

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 31 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656062

研究課題名（和文）機能的電気刺激によるヒトの運動学習支援システム

研究課題名（英文）Motor Control Enhancement by using Functional Electrical Stimulation

研究代表者

宮崎 文夫（MIYAZAKI FUMIO）

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

研究者番号：20133142

研究成果の概要（和文）：

本研究では、多チャンネル型機能的電気刺激（Multichannel FES）を用いてヒトの運動機能を促進する運動支援システムの開発を行った。提案システムの最大の特徴は、特定部位の皮膚表面上に数個の電極を付着させるだけで、所望の運動を実現する身体操作法について直接的な補助を受けられる点にある。従来、経験を積んだインストラクターや理学療法士によって、手取り足取り行われてきた運動教示や運動補助に代わる機能を低コストな電気刺激システムで代替することにより、スポーツコーチングやリハビリテーション分野における新たな展開が期待できる。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we developed a system which enhances human motor skills by using multichannel functional electrical stimulation (FES). The only requirement of the proposed system is to put some electrodes on the user's limbs to be assisted. Our system then provides a physical support of how to move user's limbs, electrically stimulating his muscles. This low cost system may be useful for substituting the labors of motor training performed by expert instructors and physical therapists. It would be also useful for establishing a novel teaching method in sports coaching and rehabilitation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,200,000	0	2,200,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	300,000	3,500,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：人間機械システム

1. 研究開始当初の背景

近年、脳卒中や脊髄損傷により身体に麻痺を抱えた患者の運動支援や機能代行の実現に向けた研究が盛んに行われている。特に末梢筋系を直接電気刺激することにより筋活動の活性化を促し問題の解決を図る機能的電気刺激 FES (Functional Electrical Stimulation) は重度の四肢麻痺に対して適用可能な手法として多くの注目を集め、最近では、BMI (Brain Machine Interface) に代表される脳情報や神経活動の解読から身体を直接制御する手法としても、その応用可能性が期待されている。しかし、複雑な非線形性、時変性を有する冗長筋骨格系である身体の制御法が明らかになっていない現在、本技術を適用できる範囲はごく単純な動作に限られている。

2. 研究の目的

本研究は、多チャンネル型機能的電気刺激 (Multichannel FES) を用いてヒトの運動機能を促進する運動支援システムの実現を目的とする。特に、FES を多チャンネル化することで、限られた運動動作の幅を広げ、複数筋群を同時刺激しながら身体を協調的に制御する方法の確立を目指す。提案手法の最大の特徴は、特定部位の皮膚表面上に数個の電極を付着させるだけで、手軽に運動タスクに適した身体操作法について直接的な補助を受けられる点にある。従来、経験を積んだインストラクターや理学療法士によって、手取り足取り行われてきた運動教示や運動補助と等価な機能を低コストな電気刺激システムとして実現することにより、スポーツコーチングやリハビリテーションにおいて新たな展開が期待できる。

3. 研究の方法

ヒトの身体運動を直接コントロールするのが筋電位パターンであると考え、電気刺激はその筋電位パターンを補正する役割を担う。この補正量を決定することが本研究の目的を達成するための最大の課題となる。そこで本研究では、初めにヒト随意運動における筋電位パターンと生成される運動の関係を明確にした後、実際にヒトに電気刺激を行い、刺激量(入力)と生成(出力)される運動の入出力関係のモデル化を行う。次に導出した運動制御モデルに基づき、適切な電気刺激の決定法の確立を行い、実験にてその有用性を確認する。

4. 研究成果

以下、研究期間 (2年間) を通して得られた4つの成果について報告する。

(1) 複数筋群活動と生成運動の関係の明確化

典型的な日常動作である腕の到達運動、歩行運動、走行運動を対象に、複数被験者で運動計測を行い、対象動作の標準的運動指標 (モーションキャプチャ、筋活動、手先力・足圧) のデータベースを作成した。これらの計測データを基に、申請者らの特許技術 (特願 2009-212149) を用いて、筋群活動の協調パターンを抽出し、身体運動に依存した多自由度筋協調モデルの確立を行った。図1に上肢、下肢運動の計測の様子を、図2に対象運動から抽出された筋協調パターンの例 (歩行運動) を示す。(図2右下のレーダーチャートが抽出された筋協調パターンを表している。) 本技術では、運動情報と筋活動の関係を記述するのに有用なパラメータとして、筋拮抗比・筋活性度の2つの新概念が導入されており、これらのパラメータ群と運動タスクに固有な複数筋群の活動バランスを関連づけることで筋群協調モデルを導出している。本成果は雑誌論文、学会発表、特許出願の形でまとめられている。

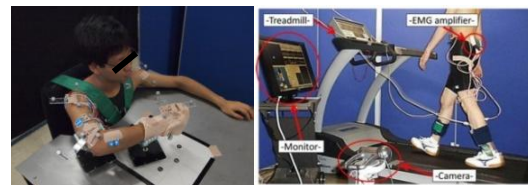


図1：随意運動時における筋電位計測 (左：到達運動、右：歩行運動)

