神奈川工科大学

先端工学研究センター研究所研究報告

第１８巻

２０１４

The Memoirs
of
Experiment and Research Center,
Kanagawa Institute of Technology
(1030 Shimoogino,Atugi-shi,Kanagawa,Japan)
Vol.18(2014)

先端工学研究センター研究報告
第１８巻（２０１４）目次

１．天然に存在するタンパク質性ナノカプセルの応用展開＝薬物の時空間的制御を目指したドラッグデリバリーシステムに関する研究＝
応用バイオ科学科　小池　あゆみ　・・・・　１

２．テブリ除去のための宇宙テザー技術の研究
機械工学科　藤井　裕矩　・・・・・　１１

３．物質合成を基盤としたコントロールリリースシステムの高機能化
応用化学科　森川　浩　・・・・・　１５

４．複合微生物系食堂排水処理システムの開発と処理メカニズムの解明
応用バイオ科学科　局　俊明　・・・・・　１９

５．アミノ酸を原料とする新規光学活性ヘテロ環化合物ライブラリーの構築
応用バイオ科学科　野田　毅　・・・・・　２３

６．WDM 通信ネットワーク用複合集積光機能回路の研究
電気電子情報工学科　中津原　克己　・・・・　２８

７．高性能ポリ（ビニールアルコール）物理ゲルの合成とキャラクタリゼーション
応用バイオ科学科　岡部　勝　・・・・　３３

８．低炭素型工場用空気浄化装置の研究開発
電気電子情報工学科　瑞慶覧　章朝　・・・　４０

９．建物からの避難のモデリングとシミュレーション関する研究
情報工学科　山本　富士男　・・・・・　４４

10. π共役系を有する新規有機化合物の創製と評価
応用化学科　山口　淳一　・・・・・・　４９

11. 酵素触媒重合による水分散性に優れたフェノール粒子の作製
応用バイオ科学科　清水　秀信　・・・・・　５２

12. マルチエージェントシミュレータを利用したデジタルエコファクトリの実用化に向けたシステム仕様の実装性検証
情報工学科　松田　三知子　・・・・・　５６

13. 新規海水脱塩用分離膜の開発
応用バイオ科学科　市村　重俊　・・・・・　５９

14. γ-トコトリエノールの脂肪性肝炎改善メカニズムの解明
栄養生命科学科　武藤　知衣　・・・・・　６３

15.　ユーザ操作検知によるタブレット型デバイスのソフトウエア操作支援手法
情報ﾈｯﾄﾜｰｸｺﾐｭﾆｹｯｼｮﾝ学科　岩田　一　・・・・・　６７

16. 段差乗り越え時の車いすの特性とそのアシスト機構の試作研究
機械工学科　根本　光正　・・・・・・　７０

17. ペーパークラフトを利用したストーリーテリング支援システムの研究開発
情報メディア学科　鈴木　浩　・・・・・　７４

18. 次世代情ネットワークの性能評価のための数値計算アルゴリズムに関する研究
情報ﾈｯﾄﾜｰｸ･ｺﾐｭﾆｹｯｼｮﾝ学科　井家　敦　・・・　７７

19. データフュージョンにもとづく知識発見システム開発とその応用
情報工学科　松本　一教　・・・・・　８０
20. 竹繊維強化積層材料の開発－積層板の曲げ破壊強度と接着層厚み－
自動車ｼｽﾃﾑ開発工学科　宇田　和史　・・・　８４
21. 金融危機時における包括的金融市場規制要領の確立
情報工学科　八木　勲　・・・・・　８６
22. マッシュ状芋食品の力学的特性と嚥下特性に及ぼす油脂添加の影響
栄養生命科学科　高橋　智子　・・・・　８９
23. “本学発”の生活習慣病予防のための高機能性食品開発に向けた基盤研究
栄養生命科学科　清瀬　千佳子　・・・・　９３
24. レーザーと赤外線を利用した新しい熱流体非定常分布計測法の試み
機械工学科　鳴海　明　・・・・・　１０２
25. 生態系フィールドワークにおける知識獲得モデル導出のための情報配信基盤の実装と評価　情報工学科　鷹野　孝典　・・・・・　１０４
26. 水の凍結が促進する酸化・還元反応－ヨウ化物イオン酸性水溶液の凍結によるヨウ素発生－　応用化学科　本田　数博　・・・・・　１１０
27. 電気加熱式ガスタービンの開発
機械工学科　佐藤　智明　・・・・・　１２５
28. 掃除をゲームコンテンツクリア条件に用いることで自発的掃除を誘発するシリアスゲームの開発　情報メディア学科　小坂　崇之　・・・・　１１５
29. ジャイロ回転する真球の抗力低下と乱流遷移
機械工学科　中根　一郎　・・・・・・　１１９
30. 点字入力ソフトの IME 化と点字識字率の向上に関する研究
情報工学科　五百蔵　重典　・・・・・　１２３
31. リアルタイム指向ネットワークコンピューティング技術を用いたストリーミングクラウド機能の検証　情報ﾈｯﾄﾜｰｸｺﾐｭﾆｹｰｼｮﾝ学科　丸山　充　・・・　１２７
32, 多重化映像と非装着センシングによる対話支援型知能化映像システム－多重化隠蔽映像の高機能化と教育向けプラットホームの開発
情報メディア学科　白井　暁彦　・・・・　１３２
33. 複合感覚提示が食感および食行動に及ぼす影響に関する研究
情報メディア学科　坂内　祐一　・・・・・　１３８
34. 食品のマルチモニタリング成分分析･解析技術による食品調理加工法の栄養学的最適化の評価　栄養生命科学科　飯島　陽子　・・・・・　１４１
35. 履修登録シミュレータの構築と運用に関する実地研究
情報工学科　須藤　康裕　・・・・・・　１４７
36. タッチパネル式携帯情報端末未使用時の有効視野の解明
電気電子情報工学科　高橋　宏　・・・・・　１５１
37. 3DCG 制作のための、イラスト的・絵画的表現を目的としたテクスチャ研究
情報メディア学科　牧　奈歩美　・・・・　１５５
38. 携帯端末を用いた連続的な WYSIWYS ナビゲーションシステムの開発
電気電子情報工学科　高取　祐介　・・・・　１５８

39. 身体運動に基づく視知覚位置の予測技術を用いた仮想対象と観察者の身体との間の直接相互作用に関する研究
情報ﾈｯﾄﾜｰｸｺﾐｭﾆｹｰｼｮﾝ学科　海野　浩　・・・・　１６２
40. 吹雪における建屋周りの削剥に関する数値解析予測
機械工学科　山岸　陽一　・・・・・　１６６
42. 介護施設における超高齢者の適切な食事ケアに関する研究－食事摂取量と栄養評価－
栄養生命科学科　楠木　伊津美　・・・・　１６９
43. 摂食・えん下機能が低下した高齢者が食べやすい米粥の開発研究
栄養生命科学科　河村　彩乃　・・・・・　１７０
44. M2M システムにおけるスマートフォン上のアプリ実装方式に関する研究
情報工学科　清原　良三　・・・・・・　１７４
45. 次世代燃料植物 *Jatropha curcas* の効率的形質転換技術の開発
応用バイオ科学科　岩本　嗣　・・・・・　１７７

天然に存在するタンパク質性ナノカプセルの応用展開
副題：薬物の時空間的制御を目指したドラッグデリバリーシステムに関する研究

研究代表者：応用バイオ科学科 教授 小池あゆみ
研究分担者：応用化学科 教授 髙村岳樹
研究分担者：栄養生命学科 教授 澤井淳

１．研究の目的

シャペロニンGroEL/GroESは直径約5 nmの２つの空洞を持つカプセル構造を有した生体由来のタンパク質であり、細胞内でストレス等により変性したタンパク質をその空洞内に閉じ込め、構造形成して放出する機能を担っている。生体適合性を持ち、大きさが均一で、開閉可能な、シャペロニンのカプセル素材としての能力に着目し、閉じ込めから放出までの時間を野生型の8秒から約12日まで遅延させた人工変異体を作製し、2008年に特許を出願した。この変異体は、膜タンパク質などの疎水性タンパク質や凝集性・毒性有機化合物、薬剤、半導体量子ドットなどを内包するナノカプセルとしての応用が極めて有望で、被内包物の徐放や安定な分散を可能にすると期待できる。

我々はすでに、シャペロニンGroELの空洞内に本来の基質であるタンパク質以外に、無機材料ナノ粒子や薬剤などを閉じ込める手法を確立している。そこで、試験管内および細胞内でのシャペロニン複合体のカプセルとしての挙動を明らかにし、被内包物の局所送達および放出制御を検討、確立することを目的とする。

２．研究の必要性及び従来の研究

生物が用いている作用原理を理解し、生体物質そのものをデバイスや機能材料として応用するナノバイオテクノロジーは、チップ、センサー、疾患診断技術、ドラッグデリバリーシステム（drug delivery system: DDS)、遺伝子治療、ナノ医療など応用分野を急速に拡大しつつある。その中でもDDSは、薬分子（drug）をマテリアル（材料）で修飾することにより必要な細胞にのみ必要なときに必要な量だけ投与する目的で発展してきた技術であり、これまでは主に水溶性高分子に薬物と標的のためのリガンドを結合させることで特定組織・臓器への能動・受動的運搬や徐放性賦与、生体内安定性向上が行われてきた。人工材料を使ったDDSでは生体適合性、サイズコントロール、局所送達方法などが問題となり、近年、様々な方法が研究されているところである。

タンパク質であり、均一かつ開閉制御可能なかご状安定構造を持つ GroEL 複合体は、膜タンパク質などの疎水性タンパク質や凝集性・毒性有機化合物、薬剤、半導体量子ドットなどを内包するナノカプセルとしての応用が期待でき、被内包物の徐放や安定な分散を可能にする。

３．期待される効果

シャペロニン GroEL/GroES は水溶液中で安定で均一な立体構造をとり直径約 5 nm の空洞を持つ生体由来のタンパク質であり、細胞内でストレス等により変性したタンパク質をその空洞内に閉じ込めて再生を介助する機能を持つ（図１）。空洞内に変性タンパク質を閉じ込めてから、再生して放出するまでの 1 サイクルの時間は ATP の加水分解時間で決まり、野生型では～8 秒である（図２）。

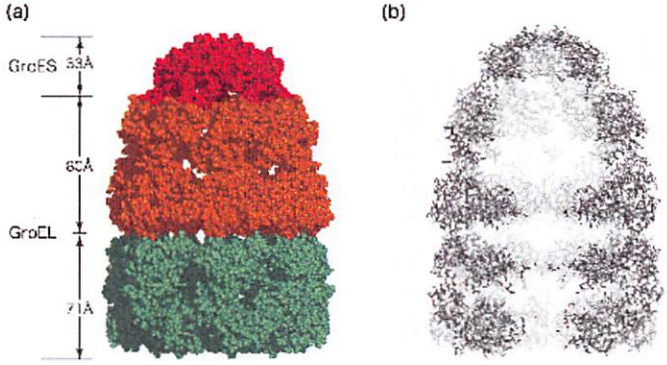


図１　シャペロニンの立体構造

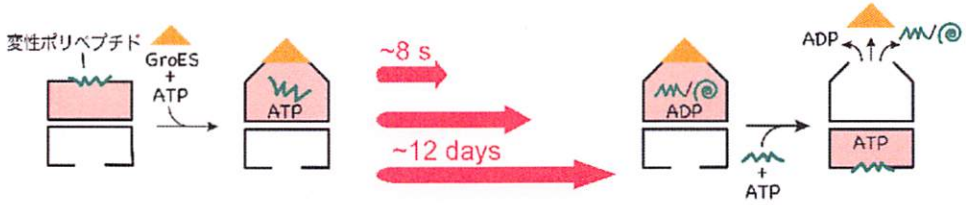


図２　シャペロニンの反応サイクル

他の物質を空洞内に閉じ込め、一定時間後に放出するというシャペロニン本来の性質を DDS へ利用する場合、8 秒という短い閉じ込め時間の延長や目的に応じた至適化が必要となる。そこで、遺伝子工学的手法によって加水分解に重要なアミノ酸残基に変異を加え、シャペロニンの加水分解時間を最長で 12 日まで遅延した変異体をすでに作製した。この変異体が内包物を閉じ込め、12 日後に蓋を開けて放出することを生化学的分析で確認し、変異型ＧｒｏＥＬ遺伝子およびそれにより合成されるタンパク質の特許出願に至った。

従来のドラッグデリバリーシステム（DDS）用材料開発では、主に水溶性高分子に薬物と標的のためのリガンド（例えば抗体など）を結合させることで特定組織・臓器への能動・受動的運搬や徐放性付与、生体内安定性向上が研究されてきた。人工材料を使った DDS では生体適合性、サイズコントロール、局所送達方法などが問題となる。シャペロニン GroEL/GroES は水溶液中で安定かつ均一な立体構造をとり、直径約 5 nm の空洞を持つ生体由来のタンパク質であり、細胞内で変性タンパク質を内包

2

できる天然のナノカプセルである。これまでシャペロニンの反応機構や生体内の機能に関しては熱心に研究され、理解されつつあるが、シャペロニンをタンパク質性カプセルとして応用する研究はほとんどされていない。シャペロニンのようなタンパク質性カプセルは、特定の場所に運ぶための生体内シグナル配列を遺伝子工学的手法で連結することで、これまでにない機能性 DDS 素材にもなる可能性がある。ターゲティング DDS は近年注目される技術であり、治療、予防、診断といった医療以外にもヘルスケアや機能材料という観点からも重要である。

また、シャペロニンカプセルへの無機材料ナノ粒子や薬剤の高効率包含技術は、バイオチップへの応用研究展開の可能性を持つ。シャペロニンナノカプセルに芯物質を内包し、センサチップ（金属、ガラス、半導体）上に固定化することでバイオセンサ、バイオチップへの応用が可能となる。基板上に固定したシャペロニンカプセル内に酵素や抗体などの生体物質を内包し、開閉をコントロールすることで、免疫アッセイや酵素センサなどの医療用途に応用できるだろう。また、芯物質として金属ナノ粒子を内包し、基板上に高密度で整列させることができれば半導体チップへの応用が期待できる。このように、基盤上へのシャペロニンナノカプセルの固定化技術は、汎用性のあるバイオチップのプラットフォーム技術となる可能性を持っており、新たな発展が期待できると考えている。

４．研究の経過及び結果

H24 年度に 1 分子のシャペロニン内の 2 つの空洞のそれぞれに、2 種の粒子を選択的に内包することが可能となった（図３）。そこで、それをさらに発展させて、1 つの空洞内に 2 種の内包物を制御して内包させる技術を開発するために、金属選択配列を付与した変異体を作製した。GroEL は、N、C 末端共が空洞内部へ向かって露出している。また、特定金属を認識して特異的に結合するペプチドの存在が知られており、1990 年代から積極的に研究が進められている。そこで、工業的利用価値の高い酸化亜鉛ナノ粒子を特異的に認識するペプチド配列を GroEL の C 末端に導入した。同様に、システイン(Cys)側鎖の SH 基が Au に結合する性質を利用し、GroES 内側に側鎖を露出するアミノ酸を Cys 置換した、金ナノ粒子認識 GroES 変異体の作製を行った。これらの GroEL/GroES 変異体の組み合わせで出来た空洞内には、選択的に 2 種の金属粒子を内包させることが出来ると期待できるため、現在評価を行っている。

次に、薬剤標的化技術の実現のために、二つの方法（①シグナル配列による局所送達、②磁力による局所送達）を考え、H25 年度は特に①について検討した。

シグナルペプチドとは、数十アミノ酸程度の短いペプチド配列で、細胞質内で生合成されたタンパク質の輸送や局在化を行っている。すでに、ほ乳類の核輸送に特異的なシグナルペプチド配列を遺伝子工学的にナノカプセルに付加したシグナル配列融合型シャペロニンカプセルを設計･作製し、精製方法を確立した。さらに、このシグナル配列を有したシャペロニン変異体カプセルに Cy3 で蛍光ラベルを行い、細胞に導入して細胞内での局

在を蛍光顕微鏡観察で観察したところ、細胞内導入～核送達までを確認できた（特許出願予定）。

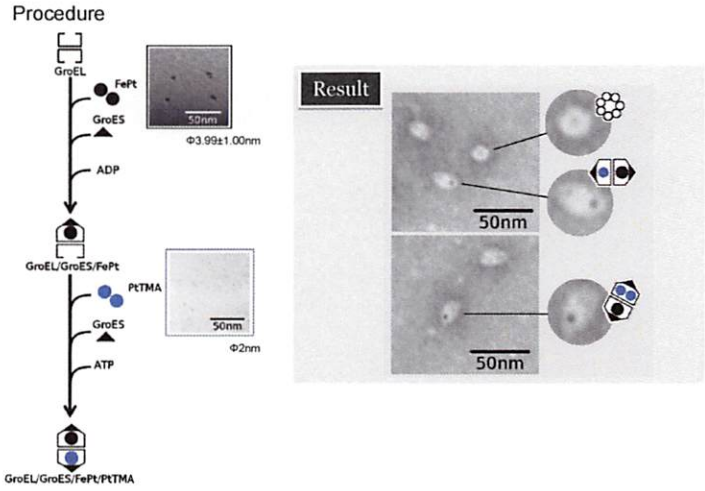
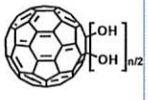
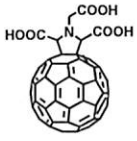
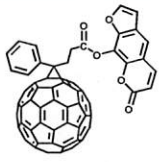


図３　二種類の粒子内包シャペロニンの作製方法

表１　フラーレン誘導体の合成と評価

			
活性酸素発生能力	◎	◎	◎
DNA損傷性（バクテリア）	—	—	○
細胞傷害性（バクテリア）	◎	◎	—
細胞傷害性（哺乳類細胞）	◎	◎	—
DNA損傷性（哺乳類細胞）	—	—	○

一方、髙村は活性酸素を発生させるフラーレンを利用し、がん細胞内の DNA 損傷によ

4

るがん治療技術への応用を検討している。DNA への積極的な送達･結合のために DNA アンカーを結合した各種フラーレン誘導体を合成し、紫外線(UVA)照射下における一重項酸素生成、DNA 損傷性、細胞障害性（サルモネラ菌、ハムスター由来の肺細胞（CHL））、*in vivo* DNA 切断を評価した（表１）。フラーレンの水溶液中での溶解度および分散性の向上、局所送達の新たな効果的手法開発のため、シャペロニン変異体カプセルへの内包を試みている。今後は、フラーレン誘導体をシグナル配列付シャペロニンに内包し、核内の DNA 切断活性、細胞生存率を評価することで、核への局所送達を検証したいと考えている。また、蛍光相関分光法（FCS）による細胞内での 1 分子毎のシャペロニンカプセルの開閉の可視化も可能となったため、内包物の放出についても観察できるものと考えている。

５．今後の計画

(1)細胞へのナノカプセル導入と細胞内局在および動態観察

蛍光標識したナノカプセル（GFP-GroEL、Cy3-GroES）または内包物（Bodipy-フラーレン、量子ドットなど）を用いて可視化した複合体を細胞内へ導入し、共焦点蛍光顕微鏡観察することでナノカプセルの細胞内分布や生体内における動態を明らかにすることができる。現在、GFP-GroEL、Cy3-GroEL/GROES、Bodipy-フラーレンの合成はできており、観察するための準備が整っている。

さらに、細胞内におけるナノカプセルの開閉を蛍光相互相関分光法（FCCS）にて観察するための実験系を構築する。FCCS は一細胞内の二色の蛍光色素でラベルした分子間の相互作用観察を可能にするため、カプセル本体（GroEL）と蓋（GroES)、またはカプセルと内包物の細胞内挙動が直接観察できる技術である。GFP-GroES を用いて細胞内で形成された GroEL/GroES 複合体を蛍光相関分光法（FCS）で観察することは可能となり、現在は FCCS 観察に適した２色目の蛍光ラベルの方法を検討している。FCCS による生きた一細胞内の二種の分子の相互作用観察は現在の先端技術であり、難易度は高いがその研究価値は学術的にも非常に大きい。

(2)シグナル配列等を利用したカプセル局所送達および非内包物の放出制御の検討

シャペロニンに遺伝子工学的にシグナルペプチド配列（核輸送）を付加した局所送達用カプセルを設計し、すでに過剰発現、精製系を確立、細胞内導入、核送達（空間的制御）が確認できている。フラーレン誘導体を内包させ、がん細胞の核へ局所送達、変異体による内包物の放出制御、DNA 切断効率の向上が検証できれば、本プロジェクトの目的を達成できると考えている。

薬物を必要な時に、必要な量だけ、必要な場所に送達するための薬剤標的化技術（*in vivo* targeting）は、抗がん剤、サイトカインなど著しい効果が期待されながらも重篤な副作用を示す薬物や、ペプチドや RNA などの生体内安定性の極めて低い薬物の医薬品としての可能性を広げるばかりでなく、既存の薬剤に新たな価値を付与すること

にもなり、大いに期待される。

６．研究成果の発表

（１）学会発表等

1) Shofarul WUSTONI, Sho HIDESHIMA, Shigeki KUROIWA, Takuya NAKANISHI, Ayumi KOIKE-TAKESHITA, Tetsuya OSAKA, Detection of Amyloid Sup35NM Depending on Its Growth Using Field Effect Transistor, the 54th Chemical Sensor Symposium (2013, 3) (Miyagi, Sendai)

2) 小池 あゆみ, 佐伯 亨, 二ノ井 友里, 田村 祥平, 田口 英樹, シャペロニン GroEL/GroES の細胞内動態観察, 第 13 回日本蛋白質科学会年会 (2013, 6) (鳥取, 鳥取)

3) 中澤 耕己, 丹羽 達也, 伊藤 耕一, 多田隈 尚史, 小池 あゆみ, 田口 英樹, 新生タンパク質- シャペロン間相互作用を大腸菌内で観察する試み, 第 13 回日本蛋白質科学会年会 (2013, 6) (鳥取, 鳥取) ポスター賞受賞

4) Shofarul Wustoni, Sho Hideshima, Shigeki Kuroiwa, Takuya Nakanishi, Ayumi Koike-Takeshita, Tetsuya Osaka, Immobilization of Congo Red on Gate Surface of FET Biosensor for Detection of Amyloid Sup35NM, CBSM(12th Conference for BioSignal and Medicine) (2013, 7) (山梨, 石和温泉)

5) 安田 卓人, 玉腰 雅忠, 小池 あゆみ, 高度好熱性細菌 *Thermus thermophilus* 由来線毛関連タンパク質 PilF および PilT 相互作用タンパク質の解析, 第 86 回日本生化学会大会 (神奈川, 横浜) (2013, 9)

6) 依田ひろみ, 山本修, 小池あゆみ, Alignment of GroEL complexes which have nano-sized spaces, 第 65 回日本生物工学会大会 (2013, 9) (広島, 広島)

7) Takuto Yasuda, Tamakoshi Masatada, Ayumi koike-Takeshita, Analyses of interacting proteins with PilF and PilT from *Thermus thermophilus*, 第 3 回モデル生物丸ごと一匹学会 (大阪, 豊中) (2013, 9)

8) Ayumi Sasaki, Hiroki Kasai, Tamakoshi Masatada, Ayumi Koike-Takeshita, Purification and structural analysis of PilQ from *Thermus thermophilus*, 第 3 回モデル生物丸ごと一匹学会 (大阪, 豊中) (2013, 9)

9) 安田 卓人, 玉腰 雅忠, 小池 あゆみ, 高度好熱性細菌 *Thermus thermophilus* 由来線毛関連タンパク質 PilF および PilT 相互作用タンパク質の解析, 第 14 回極限環境生物学会年会 (神奈川, 川崎) (2013, 10)

10) 佐々木 亜由美, 河西 宏記, 玉腰 雅忠, 小池 あゆみ, *Thermus thermophilus* 由来線毛関連タンパク質 PilQ の精製および構造解析, 第 14 回極限環境生物学会年会 (神奈川, 川崎) (2013, 10)

11) Sho Hideshima, Shofarul Wustoni, Shigeki Kuroiwa, Takuya Nakanishi, Ayumi

Koike-Takeshita, and Tetsuya Osaka, Effect of Amyloid Conformation On the Response of Field Effect Transistor Biosensor to Sup35NM Protein, ECS Meeting 224th (San Francisco, California) (2013, 10)

12) 依田ひろみ, 小池あゆみ, タンパク質性ナノカプセルを利用した金属ナノ粒子の二次元配列へのアプローチ, 平成25年度神奈川県ものづくり技術交流会 (2013, 10) (神奈川, 海老名) ポスター賞受賞

13) 依田ひろみ, 山本修, 小池あゆみ, 金属ナノ粒子を内包したシャペロニンGroEL/GroES複合体の形成と評価, 電気化学会第81回大会 (大阪, 吹田) (2014, 3)

14) 長野聖也, 川西優喜, 高村岳樹, 八木孝司, UVA照射下のPhOが誘発する塩基損傷を部位特異的に持つプラスミドの作製とヒト細胞における TLS 解析, 日本環境変異原学会第４２回大会 (2013, 11) (岡山, 岡山)

15) 高村岳樹, 三崎健太郎, 荻野真宏, 大気中の多環芳香族化合物の変異原性の再評価 , 日本化学会第９４春季年会 (2014, 3) (愛知, 名古屋)

16) Mitsuko Masutani, Hiroaki Fujimori , Tomoko Yoshida, Hiromi Harada, Motoharu Kohata, Takeji Takamura-Enya, Identification of ribosyladenosine and ribosylinosine as specific metabolites of poly(ADP-ribose) in blood and urine, 19th Int. Conference on ADP-ribosylation (2013, 9) (Quebec City, Canada)

17) 寺嶋霞, 菊地幹夫, 澤井淳, ホタテ貝殻粉末処理における米の低アレルゲン化, 日本食品科学工学会第60回記念大会, 30Fa6 (2013, 8) (日野, 実践女子大学)

18) 鶴田 純平, 久保 健治, 澤井淳, 抗菌生物活性を有するシリコーン膜の開発., 日本防菌防黴学会第40回年次大会, 11Pp-60, 大阪, 千里ライフサイエンスセンター (2013, 9)

19) 野本侑李, 澤田隼, 阿部真也, 若澤 仁, 菊地幹夫, 澤井淳, orbitol添加焼成ホタテ貝殻粉末スラリーの食品への応用., 日本防菌防黴学会第 40 回年次大会, 11Pa-15 (2013, 9) (大阪, 千里ライフサイエンスセンター)

20) 島村宣光, 入江史雄, 菊地幹夫, 澤井淳, 焼成ホタテ貝殻粉末処理によるリステリア菌のバイオフィルム制御効果., 日本防菌防黴学会第40回年次大会, 10Pp-41 (2013, 9) (大阪, 千里ライフサイエンスセンター)

21) 秋山喜栄、高田大輔、生井里枝、大島佑貴、菊地幹夫、澤井淳, 焼成卵殻粉末の抗菌特性. 日本防菌防黴学会第40回年次大会、10Pp-36 (2013, 9) (大阪, 千里ライフサイエンスセンター)

22) 山川晃平, 石鳥谷景子, 菊地幹夫, 澤井淳, 黄色ブドウ球菌のバイオフィルム形成に対する酸化亜鉛ナノ粒子の影響, 日本防菌防黴学会第 40 回年次大会, 10Pp-52 (2013, 9) (大阪, 千里ライフサイエンスセンター)

23) 羽谷航, 柳瀬剛士, 直江一光, 澤井淳, 今井正直, 水溶性金ナノ粒子の調製とそれらが及ぼす微生物細胞への影響, 化学工学会 第45回秋季大会(2013, 9) (岡山, 岡山大学)

24) 山川晃平、澤井淳, ヨウ化銀含浸シリコーン膜の調製条件と抗菌特性.日本食品科学工学

会関東支部第26年度支部大会 (2014, 3) (東京, 東京農業大学)

25) 島村宣光,澤井淳, 低温で形成させたリステリア菌のバイオフィルムに対する焼成ホタテ貝殻粉末処理の制御効果., 日本食品科学工学会関東支部第26年度支部大会 (2014, 3) (東京, 東京農業大学)

(2) 論文

1) 依田ひろみ, 小池あゆみ, シャペロニン GroEL への金属ナノ粒子の高効率内包--分析電子顕微鏡システム利用研究成果、そのⅩⅩⅣ (2) --, 神奈川工科大学研究報告 B 理工学編, 査読有, 38, 49-53 (2013)

2) Shofarul WUSTONI, Sho HIDESHIMA, Shigeki KUROIWA, Takuya NAKANISHI, Ayumi KOIKE-TAKESHITA, Tetsuya OSAKA, Detection of Amyloid Sup35NM Depending on Its Growth Using Field Effect Transistor, *Proceedings of the 54th Chemical Sensor Symposium* (2013)

3) Sho Hideshima, Shofarul Wustoni, Shigeki Kuroiwa, Takuya Nakanishi, Ayumi Koike-Takeshita and Tetsuya Osaka, **Monitoring Amyloid Sup35NM Growth with Label-Free Electrical Detection Using a Field-Effect Transistor Biosensor**, *ChemElectroChem*, 1(1), 51-54 (2014)

4) Take M, Takeuchi T, Haresaku M, Matsumoto M, Nagano K, Yamamoto S, Takamura-Enya T, Fukushima S., Estimation of chloroform inhalation dose by other routes based on the relationship of area under the blood concentration-time curve (AUC)-inhalation dose to chloroform distribution in the blood of rats., *J. Environ. Sci. Health A, Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.*, 49(3), 253-261 (2014)

5) Kawanishi M, Kanno T, Nishida H, Takamura-Enya T, Yagi T., Translesion DNA synthesis across various DNA adducts produced by 3-nitrobenzanthrone in *Escherichia coli.*, *Mutat Res.*, 754(1-2), 32-8 (2013)

6) Kawanishi M, Fujikawa Y, Ishii H, Nishida H, Higashigaki Y, Kanno T, Matsuda T, Takamura-Enya T, Yagi T., Adduct formation and repair, and translesion DNA synthesis across the adducts in human cells exposed to 3-nitrobenzanthrone., *Mutat Res.*, 15, 753(2), 93-100 (2013)

7) Hidaka H, Tsukamoto T, Oyama T, Mitsutsuka Y, Takamura T, Photoassisted defluorination of fluorinated substrates and pharmaceuticals by a wide bandgap metal oxide in aqueous media., *Serpone N. Photochem Photobiol Sci.*, 12(5), 751-9 (2013)

8) 冨田和寿, 菊地幹夫, 澤井淳, 前培養の温度条件が微生物の活性炭への付着に及ぼす影響., 防菌防徴, 41(5), 245-248 (2013)

9) Sawai, J., K. Nagasawa, K. and Kikuchi, M., Ability of heated scallop-shell powder to disinfect *Staphylococcus aureus* biofilm., *Food Science and Technology Research*, 19(4) 561-568 (2013)

10) Kubo, M., Ohshima, Y., Irie, F., Kikuchi, M. and Sawai, J., Disinfection treatment of heated scallop-shell powder on biofilm of *Escherichia coli* ATCC 25922 surrogated for *E. coli* O157:H7., *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 4 (4A) 10-19 (2013)

11) Watanabe, T., Fujimoto, R., Kikuchi, M., Sawai, J., Yahata, S., Satoh, T., Antibacterial characteristics of heated scallop-shell nano-particles. *Biocontrol Science*, (accepted)

12) 高橋智輝, 山口雄也, 澤井淳, 小林大祐, 庄野厚, 松山秀人, 大竹勝人, キトサン/銀ハイドロゲル膜の創製と抗菌特性に及ぼす膜作製方法の影響., 日本海水学会誌 (印刷中)

13) Yasue, S., Sawai, J., Kikuchi, M., Nakakuki, T., Sano, K. and Kikuchi, T., Sporicidal characteristics of heated dolomite powder against *Bacillus subtilis* spores., *Biocontrol Science* (accepted)

14) 澤井淳, 講座：防菌防黴分野におけるナノテクノロジー, ④防菌防黴分野で用いられるナノマテリアル, 日本防菌防黴学会誌, 41(5), 249-254 (2013)

（3）特許

1) 特願 2014-082093「ナノ粒子-GroEL 蛋白質複合体及びその製造方法」
発明者: 星野文彦、今枝孝夫、西田愛、小池あゆみ
出願者: トヨタ自動車(株)、(株)豊田中央研究所、学校法人 幾徳学園

2) 特許第 5540367 号「シャペロニン変異体およびこれをコードする DNA」
発明者:小池 あゆみ、田口英樹
出願者: 学校法人 幾徳学園

（4）助成金採択

1) 平成 25～27 年度　文部科学省科学研究費補助金　基盤 (C)「細胞内環境に応答したハイブリッドなシャペロニン反応機構の提案」 研究代表者 小池あゆみ

2) 平成 25～27 年度　文部科学省科学研究費補助金　基盤 (C)「ＤＮＡ損傷を簡易に検出する新規蛍光プローブの合成と環境および生体試料への応用」 研究代表者 髙村岳樹

3) 平成 25～27 年度　文部科学省科学研究費補助金　挑戦的萌芽「放射線療法及び化学療法の新規バイオマーカーの開発」 研究分担者 髙村岳樹

4) 平成 25 年度　私立学校学術研究振興資金「天然タンパク質性ナノカプセルであるシ

ャペロニンの応用展開」研究代表者 小池あゆみ

（5）受賞

1）平成 24 年度日本防菌防黴学会学術貢献賞　澤井 淳（2013, 5）

10

研 究 課 題 名： デブリ除去のための宇宙テザー技術の研究

研究者名：所属　工学部機械工学科　氏名　藤井裕矩
〃　水野　敏広
工学部電気電子工学科　下川　博文
創造工学部自動車工学　石濱　正男

1．研究の目的

宇宙デブリ除去の有力な要素であるスーパー・テザー（ベア導電テープテザー）の宇宙衛星軌道上で使用する伸展装置を開発する。観測ロケットによる宇宙実験でも世界記録を作ったテープテザーの折りたたみ式展開手法は、藤井が水野助教と共同して実験を重ね研究を進めている（Fujii, H. A., and Mizuno, T., "Length Measurement of Tape-Tether Deployed in Space (Inverse-ORIGAMI Method), Transactions on Advanced Research IPSI Bgd Internet Research Society, July 2013 Vol. 9 No. 2（査読有）, pp. 33-37.）。本研究の３年間での目的は、欧州のＢＥＴＳ計画などの軌道上衛星の標準的な伸展装置を研究・設計し提案することである。

本年度は昨年度に続き欧州のデブリ除去計画 2010～2012 年の技術検討として、本学主導のテープテザー伸展装置の発展形を検討することを目的とする。また、高い信頼性に向けて収納方法の実験的検討と 6km 長さの設計要求への適合性を検討し将来のデブリ除去要素のスタンダードのひな型として設計提案を開始する。

2．研究の必要性及び従来の研究

宇宙デブリは、近年しばしば起こっている衛星落下によって危険性が体感できるように、今後 10 年間に宇宙デブリの除去の有効で具体的な対策を実行しなければ、宇宙開発は重大な局面に向かうことになる。ベア導電テープテザーはその有効な要素として、2010 年 8 月に行われた観測ロケット S520－25 号機の打ち上げによって基礎実験が行われ、本学の藤井、水野、下川、石濱と多くの学生・院生などを中心としてテープテザー高速展開の実績を得た。この宇宙実験の成果をもとにして、現在、直面する危機である宇宙デブリ除去のため、我が国 JAXA, 米国 NASA、欧州 ESA で衛星軌道上実験、さらに、具体的な宇宙デブリ除去プロジェクトが提案されている。本研究では、現在 2010 年からスタートした ESA の BETS 計画(Bear Electro-dynamic Tethers：藤井がアドバイザーとして参加)に焦点を当て、実衛星で用いられる km 級の長さを持つテープテザーの収納・伸展装置を検討して提案することを計画し、同時に神奈川工大の成果として差別化を行うことにした。

このため、2013 年 11 月 7 日にオランダにある欧州宇宙機構（ＥＳＡ）の研究所（ＥＳＴＥＣ）を訪問した。今回のミーティングではデブリ化した 10 トン級の ENVISAT 衛星の処理について, Alain Hilger 博士など最先端研究チームと話し合いを行った。現在 ESA で 6km または 10km のテザーを伸ばして実験するベア導電テザー衛星計画が進んでおり、他のいくつかの方法とともにデブリの除去の方法の一つとして挙がっているが、まだ実験を

重ねる必要があり、緊急性が高い問題なので早急な対策について検討した。

3．期待される効果

本研究の第一歩として参加しているBETS計画においては、今後のデブリ除去におけるスタンダードを得ることを目標としている。このため、宇宙デブリ除去計画においては、ベア導電テープテザーの伸展装置として将来の軌道上衛星への必須の搭載装置となることが期待されるため、本研究の価値は極めて高く、これを契機として、さらに欧州や米国との共同研究として衛星軌道実験への参加を目指し、さらに日・米・欧・豪・塞（セルビア）などの国際共同研究による研究に進めることにより本学の評価を世界的に価値の高いものとして発信する。本計画の実績となった本学主導の2010年の観測ロケット宇宙実験を基点として、実験遂行とその後の解析による成果への本学の貢献度は、後続の国際的なNASAやESAの計画の基盤となっているので明らかに、これが評価手法として成立する。すでに米国航空宇宙学会（AIAA）での成果発表、宇宙エレベーター・ハンドブックの執筆など、日本ロケット協会などの学術専門誌における特集などにより、多様な学術的評価も高い。

4．研究の経過及び結果

平成25年度においては、BETS計画における基本構想をまとめるため具体的な設計検討を行っているkm級の長大なスーパーテザーに対応した2次元テープテザー伸展実験装置を検討するにあたって柔軟性が大きく影響するスーパー・テープ・テザーの伸展挙動を実験的に検討した。観測ロケット実験においては、T-Rex観測ロケットの宇宙実験を含む12種類の実験検証を行った。これらのうち本研究では、km級の長さのスーパーテザーに対応した2次元折りたたみの収納装置を用いた伸展装置に対しても、2次元折りたたみの上方引き出し展開装置を試作し、3.タワー型展開装置を用いた伸展・展開実験、４．カート上に積載した体育館での展開実験、8.低摩擦盤上で牽引した張力測定、９．落下試験による摩擦測定、ならびに、11．数値シミュレーションを主に、本研究に特化したモデル実験を主とし、他の手法の適用できるものは大いに活用しながら、今回の研究の目的である6km級テープテザー伸展装置を、実験的に検証するための手法を検討しつつある。

1次元展開については伸展長さの測定に3つの発光ダイオードを用いた斜光によるカウンターを試作し成功したが、透明性の高いボックスを用いて2次元折りたたみにおける展開装置をさらに改良した。このため、柔軟性を大きく考慮した実験が可能となり、高速度カメラを用いた時空的によりミクロな実験が行える装置を製作した。これらによって、本学においてはスーパーテザーを念頭に置いて宇宙テザー装置の研究中心となるように核を形成し、本学を中心とした国内外の研究体制を構築し研究を進めている。

以上のように、ベア導電テープテザー技術に特化し、本学の成果を生かしたテザー技術を応用し、平成25年においては6km級の長さのテザーに対応した取り組みを遂行しつつあ

る。

5．今後の計画

３年間の最後の年であり、藤井の任期最終年でもあるのでテザー装置の研究の一区切りとして性能評価を引き続き行い、さらに研究成果をデブリ除去のための重要な要素としてまとめる。これによって、水野など今後参加する教員に引き継ぎを行いつつ本学の地歩を固め、さらに、国内外との連携を確定し本研究の期間に育った本学内の組織の継続を図る。また、ESA, NASA, さらに、JAXA などとの共同研究プロジェクト中心として今後 10 年間におけるデブリ除去技術達成のための基礎を形成する。これらによって、本学においては宇宙テザー装置の研究中心となるように核を形成し、本学を中心とした国内外の研究体制の構築を進める。

研究の最終目標への収束として、使用済みの人工衛星がデブリ（宇宙ゴミ）化するのを防ぐ方法に応用できるテザー装置の評価を行い、デブリ除去のための必須な要素として軌道上衛星でのテザー技術を確立する。さらに、本学で育った組織を育てつつ、さらなるプロジェクトに展開して本学の評価を継続する。

また、藤井が首都大学東京在職中に得た特許 2 件「宇宙構造物（テープ型テザー)」「宇宙構造物（柔軟レバレッジ)」について、首都大学東京産学公連携センターが対応を行い、前者は帝京大学、後者は三菱重工（株）が取得保持することになっている。このように、宇宙デブリ除去は商業的にも関心を持たれつつありテザー衛星技術について宇宙産業への発展を含めた共同研究への参加を予定している。

6．研究成果の発表

査読付き論文（別刷り添付）

1) Uchiyama, K., Iijima, K., and Fujii, H. A., “Construction of Space Elevator Model Using Absolute Nodal Coordinate,” Transactions on Advanced Research IPSI Bgd Internet Research Society, July 2013 Vol. 9 No. 2 (ISSN 1820-4511), pp.8-12.

2) Watanabe, T., Sukegawa, M., Fujii, H. and Kojima, H., “Examination on 2-Dimensional Storage Method of Tape Tether and Analysis of the Deployment Behavior,” Transactions on Advanced Research IPSI Bgd Internet Research Society, July 2013 Vol. 9 No. 2 , pp18-22.

3) Sakamoto, T., Watanabe, T., Takehara, S., Uchiyama, K., Fujii, H. A., Yano, H., and Matsunaga, G., “Study of layer sampling method for asteroid probe –Application possibility of Japanese sword technology－,” Transactions on Advanced Research IPSI Bgd Internet Research Society, July 2013 Vol. 9 No. 2, pp-23-27.

4) Fan, J., Fujii, H. A., Yano, Y., “Tether Technology for Active Vibration Control of Tethered Space Solar Power Satellite,” Transactions on Advanced Research IPSI Bgd Internet Research Society, July 2013 Vol. 9 No. 2, pp.28-32.

5) Fujii, H. A., and Mizuno, T., "Length Measurement of Tape-Tether Deployed in Space (Inverse-ORIGAMI Method), Transactions on Advanced Research IPSI Bgd Internet Research Society, July 2013 Vol. 9 No. 2, pp.33-37.

シンポジウム・プロシーディング（別刷り添付）

6) Nakajima,G., Fujii,H.A., and Mizuno,T., "Performance of Deployment of Super Tether", Proceedings of 29th International Symposium of Space Technology and Science, ISTS 2013-m-09, 2-8June 2013, Nagoya, Japan.

7) Kobayashi,T., Fujii, H., Hino,R., and Satou,T., "Fundamental Analysis on Lateral Vibration of Space Elevator System," Proceedings of 29th International Symposium of Space Technology and Science, ISTS 2013-g-07, 2-8June 2013, Nagoya, Japan.

8) Fujii, H. A., "Dynamics of Space Elevator in response to Disturbances," Proceedings of 64st International Astronautical Congress, IAC-13.D4.3.2, 22-28 September 2013, Beijing, China.

9) Yoshino,K., Sango,R., and Fujii, H. A., " Experimental Study on Speed Control of Rider on Twisted Tape Tether Using Image Processing," Proceedings of 64st International Astronautical Congress, IAC-13.D4.3.5, 22-28 September 2013, Beijing, China.

10) Fujii,H.A, and Watanabe, T., "Historic Lessons Learned from Space Tethers and Solution -From GEMINI11 To Space Elevator-," Proceedings of 64st International Astronautical Congress, IAC-13.D1.5.1, 22-28 September 2013, Beijing, China.

11) Fujii,H.A., Osada,Y., Motegi,Y., and Maruyama,Y., "Tethered Buoyant Wind-Power Generator", Proceedings of 2013 Asia-Pacific International Symposium on Asrospace Technology, 07-01-2, November 20-22, 2013, Takamatsu, Japan.

12) Hironori A. Fujii and Hiroko MUKAI, "Proposal of Basic Concept of Space Elevator", Proceedings of 2013 Asia-Pacific International Symposium on Asrospace Technology, 07-05-1, November 20-22, 2013, Takamatsu, Japan.

講演会講演（前刷り添付省略）

13) 佐藤　強，藤井　裕矩，小林　孝章、「宇宙エレベーターを昇降するライダーの運動について一数値シミュレーションモデルー」、第 57 回宇宙科学技術連合講演会前刷集，1L14,2013.10.9～11，米子、鳥取。

14) 藤井裕矩、長田泰久,茂木幸秀，丸山勇祐,「テザー型浮遊式風力発電について」第 57 回宇宙科学技術連合講演会前刷集, 2K09,2013.10.9～11，米子、鳥取。

15) 福田　悠，藤井裕矩，中島　剛，「テープテザーの展開時の摩擦の軽減研究」第 57 回宇宙科学技術連合講演会前刷集,1L16,2013.10.9～11，米子、鳥取。

16) 藤井　裕矩，向井浩子、津久井一平、"宇宙エレベーターにおける一つの構想," 第 57 回宇宙科学技術連合講演会前刷集,1L03,2013.10.9～11，米子、鳥取.

「物質合成を基盤としたコントロールリリースシステムの高機能化」

応用化学科　森川　浩

1. 研究の目的

ここでは、パーソナルケアグッズへの応用を目指して、香りが長期間持続する‘コントロールリリース’を志向した研究について取り組んだ。特に、中性条件下でのリリースシステムの構築を計画した。具体的には、触媒作用を示す酸性官能基をあらかじめ高分子に導入することを計画した。

2. 研究の必要性及び従来の研究

従来の加水分解性の高分子を用いた場合、香料分子の解離に必要な加水分解反応を促進させるため、高分子を無理やり酸性水溶液に浸す必要がある。これは、外部環境の変化に応答する系の構築を意味するが、反面、外部環境に大きく左右され、酸性条件でない場合、特に広く我々の身の回りにあるような中性に近い環境や条件ではリリース機能が発現されないことを意味する。世界的にも、これまでの報告例は同様な状況に陥っている。

3. 期待される効果

水分や大気中の湿気に触れ、高分子内での酸性官能基が触媒となって、隣接･近接するアセタール結合（やイミン結合）を加水分解させることで、香料分子が放出される系を計画した。すなわち、中性の外部環境条件下、高分子内での自己加水分解反応が起こり、一定時間かけて香料分子が放出される材料になると期待される（詳細を一昨年度報告書に記載）。

4．研究の経過及び結果

主に、下記の２つのテーマ(a)及び(b)について取り組んだ。

テーマ(a)　水分や湿度に応じて香気を放出するシリカゲルの創製

シリカゲルは化粧品や塗料、医薬品といった様々な用途で用いられ、無修飾のシリカゲルは中性～弱酸性である。この応用性の高いシリカゲルに香料分子を固定化することで、香気の持続性の付与を試みた（これまで用いてきた高分子から発展させた系である）。固定化に用いたリンカー部位では、水分や空気中の湿気が存在すると、周囲の中性～弱酸性の雰囲気下、イミン結合部位の加水分解が起こり香料分子が放出される。本実験では、香料分子のモデルとしてベンズアルデヒドを用いた。また、*n*-オクタナール、バニリンについても同様の固定化 / 放出が可能かを確かめた。

【結果及び考察】

無修飾シリカゲルとして、Wakogel　RC-200 を用いた。その基本的性質は、破砕状、粒子径は 75～150 μm, 比表面積は 450 m²/g、pH5.5～7.0 である。**Si-NB**（図 1）からのベンズアルデヒドの放出量または残存量を、所定時間ごとに ^{1}H NMR, GC で評価した。さらに、窒素含有量を元素分析により見積もった。

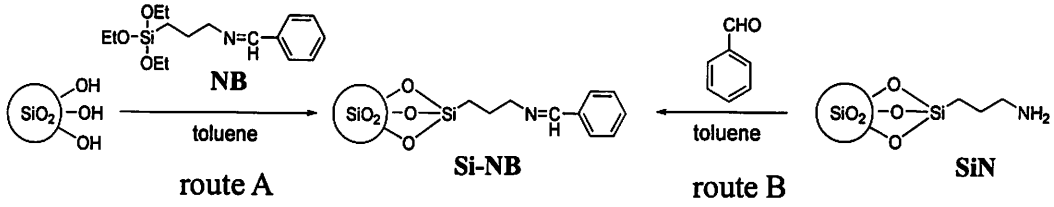


図 1.　**Si-NB** 及び **NB, SiN** の合成

二つのルートで、目的物質 **Si-NB** の合成を試みた（図 1）。route B では、アミノ基を担持させたシリカゲルとベンズアルデヒドを反応させた。しかし、アミノ基含有量に対し、ベンズアルデヒドの固定化量は少なかった。そこで route A のように、あらかじめイミン結合を有したシランカップリング剤 **NB** を合成し、シリカゲル上に固定化することで **Si-NB** を得た。シリカゲル **Si-NB** の窒素原子含有量は 0.43 mmol/g、加水分解に伴うベンズアルデヒド放出量は 0.28 mmol/g（水中で 24 時間加水分解させた値）であった。このことから、route A の反応において、シランカップリング剤 **NB** の 70%がイミン結合を保ったまま、30%の **NB** がイミン結合の加水分解を伴ってシリカゲル上に担持されたと考えられる。

得られた **Si-NB** の加水分解を行ったところ、水中で懸濁させた条件では 3 時間でほぼ全量のベンズアルデヒドが放出された（図 2）。また、粉末状の **Si-NB** を高湿度下（95%RH）で静置して分解させたところ、48 時間後に全量の放出が確認できた。大気下（20%RH）では加水分解はさらにゆっくりと進行し、二週間後の放出率は約 60%であった。

担持/放出物質をバニリンに変更したところ、図 1 の **Si-NB** に類似の挙動を示した。以上より、水分や湿度に応じて芳香族系香料分子を放出するシリカゲルを調製できた。

芳香族系に変えて、脂肪族の *n*-オクタナールを担持/放出するシリカゲルを合成しようと試みたが、前駆物質であるシランカップリング

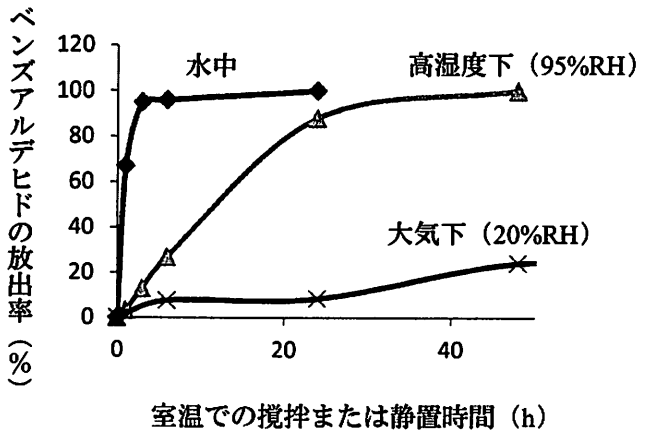


図2　イミンの加水分解に伴うベンズアルデヒドの放出

剤を合成できなかった。

詳細は割愛するが、加水分解するリンカー部位を 6 員環アセタールとしたシランカップリング剤及び担持シリカゲルを合成したが、水と接触させても加水分解は起こらなかった。

テーマ(b)　環員数の異なるアセタール化合物の構造とその加水分解特性、及び酸性モノマーとの共重合

これまでに、アセタール部位の加水分解反応に伴って分子を放出する材料について研究してきた。一昨年～昨年度、6 員環アセタール部位を有するモノマーとスルホ基を有するモノマーを共重合させた **CP$_S$**（図 3）を合成し、これが水分と接触すると加水分解により分子の放出が起こることを報告した。これを踏まえて、加水分解及び放出速度の制御を目指して、本実験では、5 員環体（モノマー **M$_5$**）に着目した。あわせて、酸性官能基をスルホ基よりも弱い酸であるカルボキシル基またはリン酸基に変更し、モノマー **M$_5$** と共重合させた **CP$_C$, CP$_P$** の合成に取り組んだ（図 4）。放出される分子としてベンズアルデヒドを用いた。

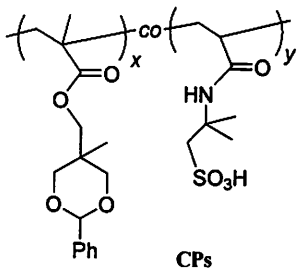


図 3.　**CP$_S$** の構造

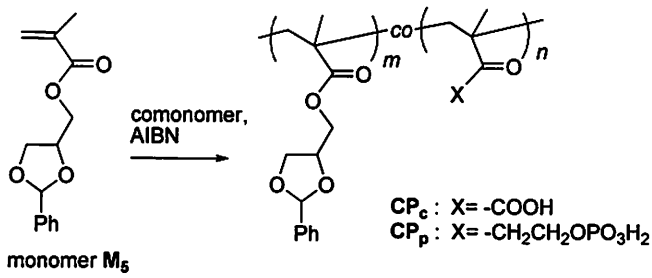


図 4. モノマー **M$_5$**, ポリマー**CP$_C$** 及び **CP$_P$** の構造

【結果及び考察】

モノマー **M$_5$** は、メタクリル酸から 2 段階で合成した（収率 42%）。スルホン酸存在下、5 員環アセタール体 **M$_5$** と 6 員環モノマーの酸加水分解性を比較した（図 5）。**M$_5$** はより高い加水分解率を示していることから、**M$_5$** は鋭敏に酸の影響を受けやすいことがわかる。このことは、対応する共重合体において、カルボキシル基またはリン酸基などの弱い酸性官能基が共存する場合でも、高分子内でアセタール基が加水分解をおこす可能性があることを意味する。

まず、モノマー **M$_5$** とメタクリル酸を用いて、AIBN を開始剤として共重合反応（モル比

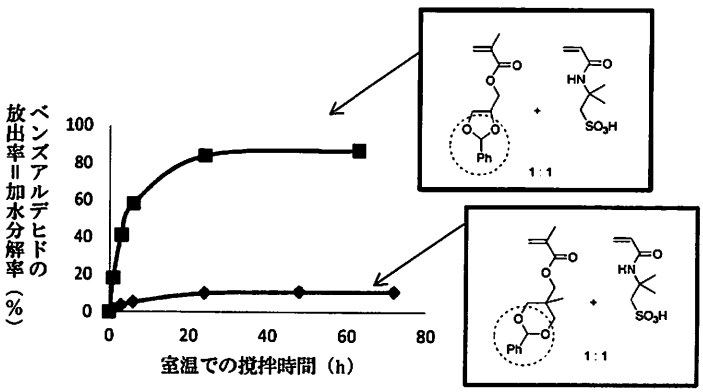


図 5. 二種類のアセタール化合物の酸加水分解
アセタール化合物 0.1mol/L.スルホ基 0.1 mol/L.
DMF/H$_2$O (10/1=v/v) 混合溶媒、室温

$m:n=1:1$）を行い、カルボキシル基含有の $\mathbf{CP_C}$ を得た（図4）。重合反応中、副反応としての加水分解は起こらず、アセタール部位を完全に保ったまま合成することができた。室温下、$\mathbf{CP_C}$ は DMF/H_2O 混合溶媒（10 / 1 = v / v）に溶解したが、室温下及び 60°C 加熱時に加水分解は全く起こらなかった。隣接する5員環アセタール部位を加水分解するには、カルボキシル基では酸性度が不十分であると考えられる。

次に、参照実験として、リン酸基を有するモノマー（ホスマー M）の単独重合を行ったが、ほとんどがゲル化した。この事から、リン酸基含有のホモポリマーは架橋反応を起こしやすいことがわかった。リン酸基含有の $\mathbf{CP_P}$ を得るために、モノマー $\mathbf{M_5}$ とホスマー M を用い、AIBN を開始剤として共重合反応を行った（図4）。共重合反応におけるユニット比（$m:n$, モル比）は、50 : 50 と 10 : 90 とした。この場合、重合中、2~6%程度の加水分解が併発した。一方で、モノマー $\mathbf{M_5}$ とホスマー M を共重合（$m:n=50:50$）させた結果、ゲル化することなく、$\mathbf{CP_{P50}}$ を得ることができた。これは、モノマー $\mathbf{M_5}$ の立体障害によって、リン酸基同士が近づきにくくなり、リン酸基同士の脱水縮合を防いだ可能性が考えられる。また、同様にモル比を 10 : 90（$=m:n$, 図4）に変更して共重合を行った場合にも、ゲル化せずに $\mathbf{CP_{P90}}$ を得ることができた。

得られた $\mathbf{CP_{P50}}$ と $\mathbf{CP_{P90}}$ を水中に懸濁させたところ、一定時間経過後に完全に水に溶解し、高分子内での定量的なアセタール部位の加水分解が起こった。完全に溶解するまで、$\mathbf{CP_{P50}}$ では1時間、$\mathbf{CP_{P90}}$ では72時間必要であったことから、酸性官能基の割合に応じて、加水分解速度を制御できる可能性がある。

5. 今後の計画

① テーマ（b)について、カルボキシル基のなどの弱酸でも加水分解が可能である高分子を作成するため、本系で用いた環状アセタール部位にさらに置換基（メチル基、フェニル基など）を導入する（図6)。置換基の導入によって、環ひずみが増し、加水分解に対して鋭敏になると期待される。

② テーマ（b)で得られたリン酸基含有の $\mathbf{CP_p}$ を主対象として、その組成比が与える加水分解性を定量的に評価する。

③ 本系のような酸と酸で分解する部位を組合わせたコンセプトを架橋構造に展開し、湿度応答性の崩壊型ゲルを作成する。

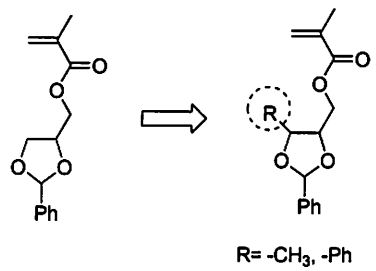


図6. アセタール部位への置換基の導入

6．研究成果の発表

査読付き英語論文： *Chemistry Letters*, in press

(web released: Advance Publication on the web August 29, 2014 by J-STAGE doi:10.1246/cl.140717)

学会発表： 日本化学会第94春季年会 4C3-17 自己加水分解反応をおこす高分子の合成と分子放出材料への展開，○森川浩・茂木大・梅宮健輔（平成26年3月）

その他： 神奈川工科大学第4回産学情報交換会 （平成25年9月）

複合微生物系食堂排水処理システムの開発と処理メカニズムの解明

応用バイオ科学科　局　俊明
栄養生命科学科　　澤井　淳

１．研究の目的

本研究全体としての目的は

１）複合微生物による油分分解の反応機構と微生物間の相互作用を明らかにすること

２）最新式の微生物群集解析技術を獲得し独自技術として発展させること

３）微生物を用いた効率的油分分解技術を開発すること

である。複合微生物処理の機構/メカニズムは、いまだ明らかにされておらず、これらが解明されれば、水環境保全に大きな貢献ができる生物学的水処理技術の開発に関する重要な知見となるものと考えられる。

将来的には、本研究で得られる知見を食堂排水処理にとどまらず、下水や各種産業排水処理の分野においても適切に応用することによって新規の排水処理方法の開発に結び付けたい。

２．研究の必要性及び従来の研究

（背景と研究の必要性）

現在、東京湾においては、集中豪雨の後などに、大きなものではサッカーボールほどの大きさの油の塊（図１）が浮遊する現象が確認され、社会問題となっており、このオイルボールの生成機構を明らかにし、さらに、オイルボール生成を抑制できる技術の開発が、重要課題となっている。

図１　オイルボール写真

オイルボールは、下水管中に流入した油脂分が、水温の低下に伴って、下水管内壁に固化、付着、成長したものであるが、一旦、生成してしまったオイルボールを分解することは、油水間の面積が小さいために困難であり、下水管に流入する前段階で、油脂分を除去する必要がある。

（既往の研究・技術）

既往の研究としては、固液分離等の物理化学処理や微生物製剤処理に関するものが行われているが、特に、微生物製剤を用いた生物処理方法に関しては、どのような微生物が、どのような成分をどのような反応機構でどのような物質にまで分解しているかといった反応メカニズムに関する研究はほとんど行われておらず、経験的にうまくいっているという域を脱していない。特に、活性汚泥や、微生物製剤を用いた微生物学的水処理に関する研究では、結果として、処理水中の油脂分濃度が低下してはいるものの、その効果が、微生物による油脂分の分解によるものか、あるいは微生物が油脂分を汚泥中に取り込み、余剰

汚泥として分離除去しているだけなのか、言い換えれば、“分解処理”なのか“分離処理”なのかを明確にした研究はほとんど見当たらない。

３．期待される効果

本研究によって、オイルボール生成防止のための食堂・厨房排水の最適処理に関する知見が得られる。さらに、以下の１）～３）の知見をも得ることができ、処理技術適用範囲の拡大や、生物学的排水処理分野の学術的発展に貢献できる。

１）食品工場や各種工場から排出される排水の最適処理に関する知見

２）複合微生物系における、微生物間の相互作用、共生関係に関する知見

３）開放系生物処理における特定微生物の利用・優先種化に関する知見

４．研究の経過及び結果

H.23 年度の研究により、微生物製剤の有効性と微生物固定化剤投入の効果を確認した。さらに、微生物叢解析技術を確立できた。さらに、H.24 年度には、オイルボールの構成成分とオイルボール生成機構の調査を行い、オイルボールの主要構成成分は、脂肪酸としてパルミチン酸やオレイン酸を含有するトリグリセリドであることを見出した。

さらに、有用細菌（微生物製剤）の基質分解性に関する基礎的調査を行い、通常の活性汚泥法において、適切な微生物製剤を添加することで処理性能向上効果が得られる可能性が示唆された。しかしながら、以下の点が、課題として抽出された。

・微生物製剤の添加により、TLC 分析時のトリグリセリドのスポットエリアの減少は確認されたものの、このスポットエリアの減少が A)微生物による、分解によるものか？、B)微生物/汚泥による吸着による分離除去なのか？、を明確化する必要がある。

・本研究室で使用している微生物製剤の有する油脂分解速度/除去速度が既往の研究で得られている値と比較して議論する必要がある。

・さらには、乳酸菌を投入した場合、そのシステムで発生する余剰汚泥をメタン発酵した場合に、ガス発生量が増大することかが認められるという現場情報を入手した。

そこで、本年度の研究においては、

１）油脂分析時のサンプルを汚泥混合液全体とし、処理前後の油脂量の変化から、分解が起こっているか？吸着による単純な分離なのか？を明確化する。

２）分解が確認された場合、既往の文献値と比較して、処理性能/分解速度を評価する。

３）メタン発酵処理に対する乳酸菌添加効果についての実験的検討を実施することとした。

４．１．除去機構の明確化と除去速度の評価 [1)]

前述のように、分解による除去と、吸着による除去を定量的に区別して評価するために、三角フラスコに微生物と油脂（菜種油）並びに人工下水成分を投入し、三角フラスコ内液全量を用いた油脂総重量分析（Bligh - Dyer 抽出物として評価）を行った。このような方法

を採用した理由は、単純な吸着による分離であれば、総量分析を行った場合、総量に変化がないのに対して、分解が起こっていれば、油脂総量が減少するためである。なお、前年度までの研究において、反応容器内の一部の試料を用いた分析を行うと、油脂含有排水の場合、サンプル毎の成分のばらつきが大きく、また、容器内に吸着/付着した油脂分が測定されないことが明らかになったため、サンプル分析は、三角フラスコ内液全量に対して行うとともに、三角フラスコ内付着油脂をクロロフォルムで洗浄、回収することとした。実験手順の概要を図２に、得られた実験結果を表１に示す。

