

2024 年度中央大学共同プロジェクト 研究実績報告書

1. 概要

研究代表者		所属機関	理工学部		2024 年度助成額
		氏名	土肥 徹次		3, 225, 000 円
		NAME	Tetsuji Dohi		
研究 課題名	和 文	眼鏡型デバイスにおける体動ノイズ低減手法を用いた 血圧計測精度の向上と有用性の実証		研究 期間	2024～2026 年度
	英 文	Enhancing the accuracy of blood pressure wave measurement in glass-mounted devices using motion artifact reduction and its validation			

2. 研究組織

※所属機関・部局・職名は 2025 年 3 月 31 日時点のものです。

	研究代表者及び研究分担者		役割分担	備考
	氏名	所属機関/部局/職		
1	土肥 徹次	理工学部・教授	研究の統括と眼鏡型血 圧計測デバイス	
2	大草 孝介	理工学部・准教授	観測されたセンサデー タの数理モデリング・解 析	
3	吉田 昭太郎	理工学部・助教	デバイスの改良及び生 体計測	
4				
5				
6				
合計 3 名				

3. 2024年度の研究活動報告 ※行が不足する場合は、適宜、行を追加してご記入ください。

(和文)

2024年度の研究は、当初申請した研究計画に基づき、研究課題①「リストバンド型デバイスにおける体動ノイズ低減手法による血圧計測精度向上」および研究課題②「眼鏡型および心電図計測用ウェアラブルデバイスの試作と体動ノイズ低減手法の実装」の2つを柱として計画的に遂行した。リストバンド型デバイスを対象とした基礎検討では、ノイズ除去アルゴリズムの検証、押し付け機構の高精度化・小型化、センサ角度の安定化に取り組み、精度と安定性の両面から、実用化に向けた重要な成果を得ることができた。一方で、眼鏡型デバイスへの応用に向けては、装着機構の改良やセンサ性能の基礎評価を進めるとともに、心電図計測モジュールの試作・設計、さらにはそれらの評価に必要な基礎特性測定環境の整備を行った。

また、研究の進展にあわせて、物理モデルに基づく信号解析の導入準備を進めており、今後はより高度なノイズ除去手法や生体信号の特性抽出に展開可能な見通しが立っている。なお、2024年度は研究代表者が研究促進期間制度により海外（英国ロンドン）に長期滞在している状況を踏まえ、物理的に同一拠点での活動が難しいことから、各研究者がそれぞれの専門性に基づいた技術的要素の開発を分担して進める体制をとった。そのうえで、次年度以降にこれらの成果を有機的に統合し、共同研究としての連携と成果発信を強化する方針である。また、研究代表者による海外長期滞在の機会を活かし、海外での共同研究活動の推進や国際的な研究会への参加など、本研究の意義と進捗を学外へ広く発信し、国際的なネットワークの構築にもつなげている。以下に、各研究課題の実施状況および研究成果、教育への還元、今後の展望について具体的に報告する。

【研究課題①】リストバンド型デバイスにおける体動ノイズ低減手法による血圧計測精度向上

本課題では、トノメトリ法に基づく血圧脈波計測の高精度化に向けて、体動ノイズの低減を中心とした複数の技術的アプローチを展開した。

・ノイズ低減手法の構築と信号処理

血圧脈波センサと体動センサを隣接配置し、両センサ出力の差分を用いることでノイズ成分を除去する手法を開発。安静時に得られた血圧波形の平均波形を「基準脈波」として定義し、差分によって抽出されたノイズ成分と体動センサの計測値の一致度を、相関係数により評価した結果、0.92以上の高相関を示すケースが多く、差分処理によるノイズ分離の有効性が確認された。

さらに、今後はこの信号処理に物理モデルに基づく解析手法を本格的に導入する予定であり、ノイズの発生源や方向依存性を力学的・時間的に再現するモデルの構築と、モデルを用いた信号補正の導入を計画している。このアプローチにより、実装現場におけるノイズ状況の個人差・環境差への適応が期待される。

・押し付け機構の設計と試作

粗動（バンド巻き取り式）と微動（ねじ送り式）を組み合わせた2段階押し付け機構を搭載した新型リストバンド型デバイスを試作。従来比で全体質量を約20%（134g→107g）削減、センサモジュール体積も約76%（92.7cm³→22.0cm³）縮小しつつ、最大763mNの押し付け力調整が可能となった。血圧脈波の最適振幅（155mN）に対し、±20mN以内の安定範囲で制御可能であることを確認した。

