

# 課題研究費実績報告書

令和4年 3月 31日現在

研究課題名：電動カート用教育利用を目的する汎用性有する自動運転システム

研究代表者：井組裕貴

小区分：教育工学関連

## 1. 研究計画の概要

本校の電気工学科では1年次科目の電気工学基礎において、工学基礎教育やものづくり教育、電気エネルギーの体験的学習による実践的な技術者育成を目的とした「電動カートの製作」を導入している。この授業を通して、問題解決を導くための論理的思考力や創造性、能動的に学ぶ積極性や体験を通じた知識の定着性、グループ内で意思疎通を図るためのコミュニケーション力の向上を期待している。しかしながら、車離れが進んでいる昨今、アトラクションの車やカートを運転したことが無い学生がおり、パニック時にブレーキ操作やハンドル操作を過度に操作してしまい事故が発生する危険性がある。有用な教材として要求されることは安全性と信頼性であり、事故が起きる前に未然に防ぐ必要がある。その信頼性のボトルネックとなっている運転未経験学生の運転時に自動運転レベル3のシステムを付与させ、カート側が自動的に「止まる」、「避ける」ことで衝突を回避することが期待でき、安全性の向上や教育効果への反映が可能である。また、将来的にはカメラやセンサなどの外観認識システムやモータ、アクチュエータなどの制御システムを組み合わせ、それぞれのセンシングを行い、電動カートを利用した自動運転システムの体験型授業を考えている。これにより、今後の技術として必要なADSを自ら考え、自ら手を動かし、実装し「動く」「止まる」「曲がる」の体験を通して学習・理解が可能である。また、実際にそれらのセンシングしたカートを体験することで、体感をもって自動運転の基礎技術を自分の知識に落とし込むことができる。そこで、本研究では教育的利用を前提とした各班で製作する電動カートに取り付け可能な汎用性を有したシステムを検討し、機械学習による画像認識や画像処理、LiDARを使用したSLAMや測距を行い、それらの情報を使用した操舵や制動を行うシステムの構築を目指す。

## 2. 課題研究の進捗状況及び達成度

図1のように各センサを電動カートに取り付け制御を行った。認識のために使用するセンサはステレオカメラとLiDAR、超音波センサとし、Jetson TX2とPCを車載し使用する。

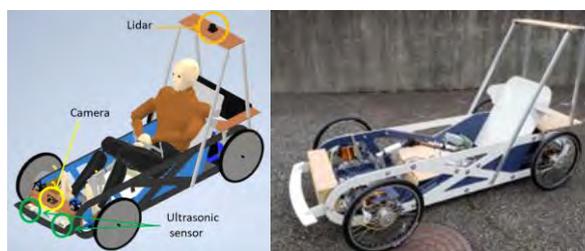


図1 電動カートの3Dモデルおよび実機

物体認識についてはYOLOv3のアルゴリズムを使用し、表1のクラス数を学習させた。認識させるクラスは、令和二年度から過去十年間の警察白書記載の統計データを基に、特に重大事故に繋がったりやすい原因を抜粋して

表1 認識リスト

1	Yasutaka Ikumi	13	Speed_limit_50
2	Pedestrian	14	Crosswalk
3	Car	15	No_parking
4	Motor_bike	16	Busstop
5	Truck	17	No_entry
6	Bicycle	18	Road_sign
7	Blue_traffic_light	19	Traffic_sign
8	Red_traffic_light	20	Mirror
9	Yellow_traffic_light	21	Sign
10	Stop_sign	22	Face
11	Speed_limit_30	23	Bus
12	Speed_limit_40	24	Eguchi Daichi

いる。学習枚数は12000枚以上で、各クラス平均して500枚を目安に学習させた結果、図2のように認識が可能となり、平均適合率は80%程となった。



図2 標識の画像

LiDAR については、SLAMTEC の Rplidar S1 を使用し、周辺の認識を行った。ROS melodic 環境下で Rplidar を動作させ、図 3 の点群データを基に制御を行った。また、今回の制御には用いていないが、Hector SLAM による地図形成が確認できた(図 4)。

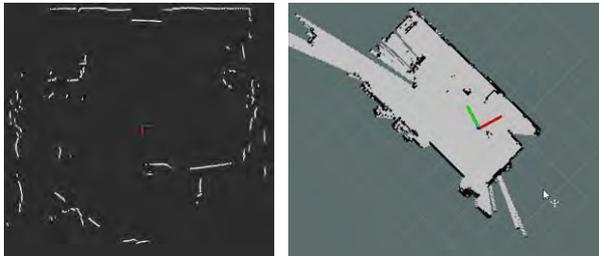


図 3 点群データ 図 4 Hector SLAM

操舵および制動の制御はアクチュエータ (Firgelli FA-35S-12-4) を使用した。前左輪にアクチュエータを取り付け、ロッドを用いて左右輪の接続を行った。制動に関しては、安全性の観点からドライバー操作のフットブレーキと緊急時制動用の自動ブレーキの 2 系統とした。制御用自動ブレーキは前左右両輪の機械式ブレーキをそれぞれのアクチュエータで制御を行った。動作の流れとして、ROS melodic 環境下で YOLO や Rplidar のノードを動作させ、得られた出力値を Arduino にシリアル通信で送信し、制御を行った(図 5)。



図 5 認識・制動・制御の流れ

一連のノード入出力の例は図 6 のようになる。画像認識した対象の Bounding Box のサイズから距離を算出し、閾値によってカートへの制御が可能となった。/darknet\_ros からノードを /yolo\_id のノードに送り、対象の距離算出をしている。

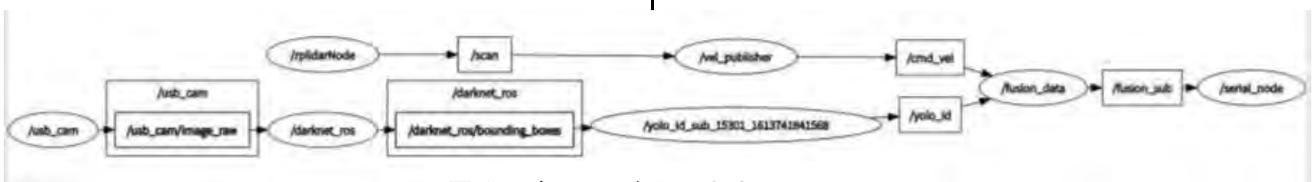


図 6 各ノードの入出力

/vel\_publisher と /cmd\_vel では、LiDAR からの出力を受け、制御の閾値や動作基準を定めている。/yolo\_id のノードと /cmd\_vel のノードを /fusion\_data のノードに出力し、/serial\_node への入力をまとめ、それぞれの閾値によって Arduino を動作させる。このノード入出力により、電動カートの操舵および制動が可能となった(図 7)。



図 7 電動カートへの実装

本研究では、電動カートにおける自動運転レベル 3 の制御を目的として各班が製作した車体に取り付けが容易な汎用性のあるシステム開発を行った。ROS 環境下において画像認識や LiDAR からの情報を基にアクチュエータによる操舵や制動ができ、自動運転レベル 3 の教育的利用の基礎となるシステムが開発できた。

### 3. 代表的な研究成果

[学会発表] (計 1 件)

- (1) 井組裕貴, 風間俊哉, 他 “高専導入教材としての簡易電気自動車キットを用いたものづくり教育” 第 69 回年次大会・工学教育研究講演会 (2021), 査読なし

# 課題研究費実績報告書

令和4年 3月 31日現在

研究課題名：104番元素 Rf の硫酸塩錯体同定に向けた第4族元素の TBP による抽出

研究代表者：横北卓也

小区分：無機・錯体化学関連

## 1. 研究計画の概要 (以下10pt)。

超重元素 (原子番号 104 番以降の元素群) のラザホージウム (Rf) の硫酸塩錯体の化学種を同定することを旨として研究を行う。我々の研究により、Rf と硫酸イオンとの錯形成が、相対論的量子化学計算による予測よりもはるかに起こりにくいことが明らかになった。しかし、Rf の硫酸錯形成についての定量的な議論にまでは至っていない。さらなる研究により Rf の硫酸塩錯形成についての定量的な議論が行うことができれば、Rf の化学的性質解明に加え、現在の相対論的量子化学計算の課題発見に役立ち、将来的な量子化学計算分野への波及効果も期待できる。Rf の硫酸塩錯形成を議論する上で、Rf 及びその比較となる同族元素の Zr 及び Hf の化学種を詳細に調べていくことが重要である。

まず、同族元素の Zr と Hf の硫酸塩錯体を推定するため、中性錯体を抽出することができるリン酸トリブチル (TBP) を抽出剤とした  $\text{H}_2\text{SO}_4$  からの溶媒抽出とエレクトロスプレーイオン化質量分析 (ESI-MS) を行い、フラグメントの化学種を基に中性の Zr 及び Hf の硫酸塩錯体を推定する。次に、Zr、Hf、Rf の TBP/ $\text{H}_2\text{SO}_4$  系の固液抽出挙動を取得し、Zr と Hf の抽出挙動を Zr と Hf の化学種の変化を関連付けることで、抽出挙動から Zr 及び Hf の硫酸塩錯形成を考察する。そして、Rf と Zr と Hf の抽出挙動を比較し、単一原子でしか存在できない Rf の硫酸塩錯体の錯形成及び化学種を考察する。

将来的に、本研究により、同定した Rf の化学種を用いて相対論的量子化学計算を行い、実験結果を反映するような計算パラメータを導き出すことで、今後の超重元素化学における相対論的量子化学計算の精度向上が可能となり、超重元素領域における特異な電子状態、化学結合への相対論効果の影響を解明を目指す。

## 2. 課題研究の進捗状況及び達成度

(1) Zr と Hf の  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液中の化学種同定  
達成度：30%

Zr と Hf の  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液中の化学種同定のため、Zr 及び Hf の TOA/ $\text{H}_2\text{SO}_4$  系の溶媒抽出を行った。抽出化学種に含まれる TOA の数を調べるため、 $\text{H}_2\text{SO}_4$  濃度を一定とし、Zr 及び Hf の分配比の TOA 濃度依存性を調べた。また、抽出化学種を同定するため、抽出試料の ESI-MS 測定を行いフラグメントの化学種の同定を行った。これらの結果を基に Zr と Hf の  $\text{H}_2\text{SO}_4$  中の陰イオン化学種を推定した。

また、以前取得した Rf、Zr、Hf、Th の  $\text{H}_2\text{SO}_4$  系の陰イオン交換の結果と J. Inorg. Nucl. Chem. 26, 965 (1964)、Inorg. Chem. 46, 5882, (2007) の報告を基に、Rf、Zr、Hf、Th と硫酸イオンとの錯形成反応における全安定度定数の導出した。ラフな評価ではあるが、Rf の 3 段階目の全安定度定数が同族元素の Zr と Hf に比べて、1 桁以上小さいことがわかった。現在、より詳細な全安定度定数の見積もりを行っており、将来的に論文投稿を予定している。

(2) Zr、Hf、Rf の TBP/ $\text{H}_2\text{SO}_4$  系の固液抽出  
達成度：5%

本年度は、初年度とのことで、実験に必要な物品の調達を行うことができた。しかし、実験まで進めることができなかった。次年度以降、本年度調達した物品を用いて研究を進捗させていく予定である。

## 3. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕 (計 2 件)

- (1) T. Yokokita, S. Yano, Y. Komori, H. Haba, Anion- and cation-exchange studies of Zr, Hf, and Th using ion-exchange resin and fiber in  $\text{H}_2\text{SO}_4$  media for chemical characterization of sulfate complex of Rf, J. Radioanal. Nucl.

Chem., 査読あり, **331**, 1127 (2022).

- (2) E. Watanabe, Y. Kasamatsu, T. Yokokita, S. Hayami, K. Tonai, H. Ninomiya, N. Kondo, Y. Shigekawa, H. Haba, Y. Kitagawa, M. Nakano, A. Shinohara, Anion-exchange experiment of Zr, Hf, and Th in HNO<sub>3</sub> and quantum chemical study on the nitrate complexes toward chemical research on element 104, Rf, Solvent Extr. Ion Exch., 査読あり, in press.

〔紀要〕 (計 3 件)

- (1) T. Yokokita, Y. Kasamatsu, E. Watanabe, Y. Komori, Y. Shigekawa, Y. Wang, D. Mori, H. Ninomiya, S. Hayami, K. Tonai, K. Ghosh, A. Shinohara, H. Haba, Anion exchange of Rf in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> using the batch-type solid-liquid extraction apparatus AMBER, RIKEN Accel. Prog. Rep. 査読あり, **54**, 148, (2021).
- (2) T. Yokokita, H. Haba, Cation- and anion-exchange behavior and UV-vis spectroscopy of Zr in HBr for chemical characterization of bromide complexes of Rf, RIKEN Accel. Prog. Rep. 査読あり, **54**, 151, (2021).
- (3) Y. Kasamatsu, N. Kondo, K. Nakamura, Y. Kuboki, H. Ninomiya, Y. Shigekawa, E. Watanabe, Y. Yasuda, K. Toyomura, M. Nagase, T. Yokokita, Y. Komori, H. Haba, T. Yoshimura, H. Itabashi, A. Shinohara, Solvent extraction of Zr and Hf from HCl by Aliquat 336 using a flow-type extraction apparatus toward online chemical studies of element 104, rutherfordium, RIKEN Accel. Prog. Rep. 査読あり, **54**, 150, (2021)

〔学会発表〕 (計 1 件)

- (1) 横北卓也, 羽場宏光, Zr 及び Hf のスルファト錯体推定に向けた TOA/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 系の溶媒抽出, 日本化学会第 102 春季年会 (2022), 査読なし, JA01-apm-05.

