酸ナトリウム溶液の 2 液を混合して調整した BS 反応溶液に 15 分間浸漬した。溶液流入実験では、反応溶液を攪拌しながらポンプにより流速 80mL/h で管状ゲルへ送液した。物体運搬実験は、管状ゲルに直径 1mm のガラス球を挿入し、空气中に静置して行った。

溶液流入実験、および物体運搬実験の結果を、それぞれ図 8、図 9 に示す。BS 反応の酸触媒作用により、管状ゲルの収縮部（紺色）の伝播を実現した。また、静置条件において、管状ゲルの蠕動運動によるガラス球の運搬に成功した。収縮領域の伝播速度は $1.9 \mu\text{m/s} \sim 3.9 \mu\text{m/s}$ であった。

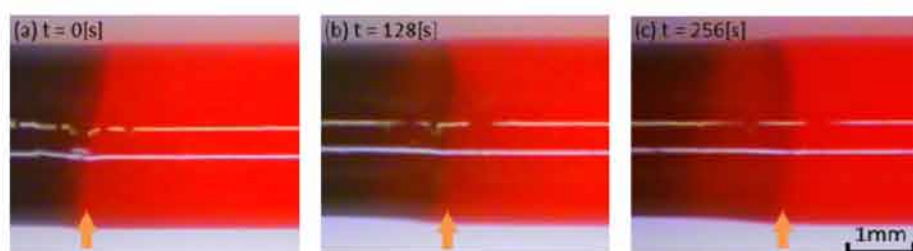


図 8 収縮領域の伝播

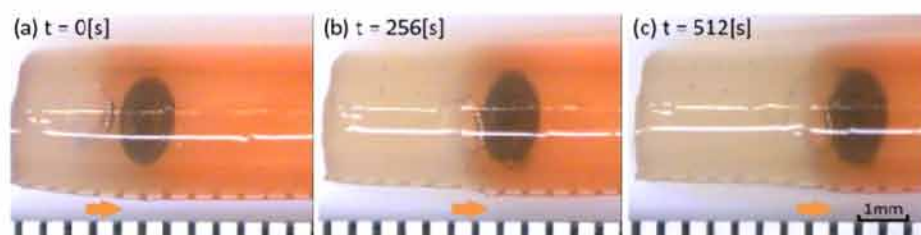


図 9 ガラス球の運搬

以上のように、酸触媒反応である BS 反応と pH 応答性管状ゲルをカップリングすることで、蠕動運動を応用した管状ゲルアクチュエータの開発に成功した。今後は蠕動運動ロボットの実現に向けて、組成や溶液配合等のパラメータの最適化を行う予定である。

3. 共同研究者

白井 克彦（早稲田大学 名誉教授）、藤江 正克（理工学術院 教授）、梅津 光生（理工学術院教授）、高西 淳夫（理工学術院 教授）、小林 哲則（理工学術院 教授）、菅野 重樹（理工学術院 教授）、岩田 浩康（理工学術院 准教授）

4. 研究業績

<学術論文>

- [1] Yuichi Murakami, Shingo Nakamura, Shuji Hashimoto, "An Article Kansei Retrieval System Combining Recommendation Function and Interaction Design", , Vol.20, No.3, pp.548-558, 2012
- [2] Takeshi Ando, Eiichi Ohki, Yasutaka Nakashima, Yutaka Akita, Hiroshi Iijima, Osamu Tanaka, Masakatsu G. Fujie, "Pilot Study of Split Belt Treadmill Based Gait Rehabilitation System for Symmetric Stroke Gait", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.24, No.5, pp.884-893, 2012
- [3] Y. Hara, S. Maeda, T. Mikanohara, Hiroki Nakagawa, Satoshi Nakamaru, Shuji Hashimoto, "Novel Self-Oscillating Polymer Actuators for Soft Robot", InTech, ISBN 978-953-51-0798-9, 2012
- [4] Takeshi Ando, Kazuya Kawamura, Junko Fujitani, Tomokazu Koike, Yukiko Nishigaki, Hiroko Mizuguchi, Masashi Fujimoto, Masakatsu G. Fujie, "Biofeedback Effect of Thoracic Excursion in Chest Expansion Training", Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol.7, No.3, pp.328-334, 2012
- [5] Takeshi Ando, Eiichi Ohki, Yasutaka Nakashima, Yutaka Akita, Hiroshi Iijima, Osamu Tanaka, Masakatsu G. Fujie, "A Gait Phase Measurement System using Treadmill Motor Current", Advanced Robotics, Vol.26, No.13, pp.1727-1746, 2012
- [6] "Kazuya KAWAMURA, Yuya Morita, Jun Okamoto, Kohei Saito, Salvatore Sessa, Massimiliano Zecca, Atsuo Takanishi, Shin-ichiro Takasugi, and Masakatsu G. Fujie, "Gait Phase Detection Using Foot Acceleration for Estimating Ground Reaction Force in Long Distance Gait Rehabilitation", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.24, No.5, pp.828-837, 2012"
- [7] Luca Bartolomeo, Zhuohua Lin, Salvatore Sessa, Massimiliano Zecca, Hiroyuki Ishii, Atsuo Takanishi, "Online magnetic calibration of a cutting edge 9-axis wireless Inertial Measurement Unit", International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.39, No.1-4, pp.779-785, 2012
- [8] Kazuya Kawamura, Yuya Morita, Jun Okamoto, Kohei Saito, Salvatore Sessa, Massimiliano Zecca, Atsuo Takanishi, ShinichiroTakasugi, Masakatsu Fujie, "Gait Phase Detection using Foot Acceleration for Estimating Ground Reaction Force in Long Distance Gait Rehabilitation", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.24, No.5, pp.828-837, 2012
- [9] Luca Bartolomeo, Salvatore Sessa, Massimiliano Zecca, Atsuo Takanishi, "Wavelet thresholding technique for sEMG denoising by baseline estimation", International Journal of Computer Aided Engineering and Technology, Vol.4, No.6, pp.517, 2012
- [10] Mitsuhiro Kamezaki, Hiroyasu Iwata, Shigeki Sugano, "A Pragmatic Load Detecting System Based on Uncertainty Evaluation for Construction Manipulator", SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration Robotics and Mechatronics (JCMSI), Vol.5, No.6, pp.366-373, 2012

- [11] Mitsuhiro Kamezaki, Hiroyasu Iwata, Shigeki Sugano, "A Symbolic Construction Work Flow Based on State Transition Analysis Using Simplified Primitive Static States", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.24, No.6, pp.95-104, 2012
- [12] Yoshihiro Sakamoto, Kenri Kodaka, Takuji Ebinuma, Kenjiro Fujii, and Shigeki Sugano, "Doppler Positioning with a Movable Receiver Antenna for High-Accuracy IMES Localization", SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.5, No.5, pp.259-267, 2012
- [13] K. ITO, T. ASAYAMA S. SUGANO, H. IWATA, "A Blood Flow Measurement Robotic System: Ultrasound Visual Serving Algorithms under Pulsation and Displacement of an Artery", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.24, No.5, pp.773-781, 2012
- [14] K.ITO, S.SUGANO, R.TAKEUCHI, K.NAKAMURA, H.IWATA, "Usability and Performance of a Wearable Tele-Echography Robot for Focused Assessment of Trauma Using Sonography", Journal of Medical Engineering & Physics, On-line Journal, Vol.35, No.2, pp.165-171, 2012

<査読付き国際会議>

- [1] Norifumi Hodohara, Yuichi Murakami, Shingo Nakamura, Shuji Hashimoto "Reinforcement learning with phased approach for fast learning", Proceedings of the International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 17th '12), pp.930-933, 2012
- [2] Aya Suzuki, Shingo Maeda, Yusuke Hara, Shuji Hashimoto, "Capsule gel robot driven by self-propelled oil droplet", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012), pp.2180-2185, 2012
- [3] Huei Ee YAP, Shuji Hashimoto, "Development of a stair traversing two wheeled robot", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012), pp.3125-3131, 2012
- [4] XiaoWei Lu, Mariko Tsukune, Hiroki Watanabe, Nozomu Yamazaki, Yosuke Isobe, Yo Kobayashi, Tomoyuki Miyashita, and Masakatsu G. Fujie, "A Method for Deriving the Coagulation Boundary of Liver Tissue Using a Relational Model of Viscoelasticity and Temperature in Radio Frequency Ablation", 2012 IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp.187-190, 2012
- [5] Takehiko Noguchi, Yo Kobayashi, Kazuya Kawamura, Hiroki Watanabe, Yu Tomono, Yuta Sekiguchi, Hiroto Seno, Kazutaka Toyoda, Makoto Hashizume, Masakatsu G. Fujie, "Application of Control Modes of a Master Manipulator for a Robotic System to Assist with Single Port Endoscopic Surgery", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1270-1276, 2012
- [6] Satoshi Miura, Yo Kobayashi, Kazuya Kawamura, Masatoshi Seki, Yasutaka Nakashima, Takehiko Noguchi, Yuki Yokoo and Masakatsu G. Fujie, "Configuration of Slave and Endoscope in Surgical Robot based on Brain Activity Measurement", The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systemes, and The 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems , pp.1195-1200, 2012
- [7] Yuki Yokoo, Yasutaka Nakashima, Satoshi Miura, Yoshikazu Ogaya, Takeshi Ando, Yo Kobayashi, Masakatsu Fujie, "Brain Activity Measurement Based Evaluation of Active Control of a Treadmill", The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systemes, and The 14th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp.1201-1206, 2012
- [8] Kenji Hashimoto, Hyun-jin Kang, Masashi Nakamura, Egidio Falotico, Hun-ok Lim, Atsuo Takanishi, Cecilia Laschi, Paolo Dario and Alain Berthoz, "Realization of Biped Walking on Soft Ground with Stabilization Control Based on Gait Analysis", Proceedings of the 2012 IEEE/RSJ International Conference

on Intelligent Robots and Systems, pp. 2064-2069, 2012

- [9] Lorenzo Jamone, Lorenzo Natale, Kenji Hashimoto, Giulio Sandini and Atsuo Takanishi, "Learning the Reachable Space of a Humanoid Robot: a Bio-inspired Approach", Proceedings of the fourth IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, pp. 1148-1154, 2012
- [10] Kenji Hashimoto, Teppei Asano, Yuki Yoshimura, Yusuke Sugahara, Hun-Ok Lim and Atsuo Takanishi, "Overload Protection Mechanism for 6-axis Force/Torque Sensor", Proceedings of the 19th CISM-IFTOMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control (ROMANSY2012), 2012
- [11] Kenji Hashimoto, Yuki Takezaki, Hiromitsu Motohashi, Takuya Otani, Tatsuhiko Kishi, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, "Biped Walking Stabilization Based on Gait Analysis", The 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 154-159, 2012
- [12] Wei WANG, Yuki SUGA, Hiroyasu IWATA, Shigeki SUGANO, "Solve Inverse Kinematics Through A New Quadratic Minimization Technique", Proceeding of the 2012 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM'12), pp.306-313, 2012
- [13] Chyon Hae Kim, Yuki Nishi, Syunsuke Nagahama, Shigeki Sugano, "Finding and Utilizing Self-preserving Functions in Blood Pulsation -Development for Ethanol Based Artificial Circulation System-", pp.1034-1039, 2012
- [14] Mitsuhiro Kamezaki, Hiroyasu Iwata, Shigeki Sugano, "Quantification of Comprehensive Work Flow Using Time-Series Primitive Static States for Human-Operated Work Machine", Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.4487-4492, 2012
- [15] Mitsuhiro Kamezaki, Yosuke Shimada, Hiroyasu Iwata, and Shigeki Sugano, "Operational Support for Ensuring Safety Object-Removal Using Dual-Arm Construction Machinery", Proceedings of 2012 First International Conference on Innovative Engineering Systems, pp.257-262, 2012
- [16] K. ITO, K. TSURUTA, S. SUGANO, H. IWATA, "Noninvasive Internal Bleeding Detection Method by Measuring Blood Flow under Ultrasound Cross-Section Image", Proceeding of 34th Annual International IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conference (EMBC'12), pp.3191-3194, 2012
- [17] K. ITO, S. SUGANO, H. IWATA, "Organ Boundary Determination Algorithm for Detecting Internal Bleeding Detection", Proceeding of 34th Annual International IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conference (EMBC'12), pp.3183-3186, 2012
- [18] Z. TANG, S. SUGANO, H. IWATA, "Design of an MRI Compatible Robot for Finger Rehabilitation", Proceeding of 2012 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA'12), pp.611-616, 2012
- [19] K. ITO, T. ASAYAMA, S. SUGANO, H. IWATA, "Blood Flow Measurement System Using Ultrasound Doppler under Non-periodic Displacement of an Artery", Proceeding of 2012 IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob'12), pp.781-786, 2012

5. 研究活動の課題と展望

本研究のメンバーの多くが参加しているGCOE「グローバルロボットアカデミア」が2012年度で終了した。本プロジェクトも来年度から第2期に入る。各個別テーマの研究をさらに進めると同時に、これまでの成果をまとめてロボット学の体系化に貢献したいと考えている。また、地球環境を考えると、自然を大きく捉えて理解することが必要である。そのためには未踏地域用のロボットと情報ネットワークの活用が不可欠であり、人間共存ロボットとは異なる視点からの研究が必要

である、というところが本研究の基本的な立場であり特徴である 本研究は、情報機械系と自然との共生を目指し、最終的に機械を介在した人間と自然の共生を実現するための研究開発であり、情報工学、ロボット工学の新しい適用分野を開拓し、新しい社会基盤をつくる研究の潮流になりえるものである また、 1)トポロジではなく実世界での位置関係であるジオメトリが適応的に変化するセンサロアクチュエータネットワークの原理、2)ネットワークを基盤とするグローバルな情報認識と広域的物理作業の群ロボットによる分散的实现、3)エネルギー消費の視点を考慮したロボットの行動制御、 4)ロバスト性、耐久性の高い全天候型ロボットの設計原理、など情報工学、 ロボット工学にかかわる幅広い研究を継続する予定である。

【08L04】 建築・空調におけるエネルギー有効利用に関する研究

研究代表者 田辺 新一
(理工学術院建築学科 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、環境負荷の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、工場や駅など様々な空間における実測・実験や小学校などの冷房、自然換気運用に関する現状調査を通して、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、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快適性・省エネルギー性評価を行うことで、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。

2. 主な研究成果

- 2.1 節電環境下における環境測定およびアンケート調査
- 2.2 都市型の省エネルギー性能の検討
- 2.3 タスク・アンビエント対応放射空調オフィスビルの評価
- 2.4 ZEB化省エネビルの室内環境の通年評価
- 2.5 環境新技術の調査研究
- 2.6 高齢者施設のエネルギー低炭素社会に向けた業務用熱源容量最適化検討
- 2.7 環境配慮駅の実測調査研究



3. 共同研究者

木村 建一（名誉教授・顧問研究員）
秋元 孝之（芝浦工大・教授・招聘研究員）
中野 淳太（東海大学・講師・招聘研究員）
岩田 利枝（東海大学・教授・招聘研究員）
堤 仁美（理工研・講師）
金 炫兌（創造理工学部・助手）

針ヶ谷 純吉（理工研・招聘研究員）
岩下 剛（東京都市大学・教授・招聘研究員）
望月悦子（千葉工業大学・准教授・招聘研究員）
西原 直枝（理工研・次席研究員）
金 勲（理工研・講師）

4. 研究業績

4.1 学術論文

- ・ Shin-ichi Tanabe, Yuko Iwahashi, Sayana Tsushima, Naoe Nishihara, Thermal comfort and productivity in offices under mandatory electricity savings after the Great East Japan earthquake, Architectural Science Review, pp.1- 10, 2013.01.09
- ・ 水石仁、伊香賀俊治、村上周三、田辺新一、諸外国における住宅・建築物の省エネルギー規制の動向に関する調査研究

