

研究課題名：前後双方向移動車両の走行システムおよび認識システムの検討

研究代表者：井組裕貴

小区分：20010 機械力学およびメカトロニクス関連

1. 研究計画の概要

現在様々な研究機関で自動運転車両の開発が行われており、自動運転社会が実現すると交通事故の減少や渋滞の削減、ドライバーの疲労軽減など社会的影響が非常に大きく期待されている。しかしながら、自動運転レベル 3 とレベル 4 の境界は非常に大きく、特に前進時だけではなく、後進時の適切な制御が重要となる。また、一般的な自動車は前輪が操舵輪であるため、後進時はジオメトリ的に操舵輪が後輪となる後輪操舵になり、複雑な制御システムが必要である。そこで本研究では本校が開発している車両 **VISMO** の後輪に操舵機能を有した足回りの開発、4 輪操舵による双方向で走行可能な自動運転車両の検討、画像認識や

LiDAR を用いた認識システムの構築を行い、走行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 の車両の校内走行の時速 15km/h 以下の低速走行時における前後双方向走行システムの検討を行う。非平行ダブルウィッシュボーン式のサスペンションの足回りにそれぞれの電動アクチュエータを接続し、キングピン軸を中心にタイヤの舵角をつける構成とした。駆動モータは後輪とし、従来はドライブシャフトを介してタイヤに動力を伝達していたが、インホイールモータを足回りのアップライトに組み込むことにより、ドライブシャフトを使用しない駆動系とした（図 2）。後輪には前輪と同じリニアアクチュエータを搭載し、後輪の操舵を可能とした。前後輪の操舵角はそれぞれ最大 20[°] となる（図 3）。



図 1 開発車両 3D



図 2 リア足回り



図 3 前後操舵の様子

認識システム構成は図 4 となる。画像認識はステレオカメラを用い、YOLOや Openpose のアルゴリズムをベースとして構築を行った。ステレオカメラは前後に取付、双方行走行時に前後の対象を認識できるよう設計をしている。OpenPose より検出を行った関節座標を使用し、リアルタイムでの関節角度の検出から移動距離・移動速度の算出を行った。その関節角度・移動速度から、認識対象が現在歩行状態 or 停止状態であるのか判別し、Particle filter を活用し対象者の行動推測を行った（図 4）。障害物に隠れる前段階の位置から、障害物に隠れてしまった際に、歩行する位置の推測が可能となった。図は測定を行った結果であり、○が観測値をプロットしたものとなっており、×が推定結果となっている。

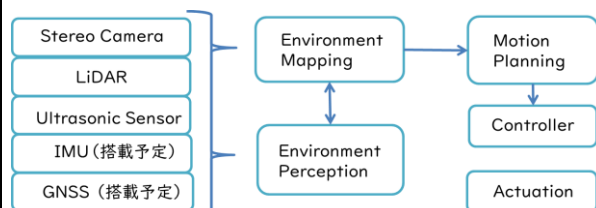


図 4 システム構成



図 5 行動推定

LiDAR による認識においては ,LiDAR からの点群を Autoware でフィルタ処理後 ,PCL(Point Cloud Library) を使用して対象外の点群のフィルタリングを行った．その後 , 特定の場所の特定の反射強度のみの抽出が確認できた．今後 , この方法を使用し特定の範囲の反射強度から車体の操舵制御を行う．

前後双方向移動車両の走行システムおよび認識システムの検討を行い ,4 輪操舵による操舵システムの構築や認識システムの構築を行い , 一定の成果が確認できた．今後 , 成果を集約し , 双方向走行システムの構築を行う．

.

3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕 (計 1 件)

井組裕貴 , ' 中学生向け体験入学用 IoT 模型の教材開発 ', 第 71 回応用物理学会春季学術講演会公演予稿集論文名 , 25p-11F-5, 査読無 ,

課題研究費実績報告書

令和6年3月11日現在

研究課題名：環境音のセンシングに適したIoT指向の基本周波数推定法の検討

研究代表者：三輪 賢一郎

小区分：知覚情報処理関連

キーワード：音声信号処理，基本周波数（F0），雑音，残響

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．

そこで本研究では，この音センサに更に付加価値を付けるべく，基本周波数（F0）の簡易測定が行える音センサの要素技術について基礎検討を行うものである．筆者らがその要素技術として提案しているF0推定手法は，F0推定手法の中でも独特なアプローチを採っている手法であり，具体的にはAMラジオの復調技術をF0推定に応用している[1]．このアプローチを採ることにより，F0推定の長年の課題であった耐雑音性や耐残響性の大幅な向上が期待でき，実環境におけるF0推定技術の確立に向けて道を開くものである．ただし計算量が膨大となることがネックであったが，近年の改良（同期検波方式から非同期検波方式に変更）により，実用レベルにまで計算量を低減することに成功している．

今回の研究では，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．

本研究の実施方法としては，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（1）．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や楽器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．並行して，本手法と従来手法との計算時間の比較も実施する（2）．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．特に本年度は，耐残響性能の検証を主体に研究を進めることとする．さらに，実音源（楽器音／音声）を用いての検証も継続して実施する（3）．

<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】

(1) 耐雑音性と耐残響性の検証

今年度は、昨年度からの積み残し課題であった残響環境と、雑音と残響の混在環境における提案法の評価を行った。評価指標としては、真値との許容誤差を 5% 以内とする正答率を用いた。ただし、対象とした信号は調波複合音である。

イ) 残響環境での検証

図 1～図 2 に残響環境におけるシミュレーションによる F0 推定精度を示す。図中に FreeDAM Lite とあるのが提案法を示しているが、女声領域では提案法は従来法よりも頑健性を持つが、男声領域では従来法よりも劣る結果となった。

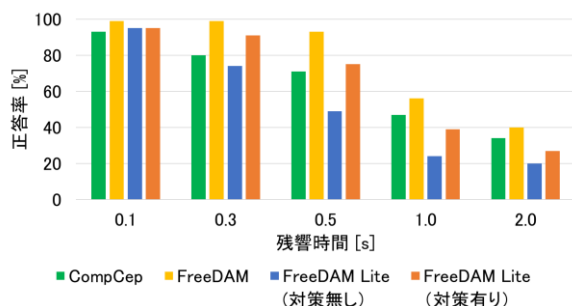


図 1 残響環境におけるF0推定精度（男声領域）

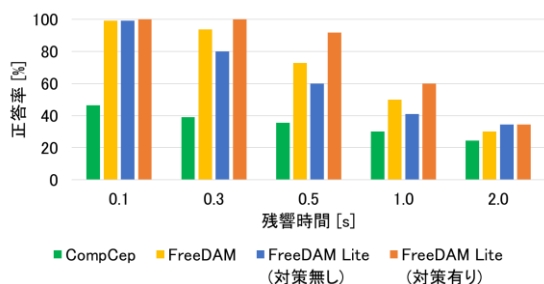


図 2 残響環境におけるF0推定精度（女声領域）

ロ) 雑音残響環境での検証

次に、雑音と残響と混在した環境におけるシミュレーションによる F0 推定精度を図 3～図 4 に示す。提案法である FreeDAM Lite は、男声領域では伝統的な従来法よりも頑健性を示し、女声領域では全ての従来法よりも頑健性を持つことが明らかとなった。

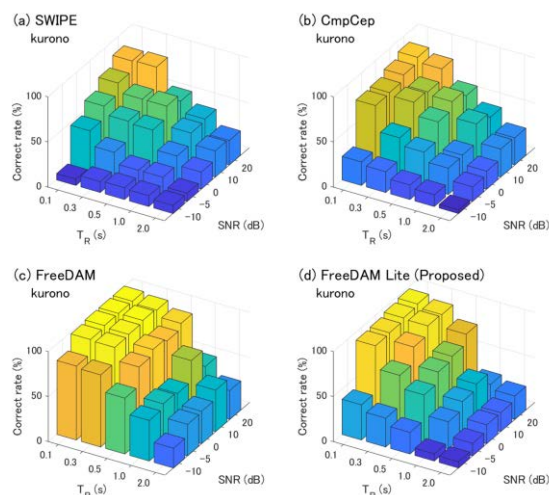


図 3 雑音残響環境でのF0推定精度（男声領域）

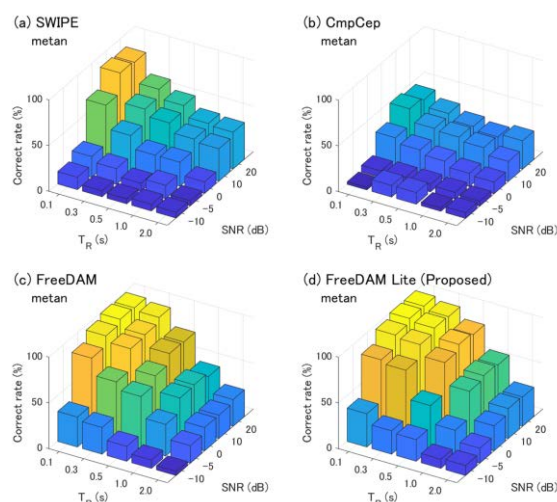


図 4 雑音残響環境でのF0推定精度（女声領域）

(2) 計算時間の評価

図 5 に各 F0 推定手法の計算時間の比較を示す。結果から、提案法である FreeDAM Lite は、オリジナルの FreeDAM と比べて計算量の大幅な低減に成功していることが確認できる。一方で、SWIPE 等の伝統的な従来法に比べると、提案法の計算量は依然として大きいことも確認できる。