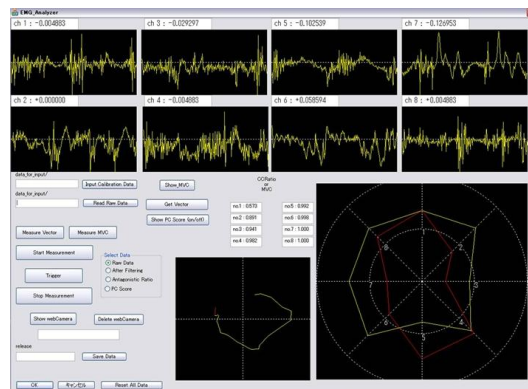


図2：筋シナジーモニター

(2) 多チャンネルFESによる電気刺激パターン/タイミングの決定

運動に応じた電気刺激 (刺激パターンとタイミング) を適切に行うには、ユーザ個人に依存した身体運動モデル (筋コマンド生成モデル) の同定が不可欠である。そこで、筋拮抗比・筋活性度の概念の下、複数筋群への電気刺激パターンとタイミングの組 (入力) を実験的に変化させることで運動支援パターンを変え、実際に行われた動作の運動情報

(出力) との入出力ペアをデータベースとして蓄えた。獲得された入出力マップは望ましい出力を生成する電気刺激入力への推定に利用できる。図3に多チャンネルFES実験の様子を、図4、5に実験で得られた入出力関係の例を示す。

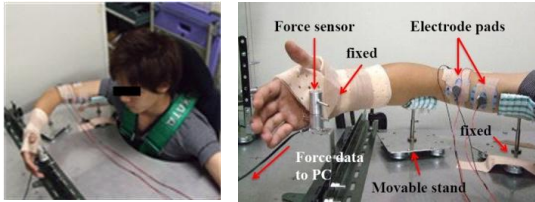


図3：多チャンネルFES実験（手先力制御）

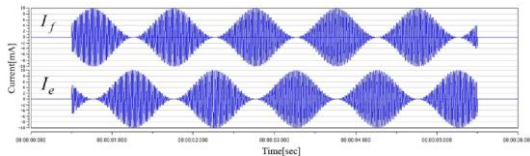


図4：拮抗筋群への電気刺激パターン

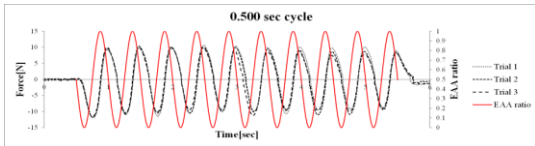


図5：筋拮抗比（入力）と手先力（出力）の関係

(3) 複数筋群への電気刺激と生成運動の関係の明確化

複数筋群への電気刺激（入力）と生成される身体運動（出力）の入出力ペアを解析することで、筋拮抗比・筋活性度の概念に基づく身体の運動支援モデルを構築した。図6は提案モデルの周波数特性を示したものである。また、本概念に基づく筋骨格ロボットの運動制御モデルとのアナロジーも明確となり、ヒトとロボットを共通の概念で考察できる可能性も示唆された。これらの成果は学会発表の形でまとめられている。

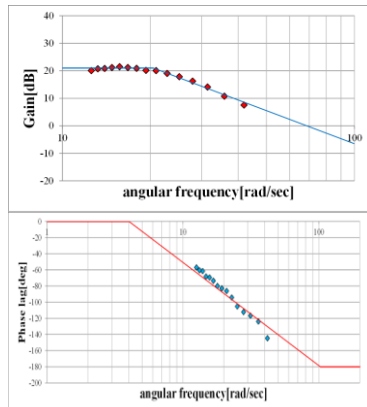


図6：多チャンネルFES入力に対する上肢の周波数特性（実線：モデル、点：実験値）

(4) 多チャンネル型機能的電気刺激によるヒトの運動支援

構築した身体運動支援モデルに基づき、上肢複数筋群をFES制御することにより、ユーザの複数筋群を互いに協調させながら肘関節を制御することに成功した。関節角の平衡点と剛性を自在にコントロールでき、ユーザに所望の運動を実現させることができる。図7は上記技術を用いて手先力の制御を行った例である。手先力の軌道（黒色）が目目標軌道（水色）によく追従していることが確認できる。本成果により、提案手法のスキルコーチング、リハビリテーションへの応用可能性が示唆された。