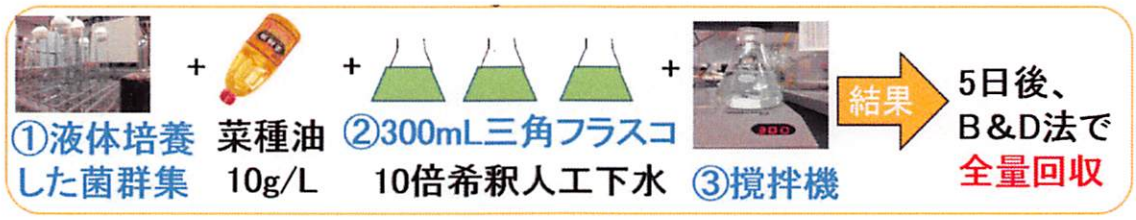


図２　除去機構明確化実験手順の概要

表１　除去機構明確化実験結果

	NO	5日間の回分実験での油脂減少率		
		0日目の油脂濃度 (g/200mL)	5日目の油脂濃度 (g/200mL)	油脂減少率(%)
乳酸菌(好気)	1	1.49	1.45	2.68
乳酸菌(嫌気)	2	1.49	1.40	6.04
枯草菌(好気)	3	1.71	1.62	5.26
枯草菌(嫌気)	4	1.71	1.64	4.09
活性汚泥(好気)	5	1.67	1.59	4.79

表１から、僅かではあるが、５日間の回分処理によって、総油脂量の減少が確認され、油脂の除去において、分解処理がなされていることが示唆された。なお、前述のように、既往の研究では、分解と分離を明確に区別したものは、ほとんど見当たらないが、千種ら[2]は、酵母（*Candida hellenica*）を用いた油脂分解実験において、混合液全体を用いたｎ-Hex 抽出物の濃度の経時変化を測定した結果として単位酵母重量あたりの油脂分解速度 0.8kg-n-Hex 抽出物・kg-酵母$^{-1}$・ｄ$^{-1}$という値を報告している。一方、表１に示した筆者らの実験結果から単位微生物重量当たりの油脂分解速度を算出すると、乳酸菌を嫌気条件で利用した場合に、0.45 kg-BD 抽出物・kg-乳酸菌$^{-1}$・ｄ$^{-1}$と算出され、文献[2]において選定された酵母（*Candida hellenica*）と同等オーダーの分解速度を有することが示された。

なお、表１の結果では、特定の菌を添加しない通常の活性汚泥においても、微生物製剤を用いた場合とオーダー的に見れば同等の分解速度が得られている。これは、本研究で使用した活性汚泥は、1年以上の長期間、菜種油を添加した人工下水で馴養されたものであり、この活性汚泥中に油脂分解能力の高い菌が自然増殖/濃縮された可能性がある。以上より、微生物製剤を用いた油脂の除去に関して、単純に微生物/汚泥への吸着による分離処理ではなく、分解処理が行われていること、および微生物製剤の有効性を確認した。ただし、除去量全体に対する分解と吸着のそれぞれの寄与割合に関する知見を得ることや、複数の微生物製剤を同時に使用した場合の効果や生物叢の変化については今後の課題として残った。

４．２　メタン発酵処理に対する乳酸菌添加効果[3)]

研究室内で発生した余剰汚泥 67mL に、メタン発酵種汚泥 33mL と乳酸菌ペレット 1g を添加し、メタンガス発生量と汚泥中成分の経日変化を測定した。結果を図３、図４に示す。図３に示されたように、メタンガス発生量は乳酸菌の添加により減少した。この原因は、微生物製剤添加系では、有機物の加水分解から酸発酵が急速に進行し(図４)、有機酸が蓄積し、ｐH が下がり、メタン菌を阻害したためと考えられた。このような有機酸の蓄積は、基質を一度に比較的大量に投入する回分方式の実験であったために起こったものと考えられ、基質投入が分散される連続処理では軽減されるものと考えられ、連続処理においては、微生物製剤投入により加水分解段階と酸発酵段階が増強されることによるメタンガス発生量の増大や、反応速度の増大といった効果が得られる可能性が示唆された。

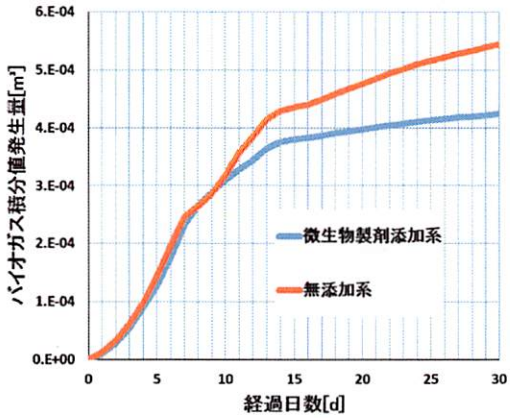


図３　バイオガス発生量の経日変化

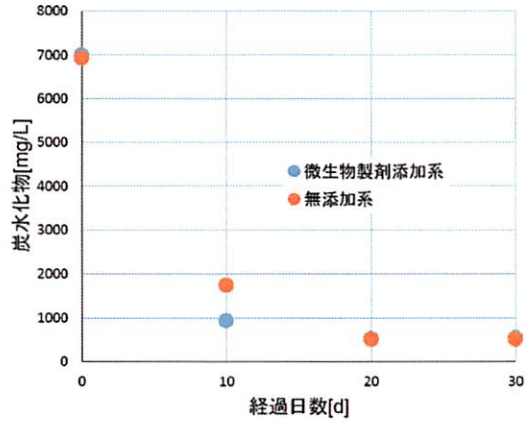


図４　炭水化物濃度の経日変化

５．今後の計画

本研究は今年度で３年計画を終了するが、上述の新たに見出された課題について、今後、研究開発を継続し、最終的には、地球環境の保全に役立つ技術として完成させたい。最後に、３年間の重点配分経費による研究支援に深甚なる謝意を表します。

６．研究成果の発表

下記の引用文献 1）3）で成果を公表した。今後、本研究で得られた成果に、追加実験の成果を盛り込み、随時、成果発表を行う予定である。

（引用文献）

1）長谷場隼人、活性汚泥反応タンクへの微生物製剤添加効果、神奈川工科大学応用バイオ科学科卒業研究発表会、2014 年２月

2）千種薫ら、油脂分解酵母による製油工場排水の処理、環境技術、vol.26、No.3、pp.40-44（1997）

3）佐藤信之助、下水余剰汚泥のメタン発酵に対する微生物製剤添加効果、神奈川工科大学応用バイオ科学科卒業研究発表会、2014 年２月

研究課題名　「アミノ酸を原料とする新規光学活性ヘテロ環化合物ライブラリーの構築」

神奈川工科大学・応用バイオ科学部・応用バイオ科学科　野田　毅、
神奈川工科大学・工学部・応用化学科　山口　淳一、
群馬大学・教育学部　日置　英彰

1．研究の目的

近年、世界中で化合物ライブラリーの構築が進められ、医薬品の候補化合物の探索目的での利用が活発に行われている。本研究は、本学独自の化合物ライブラリー拠点を形成する目的で、安価なアミノ酸の一つであるオルニチンを出発原料として、医薬品や生物活性をもつ化合物によく見られるピペリジン骨格をもつ新規ヘテロ環化合物の合成法を開発、その化合物ライブラリーを構築する。

2．研究の必要性および従来の研究

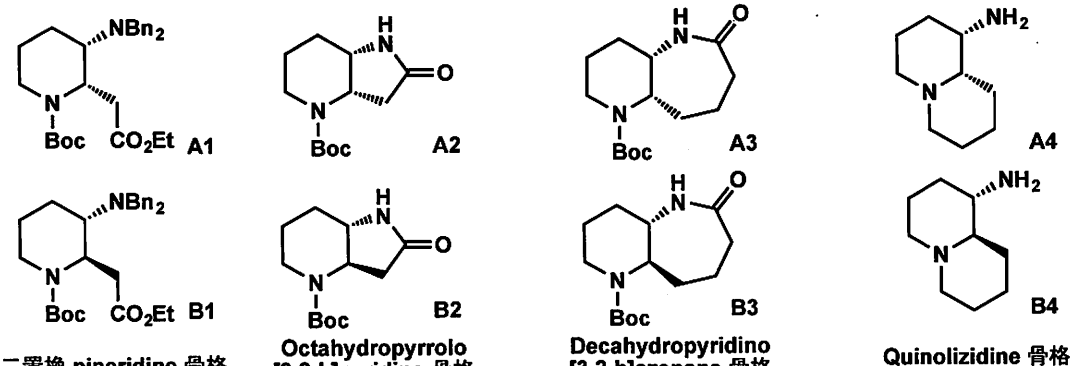
最近、医薬品のリードとなる化合物が、化合物ライブラリーからいろいろ見つかっている。化合物ライブラリーを利用した迅速な生物活性の評価方法の開発が精力的に進められているなか、医薬品開発に向けた、質の良い化合物ライブラリーの必要性はさらに高まるに違いない。本研究は、医薬品のリード化合物となる人工的に合成された天然にはない新規な化合物のライブラリーとして、特に、医薬品の骨格構造によく見られるピペリジン環を有することを特徴としている。

3．期待される効果

本研究が対象とする化合物は、今まで合成例が少ない光学活性２−置換−３−アミノピペリジン誘導体であり、しかも、多くの新規化合物を含んでいる。本研究が目的とする新しいライブラリーは新しい医薬品そして生命現象を明らかにする化合物の開発に重要な情報を提供できる。

4．研究の経過及び結果

天然型オルニチン塩酸塩より合成した2,3−二置換 piperidine 骨格 (**A1, B1**)、Octahydropyrrolo [3,2-b]pyridine 骨格 (**A2, B2**)、Decahydropyridino[3,2-b]azepane 骨格(**A3, B3**)、Quinolizidine 骨格 (**A4, B4**)をもつ化合物ライブラリーを合成した。



スキーム１

研究課題名　「アミノ酸を原料とする新規光学活性ヘテロ環化合物ライブラリーの構築」

神奈川工科大学・応用バイオ科学部・応用バイオ科学科　野田　毅、
神奈川工科大学・工学部・応用化学科　山口　淳一、
群馬大学・教育学部　日置　英彰

1．研究の目的

近年、世界中で化合物ライブラリーの構築が進められ、医薬品の候補化合物の探索目的での利用が活発に行われている。本研究は、本学独自の化合物ライブラリー拠点を形成する目的で、安価なアミノ酸の一つであるオルニチンを出発原料として、医薬品や生物活性をもつ化合物によく見られるピペリジン骨格をもつ新規ヘテロ環化合物の合成法を開発、その化合物ライブラリーを構築する。

2．研究の必要性および従来の研究

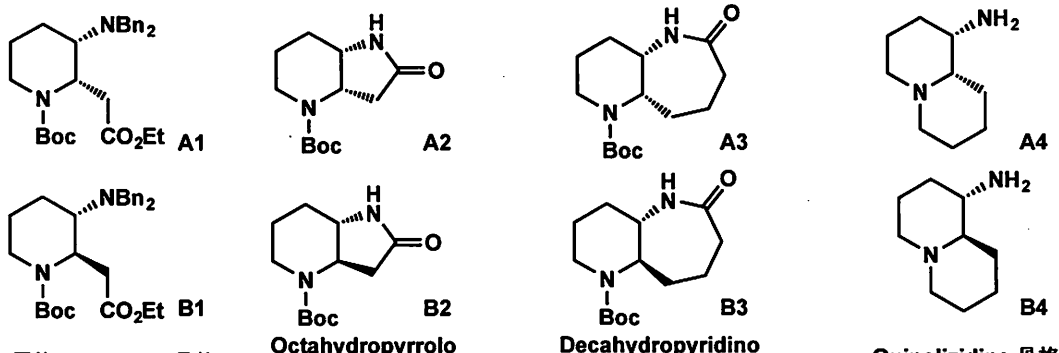
最近、医薬品のリードとなる化合物が、化合物ライブラリーからいろいろ見つかっている。化合物ライブラリーを利用した迅速な生物活性の評価方法の開発が精力的に進められているなか、医薬品開発に向けた、質の良い化合物ライブラリーの必要性はさらに高まるに違いない。本研究は、医薬品のリード化合物となる人工的に合成された天然にはない新規な化合物のライブラリーとして、特に、医薬品の骨格構造によく見られるピペリジン環を有することを特徴としている。

3．期待される効果

本研究が対象とする化合物は、今まで合成例が少ない光学活性２-置換-３-アミノピペリジン誘導体であり、しかも、多くの新規化合物を含んでいる。本研究が目的とする新しいライブラリーは新しい医薬品そして生命現象を明らかにする化合物の開発に重要な情報を提供できる。

4．研究の経過及び結果

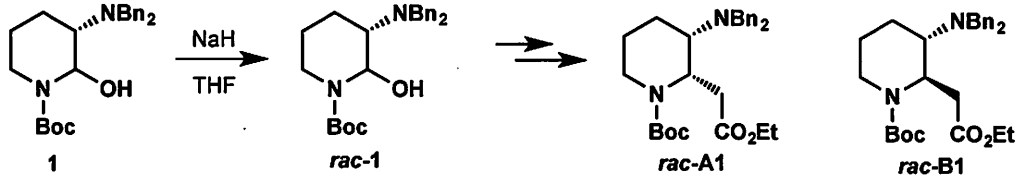
天然型オルニチン塩酸塩より合成した2,3-二置換 piperidine 骨格 (**A1, B1**)、Octahydropyrrolo [3,2-b]pyridine 骨格 (**A2, B2**)、Decahydropyridino[3,2-b]azepane 骨格(**A3, B3**)、Quinolizidine 骨格 (**A4, B4**)をもつ化合物ライブラリーを合成した。



スキーム１

(1) 置換ピペリジンライブラリーの基本骨格となる化合物 **A1, B1** のラセミ体合成

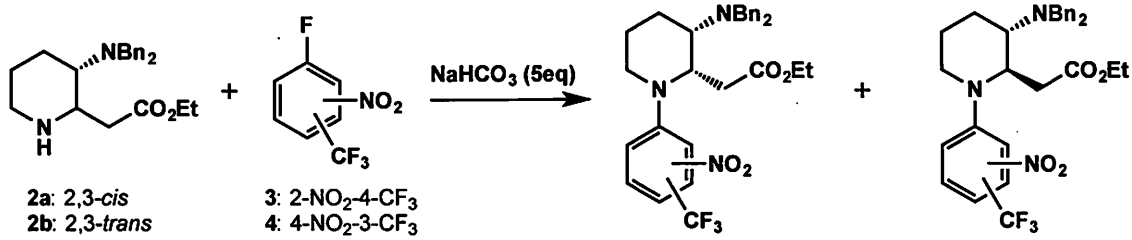
L-オルニチンから光学的に純粋な 2, 3-二置換ピペリジン骨格を持つ基本化合物 **A1, B1** を 100 g スケールで合成する方法を開発した。これらを原料として、有効な化合物ライブラリーとするためには、鏡像異性体も併せて準備する必要がある。原料となる D-オルニチンは、L-体に比べて 10 倍以上も高価であるため、L-オルニチンからラセミ体の合成を検討した（スキーム 2）。ピペリジン **A1, B1** の合成中間体となる **1** を NaH を THF 中で共存することで、容易にラセミ化することがわかった。この化合物を用いて、**A1, B1** の両異性体を合成した。



スキーム 2

(2) 2,3-二置換 piperidine の 1 位窒素原子への芳香環の導入。

ピペリジン **A1, B1** から誘導した **2a, 2b** に対する、電子吸引基の付いたフルオロベンゼンを用いたアリール化を検討した。フルオロベンゼン **3** を用いた場合、2, 3-*cis* 体 **2a** では、生成物として **5a** が得られた（entry 1）。一方、2, 3-*trans* 体 **2b** では、THF, DMF 中では、反応の進行は全く見られなかったものの、溶媒をアセトニトリルに変えると、生成物として **5b** が得られた。しかしながら、一部 2, 3-*cis* 体 **2a** への異性化が観測されている（entries 2, 3, 4, 5）。フルオロベンゼン **4** を用いた場合、2, 3-*cis* 体 **2a** では、THF では反応が進行しないが、アセトニトリル中で



2a: 2,3-*cis*
2b: 2,3-*trans*

3: 2-NO_2-4-CF_3
4: 4-NO_2-3-CF_3

5a: 2-NO_2-4-CF_3
6a: 4-NO_2-3-CF_3

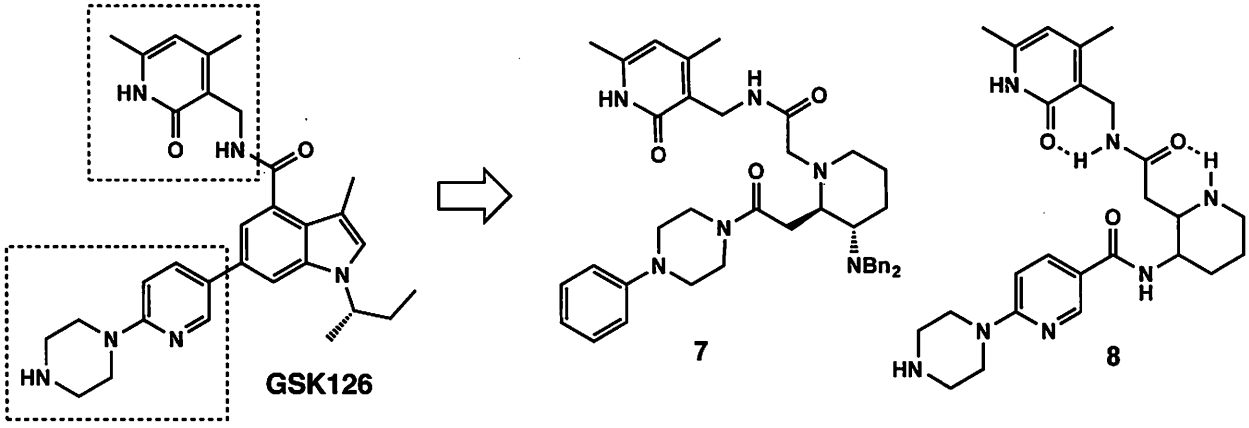
5b: 2-NO_2-4-CF_3
6b: 4-NO_2-3-CF_3

Entry	Substrate	Solvent	Arylation Reagents	Temp (°C)	Time	Product (yield)
1	**2a**	THF	**3**	reflux	14 h	**5a** (73%)
2	**2b**	THF	**3**	reflux	5 d	No reaction
3	**2b**	DMF	**3**	reflux	5 d	No reaction
4	**2b**	CH_3CN	**3**	reflux	21 h	**5a, 5b** (26%)
5	**2b**	CH_3CN	**3**	reflux	48 h	**5a, 5b** (40%)
6	**2a**	THF	**4**	reflux	5 d	No reaction
7	**2a**	CH_3CN	**4**	reflux	48 h	**6a** (40%)
8	**2a**	DMSO	**4**	100	20 h	**6a, 6b** (40%)
9	**2a**	DMSO	**4**	150	20 h	**6a** (0%)

生成物として **6a** が得られた（entries 6, 7）。DMSO 中での加熱は反応が加速されたものの、異性化が観測され、**6a**; **6b** が得られた。150°C では分解が進行し、目的とする生成物は得られていない（entries 8, 9）。

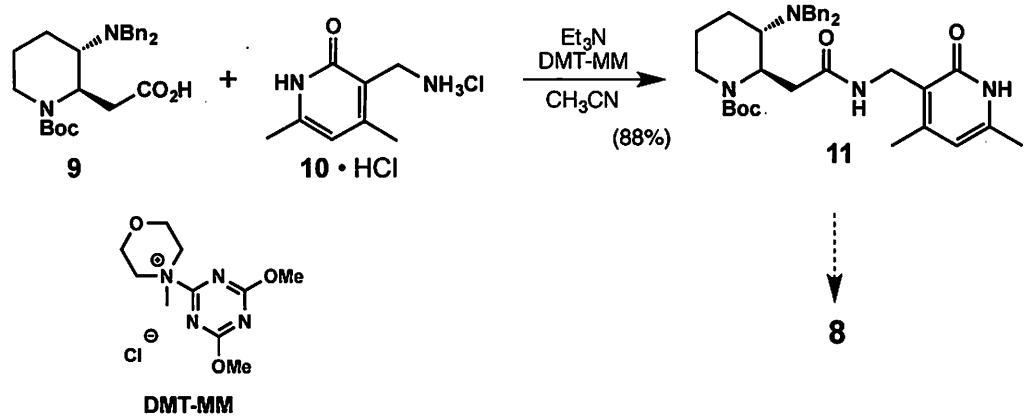
(3) Ezh 2 阻害剤 GSK126 を模倣した piperidine 誘導体の合成。

Ezh 2 はポリコーム PRC 2 複合体の触媒サブユニットで、ヒストン H3K27 トリメチル化を触媒することで遺伝子制御に関与する。最近、抗がん剤開発の観点から、Ezh 2 阻害剤の報告が相次いでいる。Ezh 2 阻害剤 GSK126 はインドール環をコア骨格として、２つのヘテロ環を有している。この化合物の類似化合物として、３次元的に多様性をもつピペリジン環でインドール環を置き換えた化合物 **7, 8** を合成目標物として設定した。（スキーム３）



スキーム３

出発原料として、ピペリジン **B1** から誘導した **9** とアミン塩酸塩 **10•HCl** を縮合剤 **DMT-MM** を用いて **11** とした。これより、**8** への合成を検討中である。アミン塩酸塩 **10•HCl** は市販の試薬 **12** より水素添加により合成した。（スキーム４）



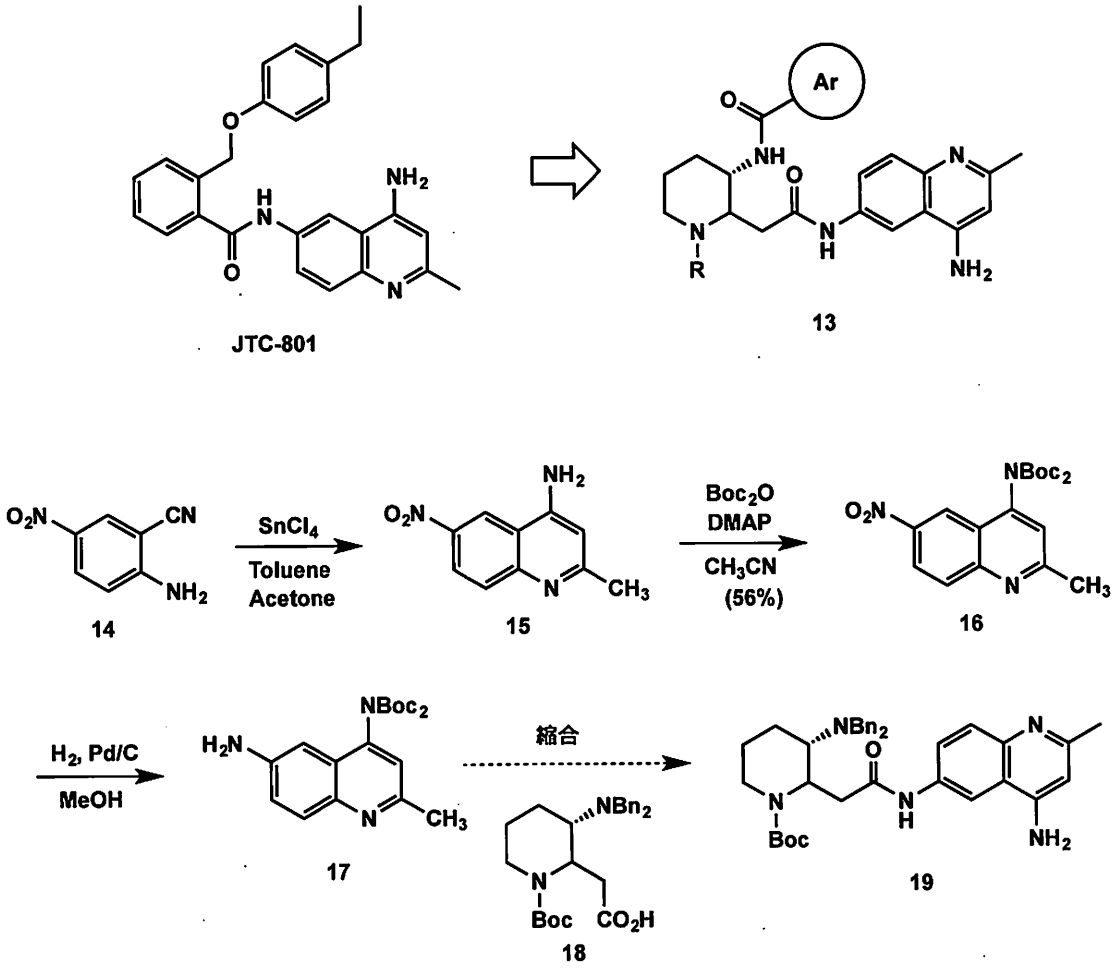
entry	catalyst	yield (crude)
1	20% $Pd(OH)_2/C$	59%
2	5% Pd/C	100%

スキーム４

(4) アトピー性皮膚炎に効果が見いだされている **JTC-801** からデザインしたピペリジン誘導体の合成。

最近、化合物ライブラリーを用いた生物活性物質の探索において、アトピー性皮膚炎に効果のある **JTC-801** が見いだされた。しかしながら、この化合物は、オピオイド系の鎮痛効果を有しており、副作用の点から、改良が望まれている。この化合物の特徴的な構造のキノリン環に注目し、ピペリジンの基本骨格をもつ **13** を合成目標とした。(スキーム５)

市販の **14** から $SnCl_4$ 存在化、アセトンとの反応でキノリン環構築し、**15** とした。生じたアミノ基を Boc 基で保護して **16** さらにニトロ基の還元により 17 を得た。得られた **17** を用い、ピペリジン **18** との縮合反応を検討中である。



スキーム５

今後の計画

現在進検討中の化合物の合成を進めるとともに、今まで合成したサンプルを整理し、生物活性の評価を依頼する。

学外発表

・日本化学会第 94 春季年会　2014 年 3 月 27 日(木)～30 日(日)

名古屋大学　東山キャンパス

PC-0292　2-置換-3-アミノピペリジン誘導体の合成研究（神奈川工科大院工）○政本　直樹・野田　毅

・日本薬学会第134年会　2014年3月27日(木)～30日(日)

名古屋大学　東山キャンパス

1）29pmM-076　2環性縮合ピペリジン誘導体の合成研究（神奈川工科大院工）○海瀬　和美・野田　毅

2）29pmM-077　2-置換-3-アミノピペリジン誘導体の合成研究（神奈川工科大院工）○芝岡　佑夏・野田　毅

3）29pmM-078　アシルイミニウムイオン中間体を経由する2-置換-3-アミノピペリジン誘導体の合成研究（神奈川工科大院工）○新垣　薫・野田　毅

WDM通信ネットワーク用複合集積光機能回路の研究

研究者名：電気電子情報工学科　　中津原　克己

１．研究の目的

ブロードバンドネットワークの普及を支える光ファイバ通信技術は波長分割多重(WDM : Wavelength division multiplexing)技術が導入され、伝送容量が飛躍的に増大されている。今後、さらに進化したフレキシブルな WDM 通信ネットワークの実現のために、複数の光スイッチや波長可変フィルタ等が集積された複合集積光機能回路の実現が望まれている。

本研究では、選択波長帯域が異なる波長可変フィルタを複数並列に配置した集積形波長可変フィルタの試作を行い、その動作実証を行うことを目標とする。具体的には、液晶を用いた導波路形波長可変フィルタの研究過程においてこれまで培った成果を活用し、波長可変フィルタの高性能化とともに光スイッチの小型化、素子構造およびプロセスの検討、複数の素子を集積化するための技術課題の克服を目的としている。

２．研究の必要性及び従来の研究

光通信ネットワークでは、一本の光ファイバに波長の異なる光信号を多重化する WDM 技術の導入により通信容量の増大がもたらされ、年々増大する通信需要を満たしてきた。今後、さらなる通信需要の動的な変化に対応するため、ネットワークの繋ぎ目であるノードでは光スイッチが不可欠となっている。また、使用される波長チャネルの変化にも対応したフレキシブルなネットワークでは、波長可変フィルタも必要である。今後の通信ネットワークの発展には、これらの光デバイスは集積化され、小型で高機能化していく必要があり、低消費電力化も望まれている。本研究では、素子の動作原理に強誘電性液晶(FLC : Ferro-electric liquid crystal)の屈折率変化を用いており、その大きな屈折率変化と双安定動作により、素子の小型化と低消費電力動作の実現が期待される。これは、これまで用いられてきた熱光学効果や電流注入によるキャリア変化の効果とは異なり、石英平面光回路やシリコンフォトニクスの分野において、集積化を進める上で重要な技術になると考えられる。

３．期待される効果

電子回路の材料でもあるシリコンを光デバイスの材料として用いるシリコンフォトニクスと呼ばれる分野は、強い光閉じ込めで微小な回路の実現でき、研究が盛んに行われている。このシリコンフォトニクスの分野において動的な機能を付加する場合、主に熱光学効果が利用され、高密度集積化を進めれば進めるほどエネルギー消費や熱

干渉の問題が顕著となることが予想されている。本研究の基本要素である FLC を利用した導波路構造は状態維持電力が不要で大きな屈折率変化が得られるため、前述の課題を解決する一つの技術として、高密度集積化を目指した光集積回路の実現に大きなインパクトを与えられると考えている。

本研究では、これまで FLC の特色を活用した導波路形素子の提案および動作実証を行ってきており、このような動作実証例はこれまで国内外で見当たらず、きわめて独創性が高いと考えられる。この独自技術である導波路上への FLC 装荷・配向制御技術をさらに洗練させ、導波路形複合共振器上に精密に適用する技術を確立することにより、小形で高密度集積化に適した低消費電力の新しい光スイッチ及び波長可変フィルタの実現が可能になる。また、液晶は表示用デバイスとして広く利用され、信頼性および量産プロセスも確立されているが、この液晶を通信用光学材料として適用する試みは非常に少ない。したがって、液晶を通信用光デバイスに用いる研究は革新性が非常に高く、液晶材料の新分野の展開という意味でも学術的、工学的波及効果が大きいと考える。

4．研究の経過及び結果

4.1 集積形波長可変フィルタアレイ

図 1 に示すように 1×N 光スプリッタの各出力ポートに動作波長が異なる波長可変フィルタを組み込んだ集積形波長可変フィルタアレイの開発を行った。

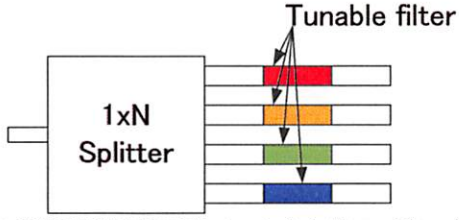


図 1 導波路形波長可変フィルタと光スプリッタを集積化した波長可変フィルタアレイ

波長選択スイッチの集積化技術を開発するための基礎実験として、図 2 に示すように 1×6 光スプリッタと動作波長が異なる FLC 装荷グレーティング導波路を集積化した 1×6 素子集積型波長可変フィルタの試作を行った。図 3 に 1×6 光スプリッタの分岐特性、図 4 に FLC への印加電圧の極性切替による可変特性の理論計算結果を示す。1×6 光スプリッタから分岐された導波路の導波路幅を変えることで、それぞれの導波路の等価屈折率の違いによる動作波長の設定を実現した。ここでの課題は、各素子の適切な位置に液晶を装荷することであり、これまでの科研費研究で導入した基板貼り合せ装置をはじめとする現有設備を駆使し、位置合わせ技術を確立した。図 5 に得られた動作結果を示す。それぞれ導波

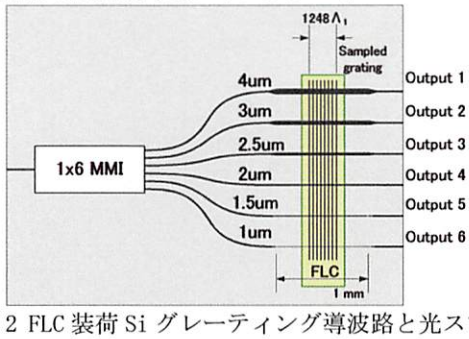


図 2 FLC 装荷 Si グレーティング導波路と光スプリッタを集積化した波長可変フィルタアレイ

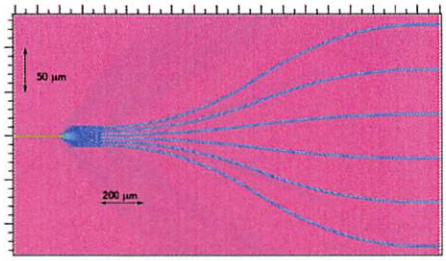


図 3 1×6 光スプリッタの分岐特性の理論計算結果

路幅に応じた動作波長でのスイッチング特性が得られ、素子集積化のための基礎技術の確立を達成した。これらの成果は応用物理学会の英文論文誌に投稿し、掲載されている。

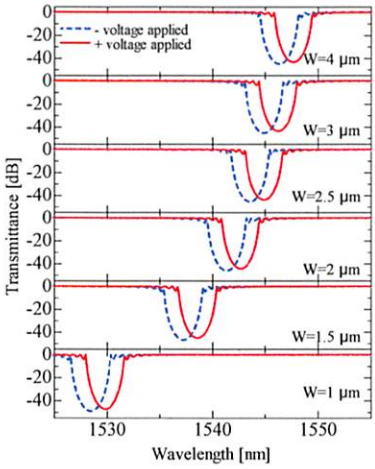


図4 集積形1×6波長可変フィルタアレイの理論特性

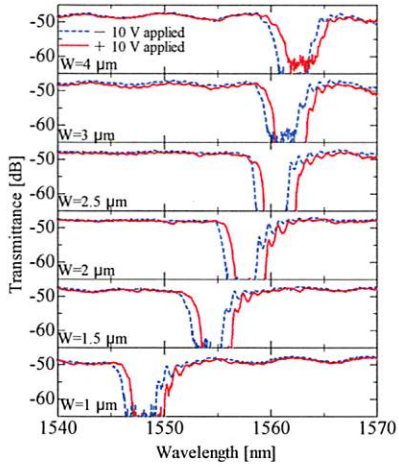
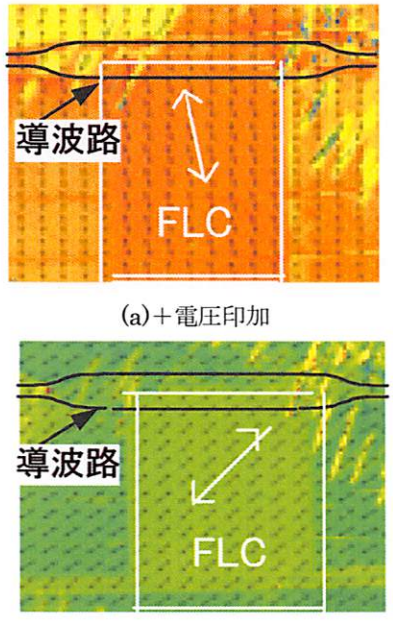


図5 試作した集積形1×6波長可変フィルタアレイの特性

4.2 波長シフト量の増大の検討

波長可変フィルタの波長シフト量の増大を図るために、液晶の効果増大を図るシリコンコア層の薄膜化と液晶材料の検討を行った。コア層の薄膜化では 220nm のシリコンコア層を用いて素子試作を行い、波長特性のシフトは 1.6nm 得られ、従来のコア層 300nm を用いた素子に比べ 200%の波長シフト量の増大が得られた。この性能の実現により、超高密度集積化への技術展開の道筋を明らかにした。本成果は動作実証結果を国際シンポジウム ISPEC2013 にて発表している。

液晶材料の検討では、従来から用いていた強誘電性液晶である ZLI-4655 を上回る特性を実現するため、新たな強誘電性液晶材料の検討を行い、新たな強誘電性液晶として Felix-16-100 を用いた素子の試作を行った。2 次元複屈折率顕微鏡(フォトニックラティス社製 WPA-Micro)を用いた可変位相シフタ領域の光学軸の観察結果を図 7 に示す。図 7 の結果から Felix-16-100 の光学軸は導波路方向(光の伝搬方向)に対し、＋電圧印加時は約 101°、－電圧印加時に約 50° であることがわかり、FLC への印加電圧極性の変化により、導波路上の FLC の光学軸がスイッチングしていることが確認でき



(a)＋電圧印加

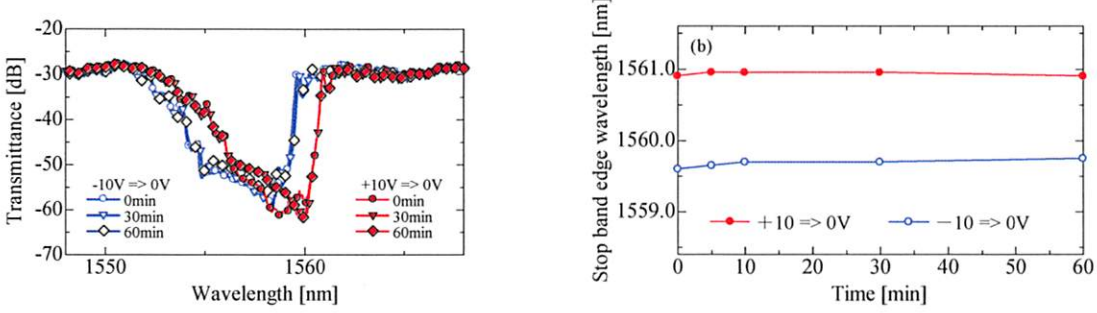
(b)－電圧印加

図 6　2 次元複屈折率顕微鏡を用いた FLC の光学軸分布

た。この新たな材料の利用により、さらに位相シフト部の小型化が期待できる。

4.3 自己保持動作の実証

220nm厚のシリコンコア層を用いた試作素子において、FLCへの電圧を0Vとして、自己保持動作について評価を行った。図7に示すように60分経過後も電圧無印加で波長特性は維持されており、超低消費電力化技術の創出に不可欠な自己保持動作の実証に成功した。この性能の実現により、超高密度集積化への技術展開の道筋を明らかにした。本成果は動作実証結果をサンフランシスコで開催された国際会議 OFC2014 にて発表している。また、さらに詳細な素子特性について明らかにした結果をまとめ、学術雑誌 Optics Express に投稿している。



(a) 波長可変フィルタのスイッチング動作　　(b)自己保持動作の経過特性

図7　波長可変フィルタの自己保持動作

5.　今後の展開

5.1波長選択スイッチのための要素技術の開発

本研究課題で動作実証を得た波長可変フィルタとアレイ集積化技術をもとに、フォトニックノード回路への応用を目指した集積形の波長選択スイッチの開発を行う。基本要素となる波長選択スイッチは、図8に示すように、波長可変フィルタをMach-Zehnder干渉計(MZI)の両アーム導波路に組み込んだ構造であり、4つのポートがそれぞれ、入力、アド、ドロップ、スルーの機能を果たす。この機能により、再構成可能なアド・ドロップ(ROADM)機能を実現することが可能であり、この波長選択スイッチを集積化することにより、高密度に集積化され、低消費電力で動作するフォトニックノード回路の実現に貢献するものと考えられる。今後も2次元複屈折評価システムを用いて導波路上に形成された液晶領域の配向状態を評価し、安定した動作を得るためのプロセスの改善方法の検討を行う。改善したプロセスを用いて、素子の試作を繰り返し、その評価結果をさらにプロセスにフィードバックさせながら、最適条件への収束を図る。

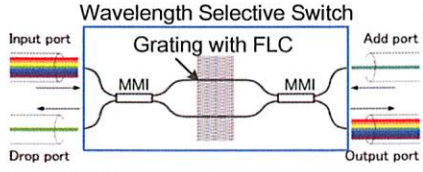


図8　波長選択スイッチ

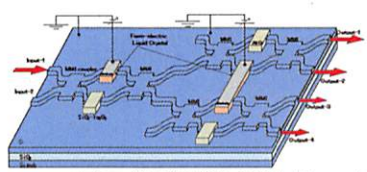


図9 集積形波長選択スイッチ

5.2異種応用分野へ技術展開の検討

フォトニックノード回路の基本要素となるデバイス開発の過程で得られた知見を元にセンサーデバイスなど、他分野への応用展開の検討を行う。

６．　研究成果の発表

(1) K. Nakatsuhara, A. Kato, and Y. Hayama, “Bistable Switching Operation in a Si Sampled Grating Waveguide with Ferroelectric Liquid Crystals Cladding”, Optical Fiber Communication Conference (OFC2014), Th1A.8, (San Francisco, U.S.A.), (2014年3月13日).

(2) K. Nakatsuhara, Y. Hayama and A. Kato, “Enhancement of Wavelength Characteristic Shift in Si Grating Waveguides with Ferroelectric Liquid Crystals Cladding”, International Symposium on Photonics and Electronics Convergence (ISPEC2013), D-2, (Tokyo, Japan), (2013年11月19日).

(3) A. Kato, K. Nakatsuhara, and Y. Hayama,” Integrated silicon grating waveguides with ferroelectric liquid crystal cladding for optical tunable wavelength filters”, MOC13, H11, (Tokyo, Japan), (2013年10月29日)

(4) A. Kato, K. Nakatsuhara and T. Nakagami, “A sampled grating in an SOI waveguide for narrow-band tunable wavelength filters”, OECC2013 (the 18th Optoelectronics and Communications Conference), Kyoto, 2013.7.4.

(5) Y. Hayama, T. Nonaka, A. Kato, K. Nakatsuhara and T. Nakagami, “Switching operation using 220nm thickness Si waveguides with Ferroelectric Liquid Crystal”, OECC2013 (the 18th Optoelectronics and Communications Conference), Kyoto, 2013.7.4.

(6) 金久保渉，端山喜紀，中津原克己，“FLC装荷光スイッチのための220nm厚Siコア層を用いたAWGの設計”，電子情報通信学会 集積光デバイスと応用技術時限研究専門委員会（日光市）(2014年1月30日)

(7) 清藤将人，端山喜紀，中津原克己，“導波路型光スイッチのためのFLCクラッド材料の実験的検討”，電子情報通信学会 集積光デバイスと応用技術時限研究専門委員会（日光市）(2014年1月30日)

(8) 清水敏郎，金久保渉，中津原克己，“液晶装荷導波路を用いた偏波無依存分岐結合器の検討”，電子情報通信学会 集積光デバイスと応用技術時限研究専門委員会（日光市）(2014年1月30日)

(9) 加藤亜希文,中津原克己,端山喜紀，“光波長可変フィルタのための強誘電性液晶装荷Siグレーティング導波路の理論特性解析と製作”，電子情報通信学会,光エレクトロニクス研究会，OPE2013-90, pp.163-168, 函館,8月,2013.

(10) 端山 喜紀，野中 友貴，加藤 亜希文，中津原 克己，中神 隆清，”強誘電性液晶FELIX-016/100を用いた導波路形光スイッチの製作”，電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会，熱海，2013.4.25.

特許出願

(1)「光分岐挿入装置，光スイッチおよび製造方法」，(特願2014-068526)，2014.3.28，(発明者) 中津原 克己，加藤 亜希文，端山 喜紀

(2)「レーザドップラー流速計」,(特願2014-048730),2014.3.12,(発明者) 中津原 克己，丸浩一

高性能ポリ(ビニルアルコール)物理ゲルの合成とキャラクタリゼーション

応用バイオ科学科　岡部　勝・清水秀信
工学教育研究推進機構　和田理征

1. 研究の目的

水をゲルマトリックスの内部に多く含む，いわゆる高分子ハイドロゲルは，今日バイオ医療材料としてその応用研究が活発に行われている。特に，親水性の代表的なポリマーであるポリ(ビニルアルコール)(PVA)は，耐薬品性，耐バクテリア性，ガス透過性などに優れた高分子材料の１つであり，水などの溶媒中で物理ゲルを形成する。PVA ハイドロゲルは，高含水性や粘弾性的特徴，透明性，生体適合性を有し，医療材料として実用面においても注目されてきたマテリアルである。

PVA ゲルにおいては，PVA 鎖の分子間水素結合によって，その内部に水を閉じ込めていると考えられている。しかしながら，PVA ハイドロゲルは作りやすい反面，生成したゲルは比較的低い温度でゾル化したり，さらには，力学強度においても低いという欠点がある。PVA ハイドロゲルを材料として積極的に使用しようとする場合，熱力学的安定性や力学的安定性が要求される。

本研究では、PVA ハイドロゲルの力学強度や熱力学的安定性を向上させる条件を検討することを目的としている。高性能ゲルに要求される機能は、下図１に示した熱力学的安定性と力学的安定性である。熱力学的安定性は，Flory-Huggins のパラメーターχ_{12}の値から検討し，前年度で既に報告した。本年度では、ゲルの力学強度の指標としてヤング率 E を測定し，力学強度に影響を及ぼす諸因子(架橋長ℓや重合度 N，タクチシチー(S-diad)の相関性)について検討した。

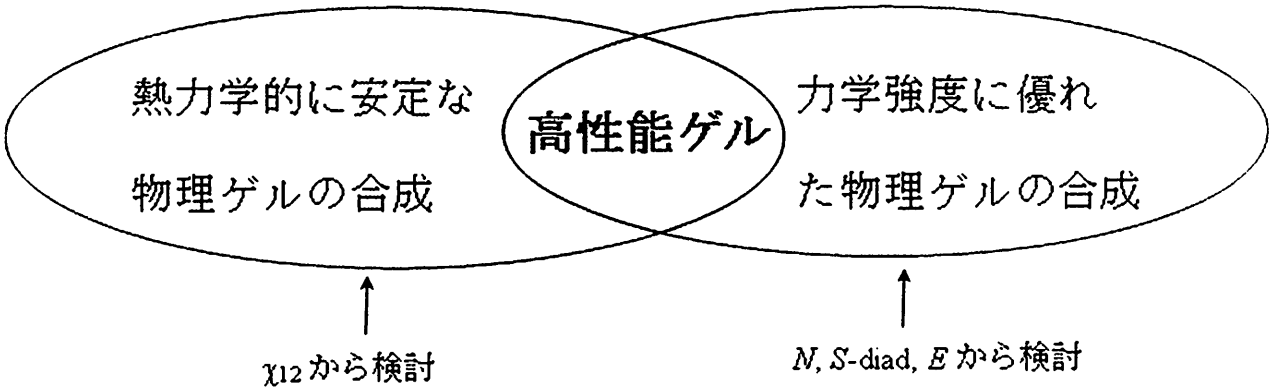


図 1. 本研究で目指す高性能 PVA 物理ゲル.

χ_{12} : Flory-Huggins の熱力学的パラメーター
N: 重合度
S-diad : タクチシチー
E: ヤング率

2. 研究の必要性および従来の研究

高強度 PVA ハイドロゲルを得る方法として，反復凍結解凍法や凍結低温結晶化法などが行われてきた。これらの方法で得られるゲルは，強度は上昇するものの，ゲル作製に時間が掛かるという欠点がある。これに対し，ジメチルスルホキシド(DMSO)/水の混合溶媒系でゲルを調製すると，比較的短時間で高強度物理ゲルを作ることができる。我々はこれまでに，DMSO と水の混合溶媒比率を連続的に変化させてゲルを作り，Flory-Huggins の熱力学的パラメーターχ_{12}を見積もり，ゲルの力学強度とゲル構造の相関性を検討してきた。その結果，χ_{12}の大きさが，ゲルの膨潤度のみならず，ゲルの架橋長などのゲルの高次構造に影響を及ぼすことを明らかにした。

PVA には，立体規則性のポリマーであるシンジオタクチック PVA(s-PVA)とアイソタクチック

PVA(i-PVA)の2種類があり，これらの他に規則性をもたないアタクチック PVA(a-PVA)が存在する。従って，PVA のゲル形成能にもタクチシチーが影響すると考えられる。立体規則性 PVA のゾルーゲル転移に関する研究は，これまで数多く報告されているが，タクチシチーに優れ，かつ，高重合度の PVA についてゲルの基礎的物理量である架橋長ζやヤング率 E に関する報告は見当たらない。これらの相関性を明らかにすることによって，高性能 PVA ハイドロゲルの作製が容易にできると考えられる。

3. 期待される効果

我々は，これまでに Flory－Huggins の熱力学的パラメーターχ_{12}の値を推算してきたが，χ_{12}の大きさによって PVA ゲルの架橋長ζとヤング率 E の大きさも変化することを明らかにしてきた。力学的及び熱力学的に安定なゲルを作ろうとする場合，χ_{12}の値が重要であり，この値が大きすぎても小さすぎてもゲル化は起こらない。より優れた物理ゲルを得るためには，χ_{12}の最適値が必要となる。

本研究では，より優れた PVA ゲルを生成する溶媒を Flory-Huggins の熱力学的パラメーターχ_{12}の値から選び出し，高重合度 PVA を用いて基礎的物理量である架橋長ζ，多重度 S，ヤング率 E，メッシュサイズ L を推算し，ゲル構造と力学強度との相関性を検討しようとするものである。これら諸因子の相関性を明らかにすることによって，高性能高分子ゲル材料の設計が容易にできることが期待できる。

4. 研究の経過および結果

PVA の一次構造であるタクチシチーが変化すると，バルクの結晶化に大きく影響を与える。PVA の結晶化は，分子鎖間の水素結合によって起こるといわれており，水素結合がより多く生成することによって力学強度に優れたゲルが得られると予想できる。立体規則性 PVA の中で，より多く分子間で水素結合を形成するタクチシチーは，シンジオタクト含有量(S-diad)の多い s-PVA である。i-PVA の場合は，分子内で結合を生成するため水などの溶媒に溶けにくく，バルクの融点も高くなるといわれている。

本研究では，S-diad が高く，かつ高分子量の PVA を合成した。モノマーに酢酸ビニル(VAc)及びピバリン酸ビニル(VPi)を，開始剤α,α'-アゾビスブチロニトリル(AIBN)を用いて，UV バルク重合を行った。また，重合度 N の異なる試料を合成するために，開始剤濃度を変化させた。得られた PVAc 及び PVPi はそれぞれ5種類である。これらの重合度 N を以下の粘度式より求めた。

$$[\eta]=5.63\times10^{-4}[M_n]^{0.62} \quad \text{(PVAc in benzene at 30°C)} \quad (1)$$

$$[\eta]=2.88\times10^{-4}[M_n]^{0.77} \quad \text{(PVPi in acetone at 25°C)} \quad (2)$$

合成して得られた PVAc/メタノール溶液及び PVPi/THF 溶液を，それぞれ NaOH 水溶液及び KOH メタノール溶液を滴下してけん化し，PVA を得た。けん化度及び S-diad は ^{1}H-NMR より求めた。PVA の物性値を Table1 に示す。また，重合度の( )内の数字は，PVA を無水酢酸及び酢酸，ピリジンを混合して 100℃で 72h 再酢ビ化し，(1)式より再計算を行った N である。PVAc 由来の PVA をアタクチック(a)，PVPi 由来の PVA をシンジオタクチック(s)として示した。Table1 に示したように，けん化度はいずれの試料においても約 99%であり，S-diad は a-PVA では約 53%，s-PVA では約 62%である。これらの試料を用いて PVA ゲルのキャラクタリゼーションを行った。ゲル化溶媒には，DMSO と水の混合溶媒を用い，混合比率は X_{DMSO}=60vol%である。この比率は，χ_{12}の値が大きくなる組成である。つまり，PVA－溶媒間の相互作用より PVA－PVA 間の相互作用が強く働く混合溶媒組成であり，PVA 鎖間の水素結合が強く働くため，力学強度に優れたゲルが得られると考えられる。まず，熱的性質を検討するために，PVA ゲルの融点(T_ms)を測定した。その結果を図2に示した。a-PVA ゲル及び s-PVA ゲル

の T_m^g は，いずれも濃度 C とともに単調に上昇している。また，いずれの PVA ゲルでも，N が増大すると T_m^g も上昇する傾向がみられる。

Table 1. PVA 試料の物性値

sample	N [a]	DS [b]	S-diad [c]	T_m [d]
		%	%	°C
a-PVA-1	9300(8200)	99.9	52.6	236.9
a-PVA-2	6400(5600)	99.8	53.3	236.9
a-PVA-3	3900(3700)	99.8	52.6	234.3
a-PVA-4	3300(3300)	99.9	53.3	232.7
a-PVA-5	1600(1800)	99.6	52.9	233.1
s-PVA-1	23600(10500)	98.5	62.7	250.4
s-PVA-2	16300(6700)	99.1	62.4	250.3
s-PVA-3	11500(5700)	98.1	62.7	250.1
s-PVA-4	4600(1900)	98.7	62.7	240.2
s-PVA-5	3100(1700)	99.0	61.4	235.6

a: 数平均重合度，( )は再酢酸ビニル化後の数平均重合度
b: ^{1}H-NMR より求めたけん化度
c: ^{1}H-NMR より求めたシンジオタクチシティー
d: DSC より求めた融点

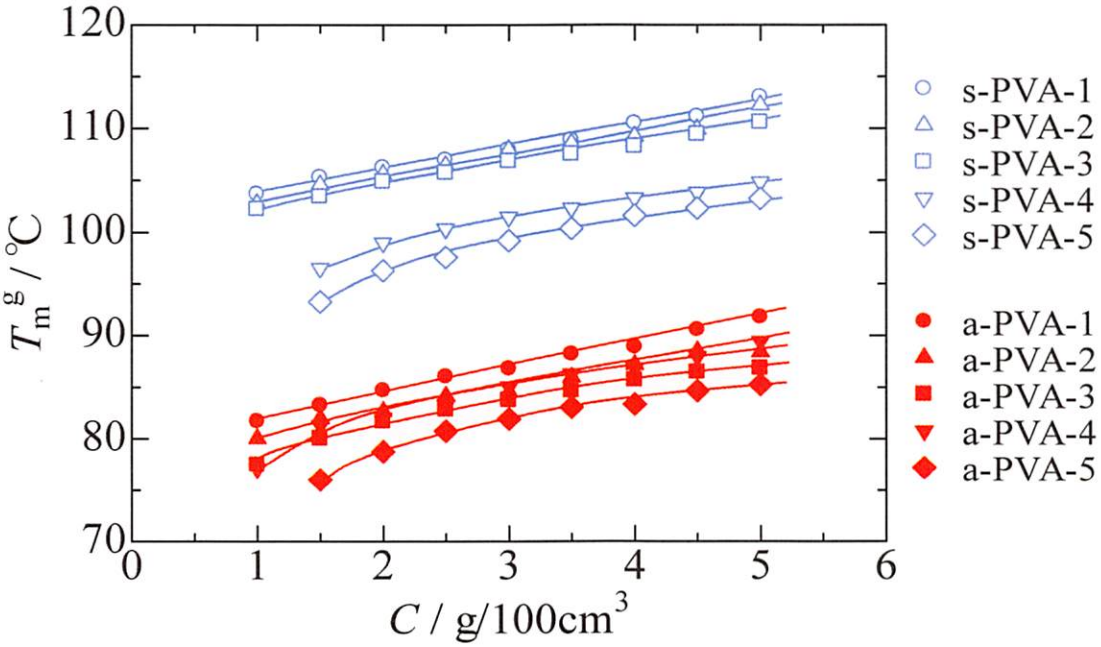


図 2. s-PVA ゲル及び a-PVA ゲルの融点(T_m^g)測定.

さらに，s-PVA ゲルの融点の方が，a-PVA の値より高い値を示している。これは，PVA 物理ゲルの架橋点が微結晶からできていることを意味する。つまり，s-PVA ゲルの架橋点(微結晶)の水素結合が，a-PVA ゲルより強く働くため，$T_m{}^g$が上昇したと考えられる。また，Nが増大すると $T_m{}^g$も上昇することから，Nの依存性も現れている。そこで，(3)式に示した田中－Stockmayer(TS)の理論式を用いて，架橋点の大きさ(架橋長ζ，多重度 S)を推算した。

$$\ln C = \frac{\Delta h_0}{k_B \cdot T_m^g} - \frac{1}{S-1}\ln M + const. \qquad (3)$$

ここで，C：ポリマー濃度[g/100cm³]；k_B：ボルツマン定数[J/K]；Δh_0：結合エンタルピー[kcal/mol]；M：ポリマーの分子量[g/mol]；S：多重度(架橋点に入り込む分子鎖の数).

TS 理論から架橋長ζや多重度 Sを求めるためには，$10^3/T_m{}^g+\ln M$を $\ln C$に対してプロットして分子量を一定として温度を変化させた時の傾きを A, 温度一定として分子量を変化させた時の傾きを Bとすると，次式(4)(5)より，ζと Sが推算できる。

$$\zeta = \frac{10^3 k_B}{|\Delta h_0|} \times A = -\frac{10^3 R}{|(\Delta h_0)_{mol}|} \qquad (4)$$

$$S = \frac{B-1}{B} \qquad (5)$$

ここで，ζ：ゲルの架橋長(架橋点に入り込むモノマーの数)；$|(\Delta h_0)_{mol}|$：繰り返し当りの結合エンタルピー(1.64kcal/mol).

TS 理論からゲルの架橋長ζ及び多重度 Sを求めたところ，

a-PVA ：ζ＝20.1～29.6，S=2.6～3.0；
s-PVA：ζ=24.5～36.7，S=2.2～2.4
であった。ゲルの網目構造を形成する架橋点の大きさをまとめて図 3 に示した。この図を見ると，重合度が増大すると架橋点(ζ×S)の大きさは徐々に増大する傾向が見られる。さらに増大すると，架橋点の大きさは一定の値を示し，これ以上大きくならなかった。これは，PVA 鎖のからみ合いが大きく関係していると考えられる。つまり，Nが増大すると近接する PVA 鎖の距離が短くなり微結晶を形成していくが，N>5000 になると，分子運動が抑制されて架橋点に入り込めなくなり，これ以上大きくならなかったと考えられる。重合度 Nが 5000 以上で架橋点は大きくならなかったことから，架橋点間距離も N>5000 近傍で一定になるのではないかと考えられる。そこで，(6)式の Peppas－Barr-Howell 理論式を用いてメッシュサイズ(架橋点間距離)Lを推算した。

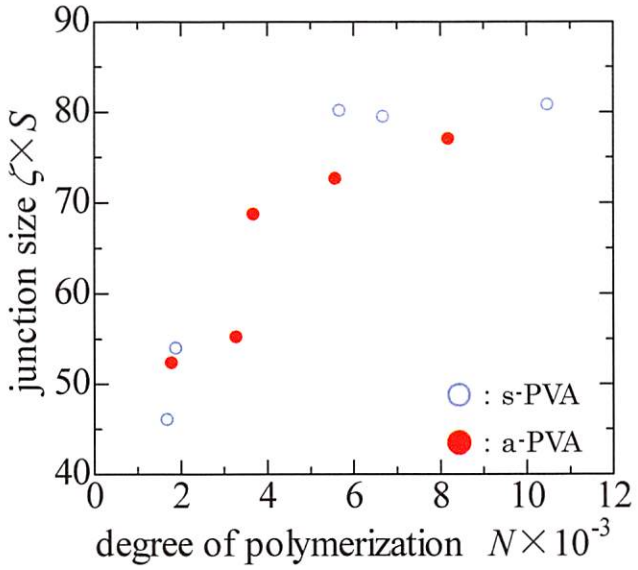


図 3. 架橋サイズ(ζ×S)と重合度 N の関係.

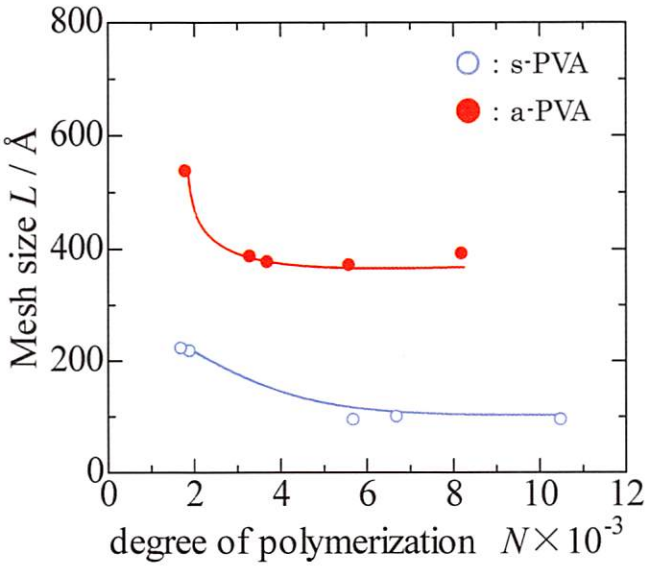


図 4. メッシュサイズ L と重合度 N の関係.

$$L = \nu_2^{-\frac{1}{3}} \left[C_n \left(\frac{2\bar{M}_c}{M_r} \right) \right]^{\frac{1}{2}} l \qquad (6)$$

ここで、ν_2：PVA ゲルの体積分率；C_n：Flory 特性比(=8.3)；$\bar{M}_c$：架橋間分子量，M_r：モノマーの分子量；l：C-C 結合長(=1.54Å)である。

メッシュサイズ L を求めた結果を図 4 に示した。全体的な傾向として、重合度 N が増大すると，メッシュサイズ L は減少した。また、a-PVA より s-PVA ゲルのメッシュサイズ L が小さいことから、s-PVA 鎖同士の水素結合が強く働いているためではないかと考えられる。

重合度 N が増大すると架橋点が大きく，また，メッシュサイズ L が短くなることから，重合度 N が力学強度にも影響を及ぼすことが予想できる。

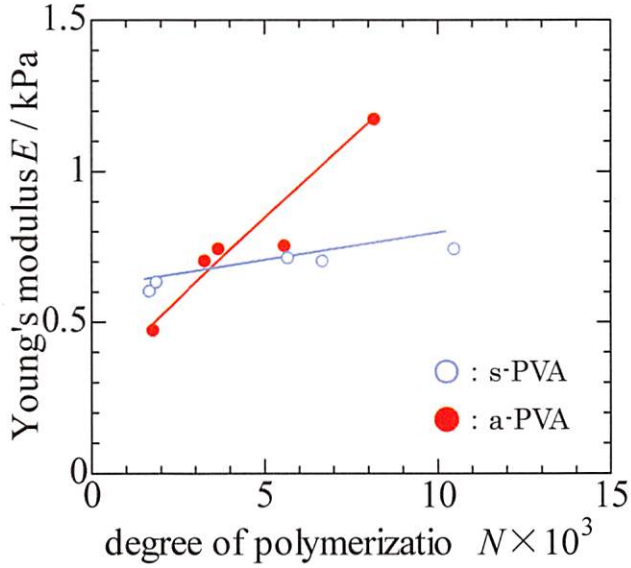


図 5. ヤング率 E と重合度 N の関係.

