

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) 安心・安全な建築空間を実現する構造システムの研究 ～アルミニウム合金構造の耐火性付与に関する研究～	新谷 真人	5
3) 次世代放射線検出器開発と宇宙・医療への応用	片岡 淳	9
4) 理論核物理学研究	鷹野 正利	15
5) 宇宙放射線科学の実験的研究	長谷部 信行	19
6) 高エネルギー素粒子物理学実験研究	寄田 浩平	23
7) 加速器科学・放射線科学	鷲尾 方一	27

2. プロジェクト研究（【 】内は研究番号）

1) 【08P02】電気化学ナノテクノロジーの工学応用	逢坂 哲彌	31
2) 【08P04】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	鷲尾 方一	35
3) 【08P08】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	37
4) 【08P11】音声認識基盤技術	小林 哲則	41
5) 【08P12】知的空間制御の研究	小林 哲則	45
6) 【08P16】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活用	三輪 敬之	49
7) 【08P19】景観まちづくり研究	後藤 春彦	53
8) 【08P20】生活学の再構築に関する研究	後藤 春彦	57
9) 【08P21】エジプト世界遺産ギザ台地の発掘・整備計画に関する研究	近藤 二郎	61
10) 【08P22】エジプト、ルクソール地区およびサッカー地区の 文化遺産の保存修復技術と活用に関する研究	近藤 二郎	65
11) 【08P25】粘性系ダンパーによる既存建築物の 制振補強に関する研究	曾田 五月也	69
12) 【08P28】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	73
13) 【08P31】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	中川 武	77
14) 【08P33】フッ素系高分子を中心とした高機能材料の創製	鷲尾 方一	83

15)	【08P34】エコバイオテクノロジー	木野 邦器	87
16)	【08P36】WABOT-HOUSE における人間 ーロボット共生空間と RT コンポーネントの開発研究	菅野 重樹	91
17)	【08P37】音響コミュニケーション	山崎 芳男	95
18)	【08P51】実践的博士人材養成プログラム	大野 高裕	99
19)	【08P55】ユネスコ世界遺産「フエの建造物群」の学術情報の 保存・管理と ICT 基盤の構築支援	中川 武	103
20)	【09P01】高品質ビームの発生及びその応用研究	鷲尾 方一	107
21)	【09P02】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	111
22)	【09P03】無線システムのシミュレーション評価手法に関する研究	甲藤 二郎	113
23)	【09P08】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	117
24)	【09P23】G-COE 実践的化学知教育研究プロジェクト	黒田 一幸	121
25)	【09P24】全身型ヒューマノイドロボットによる コミュニケーションの解明	高西 淳夫	129
26)	【09P25】汎用 2 足ロコモータの開発	高西 淳夫	133
27)	【09P27】ラジカルポリマー	西出 宏之	137
28)	【09P56】NEDO 革新型蓄電池先端科学基礎研究開発	逢坂 哲彌	141
29)	【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	145
30)	【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	149
31)	【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	小松 尚久	153
32)	【10P04】サステイナブル・デザインプロセス研究	高口 洋人	161
33)	【10P05】新電磁探査法の研究	斎藤 章	167
34)	【10P08】ネットワークにおける体感品質	田中 良明	171
35)	【10P09】非線形問題に対する精度保証法の確立	大石 進一	179
36)	【10P25】ナノ／マイクロバイオシステムの研究	庄子 習一	183
37)	【10P26】ロボティック・センス・オブ・ムーブメント	高西 淳夫	185
38)	【10P31】ゲノム情報を利用した新しいバイオプロセス開発研究	木野 邦器	189
39)	【10P51】施設管理・運用に関する研究	小松 幸夫	195
40)	【10P52】軽水冷却スーパー高速炉に関する研究開発	岡 芳明	199
41)	【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	203
42)	【10P55】次世代ヒートポンプ技術に関する研究	斎藤 潔	207
43)	【10P58】エジプト、メンフィス・ネクロポリスの 文化財保存面から見た遺跡保存計画の学際的研究	近藤 二郎	213

44)	【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	217
45)	【11P10】水素エネルギーに関する実証研究.....	勝田 正文	221
46)	【11P26】アジアの都市環境を考慮したエネルギー利用.....	長谷見 雄二	225
47)	【11P28】建築人間行動学.....	渡辺 仁史	229
3. 長期大型プロジェクト研究 (【 】内は研究番号)			
1)	【07L01】室内空気質と熱的快適性に関する研究	田辺 新一	233
2)	【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	237
3)	【08L02】生理活性物質科学.....	竜田 邦明	243
4)	【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	245
4. 奨励研究 (【 】内は研究番号)			
1)	【11C03】室内有害有機化合物及び知覚空気質測定法に関する研究	金 勲	249
2)	【11C06】暗黒物質探索に向けた液体アルゴン TPC 検出器の研究・開発.....	永野間 淳二	253
5. 助手研究 (【 】内は研究番号)			
1)	【11J01】Mobile Mapping System に関する研究.....	石川 貴一郎	257

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
(理工学術院総合研究所(理工研) 教授)

1. 研究課題

現在取り組んでいる重点領域研究分野は以下の 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 低温廃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評価

B: 自律移動システムを対象とするもの

B-1 Unmanned Aerial Vehicle /Unmanned Ground Vehicle

B-2 Mobile Mapping System

C: その他

SELENE-2 搭載に向けたその場元素分析のための能動蛍光 X 線分光計 AXS の開発

B については共同研究者である橋詰匠教授による「制御工学研究」の報告を参照いただきたい. ここでは, 主に A および C について報告する.

2. 主な研究成果

A: エネルギーシステムを対象とするもの

2.1 低温廃熱駆動型エネルギーシステムについての研究

低温廃熱は, 低温故本質的にエクセルギー利用率に劣るため, それを利用するシステムは特に過大な伝熱面積を必要とする傾向にあり, 初期投資が大きくなる. このため, 普及への経済的なハードルが高い状態が続いている.

廃熱からの動力回収サイクルについて, 低温廃熱源からの回収動力の理論的上限値を与える条件は, 単一のカルノーサイクルではなく, 熱交換過程での温度変化プロファイルに沿って連続的に代表温度が変化する微少なカルノーサイクルの接続系として表現できる. したがって, サイクルの優劣は, その微小カルノーサイクル接続系の熱効率あるいはエクセルギー効率(利用率)を基準として採用し, 相互比較することが可能となる. 特に, アンモニア・水混合媒体を用いたサイクルの代表的な 2 形態のカリーナサイクル構成について, その熱源との整合性を評価・整理している.

2.2 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

湿潤バイオマスの処理には, 多量の水分を減量するための脱水・乾燥過程に多くのエネルギーを消費することに起因して, 有効なエネルギー利得を得られるシステムを構成することが困難である

と思われてきた。しかし、日野客員研究員を中心とするグループでは、VCC(Vapor Compression Condensation)システムとして水蒸気再圧縮プロセスを再定義した。これは、水蒸気を作動媒体とするオープンヒートポンプサイクルであり、一次エネルギー消費量は画期的に少なく、従来型乾燥技術の中では省エネルギーとされている伝導加熱乾燥方式と比較しても 80%の減、CO₂ 排出量では 90%の減になることが試算されている。2010 年度には、重要な構成要素である水蒸気圧縮機の圧縮過程について詳細に解析的な検討モデルを構築した。その結果、「飽和圧縮過程」と呼ぶ圧縮行程を実現することで、5 %程度の圧縮仕事の低減が可能であることを示した。

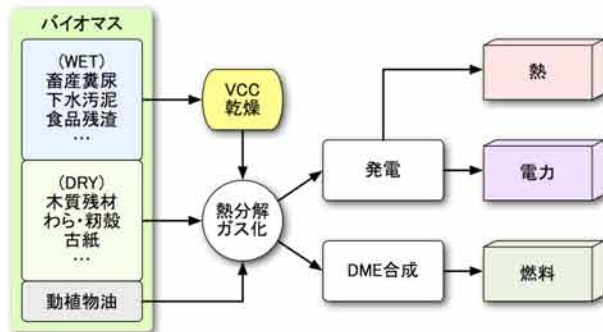


図1 VCC 乾燥によるアプリケーション例

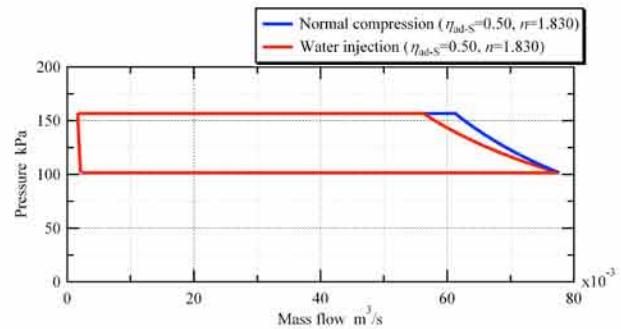


図2 液滴添加による圧縮仕事低減効果試算例

2.3 最適化に基づくエネルギーシステムの評価

伊東弘一客員教授主導で本テーマは推進されている。過去、経験や勘に頼ってきたエネルギー供給システムの計画問題に対し、年間に渡って時時刻刻複雑に変動するエネルギー需要量に対する運用問題を考慮しながら、各種機器特性・機器設備コスト・エネルギー料金体系・金利等の諸因子を総合的に考慮した最適なシステム設計案を、経済性・省エネルギー性・環境性という多角的な視点から総合的に分析・評価していく点に本研究の特徴がある。また、リニューアブル計画に対するシステム手法の研究は、世界的にも過去ほとんど手掛けられたことが無く、独創性に富むテーマである。家庭用のエネルギー供給システムに関しては、北海道から九州にまたがる年間における実測需要量に基づいて、各種の PEFC や SOFC, ガスエンジン等のシステムの経済性・省エネルギー性・環境性を、論理性・合理性に富む最適化手法に基づいて分析・評価する点に特徴がある。

2010 年度には、オフィスビルおよび病院負荷を対象に、具体的なエネルギー供給機器の更新計画問題を、経済性および環境性のトレードオフ分析を示した。また、家庭用エネルギーシステムの導入影響を推し量る基礎資料として、市販の各種コージェネレーションシステムとヒートポンプ給湯器、潜熱回収型高効率ガス給湯器の最適運用による限界性能を元に比較調査した結果を公表した。

3. 共同研究者

橋詰匠（理工研，教授），伊東弘一（理工研 客員教授），日野俊之（理工研 客員研究員）

4. 研究業績

吉田 修, 伊東弘一, 天野嘉春, 橋詰匠, 空調システムの最適更新計画における経済性と環境性のトレードオフ分析, 空気調和・衛生工学会論文集, 15-, (2010/6), 1-8.

Shu Yoshida, Koichi Ito, Yoshiharu Amano, Keigo Matsuo, Takumi Hashizume, Daniel Favrat and Francois Marechal, A Multi-Stage Optimal Renewal Planning of an Energy Supply System

for Office Building from Economic Viewpoint, Proc. ECOS 2010, 65, (2010/6), 1-8.

Amano, Ito, Yoshida, Matsuo, Hashizume, Favrat, Marechal: Impact analysis of carbon tax on the renewal planning of energy supply system for an office building, Energy, Vol.35, pp.1040~1046.

吉田彬, 小川雅也, 天野嘉春, 伊東弘一, 橋詰匠, 戸建住宅における電力・給湯需要に対する各種エネルギー供給システムの比較分析, 第15回動力・エネルギーシンポジウム講演論文集, (2010/6), 49-52.

池田一樹, 伊東弘一, 天野嘉春, 橋詰匠, 家庭用 PEFC システムの省エネルギー性・環境性・経済性評価, 第29回エネルギー・資源学会研究発表会, (2010/6), 265-268.

Taro Suzuki, Yoshiharu Amano, Takumi Hashizume, 6-DOF Localization for a Mobile Robot using Outdoor 3D Voxel Maps, Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, (2010/10), 5737-5743.

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, 第16回ロボティクスシンポジウム予稿集, (2011/3), 1-6.

Taro Suzuki, Yoshiharu Amano, Takumi Hashizume, 6-DOF Localization for a Mobile Robot Using Outdoor 3D Point Clouds, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.22, -2, (2010/4), pp.158-166.

北村 光教, 鈴木 太郎, 天野 嘉春, 橋詰 匠, 三次元地図と赤外全周カメラを用いた屋外環境における車両の三次元位置姿勢推定, 第16回ロボティクスシンポジウム予稿集, (2011/3), 1-6

北村光教, 鈴木太郎, 天野嘉春, 橋詰匠, 環境の三次元地図と赤外全周カメラを用いたパーティクルフィルタによる屋外位置推定, 第28回日本ロボット学会学術講演会, (2010/9), 1-2.

小倉徹也, 石川貴一郎, 瀧口純一, 天野嘉春, 橋詰匠, Mobile Mapping System による三次元点群 と時系列画像を用いた道路面補完に関する研究, 第28回日本ロボット学会学術講演会, (2010/9), 1-3.

安岡洋一, 西岡甲太郎, 鈴木太郎, 天野嘉春, 橋詰匠, 屋外環境下で用いる自律移動システムに関する研究—第56報 低周波数無線による通信遅延を考慮した屋外遠隔運転—, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 講演論文集, (2010/6), 1-3.

鈴木 太郎, 瀧口 純一, 天野 嘉春, 橋詰 匠, 小型 UAV による SIFT 特徴を用いた単眼カメラ SLAM アルゴリズム構築, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 講演論文集, (2010/6), 1-3.

5. 研究活動の課題と展望

エネルギーシステムの個別開発課題と理論的なシステム構成指針を彬何するための研究を継続する。また、最適化を用いたシステムの運用問題を考慮した、更新計画問題や設計問題への適用拡充を図る。特に、エネルギーシステム評価特有の不確定性を陽に評価するためのフレームワーク構築を目指す。

安全・安心な建築空間を実現する構造システムの研究 ～アルミニウム合金構造の耐火性付与に関する研究～

研究代表者 新谷 真人
(理工学研究所・特任教授)

1. 研究課題

建築物に対し、建築基準法は材料の耐火性能を規定された加熱温度と時間とによって2時間耐火、1時間耐火、30分耐火等を指定している。通常の火災時の温度は600℃以上に達する。一方アルミニウム合金は内部温度200℃に達すると強度が約60%、縦弾性係数が常温時の約80%以下に低下し、300℃ではクリープ変形が顕著となり、形態を喪失する。本研究では4階建ての集合住宅の床および壁を、梯子形断面形状を持つアルミニウム合金パネル（以下アルミパネル）によって構成することを想定し、当面1時間耐火性能付与を目的とする。パネル内部に満たした水が沸騰する際の気化熱によって、加熱によるアルミパネル部材内部の熱を奪い、温度上昇を抑制することによりアルミパネルの強度・剛性低下を抑えて長期荷重状態にある床あるいは壁の安全性を保持する。アルミニウム合金構造システムにおける沸騰冷却時の部材伝熱特性を把握し、加熱される部材表面の温度を推定して、沸騰冷却式による耐火性能付与の可能性を検証する。

2. 主な研究成果

2.1 沸騰伝熱における熱流束

<アルミニウム部材外側表面が加熱され上昇する温度>と<加熱温度>によって、部材に流入する熱流束が式(1)によって算定される。

$$q_m = h_f (T_f - T_{al_out}) + F \sigma (\varepsilon_f T_f^4 - \varepsilon_{al} T_{al_out}^4) \quad \dots (1)$$

ここに、

q_m : 熱流束	ε_f : 加熱空気の放射率
h_f : 加熱空気の熱伝達率	ε_{al} : アルミニウム合金の放射率
F : 形態係数	T_f : 加熱空気温度
σ : ステファン・ボルツマン定数	T_{al_out} : アルミニウム合金の加熱面温度

沸騰水に接する部材が吸熱される熱流束が西山等^[1]により提案されている。これを基準熱流量とし算定式を式(2)とする。

$$\begin{aligned} \text{層流域} : Y &= 6.24 (f_\xi f_p X)^2 \\ \text{乱流域} : Y &= 0.66 l^{-\frac{2}{5}} (f_\xi f_p X)^4 \end{aligned} \quad \dots (2)$$

ここに、

$$Y = \frac{\alpha l}{\lambda_t}$$

$$X = \left[\left(\frac{1}{M^2 N} \right) \frac{c_{pL} \rho_L^2 g}{\lambda_L \sigma L \rho_V} \right]^{\frac{1}{2}} q l^{\frac{3}{2}}$$

$$N = 1.976 [\text{W}]$$

$$M = 900 [m^{-1}]$$

$$f_p = \left(\frac{P}{P_a} \right)^{0.7} \left[1 + 3 \left(\frac{P}{P_c} \right)^3 \right]$$

H : 壁高さ
 f_ξ : 発泡度
 P_a : 大気圧
 P_c : 臨界圧力
 c_{pL} : 液体の定圧比熱
 λ_L : 液体の熱伝導率
 σ : 液体の表面張力

L : 蒸発熱
 ρ_L, ρ_V : 液体、蒸気の密度
 ν_L : 液体の動粘性係数
 q : 伝熱面上熱流束
 l : 伝熱面代表寸法
 P : 圧力
 g : 重力加速度

この式における部材と水との関係は、部材表面に付着する水が沸騰して気体となり部材表面から常に離脱し、部材表面は常に液体としての水に接している状態にある。

2.2 吸熱熱流束推定式

(2) 式をニュートンの熱冷却法則によって、＜冷却側部材表面温度と沸騰水温度の差＞によって表される式に変形する。実験から得る熱流束の低減の比率から熱流束低減率を導入して、基準式を変形して沸騰冷却式における熱流束推定式 (3) 式を得る。

$$\begin{aligned} \text{層流域: } q_{wb} &= \alpha \cdot 6.24^3 \cdot \left[\left(\frac{1}{M^2 N} \right) \cdot \frac{\lambda_L^2 \cdot c_{pL} \cdot \rho_L^2 \cdot g}{\sigma \cdot L \cdot \rho_V} \right] \cdot (f_\xi f_p)^2 \cdot (T_{al_in} - T_{wb})^3 \\ \text{乱流域: } q_{wb} &= \alpha \cdot \frac{0.66^5}{l} \cdot \left[\left(\frac{1}{M^2 N} \right) \cdot \frac{\lambda_L^{\frac{3}{2}} \cdot c_{pL} \cdot \rho_L^2 \cdot g}{\sigma \cdot L \cdot \rho_V} \right]^2 \cdot (f_\xi f_p)^4 \cdot (T_{al_in} - T_{wb})^5 \end{aligned} \quad \dots (3)$$

ここに、

α : 低減率 T_{al_in} : 加熱裏面温度 T_{wb} : 水飽和温度

2.3 熱流束の影響因子

提案する沸騰冷却式アルミパネル内では水の内部に水蒸気となった多量の気体が混在した不安定な状態で沸騰伝熱が行われ、熱交換効率が著しく低下する。

式 (2) が示す熱流束は蒸発し水内部に混在する気泡の量によって決定される。気泡量は、＜加熱面積あたりの部材内部の単位水量＞、＜加熱温度＞、＜水内部の水蒸気圧力＞を影響因子とする。水気体と液体との比率を安定化するため、蒸気減圧弁を設置して水内部の気体を放出し冷却効果を保持する。

式 (3) において気泡量は式 (2) における値を用い、減圧がされていない状態での熱流束を基準値とし、これに対する減圧がされている状態での熱流束の比率を低減率と呼ぶ。実験においては、＜単位水量＞は＜アルミパネル部材内部厚さ h ＞に、＜加熱温度＞は建築基準法が規定する加熱温度曲線が示す＜加熱度 ΔT ＞に、＜水内部の気圧＞は＜減圧弁作動圧力差 ΔP ＞として計測される。

2.4 床材と壁材における熱流束

床のように水平に置かれた部材表面に付着する気泡量の比率は部材表面および部材内部の液体としての水が一定量である場合、沸騰水温度と水に接するアルミ表面温度との差が大きく影響し、部材内部の気泡の量が重力の影響を受けにくい場合に相当する。

しかし部材が壁のように垂直に立ち、内部の水が重力の影響を受け、沸騰した水が気体となった

水蒸気は上昇し、部材下部は液体としての水、上部は気体としての水の比率が多くなると、部材上下における気泡量が異なり、熱流束が異なる。このため加熱実験は床部材と壁部材について行った。

2.5 実験内容と結果

蒸気減圧弁を設置した床材、壁材をそれぞれ約 950℃で加熱し、水沸騰時の加熱空気温度、アルミニウム合金の加熱側表面温度を測定し、熱流束を算定する。以下に実験結果を記す。

表 2.1 床材の水内部の気圧をパラメータとする実験結果

減圧弁作動圧力差 ΔP [Pa]	実験で得た熱流束 q_{wb_ex} [W/m ²]	熱流束の基準値 q_{wb_b} [W/m ²]	低減率 q_{wb_ex} / q_{wb_b}
1,569	193,418	9,176,092	0.021
1,177	192,871	14,073,737	0.014
785	192,748	22,057,023	0.009
392	198,721	18,049,108	0.011
0	185,994	25,361,928	0.007

床材の実験結果から減圧弁作動圧力差が大きいほど熱流束は大きくなる。

表 2.2 壁材の h をパラメータとする実験結果

試験体内部厚さ h [mm]	実験で得た熱流束 q_{wb_ex} [W/m ²]	熱流束の基準値 q_{wb_b} [W/m ²]	低減率 q_{wb_ex} / q_{wb_b}
144	53,966	136,762	0.39
114	55,533	159,973	0.35
94	52,763	184,922	0.29
64	57,404	902,393	0.06

壁材の実験結果から、単位水量の大きいほど熱流束は小さくなる。



図 2.1 実験状況 (右 : 床材, 左 : 壁材)

2.6 研究成果

加熱によって沸騰する水蒸気の増加に伴い、水内部の圧力が増加するが、減圧弁を設置して水内部の気圧を減少させる実験を行った。実験によって建築基準法で規定された加熱曲線による加熱状態の下で、アルミニウム合金の加熱側表面温度は 200℃以下に保持されることが示され、目標とする耐火性能を付与する可能性を立証した。

これによって、アルミニウム合金構造による建築規模を大きくし用途を広げることができる。

[参考文献]

[1] 西川兼康, 藤田恭伸: 伝熱学, 理工学社, 1982.2

3. 共同研究者

下田亮太 (創造理工学研究科・修士2年)、御所園武 (創造理工学部・学部4年)

4. 研究業績

4.1 学術論文

今井大樹, 新谷真人, 下田亮太: 沸騰水冷式を用いたアルミニウム合金床材の耐火性能付与に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2011.8.

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

4.4 受賞表彰

5. 研究活動の課題と展望

5.1 熱流束推定式の確立

熱流束には多くの影響因子がある。本研究における実験により特定の影響因子の特定値に対する熱流束が求められ、熱流速を増加させる要因を定性的に把握することができた。しかし熱流束と諸パラメータの定量関係は明確ではなく、熱流束推定式の定式化が不可能である。今後は沸騰による吸熱の原理を一層研究し、熱流束推定式を確立し、このシステムの設計手法を構成する。

5.2 温熱環境の制御

常態的に構造体に満たされている水を、建築室内の温熱環境の制御に利用することを課題としてその効果に関して、定性・定量化を進め、建築分野における省エネルギーと省資源に寄与するシステムを構築する。

次世代放射線検出器開発と宇宙・医療への応用

研究代表者 片岡 淳
(理工学術院総合研究所 准教授)

1. 研究課題

高エネルギー宇宙物理学は未だ黎明期にあり、より高感度の観測を目指した競争が続いている。とくに宇宙線は人類が到達しえない素粒子現象の宝庫として、その起源の解明が待たれる。現状のX線・ガンマ線観測の感度を向上するには優れた光センサーの開発が鍵となるが、極限環境の宇宙で利用するには綿密な動作実証と技術的裏付けが必要である。本研究では、既存の衛星を用いた最先端の観測により宇宙線加速の現場を探り、一方では次期衛星・宇宙ステーション搭載を目指した次世代光センサーの開発を行う。さらに、ここで得られた知見を迅速に産業界に還元することで、さまざまな先端医療への応用と連携をはかる。

2. 主な研究成果

2.1 フェルミ衛星・すざく衛星を用いた宇宙観測

2008年に打ち上げられたフェルミ・宇宙ガンマ線望遠鏡により、2000を超えるガンマ線天体が発見され、その数はさらに増加の一途をたどっている。当研究室はフェルミチームの正規メンバとして衛星データの解析や運用に参加し、とくに巨大ブラックホールである活動銀河核やパルサーの解析では主導的立場にある。2010年度は我々が発見した「新種の」ガンマ線銀河 NGC1275 (2009年6月に、早稲田大学よりプレスリリース)の継続観測を行い、新たに時間変動を発見して *Astro Physical Journal* 誌に投稿・受理された(Kataoka et al. 2010)。さらに、これら電波銀河が普遍的なガンマ線放射天体であることを示すため、26個の活動銀河核の系統解析を進め、論文として投稿準備中である(Kataoka et al. 2011 in prep)。4月には、サイエンス誌に掲載されたガンマ線ローブに関する記者発表を、広島大学と共同で行った。一方で、フェルミ衛星が観測したガンマ線天体の中には、十分な明るさと位置精度にもかかわらず、他波長で対応がない「未同定天体」が多数存在することに着目し、研究を進めている。我々は、これらのうち11天体を日本のX線天文衛星「すざく」で深く観測することで、多くにX線対応天体を初めて発見した。たとえば、1FGL J1231

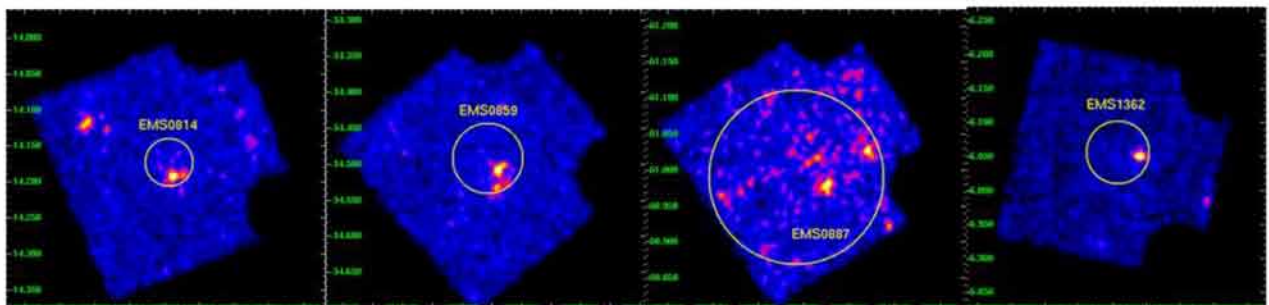


図1: 「すざく」衛星でフォローアップ観測した、高エネルギーフェルミ未同定天体の例。多くのガンマ線天体の正体が本研究ではじめて明らかになった (Maeda & Kataoka et al. 2011, ApJ)。

の対応天体は 温度が $kT \sim 0.3\text{keV}$ の熱的スペクトルと高エネルギーで卓越する幂型成分を持ち、電波のフォローアップ観測もあわせミリ秒パルサーであることが確定した。これらの成果は既に日本の論文で発表されている (Maeda et al. 2011, ApJ; Takahashi et al. 2011)。これらフェルミ衛星、すざく衛星に関する成果は国内外でも注目を集め、2010 年度だけで4件の招待セミナーと2件の集中講義 (京都大学理学部、首都大学東京) を行った。

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

2014 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) と軟ガンマ線検出器 (Soft Gamma-ray Detector: SGD) が搭載される。過酷な放射線環境である宇宙環境 (Low Earth Orbit) において高感度を実現するにはバックグラウンドを効率よく実現することが鍵であり、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。この APD は 2003 年より我々が宇宙利用を目指して浜松ホトニクスと開発してきたもので、小型衛星 Cute-1.7+APD により世界初の宇宙実証を行った特筆すべき検出器である (Kataoka et al. 2010 JGR)。当研究室では Astro-H 衛星搭載の APD 素子全数の開発・受け入れを行い、放射線試験や接着試験、温度特性試験など順調に開発を進めている。また、APD 専用のアナログ処理回路及びデータ処理システムの開発にも着手し、衛星搭載と同じデータ処理フローを用いた性能評価までを行った。成果は日本天文学会、日本物理学会の年会において定期的に発表を行っている。また、同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。

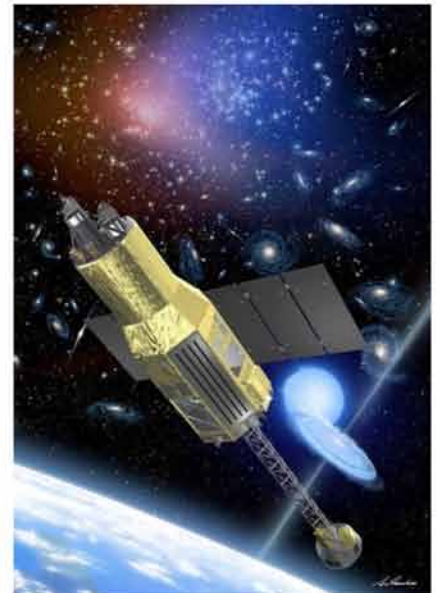


図 2: 2014 年に打ち上げが予定されている Astro-H 衛星。

2.3 半導体光増幅素子を用いた次世代 PET 開発

内部増幅機能をもつ半導体光素子はコンパクトかつ高性能、磁場に強いなど様々な特長を兼ね備えている。従って、その用途は宇宙に限られるべきものでなく、積極的に産業界へフィードバックすれば様々な応用が期待できるに違いない。このような観点にたち、本研究室では 2006 年より APD を二次元マトリックス化することでガンマ線イメージャとして再構成し、先端医療、とくに癌の早期発見につながる PET (Positron Emission Tomography) 技術に応用してきた。具体的には、APD と微細シンチレータアレーを組み合わせることで、PET で究極とされる 1mm 以下の解像度を実現した。シンチレータも国産 Pr:LuAG を用いて紫外高感度化をはかるなど、新しい挑戦を行った。本年度はその集大成というべき成果を IEEE, NIM-A 誌に発表し (Kataoka et al. 2010 IEEE, Yoshino et al. 2011 NIM-A)、同時に応用物理学会において口頭発表をおこない講演奨励賞を受賞した (松田ほか 2010 年度春季年会)。一方で、APD の唯一の欠点がゲインの低さであり、従来用いられてきた光電子増倍管に比べると圧倒的にノイズに弱い。そこで、APD をガイガーモードで使用する MPPC (Multi-Pixel Photon Counter) を利用した新たな開発を始め、薄型の 2 次元アレーや大面積型など、様々な応用を始めている (Kato et al. 2011 NIM-A)。2011 年度は薄型アレー 2 枚を

用いたピンセット型検出器の開発を皮切りに、より高度な PET 検出器を構築していく予定である。具体的には、重心演算を用いた信号処理回路の簡略化、上下読み出しによるガンマ線吸収位置特定をはじめ、Time-of-Flight 情報を測定できる新しいアナログ集積回路(LSI)の開発を始めている。

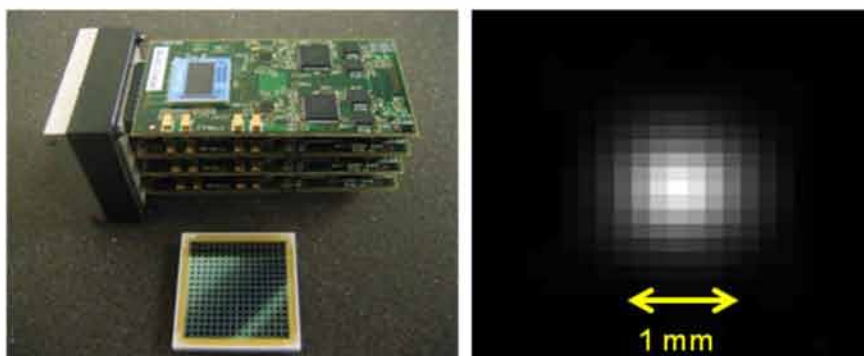


図 3: 等研究室で開発した APD-PET ユニット。PET では究極とされる、サブミリ解像度を達成した (Kataoka et al. 2010, IEEE)。

2.4 その他の開発状況

APD のさらなる展開として、量子情報通信への応用を考えている。これまで APD をブレイクダウン電圧以上で動作させるゲートモードが主流であったが、InGaAs APD の場合、暗電流が比較的大きく、またゲートモードでは周期信号にしか威力を発揮できない。当研究室では APD を敢えてリニアモードで利用することで暗電流を劇的に改善し、一方でランダム信号にも対応する新たな光情報通信方法の確立を目指している。このため、高速かつ低ノイズの電荷積分アンプ等、意欲的な開発を行っている。

3. 共同研究者

中森 健之 (応用物理学科・助教) 錦戸 文彦 (放医研・客員准教授)
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)

- *J.Kataoka, H.Matsuda, F.Nishikido, M.Koizumi, H.Ikeda, M.Yoshino, T.Miura, S.Tanaka, Y.Ishikawa, N.Kawabata, K.Shimizu, Y.Matsunaga, S.Kishimoto, H.Kubo, Y.Yanagida, T.Nakamori “Development of an APD-based PET Module and Preliminary Resolution Performance of an Experimental Prototype Gantry”, IEEE-TNS, vol.57, No.5, p.2448-2454, (2010)
- *J.Kataoka, L.Stawarz, C.C.Cheung, G.Tosti, A.Celotti, Y.Fukazawa, D.Thompson, W.McConville “Gamma-ray Spectral Evolution of NGC1275 observed with FERMI Large area telescope”, The Astrophys. Journal, vol. 715, p.554 -560, (2010)
- *J.Kataoka, T.Toizumi, T.Nakamori, Y.Yatsu, Y.Tsubuku, Y.Kuramoto, T.Enomoto, R.Usui, N.Kawai, H.Ashida, K.Omagari, K.Fujihashi, S.Inagawa, Y.Miura, Y.Konda, N.Miyashita, S.Matsunaga, Y.Ishikawa, Y.Matsunaga, N.Kawabata “In-rbit performance of avalanche photodiode as radiation detector on board the picosatellite Cute-1.7+APD II” , Journal of Geophysical Res., vol.57, No.115, A05204, (2010)
- K.Maeda, J.Kataoka, T.Nakamori et al. “Unraveling the Nature of Unidentified High Galactic Latitude Fermi/LAT Gamma-ray Sources with Suzaku”, The Astrophys. Journal,

vol. 729, p.103 -116, (2011)

- M.Yoshino, J.Kataoka, T.Nakamori et al. “The development and performance of UV-enhanced APD-arrays for high resolution PET imaging coupled with pixelized Pr:LuAG crystal”, NIM-A, 643, p.57-63 (2011)
- T.Kato, J.Kataoka, T.Nakamori et al. “Development of a large-area monolithic 4×4 MPPC array for a future PET scanner employing pixelized Ce:LYSO and Pr:LuAG crystals”, NIM-A, 638, p.83-91 (2011)
- T.Miura, T.Nakamori, J.Kataoka et al. “Improvement of Energy Thresholds for Scintillation Detectors Using a Monolithic 2 ×2 Multi-Pixel Photon Counter Array with a Coincidence Technique”, J. Phys. Soc. Jpn. 80, 094203 p.1-6 (2011)

ほか 58 編

4.2 総説・著書

- *片岡 淳, 「大面積 APD アレーの開発と次世代 PET 技術への展望」、応用物理学会・放射線分科会・学会誌 vol. 35, No. 4, p.277 -287 (2010)
- *片岡 淳, 深沢 泰司, L.Stawarz, 佐藤 理江, 林田 将明, 「フェルミ衛星による活動銀河ジェット観測の新展開」, 日本天文学会誌 vol.103 p.486 ~ 493, 2010 年 8 月発表
- *片岡 淳, 「サイエンス誌に載った日本人研究者」 “フェルミ衛星が発見したりサイクルパルサーの集団”, 2010 Issue, p.25

4.3 招待講演

- *片岡 淳, “二次元放射線検出器の最前線”、応用物理学会 2010 年度春季年会、企画・主催（イントロダクトリートーク担当）
- *片岡 淳, “APD/MPPC を用いた高解像度ガンマ線イメージセンサー” 「先端的放射線検出器開発とその応用で拓かれる未来」、物理学会 2010 年度春季年会、招待講演
- *片岡 淳, “モノリシック MPPC アレーの開発と基礎評価”、次世代 PET 研究会、放射線医学総合研究所
- *片岡 淳, “活動銀河核ジェットのフロンティア：本質的な理解へむけて”、京都大学宇宙物理学教室、招待セミナー（2010, Jul.15）
- *片岡 淳, “フェルミ・ガンマ線衛星による宇宙科学観測”、早稲田大学理工学研究所主催、宇宙開発に関する連続講演会（2010, Jun.17）
- *片岡 淳, “Towards Frontiers of AGN Jet Physics”、早稲田大学理論宇宙物理学教室、招待セミナー（2010, Nov.19）
- *片岡 淳, “活動銀河核からの高エネルギー放射：最近の進展”、東京大学 ICRR 宇宙線研究所、招待セミナー（2011, Feb.2）

4.4 受賞・表彰

- Group Achievement Award to Fermi Science Team “For the successful launch and early operation of the Fermi mission and discover of new high energy gamma ray sources” 米国 NASA（航空宇宙局） 受賞者氏名： *片岡 淳、2010 年 9 月 14 日
- 応用物理学会、講演奨励賞、“APD を用いた拡張型・高解像度 PET モジュールの開発とその実

証” 応用物理学会 2010 年度秋季年会 受賞者氏名：松田 英憲、片岡 淳ほか 8 名

4.5 報道発表・プレスリリース

- 2010 年 4 月 2 日発刊、時事通信 (Web 版)、「巨大粒子雲も宇宙線放出か... 証拠となるガンマ線観測 — 日米欧の衛星で」
- 2010 年 4 月 9 日発刊、科学新聞 (4 面)「巨大ガンマ線天体発見—フェルミ衛星を利用して広島大など続々と研究成果—」, <http://www.hiroshima-u.ac.jp/news/show/id/7508/>

4.6 学会および社会的活動

- 2010-2011 年度 (社) 応用物理学会・放射線分科会・幹事
- 2010-2011 年度 高エネルギー宇宙物理連絡会・運営委員
- 2010-2011 年度 (社) 日本物理学会・宇宙線分科会・領域運営委員

5. 研究活動の課題と展望

既存の衛星データ解析については、フェルミ衛星の運用が 3 年めに入るため、より一層の高度な解析と安定した成果のアウトプットが求められる。当研究室で進めている電波銀河・セイファート天体の解析は、活動銀河核の統一描像を得るために不可欠かつ斬新なアプローチで、さらなる展開が期待される (2011 年度早期に論文として出版予定)。すざく衛星では未同定天体のみならず、宇宙線加速源として期待のかかるガンマ線ローブのフォローアップ観測を進める。次期衛星搭載検出気の開発では、フライトモデル 130 素子の受け入れと詳細な性能評価、振動試験や全体試験などの項目が目白押しで、研究室一丸となってますます努力していく所存である。最後に、先端医療への応用については既に TOF 対応 LSI の設計が終了し、MOSIS などのシャトルサービスにサブミット段階にある。また、データ取得システムについても設計が完了しており、2011 年度はいよいよ MPPC を用いた PET 装置の開発に着手する。

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状態方程式を拡張し、超新星爆発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、超新星爆発シミュレーションに適用可能な核物質状態方程式の作成

超新星爆発現象等の数値流体シミュレーションでは、その内部核物質の状態方程式が重要な役割を果たす。しかし現状で、核物質の状態方程式は実験的には確定していない。したがって理論計算による核物質状態方程式の作成が必要となるが、超新星爆発シミュレーションにて物質の密度、温度、陽子混在度が幅広い範囲で変化するため、その領域すべてをカバーする状態方程式の情報の整備は非常に困難である。実際、現在の超新星爆発シミュレーション研究において利用可能な核物質状態方程式は主に2種類しか無く、しかもそれらはすべて現象論に基づき作成されている。

そこで本研究では、現実的核力から出発して多体計算により求めた、より信頼性の高い核物質状態方程式を、超新星シミュレーションに適用することを目的とする。超新星爆発において、物質は一様相だけでなく、非一様相にも相転移する。そこで我々は、一様物質に対しては多体計算によるエネルギーを用い、非一様物質に対しては、一様物質のエネルギーを用いた Thomas-Fermi (TF) 近似を用いて、そのエネルギーを求める。この際、孤立した原子核に対する TF 計算も行い、その結果が原子核質量や半径の実験値の大局的性質を良く再現するような状態方程式を目指す。

一様核物質に対するエネルギー多体計算として、本研究ではクラスター変分法を使用する。ただし上述のように、非常に広い範囲の密度、温度、陽子混在度に対する熱力学量を用意するため、用いる変分法はある程度簡略化する。また、核物質状態方程式には3体核力の影響が重要であるが、3体核力の不定性は大きい。そこで本研究では、以下の方法で変分計算を進める。

まず絶対零度一様非対称核物質のエネルギーを求めるが、始めに3体力を無視した2体力エネルギーを計算する。2体核力としては現実的な AV18 ポテンシャルを用いる。そして2体力までを考慮した核物質 Hamiltonian の Jastrow 型波動関数による期待値を、2体クラスター近似で評価する。変分計算の際には補助条件を採用し、本計算結果が、高次クラスター項を考慮した場合の計算結果を良く再現するように、補助条件を決定する。

次に3体力エネルギーを考慮する。3体核力としては UIX ポテンシャルを用いるが、その不定性を利用して、3体力エネルギー期待値には調節パラメータを含め、全エネルギーが核物質飽和点実験値を再現するように、パラメータを調整する。

有限温度一様核物質のエネルギー計算においては、Schmidt-Pandharipande (SP) の方法を踏

襲し、上記絶対零度一様核物質に対する変分法を、有限温度へと拡張する。これは、核子の平均占有確率を支配する有効質量について自由エネルギーを最小化する方法である。ここで簡単のため、有限温度 Jastrow 型波動関数において、粒子間相関関数は絶対零度の場合と等しいと仮定する。

本年度は、この一様核物質のエネルギー計算において、その数値計算精度の改善を行った。また有限温度一様核物質変分計算において、有限温度 Jastrow 型波動関数の相関関数についても変分を行うことで full minimization を実施し、SP の方法による結果と比較した。結果、SP の方法の結果は full minimization の結果と大きく変化せず、SP の方法の妥当性が確認された (図 1)。さらに、低密度領域にて重陽子形成に対する不安定性から、変分計算における安定解が得られない、という問題が生じていたが、Jastrow 型波動関数における相関関数の境界条件を改良することで、この問題を解決した。この際、改めて孤立した原子核 3000 核種以上に対して TF 計算を行い、今回の改良後も孤立した原子核に対する実験値の大局的性質を再現することが確認された。

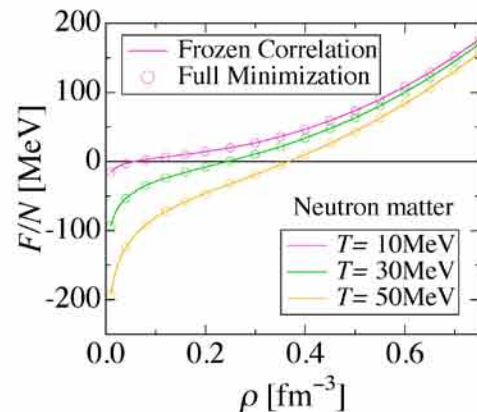


図 1 : 有限温度核物質の自由エネルギー : SP の方法 (Frozen correlation) と Full minimization の比較

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、エネルギー汎関数を用いた変分法の改良を行った。

一様核物質の一核子当たりのエネルギーを求めるためには、現実的核力に基づく Hamiltonian から出発し、Schrödinger 方程式を解かねばならない。この分野における変分法として代表的な Fermi-Hypernetted Chain (FHNC) 法では、試行関数を Jastrow 型に仮定し、Hamiltonian 期待値を Cluster 展開するが、ここで高次 Cluster 項を部分的に無限に足し上げる。この足し上げの操作は非常に複雑であり、よって変分関数について十分な最小化を行うことが困難である。実際 FHNC 法では、変分関数をパラメータに依存させ、そのパラメータについてエネルギーが最小化される。

一方、我々が提唱するエネルギー汎関数を用いた変分法では、一核子当たりの核物質のエネルギーを、2 核子の量子状態に依存した 2 体分布関数の汎関数として陽に表すようなエネルギー表式を用いる。この陽なエネルギー表式が得られれば、2 体分布関数を変分関数として扱うことで、Euler-Lagrange 方程式を導き、それを解くことで、十分最小化したエネルギーが得られる。

これまで、2 体核力として中心力とテンソル力を考慮した中性子物質に対してエネルギー汎関数を作成し、その変分計算を行ったが、得られた解が、規格化条件の一種である Mayer 条件を破り、計算されたエネルギーが期待される値より低くなる困難が生じていた。そこでこの問題を回避する方法として Moderately Constrained Variational Method (MCVM) を提唱し、その妥当性を検討してきた。

エネルギー汎関数の妥当性を確認するには、例えば波動関数を Jastrow 型に仮定した場合、Hamiltonian 期待値のクラスター展開項が、エネルギー汎関数に正しく含まれているかを調べれば

良い。これまでの研究で、現状のエネルギー汎関数は2体クラスター項までは完全に含み、3体クラスター直接項の粒子間相関に関する最低次を含むことが確認されている。そこで今年度は、エネルギー汎関数に不足していた3体クラスター2粒子交換項の粒子間相関に関する最低次を、エネルギー汎関数に付加する改良を行った。またエネルギー汎関数に不足している3体クラスター項すべてを計算し、そのエネルギーを摂動的に評価することで、エネルギー値の改善が見られることを確認した。

3. 研究業績

3.1 学術論文

M. Takano, H. Togashi and H. Kanzawa, “Variational Approach to Nuclear Matter”, Prog. Theor. Phys. Suppl. 186 (2010) 63.

H. Togashi, H. Kanzawa and M. Takano, “The Equation of State of Asymmetric Nuclear Matter at Zero and Finite Temperatures with the Variational Method”, POS (NIC XI) 179. (accepted)

H. Togashi, H. Kanzawa and M. Takano, “Variational Calculation for the Equation of State of Hot Asymmetric Nuclear Matter”, AIP Conference Proceedings 1269 (2010) 403.

3.3 講演

鷹野正利、富樫甫、神沢弘明、鈴木英之、住吉光介「クラスター変分法による有限温度非対称核物質状態方程式の研究」 2011年3月2日 「超新星からのマルチメッセンジャー：超新星研究会 2011」（招待講演）

鷹野正利、田中利典、山田勝美「エネルギー汎関数を用いた条件つき変分法による核物質の研究 II」 2011年3月25日、日本物理学会第66回年次大会

富樫甫、神沢弘明、鷹野正利、鈴木英之「低密度領域における核物質状態方程式を考慮したクラスター変分法の研究」 2010年3月25日、日本物理学会第66回年次大会

鷹野正利、田中利典、山田勝美「エネルギー汎関数を用いた変分法による核物質状態方程式の研究」 2011年1月30日 研究会「バリオン物質と中性子星」

富樫甫、鷹野正利、神沢弘明「クラスター変分法による高エネルギー天体現象のための核物質状態方程式の作成」 2011年1月30日 研究会「バリオン物質と中性子星」

M. Takano, “Variational Calculations for Nuclear Equation of State”, International Symposium on “From Quarks to Supernovae”, Nov. 28-30 (2010). (Poster)

H. Togashi, H. Kanzawa and M. Takano, “The Equation of State of Asymmetric Nuclear Matter at Zero and Finite Temperatures with the Variational Method”, Nuclei in the Cosmos XI, Jul. 19-23, 2010, Heidelberg, Germany. (Poster)

富樫甫、鷹野正利、神沢弘明、鈴木英之、住吉光介「クラスター変分法による超新星爆発用核物質状態方程式の作成」 2010年6月1日 新学術領域第2回「クォーク力学・原子核構造に基づく爆発的天体現象と元素合成」研究会

4. 研究活動の課題と展望

超新星爆発シミュレーション用核物質状態方程式作成の研究では、まずは一様核物質に対するエネルギー・テーブルの完成に向けて、さらに計算を進める。エネルギー汎関数を用いた変分法については、テンソル力が重要な役割を果たす対称核物質へと理論を拡張し、3体クラスター補正項の効果を調べつつ、MCVM またはより適した変分計算法の確立を目指す。

宇宙放射線科学の実験的研究

研究代表者 長谷部信行
(理工学術院総合研究所 教授)

1. 研究課題

- †月探査かぐやの観測データを利用した月科学と月の資源利用の展開
 - － KGRS 観測データによる自然放射性元素の全球元素地図の作成
 - － KGRS 観測データによる主要元素の全球元素地図の作成)
- †KGRS 元素観測に基づく月地殻の進化と火山活動の研究
 - － 将来の月資源探査に向けたレアメタル分布の調査
- †月面及び月の地下の線量評価
 - － 月表層の 2 次放射線成分(γ 線と中性子成分)の線量地図の作成
 - － 表層及び地中の 3D 線量分布の評価
- †月探査機 SELENE2 号機の表面移動車ローバー搭載の核分光計の提案
 - － ガンマ線・中性子分光計 GNS の基礎開発と Feasibility Checks
 - － 韓国・米国・独との連携による化学分析装置 AXS の提案と開発

2. 主な研究成果

2.1 月地殻の進化の研究

A. かぐや GRS と月科学

月表層における主要元素、微量元素（特に天然放射性元素）の存在分布に関する情報は、月地殻の起源と進化を理解する上で必要不可欠な情報である。月探査衛星かぐやに搭載されたガンマ線分光計（KGRS）には、エネルギー分解能に特に優れたゲルマニウム結晶が用いられており、多くの元素由来のガンマ線を高精度で観測することができた。

特にカリウム（K）、トリウム（Th）、ウラン（U）これら天然放射性元素の月面での絶対濃度分布を決定したこと（Kobayashi et al., 2010, Yamashita et al., 2010）は、月地殻の進化過程を考察する上でとても重要な情報となる。なぜならば、これら天然放射性元素は自然崩壊する過程で、崩壊熱を放出しその熱が月地殻の熱的進化に大きな影響をおよぼしたと考えられるからである。今後、熱源となりうる天然放射性元素の地殻中の総量を見積もることで、月地殻の熱的進化に制約を与えることができるだろう。

現在月面上の主要元素組成に関しても解析が進められており、学会等で発表されている（Si, Ca, Fe, Ti 等）。今後これらの研究成果が、月の平均元素組成に制約を与え、月の起源を説く鍵となることが期待される。

B. 月隕石と月科学

月隕石はアポロ計画（アメリカ）、ルナ計画（旧ソ連）により持ち帰られた回収試料と同様に、貴重な月由来の岩石試料である。アポロ・ルナ計画で持ち帰られた月の試料は、月の表側の限られた着陸地域からのみ採取されたのに対し、月隕石は月表層のいたる所から無作為に飛び出し地球に飛来してきたものと考えられる。従って月隕石を研究することで、全球規模の月地殻形成過程を議論する上で非常に有用な情報を得ることができる。

月隕石の中には、月の裏側から来たとされる月隕石、またアポロサンプルよりも明らかに若い結晶化年代をもつ海の玄武岩の存在など、が確認されていることから、アポロ計画で得られた月の知識を大きく変えた。さらに月探査衛星かぐやは、小型のリレー衛

星を搭載することで、従来では困難であった月の裏側の高精度観測を可能とし、月の表側・裏側について多くの知見を得ることが出来た。我々は、月隕石研究から隕石の起源を同定することができ、かぐやから得られた知見と統合的に理解し、月地殻の形成と進化の過程を研究している。

2.2 月の線量

月と地球の放射線環境は大きな違いは、月は大気と磁気圏がないことである。地球表面における主な被曝は、K、Th、U 等による自然放射線と銀河宇宙線(GCR)と大気の相互作用によって生じる二次成分の電子や α 粒子によるものである。これらの放射線による線量当量は、概して 1.6 mSv 程度にしかない。しかし、大気のない月では GCR が、常時、直接月面に降り注ぐため、GCR と月面物質の相互作用により中性子や γ 線などの二次放射線が発生する。これらの寄与を含めた月面における年間線量は、平均的に約 150 mSv 程度となる。この数値は、太陽活動の変化や月面の場所(組成の違い)によって多少異なり、また太陽活動に伴って銀河宇宙線強度が変動するために変化する。さらに突発的ではあるが、太陽表面の爆発現象に伴う太陽フレアによって大量の高エネルギー粒子が放出される。それによって月面の放射線環境が一変してしまう。1 太陽サイクルの間では異常に大きな太陽粒子イベント(SPE)が起こり、時には致死量を超えるほどの線量となる。月表層の太陽活動の変化に伴う線量、太陽表面の爆発現象の太陽フレアや CME による線量、地域差、また地下の線量分布を詳細に求めることができた。また、個々の重粒子の線量への影響が求まり、遮蔽効果や防護の立場から、将来の月の人的活動に大変有益な情報を提供できた。

2.3 固体飛跡検出器で構成した測定システムによる核反応断面積の測定

重イオンと物質との核相互作用において、重イオンの入射核が生成する核破砕片の元素分布など、核破砕反応の中でも最も基本的かつ必要性の高い物理量が未だ十分な精度で得られていないのが現状である。これまでに測定されている実験値もお互いに大きくバラついている場合も多い。そこで、入射核・標的核の組み合わせの入射核電荷交換断面積を、系統的に取得する実験を行った。100 MeV/n から 1 GeV/n の C, Ne, Mg, Si, Fe, Ge を入射核とし、C と H を標的核として加速器実験を行い、固体飛跡検出器を用いて断面積を決定することができた。また、この一連の実験にあたり、優れた統計・系統精度を得るために、飛跡の撮像顕微鏡系の自動化・高速化、画像処理による飛跡計測ソフトウェア、標的前後の検出器からの入射核・核破砕片の軌跡再現技術、及び検出粒子の核電荷弁別能力の改良など、システム全体の高速・高分解能など、装置の高性能化が実現できたことによる。

2.4 高密度キセノン媒体中のシンチレーション発光量と電離電子収量の研究

希ガスキセノンは、検出器媒体として大変有用である。検出器の信号情報として、高密度キセノン媒体の電離及び励起(脱励起)によるシンチレーション発光量と電離電子収量について基礎データが殆どない。そこで、本年度は高密度キセノン中で、5.49 MeV のアルファ線がつくるシンチレーション発光量と電離電子収量の測定を行った。無電場におけるシンチレーション発光量を、0.12-1.32 g/cm³ の密度領域で測定した。その結果、発光量には密度依存性が観測された。約 1.0 g/cm³ までは減少し、それ以上では飽和することが明らかになった。過去の測定結果とは、0.74 g/cm³ までの密度までは一致している。それよりも高密度では、世界初の実験結果である。また、いくつかの密度において、電場強度を変えながらシンチレーション光子と電離電子の同時測定を行った。測定した密度領域は 0.12-1.03 g/cm³ である。その結果、密度により光子と電子の相関関係に

変化が観測された。また、測定した光子数と電子数の和は、密度の上昇とともに減少していくことが分かった。これは、アルファ線のエネルギー損失過程またはシンチレーション発光過程に、密度に伴う何らかの変化が存在することを示唆している。

3. 研究組織

草野広樹(理工研・助手)	太田周也(理工研・助手)
宮島光弘(理工研・客員研究員)	櫻井邦朋(理工研・客員研究員)
柴村英道(理工研・客員研究員)	久野治義(理工研・客員研究員)
林 友直(理工研・客員研究員)	奥平 修(理工研・客員研究員)
山下直之(理工研・客員研究員)	小林正規(理工研・客員研究員)
小平 聡(理工研・客員研究員)	小林進悟(理工研・客員研究員)
春山純一(理工研・客員研究員)	藤井雅之(理工研・客員研究員)
森 国城(理工研・客員研究員)	南条大輔(理工研・客員研究員)
道家忠義(名誉教授、招聘研究員)	菊池順(名誉教授、招聘研究員)

学生

太田周也(D3)	早津佳奈子(D2)	草野広樹(D2)	長岡央(D1)	町田二郎(M2)
森田幹雄(M2)	藁科至智(M2)	中秀一郎(M2)	竹内光太郎(M2)	石川智祐(M2)
井手口(M1)	柴田元来(B4)	藤林ゆかり(B4)	水谷崇人(B4)	吉田拓真(B4)
井上格(B4)	北澤克樹(B4)			

4. 研究業績

A. 論文リスト

- M. Mimura, S. Kobayashi, T. Ishikawa, M. Miyajima and N. Hasebe, "Intensity and time profile of recombination luminescence produced by an α -particle in dense xenon gas", *Nucl. Instr. and Methods Res., A613*(2010)106-111.
- T. Ishikawa, R. Miyazawa, H. Kusano, M. Mimura, N. Hasebe, M. Miyajima, S. Kobayashi: "Correlation between numbers of scintillation photons and liberated electrons on recombination luminescence processes in high pressure xenon", *Proc. of the 24th Workshop on Radiation Detectors and Their Uses*, (2010) 204-213.
- M. Mimura, S. Kobayashi, T. Ishikawa, M. Miyajima and N. Hasebe: "Intensity and time profile of recombination luminescence produced by an α -particle in dense xenon gas", *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A 613* (2010) 106-111.
- S. Ota, N. Yasuda, L. Sihver, S. Kodaira, M. Kurano, S. Naka, Y. Ideguchi, E. Benton, and N. Hasebe, "Charge resolution of CR-39 plastic nuclear track detector for intermediate energy heavy ions", *Nucl. Instr. Meth. B 269*(2011)1382.
- S. Ota, S. Kobayashi, L. Sihver, N. Yamashita, N. Hasebe, "Neutron Production in lunar subsurface from alpha particles in galactic cosmic rays", *Earth, Planets, Space*, 63(1)(2011)25-35.
- N. Hasebe and K. Hayatsu, *Radiation Science: Radiation Environment on the Moon*, *Radiological Sciences*, 53(8.9)(2010)28-33.
- N. Hasebe, Y. Karouji, O. Okudaira, K. Hayatsu, Y. Takeda, H. Nagaoka, K. Tsukada, J. Machida, S. Sakurai, S. Komatsu, S. Kobayashi, M. Hareyama, T. Okada, E. Shibamura, M.-N. Kobayashi, N. Yamashita, C. d'Uston, O. Gasnault, O. Forni, S. Maurice, K. Kim, R. C. Reedy, J. M. Dohm, "Global Distributions of K, Th and U on the Moon Observed by Kaguya GRS", *New Advances in Lunar Exploration (Proc. of International Symposium on Lunar Science (ISLS2010) Macau)*, (2010) 42-49.
- N. Hasebe, Y. Karouji, O. Okudaira, H. Nagaoka, K. Tsukada, S. Kobayashi, K. Kim, J. M. Dohm, "Distributions of K, Th, U and Rare Earth Metal in Procellarum KREEP Terrane",

New Advances in Lunar Exploration (Proc. of International Symposium on Lunar Science (ISLS2010) Macau, (2010) 84-89.

- N. Yamashita, N. Hasebe, E. Shibamura, M. –N. Kobayashi, O. Okudaira, Y. Karouji, M. Hareyama, S. Kobayashi, C. d’Uston, O. Gasnault, O. Forni, B. Diez, and R. C. Reedy, “Uranium on the Moon: The Distribution and U/Th Ratio Observed by Kaguya Gamma-Ray Spectrometer”, *Geophys. Res. Letters*, 37(2010) L10201, 5 PP : doi:10.1029/2010GL043061.
- S. Kobayashi, N. Hasebe, E. Shibamura, O. Okudaira, M. Kobayashi, N. Yamashita, Y. Karouji, M. Hareyama, K. Hayatsu, C. d’Uston, S. Maurice, O. Gasnault, O. Forni, B. Diez, R.C. Reedy, K.J. Kim, "Determining the Absolute Abundances of Natural Radioactive Elements on the Lunar Surface by the Kaguya Gamma-ray Spectrometer", *Space Sci. Rev.*, 154(2010)193–218, DOI 10.1007/s11214-010-9650-2.

B. 国際協力 :

†韓国での月・惑星探査分野の立ち上げの協力

- － 日韓科学協力事業 (JSPS)
- － 韓国版月探査計画に協力

†かぐやγ線観測における国際協力

－韓国の KIGAM を中心とした研究所・大学の月探査核分光装置の提案、米国アリゾナ大学の LPL、ドイツのマインツ大学、フランスの CESR

C. 国際会議の開催

† ”International Symposium on Lunar Science (ISLS2010), March 25-26, 2010, Macau, China.

† “International Symposium of the Science and Utilization of the Moon (SUM2010), --- Based on Scientific Achievements from Kaguya and Other Missions and Future Planning of Lunar Resources ---”, September, 8-10, 2010 @ Res. Insti. for Sci. & Eng., Waseda Univ.
アジア科学技術コミュニティ形成戦略：機動的国際交流事業(日本学術振興会)

† “The 5th KAGUYA (SELENE) Science Working Team Meeting,
~ *New Light on the Origin and Evolution of the Moon* ~, 17-19 January 2011, Main Conference Hall in Building 55, Nishi-Waseda Campus, Waseda University,
SELENE Science Team, JAXA Space Exploration Center (JSPEC) of JAXA

† “The 4th Japan-Korea Bilateral Lunar Exploration Workshop --- Selene-1& Selene-2 Nuclear Planetology ---“, Oct. 26, 2010, @KIGAM, Daejong, Korea

D. その他(教育活動など)

† 宇宙開発の連続講演会の開催(6/10~7/29) : 17 名の講師(早大、JAXA、東大)による連続講演(理工研事業)

† 「出る杭」人材を育てる早稲田プログラム (JST 委託事業)

－ めざせ！未来の科学者 －

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 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。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。しかしながら、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いまだ未発見である。よって、このヒッグス粒子を発見もしくは存在しない場合は棄却することが素粒子物理学の急務の最重要課題となっている。本研究課題は、世界の 2 大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。本研究は、2010 年 3 月 31 日に世界最高エネルギーの加速器実験となった LHC(Large Hadron Collider)における ATLAS 実験（欧州原子核共同機構、以下 CERN）と 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 2 大実験で国際協力にもとづいて行っている。一方、2009 年 10 月から開始した検出器開発として、液体アルゴンを用いたタイムプロジェクションチェンバー（Ar TPC）の開発を行っている。この検出器は、ニュートリノセクターの 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、また近年その発見が急務の課題である暗黒物質探索に非常に有望視されているものの、放電や純度、低温維持や大型化など様々な課題を抱えており、いまだ熟した検出器とは言い難い。これらの課題を克服し、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も本研究の一つの目的である。

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）

実験データの理解やモンテカルロシミュレーションのチューニングが既に成熟している 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・棄却である。図 1 に 2010 年 7 月の段階での結果を示す。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[100-109 GeV]と[158-175 GeV]を棄却することに成功した。我々はその中でも低い質量領域のヒッグス粒子が τ レプトン対に崩壊する過程の実行性に着目し、ジェットを伴う事象（図 2:115GeV の質量で標準理論の断面積の 9.7 倍の上限値予想）とレプトンを伴う事象（図 3:115 GeV の質量で標準理論の断面積の 17.5 倍の上限値予想）双方それぞれで大きな成果を上げた。また、ハドロン衝突実験でハドロン崩壊する τ 粒子の同定は他のレプトンと比べ、QCD ジェット事象との区別が難しい。この課題についても同定方法アルゴリズムに多変量解析を採用し、背景事象のフェイク率を変えずに、信号事象の同定効率を 20~30%向上させることに成功した。高い質量領域で支配的な崩壊過程である 2 つの W ボソン過程においても τ 粒子が終状態に現れることを利

用し、探索実行性が向上するかを議論し、現状からの改善は非常に小さい（5%程度）という結果を得た。さらに本研究室の修士学生2名がCDF実験現場での運転責任シフト（ACE shift）を3ヶ月にわたり受け持ち、データ取得に関しても多大な貢献をした。

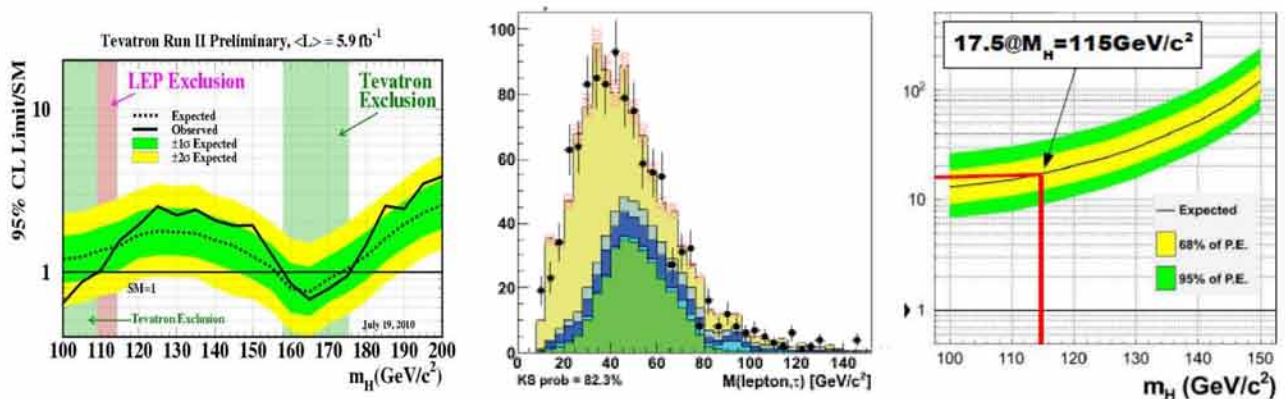


図1: ヒッグス粒子探索の結果

図2: $H \rightarrow \tau\tau + \text{jet}$ 過程図3: $H \rightarrow \tau\tau + \text{lepton}$ 過程

2.2 ATLAS/LHC 実験（重心系エネルギー 7 TeV の陽子・陽子衝突型実験）

CDF 実験とは異なり、ATLAS/LHC 実験は 2010 年 3 月 31 日に 7 TeV 衝突での物理データを取得した早熟段階の実験である。そのため、我々はまず ATLAS 内部飛跡検出器の一つである半導体検出器の運転と管理、データのクオリティーモニターの開発・運転・維持を行い、検出器応答の長期安定性の確認に有用に使った（図4）。また、物理結果としてトップクォーク対が全てジェットに崩壊する全ジェットチャンネルによる生成断面積測定を LHC 実験で初めて行った。このチャンネルは当初多量の QCD 背景事象やトリガーの問題などにより、非常に難しいとされていたものの、質量 $\times 2$ 乗というシンプルな力学量（図5）をフィットすることにより、データ量がまだ 36pb^{-1} と非常に少ないながら、統計的優位度 2σ で測定が可能であることを示し、断面積測定の中心値は 118pb 、上限値は 292pb という理論計算と一致する公式結果を得ることに成功した（図6）。さらに ATLAS Upgrade として 2014 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。ようやく今年度正式承認を得ることに成功し、本格的な開発構築に着手することができた。

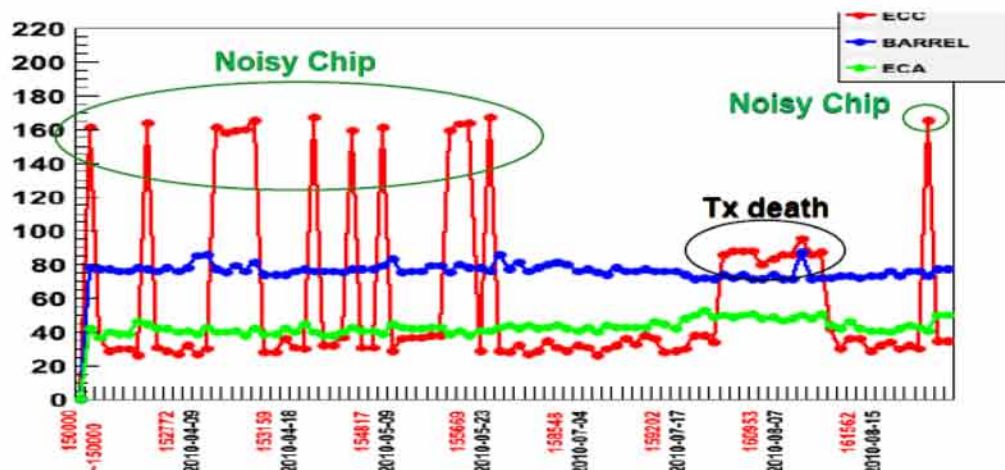


図4: SCT 検出器の長期応答の例（Noisy Strip）。Noisy Chip や Tx の問題など読出しに問題がある場合があるが早急に修復され、安定した運転が達成されていることがわかる。

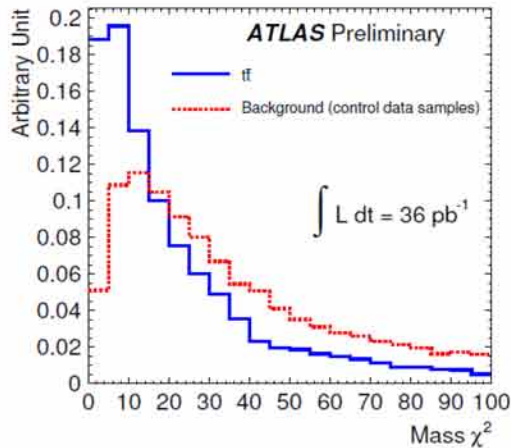


図 5: 質量バランスの χ^2 乗分布。青が信号、赤が背景事象の予想分布

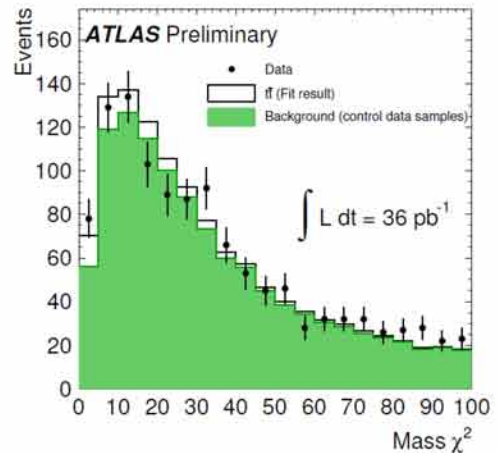


図 6: 図 5 のテンプレートを用いて実際にデータをフィットした結果

* なお、液体アルゴンを用いたタイムプロジェクションチェンバーの開発については本研究課題と一線を画すものと判断したため、ここでの年次報告は割愛する。（参照：理工研奨励研究「暗黒物質探索に向けた液体アルゴン検出器の研究・開発」年次報告（永野間淳二））。

3. 共同研究者

The CDF Collaboration (FNAL)

The ATLAS Collaboration (CERN)

ATLAS-FTK group (University of Chicago, INFN Pisa)

木村 直樹（先進理工学部・物理学科 助教）

蛭名 幸二（先進理工学部共通・助手）

永野間 淳二（理工学研究所・次席研究員）

丸山 和純（高エネルギー加速器研究機構・准教授）

田中 雅士（高エネルギー加速器研究機構・研究員）

Andre Rubbia（ETHZ・教授） 他

4. 研究業績

4.1 学術論文（主要なもの）

“Improved Search for a Higgs Boson Produced in Association with $Z \rightarrow l^+ l^-$ ”

T. Aaltonen, K. Yorita et al., The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 105, 251802 (2010).

“Top Quark Mass Measurement in the Lepton + Jets Channel Using a Matrix Element Method and in situ Jet Energy Calibration”

T. Aaltonen, K. Yorita et al., The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 105, 252001 (2010).

“Observation of Single Top Quark Production and Measurement of $|V_{tb}|$ with CDF”

T. Aaltonen, K. Yorita et al., The CDF Collaboration, Phys. Rev. D82, 112005 (2010).

“Search for a New Color-Octet Vector Particle Decaying to $t \text{ anti-}t$ Collisions”

T. Aaltonen, K. Yorita et al., The CDF Collaboration Phys. Lett. B, 691 (2010).

“Measurement of the Top Quark Mass and $p\bar{p} \rightarrow t\bar{t}$ Cross Section in the All-Hadronic Mode with the CDF II Detector”

T. Aaltonen, K. Yorita et al., The CDF Collaboration, Phys. Rev. D81, 052001 (2010).

“Inclusive Search for Standard Model Higgs Boson Production in the WW Decay Channel Using the CDF II Detector”

T. Aaltonen, K. Yorita et al., The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 104, 061803 (2010).

“Enhancement of the ATLAS trigger system with a hardware tracker finder FTK”

A. Andreani, K. Yorita, et al., JINST 5 (2010) C12037

“Performance of the ATLAS Detector using First Collision Data”

G. Aad, K. Yorita et al., ATLAS Collaboration, JHEP 1009 (2010) 056

“The ATLAS Inner Detector commissioning and calibration”

G. Aad, K. Yorita et al., ATLAS Collaboration, Eur.Phys.J. C70 (2010) 787-821 他

4.2 講演

2010 年 9 月：日本物理学会秋季大会（九州工業大学）

蛭名幸二，寄田浩平他「CDF 実験における $Vh \rightarrow l\nu\tau\tau, ll\tau\tau$ によるヒッグス粒子探索」

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構築」

三谷貴志，寄田浩平他「液体アルゴン TPC 検出器におけるガス電子増幅に関する研究」

永野間淳二，寄田浩平他「液体アルゴン TPC 検出器におけるシンチレーション光検出」

田中雅士，寄田浩平他「250L 液体アルゴン TPC 検出器の性能評価」

2011 年 3 月：日本物理学会年次大会（震災のため資料公開のみ）

蛭名幸二，寄田浩平「Tevatron/CDF 実験における $VH \rightarrow l\nu+\tau\tau, ll+\tau\tau$ によるヒッグス粒子探索」

桜井雄基，寄田浩平他「Tevatron/CDF 実験における $\tau\tau+2\text{jets}$ 事象でのヒッグス粒子探索」

杉田慎一郎，寄田浩平他「Tevatron/CDF 実験における $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu\tau\nu$ でのヒッグス粒子探索」

鎌塚翔平，寄田浩平他「ATLAS 実験におけるシリコンストリップ飛跡検出器のモニタリング」

木村直樹，寄田浩平他「ATLAS 実験におけるトップクォーク測定のための多ジェット事象解析」

三谷貴志，寄田浩平他「J-PARC K1.1BR における 250L 液体 Ar TPC ビームテスト解析 1」

永野間淳二，寄田浩平他「J-PARC K1.1BR における 250L 液体 Ar TPC ビームテスト解析 2」

藤崎薫，寄田浩平他「液体アルゴン TPC 検出器における電荷・光信号読み出し性能向上」

4.3 学会および社会的活動

ノーベル物理学賞受賞者特別招待講演@早稲田大学（Carlo Rubbia 氏）・企画代表者（10 月）

日米科学協力事業 30 周年記念シンポジウム・実行委員（10 月）

CDF-Japan Wide Meeting @ 早稲田大学・企画代表者（12 月）

理工研 70 周年記念シンポジウム「早稲田大学における素粒子研究の歩み」・企画代表者（12 月）

5. 研究活動の課題と展望

CDF 実験と ATLAS 実験でのヒッグス探索をさらに進める。特に ATLAS 実験でのトップクォークの性質測定や FTK 開発構築を進め、本格的なヒッグス粒子探索と新現象探索に挑む。

加速器科学・放射線科学

研究代表者 鷲尾方一
(理工学術院 総合研究所)

1. 研究課題

我々は高い機械的性能と化学的安定性、優れた電気特性、生体適合性等を併せ持つ、フッ素系の高分子材料に機能性を放射線を用いて付与するという、先端的な研究開発を行なっている。ここでは本プロジェクト開始後大きな成果を得てきているいくつかのテーマについて記載する

2. 主な研究概要

2-1 架橋体開発とそれを用いた応用

フッ素系の高分子材料は、“研究課題”で述べたように非常に多くの優れた特徴を持っているが、いくつか弱点も持っている。その弱点が放射線に対する脆弱さと摺動耐性の欠如である。フッ素系の高分子材料では、F による解離的電子付加反応を経由して、その主鎖が切断する事が知られている。そのため、その優れた特性を持つにもかかわらず放射線場における使用には大きな制限がかかっていた。すなわち、原子炉、加速器、宇宙といった最先端領域へのこの高分子の適用が制限されていたわけである。我々のグループでは、東京大学の田畑名誉教授が開発した新しい手法によってフッ素系高分子の架橋体を得る方法について系統的に研究を進め、比較的容易にしかも安価に架橋体フィルムを作成することができるようになっている。具体的には、PTFE を例にとると、概ね次のような作業で架橋体を形成する事ができる。すなわち、PTFE をその溶融点まで不活性ガス中で温度を上昇させ、その状態のままで電子線を照射するというやり方である。この方式をとると、一旦は分解した主鎖末端が周辺のラジカルと頻繁に再結合ができるようになり、結果として3次元のネットワーク構造を構成することになり、架橋体が生成する。PTFE は結晶性的高分子であり、概観は乳白色であるが、架橋処理をすると結晶が消えアモルファス状態に変化するため、その外観は透明になる。

PTFE と架橋処理をした PTFE (RX-PTFE) の外観を図 1 に示す。架橋体では透明度が増し、下敷きの黄色い色がよく見えるようになっている。PTFE 以外のフッ素系高分子についてもそのよう融点付近で不活性ガス下電子線を照射することで架橋体を得る事ができる。(本プロセスは東京大学名誉教授、田畑米穂先生の発明により実現したものである。)

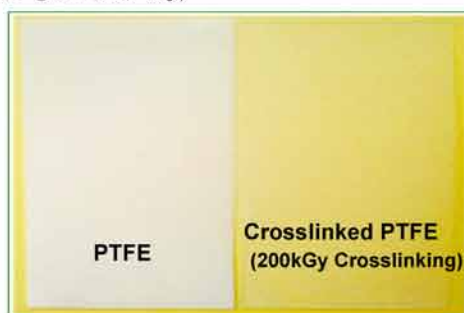


図 1 未架橋 PTFE と架橋 PTFE の外観

2.2 固体高分子型燃料電池用電解質膜開発

フッ素系の高分子はその化学的安定性等の優れた特性から、固体高分子型燃料電池用電解質膜としての性能にも大きな期待が寄せられている。我々は、本プロジェクトの中で、架橋 PTFE、PFA、FEP 等のフッ素系高分子材料を用いて、その可能性を探っている。固体高分子型の燃料電池膜としては Dupont の Nafion がよく知られているが、その価格と出力性能の観点から改善が必要とされている。我々は上記のような部分フッ素化高分子を用いて、比較的安価で性能の良い電解質膜の開発を行ってきた。特に我々は電解質膜を作成する際のグラフト方法等に検討を加え下に示すような手順でグラフト膜を得ている。

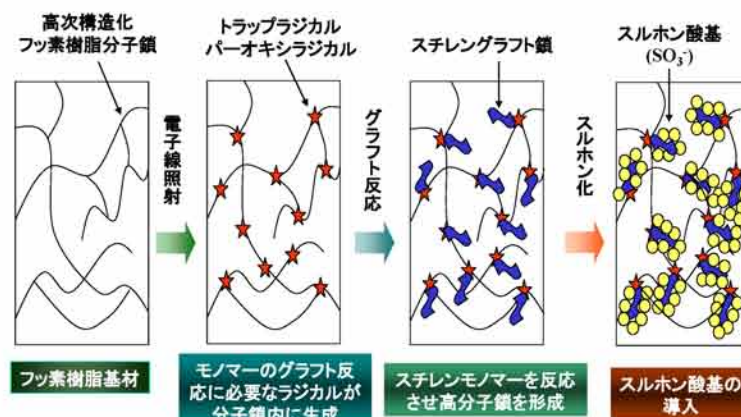


図2 グラフトによる電解質膜製造

このような方法で種々の固体高分子型の燃料電池膜を作製してきたが、現在ではこのような方法で作成した電解質を一度粉碎し、Nafion 等の電解質分散液と混合して新たなハイブリッド膜(FN10)を形成する事で、非常に性能の高い電解質膜を得る事に成功している。そのようなハイブリッド膜で得られた IV 曲線を図3に示す。従来から使われている Nafion の 1.5 倍を越える出力性能が得られている。

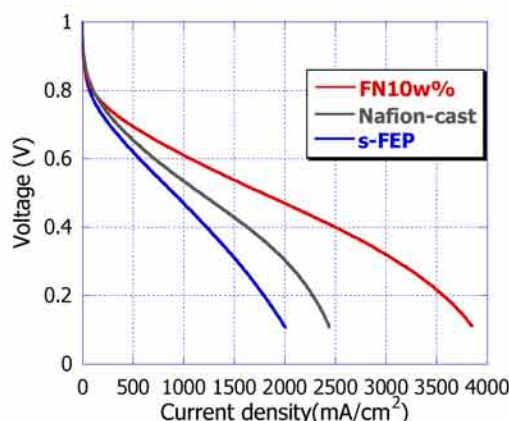


図3 FEP ベースの電解質膜(s-FEP)、Nafion,及び新規のハイブリッド膜 FN10 による発電時の IV 特性

3. 共同研究者

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

1. The Effect of Water Uptake Gradient in Membrane Electrode Assembly on Fuel Cell Performance, 2011, Radiation Phy. & Chem., 80, 201-206
2. Study on functionally gradient proton exchange membrane fabricated by EB irradiation with heterogeneous energy deposition, 2010, Journal of Photopolymer Science and Technology, 23, 387-392

プロジェクト研究

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

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、さらにゼロ次元ナノ粒子での界面設計・制御を進め、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する。具体的には、リチウムイオン二次電池および直接メタノール型燃料電池用材料、電界効果トランジスタ (FET)を用いた高感度バイオセンサ、超高密度磁気記録デバイス、および超大規模集積回路配線形成プロセスの開発に関する研究を行っている。

2. 主な研究成果

2.1 タンパク質検出用 FET バイオセンサの開発

FET バイオセンサの応答の再現性を向上させるため、受容体をゲート表面上に強固に固定化する手法に関して検討した。具体的には、アミノ基末端を有する 3-アミノプロピルトリエトキシシランの自己組織化単分子膜を修飾した FET ゲート上に、架橋剤グルタルアルデヒド (GA)を反応させ、GA 修飾表面に電圧掃引処理を施した。その際、測定毎に生じる閾値電圧シフトは約 10 mV に抑えられた。一方で、電圧掃引処理を施さずに抗体を固定化した場合では、FET 応答が不安定になることが示された。また、ラマン分光法を用いた表面解析から、電圧掃引処理により GA 修飾表面に形成されるシッフ塩基が還元されることで、抗体がより強固に固定化されることが示唆された。さらにタンパク質の定量的検出に向けた検討として、抗体固定化 FET に、肝臓癌の腫瘍マーカーである α -フェトプロテイン (AFP)を添加して測定を行った(Fig. 1)。その結果、検出感度はカットオフ値と同等の 10 ng/mL であり、AFP 濃度増加に伴い FET 応答量は増加した。また、ヒト血清アルブミンやアビジンなどの夾雑タンパク質存在下においても、AFP 検出が可能であることが示された。

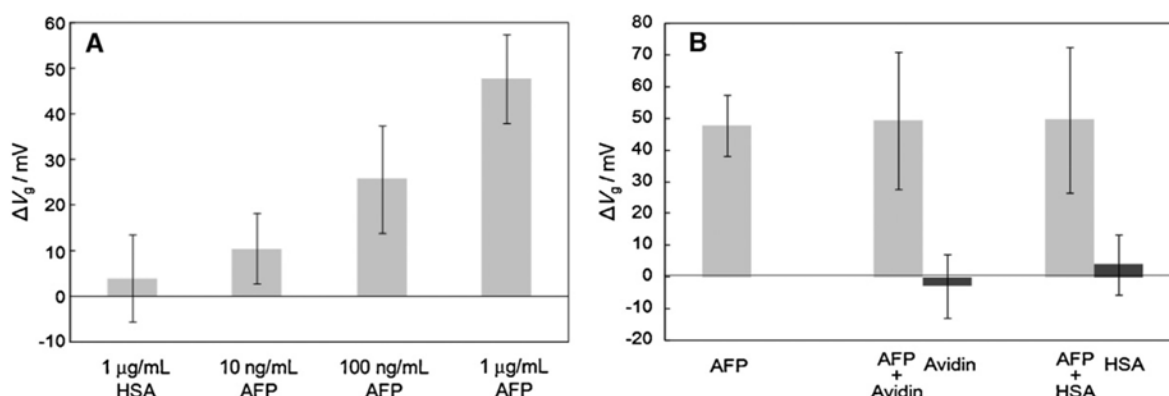


Fig. 1. Detection of AFP using a stable anti-AFP antibody-modified FET. (A) Quantitative detection of AFP in buffer solution ($0.01 \times$ PBS) ranging from 10 ng/mL to 1 μ g/mL. (B) Selective detection of AFP in a solution containing other proteins (HSA or avidin).