4.2 国際会議発表

- ・ Erika ENDO, Koji Hamasaki, Yuka Nakamura, Shin-ichi Tanabe, Nobuaki Furuya, A New Natural Ventilation Window and Its Utilization in a Detached House, Proceedings of Healthy Buildings 2012
- ・ Keiichi Furuya, Shin-ichi Tanabe, Naoe Nishihara, Kazuki Wada, Taizou Yamamoto, Field survey in office introduced task/ambient system with ceiling radiation membrane, Proceedings of Healthy Buildings 2012
- ・ Yutaka KOBAYASHI, Yuji MORI, Shinichi YOSHIMURA, Shinichi TANABE, Hajime OI, Validation of Zhang Model in Transient and Non-uniform Thermal Environment, Proceedings of Healthy Buildings 2012
- ・ Hirotaka Kubo, Shin-ichi Tanabe, Tomoyuki Yokoyama, Toshiaki Omori, Noboru Ohira, Ryuichi Tominaga, Takashi Akimoto, Predictive Model of Thermal Sensation for Heating Systems Considering Contact with the Floor, Proceedings of Healthy Buildings 2012
- ・ Miwa Higuchi, Shin-ichi Tanabe, Naoe Nishihara, Kotaro Ito, Asami Nagareda, Tsuyoshi Ito, Katsuaki Wada, Setsuko Yoshino, Ryohei Mase, Indoor Environment and Productivity in a Green Building, Proceedings of Healthy Buildings 2012
- ・ Hiromi Miyake, Shin-ichi Tanabe, Kazuki Wada, Eiji Sakuma, Simplified Air-Flow Window System for Thermal Performance and Visual Comfort, Proceedings of Healthy Buildings 2012
- ・ Sakura Mori, Hitomi Tsutsumi, Shin-ichi Tanabe, Toshiki Isahaya, Takashi Ito, Satoshi Hori, Hiroaki Ito, Yoshio Shimizu, Chieko Hamada, Yasuhiko Tomino, A Study of Thermal Comfort Reported by Patients and Medical Staff in a Dialysis Room during Autumn and Winter, Proceedings of Healthy Buildings 2012
- ・ Ayako Okajima, Hitomi Tsutsumi, Shin-ichi Tanabe, Toshiki Isahaya, Takashi Ito, Shoichi Morimoto, Satoshi Hori, Takao Ariga, Transmission Characteristics of Coughed air using Cough Generator with Simulated Oral Airway, Proceedings of Healthy Buildings 2012
- ・ Kengo Tatara, Hoon Kim, Shin-ichi Tanabe, Evaluation of Odors from Wooden Materials and Reference

Substances using Dynamic Odor Bottle、Proceedings of Healthy Buildings 2012

- ・ Yutaka KOBAYASHI, Shinichi YOSHIMURA, Shin-ichi TANABE, Yoshiichi OZEKI、Development of Human Thermoregulation Model JOS-2 with a Detailed Vascular System (Part 1)、9I3M 2012
- ・ Hiroataka Kubo, Manami Shinohara, Shin-ichi Tanabe, Toshiaki Omori, Noboru Ohira, Ryuichi Tominaga, Yuki Nakagawa, Tomoyuki Yokoyama、Numerical Models of Physiological Response for Contact with the Floor、9I3M 2012
- ・ Naoe Nishihara, Shin-ichi Tanabe, Kanae Sako, Kazuki Wada, Takashi Miyazaki, Mikio Takahashi、Evaluation of Personal Air Conditioning System Mounted in Desk Partition with Separation Process of Latent Heat and Sensible Heat、9I3M 2012
- ・ Ayako Okajima, Hitomi Tsutsumi, Shin-ichi Tanabe, Shoichi Morimoto, Satoshi Hori, Takao Ariga、Transmission Dynamics of Coughed Droplet Nuclei Investigated using Cough-Generating Manikin with Simulated Oral Airway、9I3M 2012
- ・ Sakura Mori, Mariya Barova, Zhecho Bolashikov, Arsen Melikov, Shin-ichi Tanabe、Radiant Ceiling Panels Combined with Localized Methods for Improved Thermal Comfort of Both Patient and Medical Staff in Patient Room、9I3M 2012
- ・ Hitomi Tsutsumi, Ayako Okajima, Mai Fujiwara, Shoichi Morimoto, Satoshi Hori, Shin-ichi Tanabe, Takao Ariga、Area and Amount of Deposited Cough Droplets Ejected by a Droplet Atomization Manikin、9I3M 2012
- ・ Yutaka KOBAYASHI, Shinichi YOSHIMURA, Shin-ichi TANABE, Yoshiichi OZEKI、Development of Human Thermoregulation Model JOS-2 with a Detailed Vascular System (Part 2)、9I3M 2012

4.3 国内学会発表

【日本建築学会】

- ・ 田中宏昌、千代延亜弥、田辺新一：低炭素社会に向けた業務用建物の省エネルギー手法のポテンシャル評価 その1～2、日本建築学会大会学術講演梗概集、201
- ・ 三宅宏美、森本涼、岩橋優子、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1～2、日本建築学会大会学術講演梗概集、2012
- ・ 多々良研吾、田辺新一、西原直枝、石倉結花、佐藤考輔、八木田裕悟、松瀬達也：潜熱・顕熱分離パッケージ空調システムの夏季運用実態調査 第1～2報、日本建築学会大会学術講演梗概集、2012

・ 他 44 報

【空気調和・衛生工学会大会】

- ・ 流田麻美、西原直枝、伊藤光太郎、樋口美和、田辺新一、伊藤剛、間瀬亮平：低炭素化と知的生産性に配慮した最先端オフィスの調査研究 (第16報)、空気調和・衛生工学会大会学術講演会講演論文集、2012
- ・ 今成岳人、小川哲史、野部達夫、田辺新一、久保木真俊、丹羽勝巳、大宮政男：中小既築業務用ビルにおける再生可能エネルギーを活用したZEB化の実証 (第3～4報)、空気調和・衛生工学会大会学術講演会講演論文集、2012

・海野玄陽、浜崎紘嗣、遠藤えりか、田辺新一：東日本大震災を受けて建設された応急仮設住宅の温熱環境、空気調和・衛生工学会大会学術講演会講演論文集、2012

他 16 報

5. 研究活動の課題と展望

長期大型研究の指定を受け、2008～2012 年度の研究期間を予定しており、第二期に継続することとなった。

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 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、耐化学薬品性、低誘電率、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、X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フィルター、反射防止膜、フィールドエミッションタイプのディスプレイ装置、MEMS（マイクロマシン）、高性能半導体回路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。本技術開発では、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にしかも大量に創製する技術の開発を目指すものである。今回はこの中で、昨年の報告書において期待を示しておいた、将来のナノ構造体大量生産に大きな意味を持つナノインプリント技術及びPN反転を用いた高分子ナノ構造体創製について進展があったのでそれらについて報告する。

2. 主な研究成果

2-1 量子ビームによるナノインプリント技術開発

高分子のナノ構造体を創製する方法として、我々が過去からいくつかの方法を試み、大きな正解を挙げてきた。例えばシンクロトロンからの放射光（SR）を用いたPTFEの直接加工（TEIGA技術）では μm オーダーの3次元構造体を高速で製作できることを示してきた。また収束イオンビーム（FIB）装置を使った直接加工においては数10nmレベルの3次元構造体を作成できることを示してきた。しかしながら、SRによる加工ではナノメートルオーダーの加工体を作ることは技術上及びコスト上かなり難しい。また一方FIB加工では一つ一つの加工体を得るために非常に長い時間を要することが問題であった。そこで我々は、電子ビーム描画装置を用いたナノ加工を通じ、その加工体をモールドとするナノインプリント技術に注目しその技術開発を行ってきた。

この開発では具体的には以下の2点について技術開発を実施した。

- ・ 簡易的な架橋PTFE微細加工体作製プロセス考案
- ・ 条件(吸収線量)を変化させて、架橋PTFE（RX-PTFE）製作条件を検討

結果として、我々は微細構造体の作製を熱と放射線の2つのエネルギーを与えることで、PTFEの架橋体を転写体として得ることに成功した。そこで我々はこの方法を次のように命名した。

Thermal and Radiation process s for fabrication of RX-PTFE (TRaf process).

この方法の利点として、次のようなことを挙げることができる。

- ・ 架橋処理 と架橋PTFEの微細加工 を同時に行う。
- ・ 短時間加工（例：30 min 15×15 cm四方を処理）で処理を行う
- ・ 離型剤処理不要（PTFEの低粘着性に着目）

具体的には図 1 に示すような方法を試みた。

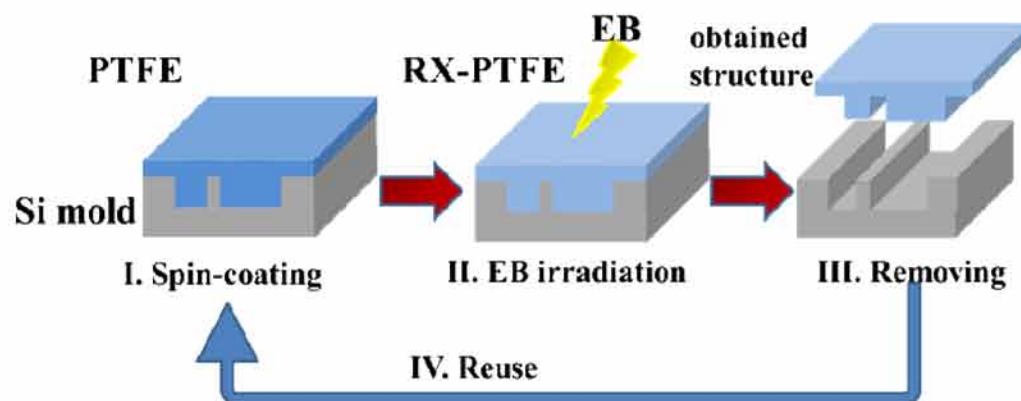
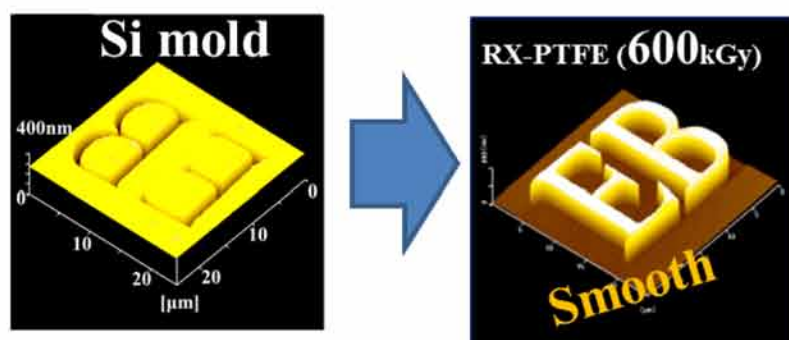


図 1 TRaf プロセスの概要

またこの方法を用いて実際に PTFE 架橋体 Si モールドをベースに作成した例を図 2 に示す。
 線量 600kGy の条件でラインエッジラフネスの極めて良好なパターンを生成できることが分かった。



Ref. A. Kobayashi et al., NIM B295 (2013) 76-80

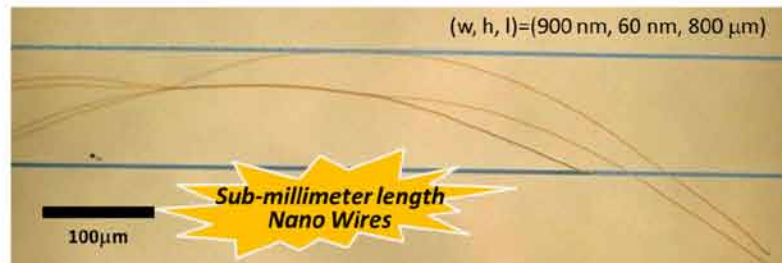
図 2 TRaf プロセスを用いて得られた RX-PTFE 転写体

更にこの方法の発展的応用として、RX-PTFE が UV 領域で透明であることを用いて、微細加工体を透明ポリマーモールドとして応用可能であることも分かり、UV ナノインプリントモールドとして適用可能であることも示すことができた。

2-2 量子ビームによるナノ構造体創製技術開発

我々は半導体リソグラフィ技術開発の一環で、市販のレジスト材料の放射線化学反応について詳細に検討を加えてきた。この中で、特に電子線レジストとしてよく知られている日本ゼオンの ZEP520A 及び ZEP7000 というポジ型（分解型）レジストの放射線反応を多方面から追跡してきた。この中で、通常量子ビームを照射すると分解を引き起こすこのレジスト材料が、きわめて高線量の照射下でポジ型からネガ型（架橋型）へその特性を変える、すなわちポジ-ネガ反転（PN 反転）が起こることを見出した。詳細な検討の結果これは ZEP レジストの主鎖上に存在する C1 原子が量子

ビームの照射量とともに減少し、ある照射量 (10mC) を超えるとほぼ全量の Cl 原子が高分子主鎖から脱離していることが確かめられた。そのためこの照射量を超えると分解反応に重要な役割を果たしていた Cl 原子が傾注に存在しなくなり、高分子主鎖同志で照射による架橋が有機されたものと理解している。この現象は、高分子のナノ構造体を創製するために極めて重要な知見であり、非常に自由度の高いナノ構造体創製技術を手に入れることができた。実際にこの PN 反転技術を利用することで、図3に示すようなナノワイヤーの創製が可能となった。



Ref. T. G. Oyama et al., Nanotechnology 23 (2012) 495307

図3 PN反転を利用した高分子ナノワイヤー

3. 共同研究者

篠原 邦夫 (理工学研究所・客員教授)	坂上 和之 (応用物理学科・助教)
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)	
大島 明博 (理工学研究所・招聘研究員、大阪大学・特任准教授)	
有光 晃二 (理工学研究所・客員准教授、東京理科大・准教授)	
田川 精一 (研究院・招聘研究教授、大阪大学・特任教授)	

4. 研究業績

4.1 学術論文

1. Fabrication of nanobeads from nanocups by controlling scission/crosslinking in organic polymer materials, Tomoko Gowa Oyama, Akihiro Oshima, Masakazu Washio and Seiichi Tagawa Nanotechnology 23 (2012) 495307
2. Thermal and radiation process for nano-/micro-fabrication of crosslinked PTFE, Akinobu Kobayashi, Akihiro Oshima, Satoshi Okubo, Hidehiro Tsubokura, Tomohiro Takahashi, Tomoko Gowa Oyama, Seiichi Tagawa and Masakazu Washio, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 295 (2013) 76–80

5. 研究活動の課題と展望

本研究での基幹であるナノ構造体創製技術の進展をさらに促進する。特に燃料電池義実において、3次元の構造を付与することで、これまでになり PEFC 技術開発に目処をつけており、次年度以降大きな成果につながるものと期待している。

【12L20】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
(理工学術院建築学科 教授)