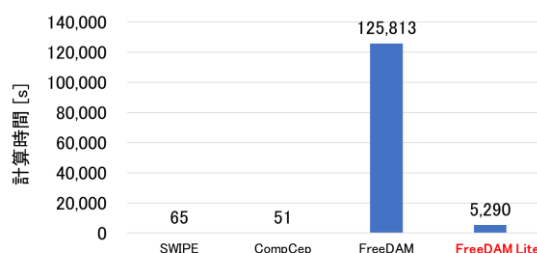


図 5 各F0推定手法の計算時間の比較

(3) 実音源（楽器音／音声）による検証

イ) 楽器音での検証

提案法の楽器音に対する適性を検証した。特に今回は、昨年度未検証であった雑音環境でのシミュレーションを実施した。

対象とした楽器音は、アイオワ大学の Web サイトで公開されているピアノ (Piano)、オーボエ (Ob)、トランペット (Tp)、ファゴット (Fg)、チューバ (Tub)、コントラバス (Cb) の各音源に白色雑音を付加して入力信号とした。評価指標としては、真値との許容誤差を5%以内とする正答率を用いた。

低音域の評価結果を図6～図8に示す。提案法は、楽器全てにおいて0dBまで80%以上の正答率を得られ、-10dBを除くすべての SNR 比と楽器においてもっとも高い正答率を得られていることが確認できる。

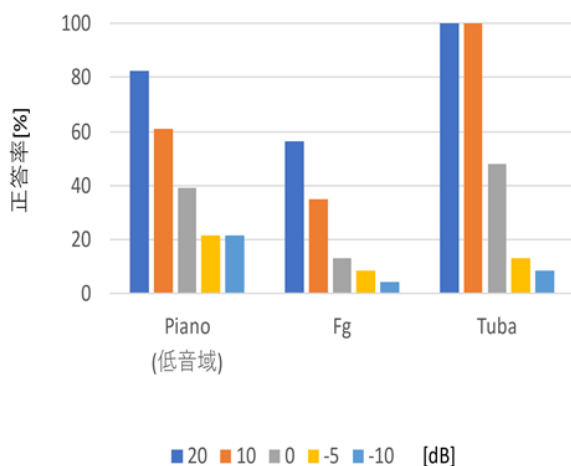


図6 SWIPE のF0推定精度（低音楽器）

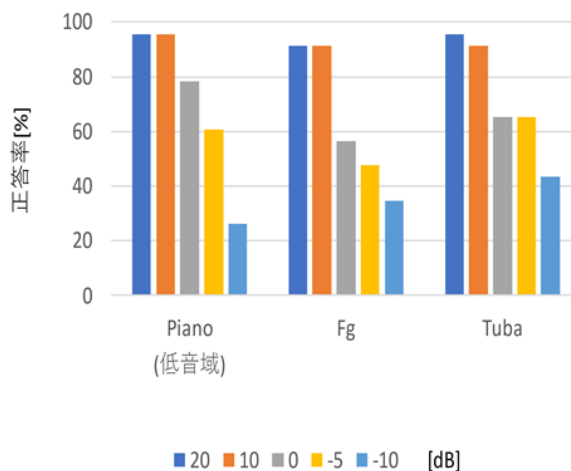


図7 FreeDAM のF0推定精度（低音楽器）

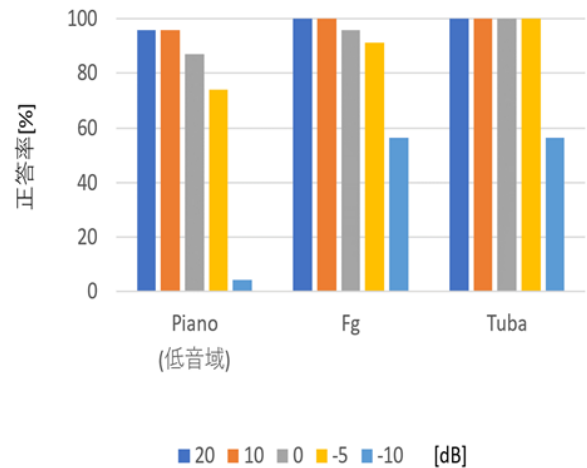


図8 FreeDAM Lite のF0推定精度（低音楽器）

次に、高音域の評価結果を図9～図11に示す。20dBと10dBにおいては、提案法はすべての楽器においてもっとも正答率が高く、すべて80%以上の正答率を得られた。0dB以下では提案法では比較的高い正答率を得られたものの、一部で従来法に劣る結果となった。

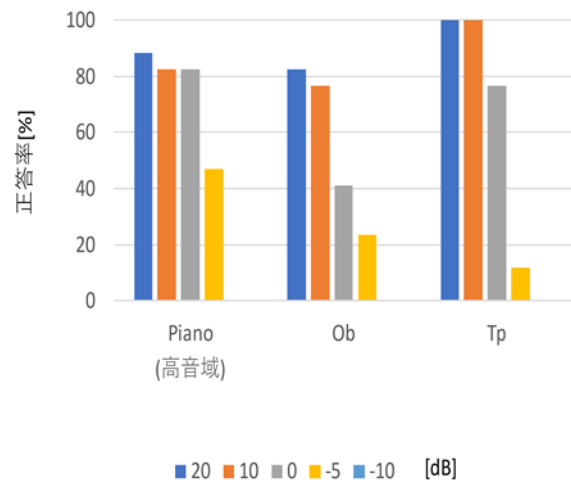


図9 SWIPE のF0推定精度（高音楽器）

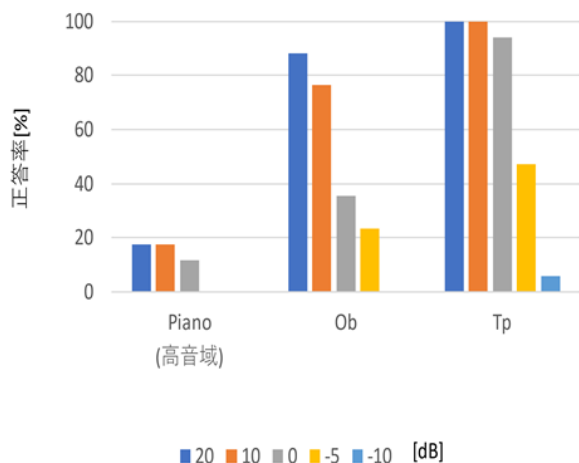


図10 FreeDAM のF0推定精度 (高音楽器)

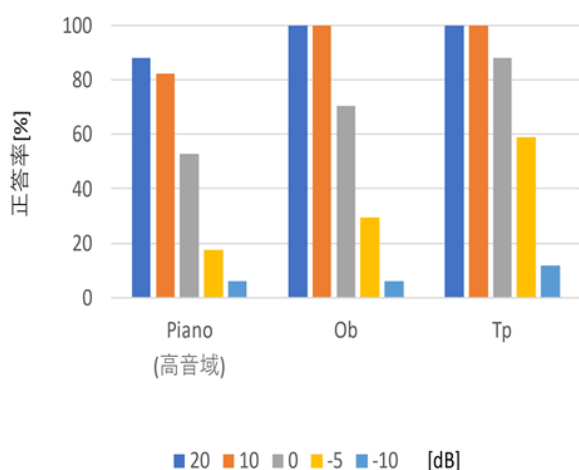


図11 FreeDAM Lite のF0推定精度 (高音楽器)

ロ) 音声による評価

提案法の音声に対する適性を検証した。特に今回は、静音環境のみに絞ってシミュレーションを実施した。対象とした音声信号は、VOICEVOXを用いて作成した男声と女声それぞれの連続音声「青い海はエモい」(aoi umi ha emoi)を使用した。

シミュレーションによる F0 推定軌跡を図 12 と図 13 に示す。ただし、図中の TEMPO2 は真値である。提案法 (FreeDAM Lite) は、男声と女声のいずれの場合においても、F0 軌跡の概形をおおむね捉えることはできており、連続音声に対しても一定の可能性を持つことが示された。

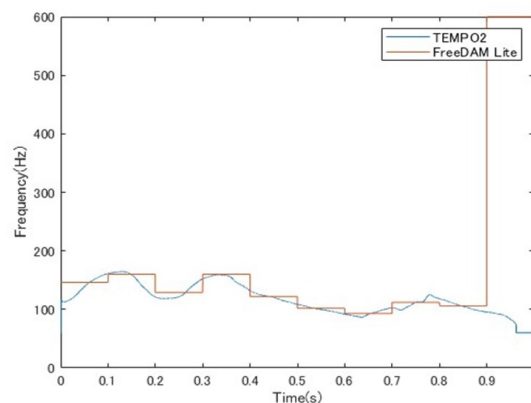


図12 連続音声 (男声) におけるF0推定軌跡

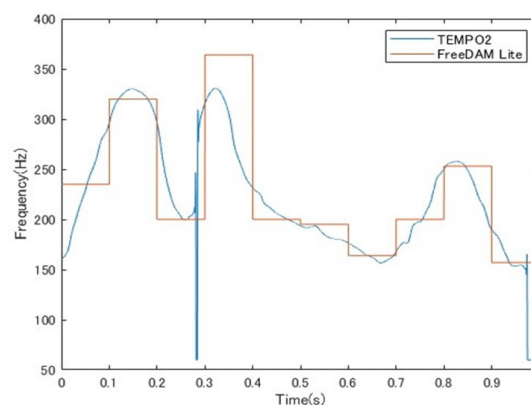


図13 連続音声 (女声) におけるF0推定軌跡

【結論】

提案法は、女声領域では耐残響性に優れるが、男声領域での耐残響性には課題がある。ただ、雑音と残響が混在した環境では、提案法は男声領域においても女声領域においても、従来法と比較して耐性を持っており、実環境における利用という点で可能性を秘めていると言える。併せて、計算量の大幅な低減にも成功している。