**研究課題名：**汎用一眼カメラを用いた運動時における血行動態変化のリアルタイム計測に関する研究

**研究代表者：**吉田 慧一郎

小区分：スポーツ科学関連

## 1. 研究計画の概要

近年の高齢化社会の加速やアクティビティの多様化に伴い、熱中症等のアクティビティ中における事故が増加しており、簡便に身体の血行動態変化に異常がないかをリアルタイムに計測・解析する技術が必要とされている。先行研究では現在までに近赤外線カメラに改造した汎用一眼カメラを用いた運動時における血行動態変化の可視化に関する検討を行っている。しかしながら、現計測・解析システムではリアルタイムでの解析結果を被験者に示すことが出来ていない。そこで本申請研究では、血行動態変化の可視化をリアルタイムで実施、アクティビティ中における異常な血行動態変化を早急に検知した際には被験者に警告するシステムの構築を検討した。

## 2. 課題研究の進捗状況及び達成度

近赤外線撮影は市販の一眼カメラに赤外線カットフィルタの除去改造を実施したEOS RP(Canon製、撮像素子サイズ：35mmフルサイズ36.0mm×24.0mm)およびEOS5D Mark III(Canon製、撮像素子サイズ：35mmフルサイズ36.0mm×24.0mm)を用いた。また、近赤外線撮影では赤外線投光器(秋月電子通商製、AE-LED56V2)を光源とし、使用レンズ(Canon製、EF24-70mm F2.8L II USM)前面に波長840[nm]以下の光を遮断する可視光線カットフィルタ(FUJIFILM製、IRフィルター84号)を取り付け、近赤外線領域での撮影を実施した(Fig.1)。

分光反射率計測では、携行型分光器(ATシステム製、カラーコンパスMF)を用い(Fig.2(a))、3Dプリンタで作製したケース内に固定、白色LED(OptoSupply製、OSPW5111A-Z3)を光源とした反射光強度を分光器で取得した(Fig.2(b))。分光反射率計測は白色PTFEシートを基準とした。



Fig.1 Modified IR Single-lens Camera with IR light projector.

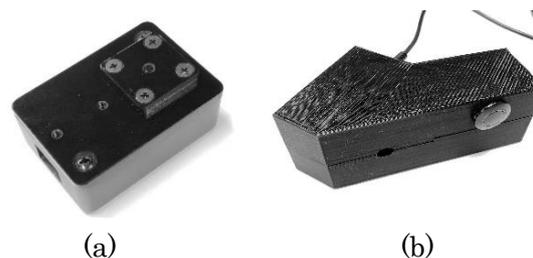


Fig.2 Experimental setup for spectrometry. (a) Portable spectrometer. (b) Spectral measurement system.

実験では、実験前後においてヒト右足左側面部に対する画像計測(Fig.3(a))ならびに、同ポイントにおける分光計測(Fig.3(b))を実施した。

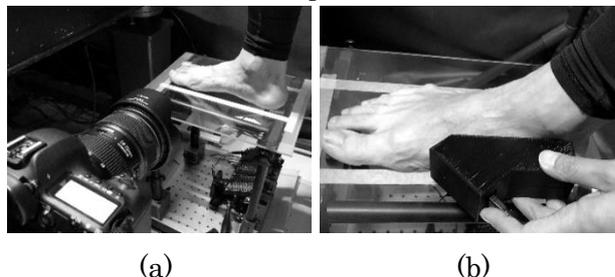


Fig.3 Experimental condition for Hemodynamic change measurement. (a) IR image measurement. (b) Spectral measurement.

本計測システムにより得られた実験結果の一例を Fig.4 ならびに Fig.5 に示す。

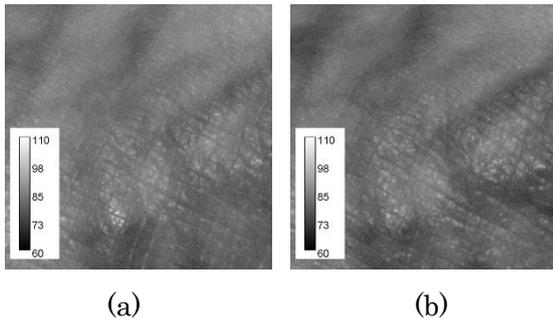


Fig.4 Typical near IR image of walking experiment in the mid-30s. (a) Before experiment. (b) After experiment.

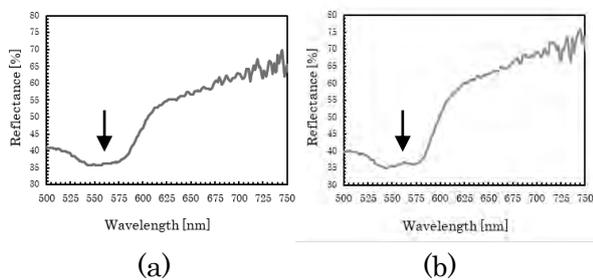


Fig.5 Result of spectral measurement in the mid-30s. (a) Before experiment. (b) After experiment.

Fig.4 に画像計測で得られた近赤外線画像に対し反射率50%のグレーカードで正規化した結果を、Fig.5 に分光計測で得られた波長500-750 [nm]における分光反射率の結果を示す。画像計測では、血管部分とその他周辺組織の反射率の差が明確に見え、血管部分の位置・分布推定が容易であることが分かる。また、運動前後を比較すると運動後の血管部分の反射率が運動前より低下していることが分かる。これらの変化は、運動により引き起こされた血行動態変化を反映したものと考えられる。また一方で、Fig.5 に示す分光計測の結果では、運動を行う前後において、波長560 [nm]付近において分光反射率の変化が見られた。実験前では560 [nm]付近の反射率はなだらかな変化を見せているのに対して、実験後では560 [nm]付近をピークとする波形となった。これは、血液中の酸素化ヘモグロビンの吸収スペクトルのピークと一致しており、運動において血流の変化が生じたものと示唆される。

今回の課題研究により、汎用一眼カメラを用いて運動時における血行動態変化の可視化が可能であることが判明した。現状の計測システムは実験室の暗室内での設備など測定を一定の場所での計測のため in situ でのリアルタイム計測が行えていない状況である。今後の予定として、可搬性を有し、どこでも測定が行えるように携帯型計測システムへ改良していく予定である。

### 3. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計1件)

- (1) 吉田慧一郎, 「汎用一眼カメラを用いた血行動態変化の可視化による熱中症要望技術への応用」, 日本油化学会オレオサイエンス, vol.21(2021), pp.19-25.

[学会発表] (計2件)

- (1) 吉田慧一郎, 佐藤亮太郎, 「汎用一眼カメラを用いた携帯型血行動態可視化システムに関する検討」, 日本福祉工学会第25回学術講演会, 講演論文集, 査読無, pp.21-22
- (2) 佐藤亮太郎, 吉田慧一郎, 「赤外線カメラ改造を施した汎用一眼カメラによる靴種類別の血行動態変化の定量評価システムの検討」, 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 予稿集, 査読無, pp.1557-1558

# 課題研究費実績報告書

令和4年3月31日現在

研究課題名：周防大島周辺における再生可能エネルギーを利用した沿岸多点多層観測ネットワークの構築

研究代表者：吉田 将司

小区分：船舶海洋工学

## 1. 研究計画の概要

周防大島に面する大島瀬戸は、5～7ノット程度の強い潮流が頻繁に発生する海域である。この近隣の小松港海域付近での潮流は非常に予測が難しく、船舶の運航に影響を及ぼす場合がある。これら海流や潮流の予測・解明は船舶の航行安全や地域漁業など、幅広い分野での貢献が期待されている。しかし、実時間的に変動する海流や潮流をピンポイントに把握するためには海上を多点多層観測する必要がある。研究代表者らはこれまで沿岸域を多点多層観測するために、無線センサネットワークを構成し、富山新港及び周防大島での観測に成功したが、2～5日間と短期に留まった。この理由は洋上における電源確保が課題であった。そこで本研究は、電源に代表的な再生可能エネルギーである太陽光発電だけでなく、地域特性である強い潮流を生かした小型潮流発電装置を加えた洋上ノードを開発し、複数のLPWA基地局を通じてWeb Serverで集約、遠隔監視可能な沿岸センサネットワークを構築する。図1は観測システムの概要を示す。

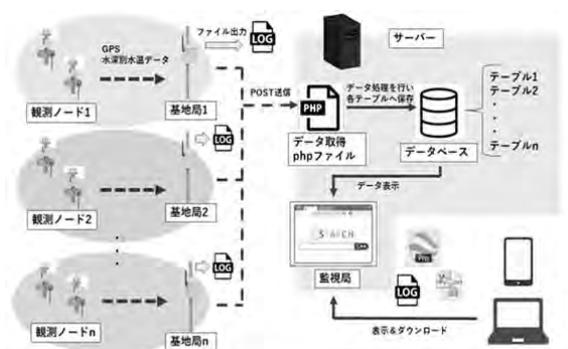


図1 観測システムの概要

これまでの研究成果により、無線センサネットワークを用いて沿岸域の多点多層における海中情報の時間変動を観測することができた。本研究は3年間の研究期間でこの技術をさらに洗練・充実

させつつ、以下の内容を実施する予定であるが、今年度は①と②に絞って実施する予定である。

①複数の洋上ブイを用いた水温と塩濃度の多点多層観測

②インターネットを利用した遠隔監視システムの構築

③再生可能エネルギーを利用した洋上ブイの開発検討

このうち①は、沿岸もしくは沖合の三か所に海洋環境計測ブイを設置し、水温・塩濃度の鉛直分布を研究期間中に観測実験を継続する。②は伝送された情報を基地局である大島商船高専内や研究代表者が在籍する都内でもモニタリングするために、LPWAと外部サーバを利用した遠隔監視システムを実装し、運用試験を実施する。③は①のブイに再生可能エネルギーである太陽光発電装置を設置し長期間観測を実施する。次に小型潮流発電装置を製作し、太陽光発電装置からの代替可能性を検討する。①と②が達成後の課題として実施する。

## 2. 課題研究の進捗状況及び達成度

①複数の洋上ブイを用いた水温と塩濃度の多点多層観測

昨年度末に制作した水温観測用ノード3基、塩濃度観測用ノード1基を周防大島に送付し、4月～5月まで陸上で試験した。6月以降水温観測1基と塩濃度観測1基が不具合のため本校にて原因調査を行い、塩濃度観測用は回路を再制作した。9月に水温観測用2基を利用した海上実験を実施した。観測地点候補である笠佐島に1基設置したところ、無事データ通信を確認することができた。一方、測定した水温データが不安定であったことから原因を調査した結果、使用していたマイコン(ESP32)のA/D変換器およびその関数に問題があることが判明した。そこでベンダーから提供された修正を行い、その効果を調査した。図2は2つのA/D変換用関数による測定値の比較結果を示す。

修正済み関数である analogReadMilliVolts() は入力電圧に追従できていることがわかる。そこで再び全ノードを回収し、プログラムの修正およびプローブのチェックを実施した。図3は各ノードの水温表示と水温計との比較結果を示す。図のように水温計よりも若干高めの傾向があるものの、0.7°C 以内の偏差に収めることができた。

1月にノードをすべて周防大島に送付し、海上試験を実施した。図4はノードの設置状況を示す。

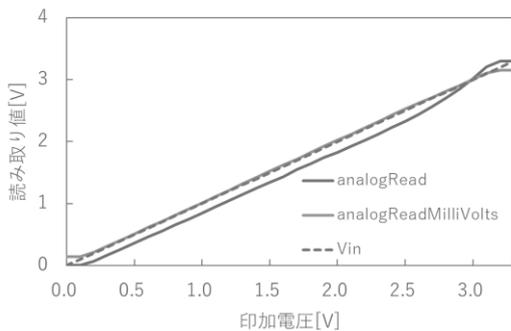


図2 A/D変換器の入出力電圧比較

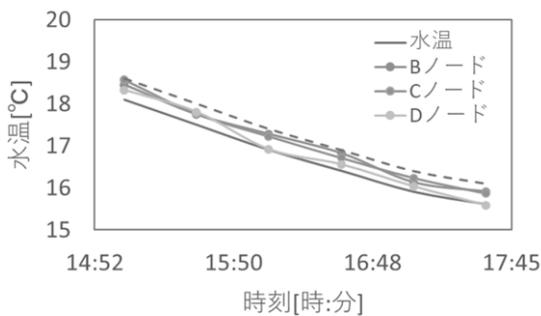


図3 水温比較実験結果



図4 周防大島でのノード設置状況

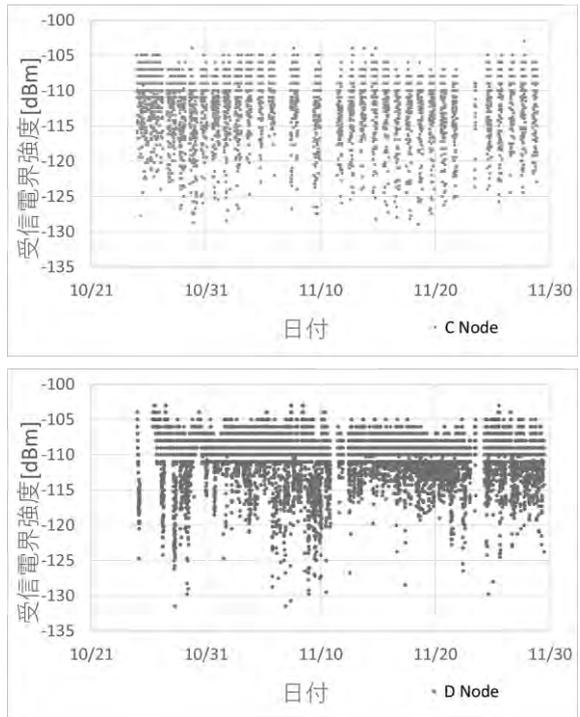


図5 長期観測時の受信電界強度比較  
(上：Cノード、下：Dノード)

図5は10月25日から11月28日までの水温観測用ノード2基から基地局間における受信電界強度を示す。図中の空白期間はデータが受信できていないことを示している。図の期間中の基地局における受信率は、Cノードが45.06[%]、Dノードが92.46[%]であった。受信率が異なる理由は、設置環境や発電状況の違いが考えられる。水温観測用3基は停止期間も発生するものの、太陽光発電により2か月以上の連続観測が可能となった。しかし、雨の影響による測定値変化や複数のプローブの異常値が見られた。また塩濃度観測用は通信不良が発生したため、再び回収となった。今年度も現地での実地試験ができず、思うような観測ができなかった。今後は塩濃度観測用および水温観測用ノードの新規作成が必要である。