1. 研究課題

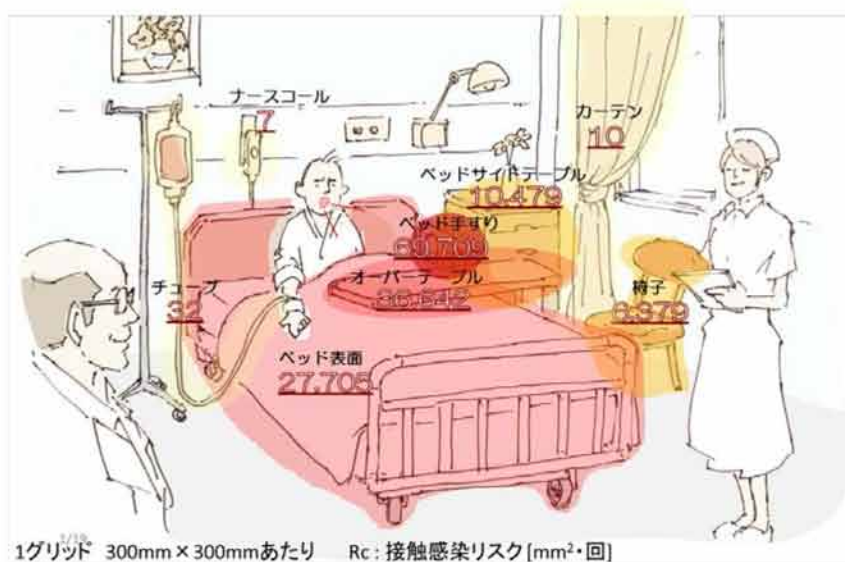
本研究は、室内から発生する揮発性有機化合物が一因とされるシックハウス、シックビル問題に関して、放散量の測定・把握と定量的な対策方法を提案することを目的とする。また、室内空気質だけでなくエネルギー、温熱環境の要因に関しても同時に検討を進めながら研究を行う。

新たにプラスチックや人工合成物に使われる可塑剤成分である SVOC (Semi Volatile Organic Compounds; 準揮発性有機化合物) の汚染、建材臭・生活臭・煙草臭など臭いに関する知覚空気質が台頭されるようになった。当初はシックハウス問題を解決するために盛り込まれた必要換気量確保の義務化も、最近は空気・熱環境の面でより健康で快適な生活のために換気問題を考えるようになり、適切な換気設計手法と評価法の確立が求められている。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う。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。

2. 主な研究成果

- 2.1 医療福祉施設における感染症リスク低減に関する研究 (科研費基盤 (A))
- 2.2 二酸化塩素による新型インフルエンザ感染防止空調システムの研究
- 2.3 次世代医療施設研究 (順天堂大学共同研究)
- 2.4 スマートハウスに関する研究 (CREST 分担研究)
- 2.5 自動車車室内快適性予測技術に関する研究
- 2.6 C F D・人体連成モデルの開発
- 2.7 床暖房時の快適性に関する研究
- 2.8 知的生産性に関する研究





接触感染リスク

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)

堀 賢 (順天堂大学・准教授)

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・講師・招聘研究員)

望月 悦子 (千葉工大・准教授・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 (理工研・研究院講師)

金 勲 (理工研・研究院講師)

金 ヒュンテ (創造理工学部・助手)

4. 研究業績

4.1 学術論文

・川村聡宏、波多野弘和、金炫兌、金勲、田辺新一：日本建築学会環境系論文集、マイクロチャンバー法における換気量変化がDEHP放散に及ぼす影響、No.683、pp.25-30、2013.1.

・金勲、田辺新一：、日本建築学会環境系論文集、小型チャンバー法における気流速度と水蒸気換算物質伝達率との関係、No.681、pp.873-879、2012.11.

・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疼痛に及ぼす影響の調査と構造分析、日本建築学会環境系論文集、Vol.78、No.683、pp.55-61、2013.01

・Hitomi Tsutsumi, Fumihiko Shinoda, Shin-ichi Tanabe, Masakazu Setsujima, Kouichi Nakahara : Effects of various indoor environmental factors on the decay of chlorine dioxide gas concentration: Implications of its use against pandemic influenza, HVAC&R Research, VOLUME18, NUMBER4, pp.643-657, 2012.08

4.2 海外会議発表

・Yutaka KOBAYASHI, Yuji MORI, Shinichi YOSHIMURA, Shinichi TANABE, Hajime OI : Validation of Zhang Model in Transient and Non-uniform Thermal Environment, Proceedings of Healthy Buildings 2012, 2012

・Hiroataka Kubo, Shin-ichi Tanabe, Tomoyuki Yokoyama, Toshiaki Omori, Noboru Ohira, Ryuichi Tominaga, Takashi Akimoto : Predictive Model of Thermal Sensation for Heating Systems Considering Contact with

the Floor、Proceedings of Healthy Buildings 2012

・Hitomi Tsutsumi, Ayako Okajima, Mai Fujiwara, Shoichi Morimoto, Satoshi Hori, Shin-ichi Tanabe, Takao Ariga : Area and Amount of Deposited Cough Droplets Ejected by a Droplet Atomization Manikin、Proceedings of 9I3M、2012

・Kim, H., TANABE, S. : Comparison Measurement of PFT Method with Other Tracer Gas Methods for Ventilation Rate, 大韓建築学会学術発表大会論文集, CD-ROM, 2012.10

・Kim, H.T., TANABE, S. : The concentration of SVOC on the surface of PVC flooring, 大韓建築学会学術発表大会論文集, CD-ROM, 2012.10

他 14 報

4.3 国内学会発表

【日本建築学会】

・金勲、小金澤淳、田辺新一、三田建志、鈴木伸吾：接着剤からの揮発性有機化合物測定法に関する研究 その 5 4 種類の試験片基材を用いた接着剤からの 4VOC 散速度測定、日本建築学会大会学術講演梗概集、2012

・波多野弘和、川村聡宏、金炫兌、金勲、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 18～20 、日本建築学会大会学術講演梗概集、2012

・岡島彩子、藤原舞、諫早俊樹、堤仁美、森本正一、田辺新一、堀賢、有賀隆男：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 12～15、日本建築学会大会学術講演梗概集、2012

・長澤夏子、加藤龍一、堤仁美、松岡由紀子、秋山友里、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 59～61、日本建築学会大会学術講演梗概集、2012

・河又大起、樋口美和、中村友香、伊藤光太郎、横山朋之、大石洋之、飯野直志、坂本圭司、中野淳太、田辺新一：駅における年間実測調査概要及び温熱環境特性 大規模空調空間を有する駅の熱的快適域に関する研究 その 1～その 4、日本建築学会大会学術講演梗概集、2012

・西原直枝、田辺新一、伊藤光太郎、樋口美和、流田麻美、高橋幹雄、野崎尚子：知的生産性に関する研究 その 10、日本建築学会大会学術講演梗概集、2012

他 45 報

【空気調和・衛生工学会大会】

・波多野弘和、川村聡宏、金炫兌、金勲、田辺新一：準揮発性有機化合物（SVOC）の測定・評価法の開発 その 8 換気量条件変化時における DEHP 放散速度試験、空気調和・衛生工学会大会学術講演会講演論文集、2012

・森桜、諫早俊樹、堤仁美、田辺新一、堀賢、清水芳男、井尾浩章、濱田千江子、富野康日己 人工透析室の熱的快適性に関する実測調査 第 2 報、空気調和・衛生工学会大会学術講演会講演論文集、2012

・藤原舞、岡島彩子、堤仁美、諫早俊樹、森本正一、田辺新一、堀賢、有賀隆男：医療・福祉施設における感染制御に関する研究 第 10～11 報、空気調和・衛生工学会大会学術講演会講演論文集、2012

他 15 報

【空気清浄学会梗概】

・金ヒョンテ、田辺新一：住宅における SVOC 濃度に関する研究、第 29 回 空気清浄とコンタミ-ションコントロール研究大会論文募集、2012

【日本環境感染学会】

・堤仁美、田辺新一、森本正一、堀賢：病室における附着した飛沫からの接触感染リスク評価、第 28 回日本環境感染学会総会、2013

・森本正一、堀賢、田辺新一、堤仁美：4 床室の病原体濃度低減手法の研究（第 1 報）収納兼用間仕切りの効果、第 28 回日本環境感染学会総会抄録、pp.280、2013

・島田崇康、杉山靖尚、堀賢、堤仁美、田辺新一：水跳ねの少ない病床向け手洗器の開発について、第 28 回日本環境感染学会総会、2013

・節島正和、中原弘一、堤仁美、田辺新一：二酸化塩素ガスによる燻蒸消毒後の濃度低減装置の開発、第 28 回日本環境感染学会総会、2013

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。

獎勵研究

L-アミノ酸リガーゼ RizA および RizB の X 線結晶構造解析

研究代表者 新井 利信
(理工学研究所 次席研究員)

1. 研究課題

近年、ペプチドの持つ有用な物性や機能性に着目した開発研究が医薬品・食品・化粧品などの様々な分野で展開されている。我々はこれまで、微生物由来酵素である L-アミノ酸リガーゼ (Lal) を利用したペプチド合成研究を展開してきた。Lal は保護基を持たない遊離のアミノ酸を基質として ATP の加水分解反応と共役してペプチドを生成するため、発酵法などの環境負荷低減型合成プロセスへの応用展開が可能であり、物質生産において非常に優位性の高い酵素であると言える。他の研究グループの成果も含めると、様々な微生物から約 20 種類の Lal が取得されているが、結晶構造を解くことに成功している Lal は、現在までに 2 例のみである。そのため各酵素に特有な基質特異性や合成されるペプチド鎖長を制御する機構を解明するためには、さらなる立体構造情報の取得が不可欠である。本研究では、複数種類の Lal 立体構造を明らかにし、これらの情報から Lal の構造と機能との相関を考察することで上記課題を解決することを目的とした。

2. 主な研究成果

2.1. *Bacillus subtilis* NBRC3134 由来 RizA の結晶構造解析

構造解析の研究対象として、*Bacillus subtilis* 由来の RizA および RizB と命名した 2 種類の Lal を選択した。両酵素とも *B. subtilis* において Rhizocticin と呼ばれるペプチド性抗生物質の合成に関わる酵素であり、RizA はアルギニン (Arg) を N 末端に配したジペプチドを特異的に合成し、一方で RizB はバリン (Val) やロイシン (Leu) などの分岐鎖アミノ酸を中心としてオリゴペプチドを合成する Lal である。RizA に関しては、昨年度までにネイティブ酵素の単結晶から 2.0 Å の良好な X 線回折像を得ることに成功しており、さらには多波長異常分散法による位相決定を目的として Se-Met 置換型 RizA の精製工程の確立ならびに単結晶の取得にも成功している。本年度では取得した Se-Met 置換型 RizA の単結晶を大型放射光施設 Photon factory (つくば) にて X 線解析試験を行った。その結果、最大解像度 2.8 Å の反射を得ることに成功し、先のネイティブ酵素のデータと併せて解析することで位相の決定ならびに構造計算から RizA 立体構造を解くことに成功した (Fig. 1)。



Fig. 1. Ribbon diagram of the overall RizA structure.

RizA の全体的な構造は既に取り得られている 2 種類の Lal 構造と類似しており、構造を重ね合わせた結果では、特に活性中心付近での重なりが良好であった。また、活性中心においては RizA の N 末端基質 Arg に対する基質特異性を決定する因子として、適切な位置に酸性アミノ酸が位置することを確認した。したがって、これらの間に電荷による相互作用が働くことで塩基性アミノ酸 Arg が強く認識されている可能性が示唆された。一方、RizA の C 末端側のアミノ酸基質に対する特異性は低く、様々なアミノ酸が取り込まれることが確認されている。RizA 構造において、C 末端のアミノ酸が配すると推定される基質ポケットが空間的に広がっており、側鎖の小さなアミノ酸から大きなアミノ酸まで許容されることが示唆された。

2.2. *B. subtilis* NBRC3134 由来 RizB の結晶構造解析

RizB においては昨年度までにネイティブ酵素の精製工程を確立している。本年度では精製 RizB の結晶化スクリーニングを実施した。しかしながら、種々の条件を検討したが単結晶を得ることはできなかったことから、検討対象を変更し、RizB と同様の活性を示す *Bacillus licheniformis* NBRC12200 由来 BL02410 (一次配列相同性: 約 60%) について検討を行うこととした。BL02410 においては単結晶を取得することに成功し (Fig. 2)、続いて行った X 線回折試験では、最大解像度 3.0 Å の反射を得ることに成功した (Fig. 3)。



Fig. 2. Micro crystal of BL02410.

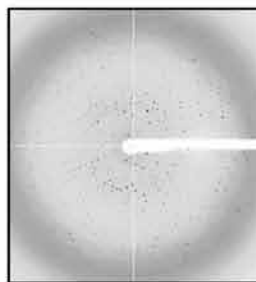


Fig. 3. X-ray diffraction pattern of the crystal of BL02410. The data was collected at Photon factory (Tsukuba, Japan).

3. 共同研究者

木野 邦器 (早稲田大学・先進理工学部・応用化学科・教授)

胡桃坂 仁志 (早稲田大学・先進理工学部・電気情報生命工学科・教授)

香川 亘 (明星大学・理工学部・総合理工学科・准教授)

4. 研究業績

4.1. 学術論文

T. Arai, A. Noguchi, E. Takano, K. Kino, Application of Protein N-Terminal Amidase in Enzymatic Synthesis of Dipeptides Containing Acidic Amino Acids Specifically at the N-Terminus, *J. Biosci. Bioeng.*, **115**, 382–387 (2013).

M. Suzuki, Y. Takahashi, A. Noguchi, T. Arai, M. Yagasaki, K. Kino, J. Saito, The Structure of L-Amino Acid Ligase from *Bacillus licheniformis*, *Acta Crystallogr. D Biol. Crystallogr.*, **68**, 1535–1540 (2012).

T. Kagebayashi, N. Kontani, Y. Yamada, T. Mizushige, T. Arai, K. Kino, K. Ohinata, Novel CCK-Dependent Vasorelaxing Dipeptide, Arg-Phe, Decreases Blood Pressure and Food Intake in Rodents, *Mol. Nutr. Food Res.* **56**, 1456–1463 (2012).

4.2. 総説・著書

新井利信、“微生物由来リガーゼ酵素を用いた有用ペプチド合成法の開発” 早稲田産学連携レビュー2012、78–79、朝日新聞出版、2012

4.3. (招待)講演

4.4. 受賞・表彰

4.5. 学会および社会的活動

新井利信、木野邦器、“L-アミノ酸リガーゼ TabS を用いた機能性ジペプチド合成”、酵素工学会第 68 回講演会、2012 年 10 月、東京

八木田歩、有村泰宏、新井利信、木野邦器、“大腸菌由来ポリ- α -グルタミン酸合成酵素 RimK の諸性質解析”、2012 年度日本生物工学会大会、2012 年 10 月、兵庫

T. Arai, Y. Arimura, A. Yagita, K. Kino, "Poly- α -glutamic Acid Synthesis Using a Novel Catalytic Activity of RimK from *Escherichia coli* K-12", 6th International Congress on Biocatalysis 2012 (biocat2012). Hamburg, Germany, September 2012.