楽器音に対しては、提案法が雑音環境においても比較的正確な F0 推定を行えることが明らかとなった。さらには音声信号に対しても、提案法が一定の可能性を持つことが示された。

【達成度】

今回の検証を通じて、理想的な調波複合音に対する検証はおおむね完了した。また、楽器音に対する検証は、雑音環境まで完了した。

残された検証課題としては、

- ・楽器音に対する継続検証（残響環境，雑音＋残響環境）
- ・音声信号に対する継続検証（雑音環境，残響環境，雑音＋残響環境）
- ・C言語への移植とラズパイ等への実装

があり，これらについては次年度以降に検証と実装を進めていく予定である。

3. 代表的な研究成果

以下の通り

〔学会発表〕（計5件）

- [1] 三堀二知加，山川拓真，三輪賢一郎，"非同期検波方式による楽器音の基本周波数推定に関する研究," 音学シンポジウム 2023, 信学技報，査読無し，vol. 123, no. 88, SP2023-1, pp. 1--3, 2023 年 6 月
- [2] 山川拓真，三輪賢一郎，"雑音あるいは残響に頑健な基本周波数推定法の研究," 音学シンポジウム 2023, 信学技報，査読無し，vol. 123, no. 88, SP2023-14, pp. 68--72, 2023 年 6 月
- [3] 三堀二知加，山川拓真，三輪賢一郎，"非同期検波方式による楽器音の基本周波数推定に関する研究," 大学コンソーシアム八王子 第 15 回学生発表会，査読無し，C117, Dec. 2023
- [4] 桐生恵佑，三輪賢一郎，"音声のための基本周波数推定法の検討," 大学コンソーシアム八王子 第 15 回学生発表会，査読無し，PI7-39, Dec. 2023
- [5] 山川拓真，三輪賢一郎，"雑音・残響に頑健な基本周波数推定法に関する研究," 大学コンソーシアム八王子 第 15 回学生発表会，査読無し，PI1-33, Dec. 2023

課題研究費実績報告書

令和 6 年 3 月 16 日現在

研究課題名：マグナス効果を用いた波力発電装置の実証機の開発

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、我が国に潜在する膨大な波浪エネルギーを活用できる新しい発電技術の開発である。申請者らは波により上下動し、これにより発生する相対流速に対し、マグナス効果によって駆動するタービン発電機と、これを用いた波力発電装置を提案している。同タービンには通常のプロペラ羽根ではなく、自転制御によって揚力や推力を調整できる円柱形状のマグナスブレードが設けられており、異常波浪時にも安定した動作が可能となる。当該研究では提案する「マグナス効果を用いたポイント・アブソーバ型波力発電装置」の実験機として 600W 供試マグナスタービンの開発並びに同タービンを用いた実証実験を行う。

本研究の基本的な手法は供試装置・計測システムの開発とこれらを用いた動作実験並びにシミュレーションを用いた理論的検討である。具体的な内容を以下に示す。

- ① 供試装置と計測システムの開発：実験的検討に必要となる「供試マグナス波力発電装置」（以下供試装置）と「計測システム」を開発する。供試装置は学内に設置したプール（1.5m × 1.5m × 1.5m）での実験に使用するものであり、2 台の水中発電機（300W × 2 台）とマグナスタービン等で構成される。海洋での利用も考慮し、ベアリングなどの回転部については海洋汚染を防ぐため、潤滑油を必要としないセラミック製のものを使用する。また、マグナスブレードおよびタービンの制御に必要となる電力変換装置（2 台の水中発電機にそれぞれ接続する）の開発も行う。「計測システム」は装置の上下速度、タービンやブレードの回転速度、発電機出力等を同時に計測できるもので、将来的にはフィールド実験にも使用する予定である。
- ② 動作試験：製作した供試装置と計測システム

の動作試験を上述した学内プールで実施する。同実験では動滑車を用いて供試装置を上下にけん引することにより、波を模擬する。得られた実験結果を基に、タービンの出力特性を把握する。

- ③ 理論的検討：MATLAB / Simulink を用いたシミュレーションモデルを構築し、上記②の実験的検討と並行して理論的検討も行う。

以上の研究成果によって、「マグナス効果を用いたポイント・アブソーバ型波力発電装置」の有用性を明らかにし、日本の海洋再生可能エネルギー利用を推進する

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供試装置と計測システムの開発、②動作試験、③理論的検討のそれぞれについてその詳細を説明する。

- ① 供試装置と計測システムの開発（達成度 60 %）

供試タービンについては試験及び改良を行い計 3 台の装置を開発した。また、装置全体の特性試験を行うため、タービン部に水流計を持つ小型の供試装置を開発した。供試タービンについては機械損失の低減のために採用したマグネットギヤが脱調を引き起こすことが判明し、正転、逆転を繰り返す本装置のブレード機構には同ギヤが不向きであることが明らかとなった。また、当該研究において、入力されるブレードの回転エネルギーがタービンの出力エネルギーを超えることができなかった。計測システムについては波高観測装置を製作した（1 号機～3 号機）。重力加速度除去フィルタやジンバル機構を採用した 3 号機では適切に海洋における波高を測定できることが判明した。

② 動作試験（達成度 60 %）

供試タービンについては水槽での実験の前段階として風洞試験を実施した、1号機は機械損失が大きく動作できなかったため、マグネットギヤを採用した2号機を製作した。続く2号機はブレードの回転速度が十分に得られなかったことから、マグネットギヤを増速ギヤに設計しなおして再試験を行った。しかしながら、増速ギヤとしたマグネットギヤは脱調を引き起こすようになり、最終的に水槽での実験は実施できなかった。一方、計測装置の一つとして製作した波高観測装置については沖縄県久米島や島根県海士町での動作試験を繰り返し、改良を行ったことにより、安価（数万円程度）な簡易波高観測装置を製作することができた。また、水流計を有する小型供試装置を用いた水槽実験により、波と装置が共振することにより、より大きな相対流速

が得られることが明らかとなった。

③ 理論的検討（達成度 80 %）

シミュレーションモデルを改良し、装置の共振現象について計算を行った。また、共振状態となるための制御法を提案し、提案する波力発電装置は共振によって、より大きなエネルギーが得られる可能性のあることを示した。

3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕（計1件）

Ken-ichiro Yamashita, Seina Takekoshi, and Sho Katsuki, Resonance Control Method for a Point Absorber Wave Energy Converter with Magnus Effect-Based Turbine Generator, 26th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS) 査読有, 2023年 11月

課題研究費実績報告書

令和6年5月8日現在

研究課題名：還元性雰囲気により酸素空孔を導入したルチル型酸化チタンにおける近赤外発光に関する研究

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、クロム添加、アルミニウム添加および無添加の酸化チタンを熱処理することにより、いずれの試料においても赤外発光が得られることを報告し、この発光はクロム添加特有のものではなく、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、還元雰囲気での熱処理およびアーク放電プラズマによる酸化チタンセラミックスの高濃度酸素空孔導入を検討し、効率的な欠陥の導入方法に関する指針を得ることを目的とする。これにより赤外発光の強度増大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。今年度は以下の3点について研究を推進する。

①酸化チタンへの高濃度酸素空孔導入

【達成度：60%】

還元雰囲気での熱処理は、現有の電気管状炉に還元ガスを流入する方法と、大電力を用いた絶縁破壊によるアーク放電を利用する方法の2つについて検討した。前者はこれまでに実績のある従来型の熱処理法（1100度、2時間、大気中）に還

元性雰囲気（Ar-3%H₂ガス、購入）を導入し、空気中での熱処理との比較を実施した。実験系を図1に示す。

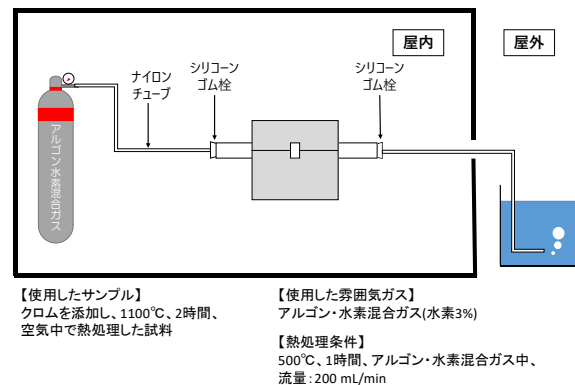


図1 還元雰囲気熱処理の実験系

還元熱処理の結果を図2に示す。2つの試料は共に830nm付近に強い発光ピークを示した。また、アルゴン+水素混合ガス中で熱処理をした試料のほうが、空気中で熱処理を施したものよりも約1.23倍強い発光強度を示した。これは還元処理による酸素空孔濃度の増加に起因しているものと考えられる。

