

論文審査の要旨及び審査委員

(2, 000字程度)

| | | | | | | |
|--------------|----------|------------------------|-----------------|-------|-------|-----|
| 報告番号 | 甲 第 41 号 | | 氏 名 | 岩井 隼人 | | |
| 論文審査 審査委員 | 氏 名 | | 職 名 | 氏 名 | | 職 名 |
| | 主 査 | 松本 浩樹 | 教授 | 委 員 | 中沢 信明 | 教授 |
| | 委 員 | 王 鋒 小田垣 雅人 森田 哲夫 | 教授 准教授 教授 | | | |

申請論文の要旨は以下のとおりである。

電動義手制御の長期安定化と装着容易化を目的として、前腕表面の触覚性状に基づく新しい動作判別手法を提案し、実時間識別系およびオンライン環境での実装を通じてその有効性を示したものである。従来の筋電義手では、表面筋電位（sEMG）の変動や電極位置の再現性不足により誤動作が発生しやすく、長期使用の妨げとなっていた。これらの課題を克服するために、筋収縮に伴う皮膚表面の変形や張力変化といった機械的変化を非侵襲的に計測し、触覚性状信号として義手制御に応用している。

博士論文は以下の8章より構成された。

第1章は、緒言であり、本研究の背景、動機、目的及び博士論文の構成を述べた。第2章では、義手の制御構造と社会的背景を整理し、筋電義手の普及率の低さが信号安定性、訓練負担、制度的課題などに起因することを指摘した。これを踏まえ、触覚センサによる制御系の技術的意義と研究位置づけを明確にした。第3章では、PVDFフィルムを用いた触覚性状信号の計測システムを構築した。複数の実験参加者による6種類の手動作の計測から、動作間で高い波形再現性が得られ、触覚性状信号が動作意図推定に有効な情報を含むことを示した。第4章では、識別精度に影響する要素としてセンサ位置の最適化に焦点を当てた。前腕部の複数位置に触覚センサを配置し、位置ごとの識別性能を比較した結果、筋電義手より少ないセンサ数で動作識別可能であることを確認した。第5章では、オフライン動作識別系を設計し、識別性能および実時間応答性の観点から信号処理および識別器を評価した。さらに、識別精度の時間的変化および訓練データ数に伴う変化を1次遅れ系モデルで近似できることを示し、学習試行数および信号取得時間の設計に関する実時間義手制御システムの定量的指針を与えた。第6章では、動作検出・識別を実時間処理する構成を開発し、Raspberry Pi および Arduino を用いたオンライン環境実験を実施した。その結果、訓練試行および評価試行のいずれでも高い識別精度を維持し、300 ms 以下の遅延で動作出力が可能であることを確認した。外部 PC を必要としない軽量な実時間義手制御システムの実現可能性を示した。第7章では、実用化に重要な誤動作抑制機構を検討した。本研究では誤動作の主な要因を、(i)曖昧動作、(ii)未知動作、(iii)体動動作の3種類に整理し、識別結果の信頼度に基づいて動作出力を保留する動作保留機構 (Reject Option) を導入した。第8章では、識別性能向上を目的として触覚性状信号の新たな利用方法を検討した。

以上より、本研究は筋電信号に依存しない新たな制御信号源として触覚性状信号を提案し、オフラインからオンラインまで一貫した動作判別システムを構築した。提案システムは少数センサで高精度識別を実現し、ロバストネス、リアルタイム応答性、低負荷運用を両立するものであり、義手制御の信頼性向上と社会実装に向けた有効な技術基盤を提供する。

上記内容について、論文の査読審査及び最終試験（口頭試問）を行った。

予備審査では、論文フォーマット、研究の位置付け、用語の定義、実験条件の記載に多少不明確な箇所があるとの指摘があったが、本審査では、これらの点は修正されており、質・量ともに博士の学位にふさわしいと判断された。また最終試験（口頭試問）での質疑応答も十分な対応であった。

以上より、申請論文を博士学位論文として合格と判断した。