

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

An Electric Prosthetic Hand with Opposed Three Fingers
Using Form Changes of a Stump by Muscle Contraction

○田口裕也(産総研/奈良先端大) 吉川雅博(産総研) 河島則天(国リハ)

松本吉央(産総研) 小笠原司(奈良先端大)

Yuya Taguchi, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology/Nara Institute of Science and Technology
Masahiro Yoshikawa, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Noritaka Kawashima, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities
Yoshio Matsumoto, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Ogasawara Tsukasa, Nara Institute of Science and Technology

Abstract: In this study, we developed an electric prosthetic hand that takes into account the advantages of conventional body-powered hands and myoelectric hands. The arrangement of opposed three fingers achieves workability as the body-powered hands. Since the hand is controlled by the form changes of amputation stump with muscular contraction, it provides a natural operational feeling as the myoelectric hands. In addition, simple mechanism enables low weight and cost. A SHAP (Southampton Hand Assessment Procedure) test with an amputee showed the effectiveness of our hands.

Key Words: Prosthetic Hand, Optical Distance Sensor, SHAP

1 はじめに

現状、前腕切断者が選択可能な作業用の義手には、能動義手(フック)⁽¹⁾と筋電義手⁽²⁾がある。能動義手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手先の開閉を操作する義手であり、精緻な作業が可能である。短所は、ケーブルを牽引するハーネスを装着するため拘束感が強く、手先のフックが外観を損ねている点である。一方、筋電義手は人間の手に近い自然な外観を有し、前腕から計測可能な筋電を信号源として手先を開閉するため、自然な操作感が得られる特長がある。短所は、重量があり、価格が高い点である。これらの作業用義手が抱える課題がネックとなり、前腕切断者の多くは作業用義手を選択せず、機能性のない装飾義手を使用している。

このような双方の義手の利点と問題点を踏まえ、本研究では能動義手の作業性と筋電義手の操作性を両立しつつ、軽量化と低コスト化を実現する作業用電動義手の開発を行うこととした。

本研究で開発した義手は、従来の筋電義手のように実際の手を模倣するのではなく、対向に配置した3指を備えている。この配置により代償動作の軽減、3指による物体把持の安定性の向上を図り、高い作業性を実現する。また、義手の操作には光学距離センサを用い、筋収縮による断端の形状変化に応じた手先の開閉を行うことで、筋電義手と同様の操作性を可能とする。電動リニアモータによるシンプルな手先開閉機構や汎用部品の採用などにより、軽量化と低コスト化を図り、実用性だけでなくコスト面でもユーザーに訴求できる義手の実現を目指す。

本稿では、本研究で開発した3指義手の機構や指の配置、光学距離センサによる操作システムについて説明し、最後に同義手を実際の前腕切断者に試着し、評価を行った結果を示す。

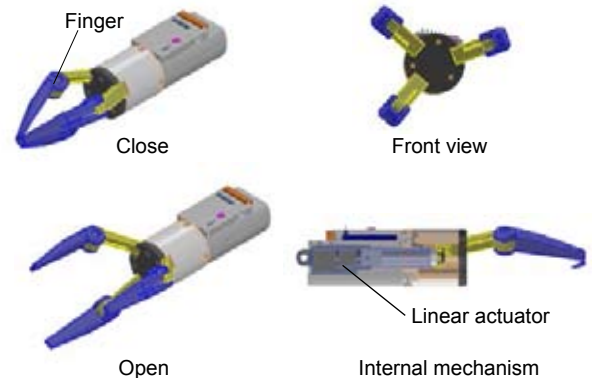


Fig.1 Structure of three-finger hand

2 3指義手

2-1 機構

本義手の動力源には位置決めが可能な電動リニアモータ(L12 Mini Linear Actuator, Firgelli)を使用している。リニアモータのシリンダ部の先端は各指と連結しており、シリンダの伸縮によって3指の開閉を行う。シリンダの最大ストロークは20[mm]であり、ストローク0[mm]で3指が完全に閉じ、シリンダが伸びると外装部のガイドに沿って3指が開く機構となっている。

2-2 手先部

各指は135[deg]屈曲しており、関節部にはトーションバネ(バネ定数5.17[N・mm/deg])を組み込んでいる。これにより、物体を柔軟に把持することができ、指部の負荷軽減できる。指先部にはシリコン素材のカバーを被せているため、物体把持時に高いグリップ性を発揮する。