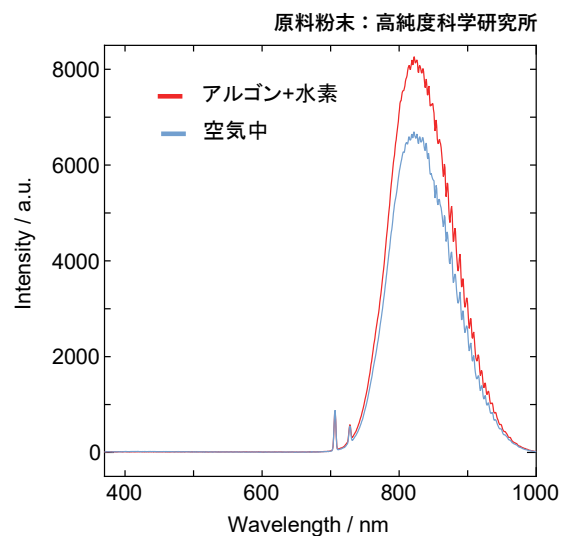


図2 空気中およびアルゴン+水素にて熱処理した酸化チタン試料におけるPLスペクトル

次にアーク放電を利用した還元を実施した。いわゆる TIG（Tungsten Inert Gas）溶接に類似のプラズマ処理装置により還元処理を行った。雰囲気は Ar-3%H₂ ガスとし、対向電極として酸化チタン焼結体を用いた。焼結体は酸化チタン粉末を超硬製金型（購入）と一軸加圧プレスにより成形の後、熱処理することで得た。プラズマ照射時の様子を図 3 に示す。



図 3 プラズマ処理の様子

電極先端から放電を伴うプラズマが発生し、酸化チタンに到達し、表面を伝って下面電極に流れる様子がわかる。また、側面を見るとプラズマラインは試料を離れている。PL 測定の結果、このようなプラズマ処理を行っても発光強度の増大は観察されなかった。基本的に絶縁体である酸化チタンにおいては、焼結体の最表面にプラズマが接触しても、電流は内部には流れず、表面を伝っており、酸化チタンの最表面でさえ還元処理することが困難であることがわかった。

②発光特性の調査【100 %以上】

現有のフォトルミネッセンス(PL)スペクトル測定システムを用いて、発光特性を調査した。これまでに実施してきた極低温での PL 測定結果より、酸化チタンの赤外発光は酸素空孔に束縛された励起子と光学フォノンとの相互作用による発光の可能性が考えられた。そこで、本研究では室温において詳細な PL 測定を実施した。得られた発光スペクトルに対して図 4 に示すように発光波長、発光強度および λ^2 補正を行い、理論モデルとのフィッティングを実施した。

[$\times 10^{+3}$]

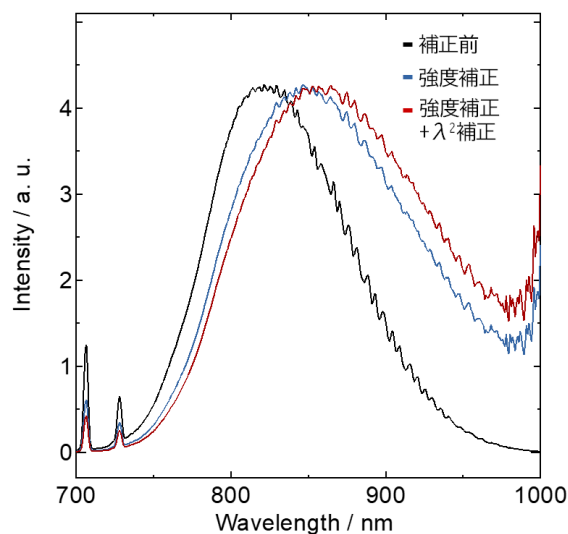


図 4 各種補正を施した発光スペクトル

次に自己束縛励起子発光スペクトルの理論式を用いて発光スペクトルのフィッティングを行った。理論式は以下のようにあらわされる。

$$I^{PL} \propto \psi^2 = A \exp \left[-2S_e \left(\sqrt{\frac{E^* - \hbar\omega}{E^* - \hbar\omega_{\max}}} - 1 \right)^2 \right]$$

ここで、 S_e はホアン・リー因子（電子格子相互作用の強さ）、 E^* はゼロフォノン線のエネルギー + 零点エネルギー、 $\hbar\omega_{\max}$ は最大強度点のエネルギーをそれぞれ示している。スペクトルフィッティングの結果を図 5 に示す。

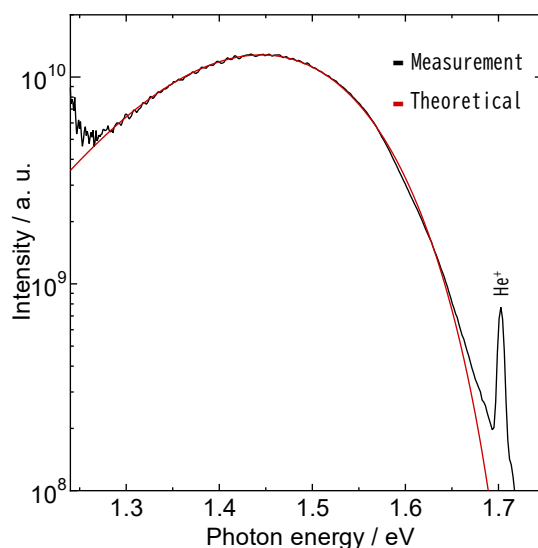
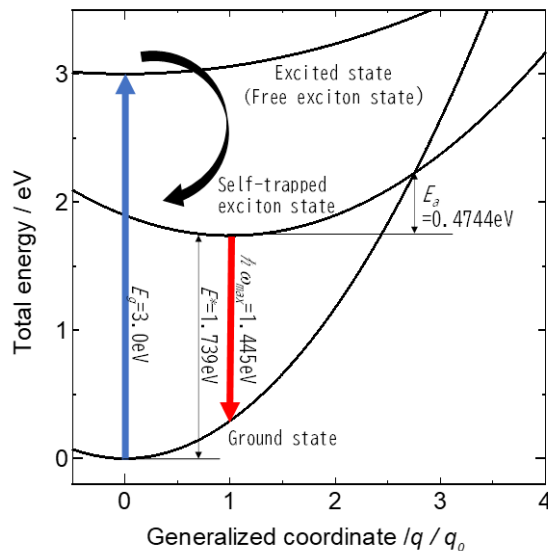


図 5 発光スペクトルフィッティングの結果

対数軸で示した焼結体の発光スペクトルと計算した理論値が完全に一致した。このことから、ルチル型酸化チタンの赤外発光は自己束縛励起子によるものであることを明らかにした。また、ここで得られた各パラメーターと、極低温 PL 測定の結果より得られた発光の活性化エネルギーを用いて、発光のモデルを考察した。その結果を断熱ポ



テンシアル図として図 6 に示す。

図 6 断熱ポテンシアル

図 6 より、赤外発光のメカニズムを以下のように考察した。

- i. 紫外線によって励起された励起子は自由励起子となる。
- ii. 格子歪に束縛されることで、格子緩和エネルギーだけ安定化した自己束縛励起子を形成する。
- iii. 自己束縛励起子準位から基底準位に緩和する際に赤外発光を生じる。

また、室温環境下では、発光強度が極低温下に比べ急激に低下する熱消光がみられた。このことから活性化エネルギーに達した自己束縛励起子は発光を示すことなくフォノンの散乱によって基底準位まで緩和することがわかった。

③ラマン散乱による振動解析【0%】

局所的欠陥構造を推定するためにラマン散乱測定（現有）を実施する予定であった。しかし、励起光源であるレーザーユニットが不調であること

がわかり急遽交換した。現在は完全な状態でラマン散乱スペクトルの取得が可能となったため、今後、更なる発光メカニズムの解明に向けて研究を推進する。

3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕（計 3 件）

- (1) 畠村 純，黒木雄一郎，プラズマ処理による金属チタンの表面改質に関する研究，第 15 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,B131.
- (2) 中里 桂輔，黒木雄一郎，ルチル型酸化チタン焼結体の赤外発光に関する研究，第 15 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,B133.
- (3) 松本 崇祥，黒木雄一郎，クロム添加酸化チタンの発光特性に及ぼす原料粉末の影響，第 15 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集,B137.

