

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年5月17日現在

機関番号：32708

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01572

研究課題名(和文)脳卒中のリハビリを目指した粘弾性の予測と制御ができるパワーアシストと臨床応用

研究課題名(英文)Power assist and clinical application that could predict and control viscoelasticity for rehabilitation of stroke

研究代表者

辛 徳 (Shin, Duk)

東京工芸大学・工学部・准教授

研究者番号：00431982

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)：皮質脳波から運動情報と力学情報を同時に予測することに成功した。被験者は重さが異なる3種類のペットボトルを用いて指定した経由点を通る2点間の到達運動を行なった。提案手法を用いて皮質脳波から力学情報(筋電信号)と運動情報(軌道)を再現することができた。皮質脳波の電極は治療の目的で1週間しか入れないことと、1次運動野におけるケースがかなり少ないため、サルの皮質脳波を入手し、同手法に基づいて関節角度を推定した。推定した関節角度を用いて4DOFのロボットアームの制御に成功した。さらに、定常状態視覚誘発電位から3種類のパターンを認識し、3Dプリンターで製作した電動義手の制御に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

障がい者がパワーアシストや電動義手を装着して異なる重さを持つ様々な物体とインタラクションするためには物体の重さを予測し、適切な力学情報と運動情報を生体信号から推定しなければならない。本研究では提案手法により皮質脳波から筋電信号(力学情報)や関節角度(運動情報)を同時に推定することができ、予測した筋電信号や関節角度を制御に入力することでロボットアームの制御に成功した。この成果に基づいて精密な制御が可能な多関節電動義手や高齢者向きのパワーアシスト装置や脳卒中のリハビリなど臨床へ応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：We predicted kinematic and kinetic information simultaneously from electrocorticogram (ECoG). The subject performed the reaching movement between two points passing through the designated via-point with three types of plastic bottles in weight. We could reproduce kinetic information (EMG signals) and kinematic information (trajectory) from ECoG using the proposed method. Since the patient's ECG was recorded during only one week for their treatments and there were also very few cases involved the primary motor area, we used the data of monkey ECoG. We estimated the joint angle based on the same method. The 4 DOF robot arm was successfully controlled using the estimated joint angle. We also succeeded in controlling the artificial arm made with a 3D printer using steady-state visual evoked potentials.

研究分野：ブレイン・マシン・インターフェース

キーワード：リハビリテーション ブレイン・マシン・インターフェース ECoG

## 様式 C-19, F-19-1, Z-19, CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

筋委縮性側索硬化症 (ALS) 患者や事故などで脊髄の損傷により部分・全身麻痺となった高位脊髄損傷患者は身体の運動が自由にできない。近年、BMI 技術を用いれば四肢麻痺患者が念じるだけでコンピュータのカーソルなど外部機器を操作することが可能になった。最近の BMI 分野では、脳に傷をつけてしまう侵襲型 BMI ではなく、脳自体を傷つけない低侵襲計測の皮質脳波 (EcoG; 頭蓋内の脳表面から計測される微弱な電気信号) が注目されている。皮質脳波は頭皮脳波 (EEG) よりもノイズが少ないため、より高い識別精度で運動意図の推定が可能であることが示唆されている。しかし、物体を持つ単純な動作でも、脳は物体の重さを予測し、腕の粘弾性特性を連続的に変化させて、物体を受け取る自然な動作 (インタラクション) を行うので、腕の粘弾性をリアルタイムで予測しない限り自然な動作を再現することはとても難しい。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は皮質脳波から念じた運動に関する各関節の運動情報 (関節角度, 角速度など) と力学情報 (筋電信号, 関節トルク, 関節の粘弾性など) を同時に予測する手法を提案し, それを用いて電動義手やパワーアシストの粘弾性を制御する新たなリハビリテーションの基盤技術の構築を目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1) デコーディング手法の確立

提案したデコーディング手法は z-score 法を用いた特徴抽出法と変分ベイズ法を用いた線形回帰手法 (sparse linear regression) を用いて筋電信号を予測するものである (Shin et al., PLoS ONE, 2012)。本研究では重さが異なる 3 種類のペットボトルを用いた 2 点間の到達運動について, 3 人の患者の皮質脳波から筋電信号と関節角度を同時に予測した。

#### (2) ロボットアームの制御

提案した手法の有効性を確認するため 3D プリンターを用いてロボットアームとパワーアシストを製作し, オンラインシミュレーションを行った。しかし, 患者の皮質脳波は治療の目的で電極を 1 週間しか入れないことと, 一次運動野におけるケースがかなり少ないため, サルの皮質脳波のデータを入手し, 同手法に基づいて関節角度を推定した。推定した関節角度を用いて 4DOF のロボットアームの制御を行った。

### 4. 研究成果

平成 28 年度では大阪大学病院から患者のデータを入手して解析を行い, 皮質脳波から運動情報と力学情報を同時に予測することに成功した。図 1 のように 3 人の被験者は重さが異なる 3 種類のペットボトル (25g, 250g, 500g) を指定した経由点を通る 2 点間の到達運動を行なった。提案手法を用いて皮質脳波から力学情報 (筋電信号) と運動情報 (軌道) を再現することができた。この結果を学術論文誌 (Nakanishi et. al., Scientific Reports, 7:45486) に発表した。

