

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：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760186

研究課題名（和文）

タスク志向型筋シナジー評価支援システムの開発

研究課題名（英文）

Task-oriented Physical Support System with Muscle Synergy Evaluation

研究代表者

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

研究成果の概要（和文）：

本研究では、ユーザの複数筋群に生じる筋電位信号から運動を定量評価し、パフォーマンス改善へ向けた運動教示を行う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、筋拮抗比・筋活性度という新概念の下、筋シナジーを抽出し、対象運動の評価/支援を行う点にあり、ここでは、運動中の筋活動バランスの修正が運動パフォーマンスの改善に効果的であることを実験的に実証した。本研究によって得られた成果より、スポーツコーチングおよびリハビリテーションにおける新たな運動教示/支援法の確立へ展開が期待できる。

研究成果の概要（英文）：

This report describes the development of a physical support system which enhances motor skills in human voluntary movement. The main features of the proposed system are as follows: (1) The novel concepts of Agonist-antagonist muscle-pairs ratio (A-A ratio) and Agonist-antagonist muscle-pairs activity (A-A activity) are introduced for extracting muscle synergies from EMG signals of multiple flexor and extensor muscles. (2) The extracted muscle synergies are used for an evaluation of motor skills and an improvement of motor performance. We experimentally show that the modification of muscle-activity balance between agonist-antagonist muscles leads to the improvement of motor performance. Our approach would be 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	2,800,000	840,000	3,640,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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

スポーツ運動において効率的にトレーニングを行うためには、対象となる身体運動を適切に評価できる指導者が必要である。しかし指導者はスポーツ人口に比べ相対的に少なく、かつその評価方法も指導者の経験に依存し、必ずしも一定ではない。一方、対象運動を客観視して工学的に定量評価しようとする試みにおいても、その多くは運動全体のパフォーマンス、もしくは、身体に取り付けた外部センサに基づく表面的な評価に留まっている。

こうした中、近年、運動中の人体内部の筋活動をリアルタイムに推定・可視化する技術（東京大学）が公表され、身体運動のより詳細な解析や深部感覚推定への応用可能性から多くの注目を集めている。上記システムでは、主に運動学データに基づき、汎用運動時の筋張力を推定し、その可視化を可能としているが、モーションキャプチャシステム、床反力計等の大型設備が不可欠であり、一般に広く普及させることは難しい。さらに、運動評価ツールとして用いるためには、運動時の筋活動の意味を解釈し、ユーザの身体感覚に合った運動情報の提示や教示を行えることが望ましい。

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）。本技術では、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、これらのパラメータ群と運動タスクに固有な筋活動バランス（筋シナジー）を関連づけることで、冗長筋群の活動を数個の運動パターンに圧縮し、計算コストの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

本研究では、申請者らの有する上記特許技術をインタフェースへ応用することに主眼を置き、ユーザの複数筋群に生じる筋電位信号から運動を定量評価し、パフォーマンス改善のための運動教示を行う運動評価支援システムの開発を行う。提案手法の最大の特徴は、筋拮抗比・筋活性度の概念の下、筋シナジーを抽出し対象運動の評価/支援を行う点にあり、運動中の筋活動バランスの改善が運動パフォーマンスの改善に効果的な役割を担うことを実験的に実証する。本研究は筋骨格構造を有するヒト（およびロボット）の運動制御・運動支援が筋シナジーの概念で説明できることの理論構築および実験実証を目的とするものであり、スポーツ・リハビリテーション分野における新たな運動教示法の確立を目指す実用的応用研究でもある。

3. 研究の方法

研究目的の実現へ向けて、初めに随意運動中の筋電位信号からタスク志向の身体運動特性（筋シナジー）を抽出し、対象運動の評価を行う「運動評価システム」の開発を行った。その後、本評価を指標とする「運動支援システム」の開発を行い、これらのシステム開発および評価を通じて、筋活動のバランス評価に基づく運動教示/支援が運動パフォーマンスの改善に効果的であることの実験実証を行った。

4. 研究成果

以下、研究期間（2年間）を通じて得られた4つの成果を述べる。

(1) 筋シナジーに基づく運動評価システムの開発（ユーザインタフェース開発）

随意運動時の複数筋群に働く筋電位情報から特許技術を用いて筋群活動のバランス（筋シナジー）を測り、これを指標として対象運動を評価する運動評価システムを開発した。図1、2に上肢、下肢運動の筋電位計測の様子と対象運動から抽出された筋シナジーの一例（歩行運動）を示す。（図2右下のレーダーチャートが筋シナジーを表している。）本システムにより、タスク固有の筋活動バランスをリアルタイムに可視化することが可能となった。また、後述の運動支援システムへの応用を考慮に入れ、運動支援時のユーザの状況および目標達成までの支援量もグラフィカルに提示できるようにインタフェースが工夫されている。これらの成果は学会発表、国際特許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）

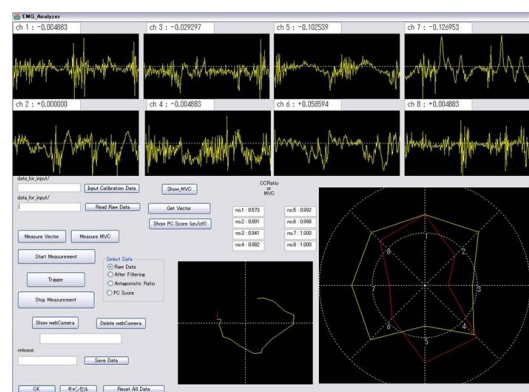


図2：筋シナジーモニター

(2) 筋シナジーに基づく運動評価システムの開発 (ロボットシステム開発)

