

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：82404

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24800087

研究課題名(和文)筋電位と脳波により運動意図を推定する作業療法用上肢アシストスーツ制御手法の開発

研究課題名(英文)Development of a control method for OT-assist suits based on EEG and EMG signals

研究代表者

川瀬 利弘(KAWASE, Toshihiro)

国立障害者リハビリテーションセンター(研究所)・研究所 脳機能系障害研究部・流動研究員

研究者番号：40633904

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円、(間接経費) 540,000円

研究成果の概要(和文)：脳波から患者の運動意図を読み取り、それに合わせて麻痺した手を機械で動かすブレイン・マシン・インタフェース(BMI)によるリハビリ装置が開発されているが、動作の遅れ、対応する運動の数の少なさなどの問題があり、患者が自分の意志で動かしているという感覚の低下につながっていた。本研究では、表面筋電位から肩・肘・手関節および把持動作中の示指MP関節の関節角度を推定する技術を開発し、脳波を用いた上肢用アシストスーツに取り入れることで、より運動意図に即した合目的的上肢動作の補助を実現した。

研究成果の概要(英文)：Biological signals are used to control robotic exoskeletons. Our research group has developed a Brain-Machine Interface (BMI)-based Occupational Therapy Assist Suit (BOTAS), which can be controlled by both electroencephalography (EEG) and electromyography (EMG) signals. We developed a new method for estimating the joint angles of the arms and hands for the BOTAS from EMG signals using mathematical musculoskeletal models. The participants could control the BOTAS empowered by the method. These results suggest that the method is potentially useful for controlling robotic exoskeletons in patients with paralyzed arms and fingers.

研究分野：人間医工学

科研費の分科・細目：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：リハビリテーション パワーアシスト 表面筋電位 ブレイン・マシン・インタフェース

### 1. 研究開始当初の背景

近年、ブレイン・マシン・インタフェース (Brain-Machine Interface, BMI) あるいはブレイン・コンピュータ・インタフェース (Brain-Computer Interface, BCI) を利用し、脳卒中や脊髄損傷の患者の四肢を本人の意図に合わせて操作するデバイス (BMI 型アシストスーツ) が開発されている [Pfurtscheller et al. 2000, Sakurada et al. 2013 等]。これらのデバイスは、日常生活動作を補助するほか、患者が行おうとする運動の結果が視覚や体性感覚を通して患者の脳に伝わることで、運動機能の回復が促進されるという期待が持たれている [Kansaku et al. 2011]。

これらのデバイスでは、運動の種類や運動開始のタイミングを患者自身が選択できるようにするために、頭皮から計測できる脳波が用いられている。しかし、脳波を用いて十分な精度で動作の識別を行うためには、動作の遅れを伴うバッファリングや、対象とする動作の種類の限定が必要であった。これらは、患者の意図する動作と実際に実行される動作の差を広げるので、リハビリ訓練にとって好ましくない点と考えられる。よって、この応答速度と運動の種類に関する問題を改善することが望まれていた。

このような問題を解決する手法として、表面筋電位を用いて運動を推定するというものが考えられる。表面筋電位は筋へ送られる神経の指令を皮膚表面上から計測したもので、ほぼ運動に関係した情報のみが含まれている。よって、脳波よりさらに正確に運動の意図を推定できると予想される。実際、過去に健常者の肩・肘や手指の動作を、表面筋電位とニューラルネットを用いて遅れ・動作の限定なしで推定している例がある [Koike and Kawato 1995 等]。また、障害で腕がほぼ動かない場合でも、表面筋電位を残存筋から検出できるケースがあり、そのような場合は障害者の運動意図を脳波より正確に取り出せる可能性がある。

### 2. 研究の目的

本研究では、障害者の肩・肘・指動作に対応した表面筋電位による運動推定技術を開発し、脳波を用いた上肢用アシストスーツに取り入れることで、より運動意図に即した合目的な上肢動作の補助ができるようにする。

### 3. 研究の方法

研究代表者の過去の研究 [Kawase et al.

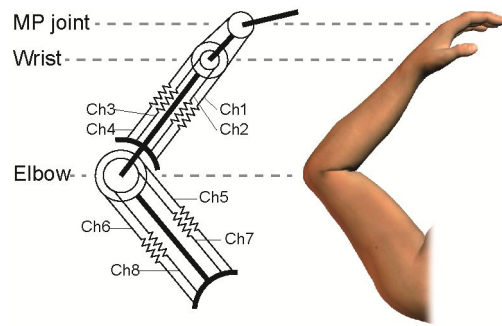


図 1 関節角度推定に用いる筋骨格モデルの概要 (肘・手関節・示指 MP 関節を対象とする場合)