そこで，圧縮試験を行い，S-S カーブよりヤング率 E を求めた。圧縮試験の条件は，試料厚さに対して 80%，圧縮速度 60mm/min で行った。80%圧縮を行うと，a-PVA ゲル及び s-PVA ゲルいずれの試料でも元の厚さには戻ることはなかった。これは，ゲルを圧縮することによって，ゲルの内部構造が破壊されたからではないかと考えられる。

図 5 に S-S カーブより求めたヤング率 E を示した。まず a-PVA ゲルを見ると，重合度 N が増大すると，ヤング率 E は直線的に大きく変化することがわかる。これは先に示した図 3 の架橋点の大きさの結果を支持する。つまり，架橋点が大きくなるため，ヤング率 E が大きくなったと考えられる。しかしながら，s-PVA ゲルは N が増大しても a-PVA ゲルと較べ，ヤング率 E は大きく変化しなかった。s-PVA は分子鎖間で水素結合が強く働くために，微結晶間で凝集が起こり，微結晶間に大きなすきまができたのではないかと考えられる。つまり，微結晶間の距離が大きくなったと思われる。その結果，重合度 N が増大しても，ヤング率 E に差が現れなかったのではないかと考えられる。しかしながら，この結果は図 4 に示したメッシュサイズ L の結果と矛盾することになる。この矛盾は，メッシュサイズを求める測定方法によるものでないかと思われる。メッシュサイズ L は膨潤度より求めているが，この方法で求める場合，ゲルを一度乾燥させなければならない。乾燥過程において，ゲル中の微結晶間で強く凝集，あるいは分子鎖間で再水素結合が強く起こったと考えられる。特に s-PVA の場合，分子鎖間で水素結合が強く働くタクチシチーであるため，ゲルフィルムを水に浸漬してもあまり膨潤せず，メッシュサイズ L が小さく見積もられたと考えられる。そのため，as-prepared ゲルと異なる結果になったと思われる。しかしながら，詳細は今後の検討課題である。

以上のことから，高重合度及び高タクチシチーPVA ゲルを作製し，PVA ゲルのキャラクタリゼーションを行い，以下の相関性を得た。

(1) PVA 物理ゲルの熱安定性を検討した結果，s-PVA ゲルの T_m^g 及びヤング率 E は a-PVA ゲルより優れている。

(2) PVA の一次構造である S-diad 及び N は，PVA ゲルの架橋サイズ($\zeta \times S$)に影響を与え，S-daid 及び N が増加すると，架橋サイズ($\zeta \times S$)も増大する。その結果，ゲルの融点の上昇，ヤング率 E が増大する。

(3) 力学物性に大きく影響を与えている因子は，架橋サイズ及びメッシュサイズ(架橋点間距離)ではないかと考えられる。

5. 今後の計画

本研究の目的である高重合度，高タクチシチーのPVAの試料を作成することが出来た。また，PVAゲルのキャラクタリゼーションを行い，熱安定性や力学物性に及ぼす諸因子が明らかになりつつある。しかしながら，as-preparedゲルでのメッシュサイズやモロホロジーの観察が行えていない。今後，as-preparedゲルでの電子顕微鏡観察や結晶構造の測定を行う予定である。

6. 研究成果の発表

PVAゲルに関係した研究成果の学外発表(本研究に関係したこれまでの口頭発表及び学会論文)

1)和田理征，清水秀信，岡部　勝
「PVAハイドロゲルの架橋長とゲル化」
第20回高分子ゲル研究討論会(高分子学会)，2009.1 (東京大学).

2)清水秀信，和田理征，岡部　勝
「ポリビニールアルコール物理ゲルの架橋長と力学強度」
高分子論文集，Vol.66, No.9, pp.349-354(2009).

3)和田理征，清水秀信，岡部　勝
「結晶性ポリマーのゾルーゲル転移」
田中豊一記念シンポジウム，招待講演，2009.8 (アクロス福岡).

4)和田理征，松岡　裕，清水秀信，岡部　勝
「重合度の異なるPVA溶液のゾルーゲル転移と力学特性」
第58回高分子討論会(高分子学会)，依頼講演，2009.9 (熊本大学).

5) H. Shimizu, R. Wada, and M. Okabe
"Preparation and Characterization of Micrometer-Sized Poly(*N*-isopropyl-acrylamide) Hydrogel Particles"
Polymer Journal, Vol. **41**, No.9, pp.771-777(2009).

6)和田理征，清水秀信，岡部　勝
「重合度の異なるPVAゲルの力学特性」
第59回高分子討論会(高分子学会)，2010.9(北海道大学).

7)和田理征，清水秀信，岡部　勝
「高分子量PVAハイドロゲルのゲル物性と力学強度」

第 22 回高分子ゲル研究討論会(高分子学会), 2011.1(東京大学).

8) Hidenobu Shimizu, Yuka Arioka, Masaki Ogawa, Risei Wada, and Masaru OKabe
"Sol-Gel Transition of Poly(vinyl fluoride) in Organic Solvents Containing LiBF4"
Polymer Journal, Vol.43, p.540-544(2011).

9)和田理征, 清水秀信, 岡部　勝
「高分子量 PVA のゲル化とゲルの力学強度」
第 60 回高分子討論会(高分子学会), 2011.9(岡山大学).

10)和田理征, 清水秀信, 岡部　勝
「アタクチック及びシンジオタクチック PVA ゲルの力学物性と架橋サイズ」
第 61 回高分子討論会(高分子学会), 2012.9(名古屋工業大学).

11)和田理征, 清水秀信, 岡部　勝
「高分子量アタクチック及びシンジオタクチックポリ(ビニルアルコール)物理ゲルの力学強度と架橋サイズ」
高分子論文集, Vol69, No11, p623-630(2012).

---------- 2013 年度の成果（本研究課題の 1 年目） ----------

12)和田理征, 清水秀信, 岡部　勝
「PVA 物理ゲルの構造と力学特性」
第 24 回高分子ゲル研究討論会(高分子学会), 2013.1(東京大学).

13)和田理征, 清水秀信, 岡部　勝
「高分子量 PVA ハイドロゲルのゾル - ゲル転移とゲル構造」
第 61 回高分子年次大会(高分子学会), 2013.5(京都国際会議場)

14)和田理征, 清水秀信, 岡部　勝
「高分子量 PVA ハイドロゲルの架橋点の大きさとその性質」
第 62 回高分子討論会(高分子学会), 2013.9(金沢大学)

15)和田理征, 清水秀信, 岡部　勝
「PVA ハイドロゲルの力学物性と架橋長」
第 25 回高分子ゲル研究討論会(高分子学会), 2014.1(東京大学)

低炭素型工場用空気浄化装置の研究開発

電気電子情報工学科　瑞慶覧章朝

1．研究の目的

本研究では，機械式フィルタと比較して，超高風速，超低圧力損失，コンパクトで省エネルギーな空気浄化装置を開発することを目的とする．2011，2012 年度は，特に室内空気の塵埃を用いて，機械式（ULPA）フィルタの圧力損失および集塵性能の確認，電気集塵装置の設計製作および圧力損失と集塵性能の測定，および電気集塵装置の電極構造の最適化について検討してきた．

その結果，ESP を採用することで，ULPA フィルタに比べ風速を 8.5 倍の 3m/s に超高風速化するとともに，圧力損失は 1/6 の 20Pa に削減し，集塵率は同等にできることが明らかとなった．さらに，放電電極と接地電極から構成される帯電部は，接地電極長が電極間ギャップの 3 倍程度，ピッチは電極間ギャップの 1.3 倍程度がエネルギー効率が良いことが示された．また，電極間ギャップが変化しても，最適電極長とギャップの比率は変わらないことを確認した．

2013 年度は，空気中の粒子濃度が高い場合における，帯電部の最適電極構造について検討したので報告する．

2．研究の必要性及び従来の研究

工場内の空気浄化装置には機械式フィルタが広く利用されている．しかし，機械式フィルタは圧力損失が非常に高いため大容量のファンを必要とし，このエネルギー消費に伴う CO_2 の排出量が多い．また，広大なスペースが必要であり，機械式フィルタに代わる新たな空気浄化装置が求められている．

従来は，工場内の空気の清浄度を向上することに主眼がおかれ，エネルギー効率の向上に関する研究はほとんど行われていない．

3．期待される効果

本研究の成果には，工場用空気浄化装置に従来費やしているエネルギーを削減し，さらに設備の設置スペースを縮小する効果が期待される．

4．研究の経過及び結果

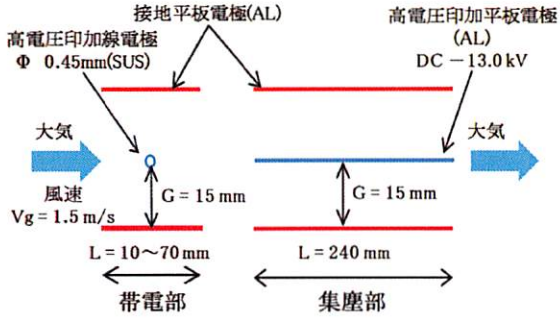
4.1　実験装置

実験に用いた電気集塵装置（Electrostatic Precipitator: ESP）の電極構造を図 1-a)

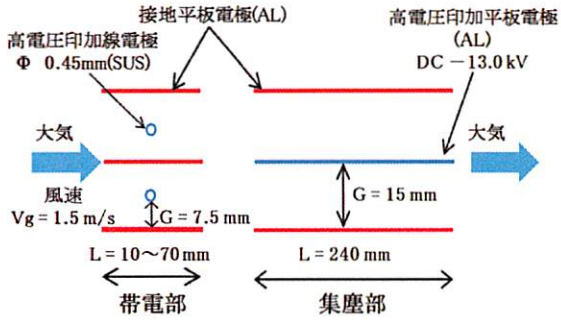
～c)に示す．いずれの場合も，試験粒子は，線香煙を大気で希釈したものとした．いずれの図も，集塵部は同様で，同一サイズの高電圧印加用平板電極と接地平板電極が交互に並んだ平行平板電極構造とした．帯電部は線対平板構造であり，線電極はステンレス製，直径 0.45mm とした．風速は，集塵部の下流側に設置したファンにより 1.5m/s に固定した．

a)では，帯電部の線電極と平板電極の間隔 G を 15mm 一定とし，注入電力を 0.2～0.8W とした。接地平板電極のガス流方向の長さ L は 10～70mm の範囲で変化させ，電極長ごとの集塵率特性から最適電極長を検討した。

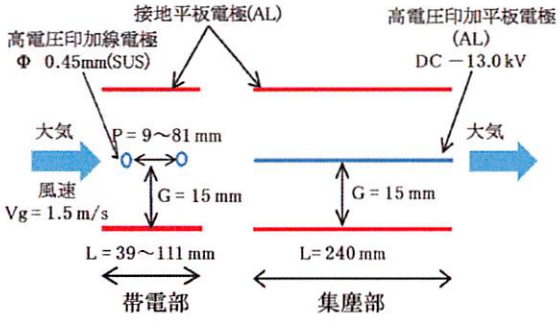
b)は，線電極と接地平板電極の間隔を a)の 1/2 にしたもので，電極間隔 7.5mm 一定とし，注入電力を 0.2～0.8W とした．接地平板電極のガス流方向の長さ L は 10～40mm の範囲で変化させた．電極長ごとの集塵率特性を a)と比較し最適電極長特性の有意性を検討した。



a) 帯電部最適接地電極長検討



b) ギャップの影響



c) 最適ピッチの検討

図 1. ESP の実験システムの概略

c)は，高電圧印加用線電極を 2 本にし、線電極間のピッチ P を 9～81mm の範囲で変化させ、それに伴い接地電極長も 39～111mm の範囲で変化させた。注入電力は 0.2～0.8W とした。この時の集塵率から最適ピッチ間隔を検討した。

4.2 接地電極長の最適値

電極間隔 15mm における集塵率の電力特性に対する接地電極長の影響を図 2 に示す。いずれ接地電極長においても電力が大きくなるに従い集塵率が高くなる。電極長 30mm と 70mm の集塵率が高いのがわかる．

電極間隔 15mm の各電力における集塵率の接地電極長特性を図 3 に示す。注入電力 0.8W

が高集塵性能であり，電力 0.2W における集塵率は、変動が大きく，安定していない。これは、電極間で発生する放電が微弱なためである．注入電力 0.4～0.8W においては，接地電極長が長くなるに従い，概ね 30mm で集塵率が極大値となり，60mm 以上で再び向上している。電極長 30mm で極大値が現れるのは，同一電力において，電極長が長くなるほど，粒子の帯電量に寄与する帯電時間が長くなる一方，電流密度が低下するためと考えられる．また，電極長 60 mm 以上で，再び集塵率が向上するのは，集塵時間が長くなるためと考えられる．2012 年度の低濃度実験でも同様の傾向が得られている．このことから，最適電極長は，粒子濃度によらず存在することが明らかである．

電極間隔 7.5mm における集塵率の接地電極長特性に対する注入電力の影響を図 4 に示す．いずれも接地電極長 40mm 程度で，集塵率は極大値をもった傾向となっている．極大値をもつ傾向は，低濃度実験時と同様であるが，値が大きくなっている．この点についは，今後さらに実験を重ね，信頼性を確認する予定である．

4.3 線電極ピッチの最適値

図 1-c）に示した電極構造における集塵率のピッチ特性を図 5 に示す．いずれの注入電力においても，集塵率はピッチ 18mm に極大値があり，最適値がこの値であることがわかる．同一電力において，ピッチ 18 mm 以下では，電流密度は高くなるが，帯電時間が短いため集塵率は低下する．一方，ピッチが 18mm より大きくなると，帯電時間は長くなるが，電流密度が低くなるた

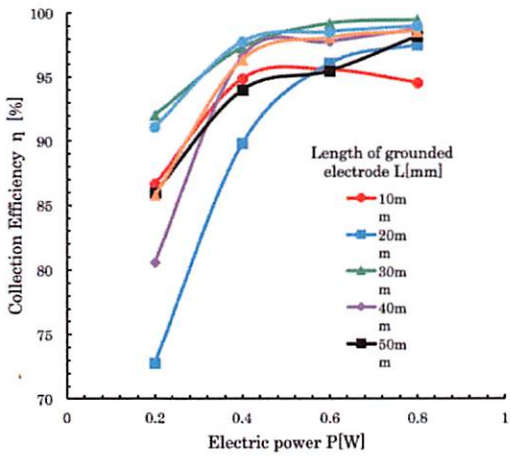


図 2. 集塵率の電力特性（Gap15mm 時）

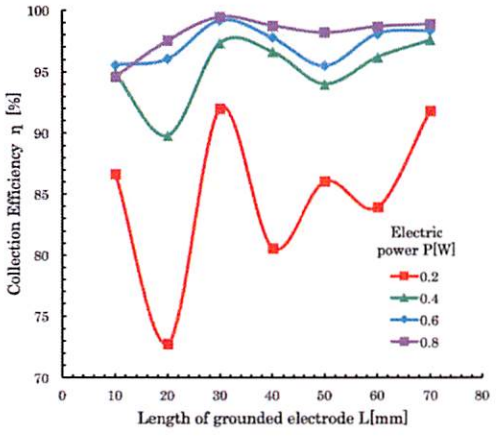


図 3. 集塵率の接地電極長特性（Gap15mm 時）

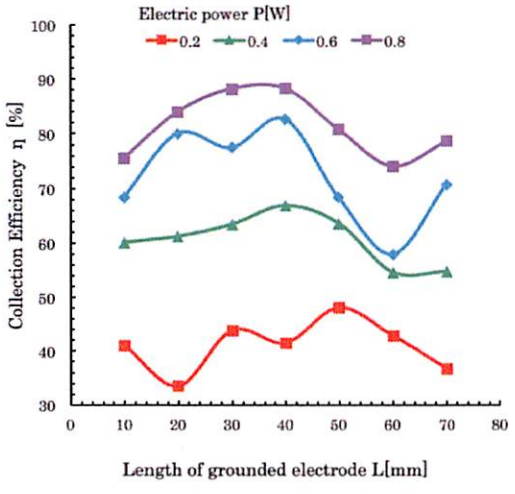


図 4. 集塵率の接地電極長特性（Gap7.5mm 時）

め，集塵率が低下すると考えられる．低濃度実験でも同様の傾向が得られており，最適ピッチは濃度によらず存在することが明らかである．

4.3　最適電極構造の検討

図1に示した3種類の電極構造において，最適電極長と最適ピッチについて検討してきた．それぞれについて，高集塵性能であった条件における集塵率の電力特性を図6に示す．この結果から，電極間隔7.5mmよりも15mmの方が同一電力において集塵率は高く，電極間隔は広い方が良いことが示唆される．また，電極間隔15mmにおいて，放電線数は1本より2本(ピッチ18mm)の方が若干高い集塵率が得られている．

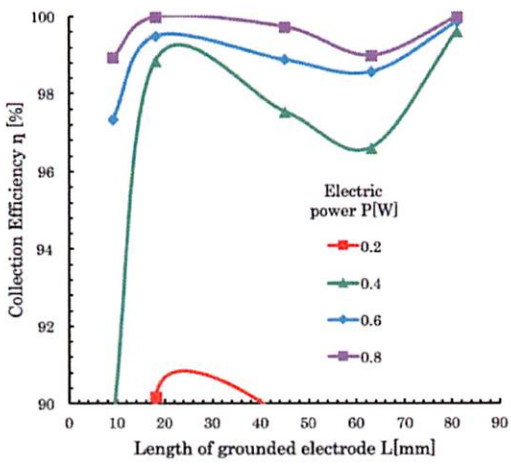


図5．集塵率の放電線ピッチ特性

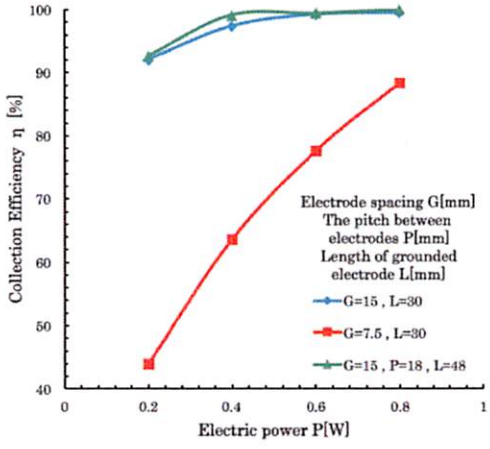


図8．集塵率の電力特性に対する電極構造の影響

5．今後の計画

電極間隔が集塵率のエネルギー効率に大きく影響を与えることが示唆されたことから，今後この影響を詳細に検討してゆく必要がある．また，さらなるエネルギー効率向上を目指して，電圧波形の最適化や電磁流体力学を利用したESPの開発を推進する予定である．

6．研究成果の発表

・大井悟，瑞慶覧章朝，川上一美，安本浩二，江原由泰，山本俊昭，「電気集塵装置の高効率化に対する帯電電極構造の検討」，平成24年電気学会全国大会，1-059，2012
・大井悟，瑞慶覧章朝，川上一美，安本浩二，江原由泰，「電気集塵装置の高効率化に対する帯電電極構造の検討」，静電気学会講演論文集2012，pp.195-196, 2012
・宮内貴樹，高萩仁，川田吉弘，瑞慶覧章朝，「電気集塵装置の高効率化に対する電極間隔長の影響」，平成26年電気学会全国大会，1-060, 2014

建物からの避難のモデリングとシミュレーションに関する研究

情報工学科　山本富士男

1. 研究の目的

高層ビルでの、地震や火災の発生時に、階段を使って避難するためのモデルとそれに基づくシミュレータを開発する。その基本動作原理は、各フロアと階段において、単位面積あたり何人が存在できるかという容量にもとづいて、個々のエージェントが動くことである。階段とフロアの通過容量を、場所毎に動的に変更でき、避難の途中で通路や階段に損傷が生じた場合の状況も反映できることをめざす。各エージェントは、原則的に、自分の周りの局所的な情報に基づいて動くモデルを実現させる。階段の中が詰まってしまった場合などは、一定時間経過後には、館内放送に相当する広域情報もエージェントへ伝えられる。我々の大学の１２階建てのビルでの避難訓練における避難時間について、実測結果とシミュレーションとの比較検討を行い、本研究の有効性を評価する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

火災や地震などに襲われた場合に備えて、避難モデルの構築とシミュレーションが欠かせない。最適な避難方法や手順の設定は、災害の種類や、その場所の状況などに依存するので、 予め定めることは困難な場合が多い。しかし、いろいろな条件を想定して、シミュレーションを行えば、実際の避難に役立つさまざまな情報が得られるはずである。また、シミュレーションによって得られる知見を、今後建築される建物や施設の構造の設計に役立たせることができる。

これまでに、そのようなモデリングとシミュレーションに関する研究は多数行われてきた。その手法も多岐に渡る。たとえば、列車火災の場合、高層ビルの火災の場合、インドアスタジアムの火災の場合、地震発生からの避難のシミュレーションなどがある。避難時の人間の心理状態や群れとしての行動を考慮したシナリオを設定したシミュレーションもある。避難を考慮した高層ビル設計のためのシミュレーション等もある。シミュレーション手法の比較も多くの文献などに述べられている。多様なモデリング手法のうちで、特に、マルチエージェントにもとづく手法が、このような避難モデリングに適していると言われている。しかしながら、そこに居る人々の特性、および、実際の建物の構造（階段や廊下、出口を含む）は多様であるため、それぞれの建物に適合するモデリングの研究はまだ不十分である。また、これまでの研究では、シミュレーション結果と実際の避難から得られたデータとの比較はあまり行われていない。

我々は、エージェント指向の汎用的な避難モデルをつくり、それを現実のビルへ適用する試みを行った。その第１段階として、モデリングの考え方と概要はほぼできていた。我々のモデルの第１の特長は、階段や廊下などをパッチ（グリッドセル）に区切り、それらの各セル毎に避難者（エージェント）が存在し得る容量を動的に設定できることである。エージェントの移動原理は簡単である。そのことが、多様な階段や廊下の構造への適用を容易にしている。

我々は、このモデリングに基づくシミュレータを作成し、我々の大学のあるビルでの避難に適用した。そして、大勢の学生が参加した避難訓練での避難時間の実測値と比較して、このシミュレータの有用性と課題を考察した。

3. 期待される効果

本研究では、マルチエージェントベースの避難モデリングとそれに基づくシミュレータを開発した。それを、多数の学生らが存在する実際の大学の高層の講義棟からの避難に適用した。そのシミュレーションから、全ての人が脱出するまでの時間や、救急隊が逆走して目的階まで

到達する時間、階段が損傷により封鎖された場合の影響など、有用なデータを得ることができた。避難完了時間については、実測値とシミュレーション値の比較を検討した。その結果比較的避難者が少ない場合は、両者はよく合致することを確認した。避難者数が多い場合のシミュレーションは、建物設計時に想定された避難時間よりかなり長い時間を要する可能性があることを示した。これらのシミュレーション結果を分析して、事前に一般の人にその情報を伝えておけば、避難する場合のパニックをさけることができる。さらに、今後新たにビルを建築する場合の、階段や出口の設計に役立たせることができる。

4. 研究の経過及び結果

4.1 避難のためのエージェントベーストモデリング

ここで用いる避難モデリングとそれに基づくシミュレーションの概要はその要点は以下のようである。

まず、大学や研究所などの高層ビル（10階以上）の各フロアのオフィス、会議室、講義室、食堂などに多数の人間がいる場合を想定した。合計では、数千人になる。その建物の中にいるほとんどの人は、階段の位置や構造を良く知っているとした。避難時には、エレベータは使えず、複数の階段（容量はそれぞれ異なる）だけを使い、建物から脱出する。

モデリングは、マルチエージェント手法によっている。避難する人、救急隊、および、フロアや階段の単位区画（パッチ）をそれぞれエージェントとする。 各階毎に、存在する人数をパラメータとして設定できる。各人は、特定の階を除いて、初期段階では、自分に最も近い場所の階段へ向かう。しかし、避難開始後に、同じ階の別の階段が空いていることが分かった場合には、そちらの階段を使うようにできる。（なお、シミュレータには、各階毎に、固定的にどの階段を使うかを指定する機能もある。）

避難の途中で、階段や廊下に何らかの障害が発生する可能性がある。それを反映するため、任意の場所での通過容量を動的に変更できる。 階段などで、しばらくの間、まったく動けない状態が続いた場合には、館内放送か携帯電話による連絡があるとした。そのような広域的情報を得た各エージェントは、最寄りの階の別の階段へ向かうことができる

4.2 エージェントの移動原理

フロアでも、階段でも、単位面積当たりの容量（存在可能人数）を超えない限り、人はそこへ移動して避難する。容量を超える場合は、その場に留まる。フロアや階段を歩く速度をパラメータとして設定できる。そのデフォルト値は、階段や廊下が全く渋滞していない場合に歩いた時の実測値とする。この移動原理を使うことによって、大勢の人が避難する流れに逆らって、救急隊員が目的階をめざして逆走することができる。救急隊も、上記の通過容量の規定にしたがって動くからである。

図１は、エージェントの移動原理を示している。階段および廊下は小さなグリッドに区切られている。F(Cij)は、グリッドCijに設定されているエージェントの最大許容存在人数である。グリッドCijについて、隣接する別のセルへ移動しようとするエージェントの集合はPexit(Cij)であり、逆にこのセルに入ろうとするエージェントの集合はPenter(Cij)である。また、Cijに留まるエージェントの集合はPremain(Cij)である。実際にエージェントが別のセルへ移動出来るか否かは、F(Cij)で決まることが説明されている。

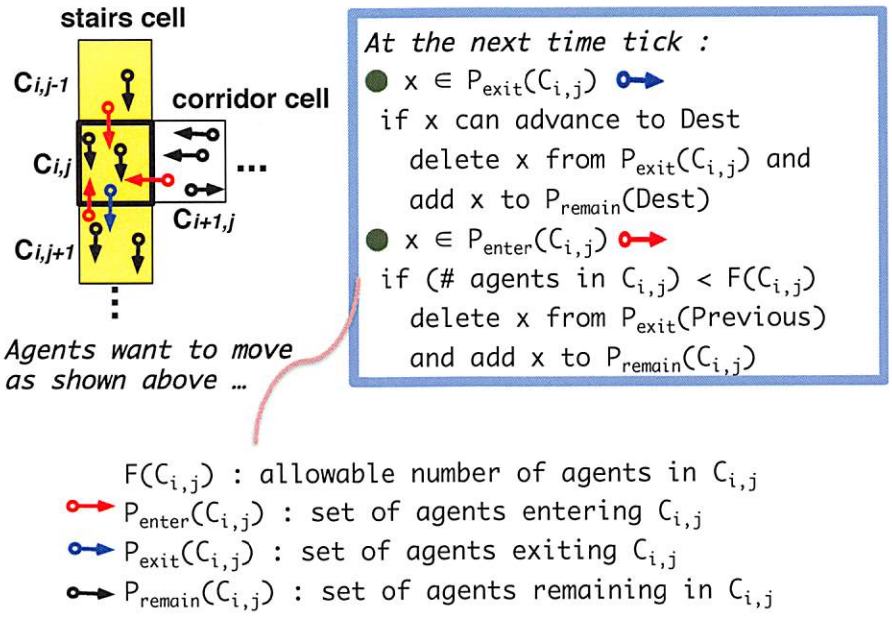


図１　エージェントの移動原理

4.3 大学のビルからの避難への適用

上記の避難シミュレーションを、実際の避難訓練で得られたデータと比較検討した。そのビルの構造は 12 階建てである。ここには、食堂、研究室、講義室、事務室などが各階にある。通常 300 名～1,800 名程度の学生や教職員が存在する。正規の授業期間か否かによって、その存在人数はかなり変化する。エレベータは５台（そのうち 1 台は非常用）あるが、災害の避難時には、それらは使わず、南北２つの階段のみを使う。南階段は北階段よりもやや広い構造となっている。階段を降りて１階に達すると、そこはロビーになって、そこには２ヶ所の出口がある。大勢が一斉に避難する場合、階段や廊下が詰まる可能性があるが、１階の出口もボトルネックになる可能性もある。

実際の災害時に、多くの人々がビルから避難するのに要する時間を実測することは困難である。しかし、大学などでは、定期的に避難訓練がなされるので、その機会に避難時間を計測することにした。まず、最終的に何人がビルから避難したかを計測する必要がある。そのため、自動人数カウンタと手動人数カウンタを用意した。それらを用いて、１階のロビーの出口２カ所で計測を行った。また、避難の際に、特定の人が何時どの階を通過したかを記録することにした。そのため、各階段の入り口の壁に NFC タグを貼り付けた。この NFC タグには、階の情報が書き込まれている。モニタの避難者は、通過する際に、Android 端末をこのタグにタッチして、階段情報と時刻を記録する。

4.4 避難シミュレーションの実行

上記に基づき、我々が開発した避難シミュレータによって、例えば、特定の階段入り口の混雑の度合いなどを詳細に把握できる。また、このシミュレータは、他の機能も有する。例えば階段が塞がれた場合である。しばらくの間は、この階段は塞がった状態だが、一定時間後に、館内放送があり、その情報が避難者に伝えられたとした。それにより、階段に閉じ込められていた避難者は、最寄りの階の別の階段へ向かうことが確認された。さらに、救急隊突入機能を有する。大勢の避難者が降りてくるので、救急隊員が逆流して登ることは容易ではない。しかし、上で説明した「エージェントの移動原理」に従って、救急隊はグリッドセルの存在人数が

少なくなった時にそのセルへ入って行くことができる。これらの機能は、現実の避難で起こりえる事象に対応したものである。すなわち、これらは、このシミュレータを実用的なものにするのに貢献している。

4.5 シミュレーションと実測の比較検討

大学の建物からの避難に要した時間の実測値とシミュレーション結果を比較した。図２には、No classes、Typical case、Maximal caseの３つの場合を示している。１階から１２階までの階にそれぞれ何名がいたかが示されている。全体の避難完了に要した時間のシミュレーション結果と可能な場合は実測値を示している。

最初のNo Classesは、実際の避難訓練の場合である。この日は、通常の授業は行われておらず、新学期のガイダンスが行われていた。避難した合計人数は396名であり、実測で510秒を要した。このケースでは、通常よりも人数が少なかったことが主因で、階段ではほとんど渋滞が起こらなかった。シミュレーション結果は、426秒～547秒であり（シミュレーションで用いるパラメータ値に幅ある）、実測値とほぼ合致している。

２番目のケースTypical caseは、通常の授業期間の典型的な例である。総避難者は960名とした。避難時間の実測値は無いが、シミュレーションでは920秒～1150秒という結果が出た。No classesの場合の考察から判断して、このシミュレーション結果はほぼ実測に近いと判断される。

３番目のケースMaximal caseでは、このビルに存在できるほぼ最大の人数を設定した。合計の避難者は1810名である。このケースについては、このビルの設計時に別の簡易的な計算により、1200秒で避難が完了すると見積もられていた。しかし、シミュレーション結果は1684秒～2141秒であった。これらの結果は、この建物からの避難時間について、今後、見直す場合の参考になるであろう。

No classes

	People
12F	130
11F	10
10F	10
9F	10
8F	70
7F	60
6F	10
5F	0
4F	0
3F	0
2F	110
EXIT	10
Total Exited	420
Observed Evacuees	396

Evacuation Time (sec)	
Observed	510
Predicted	426 - 547

Typical case

	People
12F	165
11F	70
10F	70
9F	50
8F	70
7F	50
6F	50
5F	85
4F	45
3F	135
2F	160
EXIT	10
Total Exited	960
Observed Evacuees	—

Evacuation Time (sec)	
Observed	—
Predicted	920 - 1150

Maximal case

	People
12F	300
11F	100
10F	100
9F	100
8F	100
7F	100
6F	200
5F	200
4F	100
3F	200
2F	300
EXIT	10
Total Exited	1810
Observed Evacuees	—

Evacuation Time (sec)	
Designed*	1200
Predicted	1684 - 2141

Evaluation of Overall Evacuation Time

*expected value at construction of the building

図２　実測とシミュレーションの比較

5. 今後の計画

本研究では、マルチエージェントベースの避難モデリングとそれに基づくシミュレータを開発した。それを、多数の学生らが存在する実際の大学の高層の講義棟からの避難に適用した。そのシミュレーションから、全ての人が脱出するまでの時間や、救急隊が逆走して目的階まで到達する時間、階段が損傷により封鎖された場合の影響など、有用なデータを得ることができた。避難完了時間については、実測値とシミュレーション値の比較を検討した。その結果比較的避難者が少ない場合は、両者はよく合致することを確認した。避難者数が多い場合のシミュレーションは、建物設計時に想定された避難時間よりかなり長い時間を要する可能性があることを示した。これらのシミュレーション結果を分析して、事前に一般の人にその情報を伝えておけば、避難する場合のパニックをさけることができる。さらに、今後新たにビルを建築する場合の、階段や出口の設計に役立たせることができる。

6. 研究成果の発表

本研究の成果を、下記の論文で発表した。

Fujio YAMAMOTO, "Investigation of an Agent-Based Modeling on Crowd Evacuation and its Application to Real Buildings", DHM/HCII 2013, Part I, LNCS 8025, pp.373-382, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013.

[特記事項]上記発表論文は、下記論文に引用されている：

Neal Wagner, Vikas Agrawal : An agent-based simulation system for concert venue crowd evacuation modeling in the presence of a fire disaster, Expert Systems with Applications 41 (2014) 2807-2815 (この著者は以下の所属 : Fayetteville State University, School of Business and Economics, 1200 Murchison Road, Fayetteville, NC, USA)

神奈川工科大学　重点研究成果報告書

学　長　殿　　平成 26 年 6 月 30 日

研究代表者 氏　名	山口　淳一　印	所属・職位	工学部応用化学科・准教授	所属長査印

経費区分（該当する経費を○で囲む）

経費Ａ　教育計画（Ａ１教育設備の高度化・更新、Ａ２革新的教育計画、Ａ３教育方法研究）

経費Ｂ　研究計画（Ｂ１準備、Ｂ２共同研究・個人研究、Ｂ３若手助成、Ｂ４共同研究支援）

経費Ｃ　大型研究設備・装置（Ｃ１　4,000 万円以上、Ｃ２　4,000 万円未満）

経費Ｄ　特別補助対象（Ｄ１共同研究経費、Ｄ２ソフトウエア、Ｄ３学術振興、Ｄ４その他　）

教育又は研究課題（経費Ｃの場合は設備・装置名も記す）

π共役系を有する新規有機化合物の創製と評価

研究組織（本研究に常時参加した者）

氏　名	所属・職位	役　割　分　担
山口　淳一	応用化学科・准教授	研究テーマ 1)および 3)の実行・評価
野田　毅	応用バイオ科学科・教授	研究テーマ 1)および 3)の実行・評価
清水　秀信	応用バイオ科学科・准教授	研究テーマ 2)および 3)の実行・評価
森川　浩	応用化学科・准教授	研究テーマ 2)および 3)の実行・評価

研究概要（目的・意義、計画概要等を簡潔に記す）

無機化合物(主に金属)が担ってきた材料を有機化合物に置き換えたものを開発することが有機化学研究における一つの流れとなっている。古くは、金属に特徴的な性質である超伝導を有機化合物で造る研究がよく知られ ている。また、金属特有な性質である磁性についても有機化合物で行えないかとの研究も盛んに行われている。 その中でも有名なものが導電性高分子化合物であり、2000 年白川博士にノーベル賞が授与されたことからも分 かるように重要な科学の一分野となっている。これをエポックメイキングとして、有機 EL や有機薄膜太陽電池 へと機能性を有した有機化合物が活躍する場が大きく広がっており、それに伴い新しい化合物の合成の要求も高 まっている。このような化合物群は適度なπ電子系を有している化合物で構成されており、目的にフィットした 化合物を設計、合成を行うことを目的とする。すなわち、本研究では、アズレンを核とする新しい有機化合物、高分子化合物を合成し、その性質を明らかにすることが 一番目の目的である。

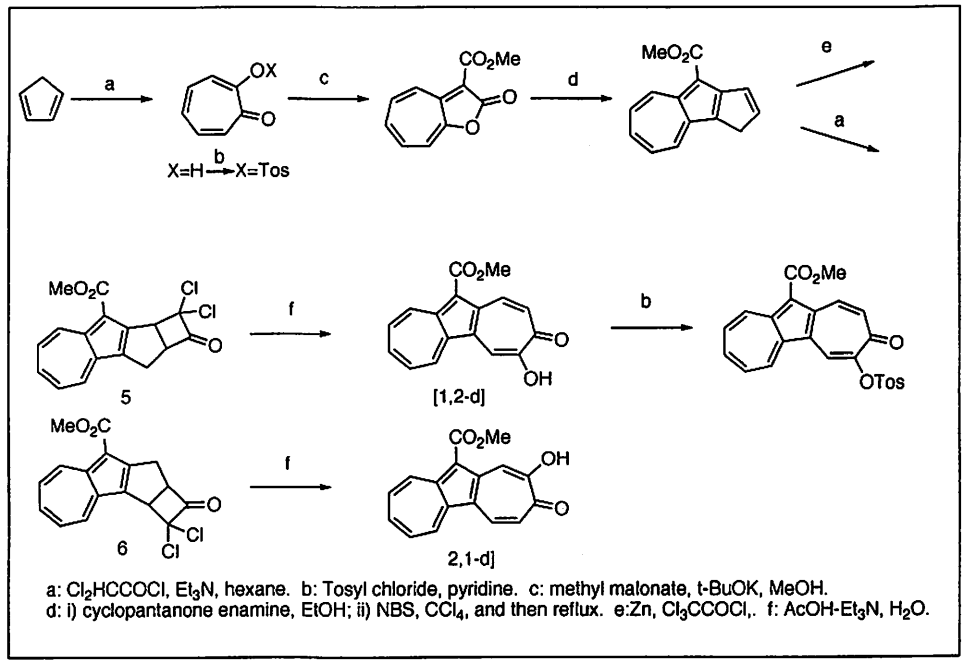
✧　1)アズレンが縮環したアズレン誘導体の合成
✧　2)アズレンを含むモノマーの合成とポリマー化
✧　3)上記 1)および 2)で合成した化合物の構造決定と評価
上記の3項目を研究計画としている。

研究経過

✧　1)アズレンが縮環したアズレン誘導体の合成

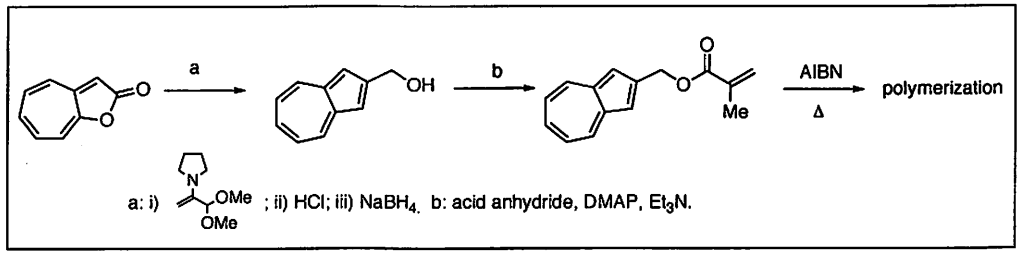
シクロペンタジエンを出発原料としシクロヘプタ[b]フラン-2-オンを経由して、1,2-トリメチレンアズレ

ンの合成を行った。これにN-ブロモスクシンイミド(NBS)を作用した後、クロロホルム中で加熱還流して鍵化合物であるシクロペンタ[a]アズレンへと変換した。これに異なる2つの条件下で発生したジクロロケテンを作用させ、対応するビシクロ体を異性体としてそれぞれ得た。この一連の反応は文献通りに進行することも確認した。さらにこれらを酢酸-トリエチルアミンにて加水分解しアズレノトロポロン類へと変換した。一方の異性体をトシル化し、対応するトシラートを合成した。



✧ 2)アズレンを含むモノマーの合成とポリマー化

シクロヘプタ[b]フラン-2-オンからエナミン法にて対応する2-(ジメトキシメチル)アズレンを合成した。これを加水分解・還元を順次行い対応するアズレニルメタノールとした。これに塩基存在下無水アクリル酸を作用してモノマーであるアクリル酸エステルへと変換した。現在重合化を検討している。



✧ 3)上記 1)および 2)で合成した化合物の構造決定と評価

いくつかの化合物が新規であり、これらについては現在スペクトルデータを収集している。

研究成果の概要

得られた成果（当初に計画した成果と対比して記す）

トリメチレンアズレンを経てシクロペンタ[a]アズレンへとした後、トロポロン合成法を適用し対応するアズレノトロポロンを合成した。SciFinder で化合物を確認するとアズレノ[2,1-d]トロポロンは既知であった。一方、アズレノ[1,2-d]トロポンは新規化合物である。既知化合物であるアズレノ[2,1-d]トロポロンの合成は容易ではあるが、有機溶媒に対する溶解性が悪く取り扱いが難しい化合物であった。一方、新規のそれは有機溶媒に対する溶解性に優れている。クロロホルムやジクロロメタンに溶解しやすい一方問題点も浮上した。すなわち、室温大気中に数日放置するだけで黒色沈殿物が生じるなど、安定性に難があることが分かった。この現象は溶液中では顕著であり、数時間で難溶性の沈殿を生じる。この現象は化合物が酸化を受けやすく、重合体をあたえていると予想される。そこで、これにトシル化を行い対応するトシラートに変換した。すると安定性が増し、室温大気中に放置しても分解は見られず、安定性の向上に成功し

た。ジクロロメタンなど一般的な有機溶媒に対する溶解度は高いが、使用する溶媒であるメタノールに全く溶解しないことが明らかとなった。そこで反応系に非プロトン性極性溶媒であるジメチルホルムアミド(DMF)を加え反応を行ったが、予期に反して反応は進まず原料の回収のみに終わり、現在反応条件を検討している。

問題点

得られた２種類のアズレノトロポロン類の溶解性は大きく異なることが分かった。一方の化合物の溶解性が極端に悪いことが分かり、この化合物の取り扱い方が問題点である。また、もう一方のアズレノトロポロンの溶解性は良いものの、酸化を受けやすいのか不溶性化合物へと変化してしまうことが明らかとなった。今後は化合物を精製後速やかに次の化合物へ変換する必要性がある。これらをクリアすることによって生成物の供給が容易になると考えられる。

さらにトシラートの溶解度の問題については先ず、同じアルコール系であるエタノールで試す予定である。

成果の活用予定（学会発表、外部研究助成等への応募、産学協同研究等の具体的予定）

現在の所未定

今後の展開

✧ 1)アズレンが縮環したアズレン誘導体の合成

マロン酸ジメチルを縮合し、シクロヘプタ[b]フラン部の構築を検討する。

✧ 2)アズレンを含むモノマーの合成とポリマー化

重合したポリマーの精製・物性を測定する。さらに蛍光スペクトルを測定し、その性質について検討する。

✧ 3) 上記 1)および 2)で合成した化合物の構造決定と評価

新規化合物については、各種スペクトル（NMR,IR,質量）を測定し、データの収集と構造の確定を行う。

酵素触媒重合による水分散性に優れたフェノール粒子の作製

応用バイオ科学科　清水 秀信

1. 研究の目的

酵素は，室温・常圧・中性領域という温和な条件下で高い活性を示す優れた生体触媒である。近年，この酵素を重合触媒として，機能性高分子を合成しようとする試みが盛んに進められている [1]。例えば，西洋ワサビペルオキシダーゼのような酸化還元酵素を用いることにより，フェノール類を酸化重合させる試みが報告されている [2]。また，重合溶媒や分散安定剤を適切に選択することにより球状のフェノール重合体が得られることも示されている [3]。さらに酵素触媒重合は，環境負荷が比較的少ない方法で，かつ，精密に構造が制御された高分子を得ることができることから，今後の発展が期待できる重合法の１つといえる。

本研究では，過酸化水素を受容体として種々の物質の酸化反応を触媒する酵素である西洋ワサビペルオキシダーゼを用いて，水分散性に優れたフェノール系粒子を作製することを試みた。具体的には，水溶性フェノール類である 4-ヒドロキシベンゼンスルホン酸ナトリウム (SHBS)とフェノールを，仕込み組成を変えて共重合させ，得られた粒子の分散安定性，粒子の大きさ，ゼータ電位を評価した結果について報告する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

機能性高分子材料は，温度などの外部環境の変化に応答して，特性を変えることができるスマート材料である [4] (図 1)。このような材料の合成を酵素によって自由自在に行うことができれば，①温和な条件で重合反応を進行させることができる，②精密に構造が制御されたポリマーを合成できる，③酵素が生体触媒であるため環境負荷を低減できるなどの利点がある。文献 1 の総説で報告されているように，ポリエステル，ポリアミド，ビニルポリマーなどの様々な高分子が酵素を使って合成できるようになってきた。

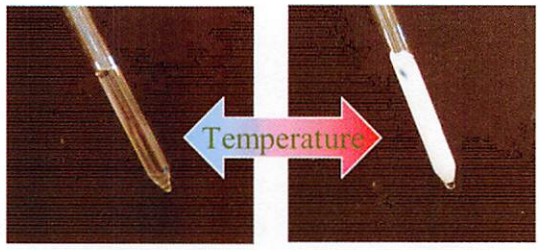


図1. 温度応答性高分子の可溶不溶転移挙動

研究代表者らは，機能性材料を作製する有用な手段として酵素触媒重合を捉え，酵素を用いなければ機能性が発現できない材料の合成を目指している。

1) S. Kobayashi, and A. Makino, *Chem. Rev.*, **109**, 5288 (2009).
2) T. Oguchi, S. Tawaki, H. Uyama, and S. Kobayashi, *Macromol. Rapid Commun.*, **20**, 401 (1999)
3) H. Kurioka, H. Uyama, and S. Kobayashi, *Polym. J.*, **30**, 526 (1998)
4) H. Shimizu, R. Wada, and M. Okabe, *Polym. J.*, **41**, 771 (2009)

3. 期待される効果

酵素触媒重合では，構造が精密に制御されたポリマーを合成できるため，従来の方法では作製できなかった新規な機能を有する粒子を合成できる可能性がある。また，この重合法は，水分散性ポリマー微粒子を作製できる新たな手法となりうる可能性もある。以上のことから，酵素触媒重合により，水分散性に優れ，粒子径が揃った微粒子を作製する方法が確立できれば，非常に意義があると思われる。

4. 研究の経過及び結果

4.1 実験方法

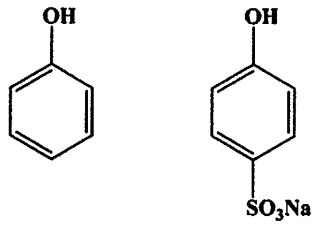
4.1.1 フェノールと水溶性フェノール類の共重合

20mM のリン酸緩衝液(pH 7.0)に，フェノール，4-ヒドロキシベンゼンスルホン酸ナトリウム二水和物(SHBS)，西洋ワサビペルオキシダーゼ(HRP)を加え，過酸化水素を所定時間ごとに添加することにより共重合させた。反応は 40℃で行った。反応組成は以下の通りである。

Phenol + SHBS / HRP / H_2O_2 / 20 mM Phosphate buffer

= 1.0 / 0.020 / 1.67 / 50 (g)

図 2 にフェノールと SHBS の構造式を示す。



Phenol　　Sodium 4-hydroxybenzene-sulfonate (SHBS)

図2. フェノールとSHBSの構造式

4.1.2 粒子の特性解析

水中における粒子の大きさは動的光散乱により，粒子の表面電荷は電気泳動移動度により評価した。

4.2 結果・考察

4.2.1 水分散性フェノール粒子の作製

緩衝液中で，HRP によるフェノールの酸化重合を試みたところ，分散安定剤を添加していない系では，生成してきたフェノール重合体は沈澱物としてフラスコの底に沈降し，分散安定な粒子は得られなかった。そこで，分散安定剤がなくても水分散性に優れた球状のフェノール重合体を作製するために，スルホン酸基を有する水溶性のフェノール誘導体 4-ヒドロキシベンゼンスルホン酸ナトリウム（SHBS）とフェノールとの共重合を試みた。

フェノールと SHBS の合計量は一定とし，その割合を変化させて重合を行ったときに得

られた重合体の写真を図 3 に示す。SHBS の割合が高くなるにつれ，反応液を遠心したときに回収できる固形物の割合が減少する傾向が認められた。SHBS の仕込み割合が 50%のときには，フェノールだけで重合させたときと同様に，ほとんどの生成物は沈降してしまった。SHBS の割合を80wt%まで高めると，一部の重合体は沈降するが，分散性を維持している重合体も観察された。分散している重合体は SHBS の割合がかなり高いと推測される。SHBS の割合が90%を超えると，ほとんどの重合体は沈降せず分散安定なコロイド粒子が得られた。

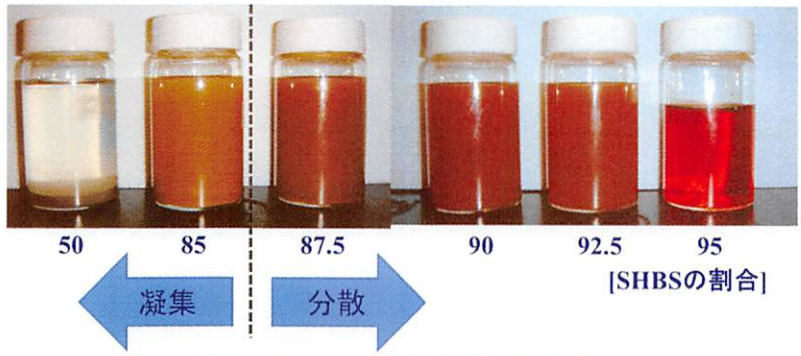


図3. フェノール粒子分散液の様子

4. 2. 2 水分散性フェノール粒子の表面電位

SHBS の仕込み割合が高いときに分散安定な粒子が得られた理由を調べるために，得られた粒子の表面電位を顕微鏡電気泳動法により評価した。結果を図 4 に示す。

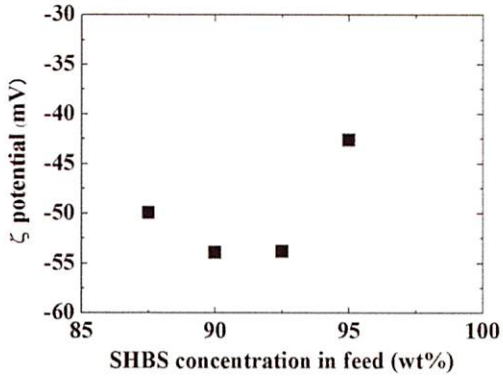


図4.フェノール粒子の表面電位

SHBS の仕込み割合が上昇するにつれ，ゼータ電位の値も低下する傾向が認められた。ゼータ電位が最も小さくなったときの値は約-55 mV であった。SHBS の割合をさらに高くすると，ゼータ電位の値は約-45 mV となり，少し上昇した。これは粒子径の影響ではないかと考えている(4.2.3 参照)。また，いずれの粒子もマイナスの電荷を帯びているのは，SHBS 由来のスルホン酸基が粒子表面に集まっているためであり，スルホン酸基の静電的反発力により粒子は水中で安定に分散していると考えられる。ここで得られたゼータ電位の値が比較的高いことから，この粒子は，表面にある一定以上のスルホン酸基が存在しないと安定に分散しないことがわかる。

4. 2. 3 水分散性フェノール粒子の大きさ

SHBS の仕込み割合が，得られた粒子の大きさに及ぼす影響を調べるために，粒子の大

きさを動的光散乱法により評価した。結果を図 5 に示す。

SHBS の仕込み割合が高いほど，粒子径は小さくなる傾向を示した。これは，仕込み割合を増やすと，安定に分散できる粒子核の数が増えるため，結果として粒子数が増加し，粒子径が小さくなったものと考えられる。

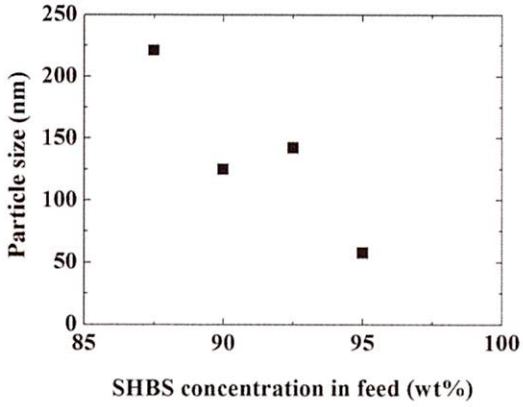


図5. SHBSの仕込み割合が粒子径に及ぼす影響

SHBSの仕込み割合が87.5 wt%の粒子の透過型電子顕微鏡写真を図 6 に示す。粒子径 125nm 程度の小さな粒子（分散度 1.03）と小さな粒子が集まった凝集体が観察された。顕微鏡電気泳動では，凝集した粒子の存在はほとんど認められないことから，これらの凝集体は乾燥過程中に生成したものと推測できる。

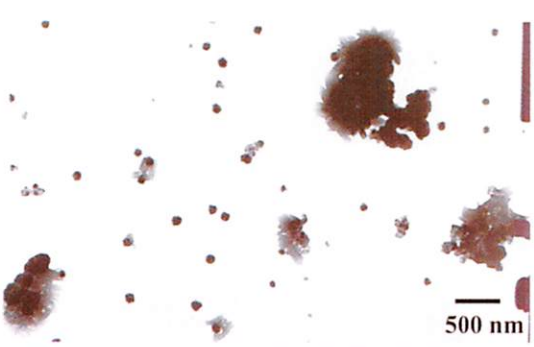


図6. フェノール粒子の透過型電子顕微鏡像 (SHBSの仕込み割合:87.5wt%)

以上の結果から，SHBS をフェノールと共重合させることにより，水分散性良好なナノサイズのフェノール粒子が得られることがわかった

5. 今後の計画

水分散性に優れたフェノール粒子は得られたが，90 wt%以上の水溶性フェノール類を仕込んで重合させる必要があった。これは，SHBS の重合効率がよくない可能性が考えられるので，得られた粒子に含まれる SHBS の割合を元素分析により評価して，この点を明らかにする予定である。また，SHBS 以外の水溶性フェノール類（アルブチンなど）を用いて水分散性粒子が得られるかどうかを検討する。最終的には，表面が機能化されたフェノール粒子の作製を目指す。

6. 研究成果の発表

得られた粒子の組成比を明らかにした後，成果を論文としてまとめる予定である。

マルチエージェントシミュレータを利用した
デジタルエコファクトリの実用化に向けたシステム仕様の実装性検証

研究者名：情報工学科　　松田三知子

1．研究の目的

平成 22 年度～平成 23 年度に，(一財)製造科学技術センターのアイデアファクトリーに「グリーンプロダクション基盤としてのデジタルエコファクトリ構築のための調査研究」が採択され，関連項目の調査と企業ニーズに基づいたデジタルエコファクトリの要求仕様書作成がすすめられた．並列して，デジタルエコファクトリを実現するための実装技術を確立しておく必要があることから，平成 23，24 年度に重点配分経費により，実装上の技術基盤の確立を試み，マルチエージェント技術をデジタルエコファクトリの基盤となるデジタルファクトリ構築に適用することを検討した．具体的には，生産機械や製造対象である製品／部品をそれぞれについてのモデルをもったソフトウェアエージェントとして実装し，これらを用いてデジタルファクトリの核となる製造シミュレーションシステムを構成することを提案した．本研究では，市販のマルチエージェントシミュレータを利用して実装実験を行い，実験結果を踏まえてデジタルエコファクトリの実現に向けたシステムの基本設計案をまとめることを目的とした．

2．研究の必要性及び従来の研究

現在の製造業では，地球環境の持続性に配慮しながら製品ユーザに対するサービスを最適化することが求められ，製品ライフサイクル全体を視野にいれたものづくりが当然となっている．また，環境マネジメントに関する国際規格 ISO 14000 シリーズが 1996 年に発行されたことに対して，製造現場では，リデュース・リユース・リサイクルの考え方を取り入れたシミュレーションを伴う生産設計（工程設計，作業設計）手法の提示や，各製造工程のより詳細な事前評価ツールの提供が望まれている．

一方，知能情報処理技術の分野では，環境の状態を知覚し行動できる自律的主体としてエージェントという概念が提唱され，複数のエージェントによりシステムを構成することで創発を伴う柔軟性に富んだ頑強なシステムを作ることが，マルチエージェントシステムとして議論されている．この考え方に基づいて，生産システムの構成要素である工作機械，ロボット，ＡＧＶなどの生産機械をエージェントとし，生産システムをマルチエージェントシステムとして構成することにより，システムの自律化，知能化を促進し柔軟性を増すことが提案されている．これらの研究は，システムの運用を対象にしたものであり，実工場での実装例も見当たらない．また，上述のような運用前に利用して，製造シナリオの十分な事前検討を行うためのツールとはなっていない．これに対して，本研究では，生産シ

ステムの構成要素をソフトウェアエージェントとして動的振舞いも含めてモデル化し，マルチエージェントシステムとしてコンピュータ内にバーチャルファクトリを構成することにより，正確で詳細な製造過程のシミュレーションにより，生産効率と環境影響の両面から同時に検討可能なプランニング環境を実現する．

3．期待される効果

デジタルエコファクトリの実用化は，広くグリーンプロダクションの実現と促進のための情報ツールを与える．具体的には，以下のようなことが実現されることになる．

◎ 製造物の量や種類の変化，製造ラインの構成変更，などに柔軟な対応が可能な製造シミュレーションプラットフォームとしてのバーチャルファクトリが構築される．さらに，シミュレーション対象に環境影響評価も加えることで，環境配慮型生産プランニングツールとしてのデジタルエコファクトリが提供される．

◎ これまで平均値や総計値に代表される形でひとまとまり的に評価されていた製造シナリオが，製造工程の各ステップで時系列的に個々に評価できることになり，問題のある工程部分や改善すべき工程部分を事前に発見するためのツールが提供される．

本研究により，上述の要求を満たすシステムとしてデジタルエコファクトリを実現するための技術基盤が与えられる．すなわち，製造に関わる要素をソフトウェアエージェントとしてモデル化し，生産システムをマルチエージェントシステムとして構成することで，デジタルエコファクトリが実装できることが示される．

4．研究の経過及び結果

企業から提供された実データを用いて，市販のマルチエージェントシミュレータ artisoc 上に．図１のようにプリント基板向け仮想製造ラインを実装した．ひとつのラインは，ハンダ印刷機，マウンタ３台，バッファ，リフロー炉から構成し，それぞれを機械エージェントとしてモデル化した．また，プリント基板は搭載部品数（プリント基板サイズ）とハンダ使用より６つに分類した，さらに搭載部品種類により細分化して製品エージェントとしてモデル化した．仮想製造ラインを２本用意し，生産量や投入方式などを変えて，図２のように製造過程と消費電力などのシミュレーションを行い，モデル化の精度を確認した．さらに，企業の技術者に対して試作システムのデモンストレーションを行い，必要項目がきちんと実装できたことを確認した．以上により，マルチエージェント技術がデジタルエコファクトリの実装に有用であることを確認した．

5．今後の計画

平成 25 年 10 月には，(一財)製造科学技術センターが事務局を務める FA オープン推進協議会内に「デジタルエコファクトリー専門委員会」として産学協同プロジェクトが立ち上がり，平成 27 年 3 月までの予定で活動を開始している（日刊工業新聞 11 月 25 日 1 面掲

載)．本研究の成果は，このプロジェクトに引き継がれ，本格的な実証研究のためのシステム設計書に反映される予定である．今後は，外部資金を得ての実証を目指している．

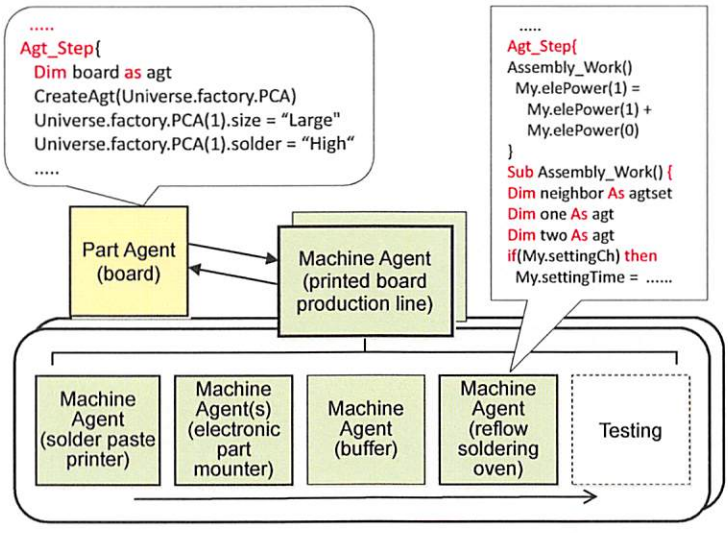


図１．エージェント指向によるプリント基板向け仮想製造ラインの実装

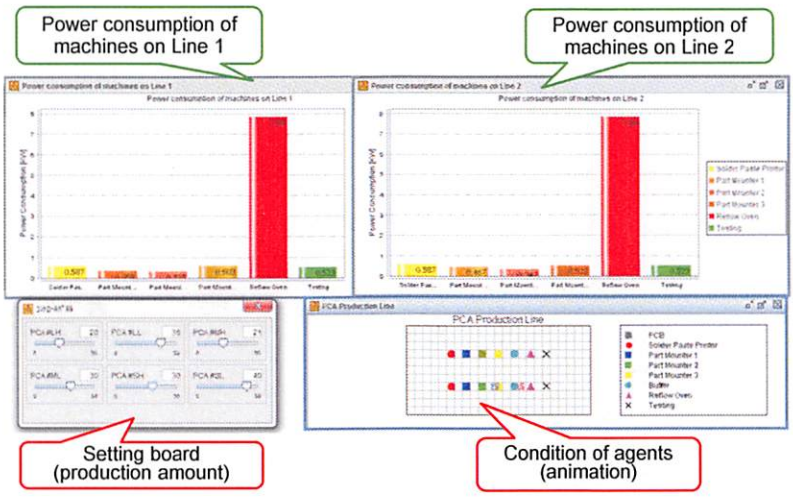


図２．プリント基板向け仮想製造ライン上でのシミュレーション

６．研究成果の発表

(1) M. Matsuda and F. Kimura「Usage of a Digital Eco-factory for Green Production Preparation」 Procedia CIRP (Special Issue on) Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013, Elsevier, Volume 7, pp. 181-186, 2013.6.

(2) M. Matsuda and F. Kimura「Digital Eco-factory as an IT Support Tool for Sustainable Manufacturing」 Digital Product and Process Development System, Springer, IFIP AICT vol. 411, pp. 339-351, 2013.10.

