

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：22303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00362

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Development of Power Assistance Technology with Wearable Multiple DOFs Exoskeleton using EEG Signals

研究代表者

朱 赤 (Zhu, Chi)

前橋工科大学・工学部・教授

研究者番号：20345482

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：外部の力センサや筋電センサを使わずに、運動または運動想起時の人の脳波(EEG)信号を用いて、人の行動意図を認識し、装着型多自由度の外骨格ロボットを利用しようとする時の人の多次元の必要な力・トルク情報を推定することにより、脳卒中の障害者の運動機能回復や健常者のパワーアシストが可能になる非侵襲型BMI(ブレインマシンインタフェース)を用いた装着型多自由度外骨格ロボットの制御技術の確立及び実機検証を行った。

研究成果の概要(英文)：In this research, the power assistance technology with wearable multiple DOFs exoskeleton using EEG signals by non-invasive BMI (Brain-Machine Interface) is primarily established. In this technology, when the wearer (operator) of the exoskeleton tries to make motion imagery or really implement the tasks of carrying heavy loads or doing rehabilitation, the wearer's motion intention is recognized and his/her multidimensional force/torques applied to the wearable multiple DOFs exoskeleton are directly estimated from the EEG signals. In this way, with the recognized motion intention and the estimated force/torques, the power assistance is realized with the wearable exoskeleton.

研究分野：ロボット工学

キーワード：BMI 外骨格ロボット パワーアシスト

## 1. 研究開始当初の背景

約 20 年前侵襲型 BMI (Brain Machine Interface) の研究が始まって以来、非侵襲型、特に脳波 (EEG) を用いる BMI の研究も盛んに行われている。注目した文字を認識してコンピュータに文字入力する脳波キーボードや、家電製品に設置したタグに注目してスイッチ ON/OFF を行う脳波を用いた BMI は、製品化または製品化に近づいている。また、ユーザーが運動を想起したときの特定の領域の周波数の変化を EEG の特徴として、電動車椅子を制御する研究も行われている。これらのものは、あらかじめ決めた動作をパターン化し、特徴の判別をして制御を行うため、連続的な制御が難しく、遅れも大きい。近年、侵襲型のように脳活動からモデルを作り、学習することで、脳波から手先の 3 次元の動作速度や筋肉の筋電などの運動情報を推定また再構成する研究が行われている。さらに、2014 年 6 月サッカーワールドカップ大会の開会式で下半身麻痺患者が、脳波で制御する外骨格ロボットを身につけてキックオフのデモンストレーションを行った。これらの研究は、過去には不可能だった脳波による多自由度ロボットの制御が可能にした。しかし、脳波による多自由度ロボットのパワーアシストに成功している研究はなく、その可能性も示されていない。本研究は、この問題を解決するため、運動または運動想起時の人の脳波 (EEG) 信号を用いて、人の多次元の必要な力・トルク情報を推定することにより、脳波を用いてパワーアシストが可能になる装着型多自由度外骨格ロボットの制御技術を開発する。

## 2. 研究の目的

本研究は、外部の力センサや筋電センサを使わずに、人の脳活動により、運動または運動想起時の人の脳波 (EEG) 信号を用いて、人の行動意図を認識し、装着型多自由度の外骨格ロボットを利用しようとする時の人の多

次元の必要な力・トルク情報を推定することにより、上肢と腰のパワーアシストおよび介護など高度な技能の必要時のアシストを行い、体の省力化や中高年の脳活性化、運動の促進や健康の維持、また無理な動きの防止を実現し、健康生活を支援する脳アシストロボットシステムの構築とその制御技術の確立および実験検証を目的とする。

## 3. 研究の方法

上記の研究目的を達成するために、3 つの研究 (1) 運動想起および運動時の波と波の変化を用いた肘関節トルクの推定およびロボットアームの制御 ; (2) 脳波から肩関節に作用している筋電の推定 ; (3) Mirror Neuron System に基づいた脳波から直接負荷情報の抽出、に展開した。

## 4. 研究成果

(1) 運動想起および運動時の波と波の変化を用いた肘関節トルクの推定およびロボットアームの制御 :

被験者が筋電を使ってロボットアームを動かした際に波と波のパワースペクトルの増減について着目すると、運動と関連する変化が見られなかったため、新たに短時間フーリエ変換を 2 回掛けることによって得られる周期パワースペクトルの解析を提案および実施した。その結果、波と波の変動は各計測点において波では 20-25Hz、波では 10-15Hz の帯域で運動に関連して変動する特徴が得られたことが確認された。この特徴から、主成分分析を用いた脳波 - 関節トルク間の線形モデルを作成し、計測した脳波から肘関節のトルクの推定をしたところ、実測した筋電と脳波から推定した筋電の相関係数が最大 0.80 と高い精度での推定に成功し、その有効性を示すことができた (図 1)。このことから運動に関連する脳波を検出し、その脳波を用いたロボットアームによるパワーアシストシステムの実現の可能性が示