## ②インターネットを利用した遠隔監視システムの構築

昨年度まで使用していたデータ取得システムは遠隔で状況把握が可能であったが、案内画面の操作ボタンが小さい、スマホでの視認性が悪い、リアルタイムでデータが可視化できない等の課題があった。そこで今年度はこれらを解決する方法としてPCとスマホで操作が容易となる画面の開発

及び、リアルタイムに地図表示が可能なシステムを開発した。また、現在本校のネットワーク環境に対応するため外部レンタルサーバを利用しているが、本校で使用しているGoogle driveでデータ管理する手法への移行を検討した。

図6はデータ表示用WEBページの改善結果を示す。まずディスプレイサイズによって大きさが自動変化し、次にボタンからアコーディオンメニューでの画面遷移に変更した。さらに各項目にカーソルが乗ると色が変わるように変更することにより、PCだけでなくスマホでの操作が容易になった。図7はGoogle JavaScript APIを利用した遠隔監視システムの構成を示す。現在のシステムを止めずに開発するため、制約条件として、センサからサーバまでの構成を変更しなかった。Google javascript APIを利用するとGoogle MAPのマップデータをjavascriptで読み込むことで、PCとスマホの両方で受信データの地図表示が可能になる。ただし、開発画面ではなく本運用の場合、1000リクエストあたり0.76円かかるため、現在は地図が不鮮明であるが開発状態で運用している。本研究では他にもPC専用のフリーソフトであるQGIS、スマホ専用であるがアプリ上でGoogle MAPのマップデータを読み込むことができるMaps SDKでも同様に開発を検討した。



図6 表示の改善結果

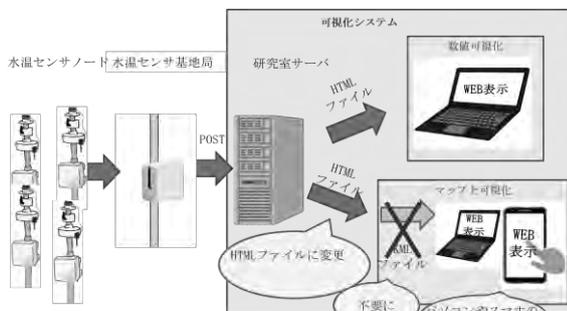


図7 Google JavaScript API を利用した遠隔監視システムの構成

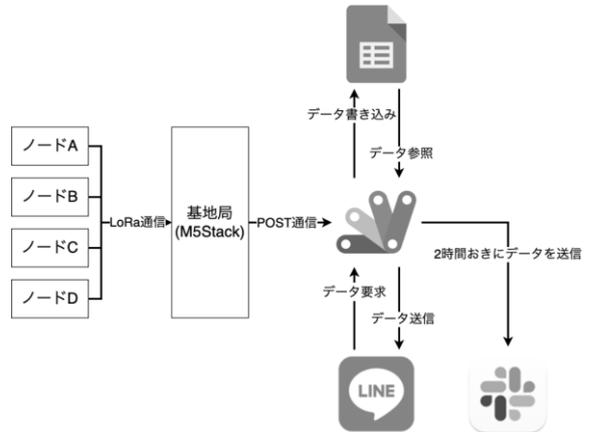


図8 Google App Script を利用した遠隔データ処理システムの構成



図9 SNS での表示結果の例

図8はGoogle App Scriptを利用した遠隔データ処理システムの構成を示す。これまでのシステムは観測、データ収集、データの保存、表示までが自動で行われていたが、保存されたデータのダウンロード、データの整形処理は手動で処理していた。そこで本システムでは基地局で受信したデータを処理しGoogle App Scriptで製作したウェブアプリケーションへと送信、データの判断と加工を行いスプレッドシートへ書き込むことでダウンロードせずにデータ処理操作が可能になる。また、2時間おきに最終データをSlackにて送信、特定のメッセージをLINEから受信した場合に最終データを送信することでSNSによるデータ取得が可能になる。図9はLINEおよびSlackでのデータ通知結果を示す。上記のように、本研究課題の達成度は高い。今後はさらに地図表示機能を加えることで、従来システムからの換装を目指す。

### 3. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕（計1件）

- [1] 中川雅史, 吉田将司, 他 G空間情報ソリューションを実現する測位技術調査専門委員会編, G空間情報ソリューションを実現する測位技術調査報告, 電気学会技術報告, 査読無, 第1521号, 2022年1月.

〔学会発表〕（計4件）

- [1] 川島爽義, 吉田将司, 多点多層センシングに対応したセンサデータのリアルタイム可視化システムの検討, 測位航法学会 GPS/GNSS シンポジウム2021, 査読無, BS-6, Oct, 2021.
- [2] 塚本悟朗, 吉田将司, 開発サイクルを考慮したセンサネットワークシステムの検討, 測位航法学会 GPS/GNSS シンポジウム2021, 査読無, BS-2, Oct, 2021.
- [3] 中野裕紀, 吉田将司, 沿岸センサネットワークにおける観測ノードの改良, 第13回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 査読無, Q233, Dec, 2021.
- [4] 川島爽義, 吉田将司, 沿岸センサネットワーク可視化システムの検討 - 多点多層センシングに対応したリアルタイム可視化システム -, 第13回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 査読無, B117, Dec, 2021.

研究課題名：阻止域減衰量を指定可能かつ通過域に平坦特性を有する可変 FIR フィルタの設計法

研究代表者：宮田統馬

小区分：通信工学関連

1. 研究計画の概要

これまでに、申請者は高速高精度な計測を実現するために、阻止域の一部に高減衰量を有し、かつ、阻止域の特性が可変なデジタルフィルタの設計法を提案してきた。加えて近年、さらなる計測制度の向上を狙って通過域に平坦特性を有する阻止域可変フィルタの設計法を開発した。しかしながら、これまでに提案してきた可変フィルタでは、高減衰量を得るために直接的に減衰量を指定するのではなく、帯域にかける重みにより減衰量を制御していたために、狙った減衰量を得ることの難しさがあった。本研究では、減衰量の値を直接的に指定可能かつ阻止域の特性が可変な通過域に平坦特性を有する直線位相 FIR フィルタの設計法の開発を行う。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

本研究で扱うフィルタの所望特性は図1のように、阻止域の一部に高減衰量を持たせることで、阻止域全体を高減衰量としたフィルタよりもフィルタ次数が削減できる。これによりフィルタリング時間を低減することが可能となる。さらに、高減衰量部分に存在する大きなノイズの位置の変化に対応するために、可変パラメータ  $\phi$  により、高減衰量の位置を可変とする。本研究では高減衰量  $\gamma$  を dB で与える。

通過域平坦かつ阻止域等リプルの低域通過フィルタを実現する、タイプ I の直線位相可変 FIR フィルタの振幅特性  $H(\omega, \phi)$  は、

$$H(\omega, \phi) = 1 - (1 - H_0(\omega))H_1(\omega, \phi) \tag{1}$$

$$H_0(\omega) = \left( 1 + \sum_{p=1}^P \frac{1}{p!} x^p \prod_{i=1}^p (M+i-1) \right) (1-x)^M \tag{2}$$

と表せる。式(1)の第2項は高域通過型の特性としている。ただし、 $H_0(\omega)$  は低域通過平坦フィル

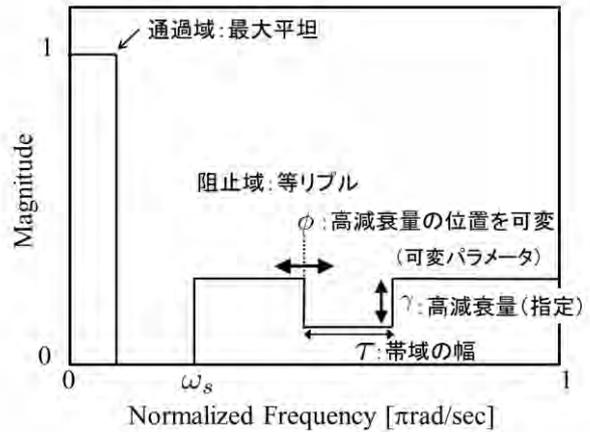


図1：所望特性

タの振幅特性、 $M$  と  $P$  はそれぞれ通過域と阻止域の平坦度であり、等リプル特性を得るために本研究では阻止域にも若干の平坦特性を与え、また、 $x$  は、

$$x = \frac{1 - \cos \omega}{2} \tag{3}$$

である。加えて、式(1)の  $H_1(\omega, \phi)$  は阻止域において高減衰量の位置を変化させるために可変フィルタとし、可変パラメータを用いた多項式により、

$$H_1(\omega, \phi) = 2 \sum_{n=0}^{N/2} \sum_{l=0}^L g(n, l) \phi^l \cos(n\omega) \tag{4}$$

とする。ただし、 $N$  はフィルタ次数、 $L$  は多項式次数、 $g(n, l)$  は多項式係数である。また、 $\phi$  は  $\phi$  を  $-1$  から  $1$  の範囲で正規化したものである。これは、本設計法を応用して複素要素を可変させた際に、小さな可変パラメータの値が大きな可変パラメータの値に埋もれてしまい、反映されないことを防ぐためにこのように与える。

次に誤差関数を、

$$E(\omega, \phi) = D(\omega) - (1 - H_0(\omega))H_1(\omega, \phi) \tag{5}$$

とする。ただし、 $D(\omega)$  は所望特性である。提案する可変フィルタの設計問題は、最大許容誤差  $\lambda$  を用いて、

$$\begin{aligned} & \text{minimize } \lambda \\ & \text{s.t. } E^2(\omega, \phi) \leq \lambda \cdots \text{otherwise} \\ & E^2(\omega, \phi) \leq (10^{\gamma/20})^2 \\ & \cdots \text{piecewise high attenuation} \end{aligned} \quad (6)$$

と定義する。式 (6) の 2 つ目の制約条件により指定の高減衰量を実現する。また、式 (1) より通過域は予め平坦特性と決定しているため、阻止域のみの近似問題である。本設計法において、式 (1) の右辺の第 2 項はフィルタの全体の特性としては阻止域となるが、前述の通りこの項は高域通過フィルタの特性であるため、所望特性は  $D(\omega)=1$  とする。

最終的に式 (6) の設計問題を半正定値計画問題として再定義すると、

$$\begin{aligned} & \text{minimize } \mathbf{d}\mathbf{x}^T \\ & \text{s.t. } \mathbf{U}(\mathbf{x}) \succeq \mathbf{0} \end{aligned} \quad (7)$$

となる。ただし、

$$\mathbf{d} = [1 \ 0 \cdots 0] \quad (8)$$

$$\mathbf{x} = [\lambda \ \mathbf{g}] \quad (9)$$

$$\mathbf{g} = [g(0,0) \cdots g(N/2,L)] \quad (10)$$

$$\mathbf{U}(\mathbf{x}) = \text{diag}[\Gamma_\lambda(\omega, \phi) \ \Gamma_\gamma(\omega, \phi)] \quad (11)$$

$$\Gamma_\lambda(\omega, \phi) = \begin{vmatrix} \lambda & E(\omega, \phi) \\ E(\omega, \phi) & 1 \end{vmatrix} \quad (12)$$

$$\Gamma_\gamma(\omega, \phi) = \begin{vmatrix} 10^{\gamma/20} & E(\omega, \phi) \\ E(\omega, \phi) & 10^{\gamma/20} \end{vmatrix} \quad (13)$$

である。

上記の手法を用いて可変フィルタの設計を行う。フィルタ次数  $N=20$ 、多項式次数  $L=3$ 、平坦度  $M=6$ 、 $P=3$ 、阻止域端角周波数  $0.4\pi$  とし、高減衰量部分について  $\lambda=-80$  dB、 $\tau=0.15\pi$ 、可変パラメータの範囲を  $\phi=0.7\pi \sim 0.8\pi$  と設定した。図 1 と図 2 に、提案法によって得られた可変フィルタの振幅特性と、その通過域を拡大したものを示す。図より明らかなように、パラメータの値を変化させても通過域および阻止域がそれぞれ平坦特性と等リプル特性を保ちつつ、高減衰量部分は指定した値を維持し位置が変化することが確認できる。

従って、提案法を用いることで、研究計画に示

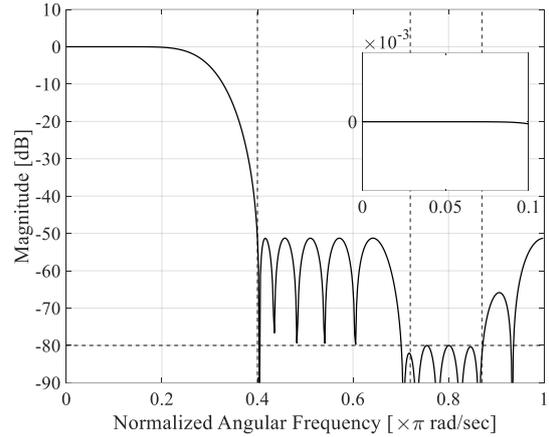


図 2 : 振幅特性  $\phi=0.72\pi$

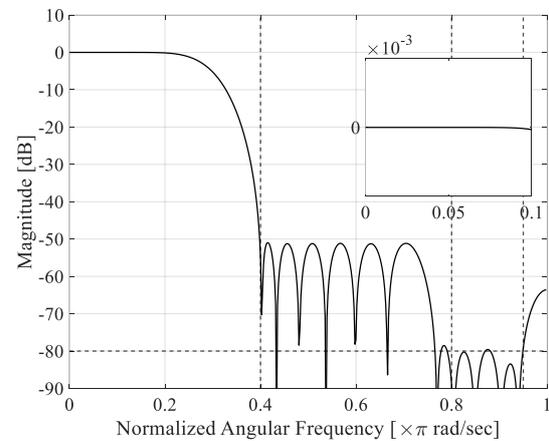


図 3 : 振幅特性  $\phi=0.80\pi$

した可変フィルタの設計が行えていることがわかる。

### 3. 代表的な研究成果

[学会発表] (計 1 件)