新規海水脱塩用分離膜の開発

（応用バイオ科学科）市村重俊・（応用バイオ科学科）小池あゆみ・（栄養生命科学科）澤井　淳
（応用化学科）竹本　稔・（工学教育研究推進機構）和田理征

１．　研究の目的

本研究では、2-メタクリロイルオキシエチルホスホリルコリン（MPC）ポリマーの特異な性質を利用し、従来の逆浸透（RO）法による海水淡水化とは異なる分離メカニズムを利用した新規海水脱塩用分離膜を開発することを目的とする。そのため、膜と液体の界面を形成するMPCポリマー層の構造と物性を分子レベルで制御し、既存のRO膜と同程度の脱塩性能を持つ膜を作製する。以下の①から④を主な検討課題とする。中心は①と②であり、さまざまな条件で作製したMPCポリマー固定多孔質膜を作製しその性能を評価する。並行して③と④の検討を進め、得られた知見を①と②にフィートバックさせる。

① 製膜法の検討
② 膜の性能評価
③ 構造および物性評価
④ 分離メカニズムの検討

２．　研究の必要性及び従来の研究

世界的な水需要の増加により革新的な海水淡水化技術が求められている。現在の海水淡水化はポリアミド系RO膜を利用したRO法が主流である。RO膜の性能は薄膜化と緻密化により著しく向上したが、海水の浸透圧以上の圧力が必要なこと、膜汚染（ファウリング）に対する対策が難しいことから、今後の大幅なコスト削減は期待しにくい。そこで水透過性が高いカーボンナノチューブやグラフェンが注目されている。しかし、浸透圧以上のエネルギーを必要とすることに変わりはなく、あわせて従来以上の汚染抑制対策が必要になると考えられる。また、アクアポリンのような生体由来の材料も興味深いが、大量の水処理を想定すると実現の可能性は低いと言わざるを得ない。研究代表者は、その開発者として知られる東京大学の石原教授とともにMPCポリマーを利用した耐汚染性膜の開発を進めてきた。その過程で、膜表面のMPCポリマー鎖が水の透過抵抗にならないことを見出した。また、その優れた吸着抑制能は、溶質の周囲の水和殻が固液界面で安定なことに起因することとされている。MPCポリマーのこれらの特性を利用すれば、浸透圧に依存せず、低圧力/低コストで淡水のみを透過させることができる新規海水脱塩用分離膜の開発が可能になると考えられる。

3．　期待される効果

高い耐汚染性と水透過性を持つ MPC ポリマーを利用して新規海水脱塩用分離膜を開発する。この膜は、従来の逆浸透法と比較して低圧力/低コストで淡水のみを透過させることができる革新的な海水淡水化技術を実現するものと期待できる。

4．　研究の経過及び結果

平成 25 年度の研究成果として以下の①から④が得られた。

①および②　製膜法の検討と膜の性能評価

MPC ポリマーの共重合体を利用したシランカップリング法と表面開始型リビングラジカル重合（SI-ATRP）法により、細孔径 50nm のセラミック製多孔基材の MPC ポリマー処理を行った。作製した膜を利用してろ過試験を実施し、透水性能と分離性能の評価を行った。高い脱塩性能を持つ膜の開発が最終目標であるが、膜性能に対する処理条件の影響を明らかにするため、分子量分布が狭いモデル高分子溶質等を用いて分画性能を評価した。

MPC ポリマーの共重合体を利用したシランカップリング法では、ポリマー濃度と処理時間により阻止性の制御が可能となった。ただし、長時間の反応では、透水性が低下する傾向が見られた。同程度のサイズ（20nm）を持つ鎖状高分子（Pullulan）とポリスチレンラテックス（PSL）を利用して電解質濃度の影響を検討した結果、PSL に対して高い阻止率を示した。これは、ポリマー鎖によるサイズ排除効果とともに静電効果が PSL の透過性に影響を及ぼすことを示している。また、反応時の pH を調整した結果、透水性が基材の 1/10 程度に低下したものの、分子量約 1000 の溶質で阻止率 0.9 を示す膜の開発に成功した。これは孔径数 nm の限外ろ過膜の性能に相当する。酸化物ナノ粒子（SiO_2、TiO_2、Zr_2O_3）を利用した孔径制御法についても検討した。ナノ粒子層の影響により透水性は大きく低下したものの、短時間の処理で限外ろ過膜レベルの膜が得られた。SI-ATRP 法については、処理膜の性能評価には至らなかった。

③　膜の構造および物性評価

①で作製した膜を用いて FTIR 法による表面分析、FE-SEM および SPM による表面観察を行った。シランカップリング法で処理した膜は基材に比べ凹凸の間隔が狭まることが確認された。ナノ粒子を利用して作製した膜では、1 次粒子が凝集し膜表面に固定化されている様子が確認された。上記および SI-ATRP 法で処理した膜は、FTIR 法で明確な吸収が確認されなかった。

④　分離メカニズムの検討

膜の性能は、篩い効果と荷電効果の他、表面および内部における溶質の物質移動に依

存する。②において、さまざまな溶質を用いて阻止率の操作圧力依存性を検討した結果、未処理の基材や従来の MPC ポリマー処理膜とは異なる挙動が確認できた。ナノ粒子を利用して作製した膜では、処理時間と処理後の重量変化、さらに透過抵抗に相関が見られた。これは、膜表面のナノ粒子層が透水性の低下の原因であり、ナノ粒子層の厚みを制御することで透水性の改善が可能になることを示している。PSL を用いた透過実験では、ポリマー鎖によるサイズ排除効果とともに静電効果がその透過性に影響を及ぼした。このことは、新規膜の分離メカニズムの考察において、基材と溶質の荷電特性を考慮する必要があることを示唆している。

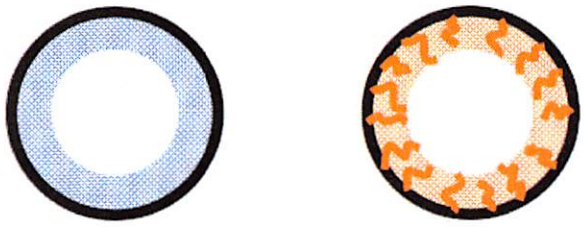


Fig. 1　細孔透過時の荷電の影響

５．　今後の計画

平成 25 年度の成果をもとに以下の計画で研究を進める。

①および②　製膜法の検討と膜の性能評価

引き続きシランカップリング法と SI-ATRP 法を用いた MPC ポリマー処理を行い、製膜条件が膜性能（透水性能、阻止性能）に及ぼす影響を明らかにする。RO 膜の阻止率は NaCl に対して 99.5%以上であり、この目標値にいかに近づけるかがポイントとなるため、製膜条件が膜性能に及ぼす影響を系統的に評価していく。SI-ATRP 法では、ポリマー鎖の長さと密度を制御して膜性能に及ぼす影響を評価する。また、MPC ポリマーの最大の特徴である膜の耐汚染性についても検討する。得られた性能によっては処理法の変更が必要になるが、その場合は、ポリマーの種類とそれを固定する基材の影響も検討する。

③　膜の構造および物性評価

①で作製した膜について、特に MPC ポリマー層の構造と物性が膜性能に及ぼす影響を明らかにする。研究目的の達成には、ナノレベルの構造制御とそれにともなう機能発現が不可欠である。そのため、共同研究者の知見と技術を活用し、製膜条件が構造と機能（ここでは主に表面物性）に及ぼす影響を定量的に評価する。また、SPM を用いた表面間力の測定や DSC による水の状態分析も予定している。

④　分離メカニズムの検討

②の結果をもとに、不可逆過程の熱力学、濃度分極モデル、細孔モデル等の既存の透過理論を利用した性能解析を行う。これと③の結果より、新規膜の分離メカニズムを明らかにする。本研究で想定している海水の脱塩処理は、緻密なMPCポリマー層への水分子の取り込みとその透過を分離メカニズムとするものであり、ポリマー層中の水と溶質の拡散速度の評価、浸透現象の検討も予定している。

６．　研究成果の発表

1. 市村ら：ナノ粒子の膜透過性とMPCポリマーによる表面処理の影響，日本膜学会第35回年会（2013）
2. 市村ら：膜の分画および耐ファウリング性能に対する表面処理の効果、日本海水学会第64年会（2013）
3. 石井、市村ら：MPCポリマーを利用したろ過膜の分画性能の制御、日本海水学会若手会第5回学生研究発表会（2014）
4. 市村ら：MPC ポリマー処理膜の性能に対する表面処理条件の影響、化学工学会第 79 年会（2014）
5. 和田ら:分子量PVAハイドロゲルのゾル - ゲル転移とゲル構造、第62回高分子学会年次大会(2013)
6. 和田ら：高分子量 PVA ハイドロゲルの架橋点の大きさとその性質、第 62 回高分子討論会（2013）
7. 竹本ら：α-PbO2 型を含む二酸化チタン粉末の色素増感太陽電池への応用、分析電子顕微鏡システム利用研究成果そのXXIV(1)、神奈川工科大学研究報告(投稿中)

など

γ-トコトリエノールの脂肪性肝炎改善メカニズムの解明

研究者名：栄養生命科学科　　武藤　知衣

1．研究の目的

これまで私は脂肪性肝炎を改善する食品成分の探索とその作用機序の解明を目的として研究を行ってきた。昨年度、ラットの初代培養系肝細胞においてビタミン E 同族体の一つであるγ-トコトリエノール（γ-T3）が細胞内脂質減少効果を示したことを報告した。また、そのメカニズムとして、脂肪酸分解に関与する Carnitine palmitoyltransferase 1（CPT1）遺伝子発現量の増加と、脂肪酸合成酵素の転写因子となる Sterol regulatory element-binding protein-1c（SREBP-1c）遺伝子発現量の抑制が寄与する可能性、さらに、細胞に飽和脂肪酸の一つであるパルミチン酸を添加した際に、SREBP-1c、ならびに小胞体ストレスマーカーである C/EBP homologous protein（CHOP）遺伝子発現量が増加し、それをγ-T3 が有意に抑制したことを合わせて報告した（Muto *et al*, *J. Clin. Biochem. Nutr.* 52(1) 32-37）。

小胞体ストレスは、折り畳み不全のタンパク質が過剰に小胞体に蓄積することで誘導される。近年、小胞体ストレスの増加が肝脂質蓄積の促進に大きく関与していることが複数の研究者らにより報告されている。特に、CHOP の上流に存在する小胞体ストレスセンサーである PERK や Eukaryotic initiation factor 2 subunit alpha（eIF2α）がリン酸化されて活性化することで SREBP-1c が増加することが報告されている（図1）。したがって、γ-T3 による肝脂質減少効果は小胞体ストレスの抑制が寄与している可能性が新たに推察された。そこで本研究では、ヒト肝がん由来の HepG2 細胞を用いて、γ-T3 の脂肪肝改善メカニズムを遺伝子、タンパク質レベルで解明することを目的とした。

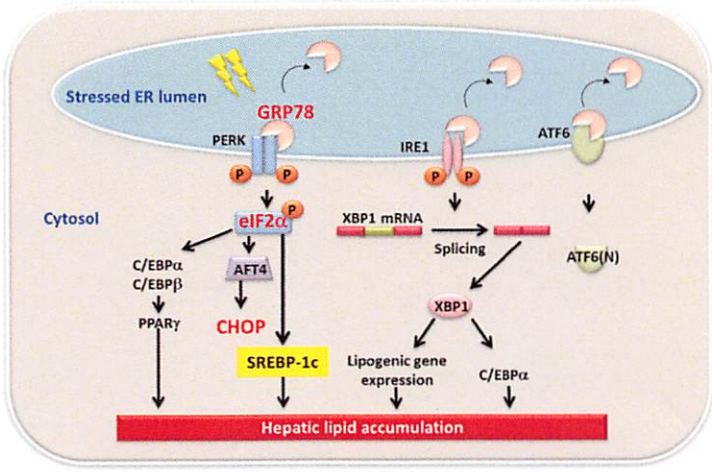


図 1. 小胞体ストレスシグナル伝達

2．研究の必要性及び従来の研究

現在、γ-T3 による脂肪肝改善効果について小胞体ストレスと合わせて報告しているものは他にはない。脂肪酸組成の異なる油脂の選択肢が広がる中、各脂肪酸による生体への影響並びに食品成分によるその抑制効果を明らかにすることは人々の健康寿命の延伸に貢献すると考えられる。

3．期待される効果

小胞体ストレスは肝脂質蓄積のみならず炎症やアポトーシスを誘導し、糖尿病や動脈硬化など様々な疾患の発症にも関わっているため、γ-T3 による小胞体ストレス抑制効果が認められれば、生活習慣病の増加を食い止める一助になると考えられる。

4．研究経過及び結果

① HepG2 細胞におけるビタミン E 同族体による細胞内脂質減少効果の比較

HepG2 細胞に 3 種類のビタミン E 同族体（各 50 μM）を添加して 24 時間培養後、再度各ビタミン E 同族体を添加してさらに 24 時間培養した。細胞を回収して細胞内 TG 量を測定したところ、α並びにγ-トコフェロール（T）、γ-T3 のすべてが細胞内 TG 量を有意に減少させたが、その効果はγ-T3 でもっとも顕著であった（図 2）。

② パルミチン酸添加時におけるγ-トコトリエノールの細胞内脂質減少効果と作用機序の探索

HepG2 細胞にγ-T3（50 μM）を添加して 24 時間培養後、再度γ-T3 とともにパルミチン酸（100、500 μM）を細胞に添加し、さらに 24 時間培養した際の細胞内 TG 量を測定した。パルミチン酸添加により細胞内 TG 量が有意に増加し、それをγ-T3 添加により有意に抑制した（図 3）。

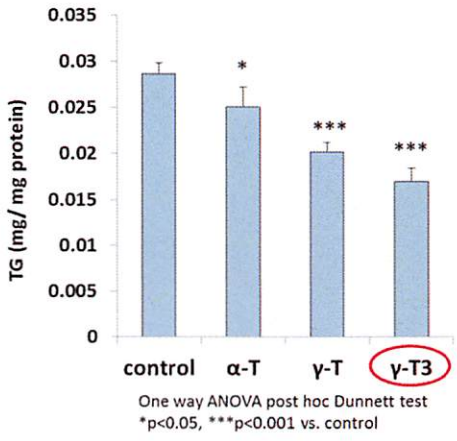


図 2. ビタミン E 同族体による細胞内 TG 量への影響

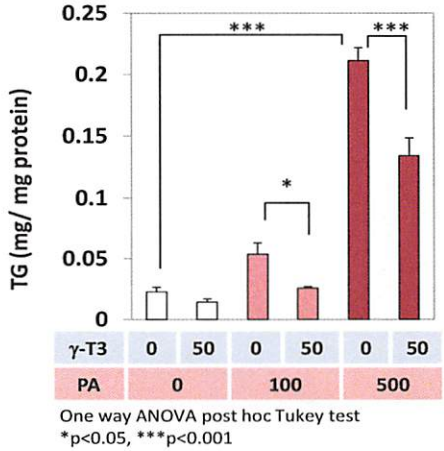
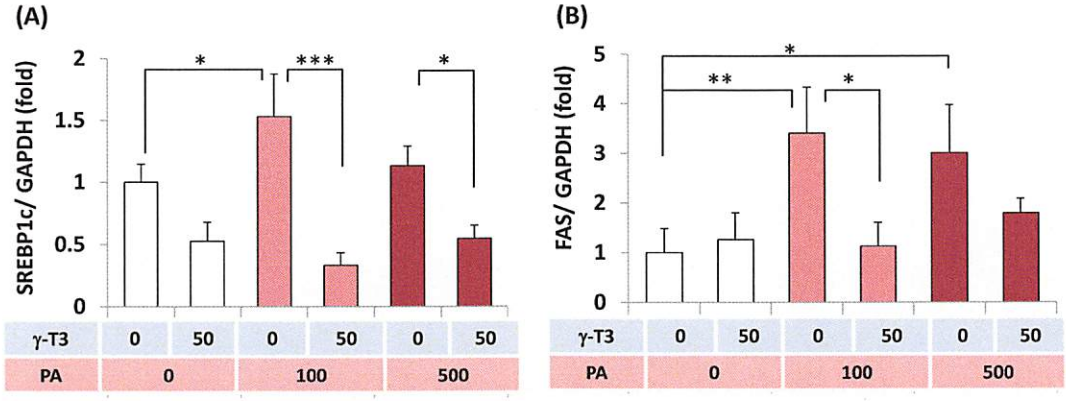


図 3. パルミチン酸ならびにγ-T3 による細胞内 TG 量への影響

肝臓における脂質の代謝機構は複数存在し、肝脂質蓄積を促す因子としては、食事由来の中性脂質の取り込みの増加、脂肪組織からの脂肪酸流入の増加、肝臓における脂肪酸及び TG 合成の増加、脂肪酸分解の抑制、そして肝外への脂質輸送の抑制が挙げられる。肝外への脂質輸送（VLDL 分泌）の指標として、培地中の ApoB 濃度を ELISA 法にて測定したところ、パルミチン酸添加により減少し、また、γ-T3 添加によってさらに減少していた。したがって、γ-T3 による細胞内 TG 量の減少は肝臓から培地への脂質分泌の促進とは関連していないと考えられ、細胞内 TG 量が減少した結果として培地への TG 分泌も減少したと推察した。一方、パルミチン酸添加は小胞体ストレスを誘導し、脂肪酸合成を促進することが報告されているため、小胞体ストレスへの影響と脂肪酸合成への影響について検討した。HepG2 細胞にγ-T3（50μM）を添加して 24 時間培養後、再度γ-T3 とともにパルミチン酸（100、500μM）を細胞に添加し、さらに 8 時間培養した際の細胞を用いて遺伝子発現量とタンパク質発現量を、リアルタイム PCR 法とウエスタンブロット法を用いてそれぞれ測定した。SREBP-1c と Fatty acid synthase（FAS）の遺伝子発現量はパルミチン酸添加により有意に増加し、γ-T3 により有意に減少した。また、小胞体ストレスセンサーである Glucose regulated protein 78（GPR78）遺伝子発現量への影響は見られなかったが、eIF2α のリン酸化ならびに CHOP の遺伝子発現量はパルミチン酸添加によって増加し、γ-T3 により有意に抑制された（図 4）。以上の結果から、パルミチン酸添加により小胞体ストレス誘導を介して脂肪酸合成が促進すること、そして、そのシグナル伝達をγ-T3 が抑制して細胞内の脂質増加を抑制する可能性が示唆された。



One way ANOVA post hoc Tukey test *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

図 4. パルミチン酸ならびにγ-T3 による脂肪酸合成酵素遺伝子発現量への影響

(A) SREBP-1c 遺伝子発現量、(B) FAS 遺伝子発現量

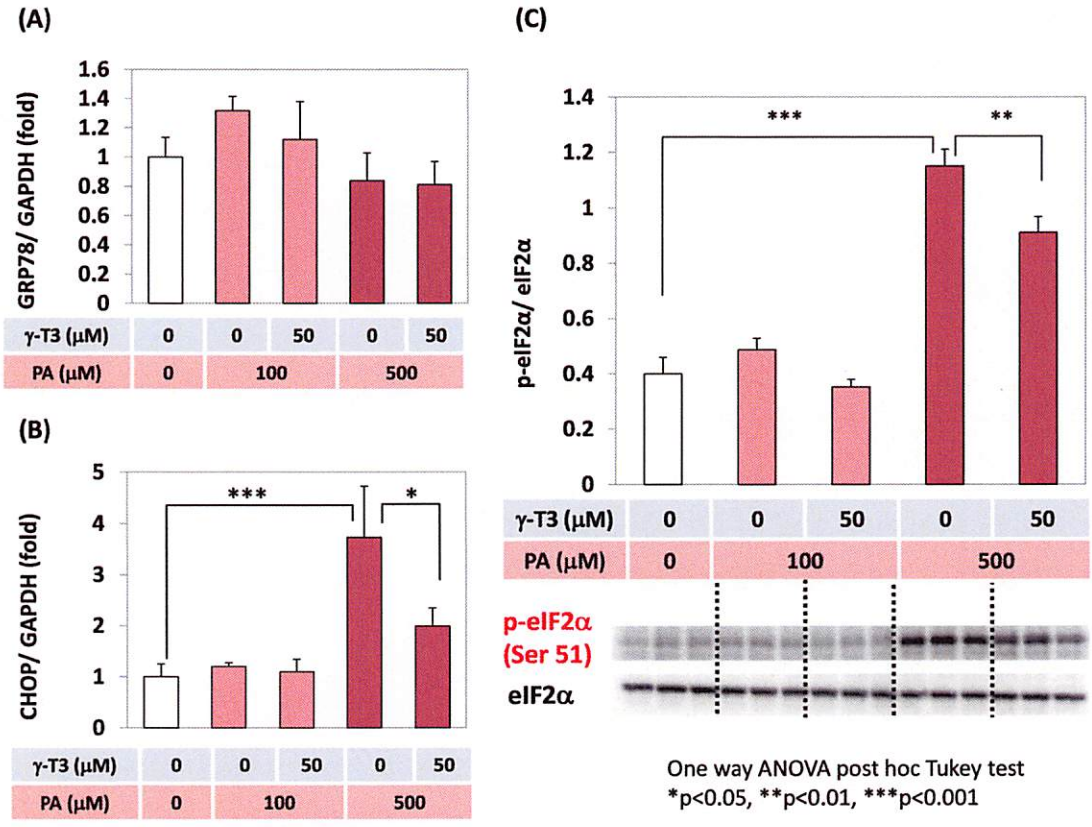


図 5. パルミチン酸ならびにγ-T3 による小胞体ストレス関連遺伝子およびタンパク質への影響

(A) GRP 遺伝子発現量、(B) CHOP 遺伝子発現量、(C) eIF2αタンパク質のリン酸化

5. 今後の計画

本研究により、細胞にパルミチン酸を添加した際の小胞体ストレスと脂肪酸合成の影響を検討したが、他の脂肪酸の影響とその際のγ-T3 の効果についても今後検討を進めたいと考えている。また、パルミチン酸非添加時においてもγ-T3 の TG 減少効果が見られたことから、小胞体ストレスを介さないメカニズムについてもさらに検討を行う予定である。

6. 研究成果の発表

＜学会発表＞

「パルミチン酸添加ヒト肝細胞に対するγ-トコトリエノールの脂質減少効果」

武藤知衣、五十嵐脩、清瀬千佳子、第 25 回ビタミン E 研究会（2013. 1）

ユーザ操作検知によるタブレット型デバイスのソフトウェア操作支援手法

研究者名：情報ネットワーク・コミュニケーション学科　　岩田 一

1．研究の目的

タブレット型デバイス向けソフトウェアにおける既存の操作支援手段として、起動時のトップメニューに操作説明画面に遷移できるボタン等を設置する、操作を説明する Web ページを別に作成しアクセスを可能にする、などの対応をしている。しかし、エンドユーザが目的を達成するための操作が分からない場合、対応する操作方法の説明を見る必要がある。そのためには、現在の作業を一時中断しなければならない。

そこで本研究では、タブレット型デバイスのソフトウェアに適した、操作支援システムを提案する。エンドユーザに対する操作支援の機能をタブレット型デバイスのソフトウェアに組み入れるための手法はまだ確立されておらず、本研究の学術的な重要性は高いといえる。

2．研究の必要性及び従来の研究

エンドユーザのソフトウェア操作環境を改善するため、これまでにエンドユーザの操作履歴から、頻繁に利用している操作の組み合わせを提示することにより、操作学習システムを生成する手法を提案した[1]。ソフトウェアの設計段階に作成される UML 図からチュートリアルシステムを自動生成する手法を提案した[2]。要求分析時のシナリオから GUI を生成することにより、ソフトウェア開発の初期段階において顧客と開発者のユーザインタフェース設計の確認を行う手法を提案した[3]。これらの手法により、既存 PC 上のソフトウェアにおける、エンドユーザの操作環境を改善できた。

しかし、今後さらなる普及が見込まれるタブレット型デバイスでは、入力インタフェースとしてキーボードとマウスを前提とした従来の一般的な PC と異なり、タッチパネルによる操作を要求される。タッチパネルは主に手の指の操作に対応し、エンドユーザが画面内の選択したい場所を直接タッチできるため直感的な操作が行え、入力デバイスとして広く使用されている。しかし画面サイズ・解像度に対して指先のサイズが大きく、細かい操作を行うことが難しい、指先や手のひらによって画面の一部分が隠れてしまう、などのタッチパネル特有の問題が発生する。

また、エンドユーザが新しいソフトウェアを利用するためには、操作方法が分からずに戸惑う場面も少なくない。タブレット型デバイスには、タッチパネルのみで多くの操作を受け付けるための工夫があるが、ソフトウェアによって受け付ける操作や、対応する機能が違うためにエンドユーザを惑わせることがあり、操作とエンドユーザが求める機能の対応に気づきにくい場面もある。そのため、タブレット型デバイスに

合わせた、操作環境を改善する研究を行う必要がある。

3．期待される効果

本研究では、タッチパネルによる操作が中心となったタブレット型デバイスに合わせた操作支援システムを提案する。エンドユーザは、能動的に説明表示をするための余分な操作をする必要が無く、また現在の作業内容を完全に中断されずに、操作に関する問題を解決することが可能となる。

タブレット型デバイスを使用するエンドユーザ層は厚くなっており、慣れないソフトウェアを使用するときに戸惑うエンドユーザは、今後確実に増加することが予想される。本研究により、エンドユーザが操作に戸惑う場面が減り、タブレット型デバイス用ソフトウェア全体の満足度の向上が期待できる。

4．研究の経過及び結果

タブレット型デバイス向けのソフトウェアの操作支援を行うにあたり、ソフトウェアごとに操作方法が異なることに着目した。従来の一般的な PC では、ウィンドウ内のメニューの配置および構造や、キーボードのショートカットキーの組み合わせがソフトウェア間で共通になるようにする、一貫性の確保が重視されている。しかし、タブレット型デバイスの多くはキーボードやマウスを備えていないため、従来型 PC 用ソフトウェアと比べ、操作の一貫性が十分に確保されていない。

そこで本研究では、タブレット型デバイスの操作一貫性を保つために、音声入力による操作を受け付けるシステムの試作を行った。実装は Android タブレットを対象に行い、多くのソフトウェアで使用されている機能の単語を登録することで、ソフトウェア少ない修正で対応する機能を呼び出せる手法について提案した[4]。

また、ソフトウェアの一貫性を確保するための GUI(Graphical User Interface) ガイドラインについて、独自のガイドラインを制定できるようにし、ソフトウェアの GUI のレイアウトを調整する手法について提案した[5]。ソフトウェアの操作ログを対象に、マウス操作やキーボード操作の頻度からエンドユーザのソフトウェアの習熟度を分析することで、それぞれの習熟度の段階に適した操作支援を行えるようにする手法について提案した[6]。

これらの研究により、エンドユーザに対しての操作支援をある程度行えることができたといえる。ただし、習熟度の判定については従来の PC における操作ログを対象としているため、タブレット型デバイスに対応できるように修正が必要となる。

5．　今後の計画

平成 25 年度内の研究によって、タブレット型デバイスに対して音声入力による操作に対応するシステムをソフトウェアに付加する手法を提案することができた

が、まだ開発者に手動で修正を必要とする箇所が多くある。そのため、ソフトウェアのソースコードの解析などを行い、できる限り開発者にかかる負担を減らすことができるようにしたい。

また、タブレット型デバイスに合わせたエンドユーザの習熟度の判定として、タッチパネル特有の操作であるフリック等やジェスチャーの内容、加速度センサーなどのセンサー類のログなどから特徴的な操作を行っていないかの検出を検討している。これらをもとに、エンドユーザの戸惑う場面を解析し、対応する箇所には操作説明の提示を行う、音声入力によるタッチパネル以外の操作を受け付けられるようにする、などが行えるようにする手法について検討している。

6．　研究成果の発表

本成果報告書に対応する成果発表は以下の通りである。

[1] Hajime Iwata, Junko Shirogane, Yoshiaki Fukazawa: “Generation of an Operation Learning Support System by Log Analysis”, Proc. of 2nd International Conference on Software Engineering and Data Mining (SEDM 2010), March 2010.

[2] 岩田一，白銀純子，深澤良彰：“開発情報からのチュートリアルシステム自動生成手法とその評価”，コンピュータソフトウェア Vol.24, No.3, pp.63-74, 2007.

[3] 柴田博成，白銀純子，岩田一，深澤良彰：″ユーザビリティ向上に向けた要求定義段階における GUI プロトタイプ構築″，第 19 回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ FOSE 2012 in 湯布院，December，2012.

(以上 2013 年度以前の発表)

[4] Hajime Iwata and Kazuhide Koyama: “Method of Software Operation Consistency for Tablet Devices by Sound Recognition”, 11th Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering (JCKBSE2014), September 2014. (to Appear)

[5] 杉内一也，白銀純子，岩田一，深澤良彰，″独自ガイドラインを適用した GUI の構築支援″，第 20 回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ FOSE 2013 in 加賀，November，2013.

[6] Hajime Iwata, Nobuo Ikumi, Junko Shirogane and Yoshiaki Fukazawa: “Automatic Assessment of End-user Adaptive Operation Styles for Software Tutorial Systems”, 7th IADIS International Conference on Information Systems 2014(IS2014), March, 2014.

以上

段差乗り越え時の車いすの特性とそのアシスト機構の試作研究

機械工学科　　根本 光正

1．研究の目的

現在、我が国の総人口 1 億 2,752 万人に対し、年齢 65 歳以上の方の割合は 24.1%を超える超高齢社会を迎えた（平成 24 年 10 月 1 日現在）[(1)]。一方で、ひざ関節痛など下肢体に何らかの不自由さや障害を有する方にとって、屋内外での移動手段としての車いすの役割は大きく、高齢者の増加とともにこれまで以上にその必要性が重要視されている。視覚障害者にとっては車歩道の分別に段差が必要である一方で、車いす利用者にはこの段差が走行時に障害となっており、段差高さ 20mm を境界とした段差有無の必然性を含めた課題が双方で問題視されている。この状況を鑑み、市街地の重点整備地区内の特定道路ではバリアフリー化の整備も急ピッチで進んでいる（図 1）[(2)]。

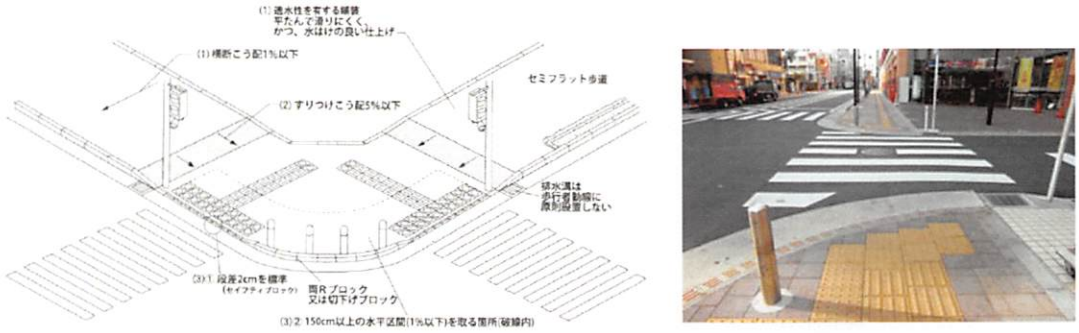


図 1　交差点部の整備例(厚木市)

本研究では、市街地特定道路における車歩道間の段差のバリアフリー化の現状と、バリアフリー化が進展途上のまだ整備の進んでいない特定道路外の車歩道間（車道と歩道間）段差の現状について調査し、実際の段差を模擬したこれらの段差を手動車いすが乗り越える際の特性を実験的に考察し、本報告では後輪ハンドリムを操作し移動する手動車いすに後付けできる段差乗り越え補助装置の一例を提案し、その効果について検討を加えた。

2．研究の必要性及び従来の研究

高齢社会が進む中、高齢者自身の身体機能低下のうち、特に問題視されているのは下肢体機能の低下であり、高さ数 cm 程度の段差が大きな怪我に繋がる。例えば、歩行にあっては下肢の上げ下げの運動機能、反射能力および視力の低下等により、健常者であれば容易にまたげる高さ数 cm の段差が識別できずにつまずき、もう一歩足が咄嗟に踏み出せないことから転倒、手で身体を支えきれずに骨折する事例が後をたたない。骨折したことにより自力では歩行不能あるいは歩くことが不自由となり、自身の移動を補助するために福祉用

具が必要となる場合が多い。その福祉用品としては、杖（つえ）、サポーターやコルセット等の装具および手動車いす順に利用率が高い。

車いすは手動式と電動式に大別できる。手動車いすは、自走用（使用者もしくは介助者の人力で操作するタイプ）と、介助用（介助者の人力で操作するタイプ、使用者が操作することはできない）があり、手動車いすの中でも生産台数が多く主流となっている自走用手動車いすを取り上げる（以下、自走用手動車いすを手動式車いすと記す）。福祉用品の中でも手動式車いすは移動能力に優れており、水平面においては通常の歩行速度（時速4km/h）と同等速度で歩道を移動することが可能である。しかし、歩道設置の点字ブロックなど高さのあるものや、車歩道間の段差などでは移動に時間を要するか困難になる場合がある。健常者には全く問題にはならないような段差でも、バリアフリー化（ここでは物理的なバリアフリー化、段差の解消等を指す）されていない場所では、仮に数cm程度の段差があったために乗り越えられず、手動車いす使用者にとっては介助を必要とするなど、非常に大きな負荷となっている。

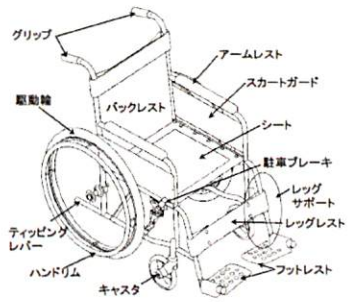


図2 自走式手動車いすの各部名称 (3)

3．期待される効果

市街地重点整備地区特定道路における車歩道間の段差のバリアフリー化の現状と、進展途上の特定道路外の車歩道間（車道と歩道間）段差の現状について調査した（図 3）。調査結果から、これらの模擬段差を手動車いすが乗り越える際の特性を実験的に検討し、車いすに後付けできる段差乗り越え補助装置を提案しその効果と普及が期待される。

(a) 車歩道間の段差の様子　(b) 型取りゲージからの段差スケッチと計測寸法結果

図3　未整備場所における車歩道間の段差例（厚木市旭町 4 丁目付近）

4．研究の経過及び結果

本研究では、前輪（キャスタ）直径 178mm、後輪（駆動輪）直径 600mm（24 インチ）、後輪外側に取り付けられたハンドリムを手で操作して、前進、後進および旋回を行う標準タイプの手動車いす（図 2、JIS T 9201 準拠）を用いた。厚木市内に既存する未整備地区の

段差調査結果（図3）より、段差高さHについてはH＝0～74mmとし、この段差を手動車いすの前後輪が乗り越えるのに必要な駆動力（ハンドリム力）F_1、F_2および平坦路における駆動力 F_d（いずれもピーク値）を、牽引ロープを介して力量計（デジタルフォースゲージ）で測定した。本報告では、使用者の座位姿勢によっても車いす前後輪の路面荷重割合が変化し F_1、F_2 値にも大きな差異が現れることが予想されるので、測定時には正座位（通常姿勢）に加えて、後傾座位（上半身を後方に傾けた体重移動）および前傾座位（上半身を前方に傾けた体重移動）の3パターンの座位についても段差乗り越えを実施した。

正座位、後傾座位および前傾座位の 3 パターンの座位について、前輪および後輪が段差を乗り越える際に必要なハンドリム力F_1、F_2値（5回以上計測し、最大値と最小値を取り除いた値の平均値）を図4に示す。前輪乗り越え時に必要なF_1値は、後傾座位時（図4、◆印）＜ 正座位時（図4、■印）＜ 前傾座位時（図4、▲印）の結果となった。しかし、段差高さ H＝21mm 以上を前輪が超えるためには、いずれの座位でもハンドリムにかけられる使用者腕力の限界値を超えている。後輪に関しては、段差高さ H＝74mm 以下まではハンドリム操作のみでの乗り越えが可能である。しかし、H＝74mm以上では、仮にハンドリムにそれ以上の力（使用者腕力 F＋アシスト力）が確保できたとしても後輪が路面とスリップするか、あるいは使用者自身の足側が持ち上がり、シートとともに仰向け回転して後方転倒する危険がある（後方転倒防止用の追加補助輪が必要）。以上の結果から、手動車いすでは前輪は段差高さH＝21mm、後輪は段差高さH＝74mmが乗り越え可能な限界高さといえるが、この乗り越え可能な限界高さは車輪径と段差高さの相対値で決まるといえる。

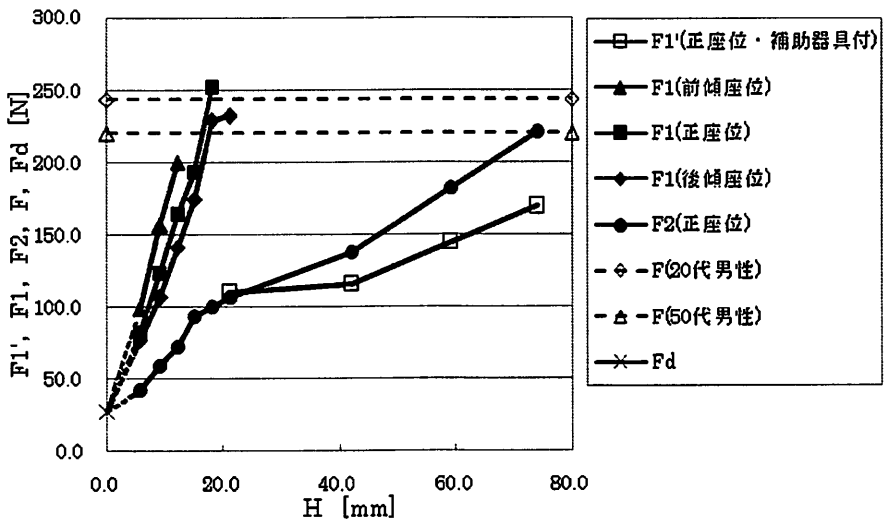


図4 手動車いすの段差乗り越え特性

手動車いすでは、車いすを使用者がウイリー走行（前輪を高く持ち上げたまま走行）状態で段差を難無く乗り越える操作に熟練した方も多く見受けられるが、ここでは車いす後方で付添い人が介助して段差等を超える場合や、単独使用経験のまだ浅い使用初心者を対

象とした補助装置を提案する。前輪が後輪とほぼ同じ径であれば、ハンドリム操作だけで段差を容易に乗り越えることができる（図4）が、前輪は荷重分担しながらも後輪操作による旋回時には進行方向に回転する従走輪としての役割があり、標準的な手動車いすでは前輪（キャスタ）は既成形状となっている。そこで、段差乗り越え時にのみ動作し、あたかも後輪で段差を乗り越えているかの様な、同じ効果を発揮する後輪とほぼ同半径長さの補助装置を前輪側に装着（図5）し、乗り越えに必要なハンドリム力F_1を測定した。その結果、後輪の乗り越え限界の段差高さと同じ H＝74mm まで、ハンドリム操作のみで容易に段差を前輪側から乗り越えることが可能となった（図4、□印）。

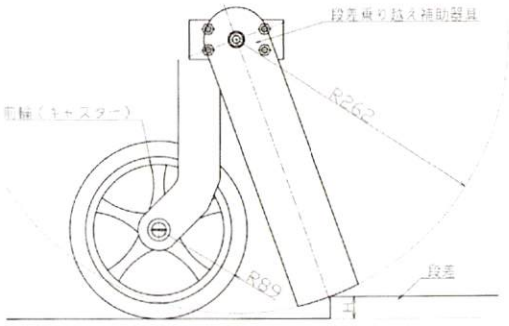


図5 簡易乗り越え補助装置（単位：mm）

図6 けん引式車いす補助装置「JINRIKI」
（写真提供：株式会社 JINRIKI）

5．今後の計画

手動車いすの段差乗り越え時特性を実験的に明らかにし、前輪で乗り越えが不可能であった段差高さも、容易に乗り越えることを可能とした後付け型補助装置を提案し、その有用性を検討した。今後の計画としては、本補助装置の実用面からより利便性（前輪の役割を損ねず、段差を常にとらえやすい位置を保持できる）に優れた構造設計および追加機能を構築する必要がある。

6．研究成果の発表

今回の成果報告は、日本機械学会はじめライフサポート学会のシンポジウムあるいは講演会等で研究成果を発表する予定である。最後に、前輪（キャスタ）が小径であることが起因し、大震災時では倒壊した石垣ブロックなどのガレキ等が障害となり、介助をもってしても手動車いすによる避難は困難を極めた。後輪（駆動輪タイヤ）は大口径ゆえに段差を乗り越えやすく、前輪を浮かばせてけん引避難する補助装置「JINRIKI」（図6、2013年発売）の商品化は、本研究で得られた段差乗り越え特性の結果を裏付けるものといえる。

参考文献

(1) 内閣府　高齢社会白書、平成25年概要版
(2) 厚木市道路の構造の技術的基準等を定める条例の制定に向けた考え方について、平成24年
(3) 自走用手動車いすの安全性を考える、国民生活センター、平成14年10月

ペーパークラフトを利用したストーリーテリング支援システムの研究開発

情報メディア学科　　鈴木浩

1．研究の目的

ストーリーテリングは、思考力や言語力、表現力、コミュニケーション能力などの発達に有益であると考えられ、様々な学校現場で導入されている。また、テクノロジーを利用してストーリーテリングを教育へと導入する研究（伊藤俊廷ら 2009）（朝倉 民枝 2011)も多く実施されている。筆者らは、これまでペーパークラフト工作とデジタル技術を融合させたシャドウロボシステムを開発し、全国の科学館や教育的な施設でワークショップを実施してきた。本システムの現在のゲームシナリオでは、自分の街を守るために戦うロボットを参加者が自由にデザインすることを想定して開発を行っているが、現状では、デザインできる対象がロボットの外装のみとなっている。本研究では、ゲーム上でロボットが戦う対象(敵)キャラクターや、守るべき対象などを自由にデザインし、「ロボットが戦うための理由」を創作するワークショップへと展開することを目的とする。具体的には、3DCGゲームに登場するキャラクターやゲーム画面をプリントスクリーンし、自動編集されたストーリーペーパーを作成し、他人にストーリーと伝えやすい媒体を即座に作成することで、参加者のストーリーテリングを補助することを試みる

2．研究の必要性及び従来の研究

本システムのオリジナリティが高い部分として、コンピュータ操作ができないユーザでも簡単に参加･体験できることがあげられる。従来のペーパークラフトをテーマとした研究では、3 次元モデルからペーパークラフトの展開図を生成するシステムや，ポップアップカードを制作できるシステムなどが開発されている。しかしながら、これらのシステムは，3 次元モデルを利用することで複雑なペーパークラフトの展開図を生成できるが，展開図の元となる 3 次元モデルの制作支援は対象としていない．そのため，コンピュータの操作に慣れていない大人や子ども達が独自のペーパークラフト展開図を制作することは容易ではなかった．本システムでは、無地のロボットの展開図に絵を描き、その描いた絵をデジタルデータに変換し 3 DCG ゲームに転用することで、アナログ工作と情報空間の境界を取払い、だれもが先端のデジタル技術を利用した体験を得ることができる。

3．期待される効果

これまでのシステムでは、体験者をアナログ工作であるペーパークラフトへと導くことができるという機能は実証されたが、システムを利用することによる教育工学的なメリットをはっきりと打ち出すことはできなかった。本システムの体験の流れは、まず、展開図にオリジナルロボットを描き、ゲームを体験し、ペーパークラフトロボットを作成するという流れとなっている。そこで、本研究では、このオリジナルなロボットを想像するという過程に着目し、ロボットの背景を考えるというテーマを基に体験者の考える世界を説明しやすくできるしくみをシステムに加えることで、体験者を思いつきによる一過性の想像

から、思考力や表現力、コミュニケーション力などを育むためのツールとして利用することを考案した。本システムを利用することによって、より教育的なワークショップの展開が期待できる。

４．研究の経過及び結果

本研究では、これまで開発したシャドウロボシステムにストーリーテリングによるワークショップに対応する要素として以下の２つのモジュールの実装を追加･実装した。

１．主人公キャラクター以外の展開図ペイントへの応用

２．ストーリーペーパーの自動生成モジュール

4.1 主人公キャラクター以外の展開図ペイント

これまでのシステムでは、ユーザは、主人公ロボット１体を作成するために A4 サイズ２枚の展開図を作成するのみであったが、本研究により、他に、敵キャラクターとして登場する２体のロボットの展開図と 3DCG ゲームに登場するオブジェクトへの対応を実施した。これに伴い、ロボペーパーに印刷していたバーコードの規格を新たにデザインした。従来のシステムでは code39 のバーコードであればどんな数字でも対応できていたが、今回の実装に伴い、12 桁の数値のみ対応とし、それぞれの頭の桁数により、どの種類の展開図を利用しているかを識別できるように変更した。これにより、ゲームプレイ時のテクスチャの不一致によるエラーが格段と解消された。

4.2 ストーリーペーパーの自動生成モジュールの実装

従来のシステムでは、2 枚のロボペーパーをスキャナによるデータ化し、その画像を 3DCG のテクスチャとして利用するのみであった。本研究では、このシステムの手法を利用しつつ、ストーリーテリングに利用できる「ストーリーペーパー」を自動生成できるモジュールを実装した。ストーリーペーパーの自動生成には、今回新たに追加した他の展開図の画像データやロボットの背景を記入する用紙を利用する。それぞれのペイント部やストーリー記入部を取得し、A4 にして 2 枚の PDF へと自動変換し、ソースデータベースへと格納することが可能となった。

５．今後の計画

本研究では、これまで開発してきた「シャドウロボシステム」をストーリーテリングワークショップに対応させるために、主人公キャラクター以外の展開図ペイントの対応とストーリーペーパー自動生成モジュールを実装した。これらの追加要素と追加モジュールにより、ストーリーテリングに対応したワークショプの実施できると考えている。また、本システムを利用したストーリーテリングワークショップは表 1 のような構成で実施する予定である。本ワークショップの参加人数は 20 名程度、時間は約２時間を想定している。今後は、この計画したワークショップを小学校や科学館などで実施していく予定である。

表1.ストーリーテリングラークショップの流れ

ワークショップの流れ	備考
自己紹介(5分)	
体験者をグループにわける (5分)	
1グループ3名程度で5グループ作成する	
ロボット制作体験(20分)	一人で好きなようロボットをつくるキネクトによるゲームを実施する この体験がシャドウロボのイントロダクションとなる
グループ内発表(5分)	グループごとにロボットの紹介 このときに、WEBの閲覧システムを使う
休憩(10分)	
ストーリーを作成(30分)	グループごとに相談してストーリーを作成 ロボットのデザイン、敵ロボットのデザイン、敵のデザイン 守るべきもののデザイン、何故ロボットは戦うのか？何故守るのか？ 守るべきものは何か？何故、敵は侵略しに来るのか？などシャドウロボの背景やストーリーをみんなで考える。最初のロボット制作体験の発表で聞いた他の子どもの話の特徴がうまく織り交ぜられるようにする。
発表(10分)	グループのメンバーをシャッフル 各グループで作成した設定で体験する このときにグループのストーリーを他のグループに説明する。 ストーリーボードを利用する。
振り返り(10分)	自分たちのチームのどこが良かった？他のチームのどこが良かった？ 感想を聞く
エピソード(10分)	ゲーム制作においても、分業制でストーリーを考える人、絵を描く人、プログラムを作る人、面白さを伝える人など、別れていることを説明する。ゲームエンジン、スキャナ、キネクトなど今回利用したテクノロジーについて説明する。
自宅での振り返り	展開図は、自宅に帰ったあとにワークショップを思い出すツールとなる。またポータルサイトにより、展開図をいつでも印刷できるようにアーカイブする。

6．研究成果の発表

シャドウロボシステムはH25年度においても様々な教育的な施設でワークショップを実施している。また、昨年度のアメリカ合衆国のアナハイムで実施されたSiggraph2013では、優れたモノづくり系のシステムを展示発表するStudioに招致され、5日間の展示を実施した。以下に昨年度の研究成果の発表をまとめる。

2013年7月　SIGGRAPH2013 Studio　展示出展
2013年8月　ナレッジキャピタル大阪×CANVAS　ワークショップフェス実施
2014年2月　東芝未来科学館オープニングイベント　ワークショップ実施
2014年3月　福島県こむこむ館　キッズワークショップカーニバル　ワークショップ実施

国際会議及び、学会発表
2013年7月　SIGGRAPH2013 Studio Talk 発表
2014年1月　情報処理学会　第6回DCC研究会　発表

次世代情報ネットワーク性能評価のための数値計算アルゴリズムに関する研究

情報ネットワーク・コミュニケーション学科　　井家　敦

1．研究の目的

近年の複雑化した情報ネットワークシステムにおける性能評価の多くはシミュレーションにより行われているのが実情である。ただし、シミュレーションを行うにも確率や統計に関する知識が必要である。またモデルの妥当性や乱数による誤差などを適切に考慮しないと、正しいシミュレーション結果が得られないことがある。本研究では、特に情報ネットワークシステムをモデル化する上で有効な手法であるレベル依存型準出生死滅過程の効率的な数値計算アルゴリズムの開発を行う。

2．研究の必要性および従来の研究

本研究では、「呼の途中退去のある待ち行列システム」に関する包括的な解法の発見を目標とする。「呼の途中退去のある待ち行列システム」はインターネットにおけるスイッチング・ルータや大規模コールセンター、さらにはマルチメディア通信における受信側の再生バッファなどモデル化に有用であることが知られている。しかしながら、「呼の途中退去のある待ち行列システム」において、呼の途中退去の頻度はシステム内の呼数に依存するため、これまでの単純な待ち行列モデルで表現出来ないことが知られている。

近年、上記のような状態依存の待ち行列を表現するために、レベル依存型準出生死滅過程（Level Dependent Quasi-Birth-and-Death process: LDQBD）を用いることが有効な手段の１つであると注目されている。しかしながら、LDQBD は、構造が非常に複雑であり、その定常分布（システムの状態確率）を解析的に得ることは困難である。ゆえに、多くの応用では、アルゴリズムを用いた数値計算が行われる。特に、近年のコンピュータの高速化や大容量化により、比較的大規模なモデルに対しても数値計算が可能となった。

LDQBDにおける定常分布の数値計算に関しては1990年頃から研究が進められ、現在までにいくつかのアルゴリズムが提案されている。近年発表されたアルゴリズムとして、Phung-Duc et al., *Proc. QTNA* (2010)やBaumann and Sandmann, *Procedia Computer Science* (2010)等が挙げられる。

しかしながら、これらのアルゴリズムで実際に数値計算を行う際には、あらかじめレベルの打ち切り点として有限値を決める必要がある。しかしながら、LDQBDを用いて表現される多くの待ち行列システムにおいては、待ちスペース数が十分大きい、すなわち無限であることを仮定していることが多く、その有限値の決め方が大きな問題となる。既存のアルゴリズムでは、その打ち切り点をアルゴリズムの利用者側が経験的に決めるしかないため、その計算精度の保証を示すことが難しい。打ち切り点の難しさは、例えば、Sakuma and Miyazawa, Journal of Applied Probability (2005)では、厳密な評価量が計算可能である簡

単な待ち行列モデルに対し、数値計算の際にレベルの打ち切り点として十分に大きい値をとったとしても、厳密な評価量とは大きく異なってしまうことを示しており、単純に経験的に決めることが適切とは言えないことを指摘している。

我々は平成22年度より本研究を実施してきたが、数値計算アルゴリズムの繰り返し処理に対し、打ち切り方次第で評価量が大きく変わることがわかった。ゆえに現在は打ち切り手法について検討している最中にある。

さらに近年のコンピュータのマルチコア化に対応した新たなアルゴリズムの並列化手法についても検討していく必要がある。上述したアルゴリズムの多くは、その手順の中に、「行列積」や「掃き出し法」と言った線形代数学の基本計算が含まれており、近年それらの多くを並列計算で効率的に解くための手法が提案されている。ただ、実際に待ち行列モデルの数値計算において並列計算技術を活用したアルゴリズムの提案は、我々が調べた限りまだほとんど研究がされていないのが現状である。

3．期待される効果

本研究で扱う「途中退去のある待ち行列システム」の研究は解析が非常に困難であったということもあり、これまでにほとんど成果が得られていなかった。しかしながら、このモデルは情報ネットワークシステムのみならず、サプライチェーン・マネジメントや道路交通モデルなどにも活用できるため、成果次第では多分野の研究について進展が望まれる。

また、インターネットトラフィックの大容量化および多様化は、今後もユーザに対する通信品質に影響を与えることは必至である。特に、動画配信によるトラフィックはインターネット資源の多くを消費していることが知られている。今後、8K 等の高精細メディアをインターネット経由で配信することを考えると、それらの利用者側やシステム側の性能を効率的に評価するモデルを提案することはネットワーク分野での大きな貢献と言える。

4．研究の経過及び結果

本研究は、昨年度末より開始しており、課題と密接に関連する「待ち行列・通信トラフィック理論」における論文調査等はある程度進んでいる。また、先駆けとなる「途中退去のある待ち行列システムの漸近解析」に関する研究の数学的解析および数字実験による検討も進んでいる。具体的には、「途中退去のある待ち行列システム」を計算する際に、障害となる数値積分を簡単な計算式に置き換えることで大きく計算量を減少させることができた。その結果を、2010年7月に開催された待ち行列理論分野の国際会議（5th International Conference on Queueing Theory and Network Applications 2010）にて発表を行った。さらに上記の結果は、システム評価関連の論文誌（Journal of Industrial and Management Optimization）に投稿し採択を得ている。この結果に対して、レベル依存型準出生死滅過程（Level Dependent Quasi-Birth-and-Death process: LDQBD）へのモデルの一般化を行い、そのアルゴリズムの有効性を評価した。その結果を2012年8月に開催された待ち行列

理論分野の国際会議（7th International Conference on Queueing Theory and Network Applications 2012）にて発表を行った。この結果はまた、2012年9月に開催された、オペレーションズ・リサーチ学会の秋季大会でも発表済みである。

さらに、「サーバの休暇中に途中退去が発生する待ち行列」における数値計算アルゴリズムの検討も進んでおり、2011 年 8 月に開催された待ち行列分野の国際会議（6th International Conference on Queueing Theory and Network Applications 2011）にて発表を行った。さらに、数値計算アルゴリズムの構造から待ち行列システムの特性を解析的に導出することにも成功し、その結果をオペレーションズ・リサーチ分野の国際論文誌に投稿中である。さらにこの結果は2011年9月に開催されたオペレーションズ・リサーチ学会の秋季大会でも発表済みである。この結果は、オペレーションズ・リサーチ関連の論文誌（Operations Research Letters）に投稿し採択を得ている。

一方で「途中退去のある並列待ち行列」を始めとした「待ち行列ネットワーク」に関する研究も進めている。並列待ち行列は1つのサーバに対して待ち行列が複数存在するシステムであり、単純な待ち行列と比較して解析する際に考慮しなければならない状態数が非常に多くなることが知られており、一般的なシステムの解析は困難である。ゆえに、本研究では既存研究から着想を得た近似モデルを提案し、その数値計算アルゴリズムを導出した。さらに数値計算結果とシミュレーション実験との比較から特性を観測した。この結果は、2012年9月に開催されたオペレーションズ・リサーチ学会の秋季大会で発表を行った。さらに、この結果は現在オペレーションズ・リサーチ分野の国際論文誌に投稿中である。

提案した待ち行列モデルの情報ネットワーク分野への適用も合わせて進めており、最近、インターネットの誤り制御による通信品質保証に関する評価モデルを提案し、その特性を解析した。その結果は、ネットワーク分野の論文誌（International Journal of Communication Systems）に投稿し、採択を受けた[1]。また、IEEE802.16などに代表される無線通信で利用されるポーリングシステムに適用できるモデルも検討しており、2014年度 9 月のオペレーションズ・リサーチ学会の秋季大会での発表に向けて準備を進めている。

5．今後の計画

平成25年度はLDQBDのアルゴリズムの精度に対する検討を実施してきたが、まだまだ研究の余地が残っており、来年度も引き続き検討していくこととする。さらに、シミュレーションを組み合わせた手法の提案も実施していくことにする。

6．研究成果の発表

平成25年4月以降、現時点までに発表・公開された研究成果は以下のとおりである。

[1] **Atsushi Inoie**, ``Audio Quality in Lossy Networks for Media-Specific FEC Schemes,'' *International Journal of Communication Systems*, vol. 27, issue. 2, pp. 289-302, 2014.

データフュージョンにもとづく知識発見システム開発とその応用

神奈川工科大学　情報学部　情報工学科 松本 一教

1．研究の目的

ストレージ技術の急速な発達に伴い，コンピュータ上に膨大なデータが収集され格納されるようになった．最近ではこれらをビッグデータとよび，様々な観点からの応用が期待されるようになっている．一般に，ビッグデータそのものは目的を定めずに大量収集された生データに過ぎず，そのままでは利用価値が低い．そこでデータに潜む有効な知識を抽出するデータマイングやデータ工学技術への期待が高まっており，多くの成果が得られている．しかし，データマイニングに関する多くの研究では，所定の形式に整えられた単一ソースのデータが既に準備されていることを仮定している．目的や形式を定めずに複数ソースに散在するデータから，このような単一ソースとしてのデータを構築するデータ融合(data fusion)技術の研究が不足している．本申請の研究では，図１に概念図を示すように，データ融合技術を実用化することにより，分散したビッグデータに対して単一ソースのデータを構築し，有効なデータマイニングを実現することを目的としている．

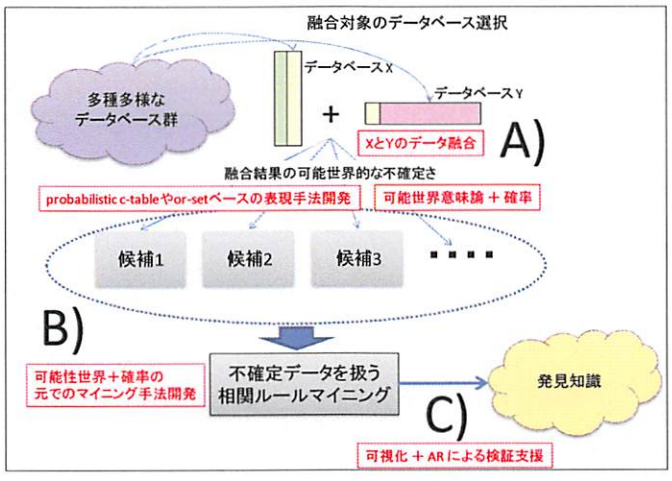


図１.　本研究の全体構成イメージ

2．研究の必要性及び従来の研究

前章の図 1 に示したように，複数ソースのデータを融合して単一ソースのデータを得ることが第一の目標である．これを実現するための従来手法の本質は，2 つのリレーショナルデータベース R_1 の項目集合 α とデータベース R_2 の項目集合 α'を同一視することにより，これら 2 つのデータベースを通常のジョイン(join)演算により結合可能と見なすことである．このため，データ上の類似度を定義し最も類似性の高い α と α'を見出すことが必要となる．

そのための最適な類似度を見出す手法が従来手法においての核心的な技術となっている．しかし，そのような従来方法では見出された類似度の元で最適なもの以外も候補となる可能性を無視するという問題点がある．データマイニングをデータから可能性がある全ての可能性を見出すという目的の元で適用する場合には，従来手法の限界は明らかである．

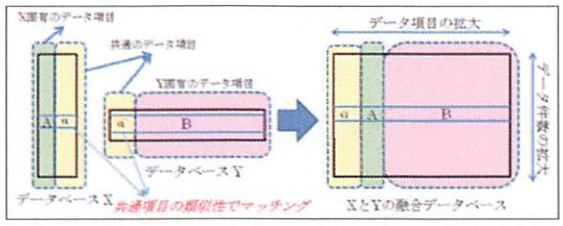


図 2.　従来手法によるデータ融合の一例

そこで本研究では，データ融合により獲得される単一データベースには複数の可能性があり，その全てを表現できる技術が必要であるという立場を採用する．この立場により，まずは同時に複数の可能性を持つデータベースを一意的に表現できるデータ表現技術を開発する．その表現技術を前提として，従来のデータマイニング技術を拡張する．

3．期待される効果

本研究の成果により，複数のデータベースに分散するデータを総合（データ融合）して単一のビッグデータのデータベースとして利用する場合に，あらゆるデータ融合の可能性を同時に処理対象とすることが可能となる．従来の手法では，ある外部的な基準の元で最も可能性が高い場合のみを処理対象としていたため，他の可能性も考慮した処理は不可能であった．構築したデータベースへのデータマイニングを適用する際には，本研究で構築したデータベースを用いることにより，獲得される知識の品質が向上することになる．

4．研究の経過及び結果

4.1　データ表現形式の開発とデータ融合処理

データベース中のデータが複数の値のうちのいずれかであるという可能性を表現するためのデータ表現技術を開発した．表 1 に最も単純な例を示すが，データ項目（カラム）BirthPlace において，括弧< >で囲まれたデータがその要素のいずれかである可能性を示す表現形式である．この表現形式はいずれのデータ項目に出現しても良いため，データ項目数に対し，指数関数的に存在する可能世界表現となっている．

表 1.　複数可能性の同時表現形式

Category	Major	BirthPlace	GPA
M.A.	science	<Japan, China, Korea>	Excellent
M.A.	science	<Japan, China, Korea>	Average
junior	art	Japan	Excellent
junior	art	<X, Y, Z>	Average

このデータ表現形式上に様々なデータ演算ができる体系を構築する．リレーショナルデータベースの基本的な演算体系を実現することで，従来のデータベースと同様な複数データ源を用いての操作が可能となる．

4.2 データマイニング技術の開発

データマイニング技術はデータベース中から知識を抽出する技術であるが，抽出する知識のタイプに応じて様々な手法が開発されている．本研究ではその中でも相関ルールと呼ばれる知識抽出に焦点を絞る．相関ルールをデータマイニングにより抽出する技術としては，Apriori アルゴリズムやその改良アルゴリズムに基づく手法が大部分を占める．本研究では，これらのアルゴリズムを上記 4.1 で開発した可能世界のデータ表現形式上に展開する技術を開発した．以下にその概要を説明する．

Apriori アルゴリズムは，(1) トランザクションデータベースの構築; (2) 頻出パターン集合の枚挙; (3) 頻出アイテム集合から相関ルール集合への変換，という主なタスクから構成されている．これらの全てのタスクを可能世界データ形式を処理できるように拡張した．開発したデータマイニングアルゴリズムは，処理対象が通常のデータベースよりも増大しているため高速化が必須となる．

すなわち，データベース中の異なるデータ数を m 個とするとき，$\sum_{k=1}^{m}\binom{m}{k}$ 個程度の頻出パターン集合の枚挙とテストが必要となる．即ちデータの異なり数に対して指数関数的に計算時間が増大することとなる．この解決のために，類似データを一般化データ (generalized data) へと抽象化することでデータ数を削減する方式を開発した．

4.4 評価システム構築による実験

開発した技術の評価を行うためのシステム化を行った．構築した部分は上記で説明したデータ表現形式を含むデータベースの処理部分，拡張されたデータベース上で相関ルールのデータマイニングを実現する部分等である．評価実験を行うために，センサーデータを含む人間の嗜好データを実際に構築して用いた．従来手法によるデータ融合を行った後に相関ルールマイニングを適用する場合と，本手法を直接適用する場合との比較を行い，本手法ではデータ融合の際に可能性全体を同時に維持するようにしているために，抽出される相関ルールの品質が向上することが確認できた．ただし処理時間に関しては，今期に組み込んだ高速化手法では十分ではなく，さらなる研究開発が必要なことも判明した．

5．今後の計画

本研究の今年度の成果により，データマイニングに必要なデータが分散している場合に，多様な可能性を維持したまま処理を実行することが可能となった．ビッグデータにおいては，まさに必要データが統一されておらず分散する状況のため，本研究での成果が有効活

用できると期待できる．開発した手法はデータ項目数に対して指数関数的に増大する可能性を対象とするため，処理の高速化が重要である．今期で実現した方法だけではなく（図3中の解決策①），さらに他の高速化手法も実現して実用的な処理性能を得ることが今後の課題となっている（図3中の解決策②および③）．これらを組み込んだシステム化を行い，総合的な性能についての評価を行う予定である．

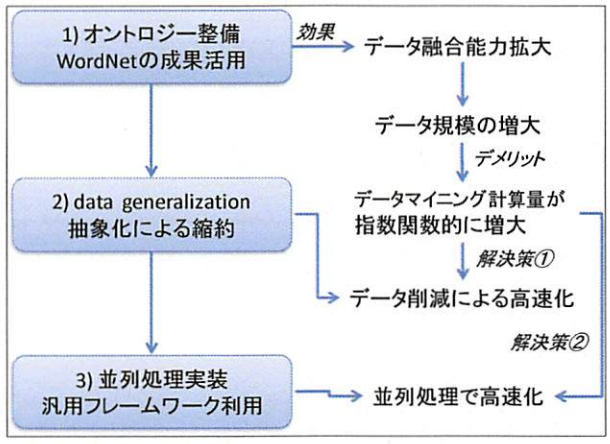


図3.　高速化のための今後の予定概要

6．研究成果の発表

【口頭発表論文：2件】

① 植田 智明，杉村 博，松本 一教，一色 正男，センサーデータからの人間の行動推定，第28回 人工知能学会 全国大会論文，2013年6月．

② 植田 智明，杉村 博，松本 一教，スマートフォンによる行動推定を用いるライフログシステム設計，電気学会 情報システム研究会，2013年6月．

【国際学会発表論文：2件】

① Tomoaki UEDA, Hiroshi SUGIMURA, Tetsuo TANAKA, and Kazunori MATSUMOTO, Estimating Degree of Concentration through Activity Recognition: use in a Classroom with SNS, Proc. of the Second Asian Conference on Information Systems, Phuket, 2013.