5. 研究活動の課題と展望

本研究課題は滞りなく進捗しており、RizA については構造を決定することに成功した。RizA の結晶構造情報から本酵素の基質特異性に大きく影響を与える可能性のある残基が見出されてきており、今後この部位に種々の変異を導入することで、その役割を検証していく予定である。次に、RizB においては結晶化条件を見出すことが困難であったことから検討対象を変更した。新たに検討を開始した BL02410 は単結晶の取得ならびに X 線回折試験において反射を得ることに成功している。今後、継続的に検討を重ねることで次年度中にも構造を決定できる可能性があると考えている。RizA や構造既知の二種類の Lal がジペプチドを特異的に合成する酵素であったのに対して、BL02410 ではオリゴペプチドを合成する酵素であることから、本酵素の立体構造を解くことで、ペプチド鎖長を決定する因子の特定につながるものと期待している。以上のように、構造と活性との関連性を明らかにすることで、将来的には所望する任意の活性を発現できるような酵素への機能改変を実施し、有用性の高いペプチドを高品質かつ効率的に生産するバイオプロセスの技術基盤を確立することを目指していく。

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・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、自然の中に生じる微小な変化をいち早く発見するための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リ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。動物と人間の関係は非常に複雑で、生物多様性の観点からその保護が叫ばれる場合もあれば、獣害の観点からその駆除が求められる場合もある。このような矛盾を解決するには、野生動物の生態理解にもとづいたヒトと野生動物の持続可能な共生フレームワークを構築する必要がある。

そこで本研究では、野生動物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、欧州におい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モニタリング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、自然環境にあるさまざまな路面状況を移動可能で、搭載されたセンサによって野生動物の情報を取得することが可能なロボットの開発を目的とする。また、開発したロボットを使用して実際の野生動物の生態調査を試みる。

2. 主な成果

2.1 駆動機構の開発

動物モニタリングロボットには、屋外のさまざまな状態の路面を移動する能力が求められる。想定される中でもっとも高い移動性能が要求される山間部では、倒木や林床に自生した熊笹やシダなどの植物の干渉を受けることなく、目的地へ移動するための駆動機構が必要となる。このような不整地路面では脚式の移動が有利とされているが、脚式移動はエネルギー消費が大きく、限られたエネルギーで長期間の活動が求められるモニタリングロボットには不向きである。一方、脚に比べてエネルギー効率が優れている車輪またはクローラは、段差や凹凸の走破能力が低く、不整地路面には適さない。そこで、動物モニタリングロボットでは、駆動機構に楕円型の回転脚を採用することで、不整地の走行性能とエネルギー効率の両立をはかった。

このような考えにもとづいて、大きさの異なる3種類の楕円型回転脚を有する試作機を製作した。またそれらを用いて、山林において駆動機構の評価実験を実施した。実験の結果、楕円型回転脚が

倒木の乗り越えや、シダの上の走破が可能であることが確認された。また、前進時の消費電力は 5.5 [Wh]と要求仕様以下におさまることが確認された。一方、熊笹や柴などが回転脚の動作を妨げ、ロボットの移動が阻害される事例も見られた。

2.2 電源システムの開発

動物モニタリングロボットは、メンテナンスフリーで長期間、活動を維持することが求められる。そこで、太陽電池と蓄電池からなる電源システムを開発し、ロボットに実装することとした。ロボットの体積から、搭載する太陽電池は大きさ 150x150[mm]で最大出力 2[W]のパネルを 2 枚用とした。蓄電池は 11.1[V], 4000[mAh]の Li-ion 電池とした。充放電の管理は、マイクロコントローラと充電器からなるシステムによって行うこととした。マイクロコントローラには、充放電の効率化と安定化を行う電源管理アルゴリズムを実装した。このアルゴリズムにもとづき電源システムは、太陽電池が電池を充電するのに十分な出力を有していると判断される場合は駆動系への電力供給を停止し充電のみを行うこととし、それ以外の場合のみ駆動系に電力を供給する。

構築した電源システムを用いて実験を行ったところ、11.1[V]の Li-ion 電池を最大 200 [mA]で充電可能であることが確認された。この結果にもとづいて 1 日の最大充電量を試算すると、11 [Wh]程度となる。駆動機構の実験結果と照合すると、11[Wh]で最大で 2 時間、前進を続けることが可能であることがわかる。

3. 共同研究者

高西淳夫（創造理工学部・総合機械工学科・教授）

4. 研究業績

4.1 論文発表

Hiroyuki Ishii, Qing Shi, Shogo Fumino, Shinichiro Konno, Shinichi Kinoshita, Satoshi Okabayashi, Naritoshi Iida, Hiroshi Kimura, Yu Tahara, Shigenobu Shibata, Atsuo Takanishi, A novel method to develop an animal model of depression using a small mobile robot, Advanced Robotics, 27(1), pp.61-69, 2013.

4.2 受賞

日本ロボット学会第 27 回研究奨励賞

5. 研究活動の課題と展望

今後は、開発された動物モニタリングロボットの知能系の開発と、実証実験に取り組む。また、空中放射線量センサなど環境中のさまざまな情報を取得するセンサをロボットに搭載することで、動物だけでなく大気や水質などのモニタリングへの応用も実現したいと考えている。

ファシズム期以降の 20 世紀イタリア建築史の再検討

研究代表者 奥田 耕一郎
(理工学研究所・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.)が行った建築関連の活動を中心的な対象として、ファシズム期以降のイタリア建築史について再検討を行う。特にファシズム体制の終焉以降、すなわち第二次世界大戦後への連続性・継承性と、他国の類例の比較に焦点を当て、ファシズム期イタリアの O.N.D.関連の建築活動の全国的な状況を把握することをさらに推進する。

2. 主な研究結果

2-1. O. N. D. による出版物に対する継続的分析

1925 年に創刊された O.N.D.一般会員向けの機関誌「ジェンテ・ノストラ (Gente Nostra、「我らが人民」の意)」¹⁾を資料に、O.N.D.の建築関連の活動についてさらなる把握を行った。同誌については 1931 年から 1943 年に発行された約 500 号分の閲覧が可能となり、研究計画において再検討の対象とした「第 1 回全国ドーポラヴォーロ博覧会 (Prima Mostra Nazionale Dopolavoro)」(1938 年)についての記述を中心に読解と分析を行うとともに、重要な比較対象であるナチス・ドイツの「歓喜力行団 (Kraft durch Freude、以下 KdF)」の同年における状況を分析した。

2-1-1 「第 1 回全国ドーポラヴォーロ博覧会」の再検討

1938 年 5 月 24 日にローマのチルコ・マッシモで開催された「第 1 回全国ドーポラヴォーロ博覧会」については、同博覧会の記録写真集²⁾をこれまで主な資料としてきたが、ほぼ完全な保存状態の同書と、開催期間中に発行された「ジェンテ・ノストラ」誌を資料として得たことによって、会場の状況をより明確に確認することができた。O.N.D.およびファシスト党がイタリアの伝統文化を賛美したことは広く知られており、この博覧会でもそれをアピールする展示が会場の各所で行われた。この会場を埋めたパヴィリオンは、1942 年に開催予定であったローマ万博の計画に携わった建築家らの設計により、イタリア・モダニズムのスタイルを与えられていたことを研究代表者はすでに明らかにしているが、O.N.D.の出版物ではこのモダニズムと伝統文化の対比を明確に打ち出しつつ伝えられたことが新たに確認された。

2-1-2 ナチス・ドイツにおける「歓喜力行団 KdF」との比較について

ナチス・ドイツにおける KdF は、O.N.D.に倣い「ドイツ労働戦線 (Deutsche Arbeitsfront、以下 DAF)」の下部組織として 1933 年に設立されたもので、O.N.D.の類例として広く知られている。「ジェンテ・ノストラ」1938 年第 36-37 号は、この KdF について、労働者の集団旅行の組織的運営がその活動の中心であることを伝えるとともに、DAF の下部組織「労働の美局 (Schönheit der Arbeit、SdA)」が労働環境の美化に取り組んだこと、KdF が地方に「landheime」と呼ばれるヴ

アカンスを過ごす広大な施設の建設を推進していることを伝えている³⁾。これら2つが DAF および KdF の建築に関連する活動として理解されるが、イタリアの場合、前者は O.N.D.の監督する各企業ドーポラヴォーロがこれを担い、後者については O.N.D.だけでなく大企業のドーポラヴォーロや全国バリッラ事業団 (Opera Nazionale Balilla, O.N.B.) などが建設した、青少年を対象とするサマー・キャンプ場がこれに類似する。これらのことから、他国の類例との比較においては、O.N.D.に関連する建築からさらに対象を広げながら検討を行う必要があることを確認した。

2-2. 1930 年代における主要 O. N. D. 施設の継続的調査・分析

新築による O.N.D.施設の設置には財政的困難があり、既存施設からの転用を行うことなどによって余暇施設を全国的に整備した。この一方、新築によって他のものよりも充実した施設が設置されることもあり、「ジェンテ・ノストラ」や 1937、1938、1939 年に発行された O.N.D.の活動年報⁴⁾などの O.N.D.出版物によれば、パルマ (エミリア地方)、ヴェルチェッリ (ピエモンテ地方)、キエーティ (アブルッツォ地方)、リットリア (現ラティーナ、ラツィオ地方) の事例が余暇機能の充実した建築であったことがわかっている。このうちパルマ、ヴェルチェッリの事例はすでに調査を終えており、特にキエーティとリットリアの事例について、現地調査を行った。

2-2-1 キエーティの「カーサ・デル・ドーポラヴォーロ」

1934 年に竣工した同建築 (図 1・2) は、キエーティ旧市街の南端、11 月 4 日通りに沿って現存する。現在は国立キエーティ・ペスカーラ大学博物館として利用されている。

設計者はナポリ出身の技師・建築家のカミッロ・グエッラ (Camillo Guerra, 1889-1960) で⁵⁾、同建築の東側に立つ「学生の家 (Casa dello studente)」もグエッラの設計である。北側正面の構成要素のうちもっとも特徴的な部分の一つである、ファシズムのシンボル「ファッショ・リットーリオ」をかたどった高さ約 17m の柱 2 本には、螺旋階段がとりつく。現在は博物館への転用のため 1 階と 2 階の間に中二階を付加し、展示スペースとしている。



図 1 (左) キエーティの「カーサ・デル・ドーポラヴォーロ」外観 2013 年 3 月撮影

図 2 (右) 1934 年の写真絵葉書

2-2-2 リットリアの O. N. D. 施設

リットリア (現ラティーナ)、サバウディア、ポンティーニア、アプリーリアの 4 都市は、ファシズム期に起工・開発した新しい都市として知られており、1932 年に創建されたリットリアはこのうち最も主要な都市である。同市は市庁舎など行政施設を配置した中心部から街が広がり、その外周に大通りが巡るという構造をもつ。中心部には広場が設けられ、その北側に市庁舎、通りを挟んだ東側に O.N.D.の余暇施設 (図 3) が建設された。この 2 つだけでなく、ファシズム期に建設された同地の主要な建築は全て現存している。

現在このリットリアの O.N.D.施設のうち、ファシスト党事務所であった2階部分は集合住宅へと転用されているが、ドーポラヴォーロ施設として利用されていた1階部分は、ラティーナ市民の余暇施設として現在も当時とほぼ同様の機能（ビリヤード場、カードゲームの部屋、集会場など：図4）を維持して利用されている。この点はファシズム期の近代化政策および行政改革における戦後への連続性という観点から注目される。



図3（左）リットリア（現ラティーナ）のO.N.D.施設 外観 2013年3月撮影

図4（右）同建築内部

3. 研究業績

3.1 学術論文（学会発表）

奥田耕一郎「パルマとヴェルチェッリの県ドーポラヴォーロについて」、日本建築学会大会（東海）学術講演梗概集 F-2 分冊，2012年8月，pp.349-350

4. 研究活動の課題と展望

O.N.D.は全国バリッラ事業団や全国母子事業団（Opera Nazionale dell'Maternità e Infanzia、O.N.M.I.）などとともに整備されたファシズム体制特有の新しい行政機関であるが、これらが担ったものは近代化をはかる他国においても異なる組織・手段によって同様に組み込まれたものである。したがって、他国の類例との比較研究においては、O.N.D.に関連する建築だけでなく対象をさらに拡張していく必要がある。また、O.N.D.関連施設についての全国的な把握も引き続き重要な課題であり、現存の可能性が高いものとしてすでに確認している建築については、今年度までにイタリア中部のものまで現地調査を行っている。今後は中部から南部における同施設の把握に取り組むとともに、科研費課題と本研究の成果を総合化した論文を学術誌に投稿する。

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) Partito Nazionale Fascista, *La Prima Mostra Nazionale Dopolavoro*, Bergamo, Istitute italiano d'arti grafiche di Bergamo, 31 gennaio 1939
- 3) *Il Dopolavoro Tedesco*, in *Gente Nostra*, Anno X, n.36-37, 20 giugno-3 luglio, 1938, pp.6-7
- 4) *Annuario dell'Opera Nazionale Dopolavoro 1937*, Novara, Istitute Geografico De Agostini, 1937
Annuario dell'Opera Nazionale Dopolavoro 1938, Roma, Società editrice di Novissima, 1938
Annuario dell'Opera Nazionale Dopolavoro 1939, Novara, Istitute Geografico De Agostini, 1939
- 5) Giannantonio, Raffaele, *La costruzione del Regime. Urbanistica, architettura e politica nell'Abruzzo del Fascismo*, Lanciano, Rocco carabba, 2006, p.382

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 次席研究員)

1. 研究課題

暗黒物質を直接検出することは現在の素粒子・宇宙物理学の最大の課題のひとつである。本研究の目的は、液体アルゴンを用いて暗黒物質の直接観測をめざすことにある。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。3年の研究期間で有効質量 100kg の検出器を製作し 100 日相当のデータを取得することにより暗黒物質・核子の反応断面積にして 10^{-45} cm^2 まで感度をもつ探索を行う。実機として気液 2 相型検出器の採用し、高いバックグラウンド除去能力を実現、また新しい光読み出しの技術開発により検出効率を向上させることで、高い物理感度を目指す。

2. 主な研究業績

2.1 気液 2 相型アルゴン検出器の開発

アルゴンは粒子検出器として、シンチレーション光・電離電子が信号として検出可能で、安価であるという利点がある。また検出領域を液体にすることで 1.4g/cm^3 という高密度で利用できるという優れた検出媒体である。液体アルゴンで WIMP (Weekly Interacting Massive Particle) と呼ばれる暗黒物質を探索する際に直接蛍光 (S1)、比例蛍光 (S2) という情報が信号・背景事象識別に利用できる。S1 はその名の通りアルゴンと粒子の反応によるシンチレーション光のことであり、S2 はアルゴンと粒子の反応から出てくる電離電子が電場により気相に取り出され気体中の電場により電子がアルゴンを励起する際に放出する光である。図 1 にこの検出器の概念図を示す。

気液 2 相型アルゴン検出器を構成する開発事項としては以下があげられる

- 高純度の液体アルゴン精製、保持装置
- 電離電子をドリフトさせるための電圧印加装置
- 液体アルゴンシンチレーション光の読み出し
- 背景事象の理解および削減

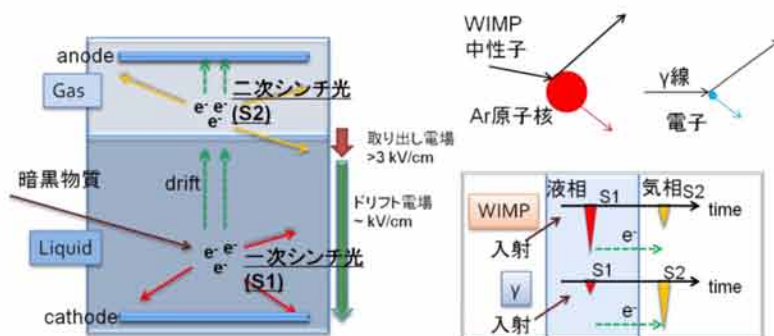
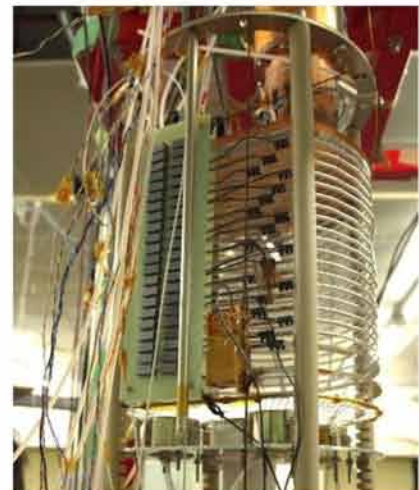


図 1 気液 2 相式アルゴン検出器の原理 (左)
および 10kg テスト検出器 (右)



