

## 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 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：32657

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22700579

 研究課題名（和文） 筋電・ケーブル混成インタフェースと精密・力把持機能を有する  
電動義手の開発

 研究課題名（英文） Development of a Powered Prosthesis with Hybrid Interface for  
Precision and Powered Grasp Function

研究代表者

大西 謙吾（OHNISHI KENGO）

東京電機大学・理工学部・准教授

研究者番号：70336254

研究成果の概要（和文）：

義手の手先具の開閉を行う各々独立した2体系である筋電制御方式と Bowden ケーブル方式を融合したハイブリッド方式を提案することで、多機能義手に新たな操作体系と義手ハンドのメカニズムを確立し、より作業性に富んだ義手の可能性を調査する。筋電制御方式と Bowden ケーブル方式の義手ハンドの把持力調整能力を調査する実験を行い、精密・力把持機能を有する義手ハンドのメカニズム開発のための仕様を定める。実験は、筋電位制御式と Bowden ケーブル制御式に対し、健手も含めた把持力調整能力の比較実験を行い、その被験者の時系列データと 10 名の被験者の整定時間、目標把持力が維持されるまでに一定把持力を保った回数、各目標把持力に対する試行中の最大把持力の比の 3 指標について平均と偏差の結果から両制御系の特徴を分析した。同結果を基に、義手の筋電・Bowden ケーブルハイブリッド制御系を共存させる指の駆動メカニズムを設計、試作、筋電位制御式、Bowden Cable 制御式、健手との比較実験を行い、筋電・Bowden ケーブルハイブリッド制御系義手ハンドを設計し、作業に応じて精密把持と力把持を選択できるヒューマン-メカトロニクス・インタフェースと多機能義手ハンドの確立を目指す。

研究成果の概要（英文）：

Myoelectric control and Bowden cable control system are the 2 major terminal device control method for the upper limb prosthesis. Our objective is to propose a hybrid controller composed of the myoelectric control and Bowden cable control for developing a multifunctional upper limb prosthesis to enhance the workability. To investigate the functionality of the myoelectric and Bowden cable control methods and determine the specification of the new controller, the adjustability of prehension force is measured through experiment. In the experiment, prehension force is measured in timeline for the intact hand, myoelectric controlled prosthetic hand, and Bowden cable controlled hook-type terminal device. Data collected from 10 subjects are evaluated by 3 indices: setting time, number of regripping repetition, and ratio of the maximum gripping force to the target force. The criteria of the design specification are discussed based on the mean and deviation of the analysis, and the development of the hybrid controller's digit mechanism design and prototyping are forwarded. The experiments on prehension force control are compared with the pre-collected data. A human-mechatronics interface for coexisting powered and precision grasp is to be established.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 人間医工学 リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：義手，ハンド，生体機能利用，リハビリテーション，知能機械，筋電制御

## 1. 研究開始当初の背景

欧米では埋込式筋電センサや神経電位センサの技術開発は動物・臨床実験段階に進み、再神経支配術の術例数も 30 件を超えた。これらの研究により筋電制御のボトルネックといわれた信号源数不足問題に解決の光が見えたことで、指もしくは指節間関節が独立に駆動できる多自由度・多機能義手ハンドの開発研究が再び活性化している。国外では、米 DARPA Revolutionizing Prosthetics 2009(DEKA, Otto Bock, Northwestern 大, John Hopkins 大), 米 Vanderbilt 大や伊 Scuola Superiore Sant' Anna ら、国内からも東京大(電気通信大), 東京電機大, 広島大, 東農工大, 同志社大から、それぞれ新たな義手ハンドのメカニズムが報告されている。しかしながら、力源、駆動機構、なじみ機構の有無などに差はあれども、設計アプローチに大きな差がなく、Schlesinger などが示した把持形態のいくつを満たすかというメカニズムの静的特性か、関節駆動メカニズムの応答特性に関する議論しかない。義手で作業をするという観点で、Landsmeer が示した精密把持・力把持という手機能を実現することを目的とした義手ハンドの多機能化を議論した事例はなく、運動と感覚インタフェースを中心に、ハンドメカニズムにアプローチした義手開発事例もない。