平成 29 年度では物体とのインタラクションが可能なパワーアシストの製作を行った。3D プリンターを導入することでロボットアームの設計とプロトタイプのパワーアシストが製作できた。パワーアシストに人間のような粘弾性の性質を持たせるため, 空気圧の人口筋肉とリニアモーターが直列で繋がっているシリアル型ハイブリッド人工筋肉を考案した。この人工筋肉は空気圧によって粘弾性の調節を, リニアモーターによって筋肉の長さを制御する。さらに, パワーアシストに筋電信号の電極を埋め込む必要があるため柔らかい電極の開発もパワーアシスト製作と同時に設計を行った。この結果を国内外に発表した。

平成 30 年度ではこれまで得られた筋肉骨格系の数式モデルを使ってロボットアームやパワーアシストの制御に関して研究を行った。さらに, サルの皮質脳波のデータを入手し, 同手法に基づいて関節角度を推定した。推定した関節角度を用いて 4DOF のロボットアームの制御に成功

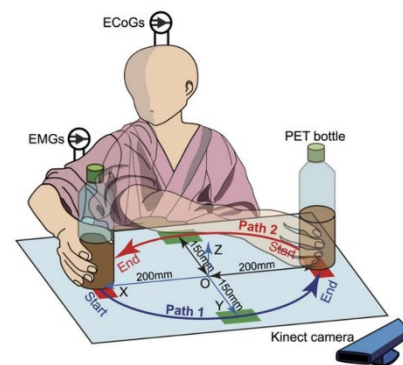


図 1 物理行動実験の様子

した。その結果を学術論文誌 (Shin et. al., Computational Intelligence and Neuroscience) に発表した。さらに、定常状態視覚誘発電位から3種類のパターンを認識し、3Dプリンターで製作した電動義手の制御に成功した。

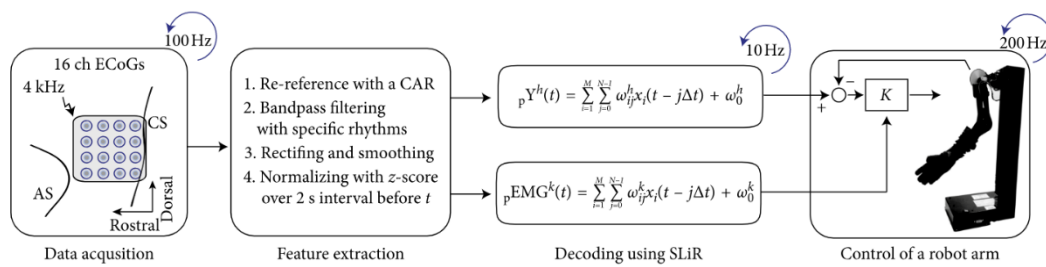


図2 皮質脳波を用いたデコーディング手法とロボットアームの制御アルゴリズム

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 5 件)

- ① Zixun He, Aya Wakabayashi, Rezenko Roman Yurievich, Masayuki Sekiguchi, Yousun Kang, Yuta Ogai, Duk Shin, Development of a Prosthetic Hand Based on Human Anatomy, International Journal of Information and Electronics Engineering, 査読有, 2019, (accepted)
- ② Zixun He, Yuusuke Watanabe, Rezenko Roman Yurievich, Yousun Kang, Yuta Ogai, Duk Shin, Development of a support robot hand system using SSVEP, IT CoNvergence PRActice (INPRA), 査読有, Vol. 6, No. 4, 2018, pp. 1-11  
<http://isyou.info/inpra/papers/inpra-v6n4-01.pdf>
- ③ Duk Shin, Hiroyuki Kambara, Natsue Yoshimura, Yasuharu Koike, Control of a Robot Arm using decoded Joint angles from Electrococtigrams in Primate, Computational Intelligence and Neuroscience, 査読有, Vol.2018, e2580165, 2018, pp.1-10  
<https://doi.org/10.1155/2018/2580165>
- ④ Kyuengbo Min, Duk Shin, Jongho Lee, Shinji Kakei, Electromyogram refinement using muscle synergy based regulation of uncertain information, Journal of Biomechanics, 査読有, Vol. 72, No. 4, 2018, pp.125-133  
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.03.020>
- ⑤ Yasuhiko Nakanishi, Takuhumi Yanagisawa, Duk Shin et. al., Mapping ECoG channel contributions to trajectory and muscle activity prediction in human sensorimotor cortex, Scientific Reports, 査読有, vol.7, e45486, 2017, pp.1-10  
<https://doi.org/10.1038/srep45486>

〔学会発表〕 (計 3 件)

- ① Zixun He, Aya Wakabayashi, Rezenko Roman Yurievich, Masayuki Sekiguchi, Yousun Kang, Duk Shin, Development of a Prosthetic Hand Based on Human Anatomy, ICMCR2019, 2019
- ② 渡辺 雄介, 何 梓遜, 米山 光, 辛 徳, 筋電信号を計測する柔らかいアクティブセンサの開発, 日本知能情報ファジィ学会, ファジィシステム シンポジウム 講演論文集, Vol. 34, pp. 312-313 2018
- ③ 何 梓遜, 渡辺 雄介, 米山 光, 辛 徳, SSVEP を用いたロボットハンド支援システムの開発, 日本知能情報ファジィ学会, ファジィシステム シンポジウム 講演論文集, Vol. 34, pp. 310-311 2018

〔図書〕 (計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 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 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

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研

究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：柳澤 琢史

ローマ字氏名：(YANAGISAWA takuhumi)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。