された。

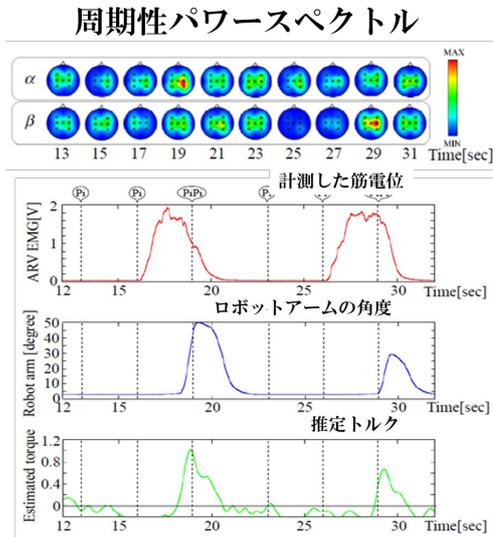


図 1 : 波と 波の周期性パワースペクトルによるトルク推定の結果

( 2 ) 脳波から運動時の肩関節に作用している筋電の推定 :

我々は筋電を用いた拡張アドミッタンス制御によるパワーアシストシステムを提案し、その有効性を実機検証により確認した。その技術を踏まえ、人間の脳活動の情報を用いてパワーアシストシステムを構築することを目的とし、我々の脳波信号から肘関節の筋電を推定した先行研究を拡張し、特に複雑な肩関節運動時の脳波と筋電の関係を表す手法の提案および実施をした。肩関節が屈曲/伸展運動する時に脳の活発になる部位を調査し、運動と関連する脳波成分を主成分分析によって抽出したところ、脳波と筋電の第一主成分が 80%以上の情報量を持っていることが確認できた。そのため、第一主成分は肩の運動と関連する脳波の変化と考えられる。さらに第一主成分の各電極の固有ベクトルを確認したところ、肩関節を運動する時に、運動情報や脳波の変化は運動野のみではなく、均等に脳の全体に分布されていることが分かった。これらの結果により、脳波信号と筋電信号の関係を主成分分析によって線形方程式のモデルで表し、筋電信号を脳波から

推定した。推定結果は、計測された筋電信号と推定された筋電信号の高い相関係数(平均  $> 0.8$  で)を示し(図 2)、脳波信号を使用することで筋肉の活動の推定を実現する可能性を実証した。また脳波信号を用いて BMI を介して人間のパワーアシストを行う可能性も示している。

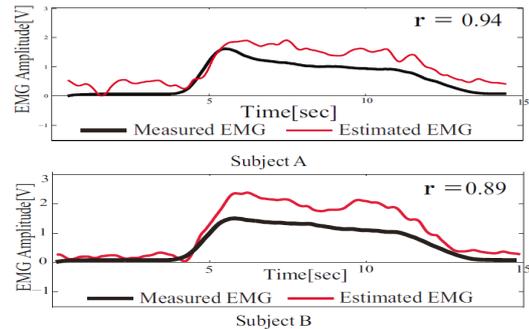


図 2 : 脳波から運動時の肩関節の筋電の推定結果

( 3 ) 脳波から直接負荷情報の抽出

上記の研究と同時に、脳波から筋電の推定を行わず、脳波より直接パワーアシストができるかを試した。これまでの研究では、脳情報と運動の関係性について解析を行い、特徴量を用いることでロボット制御に成功していたが、実際に脳情報と運動の強弱には検討が少なく、さらに非侵襲の手法を用いて力情報の強度に関連する研究手法はまだ確立されていない。そのため本研究では、運動認識や模倣などに関与する Mirror Neuron System (MNS) を用い、力情報付きの映像を観察しながら、重りを持つことで負荷感覚を与えることにより、MNS をさらに活性化させる可能性について検証実験のタスクを設計し、実験結果の検討を行った。MNS に基づいた運動映像を用いて MNS の活性化を誘発させることを踏まえ、視覚刺激を追加することで、脳波から力情報に関する特徴量の抽出ができた。さらに負荷感覚を被験者に提示することで、より多くの情報が被験者に伝えられ、力情報をなし、小、大の三段階に抽出する可能性が示唆された。

