

機能性とデザイン性を考慮した 軽量・低コストの対向3指義手

吉川 雅博^{*1*2} 田口 裕也^{*1*2} 阪本 真^{*3} 山中 俊治^{*3*4}
松本 吉央^{*2} 小笠原 司^{*1} 河島 則天^{*5}

Low-Cost and Lightweight Trans-Radial Prosthesis with Three Opposed Fingers Considering Functionality and Design

Masahiro Yoshikawa^{*1*2}, Yuya Taguchi^{*1*2}, Shin Sakamoto^{*3}, Shunji Yamanaka^{*3*4},
Yoshio Matsumoto^{*2}, Tsukasa Ogasawara^{*1} and Noritaka Kawashima^{*5}

At present, there are body-powered hooks and myoelectric prosthetic hands that trans-radial amputees can use for work. Though the body-powered hook has good workability in detailed works, the design of the hook spoils its appearance and the harness impairs the feelings of wearing. The myoelectric prosthetic hand has a natural appearance similar to the human hand and intuitive operability with a myoelectric control system. However, it is high cost and heavyweight. Because of these problems, many amputees use cosmetic prostheses especially in Japan. In this paper, we report a low-cost and lightweight electric prosthesis with three opposed fingers considering functionality and design. A simple mechanism to control fingers by a linear actuator contributes to satisfactory workability, lightweight, and low cost. A control system using an inexpensive distance sensor allows intuitive operability as the myoelectric sensor at low cost. A socket is easily removable so that users can wear properly as the situation demands. It has a sophisticated appearance as a tool and can be produced by a 3D printer. The total weight of the hand and socket is 300 [g]. Evaluation tests utilizing Southampton Hand Assessment Procedure (SHAP) demonstrated that developed prosthesis was effective to operate light objects for daily use.

Key Words: Prosthesis, Distance Sensor, 3D Printer, Socket

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、大きく分けて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、作業性に優れ、精緻な作業に適している[1]。反面、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、フックのデザインが外観を損ねており、使用に際しての心理的負担が大きい。能動フックは製品化から50年以上経っているが、機構や外観は変化しておらず、研究開発はあまり進んでいない。

一方、筋電義手は人間の手に近い外観を有し、切断端から計測可能な筋電位を信号源とする直感的な操作性が特長である。能動義手のようにハーネスを必要としないため、装着性も良い。Otto bock社は1960年代に開閉可能な3指を持ったMyobockを商品化し、最近では5指の動作が可能なMichelangelo Hand [2]を商品化している。Touch Bionics社のiLimb [3]、RSL Steeper社のbebionic [4]も同様の5指の義手である。現在の義手の研究開発はこのような5指の筋電義手をいかに実現するかに注力されている[5]~[12]。しかし、人間の手と同様の外観と機能を実現するためには、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。安価とされるOtto bock社のMyobockでも150万円、高価な義手では500万円以上となるため、日本の補装具の支給制度では支給が困難であり、これらの筋電義手を入手することは容易ではない。また、筋電義手は切断肢を挿入するソケット部を含めて900 [g]

原稿受付 2013年7月24日

^{*1}奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

^{*2}産業技術総合研究所 知能システム研究部門

^{*3}慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

^{*4}東京大学 生産技術研究所

^{*5}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

^{*1}Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST

^{*2}Intelligent Systems Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, AIST

^{*3}Graduate School of Media and Governance, Keio University

^{*4}Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

^{*5}Dept. Rehabilitation for the Movement Functions, Research Institute, National Rehabilitation Center for the Persons with Disabilities, NRCD

■ 本論文は提案性で評価されました。

以上の重量があるが、義手を切断端で支持する切断者にとっては重く、ようやく入手してもその重さに慣れずに使用を中止するユーザも多い。

このような作業用義手の課題により、前腕切断者の多くは作業用義手を使用せず、消極的選択として手に近い外観の装飾義手を使用している。しかし、装飾義手は物を押さえる程度の機能しかなく、日常生活では不便である。

人間の手と同様の外観と機能を持った義手を実現することは今後も重要な課題ではあるが、現在作業用の義手を必要としている切断者への現実的なアプローチも必要である。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、作業性を担保する。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。提案する義手の特長をまとめると以下の 5 点である。

- 作業性を考慮した対向配置の 3 指
- 筋電義手と同様の直感的な操作性を持つ操作システム
- 容易に着脱可能なソケット
- 道具として洗練された外観
- 軽量・低コスト

具体的な数値目標としては、500 [g] 程度の物体を把持でき、ソケットを含めた総重量は 300 [g]、6 時間程度の連続使用ができることとし、片手切断者の健常肢に対する補助肢としての用途を主に想定している。

