

神奈川工科大学

次世代センシングシステム研究所

研究報告

第 12 卷

2018 年度

目次

ノンターゲットケミカルセンシングに基づく発酵食品製造過程の最適化評価	1
栄養生命科学科 飯島陽子	
センシング技術を活用した調理による食品栄養成分変化の予測法の開発	6
栄養生命科学科 大澤絢子	
環境水中の放射性物質のセンシングと簡易回収法の開発	10
応用科学科 斎藤貴	
電力見える化から広がる消費電力予測と家電制御の研究	15
ホームエレクトロニクス開発学科 杉村博	
医用画像診断支援システムの高度化に関する研究.....	19
電気電子情報工学科 武尾英哉	
学生の学習行動を可視化する穴埋め式ワークブックの開発.....	23
情報工学科 田中哲雄、松本一教	
複数方式の融合による室内広範囲のポジショントラッキング技術確立.....	27
情報メディア学科 安本匡佑	

ノンターゲットケミカルセンシングに基づく発酵食品製造過程の最適化評価

研究者名：所属学科 飯島陽子：栄養生命科学科（次世代センシング研究所第一研究室）

1. 研究の目的

発酵食品は、食品のみならず、飲料、調味料などで幅広く食されている。発酵食品は、食材、微生物、発酵条件など様々なパラメーターが存在しており、大手食品メーカーでは、これら全てが管理された状況で生産されている。一方、このような発酵食品では、“地場もの”と呼ばれる全国の小規模企業がそれぞれ風味を特化させたものも多く、また近年のインターネット販売の拡大によって、このような“個性”を生かした製品の人気が高まっている。しかしながら、このような製造業者は、製造者の勘や伝統によるものであり、嗜好性における確固としたパラメーターが確立されていないのが現状である。そこで本研究では、申請者らが確立している網羅性を高めた成分分析と官能評価分析を統合解析し、発酵食品の美味しさに関与する成分をスクリーニングし、製造最適条件の確立、評価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

食品分野において、「食のおいしさ」の解明は、重要かつ困難なテーマの一つである。そのためには、各食品のおいしさを構成する特性の理解が必要である。従来研究方法は、特定の既知の風味成分（グルタミン酸、5'-イノシン酸など）のみに着目し、議論したものが多く、それ以外の成分については余り触れてこない評価であった。また、食品の多くは、味成分と香り成分の相互作用によっておいしさが決定づけられるものであるが、これまでの研究では、味成分と香り成分を単独で解析したものがほとんどである。本研究では、我々が構築した既知の味成分、香り成分および未同定成分を全て含んだノンターゲットに成分分析を行い、様々な成分組成と官能評価によって統合解析し、官能評価用語との相関性により、新規の成分を含めた風味成分の特定、その構成との関係を調べようとするものである。

3. 期待される効果

本研究では、代表的な発酵調味料として味噌をサンプルとする。様々な製造状態（メーカーの違い、熟成の違いなど）における風味特性を網羅的成分分析と官能評価によって調べる。本手法によって、これまでにない風味成分のスクリーニングが可能となり、これらに焦点を絞れば、発酵食品の製造における最適指標を導くことが可能となる。

4. 研究の経過及び結果

(1) 味噌の水溶性成分の網羅的成分分析

製造メーカーの異なる市販の味噌をサンプルとした（米味噌 20 種、麦味噌 1 種）。各味噌 200mg を純水 800 μ l に懸濁し、遠心分離した上清をサンプルとした、そのうち 50 μ l について、内部標準として 2-Isopropylamin acid (0.5 mg/ml) を 40 μ l 加えた。その後、クロロホルム・メタノール・水分配によって水溶性画分を得た。水溶性画分を乾固し、TMS 誘導体化後、GC-MS 分析を行った。検出された各ピークについて、デコンボリューション、同定を行い、主成分分析に供した。

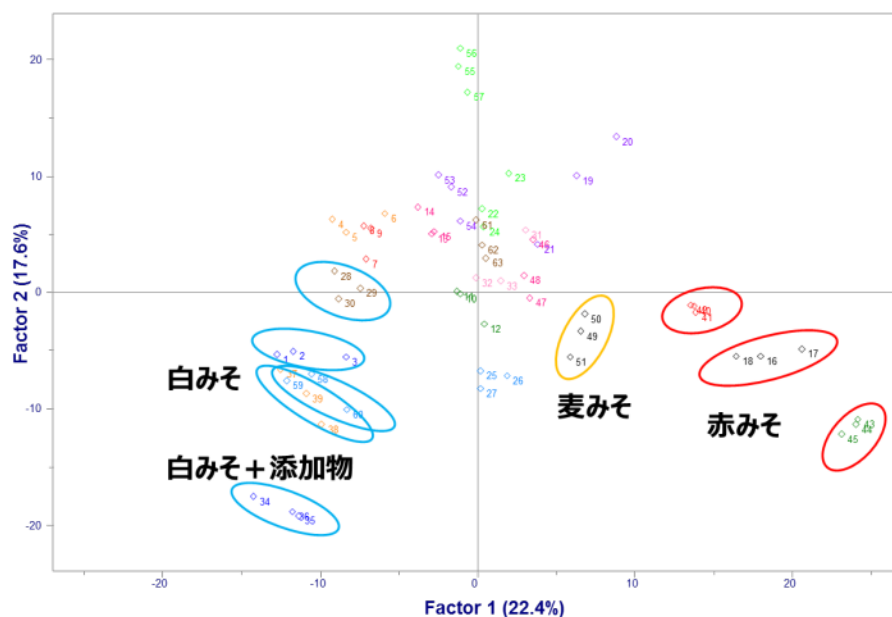


図1. 味噌の水溶性成分による主成分分析(スコアプロット)

各検出成分について、オートスケール処理し、主成分分析を行ったところ、21種類の味噌は、白みそと赤みそ系統に判別された。白みそは熟成期間が短いもので、赤みそは熟成期間が長いものである。また、ローディングプロットによって寄与成分を検索すると、白みそには Tryamine, Glycine, Tryptophan などのアミノ酸が多い傾向を示した。一方、赤みそでは、糖類が多い傾向を示した。さらに unknown な成分も候補として挙げられた。今回確立した抽出法は味噌の水溶性成分組成を調べるのに適していることが分かり、今後本手法でデータ取得を進めていく予定である。

(2) 味噌の効率的な香気捕集法の検討と香気寄与成分の同定

味噌の香気は独特であるものの、その香気寄与成分は極性が高い香気成分であることから、効率よく香気捕集ができる手法の開発が必須である。そこで、近年開発された Flex-Twister を使用した固相抽出法である SA-SBSE (Solvent assisted-Stir Bar Solid Extraction)

法で香気捕集を行い、従来法である SAFE (Solvent assisted Flavor Evaporation) 法と香気検出ピークの違い、質的違いについて検証し、SA-SBSE 法で香気寄与成分が検出されるかどうかを検証した。ジクロロメタン/ジイソプロピルエーテル混合溶媒 (1/1) で膨潤させた固相抽出剤である FLEX-Twister を用いた。NaCl 1g を 10 ml バイアル瓶に量り取り、味噌汁サンプル 5ml、内部標準の 4-Octanol 100 μ l (濃度 1.25 μ g/ml) を加えた液中で膨潤した FLEX-Twister を 1 時間攪拌 (800rpm) させ、香気成分を吸着させた。その後、アセトン 500 μ l 中に香気を吸着させた Twister を入れ、香気成分を 30 分間攪拌逆抽出し、GC-MS 分析を行った。

SA-SBSE 法および SAFE 法で得られたクロマトグラムを図 2 に示す。

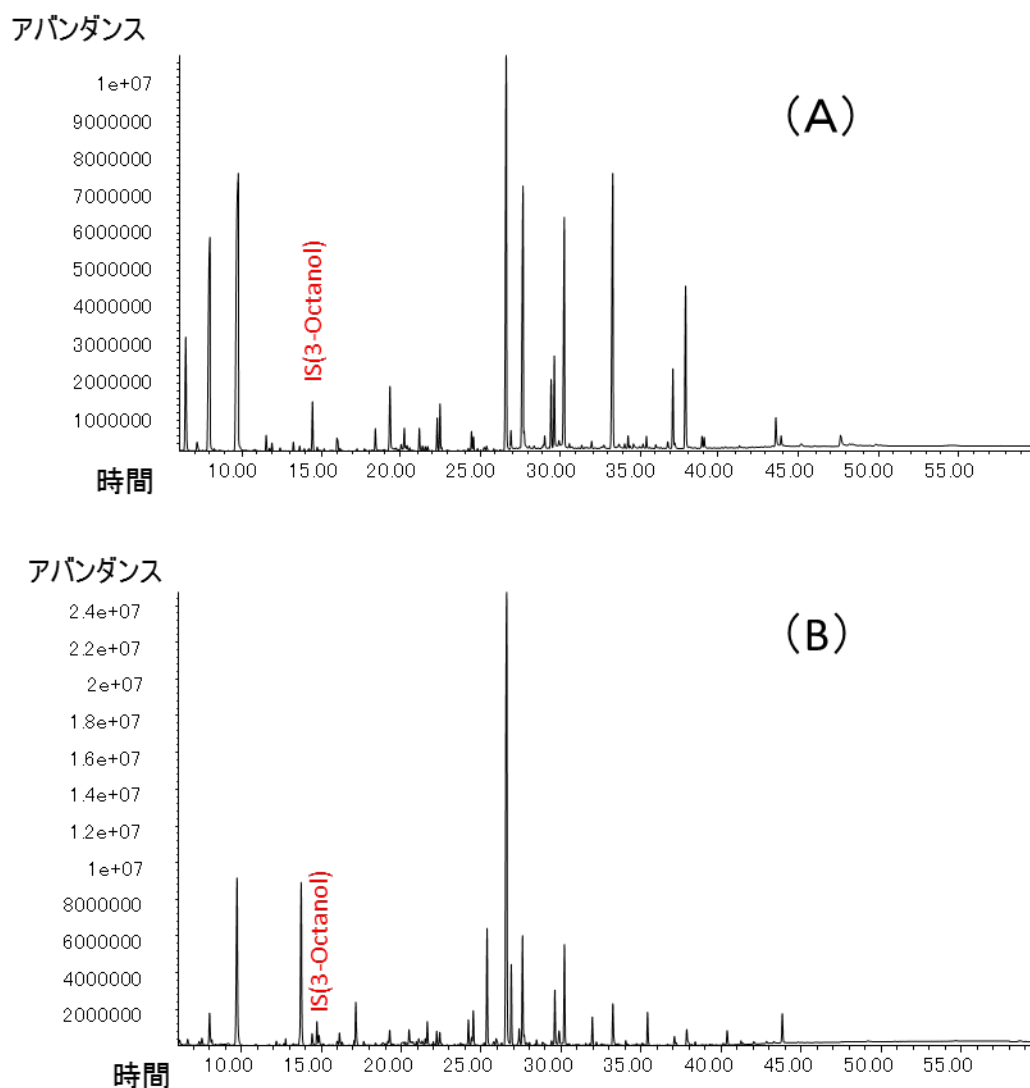


図 2. 味噌香気捕集法の違いによるTICクロマトグラムの比較

(A) SAFE 法による香気抽出物、(B) SA-SBSE 法による香気抽出物

SAFE 法の方が低沸点成分が感度よく検出されているが、ほぼ同等の香気成分の捕集が可能であった。また、1 サンプルあたりの香気捕集時間は、SAFE 法より SA-SBSE 法の方が大幅に短縮することができた。次に、味噌の香気寄与度が高い香気成分を GC 出口でにおい確認を行う GC-Olfactometry による AEDA(aroma extraction dilution analysis) によってスクリーニングを行った。それらの成分を表 1 に示す。

