

筋シナジーに基づく運動支援インタフェースの開発

A Human-machine Interface for Enhancing Motor Skills through Muscle Synergy Evaluation

2011016



研究代表者 大阪大学 大学院 基礎工学研究科 講師 平井 宏 明

共同研究者 大阪大学 大学院 基礎工学研究科 教授 宮崎 文 夫

【研究の目的】

本研究は、冗長筋骨格系を有するヒトおよびロボットの運動制御や運動支援を「筋シナジー」の概念で解釈し、その抽出・予測結果をもとにヒトと機械の調和を考察するものである。ここでは、筋拮抗比・筋活性度の2つの新概念を導入し、冗長筋群の活動を運動タスク固有の筋シナジーと関連づけることで、(1) 身体の運動制御モデルを確立するとともに、(2) マスタ(ヒト)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変換する「ヒトと機械をつなぐ知的インタフェース」の開発を行う。本課題では、運動生理学の未解決問題であるベルンシュタイン問題への解決の糸口を筋シナジーに基づく階層制御モデルとして提示し、これをインタフェースとすることでヒトと機械の融合の具現化を図る。

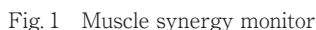
【研究の内容、成果】

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、ユーザの運動技能の評価や支援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によって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、ヒトと機械をつなぐインタフェー

スの構築は重要課題の1つであり、現在、その技術の進展が期待されている。こうした中、近年、申請者らは随意運動中の筋電位信号から筋シナジーを抽出し、中枢神経系が選択する身体の運動解、および、運動実現のための運動戦略や適応過程をリアルタイムに可視化できる「筋シナジー抽出・予測技術」を発明している。本研究では、この独自技術をヒトと機械のインタフェースに応用することで、ヒトの身体運動の評価・支援を行う知的システムの実現を目的とし、筋シナジー評価に基づき、身体運動を力学的に支援するロボットシステムの開発を行った。特に、期間内では以下の3課題を行ない、筋シナジー技術の有用性について良好な結果を得た。

筋シナジーに基づくヒト随意運動の評価

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。Fig.1は、ヒト歩行運動時の筋電位信号より抽出した筋シナジーを示したものである。(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でき、筋バランスの観点から対象運動の良し悪しを評価することができる。また、後述の運動支援システムへの応用も考慮に入れ、運動支援時のユーザ状況



筋骨格構造体のシナジー制御

Fig. 2 Muscle synergies extracted from human pedaling

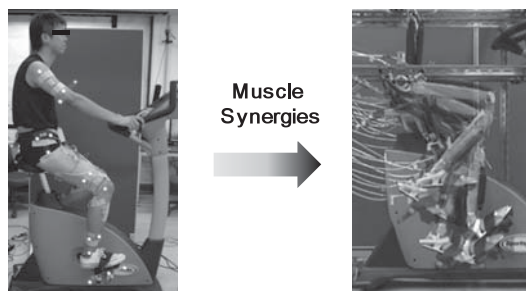


Fig. 3 Implementation of human muscle synergies into a musculoskeletal robot

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、ヒトの巧みな運動を再現することに成功している¹¹⁾。なお、これらのコアとなる技術については特許出願（PCT 国際出願移行手続）し、国際的な知的財産権の確保を行っている^{12,13)}。

筋シナジーに基づく運動支援システムの開発

筋シナジーに基づく運動制御モデルをインタフェースとして、ヒトの運動評価・支援を行うロボットシステムの開発を行った。ここでは歩行運動に焦点を当て、膝関節運動を力学的に支援するロボットシステム (Fig. 4) を開発し、

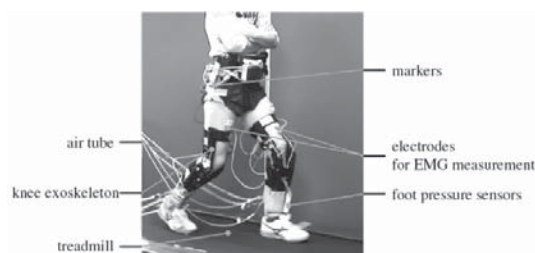


Fig. 4 Human walking with exoskeleton assistance

その運動支援効果について筋シナジの観点から評価を行った¹⁰⁾。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 (Fig. 5)。Fig. 6 は装具の筋活性度調整 (剛性調節) に伴うヒトの筋シナジー変化を示したものである。ヒトが装具支援に適応するにつれて、下肢筋群および人工筋群の活動バランスに変化が生じ、活動の多くを占める筋協調パターン 1 (寄与率 76%) において、人工筋群への依存度 (p_{a15}) が高くなる傾向にあることが分かる。また、このとき筋群全体の平均活動量は確かに減少しており運動支援に効果があったことが確認できる (Fig. 7)。以上より、筋シナジーが運動支援効果の新たな指標になり得ることが確認された。今後は多くの被験者で開発システムの検証実験を行い、実用化へ向けた実証データの取得を行う。また運動支援法の改善により、より効果的な結果を得られる可能性もあり、更なる研究の余地がある。