② Building Open HEMS Lifelog over Social Networking Service with Sensor Data, Madrid，2014.

研　究　課　題　名：　竹繊維強化積層材料の開発
－積層板の曲げ破壊強度と接着層厚さ－

研究者名：所属学科　自動車システム開発工学科　　氏名　宇田　和史

1．研究の目的

天然の繊維強化材料である竹の力学的特性を明らかにして竹繊維強化積層材料を開発し、住宅建築構造物や小負荷の構造物への活用を図る。今回は開発の第二段階として、積層板の曲げ破壊強度と単板を接着する際の適切な接着層厚さとの関係を実験的に明らかにする。

＜当初予定の通りに進めていたが、接着層厚さを多くするに伴って接着時の板のずれや接着層への気泡の混入と層内の局所的収縮が予想外に多く、この状態で曲げ試験を行うと破壊強度のバラツキが大きい。そのため成果を得ることが困難と判断して、この課題を再考することとした。

そこで、急遽、前年度（24 年度）成果報告書　第 5 節　今後の計画の第 1 項に記載した「繊維配向角度の範囲を拡大して積層し、静的曲げ特性の全容を明らかにする。」に変更して進めた。＞

新たな目的：竹繊維強化積層板の材料設計の可能性を検討するために、繊維配向角をこれまでの 3 種類よりも細分して 7 種類に設定し、かつカップリング効果低減のために逆対称積層として、繊維配向角の広範囲における静曲げ特性を実験的に検討する。（悪しからずご了承下さい。）

新題名：竹繊維強化積層材料の開発－静的材料特性と竹繊維配向角の関係－

2．研究の必要性及び従来の研究

●研究の必要性：効率的な材料設計を行うためには、設計者が必要とする積層構成、即ち、積層数(N)と繊維配向角(θ_f)を与えることによって、その構成の剛性と強度を Table として得ることが必要である。

●従来の研究：これまでに見当たらなかった竹繊維強化材料の開発を、繊維配向角(θ_f)の狭い範囲であったものの当研究者が初めて行って、少なくともアルミニウム材料よりも比剛性が高いことを明らかにした。しかしながら、まだθ_fの狭い範囲であったため材料設計の目処が立っていなかった。

3．期待される効果

（1）加工時のエネルギが少量である竹は、大気汚染、温暖化等々の自然破壊因子が極めて少ない。

（2）竹は耐用後に大自然へ戻るため、土の肥料になり自然破壊因子は零である。

（3）竹の比強度および比剛性が金属や FRP 材よりも大きいことが期待出来、よって軽量化が期待出来る。

（4）この様な竹繊維強化積層板を用いれば、住宅建築部材としても活用出来る。

4．研究の経過及び結果

●研究の経過：竹繊維強化積層板を竹の挽き板を用いて加工し、繊維配向角 θ_f をこれまでの 0°、45°、90° の 3 種類よりも細分して、0°、15°、30°、45°、60°、75°、90° と、15° 間隔で 7 種類に設定した。そして、単板およびカップリング効果低減のために積層数 N=2、3、4 とする逆対称積層板として、前年度と同様に片持ち曲げおよび三点曲げ実験により、静的曲げ特性を求めた。

●研究の結果：竹の単板および積層板の静的曲げ特性を実験的に検討した．主たる結果は以下の通りである．

(1) 竹の単板及び積層板の強度・剛性を，θ_f = 0°から 90°までの広範囲に亘ってより詳細に明らかにした。

(2) 積層板の剛性は、それを構成する単板がもつ特性の影響を受けることが分かった。

(3) これらの結果を Table として提示することが出来た。従って、竹繊維強化積層材料について、繊維配向角 θ_f および積層数 N を与えるとその条件における剛性値を得ることが出来るため、材料設計が可能と考えられる。

(4) 上記の結果を、PBL 教育に適用して超小型電気自動車 pico-EV の開発に適用した。

5．今後の計画

竹繊維強化積層板の衝撃曲げ実験を行って衝撃力吸収特性を明らかにして、ガードレールや自動車用バンパーへの適用性を検討するため、現在実験を進めている。

6．研究成果の発表

(1) Kazufumi UDA, " Static Bending Characteristics of Bamboo Fiber Laminated Plates", Proceedings of 8th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics (8th ISEM2013-Sendai), CD-ROM, Sendai City War Reconstruction Memorial Hall, Sendai, Japan, November 3-6, 2013.

(2) Kazufumi UDA and Yoshihiko TAKAHASHI, "Trail Production of Ultra-Lightweight and Small EV: pico-EV using Bamboo Fiber Laminated Plates", Proceedings of 8th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics (8th SEM2013-Sendai), CD-ROM, Sendai City War Reconstruction Memorial Hall, Sendai, Japan, November 3-6, 2013.

(3) 宇田和史, "竹繊維積層板の静的曲げ特性に関する基礎研究", 設計工学, Vol. 49, No. 2, pp. 44 - 49, 2014.

(4) 宇田和史, ダンクァンハイ, "竹の繊維・単板および積層板の静的材料特性", 日本材料学会第 63 期学術講演会, pp.277-2787, 福岡大学, 2014 年 5 月.

(5) 宇田和史、高橋良彦、"竹繊維強化積層板を用いた PBL 教育における pico-EV の設計・製作"、P1P2-A05、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会ロボメック 2014 in 富山、富山市総合体育館、2014 年 5 月.

上記の（1）～（5）の印刷物を添付します。ご査収下さい。

以上

金融危機時における包括的金融市場規制要領の確立

研究者名：情報工学科　　八木　勲

1．研究の目的

現実の金融市場では，金融バブル発生崩壊等よりその動きが不安定になると金融当局によってさまざまな市場規制が行われる．例えば，リーマンショックの際は，それ以上の株価暴落を防ぐために空売り規制が発動された．しかし，これらの市場規制が金融市場の安定化にどのくらい良い影響を与えているのかどうかは不明である．なぜならば，市場規制を発動した時期と前後して，市場にインパクトを与える出来事が発生しているかもしれず，そちらの作用が市場安定化に貢献しているかもしれないからである．さらに，このように顕在化した出来事であれば，その影響力を差し引いて影響度を分析することも可能であるが，潜在化した出来事であれば事実上分析不可能である．

このような問題を解決する方法として，人工市場シミュレーションを用いた分析法が注目されている．人工市場とは計算機上に仮想的に構築された金融市場のことをいう．人工市場では，エージェントと呼ばれるプログラムが，それぞれのルールに従って自律的に投資活動を行い，その結果市場内の取引が継続されていく．この人工市場に検証対象としたい市場規制を実装すれば，その規制のみが市場に与える影響を分析できるようになる．

昨年までに，同じ目的で利用される市場規制の影響力に違いはあるのか，を分析するために，さまざまな市場規制を同じ条件の下で発動させることができる「市場規制検証システム」の構築を試みた．

そこで，本年度は，人工市場を用いて主要な市場規制を自由に組み合わせた統合型市場規制が市場に与える影響を分析する「包括的市場規制検証システム」を開発し，個々の市場規制では対応不可能な市場も安定化できるような，包括的市場規制要領を提案することを試みた．

2．研究の必要性及び従来の研究

これまでに市場規制が金融市場に与える影響に関する研究は行われてきたが，個々の市場規制がどの程度影響力があるか分析しているにとどまっており，同じ目的で利用される規制の影響力の比較までは行われていなかった．さらに，市場内部メカニズム（投資家の具体的な売買行動）を考慮した市場規制の影響分析も行われていない．

よって昨年度に，個々の市場規制が市場にどれくらい影響を与えるのか，同じ目的で利用される市場規制の影響力に違いはあるのか，を市場内部メカニズムを考慮して分析することを目的とした「市場規制検証システム」を構築した．

しかし，複数の市場規制を組み合わせることで，これまで以上に市場安定化に効果をもたらす方策があるかもしれないため，人工市場を用いて主要な市場規制を自由に組み合わせた統合型市場規制が市場に与える影響を分析する「包括的市場規制検証システム」を開発し，そのシミュレーションを行うことも重要である．

一方で現実市場にそぐわないシステムでは実験する意味がないため，Stylized facts と呼ばれる現実市場で発生する特性を満たすよう人工市場を調整する必要がある．そこで，システム構築には金融実務家の意見をシステムに反映させることで，Stylized facts を満たすような現実に近いシステムの構築を試みている．

3．期待される効果

市場規制検証システムが構築でき，それぞれの市場規制の特徴が把握できれば，金融当局の政策意思決定に役立ち，暴落等による健全な投資家の資産喪失を防ぐことが可能となる．また，金融実務家から，市場規制発動時の投資家の挙動を分析することで，機関投資家の意思決定の一助になると期待されている．

4．研究の経過及び結果

昨年度は，主要な市場規制の一部（空売り規制，アップティック規制，値幅制限）が市場に与える本質的な影響を分析する「市場規制検証システム」を完成させることができたが，本システムは投資家を表すモデルが簡素化されており，現実市場の投資家の振る舞いを妥当に表しているとは言い難かった．また，金融実務家と相談した結果，複数の市場規制を組み合わせても劇的な効果は期待できないかもしれないという結論に至ったため，「包括的市場規制検証システム」を構築する前に，前システムの改良を行った．そして「市場規制検証システム」をより現実的な人工市場へと改良することに成功した．

改良点は以下のとおりである．昨年度までのシステムでは，投資家エージェントに取引価格のトレンドに順行した売買を行う要素は含まれていたが，トレンドに逆行して売買を行う要素が反映されていなかった．しかし現実世界には，トレンドに逆行した売買を行う投資家は少なからず存在するため，それらを反映させるべきだと判断した．これを考慮して人工市場を構築したところ，Stylized facts を満たす結果を得ることができた．本研究では取引価格の様子を観察することが主な作業になるため，数ある Stylized facts の中から取引価格に関する Stylized facts（3 つ）を検証対象とした．以下にその 3 つを記す．

1．取引価格の騰落率の分布の尖度が正であること．
2．取引価格の騰落率の自己相関が 0 に収束すること．
3．取引価格の騰落率の 2 乗の自己相関が正であること．

５．今後の計画

上述のように，今年度は「市場規制検証システム」の精度向上を中心に研究を進めた．「包括的市場規制検証システム」は「市場規制検証システム」の精度向上を行った後，時間にゆとりがあれば構築することにしたが，前者にかなり時間を要したため，後者にとりかかることができなかった．本研究は今年度で終わるが，今後時間にゆとりがあれば「包括的市場規制検証システム」にも取り組む予定である．

６．研究成果の発表

- 内藤 大輔，八木 勲: “信用取引を考慮した人工市場の構築,” 第 76 回情報処理学会全国大会予稿集, pp. 2.431--2.432, (2014-3).

マッシュ状芋食品の力学的特性と嚥下特性に及ぼす油脂添加の影響

栄養生命科学科　　氏名　高橋　智子

１．研究の目的

近年、エネルギー補給と口中のまとまり感を向上させる目的で高齢者のための介護食に油脂類を添加する試みが行われている。このような状況をうけ、口中のまとまり感を付与する目的でペースト状の介護食に添加する市販の固形脂も発売されるようになった。そこで、本研究では、マッシュ状の芋類（さつま芋、じゃが芋）に融点の異なる油脂類を添加し、その力学的特性と食べやすさについて、油脂類を添加していない基本のマッシュ状芋試料と比較する。

２．研究の必要性及び従来の研究

口腔から咽頭に送り込まれる際にマッシュ状芋試料の表面摩擦特性が食べやすさに大きく影響していると考えられる。そこで本研究では、これまでの力学的特性の測定に加え、試料の水平方向の抵抗力、すなわち摩擦特性の測定を加えることとした。これらの力学的特性がマッシュポテト試料の食べやすさへ与える影響について検討する。

３．期待される効果

高齢者の嗜好性が高く、食物繊維が豊富であるため腸の蠕動運動が促進し、栄養価も高い芋類に油脂類を添加することで、食べやすく、さらにエネルギー量の確保にもつながると考えられる。調理現場では、管理栄養士や調理員のこれまでの経験に基づいた‘感’による介護食の調製が主であった。しかし、これらの感による食事調製を脱却し、根拠ある理論に基づいた調製方法を確立する必要があると考える。本研究で得られた結果を報告することで、在宅、あるいは高齢者施設における食べやすいマッシュ状芋食品を調製するうえでの一考察になると考える。

４．研究の経過及び結果

(1)　マッシュポテト試料

乾燥ポテトフレーク（ディハイスタンダードポテトフレーク：米国ポテト協会）に対して３倍量の温水（75℃）を添加し、手動（ガラス棒）で60回／分で１分撹拌し、20℃の恒温器に60分間静置した後、蒸発した水分を補正し、さらにガラス棒で60回／分で１分撹拌し、調製した。ただし、できあがりの基準マッシュポテトの0.2%に相当する食塩を溶解させた食塩水を温水とした。この基準マッシュポテトに、副材料として、液状油Ｏ、固形脂Ｆ、固形脂Ｓの３種の油脂、対照として水をできあがりのマッシュポテト試料の10%（w/w）にあたる量を添加（試料温度 20.5±0.5℃）し、手動で60回/分で２分撹拌し、20℃の恒温器で60分静置し、マッシュポテト試料を調製した（試料温度20.2±0.4℃）。以下、水添加試料をPW、液状油Ｏ添加試料をPO、固形脂Ｆ添加試料をPF、固形脂Ｓ添加試料を

PS と称す。

(2) マッシュポテト試料のテクスチャー特性

各試料のテクスチャー特性を Table 1 に示した。

Table 1 Texture properties of the samples

samples	Adhessiveness ($\times 10^3 J/m^3$)	Cohessiveness
PW	6.58 ± 0.66 [a]	0.59 ± 0.02 [a]
PO	5.24 ± 0.79 [b]	0.57 ± 0.02 [a]
PF	6.03 ± 0.46 [ab]	0.63 ± 0.04 [b]
PS	6.66 ± 0.94 [a]	0.65 ± 0.04 [ab]

The value represents mean value ± standard deviation a,b: in this column, the different alphabets have significant from one another at a risk rate of 5%or below, n=12

表には示していないが、テクスチャー特性の硬さはいずれの試料間でも有意な差は認められず、ほぼ $3.00\times10^4 N/m^2$ の値を示した。付着性は液体添加試料間で、PO が PW に比べて有意に低値を示した。油脂添加試料間で、PO が PS に比べて、有意に低値を示した。凝集性は、油脂添加試料間では、PO が固体添加試料（PF と PS）に比べて、有意に低値を示した。

(3) バネ緩和法による降伏応力

測定より得られたバネ緩和記録曲線（Fig. 1）の測定開始 120 秒後の残存指度 θ_R から各試料の降伏応力を算出した。降伏応力は液体添加試料（PW と PO）が固体添加試料（PF と PS）に比べて、有意に低値となり、二極化の傾向を示した。

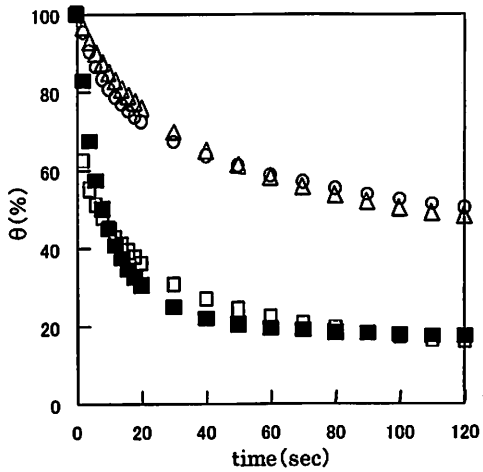


Fig.1 θ−t plots by the spring relaxation method of the samples
■:PW: □:PO ○:PF △:PS

(4) 水平方向の抵抗力

水平方向の抵抗力の測定には、クリープメータ 2 軸物性試験システム（RE-33005B（XZ）；株式会社山電製）を使用した。測定は、20℃にしたマッシュポテト試料を測定用容器（縦 50mm×横 100mm×厚さ 5mm）に約 30g を平らになるように充填した状態で行った。測定条件

は、プランジャー接触面積 200mm² (縦 20mm×横 10mm)、垂直荷重 (負荷力) 0.1N、摺動距離 10mm、摺動速度 1.0mm/sec とし、抵抗力－摺動距離記録曲線を得た。得られた抵抗力－摺動距離記録曲線から、初期抵抗力F_0と平均抵抗力F_∞を求めた。初期抵抗力F_0は試験開始から最初にみられたピーク点とし、ピーク点が明確に認められない場合は試験開始から曲線の傾きが変化する変曲点とした。また、平均抵抗力F_∞は、波形が落ち着いた摺動距離 2mm から 8mm まで検出された平均値とした。

Fig. 2 にマッシュポテト試料の代表的な水平方向の抵抗力と摺動距離の関係を示した。抵抗力－摺動距離記録曲線のパターンは PW と油脂添加試料で異なる傾向を示した。すなわち、水平方向の抵抗力と摺動距離の関係から、PW では、試験開始から抵抗力は急激に増加したが、約 1.0mm 移動したところで変曲点 (初期抵抗力) がみられ、その後の抵抗力は緩慢に上昇する傾向を示した。一方、油脂添加試料では PM と PS では約 0.6mm、PO では 0.2mm 移動したところで、初期抵抗力と推測できるピーク点が認められ、ピーク点を過ぎると一旦抵抗力が減少し、その後の抵抗力の変化は小であった。

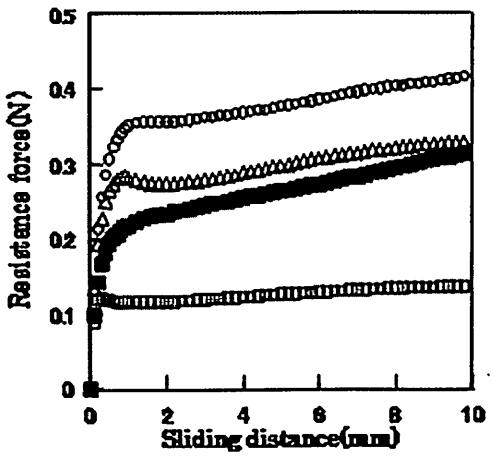


Fig. 2 Resistance force – sliding distance of the samples
■:PW: □:PO ○:PF △:PS

(5) 官能評価

マッシュポテト試料について官能評価を行った。官能評価は、シェッフェの一対比較法 (芳賀変法) により、両極 7 点評点法を用い、パネルは訓練された本学食物学科学生のべ 36 名で行った。官能評価における試料の一口量は 2 g とした。試料の提示温度は 20℃とし、室温 22～23℃の個室法により評価を行った。評価項目はかたさ (非常にかたい：-3 ←→ +3：非常にやわらかい)、舌ざわり (非常にざらつく：-3 ←→ +3：非常になめらかである)、べたつき感 (非常に多い：-3 ←→+3：非常に少ない)、残留感 (非常に多い -3 ←→ +3：非常に少ない)、飲み込みやすさ (非常に飲み込みにくい -3 ←→ +3：非常に飲み込みやすい)、総合評価 (好ましくない：-3 ←→ +3：好ましい) の 6 項目とした。

Fig.3 に各評価項目の主効果の F 値とともに官能評価結果を示した。かたさは、テクスチャー特性の硬さをほぼ等しくしたにも関わらず、PW が油脂添加試料に比べて、有意にやわらかいと評価された。この理由として、PW に添加した水の量が油脂添加試料に比べて多いこと、また、圧縮によるテクスチャー特性の硬さとは別の力学的特性が飲み込みやすさに影響していることが考えられる。べたつき感と残留感は、液体添加試料（PW と PO）が固体添加試料（PF と PS）に比べて、べたつき感と残留感がともに少ないと評価され、二極化の傾向を示した。また飲み込みやすさに有意差は認められなかったが、液体添加試料（PW と PO）が固体添加試料（PF と PS）に比べて、飲み込みやすいと評価され、二極化の傾向を示した。総合評価（おいしさ）は、PO が固体添加試料（PF と PS）に比べて、有意に好ましいと評価された。

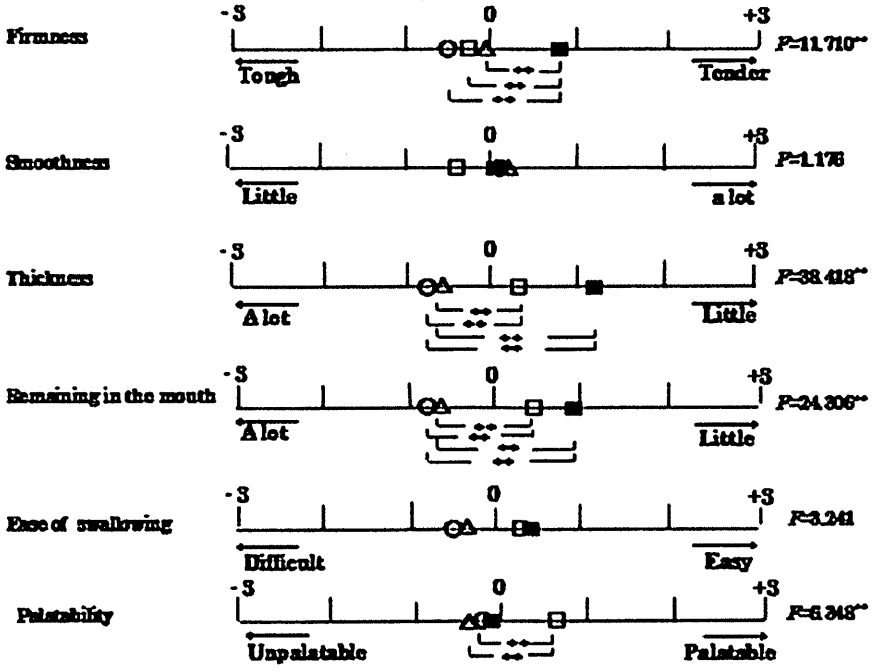


Fig. 3 Results of sensory evaluation
■:PW□:PO ○:PF △:PS
*Significant at p<0.05,** Significant at p<0.01,n=26

5．まとめ

官能評価の結果、液体添加試料（PW と PO）が固体添加試料（PF と PS）に比べて、有意にべたつき感と残留感が少なく、飲み込みやすい傾向を示し、固形脂より液状油を加える方が飲み込みやすさの改善に効果的であることが示唆された。また、総合評価では、水平方向の抵抗力が小さい PO がおいしいと評価され、試料のすべりやすさが嗜好性を向上させる要因の一つであることが推察された。

“本学発”の生活習慣病予防のための高機能性食品開発に向けた基盤研究

研究者名：栄養生命科学科・教授　清瀬　千佳子
応用バイオ科学科・准教授　岩本　嗣
栄養生命科学科・准教授　飯島　陽子
栄養生命科学科・助手　武藤　知衣

1．研究の目的

消費者の健康意識が高まり、生活習慣病予防に対する食品の高機能性は、食品の付加価値として消費者の喫食意欲を高め、食材のブランド化への貢献も大きい。近年、このような機能性食品の研究開発が大学や食品業界で挙って行われ、開発された食品は研究のみならず、大学や企業の知名度向上に貢献している。そこで、本研究では、生活習慣病予防を目的とした食品成分の新規機能性を見出す事で、新しい高機能食品の開発を行い、この成果を学外にアピールする事で、本学の知名度向上を行いたい。

2．研究の必要性及び従来の研究

生活習慣病予防に関しては、日本での最大関心事の一つであり、その予防をどのようにして行うかが問題である。食品は我々が毎日摂取するものであり、その食品の中に含まれる成分で生活習慣病予防が出来れば日本人の関心がさらに高まると推察される。これまでも多くの食品から様々な機能性研究報告がなされているが、生活習慣病が無くならない限りその必要性は高まり続け、新たな食品素材またはその成分が期待される。従来では、期待できる食品成分を取り出して、機能性成分高含有食品の開発が研究の中心であるが、我々は機能性成分を高含有する食材の育種ならびに栽培条件を検討し、さらに効率的に摂取できるような調理加工を検討することに着目している点が独創的である。

3．期待される効果

上記のような「機能性成分高含有食材」の開発が出来れば、応用バイオ科学科と栄養生命科学科の横断的研究が進み、大学全体として、学外にアピールできる食材を産み出すことができるだろう。また、大学の知名度アップにも十分つながることが期待できる。

4．研究の経過及び結果（平成25年度）

【清瀬・武藤】

平成25年度は抗炎症効果を示す食材および成分のスクリーニングを行うことを目的として、まずはいくつかの野菜スプラウトについて抽出段階から検討を行った。

＜実験方法＞

各種野菜スプラウとは凍結乾燥後に粉末にし、分析まで-30℃で保存した。抽出方法としては、100%エタノールによる抽出と 80%メタノールによる抽出とを比較検討することにした。今回用いた野菜スプラウトとしては、おくら、ささげ菜、空芯菜、ブロッコリー、ラディッシュ、かいわれ、アルファルファの 7 種類とし、総ポリフェノール含量と DPPH ラジカル消去能について、抽出溶媒を変えて検討を行った。

＜結果および考察＞

7 種類の野菜スプラウトの 100%エタノール抽出物と 80%メタノール抽出物のそれぞれのポリフェノール含量と DPPH ラジカル消去能による抗酸化活性について比較した。

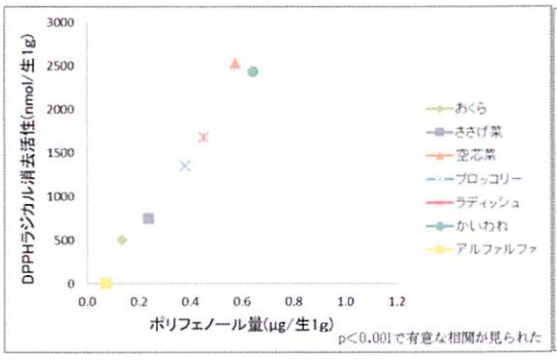


図 1. ポリフェノール含量と抗酸化活性の相関図（100%エタノール抽出）

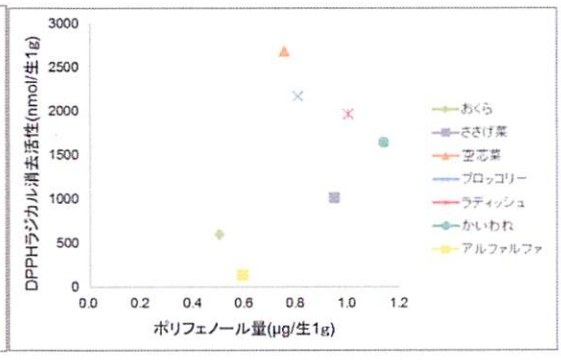


図 2. ポリフェノール含量と抗酸化活性の相関図(80%メタノール抽出)

その結果、今回は 100%エタノールによって抽出した物質はポリフェノール含量と有意な正の相関が得られた(図. 1)ことから、80%メタノール抽出（図. 2）よりもフェノール基を有した物質が多く含まれている可能性が考えられた。どちらの溶媒にしても、空芯菜、かいわれ、ラディッシュ、ブロッコリーが高い抗酸化活性を持つ可能性が示唆された。

【飯島】

清瀬研究室で抗酸化活性を行った 7 種のスプラウトについて、有効成分のスクリーニングを行うための指標として、どのような成分が含まれているのか、LC-MS を用いた網羅的分析を行った。

＜実験方法＞

7 種のスプラウトの凍結乾燥物（アルファルファ・ブロッコリ・カイワレ・空芯菜・オクラ・ラディッシュ・ササゲ）をサンプルとして用いた。それぞれ 20mg を測りとり、内部標準として Formononetin　10ug/ml 含む MeOH 溶液　（300μl）で抽出を行った。
ジルコニアビーズをいれて、Tissue Lyser にて成分抽出した（25Freq x 2min)。遠心分離

後、上清を取り出し、フィルターろ過後、LC-MS に供した。分析は、飯島の共同研究先である（財）かずさ DNA 研究所で行った。LC-MS 装置は、Agilent 1100 series, Finnigan LTQ-FT-MS (Thermo Fisher Scientific)を用いた。条件は以下の通りである； カラム：TSKgel column ODS-100V (4.6 x 250 mm, 粒径 5 μm; 東ソー)。 グラジエント条件：水（0.1%w/w ギ酸を含む）（A）とアセトニトリル (0.1%w/w ギ酸を含む) (B)を用いた。A：97%(0min)→50%(20min, gradient)→10%（40min、gradient）→10%, (45min, hold), 流速：0.5 ml/min, カラムオーブン温度：40℃。質量分析部条件：ESI モード, Spray voltage：4.0 kV, Capillary 温度：300℃。ポジティブモードでデータを取得した。m/z100-1500 の範囲, 分解能 100,000 でデータ取得を行った。MS/MS データは、normalized collision energy を 35%に設定し、取得した。

データ解析　Xculibur (Thermo Fisher Scientific)でデータ取得を行った。

＜結果および考察＞

各スプラウトの LC-MS におけるトータルイオンクロマトグラムを図 1（A）～（G）に示した。植物性食品において、フラボノイドなどフェノール性化合物が抗酸化活性など様々な生理活性があることがよく知られている。そのため、フェノール性成分の多くが検出される吸収波長である 280nm でのクロマトグラムも同時に示した。いずれのサンプルでも、フェノール性成分と考えられる成分群（280nm での吸収成分）以外にも多くの成分が LC—MS で検出されており、成分組成がかなり複雑であることが分かった。一般に、スプラウトは様々な栄養成分が、野菜本体よりも濃縮されて存在することが知られている。今回、野菜本体とスプラウトでの比較を行っていないが、栄養成分のみならず、様々な成分がスプラウトでは高濃度で存在することが予想された。

次に、各種スプラウトについて、今回は 280nm で吸収のあった成分に着目して、LC-MS/MS から構造を推測していった。

カイワレと赤ラディッシュは、いずれもダイコンのスプラウトである。赤ラディッシュは、カイワレに比べて、茎の部分が赤い点で見た目が異なる。TIC を比較したところ、そのプロフィールは非常によく似ていた。しかし、520nm でのクロマトグラムを比較すると、赤ラディッシュにのみ顕著なピークがあり、これらは MS 分析からアントシアニン成分であると考えられた。

各スプラウトにおいて、280nm で吸収のあったピークに対し、MS 分析で精査した。280nm でのクロマトグラムは、ブロッコリーで最も複雑であった。一方、アルファルファでは、ほとんど成分がなく、内部標準よりも大きなピークは 2 ピークしか見受けられなかった。精密質量分析、MS/MS パターンから、表 1 のように構造が推定できた。ほぼ共通成分として、tryptophan を示す成分が含まれていた。葉野菜では、多数のフラボノイドが蓄積することが知られているが、今回のスプラウト類では、オクラおよびササゲでケルセチン配糖体がみられたのみで、顕著なフラボノイドの蓄積はみられなかった。一方、カフェ

酸を部分構造にもつクロロゲン酸や、フェルラ酸誘導体と思われる成分がカイワレ、赤ラディッシュ、ブロッコリなどのアブラナ科スプラウトで見られた。

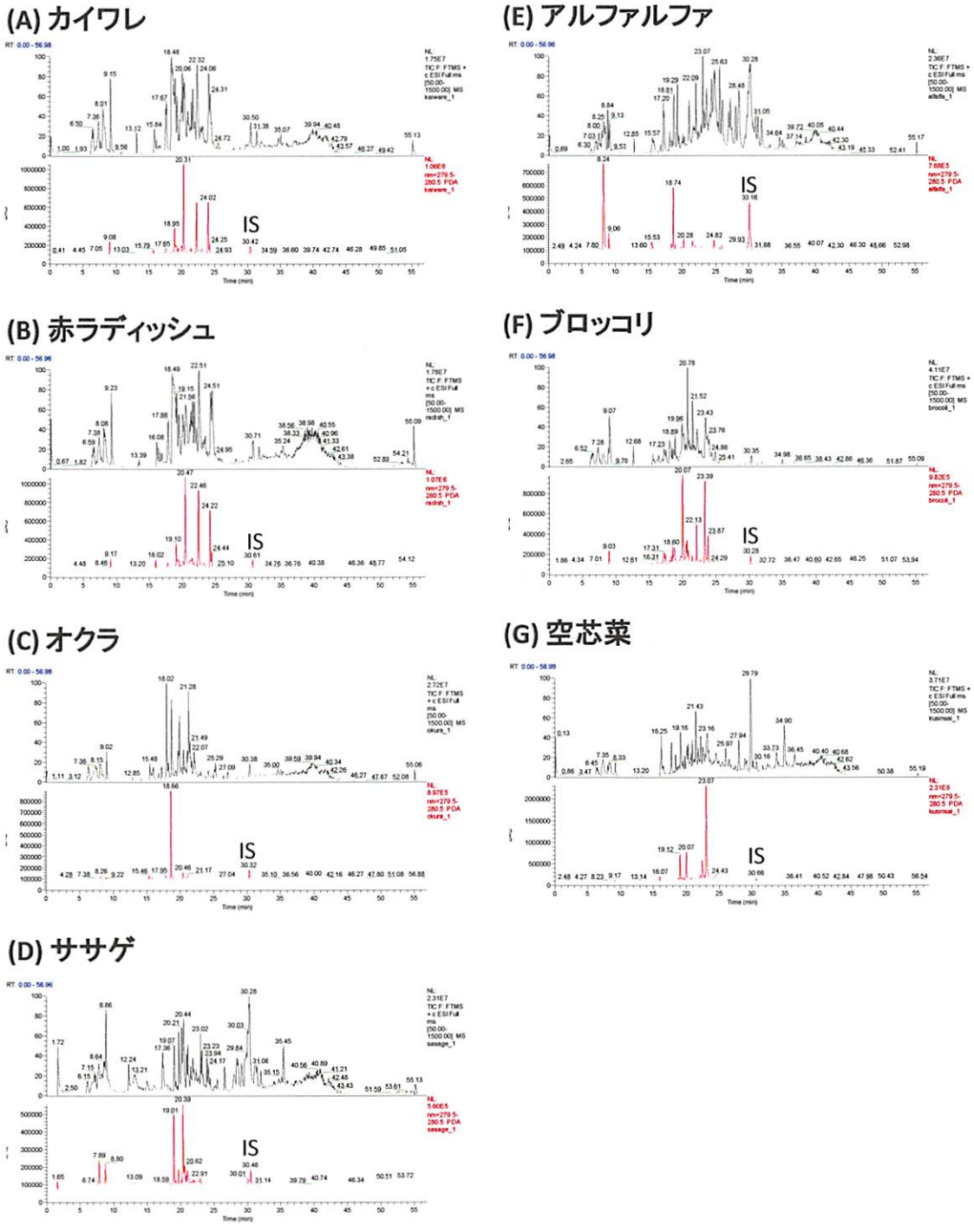


図１． 各種スプラウト MeOH 抽出物の LC-MS クロマトグラム（上段）と 280nm における LC クロマトグラム（下段）. 30min 付近のピークは内部標準（formononetin）.

表 1. 280nm で吸収のあった成分ピークに対する LC-MS による成分アノテーション

RT	精密質量([M+H]+)	推定組成式	推定構造
(A)カイワレおよび(B)赤ラディッシュ			
19	205.09697	C11H12N2O2	L-tryptophan
20.4	unknown		
22.5	387.12863	C17H22O10	trans-p-Sinapoyl beta-D-glucopyranoside
24.2	369.11789	C17H20O9	Chlorogenic acid methyl ester
(C)オクラ			
18.7	205.09697	C11H12N2O2	L-tryptophan
20.46	597.14539	C26H28O16	Quercetin-hexose-pentose
(D)ささげ			
19.01	205.09692	C11H12N2O2	L-tryptophan
19.71	759.1983	C32H38O21	Quercetin-hexose-pentose, hexose
20.39	627.15552	C27H30O17	Quercetin-hexose-hexose
(E)アルファルファ			
18.74	205.09692	C11H12N2O2	L-tryptophan
(F)ブロッコリ			
20.07	unknown		
22.13	531.1709	C23H30O14	Ferulic acid relatives
23.39	737.2298	C34H40O18	Ferulic acid relatives
23.87	369.11774	C17H20O9	Chlorogenic acid methyl ester
(G)空芯菜			
19.12	205.09694	C11H12N2O3	L-tryptophan
20.07	355.10226	C16H18O9	Chlorogenic acid
22.46	517.13507	C25H24O12	Dicaffeoylquinic acid
23.07	517.13458	C25H24O12	Dicaffeoylquinic acid

【岩本】

4－1．ゴボウ葉身に含まれる有効成分の検索

新規スプラウト素材のスクリーニングのため、平成25年度はキク科野菜のゴボウを材料に用いて検討を行った。ゴボウ葉身の粗抽出物のブタノール可溶部は、DPPHラジカル捕捉活性が極めて高く、寄与率は79%であった。また、ブタノール可溶部のDPPHラジカル捕捉活性の主成分はルチンとクロロゲン酸であり、ルチンとクロロゲン酸を合わせた寄与率は66%で、ブタノール可溶部の83.5%を占めていた（図1）。

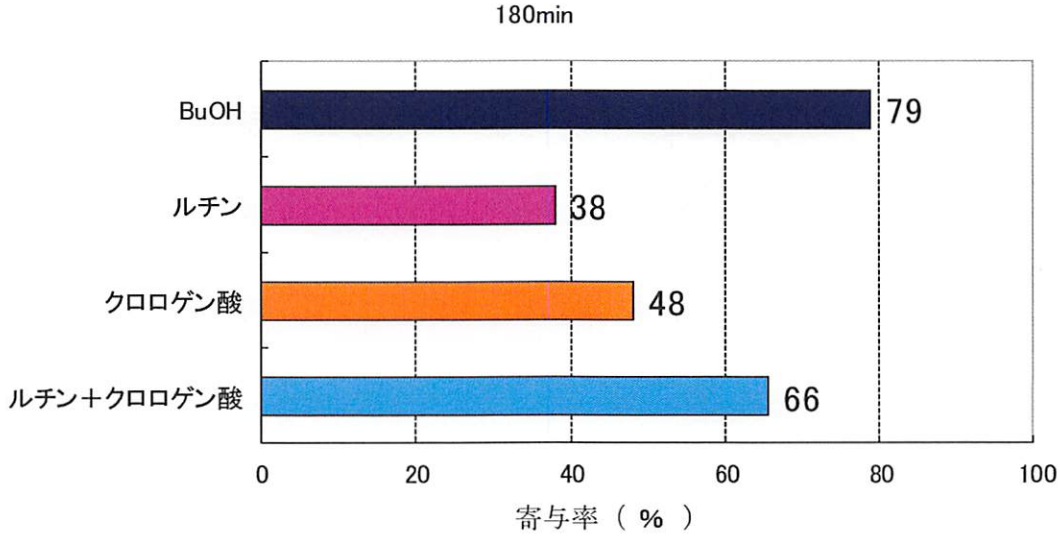


図1　DPPHラジカル捕捉活性への寄与率

4－2．ルチン含量の高い品種の選抜

‘越前白茎’、‘八尾若ゴボウ’などの葉ゴボウ3品種、‘大浦太’, ‘百日一尺’など短根のゴボウ3品種、‘仙田’、‘滝野川’、‘常磐大長’など長根のゴボウ9品種、‘はやかおり’などサラダ用ゴボウ2品種、計17品種を同一条件で栽培し、葉身の乾燥粉末を作成し、HPLC分析により乾重あたりのルチン含量を測定したところ、品種間で1.48mg/gから10.85mg/gまで、最大7.3倍の差が認められた。特に、葉ゴボウ3品種のルチン含量が高く、短根、長根、サラダ用のゴボウ品種に比べ、有意に高い結果となった（図2）。

4－3．スプラウトに適した種子のサイズ選別

網目の大きさが異なる4種類の篩（口径2.36、2.80、3.35、4.00 mm）を用いて、網目を通過した種子（篩小）、通過しなかった種子（篩大）に分類し、縦9.3cm×横9.3cm×高さ4.5cmの市販のスプラウト栽培容器にキムワイプを敷き、蒸留水で濡らした後、24℃、暗所で9日間、その後、明所（2,000 lx）に移して24時間栽培したところ、4種類の篩の中で、口径2.80 mmの篩で種子を篩い分けすると発芽率の低い小さな種子を効果的に除去することができた。篩大と篩小の2種類の種子を播種したところ、3-4日目に発芽率がピークに達し、

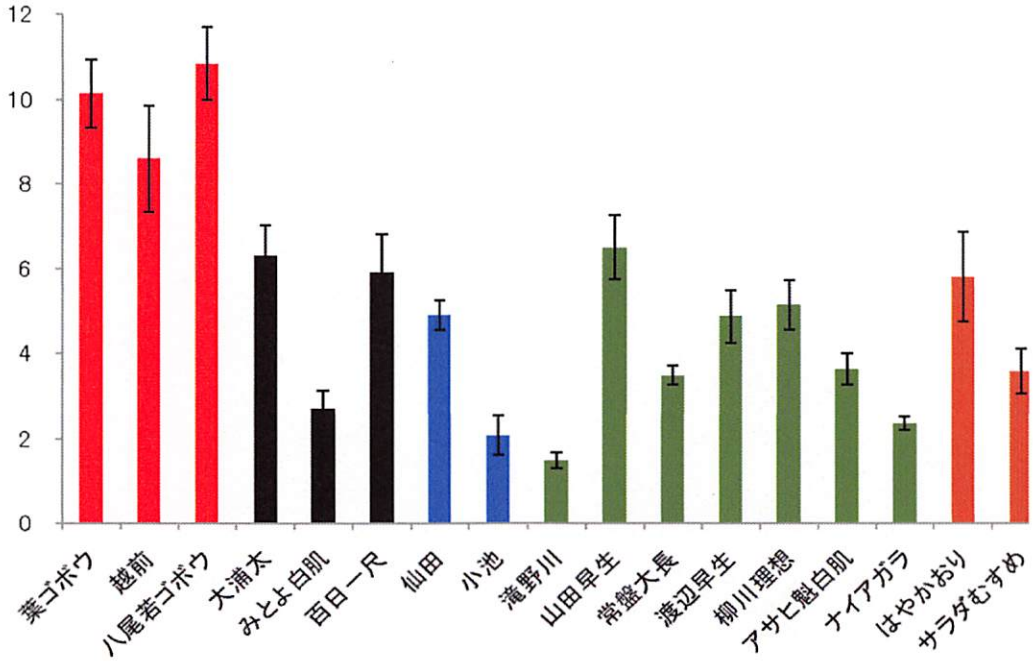


図 2　ゴボウ葉身に含まれるルチン含量の品種間差

篩小の発芽率 72.5%に対し、篩大は 90.0%に向上した。篩大の種子の生育は旺盛で、10 日間栽培した後に収穫したスプラウトは、篩小の種子のスプラウトより、草丈、子葉長、子葉幅、葉柄長、胚軸長、根長の全ての項目において有意に高い結果となった。

４－４．ゴボウの発芽に及ぼす初期照射の効果

栽培装置に播種した種子（篩大）を 0、6、12、24、48 時間、蛍光灯下で照射（2,000 lx）した後に暗所に移動させ、照射時間を含めて 9 日間、その後、明所（2,000 lx）に移して 24 時間、計 10 日間栽培したところ、暗黒条件下で発芽させた 0 時間区に対し、全ての照射区で発芽が早まることが明らかとなった。また、光源に蛍光灯を用いた場合、播種後 24 時間光を照射した後、暗所に移動させて栽培することで、高い発芽率と高いスプラウトの生育を得られることが明らかとなった（図 3）。

図 3　初期照射 24 時間区の葉ゴボウスプラウトの生育

5．今後の計画

【清瀬・武藤】

今回の実験で、空芯菜、かいわれ、ラディッシュ、ブロッコリーが比較的高い抗酸化活性を示したことから、この４種に絞って、細胞培養実験に移りたいと考えている。現時点では、炎症誘導した脂肪細胞系を用いての抗炎症効果について検討する予定である。飯島研究室のデータから、かいわれ、ラディッシュ、ブロッコリーにはクロロゲン酸やフェルラ酸のピークが見られていることから、これらの成分が抗酸化活性を通して、機能性を発揮することも十分考えられるので期待したい。さらに、岩本研究室が作成されている葉ゴボウスプラウトについても検討していく予定である。

【飯島】

清瀬研究室でのアッセイ結果に合わせて、有用なスプラウトの成分分析を行う。我々は、今までにブロッコリやダイコンなどの葉野菜の成分分析を行った経験があるが、今回、スプラウトの成分プロファイルが予想していたよりも野菜本体と異なることが分かった。スプラウトと葉野菜を比較して、どのような成分が濃縮されるのか、また、スプラウト特有の成分は何であるのかを明らかにし、スプラウトの優位性を確認する。機能性成分の構造決定を清瀬研究室と合同で進める。また、現在、ゴボウスプラウトも岩本研究室により作

成されているので、こちらのサンプルについても、成分を調べる。

【岩本】

葉ゴボウスプラウトについて、照射する光の波長、光量、照射時間、温度等の環境条件を詳しく検討するとともに、機能性成分として期待されるルチンとクロロゲン酸の含量について、HPLC 分析によるモニタリングを行い、生育が旺盛で、機能性成分含量の高いスプラウト栽培条件を明らかにする予定である。

6．研究成果の発表

【著書及び論文】

1) 飯島陽子：野生種トマト-その多様性と利用性、生物工学会誌、91, 662-665, 2014
別刷添付

【招待講演】

1) 飯島陽子：質量分析を用いた網羅的成分解析の食品加工への応用、第 29 回茶学術研究会講演会特別講演、2014 年 3 月

【口頭発表】

1) 吉松嘉代、松本敏一、岩本　嗣、乾　貴幸、飯田　修、寺岡秀興、河野徳昭、川原信夫：漢方薬に使用される薬用植物の組織培養及び効率的増殖法に関する情報整備（3）、第 31 回日本植物細胞分子生物学会大会、2013 年 9 月

2) 武藤知衣、中村彩愛、小成遥、五十嵐脩、清瀬千佳子：アロエ摂取が KK/Ta マウスの脂質代謝に及ぼす影響、第 68 回日本栄養・食糧学会大会、 2014 年 5 月

神奈川工科大学　重点研究成果報告書

学　長　殿　　平成　26　年　6　月　30　日

研究代表者 氏　名	鳴海　明　　印	所属・職位	工学部・機械工学科・教授	所属長査印 木村

経費区分（該当する経費を○で囲む）

経費Ａ　教育計画（Ａ１教育設備の高度化・更新、Ａ２革新的教育計画、Ａ３教育方法研究）

経費Ｂ　研究計画（Ｂ１準備、(Ｂ２)共同研究・個人研究、Ｂ３若手助成、Ｂ４共同研究支援）

経費Ｃ　大型研究設備・装置（Ｃ１　4,000 万円以上、Ｃ２　4,000 万円未満）

経費Ｄ　特別補助対象（Ｄ１共同研究経費、Ｄ２ソフトウエア、Ｄ３学術振興、Ｄ４その他　）

教育又は研究課題（経費Ｃの場合は設備・装置名も記す）

レーザーと赤外線を利用した新しい熱流体非定常分布計測法の試み

研究組織（本研究に常時参加した者）

氏　名	所属・職位	役　割　分　担
鳴海　明	工学部・機械工学科・教授	計画の立案、実施、検討

研究概要（目的・意義、計画概要等を簡潔に記す）

目的：移動現象を把握するためには、速度・温度・濃度場の非定常の情報が必要となる。しかし、現在のところ未だそのための実用的手法は確立されておらず、やむを得ず、同じ実験条件下でそれぞれ速度・温度・濃度場の測定を別途行い、それらの結果の整合性をとりながら検討するのが一般的手法となっている。本研究は、粒子追跡法（PTV）、ホログラフィ干渉法（HI）といった従来からのレーザー計測技術に赤外線吸収法（IR）を組み合わせることにより、2 次元計測ではあるが、速度・温度・濃度場を非定常分布測定する手法を新たに提案し、その可能性を検討することを目的とした。

意義：本研究で提案している新計測法が速度・温度・濃度場の非定常分布を同時測定できる実用的計測法になり得るかを確認でき、実用的計測法に発展することができれば、今後の複雑な移動現象解明のための有力な計測手法となる。

計画概要：本研究で提案する計測法は速度計測可能な PTV と温度・濃度分布の計測が可能な二波長ホログラフィ干渉法（DWHI）と濃度計測が可能な IR 吸収法を組み合わせたものである。光学系のレイアウトおよびセッティング、色分離によりクリアーな画像（各手法による重なり合った画像からそれぞれの波長の画像への分離）、測定精度を決定する干渉縞の読み取り精度向上などが本計測法を実用的計測法として確立させることができるか否かのポイントと考えられる。すなわち、本研究を成功させるためにはこれらのポイントを着実に克服して行く必要がある。

研究経過

本研究で行ったことは以下のとおりである。①DWHI と IR を組み合わせた光学系の構築、②試験部の制作（測定対象：n-プロパノールの蒸発過程、液面開放用シャッターの設置）、③レーザーライトシートによる速度場（green）と DWHI（Ar+レーザー、He-Ne ガスレーザー）の色分離、④干渉縞の位置を μm 精度で読み取りを行うための画像処理手法の構築：高解像度ビデオ、imageProPlus(Photoshop)の活用、⑤計測を実施、⑥解析と検討（DWHI と PTV、IR と HI と PTV の組み合わせから得られた測定結果を用い、それらの整合性をとることで測定精度（特に濃度の測定値）の向上に結び付けられるか。）

研究成果の概要

得られた成果（当初に計画した成果と対比して記す）

① DWHI と IR を組み合わせた光学系の構築：
構築の結果、鮮明な干渉縞が得られ、それぞれの波長の干渉縞に分離することができた。しかし、IR については、可視光透過、赤外線反射ミラーがないため、放射強度の減衰が著しい。

② 試験部の制作（測定対象：n-プロパノールの蒸発過程、液面開放用シャッターの設置）：HI の測定分解能を向上させるため、奥行（測定長）300 ㎜の測定部を作製した。しかし、赤外線透過ガラスは高額のため入手できず、その代わりに普通のガラスで行った。また、エアーシリンダーを用いてシャッターの開閉を行ったが、測定部に外乱を与えずに開閉するのは難しい。

③ PTV（green レーザー）と DWHI（Ar+レーザー、He-Ne ガスレーザー）の色分離、
速度分布計測のため測定部に混入したトレーサーが HI 画像に、一方干渉縞が速度場の PTV 画像に互いに残る結果となり、きれいな分離は難しい結果となった。しかし、解析ができないレベルではない。

④ 干渉縞の位置をμm 精度で読み取りを行うための画像処理手法の構築：干渉縞の幅は測定部の測定長で決まるため、測定長を 300mmm としたが、それでも干渉縞の位置をμm で読むことは難しかった。
この対応として、縞の幅方向の輝度分布から画像処理によって位置を決定する方法が考えられるが、それを行うためにはデータ深度の高い高解像度高速度カメラが必要となる。

⑤ 解析と検討（DWHI と PTV、IR と HI と PTV の組み合わせから得られた測定結果を用い 2 次元の、速度・温度・濃度場の非定常分布測定が可能かどうかを検討した。得られた結果は、信頼性には欠けるものの、局所位置でのそれぞれの値の算出は可能である。

問題点

本研究で提案した計測法は、原理的に 2 次元の速度・温度・濃度場の非定常分布測定ができることを確認した。しかし、実用的な計測法に発展させるには次のような課題をクリアーする必要がある。

① 速度場、温度場、濃度場の各イメージへの画像処理を用いての色分離は、速度計測用に混入したトレーサーが他の分離画像に完全に除去できず残るため、密な干渉縞の読み取りに支障をきたす。この対応として、光学系がさらに複雑化するとともに計測手順が煩雑になるが、カラーフィルターなどを新たに光学系に組み入れるなどハード的な分離手法を導入する必要がある。

② 精度の高い計測を行うためには、μm 単位で縞の形成位置の読み取りをする必要があるが、そのための一つの方法として、測定部の測定長を増大させ干渉縞の分解能を向上させる方法がある。しかし、試験部の測定長を増大させるのにも限界があることから、測定長を増大させる方法だけでμm の精度で縞の形成位置の読み取りを行うことは難しい。今後は縞の輝度分布から輝度のピーク値を求め、縞の形成位置を決定するアルゴリズムを構築し、解析を進める必要がある。なお、そのためにはデータ深度の高いビデオカメラが必要である。

成果の活用予定（学会発表、外部研究助成等への応募、産学協同研究等の具体的予定）

さらに研究を行い、熱物性シンポジウム、熱工学カンファレンスで発表を予定。
科研費に申請予定。

今後の展開

上記の問題点を見直すことで、実用的計測法に発展できるかを検討する。しかし、代表者が提案している計測法を行うためには、少なくとも計測のキーとなるカメラ（データ深度の高いビデオカメラ）、光学部品（可視光透過・赤外線反射ミラー、赤外線透過ガラス）など高額な機器、部品の購入が必要となることから、どこまで精度を追及できるか難しい点もある。

生態系フィールドワークにおける知識獲得モデル導出のための情報配信基盤の実装と評価

情報工学科　　鷹野孝典

1．研究の目的

本研究では，拡張現実 UI を備えた次世代型の情報コンテンツ配信システムを用いて，モバイルユーザを対象とした情報閲覧・獲得行動に基づく知識獲得モデルを，生態系フィールドワークを通じた実証実験により導出し，提案することを目的とする．本年度は，主として，生態系フィールドワークのための拡張現実 UI を備えた情報配信基盤の構築，及び応用ソフトウェアとしてモバイル端末上で動作可能な生態系学習のためのモバイル学習ツールの設計・開発を推進する．

2．研究の必要性及び従来の研究

自然環境保全や生態系理解のための自然環境調査は，世界各国で重要項目として扱われている．我が国では，自然環境測定のための専門装置の技術発達が顕著であり，自然環境に関する調査結果も Web 上で情報公開されている．一方，モバイル機器の小型・高性能化は目覚ましく，様々な学術的分野でフィールドワークのための高度な情報収集・記録ツールとして利用されている．しかし，自然環境観測フィールドワークにおいて資料採取やデータ記録等を行うことにより，観測対象となっている事物への学術的な知見を獲得し，理解を深めるのに十分適したモバイル端末用フィールドワーク支援機構は実現されていない．

3．期待される効果

実現する生態系フィールドワークのための拡張現実 UI を備えた情報配信基盤を用いて，植生，野生動物等を対象とした自然環境調査フィールドワークを支援することが可能となる．本研究では，特に，実世界とのインタラクティブ性が高い拡張現実 UI を中心とした情報ブラウザ（検索・閲覧・記録）を実装することにより，自然環境調査に適したモバイルシステムとしての操作性，情報取得性に優れた新しい UI 機能が実現する点に新規性がある．

4．研究の経過及び結果

本研究は平成 24 年度から継続しており，平成 24 年度では主に拡張現実ブラウザの実装を行った．平成 25 年度の主な成果として，(1)生息環境の類似性を考慮した生態系学習のための動植物コンテンツの提示手法，及び(2)拡張現実 UI を対象とした 3 次元 CG データ配信機構の提案を行った．

(1)は，自然環境から抽出される特徴の類似性を算出することにより，その観測地点に生息する動植物のみではなく，生息環境の類似性から想起される別の観測地点に生息する動植物を提示する方式（図 1）である．図 1 では，現在の観測地域 a_1 にて，小動物（animal）に着目している場合，植生を環境属性として a に類似した地域 a_1 と a_2 を抽出し，また，魚（fish）に着目している場合，水質を環境属性として a に類似した地域 a_3 と a_4 を抽出している様子を示している．この例において，前者の a_1 と a_2 が抽出された場合，観測者には，a_1 と a_2 に対応付けられている Animal3，Animal4，Animal5，及び Plant3 を動植物コンテンツとして配信する．また，後者の a_3 と a_4 が抽出された場合，観測者には，a_3 と a_4 に対応付けられている Animal6，Fish3，Fish4，Insect6，及び Plant4 を動植物コンテンツとして配信する．このように，本方式を用いて，観測者は，動植物コンテンツの閲覧履歴に基づいて抽出される学習時の興味や関心に加えて，観測地点間の関連性に基づいた分析的な動植物コンテンツを獲得する事ができる．

実験により，観測環境間の類似性の算出（表 1），及び観測環境の類似性に着目した生態系学習のための動植物コンテンツの抽出（表 2）が実現可能である事を確認できた．

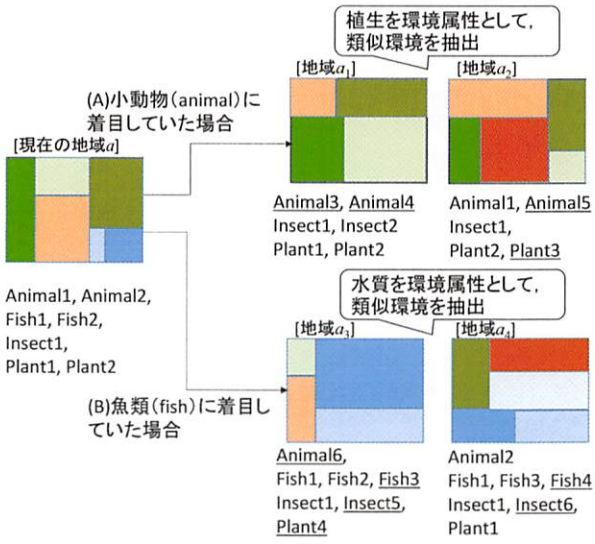


図 1 提案方式の概要

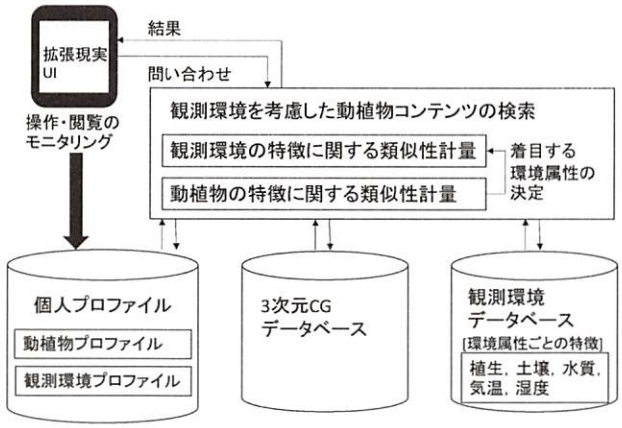


図 2 提案システムの構成図

表 1 神奈川県の箱根付近に対する類似地点のランキング結果の例（植生に着目した場合）

順位	地点 ID	類似度指数
1	神奈川県の西丹沢付近	0.056909
2	山梨県の駿河小山付近	0.073974
3	神奈川県の関本付近	0.088653

表 2 動植物コンテンツ抽出の例（植生に着目した場合）

ニホンジカ，ニホンイノシシ，ツキノワグマ，ニホンカモシカ，アナグマ，ニホンノウサギ，アナウサギ，テン，ハクビシン，ニホンリス，タヌキ，キツネ，イタチ，カワネズミ，ヒメネズミ，ジネズミ，カヤネズミ，ニホンモモンガ，ムササビ，

※下線は神奈川県の箱根付近で観測されない動植物

(2)では，3 次元 CG データ配信を Web サービスとして構築し，個々の 3 次元 CG データ配信サーバをクロールする仕組みを導入する事により，拡張現実 UI へ配信するための 3 次元 CG 情報の収集・管理を実施するためのデータ配信機構(図 3)を実現した．本プラットフォームは，主に(A)動植物 3 次元 CG 配信モジュール，(B)3 次元 CG コンテンツ収集クローラ，及びデータベース群（個人プロファイル，動植物 3 次元 CG データベース）より構成される．動植物 3 次元 CG 配信モジュールは，利用者の 3 次元 CG コンテンツの要求に応じて，3 次元 CG とともに，メタデータとして関連する動植物データを返す．この動植物データは，利用者の拡張現実 UI 上の 3 次元 CG の閲覧・操作より抽出される動植物に対する興味や関心を反映してパーソナライゼーションされて，ランキングされる．また，3 次元 CG コンテンツ収集クローラは，独立に構築された各 3 次元 CG 配信サーバのクローリングし，動植物 3 次元 CG とともにメタデータを動植物 3 次元 CG データベースへ格納する．ここで，各 3 次元 CG 配信サーバは，Web サービスとして実現されていることを想定している．これにより，目的・分野別に構築された 3 次元 CG データベース群を透過的に扱うためのプラットフォームを Web 環境上に構築することができる．

実際に構築したデータ配信機構上における実験により， 3 次元 CG 配信に関するコンテンツ・パーソナライゼーション機能の実現可能性を確認し（表 3），本機構が拡張現実 UI を対象とした 3 次元 CG 配信プラットフォームとして十分に機能する事の見通しを得る事ができた．

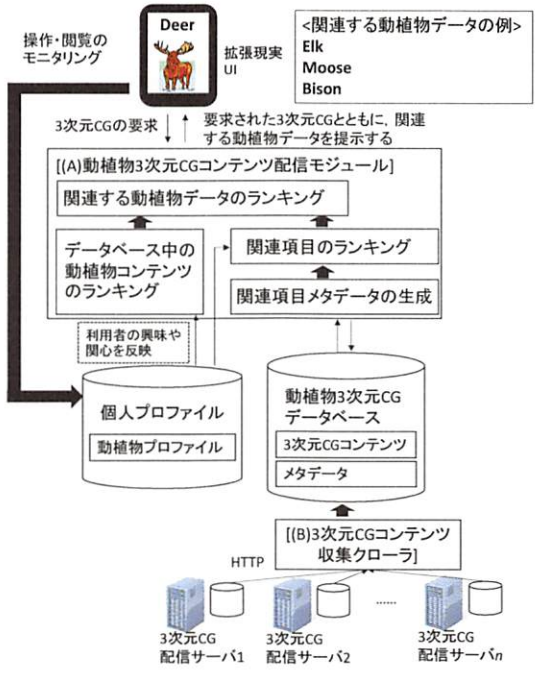


図 3 3 次元 CG 配信プラットフォーム

表3 パーソナライゼーションされた3次元CG配信結果の例

順位	関連項目を重視しない場合		関連項目を重視した場合（提案方式）	
	動植物名	スコア	動植物名	スコア
1	Northern shoveler	0.508	Long-tailed vole	0.777
2	Northern pintail	0.508	Meadow vole	0.768
3	Redhead	0.506	Heather vole	0.768
4	Mallard	0.491	Southern red-backed vole	0.742
5	Gadwall	0.491	Muskrat	0.675

5. 今後の計画

神奈川県丹沢地域や小網代地域において実証実験を行い，国内外の専門家と共に，生態系フィールドワークにおける情報閲覧・獲得行動モデル導出を行う予定である．また，本研究の成果をさらに，AR技術を用いたデジタル広告配信方式等の分野において利用者の情報閲覧行動コンテキストから抽出される情報嗜好に応じた状況適応的な情報コンテンツ配信サービスの実現を行うことを検討している．

6. 研究成果の発表

(1) 笠原誠人，鷹野孝典，"生態系学習コンテンツを対象とした拡張現実ブラウザの実装," 2014年電子情報通信学会 総合大会 学生ポスターセッション予稿集, ISS-P-131, pp.31, 2014年3月.