2-3 指配置

本義手はFig.1に示すように3指を対向に配置している。この配置により、物体を把持する際のエントリー方向が3面得られるため、前腕の回内外が困難な前腕切断者でも小さい代償動作で物体にアプローチすることができる。また、3指を有することで、従来の能動フックのピンチ動作に加えて握力把持動作が可能となった点も大きな特長である。

2-4 コントローラ

本義手のコントローラのマイコンには Arduino Pro Mini 5V 16MHz を使用している。電源には 6.6V の小型バッテリーを使用し、電動リニアモータの制御および、光学距離センサの値の処理を行う。コントローラは3指義手の外装部に組み込まれており、小型バッテリーはソケット部に配置している。

2-5 重量およびコスト

3Dプリンタを用いてABS樹脂で出力した場合の本体の重量は、164[g]である(装着部を除く)。材料や部品にかかるコストは3万円程度である。

3 操作システム

3-1 光学距離センサ

本義手の操作には筋収縮による断端の形状変化を用いる。断端の形状変化には、計測距離により電圧抵抗値が変化する光学距離センサ (SG-105, KODENSHI) を使用する。光学距離センサと皮膚間の距離を一定に保つため、Fig.2 に示す 3[mm]の高さのスペーサを使用する。このセンサを前腕の断端表面の筋収縮に応じた筋隆起が得られる場所に配置することで、筋隆起に応じて義手の開閉が可能である。

3-2 制御

ここでは、ユーザの個人差に適用するためのキャリブレーション方法について述べる。キャリブレーションでは、筋力を発揮していない自然状態と筋力を発揮した状態での光学距離センサ値を計測し、それぞれ電動リニアモータのストロークの最小値、最大値として設定する処理を行っている。現状では、従来の能動義手の操作と同様に、自然状態で指先が閉じ、力を込めた際に指先が開く操作方法となっている。また、キャリブレーションの操作はコントローラのスイッチを2回押すだけで完了するため、義手ユーザ本人だけでも簡単な操作でキャリブレーションを行うことが可能である。

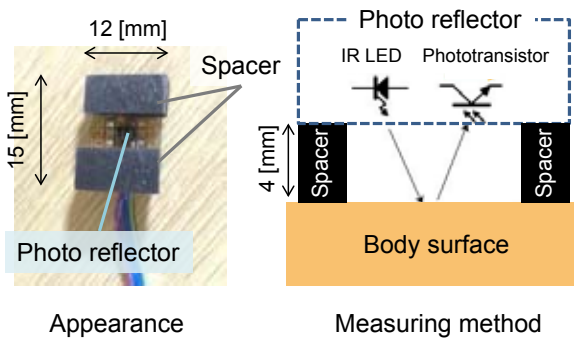


Fig.2 Optical distance sensor

4 実験

開発した3指義手を用いて、前腕切断者を対象とした評価実験を行った。評価テストは、イギリスで開発された上肢機能の評価テスト、SHAP (Southampton Hand Assessment Procedure) を用いて行った⁽³⁾。SHAPは抽象的な物体 (Fig. 3) および日用品 (Fig. 4) の操作テストで構成されており、タスクを完了した時間で評価を行う。

被験者は中断端の左前腕切断者1名である(男性, 右利き)。Fig. 5に実験で使用した3指義手を示す。手先および外装は3Dプリンタで製作したため、素材はABS樹脂である。光学距離センサは、被験者が筋隆起を生じさせやすい前腕尺側手

根屈筋の直上付近に配置し、リストバンドで固定した。さらに、簡易な装具を用いて断端部にハンドを装着した。

本実験の前に3指義手を約30分操作してもらい、ある程度義手の操作に慣れた状態でSHAPテストを実施した。本研究は産業技術総合研究所および国立障害者リハビリテーションセンターの倫理審査委員会の承認を得て、被験者には事前に研究の内容とリスクに関する説明を文書と口頭で行い、同意を得た上で実験を行った。Fig. 6に実験の様子を示す。