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。

2. 機能性とデザイン性を考慮した対向 3 指電動義手

Fig. 1 に試作した電動義手 (左手用) の外観を示す。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可能である。以下、義手の各要素について詳細に述べる。

2.1 指の開閉機構

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。**Fig. 2** にハンドの内部断面を示す。ハンドには動力源のリニアアクチュエータ (L12-R, Firgelli Technologies Inc)、制御用マイコン (Arduino Pro Mini) が

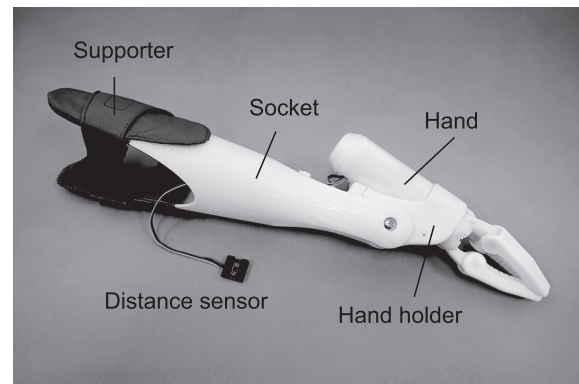


Fig. 1 Appearance of the developed prosthesis (left hand)

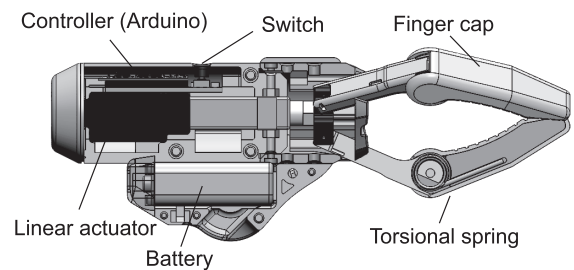


Fig. 2 Sectional view of the hand (top view)

Table 1 Specifications of the linear actuator

Weight	34 [g]
Stroke	30 [mm]
Gear Ratio	100:1
Maximum Force	23 [N]
No-Load Speed	12 [mm/s]

内蔵されている。**Table 1** にリニアアクチュエータの仕様を示す。リニアアクチュエータは、位置制御可能なサーボ機構を持っている。ハンド内部には指の開閉のために **Fig. 3** に示すようなリンク機構を採用している。リニアアクチュエータの伸縮するシャフト先端部はリンク 1 に直結している。シャフトが初期位置から伸展すると、それに伴ってリンク 1 がハンド内部を移動し、外装部との接点をガイドとしてリンク 2 が繰り出され、シャフトとリンク 2 が成す角度が増加する。これによって、指が開く。シャフトが短縮すると、シャフトとリンク 2 の成す角度が減少し、リンク 2 がハンド内部に引き込まれ指が閉じる。3 指が同様に作動することで、指の開閉が行われる。このようなシンプルな指の開閉機構は、ハンドの軽量化と小型化に寄与する。

Fig. 2 の指の断面図で示したように、指の関節にはトーションバネ (ばね定数 11.5 [N・mm/deg]) を組み込み、物体に馴染むように把持することが可能である。指先に装着するシリコン製キャップ (硬度 30 度、厚さ 1.5 [mm]) は、把持した物体が滑るのを防ぎ、適度に柔らかい指先を実現している。また、指先全体がシリコンで覆われるため、書籍のページを捲る場合や机上の物体をたぐり寄せる場合にも有効である。3 指は同一形状のため、故障時の交換も容易である。

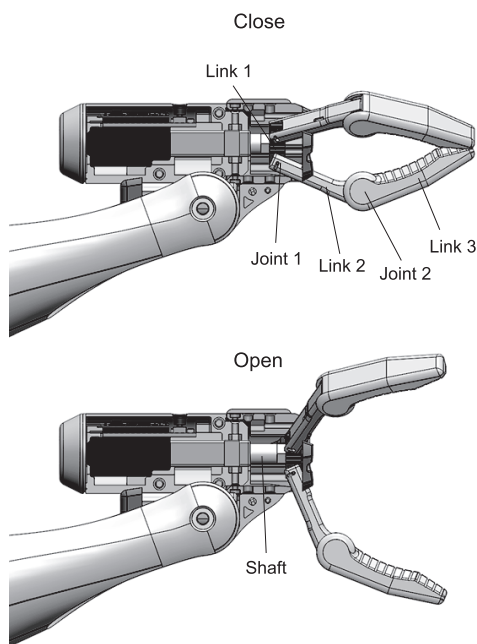


Fig. 3 Mechanism of the hand opening and closing (top view)