課題研究費実績報告書

令和6年 3月 31日現在

研究課題名：電動車の長時間駆動へ寄与する世界初の独立型交流電池を組み込んだ電源システムの開発

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、世界初の独立型交流電池を小型モビリティ等へ実装した際における駆動時間の延長化を目的とする。目的達成のために、交流電池部におけるスイッチング回路の最適化を図ると共に電池の劣化診断や交流直接充電法の確立を目指す。そして、従来の直流方式と比較して、提案方式が電池に蓄電されたエネルギーを最大限使用できることを示す。以上より、低炭素化社会のキー技術である蓄電池システムの性能向上を実現する。本研究が進むことによって、世界中で強力に進められている車等の電動化へ大きく寄与できる。

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。

➤ インバータの電源に交流電池を使用した際の積算有効電力

本実験では、交流電池の中間電位（Biode）の効果を検証するために、Biodeを使用しない2レベルインバータとBiodeを使用するT-Neutral Point Clamp（以下T-NPC）型3レベルインバータの製作を行い、バッテリーの放電実験によって積算有効電力量の比較を行う。

図1にゲートドライブ回路を示す。TLP-250を使用し、制御側との絶縁、およびゲートドライブを行う。ゲートドライバの電源は絶縁型DC-DC（MCW03-05D12）を使用した。ロジック反転とデッドタイム生成のためゲートドライブIC（IR2003）を使用した。

図2に2レベルインバータの回路図を示す。図3にT-NPC 3レベルインバータ回路を示す。両回路ともスイッチング素子はMOS-FET（サンケン電気製FKI06075）を使用した。制御用のPWM信号生成にはArduino MEGAを使用した。位相基準PWMモードで三角波キャリアベースPWMの生成を行った。キャリア周波数は1kHz，変調波は

50Hz となるようプログラムした。また、電圧に関しては0～100%で可変できるようにした。

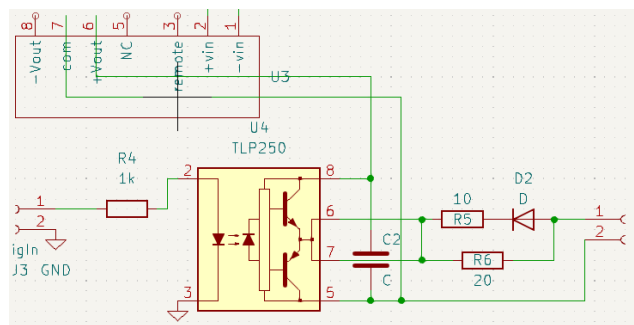


図1 ゲートドライブ回路

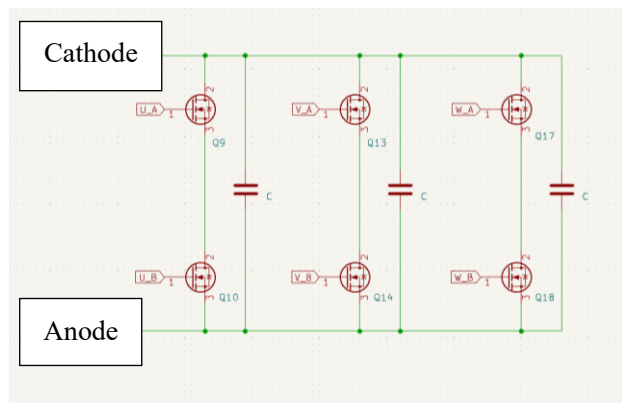


図2 2レベルインバータ回路

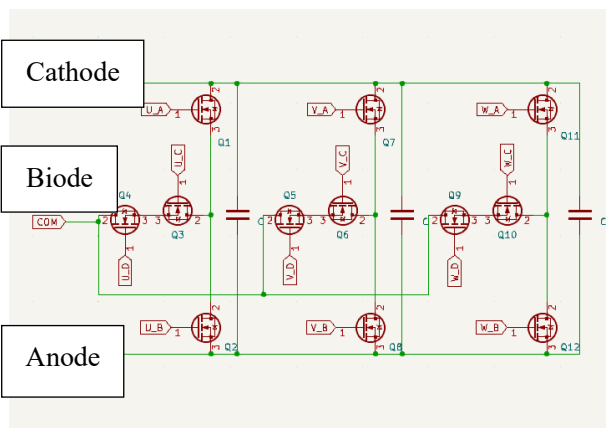


図3 T-NPC 型3レベルインバータ回路

製作した 2 レベルインバータと 3 レベルインバータを使用して放電実験を行う。バッテリーは SONY 製 18650 リチウムイオンバッテリー（定格 3.7V 2000mA）を使用する。バッテリーの容量、内部抵抗は事前に測定を行い、特性がそろっているものを使用する。2 レベルインバータで実験を行う際はバッテリーを 2 直列（7.4V 2000mA）とし、インバータに接続する。3 レベルインバータで実験を行う際は、2 直列（7.4V 2000mA）した接続点の 3.7V を Biode として扱い、インバータに接続する。負荷は 5 Ω のセメント抵抗をデルタ結線したものを使用した。そのため、皮相電力と有効電力が等しく、力率は 1 として考える。しかし、測定の関係上、1 相のみの電流・電圧をメモリハイコーダ（HIOKI MR6000）で測定を行った。メモリハイコーダの設定は、サンプリング数 20kS/s、ポイント数 67, 108, 800 とした。電圧の設定は、2 レベルインバータ、3 レベルインバータともに 80% の変調となるように設定した。

表 1 に 2 レベルインバータ、および 3 レベルインバータで放電実験を行った結果を示す。結果から交流出力有効電力量は 2 レベルインバータ：15.993Wh、3 レベルインバータ：15.816Wh であり、2 レベルインバータが約 0.2Wh 多い結果となった。また、直流入力電力量から効率を算出した結果、2 レベルインバータ 88.262%、3 レベルインバータ 87.485% と 2 レベルインバータが約 1% 高効率という結果となった。理由として、3 レベルインバータでは 2 レベルインバータと比べ素子の使用数が多く、オン抵抗やスイッチング損失が増加したものだと考える。

表 1 放電実験の結果

	3-Level Inv.	2-Level Inv.
DC Input Power Amount [Wh]	18.079	18.121
AC Output Active Energy [Wh]	15.816	15.993
Efficiency [%]	87.485	88.262

➤ 疑似交流電池の直接充電

本実験では、充電に供する交流電源として自作の小水力発電用水車（以下：水車）を使用した場合の模擬交流電池の充電特性について明らかにする。

図 4・図 5 に、実験回路および実験構成を示す。交流電池はまだ開発途上であり、市販されている

リチウムイオン電池のような高電流は取り出せていない。そのため、本実験では市販のリチウムイオン電池 2 個を図 4 のように接続することによって交流電池を模擬している。また、室内で測定を行うために、水車に動力用モータを取り付けることで、河川などの水流の代替とした。水車の回転速度は 120rpm とし、発電機には自転車のハブダイナモ（6V-2.4W）を用いた。独立型交流電池の充電は、Cathode - Biode 間（以下 C-B 間）と Biode-Anode 間（以下 B-A 間）で切り替えながら行う必要がある。そのため、本実験ではダイオードを用いて半波整流を行い、整流された交流波形の正部分で交流電池の C-B 間を模擬した電池の充電を、交流波形の負部分で B-A 間を模擬した電池の充電を行った。充放電時の各電池の両端電圧と電流は、差動プローブと電流プローブを用いて測定し、メモリハイコーダで記録した。

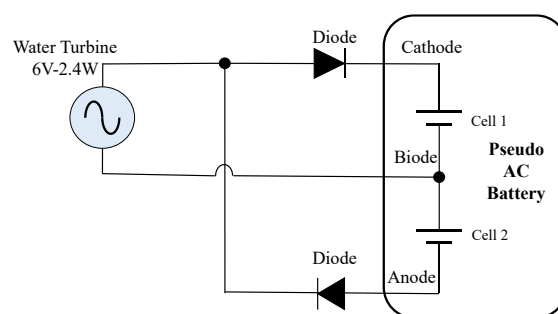


図 4 実験回路

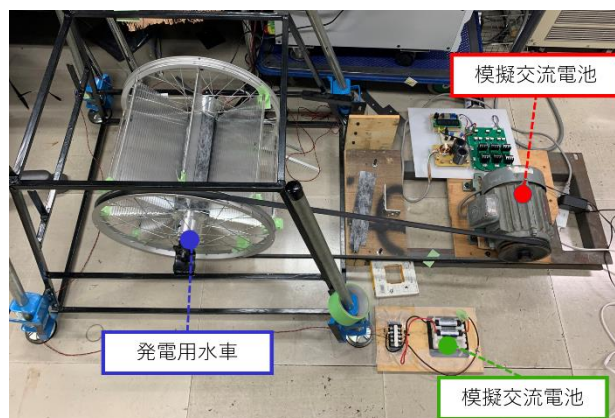


図 5 実験構成

図 6 に模擬交流電池の充電時電圧・電流推移を示す。図 6 における充電時の電力値は 5 分ごとの平均の値となっている。図 6 より電圧の値はほぼ一定で上昇しているが、電流値は大きく変動して

いる。この原因としては、水車が回転に伴って振動し、その振動によってハブダイナモと充電端子の接触が不安定になってしまったことが考えられる。結果より、充電完了に要した時間は13時間10分であることがわかる。また、充電時の電圧と電流を積算して充電に要した電力量を算出したところ、電力量は12.19 Whであった。

図7に充電後の交流電池に対して放電を行った際の電力推移結果を示す。結果より、模擬交流電池は73分22秒で放電限界に達し、放電電力量は10.87 Whであった。充放電実験の結果より充電効率を計算すると、約89%となった。

