

# 脳波 (EEG) を用いた装着型多自由度外骨格ロボットの パワーアシスト技術の開発†

梁宏博\*, 上田直哉\*, 岩田悠\*, 前殿翔太\*\*, 朱赤\*\*

## Development of Power Assistive Technology for a Wearable Multi-DOF Exoskeleton Robot by Using EEG Signals†

Hongbo Liang\*, Naoya Ueda\*, Yu Iwata\*, Shota Maedono\*\*, Chi Zhu\*\*

Brain-Machine Interface (BMI) has emerged as a powerful tool for assisting disabled people and for augmenting human performance. In this work, we propose a motion estimation method based on electroencephalography (EEG) signals to realize the power assistance. In order to improve the accuracy of on-line estimation, a time lag is introduced, and in particular, a linear model that correlates the EMG to the EEG signal is constructed utilizing motion-related features extracted from multi-location EEG measurements. The constructed model is used to estimate the human muscular activity of shoulder joint from EEG. The proposed approach is experimentally verified. Our results suggest that the estimation of EMG based on EEG is feasible, further demonstrating the potential of using EEG signals via the control of brain-machine interface to support human activities.

**Key words** : Brain-machine Interface, Motion Estimation, Power Assistive Suit, Shoulder Joint

### 1 はじめに

ブレイン・マシン・インターフェース (Brain-Machine Interface, BMI) は、人間の思考活動中に脳の神経活動情報を解読することによって、脳と外界との間に直接的な情報伝達経路を構築する技術である。この技術が実現すれば「念じるだけ」で機械を動かすことが可能となり、神経義肢、ニューロフィードバックの訓練、脳状態監視などの分野において、幅広く応用できると考えられる<sup>1)4)</sup>。近年 BMI の研究は盛んに行われており、ますます業界からの注目が集められている。また 2017 年も BMI の発展の新たな出発点と言える。例えば、起業の分野において Elon Musk さんは、神経義肢の応用と将来のヒューマン-コンピュータ通信のために、BMI 会社である Neuralink の創設に投資した<sup>5)</sup>。またインターネットの分野においては、株式会社 Facebook は BMI に基づく新しい世代の対話型技術の開発を発表した<sup>6)</sup>。これらの行動は激しい議論を引き起こし、BMI 技術の開発をさらに加速させることは間違いない。

BMI 技術について、主に侵襲型と非侵襲型の二種類がある。脳内に電極を埋め込む侵襲型の BMI は、脳の活動を正確に読み取れる反面、手術の安全性や電極の安定

性などの問題がある。また、その問題を緩和するための硬膜下皮質表面電位 (Electrocorticogram ; ECoG) を用いた BMI も侵襲的な計測手法ではあるが、脳自体には無害であるため、低侵襲型 BMI として注目されている。一方、体外から間接的に計測する方法を用いることで、外科手術を必要としない非侵襲型の BMI の研究も盛んに進められている。機能的磁気共鳴画像法 (functional MRI, fMRI) は空間分解能が高いが時間分解能は低く、設備も大きいため日常生活には向いていない。そこで、脳の電気的な活動である脳波 (Electroencephalogram, EEG) が注目されている。脳波は小型な装置で比較的容易に計測が可能であり、時間分解能が高い生体信号であることが知られており、脳波を用いた BMI は既に商品化もされているものも存在する。例えば、スウェーデンの Interactive Productline 社は、プレイヤーの脳波でコントロールする対戦型ゲームのマインドボール (Mindball) を販売し、アメリカ合衆国の NeuroSky 社が脳波の強弱を測定できるマインドセット (MindSet) を販売した。マインドセットに関しては、これに対応する玩具も販売されている。また、注目した文字を認識してコンピュータに文字を入力する脳波キーボードや、家

† 原稿受理 平成 31 年 2 月 28 日 Received February 28, 2019

\* システム生体専攻 (Division of Systems Life Engineering)

\*\* システム生体工学科 (Department of Systems Life Engineering)

電製品に設置したタグに注目してスイッチの ON/OFF を行うものなどの製品化に近い。しかし、これまでの侵襲型 BMI も非侵襲型 BMI も、主に障がい者、特に半身または全身麻痺の重度障がい者のリハビリテーションや機能回復のために開発され、研究手法がまだ体系化されていない。特に非侵襲型 BMI では、抽出された特徴量は主にロボットや外部機器の動作の ON/OFF 状態、またあらかじめ決められた数種類の動作パターンの切り替えのトリガーとして使われている。さらに障がい者の会話や意思疎通のためのコミュニケーションツールとして開発されるものが多く、日常生活動作 (Activities of Daily Living: ADL) の改善や介護者の身体的負担を軽減するようなアシスト機器はまだ開発されていない。