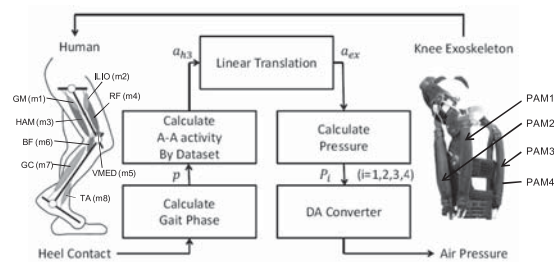


Fig. 5 Signal flow in the exoskeleton control system

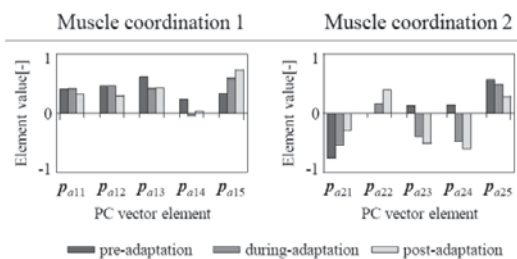


Fig. 6 Change in muscle synergies during walking with exoskeleton assistance

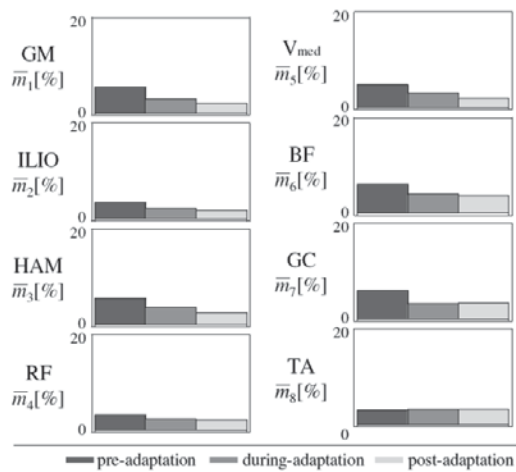


Fig. 7 Average of % MVC of lower limb muscles during walking with exoskeleton assistance

[今後の研究の方向]

本研究で得られた要素技術をもとに、実用化に向けた技術開発へ展開を図る方針である。応用用途としては、(1) スポーツコーチングやリハビリテーションにおけるユーザの運動技能評価や支援、(2) 新たなコーチング・リハビリテーション手法 (運動技能支援法) の確立、(3) 運動機能を支援する各種商品の支援効果の定量評価が考えられる。現在、提案技術の実用化へ向けて、以下の研究体制を整えている。

・スポーツウェアの開発と評価

大手スポーツ用品メーカーと共同研究の契約締結を行っている。今後、筋シナジーの視点を取り入れたスポーツタイツやスポーツサポーターの開発に向けて研究を進める予定である。

・リハビリテーションへの応用

リハビリ専門病院と共同研究を始める予定となっている。現在までに培ってきた基礎技術のリハビリ現場への応用が期待される。今後は、筋シナジーの概念を「運動技能の支援」のみならず「運動学習の支援」へ展開を図り、既存の知的財産の価値を高め、拡張していく予定である。

[成果の発表, 論文等]

学術論文

- 1) 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, 2012.
- 2) 平井宏明, 飯村太紀, 井上恵太, 宮崎文夫: 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. 5, pp. 524-533, 2012.
- 3) T. 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, No. 15, Vol. 8, pp. 980-987, 2011.

国際会議

- 4) H. T. T. Pham, M. Kimura, H. Hirai and F. Miyazaki: Extraction and Implementation of Muscle Synergies in Hand-Force Control, Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2011), pp. 3658-3663, 2011.
- 5) 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 —, Proceedings of the 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2011), pp. 4496-4501, 2011. (IEEE Robotics and Automation Society Japan Chapter Young Award)
- 6) 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, Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2012), pp. 1470-1475, 2012.

- 7) Y. Ariga, D. Maeda, H. T. T. Pham, M. Uemura, H. Hirai and F. Miyazaki: Novel Equilibrium-Point Control of Agonist-Antagonist System with Pneumatic Artificial Muscles: II. Application to EMG-based Human-machine Interface for an Elbow-joint System, Proceedings of the 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012), 2012. (accepted)

他 1 件

国内会議

- 8) 井上恵太, 飯村太紀, 奥 貴紀, 植村充典, 平井宏明, 宮崎文夫: ヒトのペダリング運動における筋協調解析, 第 12 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 (SI2011), pp. 1666-1668, 2011. (優秀講演賞受賞)
- 9) 奥 貴紀, 井上恵太, 植村充典, 平井宏明, 宮崎文夫: ペダリング運動における筋協調解析と筋骨格ロボットへの移植, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集 (ROBOMECH2012), 2A2-F04, 2012.
- 10) 前田大輔, 富永健太, 奥 貴紀, 植村充典, 平井宏明, 宮崎文夫: EMG 変化に基づく剛性支援へのヒトの運動適応 —— 空気圧人工筋を用いた拮抗駆動型膝関節装具の応用へ向けて ——, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, 2012.

他 8 件

その他

- 11) 日経産業新聞, 2012 年 5 月 28 日 11 面記事.
- 12) 特許出願: 宮崎文夫, 平井宏明, 河越祥平, 松居和寛, 中野貴之: 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), 13/395, 600.
- 13) 特許出願: 宮崎文夫, 平井宏明, 河越祥平, 松居和寛, 中野貴之: 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), 特願 2011-530848.