2.2 磁性ナノ粒子の化学的合成および規則配列化

化学的手法によって粒径および組成を均一に制御した FePt ナノ粒子を合成し、化学結合による Si 基板上への均一配列化を試みた。まず FePt ナノ粒子の合成条件の選定を行った結果、Pt 前駆体として白金アセチルアセトナート、粒子分散剤としてオレイン酸およびオレイルアミン、溶媒としてベンジルエーテルをそれぞれ用い、保持温度を 245 °C、保持時間を 2 時間とした場合に、球状で部分的に $L1_0$ 相を有し、かつ良好な分散性を有する FePt ナノ粒子の合成に成功した。

次に粒子表面と化学結合可能な官能基の選定を行い、その官能基を有する有機シラン分子を Si 基板上に成膜し、基板上への FePt ナノ粒子の固定化を試みた。原子間力顕微鏡による観察から、チオール基末端を有する 3-アミノプロピルトリメトキシシランを用いた場合に、FePt ナノ粒子の担持量が最も多くなることが分かった。また担持前後において、光電子分光法により S 2*p* および Pt 4*f* 電子由来ピークのケミカルシフトが確認された。さらにフーリエ変換式赤外分光法により、基板上のチオール基と、ナノ粒子表面の Pt 間において選択的な相互作用が起こっていることが示唆された。これらの結果から、チオール末端を有する有機分子膜が、FePt ナノ粒子と Si 基板間の中間層として有用であることが示されたが、FePt ナノ粒子の配列が乱れていることが確認された。

そこでこの配列の乱れを低減させるために、有機分子間との化学的相互作用だけでなく、UV ナノインプリントナノリソグラフィーにより形成されるサブミクロンレベルのホールパターンを用いることで、FePt ナノ粒子が均一配列したナノドットパターンの作製を試みた(**Fig. 2**)。その結果、Si(100)基板上において、6 nm 径の FePt ナノ粒子を 10 nm 間隔で均一配列させることに成功した。

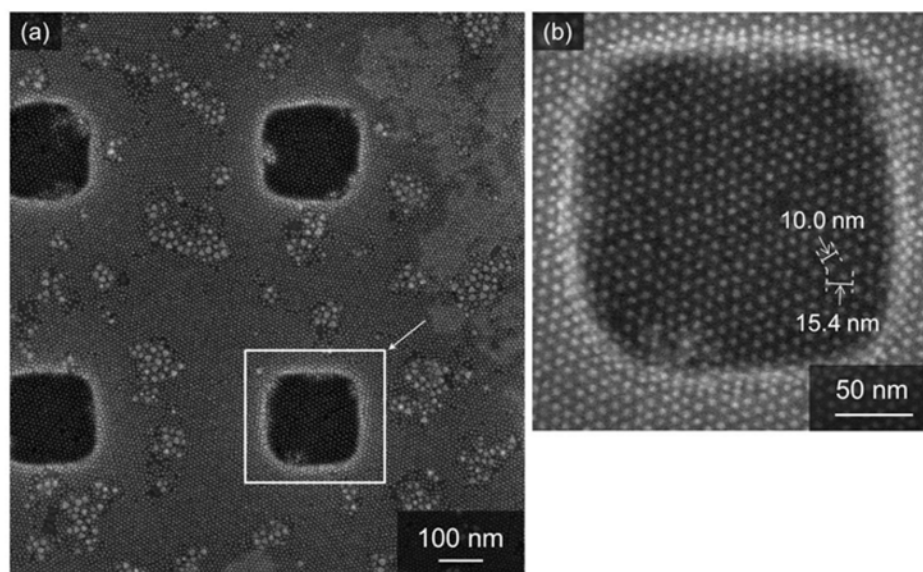


Fig. 2. Extreme high resolution scanning electron microscope images of FePt nanoparticles on hole-patterns area with modified (3-mercaptopropyl)trimethoxysilane as an interlayer between the particles and Si(100) substrate. (a) The plan view, (b) the enlarged image of arrowed part in (a).

3. 共同研究者

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）
 富中 悟史（物質材料研究機構・研究者）

4. 研究業績

4.1 学術論文

S. Tominaka, S. Ohta, T. Osaka, R. Alkire, “Prospects of on-chip fuel cell performance: improvement based on numerical simulation”, *Energy Environ. Sci.*, **4**, 162-171 (2011).
 T. Inoue, K. Sato, M. Yoshino, K. Senda, M. Yanagisawa, Y. Okinaka, T. Osaka, “Analysis of electrodeposited Au-Ni alloy films for carbon inclusion and crystallinity”, *J. Electrochem. Soc.*, **157**, D274-D277 (2010).
 S. Hideshima, R. Sato, S. Kuroiwa, T. Osaka, “Fabrication of stable antibody-modified field effect transistors using electrical activation of Schiff base cross-linkages for tumor marker detection”, *Biosens. Bioelectron.*, **26**, 2419-2425 (2011).

4.2 総説・著書

M. Schlesinger, M. Paunovic (Eds.), “Modern Electroplating, 5th Edition”, pp. 369-382, 421-432, 459-476, John Wiley & Sons, USA, 2010.
 T. Osaka, M. Datta, Y. Shacham-Diamand (Eds.), “Electrochemical Nanotechnologies”, pp. 1-4, 23-33, 87-98, 133-149, 255-274, Springer, USA, 2010.

4.3 招待講演

“Gel-polymer composite electrolytes for perspective Li-metal secondary battery systems”, 12th International Ceramics Congress & 5th Forum on New Materials, Tuscany, Italy, June 2010.
 “Development on technique for arrangement of FePt alloy particles by chemical synthesis”, The Electrochemical Society (218th Meeting), Las Vegas, USA, October 2010.

4.4 受賞・表彰

逢坂哲彌, “界面電気化学の確立による高密度記録用小型磁気ヘッドの開発”, 紫綬褒章, 2010.

4.5 学会および社会的活動

5. 研究活動の課題と展望

ナノ粒子を用いたビットパターン形成において、さらなる広範囲での緻密な粒子配列パターンの形成を達成することにより、数テラビット級記録の実現が期待される。また FET バイオセンサを用いた腫瘍マーカーの検出において、生体環境条件下における検出、および検出対象分子の拡大を達成することにより、医療分野への応用が期待される。

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 鷲尾 方一

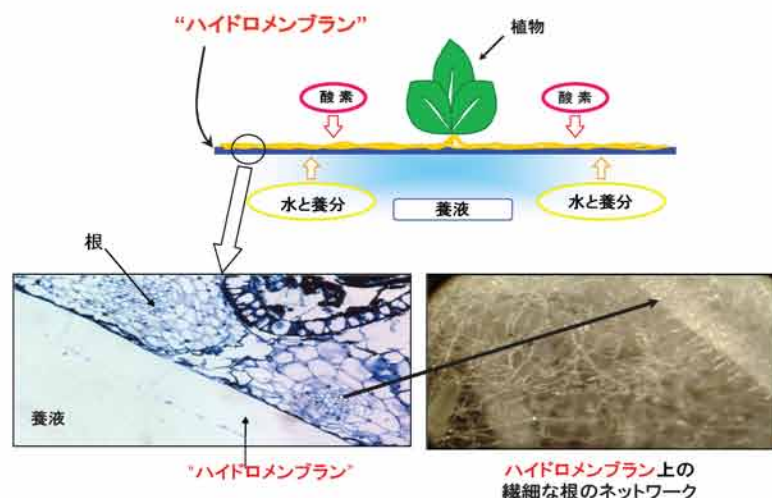
1. 研究課題

我々はハイドロゲルという機能性高分子を活用した新しい植物栽培技術を開発している。水分吸収率が自重の 100～200 倍で、且つ植物の生長阻害が全くない、植物用保水剤（スカイジェル）を開発し、法面緑化、屋上緑化、農業に応用している。一方、ハイドロゲルを膜状に成形した“ハイドロメンブラン”を介して植物に水分、栄養素を供給する、新しい植物栽培技術（ハイメック）の開発を行っている。本研究では植物の根とハイドロゲルの相互作用を解明することを目的とする。

2. 主な研究成果

ハイドロゲルの特徴は、水分を吸収するものの吸収した水分を外部に放出しないという性質である。スカイジェルのような保水剤を土壤に添加すると植物の生長が著しく促進されることが分かっている。ハイメックの場合でも直接、植物に水を供給しなくともハイドロメンブラン上で植物が生長することが分かっている。植物は、外部に放出されることが無いハイドロゲル中の水を吸って生長していることになる。

図に示すように植物は根をハイドロゲルの表面に密着させ、ハイドロゲル中の水分と栄養素を直接吸って生長する。吸収効率を上げるために膨大な毛根を発生させると同時に糖分などを大量に合成し、浸透圧を利用することが分かりました。



3. 研究業績

本技術のテレビ紹介

- 1) 2010. 4. 22 TBS 「ひるおび」
- 2) 2010. 5. 8 テレビ朝日 「やじうまサタデー」
- 3) 2010. 5. 16 BS Japan 「デキビジ」
- 4) 2010. 8. 11 TBS 「はなまるマーケット」
- 5) 2010. 9. 28 「池上彰のそうなんだニッポンの食生活」

4. 研究活動の課題と展望

本技術は1) 安全、安心、高栄養価な作物の生産、2) 水、肥料、土などの農業資源の大幅削減、3) 土の代わりに工業製品のフィルムが使用でき、農業のマニュアル化が可能など、次世代農業につながるものと期待されている。国内は3.11の大津波の被災農地の復旧、国外では地球温暖化による水不足、土壌劣化が深刻な地域の農業再生につながるものと思われる。

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。

原子力発電所高経年化評価法として、例えば 40Hz～100MHz の広い周波数域において、ケーブルに直接 500mV 程度の低電圧を印加し、インピーダンス値と位相角の周波数応答を取得し、劣化状態との相関を求める広帯域インピーダンス分光(BIS)法の適用性の検証を行う。これにより、原子力発電所で使用されているケーブルに適用できる非破壊絶縁診断法の確立を目指す。

2. 主な研究成果

ケーブルのインピーダンススペクトルを広範囲に周波数の関数として測定する BIS 法により、ケーブル絶縁体劣化評価の可能性を検証した。図 1 に、100℃において、長さ約 25m の FR-EPR(難燃エチレンプロピレンゴム)絶縁ケーブルの測定端から約 9.8m から 10.3m に至る約 50cm の部分に線量率 930Gy/h でγ線を約 529kGy 照射した場合について、γ線を照射しながらインピーダンスと位相角を 801 点で測定したデータの数 8721 に補間したのちに高速フーリエ逆変換した結果を示す。熱・放射線同時劣化させた位置である測定端より約 10m の位置にピークを確認できる。この結果、上記の補間が S/N 比を向上し、測定時間を短縮できる手法であることが明らかとなると同時に、BIS 法がケーブル劣化位置評定の可能性を持つことが確認できた。

今後は、より緩やかな劣化の検出や高速データ処理を可能とするべく検出・解析手法を改良するとともに、装置の小型軽量化を図り、BIS 法が、原子力発電所で使用されている低圧ケーブルの非

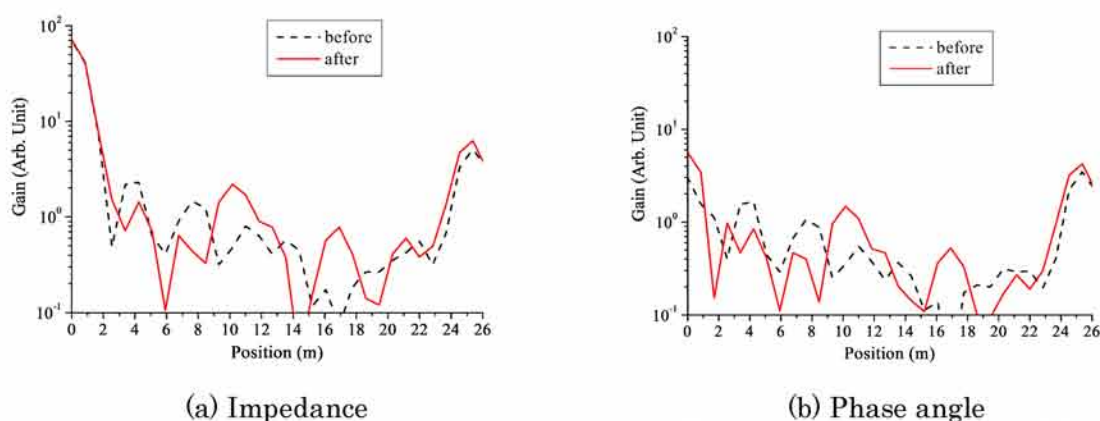


Fig. 1 Gain/position spectra based on impedance spectra (a) and phase angle spectra (b), before (---) and after (—) simultaneous aging with heat and radiation. The γ -irradiation was given to a 50-cm length of a 25-m FR-EPR cable to a total dose of 529kGy at a dose rate of 930 Gy/h at 100 °C. The data obtained at 801 points were interpolated to 8721 data for fast Fourier transform analyses.

破壊劣化診断法として適用されることを目指して研究を進めて行く。

3. 共同研究者

田中 祀捷(情報生産システム研究科・教授)

平井 直志(理工学術院・客員講師)

藤巻 真(理工学術院・客員准教授)

4. 研究業績

4.1 学術論文

大木義路, 平井直志, “広帯域インピーダンススペクトルのフーリエ解析によるケーブル劣化位置評定”, 電気学会論文誌 A, Vol. 132, No. 2, 2012. (2012 年 2 月号掲載決定)

大木義路, 平井直志, “原子力発電所における絶縁劣化診断の重要性およびケミルミネセンスによる酸化状態の把握”, マテリアルライフ学会誌, Vol. 23, No. 1, pp. 1-9, 2011 年 2 月.

4.2 国際会議報告

Y. Ohki, T. Yamada, and N. Hirai, “Diagnosis of Cable Aging by Broadband Impedance Spectroscopy”, IEEE 2011 Annual Report of Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Cancun, October 2011 (to appear).

N. Hirai and Y. Ohki, “Effects of Gamma-ray Irradiation and Thermal Aging on the Chemiluminescence in Flame-Retardant Ethylene-Propylene Rubber”, Proceedings of the 2010 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, B3-3, pp. 306-309, Tokyo, September 2010.

Y. Ohki and N. Hirai, “Broadband Impedance Spectroscopy as a Tool to Evaluate the Integrity of Cable Insulation”, Proceedings of the 2010 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, B3-5, pp. 313-316, Tokyo, September 2010.

Y. Ohki, N. Hirai, T. Yamamoto, T. Seguchi, H. Kudoh, and T. Okamoto, “Endurance of Polymeric Insulating Materials in Nuclear Power Plants and Needs for Condition Monitoring of Electric Cables”, 2010 CIGRE Session, D1-302, Paris, August 2010.

Y. Ohki and N. Hirai, “Evaluation of Broadband Impedance Spectroscopy on its Monitoring Ability of Cable Aging”, International Symposium on the Aging Management and Maintenance of Nuclear Power Plants 2010, pp. 92-100, Tokyo, May 2010.

Y. Ohki, “Issue of Cable Ageing in Japan and Application Plans for Knowledge Base and Commendable Practices Issues”, OECD/NEA Workshop, Tokyo, May 2010.

4.3 国内会議報告

平井直志, 山田貴之, 大木義路, “異なる酸化防止剤が添加された低密度ポリエチレンの化学発光”, 平成 23 年電気学会全国大会講演論文集[2], pp. 31-32, 大阪, 2011 年 3 月.

大木義路, “原子力発電所における高分子電気絶縁材料の重要性および状態診断へのケミルミネセンス適用のための基礎研究”, 第 5 回ケミルミネッセンス研究会講演要旨集, pp. 1-10, 東京, 2010 年 12 月.

大木義路, 平井直志, “新しいケーブル劣化位置検出法としてのインピーダンススペクトルのフーリエ解析”, 第 41 回電気電子絶縁材料システムシンポジウム予稿集, S1-1, pp. 117-122, 秋田, 2010 年

11 月.

大木義路, 平井直志, “高分子の酸化劣化評価法としての化学発光測定”, 第 41 回電気電子絶縁材料システムシンポジウム予稿集, A-3, pp. 29-34, 秋田, 2010 年 11 月.

大木義路, 平井直志, “広帯域インピーダンス分光データの高速フーリエ変換によるケーブル損傷位置推定”, 平成 22 年電気学会基礎・材料共通部門大会講演論文集, p. 390, 沖縄, 2010 年 9 月.

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]

経産省原子力安全・保安院 (原子力発電所および電気設備技術基準に関する委員会)

OECD-NEA (経済協力開発機構原子力機関・電気設備に関する委員)

経産省原子力安全・保安院 (高経年化対策強化基盤整備事業 ケーブル劣化検討会委員長)

5. 研究活動の課題と展望

BIS 法では、絶縁劣化に由来する信号以外に、応力等に由来する信号も検出されることが明らかとなった。実プラントでの BIS 法の実施に先立って、まず両者の信号の識別を可能にする必要がある。今までは、ケーブル単体で試験を行ってきたが、次年度からの継続プロジェクトでは、実プラントと同じようにケーブルを布設したモックアップモデルを用いて実験を行う。また、2 項に述べたシステムの改良も行う。なお、劣化と応力の信号が明瞭に区別できるようになれば、本手法は応力検知センシングシステムとして使えることになる訳であり、将来的にはその方向の研究を進めることも考えられる。

音声認識基盤技術

研究代表者 小林 哲則
(理工学術院 教授)

1. 研究課題

音声認識システムの実用化に資する基盤技術開発を行う。音声認識システムの実環境における性能向上を目指して、様々な雑音処理技術を検討するとともに、ユーザビリティの知見から音声インタフェース構成について検討し、幅広い環境において幅広い利用者に対し利便性の高い操作感を与えるシステムを実現する。また、会話ロボットを構成し、高齢者のコミュニケーション活性化に応用するについても検討を行う。

2. 主な研究成果

2.1 雑音処理技術

実環境における遠隔発話の音声認識時に問題となる、目的話者の移動によるビームはずれ、近傍目的外話者の音声、拡散性雑音の混入、残響などへの対応法を検討した。

ビームはずれに関しては、6 マイクにより帯状の空間にある音源を強調する空間フィルタを形成する方法を提案した。音源がマイクから離れても、ビーム幅が広がらない特性を持つことにより、目的音源の後方にある雑音源を精度良く除去できることを確認した。また、この方式におけるマイク個体差の補正法についても検討を行った。認識率と相関の高い距離尺度を提案し、これを最適化するマイクアレーのパラメタ調整法について提案を行った。

残響除去に関しては、統計的室内インパルス応答モデルに基づく方式と、時変ガウス音源モデルと多チャネル自己回帰過程に基づく方式を実装・評価した。結果、残響環境のインパルス応答を推定する時変ガウス音源モデルと多チャネル自己回帰過程に基づく方式が良好なことを確認した。

2.2 音声インタフェースの設計

高齢者や、運転等作業負荷の高い環境下にある人を対象とした利便性の高い音声認識インタフェースについて検討を行った。予備実験の結果、階層メニューなどに必須となる「モード」の存在が、インタフェースの利用に悪影響を与えることが分かった。すなわち、高齢者や高負荷下にある作業者は、操作モード（あるいはメニューの階層）を正しく把握しながら操作を続けることが難しく、モード依存の操作を要求される場合、しばしば操作に混乱を生じた。そこで、音声を利用したモードレスのインタフェースを構成した。提案手法では、完全に階層構造のないフラットな構造のメニューを用意し、項目を選択する。このとき、一般にメニューの項目のリストは非常に大きなものになる。そこで、複数キーワードの発話入力により、それに合致するもののみ選択対象となるようメニュー項目のリストを絞る機能を実装した。この構成により、モードの存在によるインタフェース利用の混乱から、完全に解放され、利便性が格段に向上することが確認できた。

2.3 会話ロボット

(1) ロボットの振舞の設計法

会話における全ての状態変化を、任意の参加者間の相互行為における要求・応答とその効果の関

係モデルとして表現した。また、これに基づいてロボットの行動記述を行った。それぞれの行動が会話にどのような影響を与えるかについて、その副次的効果も含めて総合的に評価可能になり、その評価に基づいて行動を選択することで、違和感のないリズムある会話進行が可能となった。

(2) 魅力ある会話進行のための会話記述方式と、その実行機構

ロボットが他の参加者から質問されたことに単に応答するだけでなく、話題に関連した付随的な発話を自発的に組み合わせるよう、話題間の関係性を記述したうえで、それぞれの内容に応答的、自発的の双方の発話表現を記述しておくことで、関連するさまざまな話題に言及しながら発話を続ける機能を実現した。このことによって、ロボットとの会話は活性化し、会話にそれ自体を楽しむ要素を付与することができた。

(3) 会話のための音声合成方式の高度化

会話場面に応じて適切な声を生成できる音声合成システムを開発した。Russell の円環モデルにおける 4 つの異なる象限に対し 4 種類の発話状況を選定した。声優が発話したそれぞれの発話状況における音声を収集し、HMM を用いてそれぞれの発話状況ごとの合成器を作成した。音声を合成する際には対話の場面に応じてそれにふさわしい合成器を選択・使用する。さらに、呼気段落末に現れる、発話意図を伝える機能を持つ基本周波数パターンの分類を行い、聴取実験によって、基本周波数パターンとそれが伝える発話意図との関係を整理した。以上の成果により、従来の音声合成システムにはない表現力を持った会話用音声合成方式を実現できた。

(4) 高齢者コミュニケーション活性化への応用

上記技術を組み込んだロボットに、さらにデイケアセンターで高齢者が行う漢字の読みあてゲームに参加させる機能を実装した。具体的には、ロボットには、わざと間違えてとぼけた答えをする機能や、問題に関連した豊富な話題を披露する機能を組み込んだ。実際に、ロボットを高齢者のデイケアセンターに持ち込み、会話実験を行った結果、ロボットは 1 時間以上にわたり高齢者とゲームを行い、高齢者を楽しませることができた。

3. 共同研究者

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）、匂坂 芳典（理工学術院 教授）、菊池 英明（人間科学学術院 教授）、樽松 明（電気通信大学 名誉教授）、藤江真也（高等研究所 助教）、小川哲司（高等研究所 助教）、中野鐵兵（IT 研究機構 研究員）、岩田和彦（IT 研究機構 研究員）、松山洋一（理工学術院 助手）

4. 研究業績

4.1 学術論文

- 1) Tetsuji Ogawa, Kazuya Ueki, Tetsunori Kobayashi, "Class-Distance-Based Discriminant Analysis and Its Application to Supervised Automatic Age Estimation," IEICE Trans. Information and Systems, Vol.E94-D, No.8, Aug. 2011 (to appear).
- 2) Yotaro Kubo, Shinji Watanabe, Atsushi Nakamura, Erik McDermott, and Tetsunori Kobayashi, "A Sequential Pattern Classifier Based on Hidden Markov Kernel Machine and Its Application to Phoneme Classification," IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol 4, issue 6, pp. 974-984, 2010.

- 3) Tetsuji Ogawa, Shintaro Takada, Kenzo Akagiri, and Tetsunori Kobayashi, "Speech enhancement using a square microphone array in the presence of directional and diffuse noise," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E93-EA, no.5, 926-935, May 2010.
- 4) Yoichi Matsuyama, Shinya Fujie, and Tetsunori Kobayashi, "Framework of Communication Activation Robot Participating in Multiparty Conversation," AAAI Fall Symposium, Dialog with Robots, pp.68-73, Nov. 2010.
- 5) Yoichi Matsuyama, Shinya Fujie, Hikaru Taniyama and Tetsunori Kobayashi, "Psychological Evaluation of A Group Communication Activation Robot in A Party Game," Proc. Interspeech2010, pp.3046-3049, Sept. 2010.
- 6) Nobuaki Tanaka, Tetsuji Ogawa, Tetsunori Kobayashi, "Development of zonal beamformer and its application to robot audition," Proc. EUSIPCO2010, pp.1529-1533, Aug. 2010.

4.2 総説・著書

- 1) 小林哲則, 中野鐵兵, "サーバ連携に基づく継続的な音声認識応用システム開発," 情報処理, Vol.51, No.11, pp.1458-1463, Nov.2010.
- 2) 矢頭隆, 森戸誠, 山田圭, 小川哲司, "正方形マイクロホンアレイによる音源分離技術," 情報処理, vol.51, no.11, pp.1410-1416, Nov. 2010.
- 3) 藤江真也, 小林哲則, "音声対話システム," 基礎講座 「音声・音響インタフェース」第3回, ヒューマンインタフェース学会誌, vol.12, no.3, pp.195-200, Aug. 2010.
- 4) 古井貞熙, 小林哲則, 矢頭隆, 大淵康成, 河村聡典, 三木清一, 庄境誠, "音声認識実用化技術の展開," 電子情報通信学会誌, Vol.93, No.8, pp.725-740, Aug.2010.

4.3 招待講演

- 1) Tetsunori Kobayashi, "Robot as a multimodal human interface device," International Conference on Auditory-Visual Speech Processing, Oct.2010 (Keynote).
- 2) Tetsunori Kobayashi, "History of the Conversational Robot," International Workshop on Spoken Dialogue System, Oct. 2010 (Keynote).
- 3) Tetsunori Kobayashi, "Conversation robot recognizing and expressing paralinguistic information," Workshop on Predictive Models of Human Communication Dynamics, Aug. 2010.

4.4 受賞・表彰

小川哲司。日本音響学会 2010 年秋季研究発表会における講演「情報論的な最適化に基づくマルチカーネル学習を用いた話者認識」にて、日本音響学会 第 29 回栗屋潔学術奨励賞を受賞。

4.5 学会および社会的活動

匂坂芳典, 小林哲則, 菅田雅彰, 菊池英明, Interspeech2010 組織委員会委員

5. 研究活動の課題と展望

音声認識の前処理としての雑音処理に関しては、特定の箇所にマイクロホンを設置する形の処理としては、十分に高い精度を実現したと考えている。今後は室内環境にさらに多数のマイクロホンを遍在させる形で設置し、精度を向上させることを検討したい。モードレス型のインタフェース、および、コミュニケーションロボットに関しては、評価実験を充実させる予定である。

なお、当プロジェクト研究所は 2011 年度で終了する。成果はグリーンコンピューティングシステム研究機構 知覚情報システム研究所に引き継ぎ、さらに研究を進める予定である。

知的空間制御の研究

研究代表者 小林 哲則
(基幹理工学部・情報理工学科・教授)

1. 研究課題

情報システムの高度化により、ユーザが能動的に希望した情報を得ることや、サービスを受けることが可能になっている。今後は、システム側がユーザに対して能動的に機能を提供していくことを前提に、環境と情報システムが融合し知的機能を有して、ユーザの活動を広範囲に支援することが求められると考えられる。そこで我々は、コミュニケーションロボットや空間に設置された複数のセンサから得られる情報を統合し、ユーザの心的状態や状況を理解して、それに応じたサービスを能動的に提供することを目的とした「知的空間制御機構」の検討を進めている。

本プロジェクトは「ユーザの心的状態理解およびそれを活用した対話システム」と、その基礎的研究として「音声画像処理技術の高度化」から構成される。前者については「能動的情報収集対話戦略」、後者については「多様な音声表現データの収集と分析」について述べる。

2. 主な研究成果

2.1 能動的情報収集対話戦略

部屋空間内に設置されたコミュニケーションロボットが、情報収集のため室内の人間に話しかけるという状況を想定し、「話しかけタイミング判断モデル」「ユーザ発話を活性化させる対話継続戦略」「対話終了判断モデル」について検討した。

(1) 話しかけタイミング判断モデル

人物姿勢情報が人体モデルの関節角度パラメータとして得られたとして、そこから話しかけるのに適当なタイミングを判断するためのモデル構築を試みた。対象人物が部屋空間内で仕事をしており、ロボットがその人物に対してその人の専門分野に関して聞きたいことがあり、横から話しかけるという状況を想定した (Fig.1)。人間の被験者によるタイミング判断実験を行い、「話しかける」と判断された時点でどのような動作が特徴的であるかを検討した。その知見を元に動作特徴量を作成し、Gaussian mixture model によるモデルを作成した。判断結果の一部を Table.1 に示す。



Fig.1 話しかけ判断モデルへの入力画像

Table.1 GMM による話しかけ判断の結果(一部)

動作	速さ	程度	話しかけ割合[%]
もたれ	速い	大	95
		小	25
	遅い	大	80
		小	40
肩回し	速い	大	60
		小	25
	遅い	大	80
		小	40

(2) ユーザ発話を活性化させる対話継続戦略

開始された対話を上手に継続し、対象人物からできるだけ多くの情報を引き出すための対話戦略を研究した。本プロジェクトでは、情報収集のためのインタビュー型の対話を想定した。インタビュー型対話では、システム側が対話の動機を持っているために、対話を継続するための工夫が必要となる。まず人間同士のインタビュー対話を分析し、用いられている対話技術を洗い出した。本研究では、人間の発話を表現を変えてロボットが復唱する「言い換え」、人間の発話を具体的に掘り下げる「具体例の提示」、および「話題転換」について着目し、ロボット対人間による対話でもそれらの技術が有効かどうかを検討した。評価実験を行った結果、「言い換え」は話を理解していると思わせる効果があり、「話題転換」は対話を面白くし、話題を広げ、それぞれ得られる発話量（情報量）を増加させる効果があることがわかった。

(3) 対話終了判断モデル

インタビュー型対話を終了するのに適切なタイミングを決定するため、対話終了判断モデルの研究を行った。まず、人間が対話を終了させたがっている際に、どのように発話に変化するかを調べるため、Wizard of OZ 方式による対話実験を行った。その結果をもとに、発話の言語情報、韻律情報を用いて対話終了判断を行うモデルを構築した。

2.2 多様な音声表現データの収集と分析

部屋空間においては、人間が自然と発するような多彩な感情や意図が様々な強度で観測されると考えられるため、心的状況を考慮した対話ロボットと人間のインタラクションを実現するためには、表現豊かな音声に込められた感情や意図を適切に処理することが求められる。さらに、対話ロボットが文脈に相応しい音声を生成して出力することは、より円滑かつストレスの少ない対話を実現することに大きく貢献するであろう。以上のことから、表現豊かな音声表現の処理の高度化は、知的空間制御において必要不可欠な技術である。

表情豊かな音声に関する既存研究は、「喜び」、「怒り」、「疑い」といった感情語に対応する音声表現が着目されてきたため、既存の手法では認識・生成（合成）の精度・バリエーションは大きく制限される。近年の音声認識および生成技術は、大量の音声資料を前提とする **data-driven** と呼ばれる方法が盛んであるが、重要視されてきたのは韻律などの主要な音響パラメータの豊かさであり、感情などの表現の豊かさについてはあまり着目されていない。そこで我々は、表現豊かな音声の認識・生成のため、多様な表現が含まれた演技音声データベースの構築を目指した。

我々は、人間同士のコミュニケーションモデルに着目し、演技に使用する台本（Table.2）にどのような要素を用意すれば演技音声の表現が多様になるか検討した。この検討に従った台本を用い、我々は約 3000 の音声を集め、音響的・心理的両側面からの分析を行ったところ、単純な感情語をもとに演技を行った音声よりも多彩な音声表現が得られた（Fig.2）。

Table.2 多様な音声表現収録のための台本(例)

項目	例 (TV 番組から抽出)	
話し手と聞き手共通の情報	発話時の場所・状況	コント、ニュース、病院、学校
	発話者と聞き手の関係	友人、生徒と教師、リポーターと一般人
	発話時の背景	目に涙を浮かべ淡々と
話し手が持つ聞き手の状況	職業・続柄	高校生、MC、CA、アイドル、教師
	人物像	男勝りの活発な、明るく騒がしい
	年齢・性別	10 代後半～70 代の女性

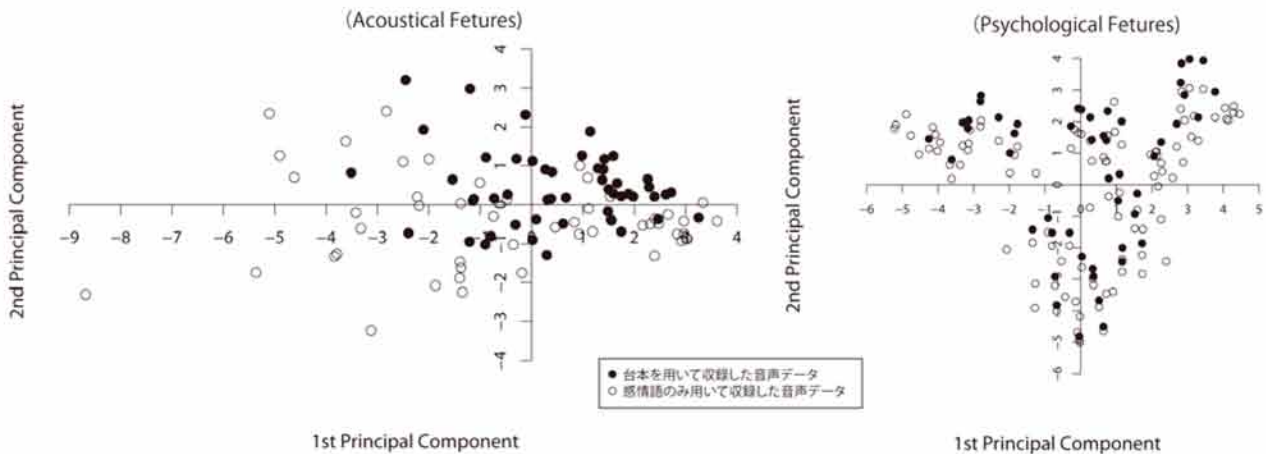


Fig.2 収録した音声の音響・心理特徴量の概観(主成分分析)

3. 共同研究者

白井 克彦（基幹理工学部・情報理工学科・名誉教授）

菊池 英明（人間科学部・人間情報科学科・准教授）

東山 三樹夫（基幹理工学部・表現工学科・客員教授）

4. 研究業績

4.1 学術論文

峰村今朝明, 後藤理, 東山三樹夫, 白井克彦, “音声母音スペクトルのべき級数展開とその零点分布,” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J93-A, No.12, pp.833-834, 2010.12.

4.2 学会および社会的活動

Takahiro Miyajima, Takeshi Fukuda, Hideaki Kikuchi, Katsuhiko Shirai, "Method for Collection of Diverse Speech for Emotion Research Database", Proc. of Oriental COCODA 2010, CD-ROM, Nov. 2010, Katmandu.

Yoshito Ogawa, Takahiro Miyajima, Makoto Murakami, Katsuhiko Shirai, "Construction of Decision Model for a Sysytem to Start Communicating with a Human using hidden Markov model, " Proc. of 9th IEEE/ACIS, pp.401-406, Sep. 2010, Yamagata.

5. 研究活動の課題と展望

情報収集対話システムを実際の環境下に実装するためには、高精度かつリアルタイム物体認識技術が必要不可欠である。現在、部屋の複数個所にあるカメラを用い、マーカー無しという制約下のもと、システム開発に取り組んでいる。また、人物の姿勢や韻律だけではなく、感情音声認識技術を用いて心的状態をより細かく把握し、状況判断に有効活用していくことが求められる。

また、情報収集だけではなく、収集した情報からユーザの状態に合ったサービスを提供するシステムを検討している。我々が目指すシステムは、たとえばユーザが落ち込んでいるときに、過去に収集した情報の中から似た状況下から得られたものを探し、それを提示にすることによって励ますことのできるシステムである。

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活用

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が、そのメカニズムや支援手法についてはこれまでほとんど明らかにされていない。本研究では、主客非分離技術(場の技術)について研究し、心のケアを必要とする人々が安心して生活できる居場所づくりを技術的に支援することを目的とする。

2. 主な研究成果

2.1 スリットスクリーンによる劇場型影メディアシステム

共感できるドラマの即興的創出には、舞台(場)の上の演者の身体表現のみならず、観客の働きを舞台に取り込むことが重要になる。そこで、舞台と観客席を包摂するような舞台空間を創出し、観客と演者の双方で舞台のイメージを共創出できる表現メディア技術について研究した。ここでは自己の内部に気づきを引き起こし、表現の即興的創出を促すメディアと、演者によって創出されるメディア空間を観客側に開くことが少なくとも必要になる。これを実現するために本研究では、舞台と観客席の境界に設置した行き来可能な透過型のスリットスクリーンに対して、自身と存在的に非分離な身体の影を変容させて、身体と影に「ズレ」を生じさせる「影メディア」を投影するシステムを考案・開発した。

本システムにより、図1(a)に示すように、演者は、観客の眼差しを受けながら影メディアを使って舞台を創出することが、観客は、影メディアの舞台を通じて演者の身体表現を捉えることが可能になった。また、影メディアの投影機構を、スリットスクリーンを中心に左右対称に配置し、両側から影メディアを同時に投影することを実現した。これに

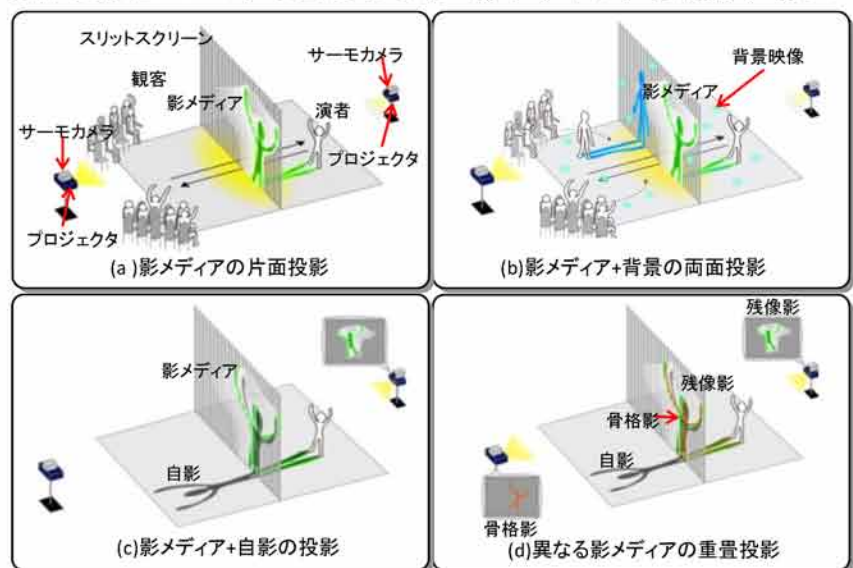


図1 スリットスクリーンを用いた影メディアの各種投影手法

より、演者は、スリットスクリーンを通り抜けて、観客側の舞台においても影メディアを介して、身体表現を行うことが可能になる。また、観客も、演者が創り出す身体表現の舞台（影メディア空間）に自身の影を介して入り込むことができる（同図 1(b)）。さらに、壁面・天井など、劇場空間全体に映像を投影し、舞台と観客席を包み込むような演出が可能である（同図 1(b)）。加えて、同図 1(c)に示すように、自身の本来の影を影メディアとともに二重的に投影することや 2 台のプロジェクタから別々の影メディアを重畳して投影することも実現した（同図 1(d)）。

以上のシステムによる、パフォーマンス「Shadow Awareness: Dual 2010」（総指揮；三輪敬之、演出；西洋子）の公演をジェノバ・サイエンスフェスティバル（イタリア・ジェノバ、2010 年 10 月 29 日－11 月 7 日）において行った（図 2）。その結果、観客席の子どもたちが一緒になって身体を動かす様子や、観客が舞台に入り込むことによって、劇場全体が一つに包み込まれるような共感的な空間が創出された。さらに、観客からは、影メディアが創り出す表現の舞台に包まれることによって、演者との間に、心の交流が作品のストーリー展開とともに芽生えていくことを、実感できたというコメントも得られた。本システムを一般に開放し、自由に触れてもらう体験展示においては、スリットスクリーンを挟んで、子どもたちが、舞台側と観客席側を行き来しながら、自身や他者の影メディアとの即興的なインタラクションを楽しんでいた様子が見受けられた（図 3）。以上の一連の結果は、スリットスクリーンへの影メディアの投影によって、演者側空間と観客側空間の境界が開かれ、演者と観客の間で表現を共に創りあっていく共感的な「場」（舞台）が創出されることを示すものである。なお、本研究成果は SIGGRAPH 2011 Art paper に採択された。

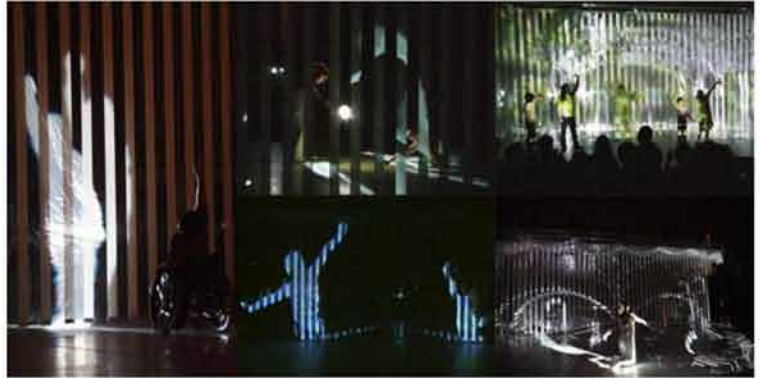


図 2 「Shadow Awareness: Dual 2010」の様子

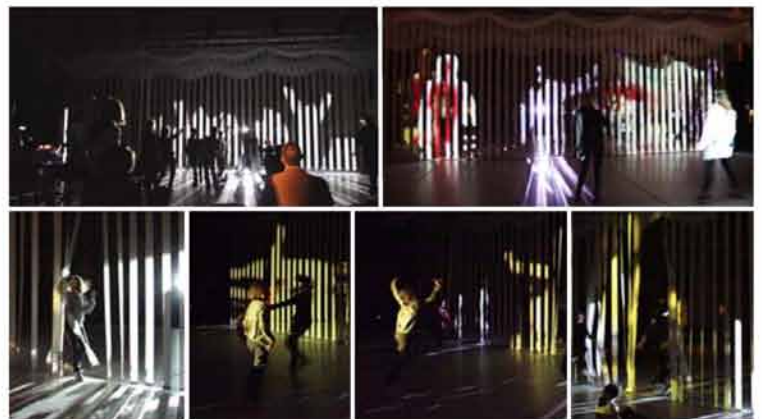


図 3 ジェノバ・サイエンスフェスティバルにおける体験展示の様子

2.2 Virtual Shadow Puppet System

異文化に対する共感の場の生成支援技術について取り組んだ。具体的には、インドネシアのジャワ島にある伝統的な影絵芝居ワヤン・クリを取り上げ、体験者が、このワヤンを模した影絵状の CG アバター(Shadow Avatar)とともに身体表現を行うことを可能とする Virtual Shadow Puppet System を提案・開発した。これにより異文化に対する知的理解ではなく、身体表現を通して生まれる身体的な気づきを介した感性的理解を促すことを試みた。

図 4 に示すように本システムは、Shadow Avatar を自身の身体の影に重畳させることで、Shadow Avatar と自身の身体の間に関係を生み出していることに特徴がある。さらに、重要なことは、Shadow Avatar に冗長自由度があるため自身の身体と Shadow Avatar の動きにズレが生じる

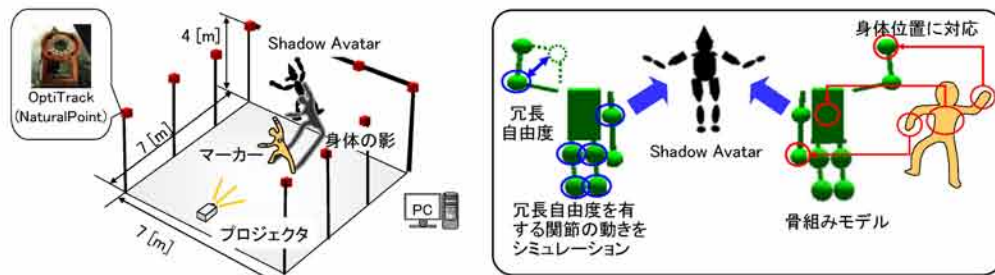


図 4 Virtual Shadow Puppet System

ことである。つまり、このズレによって生じるワヤン特有の動きに対する身体的な気づきを介して、自身の内側に異文化に対するイメージが創出されることで、異文化に対する感性的理解が支援できるのではないかと考えた。なお、本研究では、ワヤン以外にも、ピノキオを模した人形型の Shadow Avatar も合わせて作成した。

本システムを、一般の人々を対象とする現場に持ち込み、その効果を検証した。具体的には、予感研究所 3（日本科学未来館、2010 年 5 月 1－5 日）ならびに、ジェノバ・サイエンスフェスティバル（イタリア・ジェノバ、2010 年 10 月 29 日－11 月 7 日）にて、公開展示デモを行った（図 5）。その結果、体験者が、飛び跳ねながら活発に動き回る様子が頻繁に見られるとともに、「身体を動かしたくなる」、「新しい動きを試してみたいくなる」などのコメントが得られた。特に、ワヤンを提示した場合には、ワヤン特有の肘を曲げた状態での手の動きが数多く見受けられた。また、「想像力をかきたてられた」、「ワヤンになりきれた」という意見も得た。本システムを活用してワヤンの Shadow Avatar とともに身体表現を行うことで、ワヤン特有の動きに対する気づきが生まれるとともに、ワヤンという異文化に対するイメージが創出され、異文化を感性的に理解できるようになる可能性を見出した。



図 5 ジェノバ・サイエンスフェスティバルや予感研究所 3 における体験展示の様子

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（理工学術院・次席研究員）	渡辺貴文（理工学術院・研究助手）

4. 研究業績

4.1 学術論文

- Takabumi Watanabe, Norikazu Matsushima, Hiroko Nishi, Yoshiyuki Miwa: Electromyography Focused on Activeness and Passiveness in Embodied Interaction: Toward a Novel Interface for Co-creating Expressive Body Movement, Journal of Advanced Mechanical Design, System, and Manufacturing, Vol.5, No.1, pp.35-44, 2011.1.

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

- ・ 三輪敬之：場が介在する共創表現メディア技術，第11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（SI2010），東北大学，2010.12.24.
- ・ Yoshiyuki Miwa: Shadow media for co-creative expression, “Festival della Scienza Orizzonti” Invited Symposium “Co-creative Expression Media and Embodiment”, Palazzo della Nuova Borsa, Genova, Italy, 2010.10.31.
- ・ 三輪敬之：共創表現を引き出すコミュニケーション支援技術－影メディアの研究から－，北海道大学複雑系セミナー，北海道大学，2010.10.24.

4.4 受賞・表彰

- ・ ヒューマンインタフェース学会学術奨励賞：遠藤祐二，稲沢綾二，前田広一朗，板井志郎，三輪敬之，霧スクリーンの多層構造化による3次元的ディスプレイ装置の開発，2011.3.1.

4.5 学会および社会的活動

- ・ ヒューマンインタフェース学会 理事
- ・ 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 主査

4.6 展示発表

- ・ Virtual Shadow Puppet, 予感研究所3, 日本科学未来館, 2010.5.1-5.5.
- ・ Shadow Awareness II 「Dual 2010」, ジェノバ・サイエンスフェスティバル招待展示・プレパフォーマンス, 早稲田大学大隈記念講堂, 2010.8.31.
- ・ Shadow Awareness II 「Dual 2010」, ジェノバサイエンスフェスティバルパフォーマンス, Palazzo della Nuova Borsa, Genova, Italy, 2010.10.29-10.31.
- ・ Shadow Awareness II ジェノバ・サイエンスフェスティバル招待展示, Palazzo della Nuova Borsa, Genova, Italy, 2010.10.29-11.3.
- ・ Virtual Shadow Puppet II ジェノバ・サイエンスフェスティバル招待展示, Palazzo della Nuova Borsa, Genova, Italy, 2010.11.4-11.7.

5. 研究活動の課題と展望

研究代表者は先に、二重残像の影メディアを開発することにより、時間的・空間的な身体感覚の二重的なズレが、身体の潜在的可能性に気づきを与え、表現の場の持続的創出を促すことを示唆する結果を得ている。そこで、この感覚のズレを外側からコントロールするための実験手法について研究し、内側の時空を操作することによって二領域的な表現メディアの設計手法と原理を明らかにする。これにより、自己の内にある身体性や他者性、物語性の可能性に気づかせ、つながり感の創出性を高める方法を研究する。さらに、居場所感覚と密接な関係がある「手合わせ表現」における共振現象を取り上げ、気づきから「つながり」にいたる創出ダイナミクスについて実験的、理論的に研究する。以上の研究から共感的な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、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。

景観まちづくり研究

研究代表者 後藤 春彦
(理工学術院 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って、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。

具体的には、以下の3点を行っている。

- 1) 景観まちづくりの枠組みの設定
- 2) 景観まちづくりの担い手の育成
- 3) 景観まちづくりの理論的枠組みの構築

2. 主な研究業績

2.1 城崎温泉「木屋町工事」プロジェクト

「木屋町小路」は2005年度より基本設計からデザイン・設計まで行ってきた。近接する神社や町並み、市街地構成の特徴、震災復興の歴史など場所の特性を読み取った上で、空間デザインのコンセプトを「環境文化」「歴史文化」「生活文化」の3つに整理し、防火壁と大屋根、広場、テナント施設などを配置している。これまで施設を運営する予定である城崎町商工会と会合を重ねながら、時間をかけて慎重にデザインの検討を行い、工事段階に入っていたものが、2008年7月に竣工した。完成後は、城崎温泉街の新たな立ち寄り場所として賑わい、多くの地域住民や観光客の憩いの場となっている。これは兵庫県「人間サイズのまちづくり賞」まちなみ建築部門、国道交通大臣賞、グッドデザイン賞など、数多くの賞を得たことから裏付けられる。

2.2 群馬県みなかみ町湯原温泉の街なみづくり

2005年度より継続的に活動を行っている群馬県みなかみ町湯原地区において、本年度はまちなみ協定（原案）のとりまとめと、街なみ環境整備方針（案）の作成を行った。008年度に地元住民の代表者によって構成された協議会が発足した。月1回程度の頻度で協議会を開催し、意見出しと修正を繰り返した。その後、地域住民の同意により、まちなみ協定（原案）が承認された。これは住

民のガイドラインとして「おもてなしの庭づくり」をテーマとし、その整備方針を示したものであり、締結に向けてさらに内容への同意を得るための活動を行う。また、街なみ環境整備方針（案）は行政側のガイドラインであるが、まちなみ協定（原案）との整合性が必要であるため、さまざまな調査を行い、街なみ環境整備方針（案）を作成した。具体的には、公共施設として水路、公共施設外港、ポケットパークといったものに注目し、その種類や方向性により5つのテーマに分け、基本方針を定めた。図面やイラストを多用するなどして、住民が理解しやすい方針となるよう努めた。

2.3 新潟県十日町市松代町における集落営農と空間解析による持続的な生活景の考察

新潟県十日町市旧松代町において、共同営農活動に関するヒアリング調査を行った。また蒲生集落においては耕作地/耕作放棄地の実地調査を行い、基盤情報装置に入力した。衛星写真と共同営農活動に関するデータを基盤情報装置に入力することで、山間地の田畑の精密な実地調査を行うことなく、広範囲の耕作状況の把握が可能となった。さらに、基盤情報装置に蓄積された、過去・現在・未来の多様な生活像や景域像のデータ出力し、複数パタンのシミュレーションを可能にするタンジブルな景観をつくり出す装置を開発した。これらを使って景観や農地縮退のシミュレーションを行っている。空間画像基盤情報装置に関して、「田畑」／「森林」／「ため池」などの大局的な分類はできるが、耕作地/耕作放棄地の判別の制度においては、2年以内の新しい耕作放棄地の判別は難しく、より精度の高い分析をするには、適切な撮影時期の衛星画像の入手や、水系、高度情報など、複合的な情報による分析が必要となるなどの課題があげられる。さらに、現地調査と空間情報の分析により、集落営農の組織的・戦略的な運営に関する考察を行った。今後は異なる集落間も含めた、多様で複雑な連携が、集落営農の存続に不可欠であることが明らかになった。

3. 共同研究者

佐藤 滋（早稲田大学・理工学術院・教授） 卯月 盛夫（早稲田大学・芸術学校・教授）
有賀 隆（早稲田大学・理工学術院・教授） 佐久間 康富（大阪市立大学・工学部・助教）
佐藤 宏亮（早稲田大学・理工学術院・助教）

4. 研究業績

4.1 学術論文

「東京大都市圏郊外部の空間構造変容からみた企業集積メカニズム」後藤春彦、山村崇／日本建築学会計画系論文報告集、第658号、2845-2853、2010年12月

「集落域での耕作範囲の縮減過程における文化的景観のマネジメントに関する研究 果樹産地である愛媛県明浜町狩浜地区を対象として」後藤春彦、安楽あてね、佐藤宏亮／日本建築学会計画系論文報告集、第655号、2147-2156、2010年9月

「城崎温泉 木屋町小路」後藤春彦、羽渕雅己、吉田道郎／日本建築学会作品選集2010、2010増刊、170-171、2010年3月

「新宿区を対象とした景観調査および景観まちづくり計画・ガイドブック策定の取り組み」後藤春彦、渡辺勇太、佐藤宏亮、北川博邦、木村美樹雄、高村亮／日本建築学会技術報告集、第29号、251-256、2009年2月

4.2 総説・著書

「地域と大学の共創まちづくり」後藤春彦、小林英嗣＋地域・大学連携まちづくり研究会／学芸出

版社、2008 年 11 月

4.3 設計・構想・計画

JR 湯檜曾駅設計（基本構想・基本計画） 2010.2 完成（2009 年）

JR 水上駅設計（基本構想・基本計画）（2009 年）

4.4 受賞・表彰

日本都市計画学会賞 計画設計賞（2011 年 5 月）

土地活用モデル大賞 国土交通大臣賞 受賞（2010 年 10 月）

4.5 学会及び社会的活動

日本建築学会代議員（第 9 期）

日本建築学会賞選考委員会論文部会専門委員

日本建築学会都市・建築にかかわる社会システムの戦略検討特別調査委員会委員

国際デザイン・ワークショップの開催（2009 年、2010 年）

台湾・中国文化大学をホストに、プリンシパル・インストラクターとして、シドニー大学、高麗大学、台湾・国立政治大学、台湾・国立聯合大学と共同で都市デザイン・ワークショップを行った。（特に、2010 年は台北市政府がスポンサーとなり資金提供を行った）

小田原市片浦地域オーラルヒストリー調査研究

5. 研究活動の課題と展望

東日本大震災という未曾有の大災害の後、被災地では多くの景観が失われた中で、あらたな地域像や社会像を構築することが求められている。このような困難な時代において、コミュニティが豊かな夢やビジョンを共有することと、地域づくりのインフラストラクチャとしての社会資本の形成することが、持続的な景観まちづくりに繋がると考えられる。

生活学の再構築に関する研究

研究代表者 後藤 春彦
(理工学術院 教授)

1. 研究課題

生活学は本学建築学科教授であった今和次郎(1888-1973)によって提唱され、多分野の研究者の参加のもとで、現在では広範囲な領域にわたって展開している。

生活学とは、まさしく生活を客体化し、理論化しようとするところみであり、生活のなかで人間を発見し、人間を通して生活を見つめ、そのことによって、人間にとっての「生きる」ことの意味を探究するものである。

既成の学にとらわれない新しい学問の場として誕生した生活学も 30 余年を経た。これまでの生活学研究の成果をレビューするとともに、人間生活を対象化し体系的な知的探求の主題とする今和次郎の提唱した原点を再度確認し、地域的特性を見いださうる工学的な生活学として再構築する方策を形成するための研究している。

2. 主な研究業績

2.1 福岡県上毛町の総合計画策定とコミュニティ計画づくり

上毛町では、新たな地域の個性・地域像を示す基本的な指針として、総合計画の策定を進めてきた。策定の方法として、総合計画を横断的に補完する地域別の「コミュニティ計画」を住民参加の過程をふまえて策定していくことが特徴的であり、さらにはそのプロセスを通じて、今後の身近なまちづくりに必要な住民の自治意識が発展拡大していくことを目指している。2007 年度にまとめられたコミュニティ計画を実行に移すために、88 プロジェクトに沿って活動する団体を、「地域づくり活動団体」として認定し、活動にかかる経費に対する補助金の交付などを始めとした支援を行った。まず、活動事業に向けて、南吉富、西吉富、友枝、唐原の各地区でワークショップを開催した。その後活動団体を公募し、公開認定会を行った。実際に取り組んだ団体は中間報告会・説明会で発表してもらうなどして、住民同士のさらなる交流も促した。こうした取組の企画・運営・支援・助言などを継続的に行った。また、情報発信だけでなく、団体同士の情報交流や認知度向上をめざして、ホームページや広報の作成なども行った。

2.2 徳島県海部郡美波町木岐地区の地域づくり計画

まちづくり人生ゲームやオーラルヒストリー調査を通して、住民の意見をもとに木岐地区の実態を把握した。まちづくりの土台として「木岐の交流づくり」「海まわりの拠点づくり」「町並みづくり」「絆づくり」4つのプロジェクトを立ち上げ、そこから7つの目標を設定した。さらに奨学生とのワークショップの開催や、地域内外からの参加者を募り、地域住民が主催する複数のイベントを調整して一つの都市農村交流事業を展開するなどして、それらの結果をもとに地域計画を更新した。

2.3 神奈川県小田原市片浦地区のまちづくり支援活動

神奈川県小田原市片浦地区は、かつては石材業、農業、漁業等で栄えたものの、産業構造の転換とともに、近年は人口減少が加速され、片浦中学校が廃校となった。本活動は、片浦中学校の跡地利用に向けた、まちづくり支援活動であり、地域独自の文化や資源の発掘整理や住民同士の共有というプロセスを経て、有意義な中学校の跡地利用に繋げるものである。「まちづくり・オーラルヒストリー調査」、「今昔遊び場ワークショップ」、「片浦子ども遊び調査」などをさまざまな調査・ワークショップを行い、それらの成果を「テーマごと」「時代ごと」「季節ごと」などに整理し、「役立つ古の生活書」として編纂した。さらに、それらをブログ（みかたうら日記）や新聞（みかたうら新聞）、模造紙にまとめ、住民が共有できる場を形成して、さらなるワークショップを行った。地域住民同士でのさまざまな発見が確認された。今後も継続的に地域活動を企画・開催し、本格的な中学校の跡地利用に向けた、さらなる生活学の再構築をめざす。

3. 共同研究者

進士 五十八（東京農業大学・地域環境科学部・教授）

中谷 礼仁（早稲田大学・理工学術院・准教授）

足立 巳幸（女子栄養大学・栄養学部・教授） 真島俊一（TEM 研究所・所長）

4. 研究業績

4.1 学術論文

「屋久島の里地における地域資源への来訪者の流入と集落の対応に関する研究」後藤春彦、前田茜、佐藤宏亮／日本都市計画学会学術研究論文集、No.45-3,817-822、2010 年 11 月

「Community Developing “Lifescape” , “Lifescape” Developing Community」GOTO,Haruhiko／日本建築学会 PD 資料、2010 年 9 月

「Community Development in Hayakawa-cho, Yamanashi Prefecture The least population town in Japan」GOTO,Haruhiko／disP - The Planning Review, ETH Zurich、181・2/2010 Volume46,100-105、2010 年 8 月

「都市農村交流における「地域づくりインターン事業」派遣期間終了後の再訪に関する研究」後藤春彦、川見亮介、佐久間康富／日本都市計画学会都市計画論文集、No45-1,1-7、2010 年 4 月

「Lifescape（生活景） as Social Capital」GOTO,Haruhiko／Urban Design Asia 2009／Urban Design Institute of KOREA、2009 年 11 月

4.2 総説・著書

「生活景」後藤春彦、小林敬一、志村秀明ほか／日本建築学会編／学芸出版社／2009 年 3 月

4.3 設計・構想・計画

徳島県海部郡美波町木岐地区地域資源活用総合交流促進施設（基本構想）（2009 年）

城崎温泉木屋町小路／日経アーキテクチュア 2008.11-24 掲載（2008 年 7 月－2010 年 8 月）

4.4 受賞・表彰

2010 年度グッドデザイン賞（2010 年 10 月）

兵庫県第10回「人間サイズのまちづくり賞」(知事賞) まちなみ建築部門(2009年3月)

4.5 学会及び社会的活動

日本都市計画学会副会長

日本生活学会・会長

世界エキステックス学会副会長

国際デザイン・ワークショップの開催(2008年)

台湾・国立政治大学をホストに、プリンシパル・インストラクターとして、MIT、シドニー大学、高麗大学、中国文化大学、台湾・国立聯合大学と共同で都市デザイン・ワークショップを行った。
徳島県海部郡美波町木岐地区地域資源活用総合交流促進施設等基本計画策定業務

5. 研究活動の課題と展望

日本各地の農山漁村地域では、地域固有の資源(文化や自然環境など)が失われ、住民自治の展開が、今まで以上に困難になると予想される。これまでの研究蓄積を活かしながら、より多様な自治体、地元組織とパートナーシップを組みつつ、長期的な視野に立って、それぞれの地域性に応じた地域自治の展開を支援していくことが生活学の再構築に繋がると考えられる。

エジプト世界遺産ギザ台地の発掘・整備計画に関する研究

研究代表者 近藤 二郎
(文学学術院 教授)

1. 研究課題

研究代表者が所長を務める早稲田大学エジプト学研究所は、エジプトのギザ台地で最大の未発掘遺物といわれる「クフ王の第2の船」の発掘と復原のプロジェクトをエジプト政府考古庁と共同で実施している。本研究は、クフ王の第2の船の発掘、保存、組み立て、展示、活用の方法を研究することを目的としている。

2. 主な研究成果

クフ王の第2の船の調査研究は、2008年より本格的な活動を開始した。2010年はまず3月に蓋石の取り上げに向けて、蓋石の上を覆っていた壁体の考古学的調査を実施した。6月には壁体から出土した遺物の整理作業も行った。これらの調査により、壁体の構造や年代、古代の石工が蓋石に記したインスクリプションの発見など、数々の興味深い成果を得ることができた。また蓋石取り上げの設備建設に関しては、日本側とSCA側とが共同で2009年までの計画を一つ一つ練り直し、工事を進めることとなった。蓋石取り上げのガントリークレーンとテント外に運び出すための線路や現地での保存修復作業を行うための保存修復ラボなどについて建設を行ってきた。

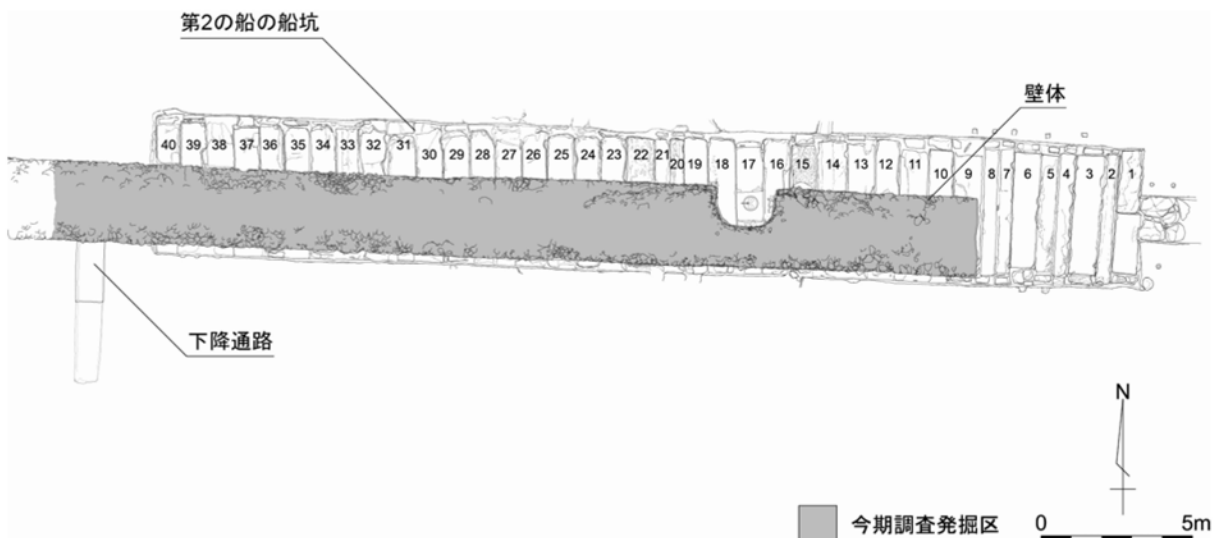


Fig.1 クフ王第2の船の船坑および壁体の今期調査発掘区



Fig.2 クフ王第2の船の船坑上の壁体および石灰岩破碎層発掘前（北西側より）



Fig.3 クフ王第2の船の船坑上の壁体および石灰岩破碎層発掘後（北西側より）

3. 共同研究者

吉村作治（理工学術院・客員教授）

青木繁夫（サイバー大学・教授）

黒河内宏昌（サイバー大学・准教授）

西坂朗子（サイバー大学・助教）

増澤文武（元興寺文化財研究所・名誉研究員）

中川武（理工学術院・教授）

西本真一（サイバー大学・教授）

柏木裕之（サイバー大学・准教授）

高橋寿光（総合研究機構・研究助手）

4. 研究業績

4.1 学術論文・報告

西坂朗子、高橋寿光、黒河内宏昌、吉村作治、「ギザ、クフ王第 2 の船の船坑上の壁体発掘調査概報」、『エジプト学研究』第 17 号、p. 5-44, 2011 年.