(2) 須藤拓也，鷹野孝典，"自然環境の観測記録のための空間領域抽出機能を備えた調査支援システムの検討," 2014年電子情報通信学会 総合大会 学生ポスターセッション予稿集，ISS-P-122，pp.22，2014年3月.

(3) 笠原誠人，鷹野孝典，"生息環境の類似性を考慮した生態系学習のための動植物コンテンツの提示手法," 第6回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2014)論文集，F2-4，7pages，2014年3月.

(4) 本多宏至，鷹野孝典，"拡張現実UIを対象とした3次元CGデータ配信機構の検討," 第6回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2014)論文集，F5-2，7pages，2014年2月.

(5) Hiroshi Honda, Kosuke Takano, "A Pre-Fetch Cache Manager Based on 3DCG Manipulation History on an Augmented Reality User Interface," Proceedings of 12th International Conference on e-Society 2014, pp.53-60, 2014.

(6) 笠原誠人，本多宏至，動植物を対象とした3次元CG閲覧インターフェースを備えたWeb学習教材の構築," 第38回 教育システム情報学会 全国大会 講演論文集, pp.73-74, 2013年9月.

神奈川工科大学　重点研究成果報告書

学　長　殿　　平成 26 年 9 月 16 日

研究代表者 氏　名	本田　数博　印	所属・職位	応用化学科・准教授	所属長査印

経費区分（該当する経費を○で囲む）

経費Ａ　教育計画（Ａ１教育設備の高度化・更新、Ａ２革新的教育計画、Ａ３教育方法研究）

(経費Ｂ) 研究計画（Ｂ１準備、Ｂ２共同研究・個人研究、Ｂ３若手助成、Ｂ４共同研究支援）

経費Ｃ　大型研究設備・装置（Ｃ１　4,000 万円以上、Ｃ２　4,000 万円未満）

経費Ｄ　特別補助対象（Ｄ１共同研究経費、Ｄ２ソフトウエア、Ｄ３学術振興、Ｄ４その他　）

教育又は研究課題（経費Ｃの場合は設備・装置名も記す）

水の凍結が促進する酸化・還元反応

―　ヨウ化物イオン酸性水溶液の凍結によるヨウ素生成　―

研究組織（本研究に常時参加した者）

氏　名	所属・職位	役　割　分　担
森　義仁	お茶の水女子大学・理学部・化学科・教授	分析

研究概要（目的・意義、計画概要等を簡潔に記す）

常識的には反応が進行しないか抑制されると考えられる水溶液の凍結過程および巨視的な氷固相内における酸化・還元反応として、ヨウ化物イオン（I^-）が溶解する酸性水溶液の凍結によるヨウ素（I_2）生成反応に対する機構解明を目的とした。

水クラスター形成場が酸素分子を活性化させる触媒システムとなりえるならば、溶解・凍結によるナノサイズの反応場を自由に形成できることから新規なソフトナノテクノロジーと位置付けることができる。

酸素分子が本反応の酸化剤であること、凍結すなわち水素結合形成過程に進行する溶存酸素およびヨウ化物イオンの排出作用に伴う濃縮効果の反応への寄与について、実験および分子力学法（amber potential）による計算により明らかとする。

研究経過

酸性水溶液中の I^-イオンは凍結過程に I_2 変化（酸化還元反応の進行）する。I^-イオンのみを溶解した酸性溶液条件下において 100℃に加熱したとしても反応はまったく進行しない。

水溶液の凍結過程および巨視的な氷固相内において、 $I^- \rightarrow I\cdot + e^-$ および $I\cdot + I\cdot \rightarrow I_2$ 、のような反応が促進されていることを示唆された（I・はヨウ素原子（ラジカル））。

この反応メカニズムを解析するために分子力学法（amber potential）でヨウ素 2 原子と水 30 分子の系の構造最適化を行い、水クラスターの表面に I_2 が存在する構造となった。温度が低いとエンタルピーの寄与がエントロピーの寄与より大きくなり、水溶液系では水分子が形成する水素結合数の最大化がなされることにより、溶媒である水の結晶化が実現される。そのため、イオン等の溶質が系の外部に押し出され、I_2 の表面析出が促進されることが示された。

研究成果の概要

得られた成果（当初に計画した成果と対比して記す）

微細な白金線を用いた凍る界面（水相/氷相）における濃淡電池の形成および起電力の測定を試みた。凍結かていにおいて水相/氷相の界面において氷層から水層への電解質の排出により数十Ｖ程度の自発的な起電力の発生を確認し、本反応は電気化学的に進行する酸化・還元反応であることが強く示唆された。

顕微ラマン分光および蛍光分光測定による凍結過程における分子レベルでの水層/氷相界面における水素結合（氷）を測定しながら、**生成物としての** O_2^-ラジカル、H_2O_2 の同定を行った。O_2^-の検出はスーパーオキシドラジカル検出試薬との反応による近赤外化学発光の測定から検討した。顕微ラマン分光装置により水層/氷層界面の水素結合の評価を行った。蛍光測定は顕微ラマン分光測定における空間分解能と同等とするため光ファイバーを用いて励起光を照射し、蛍光カウンティングシステムを用いて計測した。

反応生成物（中間体）としての O_2^-ラジカルおよび H_2O_2 の近赤外および可視波長域における化学発光を観測した。なお、観測波長は O_2^-ラジカルはインドシアニン型 イミダゾピラジノン化合物と反応して極大波長 800nm の近赤外波長域、H_2O_2 はルミノールと反応して極大波長 460nm の紫青可視光波長域における化学発光を観測した。

ラマン光測定から水相および氷相の周波数特性は明らかに異なることを確認し、化学発光は氷相の形成過程においてのみ起こることを確認した。

本反応は氷の形成する水数十分子からなる水クラスターの表面が反応場となり、溶存イオンが排出される自発的な電気化学反応により進行することが強く示唆された。全反応は（1）式により進行すると予想される。

$$4I^- + 4H^+ + O_2 \rightarrow 2I_2 + 2H_2O \quad (1)$$

式は(2)式および（3）式に示す素反応（スーパーオキシドラジカル（O_2^-）生成）からなると推測される。

$$2O_2 + 2I^- \rightarrow 2O_2^- + I_2 \quad (2)$$

$$O_2^- + 2H^+ \rightarrow H_2O_2 \quad (3)$$

問題点

定量的な検討が不十分であり、特に生成物の空間分布などの定量化が課題として残った。また、誤差が比較的大きく、凍結される条件の精度向上が今後の重要な課題となった。

成果の活用予定（学会発表、外部研究助成等への応募、産学協同研究等の具体的予定）

科研費など外部研究助成等へ積極的に応募する。産学協同研究においても現在問い合わせ企業が 1 社と議論中であり、共同研究への展開を行いたい。

学会発表および論文発表は現在申し込みなおよび準備中である。

今後の展開

問題点を克服し、空間情報の向上を図った上で定量化する。水が凍る過程に形成される反応場で起こる特異的な酸化還元反応に関する更なる進化を図り新規なナノテクノロジーとしての位置付けを行っていきたい。

研究課題名：電気加熱式ガスタービンの開発

研究者名：所属学科　機械工学科　氏名　佐藤智明

1．研究の目的

従来のように，燃料の燃焼熱を用いたガスタービンとは異なり，電熱線による加熱によって加熱した作動流体によるガスタービンの開発を行う．

2．研究の必要性及び従来の研究

電気加熱式ガスタービンエンジンについては同様の方式で稼働する実物は調べた範囲においては存在しない．その理由としては，電気加熱による空気過熱は電熱線表面と空気の熱伝達によって加熱するため，燃焼による加熱に比べて加熱量が圧倒的に少なく，当該エンジンを動力源として機能させるためには十分な出力が得られないことが予想でき，あえてそれを検討する研究者がいなかったためと考えられる．一方で，ガスタービンエンジンはその機関回転数が高回転であったり，排気ガスが高温で有毒であったりしたためにエンジンの教材や実演展示に用いられることはなかった．しかし，電気加熱式ガスタービンは有毒なガスも発生せず，低回転であるため危険性は極めて低い．そのため，教育用の装置やタービンエンジンの紹介のための展示機材として開発するのであれば熱効率や出力を考慮する必要が無いため実現可能であり実用的であると考える．また，装置の外容器をガラスなどで透視可能にできれば原理説明時に非常に有効であり，本装置のように低回転低温度であればこうした試みも可能となる．更に，将来的に加熱時の熱伝達効率や全体の熱効率を向上させればある程度高回転高出力のものも開発できる可能性がある．本エンジンは電流を制御することで加熱量をコントロールすることが容易であるため，ガスタービンエンジン開発の初期段階での試験用装置として応用することも期待できる．図 1 に本装置の原理の概要を示した．図には，左側から吸気された空気が多段式軸流圧縮機で圧縮され，加熱室において電熱線によって等圧加熱され，断熱膨張仕事によってタービンを作動させる仕組みを示した．尚，本装置の外壁は原理の説明時に内部構造が良く見られるように，透明な材料を用いる．現段階ではガラス製のものを設計している．

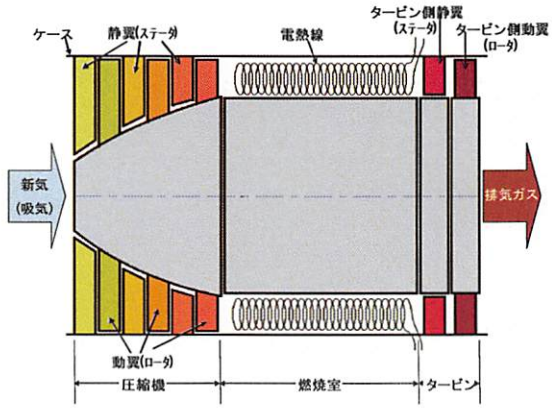


図 1　電気加熱式ガスタービンの概要

３．期待される効果

装置の外容器をガラスなどで透視可能にできれば教育用として原理説明時に非常に有効であり，本装置のように低回転低温度であればこうした試みも可能となる．更に，将来的に加熱時の熱伝達効率や全体の熱効率を向上させればある程度高回転高出力のものも開発できる可能性がある．本エンジンは電流を制御することで加熱量をコントロールすることが容易であるため，ガスタービンエンジン開発の初期段階での試験用装置として応用することも期待できる．

４．研究の経過及び結果

4.1 装置の改良

平成 25 年度は，前年度に試作した電気加熱式ガスタービンの改良を行い，本装置を完成させた．昨年度（平成 24 年度）の試作機では圧縮機およびタービン部において空気の逆流が認められ，圧縮効率の低下につながっていたことが分かった．そこで，圧縮機およびタービン部において，それぞれステーターが外側のガラス管の内壁密着するように変更した．図 2 に，昨年度設計した 3DCAD 図を示し，図 3 には変更を加えた本年度の図を示した．

図 2 改良前の圧縮機概要図(3D-CAD)

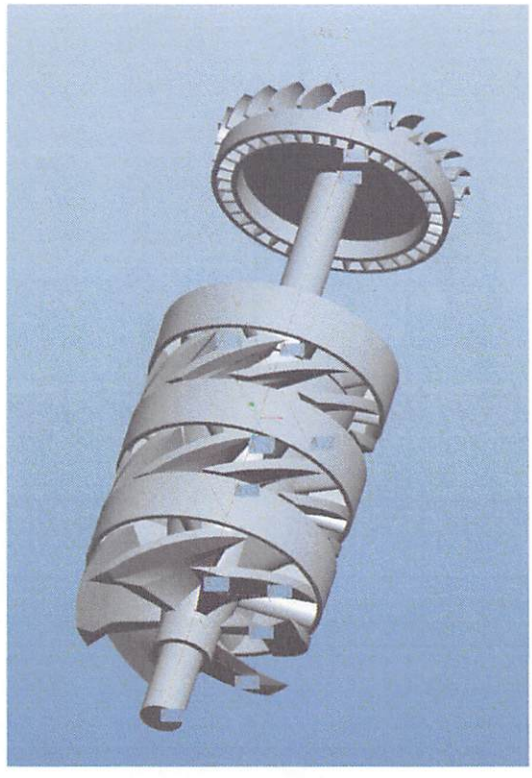


図 3 改良後の圧縮機概要図(3D-CAD)

また，昨年度の試作機では，加熱器がテフロン製のため，加熱部分を 150℃程度の温度までしか加熱ができず，空気加熱量が不足して稼働するまでには至らなかった．本年度は，加熱器を磁器製にして耐熱性を高め，空気の加熱量を増加させることを目指して磁器製への変更設計および製作を行った．図 4 には昨年度作成した試作機を示し，図 5 には本年度完成させた本装置を示した．図中，白い部分が加熱器である．

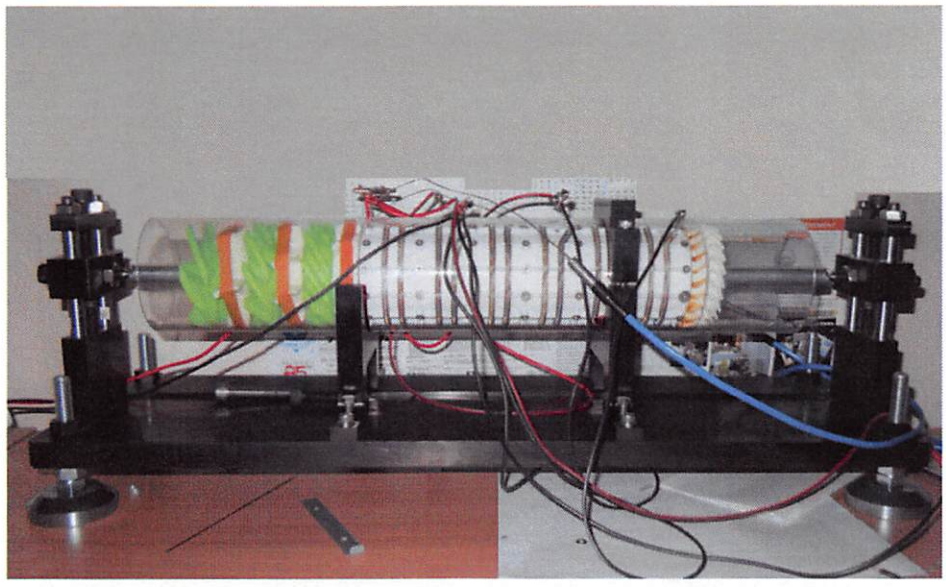


図 4 テフロン製加熱器を用いたガスタービン試作機（昨年度）

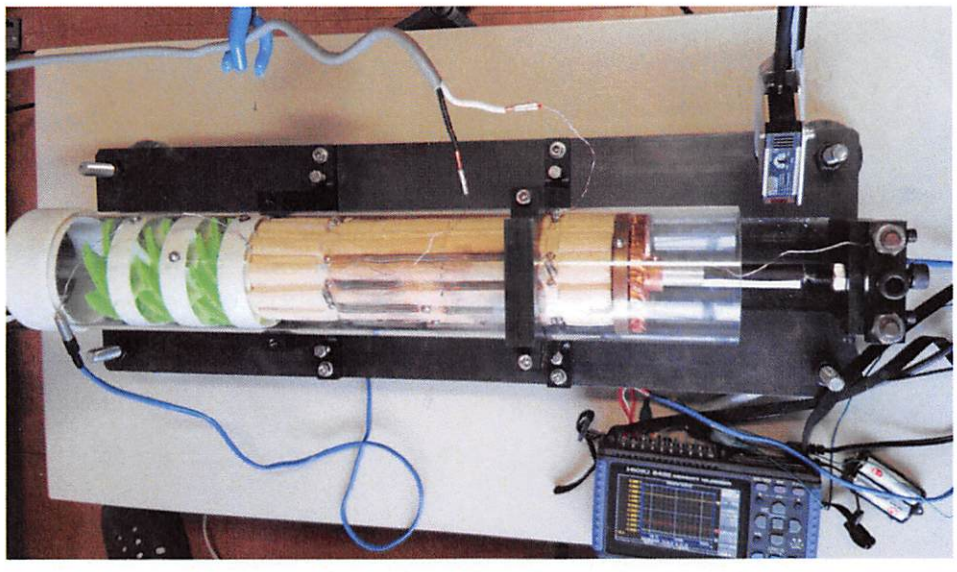


図 5　磁器製加熱器を用いた本装置（本年度）

4.2 装置の稼働実験

本装置が自力稼働可能かどうかの実験を行った.

4.2.1 実験方法

実験は以下の手順で行った. 図 6 に実験装置概要を示した.

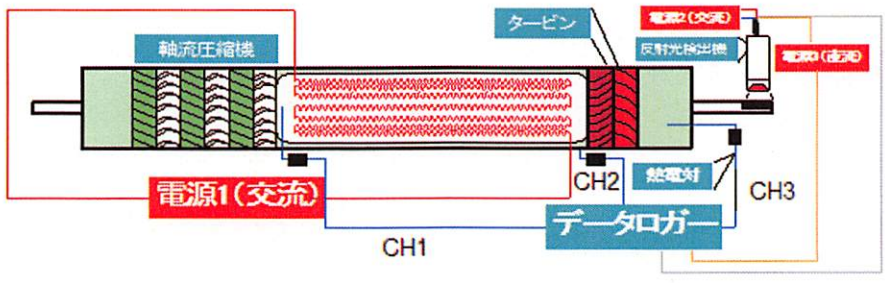


図 6 実験装置概要

(a) データロガーによるデータの記録 : オリジナルで製作したロータリーエンコーダを用いて回転数を計測し, 熱電対によって圧縮機出口, 加熱部出口およびタービン出口の温度を計測し, データロガーによって記録した. ロータリーエンコーダはタービン側の軸に, 縦 47.1mm 横 50mm の白黒分けた画用紙を張ることで反射光検出器からの回転数の計測を可能とする. 次に, 熱電対は図 6 のように設置した. CH1 が軸流圧縮機出口, CH2 が加熱部出口, CH3 がタービン出口の温度である.

(b) ガスタービンの始動方法 : ガスタービンの始動には, ブロアによって外部から空気を挿入することで行った. 空気の加熱は, スライダック (可変トランス) によって加圧した交流電源を使って電熱ヒーターに電流を流すことで行った. 電熱線は, スライダックの最大電圧 260V を流した時に, 本体の温度が最高 500℃となった (昨年度は最高 150℃). ブロアによる掃気と電熱線の加熱を約 30 分間行い, 各部の温度および回転数が定常になった後に, ブロアを停止させた.

4.2.2 実験結果

上述のように, 30 分間のブロアによる掃気による強制稼働の後, ブロアを停止させると, タービンは稼働を続けたが数十秒後に停止した. 同じ条件で 5 回行った結果を表 1 に示した. この結果, 本装置による完全な自立稼働を認めることはできなかった. しかし, 数十秒の稼働は認められた. この時の実験装置各部の温度を計測した結果を図 7 に示した. 測定位置は, 圧縮機出口, 加熱部出口温度およびタービン出口温度である. この結果から, 空気の加熱温度は圧縮機出口温度と加熱部出口温度の差から約 60℃であったことが分かった. 軸の摩擦係数などを考慮すると, 必要な加熱温度は 100℃以上必要であることから, 自

立稼働できなかった理由としては，加熱量の不足が原因であると考えられる．そのため，今後は加熱量を増加させるためのさらなる検討が必要となった．

表 1 稼働実験結果

回数	1	2	3	4	5	平均
稼働時間[sec]	49.0	42.0	39.0	27.0	25.0	36.4

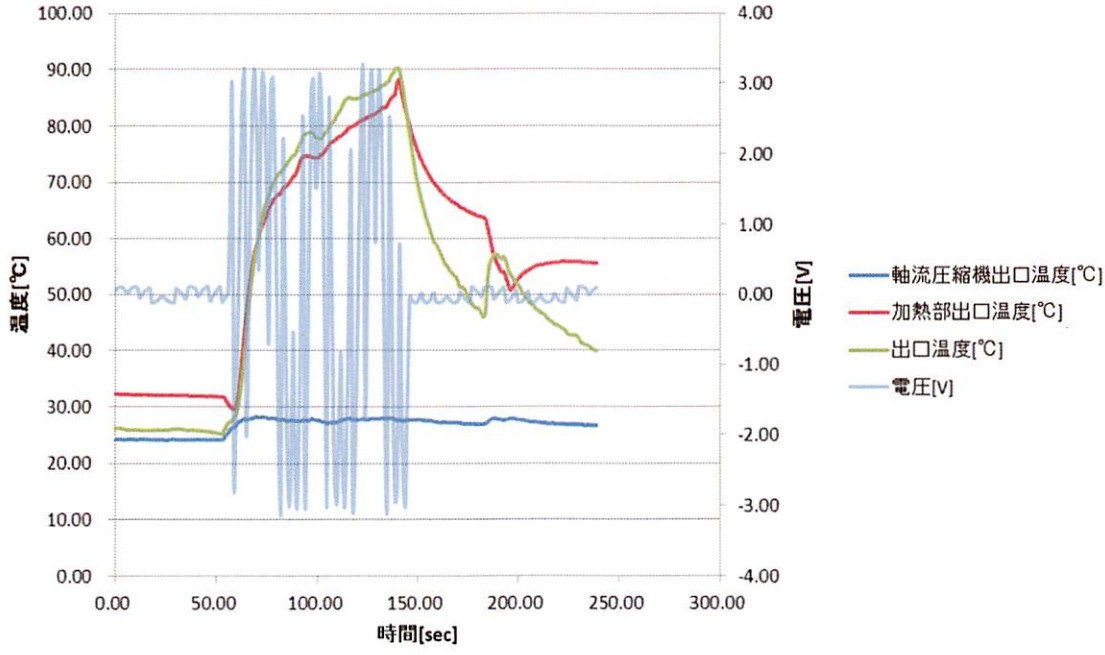


図 7 各部の温度測定結果

5．おわりに

本年度は，昨年度に引き続き，電気加熱式ガスタービンの開発を継続して行った．昨年度に比べて，自立稼働時間の明らかな増加が認められたが，完全に自立稼働するまでには至らなかった．今回の結果から，電気加熱タービンを自立稼働させることは，非常に難しいことが分かったが，今後はさらなる検討を行い，稼働時間の延長を目指して開発を続ける予定である．

掃除をゲームコンテンツクリア条件に用いることで
自発的掃除を誘発するシリアスゲームの開発

研究者名：情報学部　情報メディア学科　　氏名：小坂崇之

1．研究の目的

近年、ゲームばかりして家事を手伝わない子供たちが増加している。掃除機の使い方や、掃除機を畳やフローリングの目地に沿ってかけることも知らないのが現状である。我々は、「掃除」をゲームクリア条件に用いることで自発的掃除を誘発するシリアスゲームの開発を行う。ゲームクリア条件として、実際に掃除機を用いて掃除を行わなければならない。吸引したゴミの種類や環境によって様々なイベントが発生する。子供たちが熱中するゲームという「餌」を用いて、現実世界の「掃除」を誘発するシリアスゲームの開発を行う。

今回、我々は、「掃除」をゲームクリア条件に用いることで自発的掃除を誘発する実指向型のシリアスゲームの開発を行う。ゲームクリア条件として、実際に掃除機を用いて掃除を行わなければならない。吸引したゴミの種類や環境によって様々なイベントが発生する。子供たちが熱中するゲームという「餌」を用いて、現実世界の「掃除」を誘発する実指向型のシリアスゲームの開発を行う。

2．研究の必要性及び従来の研究

我々はこれまでに、ゲームを用いた偏食克服システムの開発を行なっている(平成 23 年度中山隼雄科学財団研究助成採択課題)。ゲームコンテンツのクリア条件として実際の飲食物の「摂取」と「咀嚼」が必要である。これらの条件を満たさないとゲームコンテンツを進めることができない。本システムを様々な展示会場にて展示を行ったところ、好き嫌いのある子友達の約 90%が苦手な食べ物（ピーマン味、にんじん味、トマト味）のクッキーを食べる姿が見られた。嫌いな飲食物であるのにも関わらず飲食した要因として「ゲームをクリアしたい」という思いや、敵が迫ってくる緊張感から、自らの意思で飲食したと推測される。 このことから、ゲームクリア条件に様々な制約（飲食する、掃除する）を設けることにより、子供たちの行動を誘導、誘発する可能であるという知見を見いたしている。

本研究ではゲームクリア条件を「飲食物摂取」から「掃除」に置き換えることで同様の結果が導きだれるのかの調査をおこなった。

3．期待される効果

- これまでのシリアスゲームはゲームシステムを用いて教育学習を行うものが一般的であるが、本提案システムでは、実際の掃除機を用いて行う実指向型のシリア

スゲームの提案が可能である。パソコンゲーム、ビデオゲームのように画面の前でプレイするのではなく、実際に掃除を行い、吸引したゴミの種類や量によってゲームが進行する。体験者が、ゲームをクリアするためには様々なゴミを吸引する必要がある。

- 子供たちに掃除機を渡しても掃除しない。「この掃除機は、ゴミの中に含まれるモンスタを集めることができる特別な掃除機である」と一言つけるだけで、子供たちは家中を掃除し始める。
- 掃除機先端には各種センサが内蔵されており、床の形状（フローリング、畳）を認識することができる。正しい掃除機（畳の目に沿って掃除機をかける等）の使い方を行わなければモンスタを集めることができない。子供たちはゲームを通じて掃除機の使い方を学習することができる。
- 既存の掃除機に装着できるため、家庭にある掃除機でプレイすることができる。
- 誰が見ても直感的に社会的に意義があることが理解できる実指向型のシリアスゲームを作ることによって、ゲームの社会的地位を上げることができる。

4．研究の経過及び結果

システム構成図を図 1 に示す。掃除機先端ホース内に搭載された高感度赤外線センサを用いてゴミの有無を検出する。掃除機の先端にはカメラ、加速度センサが搭載されており、掃除時の環境と姿勢を計測することができる。特定のゴミを検出するとホース内のバイブレータを振動させ、複数の風船を連続的に膨らますことにより、吸い込んだゴミの流れを視覚化および体感化することが可能になる。掃除機本体上部に設置されたエアアクチュエータを動作されることにより、吸引されたゴミが溜まって膨らんでいく様子を提示する。

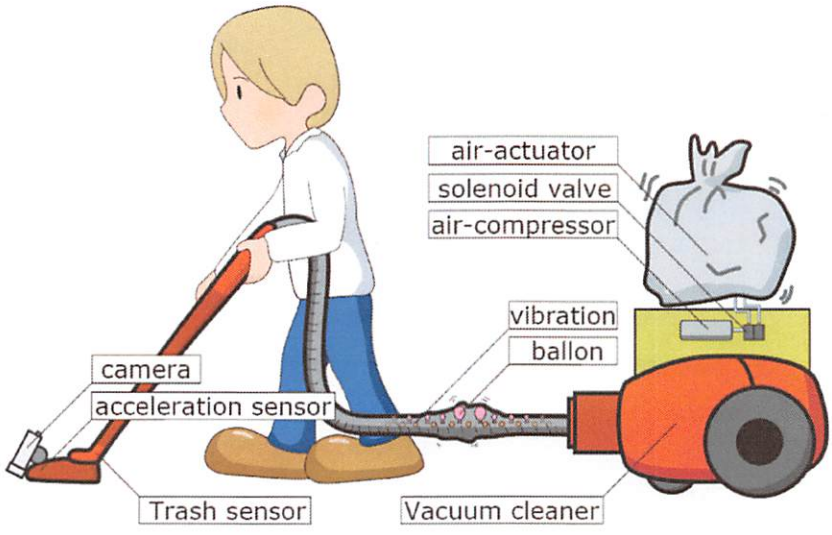


図 1:システム構成図

新たな掃除機を開発するのではなく、汎用性を考え既存の掃除機にアタッチメントとして装着するタイプを交換し、申請予算によってDyson社製の掃除機(DC-45)を購入した。DC-45は掃除の様式によってさまざまなアタッチメントのヘッドが存在し装着が容易である。我々は図2に示すアタッチメント型のデバイスの開発を行った。Dyson社製の掃除機であれば装着は可能である。

図2:開発したアタッチメント型デバイス

アタッチメント型デバイスには、Arduino、加速度センサ、通信モジュール、ほこりセンサ(GP2Y1010AU0F)が搭載されている(図3)。

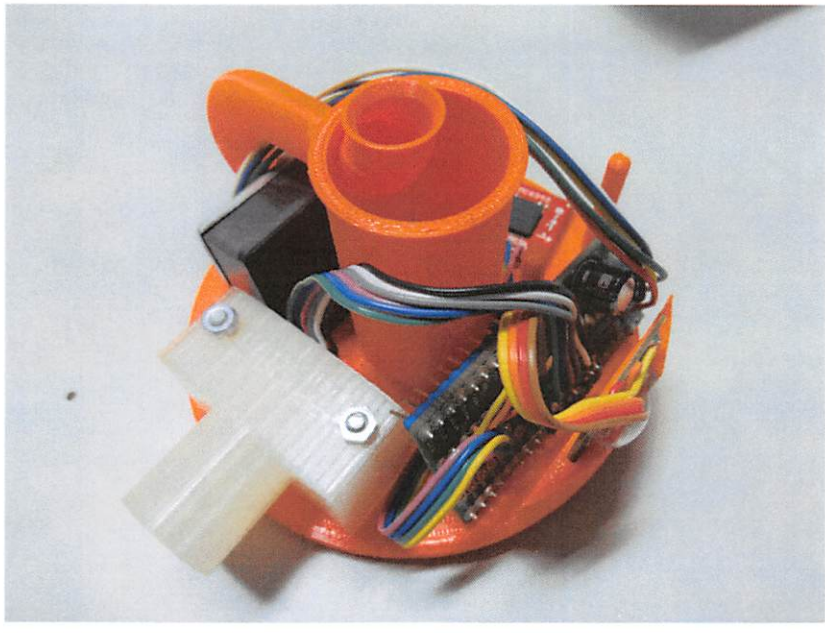


図3:アタッチメント型デバイス

５．今後の計画

予定より大幅に研究が遅れアタッチメントヘッドの開発が難航している。現在、開発したアタッチメントでホコリやゴミの検出実験を繰り返している。ホコリセンサは赤外線を発してホコリに反射して帰ってきた赤外線の値を見てホコリやゴミの大きさを判別している。しかし吸引口が非常に小さく、ホコリやゴミの大きさによってホコリセンサに通じる通気口がゴミで閉じてしまうという問題が発生している。ホコリセンサに通じる吸引機構の見直しを行う必要がある。または、既にホコリやゴミの検知機能付きの掃除機も市場には登場している。これらの掃除機にゴミを検出するとLEDの発光などでユーザに通知する機能がある。吸引した種類の正確な値を検知することはできないが、これらのLED通知機能の値を検出することでゴミの吸引を検知する方式も考えている。

今後は、これらの問題を解決するとともにゲームンツを開発し実験を行っていく予定である。ゴミに含まれる「目には見えないモンスタや妖怪を集める」というストーリで物語が進行する。体験者は実際にゴミが存在しそうな箇所に対して掃除機をかける。ゴミを検出するとホース内をモンスタが流れゴミ箱が大きく膨れる。モンスタの種類によってはホース内で「詰る」こともある。その場合、ユーザはホースをトントンと叩くことで、詰りを解消することができる。壁や天井にしか存在しないモンスタも存在する。

６．　研究成果の発表

なし

研究課題名：　ジャイロ回転する真球の抗力低下と乱流遷移

研究者名：　機械工学科　　中根一朗

1．研究の目的

球のジャイロ回転（ライフル回転）は，野球における魔球・新変化球として約10年前より耳目を集めている[例えば(1),(2)]．しかしながら，既に13世紀には球形弾丸をライフル回転させて発射する銃が発明されており，抗力低下が主因であると推察されるが，命中率が非常に良いとされていたようである．また，ジャイロ回転する球の乱流遷移に関する研究も古くから行われており，1930年代には，Luthanderらが，ライフル回転により遷移点が低レイノルズ数側に移行するとしている[(3)]．加えて近年になり，小林らが，球に沿う境界層の乱流遷移と剥離の条件，ならびに遷移域でのらせん渦の特性等を報告している[(4),(5)]．

このように，ジャイロ回転する球体に関する研究は古くから行われている．しかしながら，計測装置，データ解析手法は日夜進歩しており，最新の装置と解析手法を用いることで，様々な新しい知見が得られるものと考えられる．

そこで本研究では，高速度カメラ，応答周波数の高い6分力天秤と言った最新の計測装置と，カオス理論等の新しいデータ解析手法を用い，ジャイロ回転する真球の抗力低下と乱流遷移を検討することとした．

2．研究の必要性及び従来の研究

前記した通り，ジャイロ回転する球体に関する研究は古くから行われている．そしてこれに加え，近年になりスポーツ科学が盛んになってきたことから，球技におけるボールを対象とした関連する研究も広く行われている[例えば(6)]．このため，ジャイロ回転する球体で抗力係数が低下することは，広く知られるところとなっている．しかしながら，その抗力低下のメカニズムに関しては，古くから研究されているにも関わらず，未だ明らかになっていない．

そこで本研究では，一般的な静止鈍頭物体における知見から判断して，ジャイロ回転球の抗力低下も後流渦スケールの縮小化や乱流遷移の促進によりもたらされているものと推察し，これらを検討することとした．このため，レイノルズ数変化にともなう抗力の計測は当然として，カオス理論で用いられるリアプノフ指数を乱流遷移現象に適用することで抗力以外の観点からも乱流遷移を検討する．加えて，高速度カメラと大出力フォグマシーンを用いた可視化計測により，ジャイロ回転における後流旋回流のスケールを明らかにする．なお，本研究のようにリアプノフ指数を乱流遷移に適用することを検討した報告や，ジャイロ旋回する球の後流を下流側から可視化計測した報告は，管見において見いだすことができず，本研究の必要性は高いと判断される．

3．期待される効果

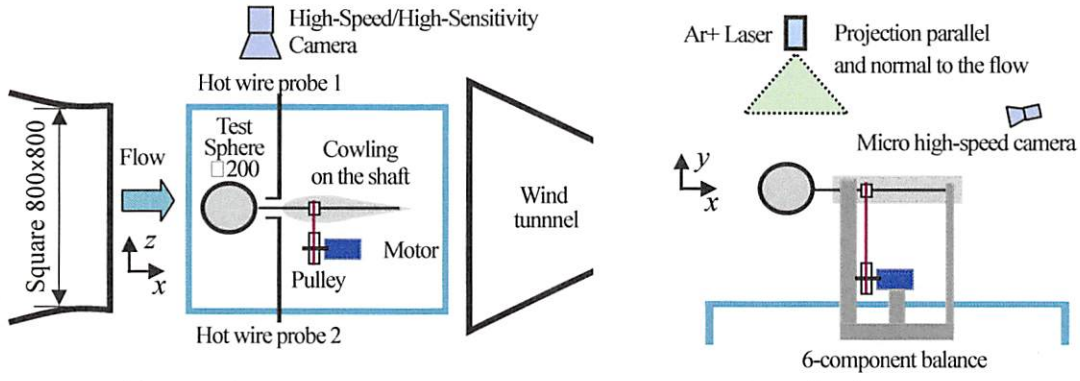
前記した通り，本研究ではジャイロ回転する真球の抗力低下のメカニズムを明確にすることを目的としている．そして，その際には新しい試みとして，乱流遷移過程の速度変動の周波数解析にリアプノフ指数を適用することで，遷移の状態を定量化できるかを検討することとしている．

なお，本研究により抗力低下のメカニズムが明らかになれば，より一層，抗力を低下させる手法の見出せる可能性が[illegible]において，リアプノフ指数が[illegible]指標となっていれば，これを他の乱流遷移現象に適用できる可能生がある．特に，未だ現在まで，一般的な乱流遷移のメカニズムが明らかにされていないことから，このような新たな手法による乱流

遷移に対するアプローチは有意義なものと考えられる.

4. 研究の経過及び結果

回流風洞内に設置した本研究に用いた実験装置の概略を図1に示す. 同図において分かりづらいのが照射するレーザシート光の向きであるが, これは上部より流れと平行および垂直に照射している. つまり, 平行に照射する場合には高速・高感度速カメラを用いて側面から撮影し, 垂直に照射する場合には小型高速度カメラを用いて流れの下流から撮影している.



(a) Top view　　(b) Side view

図 1　実験装置概略図

まず, 6分力天秤を用いて計測した3種類の回転数n=0, 1000, 2000 rpmにおける抗力係数Cdのレイノルズ数Reに対する分布を図1に示す. なお, 同図においては計測の信頼性も同時に示すため, 3回の試行の結果を1枚のグラフ上にマークしている. ここで, 基本となるn=0rpmの場合, 全般的なCd値と遷移開始前後のReは, 一般に認知されている値とほぼ等しいことが分かる. これに対し, 回転時の結果を見ると, n=1000rpmにおいてはn=0rpmの場合とほぼ等しい結果となっているが, n=2000rpmにおいては著しく低いCdとなっている.

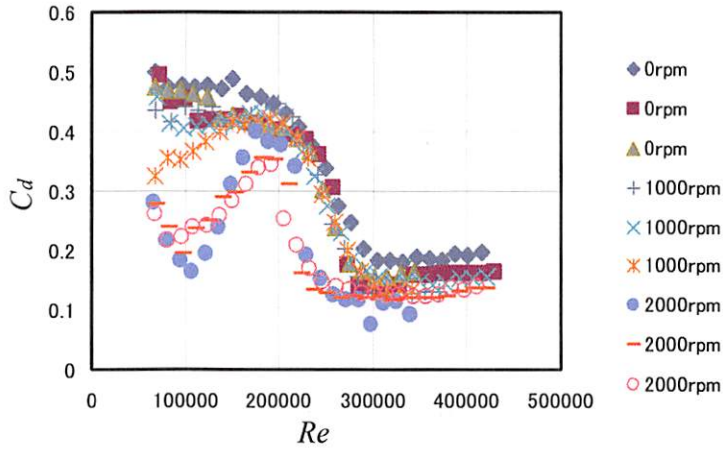
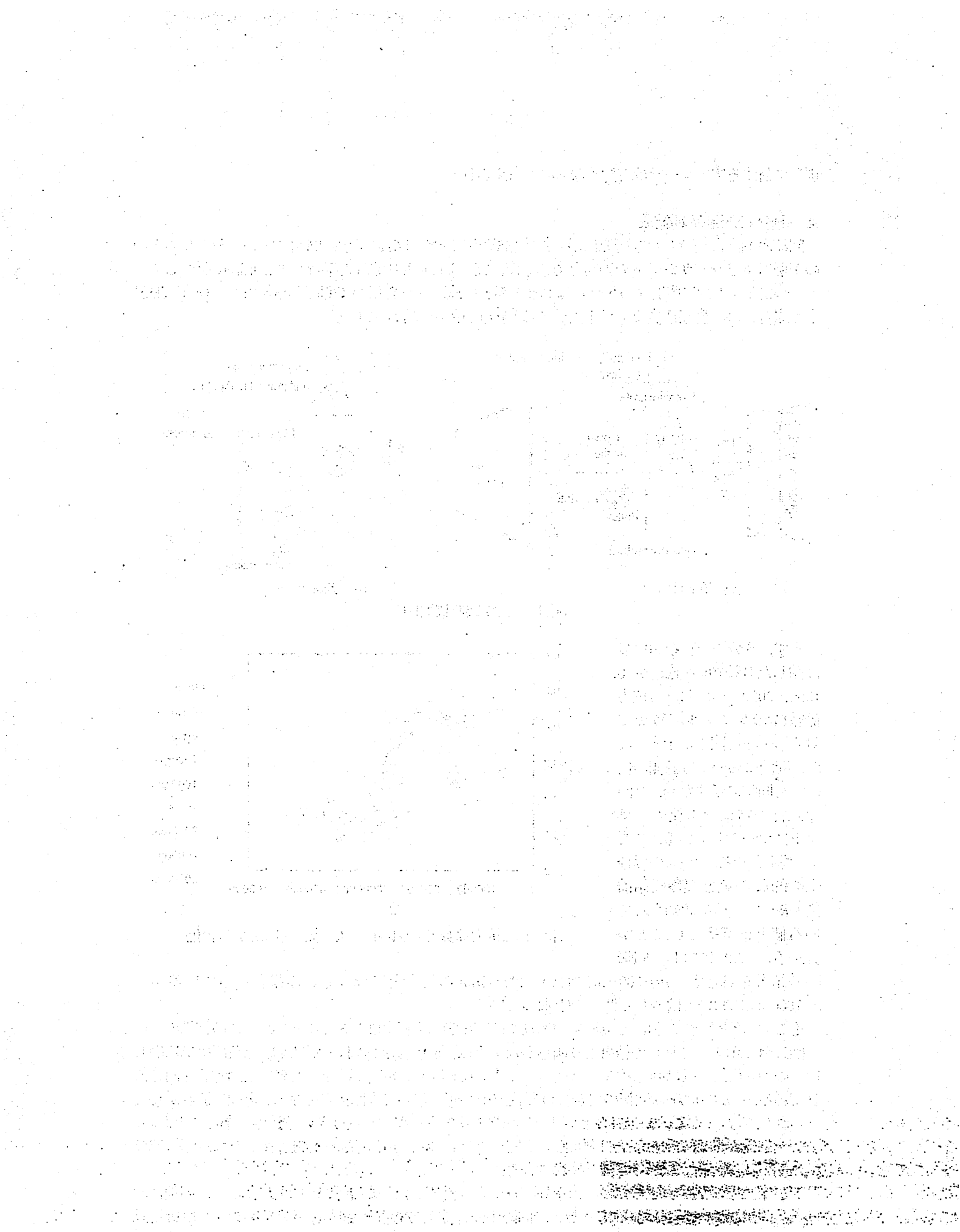


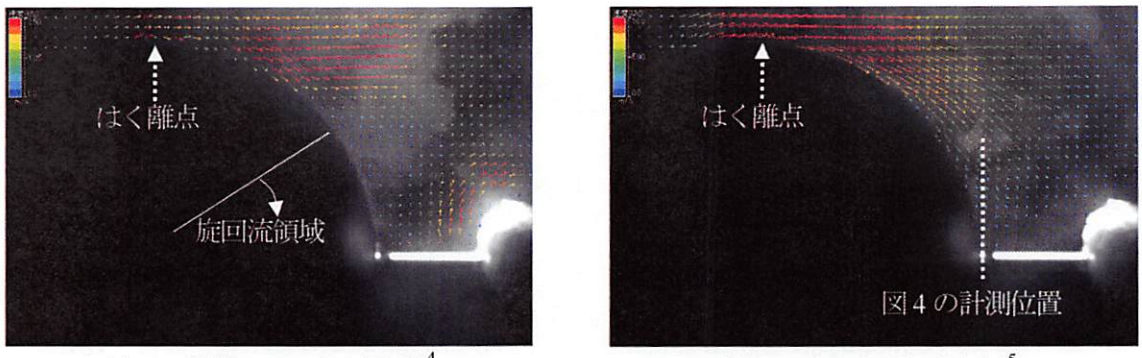
図 2　抗力係数 C_d のレイノズル数 Re に対する変化

そこで, 各回転数における後流渦の挙動をPIV法で可視化計測することとした. この結果の一例を図3と4に示す. これらの結果より明らかなように, 回転数nに関わらずはく離点角度はほぼ等しいものの, 後流挙動は回転数nにより異なり, 無回転 (n=0 rpm) の場合の後流は振動する径向き流れであるが, n=2000 rpm回転の場合には球後方中心側において旋回流が発生し, 径向き流れが見受けられなくなる. なお, この旋回流は回転する球よりエネルギーを受けている流れであることから, この旋回流領域における圧力は無回転の場合に比べて高くなることが予測され, これが回転球のC_dの低下につながっているものと推察される.

そこで, この回転真球周りの圧力を静圧管により計測した結果を図5に示す. ここで, 同図における実線はポテンシャル解析解である. 同図より, 球前方の静圧係数C_Pがポテンシャル解析結果

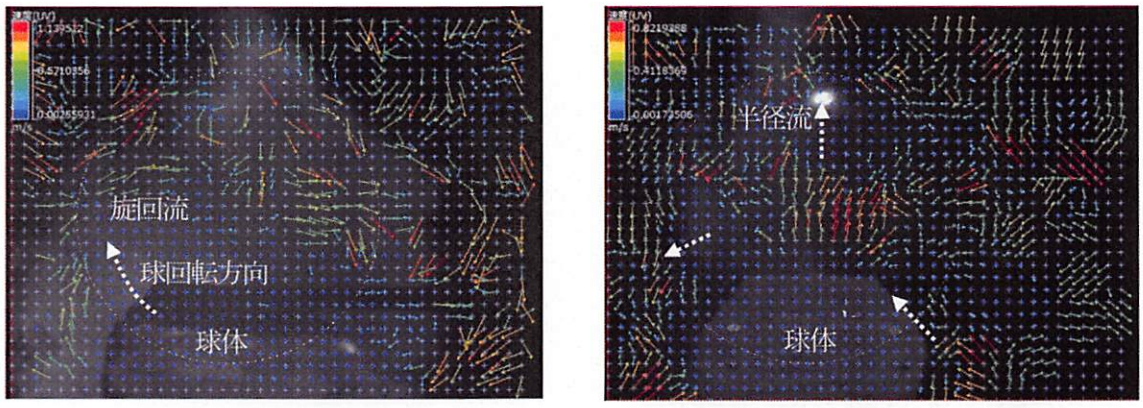


に比べて小さくなっているが，それはここでの計測が球体表面よりも10㎜の位置で実施しているためと考えられる．ただし，この結果より分かるように，n=2000 rpm回転の場合に球後方中心軸付近の静圧係数C_Pが大きく，可視化計測結果から予測される結果となっている．



(a) n=2000 rpm, Re=6.7x10^4　　(b) n=0 rpm, Re=1.3x10^5

図 3　球後流断面内流れの可視化計測結果（時間平均値）



(a) n=2000 rpm　　(b) n=0 rpm

図 4　球後端割平面内流れの可視化計測結果（瞬時値，Re=5.5x10^4）

次に，この後流渦の速度変動に関して検討する．例えば，静止円柱においては乱流遷移の状況に応じて後流渦のスケール・周期の変化することが知られている．そこでここでは，回転真球においても同様であると推察し，C_d 分布から判断される遷移の状況と後流渦の速度変動との関係を検討する．まず，図6に球後流の乱れ強さを示す．同図より明らかなように，図(a)の局所流速uにより無次元化した乱れ強さは，レイノルズ数のみならず回転数にもよらずほぼ一定である．これに対して，図(b)の平均流速U_xにより無次元化した乱れ強さは，Re=2.3x10^5 付近にピークが現れるとともに Re=3x10^5 以上においてほぼ一定となり，C_d 分布より判断される乱流遷移との間に相関が推察される．しかしながら，この場合のn= 2000rpmの結果は，局所流速により無次元化した場合と同様であり，Re=1.7x10^5 付近からほぼ一定で他の回転

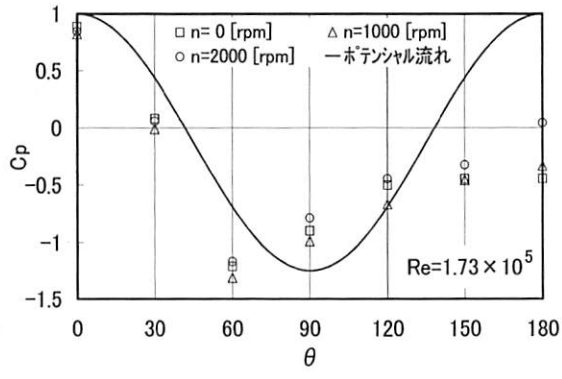
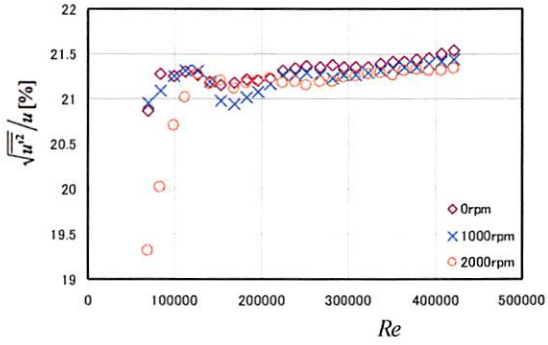
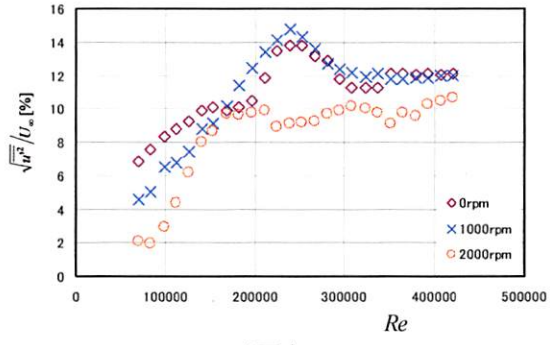


図 5　球表面近傍の圧力係数分布

数とは分布形が異なっている．つまり，旋回を有する場合にこのような乱れ強さと乱流遷移の状況との間の相関は低く，乱れ強さでは汎用的な遷移の指標とはならないと考えられる．



(a) $\sqrt{\overline{u'^2}}/u$ の分布



(b) $\sqrt{\overline{u'^2}}/U_\infty$ の分布

図6　球後流中の乱れ強さ

このため，汎用的な乱流遷移の指標を検討する目的で後流速度変動の周波数変化を観察したところ，回転数に関わらず，ランダムなピーク周波数の数・強度と遷移の状況に相関のあることが分かった．そこで，ランダムなピーク周波数の数・強度を定量化するため，これを位相空間の軌道不安定性としてとらえ，速度変動の計測結果から最大リアプノフ指数*MLE*を算出した．この結果が図７である．同図より分かるように，*MLE*は回転数によらず同様な分布を持ち，$Re \fallingdotseq 2.0\times10^5$ でピークが現れるとともに $Re \fallingdotseq 2.8\times10^5$においてほぼ一定となっている．そして，この変化は$C_d$ 分布より判断される乱流遷移の状況と一致しており，*MLE*が汎用的な遷移の指標となり得る可能生を示唆している．ただし，上記した通り，この結果では旋回による違いが現れていないため，前記したLuthanderらの結果[3]と異なり，旋回により遷移が促進されるとは言えない結果となっている．

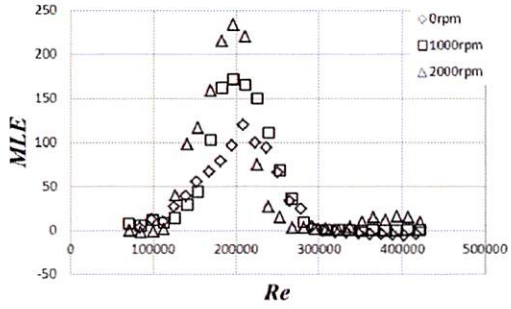


図 7　最大リアプノフ指数 *MLE* 分布

５．　今後の計画

現在，３次元境界適合座標系による数値計算プログラムを作成中である．なお，乱流モデルは乱流遷移の計算が可能な低 Re 型の k-εモデル[7]であり，これに加え，境界適合座標系においても正確な計算を可能とするため，直交境界適合座標系を生成している[8]．さらに，今後，供試真球内に超小型圧力変換器とデータロガーを設置し，回転球体の壁面圧力を計測する予定である．

参考論文

(1) 手塚，姫野，魔球の正体，ベースボール・マガジン社
(2) 姫野，魔球をつくる，岩波科学ライブラリー
(3) S. Luthander and A. Rydberg, Experimentelle untersuchungen uber den luftwiderstand bei einer um eine mit der windrichtung parallelen achse rotieren kugel, Zeitschriftfur Physikalische Chemie 36, 552-558, 1935.
(4) 小林，他３名，回転球境界層の乱流遷移におけるらせん渦の特性とはく離，機論 B, 55-517, 2590-2596, 1989.
(5) 谷口，小林，福西，一様流中にある球からの渦放出に及ぼす球の回転の影響，機論 B, 63-607, 772-775, 1997.
(6) 横山，宮嵜，姫野，ジャイロボールのドラッグクライシス，ながれ，27(5), 403-409, 2008.
(7) W. P. Jones and B. E. Launder,The prediction of laminarisation of a two equation of turbulence, Int. J. Heat Mass Transfer,Vol.15, 301-314,1972.
(8) I. NAKANE, Effectiveness of Grid Orthogonality on Body Fitted Curvilinear Coordinate System in CFD, Int. J. of Environmental Science and Development, Vol.4, 173-178, 2013.

点字入力ソフトのIME化と点字識字率の向上に関する研究

研究者名：所属学科　情報工学科　　氏名　　五百蔵重典

１．研究の目的

スマートフォンは、その携帯性および高性能化により、シェアを拡大している。しかし、スマートフォンは、その大きさから、物理的なキーボードを保持していることが少なく、文字入力が快適に行えないという問題点がある。そこで、スマートフォンのような携帯端末で、高速に文字入力できる方法を研究している。その解決策の一つとして、点字を用いた入力方式を提案する。

２．研究の必要性及び従来の研究

キーボードは最も高速に入力できる機器であるが。大きさの制約から携帯端末にはキーボードがついていないのが普通である。そのためノートパソコンのように、スムーズなキー入力が行えないという問題点がある。もし、スマートフォンのみで高速なキー入力が可能になれば、スマートフォンに比べて重いノートパソコンを持ち歩かなくて良い機会が増える。

今までの携帯端末での入力方式は、携帯端末では画面タッチできるように設計し、画面の一部をソフトウェアキーボードとして利用する方法が利用されている。このソフトウェアキーボードには、qwetry キーボードを模した配列および携帯電話のキーを模した配列が一般的である。画面をタッチするだけでなく、画面を話した時の動作を含めて入力する、フリック入力と呼ばれる方式も提案されている。その他、TagType と呼ばれる方式など、ソフトウェアキーボード方式は様々な方法が提案されている。

３．期待される効果

■高速な入力

我々は、スマートフォンの画面が 6 点以上のマルチタップ対応になっていることに着目し、ソフトウェアキーボードの一形態として点字を用いた入力方法を開発している。実験の結果、点字を完璧に覚えることで、フリック入力の 1.5 倍の速さで入力できる方法であることを見込んでいる。

キーボードよりやや劣るあるいは遜色ない程度の速度で入力できるようになると、出張程度の時などで、ノート PC を持ち歩く機会が減り、軽量化にも寄与すると思われる。荷物の軽量化に

■IME としての普及

スマートフォン向けの新しい入力方法として、注目されつつある。
後述するが、日本経済新聞に取り上げられている。
加えて、現在、携帯向けの日本語入力ソフトで多くのシェアを持つオムロンソフト社から、打ち合わせの依頼がある。打ち合わせの結果次第では、オムロンソフト社製の iWnn に本入力方式が搭載される可能性がある。

■点字の普及

我々が作成した入力方法を広めると、点字が広く広まると予想される。点字を学ぶことで、福祉への関心を高めることができる。
現在、小学校の４年生の授業では、国語の時間にバリアフリーや点字について学習する（例：光村図書が発行する教科書では「だれもが関わり合えるように」というタイトルで書かれている)。そのため、Yahoo の子どもの人物検索ランキングでは、ほとんど芸能人（アイドル）が占める中で、第３位にルイ・ユライユ（点字の発明者）が含まれている。そのため、点字学習は、小学生に求められていると思われる。
実例として、小学生に使用させた場合、単純にゲームとして楽しいようで喜んで遊んでいる。下は 4 歳児から遊び、「あいうえお」や自分の名前などを覚えてしまった例もある。ゲームとしても広まることが予測される。

４．研究の経過及び結果

研究の経過および結果を、項目ごとに以下にまとめる。

■IME 化
IME 化では透過型キーボードという形式での実装を試みている。これは Android OS 上の制約が大きく、なかなか成功には至っていない（参照：「外部委託化」)。iOS 上では実現不可能なことが分かり、Android 上では、実験的ではあるが、成功している。実用に向け、改良を進めている。

■片手入力ソフトとしての可能性

研究を進めていく中で、片手入力の要望が多いことが分かった。そこで、TagType 風の新しいボタン配置を採用した。そして、GooglePlay にて、新バージョンをソフトウェア公開した。

■特許化

当初の予定では「透過型キーボード」のみの技術で特許化することは難しいが、点字と組み合わせた点などを考慮して、特許化を考えていた。しかし、このような狭い範囲の特許を取得するよりは、広く研究成果を使ってもらうことが大事であると考え、特許化はしないことに方針にした。

■対外発表

・アジア最大級の最先端 IT・エレクトロニクス総合展の CEATEC JAPAN 2013 で、研究内容を発表した。
・11 月 7 日の日本経済新聞朝刊 33 面「キャンパス発この１品」で紹介される。
・片手入力を模索し、タグタイプ風の GooglePlay にて、新バージョンをソフトウェア公開

キャンパス発 この一品

点字入力練習アプリ――神奈川工科大

スマホ入力速度1.7倍に

日本経済新聞 朝刊 2013年11月07日 33面

■外部委託化

スマートフォン開発に詳しいと思われる２社に開発のお手伝いを依頼したが、どちらの会社からも、自社の技術では難しい案件であるとの理由で、引き受けてはもらえなかった。

・株式会社シー・エス・イー：　本学の Kapli を開発している会社
・イサナドットネット株式会社：　日本 IBM と共に開発をしている会社。情報工学科でのあぷり「すまなぶ」を開発した会社

そのため、我々で開発を進めている。スマートフォン開発会社が引き受けてくれないほど難しい開発内容ではあるが、現在プロトタイプの作成には成功している。

５．　今後の計画

■点字入力の IME 化

引き続き Android 端末上での IME 化を進める。また調査結果により、iOS 上では IME 化はできないことが分かった。そこで、Android 端末上での IME 化の開発状況を見極め、エディタソフトと日本語入力ソフトが組み合わさった iOS 上で動作するソフトウェア（ちょうど iOS 上の ATOK と同じ）を作成することも検討する。

■学校訪問

そこで、我々が作成したアプリを使い、小学校、中学校、高校などに出前講義にでかける。出前講義では、点字の話、仕組みの話などを、聴衆の知識レベルに合わせて行う。飛び込みで、学校に行くのは難しいと思われるため、別研究で共同研究をしている藤岡 PTA 会長（森の里）、元横浜市教育委員会委員の野木秀子様（本学客員教授）、企画広報課が斡旋している高校の出前講義などから、訪問先を探していく。

興味を持ってくれた児童および保護者の協力を得て、学習曲線を取る。1 件だけであるが、本学 OG から子どもを被験者にしても良いというオファーは受けている。

■外部発表

昨年度、同様、CEATEC をはじめ、外部に積極的に発表していくことを目指す。

リアルタイム指向ネットワークコンピューティング技術を用いたストリーミングクラウド機能の検証

研究者名：情報学部・情報ネットワーク・コミュニケーション学科　丸山　充
情報学部・情報工学科　清原　良三
情報学部・情報メディア学科　小島　一成
情報学部・情報ネットワーク・コミュニケーション学科　塩川　茂樹
情報学部・情報ネットワーク・コミュニケーション学科　井家　敦
情報学部・情報ネットワーク・コミュニケーション学科　岩田　一
工学部・電気電子情報工学科　高取　祐介

1．研究の目的

ネットワークの広帯域化に伴い，高精細のストリームデータを扱うアプリケーションの普及が見込まれている．例えばハイビジョンの4倍の画素数である4K映像や16倍の8K映像など高画質な映像を扱うアプリケーションである．現在，クラウドでデータリソースを意識することなく情報を共有できる環境が浸透しているが，同様な簡便さで大容量の映像データを常時安定して情報配信し，かつ即時性を保証するには，幾つかの技術的課題がある．本研究では，ネットワークと計算機リソースが機能連携や時間軸での協調動作をすることでネットワーク状況に関わらず安定的な情報配信や即時配信可能なストリーミングクラウドを提案する．本技術を実証的に評価するため，国内の高速テストベッドに接続し，次の２つの観点で広域実験を実施する．(1)リアルタイム伝送アプリケーションとネットワークの協調連携に基づく安定転送の実現，(2)クラウド機能として大規模エミュレーション環境を連携させたリアルタイム可視化機能を実現．併せて実験中のトラヒック特性を詳細に理論解析し，技術の体系化を図ると共に，本実験環境を用いて他組織・異分野の研究者との連携を積極的に進める．

2．研究の必要性及び従来の研究

本研究は，新世代ネットワーク技術の一環として進めているリアルタイム指向ネットワークコンピューティング構成技術の検討と，実アプリケーションとの連携による方式実証の２つの観点で成果の創出を目指す．

前者の観点では次のような課題がある．ｉ)クラウド技術は進展しているがリアルタイム性能の保証が難しい，アプリケーションが工夫をしてもネットワーク側の状況が正確に把握できず性能が引き出せない，ii)ネットワークの観点では，仮想ネットワークの普及により障害ポイントの探索が困難になる，アプリケーションの品質要求が要求過多になる，iii)開発者の観点では，ネットワーク上の多様なリソース情報を性能も含め統一的に扱う枠組

みがない．これに対して本研究ではネットワーク状況が変動しても，(1)ネットワーク上の計算リソースを含む様々な構成要素が自律的に協調連携する事でストリームデータを継続して配信し続ける方式提案と，(2)ストリームデータの送出元から受信先までの時間連続性と遅延量を容易に管理する手法を提案する．本方式は，実証実験を通して効果を明らかにすると共にトラヒックのバースト性に関する詳細な解析を行い理論的な裏付けを行う．

後者は，リアルタイムの要求が厳しいモーションキャプチャの伝送技術との連携を進め，映像製作のワークフローを考慮した提案に繋げる．また外部の大規模エミュレーション環境と連携したクラウドのリアルタイム可視化機能を評価するために，大規模交通網および大規模無線ＬＡＮの研究と連携して実データを使った実験を進め，高速ＰＣクラスタで処理した計算結果を即時にリアルタイム可視化する為のシステム提案に繋げる．

これらの様々なアプリケーション要求を体系化して(3)リアルタイム指向のサービス開発を容易にするためにネットワークと計算機リソースについて，同期・スケジューリングを含む明解な表現・処理手順が容易に表現できる記述方式，として明確化する．

３．期待される効果

H25 年度の目標は以下の通りである．

学内に広帯域映像試験環境を作成した上で，外部テストベッドへ 10Gbps の広帯域の接続性を確保する．これにより本学と他組織との間で，4K 非圧縮映像伝送（6.4Gbps のレート：毎秒 CDROM を１枚送る速度に相当）や学内の先進的なメディアアプリケーションを用いた伝送実験を行い性能保障に関わる課題を明確化する．また外部の大規模エミュレーション環境とのシームレスな接続性を確保し，演算結果の可視化を行う方式を提案し基本実験で課題を明確化する．また「リアルタイム指向ネットワークコンピューティング構成技術」に基づく仮想ネットワーク制御の基本機能を本実験環境に適用し，性能評価を明らかにして，次年度の研究開発に資する．

４．研究の経過及び結果

H25 年度の成果を目標の対比と関連づけて示す．

(1) 学内の広帯域映像試験環境の整備，外部テストベッドへ 10Gbps の広帯域の接続性を確保

情報学部棟内にストリーミングクラウド実験設備を配備し，リアルタイム指向ネットワークコンピューティング技術に基づき，機能要素が連携して集中制御する事で広帯域なストリームデータを安定的かつ即時に配信可能なアーキテクチャとして構築した．また，情報通信研究機構（NICT）の JGN-X テストベッドへの 10Gbps の接続性を予定どおり確保した．

(2) 他組織と先進的なメディアアプリケーションを用いた伝送実験を行い性能保障に関わる課題を明確化

NTT 未来研，奈良先端大学院大学(NAIST)，NICT，NTT-IT,PFU と連携した産学官に跨る JGN-X プロジェクトを立ち上げた．

https://www.jgn.nict.go.jp/ja/utilization/users/user-project.html

本環境を用いて，外部連携実験として以下を行った．

- H25 年 7 月から KAIT-NAIST 間での継続的な 4K 非圧縮映像を用いた伝送実験を行い，KAIT の高精度ネットワーク測定装置と JGN-X 側のネットワーク測定装置の連携により，多面的な解析を実施した．
- H26 年 2 月の NICT 雪祭り実験に参加し，東阪の 100Gbps 回線を用いて非圧縮８K超高精細映像伝送と非圧縮 4K60P の映像伝送・蓄積配信を行った．複数の伝送装置を連携させるマルチレーン同期化手法を提案しこれにより世界初のトライアルとして実現した他，40Gbps 対応の高速ネットワークモニタ装置を作成し，網状態をリアルタイムで監視した．本内容は大学プレスセンターから報道発表した他，関係部署からの報道発表を推進した結果，新聞掲載　19 社　Web 掲載　(2 月 5 日　37 社，2 月 6 日　18 社　米国 2 社，2 月 7 日　25 社　中国 2 社)への掲載に繋がる大きな成果となった．

(3) 外部の大規模エミュレーション環境とのシームレスな接続性を確保し，基本実験で課題を明確化

JGN-X のテストベッド経由で，JGN-X 内のクラウドサービスおよび北陸センターにある StarBED3 の接続性を確保し，H26 年度のクラウド連携とのトライアルに向けて検討を進めている．

(4) リアルタイム指向ネットワークコンピューティング技術における仮想ネットワーク制御に関する基本機能について実証実験を実施

ネットワークと計算機リソースの連携例として，網状態を監視する高精度ネットワークモニタの解析結果に基づき，空いているパスの動的選択や，ハードウェアトランスコーダとの連携動作，さらに時間軸の協調動作として遅延制御を入れたマルチパス伝送のプロトタイプを，OpenFlow を利用して作成し，評価を進めている．

上記のように，(1)の実験システム構築および(2)外部連携活動については，当初の計画以上に進展する事ができたと考えている．(3),(4)についても予定どおり進展している．

５．今後の計画

H26 年度は，(a)リアルタイム伝送アプリケーションとネットワークの協調連携に基づく安定転送の実現，(b)クラウド機能として大規模エミュレーション環境を連携させたリアルタイム可視化機能を実現，を目指した本格的な広域実験を JGN-X テストベッドを使って産学連携の形で実施する．具体的には，NICT との共同研究の枠組みで実施される Interop，SC(米国)，放送局と連携する雪祭り実験などを想定する．また，当初よ

り4Kの市中製品化が進展している事や総務省の追加投資により8K映像に関する研究開発が加速している状況を踏まえて，over10Gbps のメディア伝送実験が可能な環境を整備する他，世界に先駆けたクラウドとの連携による広帯域映像処理のトライアルに着手したいと考えている．具体的には，以下の検証を中心に進めて，成果の創出に繋げる．

- 高精度測定装置を用いた仮想ネットワーク状況の多面的解析の高度化および，高速化対応のアーキテクチャ提案に向けた検証
- クラウド設備との連携による広帯域映像処理および，高精度測定装置からキャプチャされた情報を元に実ネットワークの挙動の解析を行う手法の検証
- ネットワーク観測結果を基にした OpenFlow 等のネットワーク制御と網内コンピューティングリソースの連携アーキテクチャの検証

また，モーションキャプチャ伝送技術に関しては，前年度の考察を基にネットワーク制御とアプリケーション側の連携により，各地点で CG(Computer Graphics)によるリアルタイムレンダリング加工後の映像を複数同期して伝送する方式および最適な経路を選択するネットワーク制御方式を提案し，効果を実証する．

さらに，大規模エミュレーション環境とシームレスに連携するストリーミングクラウド機能について検討を進め，様々なセンサー情報をリアルタイムに取り込み，大規模クラスタ型 PC リソースでシミュレーションやエミュレーションを実施し，その結果をリアルタイムに可視化する方式提案を行うと共に，大規模交通シミュレーションや大規模無線 LAN シミュレーションの実データを用いて，ネットワーク内蓄積機能を仲介する事で，途切れのないリアルタイム可視化ができる事を検証する．

6．研究成果の発表

- 丸山 充，油谷 曉，垣内正年，大槻英樹，小林和真，酒井昌男，小林正之，“リアルタイム指向ネットワークコンピューティング技術を用いたストリーミングクラウド機能の検証，” 信学技報，vol. 113, no. 256, IA2013-41, pp. 1-6, 2013.（論文発表と口頭発表）
- 君山博之，小倉 毅，丸山 充，“オーバー50Gbit/s PC クラスタ型ストリームサーバの構成法，” 情報処理学会論文誌， 54(12)， 2413-2426 (2013-12-15)，1882-776.（論文発表）
- 丸山 充，清原良三，塩川茂樹，小島一成，井家 敦，岩田 一，高取祐介，“リアルタイム指向ネットワークコンピューティング技術を用いたストリーミングクラウド機能の検証，” IT を活用した教育シンポジウム 2013 講演論文集 第8巻 神奈川工科大，pp. 89-92， ISSN1881-6061，2014. 3.（論文発表と口頭発表）
- 樋口 駿，岩崎祐也，高橋郁也，丸山 充，広帯域ストリームデータの安定伝送に向けたトラヒック観測に基づくリソース制御手法，信学会全国大会 情報・システムソサエティ特別企画 ポスターセッション ISS-P-129，2014. 3. 18.（口頭発

表)

- H26.2.5 神奈川工科大報道発表“神奈川工科大学が，ハイビジョンの16倍の超高精細映像素材を非圧縮のままIPネットワークによって伝送蓄積配信することに世界で初めて成功,” 大学プレスセンター,
  http://www.u-presscenter.jp/modules/bulletin/index.php?page=article&storyid=6212
- H26.2.5 NICT報道発表“世界初，8K非圧縮映像“さっぽろ雪まつり”の超高速伝送実験に成功,” 情報通信研究機構,
  http://www.nict.go.jp/press/2014/02/05-1.html
- H26.2.5 奈良先端科学技術大学院大学 “世界初，ハイビジョンの16倍高解像度の8K超高精細映像素材を圧縮せずにインターネット網で遠隔伝送する実験に成功”，
  http://www.naist.jp/pressrelease/detail_j/topics/1709/
- H26.2.5 NTT-IT報道発表 “NTTアイティの高精細映像ソリューションviaPlatz 4Kと高精度ネットワークモニタが,「さっぽろ雪まつり」での世界初のNICT・8K超高精細映像配信実証実験に参加”，http://www.ntt-it.co.jp/press/2014/0205/
- H26.2.5 PFU報道発表 “非圧縮8K映像のIPネットワーク伝送をNICT実証実験で成功”，http://www.pfu.fujitsu.com/news/2014/new140206.html
- H26.2.5 アストロデザイン報道発表 “世界初，8K非圧縮映像“さっぽろ雪まつり”の超高速伝送実験に成功”，
  http://www.astrodesign.co.jp/japanese/news/news-20140206-1851.html
- “世界初，８K非圧縮映像の超高速伝送実験”，電波技術協会報 FORN，2014-3，No.297.

