

論文審査の要旨及び審査委員

(2, 000字程度)

報告番号	甲 第 19 号		氏 名	吉岡 将孝	
論文審査 審査委員	氏 名		職 名	氏 名	
	主 査	今村 一之	教 授	委 員	
	委 員	朱 赤	教 授		
		王 鋒	教 授		
田中 恒夫 横井 浩史		教 授			

近年、人の脳情報を活用した Brain Machine Interface (BMI) によるロボット操作技術の研究が進められている。光や音刺激に対する脳の反応や運動想起などに関連する脳活動を利用したコンピュータカーソル・電動車いす・ロボットアームの操作を可能とする研究が報告されている。さらに、体を動かすことが出来なくなった肢体不自由者に対して、BMI を活用し、脳情報を用いて外骨格ロボットを操作することで歩行や物体把持を可能にしている。さらに、まひの部位を外骨格ロボットによって動かすリハビリテーションの応用の研究も進められており、医療・福祉分野でのさらなる応用が期待されている。

申請論文では、脳波から運動情報を用いた BMI 外骨格パワーアシストシステムを構築するために、i) 脳波から運動に関する特徴量の抽出手法、ii) 運動の判別器と推定モデルの生成手法、iii) 脳波から人の関節トルクの推定手法のそれぞれを導出し、実験的に検証した。短時間フーリエ変換を用いて、統計的手法で用いられるマハラノビスの汎距離を使って運動の判別器を作成し、脳波から安静時の状態と運動の状態が判別可能であることを示した。次に、主成分分析を用いて人の運動意図である表面筋電位と脳波の線形モデルを構築することで、脳波から表面筋電位を推定出来ることを示した。さらに、脳波の中に含まれる α 波と β 波のパワースペクトルの周期性の変化が、表面筋電位の振幅と相関があることを突き止めた。これらの結果を応用し、主成分分析による線形モデルで学習される入力信号に周期パワースペクトルを用いることで、更新を必要としない推定モデルを作成し、その有効性が示された。

論文は、全 8 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された。第 2 章では、関連研究を整理し、本研究の目的を明示した。第 3 章では、脳活動の計測手法についてまとめ、本研究の脳波の周波数解析手法と計測システムについて示された。第 4 章では、脳波から運動に関する特徴量を抽出するために閉眼時、開眼時、運動時の α 波・ β 波のパワースペクトルの特徴が示された。第 5 章では、前章で得られた脳波の特徴量からマハラノビスの汎距離を用いた判別器を生成し、脳波から運動判別を行っている。第 6 章では、脳波と表面筋電位の関係から主成分分析による脳波・関節トルク間の線形モデルを作成し、脳波からの関節トルクの推定手法とそのパラメータ更新手法について述べられている。第 7 章では、脳波から関節トルクとの線形関係のある特徴量を算出するために、 α 波・ β 波のパワースペクトルの周期性の変化に着目し、周期性パワースペクトルの解析を行い、前章の主成分モデルを用いて、関節トルク間の線形モデル作成手法を作成し、さらに、本手法を用いた脳波からの関節トルク推定、また得られたトルクからロボットアームを動かす実験を行い、その有効性について検証している。第 8 章は結言であり、今後の BMI パワーアシストシステムを構築するための展望が述べられている。

博士学位論文の予備審査においては、審査員から多様な意見や修正依頼があった。まず、予備審査時の題目である「周期性パワースペクトルに着目した脳波による関節トルク推定および Brain-Machine Interface パワーアシストシステム構築」では、テーマの内容が限定的であるとの意見を反映し、主題に「脳波分析に基づいた Brain-Machine Interface パワーアシストシステムの構築」とし、副題に「周期性パワースペクトルによる運動に関する脳波の解析および関節トルクの推定」とした。次に、運動に関する脳波の解析では、周波数の平均値を出す際に検定を行うべきであるとの意見に対し、t 検定による評価を追加した。また、論文題目にもある「周期性パワースペクトル」の算出手法の理論的評価もしくは生理学的な解析を行うべきであるとの意見から、周期パワースペクトルを式化し、その評価を行った。本申請論文は、これまでの脳波解析に用いられてきた周波数領域に関して、新たな解析手法であるとともに、BMI システムを構築するための新たな特徴量の高い有効性を示されている。

以上のような博士学位論文の審査結果を踏まえ、併せて申請者に既発表論文の内容や最終審査における口頭試問を行い、これら最終試験の結果から総合的に評価し博士学位論文として合格と判断した。