5. 研究活動の課題と展望

本研究課題はようやく対象とするクフ王第 2 の船の船坑の発掘する準備ができたところである。今後は船坑の蓋石を取り上げ、内部の船材の状況を確認し、木材の状況を確認するためのサンプリングを予定している。今年度得られたインスクリプションは解読を進め、古王国時代第 4 王朝時代の労働者組織の一端が解明されることが期待される。

エジプト、ルクソール地区およびサッカラ地区の文化遺産の 保存修復技術と活用に関する研究

研究代表者 近藤 二郎
(文学学術院 教授)

1. 研究課題

研究代表者が所長を務める早稲田大学エジプト学研究所が中心となって調査を継続しているルクソール地区およびサッカラ地区の遺跡の保存および修復のための技術の研究とその実践、そして調査後の保存整備計画の策定を行うことを目的とする。

2. 主な研究成果

2.1 王家の谷・西谷アメンヘテプ 3 世王墓調査

早稲田大学エジプト学研究所は、王家の谷・西谷でアメンヘテプ 3 世王墓、王墓の約 60m 南に位置する岩窟遺構 (KV A)、およびその間の区域において 1989 年より調査を継続している。2000 年まで 15 回にわたる考古学的調査に引き続き、2001 年からはユネスコ世界文化遺産日本信託基金の助成を受けて、エジプト政府最高評議会(SCA)と共同でアメンヘテプ 3 世王墓の修復に取り組んでいる。2006 年からは、これまでの調査で出土した遺物の詳細な記録と、修復が進んだ壁面の記録調査を行っている。

出土遺物の記録については河合が担当し、土器の資料整理は高橋が担当した。埋葬時の副葬品の組成をうかがい知る情報を入手することができた。アメンヘテプ 3 世王墓の内部では、埋葬室の壁面に描かれている冥界文書「アムドゥアト書」の史料化に向けた現地調査が 4 期目を迎えた。これまで撮影用ライトで壁画を照らす方法を取ったが、今年度はストロボ光をアンブレラに照射し、壁面に均等な光が拡散されるような改良を加えた。またデジタル画像の接合精度を高めるため、壁面を同一地点から 2 度撮影することとした。このうち 2 度目の撮影では、画像の接合において基準点となるレーザー・ホイインターで示したドットを壁面に照射した状態で行い、さらにその測量を実施した。これらの改良によって、「アムドゥアト書」を高精細の画像として史料化するための撮影方法は完成したといつてよい。今期は、このような方法で埋葬室の西壁、東壁、および南壁の一部を撮影し、「アムドゥアト書」の史料化に用いる画像データを得ることができた。

以上の作業と並行して、ユネスコと共同で実施する予定のアメンヘテプ 3 世王墓壁画保存修復プロジェクトの計画についての検討をおこなった。



Fig.1 アメンヘテプ 3 世王墓のアムドゥアト書の壁画

2.2 ルクソール西岸・アル＝コーカ地区調査

2007 年 12 月に開始されたアル＝コーカ地区の調査は、新王国時代第 18 王朝アメンヘテプ 3 世治世のウセルハト墓（第 47 号墓）の再発見と調査を目指した 4 年目の調査である。現在、第 47 号墓は厚い堆積に覆われているが、第 4 次調査では前室奥壁の北側部分の天井崩落部分の砂礫の除去作業を実施し、前室および奥室部分の天井がどのような状態で残存していくのかを確かめる作業を実施した。これは来期以降、どのように第 47 号墓内部の調査を実施していくかの計画を立案するための作業である。発掘後に内部の観察を行い、天井の崩落の状況などを確認することができた。更に、部分的ではあるが墓の前室および奥室の記録作業も行うことができた。また、第 47 号墓の砂礫の除去作業によって、これまで不明であった墓の前庭部の南西コーナーが発見され、前庭部の南北方向の長さが 12.5m とハワード・カーターが報告している 13m と近似した値であることが判明した。これらの発掘調査の過程では、第 47 号墓の被葬者であるウセルハトの葬送用コーンなどが発見された。

その他、第 47 号墓の周辺に位置する第 174 号墓、第一 330 号墓でもこれまでの調査に引き続き、碑文記録、測量、保存修復などの作業を実施した。加えて、第 174 号墓では、今後の作業に備えて、内部床面の堆積砂礫を除去する作業を実施し、前室と奥室の 2 か所にシャフトを確認することができた。



Fig.2 第 47 号墓周辺地図



Fig.3 第 47 号墓遠景

3. 共同研究者

吉村作治（理工学術院・客員教授）
青木繁夫（サイバー大学・教授）
柏木裕之（サイバー大学・准教授）
西坂朗子（サイバー大学・助教）

中川武（理工学術院・教授）
菊地敬夫（サイバー大学・准教授）
河合望（理工学術院・客員准教授）
高橋寿光（総合研究機構・研究助手）

4. 研究業績

4.1 学術論文・報告

近藤二郎、吉村作治、菊地敬夫、柏木裕之、河合望、西坂朗子、高橋寿光「第3次ルクソール西岸アル＝コーカ地区調査概報」『エジプト学研究』第17号、p. 45-63、2011年.

4.2 学会発表

近藤二郎、「エジプト新王国第18王朝アメンヘテプ3世時代の岩窟墓について」『日本オリエント学会第52回大会』2010年11月7日.

近藤二郎、菊地敬夫、柏木裕之、河合望、西坂朗子、高橋寿光、「テーベ西岸岩窟墓第47号(TT.47)の調査」『日本オリエント学会第52回大会』2010年11月7日.

菊地敬夫、「アメンヘテプ3世王墓のアムドゥアト書について～王墓埋葬室の装飾としての視点から～」『日本オリエント学会第52回大会』2010年11月7日.

菊地敬夫、犬井正男、佐藤真知子、吉村作治、「アメンヘテプ3世王墓の埋葬室に描かれた壁画の史料化に向けたデジタル画像化」『日本オリエント学会第52回大会』2010年11月7日.

5. 研究活動の課題と展望

アメンヘテプ3世王墓の埋葬室のデジタル記録作業は、北壁および南壁が課題として残されている。今年度の調査における問題点を解決し、より精度の高い史料化を推進していきたい。また、2011年度秋より本格的な壁画の保存修復作業を開始する予定であり、本研究における課題である保存修復技術の研究が実践されることになろう。アル＝コーカ地区における貴族墓の調査に関しては、調査の主な対象である第47号墓の内部の状況がほぼ確認されたことを受けて、今後は墓の保護および修復の方法を検討する必要があるだろう。

粘性系ダンパーによる既存建築物の制振補強に関する研究

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 年の阪神淡路大震災において建築物に甚大な構造被害が発生し、さらにそれに起因する人命・財産の多大な損失が生じた。その時点においても将来同様な地震動が我が国の何れかにおいて発生する可能性は極めて高いと考えられていた。したがって、何よりも先ず既存の耐震性に欠ける建築物を効率よく補強することを課題として 1996 年 4 月には早稲田大学理工学総合研究センター内にプロジェクト研究「粘弾性ダンパーの開発と耐震設計・耐震補強への応用」を設置した。当初は、上記の地震において既存の鉄筋コンクリート系中高層建築物で多く見られた中間層への損傷集中被害の防止のために粘弾性ダンパを利用することを最優先の技術開発課題と定めて研究を進め、最終年度の 1999 年には同ダンパの利用技術指針も発行して今日の粘弾性ダンパ利用技術の基礎を築いた。

上記のプロジェクト研究を進める中で、戸建住宅の耐震性能向上、特に既存木造戸建て住宅の耐震補強を効率的に行うための構法開発も大きな課題として浮かび上がった。木造戸建て住宅の多くは壁量を指標として耐震計算されて来っており、剛性・強度のばらつきの大きいことはある意味でやむを得ないことであったが、最近発生した幾つかの極めて稀に発生すると考えられる強い地震動に対しては、その構造特性のばらつきが致命的な構造被害の要因になることも知見として得られるようになっていた。これに対して、上記のプロジェクト研究により、粘性系のダンパは構造の持つ様々な特性のばらつきと、地震動そのものが持つ不規則性の組み合わせに対しても、応答特性のばらつきを小さく抑える利点があることを知見として得ていたことを踏まえて、工程管理された工場製品であるダンパが果たす地震エネルギー吸収性能の、建築物本体のそれに対する比率を高めることで構造特性はより安定し、地震応答特性も安定するので、構造物の地震時挙動の予測をより正確に行えることが耐震性の向上に極めて有為であると考えた。

このような経緯を経て、2005 年 4 月よりプロジェクト研究「粘性系ダンパーによる既存建築物の制振補強に関する研究」に着手している。特に粘性系ダンパに特化しているのは上記の種々の理由の他にも、粘性系ダンパは一般に、変形の繰り返しに対して劣化を伴わないこと、加速度応答を過大にすることなく変形を抑えられることなどの利点を有するほか、特にオイルダンパではダンパ本体に様々なスマート性を容易に備えさせられることが利用上有利であると考えたためである。粘性系ダンパはその抵抗力が変形ではなく速度に強く依存する性質があるため、一般的な静的耐震計算法の枠組みの中でダンパの効果を評価することへ設計者が不慣れであることや、行政による安全性判定方法の整備の遅れなどが依然としてある。

2. 主な研究成果

■実測による制振・非制振低層木造住宅の減衰性能評価

建物の減衰定数は、固有値とともに、動的外力に対する建物の応答を推定する上で最も重要なパラメータであるが、最も不確定な量として放置されているのが現状である。本研究では、低層木造架構の実大振動台実験の結果に対して、構造物の粘性減衰と摩擦減衰とを分離して評価する手法を適用し、その精度について定量的に評価した。

■制振(震)構造の地震応答解析法

制振構造の地震に対する安全性検証は、その要求性能値と地震応答解析結果から求まる応答予測値との比較が基となるが、この場合、地震応答解析結果の信頼性が極めて重要となる。本研究では、制振建物の地震応答を汎用構造解析プログラムにより高い精度で予測できることを示し、また、耐震設計における制振建物の実用的な解析方法等について検討した。

■軽量構造の復元力特性の提案と地震応答計算

近年では、耐震設計における性能規定化の流れに伴い、低層住宅においても地震応答解析による耐震性能評価が求められるようになってきている。しかし、軽量構造物では、スリップ性状等に代表される強い非線形性、繰返し変形に伴う剛性・耐力の低下などが複合した複雑な履歴特性を有するため、一般に復元力特性のモデル化が困難であった。本研究では、これらの特性を精度良く模擬できる力学モデルとして拡張 NCL モデルを提案し、実験結果との比較からその精度の高さを示した。

■制振構造物の簡易応答予測法に関する文献調査

制振構造物の地震時挙動を評価する場合、時刻歴応答解析に基づいた検討を行うことが一般的であるが、この方法は詳細であるがために複雑で、構造計画の初期段階における基本方針の検討には必ずしも適しているとは言えない。本研究では、制振構造に関する既往の簡易応答予測法の調査から、各予測法の原理および共通点・相違点を明らかにし、改良の余地のある点を抽出した。

■オイルダンパによる木造住宅の制振補強の有効性の解析的・実験的検証

本プロジェクト研究による研究成果を踏まえた力学モデルを用いた簡単な数値シミュレーションにより、オイルダンパによる戸建木造住宅の制振補強効果について、通常の剛性・強度を増す耐震補強効果との比較を行った。数値解析の結果から、剛性・強度を付加する補強では、極めて強い地震動の入力に対して十分に応答変形を低減できない可能性があり、また抵抗力の増加に伴って加速度応答が大きな値となる傾向がある一方、オイルダンパによる制振補強では、地震動の違いに拘らず安定して応答変形の平均値・分散を低減できること、加速度応答の増加も抑えることが出来ることを示した。また、圧効きオイルダンパを設置した木造住宅の地震応答低減効果について種々の実大実験を通して実証するとともに、時刻歴地震応答解析に用いる力学モデルを構築し、解析における留意点を整理した。

■戸建住宅用滑り基礎構造の地震応答に関する研究

近年では戸建住宅向けの免震システムも多く開発されているが、初期費用が高く普及していないのが現状である。そこで、本プロジェクトでは、初期費用を抑え、一般的な免震構造にはやや及ばないまでも制振構造を上回る性能を有する構造システムとして滑り基礎構造を開発している。本研

究では、その実用化に向けて実大振動台実験により有効性を実証し、また、滑り基礎構造の実用化に向けた耐震計算法に有為な最大地震応答の予測法に関する基礎的な検討として、最大滑り変位量、及び最大応答加速度を予測する簡易計算方法を提案した。

3. 共同研究者

岩田範生（近畿大学）、関谷英一（（株）鴻池組）、袖山 博（三和テッキ（株））、高橋 治（（株）構造計画研究所）、平田裕一（三井住友建設（株））、山田茂晴（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

■学術論文

Satsuya Soda and Yuji Miyazu: Seismic Response Control of Wooden House with Small Knee-Brace Oil Dampers, 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, 2010.7

Satsuya Soda and Yuji Miyazu: Seismic Response Control of Wooden House Placed on Sliding Base, 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, 2010.7

宮津裕次：木質構造用圧効きオイルダンパの開発と木造住宅への適用に関する研究，早稲田大学博士学位論文，2011.2

宮津裕次，曾田五月也：方杖型圧効きオイルダンパを設置した木造軸組の力学モデルの構築，日本建築学会構造系論文集 76(660), 363-370, 2011.2

■講演

曾田五月也：建築物の制振技術の動向と展望，NTTファシリティーズ，2010.9.2

曾田五月也：建築物の耐震構造技術の動向，早稲田大学理工展，2010.11.6

曾田五月也：建築物の振動に関わる固体摩擦の諸問題，建築研究開発コンソーシアム，2011.1.19

■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・早稲田大学理工学研究所主催：早稲田大学理工学研究所創立 70 周年記念シンポジウム 粘性系ダンパによる建築物の制振設計技術の動向，早稲田大学西早稲田キャンパス 57 号館 201 大教室，2010.6

5. 研究活動の課題と展望

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では、設計時の想定を大きく上回るレベルの地震動が各地で観測された。1995 年の阪神淡路地域の地震動も今回の東北地方の地震動も建物には「過酷な地震動」ではあるが、実際に発生したものである限りはそれに対して備えることが極めて重要である。過酷な地震動は、最大加速度や最大速度が大きいだけでなく、継続時間が長く、また本震に準ずる強い余震を伴う可能性も高い。よって、地震入力エネルギーを吸収する仕組みとしては、変形の繰り返しに対しても自らは損傷する事無く、長期にわたり安定したエネルギー吸収能力を発揮することが必須である。冒頭にも述べた通り、本プロジェクトで提案している粘性系のダンパは、繰り返しの変形に対して劣化を伴わず安定して地震入力エネルギーを吸収できるため、過酷な地震動に対する有効な対策となり得る。今後は、過酷な地震動に対する各種構造の地震応答性状を明らかにし、効果的な対応策について免震・制振構造を含めて広範的に検討する予定である。

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・建物の沈下・傾斜抑制のため、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 CO_2 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

2.1 概要

平成 21 年度に実施した重力場における模型実験により、木杭基礎が液状化による建物の傾斜抑制に効果を発揮することを示した。また、盛土直下全面に木杭を打設することにより盛土の沈下と変形が大きく抑制されることを示した。

平成 22 年度は木杭基礎の打設間隔を杭径の 3 倍（H21 年度は杭径 5 倍）で打設した場合の効果を重力場の実験により検証した。また、既設盛土の補強を想定して盛土法尻付近のみに木杭を打設した場合の効果を重力場の実験で検討するとともに、木杭による盛土の沈下・変形抑制効果を、模型と実物の相似則がより厳密に満足されている遠心载荷場で確認した。

2.2 木杭の打設間隔が建物の傾斜・沈下に与える影響の検討

平成 21 年度同様の 2 階建建物の縮尺 1/50 の模型を用い、重力場の実験により杭間隔の影響が建物の傾斜・沈下に与える影響を明らかにした。実験に用いた杭基礎および実験結果を図 1 に示す。杭は液状化層（層厚：360mm）の 1/6 の長さとしている。図 1 に示すように杭間隔を杭径の 3 倍と密に打設することにより建物の傾斜・沈下とも減少することが示された。

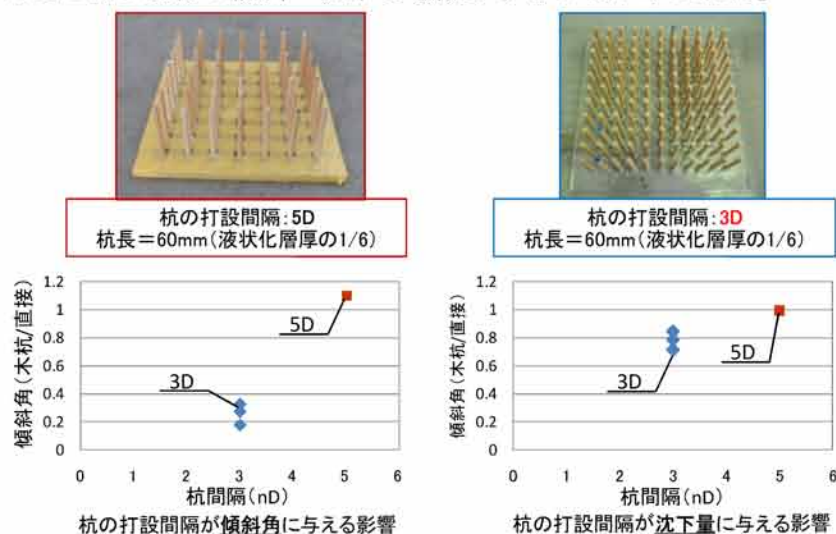


図 1. 杭の打設間隔が建物の傾斜・沈下に与える影響（重力場実験）

2.3 木杭が盛土の沈下・変形の抑制効果に与える影響の検討（重力場での模型実験）

平成 21 年度の重力場の模型実験によって、盛土下全面に木杭を打設（杭間隔 5D、D:杭径）した場合に盛土の変形と沈下を大幅に抑制出来ることを示した。

平成 22 年度は既設の盛土の液状化対策を想定して、図 2 に示すように法尻のみに杭を打設した場合について、その効果を 1/40 の模型による重力場実験により検証した。液状化に対する杭の根入れの割合および杭頭の固定条件を変位させて実験を行ったが、盛土の沈下・変形抑制に関し顕著な木杭基礎の効果は認められなかった。

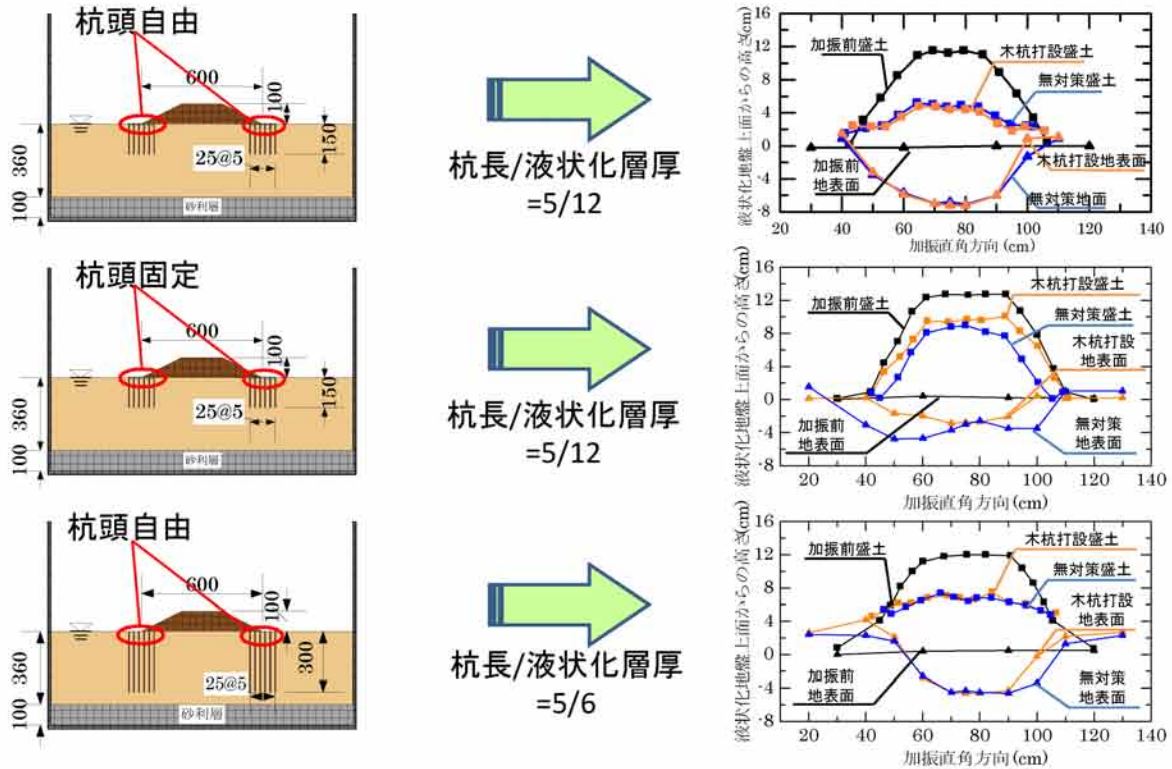


図 2. 盛土法尻に木杭を打設した場合の沈下・変形抑制効果（重力場実験）

2.4 木杭が盛土の沈下・変形の抑制効果に与える影響の検討（遠心载荷場での模型実験）

平成 21 年度において重力場の実験により盛土下全面に木杭を打設することにより、盛土の沈下と変形を大幅に減少させることが可能であることを示したが、重力場の実験では実地盤と模型地盤の間の相似則が厳密な意味で成立していない。このため、図 3 に示す模型を用いて、遠心载荷場での実験を実施した。この結果、図 4 に示すように、遠心载荷場の実験によっても、木杭によって盛土の沈下・変形を抑制することが可能であることが示された。

また、図 5 に示すように支持層に着底した木杭基礎の遠心载荷場の実験を実施し、全面打設の場合の効果を重力場の実験と併せて検証した。

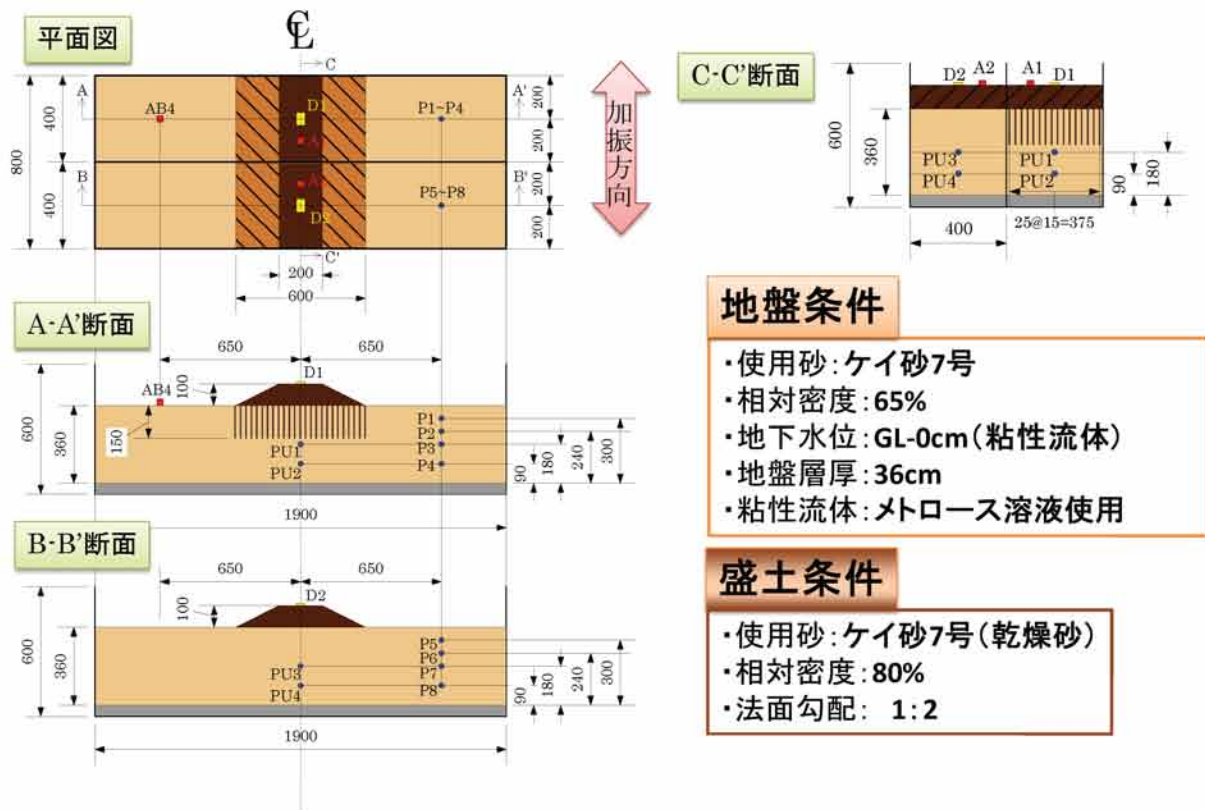


図 3. 遠心載荷場での盛土の実験モデル

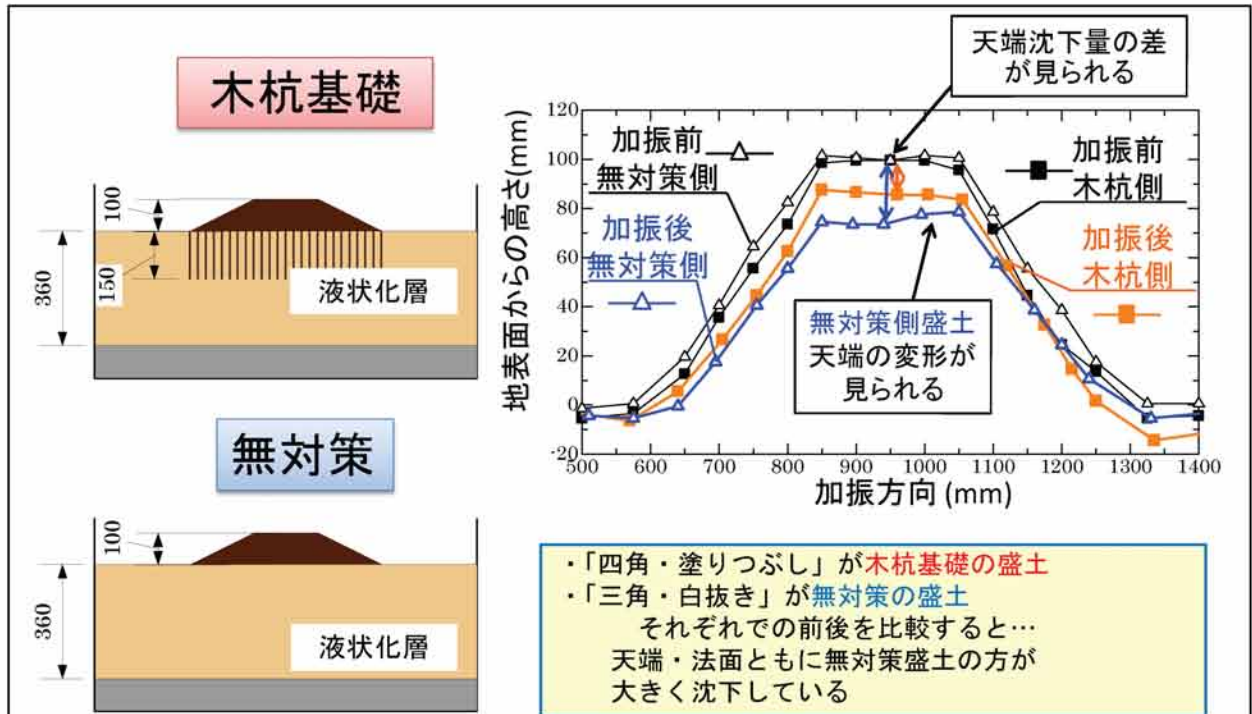


図 4. 木杭による盛土の沈下・変形抑制効果 (遠心載荷 40G 実験)

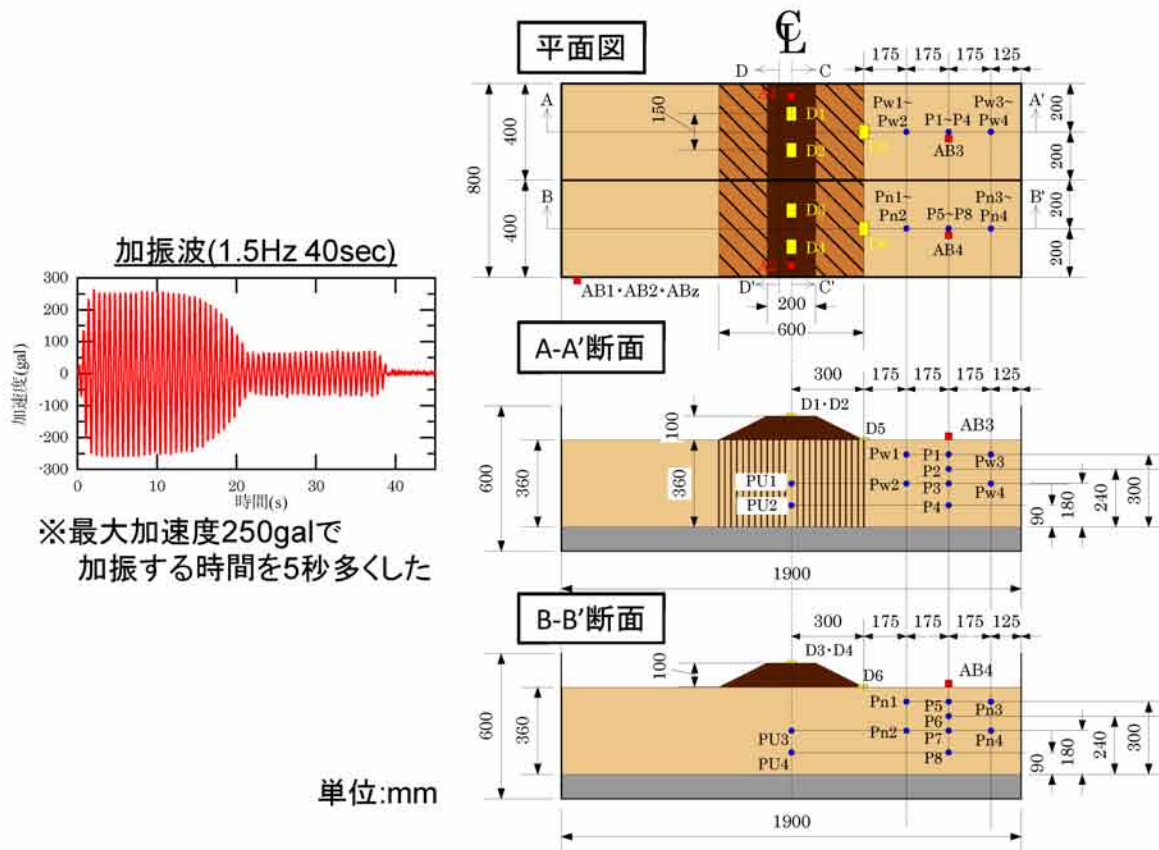


図 5. 遠心载荷場での盛土の実験モデル (杭が支持層に着底している場合)

3. 共同研究者

沼田淳紀 (理工学研究所客員研究員・飛鳥建設株式会社技術研究所)

中村裕昭 (理工学研究所客員研究員・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・流動化対策法に関する実験的研究(1): 岸田健吾、大澤修一、中谷史規、佐久間慶、堤圭司、濱田政則, 第 34 回地震工学・応用地学に関するシンポジウム, 2010 年 3 月
- ・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): 堤圭司、大澤修一、中谷史規、岸田健吾、佐久間慶、濱田政則, 第 34 回地震工学・応用地学に関するシンポジウム, 2010 年 3 月
- ・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): 堤圭司、中谷史規、岸田健吾、濱田政則, 土木学会第 65 回年次学術講演会, 2010 年 9 月

5. 研究活動の課題と展望

盛土と建物の基礎地盤に木杭を打設することにより液状化による沈下・傾斜を大きく抑制することが実験的研究によって示された。今後はより規模の大きい模型を用いた実験的研究を推進する必要がある。また、実構造物への活用に向けた建設業、林業などの実務者、研究者、自治体等の連携を図る必要がある。

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・トムの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. バイヨン遺跡における保存修復・調査研究

バイヨン寺院では大きく分けて、南経蔵の修復工事、内回廊浮き彫り保存、中央塔の恒久的保存方法、考古学的発掘の4つの調査・研究が行われた。

南経蔵の修復工事

南経蔵の修復（2006年開始）は、これまでに解体・基壇内部調査・破損石材の修理・解体部材の仮組み等の工程を経ており、2010年度は、再構築工事と新材の加工を進めた。



保存修復工事の現場

新材の加工では、前フェーズのバイヨン北経蔵およびプラサートスープラにおける修復工事の

実績から、後世の修復時の混同を避けるために、新材とオリジナル部材との区別が明確になるよう、仕上げを異なるものにした。また、2008年～2009年に行った試験的な再構築作業から得た各種データを基に、再構築工事を進めた。南経蔵の修復工事は、2011年7月末に竣工を予定している。

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

強化材の配合比と比重

Material's name	Monomer : Polymer	specific gravity
Bayon-P	15 : 85	1.017
Bayon-S	25 : 75	1.006
Bayon-M	40 : 60	0.990
site SX-R/B	similar to Bayon-S	1.005

化が重要な目的の一つである。

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きた。耐候性試験では、3年間に及ぶ二つの試験—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る。また、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。一方、周辺環境調査は、保存作業時期を特定するために行った。これは、浮き彫り表面に結露などが生じやすい気候条件では、強化材候補である珪酸エステルが・OH 基と反応してしまうためである。調査より、保存作業には乾季が最適な時期であることが明らかになった。

中央塔の恒久的保存方法の研究

中央塔の恒久的保存方法に関する研究では、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ていた。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た。また、振動調査からは、シェムリアップ空港を離発着する航空機の振動が直接、構造物の崩壊に関わる外乱とは考えにくいことが明らかになった。

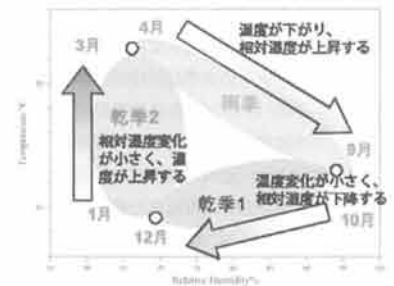
考古学的発掘調査

考古学的発掘調査では、2007年～2008年にプロジェクト進行と合わせて南経蔵と中央塔の発掘調査を行ったため、2009年～2010年にかけては、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。また、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。

2-2. 地方のクメール遺跡における基礎調査

地方のクメール遺跡における基礎調査では、これまでコー・ケー遺跡群、ベン・メアレア遺跡群を中心に調査・研究を行ってきた。2010年度は前二遺跡の他にチャウ・スレイ・ビボール、プレア・ヴィヘア、バンテアイ・チュマール、大プレア・カーン、タ・ムエン・トム、ブラサート・バンテアイ・アンピル、トマノン、バンテアイ・サムレを調査地域とし、これらの地域において GPS/TPS 測量、遺構踏査、発掘調査、美術史調査などを行った。

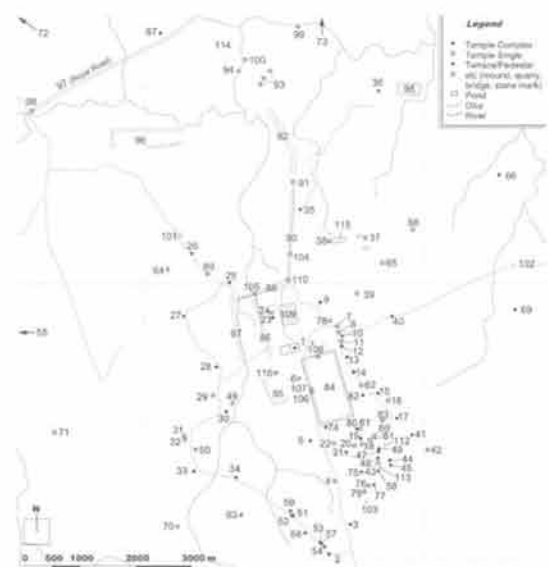
全 127 遺構あるコー・ケー遺跡群では、GPS/TPS 測量



年間の温度湿度挙動



ボーリング調査現場



コーケル遺跡全図

と遺構踏査からのデータを基に、地形図を含む遺跡全域図、遺跡目録、主要寺院の実測平面図、土手断面図を作成し、遺構の特質や分布状況から、都市の構成要素と地形・水系との密接な関係を明らかにした。また、ベン・メアレア遺跡群では、GPS/TPS 測量に加えて、表採調査を実施した。これにより、住居地域を含む都市遺跡であることが明らかになり、設計方法、造営尺度についても研究を行った。

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）
 太田 敬二（理工学研究所・客員准教授）
 黒河内 宏昌（理工学研究所・客員准教授）
 小野 邦彦（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. 学術論文

- ① 溝口明則，中川武，佐藤桂，下田一太「プラサート・プラムの寸法計画 クメール建築の造営尺度と設計技術に関する研究・4」『日本建築学会計画系論文集』No. 651, AIJ, 2010, pp.1273-1278.
- ② 下田一太，佐藤桂，溝口明則，中川武「プラサート・トムを計画軸としたチョック・ガルギヤーの寺院配置ーカンボジア，コー・ケー遺跡群の建築史的再考察（2）」『日本建築学会計画系論文集』No. 657, AIJ, 2010, pp. 2709-2718.
- ③ 溝口明則，中川武，佐藤桂，下田一太「プラサート・トムの伽藍寸法計画 クメール建築の造営尺度と設計技術に関する研究・5」『日本建築学会計画系論文集』No. 653, AIJ, 2010, pp.1751-1759.
- ④ E. Uchida, K. Ito, N. Shimizu, "Provenance of the sandstone used in the construction of the Khmer monuments in Thailand," *Archaeometry*, 52, 2010, pp. 550-574.

4-2. 総説・著書・報告書

- ① 溝口明則，中川武監修『コー・ケーとベン・メアレア クメール帝国東地区の二大遺跡群（クメール帝国地方拠点の都市遺跡と寺院遺構に関する研究）』、2011.3
- ② 中川武監修『アンコール・ワット最外周壁内北経蔵修復工事報告書』ユネスコ文化遺産保存日本信託基金、2010.12

4-3. 講演・シンポジウム

- ① 2010 年度プロジェクト合同シンポジウム『文化遺産・新しい人材・アジアの未来』

中川武「JASA 活動進捗報告」

溝口明則「古代クメール地方都市と地方寺院の諸相」

沢田正昭「アンコール遺跡・バイヨン寺院浮き彫りの保存方法の研究」

山本信夫「バイヨン寺院造成過程—始めと終り—における考古学的検証」

池内克史「バイヨンデジタルプロジェクト」

内田悦夫、田久保豊、豊内謙太郎「クメール帝国地方拠点寺院に使用されている砂岩材」

片山葉子「アンコール遺跡砂岩表面の着生微生物」

新谷真人「アンコールトム都城バイヨン寺院の建造に関する構造学からの考察」

- ② T. Nakagawa, Presentation by JASA (JAPAN-APSARA Team for Safeguarding Angkor) Safeguarding of Bayon Temple, Nineteenth Technical Committee (ICC)
- ③ K. Sato, T. Nakagawa, A. Mizogushi, I. Shimoda, "A New Aspect of the Ancient Khmer City Chok Gargyar," 8th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia (ISAIA), held on 9th-12th November 2010 in Kitakyushu.
- ④ E. Uchida, "The Angkor monuments - Stones and their deterioration," Proceedings of the 3rd Regional Conference on Geological Engineering Research in ASEAN, 2010, pp. 1-8.
- ⑤ K. Sato, "A New Aspect of the Ancient Khmer City Chok Gargyar (Koh Ker)," 13th International Conference of the European Association of Southeast Asian Archaeologists, held on 27 September - 1st October 2010 in Freie Universitat Berlin.

4-4. 学会・社会的活動

- ① 古川大輔、中川武、溝口明則、下田一太、佐藤桂「バクセイ・チャンクロンの寸法計画 (5-1) カンボジア コー・ケー遺跡群に関する研究(5)」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2010, pp. 579-580.
- ② 島田麻里子、中川武、溝口明則、下田一太、佐藤桂「チョック・ガルギヤーにおける寺院建築の材料と寺院規模の関係について (5-2) カンボジア コー・ケー遺跡群に関する研究 (5)」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2010, pp. 581-582.
- ③ 佐藤桂、中川武、溝口明則、下田一太「チョック・ガルギヤーから発見された標石について (5-3) カンボジア コー・ケー遺跡群に関する研究 (5)」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2010, pp. 583-584.
- ④ 中川武、溝口明則、下田一太、佐藤桂「プレア・ヴィヘア寺院をめぐる建築学的課題」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2010, pp.585-586.
- ⑤ 石塚充雅、中川武、溝口明則、下田一太、佐藤桂「ベン・メアレア寺院の〈宮殿〉と呼ばれる付属建物に関する考察(1-1) カンボジア ベン・メアレア遺跡群に関する研究 (1)」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2010, pp. 591-592.
- ⑥ 村岡智美、中川武、溝口明則、下田一太、佐藤桂、古川大輔「ベン・メアレア寺院の周辺建築遺構について(1-2) カンボジア ベン・メアレア遺跡群に関する研究 (1)」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2010, pp. 593-594.
- ⑦ 百瀬純哉、中川武、溝口明則、下田一太、佐藤桂「ベン・メアレアのメボンより発見された彫像片について(1-3) カンボジア ベン・メアレア遺跡群に関する研究 (1)」『日本建築学会大会学術講演梗概集』F-2, AIJ, 2010, pp. 595-596.
- ⑧ 内田悦生・田久保豊・豊内謙太郎・渡辺美齡・宮田順一「アンコール・ワット十字回廊に見られる顔料の研究」日本文化財科学会, 2010 年 6 月 26 日, 関西大学

5. 研究活動の課題と展望

バイヨン寺院の南経蔵修復工事は、2011 年 7 月には竣工し、一つの区切りを向かえる。一方で、内回廊浮き彫り保存の研究、考古学的調査、中央塔の恒久的保存方法の研究は、今後もこれまでの研究成果を基に進める。内回廊浮き彫り保存の研究では、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。考古学的調査では、個々の建築の時期を明示できる考古遺物が現在少ないため、今後の考古学的資料の蓄積が必要である。また、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が必要である。地方における古代クメール遺跡の調査・研究においては、未踏査地域へと調査対象を広げて、比較研究を進め、かつ地形等の環境的特質を含めての包括的な調査が必要であり、そうした調査を基に、基礎資料のさらなる充実を図ることが重要である。

JASA プロジェクトは、2011 年度後半に第三フェーズから第四フェーズへと移行し、中央塔の恒久的保存が確立された後には、バイヨン寺院本尊仏再安置計画も予定されている。これは、現在王宮前広場の東側に位置する小寺院ヴィヒヤ・プランピー・ロヴェーンに安置されている仏陀像（1933 年にバイヨン寺院中央塔より出土した本尊仏）を、修復後にバイヨン寺院の主室内に再安置する計画である。



現在の仏陀像（左）と安置予想図（右）

フッ素系高分子を中心とした高機能材料の創製

研究代表者 鷲尾 方一
(理工学研究所・教授)

1. はじめに

フッ素樹脂特に PTFE に代表されるようなパーフルオロ系の高分子は、その科学的安定性や耐熱性、生体親和性など多くの特徴がある。しかしながら、これらの樹脂を高精度に加工する技術としては、本開発の初期段階で実施されたシンクロtron光 (SR) を用いた直接的なエッチングを用いた方法が主なものであった。しかしながらこの SR を用いた加工では、その精度をサブミクロン程度にするには、高価で高精度な X 線遮断可能なマスクが必要であった。本開発においてはこのような困難を解決するため、集束イオンビーム (FIB) を用いて、フッ素系高分子材料特に PTFE の微細構造体を作成することを試み、非常に高精度な微細構造体の創製に成功した。

2. 実験及び結果

実験には大阪大学産業科学研究所設置の FIB 装置と、早稲田大学設置の電子線加速器、キュアトロンを有機的に利用し、PTFE および架橋 PTFE に対し手微細加工を試みた。特に、キュアトロンを用いて架橋 PTFE を作製し、それに対して FIB 加工プロセスを適用した。

図 1 に架橋線量 3000kGy で作製した架橋 PTFE に FIB 加工を実施した際の試験パターンと作製結果を示す。

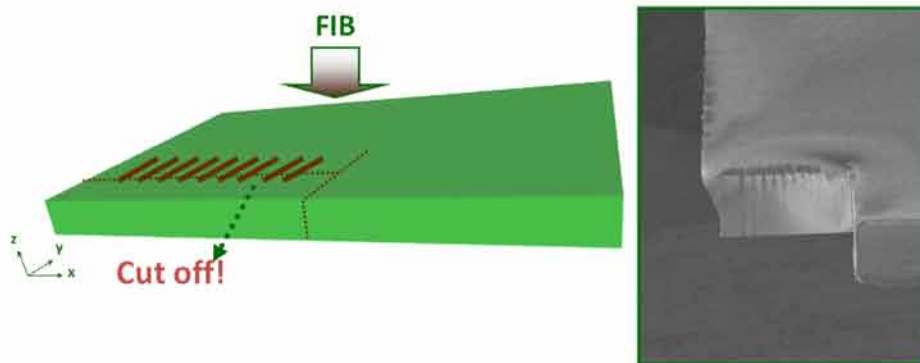


図 1 架橋 PTFE に対する FIB 加工のイメージ(左)と加工結果(右)

この結果をさらに詳しく示したものを図 2 に示す。

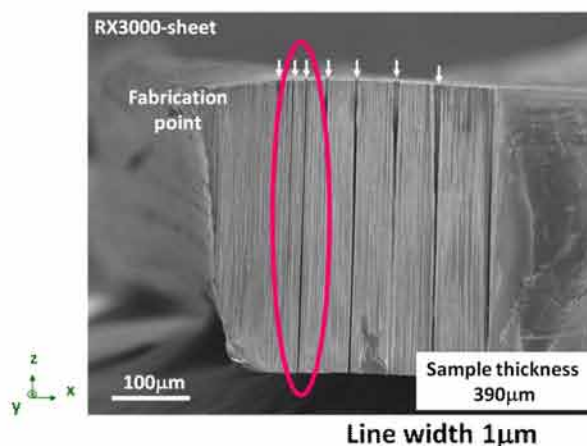


図2 FIBによる架橋 PTFE 高アスペクト比加工結果

図から分かるように、サンプルの厚さ $390\mu\text{m}$ に対し、加工パターンは $1\mu\text{m}$ であり、アスペクト比 390 という極めて高い加工性能を示すことができた。

さらに、この手法をシート全体に対する加工法として適用できるかどうかについて、検討した。その結果ある特殊な照射パターンを選択することで、図3に示すような微細構造体を作製可能とした。

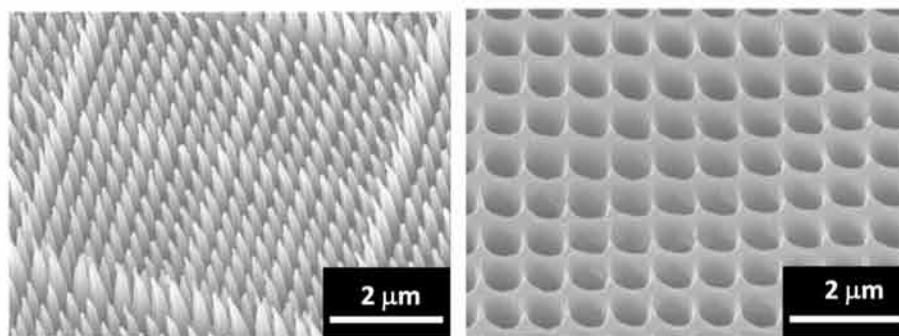


図3 FIB 加工によって作成した架橋 PTFE のナノ構造体

3. 共同研究者

濱 義昌 (早稲田大学名誉教授)
大島明博 (大阪大学・特任研究員)

三浦 喬晴 (理工学研究所・客員研究員)
勝村庸介 (東京大・教授)

4. 研究業績

4.1 学術論文

1. “Nano- and micro-fabrication of perfluorinated polymers using quantum beam technology”, Nozomi Miyoshi a, Akihiro Oshima, Tatsuya Urakawa, Naoyuki Fukutake, Hiroyuki Nagai, Tomoko Gowa, Yuya Takasawa, Tomohiro Takahashi, Yukari Numata, Takanori Katoh, Etsuko Katoh, Seiichi Tagawa, Masakazu Washio, Radiation Physics and Chemistry 80 (2011) 230–235
2. “Micro- and Nano-Scale Fabrication of Fluorinated Polymers by Direct Etching Using Focused Ion Beam”, Naoyuki Fukutake, Nozomi Miyoshi, Yuya Takasawa, Tatsuya Urakawa, Tomoko Gowa, Kazumasa Okamoto, Akihiro Oshima, Seiichi Tagawa, and Masakazu Washio, Jpn. J. Appl. Phys. 49 (2010) 065201
3. “Study on UV / EB Nanoimprint Lithography Using Nano-/ Micro-fabricated Crosslinked PTFE Mold”,

Tomohiro Takahashi, Yuya Takasawa, Tomoko Gowa, Satoshi Okubo, Takashi Sasaki, Takaharu Miura, Akihiro Oshima, Seiichi Tagawa and Masakazu Washio, J. photopolym. Sci. and Tech. Vol.23, No.1, (2010) pp69-74

4. “Micro-fabrication of Biodegradable Polymers using Focused Ion Beam”, Satoshi Okubo, Tomohiro Takahashi, Tomoko Gowa, Takashi Sasaki, Naotsugu Nagasawa, Masao Tamada, Akihiro Oshima, Seiichi Tagawa and Masakazu Washio, J. photopolym. Sci. and Tech. Vol.23, No.3, (2010) pp393-397

5 “Ion Beam Irradiation Effects on Resist Materials”, Gowa Tomoko, Tomohiro Takahashi, Toshitaka Oka, Takashi Murakami, Akihiro Oshima, Seiichi Tagawa and Masakazu Washio, J. photopolym. Sci. and Tech. Vol.23, No.3, (2010) pp399-404

5. 研究活動の課題と展望

本研究での基幹である種々のフッ素樹脂を用いた種々の機能性付与の開発研究は、それらの微細加工体の創製に成功するなど、極めて大きな研究成果を挙げた。これらの成果により、本研究は、2011年度開始の長期大型プロジェクト研究へと展開を見せることができた。

エコバイオテクノロジー

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

エネルギー生産や資源有効活用のための、バイオテクノロジーを利用した技術開発が重要性を増している。特に、バイオエタノール生産など、石油資源からの脱却を目指した技術開発は、地球環境と調和したクリーンな技術として今後ますます発展することが期待される研究分野である。

本プロジェクトでは、エコバイオをキーワードにバイオマス資源からの有用物質生産技術の開発を実施する。とくにバイオエネルギーとして注目されているバイオエタノールや廃油脂利用技術に注力する。バイオエタノール生産においては、今後主要な原料となる草本系バイオマスからの生産を検討する。草本系バイオマスは5単糖を多量に含むことから、既存の酵母による発酵では高生産が困難である。そこで、5単糖利用に有効な酵素を探索・創製し、遺伝子組換えによってエタノール生産酵母の高機能化を実現する。このような高機能酵母を導入し、草本系バイオマスからの効率的な生産法を確立する。

また、本年度までのプロジェクト「環境調和型材料・システム開発」においては、廃油脂の分解、浄化技術等を確立してきた。本申請プロジェクトでは、当該技術の効率化を発展的に検討するとともに、物質生産研究に発展させ、廃油脂の分解で生じる脂肪酸を原料とした有用物質生産プロセスを開発する。さらに、エコバイオプロセスを推進するために、従来の有機合成技術に変わる微生物酵素による酸化反応プロセスの開発に着手した。具体的には、生物に広く存在する酸化酵素 P450 の探索・機能解析と改変を検討し、エコ型バイオプロセスによる有用化合物の新規合成法の開発研究を実施した。

2. 主な研究成果

2.1 変異育種による *Pichia stipitis* へのキシロース選択的資化性の付与

キシロース発酵酵母である *P. stipitis* NBRC 10063 は、5単糖からのバイオエタノール生産において重要な酵母であるが、グルコースとキシロースの混合糖の資化では、カタボライトリプレッションによりグルコースを選択的に資化してしまう。本研究では、*P. stipitis* と *Saccharomyces cerevisiae* による2段階の発酵プロセスを想定しており、1段階目の発酵菌となる *P. stipitis* にはグルコースとキシロースの同時発酵あるいはキシロース選択的な発酵特性が求められる。そこで、変異育種によりグルコース資化性を欠損させた5単糖選択的な糖資化性の付与を検討した。

デオキシグルコース (DG) はグルコースのアナログ物質であり、培地中に存在すると

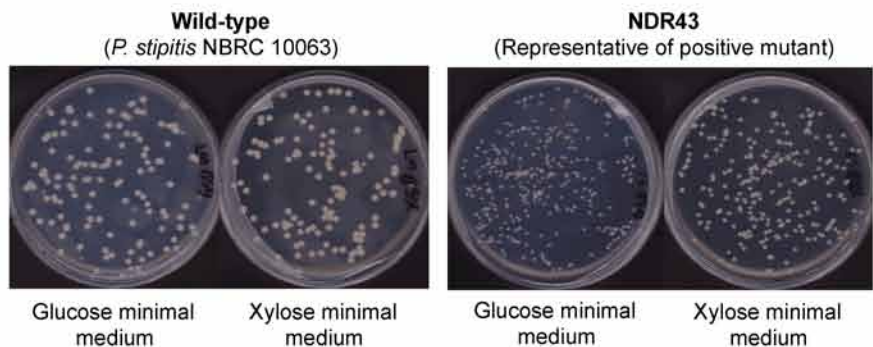


Fig. 1 Growth of *P. stipitis* strains on minimum medium.

グルコースと同様に取り込まれるが、ヘキソキナーゼによる DG 6-リン酸への変換以降、代謝できないため生育阻害を起こす。DG 耐性が付与された変異株には、DG の取り込み能力や、ヘキソキナーゼ活性の欠損が起こっていると予想されることから、DG 耐性を利用してグルコース資化性を欠損あるいは低下させた株を育種することが可能であると考えられる。これまでも DG 耐性を利用した変異株育種を検討してきたが、候補株の絞り込みが不十分で優良変異株の取得にはいたらなかった。そこで、UV 変異処理後にナスタチン濃縮を行うことで変異株の取得効率を向上させることを考えた 3)。これらの操作によって取得した 56 株の DG 耐性変異株についてグルコース最小培地、キシロース最小培地のプレート上での生育を比較したところ、グルコース最小培地で明確な生育の低下を示す 7 株を取得した (Fig. 1)。これらの候補株は、キシロース最小培地においては生育低下を示さなかったことから、グルコース資化能のみが低下あるいは欠損した優良変異株であると考えられる。

そこで、取得した 7 株に対して、液体培地を用いて糖の資化能の変化を評価した (Table 1)。いずれの候補株においても、グルコース最小培地を用いた場合は野生株と比較してグルコース消費量が大きく低下した。候補株の中でも、*P. stipitis* NDR43 は親株と比較すると、混合系におけるキシロースの消費濃度が上昇し、グルコースの消費濃度が低下していた。すなわち、NDR43 株はグルコース資化能のみが低下していることから、グルコース代謝に関わる遺伝子に変異が導入された優良変異株であることが示唆された。

Table 1 Sugar consumption on minimum mediums by *P. stipitis*.

Strain	Carbon source of the medium			
	Glucose (g/L)	Xylose (g/L)	Glucose and xylose	
			Glucose (g/L)	Xylose (g/L)
Wild-type	19.3	9.12	10.1	0.417
NDR 10	4.95	8.30	8.22	0.119
NDR 11	5.11	11.6	6.90	0.322
NDR 15	0.857	7.39	2.22	0.132
NDR 29	1.73	8.66	3.67	0.454
NDR 33	0.915	5.18	2.63	0.223
NDR 34	1.28	3.74	2.86	0.101
NDR 43	4.20	7.89	6.21	1.32

2.2 油脂や脂肪酸を原料とした短鎖アルデヒド合成

ヘキサナールやヘキセナールのような短鎖長のアルデヒドは特有の香気を有することから、香料の原料として広く用いられている。これまでに本プロジェクト研究において、油脂の分解プロセスを検討してきており、その応用展開として植物の生合成経路を模倣した油脂や脂肪酸からの短鎖アルデヒド合成を検討した。

植物においては、脂肪酸を基質として、リボキシゲナーゼ (LOX) による脂肪酸の過酸化反応と、ヒドロペルオキシドリアーゼ (HPL) による過酸化脂肪酸の開裂反応によって短鎖アルデヒドが合成される。これまでに、*Pseudomonas aeruginosa* 由来の LOX と *Arabidopsis thaliana* 由来の HPL を利用した短鎖アルデヒド合成を検討してきたが、

Table 2 HPL activity in plant tissues.

Plant source	Specific activity (μmol/min/mg)	
	HPOD	HPOT
<i>A. thaliana</i>	0.115	0.166
Melon	1.31	4.97
Potato	n.d.	n.d.
Peach	n.d.	n.d.
Cucumber	0.3	0.0748
Tomato	0.0682	n.d.
Eggplant	n.d.	n.d.
Watermelon	0.237	0.273
Soybean	n.d.	n.d.
Alfalfa	n.d.	n.d.

HPL の活性が弱く反応中間体が蓄積してしまうという問題点があった。そこで、広く植物の HPL 活性を検証することで、合成プロセスに有用な HPL をスクリーニングすることを考えた。

植物の細胞抽出液を調製し、リノール酸とリノレン酸に対する LOX 活性を評価した (Table 2)。リノール酸は 13-ヒドロペルオキシリノール酸 (13-HPOD) を経由してヘキサナールへと変換され、リノレン酸は 13-ヒドロペルオキシリノレン酸 (13-HPOT) を経由してヘキセナールへと変換される基質である。植物の細胞抽出液を用いた検討ではあるが、従来用いてきた *A. thaliana* 由来の精製 HPL と比較して、メロンやスイカの細胞内の HPL 活性は圧倒的に高いことが明らかとなった。また、*A. thaliana* の HPL はリノール酸とリノレン酸に同程度の活性を示していたが、キュウリやトマト由来の HPL はリノール酸への基質特異性が高く、混合脂肪酸からのアルデヒド合成においては有用な酵素となり得る可能性が示唆された。これら HPL を導入することによって高効率な短鎖アルデヒド合成プロセスが構築できるものと期待される。

2.3 *Mycobacterium* 属細菌が有するフェノールパラ位選択的酸化酵素遺伝子の同定

Mycobacterium goodii 12523 株はフェノールをパラ位選択的に酸化してヒドロキノンに変換するというユニークな活性を有している。これまでに、本活性のメカニズムを解明するため、酵素遺伝子のクローニングを実施し、4 つの遺伝子から構成される推定遺伝子クラスター *mimABCD* を特定している。*mimA* はオキシゲナーゼサブユニット、*mimB* はレダクターゼ、*mimC* はオキシゲナーゼスモールサブユニット、*mimD* はカップリングプロテインをコードしている。

mimABCD 遺伝子クラスターがフェノールのヒドロキノンへの変換活性に関与していることを検証するために、*mimA* 遺伝子を破壊して活性を評価した。形質転換系の確立されている *M. smegmatis* mc²155 株を宿主として利用した。まず、本株の *mimA* 遺伝子 (Msmeg_1971) を破壊したところ、フェノールに対する酸化活性は消失した (Fig. 2)。さらに、*M. goodii* 12523 株および *M. smegmatis* mc²155 株由来の *mimA* 遺伝子を *M. smegmatis* mc²155 株の *mimA* 遺伝子破壊株に導入したところ、酸化活性は回復した (Fig. 2)。これより、*mimABCD* 遺伝子クラスターがフェノールパラ位選択的酸化酵素遺伝子をコードしていることが明らかとなった。また、*M. goodii* 12523 株は炭素源としてアセトンやメチルエチルケトン、プロパンを利用することができるが、*mimA* 遺伝子破壊株はこれらの資化性を失っていた。これより、*mimABCD* 遺伝子クラスターはアセトン等の代謝において重要な役割を担っていることが示唆された。

また、当該酸化活性はアセトンにより誘導されるが、そのレギュレーター遺伝子を同定することに成功している。現在、*mimABCD* 遺伝子クラスターの異種発現を進めており、高発現組換え体を生体触媒として利用したヒドロキノン生産バイオプロセスの開発を目指している。

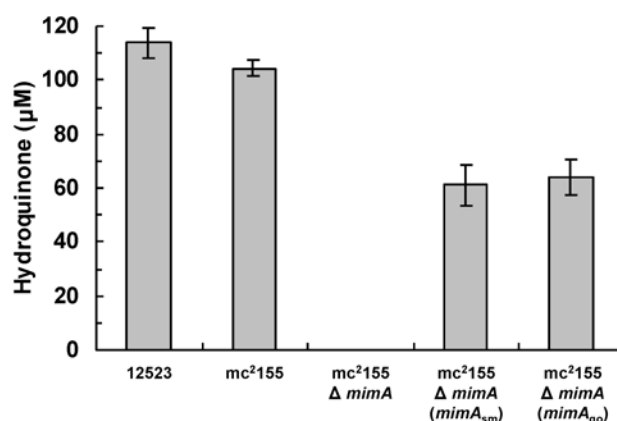


Fig. 2 Activities of wild-type and mutant on phenol oxidation.

3. 共同研究者

桐村 光太郎 (先進理工学部・応用化学科・教授)

由井 浩 (理工学研究所・客員研究員)

石井 義孝 (先進理工学研究科・グローバル COE”実践的化学知”教育研究拠点・主任研究員)

古屋 俊樹 (理工学研究所・次席研究員)

佐藤 大 (先進理工学研究科・グローバル COE”実践的化学知”教育研究拠点・研究助手)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- 1) T. Furuya, S. Hirose, H. Osanai, H. Semba, K. Kino, Identification of the Monooxygenase Gene Clusters Responsible for the Regioselective Oxidation of Phenol to Hydroquinone in Mycobacteria, *Appl. Environ. Microbiol.*, **77**, 1214-1220 (2011).
- 2) K.Y. Hara, R. Suzuki, T. Suzuki, M. Yoshida, K. Kino, ATP Photosynthetic Vesicles for Light-Driven Bioprocesses, *Biotechnology Letters*, **33**, 1133-1138 (2011).

4.2 総説・著書

- 1) T. Furuya, K. Kino, Genome Mining Approach for the Discovery of Novel Cytochrome P450 Biocatalysts, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **86**, 991-1002 (2010).

4.3 学会および社会的活動

- 1) 古屋俊樹, 木野邦器, ゲノム情報を利用した酸化酵素の探索と生体触媒への応用, 生体触媒化学シンポジウム, 静岡, 2010 年 9 月.
- 2) 古屋俊樹, 廣瀬里美, 仙波尚, 木野邦器, *Mycobacterium goodii* 12523 株のフェノール酸化酵素遺伝子の同定, 日本生物工学会, 宮崎, 2010 年 10 月.
- 3) 荒井友香, 古屋俊樹, 木野邦器, 2-ナフトエ酸モノオキシゲナーゼ CYP199A2 の位置選択性の改変, 日本生物工学会, 宮崎, 2010 年 10 月.
- 4) 古屋俊樹, 荒井友香, 木野邦器, シトクロム P450 モノオキシゲナーゼ CYP199A2 およびその改変酵素を利用した芳香族ヒドロキシカルボン酸の合成, 酵素工学会, 東京, 2010 年 11 月.
- 5) 古屋俊樹, 木野邦器, シトクロム P450 モノオキシゲナーゼ CYP199A2 およびその変異酵素を利用したケイ皮酸類の水酸化, 日本農芸化学会, 京都, 2011 年 3 月.

4.4 他機関との共同研究

- 1) 平成 21 年度森林資源活用型ニュービジネス創造対策事業, 林野庁(森林総合研究所より再委託), 2011 年

5. 研究活動の課題と展望

木質系バイオマスからのエタノール生産に関しては、5 単糖を選択的に資化する *P. stipitis* 変異株の造成が可能であったことから、今後、当該変異株を実際のエタノール発酵試験に導入し実用性を実証する。脂肪酸を原料とした短鎖アルデヒド合成では、有用な HPL を利用し高効率な合成プロセスを検討する。さらに、簡便なプロセスとして微生物菌体を利用した合成法の構築を目指す。

WABOT-HOUSE における人間—ロボット共生空間と

RT コンポーネントの開発研究

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 WABOT-HOUSE プロジェクトの継続研究として、「人間用ハウス」、「人間ロボット共生実験用ハウス」、「ロボット用ハウス」の3つの建物外枠に対して、それぞれの内部に近未来 SOHO 空間、ロボットと人間との共同作業が可能な近未来生活空間、ロボットが自己修復・自己メンテナンスなどが可能な自律空間、そしてそこに住む人間型・動物型・植物型ロボットの開発、床・壁・家具などハウス構成要素とロボットとのインタフェース構築、人間共存ヒューマノイドロボット開発研究、森林保全ロボット開発研究などを行う。

2. 主な研究成果

2. 1 ポジショニングの研究

人間と共生するロボットにおいて、移動機能は必要不可欠であり、それを支えるポジショニング（自己位置推定）技術は最も重要な技術の一つである。本研究では、RFID 測位と屋内 GPS という2つの柱で、高精度屋内測位を実現する手法の研究を行っている。

RFID 測位は、床面に粗く敷き詰められた RFID タグを用い、確率的な位置推定手法を適用することで、タグの設置間隔以上の測位精度を実現する手法である。これまでの研究で、タグの設置間隔 30cm に対し 10cm 以下の精度での測位を実現した。しかしながら、粗く敷き詰められたタグは、移動方向によっては検知できない死角が存在し、自己位置が十分な精度で推定されるまでに時間を要してしまうという問題があった。そこで 2010 年度は、ロボットの動作計画に昆虫のフェロモン探索行動を参考としたジグザグ的な探索行動アルゴリズムを導入し、これまでに開発したパーティクルフィルタによる計測モジュールと結合することによって、許容誤差に対して速度効率の高い能動的自己位置推定を実現した。本手法を移動ロボットに組み込んだ際のシステム構成を Fig.1 に示す。実験の結果、同一誤差レベルに対して、最大 40% の速度を高めることに成功した。

屋内 GPS は、GPS と等価の電波を発射する送信機を屋内に設置することで位置を計測する技術である。本研究では、これまで、4 つ以上の送信機を屋内に設置し、三辺測量によって位置を計測

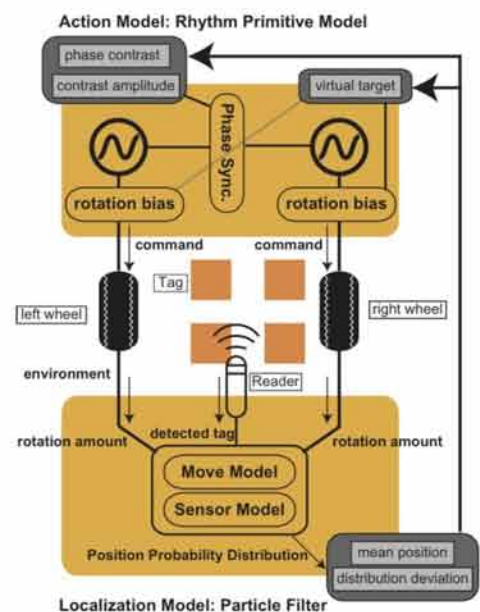


Fig.1 システム構成図

する擬似衛星方式を採用してきた。しかしながら、複数の送信機を設置した場合、屋内の電波環境が著しく劣化してしまうという問題が確認された。そこで2010年度は、一つの送信機を用い、アンテナを動かすことによって生じるドップラー変化と、3軸姿勢センサを用いることで測位を行う「ドップラー測位手法」を新たに提案した (Fig.2)。可動型アンテナの実機を開発し、測位実験を行ったところ、良好な条件下でセンチメートルレベル、そうでなくともデシメートルレベルでの測位が可能なが確認された。

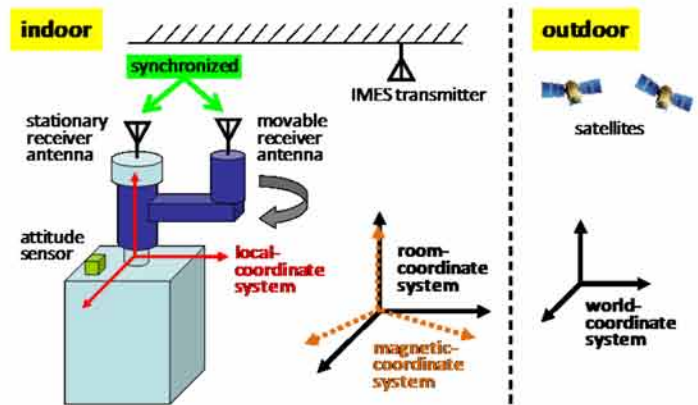


Fig.2 ドップラー測位手法概念図

2. 2 RT を用いた高機能車椅子の研究

本研究では、これまでに開発したシステムの RT ミドルウェア対応として、高機能車椅子ロボットのソフトウェアシステムのハードウェアレイヤーとアルゴリズムレイヤーをすべて C++ のクラスにカプセル化した。ロボットアームの操作を支援するための知能化技術の開発にあたっては、今年度ロボットアームのオートグラスピングを実現するために、新たに開発したロボットハンドに、対象物を認識する距離センサとして超音波センサおよび赤外線センサの 2 種類を搭載した。その際、精度が 50mm 以内の赤外線近接センサを採用した。これにより超音波センサで対象物までの大まかな距離を測り、残りの対象物までの微妙な距離を赤外線近接センサで行うことが可能となった。本機能を実装したハンドを Fig.3 に示す。



Fig.3 車椅子アーム用ロボットハンド

2. 3 水質改善ロボットの研究開発

株式会社ナック、岐阜薬科大学との連携（ものづくり中小企業製品開発等支援補助金）により、水中を移動し、水質改善効果のあるマイクロ・ナノバブルを放出するロボットの開発を行った (Fig.4)。マイクロ・ナノバブル発生装置を始め、溶存酸素計、超音波測深機、姿勢センサ、流速計、カメラなどのセンサやスラスタ、LED ライトなどの機構を搭載した水質改善ロボットを構築した。岐阜県各務原市郷戸池において評価実験を行い、改良点の検討を行った。実験において、水中での移動およびマイクロ・ナノバブルの放出を確認した。水温および溶存酸素量 (DO) を測定し、水温の低い（水深が深い）



Fig.4 水中移動ロボット

場所では溶存酸素量が低い関係にあることを確認した。水質改善の効果は更に長期に渡る活動・観測が必要であることを確認した。遠隔操縦のためのシステムとして、PLC を利用したネットワークを構成し、Xport と PIC により各センサ・機器を制御するシステムを構築した。また、遠隔操縦サーバおよびクライアントソフトを作成した。

2. 4 その他 RT コンポーネント

上記以外にも、モニタロボットやロボットチェアの開発、およびそれらのホームサーバへの統合、エネルギー自給・自律作業ロボットの開発、案内ロボットにおける要素技術の統合、レスキューロボットの高度化、植物型ロボットの開発、ロボットタワーの構築等を、RT コンポーネント開発研究として実施した。

3. 共同研究者

橋本 周司（理工学術院・教授） 藤江 正克（理工学術院・教授）
 梅津 光生（理工学術院・教授） 三輪 敬之（理工学術院・教授）
 山川 宏（理工学術院・教授） 小林 哲則（理工学術院・教授）
 高西 淳夫（理工学術院・教授） 小松 幸夫（理工学術院・教授）
 嘉納 成男（理工学術院・教授） 小松 尚久（理工学術院・教授）
 高畑 文雄（理工学術院・教授） 中島 啓幾（理工学術院・教授）
 中里 秀則（理工学術院・教授）

4. 研究業績

主な業績を以下に示す。

Kenri Kodaka, Shigeki Sugano, “Discussion on the Forward-Backward Configuration Effect of Reader Antennas in Floor-Installed RFID System”, Advanced Robotics, Special Issue on Cutting Edge of Robotics in Japan 2011 , Vol.25, No.3, pp.313-333, 2011.3

Wei Wang, Yuki Suga, Shigeki Sugano, “Contact Detection and Reaction of a Wheelchair Mounted Robotic Arm Equipped with Mechanical Gravity Canceller”, in The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Taipei, Taiwan, October 18-22, 2010.

Yoshihiro Sakamoto, Haruhiko Niwa, Takuji Ebinuma, Kenjiro Fujii, and Shigeki Sugano, “Multiplexing Receivers to Improve Positioning Success Rate for Pseudolite Indoor Localization” , 7th International Symposium on Mechatronics and its Application, ISMA2010, CD-Proc.,2010.

5. 研究活動の課題と展望

これまでの研究で、知能化・構造化されたハウス、各種 RT コンポーネント、インタフェース技術の蓄積がなされてきた。次年度以降、人間へのロボットによるサービスを実証的に研究する観点から空間と RT コンポーネントを統合・評価し、実証実験により成果をまとめる。

音響コミュニケーション

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

本研究はグローバル COE プログラム「アンビエント SoC 教育研究の国際拠点」の山崎・及川担当分の「アンビエントテクノロジー研究／SoC 統合化研究」音声インターフェイス・音声メディア処理グループと連携し、言語・情報・情緒にわたる音の属性に関わる人間の聴知覚機能に着目して立体音声収録・再生技術を開拓することを目標とする。そのため本プロジェクト最終年度である当期間では、音の言語・情報属性に着目して、音声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た。この際、音場の特性を非専門家を含む多数の人間に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た。さらに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を課題とした。

2. 主な研究成果

実環境で行われている音コミュニケーションを観測・解析し、試聴実験を含む評価実験によって音コミュニケーションを定量的に評価した。具体的には、音響 TV や音響トモグラフィ（レーザおよび CT 技術を用いた音場観測装置）等新たに開発した装置で、人間、動物、虫等によって様々な音コミュニケーション空間が創造される有様を測定・観測することを実現した。また実験環境においては、高速度カメラを用いた PIV（粒子画像流速測定）法を使って、従来のトランスデューサ（音響・電気変換器）とは全く異なる原理で音情報の獲得を実現した。

2.1 音響 TV を用いた観測

パラボラとその焦点に設置した 192 個のマイクロホンで構成される音響テレビを開発し、音場、騒音などの可視化を行う。図－1 に示す本音響 TV は、マイクロホンにより収録された音のレベルを明るさ、周波数成分を色により表した画像をカメラ画像にスーパーインポーズすることにより、音の発生している場所、音のレベル、周波数成分を把握することが可能である。例えば周波数成分の情報は、RGB 三原色に割り当てられている。以下の観測結果例は R（赤）を中心周波数 3kHz、G（緑）を 7kHz、B（青）を 18kHz のバンドパスフィルタ出力に対応させた画像である。図－2 は女性の発話、図－3 は室内で白色雑音をスピーカにより発生させ窓を開けた場合の様子、図－4 はスピーカにより発生させた白色雑音が幕布状の遮蔽物を透過する様子を観測したものである。

2.2 レーザを用いた音場の観測

音は媒質の圧力変化の移動であり、空気中においては微少な気圧変化を伴って伝播する。空気中から直接音情報を得ることにより、振動板固有の物理的限界や特性に依存しないと同時に音場に直

接介入することなく音情報の検出が可能となる。音場において空気は疎密を生じ屈折率が変化する。そこでレーザが音場を通過する際の速度の変化を計測することができれば、振動板を用いずに空気そのものから直接的に音圧変化を屈折率の変化量として検出することが可能である。さらに CT 技術を用いることにより音の空間的な振る舞いを観測することも可能である。図-5はグランドピアノ打鍵時の観測結果例である。



図-1 音響TV 外観



図-1 女性の発話音声



図-3 室内で発生させた白色雑音の窓部漏音



図-4 スピーカ音(白色雑音)の透過音

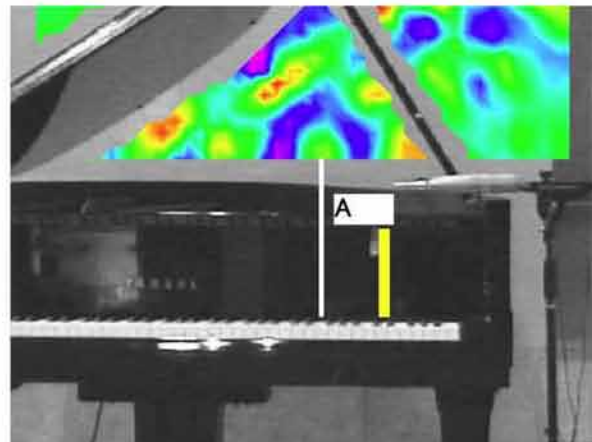
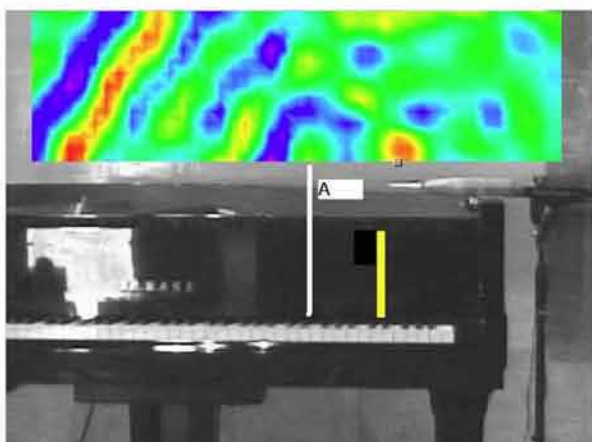


図-5 C7音を打鍵した場合のピアノ音波面（左；蓋をとった場合、右；蓋がある場合）

2.3 高速度カメラによる粒子画像流速測定法を用いた音場の観測

粒子画像流速測定法 (Particle Imaging Velocimetry : PIV) は識別可能な何らかの微粒子を撮影し、画像相関法などから画像間における流体の多点速度分布を算出する手法で、風洞実験など流体解析の分野で広く用いられている。本研究は、図-6 に示すように、スピーカによって生成された音場の音情報を音場中の埃を2台の高速度カメラによる3次元撮影を行うことによって取得しようとする試みである。図-7 に2台それぞれの高速度カメラで撮影された音波面に追従して運動する微粒子(埃)を示す。本実験において音場中の音の周波数成分の抽出と空間における大まかな音源方向の特定が可能であることを確認した (図-8 参照)。

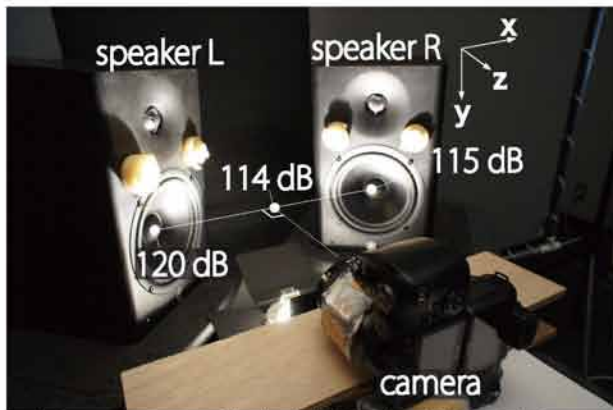


図-6 PIV 法実験撮影時の機器配置

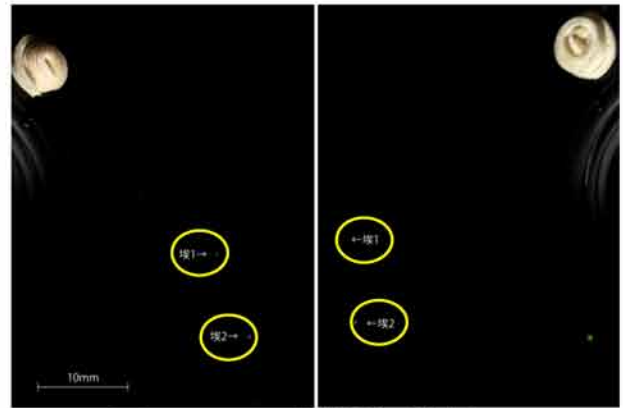


図-7 PIV 法撮影画像例

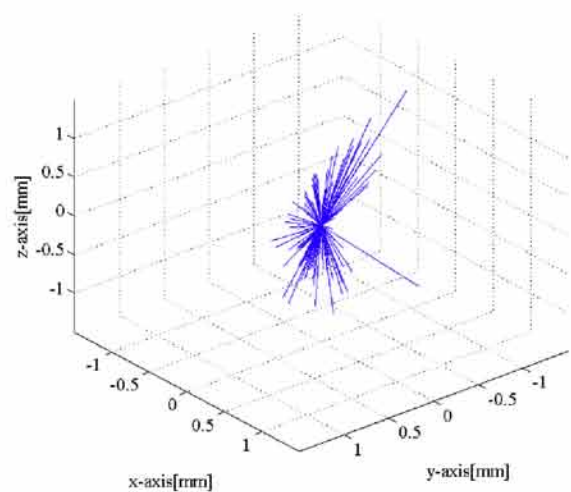
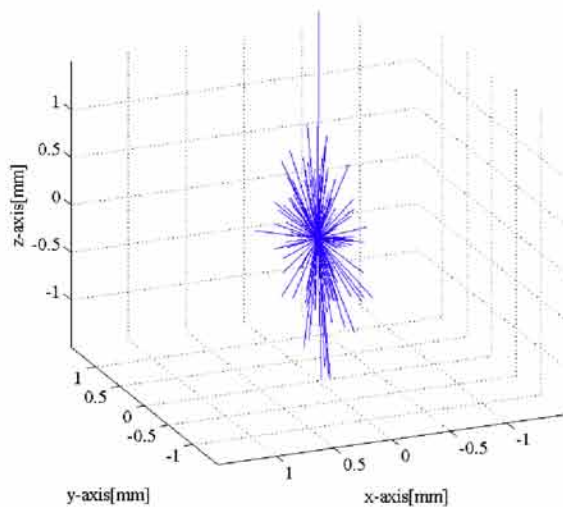


図-8 音場中の微粒子の変位ベクトル (左 ; 左側スピーカ再生時, 右 ; 右側スピーカ再生時)

3. 共同研究者

白井 克彦 (理工学術院 教授)

小林 哲則 (理工学術院 教授)

菅田 雅彰 (スポーツ科学学術院 教授)

菊池 英明 (人間科学学術院 准教授)

及川 靖広 (理工学術院 准教授)

東山 三樹夫 (理工学術院 客員教授)

鵜田 泰弘 (環境総合研究センター 客員准教授)

大内 康裕 (環境総合研究センター 客員講師)

小野 隆彦 (IT 研究機構コミュニケーション科学研究所 客員教授)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- 1) "Health Monitoring for a Structure Using Its Nonstationary Vibration," Yoshimitsu Hirata, Mikio Tohyama, Mitsuo Matsumoto and Satoru Gotoh, *Advances in Acoustics and Vibration*, pp.1-5, Aug., 2010.
- 2) "音声母音スペクトルのべき級数展開とその零点分布," 峰村今朝明, 後藤理, 東山三樹夫, 白井克彦, 電子情報通信学会論文誌, 基礎・境界ソサイエティ, Vol.J93-A, No.12, pp.833-834, 2010 年 12 月.