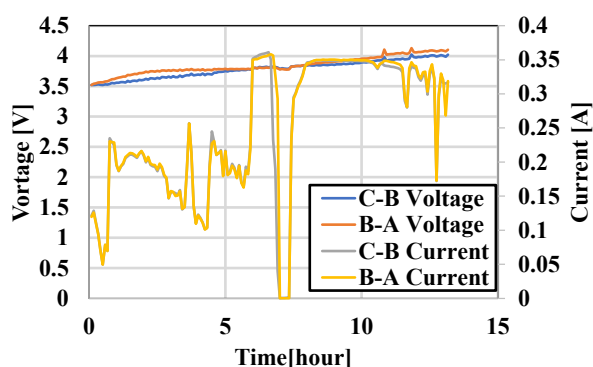


図6 模擬交流電池の充電時電圧・電流推移

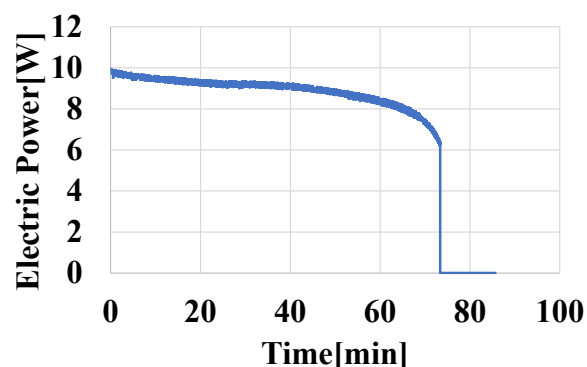


図7 交流電池の放電電力推移結果

➤ 疑似交流電池の劣化診断

電池は充放電を繰り返すことで劣化する。そのため、劣化診断を行うためには充放電を繰り返し、内部抵抗の変化を測定する必要がある。現在の交流電池はmAhオーダの試作品の段階であり、大容量化が実現できていない。したがって、本研究では、交流電池の代わりに18650リチウムイオン電池を2つ使用して交流電池を模擬したものを実験

に供する。

図8は交流電池の充電回路である。交流電池の充放電は、C-B間を模擬した18650電池とB-A間を模擬した18650電池を切り替えながら行う必要がある。そこで、本研究では、この切り替えにエミッタ接地回路を用いた充電回路を採用している。充電周波数は20Hzとし、充電電圧はC-B間、B-A間共に4.4Vとした。これは、リチウムイオン電池の満充電電圧が4.2Vであり、これにトランジスタのC-E間の電圧降下分0.2Vを加えたためである。また、充電電流は600mAに設定した。

図9は交流電池の放電回路である。本研究室は交流電子負荷を所有していないため、本実験では6.4Ωのセメント抵抗を負荷とした。

図10は、図8と図9の2つの回路を統合した劣化診断用の回路である。提案回路は、リレーを用いて図8の充電回路と図9の放電回路を切り替えられるため、長期に渡る充放電サイクル実験が可能である。図10中のリレーがオフのときは充電回路、オンのときは放電回路となる。

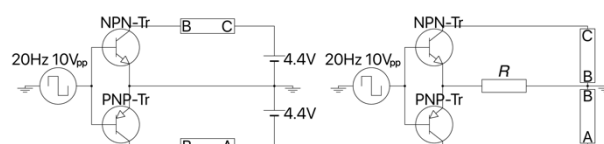


図8 充電回路

図9 放電回路

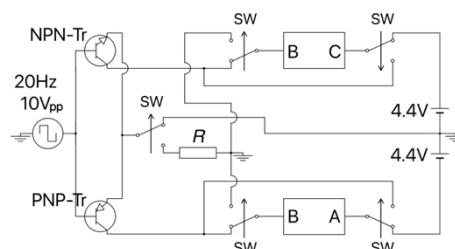
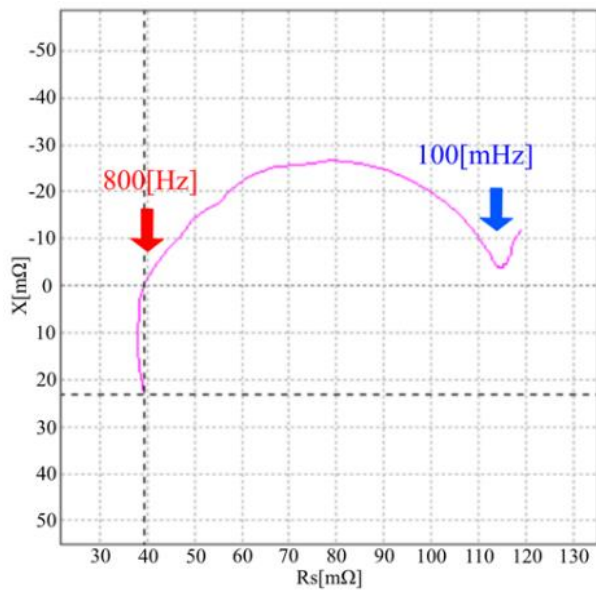


図10 劣化診断回路

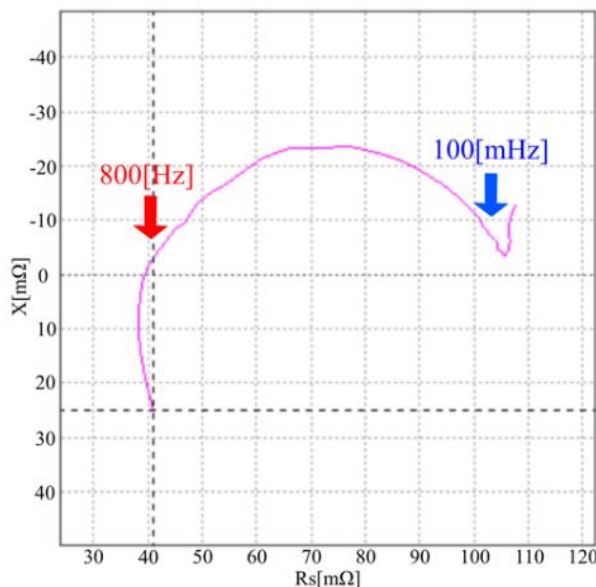
本実験では、HIOKI製のケミカルインピーダンスアナライザ IM3590 を用いてコール・コールプロットの測定を行った。最初に、C-B間とB-A間に用いる電池2個について、未使用時のコール・コールプロットを測定する。次に、劣化診断回路を用いて充放電を6回行い、電池を意図的に劣化させる。充電は定格充電電圧まで、放電は電池内の過放電防止用の保護回路が働くまで充放電を行う。そして、実験に供した電池のコール・コールプロットをもう一度測定し、充放電回数の増加に

伴う劣化特性を確認する。測定点は50個、0.01Hz～5kHzまで測定した。

図11に未使用電池のコール・コールプロット、図12に充放電を6回行った後のコール・コールプロットを示す。図11と図12を比較すると、直流分の抵抗値はほとんど増えていないことがわかる。また、反応抵抗においてリアクタンスが、誘導性リアクタンス方向に約25mΩから約15mΩまで上昇していることがわかる。また、C-B間とB-A間で電池の劣化に有意な差は見られなかった。

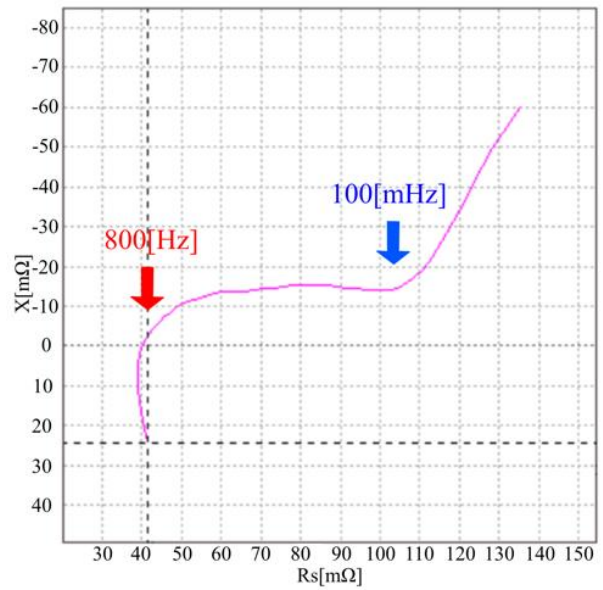


(a) C-B間

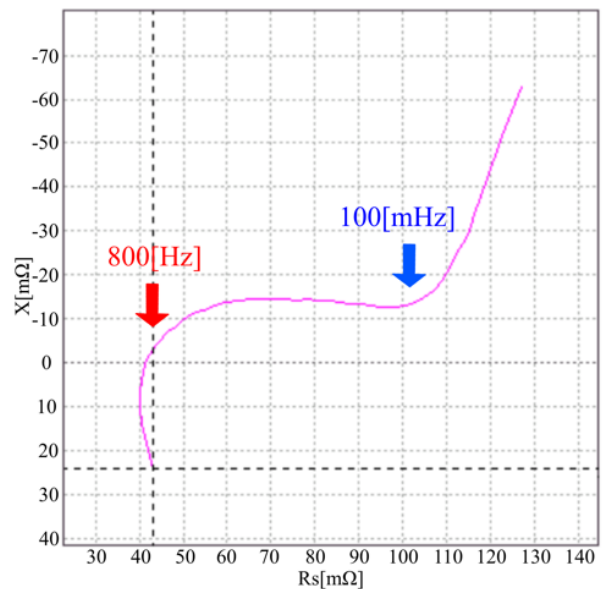


(b) B-A間

図11 未使用時におけるコール・コールプロット



(a) C-B間



(b) B-A間

図12 充放電後におけるコール・コールプロット

3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕（計9件）

- (1) 中田悠介, 米盛弘信: “模擬交流電池の劣化診断”, 2023年(第5回)電気設備学会学生研究発表会プログラム・予稿集, C-3, 査読無, pp.45-46, 東京電機大学 (2023-12)
- (2) 松崎恵太, 米盛弘信: “交流電池放電シミュレーションに向けたリチウムイオン電池モデルの作成”, 2023年(第5回)電気設備学会学生研究発表会プログラム・予稿集, C-4,