本年度はまず、有効質量 10kg の小型テスト検出器を製作し（図 1 右）、技術の積み上げおよび検出器の性能評価を行った。2012 年 8 月、10 月、2013 年 1 月の 3 回にわたって、早稲田大学西早稲田キャンパス内においてデータ取得試験を行い、気液 2 相型検出器としての運用および背景事象除去能力の確認を行った。また、この性能評価結果に基づいて、100kg の本検出器の設計およびその物理感度評価を行った（図 2）。

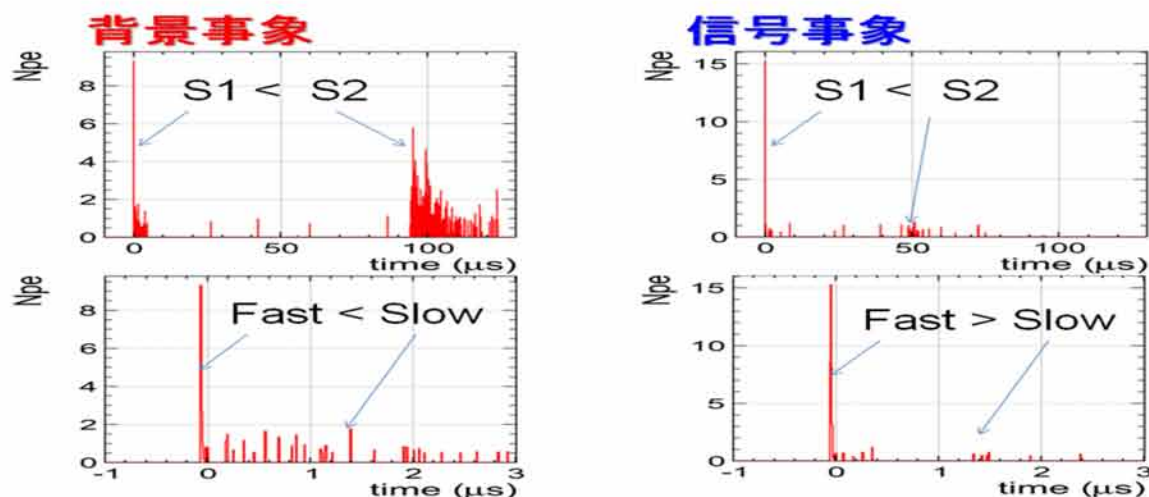


図 2 10kg 検出器の背景事象除去能力評価

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（波長約 120nm）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ために光センサーの性能は実験の成否を分ける大きな開発項目である。そこで本研究では光信号読み出しについて新たなアイデアに基づいた開発により実験の物理感度の向上をめざす。

○極低温で動作可能な光電子増倍管の窓面に波長変換剤(TPB)を塗布することにより 128nm 紫外光を波長約 400nm の可視光として検出する。浜松ホトニクス製光電子増倍管(R11065、図 3)を用いて極低温下でアルゴンシンチレーション光の検出に成功し、光の検出効率を測定した。

○電子増倍管に代わって光センサーとして MPPC (多ピクセル型フォトダイオード)を用いる。そのための準備として浜松ホトニクス製 MPPC(S-10362-11-025U、図 4)の極低温での基礎特性評価を行った。



図 2 R11065 光電子増倍管（写真中央）



図 3 S10362-11-025U

3 共同研究者

寄田 浩平 (理工学研究所 准教)

4. 研究業績

4.1 学術論文

“Evidence of electron neutrino appearance in a muon neutrino beam”

K. Abe , M. Tanaka *et al.* (T2K Collaboration), Phys. Rev. D 88, 032002 (2013)

4.2 著書

2013 年 3 月 「挑戦する若手研究者たち」 早稲田理工 PLUS 2013 朝日出版社

4.3 講演

2013 年 3 月 日本物理学会年次大会 (広島大学)

田中雅士、他 「気液 2 相型アルゴン光 TPC 検出器の開発構築」

川村将城、田中雅士他 「気液 2 相型アルゴン光 TPC 検出器の設計と性能評価の現状」

加地俊瑛、田中雅士他 「気液 2 相型 Ar 光 TPC のための Ar 蛍光検出効率の定量的評価と向上」

杉田慎一郎、田中雅士他 「気液 2 相型 Ar 光 TPC による暗黒物質探索感度の評価と今後の展望」

2012 年 12 月 第 4 回次世代光センサーに関するワークショップ (大阪大学)

田中雅士 「極低温における 128nm の光検出」

2012 年 11 月 27 日 名古屋大学 若手分野横断セミナー (名古屋大学)

田中雅士 "Status of Liquid Argon Detector R&D and Physics Applications"

2012 年 9 月 日本物理学会 (京都産業大学)

田中雅士、他 「気液 2 相型アルゴン TPC・光検出器の構築と高性能化」

橋場裕之介、田中雅士他 「気液 2 相型アルゴン検出器の高電圧印加と電場設計」

鷲見貴生、田中雅士他 「気液 2 相型アルゴン検出器のための光検出最適化」

4.4 学会および社会的活動

2013 年 3 月 日本物理学会年次回 素粒子実験領域セッション座長

2013 年 3 月 早稲田理工 PLUS 2013 編集委員

5. 研究活動の課題と展望

10kg テスト検出器での性能評価より、暗黒物質探索の高感度化ためには液体アルゴンシンチレーション光の検出効率の向上が最も有効であることが分かった。このために、光センサーの開発および検出器設計の最適化を行い、これを基に 100kg の本実験検出器の製作に取り掛かる。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が、実験候補地の選定を含め地下実験のための準備を進めていく。

トランジスタバイオセンサを用いた糖鎖認識タンパク質検出法の開発

研究代表者 秀島 翔
(理工学研究所・次席研究員)

1. 研究課題

予防医療分野での診断技術の開発は、今後の高齢社会での大きな役割を担っている。バイオセンサをこの分野で応用することは、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) が向上すると考えられる。電界効果トランジスタ (field effect transistor : FET) バイオセンサは、ゲート表面に吸着される検出対象物質の電荷を検出するバイオセンサで、簡便かつ迅速な診断を行うことができる。また、FET は半導体微細加工技術を用いて作製されるため、センサを小型集積化・高密度化することが可能である。FET バイオセンサによる臨床診断の実現は、疾患発見時間を短縮し、延いては適切な処置を通じた疾患の根治に繋がると考えられる。

本研究では、FET バイオセンサによるインフルエンザウイルスの高感度かつ迅速な検出に向けた検討を進めてきた。現行のウイルス診断キットの性能を感度や迅速性、簡便性の面で超える新規診断デバイスの製造が可能となれば、新型インフルエンザのパンデミックに対する備えとして患者のQOL を高める一つの手段となる。糖鎖を基板上に高配向に固定化する手法を提案し、インフルエンザウイルス表面に存在する糖鎖認識タンパク質 (ヘマグルチニン) を捕捉可能な糖鎖修飾 FET を作製した。また、FET センサはゲートに修飾する分子を変えるだけで、センサ自体を改めて設計し直す必要もなく、様々な用途に適用が可能となる。そこで、臨床現場での様々な用途での利用を目指し、FET バイオセンサのアレルギーセンサとしての応用可能性を検証した。

2. 主な研究成果

2.1. 糖鎖修飾 FET を用いたヘマグルチニンの検出

FET の一般的な受容体である抗体の代わりにより小さな分子サイズの「糖鎖」を利用することで、ウイルスのより多くの部分が検出可能領域内に存在可能な FET の構築を試み、ウイルスの高感度な検出の可能性を探索した。糖鎖修飾 FET の作製は、検出表面上へアミノオキシ基末端の有機分子膜を介して糖鎖を修飾することで行った。まず、ウイルスが殻表面のヘマグルチニン (HA) を介して宿主細胞の糖鎖を認識するという知見から、末端にシアル酸を有する糖鎖 (Siaα2,6Gal) を修飾した FET を用いてヒトインフルエンザウイルスの HA (H1HA) の検出を試みた。その結果、Siaα2,6Gal 修飾 FET がヒトインフルエンザウイルスの HA を検出可能であることが確認された。その一方で、糖鎖に対して特異的結合能を有さないヒト血清アルブミン (HSA) の添加に対しては顕著な応答を示さないことが確認された (図 1)。また、HA 添加後および HSA 添加後の糖鎖修飾ゲート表面上の AFM 像を測定したところ、HA 添加後にラフネスの増加が確認された一方、HSA 添加後にラフネスの変化は確認されなかった。以上より、HA を特異的に検出可能である糖鎖固定化 FET の作製が可能であることが示された。

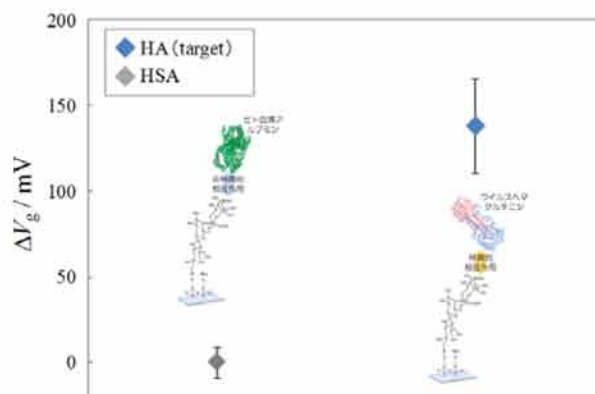


図1 糖鎖固定化 FET を用いたヘマグルチニンの検出

2.2. 抗原固定化 FET のアレルギーセンサへの応用

近年アレルギー性疾患が社会的に大きく取り上げられるようになり、各個人がどのアレルギーかを診断することが非常に重要である。従来のアレルギーの判定は IgE 検出によって行われているが、酵素免疫吸着法では、標識の必要があるため簡便性、迅速性に欠ける。一方、免疫クロマト法による検出キットは簡便かつ迅速に結果が得られるが、定量的な診断は困難である。これらの問題を解決する方法として、FET を用いた検出を試みた。本研究では、特異的 IgE 量を検出する抗原タンパク質固定化 FET の有用性を検討する目的で、抗原である卵白アルブミン (ovalbumin: OVA) 固定化 FET および抗 IgE 抗体固定化 FET の IgE 応答量を比較した。3-aminopropyltriethoxysilane を修飾した FET ゲート上に、グルタルアルデヒドを介しプローブを固定化した。各修飾およびターゲット反応後の FET 応答測定を行い、ゲート電圧シフトを評価した。その結果、抗 IgE 抗体固定化 FET は 10 ng/ml IgE に対して 39 mV 応答した一方で、OVA 固定化 FET は、10 ng/ml 抗 OVA-IgE に対して 112 mV 応答した。このことから分子量 45 kDa の OVA のプローブは、分子量 100 kDa 以上の抗 IgE 抗体に比べて、FET 検出限界距離 (デバイ長) に入るターゲット由来の電荷数が多くなり、また表面修飾密度も高くなり、得られる応答量が大きくなったと考えられる。以上より、抗原タンパク質固定化 FET のアレルギーセンサとしての有用性が示された。

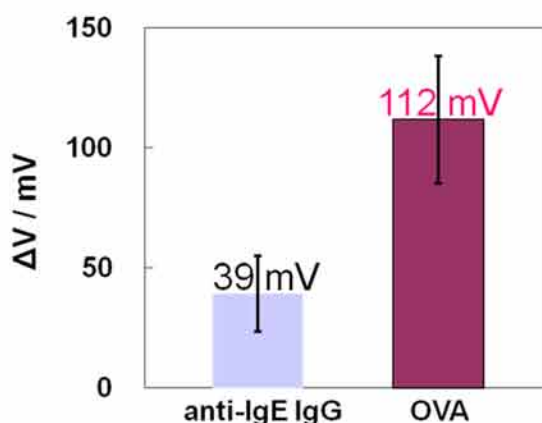


図2 抗 IgE 抗体固定化 FET と OVA 固定化 FET の応答量の比較

3. 研究業績

3.1. 学術論文

Daisuke Yamamoto, Sho Hideshima, Shigeki Kuroiwa, Takuya Nakanishi, Tetsuya Osaka, Detection of Matrix Metalloproteinase-2 by Field Effect Transistor with a Fibronectin-immobilized Gate, *Chemistry Letters*, **42**(8), 825-827, 2012

3.2. 総説・著書

3.3. 招待講演

秀島他、「災害時に有用なデバイス機器開発」、早稲田大学重点領域研究機構東日本大震災復興研究拠点・先進環境医工科学研究所公開シンポジウム 「不安と恐怖への適切な対応で未来を拓こう」 (2012年12月)

3.4. 受賞・表彰

3.5. 学会および社会的活動

Sho Hideshima *et al.*, Protein Determination Using Filed Effect Transistor Biosensor toward Practical Applications, The 5th International Workshop on Advanced Electrochemical Power Sources (WAEPS-5), P31 (November, 2012)

Sho Hideshima *et al.*, Carbohydrate Immobilization on the Surface of Field Effect Transistor Biosensor for Detection of Virus-related Protein, PRiME2012, Honolulu, Hawaii (October, 2012)

Sho Hideshima *et al.*, Importance of Small Receptor on Allergy Detection Using Field Effect Transistor Biosensor, Prague, Czech (August, 2012)

Sho Hideshima *et al.*, Detection of Matrix Metalloproteinase-2 with the Degradation of Fibronectin Immobilized on the Gate of Field Effect Transistor, Biosensors 2012, Cancun, Mexico (May, 2012)

4. 研究活動の課題と展望

現在までに、様々な診断分野への応用に向けて、実験室レベルでのチップ性能の評価が着実に進められてきた。今後、臨床現場での測定に準ずる環境での測定を行い、当チップの予防医療のための初期診断装置としての可能性を示す。また、時代に求められる測定対象を絶えず調査し、その時代に合ったバイオセンシングを追求していく。

過酷な地震動に対する中高層木造建築物の耐震安全性の向上に関する研究

研究代表者 宮津 裕次
(理工学研究所・次席研究員)

1. 研究課題

地球環境の保護が世界的な問題として掲げられている中で、2010年に日本では森林保全を主な目的とし、建築物に積極的に木材を利用することを促進する法律を定めた。これにより、これまでほとんど建てられてこなかった中高層木質ラーメン構造の建築物が増加することが予想される。一方で、2011年の東北地方太平洋沖地震を初め、近年では設計時の想定を大きく上回る規模の地震動が度々観測されており、今後建てられる建築物にはこれらの極大地震動に対しても安全であることが要求される。本研究では、研究代表者がこれまでに取り組んできた研究を中高層木造建築物に拡張するとともに、極めて規模の大きな地震動の入力に対しても安全な構造システムを開発することを目的とする。

2. 主な研究成果

2. 1 オイルダンパによる地震応答低減効果の解析的検討

木質ラーメン構造の柱梁接合部には様々な仕様が提案されているが、一般的に復元力特性は強いスリップ性状を示しエネルギー吸収性能は低い。本研究では、エネルギー吸収装置としてオイルダンパを設置することを提案し、ダンパによる地震応答低減効果を解析・実験により検証した。はじめに、4階建ての木質ラーメン構造を対象に、①リリース機構付のオイルダンパを設置する場合と、②建物の剛性耐力を増加させる場合について時刻歴応答解析を行い、両者の地震応答性状を比較検討した。また、オイルダンパを設置する場合に十分な減衰性能を得るために必要な取り付け部材の剛性についても検討し、仕口に方杖状にダンパを設置することの妥当性を示す。

主構造は各階面積が 60m^2 で各階の質量が 12t の総4階建て木質ラーメン構造とし、解析モデルは図1に示す4質点せん断モデルとした。各層耐力の高さ方向の分布は表1に示す2種類とした。Aiモデルは、 $1/120\text{rad}$ 変形時の耐力が $C_0=0.2, T=0.4\text{s}$ としたAi分布から求まる層せん断力に等しく、一様モデルは全層の耐力が同じで、かつ弾性1次固有周期がAiモデルと等しい。主構造の減衰は、瞬間剛性比例型の5%とした。各層の復元力特性には拡張NCLモデルを用いた。図2には、Aiモデルの1層の荷重変形履歴を示す。ダンパは、図3に示すように各層に設置した。