4.2 総説・著書

- 1) "光を使った音場の計測," 小西雅, 池田雄介, 及川靖広, 山崎芳男, 騒音制御, Vol.34, No.3, pp.198-204, 2010 年 6 月.
- 2) "オーディオ収録・編集の基礎 第 1~12 回," 及川靖広, ビデオ α , Vol.26, No.4 ~ Vol.27, No.3, 写真工業出版社, 2010 年 4 ~ 2011 年 3 月.

4.3 招待講演

- ・ "音今昔," 白井克彦, 日本音響学会春季研究発表会特別講演, 早稲田大学西早稲田キャンパス 57 号館 202 室, 2011 年 3 月 10 日.

4.4 学会および社会的活動

- ・ 2011 年 3 月 9~11 日に早稲田大学西早稲田キャンパスを会場として、日本音響学会春季研究発表会が開催され、山崎（委員長）、白井、小林、菅田、菊池、及川、東山、大内、小野の各名が実行委員を務めた。講演件数は 663 件、参加者数は 1,485 名であった。

5. 研究活動の課題と展望

本研究課題の中心メンバーに新たな研究分担者を加えた 2011 年度発足の研究プロジェクト「応用音響」において、①本研究課題の方法の測定装置を更に多様な音環境（固体・液体媒体の振動領域を含む）で観測・測定可能となるよう改善改良し、具体的な建物等空間設計や音響機器設計へ役立てるツールとする。②前述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する。

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

本プロジェクトでは、文部科学省科学技術振興調整費「イノベーション創出若手研究人材養成」ならびに文部科学省科学技術人材養成等委託事業「実践型研究リーダー養成事業」の採択を受け、大学院生とポスドクを対象として、わが国のイノベーションや課題解決を担う実践力を有した人材を育成する。

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、大学院生やポスドク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、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を推進する。

2.1 実践的博士人材養成プログラム

昨年度から引き続き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効率的に業務を推進した。主に、実践カリキュラム及びインターンシップを通じて若手研究者の能力開発を進めた。

① 実践カリキュラム

本年度からは独立研究科を除く理工学術院の3研究科において、リーダーシップ論、産業政策論、ロジカル・コミュニケーション、実用英語の分野から成る7科目を大学院博士課程の正式科目とした（写真1、2）。学内外から公募した結果、350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名程に対して3倍強の人数であり、目標は十分に達成できたものと言える。



写真1



写真2



写真3

②インターンシップ

海外及び国内の企業・研究機関（20 機関余）と協働して企画し、選考委員会（国内外の産学官委員で構成）により競争的に意欲ある若手研究者を選抜したうえで、選抜者を派遣した。インターンシップでは、水平連携のみでなく異分野融合型の垂直連携を試みることで、幅広い知見を有した創造性の豊かな人材養成を図った。

具体的には、センター登録者の中から、94 名（博士院生 71 名、ポスドク 20 名、博士進学希望の修士院生 3 名）と面談を行った。海外及び国内の企業・研究機関（全 74 機関）と協働して研修を企画し、平成 22 年度選考委員会（年 2 回開催）により競争的に 26 名を選抜した。

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開始者 10 名に加え、今年度選抜者のうち 12 名、計 22 名（博士院生 15 名、ポスドク 7 名）が本年度のインターンシップに参加した。このうち、7 名が海外で研修を実施した。

③セミナーの開催

その他の能力開発については、留学生からのニーズを反映させた「日本文化理解」講座、講義の実践的内容とも位置付けられる面接に関するセミナーなどを新規実施した。

④外部評価委員会の開催

当該事業に参加しない外部有識者からなる外部評価委員会を開催し、事前評価と事後評価を行うことによって有益なコメントを得るとともに、来年度に向け必要な修正を図った。

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

本年度から当該事業の採択を受け、博士キャリアセンターを中心に事業体制の整備に取り組み、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支援するキャリアアドバイザー、連携企業群との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（写真 5、6）。

② 演習モデルの企画・実施

基礎学習、企業演習、応用学習の演習モデルを企画、実施した。基礎学習では、参加学生は企業演習の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。企業演習では、博士課程学生 2 名を含む 4 名構成のチームが、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開始した。応用学習では、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や企業実務に通じる技能等を学んだ。



写真 4



写真 5



写真 6

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）
鈴木 広人（理工学研究所・次席研究員）

4.1 イベント開催実績

- ・『実践的博士人材養成プログラム 説明会』2010年4月5日（月）
- ・『平成22年度「実践的博士人材養成プログラム」成果報告会』2010年6月14日（月）
- ・『第三回産業-博士交流マッチング会』2010年7月8日（木）（写真3）
- ・『実践カリキュラム説明会』2010年9月21日（火）
- ・『「実践型研究リーダー養成事業」キックオフシンポジウム』2010年12月1日（水）（写真4）
- ・『第四回産業-博士交流マッチング会』2010年12月21日（火）
- ・『セミナー「研究者として面接突破を目指せ！」』
 - 第1回『コミュニケーションのプロが伝える「研究者のための面接テク」』
2011年2月27日（日）
 - 第2回『技術系人事OBが伝える「キャリアアップの本当の秘訣」』
2011年3月13日（日）
- ・『グローバル人材に求められる異文化理解～中国文化から見たコミュニケーション～』
2011年3月30日（水）

4.2 マスメディア掲載

- ・日本経済新聞（2010年7月19日朝刊）
- ・公明新聞（2010年10月18日）

文部科学省補助事業終了後も、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。本プロジェクトは学内関連組織と密接に連携し、本学の人材養成システムの改革に資する先駆的活動を引き続き実施する。

ユネスコ世界遺産「フエの歴史的建造物群」の

学術情報の保存・管理と ICT 基盤の構築支援

研究代表者 中川 武
(理工学術院 教授)

1. 研究課題

ヴェトナム社会主義共和国のユネスコ世界遺産「フエの歴史的建造物群」の建築学術情報の収集を 1994 年以来継続的に進めてきた結果、現在では、手書きの野帳や CAD 図面、人工衛星画像をはじめとした多様なメディアの保存・管理が重要な課題の一つとなっている。

こうした課題への施策として、昨今の情報通信技術 (ICT) 基盤構築の技術を活用し、多様な建築学術情報を一元的に集中管理するためのサーバを中心とした物理的基盤の構築とその冗長構化が第一に求められる。一方で、各情報の持つコンテキストを保持しつつ保存・管理・公開を行う必要があり、これには地理情報システム (GIS) を活用した時空間情報基盤の整備が有効であると考えられる。安定した ICT 基盤の構築によって、現地における実測データ等の 1 次情報の収集からクライアント/サーバ環境による入力・応答の即時共有・共同の作業形態を、日本とベトナムの二国間で実現し、さらに多様な学術情報の保存・管理に資する時空間情報基盤を構築し、それらを効果的に保存・管理・公開して行くことが肝要である。

本研究は、産官学連携プロジェクトの下、学術情報という知的財産の保存・管理を進めると共に、供与国カウンターパートへの技術移転を図り、国際協力の枠組みを形成しつつ社会還元を促進させるところに、大きな意義が認められるであろう。

2. 主な研究成果

本研究「学術情報の保存・管理の基盤構築」は、「フエの歴史的建造物群」を対象とした二つの研究—「王宮の復原的研究」と「文化的背景の復原」—とともに進められてきた。

2-1. 王宮の復原的研究

王宮の復原的研究は、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。2010 年度には、GPS/TPS による阮朝初代皇帝の嘉隆帝の測量を行い、GPS 専門家をシンガポールから招聘し、現地ベトナム人と共同で調査を行った。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。



GIS の実地研修

2-2. 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協力の下に、2009 年～2010 年にかけて「ニャーニャック」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。特に 2010 年度は、葬儀を中心とした儀礼と阮朝における建造物の造営記録の研究を行った。

2-3. 学術情報の保存・管理の基盤構築

これまでに述べた二つの研究を支援する形で、学術情報の保存・管理の基盤構築を行っており、GIS システムの構築、文献資料アーカイブの二つが主要な軸となっている。

「フエの歴史的建造物群」は、阮朝の都城である京城が面する香江の上流域に歴代皇帝陵、下流域に防衛施設や宗教施設があり、多様な建造物が広域に展開しているのが特徴である。この「フエの歴史的建造物群」を中心とした地理的環境データや建造物個別の基本データの収集を GPS や悉皆調査を通じて行い、これらのデータを俯瞰的・多元的に管理できるように、GIS システム構築による空間情報の整備を行ってきている。2010 年度は、手書き野帳、デジタル写真、CAD 図面を軸に、これまでの調査成果物を調査履歴と連関させて GIS 上にプロットすることで、時間的要素を GIS システム上に付加した。

一方で、研究論文、漢喃史料をはじめとする「フエの歴史的建造物群」に関する一連の文献資料は、GIS システムと連携したアーカイブを構築することで、調査・研究内容と連動した一元的管理が可能となった。このシステムでは、阮朝編纂資料読解の成果で得られた地名・建造物名等の地理情報、各種研究論文における対象建造物名等を糸口として、GIS 上に文献資料の相互ネットワークを構築した。「フエの歴史的建造物群」に関する今後の日越共同の学術研究の進展と、より活発化しつつある阮朝フエ王宮中心殿舎の勤政殿をはじめとした、歴史的環境の保全学の支援に資するところ大であると確信するものである。

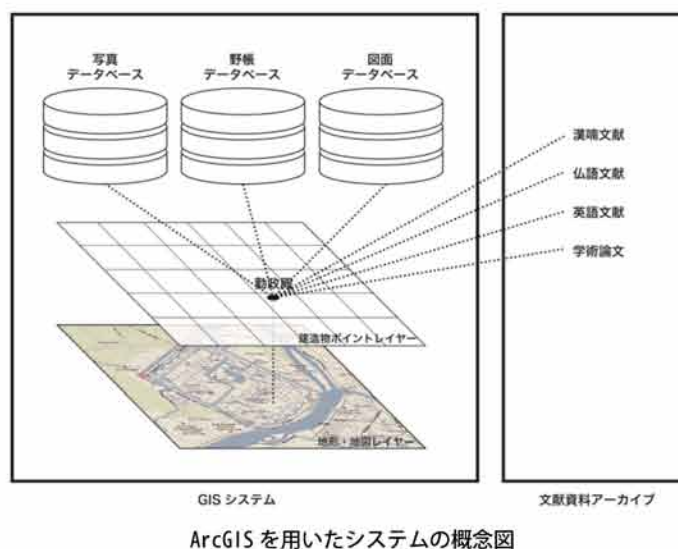
3. 共同研究者

研究機関の協力者

山崎 芳男（早稲田大学国際情報通信研究科・教授）

表 2010 年度の文献読解

文献種類	文献タイトル	研究内容
漢喃文献	欽定『大南會典事例』禮部	阮朝初代皇帝の嘉隆帝の葬儀の記述から皇帝陵の各部の使われ方を考察した。儀礼の日付・場所・内容の整理。
漢喃文献	『大南寔録』	建築の造営背景に関わる記述を中心にした読解。
仏語文献	『B.A.V.H.』「嘉隆帝の葬儀」	欽定『大南會典事例』禮部の読解に関する補足文献として読解



及川 靖広（早稲田大学理工学術院・准教授）
池内 克史（東京大学大学院情報学環・教授）
村井 俊治（東京大学生産技術研究所・名誉教授）
林 英昭（ものづくり大学・講師）
木谷 建太（早稲田大学理工学研究所・客員研究員）

民間の協力者

石井 重光（株式会社ターニングポイント・代表取締役）

4. 研究業績

4-1. 講演・シンポジウム

2010 年度プロジェクト合同シンポジウム『文化遺産・新しい人材・アジアの未来』
中川武、木谷健太「世界遺産フエの歴史的建造物群の保全に資する学術総合調査研究」
『文化遺産国際協力事業紹介』文化遺産国際協力コンソーシアム、pp.8-9、2011.3

4-2. 学会・社会的活動

白井裕泰、中川武「隆徳殿の当初材について 阮朝・太廟・隆徳殿の修復計画（その 21）」日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）F-2、2010.9、pp.601-602
栗子岳大、白井裕泰、中川武「隆徳殿の仕口について 阮朝・太廟・隆徳殿の修復計画（その 22）」日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）F-2、2010.9、pp.603-604
林英昭、中川武「腋尺を生むべき建築形式 ヴィエトナム・フエ阮朝王宮の復原的研究（その 154）」日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）F-2、2010.9、pp.605-606
六反田千恵、中川武、林英昭、木谷建太「勤政殿の前楹裳階ケオ・身舎大梁・ヴィ・ジャ・トゥの彫刻絵様について ヴィエトナム・フエ阮朝王宮の復原的研究（その 155）」日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）F-2、2010.9、pp.607-608
齋藤潮美、中川武、林英昭、木谷建太、六反田千恵「太和殿白黒写真に見られる塗装加飾文様について ヴィエトナム・フエ阮朝王宮の復原的研究（その 156）」日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）F-2、2010.9、pp.609-610
金山恵美子、中川武、木谷建太「宮殿の平面計画と宮殿群配置計画の関係 ヴィエトナム・フエ阮朝王宮の復原的研究（その 154）」研究報告集Ⅱ，建築計画・都市計画・農村計画・建築経済・建築歴史・意匠、2011.3
谷口しおり、中川武、木谷建太「天授陵と世祖高皇帝大喪儀の関係について ヴィエトナム・フエ阮朝王宮の復原的研究（その 155）」研究報告集Ⅱ，建築計画・都市計画・農村計画・建築経済・建築歴史・意匠、2011.3
富澤明、中川武、木谷建太「阮朝漢喃資料における建築の記述Ⅴ ヴィエトナム・フエ阮朝王宮の復原的研究（その 156）」研究報告集Ⅱ，建築計画・都市計画・農村計画・建築経済・建築歴史・意匠、2011.3
六反田千恵、中川武「フエ・阮朝木造建築群の中央棟飾りの分類と用法 ヴィエトナム・フエ阮朝王宮の復原的研究（その 157）」研究報告集Ⅱ，建築計画・都市計画・農村計画・建築経済・建築歴史・意匠、2011.3
六反田千恵、中川武「フエ・阮朝木造建築群の中央棟飾りの用法と配置 1. 王宮 ヴィエトナム・フエ阮朝王宮の復原的研究（その 158）」研究報告集Ⅱ，建築計画・都市計画・農村計画・建築経済・建築歴史・意匠、2011.3

六反田千恵、中川武「フエ・阮朝木造建築群の中央棟飾りの用法と配置 2. 皇帝陵 ヴィエトナム・フエ阮朝王宮の復原的研究 (その 159)」研究報告集Ⅱ, 建築計画・都市計画・農村計画・建築経済・建築歴史・意匠、2011.3

齋藤潮美、中川武、木谷建太「思陵・凝禧殿の柱にみられる塗装文様 ヴィエトナム・フエ阮朝王宮の復原的研究 (その 160)」研究報告集Ⅱ, 建築計画・都市計画・農村計画・建築経済・建築歴史・意匠、2011.3

5. 研究活動の課題と展望

「フエの歴史的建造物群」の研究の全体構想は、学術調査を継続することで、失われた生産技術の体系を復原的に考察する、という重点課題がある。この研究課題を支援するかたちで、現在 GIS システム構築が進められており、2011 年度には GIS システムおよび史料文献アーカイブにおいて整備した調査・研究資料を、より一般的に公開するために WEB 公開システムの構築を行っている。さらに、こうした一連のシステムは、構築後にベトナム側へと無償提供する予定である。

2012 年 3 月で、文部科学省科研費基盤研究(S)による研究は、一つの区切りをむかえるが、次年度以降も学術調査を続ける計画である。一方で、勤政殿復原計画は、本格的な事業化が必要であるといえる。ベトナム戦争の戦禍で消失した阮朝王宮の中心殿舎である勤政殿の復原・再建計画および歴史的環境の復原は、緊急かつ慎重に進めるべき研究課題であり、それを支援する学術情報の保存・管理の構築もさらに重要性が増すと考えられる。

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。

2. 主な研究成果

2.1 高品質電子ビーム生成

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。そのため、電子ビームの品質は直接レーザー光によって変化させることが可能である。今回、レーザーシステムを一新することによって大強度電子ビームの生成に成功している。1つの高周波パルスを用いて大多数の電子線を加速する“マルチバンチ加速”と呼ばれる手法を用いてこれまでの100倍の100バンチ加速を実現している。100倍の強度が得られるとともに、これまで同様のピコ秒の時間幅の短パルス電子線も生成できるため、より幅広く用いることが可能な装置になったと言える。これと同時にマルチバンチ加速における問題となりうるエネルギー差をRF-Gunにおいては世界で初めて振幅変調法を用いて補正し、エネルギー補正が可能であることを実証した。Fig.1に示すように補正前では5%程度(赤プロット)あったエネルギー差が補正によって1%以下(青プロット)にまで補正できていることがわかる。

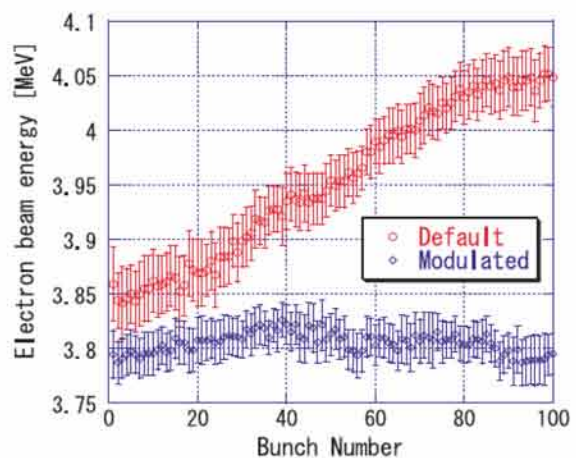


Fig.1 振幅変調法によるマルチバンチ電子ビームのエネルギー補正

2.2 パルスラジオリシス研究

電子ビームの高品質化に伴い、応用研究として行っているパルスラジオリシス研究もさらなる飛躍が期待できた。パルスラジオリシスとは、パルス放射線によって物質内に生成した放射性活種の物理的・化学的性質解析する手法であり、パルス放射線とパルスの分析光を用いることでポンププローブ法によりピコ秒の時間スケールの反応を追尾することが可能である。今回パルス放射線側に大きな改善があるとともに、分析光にも新たな手法を用いることでシステムを大幅に改善することに成功した。分析光にはフォトニッククリスタルファイバ中をピーク強度の高いピコ秒パルスレーザーを通すことによってスペクトルを増大させ、スーパーコンティニウム光を生成することによってピコ秒パルスかつ白色の分析光を生成した。これまでの分析光に比べ格段に安定したとともにピコ秒・ナノ秒スケール同時に計測が可能となった。以下の図にその計測結果を示す。どちらも 800nm における水和電子の吸収の時間挙動を示しており、Fig.3 からは本パルスラジオリシスシステムの時間分解能が評価できる。これまでと比較して同等の時間分解能を持ちつつ、S/N としては 2 倍以上の向上があった。

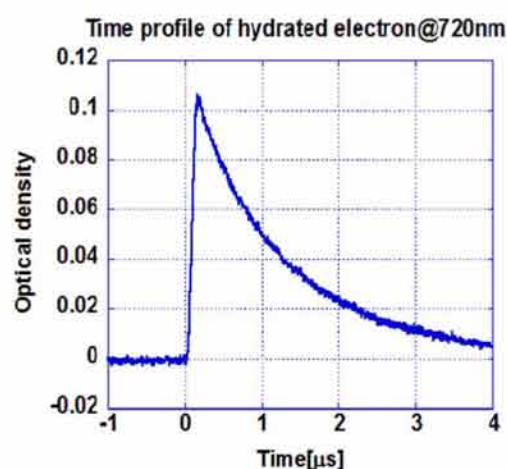


Fig.2 ナノ秒時間スケールの計測結果

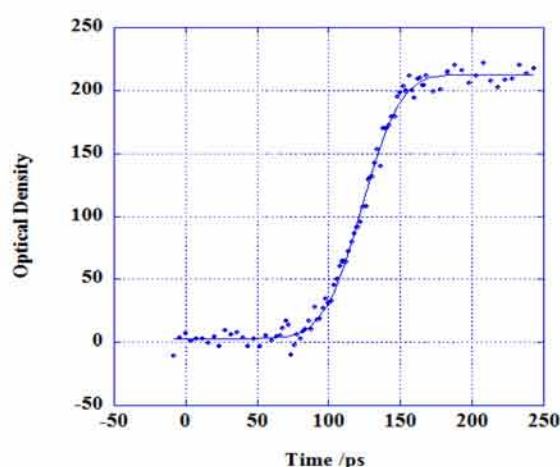


Fig.3 ピコ秒時間スケールの計測結果

3. 共同研究者

篠原 邦夫 (理工学研究所・客員教授)

坂上 和之 (理工学術院・応用物理学科・助教)

柏木 茂 (理工学研究所・客員講師)

黒田 隆之助(理工学研究所・客員講師)

4. 研究業績

4.1 学術論文

”Development of a laser pulse storage technique in an optical super-cavity for a compact X-ray source based on laser-Compton scattering” K. Sakaue, S. Araki, M. Fukuda, Y. Higashi, Y. Honda, N. Sasao, H. Shimizu, T. Taniguchi, J. Urakawa, M. Washio, *Nucl. Instrum. Meth.* **A637** (2011) S107-S111.

”Upgrade of the accelerator for the laser undulator compact X-ray source (LUCX)” M. Fukuda, S. Araki, A. Deshpande, Y. Higashi, Y. Honda, K. Sakaue, N. Sasao, T. Taniguchi, N. Terunuma, J. Urakawa, *Nucl. Instrum. Meth.* **A637** (2011) S67-S71.

"S-band linac-based X-ray source with $\pi/2$ -mode electron linac" A. Deshpande, S. Araki, T. Dixit, M. Fukuda, R. Krishnan, S. Pethe, K. Sakaue, N. Terunuma, J. Urakawa, M. Washio, *Nucl. Instrum. Meth.* **A637** (2011) S62-S66.

"Progress of high average power, short-pulse laser technology for the Compton X-ray source" Akira Endo, Kazuyuki Sakaue, Masakazu Washio, *Nucl. Instrum. Meth.* **A637** (2011) S33-S36.

"Photon generation by laser-Compton scattering at the KEK-ATF" S. Miyoshi, T. Akagi, S. Araki, Y. Funahashi, T. Hirose, Y. Honda, M. Kuriki, X. Li, T. Okugi, T. Omori, G. Pei, K. Sakaue, H. Shimizu, T. Takahashi, N. Terunuma, J. Urakawa, Y. Ushio, M. Washio, *Nucl. Instrum. Meth.* **A623** (2010) 576-578.

"Improvement of an S-band RF gun with a Cs₂Te photocathode for the KEK-ATF" N. Terunuma, A. Murata, M. Fukuda, K. Hirano, Y. Kamiya, T. Kii, M. Kuriki, R. Kuroda, H. Ohgaki, K. Sakaue, M. Takano, T. Takatomi, J. Urakawa, M. Washio, Y. Yamazaki, J. Yang, *Nucl. Instrum. Meth.* **A613** (2010) 1-8.

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。特に現在までピコ秒オーダーの幅を持って生成されていた電子ビームをフェムト秒オーダーまで圧縮することを計画している。これによって高輝度テラヘルツ光の発生が可能となる。また、本内容の延長線上にあるより一層の高強度化を行うことで癌治療への応用を進めているところである。

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
(理工学術院総合研究所(理工研) 教授)

1. 研究課題

プロセスオートメーション分野で導入が進められている産業用のオープンネットワーク規格として、いくつかのフィールドバスが存在する。これは従来の 1 方向アナログ伝送を主体とするフィールドデバイスからなる制御系を継承しつつ、シームレスに置き換えることを念頭に設定されたデジタル双方向通信規格である。IEC61158 として国際規格化されたが、特に、プロセスオートメーション分野における Foundation Fieldbus の技術教育サイトとして、「IONL: Industrial Open-Network Laboratory」を運営し、学生ばかりではなく、主に一般技術者を対象とした教育活動を展開している。年 4 回開催するフィールドバス技術セミナーは、2 日 コースを基本とし、定員 10 名。FOUNDATION フィールドバスを初めて使う方でも、その基礎を理解し、導入時に必要な検討項目、エンジニアリング、保守などを、ラボ設置のデモ設備(ホスト:4 システム, デバイス:21 台, アクセサリ:5 セット)を参照しながら説明を受け、実習できるようになっている。

このほか、個別にプラントおよび個別デバイスの診断技術を検討するワークショップでは、ラボ設備を活用して、技術実証を行っている。

2. 主な研究成果

2010 年度には、フィールドバス協会(米国 オースチン)が新しく設定した教育サイトの設備および教材、そして講師(森岡義嗣, 天野嘉春)の審査を受け、正式に FCTP (Foundation Certified Training Program)をクリアしたものと認定された。2011 年度からは FCTP のもと、Certified Support Specialist コース(2 日間)を開催する準備を完了した。

この他、診断ワークショップの成果をとりまとめ、9 月 10 日に理工学研究所 70 周年記念シンポジウム「フィールドバス技術講演会」を開催し、広く成果を公開した。

「診断ワークショップ」活動は 2009 年から開始し、具体的には次の 3 項目からなる。すなわち、

1. ポジショナ診断
2. 差圧流量発信器診断
3. 物理層診断

である。Step1 として 2008 年には、物理層診断、デバイス 診断および設備管理システムでの診断について、勉強会が行われた。その結果「診断の方法が明確になっていない」という課題が明らかとなり、そのさらなる明確化のために 2009 年末から約半年 の Step2 の活動が行われた。Step2 では、実物実習 しながら診断機能を検証し、ユーザーの要望を抽出したが、

現場の実情に合わせたマルチベンダ環境の整った本ラボで検証・実習が行われた。プラントライフサイクルコストの削減には、プロジェクト費用(CAPEX)の低減とオペレーション&メンテナンス費用(OPEX)の削減があるが、フィールドバスの診断技術を活用した OPEX の削減への期待が大きい。診断の適用領域としては、劣化や異常の検知、寿命予測、予知保全を行う設備管理レベルの向上に寄与するものと、プロセスの異常を検知して早期に対応することによりプラントのトラブルや事故を未然防止し運転の安定化に寄与するものがある。設備管理レベルの向上では、予知保全への変革とそのための劣化度の客観的な評価が求められている。一方、プロセスの安定化では、分析計や振動センサなどプロセスを直接測定する新しいセンサによる診断と、ソフトセンサのような多くのセンサ情報を統合したパフォーマンスの診断によるアプローチが考えられている。診断ワークショップの Step2 では、システム、実装、効果、診断機能の4つの評価視点で、ポジション診断、差圧流量発信器診断および物理層診断の3つの診断技術についての実習を行い、診断パラメータの意味と通知・表示および使用方法の統一の必要性、診断実行システム間の情報連携の重要性などのユーザー意見がまとめられ、フィールドバス協会仕様書 FF912 の標準化と予見・予知保全の実現への期待が示された。

3. 共同研究者

橋詰匠（理工研，教授），森岡義嗣（理工研 客員研究員），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），橋本良（理工研 嘱託）

4. 研究業績

論文・報文

森岡義嗣，フィールドバス技術，平成 22 年度 計装士技術維持講習，社団法人日本計装工業会，2010, pp.295-376.

山下英暁，上原彬，橋詰匠，涌井徹也，吉野晶紀，角口開道，宮地宣夫，コリオリ質量流量計における測定管の腐食診断，Proc. Dynamics and Design Conference 2010, 461, (2010)

藤井宣光，上原彬，橋詰匠，涌井徹也，吉野晶紀，角口開道，宮地宣夫，コリオリ質量流量計における空気混入診断，Proc. Dynamics and Design Conference 2010, 462, (2010).

Akira U., et. al., Diagnosis of Aerated Flow at Water Line with Coriolis Flowmeter Using Hilbert Transform, Proc. of SICE Annual Conference 2010, (2010), CD-ROM FA10.06

著書（翻訳）

天野嘉春他 訳，システムエンジニアリングガイドライン，日本フィールドバス協会，2010.

招待講演

森岡義嗣，フィールドバス技術，計装士技術維持講習，（社）日本計装工業会，2010.

天野嘉春，フィールドバスの基礎，日本フィールドバス協会ユーザー会，日本フィールドバス協会，2011.3.

無線システムのシミュレーション評価手法に関する研究

研究代表者 甲藤 二郎
(基幹理工学部・情報理工学科・教授)

1. 研究課題

従来から無線システムの設計段階でシミュレーションは多く用いられてきたが、同時にシミュレーションによって予測されるシステムの性能と実無線システムの性能が大きく異なることも指摘されてきた。その大きな理由はシミュレーション技術そのものよりも、対象システムが置かれている環境及び対象システム利用のモデル化が現実と大きく異なるためであると考えられる。本プロジェクト研究ではこのような無線システムのシミュレーションによる評価を体系化し、シミュレーションによる評価結果が実システムの性能により近くなり、結果としてシミュレーション技術の価値が高まることを目標とする。

2. 主な研究成果

2.1. 無線ネットワークエミュレータを用いた Skype の評価実験

従来の無線ネットワーク環境下でのアプリケーションの評価は、シミュレーションや実システムによって行われることが主流であったが、それらはそれぞれ短所長所がある。そこで、本研究ではそれらの中間に位置するエミュレーション（実時間のシミュレーションモード）を実行するにより、アプリケーションの評価を行なった。

エミュレータとしては無線ネットワークシミュレータ Scenargie をエミュレータモードで動作させ、実アプリケーションとしては Skype を使用し、実際の無線 LAN を模擬した環境下で音声・映像のストリーミング実験を行った。エミュレータから得られる、遅延やパケット廃棄率などのネットワーク特性を表す各種のパラメータ評価と、そのような環境下で受信者が受取った画像の品質評価から、アプリケーション（Skype）がネットワーク環境の変化に応じてどのように振舞うかに関する評価を行った。また、エミュレータを用いることで、仕様やソースコードが非公開のブラックボックス化されたアプリケーションに対して、ネットワーク環境が変化した場合の挙動を観察することにより、アルゴリズムの分析を試みた。

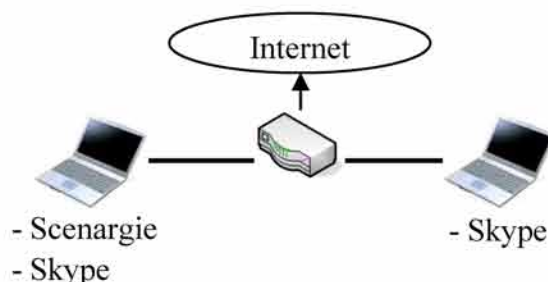


図 1: 実験環境

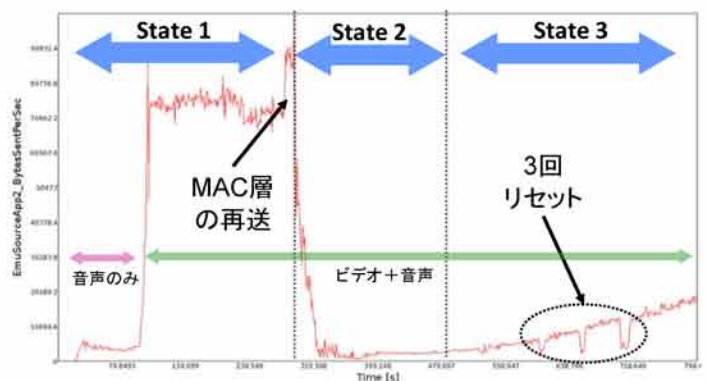


図 2: 観測結果



図 3: 観測画像

図 1 は実験環境を示している。二台の実機端末を用意して一台にエミュレータをインストールし、無線 LAN 環境を模擬している。図 2 は、横軸が時間、縦軸が送信レートであり、一台の端末がもう一台の端末から遠ざかり (State 1)、通信環境が劣化して画質に影響が出たところで近づき始め (State 2)、ビデオの停止・再開の動作 (リセット) を繰り返した場合 (State 3) の挙動を示している。State 1 において、ビデオの送信開始と共に急激に送信レートが増加するが、通信状態が劣化すると送信レートを下げること、State 2 において、通信環境が改善されると低レートでビデオの送信を開始すること、State 3 においてリセットを行うたびに送信レートが下がること、などが観測される。また、図 3 には、State 1 と State 3 の観測画像の例を示す。

2.2. IEEE802.11 における Channel Scanning 遅延短縮の一検討

近年、ネットワークの高速性や、簡単に設置できることにより、無線 LAN が広く普及している。また、その無線 LAN 環境において、リアルタイム性の高い VoIP やビデオ会議アプリケーションを利用する機会が増えつつある。しかし、現状において、無線 LAN でハンドオーバー (ユーザの移動に伴うアクセスポイントの切り替え) を行おうとすると、数百 ms かかると言われている。特に、そのハンドオーバー遅延のうち、次のアクセスポイントをスキャン (チャンネルスキャン) する時間が全体遅延の 90% であるとされている。そのため、無線 LAN のスキャンにおける遅延短縮は必須であり、本研究ではスキャン時間の短縮を目的とする手法を提案し、解析と評価を行った。

既存のチャンネルスキャン手法には、アクセスポイントを一定時間監視する Passive Scanning 法 (PS 法) と、プローブリクエストをブロードキャストしてアクセスポイントからの返答を待つ Active Scanning 法 (AS 法) がある。通常、Active Scanning の方がスキャン遅延を小さく抑えることができる。また、研究提案として、Active Scanning のパラメータに工夫を加えた Optimized Active Scanning 法 (OAS 法) が知られている。これに対して、本提案では、AS 法におけるプローブリクエスト応答の待ち時間に工夫を加え、ネットワークシミュレータ Scenargie を用いた特性比較を行った。

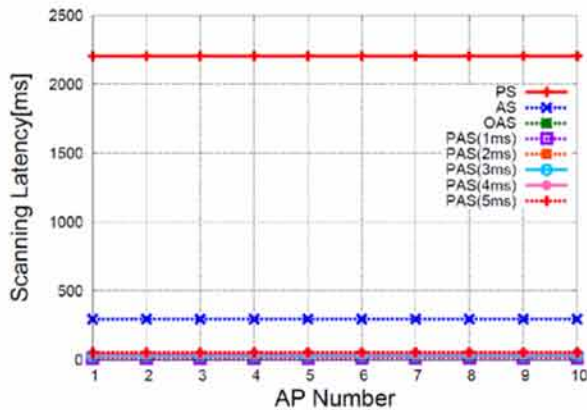


図 4: 単一チャネルにおける効果

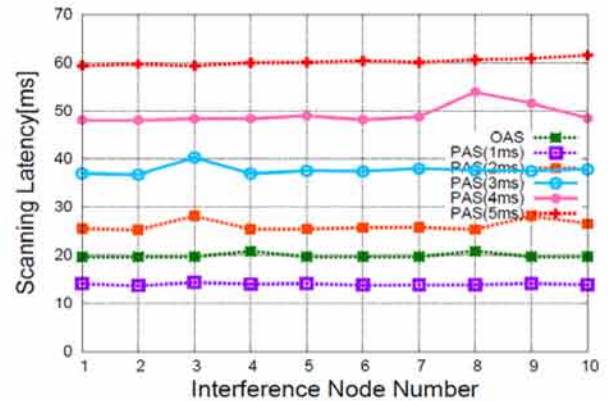


図 5: 干渉の影響

図 4 は、アクセスポイントのビーコン間隔を 100ms とし、隣接アクセスポイントの単一チャネルのスキャン時間の比較を行った結果である (PAS は提案方式であり、括弧内の数値はプローブリクエスト応答受信後の最小待ち時間を示すパラメータである)。横軸はアクセスポイントの ID 番号、縦軸はスキャン遅延を示す。この結果から、OAS 方式と提案方式は共に、既存の PS 方式と AS 方式に対するスキャン時間の低減を実現できていることが分かる。図 5 は、干渉するノード数を変化させ、当該ノードが定常的にアプリケーションデータを送出している場合の、干渉のスキャン遅延への影響を表している。この結果から、提案方式では、パラメータを制御することで OAS 方式を下回るスキャン遅延を実現できていることが分かる。

3. 共同研究者

木村啓二 (基幹理工学部・情報理工学科・准教授)

嶋本薫 (国際情報通信研究科・教授)

高井峰生 (理工学研究所・客員准教授)

4. 研究業績

小倉一峰, 高井峰生, 甲藤二郎: "IEEE802.11 における Channel Scanning 遅延短縮の一検討", 電子情報通信学会・ネットワークシステム研究会, NS2010-199, Mar.2011.

小倉一峰, 金田茂, Martin Jay, 高井峰生, 甲藤二郎: "ネットワークエミュレータによる無線環境での実アプリケーションの性能評価", 電子情報通信学会・モバイルマルチメディア研究会, MoMuC2010-30, Sep.2010.

K.Ogura, Z.Su and J.Katto: "Implementation Experiments of TCP Congestion Control Supporting Loss-Fairness", IEEE CQR 2010, June 2010.

K.Ogura, Z.Su and J.Katto: "Congestion Control with Two Fair Allocation Modes to Achieve RTT-Fairness", ICMU 2010, Apr.2010.

5. 研究活動の課題と展望

無線システムのシミュレーションは多くの研究開発でなくてはならない役割を担っているが、対象システムが複雑になるに従い、システム設計上の致命的な過ちの原因になりかねない。本研究では、対象無線システムの適切なモデル化、高速かつ使いやすいシミュレーション (並びにエミュレ

ーション) 環境の構築、評価シナリオと利用手法の体系化に、重点を置き、今後の活動を進めていく。

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

近年、建設機械をはじめとする人間操作型作業機械における高度作業への適応が期待されていることから、本研究では、大型かつ油圧駆動型の多関節マニピュレータを備えた建設作業機を対象とした作業機械の智能化インタフェースに関する研究を行ってきている。提案した智能化インタフェースのフレームワークは、「情報検出モジュール」、「状態識別モジュール」、「支援モジュール」の3つの機能モジュールで構成される。本年度は「情報検出モジュール」を研究の対象とし、特に作業機のマニピュレータにかかる外力負荷を検出するための負荷計測システムの基礎開発を行った。

2. 主な研究成果

高精度かつ実用的な負荷計測システムの構築には、低次から高次まで複数の開発工程を要することから、本年度はその基盤技術の開発として「油圧シリンダ単体に生じる外力成分を検出する手法」を開発した。建設作業機のような実システムにおいては、ハードウェアやセンサの大幅な変更をできる限り減らし、情報処理のために必要なモデリングを単純化するなどの「システムの実用性」が極めて重要となる。

2. 1. 利用するセンサ

現行の建設作業機に容易に搭載可能なセンサとして、油圧センサ(hydraulic sensor)を利用することとした。しかしながら、計測される圧力値には外力負荷以外の誤差成分が含まれることとなる。シリンダにかかる外力成分を導出するにはこれらの誤差負荷成分を同定する必要があるが、マニピュレータ摺動部のガタや油圧システムの非線形性・変動性など建機マニピュレータ特有の性質から、すべての誤差成分を直接的かつ正確に同定することが極めて難しい。

2. 2. 実用性を重視した計測手法

すべての成分を正確にモデリングすることが難しいことから、支配的な誤差成分である「自重力(self-weight force)」、「シリンダ駆動力(cylinder driving force)」、「振動成分(oscillating force)」の3つの成分を同定・除去することとした。これらの負荷成分は、関節角度、関節速度、関節加速度をそれぞれパラメータとしているため、同定・推定のしやすさがそれぞれ異なることから、高精度な外力計測を行うためには、同定手法に工夫が必要となる。

そこで、自重力を「理論モデルによる同定」、シリンダ駆動力を「実測値による推定」、振動成分を「ローパスフィルタリングによる除去」と、異なる手法を適用し除去を行った。

2. 3. 実験機を用いた検証実験

開発した計測システムを各種センサが搭載された小型実験機に実装し、運搬作業実験を行った結果、マニピュレータ姿勢や運動状態の違い、シリンダサイズの違いなどによらず、油圧シリンダにかかる外力成分を適切に除去できることが示された。

3. 共同研究者

岩田 浩康（高等研究所 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 Framework to Identify Task-Phase and Attentional-Condition for Supporting Complicated Dual-Arm Operations”, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 22, No. 4, pp. 447-455, Aug. 20, 2010.

■総説・著書

■講演

（国際会議）

Mitsuhiro Kamezaki, Hiroyasu Iwata, and Shigeki Sugano, “Hydraulic Pressure-Based Dominant Error Force Component Identification for Detecting External Force Applied to Construction Manipulator”, in *Proceedings of International Conference on Advanced Mechatronics 2010 (ICAM2010)*, pp. 313-318, Oct. 2010.

Mitsuhiro Kamezaki, Hiroyasu Iwata, and Shigeki Sugano, “A Practical Approach to Detecting External Force Applied to Hydraulic Cylinder for Construction Manipulator”, in *Proceedings of SICE Annual Conference 2010 (SICE2010)*, pp. 1255-1256, Aug. 2010.

Mitsuhiro Kamezaki, Satoshi Hashimoto, Hiroyasu Iwata, and Shigeki Sugano, “Development of a Dual Robotic Arm System to Evaluate Intelligent System for Advanced Construction Machinery”, in *Proceedings of 2010 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2010)*, pp. 1299-1304, July 2010.

Mitsuhiro Kamezaki, Hiroyasu Iwata, and Shigeki Sugano, “A Framework of State Identification for Operational Support based on Task-Phase and Attentional-Condition Identification”, in *Proceedings of 2010 IEEE International Conference on Robotics and*

Automation (ICRA2010), pp. 1267-1272, May 2010.

(国内学会)

亀崎允啓, 橋本諭, 中村皓佑, 岩田浩康, 菅野重樹, “油圧情報に基づく負荷計測の不確かさを考慮した建機マニピュレータの荷重有無検出”, 第11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(*SI2010*), pp. 358-361 (1F2-4), 2010年12月

亀崎允啓, 橋本諭, 岩田浩康, 菅野重樹, “油圧センサを用いた建機マニピュレータの外力手先負荷有無システムの開発”, 第12回建設ロボットシンポジウム論文集(*SCR2010*), pp. 323-328, 2010年9月

亀崎允啓, 橋本諭, 岩田浩康, 菅野重樹, “マニピュレータの運動状態に応じた負荷要因同定に基づく油圧シリンダの外力負荷有無検出手法の提案”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010論文集(*Robomec'10*), paper no. 1A1-A30, 2010年6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, 油圧シリンダ単体に生じる外力成分を抽出する手法を開発した. 今後は, 本年度の研究成果を発展させ, マニピュレータの手先に生じる外力負荷を計測する手法の開発を行う予定である.

G-COE 実践的化学知教育研究プロジェクト

研究代表者 黒田 一幸

(理工学術院・先進理工学研究科応用化学専攻・教授)

1. 研究課題

「実践的化学知」とは社会・人間に関わる課題について俯瞰的な問題意識を起点に、実用を強く指向した複合化学である「メソ化学」を推進する英知・知力を意味している。本拠点は、それら「英知」の構築と化学系研究者の「知力」養成を目的としている。21COE「実践的ナノ化学教育研究拠点」の実績を踏まえ、ナノ構造体をボトムアップで創製できる実力を土台と位置づけ、環境に優しく人間生活に貢献する革新的材料開発を指向したメソ化学を拠点の指導原理として、実践的な研究の展開および国際連携を通じた世界水準の人材育成を図っている。活力溢れ魅力ある共同研究・産学連携をグローバルに展開し、その研究ダイナミズムのなかに人材育成プログラムを組み込み、若手研究者の能力をスパイラルアップさせている。「メソ化学」は、ナノスケール化学を超えるメソスケール複合化学の実践である。メソスケールでの物質描像に基づく次元・階層・時空間を意識した材料設計と創出を、若手研究者参画のもと強力に展開している。化学の隣接分野を取り込みながらメソ化学の学問領域を開拓し、技術革新を誘発し社会に貢献する化学・材料科学分野の世界拠点の一つになることを目的としている。

2. 主な研究成果

本研究プロジェクトでは以下の5部門を置き、相乗的連携により、物質創製研究をあらゆる化学分野で総合的に推進できる研究・教育の国際拠点を形成し、若手研究者参画のもとメソ化学を強力に展開するとともに、メソ構造構築から材料創製へ至る普遍的な方法論を確立することを目指している。5部門の主な研究成果を以下にまとめる。

2.1 精密合成部門

○西出 宏之、清水 功雄、中田 雅久、松方 正彦、柴田 高範

有機合成化学、高分子化学、固体化学にまたがる広い学術領域における次元・階層・時空間を意識したメソ構造体の設計と、精密合成を展開した。

2.2 階層制御部門

○黒田 一幸、菅原 義之、武岡 真司、平沢 泉、本間 敬之

メソ化学の本質の一つは、ナノレベルの構造・機能単位の集積による階層構造の実現である。ナノスケール構造単位の集合体を鋳型としてメソ構造を制御し、高規則性メソ構造体をバルク創製した。

2.3 界面・表面部門

○逢坂 哲彌、小川 誠、小柳津 研一、堀越 佳治、関根 泰

固液界面における分子整列、自己集積、原子再配列を動的に理解し積極的に応用することで、制

御されたナノ-及びメソ-構造体、界面ナノ/メソ構造の構築手法などを開拓した。

2.4 生体機能部門

○竜田 邦明、木野 邦器、桐村 光太郎、竹山 春子、常田 聡

メソスケール構造体ともいえる生体物質の利用において、ナノ構造-活性相関による分子設計に基づくバイオ系メソ構造体を創製・解析するとともに、メソレベルでの構造-活性相関による生体反応機構を解析した。

2.5 理論・先端計測部門

○古川 行夫、朝日 透、中井 浩巳、門間 聡之

メソスケールを意識した分子間相互作用を、分子構造とダイナミックスの観点から明らかにするべく、計測評価環境の開拓とメソ化学の学理構築と実践を目指してきた。

3. 事業推進協力者

石原 浩二

酒井 清孝

小出 隆規

中尾 洋一

鹿又 宣弘

細川 誠二郎

菊地 英一

山口 正

南沢 亨

4. 研究業績

4.1 学術論文

1. Y. Sekine, H. Koyama, M. Matsukata, E. Kikuchi, "Low Temperature Plasma-assisted Gasification of Carbon Particle by Lattice Oxygen on/in Oxide Catalyst", *Fuel*, DOI:10.1016/j.fuel.2011.03.046, *in press*
2. R. Watanabe, Y. Sekine, J. Kojima, M. Matsukata, E. Kikuchi, "Dehydrogenation of Ethylbenzene over Highly Active and Stable Perovskite Oxide Catalyst-effect of Lattice Oxygen on/in Perovskite Oxide and Role of A/B Site in Perovskite Oxide", *Applied Catalysis A:General*, DOI:10.1016/j.apcata.2011.03.016, *in press*
3. M. Zander, J. Nishinaga, K. Iga, Y. Horikoshi, "Area Selective Epitaxy of InAs on GaAs(001) and GaAs(111)A by Migration Enhanced Epitaxy", *J. Cryst. Growth*, *in press*
4. K.Y. Hara, R. Suzuki, T. Suzuki, M. Yoshida, K. Kino, "ATP Photosynthetic Vesicles for Light-driven Bioprocess", *Biotechnol. Lett.*, DOI: 10.1007/s10529-011-0544-5, *in press*
5. J. Labuta, S. Ishihara, A. Shundo, S. Arai S. Takeoka, K. Ariga, J.P. Hill, "Chirality Sensing by Nonchiral Porphines", *Chemistry A European Journal*, DOI: 10.1002/chem.201100052, *in press*
6. S. Yoshihara, H. Katsuta, H. Isozumi, M. Kasai, K. Oyaizu, H. Nishide, "Designing Current Collector/Composite Electrode Interfacial Structure of Organic Radical Battery", *J. Power Sources*, DOI:10.1016/j.jpowsour.2010.10.092, *in press*

7. J. Nishinaga, A. Kawaharazuka, K. Onomitsu, K.H. Ploog, Y. Horikoshi, "Effect of Excitons in AlGaAs / GaAs Superlattice Solar Cells", *Jpn. J. Appl. Phys.*, *in press*
8. A. Kawaharazuka, K. Onomitsu, J. Nishinaga, Y. Horikoshi, "Effect of Excitons on the Absorption in the Solar-cell with AlGaAs/GaAs Superlattice Grown by Molecular Beam Epitaxy", *J. Cryst. Growth*, DOI:10.1016/j.jcrysgro.2010.12.051, *in press*
9. N. Khaorapapong, P. Pimchan, M. Ogawa, "Formation of Mixed-Ligand Zinc(II) Coplex-montmorillonite Hybrids by Solid-solid Reactions", *Dalton Trans.*, DOI: 10.1039/C0DT01736A, *in press*
10. S. Taccola, A. Desii, V. Pensabene, A. Saito, T. Fujie, S. Takeoka, P. Dario, A. Mencias, V. Mattoli, "Free-standing Polyester Nanofilms Loaded with Superparamagnetic Nanoparticles", *Langmuir*, *in press*
11. J. Nishinaga, Y. Horikoshi, "Growth and Characterization of C₆₀/GaAs Interfaces and C₆₀ Doped GaAs", *J. Cryst. Growth*, DOI:10.1016/j.jcrysgro.2010.11.068, *in press*
12. D. Niwa, T. Fujie, T. Lang, N. Goda, S. Takeoka, "Heterofunctional Nanosheet Controlling Cell Adhesion Properties by Collagen Coating", *J. Biomaterials Applications*, DOI:10.1177/0885328210394470, *in press*
13. C. Kobayashi, S. Yoshida, M. Saito, T. Homma, "Investigation of Laterally-enhanced Growth Mechanism of Au Electrodeposition onto SiO₂ Surface Modified with Organic Molecules", *Electrochem. Soc. Trans.*, DOI:org/10.1149/1.3576071, *in press*
14. M. Sohmiya, M. Ogawa, "Relaxation of Photoexcited Tris(2,2'-Bipyridine)Ruthenium Complex([Ru(Bpy)₃]²⁺) in Mesopores", *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, *in press*
15. K. Kuramoto, M. Ogawa, "Solid-Solid Synthesis of Layered Hydroxide-organic Intercalation Compounds", *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, *in press*
16. H. Nakai, M. Okoshi, T. Atsumi, Y. Kikuchi, K.Y. Akiba, "Theoretical Design of Hexacoordinate Hypervalent Carbon Compounds by Analyzing Substituent Effect", *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, DOI: 10.1246/bcsj.20100358, *in press*
17. R. Nakai, T. Abe, H. Takeyama, T. Naganuma, "Metagenomic Analysis of 0.2-μm-passable Microorganisms in Deep-Sea Hydrothermal Fluid", *Mar. Biotechnol.*, DOI: 10.1007/s10126-010-9351-6, *in press*
18. K. Tatsuta, S. Tokishita, T. Fukuda, T. Kano, T. Komiya, S. Hosokawa, "The First Total Synthesis and Structural Determination of Antibiotics K1115 B1S (Alnumycins)", *Tetrahedron Lett.*, **52**(9), 983-986, (2011)
19. Y. Ide, Y. Koike, M. Ogawa, "Molecular Selective Photocatalysis by TiO₂/Nanoporous Silica Core/Shell Particulates", *J. Colloid Interface Sci.*, **358**(1), 245-251, (2011)
20. A. Takai, Y. Doi, Y. Yamauchi, K. Kuroda, "A Rational Repeating Template Method for Synthesis of 2D Hexagonally Ordered Mesoporous Precious Metals", *Chemistry an Asian Journal*, **6**(3), 881-887, (2011)
21. K. Endo, K. Tanaka, M. Ogawa, T. Shibata, "Multinuclear Pd/Zn-Complex Catalyzed Asymmetric Alkylative Ring Opening Reaction of Oxabicyclic Alkenes", *Org. Lett.*, **13**(5), 868-871, (2011)
22. K. Soejima, A. Terada, K. Naraki, S. Tsuneda, "Enhancing Nitrogen and Phosphorus Removal in an Anaerobic/Oxic/Anoxic Sequencing Batch Reactor: the Dependence of the Amount of External Carbon", *J. Water Environ. Technol.*, **9**(1), 79-86, (2011)
23. N. Khaorapapong, A. Ontam, M. Ogawa, "Preparation of Zinc Oxide-montmorillonite Hybrids", *Mater. Lett.*, **65**(4), 657-660, (2011)
24. Y. Ide, N. Ochi, M. Ogawa, "Effective and Selective Adsorption of Zn²⁺ on a Layered Silicate from

- Seawater", *Angew. Chem. Int. Ed.*, **50(3)**, 654-656, (2011)
25. H. Obokata, K. Kojima, K. Westerman, M. Yamato, T. Okano, S. Tsuneda, C.A. Vacanti, "The Potential of Stem Cells in Adult Tissues Representative of the Three Germ Layers", *Tissue Eng. Part A*, **17(5-6)**, 607-615, (2011)
 26. T. Shibata, T. Uchiyama, H. Hirashima, K. Endo, "Enantioselective Construction of New Chiral Cyclic Scaffolds Using [2+2+2] Cycloaddition", *Pure Appl. Chem.*, **83(3)**, 597-605, (2011)
 27. S. Hirai, M. Nakada, "Enantioselective Divergent Approaches to Both (-)-Platensimycin and (-)-Platencin", *Tetrahedron*, **67(38)**, 518-530, (2011)
 28. H. Saito, Y. Nishio, M. Kobayashi, Y. Sugahara, "Hydrolysis Behavior of a Precursor for Bridged Polysilsesquioxane 1,4-Bis(Triethoxysilyl)Benzene: A ^{29}Si NMR Study", *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, **57(1)**, 51-56, (2011)
 29. Y. Kuroda, K. Kuroda, "Formation of Hierarchically Porous Hollow Spheres Composed of Dehydroxylated Imogolite and Carbonaceous Materials", *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **84(1)**, 49-51, (2011)
 30. Y. Kuroda, K. Kuroda, "Expansion of Intertubular Mesopores of Imogolite Nanotubes by Thermal Decomposition of an Imogolite Poly(Sodium 4-Styrenesulfonate) Composite", *Chem. Lett.*, **40(1)**, 46-48, (2011)
 31. K. Sumitomo, K. Mayumi, H. Minamikawa, M. Masuda, T. Asahi, T. Shimizu, K. Ito, Y. Yamaguchi, "Buffers to Suppress SDS Adsorption to PEO for Protein Separation on Capillary Polymer Electrophoresis", *Electrophoresis*, **32(3-4)**, 448-454, (2011)
 32. T. Hyakutake, Y. Ishigami, J. Kato, J. Inukai, K. Miyatake, H. Nishide, M. Watanabe, "Luminescent Sensory Polymer Coating Composed of Platinumporphyrin and Poly(Trimethylsilylpropyne) for Real-Time Oxygen Visualization in Operating PEFCs", *Macromol. Chem. Phys.*, **212**, 42-47, (2011)
 33. Y. Komatsuzaki, K. Higashi, T. Kyougoku, K. Onomitsu, Y. Horikoshi, "Negative Differential Resistance Characteristics of Nanoscale In-plane Gate Devices", *Phys. Status Solidi C*, **8(2)**, 408-410, (2011)
 34. A. Kaneko, Y. Ishii, K. Kirimura, "High-yield Production of *cis,cis*-Muconic Acid from Catechol in Aqueous Solution by Biocatalyst", *Chem. Lett.*, **40(4)**, 381-383, (2011)
 35. C. Urata, Y. Tamura, Y. Yamauchi, K. Kuroda, "Preparation of Mesostructured Silica Micelle Hybrids and Their Conversion to Mesoporous Silica Modified Controllably with Immobilized Hydrophobic Blocks by Using Triethoxysilyl-terminated PEO-PPO-PEO Triblock Copolymer", *J. Mater. Chem.*, **21(11)**, 3711-3717, (2011)
 36. Y. Tanaka, K. Baba, T. J. Duncan, A. Kubota, T. Asahi, A. J. Quantock, M. Yamato, T. Okano, K. Nishida, "Transparent Tough Collagen Laminates Prepared by Oriented Flow Casting, Multi-cyclic Vittrification and Chemical Cross-linking", *Biomaterials*, **32(13)**, 3358-3366, (2011)
 37. Y. Ishigami, K. Takada, H. Yano, J. Inukai, M. Uchida, Y. Nagumo, T. Hyakutake, M. Watanabe, "Corrosion of Carbon Supports at Cathode During Hydrogen/Air Replacement at Anode Studied by Visualization of Oxygen Partial Pressures in a PEFC-start-up/Shut-down Simulation", *J. Power Sources*, **196(6)**, 3003-3008, (2011)
 38. 上原 悠介, 飯泉 礼子, 小林 祥一朗, 趙 依文, 中島 隆行, 清水 功雄, "炭素安定同位体多重標識 α -アミノ酸及び 5-Aminolevulinic Acid の合成", *安定同位体と生体ガス*, **2(1)**, 29-34, (2011)
 39. N. Takahashi, H. Hata, K. Kuroda, "Exfoliation of Layered Silicates through Immobilization of Imidazolium Groups", *Chem. Mater.*, **23(2)**, 266-273, (2011)

40. K. Takada, Y. Ishigami, J. Inukai, Y. Nagumo, H. Takano, H. Nishide, M. Watanabe, "Simultaneous Visualization of Oxygen Distribution and Water Blockages in an Operating Triple-serpentine Polymer Electrolyte Fuel Cell", *J. Power Sources*, **196(5)**, 2635-2639, (2011)
 41. Y. Ide, S. Iwasaki, M. Ogawa, "Molecular Recognition of 4-Nonylphenol on a Layered Silicate Modified with Organic Functionalities", *Langmuir*, **27(6)**, 2522-2527, (2011)
 42. S. Hideshima, R. Sato, S. Kuroiwa, T. Osaka, "Fabrication of Stable Antibody-modified Field Effect Transistors Using Electrical Activation of Schiff Base Cross-linkages for Tumor Marker Detection", *Biosens. Bioelectron.*, **26(5)**, 2419-2425, (2011)
 43. K.J. Nakamura, Y. Ide, M. Ogawa, "Molecular Recognitive Photocatalytic Decomposition on Mesoporous Silica Coated TiO₂ Particle", *Mater. Lett.*, **65(1)**, 24-26, (2011)
 44. K. Nakahara, K. Oyaizu, H. Nishide, "Organic Radical Battery Approaching Practical Use", *Chem. Lett.*, **40(3)**, 222-227, (2011)
 45. 宮川 堅次, 小川 誠, "ナノポーラスシリカ被覆酸化チタン微粒子の合成と光触媒活性", *塗料の研究*, **152**, 22-26, (2011)
 46. S. Arai, S. Yoon, A. Murata, M. Takabayashi, X. Wu, Y. Lu, S. Takeoka, M. Ozaki, "Fluorescent Turn-on System Utilizing a Quencher-conjugated Peptide for Specific Protein Labeling of Living Cells", *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **404(1)**, 211-216, (2011)
 47. K. Kirimura, S. Yanaso, S. Kosaka, K. Koyama, T. Hattori, Y. Ishii, "Production of *p*-Aminosalicylic Acid through Enzymatic Kolbe-Schmitt Reaction Catalyzed by Reversible Salicylic Acid Decarboxylase", *Chem. Lett.*, **40(2)**, 206-208, (2011)
 48. Y. Kuroda, K. Ito, K. Itabashi, K. Kuroda, "One-step Exfoliation of Kaolinites and Their Transformation into Nanoscrolls", *Langmuir*, **27(5)**, 2028-2035, (2011)
 49. K. Kino, T. Arai, Y. Arimura, "Poly- α -Glutamic Acid Synthesis Using a Novel Catalytic Activity of RimK from *Escherichia coli* K-12", *Appl. Environ. Microbiol.*, **77(6)**, 2019-2025, (2011)
 50. X. Zhuang, H. Yu, Z. Tang, K. Oyaizu, H. Nishide, X. Chen, "Polymerization of Lactic *O*-Carboxylic Anhydride Using Organometallic Catalysts", *Chin. J. Polym. Sci.*, **29(2)**, 197-202, (2011)
 51. N. Khaorapong, A. Ontam, M. Ogawa, "Very Slow Formation of Copper Sulfide and Cobalt Sulfide Nanoparticles in Montmorillonite", *Appl. Clay Sci.*, **51(1-2)**, 182-186, (2011)
- (他 119 件)

4.2 総説・解説

○

1. N. Khaorapong, M. Ogawa, "Solid-state Intercalation of Organic and Inorganic Substances in Smectites", *Clay Science*, *in press*
2. 小川 誠, "粘土鉱物の機能化：ナノ構造の精密設計", 川村理化学研究所報告, *in press*
3. T. Okada, M. Ogawa, "Organo-smectite Adsorbents; Designed Nanostructures for Smart Adsorbents", *Clay Science*, *in press*
4. 武岡 真司, "分子集合科学による高分子超薄膜（ナノシート）の調製とナノ絆創膏としての医療展開", *応用物理*, **80(2)**, 133-136, (2011)
5. 齋藤 晃広, 武岡 真司, "高分子ナノシートの物性と医療展開", *未来材料*, **48**, 211-219, (2011)

6. E. Ruiz-Hitzky, P. Aranda, M. Darder, M. Ogawa, "Hybrid and Biohybrid Silicate Based Materials: Molecular Versus Block-assembling Bottom-up Processes", *Chemical Society Reviews*, **40**(2), 801-828, (2011)
(他 20 件)

4.3 著書

1. J. Nishinaga, Y. Horikoshi, "Crystal Growth: Theory, Mechanism, and Morphology", Nova Science Publishers, *in press*
2. 関根 泰, "触媒調製ハンドブック", エヌティーエス, (2011)
3. 小川 誠, "粘土膜及び無機ナノ素材に関する「技術解説書」-粘土鉱物の包接反応を利用した機能付与", Clayteam, (2011)
4. K. Fuchigami, Y. Uchimaru, Y. Sugahara, "Preparation of Precursors for Si-B-O-C-N Ceramics via Hydrosilylation of Building Blocks with Cyclic Structures "Design, Processing and Properties of Ceramic Materials from Preceramic Precursors", Nova Science Publishers, 1-11, (2011)
5. K. Kirimura, Y. Honda, T. Hattori, "Citric Acid", Comprehensive Biotechnology, 2nd edition", Elsevier, (2011)
6. K. Kirimura, Y. Honda, T. Hattori, "Gluconic and Itaconic Acids", Comprehensive Biotechnology, 2nd edition", Elsevier, (2011)
7. T. Osaka, "Electrochemical Nanotechnologies", Springer, 1-4, (2010)
8. J.E. Park, T. Shimizu, T. Osaka, "Electrochemical Nanotechnologies", Springer, 23-33, (2010)
9. A. Sugiyama, T. Hachisu, T. Osaka, "Electrochemical Nanotechnologies", Springer, 87-98, (2010)
10. J. Sasano, D. Niwa, T. Osaka, "Electrochemical Nanotechnologies", Springer, 133-149, (2010)
(他 19 件)

4.4 学会および社会的活動

1. H. Nakai, Development of Linear-scaling Electronic-structure Calculation Based on Divide-and-conquer Approach, ACS Spring 2011 National meeting & Exposition, 2011.3, Anaheim, USA, Invited Lecture
2. T. Suga, H. Nishide, Redox-active Radical Polymers for Rapid Charge-storage and -transport, 241st ACS National Meeting & Exposition, 2011.3, Anaheim, USA, Invited Lecture
3. Y. Imamura, Development of Orbital-specific Hybrid Functional: Linearity Condition for Orbital Energies in Density Functional Theory, The 91st Annual Meeting of the Chemical Society of Japan, 2011.3, Kanagawa, Japan, Invited Lecture
4. M. Ogawa, Possible Applications of Layered Solids for Environmental Problems, NIMS International Symposium on Photocatalysis and Environmental Remediation Materials, 2011.1, Ibaragi, Japan, Invited Lecture,,
5. H. Nakai, Meso-scale Quantum Chemistry, The 5th Global COE International Symposium on 'Practical Chemical Wisdom', 2011.1, Tokyo, Japan, Invited Lecture
6. M. Ogawa, Preparation of Nanoporous Silica Films, The 5th Global COE International Symposium on 'Practical Chemical Wisdom', 2011.1, Tokyo, Japan, Invited Lecture
7. T. Momma, Electrodeposited Si from Organic Electrolyte for Li Battery Anode, 10th International Symposium for Energy Conversion and Storage, 2010.12, Cheongju, Korea, Invited Lecture

8. H. Nakai, Theoretical Study on the Electronic Structure and Catalytic Activity of Metal Complex, Cluster, and Surface, 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM 2010), 2010.12, Hawaii, USA, Invited Lecture
9. H. Nakai, Recent Development of Divide-and-conquer Electronic Structure Calculation: Application to Open-Shell System, 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM 2010), 2010.12, Hawaii, USA, Invited Lecture
10. H. Nishide, Nitroxide Radicals for Dye-sensitized Solar Cells. , 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM 2010), 2010.12, Hawaii, USA, Invited Lecture
(他 105 件)

5. 研究活動の課題と展望

2011 年度は文部科学省グローバル COE プログラム「実践的化学知」教育研究拠点の最終年度にあたり、当該拠点最終取りまとめを進めると共に、本研究で目的とするメソスケールでの物質描像に基づく次元・階層・時空間を意識した材料設計と創出をするため、部門を越えた共同研究の展開により化学の隣接分野を取り込みながら、技術革新を誘発し社会に貢献する化学・材料科学分野の世界拠点の一つになることを目指す。

全身型ヒューマノイドロボットによるコミュニケーションの解明

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

ヒューマノイドロボットの構成や行動様式などの差異が、人とロボットのコミュニケーションにおいて与える影響を明らかにすることを目指す。特に、ロボット全体の構成や行動様式が人に与える印象の心理学的評価、軟素材で構成されたロボットハンドの触感評価に重点を置く。

2. 主な研究成果

2.1 脚式ロボットと車輪式ロボットの印象の比較

我々はこれまでに、情動表出可能な頭部を持つ等身大の2足歩行ヒューマノイドロボット KOBIAN を開発してきた。これは顔、腕、胴体、脚を持ち、全身を用いて、喜びや驚きといった情動を表現できる。人の生活空間では本来的に脚による移動のほうが車輪による移動よりも優れているが、安定性においては劣る。こういった技術的観点だけではなく、人にとってロボットの物理構成の差異およびこれに付随する動作の差異が人に与える印象についてどのような影響を持つのかを評価した。

KOBIAN の下半身を車輪移動式の台車に置換したロボット HABIAN を開発し、KOBIAN, HABIAN, 人間の役者それぞれによる情動表現の映像を 30 名の実験協力者に提示し、SD 法によるアンケートを行なった。このアンケートでは実験協力者は、ロボットおよび人間の表現に対して、「やさしい/こわい」や「人間的な/機械的な」といった計 28 対の形容詞対について 7 段階尺度で評価した。この印象評価データの因子分析を行なったところ、「活動性」、「期待性」、「安心感」、「性能」の 4 つの因子が抽出された。これに基づき、2 足歩行ロボットは車輪式ロボットに比べて、活動的で、見る人に期待を持たせる印象を与えるものの、逆に不安感を与えることがわかった。



Fig. 1 KOBIAN

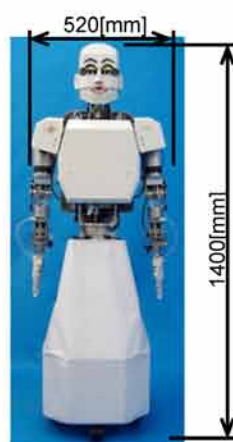


Fig.2 HABIAN

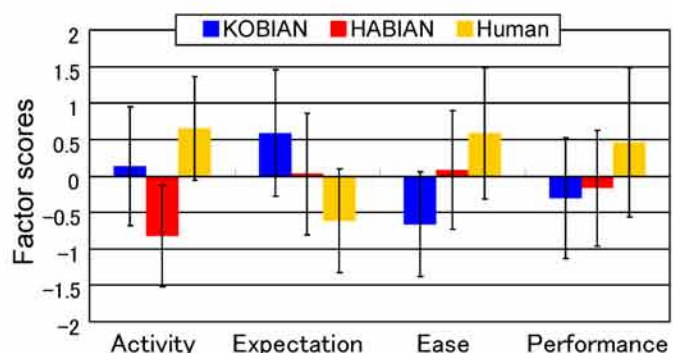


Fig.3 Comparison of Impression

2.2 反射・反応的行動における情動表出の評価

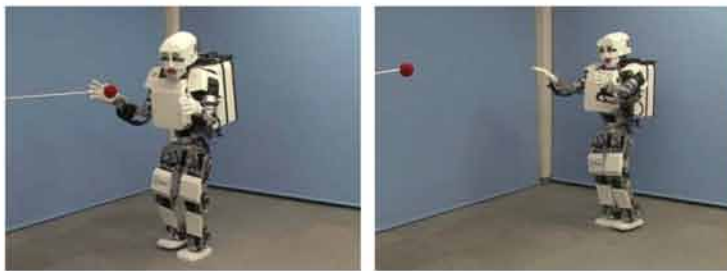
将来、人の生活空間で活動するロボットには、周囲の環境の変化に応じた行動を取らなくてはならない。これまで表情や全身での表現能力の評価を行ってきたが、対象およびそれに対する移動というコンテキストを考慮しておらず、単にその場で表現しているだけだった。KOBIAN は両眼にそれぞれカラーカメラを備え、目標物の方向と距離を計測することができる。さらに、ヒトの前庭動眼反射を基にした眼・頭・上体が協調する視標追従運動とオンライン歩行生成を開発し、目標物に追従する歩行が可能でとなった。

視標追従歩行と組み合わせた情動表出の評価を行なった。KOBIAN は視標に対して、「喜び」ながら接近したり、「嫌悪」しながら回避したり、もしくは移動しなかったりすることができる。これらの動画を用いて、KOBIAN が表現している情動についてのアンケートを行なったところ、移動を含めた情動表現は、移動無しの場合に比べて、見る人に与える印象がより強くなることがわかった。

2.3 ロボットハンドの触感の心理的評価

将来、人とロボットがより身近に協働・協調するためには、ロボットについての物理的安全性だけではなく、心理的安心感も考慮しなければならない。軟素材で構成されたロボットハードウェアは、接触時の安全性向上だけではなく、心理的にもより好ましいのではないかと我々は考えている。そこで、物理的インタラクションの際に最も触れ合う機会が多いと考えられるハンドに着目し、主に軟素材で構成されたソフトロボットハンド WSH シリーズを開発した。

このソフトハンドを人と握手させ、ハンドの柔らかさ、形状、握りの強さについて、これらの違いによって人が感じる触感がどのような影響を受けるのか、を評価した。これにより、硬いハンドよりも柔らかいハンドのほうが、角張っているハンドよりも丸みをおびているハンドのほうが、人にとってより親しみやすく、人間的な触感を感じることがわかった。また、親しみやすく優しい印象を与えるために最も適した握りの強さがあることが示唆された。



(a) Happiness

(b) Disgust

Fig.4 Emotion expssion with
visual tracking locomotion

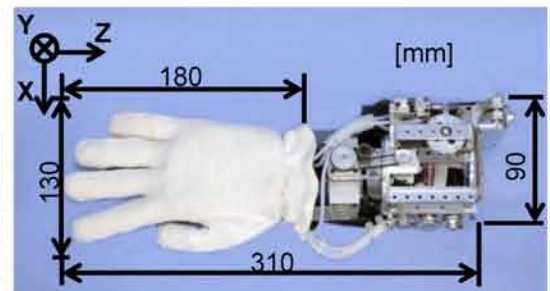


Fig.5 Waseda Soft Hand #1 Refined II
(WSH-1RII)

3. 共同研究者

林 憲玉 (理工研・客員准教授, 神奈川大学・工学部・教授)
 高信 英明 (理工研・客員准教授, 工学院大学・工学部・准教授)
 Massimiliano Zecca (科健機構・客員研究助手)
 遠藤 信綱 (GCOE・研究助手)
 Lin Zhuohua (GCOE・研究助手)

Paolo Dario (イタリア聖アンナ高等大学院大学・教授)

Maria Chiara Carrozza (イタリア聖アンナ高等大学院大学・教授)

Cecilia Laschi (イタリア聖アンナ高等大学院大学・助教授)

4. 研究業績

4.1 学術論文

Nobutsuna Endo and Atsuo Takanishi, "Development of Whole-body Emotion Expression Humanoid Robot for ADL-assistive RT services," Journal of Robotics and Mechatronics Vol.23 No.6, Fuji Press, December 20, 2011 (to be published)

Nobutsuna Endo, Fumiya Iida, Keita Endo, Yu Mizoguchi, Massimiliano Zecca, and Atsuo Takanishi, "Development of the Anthropomorphic Soft Robotic Hand WSH-1R," Proceedings of the First IFToMM Asian Conference on Mechanism and Machine Science (Asian-MMS 2010), 250162, Taipei, Taiwan, October, 2010.

