

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：84506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26462242

研究課題名(和文)筋シナジーモデルに基づく5指駆動型電動義手制御法の提案と筋電義手処方支援

研究課題名(英文) Development of a control method for a myoelectric prosthetic hand with independently driven five fingers based on the muscle synergy model

研究代表者

陳 隆明 (Chin, Takaaki)

兵庫県立福祉のまちづくり研究所・その他部局等・所長

研究者番号：20437495

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、複雑な5指動作を再現可能な筋電義手(以下、5指義手)と筋電制御方法およびバーチャルリアリティ技術を応用したトレーニングシステムを開発した。そして、最終的に3Dプリンタとマイクロコンピュータを用いた新たな5指駆動型筋電義手を試作し、多くの動作を再現可能な筋電義手を実現した。本研究では、人間の複雑な5指の動作は複数の基本動作(筋シナジー)の組み合わせによって表現できるという考えに基づく動作識別法を導入することによって、複雑な5指動作の識別を可能にした。また、開発したトレーニングシステムでは、バーチャル環境下で仮想物体を把持・解放などの訓練を行うことが可能である。

研究成果の概要(英文)：This study proposed a control method for a myoelectric prosthetic hand capable of performing multiple motions and a training system for myoelectric prosthetic hand control using virtual reality (VR) technology. A myoelectric prosthetic hand was also developed by using a 3D printer and a microcomputer. The developed myoelectric prosthetic hand can discriminate multiple motions by using a discrimination method based on the muscle synergy model. The proposed training system allows the amputees to practice grasping/releasing objects in a VR environment.

研究分野：整形外科、リハビリテーション

キーワード：筋電位 筋電義手 バーチャルリアリティ トレーニング 相互学習 ニューラルネット

### 1. 研究開始当初の背景

現在、上肢切断者の生活支援の一環として、最新のテクノロジーを駆使した義手である筋電動義手(以下、筋電義手)が用いられてきている。筋電義手は、断端の筋収縮に応じて発生する筋電位信号を用いて、ハンドの開閉を可能とする [ MyoBock, OttoBock Corp. ]。しかしながら、その機能は単純なハンドの開閉のみに留まり、人の手の如く複雑な動作を行えるまでの機能には至っていない。近年では多指関節機構を有する(指の各関節が曲がる)ハンドの開発が企業や大学の研究所で行われており、我々の研究グループもこれまでに電動義手の試作を行っている。しかしながら、計測した筋電位信号から操作者の意図を正確に識別する手法において課題を有する。特に5指で表現できる動作を考えると、その組み合わせは膨大になり、システムの学習の負担が増大してしまう。そのため、すべての動作をシステムに学習をさせて、識別を行うことは非常に困難である。また、切断者の意図した動作が識別できたとしても、その動作を実生活において自らの手のようになめらかに操作できるようになるためには訓練が必要不可欠であるが、5指を独立駆動可能な筋電義手を対象として、高度な作業訓練を実施できるトレーニングシステムは存在しない。そこで、本研究では、これらの課題に対して、「筋シナジー」(筋の活動を調整する構成単位)の概念に基づく新しい5指動作の識別法の構築と筋電義手操作のためのトレーニングシステムを開発を行う。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、上肢切断者の quality of life(以下、QOL)を向上させることである。そのために、人の手の如く複雑な動作を再現可能な5指駆動型筋電義手(以下、5指義手)の開発を行う。本研究では、複雑な動作を再現可能な筋電義手を実現するために計測した筋電位信号から操作者の意図を正確に識別する手法を構築する。また、切断者が実生活において筋電義手を自らの手のようになめらかに操作できるようにするためのトレーニングシステムを開発する。そして、開発した5指義手の実用化に繋げるために、義手に用いられる装置の大きさ、携帯性、メンテナンス性を考慮した新しい5指義手の開発を行う。

### 3. 研究の方法

本研究では、「筋シナジー」(筋の活動を調整する構成単位)の概念に基づく新しい5指動作の識別法を提案し、5指を独立駆動可能な筋電義手の知的制御を行う。提案法は計測した筋電位信号から5指動作を構成する基本となる動作(例えば、各指の屈曲)のみを学習させ、それらを組み合わせることで、5指の複雑な動作を推定し、識別を行う。これによって、従来の識別手法における課題であ

った義手の動作数の増大に伴うシステムの学習の負担の問題を解決する。また、バーチャリアリティ技術を応用してバーチャル5指義手(以下、バーチャルハンド:VH)を作成し、実生活を模擬した作業訓練が可能なトレーニングシステムを構築する。開発したトレーニングシステムの有効性を確認するためにトレーニング実験を行う。最終的には、複雑な動作を実現可能な実物の5指義手を開発する。