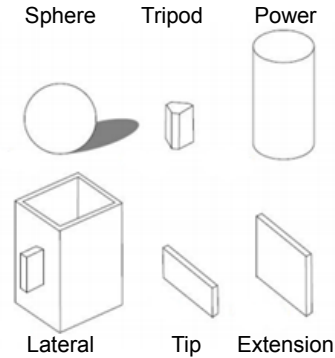


Fig.3 Abstract object tasks for SHAP



Fig.4 Daily living tasks for SHAP

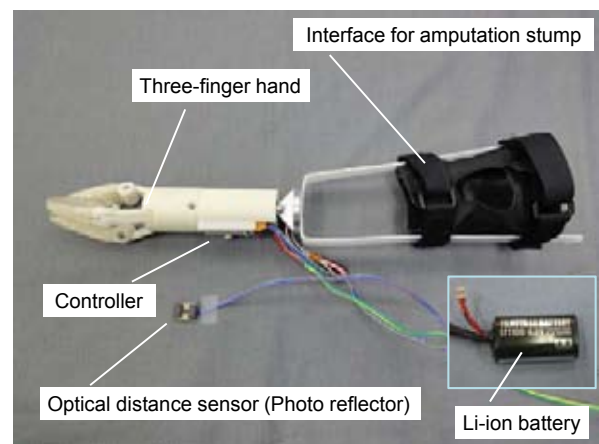


Fig.5 Three-finger hand used for the experiment



Fig.6 Photo of experiment

4-1 結果

Table 1 に抽象物体における評価結果を示す。表内の数字は各タスクの達成までの経過時間を示しており、左列は軽量物体（木）、右列は重量物体（金属）についての結果を示している。軽量物体においては、すべてのタスクを達成することができた。重量物体においては、球体把持を除き達成することができ、抽象物体に関しては一つタスクを除いて達成できた。

Table 1 Results of abstract objects [s]

	Light	Heavy
Sphere	5:44	N/A
Tripod	13:87	4:63
Power	5:91	25:00
Lateral	18:97	60:00
Tip	15:29	12:97
Extension	10:72	15:84

(N/A : Failure of the task in SHAP)

Table 2 Results of activities of daily living [s]

Coins	61:72
Full Jar	N/A
Bottom board	N/A
Empty Tin	N/A
Food Cutting	N/A
Tray	7:35
Page Turning	60:06
Key	N/A
Jar lid	N/A
Zip	N/A
Jug pour	N/A
Screw	N/A
Carton pour	N/A
Door handle	N/A

(N/A : Failure of the task in SHAP)

一方、Table 2に示すように、日用品の評価においては、瓶などの重量物を持ち上げる把持力が必要なタスクが困難であった。ABS樹脂からより剛性の高い指先素材への変更、

トーションバネのバネ定数の変更、手先のキャップの素材の変更などによって、今後改善可能と考えられる。ただし、コインを持ち上げて瓶に入れる、紙をめくって裏返すなどの精緻な作業には十分に実現可能であり、従来の義手と比較して、日常生活における利便性、有用性が期待できるものと考えられる。また、被験者は調理時の食材カットの際に、装飾義手ではカットする食材の転がりを抑えるのが困難であり、日常生活でもっとも不便を感じていた。本義手を調理に用いたところ、食材を適切に把持し食材カットが容易となった。SHAPがカバーしていない日常生活は多数あり、より多くのタスクでの検証が今後の課題である。

5 おわりに

本研究では能動義手の作業性と筋電義手の操作性を両立しつつ、軽量化と低コスト化を実現する作業用電動義手を報告した。開発した義手を、実際に前腕切断者に装着し、短時間の訓練で操作が可能になることを確認するとともに、断端形状の変化によってハンドの開閉が精度高く、再現性高く実現できることを確認した。さらに、SHAPによる上肢機能評価を行った結果、軽量で小さな物体の操作にも十分対応できるなど、日常生活において高い利便性と有用性を持つ可能性が示唆された。

今後の課題は、より重量のある物体の操作にも対応できるように、指先部の材質および構成要素の変更により、把持力の向上を目指す。また、より作業性の高い義手を実現するために、手先の形状についても検討する。

謝辞

本研究は立石科学技術振興財団研究助成を受けて実施した。

参考文献

- (1) Ottobock Product Webpage, 2012, http://www.ottobock.com/cps/rde/xchg/ob_com_en/hs.xsl/5458.html.
- (2) Ottobock Product Webpage, 2012, http://www.ottobock.com/cps/rde/xchg/ob_us_en/hs.xsl/6952.html.
- (3) SHAP Introduction Webpage, 2012, <http://www.shap.ecs.soton.ac.uk/>.