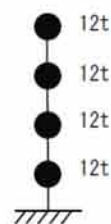


図1 解析モデル

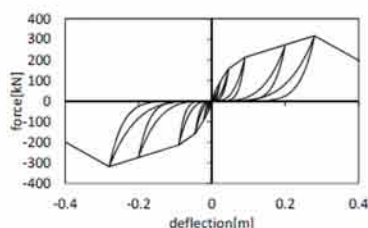


図2 主構造の荷重変形履歴

表1 主構造の各層の耐力

層	Aiモデル 1/120radでの 耐力[kN]	一様モデル 1/120radでの 耐力[kN]
4	38.5	76.3
3	62.7	76.3
2	80.9	76.3
1	94.1	76.3

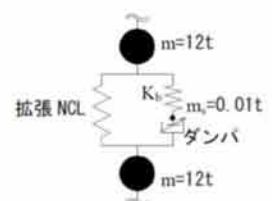


図3 ダンパの力学モデル

Aiモデルについて、ダンパを設置した場合と、ダンパは設置せずに剛性耐力を1.5倍,2倍にした場合の各層の最大層間変形と最大応答加速度を、図4,5にそれぞれ示す。なおここでは、ダンパの取り付け部材の剛性 K_b は無限大としている。図6,7には一様モデルについて同様に示す。ダンパを設置した場合には、減衰定数 h の増加に伴い層間変形と応答加速度が一様に低減するが、剛性耐力の増加では変形の低減効果は不規則であり加速度は増加することから、オイルダンパは地震応答の低減に極めて有効であることがわかった。

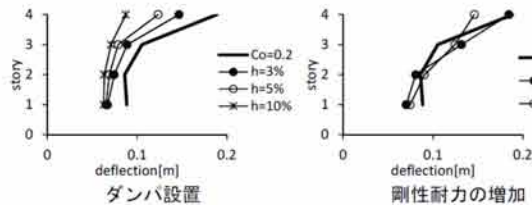


図4 各層の最大層間変形の比較 (Aiモデル)

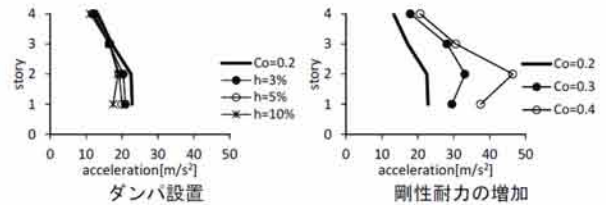


図5 各層の最大応答加速度の比較 (Aiモデル)

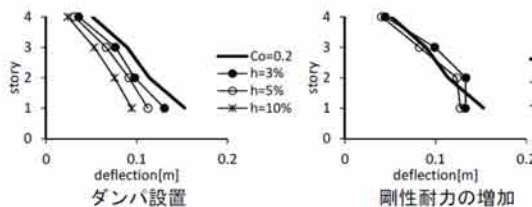


図6 各層の最大層間変形の比較 (一様モデル)

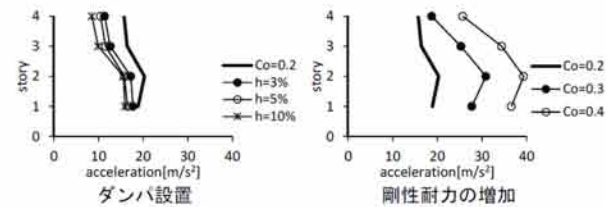


図7 各層の最大応答加速度の比較 (一様モデル)

図8は、主構造の $1/120\text{rad}$ での割線剛性に対するダンパの取り付け部材の剛性 K_b の比を α として、最大応答変形について $\alpha=0, 0.2, 0.5, 1, 3$ の場合の応答の $\alpha=\infty$ の応答に対する比と α との関係を示す。Aiモデルと一様モデルで若干の差はあるものの、 $\alpha=0.5\sim 1$ 程度であれば $h=10\%$ の減衰を付加する場合にも想定通りの応答低減効果が得られる。具体的には、図9,10に示すようにダンパを設置することで十分な効果を期待できることが分かった。

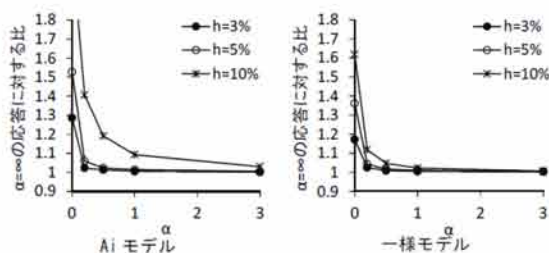
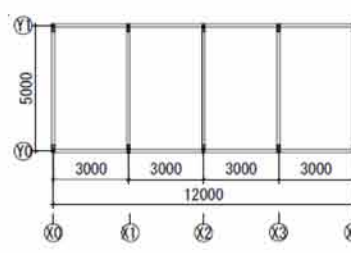
図8 α と最大応答変形の関係

図9 建物モデル平面図(単位:mm)

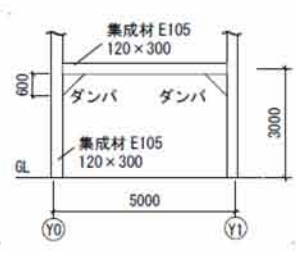


図10 X0~X4 通り軸組図

2. 2 圧効きオイルダンパを用いた制振架構の提案

図10に示した制振架構を具体的には図11に示すように構成した。ダンパには、研究代表者らが戸建て木造住宅用に開発した圧効きオイルダンパを用い、ダンパの抵抗力による架構の水平抵抗力を増大させるために補助材を設置している。なお、ダンパが圧縮時のみ抵抗力を発揮する圧効きの性能を有するため、柱梁材と補助材の接合部はメタルプレートコネクタにより簡易に接合できる。

提案した木質ラーメン制振架構の力学性能を検証するため、実大

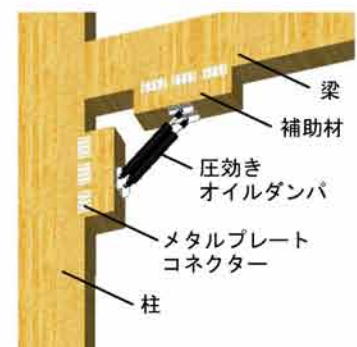


図11 ダンパの設置方法

の制振架構試験体の動的強制载荷実験を実施した。試験体は、反曲点が柱材、梁材とも中心にあると仮定して反曲点で切り出した柱梁 T 型接合部とし、集成材には柱・梁ともに $120 \times 270\text{mm}$ の RW 構造用集成材を用いた（写真 1）。試験装置には、早稲田大学喜久井町キャンパスにある 1000kN 級動的アクチュエータを使用した。図 11、図 12 には、ダンパを設置しない試験体とダンパを設置した試験体の荷重変形関係を示す。ダンパを設置することにより、履歴面積が大幅に増大し架構のエネルギー吸収能力が向上していることを確認できる。

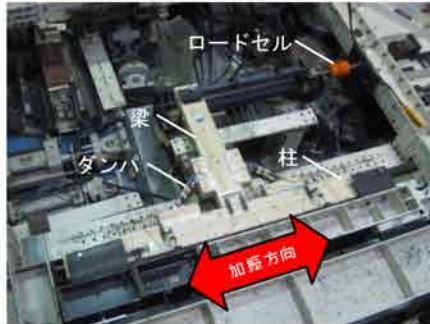


写真 1 実験の状況

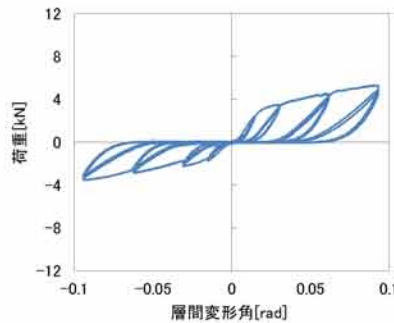


図 11 ダンパなし

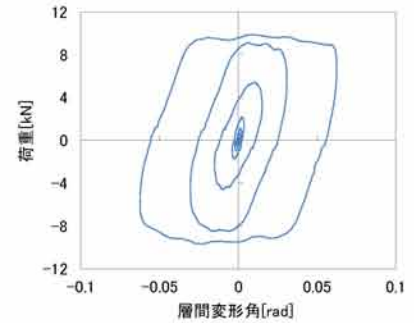


図 12 ダンパ設置

2.1 の図 1、表 1 に示した建物モデルに、本構法により 3, 5, 10% の減衰定数を付加するのに各層に必要な圧効きオイルダンパの組数（1 組=2 基）を算定した結果を表 2 に示す。必要組数が多いケースもあるが、仕口部からダンパ端部までの距離を長くすることなどで容易に対応可能である。

表 2 付加する減衰定数に対するダンパの必要組数

層	h=3[%]		h=5[%]		h=10[%]	
	Aiモデル	一様モデル	Aiモデル	一様モデル	Aiモデル	一様モデル
4	3	6	5	10	10	19
3	5	6	8	10	16	19
2	7	6	11	10	21	19
1	8	6	12	10	24	19

3. 研究業績

- ・宮津裕次，曾田五月也，津畑慎哉：オイルダンパによる木質ラーメン構造の高減衰化に関する研究 その 1 オイルダンパによる地震応答低減効果の解析的検討，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊，pp.227-228，2012 年 9 月
- ・津畑慎哉，宮津裕次，曾田五月也，：オイルダンパによる木質ラーメン構造の高減衰化に関する研究 （その 2） 圧効きオイルダンパを用いた制振架構の強制载荷実験，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊，pp.229-230，2012 年 9 月
- ・内田郁子，曾田五月也，宮津裕次：高靱性 H 形鋼仕口を有する木質ラーメン構造の開発，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊，pp.521-522，2012 年 9 月

4. 研究活動の課題と展望

本研究では、初めに時刻歴応答解析により、木質ラーメン構造にオイルダンパを設置することで、剛性耐力を増加させる場合と比較して変位応答および加速度応答を低減できることを示した。また、木質ラーメン構造のエネルギー吸収能力を向上させる手段として仕口部に圧効きオイルダンパを設置する構法を提案し実大実験によりその有効性を明らかにした。なお、今回はダンパとして戸建て住宅用に開発したオイルダンパを用いたが、より容量の大きいダンパを開発することで必要ダンパ基数を低減でき設計の自由度も高くなる。今後は実用化に向けて設計法も含めて整理する。

特異性のある楕円型微分作用素の高精度な固有値評価について

研究代表者 劉 雪峰
(理工学術院・理工総合研究所・助教)

1. 研究課題

本研究の目的は、非線偏微分方程式の解の検証に現れる楕円型偏微分作用素について、高精度な精度保証付き固有値評価方法を開発することである。特に、領域が非凸の場合、対象とする固有値問題の固有関数に特異性が起こり、対応する固有値の評価は難しい。そのため、特異性に対応できる方法の開発はこの研究のメインのテーマである。

2. 主な研究成果

現在、有限要素法を用いて固有値の評価が出来るが、誤差が大きいという問題が残っている。また、対象となる微分方程式の領域が非凸な領域であれば、非凸なコーナーの近くでは解の正則性がなくなるため、計算的な誤差評価は極めて困難である。これによって、非線形偏微分方程式の解の検証する際、誤差を過剰評価することになり、解の検証が失敗する場合がある。

高精度な固有値の評価をするために、本研究には有限要素法の粗い固有値評価とLehmann-Goerischの定理を組み合わせ、高精度な固有値評価の手法を提案した（図1に示す）。

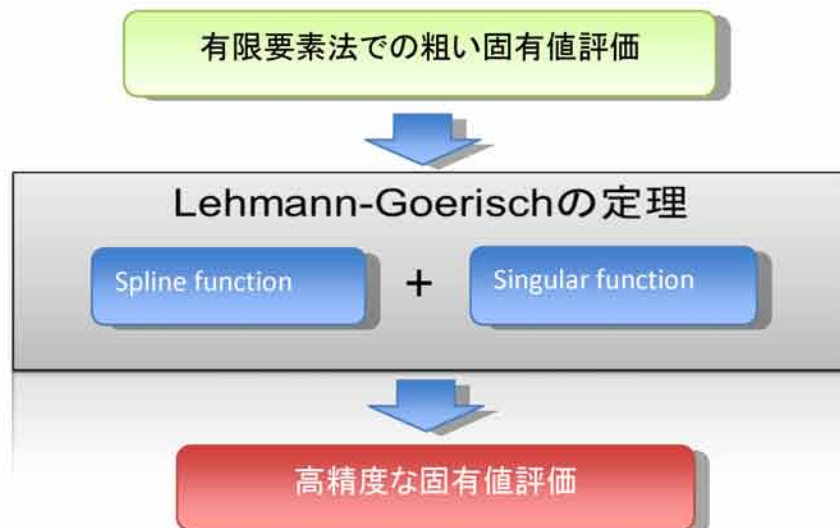


図1. 提案手法のフレームワーク

提案手法の詳細と特徴について、以下のようにまとめる。

1) Lehmann-Goerischの定理を応用する際、基底関数の定義が大切である。汎用性の高いアルゴリズムを作るために、三角メッシュの上に定義されたBernstein 多項式を使用した。高次多項式は高い近似能力を持っているので、固有値の高精度な評価が出来る。本研究には、この手法を利用して、三角形に定義される補間関数の誤差定数の評価を行った。本来の単純な有限要素法によって得られた定数の評価と比べて、精度は10000倍以上改善できた。該当研究の結果をまとめて、論文をJapan Journal of Industrial and Applied Mathematicsに投稿した。

2) 非凸なコーナーに現れる特異性に応じて、その特異性を表現できる基底関数と高次Bernstein多項式を組み合わせて、高精度な固有値の評価が可能になった。本来は難しい特異関数の数値積分の誤差評価について、特別な基底関数を導入し、厳密な積分を計算できるようにした。この方法をモデル問題であるL-shape領域でのラプラス作用素の固有値評価に応用して、厳密かつ高精度な固有値評価を得られた。この方法を使って、他の一般的な領域での固有値問題が解けると思われる。

3. 研究業績

3.1 学術論文

A. Takayasu, X. Liu, S. Oishi, Verified computations to semi-linear elliptic boundary value problems on arbitrary polygonal domains, NOLTA, IEICE, Vol.E96-N, No.1, pp.34-61, Jan. 2013.

Xuefeng Liu and Shin'ichi Oishi, Verified eigenvalue evaluation for Laplacian over polygonal domain of arbitrary shape, submitted to SIAM on Numerical Analysis (Accepted subject to minor revision)

Xuefeng Liu and Shin'ichi Oishi, Guaranteed high precision estimation for the P_0 interpolation constant on triangular finite element, submitted to JJSIAM.

Xuefeng Liu and Shin'ichi Oishi, High precision eigenvalue bound for the Laplacian with singularity, submitted to the Proceeding of the 10th Asian Symposium on Computer.