- [1] 宮田統馬, 相川直幸, 通過域平坦かつ指定減衰量を有する阻止域可変 FIR フィルタの設計法, 電子情報通信学会総合大会, 査読無, A-8-13

# 課題研究費実績報告書

令和4年3月31日現在

研究課題名：e-スポーツの遠隔授業応用に関する検討  
—VR・携帯アプリを用いた体育実技の展開—

研究代表者：高野 修

小区分：身体教育

## 1. 研究計画の概要

本研究では以下のプロセスを経ることにより、遠隔形式での体育授業を実施する状況下においても対面形式で集団スポーツに取り組む時のように、学生相互の関わり合いを持ちながらオンラインでの実技に取り組むことができるかどうか検証を行うものである。

### 【①身体活動を伴うe-スポーツ競技の調査】

現在、国内外で多くのe-スポーツ競技会が実施され、オンラインにて場所や距離を問わず参加できることから急速に普及している。また、著名なスポーツクラブがe-スポーツ専門の選手と契約を行い参入している様子も見られ、メジャースポーツ化する気配すら感じられる。しかし、現在行われているe-スポーツ競技会はオンライン上でコントローラーやキーボードを用いた操作にて対戦されるものか、実際の空間に画像等を投影して参加者が身体活動を伴って参加するARスポーツスタイルのものがほとんどである。この両者の特徴を合わせたスタイルの競技を調査し、体育教材として利用できる可能性を探る。

今日まで、家庭用ゲーム機に接続し運動をすることができるものは多数見受けられたが、通信機能を有するゲーム機が出始めながらも、オンラインでこれらの機器を通じて対戦をはじめとしたコミュニケーションを取ることができるものについて例をあまり見ない。そこで、家庭用ゲーム機を中心に身体活動を通じてコミュニケーションが取れるものを調査し、実証研究の準備を行う。

現時点では、VR機器類が普及してきた点も踏まえ「PlayStation VR」に着目し、同機の対応可能なスポーツソフトを調査対象に含む予定である。また、スマホアプリでも気軽にエクササイズを行いながらコミュニケーションが図れるものが出始めているので、それらも対象としたいと考えている。

### 【②本校学生のゲーム機器所有率調査】

①で想定しているe-スポーツを実践するためのデバイス類を体育授業に用いることを前提とするために、現況で本校学生が所有するビデオ・PCゲーム機器の種類を把握しておく必要がある。また、スマートフォンの所有率も確認する。

Nintendo や PlayStation 関連の機器をほとんどの学生が所有しているのではないかと推察するが、数値的なデータで掌握することによりゲームに用いる対象メディアの選定に活かしていきたい。

### 【③調査対象としたアプリ・ソフトの実践】

対象となったゲームソフトおよびスマホアプリが体育実技教材として利用できるかどうか、実際にプレイを重ねながら本校学生に利用させた際の問題点の抽出を行う。あらかじめ本校4・5年生10名程度に協力を依頼し、第1アリーナ棟内にプレイルームを設置して可能であればオンライン対戦での検証を重ねていく。また、スマホアプリについては入手に費用がかからないようであれば被験者数を増やし、コミュニケーション頻度について多くのデータを収集できるよう努める。

学生間の身体能力も考慮し、被験者の選定については可能な限り多様な属性を持たせるよう努める。それにより、学科・性差・運動競技歴の点について比較検討が行えるようデータ収集を行う。

### 【④実際のプレイを通じた主観的な評価の確認】

被験者に実際にプレイしてもらった感想を中心に、体育実技と比較した評価を主観的に行ってもらおう。基本的には半構造化インタビューにて各被験者の感想を集約しまとめる流れを予定しているが、本研究ではe-スポーツの体育授業への応用について可能性を模索するためのファースト・ステップとすることを目的としている。そのため効果測定については次の段階で行うものとし、集約したデータを定量化して統計的な視点からの検証は予定していない。

## 2. 課題研究の進捗状況及び達成度

### 【①身体活動を伴うe-スポーツ競技の調査】

インターネットでの調査を基に体育授業に援用できそうなオンライン対戦形式でのe-スポーツ競技を探し出すことを試みたが、残念ながら国内でそのような競技が実施されている現状は確認できなかった。

しかし、数年前に任天堂社製 WiiU 用ソフトとして発売された「Wii Sports Club」においては、ユーザーがフレンドやソフト内で所属するクラブ内の他ユーザーとテニスやベースボールを中心としたオンライン対戦を行う機能が付されており、ゲーム自体も Wii リモコンプラスやゲームパッドを用いて身体動作で進める形となっているため、調査対象として望ましいものであった。

当初の予定では Play Station VR を用いて PS Move モーションコントローラーを介したスポーツ対戦を調査対象に挙げるところだったが、Play Station 対応ソフトで条件を満たせるものは「みんなのGOLF」程度しか確認できなかった。

### 【②本校学生のゲーム機器所有率調査】

今年度前期末に実施した授業アンケートにおいて、全学生を対象に所有しているゲーム機器の種類について質問し、回答をまとめた(図1)。男女合わせて486名の学生から回答が得られたが(回答率61%)、所有率としては任天堂社製の機器類が高く、SONY社製の機器類は高価なことが理由なのか、あまり普及していない現状が見られた。

### 【③調査対象としたアプリ・ソフトの実践】

上記の調査結果を踏まえて学生の所有率が高いハードウェアを用いた調査を行うのが現実的だが、Nintendo Switch でオンライン対戦が実施できて身体活動を伴うコンテンツを有したソフトウェアが確認できず、また調査を進める中で校内のサー

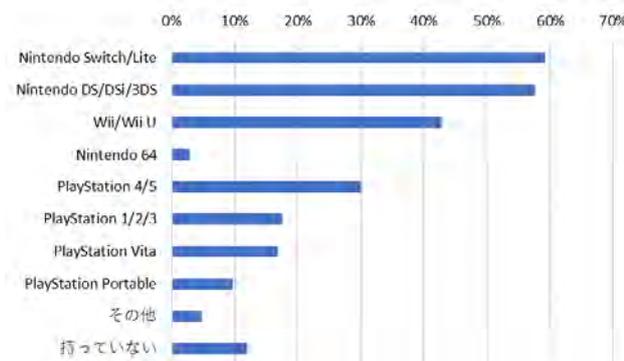


図1. 本校学生のゲーム機器所有率 (n=486)

バーが古く Nintendo 系、SONY系いずれのゲーム機器類も学内ネットワークに接続した際に何らかの障害が発生することから、安価なタイプかつ所有率がそれなりにあるハードウェアが妥当と判断し、先述の「Wii Sports Club」を用いた調査を実施した。先述の通りいずれの種目も Wii リモコンプラスを用いたオンライン対戦が可能となっており、実際の体育授業に援用できる部分が多いと見込んで、当該ソフトを用いて3学年情報工学科に所属している4名の学生の協力を得ながら実際のマルチプレイに取り組んでもらった。

### 【④実際のプレイを通じた主観的な評価の確認】

学生にアンケートを取ったところ、ゲームでも体を動かすことができたかという問いに対しては「まあまあ」と答えた者が多く、特にボウリングは運動量が高かったとのことだった。参加者相互のコミュニケーションが取れたかという問いに対しては全員が「結構取れた」と答えている。本校の体育実技でもカリキュラムに含んでいる「テニス」「ベースボール」について、ゲームの実施により基本的なルールの理解に繋がるかという問いに対しては「おおいにある」「まあある」が半分ずつという回答となった。全体的な感想としては、全員が「運動が苦手な学生にとって、スポーツに親しむためにいい材料になると思う。」といった趣旨のコメントが得られた。

## 3. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計1件)

- [1] Osamu Takano, Naoto Shoji, Motoki Mizuno, “Sports career changes in senior high school: A case study of volleyball club members”, JOURNAL OF HUMAN ERGOLOGY, 50(1), pp.45-46, 2021

[学会発表] (計2件)

- [1] 高野修, 大野達哉, “主体性の向上を目的とした体育授業が学生の自己効力感に及ぼす影響について—生涯スポーツを意識した授業づくり—”, 日本アプライドスポーツ科学会第1回大会, 2022
- [2] 高野修, 大野達哉, 鎌田俊司, “家庭用ゲーム機器を利用した遠隔授業実践の可能性—身体活動を伴うオンライン対戦をベースとした予備調査報告—”, 第10回関東信越地区高専体育・スポーツ研究会, 2022

# 課題研究費実績報告書

令和4年5月6日現在

研究課題名：ルチル型酸化チタンの薄膜化と光学的・電気的特性評価

研究代表者：黒木雄一郎

小区分：無機材料および物性関連

## 1. 研究計画の概要

酸化チタンは多様な用途に使われている代表的な機能性材料であり、顔料や光触媒の他にもクロム添加により赤外発光を示すことが報告されている。申請者は赤外発光を示す酸化チタンをセキュリティインクとして実用化するための過程で、この発光がクロム添加によるものではなく、ルチル型酸化チタンの真性欠陥に起因する可能性を見出した。一方で酸化チタンという良く知られた材料のバンド構造や真性欠陥と光触媒などの機能性の発現については現在も活発に議論されており、今後も系統的な学術的研究の推進が望まれている。本申請では、R.F.マグネトロンスパッタリング法によりルチル型酸化チタンを成膜し、その光学的・電気的特性からバンド構造（バンドギャップおよび欠陥のエネルギー準位）を実験的に明らかにすることを目的とする。効率的な欠陥の導入方法に関する指針を得ることで、発光強度の増大など、セキュリティインクの実用化に資する試料の合成が可能となる。

## 2. 課題研究の進捗状況及び達成度

これまでに、クロム添加、アルミニウム添加および無添加のルチル型酸化チタン粉末試料の合成、室温及び極低温フォトルミネッセンス測定による発光特性の評価、格子欠陥の推定、電子の励起・緩和過程の解明、分子動力学計算による欠陥構造の推定と安定度の評価、等について研究を推進してきた。2021年度は以下の3点について研究を推進した。

### ① R.F.マグネトロンスパッタリングによる薄膜化（進捗度 80 %）

光学特性、特に吸収係数の測定や電気特性の評価において粉末試料は不利である。具体的には粒子形状を考慮した散乱係数の波長依存性を測定する必要があり、これは実質的に不可能である。散

乱係数をスペクトルに重畳したクベルク・ムンカ係数（スペクトル）からクラマース・クロニツヒ変換をする報告が散見されるが、これらは見かけの吸収係数に過ぎない。これを解決するためには試料の薄膜化が有効である。

R.F.マグネトロンスパッタリングによりTiO<sub>2</sub>膜を堆積した。ターゲットにはTiO<sub>2</sub>粉末を使用した。背圧  $6.6 \times 10^{-4}$ Pa まで真空引きした後、Ar ガスを流入し、スパッタリングを行った。ガス圧を 0.10、0.15、0.25、1.0Pa に設定して4種類の薄膜を作成した。図1に得られた薄膜のXRDパターンを示す。スパッタガス圧を減少させることにより、ルチル相のピークが増大し、アナターゼ相のピークが減少することが確認できた。

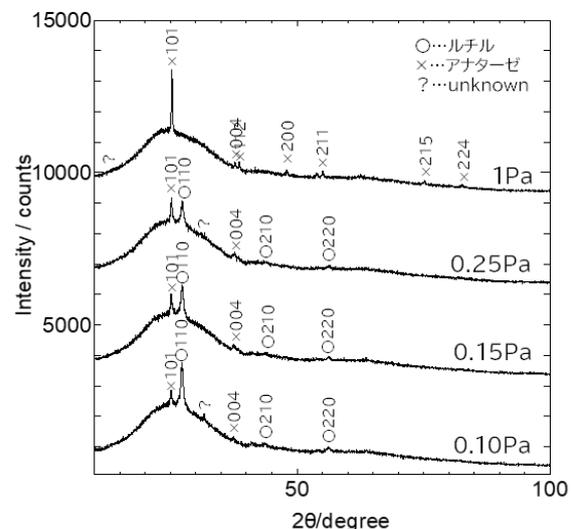


図1 得られたTiO<sub>2</sub>薄膜のXRDパターン

得られた薄膜には干渉色が確認できたことから、全体的に均一な膜厚であることがわかった。膜厚は購入した表面粗さ形状測定機（東京精密、サーフコム 113B）により求めた。試料の平均膜厚とスパッタガス圧、およびそこから算出したスパッタレート（時間当たりの堆積量）を表1、および図2に示す。これらの結果よりスパッタガス圧の

減少に伴い膜厚が増大し、またスパッタレートも増加することがわかった。

表1 スパッタガス圧を変化させた場合の平均膜厚とスパッタレートの関係

	平均膜厚 [nm]	スパッタレート [nm/min]
1.0Pa	203	3.38
0.25Pa	238	3.97
0.15Pa	268	4.46
0.10Pa	390	6.50

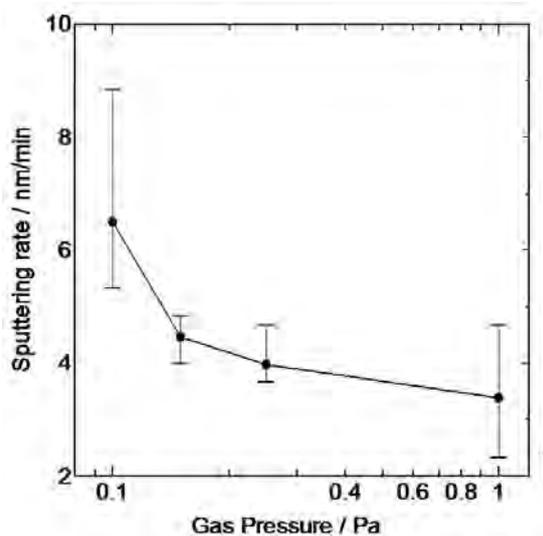


図2 スパッタガス圧とスパッタレートの関係

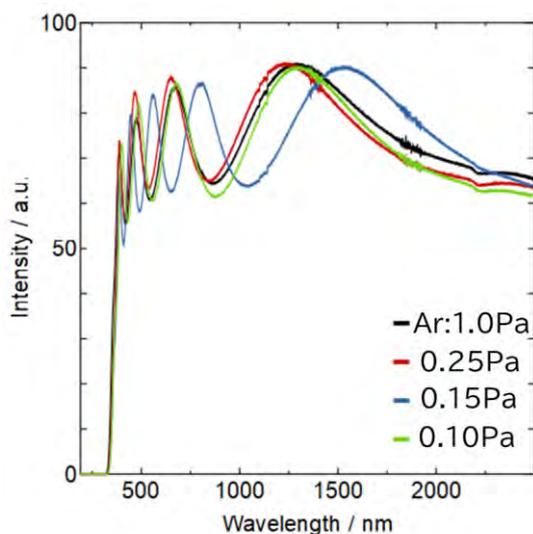


図3 薄膜試料の透過率スペクトル

② 光学特性の評価 (進捗度: 80%)