Nobutsuna Endo, Keita Endo, Kenji Hashimoto, Takuya Kojima, Fumiya Iida, and Atsuo Takanishi, "Integration of Emotion Expression and Visual Tracking Locomotion Based on Vestibulo-Ocular Reflex", Proceedings of the 19th IEEE International Symposium in Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man 2010), pp. 593-598, Viareggio, Italy, September, 2010.

Massimiliano Zecca, Giovanna Macri, Yu Mizoguchi, Vito Monaco, Nobutsuna Endo, Kazuko Itoh, Paolo Dario and Atsuo Takanishi, "Evaluation of the KOBIAN and HABIAN Emotion Expression Humanoid Robots with European Elderly People," ROMANSY 18, Proceedings of the 18th CISM-IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control, pp. 449-456, Springer Wien New York, July, 2010.

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

5. 研究活動の課題と展望

コミュニケーションの各機能要素の役割を解明するために、情動表出可能な頭部を持つ等身大の2足歩行ヒューマノイドロボット KOBIAN を開発し、その表現に関する能力の基礎的な評価を行ってきた。今後は、ロボットの行動を決定する心理ソフトウェアの開発を行ない、こういった行動や心理メカニズムがコミュニケーションにどのような影響を与えるのかを、人とのインタラクション実験により定量的に評価していきたい。

汎用 2 足ロコモータの開発

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

超高齢社会においては、高齢者や身体障害者を単に保護するのではなく、共に社会を支える重要な一員として活躍してもらうことが不可欠である。特に下肢のみに障害を持つ車いす利用者は、積極的な社会参画を阻むものは移動に関する能力のみであるため、車いす利用者の行動範囲を制限する障壁をゼロに近づけその行動可能範囲を大きく広げることは非常に有益かつ重要であるといえる。そこで我々は、健常者と同様の移動様式で同等の運動能力を持つ車いす、すなわち 2 足歩行型の車いすの提供を目指し、人間搭乗型 2 足歩行ロボットの開発を 2001 年より行っている。これまでに開発した人間搭乗型 2 足歩行ロボット WL-16RV (Waseda Leg - No.16 Refined V) を用いて、世界初となる人間搭乗 2 足歩行や階段昇降、屋外での歩行などに成功し、2 足歩行ロボットを歩行車いすとして応用するための指針を見出すことができた。

本プロジェクト研究では、人間の住環境だけでなく屋外環境もその対象とし、不整路面を歩行中に搭乗者の運動による外乱が加わった場合においても、安定した歩行の実現を目的とする。

具体的には、以下のような技術の開発を目的とする。

- ・ 積載物外乱補償制御の開発
- ・ 実環境不整地歩行技術の開発

2. 主な研究成果

人間搭乗型ロボットのように人間がロボットの進行方向を操作できる場合、搭乗者が発生する外乱に対しては進行方向からできる限り逸脱しないように補償動作を生成し、ロボット外部環境からの外乱に対しては進行方向からの逸脱を許し、外乱の発生源から離れるように補償動作を生成するべきだと考える。以下にそれぞれの外乱に対する補償制御について説明する。

2.1 搭乗者が発生する外乱に対する補償制御

WL-16RV は搭乗席下部と足部に 6 軸力覚センサを搭載している。搭乗者が発生する外乱に関しては搭乗席下部の 6 軸力覚センサで検出するが、生データは振動的であるため移動平均を取り、その値に応じて補償軌道を生成することとした。補償軌道の生成方法としては、外力が設定した閾値以下の場合には足底内で設定 ZMP を修正し、閾値以上になった場合に腰部を修正することとした。しかし、本制御法だけでは、急激な外乱の変化に対応できないため、すでに開発している動的な外乱補償制御法と併用し歩行実験を行った。歩行実験としては、60 kg の人間が WL-16RV に搭乗し、歩幅 100 mm/step、歩行周期 1.0 s/step で前進歩行中に急に姿勢を倒した場合にも継続して歩行が可能かどうか評価を行った。この際、搭乗者は 3 歩目に急に前傾姿勢をとり、そこから徐々に状態を元の位置に戻すことにより、外乱を発生させる。図 1 に歩行実験の連続写真を示すが、最大 80 Nm 程

の外力モーメントが加わっているのに対し、静的外乱補償制御においては最大で 25 mm ほど腰部を移動させ、動的外乱補償制御では腰部を最大 40 mm ほど移動させ、また着地位置を 40 mm ほど変更させることで搭乗者の動きによる外乱を補償し、安定した歩行を実現できることが確認できた。

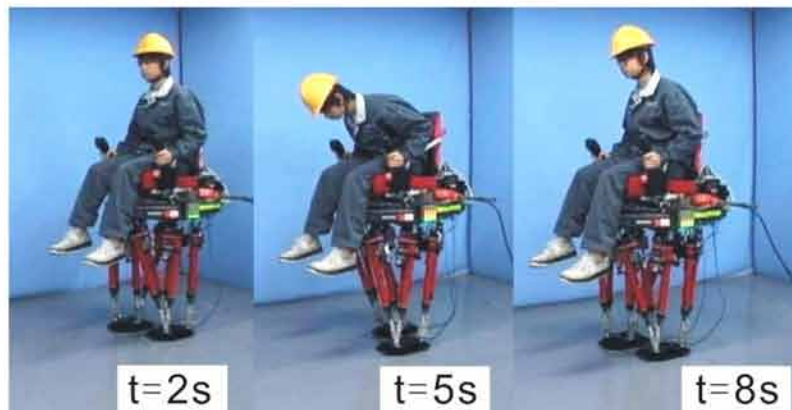


Fig. 1 搭乗者が発生する外乱に対する補償制御の歩行実験

2.2 外部環境からの外乱に対する補償制御

搭乗者が発生する外乱と区別するために、足部の 6 軸力覚センサから算出される ZMP 偏差の値からロボットに加えられている外乱の大きさを推定し、それに応じてモーメント補償軌道を生成する。具体的には、ZMP 偏差からロボットに加わった外乱力を推定し、それに応じて、腰部補償軌道を算出し、着地位置を変更、設定 ZMP 軌道を変更、最終的に足部軌道を生成するものである。

本手法により、前進歩行中に外乱を与えたところ、外乱を入力中はその場足踏みをするように着地位置を変更し、それ以上外乱の発生源に近づかないような補償軌道を生成することが確認できた (図 2)。

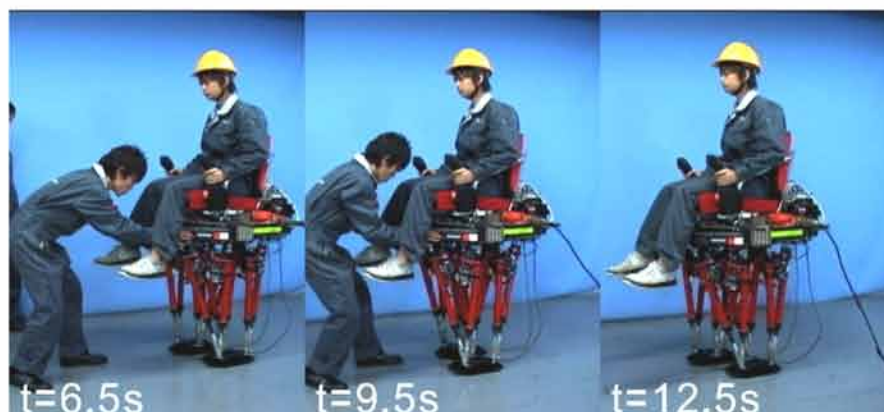


Fig. 2 外部環境からの外乱に対する補償制御の歩行実験

3. 共同研究者

林 憲玉 (理工研・客員教授)

橋本 健二 (理工学術院・研究院講師)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- Kenji Hashimoto, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, "Disturbance Compensation Control for Biped

Vehicle,” Advanced Robotics, Vol. 25, No. 3, pp. 407-426, February, 2011.

4.2 総説・著書

- 橋本健二, 高西淳夫, “リハを支えるテクノロジー最前線：(5) 2足歩行ロボット,” Journal of Clinical Rehabilitation, Vol. 19, No. 5, pp. 412-416, 2010年5月.
- Kenji Hashimoto, Giuseppe Carbone, Yusuke Sugahara, Marco Ceccarelli and Atsuo Takanishi, “Experimental Evaluation of Stiffness Performance for a Biped Walking Vehicle with Parallel Architecture,” Emerging Trends in Mobile Robotics, World Scientific, pp. 928-935, 2010. (ISBN-9789814327978)
- Kenji Hashimoto, Yusuke Sugahara, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, “Optimization Design of a Stewart Platform Type Leg Mechanism for Biped Walking Vehicle,” Robotics Research: The 13th International Symposium ISRR, Springer-Verlag, pp. 169-178, 2011. (ISBN-9783642147425)

4.3 招待講演

4.4 受賞・表彰

- 2010 IFToMM Award of Merit

4.5 学会および社会的活動

- Steering Committee, “ROMANSY 2010 18th CISM-IFTToMM Symposium on Robot Design, Dynamics, and Control,” Udine, Italy, July, 2010.
- General Chair, “Italy-Japan Workshop 2010 -Robotics and Education in Italy and Japan-,” Tokyo, Japan, December, 2010.

4.6 国際会議における発表

- Kenji Hashimoto, Terumasa Sawato, Akihiro Hayashi, Yuki Yoshimura, Teppei Asano, Kentaro Hattori, Yusuke Sugahara, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, “Avoidance Behavior from External Forces for Biped Vehicle,” Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 4715-4720, May, 2010.

4.7 特許

- 特開 2010-58253, “2足歩行ロボットの制御装置、及び2足歩行ロボットの制御方法,” 高西淳夫, 林昭宏, 橋本健二, 沢戸瑛昌, 吉村勇希, 浅野哲平, 服部賢太郎.

5. 研究活動の課題と展望

2010年度は“積載物外乱補償制御の開発”を行い、その有効性を確認した。人間搭乗型2足歩行ロボットの実現には“実環境不整地歩行技術の開発”も不可欠なため、今後は屋外環境も歩行可能な歩行安定化制御の構築を目指す。

ラジカルポリマー

研究代表者 西出 宏之
(先進理工学部・応用化学科 教授)

1. 研究課題

安定な不対電子を多数有する有機ラジカルポリマーは、安定な酸化還元(レドックス)に基づく電極活性物質への展開と共役系を介した強磁性スピン間相互作用による有機高スピンポリマーの創製(有機磁性体の実現)など、まったく新しい有機電磁材料群へと繋がる可能性を秘めている。我々はニトロキシドラジカルの2対の酸化還元(レドックス)を二次電池の電極として着目し、究極の密度でかつ安定にレドックス席を有するラジカルポリマーを新規に合成、p型およびn型活性のラジカルポリマーから正極・負極から構成される「全有機電池」を実証した。本プロジェクトでは、従来の成果をもとにメタルフリーでフレキシブルな有機二次電池、有機太陽電池へと展開する。

2. 主な研究成果

2.1 気相重合によるポリチオフェン/ラジカルポリマー複合材料の作成と電極特性評価

従来検討してきたラジカルポリマー群は、電気伝導性を有さず、炭素繊維などとの複合化が不可欠であった。本研究では、高い導電性のポリチオフェン(PEDOT)膜(200 S cm⁻¹)を与えることが知られる気相酸化重合法に着目し、ラジカルポリマー共存下で気相重合を実施し、PEDOTを導電経路とする高容量かつフレキシブルな有機複合電極の作成を目的とした。

p, n型レドックスポリマーとしてTEMPO置換ポリアクリルアミド(PTAm)、ポリガルビノキシルスチレン(PGSt)を選択、化学酸化剤Fe(III)(OTs)₃塩と混合し、非ラジカル体へと予め誘導後、3,4-エチレンジオキシチオフェン(EDOT)を気相重合した。得られたPEDOT/ラジカルポリマー複合膜は、各ラジカル部位のレドックスに対応する0.72 V, 0.05 V vs. Ag/AgClの酸化還元ピークに、PEDOTのドーブ・脱ドーブを重ね合わせた挙動を示し、μm厚の複合電極として適用した全有機二次電池は、セル電圧0.7 V、100サイクル後でも初期容量比約85%の高いサイクル特性を示した。

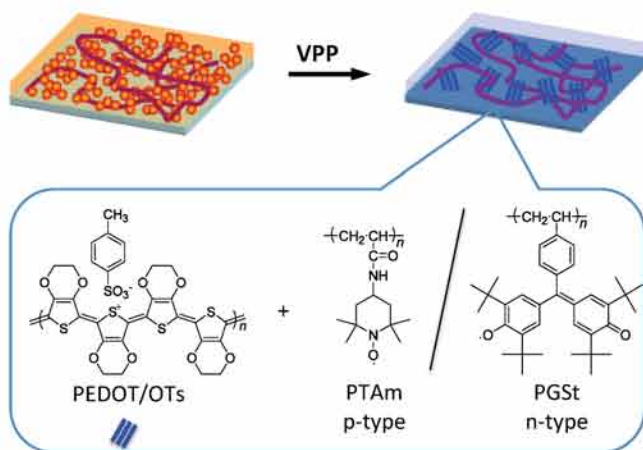


図. 気相重合によるPEDOT/ラジカルポリマー複合材料の作成

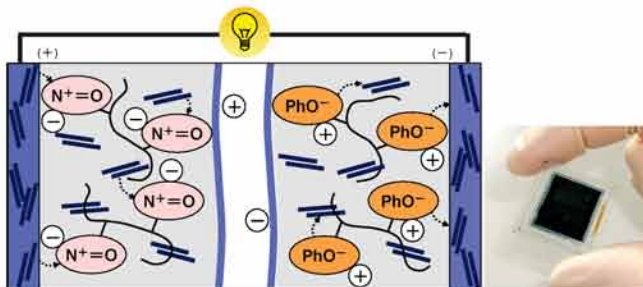


図. 気相重合 PEDOT/ラジカルポリマー複合電極から構成される全有機ラジカル電池

2.2 ラジカルポリマーを高密度に修飾したカーボンナノチューブの合成

導電経路を確保する別の方法として、高い機械的特性、導電性、比表面積を有するカーボンナノチューブ(CNT)との複合化を検討した。CNTはその高い電子的特性のため種々の応用研究がされているが、強く凝集するため分散が困難で技術課題となっている。我々は新たにラジカルポリマーの末端を選択的に化学修飾し、分子量制御されたラジカルポリマーをCNT表面へ導入した。ポリマー修飾によりCNT表面に10nm程度の緻密なラジカルポリマー薄層が形成され、溶媒分散性が向上、ウェットプロセスも可能となった。複合体は、高い導電性と電荷蓄積能を有し、電極活物質としての応用が期待できる。

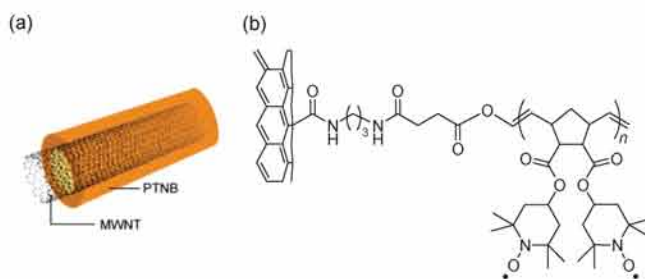


図 ラジカルポリマー/CNT 複合体の一例 (a) 模式図、(b) 構造式

2.3 色素増感太陽電池へのラジカルの適用

従来、ヨウ素などに限定されていた色素増感太陽電池(DSSC)のメディエータの代替として各種ニトロキシドラジカル誘導体を検討した。高いセル電圧発現の要件が、メディエータの酸化還元電位($E_{1/2}$)の高電位化、および電極反応速度の増加であることを明確にした。各種4-位置置換基を有するTEMPO誘導体では、 $E_{1/2}$ の高電位化に伴い V_{oc} が向上したもの(約850 mV、同一条件でヨウ素レドックスから約150 mVの高電位化)、 J_{sc} は低下した。さらに、反応中心であるニトロキシドラジカルの立体障害を軽減したAZAの適用によりメディエータの電極反応速度を増加させ、 V_{oc} を低下させることなく J_{sc} を向上させることに成功、発電特性を改善した(変換効率5.5%)。しかし、酸化チタンのフェルミ準位との差(約1.3 V)には到達しておらず、酸化チタン表面からの逆電子移動抑制のためにRu錯体、ポルフィリンや有機系色素などと組み合わせた電荷輸送材料の設計を現在進めている。

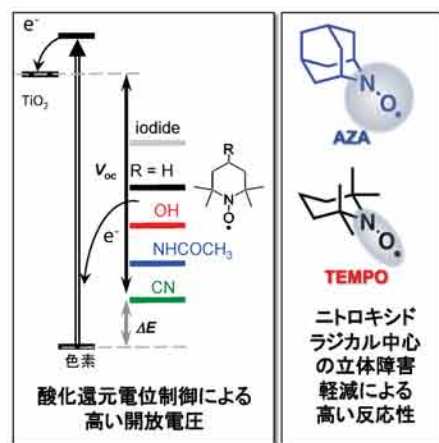


図 ニトロキシドラジカルの $E_{1/2}$ 制御によるDSSCの高電圧発現と高反応性による特性向上

3. 共同研究者

小柳津 研一 (先進理工学部・応用化学科・准教授) 須賀 健雄 (理工学研究所・次席研究員)
加藤 文昭 (理工学研究所・次席研究員) 中島 聡 (理工学研究所・次席研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文

1. T. Suga, S. Sugita, H. Ohshiro, K. Oyaizu, H. Nishide, "p- and n-Type bipolar redox-active radical polymer: toward totally organic polymer-based rechargeable devices with variable configuration", *Adv. Mater.*, **23**, 751-752 (2011).
2. K. Nakahara, K. Oyaizu, H. Nishide, "Organic radical battery approaching practical use", *Chem. Lett.*, **40**, 222-227 (2011).
3. K. Oyaizu, T. Sukegawa, H. Nishide, "Dual dopable poly(phenylacetylene) with nitronyl nitroxide pendants for reversible ambipolar charging and discharging", *Chem. Lett.*, **40**, 184-185 (2011).

4. S. Nakajima, E. Kato, M. Minatozaki, H. Nishide, "A supramolecular polymer of nitroxide radicals via hydrogen bonding", *Macromol. Symp.*, **307**, 1-7 (2011).
5. S. Yoshihara, H. Katsuta, H. Isozumi, M. Kasai, K. Oyaizu, H. Nishide, "Designing current collector/composite electrode interfacial structure of organic radical battery", *J. Power Sources*, **196**, 7806-7811 (2011).
6. K. Oyaizu, W. Choi, H. Nishide, "Functionalization of poly(4-chloromethylstyrene) with anthraquinone pendants for organic anode-active materials", *Polym. Adv. Technol.*, **22**, 1242-1347 (2011).
7. T. Ibe, R. B. Frings, A. Lachowicz, S. Kyo, H. Nishide, "Nitroxide polymer networks formed by Michael addition: On site-cured electrode-active organic coating", *Chem. Comm.*, **46**, 3475-3477 (2010).
8. S. Yoshihara, H. Isozumi, M. Kasai, H. Yonehara, Y. Ando, K. Oyaizu, H. Nishide, "Improving charge/discharge properties of radical polymer electrodes influenced strongly by current collector/carbon fiber interface", *J. Phys. Chem. B*, **114**, 8335-8340 (2010).
9. K. Oyaizu, T. Kawamoto, T. Suga, H. Nishide, "Synthesis and charge transport properties of redox-active polyethers with large site density", *Macromolecules*, **43**, 10382-10389 (2010).
10. T. Ibe, S. Kaiho, K. Oyaizu, H. Nishide, "Electronic communication in the formation of a quartet molecule 2,6,10-Tris[bis(p-methoxyphenyl)aminium]triphenylene", *Chem. Lett.*, **39**, 356-357 (2010).
11. F. Kato, N. Hayashi, T. Murakami, C. Okumura, K. Oyaizu, H. Nishide, "Nitroxide radicals for highly efficient redox mediation in dye-sensitized solar cells", *Chem. Lett.*, **39**, 464-465 (2010).
12. X. Zhuang, H. Zhang, N. Chikushi, C. Zhao, K. Oyaizu, X. Chen, H. Nishide, "Biodegradable and electroactive TEMPO-substituted acrylamide/lactide copolymer", *Macromol. Biosci.*, **10**, 1203-1209 (2010).
13. T. Hyakutake, Y. Yonekuta, K. Oyaizu, H. Nishide, "Nanolithographic patterning via electrochemical oxidation of stable poly(nitroxide radical)s to poly(oxoammonium salt)s", *J. Mater. Chem.*, **20**, 9241-9244 (2010).
14. X. Zhuang, K. Oyaizu, Y. Niu, K. Koshika, X. Chen, H. Nishide, "Synthesis and electrochemistry of Schiff base Cobalt(III) complexes and their catalytic activity for copolymerization of epoxide and carbon Dioxide", *Macromol. Chem. Phys.*, **211**, 669-676 (2010).
15. K. Oyaizu, A. Hatemata, W. Choi, H. Nishide, "Redox-active polyimide/carbon nanocomposite electrodes for reversible charge storage at negative potentials: Expanding the functional horizon of polyimides", *J. Mater. Chem.*, **20**, 5404-5410 (2010).
16. T. Michinobu, J. Inui, H. Nishide, "Two-dimensionally extended organic high-spin poly(aminium cationic radical)s and their magnetic force microscopic images", *Polym. J.*, **42**, 575-582 (2010).
17. X. Zhuang, C. Xiao, K. Oyaizu, N. Chikushi, X. Chen, H. Nishide, "Synthesis of amphiphilic block copolymers bearing stable nitroxyl radicals", *J. Polym. Sci. A*, **48**, 5404-5410 (2010).
18. T. Murakami, F. Kato, K. Oyaizu, H. Nishide, "Porphyrin-dye sensitized solar cell utilizing nitroxide radical mediator", *J. Photopolym. Sci. Technol.*, **23**, 353-355 (2010).

4.2 総説・著書

1. K. E. Geckeler, H. Nishide, eds, "Advanced Nanomaterials", Vol. 1 and 2, Wiley-VCH, Weinheim,

2010

2. K. Oyaizu, H. Nishide, “Mesoscale Radical Polymers: Bottom-up Fabrication of Electrodes in Organic Polymer Batteries” in Advanced Nanomaterials, eds by K. E. Geckeler, H. Nishide, Wiley-VCH, Weinheim, 2010, 319-332.
3. T. Suga, H. Nishide, “Rechargeable Batteries Using Robust But Redox-Active Organic Radicals” in Stable Radicals ed. by Robin G. Hicks, Wiley-VCH, Weinheim, 2010, 507-519.

4.3 招待講演

1. H. Nishide, “Radical Polymers for Dye-sensitized Solar Cells” Advanced Polymeric Materials and Technology Symposium (APMT 2010), Jeju, Korea, 2010.1.
2. H. Nishide, “Radical-polymers for dye-sensitized solar cells”, International Symposium on Polymer Chemistry(PC2010), Suzhou, China, 2010.6.
3. H. Nishide, “A Rechargeable Battery and a Photovoltaic Cell Based on Organic Radical Polymers”, Royal Australian Chemical Institute National Convention (RACI 2010), Melbourne, Australia, 2010.7.
4. H. Nishide, “Electrode-active radical-polymers and their carbon fiber and nanotube composite”, The 5th International Symposium on Macro- and Supramolecular Architectures and Materials(MAM-10), Montego Bay, Jamaica, 2010.8
5. H. Nishide, “Rechargeable Battery and Photovoltaic Cell Based on Organic Radical Polymers” 3rd WCU Symposium on Nonbio Materials and Electronics (wcu-03), Gwangju, Korea, 2010.9.
6. H. Nishide, “Nitroxide radicals for dye-sensitized solar cells.” 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM 2010), Honolulu, USA, 2010.12.

4.4 受賞・表彰

1. 学生ポスター賞 5 件

4.5 学会および社会的活動

日本化学連合副会長、The Federation of Asian Polymer Societies (FAPS)会長、世界化学年 2011 日本委員会実行委員会委員長

(新聞発表) 「根岸英一さんと 3 人の化学者、研究課題・人材育成を語る」毎日新聞社, 2011 年 3 月 28 日; 「理系白書シンポジウム」毎日新聞社, 2011 年 2 月 17 日; 「化学って身近なんだ」朝日小学生新聞社, 2011 年 1 月 14 日; 「柔らか電池」で電源革命, 読売新聞社, 2011 年 2 月 10 日

5. 研究活動の課題と展望

高分子合成の視点からは、ラジカル存在下で進行する有機合成・高分子合成法の開拓を進めている。気相重合は、予め酸化剤を基材に塗布、その場で重合できるため、溶解性の異なる多様なポリマーとの複合化や各種基材上に複合層を形成できる利点を有し、汎用性も高い。CNTとの複合化は、電池以外への電子デバイスへの応用も期待できる。今後は、高い電荷分離・輸送効率で蓄電（繰返し充放電）にも対応できる色素複合レドックスポリマーを創製し、安全かつ環境適合でもある有機湿式太陽電池の有機系新物質として提案する。本研究は、世界に先駆け有機ラジカルポリマーの実学的な応用展開を目的としており、その波及効果は産学ともに大である。

NEDO 革新型蓄電池先端科学基礎研究開発

研究代表者 逢坂 哲彌
(先進理工学部・応用化学科・教授)

1. 研究課題

直流作動の電気化学デバイスにおいて系を大きく乱すことなく作動中および待機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評価解析を行い、劣化要因推測のための評価解析法の提案を行う。電気化学反応の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の要因を電気化学的パラメータから明示する。

2. 主な研究成果

2.1 ラミネート型リチウムイオン電池の作製

携帯電話等に用いられる数 100-1000 mAh 程度の容量を持つラミネート型リチウムイオン電池の作製を行った。活物質を両面に塗布した電極面積約 50 cm² の正極，負極 5 組，計 10 組を用いて積層リチウムイオン電池を作製したところ，容量は約 710 mAh となった (Fig. 1)。単セルの容量は約 70 mAh であり，単セルを積層しても容量の劣化無くリチウムイオン電池の作製が可能となった。

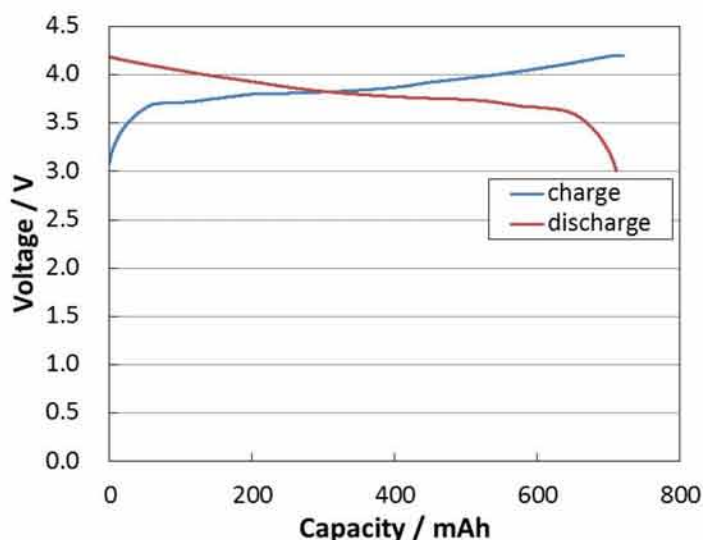


Fig. 1. Charge-discharge curves of laminated lithium ion battery with 10 cells.

2.2 リチウムイオン電池への参照極導入手法の検討およびインピーダンス評価

現在実用化されているラミネート型リチウムイオン電池の単セルは数 100 μm の厚さしかいないため，このような極めて薄いリチウムイオン電池内に充放電反応に影響を与えない微細な参照電極の作製について検討を行った。Fig. 2 に示すように主に直径 25 μm の金属細線を用いて，総厚 200 μm 程度のラミ

ネートセルへ参照電極を導入し、特に金属細線の材料依存について詳細に検討を行った。まず、各金属細線をラミネートセル内に設置し充放電試験を行った。0.1 C にて行った充放電試験では、参照電極を使用しない電池の充放電結果と大きな差異は認められず、参照電極が挿入可能なセルの設計及び作製が可能となった。そこで、各細線が参照電極として機能するかを検討したところ、Li-Sn, Li-Al, Cu は測定誤差が 5 mV 以下となり、応答性及び安定性共に良好であることがわかった。特に、25 μm の Li-Al 合金細線を用いることで、良好な参照電極を有するラミネート型リチウムイオン電池の作製が可能となった。

次に、インピーダンス測定を行い、インピーダンスを分割評価する方法を検討した。同一条件での繰り返し測定で優れた $\text{Li}_{0.5}\text{Al}$ 参照極を採用し、作動環境下 (SOC 100, 80, 60, 40, 20%) において、インピーダンス測定を行った結果を Fig. 3 に示す。正極インピーダンスと負極インピーダンスの和が、セルインピーダンスと一致すること、また、 $\text{Li}_{0.5}\text{Al}$ 参照極の短期安定性を考慮すると、 $\text{Li}_{0.5}\text{Al}$ 参照極が正常に作動し、正極・負極のインピーダンス分離可能であると考えられる。

また、分離した正極・負極インピーダンスに関して電気化学的挙動を考慮した等価回路を設計してフィッティングを行ったところ、正極、負極共にインピーダンスの解析が可能であることが示唆された。また、参照電極のリチウムイオン電池内の配置場所により、インピーダンスの測定結果が大きく異なり、正極・負極両電極間に参照電極を形成する必要があることが示された。

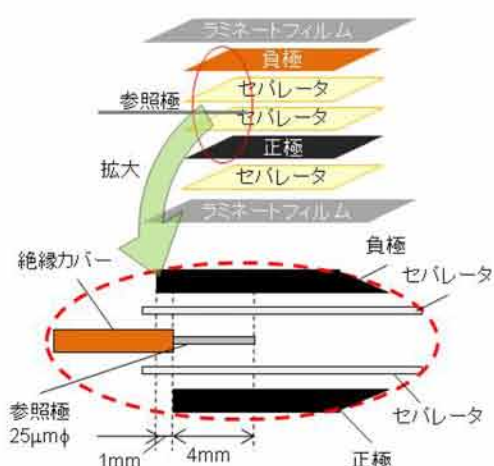


Fig. 2. Schematic illustration of thin laminated lithium ion battery with reference electrode.

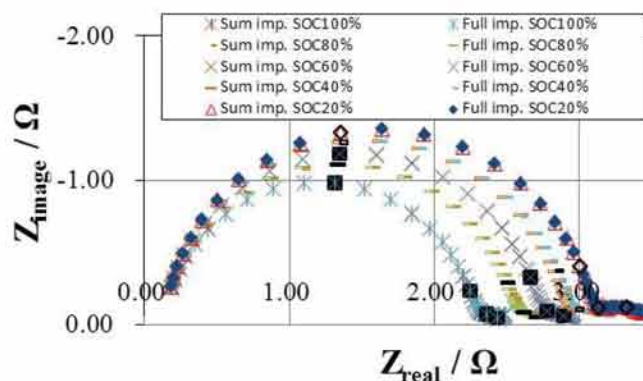


Fig. 3. Impedance analysis of thin laminated lithium ion battery with $\text{Li}_{0.5}\text{Al}$ reference electrode. Full impedance: (Graphite/ LiCoO_2), Sum impedance: (anode impedance + cathode impedance using $\text{Li}_{0.5}\text{Al}$ reference electrode) Range: 10 kHz – 100 mHz, dV: 10 mV@ OCV.

2.3 リチウムイオン電池の劣化加速試験とその評価

室温でのリチウムイオン電池の劣化は、非常に緩やかであり実際の劣化挙動を解析するためには時間がかかりすぎるため、加速劣化試験を行うのが現実的である。そこで、室温相当の 25 $^{\circ}\text{C}$ と劣化加速させるべく設定した 60 $^{\circ}\text{C}$ の試験温度を用いて、容量・用途の異なる三種の市販リチウムイオン電池(公称容量 5 Ah, 3.6 Ah, 0.83 Ah)に対して、それぞれサイクル・保存劣化セルを準備し、その劣化状態をインピーダンス解析により評価した。なお、劣化を目的としたため、充放電は比較的急速充放電である 3 C で行った。Fig. 4 に設定した等価回路をコアとした解析により劣化状態変化に伴う抵抗・容量等の各パラメータの変化が観察された。さらに劣化を加速したセルについても同

様に解析を行ったが、30 日程度でインピーダンス解析によりその劣化が解析可能となり、劣化条件の最適化により短期間での劣化加速が可能なることを見出した。破壊検査の実施と前項目の参照極導入セルの知見を本系にフィードバックすることで、正・負極のインピーダンス応答についての決定が実現可能と考えられ、解析精度の向上が期待できる。

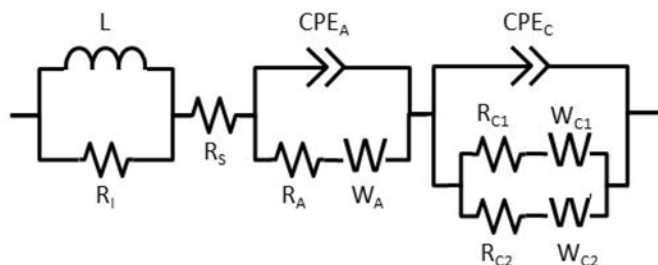


Fig. 4. Equivalent circuit designed to fit measured impedance of commercial lithium ion batteries (Battery specification; nominal capacity of 5 Ah). L, Inductance of electrode components; R_l , Resistance of electrode; R_s , resistance of electrolyte and contact resistance; R_A and R_C , transfer resistance; CPE_A and CPE_C , capacitance of electrode surface layer; W_A , W_{C1} , W_{C2} , Warburg impedance.

3. 共同研究者

門間 聡之（先進理工学部・応用化学科・准教授）

向山 大吉（理工学研究所・次席研究員／研究員講師）

4. 研究業績

4.1 学術論文

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

逢坂哲彌，“学から産への技術発信”，2011 年電気化学会第 78 回大会，横浜，2011.03.30.

逢坂哲彌，“交流インピーダンス法によるリチウムイオン電池(LIB)解析の新展開”，2010 年電気化学会第 78 回大会，横浜，2011.03.31.

4.4 受賞・表彰

4.5 学会および社会的活動

5. 研究活動の課題と展望

リチウムイオン電池に参照極を導入することで正極・負極の各インピーダンス測定が可能になったため、その解析を促進し、等価回路の再設計や深化を進めながら、全電池インピーダンスの解析につなげる。また、劣化加速試験による短時間でのリチウムイオン電池の劣化挙動解析を進め、リチウムイオン電池の劣化の要因を電気化学的パラメータから明示する。

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

大規模閉殻系に対する効率的な電子状態計算法 (DC-UHF 法) の開発

分割統治 (DC) 法は、膨大にかかる大規模量子化学計算のコストを削減するための理論であり、量子化学計算の高精度化・高速化・汎用化のためには非常に有用である。以前のプロジェクト研究「量子化学計算に特化した高性能計算機環境の構築とその検証」では、DC 法を用いた大規模閉殻系計算法を開発・実装し、量子化学計算の高精度化・高速化を実現してきた。本研究では更なる高精度化・高速化および汎用化を目指し、2 種類のスピンの対して異なる分子軌道を用いて閉殻系を取り扱う計算法に対する DC 法 (DC-UHF 法) を開発・実装した。他の多くの分割を用いた高速計算法では、スピンの上向きおよび下向きを各部分系に対して指定する必要があるが、DC-UHF 法はその必要がないことが大きな特徴である。図に oligothiophene ($\text{H}(\text{C}_4\text{H}_2\text{S})_n\text{H}$) の UHF 計算に要する計算時間を示す。DC 法を用いることにより、計算コストはほぼ線形にまで減少し、計算コストの大幅な削減に成功した。このテスト計算によって、スピンが局在化した系に対しても DC-UHF 法は高精度で高速に計算されることが示された。

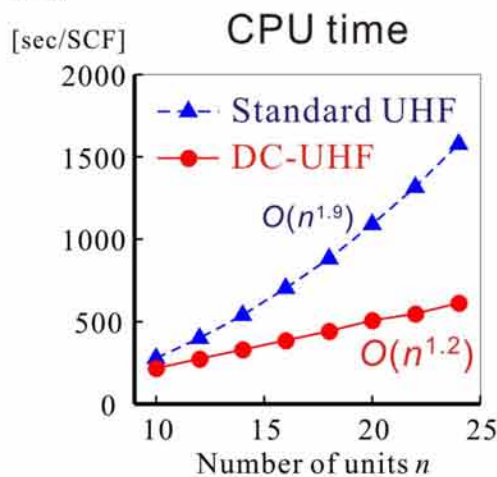


図. Oligothiophene ($\text{H}(\text{C}_4\text{H}_2\text{S})_n\text{H}$) の計算時間 (6-31G*)

3. 共同研究者

今村 穰 (理工学術院・次席研究員)
 小林 正人 (理工学術院・客員講師)
 サパパコーン パシヤリーナ (理工学術院・助教)
 赤間 知子 (理工学術院・化学・生命化学科・助手)
 清野 淳司 (理工学術院・化学・生命化学科・助手)
 菊池 那明 (理工学研究所・客員研究員)

4. 研究業績

4. 1 学術論文

1. M. Hojo, T. Ueda, M. Ike, K. Okamura, T. Sugiyama, M. Kobayashi, and H. Nakai, "Observation by UV-Visible and NMR Spectroscopy and Theoretical Confirmation of 4-Isopropyltropolonate Ion, 4-Isopropyltropolone (Hinokitiol), and Protonated 4-Isopropyltropolone in Acetonitrile", *J. Chem. Eng. Data* **55**, 1986–1989 (2010).
2. T. Touma, M. Kobayashi, and H. Nakai, "Time-Dependent Hartree-Fock Frequency-Dependent Polarizability Calculation Applied to Divide-and-Conquer Electronic Structure Method", *Chem. Phys. Lett.* **485**, 247–252 (2010).
3. T. Akama and H. Nakai, "Short-Time Fourier Transform Analysis of Real-Time Time-Dependent Hartree-Fock and Time-Dependent Density Functional Theory Calculations with Gaussian Basis Functions", *J. Chem. Phys.* **132**, 054104 (2010).
4. Y. Imamura, A. Takahashi, T. Okada, T. Ohno, and H. Nakai, "Extension of Energy Density Analysis to Periodic-Boundary-Condition Calculations with Plane-Wave Basis Functions", *Phys. Rev. B* **81**, 115136 (2010).
5. T. Atsumi, T. Abe, K.-y. Akiba, and H. Nakai, "Theoretical Study on Bond-Switching in 1,6-Diazahydrothio(6aS)pentalene (10-S-3) Systems Compared with Corresponding Oxygen Analogues", *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **83**, 520–529 (2010).
6. T. Akama, Y. Imamura, and H. Nakai, "Application of Real-Time Time-Dependent Density Functional Theory with the CV-B3LYP Functional to Core Excitations", *Chem. Lett.* **39**, 407–409 (2010).
7. T. Atsumi and H. Nakai, "Acceleration of Self-Consistent-Field Convergence in Ab Initio Molecular Dynamics and Monte Carlo Simulations and Geometry Optimization", *Chem. Phys. Lett.* **490**, 102–108 (2010).
8. T. Atsumi, T. Abe, K.-y. Akiba, and H. Nakai, "Theoretical Study of Hypervalent Bonds in 1,6-Diaza-1,6-dihydro- and 1,6-Dihydro-1,6-dioxapentalene Systems with a Heteroatom X at 6a Position (X = 14-16 Group Atoms)", *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **83**, 892–899 (2010).
9. H. Hirate, H. Sawai, Y. Saito, H. Yukawa, M. Morinaga, H. Nakai, "Unusual Energy Balance between Atoms in Post-Perovskite MgSiO₃", *J. Am. Ceram. Soc.* **93**, 3449-3454 (2010).
10. M. Kobayashi, Á. Szabados, H. Nakai, and P. R. Surján, "Generalized Møller-Plesset Partitioning in Multiconfiguration Perturbation Theory", *J. Chem. Theory Comput.* **6**, 2024–2033 (2010).

11. T. Sato and H. Nakai, "Local Response Dispersion Method II. Generalized Multicenter Interactions", *J. Chem. Phys.* **133**, 194101 (2010).
12. M. Kobayashi, T. Yoshikawa, and H. Nakai, "Divide-and-Conquer Self-Consistent Field Calculation for Open-Shell Systems: Implementation and Application", *Chem. Phys. Lett.* **500**, 172–177 (2010).
13. M. Kobayashi, T. Kunisada, T. Akama, D. Sakura, and H. Nakai, "Reconsidering an Analytical Gradient Expression within a Divide-and-Conquer Self-Consistent Field Approach: Exact Formula and Its Approximate Treatment", *J. Chem. Phys.* **134**, 034105 (2011).
14. Y. Iwabata, Y. Imamura, and H. Nakai, "Interpretation of Intermolecular Geometric Isotope Effect in Hydrogen Bonds: Nuclear Orbital plus Molecular Orbital Study", *J. Phys. Chem. A* **115**, 1433 (2011).
15. Y. Imamura, R. Kobayashi, and H. Nakai, "Linearity Condition for Orbital Energies in Density Functional Theory: Construction of Orbital-Specific Hybrid Functional", *J. Chem. Phys.* **134**, 124113 (2011).

4. 2 総説・著書

1. 中井浩巳, 「理論化学における理論の革新」, 別冊化学『化学のブレークスルー【理論化学編】』, 66–72 (2010).

4. 3 招待講演

1. "実在系の電子状態理論：成果と課題", 科研費特定領域「実在系の分子理論」シンポジウム, 2010年7月, 岡崎.
2. "Novel Approaches for Core Excitations and Weak Interactions in Density Functional Theory (II)", 15th Quantum Systems in Chemistry and Physics (QSCP-XV), 2010年8月–9月, Cambridge.
3. "大規模電子相関計算手法に対する最近の発展", 日本物理学会秋季大会 2010, 2010年9月, 堺.
4. "Linear-Scaling Divide-and-Conquer Electronic Structure Theory", Workshop on Simulation and Modeling of Emerging Electronics (SMEE), 2010年12月, 香港.
5. "Theoretical study on the electronic structure and catalytic activity of metal complex, cluster, and surface", 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2010), 2010年12月, Hawaii.
6. "Recent development of divide-and-conquer electronic structure calculation: Application to open-shell system", 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2010), 2010年12月, Hawaii.
7. "Meso-scale Quantum Chemistry", The 5th Global COE International Symposium on 'Practical Chemical Wisdom', 2011年1月, 東京.
8. "電子状態理論の理論開発とプログラム公開：分割統治(DC)法の GAMESS 実装を例に", RCCS・スーパーコンピューターワークショップ「分子科学プログラムライブラリの充実にむけて」, 2011年1月, 岡崎.
9. "第一原理に基づく密度汎関数理論", 分子研理論計算領域オープンセミナー, 2011年3月, 岡崎.

10. "Development of linear-scaling electronic-structure calculation based on divide-and-conquer approach", ACS Spring 2011 National meeting & Exposition, 2011 年 3 月, California.

4. 4 受賞・表彰

1. 清野淳司, 中井浩巳, "大規模・高精度相対論的量子化学理論の開発: 2 成分相対論に基づいた分割統治(DC)法", 第 4 回分子科学討論会 2010 大阪, 2010 年 9 月, 豊中, 優秀講演賞.
2. 小林理恵, 今村穰, 中井浩巳, "Orbital-specific hybrid 汎関数の開発と数値検証", 第 4 回分子科学討論会 2010 大阪, 2010 年 9 月, 豊中, 優秀講演賞.
3. T. Sato and H. Nakai, "Local Response Dispersion Method II. Generalized Multicenter Interactions", J. Chem. Phys. 133, 194101 (2010), Top 20 Most Downloaded Articles (Nov. 2010).
4. H. Nakai, 2011 年 1 月, 2011 Pople Medal (APATCC).

4. 5 学会および社会的活動

1. 世話人代表, "シンポジウム「電子状態理論の新機軸」", 2010 年 8 月, 岡崎.

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、量子化学計算の高精度化・高速化を実現してきた DC 法の更なる高精度化・高速化および汎用化として、大規模開殻系計算法を開発・実装した (DC-UHF 法)。DC-UHF 法は新規磁性・スピン材料の設計・開発に非常に有用であるが、実践的インシリコ・ケミストリーの実証の為には更なる理論・プログラムの開発として、環境をあらわに考慮した、より現実 に即した系を取り扱うための計算法の開発・拡張が必要である。環境の記述には、その効果を古典場として扱う QM/MM 法が有効であると推測される。さらに分子動力学 (MD) 法と組み合わせることは、種々のダイナミックス研究に非常に役立つ。これらの計算法を基盤とし、電池材料に対する実践研究を通じて実践的インシリコ・ケミストリーの実証を遂行する。

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、申請者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

大規模系のための効率的な高精度基底状態計算法 (DC-SAC 法) の開発

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ための理論である。我々はこれまでに DC 法に基づく大規模系の高精度計算手法を開発してきた。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/SACCI 計算理論を開発する。今年度はその目標に向けた基盤として、基底状態の計算手法である SAC 理論に対して DC 法を拡張し、プログラム開発を行った。図にフッ化水素 n 量体 (FH) $_n$ の SAC 計算に要する計算時間を示す。DC 法を用いることにより、計算コストはほぼ線形にまで減少し、計算コストの大幅な削減に成功した。また、そのときの相関エネルギー誤差は 1.3 kcal/mol 以下であり、高い精度で従来法を再現可能であることがわかった。

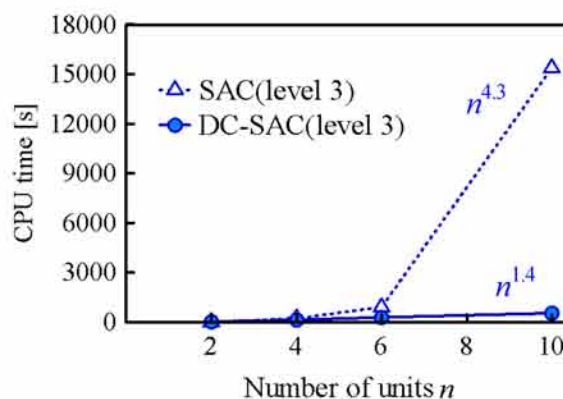


図. フッ化水素 n 量体の計算時間 (4-31G).

3. 共同研究者

今村 穰 (理工学術院・次席研究員)
 小林 正人 (理工学術院・客員講師)
 サパパコーン パシヤリーナ (理工学術院・助教)
 赤間 知子 (理工学術院・化学・生命化学科・助手)
 清野 淳司 (理工学術院・化学・生命化学科・助手)
 菊池 那明 (理工学研究所・客員研究員)

4. 研究業績

4. 1 学術論文

1. M. Hojo, T. Ueda, M. Ike, K. Okamura, T. Sugiyama, M. Kobayashi, and H. Nakai, "Observation by UV-Visible and NMR Spectroscopy and Theoretical Confirmation of 4-Isopropyltropolonate Ion, 4-Isopropyltropolone (Hinokitiol), and Protonated 4-Isopropyltropolone in Acetonitrile", *J. Chem. Eng. Data* **55**, 1986–1989 (2010).
2. T. Touma, M. Kobayashi, and H. Nakai, "Time-Dependent Hartree-Fock Frequency-Dependent Polarizability Calculation Applied to Divide-and-Conquer Electronic Structure Method", *Chem. Phys. Lett.* **485**, 247–252 (2010).
3. T. Akama and H. Nakai, "Short-Time Fourier Transform Analysis of Real-Time Time-Dependent Hartree-Fock and Time-Dependent Density Functional Theory Calculations with Gaussian Basis Functions", *J. Chem. Phys.* **132**, 054104 (2010).
4. Y. Imamura, A. Takahashi, T. Okada, T. Ohno, and H. Nakai, "Extension of Energy Density Analysis to Periodic-Boundary-Condition Calculations with Plane-Wave Basis Functions", *Phys. Rev. B* **81**, 115136 (2010).
5. T. Atsumi, T. Abe, K.-y. Akiba, and H. Nakai, "Theoretical Study on Bond-Switching in 1,6-Diazahydrothio(6aS)pentalene (10-S-3) Systems Compared with Corresponding Oxygen Analogues", *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **83**, 520–529 (2010).
6. T. Akama, Y. Imamura, and H. Nakai, "Application of Real-Time Time-Dependent Density Functional Theory with the CV-B3LYP Functional to Core Excitations", *Chem. Lett.* **39**, 407–409 (2010).
7. T. Atsumi and H. Nakai, "Acceleration of Self-Consistent-Field Convergence in Ab Initio Molecular Dynamics and Monte Carlo Simulations and Geometry Optimization", *Chem. Phys. Lett.* **490**, 102–108 (2010).
8. T. Atsumi, T. Abe, K.-y. Akiba, and H. Nakai, "Theoretical Study of Hypervalent Bonds in 1,6-Diaza-1,6-dihydro- and 1,6-Dihydro-1,6-dioxapentalene Systems with a Heteroatom X at 6a Position (X = 14-16 Group Atoms)", *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **83**, 892–899 (2010).
9. H. Hirate, H. Sawai, Y. Saito, H. Yukawa, M. Morinaga, H. Nakai, "Unusual Energy Balance between Atoms in Post-Perovskite MgSiO₃", *J. Am. Ceram. Soc.* **93**, 3449-3454 (2010).
10. M. Kobayashi, Á. Szabados, H. Nakai, and P. R. Surján, "Generalized Møller-Plesset Partitioning in Multiconfiguration Perturbation Theory", *J. Chem. Theory Comput.* **6**, 2024–2033 (2010).

11. T. Sato and H. Nakai, "Local Response Dispersion Method II. Generalized Multicenter Interactions", *J. Chem. Phys.* **133**, 194101 (2010).
12. M. Kobayashi, T. Yoshikawa, and H. Nakai, "Divide-and-Conquer Self-Consistent Field Calculation for Open-Shell Systems: Implementation and Application", *Chem. Phys. Lett.* **500**, 172–177 (2010).
13. M. Kobayashi, T. Kunisada, T. Akama, D. Sakura, and H. Nakai, "Reconsidering an Analytical Gradient Expression within a Divide-and-Conquer Self-Consistent Field Approach: Exact Formula and Its Approximate Treatment", *J. Chem. Phys.* **134**, 034105 (2011).
14. Y. Iwabata, Y. Imamura, and H. Nakai, "Interpretation of Intermolecular Geometric Isotope Effect in Hydrogen Bonds: Nuclear Orbital plus Molecular Orbital Study", *J. Phys. Chem. A* **115**, 1433 (2011).
15. Y. Imamura, R. Kobayashi, and H. Nakai, "Linearity Condition for Orbital Energies in Density Functional Theory: Construction of Orbital-Specific Hybrid Functional", *J. Chem. Phys.* **134**, 124113 (2011).

4. 2 総説・著書

1. 中井浩巳, 「理論化学における理論の革新」, 別冊化学『化学のブレークスルー【理論化学編】』, 66–72 (2010).

4. 3 招待講演

1. "実在系の電子状態理論：成果と課題", 科研費特定領域「実在系の分子理論」シンポジウム, 2010年7月, 岡崎.
2. "Novel Approaches for Core Excitations and Weak Interactions in Density Functional Theory (II)", 15th Quantum Systems in Chemistry and Physics (QSCP-XV), 2010年8月–9月, Cambridge.
3. "大規模電子相関計算手法に対する最近の発展", 日本物理学会秋季大会 2010, 2010年9月, 堺.
4. "Linear-Scaling Divide-and-Conquer Electronic Structure Theory", Workshop on Simulation and Modeling of Emerging Electronics (SMEE), 2010年12月, 香港.
5. "Theoretical study on the electronic structure and catalytic activity of metal complex, cluster, and surface", 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2010), 2010年12月, Hawaii.
6. "Recent development of divide-and-conquer electronic structure calculation: Application to open-shell system", 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2010), 2010年12月, Hawaii.
7. "Meso-scale Quantum Chemistry", The 5th Global COE International Symposium on 'Practical Chemical Wisdom', 2011年1月, 東京.
8. "電子状態理論の理論開発とプログラム公開：分割統治(DC)法の GAMESS 実装を例に", RCCS・スーパーコンピューターワークショップ「分子科学プログラムライブラリの充実にむけて」, 2011年1月, 岡崎.
9. "第一原理に基づく密度汎関数理論", 分子研理論計算領域オープンセミナー, 2011年3月, 岡崎.

10. "Development of linear-scaling electronic-structure calculation based on divide-and-conquer approach", ACS Spring 2011 National meeting & Exposition, 2011 年 3 月, California.

4. 4 受賞・表彰

1. 清野淳司, 中井浩巳, "大規模・高精度相対論的量子化学理論の開発: 2 成分相対論に基づいた分割統治(DC)法", 第 4 回分子科学討論会 2010 大阪, 2010 年 9 月, 豊中, 優秀講演賞.
2. 小林理恵, 今村穰, 中井浩巳, "Orbital-specific hybrid 汎関数の開発と数値検証", 第 4 回分子科学討論会 2010 大阪, 2010 年 9 月, 豊中, 優秀講演賞.
3. T. Sato and H. Nakai, "Local Response Dispersion Method II. Generalized Multicenter Interactions", J. Chem. Phys. 133, 194101 (2010), Top 20 Most Downloaded Articles (Nov. 2010).
4. H. Nakai, 2011 年 1 月, 2011 Pople Medal (APATCC).

4. 5 学会および社会的活動

1. 世話人代表, "シンポジウム「電子状態理論の新機軸」", 2010 年 8 月, 岡崎.

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、高精度基底状態計算法である SAC 理論の高速化を行った (DC-SAC 法)。今後は DC-SAC 法を基盤にし、励起状態計算法である SAC-CI 理論の高速化を行うことで、精度と計算コストのトレードオフという電子状態計算の現状の打開を実現する。さらに、理論グループだけにとどまらず、幅広く量子化学計算が用いられるよう高速化・並列化にも重点を置いて研究を遂行する。

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 小松 尚久
(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 歩行状態識別手法

本検討では、パターン認識技術を用いた識別器を設計し、歩行状態の分類精度を評価した。パターン認識とは入力したパターン（文字画像や時系列信号、センサから得た情報など）が、予め定めたクラスの集合のうちどのクラスに対応するかを出力する処理である。パターン認識による歩行状態分類のシステム構成を図 2 に示す。なお、本研究の識別対象の行動は通常歩行（平地）、階段上り、階段下りの 3 種類に絞り、使用するセンサは 3 軸加速度センサのみとした。

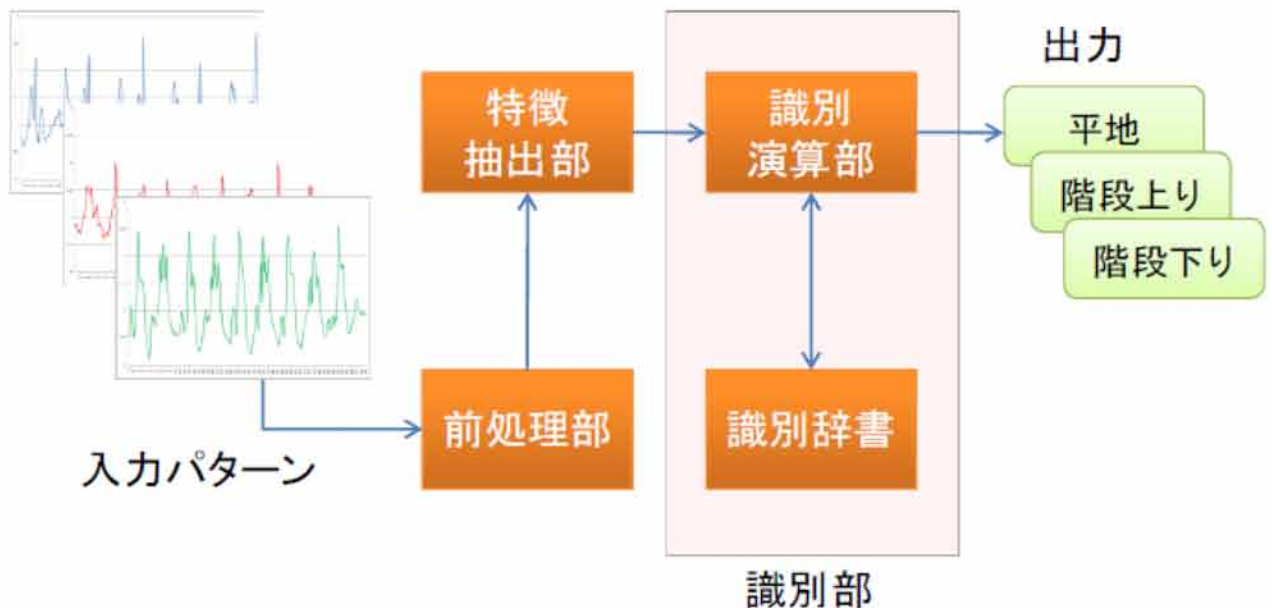


図 2 歩行状態の識別システム構成

センサを用いた行動状態識別の研究は数多く行われている。既存の研究の中でも、どの特徴量を元に識別を行うかということは非常に重要なことであり、それによって識別の性能が大きく左右されると考えられる。しかしながら、行動状態の識別においてこの特徴量が最適であるという決定的なものはないのが現状である。そこで本研究では、特徴量として、音声処理で用いられる分析処方である LPC ケプストラムを適用し、平均や分散といった統計量と比較を行うことで LPC ケプストラムの有効性を評価した。

調査した特徴量は、平均、標準偏差、最大値、最小値、振幅スペクトルの最大値、振幅スペクトルの平均、振幅スペクトルの標準偏差の 7 種類を x 軸方向、y 軸方向、z 軸方向、三軸合成加速度の 4 パターンで計 28 種類とした。以下にそれぞれの特徴量を求めるために用いた式を示す。なお、ここでは加速度に DFT（Discrete Fourier Transform：離散フーリエ変換）を行い、その加速度の DFT 成分を $F_1, F_2, F_3 \dots$ とする。

- 平均

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

- 標準偏差

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

- 最大値

$$\max = \max\{x_i, i = 1, 2, \dots, n\}$$

- 最小値

$$\min = \min\{x_i, i = 1, 2, \dots, n\}$$

- 振幅スペクトルの最大値

$$MaxAmplitudeSpectrum = \max\{F_i, i = 1, 2, \dots, n\}$$

- 振幅スペクトルの平均値

$$AmplitudeSpectrum = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i$$

- 振幅スペクトルの標準偏差

$$AmplitudeSpectrum = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2}$$

線形予測分析 (LPC) は、離散時間系において、ある時点の値がそれ以前のいくつかの値の線形結合で表現できるという仮定に基づき波形を予測するものである。時間離散信号 x_t (t : 整数) において、現時点の標本値を x_t 、これに隣接する過去の p 個の標本値との間に線形予測値を $\hat{x}_t$ とすると、 $\hat{x}_t$ は次のように表される。

$$\hat{x}_t = \alpha_1 x_{t-1} + \alpha_2 x_{t-2} + \dots + \alpha_p x_{t-p}$$

線形予測係数 α は、標本値 x_t と線形予測値 $\hat{x}_t$ の間の誤差が最小となるように定める。この LPC に基づいて予測した波形モデルは、次のようなスペクトルで表される。

$$H(z) = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^p \alpha_i z^{-i}}$$

LPC ケプストラム分析では、この予測波形モデルを信号のスペクトル密度とみなし、

$$X(\omega) = H(z) \Big|_{z=e^{j\omega}}$$

とおいたときのケプストラムを算出する．ケプストラム係数を C_n とすると， C_n は次のように表される．

$$C_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \log |X(\omega)| e^{jn\omega} d\omega$$

LPC ケプストラム分析では，LPC による予測波形モデルに対してケプストラム分析を行うため，もと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．

スペクトルの微細構造は，歩行データの時間波形における周期情報を表す．また，微細構造は，細かく変動する要素で，歩行データの取得時期や取得環境などの違いによる影響を受けやすい．一方，スペクトル崩落は，歩行データの時間波形における振幅情報を表すため，各歩行状態の特徴が歩行データの振幅情報に現れる場合，スペクトル包絡を用いることが有効である．また，スペクトル包絡は，周波数に比例して緩やかに変化する要素でもある．このため，スペクトル包絡は，歩行データの取得時期や取得環境などの違いによる影響を受けづらい．さらに LPC ケプストラムは，スペクトルのピーク部分を考慮したスペクトル包絡であり，安定した特徴を抽出することができる．

2.2 評価実験

本提案手法の有効性を確認するための評価実験を行った．

表 1 に取得実験の諸元を示す．平地，階段上り，階段下りの 3 種類の歩行状態について各 100 秒間，3 軸加速度センサ (iPhone3GS) を用いてデータを取得した．サンプリング周波数は，100Hz (0.01 秒ごとに計測) とし，階段については踊り場も含めて計測を行った．本検討では，各歩行状態から抽出される特徴量に着目するため，センサは右腰に固定して取得を行い，歩行者による違いを検討する必要もあると考え，5 人の被験者でデータ取得を行った．

表 1 実験諸元

日時	2010 年 11 月 12 日 15 時
天候	晴れ
使用端末	iPhone3GS
サンプリング周波数	100Hz
センサ装置位置	右腰固定
測定データ	平地，階段上り，階段下り
取得秒数	各地系 100 秒間 (1 人あたり)
被験者数	5 人

取得したデータの一例を図 3 に示す．

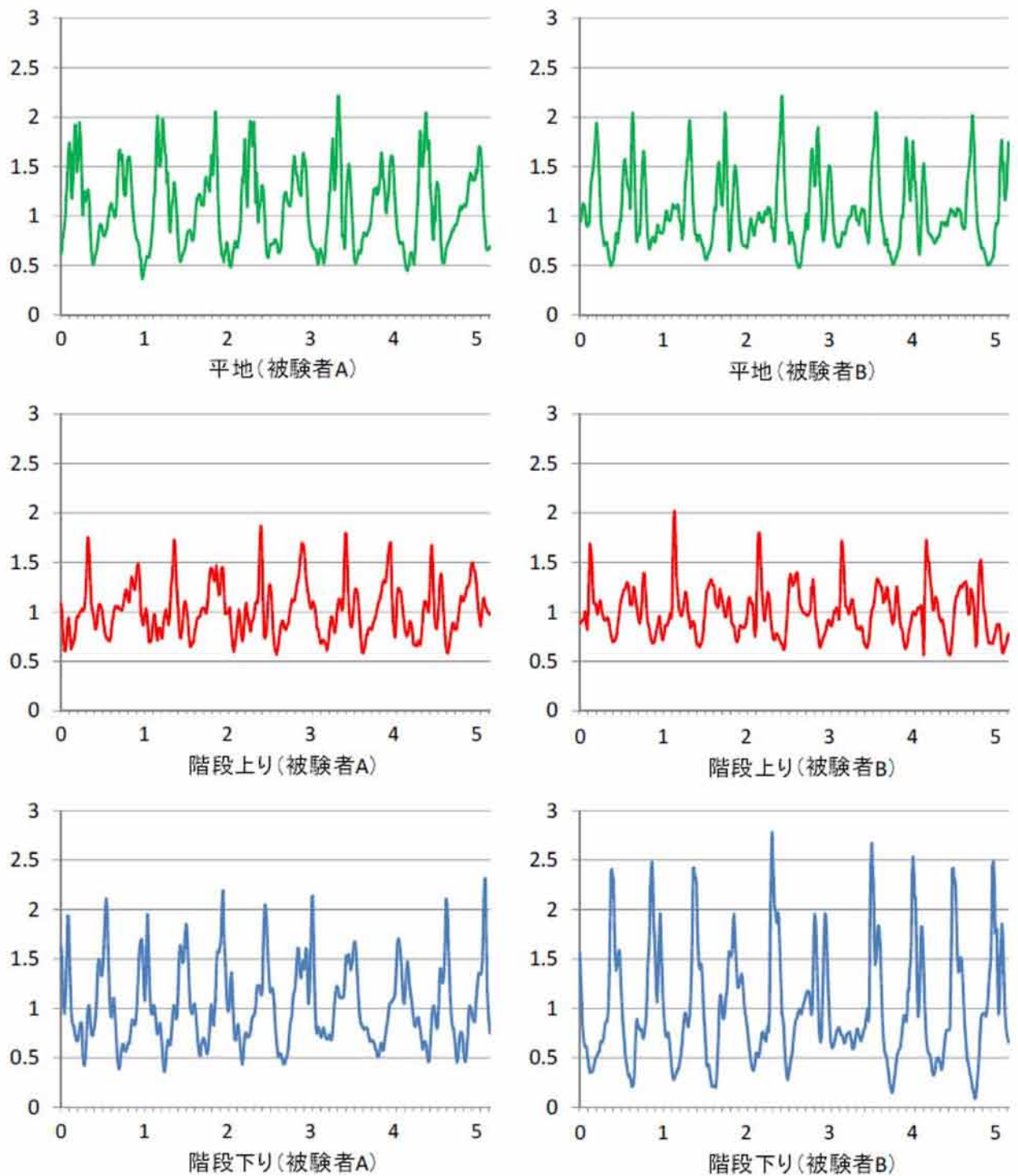


図 3 取得したデータの一例 (3 軸合成加速度 縦軸 : 加速度[G] 横軸 : 時間[s])

LPC ケプストラム係数との比較のために、従来研究で用いられてきた特徴量 (平均値, 標準偏差, 最大値, 最小値, 振幅スペクトルの最大値, 振幅スペクトルの平均値, 振幅スペクトルの標準偏差) についても算出を行う. 歩行データに対してフレーム長 2.56 秒, シフト長 0.5 秒として x 軸, y 軸, z 軸及び 3 軸を合成したものの計 4 種それぞれについて算出した.

x 軸, y 軸, z 軸の 3 軸を合成した方向データにたいしてのみ LPC ケプストラムを算出した.

LPC ケプストラムを算出する際には、LPC 及びケプストラムの次元数を定める必要があり、本検討ではいくつかの次元数について LPC ケプストラムを算出し、比較を行う。また、LPC ケプストラムについてもフレーム長 2.56 秒、シフト長 0.5 秒として算出する。

表 2 評価した特徴量

①	平均値
②	標準偏差
③	最大値
④	最小値
⑤	振幅スペクトルの最大値
⑥	振幅スペクトルの平均値
⑦	振幅スペクトルの標準偏差

表 2で挙げた特徴量を用いて識別器を構成し、特徴量ごとの識別率 (TPR: True Positive ratio) を算出した。識別を行うためには、学習データと識別データを用意する必要がある。そこで、平地、階段上り、階段下りの各 100 秒間のデータをそれぞれ 50 秒間ずつに分け、それぞれ学習データと識別データの役割を変えることで識別を行った (クロスバリデーション)。学習段階では、50 秒ずつのデータセットに対して任意の特徴量を抽出し、ベクトル量子化を行うことで、各歩行状態の特徴を表すコードブックを作成する。次に識別段階として、残りの 50 秒ずつのデータセットの各データを量子化した際の量子化誤差を歩行状態ごとに比較した。その際、対象と同じ歩行状態のコードブックとの量子化誤差が各歩行状態の中で最小の場合に正解とした。これを学習データと識別データの役割を入れ替えたものに対してもう一度行い、その合計結果の平均を最終的な結果として示した。本検討では、評価指標として次式で示される TRP を用いた。

$$TRP = \frac{\text{正し識別できた数}}{\text{総データ数}} \times 100 [\%]$$

LPC ケプストラムを用いた歩行状態識別の有効性を評価するために、まずは表 2に示した各特徴量の識別率を求めた。使用した歩行データは被験者一人によるデータとし、ベクトル量子化時のレベル数は 64 とした。識別結果を表 3に示す。

次に LPC ケプストラムを用いた場合の識別率を求めた。LPC ケプストラム算出時には LPC 及びケプストラムの次元数を定める必要がある。今回は LPC 及びケプストラムの次元数は同じにそろえ、その数値を 5 次元、10 次元、20 次元、30 次元、40 次元と変えて調査を行った。また、窓掛け及び正規化の有無による識別率の違いについても比較を行い、今回、窓関数としてはハミング窓を採用した。なお 3 軸合成した値に対してのみ LPC ケプストラムの算出を行った。LPC ケプストラムによる識別結果を表 4に示す。

表 3、表 4より、従来の特徴量による識別では識別率が 90%を超える特徴量はないが、LPC ケプストラムによる識別では次元数によって識別率が 90%を超えるものもあることがわかる。次元数による違いに着目すると 5 次元のような低次元のものより、30 次元といった高次元のものの識別率が高いことが分かる。また、窓掛け及び正規化については、処理をした方の識別率が若干上がっていることがわかる。

表 3 従来の統計量を特徴とした識別結果

	特徴量						
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
合成値	61%	86%	55%	55%	65%	67%	84%
x 軸	52%	65%	61%	55%	59%	42%	63%
y 軸	63%	77%	47%	33%	69%	71%	81%
z 軸	89%	66%	55%	47%	56%	65%	56%

表 4 LPC ケプストラムによる識別結果

	次元数				
	5	10	20	30	40
窓掛け及び正規化なし	73%	87%	90%	95%	94%
窓掛け及び正規化あり	73%	88%	91%	98%	99%

2.3 まとめと今後の課題

歩行状態識別手法として、加速度センサを用い LPC ケプストラムを適用した識別手法を提案し、その有効性を確認する実験を行った。

従来の統計量を特徴量とした場合では、被験者ごとに識別率にばらつきが見られ、どの被験者にも高い識別率を示すようなものはなかった。しかし、LPC ケプストラムを特徴量とした場合は、どの被験者においても高い識別率を示す結果となった。また 5 人の被験者の歩行データを歩行状態ごとに結合したデータ識別を行った結果では、従来お統計量を特徴量とした場合は、識別率に 10 ポイントから 20 ポイント程度の低下がみられ、一番良い特徴量でも 70% 程度の識別率となったが、LPC ケプストラムの場合、識別率の低下は 6 ポイント、90% 近くの識別率を示す結果となり、LPC ケプストラムの有効性を確認できた。

今後検討すべき課題を以下に示す。

- 調査対象

今回、被験者を 5 人として、データを取得し、検討を行った。しかし、被験者の違いにより、有効な特徴量に差が表れてしまう。今後は、被験者の人数を増やし、様々な身体的特徴の被験者のデータを取得することで、ユーザに依存しない有効な特徴量の検討を行う。

- 取得環境

今回データを取得するにあたり、全て同じ日に、同じ場所（平地、階段上り、階段下り）で計測を行った。階段にも段差や幅によって取得されるデータは異なると考えられる。また、被験者による違いもちろんだが、同じ被験者でも服装の違いなどから毎回同じデータになるとは限らない。そこで、そのような環境による誤差がどの程度存在するか、今回のような定量的評価を行うことで確認する必要がある。

- 特徴量

本研究で有効であると考えられた特徴量を単一で識別を行うのではなく、組み合わせて用いることで識別率を高めることができるかどうかについて検討を行う。また、本研究

で検討した特徴量だけでなく、他の有効な特徴量の調査を行う。

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

4.1 研究会

伊藤智則，吉井英樹，鶴丸和宏，小松尚久 “ライフログ利活用サービスに対する配慮原則とその対応状況”，技術と社会・倫理研究会（2011）.

吉井英樹，高橋正人，山崎耕平，鶴丸和宏，小松尚久 “スマートフォンを用いたライフログのセンシビティに関する実証実験結果”，技術と社会・倫理研究会（2011）.

笠原弘樹，伊藤智則，吉井英樹，鶴丸和宏，小松尚久，“加速度データの周期性に着目した歩行状態の識別に関する一考察”，ライフインテリジェントとオフィス情報システム研究会（2011）.

上原聡介，伊藤智則，吉井英樹，鶴丸和宏，小松尚久，“人物移動手段の推定における携帯端末の地磁気データの有効性に関する検討”，ライフインテリジェントとオフィス情報システム研究会（2011）.

田村健範，鶴丸和宏，市野将嗣，小松尚久，“Web 閲覧履歴情報に着目したライフログによる本人認証に関する一考察”，ライフインテリジェントとオフィス情報システム研究会（2011）.