K. Tanaka, A. Takayasu, X. Liu and S. Oishi, Verified norm estimation for the inverse of linear elliptic operators using eigenvalue evaluation, submitted to JJSIAM

3.2 招待講演

Verified error estimation for finite element method and computer-assisted mathematical proof, Academy of Mathematics & System Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, August, 2012

3.3 受賞・表彰

Scilab Toolbox Contest 最優秀賞「一般カテゴリ」、2012年10月29日

3.4 学会および社会的活動

Co-organizer of mini-symposium “On The Latest Progress In Verified Computation” of The 10th Asian Symposium on Computer Mathematics, Beijing, China, October, 2012

4. 研究活動の課題と展望

微分作用素の固有値評価は非線形微分方程式の解の検証に密接しているので、次年度は固有値の高精度な評価を利用して、精度の高い非線形微分方程式の解の検証方法を開発するよう予定である。

助教研究

CALET の開発に立脚した超強磁場中性子星の高エネルギー現象の解明

研究代表者 中川 友進
(理工学研究所 助教)

1. 研究課題

観測的・理論的な研究から、我々の宇宙には $\sim 10^{14}$ G の超強磁場中性子星である「マグネター」が提案されている。このような超強磁場では量子電磁気学の非摂動論を考慮する必要があり、光子分割などの効果が期待できる。また高エネルギー宇宙線の加速源としても有望である。

X 線で輝くマグネターは現象論的に明確に定義されており、軟ガンマ線リピータ (Soft Gamma Repeater; SGR)、異常な X 線パルサー (Anomalous X-ray Pulsar; AXP) が知られている。これらは X 線定常放射 (光度は $\sim 10^{34}$ erg s $^{-1}$) を示し、その一部は典型的に ~ 100 ms の間に強烈に X 線を放射するバースト ($\sim 10^{38}$ erg s $^{-1}$) を繰り返しランダムに起こす。

理論的に臨界磁場を超える $> 4.4 \times 10^{13}$ G の環境では対生成よりも光子分割が卓越するため (Kohri & Yamada 2002)、 < 1 MeV にエネルギーのカットオフが見られると期待されている。そのため、数百 keV $\sim$ 数 MeV のエネルギー帯域でのバーストの観測が重要である。これには 2014 年に打ち上げ予定の CALET に搭載の GBM (7 keV $\sim$ 20 MeV) と TASC&IMC (20 MeV $\sim$ 10 TeV) が威力を発揮する。

本研究では、HETE-2 衛星や「すざく」衛星を用いた、X 線定常放射とバーストの観測・解析を進める。2014 年度に ISS に搭載予定である CALET の搭載検出器の較正実験およびモンテカルロシミュレーションを行うと共に、それらを円滑に行うためのデータ解析センターの設置・整備を行う。

2. 主な研究成果

アメリカの *Swift* 衛星の観測チームにより、AXP 4U 0142+614 が 2011 年 7 月 29 日にバースト活動を示し、少なくとも 10 個以上のバーストを起こした事が報告された。私は *Swift* 衛星の観測チームと協力して定常放射のモニタリングを行い、1 ヶ月以上に渡って 20–30% ほど明るい状態が続いている事が明らかにした。しかし、過去 10 年間において $\pm 10\%$ ほどの変動しか報告されていない (Gonzalez et al. 2010)。そこで私は AXP 4U 0142+614 が稀な活動期を示していると判断して、「すざく」衛星の A0-6 で受理されていた緊急観測枠を用いて 2011 年 9 月 7 日に観測を実施した。観測モードは、XIS0 検出器および XIS1 検出器は Normal モード、タイミング解析を行うため XIS3 検出器は 1/4 Wi-

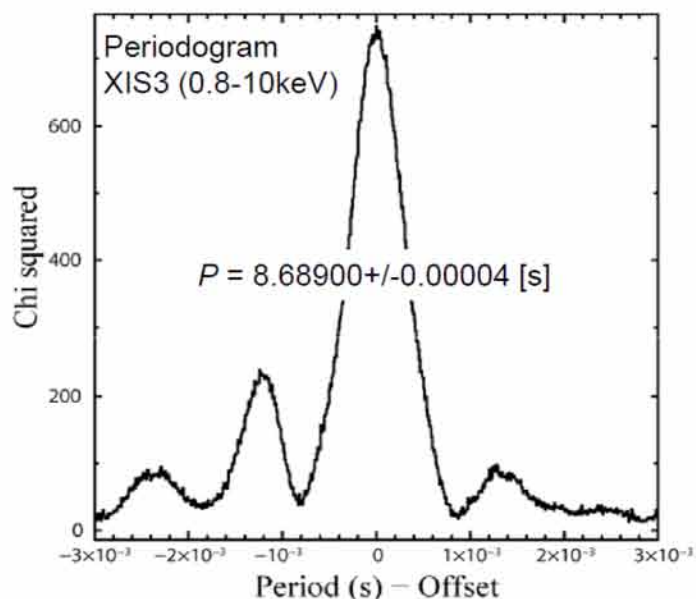


図 1. 「すざく」衛星の XIS3 検出器を用いたピリオドグラム。

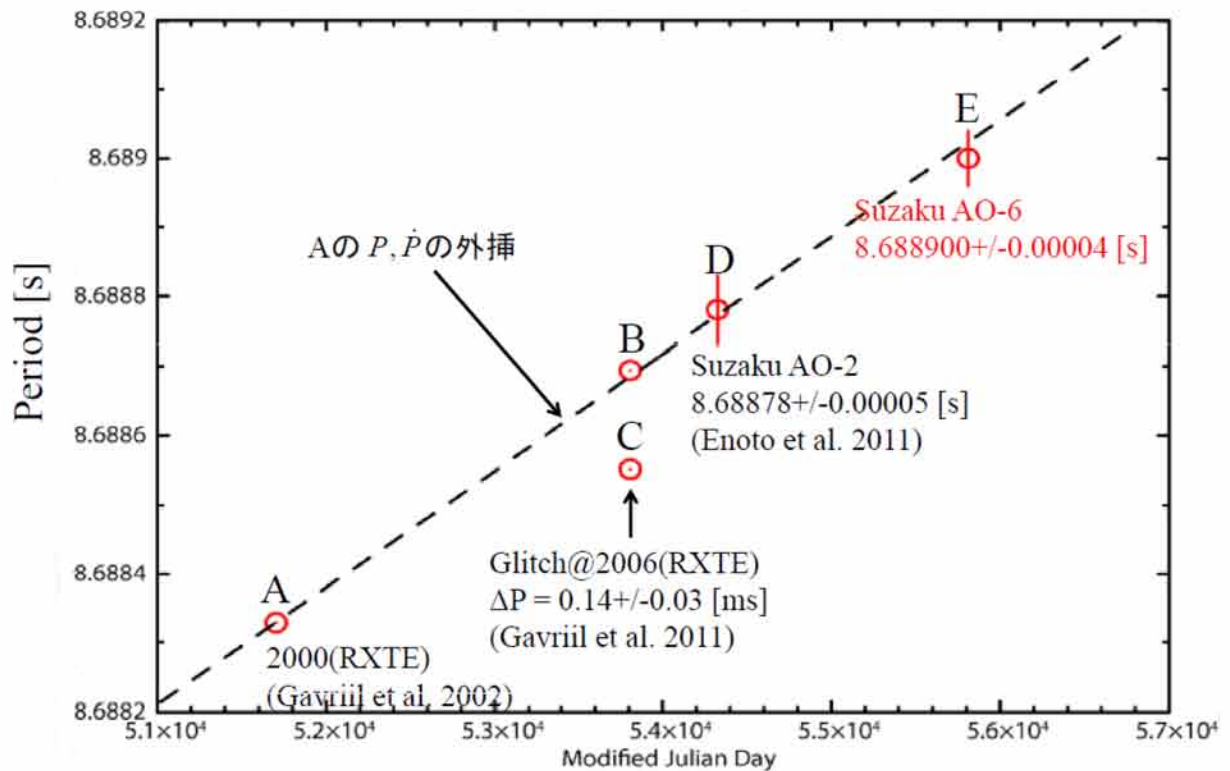


図 2. 「すざく」衛星の XIS3 検出器による回転周期と、過去の観測結果との比較。

ndowモードとした。またXISノミナルポジションとした。観測期間は2012年9月7日15時44分36秒から2012年9月8日13時46分21秒であり、正味の観測時間はXIS検出器で～41 ks、HXD検出器で～42 ksであった。観測中に明らかなバーストは見られなかった。

本観測データを用いたエネルギースペクトルの解析は2011年度に行い、「理工学研究ホームページ年次報告」に記載した。2012年度は「すざく」衛星のXIS3検出器を用いて、タイミング解析を行った。その結果、回転周期は 8.68900 ± 0.00004 s となった(図1)。この回転周期は「すざく」衛星のAO-2で観測したAXP 4U 0142+614 (Enoto et al. 2011)と同様に、2000年のRXTE衛星の観測(Gavriil et al. 2000)から外挿した値と誤差の範囲で一致する(図2)。この回転周期を用いて、XIS3検出器(0.4-4keV、4-10keV)およびHXD/PIN検出器(12-40keV)の光度曲線を畳み込んだとこ

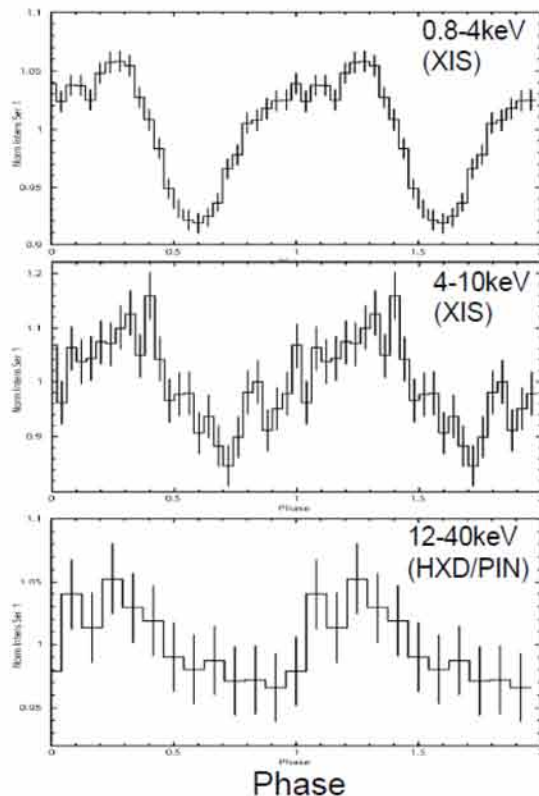


図 3. 「すざく」衛星の XIS3 検出器(上段/0.8-4keV、中段/4-10keV)、HXD/PIN 検出器(下段/12-40keV)を用いたパルスプロファイル。

る、どのエネルギー帯域でもパルスが検出された(図3)。

2011年度に立ち上げた、CALET の較正実験のデータ解析、モンテカルロシミュレーションおよびそのデータ解析を円滑に行う事を目的とした、データ解析センターを活用して、EPICSによるモンテカルロシミュレーションおよびそのデータ解析を行った。また、実際の観測時のテレメトリデータを模擬した疑似データを生成するソフトウェアを開発した。この疑似データを用いて運用において重要となるリアルタイム健康診断システムの開発を行った。

3. 研究業績

3.1 学術論文

Y. E. Nakagawa, K. Makishima, T. Enoto, T. Sakamoto, T. Mihara, M. Sugizaki, K. Yamaoka, K. Hurley, A. Yoshida, P. Gandhi, M. Tashiro, M. Morii, Wide-Band Spectra of Magnetar Burst and Persistent Emission, *Memorie della Società Astronomica Italiana*, 掲載予定

M. Sugizaki, K. Yamaoka, M. Matsuoka, J. A. Kennea, T. Mihara, K. Hiroi, M. Ishikawa, N. Isobe, N. Kawai, M. Kimura, H. Kitayama, M. Kohama, T. Matsumura, M. Morii, Y. E. Nakagawa, S. Nakahira, M. Nakajima, H. Negoro, M. Serino, M. Shidatsu, T. Sootome, K. Sugimori, F. Suwa, T. Toizumi, H. Tomida, Y. Tsuboi, H. Tsunemi, Y. Ueda, S. Ueno, R. Usui, T. Yamamoto, M. Yamauchi, K. Yamazaki, A. Yoshida, Spectral Evolution of a New X-ray Transient MAXI J0556-332 Observed by MAXI, Swift, and RXTE, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 65, 掲載予定

T. Enoto, Y. E. Nakagawa, T. Sakamoto, K. Makishima, Spectral comparison of weak short bursts to the persistent X-rays from the magnetar 1E 1547.0-5408 in its 2009 outburst, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427, pp.2824-2840 (2012)

3.2 講演

“「すざく」による活動期のAXP 4U 0142+614のX線観測”, 日本天文学会2013年春季年会, 埼玉県, 2013年3月

“Software Development for CALET and X-ray Observations of Magnetars with Suzaku”, 卓越した大学院拠点形成支援事業 スタートアップ・シンポジウム, 東京都, 2013年3月

“Wide-Band Spectra of Magnetar Burst and Persistent Emission”, X-ray Astronomy: towards the next 50 years!, Milano, Italy, October 2012

“「すざく」衛星による活動期のAXP 4U 0142+614の観測的研究”, 日本天文学会2013年秋季年会, 大分県, 2012年9月

4. 研究活動の課題と展望

「すざく」衛星によるAO-6のAXP 4U 0142+614の観測の前後においてSwift衛星の観測データがあるので、タイミング解析を行い、周期変化を調べる。この結果、および2011年度のエネルギースペクトル解析、2012年度のタイミング解析の結果を投稿論文にまとめる。

CALETの運用に用いるリアルタイム健康診断システムはまだ開発を始めた段階であり、今後はHouse Keepingデータやイベントデータなど全てのデータをグラフィカルおよびテキストで表示するシステムの開発を進める予定である。

助手研究

新規可逆的脱炭酸酵素の探索

研究者 広川 安孝
(理工学術院 助手)

1. 研究課題

化石燃料の消費などに伴う二酸化炭素の排出は、地球温暖化問題の観点などから世界レベルで解決が望まれ、排出量削減に向けた規制が敷かれるようになっている。排出量の削減は勿論だが、排出された二酸化炭素の処理方法の開発も重要な課題と考えられ、海中や地中深くに保存するなどの方法も考えられてはいるが、本研究では炭酸固定酵素に注目し、バイオプロセスによる二酸化炭素の処理方法について検討することとした。廃棄物として挙げられる二酸化炭素を有用な炭素供給源として有用物質への変換が可能となれば、廃棄物処理・有用物質生産の両方を達成できる手段となるものと考えた。地球上で最も規模の大きい炭酸固定システムは光合成であると言えるが、そこで機能している酵素（ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxidase, RubisCO）を物質生産系へと応用するのは困難である。そこで、酵素の可逆性を利用したスクリーニング系を用い、目的とする酵素の取得を試みることにした。炭酸固定反応は脱炭酸の逆反応と考えることが出来、これまでに様々な芳香族カルボン酸類の分解菌から炭酸固定酵素が見い出されている。分解経路の中に脱炭酸反応を有している微生物を取得し、その逆反応を利用して炭酸固定を行うというものである。実際に、フェノールの *o* 位にカルボキシル基の付いた化合物であるサリチル酸の分解微生物から、フェノールへの炭酸固定酵素が報告されるなど、他にも様々な微生物種から様々な基質への炭酸固定が可能な酵素が見い出されてきている。

そこで、本研究ではこれまでに報告のあった酵素とは異なる性質（特に異なる基質特異性）を有する酵素を探索すべく、dihydroxy-methylbenzoic acid（異性体 3 種）、cyanobenzoic acid（図 1）を用いたスクリーニング系を構築し、微生物・酵素の探索を行った。

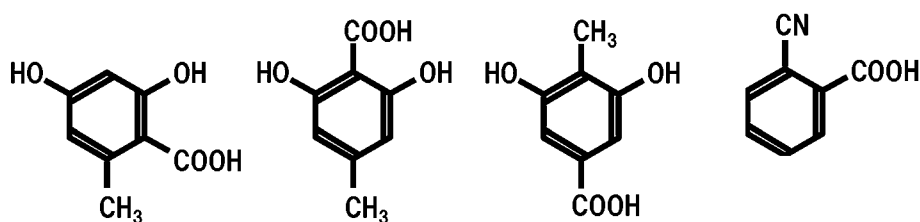


図1 スクリーニング基質

左から、2,4-dihydroxy-6-methylbenzoic acid、2,6-dihydroxy-4-methylbenzoic acid、3,5-dihydroxy-4-methylbenzoic acid、2-cyanobenzoic acid