### 4. 研究成果

本研究では、多くの指動作を精度良く制御可能な筋電義手を実現するために、(1)筋シナジーモデルに基づく5指駆動型のバーチャル筋電義手および筋電義手操作トレーニングシステムの開発と(2)5指駆動型筋電義手の開発および5指義手の動作特性と操作性の調査(3)3Dプリンタとマイクロコンピュータを用いた5指駆動型筋電義手の開発について検討を行った。

研究成果(1)筋シナジーモデルに基づく5指駆動型のバーチャル筋電義手および筋電義手操作トレーニングシステムの開発

5指を独立して駆動可能な筋電義手を自在に操作できるようにするためのトレーニングシステムについて検討を行った。

トレーニングシステムを構築するために、VR環境下に5指を独立駆動可能なVHを作成した。開発したVHの5指の動作識別では、人間の複雑な5指の動作は複数の基本動作(筋シナジー)の組み合わせによって表現できるという考えに基づき動作識別を行う。まず、時系列筋電位パターンに含まれる筋シナジーを抽出し、リカレントニューラルネットに訓練者の筋電位と5指動作を構成する筋シナジーの関係性を学習させることで、5指を独立制御可能なVHを開発した。開発したVHを用いて、5指義手を自在に操作するために必要な筋収縮、筋強調、把持力の制御訓練が可能なトレーニングシステムを開発した。開発したトレーニングシステムでは、VHを用いて、円柱などの仮想物体を把持・解放訓練をすることが可能である。さらに、把持力に応じて仮想物体が落下する、破壊されるといった挙動を再現可能とした。これによって、より現実に近い環境を構築し、より複雑なタスクを仮想環境上で行うことを可能とした[日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2015]。

さらに、より現実に近い訓練環境を実現するために没入型のVRトレーニングシステムを提案した。提案システムはヘッドマウントディスプレイOculus Rift DK2を用いることで、没入型のVR環境を構築した。提案システムでは、3D映像を表示して訓練を行うことが可能である。さらに、訓練者の頭の動きに同期して仮想空間内の視点の動きが変化する機能を実現し5指義手のためのトレーニ

ングシステムを開発した。健常成人男性1名を対象として動作確認実験を行い、仮想環境内で、仮想物体（ブロックや球体など）を把持し、移動させて解放する訓練を実施することが可能であることを確認した。

[AOSM2014&ISR, i-CREATE2016]。

訓練効果をより高めるためには、切断者個々の操作能力に応じて訓練の難易度を調整することが望ましいと考えられる。そこで、切断者個々の操作能力に応じた訓練が可能なシステムを構築した[日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014]。提案システムは、確率ニューラルネットを用いており、各動作の事後確率の相関から切断者が安定して筋電位パターンを発揮できる動作を選定することによって、訓練の難易度を自動調整することが可能である。開発したシステムの訓練効果を確認するために切断者1名を含む被験者10名を対象にトレーニング実験を実施した結果、識別率の有意な向上を確認し、開発したトレーニングシステムによって、安定した義手制御を習得できる可能性を確認した[日本ロボット学会誌]。

研究成果(2)5指駆動型筋電義手の開発および5指義手の動作特性と操作性の調査

複雑な5指の動作が可能な実物の5指義手の開発および開発した5指義手の動作特性と操作性の調査を行った。開発した5指義手は、確率ニューラルネットによる動作の識別法を導入しており、多くの動作（摘まむ、ピース、握る、開く、背屈、掌屈など）を識別することが可能であり、識別結果に応じて義手の動作を制御することが可能である。また、開発した5指義手の5指の動作においては、インピーダンス制御に基づいて関節角度を制御することで、自然な動作を再現することを可能とした。また、開発した5指筋電義手は把持力増大機構を有する。さらに、開発した5指義手の操作性を確認するために把持力と指先の動作速度の動作特性調査を実施した。その結果より、開発した5指義手は素早い5指動作と高い把持力の双方を兼ね備えていることを確認した。

健常者を対象とした操作実験を行い、筋電位信号に基づいて5指を独立して制御可能であることやアルミ缶を握りつぶすことが可能なほどの把持力を有することを確認した[Advanced Robotics 2015]。

研究成果(3)3Dプリンタとマイクロコンピュータを用いた5指駆動型筋電義手の開発

開発した5指義手を実用化するためには、義手に用いられる装置の小型化、メンテナンス性の向上、コストの低価格化が求められる。そこで、本研究では、3Dプリンタとマイクロコンピュータ mbed LPC1768 を用いることで、従来の筋電義手の課題であった携帯性、メンテナンス性、開発コストを改善した。開発した5指義手は各指にそれぞれワイヤが張られ