2012]で開発した手関節の屈曲・伸展角度推定手法を多自由度に拡張する形で、表面筋電位から上肢の複数関節の屈曲・伸展角度を推定する手法を開発した。本手法では、数理的な筋骨格モデルを用いて筋活動と平衡位置 (筋骨格系に外力が加わらないときの関節角度) の関係を導出し、表面筋電位からこの角度を推定することを可能とする。本研究では、合計 8 チャンネルの表面筋電位電極を用い、肩・肘の屈曲・伸展計 2 自由度角度同時推定、および把持・到達運動における肘・手関節・示指 MP 関節の屈曲・伸展計 3 自由度角度同時推定が検討された。

本手法においては、筋活動は表面筋電位を全波整流し、それを過去の研究 [Koike and Kawato 1995]において導出されたインパルス応答を持つローパスフィルタに通すことで計算する。肘・手関節・示指 MP 関節の角度推定においては、皮膚上の電極において重なり合った筋からの表面筋電位が混ざって観測されることがもたらす影響を減らすことを目的に、表面筋電位に対して独立成分分析を適用した。

筋活動と平衡位置の関係は、神経科学分野における研究 [Osu and Gomi 1999, Shin et al. 2009]で使われている数理的な筋骨格モデルを通して導出された。図 1 に、肘・手関節・示指 MP 関節を推定する場合の筋骨格モデルの概要を示す。この関係を示す式を、摩擦や重力などの外力が少ない環境下で上肢を動かしたときに得られた筋活動と関節角度のデータに非線形最小二乗法でフィッティングすることにより、表面筋電位から平衡位置を推定する式を得ることができる。

実験 1 では、この手法における肩・肘の屈曲・伸展角度の推定精度を検証した (n = 3、健常者)。実験 2 では、肘・手関節・示指 MP 関節の推定精度を検証した (n = 6、健常者)。

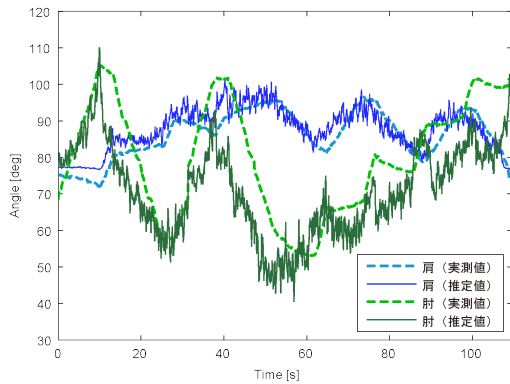


図 2 健常者の表面筋電位による肩・肘関節角度の推定例

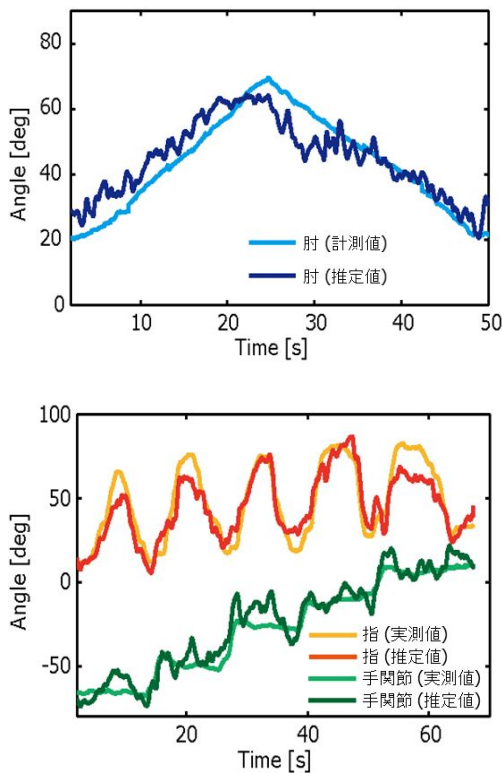


図 3 健常者の表面筋電位による肘・手関節・示指 MP 関節角度の推定例

実験 3 では、頸髄損傷患者 1 名 ( 損傷レベル C6 ) に対し、肘関節の関節角度推定精度を検証した。

#### 4 . 研究成果

実験 1 では、関節角度実測値と推定値の相関 ( 被験者間平均 ± 標準偏差 ) は、肩の屈曲・伸展角度で  $0.76 \pm 0.12$ 、肘の屈曲・伸展角度で  $0.77 \pm 0.08$  であった。推定結果の一例を図 2 に示す。

