

神奈川工科大学
先端工学研究センター
研究報告

第22巻

2017（平成29年度）

神奈川工科大学
工学教育研究推進機構

先端工学研究センター 研究報告 目次

小型ロボットによる幼児のケアマインド育成に関する検討	1
教職教育センター 佐藤智明、田辺基子 ロボット・メカトロニクス学科 吉野和芳 ホームエレクトロニクス学科 三栖貴行	
着氷雪環境下での気象観測の安定化	5
機械工学科 木村茂雄 Vaisala OY Jarmo Hietanen Vaisala KK 清水茂貴	
マルチコプターとカイトのハイブリッド機の試作と設計	7
機械工学科 中根一朗	
種々の活性が期待できる含窒素化合物の合成とその活性評価	11
応用化学科 山口淳一	
異種材料を用いたシリコンフォトニクスデバイスの新機能の創成	15
電気電子情報工学科 中津原克己 電気電子情報工学科 小室貴紀 ホームエレクトロニクス開発学科 黄哲新 電気電子情報工学科 瑞慶覧章朝 電気電子情報工学科 工藤嗣友 情報工学科 木村誠聡 情報ネットワーク・コミュニケーション学科 丸山充 ホームエレクトロニクス開発学科 三栖貴行 栄養生命科学科 澤井淳 応用バイオ科学科 飯田泰広	
耐高温用低損失型自己バイアスチャネル型MOSダイオードの研究	20
電気電子情報工学科 工藤嗣友	
光線力学療法（PDT）への展開応用を目指したフラーレン誘導体の構造と活性評価	24
応用科学科 高村岳樹	
リモネン誘導体の有用物質への化学変換	27
応用科学科 森川浩	
プラズマアシストマイクロ波による殺菌技術の研究開発	31
電気電子情報工学科 瑞慶覧章朝	
高空風力を利用する浮遊型発電システムの開発研究	36
機械工学科 大久保博志 機械工学科 水野敏弘 ロボット・メカトロニクス学科 吉野和芳 創造工学部非常勤講師 石濱正男 (株) TMIT研究開発部 藤井裕矩	
携帯端末を利用した手話認識システムの開発と評価	40
情報メディア学科 西村広光 情報工学科 田中博 ロボット・メカトロニクス学科 高尾秀伸	
不可視に構造化された光による実空間、実物体ベースの新しいメディア表現法の研究	45
情報ネットワーク・コミュニケーション学科 海野浩	
記号主義とコネクショニズムの融合による次世代人工知能システムの基礎研究	50
情報工学科 松本一教	

特徴表現学習を伴った知識ベース統合による知的ソフトウェア開発ポータルサイトの実現	56	情報工学科 鷹野孝典
ワークショップの活動履歴を利用したワークショップ評価システムの開発	60	情報メディア学科 鈴木浩
クラウドを利用したエンドユーザのタッチパネル操作特性解析による操作学習支援手法	64	情報ネットワーク・コミュニケーション学科 岩田一
VR エンターテインメント・アプリケーション・ナレッジセンターの開発	68	情報メディア学科 白井暁彦
みかん農家支援のための気象センサ小型化・省電力化に関する研究	75	情報工学科 大塚真吾
流動性制御機能付き金融市場シミュレーションシステムの提案	79	情報工学科 八木勲
全天周映像におけるモンタージュの効果研究と創作技術	82	情報メディア学科 牧奈保美
胎動計測による胎児の成長監視システムの開発	84	情報メディア学科 小坂崇之
一般道路上でのV2X通信による予防安全方式	89	情報工学科 清原良三 情報工学科 宮崎剛 電気電子情報工学科 高取祐介 自動車システム開発工学科 狩野芳郎
高速かつ広範囲ポジショナルトラッキングシステムに関する研究	93	情報メディア学科 安本匡佑
エンジンにおいて出力をリアルタイムで算出する手法の研究	96	自動車システム開発工学科 岡崎昭仁
抗菌活性を有する新規なハイドロゲルシートの開発	100	応用バイオ科学科 岡部勝、清水秀信、和田理征 基礎教養教育センター 三井和博
過冷却促進物質の工学的応用に向けての基礎的研究	105	応用バイオ科学科 鳴海明
膜ろ過法とその周辺技術の統合による新規ナノマテリアル分離プロセスの開発	108	応用バイオ科学科 市村重俊
タンパク質間相互作用 (PPI) の制御を狙いとする生物活性天然物アルカロイドの構造を基盤とする化合物の合成研究	111	応用バイオ科学科 野田毅
生分解性プラスチックのPOPs 吸着と分解に関する研究	115	応用バイオ科学科 和田理征
界面活性剤添加型高機能含油廃水処理法の開発と処理メカニズム解析	119	応用バイオ科学科 局俊明、市村重俊、仲亀誠司、和田理征 栄養生命科学科 澤井淳
非可食性バイオマス資源からのバイオPET (ポリエチレテレフタレート) の創製	123	応用バイオ科学科 仲亀誠司
入院患者の転倒・転落回避行動を目指した予防対策の検討—身体機能能力評価の導入の視点から—	126	看護学科 坂東美知代

透析施設内フットケアの実態調査とそれに基づく足病変のチェックシートの改良・・・・・・・・・・	128
看護学科	田村幸子

小型ロボットによる幼児のケアマインド育成に関する検討

研究者名：教職教育センター 佐藤智明，田辺基子

ロボット・メカトロニクス学科 吉野和芳

ホームエレクトロニクス開発学科 三栖貴行

1. 研究の目的

幼児の人を助けようとする心を育てる時，幼稚園や保育園などに障がい者を連れてきて，子ども達と直接触れさせてケアリングマインドセット（他者を助けようとする心）を育むことも可能である．しかし，とらえ方を間違えると，障がい者を教材として使用した，といった間違った考え方で認識されてしまい，そこには倫理的問題が発生してしまうことが憂慮される．そこで，このことを回避する方法として，本研究では，障がい者の代わりにロボットを用いることを検討した．

2. 研究の必要性及び従来の研究

戦後，日本の家族の核家族化が進み，それによって失われたものは多い．特に子育てにおいて，大家族では，多くの人の中で育てることで得られるメリットとして，様々な人とのコミュニケーションを幼児の頃から体験することができた．また，大家族時代は，家族の地域との繋がりも密で，そこでの出会いからも子どもは多くのことを学ぶことができた．思いやりといった気持ちも，そうした小さな社会の中では自然に育むことができた．例えば，家族の中には祖父母や曾祖父母などのお年寄りがいたり，近所には障がいのある人が住んでいたりして，そうした人たちを周りの人たちが助ける光景を子どもの頃から日常的に目にしていた．こうした情景を日常的に見ることで，当時の子ども達は「思いやり」や「助け合い」といった他人をケアする心を自然に身につけていったのではないかと考える．核家族化が進んだ現代においては，こうした環境は少なくなり，他人を気遣う心，即ちマインドオブケアを子どもの頃から育ませるためには，そうした環境を人為的に作り出して教育するしかなくなってきたと考える．

幼児の人を助けようとする心を育てる時，幼稚園や保育園などに障がい者を連れてきて，子ども達と直接触れさせてケアリングマインドセット（他者を助けようとする心）を育むことも可能である．しかし，とらえ方を間違えると，障がい者を教材として使用した，といった間違った考え方で認識されてしまい，そこには倫理的問題が発生してしまうことが憂慮される．そこで，このことを回避する方法として，本研究では，障がい者の代わりにロボットを用いることを検討した．

ロボットと子どもの関係については，板倉らによって様々な応用が示されている⁽¹⁾．また，ロボットをケアレシーバーとして用いることに関しては，田中らの研究⁽²⁾において既にその可能性が示されているが，子どもとロボットとの関わりに関する研究は始まったばかりだと言える．そこで，本研究では，子どもの視線の高さで動作する小型ロボットを使って，

幼稚園や保育園に小型ロボットを持ち込んで、単純な作業が苦手なロボットを子ども達の中に置いて動作させ、その時の子ども達の反応を観察する実験を行い、ロボットによって子どものケアマインドを育むことの可能性について検討する。

3. 期待される効果

子供にロボットと触れ合わせる研究は盛んにおこなわれ始めている。しかし、例えば、子供たちに英語の発音の練習をさせるときに、ロボットを通して行わせ、ロボットに対する興味関心度によってモチベーションの維持に貢献させるといった、人間の先生の代替として子供の学習をサポートする役割が多い。一方で、本研究はロボットそのものが持つ特徴を利用するもので、ロボットの触れ合いによって子供たちが自然に学び取っていく手法を用いるので、新しい方法によるロボットの教育利用となる。

4. 研究の経過及び結果

これまでに、遠隔操作可能な簡易な既製品のロボットを利用して、保育園において子供たちに触れさせる実験を行い、子供たちが初めて触れるロボットに対して興味を示すことを確認している⁽³⁾。平成 29 年度は、被験者数を増やして実験を行い、ロボットによるケアマインド育成の効果について検討を深める予定であった。しかし、研究の初期段階として、幼児がロボットに関心を示す年齢条件について総合的に判断できるようにするために、調査する教育範囲を広めて、ロボットを教材として利用した場合の効果について検討することにした。そこで、幼児から青年の広い範囲で PBL (Project Based Learning) 教育に用いられる LEGO マインドストームを用いて幼児がどのくらいの年齢からロボットに興味を示して教材として用いることができるようになるのかを検討した。幼児にロボット製作に関わらせ、そのロボットを使った競技も行わせ、幼児のモチベーションが全体を通して維持できるのかどうか観察実験を通して見極めた。

4. 1 実験概要

被験者は、3 歳児、4 歳児および 5 歳児の各 1 名である。予め赤外線センサー（ビーコン）を追従するようにプログラミングされた LEGO マインドストーム EV3 のベースを用意する。そのベースに、幼児にブロックをはめ込ませてロボットの形に作り上げさせ（外形のみの製作）、その作業の様子を観察した。次に、自分で作り上げたロボットを使って、ロボットをビーコンによって追従させる方式で決められた地点間において、誰のロボットが一番早く地点間を通過できるかを競わす競技を行わせ、その様子を観察した。

4. 2 ロボット製作

各幼児に、図 1 のロボットに対して顔のパーツとなる部品をはめ込ませ、図 2 のように完成させる課題を行わせた。作業に当たっては、初めに、説明者が全員に対してロボットとは何か、今回行う課題はロボットを作製することであることなど、課題についての簡単な説明を、幼児向きの絵を使ったパワーポイントを使いながら行った。次に作業をスタートさせ、各幼児に説明者が付き添って手順を説明し、場合によっては作業を手伝う形で進めた。ロボット完成後は、発信機を使ってロボットを自分で誘導操作できるようになるよ

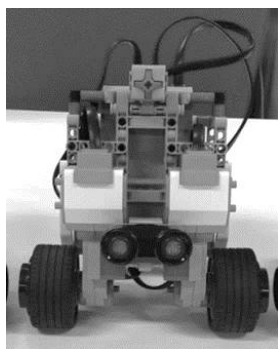


図1 作業前ロボット本体

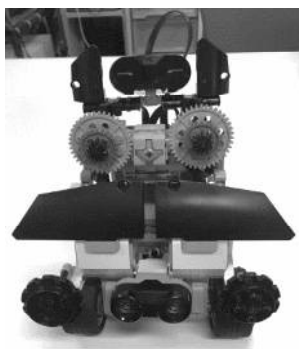


図2 作業後ロボット本体



図3 作製作業の様子

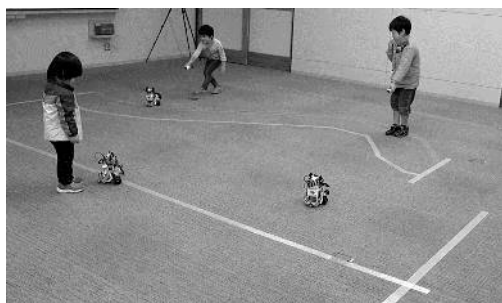


図4 競技の様子

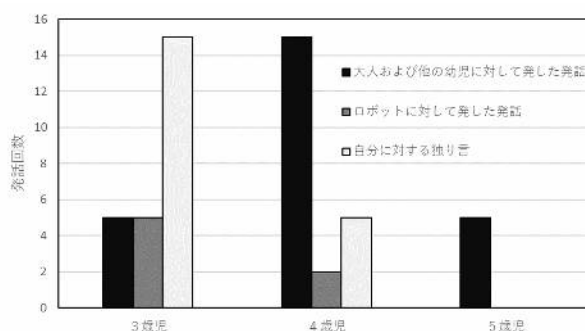


図5 発話回数の合計

うに、練習を兼ねて自由に遊ばせた。図3に作業の様子を示す。この時の作業の様子をビデオカメラで撮影し、幼児が発する発話も記録した。

4. 3 競技内容

各幼児に自分が作製したロボットを使って、発信機を持ってロボットを誘導して、スタート地点からゴール地点へ誰が一番早くロボットをコールへたどり着けさせられるかを競わす競技を行った。図4に競技の様子を示す。この時の様子をビデオカメラで撮影し、幼児の発話も記録した。

4. 4 結果

図5に実験中の幼児の発話回数を年齢別に示した。また、発話の観察より以下が観測された。

3歳児の発言のほとんどが独り言とロボットに向けての発言であり、大人とのコミュニケーションはあまりとっていない。見たままの事を口にしたたり感情をそのまま口にしたたりしているのでロボット作成にはあまり集中していない。途中でロボットの作成を止め遊び始めてしまったことからロボットを作りたい気持ちよりもロボットを使って早く遊びたい気持ちが強かったのではないかと考える。他にも3歳児はロボットで遊んでいる最中に「行け!」や「だめ!」とロボットに対し命令口調で喋りかけていることから、ロボットを自

分よりも立場が下の物だと認識していることが考えられる。

次に、3 歳児に比べ 4 歳児と 5 歳児は発言のほとんどはパーツの付け方などの質問による大人とのコミュニケーションであった。この差はマインドストームを使った幼児ロボット教育にとって大きな差である。3 歳児はロボットを作ることに興味はなく、ロボットを動かすことに興味を持っていたのでマインドストームを使った競技にも関心は薄い。しかし、4 歳児、5 歳児は、ロボットを作ること自体に興味を持ち、その組み立てるという目的のために、大人とのコミュニケーションを行い作業していたのではないかと考えられる。

実験の結果、3 歳児に関しては、外形製作において集中力が長続きせず、競技においても、競技に集中できなかった。4 歳児および 5 歳児に関しては、外形製作においては集中力が持続し、競技においても、その趣旨を理解した上に、最後までモチベーションを保って参加した。この結果、概ね 4 歳以上からであれば、自分が製作したロボットを競わせる形の課題が有効である可能性が示された。

5. 今後の計画

今回得られた幼児のロボットに対する関心度の年齢条件を鑑みて、ケアマインド育成に使用するロボットの種類や使用方法について検討を行う。AI を組み込ませた自律ロボットを開発する。自律ロボットを子供たちに触れ合わせ、長期間にわたる検証を行う。

6. 研究成果の発表

平成 29 年度においては、以下の参考文献(3)および(4)を発表した。

参考文献

- (1) 板倉昭二・北崎充晃, “ロボットを通して探る子どもの心-ディベロップメンタル・サイバネティクスの挑戦”, ミネルヴァ書房, 2013.
- (2) 田中文英, “幼児教育環境におけるソーシャルロボット研究とその応用”, 日本ロボット学会誌, Vol. 29, No.1(2011), pp. 19-22.
- (3) Tomoaki SATO, Motoko TANABE, Nichika SATO** and Takafumi EJIMA, “Using small-scale robots to nurture a caring mindset in young children”, Mechanical Engineering Letters, Vol.3(2017), Paper No.16-00471.
- (4) 佐藤智明・山下大樹・福田大心, “ロボットを使った PBL 教育の下限年齢-自ら組み立てたロボットに対する幼児の関心度の検討-”, 神奈川工科大学教職教育センター研究報告, Vol.1 (2017), PP. 41-46.

着氷雪環境下での気象観測の安定化

工学部 機械工学科 木村 茂雄

Vaisala OY Jarmo Hietanen

Vaisala KK 清水茂貴

1. 研究の目的

長野県霧ヶ峰鷲ヶ峰ヒュッテに観測機器・計測装置の設置場所を決定し、観測施設に計測機器を設置し、5年間に渡り計測を行う。

2. 研究の必要性及び従来の研究

研究申請者らはこれまでに着氷雪環境での気象観測に関して共同研究（含 防災科学技術研究所）を継続してきた。しかしながら、データ採取を伴う長期に渡る野外試験は、冬季に着雪氷の発生の期待しえる観測場所の選択と確保、および観測機器・計測装置の設置可能な施設と電源を必要とするため、實際上不可能であった（気象庁も同様に、わが国では今回申請するような計測記録がない）。そこで、着氷雪・着氷性の降雨が多発する長野県霧ヶ峰鷲ヶ峰ヒュッテの管理者との折衝を重ね、同所での試験実施が可能となった。

3. 期待される効果

上述のとおり、これまで我が国では着氷雪環境において信頼性の高い気象観測データを得る活動は実施されてこなかった。気象庁検定の計測機器を用いて着氷雪発生のデータをも含めた気象データが取得されれば、そのデータのみで十分に気象関連研究に寄与しえる。

4. 研究の経過及び結果

冬季に着氷雪・着氷性降雨の期待できる長野県霧ヶ峰鷲ヶ峰ヒュッテ（図 1.）において5年間気象観測を行う（ヒュッテ側と協議済み）。計測項目は以下とした。

・風向風速，外気温，湿度，大気圧，降雨，降水量，日射，現在天気

計測機器（図 2）はいずれも気象庁検定を取得しており、公的信頼性は確保した。図 3. に計測結果の一例を示す。

表 1. 計測項目と使用機器

item	Instrument
wind speed & direction	WMT703
ambient temperature	HMP155
humidity	
atmospheric pressure	PTB330
precipitation	DRD11A
rainfall	
solar radiation	CMP-3F
weather	PWD22



図 1. 冬季のヒュッテ外観



図 2. 計測機器の設置状態

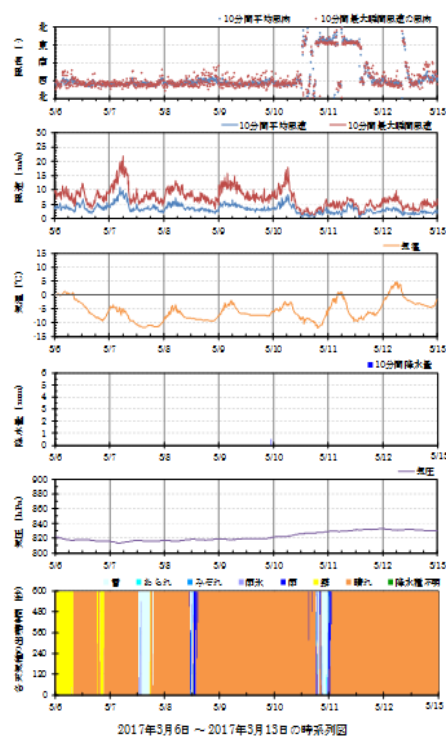


図 3. 計測結果

5. 今後の計画

上述のとおり，5 年間観測活動を継続する．

6. 研究成果の発表

施設は気象庁の公的な観測施設として登録し，データを開示する予定である．

研究課題名： マルチコプターとカイトのハイブリッド機の試作と設計

研究者名： 機械工学科 中根一朗

1. 研究の目的

ドローン輸送は道路等のインフラを必要としないため、インフラが未整備な地域における輸送手段として非常に注目されている。例えば、シリコンバレーのドローン配送企業ジップラインは、ルワンダにおいて緊急に必要な医療用ワクチンのドローン輸送を試験運用しており、今後、タンザニアにおいても同様のサービスを開始するとのことである。このような、緊急に必要な少量な物を輸送することに関して、ドローンは非常に適している。一方、我が国においても、離島への郵便物の配達や人里離れた場所への商品の配送にドローンの利用が計画されている。

本研究は、このドローンの配送効率の高さに着目した研究であり、マルチコプターに高滑空比のカイト翼を付けた“ハイブリッド機”とすることで、初期高度からの長距離滑空を可能とすることを目的としている。これは、マルチコプターの場合に、持っている位置エネルギーを有効利用することなく消費しているだけであること、異常事態の際には単に落下するだけであること、さらに航続可能距離が短いことから、これらの欠点を補うために着想した研究である。例えば、マルチコプターとリジッドハンググライダーのような高滑空比（約 25）の翼を組み合わせることを可能とすれば、日本国内の制限高度（150m）からでも 3km を超える滑空が可能となり、さらに異常事態の際にも比較的安全に降下できる。また、特に念頭においているのが Amazon の構想している大型飛行船による空中倉庫であり、長距離滑空可能なマルチコプターを開発し、これと組み合わせることが出来れば革新的な物流システムが構築される。

2. 研究の必要性及び従来の研究

まず、本研究の目的は上記の通りであり、空中倉庫構想にも適合できる高い滑空比を有するマルチコプター型ハイブリッド機の開発を検討している。例えば、大型飛行船を宅配用ハイブリッド機の出発基地、複数の小型飛行船を同機の回収基地として全て空中作業とすれば、基本的には道路や倉庫等の地上のインフラ建設が不要となる。特に、飛行船の運航高度 3000m から高滑空比を実現したハイブリッド機を放出するとしたなら、現状のドローンでは到達不可能な半径 70km 圏内への配送が可能となる。なお、このような配送方式は、日本国内においては非現実的かつ不要であるとも思われるが、広大な未開発地を有するアフリカ諸国、中国、オーストラリア等においては非常に有効な配送方式であり、そのような場所においても品物を遅滞なく受け取ることを可能とする。

次に、管見において見出した同様の研究としては、マルチコプターの省電力化を目的として、チルトローター式のマルチコプターとカイト翼を組み合わせる飛行試験を行っている報告 (https://www.youtube.com/watch?v=pflfy_DV_Ew&feature=youtu.be) は有るものの、本研究と同様の観点「高滑空比ドローン」の報告は未だ見当たらない。また、前記したジップライン社のドローンは固定翼機であるため、滑空比は高いものの垂直離着陸が出来ず、配送するワクチンはパラシュートで落下させている。従って、周囲に障害物の無い大きな敷地の医療施設にソフトプラスチックバッグに入った血清を配送することはできても、立木等の障害物の多い場所や小さな施設に壊れやすい物を配送することは難しい。

3. 期待される効果

前記した通り、本研究で検討しているハイブリッド機を開発することで、交通・流通インフラが未整備な地域での物流を革新的に進めることが可能となる。なお、本研究では特に空中倉庫との連携を意識しているが、空中倉庫と組み合わせること無く単独使用であったとしても、山頂や高いビル等からの放出、あるいはハイブリッド機自身での上昇からの滑空により、これまでのドローンとは比較にならない広範囲への配送を可能と出来る。さらに、現在着目されている宇宙エレベータ構想と、人を運搬可能な大きなハイブリッド機を組み合わせることを可能とすれば、物流のみならず交通手段としても革新的な乗り物となることが期待できる。

4. 研究の経過及び結果

4.1 カイト翼の性能試験

前記した通り、本研究では、空中倉庫と組み合わせる高滑空比ハイブリッド機の開発を目指している。従って、空中倉庫（高所）からの落下加速により、十分な揚力を発生させる初期速度を得ることが出来ること、ならびに、極力、パッシブな制御で安定飛行出来ることを前提として機体を開発することとした。つまり、図1に示すように、水平な状態から落下させても、機首を下げて垂直落下し、その後、水平滑空する挙動を能動的な制御なく実現できる機体である。そして、そのような機体とする上で最も簡単な翼形状はカイト翼となる。そこで手始めに、カイト翼をハイブリッド機の翼に選定し、以下の2通りの実験によりカイト翼の性能を検討した。

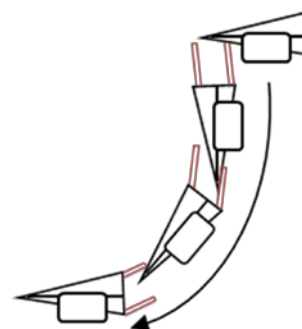


図1 落下から滑空するカイト翼モデルの模式図

4.1.1 カイト翼モデルの落下・滑空実験

後退角 45 度、翼面積 722mm² のモデルカイトを図1のように、高さ15mから落下・滑空させ、9軸センサーによる計測とビデオ撮影を行った。なお、この実験では、カイトの重心位置に対して、ドローンを模した箱(重り)の重心位置を後方に 5mm 間隔でずらすことで、滑空挙動がどのように変化するかを計測した。この結果が図2と3である。同図より分かる通り、重りをカイトの重心より後方に取り付けることで、重心まわりの揚力のモーメントが増大するため、後方にずらすほど機首上げが早く発生している。ただし、重りの後方へのずれが大きくなると滑空時のピッチング方向の安定性が損なわれ、振動が大きくなるとともに、水平方向速度も減少する。これに加え、機首上げ

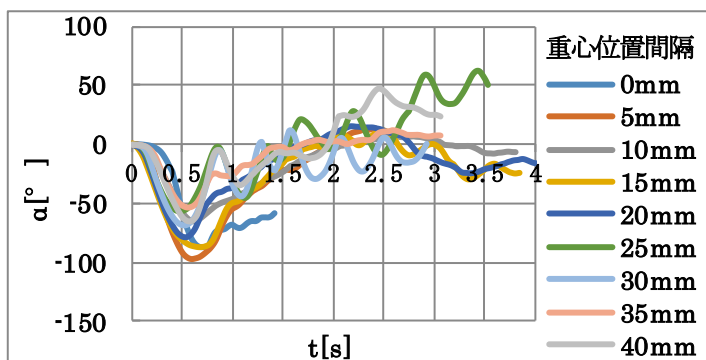


図2 迎え角 α の変化

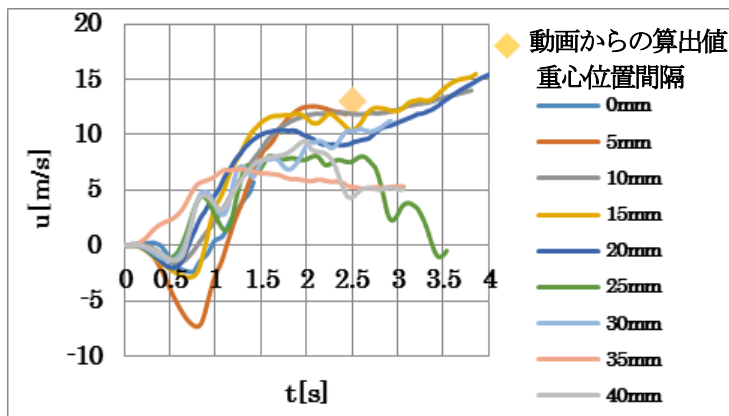


図3 水平方向速度 u の変化

が早いと、落下による加速が不十分となるため、滑空距離も伸びない。

4.1.2 カイト翼性能の風洞試験

上記の落下・滑空実験結果を裏付けるとともに、カイトの定量的な設計指針を得るため、モデルカイトを用いた風洞実験を行い、6分力の計測とカイト周りの流れの可視化実験を行った。計測した揚力係数 C_L 、抗力係数 C_D 、モーメント係数 C_M 、揚抗比 L/D を図4に示す。ここで、この計測におけるレイノルズ数は、落下・滑空実験時の機体速度から判断した代表速度 9m/s と平均翼弦長に基づき $Re=8.6\times 10^4$ としている。

図4より分かる通り、本研究の計測結果は、後退角 35 度、 $Re=4242$ の野々村らの三角翼の数値計算結果（野々村ら他4名、第42回流体力学講演会(2010)、161.）とほぼ等しい結果となっている。なお、野々村らが対象とした三角翼の翼型が $NACA0002$ であるのに対して、本研究で作製したカイトは円柱にフィルムを貼り付けた物であるため、本研究の方が Re は大きいものの、翼性能では僅かに劣る結果となっている。ただしモデルカイトにおいては、前縁形状が翼型でなく丸棒であるため、迎え角 α に関わらず常に前縁剥離を起こしており、 α に対する変化は鈍くなる。そして、この傾向は、揚抗比に顕著に現れている。また、やはり揚抗比の結果から、このモデルカイトの滑空比が大凡5程度であることが分かる。そして、これは、4.1の落下・滑空実験における水平滑空時の最大の揚抗比と齟齬無く一致している。

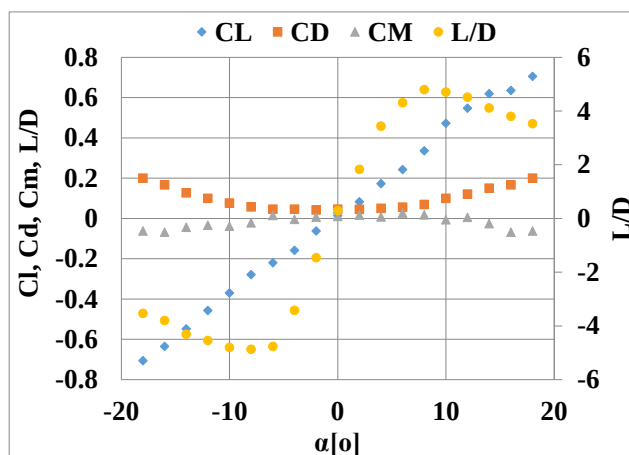


図4 風洞実験により得られた各係数と揚抗比

4.2.1 翼型断面を持つ三角翼の作製と性能試験

上記4.1の性能試験より分かる通り、カイト翼では滑空比が小さいことから、図5に1例を示すように、翼型断面形状を持つ三角翼をハイブリッド機の翼とすることを検討した。そこで、4通りの断面形状の三角翼を製作して風洞実験を行い、翼型による性能の違いを評価した。レイノルズ数は、想定される滑空時の速度から $Re=10^5$ とした。



図5 試験翼(ClarkY)

風洞試験により得られた揚抗比 L/D 、モーメント係数 C_M をそれぞれ図6、7に示す。なお、図6にはカイト翼の結果も参考に併記する。図6より分かる通り、翼型によっては最大揚抗比が8を超え、カイト翼と比べて良好な結果となっている。ただし、実際の滑空機に比べると、レイノルズ数が小さいため半分程度の数値に留まっている。

次に、図7より分かる通り、何れの翼型においてもモーメント係数 C_M は迎え角 α に対して負勾配となっており、ピッチング安定性が確保されている。従って、翼取り付け

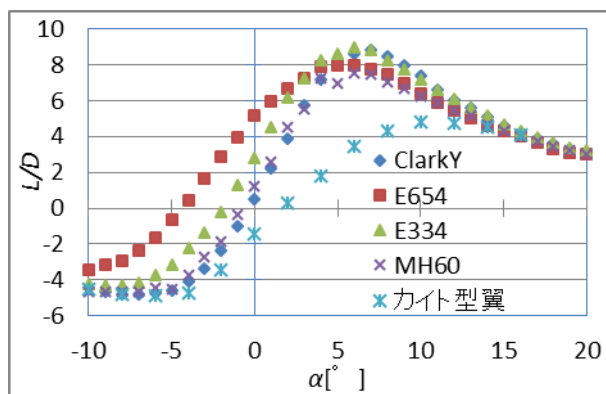


図6 迎え角 α による揚抗比 L/D の変化

け位置を適切に設定することで、最大揚抗比となる迎え角で自律安定して滑空することが可能であると考えられる。

4.2.2 飛行試験

風洞試験の結果を踏まえ、翼型を ClarkY とした三角翼をドローンに取り付けた飛行試験用ハイブリッド機を図8の通りに製作した。この試験機においては、翼とドローンが自由に動くように取り付けられており、翼に作用するモーメントによって自律安定して飛行することを可能とした。またこのため、翼の取り付け位置を 5mm おきに 30 通りに変化させることが可能であり、この位置変化による滑空性能の変化を 9 軸センサーにより測定することとしていた。しかしながら、実施日を変更して数回の試験飛行を繰り返したが、必ず上昇後のホバリング時に体勢を崩し墜落してしまった。なお、試験飛行に際しては、無風に近い状態を選んで行ったが、上空では風が吹いていたようであり、横風を受け流すことが出来なかったためと考えられる。なお、垂直上昇時は翼の位置が図8のようになり抵抗を減らし、問題無く上昇する。

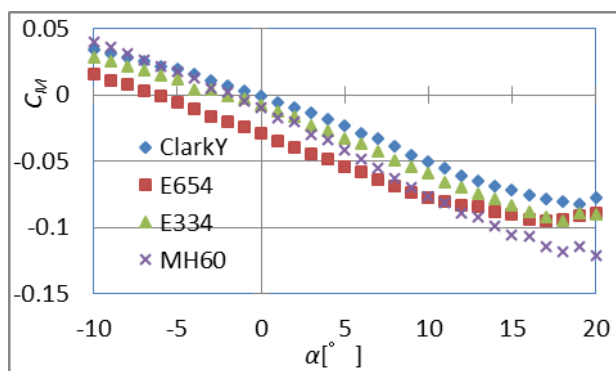


図7 迎角 α によるピッチモーメント係数 C_M の変化



図8 製作したハイブリッド機

5. 今後の計画

三角翼を翼型で製作することにより、カイト型の翼に比べて性能の向上が確認できた。しかしながら、試験飛行時には上空の風を受け流すことが出来ずに墜落を繰り返した。このため、図8に示すハイブリッド機をベースとして改良を施すことで、高滑空比を可能とすることが出来るかどうかの確認が全く出来ていない。そこで、まず、無風時において、図8の形式のハイブリッド機の可能性を検討するため、室内(体育館)で試験飛行の出来る小型のハイブリッド機を現在作製中である。また、図8のハイブリッド機に対しては、風見鶏効果で風を受け流せるような改良も施しているところである。

6. 研究成果の発表

現時点では未だ成果発表にいたっていない。

種々の活性が期待できる含窒素化合物の合成とその活性評価

研究者名：応用化学科 山口 淳一

1. 研究の目的

今回の研究目的は以下のように大別でき、箇条書で記す。

- 1) ヒダントイン部を有する新しい化合物の合成研究
- 2) 新規光学活性 3-アミノピペリジン誘導体の合成研究
- 3) 合成した化合物の阻害活性評価

すなわち、当大学内で合成されたオリジナルの化合物の中から、生理活性を示すものの探索を行い、その結果を基により活性の強い新たな化合物合成を行う。これを繰り返しながら、より活性の高い化合物の合成を目指すのが最終目的である。

2. 研究の必要性及び従来の研究

我々の研究室では、他置換ヒダントインの簡便な合成法を開発しており、この手法を用いて新規な光学活性多置換ヒダントインを合成している。その一環としてサリドマイド(thalidomide)の構造を模倣したヒダントイン誘導体 **1** の合成に着手し成功している。すなわち、ヒダントインの 3 位にグルタルイミドあるいはスクシンイミドを有した化合物群である。サリドマイドは多発性骨髄腫の市販薬として再認可された化合物であることから、本化合物群も同様な作用を示すことが期待でき、実際、いくつかのヒダントインは「抗がん活性」を示すことを見出している。さらに「ナトリウムチャネル阻害活性」や「 β -セクレターゼ阻害活性」を示すことも明らかにしている。更なる活性の向上をめざしヒダントイン類の誘導化を検討する必要がある。イミド部分あるいはヒダントインの 1 位の窒素原子を足掛かりとし、置換あるいは共役付加反応による誘導化の検討を行う。

3. 期待される効果

含窒素化合物の合成は世界中で行われているが、申請者らは新規化合物のみの合成を目指しており、それらの化合物は申請者オリジナルのコンセプト・手法で合成している。申請者が開発したヒダントイン合成法は、多置換ヒダントインを簡便に合成するのに適した合成法である。また、合成時にラセミ化が起きないのも大きな特長である。また、活性評価手法についても、従来から知られているバッチ法のみではなくフローインジェクション分析(FIA)法も開発している。本分析法は迅速かつ簡便に活性測定出来るのが特長である。

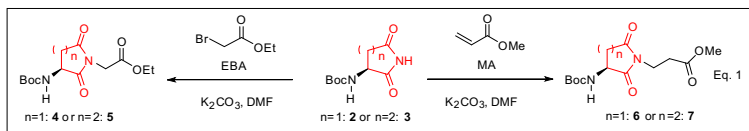
4. 研究の経過及び結果

29 年度は、新規化合物の合成に力を注ぐ。また、すでに合成を完了した化合物もいくつかあるので、これらについては活性の測定を行う。さらに、その結果を受けて新しい化合物をデザインし、合成に着手する。

29 年度は下記の点を検討した。

1) ヒダントイン部を有する新しい化合物の合成研究

I. まず、 α -ブromo酢酸エチル(EBA)を用いる置換反応について検討した。Gallienne らの報告を参考に、⁴t-ブトキシカルボニル(Boc)基で保護したアミノスクシンイミド **2** あるいはグルタルイミド **3** を *N,N*-ジメチルホルムアミド(DMF)中塩基存在下 EBA で処理し、対応する化合物 **4** および **5** を与えた(Eq.1, Table 1)。その結果、塩基として炭酸カリウ



ムを用いる条件が最も良いことが分かった。さらに、アクリル酸メチル(MA)を用いる共役付加を利用した伸長法の検討を行った結果、EBA を用いた反応条件と同様な条件下、対応する化合物 **6** および **7** をあたえることが分かった(Table 1)。これらの結果からイミドへの伸長においては α -ブromo酢酸エステルを用いる方が効率よく伸長できることが明らかとなった。

Table 1.

Run	Substrate	Reactant	Yield/%
1	2	EBA	86
2	3	EBA	54
3	2	MA	57
4	3	MA	71

2) **8** を用いたヒダントインの 1 位の導入においても EBA または MA を使い、**9** および **10** への変換を試みた(Eq. 2)。いずれの反応も DMF 中炭酸カリウム存在下における反応条件が適切であると分かった(Table 2)。

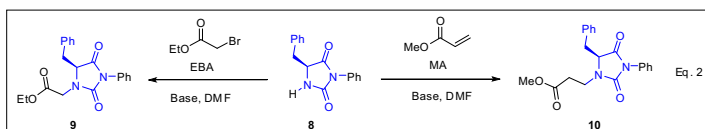
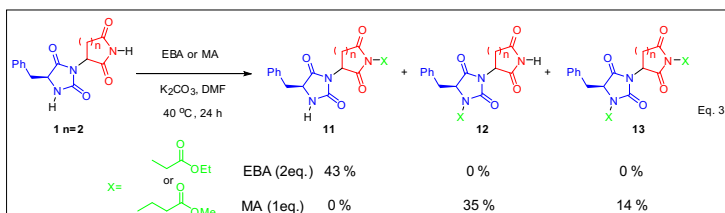


Table 2

Run	Reactant	Compound	Yield/%
1	EBA	8	80
2	MA	9	50

3) 続いて、生物活性を示すヒダントイン類の反応について検討した。すなわち、この化合物 **1** はイミド部およびヒダントインに反応性を示す窒素原子が 2 つあるため、その反応性に興味を持たれる。そこでまず、フェニルアラニンから誘導されるグルタルイミド部を有するヒダントイン **1** に上記と同様な反応条件下 EBA で処理したところ、イミド部への導入が優先的となった生成物 **11** を与えることが分かった。

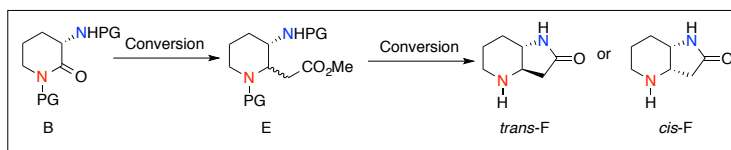


一方、MA を用いた場合ヒダントイン側への導入が優先的に起きた **12** あるいは **13** を与えることが分かった。このように使用する試薬によって反応性が異なる興味深い結果となった。

4) 新規光学活性 3-アミノピペリジン誘導体の合成研究

また申請者らは、化合物 **B** を原料とする新規な化合物の誘導について検討した。すなわ

ち、化合物 **B** から化合物 **E** への変換法について開発済みであり、大スケールでの合成も可能となった。今回この原料 **E** を立体選択的に合成する手法の開発を行いつつ、合成した 2 環性化合物 **F** およびその誘導体について阻害活性を測定し、その効果について明らかにする。



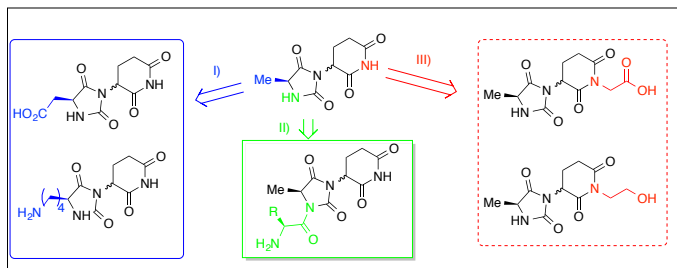
5. 今後の計画

研究テーマを別に記す

1) ヒダントイン部を有する新しい化合物の合成研究

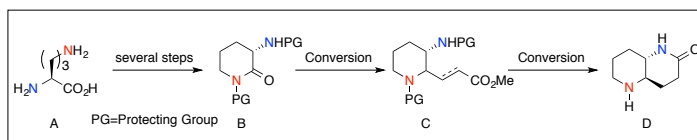
我々が開発した光学活性多置換ヒダントイン合成法を適用し、新規光学活性多置換ヒダントイン誘導体を合成する。また、合成したヒダントイン誘導体からの新規誘導化あるいは適当な置換基の伸長を試みる。さらに、阻害活性評価の結果を参考にし、新たな構造の化合物をデザイン・合成検討を行う。

申請者らはこれまでグルタルイミドやスクシンイミド部を有するヒダントイン誘導体の合成と抗がん活性について検討し、図に示す化合物群がある程度の活性を有することを報告している。さらに、 β -セクレターゼ阻害活性も示すことを見だし報告している。これらの化合物は、光学活性アミノ酸から誘導することが出来るが、側鎖に官能基を有するアミノ酸を用いれば、さらに活性の高い化合物となると期待できる（反応 I）。また、ヒダントイン部あるいはイミド部の窒素原子を手がかりとし、それぞれの方向へ伸長できるかについても検討を行う（反応 II および III）。



2) 新規光学活性 3-アミノピペリジン誘導体の合成研究

我々は、すでに合成した新規光学活性ピペリジン誘導体のさらなる誘導化を行い成功している。すなわちピペリジン 2 位のカルボニル基を足がかりとし、還元・続く適当な反応処理によりこの部位からの伸長法を確立している。さらに、3 位のアミノ基も利用し 2 環性のヘテロ環合成についても行っている。例えば、オルニチン **A** を出発原料とし、数段階を経てピペリジン誘導体 **B** へと導くことが出来る。これをさらに変換することにより 2 位から置換基を伸長した **C**、環化を行い 2 環性化合物 **D** へと導いている。これら新規に合成した化合物の活性評価を行い、新たな構造の化合物をデザイン・合成検討を行う。



標的化合物の合成を行う研究目的の他にもう一つの研究目的も設定しつつ研究を行いたい。それは、立体選択的に化合物を合成する手法を開発することにある。例えば 2 環性化合物 **D** には異性体が考えられ、*trans* 体 **D** に対して *cis* 体の立体異性体も考えられる。本合成ルートでは、ピペリジン環の 2 位の炭素はプロキラルな炭素であり、新たに立体をコントロールする必要がある。今回 3 位の不斉点を利用し、2 位に新たに不斉点を誘起する手法について併せて検討する。

3) 合成した化合物の阻害活性評価

我々は、いくつかの評価系を有している。例えば、 β -セクレターゼあるいはウレアーゼ阻害活性の評価系を測定できる。1)および 2)において合成した化合物の阻害活性を評価する。 β -セクレターゼ阻害活性は、ある種のヒダントイン誘導体が有効的である。またヒダントインの部分構造は *N*-アシル尿素であることからウレアーゼ阻害活性を示すことが十分期待できる。

