

令和元年6月26日現在

機関番号：12701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12993

研究課題名(和文)筋音図と感覚刺激で動作技術を教示する：体性感覚刺激駆動型ヒト-ヒトインタフェース

研究課題名(英文) Motor Skill Training Support using Mechanomyograms and Usage of Functional Electrical Estimation

研究代表者

島 圭介 (SHIMA, Keisuke)

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：50649754

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、多チャンネル加速度センサから身体運動情報と筋収縮情報(筋音図)を同時計測してユーザの関節運動を推定し、電気刺激と振動刺激を用いて筋収縮状態を再現・増幅する新たな方法論を提案した。具体的には(1)運動・筋音図の同時計測法に基づく筋収縮量と感覚刺激量の関係をモデル化し、(2)巧みな関節運動を表現・予測する関節運動モデルと動作推定ニューラルネットを提案するとともに、(3)感覚刺激による筋収縮情報伝達システムを開発し、運動に伴う筋収縮技術・力情報を伝達・訓練可能とする装置の開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高度な運動技術が求められるスポーツや自然な運動を訓練する関節運動リハビリテーションなどにおいては、適切かつ効果的な関節運動の学習・訓練が非常に重要である。複雑な身体運動は複数筋の随意的な協調収縮によって実現されるため、多数の筋を適切かつタイミングよく協調制御しなければ自然で効率的な運動を実現できない。我々が考案した技術は、スポーツなどの運動学習における複数筋の収縮状態を正確に評価し、運動意図に対応した適切な筋協調収縮状態と収縮のタイミング、力の強弱などを伝達・再現・増幅して効果的な訓練が可能である。これにより様々な運動学習に適用することが期待される。

研究成果の概要(英文)： Extensive and focused physiotherapy is needed to help individuals with disabilities, such as hemiplegics, achieve natural physical movement involving the simultaneous use of various muscles. Here the authors outline a new approach to such work involving the use of FES (functional electrical stimulation) /vibrotactile stimulations and MMG (mechanomyogram) signals to help people with hemiplegia resulting from spinal injuries or cerebrovascular accidents (CVAs) achieve such muscle contraction and to enable related evaluation. The study showed that exponential functions can be utilized to clarify the correlation between the current used for stimulation and the joint angles of the forearm. It was found that electrical/vibrotactile stimulus and MMG signals can be used to transfer muscle contraction information between individuals for supporting of motor skill training in the rehabilitation and sports.

研究分野：生体医工学，リハビリテーション科学，スポーツ科学

キーワード：機能的電気刺激 運動学習

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

高度な運動技術が求められるスポーツや自然な運動を訓練する関節運動リハビリテーションなどにおいては、適切かつ効果的な関節運動の学習・訓練が非常に重要である。複雑な身体運動は複数筋の随意的な協調収縮によって実現されるため、多数の筋を適切かつタイミングよく協調制御しなければ自然で効率的な運動を実現できない。このことから、スポーツなどの運動学習における複数筋の収縮状態を正確に評価し、運動意図に対応した適切な筋協調収縮状態と収縮のタイミング、力の強弱などを伝達・再現・増幅して効果的な訓練が実施できれば非常に有用である。

2. 研究の目的

本研究では、ユーザの運動意図と適切な筋収縮を関連付けて評価し、動作訓練において適切な介助や教示を実現する効果的な訓練支援を実現するため、多チャンネルの筋音図と振動/電気刺激を組み合わせる運動に必要な筋収縮技術の伝達・訓練を実現するヒト-ヒトインタフェースを提案する。

3. 研究の方法

リハビリテーション支援や生活支援をはじめとする人間支援機器においては、ロボットシステムをヒトが自在に制御するためのマンマシンインタフェースの構築が必要不可欠であり、従来様々な研究がなされてきた。これらはユーザのEMG信号や脳波などを利用して動作意図を高精度に推定可能であり、推定した動作に基づいて機器を制御することで自然な操作感などを与えることが可能である。ただし、2者間で関節運動などの情報伝達を行う場合にはロボットシステムなどを介する必要がある。