- 査読無, pp.47-48, 東京電機大学 (2023-12)
- (3) 荒巻匡洋, 米盛弘信: “小水力発電を用いた交流電池の充電システム”, 2023年(第5回)電気設備学会学生研究発表会プログラム・予稿集, C-10, 査読無, pp.59-60, 東京電機大学 (2023-12)
- (4) 中田悠介, 米盛弘信: “実使用したリチウムイオン電池の劣化に関する一事例”, 第15回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, A132, 査読無 (2023-12)
- (5) 荒巻匡洋, 米盛弘信: “小水力発電装置を用いた疑似交流電池の充電”, 第15回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, PF7-47, 査読無 (2023-12)
- (6) 松崎恵太, 米盛弘信: “3レベルインバータの電源に交流電池を使用した際の積算有効電力の比較”, 第15回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, PH6-22, 査読無 (2023-12)
- (7) 中田悠介, 米盛弘信: “独立型交流電池における劣化診断回路の提案”, 2023年(第41回)電気設備学会全国大会講演論文集, A-13, 査読無, p.13, 工学院大学(2023-09)
- (8) 松崎恵太, 米盛弘信: “実験に供するリチウムイオンバッテリーの特性測定と交流電池を模擬した電源回路の積算電力による比較”, 2023年(第41回)電気設備学会全国大会講演論文集, J-12, 査読無, pp.538-539, 工学院大学(2023-09)全国大会優秀発表賞
- (9) 荒巻匡洋, 米盛弘信: “疑似的な交流電池に対して交流直接充電を行った際の充放電特性の解明”, 2023年(第41回)電気設備学会全国大会講演論文集, J-13, 査読無, pp.540-541, 工学院大学(2023-09)

課題研究費実績報告書

令和6年3月31日現在

研究課題名：多目的利用を想定した周防大島沿岸浅海域多点多層観測システムの構築

研究代表者：吉田 将司

小区分：船舶海洋工学関連

1. 研究計画の概要

山口県の周防大島は、アマモの養殖やニホンアワサングの群生地として知られている。多種多様な島の沿岸浅海域における海洋環境は海洋資源や観光だけでなく、海洋教育にも資する可能性を秘めている。海中の生物の生態観察には多点・多層・実時間で観測する必要があるが、実現するには高度な社会インフラや投資が不可欠である。本研究は、沿岸に設置したセンサノードと基地局をLPWA規格であるLoRaで結び、基地局からWi-Fiを通じてクラウドサーバにデータを集約、Google drive上において実時間で遠隔観測可能な沿岸海洋情報センサネットワークを構築する。図1は本システムの構成を示す。このシステムを利用してアマモやニホンアワサング生息域の水深別海水温及び塩濃度を観測、季節変動を調査、その生態解明に貢献するだけでなく、海洋教育など多目的な活用を目指す。

本研究の目的は外洋と比較して変化の大きい沿岸部の海水温などの海中情報を、市販機器のみを用いて構成し、多点多層且つ、実時間的に観測できるシステムを構築することである。

今年度の実施計画としてはまず、周防大島浅海域の2か所以上の定点に観測ノードを設置、水温・塩濃度の鉛直分布の観測実験を実施する。これまで製作した観測ノードの耐久性や観測精度に問題が見つかったため、昨年度に購入した恒温槽と高精度水温計を利用したプローブ校正を実施する。次に、プローブとマイコンのA/D変換ポートの特性を考慮した係数を算出し、高精度水温計と比較することで観測精度の向上を目指す。研究の進捗が良い場合には、ブイの沖合設置方法も検討する。最後にLoRaの通信範囲の調査やGASによる表示システムも構築する。ただし、進捗が遅延しても観測が継続できるように、後述する従来の観測システムも並行して運用する。

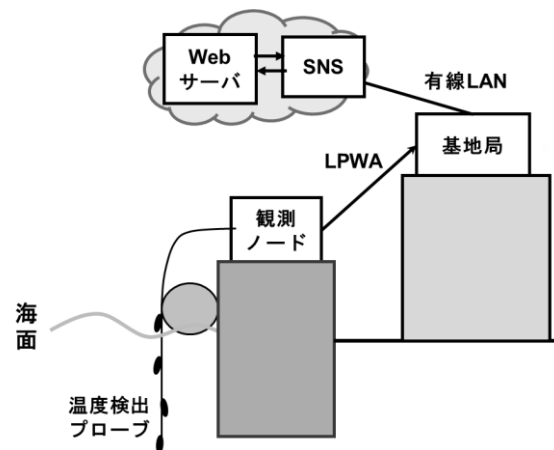


図1 システムの構成図

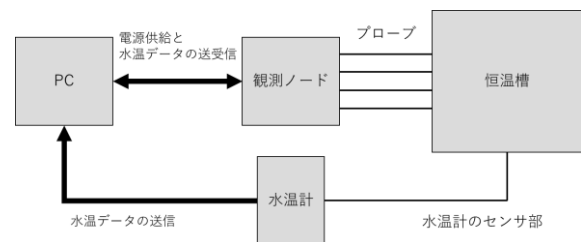


図2 実験構成図

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

本研究では、まず先行研究で開発された水温観測システムである観測ノードの高精度化を目的として水温観測値の補正を行った。その後、CTDと観測データを比較した。

恒温槽と測定精度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ のデジタル水温計を用いて、補正実験を行った。図2は実験の構成を示す。観測ノードとデジタル水温計の温度をPCで読み込み、デジタル水温計の値を真値として誤差を算出した。算出した誤差をバイアス値とし温度測定プローブの補正をした。実験の結果、全てのプローブの測定精度が約 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ に減少した。表1は実験によって求められた各プローブの補正結果を示す。昨年度の補正值による結果（実験前）と比較して、補正後の結果（実験後）は誤差、

表 1 補正結果

	ブローブ 1	ブローブ 2	ブローブ 3	ブローブ 4
実験前[°C]	0.751	0.864	0.483	0.585
実験後[°C]	-0.069	-0.104	-0.096	-0.002

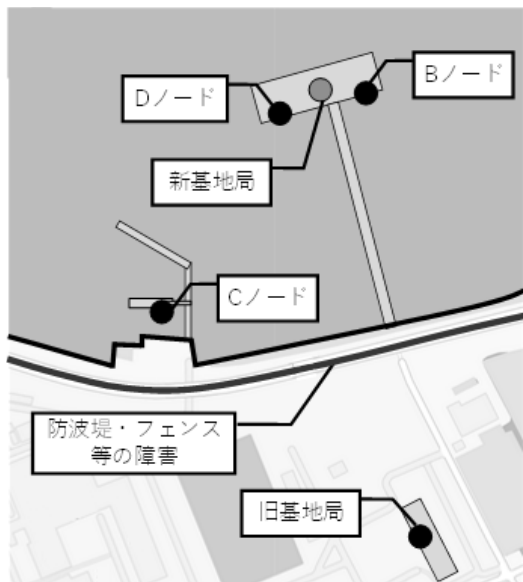


図 3 機器配置図

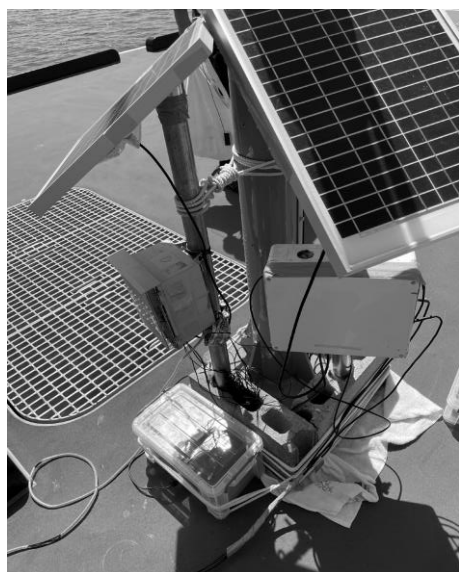


図 4 ノードを設置した様子

ばらつきともに低減できた。

次に、2023年8月に山口県周防大島付近の瀬戸内海沿岸域に補正した観測ノードを瀬戸内海に設置し、観測実験を実施した。図3は観測機器の配置を示す。昨年から設置している補正前の観測ノード（Cノード）と、新たに補正した観測ノード（Dノード）を同じ栈橋に設置し、観測値を比較