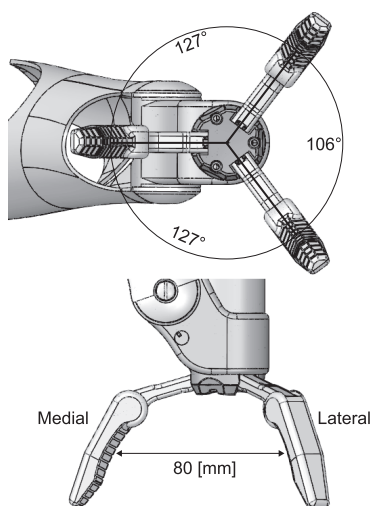


Fig. 4 Front view and top view of the hand (left hand)

2.2 対向配置の3指

Fig. 4 に3指を最大に開いたときの配置を示す。正面から見て指先位置が内側を頂角とする二等辺三角形となるように配置している。リニアアクチュエータのシャフトの繰り出し量が同じ場合、正三角形の配置よりも二等辺三角形の配置のほうが指のストローク（両端矢印部分）をより大きく確保できる。500 [ml] のペットボトルを把持できる十分な空間を確保するため、指のストロークは80 [mm] とした。

Fig. 5 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（一般的な2指能動フックも同様）。一方、Fig. 5 の右図に示すように、3指を対向に配置すると、回

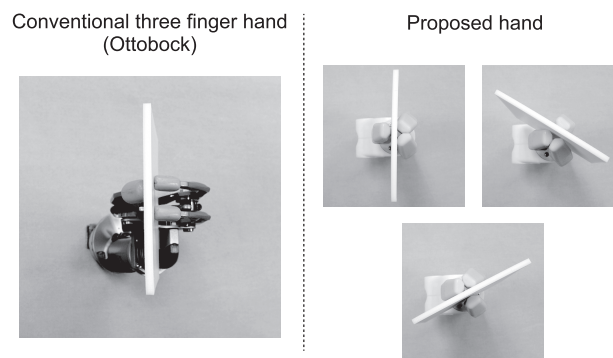


Fig. 5 Comparison of possible grasp pattern between a conventional three finger hand and proposed hand

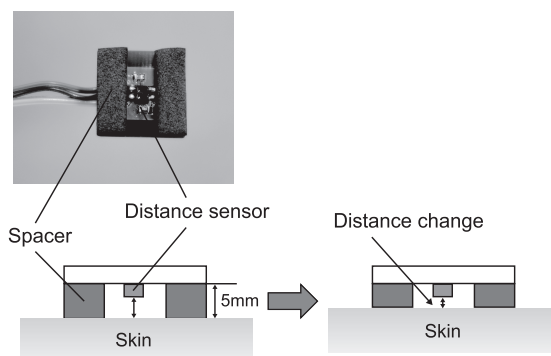


Fig. 6 Photograph and structure of the distance sensor

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代償動作を抑制し、無理のない姿勢での操作が可能となる。3指によって具体的どのような把持が可能かは3章で述べる。

2.3 ユーザの指開閉意図を検出する距離センサ

提案義手は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方式を用いている。Fig. 6 に距離センサの外観を示す。距離センサには、非接触で距離が計測可能なフォトリフレクタ（SG-105, KO-DENSHI）を用いた。筋収縮を行っていない状態で、距離センサと皮膚間の距離を一定に保つため、基板上に配置したフォトリフレクタの上下に高さ5 [mm] のポリマーシート（PORON L-24, イノアック）のスペーサを設けた。このセンサを前腕切断端の筋収縮に応じて皮膚表面に隆起が見られる場所、例えば、尺側手根屈筋の直上などに装着する。センサは伸縮性のバンドなどで固定するか、後述するソケットの内側に固定する。非接触の距離センサを使用することにより、筋電センサの欠点である汗による誤動作の問題がなく、金属電極が直接皮膚に触れないメリットがある。また、フォトリフレクタは安価に購入可能な汎用電子部品のため、距離センサ全体でも300円程度で製作可能であり、筋電センサに比べて大幅な低コスト化を図れる。