6. 研究成果の発表

ポスター発表

「ヒダントイン誘導体への置換基導入法の検討」山口淳一○並木瑠玖、神奈川県ものづくり技術交流会（神奈川県海老名市、平成 29 年 11 月）。

異種材料を用いたシリコンフォトニクスデバイスの新機能の創成

研究者名：工学部 電気電子情報工学科 中津原 克己
工学部 電気電子情報工学科 小室 貴紀
創造工学部 ホームエレクトロニクス開発学科 黄 啓新
工学部 電気電子情報工学科 瑞慶覧 章朝
工学部 電気電子情報工学科 工藤 嗣友
情報学部 情報工学科 木村 誠聡
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
創造工学部 ホームエレクトロニクス開発学科 三栖 貴行
応用バイオ科学部 栄養生命科学科 澤井 淳
応用バイオ科学部 応用バイオ科学科 飯田 泰広

1. 研究の目的

本研究ではシリコンフォトニクスデバイスでの新機能開発を目的に液晶、磁気光学材料、高屈折率酸化物材料等の異種材料の集積化技術を確立し、これまでにない複合的な機能が集積された光機能回路の実現を目指している。平成29年度は異種材料集積のための要素技術の開発としてシリコンフォトニクスの長所を活かしつつ、導波路伝搬光との相互作用が増大する導波路構造の理論的及び実験的検討、さらに、強誘電性液晶 (FLC : Ferro-electric liquid crystal) を装荷した可変位相シフタおよびコンタクトエピタキシャル技術を用いて形成した磁気光学ガーネットについての製作プロセスの検討を目的とした。

本研究では Nb_2O_5 を用いた低損失導波路の形成、マッハツェンダー干渉計 (MZI: Mach-Zehnder interferometer) 導波路、分布反射器 (DBR: Distributed Bragg reflector) 共振器導波路、フェーズドアレイ導波路の試作、動作特性の評価を行う。また、フォトニクスデバイスの機能の可変化に用いる可変位相シフタ部の構造パラメータの理論的及び実験的検討を行い、複合的で新たなデバイスの機能の創成を図る。

2. 研究の必要性及び従来の研究

動画などの大量のデータを伴う通信が頻繁に行われ、通信需要は増大し続けている。このような状況の中、長距離ネットワークに限らず、データセンタ間及びデータセンタ内のサーバ間の通信までも光化が進んでいる。シリコンフォトニクス技術は電子デバイスとの高い親和性があり、強い光閉じ込めによる素子の小型化、高密度集積化が期待でき、データセンタ間、サーバ間を接続する光インターコネクトを担う技術として国内外で精力的に研究開発が進められている。

シリコンフォトニクスデバイスの可変機能を実現するためには従来から熱光学効果や電流注入による屈折率変化または静電効果などを利用しており、状態維持維にも電力が必要である。そのうえ、高密度な集積化をする際には素子の消費電力で発生する熱による素子間の熱干渉が懸念されている。これらの問題の解決に加え、今後ますますデータ伝送の高速大容量化が進められるネットワークにとって、異種材料の集積によってシリ

コンフォトニクスデバイスの機能の複合化および従来にない新たな機能による処理能力の向上が望まれている。

3. 期待される効果

シリコンフォトニクスの高精度な加工プロセス技術を活用することで、小型、低コスト、高信頼性を有する光デバイスの生産が可能であり、さらに異種材料を組み合わせることにより、シリコンの物性定数では得られない高い性能や新たな機能が実現可能となる。特に本研究で扱うFLCは大きな光学異方性と双安定性を有し、自己保持特性による超低消費電力化と熱干渉問題の解消が期待される。また、本研究で反応性DCスパッタリング装置を用いた導波路形成技術を開発することで、シリコンフォトニクス技術に低温かつ高速に成膜可能な導波路材料の組み込みが可能になり、クラッド層材料と伝搬光との相互作用の増大による可変機能の効率向上を図ることができる。さらに、 Nb_2O_5 はセンサデバイスに応用した際の検出感度の向上も見込めるだけでなく、化学的に安定な材料でもあるため、センサデバイスに応用した際に腐食の心配もない。東工大と沼津高専と共同研究を進めている磁気光学材料の集積化技術により、光アイソレータや光サーキュレータ等の非相反機能を実装することが可能となり、シリコンフォトニクスの機能を画期的に高め、新たな機能の創成への大きな発展が期待できる。また、新たな機能を創成するには集積された材料物性を最大限に引き出すデバイス構造の実現が重要である。平成29年度末に導入した電子ビーム描画装置(CABL-9000：(株)クレステック製)は数十nmの微細なパターン形成が可能であり、本研究で異種材料上への微細パターン形成技術を開発することで、センサデバイス等への応用展開だけでなく、マイクロリアクタ等の材料合成技術の発展への貢献も期待できる。

以上のように、これまで開発してきた要素技術を融合し、1チップ集積化技術による新たな機能を創成することは、通信ネットワークのノードの機能の高度化とともに新たな展開としてセンサ技術や材料合成技術の分野にも適用範囲を拡大することが期待される。

4. 研究の経過及び結果

異種材料集積によるシリコンフォトニクスデバイスの新機能開発を行うため、デバイスの基本要素に関する研究を行った。

4.1 Nb_2O_5 導波路の導波特性

反応性DCスパッタリング装置SPS-208CWによって高速かつ低温に高屈折率酸化物材料を成膜することができるため、シリコンフォトニクスによって得られる長所を活かしつつ、導波路コア部周辺の材料と導波路伝搬光との相互作用の増大を得ることができる。

反応性DCスパッタリング装置SPS-208CWを用いて試作した導波路の透過率－導波路長依存性を図2に示す。試作した導波路のコア層厚は277nm、リブ高は103nm、導波路幅は2 μm であり、上部クラッドは SiO_2 -8mol% Ta_2O_5 は600nm以上成膜した。この結果より試作導波路の伝搬損失は0.26dB/mm、ファイバ－導波路端面間の結合損失は6.12dB/端という値が得

表1 Nb_2O_5 成膜条件

使用装置	DCスパッタリング装置 SPS-208CW
成膜物	Nb_2O_5
到達真空度	$9.9 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 以下
スパッタ電力	1000W
ガス流量	25.5:4.5sccm
成膜レート	33.8nm/min (0.56nm/s)

られ、伝搬損失は目標とした1dB/mmを下回る特性を得ることに成功した。

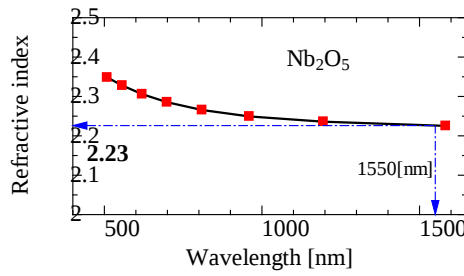


図1 分光光度計による屈折率評価

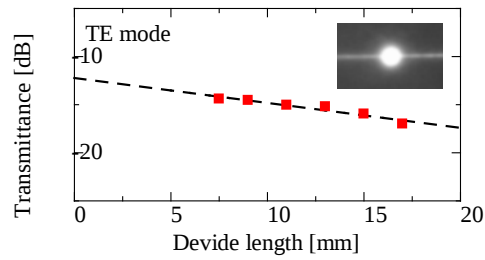
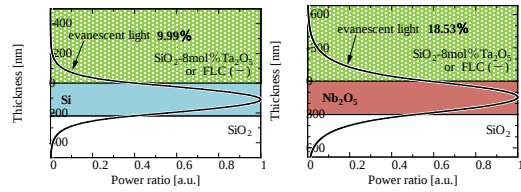


図2 透過率ー導波路長依存性 (TE偏光)

4.2 Nb₂O₅導波路を用いた可変位相シフタの検討

光デバイスの可変機能の実現には損失の増加を伴わない可変位相シフタの活用が有効である。Nb₂O₅導波路の活用によるクラッド層材料と伝搬光との相互作用の増大と可変機能の効率向上を実証するため、本研究ではFLC装荷Nb₂O₅導波路の光強度分布を理論的に解析し、FLC装荷Si導波路との比較を行った。コア材料をSi (コア層厚 $H_{\text{core}}=220\text{nm}$) からNb₂O₅ ($H_{\text{core}}=300\text{nm}$) に置き換えることで、FLC装荷領域長を約30%まで短縮できることを明らかにした。



(a) FLC(-)/Si/SiO₂ (b) FLC(-)/Nb₂O₅/SiO₂

図3 光強度分布の比較

4.3 製作トレランスを考慮した導波路構造設計

実証実験を進めていく上で製作誤差による光デバイスの特性変動を把握し、製作トレランスを考慮した構造を設計することが重要である。本研究では三次元BPM(Beam propagation method)シミュレーションにより光デバイスの構造の変動に対する特性変化の解析を行った。図4に2×2対称MZI導波路の外観図、図5に解析結果例を示す。動作波長 $\lambda=1.55\mu\text{m}$ 、導波路幅 $w=2\mu\text{m}$ 、コア層厚 $H_{\text{core}}=300\text{nm}$ 、 400nm 、 500nm 、リブの高さ H_{rib} を比等価屈折率差 $\Delta n \approx 8\%$ とした場合、光スイッチの基本要素となる2×2対称MZI導波路ではNb₂O₅コア層 $H_{\text{core}}=400\text{nm}$ とすることで、7.3%までの成膜誤差で40dB以上の消光比が得られることを示した。

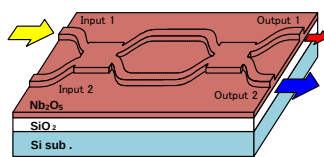


図4 2×2対称MZI導波路の模式図

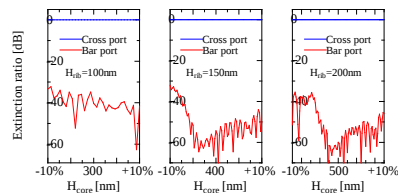


図5 解析結果：消光比ーコア層依存性

4.4 DBR共振器導波路を用いた可変波長フィルタの検討

本研究では、集積化に適した可変波長フィルタを実現するため、導波路上に分布反射器(DBR)を形成したDBR共振器導波路型可変波長フィルタの動作実証を目指している。DBR共振器導波路型可変波長フィルタは鋭い波長選択性を有し、2つのDBR領域に挟まれた導波路部分の位相を変化させることにより、透過帯域波長を切り替えることが可能である。

平成29年度はNb₂O₅導波路上に干涉露光によりDBRを形成したDBR共振器導波路の試作を行った。図6に試作したNb₂O₅-DBR共振器導波路の構造と導波特性測定結果例を示す。

共振器長は100 μm 、DBR領域長は75 μm とし、SiO₂クラッドを装荷した。波長特性より、DBR共振器の特徴的な波長選択特性が得られ、FSR(Free spectrum range)が0.7nm、消光比が6.6dBであり、阻止帯域中心波長からDBR周期は426.0nmと見積もられた。

今後、電子ビーム描画装置を用いて変調周期構造を有するDBRの形成技術を確認し、共振構造のさらなる特性改善を図ることが課題である。

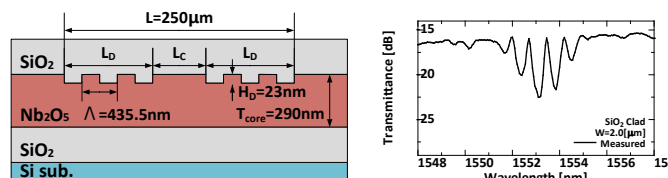
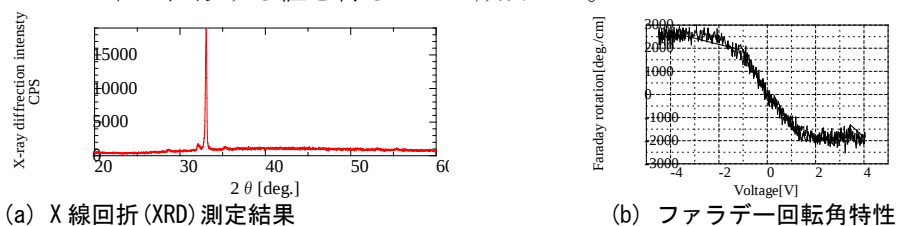


図6 (a) Nb₂O₅導波路型DBR共振器の断面図 (b) 波長特性

4.5 高密度集積化に向けた非相反光デバイスの基礎研究

光アイソレータ・光サーキュレータに必要な非相反移相器を実現するために、磁気光学ガーネットであるCe:YIG (Ce_xY_{3-x}Fe₅O₁₂)をSi基板上に形成し、コンタクトエピタキシャル法による結晶化を行った。図7(a)に示したX線回折結果とともに磁気光学特性の一つであるファラデー回転係数の評価を行った。コンタクトエピタキシャル法によってX線回折において強いピークが得られた条件では、図7(b)に示すようにファラデー回転係数の値においても単結晶Ce:YIGの85%に匹敵する値を得ることに成功した。



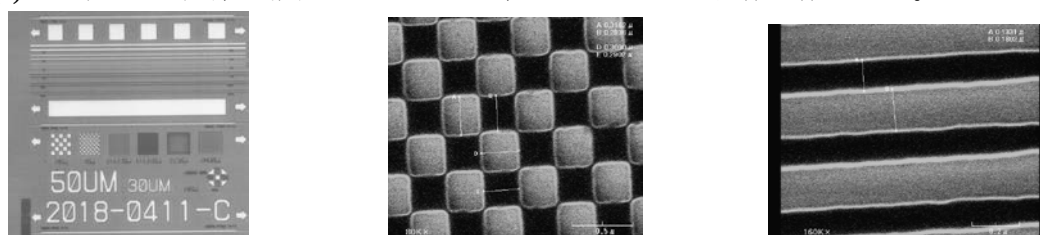
(a) X線回折(XRD)測定結果

(b) ファラデー回転角特性

図7 シリコン基板上に成膜したCe:YIG薄膜の特性

4.6 電子ビーム描画装置を用いた微細パターン形成

異種材料を集積技術し、その特性を活かした光デバイスを開発するためには、精密で自由度の高い微細パターンニング技術が不可欠である。本研究では平成29年度末に導入した電子ビーム描画装置(CABL-9000: (株)クレストック製)を活用した微細パターンニングの技術確立に向けた条件出しを開始した。CABL-9000を用いて電子ビームレジストZEP520A-7に形成したテストパターンを図8に示す。図8(b)に示す600nm周期で描画した300nm矩形パターンや図8(c)に示す300nm周期で描画したグレーティングパターンの形成に成功した。



(a) フィールド(500 μm □)全体

(b) 二次元周期構造描画例

(c) 一次元周期構造描画例

図8 電子ビーム描画装置CABL-9000用いて描画したテストパターン

5. 今後の計画

今後は初年度に開発した要素技術の集積化に繋げるための課題に取り組む。プロセス技術だけでなく、素子設計についても力を入れ、個々の要素技術の性能を維持しながら、複合機能の実現を目指す。併せて、本研究過程で着想した高感度なセンシングを可能にするプローブ構造を有するセンサデバイスの試作も行い、その動作実証も目指す。最終年度は前年度までに開発した集積化技術を用いて、複数の要素デバイスの集積による新たな機能を送出する。特に非相反デバイスである光サーキュレータの集積化により、これまでのシリコンフォトリニクスでは得られなかった機能の実現を目指す。さらに通信分野以外の応用としてバイオセンサとしての原理動作の実証と特性評価を行い、将来の技術革新の基礎につながるシリコンフォトリニクスデバイスの新機能創成を目指す。

本研究を通して本学ナノテクノロジー室の技術基盤を向上させ、特に反応性DCスパッタリング装置を活用した光学薄膜の応用技術、電子ビーム描画装置を活用した微細パターン形成技術を中心にした技術拠点化を進め、産学連携プロジェクトへの進展を目指す。

6. 研究成果の発表

- (1) 内堀 慎太, 武田 正行, 西澤 武志, 中津原 克己, “導波路型光スイッチに向けたNb₂O₅-MZIにおける消光比向上の検討”, 第65回応用物理学会春季学術講演会, 17p-P4-1, 東京, 2018. 3. 17.
- (2) 飯島 夏来, 石黒 一希, 武田 正行, 中津原 克己, 野毛 悟, 水本 哲弥, 庄司雄哉, “シリコン基板上への磁性ガーネット薄膜形成の検討と評価”, 光エレクトロニクス研究会, OPE2017-109, 宮古島, 2017. 12. 7.
- (3) 内堀 慎太, 武田 正行, 西澤 武志, 中津原 克己, “Nb₂O₅導波路を用いた液晶装荷MZI型光スイッチの理論特性と製作プロセスの検討”, 光エレクトロニクス研究会, OPE2017-101, 宮古島, 2017. 12. 7.
- (4) 稲森 翔, 木村 豪, 武田 正行, 西澤 武志, 中津原 克己, “Nb₂O₅導波路を用いたDBR共振器の導波特性評価”, 集積光デバイスと応用技術研究会, IPDA2017-P16, 加賀, 2017. 11. 9.
- (5) 飯島 夏来, 石黒 一希, 武田 正行, 中津原 克己, 野毛 悟, 水本 哲弥, 庄司雄哉, “コンタクトエピタキシャル法を用いたSi上Ce:YIG薄膜の結晶化の基礎検討”, 光エレクトロニクス研究会, P1-2, 熱海, 2017. 4. 20.
- (6) 内堀 慎太, 渋谷 隆延, 武田 正行, 中津原 克己, “Nb₂O₅導波路を用いたFLC装荷フェーズドアレイ型光スイッチの基礎検討”, 光エレクトロニクス研究会, P2-2, 熱海, 2017. 4. 20.
- (7) 稲森 翔, 榊原 健太郎, 落合 俊弘, 木村 豪, 武田 正行, 中津原 克己, “可変波長フィルタのためのNb₂O₅を用いた導波路型DBRの基礎検討”, 光エレクトロニクス研究会, P2-6, 熱海, 2017. 4. 20.

耐高温用低損失型自己バイアスチャネル型 MOS ダイオードの研究

研究者名：所属学科 電気電子情報工学科 氏名 工藤 嗣友

1. 研究の目的

LSI 向け電源や太陽電池用バイパスダイオードには低損失ダイオードの代表的なものとしてショットキーバリアダイオード（以降 SBD）が用いられているが、温度上昇に伴って電力損失が急激に増加し、素子本体から発熱による熱暴走が起これ破壊にいたる問題がある。そこで、本研究では、SBD に代わる耐高温用のダイオードの開発を目的としている。

2. 研究の必要性及び従来研究

低損失ダイオードとして用いられている SBD は、低オン電圧を可能とするために金属の仕事関数の小さい材料を用いている。本研究室で動作確認用として Ti-SBD と Cr-SBD を試作し温度依存性に対する電力損失の特生取った結果を図 1 に示す。Cr-SBD は約 140℃付近、Ti-SBD は約 90℃付近より熱暴走を起こしていることが判った。よって、夏場の環境で、これらの SBD を用いると影が入ったときのバイパスダイオードの電氣的動作に問題が生じる。

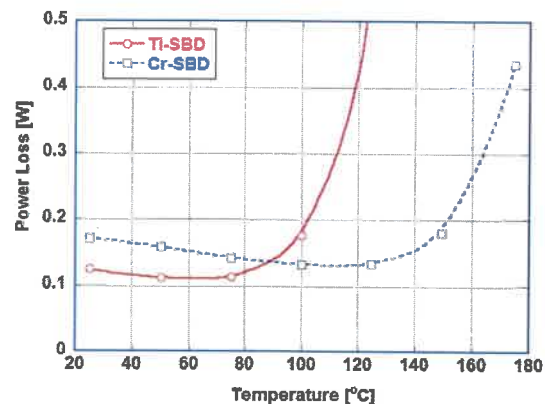


図 1 電力損失特生

3. 期待される効果

そこで、本研究では、自己バイアスにより 2 端子化を図った自己バイアスチャネルダイオード (SB-CD: Self-Biased Channel Diode) を 2 種類提案し、その構造を図 2 に示す。このデバイスは DMOSFET 構造を有し、MOS ゲートのしきい値電圧の低減化により、低オン電圧化が可能であり、MOSFET 動作により温度増加に対する電力損失の増加割合も

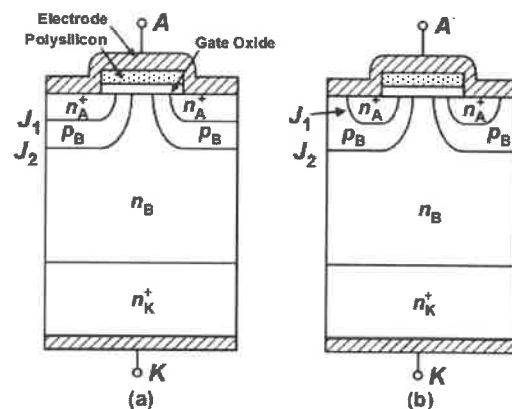


図 2 提案構造 (a) NBS-SBCD, (b) BS-SBCD

小さく、熱的に安定した動作が得られている。図 2(a)は、アノード側の n^+ 層が全面に形成されているノンボディ型自己バイアスチャネルダイオード(以降: NBS-SBCD)、図 2(b)は、アノード側の P 層とアノード電極を短絡したボディ短絡型自己バイアスチャネルダイオード

ド(以降:BS-SBCD)で、両デバイスともゲート電極とアノード電極が短絡した構造である。これらのデバイスのポイントは、設計時においてゲート電圧が 0[V]でも MOS ゲート直下に弱い n チャネルを形成するよう、拡散密度、深さ、ゲート酸化膜厚さを調整しながら設計している。よって、低い電圧から電流が流れるようになり低オン電圧化を可能としている。両デバイスは、ユニポーラ動作とバイポーラ動作の丁度中間に位置する動作を期待しているため、少数キャリアデバイスでみられるスイッチングロスの増加や多数キャリアデバイスにみられるオン電圧の増大などの改善に期待がもてる。

本デバイスの動作原理は、順方向において、カソード電極 K に対してアノード電極 A に正電圧が印加された状態である。このとき、電子はカソードから n チャネルを経由してアノードに流れる。BS-SBCD 構造は J_1 接合において基板バイアス電圧が印加された状態になるのでチャネルに流れる電流が促進される。

上記と逆の印加状態において、(a)の構造では、逆バイアス接合が J_2 となり、印加電圧のほとんどがこの接合に加わり、順バイアス接合 J_1 にはほとんど電圧が印加されない。よって、チャネルは形成されにくいので電流が流れにくくなる。一方で、(b)の構造では、印加電圧のほとんどが J_2 接合に加わるために、MOS ゲートには電圧が印加され非導通状態となる。

4. 研究の経過及び結果

図3は、試作したCr-SBDとデバイスシミュレーターによる解析で得られたNBS-SBCD、BS-SBCDの75℃の結果を示す。BS-SBCDのオン電圧値は、他のデバイスと比べて小さい結果が得られた。これは、基板バイアス効果により電子促進効果によってオン電圧が小さくなったと考えられる。一方で、図4は、-5[V]までの逆方向リーク電流の特性を示す。オン電圧の高いCr-SBDは、逆方向リーク電流が小さくなっているが、SBCDは多少

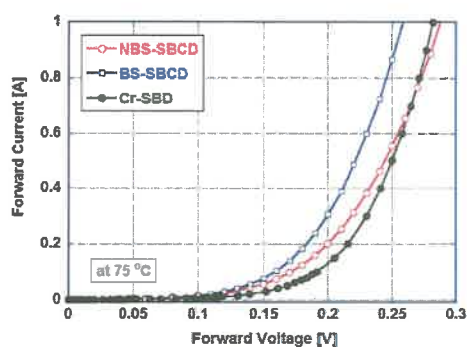


図3 75℃における順方向特性

のリーク電流が大きくなる傾向が見られるもののリーク電流が抑えられているのが確認できた。

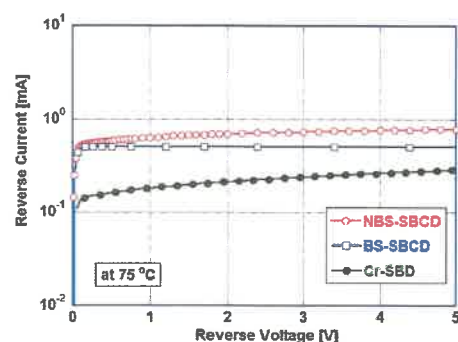


図4 75℃における逆方向特性

図5は、75℃における各素子のスイッチング特性（逆回復特性）を示す。逆回復特性の結果より、2つのSBCDともに正孔の蓄積効果が若干発生している。これは、逆方向

になった瞬間、 J_2 接合から空乏層が延び、この接合に電界が集中、空乏層内で正孔が発生し、損失の原因となっている。ただし、定常状態になると正孔が速やかにアノード側に排出しており、スイッチング動作上問題無いと考えている。一方、Cr-SBD は、多数キャリアデバイスのため SBCD のような蓄積効果が無いのでスイッチング損失が、元々少ない特性である。

図 6 は、2 つの SBCD と Ti-SBD、Cr-SBD の電力損失の結果である。提案している SBCD は、100℃以上でも熱暴走を起こしていないことが判った。

以上より、SBD よりも熱耐圧に強いことから、具体的なアプリケーションの例として太陽電池のバイパスダイオードとして提案デバイスを用いた場合についてシミュレーション解析を行った。

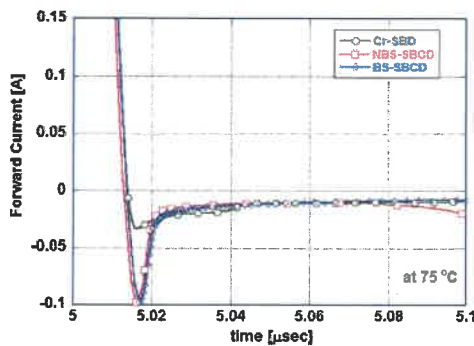


図 5 75℃における逆回復特性

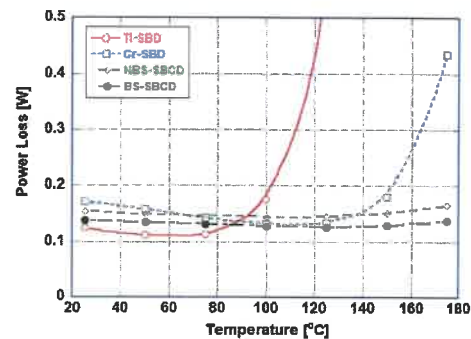


図 6 75℃における逆回復特性

太陽電池に関する過渡応答シミュレーションは、図 3 に示すように太陽電池セルを 2 枚直列に接続し、それぞれ並列にバイパスダイオード Diode1、Diode2 に接続した。バイパスダイオードは、同じ種類のダイオードを用いて解析を行った。さらに太陽電池セルの規格は短絡電

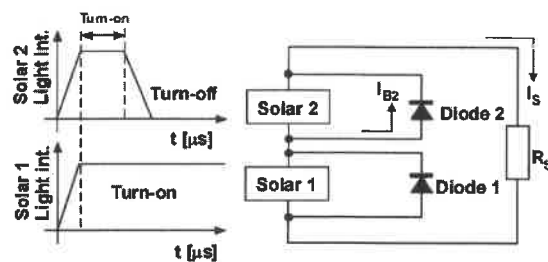


図 7 シミュレーションで採用した回路図

流 1[A] を想定とした。照射パターンは、Solar1 において一定の光を照射した状態とし、一方の Solar2 は光のターンオン・ターンオフの光パルスとした。このとき照射されない時間区間はセルに影が入っていることを想定している。図 8 は、75℃におけるバイパスダイオードに NBS-SBCD と Cr-SBD をそれぞれ用いた場合で Solar2 に光の照射から遮蔽に切り替わったときにバイパスダイオード 2 に流れる電流の変化を示す。図 9 は、BS-SBCD を用いた場合の結果を示す。2 つの SBCD は、Cr-SBD よりも速やかにターンオンしており、バイパスダイオードの使用に適していることがわかった。この結果より、

提案したデバイスは、周囲の温度が高い地域や夏場の環境でも発揮できると期待出来る。

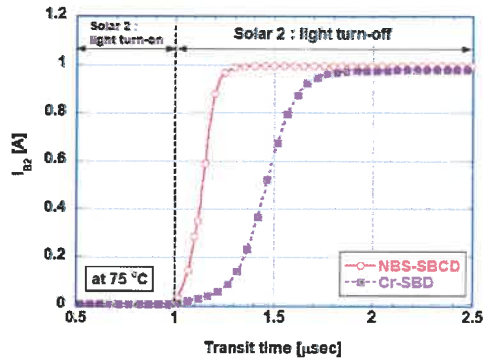


図 8 75℃におけるバイパスダイ
オード 2 に流れる電流特性

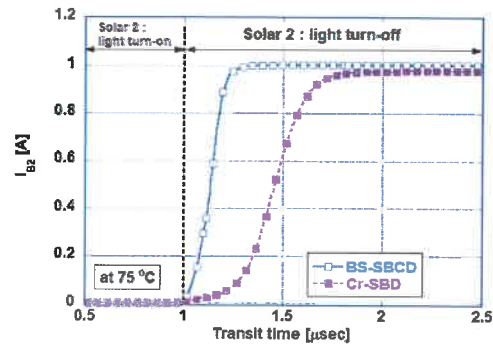


図 9 75℃におけるバイパスダイ
オード 2 に流れる電流特性

5. 今後の計画

本提案デバイスは、以下の項目を実施し特性の改善を行いたい。

- NBS-SBCD の耐圧は、約 30[V]と低く、使用用途が狭いため耐圧を向上するような構造の設計
- SBCD の更なる集積化（トレンチ構造の導入の検討）
- レイアウト設計の見直し
- ゲート酸化膜形成の確立（薄膜のため面分布のバラツキの改善）
- ポリシリコンゲートの形成の確立

6. 研究成果の発表

T. Kudoh, F. Sugawara and H. Tsushima, “A Study of Electrical Properties When Low-Loss, Self-Biased Channel Diode are Used as Bypass Diodes for Photovoltaic Panels”, 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), pp. 614-617 Nagoya.

光線力学療法（PDT）への展開応用を目指したフラーレン誘導体の構造と活性評価

高村 岳樹

神奈川工科大学応用化学学科教授

1. 背景と目的

フラーレンやカーボンナノチューブは光による増感作用を利用した薬理作用や、それ自身の薬物輸送担体として着目されている。しかしながら、それ自身は生理的条件下では溶解せず、生体内の局所伝達に極めて困難である。そのため、水溶性を確保しつつ、薬理作用を示す新規炭素ナノマテリアルを提案することが本研究の目的である。本研究では、とくに、フラーレンに「DNA に共有結合できる化合物」を結合させ、DNA の近傍にフラーレンを配置させたのちに、光増感作用を施し DNA を高効率で切断させ、標的細胞を死滅させることを狙っている。

またフラーレン等のナノ構造物質の局所輸送を可能とするタンパク質性ナノカプセルであるシ

ャペロニン変異体を用いた合成したフラーレンのシャペロニンカプセルへ内包化と核への局所送達を検討する。タンパク質を用いたナノマテリアル輸送はこれまでに報告例はなく、今後、病巣などへの局所伝達実現に向け、新たな内包薬剤の開発、生体（細胞、個体）におけるカプセルの動態（局在、内包物の放出）を明らかにすることを目的とする。

昨年度までの研究で、フラーレン誘導体 **1** が細胞傷害性を有することが明らかとなったが、細胞内の局在については不明のままであった。そのため、化合物 **1** に類似した化合物で蛍光性官能基を有した化合物を合成し、その評価を行った。

2. 研究方法

本研究では、まずフラーレンに DNA 結合性化合物であるソラレンを結合した化合物 **1** の類縁体として末端にフルオレセインを結合させた化合物 **2** の合成をおこなった。また、水溶性官能基を有さない蛍光フラーレン誘導体 **3** についても合成を行った。化合物 **3** は末端が BODIPY 蛍光団を有しているが、この部位をフルオレセインとした化合物は既知の化合物であり、その比較もかねて BODIPY を結合させた。これらの化合物の蛍光特性および細胞内取り込みについて検討をおこなった。

3. 結果および考察

化合物 **2** の合成は以下のように行った。ニトロフェノールを原料として、まず水酸基をシリル保護を行い、水素添加によって Pd 触媒存在下ニトロ基の還元を行った。プロモ酢酸ブチルを用いて、アミノ基に酢酸ブチル基を導入した。得られた化合物は、ブチルグリオキシレートとフラーレンと反応させ、化合物 **6** とした。シリル基を脱保護後、フルオレセイン誘導体とカップリングさせ、更に脱保護を行い、目的とする化合物 **2** とした。得られた化合物の $^1\text{H-NMR}$ の化学シフト値は DMSO- d_6 溶媒中で δ : 8.64 (0.5H, s), 8.51 (0.5H, dd, $J = 8.2, 1.8$ Hz), 8.44 (0.5H, dd, $J = 8.2, 1.4$ Hz), 8.24 (0.5H, d, $J = 8.2$ Hz), 7.92 (0.5H, s), 7.54 (0.5H, d, $J = 7.8$ Hz), 7.48 (2H, d, $J = 8.7$ Hz), 7.40 (2H, d, $J = 9.6$ Hz), 6.71-6.67 (5H, m), 6.62 (1H, s), 6.58 (1.4H, s). であり。TOF/MS による解析では $m/z = 719.97$ [C_{60}] $^+$, 1212.06 [$\text{M}-2\text{COOH}$] $^+$, 1303.12 [$\text{M}+\text{H}$] $^+$ が観察され

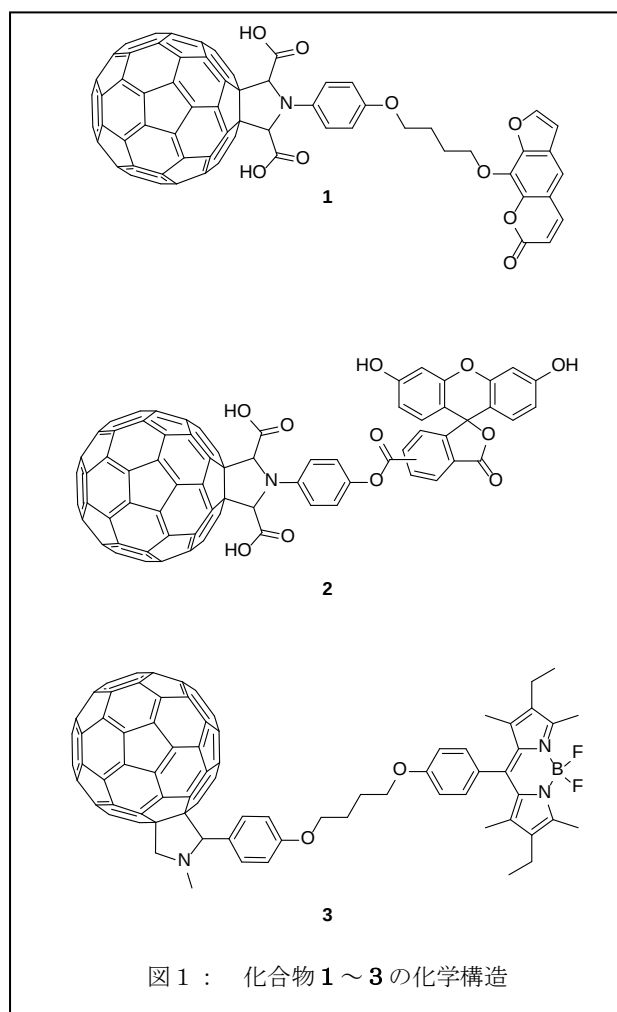
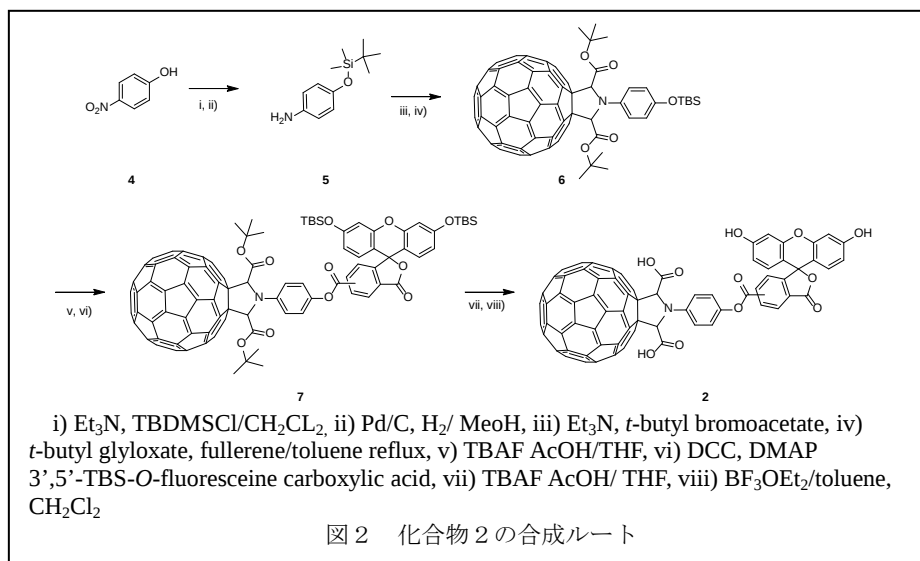


図 1 : 化合物 **1** ~ **3** の化学構造



トリプシンの処理による蛍光の復活を検討を行ったが、蛍光の復活は観察されなかった。一方、化合物2はエステル結合を有するため、エステラーゼに対する耐性の検討を行った。高濃度のエステラーゼ処理では、エステラーゼ自身の発色の影響で、蛍光が十分に観察されない現象が確認されたが、エステラーゼの0~40unit/mlの濃度範囲ではフルオレセインジアセテート（陽性対照）は脱アセチル化して蛍光復活が観測されたが、化合物2を用いた時では、蛍光の復活は低濃度では観察されなかった。ただし高濃度投与のときは若干の蛍光強度の上昇が観察された。

たため、目的とする化合物が合成されていることが確認できた。この反応の全収率は3%であった。

また、BODIPY 蛍光団を有する化合物3は、既知文献を参考に、まずプロモプトキシフェニルアルデヒド9を合成した後、それをBODIPY誘導体化して化合物10を得た。化合物10はさらにフェニルアルデヒド誘導体と反応させ、最終的にBODIPY-Fullerene誘導体3を得ることが出来た。プロトン NMR の結果からも本化合物の合成が示唆された。

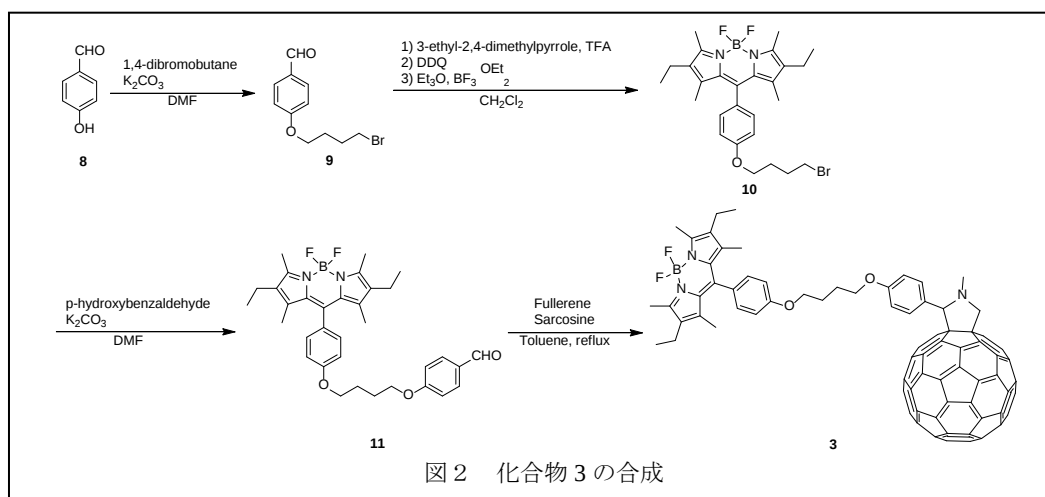
得られた化合物について蛍光特性について検討を行った。化合物2については蛍光波長がももとの513nm から517nm まで長波長シフトしており、さらに蛍光強度はフルオレセインの約20%程度であった。化合物3については539nm から537nm の若干の短波長シフトが観察された。化合物3の場合、蛍光強度がももとの2%程度と大きく減弱していることが明らかとなった。いずれの化合物もアルカリ処理により、蛍光の復活が観測された。この蛍光の復活は蛍光団がフラーレンから切り出された事も考えられるが化合物3はアルカリに対して

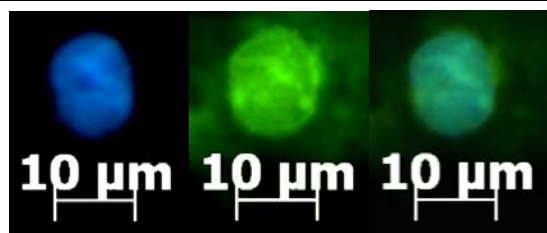
も剛直であることが推定されるため、物質環境の変化に依存するものと推定される。

フラーレン-蛍光物質の複合体では過去の研究では、トリプシンによる蛍光の復活が指摘されている。今回

また、細胞内の局在を調べるため、化合物2を細胞に処理を行った。100 μM の濃度で各種細胞株 CHL, A549, Hela に処理後、一定時間培養し、蛍光顕微鏡で観察を行った。このとき核についても DAPI を用いて同様に染色した。化合物は蛍光が減弱されてはいはいるが、細胞内での蛍光を観察することが出来た。細胞株はいずれも1時間後から化合物2の核への集積が観察された。(図4) 細胞質も蛍光が観察されることから、細胞質、核のいずれにもこの化合物は存在しうることが示された。また染色体がよく染色されていることから、DNA へ集積している可能性も示唆された。同様の細胞内局在試験を化合物3についても行ったが、蛍光を観察することが出来なかった。蛍光の減弱が大きいためと思われる。

今回合成した化合物は核への蛍光局在が観察





DAPI 2 overlay

A549 6h

図4 化合物2の細胞毒性結果

された。このため、今後は、化合物1の細胞内局在、DNAへの結合などを中心に検討を進めていく。

4. 参考文献

- [1] Hashimoto, A., Yamanaka, T., Takamura-Enya, T. Synthesis of novel fluorescently labeled water-soluble fullerenes and their application to its cellular uptake and distribution property, J Nanopart Res, 19, 402, 2017
- [2] Someya K, Nakatsukasa H, Ito M, Kondo T, Tateda KI, Akanuma T, Koya I, Sanosaka T, Kohyama J, Tsukada YI, Takamura-Enya T, Yoshimura A. Improvement of Foxp3 stability through CNS2 demethylation by TET enzyme induction and activation. Int. Immunol, 29, 65-375, 2017
- [3] 八木 孝司、藤川 芳宏、福本 航大、炬口 茜、高村 岳樹、川西 優喜 各種損傷乗り越え DNA ポリメラーゼとヌクレオチド除去修復を欠損した細胞を用いた付加体誘発突然変異の解析」．日本環境変異原学会第46回大会（東京）
- [4] 森 みずき、高村 岳樹 ナノダイヤモンド-臭化エチジウム複合体の細胞毒性評価 日本化学会第98春季年会．（船橋）
- [5] 橋本 亜紀子、山中 岳寛、高村 岳樹 蛍光フラーレンの合成と評価．日本化学会第98春季年会．（船橋）

リモネン誘導体の有用物質への化学変換

応用化学科 森川 浩

1. 研究の目的

化学の分野において、環境にやさしく有用物質を合成する方法の確立は、社会的要請の大きなテーマである。本研究計画は、バイオマス由来の化学物質として非可食資源のリモネンに着目し、その化学反応により有用物質に変える内容である。具体的には、**LM5CC** や **LMdiol** (後述) を目的化合物とした。これらを通じて、バイオマス廃棄物から価値ある化学物質を産生する方法論を確立していく。

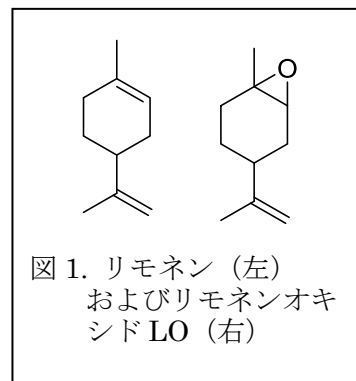
2. 研究の必要性及び従来の研究

バイオマスを原料として重要な高分子や低分子化合物を合成することは、石油を原料としない物質創製として活発に研究されている。現在、でんぷんやトウモロコシを原料とするポリ乳酸は、最も普及が進んだバイオマス由来の高分子である。しかし、ポリ乳酸は「本質的に耐熱性が低い (T_g = 約 60°C)」「その構造が極端にシンプルであるがゆえに化学変換・化学修飾が難しい」「主として可食原料をもとに開発されてきた」ことが問題点として残る。