2. 主な研究成果

本研究では、上に挙げた4化合物を唯一の炭素源とした最小培地を作製し、様々な場所から採取した土壌サンプルを液体培地、寒天培地において生育可能な微生物を選抜した。現在もスクリーニング継続中の化合物もあるが、本年度は2,4-dihydroxy-6-methylbenzoic acid (以下、2,4-diOH-6-CH₃BAと略)を基質として得られた微生物について報告する。

2,4-diOH-6-CH₃BAを基質としたスクリーニングにおいて、一般的な形状のコロニーを形成する微生物が6種と、コロニーの形状から放線菌、糸状菌と判断されるものがそれぞれ4、2種ずつ得られた。全ての微生物種について脱炭酸活性(2,4-diOH-6-CH₃BAから5-methylresorcinolを生じる)を確認し、休止菌体反応系での脱炭酸活性の強さからKo8-2と命名した1種を選抜した。本微生物種は逆反応による炭酸固定活性(5-methylresorcinolから2,4-diOH-6-CH₃BAを生じる)も確認された。16S rDNAの部分配列解析から、本菌株は*Arthrobacter*属であることが示唆された。過去の論文において*A. nicotianae*からindoleに対する炭酸固定酵素も報告され、またKo8-2株以外にも本スクリーニングで得られた微生物に*Arthrobacter*属と推定されるものが含まれていたことから、保存機関にある別の*Arthrobacter*属について調べることで類似の活性を示すものが得られる可能性が考えられた。

Ko8-2株の生育特性、酵素の誘導性を調べるために様々な培養条件で実験を行った。Ko8-2株は2,4-diOH-6-CH₃BAの2つの異性体に対しては資化性を示さず、またメチル基を含まない3種のレゾルシン酸についても同様であった(表1)。培地の炭素源をGlucoseとした場合でも生育は見られたが、その場合において脱炭酸活性は検出されず、本活性が2,4-diOH-6-CH₃BAの添加により誘導されていることが明らかとなった。資化性について検討した他の5化合物では活性は誘導されず、Ko8-2株は厳密に本化合物を認識していることが示唆された(表1)。

また、Glucoseの添加は脱炭酸反応を抑制しないものの、5-methylresorcinol以降の代謝を抑制するという結果も得られ、脱炭酸酵素とそれ以降の代謝に関わる酵素群が異なる転写制御下にあることが推測された。

Ko8-2株から無細胞抽出液を調製し、脱炭酸活性・炭酸固定活性の両方を検出した。炭酸固定反応ではスクリーニング系に用いた化合物である5-methylresorcinol以外にも、resorcinolやその水酸基置換体である3-methoxyphenolに対しても固定活性が検出された。3-methoxyphenolへの炭酸固定産物となる4-methoxysalicylic acidは美白効果を示すとして化粧品に配合されており、本スクリーニングで得た炭酸固定活性(酵素)を利用して有用物質を生産することの出来る可能性が示唆された。炭酸固定活性における広範な基質認識性は物質生産系において有用な性質であると言え、他の構造類似体についても順次調査していく予定である。

表1 Ko8-2の資化性、酵素活性の誘導性

Compound	Assimilability	Activity
2,4-dihydroxy-6-methylbenzoic acid (2,4-diOH-6-CH ₃ BA)	+	+
3,5-dihydroxy-4-methylbenzoic acid (3,5-diOH-4-CH ₃ BA)	-	-
2,6-dihydroxy-4-methylbenzoic acid (2,6-diOH-4-CH ₃ BA)	-	-
3,5-dihydroxybenzoic acid (α -RA)	-	-
2,4-dihydroxybenzoic acid (β -RA)	-	-
2,6-dihydroxybenzoic acid (γ -RA)	-	-
none (DMSO)	-	-

3. 研究業績

特になし。

本報告書の内容を基に学術論文の作成中であり、継続中の実験結果と合わせ 2013 年度内に投稿予定である。

4. 研究活動の課題と展望

本スクリーニングにおいて、目的とする炭酸固定酵素（活性）の取得し、有用物質生産への利用が期待させる結果を得るに至ったが、実際に生産系として構築するには酵素の絶対量を確保することが必須である。現在は取得菌株の性質や、酵素活性についての検討までしか行えておらず、今後は Ko8-2 株からの目的酵素の精製およびクローニングを行い、大腸菌などでの大量発現系の構築が必要になるものと思われる。また、いずれの化合物を生産ターゲットに考えた場合でも、炭酸固定の反応系には高濃度の炭酸の存在が必要となる。これまでの論文においては精製酵素（もしくは酵素を大量発現させた大腸菌）と基質を高濃度の KHCO_3 などの存在下で反応させるという系が主であるが、大量生産を考えた際に反応場のスケールアップが困難であると言える。冒頭で触れた光合成がどのように行われているかを考えてみると、シアノバクテリアはその細胞内にカルボキシソームと呼ばれる炭酸濃縮装置を有しており、そこで炭酸固定を行っている。例えば、大腸菌などにカルボキシソームに相当するものを構築させる、シアノバクテリアのカルボキシソーム内に炭酸固定酵素を局在させるなどの手法が確立されれば、これまでと違った形での炭酸固定酵素の利用方法となるのではないかと考えている。

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

近年、高等教育における e-learning の重要性は各方面から指摘されており、教育工学、情報信技術(ICT)といった従来の分野を融合した形の新たな発展が模索され、期待もされている。本研究課題では、下記の A から E までの 5 つの部会から構成されるプロジェクト研究の形式により、e-learning に関わる萌芽的な研究テーマを扱った。

- 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」
- 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会開発」

2. 主な研究成果

2.1 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

本研究では、クラウドコンピューティングの実装の中でも仮想化デスクトップに着目し、その e-learning への活用の可能性について研究を行った。仮想化デスクトップを活用することの利点は、学習者の扱うブラウザ、ワープロ、演習ツールなどのソフトウェアが一か所に集約されることであり、これによって学習者は様々なデバイスを使って様々な場所から e-learning による学習が可能になる。また、短所は、様々なデバイスから仮想化デスクトップの格納されているクラウドコンピューティング環境へのネットワーク通信が必須なため、学習者のユーザビリティとネットワーク通信品質との間でトレードオフが存在すると考えられることである。本研究ではこの点を明らかにするため、実際にクラウドコンピューティング環境下で仮想化デスクトップを構築し、被験者による評価実験を行った。その結果、テキストデータ主体の教材による学習、多肢選択によるテスト受験、ワープロソフトによるレポート作成などは、ネットワークの帯域が約 300Kbps 以下の低帯域でも実用に耐えうることが確認された。しかし、仮想化デスクトップ上でのストリーミング動画による教材を用いた学習については、ネットワークの帯域を莫大に消費することが主な原因となり、実用的には厳しい評価となった。また、ネットワーク通信の品質を人工的にシミュレートした環境下での評価実験により、実用に耐えうる学習操作の中でもキーボードやマウスを用いる比重の高いものについては、帯域ではなく、むしろ遅延の影響を受けやすいことも明らかとなった。

2.2 クラウド時代の協働学習ツールとそのユーザビリティ

学習者がネットワーク上に分散している環境下の協働学習においては、共同作業空間、コミュニケーション機能、知識や学習成果物などの情報共有環境が必要となる。また、指導者側には学習者が使用している機能やその状況を管理・分析する機能が必要となる。このような環境は、Learning Management System(LMS)としてすでに実装されている。そこで本研究では、クラウドコンピュ

ーディング技術を想定したもとの、いくつかの協働作業とユーザビリティの評価実験を行ったところ、クラウド環境においてはさらなる効率化が見込めることが明らかとなった。

2.3 英語教育とeラーニング

英語教育に関して、現在、世界人口の約4分の1が英語を使用しているが、2050年にはその割合は約半分にまで増加すると見込まれている。そのような環境下でICTを活用した英語の高等教育の重要性はますます高まるものと思われる。そのような状況を考慮し、主に学習者のすきま時間（日常生活中で比較的短い学習に充てることが可能な、おおよそ1時間程度の時間）の活用を想定したうえで、モバイル端末を想定したeラーニング教材（主にReading学習用教材）に着目して、試験的に教材を作成し実験を行ったところ、一定の効果を確認することができた。

2.4 モバイルラーニングと協働人材育成

モバイル端末やソーシャルメディアが生活のすみずみに広がることで、現在の学習環境についての見直しが進められつつある。今後はソーシャルメディアネイティブ世代が出現するとともに、次世代の学びを創出できる人材の育成が求められている。このような目的を達成するため、組織づくりや人材育成制度、あるいは国際的な課題と国内の課題の両方について多面的に検討することにより、一定の方向性が明らかとなった。

2.5 電子書籍に関する研究会開発

LMSが稼働している環境下では、主に学習者は、指導者とオンラインでやり取りをしながらeラーニングによる学習を進めるのが典型的な学習スタイルである。これとは別に、学習者が主にオフライン環境下でまとまった時間独習を行う、という学習スタイルも存在するものと思われる。本研究では、後者の学習スタイルに重要なもののひとつは電子書籍である、という認識のもとに、主に理工系分野（情報学の基礎分野や統計学の入門的分野）の電子書籍を試作し、専門とする教員や学生による評価を行った。その結果、紙書籍との特性の違いや、学習内容に応じてマルチメディア性をどのように取り入れるべきか、といった点についていくつかの仮説が得られた。

3. 共同研究者

（以下、五十音順）

石田崇（早稲田大学メディアネットワークセンター・助教）

梅澤克之（（株）日立製作所情報システム事業部・主任技師）

小泉大城（サイバー大学IT総合学部・専任講師）

小林学（湘南工科大学情報工学科・准教授）

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（早稲田大学オープン教育センター・助教）

斉藤友彦（青山学院大学理工学部・助教）

須子統太（早稲田大学メディアネットワークセンター・助教）

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・総合科学学術院・教授）

平澤茂一（早稲田大学理工学研究所・名誉研究員）

山根信二（青山学院大学ヒューマン・イノベーション研究センター・助教）

4. 研究業績

小泉大城, 梅澤克之, 近藤知子, 玉木欽也, 中澤真, 中野美知子, 平澤茂一, 「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」, 次世代 e-learning フォーラム (青山学院大学ヒューマン・イノベーション研究センター, 早稲田大学遠隔教育センター主催), 2012 年 7 月.

中澤真, 梅澤克之, 小泉大城, 近藤知子, 玉木欽也, 中澤真, 中野美知子, 平澤茂一, 「クラウド時代の協働学習ツールとそのユーザビリティ」, 次世代 e-learning フォーラム (青山学院大学ヒューマン・イノベーション研究センター, 早稲田大学遠隔教育センター主催), 2012 年 7 月.

中野美知子, 近藤悠介, 小泉大城, 斉藤友彦, 中澤真, 「英語教育と e ラーニング」, 次世代 e-learning フォーラム (青山学院大学ヒューマン・イノベーション研究センター, 早稲田大学遠隔教育センター主催), 2012 年 7 月.

山根信二, 玉木欽也, 「モバイルラーニングと協働人材育成」, 次世代 e-learning フォーラム (青山学院大学ヒューマン・イノベーション研究センター, 早稲田大学遠隔教育センター主催), 2012 年 7 月.

近藤悠介, 中野美知子, 「早稲田大学における英語教育用 e-learning : Tutorial English を例として」, 次世代 e-learning 公開フォーラム (早稲田大学遠隔教育センター, 青山学院大学ヒューマン・イノベーション研究センター主催, 早稲田大学 Digital Campus Consortium 共催), 2012 年 12 月.

中澤真, 小泉大城, 近藤悠介, 中野美知子, 平澤茂一, 「早稲田大学の異文化交流授業 CCDL における通信品質」, 次世代 e-learning 公開フォーラム (早稲田大学遠隔教育センター, 青山学院大学ヒューマン・イノベーション研究センター主催, 早稲田大学 Digital Campus Consortium 共催), 2012 年 12 月.

玉木欽也, 「産学連携によるソーシャルメディア系専門家育成プログラムの共同研究開発」, 次世代 e-learning 公開フォーラム (早稲田大学遠隔教育センター, 青山学院大学ヒューマン・イノベーション研究センター主催, 早稲田大学 Digital Campus Consortium 共催), 2012 年 12 月.

中野美知子, 小泉大城, 平澤茂一, 近藤悠介, 「異文化交流講座(Cross-Cultural Distance Learning: CCDL)の学習効果: 学習者の動機を高める授業になっているか?」, 情報処理学会全国大会講演論文集, pp.4-395-4-396, 2013 年 3 月.

中野美知子, 小泉大城, 平澤茂一, 近藤悠介, 「異文化交流講座(Cross-Cultural Distance Learning: CCDL)の学習効果: ソーシャルスキルは向上するのか?」, 情報処理学会全国大会講演論文集, pp.4-397-4-398, 2013 年 3 月.

小泉大城, 中澤真, 近藤悠介, 中野美知子, 平澤茂一, 「異文化交流講座(Cross-Cultural Distance Learning: CCDL)の音質・遅延・画像についての主観調査」, 情報処理学会全国大会講演論文集, pp.4-399-4-400, 2013 年 3 月.

中澤真, 小泉大城, 近藤悠介, 中野美知子, 平澤茂一, 「早稲田大学の異文化交流授業(CCDL)におけるネットワーク回線の通信品質とその影響について」, 情報処理学会全国大会講演論文集, pp.4-401-4-402, 2013 年 3 月.

近藤悠介, 中野美知子, 永間広宣, 黒田学, 神馬豊彦, 「タブレット端末、モバイル端末を利用した英語学習の試み (2012 年度前期)」, 情報処理学会全国大会講演論文集, pp.4-403-4-404, 2013 年 3 月.

小泉大城, 須子統太, 平澤茂一, 「大学教育のための電子教材の試作 ～ タブレット端末向け統計基礎教材 ～」, 情報処理学会全国大会講演論文集, pp.4-467-4-468, 2013 年 3 月.

梅澤克之, 小林学, 石田崇, 平澤茂一, 「大学教育のための電子教材の試作 ～ マルチメディア

コンテンツの活用 ～」, 情報処理学会全国大会講演論文集, pp.4-469-4-470, 2013 年 3 月.

梅澤克之, 小林学, 石田崇, 平澤茂一, 「大学教育のための電子教材の試作 ～ 情報数理教育向けインタラクティブコンテンツ ～」, 情報処理学会全国大会講演論文集, pp.4-471-4-472, 2013 年 3 月.

中澤真, 小泉大城, 平澤茂一, 「通信環境を考慮した e ラーニングコンテンツ内のマルチメディア品質設定について」, 情報処理学会全国大会講演論文集, pp.4-477-4-478, 2013 年 3 月.

5. まとめおよび今後の課題

本研究では, 主に大学生以上向けの高等教育における e-learning を念頭に, クラウドコンピューティング, 情報通信技術(ICT)といった分野を融合し, 「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」, 「クラウド時代の協働学習ツールとそのユーザビリティ」, 「英語教育と e ラーニング」, 「モバイルラーニングと協働人材育成」, 「電子書籍に関する研究会開発」の 5 つのテーマについて研究を行った. 多くのテーマにおいて, 学習者の学ぶ内容に応じて, 指導者側がいかにして ICT 技術を組み合わせて工夫された e ラーニング環境を構築し, 学習者に提示するかが重要であることが浮き彫りとなった. 今後はこうした研究テーマをさらに掘り下げ, その後にそれぞれの研究成果を再度集約させることで, 次世代の e ラーニングスタイルについての考察と提案を目指す予定である.