得られた薄膜試料について、光学的バンドギャップを実験的に明らかにした。UV-VIS-NIR 分光光度計 (島津、UV-365) を用い、波長 190 ~ 2500 nm の範囲で透過率スペクトルを測定した結果を図3に示す。スペクトルより、干渉による透過率の増減が確認されたことから、薄膜試料の膜厚が均一であることが示唆された。またいずれの試料も 330nm 以下の波長で透過率が 0% となったことから、約 3.35 eV の光子エネルギーの基礎吸収端 (バンドギャップ) を有することがわかった。

次に、フォトルミネッセンス(PL)測定装置を用いて室温での発光特性を調査した。励起光として波長 325nm の He-Cd レーザーを用いた。図4に測定結果を示す。

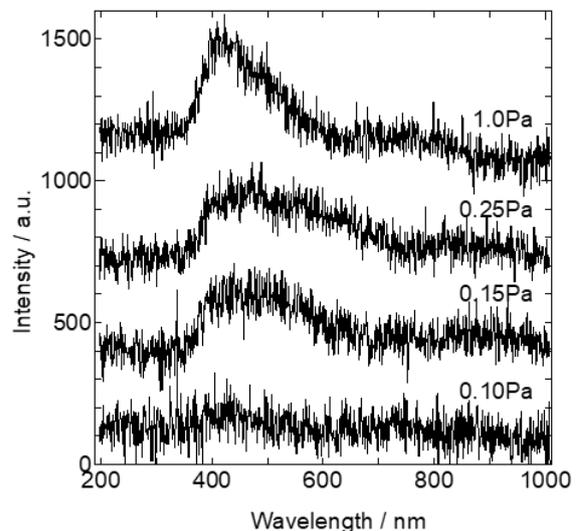


図4 TiO<sub>2</sub> 薄膜試料の発光特性

スパッタガス圧が0.15から1.0Paの条件で作成した薄膜は波長420nmにピークを有する微弱な可視発光を示した。アナターゼ単相である1.0Paの薄膜が最も強い発光を示した。アナターゼ相の減少に伴い発光強度も減少したことから、この可視発光はアナターゼ型TiO<sub>2</sub>に起因するものと考えられる。ルチル型TiO<sub>2</sub>の回折ピークが最大化した0.10Paの薄膜について、逆スパッタリング処理によりルチル型TiO<sub>2</sub>への酸素空孔の導入を試みたが、赤外発光は確認できなかった。赤外発光の観測に資するだけの酸素空孔を導入する方法として、水素ガスによる還元雰囲気下での真空プラズマ処理が考えられる。

③ 電気特性の評価（進捗度：20%）

薄膜試料を用いることで電極形成が可能となり、電気特性の評価による格子欠陥の情報が得られる。

2021年度は、現有の半導体パラメータアナライザ（HP4156A）での測定を目指し、本体およびテストフィクスチャの調整と準備を行った。

3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕（計1件）

- [1] 中里 桂輔、黒木雄一郎、R.F. マグネトロンスパッタリングにより成膜したTiO<sub>2</sub>薄膜の発光特性、大学コンソーシアム八王子学生発表会、要旨集 (2021) C124

# 課題研究費実績報告書

令和4年3月31日現在

研究課題名：炭素繊維強化熱可塑性プラスチックの繊維樹脂界面強度に及ぼす  
大気圧プラズマ処理と結晶化収縮の影響に関する調査

研究代表者：坂口 雅人

小区分：材料力学および機械材料関連

## 1. 研究計画の概要

炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)は耐衝撃性、成形コスト、リサイクル性が従来の炭素繊維強化熱硬化プラスチック(CFRTS)よりも優れるために注目されている。しかしながら、CFRTPは母材樹脂の含浸性が低く、炭素繊維と母材の接着性が低いために炭素繊維の強度を十分に発現できていない。大手らは放電時のシース電圧を低下させることで炭素材料の損傷を避けて改質するプラズマ処理方法を確立している(電気学会論文誌A(114(1994)(861)。また、辻岡らは電解酸化処理を施した炭素繊維を用いてCFRTSを成形し、処理による酸素原子量の増加に伴って界面せん断強度が向上することを報告した(材料(46(199)(163)。そこで本研究ではCFRTPの含浸性・接着性を向上させる手法として大気圧プラズマ処理による酸化処理に着目した。一方で、熱可塑性樹脂は、熱硬化性樹脂とは異なり、結晶性を有している。この結晶化によって樹脂収縮が生じることが知られている。この樹脂収縮がCFRTPに生じると炭素繊維が周りの母材樹脂から締め付けられることによって、炭素繊維と母材の接着性が向上すると考えられる。

これらより、本研究では学術的「問い」として“CFRTPの繊維樹脂界面強度の支配因子は何か”を設定し、この問いに答えるために①炭素繊維への熱可塑性樹脂の含浸率と界面強度に及ぼす大気圧プラズマ処理の影響、②CFRTPの力学的特性に及ぼす母材結晶化による樹脂収縮の影響解明を目的とした研究を行った。これらの調査を通してCFRTPの繊維樹脂界面強度の支配因子を解明し、CFRTPの力学的特性の向上を試みる。

本研究では上記目的を達成するために(3年間の研究計画を考えている。(1年目は適切な成形・処理条件の検討を行い、CFRTPの強度への影響について調査した。今年度は(年目となり、今年度は母材結晶化による樹脂収縮率を測定し、繊維樹脂

界面強度への影響について調査した。また、大気圧プラズマ処理を施した炭素繊維の表面を観察し、プラズマ処理による損傷の有無について明らかにした。

## 2. 課題研究の進捗状況及び達成度

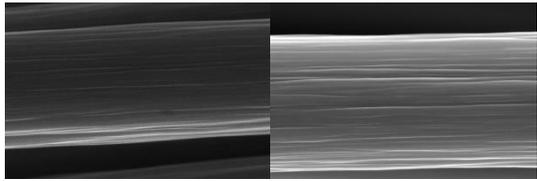
①((炭素繊維への熱可塑性樹脂の含浸率と界面強度に及ぼす大気圧プラズマ処理の影響(達成度：(0%(

今年度は大気圧プラズマ処理による曲げ強度の向上メカニズムを調査するために、プラズマ処理後の炭素繊維表面の損傷について調査した。

本研究ではフィラメント数6000本の炭素繊維束(トレカ糸(T300-3000, 東レ製())を用いた平織基材に対して大気圧プラズマ処理を行った。平織基材の表面にはサイジング剤が塗布されており、炭素繊維表面の特性に影響すると考えられることからアセトンに浸して除去した。大気圧プラズマ処理は雲母板に固定した平織基材にプラズマ照射装置(TT110(サーフクリーン製())を用いてプラズマを照射して行った。プラズマ照射部の酸素量を制御するためにアルゴンと酸素の混合気を吹き付けた。大気圧プラズマ処理条件はアルゴンと酸素の流量をそれぞれ( $l\ m\ n$  と( $00\ i\ /\ m\ n$  とし、印加電圧(100V, 転送台の送り速度を( $10\ i\ m\ n$  とした。

大気圧プラズマ処理による炭素繊維の損傷を調査するために走査型電子顕微鏡(SEM)による表面観察を行った。図(1に大気圧プラズマ処理を施した炭素繊維の観察結果を示す。この結果、大気圧プラズマ処理による炭素繊維表面への損傷が見られないことが示された。

これより、本研究における大気圧プラズマ処理条件では炭素繊維を損傷させずに酸化処理できることが示されたが、具体的な官能基の変化が明らかとなっていない。また、官能基の変化による母材と炭素繊維のぬれ性や接着性についての調査もできていない。従って、達成度を(0%とした。



(1) 未処理 (2) 大気圧プラズマ処理

図1 大気圧プラズマ処理の有無による炭素繊維表面の比較画像

②(CFRTPの力学的特性に及ぼす母材結晶化度による樹脂収縮の影響解明(達成度:90%)

今年度は結晶化による樹脂収縮がどの程度となるかを調査し、樹脂収縮によるCFRTPの力学的特性への影響について考察した。結晶化による樹脂収縮を評価するために結晶化による体積収縮量

$\Delta v$  と結晶化前の体積 $v_0$ との比として樹脂収縮率 $v_c$ を下式のように定義した。

$$S_c = \frac{\Delta v}{v_0} = \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \quad (1)$$

母材樹脂には汎用樹脂のポリプロピレン(PP)(ノバテック(PP(CC6, 日本ポリプロ製), エンジニアリングプラスチックのポリアミド(PA)(アマラン(CM101), 東レ製) 生分解性プラスチックのポリ乳酸(P/A)(Igeo3001D, (atur ee(o oes 製)を使用した。(PP, (PA, (P/Aの各ペレットは平板状の金型に離型シートとして敷いた(PTFEシートの上に設置され、ホットプレスを用いて成形温度に加熱し、融解した後、(saの押切荷重を負荷してフィルムに成形された。成形されたフィルムは金型ごとホットプレスから取り出し、ヒートシンク上で冷却した。成形温度は(PPと(P/Aでは(00°C, (PAでは(0°Cとした。次に成形したフィルムを結晶化させるために乾燥炉内で(130°Cに加熱し、一定時間静置してアニーリングを施した。

アニーリングを施したフィルムは示差走査熱量測定(DSC)により、結晶化度が評価された。(DSCは加熱速度(10°C/min, 目標温度(30°Cとして行った。得られたDSC曲線から結晶化エンタルピー $\Delta H_c$ と融解エンタルピー $\Delta H_f$ を算出し、下式に代入することによって結晶化度 $\chi_c$ を算出した。

$$\chi_c = \frac{|\Delta H_c + \Delta H_m|}{\Delta H_{100}} \quad (1)$$

ここで $\Delta H_{100}$ は試験片が無限大の結晶厚さを有する際の融解エンタルピーである。 $\Delta H_{100}$ は(PP,

(PA, (P/Aではそれぞれ(16(Jmgポリプロピレンハンドブック,(01),30JmgTheei tl(Chtetc ueatuno (Polmi eed(Mt ueatl (d(Ed.) (199)), (13 Jmg Collondt d(Polmi ee(Scne ce (63(198)(8)として計算した。

結晶化による樹脂収縮を調査するためにアルキメデス法による密度測定を行った。アルキメデス法では空気中で測定した試験片重量を乾燥重量、水中で測定した試験片重量を水中重量としてそれぞれ測定し、浮力によって生じる重量の違いから試験片の密度を求める。試験片の密度 $\rho$ は乾燥重量 $v_d$ と水中重量 $v_w$ から下式のように求めることができる。

$$\rho = \frac{M_d}{M_d - M_w} \rho_{Aq} \quad ( )$$

ここで、 $\rho_{Aq}$ は水の密度である。本研究では常温の精製水を使用し、水温から求めた密度を使用した。これを式(1)に代入することで樹脂収縮率を求めた。ここで、 $\rho_0$ と $\rho$ はアニーリング前後の母材密度である。

図(に(PA, (PP, (P/Aの各フィルムの密度を示し、図(3に樹脂収縮率を示す。この結果、(PPと(P/Aはアニーリングによって密度が増加し、樹脂収縮率も未処理と比較して(PPでは最大で(0.18%, (P/Aでは(1.3%に増加した。一方で、(PAは密度や結晶化収縮率の変化は見られない。

次に、図(4に(PA, (PP, (P/Aの各フィルムの結晶化度を示す。この結果、(PPと(P/Aではアニーリングによって増加し、(PAでは結晶化度の増加は見られなかった。これらより、(PPと(P/Aではアニーリングによる結晶化によって樹脂収縮することが強く示唆された。一方で、(PAではアニーリングによる結晶化及び収縮は見られなかった。これはアニーリング温度が原因と考えられる。熱可塑性プラスチックは温度によって結晶化速度が変化し、(PPと(P/Aではそれぞれ(13°Cと(130°Cで最も結晶化速度が高くなる。一方で、(PAでは約(10°Cであるため、本研究のアニーリング温度(130°Cでは結晶化が変化しなかったと考えられる。