・センサ角度安定化構造の実装

手首角度変化によるセンサ角度の不安定性を抑制するため、支点固定型のセンサ治具を試作。治具有無の比較実験により、最大角度変化量（ $\Delta\phi$ ）を35.6%低減し、手首角度15°においても血圧脈波の振幅を82.2mNまで維持できることを確認した。これにより、従来8.4°程度であった安定計測範囲を12.3°まで拡大することができた。

【研究課題②】眼鏡型および心電図計測用ウェアラブルデバイスの試作と体動ノイズ低減手法の実装

・眼鏡型デバイスへの展開準備

眼鏡型デバイスにおける浅側頭動脈での血圧脈波計測を目指し、既存のリストバンド型センサ技術を応用した構造設計を進めた。頭部装着時の押し付け安定性と快適性を両立させるため、フレーム構造の剛性と柔軟性のバランスをとった押し付け調節機構の構想設計を実施中である。

・基礎特性計測装置の構築と活用

眼鏡型デバイスに搭載予定のマイクロ 3 軸力センサの設計・試作に向けて、力電圧変換特性の詳細な評価を行うための基礎特性計測装置を開発した。分銅（50～500g）を用いた静的荷重試験および Z 軸方向のステージ移動による応答計測により、センサ出力の線形性を評価。その結果、2 N 周辺の計測力における感度領域において有効な較正式（ $Y=4.9324X-0.3565$ ）を導出した。これにより、眼鏡型用センサの設計精度が大幅に向上した。

・心電図計測用ウェアラブルデバイスの試作

将来的な多モダリティ生体信号計測を見据え、軽量・高密着性を備えた心電図計測用ウェアラブルモジュールの設計と素材選定を進行中。特に有機導電材料を用いた柔軟電極の採用により、長時間装着時の快適性と信号精度の両立が期待される。具体的には、人肌に貼り付くほど柔軟かつ導電性の高い炭素繊維にカーボンナノチューブ、グラフェン、導電性高分子等を種々の条件で修飾し、その電気的特性および比表面積それぞれの増強に関して評価することで条件の最適化を行った。柔軟かつ機械的強度が高い有機電極の導電性と皮膚への可撓性を高めることで、ウェアラブルセンサに適する電極の実現に向けた基礎検討を進めた。

【共同研究体制と進行状況】

研究課題①および②は、それぞれ担当研究者の技術分担により構成され、センサ設計、信号処理、治具構造、装着機構、心電計測、基礎特性評価などの要素ごとに有機的に連携して実施されている。それぞれのサブテーマが進行することで全体設計の精度が高まり、次年度以降の眼鏡型デバイスおよび多信号統合解析への展開に向けた土台が構築されている。

なお、2024 年度は研究代表者である土肥が研究促進期間制度によりロンドン滞在中のため、研究メンバーが物理的に同一拠点に集まることが困難な状況でした。そのため、各研究者がそれぞれの専門性に基づいた役割を明確に分担し、互いの進捗を補完する形で研究を進めました。具体的には、土肥は眼鏡型デバイスの構想設計や国際連携活動の推進、吉田は心電図モジュールの設計と電極材料の検討、大草はセンサデータの数理解析を担当し、それぞれの技術的成果が次年度以降の統合研究につながるよう配慮しています。

【国際連携活動・学内外への波及】

研究代表者は、中央大学の研究促進期間制度により、英国の Imperial College London の Department of Bioengineering において研究活動を実施し、所属する研究グループ内で中央大学の紹介および本共同研究プロジェクトの内容についての発表と意見交換（ディスカッション）を行った。この機会を通じて、本学の研究活動の国際的な認知を高めるとともに、今後の学際・国際共同研究への発展可能性を模索した。

また、Imperial College London の CPE（Centre for Processable Electronics）主催の CPE Workshop on Wearable Electronics に参加し、世界最先端のウェアラブルデバイス研究の動向を収集し、欧州の研究者らとのネットワーキングも積極的に行った。この場で得た知見は、今後の心電図センサや複合デバイス実装に向け、国際的視点からの設計指針を導入する契機となっている。

【研究成果の発表と教育への還元】

研究成果は、2025 年度に開催されるロボティクス・メカトロニクス講演会（ロボメック 2025）での発表を予定しており、さらに生体医工学会大会などの医工連携系学会での発表、国際ジャーナル（*Sensors and Actuators A* など）への論文投稿の準備も進めている。また、ノイズ低減アルゴリズムとハードウェア設計については、それぞれ独立したトピックとして複数の学会発表が可能な成果を蓄積しつつある。