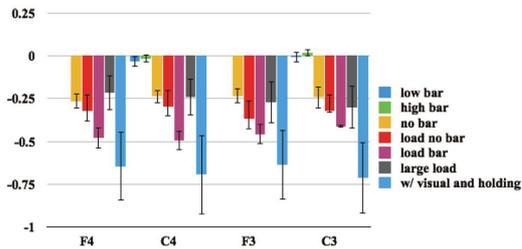


図3：視覚情報によるMNS誘発実験と負荷感覚提示によるMNS誘発する実験結果

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件)

1. K. Uemoto, M. Yoshioka, H. Liang, and C. Zhu, Effect of Motor Intensity on Motion Imagery with EEG Signal Analysis in Mirror Neuron System, *Journal of Neuroscience and Neuroengineering*, Vol. 4, No. 1, pp. 38-43, 2017.
2. Masataka Yoshioka, Hongbo Liang, Naoya Ueda, Ye Tian and Chi Zhu, Construction of BMI Power Assistance System with the EEG-Torque Model, "Neuroscience and Biomedical Engineering, Vol.4, Issue 3, pp.209 - 214, Sep. 2016.
3. 吉岡将孝, 吉川裕一郎, 上本和広, 梁宏博, 朱赤, パワーアシストシステムにおける脳波を用いた筋電推定手法の提案, *日本機械学会論文集*, Vol. 83, No. 846, 2017年.
4. 吉岡将孝, 吉川裕一郎, 上本和広, 梁宏博, 朱赤, パワーアシストシステムにおける脳波を用いた筋電推定手法の提案, *日本機械学会論文集*, Vol. 83, (2017) No. 846, p.16-00195.
5. 朱赤, 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, *Medical Science Digest*, Vol. 43, No. 10, pp. 15-21, 2017.

[学会発表](計 27 件)

1. 吉岡将孝, 梁宏博, 上田直哉, 田野, 朱赤, 主成分分析を用いた脳波-トルクモデルによる BMI パワーアシストシステムの構築, 第21回ロボティクスシンポジウム論文集.
2. 吉岡将孝, 梁宏博, 上田直哉, 田野, 朱赤, 脳波によるパワーアシストシステム実現のための筋電推定, 日本ロボット学会 学術講演会 2015.
3. 梁宏博, 朱赤, 吉岡将孝, 上田直哉, 田野, Brain-Machine Interface による

ロボット制御のための主成分分析を用いた脳波からの肩関節の運動推定, 日本ロボット学会 学術講演会 2015.

4. 上田直哉, 朱赤, BMIを用いた腰のパワーアシストにおける腰運動時の脳波変動に関する基礎研究, 電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会 2015.
5. 田野, 朱赤, Mirror Neuron Systemに基づいた運動情報の抽出に関する実験手法の検討, 電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会 2015.
6. Masataka Yoshioka, Hongbo Liang, Naoya Ueda, Ye Tian and Chi Zhu, Construction of BMI Power Assistance System with the EEG-Torque Model, *Proceedings of the 10th ICME International Conference on Complex Medical Engineering (CME 2016)*, Japan, OS 6, Aug. 2016.
7. Hongbo Liang, Chi Zhu, Masataka Yoshioka, Ueda Naoya, Tian Ye, Yu Iwata, Haoyong Yu, Yuling Yan and Feng Duan, Investigation of the EEG Scalp Distribution for Estimation of Shoulder Joint Torque in the Upper-Limb Power Assistant System, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2016)*, PP. 1912-1917, Dec. 2016.
8. 田野, 梁宏博, 吉岡将孝, 朱赤, 上田直哉, Mirror Neuron Systemに基づいた運動情報の抽出に関する実験手法の検討, *ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016*, 1P1-12a7, 2016年5月.
9. 梁宏博, 朱赤, 吉岡将孝, 上田直哉, 田野, パワーアシストシステムを実現するための主成分分析を用いた脳波から肩関節の筋電位の推定, *ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016*, 2A2-01b6, 2016年5月.
10. 田野, 梁宏博, 吉岡将孝, 朱赤, 上田直哉, Mirror Neuron Systemに基づいた運動情報の抽出に関する実験手法の検討, 平成28年電気学会産業応用部門大会, Y-88, 2016年8月.
11. 上田直哉, 吉岡将孝, 梁宏博, 田野, 岩田悠, 朱赤, 前屈・後屈運動時における脳波の振幅変動解析, 平成28年電気学会産業応用部門大会, Y-86, 2016年8月.
12. 吉岡将孝, 梁宏博, 上田直哉, 田野, 朱赤, パワーアシストシステムの構築のための脳波を用いた筋電推定手法の提案, 平成28年電気学会産業応用部門大会, HC-2-2-31, 2016年8月.
13. 梁宏博, 朱赤, 吉岡将孝, 上田直哉, 田野, 上肢のパワーアシストシステムを実現するための脳波を用いた肩関節の表面筋電位の推定, 平成28年電気学会産業応用部門大会, PB-1-5-17, 2016年8月.