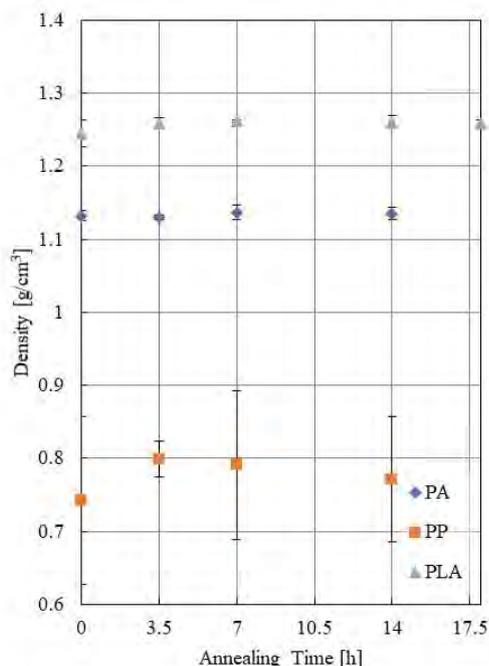


図2 アニール時間によるPA, PP, PLA フィルムの密度の変化

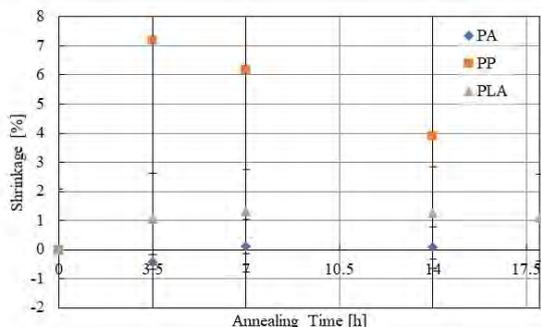


図3 アニール時間によるPAフィルム, PPフィルム, PLA フィルムの結晶化収縮率の変化

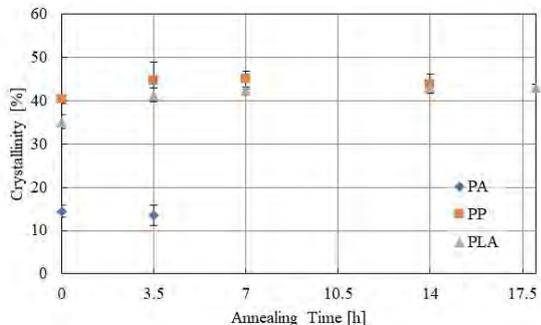


図4 アニール時間によるPAフィルム, PPフィルム, PLA フィルムの結晶化度の変化

次にCFRTPを構成する炭素繊維周りの母材を薄肉円筒と仮定し、樹脂収縮に生じる締付圧力を算出した。この結果、樹脂収縮率と締付圧力は図( )に示す様に線形となり、(PPの最大樹脂収縮率0.18%では1.88(MPa)の締付圧力が得られる。これより、アニーリングによる樹脂収縮によって繊維樹脂界面強度の向上が期待できることが示唆された。そこで、(2019年度及び(2020年度に報告した(CFmP板と(CFmPA板の曲げ強度と弾性率との比較をそれぞれ図(6と( )に示す。この結果、曲げ強度と弾性率はアニーリング時間とともに低下しており、樹脂収縮が曲げ強度・弾性率の向上に寄与していないことが示された。これは樹脂収縮による炭素繊維の締付圧力によって母材内部に残留応力が生じたことが原因と考えられる。また、結晶化によって弾性率が低下する点は繊維樹脂界面強度が低下したことを示唆している。中尾らは(PEを接着剤として使用した場合、熔融状態から徐冷して結晶化度を増加させることで、母材内の不純物が界面に析出して接着強度が低下することを報告している(高分子, (19(19)0)(4) )。このことから結晶化によって母材内の不純物析出が原因の可能性も考えられる。これらより、今後は母材内部の残留応力及び界面について調査する必要がある。これらより、年度当初に予定していた樹脂収縮率及び締付圧力の解析を達成しているが、新たに母材内部の残留応力の解明や界面への調査が必要となったことから、達成度を(90%とした。

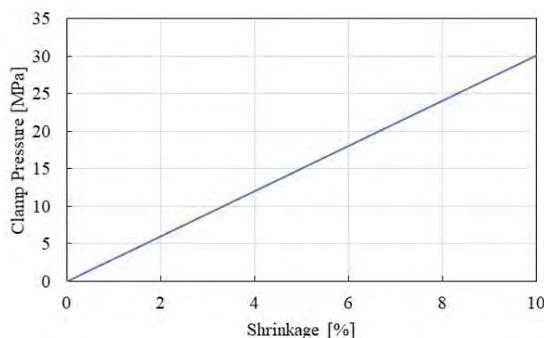


図5 薄肉円筒を仮定した場合のCF/PP複合材料に生じる締付圧力

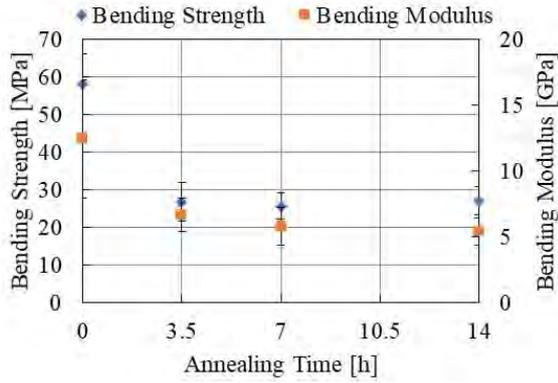


図6 各アニーリング時間におけるCF/PP板の曲げ強度と弾性率の変化

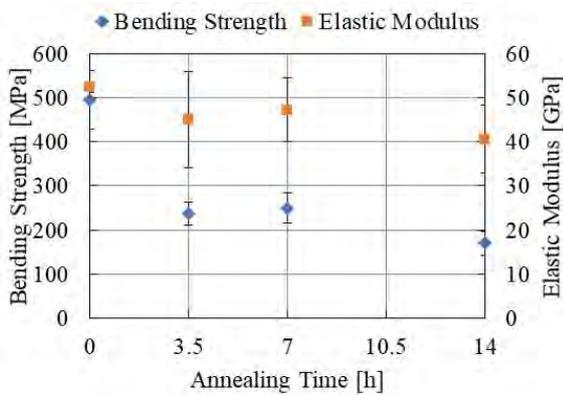


図7 各アニーリング時間におけるCF/PLA板の曲げ強度と弾性率の変化

### 3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕 (計3件)

- (1) 山口(雅人), 大黒 元暉, 平田 智哉, 平織炭素繊維強化ポリプロピレンの曲げ特性に及ぼす結晶化収縮の影響, 山梨講演会(01)講演論文集, 査読無, 講演番号C11.
- (2) 山口(雅人), 吉田 拓未, 小林 訓史, ポリ乳酸フィルムの引張強度に及ぼす熱処理温度と時間の影響, 日本機械学会(01)年度年次大会講演論文集, 講演番号(J031-0).

※(ICACC(0) に関しては要項集を発行していない。このため、著者名、発表タイトル、学会名、査読の有無、講演番号、講演場所、講演年月を記載

※日本機械学会では講演論文集を(PDF形式にて発行している。このため、巻やページがないことから、代わりに講演番号を記載した。

研究課題名：F0センサの構築に向けた基礎的検討

研究代表者：三輪 賢一郎

小区分：知覚情報処理関連

## 1. 研究計画の概要

世界のIoTデバイス数が本年中にも300億個に到達すると予測されており、様々な産業分野においてIoT化が急激に進展することが見込まれる。そこで重要になってくるのはセンシング技術であり、現在までに様々な環境センサが開発され、実用化されてきた。しかしながら、音センサについては、その中身は基本的には音圧レベルを測定するだけのプリミティブなものにとどまっている。もし環境センサに基本周波数推定の機能を実装することができれば、遠隔における音信号の分析が容易になり、遠隔地の野生動物の見守りや異音の把握など、様々な音情報の把握分析が効果的に行えるようになる。また、音声の生データを通信するのに比べ、基本周波数の数値データのみでの通信は無線帯域の効率的な利用に資するものであり、IoTの通信インフラとの親和性も高まる筈である。

基本周波数数（F0）推定の研究の歴史は半世紀に及び、その中で数多くの方法が提案されてきたが、雑音と残響の両方に対して総合的に対応できる手法は未だ確立されていないのが現状である。そこで筆者らは、振幅変調の復調技術を用いてヒトのピッチ知覚を模擬するという今までに無いやり方により、理想的な調波信号に限るという制約は存在するものの、実環境を考慮した手法を提案してきた [1]。しかしながらこの手法は、復調処理の検波方式として同期検波方式（ダイレクトコンバージョン方式）を利用しているため、位相同期処理が必須となることから、計算量の低減が難しいという根本的な課題を抱えており、計算リソースの乏しいセンサ機器に実装することは現実的ではない。

したがって本研究では、Raspberry PiないしはArduino程度の計算リソースでの信号処理を前提とした、雑音残響に頑健で、かつ計算コストにも優れたF0推定手法の基礎検討を実施することとする。実現技術としては、筆者らの手法を踏襲し

つつも、同手法の心臓部である復調処理機構に、計算コストの大きい同期検波方式に代えて、計算コストが小さい非同期検波方式を新たに採用することで、実環境中のセンサ機器に実装可能なF0推定手法の確立を目指す。

本研究の方法としては、まずは本手法の耐雑音性と耐残響性を、主としてシミュレーションにより検証する。具体的には、MATLAB上で本手法のアルゴリズムを実装した上で、白色雑音等を用いた人工的な雑音環境や、人工的に生成された室内インパルス等を用いた人工的な残響環境の下で、調波複合音等の人工音に対する従来法と本手法とのF0推定精度をシミュレーションにより比較検討する。将来的には、本手法と従来手法との計算時間の比較も実施する。これらの検証結果を評価することで、本手法がF0センサの要素技術として有効か否かを検討する。

本研究のスケジュールとしては、計算機の環境が整い次第すぐにアルゴリズムの実装に着手し、次いで確認のための予備試験を経て、評価シミュレーションへと進む。シミュレーション結果はその都度分析を行い、本手法の有効性について検証を行う。得られた成果については対外発表も行う予定である。

## <文献>

- [1] 三輪賢一郎, 鶴木祐史, "振幅変調音のピッチ知覚に基づいた調波複合音の基本周波数推定法," 電子情報通信学会論文誌A, Vol. J98-A, No.12, pp. 668-679, 2015年12月

## 2. 課題研究の進捗状況及び達成度

### 【進捗状況】

本研究においては、

- (1) 提案法の実装
- (2) 静音環境における評価
- (3) 雑音環境における評価
- (4) 計算時間の比較評価

の順で実施した。今回は、基礎検討という段階であることもあり、実際の音信号は使わず、代わりに人工的な 10 次の調波復号音を対象信号として、各種検証を実施している。以下に、順を追ってその進捗状況を示す。

#### (1) 提案法の実装

MATLAB 上に、提案法のコンセプトに則ってアルゴリズムを実装する。本研究では計算量の低減を目指すことから、復調処理機構に非同期検波を採用しているが、中でも代表的な二乗検波方式、包絡線検波方式、ヒルベルト変換方式の計 3 方式の特性を明らかにするべく、3 種類のプログラムを並行して実装した。

#### (2) 静音環境における評価

提案法が FO 推定法として利用可能であるか否かを評価シミュレーションにより検証した。

検証結果からは、今回提案している 3 手法のいずれの方式においても 100% の推定精度を達成しており、これらの方式が FO 推定法としてまずは利用可能性を持つことが確認された。

#### (3) 雑音環境における評価

提案法の雑音に対する耐性を、白色雑音を付加した評価シミュレーションにより検証した。検証結果から、提案法の雑音耐性は、従来法の中でも比較的雑音に頑健な SWIPE 法とほぼ同程度

(SNR= 0 dB における正答率が 70% 前後) であることが示された。しかしながら、同期検波方式の推定精度 (同 98%) には達しておらず、改善の余地は残していると言える。

特筆すべき点として、雑音対策を特に施しているわけではない提案法が、SWIPE 法に匹敵する雑音耐性を発揮しているという事実は、提案法が雑音に対する耐性を本質的に備えている手法であることを示している。加えて、雑音抑圧処理の付加等、一部アルゴリズムを改良することで、提案

法の耐雑音性をさらに向上させられる可能性がある。

#### (4) 計算時間の比較評価

各種 FO 推定法との計算時間の比較も実施し、提案法は同期検波方式と比べておよそ 200 分の 1 の計算時間となっており、計算コストの大幅な圧縮を実現できていることが確認された。一方で、その他の従来法と比べると、その計算時間は依然として 10 倍以上の開きがある。提案法では、対象とする基本周波数の全域に渡ってサーチを実施する必要があることから、これ以上の計算量の低減はその原理上難しいと考えられる。

### 【達成度】

本研究では、非同期検波方式を用いる提案法が FO 推定法として利用可能性を持つこと、併せて雑音耐性を本質的に備えていることを確認した。さらには、同期検波方式に変えて非同期検波方式を採用したことにより、計算コストの大幅な低減にも成功した。

未達成なアイテムとしては、提案法の耐残響性の検証が挙げられる。残響を意識した FO 推定手法は過去にも研究事例が少なく、耐残響性で提案法の優位性を示すことができればそのインパクトは大きい。さらにその先には、より実環境を意識した、雑音と残響との混在環境における評価が必要であり、それらの検証を経てはじめて提案法の実環境における利用可能性が推し量られることになる。以上については次年度以降に取り組む予定である。

将来的には、本研究での基礎検討を踏まえて実際の音信号を用いた検証に発展させ、最終的には FO センサ構築の研究開発につなげてゆくことが期待される。

## 3. 代表的な研究成果

[学会発表] (計 1 件)

- [1] 山川拓真, 三堀二知加, 三輪賢一郎, "非同期検波技術を用いた基本周波数の研究," 大学コンソーシアム八王子 第 13 回学生発表会, 査読無し, Q231, Dec. 2021

# 課題研究費実績報告書

令和4年3月26日現在

研究課題名：次世代電力系統の高調波電流を完全に吸収できる同期調相機システムの開発

研究代表者：山下健一郎

小区分：電力工学関連

## 1. 研究計画の概要

本研究課題は再生可能エネルギーが大量に導入される「次世代の電力系統」のための「高調波電流を吸収できる同期調相機システム」を提案し、その性能や有用性を検証するものである。

電力系統の安定性は系統に接続される回転形発電機の回転エネルギーにより支えられている。一方、再生可能エネルギーを用いた発電装置の多くは蓄電設備の無い電力変換器を介して電力系統へ接続されるため、同エネルギーの大量導入は系統の安定度維持に大きな問題を引き起こすことが懸念されている。また、こうした電力変換器は高調波電流の発生源となるなど、次世代の電力系統はこれまでにない様々な課題を有している。

本研究では電力系統の安定度問題と高調波問題を一度に解決することのできる「特殊な三巻線変圧器と同期調相機（Synchronous Condenser :

SC）を組み合わせた同期調相機システム」を提案し、電力系統へ及ぼす種々な効果について検討を行う（実現可能性研究）。

本研究の基本的な手法は実験的検討と理論的検討であり、供試装置の製作とシミュレーションモデルの構築が完了したら、シミュレーションモデルの妥当性を実験的検討により確認し、シミュレーションモデルを用いて、実用規模のシステムについて種々な検討を行う。具体的な方法は以下のとおりである。

- ① 提案システムの有用性を検証するため、実験的検討に必要な研究室スケールの供試装置（2kVA程度）を製作する。
- ② 同実験装置を基に実験的検討を行い、提案するような波形改善効果が得られるのかを検証する。
- ③ シミュレーションモデルの構築・改善を行い、実験的検討との比較により、シミュレーションモデルの妥当性を明らかにする。
- ④ 実用規模のシステムを想定したシミュレーション