4.2 特許

移動手段判定装置、及び移動手段判定方法 特願 2008-175767

ユーザ動線生成サーバ、ユーザ動線生成方法、及びユーザ動線生成プログラム 特願 2009-15983

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 准教授)

1. 研究課題

本研究課題は、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、JST(科学技術振興機構)によって採択された「研究開発プログラム『地域に根ざした脱温暖化・環境共生社会』研究開発プロジェクト-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』」の成果である。

2. 主な研究業績

2.1 一気通貫型木材流通システムの実態調査

2010 年度は林業・林産業および木材流通システムの実態把握とその効率化を目指した提案を行った。共同研究者である製材事業者・栗駒木材および設計事務所・天然住宅が開発している林業・林産業を一貫して行なう木材流通システム（以下、一気通貫型木材流通システム）の実態調査として、2010 年 7 月と 8 月の二度のヒアリングを栗駒木材に実施した。ヒアリング調査の結果を基に、現状一般的に行われている林業（ケース 1）の林業施業コスト、ならびに栗駒木材の行なっている収量増の林業（ケース 2）における林業施業コスト、製材生産コストを試算し、現状の林野庁データと比較・検証することで栗駒木材ならびに一気通貫型木材流通システムの経済性評価を実施した。また、一気通貫型木材流通システムの LCCO₂ を算出し、現状の木材流通システムと一気通貫型木材流通システムの LCCO₂ を比較、一気通貫型木材流通システムの LCA 評価を実施した。

その結果、現状の木材流通システムにおいて、林業・林産業双方が採算確保可能な杉製材（乾燥材）1m³あたりの必要価格は 86,600 円/m³である。一方、現在の杉製材（乾燥材）1m³あたりの工務店着価格は 75,900 円/m³であることから、現状の木材流通システムでは、10,700 円/m³の赤字となっている。一方、ケース 1 の場合、必要製材価格が 69,900 円/m³、ケース 2 においては 61,100 円/m³となることから、双方ともに現状の製材販売価格を下回っており、一気通貫型木材流通システムによって、林業・林産業双方の採算性確保が可能な可能性があることが明らかになった。また、一気通貫型木材流通システムにおける CO₂ 排出量は、システム合計で 87.3kg-CO₂/m³となり、現状の木材流通システムに比べ 11%の削減となることがわかった。

2.2 省エネ・長寿命の国産木材多用住宅の性能評価

一気通貫型システムを社会技術として提案する為に、本システムで建設された住宅が、国産材の価値を高め木材利用を促進する波及効果を有するのかどうか、また脱温暖化に寄与する可能性があるのかどうか検証する必要がある。

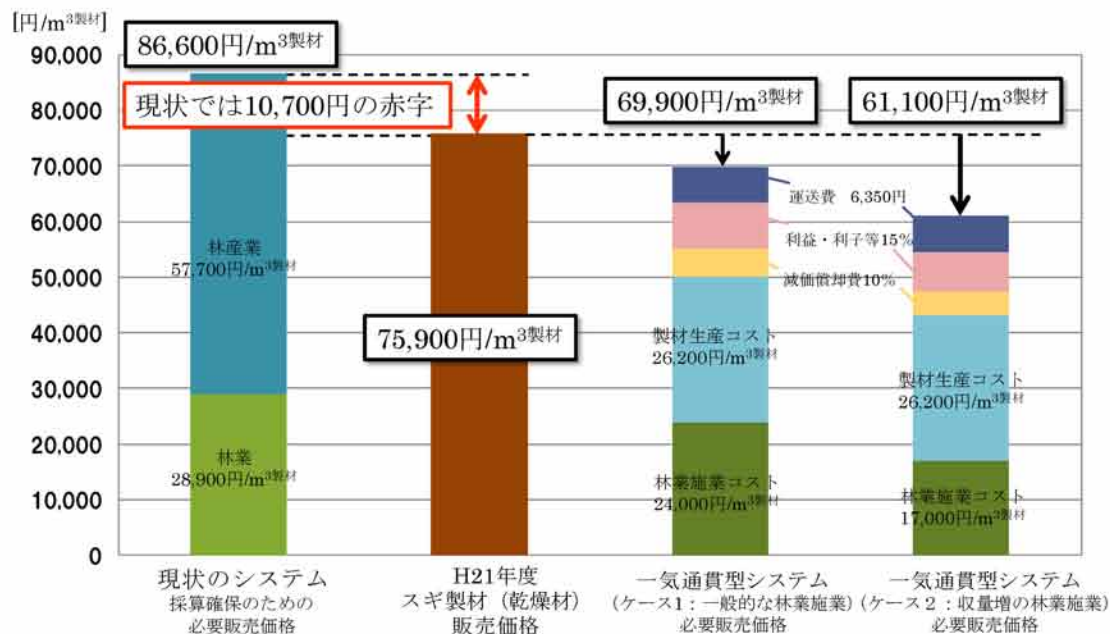


図1 現状の木材流通システムと一気通貫型木材流通システムの収支比較

そこで本研究では一気通貫型システムで建設された省エネ・長寿命を目指した国産木材多用型住宅の性能評価を行った。実際に一気通貫型システムにて建設され2010年12月に竣工した東京都目黒区の国産木材多用住宅Y邸において温熱環境とエネルギー消費量と構造材の含水率と壁内温湿度の実測を行った。

木造住宅の耐久性を低下させる主因は腐朽菌の増殖である。したがって、木造住宅の耐久性を維持するには、居住時の外壁内の木材含水率が腐朽菌の増殖が抑えられる20~30%¹に保たれていることが必要と考えられる。更に、外壁内にカビが繁殖する70%以上か、結露領域に達しない温湿度条件を保つことが求められる。現状、一冬だけの測定結果しかないものの、居住時の外壁内の木材含水率は9~12%、湿度は30~40%前後で乾燥状態が維持されていることがわかった。

図3に実測システムの概要を示す。外気温・外気湿度・風向・風速・日射量・気圧・雨量といった屋外気象を屋外気象計測機を用いて実測する。また各居室の温度・湿度・グローブ温度を計測し室内温熱環境を評価する。さらに多機能分電盤を用いて電気・ガス・水の消費量を実測しエネルギー消費量を明らかにしている。またこれらの実測データを居住者に提供する事で環境行動を誘発させるプログラムを開発し設置する予定である。実測データを住民に提供し、環境行動が行える状況になると警報ランプが光り、居住者にその状況を伝え実際に行動を取って貰う事で室内環境を快適に保ちながらエネルギー消費量を抑制する事を目指している。現在実測データを集約し表示させるプログラムの開発中である。

図4に実測期間中において最低気温が最も低かった2011年1月16日における温熱環境実測の結果を示す。天気は晴れで外気温度は-1.0~5.6℃を推移していた。

室温は各居室共に11℃以上を保ち続けており、湿度変化も外気程大きくは無かった。また多機能分電盤からのデータから洋室では電気ヒータを用いているが、それ以外の居室ではエアコン、床暖房共に使用していなかった事が把握出来た。これは外壁、天井の断熱性能が高く、外

気の影響が少なく室内環境が均質に保たれている為だと考えられる。

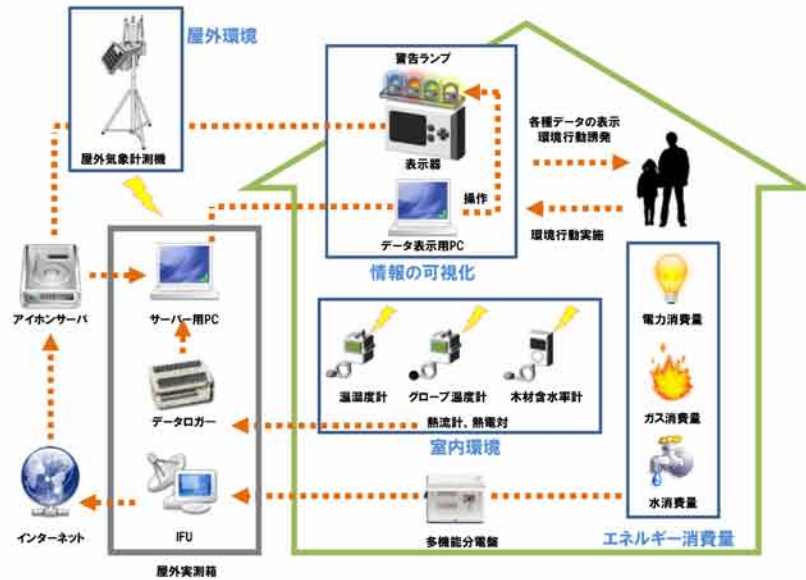


図3 実測システム図

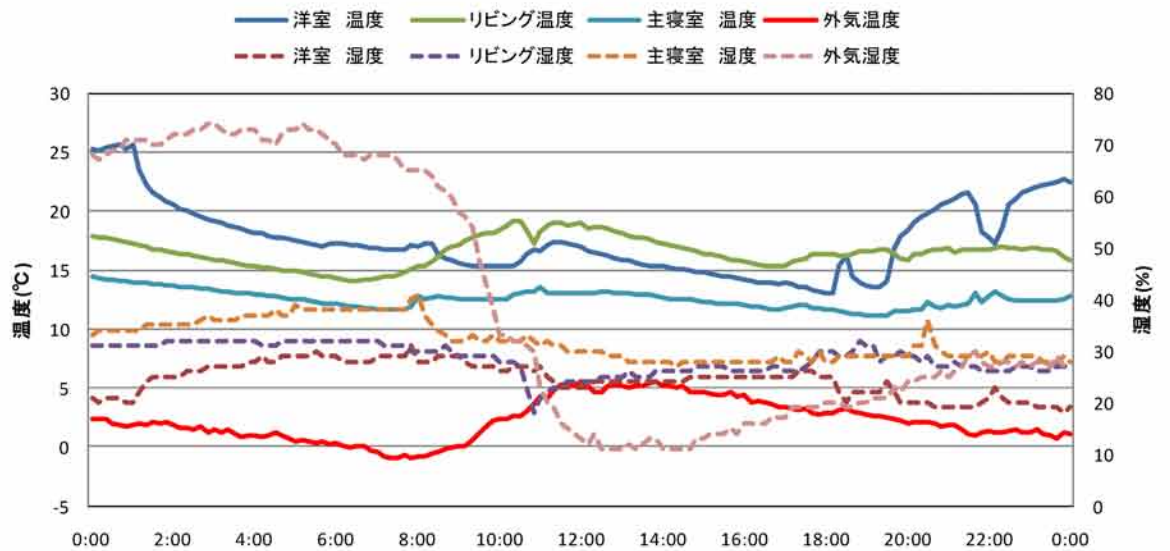


図4 2011年1月16日における実測住居Y邸の温熱環境

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

「林業再生のための木材流通システムの再構築に関する研究」遠藤彩和、高口洋人 他、日本建築学会関東支部 2010 年度研究報告集

「建築物のサステイナブル・デザインプロセスに関する研究：その 1 環境配慮建築物の DSM による分析」曾我 志津保、杉山 幸司、高口 洋人、2010 年度日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1087-1088, 2010

「既存市街地における環境共生型ビジョン共有のためのワークショップ手法に関する研究：その 1 日本型 DCBA メソッドの開発」幡場喬二、圓福高志、長谷川佳、高口洋人、2010 年度日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 1047-1048, 2010

「既存市街地における環境共生型ビジョン共有のためのワークショップ手法に関する研究：その 2 日本型 DCBA メソッドを活用したワークショップの試行」圓福高志、幡場喬二、長谷川佳、高口洋人、2010 年度日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1087-1088, 2010

「カンボジアにおける既存住宅の住宅内エネルギー消費量および室内温熱環境実測調査(伝統的建築の湿熱環境とエネルギー消費量)」宮崎恵子、小野恭平、高口洋人、2010 年度日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 415-416, 2010

4.2 受賞・表彰

「林業再生のための木材流通システムの再構築に関する研究」遠藤彩和、高口洋人 他、日本建築学会関東支部 2010 年度若手優秀研究報告賞

4.3 社会的活動

第一回フォーラム 森と街をつないで脱温暖化を実現す、日本青年館中ホール、2010 年 4 月 10 日

第二回フォーラム 木で暮らす・木で稼ぎ、木で生きる、早稲田大学 57 号館 201 教室、2010 年 12 月 12 日

WEB ページ「森街プロジェクト」の開設 <http://www.morimachi.net/>

5. 研究活動の課題と展望

今後は住宅建設時、運用時、除却時までシステム境界を広げ、比較対象を増やす事で一貫型木材流通システムの LCA を進める予定である。そして持続可能な林業、林産業、住宅生産モデルの提案に繋げていく。

また木材多用型住宅の実測においては今後同様の実測を集合住宅 K と板倉の戸建住宅においても同様の実測を行う予定である。以上の調査を継続し一貫型システムで建設された木造住宅の住宅性能を明らかにし、LCA 分析や普及効果の検討に寄与できるデータとする予定である。

2011 年中を予定している栗駒木材の低温乾燥炉の完成に伴い、乾燥炉の性能を実測により明

らかにし、データ解析を行うことで、低温での木材乾燥スケジュールをマニュアル化する予定である。

新電磁探査法の研究

研究代表者 斎藤 章
(創造理工・環境資源 特任教授)

1. 研究課題

海底鉱物資源は、資源の乏しいといわれる日本の将来に極めて重要であり、その実用的な探査技術の確立は緊急な課題の一つである。海底の電磁探査技術としては、海底油田の調査に大電流を送信する海底電磁探査法が実用化されている。しかしながら浅い部分をより詳細に調査する技術はまだ存在しておらず、基礎技術の研究開発が必要とされている。本研究は、文科省から受注した基板ツールプロジェクトを中心としており、海底から深度 100m 程度までの探査能力のある電磁探査システムの開発が期待されている。

海底熱水鉱床は、いろいろなタイプが考えられ、それらに適用する探査技術も多岐にわたるが、本研究は海底電磁探査用の磁力計を開発し、それを利用する新しい電磁探査技術の研究開発によって実用レベルの海底鉱物資源探査法の確立を課題とする。

2. 主な研究成果

2.1 MI 素子を使った海底磁力計の研究

MI 素子は、磁性アモルファスワイアの電気インピーダンスが、周囲の磁場の関数になることを利用した、小型・高感度・広帯域の磁気センサ素子である。海底という特殊な環境で使用するための耐圧容器には、低消費電力という特徴も重要である。数値シミュレーションの結果などから、帯域は DC~10 kHz 程度まで、感度は 0.01 nT を当面の目標として開発を行い、仕様を満足する磁力計が完成した。さらにそれを使って、実際に深さ 32m の海域で予備実験を行った。Fig.1 に海域実験の様子を示す。四角い送信ループの中央にあるのが MI 磁力計のセンサー部分で、直径が約 10cm、高さ 12cm のプラスチック製の耐圧容器に入っている。MI 素子の大きさに比べて大きいのは、地磁気のキャンセルを目的とするヘルムホルツコイルを組み込んだためである。



Fig. 1 浅海での実験

2.2 Square Array 電極配置の研究

電気探査の電極配置として、これまで多くの配置が提案されている。海底で電気探査を実施する場合は、地形の複雑さや海底ロボット (ROV) の制約などから、従来から使われるウェンナー電極配置やシュランベルジャー電極配置などの長い電極配置の適用が困難と考えられ、環境調査を目的に米国地質調査所などが使っている Square Array 電極配置を導入した。数値シミュレーションや水槽実験の結果などから、海底での適用が可能であることが確認された。

2.3 海底電磁探査法の研究

海底熱水鉱床の電磁探査技術として、時間領域の電磁探査法を採用した。これは ROV や AUV (自立航行型ロボット) を使用した調査を考えると、送信ループと受信ループの間隔の制約のない時間領域の方が有利と判断されたためである。3次元の数値シミュレーションや、水槽実験を行って、きわめて低比抵抗の海水の下にある熱水鉱床の電氣的性質が捉えられることが示された。Fig.2 に

は3次元の積分方程式によるモデル計算結果を示す。鉱体の深さ100m近くまで、また厚さが80m程度まで測定が可能であることがわかる。

Fig.3 には水槽実験結果の一例を示す。水槽は幅2.4m、奥行き1.3m、高さ1.6mの大きさで、30cmの砂と濃い塩水が入っている。砂層の中に埋設したステンレス、グラファイトなどが捉えられており、塩水中でも電磁探査が有効であることが示された。

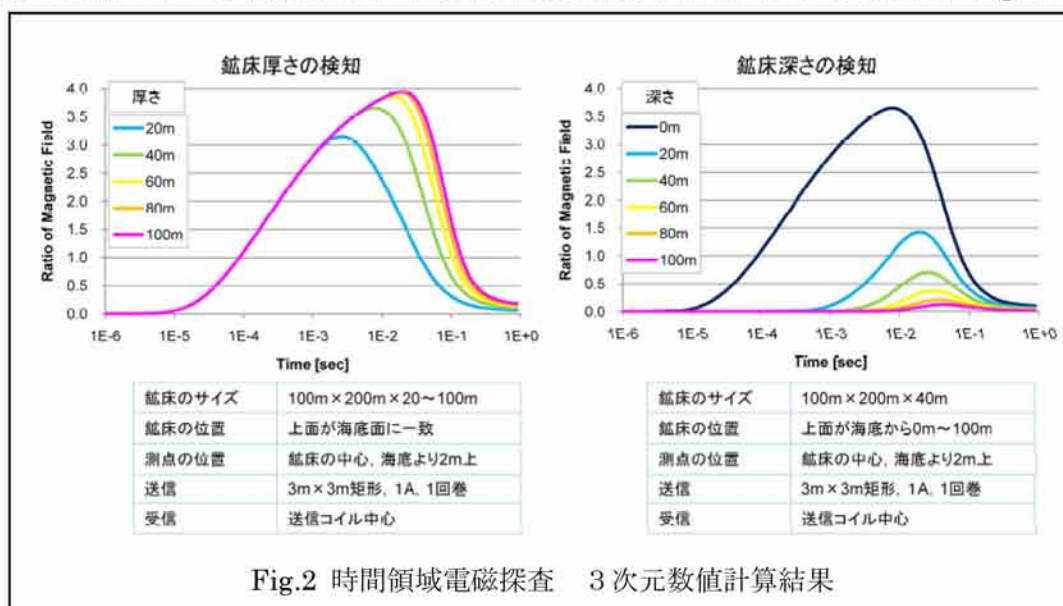


Fig.2 時間領域電磁探査 3次元数値計算結果

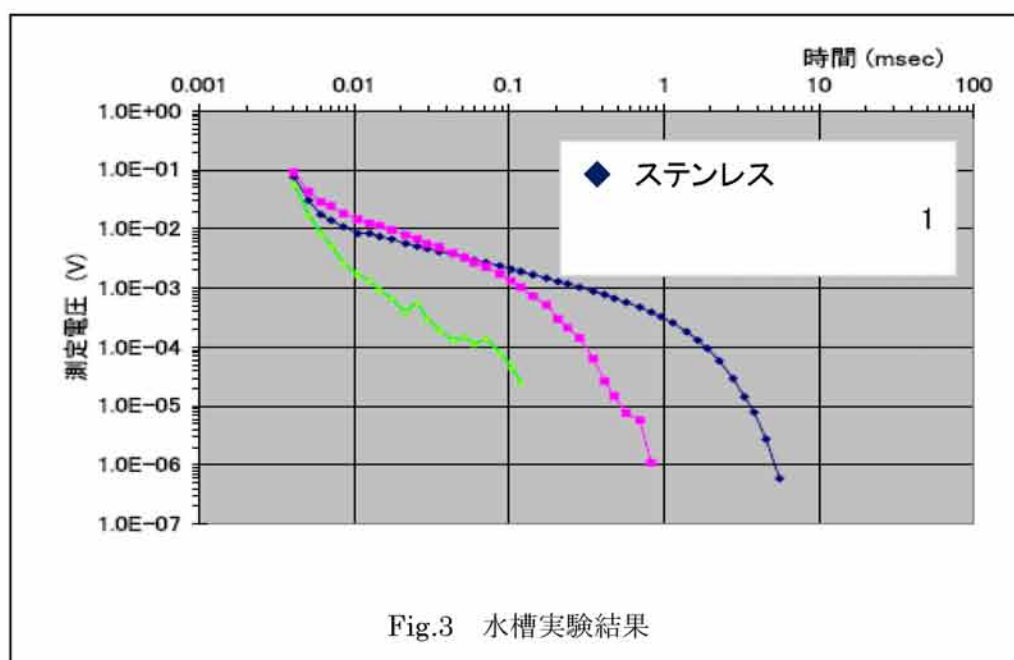


Fig.3 水槽実験結果

3. 共同研究者

中山圭子（理工研・研究員）

徳山英一（東大・大気海洋研・教授）

東 宏幸（応用地質・副事業部長）

山下善弘（応用地質・主任）

竹内睦雄（ジオヴェスト・代表取締役）

奥住宏一（ジオプローブ・研究主任）

4. 研究業績

4.1 学術論文・講演論文

中山圭子・河合真・真行寺泰輔・劉ブンテイ・斎藤章（2011）：時間領域電磁探査法による海底熱水鉱床調査、第22回海洋工学シンポジウム論文集、22,159-162

真行寺泰輔・斎藤章・中山圭子（2011）：海底熱水鉱床の電気的特性に関する考察、物理探査学会学術講演会論文集、124,159-162

中山圭子・斎藤章・山下善弘(2010)：海域における鉱物資源を目的とする時間領域の電磁探査法技術、物理探査学会学術講演会論文集、123,66-69

山下善弘・東宏幸・田子公一・並木久・斎藤章(2010)：海底資源探査を目的とした Square Array 電気探査の基礎実験、物理探査学会学術講演会論文集、122,169-172

4.2 招待講演

“Electromagnetic Methods for Natural Resources”, Bandon Institute of Technology, Bandon, Indonesia, 2011-2-4

4.3 学会および社会的活動

学術講演委員長、物理探査学会秋季講演会、2010-10、東北大学

5. 研究活動の課題と展望

本研究は、海底熱水鉱床の実用的な探査技術の研究開発を目的としており、まだ1年目であるため、研究課題は多い。特に海域での調査技術の開発ということで、まだまだ未知の部分が多い。本研究の発注元である文科省では、深さ1000mの海域で、海底下100m程度の探査能力のある技術を期待している。今年度は海域の実験は深度32mまでのきわめて浅い部分での実験であったが、より深い海域での実験が必要となり、そのための耐圧容器に入った海底電磁探査システムを作成する必要がある。課題を箇条書きで示すと、

- より高感度、広帯域のMI 磁力計の開発
- 2000m程度の耐圧の海底電磁探査装置の試作
- 数値シミュレーションによる測定方式、機器仕様などの検討
- Square Array 電極配置の特性とIP測定の検討
- 実海域での実験

本研究で実施した、浅海域での実験で、極めて電気の流れやすい環境でも時間領域の電磁探査が可能であることが示され、さらに実用レベルの機器開発を継続することの重要性が確認された。

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

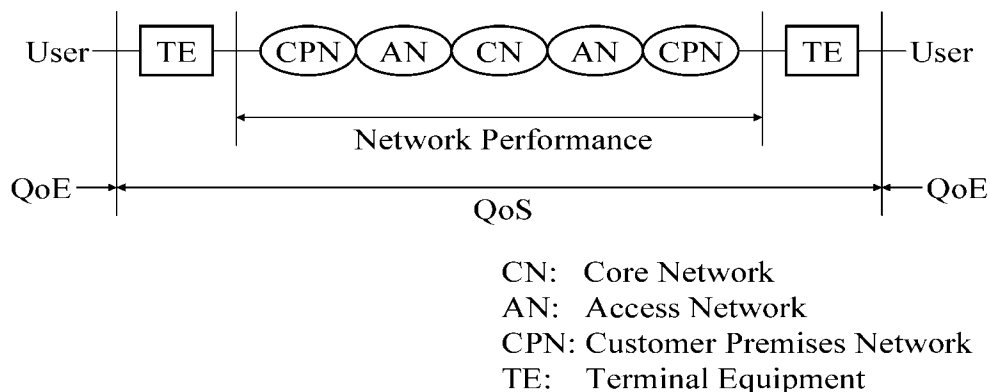
従来、通信ネットワークの品質といえば QoS (Quality of Service) を指した。QoS とは、遅延時間、パケット損失率など物理的に測定ができる客観品質である。しかし、通信を行うのは人間である。そこで最近、人間が感じる品質すなわち体感品質が重視されている。体感品質は QoE (Quality of Experience) といい、主観品質である。QoS と QoE は一致しない。例えば、遅延時間が 2 倍になると、QoS では 1/2 に品質が落ちたことになる。しかし、人間は品質が 1/2 まで下がったとは感じない。せいぜい 3/4 程度とを感じる。すなわち、QoE では、1/2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

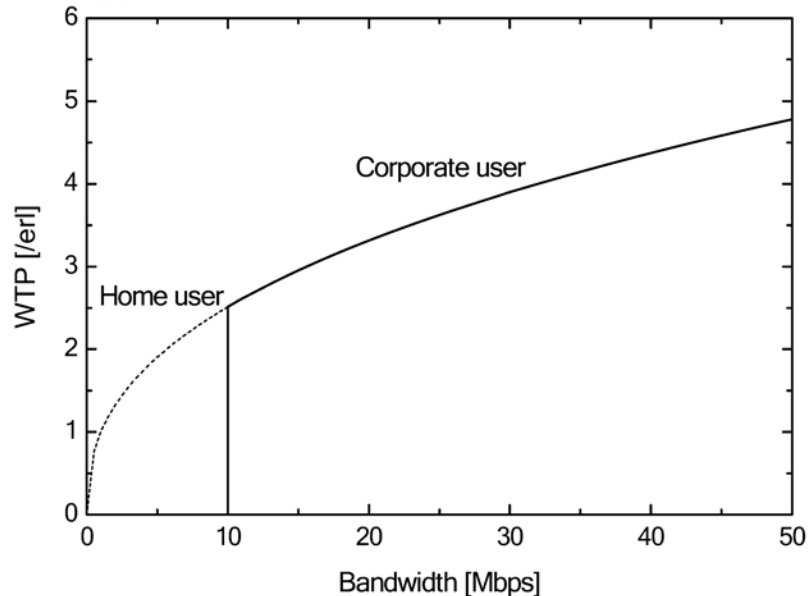
2.1 OSPF ルーチングの QoS 評価と QoE 評価

OSPF (Open Shortest Path First) はインターネットにおいて最も一般的に用いられているルーチング方式である。本研究では、コンテンツダウンロードを例として、OSPF ルーチングによる品質向上が QoE に与える影響を検討した。シミュレーション結果より、OSPF によって QoS は平均して 60% 程度改善されるものの、QoE は 10% 程度しか改善されないことを明らかにし、OSPF ルーチング最適化はほどほどでよいことを示した。



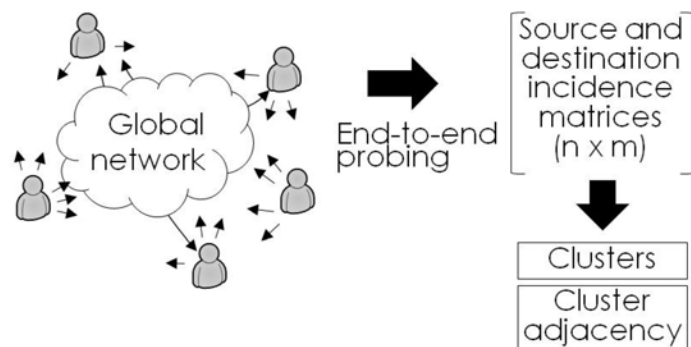
2.2 企業ユーザに対する帯域確保サービス

ネットワーク利用者の 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。帯域に対する WTP を描くと下図のようになる。本研究では、このような企業ユーザの特徴に基づく帯域確保サービスの設計方法の検討を行った。



2.3 エンドツーエンドのネットワークパフォーマンスのモデル化と解析

エンドツーエンドのネットワークパフォーマンスは、プローブを送るアクティブ測定の方法により測定できる。しかし、エンドユーザはネットワークの構成が分からない。したがって、エンドツーエンドのネットワークパフォーマンスが分かっても、パフォーマンスを改善することができない。そこで、多くの対地に対する測定結果を基にネットワーク構成を推定すれば、ネットワークパフォーマンスの改善も可能になる。本研究では、エンドツーエンドのネットワークパフォーマンスの測定結果を基に、その推定を行うモデル化と解析手法について検討した。



2.4 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。それらは、電波強度や利用率により品質が異なる。また、違う事業者のアクセスポイントは利用料金も異なる。ユーザは、自分の QoE や便益が高くなるようにアクセスポイントを選択する。その際、少しの距離ならば移動して QoE や便益を大きくすることもあり得る。このようなユーザ行動について解析した。

2.5 アドホックネットワークのルーティング

アドホックネットワークでは中継端末の確保が問題となる．それを解決する方法の一つとして，中継者に謝金を払う方法がある．中継者に払う謝金は，通信者の負担となる．通信者は，通信できることのQoEに対応する支払意思額が中継謝金より大きければ通信を行う．このようなアドホックネットワークのサービスに関して解析を行い，より適切なサービスを考案した．

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・客員准教授）

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・客員講師）

ザニケエフ・マラット（国際教養学部・助教）

4. 研究業績

4.1 学術論文

- (P1) 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往復遅延時間を用いた適応形トランスポートプロトコル”, 電子情報通信学会論文誌(B), Vol.J93-B, No.5, pp.735-746, 2010 年 5 月.
- (P2) 岡本司, 三宅功, 矢守恭子, 田中良明, “最低帯域条件を有する企業ユーザに対する帯域確保サービスの効用”, 電子情報通信学会論文誌(B), Vol.J94-B, No.3, pp.423-435, 2011 年 3 月.

4.2 講演（国際学会）

- (I1) M.Zhanikeev and Y.Tanaka, “Application of Graph Theory to Clustering in Delay Space”, 8th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT 2010), Kuching, Sarawak, Malaysia, Paper No.B-7-2, 6 pages, June 2010.
- (I2) T.Fujii, K.Yamori, and Y.Tanaka, “Ad Hoc Network Service with Relay Reward and its Routing Performance”, 8th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT 2010), Kuching, Sarawak, Malaysia, Paper No.C-7-3, 6 pages, June 2010.
- (I3) T.Chap, X.Wang, S.Xu, and Y.Tanaka, “Link-Disjoint Routing Algorithms with Link-Disjoint Degree and Resource Utilization Concern in Translucent WDM Optical Networks”, 13th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT2011), Phoenix Park, Korea, Session 03C-01, pp.357-362, February 2011.

4.3 講演（研究会）

- (T1) 岡本司, 三宅功, 矢守恭子, 田中良明, “企業ユーザに対する帯域確保サービスの効用評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, Paper No.CQ2010-14, Vol.110, No.21, pp.77-82, 2010 年 4 月.
- (T2) 矢守恭子, 田中良明, “通信品質から QoE への定量化とユーザ効用最大化” (招待講演), 電子情報通信学会技術研究報告, Paper No.HIP2010-11, HCS2010-11, Vol.110, No.33, pp.59-64, 2010 年 5 月.
- (T3) W.Xie, M.Zhanikeev, and Y.Tanaka, “Comparison between Two Methods of IP Traffic Analysis”, IEICE Technical Report on Information and Communication Management, Paper

No.ICM2010-17, Vol.110, No.119, pp.51-56, July 2010.

- (T4) M.Zhanikeev and Y.Tanaka, “Effect of Incomplete Data on Delay Space Dimensionality”, IEICE Technical Report on Information and Communication Management, Paper No.ICM2010-18, Vol.110, No.119, pp.57-60, July 2010.
- (T5) 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送信速度のクロスレイヤ制御”, 電子情報通信学会技術研究報告, Paper No.NS2010-45, Vol.110, No.126, pp.41-46, 2010 年 7 月.
- (T6) 孫麗花, 矢守恭子, ザニケエフ・マラット, 田中良明, “OSPF ルーティングの QoS 評価と QoE 評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, Paper No.CQ2010-41, Vol.110, No.198, pp.43-48, 2010 年 9 月.
- (T7) X.Wang, S.Xu, and Y.Tanaka, “Multi-Solution Routing and Wavelength Assignment in GMPLS WDM Networks”, IEICE Technical Report on Network Systems, Paper No.NS2010-76, Vol.110, No.240, pp.37-42, October 2010.
- (T8) 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料金設計法”, 電子情報通信学会技術研究報告, Paper No.NS2010-90, Vol.110, No.286, pp.13-18, 2010 年 11 月.
- (T9) M.Zhanikeev and Y.Tanaka, “Squeezing Out the Best of End-to-End Performance” (Special Talk), IEICE Technical Report on Communication Quality, Paper No.CQ2010-53, Vol.110, No.287, pp.29-34, November 2010.
- (T10) 山本嶺, 三好匠, 田中良明, “近傍の通信状態に基づくアドホックネットワーク負荷分散手法”, 電子情報通信学会技術研究報告, Paper No.NS2010-118, Vol.110, No.339, pp.79-84, 2010 年 12 月.
- (T11) 藤井拓也, 矢守恭子, 田中良明, “中継謝金を支払うアドホックネットワークサービスにおける基本料金と通信料金の設定法”, 電子情報通信学会技術研究報告, Paper No.NS2010-209, Vol.110, No.448, pp.263-268, 2011 年 3 月.
- (T12) 王琪, 山本嶺, 田中良明, “隣接ノードの監視情報を用いたワームホール攻撃対策手法”, 電子情報通信学会技術研究報告, Paper No.NS2010-245, Vol.110, No.448, pp.455-460, 2011 年 3 月.
- (T13) 高田祐, 矢守恭子, 田中良明, “携帯端末における最大許容待ち時間に基づくコンテンツ配信スケジューリング”, 電子情報通信学会技術研究報告, Paper No.CQ2010-71, Vol.110, No.455, pp.25-28, 2011 年 3 月.
- (T14) M.Zhanikeev and Y.Tanaka, “Practical Models for Multi-Hop End-to-End Network Paths”, IEICE Technical Report on Information and Communication Management, Paper No.ICM2010-72, Vol.110, No.466, pp.105-108, March 2011.

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送信速度制御を用いた負荷分散手法”, 2010 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-6-73, p.73, 2010 年 9 月.
- (N2) 孫麗花, 矢守恭子, ザニケエフ・マラット, 田中良明, “QoE から見たトラヒックエンジニアリングの評価”, 2010 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-11-2, p.269, 2010 年 9 月.
- (N3) 岡本司, 三宅功, 矢守恭子, 田中良明, “異なる最低帯域条件を有するユーザの帯域確保サービスの効用評価”, 2010 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.278, 2010 年 9 月.
- (N4) 藤井拓也, 矢守恭子, 田中良明, “中継謝金のあるアドホックネットワークにおける通信料金設定”, 2010 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-14-9, p.365, 2010 年 9 月.
 - (N5) 手塚一貴, 矢守恭子, 田中良明, “従量制 VOD 形 IP 放送におけるユーザ便益と事業者収入の妥結点”, 2010 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-14-10, p.366, 2010 年 9 月.
 - (N6) J.Wang, K.Yamori, and Y.Tanaka, “Economics of ISP Multi-Homing”, 2010 IEICE Communications Society Conference, No.BS-7-6, pp.S-55-S-56, September 2010.
 - (N7) C.Zhang, K.Yamori, S.Xu, and Y.Tanaka, “A Dutch-Auction Pricing Mechanism for Network Congestion Control”, 2010 IEICE Communications Society Conference, No.BS-7-7, pp.S-57-S-58, September 2010.
 - (N8) B.Gu, K.Yamori, S.Xu, and Y.Tanaka, “Pricing of Wireless Local Access Network by Considering Compensation for Collisions”, 2010 IEICE Communications Society Conference, No.BS-7-8, pp.S-59-S-60, September 2010.
 - (N9) X.Wang, S.Xu, and Y.Tanaka, “GMPLS-based Optical Control Plane in Translucent WDM Networks”, 2010 IEICE Communications Society Conference, No.BS-7-25, pp.S-93-S-94, September 2010.
 - (N10) T.Chap, X.Wang, S.Xu, and Y.Tanaka, “A Resource Utilization-based Routing and Wavelength Assignment in Translucent WDM Optical Networks”, 2010 IEICE Communications Society Conference, No.BS-7-28, pp.S-99-S-100, September 2010.
 - (N11) R.Leng, M.Zhanikeev, and Y.Tanaka, “Problem of Probing Directionality”, 2010 IEICE Communications Society Conference, No.BS-7-33, pp.S-109-S-110, September 2010.
 - (N12) M.Randriamananjara, M.Zhanikeev, and Y.Tanaka, “How to Model Terminal Equipment in Simulation”, 2010 IEICE Communications Society Conference, No.BS-7-34, pp.S-111-S-112, September 2010.
 - (N13) W.Xie, M.Zhanikeev, and Y.Tanaka, “Processing Overhead in IP Traffic Analysis”, 2010 IEICE Communications Society Conference, No.BS-7-36, pp.S-115-S-116, September 2010.
 - (N14) H.Situmorang, M.Zhanikeev, and Y.Tanaka, “QoS Call Setup for End-to-End QoS Provisioning: Top-Down Approach versus Bottom-Up Approach”, 2010 IEICE Communications Society Conference, No.BS-7-39, pp.S-121-S-122, September 2010.
 - (N15) 王琪, 山本嶺, 田中良明, “MANET における隣接ノードの監視情報に基づくワームホール攻撃対策手法”, 2011 年電子情報通信学会総合大会, 通信講演論文集 2, No.B-6-84, p.84, 2011 年 3 月.
 - (N16) 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通信負荷に基づく送信速度制御”, 2011 年電子情報通信学会総合大会, 通信講演論文集 2, No.B-6-85, p.85, 2011 年 3 月.
 - (N17) 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効用最大値の導出”, 2011 年電子情報通信学会総合大会, 通信講演論文集 2, No.B-11-13, p.442, 2011 年 3 月.
 - (N18) 藤井拓也, 矢守恭子, 田中良明, “中継謝金アドホックネットワークサービスにおける料金とユーザ効用並びに事業者収益の関係”, 2011 年電子情報通信学会総合大会, 通信講演論文集 2, No.B-14-24, p.547, 2011 年 3 月.
 - (N19) B.Gu, K.Yamori, S.Xu, and Y.Tanaka, “Admission Control Algorithms Integrated with Pricing

- for Revenue Optimization in Wireless Local Access Networks”, 2011 IEICE General Conference, No.BS-4-4, pp.S-15-S-16, March 2011.
- (N20) J.Huang and Y.Tanaka, “A Deployable E2E Quality-of-Service Routing Algorithm”, 2011 IEICE General Conference, No.BS-4-8, pp.S-23-S-24, March 2011.
- (N21) H.Situmorang and Y.Tanaka, “Path Finding for End-to-End QoS Provisioning”, 2011 IEICE General Conference, No.BS-4-11, pp.S-29-S-30, March 2011.
- (N22) R.Leng and Y.Tanaka, “Analysis of Communication Pattern”, 2011 IEICE General Conference, No.BS-4-21, pp.S-49-S-49, March 2011.
- (N23) C.Zhang, K.Yamori, S.Xu, and Y.Tanaka, “Comparison between Dutch-Auction Congestion Pricing and Gradient Projection Congestion Pricing”, 2011 IEICE General Conference, No.BS-4-24, pp.S-55-S-56, March 2011.
- (N24) J.Wang, K.Yamori, and Y.Tanaka, “Price and Capacity Competition among Large ISPs”, 2011 IEICE General Conference, No.BS-4-26, pp.S-59-S-60, March 2011.
- (N25) S.Keoung, K.Yamori, and Y.Tanaka, “Competition of Mobile Telecommunication under Mobile Number Portability”, 2011 IEICE General Conference, No.BS-4-28, pp.S-63-S-64, March 2011.
- (N26) X.Wang, T.Chap, S.Xu, and Y.Tanaka, “Performance Comparison of Physical Layer Impairment Aware Routing in Translucent WDM Networks”, 2011 IEICE General Conference, No.BS-4-37, pp.S-81-S-82, March 2011.
- (N27) T.Chap, X.Wang, S.Xu, and Y.Tanaka, “An Advanced Resource Balance-based Link-disjoint Routing in Translucent WDM Optical Networks”, 2011 IEICE General Conference, No.BS-4-38, pp.S-83-S-84, March 2011.
- (N28) M.Randriamanananjara, M.Zhanikeev, and Y.Tanaka, “Influence of Probing Parameters on Terminal Equipment Performance”, 2011 IEICE General Conference, No.BS-4-43, pp.S-93-S-94, March 2011.

4.5 受賞・表彰

- (A1) Miarihoa Randriamanananjara, 電子情報通信学会情報通信マネジメント英語セッション奨励賞.
- (A2) 岡本司, 三宅功, 矢守恭子, 田中良明, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究賞.
- (A3) 古博, 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～
- (S5) Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium, 常任委員, 2004 年 11 月～現在.
- (S6) 電子情報通信学会アクレディテーション委員会審査部会長, 2006 年 5 月～2011 年 5 月.
- (S7) 日本技術者教育認定機構認定・審査調整委員会委員, 同分野別審査委員会委員長, 2006 年 5 月～

2011 年 5 月.

- (S8) 12th IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS 2010), Advisory Board Member, 2009 年 1 月～2010 年 12 月.
- (S9) 5th IFIP/IEEE International Workshop on Broadband Convergence Networks (BcN 2010), Advisory Committee Member, 2009 年 11 月～2010 年 4 月
- (S10) International Conference on Communications 2011 (ICC2011), Workshop Organizer, 2010 年 3 月～2011 年 6 月.
- (S11) 電子情報通信学会評議員, 2010 年 5 月～2011 年 5 月.
- (S12) 電子情報通信学会編集顧問, 2010 年 5 月～現在.
- (S13) 6th IFIP/IEEE International Workshop on Broadband Convergence Networks (BcN 2011), Advisory Committee Member, 2010 年 10 月～2011 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.

非線形問題に対する精度保証法の確立

研究代表者 大石 進一
(基幹理工学部 応用数理学科 教授)

1. 研究課題

区間演算と浮動小数点数の丸め演算および無誤差変換の関係について数学的に深く研究し、丸めモードを変更しない区間演算の開発と、無誤差変換との組み合わせの検討を行なう。また、非線形方程式に現れる関数としては、初等関数の組み合わせであることを想定し、無誤差変換による初等関数の高精度計算の一般的な枠組みの検討を行なう。

2. 主な研究成果

2.1 区間演算の高速化と高可搬性を達成

数値計算では実数の代わりに浮動小数点数を扱っているため多くの計算において誤差が伴う。これは電子計算機の誕生当初から問題点として認識されてきた。しかし、実際の計算において丸め誤差の影響を完全に把握することは難しい。浮動小数点数を利用した計算機では入力された値や計算結果は丸められ、「正しい」答えを得ることができない。すなわち数値計算法の大半は計算結果の精度について正確な保証を与えることができなかった。一方で、数学的な計算結果を正しく保持するために、区間の概念とそれらに対する演算が導入された。これを区間演算と呼ぶ。区間は数の集合を表し、その区間内の全ての数を表すことができる。

従来、計算機上での区間演算の実装には、広く丸めの変更を用いた方法が利用されてきた。浮動小数点数を端点とする区間の四則演算は、上向き丸めと下向き丸めを利用し上限と下限の計算を行なうことで、数学的な結果を含む最も区間幅の小さな区間が得られる。一方で、丸めの変更は実行時間に悪影響を与えやすい。インテル社の x86 系の演算処理装置 (CPU) をはじめとするいくつかの演算処理装置において、丸めの変更を効果的に行うことは容易でない。一回の丸めの変更にかかる時間が一回の演算時間と比べて、かなりの時間を必要とするのである。加えて、利用しているプラットフォームやコンパイラによっては、プログラミングレベルで利用命令が大きく異なるだけでなく、丸めの変更自体が行えない計算環境も多く存在することが問題である。

我々の研究成果はこれらの問題点に対し、丸めの変更を一切行なわず、数値計算環境で最も利用されている最近点への丸めのみを利用した有用な区間演算法を提案した。最近点への丸めのみを利用した区間演算法の先行研究は、精度が悪くなってしまうという欠点があったが、提案法は従来の丸めを利用した区間演算と同じ精度を達成する。提案法のキーポイントはエラーフリー変換を用いて計算誤差を把握したことである。計算誤差の把握により、正しい演算結果が区間に含まれる最小の区間を丸めの変更なしで得ることができるようになった。提案法を用いると丸めの変更が不要とな

り可搬性が向上する。また、実行時間も丸めを変更する従来の区間演算法と比べ、四則演算全てにおいて高速化が達成された。特に加減算においては最大 10 倍程度の高速化が達成できた。

この研究成果を元に、線形問題に対する精度保証付き数値計算法を実装した Scilab で動作するツールボックス VTTOOLS (Verification Toolbox for Scilab)を開発した。このツールボックスは Scilab Toolbox Japan Contest 2010 における一般カテゴリ部門で最優秀賞を受賞した。

2.2 高精度区間演算の確立

非線形問題を精度保証付き数値計算で解くためには、高速な可変精度関数評価法を開発する必要がある。一般に計算可能関数とは、関数値に関する精度要求がある場合、精度に応じた区間幅を持つ真の関数値を含んだ区間を出力するものと定義される。非線形問題の精度保証付き数値計算では、出力の要求精度に応じて、適用的に関数の評価を高精度に行なう必要がある。これには可変精度の区間演算が不可欠となる。

このような区間演算の開発には、高精度な数を浮動小数点数の和で表す表現方法が利用できる。この表現方法を用いた計算は、最近点への丸めのみを用いて計算されており、従来の丸めの変更を行なうことが当然であった区間演算の計算規則には直接利用できないと考えられていた。しかし、我々の研究成果によって最近点への丸めのみで区間演算が実装できることにより、高精度区間演算の開発が容易になった。例外処理（アンダーフローやオーバーフローの対処）などを考慮し、区間の両端の数が浮動小数点数の和で表せる高精度区間演算法を確立した。

2.3 区間演算法を非線形楕円型偏微分方程式の解の検証へ応用

開発手法が高可搬な手法であるため、容易にその環境を利用できる。その一例として、開発した区間演算ライブラリを利用し、非線形楕円型偏微分方程式の解の検証を行った。ここでは平面上の一般的な多角形領域において、解析的に解くことがほとんど不可能な偏微分方程式を考える。近似解を数値計算によって得た場合に、提案した区間演算法を利用することで、近似解の妥当性を検証する。これは計算機援用証明といわれる。計算機援用証明に対する先行研究との差異として、我々は混合型有限要素法と Hypercircle equation を組み込み、任意多角形領域上での非線形楕円型偏微分方程式について同一なアルゴリズムでコンピューターによる解の存在性、局所的な一意性を検証する方法を開発した。この手法は Newton 法に対する Kantorovich の収束定理を用いて、非線形方程式の解を厳密に求める精度保証付き数値計算法の自然な拡張となっており、凸領域、非凸領域上の偏微分方程式に関係なく計算機援用証明が可能になった (図 1)。

さらに非線形問題の解の検証等に必要である、偏微分作用素の固有値に対する精度保証付き上界、下界評価式を提案した。提案手法は任意多角形領域上で偏微分作用素の固有値を順番に評価できるものであり、従来の計算機援用証明方法に比べて高可搬な方法となっている。これにより一般のユーザーが実際に精度保証付きの固有値評価を容易に計算することができる。

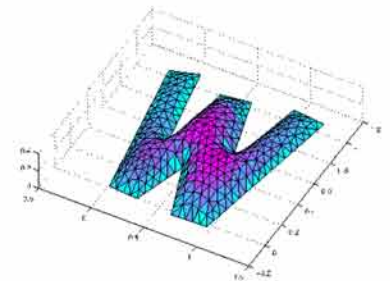


図 1：計算機援用解析例

3. 共同研究者

劉 雪峰 (理工学術院・次席研究員)
高安 亮紀 (理工学研究科・特別研究員)

山中 脩也 (理工学術院総合研究所・助教)

4. 研究業績

4.1 学術論文

N. Yamanaka, T. Okayama, S. Oishi, T. Ogita, A fast verified automatic integration algorithm using double exponential formula, *NOLTA, IEICE*, **1-1**, 119-132 (2010).

A. Takayasu, S. Oishi, T. Kubo, Numerical Existence Theorem for Solutions of Two-Point Boundary Value Problems of Nonlinear Differential Equations, *NOLTA, IEICE*, **1-1**, 105-118 (2010).

A. Takayasu, S. Oishi, A Method of Computer Assisted Proof for Nonlinear Two-point Boundary Value Problems Using Higher Order Finite Elements, *NOLTA, IEICE*, **2-1**, 74-89 (2011).

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

“精度保証付き数値計算のスケラビリティを保ったチューニング”, 第2回 自動チューニング技術の現状と応用に関するシンポジウム, 東京大学, 東京, 2010年11月.

“任意多角形領域上での楕円型作用素に対する精度保証付き評価”, 東京大学数値解析セミナー, 東京大学, 東京, 2010年11月.

“任意多角形領域上での楕円型作用素の精度保証付き評価”, 日本応用数理学会 若手の会, 国立情報学研究所, 東京, 2010年11月.

“楕円型非線形偏微分方程式の Dirichlet 境界値問題に対する精度保証付き数値計算法”, 東京大学数値解析セミナー, 東京大学, 東京, 2010年12月.

“任意多角形領域での有限要素法の事前誤差評価と楕円型微分作用素の固有値評価”, 線形計算研究会, 東京大学, 東京, 2010年12月.

4.4 受賞・表彰

SCILAB Toolbox Japan Contest 2010, 最優秀賞 (一般カテゴリ).

4.5 学会および社会的活動

研究代表者, RIMS 研究集会「科学技術計算アルゴリズムの数理的基盤と展開」, 2010年10月, 京都.

5. 研究活動の課題と展望

これまでの結果を基に, 現代の細分化したコンピュータアーキテクチャによらない, 最も高速で適応的に高精度化できる区間演算方式を確立予定である. 今後は初等関数の高精度計算の枠組みを基に, 指数関数, 対数関数や三角関数の高精度計算法の確立も検討する. これらを応用して計算機援用証明の分野においても, 偏微分作用素の固有値や偏微分方程式の解に関する高精度評価法の提案が考えられる. さらにこれまで考えられていなかった, スパース系線型方程式に対する反復解法に対して, その精度保証付き数値計算法の高精度化を目指す.

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) 生体分子分離・集積デバイス

細胞・生体分子の分離・集積を目的とした1入力ー2出力型マイクロソータとして、温度感応性ハイドロゲルをキャリア流体として用い、収束赤外線光で駆動する方式を採用することにより、分離速度 5msec で分離制度 93%以上を実現した。このソータにより 60 時間で 150 万個のミトコンドリアを分離できることを確認した。また、高スループット分離を目的として上記ソータの並列化・最適化について研究を進め、PDMS 2 層＋ガラス基板の構造に 3 次元並列流路を形成した 8 並列構造のマイクロ流体システムを作成した。これにより、E.coli Cell の分離について応答速度 10-20 msec、成功率 85-95%を実現できた。さらに、同時に多種類の生体分子を分離・集積可能な 1 入力ー4 出力マイクロソータを試作した。3 種類の分離を応答速度 10-20msec、成功率 80%以上で実現できた。これらの方式は、10nm～数μm の小さな生体分子の分離・収集方法として汎用性が高く、実用化に向けて研究を続けている。

(2) 高感度生体分子分析チップ

オルガネラやタンパク質等の生体分子の高速高効率分析を目的として、電気泳動分離チャンネルと質量分析器への導入部分となるイオン化電極を一体化したマイクロチップ (MCE-MS) を作製し、従来よりも高分解能で分析時間の短縮が図れることを実証した。また、液体クロマトグラフィーの分離コラムをシリコンの微細加工技術によるピラーアレイを用いて実現し、流路構造を最適化することにより、MEMS で作製されたマイクロチップでは初めて、従来の LC と遜色のない理論段数を得るとともに、大幅な分析時間の短縮を実現した。

(3) 多サンプル同時処理のためのマイクロ流体制御システム

集積回路のメモリのアドレスラインの考え方を応用して少ない圧力空気のコントロールラインで多数のバルブを独立に制御できるニューマティック型マイクロバルブアレーを開発した。256 個の集積化マイクロバルブアレーのプロトタイプを PDMS 3 層構造で作製し、大規模マイクロ流体システムの制御プロトコルを確認した。

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. H. Shinohara, J. Mizuno, S. Shoji, "Au-Electrode-Embedded Cyclo-Olefin Polymer Microchip Using Low-Temperature Direct Bonding", IEEE Transactions on Sensors and Micromachines Vol.130, No.8 (2010) pp.347-350
2. 北川文彦、篠原秀敏、水野潤、大塚浩二、庄子習一、「ナノスプレー一体型ポリマー製マイクロチップにおける電気泳動分離—質量分析検出」、電気学会論文誌 E、130巻8号(2010) pp.351-355
3. H. Sugino, T. Arakawa, Y. Nara, Y. Shirasaki, K. Ozaki, S. Shoji, T. Funatsu, "Integration in a Multilayer Microfluidic Chip of 8 Parallel Cell Sorters with Flow Control by Sol-Gel Transition of Thermoreversible Gelation Polymer", Lab on a Chip, 2010,10 (2010) pp.2559-2565
4. K. Ozaki, H. Sugino, Y. Shirasaki, T. Aoki, T. Arakawa, T. Funatsu, S. Shoji, "Microfluidic Cell Sorter with Flow Switching Triggered by a Sol-Gel Transition of a Thermo-Reversible Gelation Polymer", Sensors and Actuators B 150 (2010) pp.449-455
5. H. Sugino, K. Ozaki, Y. Shirasaki, T. Aoki, T. Arakawa, D.H. Yoon, S. Shoji, T. Funatsu, "Ultimate Hydrogel Thermal-Transition Based Flow Control System for User-Friendly Particle and Cell Sorting", The 14th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences: μ TAS 2010, 2010.10.03-07, Groningen, The Netherlands (2010) pp.244-246
6. Y. Shirasaki, M. Goto, H. Sugino, T. Arakawa, D.H. Yoon, J. Mizuno, S. Shoji, T. Funatsu, O. Ohara, "A Microfluidic Mammalian Cell Sorter with Thermal Gelation Polymer Solution", The 14th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences: μ TAS 2010, 2010.10.03-07, Groningen, The Netherlands (2010) pp.1571-1573
7. E Ashihara, T. Munaka, S. Kimura, M. Kanai, H. Abe, H. Hirai, S. Shoji, T. Maekaw, "Isopentenyl Pyrophosphate (IPP), a Metabolite produced in Myeloma Cells, Induces the Chemotaxis of $\gamma\delta$ T Cells", 52 American Society of Hematology Annual Meeting, 2010.12.04-07, Orlando, USA (2010)
8. Y. Harada, K. Kawai, S. Shoji, "On-Chip Gas Concentration Gradient Formation Using PoreflonTM and NeoflonTM for In Vitro Observation of Cancer Cell", The 14th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences: μ TAS 2010, 2010.10.03-07, Groningen, The Netherlands (2010) pp.551-553

4. 研究活動の課題と展望

本年度は、ナノ／マイクロデバイスの要素技術・基本デバイスの改良を中心に研究を進めた。次年度は、その成果を基にして基本デバイスを組み合わせたのシステム化に向けた基礎検討を進めて行く予定である。

ロボティック・センス・オブ・ムーブメント

研究代表者 高西 淳夫
(理工学術院・総合機械工学科・教授)

1. 研究課題

ヒトの前庭器官に相当する感覚器を頭部に持つ2足ヒューマノイド・ロボットを開発し、ヒト感覚・運動機能の解明を目的とする。ヒトは頭部の半規管で角速度を、耳石器で加速度を検出しており、これらの情報と網膜から得られる視覚情報を用いて、頭の位置が大きく動かないように歩行を安定化している。この現象は神経科学分野で“Head Stabilization”といわれている。

まず本研究では、Head Stabilization をモデル化し、2足ヒューマノイド・ロボットへの実装を通してヒトの歩行と比較することで、Head Stabilization の原理解明を目指す。また、頭部の角速度や加速度に基づいた眼球運動を定式化し、Head Stabilization と統合することで、前庭器官からの情報に基づいた眼球、頭部、脚部の協調運動の実現を目指す。以上のことにより、全身を協調させた視標追従運動が2足ヒューマノイド・ロボットで実現できると考える。従来の研究では、歩行安定化と外部環境認識については別々の問題として扱われていたが、どちらも前庭器官の情報を利用することで、2足歩行ロボットの飛躍的な運動性能の向上が期待される。

2. 主な研究成果

2.1 頭部基準座標系に基づいた運動生成法の構築

これまでに2足ヒューマノイド・ロボットを用いて、膝を伸ばした歩行や踵接地・爪先離地歩行などの人間らしい歩行を実現してきた。しかし、“膝を曲げた歩行”と“膝を伸ばした歩行”において、下肢部の各関節軌道を求める逆運動学計算が異なっており、それぞれの歩行を滑らかに切り替えることができなかった。また、ロボット腰部に設定した運動座標系から足先部の位置・姿勢を記述し、それを満たす各関節軌道を求める逆運動学を解いていた。この方法は下肢の運動のみに注目する場合は問題ないが、Head Stabilization などの全身の運動に着目する場合は、汎用性に欠けるという問題点があった。

そこで、零空間を利用した2足ヒューマノイド・ロボットのための新たな逆運動学を構築した。この逆運動学を用いれば、従来手法では難しかった頭部の動きを小さくしたような歩行パターンの生成も可能になり、また膝曲げ歩行・膝伸展歩行の切り替えに関しても、滑らかに行うことが可能になった(図1)。

2.2 頭部に前庭器官を持つ2足ヒューマノイド・ロボット頭部の設計・製作

これまでに開発してきた2足ヒューマノイド・ロボット頭部には、人間の前庭器官に相当するセンサが搭載されていなかった。そこで図2に示すように、IMU (Inertial Measurement Unit) を搭載した新型頭部を開発した。

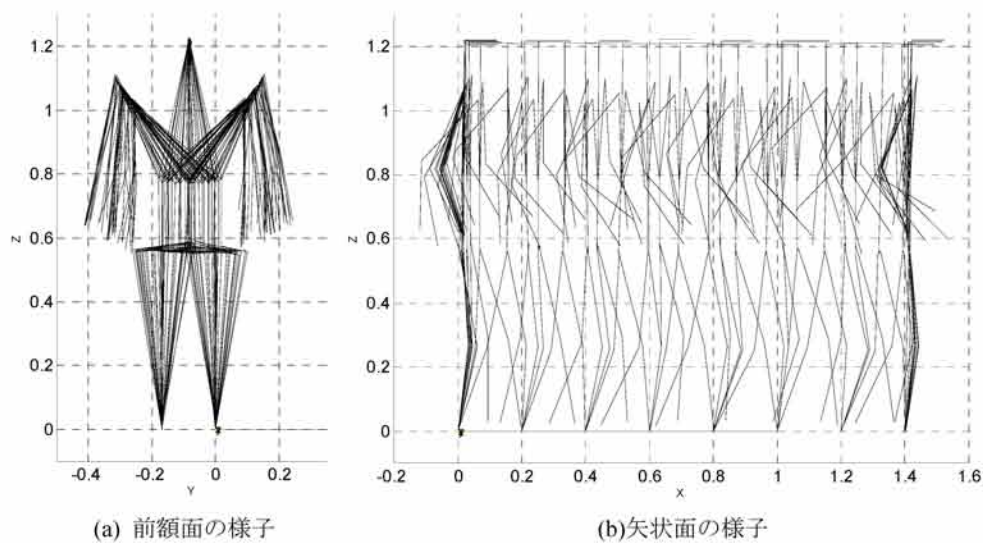


Fig. 1 頭部の動きを抑制した歩行運動のスティック線図

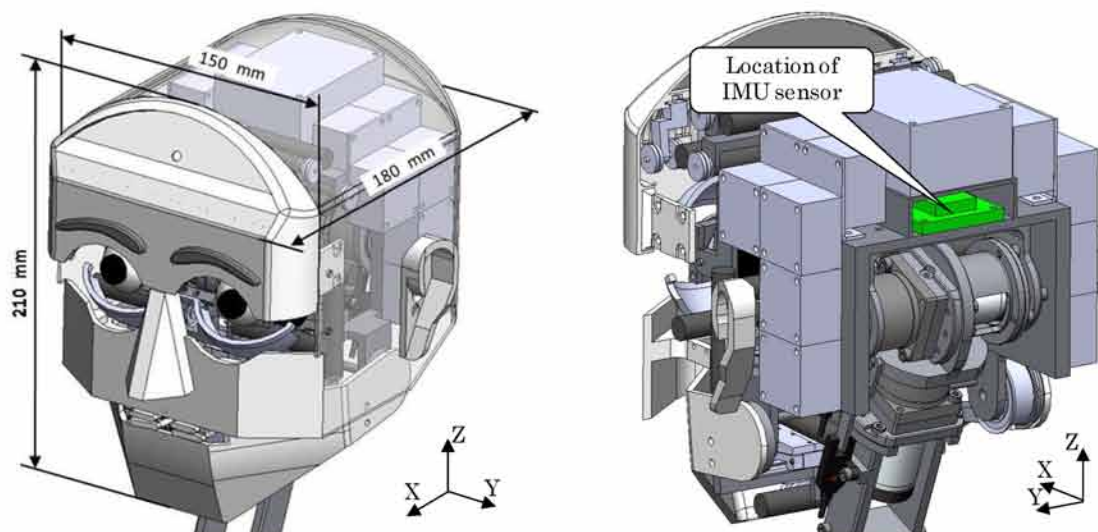


Fig. 2 IMU を搭載した2足ヒューマノイド・ロボットの新型頭部

3. 共同研究者

橋本 健二 (理工学術院・研究院講師)
 遠藤 信綱 (理工学術院・研究助手)
 林 憲玉 (理工研・客員教授)

Aiman Musa Mohamed Omer (理工学術院・助手)
 姜 賢珍 (理工学術院・研究助手)

4. 研究業績

4.1 学術論文

4.2 総説・著書

- Kenji Hashimoto, Yuki Takezaki, Kentaro Hattori, Hideki Kondo, Takamichi Takashima, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, "Development of New Biped Foot Mechanism Mimicking Human's Foot Arch

Structure,” ROMANSY 18: Robot Design, Dynamics, and Control, Springer-Verlag, pp. 249-256, 2010. (ISBN-9783709102763)

4.3 招待講演

4.4 受賞・表彰

- 2010 IFToMM Award of Merit

4.5 学会および社会的活動

- Steering Committee, “ROMANSY 2010 18th CISM-IFTToMM Symposium on Robot Design, Dynamics, and Control,” Udine, Italy, July, 2010.
- General Chair, “Italy-Japan Workshop 2010 -Robotics and Education in Italy and Japan-,” Tokyo, Japan, December, 2010.

4.6 国際会議における発表

- Hyun-jin Kang, Kenji Hashimoto, Hideki Kondo, Kentaro Hattori, Kosuke Nishikawa, Yuichiro Hama, Hun-ok Lim, Atsuo Takanishi, Keisuke Suga and Keisuke Kato, “Realization of Biped Walking on Uneven Terrain by New Foot Mechanism Capable of Detecting Ground Surface,” Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 5167-5172, May, 2010.
- Hideki KONDO, Atsuo TAKANISHI and Kenji HASHIMOTO, “FFT-based Short Period Walking Pattern Generation for Humanoid Robot having Predictability of Environment,” Proceedings of the 2010 Robotics: Science and Systems Conference: Workshop on Predictive Models in Humanoid Gaze Control and Locomotion, WS4, June, 2010.
- Kenji Hashimoto, Yuki Takezaki, Kentaro Hattori, Hideki Kondo, Takamichi Takashima, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, “A Study of Function of the Human’s Foot Arch Structure Using Biped Humanoid Robot,” Proceedings of the 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2206-2211, October, 2010.

4.7 国内学会・シンポジウム等における発表

- 橋本健二, 吉村勇希, 近藤秀樹, 林憲玉, 高西淳夫, “人体運動シミュレータとしての2足ヒューマノイドロボットの開発 (第11報: 両足の滑りを利用した高速な旋回運動の実現),” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010, 2A2-D23, 2010年6月.
- 近藤秀樹, 濱雄一郎, 橋本健二, 林憲玉, 高西淳夫, “人体運動シミュレータとしての2足ヒューマノイドロボットの開発 (第12報: 下肢協調型適応動作による路面に応じた歩行),” 日本ロボット学会第28回学術講演会予稿集, 2010年9月.

5. 研究活動の課題と展望

本年度で Head Stabilization をロボットに実装する下準備が整ったので, 今後は Head Stabilization をモデル化し, それを2足ヒューマノイド・ロボットに実装していく.

ゲノム情報を利用した新しいバイオプロセス開発研究

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

ゲノム解析技術の進展によって明らかにされてきた微生物、植物の膨大なゲノム情報は、酵素の探索・解析研究に活用可能であり、産業上有用なバイオプロセスの開発を加速化できると考えられる。本プロジェクト研究では、「ゲノム情報を利用した新しいバイオプロセス開発研究」の第三期目として、高機能型ペプチド創製に向け任意のペプチド合成を可能にするバイオプロセスの開発を目指す。さらに、同プロジェクト第二期の成果として挙げたアミノ酸の酵素的直接水酸化技術を高度化させ、多様な有用水酸化酵素ライブラリーの構築も推進していく。本年度は、アミノ酸／ペプチド合成酵素ライブラリーの増強と図るとともに、オリゴペプチド合成プロセスを検討した

2. 主な研究成果

2.1 オリゴペプチド合成酵素の発見と合成プロセスの開発

ペプチドは生体内における生理機能を担う重要な化合物のひとつであり、近年の研究によって、医薬品、化成品、健康食品、機能性素材など多彩な分野での利用可能性が期待されている有用な化合物である。本プロジェクトでは、遊離のアミノ酸を直接連結して多様なペプチドを合成可能な L-アミノ酸 α -リガーゼ (Lal) の探索と当該酵素を利用したオリゴペプチド合成を検討した。天然には抗生物質をはじめ、多様な二次代謝産物を産生する微生物が数多く存在する。こうした中、自然界に広く存在するペプチド性抗生物質生産菌に Lal 活性があると予測し、それらの微生物からの新規 Lal の探索と取得を試みた。

Bacillus subtilis NBRC 3134 が産生する Rhizocticin A は L-Arg と L-2-amino-5-phosphono-3-cis-pentanoic acid から成るペプチド性抗生物質である。ヒドロキシルアミンと鉄を用いた比色分析による簡便・迅速なペプチド合成活性検出法を確立し、タンパク質精製により当該微生物より Rhizocticin 合成を担う酵素 RizA の取得に成功した。RizA は L-Pro を除く 19 種のタンパク性アミノ酸のから成るジペプチドを合成し、L-Arg を N 末端に配したヘテロジペプチド合成反応を触媒することを明らかにした。

RizA の精製と遺伝子クローニングには成功したものの、当初予想したトリペプチド合成活性は無かったため、*B. subtilis* NBRC 3134 のゲノム上における *rizA* 遺伝子の周辺領域の塩基配列を解析したところ、Rhizocticin 誘導体の合成を担う酵素遺伝子 *rizB* を見いだした。RizB およびそのホモログ酵素はトリペプチド以上のオリゴペプチド合成活性を有しており、当該活性はこれまでに全く報告例が無い新規な酵素であることを明らかにした。

さらに、自然界における植物病原ペプチドの生産菌にも着目し、ゲノム情報から Lal の探索を試みたところ、かさ枯れ病菌 *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* やタバコ野火病菌 *P. syringae* NBRC 14081 における植物病原ペプチド合成遺伝子クラスターからジペプチドを合成可能な新規 Lal を見いだした。特に、タバコ野火病原原因物質 Tabtoxin (図 1) 合成酵素と推定した TabS は、

既報の Lal と比較してきわめて広範な基質特異性を有しており、135 種類にも及ぶジペプチドを合成可能な酵素であった。



図 1. Tabtoxin とタバコ野火病.

2.2. アミノ酸水酸化酵素の探索とヒドロキシアミノ酸生産プロセスの構築

アミノ酸に水酸基が導入されたヒドロキシアミノ酸は、ユニークな生理活性を有しており、医薬、農薬の合成中間体として工業的に有用な化合物群のひとつである。例えば、タンパク質性のセリン、スレオニン、ヒドロキシプロリンに加え、非タンパク質性のヒドロキシイソロイシン、ヒドロキシトリプトファンなどが挙げられる。セリンやスレオニンは既に工業生産されており、特に、スレオニンは大腸菌を用いたグルコースからの直接発酵により、100 g/L 以上の工業生産プロセスが構築されている。最近では、協和発酵の柴崎らにより土壌より得られた稀少放線菌 *Dactylosporangium* sp. から L-プロリン *trans*-4-水酸化酵素が見いだされ、L-プロリンに位置・立体選択的に直接水酸基を導入することで、*trans*-4-ヒドロキシプロリン (*trans*-4-HYP) を効率的に生産し、社会的に大きなインパクトを与えた。しかし、合成可能な水酸化アミノ酸の数は十分とはいえず、プロセスのさらなる拡充が必要とされている。そこで本研究では、従来のアミノ酸水酸化酵素の知見とゲノム情報を駆使し、新規な水酸化酵素の探索と、当該酵素を利用したヒドロキシアミノ酸の工業的生産プロセスの構築を目指している。

trans-4-HYP の立体異性体である *cis*-4-ヒドロキシプロリン (*cis*-4-HYP) は、抗腫瘍活性を有するのみならず、種々の医薬品の骨格に利用できる有用な化合物である。しかし、化学的に *cis*-4-HYP を合成するには多段階反応と煩雑な精製が必要であったことから、より効率的な製造方法が求められていた。本研究では、酵素的生産法において重要な L-プロリン *cis*-4-水酸化酵素の取得に向けて種々の検討を行った。

まず、遊離のプロリンを水酸化可能な酵素のなかで唯一 X 線結晶構造が明らかにされている L-プロリン *cis*-3-水酸化酵素の立体構造に着目した。当該酵素は、C 末端に独自のドメインを有しており、当該ドメインと構造上類似する機能未知タンパク質が、従来とは異なる酵素であると予測し、候補タンパク質をコードする遺伝子を大腸菌において発現させ、機能を解析した。すると、ミヤコグサ根粒菌 *Mesorhizobium loti*、アルファルファ根粒菌 *Sinorhizobium meliloti* 由来のタンパク質から L-プロリン *cis*-4-水酸化活性を見いだした。当該酵素は 2-オキソグルタル酸依存型ジオキシゲナーゼであり、反応機構は *trans*-4-水酸化酵素や *cis*-3-水酸化酵素と共通点が多かった。また、反応には主に基質と 2-オキソグルタル酸が必要で、高価な補酵素を必要としない利点があったことから、微生物発酵に基づく生産プロセスに適用可能と考えられた。実際に、2-オキソグルタル酸をグルコースから供給するプロセス (図 2) を検討したところ、実験室レベルで 9.2 g/L の *cis*-4-HYP

を生産し、工業生産への可能性が示された。現在、本酵素は協和発酵バイオに技術譲渡され、*cis*-4-HYP の工業生産に向けたパイロット試験が行われている。

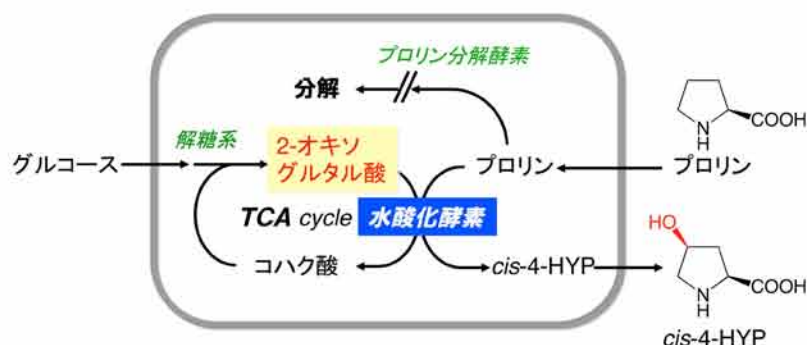


図 2. 菌体反応系による *cis*-4-HYP 生産. 水酸化酵素:L-プロリン *cis*-4-水酸化酵素.

3. 共同研究者

矢ヶ崎 誠 (理工学術院総合研究所・客員研究員)

古屋 俊樹 (理工学術院総合研究所・次席研究員)

新井 利信 (理工学総合研究所・研究助手)

佐藤 大 (先進理工学研究科・研究助手)

原 良太郎 (先進理工学部・助手)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- 1) T. Arai, K. Kino, New L-Amino Acid Ligases Catalyzing Oligopeptide Synthesis from Various Microorganisms, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **74**, 1572-1577 (2010).
- 2) K. Kino, Novel L-Amino Acid Ligases Catalyzing Oligopeptide Synthesis, *Yakugaku Zasshi*, **130**, 1463-1469 (2010).
- 3) R. Hara, K. Kino, Industrial Production of *threo*-3-Hydroxy-L-Aspartic Acid Using *Escherichia coli* Resting Cells, *J. Biotechnol.*, **150**(S1), 373 (2010).
- 4) T. Furuya, S. Hirose, H. Osanai, H. Semba, K. Kino, Identification of the Monooxygenase Gene Clusters Responsible for the Regioselective Oxidation of Phenol to Hydroquinone in *Mycobacteria*, *Appl. Environ. Microbiol.*, **77**, 1214-1220 (2011).
- 5) K.Y. Hara, R. Suzuki, T. Suzuki, M. Yoshida, K. Kino, ATP Photosynthetic Vesicles for Light-Driven Bioprocesses, *Biotechnology Letters*, **33**, 1133-1138 (2011).
- 6) K. Kino, T. Arai, Y. Arimura, Poly- α -glutamic Acid Synthesis Using a Novel Catalytic Activity of RimK from *Escherichia coli* K-12, *Appl. Environ. Microbiol.*, **77**, 2019-2025 (2011).
- 7) T. Nakagawa, R. Satake, M. Sato, K. Kino, Structure-Based Modification of D-Alanine-D-Alanine Ligase from *Thermotoga maritima* ATCC 43589 for Depsipeptide

Synthesis. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **75**, 700-704 (2011).

4.2 総説・著書

- 1) T. Furuya, K. Kino, Genome Mining Approach for the Discovery of Novel Cytochrome P450 Biocatalysts, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **86**, 991-1002 (2010).
- 2) 木野邦器 (分担執筆) “酵素利用技術大系”, 第2編 酵素を視る 第5章 ゲノムからのスクリーニング 第1節 ゲノムからの新規酵素のスクリーニング, エヌ・ティー・エス, 144-148 (2010).

4.3 招待講演

- 1) 木野邦器“オリゴペプチド合成を触媒する新規アミノ酸リガーゼ” 第62回日本生物工学会年次大会 : JBA 新資源生物変換研究会共催シンポジウム, 宮崎, 2010年10月.

4.4 受賞・表彰

- 1) BBB 論文賞 “A Novel L-Amino Acid Ligase from *Bacillus subtilis* NBRC3134 Catalyzes Oligopeptide Synthesis”, 2010年度, 日本農芸化学会.
- 2) 日本農芸化学会トピックス賞 “新しい動脈弛緩ジペプチドとその血圧降下作用”2010年度, 日本農芸化学会.
- 3) 日本生物工学会トピックス “Tabtoxin 合成細菌からの新規 L-アミノ酸リガーゼの取得”2010年度, 日本生物工学会.

4.5 学会および社会的活動

- 1) T. Arai, Y. Arimura, K. Kino, New L-amino acid ligase from *Pseudomonas syringae* NBRC14081 producing tabtoxin, The 31th European Peptide Symposium, Copenhagen, Denmark, September 2010.
- 2) R. Hara, K. Kino, Industrial Production of *threo*-3-Hydroxy-L-Aspartic Acid Using *Escherichia coli* Resting Cells, 14th International Biotechnology Symposium and Exhibition, Rimini, Italy, September, 2010.
- 3) 古屋俊樹, 木野邦器, ゲノム情報を利用した酸化酵素の探索と生体触媒への応用, 生体触媒化学シンポジウム, 静岡, 2010年9月.
- 4) 石倉峻, 有村泰宏, 新井利信, 木野邦器, Tabtoxin 合成細菌からの新規 L-アミノ酸リガーゼの取得, 日本生物工学会, 宮崎, 2010年10月.
- 5) 古屋俊樹, 廣瀬里美, 仙波尚, 木野邦器, *Mycobacterium goodii* 12523株のフェノール酸化酵素遺伝子の同定, 日本生物工学会, 宮崎, 2010年10月.
- 6) 荒井友香, 古屋俊樹, 木野邦器, 2-ナフトエ酸モノオキシゲナーゼ CYP199A2 の位置選択性の改変, 日本生物工学会, 宮崎, 2010年10月.
- 7) 原良太郎, 木野邦器, 組換え大腸菌の菌体反応を利用した L-*threo*-3-ヒドロキシアスパラギン酸の合成, 日本生物工学会, 宮崎, 2010年10月.
- 8) 中川友希, 佐藤大, 木野邦器, 耐熱性 D-アラニル-D-アラニンリガーゼの改変とデプシペプチド合成, 酵素工学会, 東京, 2010年11月.
- 9) 新井利信, 有村泰宏, 木野邦器, 植物病原性ペプチド合成細菌からの新たな L-アミノ酸リガ

ーゼの取得, 酵素工学会, 東京, 2010 年 11 月.

- 10) 青柳大介, 石井義孝, 内海尚子, 西川正信, 木野邦器, *Verticillium kibiense* E18 株由来 NRPS 様遺伝子の網羅的な発現解析, 酵素工学会, 東京, 2010 年 11 月.
- 11) 古屋俊樹, 荒井友香, 木野邦器, シトクロム P450 モノオキシゲナーゼ CYP199A2 およびその改変酵素を利用した芳香族ヒドロキシカルボン酸の合成, 酵素工学会, 東京, 2010 年 11 月.
- 12) 原良太郎, 木野邦器, *Streptomyces coelicolor* A3(2)由来アスパラギン水酸化酵素の機能解析と L-threo-3-ヒドロキシアスパラギン酸の生産への応用, 日本農芸化学会, 京都, 2011 年 3 月.
- 13) 新井利信, 石倉峻, 有村泰宏, 木野邦器, Tabtoxin 合成細菌由来 L-アミノ酸リガーゼ(TabS)の諸性質解析, 日本農芸化学会, 京都, 2011 年 3 月.
- 14) 古屋俊樹, 木野邦器, シトクロム P450 モノオキシゲナーゼ CYP199A2 およびその変異酵素を利用したケイ皮酸類の水酸化, 日本農芸化学会, 京都, 2011 年 3 月.
- 15) 中川友希, 佐藤大, 木野邦器, C 末端プロリン含有ジペプチドの酵素的合成法の開発, 日本農芸化学会, 京都, 2011 年 3 月.
- 16) 青柳大介, 石井義孝, 内海尚子, 西川正信, 木野邦器, *Verticillium kibiense* E18 株由来 NRPS 様遺伝子の解析, 日本農芸化学会, 京都, 2011 年 3 月.
- 17) 影林皆美, 紺谷徳泰, 山田優子, 新井利信, 木野邦器, 大日向耕作, 新しい動脈弛緩ジペプチドとその血圧降下作用, 日本農芸化学会, 京都, 2011 年 3 月.