表 1 に含まれる成分をもとに、SA-SBSE 法で得たクロマトグラムで検出されているかどうかを確認したところ、いずれの成分も SA-SBSE 法でも検出されたことから、SA-SBSE 法は簡便でかつ、従来の香気捕集法である SAFE 法と同等の質の香気抽出物を得ることができることが分かった。今後、様々な味噌について本捕集法により香気抽出物を得、多サンプル一斉解析に活用する予定である。

表 1. AEDA 法による味噌の香気寄与成分 (FD factor が大きいほど寄与度が高い)

RI	化合物名	におい特徴	FD factor
937	ethyl acetate	フルーティー、さわやか	1
1028	ethyl butanoate	フルーティー、サイダー、さわやか	1
1345	Unknown	茹でたじゃがいも、枝豆	256
1392	Dimethyltrisulfide	たくあん、発酵臭、たまねぎ	1
1437	acetic acid	酢、マヨネーズ	1
1463	Methional	茹でたじゃがいも	1024
1625	butanoic acid	チーズ	1
1659	Phenylacetaldehyde	花	64
1670	3-methylbutanoic acid	チーズ	256
1841	3-methyl-1,2-cyclopentanedione	カレー、カラメル、黒蜜	64
1928	2-phenylethanol	バラ、消毒液	1024
1993	3-hydroxy-2-methyl-4-pyranone (maltol)	カラメル、わたがし	256
2045	4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone (furanol)	汗臭い、カラメル (256 倍)	16
2071	4-hydroxy-2(or 5)-ethyl-5(or 2)-methyl 3(2H)-furanone (HEMF)	はちみつ、いちご、カラメル	1024
2201	3-hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanone (sotolon)	カレー	1024
2587	Vanillin	ココア・チョコレート	16

5. 今後の計画

今回、味噌の水溶性成分、香気成分の抽出分析法の確立を行うことができたため、来年度は製造工程の異なる味噌を調製し、味噌の製品による違い、製造工程による味噌の風味変化について網羅的成分分析を行う予定である。

6. 研究成果の発表

国内発表：2件

論文発表：1件

国内シンポジウム（招待講演）：1件

センシング技術を活用した調理による食品栄養成分変化の予測法の開発

研究者名：栄養生命科学科 大澤 絢子

1. 研究の目的

本課題では、様々なセンシング技術の活用により、1) 生産規模が食品中の栄養成分に与える影響の検討、2) 調理・保管に要する時間が食品中の栄養成分に与える影響の検討、の2つの研究を行う。調理加工工程により生じる食品中の各種栄養成分の変化をより詳細に明らかにすることにより、同一、同比率の食材料を用いて調理した場合、生産規模や調理法の相違が、料理の各種栄養成分、抗酸化活性強度の差にどのように影響を与えるかを検討して変化の指標となる傾向を見出し、従来よりも迅速かつ正確に食材・料理中の栄養成分量を算出するための手法を開発することを目的として行っている。

本研究を行うことにより、調理の規模や所要時間と食材中の栄養成分の相関関係を見出すことができれば、給食・中食・外食などで生産される食事に含有される栄養成分量をより迅速かつ正確に定める技術の確立につながると考えている。

2. 研究の必要性及び従来の研究

近年、人々の健康の維持増進および健康寿命の延伸に関する希求は高まっている。また、生活習慣病予防や QOL の向上などを目指すためには、食物に含まれる様々な栄養素を「バランスよく」「適量で」摂取することが望ましいと考えられている。

現在、給食や中食・外食産業（一般加工食品・加工飲料は除く）で用いられている栄養成分表示は、多くの場合、日本食品成分表の食材（生）の栄養素量を参考に算出されているが、食材を料理として経口摂取するまでには様々な調理加工工程が必要である。従来の研究により、各調理技法（煮る、焼く、蒸す等）や栄養成分・機能性成分の種類によって化学構造の変化の様子や損失率に違いがあることは明らかとなっているが、これらの先行研究は少量の食材で調理して分析・検討している場合が多い。しかしながら、給食や中食・外食など、産業として大量に生産する場合には、少量での調理と異なり、1つ1つの調理作業に要する時間が長い（食材または料理を放置する時間が長い）、湯や食材内部の温度上昇に要する時間が長い、などの特徴があり、加熱や調理手法によって変化・損失する可能性のある成分は、少量で調理するよりもより大きく変化している可能性がある。

したがって、本研究で、上記のように産業として大量に食材を加工する際に、食材中の栄養成分にどのような変化が起きているのかをより正確に把握する手法を見出すことは、より適切な給与栄養量の算出を可能にし、人々の健康の維持増進に寄与する可能性が期待できる。

3. 期待される効果

現在、給食や中食・外食産業（一般加工食品・加工飲料は除く）で表示される給与栄養量は、多くの場合、日本食品成分表の食材（生）の栄養素量を参考に算出しているが、食材を料理として経口摂取するまでには様々な調理加工工程を経る必要があり、加工によって食材中の各種栄養成分に化学構造の変化や損失が生じる可能性がある。しかしながら、給食のように一度に大量生産する場合や、中食・外食産業のように調理後に長時間保管している場合、その状況や食数に応じて加熱時間や酸性調味料への浸漬時間等が異なり、計算による予測値よりも大きく栄養成分が損失する可能性が考えられる。本研究により、様々な調理状況と時間における各種栄養成分の変化の指標を見出すことができれば、献立作成時に各施設・状況に応じてより実際の摂取量に近似した栄養素量を予測できるようになると期待している。

また、調理加工に要する時間が異なれば、呈味成分や香り成分の量や組成が異なる可能性も高い。特にうま味成分や香り成分は、塩味や甘味の閾値との関連も深く重要であり、調理加工時間と食品中のこれら成分の変化の相関関係を明らかにすることができれば、少量の食塩や砂糖で、おいしい食事を生産する技術が確立されることが期待できる。

これらの技術は、より適切な栄養量で、よりおいしく食事を生産する技術の確立へとつながり、人々の健康の維持増進に大きく貢献すると考えている。

4. 研究の経過及び結果

本年度は主に2つの研究を行い、下記を初めて明らかにすることができた。

〔研究1〕生産規模が食品中の栄養成分に与える影響に関する検討

本研究では、同一、同比率の食材料と同一の調理法を用いて、異なる調理規模（50人分、100人分、200人分）で調理を行い、料理に含有される栄養成分の相違点を明らかにすることを目指している。研究着手初年度である本年度は、一般的な汁物の具材で使用されることが多い「にんじん」「キャベツ」「玉ねぎ」を用いて50人分、100人分、200人分のスープをそれぞれ作成し、料理に含有される1) アミノ酸の量と組成、2) ビタミンC含有量と抗酸化活性強度について下記を明らかにすることができた。

- 1) スープ（液体）100g中に溶出されたアミノ酸量は、いずれの野菜も200人分>100人分>50人分であり、調理終了時点を水温で設定（85℃に到達して5分で終了）していても調理に要する時間が長いほど多かった。また、スープに溶出されたアミノ酸の組成は、100人分と200人分は同様の傾向を示したが、50人分はこれらと異なる傾向を示し、特定給食施設で行われる100人以上の大量調理では、同一のレシピでも小規模な給食とは旨味傾向が異なるスープが作られている可能性が示唆された。
- 2) スープ（液体）100g中に溶出されたビタミンC量はいずれの野菜も200人分>100人分>50人分であり、アミノ酸と同様に加熱時間が長いほど多いという傾向を示したが、

抗酸化活性強度（DPPH ラジカル消去活性）は 100 人分と 200 人分が同程度であった。ビタミン C の酸化型と還元型の比率を調べた結果、加熱時間が長い 200 人分は 100 人分よりも酸化型が多く、そのため抗酸化活性強度が減弱されたと考えている。また、本実験においても 1）と同様に 50 人分は 100 人以上の試料と異なる傾向を示した。

〔研究 2〕調理・保管に要する時間が食品中の栄養成分に与える影響に関する検討

本研究では、同一の食材料を用いて調理作業を行い、異なる保管条件（時間、温度）で料理を放置した場合に、食品中の栄養成分にどのような相違が生じるかを明らかにすることを目的としている。本年度は「日本人における野菜摂取量ランキング（平成 24 年度、国立研究開発法人 医薬基盤・健康・栄養研究所）」上位 20 種の野菜を様々な切り方で切さいし、業務用冷蔵庫で保冷して、時間の経過とともにビタミン C 量と抗酸化活性強度にどのような変化が生じるかを検討した。