した。図4は設置した観測ノードの様子を示す。10月に観測データと現地で取得したCTDを比較した結果、測定誤差が約 -1.7°C と補正前と比べバイアス誤差が増大し、全てのノードに異常値が頻出に観測された。誤差の発生は、補正値が適していないことを示しており、現在の時点では、サーミスタのB定数が実験時と設置時で異なっていたことが原因と考えられる。よって、今年度は残念ながら観測精度の向上を果たすことができなかった。

なお、昨年度よりノード・基地局の稼働率が低下している。ノードの異常値検出の原因として潮汐・潮流によりセンサブローブへ負荷がかかり、破損や脱落が生じていることが挙げられる。その異常値の要因として、ブローブと端子台の接触不良が挙げられる。そこで、今後はより精密な算出が期待できるSteinhart-Hart式による補正の検討、ノードを動作させる際に使用しているサーミスタのB定数の確認、ノードケースの改良の製作を行う。また、通信不良の原因としては防波堤および防波堤上のフェンスにより基地局までの見通しが十分に取れない状態での運用、通信モジュールの劣化などが考えられる。11月にバッテリー交換や新しい基地局の設置など改善を図ったが、その効果は僅かであった。そこでシステムの配置変更により問題解決をはかる。さらに、基地局の受信データ処理やデータダウンロードのエラーなど、2019年に開発したシステムの再構成が必要と考えられる。

今後の展望として、まずシステムの再構成を行う。次に再度ブローブの補正を実行し、瀬戸内海へ観測ノードおよび基地局を再設置する。

3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕（計2件）

[1] 池田創, 吉田将司, 千葉元, 沿岸センサネットワークを用いた周防大島における海象観測システムの構築に向けた海上監視システムの製作, 第15回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 査読無, E115, 2023.

[2] 山田峻太郎, 吉田将司, 千葉元, 沿岸センサネットワークにおける水温観測システムの高精度化, 第15回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 査読無, E117, 2023.

課題研究費実績報告書

令和 6 年 3 月 29 日現在

研究課題名：汎用一眼カメラを用いた運動時における熱中症予防技術の評価

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

近年の温暖化等の影響により、運動中における熱中症等の急激な血流変化に起因した事故が増加している。これらの熱中症は発症初期時に外見変化が起こりにくいため、未然に防ぐことが困難である。そのため、発症してからでは手遅れになる場合も多く、簡便に身体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であると考え。本研究では、汎用一眼カメラでの近赤外線撮影に加え、血流計を用いた画像計測ポイントと同場所ならびに同タイミングにおける血流計測も実施し、取得された画像計測結果ならびに血流計測結果の比較検討を行い、携行型血行動態可視化システムの有用性を検討した。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

本研究では、画像計測による血行動態変化画像計測と同場所ならびに同タイミングでハンドヘルド型超音波血流計 (Hadeeco 製, ES-100V3) を用い、提案手法の有用性の検証を行った。Fig.1 ならびに Table 1 に 30 歳後半の健康男性における結果の一例を示す。

Fig.1 に画像計測で得られた近赤外線画像に対して反射率 50 [%] のグレーカードで正規化した結果を示す。これらの結果の血管領域に 20×20 [pixel] の関心領域 (Region of interest: ROI) を 3 箇所設置し、運動前後での各 ROI における反射率変化は、ROI 1 では Before 79.63[%] から After 68.9 [%]、ROI 2 では Before 64.1[%] から After 58.7 [%]、ROI 3 では Before 66.7[%] から After 59.7 [%] と運動に伴い反射率の減少が確認された。これらは、運動に起因する血流量の増大によるヘモグロビンの吸収増大により反射率の変化が生じているものと考えられる。また、右足側面部における血流計を用いた血流流速計測の結果を Table 1. に示す。結果は実験前後の血流流速の最大値、最

小値、平均値を示しており、最大値は Before 3.6 [cm/s] から After 5.2 [cm/s]、平均値は Before 0.3 [cm/s] から After 1.1 [cm/s] と運動に伴い増大していることが分かる。

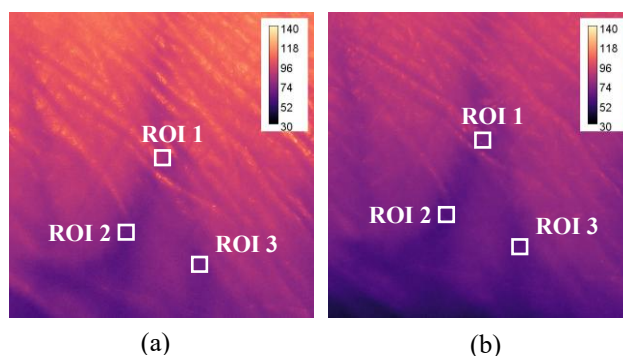


Fig.1 Typical near NIR image of walking experiment in the late-30s. (a) Before experiment. (b) After experiment.

Table 1. Results of hemodromometer measurement

Velocity	Before [cm/s]	After [cm/s]
Max	3.6	5.2
Min	-0.1	-1.1
Average	0.3	1.1

これらの結果より、運動に伴う血流流速の増大と提案法による血管部分ならびに周辺部分の反射率減少は対応しており、本提案法により画像計測による血行動態変化可視化技術の有用性が示された。

3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕 (計 1 件)

吉田慧一郎, 「汎用一眼カメラを用いた運動による血行動態変化可視化システムに関する検討」, 第 24 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, 講演論文集 (2023), 2A4-04, 査読無。

課題研究費実績報告書

令和 6 年 3 月 31 日現在

研究課題名：DPBOS 法や BOS 法の定量的密度分布測定に向けた実験装置の改良と光学系配置に関する検討

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 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種類が挙げられる。各装置に関する進捗状況を以下に記す。

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、2020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を 150 V、飛翔体のサイズを $5 \times 5 \times 5 \text{ mm}$ とした。加速用のレールはアルミニウム、飛翔体は銅を採用したことにより、昨年度発生した溶着による減速を可能な限り防いだことにより、射出に成功した。飛翔体の速度はハイスピードカメラで撮影したところ約 35 m/s であることが判明した。さらに、使用中のコンデンサは定格が 400 V であるため、その定格電圧で充電をした上での射出実験も実施した。飛翔体の射出には成功したが、速度が 50 m/s であった。前述より、コンデンサの充電電圧を上昇させるだけでは飛翔体速度の効率的な向上が望めないことが判明した。そこで、レール間距離が現状、操作者の「感覚」で調整していることに着目した。

つまり、繰り返し射出実験をする場合でも、重要なパラメータであるレール間距離が一定ではない状況を克服する。この調整を電子的・機械的に制御するために、LEGO MINDSTORMS NXT と付属のモータ及びギアにより制御を試みた。ギアの回転数制御により、レール間距離の電動制御に成功した。ギアはレールの上流と下流の2か所に設置した。飛翔体の射出にも成功したが、予想に反して飛翔体の速度向上は達成できなかった。考えられる理由として、飛翔体はレールとの接触により寸法が小さくなる。しかしながら、今回の研究ではレール間距離は上流と下流で一定としたため、下流側で飛翔体とレールが接触せず、速度向上が達成できなかったと考える。今後は上流と下流のそれぞれにおいて適切なレール間距離を検討する。

次に、衝撃風洞に関して記述する。本年度は衝撃風洞の改良に向けた安価な無隔膜駆動部の作成に注力した。本研究では塩化ビニル製パイプ、注射器を使用した。その結果、これらの材料により無隔膜駆動部の正常な動作を達成した。今後は無隔膜駆動部を高圧部内に設置し、実際に衝撃波を発生可能であるかの実証実験を実施する。

3. 代表的な研究成果

〔学位論文（博士）〕

廣瀬裕介、背景設置型シュリーレン（BOS）法による3次元密度分布計測とダブルパス BOS 法の開発、2024年2月、千葉大学 大学院。

〔雑誌論文〕（計1件）

Y. Hirose, M. Yamagishi, S. Udagawa, T. Inage, Y.

Tagawa and M. Ota, Double-Pass Imaging

Background-Oriented Schlieren Technique for Focusing on Measurement Target, *Experiments in Fluids* (August 2023, 査読有).

〔学会発表〕（計４件）

○清水太智、廣瀬裕介、ポリ塩化ビニルパイプ製
衝撃風洞の開発と性能評価、A113、第15回大
学コンソーシアム八王子学生発表会、2023年
12月.

○高野寛仁、廣瀬裕介、電磁加速式バリステック
クレンジのレール間距離の電動制御に関する研究、
A111、第15回大学コンソーシアム八王子学生
発表会、2023年12月.

○山岸雅人、高坂菜央（千葉大）、廣瀬裕介（サ
レジオ高専）、稲毛達朗（湘南工大）、宇田川真
介（都立産技高専）、太田匡則（千葉大）、滝川
侑弥、大谷清伸、永井大樹（東北大）、弾道飛行
装置を用いたはやぶさカプセル模型周りの3次元
密度場と模型迎角の同時計測、2A1-2、2023年度
衝撃波シンポジウム、2024年3月.

○石橋歩武、廣瀬暁一（産技高専）、廣瀬裕介
（サレジオ高専）、太田匡則（千葉大）、稲毛達
朗（湘南工大）、宇田川真介（産技高専）、超音
速風洞を用いた軸対象物体周りのBOS法による可
視化計測、P-12、2023年度衝撃波シンポジウム、
2024年3月.

〔その他〕

第15回大学コンソーシアム八王子学生発表会
座長・審査員