

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23360112

研究課題名(和文)筋シナジーの抽出・予測に基づく人と機械の融合

研究課題名(英文)A new fusion scheme for a human and a robot based on muscle synergies

## 研究代表者

宮崎 文夫 (Miyazaki, Fumio)

大阪大学・基礎工学研究科・教授

研究者番号：20133142

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、冗長筋骨格系を有する人およびロボットの運動制御や運動支援を「筋シナジー」という1つの共通概念で解釈し、筋シナジーの抽出/予測をもとに「人と機械の融合」を実現しようとするものである。冗長筋群の活動を運動タスク固有の筋シナジーと関連付けることによって、身体の運動制御モデル(中枢で生成される運動指令が筋シナジーを介して多くの筋群の活動指令に変換されるモデル)を確立するとともに、マスタ(人)の運動意図をリアルタイムに読み取り、スレーブ(機械)への運動指令に自動変換する「人と機械をつなぐ知的情報処理システム」を開発した。

研究成果の概要(英文)：A new fusion scheme for a human and a robotic system has been developed based on muscle synergies, specific patterns of muscle coactivation. We first proposed the A-A ratio (Agonist-Antagonist ratio) and A-A activity (Agonist-Antagonist activity) concepts, and used them to extract the kinematic information and stiffness information separately from EMG signals. Next, we demonstrated how to extract muscle synergies from EMG signals by applying dimensionality-reduction techniques. Finally, a framework for understanding how the CNS (Central Nervous System) uniquely specifies control commands to each muscle was presented and applied it to realize a transmission system of motor commands between a human and a robotic system.

研究分野：工学(機械工学)「知能機械学・機械システム」

キーワード：筋シナジー 運動制御 EMG

### 1. 研究開始当初の背景

少子高齢化が急速に進む現在、国民の関心は健康管理・スポーツトレーニングなど自身の身体に向けられる傾向にある。こうした中、ユーザの運動機能の支援や運動技能の評価といった熟練指導者の経験を要する作業をロボット技術で代替しようとする試みが盛んである。これらの試みにおいて、人と機械をつなぐインタフェースの構築は重要な課題の1つであり、近年注目を集めるサイボーグ技術においてもその重要性が指摘されている。人が身体を動かす際、中枢から末梢部位へ運動指令が送られるが、筋電位信号はこの指令情報を直接反映した生体信号であり、特に表面筋電位は非侵襲でユーザの運動意図を抽出できる可能性から、将来、最も実用応用が期待される信号源の1つである。しかし、筋電位信号の持つ物理的意味が明確になっていない(もしくは誤って解釈されている)現在では、様々な運動指令情報が混在する筋電位信号から運動生成に必要な情報のみを分離抽出する技術が十分に確立されておらず、その応用例は、(1)モーター駆動のトリガ信号としての利用や(2)パターン認識等の統計手法による数種類の動作識別に留まっている。一方、申請者らは「筋シナジー評価システム」として、従来手法とは全く異なる方法で、筋電位情報のみから身体各部の運動を推定・評価する方法を発明し、特許出願を行っている(特願 2009-212149)。ここでは、筋活動と運動情報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つの新概念を導入し、運動タスク固有の筋シナジーと関連づけることで、冗長筋群の活動を数個の運動パターンに圧縮し、計算コスト削減とリアルタイム処理を可能としている。

### 2. 研究の目的

新規発明事項(特願 2010-029194、国際出願 PCT/JP2010/65395)である「筋シナジー予測技術」とそのインタフェース応用に主眼を置き、先述の「筋シナジー抽出技術」(特願 2009-212149)と併用することで、タスク固有のマス(人)の運動意図をリアルタイムに読み取り、スレーブへの運動指令に自動変換する「人と機械をつなぐ知的情報処理システム」の開発を目標とする。冗長筋骨格系を有する人およびロボットの運動制御や運動支援を「筋シナジー」という1つの共通概念で解釈し、筋シナジーの抽出/予測結果を元に人と機械の融合を図る点が本システムの主な特徴である。