その結果、20 種の野菜（にんじん、大根、カブ、牛蒡、蓮根、長葱、玉ねぎ、ほうれん草、小松菜、青梗菜、白菜、キャベツ、レタス、ブロッコリー、もやし、なす、きゅうり、南瓜、トマト、ピーマン）は、切さい後 24 時間の保冷中に総ビタミン C 量と抗酸化活性強度が①増加する野菜、②変化しない野菜、③減少する野菜、④増加後に減少する野菜の 4 種類に大別された。また酸化型ビタミン C と還元型ビタミン C の比率の変化も野菜によって異なった。これらの変化には、植物細胞が切さいや冷却により受けるストレスでアスコルビン酸オキシダーゼやアスコルビン酸合成酵素が活性化されることが関連していると推察されるが、植物学的系統分類は相関がなかった。一方で、長ねぎ等の一部の野菜では、細かく切さいした野菜の方が抗酸化活性強度が高く、野菜の切り方が経口摂取時の抗酸化活性強度に影響を与える可能性が示唆された。

5. 今後の計画

生産規模が食品中の栄養成分に与える影響に関する検討（研究 1）に関しては、にんじん、キャベツ、玉ねぎ以外の野菜について同様の研究を行い、平成 30 年度で見出した傾向（100 人以上の大量調理では、水温を指標にすることによりアミノ酸の量と組成、ビタミン C 量が同じスープを作ることが可能）に汎用性があるかを確認する。平成 31 年度は、野菜の中でも比較的組織が固く、栄養成分の溶出に時間がかかると推測される根菜類（ごぼう、だいこん、れんこん等）について検討する。

調理・保管に要する時間が食品中の栄養成分に与える影響に関する検討（研究 2）に関しては、加熱調理後の保管により栄養成分がどのように損失するかを検討する。給食や中食・外食で販売する和え物料理（お浸し等）は、他の調理作業との関連で、調味後、喫食までに長時間保冷される。そのため、浸透圧により野菜から多くの水分が流出し、体内に摂取できる水溶性栄養成分量が少量調理時より大きく減少している可能性がある。

平成 31 年度は、一般的に和え物調理で使用する野菜を用いて、加熱調理・調味後の保管により総たんぱく質量、総ビタミン C 量、抗酸化活性強度がどのように変化するかを検討する。

6. 研究成果の発表

第 14 回 日本給食経営管理学会学術総会（2018 年 11 月 24 日～25 日）

「調理規模・加熱時間が野菜スープのアミノ酸量および組成に与える影響の検討」

（示説発表，発表者：大澤絢子，磯部麻緒，原島貴美香）

以上

環境水中の放射性物質のセンシングと簡易回収法の開発

次世代センシングシステム研究所第1研究室

研究者名：工学部応用化学科 齋藤 貴

1. 研究の背景と目的

(1) 背景と目的

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震に伴った原子力発電所事故の災害により、放射性物質を含む廃水の処理問題が生じた。その中でも人体に対して有害な放射性Csが注目され、Csの簡易迅速な回収技術の開発が求められている。しかし、現行のCs回収装置はCs吸着剤により大量の廃水を処理可能である反面、大量の放射性廃棄物とその管理コストに課題があるのが現状である。たとえば、放射性物質の廃水を含むドラム缶保管量は、962基、112万トン(2019年2月現在)程度となっており、順次処理待ちになっている。

(2) アプローチ

本研究は外部の刺激に応じて固相⇌液相に相変化するチキソトロピー現象をCs回収剤に利用することで、現行のCs回収装置の前処理や負荷低減などを視野に入れたCs回収剤の開発を目的としている。そのため、チキソトロピーゲルのゲル化剤濃度やCs回収率、pH、海水の影響、種々の吸着剤との比較評価などの諸条件におけるチキソトロピーゲルによるCs回収能を明らかにした。さらに、Cs濃度とチキソトロピーゲルによる回収率の関係について評価した。また、ゲル中のホスト分子にCsが取り込まれるときのメカニズムについて考察を加えた。

(3) 研究計画

本研究は次の計画で検討を進めていく方針であり、初年度にあたる2018年度は下記の1)の検討事項について進めた。

・研究計画

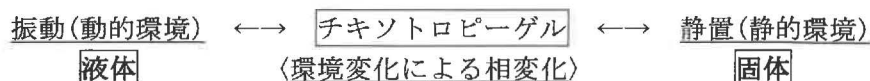
- 1) 沈降型チキソトロピーゲルによるCs回収法の確立：チキソトロピーゲルによるCs濃度と回収率の測定及び評価。種々の吸着剤との吸着能の評価。
- 2) 粒子状吸着剤-チキソトロピーゲル回収法の確立：ゼオライトやブルシアンブルーの粒子状吸着剤とチキソトロピーゲルとの併用型回収剤の開発。
- 3) 浮遊型チキソトロピーゲルによるCs回収法の確立：チキソトロピーゲルの組成決定(ゲル化剤と有機溶媒の組成)とCs濃度に対する回収率の測定と評価。模擬Cs廃水によるCsの回収法の検証。

2. 研究の特色、独創的な点、意義

(1) 学術的特色・独創的な点

現在、廃水中のCsはゼオライトなどの粒子状吸着剤により回収できるが、これらは水中で分散するため沈殿剤等の凝集剤が必要となり、粒子の完全な回収は不可能となる。そのため、吸着剤粒子による二次汚染や回収行程の複雑化の課題が残る。

今回提案するチキソトロピーゲルによる回収法は、回収操作直前では疎水性ゲルが固体のため固液系であり、回収操作中は攪拌することでゲルが液状化し液々系となる。回収後は攪拌を止めることでゾル状の液相がゲル化(固化)し固液系に戻る相変化する回収システム系が構築できると考えている。



すなわち、回収操作時は抽出効率の高い液々抽出系であり、回収操作前後は相分離に優れた固液系となり、両者の利点を併せ持つこれまでにない新規な回収システムが構築できる。なお今回はゲルの比重を1以上に設計することで、ゲル相を自立的に沈降させて相分離する回収系を検討した。

本法のチキソトロピーゲルによるCsの回収システムのモデルをFig. 1に示した。現在のゼオライト吸着処理システムにその前処理として本法のゲルによる回収システムを組み込んだ回収モデルである。

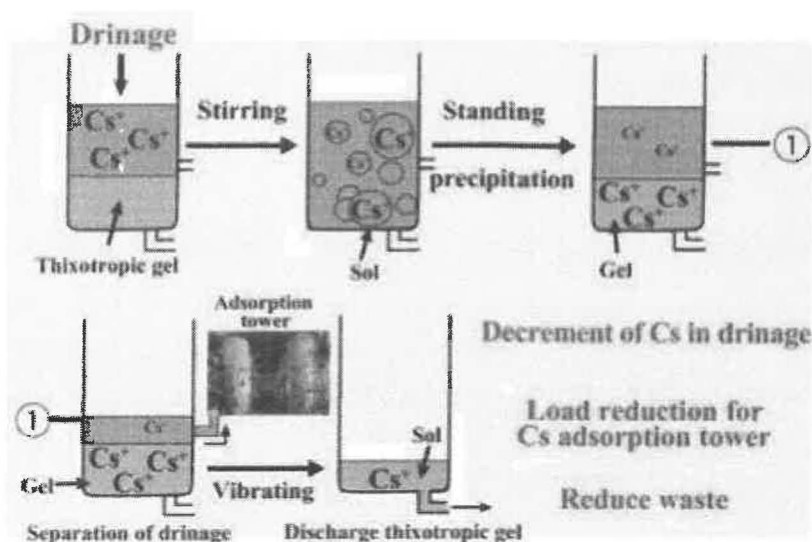


Fig. 1 Model of Cs recovery system

(2) 研究の意義

Cs 廃水の簡易な浄化法として、外部環境に応じて固体-液体の相変化を可逆的に生じるチキソトロピーゲルを考案し、これを用いた新規な回収法を提案することにある。この新規材料を浄化に利用することで、回収操作前は取り扱いが容易な固体状ゲル、回収操作を行う際は廃水へ投入して攪拌することでゾル化し抽出効率の高い液体となり、Cs 回収後は再び固体状ゲルに戻り相分離に優れた固液系となる新規な回収法が構築できる。また他の固体吸着剤との併用も可能な発展的な回収剤となる。

3. 研究成果

(1) チキソトロピーゲルの調製

チキソトロピーゲルを調製するために、 σ -ジクロロベンゼンに対してゲル化剤としてLGBA (*N*-Lauroyl-L-glutamic- α , γ -dibutylamide)を1.00 wt%加え、攪拌しながら80℃で加熱し、溶解させた。その後、ゾルが温かいうちに、遠心沈殿管に指定量入れて室温まで放冷した。その後、ゲル化したチキソトロピーゲルを用いて種々の実験を行った。なお、実験で用いたCsは安全面に配慮し、放射性を有しないCsClを用いた。

作成したチキソトロピーゲルの様子をFig. 2に示した。なお、Fig. 2の右図は下相がチキソトロピーゲル(目視しやすいように着色したもので、本来は無色)、上相が水である。いずれも静置状態のため、固体状のゲルとなっている。

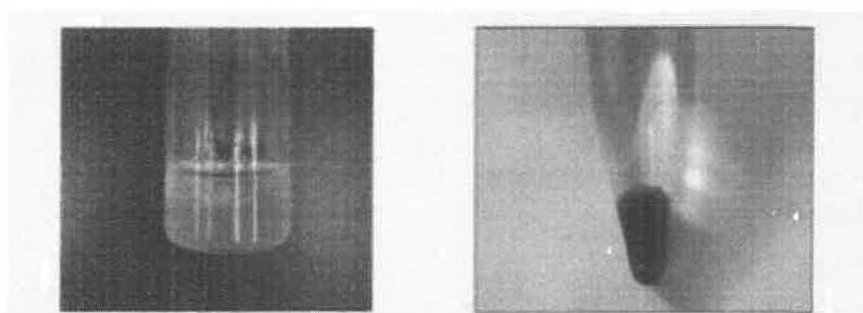


Fig. 2 Thixotropic gel (left), and thixotropic gel and water (right)

(2) チキソトロピーゲルによるCsの回収率

Cs溶液の初濃度とCs回収率の関係を明らかにするため、 $1.00 \sim 10.0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (ppm) のCs溶液に対してチキソトロピーゲルによるCs回収実験を行った。濃度の設定では、一般に報告されているCs廃水の貯蔵濃度が数ppm程度(4~5ppm)であることから、その濃度を考慮して濃度範囲を設定した。

その結果、本チキソトロピーゲルにより $1.00 \sim 10.0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ のCs水溶液に関しては、76.5~90.1%のCsが回収された (Fig. 3)。Cs回収率はCs初濃度の増加とともに緩やかに減少し、濃度の増加と共に回収率が僅かに低下することが認められた。

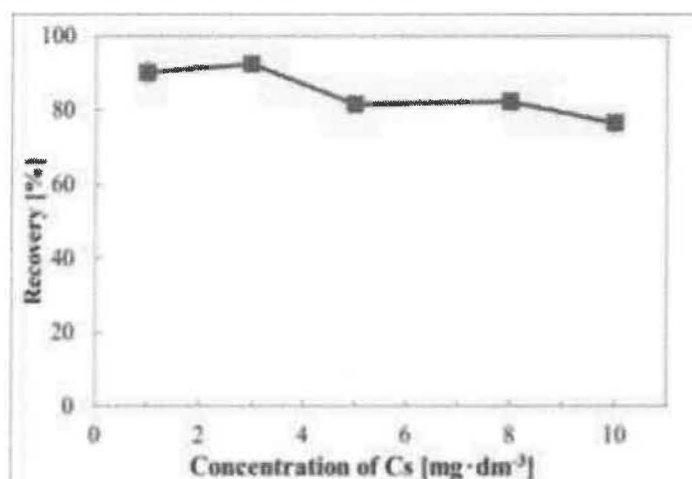


Fig. 3 Relationship between concentration and recovery of Cs

(3) Cs回収におけるのpHの影響

チキソトロピーゲルのCs回収率に対して、Cs溶液のpHが与える影響を測定した。1.00 wt %のLGBA- α -ジクロロベンゼンからなるチキソトロピーゲル 1.00 cm^3 を用いて、以下の条件のCs溶液を加えて回収率を測定した。なお、チキソトロピーゲルとCs溶液の体積比(v/v)は1:100とした。次に、HClまたはNaOHを用いてpHを1~11に調整した 1.00 、 $10.0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ のCs試料溶液 100 cm^3 を加え、24時間攪拌しCsの回収を行った。

その結果をFig. 4に示した。Csの回収率はpH5~9の中性付近で高い傾向を示し、低pH及び高pH側では回収率が低下することがわかった。この要因は低pH側では後述するCs-LGBA錯体の H^+ の配位子交換が行われ、Csが解離することに起因していると思われる。

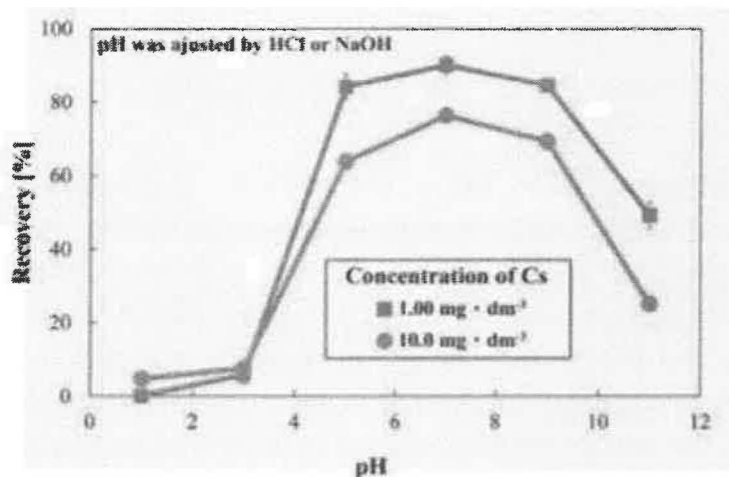


Fig. 4 Recovery of Cs at various pH

(4) 海水ベースのCs廃水からのCsの回収

原子力発電所の廃水漏れなどの場合、沿岸に近い施設では廃水に海水が流入する場合がある。福島原子力発電所事故においても海水が廃水に含まれている状況や、海洋への放射性物質の拡散防止を行う状況を想定すると、Cs廃水に海水が混入する状況がすでに発生している。そこで、Cs廃水を海塩濃度に近づけた廃水においても回収実験を試みた。Cs廃水のベースには人工海水を用いて測定を行った。

その結果、Cs水溶液に海水相当の高塩濃度が共存する場合、Fig. 5に示したようにチキソトロピーゲルによるCs回収率は極端に減少し、回収されないことがわかった。この主な要因は、共存する K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} などの多量の陽イオンがホスト分子であるLGBA分子のアミド基のOやNを配意子として取り込まれている可能性が示唆される。すなわち、LGBAとCsの錯形成を阻害したためと考えられる。そのため、高濃度のCsや高濃度塩が共存する場合のCs回収率の低下が課題となった。

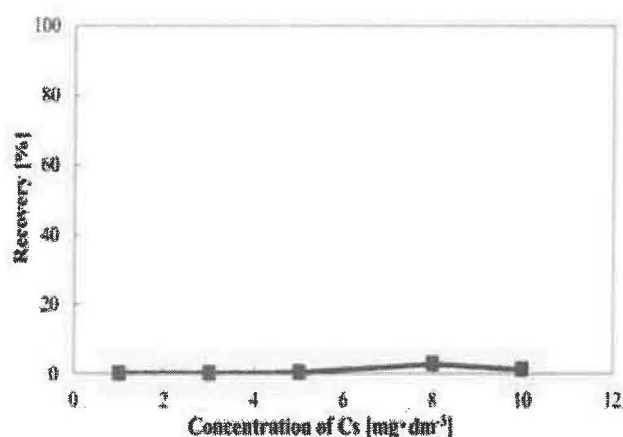


Fig. 5 Relationship between concentration and recovery of Cs under seawater

(5) 種々の吸着剤によるCs回収能の比較

チキソトロピーゲルによる回収法と既存のゼオライト、モルデナイト、クリノプチロライト、活性炭などの固体吸着剤を用いて回収率を比較した。固体吸着剤1 gに対してCs溶液100 cm³により、そのCs吸着能を調査した。その結果をFig. 6に示した。ゼオライト等の固体吸着剤では、回収率はほぼ100 %に達している。一方で、チキソトロピーゲルは濃度にも依存するが、10~20%程度の差が見られ、ほぼ活性炭と類似する傾向にあった。

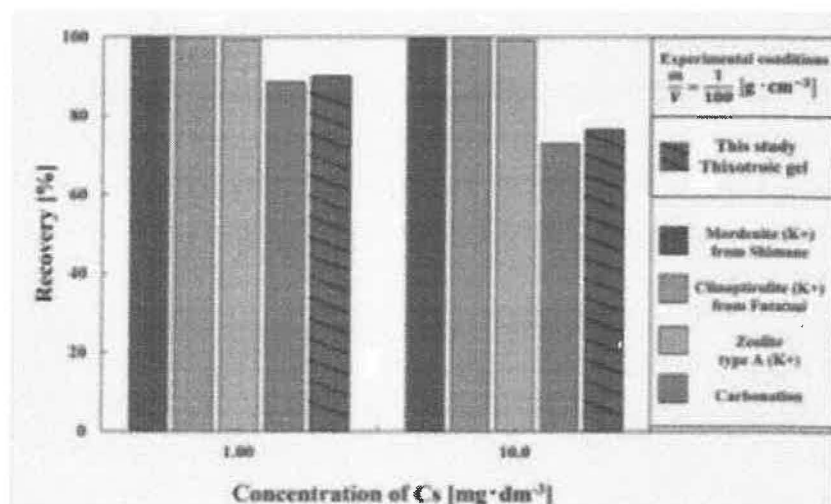


Fig. 6 Recovery of Cs for various adsorbents and gel

(6) Cs と LGBA の反応性に関する考察 (研究申請の選考審査委員の方のご意見を含む)

Cs がチキソトロピーゲルに取り込まれる際のメカニズムについて考察した。ゲルの溶媒である *o*-ジクロロベンゼンには Cs は溶解しないことを確認した。本来、Cs などのアルカリ金属イオンは疎水性溶剤には溶解しないことと一致する。そのため、Cs のゲルへの取り込みは LGBA が関与していることが明らかであり、Cs のホスト分子として機能している。LGBA は Fig. 7 のような構造を有しており、アミド結合を持つ鎖状分子である。ゲル化する際は、複数の LGBA 分子中のアミド基同士の水素結合により弱いながらもゲル化している。ここに動的能量が加わると水素結合の解離によりゾル化し液状化する。本法では、疎水性溶剤と LGBA の組成を詳細に検討した上で、ゲル→ゾル転移する条件を見出しており、これが本法の特異的な可逆的相変化となっている。このとき、Cs イオンと LGBA との反応を考えると、先に高塩濃度で反応性が劣ることとも考え合わせると、下図のように、アミド基の O や N との配位子と Cs との錯形成が寄与しているものと推測される。そこでモル比法により錯形成モル比を推算したところ、おおよそ 1 対 1 錯体の傾向が見られてはいるものの測定精度に課題があるため、再度見直し検討を行っている段階である。

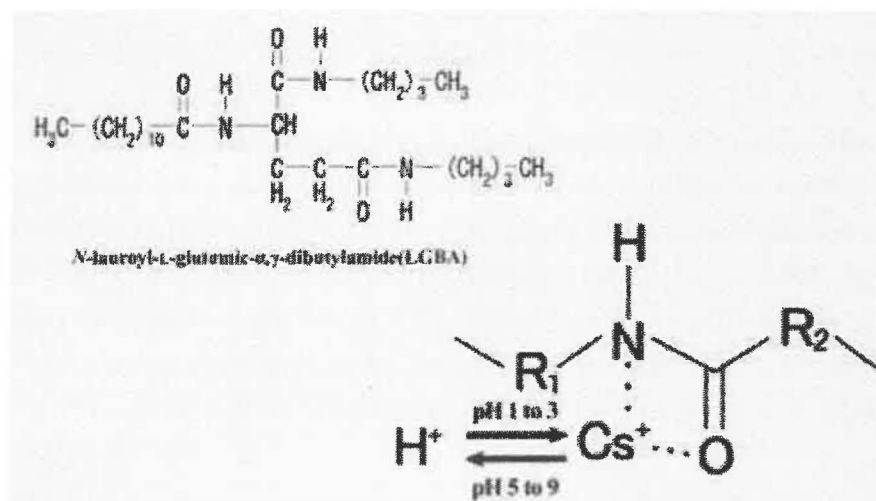


Fig. 7 LGBA molecule and reaction model of Cs-LGBA complex

4. 研究成果の発表

2018年度の研究成果に関しては次の通りである。なお、昨年度の本研究内容は、今年度秋に研究成果を発表予定である。

- 1) 学術論文：齋藤貴：Journal of Flow Injection Analysis, 35(2) 53-58 (2018).
 齋藤貴、他：環境バイオテクノロジー学会誌、掲載予定 (2019).
 齋藤貴、他：神奈川工科大学紀要1件 (2018年度).
- 2) 学術学会における研究発表：25件 (2018年度)