また、石油由来化成品に比べて高価で性質が劣るバイオマス由来材料には、バイオマスならではの特徴のある性質や機能が求められている。

以上の経緯から、他の「新たな」バイオマスかつ非可食原料由来の物質創製が精力的に模索されている。このような原料として、リモネン (及びその誘導体のリモネンオキシド **LO**、図 1) がバイオマス源として注目を集めている。申請者を含むグループも、近年テルペン類に着目して研究を進めており、例えば **LO** とポリエチレングリコール鎖含有メタクリレートとを原料として共重合を行い、吸水性高分子ハイドロゲルを合成した (*Polym. Bull.*, 2014, 71(9), p.2421)。

バイオマスの化学変換の対象は高分子に限った話でなく、有用な低分子/中間鍵化合物への化学変換も極めて重要である。近年、このような観点からも、バイオマスの化学変換の合成化学的な研究を進めている。例えば、対象はリモネンではないが、申請者を含むグループは **D-フルクトース** を原料として用い、鍵化合物として重要なフラン誘導体 (**HMF**, 5-ヒドロキシメチル-2-フルフラール) への化学変換を達成している (*Tetrahedron Lett.*, 2016, 57(42), p.4742)。



3. 期待される効果

リモネンは、ミカンなどの柑橘類の皮に含まれる代表的な単環式モノテルペンである。非可食のバイオマス原料であり、柑橘加工などで廃棄される皮から年間数万トン生産されている。加工の際に副産物としてとれる植物資源を有効利用できれば、とても意義深い。また、リモネンなどのモノテルペン類は、それ自身でも抗菌性・抗炎症能などの生物活性があり、さらには、種々のジテルペン・セスキテルペン誘導体の原料物質として重要である。リモネンは、分子内に二重結合を二つ有しており、この反応性を巧みに利用することで、種々の機能団の導入が期待でき、バイオマスならではの特徴を付与できる。

以上のことから、リモネンを原料とした新規誘導体 (低分子化合物) の合成は、生物活性的な側面からも、合成化学的な側面からも大変重要である。

4. 研究の経過及び結果

ここでは *d*-リモネン (*R*-リモネン) 誘導体を目的化合物とした。具体的な構造を下图 2, 左に示す。一つは、五員環カーボネート (5CC) 構造を有する **LM5CC** であり、もう一つは vicinal diol 部位を有する **LMdiol** である。両化合物には、不斉炭素が 3 個あり、このうち、置換基を導入した 1 位と 2 位の配置によって、合計 4 種の異性体 (ジアステレオマー) が存在しうる (図 2, 右)。図に示すように、4 種のジアステレオマーについて、その化合物略号に 1A~4A を付記して区別した。

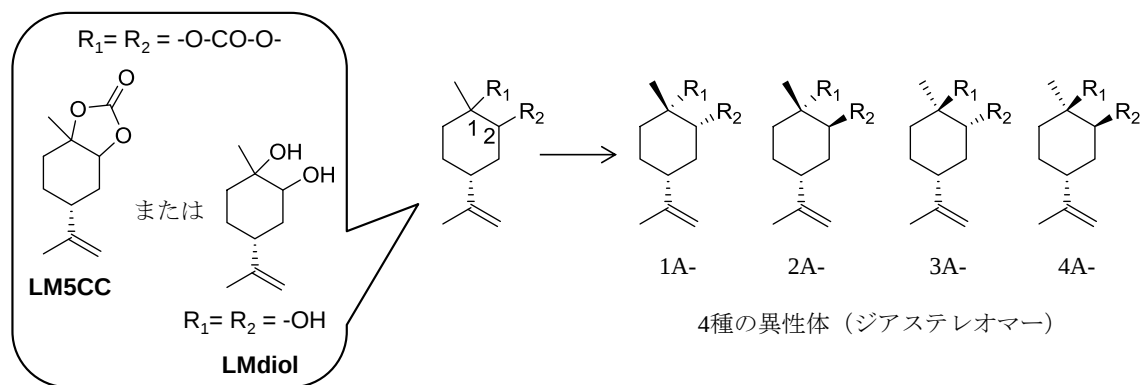


図 2. 二つの化合物 (LM5CC, LMdiol)、それぞれ 4 種のジアステレオマー

(1) LM5CC の合成 (単離)

LO を CO₂ と反応させ、リモネン骨格を有する五員環カーボネート **LM5CC** の合成を試みた (図 3)。5CC は下記の理由により有用な鍵物質であり、その簡易的な合成法の確立は重要である。

- 化学的に不活性な CO₂ を、安価で豊富な材料として利用でき、化学物質に固定化できる。
- 5CC を脂肪族アミンと反応させると、開環してウレタンが合成できる。この場合、毒性の高いイソシアネートを使わないウレタン合成であるので、安全性が高く環境にやさしい。
- 5CC を芳香族アミンと反応させると、開環しないで、オキサゾリジノン構造を構築できる。この骨格を持つ誘導体は生物活性を有し、一部の誘導体は抗菌剤として実用化されている。

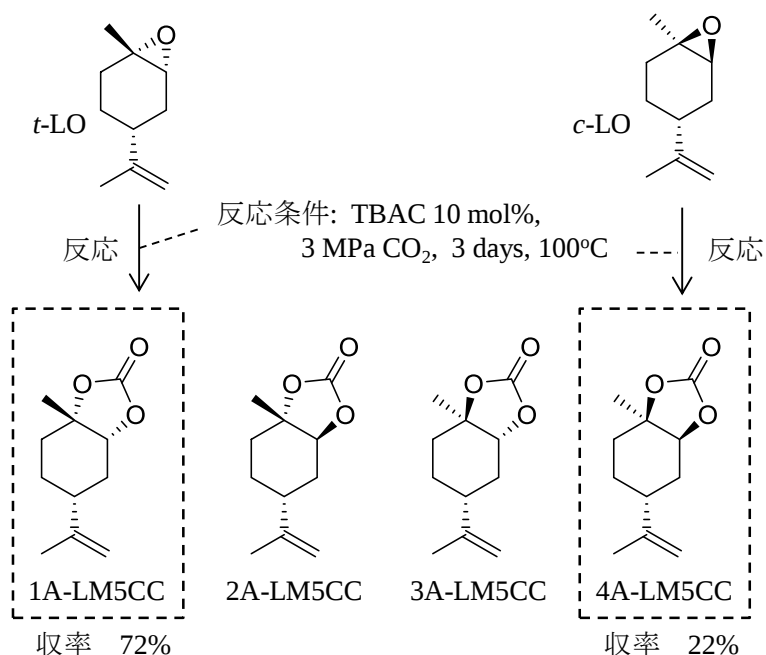


図 3 に、合成結果の概要を示す。反応条件は、図に記載の値とした。

図 3. t-LOから1A-LM5CC, c-LOから4A-LM5CCの合成

この際、市販のテトラブチルアンモニウムクロリド (${}^t\text{Bu}_4\text{NCl}$, TBAC) を触媒として、加圧 CO_2 を用いた。4 種の異性体に着目すると、この反応では、**LO** のトランス体 (**t-LO**) からは **1A-LM5CC** のみが、**LO** のシス体 (**c-LO**) から **4A-LM5CC** のみが選択的に合成された。反応液を NMR 解析すると、他の異性体 (**2A-**, **3A-LM5CC** など) の生成は認められず、かつ副生成物もほとんどなかった。シリカゲルカラムクロマト精製後の単離収率として、**1A-LM5CC** は 72%、**4A-LM5CC** は 22%であった。**4A-LM5CC** の収率が悪かったものの、市販の TBAC を用いて、簡便に合成できることが分かった。この結果を既報と比較すると、特別に調製した金属錯体触媒を使わずに **LM5CC** が合成できるメリットがある。また、**1A-LM5CC** の報告例はあるが、本研究が **4A-LM5CC** を単離決定した最初の例である。

(2) **LO** と CO_2 との反応挙動

LO と CO_2 の反応について、より詳細に検討した。**c-LO** と **t-LO** の混合物を市販品として入手し、これを表 1 記載の反応条件で、各種触媒存在下で CO_2 と反応させた。反応液を NMR 解析した結果の抜粋を表 1 に示す。触媒が TBAC の時が最もよい結果を示した。TBAC ($\text{X} = \text{Cl}$)、TBAB ($\text{X} = \text{Br}$)、TBAI ($\text{X} = \text{I}$) の順に、**LO** の転化率も **LM5CC** (**1A** と **4A** の混合物) の発生率も低下した。類似の 5CC 合成の報告例を参考にすると、この表 1 の結果は、カウンターイオンの求核性が $\text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{I}^-$ の順であることに対応した結果だといえる。

LiBr または LiCl を触媒に用いたときは、全く反応が進まなかった。Li 塩の溶解性が悪いためと考えられる。

表1. テトラブチルアンモニウムハライド (${}^t\text{Bu}_4\text{NX}$)^a を触媒とした **c-LO** と **t-LO** の混合物と CO_2 との反応^b 結果

entry	転化率 ^c (%)			反応液中の発生率 ^c (%)
ハライドイオン X	c-LO	t-LO	c-LO + t-LO	1A-LM5CC + 4A-LM5CC
Cl	19	76	51	50
Br	22	52	36	32
I	8	18	14	7

a) 10 mol% based on a mixture of **c-LO** and **t-LO**.

b) 100 °C, 20 h, 3MPa CO_2 . c) determined by ${}^1\text{H}$ NMR

次に、**c-LO** と **t-LO** の混合物を用いて、標準的な反応条件 (3 MPa CO_2 , 100°C, 10 mol% TBAC)

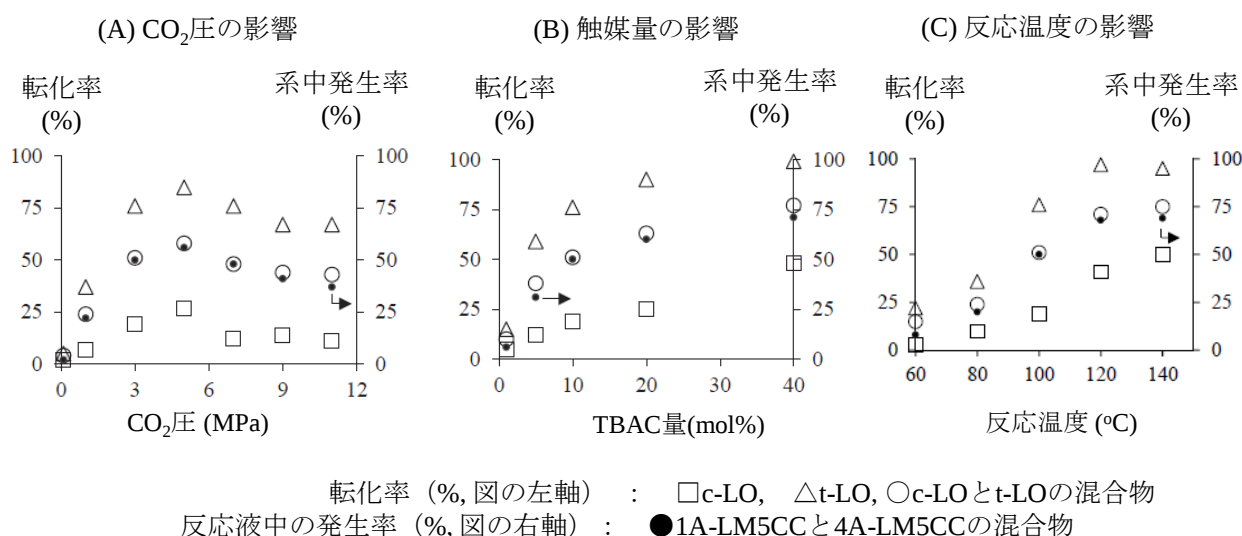


図 4. 反応条件を一つ変えたときの **LO** と CO_2 の反応の結果

からパラメーターを一つだけ変えて、反応挙動を評価した（図 4）。反応時間は 20h で固定した。CO₂ の圧力を変えたとき（図 4-A）、5 MPa の結果が最もよい結果を与えた。CO₂ 圧の増加とともに転化率や発生率が単調増加にならなかったのは、約 7MPa で CO₂ が相転移するためと思われる。

TBAC 量を増加させた（図 4-B）とき、測定範囲内で転化率等は単調増加した。しかし、**c-LO** の転化率は依然低いままだった。反応温度を上げた（図 4-C）とき、測定範囲内で転化率等は増加した。しかし、140°C では、副生成物が顕著に観測された。このため、反応温度は 100°C 程度が適切と考えられる。

以上の結果から、反応条件を適切に選ぶことによって、**LM5CC** を良好な収率で得ることが可能になったといえる。

(3) LMdiol の合成

ジオール誘導体 **LMdiol**（図 2）について、**2A-**及び **3A-LMdiol** は報告例が複数ある。しかし、**1A-LMdiol** と **4A-LMdiol** については、報告例が一部あるものの、その報告例間でデータが一致せず、確実な同定に至っていない。そこで、本計画ではじめて合成できた **4A-LM5CC** を用いて LiAlH₄ (LAH) 還元を行い、**4A-LMdiol** の合成を試みた（図 5, 左）。5CC 部位の LAH 還元では、その立体配置が保持されるとの特長を利用した。反応の結果、収率 93% で **4A-LMdiol** を得ることができ、単結晶 X 線構造解析の結果（図 5, 右）から確定することができた。

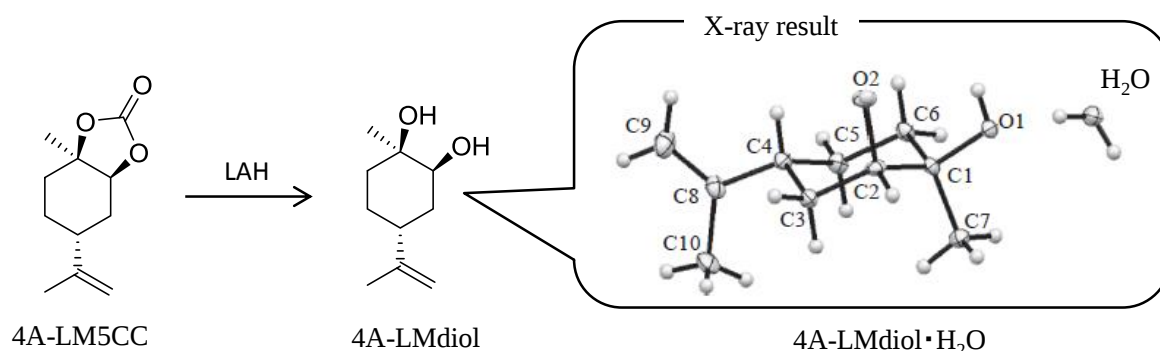


図 5. 4A-LM5CC の LAH 還元（左）と 4A-LMdiol の単結晶 X 線結晶構造解析の結果（右）

5. 今後の計画

LM5CC 及び **LMdiol** のそれぞれについて、4 種のジアステレオマー（図 2）を選択的に合成する。その化合物をポリマー化反応に適用する（**LM5CC** の開環重合やポリウレタン化反応）。

6. 研究成果の発表

本結果の内容の一部をまとめて、下記の査読付き学術論文にて報告した。

著者: Hiroshi Morikawa, Masato Minamoto, Yuuta Gorou, Jun-ichi Yamaguchi, Hisatoyo Morinaga, Suguru Motokucho.

論文タイトル: Two diastereomers of *d*-limonene-derived cyclic carbonates from *d*-limonene oxide and carbon dioxide with a tetrabutylammonium chloride catalyst.

発表媒体: *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 91 巻, pp.92 –94, 2018 年.

1. 研究の目的

人々を病気の感染から守り，経済性に優れた殺菌機能付き空気清浄機を実現するためには，高い殺菌率、殺菌時間の短縮とエネルギー効率の向上が必須である。

そこで，大気圧プラズマとマイクロ波の利用に着目した。本年度は，実験装置の設計製作、菌の代わりに粉体を用いてマイクロ波による加熱・燃焼を確認した。導波管内における粉体の配置位置とエネルギー吸収率、燃焼率の関係を検討したので報告する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

病院などの一般公共施設や食品関係など多くの工場では，病原性微生物の感染リスク低減に向け，様々な殺菌方法が利用されている。殺菌法としては，高圧水蒸気滅菌，酸化エチレングス滅菌，放射線滅菌など様々であるが，従来の滅菌・殺菌方法に変わる技術として，近年，プラズマ利用が注目されている。

そのなかで，空気中の浮遊菌に対する殺菌に対しては，プラズマで生成した活性種を放出する方法が用いられている。しかし，この方法は，例えば1 m³程度の非常に小さな空間では効果が示されるものの，一般的な居住空間では，あまり効果がないという報告もある。これは，人体への影響を考慮し，活性種の濃度を低くしているためであると考えられる。よって，病院待合室や一般家庭などの空気中の浮遊菌を効果的に除去し殺菌する技術が切望されている。

3. 期待される効果

大気圧プラズマの一種であるコロナ放電によって浮遊菌を帯電・捕集するとともに，生成される活性酸素種（Reactive Oxygen Species: ROS）で捕集菌の細胞膜にダメージを与える。さらに定期的にマイクロ波を照射し、捕集した菌のみを瞬間的に加熱し殺菌する。一般に、マイクロ波は、特定の物質を短時間で高温に加熱することが可能であり、エネルギー効率の高い殺菌装置が期待できる。

4. 研究の経過及び結果

4. 1 実験装置

実験システムを図1に示す。実験装置はソリッドステート電源(最大出力 200 W/2.45 GHz, SAIREM 製)、同軸導波管変換器(L=140 mm, エーイーティー製)、3 スタブチューナー(L=200

mm, GERLING 製)、導波管(L=300 mm, エーイーティー製)、短絡板(t=5 mm, エーイーティー製)によって構成した。導波管内の寸法は、縦幅 54.6 mm, 横幅 109.2 mm であり、終端に短絡板を設置し、波長 147.9 mm の定在波を発生させた。導波管内のマイクロ波の分布を CST STUDIO SUITE による電磁界解析から求め、電磁界の最大地点とその中間にカーボンブラック(日本粉体工業技術協会, JIS 試験用粉体 1) 2 g を入れたるつぼ(ムライト, 15 ml)を配置した。なお、磁界の最大は短絡板から 74 mm, 電界は 37 mm と 111 mm の位置である。その後、マイクロ波を出力 50 W で 5 分間照射し、燃焼率 η を照射前のカーボンブラックの質量 M_0 と照射後の質量 M の差から(1)式を用いて算出した。

$$\eta = \left(1 - \frac{M}{M_0}\right) \times 100\% \quad (1)$$

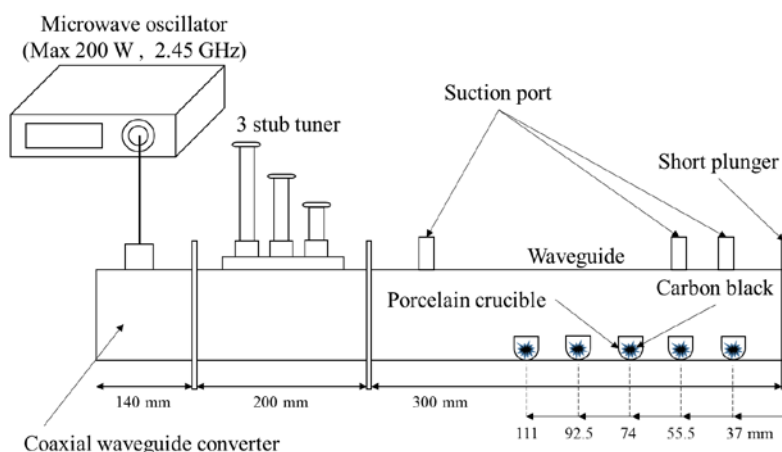


図 1. 実験システム

4. 2 結果及び検討

カーボンブラックの吸収電力と位置の関係を図 2 に示す。図中のプロットは 3 回の実験の平均値で、エラーバーは最大値と最小値で表している。吸収電力は 37 mm の位置で約 30 W であり、徐々に低下し 74 mm の位置で 13 W となっている。さらに 92.5 mm, 111 mm の位置で再び吸収電力は大きくなっている。37 mm と 111 mm は電界最大の位置であり、カーボンブラックがマイクロ波のエネルギーの電界成分をよく吸収しているのが分かる。一方、74 mm は磁界最大の位置であり、電界成分に比べ磁界成分は吸収しにくいことがわかる。しかし、いずれの位置においても電力吸収がみられ、カーボンブラックはマイクロ波の電界と磁界の両方の成分を吸収している。

導波管内の位置とカーボンブラックの燃焼率の関係を図 3 に示す。電界最大の 37 mm と 111 mm の位置をみると燃焼率は 14 %と 13 %であり、磁界最大の 74 mm では 11 %となっている。磁界最大の 74 mm における燃焼率に比べ、電界最大の 37 mm と 111 mm で燃焼率が高いのは、図 2 で示したように吸収電力が大きいためである。しかし、各位置における燃焼

率は11～16 %の間であり、いずれの位置においてもカーボンブラックを燃焼できている。

一般にマイクロ波の加熱率 Q は(2)式で表される。 σ は微粒子の導電率、 ε'' と μ'' は誘電率と透磁率の虚数部、 ω は角周波数、 E と B は微粒子内の電界と磁界である。第一項は伝導電流によるジュール加熱、第二項は誘電加熱、第三項は磁気損失による加熱である。カーボンブラックには電界で加熱される成分と磁気損失で加熱される成分が含まれているため燃焼したと考えられる。

$$Q = \frac{1}{2}\sigma|E|^2 + \frac{1}{2}\omega\varepsilon''|E|^2 + \frac{1}{2}\omega\mu''|B|^2 \quad (2)$$

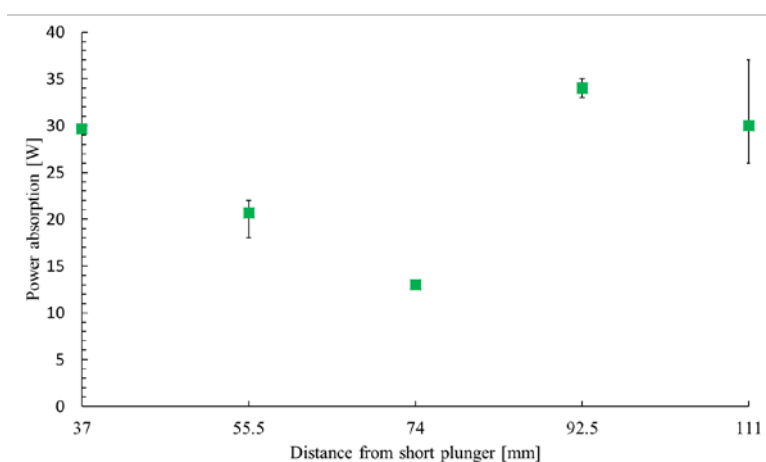


図2．吸収電力と位置の関係

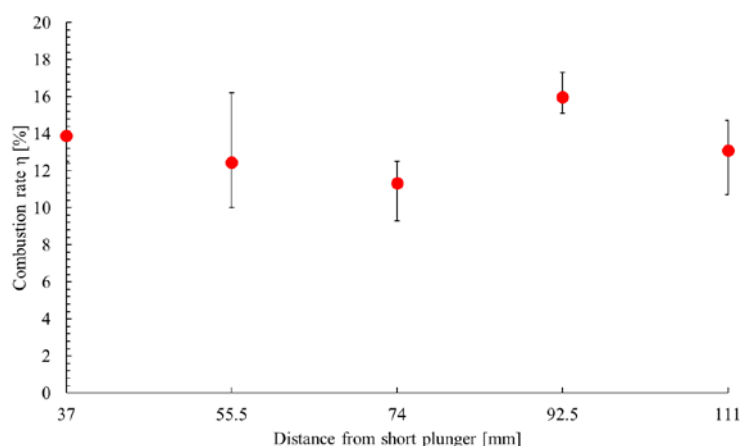


図3．燃料率と位置の関係

5. 今後の計画

今後は、殺菌に対するマイクロ波の効果、コロナ放電とマイクロ波を併用した際の効果を検討していく予定である。

6. 研究成果の発表

学術論文（査読有）

- 1) Akinori Zukeran, Hidetoshi Sawano, Kohei Ito, Ryo Oi, Iori Kobayashi, Risei Wada, Jun Sawai, “Investigation of inactivation process for microorganisms collected in an electrostatic precipitator,” *Journal of Electrostatics*, Vol.93, pp.70-77, 2017 (ELSEVIER)
- 2) 中田悠太, 瑞慶覧章朝, 澤井淳, 和田理征, 豊角浩之, 乾貴誌, 「パルス電界による海水の殺菌」, 静電気学会誌, Vol. 41, No. 5, pp. 233-238, 2017
- 3) 中田悠太, 奥知大, 瑞慶覧章朝, 澤井淳, 和田理征, 乾貴誌, 「2 室電解処理法による海水中の菌の不活性化に対する容積比率の影響」, 日本マリンエンジニアリング学会誌, Vol. 52, No. 4, pp.529-534 頁, 2017

学会発表

- 1) Soma Toguchi, Akinori Zukeran, Hiroyuki Toyozumi, Takashi Inui, “Investigation of power absorption on combustion of carbon black using microwave,” *International Aerosol Conference 2018*, 2018（発表予定）
- 2) Takumi Yazawa, Munehiro Shiraisi, Akinori Zukeran, Wada Risei, Jun Sawai, “Investigation of oxidation effect in inactivation by an electrostatic precipitator with humidifier,” *International Aerosol Conference 2018*, 2018（発表予定）
- 3) 中田悠太, 瑞慶覧章朝, 澤井淳, 和田理征, 豊角浩之, 乾貴誌, 「パルス電解による海水中微生物の不活性化における生物サイズの影響」, 2018 年度静電気学会春季講演会, 2018
- 4) 渡久地崇磨, 大井諒, 中田悠太, 瑞慶覧章朝, 澤井淳, 和田理征, 「コロナ放電による殺菌プロセス検討におけるタンパク質量の評価」, 日本防菌防黴学会第 44 回年次大会, 2017
- 5) 中田悠太, 瑞慶覧章朝, 澤井淳, 和田理征, 乾貴誌, 「パルス電界による海水の殺菌に対する薬品の効果」, 日本防菌防黴学会第 44 回年次大会, 2017
- 6) K. Yasumoto, A. Zukeran, I. Kobayashi, W. Risei, J. Sawai, “Improving inactivation effect for microorganisms in an electrostatic precipitator operated under low ozone concentration by humidification,” *European Aerosol Conference 2017*(Zurich, Switzerland), 2017
- 7) S. Toguchi, R. Oi, M. Shiraishi, A. Zukeran, R. Wada, J. Sawai, “Investigation of inactivation process in an electrostatic precipitator by estimating protein quantitation,” *European Aerosol Conference 2017*(Zurich, Switzerland), 2017
- 8) Y. Nakada, Y. Komatsu, A. Zukeran, R. Wada, J. Sawai, T. Inui, “The effect of Na_2CO_3 on inactivation of *Zygosaccharomyces rouxii* in seawater using pulsed electric field,” *European Aerosol Conference 2017*(Zurich, Switzerland), 2017
- 9) A. Zukeran, R. Oi, I. Kobayashi, R. Wada, J. Sawai, “Investigation of inactivation process for

microorganism collected in an electrostatic precipitator”, International Symposium on Electrohydrodynamics (Ottawa Canada), 2017

- 10) 中田悠太, 小松偉仁, 瑞慶覧章朝, 澤井淳, 和田理征, 乾貴誌, 「パルス電界による海水の殺菌に対する Na_2SO_3 及び NaHCO_3 の効果」, 第 87 回 (平成 29 年) マリンエンジニアリング学術講演会, 2017

研 究 課 題 名： 高空風力を利用する浮遊型発電システムの開発研究

研究者名：工学部機械工学科	大久保博志
〃	水野 敏広
創造工学部ロボット工学科	吉野 和芳
創造工学部非常勤講師	石濱 正男
(株)TMIT 研究開発部	藤井 裕矩

1. 研究の目的

本研究は高空風力のエネルギーを利用する発電システムの初期実証モデルを開発することを目的としている。都市部のキャノピー層を越えたところでの恒常的で安定している風力を用いるために宇宙新技術であるテザー技術、さらに、宇宙エレベーターで技術開発が進んでいるクライマー技術を適用する点にある。このためには、1) 都市部のキャノピー層より上本研究の最終目標は浮遊型装置を用いた高空風力発電システムの初期実証モデルの開発であるが、将来的にはギガワット級の風力発電を都市部上空の安定した風力エネルギーを利用できるシステムに発展させることが最終目標である。

本研究の成果をベースに NEDO や神奈川県等の資金を得て、地域からの自然エネルギー活用の情報発信をすすめ、神奈川工科大学がその牽引者としての役割を果たせることを目指す。高空の風力エネルギーを、損失を得ることなく地上に伝達する必要がある。風車を装備する飛行体のデザインを決定し、テザー制御技術により安定的に地上にトルクを伝達するシステムを開発することが目標である。

2. 研究の必要性及び従来の研究

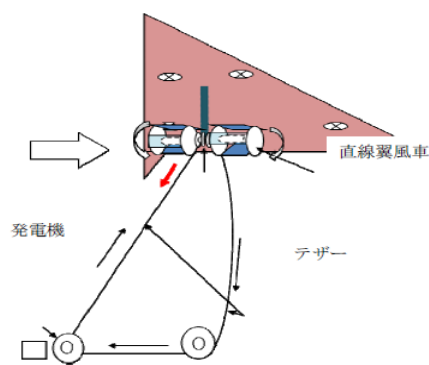
風力発電システムは、洋上モデルなど大型化が進んでいるが、建設コストが高いこと、台風などの気象条件への適合性など課題も多い。一方、良質な風力が高空で得られることから浮遊式の風力発電手法が注目されている。特に最近の材料技術、IT 技術、制御技術など最先端技術により、その実用性、可能性が広がっている。世界的にみても、飛行船型、風型、飛行機型など様々なシステムが提案されており、とりわけオランダの Delft 工科大学ベンチャー Ampyx Power 社による 8 の字飛行する自動誘導グライダーを用いたシステムは、本研究と同様にテザーを用いて地上設置の発電機を駆動するシステムであり注目される。わが国では、浮遊型プラットフォームを用いる高空風力発電の研究グループ (TMIT、神奈川工科大学、九州大学、都立産業高専、大阪府立大学、日本大学、前田建設など) が風型飛行船とテザー技術を用いる風力発電システムの開発を進めている。本研究では、その成果をもとに初期実証モデルを開発し、中低空での発電試験を実施する。

3. 期待される効果

他の浮遊型浮力発電システムが発電機を機上に装備するのに対して、本研究で提案するシステムは発電機を地上に設置し、上空の風車のエネルギーをテザー技術により地上に伝達し発電する独創的なものである。都市近郊における風力エネルギーを有効利用する発電システムとして、また、本研究は航空宇宙学専攻を有する神奈川工科大学が牽引するのにふさわしい有望なシーズ技術であり、世界的にも注目される研究である。

高空大気の風力エネルギーを利用する浮遊型発電システムを実現するために下記の技術の獲得を目指す。

- 1) 高空の風力を利用するために風車を、都市部キャノピー上空の安定した位置に設置すること。
 - 2) 上空で得られた風力エネルギーを地上に損失が少なくなるように送ること。
- そのために必要とされる以下の技術的な課題に取り組む。
- ・ 浮上型プラットフォームを、風車を高空に安定な位置と姿勢で設置するための技術を、設計による受動的、また、制御による能動的な技術として開発する。古来より伝統のある凧の技術、アドバルーン浮揚技術、モデルロケット打ち上げ技術、(無人) 模型飛行機技術について、すでに実験経験を有しており、風車を高空に浮遊させる場合の安全性の確保についても経験がある。
 - ・ テザー（引き綱）によって効率良くエネルギー伝送を行うため、受動的あるいは制御による能動的な技術として設計開発する。
 - ・ 風力発電における定常的な発電による利便性の向上、高空の強い風を用いることによる品質向上、性能改良に資する技術を開発する。
 - ・ 短時間の停電時においても、地域・ビル・家屋等に非常用電源を供給可能な再生可能エネルギー利用システムに関連する技術の開発。
 - ・ 独立運転可能な再生可能エネルギー利用システムに関連する技術開発（例えば建設現場、ODA、発展途上国、極地、原野、レジャー、山間地：整地困難でソーラーなどが活用できない山村、離島での使用。）離島をはじめとする無電源地帯への電力の供給などの応用について検討する。



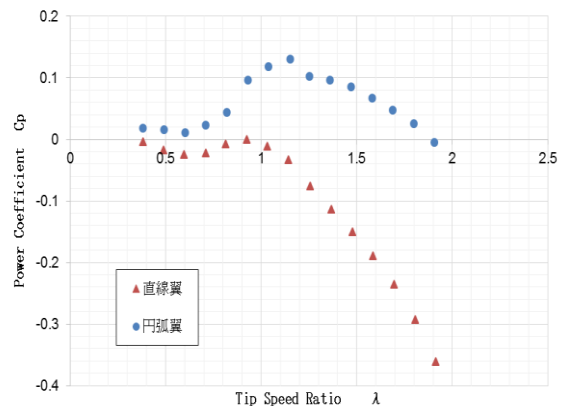
高空風力発電システムの概念図

4. 研究の経過及び結果

■第1+フェーズモデル風車の開発

第1+フェーズモデル風車（ $\phi 0.3\text{m} \times \text{スパン } 0.3\text{m} \times 1$ 対）の開発を行った。

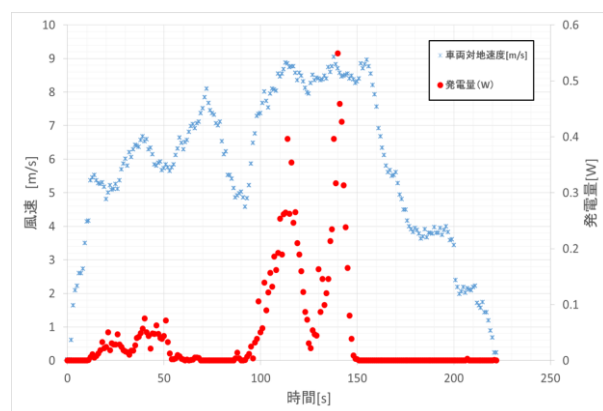
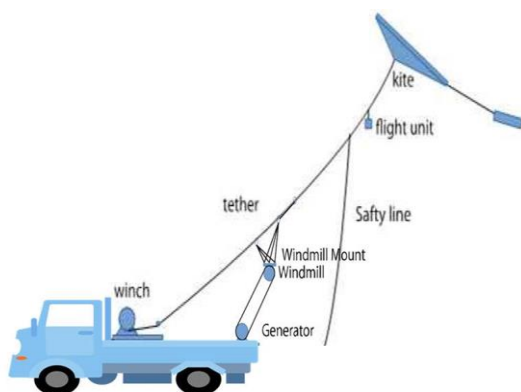
- ・飛行試験モデルの製作と飛行試験に用いるテザーによる動力伝達試験を実施
- ・ブレード空力性能試験の実施（東京工芸大 2m 風洞、平成 29 年 12 月）
- ・3次元風車性能試験の実施（工芸大 2m 風洞、同年 12 月）



フェーズ1+モデルの性能試験（東京工芸大風工学センター，2017年12月）

■フィールド発電実証試験

性能試験の結果より円弧翼が本システムには適していると判断し、円弧翼で製作した第1+フェーズ1+モデルを妻沼グライダー滑空場でフィールド発電実証試験を実施した。車両により牽引することで風と風車を浮揚させ、テザーを用いて車上の発電機に力を伝達し、発電が可能であることを確認した。自己起動性は悪いものの始動後はスムーズに回転し続け、風速 $4 \sim 6\text{m/s}$ の状況において最大で 0.6W の発電が確認された。



第1+フェーズモデルの風洞試験（妻沼滑空場, 2017年11月）

5. まとめと今後の計画

高空風力発電システムの発電実証を目的として、第1+フェーズモデルを開発し、風洞試験およびフィールド実証試験を行なった。ブレードが発電性能に与える影響を風洞試験により比較し、選定した円弧翼モデル風車を用いてフィールド発電実証試験を実施した。その結果、風速が安定した状態であれば、風車はスムーズに回転を続け、地上の発電機に力を伝達することにより発電が可能であることを初めて実証した。

フィールド試験は時間的制約や場所確保の問題から車両走行による実証試験となったが、風速 4m/s 程度の環境下であれば発電が可能となることが期待される。

今後は、風車の性能を向上させるとともに、地上への動力伝達機構の改良、安定した運用環境の構築など、フィールドでの発電実証試験を進め、問題点を1つひとつ解決することにより、十分な発電量の実証提示とが必要である。

6. 研究成果の発表

- 1) 藤井裕矩, 丸山勇祐, 大久保博志, 草谷大郎, テザー型高空風力発電の研究-2016年度進捗報告, 日本機械学会関東支部第23期総会講演会, OS0201-01, 東京理科大学 (2017年3月).
- 2) 原田恭輔, 佐藤強, 相原浩司, 小川慎平, 大久保博志, 藤井裕矩, 遠藤大希, 丸山勇祐, テザー型高空風力発電の研究-直線翼風車モデル(Phase1.5)の風洞試験, 日本機械学会関東支部第23期総会講演会, OS0201-02, 東京理科大学 (2017年3月).
- 3) 大久保博志, 小川慎平, 相原浩司, 原田恭輔, 佐藤強, 藤井裕矩, 岩原誠, 丸山勇祐, 「テザー型高空風力発電の研究-テザーによる動力伝達について」, 日本機械学会関東支部第23期総会講演会, OS0202-02, 東京理科大学 (2017年3月).
- 4) H. Fujii, H. Okubo, et al., High Sky Wind-energy Generation on a Tethered System, Airborne Wind Energy Conference, Freiburg, Germany, October, 2017.
- 5) 藤井裕矩, 大久保博志ほか, 高空風力発電手法のレビューと我が国における研究について, 風力エネルギーシンポジウム, 科学技術館, 東京 (2017年12月).