この問題に対し、我々は関節運動に必要な筋収縮パターンを多チャンネルのEMG信号を用いて計測し、評価した情報を機能的電気刺激として伝達するヒューマンヒューマンインタフェースを提案した(Fig. 1)。まず一方の被験者の関節運動に伴う筋収縮状態を多チャンネル電極を用いて計測し、筋協調収縮パターンと力情報を抽出する。これらをニューラルネットに入力することで、被験者が行った動作を確率的に評価する。推定した動作と筋協調情報、力情報は電気刺激モデルを介してもう一方の被験者に電気刺激として与えることで、関節運動と筋収縮を誘発させる。これにより、関節運動に必要な筋収縮情報をヒト-ヒト間で伝達可能となり、療法士-患者間のリハビリテーション支援や、運動熟練者から未熟練者への動作伝達訓練などが実施可能となる。

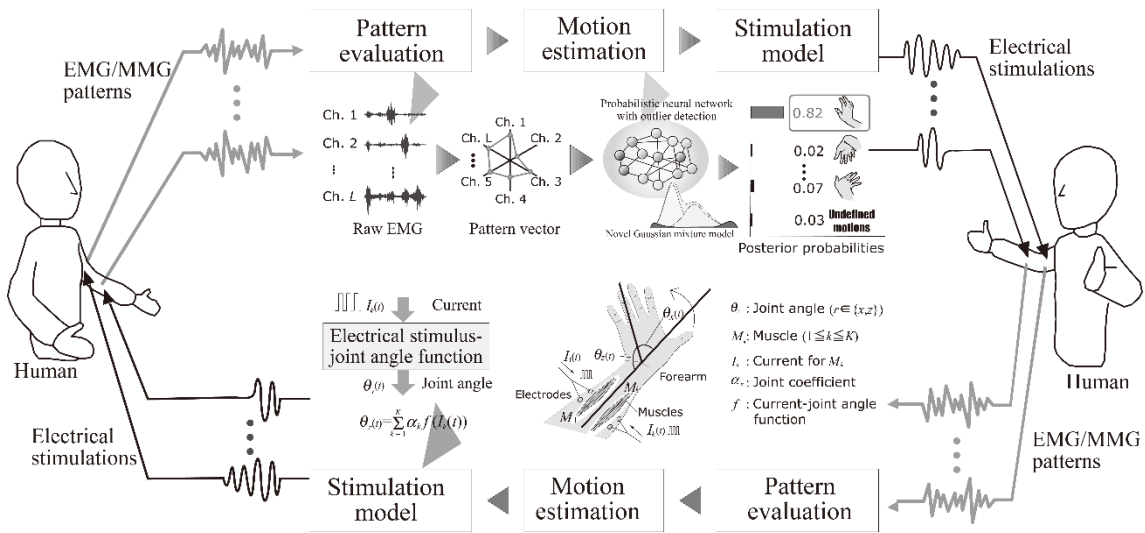


Fig. 1

4. 研究成果

(1) 電流-関節角度特性を考慮した電気刺激モデルの提案

関節運動は複数筋の協調的な収縮によって引き起こされ、電気刺激量と筋収縮量は非線形特性を有することが知られている[2]。Fig. 2(a)に被験者Aに対して電気刺激を与えた際の関節角度の計測結果の一例を示す。図は掌屈の主動筋である撓側手根屈筋を対象とした際の結果をプロットしている。電流量に対して関節角度が指数関数的に増加する非線形特性を示していることから、関節角度と電流量の関係を次式 ( $a, b, c, d$ は実数パラメータ) で

