

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	(甲)乙第 号	氏 名	藤原洋介
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 田中 敏幸
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 牛場 潤一
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 渡辺 宙志
		慶應義塾大学名誉教授	工学博士 本多 敏
<p>(論文審査の要旨)</p> <p>学士(工学)、修士(理学) 藤原洋介君提出の学位請求論文は、「Application of Deep Residual Convolutional Neural Network to Brain-Computer Interfaces and Analysis of Neural Activity in Higher-Order Motor Cortex (深層残差畳み込みニューラルネットワークのブレイン・コンピュータ・インターフェイスへの応用と高次運動野の神経活動解析)」と題し、4章より成る。</p> <p>脳波をデコーディングし、外部機器を操作する Brain-Computer Interface (BCI) において、脳活動状態の推定精度を向上させるために、Convolutional Neural Network (CNN) の導入が進んでいる。特に、身体運動中の脳活動状態を識別する BCI は脳卒中片麻痺の機能回復を誘導する技術として医療分野への応用が期待されている。一方、基礎神経科学では身体運動中の脳活動特性について、体性感覚運動野を中心に、補足運動野または運動前野といわれる高次運動野(非一次運動野)が運動に関与していると考えられている。脳内における随意運動の生成過程で、非一次運動野は感覚入力などの修飾も受けながら、視床や大脳基底核と関連して、一次運動野での最終的な出力の前段階で賦活し、重要な役割を担っている。しかし、非一次運動野における神経活動は自発脳波を用いて評価を行うことが困難で、BCI の汎化モデル構築に貢献できるかも定かではない。そのため、現状の BCI は最下流の一次運動野の神経活動によって制御される設計になっていることが一般的で、その上流過程の神経活動信号を活用できていないのが現状である。非一次運動野由来の信号を利用した BCI を構築することができれば、BCI の汎化性向上や運動生成に関する脳内機構の理解につながる可能性がある。本論文では、運動中の非一次運動野の活動が自発脳波に反映されることを明らかにし、これを活用することで汎化性のある BCI を開発することを目的としている。</p> <p>第1章では、ヒトの運動中の脳活動について、体性感覚運動野近傍の頭皮上に出現する事象関連脱同期と呼ばれる脳波の振幅変化や体性感覚誘発電位が運動中に減衰する現象であるゲーティング効果について概説している。また、CNN や BCI に用いられる深層学習の関連技術についても概説している。</p> <p>第2章では、事象関連脱同期と関連がある体性感覚誘発電位成分を同定している。運動実行および運動イメージ中の事象関連脱同期と体性感覚誘発電位の N30 成分のゲーティングが被験者間の比較において有意な相関があることを示し、N30 成分の起源である非一次運動野が体性感覚運動野の事象関連脱同期に関与していることを明らかにしている。</p> <p>第2章では、低頻度刺激の反復経頭蓋磁気刺激法を用いて大脳皮質の興奮性を一時的に抑制したときの運動に関連した脳活動の指標の変化を調べている。その結果、事象関連脱同期だけでなく、体性感覚誘発電位の N30 のゲーティング、および補足運動野から運動前野や体性感覚運動野への時系列的な因果関係を示す Granger 因果により評価した大脳皮質間の自発脳波の因果変化が、反復経頭蓋磁気刺激法の直後に有意に低下することを示している。</p> <p>第3章では、非一次運動野の脳波を入力することにより、汎化性のある BCI モデルを開発している。健常者 109 名のデータセットを用いて交差検証を行っている。モデルは CNN をベースとした EEGNet に残差ネットワークを挿入して多層化している。検証の結果として、従来モデルよりも高い汎化性能を得ている。またモデルの可視化により、汎化性能向上には非一次運動野が大きく貢献していることを示している。</p> <p>第4章では結論として、本研究の成果を総括し、研究の意義と重要性を述べている。以上要するに、本論文は、運動中の非一次運動野の活動が自発脳波に反映されることを示し、非一次運動野の脳波を活用した汎化性のある BCI を CNN と深層学習を用いて開発しており、生体医工学の分野において寄与するところが少なくない。</p> <p>よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			
学識確認結果	学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査委員会で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。 また、語学(英語)についても十分な学力を有することを確認した。		