ョンにより、システムの定常特性解析を行う。

## 2. 課題研究の進捗状況及び達成度

当該研究で実施した①供試装置の開発、②供試装置を用いた実験的検討、③シミュレーションモデルの構築、④実用規模の装置を想定したシミュレーション、それぞれについてその詳細を説明する。

### ①供試装置の開発

（達成度 80 %）

サイリスタインバータを用いた装置の開発を完了した。また、電圧型インバータ（IGBT, FET）を用いた装置を製作したが、現時点で動作試験を終えていない状況である。また、電流型インバータを用いた装置の開発は未着手であるため、引き続き製作を継続していく予定である。

### ②供試装置を用いた実験的検討

（達成度 50 %）

完成したサイリスタインバータを用いた装置による実験的検討を実施した。同実験的検討により、種々な実験条件において所望の波形改善効果が得られることが明らかとなった。なお、他のインバータに対する実験的検討については供試装置が完成に至らなかったため、未着手となっている。

### ③シミュレーションモデルの構築

（達成度 90 %）

MATLABを用いたシミュレーションモデルを構築した。インバータ（他励式、自励式の電圧型と電流型）のモデルも予定通り作成し、いずれのインバータを用いた場合においても所望の波形改善効果が得られることが明らかとなった。実験的検討が不十分であるため、他励式インバータ以外の妥当性については検討を行うことができなかった。引き続き実施していく予定である。

④ 実用規模の装置を想定したシミュレーション  
(達成度 80%)

実用規模の装置 (300MW) を想定したシミュレーションを実施した。大規模システムにおいても十分な波形改善効果が得られることが判明した。引き続き定常特性を明らかにする必要がある。

3. 代表的な研究成果

[学会発表] (計 2 件)

- [1] Ken-ichiro Yamashita, Daiki Sakamoto, Mami Tandai, A Synchronous Condenser System Capable of Eliminating Harmonic Distortion for Grid-Connected Inverters, 24th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS2021), 査読有, 2021 年 10 月
- [2] Daiki Sakamoto, Syuji Tanaka, Yusaku Mori, Ken-ichiro Yamashita, Steady-State Characteristics of a Loop-Type Multi-Terminal HVDC Transmission System for Series-Connected Wind Power Plants, 24th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS2021), 査読有, 2021 年 10 月

# 課題研究費実績報告書

令和4年3月30日現在

研究課題名：断片的言語表示を用いた包括的英語指導に関する考察

研究代表者：松尾 貴哲

小区分：外国語教育関連

## 1. 研究計画の概要

本研究は、第二言語（以下 L2）の発話解釈に関する考察である。具体的には、断片的な言語表示で話者の what is said、つまり発話の「表意（explicature）」を復元できるかを実験調査したものである。その調査結果から、学習者が L2 を解釈するにあたり、どのようなプロセスを辿っているのかを語用論的に説明することを目標とする。また、英語教育への応用にいくつかの示唆を与えることを第二の目標とする。

まず本研究は、理論の拠り所となる、発話解釈の理論である「関連性理論（Relevance

Theory）」を概観することから始まる。ひとが発話を理解する普遍的なプロセスが、L2 のそれにも当てはまるのかを問題提起するとともに、被験者を募って実験調査を行う。結論として、聞き手は断片的な L2 言語表示であっても、話者の「言いたいこと」に到達することが十分に可能であることを主張する。そして、本論の第二の目標である、英語教育へのいくつかの示唆を与えたい。自発的なアウトプットを促し、生産的で相互作用的な授業を提供するために、学習者に与えるインプットとしてどのようなものが経済的かつ効果的なのかを示唆的に述べる。

## 2. 課題研究の進捗状況及び達成度

関連性理論は、発話の暗示的側面のみならず明示的側面にも推論の役割が大きく関与すると主張する。発話解釈には「論理形式」、「表意」、「推意」という3つのレベルがあるが、表意に関していうと、論理形式の解読演算、かつ推論による命題拡張プロセスが重要な点といえる。ただし、これらのレベルは全てオンライン上で処理され、特定の推意が復元されるには、表意が確定されていないなければならない。本発表の問題提起は、L2 の解釈もこのような処理で行われるか、から始まる。この表意獲得について一連の実験調査を行っ

た。

当調査は個別面談で実施、かつ長期的研究への暫定的位置付けであり、分析に充てられる時間を考慮して被験者は10名のみとした。全受験者のうち、準2級相当を4名、3級相当4名、4級相当2名を無作為に抽出した。

調査課題は図1のようなスライド表示を6題、スクリプト付きで聞かせた。ターゲットセンテンスを空白表示し「話し手は何を言っていたと思いますか？」「なぜあなたはそう思ったのですか？」を共通の質問として調査した。



図1：実験調査 Phase 1 <会話1>スライド

表1：実験 Phase1 習熟度と全6問の総合得点

習熟度	3級	3級	3級	準2級	4級	3級	4級	準2級	準2級	準2級
グループ	A <会話1,3,5> 断片発話 / <会話2,4,6> 完全発話					B <会話1,3,5> 完全発話 / <会話2,4,6> 断片発話				
得点/20pt	0/12	3/12	4/12	5/12	2/12	3/12	1/12	5/12	5/12	6/12

この調査の結果、いくつかの示唆を導くことができた。まず、数単語のみの断片発話では正しい発話解釈を導かない一方で、完全発話では平均発話長の増長つまり明示的表示の多さが、逆に被験者の推論稼働率を妨げることがわかった。次に、表示された語の誤解読により推論の道筋が歪み、誤った意味論アウトプットへ導かれる事例もみられた。L2 学習者の誤訳や的外れの回答は、誤った文脈想定および明示的側面の解読演算の段階で発生すると考えられる。

次に、断片発話を視覚的に表示した Phase 2 の調査結果を示す。Phase 1 と比較すると、表 2 に見られるように、被験者全員に得点の向上が確認

され、各級の平均得点率は準2が81%、3級46%、4級17%となった。

表2: 実験 Phase2 習熟度と全6問の総合得点

習熟度	3級	3級	3級	準2級	4級	3級	4級	準2級	準2級	準2級
得点/20	4/12	9/12	6/12	11/12	7/12	3/12	2/12	9/12	7/12	12/12

この結果は適切なコンテキスト選択に加え、表示された語の解読演算が適切に処理されたかどうかの差を示している。言語形式を視覚化した場合では、それらが論理形式として意味論的にアウトプットされ、関連性への期待に沿って真偽判定を問える命題まで推論的に拡張されている。結果として話者の意図した想定に到達できたと考えられる。最適な関連性を求める諸原理の認知制約が動機となり、L2の解釈においてもRTが説明する表意の復元プロセスが同等に稼働していること、しかし、学習者の習熟度によって、音声表示と視覚表示で意味論的解読の程度に差が生じることを例証している。

本研究は提出した仮説および実験調査から、

1) L2 解釈において表意復元までの推論プロセスはL1と同等であり、RTの解釈理論は普遍的といえるが、誤った文脈想定あるいは論理形式の意味論的アウトプット次第では誤解を導くことがある。2) どの程度の明示性をもって表意を獲得できるかに関し、概念を記号化 (conceptual encoded) する語を明示的 (視覚的) に表示すれば、表意が復元されやすい傾向があると結論づけた。

本研究は、発話解釈における推論処理が言語問わず普遍的であることを示唆した。また、L2 解釈においては、概念をコード化した語の知識獲得、つまり語彙力の増強こそが正しいコンテキスト選択と推論を導くきっかけとなるのであり、文法などの統語論的な側面は、ある程度は推論で補完できることを示唆している。いわゆる「カタコト英語」が成立する一つの理論的根拠を示すものであり、英語を用いた円滑な会話ターンと授業運営を狙いとする場合、コンテキストの可視化を前提としたうえで、まずは内容語を臆せず発話させることが効果的ではないかと考える。しかしながら、本研究はbroken Englishによる英語指導を推奨するものではない。このような課題に向き合い、段階的な英語運用の授業スタイルを確立しようとする中で、初期英語学習者にとってどのようなイン

プットが効果的であるか、そして、学習者のアウトプットをどのように促進すべきかについて、本論はひとつの示唆を与えることを期待している。

「英語の授業は英語で」に順応しつつ、リキャスト、プロンプトといったオーラル指導への前提として、この研究に意義を持たせたい。断片的な発話でも学生や教師は、推論を働かせて意図にたどり着くことが可能であり、いわゆるオールイングリッシュ環境への参加を促すきっかけを提供するものと期待したい。

### 3. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕 (計1件)

- [1] 松尾貴哲, 断片的言語表示を用いた L2 発話解釈に関する一考察, 全国高等専門学校英語教育学会研究論集, 第41号, pp.37-46, 2022, 査読有

〔学会発表〕 (計1件)

- [1] 松尾貴哲, 断片的言語表示を用いた L2 発話解釈に関する一考察, 令和3年度第44回 COCET 研究大会 (オンライン) 講演論文集, 2021

# 課題研究費実績報告書

令和4年3月28日現在

研究課題名：2×2次元切替スイッチの開発（2）  
～Sub-6 GHz 及び 28 GHz 帯低コスト 2×2次元切替スイッチの開発～  
研究代表者：水谷 浩

小区分：電子デバイスおよび電子機器関連

## 1. 研究計画の概要

本研究では、低コスト基板を用いた Sub-6 GHz 帯及び28 GHz帯 2×2次元切替スイッチを実証することを目的とする。具体的には低コスト基板上に作製した伝送線路の28 GHz帯やミリ波帯での低損失性を評価・実証する予定である。さらに、実証した低コスト基板上の低損失伝送線路を用いたマイクロ波混成集積回路 HIC の設計・試作・RF 評価を行い、Sub-6 GHz 帯や28 GHz帯 2X2 次元切替スイッチの低損失動作を実証する。

## 2. 課題研究の進捗状況及び達成度

今年度の目標は、前年度原理実証した低損失伝送線路構造を用いて、Sub-6 GHzと 28 GHz の 2x2次元切替スイッチHICを設計・試作を行う。作製した HIC (Hybrid IC) は電気通信大学保有設備のミリ波帯ネットワーク・アナライザ Agilent E8364B を借用してSパラメータの測定を DC ～ 50 GHz で行うことであった。研究は計画通り進捗し、以下の通り、研究目標は概ね達成できた。

前年度の研究にて伝送線路の評価方法が確立されておらず、実証が十分できていなかった FR-4 を用いた新しい構造を有する伝送線路の 28GHz 以上のミリ波帯における低損失特性に関し、本研究にて実証を行った。その結果、シミュレーションで得た結果と同様に、マイクロストリップ線路と逆マイクロストリップ線路、新構造の伝送線路の順に損失が小さくなっていることを確認した。

さらに、本研究では、Sub-6 GHzと 28 GHz の 2x2次元切替スイッチの設計を行った。図1に 4.5 GHz / 28 GHz 帯 2 × 2次元切替スイッチの回路図を示した。本研究では、図1の回路のうち、まず SPST 部分、すなわち 2次元切替スイッチを 28 GHz でも低損失特性を示す新構造を適用した FR-4 基板上にHICとして作製した。

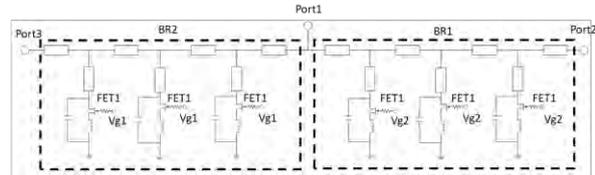


図 1. 4.5 GHz/28 GHz 帯 2 × 2次元切替スイッチの回路図



図 2. 4.5 GHz/28 GHz 帯 2次元切替スイッチの写真

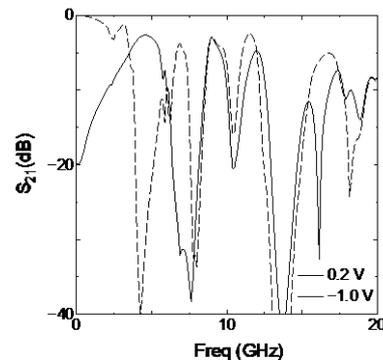


図 3. 4.5 GHz/28 GHz 帯 2次元切替スイッチの周波数特性

図2に 4.5 GHz/28 GHz 帯 2次元切替スイッチの写真の写真を示した。図3はネットワーク・アナライザを用いて実測した、4.5 GHz / 28 GHz 帯 2次元切替スイッチの周波数特性である。FETのゲートバイアスを 0.2 V と -1.0 V で切り替えることにより、スイッチの ON/OFF 特性が切り替わる。ON/OFFのスイッチ動作をする周波数が 4.5 GHz

以下と 16 GHz 付近で見られる。本来 16 GHz ではなく 28 GHz で切り替わるように設計したのであるが、設計に用いた FET のパッケージ込みの等価回路パラメータのミリ波帯での精度が十分でないことが原因であると考えている。今回のデータから正確な等価回路パラメータを抽出することができるため、次回は精度の高い設計が期待できる。このように、完全な実証までは至らなかったが、ミリ波帯で FR-4 基板を用いて低損失スイッチ回路を作製することができることが示唆されたことは、大きな成果である。今後、4.5 GHz/28 GHz 帯 2 × 2 次元切替スイッチ HIC の低損失性を実証すると同時に、更なるミリ波回路に適用していく予定である。