2.4 距離センサに基づく操作システム

筋収縮時における距離センサと皮膚表面間の距離変化に基づいて指の開閉を行う操作システムについて述べる。本論文で説

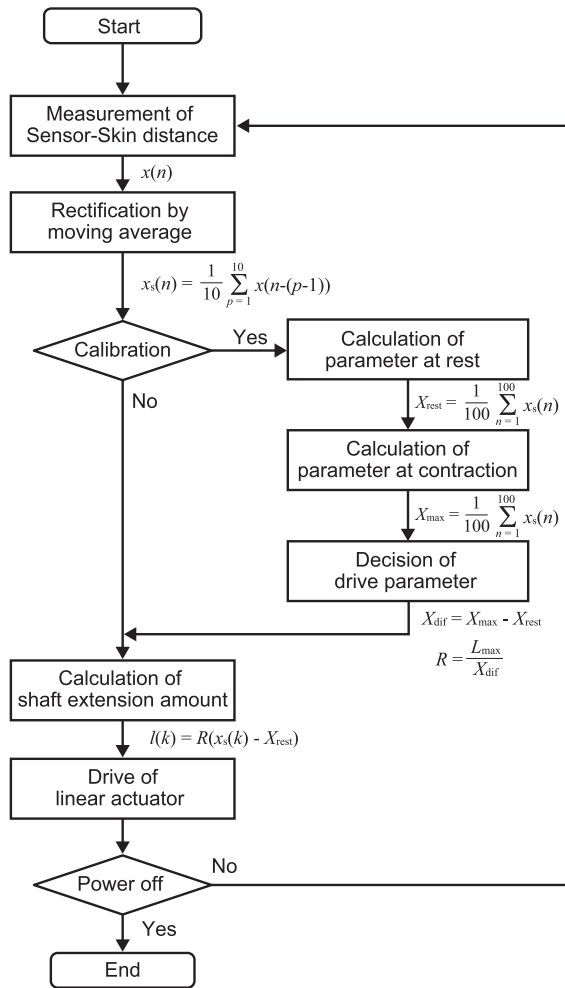


Fig. 7 Flow chart of operation system

明する操作システムは、筋収縮により指が開き、筋収縮しない場合は閉じる方式になっている。すなわち、能動フックにおいてハーネスを介してケーブルを牽引すると指が開くボランタリーオープンと同様の方式である。操作システムはハンドに内蔵したマイコン（Arduino Pro Mini）に実装している。距離センサはマイコンに接続され、マイコン内蔵のAD変換機能によって、サンプリング周波数 100 [Hz] でサンプリングする。サンプリングした値は現在値 $x(n)$ と過去 9 点、全 10 点の単純移動平均により平滑化される。ここで、 n 点めの平滑化後の値を $x_s(n)(n = 0, \dots, N)$ とする。

操作システムの処理の流れを Fig. 7 に示す。まず、操作を行う前にユーザに合わせてキャリブレーションを行う。ハンド本体のスイッチを長押しするとキャリブレーションが開始される。はじめに、距離センサを前腕に装着した状態でスイッチを押し、筋収縮していない平常時のセンサ値を 1 秒間（100 点）取得し、その平均値 X_{rest} を計算する。次に、最大に筋収縮した状態でスイッチを再度押し、センサ値が 1 秒間（100 点）取得され、その平均値 X_{max} が計算される。次に、 X_{max} と X_{rest} の差分 X_{dif} を次式で計算する。

$$X_{\text{dif}} = X_{\text{max}} - X_{\text{rest}} \quad (1)$$

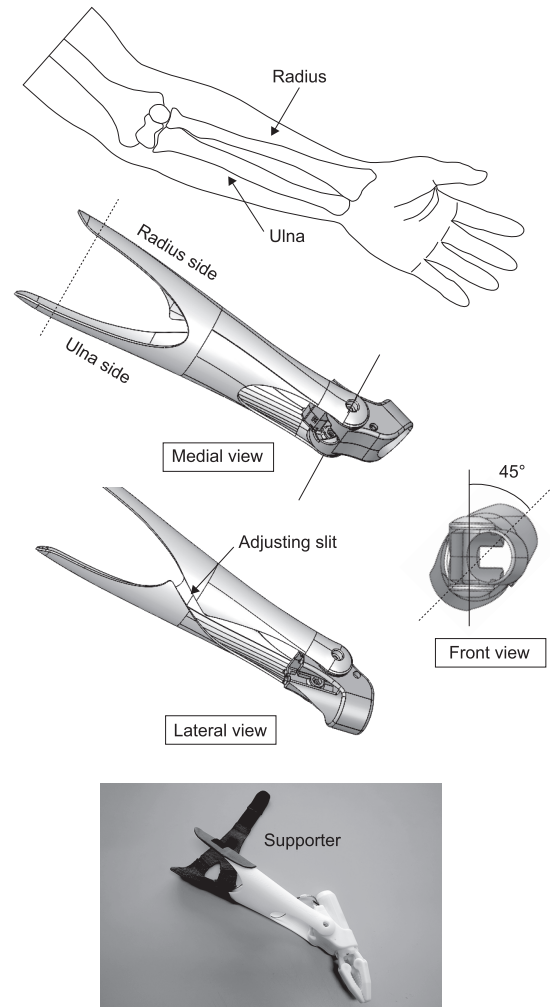


Fig. 8 Socket and hand holder

この X_{dif} と指が最大に開いたときのアクチュエータのシャフトの最大繰り出し量 L_{max} を用いて、次式により駆動パラメータ R を決定する。

$$R = \frac{L_{\text{max}}}{X_{\text{dif}}} \quad (2)$$

以上でキャリブレーションが終了する。このキャリブレーションプロセスは、3 回のスイッチ操作で行えるためユーザ自身で行うことが可能である。また、3 秒以内にキャリブレーションが完了するので、再キャリブレーションに時間を必要としない。