## 2. 研究の目的

義手の手先具の開閉を行う各々独立した 2 体系である筋電制御方式と Bowden ケーブル方式を融合したハイブリッド方式を提案することで、多機能義手に新たな操作体系と義手ハンドのメカニズムを確立し、より作業性に富んだ義手の可能性を調査する。筋電制御方式と Bowden ケーブル方式の義手ハンドの把持力調整能力を調査する実験を行い、精密・力把持機能を有する義手ハンドのメカニズム開発のための仕様を定める。同結果を基に、従来方式と新方式との巧緻性評価試験を行う実験を検討する。義手の筋電・Bowden ケーブルハイブリッド制御が随意的な精密把握と力把握の二機能を共存させる可能性を調査し、ヒューマン・メカトロニクス・インタフェースと多機能義手ハンドの確立を目指す。

## 3. 研究の方法

現在、我が国で切断者に使用されている能動的に操作できる義手は、大きく分けると筋電位を操作信号とする電動義手(筋電義手)と、ハーネスを上肢帯に装着し手先具をワイヤケーブルで駆動する体内力源式義手になる。前者を筋電位制御式、後者を Bowden Cable 制御式と称すが、筋電位制御式はさらに筋電信号の振幅が閾値以上となった際にハンドの動作が一定速度で動く ON/OFF 制御式と、振幅の大きさに応じ速度が変化する比例制御式がある。比例制御式の筋電義手は熟練ユーザにとって使いやすい義手であることは確認されているものの、精密な指の位置・力制御は、学習による予測制御と、視覚もしくは副次的な感覚フィードバックに依存すると考えられる。これに対し、Bowden Cable 制御式はケーブルの牽引量と張力を感覚器を有する残存関節で操作することから、手先具の開き量と把持力の制御は視覚や副次的な感覚フィードバックも必要とせず、ほとんど学習を必要としない。この操作性の違いについての定量的な研究は、Weir らは Cineplasty 術を受けた切断者を対象とした実験で報告しているが、把持力制御に着目した操作性の定量的な研究はない。そこで本研究では、筋電位制御式と Bowden Cable 制御式の基本機能の特徴を定量化、比較することを目的とし、義手の使用経験のない非切断者にて実験し、両方式の目標把持力に応じた特徴を健手を基準とした比較する。

### 実験装置

本研究では、筋電義手の使用者が最も多い前腕切断を想定し、実験装置を製作した。筋電位制御式の実験装置には、市販の義手ハンド(ottobock, System Electric Hand DMC plus, 8E38=6 R7 1/4)を用い、筋電センサ(ottobock, MYOBOCK electrode 13E200=50) 2 個による開閉制御が行える環境をつくった。Bowden Cable 制御式の実験装置には、市販のフック型手先具(Hosmer Dorrance, 5XA)と義手用ケーブルとケーブルハウジング(Hosmer Dorrance, C-100, CH-100)を用いた。把持力の測定には、ひずみゲージ式のロードセルを製作した。使用したひずみゲージと増幅器を Table1 に示す。ロードセルは、校正実験で実験の測定範囲である 0-30[N]においてヒステリシスの影響が少なく、線形な出力が得られることを確認した。筋電位制御式の実験装置においては、筋電位

信号による操作以外の外乱による影響を最小限とすべく、ハンドはステージに固定し、ロードセルを掴む相対姿勢角度は一定とし、3指把持が行える配置とした。また、筋電信号による操作を初心者でも簡単にしつつ、ハンドの動作の見え方による差を抑制するため、ポリ塩化ビニルパイプ（以下、塩ビ管）に前腕を通し、前腕をステージ上に置く形とした（Fig.1 参照）。Bowden Cable 制御式の実験装置では、フック内側の平面がロードセルの把持面と平行となるように設置し、ステージに固定した。また、ケーブルの走行軌道による操作能力への影響をなくすため、ステージに上述の筋電位制御式の実験装置と同じ寸法の塩ビ管の外側面にベースプレートを取り付けケーブルハウジングをとめた（Fig.2 参照）。さらに、ハーネスの設定による個体差の影響をなくすため、上腕カフを塩ビ管で作成し、ケーブル終端を上腕カフとする構造とした。前腕はステージに置く形とし、肘関節の回転軸と実験装置の肘ユニットの回転軸のズレによる操作性への影響を抑制するため、内外側上顆の位置に自由継手を合わせる事が可能な調整式の肘ユニットを作成し、ステージに固定できる構造とした（Fig.3 参照）。