携帯端末を利用した手話認識システムの開発と評価

情報メディア学科	西村 広光
情報工学科	田中 博
ロボットメカトロニクス学科	高尾 秀伸

1. 研究の目的

バリアフリーなコミュニケーションの実現に向けて、情報技術を活用した手話認識システム構築への要求は高い。データ入力グローブを利用したり、距離センサを領したりする多様なアプローチも報告されているが、広く普及させるには身近な携帯端末で実現可能なシステムにすることが不可欠であると考え。そこで本研究では、手話表現者に指ごとに色付けした手袋（以下カラーグローブと記す）を装着させることで、携帯端末のカメラ画像のみを利用し、手話認識を実現する技術を構築してきた。本研究課題としては、これまでに構築してきた技術を携帯端末に実装し、実用化可能な段階まで性能を高めていくことを3か年計画の目標に掲げて進めてきている。

具体的目標としては、2020年度東京パラリンピックに向けて、来日された手話を利用される障がい者に対して、道案内や買い物程度の日常会話を対象としたマルチリンガルな手話認識を携帯アプリとして提供することを目指している。そのため次の3段階の目標をおいて研究・開発を進めてきている。

- [1] 手話学習時の学習補助システムとして、Web映像教材の手話と、PCの前で行った自分の手話が正しいかどうか判定するシステムを構築する。すなわち、単語ごとに行われる手話動作を辞書登録手話との比較し、同一とみなせるかどうかの判定システムを構築する。
- [2] 単語語彙数を増やし、手話単語認識システムに拡張する。
さらに、単語と単語が連続に表現される一般的な手話動作に対応させる技術検討を進める。
- [3] 日本語以外の手話に対応する技術について検討を進め、マルチリンガルな手話認識システムに向けた拡張を進める。

この[1]についての基礎技術のデモシステムを完成させており、CEATEC展示会をはじめ技術展などでここまで完成した技術をPRしていく。

さらに、対応可能な手話語彙数を増やすことが本年度の最大の目標である。そのため、手話インストラクターを招き、指導者の下で正確な手話動作のデータベースを構築し、当該分野の研究促進のために広く公開していくことも目標の一つである。手話データ採取の際に、適切な手話動作であることをネイティブ手話者の監修下で行ってきた。認識対象の手話語彙を増やす際にも、同様の監修を依頼し、信頼度の高い手話

動作データのデータベースを構築し、国内の手話認識研究の評価指標データベースとして公開することを目指して進めていく。

さらに、手話認識対象の語彙数を増やしていくためには、認識精度を今以上に高める必要がある。そのため、深層学習理論や協調学習などの技術を融合した高精度な手話認識システムに発展させていく計画である。

2. 研究の必要性及び従来の研究

手話認識実現に向けた主なアプローチには、画像認識の利用、加速度センサの利用、センサグローブの利用といった手法がある。加速度センサを利用する場合、手首の動きを高精度に認識できるが、手話認識において重要な手指の状態を認識することが困難である。また、センサグローブを用する場合、装置が高価になることに加え、専用に設計されたセンサデバイスを携帯することが難しく、手話利用者とのコミュニケーションツールとして利用することは難しい。そのため、手指まで正確に認識することを目指す場合、画像認識技術を応用することが一般的に選択される。画像認識を利用する場合でも、Kinect などを利用した距離画像を利用した手法も近年多く報告されているが、近赤外線画像の取得を必要とするため、屋外での利用が困難なことや、装置が大きく携帯するコミュニケーション支援デバイスに不向きであるといえる。そこで本研究は、一般的携帯端末で実装可能な手話認識技術を前提条件とし、可視光カメラを用いた手指認識技術の研究を進めてきている。

可視光を利用した手指認識においては、肌色情報を利用して手指を認識する手法も報告されている。しかし肌色情報のみの利用では、手指のオクルージョンが発生した場合に正しく認識を行うことが困難である。そこで本研究では、指ごとに異なる着色をしたカラーグローブを独自に設計し、色情報により手指の状態を認識する基本技術をこれまでに開発してきた。

安価なカラーグローブによる手話認識実現のため、本研究では、一般に販売されている安価なカラー手袋を切り取って重ね、カラーリストバンドを装着するだけのものとして設計し、身近な手話コミュニケーションの場に安価で導入できるシステムの開発を試みてきている。これにより障がい者支援システムの普及に欠かせない導入コストを抑えることに成功している。

3. 期待される効果

手話指導者が監修した手話データを大規模に収集したデータベースは存在せず、評価指標データベースを構築し、公開することは当該研究分野における技術発展に大きく寄与できる。このデータベースを拡充・構築して公開していくことは、国内の手話認識研究を牽引し、本学の知名度向上に貢献できる。

これまでに数多くの手話認識の基礎研究の報告はあるものの、実用レベルの語彙数で行っている研究例はない。加えて本研究のほかに、携帯可能なデバイスで実現可能な技術開発を進めている報告は見当たらない。こうした点から、従来の手話認識基礎研究と本研究は大きく異なるといえる。

4. 研究の経過及び結果

平成 22 年度より、手の動作認識の研究を開始した。当初は加速度センサを利用した腕のふり方を認識の技術であったが、より汎用性を高めていくためにカラー手袋をした手の動きをカメラで認識する技術開発に発展させていった。

平成 26 年からは、認識対象を手話に絞り込み、手話動作データベースの開発を開始しながら、手話認識の基本技術の開発をすすめてきた。

本重点配分予算対象となった平成 29 年度では、ネイティブ手話者監修の手話データベースの構築が進み、これまでに医療用単語約 40 種を 8 人の被験者で 30 動作ずつを収録できている。

さらに、DP マッチング、決定木、ニューラルネットワーク、隠れマルコフモデル、サポートベクターマシンなど複数の認識手法を組み合わせた手話動作認識システムを構築してきた。構築したシステムは、サーバクライアントシステムとして、標準的な Android 端末で動作可能なシステムとして開発ができる。

5. 今後の計画

昨年度までの成果公表を進める。手話学習支援のデモ展示可能な携帯端末上のシステムとして完成度を高め、CEATEC 展示会をはじめ技術展などで完成技術を PR する。

さらに、対応可能な手話語彙数を増やすことが本年度の最大の目標である。そのためネイティブ手話者監修下で、正確な手話動作のデータベースを構築し、当該分野の研究促進のために広く公開していくことも目標の一つである。信頼度の高い手話動作データのデータベースを構築し、国内の手話認識研究の評価指標データベースとして公開することを目標に進めていく。加えて、日本語以外の手話データベースの構築についても調査を進め、監修依頼できる方（組織）を見つけ、データベース構築を進める計画である。

6. 研究成果の発表

本研究に関連して、これまでに下記の成果を発表した。

H29 年度

- 手話認識用データベースの構築と手話認識における動作画像領域の重要度の検討, 2018 年電子情報通信学会 学生ポスターセッション ISS-A-029, 宇都宮彼方, 岡安優奈, 小澤辰典, 田中 博, 西村広光
- サーバクライアント型の携帯端末による手話認識システムの構築
2018 年電子情報通信学会 学生ポスターセッション ISS-A-032
渡辺龍之介, 内田丈士, 錦澤竜也, 馬場夏昭, 岡安優奈, 小澤辰典, 田中 博, 西村広光
- 両手で行う手話動作に関する認識手法の基本検討とその評価
第 6 回教育システム情報学会 研究会, JSiSE Research Report vol. 32, no. 6, P. 85-91
岡安優奈, 小澤辰典, 西村広光, 田中博, 小林大輔, 岩本典夫, 加藤秀司
- 特徴量と複数の識別器の統合による手話認識性能向上
HCG シンポジウム 2017, HCG2017-A-8-3, 5pages
小澤辰典, 岡安優奈, マイタイダーラン, 西村広光, 田中博, 小林大輔, 岩本典夫, 加藤秀可
- 複数の弱識別器統合による手話認識性能の向上
2017 信学ソ大, B-20-3, p. 386
小澤 辰典, 岡安 優奈, Maitai Dahlan, 西村 広光, 田中 博, 小林大輔, 岩本典夫, 加藤秀司
- Performance enhancement by combining visual clues to identify sign language motions
IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (Pac Rim2017), 4pages, University of Victoria, Victoria, B.C., Canada[Best Paper Award]
Y. Okayasu, T. Ozawa, M. Dahlan, H. Nishimura, and H. Tanaka
- Investigation of Feature Elements and Performance Improvement for Sign Language Recognition by Hidden Markov Model
Human-Computer Interaction International 2017(HCII2017), LNCS 10278, pp.77-88, Vancouver Convention Centre, Vancouver, Canada
T. Ozawa, H. Shibata, H. Nishimura, and H. Tanaka
- TBS 未来の起源 -声なき声を届けます- 2017 年 5 月 14 日放映, 小澤辰典
- カラー手袋で手や指識別 -手話学習システム開発-
日刊工業新聞, 2017 年 5 月 10 日

H28 年度

- DP マッチングから得られた認識対象のクラス絞り込みによる HMM を用いた手話認識制度の向上
2017 信学総大, H-4-12, p. 278
小澤辰典, 柴田 紘俊, 田中 博, 西村 広光, 小林 大輔, 岩本 典夫, 加藤 秀司
- 手話認識に向けた動作特徴分析に関する一検討
2017 年電子情報通信学会 学生ポスターセッション, ISS-P-121
宇都宮 彼方, 流 凌太, 小澤 辰典, 田中 博, 西村 広光
- 手話認識における HMM 特徴量の検討による認識性能向上
HCG シンポジウム 2016, HCG2016-A-4-2, pp. 309-315
柴田 紘俊, 小澤 辰典, 西村 広光, 田中 博, 小林 大輔, 岩本 典夫, 加藤 秀司
- 複数の手話者データを HMM に学習させた識別性能の評価
2016 信学ソ大, B-20-22, p. 451
小澤 辰典, 柴田 紘俊, 田中 博, 西村 広光
- DP マッチングと HMM を用いた手話認識性能の向上
2016 信学ソ大, B-20-21, p. 450
柴田 紘俊, 西村 広光, 田中 博, Phraewa Taratarn, Kaevalin Ampun, 小林 大輔, 岩本 典夫, 加藤 秀司
- Basic Investigation for Improvement of Sign Language Recognition Using Classification Scheme
Human-Computer Interaction International 2016(HCII2016), LNCS 9734, pp. 563-574, The Westin Harbour Castle Hotel, Toronto, Canada
Hirotoshi Shibata, Hiromitsu Nishimura, Hiroshi Tanaka

※ H28 年度より本重点配分となったため、
H27 年以前の成果は本成果報告書では省略致します。

不可視に構造化された光による 実空間、実物体ベースの新しいメディア表現法の研究

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

本研究は、不可視に構造化した光、具体的には、微小な空間変調又は時空間変調した光を用いて、実空間中の任意の場所や実空間中に存在する実物体上にその場所や物体に関する情報を潜在させ、空間や物体を撮像した画像に情報を不可視に付加できる技術を実現し、光を利用した実空間、実物体ベースの新しいメディア表現とその応用の創出を目的とする。

そして、その応用として、従来の情報セキュリティ技術では不可能であった肖像価値の高い実物体の撮像画像に対し肖像権を保護する技術、実物体の撮像画像が本物であることを証明する技術、空間の奥行き情報を不可視情報として付加することにより通常の方法で撮像した2次元画像から3次元画像を生成可能にする技術などを検討し、これらの技術について実用化レベルに高度化することを目標とする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

近年、インターネットの普及を背景にデジタルコンテンツの流通が活発化し、これに伴いコンテンツの著作権保護の重要性が増している。そして、デジタルコンテンツの著作権保護を目的とした情報ハイディングと呼ばれるセキュリティ技術の開発が盛んである。これはある情報を人に気付かれないように別の情報の中に埋め込む技術であり、デジタルコンテンツの著作権保護のほか、コンテンツの付加価値を高める上でも有効な技術である。

本研究の申請者らは、情報ハイディングにおいて、情報の隠し場所をデジタルコンテンツの中から、実空間中や実物体上へと拡張し、コンテンツの中に情報を埋め込む場合と同様に、実際の空間や実物体上に情報を不可視に潜在させることができれば、セキュリティ分野はもちろん、その他の様々な分野においても多くの新しい応用を創出できると考えた。そして、実際の空間中に情報を潜在させる方法として、光の中に情報を埋め込む方法を提案した。この方法は、光の輝度を視覚系の知覚限界以下に変調して空間に放つ。これにより光に不可視に情報を含ませ、その光が照射された空間や実物体の表面に人間に気付かれないように情報を付加することができる。そして不可視であっても光に情報が含まれていれば、その光で照明された被写体を撮像した画像にも同じ情報が不可視に含まれるはずである。この情報を必要に応じて携帯端末等のカメラで取り出して活用するというのが本技術の基本概念である。申請者らはこれまでにこの基本概念の原理的可能性を示した。提案技術を実用化するためには、埋め込む情報の不可視性・可読性を検証し、さらに技術の高度化を図ることが必要である。

3. 期待される効果

本研究の提案技術が実用化できると、セキュリティ分野においては、肖像価値の高い実物体の肖像権保護が可能となる。さらに、実物体の撮像画像が本物であることも証明できるので、写真付き公文書の偽造防止なども可能となる。これらは、いずれも従来の情報セキュリティ技術では解決できなかった問題である。さらに、光の構造化特性を空間の3次元座標に依存させれば、実空間を撮像した画像にその空間の3次元情報を含めることができるので、通常は伝送や蓄積に有利な2次元画像の形態で扱い、必要に応じて2次元画像から3次元情報を抽出して3次元画像を生成することが可能になる。さらに、実物体に関する情報を必要とする人に、その存在を意識させることなく、携帯端末を介して提供できるサービスも可能となる。

4. 研究の経過及び結果

平成29年度においては、光の輝度の時空間変調を用いて実物体の肖像権を不正な撮影から保護する技術、3次元空間情報埋め込み技術を提案し、評価・検討を行った。

(1) 光の輝度の時空間変調を用いて実物体の肖像権を不正な撮影から保護する技術(光の輝度の時空間変調を用いた実物体に対する光学式透かし技術)

スマートフォンなど動画撮影が可能な携帯端末の普及に対応し、本研究の対象をワンショットの静止画撮影だけでなく、動画撮影にも広げるため、光の構造化技術の拡幅を行った。すなわち、ビデオカメラで撮影された現実の被写体の動画像の中に、不可視にパターン情報を埋め込み、それを抽出することができる技術を提案した。

提案方法は、情報を表現するパターン領域について、目に知覚できない微小な振幅 δB でフレーム周波数によって輝度変調を行う光を用いる。この光で照明された被写体を撮像すると、撮影画像にはパターン情報が不可視に埋め込まれる。この撮像した動画に対して、連続する2つのフレーム間の差分画像を計算すると、撮影されたフレーム画像において光の変調 δB がある部分は、差分画像においてその部分の輝度は $2\delta B$ 以下の正の値になり、一方、撮影されたフレーム画像において変調 δB がない部分は、差分画像においてその部分の輝度は相殺されて輝度値は0になることが期待される。結果として、差分画像において、輝度はパターンが埋め込まれた領域のみに表れる。しかし、差分画像上この光の変調がある部分の輝度値は小さいため(最大 $2\delta B$)、抽出したパターンは明確ではない。そこで、そのパターンを明確にするために、撮影した動画像の数十フレームに対する差分画像を合計する。このようにして、埋め込まれたパターンを抽出する方法を提案した。

照明する光の平均輝度を200とし、パターンを埋め込む色チャンネルを緑、振幅変調値 δB を実験パラメータとして、パターンの不可視性と可読性について検証を行った。

振幅変調値 δB を10とし、撮影した動画像上でのパターンの不可視性を調べた。実験の結果、撮影された動画像のフレーム画像において、埋め込まれたパターンは知覚できないことを

確認した。

つぎに、実験パラメータである輝度の振幅の変調値 δB の値を 6, 10, 20 として、撮影した動画像に埋め込まれたパタンの可読性を検証した。実験の結果、 δB が 10 以上で埋め込まれたパタンを明確に認識できた。

しかし、すべての δB に対して、被写体画像はキャンセルされず、相当なノイズとして残っていた。すなわち、そのノイズはパタン情報の可読性を低下させていた。そこで、このノイズを削減することにより、埋め込まれたパタン情報の可読性を改善する方法を提案し、その効果を検証した。

提案したノイズを削減する方法は、パタン情報が埋め込まれた色チャネルとパタン情報が埋め込まれていない色チャネルとの間の相関関係、および、埋め込まれたパタン情報の大きさ特性を用いた。実験の結果、提案方法によってノイズは劇的に削減することができ、抽出したパタンの可読性は改善した。結果として、提案技術の効果が実証された。

(2) 3次元空間情報埋め込み技術（光の輝度の空間変調を用いた実空間に対する光学式透かし技術）

これまでに、光を用いて空間に奥行き情報を不可視の状態が付加し、必要に応じてその空間を撮像した2次元画像から奥行き情報を抽出し、3次元画像を生成可能にする技術を提案し、評価してきた。

この技術は、光源から被写体までの距離に依存して特性が変化するパタンを用い、そのパタンを不可視に含む光を空間に照射する。その光が照射された空間を撮像すると、その撮像された画像の中に、空間の奥行き情報が不可視に埋め込まれる。そこで、その空間を撮像した画像からパタンの特性を解析することによって、空間の奥行き情報を得ることができる。そして、この奥行き情報からデプスマップを生成する。従って、通常のカメラで撮像した画像から3次元画像を生成することができる。

上記の概念を具現化するために、まず、光源とカメラを奥行き方向に一定距離だけ離して配置し、パタンとして周期パタン、具体的にはモノクロのラインアンドスペース・パタンを用いた。そして、そのパタンを不可視に含む光を用い、その光を光源から空間に照射した。その光が照射された空間を撮像すると、その撮像された画像の中に、周期パタンが奥行き距離に依存して写った。ここで、その撮像した画像に写った周期パタンの空間周波数は、奥行き距離に依存して変化していた。従って、その空間を撮像した画像に写った周期パタンの空間周波数を求めることによって、空間の奥行き情報を取得することができた。

これまでの研究では、投影パタンとしてモノクロのラインアンドスペース・パタンを用いた。しかし、パタンの可読性を高めるためにそのコントラストを高めると、その結果、パタンの不可視性が低下した。一方、パタンの不可視性を高めるためにそのコントラストを低めると、その結果、パタンの可読性が低下した。従って、この技術はパタンの不可視性と可読性が両立する必要がある、この両立性を改善することが必要であることが判明した。

そこで、本研究では、パタンの不可視性と可読性との間の両立性を改善する方法を提案し、評価した。その方法は、第1に、人間の目による認識に対する不可視性を強化するために、パタンのデータを投影光の青チャネルのみ置き、さらに、パタンの形状をチェッカーボード・パターンとする。なぜならば、青色は、赤と緑の色よりも、人間の目に対して鈍化であるからである。また、チェッカーボード・パターンは、2次元に広がる隙間を持っているため、高い不可視性をもたらすと考えた。第2に、パタンの可読性を強化するために、高いコントラストを維持する。第3に、撮影した画像上のパタンの不可視性を強化するために、撮影した画像上、青チャネル上のチェッカーボード・パターンにより生じたパターンノイズを削除する処理を導入する。この処理は、撮影した画像に対して、パタンのデータを持っていない赤チャネルの値を用いて、パターンが存在しなかった場合の青チャネルの空間周波数成分を推定することによって行う。

提案方法の効果を検証するための実験を行った。パターンは、幅2画素の正方形セルから成る青色のチェッカーボード・パターンを用いた。パタンの平均輝度を150、コントラストを100に設定した。

パタンの不可視性を確認するための実験を行った。まず、カメラで撮影された画像に対してパターンノイズを除去する処理を適用した後の画像、すなわち、再構成した画像を確認した。しかし、その画像上でパターンノイズは認識できなかった。さらに、再構成した画像に対して縦横2倍に拡大した画像を確認した。しかし、その拡大画像上でパターンノイズは認識できなかった。従って、パタンの不可視性が改善したことが確認された。

実験の結果、パタンの不可視性と可読性との間の両立性は、提案方法を用いることによって改善されることが実証された。

5. 今後の計画

平成29年度までの成果に基づき、不可視に微小変調した光による実物体撮像画像への情報付加技術について、技術の高度化を図り実用レベルに完成度を高める。また、技術を拡幅化して応用領域を拡張する。

技術の高度化として、埋め込み情報の可読性と不可視性を共に向上させる方法を検討する。可読性を高めるために単に埋め込みの強度を強めると不可視性が低下する。すなわち、この両者はトレードオフの関係にあるので、マージンを広げて実用性を高める上で、これらの特性を独立して改善できる方法が求められる。可読性を向上させる方法として、誤り訂正などを取り入れたロバストな情報埋め込み技術について検討する。また、不可視性を向上させる方法として、光の変調における時空間変調技術についてさらに検討を進める。また、応用によっては投影光の段階では不可視性を求められないケースもある。そのようなケースでは撮像画像においてのみ不可視性を満足させ、これにより可読性を向上させる方法も検討する。これらの取り組みにより技術の完成度を高め、その効果を具体的応用において実用性の観点から評価する。

また、技術の拡張化として、単色光の利用により太陽光の下でも使用可能な技術を検討する。本技術は照明光を用いるため室内での使用を前提とするが、単色光の照明とカメラ側にその単色光を通過させる帯域フィルタを配置することにより、日中に屋外で利用可能になると考えられる。そのようなシステムを実現するとともにその応用も開拓する予定である。

6. 研究成果の発表

[1] H. Unno and K. Uehira, “Display Technique for Embedding Information in Real Object Images Using Temporally and Spatially Luminance-Modulated Light,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 53, no. 6, pp. 5966–5971, Nov.-Dec. 2017.

[2] Hiroshi Unno, Youichi Takashima, and Kazutake Uehira: “Improving Compatibility with Invisibility and Readability for New 3D Image Display Sysytem,” in *Proc. IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meeting*, 2017, pp. 1–8, doi: 10.1109/IAS.2017.8101802.

記号主義とコネクショニズムの融合による 次世代人工知能システムの基礎研究

I 科 松本 一教

1. 記号主義とコネクショニズム融合の必要性

2010 年頃からディープラーニング（深層学習）という新たな技術が誕生し、急速に実用化に向かっている。この技術により、ニューラルネットワークを用いた人工知能（AI）の研究開発が再び脚光を浴びるようになってきている。自動車の自動運転など、安全性が求められる分野においても、ニューラルネットワークの活用が進んでいる。同時に、ニューラルネットワークという技術の問題点も改めて浮上してきている。とくに、ニューラルネットワークのブラックボックス性の解決に向けた研究開発が重要な課題となってきている。

ニューラルネットワークがブラックボックスであるという問題は、学習済のニューラルネットワークの内部的な動作を説明できないということである。この問題は、3 層ニューラルネットワークでも共通であり、以前から存在した問題である。しかし、最近のように深層ニューラルネットワーク（複数の中間層を持つ 4 層以上の構造のもの）がよく使われるようになって、そのブラックボックス性がより大きくなったので、注目が集まっている。

ブラックボックス問題に関しては、ブラックボックス AI からホワイトボックス AI というスローガン、あるいは不透明な AI から透明な AI というスローガンも唱えられるようになってきている。ごく最近では、説明可能 AI（Explainable AI: XAI）として新たな研究開発分野が生まれつつある。

なお、学習結果に対するブラックボックス性はニューラルネットワークだけでなく、従来からの技術でも発生する。重回帰分析においても、回帰式の意味解釈を与えることが困難な場合があり一種のブラックボックスといえる場合も生じる。そこで本研究では、ニューラルネットワークに限定することなく、できる限り一般的な枠組みの中での研究を目指した。

本研究では、このようなブラックボックス問題への解決として、ニューラルネットワークや回帰式に対して、それを近似的に表現できる記号主義の表現として、ブール関数あるいはブール式を得ることを目標とした。

2. ブール関数としての近似

本研究の基本的考え方は、ニューラルネットワークの素子をブール関数で近似することである。以下では、ニューラルネットワークの素子を f_i とし、ブール関数を $g_i (g_i = 0, g_i = 1)$ とすると、近似の方法としては 0 または 1 のいずれかに解釈することになるので、ごく自然な方法として以下を得る。ただし、変数の数を n とすると、 $i = 1, 2, \dots, 2^n$ である。

$$g_i = \begin{cases} 1, & \text{if } f_i \geq 0.5 \\ 0, & \text{if } f_i < 0.5 \end{cases}$$

この方法は関数間の距離をユークリッド距離で測っていることになる．2変数の場合を図で示すと図1のようになる． x はニューラルネットワークによる値， $\circ$ はブール関数の値である．00, 01, 10, 11は定義域であり，00は $x=0, y=0$ を意味する．

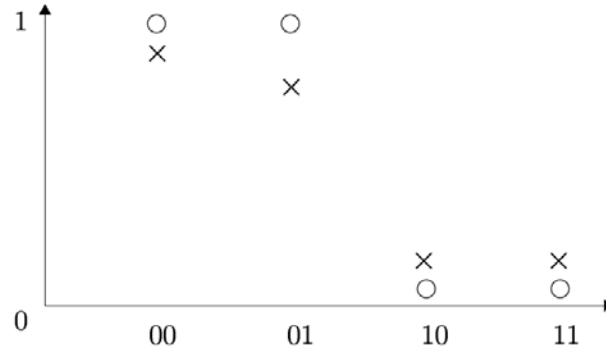


図1. ブール関数による近似

図1の場合のブール関数の値は以下となる．

$$g(0, 0) = 1, g(0, 1) = 1, g(1, 0) = 0, g(1, 1) = 0$$

一般にブール関数を $g(x_1, \dots, x_n)$ とし，あるブール関数の値を $g_i (i = 1, \dots, 2^n)$ とすると，そのブール関数は以下のように表現される，

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^{2^n} g_i a_i$$

ただし Σ は論理和で， a_i はそのブール関数の値 g_i に対応する以下のようなブール関数である．

$$a_i = \prod_{j=1}^n e(x_j)$$

ただし

$$e(x_j) = \begin{cases} \bar{x}_j & (e_j = 0) \\ x_j & (e_j = 1) \end{cases}$$

である．ここで Π は論理積であり， $\bar{x}$ は x の否定である． e_j は x_j への代入値であり， e_j は0

または 1 である。先の図 1 の場合は以下の通りである。

$$\begin{aligned} g(x, y) &= g(0, 0)\bar{x}\bar{y} + g(0, 1)\bar{x}y + g(1, 0)x\bar{y} + g(1, 1)xy \\ &= 1 \cdot \bar{x}\bar{y} + 1 \cdot \bar{x}y + 0 \cdot x\bar{y} + 0 \cdot xy \\ &= \bar{x}\bar{y} + \bar{x}y \\ &= \bar{x} \end{aligned}$$

3. 開発した手法の適用例

まず前章の方法を簡単な例題で説明する。

$$z = 0.3x - 0.5y + 0.6$$

に対して、 (x, y) の 4 つの定義域 $(1, 1)$ $(1, 0)$ $(0, 1)$ $(0, 0)$ での値は、各々、0.4, 0.9, 0.1, 0.6 となる。これらをブール関数で近似すると、各々、0, 1, 0, 1 となる。従って、2 番目の定義域 $(1, 0)$ と 4 番目の定義域 $(0, 0)$ で 1 で、ほかの定義域で 0 となるブール関数が求めるブール関数となるので、

$$x\bar{y} \vee \bar{x}\bar{y} = \bar{y}$$

として表現することができる。

実問題への適用では、ニューラルネットワークへの適用は複雑となるので、前章で述べた手法を回帰分析に適用する方法を説明する。表 1 で示すデータに対して、まずは正規化を行い全ての変数値を $[0, 1]$ の連続値へと変換する。なお、表 1 は製造条件の下での製品の品質を段階的な数値で表現したデータである。正規化後の結果が表 2 となる。

表 1. 元のデータ (製品の製造品質)

温度 [度]	時間 [分]	圧力 [kg/cm ²]	製品の品質
90	60	12	5
70	90	2	2
100	50	10	7
60	50	4	3

表 2. 正規化後のデータ

温度 (x)	時間 (y)	圧力 (z)	製品の品質 (w)
0.9	0.6	0.6	0.5
0.7	0.9	0.1	0.2
1.0	0.5	1.0	0.7
0.6	0.5	0.2	0.3

表 2 のデータに対して，通常の重回帰分析を適用すれば，

$$w=0.2x-0.2y+0.4z+0.2$$

となる．この回帰式に前章での手法を適用して得られるブール式は，

$$(x \vee \bar{y}) \wedge z \rightarrow w$$

となる．ただし， $\wedge$ は論理積 (AND)， $\vee$ は論理和 (OR)， $\neg$ は否定 (NOT) であり， $\rightarrow$ は「ならば」である．従って，このブール式を日本語で表現すれば，以下のように読むことができる．

(温度が高いか，または時間が短い) かつ圧力が高いならば製品の品質がよい

回帰式に対する定性的な解釈が自動的に得られており，人間によつての理解容易性を補助することができていることが確認できる．

3.1 ニューラルネットワークへの適用例

作為的ではあるが，排他的論理和 ($x\bar{y} \vee \bar{x}y$) を対象として，これに対応するニューラルネットワークに対するブール関数の抽出について説明する．なお，排他的論理和は 2 層のニューラルネットワーク，すなわちパーセプトロンでは学習できないことが明らかにされている．

(1) ニューラルネットワークの構成

いま図 2 のようなニューラルネットワークの構成を考える．ただし， x, y は入力， z は出力， t_i は中間素子の出力である． w_i は重み係数である．中間素子の出力 t_i と出力 z は，重み係数 w_i とバイアス h_i を用いて，以下のように計算される．

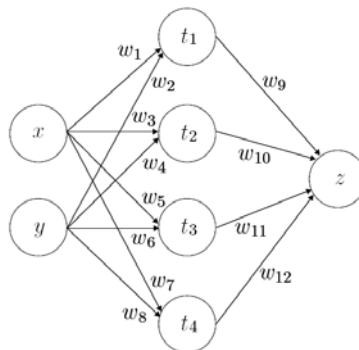


図 2 ニューラルネットワークの構造

この構造を数式で表現すれば，シグモイド関数 S を使って以下のようになる：

$$\begin{aligned}
t_1 &= S(w_1x + w_2y + h_1) \\
t_2 &= S(w_3x + w_4y + h_2) \\
t_3 &= S(w_5x + w_6y + h_3) \\
t_4 &= S(w_7x + w_8y + h_4) \\
z &= S(w_9t_1 + w_{10}t_2 + w_{11}t_3 + w_{12}t_4 + h_5)
\end{aligned}$$

(2) ニューラルネットワークの学習とブール式の抽出

上記のニューラルネットワークで排他的論理和を学習した結果を次に示す.

$$\begin{aligned}
w_1 &= 2.51, w_2 = -4.80, w_3 = -4.90, \\
w_4 &= 2.83, w_5 = -4.43, w_6 = -4.32, \\
w_7 &= -0.70, w_8 = -0.62, w_9 = 5.22, \\
w_{10} &= 5.24, w_{11} = -4.88, w_{12} = 0.31, \\
h_1 &= -0.83, h_2 = -1.12, h_3 = 0.93, \\
h_4 &= -0.85, h_5 = -2.19
\end{aligned}$$

ここで, 例えば

$t_1 = S(2.51x - 4.80y - 0.83)$ の各値

$t_1(0, 0), t_1(0, 1), t_1(1, 0), t_1(1, 1)$

は, 次の通りである.

$$\begin{aligned}
t_1(1, 1) &= S(2.51 \cdot 1 - 4.80 \cdot 1 - 0.83) = S(-3.12) \\
t_1(1, 0) &= S(2.51 \cdot 1 - 4.80 \cdot 0 - 0.83) = S(1.68) \\
t_1(0, 1) &= S(2.51 \cdot 0 - 4.80 \cdot 1 - 0.83) = S(-5.63) \\
t_1(0, 0) &= S(2.51 \cdot 0 - 4.80 \cdot 0 - 0.83) = S(-0.83)
\end{aligned}$$

シグモイド関数の値は, $S(-3.12) \cong 0, S(1.68) \cong 1, S(-5.63) \cong 0, S(-0.83) \cong 0$ なので, t_1 のブール式での近似として, 第2章で述べた方法を第3章の例で示した場合と同様に適用して以下を得る,

$$t_1 \cong x\bar{y}$$

そのほかの素子も以下のブール関数に近似される.

$$t_2 \cong \bar{x}y$$

$$t_3 \cong \bar{x}\bar{y}$$

$$t_4 \cong 0$$

z の学習結果のブール式は以下の通りである.

$$z = t_1 t_2 \vee \bar{t}_1 t_2 \bar{t}_3 \vee t_1 \bar{t}_2 \bar{t}_3$$

この式に、上記の t_1 から t_4 を代入して論理的な簡略化を行うと、

$$t_1 = x\bar{y}$$

$$t_2 = \bar{x}y$$

$$t_3 = \bar{x}\bar{y}$$

$$z = x\bar{y} \vee \bar{x}y$$

が得られる。このブール式は排他的論理和である。したがって、排他的論理和を学習したニューラルネットワークを本手法のブール式での近似をすることによって、もとのブール式が抽出されたことになり、本手法の正しさが検証できたことになる。

4. 結論

説明可能 AI を目標として、回帰式やニューラルネットワークから人間にとって解釈可能なブール式を抽出する手法の開発をすすめた。基本的な手法をほぼ完成したが、実用上の課題は多数残っている。そのひとつは、計算量の問題である。変数の数 n に対して、少なくとも 2^n 程度の時間計算量となる。その削減は重要な課題である。もうひとつの課題は、ブール式の簡約化である。あまりに複雑なブール式は解釈が困難となる。そのため、できるだけ等価で単純なブール式へと変換する技術が必要となってくる。

説明可能 AI はまだこれからの技術である。本研究では、そのためのスタートの技術を開発した段階といえる。実用化に向けてさらに研究開発を進めていく。

特徴表現学習を伴った知識ベース統合による 知的ソフトウェア開発ポータルサイトの実現

情報工学科 鷹野孝典

1. 研究の目的

本研究では、(1)ソフトウェア開発に関連する有意な知識情報を自動分類し、各々を独立した知識ベースとして構築するための機能、(2)特徴抽出学習型知識ベース群を利用者の問い合わせに応じて統合するための機能、(3)ソフトウェアリポジトリを対象としたビッグデータ分析による、開発者の知識伝播モデルの導出機能、(4)重要な経験知識や技能を持った開発者に着目した知識情報提示機能、等の機能群を組み込んだソフトウェア開発支援ポータルサイトを実現し、実証実験により提案システムの有効性及び有用性を検証する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

情報検索分野において、特徴表現学習（深層学習）はQAサイト等を対象とした知識パターン分類に基づいた情報検索・推薦エンジンの精度向上に適用される等、国内・国外で重要な開発・研究対象となっているものの、汎用性のあるパターン認識機能を備えた特徴表現学習ネットワークの体系的な実現方法は確立されていない。また、2016年にマイクロソフト社がソフトウェア統合開発ツールにソースコード検索機能を組み込む等、検索ツールを利用した知的なソフトウェア開発支援環境実現の需要は高い。

3. 期待される効果

提案方式に基づいて構築される知的ソフトウェア開発支援ポータルサイトは、ソフトウェア開発やプロジェクト展開等を実施する際に生じる諸問題の解決によりソフトウェア開発における生産性向上や教育効率化を実現する点に有用性があり、本研究の成果は、言葉や文化の異なる海外遠隔の開発者との連携が必須であるグローバル・ソフトウェアエンジニアリングにも展開可能である等、国内・国外を問わず重要な意義がある。

4. 研究の経過及び結果

H29年度の研究成果として、下記の2つの方式を提案した。

- (1) 技術系コミュニケーションツールにおける活動履歴に基づいたユーザ役割の抽出手法
(研究成果: [1], [2], [4])

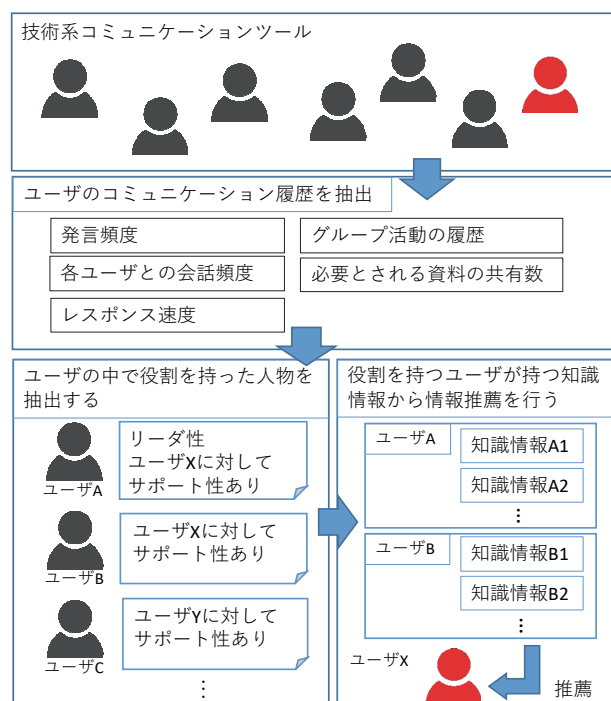


図 1 ユーザ役割の抽出手法の概要図

Web 上の膨大な数の情報を対象として、ユーザの得たい情報を効率よく提供することが重要視されている。情報推薦の分野では、協調フィルタリングのように、情報嗜好性の観点からのユーザ間距離に基づいて、ユーザの興味関心のあると判断される情報を推薦する方式が主流となっている。対象ユーザの興味を喚起するような情報推薦を実現するためには、協調フィルタリングのようにユーザ同士の関係を媒介にした推薦情報の抽出方法が有効であると考えられる。一方、Web 上で利用可能な様々な情報共有サービスの登場に伴い、ユーザ間の知識共有を目的とした情報発信が盛んに行われるようになった。特に、ソフトウェア開発過程などにおいて知識・情報共有をする場として Web 上で利用可能な技術系コミュニケーションツールが注目されている。

技術系コミュニケーションツールでは、複数のユーザからなる会話スレッドからコンテンツのアップロードに至るまで、知識情報の共有に関する様々な活動が展開される。ここで、これらのコミュニケーションツール上で行われる活動におけるユーザ間の関係の近さは、コミュニケーションによる情報の獲得や活用方法に影響を与えられと考える。例えば、業務上に必要な知識獲得をする場合は、これまでも有用な情報を提供してくれたユーザからの知識情報を得るのが効率的であり、尊敬する対象となるユーザが存在するならば、そのユーザから提供される知識情報を優先的に活用して目的達成を目指す、といった可能性が考えられる。このように、ユーザの情報獲得プロセスにおいて、情報共有を行うユーザ同士の関係性を考慮することにより、情報共有コストの減少や情報活用優先度の向上といった効果が期待できる。

しかしながら、情報の受け手側に対して影響力を持つユーザを抽出するためには、協調フィルタリングのようにユーザの嗜好性に基づいた類似性に注目するだけでは不十分である。また、ユーザ間の関係性の距離を算出するためには、対象ユーザと距離が近いユーザの特徴を定義する必要がある。

(2) 開発プロジェクトにおけるソフトウェア性能分析に基づいた開発者の貢献度分析手法（研究成果：[3]）

図 2 貢献度分析手法の概要図

開発者はソフトウェアのバグを早期に発見し、ソフトウェアの品質を向上させることが可能になる。さらに開発ブランチでのビルドとテストの過程を自動化することで開発時の作業量を削減できる。

開発プロジェクトにおいて、共同作業を通じて効率を向上させるために人的資源を管理し開発者を動機づけることが重要である。開発者は通常人手によるソースコードレビューを行うか、コードカバレッジやテストケースを用いたアルゴリズム解析などのソフトウェア測定法により、ソフトウェアの品質と実行性能を測定することができる。しかし、アプリケーション設計、開発計画、開発品質、テスト、ビルドと本番環境への配置、セキュリティといったいくつかの要素の評価が必要となるため、開発者のプロジェクトへの貢献度を客観的に見積もることはより困難であり、評価が偏ってしまう場合がある。例えばシニア開発者がより困難な仕事を割り当てられ、解決できない場合過小評価されるというような可能性がある。

本研究では、開発者のプロジェクト内における評価をソフトウェアの実行性能の向上に対する貢献度であるとみなし、ソースコードの実行結果を分析することで、開発者のソフトウェア実行性能改善への貢献度を算出する手法を提案した(図2)。GitHub上の開発プロジェクトを対象とした実験により提案方式の実現可能性を検証した。

5. 今後の計画

特徴表現学習ネットワークを有する知識ベース群の統合によるソフトウェア開発支援ポータルサイトを提案・実現するために、継続して、関連する基本ソフトウェアモジュール群や知識ベース群の諸機能の設計・開発を行う予定である。

6. 研究成果の発表

- (1) Hayato Tsukiji, Kosuke Takano, An Estimation Method of User Roles Based on Online Technical Communication Activities, proceedings of the 32nd IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (IEEE AINA-2018) Workshop, 6 pages, 2018.5.
- (2) 築地 勇人, 鷹野 孝典, 技術系コミュニケーションツールにおける活動履歴に基づいたユーザ役割の抽出手法の検討, DEIM Forum 2018 予稿集, D1-6, 7 項, 2018. 3.
- (3) 笠井 貴之, 鷹野 孝典, 開発プロジェクトにおけるソフトウェア性能分析に基づいた開発者の貢献度分析, DEIM Forum 2018 予稿集, G2-5, 8 項, 2018. 3.
- (4) Hayato Tsukiji, Kosuke Takano, Knowledge extraction from creators of presentation slides on a slide sharing service, proceedings of 2017 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM 2017), pp.1-5, 2017.

ワークショップの活動履歴を利用したワークショップ 評価システムの開発

情報メディア学科 鈴木浩

1. 研究の目的

研究代表者らは、デューイなどの教育理論を参考に、主体的に「ものづくり」という行為をすることが「ものづくり」に興味をもたせることの第一歩だと考えている。このような理念に基づいて開発したワークショップが「ハイパーブルブルスプリント」と「スモーションック」という創作系ワークショップである。この2つのコンテンツは、ペーパークラフトに振動を加えることで、本来であれば動くことのないペーパークラフトに動きを与え、かつ遊びの要素も加えることで、参加動機と制作意欲を刺激することを試みてきた。これらのワークショップの特徴には、コンピュータをものづくりの道具として利用するのではなく、ものづくりへの動機を引き出す道具として利用していることにあ
る。また、従来からあるペーパークラフトを拡張したことで以下の4つの利点が生まれている。

1. 紙を媒体としているので、高額な材料費を必要としない。
2. 創作にあたっては、ハサミやカッターのり、クレヨンなど、どこにでもある工作具を利用できる。
3. 絵を描く、紙を組み立てるというアナログな創作活動は、ワークショップ参加の敷居が低く、だれもが参加しやすい。
4. 一度に多くの参加者が体験できる。

以上の理由から、魅力的でありながら、誰もが気軽に参加できる創作系ワークショップとして、ワークショップ主催者側からも、体験者からも好評を得ている。しかしながら、本ワークショップでは、実施する環境を簡単に設置できないことから研究代表者らでないとワークショップを実施できないという課題がある。また、双方は、ペーパークラフト、振動、プロジェクションマッピングという同一の構成要素を持ちながら、別々のシステムとして開発しているため、それぞれの機器を使いまわせるような汎用性を持つてはいない。また、ワークショップ体験者は、ワークショップに参加している時は、創作活動を行うため、ものづくりに対する動機が向上した状態であると考えられるが、ワークショップ後にもものづくりへの動機が持続しているかを定量的に評価することは困難である。これは、ワークショップ参加者をワークショップ後に追跡調査できないことが原因であり、このようなワークショップ評価のために体験者の追跡調査を行い効果について評価をする研究はみられない。

2. 研究の必要性及び従来の研究

IT を利用した表現活動を支援する試みは、実社会のイベント業分野において、著しく発展している。(株)TeamLab や、(株)九重などのインタラクティブコンテンツの制作を専門とする企業では、全国にある大型の科学館、大手ショッピングモールや公共施設で企画展としてインタラクティブな創作活動をエンタテインメントコンテンツとして展開している、しかしながら、このようなイベントは集客力の見込める大規模施設での実施

が前提となっており、規模の小さな科学館や予算の少ない教育施設などでの実施を想定していない。また、イベント自体が営利目的であるため、入場料や材料費を徴収することが基本であり、誰もが気軽に参加できるイベントとは言い難い。本ワークショップは、これまでの研究により、研究代表者らでなくても設置・運営が行えるようにパッケージ化が完了している。Web サイトを利用して本ワークショップの貸し出し申請をすることで、誰もが自由に本ワークショップを開催・運営することができる。これにより、小規模な科学館や学童施設、小学校など、予算が潤沢にない施設でも実施可能でありながら、子どもにとって魅力的な創作コンテンツを提供できると考えている。

3. 期待される効果

ワークショップ体験者は、ワークショップに参加している時は、創作活動行うため、ものづくりに対する動機が向上した状態であると考えられるが、ワークショップ後にもものづくりへの動機が持続しているかを定量的に評価することは困難である。これは、ワークショップ参加者をワークショップ後に追跡調査できないことが原因であり、このようなワークショップ評価のために体験者の追跡調査を行い効果について評価をする研究はみられない。本研究では、ワークショップキットをデザインする過程で、ワークショップの企画から評価までを一元的に管理できる **WEB** サービスを同時に開発し、ワークショップの活動履歴と **WEB** サービスの履歴データを分析することで本ワークショップの評価を試みる予定である。しかしながら、本ワークショップは、子どもをターゲットとしているため、ワークショップ終了後に子ども自身が **WEB** サービスにアクセスしてくるとは考えにくい。 **WEB** サービスのアクセスには、家庭環境や保護者の傾向にも左右される可能性が高く、1 回のワークショップを実施することで、**WEB** サービスに対してどのぐらいの反応率があるか現状ではわからない。このため、評価の精度を高めるには、多くの子ども達にワークショップを体験してもらうことが必要であることを予測している。このように、ワークショップ評価の面からも、ワークショップキットを制作し、多くのワークショップを開催することに意味があるが、評価のためのデータ収集に関しては、評価に十分なデータが収集できるかどうかの予測を立てにくい。しかしながら、本研究により、ワークショップで実施した成果物をスムーズに **WEB** で公開し、アフターケアとして提供できる手法を確立することにより、従来 1 回限りであったワークショップの形態を持続した学びの場として新たに提供することが可能となる。

5. 研究の経過及び結果

H29 年度では、「音声紙相撲システム：SUMMOSONIC」と「まゆたまを利用した創作ワークショップ:corotama」を開発し、東芝未来科学館をはじめとした教育的な施設やイベントでワークショップを実施した。また並行して「たたかえ!!ぼくらのシャドウロボ」ワークショップのポータルサイトを他のワークショップでも利用できるようにリデザインを行った。本ポータルサイトにワークショップ体験者を回帰させる仕組みとして、体験者がワークショップで制作した作品を **WEB** 上で公開した。これにより閲覧者

が1ボタンによる評価ができる。また閲覧者がワークショップ体験後に制作した作品をWEBサイト上に投稿し、公開できる機能を追加した。

他にもポータルサイトへ体験者を誘導するしくみとして、ワークショップで制作した作品の画像を利用したWEBゲームを実装し、ポータルサイトに設置した。

本ポータルサイトでは公開しているページごとにユーザごとの閲覧開始時間と閲覧終了時間とページ識別子とユーザエージェントを記録できる。また、評価・ダウンロード・印刷ごとに対象の展開図とユーザ識別子を記録している。この記録からどの参加者がどの程度の時間、どのページを見ていたかがわかるようになり、ある参加者の展開図が、他の参加者へ影響を与えたかを確認できる。ポータルサイトでのデータについて、投稿したユーザとすべての参加者を比較して考察した。平成29年度は11件のワークショップを実施し、ワークショップ内でポータルサイトの紹介を行った。941人が参加し、988の展開図が作られたポータルサイトでユーザ登録を完了したユーザは、128ユーザで、ログインが282件、ページビューが6088件あった。1ユーザあたりの平均のログイン数は2.20件、ページビューは19.83件であった展開図への評価は74件あり、ユーザ44人が自身や他のユーザが作ったペーパークラフトを評価していた。評価したユーザの平均の評価回数は1.68件であった組み立てたものの投稿は10件の展開図に31枚の写真があった。投稿したユーザは3件のワークショップのいずれかに参加した10人であった。投稿したユーザはダウンロードと印刷が可能であり、ダウンロードは6件、印刷は8件あった。ダウンロード・印刷したユーザは自身のペーパークラフトをダウンロード・印刷していた。ダウンロードしたユーザの平均のダウンロード回数は3.00件、印刷したユーザの平均の印刷回数は2.67件であった。投稿した参加者に限ると、平均のログイン回数は4.7件、ページビューは65.5ページ、評価回数は3.86件であり、全体の参加者と比較すると、ログイン回数は113%、ページビューは230%、評価回数は129%、投稿した参加者の方がより多かった。ポータルサイトに投稿したユーザは、投稿ページビューの増加率が特に大きいので、意欲的にポータルサイトを利用していたことが考えられる。投稿したユーザのワークショップでの意欲を確認するため、展開図の塗り量や、ワークショップでのゲームプレイデータとアンケート結果との関連を調べた。展開図のはみ出し塗りと内塗りの割合について、投稿した参加者と全体の参加者を比較すると、はみ出し塗りは99.62%、内ぬりは29.14%、投稿した参加者の方が多かった。イベントでのゲームプレイデータのスコアは29.27%、プレイ時間は7.30%、体の移動量は129.58%、手の移動量は127.23%それぞれ投稿した参加者の方がより大きかった。これらのことをまとめると投稿したユーザは、展開図を描くときの精度は荒いがより多く塗っており、ゲームについては移動量が多いうえにスコアが高く、ワークショップイベントに意欲的に取り組んでいると考えられる。これらのことから、ワークショップ後にペーパークラフトを作成して写真を投稿した参加者が、ポータルサイトをよく利用し、ワークショップでも意欲的に取り組んでいることがわかった。また収集した履歴データ

を分析し、体験者の属性情報と履歴データから相関分析した結果、ワークショップの満足度に関しては、TV ゲームや運動、アトラクションが好きな体験者と間に弱い相関がみられた。また、体験ゲームとワークショップの満足度に関しては、体験ゲームのスコアやプレイ時間、移動量において、弱い相関が見られた。Web サイトに作品を投稿したユーザの履歴データ特徴を分析したところ、絵を描くことが好きなこととワークショップの満足度に強い相関があり、絵に対する興味が強いほど、作品を丁寧に制作する傾向があることが分かった。

6. 今後の計画

ワークショップ後のアンケートデータや、ゲームの体験履歴とお絵描き活動、そして、WEB の履歴を分析した結果、若干の相関関係はみられるものの、顕著な特徴を見いだすことができなかった。この理由として、お絵描き活動の積極性を可視化できるデータの取得ができなかったためだと考えられる。今後は、お絵描きの活動量が体験ゲームのパラメータとして扱われるようなゲームにすることで、体験者のワークショップへの積極的関与度をデータとして取得し分析する予定である。

7. 研究成果の発表

鈴木浩：ユーザの音声を利用した紙相撲システムの提案と評価, 情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム 2017, pp. 1488-1492 (2017).