次に操作時について説明する。操作時の距離センサの平滑化後の値を $x_s(k)(k = 0, \dots, K)$ とすると、次式によりシャフトの繰り出し量 $l(k)$ が計算される。

$$l(k) = R(x_s(k) - X_{\text{rest}}) \quad (3)$$

このとき、何らかの原因により $l(k) > L_{\text{max}}$ となった場合は、 $l(k) = L_{\text{max}}$ とし、 $l(k)$ の値を指令値としてサーボ機構を持ったリニアアクチュエータに送る。

2.5 ソケット形状とハンドホルダ

Fig. 8 に断端を挿入する左手用のソケットとハンドホルダを示す。ソケットの遠位端はハンドホルダと接続し、ハンドを

Table 2 Specifications of the proposed prosthesis

Weight (hand+socket)	300 [g]
Time from Close to Open	1 [s]
Battery Life (500 [mAh])	6 [h]
Max Pinch Force	5.8 [N]

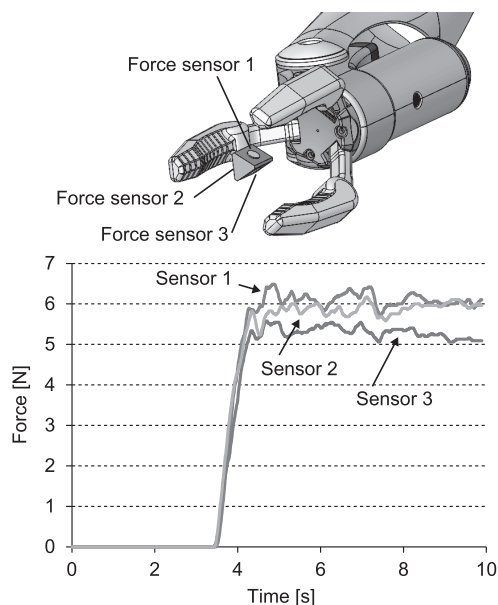
掌背屈する軸により作業の行い易い角度で固定できる。ハンドホルダはハンドを挟み込んで固定し、角型リチウムイオン電池 (9V-Li-ion-ACSET, ロワ・ジャパン) のケースも兼ねている。ソケットは橈骨側と尺骨側をソケットのフレームで挟み込む構造になっている。前腕の断面をだ円で近似すると、前腕の回内外を行っていない状態で前腕近位におけるだ円の長辺は矢状面に対して外側方向に約 45° 傾いており、手関節付近にいくに従って傾きが減少し 0° となる。この解剖学的特徴を再現するため、Fig. 8 の尺骨側と橈骨側のフレーム中心を結ぶ破線と、手首の掌背屈機構の軸 (実線) との関係が 45° となるようにソケットにひねりをいれている。ソケットのサイズは標準的な日本人成人男性に合わせて作成しているが、スリットによってある程度の調整が可能である。ソケットに被せたサポータの留め具で締め付けることで容易な装着を可能とした。サポータの裏地は適度な摩擦と柔らかい接触面が得られる特殊素材 (スキンリバース, ダイア工業) になっており、切断端の抜け落ち防止と切断端の保護の役割を果たす。そのため、上腕骨頭までソケットで覆うことによって懸垂するミュンスター式ソケットよりも、肘の動作を妨げない。サポータはソケットから取り外して洗濯可能なため衛生的である。

2.6 外観デザイン

本義手は、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。

2.7 試作機の仕様

試作においては、3D プリンタ (uPrint SE Plus, 丸紅情報システムズ) を用いてほとんどのパーツを ABS 樹脂で造形した。ABS 樹脂の積層ピッチは 0.254 [mm] である。リニアアクチュエータの筐体およびシャフト、トーションバネ、ネジ、リンク 1 とリンク 2 を接続する軸のみ金属である。最終的な義手のスペックは Table 2 となった。ソケットを含む全体の重さは 300 [g] となり、Ottobock 社の Myobock のソケット込みの重量約 900 [g] に比べると 3 分の 1 となった。角型リチウムイオン電池 (9[V], 容量 500 [mAh]) を用いて、30 秒ごとに開閉を繰り返した場合のバッテリー駆動時間は、約 6 時間である。また、Fig. 9 のように力センサで計測した場合、各センサにかかる力の平均値は、 5.8 [N] であった。 500 [ml] のペットボトルを把持して、持ち上げることができることを確認した。指先キャップはシリコン製のため、型による成形が必要があるが、指先に