### 3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕（計 1 件）

- [1] 石井 岳人、水谷 浩、「ミリ波アプリケーション向け低損失FR-4伝送線路の提案」、電子情報通信学会総合大会、C-2-31、2022年3月、査読無

# 課題研究費実績報告書

令和4年 3月 31日現在

研究課題名：交流電池に接続するコッククロフト・ウォルトン回路に関する研究

研究代表者：米盛 弘信

小区分：電力工学関連

## 1. 研究計画の概要

本研究は、AC Biode社が開発した世界初の交流電池に接続するコッククロフト・ウォルトン回路（Cockcroft - Walton Circuit：以下、CW回路）の性能向上を目的としている。AC Biode社の交流電池は、負極（Anode）と正極（Cathode）の間に Biode とよばれる両性電極（AC Biode社の造語）を挿入し、Anode - Biode と Biode - Cathode を外部の半導体スイッチで切り替えて矩形波を出力するリチウムイオン電池の一種である。本研究のベースになる交流電池は、共同研究先のAC Biode社が性能向上に取り組んでいる。申請者は、交流電池に接続する昇圧用のCW回路の性能向上を主な研究課題とする。一般的に、CW回路は $\mu\text{A}$ ～ $\text{mA}$  オーダの電流しか出力できず、電気自動車などの大容量用途には不十分である。すなわち、本研究を達成するためには、CW回路の高電流出力を実現する必要がある。そこで、CW回路に電気二重層コンデンサ（EDLC）を使用し、大容量化を図ると同時に、EDLCの内部抵抗の影響、駆動周波数の影響を明らかにし、設計指針を得る。なお、本研究の付随課題として、①交流電池用の充放電回路の設計、および②性能向上中の交流電池の代替として、既存のリチウムイオン電池を疑似的な交流電池として使用するためのHブリッジ回路の試作も遂行内容に含まれる。

## 2. 課題研究の進捗状況及び達成度

研究成果の中から代表的な一例を示す。達成度としては、概ね順調であった。

### ➤ 提案システムの高効率化

交流電池が特性等の改良を重ねている現在は、直流電源と2石式ハーフブリッジ（H.B.）回路を用いることで交流電池を模擬する。図1は、提案システムである。H.B.回路は、SiCタイプMOS-FETを採用することで低損失化を図る。さらに昇圧回路は、コッククロフト・ウォルトン回路より

EDLCの個数を削減できる倍電圧整流回路を用いてシステムを小型化、及び高効率化を目指す。本実験では、EDLCの容量を10, 50, 100Fと変動させて行う。

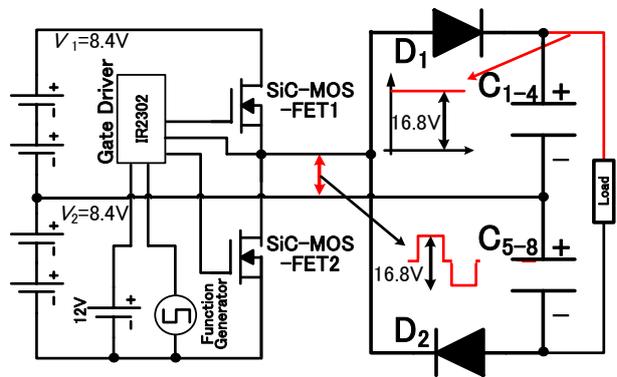


図1 交流電池を模擬した提案システムの構成

### ➤ 高効率化したシステムの電力変換効率を評価

本実験は、直流安定化電源を用いて $V_1$ 、 $V_2$ 共に8.4V一定で提案システムを動作し、電子負荷装置によって0.1C(0.26A)、0.2C(0.52A)、0.3C(0.78A)の各値で定電流放電した。駆動周波数は、50Hz～100kHzの各値でシステム全体の電力変換効率を算出した。

結果より、システム全体の最大効率率は95.0%となった。本電源システムでは、H.B.回路に使用したMOS-FETの特性により、10kHz以上の高周波帯の効率は減退した。また、倍電圧整流回路に使用したショットキーバリアダイオードは10kHz以上で飽和傾向になった。以上より、本電源システムは周波数の最適値が10kHz以下であることがわかった。

### ➤ 積算電力による提案システムの優位性

本実験は、リチウムイオン電池(LiB:3.7V(満充電時:4.2V)-2600mAh)を図1のように配置し、駆動周波数は10kHzで提案システムを動作した。また、小型モビリティの動作を想定して電子負荷装置で

10秒ごとに0.1C, 0.2C, 0.3Cの各値をループさせて負荷変動した。LiBの放電時間はバラツキが生じるため、実験は3回行い平均値を算出する。比較実験として従来法は、4直接続したLiBに対して上述と同様の負荷変動をさせた際の放電時間と積算電力を明らかにし、提案法と比較する。

表1は、従来法と提案法の積算電力、及び駆動時間の比較である。表1より、従来法②と比較して提案法①の積算電力は、より多くの電力量を引き出した。さらに駆動時間に着目すると、従来法⑤より提案法④の方が長く駆動したため提案する電源システムの優位性を確認した。しかし、電源システム全体③と従来法②の積算電力を比較した際に回路の損失によって従来法に劣った。改善案として、倍電圧整流回路に採用しているショットキーバリアダイオードをSiC化することで更なるシステムの高効率化を図る。

表1 積算電力及び駆動時間の比較

Mode	Capacitance[F]	18650 [Wh]	System Output [Wh]	Drive Time [h]
Proposal System	10	① { 440 41.3 44.6	③ { 30.8 29.1 31.7	④ { 4.2 4.1 4.3
	50			
	100			
Conventional System	-	② 32.5		⑤ 3.9

### 3. 代表的な研究成果

[学会発表] (計10件)

- (1) 中川湧貴, 米盛弘信: “独立型交流電池による電源システムの提案”, 第15回高専パワーエレフォーラム, 査読無, まちなかキャンパス長岡 (2022-03) 優秀発表賞受賞
- (2) 中川湧貴, 米盛弘信: “交流電池に接続する昇圧回路に用いるEDLCの容量変動特性”, 2021年(第3回)電気設備学会学生研究発表会プログラム・予稿集, B-4, 査読無, pp.31-32, 八王子市学園都市センター (2021-12) 優秀賞受賞
- (3) 千葉穰, 米盛弘信: “交流電池に接続する倍電圧整流回路の周波数特性”, 2021年(第3回)電気設備学会学生研究発表会プログラム・予稿集, B-5, 査読無, pp.33-34, 八王子市学園都市センター (2021-12)
- (4) 津田浩平, 米盛弘信: “独立型交流電池における放電特性の経時変化”, 2021年(第3回)電気設備学会学生研究発表会プログ

- ラム・予稿集, B-6, 査読無, pp.35-36, 八王子市学園都市センター (2021-12)
- (5) 中川湧貴, 米盛弘信: “交流電池を模擬する電源システムを搭載した走行車の試作と動作検証”, 第13回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 査読無, P215 (2021-12) 優秀賞受賞
- (6) 津田浩平, 米盛弘信: “独立型交流電池のDuty比を変動させた際の充放電特性”, 第13回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 査読無, P217 (2021-12)
- (7) 千葉穰, 米盛弘信: “交流電池に接続する倍電圧整流回路の動作特性”, 第13回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 査読無, P232 (2021-12) 優秀賞受賞
- (8) 中川湧貴, 米盛弘信: “EDLCを用いた全波整流型CW回路の充放電試験”, 2021年(第39回)電気設備学会全国大会講演論文集, 査読無, pp.123-124, 名古屋工業大学(オンライン開催) (2021-09) 全国大会優秀発表賞
- (9) 千葉穰, 米盛弘信: “交流電池に接続する倍電圧整流回路の出力特性”, 2021年(第39回)電気設備学会全国大会講演論文集, 査読無, pp.147-148, 名古屋工業大学(オンライン開催) (2021-09)
- (10) 津田浩平, 米盛弘信: “独立型交流電池の周波数変動した際の充放電特性”, 2021年(第39回)電気設備学会全国大会講演論文集, 査読無, pp.149-150, 名古屋工業大学(オンライン開催) (2021-09) 全国大会優秀発表賞

[メディア報道]

- (1) 《日刊工業新聞》充電電池交流化で容量10%増 AC Biodeなど, 充放電システム開発 (2021/09/01)  
<https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00610371>
- (2) 《PR TIMES》AC Biodeとサレジオ高専, 電池を交流で使い昇圧回路と合わせ, 従来のシステムより約15%高い容量を得て, 電動バイクにて10km超の試験走行 (2022/03/30)  
<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000006.000084759.html>

# 課題研究費実績報告書

令和4年3月31日現在

研究課題名：Background Oriented Schlieren 法の高感度かつ境界層を含む密度分布計測に向けた実験装置の構築と三次元計測法の検討

研究代表者：廣瀬裕介

小区分：流体工学関連

## 1. 研究計画の概要

本研究では、超音速流中にある円錐や球体といった超音速飛行が考えられる模型周りに発生する密度変化を境界層も含めた高感度定量計測することを実現する。そのため、Background Oriented Schlieren 法を改良した新たな計測法である

Double-Pass Background Oriented Schlieren

(DPBOS) 法を考案した。本研究では考案した新たな計測手法に関する実験を遂行するための装置の構築し、その性能試験を実施することを目的としている。

## 2. 課題研究の進捗状況及び達成度

上述した装置の具体案として、バリスティックレンジと衝撃風洞の2種類が挙げられ、両者とも構築を進めている。

まず、バリスティックレンジについて説明する。これは電気エネルギーにより飛翔体を射出する装置のことを表しており、本年度はまず不具合があったスイッチング回路の改良を実施した。昨年度まではスイッチングのためにサイリスタを使用していたが、より高い電圧に耐えられる絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ (IGBT) を採用したところ、不具合が解消され、安定したスイッチングが可能となった。改良した回路を用いて飛翔体の射出実験も実施している。コンデンサの充電電圧は100Vであり、飛翔体サイズは10×10×50mmとした。飛翔体と加速用のレールは両者ともアルミニウムを使用した。射出実験の結果、レールと飛翔体の間で通電していることが確認されたが、飛翔体がレールの途中で止まる結果となった。射出の際、アーク放電が発生しており、飛翔体とレールがその放電の影響で溶解・固着したことが原因と考えられる。今後、飛翔体の材質やサイズの変更を実施し、さらに、磁石をレールの上下に設置することでより効率的に飛翔体へ運動エネルギーが与えられる改良を続ける予定である。

衝撃風洞とはタンクに貯蓄した高圧ガスを急激に放出することで超音速流や衝撃波を発生させる装置である。昨年度は配管設計を実施したため、今年度は動作確認や性能試験を実施した。まず、動作確認では衝撃風洞の動作部であるピストン動作の確認を実施した。このピストンが動作することにより、高圧ガスを密閉、解放することが可能である。動作確認により、衝撃風洞のピストンが正常に動作していることが確認された。性能試験では衝撃風洞の動作により得られる超音速流の計測を圧力センサにより実施し、その実験結果を理論値と比較した。高圧ガスの圧力を0.6 MPa、放出部圧力を0.1 MPaとした場合、超音速流のマッハ数は1.42であった。つまり、約480 m/s程度の流速が計測されたことを意味する。この条件での理論マッハ数は1.40であることから、本計測が正確であることを示している。

来年度からはバリスティックレンジから飛翔体を射出することと、DPBOS法の計測の前段階であるBOS法による超音速流の計測を実施する予定である。

## 3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕 (計1件)

- [1] Masato YAMAGISHI, Yusuke YAHAGI, Masanori OTA, Yusuke HIROSE, Shinsuke UDAGAWA, Tatsuro INAGE, Shigeya KUBOTA, Koji FUJITA, Kiyonobu OHTANI, Hiroki NAGAI, Quantitative density measurement of wake region behind reentry capsule (Improvements in accuracy of 3D reconstruction by evaluating the view-angle of measurement system), Journal of Fluid Science and Technology, 2021, Volume 16, Issue 3, Pages JFST0021(査読あり).

〔学会発表〕 (計9件)

- [1] Jin NARAYAMA, Masato YAMAGISHI, Yusuke

- HIROSE, Masanori OTA, Visualization of droplets due to coughing when wearing a mask by Background Oriented Schlieren (BOS), ISFV-19, (September 2021) (査読無し) .
- [2] Masato YAMAGISHI, Jin NARAYAMA, Masanori OTA, Yusuke HIROSE, Shinsuke UDAGAWA, Tatsuro INAGE, Kazuma YOMO, Koji FUJITA, Kiyonobu OHTANI, Hiroki NAGAI, Reconstruction of density around a flying sphere in the ballistic range, ISFV-19, (September 2021) (査読無し) .
- [3] Masato Yamagishi, Jin Narayama, Shoki Sato, Masanori Ota, Yusuke Hirose, Kazuma Yomo, Koji Fujita, Kiyonobu Ohtani, Hiroki Nagai, Qualitative Density Measurement of Wake Region behind re-entry capsule, ICFD2021, (October 2021) (査読無し) .
- [4] 長谷佳紀, 廣瀬裕介, 無隔膜駆動部を有する衝撃風洞の構築と性能試験, 第13回大学コンソーシアム八王子学生発表会, C117, 2021年12月4日 (査読無し).
- [5] 高坂菜央, 片桐優太郎, 檜山仁, 山岸 雅人, 廣瀬裕介, 太田匡則, 野村将之, 藤田昂志, 永井大樹, 飛翔体模型近傍領域の高精度密度計測, 令和3年度宇宙航行の力学シンポジウム, 2021年12月20日, 21日 (査読無し).
- [6] 山岸雅人, 高坂菜央, 片桐優太郎, 廣瀬裕介, 太田匡則, カメラアレイを用いた 3D-BOS 法による衝撃波計測, 2021年度衝撃波シンポジウム, 1A2-3, 発表日2021年3月9日 (査読無し).
- [7] 片桐優太郎, 高坂菜央, 檜山仁, 山岸雅人, 廣瀬裕介, 太田匡則, 野村将之, 藤田昂志, 大谷清伸, 永井大樹, 再突入カプセル形状模型まわりの非定常流れ場に対する定量的密度計測, 2021年度衝撃波シンポジウム, 3B3-4, 発表日2021年3月11日 (査読無し).
- [8] 井上悠, 石橋歩武, 村松武明, 片桐優太郎, 山岸雅人, 廣瀬裕介, 太田匡則, 稲毛達朗, 宇田川真介, テレセントリック光学系を用いた BOS 法による流れ場の可視化計測, 2021年度衝撃波シンポジウム, P-04, 発表日2021年3月10日 (査読無し).
- [9] 村松武明, 石橋歩武, 井上悠, 太田匡則, 山岸雅人, 稲毛達朗, 廣瀬裕介, 宇田川真介,

2021年度衝撃波シンポジウム, P-10, 発表日  
2021年3月10日 (査読無し).