ており、各ワイヤに対して DC モーターを一つずつ取り付け、そして、合計5つのモーターを回転させることによって、ワイヤの張力を発生させ、5指の独立制御を行う。5指動作の制御では、筋電位信号から筋力情報を推定し、推定した筋力情報に応じてインピーダンス制御を行う。これによって、人の手を模した滑らかな5指の動きを再現することを可能とした。実験では、健常成人男性1名を対象として動作確認実験を行い、筋電位信号から推定される筋力情報に応じて5指の滑らかな制御が行えることを確認した[第25回計測自動制御学会中国支部学術講演会]。

## 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2件)

Takeshi Takaki, Keisuke Shima, Naohisa Mukaidani, Toshio Tsuji, Akira Otsuka and Takaaki Chin, "Electromyographic Prosthetic Hand Using Grasping-Force-Magnification Mechanism with Five Independently Driven Fingers", Advanced Robotics, 査読有り, Vol. 29, No. 24, pp. 1586-1598, DOI:10.1080/01691864.2015.1079502, 2015.

芝軒 太郎, 中村 豪, 渡橋 史典, 早志 英朗, 栗田 雄一, 高木 健, 本田 雄一郎, 溝部 二十四, 陳 隆明, 辻 敏夫, "バーチャルハンドを利用した相互学習型筋電義手トレーニングシステム", 日本ロボット学会誌, 査読有り, Vol. 34, No. 6, pp. 404-410, 2016.

### [学会発表](計5件)

Go Nakamura, Taro Shibasaki, Keisuke Shima, Yuichi Kurita, Yuichiro Honda, Takaaki Chin and Toshio Tsuji, "Development of a Virtual Training System for Myoelectric Prostheses", The Asian Prosthetic and Orthotic Scientific Meeting 2014 in conjunction with The Second Meeting of the International Society for Restorative Neurology (AOSM2014&ISR), 2014, Taipei International Convention Center, Taipei

渡橋 史典, 芝軒 太郎, 栗田 雄一, 島谷 康司, 長谷川 正哉, 大塚 彰, 中村 豪, 本田 雄一郎, 陳 隆明, 辻 敏夫, "バーチャルリアリティを利用した相互学習型筋電義手トレーニングシステム", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2014年5月25-29日, 富山市総合体育館(富山市湊入船町),

富山

江藤 慎太郎, 渡橋 史典, 早志 英朗, 中村 豪, 芝軒 太郎, 高木 健, 栗田 雄一, 本田 雄一郎, 陳 隆明, 辻 敏夫, バーチャルリアリティを利用した5指駆動型筋電義手のためのトレーニングシステム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2015年5月17-19日, 京都市勧業館「みやこめっせ」(京都市左京区岡崎成勝寺町), 京都

Go Nakamura, Taro Shibanoki, Futoshi Mizobe, Akito Masuda, Yuichiro Honda, Takaaki Chin and Toshio Tsuji, "A High-fidelity Virtual Training System for Myoelectric Prostheses Using an Immersive HMD", 10th international Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology (i-CREATE 2016), PP5.2, July 25-28, 2016, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok

江藤 慎太郎, 早志 英朗, 中村 豪, 栗田 雄一, 陳 隆明, 辻 敏夫, 3Dプリンタを利用した5指駆動型筋電義手の開発とバイオミメティック制御の導入, 第25回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, 第25回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文, 2C-4 pp.130-131, 2016年11月26日, 広島大学 教育学部L棟 (広島県東広島市鏡山1丁目1番1号), 広島

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等:なし

記事:「G7神戸保健相会合を前にフェア iPS など紹介」(義手の訓練システムを体験する女性参加者)

神戸新聞 2016年9月8日

展示:国際フロンティア産業メッセ2016 健康・医療特別展示(G7保健大臣会合展示会)

神戸国際展示場 2016年9月8-11日

6. 研究組織

(1)研究代表者

陳 隆明(CHIN Takaaki)

兵庫県立福祉のまちづくり研究所・その他  
部局等・所長

研究者番号:20437495

(2)研究分担者

本田 雄一郎(HONDA Yuichiro)

兵庫県立福祉のまちづくり研究所・その他  
部局等・特別研究員

研究者番号:40568458

大塚 彰(OTSUKA Akira)

広島都市学園大学・健康科学部・教授

研究者番号:50280194

中村 豪(NAKAMURA Go)

兵庫県立福祉のまちづくり研究所・その他  
部局等・特別研究員

研究者番号:50707403

芝軒 太郎(SHIBANOKI Taro)

茨城大学・工学部・講師

研究者番号:70711290

辻 敏夫(TOSHIO Tsuji)

広島大学・工学研究院・教授

研究者番号:90179995

黒坂昌弘(KUROSAKA Masahiro)

神戸大学・医学研究科・教授

研究者番号:70170115

秋末 敏宏(AKISUE Toshihiro)

神戸大学・保健学研究科・教授

研究者番号:90379363