ロードセルのアンプの出力信号と、筋電センサ2信号はデータ集録装置（HIOKI, メモリハイコーダ 2005）にてサンプリング周波数 100Hz で記録するとともに、データ集録装置のモニタが被験者からみてハンドならびに手先具の遠位で全面が見えるように配置し、この画面に目標把持力を提示するとともに、ハンドが発生している把持力、ならびに筋電信号が表示される状態で実験を行う環境とした。

Table 1 Specifications of the experimental device

Strain Gauge	Kyowa, KFG-2-120-C1-11N2C2
Signal Amplifier	UNIPULSE, U500 w/ LPF

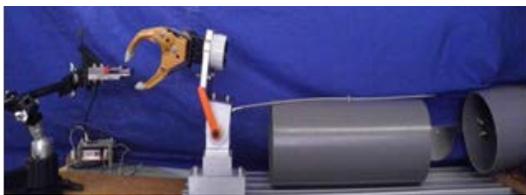


Fig.1 Experimental setup for the myoelectric control



Fig.2 Experimental setup for the Bowden cable control

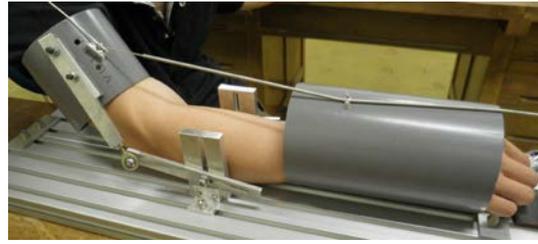


Fig.3 Elbow unit adjuster for Elbow-based Bowden cable control

#### 4. 研究成果

##### 実験被験者

本実験では、各被験者にモニタに提示された目標把持力に義手、または健手にて把持力を出来るだけ速やかに合わせる課題をかし、その際の応答特性を記録した。目標把持力は、5 から 25[N] の 5[N] 間隔で 5 段階とし、健手では拇指・示指の 2 指の末指節の指腹による把持での測定を行い、筋電位制御式、Bowden Cable 制御式では前章に記した装置を用いた。いずれの実験も椅子に座って実施、疲労が蓄積しないようインターバルを設けて実施した。課題の実行時間は 60[s] 間とし、この間の信号を測定、記録し、この期間で課題を達成できなかった場合は記録なし (N/A) とした。目標把持力に達したかについては、実験全体を通じて 1 名の実験実施者が、モニタの値を目視で確認し、判定した。被験者は、健康者成人男性 (大学生) 10 名。本実験は、東京電機大学ヒト生命倫理委員会の承認を受け、実験前に被験者に実験内容を説明し、同意を得た後実施した。条件の提示順は、健手、Bowden Cable 制御式、筋電位制御式とし、実験の経験による影響を軽減するため、各条件はそれぞれ別の日に実施することとした。また、5 段階の目標把持力は、ランダムに提示した。それぞれの義手制御方式は装置の使用練習後、測定を行った。筋電位制御式においては、環指と小指の MP 関節を軽く屈曲伸展した際に得られる筋電位信号を操作信号としてハンドの開閉が比較的低負荷で操作できるような操作信号が得られるセンサ位置を各被験者にて調整した。また、安定した信号が得られるようになった状態で筋電センサを医療用粘着テープで体表面に固定し、この状態で義手の開閉速度が意図する速さで再現性ある形で動作できるよう練習を行った後、実験を開始した。