表現し、同式の逆関数を用いることで任意の関節角度を引き起こさせる電気刺激を生成して関節運動を制御できることを示した（理論値と実測

値の相関係数0.995）。

$$\theta(t) = ae^{b(I(t)-c)} + d \quad (1)$$

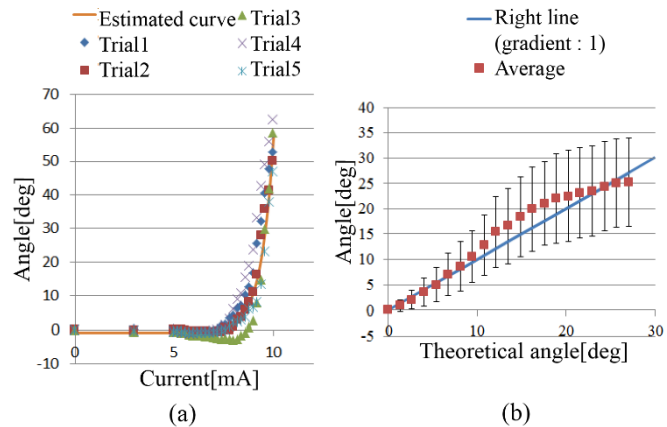


Fig. 2

## (2) FES と EMG/MMG 信号を利用した動作伝達法の実現

提案システムを用い、(1) 一方の被験者の筋収縮状態を他方の被験者に伝達(ヒト-ヒト条件)、(2) 一人の被験者の前腕に対し、片側の腕の筋収縮状態を反対側の腕に伝達(ミラー条件)、(3) 一人の被験者の僅かな動きを推定・増幅して同一部位に伝達(増幅条件)、(4) ヒト-ヒト条件下における物体の運搬タスクの伝達(運搬条件) という 4 つのケースについて有効性を検証した。それぞれのケースにおいて、筋収縮情報を評価する対象の前腕部に EMG 計測用の電極を取り付け、各動作時の EMG パターンをニューラルネットに学習させる。対象動作は、(1)–(3)では手首の掌屈、背屈、尺屈の 3 動作、(4)では肘関節の伸展動作と拇指の対立と示指の屈曲によるピンチ動作とした。刺激電極位置は解剖学的知見と予備実験により試行錯誤的に決定し、前腕および上腕にそれぞれ取り付けた。また、電気刺激を受ける被験者の被伝達部位（被刺激部位と呼ぶ）に対しては、あらかじめ電流と関節角度の関係性を調査して構築した刺激モデルに基づいて決定した位置に電極を配置した。

Fig. 3 に(1)ヒト-ヒト条件下の実験結果の一例を示す。図では、伝達側被験者が実施した手首関節動作をニューラルネットが正しく推定し、被伝達部位に前腕筋群に電気刺激が与えられ、伝達側被験者と同じ動作が誘発されている。図より、伝達される関節角度に誤差は含むものの、関節運動に必要な筋協調収縮パターンを 2 者間で伝達可能なことが示される。提案法は被伝達部位を別の被験者に限定する必要はなく、例えば同一被験者内での右腕から左腕、左足から右足、あるいは上腕から下肢など、様々な部位から部位への情報伝達が可能である。