鈴木浩：SUMMO SONIC: デジタルコンテンツ制作発表会 (2017).

クラウドを利用したエンドユーザのタッチパネル操作特性解析による 操作学習支援手法

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

情報端末として従来の PC(Personal Computer)に代わる形で、スマートフォンやタブレット型デバイスが普及してきている。普及の背景として、主に Web ブラウジング、電子メール、SNS(Social Networking Service)といった閲覧を中心とした一般的なエンドユーザにとっては十分であることが挙げられる。しかし、スマートフォンでは操作および閲覧のためのスペースが十分確保できないことから、タッチパネル操作を主体とするタブレット型デバイスに対する需要も大きい。

タブレット型デバイスの OS は、従来の PC で広く使用されている Windows に限らず、スマートフォンで利用される Android や iOS などが採用されていることも多い。しかし、キーボードやマウスが入力デバイスとして前提となる従来の PC と異なり、タブレット型デバイスはタッチパネルでの操作が中心であり、入力の方法が限られてくる。ソフトウェアの場面によって受け付ける入力の種類や操作の結果が異なることも多く、エンドユーザがすぐに操作方法に気づかない場面も増えてきている。また、キーボードでの入力を苦手とするエンドユーザも増えてきており、ユーザエクスペリエンス向上のためにも、タッチパネルでの操作を前提とした操作の支援が必要になっている。

タッチパネル操作を主体とするタブレット型デバイス向けのエンドユーザの操作支援として、ソフトウェアの初回起動時にタッチできる場所と機能を図示する、操作説明画面に遷移できるボタン等を設置する、操作説明の Web ページを別途インターネット上に用意し必要に応じてアクセスしてもらう、などの対応が一般的である。しかし、これらの操作の支援についてはエンドユーザが能動的に参照する必要がある。

そこで本研究では、タッチパネル操作を主体とする端末を使用するエンドユーザの現在の使用状況に応じて、エンドユーザが期待する機能を実現する操作について支援を行うことを目的とする。そのために、クラウド上に作成したサーバにユーザの操作に関する履歴やセンサー情報などを記録する。また、エンドユーザが操作に迷う、戸惑う場面を指摘して、開発者に対してユーザインタフェースの改善を行うことができるようにする。タブレット型デバイスをはじめとしたタッチパネル操作を主体とする端末における、適切なユーザインタフェースデザインやエンドユーザに対する操作支援はまだ十分ではなく、本研究の重要性は高いといえる。

2. 研究の必要性及び従来の研究

タブレット型デバイスの入力デバイスは従来型の PC と違い、液晶画面のタッチパネルと、数種類程度のボタンのみで構成されることが多い。PC 向けソフトウェア開発のユーザインタフェースデザインにおいては、入力キーの数が多く多種多様な組み合わせも実現が可能なキーボードや、画面上の場所を精密にポイントすることが可能なマウス等を使用することが前提であり、タブレット型デバイスのユーザインタフェースとは大きな違いがある。また、スマートフォンの普及に伴い、若年層であっても PC の利用経験が浅くキーボード操作を苦手とするエンドユーザも増えてきている。そのため、タッチパネルのみで多くの操作を受け付けるためのジェスチャーを取り入れているが、ソフトウェアによって受け付けるジェスチャーの種類や、対応する機能が違うために、エンドユーザの行った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。

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する手法として、操作の一貫性を確保するためのガイドラインを独自に制定できるようにし、レイアウトを調整する手法について提案した[1]。Web ブラウザなど同じジャンルに属する複数ソフトウェアにおける操作方法の違いに着目し、ショートカットキーの差異について提示することで学習支援を行うシステムを生成する手法について提案した[2]。タブレット型デバイスの操作支援およびユーザインタフェースデザインの改善においても、これらの手法を応用することができると考えている。

タブレット型デバイスの操作支援の手法として、Android ベースのソフトウェアにおいて音声入力による操作を受け付ける機能を、多くのソフトウェアで標準的に使用されている機能の単語を登録することによって、少ない修正で使えるようにする手法について提案した[3]。また、タブレット型デバイスにおけるエンドユーザの操作情報の履歴を取得し、タッチパネル特有の各種操作のアクション回数や、タスクの操作時間などを統計学的に分析することによって、ユーザビリティ評価を支援する手法を提案した[4]。ユーザのソフトウェア操作時の履歴を踏まえて、ソフトウェアのトップ画面からゴール画面までの全てのパスを導出した上で、ユーザの現在地を把握してユーザの現在地からゴールまでの手順を示すことで、ユーザの操作支援を行う手法も提案した[5]。

3. 期待される効果

本研究では、エンドユーザのタッチパネルの操作履歴や各種センサーの記録などから、エンドユーザが期待する結果を推測し検出できるようにする。さらに、それぞれの場面においてソフトウェアが受け付けることのできるタッチパネルの操作と機能についても提示できるようにし、エンドユーザの期待する機能が実行できるようにする。

これらの情報をクラウド上に作成したサーバにデータを蓄積することにより、幅広

いエンドユーザの記録をもとに解析をした結果から、ユーザインタフェースデザインの問題点および改善箇所も検出できる。ビッグデータとしての活用も期待できる。

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満足度の向上が期待できる。

4. 研究の経過及び結果

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。従来型 PC 向けソフトウェアでは、ボタンなどの GUI (Graphical User Interface) 部品の配置方法や、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向けのソフトウェアは操作の一貫性が十分に確保されていない。

タブレット型デバイス向けソフトウェアにおける操作と対応する機能を調査し、またエンドユーザのこれまでのソフトウェアの使用経験をもとにして、場面ごとの操作においてエンドユーザが期待する機能を導き出す手法について研究を行っている。具体的には、タブレット型デバイスのソフトウェアに現れる操作の特徴をソフトウェアのジャンルごとにまとめ、ジャンル内の典型的なソフトウェアの操作方法と異なる操作方法が実装されている場合は修正案を開発者に提示するシステムについて提案している[6]。発表の時点で、各ソフトウェアのジャンルごとの操作と機能の特徴についてまとめたデータベースは完全に手作業で作成していたが、ソフトウェアの操作方法が Web で公開されているものについてはいくつかの要素は自動で取得できるように仕組み作りを進めている。

エンドユーザの操作の記録をクラウド上に展開したサーバに安全に送信する手順について実装を進めている。現在はプライベートクラウド環境を作成し動作の確認をしているが、今後はパブリッククラウド上で安全に動作させるようにする。

また、エンドユーザが使用する端末について、画面のサイズや操作の特徴などといった利用環境に適応したユーザインタフェース開発支援手法についても提案した[7]。ソフトウェア開発で用いられるモデル駆動開発を対象とした手法としているが、本研究で行っている操作履歴の取得および解析や操作一貫性確保の手法と合わせることで、よりエンドユーザの現状にあった操作支援を行うことが可能となる。

5. 今後の計画

平成 29 年度内の研究によって、タッチパネル操作を主体とする端末の操作の一貫性を保つことによって、エンドユーザの操作を支援する手法を提案しいくつかの実装を進めることができた。今後は今年度の成果を踏まえて、クラウド上に設置したサーバに対して利用者の個人が特定できないよう配慮をした上で収集を行うことで

解析の精度を上げること、解析の結果を他のソフトウェア開発においても共有できるように、パブリッククラウド上でのシステム展開を早急に進めていく。

また、各種端末からの履歴についても、タッチパネルの操作履歴だけでなく、加速度センサーなどのログなどを取得しエンドユーザの戸惑う場面を解析することも引き続き検討している。合わせて、従来型 PC 向けソフトウェアをタッチパネル操作が主体となる端末に対応させる方法についても進める。従来型 PC の操作を対象としたソフトウェア操作や Web アプリケーションに関しても、ユーザビリティ向上のための支援を進めていきたい。

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通りである。

- [1] Junko Shirogane, Kazuya Sugiuchi, Hajime Iwata and Yoshiaki Fukazawa, “Support Method to Apply User Interface Guidelines to GUIs Using Guideline Templates”, Proceedings of the 11th Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering (JCKBSE 2014), September 2014.
- [2] Hajime Iwata, “Method to Generate an Operation Learning Support System by Shortcut Key Differences in Similar Software”, The 17th International Conference on Human-Computer Interaction (HCII 2015), August 2015.
- [3] Hajime Iwata and Kazuhide Koyama: “Method of Software Operation Consistency for Tablet Devices by Sound Recognition”, Proceedings of the 11th Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering (JCKBSE2014), September 2014.
- [4] Misaki Matsuzawa, Hajime Iwata, Junko Shirogane and Yoshiaki Fukazawa, “Support Method of Usability Evaluations for Android Applications Based on Operation Histories”, The Fifth International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC2015), October 2015.
- [5] 中村史門, 岩田一, 白銀純子, 深澤良彰, “ユーザの状況を考慮した操作支援システムの自動生成”, 電子情報通信学会 知能ソフトウェア工学会 (KBSE), 2016 年 11 月 3～4 日.
- [6] Hajime Iwata, Yusuke Sekino, “A Support Method of Common Gesture Operation Consistency for Android Applications”, The Fifth Asian Conference on Information Systems (ACIS 2016), October 2016.
- [7] 田中星佳, 岩田一, 白銀純子, 深澤良彰, “利用環境に適応可能なユーザインタフェースの開発支援”, 電子情報通信学会 知能ソフトウェア工学会 (KBSE), 2018 年 3 月 1～2 日.

以上

VR エンターテインメント・アプリケーション・ナレッジセンターの開発

研究者名：情報メディア学科 白井暁彦

1. 研究の目的

本研究「VR エンターテインメント・アプリケーション・ナレッジセンター(以下 VREAK)の開発」は Virtual Reality Entertainment System (以下 VRES) に関する研究である。

2. 研究の必要性及び従来の研究

2016 年に起きた VR ブームは(1)ゲームエンジンの一般化、モバイル技術をベースとする(2)高品質 HMD の一般化、新たな市場と可能性を探る(3)ゲーム開発者の流入の 3 点が特徴である。一過性のブームではなく、従来の「産業用 VR」つまりプロフェッショナル市場の「高価・少人数向け VR」から、コンシューマ向け VR にまで一気に市場が広がっていくことが予想された。ICT 技術の根幹を担う Microsoft、Google らが VR/AR/MR を新たなプラットフォームとすべく開発を進めており、個人のホビイストや小規模なスタートアップ企業、新規参入企業を含め、非常に熾烈な研究開発戦争に突入することが想像できた。

従来の本分野の学術研究は、新奇なデバイス開発、主にディスプレイ・HCI 分野・人間評価系の研究が中心に行われてきた。本研究テーマが注目する VRES は「応用の一分野」であるという考え方が学術界では一般的であり、掘り下げた研究、特にエンターテインメント産業と、若手の才能を深く活用した研究開発手法は求められるものの、国内では例を見ない。

3. 期待される効果

本研究課題においては、情報メディア学科 白井研究室がこれまで取り組んできた研究シーズ「Manga Generator Project」(2012-)、多重化不可視映像「ExPixel」(2014-)、裸眼多重化映像技術「ExField」(2016-)といった VR/AR/MR 技術として注目される分野を中心に、公共空間でのプレゼンスが高い VRES の研究開発を、社会実装活動を学生や協力企業との協働において推進することが特徴である。

この 20 年以上において、研究代表者は基盤となるグラフィックスエンジンや触覚ディスプレイ、物理エンジンなどの基盤技術・アルゴリズム・システムの開発と、並列したコンテンツの開発および科学的価値と検証を行ってきた。これらの研究スケール及び産業インパクトはここ数年において急速に成長しており、大学研究室が単体で抱えるに

はあまりに限定的な効果しか得ようがない。また一方で、ゲーム開発産業を軸とする VRES 研究開発は、情報メディア学科を志望する学生たちの「夢の職業」であり、VRES に関わる先端的な成果の算出はそのモチベーションや人材の付加価値に大きな影響を与える。

そこで本研究課題においては、研究支援プロジェクトとして、本学 3 年次の学生が学生 VR コンテスト (IVRC2016) において提案した VR 保育シミュレータ「Real Baby - Real Family」を題材に、その VRES としての基盤技術の深化とナレッジの発信をテーマに推進した。従来の保育シミュレータのような、重量と質感のみを模したモックアップ、もしくは高価なロボット技術によってのみ構成では応用分野は医療や保育体験といった分野に限定される可能性があるが、VRES 体験によって拡張し、体験者に親しみやすい表情、視覚、聴覚、触覚、体性感覚を含めたインタラクティブな体験によって、幅広い人々の「理解の違い」にあわせた体験を設計することにより、さらに幅広い分野や国際的なインパクトの高い研究となる。一方で、内部の研究要素としては、任意の顔画像（例えば写真）から VR 内で体験可能な赤ちゃんを生成する技術はディープラーニングの成果を活用している。静止画である顔画像をもとに表情を生成する技術や、アバタの目線を制御することにより印象を変化させる技術は、人工知能応用研究の要素があるが、学生のための知識や経験、需要では汎用化・アルゴリズム化されておらず、より深い研究が推進される必要があった。

また過去の研究の成果から、複数の VRES 展示体験を通して、VR 体験の前後でユーザの感覚や印象の違いを評価、属性、体験を外部保存可能にする技術の必要性があり、これも大規模な一般向け展示を通して評価を行う必要があった。

このような背景から本研究課題では、VRES 開発や応用における「知の中心（ナレッジセンター）」となるべく活動に重点を置き、学生や若手教員、企業や外部のクリエイターなど若い発想をもつ人々と協業しながら、成長産業である世界的産業「VRES」の産業化支援を基盤から支えるような「VRES 開発／応用における知の中心（ナレッジセンター）」を構築することとした。

4. 研究の経過及び結果

■「Manga Generator」について

集英社および大日本印刷との協働により「Manga Generator」に実装される GPU 上のリアルタイムシェーダー技術は飛躍的な画質向上を達成することができた。



【図1：研究成果の一部「Manga Generator JUMP VR」】

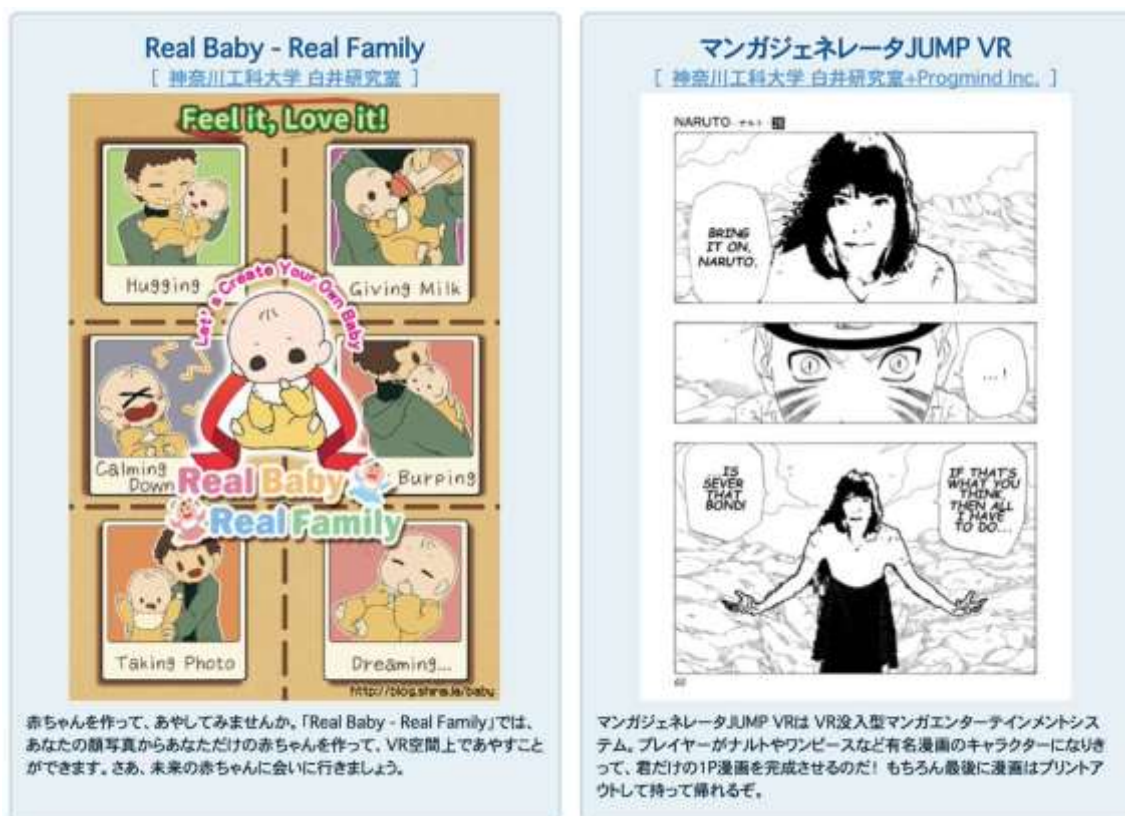
集英社「週刊少年ジャンプ」で連載された世界的人気作品である「NARUTO」、「ONE PIECE」とのコラボレーションを行い、非常に厳しい基準において人物のリアルタイム画像処理アルゴリズムおよび、SNS や QR コードを連携させた体験評価システムを開発した。

本研究成果は 2017 年 7 月 1 日～4 日、ロサンゼルス・コンベンション・センター (LACC) において、北米最大のアメリカのアニメ・コンベンションである「Anime Expo 2017 (AX2017)」にて展示発表を行った。来場者規模は 107,658 人であり、国内外メディアで大きく紹介され好評であった。

またこの成果はプログマインド社と協働で推進しており、ナレッジはその後の製品である『Manga Generator Pro』や、TEPIA 先端技術館において常設展示となった『Manga Generator K. A. I.』において活用されている。

■ 「Real Baby - Real Family」について

「Real Baby - Real Family」は、前述 AX2017 において「日本キャラ VR まつり」として展示機会を得た。日本人以外のスキンカラーおよび文化圏に対応するため、顔画像生成アルゴリズムの汎用化に成功した。また来場者 3,000 人に対するラーニングデータを後述の「MasQueRade」を利用して獲得した。



【図2：『Manga Generator JUMP VR』とともに
AX2017にて展示された『Real Baby - Real Family』英語版】

「Real Baby - Real Family」は、その後、ACM SIGGRAPH 2017 Emerging Technologies、CEDEC2017、Tokyo Game Show2017においてもデモ発表を行う機会を得ることができた。学術・産業の両分野において、国内外に限定されない大きなインパクトのある活動として評価された。

■ 「MasQueRade」について

MasQueRade は複数の VRES を評価するためのシステムである。HMD 使用時の衛生マスクに QR コードを付与することで、公共空間や遊戯施設、イベント等における一般・エンドユーザーに対するラーニングデータを、実験協力者の同意をもって取得できる。

Web システムの技術を応用し、QR コードと VRES 体験をトリガーにして実験協力者の同意や個々のシステムに対する主観評価、VRES 体験内のセットアップ情報などを多言語で収集できる。AX2017 では集英社「週刊少年ジャンプ」のはがきアンケートにおけるナレッジをマクロミル社「Questant」を用いた ASP により多言語で調査票を実装し、クロス集計や重回帰分析といった統計処理を素早く処理し、共同出展社に可視化・フィードバックすることを可能にした。



Global Map

- [R1] InVRsion
- [R3] VAIR FIELD
- [R4] Tactile MicroCosm of A-life
- [R5] NECTAR, AR by RealityTech
- [R6] Multi-Pole GVS
- [R7] Charrot
- [R8] Gum Gum Shooting
- [R9] AoEs+
- [R10] author(rise)
- [R11] Karte Garden + MasQueRade
- [R12] Wild Dolphin Waterproof VR

<Weekend>

- [A14] Video Byōbu
- [B4] Mochitsuki
- [C15] CuisiNavi
- [D3] Temari and Shadow
- [D4] Drawing Sound in MR Space: A Multi-User Audiovisual Experience in MR Space
- [E29] Inst_Paper
- [E45] Shin-Ken VR



【図4：(左上から)MasQueRade AX17でのプロトタイプ、Laval Virtual 2018での発表と実験。323展示中18展示を同時評価した】

Laval Virtual ReVolution 2018でのデモでは323展示中18展示において公開実験を実施し、ACM VRICにおいて知見を公開した。

5. 今後の計画

本研究課題は今年度をもって終了するが、協働を行ってきた、イオンリテール株式会社、集英社、大日本印刷、プログマインド社、ウェブテクノロジー社をはじめ、共同研究としてヒアリングや見学など数多くの企業とのナレッジの共有が行えた。また本研究分野の研究環境の整備として、ヒト倫理におけるガイドラインや同意書を日本語および英語でWebシステムとして完成させた意義は大きい。

今後「Manga Generator」はコンソーシアムとして複数社が運営する事業体として推

進されており、「Real Baby - Real Family」は本学卒業生の望月宥治氏が事業化準備を進めている。また「MasQueRade」は本学情報学専攻 大学院博士後期課程在籍中の Rex HSIEH 氏が中心に推進している。

VRES の応用研究、特に本テーマが対象とした公共空間におけるナレッジの研究・分析・発信活動は今後エンタテインメント用途から、AI・ブロックチェーン技術などと融合し、パビリオン、エンタテインメント施設等にとどまらず、大規模イベント、放送メディア、教育、自治体、医療、リテールといった分野への展開も期待されている。

6. 研究成果の発表

■国際会議・論文

1. Hsieh Rex, Mochizuki Yuya, Asano Takaya, Higashida Marika, Shirai Akihiko, "Real Baby - Real Family" - Multi-Sensory Feedback Tangible Baby VR, International Journal of Virtual Reality. 2017, Vol. 17 Issue 2, p72-78. 7p.
2. Rex HSIEH, et. al, "Real baby - Real family": VR entertainment baby interaction system", SIGGRAPH '17 ACM SIGGRAPH 2017 Emerging Technologies, Article No. 20, ACM SIGGRAPH (2017)
3. Rex Hsieh, Yuya Mochizuki, Takaya Asano, Marika Higashida, Daiki Agatsuma, Tatsuya Nishikizawa, Akihiko Shirai, "Real Baby - Real Family": Holdable tangible baby VR, ReVo 2017: Laval Virtual ReVolution 2017 "Transhumanism++", vol 1, pages 11-20.
4. Rex HSIEH, et. Al, MasQueRade: Onsite QR Code based VR Experience Evaluation System using Sanitary Mask, ACM VRIC, Laval Virtual 2018 (2018)

■口頭発表

1. 「JST 新技術説明会 ライフイノベーション」(多摩 TLO 主催) 2017/8/24
VR 保育シミュレータと体験評価技術
https://shingi.jst.go.jp/kobetsu/tama-tlo/2017_tama-tlo/tech_property.html#pbBlock61886
2. 「働き方改革のための VR 技術(第 1 報)子育て就業環境改善にむけた調査「テレ育児スタンス」, 日本 VR 学会第 22 回大会, (2017/9/27-29)
3. 複数の VR エンタテインメントシステムを接続する体験評価手法「MasQueRade」の提案, 日本 VR 学会第 22 回大会, (2017/9/27-29)
4. 「乳幼児保育 VR 学習から考察する体験型教育の展開と課題」, 日本 VR 学会第 22 回大会, (2017/9/27-29)
5. 「現実拡張型子育て VR エンタテインメントのセンサスーツによる拡張「Real Baby -

Smart HIP」，日本 VR 学会第 22 回大会，(2017/9/27-29)

6. 裸眼多重化映像技術(第 3 報): デジタルサイネージと連動するインタラクティブな知的コントローラ「Project JARVIS」，日本 VR 学会第 22 回大会，(2017/9/27-29)
7. 「MARUI:ゲームプレイヤーのための MR/AR による利便性向上ツールの提案」，日本 VR 学会第 22 回大会，(2017/9/27-29)
8. 「A. I. Show:VR アバタによる非同期型コミュニケーションの提案」，日本 VR 学会第 22 回大会，(2017/9/27-29)
9. 「Manga Generator JUMP VR」の海外展示を通じた HMD 不使用 VR エンタテインメントシステムの可能性」，日本 VR 学会第 22 回大会 (2017/9/27-29)
10. Rex HSIEH, et. Al, MasQueRade: Onsite QR Code based VR Experience Evaluation System using Sanitary Mask, ACM VRIC, Laval Virtual 2018 (2018)

■デモ等

1. ニコニコ超会議 2017 「Real Baby - Real Family」
2. Anime Expo 2017 「Manga Generator JUMP VR」，「Real Baby - Real Family」
3. CEDEC2017 「Real Baby - Real Family」
4. Tokyo Game Show 2017 「Real Baby - Real Family」
5. Laval Virtual ReVolution 2018 「MasQueRade」

■受賞

- ・ ACM SIGGRAPH Awards in Laval Virtual 2017

■被引用文献・資料

1. Laval Virtual Winner ‘Real Baby’ to Showcase at SIGGRAPH 2017 (2017/4/18)
<http://blog.siggraph.org/2017/04/laval-virtual-real-baby-real-family.html/>
2. VR 内で子供を作って 育てる！？「Real Baby - Real Family」ニコ超 2017 で公開実験！(2017/4/29)
<https://vrinside.jp/news/niconico-real-baby-real-family/>
3. Mabel Nummerdor, Jeanneke Scholtens, “HolyFck: op expeditie naar de toekomst van seks”，S2 Uitgeverijen, Netherlands (2018)

以上

みかん農家支援のための気象センサ小型化・省電力化に関する研究

研究者名：情報工学科 大塚真吾

1. 研究の目的

現在、果樹園農家の高齢化や後継者問題、輸入果物との価格競争など様々な要因により、果樹園農家の数や果樹栽培面積が年々減少している。このため、代々受け継がれてきた農業に関する経験則や熟年者の栽培の感覚が継承されずに失われるケースが増加している。果物栽培の多くは各農家独自の感覚や経験則によって行われているため、作物の育成に関するデータが公的機関を除いてはほとんど存在しない。この問題を解消すべくサービスを提供している企業も存在しているが、そのほとんどが大規模農業に向けた高価格設定になっており、一般的な果樹園農家の経済状況では導入することが難しい状況にある。

我々は現在まで果樹園農家における農作物の安心・安全かつ高品質化を目指すために、Arduino や Raspberry Pi などのマイクロコンピュータ用いて、「果物栽培の経験則の数値化」に関する実証実験を行っており、実際にみかん畑に太陽光発電で作動する気象センサの設置し気象データの取得が可能となった。しかし、センサを設置しているみかん畑には現在数千本のみかんの苗木が植えられており、より詳細なデータを取得するためにはセンサを小型化・省電力化し、大量に設置する必要がある。

そこで、本研究では果物栽培に必要な経験則を様々な気象情報を記録することにより客観的に示すことができると考え、生育に大きな影響を与えたいくつかの気象情報を記録するシステムを低コスト・省電力で構築することを目的とする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

我々は果樹園農家に対して「果物栽培の経験則の数値化」を低コストで実現するため、Arduino や Raspberry Pi などの小型シングルボードコンピュータ用いて、果物の生育データを効率的に取得する手法の検討を行っている。本研究に関連する研究テーマとして、科研費若手(B) (平成 24-26 年度)や科研費基盤(C) (平成 28-30 年度)に採択されており、この分野の研究が対外的にもその必要性が評価されていると考えている。また、我々は神奈川県内のみかん畑や茶畑や、島根県隠岐郡海士町のみかん農家の協力の下、実データ取得の実証実験を行っており、実際にみかん農家のニーズのもとに研究を行っている点に関しては、研究の重要性が認められていると認識している。

農業と IT に関する研究分野では、富士通、NEC、日立ソリューションズなどの大手企業が農業クラウドサービスを立ち上げており、最近では「e-kakashi」「みどりクラウド」「あぐりクラウド」などの新規ベンダも参入をしている。しかし、導入コストが

高額な場合や、ハウス栽培をメインターゲットにする事例が多いなど、路地栽培を行う小規模農家で導入することは難しい状況にある。本研究では、このような状況でも手軽にデータ取得ができる環境を提供することを目指しており、研究の必要性は高いと考えている。

3. 期待される効果

果樹農園に気象センサを設置する試みは研究機関や民間企業などでも行われている。ブドウ、モモ、リンゴ、イチゴなどの果物は平らな土地で栽培されているためセンサ用の電力に困ることは無いが、みかんのような山の斜面で栽培する果物は送電されていないケースがあり、センサの設置が困難である。みかんの栽培は温暖な土地で太陽光を多く浴びる必要があるため、みかん畑は山の南斜面にある場合が多く、太陽光発電を行う手法は、農家における生育データ取得の低コスト化に寄与すると考えている。

また、気象データ取得システムを太陽光発電だけで賄う試みは、我々が数年前から独自に行っており、気象センサの小型化と省電力化を行うことも、生育データ取得の低コスト化に寄与すると考えている。さらに、Wi-Fi 通信よりも省電力の XBee などのワイヤレスネットワークや、市販のモバイルルータに格安 SIM を利用することで、通信にかかる電力やコストの削減が可能となる。

このように、みかん農家において、環境データの取得・解析・比較を低価格で行うという試みや、ランニングコストも考慮して太陽光発電を用いて気象データを取得する試みは独創的であると考えている。期待される効果として、生育環境とみかんの品質の関連抽出が挙げられ、高品質の農作物を大量に生産するための基盤になると考えている。

4. 研究の経過及び結果

現在は小田原市での実験の他に、島根県隠岐郡海士町崎地区のみかん農家と共同で実証実験を進めている。Arduino Uno や Raspberry Pi といった低価格で導入可能な小型シングルボードコンピュータやセンサ機器、ソーラーパネルの低価格化により、システム全体にかかるコストは数万円程度に削減することが可能となった。我々のシステムでは Arduino UNO R3 に温度・湿度・気圧・照度・土壌湿度センサを接続したものと、風速計、風向計、雨量計を接続したものの、みかん農園を視覚的にも観察できるように Raspberry Pi に USB カメラ、温度湿度センサを接続したものを作成した。電源確保が難しい箇所である山間部に設置するために電源にはソーラーシステムを用いた。

ソーラーシステムの発電によって得た電力によって Arduino Uno や Raspberry Pi、モバイル Wi-Fi を稼働させ、モバイルルータを介して取得したセンサデータをサーバにアップロードさせることに成功し、海士町での実験では 100W のソーラーパネルを

3・5 枚、バッテリーを 3・5 台それぞれ並列に並べて使用した。今回使用したバッテリーはメンテナンスフリーで長寿命といった特徴があるディープサイクルバッテリーを使用することで、安定した電圧を持続することができ、各機器をすべて接続しても満充電時であれば 5 日前後の連続稼働が可能となっている。また、シングルボードコンピュータとモバイル Wi-Fi の通信は通常の Wi-Fi や Flash Air を用いており、モバイル Wi-Fi に SORACOM Air の SIM を刺すことで、一日あたりの通信コストは 10 円程度に抑えることができ、電源のコストは 0 円のため、月額 300 円程度のランニングコストを実現している。

小田原市での実験では納屋を利用していたため、防水対策を行う必要はなかったが、海士町では露地での実験であり、さらに、台風の通過や降雪があるため防水対策を行った。ソーラーシステムのバッテリーは専用のバッテリーボックスが販売されているためそれを用いた。チャージコントローラは市販されているタッパーを利用して穴を開けてケーブルを通した上、ホットボンドで密封処理を行った。温度湿度センサ、気圧センサはシングルボードコンピュータとともにケースに入れたが、照度センサ、土壌センサはケースの外にある必要があるため別の処理を施した。照度センサはタッパーでの防水加工を施したところ風雨の影響により素材が傷ついてしまいセンサの数値の幅が狭くなり、また、タッパーの素材の影響により、カメラで撮影した画像が見えにくくなることがわかった。対応策として、アクリル製の容器の中に入れることでタッパーでの防水に比べ雨風による劣化を抑えた。土壌センサは直に畝に差し込みセンサをつなぐケーブル部分に癒着性絶縁テープを巻きつけて防水加工を施した。

実験では各シングルボードコンピュータから 10 分間隔でサーバへ転送するように設定したがデータの転送はおおよそ問題なく行うことができた。保存したデータは Web ブラウザからグラフとして見る事が可能であり、グラフから、雨が止んで比較的早く乾いている状態になっていることがわかった。みかん栽培では果実を甘くするために樹木はなるべく乾いた状況にすることが良いため、この結果から、みかんを栽培するのに適した環境であることを証明できた。また、

5. 今後の計画

我々の実験では 3 月上旬から 7 月下旬までの約 5 ヶ月間に渡り、電源供給がない場所で持続的にデータ送信が行うことができたが、データの転送ができない期間が発生した。その原因については、短期間のものは電波障害などでサーバに気象データが送信されなかったことが原因であり、長期間に渡りデータ送信ができない現象については電源不足によるものであった。天候が悪い日が数日続くと、バッテリーに蓄えられた電気も底をつくため、Arduino などの機器は止まってしまう、その後、天候が回復し電源が回復すると Arduino の電源は入りデータ送信が復活する。Wi-Fi ルータは電池を内

蔵しているため、それよりも長い期間動作可能であるが、天候不順な状況が 1 週間程度続くと電源がなくなり、自動では復旧しないため、天候が回復した時点で農家の人
が電源スイッチを押して復旧させている。また、各機器に施した防水加工によって水
没などの状況を避けることには成功したが、島の周りは海であるため、潮風などによ
りタッパーが劣化することを確認した。そのため、今後はより良い防水加工が必要と
考えている。

今後はセンサを増やしていかなければならないが、そのための課題や考えるべきこ
とが多くある。まず、現状ではセンサを繋げているシングルボードコンピュータとモ
バイル Wi-Fi の通信は通常の Wi-Fi を用いているが接続数は 10 台程度が限界である
という課題がある。また、現状では船舶用の大型バッテリーを用いているため、センサの
設置場所が限られてしまうという課題がある。そこで、1 台のセンサに小型のソーラー
パネルとバッテリーを搭載させ、圃場のいたるところにセンサを設置可能にするための
試作を行っている。センサの小型化のためには、実験で利用した Arduino Uno と通常
の Wi-Fi の組合せでは電力消費量が大きいため、Arduino に XBee を搭載し、ECHONET Lite
関連の機器を用いてメッシュネットワークを構築することで、システム全体の省電力
化が実現可能だと考えている。

6. 研究成果の発表

今年度の研究成果の発表は 1 件である。電気学会 第 71 回情報システム研究会(2018
年 8 月)において、「果樹農園における気象センサ設置と運用」というタイトルで発表
を行った。

流動性制御機能付き金融市場シミュレーションシステムの提案

研究者名：情報工学科 八木 勲

1. 研究の目的

近年 IT の目覚ましい発展により、金融市場においても新しい潮流が起こってきた。特にインパクトが大きいものとして、機関投資家による高頻度取引、アルゴリズム取引といったコンピュータによる自動取引が挙げられる。これらの新しい取引法は、市場に与える影響が大きいため、これまでより暴騰暴落の頻度が高くなったと言われている。その一方で、取引量を増加させるため金融市場を活性化させることに効果を与えているとも言われている。金融市場の活況には「流動性（市場での取引のしやすさ）」を目安にすることがあるが、流動性の定義は調査目的によって異なっているのが現状である。従来の実証研究では、個別に定義された流動性に基づいてさまざまな議論が行われてきたが、他の研究における異なる定義の流動性との整合についてはほとんど議論されていない。なぜなら、現実世界ではさまざまな要素が複雑に絡み合っているため、定義の異なる流動性を単純に比較することが困難だからである。

そこで本研究では、様々な角度から定義された流動性の間でこれらがどのような関連性をもっているのかを分析する人工市場（コンピュータ上に仮想的に構築された金融市場）シミュレーションシステムを提案する。人工市場では不要な外的要素を排除することが可能なため、純粋な流動性間の関連性を洗い出すことが可能となる。

2. 研究の必要性及び従来研究

上述のように、金融市場における流動性の定義は調査目的によって異なっているのが現状である。従来の実証研究では、調査目的ごとに個別に流動性が定義されており、それに基づいてさまざまな議論が行われてきた。しかし現実には、流動性に影響を与える要素は数多く存在し、異なる定義の流動性の結果を比較して、流動性の影響要因を議論することは困難であった。とはいえ、たとえ異なる定義であっても、それぞれの流動性が互いに完全独立した存在とはいい切れず、何らかの関係があることは想像に難くない。よって、異なる定義の流動性とそれらの影響要因の関係を整理することが待ち望まれている。

このように実証研究では解決困難な分析を行う手法の 1 つとして人工市場を用いる方法がある。人工市場とはコンピュータ上に人の手によって人工的につくりだされた架空の金融市場のことである。人工市場に参加している投資家は、エージェントと呼ばれる、計算機プログラムによって表現された仮想的なディーラーである。人工市場

上の各エージェントは、金融価格の変動に関連する情報を入力として受け取り、その情報とエージェントルールに基づき行動し、その売買行動の修正を行っていく。人工市場には現実の金融市場を反映した価格決定メカニズムがあり、各エージェントの投資行動が集積して、人工市場における仮想的な金融価格が決定される。

人工市場を以下のように用いると実証研究では検証困難であった本課題が解決される可能性がある。まず、調査内容に適した人工市場モデルを個々に用意するため実証研究同様に個別に流動性を定義する。次に、それらの流動性に影響を与えるパラメータが何かを明確にし、既存モデルには存在しないパラメータであればそれを追加する。そして、それらパラメータが他の定義の流動性にどのような影響を与えるか調査することで、異なる流動性とそれらの影響を明確にすることが可能だからである。

3. 期待される効果

技術的な面では、流動性とそれに影響を与える市場要因（人工市場上では各種パラメータ）が明確になると、パラメータ値を意図的に操作することで流動性をコントロールできるようになるため、他の検証対象（例えば、空売り規制が金融市場安定化に貢献しているのか、HFT(高頻度取引投資家)が存在すると市場は不安定化するのか、など）を調査する際に流動性まで考慮した検証が可能となると考えられる。

一方、実務的な面では次のような効果が考えられる。例えば、日本国債は広範な市場取引において様々な用途で利用されており、これらの利用が円滑に行われるためには、十分な流動性を国債市場が有していることが 1 つの重要な条件と言われている。株式市場においても、近年グローバル化が進み世界中の取引所の間で取引シェアの争奪が起こっている。そして取引が円滑に行えるか、すなわち、十分な流動性を有しているかどうかが取引シェア拡大の大事な要素と言われている。本研究の結果は、十分な流動性を保つには市場のどの要素に着目しておけばよいかを示唆するものと思われる。

4. 研究の経過及び結果

代表的な 4 つの流動性 (Volume, Tightness, Resiliency, Depth) を計測するための指標に注目して、それら指標の関係をティックサイズなどの人工市場内のパラメータを変化させることで調査をした。その結果、市場価格ティックサイズの大きさ、投資家はその局面局面で重視する取引戦略法（ファンダメンタル法、テクニカル法、ランダム）を変化させたとき、Volume と他の 3 指標 (Tightness と Resiliency, Depth) は負の相関があることがわかった。一方で、投資家が妥当な資産価格がわからず、個々の発注価格にばらつきが大きくなるような市況では、すべての指標が正の相関をもつことがわかった。しかし、発注注文が市場に残存する期間が変化しても、流動性指標の間に明確な傾向は見られなかった。

一方で、現人工市場モデルは当該研究分野で広く使用されているモデルであるが、現実市場を反映していない可能性があることが判明した。つまり、現モデルでは Volume と Depth がともに上昇することは原理的に発生しにくいのだが、現実には、Volume が増えることにより Depth も上昇することが分かっている。投資家が Volume が高いことを理由に指値注文を増やすという行動がモデル化されていない点が理由の 1 つとして挙げられる。これは流動性を検証することに着目したことによって得られた貴重な知見である。

5. 今後の計画

上述のように、今回現実世界をモデルにうまく反映できていない点が存在することが判明したため、その対策を行うことが挙げられる。さらに、3 節にて記したように、他の検証対象（例えば、空売り規制が金融市場安定化に貢献しているのか、HFT(高頻度取引投資家)が存在すると市場は不安定化するのか、など）を調査する際に流動性まで考慮した検証を行う予定である。

6. 研究成果の発表

- 益田 裕司, 水田 孝信, 八木 勲: “人工市場を用いた市場流動性に影響を与える要因の検出,” 第 20 回人工知能学会 金融情報学研究会予稿集, SIG-FIN-020, pp. 30--38 (2018-3).

以上

全天周映像におけるモンタージュの効果研究と創作技術

研究者名： 情報メディア学科 牧 奈歩美

1. 研究の目的

映像作品では、鑑賞者に没入感を与えることは重要である。そのための方法として、全天周映像は高臨場感を与えるものとして有効と考えられる。とくにドーム映像は視界のほとんどが映像で埋められながらも人間にとって最も自然な状態で鑑賞が可能である。しかし、平面的な映画においては定義の存在するモンタージュは、全天周映像において効果は未開拓である。本研究では全天周映像におけるモンタージュの効果を検証し、その創作技術を開拓する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

現在、立体視技術はデジタルホログラフィとも称され、様々な機関で研究が行われている。その多くが3Dテレビモニタなどへの応用を目的とされているもので、映像・映画業界などへの貢献が多くみられる。一方、芸術作品としてのホログラフィはホログラフイーアートと呼ばれ、90年代に盛んであったが現在は衰退しているように見受けられる。本研究では、デジタルホログラフィで実現可能な、ホログラフィのアニメーションへの応用と、展示を目的とした作品制作を目標とする。

3. 期待される効果

映画におけるシーンチェンジとして確立されているものは、カメラの動く向きや速さ等をすべてシーンチェンジの前後でマッチングさせるために動きは決定されている。しかしながら本研究では、視聴者は視界全体が映像で覆われるため、その視聴感覚における違和感の発生や、シーンチェンジの理解度の相違が懸念されるため、従来のシーンチェンジが有効であるかを実験する必要がある。既存の自作3DCGアニメーションの一部を再現することで検証・評価する。そして試験的に短編3DCGアニメーション制作を行う。コンセプト、ストーリー、キャラクタ等、すべてオリジナルで制作を行う。鑑賞者に作品の理解度等を評価していただき、最終的には、新たな作品形態として一般化を目標に掲げる。

4. 研究の経過及び結果

オリジナルの短編3DCGフルドーム映像を制作した。その制作過程において、各シーンチェンジを実際にドームシアターで上映し、その視聴感覚を確認し、カメラのスピードやカ

メラと映像の中のモチーフの距離などを調整した。その中で、モチーフの表面にあるテクスチャ（模様・質感）とその形、サイズも視覚的な影響力があることが分かった。制作過程において、テクスチャの見え方を実際に投影しながら調整するという事も行った。

5. 今後の計画

今後は全天周映像における視聴感覚に注目して、空間認識とそれの与える映像文法への影響の研究へと展開していく予定である。

6. 研究成果の発表

制作したフルドーム映像を The 11th Full-dome Film Festival（ドイツ）、Immersive Film Festival(ポルトガル)、国際科学映像祭（東京）で上映した。さらに、それを VR 形式に変換した作品を SIGGRAPH Asia 2017 VR Showcase で展示発表した。また、制作過程における研究について、情報処理学会デジタルコンテンツ研究会で口頭発表し、さらに情報処理学会論文誌デジタルコンテンツ（DCON 6 巻 1 号 1－7 頁）に採録された。

胎動計測による胎児の成長監視システムの開発

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

妊娠・出産は、人間が存続する上で欠かせない行為である。われわれは誰しも母親の胎内で命を授かる。精子と卵子が結びつき、生命のもとである受精卵になり成長を続ける。妊娠期間は、日ごとに大きくなるお腹と胎動を感じながら、生まれてくる子供に思いを募らせる幸せな時間である。一方で、最も命が危険にさらされやすい時期でもある。胎動とは『母胎内で胎児が動くこと。また、その動き。』と表現されている。成長過程に合わせて胎動の頻度が増加していくという考え方が一般的であり、10回の胎動を感じるまでの時間を計測し特定のチャートに記録する「胎動カウント法」により胎動の頻度を計測し成長具合を計測する手法がある。胎動が活発になる7ヶ月目で急に胎動が感じなくなり病院に駆け込むと臍帯が首に絡まっていたというケースも報告されており、胎動は胎児の健康のバロメータであるともいわれている。しかし、妊娠は病気ではなく胎動に関する研究があまり行われていないのが現状である。

妊産婦の胎動に注目し、妊娠週数毎による胎動の場所と頻度を計測することで胎児の成長状況を通知し、異常があれば病院への診療を促すことができるシステムの開発を行う。妊婦帯に複数の圧力センサを配置することにより皮膚表面に現れる胎動の場所と頻度を計測し記録することができる胎動スキャナを開発する。胎動カウント法では妊産婦が主観的に胎動の知覚を行うが、本システムではセンサを用いての客観的な計測が可能である。妊娠週数毎の胎動の頻度と場所を計測しデータベースの構築を行う。胎動スキャナを装着した妊産婦の胎動と胎動データベースに蓄積されたデータを比較することにより、現在の胎児の健康状態を妊産婦に通知することができる。また異常があれば病院への診療を促すことができる。さらに計測した胎動を体験者に呈示するデバイスの開発を行う。胎動は子宮内の胎児の状態によって感じる場所が変化する。たとえば臨月になると胎児の頭が妊産婦の骨盤に固定されるので腹部上部に胎動頻度が増加し、反対に逆子の場合は腹部上部以外に感じる事が報告されている。このような経験を、妊娠前にあらかじめ体験し学習させることができれば、実際に妊娠して異常を感じたときに迅速に対応することができる。また、胎動は妊産婦だけの特権であり夫やパートナーは体験することができない。そこで夫やパートナーに対して胎動を提示することができれば生まれてくる子供に対して愛情をもって接することができるのではないかと考える。

2. 研究の必要性及び従来研究

胎動とは「母胎内で胎児が動くこと。また、その動き。」と表現されている。成長過程に合わせて胎動の頻度が激しくなっていくという考え方が一般的であり、10回の胎動を感じるまでの時間を計測し特定のチャートに記録する「胎動カウント法」により胎動の頻度を計測する手法も存在する。胎動が活発になる7ヶ月目で急に胎動が感じなくなり病院に駆け込むと臍帯が首に絡まっていたというケースも報告されており、胎動の頻度を計測することは成長過程を示すバロメータであるともいわれている。しかし、妊娠、出産は病気ではなく、これまで胎動をセンシングする技術の開発は行われていないのが現状である。妊産婦の腹部に装着し、胎児の心拍数、胎動、子宮収縮を計測する分娩監視装置も存在するが、胎動の検出は被験者が胎動を知覚した時に主観的にボタンを押すものであり、客観的にセンシングを行う装置の開発は行われてない。

そこで我々は、胎動検出を目的とした胎動 Viewer の開発を行なう。妊婦帯に複数の圧力センサを配置することにより皮膚表面に現れる胎動を計測することが可能である。胎動カウント法では妊産婦が主観的に胎動の知覚を行うが、本システムでは客観的な計測が可能である。胎動検出の手法として被験者に筋電位センサなどの装着を行う手法も考えられるが、母体や胎児への悪影響も考えられる。妊娠期間中は非常にデリケートな期間であり、実際の妊産婦への装着は技術的、倫理的にも難しいのが現状である。そこで我々は、高分子圧幕フィルムを用いた圧力センサを用いて計測を行う。圧力センサは圧力抵抗性物質を塗った特殊フィルムに圧力を加えることで抵抗値が変化するもので人体への影響を考慮する必要はない。

胎動の種類にも複数の胎動が存在するが、我々は皮膚表面に現れる胎動のセンシングを目的とする。市販されている妊婦帯に圧力センサを複数個貼り付け妊産婦に装着を行うことで、皮膚表面に現れる胎動のセンシングを行うことができる。

本システムを用いることで胎動のセンシングとアーカイブ化が可能になる。また我々が既に開発している妊婦体験システムと組み合わせることで胎動のリアルタイム通信も可能になる。

3. 期待される効果

- 妊娠は病気ではなく胎動に関する研究があまり行われていないのが現状である。我々は胎動に着目し胎動の場所と頻度によって成長具合の判定を目指している。
- 胎動を計測し胎動データベースに蓄積し、蓄積されたデータと、現在の胎動のデータを比較することで胎児の成長具合を判定する。これまで胎動は回数のみが重要とされてきたが胎動の場所と頻度を計測することでよりリッチなデータを得ることができる。
- 出産に至るまでの妊娠期間中に欠かせないのが妊婦健診である。病院、妊娠週数などによっても異なるが、月1回から臨月になると週1回のペースで通院する必要がある。そのため、妊婦健診は一般的には合計14回、受診する計算になる。健診も健康保険がきかないため、1回4000～5000円（特別な検査を受ける場合には1万円程度）かかるともいわれており、一般的に妊娠出産にかかる費用は約100万円と高額になるといわれている。そのため体に異常を感じても健診に高額な費用がかかるため「たいしたことないかも」と健診を躊躇する妊産婦も存在し、取返しのつかない事態が発生した事例も存在する。本システムは家庭で胎動を用いた簡易的な健診を行うことができ明らかな異常の場合は、受診を促すことが可能である。
- 妊娠中にも関わらず胎動を自覚しない症例が報告されている。自覚症状がないだけなのか皮膚表面の感覚器官が鈍いだけなのか原因が明らかにされていない。胎児は体内で必ず動いているはずであり、胎動を自覚しない妊産婦に対してもセンサを用いた本システムは有効である可能性は高い。
- 申請者（小坂）は、内蔵感覚呈示による胎動呈示可能な妊婦体験システム『MommyTummy』を開発している。MommyTummyは、育っていく胎児の重さ、暖かさだけでなく胎動などの胎児の成長過程を体験者に呈示し、妊産婦が受ける身体的負担と胎児が成長する喜びを疑似体験することができるシステムである。本研究課題は胎動の計測に重点を置いており、MommyTummyは胎動の呈示に応用することができ親和性が高く胎動のリアルタイム通信やアーカイブと再生など応用分野が広がる。
- 計測した胎動データをもとにリアルタイムにプロジェクタを用いて妊産婦の腹部にプロジェクションマッピングすることにより胎児や胎動の視覚化を行うことが可能である。

4. 研究の経過及び結果

次年度(平成29年)は、これまで開発した胎動スキャナと対になる胎動ディスプレイの開発をおこなった。胎動は、妊婦のみが自覚可能であり、父親や家族が胎動を感じることは困難である。われわれは、父親や家族が妊婦の胎動を拡張し共有できれば、妊婦だけでなく、生まれてくる子供に対して、愛情をもって接することができるのではないかと考えた。本研究では、圧力センサを腹部に複数配置することで、胎動の場所と強さを客観的に計測する胎動スキャナを用いて胎動を計測し、胎動スキャナで計測した胎動を拡張し疑似的に腹部に再現できる胎動ディスプレイの提案と、胎動の共有が可能なシステムの提案をおこなった。

胎動共有システムのシステム構成図を図1に示す。胎動の有無に加え胎動の発生した場所を計測するための胎動スキャナと、胎動を拡張して疑似的に腹部に再現する胎動ディスプレイから構成されている。胎動スキャナと胎動ディスプレイは記録したデータの再現だけでなく、リアルタイム通信を行うこともできる。また、例えば、1日分の胎動を1分で再現するなど、計測した胎動を指定した時間で再現することも可能である。

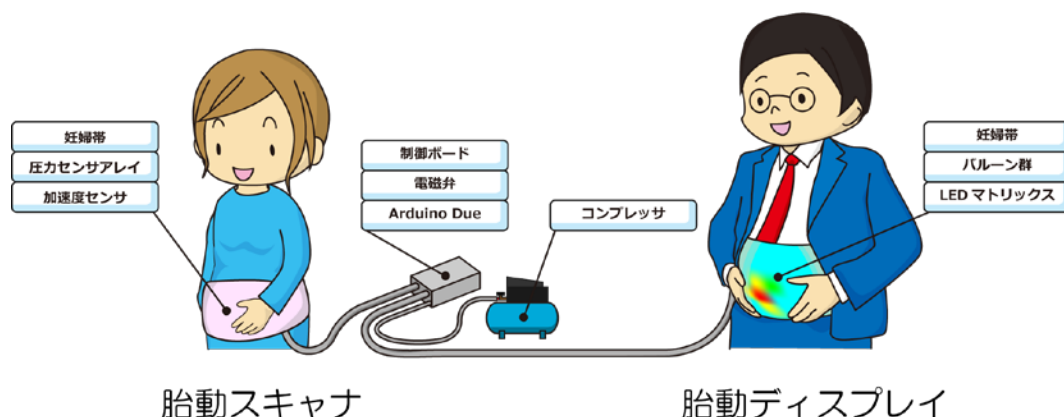


図1:胎動共有システム システム構成図

胎動スキャナ

妊婦帯に圧力センサを複数配置することで、妊婦の皮膚表面に現れる胎動を計測できる。圧力センサには Interlink Electronics 社製 FSR406 を用いた。大きさは 43.7 x 43.7mm、感圧領域は 40 x 40mm である。妊婦帯に上下左右隣り合う距離が等しくなるように FSR406 を 11 個配置した(図 2)。得られた圧力センサ群のデータは、胎動データとして 25Hz で計測を行い 32GB の SD カードに 222 日間記録が可能である。

計測時は安静な状態での装着を想定しているが、不慮の動きなどによる圧力センサへの影響も想定される。そこで被験者の動きを計測するために 3 軸の加速度センサも配置した。計測時、加速度センサに急激な動きがあった場合、圧力センサの値を除外するようにした。



図 2: 胎動スキャナー センサ配置図

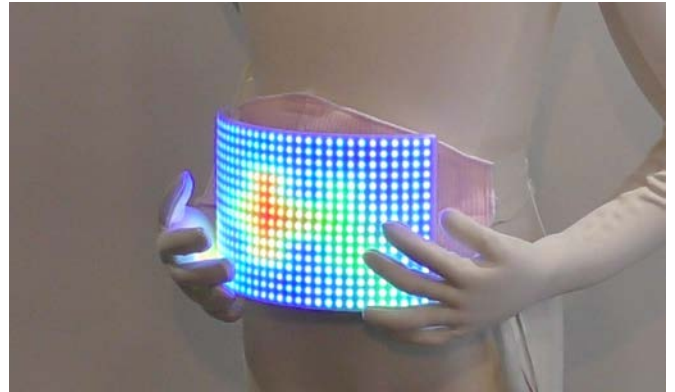


図 3: 胎動ディスプレイ LED マトリックス図

胎動ディスプレイ

胎動ディスプレイは、計測した胎動を拡張し腹部に再現できるデバイスである。妊婦帯には、フルカラーLED マトリックスを配置し、外部から胎動の様子を拡張して視覚化ができる。圧力値が低い領域を青色、圧力値が高い値を赤色で表示している(図 3)。また、胎動データを腹部 3D モデルにマッピングしモニタに表示し胎動を視覚化することも(図 4)。

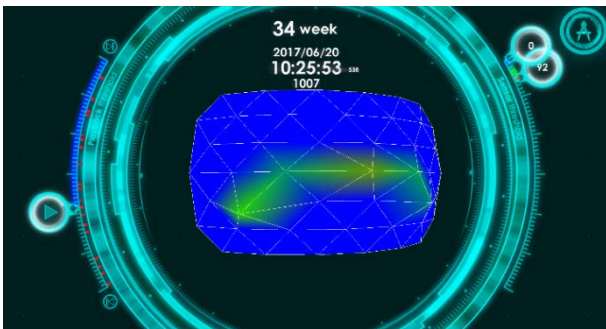


図 4: 胎動 3D マッピング



図 5: 胎動ディスプレイ バルーン配置図

さらにバルーンを用いて腹部に胎動を再現できる(図 5)。エアコンプレッサで圧縮した空気を電磁弁で制御し、バルーンを膨らませることにより胎動として腹部に再現する。妊婦帯に上下左右隣り合う距離が等しくなるようにバルーンを 11 個配置した。これは、胎動スキャナに配置された 11 個の圧力センサと位置が対応しており、計測した胎動を再現できる。

実験と考察

胎動スキャナで得られた胎動データを用いて胎動の再現をおこなった。2017 年 12 月 16 日に開催された GUGEN2017 コンテスト[27]にて訪れた一般来場者に対して胎動を拡張して再現をおこなった。実験に用いた胎動データは、既に胎動スキャナを用いて計測された被験者 A(妊娠 34 週)の特徴的な動きのある 1 分間の胎動を用いた。

出産経験者からは、「自分が妊娠しているときは、もっと激しかった気がする」、「妊娠初期の胎動に似ているが、妊娠後期の胎動には蹴る力が弱い」などと妊娠中に感じた自分の胎動と比較する被験者が多く見られた。胎動は個人差が大きいとされているため他人の胎動に、違和感を覚えたのではないかと推測されるが、再現される

胎動の蹴る力が弱いという意見は多かった。また「かわいい」、「なつかしい、もう一度妊娠してみたい」などの肯定的な意見も多く見られた。

一方、出産未経験者からは、「こんなに動くの?」、「気持ちが悪い」、「くすぐったい」、「(LED で)表示されているので胎動が動いている(様子が見ることができる)ので、見ていてたのしい」などの意見が得られた。胎動をこれまで感じたことがないためか、初めて感じる疑似的な胎動に驚きを感じていた。また一緒にいた妻に「こんなだった?」と会話をする姿を見ることができた。

5. 今後の計画

本研究課題では、妊産婦の胎動に注目し、妊娠週数毎による胎動の場所と頻度を計測することで胎児の成長状況を通知し、異常があれば病院への診療を促すことができるシステムの開発を行う。開発にあたり各年度における開発および構築の研究計画表を表 1 に示す。

表 1:研究計画表

開発および構築項目	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度
胎動スキャナの開発	●(計画通り遂行中)		
胎動データベースの構築			●
胎動比較システムの開発			●
胎動提示システムの開発		●前倒し実施	

●胎動スキャナの開発(図 4)

妊産婦の妊娠週数毎に合わせた胎動の場所と頻度を計測デバイスの開発を行う。妊産婦の妊婦帯に圧力センサを複数配置することで胎動の場所と頻度を計測し記録を行う。

●胎動データベースの構築(図 1)

胎動スキャナで計測された妊娠週数毎による胎動の場所と頻度のデータをデータベースに格納し蓄積する。データベースには MySQL を用いる。被験者は出産経験者ではなく実際に妊娠している被験者を用いる予定である。現在、名古屋市立大病院産婦人科病院 尾崎康彦教授と胎動に関する共同研究を行っており、被験者は、同病院に入院している妊産婦に協力を依頼する予定である。

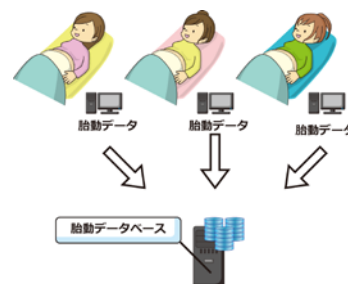


図 1:胎動データベース

●胎動比較システムの開発(図 2)

胎動データベースに蓄積されている妊娠週数毎の胎動データの種類と胎動位置、頻度について解析を行う。解析されたデータと胎動スキャナで計測された胎動データの比較を行い、胎動による胎児の成長状況の判定をおこない、異常があれば病院への診療を促すことができる。

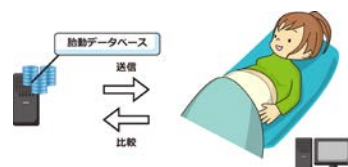


図 2:胎動比較システム

●胎動提示システムの開発(図 3)

胎動データベースに蓄積されている胎動データをもとに既に開発を行っている胎動提示が可能な MommyTummy に出力を行う。これまでの MommyTummy の胎動提示は実際の胎動データを記録し再生したものではなく出産経験者のアンケート結果をもとに再現したものである。このため胎動データベースとの連動を用いることにより、よりリアルな胎動提示が可能になる。

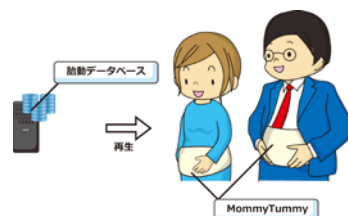


図 3:胎動提示システム

初年度で得られた実験データの解析を行う。また、開発した胎動スキャナを用いて、実際に妊娠している被験者を用いて妊娠週数毎の胎動データを取得し胎動データベースを構築、解析を行う予定である。その後、解析されたデータと胎動スキャナで計測された胎動データの比較を行い、胎動による胎児の成長状況の判定をおこなう。

胎動スキャナで計測された妊娠週数毎による胎動の場所と頻度のデータをデータベースに格納し蓄積する。データベースにはMySQLを用いる。被験者は出産経験者ではなく実際に妊娠している被験者を用いる予定である。現在、名古屋市立大病院産婦人科病院 尾崎康彦教授と胎動に関する共同研究を行っており、被験者は、同病院に入院している妊産婦に協力を依頼する予定である。

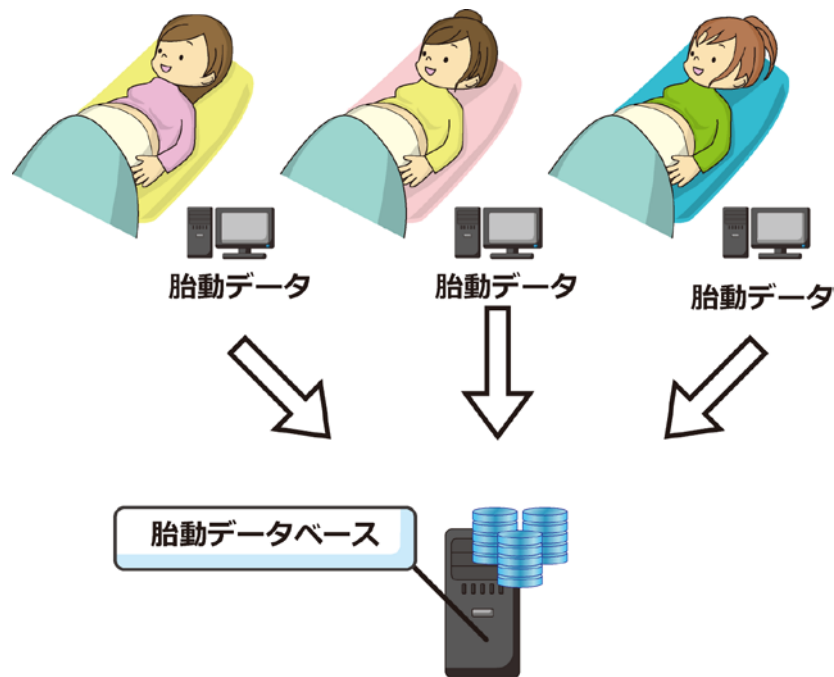


図 2:胎動データベース

6. 研究成果の発表

[論文]

- [1] [1]小坂崇之:胎動の計測と胎動の再現が可能な胎動共有システムの提案, 情報処理学会インタラクシオン 2018 論文集, 2018, pp. 1089-1092 (2018-03/05).
- [2] [2]小坂崇之, 青木真希子:圧力センサアレイを用いた胎動スキャナの提案, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2017 論文集, 2017, 70-74 (2017-09-09).

[受賞]

- [1] 情報処理学会インタラクシオン 2018 インタラクティブ発表賞(PC 推薦)受賞 (2018/03/05).
- [2] Asia Digital Art Award FUKUOKA 2017 エンターテインメント(産業応用)部門 大賞/経済産業大臣賞 (2018/02/28)
- [3] GUGEN2017 Good アイデア賞 (2017/12/16)
- [4] 情報処理学会エンタテインメントコンピューティング 2017 ベストペーパー賞 (ノート) 受賞 (2017/09/18)

一般道路上での V2X 通信による予防安全方式

研究者名：所属学科	情報工学科	清原 良三
	情報工学科	宮崎剛
	電気電子情報工学科	高取祐介
	自動車システム開発工学科	狩野芳郎

1. 研究の目的

一般道における予防安全のための車車間通信(V2V)において、道路コンテキスト(混雑度、視界)に応じた選択的情報通信手法による通信量を削減した確実な通信方式の確率と、道路コンテキストに応じた情報のタイミングのよい表示手法の確立およびドライビングシミュレータを利用することによる注意散漫度のしっかりとした評価指標を確立する。また自動運転導入時にも非自動運転モードに移行する際の問題点を洗い出し、自動運転時における情報表示技術を確立する。

特に、(1)の残課題とされる UI 部に関しては、科研費基盤 C で採択となったため、残る課題を中心に、平成 29 年度以降の科研費獲得のための準備段階という位置づけで実施する。通信モジュールも含めたドライビングシミュレータ、交通シミュレータ、通信シミュレータの統合環境の構築と、自動運転、非自動運転混在時における種々のケースのシミュレーションを中心に行い、V2X 通信による課題解決を図る。

2. 研究の必要性及び従来の研究

最近の自動運転に関する期待は想像を絶する状態である。渋滞がなくなり、事故がなくなり、高齢者など弱者が自由に移動できるとその一面のみをあおる記事も多い。しかし、実際には避けられない事故は起こる。また、自動車の量が多ければ渋滞は起こる。高齢者も、緊急時に自動車を操作できないようでは、結局自由

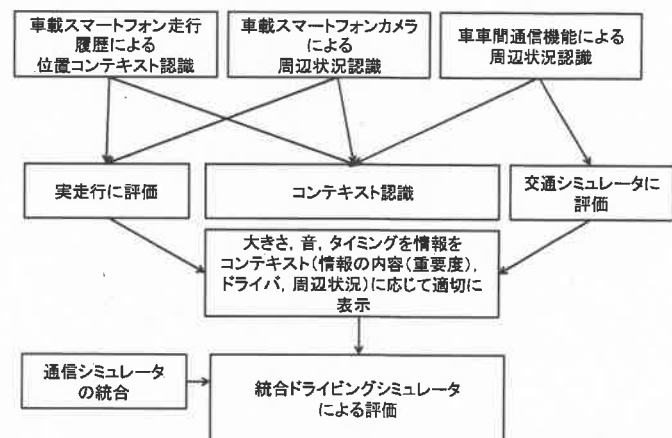


図 1. 研究構想全体

には移動できない。こういった負の面を明らかにすることにより、その対策をしっかりと行うとともに、過度の期待をさせないための実態を訴え、期待はずれだからといって過去の多くの研究テーマのように多くの研究が停滞してしまうことを避けさせるという点で、非常に大きな意義があると考え、良い面を考える限りは、将来必ずおとすれる、高齢化社会、労働力不足の世界において必須の技術のためである。

3. 期待される効果

位置のコンテキストの認識や車車間通信機能を保持しない車の情報を共有するという手法は他になく、一般道を対象とすることおよび、本学の持つ、ドライビングシミュレータ環境での本格的評価という点で他にない成果を上げることができると考えられ、非常にインパクトのある内容といえる。またさらに、自動車の増加や予期しない障害物による通信の遅延や切断なども想定を可能とする通信シミュレータも統合した環境の実現は申請者の知る限りは他にはない。また、これにカメラ画像による危険予知なども含めると統合的な実験環境として他に類を見ない環境が構築できると考えている。

4. 研究の経過及び結果

- (1) V2X を利用した車両の動作において、動作モデルを作成し、通信プロトコルを定義し、車両の進入時などの動作の検証と、結果として交通流に影響がでないかどうかなどの確認を行った。様々な周辺状況の影響を確認することも考慮するためのブレーキモデルの検討も行った。
- (2) 自動運転走行時の危険予知を目的として、脇道が見えにくくしている道路コンテキストの検出手法の確立を目的に、様々な道路上の画像や、人物といった、ものから、その情報が何を意味するかの抽出技術の実装と評価を行った。
- (3) 線媒体アクセス制御を考慮した出会い頭衝突防止システムのシミュレーション環境の改良と普及率に限らない様々な状況に応じた性能解析を実装した。
- (4) 最終段階で行うドライビングシミュレータでの評価に備え、ドライビングシミュレータ上の各種シナリオを作成し、評価の準備を完了させた。

5. 今後の計画

平成 29 年度までに確立した技術を中心として、それぞれの技術を組み合わせた開発を行う。しかしながら、各自の進捗の違いもあるため、ある程度の想定環境での実施となる。また、最終年度は学会発表、国際会議などで積極的に成果をアピールする予定である。具体的には、AINA2018, IWIN2018, ICMU2018 といった国際会議を想定するとともに、日本国内では、ITS Japan の主催するシンポジウムおよび DICOM02018 での発表を想定する。以下の項目に関して行う。

(1) センサを用いた周辺害物情報などの状況認識技術と既に定義したコンテキストの対応表を作成する。周辺の障害物認識に関しては、既存の技術も多数あるため、既存の技術の活用にとどめ、本研究では、道路上の標示情報を正確に認識し、周辺の車両の動きを予

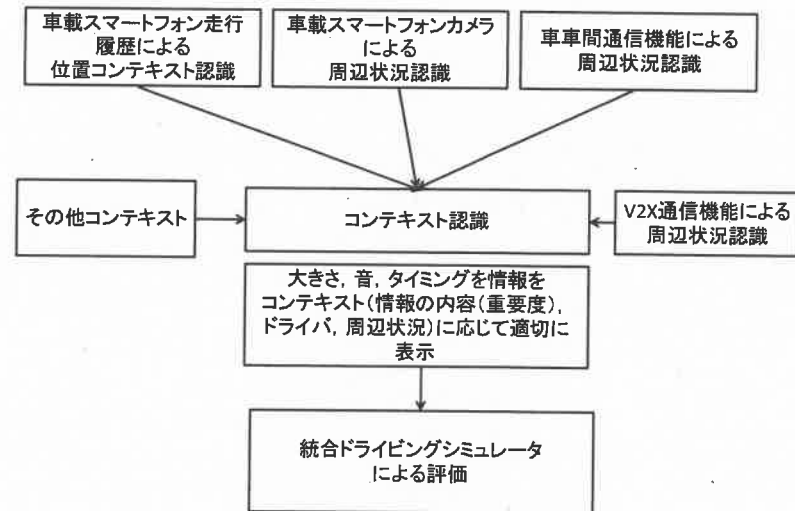


図3. 平成30年度

測することによるコンテキストの作成を中心に進める。かすれなど処理の難しさにも対応する予定である。

(2) 車車間通信などを用いた周辺の車両状況を活用したコンテキストの対応表を作成する。各車両が通信機器を搭載しているとは限らないため、周辺の多数のセンサを活用し、通信できない車両を特定し、その車両に注目しながら周辺車両の状況を把握し、コンテキストとして認識する。

(3) (1)(2) およびドライバ自身のコンテキストから状態遷移表を活用してドライバの危険度を導き出す。多くの場合は、現状のコンテキストに、そのコンテキストを変化させるようなイベントが起きたら状態が遷移することになる。結果として危険度が上がると、その危険度を下げるための情報提示や、ドライバへの意識付けを行う。

(4) これらの危険度は既に平成29年度に各状態に対して定義済みである。危険度は、ドライバのブレーキの踏込強さなどにより評価してものであり、現実に近いものであるため、再び、ドライビングシミュレータを活用して、危険シナリオを複数作成した上で、上記危険度に応じた情報の表示の適切性を評価する。評価にあたっては事前の情報を見たことによる緩やかなブレーキになったかなど世予防安全につながったかなどを評価する。

(5) また交通シミュレーションを活用して、より実際の状況を表現した状態を再現する予定である。

これらの実施により、各技術の問題点もまた明確になると考え、さらなる発展のための科研費に繋がるように進める予定で、4年間で実施している現在の科研費の権限移譲に関する

ものをさらに拡大して、基盤 B として本成果を加える形で、最終年度の特例を利用して応募する予定である。

6. 研究成果の発表

(1) 原著論文等

松山聖路, 徳永雄一, 清原良三, 認知地図の構築過程に着目したスマートフォンによる運転者の地点把握度推定手法, 情報処理学会論文 Vol. 58, No. 10, pp. 1606-1616, 2017

(2) 国際会議論文など

Tatsuro Hara, Ryoza Kiyohara, Vehicle Approaching Model for T-junction During Transition to Autonomous Vehicles, The 32nd International Conference on Information Networking (ICOIN 2018)

Yuki Chigira, Yuichi Tokunaga, Ryoza Kiyohara, A study of driver's contexts for visibility of equipment on vehicle, IWIN(International Workshop on Informatics) 2017

Hiroki Ito, and Yusuke Takatori, VIS performance analysis in multi-lane T-junction IWIN(International Workshop on Informatics) 2017

Hiroto Furukawa, Masashi Saito, Yuichi Tokunaga, Ryoza Kiyohara, A Method for Vehicle Control at T-Junctions for the Diffusion Period of Autonomous Vehicles, 20th International Conference on Network Based Information Systems (Nbis 2017)

(3) 国内シンポジウム・研究会等

樫村亮多, 宮崎剛, “車載ステレオカメラを用いた道路脇壁検出方法に関する研究” 研究報告高度交通システムとスマートコミュニティ, 2017-ITS-71

宮崎航, 宮崎剛, “車載単眼カメラを用いたひし形の道路標示の検出,” 研究報告高度交通システムとスマートコミュニティ, 2017-ITS-71

安達選, 宮崎剛, “オートバイに搭載した単眼カメラによる道路マンホール検出に関する研究,” 研究報告高度交通システムとスマートコミュニティ, 2017-ITS-71

清水健史, 宮崎剛, “車載ステレオカメラを用いた歩道上の子供検出方法に関する研究,” 研究報告高度交通システムとスマートコミュニティ, 2017-ITS-71

(4) 全国大会等

古川義人, 徳永雄一, 斎藤正史, 清原良三, “手動運転車両と自動運転車両の混在環境における渋滞軽減手法,” 情報処理学会第 80 回全国大会

高速かつ広範囲ポジショナルトラッキングシステムに関する研究

研究者名：所属学科 D 氏名 安本匡佑

1. 研究の目的

本研究は2つの手法を試みることを目的としている。まずこの lighthouse 方式を拡張し、複数台のベースステーションが混在するような状況においてもポジショナルトラッキングを実現することで、方式の高速・高精度を維持しつつ、広範囲でこれを実現する。次に別の手法として慣性センサとディープラーニングの組み合わせを試みる。これらによって今後発展していく VR 界限において確固たる存在感を示し、VR の発展に貢献することを目的とする。

本研究では、lighthouse 方式の拡張を主目的とし、複数台のタイミング変更する方式と、レーザー発振に ID を混ぜる方式の2つを試み、その有効性を検証する。研究期間に余裕がある場合は、2つ目の慣性センサの強化学習の方式を試し、今後の研究の可能性を模索する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

VR に用いる HMD は高性能化し、視野角の増大、高解像度化に伴い、3D 酔いを発生しやすくなり、これを解決するためには頭の位置をトラッキングすることで、運動感覚と映像情報のずれを無くすことでこれを解決する手法が一般的に用いられており、現在ではポジショナルトラッキングが必須の技術となっている。従来 of Kinect のような全身を取得する必要はないが高精度かつ高速に処理する必要がある。ポジショナルトラッキングはそれだけでなく VR 中の没入感を増大させる役割も担っている。

このポジショナルトラッキングには従来のカメラを用いた画像認識や、モーションキャプチャ用の赤外線カメラと再帰性反射材によるマーカの組み合わせが主流であったが、複数同時に認識するためには人数に比例して処理が重くなり、また機材が高価であったり、設置場所が特殊な環境である必要があったりした。これに対しての新方式として赤外線レーザーによる lighthouse 方式が登場し、高速かつ低コストでこれまで以上の精度をもつポジショナルトラッキング方式が実現された。これは動体が外部に設置されたレーザーを読み取ることで実現しているため、人数のスケールが容易である。しかしながらトラッキング範囲がそれほど広くなく、単純なレーザー投射を行っているにすぎないため、3台以上のレーザー投射装置（ベースステーション）が混在した場合それらを判別できないという問題点があることから広さはスケールしないと

いう問題点があった。

3. 期待される効果

lighthouse 方式自体が独創性のある技術であるが、これを拡張する方向性としてセンサ自体の感度を向上させる方向でポジショナルトラッキング範囲を増大させる試みは行われている。またレーザーの強度を上げることで到達距離を延ばすことで広範囲化も考えられているが、これらの方式では根本的に障害物の多い場所や多数の部屋、複数の階層を持つ建物全体をカバーすることはできない。それゆえに本方式による拡張は柔軟性に富み、VR だけでなく様々な分野で活用することが期待される。

4. 研究の経過及び結果

HTC 社の HTC VIVE 用レーザー発振器 (base station) のファームウェアを改変し、ID を混ぜることで複数同時に使用できることを目的としており、外部の企業との連携によりこれを実現する目論見であったが、変化の速い昨今の xR 環境の変化などに伴い、協力を得られず独自に手法を模索していかざるを得なくなった。また Apple および Google の単一カメラでのポジショントラッキング技術の発表に伴い lighthouse 方式のメリットが若干薄れたことによりかなりの方向転換を必要とした。さらに HTC 自体が同様の手法でエリアの拡張を発表したためこれ以上のこの方式での研究の可能性は薄くなってしまった。そこでその時点で可能な応用事例の制作と、Google の Tango との組み合わせによってエリア認識を行うことでのポジショントラッキングを実現しようとしたが、Google から 2018 年 3 月で Tango の開発中止およびサポート中止になり、やはりこの方向での模索も頓挫した。しかしながらこれらまでに得られた知見より、google AR Core 及び Apple ARKit と、lighthouse 方式の組み合わせによる可能性を模索し、今年度の研究へとつなげている

5. 今後の計画

何度かの研究の方針転換はあったが、ポジショントラッキング、SLAM 技術を画像認識と慣性センサによって行うのではなく、lighthouse のレーザー技術を組み合わせることでより高精度にできる可能性を見出した。また既存の Apple ARKit や Google AR Core との連携により、広範囲を均等に高精度でトラッキングするのではなく、重点領域を設定し、その複数の領域をシームレスに接続することで、エンターテインメント目的の広範囲のトラッキングを実現できるだろう。今後はこの方式の実現とこの技術を用いた作品の制作を行っていく。

6. 研究成果の発表

本研究の技術の一部応用した作品「VAIR FIELD」は Tokyo Game Show2017 での展示、MA2017 での展示、Taipei Gamw Show 2018 での展示、IIT Delhi での招待展示、Laval Virtual 2018 での展示を行った。また IWAIT 2018、VRIC2018 での論文発表、IWAIT2018 では best paper を受賞した。またすでに今年度開催の HCII 2018 での論文発表、CEDEC2018 での展示が決定している。

エンジンにおいて出力をリアルタイムで算出する手法の研究

研究者名：自動車システム開発工学科 氏名 岡崎 昭仁

1. 研究の目的

環境対策技術の筆頭として、電動車両の研究・開発が盛んである。しかし、電気自動車には、①急速充電技術と大容量蓄電装置の開発、②日本においてはクリーン電力の確保という大きな解決すべき課題がある。一方で、エンジンを併せたハイブリッド車は、普及拡大の一途にあり、一層の自動車の電動化のためには、エンジンの高効率化が必須であり、経済産業省、各自動車会社、大学・研究機関の産官学連携で高効率エンジン（日の丸エンジン）の研究開発が推進され、熱効率率 50%を目標としている。しかし、フォーミュラワンなど最先端のレース用エンジンは既に熱効率率が 50%近くに達しているようであり、日の丸エンジンの掲げる目標値は遅れをとる心配がある。

申請者は、前職時代から、「高過給・高圧縮比・高膨張比」をコンセプトにした高効率エンジンの検討を行ってきた。机上検討では、熱効率率 54%（総合効率）を得ており、神奈川工科大学として国家プログラムの目標値を凌駕するつもりである。この机上検討値を実機で実証するために、試験用エンジンの設計、先行実験用エンジンの準備（本体と計測機器）を進めてきている。

このエンジンの性能実験を行うには精度の高い出力計測が必須である。刻一刻と変動する出力を捉えて、過給圧制御、吸排気弁の可変制御、燃料噴射・点火制御を最適にする必要がある。これまで、このような技術はなかったが、筆者は燃焼圧の立ち上がりを計測・演算することによりリアルタイムでエンジンの出力を計測する手法（リアルタイムサイクルシミュレーション）を共同研究者と発案している。現在、机上検討段階であるがエンジン実機で実験を行い、これを実証するためにエンジンベンチの準備を製作するものである。

2. 研究の必要性及び従来の研究

申請者は熱効率率 50%凌駕を目標とする高効率機関を研究開発中であり、当該機関はリアルタイムでの高精度な出力計測値により、過給圧制御、吸排気弁の可変制御、燃料噴射・点火制御を最適にすることが不可欠である。従い、機関の研究開発に先立ち、リアルタイムでの出力計測手法を開発する。

これまで日産自動車による三次元燃焼シミュレーションを用いた未燃焼 HC（ハイドロカーボン）の予測がある。しかし、この手法は理論計算のみであり、かつ実験による実証が行われていない。申請者が知りうる限りリアルタイムでエンジンの出力を計測・算出した

研究開発事例はないようであり、独創的である。また、本方式は出力算出のみならず、吸入空気温度・圧力、排気温度・圧力を計測することによりリアルタイムでのエンジン全体の状況、つまりは熱効率の算出も可能となる。このような研究報告例は未だなく、重ねて独創的な内容である。また、学術的独創性のみならず、本技術は、エンジンの効率や応答性の向上に寄与できると考える。併せて、電動駆動技術では、エンジンの出力算出ができることから、電動機との緻密な制御が可能となる。

3. 期待される効果

(1) 共同研究への展開

リアルタイムサイクルシミュレーション技術について、世界的な圧力センサーメーカーであるキスラー社と共同研究を行う予定である（技術確立後は、本学のエンジンベンチで同社と協業で製品へ応用する技術開発を行う旨、話を進めている）併せてキスラー社の日本法人が国内のユーザへ向けた技術発信を行う際のモデルベンチとして使用できるように展開を図る。同社のモデルベンチの役割を担い、「自動車開発教育の神奈川工科大」を内外に強くアピールする。

(2) 一般研究への展開

「高過給・高圧縮比・高膨張比」エンジンの開発にリアルタイムサイクルシミュレーションを適用し、性能の最適化を図る。この研究は、外部資金、重点配分、科研費などに研究申請を行う予定である。目標とする効率 50%凌駕を実現するためには、リアルタイムで出力を検知しながら、エンジン統合制御を緻密に行う必要がある。この技術は、自動車のパワートレイン分野に広く適用できると考えている。なお、このエンジンは、本学において学生と共に研究開発する「学生フォーミュラハイブリッド自動車」に搭載する予定であり、広く世界に本学の教育研究の先進性をレベルの高さをアピールするものである。

(3) その他

リアルタイムサイクルシミュレーション技術は、自動車業界や学术界より申し出があれば積極的に技術供与や共同研究に応じる所存である。

4. 研究の経過及び結果

研究1年目として、エンジン実験装置（エンジンベンチ）の整備および実験用エンジン本体の改造を実施した。出力は圧力計測値から推測するため、精度の高い計測方法が必要になる。今回、世界中の自動車メーカーや研究機関で使用されているキスラー社の圧力センサを導入した。**図1**に構築した圧力計測システムの構成を示す。吸気、圧力センサに加えて、燃焼室内の圧力計測センサを追加している。

エンジンベンチ構成図を**図2**に、完成したエンジンベンチを**図3**に示す。これまで、本学自動車工学センターに設置されているエンジンベンチは、稼動はできるが学術的なデータを取ることは出来なかった。今回、吸気・排気にサージタンクを付加する、燃料冷却装置を追加する、潤滑油、冷却水の恒温機構を取り付けるなど工夫を施した。

5. 今後の計画

平成29年度、重点配分予算を配分されたことで、エンジンベンチの整備、エンジン本体の改造が完了し、圧力計測に関するトライアルを開始することができ、深く感謝します。今後は、次の研究計画で推進する。

(1) エンジン圧力計測システムの構築と実証評価

昨年度、圧力センサ 5 本により筒内圧を計測できるエンジンの計測システムが完成した。今後、各センサの校正を行いながら、データ取り込みについてシステム運用の完成を試みる。現在使用しているデータ取得装置は 10 年以上前の物であり、大きく、重く、汎用性がない。そこで、小型のデータ取得・解析装置を新規に申請し、購入、適用させる。

(2) シミュレーションソフトを用いた「リアルタイムサイクルシミュレーション」検証
AVL 社製のエンジン性能解析ソフト **Boost** を用いて、本提案の効果実証を行う。既に同ソフトは入手済みであり、早期に効果確認を行う。

(3) エンジン実験による「リアルタイムサイクルシミュレーション」の効果実証

演算式の検証は、研究協力者である上智大学名誉教授吉田正武先生と本学日本人客員研究員の小栗康文氏(千葉大学 大学院 工学研究院 研究員)にお願いする。協力を仰ぎつつ、得られた実験データより、リアルタイムサイクルシミュレーションの妥当性を検証・校正する。実験では、動力計によりエンジン出力を計測し、定常値における比較検証を行う。得られた研究成果は、学会発表のみならず、特許・実用新案にまとめ、広く社会に発信する予定である。

6. 研究成果の発表

研究成果は大学で行われる研究であることから、教育的視点を鑑み 4 年次の卒業研究生に発表させた。発表は次の通りである。なお、本年度、本研究テーマの一部は、大学院生の研究テーマでもある。

登野城広、内燃機関実験装置における圧力計測に関する考察、日本機械学会北陸信越支部第 47 回学生員卒業研究発表講演会講演論文集、CD-ROM (2018.03)

松浦翔太、シズテムズ・アプローチを適用したエンジンベンチの構築手法、日本機械学会北陸信越支部第 47 回学生員卒業研究発表講演会講演論文集、CD-ROM (2018.03)

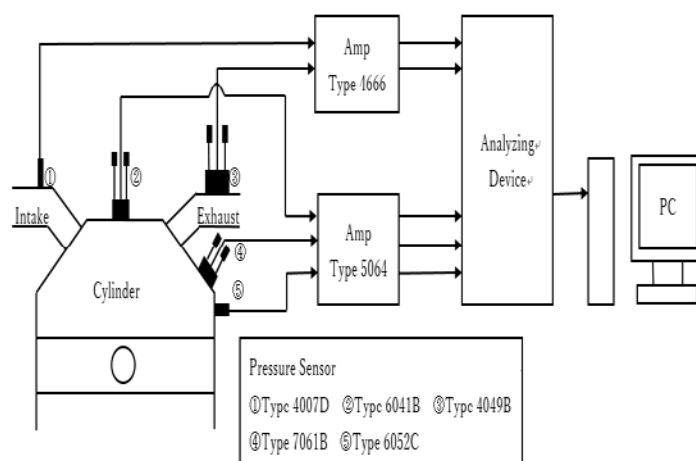


図 1. 構築した内燃機関圧力計測システム

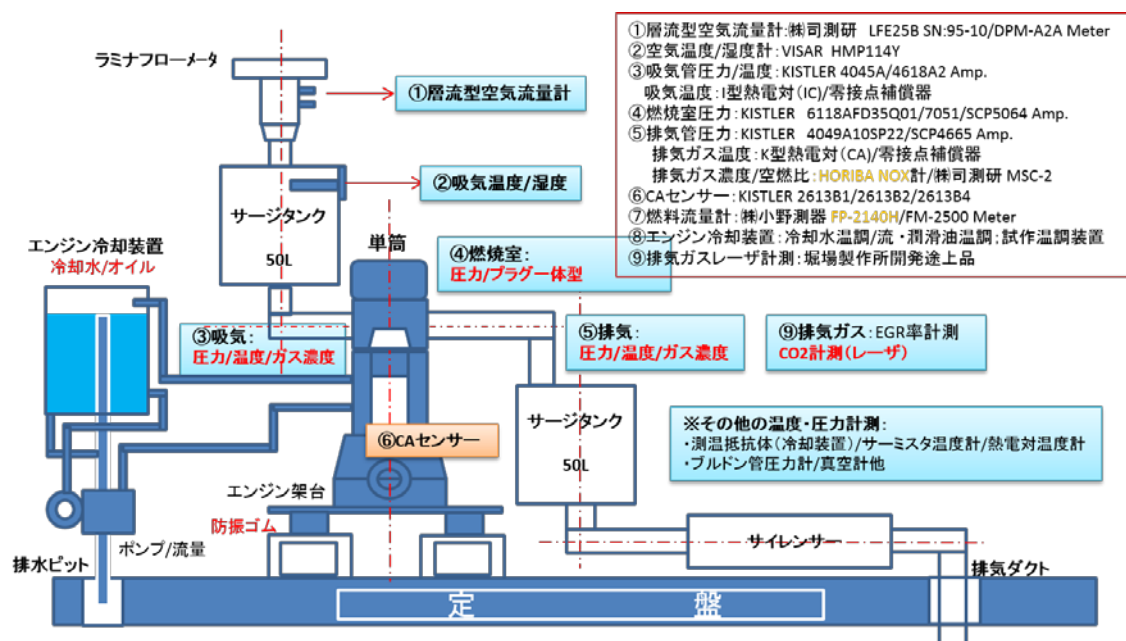


図 2. エンジンベンチの構成

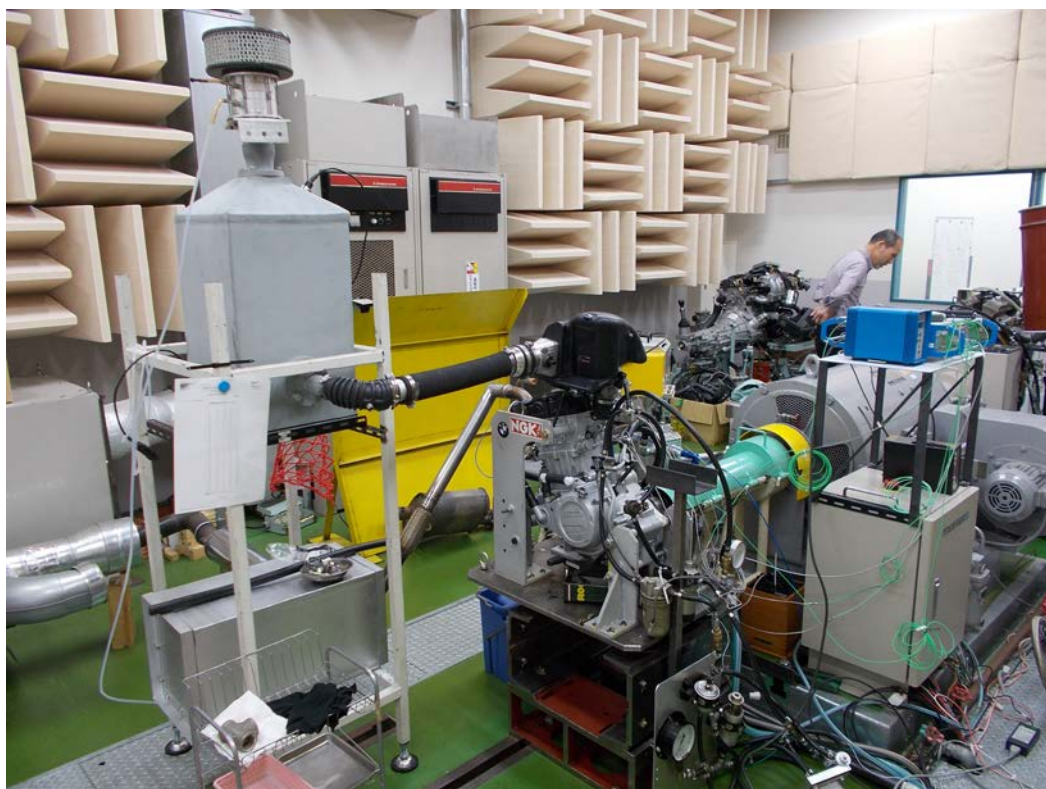


図 3. 構築したエンジンベンチ

抗菌活性を有する新規なハイドロゲルシートの開発

応用バイオ科学科 岡部 勝, 清水秀信, 和田理征
基礎教養教育センター 三井和博

1. 研究目的

今日、様々な抗菌性が付与された日用品が多く商品化されている。しかしながら、含水性材料の日用品は、細菌やカビの温床といわれているにもかかわらず、含水性材料に抗菌性を付与した商品は見当たらない。

高分子ゲルには、大別すると 2 つの架橋型ゲルが存在する。一つは物理架橋型ゲルで、この種の場合、ゾルーゲル転移が熱可逆的に起こることから容易にゲルを作製することができる。しかしながら、耐熱性が低いという欠点がある。これに対し、化学架橋型ゲルは、分子鎖同士を化学的に架橋するため、未反応の架橋剤やモノマーの除去が必要になるが、力学的性質及び熱的性質は大幅に向上する。

水溶性高分子であるポリ(ビニルアルコール)(PVA)は、生体適合性、生分解性、透明性、含水性に優れているため、食品分野や医療分野で注目されている。さらに、成型加工性に優れた材料の一つである。しかしながら、PVA は粘弾性的特徴に優れているものの抗菌性は示さない。

キチンは、カニやエビなどの甲殻類に含まれ、年間推定一千億トンも生合成されているといわれており、セルロースに次ぐバイオマス資源である。キチンを脱アセチル化すると、キチンの 2 位にアミノ基を有し、酸性条件下で溶解するキトサンとなる。キトサンは、キチンと同様に毒性がなく、安全性が高いといわれている。また、アミノ基が細胞膜や細胞壁を破壊する^{1),2)}と言われ、抗菌作用を持つ材料の一つであるが、粘弾性的特徴及び成型加工性に劣る。

本研究では、含水性材料に抗菌性を付与した材料を開発するため、PVA をマトリックスとし、天然抗菌剤であるキトサンをブレンドすることによって、安全かつ吸水性に優れた抗菌性ハイドロゲル材料の開発を目的としている。

2. 研究の必要性および従来研究

これまで報告されている PVA の研究は、力学的に優れたゲルの作製方法である。一般に、力学的性質を向上させるための方法として、凍結解凍法や水/DMSO の混合溶媒でゲルを作製することが知られている。しかしながら、熱的性質が弱いという欠点がある。熱的性質を向上させるためには、分子鎖を化学的に架橋したゲルを作製する必要がある。PVA の分子鎖を架橋させる架橋剤として、グルタルアルデヒド(GA)が用いられるが、GA の添加量によって粘弾性的特徴が大きく変化する。GA の量が多いと、架橋密度が高くなり、粘弾性的特徴が低下し、逆に、GA が少ないと熱的性質が低下することが容易に予想できる。このことから、PVA に対して、GA の添加量を決定する必要がある。さらに、PVA/キトサンブレンドフィルムにおける GA の影響も検討する必要がある。

現在、抗菌性ハイドロゲルの研究はほとんどなく、さらに、抗菌のメカニズムについても詳細に検討されていない。ハイドロゲルの抗菌活性のメカニズムや構造を詳細に検討することは、抗菌性を有するハイドロゲルの開発に大きく貢献できる。また、ゲル状態で強い抗菌性を示す材料

が開発できれば、新規な抗菌性水分吸収ラップや医療材料などの創傷被覆材への応用が期待できることから、研究開発として大いに意義がある。

3. 期待される効果

本研究では、抗菌活性を有する PVA ハイドロゲルフィルムの抗菌メカニズムの解明とその材料の開発を目的としている。PVA は高含水性、透明性、成型加工性、生体適合性に優れた高分子である。しかしながら抗菌性を示さない。これに対し、キトサンは抗菌性を有するが、成型加工性に乏しいという欠点がある。成型加工性に優れた PVA をマトリックスとして、キトサンをブレンドすることによって抗菌活性を有するハイドロゲルフィルムが作製できると考えられる。PVA/キトサンブレンドハイドロゲルフィルムの網目構造や抗菌活性の有無を検討することによって、抗菌性のメカニズムを知ることができる。さらに、ゲル状態で抗菌性を示すと、例えば、肉や魚などから出るドリップを吸収して抗菌性を示す、抗菌性吸収ラップなどへの応用が十分期待できる。

4. 研究経過および結果

PVA を化学架橋するために GA が用いられるが、添加する量によって架橋点間分子量 M_c が変化し、その結果、粘弾性的特徴が大きく変化すると予想できる。そこで、PVA に対して GA を 0, 2, 3, 4, 5, 6wt% 添加して PVA フィルムを作製し、Flory によって導き出された式(1)を用い、平衡膨潤度 q_m から架橋点間分子量 M_c を求めた。

$$M_c = \frac{M_n d V_1 (\phi_2^{1/3} - 2\phi_2/v)}{2dV_1(\phi_2^{1/3} - 2\phi_2/v) - M[\ln(1-\phi_2) + \phi_2 + \chi_{12}\phi_2^2]} \quad (1)$$

ここで、

M_c : 架橋点間分子量 [g/mol] ; M_n : ポリマーの数平均分子量 [g/mol] ;

d : 高分子の密度 [g/cm³] ; V_1 : 溶媒のモル体積 [cm³/mol] ;

ϕ_2 : 膨潤ゲル膜中の高分子の体積分率 [-] ; v : 架橋点の官能基数 [-] ;

χ_{12} : 高分子/溶媒間の相互作用パラメーター [-] .

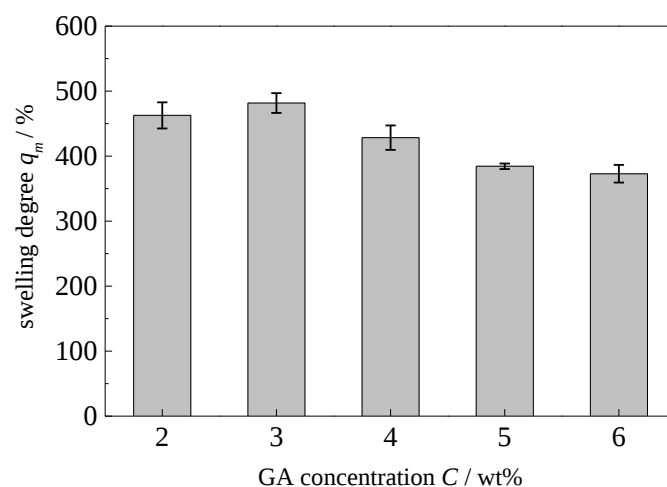


Figure1. GA 濃度と膨潤度 q_m との関係.

本実験では、PVA-水間の相互作用パラメーター $\chi_{12}(0.4953)^3$ と平衡膨潤度 ($\phi_2 = 1/q_m$) の値から M_c を

求めた。まず、Figure1 に膨潤度 q_m の結果を示した。GA の添加量が増加すると、膨潤度 q_m は低下した。一般に、架橋点が多くなるとゲルマトリックス内に取り込める水の量が限られる。そのため、GA の添加量が増大すると架橋密度が増大し、その結果、 q_m は低下したと考えられる。しかしながら、いずれも 300% 以上を示し、十分な吸水力があることが分かる。次に、 q_m から求めた ϕ_2 の値から M_c を算出した。その結果を Figure2 に示した。この図より、 M_c は GA の添加量が増加すると低下した。つまり、架橋密度が増加したことを意味している。しかしながら、GA の濃度が低い 2wt% が、 M_c (架橋密度) は最大を示すと予想したが、3wt% が最大を示した。これは、架橋剤とポリマーが不均一に反応したためと考えられるが、現在、詳細を検討中である。

次に、GA で架橋した PVA ゲルフィルムを一軸延伸し、応力-ひずみ曲線 (S-S カーブ) を作成して力学強度の検討を行った。その結果を Figure3 に示したが、GA の添加量が多いほど S-S カーブの傾きは大きくなる傾向を示した。つまり、GA 濃度が高いほど、比較的強いゲルが作製できるといえる。このことから、 M_c は力学強度に影響を及ぼしていると考えられる。そこで、S-S カーブの初期勾配よりヤング率 E を求めた結果を Figure4 に示した。全体的な傾向として、GA 濃度が増加するにつれ、ヤング率 E は増大する。また、2wt% のヤング率 E は 3wt% より高い値を示していることから、Figure2 の M_c の結果を支持するといえる。しかしながら、PVA に対する GA が増加すると、PVA ゲルフィルムはより堅く柔軟性に欠ける傾向が見られた。これは、乾燥した状態のフィルムで顕著であった。このことから、十分な吸水性があり、適度な強度及び柔軟性がある 2wt% を、GA の固定添加量とした。

そこで、PVA/キトサンプレンドフィルムの作製を行った。まず、ねじ口瓶に PVA を所定量入れて水を加え、150℃ で完全に溶解させた。また、別のねじ口瓶にキトサンを所定量入れ、キトサンと酢酸の比率が 5 : 4 となるように酢酸を加え、100℃ で完全に溶解させた。その後、溶液を冷却

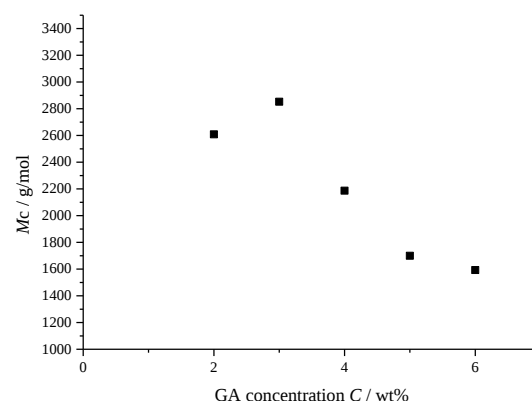


Figure2. GA 濃度と架橋間分子量 M_c の関係.

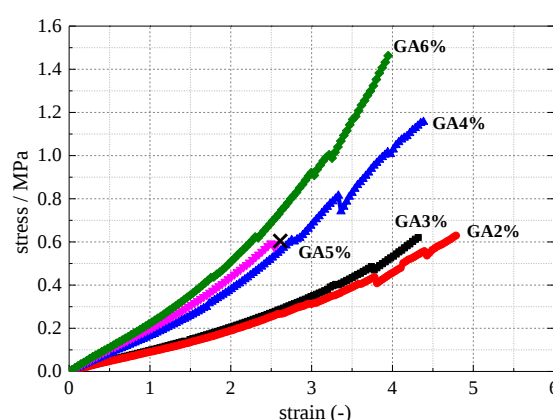


Figure3. 化学架橋型 PVA の S-S カーブ.

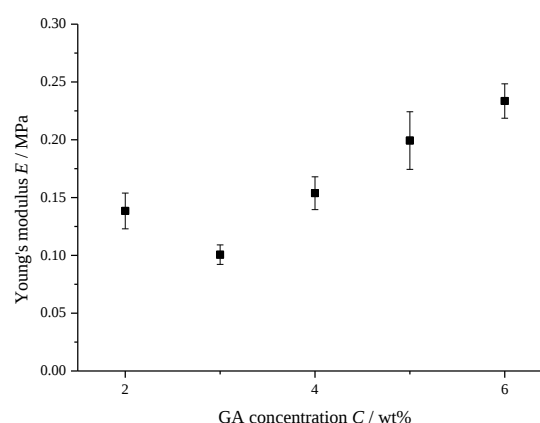


Figure4. GA 濃度とヤング率 E の関係.

させ、PVA 溶液に GA が 2wt% になるように添加し、さらに、濃硫酸を所定量滴下して激しく攪拌した。攪拌後、この PVA 溶液にキトサン溶液を加えて攪拌した。その後、シャーレにキャストし、ゲルフィルムを作製した。乾燥後、1N NaOH 水溶液に 24h 浸漬して中和した。さらに、蒸留水に 24h 浸漬して試料とした。なお、PVA : キトサンの比率は、100 : 0, 95 : 5, 90 : 10, 85 : 15, 80 : 20 とした。キトサンをさらに加えるとゲルは堅くもろくなったので、この範囲の比率とした。作製した PVA/キトサンフィルムの写真を Figure5 に示した。キトサン 0% のゲルフィルムは無色透明であったのに対し、キトサンを含むゲルフィルムは、白濁した。これは、キトサンのカチオン

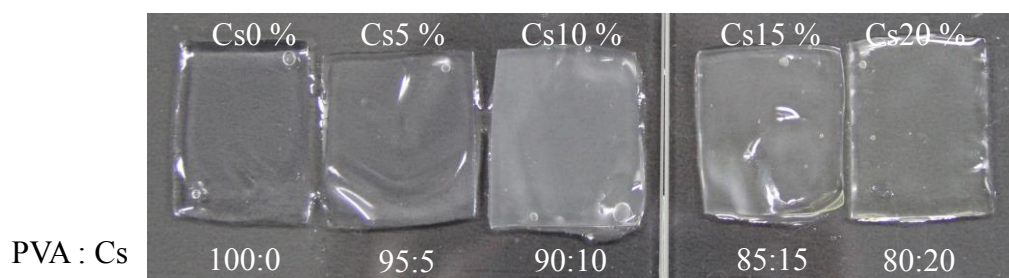


Figure5. PVA/キトサンゲルフィルムの写真.

と硫酸のアニオンが静電的相互作用によって塩を生じ、その結果、キトサンが凝集して白濁したと考えられる。さらに、キトサンが 10% 以上になると、淡黄色を呈したが、これは、キトサン由来の色である。次に、PVA/キトサンゲルフィルムのヤング率 E を求めた。その結果を Figure6 に示した。まず、キトサンのみを見ると、ヤング率 E は高い値を示していることが分かる。これは、キトサンが rigid な構造を形成していることに由来すると考えられる。また、PVA のみのヤング率 E は、キトサンをブレンドしたフィルムよりも高い値を示した。一般に、PVA を GA で架橋したとしても、架橋点間に存在する PVA 鎖同士が水素結合によって新たな物理架橋点を形成すると考えられる。このことから、PVA マトリックス中にキトサン分子が入るこむことによって、PVA の微結晶が抑制されてヤング率 E が減少したと考えられる。

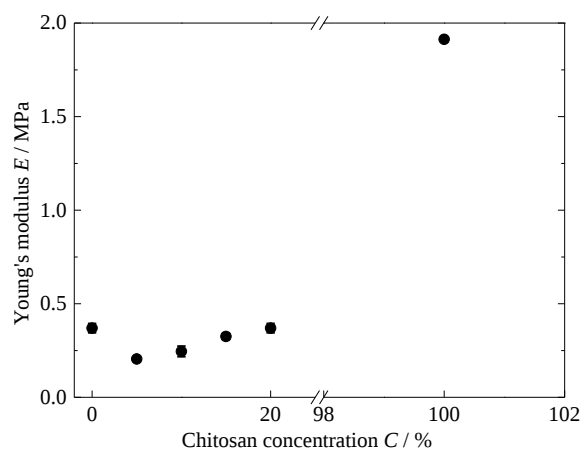


Figure6. キトサン濃度とヤング率 E .

5. 今後の計画

本研究で、PVA/キトサンハイドロゲルフィルムのキャラクターゼーションは明らかになりつつあるが、抗菌性については議論できていない。そこで、PVA/キトサンの比率を変化させ、黄色ブドウ球菌と大腸菌に対する抗菌活性を検討する予定である。

6. 参考文献

- 1) 森本 稔, 重政好弘, 高分子, Vol.50, 236(2001).
- 2) 下條 学, 正木和好, 栗田恵輔, 福島和雄, 日本農芸化学会誌, Vol.70, 787(1996).
- 3) S.-J. Hong, H.-T. Huang, and P.-D. Hong, *J. Appl. Polym. Sci.*, **92**, 3211 (2004).

7. 成果の発表

1)大町理未, 和田理征, 清水秀信, 岡部 勝

「抗菌性ポリビニルアルコールハイドロゲル膜の構造とその特性」

第 27 回高分子ゲル研究討論会, 2016, 1(東京大学)

2)和田理征, 清水秀信, 岡部 勝

「PVA ハイドロゲルの微結晶の大きさと架橋長」

第 65 回高分子学会年次大会, 2016, 5(神戸国際会議場)

3)和田理征, 清水秀信, 岡部 勝

「PVA/キトサンプレンドフィロムの特性」

第 65 回高分子討論会, 2016, 9(神奈川大学)

4)和田理征, 清水秀信, 岡部 勝

「PVA/キトサンプレンドフィロムの特性と抗菌活性」

第 66 回高分子学会年次大会, 2017, 5(幕張メッセ)

5) Risei Wada, Hidenobu Shimizu, Masaru Okabe

“Characterization of PVA/Chitosan Blended Hydrogel and Antibacterial Activity”

IUMRS-ICAM2017, 2017, 9(Kyoto University)

6)和田理征, 清水秀信, 瑞慶覧章朝, 澤井 淳, 岡部 勝

「PVA/キトサンプレンドフィロムの物性と抗菌活性」

第 66 回高分子討論会, 2017, 9(愛媛大学)

過冷却促進物質の工学的応用に向けての基礎的研究

応用バイオ科学科 鳴海 明

1. 研究の目的

過冷却とは、凝固点以下に冷却されても相変化しない現象のことをいい、制御することが困難な不安定現象として知られている。しかし、過冷却は特別な現象ではなく、水の場合はとくに過冷却水と呼ばれ、雲を構成している水滴粒子などがその例であり身近な現象と言える。前述したように過冷却現象は本質的に不安定現象であることから、現在の技術では過冷却現象の制御を実現できていない。しかしながら、もし過冷却状態を安定して維持することができれば、その応用は食品、生体材料の凍結保存から過冷却保存への転換、材料表面の塗装による結氷防止、過冷却器への応用、植物への低温耐性の付与、降雪量の調整などと多岐に亘る貢献が期待できる。

本研究では、藤川らにより最近見出された寒冷地で過冷却して越冬する樹木から抽出した過冷却促進物質に注目して、従来とは全く異なる視点から過冷却制御の可能性を検討する。その際、過冷却促進物質と同様に生物由来物質として工学的応用が期待されている不凍タンパクについてもその可能性を検討する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

従来からの過冷却の研究は、例えば水および容器を含む様々な条件下において冷却実験を行い、過冷却解除温度を計測し過冷却解除を確率的観点から検討する研究が斎藤らを中心として行われた。また、多田らにより磁場をかけることにより、ある特殊の条件下で過冷却が維持されたとの報告も行われている。しかし、現段階では、過冷却解除は複雑な要因を含んでいるため、制御するまでには至っていない。本研究では従来の研究とは視点を代え、藤川清三北大名誉教授のグループによって見出された寒冷地において -40°C まで過冷却して越冬する樹木の細胞から見出された過冷却を促進する物質；過冷却促進物質に注目し、この物質による過冷却制御の可能性を検討する。過冷却促進物質とは、非束一的に水の凍結温度を低下させる物質の総称であり、エチレングリコールなどのような凝固点降下を利用した不凍液に比べ100~1000分の1の低濃度で同等の降下をもたらすと言われている。しかし、現在はまだ過冷却促進物質の存在が明らかになったばかりであり、藤川らのグループによりようやく応用に向けての基礎研究が始まったところである。彼らは、現在行われている研究は、大容量の水ではなく最大で1 mLの水溶液をポリエチレン容器に入れ、過冷却活性を確認してい

る段階である。その一方で、さらに実用化のためには、過冷却促進物質の多様性と氷核の違いによりその活性が異なるなど実際の応用に向けて難しい問題が多くあることが指摘されている

3. 期待される効果

もし、この過冷却促進物質を利用して限られた温度範囲とは言え、凝固点以下で安定して凍結させずに過冷却を維持することができれば、上述したような様々な分野においての応用が期待できる。

4. 研究の経過及び結果

過冷却促進物質は、4種類のフラボノイド配糖体と4種類の加水分解型タンニン関連化合物からの組み合わせから構成されているということが報告されている。ここでは、成分の組み合わせの煩雑さを避けるため、第1段階として過冷却促進物質をタンニン酸に絞り、以下の検討を行うこととした。まず低温顕微鏡を用い、①この過冷却物質を含んだ水溶液、②蒸留水、③不凍タンパク（AFGPⅢ）水溶液の過冷却解除時の凍結挙動を高速カメラの画像から検討した。ここで、冷却される液は5 μ L、冷却速度10 $^{\circ}$ C/minとした。結果として、過冷却解除温度は、①>③>②の順番でより低い温度で解除し、解除時の氷結晶の粒径は、③>①=②と径がより小さくなった。氷結晶の進行速度は①=②>③で速度が速くなっている。つぎに、環境試験機に10ccの液を入れた遠沈管を設置し、0.3 $^{\circ}$ C/minで冷却した。ここでは、タンニン酸水溶液、AFGP水溶液の濃度をそれぞれ0.1%,1%,3%と変化させて、その影響を調べた。その結果を、図1に示す。これより、タンニン酸水溶液の過冷却解除温度は、蒸留水、AFGPに比べて約5 $^{\circ}$ C以上低い温度で過冷却解除する結果を示した。これより、過冷却促進物質の活用によって過冷却をより安定的に維持できる可能性があることがわかった。

さらに、工学的応用として冷却された面にこれらの溶液を噴霧し、結露の様子をマイクロスコープで観察した。しかし、今回の実験では、その違いを観察することはできなかった。

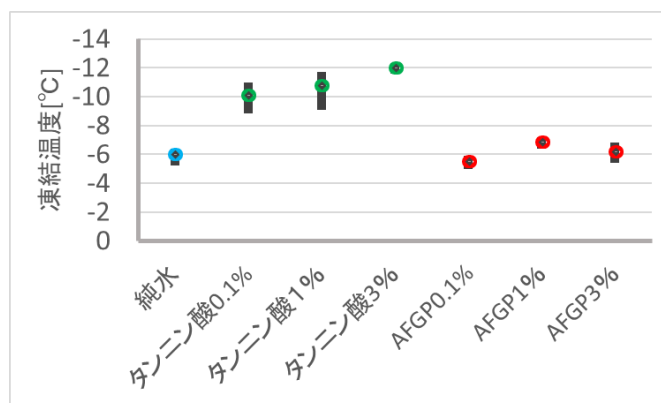


図1 溶液による過冷却解除温度の違い

5. 今後の計画

今回は過冷却物質としてタンニン酸のみで行ったが，次にフラボノイド配糖体のみの過冷却促進の効果を検証する．タンニン酸とフラボノイド配糖体それぞれの効果を明らかにした後に，さらにタンニン酸とフラボノイド配糖体との組み合わせについても検討する．それらの結果を踏まえ，実用的面から過冷却器と結露防止について検討を進めていく予定である．

6. 研究成果の発表

今年度は予定していない．

膜ろ過法とその周辺技術の統合による新規ナノマテリアル分離プロセスの開発

応用バイオ科学科 市村重俊

1. 研究の目的

本研究は、いまだ実現されていない連続的なナノマテリアル分離精製プロセスの構築を目的としている。そのプロセスの中心として位置付けられるのが膜ろ過法であるが、ファウリングと呼ばれる膜汚染にともなう性能低下が課題である。そこで、低吸着性の素材の利用やファインバブルによる洗浄技術などの周辺技術を膜ろ過法と積極的に組み合わせることで、新規プロセスの構築を目指す。

2. 研究の必要性及び従来の研究

膜ろ過法は世界的な水需要の増加を背景に利用が進められている。最大の特徴は、水質や用途によって、孔径の異なる膜を組み合わせた連続処理が可能なプロセスを構築できる点である。一方、化学物質の製造プロセスでは、反応操作と分離精製操作（遠心分離や晶析等）をそれぞれバッチ式で行うことが多く、連続的な大量生産プロセスの実現が課題となっている。特に、分離精製が困難なナノサイズ物質（ナノマテリアル）

を対象とする処理では、物質と細孔のサイズに応じた篩い分けが可能な膜ろ過法への期待が高い。しかし、水処理分野においても問題となっているファウリング現象（膜表面への物質の堆積や吸着による膜性能の低下）のため、ナノマテリアルの連続的な分離精製プロセスの実現には、(1) 吸着抑制技術、(2) 堆積抑制技術、(3) 汚染膜洗浄技術、(4) 膜汚染状態のモニタリング技術が不可欠である。これら要素技術の高度化や最適化が必要である。なお、晶析法やバブルの利用は、膜ろ過法の競合技術とされることが多いため、膜ろ過法との統合を想定した適用性の検討が課題である。

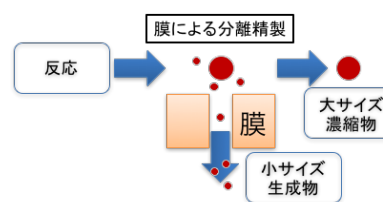


図1 反応生成物の膜による分離回収プロセス

3. 期待される効果

本研究の目的である「ナノマテリアルの分離精製プロセス」を実現するための大きな課題として、①混合系における小成分の高い透過性の実現と各要素技術の最適化、②実用系におけるナノマテリアルの分離精製プロセスの構築の2つがある。(1) 吸着抑制技術、(2) 堆積抑制技術、(3) 汚染膜洗浄技術、(4) 膜汚染状態のモニタリング技術の要素技術が不可欠である。課題①に関しては、単分散性ナノ粒子、タンパク質を利用することで、ろ過の諸条件が膜性能（ろ過速度・ファウリング性、溶質透過性）に及ぼす影響を定量的に明

らかにする。一方、ナノ粒子およびタンパク質の透過性を維持するためには、表面相互作用を制御する必要がある。そこで、膜表面および細孔内を耐ファウリング性ポリマーで修飾する。ろ過実験の結果は既存のろ過理論等で解析し定量的に評価し、最終的に、小サイズ成分の高い透過性を実現できる膜の開発、最適なる過条件を予測する手法の確立を目指す。条件の最適化に関しては、ソフトウェア（SNAP-F）を利用してシミュレーションを行い実験結果との対応から、透過性および膜面堆積層の形成に関する条件を検討する。膜面堆積層に対しては、バブル水による洗浄効果も評価する。また、膜の汚染状態をゼータ電位としてモニタリングする技術を導入する。ここでは、ゼータ電位を膜汚染状態（汚染箇所、汚染物質等）と関連付け、洗浄条件の最適化につなげる。課題②に関しては、粒子の多分散性や凝集体の形成、菌体や酵母による膜表面堆積層の形成がプロセスに影響を及ぼす。課題①の成果とともに実液を利用した検討によりプロセスの実現可能性を明らかにする。

4. 研究の経過及び結果

平成 29 年度は、上記の課題①を中心に進めた。ナノマテリアルの高い透過性を実現するため、セラミック製多孔膜を基材として MPC ポリマー修飾膜を作製した。タンパク質（牛血清アルブミン）の吸着による細孔内部の汚染が問題であり、新たに低分子量の MPC の利用を試みている。流動電位法により評価したゼータ電位が膜の汚染状態のモニタリングに有効であることは確認できた。一方、粒子による膜汚染と透過性については、直円筒状の細孔を持つ Track-etched 膜と単分散性ナノ粒子（粒径 40nm のポリメチルメタクリレート粒子、粒

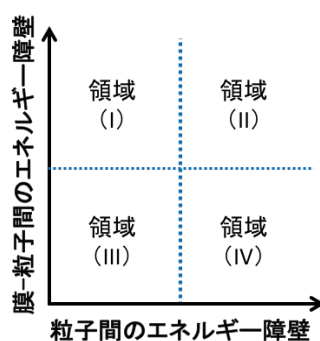


図2 ナノ粒子分散液の膜ろ過における相互作用エネルギーの影響

径 500nm のシリカ粒子) により検討している。本研究の成果として、粒子の分散凝集性と膜への付着性の影響が図2で整理できることを示した。粒径 500nm の粒子では領域(II)で粒子透過が実現されるのに対し、40nm の粒子では孔径とろ過圧力（または透過流束）、粒子濃度の影響が見られた。これらろ過条件の影響については、実験結果とシミュレーションにより詳細な検討が必要である。課題②に関しては、模擬海水への炭酸ガス吹き込みと pH 制御により、特定成分の結晶が得られることを見出しており、次年度以降詳細な検討を行う予定である。

5. 今後の計画

平成 29 年度の成果をもとに以下の通り進める予定である。課題①に関しては、最終的には、小サイズ成分の高い透過性の実現、最適なる過条件予測手法の確立、要素技術のプロ

セスへの適用性を見極めを目標とする。高い膜透過性の実現には、領域（II）が必要条件であり、ろ過条件の最適化には、ファウリング発生条件の予測などの定量的な評価手法が不可欠である。そこで、知見が少ない 100nm 以下のナノ粒子を対象とし、特に膜面の物質移動を考慮してろ過挙動の解析を進める。また、シミュレーションソフト（SNAP-F）を利用した現象の理解も試みる。一方、プロセス構築の目標達成を左右するのが、MPC ポリマーによる有効な表面修飾（特に細孔内部の修飾）技術の確立である。これは、領域（II）を拡張するものと理解できる。混合成分系については、モデル系および実際の粒子合成系を利用して、ろ過および洗浄実験により基礎的な知見を得る。膜面堆積層の洗浄技術として、バブル水による洗浄効果も評価する。これらを総合的に判断し、図 1 のプロセスを可能とする要素技術を見極める。課題②に関しては、晶析法と膜ろ過法を組み合わせたプロセスを想定し、前段と後段の処理を個別に検討する。後段では、溶液中の結晶と溶解成分の分離（または小結晶と大結晶の分離）を膜により行い、その有効性を明らかにする予定である。特に、分離性に及ぼす孔径および素材の影響を検討する。結晶のサイズ等に応じ、金属フィルターやろ布の利用も予定している。

6. 研究成果の発表

- 1) ○市村重俊、高萩侑希、古澤茉由子：ナノ粒子の膜透過性に対する表面相互作用の影響、分離技術会 2017 年度年会、明治大学生田校舎、2017. 5.
- 2) ○正岡功士、中島聖珠、山下麻貴、新堀和馬、市村重俊：イオン交換膜かん水からのスケール成分除去技術の検討、日本海水学会第 68 年会、京都市国際交流会館、2017. 6.
- 3) ○市村重俊、古澤茉由子、高萩侑希：リン脂質ポリマーによる粒子の表面修飾が凝集性と膜透過性に及ぼす影響、化学工学会第 49 回秋季大会、名古屋大学、2017. 9.
- 4) ○畑ヶ谷颯、中島聖珠、峯尾隼人、正岡功士、市村重俊：脱カルシウムかん水精製過程における炭酸カルシウムの析出挙動の検討、日本海水学会若手会第 9 回学生研究発表会、たばこと塩の博物館、2018. 3.

研究課題名

「タンパク質間相互作用（PPI）の制御を狙いとする生物活性天然物アルカロイドの構造を基盤とする化合物の合成研究」

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、

1. 研究の目的

タンパク質間相互作用（PPI）は、大部分の生物学的なプロセスにおいて重要な役割をもっており、創薬のターゲットとして非常に魅力的な可能性を秘めている。標的部位である PPI 界面が扁平で広範であり、低分子化合物が強く結合しにくく、PPI を阻害する化合物の探索は困難である。近年の研究により **hot-spot** と呼ばれるタンパク質複合体形成に強く関与する部位が見いだされ、PPI 制御を可能にする低分子化合物がいくつか見いだされている。PPI 創薬は、主として創薬ベンチャーで盛んであり、今年になって日本医療研究機構（AMED）は、「オールジャパンでの医薬品創出」を目的に、低分子・天然物・抗体医薬の抱える課題を解決できる次世代の医薬として PPI 阻害剤ライブラリーの構築を開始している。本研究は、細胞内のタンパク質間相互作用（PPI）を調節するような阻害剤のリード化合物となるような新規化合物を見いだすことを目的とする。その化合物は、**hot-spot** を含む PPI 界面と多数の相互作用を可能にする置換基をもつことが不可欠であるため、これらの置換基を複数 3 次元的に配置できるコア骨格を簡便にかつ立体選択的に合成する方法を開発する。

2. 研究の必要性および従来の研究

タンパク質間相互作用（PPI）の阻害するためには、幅広い空間の認識が必要なため、低分子化合物では困難であり、抗体などの利用が必要と考えられていた。しかしながら抗体医薬は膜透過性がなく、細胞内の PPI をターゲットにすることはできない課題をもっている。PPI を阻害する化合物の探索は、挑戦的なテーマであり、いろいろな取り組みがなされている。タンパク質界面における相互作用の場として重要な **hot-spot** は、主として疎水性相互作用から成り立っており、その二次構造（ α -ヘリックスなど）に着目した化合物デザインや、その構造の模倣ペプチド分子をインシリコデザインによって設計する方法が行われている。タンパク質界面における二次構造は、 α -ヘリックス（約 25%）の他、特定の構造をもたないものが 60% 存在しており、そのような部位と相互作用する分子の創製が求められている。

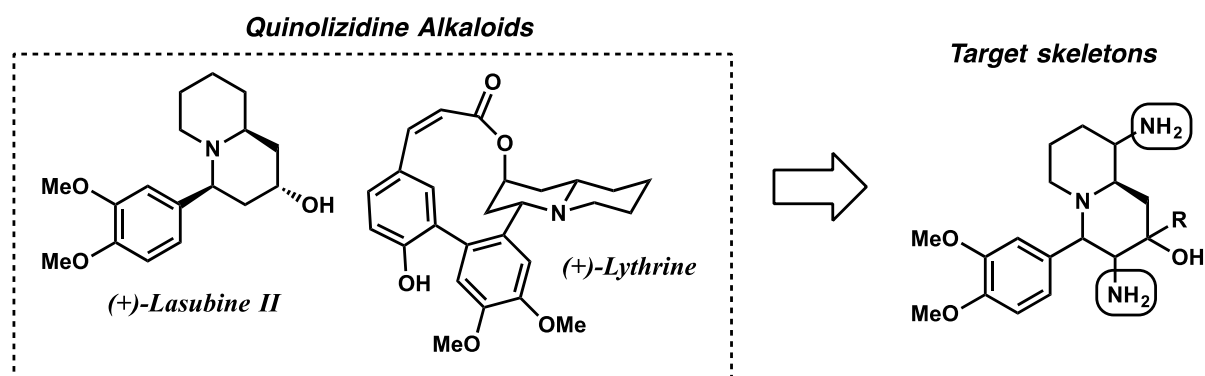
3. 期待される効果

PPI では、相同性の高いタンパク質が、多様な立体構造をとることで、異なるタンパク質と相互作用することが知られている。その阻害剤の創製のためには、タンパク質界面と相互作用する疎水性置換基を、立体的に配置できる 3 次元的な多様な新規骨格を含む多様な化合物が、必要となる。不斉中心の有する立体的な多様性のある骨格をもつ生物活性天然物に、タンパク質界面と相互作用する疎水性の置換基を容易に導入できるアミノ基を付与した化合物を基本

骨格とした。この骨格に多様な部分構造を導入することで、タンパク質界面と相互作用する化合物を創製でき、医薬品へとつながる研究が進展すると考えられる。

4. 研究の経過及び結果

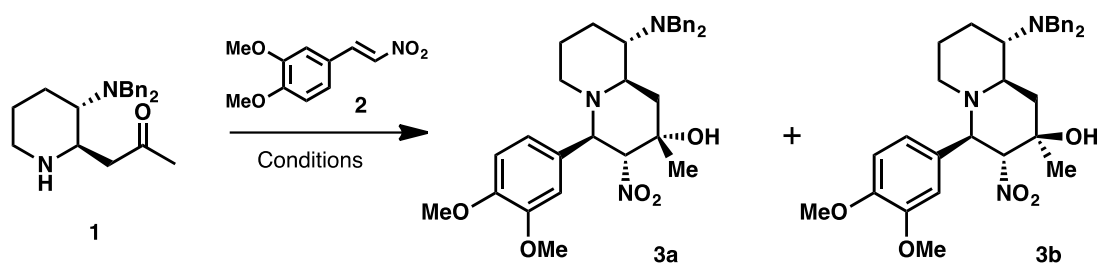
疎水性置換基を、立体的に配置できる3次元的な多様な新規骨格として、アルカロイド骨格となる二環性ピペリジン誘導体（キノリチジン骨格）について合成を展開する。キノリチジン骨格（**Lasubine II**、**Lythrine**）からさらに誘導可能なアミノ基をもつ標的骨格とする。



1. ピペリジン **1** とニトロアルケン **2** とのアザマイケル付加、ヘンリー反応によるキノリチジン **3** の合成。（Table 1）

塩基性アミノ酸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 **1** とニトロアルケン **2** から縮合ピペリジンとして、2位異性体2つ **3a**, **3b** が収率よく生成した。メタノール中で **1** の2塩酸塩をトリエチルアミン共存下、室温で攪拌するとキノリチジン

Table 1. Quinolizidine formation from piperidine **1** and nitroalkene **2**



Entry	Substrate	Conditions				3a : 3b	Yield of 3a : 3b
		Solvent	Base (eq)	Temp.	Time		
1	1 ·2HCl	MeOH	Et ₃ N (2)	rt	8 h	12 : 1	86%
2	1	MeOH	Et ₃ N (2)	rt	4 h	10 : 1	80%
3	1	MeOH	—	rt	8 h	18 : 1	87%
4	1	MeOH	—	0°C	24 h	18 : 1	85%
5	1	CH ₂ Cl ₂	—	rt	72 h	18 : 1	93%
6	1	CHCl ₃	—	rt	48 h	16 : 1	75%

3a, **3b** が 12 : 1 の比で生成した (entry 1)。一方、アミン **1** とした後に、トリエチルアミン共存下で処理すると、反応の進行が早まったものの、収率と **3a**, **3b** の比の低下がみられた (entry 2)。塩基を共存しない場合でも、反応はスムーズに進行し、高い選択性と高い収率で環化生成物が得られた (entry 3)。0°C では反応時間の延長がみられたものの、高い選択性に変化は見られなかった (entry 4)。ジクロロメタン溶媒中では、長い反応時間が必要であったが高い選択性は変わらず、収率はわずかに向上した (entry 5)。クロロホルム中では、選択性と収率のわずかな低下がみられた (entry 6)。

2. キノリチジン **3** の異性化 (Table 2)

キノリチジン環生成時に異性化が進行しているか明らかにするために、主生成物である **3a** の異性化について検討した。塩基としてトリエチルアミンを共存させると 2 位異性体である **3b** への異性化が進行し、さらに、加熱することで、**3a**, **3b** が 4.1 : 1 の比になった (entry 1, 2)。塩基が共存しない場合には、ほとんど異性化が進行しなかった (entry 3)。これにより、塩基が存在しない場合の生成物は、速度論的に生成した異性体と予想できる。

Table 2. Isomerization of **3a**

$\text{3a} \xrightarrow[12\text{ h}]{\text{MeOH}} \text{3a} + \text{3b}$				
Entry	Base (eq)	Temp.	3a : 3b	Yield of 3a : 3b
1	Et ₃ N (1)	rt	22.5 : 1	93%
2	Et ₃ N (1)	55°C	4.1 : 1	92%
3	—	55°C	0 : 1	98%

3. ニトロ基の還元 (Table 3)