ロボットによる物理的運動教示が運動学習に与える効果を検討するために、任意の運動教示下においてユーザの運動指令を定量的に評価できるロボットシステムを開発した(図3)。現在、提示された未知の力場下において、目標運動を実現する筋シナジーが獲得されていく過程を(1)で開発した筋シナジーモニターを通じてリアルタイムに可視化できるようになっている。本結果の一部は今5月の学会にて発表された。

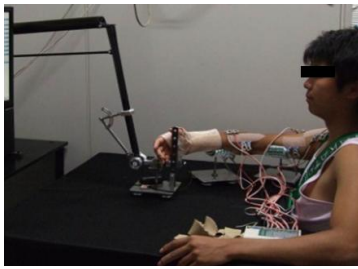


図3:力場下における到達運動

(3) 筋シナジーに基づく運動制御モデルの構築

(1) (2)で開発した筋シナジー評価システムを様々な運動タスク(上肢:到達運動、力場下における到達運動、手先力制御、下肢:通常歩行、坂道歩行・免荷歩行・走行・ペダリング)に適用し、抽出された筋シナジーと身体運動の関係を解析したところ、いずれのタスクにおいても、①2~3種類の筋シナジーによって対象運動が実現されること、②筋拮抗比・筋活性度の概念の下で抽出される筋シナジーが身体運動の機能単位となっていること、③タスク間で共通の筋シナジーが存在することが明らかとなった。さらに、これらの解析結果を基に、身体の筋シナジー制御モデルを構築し、筋骨格ロボットにてその妥当性を検証した。右図は、人のペダリング運動から抽出した筋シナジー(図4)を筋骨格ロボットへ移植した例(図5)である。現在、提案モデルを介し、人の筋群と同様な仕組みでロボットのアクチュエータ(人工筋肉)群を駆動させることで、人の巧みな運動を再現することに成功している。上記結果は、学術論文および国内外の学会発表にまとめられている。

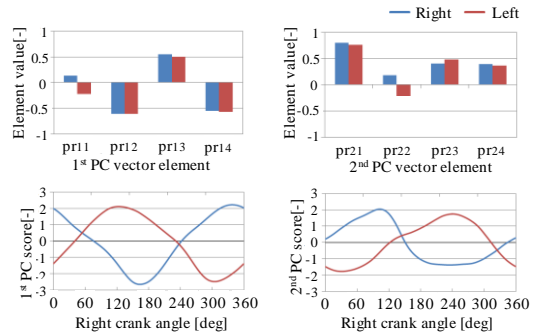


図4:ペダリング運動における筋シナジー (筋拮抗比)

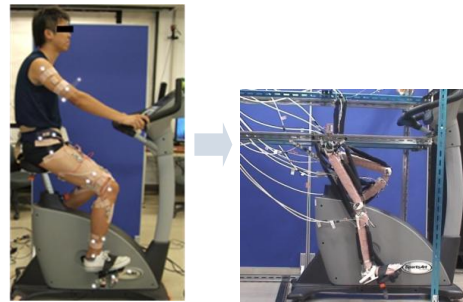


図5:人から抽出された筋シナジーを筋骨格ロボットへ移植

(4) 筋シナジー評価に基づく運動支援システムの開発と評価

歩行運動の支援に焦点を当て、ユーザの膝関節運動を力学的に支援するロボット装具を開発し(図6)、その運動支援効果について筋シナジーの観点から評価を行った。現在、人工的に操作できる筋対群をロボット装具として外的に付加し、筋拮抗比・筋活性度の概念の下で適切に制御することで、人に内在する筋群の活動を支援することに成功している。図7は装具の筋活性度調整に伴う人の筋シナジー変化を示したものである。本例の場合、装具装着0分後、5分後のいずれにおいても、運動学及び床反力に大きな差は見受けられなかったが、筋群バランスにはその変化が顕著に認められた。ユーザ自身も歩きやすさに差異を感じており、筋シナジーが運動支援効果の指標になり得ることが確認された。現在、得られた成果を元に学会発表へ向けた準備を行っている。

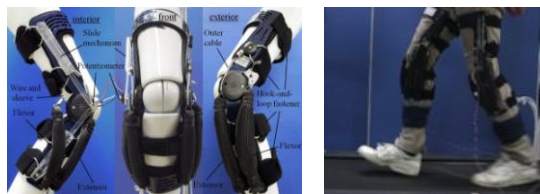


図6:膝関節ロボット装具による歩行支援

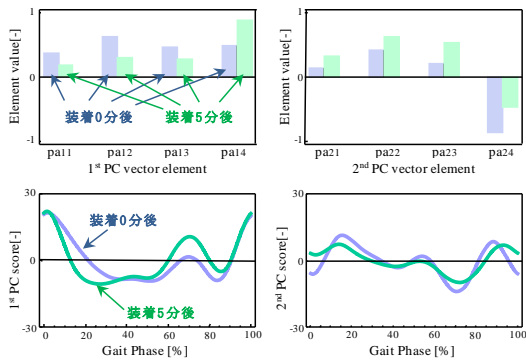


図7：ロボット装具歩行による筋シナジーの変化（筋活性度）

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. Iimura, 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, はざ田政利, 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 (日本知能情報フレンジ学会誌), 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）

- ①Y. 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)
- ②K. 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)

- ③T. 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)
- ④H. 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)
- ⑤H. 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)
- ⑥H. 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)

〔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

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

(2) 連携研究者

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

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