電力見える化から広がる消費電力予測と家電制御の研究

研究者名：ホームエレクトロニクス開発学科 杉村博

1. 研究の目的

本研究の目標は電気の知識が乏しくても長期的な利用価値のある HEMS を提案することである。そのための問いは「どのようにして常にユーザに電力見える化画面を見せるか？」と「どのように電気の知識のないユーザに節電行動を促すか？」である。この二つの問いに対して研究を行ってゆく。

一つ目の問いは節電の継続性であり、「どのようにして常にユーザに電力見える化画面を見せるか？」である。ここでは「手軽であること」、「見える化以外の機能をもつこと」が重要である。手軽さとは、場所と時間を選ばずにいつでも利用でき、すぐに画面が表示される必要がある。また、見える化機能だけではどうしても人間は飽きてしまうことから、見える化以外の機能を併せ持ち、人間にとっては受動的に情報提示されることが望ましい。例えば家の外からの遠隔制御を電力見える化画面を利用して実行するなどが考えられる。消費電力予測も電力見える化に重畳してユーザへの心理へ働きかけることで、節電行動へ結びつける。

二つ目の問いは節電知識の獲得であり、「どのように電気の知識のないユーザに節電行動を促すか？」である。ここでは「グラフに興味を持たせること」、「グラフに意味があること」が重要である。現在は単純に消費電力量のグラフを表示して、自宅の電気代を表示する程度であるが、電気の知識のないユーザにとっては、そこから先の節電行動には繋がらない。そこで、例えばブレーカーが落ちるラインと現在利用状況をリアルタイムで表示しておけば意味のあるグラフへとつながってゆく。さらに家電の IoT 化によって情報収集を行い、各家電の消費電力量から、全体への利用割合などを算出する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

ネットワークに繋がる家電の増加と共に Home Energy Management System (HEMS) が注目されている。HEMS はネットワーク接続された家電が連携しあって各家庭でできる限りの省エネを実行し、またそれらが集合して地域全体の省エネを目指すというシステムであって、現在の HEMS は消費電力の見える化や家電の遠隔制御という機能によってユーザの省エネをサポートしている。今後は IoT 技術並びにネットワーク家電の普及によって、この HEMS 技術開発の重要性は一層高まってゆくものと思われる。本課題は HEMS の問題点と改善点について研究している。

見える化機能は家庭の消費電力情報をユーザに提示することで、ユーザの現状を明らかにして積極的にユーザにエネルギーの関わりを持たせ、節電行動へと導く。しかし、現在の見える化は消費電力を単純にグラフ化して表示するもので、人間の飽きによって機能そのものが利用されなくなることが判明している(Ref. 1)。さらに、単純な消費電力の時系列データのグラフ表示だけでは、一般ユーザの中心である主婦にとっては省エネへの改善点の発見が困難であり、具体的な節電行動へと結びつけることができないという問題も抱えている。

見える化の次のステップとして、電気配線に従って家電設置状況を入力したデータベースを持たせた HEMS によって各家電の電力量を切り分けて、節電アドバイスを行う支援機能も開発されている。しかし、家電設置状況の入力の煩雑さや、ユーザの生活の多様性への適合がなされていないなどの理由によって現実的にはなかなか利用されていない。また、ユーザが家電の優先度と使用する電力量を決定してシステムがユーザに対して快適に節電できる家電の操作方法をアドバイスするようなシステムも開発されている(Ref. 2)。やはりこの手法でも、ユーザが細かく HEMS 設定を行う必要があり、電気知識のないユーザに対しての配慮がなされていない。

本研究は、このような電気知識のないユーザでも常に見える化による電力をどのように意識させるべきかについて検討を行い、実装と評価を行うものである。

(Ref. 1) 「見える化機器」利用前・利用後アンケート結果：
<http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndl.jp/pid/10189884/www.city.osaka.lg.jp/kankyo/page/0000148884.html> (2012)

(Ref. 2) 大木 浩司, 玉井 盛彦, 安本 恵一: 快適さと省エネを同時に考慮した複数家電への電力量配分支援インターフェース, 情報処理学会研究報告コンピュータセキュリティ (CSEC), Vol. 2014-CSEC-64, No22, pp. 1-8 (2014)

3. 期待される効果

本課題の最終目標は HEMS における消費電力削減である。しかし実環境測定には時間がかかるため、本課題では住人の節電への行動変容について着目して効果測定を実施している。本課題は目的に示す通り「節電行動の継続性」と「節電知識の獲得」である。本課題で開発したシステムを利用することによって日常的に電力見える化画面を利用し、電気の知識のないユーザでも自発的に考えて節電行動を促すことができるようになる。さらに各家庭での自発的な節電マネジメントが実行されると考えられる。

4. 研究の経過及び結果

2018 年度では、1つ目問いの「どのようにして常にユーザへ電力見える化画面を見せるか？」について研究した。IoT 化した分電盤から実際の電力量を取得して全体に見える化を行って、さらにネットワーク家電の消費電力量の値も随時取得し

て、消費電力の割合や過去のデータとの比較もおこなった。ネットワーク家電は遠隔制御ができる点が特に重要な機能で、本システムでは電力見える化機能に対して遠隔制御機能を組み込んだ。消費電力を見ながら家電の動作を中央管理してスケジューリングすることによって、結果としてユーザに対して電力見える化画面の提示回数を増加させることができた。具体的にシステム全体に必要な機能と全体開発スケジュールを下記のように整理して実施した。

具体的には 2018 年度課題である「どのようにして常にユーザに電力見える化画面を見せるか？」について、「見える化アプリケーションの Web 化」、「ブレーカートリップライン」、「家電の操作スケジューリング」、「消費電力予測」、「実験、計測、アンケートの実施および論文発表」を実施した。

実装と実験に関して、本来は一般住宅に導入したいところであるが現実的には難しい問題を抱えている。研究内容を切り分けて問題を明確にして、システム構築技術やユーザビリティ調査に関しては HEMS 認証支援センターを利用し、電気の知識のないユーザに対しての理解容易性やユーザインタフェースについての調査は学園祭に来る一般参加者の主婦層や学生アンケートなどを利用して実施している。

本課題における企業との連携としては、HEMS データの解析について積水化学工業株式会社（セキスイハイム）との予備調査型の共同研究を立ち上げて研究を連携しており、SonyCSL の研究者とも HEMS のユーザインタフェースに関して連携している。

5. 今後の計画

2018 年度の研究開発が進むにつれて研究要素の追加が必要と判断したため昨年度の申請からの機能の追加修正を実施して研究する予定である。

2019 年度のテーマは「どのように電気の知識のないユーザに節電行動を促すか？」であり、「消費電力量の統計的分析」、「家電操作の予測消費電力」、「ユーザへの節電プッシュ通知機能」、「(追加) 知識のないユーザと知識のあるユーザの差の分析と、各要素で必要な支援の検討（一部実施）」、「(追加) 節電マネジメント PDCA サイクルの検討と節電状況確認機能（一部実施）」、「実験、計測、アンケートの実施」、「論文発表」を計画している。

2020 年度では研究の発展と普及を中心に実施する。現在 HEMS に関して現在積水化学工業や Sony コンピュータサイエンス研究所とともに研究活動を行っている中で、下記の点についての検討の必要性が指摘されており、その重要性や有効性から優先度を整理して研究を継続してゆく予定である。

- ・ システムのプラットフォーム化
- ・ システム（または各モジュール）のオープンソース化
- ・ ECHONET Lite 以外の家電通信プロトコルへの対応

- ・ 家電消費電力の予測と，そのための人工知能アルゴリズム開発
- ・ システム継続利用を見込んだシステムのコンテンツの魅力向上（ゲーミフィケーションの導入）

6. 研究成果の発表

査読付き国際会議 1 件

1. Takumi Shida, Hiroshi Sugimura, Moe Hamamoto and Masao Isshiki: Development of Support Tool to Improve Indirectly Consciousness of Energy Saving, International Conferences Interfaces and Human Computer Interaction 2018 (MCCSIS2018, ICIHI2018), pp. 411–414 (2018) (Madrid, Spain, 2018.07.16)

査読無し口頭発表 3 件

1. 志田 匠，杉村 博，一色 正男：電力見える化での機器操作情報活用による節電支援の研究，第 81 回情報処理学会全国大会論文集，No. 3，pp.175-176，Mar. (2019)
2. 矢澤 将虎，大沼 龍之介，杉村 博，一色 正男：人工知能を用いた大規模 HEMS データからの知識発見，第 81 回情報処理学会全国大会論文集，No. 3，pp.177-178，Mar. (2019)
3. 志田 匠，杉村 博：ECHONET Lite の情報を活用した見える化ツール，平成 30 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会，GS3-1，pp. 1176-1177 (2018) (2018.09.05)

医用画像診断支援システムの高度化に関する研究

研究者名：電気電子情報工学科 武尾 英哉

1. 研究の目的と概要

コンピュータ支援画像診断 (CAD: Computer Aided Diagnosis) システムの開発における症例画像の不足を補うことを目的に、病変の存在しない画像に病変を埋め込み、人工的に症例画像を作成する取り組みが行われている。筆者らは、肝腫瘍や乳がん腫瘍影を対象に人工症例画像の作成と CAD 開発への適用を行い、その有効性を示してきた。しかし、これまでは 50%以上人工症例を CAD 開発の学習データとして用いると、未知データに対しての判別性能が本物だけで学習したもの比べて若干劣ってしまう傾向であった。本研究では、人工症例画像の更なる他部位への応用と人工症例のみでの高性能な判別器開発を目的とし、新たな対象として乳がん石灰化に着目して有効性検証を行った。石灰化は、これまでの肝腫瘍や乳がん腫瘍影とは大きく特徴が異なるため、新たな作成手法を開発した。この手法により作成した人工症例を CAD 開発に用いた結果、100%人工症例での学習による判別器において本物だけで開発したものと同性能の検出結果が得られた。