### 3. 研究の方法

目標の達成に向けて、研究期間では特に、以下の2項目の実現に注力する。

(1) 抽出された筋シナジーと生成される身体運動の関係から、身体の運動制御モデル(中枢において数少ないタスク変数で表現

された運動指令が筋シナジーを介して多くの筋群の活動指令に変換されるモデル)を確立する。

(2) 確立した運動制御モデルをインタフェースとして、

・融合タイプ I 「人の運動スキルの筋骨格ロボットへの移植」

・融合タイプ II 「装着型ロボットによる人の運動支援」

・融合タイプ III 「機能的電気刺激による人の運動支援」

の3種類の異なる人と機械の融合タイプにおいて、提案システムの具現化を図る。また、これらの課題の克服を通じて、冗長な筋骨格構造体の運動制御手法を確立、体系化するとともに、筋シナジーに基づく運動支援が人の運動スキル改善に効果的であることの実験実証を行う。

### 4. 研究成果

(1) 融合タイプ I 「人の運動スキルの筋骨格ロボットへの移植」

筋骨格構造を持つヒトとロボットの筋特性および駆動構造のアナロジーを考え、拮抗する筋対群への入力比と和を表す「筋拮抗比」と「筋活性度」の概念の下で、ヒトとロボットの運動制御を統一的に考察し、筋骨格ロボットを制御する筋電インタフェースを構築した。また、「筋拮抗比」と「筋活性度」が、1) 運動学および動力学を分離し操作する点で平衡点仮説に類する概念であり、2) 身体の運動学および剛性と線形な関係を保持することを明らかにした。さらに、本理論をヒトの肘関節を模した2対4筋の人工筋拮抗駆動システムに拡張し、ヒト肘関節屈伸運動のEMG から対象システムの平衡点(関節角度)を制御可能とする筋電インタフェースを実現した。本インタフェースの実現は、提案する筋拮抗比、筋活性度の概念の有用性を示すものであり、本概念を用いることで、筋骨格構造を有するヒトおよびロボットの運動制御を共通概念の下で統一的に扱うことが可能になることを示した。

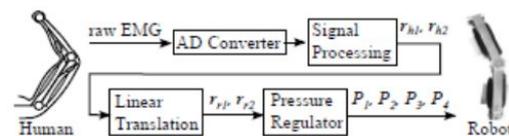
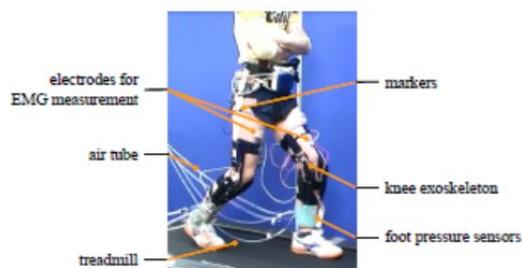


図1 EMG インタフェース

(2) 融合タイプ II 「装着型ロボットによる人の運動支援」

一般的に装具の支援法は能動的な支援と受動的な支援の2つに大別できる。近年、第3の支援法として、剛性変化による支援が注目されている。この支援法では、装具の剛性を適切に変化させることで、より運動効率を高めることができる。我々は、これらの支援法を兼ね備えた複合型支援を実現するための

装具を開発した。この装具は、装具の関節平衡軌道と関節剛性を独立に調節でき、それゆえ、ヒトの関節平衡軌道と関節剛性を独立に支援することができる。本研究では、関節平衡軌道と関節剛性の同時支援を行い、これら2つの支援法の有効性を筋活動の変化に基づき考察するとともに、複合型支援が剛性支援より人間の適応速度の点において優れている



ることを示した。

図2 筋シナジーに基づく膝装具制御システム

### (3) 融合タイプ III 「機能的電気刺激による人の運動支援」

末梢の筋を直接電気刺激することで筋活動を誘発する機能的電気刺激(FES: Functional Electrical Stimulation)が注目されている。本研究では、平衡点に寄与する電氣的筋拮抗比(EAA比)および剛性に寄与する電氣的筋活性化度(EAA活性化度)を用いたFES制御法を提案し、そのパフォーマンスを詳しく調べた。すなわち、ヒト肘関節の筋骨格系への入力: EAA比と出力: 肘関節角度の周波数特性を調べ、ヒトの運動制御に関わる神経筋系モデルと筋骨格系モデルを導出した。また、この結果に基づき、中枢神経系の活動を阻害しない形でFES制御による人の運動支援が可能となることを実証した。