実験 2 における実測値と推定値の相関は、肘の屈曲・伸展角度で  $0.76 \pm 0.16$ 、手関節の

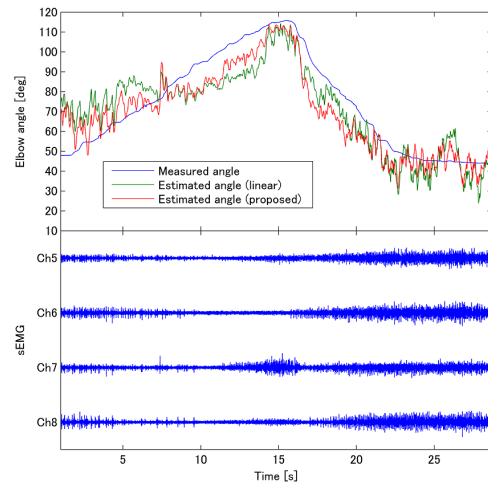


図 4 頸髄損傷患者の表面筋電位による肘関節角度の推定例

屈曲・伸展角度で  $0.87 \pm 0.08$ 、示指 MP 関節の屈曲・伸展角度で  $0.85 \pm 0.09$  であった。これらは、単純な線形回帰による推定を使った場合と比べていずれも高い値を示した。推定結果の一例を図 3 に示す。

実験 3 では、実測値と推定値の相関は、 $0.91 \pm 0.01$  となり、やはり単純な線形回帰を用いた場合より高い値を示した。推定結果の一例を図 4 に示す。

この推定手法を用いることで、研究代表者の所属する研究室で開発されている BMI 型アシストスーツ BOTAS ( BMI-based Occupational Therapy Assist Suit ) に表面筋電位を用いた制御系を構築することができた。この制御系では、装着者の表面筋電位から計測された肩・肘関節の屈曲・伸展角度に追従するようにアシストスーツの関節が制御され、また示指 MP 関節の屈曲・伸展角度によりアシストスーツ手部分の開閉が制御される。このアシストスーツを装着した健常者 6 名のうち 3 名は、ボールを皿に入れるタスクにおいて 70% 以上の試行で成功し、頸髄損傷患者 ( 損傷レベル C6、 $n = 1$  ) は 10 回すべての試行で成功した。

本研究で開発した手法を取り入れたアシストスーツにより、表面筋電位が計測可能な患者の運動意図を反映する多様な動作のアシストが実現可能で、表面筋電位の計測ができない患者に対するこれまでの脳波利用システムと併用することで、より多様な病態への対応が広がると思われる。

## 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3件)

Kawase, T., Sakurada, T., Koike, Y. and Kansaku, K., “Estimating joint angles from biological signals for multi-joint exoskeletons,” Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. (in press) (査読有)

Sakurada, T., Kawase, T., Takano, K., Komatsu, T. and Kansaku, K., “A BMI-based occupational therapy assist suit: asynchronous control by SSVEP,” Frontiers in Neuroscience, Vol.7, No.172, 2013. (査読有)

Ora, H., Takano, K., Kawase, T., Iwaki, S., Parkkonen, L. and Kansaku, K., “Implementation of a beamforming technique in real-time magnetoencephalography,” Journal of Integrative Neuroscience, Vol.12, No.3, pp.331-341, 2013. (査読有)

〔学会発表〕(計5件)

Kawase, T., Sakurada, T., Koike, Y. and Kansaku, K., “A BMI-based assist suit for paralyzed elbow and fingers controlled by EEG and EMG,” Conference on Systems Neuroscience and Rehabilitation (SNR2014), Tokorozawa, Mar 12-13, 2014. (査読無、ポスター)

Kawase, T., Sakurada, T., Koike, Y. and Kansaku, K., “A BCI-based OT-assist suit for paralyzed upper extremities: Grasping movements controlled by EEG and EMG signals,” Neuroscience 2013, 374.02, San Diego, Nov 11, 2013. (査読有、ポスター)

Kawase, T., Sakurada, T. and Kansaku, K., “A BCI-based OT-assist suit for paralyzed upper extremities controlled by EEG and EMG,” Conference on Systems Neuroscience and Rehabilitation (SNR2013), Tokorozawa, Mar 13-14, 2013. (査読無、ポスター)

川瀬利弘, 小池康晴, 神作憲司, “筋骨格モデルを使用した表面筋電位による手先位置推定,” 電子情報通信学会技術研究報告 MBE ME とバイオサイバネティクス, Vol.112, No.297, pp.21-24, 仙台, Nov 16, 2012. (査読無、口頭)

Kawase, T., Sakurada, T. and Kansaku,

K., “A BCI-based OT-assist suit for paralyzed upper extremities: A combination of EEG and EMG,” Neuroscience 2012, 682.06, New Orleans, Oct 16, 2012. (査読有、ポスター)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

なし

## 6 . 研究組織

(1)研究代表者

川瀬 利弘 (KAWASE Toshihiro)  
国立障害者リハビリテーションセンター  
(研究所)・研究所 脳機能系障害研究部  
流動研究員  
研究者番号: 40633904

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし