

デザイン性と作業性を両立した対向3指を備えた 作業用電動義手の開発

Electric Prosthesis Having Three Opposed Fingers with Functionality and Design

2021024



研究代表者

(独)産業技術総合研究所
知能システム研究部門

特別研究員

吉川 雅博

共同研究者

国立障害者リハビリテーション
センター研究所
運動機能系障害研究部

室長

河島 則天

【研究の目的】

現状、前腕切断者が使用可能な作業用の義手には、能動フックと筋電義手がある。能動フックは切断肢と反対側の肩の動きを利用してケーブルを牽引しフック状の手先の開閉を操作する義手であり、作業性が高く精緻な作業に適している。ただし、能動フックはケーブルを牽引するハーネスを体に装着するため装着性が悪く、フックの外観が損ねているため。使用に際しての心理的負担が大きい。

一方、筋電義手は人間の手に近い外観を有し、切断端の筋電を用いた直感的な操作性が特長である。能動フックのようにハーネスを必要としないため、装着性も良い。現状の作業用義手の研究開発は、5指の筋電義手をいかに実現するかに注力されている。ただし、5指の筋電義手は複数のアクチュエータ、複雑な機構、高性能なプロセッサが必要となり、必然的に高価となる。そのため、日本国内の補装具の支給制度では入手が困難である。また、1kg近い重量のためようやく入手しても使用を中止するユーザも多い。

以上の理由により、前腕切断者の多くは作業用義手を使用せず、消極的選択として機能性のない装飾義手を使用しているのが現状である。

そこで、本研究では作業性、操作性、装着性

などの機能性とデザイン性に優れた軽量・低コストの電動義手を開発し、切断者に新たな作業用義手の選択肢を提案する。開発する義手は人間同様の5指が必要という発想を転換し、対向配置の3指をリニアアクチュエータで制御する機構とすることで、低コスト・軽量化を図るとともに、優れた作業性を実現する。また、安価な距離センサを用いることで、筋電センサ同様の直感的な操作性を低コストで実現する。切断端とのインタフェースとなるソケットは、普段は装飾義手を使用している場合でも、自宅や職場における作業用として使い分けられるように、容易に着脱可能とした。そして、愛着を持って使えるように、道具として洗練された外観を備える。本稿では、上記開発方針に基づいて試作した電動義手と、上肢機能の評価テストSHAP (Southampton Hand Assessment Procedure) に基づいた切断者による試作義手の評価結果について報告する。

【研究の内容と成果】

1. 試作義手の概要

図1に試作した電動義手(左手用)の外観と図2に内部機構を示す。義手の構成要素は、大きく分けてハンド、ハンドホルダ、ソケット、距離センサ、サポータに分けられる。ハンドは

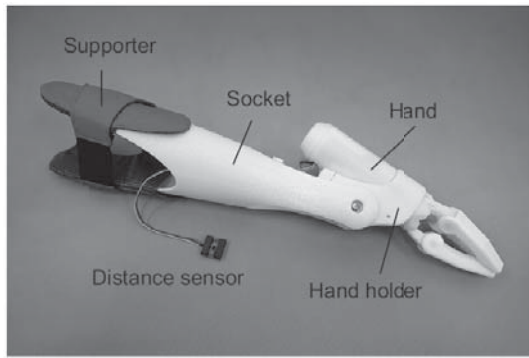


図1 試作した義手の外観

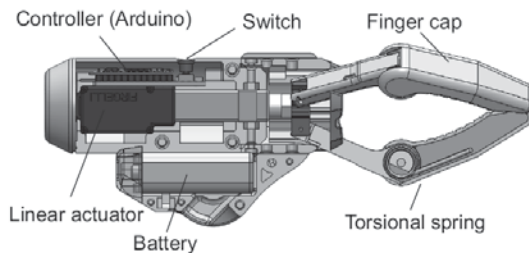


図2 義手の内部機構

リニアアクチュエータで開閉する対向配置の3指を備える。前腕に距離センサを装着し、筋収縮時におけるセンサと皮膚表面間の距離変化に応じて指の開閉を行う。切断端を挿入するソケットは、サポータの留め具で締め付けることで容易に装着できる。ソケットを含む重量は300 g、低コスト（4万円程度）で試作可能である。

1.1 対向配置の3指

提案義手は対向に配置された同一形状の3指が同時に開閉することにより対象を把持する。図3のように手先の位置を二等辺三角形となるように配置することによって、各指が干渉することなくペットボトルなどの円筒形の物体を把持（握力把持）することが可能となっている。図4の左図に示すように、Ottobock社などの3指の筋電義手は、リンクの運動方向が回転軸に対して直交しているため、平板状の対象を把持する場合、回内外を行わずに把持可能な方向は1種類のみである。一方、図4の右図に示すように、3指を対向に配置すると、回内外を行わずに3種類の把持方向が可能である。そのため、肩や体幹の動きで回内外の動きを補償する

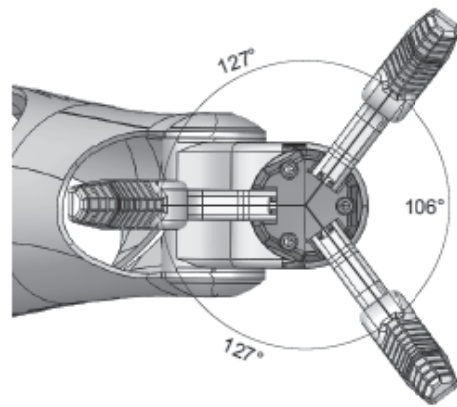


図3 手先の配置

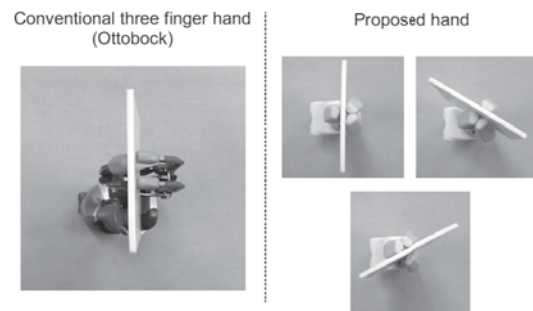


図4 既存の義手との把持可能方向の比較

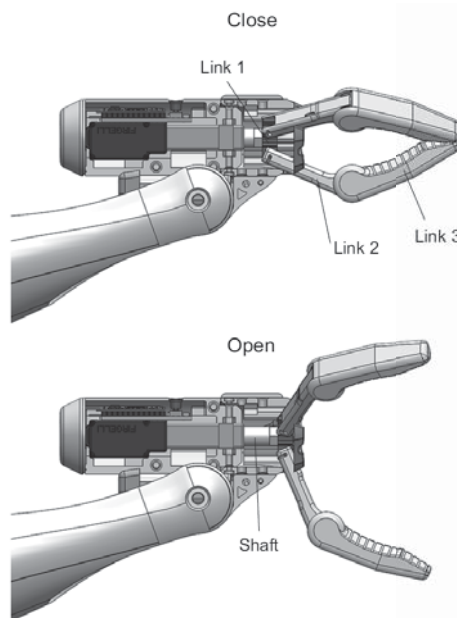


図5 指開閉の機構

代償動作を抑制し、無理の無い姿勢での操作が可能となる。図5に示すように、リニアアクチュエータで3指を直接制御するシンプルな機構により、軽量・低コスト化も実現できる。

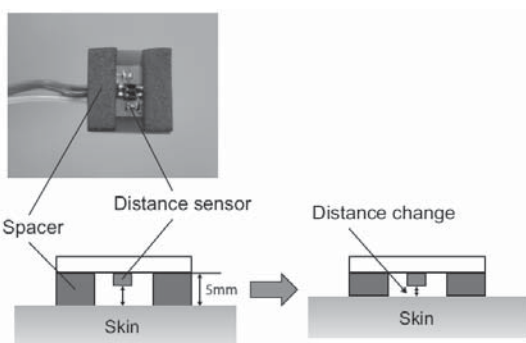


図6 距離センサ

1.2 離センサに基づく操作システム

図6に示す反射型光距離センサ（フォトリフレクタ）で捉えた、筋収縮時におけるセンサと皮膚表面間の距離変化に基づく操作システムを備える。筋電義手の筋電センサと同様の直感的な操作性が、低コストで（1,000分の1程度）実現できる上、非接触のため汗による誤動作を起こしにくい。安静時と筋力発揮時のセンサデータを用いて、短時間で個人に適応可能なアルゴリズムを実装している。

1.3 容易に着脱可能で快適なソケット

従来の義手は切断端を挿入するソケットを、義肢装具士が時間をかけて適合・製作する必要があり、気軽に義手を製作することを困難にしていた。本ソケットは、切断端のサイズに合わせて調整可能であり、専用サポータで締め付けることで容易に装着できる（図7）。サポータ裏地は、抜け落ち防止と快適性を実現する特殊素材となっている。このソケットとサポータによって、装飾義手ユーザでも本義手を容易に着脱して作業に用いることができる。

1.4 道具として洗練されたデザイン

提案義手は、人間の手の外観を模倣するのではなく、日常作業に用いる道具としての機能美を重視して外観をデザインしている。対向配置の3指、着脱が容易なソケット、距離センサを用いた操作システムなどの機能性を担保しながら、身体と調和する滑らかな曲線から成る外観デザインにアプローチしている。指先キャップとサポータの色の組み合わせを変更するだけで、義手の印象を変えることが可能である。

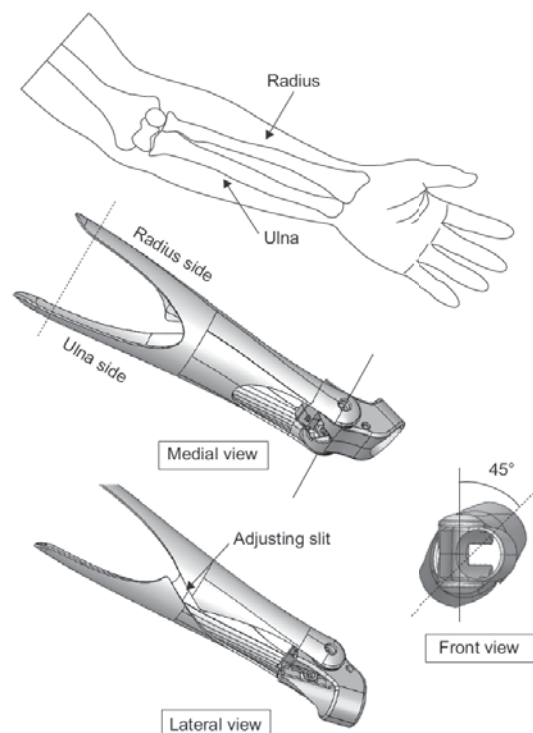


図7 切断端を挿入するソケットのデザイン

2. 切断者による評価

試作義手の有効性を検証するため、前腕切断者による評価を行った。被験者は1名の左前腕切断者（男性、60代）である。評価には上肢機能の評価テストであるSHAPを用いた。SHAPは日常生活における把持タイプの使用頻度の分析などに基づき、図8に示すような手が日常的に行う6種の把持の能力を評価する。軽量物（木材）または重量物（金属）から成る12種の抽象物体を、机上の規定の位置へ移動に要する時間により評価を行う。

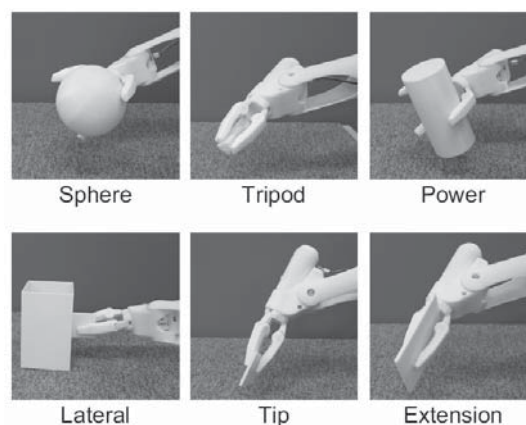


図8 義手による6種の抽象オブジェクトの把持

表1 SHAP テストの結果

Crip type	Time [s] (weight [g])	
	Light	Heavy
Sphee	5.1 (18)	9.8 (530)
Tripod	5.1 (1)	6.5 (21)
Power	4.8 (12)	8.1 (530)
Lateral	6.0 (2)	F (143)
Tip	6.2 (1)	5.0 (71)
Extension	6.5 (21)	6.1 (236)

表1にテストの結果を示す。軽量物に関しては、すべての把持タイプで7秒以内に達成できた。重量物については、側面つまみ（Lateral）を除いて10秒以内に達成できた。重量物の側面つまみ以外の11課題は困難なく達成出来たことから、前腕切断者が試作した義手を用いて6種の把持を反映した抽象物体の操作が可能であることを確認できた。日常的に作業用義手を使用しない切断者が10分程度の練習で操作できるようになったことから、距離センサを用いた操作システムが有効であることが示された。また、被験者は短断端であったが、物体を把持した状態でもソケットから切断端が抜け落ちず、十分な懸垂力が発揮できることが示された。

[今後の研究の方向、課題]

今後はSHAPテストで洗い出された課題を解決し、より多数名の切断者についてユーザ評価を行う。特に、日常生活場面での長期使用における使用感や耐久性などについて評価を行う。また、従来の筋電義手や能動義手のユーザを対象に使用中の義手と本義手との比較を行いたい。さらに、単なるユーザ評価だけでなく、本義手を用いることで起こる脳の可塑的变化（道具の身体化）や幻肢痛への影響について研究する予定である。

[成果の発表、論文]

- [1] Masahiro Yoshikawa, Yuya Taguchi, Shin Sakamoto, Shunji Yamanaka, Yoshio Matsumoto, Tsukasa Ogasawara, Noritaka Kawashima, "Trans-Radial Prosthesis with Three Opposed Fingers," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2013), Tokyo, Japan, Nov. 2013 (accepted).
- [2] 吉川雅博, "機能性とデザイン性を兼ね備えた作業用電動義手," 第4回電動義手研究会, 兵庫, 3月, 2013.
- [3] 吉川雅博, 松本吉央, 田口裕也, 小笠原司, 阪本真, 荒牧 悠, 中村耕太, 大長将之, 角尾 舞, 山中俊治, 河島則天, "操作性とデザイン性を両立した作業用電動義手," SATテクノロジーショーケース2013, pp. 54, 茨城, 1月, 2013. (プレゼンテーション表彰 ベスト・アイデア賞)
- [4] 阪本 真, 荒牧 悠, 中村耕太, 大長将之, 山中俊治, 河島則天, 吉川雅博, 田口裕也, "前腕切断用電動義手," 慶應義塾大学 SFC 研究所 SFC Open Research Forum 2012, 東京, 12月, 2012.
- [5] 田口裕也, 吉川雅博, 河島則天, 松本吉央, 小笠原司, "筋収縮に伴う断端の形状変化で操作する対向3指を備えた作業用電動義手," 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 (LIFE2012), pp. GS1-5-2, 名古屋, 11月, 2012.
- [6] 吉川雅博, 田口裕也, 河島則天, 松本吉央, 小笠原司, "筋電センサとフォトリフレクタを組み合わせたハイブリッドセンサによる手の動作認識," 第30回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 4C2-4, 北海道, 9月, 2012.
- [7] Masahiro Yoshikawa, Yuya Taguchi, Noritaka Kawashima, Yoshio Matsumoto, Tsukasa Ogasawara, "Hand Motion Recognition Using Hybrid Sensors Consisting of EMG Sensors and Optical Distance Sensors," 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man 2012), pp. 144-149, Paris, France, Sep. 2012.

(特許出願)

「電動把持装置およびハンドユニット」, 吉川雅博, 田口裕也, 河島則天, 山中俊治, 特願 2013-008761