**Fig. 9** Grip force measured by force sensors

シリコンシートを貼り付けることで代替可能であり、サポータも生地があれば型紙から製作することが可能である。また、マイコン、センサ、モータは前述のように一般に市販されているため、3D プリンタさえあれば複製は容易である。他の筋電義手との単純な価格比較は難しいが、トータルの材料費は 5 万円以下となり、低コストでの製作が可能である。

3. SHAP 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。実験参加者は 1 名の左前腕切断者 (男性, 60 代) である。断端長は 12 [cm] で、日常的に装飾義手を用いており、作業用義手の使用経験はない。評価にはイギリスで開発された上肢機能の評価テストである SHAP (Southampton Hand Assessment Procedure) [13] [14] 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に基づき、Fig. 10 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。6 種の把持に対応した抽象物体それぞれについて、木材または金属から成る 12 種の物体を操作する課題と、6 種の把持を使用する 14 種の日常生活動作の課題で構成されている。各課題を完了するまでの時間を計測し、達成に 100 秒以上かかる場合には課題を失敗とする。SHAP は上肢機能についてスコアの計算が可能であるが、実験参加者は他の義手の使用経験はないため今回は他の義手とのスコアの比較は行わず、個々の課題が遂行可能であるかどうかに着目して評価した。

前腕切断者による評価を行う前に、試作義手で 6 種の抽象物体を把持可能か確認した。Fig. 11 に示すように、Fig. 10 と同様の 6 種の把持が可能であり、試作義手の評価に SHAP が適用可能である。

実験参加者が装着した義手は最終仕様と同様であるが、型成形が必要なシリコン製の指先キャップではなく、シリコンシート (硬度 30° , 厚さ 1.5 [mm]) を指先形状に合わせて接着した

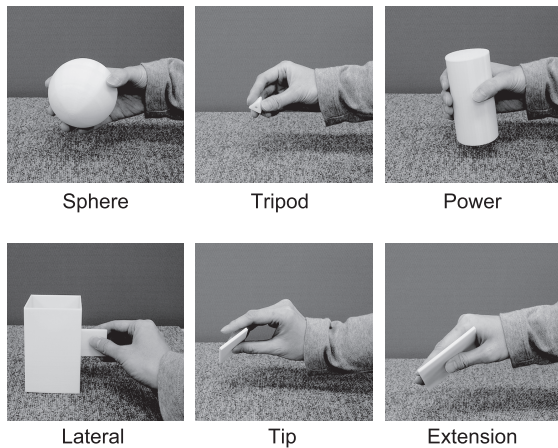


Fig. 10 Six types of grasps used in SHAP

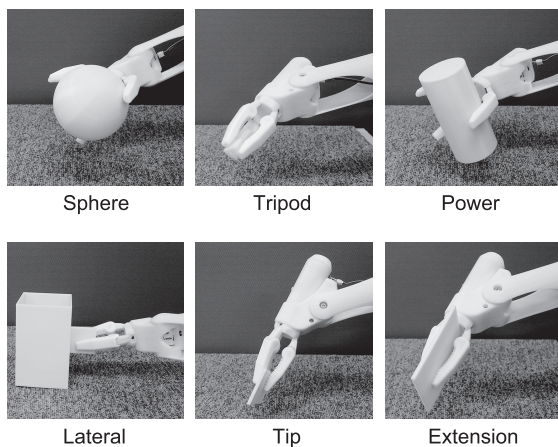


Fig. 11 Six types of grasps by the prosthesis

ものを使用し、最も低コストに実現できる仕様で検証した。ハンドは掌屈 45° で固定した。距離センサは尺側手根屈筋の直上に配置し、上から伸縮性のアンダーラップを巻いて固定し、その上からソケットを装着した。ソケットの装着はサポータのバンドで固定することで、実験参加者自身でも片手で装着可能であった。

SHAP テストを行う前に筋収縮に応じて指の開閉が可能かどうか確認した。キャリブレーション後、肩関節内旋 0° 肘関節屈曲 80° の姿勢で指を握るようなイメージで筋収縮した時の距離センサの値を Fig. 12 に示す。筋収縮によってセンサ-皮膚間の距離が縮まることで、距離センサの値が上昇する包絡波形が得られ、このとき義手の指が意図通りに開閉することを確認した。また、肩関節内旋 0° 肘関節屈曲 0° の姿勢、肩関節内旋 90° 肘関節屈曲 80° の姿勢でも同様に指が意図通りに開閉できることを確認した。

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、実験参加者には事前研究の内容とリスクに関する説明を文書と口頭で行い、同意を得た上で評価を行った。