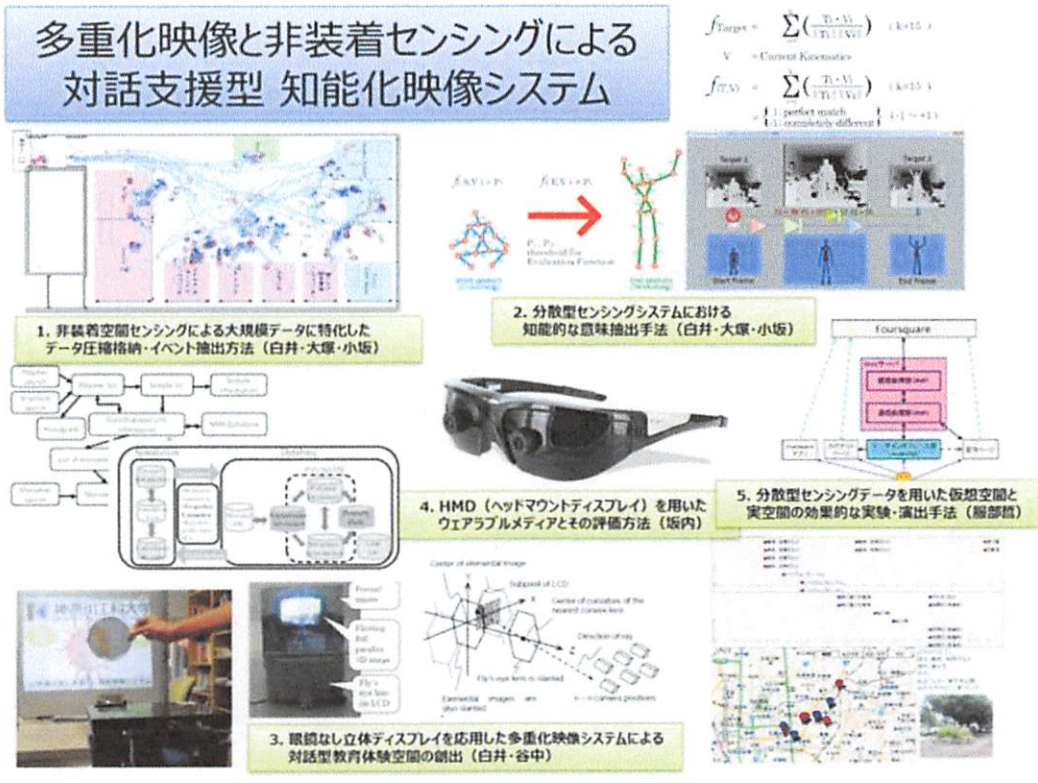
＜研究成果報告書＞

多重化映像と非装着センシングによる対話支援型知能化映像システム
（③多重化隠蔽映像の高機能化と教育向けプラットフォームの開発）

研究者名：情報メディア学科　白井 暁彦（研究代表者）
研究分担者
情報メディア学科　谷中一寿，佐藤 尚，坂内祐一，服部 哲，中村隆之，小坂崇之
情報工学科　大塚 真吾　工学部 機械工学科　佐藤 智明

１．研究の目的

本研究「多重化映像と非装着センシングによる対話支援型知能化映像システム」の大目的は，多重化隠蔽映像を単なる新奇な映像情報メディアにとどまらせず，幅広い応用の分野を開拓し，研究分野や社会との接点を強固とすることである．



＜本年度の目的・目標＞

平成 23 年度「①基盤ソフトウェアの研究」，平成 24 年度「②可視化と情報表現基盤技術」を集中して推進した最終年度となる本年度は，特に「③多重化隠蔽映像の高機能化と

教育向けプラットフォームの開発」として，次の研究成果を「高機能化」と広い意味での「教育向け」と明確に設定し，新しい体制を加えながら，担当する各分野において総合的な成果をアウトプットしていくことを目標とした.

2．研究の必要性及び従来の研究

平成 24 年度の研究提案から，従来の 3 つの研究課題に加え，以下のような研究課題と体制としている.

1. 非装着空間センシングによる大規模データに特化したデータ圧縮格納・イベント抽出方法（白井・大塚・小坂）
2. 分散型センシングシステムにおける知能的な意味抽出手法（白井・大塚・小坂）
3. 眼鏡なし立体ディスプレイを応用した多重化映像システムによる対話型教育体験空間の創出（白井・谷中）
4. HMD（ヘッドマウントディスプレイ）を用いたウェアラブルメディアとその評価方法（坂内）
5. 分散型センシングデータを用いた仮想空間と実空間の効果的な実験・演出手法（服部哲）

各体制は中心となる研究者であり，学生・研究員と協働しながら相互にシナジーをとって活動している．また定期的に研究会を開催することで，横断的な成果の共有を行なっている.

研究の目標は個々の年度において以下のようなマイルストーンを設定して推進している.

〔H23A〕分散化された赤外線レーザセンサからのセンシングデータの効率の良い格納方式の開発

〔H23B〕大規模なセンサデータから多様なイベントの抽出を提供する API の開発

〔H24A〕オートステレオディスプレイ向け多重化映像レンダリングエンジンの開発

〔H24B〕フィジカルコンピューティングを用いたハイブリッドセンシング

〔H24C〕多重化隠蔽映像システムの高度化およびコンテンツ制作手法の確立

〔H24D〕ヘッドマウントディスプレイを用いた基本システムの開発とハイブリッドシステムセンシングとの融合

〔H24E〕オープンキャンパスを用いた複数空間を移動するユーザトラッキング手法

〔H25A〕コミュニケーションモデルを獲得する知能化エンジンの開発

〔H25B〕パブリックスペースでの実証実験

〔H25C〕学内外での展示における実践的評価

上記の研究のロードマップに対し，以下のような研究計画と方法を特色としている.

＜研究期間全体の技術的成果＞

平成 23 年度　多重化映像(第 1 世代)から多重化隠蔽映像(第 2 世代)へ

平成 24 年度　多重化隠蔽映像の動画化による応用性・インタラクティビティ向上
平成 25 年度　より「高機能化」(第 3 世代),「教育向け応用」の開発へ
＜研究手法の開拓および成果の評価方法＞
ア・ACM など国際評価の高い会議・ジャーナルでの採択
イ・メディアプレゼンスの高いイベント，雑誌，TV 等でのデモンストレーション
ウ・研究成果の一般，企業へのアウトリーチ活動
エ・プレスリリースの発信によるプレゼンスの向上
オ・大学院生，学部生の積極的な参加による研究基盤形成

３．期待される効果

新体制として加わった中村，佐藤（尚）らの協力により，教育を通し成果技術の普及をはかり，学生の自由な発想を活用したゲームシステムへの応用が促進される．佐藤（智）の参加により，CAD データ可視化の利用分野を開拓できる．

４．研究の経過及び結果

本年度は最終年度ということもあり，基盤技術の研究に加えて，研究成果の一般への周知普及および産学連携への展開に特に力を入れた．Laval Virtual 2014 において「ZZZoo Pillows」および「Manga Generator」の 2 件の発表を行った（予算支出は前年度）．Manga Generator が Award で受賞．国内最大の動画共有サービス『ニコニコ動画』を運営する株式会社ドワンゴから招待され「ニコニコ超会議２」（参加者 10 万人）にて多重化隠蔽映像を『ニコニコメガネ』として展示し，幅広い層に反響を得た．ACM SIGGRAPH 2013 において「KinEmotion」を発表，ゲーム開発者会議「CEDEC2013」において，「Manga Generator」を発表．経産省「Innovative Technologies 2013」において我が国の優れたコンテンツ技術であることが認められ，DCEXPO2013（日本科学未来館）において展示を行った．佐藤（智）によりエンジン 3D モデルを「2x3D」において展示，エンタテイメント以外の教育的コンテンツを示した．

多重化隠蔽映像は谷中・白井により，第 3 世代である液晶プロジェクタの知見を活用し，フラットパネルによる多重化隠蔽映像の実験上の成功を確認した．

５．　今後の計画

多重化隠蔽映像はフラットパネルでの実現を確実にし，第 4 世代として継続する．なお，名称は「多重化不可視映像」として普及展開を図る．

本重点研究の研究成果は一般財団法人高度技術社会推進協会（TEPIA）に認められ，平成

26年度より「Manga Generator」および「スクリッター」として常設展示されることが決定した．モーション認識アルゴリズム，多重化不可視映像およびレーザーセンシングのフィールドテストを実施して新たな知見を得たい．

6． 研究成果の発表

21件の学術外部発表，うち3件の海外発表．

＜受賞＞

・「Manga Generator」フランス Laval Virtual Award 2014（リアルタイムキャラクター&バーチャルワールド賞）

・「2x3D」，経済産業省「Innovative Technologies 2013」

・「マンガ没入型エンタテイメントシステムの可能性」，電子情報通信学会 HCG シンポジウム2013「最優秀インタラクティブセッション賞」，「オーガナイズドセッション賞」

・「WebSocket を用いたスマートフォン上でのエンタテイメントコンテンツ閲覧時のリアルタイム行動分析」，エンタテインメントコンピューティング2013（芸術科学会オーガナイズドセッション ベストプレゼンテーション賞）

＜取材＞ （主要なもの）

◆DigInfoTV（英語）

・「2x3D lets viewers watch 2D or 3D movies on the same screen simultaneously」，November 22, 2013, 27,488 views, http://www.diginfo.tv/v/13-0093-r-en.php

・「Manga Generator lets you step inside a Japanese manga comic」，August 26, 2013, 82,425 views, http://www.diginfo.tv/v/13-0062-r-en.php

◆DigInfoTV（日本語）

・「2D+3D 互換の多重化ディスプレイシステム」，2013 年 11 月 13 日， 34,581 再生，http://jp.diginfo.tv/v/13-0093-r-jp.php

・「漫画の世界に入り込む『Manga Generator』」，2013 年 08 月 23 日， 29,192 再生，http://jp.diginfo.tv/v/13-0062-r-jp.php

＜学術発表リスト＞

[K1] Shunsuke Yanaka, Motoki Ishida, Takayuki Kosaka, Motofumi Hattori, and Hisashi Sato. 2013. Resolution of sleep deprivation problems using ZZZoo Pillows. In Proceedings of the Virtual Reality International Conference: Laval Virtual (VRIC '13), ACM, New York, NY, USA, Article 25 , 2 pages.

[K2]谷中俊介，小坂崇之，服部元史：抱き枕「ZZZoo Pillows」を用いた安心感の提供，研究報告デジタルコンテンツクリエーション(DCC)，2013-DCC-4, vol. 6, pp. 1-4, 2013-06-20.

[K3] Shunsuke Yanaka, Takayuki Kosaka, and Motofumi Hattori, ZZZoo pillows: sense of sleeping alongside somebody, In SIGGRAPH Asia 2013 Emerging Technologies (SA '13). ACM, New York, NY, USA, Article 17, 1 pages, 2013.
[K4]谷中俊介，小坂崇之，服部元史：ZZZoo Pillows：呼吸感と体温といびきの提示による安心感を与えるための抱き枕の研究，エンターテインメントコンピューティングシンポジウム (EC2013)，pp.178 - 181 2013.9.17
[N1] 中村隆之，川井高浩，堀雄武，田口裕起，白井暁彦，佐藤尚："自作アーケードゲーム「アオモリズム」開発を通じた エンタテインメントシステム開発教育の実践"，日本デジタルゲーム学会 デジタルゲーム学研究，9pages，2014/03/09.
[O1] 佐藤　充・白井暁彦・大塚真吾，「測域センサデータの可視化」，電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーショングループ,HCG シンポジウム 2013，pp.476-478，2013.12.18
[S1] Yuto NARA, Wataru FUJIMURA, Yukua KOIDE, Genki KUNITOMI, Akihiko SHIRAI, "KinEmotion: Context controllable emotional motion analysis method for interactive cartoon generator", ACM SIGGRAPH 2013 Posters, pp.75, 2013/7/21.
[S2] 白井 暁彦，小出 雄空明，奈良 優斗，藤村 航，"姿勢評価によるリアルタイム感情推定を特徴とする動的マンガ生成システム「Manga Generator」"，CEDEC2013，2013 年 8 月 21 日.
[S3] 北田大樹,白井暁彦:スマートフォンの加速度センサを用いた微小不随意運動検出による動画視聴時の笑い評価手法，第 18 回 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集，pp. 162-165，2013 年 9 月 18 日.
[S4] 藤村航,小出雄空明,奈良優斗,白井暁彦，"VR エンタテイメントシステムのためのリアルタイムマンガ風画像生成シェーダーの開発"，第 18 回日本バーチャルリアリティ学会大会,pp. 216-219，2013 年 9 月 18 日.
[S5] 小出雄空明,國富彦岐，藤村航，奈良優斗，白井暁彦："マンガ没入型 VR エンタテイメントシステムにおけるコンテンツ制作手法"，第 18 回日本バーチャルリアリティ学会大会，pp.552-555，2013 年 9 月 20 日.
[S6] 北田大樹,白井暁彦："WebSocket を用いたスマートフォン上での エンタテイメントコンテンツ閲覧時のリアルタイム行動分析"，エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2013 論文集，pp.117 - 122 ，vol.2013，2013 年 10 月 4 日
★芸術科学会オーガナイズドセッション ベストプレゼンテーション賞
[S7] 國富彦岐,石川 晃,田所 康隆,白井 暁彦："年齢層とゲーミングデバイスの違いによる面白さの比較調査"，エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2013 論文集，pp.111 - 116，vol.2013，2013 年 10 月 4 日.
[S8] 田所康隆,藤村 航,北田大樹,白井暁彦，"エンタテイメントシステム展示を対象とした質的評価ツールの提案"，エンタテイメントコンピューティング 2013，vol.2013，pp.107 - 110，2013 年 10 月 4 日.

[S9] 石川晃,小西瑞輝,國富彦岐,田所康隆,白井暁彦:"スマートフォンを用いた実世界指向パーティゲームの提案", エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2013 論文集, pp.103 - 106, vol.2013, 2013年10月4日.

[S10] 小山 雄空明, 國富 彦岐, 藤村 航, 奈良 優斗, 白井 暁彦:"マンガ没入型エンタテイメントシステムの可能性", 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーショングループ HCG シンポジウム 2013, pp.208-211, 2013年12月18日.

★電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーショングループ HCG シンポジウム「最優秀インタラクティブ発表賞」受賞

[S11]小出 雄空明, 國富 彦岐, 藤村 航, 奈良 優斗, 白井 暁彦, "学生 VR コンテストを起点とした VR エンタテイメントシステム開発とその報告", 第5回横幹連合コンファレンス, 2pages, 2013年12月21日.

[S12] 白井 暁彦, "3D ディスプレイに付加価値を与える多重化隠蔽映像技術", 応用物理学会・日本光学会・微小光学研究グループ, 第131回微小光学研究会招待講演, 6pages, 2014年3月5日.

[S13] 藤村航, 小出雄空明, 國富彦岐, 田口裕起, 鈴木久貴, 白井暁彦:"直線偏光による多重化隠蔽型ハイブリッド3Dディスプレイにおける画質評価",映像情報メディア学会技術報告 立体映像における人間工学的研究, 及び立体映像技術一般(ヒューマンインフォメーション研究会共催) , pp.35-38, vol.ITE-38, no.11, 2014.2.27

[S14] 小出雄空明, 藤村航, 國富彦岐, 田口裕起, 鈴木久貴, 白井暁彦:"液晶フラットパネルにおける多重化隠蔽映像の試行と実現", 映像情報メディア学会技術報告 - 立体映像における人間工学的研究,及び立体映像技術一般, pp.39-40, vol.38, no.11, 2014-02-27.

[S15] 田口裕起, 鈴木久貴, 小川耕作, 白井暁彦:"HMD 装着時における首によるジェスチャ認識 ～ 首可動域の特性 ～", 映像情報メディア学会技術報告 ヒューマンインフォメーション研究会「視聴覚技術, ヒューマンインタフェースおよび一般」, pp. 9-11, vol.38, no.10, 2014年3月4日.

(以上)

複合感覚提示が食感および食行動に及ぼす影響に関する研究

研究者名：情報メディア学科　坂内 祐一，情報メディア学科　小坂 崇之
栄養生命学科　餐場 直美，ロボット・メカトロニクス学科　高尾 秀伸

１．研究の目的

「食」は生きるために必要不可欠な行為であるとともに，摂食行動により脳の報酬系に作用して大きな満足感を引き起こす．食事の時の「おいしさ」である食感は，基本的な感覚である味覚に加え，心身の健康状態，感性的満腹感，感情要因，認知要因，社会的要因など様々な要因からなる．本研究では味覚以外の刺激である嗅覚・視覚・触覚の複合感覚刺激を与えて，味覚および食感全体がどう変化するのかを実験によって明らかにし，食バランスの偏向等に対する適切な食育を実践するための，新たな食育方法およびシステムの構築を行うことを目的とする．

２．研究の必要性及び従来の研究

安価な輸入食糧による「飽食」，小家族化による「孤食」などが増加するに伴って，子供の偏食が大きな問題となっており，食育の確立が急務となっている．食育で重要なのは，栄養価の高い食物を強制的に与えるのではなく，自ら進んで食べられるような状況を作り出すことである．食感は，視覚・嗅覚・聴覚・触覚・味覚的の 5 つの感覚が最終的に脳に統合されることによって生じる感覚であり，これらの感覚間相互作用であるクロスモダリティを利用して異なる食感を与えることが可能である．五感のうち味覚の研究は，味覚受容体が発見された 2000 年頃より急速に進展しているが，味覚以外の感覚が食感に及ぼす影響については，ほとんど明らかになっていない．

そこで本研究では，食感に最も大きな影響を及ぼすと言われている嗅覚刺激を中心に，視覚や触覚を含めた感覚が食感にどのように影響するのかを実験的に検討する．さらに得られた知見をもとに，クロスモダリティを利用した新たな食育方法・システムの開発に結びつけていく．

３．期待される効果

(1) 摂食行為で使用可能な刺激提示装置およびセンサの開発

嗅覚刺激を提示するための嗅覚ディスプレイ，コントロールされた視覚刺激のみを提示するための実験用ヘッドマウントディスプレイ，口腔付近への温度や振動刺激を与えるためのアクチュエータなど，食行為を定量化するためのさまざまなデバイスが開発される．

(2) 食感や食行動に関連する心的要因および外的要因

食感を構成する要因を，従来研究のサーベイに加えて，行動科学的・心理学的側面から調べるためにアンケート調査することで，社会的要因および認知的要因が明らかになる．

(3) 食感に関する生理的指標の計測および分析

食感に関する生理的指標として，脳機能計測データをもとに客観評価を行い，より定量的な指標を示すことができる．

(4) 食育方法・システムの開発・評価

上記の成果をもとにして，人のより良い摂食行動を促すための総合的な食育プログラムやシステムの開発に結びつく．

４．研究の経過及び結果

初年度（平成 25 年）は，食感覚に影響を与える様々な刺激提示方法の検討や食行動のモニタリングのため，センサの開発からスタートして実験環境を整備することが主な課題であった．予定していたセンサの多くを開発し，ベースシステムとして「偏食克服のためのシリアスゲーム」を製作し，発表・展示など大きな成果を得た[3],[7],[9],[10],[11],[12]．また改良を進めている嗅覚ディスプレイに関しては，学会発表の場で多くの意見を聴取することができ，開発の基本的方向について肯定的な見解が得られた[1],[2],[6].

食満足や食行動に関連する心的要因および行動科学的解析では，朝食摂取をするという行為において，知識ではなく体験を通して初めて，食育として認知され，それが食事摂取という行動に移せていることを明らかにし，国際会議にて発表した[4].

また NIRS を用いた実験により，聴覚と味覚との感覚間相互作用に関すると推定される部位の賦活が観察されたことを報告した[8]．また前頭葉における脳血流変化と味の嗜好に関する主観的評価結果との間に相関が認められ，客観的な評価手法の開発に向けた基礎的な知見の一部が得られた[5].

５．　今後の計画

(1)摂食行為で使用可能な刺激提示装置およびセンサの開発

視覚刺激デバイス，嗅覚刺激デバイス，温度・振動刺激提示デバイスなどの開発を行うとともに，摂食行為を定量化するためのセンサ（たとえば咀嚼センサ）を開発して，コントロールされた刺激に対して摂食行為がどのようになるか，センサを用いて定量的に計測する．

(2)食満足や食行動に関連する心的要因および行動科学的解析

食の満足につながる様々な外的環境と食の満足感との関連性について明らかにする

平成 26 年度は，食の満足やよりよい食行動につながる外的要因について検討をする．特に，食事において社会心理学的に影響を与える共食と食意識や食行動への影響について，本学学生を含む大学生を対象として調査を実施する．食事の社会環境の設定の在り方について検討をする．

(3)食感を反映する生理指標の検討

食行動に伴う脳機能の解明を目指した基礎研究を行う．特に食感に着目した検討を行う．

ただし，食感とは単なる味覚刺激に対する心理的反応ではなく，より高次な「美味しさ」といった感覚や他の五感情報と密接に結びついた複雑な心的様相であるため，fNIRS（近赤外光を用いた脳機能イメージング装置）を用いて，「美味しい／不味い」という高次な知覚・認知情報処理について脳機能学の観点から実験的検討を行う

６．　研究成果の発表

[1] 坂内祐一：「香り」から「香りと味へ」，日本バーチャルリアリティ学会研究報告「第 6 回香りと味に関する産学フォーラム講演要旨集」，Vol.18, No.SBR-3 巻頭言, 2013 年 11 月.

[招待講演]

[2] 坂内祐一：嗅覚ディスプレイの開発と嗅刺激に対する主観・生体反応評価について，第 4 回電気学会嗅覚インタフェース調査専門委員会，東京工業大学，2013 年 10 月 28 日.

[国際会議]

[3] Takayuki Kosaka,Takuya Iwamoto:Serious dietary education system for changing food preferences "food practice shooter",VRIC '13 Proceedings of the Virtual Reality International Conference: Laval Virtual Article No. 23(2013).

[4] Aiba: Individual characteristics and environmental factors are associated with skipping breakfast in Japanese male university students. （国際栄養学会 2013）

[5] H. Takao T. Ishii and N. Aiba: "Evaluation of Taste of Drink Using fNIRS", Proceedings of KAIT International Symposium 2013, 2013.

[学会大会]

[6] 武田茉莉，坂内祐一：快・不快なにおいのパルス射出における 2 点分離閾値の測定，第 26 回においかおり環境学会講演要旨集，pp67-68, 2013.8.22.

[7] 小坂崇之：偏食克服を目的とした食育シリアスゲーム「Food Practice System」の開発，エンターテイメントコンピューティング 2013,CD-ROM. 2013.

[8] 石井崇，高尾秀伸，饗場直美: "脳機能計測による BGM が飲料の美味しさに与える影響の検討"，日本人間工学会第 22 回システム大会抄録集, AE14-04, 2013.3.

[展示]

[9] TOKYO Game Show2013

[10] 神奈川食育フェスタ

[受賞]

[11] 日本ゲーム大賞 2013 アマチュア部門　特別賞受賞(2013/09/21)

[12] Asia Digital Art Award FUKUOKA 2012 エンターテインメント(産業応用)部門　入賞 (2013/03/03)

食品のマルチモニタリング成分分析・解析技術による食品調理加工法の栄養学的最適化の評価

研究者名：栄養生命科学科　飯島陽子
栄養生命科学科　松月弘恵

1．研究の目的

本研究では、実際の食品の喫食状態を重視した「食品の調理加工操作」に焦点をあて、食品成分の調理加工における変化について、多成分系を一度に俯瞰すること（マルチモニタリング）により、食品の機能性成分（一次機能・二次機能・三次機能をすべて含む）を摂取するうえで最適な調理加工を見出す新しい手法を開発し、そのなかで有用な成分（加工マーカー成分など）を見出すことを目的に研究を行った。

2．研究の必要性及び従来の研究

健康な生活を維持するためには、野菜を多く食べることが推奨されているが、新鮮な生の状態で野菜を常に食べることは難しく、加熱調理やジュースなど、加工を施したのちに食されることが多い。しかし、野菜を加熱調理すると、組織が軟らかくなったり、独特の味や香りなどの変化が起こることで食べやすくなるが、その間多様な成分の変動が予想され、栄養成分のみならず機能性成分にも実質的な変化があるといわれている。また、現在では食事の宅配など、加熱加工調理されたものが多く出回っており、食品の加工調理をファクターとした食品の質に対する食品成分変化の裏付け、さらには適切な調理加工法への提案が重要である。しかし、食品成分の加熱における影響は、主要栄養素など一部の成分についてしか分かっておらず、総体的にどのように変化するのかを捉えた例はない。本研究では、申請者らが開発した新しい分析技術で、調理加工による総体的な成分変化を俯瞰し、調理状態を知りえるマーカー成分を見出すことを目指した。

3．期待される効果

本研究では、一部の既知成分をターゲットにする分析ではなく、質量分析計で検出可能なすべての成分について炙り出しながら野菜の加熱前後の成分組成の違いを調べるところが特徴的な点であり、従来の食品成分分析手法では見いだされなかった新規の食品成分情報を得ることが期待できる。さらに、消費者に成分情報を公開し、生で食する場合と加熱調理して食する場合の食品機能面での違いをより深く考慮した食事形態の提案ができる。さらに、今後の調理機器の技術向上や給食・高齢者宅配事業などの大量調理現場において、栄養学的に配慮した献立作成や栄養指導に役立つと考えられる。

4．研究の経過及び結果

【実験方法】

試料：

試料には、生鮮および加熱のいずれにおいても消費量の多い野菜であるトマト、タマネギ、キャベツをサンプルとした。それぞれ１ｃｍ角に刻んだのち、そのまま凍結乾燥したものを生鮮サンプルとし、それぞれ 100 g に対し 200ml の沸騰水を加え、2 時間加熱還流したものをゆで水とともに凍結乾燥したものを調理サンプルとしたこの操作を 5 回繰り返し、分析サンプルとした（図１）。

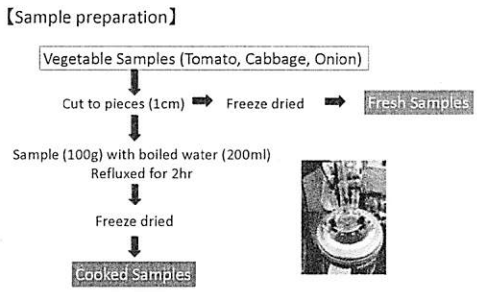


図１．生鮮野菜および調理野菜の調製

分析方法：

乾燥サンプル 20mg に対し、300ul のメタノール（内部標準として formononetin 10ug/ml 含む）を加え、ジルコニアビーズをいれて、Tissue Lyser にて成分抽出した（25Freq x 2min）。遠心分離後、上清を取り除き、再度同様に抽出した。上清を合わせ、フィルターろ過後、LC-MS に供した。LC-MS 装置は、Agilent 1100 series, Finnigan LTQ-FT-MS (Thermo Fisher Scientific)を用いた。条件は以下の通りである；カラム：TSKgel column ODS-100V (4.6 x 250 mm, 粒径 5 μm; 東ソー)。 グラジエント条件：水 (0.1%w/w ギ酸を含む) (A) とアセトニトリル (0.1%w/w ギ酸を含む) (B)を用いた。A:97%(0min)→50%(20min, gradient)→10% (40min、gradient) →10%, (45min, hold), 流速：0.5 ml/min, カラムオーブン温度：40℃。質量分析部条件：ESI モード, Spray voltage：4.0 kV, Capillary 温度：300℃。ポジティブモード、ネガティブモードとも同条件で行った。m/z100-1500 の範囲, 分解能 100,000 でデータ取得を行った。MS/MS データは、normalized collision energy を 35%に設定し、取得した。

データ解析：

Xculibur (Thermo Fisher Scientific)でデータ取得を行った。その後の解析は、我々が独自に開発したデータ解析ソフトを用いた。まず、Xcalibur での生データをテキストファイルに変換した (MSGet, http://www.kazusa.or.jp/komics/ja/tool-ja/66-msget.html)。次に、全データからの成分ピークの拾い出しを行った（Power FT, http://www.kazusa.or.jp/komics/ja/tool-ja/ 48-powerget. html)。さらに、各データ間で精密 m/z 値および MS/MS パターン、保持時間に基づくピークアライメントを行った。精密質量（±5.0ppm 以内）およびリテンションタイム（±0.5min）で一致するピークを同一ピークとして、まずアライメントした(Power Match, http://www.kazusa.or.jp/komics/ja/tool-ja/48-powerget.html)。さらに、目視によりミスマッチの部分を修正した。解析データの補正、整理後、エクセルファイルに出力して、多変量解析に用いた。多変量解析ソフトは、Pirouette3.11(GL サイエンス)を用いた。

未知成分の構造推定： 化合物の同定・推定は、標準品および筆者らが作成した代謝物データベースを用いた。ただし、加熱により新規に生成した成分については、MS/MSフラグメントパターンにより、構造推定を行った。また、現在単離を進めており、NMRにより構造決定をする予定である。

【結果および考察】

トマト、タマネギ、キャベツについて、LC-MS positive モードで取得したデータについて精査した。ピーク検出を行った結果を表１に示す。

表 1. 各野菜で検出された成分ピーク数

	Total	Fresh	Cooked
Tomato	2868	269	355
Onion	2124	331	71
Cabbage	1597	58	290

いずれのサンプルも、約 2000 のピークがみられた。そのうち、生鮮野菜のみで見られた成分（Fresh）と調理野菜で見られた成分(cooked)がかなり見られた。特に、タマネギでは、調理により減少する成分が多く、逆にキャベツでは、調理より増加する成分が多いことが分かった。

次に、これらの検出ピークを使って主成分分析を行った。その結果を図２に示す。いずれのサンプルでも生鮮サンプル群と調理サンプル群において、第一主成分で判別することが可能であることが分かった。MS のデータから考察される主に変動のあった成分をスクリーニングした（表２A-C)。今後は、これらの成分情報を精査する予定である。

トマトについては、既知機能性成分に絞ってより詳細に調べた。呈味性成分であるグルタミン酸や、フラボノイド機能性成分であるルチン、クロロゲン酸類、トマチンなどの加熱による変化を図３に示した。ペプチドであるグルタチオンは、抗酸化作用を有することで知られているが、加熱により酸化が進んだと考えられ、減少する傾向があった。同様に、トリカフェオイルキナ酸についても、加熱中にカフェ酸の脱離が起こったと考えられ、加熱によりトマト中の含量が減少する傾向を示した。しかし、それ以外の成分については、ほとんど大きな差は見られず、主な機能性成分は、トマト調理形態に限らず、同様に摂取可能であることが推測された。

果皮に多いナリンゲニンカルコンおよび果肉に多いエスクレオシドＡは、顕著な減少がみられた。ナリンゲニンカルコンについては、ナリンゲニンカルコンの減少にともないナリンゲニンが加熱により増加したことから、加熱によりナリンゲニンカルコンの閉環反応が促進され、ナリンゲニンに変化することが推測された。ナリンゲニンカルコンは果皮に存在し、抗アレルギー作用があることなどが報告されている。また、他の天然野菜食材にはほとんど含まれず、トマトの果皮特異的でもあるため、トマト抽出物としてサプリメントも販売されている。一方、エスクレオシドＡは、どのように変化したのかまだ詳細は不明である。エスクレオシドＡは、最近動脈硬化抑制作用があることが報

告されており、トマトに含まれる含量もリコペンより多いことが知られている。また、熱に不安定であることもすでに知られており、我々の研究もそれに従う結果となった。我々は、加熱によって新規に増加した成分のうち、MS/MS のフラグメントパターンの解析を行うことで、エスクレオシド A と構造が類似した化合物を 2 種見出した。何れも分子量が小さくなったものであり、現在、加熱生成物について、詳細を調べている。

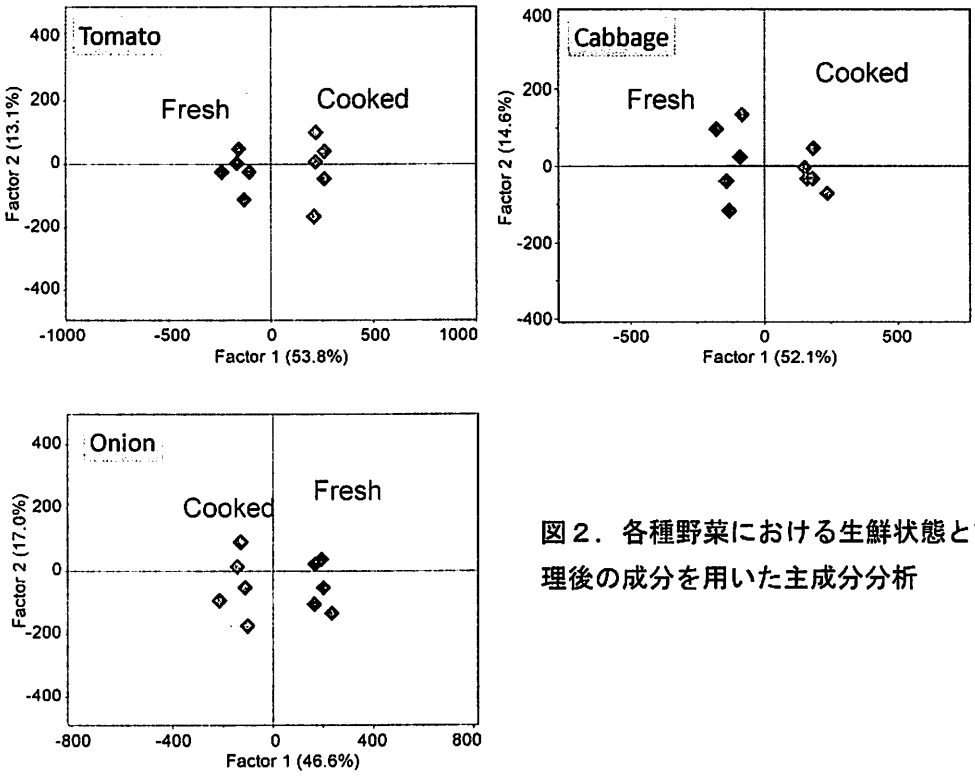


図２．各種野菜における生鮮状態と調理後の成分を用いた主成分分析

表２.各種野菜の調理により変動が顕著であった成分の高分解質量分析によるアノテーション（A:トマト、B:タマネギ、C：キャベツ）

(A) Tomato

RT	Detected m/z [M+H]+	Annotation	After cooked
6.36	343.1235475	Disaccharide	increase
6.77	343.1235046	Disaccharide	decrease
16.09	339.1235245	Tuberosin	increase
16.28	355.1024435	3-O-Caffeoylquinic acid	increase
18.40	389.1809826	Tuberonic acid glucoside	increase
18.69	1228.6009634	Unknown steroid alkaloid	increase
19.76	1270.6116154	Esculeoside A	decrease
25.34	1065.5488866	C51H84O23	increase
28.91	273.0755717	Naringenin chalcone	decrease
44.06	295.2271925	C18H30O3	increase

(B) Onion

RT	Detected m/z [M+H]+	Annotation	After cooked
6.62	221.0753958	C11H12N2OS	increase
7.14	178.053167	S-[(E)-Prop-1-enyl]-L-cysteine S-oxide	decrease
10.39	178.0531637	S-[(E)-Prop-1-enyl]-L-cysteine S-oxide	decrease
12.47	268.1038626	Adenosine	increase
15.45	789.207993	Quercetin 3-sophoroside-7-glucoside	decrease
26.17	303.0573711	Quercetin	decrease
26.58	303.0573881	Quercetin_like (C15H10O7)	decrease
27.10	303.0573132	Quercetin_like (C15H10O7)	decrease

(C) Cabbage

RT	Detected m/z [M+H]+	Annotation	After cooked
6.88	343.1234661	Disaccharide	decrease
14.80	146.0633433	5-Methylsulfinylpentyl nitrile	increase
16.99	449.0683209	Glucobrassicin	decrease
17.99	355.1021633	Caffeoylquinic acid	decrease
18.34	479.0786938	Neoglucobrassicin	decrease
18.83	225.0755976	Sinapic acid	decrease

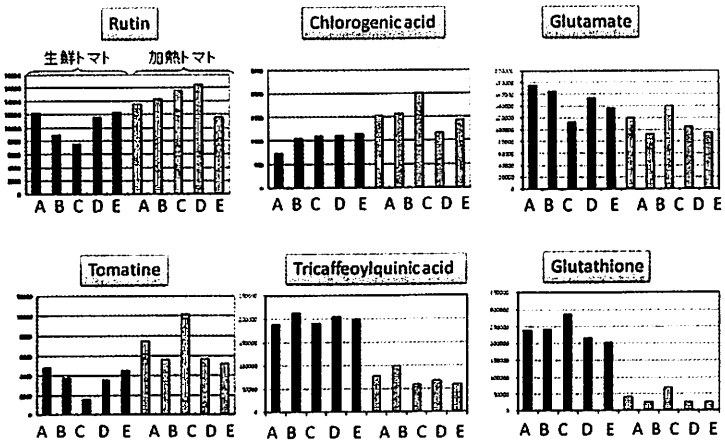


図３．トマトの既知機能性成分の加熱による変化

5．　今後の計画

今回は、最もシンプルな調理モデル（煮る）で研究を行った。当初の目的では、クックチルの影響を調べたかったが、機器の調達が遅れ、現在研究中である。今後は、調理モデルにおける各種野菜のマーカー成分を見出し、マーカー成分の挙動から調理工程を予測できるように役立てたいと考えている。

6．　研究成果の発表

学会発表および招待講演

(1) Characterizaion of the acylic monoterpenoid biosynthesis responsible for pleasant aroma in fresh ginger rhizome. Yoko Iijima, Takao Koeduka, Hideyuki Suzuki, Kikue Kubota, 10th Wartburg Symposium on Flavor Chemistry & Biology (2013.4)

(2) トマト果実の成熟に依存する配糖化酵素の機能解析 飯島陽子, 鈴木秀幸, 柴田大輔, 青木考, 第31回日本植物細胞分子生物学会大会・シンポジウム (2014.9)

(3) 質量分析を用いた網羅的成分解析の食品加工への応用, 飯島陽子
第29回茶学術研究会講演会特別講演 (2014.3)

著書および論文

(1) "野生種トマト—その多様性と利用性", 飯島陽子, 生物工学会誌, 91(11), 662-665014)

(2) メタボロミクスに基づく多成分解析の食品の質的評価に対する有用性, 飯島陽子, 食品と開発, 48(11), 7-9 (2013)

(3) Steroidal glycoalkaloid profiling and structures of glycoalkaloids in wild tomato fruit., Iijima Y, Watanabe B, Sasaki R, Takenaka M, Ono H, Sakurai N, Umemoto N, Suzuki H, Shibata D, Aoki K., *Phytochemistry*, 145-157 (2013)

(4) "香辛料・ハーブとその香り～香気生成メカニズムとその蓄積",飯島陽子, におい・かおり環境学会誌, 45(2),132-142 (2014)

(5) Tools and Databases of the KOMICS Web Portal for Preprocessing, Mining, and Dissemination of Metabolomics Data., Sakurai N, Ara T, Enomoto M, Motegi T, Morishita Y, Kurabayashi A, Iijima Y, Ogata Y, Nakajima D, Suzuki H, Shibata D., *Biomed Res Int.*, 2014:194812. (2014)

(6) Long-chain free fatty acid profiling analysis by liquid chromatography-mass spectrometry in mouse treated with peroxisome proliferator-activated receptor α agonist., Takahashi H, Suzuki H, Suda K, Yamazaki Y, Takino A, Kim YI, Goto T, Iijima Y, Aoki K, Shibata D, Takahashi N, Kawada T., *Biosci Biotechnol Biochem.* 77(11):2288-93 (2013).

履修登録シミュレータの構築と運用に関する実地研究

情報工学科　須藤康裕

1．研究の目的

本研究の目的は，大学教育における授業科目の履修登録・申請に対して，学生本人がより充実した履修計画を立てることができるようサポートし，将来のキャリアを見据えた学習計画の助けとなるためのソフトウェア・シミュレータを構築することにある．

2．研究の必要性及び従来の研究

一般的な４年制大学に進学した新入生の多くは，最初の履修登録で戸惑う．同時間帯に複数の講義が設定されていたり，逆に同じ科目が異なる時間帯に複数存在していたりすることもあるし，特定科目の単位を修得していることが履修条件になっている場合もある．しっかりとしたビジョンを持って入学し，将来どのようなキャリアに就くかまで明確になっている学生でなければ，どのように単位を重ねていくかを決めるのには迷いが生じる．近年では紙ベースの記入・提出からオンラインシステムへの導入に切り替わってきてはいるが，事務的な処理の煩雑さ解決にしかなっていない．

本研究では，その期だけで履修計画を考えるのではなく，これまでに積み重ねた単位と，今後修得する単位を総合して長期的な学習プランを設計するためのソフトウェアシステムとして，視覚的・直感的な操作とシラバス等の授業情報を連携した履修登録シミュレータを開発するとともに，実際に新入生への教育効果を調査する．その最大の特色は，時間割とカリキュラムツリーを連動することにある．

3．期待される効果

本研究計画で設計・構築したシミュレーションシステムを用いることによって，利用者（大学生）は科目間の関係や前提となる知識の習得などを意識した履修計画を構築することができるようになる．すなわち，就職や進学を含めた将来へのキャリアパスを若年時より真剣に考えるようになるという教育効果が期待される．すなわち，履修計画そのものが一種の人生設計であることを学生自らに認識させ，卒業に必要な単位数さえ充

足すれば内容はなんでもいい，という考えから遠退けさせることによって授業への真剣な取り組みを促す効果こそが究極的な研究の意義である．また，情報を集約して扱えるようになるため，単純に作業効率の向上も十分に期待できる．より具体的な効果は，以下に示す通りである．

- 履修登録作業に要する時間短縮
- 登録ミス・登録忘れの減少
- 授業への出席率向上，成績評価の変動
- 履修キャンセル制度の有効活用

４．研究の経過及び結果

本研究で開発した履修登録シミュレータは，履修管理システム（RMS: Registration management system）として 2013 年 4 月より正式にサービス提供を開始しており，現在も稼働中である．RMS は Web アプリケーションとして運用し，ユーザは web ブラウザからシステムにログインして利用する（図１）．システムの基本構成は，時間割画面・科目リスト画面・卒業要件画面・ツリー画面・オプション画面から成っている．時間割画面は本システムの中心的画面であり，履修可能な科目とその基本情報が曜日・時限ごとに表示され，履修したい科目を選択することで履修計画を行う（図 ２）．科目リスト画面や卒業要件画面，ツリー画面は，履修済科目の選択や要件の集計・比較，科目間の関係の可視化などにより，時間割画面での履修計画をサポートしている．　https://rms.cs.kanagawa-it.ac.jp/

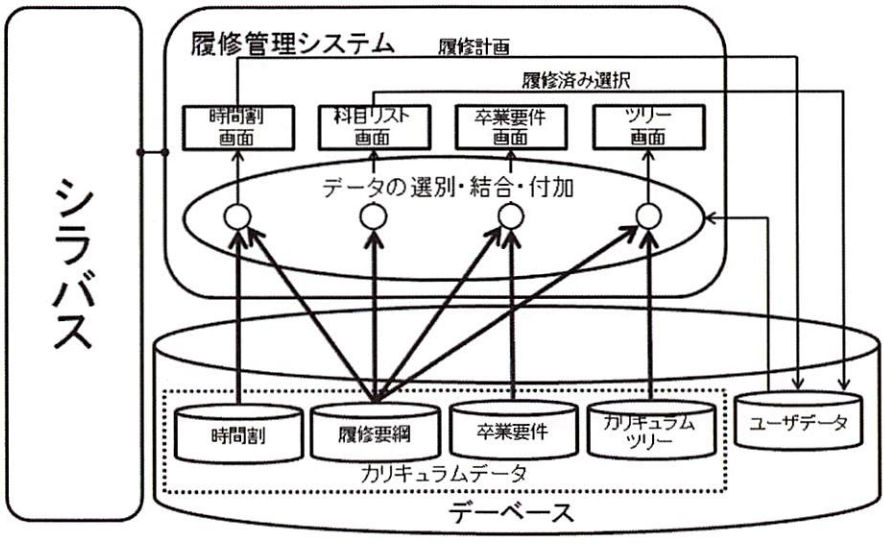


図１　運用中の履修管理システム構成図

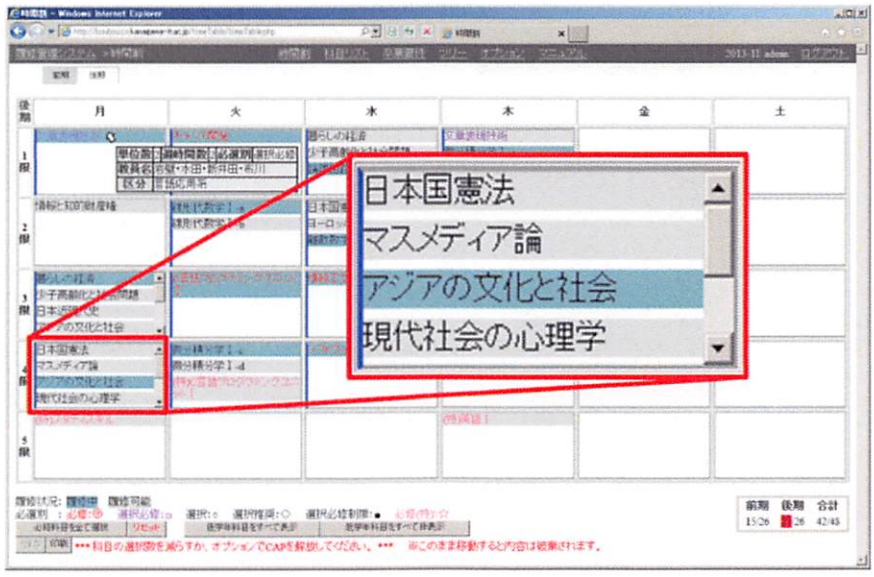


図２　RMS 時間割画面（IE10 にて）

2013 年度の，正規履修登録期間及び履修キャンセル期間に，情報学部情報工学科，情報ネットワーク・コミュニケーション学科および情報メディア学科の１年生・２年生に対して，サービス運用実績を解析した結果，100 名を超えるユーザがシステムを利用した（図３）．また，正規履修登録終了後にシステムや履修計画に関する感想・要望のアンケートを，利用率が 50%以上の１科１年生全員及び２年生の約半数に実施した．その結果，利用者の多くは RMS を直感的で分かりやすいと評価したが，システム利用に持ち込むまでのアプローチ方法が非常に重要であることがわかった．

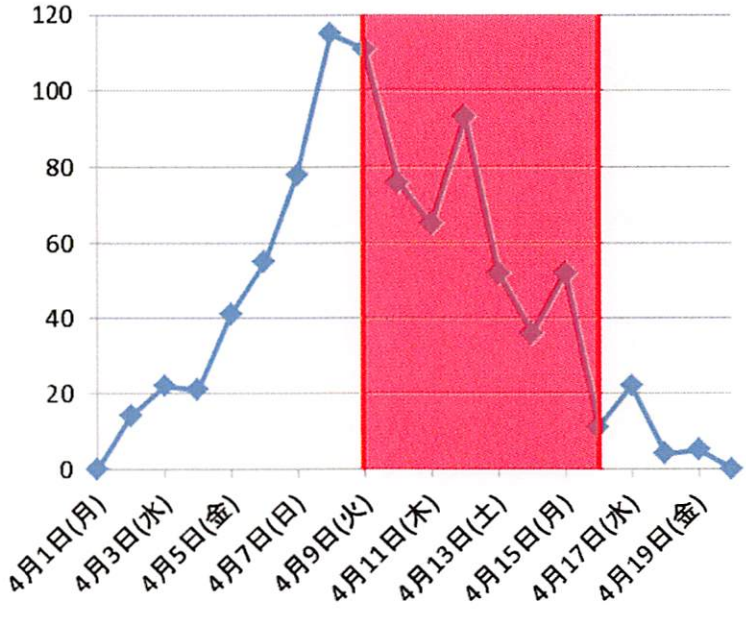


図３　2013 年度履修登録期間前後のシステムログイン数推移

５．今後の計画

ユーザへの教育効果や全体の傾向等は，2 年から 3 年の長いスパンでしか調査できないため，今後も継続してシステムの有用性を評価していく必要がある．また，対応学科を増やしてより多くのユーザに利用してもらうことをねらう．

サーバログ解析より，RMS はモバイル端末に対応していないにもかかわらず利用者の 33%がスマートフォン等のモバイル端末からアクセスしていることが判明した．これにより，今後はモバイル端末への対応や，時間割表示に特化したアプリケーションソフトウェアの開発に注力する．

６．研究成果の発表

これまでの研究成果は，以下の学会およびシンポジウムで発表済である．

１．履修管理システムの構築と運用に関する研究
中澤舜，倉地真，須藤康裕
教育システム情報学会　第３８回全国大会

２．履修管理システムの構築と運用に関する報告
倉地真，中澤舜，笠井貴之，須藤康裕
IT を活用した教育シンポジウム（2013 神奈川工科大学）

また，以下の学会において 2014 年度の運用結果解析を含めた研究発表を行う予定である．

１．履修管理システムの運用状況報告と Android アプリ開発
中澤 舜，倉地 真，笠井貴之，須藤 康裕
教育システム情報学会　第３９回全国大会

２．大学教育における履修管理支援のためのシステム開発
倉地 真，中澤 舜，笠井貴之，須藤 康裕
教育システム情報学会　第３９回全国大会

タッチパネル式携帯情報端末使用時の有効視野の解明

研究者：電気電子情報工学科　　高橋　宏

1．研究の目的

有効視野とは、中心視ほど細かいものは見ることができないが、必要なものを他のものから識別し、認知できる範囲のことである。また、中心視とは、人が対象を視力の高い中心窩と呼ばれる網膜の中心部分で見る状態のことである。本研究では、タッチパネル式携帯情報端末を使用した際の有効視野の視覚実験を行い、タッチパネル式携帯情報端末使用時の有効視野を明らかにする。

2．研究の必要性及び従来の研究

最近、タッチパネル式携帯端末を使用しながら歩行していて対向者にぶつかりそうになる事や、ホームへ転落する事故、遮断機に気づかず電車に轢かれ死亡する等の事故が起きている。タッチパネル式携帯端末を使用しながら歩行することは、最近では携帯端末を販売している企業のCM上でも注意書きが出ている。国土交通省によると、スマートフォンや携帯電話を使用しながら歩いているときに線路へ転落する事故は2011年には18件、2012年には19件と2年間で37件起きている。その要因として、タッチパネル式携帯端末の使用時には、有効視野が縮小している可能性が考えられる。有効視野が縮小すると人や物を判別しにくくなるからである。研究者は過去に携帯電話でのメール作成時の有効視野を明らかにしている。タッチパネル式のスマートフォンやタブレット端末の画面は、従来の携帯電話の画面より大きく画像も鮮明なため、文字入力作業を行っていると従来の携帯電話よりも入力時に画面を注視する事が予測され、有効視野のさらなる縮小が考えられる。しかし、本研究のように、タッチパネル式端末での文字入力作業中の有効視野解明を試みた研究例は過去にはない。タッチパネル式携帯情報端末使用時の有効視野を解明し、通常の基準視野と比較してその縮小傾向と危険性を明らかにすることは、事故を未然に防ぐことにもつながり社会的意義も大きい。

3．期待される効果

現在、鉄道会社や携帯端末販売会社が歩行中の携帯電話等の使用について、注意を呼びかけている。しかし、携帯電話等の使用者の意識にどの程度浸透しているかは不明である。タッチパネル式携帯情報端末使用時の有効視野を解明し、通常の基準視野と比較して有効視野がどの程度縮小するかが明らかになれば、危険の理解とより一層の注意喚起が期待でき、事故を未然に防ぐ可能性があると考えられる。

さらに、タッチパネル式携帯情報端末使用時にも有効視野が縮小しない使用方法が明らかとなれば、携帯情報端末の新たな使用方法を提案できる。

4．研究の経過及び結果

本研究では、はじめに有効視野を測定するための実験装置およびプログラムを作成した。この作成した実験装置を用いて、被験者７名に対して無負荷時、端末と同距離に焦点を合わせた（以下、焦点）時、端末注視時、端末での文字入力時の４種類の負荷で有効視野の測定を行った。被験者７名の有効視野の平均を図１に示す。図１から無負荷時の有効視野が最も広く、焦点時、端末注視時、文字入力時の順に有効視野が縮小することが明らかとなった。焦点時と端末注視時は焦点距離が等しいが、焦点時に比べて端末注視時は、端末を手で持っている負荷と端末画面の明るさが負荷となり、有効視野が縮小した可能性がある。文字入力時の有効視野が最も狭くなった要因は、端末注視時の負荷に加え文字入力という負荷も加わり、負荷が最も大きくなったからだと考えられる。

ここで、焦点時と端末注視時の差が有意であるか確かめるため、繰り返しのない二元配置の分散分析を行った。その結果、端末注視時は有意に縮小していることが示された（$F(1,10)=15.72$, $P<.01$）。同様にして、端末注視時と文字入力時も有意に縮小していることが示された。（$F(1,10)=15.72$, $P<.01$）。

表 1 に各負荷条件の平均有効視野角を比較して求めた縮小率を示す。無負荷時を基準とすると焦点時は 12.8%、端末注視時は 33.2%、文字入力時は 46.9%、有効視野が縮小することが示された。無負荷時と他の負荷条件のときでは焦点距離が違うため上記の有効視野の縮小には焦点距離の影響が含まれる。ここで焦点時を基準にすることで焦点距離の影響を除外することができる。焦点時を基準にすると端末注視時は腕の負荷と画面を注視する負荷の影響により有効視野が 23.4%縮小することが示された。文字入力時は、前述の二つの負荷に加え文字入力の負荷が加わった影響により有効視野が 39.2%縮小することが示された。次に、画面注視と腕の負荷の影響を除外するため端末注視時を基準とした。その結果、文字入力の負荷の影響により 20.7%有効視野が縮小することが示された。

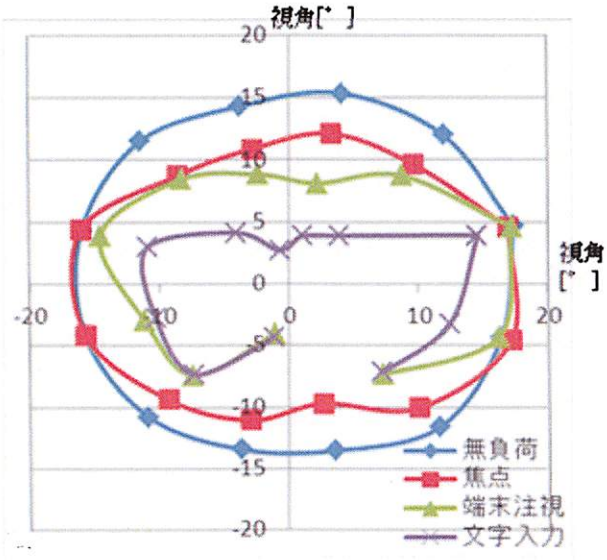


図１　有効視野

表 1　有効視野の縮小率

基準とする負荷条件 (平均有効視野角)	比較する負荷条件	縮小率
無負荷(15.9°)	焦点	12.8%
	端末注視	33.2%
	文字入力	46.9%
焦点(13.9°)	端末注視	23.4%
	文字入力	39.2%
端末注視(11.6°)	文字入力	20.7%
文字入力(8.4°)		

ここで、被験者 7 人の有効視野の平均結果を仰角方向について検討した。仰角方向の無負荷の有効視野を基準とすると、焦点時は 21.3%縮小し、端末注視時は 43.9%、文字入力時は 79.1%縮小していた。これは、目の高さを 1.5m、視線を水平方向から 45°下向きでタッチパネル式携帯端末で文字入力をしていると想定すると、携帯端末を使用していない時は前方の有効視野が 2.59m であるが、携帯端末で文字入力をしていると 1.66m まで有効視野が縮小していると考えられる。

また、タッチパネル式携帯端末を使用していても、できるだけ有効視野の縮小を抑えられる方法について検討した。端末画面の輝度が有効視野に影響しているのではないかと考え、端末の設定での、最高、最低と中間の輝度で有効視野を測定した。図 2 に端末注視条件における端末輝度変化時の有効視野、図 3 に文字入力条件における端末輝度変化時の有効視野を示す。285°方向のデータは端末を持つ腕により測定画面が隠れ、測定不能となるため除外してある。図 2、図 3 から図 1 の測定結果である中間輝度を基準とすると、輝度最高の状態と輝度最低の状態の両方において有効視野が拡大している。この要因として、被験者が実験に慣れてしまった可能性が考えられる。

ここで、輝度最高と輝度最低の有効視野のみに注目すると、文字入力の 165° 方向を除き、有効視野がほぼ等しくなった。つまり、タッチパネル式携帯端末画面の輝度は有効視野に影響を与えない可能性がある。よって、今後、有効視野の縮小を抑えるための別の方法を検討する必要がある。

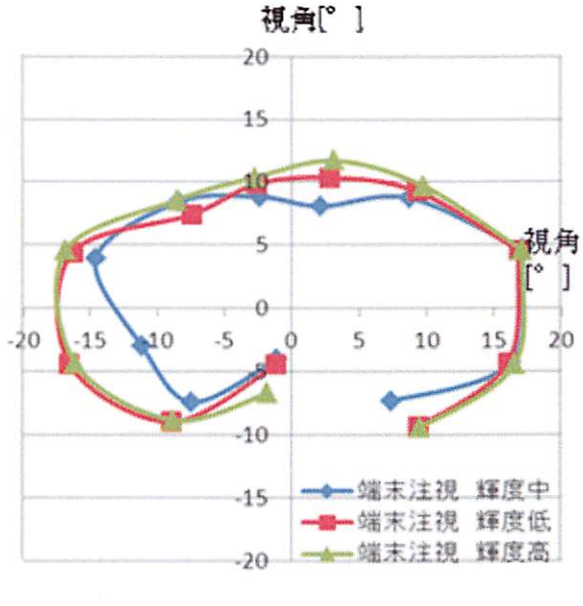


図 2　端末輝度変化時の有効視野(端末注視)

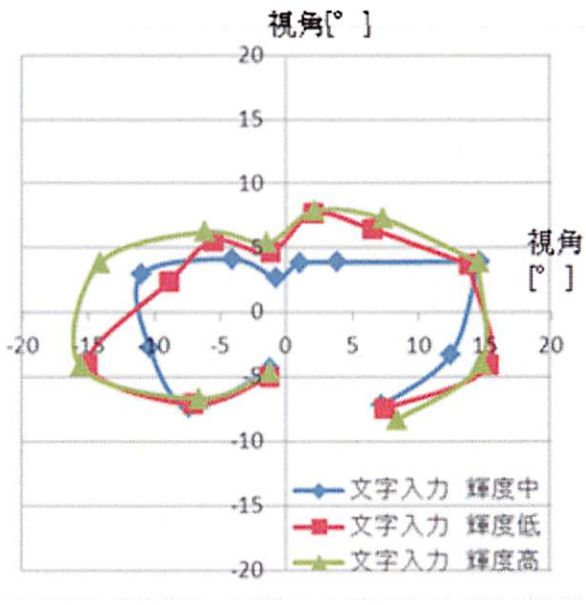


図 3 端末輝度変化時の有効視野(文字入力)

５．今後の計画

本研究では、タッチパネル式携帯情報端末使用時の有効視野が明らかとなった。さらに、有効視野の縮小を抑える方法として端末画面輝度に注目し、検討した。しかし、本研究結果においては、端末画面輝度は有効視野に影響を与えなかった。そこで、今後は焦点距離を変化させた条件での実験など、有効視野の縮小を抑制する方法を検討する予定である。

６．研究成果の発表

阿部健史、田村光貴、星野友輔、高橋宏　「タッチパネル式携帯端末使用時の有効視野」第 37 回照明学会東京支部大会（2013，12）

３ＤＣＧ制作のためのイラスト的・絵画的表現を目的としたテクスチャ研究

情報メディア学科　　牧　奈歩美

１．研究の目的

ＣＧは大きく分類するとフォトリアルとノンフォトリアルに棲み分けすることができる．従来のＣＧは前者をベースとしており，限りなく写真に近い精密でリアルなものを追求していた．フォトリアルな画像生成は，映画・ゲーム・アニメなど，大多数の作品においてベースとなっており，大手スタジオなどが独自の研究を行い，ソフトウェア開発が今なお進められている．一方，２０００年頃以降，それとは逆の，手描き感のあるノンフォトリアルな画像生成も，一種のトレンドとなり個人制作や中小規模の作品を中心に多くみられるようになった．

本研究では，アートＣＧ作品制作のためのノンフォトリアルテクスチャ表現方法の可能性を広げることを想定し，ＣＧテクスチャを新たな表現として確立することを目的とする．

２．研究の必要性及び従来の研究

フォトリアルな３ＤＣＧが目指されている一方で，モーショングラフィクスや短編アニメーション映画などにおいては，デザイン性を重視したイラスト的なものや，意図的にアナログ感を表現するスタイルなど，独創性に富む作品が発表されている．それらはノンフォトリアルレンダリングと呼ばれ，セルアニメ調や絵画調の仕上がりにする３ＤＣＧの技法として 1990 年代後半に普及し始めた．絵画調のレンダリングには，絵具などの伝統的な素材を実現したものがあり，その代表的な作品例として “Fishing” (1999, デビッド・ゲイニー)が挙げられる．当作品は，顔料の流体性質や吸収性などをシミュレーションし，水彩独特の効果表現に成功している．その他，鉛筆の風合いを実現した “Gas Planet” (1991, エリック・ダーネル作)，忠実にセルアニメ調を表現した “Paperman” (2012, ジョン・カーズ，ウォルトディズニーアニメーションスタジオ) など，ノンフォトリアルレンダリングを用いた著名作品が多数存在する．今なお，多くのスタジオや個人作家が，独自性の高いテクスチャ表現を日々研究し，制作している．

３．期待される効果

３ＤＣＧ制作，特にアニメーションやゲームの分野では，デザインで差別化を図ることは非常に重要視される項目の一つである．キャラクタや背景等の形状に凝るのはもちろん

のこと，その表面の素材表現をより多様に広げることで，個人制作作品・企業作品にとってさらなる視覚的インパクト・独創性の樹立を支援することが期待できる．本研究では，短編３ＤＣＧアニメーション“Fossil Tears -融心石-”を制作し，その作品制作において，独自のテクスチャ表現を行い，新たなマテリアル表現として提案することを目標とする．

４．研究の経過及び結果

本研究では，短編３ＤＣＧアニメーション“Fossil Tears -融心石-”を制作し，その制作過程でのテクスチャ表現について論じた．本作品に登場するキャラクタや背景などに，実在の自然物である鉱石や，布などの素材と，鉛筆などの手描き素材を複数層にして混合することで，反リアル調のマテリアル表現を可能にした．

たとえば，あるキャラクタには，ベルベット生地の上に，粒上のテクスチャを割り当て，さらに光る素材として指定し，蝶のりん粉のような表現を制作した．また別のキャラクタは，松の枝のような，とげのある形をしているが，ＣＧのマット素材に加えて，紙に鉛筆で描いたテクスチャを合成することで，よりとげとげしい印象を与えることができた．

また本作品の舞台には，苔の地面が主舞台として登場するが，その地面に複数のテクスチャを合成した．実写の苔写真，パール，ラピスラズリ（深青と金の混合色をもつ鉱石で，青色顔料としても使われている），マットな緑色の４つのテクスチャをレイヤードシェイダーとして合成した．その結果，苔のテクスチャだけでなく，他の３種の異なるマチエールをもつシェイダーを重ねることで，より深みと触感を感じられる質感表現が可能となった．パールは光沢感・つや感を，ラピスラズリは深青色による潤い感と地質感を，苔テクスチャは細かい苔の模様を，そしてマット緑は全体の色統一調整の役割を持たせることができた．

５．　今後の計画

今回は，ノンフォトリアルテクスチャとして，新たな表現を目指すことを目的とし，実践として作品を制作し，さらにその制作過程を論じた．今回の制作・研究では「デザインやコンセプトにオリジナリティがあり，繊細で透明感のある独自の世界観の構築が認められる」という批評いただいた一方で「すべてのモチーフでテクスチャに凝りすぎているために画面が混沌としている」というご意見も頂いた．後者について，今後の制作・研究において，すべてのモチーフが主張しすぎないように注意したい．今後の研究としては，作品の登場するキャラクタやモチーフの存在感の強弱をバランスよく設定することにも意識をおいた表現を念頭に置き，さらなる独自性を追求した３ＤＣＧのテクスチャ表現と，

研究を行っていきたい.