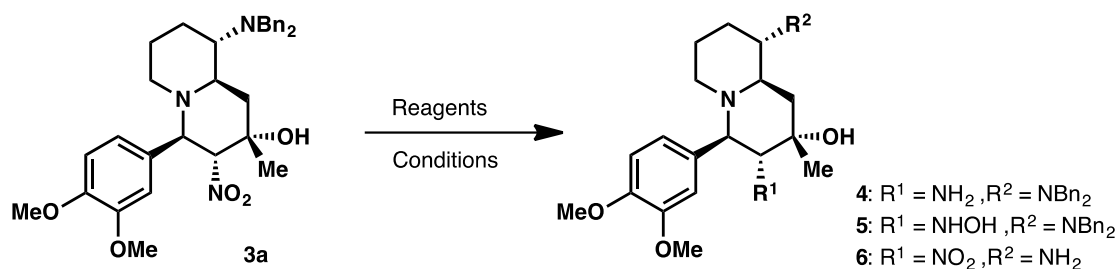
各種誘導体の合成を容易にするキノリチジン環にアミノ基をもつターゲット分子に向け、**3a** がもつニトロ基の還元を検討した。亜鉛-酢酸および亜鉛-塩酸の条件では、室温でアミンまでの還元が進行せず、ヒドロキシルアミン **5** が主生成物として得られた。加熱するとアミンまで還元が進行し、**4** が得られた。塩化ニッケル存在下、水素化ホウ素ナトリウムでの還元では、同様に **4** が得られた。一方、酢酸存在下、水素雰囲気下、パラジウム炭素触媒による還元では、ニトロ基が還元せず、脱ベンジル化が進行し **6** が得られた。いずれの生成物も精製が困難であったために、収率が確定していない。

4. まとめ

2, 3-二置換ピペリジン骨格を持つ **1** とニトロアルケン **2** からキノリチジン骨格もつ **3a** を選択的に収率よく合成できた。ニトロ基の還元により、ヒドロキシルアミノ基およびアミ

ノ基への選択的な還元が可能であることがわかった。得られた生成物の精製法の検討もしくは、誘導化により、収率を確定させる。

Table 3. Reduction of nitro group



Entry	Reagents	Conditions			Major products
		Solvent	Temp.	Time	
1	Zn (10 eq), AcOH (10 eq)	EtOH	rt	6 h	5
2	Zn (10 eq), 6 M-HCl (10 eq)	EtOH	rt	3 h	5
3	Zn (10 eq), AcOH (10 eq)	EtOH	70°C	24 h	4
4	NiCl ₂ · 6H ₂ O (1.5 eq), NaBH ₄ (20 eq)	EtOH	rt	5 h	4
5	H ₂ , Pd/C (10%), AcOH (10 eq)	MeOH	rt	12 h	6

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、生物活性の評価をすすめる。また、生物活性によく見られる芳香族ヘテロ環およびベンゼン環等をこれらの骨格に加えることを検討する。

1. 研究目的

現在、世界で生産されているプラスチックは 3 億トンにも達し、そのほとんどが石油を原料としている。また、日本での生産量は 1 千万トンになる。プラスチックは、我々が生活する上で欠かすことのできない材料となっており、特に、レジ袋に代表されるポリエチレン(PE)は、プラスチック生産量の 25%を占める。プラスチックの多くは石油由来のものであり、一度自然界に廃棄されると、分解されずに土壌に残り、さらには、河川から海洋へ流出することになる。アジアでのプラスチック生産量は、世界の 45%に達するが、リサイクルや焼却処分ではなく、廃棄処分されており、その 82%が海へ流出しているといわれている¹⁾。流出したプラスチックは、海洋を漂いながら海岸へ漂着することになる。海岸に漂着するプラスチックは、ペットボトルに使用されるポリエチレンテレフタレート(PET)やレジ袋に代表される PE、さらには、断熱材などに使用されるポリウレタン(PU)、浮遊ゴミに使用されるポリ塩化ビニル(PVC)などである。プラスチックが海岸に漂着すると、景観だけでなく、鳥類などが餌と間違えて摂食することが報告されている²⁾。さらには、流出した漁網などがクジラやイルカ、カメなどに絡まった事例が報告されている^{3),4)}。プラスチックの環境汚染は、日本のみならず世界規模で起こっている。近年では、マイクロプラスチックと呼ばれる 5mm 以下のプラスチックが問題となっている。スクラブ剤に使用されるマイクロビーズや流出したプラスチックが紫外線や波などによって破壊された小さな破片である。この破片をプランクトンや小魚が餌と間違えて摂食し、さらに大型の魚類等が摂食することによって、マイクロプラスチックの生物濃縮が懸念されている。

海水中には、残留性有機汚染物質(POPs)であるポリ塩化ビフェニール(PCBs)やポリ臭化ジフェニルエーテル(PBDEs)、多環芳香族炭化水素(PAHs)などが微量に含まれていることが知られている。POPs の多くは有機化合物であり、疎水性のプラスチックと親和性が高い。つまり、海水中の POPs がプラスチックへ吸着されやすいことを意味している。また、プラスチックが POPs を吸着すると、数万倍に濃縮するといわれ、生態系に影響を及ぼすことが懸念されている。

これらの問題を解決する 1 つの方法として、生分解性プラスチックが注目されている。生分解性プラスチックは、土壌中や海水中の微生物によって分解され、最終的には水と二酸化炭素になる。そのため、汎用性プラスチックの代替品として注目されている。しかし、生分解性プラスチックは種類により、または、条件により長期間元の形状を保持することがある。長期間元の形状を保持する生分解性プラスチックが自然環境中に投棄されると、長期間土壌の残り、あるいは、海洋中を漂うことになる。つまり生分解性プラスチックの種類によっては、汎用性プラスチックと同様に、環境汚染源となり、POPs を吸着する可能性がある。しかしながら、生分解性プラスチックへの POPs の吸着は検討されておらず、問題の解決になるのか否かは不明である。

そこで本研究では、生分解性プラスチックが POPs を吸着するか否かを検討することが主たる目的である。また、本研究で使用する POPs は、PAHs の一種であるナフタレン、アントラセン、アセナフチレンである。

2. 研究の必要性および従来の研究

海水中には微量の POPs が含まれていることが知られ、POPs の多くは親油性の高い有機化合物であり、疎水性のプラスチックと親和性がある。POPs のプラスチックへの吸着は、汎用性プラスチックである PE やポリプロピレン(PP)について報告されており、数万～数十万倍に濃縮されるといわれている。このように、汎用性プラスチックについては報告があるものの、生分解性プラスチックについては研究例はほとんどない。生分解性プラスチックの種類により、または、条件により長期間自然環境中に残ると、汎用性プラスチックと同様な問題が生じる可能性がある。そこで、汎用性プラスチックと同様に、生分解性プラスチックについても POPs の吸着の有無について検討を行う必要がある。

生分解性プラスチックが海洋中で POPs を吸着したとしても、その後、分解が速く進むと、海洋中へ POPs が再放出されることは予想できる。生分解性プラスチックが POPs を高濃度に吸着したとしても、プラスチックは生分解され、POPs は海水中に戻るため濃度の増減はないと考えられる。しかし、熱力学的に考えると高分子は、高分子量になるほどは溶媒との親和性は低下し、逆に、低分子量化すると溶媒との親和性は上昇すると言われている。このことから、生分解性プラスチックが分解している途中での POPs 吸脱着の研究を行うことは重要である。

3. 期待される効果

海岸漂着プラスチックは景観だけでなく、鳥類や魚類への摂食が問題となる。また、プラスチックは紫外線や波などにより物理的に破壊され断片化する。現在、この断片のプラスチック、いわゆるマイクロプラスチックが問題となっている。また、海水に含まれる微量の POPs がマイクロプラスチックに吸着し、さらに、このプラスチックを動物プランクトンが摂食することによるプラスチック濃縮と POPs 濃縮が問題となっている。これらの解決策の 1 つとして生分解性プラスチックが注目されている。生分解性プラスチックは自然環境中で分解するが、条件により長期間元の形状を保持する。長期間元の形状を保持すると、海水中の POPs を吸着する可能性がある。そのためにも生分解性プラスチックの種類から POPs の吸着の有無を検討する必要があり、さらに、POPs の吸着の有無を明らかにすることによって、環境低負荷プラスチックへの指標ができる。

4. 研究経過および結果

本研究で使用した生分解性プラスチックは、ポリ(3-ヒドロキシブチレート)(PHB)、ポリ(ε-カプロラクトン)(PCL)、ポリ(ブチレンサクシネート)(PBS)、ポリ(ブチレンサクシネートアジペート)(PBSA)、5 種類のポリ乳酸(PLA)である。また、POPs の一種である PAHs のモデル物質として、ナフタレン、アントラセン、アセナフチレンの 3 種類を使用し、生分解性プラスチックへの吸着実験を行った。まず、100μg/L の濃度になるようにナフタレン、アントラセン、アセナフチレン水溶液を作製した。次に、これらの水溶液中に 1g の生分解性プラスチックを浸漬させて 24h 吸着実験を行った。その後、生分解性プラスチックを取り出して乾燥させ、ヘキサンで抽出を行った。抽出後、濃縮して GC/MS 測定を行い、PAHs の吸着の有無を検討した。一例として、図 1 に PBS のナフタレン吸着実験を行ったトータルイオンクロマトグラム(TIC)を示した。その結果、夾雑物質が現れているが、矢印で示した 18.50min にナフタレンのピークが現れた。これは、PBS にナフタレンが吸着していることを意味する。そこで、すべての生分解性プラスチックについて、吸

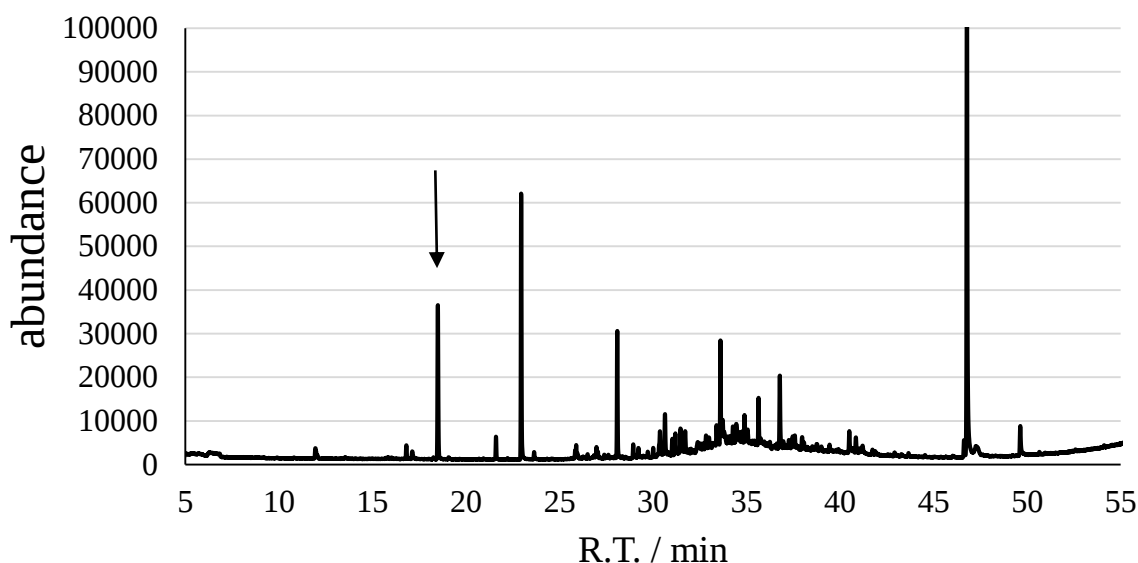


図 1. PBS のナフタレン吸着実験の TIC.

着実験を行い，GC/MS より検討を行った。その結果，アセナフチレンはリテンションタイム(R.T.) が 25.80min に，アントラセンは 33.70min にピークが現れた。PLA 以外の生分解性プラスチックで，いずれの R.T.にピークが現れた。このことから，PLA 以外の生分解性プラスチックに PAHs が吸着したと言える。そこで，検量線を作成して吸着量を検討した。その結果を図 2 に示した。

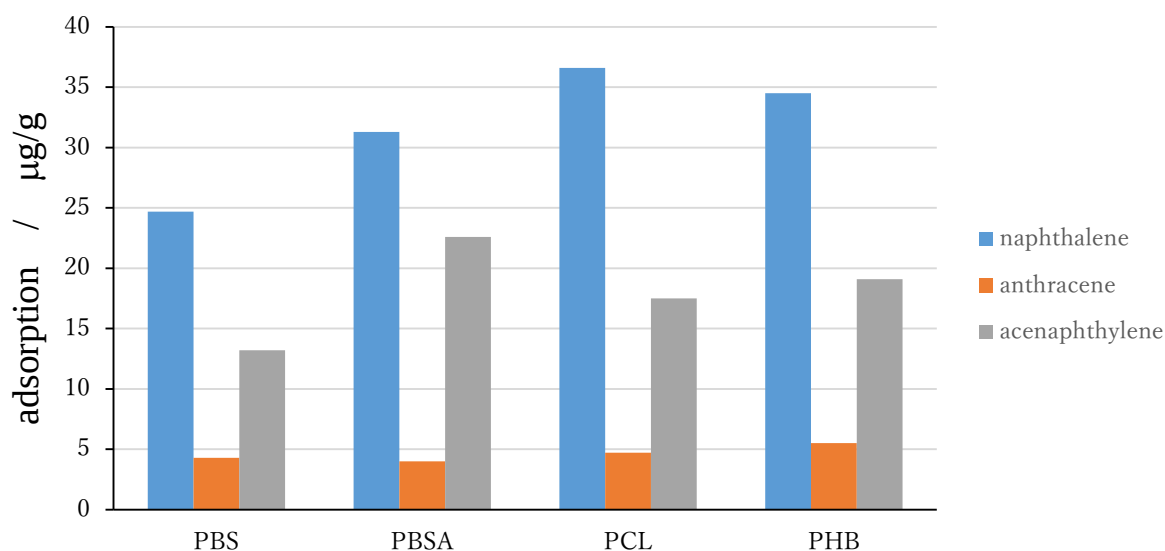


図 2. 生分解性プラスチックへの PAHs 吸着量.

これは，生分解性プラスチック 1g に対しての吸着量である。この図を見ると，ナフタレンの吸着量が多く，次いで，アセナフチレン，アントラセンであることが分かる。これは，生分解性プラスチックがナフタレンを吸着しやすいことを意味している。さらに，PAHs の種類により吸着量が異なるのは，PAHs と生分解性プラスチックの化学構造に依存すると考えられる。これは，疎水部分が多い構造をしている生分解性プラスチックが PAHs を吸着しやすいと考えられるが，現在

詳細を検討中である。

PAHs の種類により生分解性プラスチックへの吸着量は変化するが、いずれの PAHs も吸着することが明らかとなった。生分解性プラスチックが吸着した濃度を計算すると、水溶液中での濃度より 50~350 倍程度高くなることが明らかとなった。つまり、生分解性プラスチックは PAHs を濃縮したといえる。この結果は、PE や PP が POPs を吸着する量より低いものの、鳥類や魚類が摂食することによって POPs の生物濃縮が懸念される。さらに、生分解性プラスチックを 3 割程度分解させて同様の吸着実験を行ったところ、吸着量は減少したが、PLA 以外の生分解性プラスチックで吸着を確認した。分解によって PAHs の吸着量は減少すると考えられるが、さらなる検討が必要であり、今後の検討課題である。

5. 結論

生分解性プラスチックの PAHs 吸着実験を行い、以下の結論を得た。

- (1) 今回使用した PBS, PBSA, PCL, PHB は PAHs を吸着することが明らかとなった。しかしながら、PLA については、今回のモデル物質の PAHs は吸着しなかった。これは、モノマーユニットに疎水性部分が少ないためではないかと考えられるが、詳細を検討する必要がある。
- (2) ナフタレン、アセナフチレン、アントラセンの吸着量を求めたところ、生分解性プラスチックへ 50~350 倍吸着することが明らかになり、PAHs の生物濃縮が懸念される。

6. 研究成果の発表

この研究は、2017 年度卒業論文としてまとめた⁴⁾。今後、本研究で得られた成果は、適当な時期に成果発表を行う予定である。

- 1) The New Plastics Economy, "Rethinking the future of plastics" World Economic Forum 2016
- 2) M.R.Gregory, *Phil.Trans.R.Soc.B.*, 364, p.2013-2025(2009).
- 3) M.Moore, et al., *Marine Mammal Science*, 29, E98(2012).
- 4) J. V. D. Hoop, et al., *Marine Mammal Science*, 30, 282(2013).
- 5) 長野文則, “生分解性プラスチックにおける PAHs 吸着の評価”, 神奈川工科大学卒業論文, 2017 年度

界面活性剤添加型高機能含油廃水処理法の開発と処理メカニズム解析

応用バイオ科学科 局 俊明 市村 重俊 仲亀 誠一 和田 理征
栄養生命科学科 澤井 淳

1. 研究の目的

含油廃水が活性汚泥法などの生物学的水処理システムに流入すると、処理機能が低下することが問題となっている。しかしながら、グリーストラップに代表される固液分離法では、油脂の分離が十分に行われていない実態が明らかになっている¹⁾。この油分の分解に関して、近年、界面活性剤を用いて油脂を分散させたうえで微生物処理を行う方法は、高い油分除去率が得られ、また小型装置での油分除去が可能な処理方法として注目されている。さらに、昨年度までの研究において、膜分離活性汚泥法反応タンクに界面活性剤を添加することにより、膜の閉塞の抑制効果が得られることが示されている²⁾³⁾。

そこで、本研究では、界面活性剤を添加した生物処理法について、特に膜分離活性汚泥法に対する膜閉塞抑制のメカニズム、原理を解明し、膜閉塞抑制した高効率省エネルギー型の処理方法を開発することを目的とした。

2. 研究の必要性及び従来の研究

(背景と研究の必要性)

廃水中に含まれる油分による環境汚染は大きな社会問題となっている。我々は、これまでの研究の中で廃水中に含まれる油分の分解に関して、生物処理工程において界面活性剤を添加することにより、1) 油分分解速度が上昇する、2) 生物の沈降性が改善される、3) 膜分離法に適用すると膜閉塞の問題が緩和される、4) 界面活性剤の添加濃度によって油脂の生物分解は促進される場合と効果が見られない場合がある、5) 界面活性剤添加濃度はCMCより低い濃度でも油脂除去効率の改善効果が得られる、等の知見を得た。

しかしながら、上述のような効果が得られるメカニズム、原理の解明には至っていない。廃水中の油分散・再凝集、生物分解性と界面活性剤に関わる研究は世界的に見てもほとんど行われておらず、特にメカニズム解析に関する既往の研究は見いだせない。ここで、界面活性剤を添加した生物処理法のメカニズム、原理が解明されれば、その成果は学術的に非常に高い価値を持つのみならず、同処理方法の最適運転方法に関する知見獲得や、油分含有廃水の新規・高効率処理方法の開発に結び付く社会的に非常に意義のあるものとなる。

(既往の研究・技術)

既往の含油廃水処理に関する研究としては、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、界面活性剤を用いた生物処理方法に関する研究はほとんど行われておらず、特に、反応メカニズムに関する研究例は見いだせない。ただし、現

場レベルでその効果があることが認められたとの報告はあるが、界面活性剤の選定や添加量は経験工学の領域を脱していない。さらに、我々の昨年度までの研究で膜分離活性汚泥法に界面活性剤を添加した場合に膜の閉塞（ファウリング）が抑制されるという研究結果²⁾³⁾が得られているが、このような報告例は、他に類を見ない。

3. 期待される効果

本研究によって、界面活性剤添加による生物学的油脂分解性向上のメカニズムや、膜閉塞抑制メカニズムが解明できれば、最適界面活性剤の選定や、最適添加量の決定が可能となり、省エネルギー、小コスト、省スペース型の含油廃水処理装置の開発が可能となる。また、有用微生物/微生物製剤やリパーゼを用いた生物/酵素利用処理においても、界面活性剤の作用により油脂が微細化（乳化/エマルジョン化）されることにより、生体触媒と油脂の接触効率が改善し、生体触媒の本来有する機能をより活用できることも期待される。

4. 研究の経過及び結果

4. 1. 界面活性剤添加による活性汚泥分離膜ろ過抵抗への影響⁴⁾

図1に示すような構成の実験装置3系列を用いて、膜分離型活性汚泥法による含油排水の処理実験を行った。界面活性剤添加条件は表-1に示すとおりである。1系列は通常の回分活性汚泥系列（コントロール）、残りの2系列はそれぞれ界面活性剤を0.17mg/L、0.85mg/Lとなるように添加した。使用

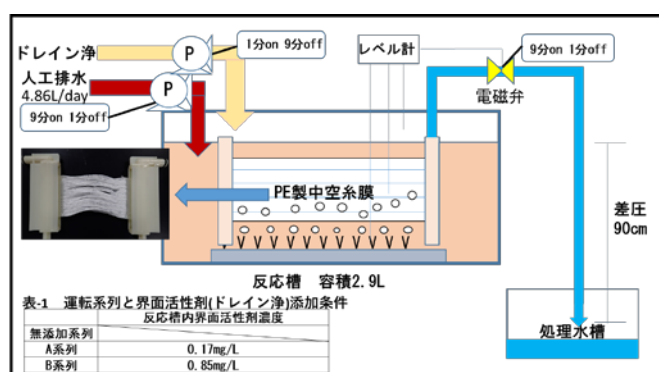


図-1 定圧ろ過装置構成図

した膜は、有効面積0.03m²のPE製中空糸膜であり、昨年度の有効面積0.07m²のPVDF製平膜より、膜面積を減少させ、膜透過流速を一般的な膜分離活性汚泥法の場合と同程度の0.5m/dまで上昇させることにより膜閉塞を加速させ、膜閉塞状況を短時間でよりはっきりと確認できる条件とした。上記条件での5日間の連続運転期間中のろ過抵抗値の経日変化を図-2に示す。油脂添加濃度が0.17mg/Lの条件では、ろ過抵抗値はコントロール系列より小さい値を示したが、添加濃度が0.85mg/Lの条件では、逆に、ろ過抵抗がコントロール系列より高い値を示し、油脂添加濃度に、適正な値があることが示唆された。次に、実験終了時と実験終了後に逆洗浄、薬品洗浄を行った

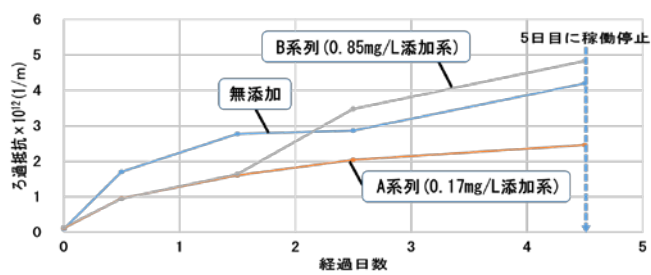
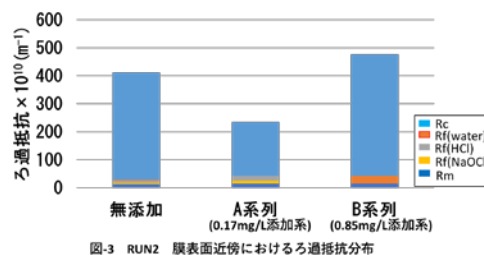


図-2 RUN2 ろ過抵抗推移の比較

は、ろ過抵抗値はコントロール系列より小さい値を示したが、添加濃度が0.85mg/Lの条件では、逆に、ろ過抵抗がコントロール系列より高い値を示し、油脂添加濃度に、適正な値があることが示唆された。次に、実験終了時と実験終了後に逆洗浄、薬品洗浄を行った

時点の純水濾過抵抗の測定結果を図-3 に示す。

図-3 から、界面活性剤を 0.85 mg/L 添加した B 系列の場合、汚泥の付着による濾過抵抗（ケーキ層濾過抵抗 R_c ）が他の系列の場合より上昇するが、逆流洗浄だけで濾過抵抗は使用前の値近くまで回復した。これに対し、無添加系列と界面活性剤を 0.17mg/L 添加した A 系列では、



使用前段階の濾過抵抗まで膜を復活させるには塩酸および次亜塩素酸ナトリウムを使用した薬品洗浄が必要であった。以上より、運転条件として逆流洗浄を組み込んだ膜分離活性汚泥法装置においては、界面活性剤の高濃度添加は、界面活性剤コスト上昇というデメリットはあるものの、逆流洗浄だけで膜の濾過抵抗上昇を長期間にわたって抑制でき、薬品洗浄にかかわるコスト低減効果が期待できることが示唆された。なお、詳細は省略するが、上記実験後、逆流洗浄を組み込んだ連続処理実験を行ったが、実験期間が十分に取れず、界面活性剤の最適添加量を明確化するには至らなかった。界面活性剤の最適添加量の検討は今後の課題として次年度以降検討していく所存である。

4. 2 ヒラタケを用いた含油廃水処理

界面活性剤添加型含油処理における界面活性剤添加効果は、油脂を微細化/乳化/懸濁させ、微生物との接触効率を高めることにあって考えられるが、より効率的な処理達成のためには高い油脂分解性を有する微生物を使用する必要がある。そこで、昨年度の研究において白色腐朽菌である *Ceriporiopsis subvermispora*、シイタケ、ヒラタケの油脂の分解能を調査し、ヒラタケが最も低い油脂回収率を示し、ヒラタケのリパーゼ生産量が大きいことを明らかにした。本年度は、合成培地、グルコースを含まない GP 培地に菜種油をそれぞれ添加してヒラタケを培養した結果、GP 培地を用いた場合の方がリパーゼ活性が高く、精製する条件として適していることを明らかにした⁵⁾。

5. 今後の計画

本重点配分研究は H29 年度を持って終了する。H29 年度までの結果から、膜分離法に界面活性剤 A を添加することにより、逆流洗浄操作のみでろ過抵抗を長期間にわたり低減できることが示唆されたため、今後も研究を継続し、最適界面活性剤の選定と最適添加量の決定並びに実用性評価を実施して行く所存である。さらに、界面活性剤と特定の微生物（ヒラタケ、乳酸菌、枯草菌等）の併用による効率的処理方法の確立と、処理メカニズムの解明を行い、最終的には、最適化された“界面活性剤-微生物製剤併用型生物処理方法”の確立につなげたい。

6. 研究成果の発表

本年度の研究の詳細は卒業論文^{4) 5)} にまとめた。今後、本研究で得られた成果は、特許出願を考慮しつつ、適当な時期に成果発表を行う予定である。

(引用文献)

- 1) 渋谷広樹、営業用飲食店におけるグリース阻集器の実態調査、第 33 回建築物環境衛生管理全国大会 (2006)
- 2) 北野海、界面活性剤添加による MBR 膜ファウリング抑制効果の検証、神奈川工科大学応用バイオ科学科卒業研究論文、2017 年 2 月
- 3) 丸山竜平、界面活性剤添加の与える汚泥性状と膜ファウリングへの影響、神奈川工科大学応用バイオ科学科卒業研究論文、2017 年 2 月
- 4) 高澤国裕、界面活性剤添加による MBR 膜のファウリング抑制効果の検証、神奈川工科大学応用バイオ科学科卒業研究論文、2018 年 2 月
- 5) 北村拓也、ヒラタケを用いたリパーゼ精製の検討、神奈川工科大学応用バイオ科学科卒業研究論文、2018 年 2 月

非可食性バイオマス資源からのバイオ PET（ポリエチレンテレフタレート）の創製

研究者名：応用バイオ科学科， 仲亀 誠司

1. 研究の目的

地球温暖化の原因である CO₂ 排出量削減のために、再生可能資源である非可食性バイオマス資源を用いた輸送用燃料や化成品原料の製造（バイオリファイナリー）の研究開発が、世界的に行われてきている。しかし、化石資源と比べて価格競争力が弱い実用化に至っておらず、化石資源が依然として使用されている。しかし今後、米国を中心としたシェールガス生産量の増加より、エチレン製造を目的としたナフサ熱分解設備の停止が見込まれており、ナフサ熱分解時の副産物である芳香族化合物の不足が予測されている。こうした背景から、CO₂ 排出量の削減が可能である非可食性バイオマス資源を用いた芳香族化合物の生産と化成品製造の技術開発が求められている。

高純度テレフタル酸 (PTA) は、現在化石資源の *p*-キシレンから工業的に製造されており、エチレングリコール (EG) との重合反応により、ポリエチレンテレフタレート (PET) として飲料用ボトルや衣類、フィルムとして用いられている。PTA の世界需要は 5,500 万トン/年あり、今後 4~5%/年の需要の伸びが予測されている。EG は既にバイオマス（サトウキビ）由来のエタノールから生産が可能であり、バイオマス資源由来 EG を利用した PET ボトルは、石油由来の従来型 PET ボトルに比べて、約 30% の CO₂ 排出量の削減できると報告されている¹⁾。現在、バイオマス資源から PTA を製造するための研究開発が行われているが^{1)~3)}、化石資源から製造される PTA と比べると価格競争力が弱く実用化に至っていない。本研究は CO₂ 排出量削減のために、「非可食性バイオマス資源からのバイオ PET の製造方法の確立」することが目的であり、これを実現するために、今年度は当研究室でスクリーニングをした *p*-トルアルデヒド生産菌を用い、PTA 製造時の中間原料となり得る *p*-トルアルデヒドの生合成に関与する遺伝子と酵素の同定を試みた。

2. 研究の必要性及び従来の研究

本研究は、非可食性バイオマスから生物学的手法を用いた PTA 製造を目的としている。本研究で検討している PTA 製造フローは *p*-トルアルデヒドを発酵法により製造後、酸化反応により PTA を得る方法である。本法では生物学的手法を用いるため、今まで検討されてきている熱分解法²⁾と比べてエネルギー消費量が低く、また製造工程数が従来から検討されている方法³⁾と比べて少ないため製造コストの軽減が見込めるところに、今まで検討が行われてきているプロセスと比べて優位性があると考えられる。微生物が芳香族化合物を生産する生合成経路としては、①シキミ酸経路、②メバロン酸・非メバロン酸経路、③酢酸-マ

ロン酸経路が知られているが、これらの生合成経路に存在する化合物と *p*-トルアルデヒドは炭素骨格が異なっている。このため、生合成経路①～③のいずれかを経た後、未知の酵素の関与により *p*-トルアルデヒドへ変換されている可能性がある。本研究では *p*-トルアルデヒドの生合成に関与する遺伝子と酵素の同定を試みた。

3. 期待される効果

本研究を通じて、*p*-トルアルデヒドの生産に関与する遺伝子や酵素が同定できれば、生物学的手法を用いて PET 原料である PTA を非可食性バイオマス資源から製造できる。非可食性バイオマス資源由来の PTA は CO₂削減効果が得られることから、化石資源由来の PTA と同程度の価格と品質が達成できれば、化石資源由来 PTA からバイオマス資源由来 PTA への置き換えが進むことが期待できる。

4. 研究の経過及び結果

昨年度までの研究で、MP（モルトエクストラクト・ポリペプトン）培地を用いた際に供試菌株が *p*-トルアルデヒドを高生産することを見出したが、代謝生産物の数が多いことから発現している遺伝子の数も多いことが予想された。このことから、MP 培地を用いた際には、*p*-トルアルデヒドの生合成に関与する遺伝子や酵素を同定するのは容易ではないと考えられた。このため、*p*-トルアルデヒドを生産する培地の検討を行った。この結果、炭素源としてグルコースとアンモニア塩や硝酸塩等の窒素源を組み合わせ用いた合成培地を用いても、供試菌株が *p*-トルアルデヒドを生産することがわかった。合成培地において *p*-トルアルデヒドを生産する条件、ならびに *p*-トルアルデヒドを生産しない条件において、それぞれの菌体から mRNA を抽出後、網羅的な RNA シークエンスを行い発現比較解析を行った。この結果、*p*-トルアルデヒド生産条件下において、特異的に発現する遺伝子群の同定を行うことができた。また、供試菌株を合成培地で培養中に、異なる 3 種類の芳香族化合物をそれぞれ培養液に添加して継続して培養を行った際に、それぞれの化合物が *p*-トルアルデヒドへ変換されたことから、添加した 3 種類の芳香族化合物が *p*-トルアルデヒドの前駆物質である可能性が示された。これらの 3 種類の芳香族化合物を培養液にそれぞれ添加して培養した菌体、添加しなかった菌体から mRNA を抽出後、網羅的な RNA シークエンスを行い発現比較解析を行った。この結果、3 種類の芳香族化合物をそれぞれ添加した条件下において、特異的に発現する遺伝子群の同定を行うことができた。また、次世代シーケンサーを用いて供試菌株の全ゲノムシーケンスを行い、Blast 解析により遺伝子機能の予測を行った。

5. 今後の計画

今年度までの研究では生物学的手法を用いた *p*-トルアルデヒドの生産の検討を行ってきた。今後は *p*-トルアルデヒドを PTA に変換する微生物のスクリーニングを行うことで、非

可食性バイオマスからの PTA の生産を全て生物学的手法を用いる方法の開発を目指していく。また、生産した PTA をエチレングリコールと重合させることにより、PET 樹脂を製造して化石資源由来の PET との性能比較を行っていく予定である。

(参考文献)

1. 豊田通商(株)プレスリリース,” 植物由来プラスチックの新ブランド「GLOBIO(グロービオ)」を展開, 2013 年 3 月 26 日
(http://www.toyota-tsusho.com/press/detail/130326_000188.html)
2. Anellotech creates sustainable plastic packaging from plants. Packagingdigest Apr. 5 2018.
(<http://www.packagingdigest.com/sustainable-packaging/anellotech-technology-creates-sustain-plastic-pkg-1804>)
3. Y. Tachibana et. al., “Synthesis and verification of biobased terephthalic acid from furfural”, Sci. Rep. 5, 8249 (2015).

入院患者の転倒・転落回避行動を目指した予防対策の検討 ー身体機能能力評価の導入の視点からー

坂東 美知代 看護学科

1. 研究の目的

本研究の目的は、転倒・転落予防対策に向けて、入院時と退院時の患者の身体能力（仰臥位からの起き上がり、立ち座り 30 秒で何回できるか）と転倒に対する認識の基礎データを得ることである。

2. 研究の必要性及び従来の研究

入院中の医療事故の 1 位は、転倒・転落である。超高齢化が進む中で、入院患者の転倒転落への危険性は益々高くなっている。研究者らは、平成 27 年 8 月に、循環器・呼吸器センターの入院患者で、転倒転落のヒヤリハット報告書の内容を分析し検討した。その結果、28 名（M20、F8）の入院患者のうち半数以上は、転倒転落の危険性が高いことへの認識が低く、身体能力への過信が、転倒転落のヒヤリハットにつながっていた。このことから、患者の転倒転落予防に向けた回避行動の 1 つには、患者自身が身体機能を客観的に理解する必要があることが推測された。これらを踏まえて、転倒・転落予防の具体策を検討するためには、患者の入院前後の身体機能評価（起脚・脚力）と、起脚・脚力動作の認識の基礎データを得ることが必要となる。

3. 期待される結果

実際の身体能力と認識とのずれの有無を評価・分析した後に、患者が、転倒転落の回避行動がとれるように、患者の認識へ働きかける具体策を検討することで、病院における転倒・転落防止への効果が期待できると考える。

4. 研究の経過及び結果

研究の経過は、現在 A 病院（県立がんセンター，以下略）の倫理委員会へ研究の審査を申請している段階で、申請後に調査が開始される。なお、A 病院の倫理委員会への申請は、大変厳しく約 1 年程度経過している。調査対象者は、A 病院に入院する患者（30～40 名）を対象とする。調査内容は、入院時および退院時に、フェイスシート（氏名、年齢、転倒歴、起脚、脚力動作の認識）、転倒転落アセスメントスコア項目、客観的な身体能力の評価（起脚能力、脚力能力）を行う。分析方法は、入院時と退院時の基礎データを比較するために、相関や探索的手法を用いたノンパラメトリック分析を行う。

5. 今後の計画

患者の入院前後の身体機能評価（起脚・脚力）と、起脚・脚力動作の認識の基礎データを得た後に、転倒転落防止対策マニュアルを作成する。そして、A 病院の医師や看護師、コメディカルを対象に、転倒転落防止対策マニュアルが取り入れるような支援策を検討する。

6. 研究成果の発表

今回の研究結果は、看護系学会、心理学系の学会で発表し、投稿論文として提出する。

透析施設内フットケアの実態調査と それに基づく足病変のチェックシートの改良

神奈川工科大学看護学科 田村 幸子

1. 研究の目的

①1 県内の透析施設内でのフットケアの実態調査を行い、調査結果から足病変のチェックシート（改訂版）の使用状況と使用にあたっての課題を明らかにする。②明らかにした課題に基づき、足病変のチェックシート（改訂版）をさらに改良する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

透析患者は血流障害による足病変のリスクが高く、下肢切断に至った事例が多く報告されている。しかし、適切なケアにより下肢切断の 85%は防ぎ得る（1987. Edmonda ME）との報告がある。足病変の予防ツールもいくつか発表されている。これらを駆使した予防的ケアが期待されるが、ケアを担う透析看護師はケアの実施に困難感をもっている。我々は 2012 年に 1 県の全透析施設を対象に実態調査を行い（約 40 施設中 33 施設から回答を得た）、フットケアの実情と課題を明らかにした。課題とは透析療法中は安全管理と偶発症状への対処に主眼が置かれていることや、フットケアの簡便な方法が必要にも関わらず確立されていないことであった。そこで我々は、2013 年に透析看護師が簡便に使用できる独自の足病変のチェックシートを作成し、2014 年に複数施設で 3 ヶ月間試用した。その結果、フットケアの実施率は確実に向上したが、新たな課題が明らかになった。課題とは透析看護師による足病変の臨床判断が弱く足病変を予防するために、患者のセルフケアを引き出す教育・指導ができていない点であった。2016 年には透析患者の下肢末梢動脈疾患の重症化予防を目的とするフットケアの診療報酬の改訂が行われ、下肢末梢動脈疾患のリスクを評価し、療養上必要な指導管理を行って診療録に記録する必要性、および専門的治療体制を有する保険医療機関との連携の必要性が一気に高まった。我々は足病変のチェックシートのさらなる簡便化をはかるとともに、施設の全透析患者に月 1 回使えて、地域連携にも使えるように、足まもるシートのさらなる改良が必要と判断した。2016 年に 1 県の全透析施設を対象に実態調査を再度行い、フットケアの実情と課題を明らかにした。

3. 期待される効果

フットケアチェックシートの使用実態に即して判断基準・判断マニュアルを改良することで、透析看護師の足病変の臨床判断が向上し、簡便化することで、施設の全透析患者に月 1 回使えて、地域連携にも使えるようになる。実際にはフットケアチェックシートを作成し、石川腎不全看護研究会のホームページに掲載してから後は、全国から使用の申し込みが多く、透析看護の分野では感心が高まってきている。

4. 研究の経過及び結果

実態調査の依頼に対し回答のあった施設 27 施設（回収率 70%）の結果では、フットケアは 96%の施設が実施、チェックリストは 89%の施設が使用、ABI 検査は 85%の施設が実施、SPP 検査は 33%の施設が実施、足病変のリスク評価は 75%の施設が実施、セルフケア指導は 89%の施設が実施しており、2014 年の前回調査よりフットケアの実施状況は確実に向上していた。しかし前回調査での課題であった「透析看護師による足病変の臨床判断が弱い点」は、今回でも同じくあげられていた。また新たな課題として、専門的治療体制を有する保険医療機関に紹介を行う施設（86%）に対して、連携を行う専門的治療体制を有する施設（14%）が少ない現状から、施設連携の課題が浮上してきた。今後の課題は、以下のとおりとなった。

- ① 事前チェック項目では ABI 検査を必須項目として重視する
- ② チェックシートの判断基準・判断マニュアルをさらに具体化する
- ③ チェックシートを用いたフットケアシステムを介して県内施設の連携強化をはかる

足まもるシート（改訂案）			
患者ID	患者氏名	記載年月日（ 年 月 日）	
<リスクファクター> 検査・測定・確認年月日			
血糖コントロール（HbA1C（NGSP））		%	【 / / 】
血圧 右： / 左： /		mmHg	【 / / 】
喫煙 無、有（ 本/日）		【 / / 】	【 / / 】
<ABI> 右： 左：		検査年月日（ 年 月 日）	
1.0-1.3 正常		引続き、運動、食事、足のセルフケアで予防	
0.9-1.0 動脈閉塞の疑いあり		経過観察、大腿動脈触知、足背動脈触知	
0.7-0.9 動脈閉塞の可能性高い		血管内カテーテル検査・治療適応 医師へ報告（済・未）	
0.5-0.7 動脈閉塞が1ヵ所はある		血管内カテーテル治療、バイパス手術適応 医師へ報告（済・未）	
0.5以下 動脈閉塞が数ヵ所ある		緊急血管内カテーテル治療、バイパス手術適応 医師へ報告（済・未）	
★さっそく自己チェックしてみましょう ☐ 足の色が悪い ☐ 足が冷たいと感じる ☐ 歩くとき痛みがある ☐ 足がしびれている ☐ 足に傷がある ☐ 皮膚がかさついている ☐ たこ・うおのめがある ☐ 爪が気になる ☐ タバコを吸っている（ 本/1日） ☐ 他に気になることがある ★ふだん行っている足の手入れは、 ☐ 爪きり 自分で（ ） ☐ たこ・うおのめを削る 自分で（ ） ☐ 足浴・足湯 自分で（ ） ☐ 足のマッサージ 自分で（ ） ☐ 保湿剤・軟膏を塗る 自分で（ ） ☐ その他にやっていること 自分で（ ） ★あなたが今日からさっそく行うことは、		<観察> (右足) (左足) 足の外観 発赤 乾燥 皮膚蒼白 足白癬 爪白癬 爪肥厚 巻き爪 皮膚剥離 肝斑・鶏眼 水泡 外傷・亀裂 潰瘍 壊死 血流 大腿動脈 膝窩動脈 足背動脈 後脛骨動脈 間歇性跛行 浮腫 モノフィラメント 足趾 足背 足底 履物 種類 皮鞋、スニーカー、サンダル、矯正靴 素材 天然皮革、合成皮革、その他 靴の大きさ ちょうど、大きめ、小さめ ヒール高 5cm未満、5cm以上 靴底硬さ クッション性良い、悪い 靴を履く時間 1日 時間ほど	



5. 今後の計画

- ① 透析看護師による足病変の臨床判断を向上させるために、改訂版チェックシートおよびその判断基準・判断マニュアルを用いた研修会を開催する。
- ② 協力の得られる複数施設において改訂版チェックシートを用いたフットケアシステムを構築し、転院などの機会にチェックシートを用いて引継ぎを行う。これらのプロセスを介して県内施設の連携強化をはかる。

6. 研究成果の発表

- ① 28th International Nursing Research Congress（第28回 STTI 国際看護研究学会）/で発表予定
Dublin, Ireland（アイルランド）2017年7月27-31日開催
発表タイトル：Status of Foot Care for Chronic Dialysis Patients and Issues with Implementation（慢性透析患者のフットケアの実態と実施上の課題）
発表者：田村 幸子（神奈川工科大学看護学科）
- ② 第8回石川腎不全看護研究学会で発表予定
加賀市医療センターKMC ホール 2017年8月5日開催
発表タイトル：1 県内透析施設のフットケアの現状
発表者：橋本 智美（石川県立中央病院看護部）、大田一美（加賀市医療センター看護部）、田村 幸子（神奈川工科大学看護学科）
- ③ 第20回日本腎不全看護学会で発表
森岡地域交流センター、いわて県民情報交流センター 2017年10月21-22日開催
発表タイトル：透析施設のフットケアの現状と課題
発表者：橋本 智美（石川県立中央病院看護部）、大田一美（加賀市医療センター看護部）、田村 幸子（神奈川工科大学看護学科）

以上
- ④ 第12回北陸 VAIVT 研究会で発表
金沢東急ホテル5階ボールルーム 2017年9月1日開催
発表タイトル：足まもるシートの改良－透析看護師が使いやすく。アセスメントがしやすい観点から－
発表者：田村 幸子（神奈川工科大学看護学科）、大田一美（加賀市医療センター看護部）、橋本 智美（石川県立中央病院看護部）
- ⑤ 第12回北陸 VAIVT 研究会で発表
金沢東急ホテル5階ボールルーム 2017年9月1日開催

発表タイトル：県内透析施設内フットケアの実態調査報告

発表者：橋本 智美（石川県立中央病院看護部）、大田一美（加賀市医療センター看護部）、田村 幸子（神奈川工科大学看護学科）

以上