一方、CAD の研究分野にも CNN が積極的に用いられるようになった。一般的に機械学習には様々なバリエーションを持った症例画像を網羅的に与えて学習を行うことで、汎用的で高性能な判別器を設計する。これは、学習に含まれていない画像はうまく検出ができないと考えられるからである。実際に比較的典型的な症例のみを使って学習した CNN と症例を網羅して学習した CNN では後者の方が性能が高いことが確認された。これは CAD のリリース時にも同様のことが考えられる。開発時に用いる症例は、実際に運用する病院での症例を網羅しているとは限らないからである。そこで本論文では、再学習機能を組み込んだ自己進化型 CAD システムを提案する。従来の CAD システムはリリース後に判別器を更新することはできなかった。そこで、CAD システムに読影レポート情報（電子カルテ）を利用した誤認識訂正機能を持たせ、ある一定のデータを適用した後に再学習を行うことで判別器を更新する仕組みを提案する。本機能により、再学習を行わない場合と比べて性能の向上が見られた。また、複数回の再学習によって段階的な性能向上も見られ、その病院にマッチした CAD に進化していく過程も確認された。

2. 研究の必要性及び従来研究

これまで国内外の研究機関では、X 線画像や CT 画像を用いて、乳がん、肺がん、胃がん、肝臓がんなど一部の部位を対象とした CAD が開発されてきたが、これらは人体の疾病（病変）の一部にすぎない。そこで、将来的には全身のあらゆる病変を対象とした CAD システムを開発する予定にある。

一方、CAD はこれまで病院より実症例を収集し、それを機械学習によって判別器を開発し、それを病院へリリースしてきた。しかしながら、病院から臨床症例を収集するのは個人情報保護やセキュリティの観点から厳しくなっており十分な数のデータ収集は難しくなっている。

また、それらのデータを収集して開発した CAD システムは汎用的で平均的に高い性能を持つことはできるが、各病院に最適化されたものではない。特にマンモグラフィは各病院の撮影環境（撮影装置や撮影条件など）によって画質が異なり、同じ部位でも施設による特有な画像になる傾向があり、それぞれに最適な CAD（検出方法やパラメータ）があると考えられる。

そこで、本研究では、上記の問題点を鑑みて、下記の検討を目指して研究を進めた。

(A) 実症例を全く用いない CAD 開発手法の検討

(B) 自己進化型 CAD システムの開発

本研究の進め方の特徴は、これまで乳がんを中心に 20 年間以上研究を進めて築いてきた CAD の基盤技術を、

広く他部位やマルチモダリティに展開するとともに、臨床の現場と連携を図りながら実用化（役に立つシステムの運用の実現）を目指していく点にある。

3. 期待される効果

本研究は、医療分野のある単一のモダリティにとどまらず、X線撮影、CT、MRI、さらには細胞画像（明視野もしくは顕微鏡画像）にまで至っている。また、検診～診断、さらには治療や新薬研究に至るまでの分野にわたっている。このように、CAD の応用領域の拡大化を図っており、医学・臨床（医療・治療）の発展に大きく寄与している。また、本年度の研究の中心でもあるように、実症例を大量にしなくても効率的にCADを開発できるようになれば、上記のCADの応用部位拡大に大きく加速化できる。さらに、病院に応じたカスタマイズ機能をもったCADができれば、より高い性能を持ったCADシステムを各病院に提供できる。

なお、本研究を進める上で、市場サイドの声を反映するために、より一層、臨床サイド（医療機関）との連携を強めた。本学に加え、新村病院（黒木放射線科医）、国際医療福祉大学病院（縄野放射線科医）、国立がん研究センター東病院病院（永井臨床放射線技師）と共同研究および共同開発を進めた。

4. 研究の経過及び結果

本研究の特徴は、これまで各種疾患（がんなど）を対象に20年間以上研究を進めて築いてきたCAD技術を、広く多部位に展開するとともに、臨床の現場と連携と図りながら実用化（役に立つシステムの開発）を目指していく点にある。そして、その研究成果はCARS2018国際会議^[1]，IWBI2018国際会議^[2]，日本医用画像工学会(JAMIT2018)国内学会^[3]，神奈川工科大学研究報告（本学紀要）^[4]で発表した。

さらに現在は、本研究成果をより発展させて、AI技術によるさらなる高性能化の検討を行っており、その研究成果は平成31年度中に海外を中心とする学会で発表する予定である（現在、CARS2019国際会議およびJAMIT誌へ投稿中）。

（1）乳がん石灰化を対象とした実症例を全く用いないCAD開発手法の提案^{[1]-[4]}

①人工症例画像の作成

人工症例画像の作成は実症例から抽出を行い埋め込む手法とした。図1にその様子を示す。埋め込む石灰化はまずしきい値処理を基に粗抽出を行う。この粗抽出の画素値を基に濃度勾配を計算しながら領域の拡張を行い、より正確な石灰化領域の抽出を行う。これにより石灰化の輝点だけでなく、すそ野の情報まで取り込むことで本物らしい人工症例が作成できる。

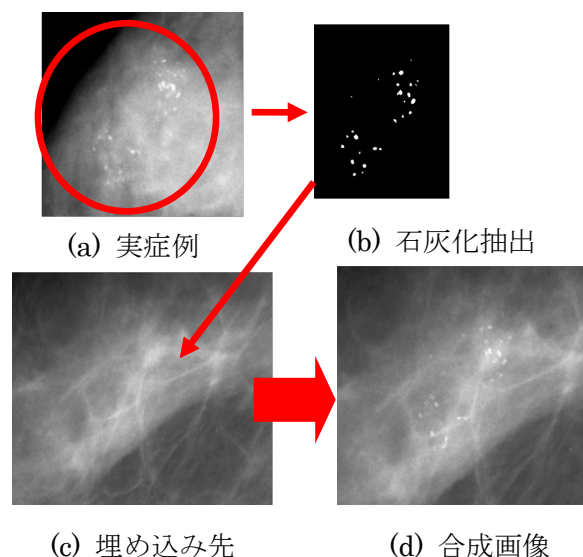


図1 石灰化の埋め込み

②乳がん石灰化検出 CAD の作成

石灰化候補領域の検出処理，SVM 判別器の作成を行い，石灰化 CAD を設計した．判別器の作成には LIVSVM を使用した．特徴量には，しきい値，最大輝度としきい値の差分，閾値体積総和，サイズの分散，濃度の分散，FFT 変換時のレスポンス特性の周波数および高周波パワーの総和，8 方向の分散，腫瘍の最大長の 9 種類を採用し，9 次元のベクトル空間にて判別を行った．人工症例の乳がん石灰化 CAD への適用

【結果】

人工症例のみを用いた検出結果と，実症例のみを用いた検出結果を図 2 に示す．なお，判別器の機械学習には TP 例，FP 例とも 50 例ずつの計 100 例を用いた．人工症例を用いた判別器での検出でも実症例と同等の検出が可能であるという結果が得られた．

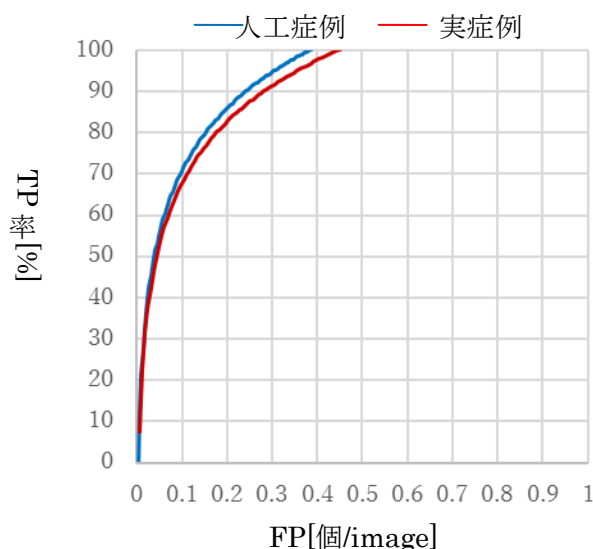


図 2 検出性能の FROC 曲線

(2) 自己進化型 CAD システムの提案

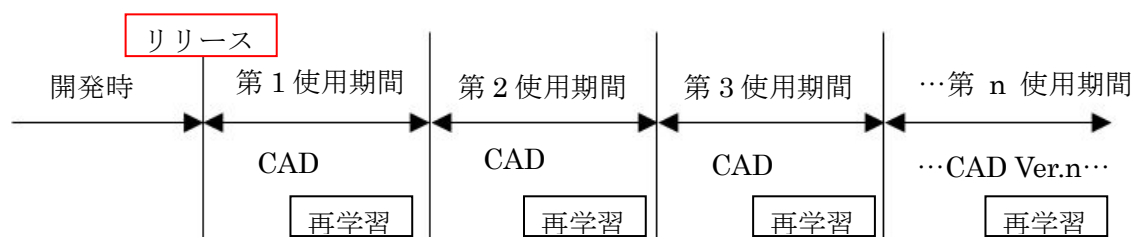


図 3 CAD システムの進化の流れ

進化型 CAD システムは，評価を行った症例を追加して再学習を行うことにより，学習回数が上がるにつれて使用する施設の症例に最適な判別器に進化することが可能である．再学習の流れを図 1 に示す．開発時の CAD を一定期間使用し（第 1 使用期間），その後に集まった症例を追加して再学習（Ver. 2）．Ver. 2 を一定期間使用し（第 2 使用期間），集まった症例を追加して再学習（Ver. 3）．このように一定期間ごとに再学習を行い，より使用施設に最適な CAD へと進化させる．

