

論文審査の要旨及び審査委員

(2, 000字程度)

報告番号	甲 第 26 号		氏 名	梁 宏博		
論文審査 審査委員	氏 名		職 名	氏 名		職 名
	主 査	王 鋒	教 授	委 員	横井 浩史	教 授
	委 員	今村 一之 田中 恒夫	教 授 教 授		朱 赤	教 授

重い荷物を持ち上げる荷役動作や介護者が患者を抱えて移動する際、上肢の肩と肘関節は屈曲方向と伸展方向に大きな負担がかかるため、肩と肘関節の屈曲と伸展方向にパワーアシストを行うことは非常に重要である。現在、世界中では様々なパワーアシスト外骨格ロボットが開発されている。これらの外骨格ロボットの制御信号は、主に力/トルクセンサーや筋電センサーなどを用いて取得している。しかし、力センサーは高価であり、また筋電センサーを用いた場合は、肩関節・股関節などの多関節機構において、各筋肉の動作を高精度に推定するために多数のセンサーを用いなければならない。さらに、加齢に伴う筋力の減衰により、これらのセンサーの効果も大幅に低下していく。しかし、現在に至るまで、これらの問題に対する適切な解決策はない。一方で、近年脳活動をデコードして、運動意図の指令を生成することで、外部の装置を制御する Brain-Machine Interface (BMI) 技術が大きな注目を集めており、その研究が進められている。近年、ヒトの意思に関係する脳活動を制御信号に変換する事を目的とした研究が進められている。しかし、現時点では重労働従業員や介護スタッフなどの健常者向けの BMI 製品はほとんどない。

そのため申請論文は、BMI 技術を用いて上記の問題を解決することを目的としている。したがって、申請論文は脳活動における関節トルクの情報を抽出および推定する手法を提案することにより、健常者の負担軽減および作業現場での作業効率の向上を目指す。まず、申請論文では肩関節トルクの推定に着目し、脳波に基づくパワーアシストシステムを構築する手法を提案した。脳波-トルクの線形モデルを構築することで、肩関節のアシストに必要なトルクを推定した。実験結果より、肩関節の屈曲と伸展運動による脳波の変化部位や特徴も明らかにした。この特徴を用いたモデルを構築することにより、パワーアシストに必要なトルクの推定に成功した。これらの結果により、BMI 技術を用いて健常者の人々にパワーアシストを行うことが可能となることを示し、リアルタイムでのパワーアシストを行える可能性を示した。そこで、申請論文は BMI 技術に基づいた肩関節の屈曲と伸展運動においてパワーアシストを行う世界初の研究報告となる。さらに、申請論文は肩と肘関節の連動を実現するために運動パターンの脳波変化の特徴を明確化し、抽出手法について説明し、検証した。結果より、これらの手法の有効性を確認し、また抽出された特徴を用いて、脳波に基づく肩と肘の運動パターンの識別を実現することが可能となることを示唆した。最後に、これまでの脳科学は脳内のニューロンが何をしているかを理解し、究明しようとしているが、申請論文はそれに限らずに、逆に機械を用いて脳に情報を入力することで刺激し、脳の可塑性を検証した。また訓練の有効性とそれに基づく脳活動の変化について説明した。実験結果より、視覚フィードバックを用いた訓練による特定の脳波成分の増強を観測することができたため、新たな特徴量として使用できる可能性を見出した。これらの結果は、BMI 技術が今後の我々の生活に広く浸透できるという将来性の高さを証明するものだと断言できる。

申請論文は、全9章から構成されており、その概要は以下の通りである。第1章では、序論として研究の背景と研究の方向性と枠組みについて示した。第2章では関連研究として、これまでの BMI 研究の流れ、脳活動モデルの作成および運動情報の再構築に関する研究、そして本研究の位置付けについて述べている。第3章では、本研究で BMI によるパワーアシストを行う際に必要となる制御信号とそれらの関係について述べている。第4章では、脳波・表面筋電位の計測手法をまとめるとともに、本研究用の計測環境について述べている。そして、第5章と第6章では肩の単関節パワーアシストを行う際に、運動に関する脳波の特徴量を解析し、必要となるトルクの推定手法を提案して、実験で検証した。次に第7章と第8章では、肘と肩の二関節連動動作時の運動パターンの識別について述べている。第7章では、特徴を効果的に抽出する手法について説明し、検証した。第8章では、脳の可塑性を検証するために、BMI ユーザーを訓練し、訓練の有効性と脳の可塑性について説明した。最後に第9章にて、まとめを行い、今後の展望について述べている。

博士学位論文の予備審査においては、論文審査員から論文の内容について多様な意見が出されたが、その後論文全体において適切な修正が行われたものと判断する。本申請論文は将来性のある研究として、BMI におけるパワーアシストシステムの構築および実現における有用性と妥当性を検討し、これからの BMI 研究の進展には非常に有用な研究成果であると思われる。

以上のような博士学位論文の審査結果を踏まえ、併せて申請者の既発表論文の内容や最終審査における質疑応答の結果から総合的に評価した結果、博士学位論文として合格であると判断した。