教育面では、学部再編後に先進理工学部で開講予定の共通専門科目「マイクロマシン」の講義において、本研究成果を取り上げ、MEMS センサの応用事例やウェアラブルデバイスの構造設計の具体例として活用する予定である。また、卒業研究テーマとしての応用や、オープンキャンパス・理工白門祭での装置展示・体験イベントへの展開も計画しており、研究成果を多層的に教育活動へ還元する方針である。

（英文）

The research conducted in FY2024 followed the original plan, focusing on two main objectives:

- (1) improving the accuracy of blood pressure measurement through motion artifact reduction in wristband-type devices, and
- (2) developing glasses-type and ECG wearable devices incorporating similar motion compensation techniques.

For research objective (1), we developed and validated a signal processing method using the differential output of adjacent blood pressure and motion sensors. The method achieved a high correlation coefficient of over 0.92 between extracted noise and motion signals, demonstrating the effectiveness of the noise reduction algorithm. In addition, we designed a dual-stage pressure adjustment mechanism that reduced device mass by approximately 20% and improved sensor mounting stability, extending the valid measurement angle range by over 45%.

For objective (2), we initiated structural design for glasses-mounted sensors targeting superficial temporal arteries. A prototype ECG module with flexible electrodes was also developed, aiming for long-term wearability and signal fidelity. A dedicated test system was constructed for calibrating micro force sensors, resulting in a linear correction formula effective around 2 N, which is essential for future head-mounted applications.

As part of international collaboration, the principal investigator conducted research at the First Group in the Department of Bioengineering, Imperial College London, under Chuo University's Research Promotion Program. The project was presented within the host group, followed by discussions on future directions. Participation in the CPE Workshop on Wearable Electronics, hosted by Imperial College London's Centre for Processable Electronics, also facilitated knowledge exchange with leading researchers in the field.

The research outcomes are scheduled to be presented at the 2025 Robotics and Mechatronics Conference (ROBOMECH 2025), as well as other domestic and international conferences. Selected results will be submitted to journals such as *Sensors and Actuators A*. Educational integration is planned through a new interdisciplinary course "Micromachines" in the reorganized Faculty of Advanced Science and Engineering, as well as outreach activities such as research fairs and graduation projects.

4. 主な発表論文等（予定を含む）

2024年度に行った共同研究プロジェクトの研究課題としての成果内容についてご記載ください。

※行が不足する場合は、適宜、行を追加してご記入ください。

【学術論文】 （著者名、論文題目、誌名、査読の有無（査読がある場合は必ず査読有りと明記してください）、巻号、頁、発行年月）＜発表予定を含む。但し、投稿中、投稿準備中のものは除く＞
Ota, T & Okusa, K. Study on Model-Based Estimation of Continuous Blood Pressure From Pulse Arrival Time Using Two Doppler Radar Sensors, Vol.13, DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3579243, 2025,査読有り
【学会発表】 （発表者名、発表題目、学会名、開催地、開催年月）
● 土谷睦月・渡邊葵・太田隆・大草孝介「マイクロ波レーダーを用いた心動作モデリングによる非接触ストレス推定法の開発」2024年度日本生理人類学会フロンティアミーティング, 東京, 2024年11月 ● 大竹巧真・土肥徹次「MEMS 3軸力センサを用いたカフレス血圧計における押し付け力調節を伴う高精度な血圧校正手法」日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2024 in Utsunomiya, 宇都宮, 2024年5月 ● 大垣諭史・土肥徹次「血圧脈波計測デバイスにおける体動時のモーメントを低減可能なばね押付け機構」日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2024 in Utsunomiya, 宇都宮, 2024年5月 ● 今村賢士・吉田昭太郎「柔軟デバイスへの電力供給を目的とした一体型電極を有する薄型直列化バイオ燃料電池の開発」日本機械学会マイクロ・ナノ工学部門 第15回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 宮城, 2024年11月 ● 大場竜也・吉田昭太郎「有機ナノ複合材料を用いた熱音響スピーカーの開発及び音圧評価」日本機械学会マイクロ・ナノ工学部門 第15回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 宮城, 2024年11月
【図 書】 （著者名、出版社名、書名、刊行年）
【その他】 （知的財産権、ニュースリリース等）