【進化型CADシステムの性能評価結果】

開発には性能の評価対象となる施設 A~C と学習症例の多様化のため 10 施設分計 13 施設の症例を使用した。最適化の評価を行うため、評価対象の施設以外の 12 施設より無作為に一定数症例を抽出し初期学習を行う。今回は 240 例を用いて開発を行った。以降は対象施設の症例を追加する形で各施設 2 回の再学習を行った。追加症例数は再学習 1 回につき 40 例とした。各々の結果の ROC グラフを図 6(a)~(c) に、AUC(ROC グラフの下面積)を表 1 に示す。ROC は学習用とは別に用意した各対象施設の評価用データ、がん症例 50 例、非がん症例 50 例を使用して評価している。

表 1 再学習による最適化

	AUC		
	施設 A	施設 B	施設 C
開発時	0.86	0.94	0.91
再学習 1 回目	0.92	0.92	0.91
再学習 2 回目	0.93	0.93	0.93

表 1 より、開発時には施設ごとにあった性能のばらつきが再学習を行うことにより同等の検出性能へと変化したのが確認できた。施設 B については開発時のデータよりわずかな性能低下も見られたが、評価データの偏りによる偶然と考えられる。開発時と再学習 1 回目、再学習 1 回目と 2 回目の結果にてそれぞれ t 検定にて有意差を算出したところ、P 値は再学習 1 回目では 0.3 となり $P>0.05$ となるため有意とは言えないとする結果になってしまったが、再学習 2 回目では 0.03 と $P<0.05$ となり性能改善に有意な差が見られるという結果となった。

5. 今後の計画

本研究成果で得た CAD 技術を発展させて、今後も多部位展開(最終的には全身 CAD の開発を夢見ている)、を進め、CAD システムの普及に貢献したい。 また、本技術を HEMS やホームヘルスケア分野にも応用していきたい。

6. 研究成果の発表

- [1] Creation of new artificial calcification shadows for breast cancer and verification of effectiveness of CAD development technique that uses no actual cases, 14th International Workshop on Breast Imaging(IWBI2018), Elizabeth Krupinski et al. ed., Proc. of SPIE, Vol.10718, No.17, pp.1-7, July, 2018, Atlanta, K.Abe, H.Takeo, Y.Nagai, Y.Kuroki, S.Nawano
- [2] Creation of new artificial calcification shadows for MMG and verification of effectiveness of CAD development technique that uses no actual cases, Computer Assisted Radiology and Surgery 32rd International Congress and Exhibition,CARS2018, pp.S254-S255, 2018 June, Berlin, K.Abe, H.Takeo, Y.Nagai, Y.Kuroki, S.Nawano
- [3] CNN を用いた自己進化型 CAD システムの提案, 第 37 回日本医用画像工学会大会 (JAMIT2018), OP14-6, July. 2018, 安倍和弥, 武尾英哉, 永井優一, 縄野
- [4] CNN を用いた自己進化型 CAD システムの提案, 神奈川工科大学研究報告 B 理工学編, 43 号, pp. 1-5, 2019 年 3 月, 安倍和弥, 武尾英哉, 永井優一, 縄野繁

学生の学習行動を可視化する穴埋め式ワークブックの開発

研究者名：情報工学科 田中哲雄，松本一教

1. 研究の目的

多人数の講義で教員の説明を聞く時間が長くなると、教員の話に集中できない学生が増えてくる。集中を持続させるために、穴埋め式の教材を使い説明ごとに空欄を埋めてゆくプレゼンテーション手法（いわゆる「もんだメソッド」）による授業を行なったり、講義中に演習を取り入れたりして、学生が考える時間や手を動かす時間を設ける教員も多い。しかし、多人数の授業では穴埋め中・演習中の学生がどれだけいるかを把握することや、演習に取り組んでいない学生やあきらめた学生と解答し終わった学生を見分けることは困難である。

本研究では、手間をかけずに穴埋め式の講義資料を作成すること、および、詳細な学習行動ログから学生の授業態度や理解度、あるいは、授業の速さの適切さを授業中リアルタイムに把握することにより、教員による授業の改善を促し、学生の集中度と理解度を向上させることを目的とする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

近年の情報インフラの大容量化，高速化にともない，ネット上で講義資料や学生のレポートを管理するLMS (Learning Management System) の整備が進められている．同時に，LMS 上の教材の閲覧ログに基づき，学生の学習行動を分析・可視化するラーニングアナリティクスが注目されている．しかし，これらのシステムで取得するログは教材の参照数や課題の提出数，教材のページめくりの時刻など粗粒度のものであり，ページ内のどこに着目しているのかや，ページを開いたまま別のアプリケーションを操作していないかなどの詳細は把握できない．アンダーラインやページへのメモの書き込みなどの細粒度のデータを分析するものもあるが，積極的にアンダーラインを引いたり書き込みをしたりしない学生，すなわちアクティブとは言えない学生の状態を把握することはできない．このように，学生の授業態度・進捗の適切さ・理解度を授業中にリアルタイムにかつ詳細に把握することは困難なのが現状である．既存研究として穴埋め機能をもつ学習支援システムや詳細な操作ログやエラーログに基づき学習状況を把握する試みが報告されている．しかしこれらはプログラミングの領域に特化したもので，多様な科目への対応はできていない．

3. 期待される効果

本研究では，PDF 文書から生成した穴埋め式のデジタル教材を用いて授業を行なう．

これにより、学生はシステムとのインタラクションを半ば強制されることになり、これまで収集することができなかったアクティブとは言えない学生の学習行動ログが取得可能となる。この学習行動ログを分析してリアルタイムに教員に提示することにより、教員はタイムリーに適切なアクションを取ることができる。結果として、学生の授業への集中度や授業内容の理解度が向上する。

4. 研究の経過及び結果

手間をかけずに穴埋め式の講義資料を作成すること、および、詳細な学生行動ログから学生の授業態度や理解度、あるいは、授業の速さの適切さを把握することを支援する、穴埋め式教材を用いた講義支援システムを開発した。その利用イメージを図1に示す。

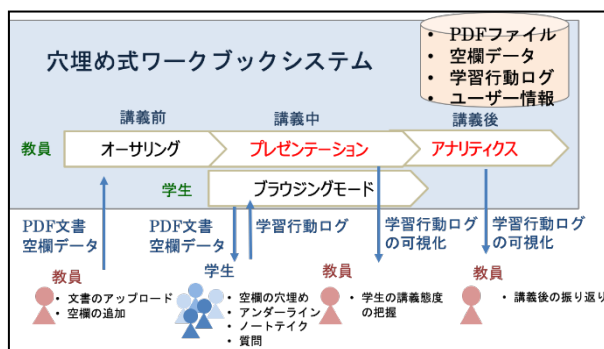


図1 講義支援システムの利用イメージ

学生はノートPCのWebブラウザで教材を参照し、穴埋めしながら講義を聴いたり演習問題を解いたりする。また、紙の配布資料で行っていたアンダーラインやメモ書きもブラウザ上で行う。さらに、質問やコメントも同じ画面から入力する。教材としては、教員が使い慣れているPDF文書を対象とする。PDF文書を手間なく穴埋め式教材にする環境を提供し、穴埋め式教材化されたPDF文書への穴埋めや、アンダーライン、メモを学習行動のログとして収集する。また、収集した学習行動のログを視覚化して教員に提示することで、教員による授業の改善を支援し、学生の理解度を向上させる。

学部生89人の実講義で本システムを試用し評価した。以下、その結果を述べる。

(1) 学生の学習行動ログの分析

学生の中から、操作が多い学生と少ない学生を選び、その学習行動のグラフを図2、図3に示す。横軸が授業時間、縦軸の左がマウスクリック数とキーストローク数の合計、右がページ番号である。棒グラフが一分間ごとのマウスクリック数とキー操作数の合計であり、折れ線グラフがページ遷移である。

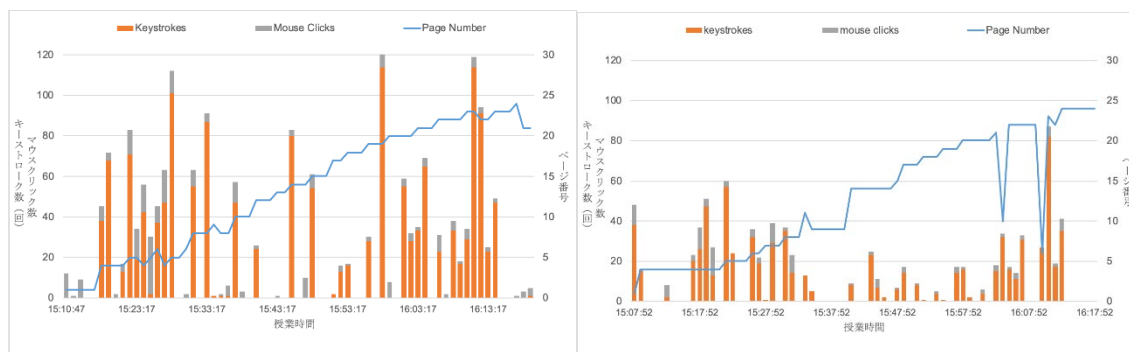


図 2 操作の多い学生

図 3 操作の少ない学生

図2は操作が多い学生のデータである。他のグラフと比べ明らかにキー操作数が多い。平均を調べた所、この学生は平均を大きく上回っており、クリック数に至っては平均の約3倍と非常に多い操作数であった。クリック数が多いのは、ページ遷移ボタンやアンダーラインボタンなど穴埋め以外の操作によるものである。また、キー操作数もノート機能を使用することで増えている。これらのことから、この学生は穴埋め以外にもノート機能などを使用し、意欲的に講義に取り組んだと考えられる。

図3は学生の中で操作が少ない学生のデータである。図2と比べ操作数が減っている。クリック数、キー操作数共に平均の半分に近い操作数である。回答履歴を調べた所、穴埋めは行っていた。しかし、ノート機能とアンダーラインは使用していなかった。このことから穴埋めで行う操作だけでは平均よりも操作数は少なくなることがわかった。またスライド遷移も局所的に上下する所が見られた。特にグラフの右側のジグザグがあるが、この時間はちょうど演習を行った時刻である。つまり「ただ穴埋めのみを行っていたため講義の内容を理解しておらず、演習の時に分からなくなって前のスライドを見ながら問題を解いていた」と考えられる。演習のスライド以外ではただ穴埋めを行っただけなのでジグザグが見られないのである。これらのことから、この学生は意欲的に講義に取り組んでおらず、ただ穴埋めを行っただけだったために操作が少なかったと考えられる。