5. 研究活動の課題と展望

本研究で得られたアミノ酸／ペプチド合成酵素は新規性が高く、いずれも工業生産への応用が期待されるものである。今後は、酵素ライブラリーの拡充とともに、既得の酵素に変異を加え、高機能型酵素の創製を図る。さらに、これらを用いて実用的なバイオプロセスの構築を目指した検討を行う。

施設管理・運用に関する研究

研究代表者 小松 幸夫
(創造理工学部 建築学科 教授)

1. 研究課題

わが国の地方自治体や政府が所有する不動産施設は約 470 兆円、民間企業などの法人所有不動産は 490 兆円である。これらは、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(LCC)の適正化など様々な課題を抱えている。本研究はこれらの公共及び民間の不動産、特に施設を対象にして運営段階における経営およびマネジメントに関する研究を行う。

2. 主な研究成果

2.1 青森県における資産戦略策定のための調査研究

青森県の社会状況及び県有施設状況分析を踏まえて資産戦略の目標値設定を試みた。

まず、人口減少の推移に合わせて県有施設の総量を縮減するものと仮定すると、2035 年までに 2007 年のストック総量に比べて約 25%の施設を縮減する必要がある。この総量縮減が実現できれば、現状を維持する場合に比べると 37%の LCC 削減効果が期待できる。

次に、計量経済学的方法を用いて 2040 年までの財政状況推移を推計すると、2040 年の歳入は 2010 年の 68%にまで減少すると予想された。それに対応させるとすると、施設にかかるコストも 32%以上を削減しないと現状維持ができないことになる。この仮定を元に年間平均 LCC を 32%削減することを目標として、具体的な施設の削減を想定した LCC シミュレーションを行った。その結果、現在より 19%の施設縮減により目標が達成できるとの結果を得た。

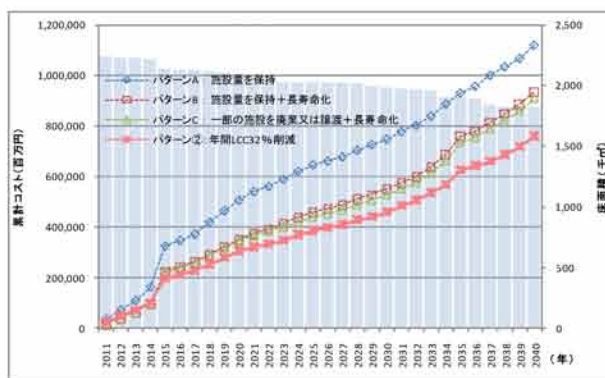


図1 県有施設全体の累積コストの推移

	パターン② 年間 LCC32%削減	パターン A 施設量を保持	パターン B 施設量を保持 +長寿命化	パターン C 施設量 4%削減 +長寿命化
LCC 総額 2040 年まで	7,600 億円	11,196 億円	9,343 億円	9,083 億円
パターン②のコスト削減効果（年間） ②-A~C）÷30 年		120 億円/年	58 億円/年	50 億円/年
パターン②のコスト削減率 ②-A~C）÷A~C		32%	19%	16%
施設総量の削減率	19%			4%

図2 設定目標値「年間 LCC32%削減」の LCC シミュレーション結果

2.2 福島県における施設点検優先順位設定のための調査研究

本調査研究は、福島県の各施設における管理運営担当者を対象としたアンケート調査の回答を基に、様々な視点からの建物・施設評価を行う手法の検証を行い、簡易かつ明快な手順による優先順

位の決定や評価方法を示すことを目的としたものである。

(1) 調査・点検建物の優先順位選定

調査・点検を早急に行わなければならない建物について、選定及び実施の優先順位の決定方法を以下のようにして導いた。

(2) 施設による優先順位の選定

施設の用途によって点検を優先すべき対象となる建物が多くなる場合があり、全 262 施設について調査・点検の優先順位を決定する方法について検討した。本調査では、優先順位の高い建物が含まれる施設から順に実施することとし、まず施設内の対象建物の数によって優先順位を決定する方法を検討した。調査・点検を効率的に行うためには、移動にかかる時間や手間を削減する必要がある。そこで移動距離をできるだけ短くすることを考えて、同じ施設内で調査・点検を実施しなければならない建物が多い施設から優先的に実施するという方法を提案した。以下に対象施設の優先順位を導き出す手順を示す。

(3) 現地調査の対象と手順の選定

現地調査では、目視や簡単な測量器具を用いた一次診断の実施を前提に、対象建物の抽出・優先順位を決定したので、重要度 1 に設定した 5 項目に対する一次診断が中心になる。それら 5 項目の調査・点検ポイントと手順は以下の図のようになる。



図3 施設調査・点検優先順位選定のフロー

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（早稲田大学・創造理工学部・建築学科・助手）

4. 研究業績

4.1 学術論文

なし

4.2 総説・著書

(1) 中長期志向で不動産を運営するための組織体制と施設再投資のあり方、板谷敏正、月刊プロパティマネジメント、2010年11月

(2) 中長期志向の施設マネジメントからみた今後のビルメンテナンス、板谷敏正、BELCA

NEWS、2010 年 11 月

- (3) 長寿命化のあとには何がくるか、小松幸夫、BELCA NEWS、2011 年 1 月

4.3 招待講演

- (1) クラウドが拓く建設・不動産業の競争戦略（芝浦から誕生した社内ベンチャー企業の経験から）、板谷敏正、芝浦工業大学主催「東京ベイエリア産学官連携シンポジウム」、2010 年 12 月
- (2) 建物は何年もつか、小松幸夫、青森県主催「ファシリティマネジメント講演会」、2011 年 2 月

4.4 受賞・表彰

- (1) ファシリティマネジメント大賞『功績賞』、板谷敏正・学位論文「法人所有不動産の施設マネジメントに関する経営的視点からの分析」、2011 年 2 月、JFMA FORUM

4.5 学会及び社会的活動

- (1) 効率的な建物の点検・改修周期に関する考察、堤洋樹、李祥準、平井健嗣、小松幸夫、大韓建築学会学術講演大会論文集、2010 年 10 月 23 日
- (2) 公共施設維持管理手法に関する研究（学校施設一元管理における保全情報システムの活用）、平井健嗣、李祥準、堤洋樹、小松幸夫、大韓建築学会学術講演大会論文集、2010 年 10 月 23 日
- (3) 日本の公共施設マネジメントの現状と問題点、李祥準、平井健嗣、堤洋樹、小松幸夫、大韓建築学会学術講演大会論文集、2010 年 10 月 23 日
- (4) ネーミングライツの実態調査、増川雄二、平井健嗣、李祥準、小松幸夫、大韓建築学会学術講演大会論文集、2010 年 10 月 23 日
- (5) Investigation of Municipal Facility Management on Japan, Sangjun YI, Kenji HIRAI, Hiroki TSUTSUMI, Yukio KOMATSU, Conference on Korea Institute of Construction Engineering and Management, Nov. 2010.

5. 研究活動の課題と展望

公共施設は国民の税金によって運営されるものであり、今後さらに厳しくなる財政状況と人口減少を想定すると既存のすべての施設に多額の費用をかけて運用していくことは難しくなる。今後は施設の物理的な状況を保全するというだけではなく、利用状況、所有団体の財政状況などを踏まえた現実的な維持管理手法を工夫することが重要である。また施設情報の記録については、書式や項目分類の基準が多様であり、そのために相互にデータの比較分析を行うことが容易ではない。このことが施設マネジメントを困難にしている面があるので、その推進には施設基本情報についてのフォーマットを標準化していくことが大きな課題のひとつになるものと考えられる。

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

軽水冷却スーパー高速炉の研究開発を行った。

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。超臨界圧では気水分離の必要がなく体積当たりの冷却水エンタルピーも大きいので単純でコンパクトな発電プラントができる。この貫流型プラントは水冷却の高速炉心と相性がよく、減速材が不要で出力密度が高い高速炉の利点を最大限に発揮できる。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。

スーパー高速炉の研究開発はその実現を目指して設計と炉物理、伝熱流動、材料・冷却材相互作用の試験を行う。これにより安全設計裕度と経済性にともに優れた実用規模のプラント概念を明らかにし、開発の基盤データを整備する。具体的には電気出力 100 万キロワットクラスの大型炉心を炉内流動や解析法の改良、グリッドスペーサ効果を取り入れて設計し、安全解析により設計裕度を明らかにする。伝熱流動試験は燃料被覆管の健全性評価に重要なサブチャンネル流動と高エンタルピー領域に焦点を置いて行う。材料・冷却材相互作用は金属溶解・析出による質量移行試験、高温水蒸気酸化試験、酸化被膜の溶出・析出挙動把握により未知の課題の知見を得る。

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、日本原子力研究開発機構、テプコシステムズと産総研の協力をえて実施する。

2. 主な研究成果

平成 22 年度は 3 年計画の初年度である。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）

スーパー高速炉の 3 次元炉心設計手法を改良した。汎用流体解析ソフトおよび超臨界圧水の物性値テーブルを導入し、炉内流動の試計算を実施した。汎用流体解析ソフト環境の整備を行い、燃料・スペーサ設計に関する試計算を実施した。燃料集合体設計を検討した。既存のスーパー高速炉用の安全解析コードを改修する。改修したコードを用いて予備的な安全解析を実施した。

2.1.2 大型炉設計（安全解析）

炉内流動方式が安全性に与える影響を明らかにするために、安全解析コードを用いて炉内流動方式と出力密度との関係について検討した。

2.1.3 原子炉特性考察

炉心設計に関するモデル化の検証、評価法の妥当性について既往の炉心燃料設計における経験をもとに考察した。また、グリッドスペーサ形状を含む燃料集合体設計について、構造としての基本的な成立性、予想される核熱的特性について考察し、次年度以降に行われる炉心設計全体との整合性確保を検討した。

2.1.4 炉物理基盤実験データ整備

高速炉臨界実験装置（FCA）において実施する実験に関して、炉心のサーベイ計算を実施し

て、実験候補炉心を選定した。

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

模擬流体を用いたサブチャンネルの流量配分試験に使用する4本バンドル試験体の設計と、この試験体を組み込むために平成18年度に取得した模擬流体伝熱流動試験装置の改造設計を行った。

2.2.2 超臨界水伝熱流動試験

単管流動試験装置を製作するとともに、この装置を平成19年度に取得した燃料棒群特性試験部へ設置し、超臨界水の非加熱単管流路上昇流における圧力損失データを取得するために流動試験を実施した。

2.2.3 伝熱流動解析

スーパー高速炉の伝熱流動解析用に拡張したACE-3Dコードを用いて、燃料集合体の一部を模擬した体系に対するパラメータ解析を行い、クロスフロー挙動の定量評価解析に必要な体系の諸元、解像度等を明らかにし、解析体系を構築した。また、構築した解析体系において、燃料棒の出力をパラメータとした熱流動解析を実施し、クロスフロー量への出力の影響を評価した。

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

次年度質量移行実験装置作製のための超臨界水中酸化試験装置設計として、試作腐食用オートクレーブの昇温部分を製作、組み上げ、流量1L/hrのもとで温度を250℃から550℃まで連続的に昇温できる事を確認するとともに、上記オートクレーブを構成するテストユニット内の温度分布を実験的に評価した。

2.3.2 高温水蒸気酸化試験

常圧過熱水蒸気酸化試験装置を用いて、燃料被覆管あるいは炉内構造物の候補材料について高温水蒸気酸化挙動を評価した。酸化速度に及ぼす合金種、冷間加工、酸素分圧の影響を調査し、超臨界圧下での酸化動力学試験において評価すべきパラメータを抽出した。

2.3.3 溶出・析出挙動把握

スーパー高速炉では冷却材の密度が大きく変化し、湿食から水蒸気腐食まで環境が連続的に変化する。そこで、構造金属材料表面に酸化皮膜が形成されていることを前提に、その溶出／析出傾向に関する情報を把握するため、超臨界圧下で常温から高温に至るまでの広範な密度条件において、基本となる金属酸化物である酸化第2鉄 (Fe_2O_3)、酸化第2クロム (Cr_2O_3)、酸化ニッケル (NiO) などの純水中への溶解度の推算システムを開発し、必要な溶解度データを求めた。

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 (理工学術院・次席研究員)

Zhu Xiaojing (理工学術院・次席研究員)

Wu Feng (理工学術院・次席研究員)

山川 正剛 (理工学術院・客員主任研究員)

3. 研究業績

3.1 学術論文

- [1] T. Nakatsuka *et al.* “Current Status of Research and Development of Supercritical Water Cooled Fast Reactor (Super Fast Reactor) in Japan”, *IAEA Technical Committee Meeting on SCWRs*, Pisa, Italy, July 2010.
- [2] Y. Oka *et al.*: “Super Fast Reactor R&D Projects in Japan, (1) Overview”, *Proc. of ICONE19*, ICONE19-43702, Chiba, Japan, May 2011.
- [3] Y. Ishiwatari, C. Y. Han, Y. Oka and S. Ikejiri: “Super Fast Reactor R&D Projects in Japan, (2) Fuel and core design study”, *Proc. of ICONE19*, ICONE19-43609, Chiba, Japan, May 2011.
- [4] J. Gou, Z. Shang, Y. Ishiwatari, Y.Oka, M. Yamakawa, S. Ikejiri: “CFD Analysis of Heat Transfer in Subchannels of a Super Fast Reactor”, *J. Nucl. Eng. and Des.* 240(2010)1819-1829.
- [5] Y. Ishiwatari, C. Peng, S.Ikejiri and Y. Oka: “Improvements of Feedwater Controller for the Super Fast Reactor”, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 47, [12], 1155–1164, (2010).
- [6] H. Lu, Y.Ishiwatari and Y. Oka: “Study on the LLFPs transmutation in a super-critical water-cooled fast reactor”, *J.Nucl. Eng. and Des.* 241 (2011) 395–401.

3.2 総説・著書

- [1] Y. Oka, S. Koshizuka, Y. Ishiwatari, and A. Yamaji: “Super Light Water Reactors and Super Fast Reactors”, Springer, (2010).
- [2] T. Saito, J. Yamashita, Y. Ishiwatari and Y. Oka: “Advances in Light Water Reactor Technologies”, Springer, (2010).

3.3 招待講演

- [1] Y.Oka *et al.*: “Research and Development of Super Light Water Reactors and Super Fast Reactors in JAPAN”, *The 5th Int. Sym. SCWR (ISSCWR-5)* K002 Vancouver, British Columbia, Canada, March 2011.

3.4 受賞・表彰

岡 芳明 第8回(平成22年度)日本原子力学会計算科学技術部会 部会功績賞

3.5 学会および社会的活動

- [1] Y. Oka, “Super LWR and Super FR R&D”, Special lecture, Joint ICTP-IAEA Course on Science and Technology of Supercritical Water-Cooled Reactors (SCWRs) International Center for Theoretical Physics, Trieste, Italy, 27 June to 1 July, 2011
- [2] Y. Oka, “Plant dynamics and control”, SC19, *ibid.*

4. 研究活動の課題と展望

平成23、24年度にさらに研究開発を行い当初の目的を達成する。

本報告は、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22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

(先進理工学術院 物理学及応用物理学専攻)

1. 研究課題

本プロジェクトは、光と物質の相互作用に関して「新しい現象」を追求すること、そしてそれをデバイスに応用することを目指すものである。

2. 主な研究成果

2-1. 量子井戸のスピンの緩和時間の測定 (竹内)

InGaAs/AlAsSb 量子井戸と GaInNAsSb/GaNAsSb/GaAs 量子井戸のスピンの緩和時間の測定に成功し半導体物理国際会議(2010/7)で発表した。図 1 は、GaInNAsSb/GaNAsSb/GaAs 量子井戸の波長 1347nm でのスピンの緩和過程を示したものであり、227ps のスピンの緩和が観測された。また、直接的に半導体量子ドット内のスピンの情報を引き出すために、ポンプ・プローブ法を用い、InAs 高均一量子ドットの中に電子を直接光励起し、そのスピンの緩和過程を観測した。その結果 15K で 1.7ns という遅いスピンの緩和時間を持つことが明らかになった。ポンプ・プローブ法による量子ドットのスピンの緩和の観測が可能になったことによって、今後は波長 1.3 ミクロンより長波長のバンドギャップを持つ量子ドットの測定も可能になった。この測定上の意義は大きい。本研究ではまた、PVK または PMMA 層に埋め込まれた CdTe ナノ粒子、GaInNAs/GaAs 多重量子井戸、Ge 基板上的 InGaAs バルク、コラムナ量子ドットなどの発光特性やスピンの緩和時間を測定し、応用物理学会(2011/3)で報告した。

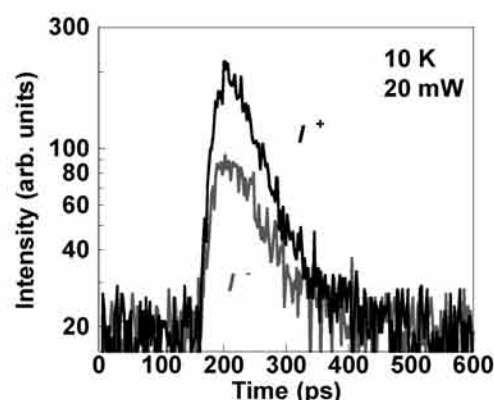


図 1：ポンプ・プローブ法による GaInNAsSb/GaNAsSb/GaAs 量子井戸のスピンの緩和時間の測定。二つのカーブの差がスピンの偏極に対応する。

2-2. ガス透過で誘起されるキラル液晶薄膜の回転 (多辺)

キラル液晶薄膜に気体を透過させると、分子の鏡面对称性の破れのために、液晶分子は集団で一方向に回転する。従来、液晶分子の回転は、キラリティと気体の流れの方向によって一意に決まるとされていたが、我々は、膜厚に依存して回転スイッチングが起きることを見出した。図 2 に示す通り、厚さ 10nm のキラル液晶膜をアルコール蒸気が透過した時、液晶

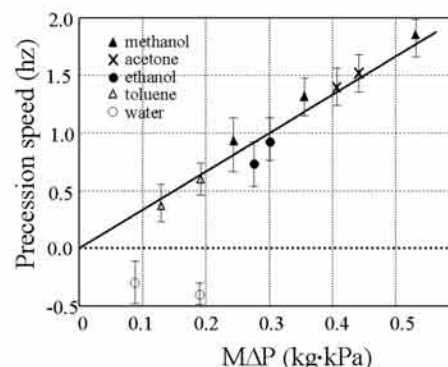


図 2：10nm 厚さのキラル液晶薄膜に気体を透過させた時の液晶の回転速度と気体の運動量の関係

分子の集団回転速度は透過物質の運動量に比例するが、水蒸気透過時には逆回転となる。詳細な解析の結果、液晶分子を回転させるトルクには2つの発生源があり、膜厚が閾値以下ではマイクロな分子の捩じれが、膜厚がそれより厚い時にはマクロな螺旋構造が、主な回転原因となることを明らかにした。マイクロとマクロなトルクが逆方向で、大きさがほぼ同じオーダーの場合には、膜厚に依存して反転が起きる。これを利用して、膜厚と透過物質を制御することで、液晶回転をスイッチさせられることを示した。

2-3. フェムト秒ポンププローブ時間分解光学測定によるバナジウム酸化物の光誘起相転移の観測 (勝藤)

ポンプ・プローブ時間分解光学測定により、120K 以下で三量体相転移を起こす V 三角格子系 $\text{BaV}_{10}\text{O}_{15}$ の構造相転移を明らかにした。転移温度以下でポンプ光を照射すると、照射後 1ps 程度で低エネルギー側 (< 1.4eV) では反射率が上昇し、高エネルギー側 (> 1.4eV) では反射率が減少することを見出した。さらに、1ps 以降ではほとんど反射率が変化しないことも分かった (図 3)。こうしたポンプ光照射に伴う反射率変化をプローブ光の波長 (エネルギー) に対してプロットすると、5K と 250K の反射率スペクトルの差とほぼ一致することがわかった。このことは、ポンプ光照射によって系が低温相 (三量体相) から高温相への変化していること、すなわちポンプ光照射によって 1ps 以内に三量体が壊れていることを示している。

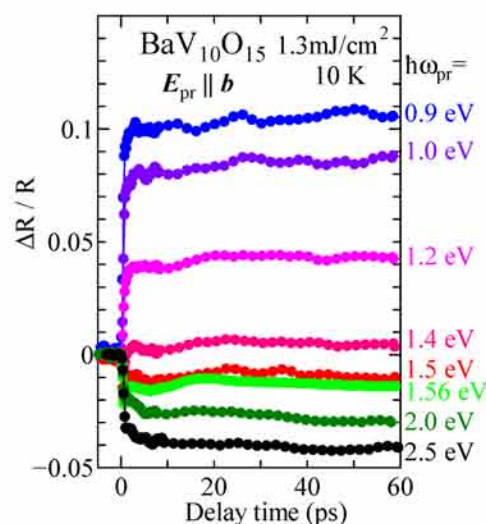


図 3: $\text{BaV}_{10}\text{O}_{15}$ のポンプ光照射後の反射率の時間変化

2-4. 半導体光増幅素子を用いた次世代 PET 開発 (片岡)

APD と微細加工シンチレータアレーを組み合わせることで、PET で究極とされる 1mm 以下の解像度を実現した (図 4)。本年度はその集大成というべき成果を IEEE, NIM-A 誌に発表し (Kataoka et al. 2010 IEEE; Yoshino et al. 2011 NIM-A)、同時に応用物理学会において口頭発表をおこない講演奨励賞を受賞した (松田、片岡他 2010 年度春季年会)。

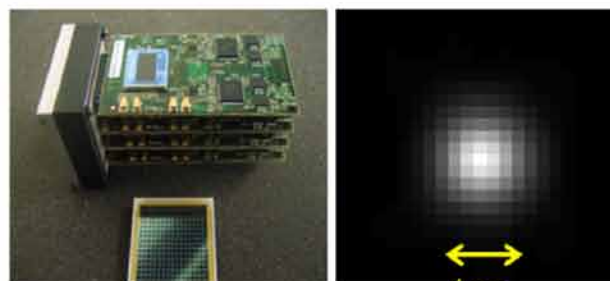


図 4: APD-PET ユニット。PET では究極とされる、サブミリ解像度を達成した (Kataoka et al. 2010, IEEE)

2-5. 有機単結晶レーザーの開発 (竹延)

紫外線レーザーによる詳細な光励起実験を行い、有機単結晶レーザーのために最適な有機材料や単結晶形状の探索を行った。その結果、 α, ω -bis(biphenyl)terthiophene (BP3T) において優れたレーザー発振特性と顕著な形状依存性を見出した。特に、形状依存性としては、2枚の剥片状結晶を重ね合わせることで、レーザー発振に必要な励起強度を一桁近く軽減できることが明らかとなった。このような現象は、結晶間の光学的な結合で説明され、今後のレーザー素子設計の方向性を明確とした。さらに、トランジスタ構造及び電極材料の探索を行い、到達可能

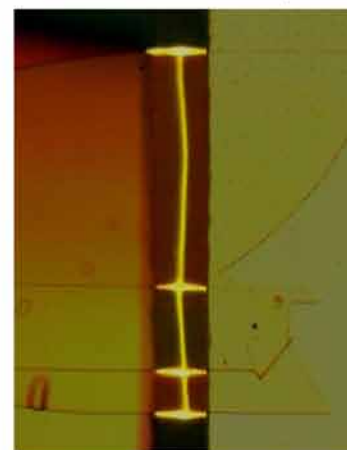


図 5: BP3T からの発光

な電流密度を一桁以上向上させることに成功し、これらを組み合わせる事によって極めて高輝度な発光を実現した（図5）。

2-6. アト秒レーザーによる新規デバイスの開発（新倉）

アト秒レーザーを使った新規デバイスへの一歩として、2つのレーザーパルスの位相を制御することにより、重水素、窒素、二酸化炭素からの高調波測定に成功した。高調波の位相は分子軌道の対称性に依存するので、分子を配向させずとも、高調波発生に寄与する軌道を決定することができる。これにより、数百アト秒の時間スケールで3次元的な分子軌道の変化を追跡することが可能になった。

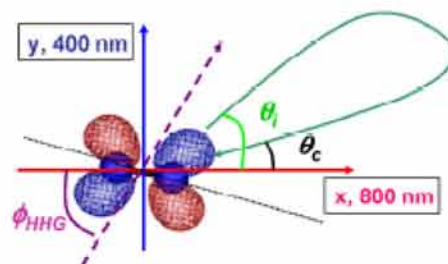


図6：イオン化と再衝突過程の模式図

3. プロジェクトメンバー

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）

4. 研究業績

4.1 学術論文

“Phase transitions and the role of vanadium t_{2g} states in $AV_{13}O_{18}$ ($A=Sr, Ba$)”, Ikeda, Y. Nagamine, S. Mori, J. E. Kim, K. Kato, M. Takata, and T. Katsufuji, Phys. Rev. B 82, 104415 (2010).

“Crossover behavior of the crystal structure and the relation to magnetism in perovskite $RTiO_3$ ”, K. Takubo, M. Shimuta, J. E. Kim, K. Kato, M. Takata, and T. Katsufuji, Phys. Rev. B 82, 020401(R) (2010).

“Formation of three-dimensional network of V trimers in $A_2V_{13}O_{22}$ ($A=Ba, Sr$)”, J. Miyazaki, K. Matsudaira, Y. Shimizu, M. Itoh, Y. Nagamine, S. Mori, J. E. Kim, K. Kato, M. Takata, and T. Katsufuji, Phys. Rev. Lett. 104, 207201 (2010).

“Orientational Correlations in Two-dimensional Liquid Crystals Studied by Molecular Dynamics Simulation”, G. Watanabe, J. Saito, N. Kato, Y. Tabe; J. Chem. Phys. 134, 54513 1-6 (2011).

“Non-Equilibrium Dynamics of 2D Liquid Crystals Driven by Transmembrane Gas Flow”, K. Seki, K. Ueda, Y. Okumura, Y. Tabe, J. Phys. Condens. Matter 23, 284114 (2011).

“Development of an APD-based PET Module and Preliminary Resolution Performance of an Experimental Prototype Gantry”, J. Kataoka, et al., IEEE-TNS, vol.57, No.5, p.2448-2454, (2010)

“In-orbit performance of avalanche photodiode as radiation detector on board the picosatellite Cute-1.7+APD II”, J. Kataoka et al., Journal of Geophysical Res. vol.57, No.115, A05204 (2010)

“The development and performance of UV-enhanced APD-arrays for high resolution PET imaging coupled with pixelized Pr:LuAG crystal”, M. Yoshino, J. Kataoka, T. Nakamori et al., NIM-A, 643, p.57-63 (2011)

“Development of a large-area monolithic 4×4 MPPC array for a future PET scanner employing pixelized Ce:LYSO and Pr:LuAG crystals”, T. Kato, J. Kataoka, T. Nakamori et al., NIM-A, 638, p.83-91 (2011)

“Improvement of Energy Thresholds for Scintillation Detectors Using a Monolithic 2×2 Multi-Pixel Photon Counter Array with a Coincidence Technique”, T.Miura, T.Nakamori, J.Kataoka et al., J. Phys. Soc. Jpn. 80, 094203 p.1-6 (2011)

“Electron transport in rubrene single-crystal transistors”, Satria Zulkarnaen Bisri, Taishi Takenobu, Tetsuo Takahashi, Yoshihiro Iwasa, Appl. Phys. Lett., 96, 183304 (2010).

“High current densities in a highly photoluminescent organic single-crystal light-emitting transistor”, Kosuke Sawabe, Taishi Takenobu, Satria Zulkarnaen Bisri, Takeshi Yamao, Shu Hotta, and Yoshihiro Iwasa, Appl. Phys. Lett., 97, 43307 (2010).

“Green light emission from the edges of organic single-crystal transistors”, Yohei Yomogida, Taishi Takenobu, Hidekazu Shimotani, Kosuke Sawabe, Satria Zulkarnaen Bisri, Takeshi Yamao, Shu Hotta and Yoshihiro Iwasa, Appl. Phys. Lett., 97, 173301 (2010).

“Mapping Molecular Orbital Symmetry on High-Order Harmonic Generation Spectrum Using Two-Color Laser Fields”, Hiromichi Niikura, Nirit Dudovich, D. M. Villeneuve and P. B. Corkum, Phys. Rev. Lett. 105, 053003 (2010).

4.2 総説・著書

片岡 淳「大面積 APD アレーの開発と次世代 PET 技術への展望」、応用物理学会・放射線分科会・学会誌 vol. 35, No. 4, p.277 -287 (2010).

竹延大志「有機単結晶発光トランジスタ」有機半導体デバイス・基礎から最先端材料・デバイスまで、オーム社, p 272-279 (2010).

竹延大志, 岩佐義宏「有機デバイスの半導体物理と界面機能」 固体物理, Vol. 45, p133 (2010).

4.3 招待講演

片岡 淳, “APD/MPPC を用いた高解像度ガンマ線イメージセンサー”「先端的放射線検出器開発とその応用で拓かれる未来」、物理学会 2010 年度春季年会、招待講演

4.4 受賞・表彰

応用物理学会、講演奨励賞、“APD を用いた拡張型・高解像度 PET モジュールの開発とその実証”
応用物理学会 2010 年度秋季年会 受賞者氏名：松田 英憲、片岡 淳ほか 8 名

4.5 学会及び社会的活動

5. 課題と展望

それぞれの研究は進んでいるが、2 名ずつが協力し合う共同研究体制がまだ整っていない。今後、有機・無機の様々な物質に対して、異なる測定手法を適用することにより、新しい分野の開拓を試みる。

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
(理工学術院 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にわたる高性能化, 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とヒートポンプに最適な動作冷媒の検討及び, 第二種吸収式ヒートポンプ, 圧縮式ヒートポンプ, ビル用マルチエアコンを対象としたシステムの最適化に必要となる解析モデルを構築する.

2. 主な研究成果

2.1 マイクロチャンネル熱交換器の性能

マイクロチャンネルは管内径が概ね1mm以下の管であり, 流量あたりの伝熱面積が大きいので, これを用いた熱交換器は高効率化へ期待されている. 1mm管と3mm管についてアンモニア冷媒を用いた実験を行い, 蒸発温度を変化させた熱伝達特性を調査した結果によると, 1mm管は熱伝達率が $15\text{kW/m}^2\text{K}$ 程度まで上昇するが, 3mm管は $10\text{kW/m}^2\text{K}$ にも満たない. 従来であれば蒸発温度の低下によって核沸騰の影響が小さくなるため熱伝達率は下がる傾向にあると報告されてきた. しかし, 本実験結果では熱伝達率に大きな違いはみられず, むしろドライアウト直前では熱伝達率の向上が確認された. これは, 蒸発温度の低下によって冷媒の比体積が増大し, ガス速度が増したために高クオリティ側で強制対流の影響が支配的となっているためであると考えられる.

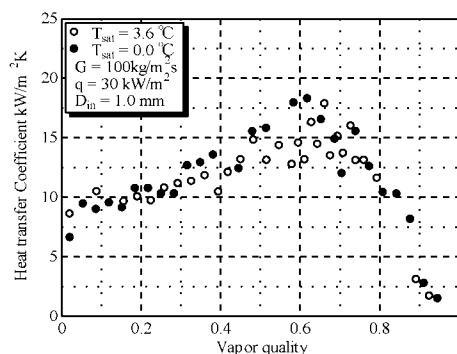


Fig.1 1mm 管の熱伝達率

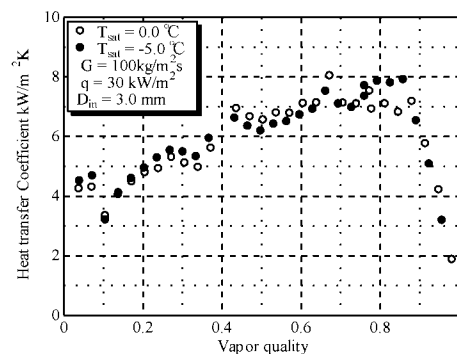


Fig.2 3mm 管の熱伝達率

2.2 ヒートポンプに最適な動作冷媒の検討

高効率次世代ヒートポンプ幅広い運転状況を想定する必要がある, 従来冷媒では対応が不十分な温度帯における冷媒について検討をする必要がある. これまでに検討が不十分であった $60\sim 90^\circ\text{C}$ の加温用途に適した冷媒を選定した. 加温ヒートポンプの運転条件において様々な冷媒を使用した場合のCOP, 加熱能力, 凝縮圧力を比較すると, COPはいずれの冷媒においても一般的に使用されているR407Cを上回る. また加熱能力はR290(プロパン)が最大となり, R407C, R134aと続きR600a(イソブタン)はR290

の半分以下と小さい。しかし COP は R600a が R290 より高い結果となった。しかし R290 の加熱量は他の冷媒と比べ低いため加熱量を補う必要がある。そこで R600a をベースにし、R290 および R1270（プロピレン）を混合させた場合を考え、沸点差 5.0℃以下となる混合比を条件とし、その中で COP が高く加熱能力が大きい条件として R600a（82.5wt%）と R1270（17.5wt%）の混合冷媒が加温ヒートポンプに最適であると結論づけた。

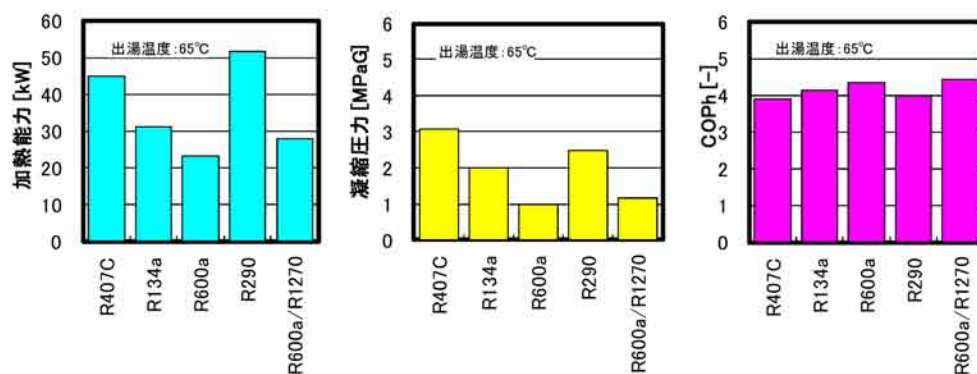


Fig.3 冷媒の比較

2.3 各種ヒートポンプ解析モデルの構築

本プロジェクトにおいて構築した解析モデルは、第二種吸収式ヒートポンプでは再生器、吸収器、溶液熱交換器などであり、圧縮式ヒートポンプとビル用マルチエアコンについては圧縮機、アキュムレータ、クロスフィンチューブ型熱交換器などである。このように要素ごとのモデルを構築することで、これらを組み合わせることによってヒートポンプシステムの解析モデルを構築することが容易である。

上記解析モデルを用いた第二種三段昇温吸収式ヒートポンプのシステム解析では、実験結果と比較したところ、非常に良く傾向は一致していた。熱供給温度を変化させることで COP が向上するなど、実機の基本的な特性を再現するに至った。

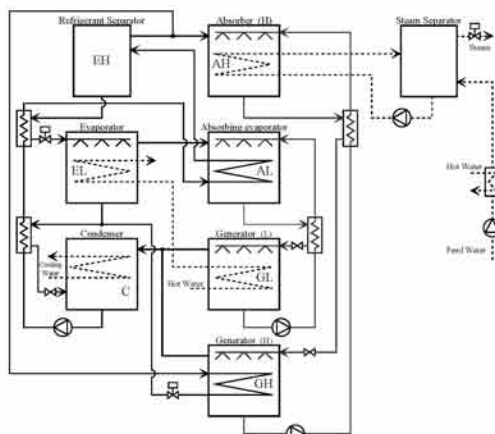


Fig.4 第二種三弾昇温吸収式ヒートポンプシステム

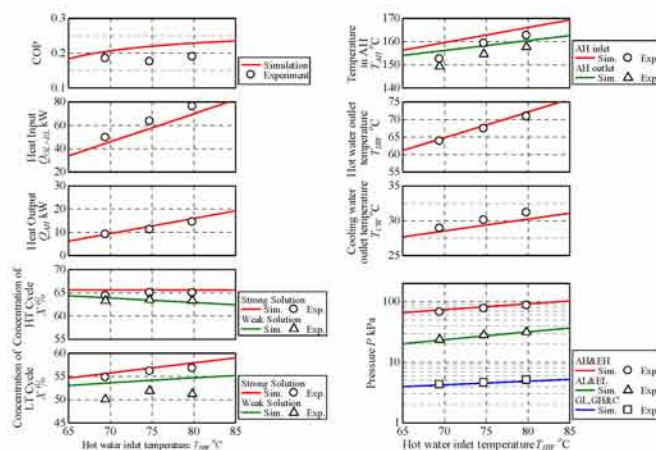


Fig.5 解析結果

3. 共同研究者

河合 素直 (理工学術院 教授)	井上 修行 (理工学研究所 客員教授)
鄭 宗秀 (理工学研究所 客員准教授)	粥川 洋平 (理工学研究所 客員准教授)
山口 誠一 (理工学術院 助教)	東條 健司 (理工学研究所 客員研究員)

4. 研究業績

4.1 論文

K.Hwang, C.ho-Song, K.Saito, S.Kawai, Experimental study on titanium heat exchanger used in a gas fired water heater for latent heat recovery, Applied Thermal Engineering, vol.30, 2010, p2730-2737

J.Jeong, S.Yamaguchi, K.Saito, S.Kawai, Performance analysis of four-partition desiccant wheel and hybrid dehumidification air-conditioning system, International Journal of Refrigeration, Vol,34, Issue 4, 2011, p928-945

4.2 国際会議

K.Nakazima, K.Saito, DEVELOPMENT OF GENERAL-PURPOSE ENERGY SYSTEM ANALYSIS SOFTWARE—ENERGYFLOW + M, 9th IIR Gustav Lorentzen Conference, Australia

Y.Fujita, K.Saito, DEVELOPMENT OF GENERAL-PURPOSE ENERGY SYSTEM ANALYSIS SIMULATOR “ENERGY FLOW +M”: STATIC ANALYSIS OF DESICCANT AIR-CONDITIONING SYSTEM, ASME-ATI-UIT2010, Italy

T.Yoshida, S.Yamaguchi, K.Saito, S.Kawai, N.Onda, Visualization temperature and concentration distribution inside desiccant wheel by simulation, ACRA2010, Japan

K.Ohno, K.Saito, Global unsteady state simulation of compression type heat pump with modular analysis-Effect of intermittent driving on system performance-, ACRA2010, Japan

K.Ohno, K.Saito, GLOBAL UNSTEADY STATE SIMULATION OF COMPRESSION TYPE HEAT PUMP WITH MODULAR ANALYSIS, Sustainable Refrigeration and Heat Pump Technology, Sweden

M.Kikuchi, S.Takaku, H.Nakamura, K.Saito, Effect of refrigerant charge on performance of room air-conditioning system, 2nd IIR Workshop on RCR, Sweden

K.Saito, J.Jeong, S.Yamaguchi, Hybrid liquid-desiccant air-conditioning system: Experiments and Simulations, SET2010, China

J.Jeong, K.Saito, J.Taek-Oh, K.II-Choi, Miniaturization of CO2 Heat Pump Using Microchannel Heat Exchanger, SAREK2010, Korea.

S.Yamaguchi, K.Saito, S.Kawai, PERFORMANCE EVALUATION OF SILICA GEL DESICCANT WHEEL

BY SIMULATION AND EXPERIMENT, INPRES2010, Singapore

4.3 国内発表

渡辺拓也, 山口誠一, 齋藤潔, 宮内彦夫, 原田政利, リキッドデシカント用除湿メディアにおける熱・物質移動特性, 第44回空気調和・冷凍連合講演会

齋藤潔, モジュラー解析理論による圧縮サイクルの数値解析-サイクルシミュレーション手法②圧縮サイクル(CO₂)-, 日本機械学会環境工学部門講習会

渡辺拓也, 山口誠一, 齋藤潔, 宮内彦夫, 原田政利, リキッドデシカント用除湿メディアにおける熱・物質移動特性, 2010年度日本冷凍空調学会年次大会

藤田侑佑, 大野慶祐, 齋藤 潔, エネルギーシステム汎用解析ソフト“ENERGY FLOW+M”の開発—デシカント空調システムの静特性解析—, 2010年度日本冷凍空調学会年次大会

山口誠一, 齋藤潔, 河合素直, デシカントロータの高精度解析モデルの構築とその妥当性の検証, 2010年度日本冷凍空調学会年次大会

和田大輔, 大野慶祐, 齋藤潔, 吸収式ヒートポンプの静特性解析—熱物質移動特性を詳細に考慮した基本モデルの構築—, 2010年度日本冷凍空調学会年次大会

大野慶祐, 西山教之, 齋藤潔, 二重効用吸収式冷凍機の断続運転特性解析, 2010年度日本冷凍空調学会年次大会

中村北斗, 村田博道, 神野幸弘, 小西克浩, 齋藤潔, 大野慶祐, 個別分散型空調システムの性能評価 第1報: 定常運転性能の実験的評価, 2010年度日本冷凍空調学会年次大会

中村北斗, 村田博道, 神野幸弘, 小西克浩, 齋藤潔, 大野慶祐, 個別分散型空調システムの性能評価 第2報: 非定常運転性能の実験的評価, 2010年度日本冷凍空調学会年次大会

大野慶祐, 齋藤潔, 中村北斗, 村田博道, 神野幸宏, 小西克浩, 中曽康壽, 個別分散型空調方式の非定常解析, 2010年度日本冷凍空調学会年次大会

大野慶祐, 齋藤潔, 中村北斗, 村田博道, 神野幸宏, 小西克浩, 中曽康壽, 冷房期間エネルギー消費効率におけるCD値の検証, 2010年度日本冷凍空調学会年次大会

菊池麦人, 大野慶祐, 齋藤潔, コンプレッサーカーブ法による個別分散型空調システムの性能把握, 2010年度日本冷凍空調学会年次大会

5. 研究活動の課題と展望

要素レベルの検討として，引き続きマイクロチャンネル熱交換器の伝熱特性を解明するとともに，各種冷媒を用いたヒートポンプの性能を詳細に把握する．システムとしては第二種吸収ヒートポンプ，圧縮式ヒートポンプ，ビル用マルチエアコンの数値解析を実現するコードを作成し，これを用いてシステムの詳細な特性を解明する．

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

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。

2. 主な研究成果

2.1 ダハシュール北遺跡の調査

2010年8月30日から10月16にかけて、エジプト、ダハシュール北遺跡にて調査を実施した。早稲田大学による当該遺跡の調査は1996年に開始され、2010年度の調査は第19次調査にあたる。調査の内容は発掘調査、地形測量、物理探査、出土遺物の化学分析、出土遺物の実測および撮影が中心であった。

2.1.1 ,発掘調査

発掘調査は、「タ」の墓周辺発掘区北側で南北5m、東西60mの表層発掘を行い、6基のシャフト墓、2基の単純埋葬の発掘を実施した。墓の発掘の主な成果は以下のとおりである。

シャフト113は深さ3m弱で南側に埋葬室が掘られていた。埋葬室の側壁には厚いタフラが固まった状態で残っており、一部では木棺の側版が張り付いていた。タフラの堆積の表面には木棺表面のプラスター、文字の装飾が剥ぎ取られた状態で残っていた。残存しているタフラの堆積と木棺片から推定した木棺の寸法は、2005年に未盗掘で発見された中王国時代のセヌウの木棺と類似していることが判明した。シャフト123はシャフトの深さが4.2mで南側に埋葬室を持つ。北側にも開口部があり、隣接するシャフト122につながっていた。シャフト部分の北西および南東コーナーには壁にもたせ掛けるように中王国時代のビール壺が置かれていた。シャフト90はシャフト部の深さが9.4mで西側に部屋が掘られており、そのさらに西側と南側に部屋が付属していた。盗掘を受けていたが、ファイアンス製のカノポス壺の蓋、完形のファイアンス製シャブティなど、新王国時代第19王朝～20王朝頃の特徴を持つ副葬品が出土した。シャフト122はシャフトの深さが約4.5mで西側に埋葬室を有する。盗掘を受けており、木棺片とミイラ・カバーの頭部と思われる部分から発見された。単純埋葬の内1基は未盗掘で発見された、被葬者は子供で葦のマットに包まれており、仰向け、伸展葬で、頭は北を向いていた。顎付近からは円盤形で黄色と青色で文様が描かれたガラス製ビーズが発見された。

以上がダハシュール北遺跡における発掘調査の概要である。「タ」の墓周辺のシャフト墓、単純

埋葬は網羅的に発掘が行われており、すでに 70 基以上が完掘している。蓄積された資料の分析を重ねることで、中王国・新王国時代の埋葬習慣の実態が解明されることが期待される。

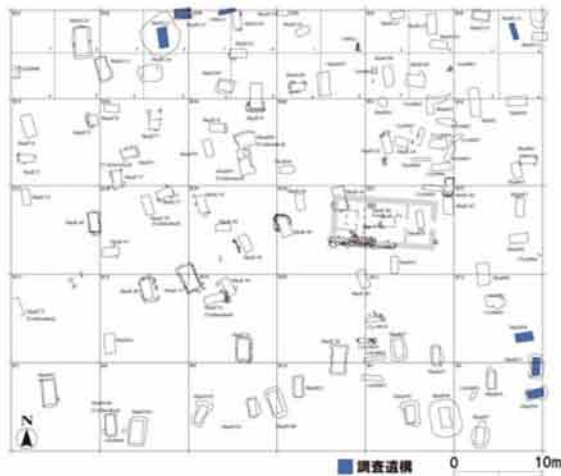


Fig.1 ダハシュール北遺跡調査区地図



Fig.2 出土したカノボス壺の蓋

2.1.2 地形測量と物理探査

同志社大学の津村宏臣准教授、岸田徹助手、渡邊俊祐によって、ダハシュール北遺跡の地形測量、および地中レーダ探査が実施された。結果として、探査範囲内に 1~3m 径の局所的な強い異常応答が多数認められ、地下にあるシャフト墓の存在を示すものと考えられる。異常応答の中には、シャフト部平面の長軸方向が明瞭に判読できるものもあった。特に探査区の北東部には比較的大きな異常が集中しており、このエリアには大型のシャフト墓が集中している可能性が考えられる。

2.1.3 遺物の X 線分析

東京理科大学の中井泉教授、阿部善也、張本路丹、遠山加奈枝によって、可搬型の蛍光 X 線分析装置、ラマン分光分析装置を用いてダハシュール北遺跡出土の中王国時代、新王国時代の遺物の分析が実施された。その結果、中王国時代と新王国時代におけるファイアンスのスズ、亜鉛含有量の顕著な差や、様々な色のファイアンス製品の発色に用いられた成分を確認することができた。またダハシュール北遺跡の新王国時代のガラスの元素の組成は、近傍のリシュトから出土した同時代の資料に対する既存の X 線分析結果と明らかに違うことから、製作された工房が異なる可能性が指摘された。

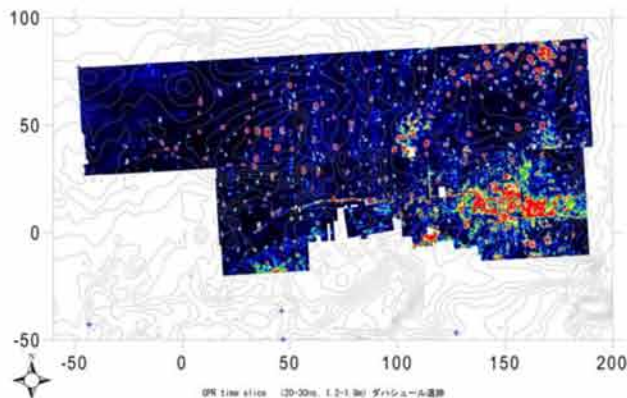


Fig.3 地中探査による Time Slice 図 (20-30ans 推定深度 1.2-1.8m)



Fig.4 X線分析資料

2.2 GISによる遺跡マップの作成

同志社大学の津村研究室の協力を得て、遺跡マップの作成作業を継続した。メンフィス・ネクロポリス内の各遺跡の詳細、遺跡を脅かす開発等についてのデータの入力作業を行った。

3. 共同研究者

吉村作治（理工学術院・客員教授）	中川武（理工学術院・教授）
長谷川奏（総合研究機構・客員准教授）	青木繁夫（サイバー大学・教授）
柏木裕之（サイバー大学・准教授）	河合望（理工学術院・客員准教授）
馬場匡浩（総合研究機構・次席研究員）	西坂朗子（サイバー大学・助教）
高橋寿光（総合研究機構・研究助手）	矢澤健（サイバー大学・助手）

4. 研究業績

4.1 学術論文・報告

- 吉村作治（編著）『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整備計画の学際的研究 報告集 第1号』早稲田大学エジプト学研究所、2011年。
- 吉村作治、近藤二郎、長谷川奏、矢澤健、柏木裕之、秋山淑子、ダハシュール北遺跡第14次調査『エジプト学研究』別冊第15号、pp.15-60、2011年。
- 吉村作治、近藤二郎、矢澤健、柏木裕之、秋山淑子、「ダハシュール北遺跡第15次調査」『エジプト学研究』別冊第15号、pp. 61-83、2011年。
- 河合望「エジプト、アブ・シール南丘陵頂部で発見されたイシスネフェルトのトゥーム・チャペルについてー遺構の性格と被葬者をめぐってー」『オリエント』第53巻第1号、pp. 1-30、2010年。
- Masahiro Baba and Sakuji Yoshimura, "Dahshur North: intact Middle and New Kingdom coffins," *Egyptian Archaeology*, vol. 37, pp. 9-12, 2010.
- Sakuji Yoshimura and Nozomu Kawai, "Le Monument du Prince Khaemouaset," *Dossiers d'Archéologie* (Faton), vol. 20, pp. 14-15, 2011.
- Kazumitsu Takahashi and Izumi Takamiya, "La céramique peinte en bleu égyptien du Nouvel Empire," *Dossiers d'Archéologie* (Faton), vol. 20, pp. 52-53, 2011.

4.2 学会発表

- 吉村作治、近藤二郎、河合望、「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整備計画の学際的研究：2007～2009年度中間報告」、吉村作治、近藤二郎、河合望、『日本オリエント学会第52回大会』2010年11月7日。
- 高橋寿光「エジプト、アブ・シール南丘陵遺跡のピットから出土した土器群について」、『日本オリエント学会第52回大会』2010年11月7日。
- 矢澤健「エジプト・ダハシュール北遺跡2009年調査報告」、『日本オリエント学会第52回大会』2010年11月7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ミイラ（人骨）の骨病変例」、『第64回日本人類学会大会』、2010年10月2日。
- 張本路丹、阿部善也、中井 泉、西坂朗子、河合望、吉村作治、「エジプト出土古代ファイアンスの考古化学的研究と製作技法に関する考察」『日本文化財科学学会大会』2010年6月27日

岸田徹、津村宏臣、渡邊俊祐、河合望、吉村作治、「エジプト・アラブ共和国アブ・シール南丘陵遺跡における GPR 探査」、『日本文化財科学会大会』2010 年 6 月 27 日。

津村宏臣、渡邊俊祐、岸田徹、「エジプト・アブシール南丘陵遺跡の測量と人工地形の析出・評価」、『日本文化財科学会大会』2010 年 6 月 27 日。

Nozomu Kawai and Sakuji Yoshimura, “The Tomb of Isisnofret at Northwest Saqqara.” *ABUSIR AND SAQQARA IN THE YEAR 2010*, Czech Institute of Egyptology, Charles Univeristy, Prague, 2010 年 5 月 31 日。

Masahiro Baba and Sakuji Yoshimura, “Ritual Activities during the Middle Kingdom: A view from intact tombs discovered at Dahshur North.” *ABUSIR AND SAQQARA IN THE YEAR 2010*, Czech Institute of Egyptology, Charles Univeristy, Prague, 2010 年 6 月 4 日。

5. 研究活動の課題と展望

今年度は、ダハシュール北遺跡にて新しい遺構が発見され、当該遺跡の理解が深まった。また、地球座標を基準にした地形測量による遺跡地図に合わせて、物理探査が実施され、埋蔵遺構の分布がこれまでより詳細に明らかになった。今後の発掘調査のための重要な情報を得られただけでなく、当該遺跡の保存管理に有益な情報を得ることができた。今後この情報にもとづき、保存整備の計画を策定する必要があるだろう。遺物の X 線分析では、新王国時代のガラスがこれまで知られていたリシエトのガラスとは異なる組成の元素を示しており、今後の研究でダハシュール出土のガラスの生産地の同定が課題として残された。

研究課題名

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（理工学術院・建築学科・教授）

1、研究課題

時代の変革期において建築の概念も変化してきている。この自覚のもとに、社会における多様で新しいニーズに、建築デザインを介して、どのように対応していくかが問われている。市民たちの草の根的な要求や、NPO 法人が組織的に掘り起こしてくる街づくり的なスケールの提案的要求、また時代の変化を先取りした企業の経営戦略などにシフトさせながら、建築デザインが社会におけるこのような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、デザインの契機となる機能・用途を実現できるか、が問われている。グローバルな視点を踏まえた建築的遺構の修復・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がキーワードとなる、と考えている。

2、主な研究成果

2 - 1、北村学園こだま幼稚園子育て支援センターについて(図1)

高崎に立つこだま幼稚園と連関する施設であり、お母さん方の子育てを支援するという新しい主題に沿って、建築デザインによる内と外の空間形成を提案した。外側からどのようにして内側の空間を包み込むのか、圍繞された空間をどのように支持するのか、この問いかけの下に進めたものである。

2 - 2、妙蓮寺(図2)、ならびに都立家政の店舗併用住宅(図3)について

私鉄沿線駅の商店街に建つ店舗併用の住宅である。この形式の住宅が建築デザインを通して、街並みの美化と、活性化にどのように貢献できるかを、問うものである。

店舗に連関する看板を、街並みのファサードを形作る薄い面として捉えなおすことで、住空間を囲い込む空間の表層性の概念に置き換え、この視点に依拠して空間を形成している。



図 1



図 2



図 3

2-3、Kプロジェクトについて



佐賀県の K 市にある重要伝統的建造物群と指定された街並みと、市の市街化の中心地区を職人町通りとして再生させる計画である。前者においては、縮尺 1/100 スケールの模型による活性化、ならびに再生案を提案することができた。保存建物による街並みに対して直行方向の路地空間に着目した提案で、それに基づいて 2 回にわたって街づくりに関する講演を行った。後者については、表通り裏の路地に着目し、その歴史的過程も踏まえながら、様々な職種の職人の手技が動態展示される場としての新しい街並みとする計画である。



2-4 あやめ池クリニックモール

奈良県にたつ病院建築である。医師、診療科目もそれぞれ違い、個別に運営されながら、しかし一つ屋根の下に医療の「village」を形成する新しい病院形態の事例である。高齢化社会における、医療に基づいたコミュニティセンターの役割も果たすことになるよう、建築デザインの果たす役割も大きい、と考えている。

2-5 スペイン・カタルーニャ州の伝統的石造民家マジアの修復・再生について

今日的な主題である建築的遺構や歴史的な町並みの保存・修復について、スペイン・カタルーニャ州の歴史建造物である伝統的石造民家マジアを対象として修復・再生を継続的に進めている。カタルーニャ州バンデジョス・イ・ロスピタレット・デ・リンファント市のファッチェス離村集落の北端にある廃墟状態の 3 連棟の残存遺構 A - 3 棟を市民の交流の場とする計画である。



3、共同研究者

李祐尚（理工学術院・創造理工学部・建築学科・助手）

山村健（理工学術院・創造理工学部・建築学科・助手）

4、研究業績

4.1 学術論文

山村健、入江正之、建築家アントニ・ガウディと美学者ミラ・イ・フンタナルス兄弟の関係について、日本建築学会計画系論文集 75(651), 1287-1292, 2010.05。

4.2 建築作品

平成 22 年度群馬県営元総社県営住宅整備事業設計者選定競技 - 最終選考作品、2010.8。

武蔵野の森総合スポーツ施設（仮称）新築工事基本設計競技 - 最終選考第二位。2010.11。

4.3 招待講演

場所と応答する建築デザインを求めて、三重大学、三重県総合文化センター、2010.8.13。

街づくりについて、鹿島市議会、鹿島市民会館、2011.2.5。

4.4 著書・項目執筆

川成洋／坂東省次／入江正之ほか、スペイン文化事典（7 項目担当）、丸善、2011.1。

4.5 学会活動

日本建築学会代議員

5、研究活動の課題と展望

建築は場所との応答に深く関わるが、歴史的町並みや建築遺構について、既存・既在という場所の概念を掘り下げることを通じて、各々の主題に即した「ここ」、「そこ」の場所の再生、活性化という生活空間支援を進めることが課題と考える。

水素エネルギーに関する実証研究

研究代表者 勝田 正文
(理工学術院 教授)

1. MH 冷水機

4.1 研究目的・背景

本研究は、太陽熱や低温排熱を駆動源とし、運用時の CO_2 排出量が少ない水素吸蔵合金（以下、MH）利用冷水器開発を目的とする。MH 冷凍機はケミカルヒートポンプの一種であり、冷却用 MH 合金（以下、MH2）が水素を放出するときの吸熱反応を冷却に利用した冷凍機である。本システムは、a) 作動媒体が水素であるため環境負荷が小さい、b) 圧縮機のような可動部を持たないため騒音・振動が小さい、c) 使用可能熱源の温度範囲に準じた MH 合金を選定することで低温排熱や太陽熱も駆動源として利用可能である、等の利点がある。しかし、希土類を利用した MH 合金 1kg あたり 1~2 万円程度と高価である上、粒子状での適用による低い伝熱性能と活性化特性に起因する容器の高い熱容量が出力（MH 重量あたりの冷凍能力）を低くする原因となり、普及には至っていない。より広範な利用のためには MH 合金の低コスト化、1MPa 以下の低压条件での活性化と合金層の伝熱促進法の確立が必要である。

本研究では、北海道大学が燃焼合成法で製作した 6000 円/kg 程度と安価で、1MPa 以下の低压で活性化可能な TiFe 系合金を熱源側の合金（以下、MH1）と利用した。また MH1 合金層の伝熱性能の向上と温度均一性を図り、システム冷却性能を向上させる手段としてヒートパイプを用いて、システムの冷凍性能に与える影響を把握することを本研究の目的とした。MH2 合金と一部 MH1 合金の伝熱促進にはブラシ型炭素繊維も利用した。

ただし、本研究においては、MH2 合金が依然として開発途上であるため、既存の市販合金を使用した。従って、システム熱容量の低減はできなかった。

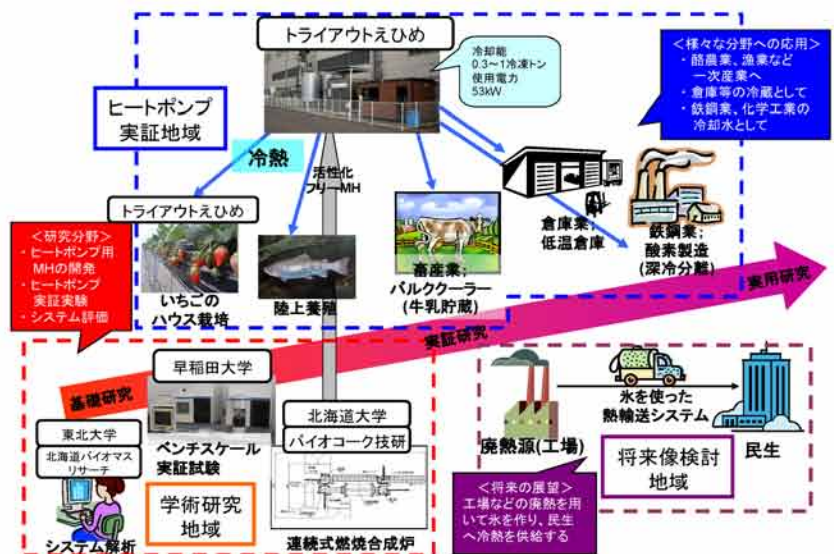


Fig. 1.1 研究の概要

4.2 研究成果

各合金充填割合と初期水素封入量の関係では、各パラメータで同様の傾向を示すことが実験結果より分かっている。出力を向上させるには水素流量の確保、サイクル時間の短縮が望ましく、これらを満たすような運転条件を決定した。1MPa 以下での運用を考慮した場合、MH1 充填量を 150g とするこ

とで最大水素流量が得られ、合金重量あたりの出力は 100g 充填の場合と比べて 1.4 倍程度向上する計算になる。そこで合金充填比率 MH1:MH2=1.5:1、水素封入圧力 1.0MPa を運転条件として決定した。

研究ではまず、伝熱促進体として炭素繊維が冷凍システムに与える影響を把握した。結果として、炭素繊維を 2mass% 充填させることで半サイクル時間を 13% 短縮、冷凍能力を 1.16 倍向上させることが分かった。また、ヒートパイプをシステムに適用させた際の解析モデルを構築し、汎用性を高めた。温度履歴は実験値と比較して概ね一致が得られたが、水素移動量に関しては実験値に比べ計算値の立ち上がりが早い結果となった。これは、合金と水素の反応速度を考慮していないからであり、今後の改善が必要である。また 2.25kg 級冷凍システムで実験を行った。ヒートパイプを MH に挿入する際に鞘管を用いたため、MH-ヒートパイプ間の接触熱抵抗が増大し、冷凍能力は 12.6W/kg (MH) と低い値に留まった。

2. 水素の面的活用に関するケーススタディ

2.1 研究目的・背景

近年、燃料電池を中心として水素エネルギー応用関連の研究が盛んに行われている。しかしながら、水素の面的利用技術およびマネジメントについての研究は限られており、多様な観点から議論する必要がある。二次エネルギーである水素は高い効率で利用できる性質を持ち、出力の不安定な自然エネルギーなどと組み合わせによって安定かつ有効に活用できる可能性を持っている。しかし水素は可燃性の気体で密度も低いという性質も持ち合わせている。従って効率的に運用するためのキーとなる輸送、貯蔵においては、水素エネルギーの高密度化が必要になる。

本研究では、現状と将来技術両面から水素の製造・輸送・貯蔵・利用の方法を検討し、効率、価格、CO₂排出量の観点から最適な技術を抽出するため、定量的に分析する。今回は早稲田大学本庄高等学院（以下高等学院）と IOC 早稲田本庄（以下 IOC）の 2 箇所に焦点を当て、ケーススタディを行う。最後に結論として、本庄早稲田キャンパスにおける最適な水素利用システムのフローを作成し、それぞれの CO₂ 排出量と価格について比較・検討を行った。

2.2 研究内容

高等学院と IOC は、東京電力と本庄ガスから電気とガスを購入してエネルギーシステムを構築しており、その冷熱や給湯利用割合以外は需給量データを入手することができた。従って、不足した部分のデータは国土交通省の資料¹⁾を用いて補完し、これより全体のエネルギー需要を求めた。その結果から、高等学院は IOC に比べ冷熱需要が少なく、電力需要は同程度であることが分かった。

また大型の燃料電池 2 台を動かすには大量の水素が必要になる。これには CO₂ 排出量を考慮した上で、安価な水素を入手することが肝要である。従って水素製造手法を各種定量的に比較して最適な方法を検討する。Table2.1 にその計算方法を示す。また水素の運用条件による比較を行うためにケース分けを行う。Table2.2 に各運用システムの条件を示す。

Table 2.1 水素製造手法の計算方法

価格	燃料と電力、装置の価格を用いて求めた。ただしCOGは天然ガスで代替した場合の燃料価格を用いる。また、太陽光発電は補助金を考慮しない値を用いた。
効率	水素の製造効率は、「1N m ³ の水素を作るために必要な原料の熱量」と「加えた熱量」の和で水素の熱量を割ったものである。また水素の輸送貯蔵効率は「1N m ³ の水素を運ぶために必要な熱量」で水素の熱量を割ったものである。
CO ₂ 排出量	機器製造の際に発生するCO ₂ は考慮しない。ただし太陽光や風力については「施設運用によるCO ₂ 排出係数」の値を適用する。また、自然エネルギー利用の場合は電気のCO ₂ 排出量を0として検討した。以上の検討方法を利用した水素エネルギー運用システムの条件を以下に示す。

Table 2.2 水素エネルギー運用システムの条件

ケース 1	燃料電池を導入し、副生水素を中心に利用した通常モデルである。水素は高圧水素で輸送・貯蔵し、タンクローリー輸送で検討する。
ケース 2	水素を液化輸送貯蔵に変更し、液化はLNG冷熱を利用する。また輸送は鉄道で熊谷まで運び、本庄までトラックで運ぶ。その他はケース1と同条件である。
ケース 3	輸送手段として船を利用する。戸田まで河川輸送を行い、そこから先はトラックで輸送する。その他はケース2と同条件である。

2.3 研究成果

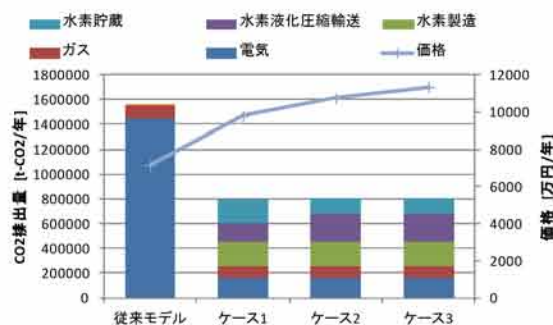
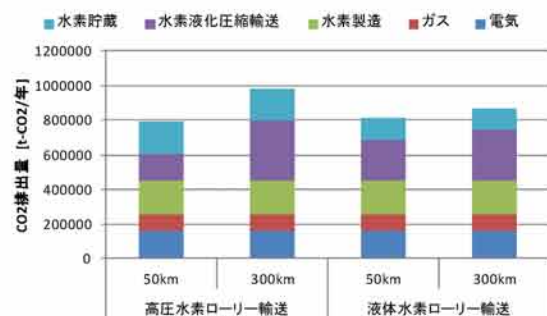
Fig. 2.1 システムのCO₂排出量と運用コストFig. 2.2 輸送距離とCO₂排出量の関係

Table 2.1 に示したシステムを運用した場合の両施設合算のCO₂排出量、運用コストを Fig. 2.1 に示す。また輸送距離を 50km から 300km にした場合のCO₂排出量の比較を Fig. 2.2 に示す。

Fig. 2.1 より水素を利用したほうがCO₂排出量を削減できることが分かる。それぞれのケースでCO₂排出量をおよそ半分にまで下げることができた。CO₂排出量の割合から分かるように、系統電力の利用を燃料電池によって大部分補うことが要因と考えられる。一方で運用コストは水素を利用すると増大する。特に新しい水素利用方法であるケース 2、3 はコストがおよそ 6 割上昇し、課題として残った。

一方で今回はすべて輸送距離 50 km で検討を行ったが、遠方の場合には Fig. 2.2 から分かるように液体水素を利用するほうがCO₂排出量を少なくできる。従って距離に応じてケース 2、3 のような液体水素利用のシステムを選択したほうが良い場合もあることが分かった。

3. 共同研究者

永田 勝也 (理工学術院・教授)

草鹿 仁 (理工学術院・教授)

納富 信 (理工学術院・准教授)

大聖 泰弘 (理工学術院・教授)

中垣 隆雄 (理工学術院・准教授)

裊 相哲 (環境総研・客員准教授)

4. 研究業績

4.1 学術論文

勝田正文, 能美直子. 低炭素・水素エネルギー活用社会に向けた都市システム技術の開発検討委員会平成 21 年度報告書. 国土交通省総合技術開発プロジェクト. 307-372 (2010).

勝田正文, 森友彦, 能美直子. 水素面的利用のケーススタディ〜本庄キャンパスを例に〜. 水素エネルギー学会. 2011 年 12 月発表予定.

勝田正文, 能美直子. 水素エネルギーと冷凍空調. 日本冷凍空調学会誌冷凍. 第 86 巻. 41-47 (2011).

勝田正文, 裊相哲, 森田英治, 石川敬祐, 春名祐介. 低温熱源駆動型 MH 冷凍機の冷却性能改善 - MH 合金層へのヒートパイプ導入の影響 -, 日本冷凍空調学会論文集. 2011 年 12 月記載予定.

5. 研究活動の課題と展望

MH 冷水機は解析モデルと比べて水素移動量が実験値に比べ計算値の立ち上がり早い結果となった. これは, 合金が水素と反応する際の速度を考慮していないことが原因であり, 今後の課題である. またヒートパイプの挿入方法を工夫し, 接触熱抵抗を下げ立ち上がりを改善する必要もある.

面的利用はコストがおおよそ 6 割上昇する結果になったため, プロモーションのための戦略的な方策の検討が必要である.