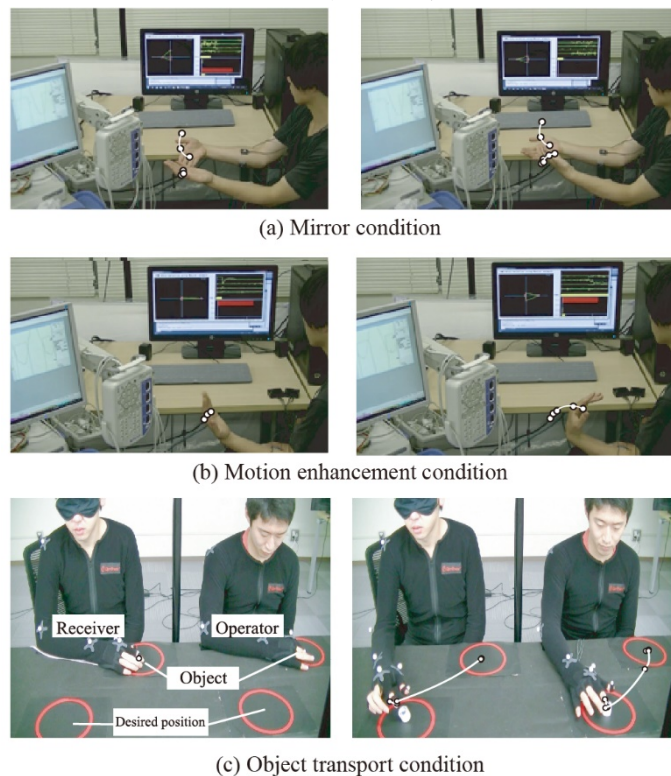


Fig. 3

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

島 圭介, 花井 宏彰, 島谷 康司

機能的電気刺激と動作推定に基づく筋電位駆動型ヒューマンヒューマンインタフェース計測自動制御学会論文集, Vol. 53, No. 1, pp. 41-47, 31 January 2017, 査読有  
DOI: 10.9746/sicetr.53.41

島 圭介, 島谷 康司

生体信号と電気刺激で運動学習を支援する

体育の科学, Vol. 69, No. 1, pp. 27-31, 2019年1月1日, 査読無

島 圭介, 島谷 康司  
筋電位と電気刺激制御に基づくヒト-ヒト間情報伝達技術  
電気学会誌, Vol.136, No.10, pp. 678-682, 2016, 査読無  
DOI: 10.1541/ieejjournal.136.678

[学会発表] (計 8 件)

亀田 賢, 島 圭介, 島谷 康司  
仮想チャネル電気刺激モデルに基づく運動点追従刺激法  
2019年電子情報通信学会総合大会講演論文集, p. 275, 早稲田大学 西早稲田キャンパス, 2019年3月19-22日

代木 陸, 島 圭介, 島谷 康司  
機能的電気刺激とEMG信号を利用した筋協調収縮型ダイレトリハビリテーション-運動スキル学習支援を目的とした関節インピーダンス伝達法-  
第19回システムインテグレーション部門講演会講演論文集, pp. 952-954, 大阪工業大学梅田キャンパス, 2018年12月13日

花井 宏彰, 島 圭介, 島谷 康司  
運動学習訓練を目的とした機能的電気刺激と筋電図・筋音図に基づく相互動作伝達法  
第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集(SI2017), pp. 791-793, 仙台国際センター, 2017年12月20日-22日

代木 陸, 島 圭介, 島谷 康司  
運動学習支援のための機能的電気刺激に基づくインピーダンス伝達法  
計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会2017講演論文集, pp. 353-355, 浜松観光コンベンションビューロー, 2017年11月25-27日

島 圭介, 宇田 和弘, 島谷 康司  
電流-関節運動特性に基づく機能的電気刺激の電極位置選定法  
ロボティクス・メカトロニクス講演会2017講演論文集, 2P2-010, ビッグパレットふくしま, 2017年5月10-13日

島 圭介, 代木 陸, 島谷 康司, 篠原 稔  
振動/電気刺激を利用した運動指導コミュニケーション  
VR学研報(共催:第2回超人スポーツ学術研究会), Vol. 21, No. SHS01, pp. 22, 北海道大学, 2016年12月18日

島 圭介  
機能的電気刺激と動作推定に基づくヒト-ヒト間ダイレトリハビリテーション  
第1回再生医療とリハビリテーション学会学術大会, 広島大学霞キャンパス広仁会館, 2018年11月23日

島 圭介  
ヒトの体性感覚刺激に基づく人間支援インタフェース  
RSJ ヒューマンセントリックロボティクス研究専門委員会第15回研究会, ふれあいラボ(糸島市社会福祉施設ふれあい), 2017年3月17日

[その他]

ホームページ等  
<http://www.bmer.ynu.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 島谷 康司

ローマ字氏名: (SHIMATANI, koji)

所属研究機関名: 県立広島大学

部局名: 保健福祉学部 理学療法学科

職名: 教授

研究者番号（8桁）：00433384

(2)研究協力者

研究協力者氏名：篠原 稔

ローマ字氏名：(SHINOHARA, Minoru)

※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。