14. 吉岡将孝, 梁宏博, 上田直哉, 田野, 朱赤, Brain-Machine Interface パワーアシストシステムのための運動と関連する脳波の特徴を用いた筋電推定, 第34回日本ロボット学会 学術講演会, 3W1-05, 2016年9月.
15. 梁宏博, 朱赤, 吉岡将孝, 上田直哉, 田野, 岩田悠, Brain-Machine Interface によるロボット制御のための肩関節運動時の特徴情報の抽出, 第34回日本ロボット学会 学術講演会, 1E2-07, 2016年9月.
16. 田野, 朱赤, 吉岡将孝, 梁宏博, 上田直哉, 岩田悠, Mirror Neuron System を用いた  $\mu$  律動減衰による運動情報の抽出に関する研究, 日本福祉工学会 第19回総会・第20回学術講演会, 210, 2016年11月.
17. 梁宏博, 朱赤, 吉岡将孝, 上田直哉, 田野, 岩田悠, 脳波を用いた肩関節の筋電の推定によるパワーアシストシステムの構築, 日本福祉工学会 第19回総会・第20回学術講演会, 302, 2016年11月.
18. 吉岡将孝, 梁宏博, 上田直哉, 田野, 岩田悠, 朱赤, パワーアシストのための主成分モデルを用いた脳波による関節トルク推定, 日本福祉工学会 第19回総会・第20回学術講演会, 303, 2016年11月.
19. 吉岡将孝, 梁宏博, 岩田悠, 上田直哉, 田野, 朱赤, 脳波-筋電モデルによる関節トルク推定およびロボットアーム操作の実現, 第22回ロボティクスシンポジア, 4A3, 2017年3月.
20. 梁宏博, 朱赤, 吉岡将孝, 上田直哉, 田野, 岩田悠, 外骨格ロボットのパワーアシストを実現するための主成分分析を用いた肩関節屈曲伸展動作における脳波から表面筋電位の推定, 第22回ロボティクスシンポジア, 5B1, 2017年3月.
21. Hongbo Liang, Chi Zhu, Masataka Yoshioka, Ueda Naoya, Tian Ye, Yu Iwata, Haoyong Yu, Feng Duan and Yuling Yan, Estimation of EMG signal for shoulder joint based on EEG signals for the control of upper-limb power assistance devices, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2017), pp. 6020-6025, Singapore, ThB10.2, May. 2017.
22. Hongbo Liang, Chi Zhu, Ye Tian, Yu Iwata, Shota Maedono, Haoyong Yu, Yuling Yan and Feng Duan, Construction of Power Assistive System for the Control of Upper Limb Wearable Exoskeleton Robot with Electroencephalography Signals, IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (CBS2017), pp. 6020-6025, China, TuB3.3, October 17-19, 2017.
23. 岩田悠, 吉岡将孝, 梁宏博, 上田直哉, 田野, 朱赤, 外骨格ロボット装着時における緊張による脳波変化の基礎研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2P1-L08, 2017年5月.
24. 岩田悠, 梁宏博, 上田直哉, 田野, 朱赤, 吉岡将孝, 外骨格ロボット装着下での緊張による脳波変化の解析, 平成29年電気学会産業応用部門大会, Y-82, 2017年8月.
25. 梁宏博, 上田直哉, 田野, 岩田悠, 前殿翔太, 朱赤, Brain Machine Interface による上肢のパワーアシストスーツを制御するための肩関節の屈曲 / 伸展運動の推定, 平成29年電気学会産業応用部門大会, R2-3, 2-23, 2017年8月.
26. 田野, 朱赤, Mirror Neuron System を用いた  $\mu$  律動減衰による力情報の抽出に関する研究, 第33回ライフサポート学会大会, 2C-2-4, 2017.
27. 前殿翔太, 梁宏博, 田野, 岩田悠, 朱赤, 肘と肩の二関節運動の上肢パワーアシストのための脳波の特徴量抽出に関する基礎研究, 平成29年度第8回栃木・群馬支所合同研究発表会, ETT-18-88.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:  
 発明者:  
 権利者:  
 種類:  
 番号:  
 出願年:  
 国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:  
 発明者:  
 権利者:  
 種類:  
 番号:  
 取得年:  
 国内外の別:

〔その他〕  
 ホームページ等  
<http://www.maebashi-it.ac.jp/~zhu/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

朱赤 (ZHU, Chi )  
 前橋工科大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号: 20345482

(2)研究分担者 ( )

研究者番号：

(3)研究協力者 ( )