アジアの都市環境を考慮したエネルギー利用

研究代表者 長谷見 雄二
(理工学術院 教授)

1. 研究課題

アジア地域の都市化の勢いはすさまじく、その無秩序な発展はエネルギー消費の増大のみならず、大気汚染、生活環境の劣悪化など現在きわめて深刻な問題となっている。先進国がすでに経験したように、その成長による都市内部の環境悪化が予想される一方で、巨大な都市で引き起こされる環境問題は地球環境への影響としても現れ始めている。

こうしたアジア地域の都市化によるエネルギー消費量の増大に対して、エネルギー消費の削減ならびに低炭素社会の実現に向けた方策として高温系未利用エネルギーの有効活用が挙げられる。都市における安定した高温系未利用エネルギー源としては、都市基盤施設である清掃工場からのごみ焼却排熱があり、あらゆる都市においてその活用の可能性が考えられる。

そこで、本研究では、アジアの都市における高温系未利用エネルギーの活用可能性検討の第一歩として、日本の大都市圏（横浜、名古屋、大阪）における蒸気等の高温系未利用エネルギー（清掃工場排熱・汚泥焼却排熱・コージェネ排熱等）と熱需要を調査し、高温系未利用エネルギーの活用可能性が高い地区を抽出するとともに、具体的な利用方策並びに CO₂ 削減効果等について検討を行った。

2. 主な研究成果

2.1 省エネルギー、省 CO₂ 効果の試算

本研究では、横浜市、大阪市、名古屋市を例に、大都市圏の都市を対象として、清掃工場排熱の高温系未利用エネルギー活用ネットワーク計画を行い、省エネルギー量、CO₂ 削減量を試算した結果、省エネルギー効果と CO₂ 削減効果が非常に大きいことを示した。（表 1）

2.2 検討課題の整理

- ・各都市の清掃工場のエネルギー利用実態調査を行い、更新計画、地域導管周辺の都市開発を含め、整備スケジュールを加味した具体的地区での、熱利用ネットワーク計画検討が望まれる。
- ・各都市とも需要密度の高い地域の近い距離に清掃工場があり、事業性が高い事が期待出来る。今後は、事業評価を含めて具体的な検討が望まれる。
- ・本研究では、清掃工場排熱利用と CGS 導入および排熱の利用率を向上するために蓄熱システム導入を行い、省エネルギー効果、CO₂ 削減効果が大きいことを示した。今後は、熱需要量と排熱供給バランス、CGS 適正容量、蓄熱技術等をより詳細に検討し、最適な排熱ネットワークシステム構築のために技術的検討が必要である。
- ・地域導管総延長は、横浜地区で約 11km、大阪地区で約 13.7km（拡大範囲 36.7km）、名古屋地区で約 11.2km（拡大範囲 30.7km）であるが、いずれも既成市街地での敷設となる。そのため、導管敷設コストが事業性に大きく影響することになる。敷設ルート、工法、コスト縮減等が課題となる。

表 1 大都市圏各都市 CO2 削減効果比較

都 市 名		横浜市 (363 万人) (435 km ²)			大阪市 (265 万人) (222 km ²)			名古屋市 (236 万人) (326 km ²)	
検討ケース		0 期 (既存 DHC)	0+1 期 (1 万 m ² 以上対象)	0+1+2 期 (5 千 m ² 以上対象)	森ノ宮地区	御堂筋周辺 地区 (セントラル方式 建物対象)	御堂筋周辺 地区 (全建物 対象)	名古屋市 都心部 (既存 DHC+都 心導管沿)	名古屋市 都心部 (高密度、 緊急整備 地区)
対象地区面積 (ha)		158	625	625	70	581	581	106	592
対象施設延床面積 (ha)		243	853	1,062	201	約 1,000	2,632	364	1,236
供給対象熱需要: TJ/年 (平均熱負荷密度: TJ/ha・年)		1,796 (12)	6,218 (10)	7,595 (12)	1,245 (18)	11,360 (20)	24,685 (42)	2896 (27)	9,330 (16)
清掃工場 現 状	①清掃工場	鶴見清掃工場			森ノ宮 ^{※1}	4 工場	7 工場	1 工場	4 工場
	②ゴミ処理量 (万 t/年) (処理能力 t/日)	27 (1,200)			12 (400)	52.6 (1,920)	118 (4,320)	15.5 (700)	52.6 (2,310)
	③発電能力 (万 kW)	2			0	2.85	9.99	1.7	5.0
	④ボイラ発生蒸気熱量 (TJ/年)	3,178			1,145	4,992	11,649	1,348	4,268
	⑤発電利用蒸気熱量 (TJ/年)	2,412			0	3,840	10,045	814	3,634
	⑥熱利用量 (所内,DHC) (TJ/年)	766			801	1,152	1,605	330	1,061
	⑦発電量 (MWh/年)	107,181			0	171,148	513,631	56,110	166,730
	⑧発電効率 (%)	16			-	16~17	16~23	15	14
本 計 画	⑨清掃工場: 排熱利用 可能量 (TJ/年)	2,225	2,225	2,225	801	3,494	8,154	943	2,988
	⑩清掃工場排熱利用率 (蓄熱あり) (%)	(76)	(100)	(100)	(95.8)	(100)	(100)	(100)	(100)
	⑫清掃工場: 総合エネ 効率 (⑨×⑩÷④) (%)	53	70	70	67	70	70	70	70
	CGS 機器容量 (万 kW)	-	10.3	12.1	2.4	15.7	45.2	9.4	29.8
	排熱輸送管長 (km) (地域導管長)	7.8 (17.4)	7.8 (39.8)	7.8 (60.9)	1.0	13.7	36.7	11.2	30.7
CO2 削減効果 (万 t-CO ₂ /年) (火力電源係数)	清掃工場	11.8 (31%)	12.6 (9%)	12.5 (8%)	4.2 (16.4%)	19.5 (9.2%)	44.5 (8.9%)	5.7 (8.4%)	18.2 (8.7%)
	CGS	-	24.2 (18%)	29.1 (17%)	5.1 (19.9%)	42.2 (19.9%)	111.1 (22.4%)	8.9 (13.0%)	28.0 (13.4%)
	合 計	11.8 (31%)	36.8 (27%)	41.6 (25%)	9.3 (36.3%)	61.7 (29.1%)	155.6 (31.3%)	14.6 (21.4%)	46.2 (22.1%)
(需要量への 排熱カバー率)	清掃排熱	(99%)	(38%)	(31%)	(63.0%)	(31.8%)	(34.2%)	(33.5%)	(32.8%)
	CGS 排熱	(0%)	(23%)	(23%)	(13.9%)	(15.8%)	(18.8%)	(29.1%)	(28.0%)
	清掃+ CGS 排熱	(99%)	(61%)	(54%)	(76.9%)	(47.6%)	(53.0%)	(63.5%)	(61.5%)
(備 考)		ごみ低位発熱量 11.64 MJ/kg			※1: 森之宮工場の値は新規建替後の想定値 ごみ低位発熱量 9.62 MJ/kg			ごみ低位発熱量 8.02 MJ/kg	

3. 共同研究者

尾島俊雄（名誉教授・顧問研究員）

中嶋浩三（理工研・非常勤講師）

相田康幸（理工研・招聘研究員）

小林紳也（理工研・招聘研究員）

堀 英祐（創造理工学部・助手）

4. 研究業績

4.1 学術論文

アジア都市環境学会，The 7th International Symposium of Asia Institute of Urban Environment，2010.11

- ・ 日本の大都市圏における高温系未利用エネルギー活用可能性に関する研究～その1 横浜市中心部における清掃工場廃熱ネットワーク計画～
- ・ 日本の大都市圏における高温系未利用エネルギー活用可能性に関する研究～その2 大阪市中心部清掃工場排熱ネットワーク計画～
- ・ 日本の大都市圏における高温系未利用エネルギー活用可能性に関する研究～その3 高温系未利用エネルギー活用可能性に関する都市間比較～

日本建築学会，日本建築学会大会学術講演梗概集，2010.9

- ・ 清掃工場における廃プラスチック焼却量と環境負荷の関係に関する研究，2010.9，日本建築学会，日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1 分冊

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

- ・ 大都市圏における高温系未利用エネルギーの活用可能性ならびに事業性検討委員会，日本ガス協会，2010.10～2011.3

5. 研究活動の課題と展望

こうした未利用エネルギー活用ネットワークが実現すれば、地域冷暖房の普及促進に資することが期待され、環境負荷低減に伴い、更なる大気汚染防止、ヒートアイランド防止、居住環境向上や都市防災、BCP など総合的に都市環境やアメニティ向上に貢献することが期待される。そのため、CO2 削減効果が大きく、公共性が高い事業として、ネットワーク事業の特性を踏まえて、地域導管への補助制度創設等助成制度、促進施策や事業スキームの検討を行う。

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

空間における人間の行動からその人の状態を予測し、的確なサービスを行うシステムの構築を目指し、以下の三点を目的とし、研究を進めていく。

- ・空間における行動のモニタリング：各種センサなどを用い、人間の位置、速度、加速度のモニタリングを行う。
- ・行動と人間の状態との関係モデル：行動の変化から、心理、意志など人間の状態を予測するモデルを構築する。
- ・状態に合わせたサービスの提供システム：行動より状態を予測し、携帯電話などを用いて状態に合わせた的確なサービスの提供を行う。

2. 主な研究成果-空間における歩行時の身体加速度と気持ちとの関係

自分自身の心の状態（心理、感情）、他人の心の状態を常に意識しながら生活する事はない。また意識しようにも、その心の状態を正確に把握する事は、たとえ自分自身の状態であっても困難である。これを知る事ができれば、次に挙げるようなサービスが可能となる。

- ・安心・安全のための支援：迷っている、また不安を持っている人などを検知し、適切な情報の提示
- ・空間利用の促進：商業施設などで欲求的な心理を検知し、購買意欲などを増すなどの情報を提供
- ・空間の評価：空間において出現する心理状態を累計し、不安を感じやすい空間などの抽出



安心・安全のための支援



空間利用の促進



空間の評価

これまで、人間を外部から観察し心の状態を推し量る術を明らかにしたのものには、演技と加速度、また筆者らの行った身体加速度と迷いとの関係に関する研究などがあるが、対象とする心理状態は

限られ、複数の心理と身体変化との関係を明らかにしてはいない。

また昨今、歩行者自身がセンサを装着しセンサノードとなり動的にセンシングを行っていかうという試み（Human Probe）が行われており、また加速度計を搭載した携帯電話の使用が増えている現状を考えると、本研究の成果を生かし、前者においては空間の評価、また後者においては個人への情報サービスへの可能性を考える事ができる。



本研究では、歩行時の気持ちにより、身体加速度に違いがあるかを明らかにした。

各被験者に、小型無線加速度センサを、下図のようにマジックバンドで左腕、右腕、右足、腰に装着し、指定した経路を歩行させた。このセンサは Bluetooth で加速度を送信する仕組みであるため、下図のように PC を持った実験者が被験者の数メートル後ろから追跡するが、被験者には影響がないよう配慮している。



直線経路を往復させる際、気持ち（以下の「気分」と「歩行種類」の組み合わせ）を設定し歩行させた。歩行前に、以下の 7 種類の「気分」の中から一種類、また以下の 4 種類の「歩行種類」の中から一種類の組み合わせを被験者に提示し、その後歩行を開始した。

「気分」は、つまらない、哀しい、不安だ、苛々する、恐ろしい、楽しい、興奮する、の 7 種類を設定した。

「歩行種類」は、空間歩行、気分歩行、演技歩行、過剰演技、の 4 種類を設定した。

いずれの装着部位でも、またどの演技度においても、「気分」間で平均、および標準偏差には差が明確に見られたため、今後の実験においては低い演技度であっても気持ちの差を加速度で明らかにできる事が分かった。

平均、標準偏差ともに「気分」に類似の傾向を示さなかった装着部位と「歩行種類」の組み合わせは、右腕に装着し「空間歩行」を行った場合と、左腕に装着し「過剰演技」を行った場合であった。また、腰は差が見いだせないため、計測場所としては不的確であった。以上を勘案すると、「気分」と身体加速度との関係を見るには、腕に装着した方が気持ち間での差が出やすいと言える。

3. 共同研究者

林田 和人（理工総研・客員准教授）

木村 謙（理工総研・客員講師）

4. 研究業績

4.1 学会発表

- ・林田和人, 遠田敦, 吉岡陽介, 高橋正樹, 佐野友紀, 渡辺秀俊: 自律移動するロボットの人間に対して邪魔さ感を与えない距離, 日本建築学会計画系論文集, NO.651, 2010.5, pp.1133-1139
- ・林田和人, 木戸大祐, 渡辺仁史: 空間における歩行時の身体加速度と気持ちとの関係, 日本建築学会第33回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 2010.12, pp.167-170
- ・林田和人, 遠田敦, 吉岡陽介, 佐野友紀, 高橋正樹, 渡辺秀俊: 拡張現実により表現された空間における距離感 AR 技術を用いて表現した三次元ロボットに対する行動特性に関する基礎的検討その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1, 2010.9, pp.969-970
- ・木戸大祐, 菊地弘祐, 林田和人, 渡辺仁史: 環境音の映像化による空間に対する期待感の高揚, 日本建築学会第33回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 2010.12, pp.155-158
- ・井上友香理, 菊地弘祐, 林田和人, 渡辺仁史: 行動軌跡の履歴表示による街歩き行動の変化に関する研究, 日本建築学会第33回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 2010.12, pp.163-166
- ・坂田礼子, 渡辺仁史, 長澤夏子: 人間の内面変化を考慮した状態遷移モデルの構築に関する研究, 2010年, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1 分冊, pp.707-708
- ・井上友香理, 江原徹朗, 林田和人, 渡辺仁史: 施設利用者における休憩需要の空間的広がりに関する研究, 2010年, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1 分冊, pp.731-732
- ・小池太輔, 遠田敦, 渡辺仁史: 歩行者に反応するインタラクティブ映像の鑑賞行動に関する研究, 2010年, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1 分冊, pp.783-784
- ・河田豊, 林田和人, 渡辺仁史: 玄関空間の照明がもたらす気分創出効果に関する研究, 2010年, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1 分冊, pp.867-868
- ・木戸大祐, 林田和人, 渡辺仁史: 店舗ファサードにおける視界の遮りと歩行動作や印象との関係, 2010年, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1 分冊, pp.957-958

4.2 助成

渡辺仁史, 林田和人: 早稲田大学2010年度特定課題研究助成費(特定課題B)「歩行時の速度・加速度・視線変化による心理状態の予測 (2010B-183)」

4.3 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

5. 研究活動の課題と展望

本プロジェクトでは、歩行中の人間の動作加速度と、その時々々の気持ちとの関係を明らかにした。今後は、歩行者が携帯する携帯電話の加速度計により歩行中の加速度を計測し、刻々と変化する自分自身の気持ちを自身にフィードバックするシステムを構築する必要がある。これが可能になれば、意外と分からない自分自身の気持ちを知ることができる。また、他者の気持ちの状況が分かる仕組みができれば、他者に対しても各自がサービスを行える未来が創造できることになる。

長期大型プロジェクト研究

【07L01】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、室内から発生するホルムアルデヒドや揮発性有機化合物（VOC）及び半揮発性有機化合物（SVOC）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。具体的には、小型チャンバー法の確立、同法を用いた建材からの化学物質測定、室内濃度の予測、シックハウス低減のための技術開発などを行う。また、室内空気質を検討する際には、室内の温熱環境とのバランスを含めて検討することが重要である。本研究では、空調システムや半屋外環境を含めた総合的な温熱環境の評価及びシミュレーションツール開発や被験者実験を行う。本研究は、研究途上にある室内空気質問題に焦点を当て、極めて社会貢献度の高い研究である。研究・開発が行われる測定方法に関しては、新規性が高く特許取得などが考えられる。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。建築分野のみの知見だけではなく、分析化学分野、機械分野などの領域を含み極めて学際的な研究である。国際的な共同研究も視野に入れている。という点で特徴的である。

2. 主な研究成果

- 2.1 車室内ガス成分濃度の予測および定量評価手法の検討
- 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 接着剤からのアセトアルデヒドの放散と臭いの評価に関する研究
- 2.4 自動車車室内快適性予測技術に関する研究
- 2.5 室内空気質環境への改良・改善技術および評価技術に関する開発
- 2.6 空調システム開発の為にCFD・人体連成モデルの開発の基礎研究
- 2.7 接触熱伝導が温冷感に与える影響に関する研究
- 2.8 ガラスの違いが自動車室内の乗員温熱感に与える影響に関する研究
- 2.9 知的生産性に関する基礎調査



模擬咳気流発生装置



床暖房実験中のサーマルマネキン

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）

合原 妙美（理工研・招聘研究員）

望月 悦子（千葉工大・准教授・招聘研究員）

西原 直枝（学振 R-PD・招聘研究員）

金 勲（理工研・研究院講師）

針ヶ谷 純吉（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）

舟木 理香（建材試験センター・招聘研究員）

堤 仁美（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

・金炫兌, 田辺新一, 金泰佑, 川村聡宏、韓国住宅におけるリフォーム前後のハウスダスト中 DEHP 濃度と床材からの SVOC 放散速度、日本建築学会環境系論文集、NO.665、pp.617-、2011.07

・大森敏明, 田辺新一, 板垣雅治、建物の断熱性能と暖房方式が室内温熱環境と室内投入熱量に与える影響、日本建築学会環境系論文集、NO.661、pp.231-、2011.03

・金勲, 田辺新一、ホルムアルデヒド濃度低減性能試験における試験法及び低減建材面積比が低減性能評価に与える影響、日本建築学会環境系論文集、NO.659、pp.35-、2011.01

・橋本康弘, 野崎淳夫, 田辺新一, 桑澤保夫, 大澤元毅, 坊垣和明、塗布剤による化学物質の放散抑制に関する研究：建材から発生する化学物質に対する封止塗料の抑制効果、日本建築学会環境系論文集、NO.657、pp.987-、2010.11

・西原直枝、羽田正沖、田辺新一、夏季冷房 28℃オフィスにおける執務者の着衣量および主観申告調査、日本家政学会誌、61(3)、pp.169-175、2010.09

・金炫兌、田辺新一、岡田厚太郎、日本・韓国の住宅におけるハウスダスト中 DEHP 濃度の測定、日本建築学会環境系論文集、No.654、pp.713-、2010.08

4.2 国際会議発表

・Shin-ichi Tanabe, Hitomi Tsutsumi, Hitomi Takeuchi, Masakazu Setsujima, Koichi Nakahara、Effects of environmental factors on chlorine dioxide gas for infection control against pandemic flu、Clima 2010 WellBeing Indoors Proceedings、2010

・Hyun-tae Kim, Kotaro Okada, Shin-ichi Tanabe、Phthalate oral-intake of infants form house dust in Japan and Korea、Clima 2010 WellBeing Indoors Proceedings、2010

- ・ Atsushi Koganezawa, Hisato Nakamura, Shin-ichi Tanabe, Hoon Kim, Akira Yonezawa, Kunihiro Onishi, Measurement of Three VOCs Emission Rates from Adhesives Using Calcium Silicate Boards、Clima 2010 WellBeing Indoors Proceedings、2010
- ・ Yuki Yamada, Kosuke Kawada, Nobuhiro Hirasuga, Fumito Yamagata, Wakako Ikegami, Kiyoshi Sakamoto, Athushi Sakai, Tadashi Iino, Hiroshi Matsumura, Junta Nakano, Shin-ichi Tanabe、Thermal Environmental Characteristics among Train Stations Based on Field Surveys、Clima 2010 WellBeing Indoors Proceedings、2010
- ・ Naoe Nishihara, Shin-ichi Tanabe、The effects of breathing depth on cerebral oxygenation changes、Clima 2010 WellBeing Indoors Proceedings、2010
- ・ Hitomi Tsutsumi, Shin-ichi Tanabe, Hitomi Takeuchi, Fumihiko Shinoda, Masakazu Setsujima, Koichi Nakahara、Infection Prevention against Pandemic Flu using Chlorine Dioxide Gas: Measurement of Reaction Rate Constant of Chlorine Dioxide Gas with Tedlar Bag、ISCC2010、pp.346-351、2010

4.3 学会発表

- ・ 西原直枝、柳井崇、田辺新一、知的生産性に関する研究 その5 室内環境質に関する知的生産性評価手法、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1 分冊、pp.33-34、2010
- ・ 尾関義一、田辺新一、人間熱環境系快適性数値シミュレータ その41 Zhang モデルによる全身・部位別温冷感の予測に関する基礎的検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2 分冊、pp.601-602、2010
- ・ 田辺新一、堤仁美、堀賢、医療・福祉施設における感染リスク低減に関する研究 その1~7 研究背景・目的、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2 分冊、pp.835-848、2010
- ・ 川村聡宏、岡田厚太郎、Hyuntae Kim、金勲、田辺新一、吉野博、半揮発性有機化合物 (SVOC) の測定法に関する研究 その12 日本の実住宅におけるハウスダスト中 SVOC 濃度測定結果の比較、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2 分冊、pp.913-914、2010
- ・ 和田一樹、粕谷敦、樋口祥明、高橋幹雄、川口玄、田辺新一、西原直枝、羽田正沖、タスク・アンビエント対応膜放射冷房システムに関する研究(その1) 人体熱モデル JOS と数値流体解析に基づく効果予測、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2 分冊、pp.1077-1078、2010
- ・ 吉村真一、小金澤淳、金勲、田辺新一、仲村寿人、川本隆文、渡辺孝、接着剤からの揮発性有機化合物測定法に関する研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.349-352、2010.9
- ・ 田辺新一、諫早俊樹、伊藤隆、堤仁美、平須賀信洋、竹内瞳、岩瀬基彦、篠田文彦、森本正一、堀賢、医療・福祉施設における感染制御に関する研究 (第1~6報)、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.1247-1270、2010.9

5. 研究活動の課題と展望

長期大型研究の指定を受け、2007~2011 年度の研究期間を予定している。

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、医工学融合実験に基づき医療効果を定量化する研究を推進している。2008年に創設した早稲田大学・東京女子医科大学連携研究施設 (TWIns)において、従来の動物や死体を用いた 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 ラボを構築してきた。医学領域で用いられてきた医療効果の評価手法である生物統計をベースとした Evidenced Based Medicine(EBM)に対して、我々のアプローチを Engineering Based Medicine(Another EBM)と称して社会への普及に努めている。モデリング・シミュレーションを駆使した医療への挑戦は、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) 人工心臓の使用法を評価する医工学実験系の確立、2) 数値流体解析のベンチマーク試験系の確立、を目的とした。

2. 主な研究成果

2.1 人工心臓の使用法を評価する医工学実験系の確立

治療機器の有効性・安全性はデバイスそのものの性能もさることながら、使用法によっても大きく左右され、治療に伴う合併症や死亡という治療リスクを低減させるには使用法を考慮した医工学的評価が必要となる。ここでは、体内埋め込み型補助人工心臓の使用法を評価する医工学実験系を紹介する。補助人工心臓の臨床で解決しきれていない問題の一つが血栓塞栓症である。血流のよどみは血栓の形成を促進するが、血流を解析することは臨床試験や動物実験では困難である。ここでは、拡張型心筋症 (DCM) の心室挙動を非臨床で再現する心

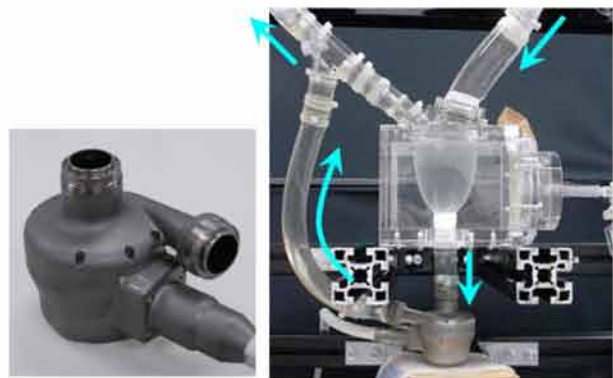


図1 体内埋め込み型補助人工心臓 (左) と心臓循環シミュレータ (右)。右図の矢印は流れの向きを示している。僧帽弁から流入した血流は左心室を通して人工心臓に導かれ大動脈へとバイパスされる。

臓循環シミュレータを開発し、高速パルスレーザーと高速度カメラを駆使して血流をリアルタイム可視化計測することで、病態心壁挙動が左心室内流れに与える影響を検討する実験系の構築を目的とした。より具体的に言えば、心室内に留置される脱血管近傍で懸念された血液のよどみを評価しようとする試みである。図1にシミュレータの写真を示す。左心室はシリコンゴム製であり、その挙動を空気圧駆動で制御できる。埋め込み型人工心臓を左室先端部に装着し、大動脈へ流れをバイパスさせる機構となっており、臨床と合致した血行動態を再現できる技術を確認した。経食道エコーから得た臨床画像をもとに二症例の DCM を選択し比較した。病態左心室の再現は拡張末期径、収縮末期径、左心室内短縮率をもとに行った。結果、人工心臓の使用条件を同一にしても左心室の挙動による影響を受け、左心室内流れは症例により異なることが判明した。ここでは、人工心臓の使用法を取り上げたが、個々の患者状態が異なるなかで、問題に対する本質を見極め治療リスクの低減を図っていくには標準化が不可欠であり、工学領域で蓄積されたモデリング・シミュレーションへの期待が高まっている。なお、本実験に使用している体内埋め込み型人工心臓は東京女子医大山崎健二教授の発案のものを医工連携のもとに製品化が図られた。それが、厚労省からの認可を受け EVAHEART の名称で、サンメディカル技術研究所から本年より販売が開始された。

2.2 数値流体解析のベンチマーク試験系の確立

自動車や航空機の開発を下支えしてきた工学ツールとしてコンピュータを用いて流体の流れを解析する数値流体解析 (CFD) が医学領域で注目されている。臨床では計測困難な血管内部の血流を詳細に解析し、病態の診断や治療の有効性・安全性評価に用いようとする試みである。CFD は有力なツールであるが、工学領域では風洞等による標準実験 (ベンチマーク試験) と比較し、解析の前提や精度を検証したうえでということ忘れてはならない。標準実験を患者で行うことは不可能であるなかで、現実により近い形を再現した脳血管シミュレータを構築してきた。1) 患者ごとの実形状かつ生体同等の壁弾性をもつ血管モデル、2) 体外で圧力・流量波形を生体内と合致させる血行動態の制御技術、3) レーザーと複数の高速度カメラを用いた 3 次元流体計測技術を結集させた in vitro 環境を構築した。脳動脈瘤を対象として、実験と解析結果を比較したところ、概ねの流れの様相は一致したが相違も明らかとなった。例えば、血流が衝突する箇所では、血管壁にかかる圧力が増大しそれにより壁の変形・運動

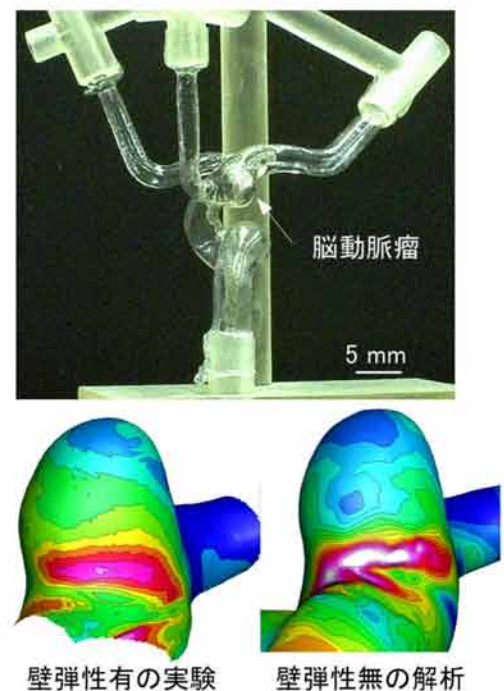


図2 実験・解析の比較による血流解析の精度評価 (上: 実形状かつ弾性壁からなる脳動脈モデル, 下: せん断応力の比較 (赤: 高, 青: 低))

が周辺部位と比較して顕著になる．このような箇所の血流を評価する場合には解析の前提そのものを含めた精度検証が必要であることが明らかとなった．数値解析という新たなツールが医学領域に導入されていくなかで，解析結果の信頼性を検証し，効果と限界を明示的に示す必要性を説いている．

3. 共同研究者

岩崎清隆（高等研究所・准教授）

朴栄光（理工学研究科・助手）

井街宏（理工学研究科・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）

八木高伸（理工研・講師）

錢逸（理工研・客員研究教授）

藤本哲男（理工学研究科・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）

4. 研究業績

4.1 学術論文

- 1) Yagi T, Yang W, Umezu M, Effect of bileaflet valve orientation on the 3D flow dynamics in the sinus of valsalva, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 6(2):64-78, 2011.
- 2) Zhonggang Feng, Daiki Seya, Tatsuo Kitajima, Tadashi Kosawada, Takao Nakamura, Mitsuo Umezu, Viscoelastic characteristics of contracted collagen gels populated with rat fibroblasts or cardiomyocytes J Artif Organs, DOI:10.1007/s10047-010-0508-x, Published online: 08 July 2010.
- 3) T Tanaka, R Kume, S Kusunose, R Tatsuta, T Igarashi, K Ito, K Iwasaki, M Umezu, Experimental investigation to ensure a safety of the exchange of extracorporeal-type ventricular assist devices in long-term-use patients, CTLim, JCH Goh(Eds) WCB2010, IFMBE Proc. 31:pp378-381, 2010.
- 4) Y Okamoto, H Inukai, H Kobashi, H Yamaga, T Yagi, K Iwasaki, R Shiurba, M Umezu, Silicone vascular models for analysis of carotid artery stenting, CTLim, JCH Goh(Eds) WCB2010, IFMBE Proc. 31:pp398-401, 2010.
- 5) Y Shiraishi, S Yabe, H Lin, T K Sugai, Y Saijo, T Fujimoto, M Umezu, T Yambe, Y Sakai, K Tabayashi: Tangible modeling of ventricular aneurysm, CTLim, JCH Goh(Eds) WCB2010, IFMBE Proc. 31:pp469-472, 2010.
- 6) 白石泰之, 鈴木一郎, 梅津光生, 山岸正明, 山家智之, 循環シミュレータによる右心系心臓代用弁の血行動態評価, 人工臓器, vol.39 no.3 pp214-217, 2010.
- 7) 津久井宏行, 朴栄光, 冠動脈バイパスレーニングシステムを使用して, 人工心臓, vol.39 no.3 pp227-231, 2010.

- 8) 八木高伸, 銭逸, 高尾洋之, 村山雄一, 梅津光生, 脳動脈瘤の破裂を予想する医工学技術の確立に向けて, 人工臓器, vol. 39 no. 3 pp214-217, 2010.

4.2 総説・著書

- 1) 異分野連携を進めるためのコツ, 咀嚼と健康 (日本咀嚼学会雑誌), 20 巻 1 号, pp37-40, 2010.
2) 岩崎清隆: 人工心臓 (基礎), 人工臓器, vol. 39 no. 3 pp154-156, 2010. 12

4.3 招待講演

- 1) 融合研究推進の環境作りの試み 女子医大・早大連携施設 (TWIns: ツインズ) の運営経験から, 第 11 回山形ニューロサイエンス研究会, 2010. 6. (山形大学)
2) TWIns における真の医理工連携の実践, 第 3 回三大学 (関西大学・大阪医科大学・大阪薬科大学) 医工薬連環科学シンポジウム, 2010. 7. (大阪薬科大学)
3) バイオエンジニアの先進医療への挑戦: Another EBM, 第 13 回脳血管外科治療セミナー, 2010. 7. (大阪)

4.4 受賞・表彰

- 1) 日本バーチャルリアリティ学会論文賞 (2010)
2) Excellent poster award Int. Symp. of materials regenerative medicine (ISOMRM) (2010)
3) HAYASHI AWARD 第 47 回日本人工臓器学会 (2010)
4) 優秀演題 Asia Pacific travel grant 第 48 回日本人工臓器学会大会 (2010)
5) コメディカルセッション優秀賞 第 39 回人工心臓と補助循環懇話会 (2010)

4.5 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（医工連携研究推進基盤研究事業（H20－22）、医療機器開発推進研究事業（H23－25））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る．産官学連携をさらに加速させ、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）治療機器の非臨床GLP対応試験グローバル拠点の整備、を行っていく予定である．

生理活性物質科学

研究代表者 竜田 邦明

(理工学術院・応用化学科・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成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、ナノレベル以下で精密に有用物質を設計・合成する研究を通して学際領域を広く活性化し、つぎの科学への出発点であるという概念を例証する。

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た。

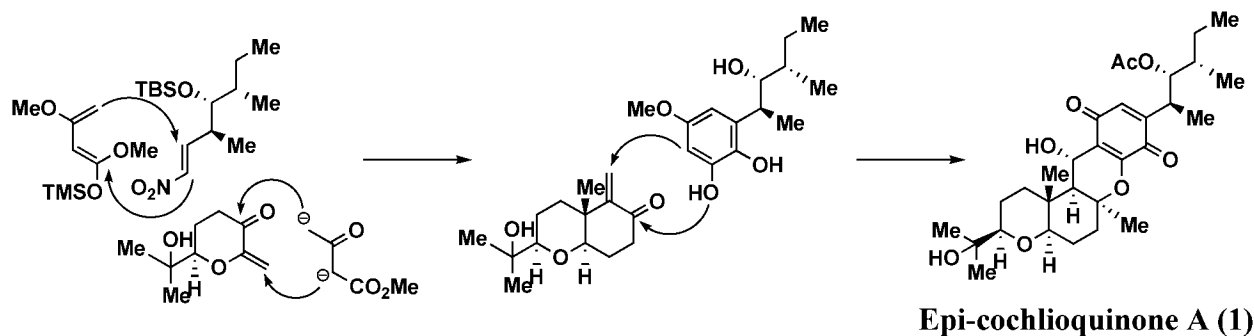
2. 主な研究成果

〔生理活性物質（天然物）の実践的全合成と開発〕

1) ACAT 阻害物質 epi-cochlioquinone A の最初の全合成と絶対構造の決定

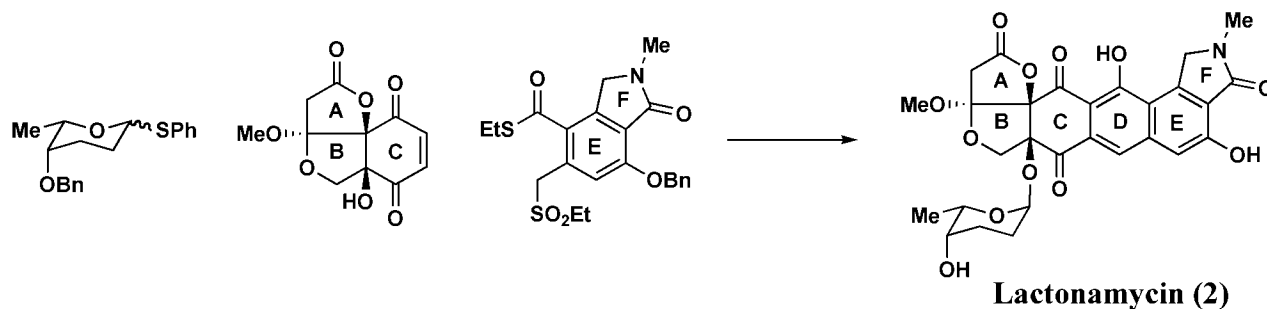
Epi-cochlioquinone A (1) は ACAT 阻害活性を示すことからコレステロール吸収抑制薬として期待されている。構造的特徴は 9 個の不斉炭素原子をもつパラキノン環を含む 4 環式骨格構造である。

[4+2] および [3+3] 付加環化反応と独自に開発した自己酸化還元触媒反応を駆使することにより天然物 1 の最初の全合成を達成すると共に絶対配置を決定した。



2) 制がん抗生物質 lactonamycin の最初の全合成と絶対構造の決定

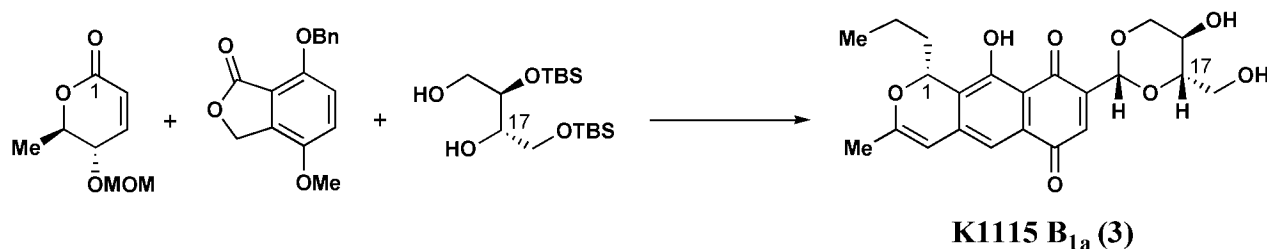
Lactonamycin (2)は制がん活性のみならずグラム陽性耐性菌に有効な抗生物質として期待されている。また、3級の水酸基に構成糖が α -グリコシド結合している連続する5-5'-6-6'-5'環式構造も合成化学上、注目されている。ABC環の鍵中間体に立体特異的に糖質を導入し、さらに、独自に開発したMichael-Dieckmann反応により6環式前駆体を得た後、保護基を除去してlactonamycin (2)を得て、最初の全合成を達成すると同時に絶対構造も決定した。



3) 抗生物質 K1115B1 の最初の全合成と絶対構造の決定

K1115B1 (3)はピラノナフトキノ系抗生物質として注目されていたが、絶対構造の決定と生理活性の確証を目的として全合成を行った。

3つの構成成分のうち、不斉炭素原子を含む2つの構成成分を糖質を原料にして合成した後、独自に開発したMichael-Dieckmann反応を活用してピラノナフトキノ骨格を構築した。アセタール部分を導入して全合成を達成すると共に絶対構造を決定した。この結果、天然の抗生物質がジアステレオマーの混合物であることを見だし、それぞれの絶対構造と比率を明らかにした。



【参考文献】

- (1) S. Hosokawa, K. Matsushita, S. Tokimatsu, T. Toriumi, Y. Suzuki, K. Tatsuta, "The first total synthesis and structural determination of epi-cochlioquinone A", *Tetrahedron Lett.*, **51**, 5532-5536 (2010).
- (2) K. Tatsuta, H. Tanaka, H. Tsukagoshi, T. Kashima, S. Hosokawa, "The first total synthesis of lactonamycin, a hexacyclic antitumor antibiotic", *Tetrahedron Lett.*, **51**, 5546-5549 (2010).
- (3) K. Tatsuta, S. Tokishita, T. Fukuda, T. Kano, T. Komiya, S. Hosokawa, "The first total synthesis and structural determination of antibiotics K1115 B1s (aluminumins)", *Tetrahedron Lett.*, **52**, 983-986, (2011).

【08L04】建築・空調におけるエネルギー有効利用に関する研究

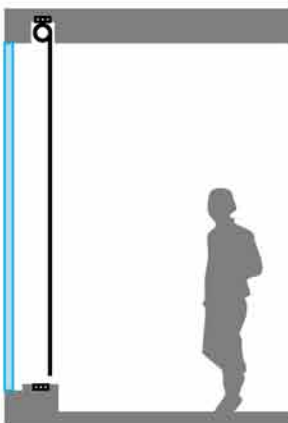
研究代表者 田辺 新一
(理工学術院建築学科 教授)

1. 研究課題

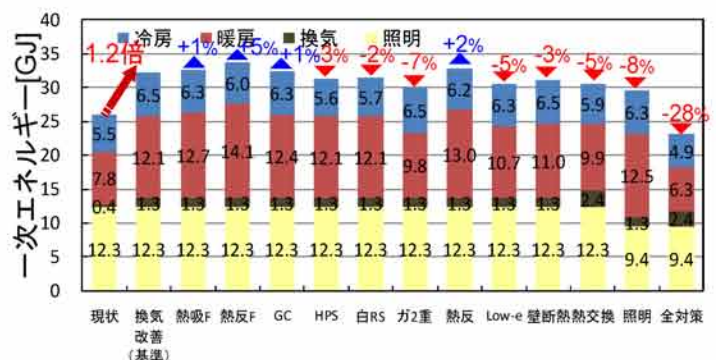
本研究の目的は、建築環境を維持する上で消費される種々のエネルギーの種類や量について調査・分析を行い、省エネルギーや自然エネルギー利用によってそれがどの程度抑制可能となり、環境負荷の削減にどの程度寄与するのかを定量的に明らかにすることにある。具体的には、工場や駅など様々な空間における実測・実験や小学校などの冷房、自然換気運用に関する現状調査を通して、空調の省エネルギー手法や熱源の最適化検討を行う。また、デシカント空調、パーソナル空調、床暖房など新しい空調システムの快適性・省エネルギー性評価を行うことで、より環境負荷の小さな空調・換気システムの実現を図る。これらの研究を統括するものとして、エネルギ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 住宅におけるエネルギー有効利用のグローバル動向に関する調査研究
- 2.2 順天堂大学と早稲田大学による次世代環境医療研究に関連した「エコ技術」に関する研究
- 2.3 タスク・アンビエント対応膜放射空調システムが居住者に与える影響に関する評価研究
- 2.4 ZEB化省エネビルの室内環境評価
- 2.5 低炭素社会に向けた業務用熱源容量最適化検討
- 2.6 エキナカ店舗における省エネルギー化に向けた研究



ファサードの熱環境向上と省エネ技術



小学校の省エネ改修効果試算

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)

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 ヒュンテ（創造理工学部・助手）

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（学振 R-PD・招聘研究員）
金 勲（理工研・講師）

4. 研究業績

4.1 学術論文

- ・金炫兌, 田辺新一, 金泰佑, 川村聡宏、韓国住宅におけるリフォーム前後のハウスダスト中 DEHP 濃度と床材からの SVOC 放散速度、日本建築学会環境系論文集、NO.665、pp.617-、2011.07
- ・大森敏明, 田辺新一, 板垣雅治、建物の断熱性能と暖房方式が室内温熱環境と室内投入熱量に与える影響、日本建築学会環境系論文集、NO.661、pp.231-、2011.03
- ・金勲, 田辺新一、ホルムアルデヒド濃度低減性能試験における試験法及び低減建材面積比が低減性能評価に与える影響、日本建築学会環境系論文集、NO.659、pp.35-、2011.01
- ・橋本康弘, 野崎淳夫, 田辺新一, 桑澤保夫, 大澤元毅, 坊垣和明、塗布剤による化学物質の放散抑制に関する研究：建材から発生する化学物質に対する封止塗料の抑制効果、日本建築学会環境系論文集、NO.657、pp.987-、2010.11
- ・西原直枝、羽田正沖、田辺新一、夏季冷房 28℃オフィスにおける執務者の着衣量および主観申告調査、日本家政学会誌、61(3)、pp.169-175、2010.09
- ・金炫兌、田辺新一、岡田厚太郎、日本・韓国の住宅におけるハウスダスト中 DEHP 濃度の測定、日本建築学会環境系論文集、No.654、pp.713-、2010.08

4.2 国際会議

- ・Masato Sasaki, Takashi Yanai, Takashi Akimoto, Shin-ichi Tanabe、Evaluation of work place environment and energy consumption in office for creative work、Clima 2010 WellBeing Indoors Proceedings、2010
- ・Takuro Yoneda, Jeongsoo Kim, Yutaka Oura, Ken-ichi Yasuda, Shin-ichi Tanabe、Thermal Evaluation of Environmental Design Method on Building Façade、Clima 2010 WellBeing Indoors Proceedings、2010
- ・Mari Yamamoto, Naoe Nishihara, Gen Kawaguchi, Junkichi Harigaya, Shin-ichi Tanabe、Comparison of the transition of thermal environment in office between Japan and the US、Clima 2010 WellBeing Indoors Proceedings、2010

4.3 学会発表

- ・水石仁、村上周三、伊香賀俊治、田辺新一、英国におけるゼロカーボン住宅・建築政策の実態調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1 分冊、pp.1197-1198、2010
- ・中野淳太、山田有紀、伊藤光太郎、中村友香、横山朋之、山形史人、飯野直志、佐藤敏彦、坂本圭司、田辺新一、駅空間における熱的快適性実測調査 その 24~28、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2 分冊、pp.545-5554、2010
- ・大森敏明、大平昇、板垣雅治、田辺新一、対流・放射連成シミュレーションによる室内温熱環境の総合評価（その 10、11）建物の断熱性能と暖房方式が室内温熱環境と室内投入熱量に与える影響の解析、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2 分冊、pp.653-656、2010

・村上剛志、峰野悟、田島昌樹、佐藤務、桑沢保夫、田辺新一、坂本雄三、全館空調換気システムが採用された住宅におけるエネルギー効率に関する測定 その1、2 実験住宅及び全館空調換気システムの概要、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2 分冊、pp.995-998、2010

・岩橋優子、米田拓朗、川口知真、川田康介、金政秀、田辺新一、安田健一、建築ファサードにおける環境デザイン手法の熱的評価 その7~12：自然換気窓の換気量調査（Bビル）、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2 分冊、pp.1217-1228、2010

光野茂生、堀川晋、林立也、内田智志、山本麻莉、石倉結花、田辺新一、潜顕熱分離空調システムの省エネルギー性・快適性に関する研究（その1） 夏季実測調査概要及び室内環境測定結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2 分冊、pp.1341-1342、2010

内田智志、光野茂生、堀川晋、林立也、山本麻莉、石倉結花、田辺新一、潜顕熱分離空調システムの省エネルギー性・快適性に関する研究（その2） 空調機処理熱量及び電力消費量測定結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2 分冊、pp.1343-1344、2010

・石倉結花、林立也、西原直枝、堤仁美、羽田正沖、内田智志、山本麻莉、田辺新一、潜顕熱分離処理空調システムの省エネルギー性・快適性に関する研究（その3）潜顕熱分離空調システムが執務者の快適性・作業性に与える影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2 分冊、pp.1345-1346、2010

・浜崎紘嗣、岩橋優子、千代延亜弥、川口知真、川田康介、金政秀、藤野三樹、森勝彦、八木佐千子、古谷誠章、田辺新一、公立小学校の冷房化に関するエネルギー予測と環境対策シナリオ その6~8、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2 分冊、pp.1349-1354、2010

・石倉結花、堀川晋、林立也、内田智志、山本麻莉、西原直枝、光野茂生、田辺新一、潜顕熱分離空調システムにおける室内温熱環境と省エネルギー性の評価、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.1139-1142、2010.9

・大森敏明、田辺新一、対流・放射連成解析による住戸内温熱環境の快適性・エネルギー消費量総合評価（その6）建物の断熱性能・暖房方式と室内温熱環境・室内投入熱量、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.2271-2274、2010.9

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 年の研究期間を予定している。

獎勵研究

室内有害有機物化合物及び知覚空気質測定法に関する研究

研究代表者 金 勲
(理工学研究所 次席研究員)

1. 研究課題

建材から放散されるにおいては室内に直接放出され、不快感や健康障害を引き起こすことがある。建材は種類が多く、混合臭・弱いにおいがあるため、このような特性を考慮したにおいスクリーニング法が求められている。本研究では、建材を対象にした知覚空気質評価法として臭気瓶法を提案し、被験者実験と化学分析を通じて臭気瓶法の実用性及び有効性を検証してゆく。

接着剤には様々な化学物質が使われるため室内空気汚染源の重要因子であり、最近の建設工事には工期短縮と強度確保といった面から接着剤の使用量が増えている。接着剤から放散される化学物質測定は多くの研究が行われ試験法も定められているが、従来の試験片作製法と試験方法では急激な初期放散減衰と乾燥、硬化による成分変化、膜形成による放散性状の変化のため、試験初期の放散速度を正確に測定するのが難しい、再現性に乏しく試験結果に偏差が大きくなる問題があった。そのため、けい酸カルシウム板 (CSB) を用いた新しい試験片を提案し、接着剤放散試験における上記問題点を解決することを目的とする。

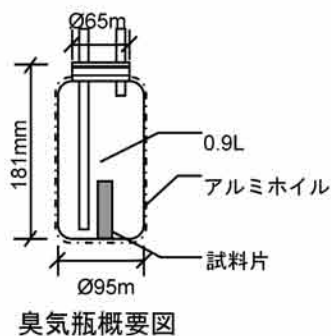
2. 主な研究成果

2.1 動的臭気瓶法の改良及び被験者実験

臭気瓶は、容量 0.9L・ガラス製のものを用いた。金属製の蓋には二カ所に穴を開け、一方にはテフロンチューブを瓶の底面付近まで差し込み、清浄空気を供給する。もう一方の穴には、嗅ぎ口となるスニッフィングポート (Sniffing Port、以下 SP) をとりつけた。SP にはテフロン製のスリーブ型のもの、とアルミ製の漏斗型のものの 2 種類を用いた。清浄空気供給の流量は、1 本あたり 200ml/min (換気回数 13.3 回/h) とした。4 種類の建材を 20×20×80mm (表面積 72×10⁻⁴m²) の直方体に加工し、換気が行われるドラフト内で 2 週間養生した。SP 条件それぞれに対し、1 回目にヒノキとタモの 10 条件+ブランク 1 条件、2 回目にアカマツとスギの 10 条件+ブランク 1 条件を評価してもらった。評価項目は、快不快度、臭気強度、受容度の 3 項目である。

得られた結果は 1) においの弱い建材は臭気強度の区別が難しい、2) 快不快度に関して、タモ以外の建材で負の相関がある。タモは全体的に不快側に傾いた、3) 受容度に関して、全体的に受け入れられる側の申告が優勢であったが、試料負荷率の増加に対して負の相関が認められた、4) 相関がみられたものに関して有意差検定を行ったが、個別実験条件内の結果において有意差有りとは判断された項目であっても、試料負荷率 5 条件に対するそれぞれの比較全てに有意な差が認められたものはなかった、5) SP の形状の違いにより申告結果に違いが生じることが示唆された。

今回は、各試料負荷率に対して換気回数が大きい条件での実験になったことから、濃度が低く弁別が難しくなった。今後、瓶の容量を大きくし試料負荷率を上げることと SP をより嗅ぎやすい形状にし、臭気瓶法の改良を行う。



分岐装置

臭気瓶実験風景

図 1 動的臭気瓶法

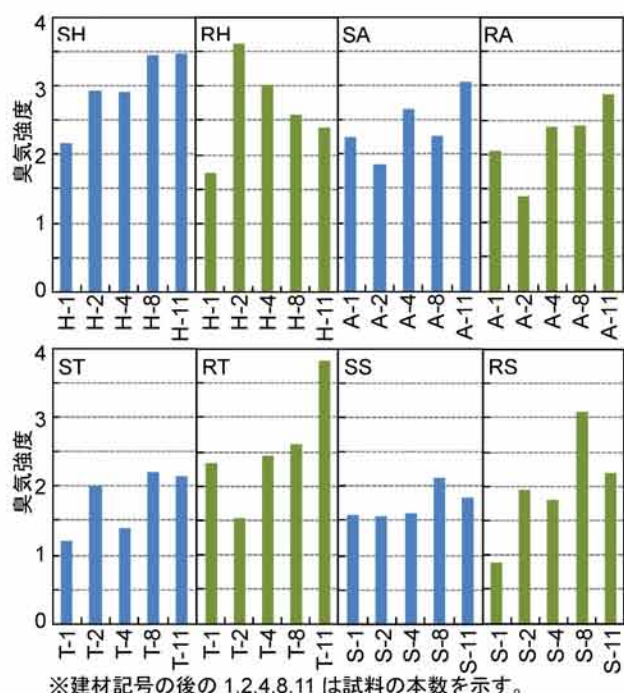


図 2 試料負荷率による臭気強度申告結果

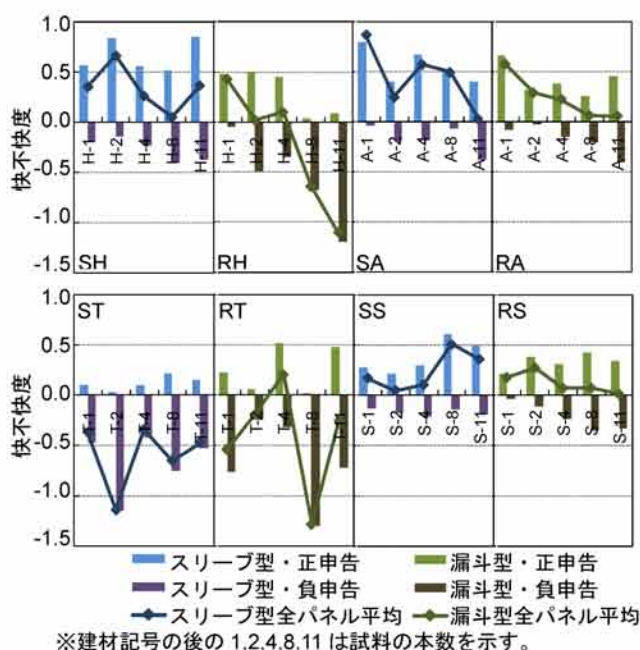


図 3 試料負荷率による不快度申告結果

2.2 接着剤からの放散速度測定法に関する研究

4 種の VOCs (トルエン T、キシレン X、エチルベンゼン E、スチレン S) を添加した接着剤 2 種に関して放散試験を行い、再現性の検討及び VOCs 添加量条件による放散性状、4 種の VOCs ごとの放散傾向の相違、VOCs 含有量と放散速度の相関を調べた。また、CSB の 4 種 VOCs に対する有効拡散係数を測定した。添加量変化試験から得られた結果は、1) 全条件においてよい再現性が得られた、2) 測定期間中、m-キシレン、エチルベンゼンの放散傾向はほとんど一致していた。揮発性の高いトルエンはこの 2 種類の VOCs よりも低い放散速度となり、1 日目以前にその多くが放散された可能性が考えられた、3) スチレンはエチルベンゼンや m-キシレンと同等あるいはそれよりも放散しやすい傾向にあった、4) どちらの接着剤においても VOCs 含有量と安定後の放散速度に比例の相関関係が見られ、VOCs 含有量から放散速度を予測できることが示された、5) 他の VOCs を混合することにより、トルエンの放散が促進される可能性が示された。

CUP 法を用いた有効拡散係数測定試験からは以下の結果が得られた。

純物質同士では有効拡散係数の値に大きな差は見られなかったが、S の結果が約 310~342 [$\times$

$10^{-9}\text{m}^2/\text{sec}$] となり、その他 3 種の VOCs (T、X、E) に比べてやや小さい値となった。混合物同士では、TX、TXE、TXES の結果が 300 ± 10 [$\times 10^{-9}\text{m}^2/\text{sec}$] 程度となり、純物質の結果よりやや低い値ではほぼ同等となった。また TS の結果が約 $260 \sim 280$ [$\times 10^{-9}\text{m}^2/\text{sec}$] でやや小さい値を示し、唯一トルエンを混合していない条件である XE の結果が約 $383 \sim 399$ [$\times 10^{-9}\text{m}^2/\text{sec}$] となり、最も大きい値を示した。トルエンの飽和蒸気圧が高いことによってトルエンを含む条件における単位時間当たりの質量変化が大きくなる一方、カップ内部の飽和気相濃度でより大きく補正されるため、結果的に有効拡散係数が低く算出されるものと考えられた。

純物質条件における単位時間当たり質量変化は、沸点の低い物質順に大きい値を示し、混合条件の単位時間当たり質量変化は混合されている純物質の結果の平均値と近い値となった。また、飽和蒸気圧の高いトルエンが含まれている場合に有効拡散係数は小さく算出されることから、基材が同一建材条件でのカップ法実験では、単位時間当たり質量変化を考慮した評価が必要と考えられる。

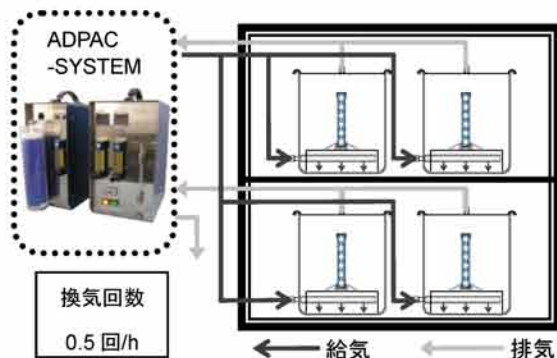


図4 20L 小形チャンバーを用いた放散速度試験

表1 CSB を用いた接着剤放散速度試験結果

試料名称	化学物質	1日目		3日目		5日目		7日目	
		-1	-2	-1	-2	-1	-2	-1	-2
E0.1	T	312	382	34	59	22	31	18	25
	m-X	980	874	59	107	28	39	23	32
	E	923	788	53	92	27	37	23	31
	S	210	219	17	26	8	11	6	8
W0.1	T	104	160	67	14	12	21	10	16
	m-X	359	399	62	41	15	28	12	20
	E	323	368	60	34	15	27	11	20
	S	55	48	14	8	3	4	2	3

※網掛け部分は放散速度自主基準値を上回る値

[$\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

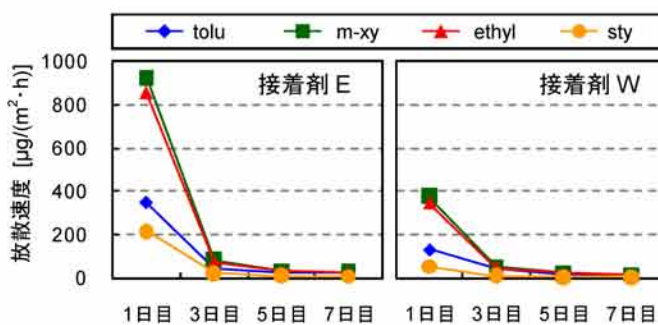


図5 VOC 別放散速度

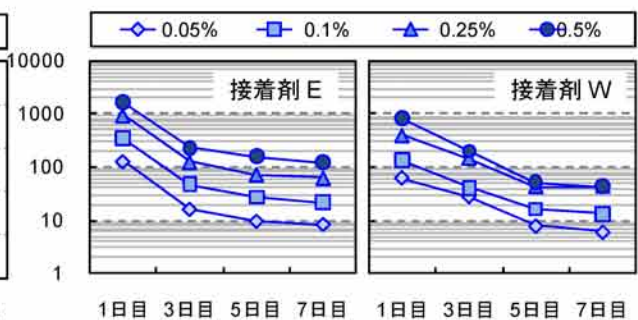


図6 添加量条件別トルエン放散速度

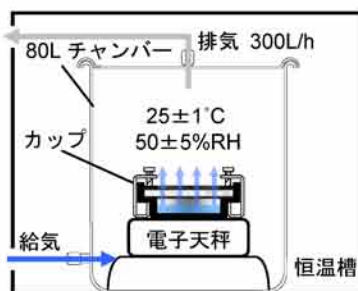


図7 CUP 法概要図

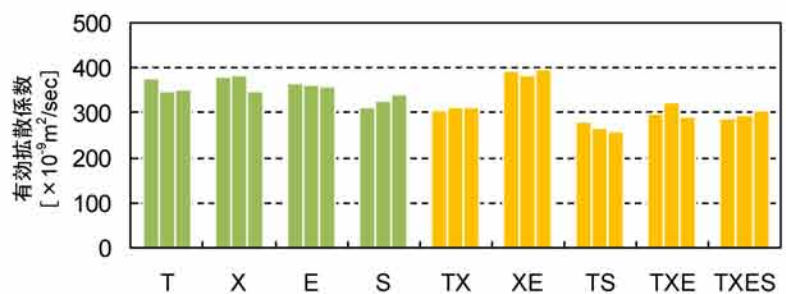


図8 有効拡散係数比較

3. 共同研究者

田辺 新一 (理工学術院・建築学科・教授)

4. 研究業績

4.1 学術論文

「論文」1) 金勲、田辺新一：ホルムアルデヒド濃度低減性能試験における試験法及び低減建材面積比が低減性能評価に与える影響、日本建築学会環境系論文集、第 76 巻 第 659 号、pp.35-41、2011 年 1 月

「国際学会発表」1) Atsushi KOGANEZAWA, Hoon KIM, Hisato NAKAMURA, Shin-ichi TANABE, Akira Yonezawa, Kunihiro Onishi: Measurement of Three VOCs Emission Rates from Adhesives Using Calcium Silicate Boards, 2010.05, Proceedings of CLIMA 2010 2) Hoon KIM, Shin-ichi TANABE: Formaldehyde Reduction Performance Test for Sorptive Building Materials with 20L Small Chamber System, 2010.10, Proceedings of International Symposium on Contamination Control 2010 3) Kim, H., TANABE, S. : Sensory Test Method for Evaluating Perceived Air Quality - Development of Dynamic Odor Bottle Method-, 大韓建築学会学術発表大会論文集計画系第 30 巻, pp.383-384, 2010.10.

「国内学会発表」

日本建築学会 (7 報)、日本建築学会大会学術講演梗概集、2010 年 9 月

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 1、その 2、その 3

半揮発性有機化合物 (SVOC) の測定法に関する研究その 12、その 14

臭気瓶を用いた知覚空気質評価法に関する研究 その 1、その 2

空気調和衛生工学会 (3 報)、空気調和衛生工学会大会学術講演解講演論文集、2010 年 8 月

準揮発性有機化合物 (SVOC) の測定・評価法の開発 その 6

知覚空気質評価法に関する研究 (第 1 報)

接着剤からの揮発性有機化合物測定法に関する研究

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

・韓国鉄道技術研究院、地下鉄室内空気質及び温熱環境管理技術セミナー、2011 年 2 月 23 日 (水)

・Indoor Air Quality, Evaluation Method and Improvement Strategy -

4.4 受賞・表彰

4.5 学会及び社会的活動

日本建築学会 室内空気環境小委員会 浮遊微生物サンプリング法学会規準作成WG 委員

日本建築学会 温熱感小委員会 サーマルマネキン・人体モデルWG 委員

5. 研究活動の課題と展望

臭気瓶法では、提示臭気が弱い、提示風量が少ない、SP 形状が嗅ぎづらいなどの問題点が報告された。今後は、臭気瓶を改良し、それぞれ 5 段階の強度を持つ単一臭を提示する被験者実験を行うことで、臭気瓶の実用性と試験精度を向上させる。また、建材臭実験を行い、臭気瓶法における試料負荷率・換気回数など最適実験条件を導出すると共に、動的オルファクトメーター法との相関性を調べる必要がある。接着剤に関する研究ではけい酸カルシウム板の試験基材としての有効性を示し、VOCs の放散性状を調べた。今後は、天然木材からも放散され、接着剤にも含有されているVVOC の一種で刺激臭を持つアセトアルデヒドの放散について研究を行う。接着剤と木材の複合効果による放散試験には合板・MDF・スギ・ヒノキなどの木質建材を用いる。

暗黒物質探索に向けた液体アルゴン TPC 検出器の研究・開発

研究代表者 永野間 淳二
(理工学研究所 次席研究員)

1. 研究課題

本研究は、液体アルゴンを利用して素粒子・宇宙物理学の最大の謎の一つである、暗黒物質の検出を目指すことが大きな目的である。希ガス族のアルゴンは放射線観測の媒質として非常に優れた性質を持っている。空気中に約 1 % ほど含まれていることから入手が容易であり、安くて大型化が望める物質であると言える。その実現のために、簡易な低温コントロール、高純度化の達成、また低温ガス中での電子増幅やシンチレーション光の高効率読み出しを確立する。最終的には小型プロトタイプを用いて実際に暗黒物質探索を行い、大型化へ向けた指針を作る。また高エネルギー加速器研究機構と共同で核子崩壊探索・次世代ニュートリノ実験のための大型液体アルゴン TPC 検出器のための研究を行う。

2. 主な研究成果

2.1 気液 2 相型アルゴン TPC 検出器における直接蛍光・比例蛍光の検出

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 (Weakly 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、図 2 に早稲田大にある実際の検出器の写真を示す。

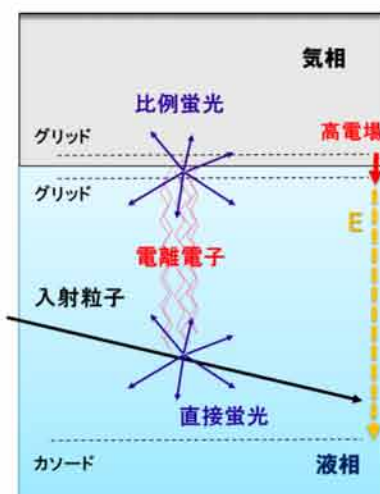


図 1、気液 2 相型アルゴン TPC の概念図



図 2、実際の 10 L アルゴン検出器の写真

この $S1 \cdot S2$ の放出量は、粒子とアルゴンとの反応の仕方により異なる。暗黒物質探索の際に背景事象となる電子や光子は主にアルゴンの軌道電子と反応するために $S1$ に比べて $S2$ が大きくなる。また信号となる WIMP や中性子などは主にアルゴン原子核と反応するために $S1$ に比べて $S2$ が小さくなる。この情報を利用できれば暗黒物質探索を行う際に強力な武器になる。図 3 にコバルト 60 線源を用いて実際に検出した光子とアルゴンの反応による $S1 \cdot S2$ 信号を示し、図 4 に ^{252}Cf カリフォルニウム線源を用いて実際に検出した中性子とアルゴンの反応による $S1 \cdot S2$ 信号を示す。これらの信号から明らかなように疑似信号である中性子による反応は、光子による反応に比べ $S2$ 信号が $S1$ 信号に比べて小さい。 $S1 \cdot S2$ 信号量の違いを実際に検出できたので暗黒物質探索の準備はほぼ整ってきた。

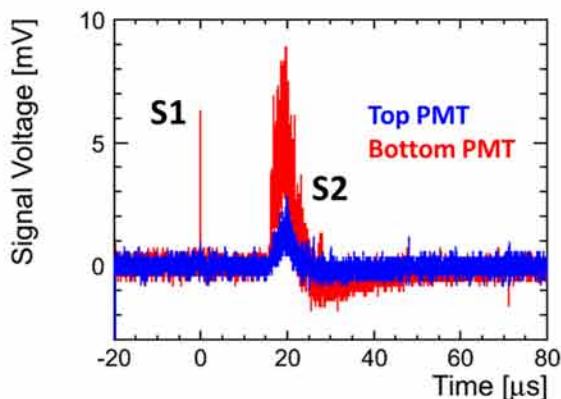


図 3、コバルト 60 を用いた光子とアルゴンの反応による $S1 \cdot S2$ 信号

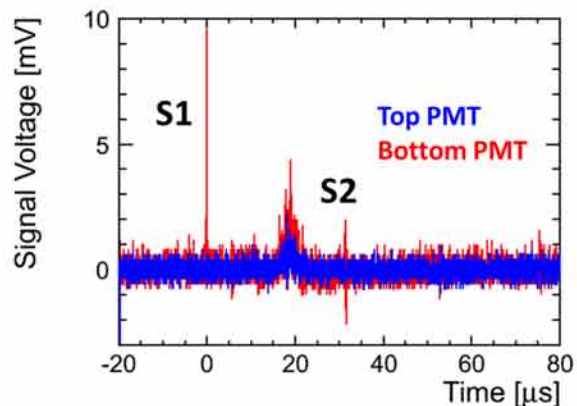


図 4、 ^{252}Cf カリフォルニウムを用いた中性子とアルゴンの反応による $S1 \cdot S2$ 信号

2.2 ^{250}L 液体アルゴン検出器による K 中間子ビームテスト

本項目では早稲田大学・高エネルギー加速器研究機構・岩手大学・ETHZ と共同で行った茨城県東海村の J-PARC で行った K 中間子ビームによる ^{250}L 液体アルゴン TPC 検出器のテストについて報告する。大統一理論では陽子が有限の非常に長い時間の寿命を持つと予想されており、特に超対称性までを考慮したモデルでは陽子が K 中間子とニュートリノに崩壊するモードが主となる。液体アルゴン検出器は TPC として 3 次元での粒子の飛跡が検出可能である。そのため陽子が崩壊した際の荷電 K 中間子が直接検出可能であり、大気ニュートリノからの荷電 π 中間子などの背景事象との識別が dE/dx と呼ばれる量で識別可能である。この dE/dx は単位長さ当たりのエネルギー損失量であり、荷電粒子の質量により異なる値を持つ。従って飛跡に沿ったエネルギー損失を見ることによる荷電 K 中間子・荷電 π 中間子の識別が可能である。この識別能力を実際に検証するのが本実験の目的である。

詳細は省くが大型である ^{250}L 液体アルゴン検出器はおよそ 1 年の準備を行い、実際にビームテストを行った J-PARC に搬入した後も約 1 ヶ月の準備を行った。図 5 はビームテストを行った際の写真であり、図 6 はビームテスト中に運良く液体アルゴン TPC によって取得された上から、 π 中間子・陽電子・陽子が同時に入ってきた事象である。それぞれの粒子の反応の特徴が非常にきれいに見えており、この検出器の有用性を示している。現在は取得したデータの解析を行っており、来年には気液 2 相型にして電子信号のガス増幅を行い 2 次元のアノードで読み出すことで 3 次元飛跡再構成をし、荷電 K 中間子・荷電 π 中間子の識別能力を示し、核子崩壊探索における実効性を示す予定である。

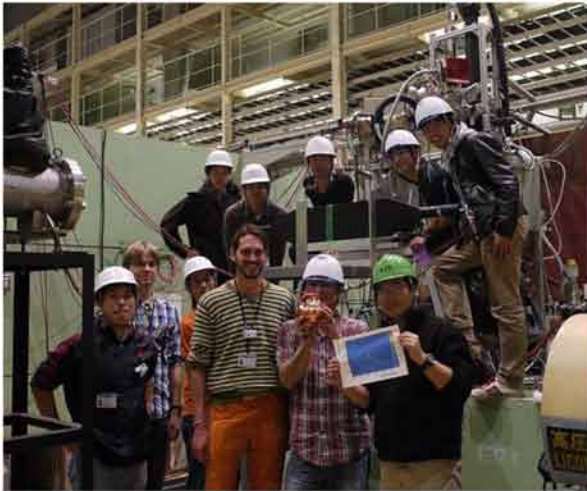


図 5、J-PARC ビームテスト成功時の写真

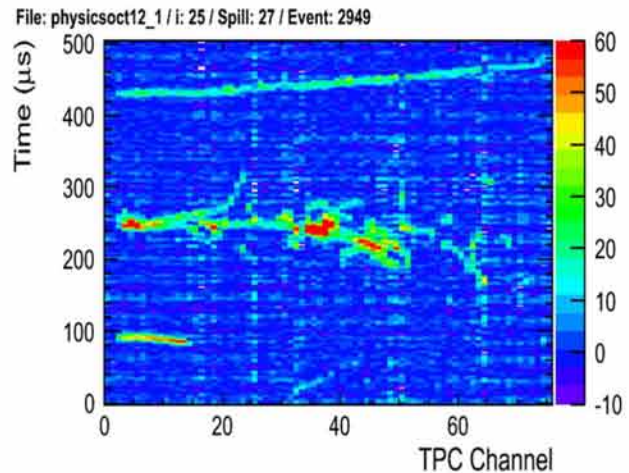


図 6、事象例：上から π 中間子・陽電子・陽子

3. 共同研究者

寄田 浩平 (理工学研究所 准教授)

4. 研究業績

4.1 学術論文

J. Naganoma, 他 37 名の共著, "A tagged low-momentum kaon test-beam exposure with a 250L LAr TPC (J-PARC T32)", arXiv:1105.5818

4.2 学会および社会的活動

「J-PARC K1.1BR ビームラインにおける 250L 液体アルゴン TPC 荷電粒子ビームテスト解析 2」日本物理学会 2011 年年次大会

「気液 2 相型アルゴン検出器による直接蛍光・比例蛍光の検出」日本物理学会 秋季大会 2011 年 9 月 16 日-19 日 弘前大学

5. 研究活動の課題と展望

暗黒物質探索を目的としたアルゴン検出器を作成するにあたり以下のような課題が挙げられる。

- 冷凍機による液体アルゴンの保持、気体アルゴン循環による液体アルゴン純度の保持
- 検出領域拡大のための高電圧システムの開発
- 多チャンネル読み出しシステムによる反応位置特定
- シミュレーションによるプロトタイプ検出器のデザイン
- 高効率光検出システムの開発
- ガス増幅による電子信号読み出し

特に上の 4 項目の優先順位が高く確実にクリアする必要がある。これらの課題を 1 つずつ克服し暗黒物質探索をまずは地上で行えることを示せば、実際に地下に持っていき本格的な暗黒物質探索を開始できる可能性が開ける。

助手研究

Mobile Mapping System に関する研究

研究者 石川 貴一郎
(理工学研究所 助手)

1.研究課題

Mobile Mapping System(MMS)は、車両に GPS, IMU,カメラ, レーザスキャナ(LS)などのセンサを搭載した移動体計測装置であり, 効率的に道路周辺の 3 次元環境情報を収集することができる. MMS により得られるデータは色情報付きの 3 次元点群データとなるが, MMS による計測点群データは膨大であるため, 用途に応じた解析手法が求められる. また MMS は位置標定に GPS/IMU 複合航法装置を使用しているため, GPS が使用できない環境下が長時間続くと計測精度が悪化するという課題がある. 本研究では, MMS の計測データの解析手法や GPS が使用できない環境下における位置標定精度の向上を目的としている.

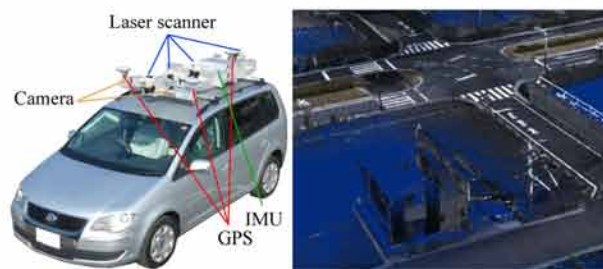


図 1 MMS の概観と計測データ例

2.研究成果

2.1 GPS が使用できない環境下における計測精度向上

本研究では, これまでは, あらかじめ測量などにより位置を計測したランドマーク(LM)を用いることで, GPS を使用できない環境下においても地図情報レベル 500 を満たす手法を提案してきた. 従来の位置補正手法では, MMS に搭載されたレーザスキャナにより LM までの観測距離と LM の測量値および, 慣性航法により求めた MMS の位置によって求められる予測距離を状態量として車両の位置を補正していたが, この際に発生する観測誤差が位置補正精度に大きく影響を及ぼすという点と, LM の数が増えるに従い, 計測コストが増大してしまい, 低コストかつ効率的に計測できるという MMS のメリットが失われるという問題があった.

そこで研究では, MMS の計測結果の誤差管理を行い, 誤差の小さい計測結果を用い位置補正に利用する手法および, 円柱状地物の中心点をサークルフィッティングにより求め観測誤差の低減を図る手法を開発した. 位置補正アルゴリズムの詳細を図 2, 図 3 に示す.

提案手法の評価試験の結果, 従来手法では観測誤差が 0.037m, 提案手法では観測誤差は 0.013m であり, 観測誤差を低減することに成功し位置補正精度向上への見通しを得た.

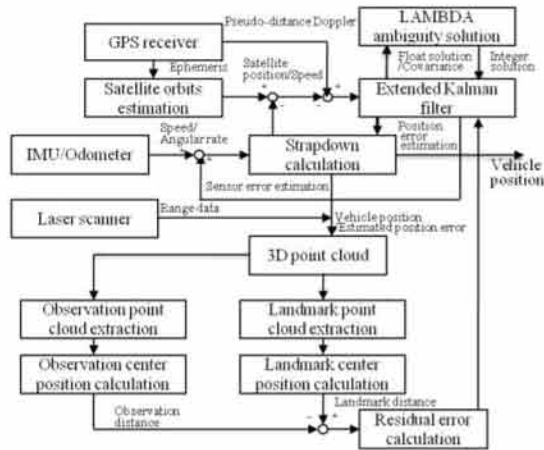


図 2 位置補正アルゴリズム

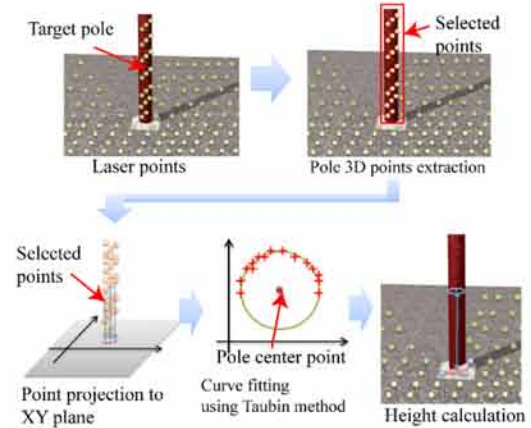


図 3 観測誤差低減手法

2.2 三次元点群データからの対向車両の除去

MMS は計測時に交通規制を行うことなく、計測を行うため、計測データには対向車などの不要なデータが含まれており、MMS のデータから道路管理台帳付図などを作成する場合には、これらのデータを除去したり、再計測を行う必要がある。

そこで研究では、MMS の点群データから、対向車を除去し、欠損部分を補間する手法を開発した。対向車の除去では、レーザの 1 スキャン分のデータに着目した。対向車が計測されていないレーザスキャンでは、近い点群同士をグルーピングしていくと、道路端までが一つのグループになるが、対向車が存在する場合は、対向車はタイヤを含まない箇所では道路から浮いているため、異なるグループとして区別される。タイヤを含む箇所では道路面と同じものとしてグルーピングされるが、前後のスキャン情報を合わせることで、対向車として除去することができる。対向車を除去した箇所では図 7-b のように欠損点が生じるため、前後のレーザ点情報から図 7-c のように補間する。本手法では、52 台の対向車に対して 49 台の対向車を検出除去することができることを確認した。

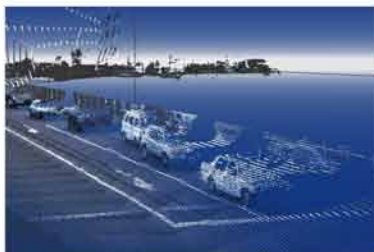


図 4 対向車の計測例

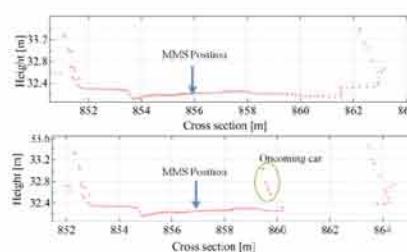


図 5 レーザ断面例

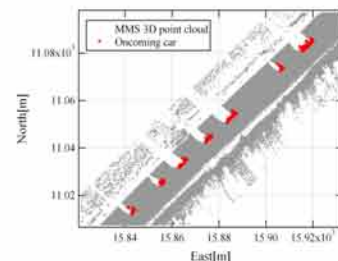
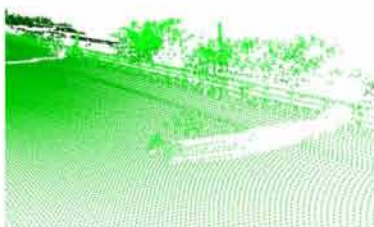
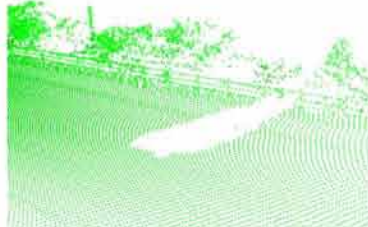


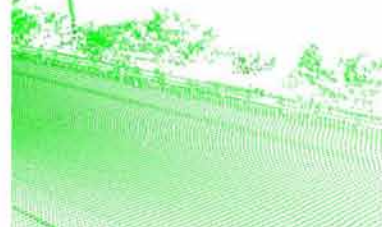
図 6 対向車認識結果



a) 対向車を含む点群データ



b) 対向車除去後



c) 欠損点補間後のデータ

図 7 対向車除去例

3.共同研究者

橋詰 匠(理工学研究所 教授)

天野 嘉春(理工学研究所 教授)

4.研究業績

4.1 国内発表

・山崎敏宣, 石川貴一郎, 角本繁, 橋詰匠, モービルマッピングシステムによる計測データを用いた既存道路地図の修正に関する実証的研究, 日本写真測量学会平成 22 年度年次講演会, 東京, 2010.5

・山崎敏則, 石川貴一郎, 天野嘉春, 橋詰匠, 屋外環境下で用いる自律移動システムに関する研究—第 57 報 GPS 衛星不可視環境下における道路地物の測量値を用いた位置補正手法の評価—, ロボティクスメカトロニクス講演会 2010, 旭川, 2010.6

・小倉徹也, 石川貴一郎, 瀧口純一, 天野嘉春, 橋詰匠, Mobile Mapping System による三次元点群 と時系列画像を用いた道路面補完に関する研究, ロボティクスメカトロニクス講演会, 旭川, 2010.6

・安岡洋一, 鈴木太郎, 佐久間裕, 石川貴一郎, 天野嘉春, 橋詰匠, 高精度な三次元道路地図を用いた燃費推定手法の提案—三次元地図から算出した視距と高分解能な勾配情報による燃費推定アルゴリズム—, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会, 2010

・石川貴一郎, 小倉徹也, 天野嘉春, 橋詰匠, Mobile Mapping System による三次元点群と時系列画像を用いた対向車点群の除去, 2010 年度 精密工学会 秋季大会,名古屋,2010.9

・小倉徹也, 石川貴一郎, 天野嘉春, 橋詰匠, Mobile Mapping System の三次元点群処理に関する研究-断面に着目したグルーピングによる対向車除去, 精密工学会 2010 年度 春季大会,東京, 2011.3

4.2 国際学会

・Kiichiro Ishikawa, Masashi Takano, Yoshiharu Amano, Takumi Hashizume, The next generation Digital Road Map Creation Support System Using a Mobile Mapping System, SICE-annual conference 2010,Taipei,2010.8

4.3 招待講演

・日本ロボット学会 ロボット工学セミナー「屋外における自律移動技術」, 屋外での環境センシングを用いた 3 次元地図生成, 中央大学駿河台記念館, 2010. 10.29

4.4 受賞・表彰

・ベストプレゼンテーション表彰 (ROBOMECH2009), ロボティクスメカトロニクス講演会 2010

・ベストプレゼンテーション賞, 2010 年度 精密工学会秋季大会

・SICE システムインテグレーション部門, 部門技術業績賞, モービルマッピングシステム (高精度 GPS 移動計測装置) の開発, 2010 年 12 月

5.研究活動の課題と展望

現在の MMS の位置補正手法では, 円柱状の道路地物のみが対応しているが, 必ずしも円柱状の道路地物が位置補正箇所に存在するとは限らないため, 円柱状地物以外の形状においても, 観測誤差を低減できる手法の研究を行う. 点群の解析では, 対向車除去の性能向上のほか, 道路上に存在する道路付帯設備の自動認識機能に関しても研究を行っていく予定である.