3.1 抽象物体の操作課題の結果

抽象物体の操作課題は、Fig. 13 に示すように、軽量物（木材）

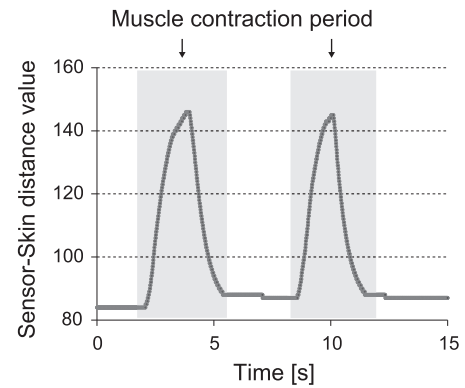


Fig. 12 Sensor-skin distance value of the subject



Fig. 13 Photograph of the SHAP test

または重量物（金属）から成る 12 種の抽象物体を、机上の規定の位置に移動する課題である。5 分ほど操作練習をしてもらい、義手の操作にある程度慣れた段階でテストを行った。Table 3 に結果を示す。軽量物に関しては、すべての把持タイプで 7 秒以内で達成できた。重量物については、側面つまみ（Lateral）を除いて 10 秒以内で達成できた。側面つまみは直方体の側面に取り付けられた把手をつまんで移動する課題であるが、重量物の重心から離れた位置を把持しなければならないことに加え、金属製の把手が滑りやすかったことが達成できなかった原因であると考えられる。重量物の側面つまみ以外の 11 課題は困難なく達成できたことから、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、実験参加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。

3.2 日常生活動作課題の結果

日常生活動作に関する課題の結果を Table 4 に示す。全 14 課題中 6 課題が 100 秒以内で達成できた。達成可能であったタスクは、紙をめくって裏返す（Page Turning）、紙パックの水を

Table 3 Results of abstract object tasks

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

Table 4 Results of daily living activities tasks

Task	Time [s]
Pick up coins	*
Undo buttons	Failure
Food cutting	**
Page turning	13.0
Remove jar lid	Failure
Pour water from jug	Failure
Pour water from carton	33.2
Move a full Jar	Failure
Move an empty tin	9.6
Lift a tray	10.5
Rotate a key	15.0
Open/Close a zip	*
Rotate a screw	Failure
Rotate a door handle	5.1

* The participant succeeded in the task when he spent over 100 seconds.

** The participant succeeded in the task when he started it holding the tool.

注ぐ (Pour water from carton), 空き缶を持ち上げる (Move an empty tin), トレイを両手で持ち上げる (Lift a tray), 鍵を回す (Rotate a key), ドアハンドルを押し下げる (Rotate a door handle) である。

100 秒以内では達成できなかったが, 時間をかければ達成可能であった課題は, コインを拾い上げる (Pick up coins), ジップの開閉 (Open/Close a zip) であった。ナイフを持って食材に見立てた粘土を切る (Food cutting) は, 置かれたナイフを義手側で拾い上げ構えるのは難しいが, ナイフを義手に持たせた状態で課題を開始することにより達成できた。

達成できない課題は, ピンの蓋を外す (Remove jar lid), ガラス製の計量カップに入った水を注ぐ (Pour water from jug), 満水のピンを持ち上げる (Move a full Jar) といった, 滑りや

すい対象に対して強い把持力を必要とする課題である。達成できなかった原因は材料に ABS 樹脂を使用したことによる剛性不足やモータのトルク不足にあるため, 一部材料をより剛性の高い金属に代替する, モータをよりトルクの高いものに変更する, 指先キャップを摩擦係数の高い素材に変更することにより対処可能である。ただし, これらの変更はコストや重量増につながるため, 本義手の想定用途と日常生活場面でのこれらのタスクの重要度を考慮して対応を検討したい。ネジを回す (Rotate a screw) は, ドライバーを把持した状態で前腕回外する際に意図せず指が開いてしまうため, 指の開閉をロックする機能で対処できる。また, 片手で服のボタンを外す (Undo buttons) は, 他の課題よりも精緻な作業が必要であり, 元々義手では困難な課題であるため対処は難しい。

以上の結果から, 試作義手は軽量な対象を操作する日常生活動作において有効性が示された。先に述べた抽象物体の操作課題の結果も踏まえると, 本義手が想定する用途である, 健常肢に対する補助肢や装飾義手ユーザが軽作業時に用いる義手として活用可能であると考えられる。

実験参加者の使用後の感想として, 「料理や洗濯物を畳むなどの家事でぜひ使ってみたい」, 「装飾義手よりも軽くて楽」, 「装飾義手とは違ったデザインで恰好良い」などの良好なコメントが得られた。一方で, モータ音や防水性, 耐久性に対する懸念にも言及があり, これらの点に関しては今後の検討が必要である。