６．　研究成果の発表

２０１３年６月に情報処理学会デジタルコンテンツークリエーション研究会にて,「短編３ＤＣＧアニメーション“Fossil Tears -融心石-”」と題して口頭発表した.

また, 同発表の論文は, ２０１４年２月発行の情報処理学会論文誌デジタルコンテンツＤＣＯＮに掲載された.

携帯端末を用いた連続的なWYSIWYASナビゲーションシステムの開発

研究者名：電気電子情報工学科　　高取　祐介

１．研究の目的

『移動しながら』携帯端末で自位置や方向を特定して直感的なナビゲーションを提示するためのシステムの実現

２．研究の必要性及び従来の研究

これまでに路面上に配置された M 系列マーカ（McubITS：エム-キュービッツ）を携帯端末のカメラで撮影することで自位置と向いている方向を特定し、さらにこの撮影画像上にユーザの目的地への方向情報を重畳することで直感的に指示するナビゲーション（WYSIWYAS（ウィジウィアス）ナビゲーション）システムが提案されている。従来システムでは画像を撮影するアクションを要するため、移動しながらナビゲーションを提供することが困難であった

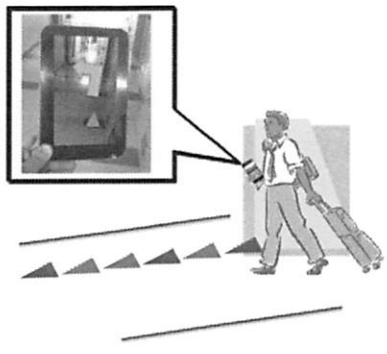


図１リアルタイム・シームレス WYSIWYAS ナビゲーション

３．期待される効果

従来システムを利用する場合には位置特定のために毎回携帯端末のカメラを起動し撮影するため、操作が煩雑であり移動しながらの位置特定ができなかったが、本システムではそのような場合にも対応可能である。また、従来システムは撮影時に立ち止まるため、他者（歩行者や車両等）の移動の妨げによる事故誘発の恐れがあるが、本システムではそのような自己を抑止することが期待される。また、車椅子やシニアカーなど、移動中に操作が必要なモビリティを扱う上でも、画面を見ているだけで案内が行われるため、ハンディキャップを持つ人の移動の支援に役立つことが期待される。

４．研究の経過及び結果

本年度は、Android タブレットをベースとした基本システムの開発と、システムの応答性に関する検討を行った。構築したナビゲーションアプリでは，携帯端末の有するカメラ機能を用いて，カメラから逐次取りこまれるプレビュー用画像に対して M-CubITS マーカ認識を行い，自身の端末位置と方向を特定して目的地までのナビゲーションをプレビュー用画像に重ね合わせてユーザに目的地への進むべき方向を時々刻々提示することで，時々刻々連続的なナビゲーションを実現した。

また、屋内の廊下に M-CubITS マーカを配置して，ナビゲーション評価実験を行った。アンケートによるユーザの主観評価により、ナビゲーションを受けたいとユーザが判断した時に立ち止まって端末を操作する従来システムに比べて、わかりやすいナビゲーションであるという評価が得られた．またシステムの使い勝手に関する評価結果としては操作性，見やすさ，役立ち感について高い評価が得られたがマーカの認識率や応答性についてはあまり高い評価が得られなかった．目的地への到達に際して，マーカの認識率が悪くなる条件では，適切なナビゲーション指示をユーザに提示することができずに，マーカ認識が正常に行えた場合のナビゲーションに比べて目的地へ到着するまでの時間が 7 倍程度かかる事例も見られた．そこで、我々はナビゲーションアプリの処理時間に関する性能を定量的に解析し、カメラの画像取り込み処理の実行間隔やガーベジコレクション周期やこれに伴う処理停止時間などを明らかにした。

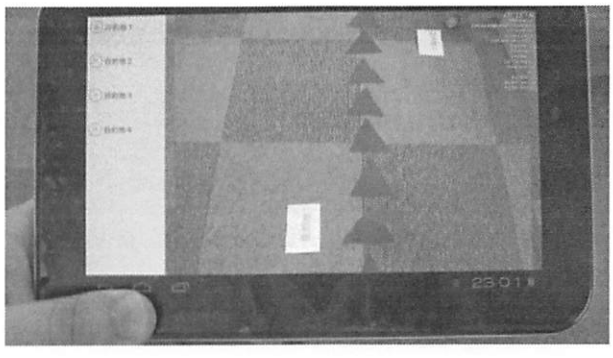


図 2 開発した WYSIWYAS ナビアプリ

図 3 屋内実験エリア外略図（C2 号館 5F）

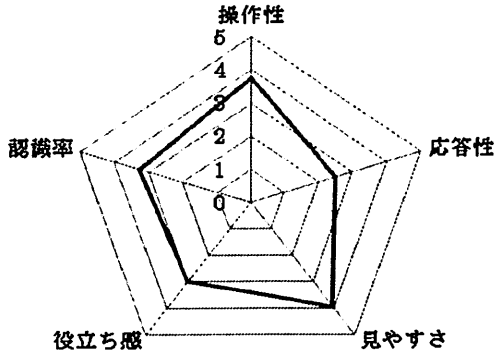


図 4 評価結果

表 1 アプリ実行時のカメラキャプチャ機能に関する統計データ

Camera capturing performance		
Capturing interval	Average	47.3 ms
	Standard deviation	5.73 ms
Garbage collection		
Average generating Interval		355ms
Pause time	Average	32.97ms
	Standard deviation	7.22ms

5. 今後の計画

本研究では、ナビゲーションアプリ自体は実現できたが、マーカの認識率や応答性についてはまだまだ改善が必要であるというアンケート結果を得た。認識率の改善については，さまざまな照明条件の下でもロバストにマーカを認識できる必要がある。また、応答性については現状では利用している端末の制約により、Android アプリ 1 つに割り当てられるメモリ量が少ないため、時々刻々キャプチャされる画像がメモリを逼迫する状況にあることがわかったため、メモリ使用量の削減が主な課題である。

さらに、今回のシステムは直線的な廊下によって評価が行われており、より複雑な屋内施設におけるシステムの構築が、本システムの実用化に必要となる。

６．　研究成果の発表

・佐野隼也，高取祐介，武尾英哉，“携帯端末向けWYIWYASナビゲーションシステムにおけるリアルタイムシームレスナビゲーションの実現に関する一検討”，電子情報通信学会技術研究報告，

・Yusuke Takatori, Hideya Takeo,” A real-time seamless WYSIWYAS navigation system for smart devices”, Proceedings of 13th International Conference on Intelligent Transport systems Telecommunication, pp. 159-164.

身体運動に基づく視知覚位置の予測技術を用いた仮想対象と観察者の身体との間の直接相互作用に関する研究

研究者名：情報ネットワーク・コミュニケーション学科　海野　浩

1．研究の目的

研究代表者らは，これまでに観察者の動作を利用して仮想対象の視知覚位置を予測する技術を提案した．この技術では，動作の普遍的な特性を予測のための情報として用いる．たとえば，物に触れようとして手を伸ばすリーチング運動には，軌道が直線的であることや，速度のプロファイルがベル型になるという特性がある．評価では，リーチング運動を利用した予測を検討して，提案した技術の実現可能性を示した（2009 年-2010 年）．この視知覚位置予測技術の適用範囲の検討の一環として，リーチング動作を利用した予測にリーチング距離が及ぼす影響を検討した．その結果，広いリーチング距離の範囲で予測が可能であることを明らかにした（2011 年-2012 年）．2012 年には提案技術である視知覚位置予測技術を実装した相互作用システムを構築し，仮想対象を扱う具体的な操作の一つとして，仮想対象を奥行き方向に押してそれを移動させ，指定された目標物と奥行き位置を揃えるというアラインメント操作を設定し，このアラインメント操作に対する提案手法の時間効率・正確性などの評価を行い，提案手法の有用性を示した．しかし，仮想対象を扱う操作は，一般に複数の基本操作から構成されると考えられる．特に精密作業への応用を考慮した基本操作の検討とそれらに対する提案技術の評価を行うことが必要である．

本研究は，提案技術の有用性をアプリケーションにおいて実証することを目的とする．具体的には，ユーザの手が仮想対象を直接操作する場合において，提案技術が自然な操作を可能とし，その結果，操作の正確性が大幅に改善できることを実証する．本研究では，3 次元表示用液晶ディスプレイと偏光眼鏡で構成された複合現実感システムに適した評価システムを構築する．予備検討では，具体的な操作として，仮想対象を奥行き方向に押してそれを移動させる操作を取り上げた．本研究では，仮想対象を手で上下方向に押してそれを移動させる操作，および，ピンセット・ナイフなどの精密作業の道具を用いて仮想対象を摘まむ・切る操作など，ユーザが自らの手または自らの手で持つ道具で直接仮想対象を扱う操作を取り上げ，これらの操作を実行する上で，システムが仮想対象に対するユーザの視知覚位置に基づいて仮想対象への操作のリアクションを実行することにより，操作の正確性が大幅に改善されることを実証する．さらに，3 次元表示される仮想対象に関連する研究として，対象の奥行情報を撮影と同時に 2D 画像に埋め込む方式の 3D 画像の研究も併せて行う．

2．研究の必要性及び従来の研究

本研究では，複合現実環境においてユーザが手など自らの身体を用いて仮想対象と直接相互作用を行う際，実対象と相互作用を行う場合と同じように，仮想対象と自然な相互作用を可能にする技術の実現を目指す．この実現にはシステム側がユーザの仮想対象に対する視知覚情報を知る必要があり，本研究ではユーザの身体運動を時間で定式化することによりこの情報を取得する技術を研究し，この技術によって円滑でかつ自然な相互作用の実現を目指す．

複合現実環境は現実環境と仮想環境が同一空間に混在する新しいメディア表現技術であり，今後，多くの有望な応用が登場すると期待される．複合現実環境の特徴の一つとして，人間が仮想対象と相互作用できる点が挙げられ，特に実対象を操作する場合と同様に，ユーザが手など自分の身体で直接仮想対象を操作することができる自然なインターフェースの実現が望まれている．しかし，自然な操作を実現する上で解決すべき課題は多い．なかでも，ユーザの仮想対象に対する視覚的な知覚情報，特に 3 次元表示された仮想対象の奥行き位置情報を把握する技術の開発は不可欠である．

従来のシステムでは仮想対象の奥行き位置は表示画像の視差量から計算して求めているが，知覚心理学によれば，3 次元表示された仮想対象の視知覚位置は心理量であるため個人差があり，画像の視差量から求める値とは一致せず，これが自然な操作を阻む主要因の一つとなっている．すなわち，ユーザが知覚する対象物の奥行きをシステムが正確に把握できないと，たとえば，ユーザが自分の手が対象物に触れたと思っても対象物が反応を示さない．さらに，触力覚を用いる場合は，ユーザが対象物に触れたと思う位置で触力覚を呈示できないため，自然な操作が困難となる．特に精密作業が要求される応用ではこの問題は致命的になる．

本研究の代表者らはこれまでに 3 次元ディスプレイとその奥行き知覚について研究し，研究を通して得た視覚の奥行き知覚に関する知見から，仮想対象と身体が相互作用する際の身体運動は，仮想対象についての視知覚情報に依存すると考えられるので，逆に身体の運動を解析すれば視知覚情報が推定できると着想した．本研究ではこの着想に基づき，ユーザの手が仮想対象と相互作用する際，手の運動を仮想対象の視知覚位置をパラメータとして含む時間の関数で定式化し，これにより視知覚位置の推定を試みる．そして，この推定した視知覚位置を用いることにより，仮想対象に対する円滑で自然な相互作用の実現を図る．

3．期待される効果

提案技術は，複合現実環境や拡張現実環境などにおいて，奥行き知覚の個人差を排除して，実空間で実対象を扱う場合と同じような自然なインターフェースを提供できることが期待できる．さらに，従来は困難であった精密作業を可能にすることが期待できる．

４．研究の経過及び結果

仮想対象を扱う具体的な操作である，仮想対象を上または下に押してそれを移動させる操作については，本研究では測定の容易さを考慮し，仮想対象を上に押してそれを移動させる操作を選択し，この操作に対する提案技術の成功率を従来技術との比較により評価した．なお，仮想対象の種類はカードおよびCDとした．実験の結果，提案技術を用いた操作の平均成功率は61%から70%であり，従来技術を用いた場合と比較すると，平均成功率は約2倍であった．したがって，提案技術を用いることにより押上げ操作の成功率は大幅に向上することが明らかとなった．すなわち，提案技術の有用性を実証した[1]．

次に，精密作業の道具を用いて仮想対象を扱う操作に，提案技術を適用して，その提案技術の適用可能性を評価した．具体的には，道具としてナイフを選択し，仮想対象としてカードを選択し，操作は切る操作を選択した．適用可能性の評価は，提案技術による予測値と視知覚位置の実測値との差（誤差）を，仮想対象の視知覚位置を両眼視差で定義される位置とする従来技術との比較により評価した．実験の結果，まず，動作時間の関数としての速度のグラフはベル型であり，道具を用いても提案技術が適用できることが明らかになった．次に，提案技術における誤差の値は，従来技術における誤差の値が大きい場合はその値がかなり小さく，従来技術における誤差の値が小さい場合は同程度の値であった．すなわち，いずれの場合も提案技術は十分に機能した．したがって，提案技術を用いることにより，道具を用いる場合においても視知覚位置を予測できることが明らかになった．すなわち，提案技術は道具を用いる場合にも効果があることを実証した[2]．

さらに，精密作業の道具を用いて仮想対象を扱う操作についての本格的な実験を行った．精密作業の道具としてピンセット・ナイフを選択し，仮想対象をLEDとし，操作としてLEDの脚をピンセットで摘まむ，ナイフで切る操作を選択した．これらの操作に対する提案技術の成功率を従来技術との比較により評価した．実験の結果，従来技術を用いた場合の操作の平均成功率は低い（40%台）が，提案技術を用いることにより高い平均成功率（70%台）で操作を達成した．すなわち，提案技術を用いることにより，従来技術を用いる場合と比較して，円滑な相互作用が可能であることを実証した[3]．

これらの研究結果については，さらに厳密な統計解析を用い，査読付き国際会議・論文誌への投稿に対応できるようにしたい．また，3次元表示される仮想対象に関連する研究として，2D画像へ対象の奥行情報を埋め込んだ形式の3D画像の研究を行った．この研究では対象の奥行情報を撮影と同時に2D画像に不可視に埋め込こむ手法を提案し，提案手法の実現可能性を示した[4]．

５．今後の計画

リーチング運動における仮想対象の視知覚位置の推定値を改善する方法を検討する．

これまでに，観察者の動作から仮想対象の視知覚位置を推定する技術を提案して，リーチング運動の速度をガウス関数に適合して推定する方法を評価してきた．ガウス関数へ適合する方法は，仮想対象の視知覚位置を両眼視差で定義される位置とする従来の方法と比較して正確性は高かった．しかし，その正確性は実用的に十分ではなかった．その要因は，リーチング運動における修正運動を推定に利用できなかったからと考える．リーチング運動は弾道運動と修正運動からなるが，対称曲線であるガウス関数に適合して推定することは，フィードフォワードプロセスの弾道運動のみに基づいて推定することを意味する．修正運動も利用して仮想対象の視知覚位置を推定すれば，十分な正確性が得られると考える．

ヒッティング（叩く）動作における仮想対象の視知覚位置を推定するための基礎研究として，ヒッティング動作の時空間特性を明らかにする．動作に関する従来の研究は，リーチング動作とグラスピング（掴む，握る）動作が多かった．これらの動作は人間の行動の基本動作であることがその理由であり，その動作特性が明らかにされている．一方，ヒッティング動作は，狩りを行う，外敵を退けるなど人間の生存に必要な動作である．また，近年はアミューズメントにおいて多い動作である．しかし，ヒッティング動作の特性は明らかではない．ヒッティング動作の時空間特性を明らかにすることにより，ヒッティング動作における仮想対象の視知覚位置を推定する方法を提案したい．

6．研究成果の発表

本成果報告書に対応する成果発表は以下のとおりである．

[1] 海野　浩，佐藤　裕樹，鈴木　雅洋，上平　員丈：3D オブジェクトを押し上げるタスクに対する視知覚位置予測技術の有用性評価，映像情報メディア学会技術報告，Vol.37, No.8, pp.1-5, 2013.

[2] 海野　浩，岩崎　大樹，鈴木　雅洋，上平　員丈：3D 映像の仮想オブジェクトと相互作用する観察者の動作特性―道具を用いた精密作業時の検討―，画像電子学会 第 41 回年次大会予稿集, R1-2, 2013.

[3] 岩崎　大樹，三枝　生，海野　浩，鈴木　雅洋，上平　員丈：身体の動作特性を利用した視知覚位置推定技術による 3D 映像との円滑な相互作用，日本視覚学会 2013 年夏季大会抄録集, p.9, 2013.

[4] Hiroshi Unno, Sae Isaka, Kazutake Uehira:``New technique for embedding depth information in captured images using light containing invisible high-frequency patterns," Proc. of IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS2013), pp. ILDC-439-1-ILDC-439-4, 2014.

吹雪における建屋周りの削剥に関する数値解析予測

研究者名：機械工学科　　山岸陽一

1．研究の目的

南極ではスノウドリフトと呼ばれる地吹雪による積雪の再配分が発生する。構造物周辺、特に後方流域に発生する雪の吹きだまりの除雪作業の負荷は南極昭和基地運営上の最大の問題である。現在までに、建屋後方の吹きだまり性状の予測に焦点を絞った吹雪風洞実験は、ほぼ完了して、これを基に建設が進められている昭和基地自然エネルギー棟は、地形の影響や他の構造物との相互作用も考慮に入れ、建屋後方流域の吹きだまり量を最小化するために大きな成果を挙げている。しかし、自然エネルギー棟の建屋前方流域では相似性の不一致等により吹雪風洞実験で予測できなかった削剥現象が発生した。そこで、数値解析を用いて風と雪粒子の追随性を示すストークス数を実吹雪と一致させてより精度の高い予測を行う。

2．研究の必要性及び従来の研究

南極では構造物周辺に発生する雪の吹きだまりの除雪作業の負荷は南極昭和基地運営上の最大の問題である。現在までに、建屋後方の吹きだまり性状の予測に焦点を絞った吹雪風洞実験は、ほぼ完了している。これを基に建設が進められている自然エネルギー棟は、地形の影響や他の構造物との相互作用も考慮に入れ、建屋後方流域については、吹きだまり量を最小化するために大きな成果を挙げている。

3．期待される効果

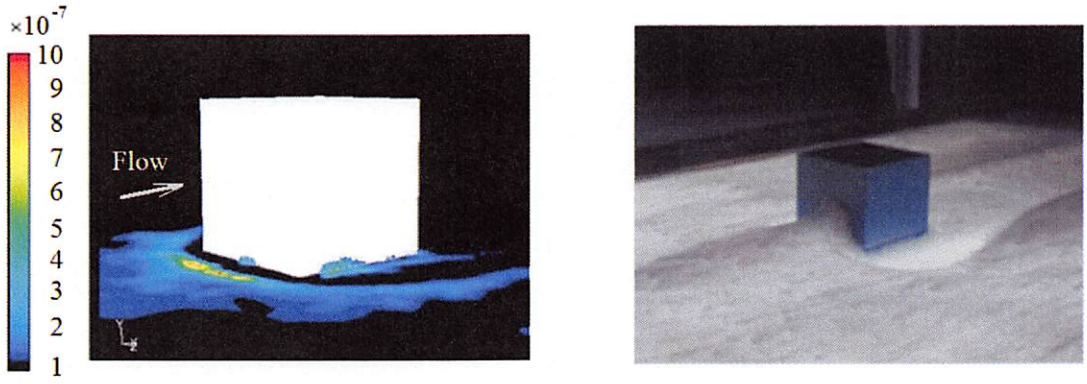
数値解析を用いることで、吹雪風洞実験の従来からの課題である相似性の問題を考慮することなく、より精度のよい建物周りの吹雪による積雪や削剥状況を明らかにすることができる。その結果、南極昭和基地運営上最大の問題である建物周辺に発生する雪の吹きだまりの除雪作業の負荷を軽減することができる。さらに、豪雪地帯の吹雪環境下における構築物周りの積雪状況の精度の良い予測が可能となり除雪作業等を考慮した幅広い建築計画を行うことができる。

4．研究の経過及び結果

吹雪を雪粒子と空気の固気二相流として扱い、汎用熱流体解析ソフト（FLUENT6.3）を用いて、実際の吹雪環境下と数値解析条件を一致させてストークス数 $St<<1$（St=0.6）で三次元非定常乱流混相流解析を行った。数値解析結果は、図1(a)に示すように風上側正面と側面には、馬蹄形に雪の削剥現象が生じて野外観測実験と傾向が一致した。

一方、吹雪風洞実験では風洞内への設置条件から止むを得ず立方体モデル寸法を縮小した結果ストークス数は S_t>>1　(S_t=182) となって図 1(b)に示すように人工雪粒子は気流に追従できず、立方体上流側正面付近ではスノウドリフト（吹だまり）現象が生じた。この現象は、吹雪風洞実験における自然エネルギー棟でも確認することができ実際と異なる結果となった。

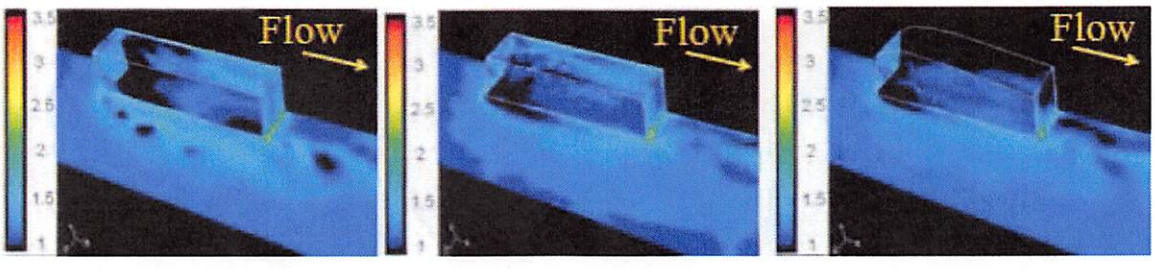
数値解析では、吹雪風洞実験の従来からの課題である相似性の問題を考慮することなく、吹雪による立方体モデル前方流域の積雪や削剥状況を明らかにすることができた。



(a)　数値解析結果（Volume fraction 分布）　　(b)　吹雪風洞実験結果

図 1.　立方体モデル周りの積雪状況

そこで、数値解析に南極の平均的な気象条件を適用して自然エネルギー棟周りの吹雪における積雪や削剥を予測することを試みた。その結果、建屋モデルとしては図 2 に示すように直方体の平屋根モデル(A)、風上側正面に傾斜面を有する平屋根モデル(B)、風上側正面に傾斜面を有する曲率屋根モデル(C)の 3 モデルにおいて、風上側正面に傾斜面を有する曲率屋根モデル(C)が建屋周辺で最も積雪が少なく除雪作業の軽減が可能となることがわかった。



(a)モデル A　　(b)モデル B　　(c)モデル C

図 2.　自然エネルギー棟周りの数値解析による積雪状況（Volume fraction 分布）

5. 今後の計画

本研究は基礎的研究として、南極昭和基地自然エネルギー棟に対する風向、風速は一定として解析を行ったが、今後の課題として、建屋形状の選定に際しては、風向、風速等に時間的変化を考慮した、より実際現象に即した解析が必要であると考える。また、建設が予定されている南極昭和基地の新観測棟や南米チリ共和国のチャナントール山頂天文台、さらには、国内の暴風防雪柵計画に対して精度の良い積雪状況の予測を行うため数値解析の利用を計画している。

6. 研究成果の発表

山岸陽一，木村茂雄，石沢賢二，菊池雅行，森川浩司，小島徹也“固気二相流解析による南極建屋周りの積雪予測”、日本機械学会論文集（B 編），79 巻，801 号，pp.917-926，2013、

「介護施設等における超高齢者の適切な食事ケアに関する研究
—食事摂取量と栄養評価—」

研究者名：所属学科　　楠木　伊津美：栄養生命科学科

1. 研究の目的

高齢化社会を迎えている現況であるにもかかわらず、また、今後ますます高齢者が増加することが見込まれ、なおかつ、支援・介護を必要する国民が増えることが予測されていながら、これらの人体に対する食事摂取の目安量（以後、食事摂取基準）やその元となる信頼のおけるデータがないのが現状である。そこでこの研究の目的は、そのデータを収集し、適切な食事ケアを行うための推定必要エネルギー量等の検討を行うことである。中でも、食事調査から栄養素摂取量を求め、栄養評価を行うことである。

2. 研究の必要性及び従来の研究

これからますます増加するであろう 70 歳以上超高齢者の目標とすべき食事摂取基準は、信頼のおけるデータがないままに提示されており、このことが、特に介護施設等の現場で問題となっている現状がある。具体的には、提示されている食事摂取基準量が多く、喫食者である施設利用者の多くが、食べきれず、また食べることに疲れを感じている（食べるために体力を消耗している）という現状があることである。

そこで、超高齢者の食事摂取基準を決めるデータには、その超高齢者の実態把握が不可欠であり、これまでなされていないことから、この研究に取り組むこととした。

3. 期待される効果

この研究調査により、介護施設等における高齢者の消費エネルギーと摂取エネルギーの実態報告ができ、なおかつ推定必要エネルギー量等を提示することができれば、今後の高齢者社会における適切な栄養管理のための目安となり、食べることに消耗する施設利用者を少しでも減らすことができる。

4. 研究の経過および結果

食事調査の解析は、食事摂取記録により左右されるものであり、事前に統一したつもりでも、記録者が何十人といる中では単純にはいかず、その解析に手間取っているところで、まだしばらくの時間を要する見込みである。

5. 今後の計画

鋭意、食事調査の解析に務め、年内には結果を出せるようにしたい。

6. 研究成果の発表

解析結果が出たら、関係する学会等で発表を予定している。

摂食・えん下機能が低下した高齢者が食べやすい米粥の開発研究

研究者名：応用バイオ科学部　栄養生命科学科　河村　彩乃

1. 研究の目的

アミロース含有率の異なるもち米、低アミロース米、中アミロース米、高アミロース米を用い加水量一定の米粥を調製し、アミロース含有率の相違が及ぼす力学的特性と食べやすさへの影響および米粥の口中感覚を推測するのに有効な力学的特性測定方法を検討した。

2. 研究の必要性及び従来の研究

精白米の構成成分のうちでんぷんは全体重量の約75%を占める主成分であり、アミロースとアミロペクチンから構成され、アミロースとアミロペクチンの米飯中の含有比率は米飯の食感、および力学的特性に対し影響を与えている[1)]。米飯は、摂食嚥下機能の低下した高齢者に対して粥の状態で提供されることが多く、主食として重要なエネルギー源であり、中アミロース米を用いた粥の調製方法と力学的特性の関係、また、力学的特性と官能評価の関係など多く検討されている[2,3)]。しかし、アミロース含有率の異なる材料米を用いて調製した米粥の力学的特性と食べやすさの関係を検討したものは少ない。また、調理現場などで食品の力学的特性を簡便に把握できる方法の一つとして、ガラスリング法[4,5)]が知られている。ガラスリング法により得られる広がり係数およびリング内壁の試料付着重量の検討が報告されているが、粘稠液状の食品や軟らかい均一な食品に関しての報告が多く[4,5)]、米粥を試料とした報告は少ない。

そこで、本研究では基礎的研究として、材料米に対して同加水量で調製した米粥試料を用い、アミロース含有率の違いが米粥の力学的特性と食べやすさに及ぼす影響を検討した。さらに、調理現場で栄養士や調理師が簡易に測定可能な力学的特性の測定方法の検討を行ない、米粥試料の口中感覚を推測するのに有効な力学的特性の測定方法の検討を目的とした。

1) 綾部園子：インディカ米とジャポニカ米の調理特製の比較，日本調理科学会誌，41,283 - 288(2008)
2) 海老原昌絵，内藤文子，他：新形質米の炊飯ならびに食味特性，日本家政学会誌，49,6474 - 654(1998)
3) 塩澤光一，神山かおる，他：粒状試料（米飯）咀嚼について:米飯の物性が咀嚼行動に与える影響，日本咀嚼学会雑誌，1,37 - 42(1995)
4) 高橋智子，大須賀彰子，他：リング法を用いた粘稠液状食品の簡便な物性評価の有効性：機器測定による物性評価との関係，栄養学雑誌 65,113 - 122(2007)
5) 高橋智子，河村彩乃，他：リング法を用いたゲル状ブレンダー粥の力学的特性評価の有効性，日本摂食嚥下リハビリテーション学会誌，16,42 - 49(2012)

3. 期待される効果

摂食・えん下機能が低下した高齢者が安全で食べやすい形態の米粥の特徴を把握し、その米粥試料の口中感覚を推測するのに有効な簡易力学的特性の測定方法を検討することで、栄養士や調理師が調理現場などで提供する食事の力学的特性を簡便に測定し把握できる。

4. 研究の経過及び結果

4.1. 試料調製

材料米として、もち米（山形県産ひめのもち、アミロース含有率 0%）、低アミロース米（新潟県産ミルキークイーン、アミロース含有率 11.9%）、中アミロース米（新潟県産こしひかり、アミロース含有率 16.2%）、高アミロース米（島根県産越のかおり、アミロース含有率 27.9%）の 4 種を用いた。材料米重量に対し 5.0 倍加水し、真空包装後 95℃湯浴中 60 分間加熱し米粥試料を得た。

4.2. 方法

1）テクスチャー特性

測定条件は消費者庁の特別用途食品のえん下困難者用食品規格基準の試験法に準じ、テクスチャー特性（硬さ、付着性、凝集性）を測定した。それぞれ米粥試料品温 20℃、45℃のものを測定試料とした。

2）ガラスリング法による広がり係数、およびリング内壁の付着重量

ガラスリング法（以下リング法）は、図 1 のように測定した。ガラス板にセットした一定容量のガラス製リング（以下リング）に一定量の米粥試料を充填後、リングを上方向に取り除き、米粥試料が 30 秒間で広がった直径 r、高さ h を測定し、以下の式(1)(2)により広がり係数を求めた。

$$r = (r_1 + r_2) / 2 \qquad (1)$$

$$\text{広がり係数 } R = r / h \qquad (2)$$

また、リング内壁の付着重量は、米粥試料を充填したリングから、試料を取り除いた直後のリング内壁に付着した米粥試料量を重量で測定した。米粥試料品温 20℃および 45℃で測定した。

3）粥液重量の測定

調製した米粥試料を目開き 500μm の標準ふるい上に均一の厚さに広げ 5 分間静置し、得られた粥液の重量を測定した。

4）官能評価

シェッフェの一対比較の芳賀変法により官能評価を行なった。パネルは、訓練された健常な 18 から 20 歳の若年男女のべ 36 名とし、品温 20±2℃および 45±2℃における 4 種類の米粥試料を評価試料とした。評価項目は咀嚼時に感じるかたさ、口中でのべたつき、口中でのばらつきやすさ、口中から喉への送りこみやすさ、口中の残留感の 5 項目とした。

4.3. 結果及び考察

1）テクスチャー特性

高アミロース米による米粥試料は、20℃保存において、米粥試料品温が 30℃以下になると顕著に硬くなる傾向を示し、高アミロース米試料は他の 3 種試料と比較して有意に硬くなった。付着性は、試料品温 20℃では 4 種の試料間に有意な差は認められなかった。凝集性は、テクスチャー特性測定で硬かった高アミロース米試料は、試料品温 20℃および 45℃において、他の 3 種と比較して有意に小さくなった。これは、アミロースはアミロペクチンに比べ老化しやすいことも影響していると考えられ、保存中にゲル化の最も進んだ高アミロース米試料は、試料品温 20℃において他の 3 種の米粥試料よりも有意に硬く、凝集性は有意に小さくなったと考えられる。

2) ガラスリング法による特性値

米粥試料品温 20℃および 45℃における、4 種の米粥試料の広がり係数とリングへの付着重量を図 2 に示した。広がり係数を測定した際の米粥試料の外観もあわせて示した。

広がり係数は、もち米試料が試料品温 20℃、45℃いずれも、他の 3 種の試料よりも有意に大きくなった。リング内壁の付着重量は試料品温 20℃では、高アミロース米試料が他の 3 種の試料よりも有意に小さくなり、もち米試料は他の 3 種の試料よりも有意に大きくなった。試料品温 45℃では、リング内壁の付着重量は、もち米試料が他の 3 種よりも有意に大きくなり、高アミロース米試料は他の 3 種の試料よりも小さい傾向を示した。

3) 粥液重量

いずれの米粥試料品温においても、もち米試料は他の 3 種と比較して粥液重量は多い傾向を示し、高アミロース米試料は、他の 3 種と比較して粥液重量は少ない傾向を示した。 すなわち、材料精白米のアミロース含有率の高い米粥試料ほど、粥液重量が少ない傾向が見られた。粥飯（ゲル部分）が多く粥液（ゾル部分）の少ない高アミロース米試料は、試料品温 20℃において、付着性について他の試料間と有意差は認められなかったが、リング内壁の付着重量は他の 3 種と比較して有意に小さくなった。

4) 官能評価

試料品温 20℃および 45℃における、評価結果をそれぞれ図 3 に示した。試料品温 20℃および 45℃いずれにおいても、官能評価結果より、もち米試料と比較し、口中で有意にべたつかないと評価された高アミロース米試料のリング内壁の付着重量は、もち米試料と比較して有意に小さくなった。低アミロース米試料と中アミロース米試料間において、試料品温 20℃および 45℃いずれも、官能評価結果より口中でのべたつき感に有意差は認められず、リング内壁の試料付着重量および広がり係数も有意差は認められなかった。本研究で用いたもち米試料と高アミロース米試料間のような明らかな力学的特性の差が認められる米試料の場合、リング内壁の付着重量を測定することにより、米粥試料の口中でのべたつきを推測できる可能性が示唆された。粥飯試料は粥液と粥飯から成るゾルーゲル混合系食品であり、口中感覚を表すには、ゾル部分とゲル部分の量および力学的特性が相互に影響していると考えられる。

5. 今後の計画

今後は、加水量を調整した硬さが同程度のアミロース含有率の異なる米粥試料を調製し、米粥試料の口中感覚を表すことができる力学的特性の測定方法、ことに調理現場で栄養士や調理師が測定可能な簡易な力学的特性の測定方法を用いてさらに検討することが課題となる。

6. 研究成果の発表

平成 26 年度　調理科学会年度大会にて発表予定。

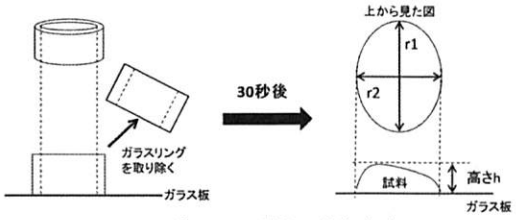
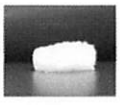
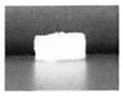
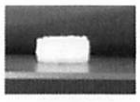
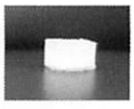
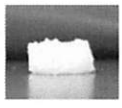
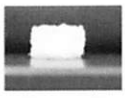
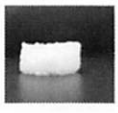
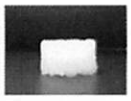


図1　ガラスリング法の測定方法

	もち米粥試料	低アミロース米粥試料	中アミロース米粥試料	高アミロース米粥試料
品温		20℃		
広がり係数　R	2.60±0.13[b]	2.05±0.03[a]	2.06±0.04[a]	2.10±0.05[a]
付着重量(g)	0.40±0.02[c]	0.14±0.03[b]	0.21±0.06[b]	0.03±0.01[a]
外観				
品温		45℃		
広がり係数　R	2.61±0.13[b]	2.19±0.04[a]	2.27±0.15[a]	1.97±0.28[a]
付着重量(g)	0.39±0.05[b]	0.10±0.02[a]	0.10±0.04[a]	0.08±0.03[a]
外観				

平均値±標準偏差(n=4)を表中に示した。
表中の異なるアルファベットは危険率5%未満で有意差があることを示す。
一元配置分散分析後、Bonferroni検定による多重比較検定を行なった。

図2 ガラスリング法による測定結果

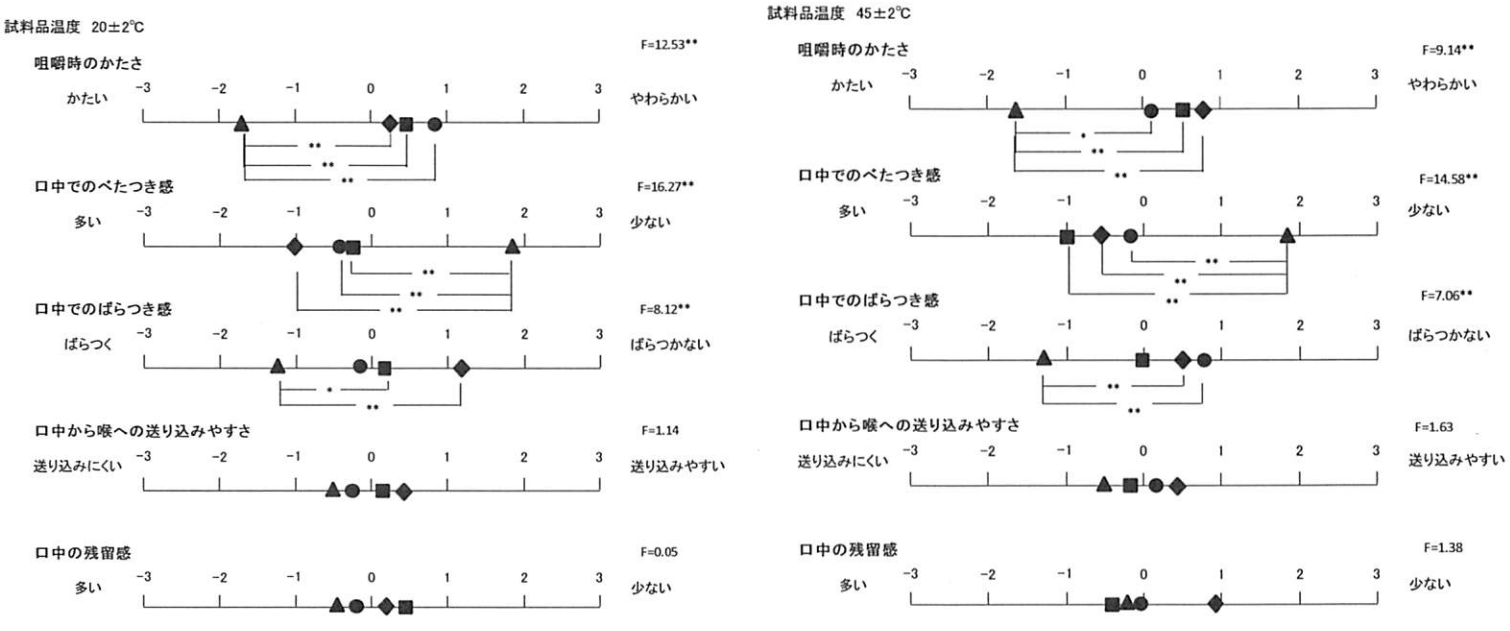


図3　官能評価結果

Ｍ２Ｍシステムにおけるスマートフォン上のアプリ実装方式に関する研究

情報工学科　　清原良三

１．研究の目的

爆発的に普及してきたスマートフォンを M2M(Mchine to Machine)の端末として利用した場合のスマート不フォン上のアプリの実装方式をに関して、実装を通じて課題を整理し、その解決方法のヒントを得ることを目的とする。具体的に、M2M は、人手を介さずに様々なことを実現することを目的にしている。

１）農業フィールド：大規模な農業に関して人手を省いて様々な状況を監視し、フィードバックをかけ運用する。

２）産業フォール度：工場内においても農業同様に様々なセンサを置くことにより効率的な監視とフィードバックを行う。また、自動販売機などの在庫情報を携帯電話網を利用することによって、人手で補給に行くタイミングを計り、人件費の削減につなげる。

３）交通フィールド：車両に載せたセンサを利用して実サービスをしながらも情報を収集し、一般ユーザに役立つ情報を出す。東日本大震災時には道路が通れたか通れなかったかという情報から通行できる道路を特定しマップで表示するサービスが実現されていた。以上のようなサービスを実現するにあたり端末側で必要なことを洗い出すことが目的となる。

２．研究の必要性及び従来の研究

M2M 技術は、多くのフィールドで使われつつある。例えば、農業分野であれば多数のセンサを配置し、温度や湿度を管理し、水の散布など様々なフィードバックをかけることや、交通システムでは、路上のセンサ、車をセンサとして収集した情報を整理分析し、ユーザのための情報に変えて送り出すといったサービスがある。スマートフォンをセンサとして使う場合にも様々な応用が考えられ、こういったサービスの課題などを抽出し、整理することは今後新たなサービスを考える上で重要となる。従来から ETSI や OneM2M という団体を通じて課題が整理されつつある。端末に近いところでいえば、端末の末端のネットワークからセルラー網などの広域ネットワークなどの課題や、端末管理といった課題など多くの研究整理がされてきている。また、情報処理学会や、電子情報通信学会の学会誌でも特集を組むなど着目されつつある。特に、クラウドやセンサーネットワークの要素技術を組み合わせて M2M ということが多く、この観点からの整理、研究が進められている。

３．期待される効果

本技術を開発することにより、新たなサービスを構築する上での課題が明確になることおよび、今後出てくるであろうサービスを予想できることなど様々な点でこの分野の発展に寄与できると閑雅られる。具体的には、末端のネットワークのあるべき姿、端末の管理方法、端末―サーバ間の通信トラフィック、通信速度などの問題から、クラウド上での情報の管理面やセキュリティ面に至るまで広く考えられ、システム化技術の中の一つとしての課題のとらえ方が明確になることを期待する。

４．研究の経過及び結果

平成 25 年度は研究の方向性を決めるための調査の面と、実際に M2M のアプリケーションの作成を通じた知見を得るための実装による開発の 2 点を中心に研究開発を行った。調査に関しては電気学会の電子情報システム部門通信技術委員会の“第 2 次 M2M 技術調査専門委員会”の幹事としての役割と連携することにより、標準化、アプリケーション WG を通じて各種調査を行った。ETSI における標準化の他、OneM2M の活動などの調査とともに、アプリ―ションの実態を各種フィールドに分けた調査を行った。また、具体的なアプリケーションとして、気圧センサを利用した自動車の高さ位置の推定のための基盤的な仕組みなどがあげられる。　2 年計画であったため、初年度は調査を中心に実施したが、2 年目の計画は認許されなかったため、残念ながら調査で終了する。

５．　今後の計画

スマートフォンをセンサとして利用したサービスは今後も多数考えられる。センサとして利用する技術としては外部センサとの連動技術などにも活用していきたい。また、アプリケーションとしては、この他にも多数考えられるため、調査した内容を活かしていくとともに、電機学界とも連動し、調査内容を中心に書籍を執筆予定である。

６．　研究成果の発表

1)　Arata　Ishizaki, Shota　Ikegami, Takatomo　Yamabe, Shinji　Kitagami, Ryozo Kiyohara, Accelerometer-based HUD Input for Car Navigation, IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE2014)

2)　Ryosuke Otsuka, Shinji Kitagami, Yoshiaki Terashima, Masashi Saito, Ryozo Kiyohara, "Improved Location Estimation Based on the Pressure Sensor for Car Navigation System," IEEE International Conference on Consumer Electronics

3) 山辺教智，石崎新, 池上翔太，梶並知記，清原良三，スマートフォン向けカーナビのインタフェース, 情報処理学会 DPS ワークショップ、デモセッション(2013)

4) 池上翔太、石崎新、山辺教智、北上慎二、梶並知記、清原良三, スマートフォンカーナビ向け加速度センサデバイス, 情報処理学会コンシューマデバイス＆システム研究会, 2014, １月

5) 池上翔太、石崎新、山辺教智、北上慎二、梶並知記、清原良三,スマートフォンカーナビ向け加速度センサデバイス,情報処理学会コンシューマデバイス＆システム研究会,2014, 1月

6)　石崎　新・池上翔太・山辺教智・清原良三，加速度センサを用いたHUD型カーナビ向けUIの検討,電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2013

次世代燃料植物 *Jatropha curcas* の効率的形質転換技術の開発

研究者名：応用バイオ科学科　岩本　嗣

１．研究の目的

石油資源の枯渇化や地球温暖化抑制の観点から、石油に替わるエネルギーの開発が急務となっている。本研究で材料とする *Jatropha curcas* は、中南米原産のトウダイグサ科の植物で、種子に約 35%の脂質を含有することから、バイオディーゼル燃料の原料植物として期待されているが、コスト面で実用化のハードルは高い。そこで、形質転換によって脂質の質向上、光合成能の向上、耐乾性・耐病性の強化などを図ることにより、生産性の大幅な向上をもたらすことができると期待している。しかし、現状では組織培養による植物体再生率が低いため、形質転換効率が極めて低く、研究・開発を進める上で大きな障害となっている。そこで、組織切片からの効率的な植物体再生技術を開発し、形質転換効率の向上を目指すものである。

２．研究の必要性及び従来の研究

大阪大学大学院工学研究科、（財）かずさ DNA 研究所、国立遺伝学研究所、日本植物燃料（株）のグループは、*J. curcas* の全ゲノム解読に成功し、脂質合成や耐病性、耐乾性に関わる遺伝子の改変と導入を進めているが、微小な不定芽原基は形成されるものの不定芽の伸長が不良で、形質転換効率が極めて低い（Tsuchimoto et al., 29:137-143 (2012)）問題を抱えている。

３．期待される効果

本研究課題において、*J. curcas* の効率的な形質転換技術が開発されれば、明らかにされつつある油脂の品質や生産効率の向上に関与する遺伝子の導入が可能となり、バイオディーゼル燃料としての実用化が飛躍的に進むものと期待している。

４．研究の経過及び結果（平成 25 年度）

平成 25 年度は、タイ産の *J. curcas* 種子を材料に用い、無菌播種条件の検討を行った。また、無菌播種条件の検討結果を元に種子を調整（無菌播種 1 週間後の種子の内胚乳を除去し、さらに 1 週間後に子葉が展開）した無菌実生を組織培養の供試材料に用いた。無菌実生から切り出した子葉切片、本葉切片、胚軸切片の 3 種類の外植体を組織培養に供試し、不定芽形成に及ぼす外植体の部位ならびにサイトカイニンの種類と濃度の影響について調査した。さらに、不定芽形成率の高かった胚軸切片については、切り出す胚軸の部位と置床の方向について検討を行った。なお、培養は全て 24℃、2,000 lx、16 時間日長条件の恒温室内で行った。

4-1. 無菌播種条件の検討

無処理の種子と外皮を取り除いた種子を 5 粒ずつ供試し、有効塩素 1、2、3、6%の次亜塩素酸ナトリウム水溶液に浸漬し、5 分間転倒混和させて表面殺菌を行った。その後、滅菌蒸留水で 5 回すすぎ、滅菌蒸留水を入れたプラスチック製の滅菌シャーレ（IWAKI、90 mm φ×15 mm）に移し、クリーンベンチ内で 24 時間吸水させた後、内皮を除去し、スクロースを 3%添加した 1/2MS 寒天培地へ 5 粒ずつ 3 反復（計 15 粒）置床した。播種 1 週間後に内胚乳を除去し、子葉展開個体数を継時的に調査した。

その結果、無処理の種子は、糸状菌と細菌のコンタミネーションが生じたが、外皮を除去した種子では、有効塩素 1～6%の全ての区でコンタミネーションの発生が認められなかった。また、外皮を除去した種子では、全ての区で正常な発芽と子葉展開が認められたが、試験区の中で有効塩素 3%の区は、他の区に比べ、種子の発芽と子葉展開が早く、播種 11 日後から子葉の展開が始まり、播種 15 日後には子葉展開率が 100%に達した（図 1）。

以上の結果から、*J. curcas* 無菌播種のプロトコールを確立した（図 2）。

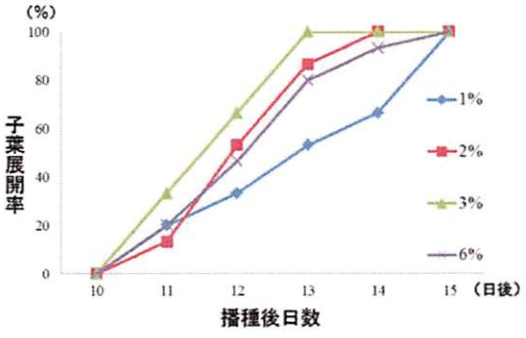


図 1　*J. curcas* 無菌播種に及ぼす有効塩素濃度の影響

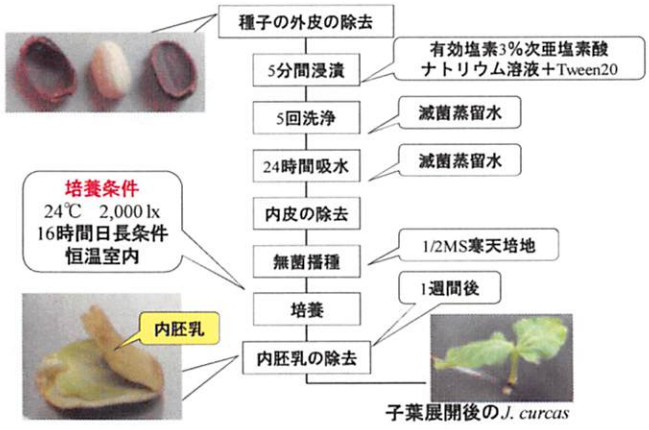


図 2　*J. curcas* 無菌播種プロトコール

4-2. 不定芽形成に及ぼす供試部位ならびにサイトカイニンの種類と濃度の影響

図 2 のプロトコールに従って得られた無菌実生より、3 mm 角の子葉切片と本葉切片ならびに 3 mm 長の胚軸切片を切り出し、5 種類のサイトカイニン（Zeatin、TDZ、4-CPPU、BA、Kinetin）を 5 濃度（0.1、0.3、1.0、3.0、10.0 mg L^{-1}）で単独添加した 25 区とホルモンフリー区の計 26 試験区の MS 寒天培地に、それぞれ置床し、8 週間培養後に不定芽形成率と不定芽形成数を調査した。子葉切片と本葉切片は、微小な不定芽原基の形成は認められたが（図 3）、不定芽原基の伸長は認められず、正常に伸長する不定芽の形成は認められなかった。一方、胚軸切片では、0.3～10.0 mg L^{-1} Zeatin 区、0.1～0.3 mg L^{-1} TDZ 区、0.1～1.0 mg L^{-1} 4-CPPU 区、0.3～3.0 mg L^{-1} BA 区で、正常に伸長する不定芽の形成が認められ、3.0 mg L^{-1} Zeatin 区で切片あたり最大 3.5 本の不定芽が形成され（図 4，5）、その後の不定芽伸長も良好であった（図 6）。

図 3 子葉切片からの不定芽原基形成

図 4 胚軸切片からの不定芽形成

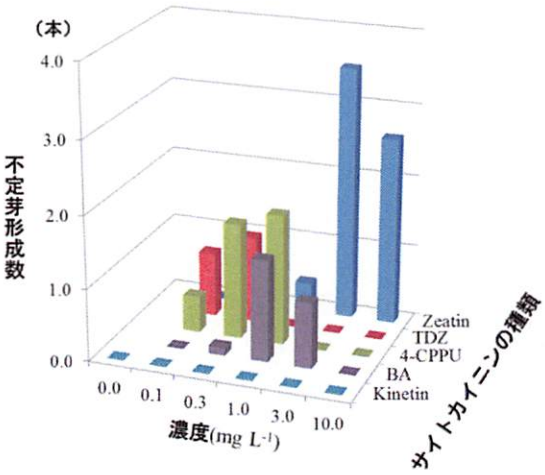


図 5 胚軸切片からの不定芽形成に及ぼすサイトカイニンの種類と濃度の影響

図 6 胚軸切片から形成された不定芽の伸長

4-3. 不定芽形成に及ぼす胚軸部位と置床方向の影響

無菌実生の胚軸を子葉に近い部位から根の方向に向かって 3 mm の長さに 5 切片切り出し、上位から下位に向かって部位Ⅰ～Ⅴとした。その切片を 3.0 mg L^{-1} Zeatin を単独添加した MS 寒天培地に置床し、8 週間培養後に不定芽形成率と不定芽形成数を調査した。続いて、部位Ⅰ～Ⅲの胚軸切片を同組成の培地に水平、垂直、上下逆向きにした垂直の 3 方向に置床し、8 週間培養後に不定芽形成率と不定芽形成数を調査した。

部位Ⅰにおける不定芽形成数は 4.5 本、部位Ⅱ、Ⅲはそれぞれ 3.0、3.4 本であったが、部位Ⅳは 2.4 本、部位Ⅴは 1.5 本となり、根に近づくにつれ、不定芽形成数は低下し、部位Ⅰの不定芽形成率が最も高いことが明らかとなった。そこで、不定芽形成率の低い部位を除き、部位Ⅰ～Ⅲを供試材料に用いて、置床方向を検討したしたところ、水平が最も高い結果となった。

以上の結果から胚軸の子葉に近い部位を 3 mm 長の切片に切断し、3.0 mg L^{-1} Zeatin 区の MS 寒天培地に水平な方向で置床すると、切片当たり 4.5 本の不定芽が効率的に得られることが明らかとなった（図 7）。

図 7　胚軸上位切片からの効率的な不定芽形成（3.0 mg L^{-1} Zeatin 添加 MS 培地）

５．今後の計画

平成 26 年度は、タイ産 *J. curcas* の胚軸上位切片を用いた実験を継続し、オーキシン（IAA、NAA、2,4-D、picloram、dicamba 等）と Zeatin の組合せ添加や糖、ゲル化剤などを検討し、不定芽形成の効率化、形成期間の短縮化を図る。また、アフリカ、南アメリカ、アジアの各地域に自生している *J. curcas* の各種系統の種子を収集し、不定芽形成における系統間差を明らかにする。さらに、アグロバクテリウム法、パーティクルガン法、インプランタ法、直接遺伝子導入法などの手法や減圧、アセトシリンゴン添加、共存培養の温度と期間など形質転換条件を詳細に検討し、*J. curcas* の効率的な形質転換技術を確立する予定である。

６．研究成果の発表

1) 吉松嘉代、乾　貴幸、河野徳昭、岩本　嗣、松本敏一：組織培養情報に関する研究－組織培養物及び効率的増殖法に関する情報整備と組織培養物の資源化－、薬用植物栽培並びに関連産業振興を指向した総合情報データベースの拡充と情報整備に関する研究、729-744. 2014