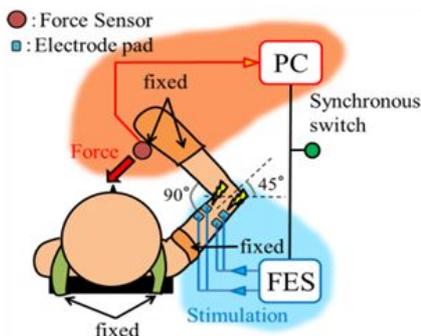


図3 FES (機能的電気刺激) システム構成

### 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28件)

松居和寛, 菱井康生, 前垣和也, 山下雄人, 植村充典, 平井宏明, 宮崎文夫, 多チャンネル型機能的電気刺激によるヒト肘関節運動の平衡点制御 - 等尺性環境下における

検証 -, 査読有, 計測自動制御学会論文集, 50(11), pp.755-762, 2014.

K. Matsui, Y. Hishii, K. Maegaki, Y. Yamashita, M. Uemura, H. Hirai, F. Miyazaki, Equilibrium-point control of human elbow-joint movement under isometric environment by using multichannel functional electrical stimulation, 査読有, Front Neurosci, 8(164): pp.1-9, 2014, doi: 10.3389/fnins.2014.00164.

H. Pham, Y. Ariga, K. Tominaga, T. Oku, K. Nakayama, M. Uemura, H. Hirai, F. Miyazaki, Extraction and implementation of muscle synergies in neuro-mechanical control of upper limb movement, 査読有, Adv Rob, 28(11): pp.745-757, 2014.

平井宏明, 飯村大紀, 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, 査読有, 日本ロボット学会誌, 30(5): pp.524-533, 2012. (日本ロボット学会論文賞受賞)

[学会発表](計63件)

T. Oku, K. Uno, T. Nishi, M. Kageyama, P. Phatiwuttipat, K. Koba, Y. Yamashita, K. Murakami, M. Uemura, H. Hirai, F. Miyazaki, H. Naritomi, "Pilot study on quantitative assessment of muscle imbalance: differences of muscle synergies, equilibrium-point trajectories, and endpoint stiffness in normal and pathological upper-limb movements, 査読有, Proc 36th Ann Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc (EMBC 2014), 5784-5787, 2014.

発表場所: Chicago (USA)

(IEEE EMBS Japan Chapter Young Researcher Award (JpCOMPEmbs14)受賞)

K. Koba, K. Murakami, T. OKU, K. Uno, P. Phatiwuttipat, Y. Yamashita, M. Uemura, H. Hirai, F. Miyazaki, "Tacit representation of muscle activities during coordination training: muscle synergy analysis to visualize motor enhancement in virtual trajectory of multi-joint arm movement, 査読有, Proc 5th IEEE RAS&EMBS Int Conf Biomed Rob Biomechatron (BioRob 2014), 270-275, 2014. 発表場所: Sao Paulo (Brazil)

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計2件)

名称: 運動解析装置, 運動解析方法及び運動解析プログラム

発明者: 宮崎文夫, 平井宏明, 植村充典, 宇

野かんな, 奥貴紀  
番号: 特願 2013-259093  
出願年月日: 2013 年 12 月 16 日  
国内外の別: 国内

名称: 脚相移行タイミング判定方法、脚相移行タイミング判定装置、歩行支援制御方法及び歩行支援装置  
発明者: 植村充典, 宮崎文夫, 平井宏明  
番号: 特願 2014-141865  
出願年月日: 2014 年 7 月 10 日  
国内外の別: 国内

取得状況 (計 1 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  
発明者: 宮崎文夫, 平井宏明, 河越祥平, 松居和寛, 中野貴之  
番号: 特許第 5158824 号 (P5158824), 2013 年 3 月 6 日発行  
国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等  
<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

(3) 研究分担者

植村 充典 (Uemura, Mitsunori)  
大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教  
研究者番号: 00512443