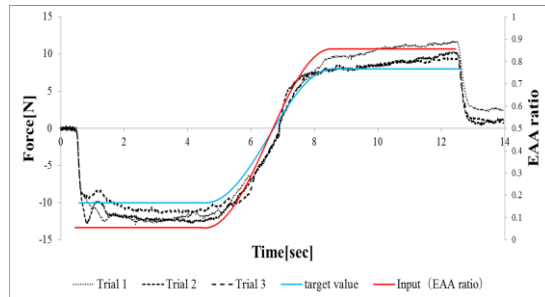


図7：多チャンネルFESによる手先力制御の支援

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計5件）

- ①平井 宏明, 飯村太紀, 井上恵太, 宮崎文夫, 筋拮抗比の概念に基づくヒト歩行動作の運動要素分解, 日本ロボット学会誌, vol.30, no. 4, 2012. (査読有) (印刷中)
- ②T. Imura, K. Inoue, H. T. T. Pham, H. Hirai, and F. Miyazaki, Decomposition of Limb Movement based on Muscular Coordination during Human Running, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, vol. 15, no.8, pp.980-987, 2011. (査読有)
- ③ファン ハン, はぎ田政利, 前田大輔, 木村真理子, 宮崎文夫, 平井宏明, 手先力制御における筋シナジーの抽出およびロボットへの実装, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), vol. 24, no.1, pp.536-544, 2011. (査読有)
- ④下平 順, 天岡侑己, 浜谷晋輔, 武内将洋, 平井宏明, 宮崎文夫, ヒトのスイング動作の解析とロボットへの移植, 計測自動制御学会論文集, vol.47, no.10, pp.485-492, 2011. (査読有)
- ⑤天岡侑己, 下平順, 平井宏明, 宮崎文夫, 主成分分析を用いたヒトのスキルの再現とロボットへの移植, 日本ロボット学会誌, vol.28, no.8, pp.989-995, 2010. (査読有)

[学会発表] (計 22 件)

- ① Y. Ariga, H. T. T. Pham, M. Uemura, H. Hirai, and F. Miyazaki, Novel Equilibrium-Point Control of Agonist-antagonist System with Pneumatic Artificial Muscles, Proc. of the 2012 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA2012), pp.3658-3663, 2012.5.15, St. Paul, USA. (査読有)
- ② K. Inoue, T. Iimura, T. Oku, H. T. T. Pham, H. Hirai, and F. Miyazaki, An Experimental Study of Muscle Coordination and Function during Human Locomotion, Proc. of the Int. Conf. Skills 2011 (SKILLS2011), 00040-p.1-00040-p.4, 2011.12.16. (査読有)
- ③ T. Iimura, K. Inoue, H. T. T. Pham, H. Hirai, and F. Miyazaki, A Preliminary Experiment for Transferring Human Motion to a Musculoskeletal Robot -Decomposition of Human Running based on Muscular Coordination-, Proc. of the 2011 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS2011), pp.4496-4501, 2011.9.29, San Francisco, USA. (査読有)
- ④ H. T. T. Pham, M. Kimura, H. Hirai, and F. Miyazaki, Extraction and Implementation of Muscle Synergies in Hand-Force Control, Proc. of the 2011 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA2011), pp.3658-3663, 2011.5.11, Shanghai, China. (査読有)
- ⑤ H. T. T. Pham, R. Ueha, H. Hirai, and F. Miyazaki, A Study on Dynamical Role Division in a Crank-rotation Task from the Viewpoint of Kinetics and Muscle Activity Analysis, Proc. of the 2010 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS2010), 2010.10.20, Taipei, Taiwan. (査読有)
- ⑥ H. Hirai, K. Matsui, T. Iimura, K. Mitsumori, and F. Miyazaki, Modular Control of Limb Kinematics During Human Walking, The 3rd IEEE RAS/EMBS Int. Conf. on Biomedical Robotics and Biomechanics (BIOROB2010), pp.716-721, 2010.9.29, Tokyo, Japan. (査読有)
- ⑦ 菱井康生, 仲嶋将史, 植村充典, 平井宏明, 宮崎文夫, 機能的電気刺激 FES を用いた筋協調性に基づく肘関節制御法の提案, 第 12 回公益社団法人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 (SI2011) 講演論文集, 2011. 12. 24, 京都大学. (査読無)

[産業財産権]

○出願状況 (計 3 件)

名称: 筋シナジー解析方法、筋シナジー解析装置、及び筋シナジーインターフェース (US 移行)

発明者: 宮崎文夫・平井宏明・河越祥平・松居和寛・中野貴之

権利者: 国立大学法人大阪大学

種類: 特許

番号: 13/395,600

出願年月日: 2012 年 3 月 12 日

国内外の別: 国外

名称: 筋シナジー解析方法、筋シナジー解析装置、及び筋シナジーインターフェース (日本移行)

発明者: 宮崎文夫・平井宏明・河越祥平・松居和寛・中野貴之

権利者: 国立大学法人大阪大学

種類: 特許

番号: 特願 2011-530848

出願年月日: 2012 年 3 月 12 日

国内外の別: 国内

名称: 筋シナジー解析方法、筋シナジー解析装置、及び筋シナジーインターフェース

発明者: 宮崎文夫・平井宏明・河越祥平・松居和寛・中野貴之

権利者: 国立大学法人大阪大学

種類: 特許

番号: PCT/JP2010/65395

出願年月日: 2010 年 9 月 8 日

国内外の別: 国外

[その他]

ホームページ

<http://robotics.me.es.osaka-u.ac.jp/MiyazakiLab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮崎 文夫 (MIYAZAKI FUMIO)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

研究者番号: 20133142

(2) 研究分担者

平井 宏明 (HIRAI HIROAKI)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・講師

研究者番号: 60388147