また、パワーアシストにおいて、これまで力または筋電情報を用いる数多くの外骨格ロボットが開発されてきた。しかし、高価な多軸の力・トルクセンサまたは筋電センサのコストや、センサを装着する手間、多関節筋の対処や個人差による使いにくさなどの問題は解決されておらず、さらには人の脳波信号を用いた外骨格型ロボットによるパワーアシストの成功例もまだ報告されていない。

このような背景から、本研究は高価な多軸の力・トルクセンサや筋電センサを用いず、脳波の計測データのみから、パワーアシストを可能とする外骨格型ロボットの制御システムの構築とその技術の確立を目指している。我々が提案する非侵襲型 BMI パワーアシストシステムは、人の脳波信号を用いて行動意図を認識したうえで、多自由度の力情報を推定し、違和感なく装着可能な外骨格型ロボットによるパワーアシストを行うことである。さらに本研究は、高齢化による労働力不足を解消するため、利用者は障がい者だけでなく、健常者、特に中高年の重労働者を想定し、単純な ON/OFF 動作や動作パターンの選択だけではなく、リアルタイムで利用者の脳波の計測、行動意図の認識、多関節の力情報の推定、学習手法による力情報を更新することで、連続的なパワーアシストの制御を行う。これはこれまでにない、世界初の BMI 研究だと言える。

## 2 研究方法

脳波からパワーアシストを実現するために、我々は主成分解析 (Principal Component Analysis, PCA) と逐次最小二乗法 (Recursive Least Square, RLS) を用いて、脳波から人間の肘関節が重りを持った時の上腕二頭筋の筋電を推定し、さらに推定された筋電からパワーアシストを行うという方針で研究を進めてきた。しかし上腕二頭筋は二関節筋であるため、この手法を多関節に拡張すると、例えば肩関節が、肘関節の動作に影響を与えることが明らかとなった。今回はそのような問題点を回避し、同時にリアルタイム性も考慮したうえで、脳波から力またはトルク情報の抽出手法を確立し、直接に人の多次元の力情報を推定することにより、装着型多自由度の外骨格ロボットのパワーアシスト技術を実現する。

これらを実現するための第一歩として、は脳波から人の力・トルク情報を推定することが挙げられる。関節トルクの大きさと筋電の大きさは線形関係となるため、今回は脳波から人間の単関節 (肩関節) が重りを持った際の三角筋中部の筋電の推定を行った。

脳波から装着型多自由度の外骨格ロボットをリアルタイムで制御するのに必要な多次元の力情報を確実に推定するため、持ち上げや荷物の受け渡しなどの動作を踏まえ、動作範囲は  $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$  とした。日常生活の中で 10kg の荷物を持ち上げる場面を想定し、40% のパワーアシストレートで、片手で 3kg の負荷を設けた。設計したタスクと脳波の測定場所や必要なチャンネル数および測定方法を検討し、運動野の周辺の計 8 か所を計測した。処理手法としては、独立成分分析を用いて、測定された脳波信号の中から、雑音の成分を正確に識別および除去することに成功し、有用な脳波信号を抽出することができた。そして、独自に構築した線形モデルを用いて、脳波の特徴量を外骨格ロボットの制御信号に変換し、測定した人の脳波から肩関節の屈曲・伸展時の筋電信号を推定した。また一回の動作の際に生じる脳波信号と筋電信号の変化の時間の差を遅れと定義し、その遅れを定量的に評価し、パラメータとして線形モデルに加えることで、より精度の高い筋電を推定することにも成功した。

## 3 実験

被験者は開眼状態で、5 分間で約 80 回連続で 3kg の重りを持ちながら肩関節の屈曲と伸展運動を行い、その際の脳波信号を計測した。脳波計測点は Fig. 1 に示すように、Fz, C3, C4, Cz, P3, P4, O1, O2 の計 8 点である。また、推定結果の評価のため、脳波の計測と同時に肩関節の三角筋中部の筋電も計測した (Fig. 2)。

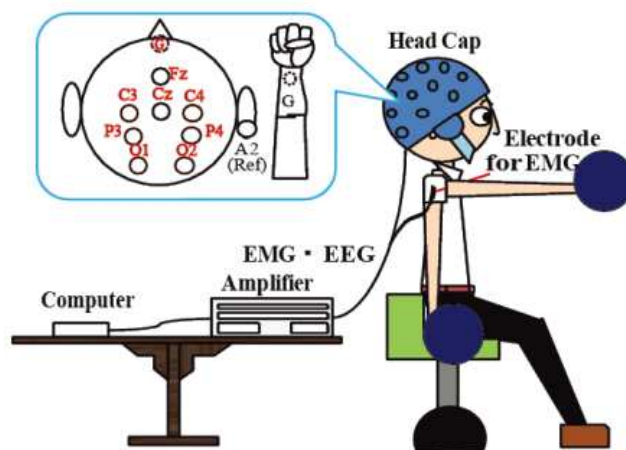


Fig. 1 Measurement overview



Fig. 2 Measuring point of EMG signal

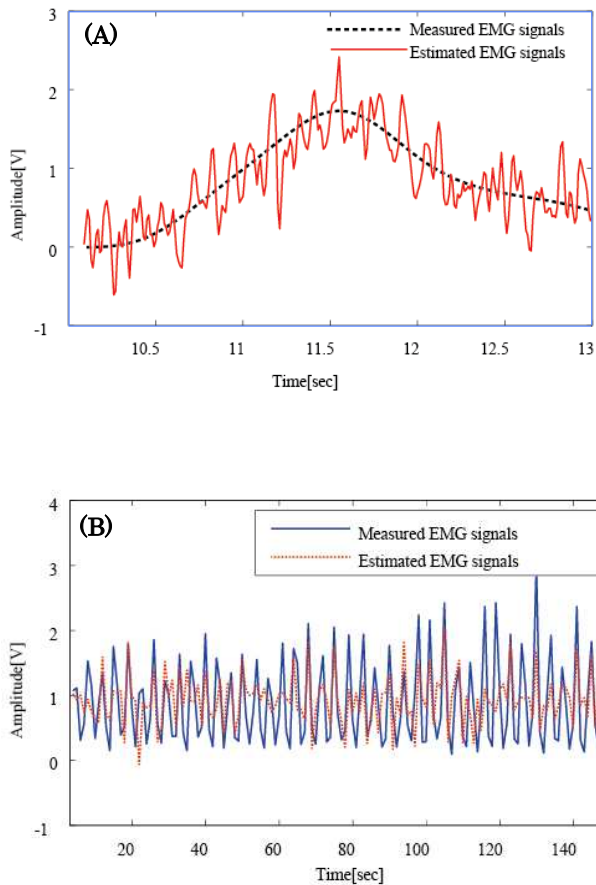


Fig. 3 Results of estimation of EMG signals of shoulder joint

屈曲・伸展時の筋電の推定結果を Fig. 3 に示す。一回のみの運動の際の筋電の推定結果を Fig. 3 (A) に示し、連続した運動の際の推定結果を Fig. 3 (B) に示す。これらの推定された結果を見ると、肩関節の屈曲・伸展時の筋電はともに精度良く推定されていることが分かった。

#### 4 まとめ

非侵襲型 BMI の脳波データを用いて制御に有用な筋電信号を推定する手法について、最新の研究成果をもとに概説した。BMI は、脳信号だけでロボットなどの外部機器を動作させるシステムの総称である。本研究は、人間とロボットが協調し、互いに補完し合うことで、健常者に生じる作業の省力化、障がい者の自立支援が期待できる。人の脳波信号を用いて多自由度の力情報を推定することにより、違和感なく装着可能な外骨格型ロボットによるパワーアシストを実現できることは独創的で、次世代ロボットの中核技術としては是非とも展開すべきものと考えられる。この研究を応用することで、歩行支援ロボット、パワーアシスト装置、義肢義足のような高性能な人間機械システムや福祉機器の開発と普及が容易になり、高齢化が急速に進んでいる日本において、介護コストの削減やロボット関連の新産業創出に大きく貢献することが期待できる。

#### 参考文献

- 1) D. J. McFarland and J. R. Wolpaw, EEG-based brain-computer interfaces, *Curr. Opin. Biomed. Eng.*, **4**, 194-200 (2017), doi:10.1016/j.cobme.2017.11.004.
- 2) M. A. Lebedev and M. A. L. Nicolelis, Brain-machine interfaces: past, present and future, *Trends Neurosci.*, **29(9)**, 536-546 (2006), doi:10.1016/j.tins.2006.07.004.
- 3) S. Gao, et al., Visual and auditory brain-computer interfaces, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, **61(5)**, 1436-1447 (2014), doi: 10.1109/TBME.2014.2300164.
- 4) J. J. Vidal, Toward direct brain-computer communication, *Annu. Rev. Biophys. Bioeng.*, **2(1)**, 157-180 (1973), doi: 10.1146/annurev.bb.02.060173.001105.
- 5) Neuralink[EB/OL]. <https://www.neuralink.com/> [2017-12-20]
- 6) N. Statt. Facebook is working on a way to let you type with your brain[EB/OL]. <https://www.theverge.com/2017/4/19/15360798/facebook-brain-computer-interface-ai-ar-f8-2017>. [2017-04-19].