##### 実験結果・考察

実験結果の一例として、被験者 A の目標把持力 5[N] と 20[N] に対する筋電位制御式 (図中 MEC)、Bowden Cable 制御式 (同 BCC)、健手の把持力のデータを示す。

図からわかるように健手では測定開始時の

初期荷重（接触時の静荷重）から速やかに把持力を加え、オーバーシュートがあるものの目標把持力に達している。これに対し Bowden Cable 制御式では把持力が増加を開始するまでに遅れがある。また、立ち上がり後はオーバーシュートはあるものの健手と近い時刻に目標把持力に達している。このように、健手と Bowden Cable 制御式では把持力増加の初期フェーズでは特性は異なるものの、目標把持力に収束する後期フェーズにおいては、類似した応答特性を示し、視覚と固有受容覚にもとづくフィードバック制御系にて把持力調整が行われていると推測される。これに対し、筋電位制御方式では、把持力が増加し始めるまでに遅れがあり、またオーバーシュートも大きく、停止期間が顕著みられる特性を示している。これは、視覚に依存するだけでなく、ハンドの制御系に設けられた不感帯の影響が大きいと推測される。

さらに、各目標把持力において、筋電位制御式、Bowden Cable 制御式、健手での目標把持力に達し安定化するまでの整定時間の全被験者間での各平均値と標準偏差を Fig.5 に示す。整定時間は、実験時に目視で安定を判断した時刻ではなく、記録したデータをもとにし、測定開始時から把持力が目標把持力からの変動が5%以下で2秒間維持された状態にいたるまでの時間とした。筋電位制御系は、他の2者より整定時間の偏差が大きく、実験条件の中では目標把持力が15Nで最少をとることが確認。これに対し、健手では15,20[N]で整定時間の偏差が大きくなるが目標荷重間で差はほとんどないという結果となった。これに対し、Bowden Cable 制御式は目標荷重間で差があまりなく、各目標把持力ないでも偏差が最も小さい結果となった。

さらに、目標把持力が維持されるまでに一定把持力を保った回数を Fig.6 に、各目標把持力に対する試行中の最大把持力の比を Fig.4 に示す。これら解析結果より、筋電位制御式は整定時間、一定把持力保持回数、平均把持力の目標把持力の比のいずれでも他の2者よりも顕著に高く、偏差も大きい結果となった。筋電位制御による義手の操作経験のない被験者にとっては、健手で普通に扱う指先での低い把持力での作業は筋電義手では容易ではないことが示されている。目標把持力が高くなるに従い、最大把持力が100%に近づき、偏差も小さくなることから、大きな把持力を目的とする力把持を用いる作業時には、初期導入時から作業ができることを表している。

一方、いずれの指標においても、実験で実施した指先での比較的小さな把持力で行う精密把持の条件下では、BC 制御式は健手と比較すると顕著な差はなかった。このことから、義手の使用経験のない被験者でも、BC

制御式であれば精密把持は可能であることが示唆され、15 から 20[N]の間で、BC 制御による精密把持と、筋電制御による力把持を切り替えられるメカニズムを採用することで、使用経験がなくともより直観的に対象を把持できる義手ハンドが開発できる可能性が示唆された。

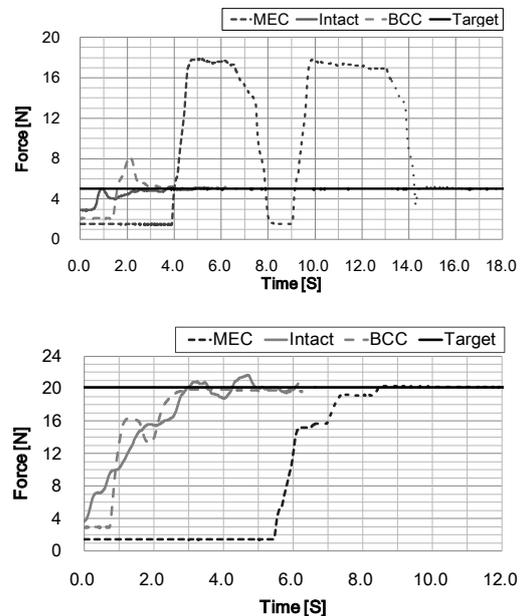


Fig.4 Experimental results of the force adjustment task of subject A. Top: target force 5[N], Bottom: target force 20N