(2) 教員へのアンケート結果

講義後、教員にアンケートを行った。「穴埋め資料作成時での空欄追加の使いやすさはどうだったか」の設問には「良い」と回答があった、また、「学生のデータを見ることで講義がやりやすいと感じたか」という設問には「やりやすい」と回答があった。これらから学生の学習行動ログが講義進行に有効であることを確認できた。

(3) 学生へのアンケート結果

講義後、学生にアンケートを行った。アンケートの結果を表1に示す。

「本アプリケーションを使うことで穴埋めが楽になりましたか？」の設問には89人中71人の学生が「なった」と答えた。また「本システムを普段の講義で使いたいと思ったか」の設問にも89人中72人が「使いたい」と答えたことから講義の補助、穴埋め環境として本システムが有効であることが確認できた。また、「講義のスピードは適切で、普段よりも理解できましたか？」の設問には89人中74人が「できた」と「講義のスピードは適切で、講義に集中できましたか？」の設問には89人中75人が「できた」と答えたことから学生の学習行動ログのリアルタイムでの可視化により講義スピードが適切になったことが確認できた。

表1 学生へアンケート調査の結果

質問内容	Yes	No
本アプリケーションを使うことで穴埋めが楽になりましたか？	71 人	18 人
本システムを普段の講義で使いたいと思いましたか？	72 人	17 人

講義のスピードは適切で、普段よりも理解できましたか？	74 人	15 人
講義のスピードは適切で、普段よりも理解できましたか？	75 人	14 人

5. 今後の計画

今後、既に開発済みのシステムの堅牢性を高め、100 名程度の授業での継続的な利用に耐えるものとする。また、100 名程度の授業で継続的に使用してデータ（学習行動ログ）を収集し、それをを用いて学生の状態（授業態度と理解度）を把握する方式を明らかにする。また、学習行動ログを拡充し、上記の方式をブラッシュアップするとともに、学生の授業態度と理解度の教室全体での傾向を可視化してタイムリーに教員に提示する方法を明らかにする。さらに、収集されるデータから教材や教授法の改良に資する更なる知見が得られるかも検討する。

6. 研究成果の発表

本研究の成果を以下の通り発表した。

- [1] 安部功亮，田中哲雄，松本一教，穴埋め式ワークブックシステムの実用化に向けた機能拡張，電気学会情報システム研究会資料，IS-18-040，pp.19-24，2018.
- [2] Kousuke Abe, Tetsuo Tanaka, Kazunori Matsumoto, Lecture Support System using Digital Textbook for Filling in Blanks to Visualize Student Learning Behavior, International Journal of Education and Learning Systems, Vol. 3, pp.138-144, 2018.

複数方式の融合による室内広範囲のポジショントラッキング技術確立

研究者名：所属学科 D 氏名 安本匡佑

1. 研究の目的

本研究の目的は、仮説段階の本研究の可能性を探ることを目的としている、ポジショントラッキングの方式には一般的に広く普及しており、発展可能性の高い lighthouse 方式と ARKit 方式の2つの方式を選択し、これらの最適な融合方法、融合割合を検証し、本方式の有効性と将来性を模索する。

研究期間内に、これらの融合システムの開発を行い、複数の lighthouse 方式を ARKit 方式で横断可能にする。またこれらを用いたコンテンツを制作し、有効性を検証する。具体的には 10m x 10m 以上の広さ、2つ以上の部屋を用いて、常にトラッキングが可能な状態にし、その上で2つの方式をどの程度の割合で融合するのか、コンテンツ内で想定される激しい動きや複数人の人が入り乱れた状態でのトラッキング精度を検証し、最適な解を明らかにすることを目標とする。

ポジショントラッキングは外部カメラによる光学式、慣性センサと人体モデルをもちいた方式、lighthouse 方式、ARKit 方式などがあるが、ARKit 方式のみモバイルでの使用が想定され、それ以外はモバイルでの使用はあまり想定されておらず、一定の範囲内での高精度のトラッキングを目標としている。本研究で有効性を示すことができれば、HMD を使用しないモバイル VR 環境においても広範囲を高精度トラッキングが実現できるようになり、VR エンターテインメント分野における特にアミューズメント施設等への導入が期待できるだろう。

2. 研究の必要性及び従来の研究

近年の VR に使用される HMD の技術の発展に伴いポジショントラッキングの技術発展もめざましく、htc 社による lighthouse 方式は高精度かつルームスケールでこれを実現した。一方でモバイル端末では Apple の AR Kit や Google の AR Core など、通常のカメラと慣性センサのみで精度こそ低いものの無制限の広さでこれを実現している。これらの技術発展により、本来はヘッドトラッキングによる没入感の増加や VR 酔いの軽減などの目的から、様々なデバイス安価なトラッキングセンサとして、あるいはモバイルアプリによる AR などへの応用に目的がシフトしてきた。しかし、高精度かつ広範囲を実現できるものではなく、lighthouse 方式、画像解析+慣性センサの組み合わせ方式（以下 ARKit 方式と称す）共に一長一短である。それぞれの利点を生かして応用

分野の棲み分けが行われているが、これらを組み合わせることで、新たな分野への応用を期待できる。特にエンターテインメント分野において The VOID などの大掛かりな施設が今後増えてくると予想され、そうなる室内の広範囲、複数の部屋を横断的に常時トラッキングできる技術が必要になってくる。従来は光学式を組み合わせる方式が用いられているが、高コストかつ大掛かりな設備になるため、より手軽にこれらを実現できれば、これらの領域への導入及び、当該分野の発展につながる。

3. 期待される効果

当該研究が実現することで、ある程度の精度を維持したまま広範囲でトラッキングを行うことが可能となり、それにより新たなコンテンツへの応用が期待される。従来方式だと、光学式を中心としたものはミリ単位、秒間 200FPS 程度の高精度が実現できる反面、費用は数百万から数千万にもなり、新規参入が難しい。また再帰性反射材マーカーを必要としており、それらがコンテンツのトーンを損なうことが懸念されている。また一方でスマートフォンの主要 OS に搭載されるようになった通常の RGB カメラと慣性センサを組み合わせたものの場合、特徴点が取れないような均一の部屋や環境では精度が著しく落ち、内部の慣性センサに対してイレギュラーな衝撃や振動が検出されると、検出限界を超えてしまい結果として自己位置測定が不可能になってしまう。また基準となる地点を用意しておかなければ復帰も難しく、精度や使い勝手に不安を抱えているのが現状だ。このようなことから、動き回って使用するうえで、避けられな振動や衝撃に耐えうること、屋内に限らず屋外でも使用できること、基準点を必要とせずミリ単位数百 FPS とはいかないまでも、数センチ単位、1 度程度の角度、数 10 平方メートルの範囲、30FPS を確保できると、応用の範囲が広がり、様々な用途へと応用が期待できる。また当然その際には費用面でも 100 万以下で実現できることが望ましいだろう。

4. 研究の経過及び結果

Lighthouse 方式にカメラ映像によるポジショントラッキング方式の双方の精度の確認のための実験を行った。ARKit による位置情報の取得は、使用する環境映像の制約があり、精度の面では劣るものの広範囲のトラッキングが可能であることが確認されたが、繰り返し動き回った際に元の位置に戻ってき際に位置ずれを起こすことが確認され、単体での長時間の使用は原理的にずれが加算されてしまうため適してはいない。以前の Google Tango で実験を行ったときに使用した原点となる位置を決め、ずれたら再度戻ってきて調整するなどの処理を挟む必要がある。ARKit よりも高精度の映像による SLAM 技術を用いた ZED の精度の確認も行った。こちらは屋外、車載での使用が前提となっているものであるため屋外での実験も行ったが、K1 号館の外周を一周回るなどの実験を繰り返したところ、数 10cm から数メートルの精度でのずれ

が確認された。また屋内での実験でも移動距離にはよるもののやはりある程度のずれが確認されたため、カメラ映像による位置情報の取得は精度が低いことが確認できた。

一方で Lighthouse 方式ではベースステーションの範囲内に限定されるものの、絶対座標で位置情報を取得しているため、長時間の使用でも位置がずれることはない。ただし、身体で光を遮ったり、センサ部分を覆ってしまうと位置取得ができなくなり、自動的に意図しない方向に移動することがある。また慣性センサの値も使用しているため、強い衝撃が加わった場合にやはり意図しない方向への移動が確認された。

本研究の目的である複数の方式での相互利用により、広範囲化を図ることであった。複数のベースステーションの領域を用意し、それぞれを行き来できるように、中間部分を ARKit で補うシステムの制作に取り掛かったが、まだ完成には至っていない。現在確認されている問題は、ベースステーションの光が想定よりも遠くに届いてしまい、それによる混線や、規定範囲を超えた位置でも元の位置のベースステーションの光が届いたり届かなかったりするため、明確な条件付けが難しいという問題がある。これらの問題を解決するためには広い場所での実験が不可欠ではあるが、1 つにつき 10 m ほど光が届くため、実験手法自体を見直す必要がある。あるいは Lighthouse 方式と ARKit 方式を融合させるのではなく、別の方式と ARKit の方式を融合させるなどの方針転換も考える必要が出てきた。

5. 今後の計画

複数の方式による精度の濃淡をつけたセンシング手法は有益であることは確かである。今回は完成には至っていないが、実現の糸口は見つけられ、今後継続してシステムの開発と実験を行っていききたい。また屋内 GPS 方式との融合の可能性も模索しており、今年度は慣性センサの機械学習による単独での位置情報取得の実験も行う予定である。今後とも位置情報を如何にして容易で、高精度、広範囲、そしてそれを利用したフィジカル eSports などのコンテンツへの応用などを視野に入れて研究を継続していきたい。

6. 研究成果の発表

本方式の応用コンテンツとして前年度より継続して制作を行っているフィジカル e-Sports である VAIR Field は、2018 年 11 月に DC Expo で展示を行い、12 月にはマイクロソフトでのデモ発表を行った。また今年度 6 月には拓殖大学での公開講座、8 月にはかわさきサイエンスチャレンジで展示を行う予定であり、今後も継続して精力的に活動をしていく所存である。