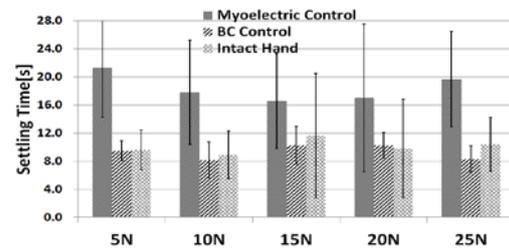


Fig.5 Analyzed result of the setting time for myoelectric control, Bowden cable control and intact hand

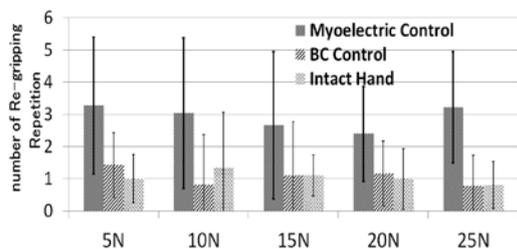


Fig.6 Analyzed result of the number of regripping repetition for myoelectric control, Bowden cable control and intact hand

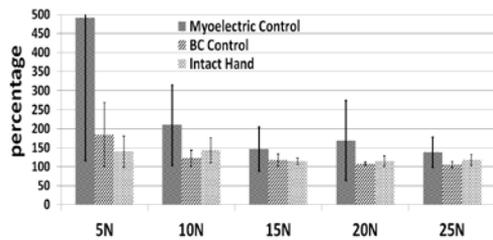


Fig.7 Analyzed result of the ratio of the maximum gripping force to the target force for myoelectric control, Bowden cable control and intact hand

#### まとめ

市販の義手の制御方式である筋電位制御式と Bowden Cable 制御式に対し、健手も含めた把持力調整能力の比較実験を行い、その被験者の時系列データと全被験者の整定時間、目標把持力が維持されるまでに一定把持力を保った回数、各目標把持力に対する試行中の最大把持力の比の3指標について平均と標準偏差の結果から両制御系の特徴について論じた。本実験は、実験条件について繰り返し測定は2回であるため、偶然誤差の影響は小さくはないと推測されるものの、いずれの制御方式でも義手を操作したことがない被験者による実験であることから、両制御方式の人間の学習適応がほとんどない状態での結果であり、それぞれの制御系そのものの特徴を示唆するものと考えられる。また、この実験をもとに、肘関節の伸展によるワイヤ牽引を行う BC 制御系のハンド設計を進めた。

#### 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)

[学会発表] (計 5 件)

- ① 渡辺勇輝, 大西謙吾, 義手制御インタフェースによる把持力調整能力の比較, 第 22 回ライフサポート学会フロンティア講演会, 2013/3/2, 慶応義塾大学芝共立キャンパス (東京都港区)
- ② 大西謙吾, 渡辺勇輝, 義手の制御手法による把持力調整能力の実験比較, 第 25 回バイオエンジニアリング講演会, 2013/1/9-11, 産業技術総合研究所 (茨城県つくば市)
- ③ 大西謙吾, 義手制御を想定した条件下における表面筋電位センサの安定性評価実験, 第 3 回 全国電動義手研究会, 2012/3/4, 兵庫県立リハビリテーション中央病院 (兵庫県神戸市)
- ④ 蔵原大輔, 大西謙吾, 義手制御法による把持力調整能力の実験的考察, 第 21 回

ライフサポート学会フロンティア講演会, 2012/3/3, 東京女子医科大学先端生命医科学研究所 (東京都新宿区)

- ⑤ 大西謙吾, 筋電制御と義手のユーザビリティの向上, 第 26 回日本義肢装具学会学術大会, 2010/10/23-24, 川越プリンスホテル (埼玉県川越市)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

大西 謙吾 (OHNISHI KENGO)  
東京電機大学・理工学部・准教授  
研究者番号: 70336254