4. ま と め

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・低コストの作業用電動義手を報告した。ハンドは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, 距離センサ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応じて指の開閉を行う方式とした。切断端を挿入するソケットは, 専用サポータで容易に装着可能であり, サポータ裏地は快適性の確保と切断端の抜け落ちを防止する特殊素材を用いた。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外観デザインを行った。重さは 300 [g], 3D プリントを用いることで 5 万円以下で製作可能とした。前腕切断者を対象とした SHAP テストによって, 本義手が 6 種の基本的な把持動作や日常生活動作において有効であることを確認した。

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, 本義手の使用による道具の身体化についても研究予定である。

謝 辞 本研究は立石科学技術振興財団研究助成および JSPS 科研費 25871200 の助成を受けて実施した。ここに感謝の意を記す。

参 考 文 献

- [1] Hosmer: Hosmer hook, <http://hosmer.com/products/hooks/index.html>, 2013.
- [2] Ottobock: Michelangelo, <http://www.living-with-michelangelo.com>, 2013.

- [3] Touch bionics: i-Limb Ultra, <http://www.touchbionics.com/products/active-prostheses/>, 2013.
- [4] RSL Steeper: bebionic3, http://bebionic.com/the_hand, 2013.
- [5] C. Cipriani, M. Controzzi and M.C. Carrozza: "The Smart-Hand transradial prosthesis," J. NeuroEngineering and Rehabilitation, vol.8, no.29, 2011.
- [6] S.A. Dalley, T.E. Wiste, T.J. Withrow and M. Goldfarb: "Design of a multifunctional anthropomorphic prosthetic hand with extrinsic actuation," IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, vol.14, no.6, pp.699-706, 2009.
- [7] I. Gaiser, C. Pylatiuk, S. Schulz, A. Kargov, R. Oberle and T. Werner: "The FLUIDHAND III: A multifunctional prosthetic hand," J. Prosthetics and Orthotics, vol.21, no.2, pp.91-96, 2009.
- [8] Y. Kamikawa and T. Maeno: "Underactuated five-finger prosthetic hand inspired by grasping force distribution of humans," Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS2008), pp.717-722, 2008.
- [9] H. Liu, K. Wu, P. Meusel, N. Seitz, G. Hirzinger, M. Jin, Y. Liu, S. Fan, T. Lan and Z. Chen: "Multisensory five-fingered dexterous hand: The DLR/HIT Hand II," Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS2008), pp.22-26, 2008.
- [10] A.H. Arieta, R. Katoh, H. Yokoi and Y. Wenwei: "Development of a multi-dof electromyography prosthetic system using the adaptive joint mechanism," Applied Bionics and Biomechanics, vol.3, no.2, pp.101-111, 2005.
- [11] F. Lotti, P. Tiezzi, G. Vassura, L. Biagiotti, G. Palli and C. Melchiorri: "Development of UB hand 3: Early results," Proc. the 2005 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA2005), pp.4488-4493, 2005.
- [12] J. Pons, E. Rocon, R. Ceres, D. Reynaerts, B. Saro, S. Levin and W.V. Moorlegheem: "The MANUS-HAND dexterous robotics upper limb prosthesis: Mechanical and manipulation aspects," Autonomous Robots, vol.16, no.2, pp.143-163, 2004.
- [13] C. Metcalf: Southampton hand assessment procedure (SHAP), <http://www.shap.ecs.soton.ac.uk>, 2013.
- [14] C. Light, P. Chappell and P. Kyberd: "Establishing a standardized clinical assessment tool of pathologic and prosthetic hand function: Normative data, reliability, and validity," Arch. Phys. Med. Rehabil., vol.83, pp.776-783, 2002.



吉川雅博 (Masahiro Yoshikawa)

2010 年筑波大学大学院図書館情報メディア研究科博士課程修了。博士 (情報学)。2010~2013 年 (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。2013 年より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教。筋電などの生体信号を用いたインタフェースや電動義手の研究開発に従事。

(日本ロボット学会正会員)



田口裕也 (Yuya Taguchi)

2013 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。2012~2013 年 (独) 産業技術総合研究所知能システム研究部門技術研修生。2013 年よりパナソニック株式会社勤務。在学中は機能性とデザイン性を考慮した義手の設計開発に従事。



阪本 真 (Shin Sakamoto)

2007 年大阪府立工業高等専門学校機械工学科卒業後、2008 年京都工芸繊維大学工芸科学部造形科学域造形工学課程編入学、2011 年同大学卒業後、同年より慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程に在籍。感覚的なインターフェースや汎用的な義手などの研究を行っている。



山中俊治 (Shunji Yamanaka)

1982 年東京大学工学部産業機械工学科卒業後、日産自動車デザインセンター勤務。1987 年よりフリーのデザイナーとして独立。1991~1994 年東京大学助教授。1994 年リーディング・エッジ・デザイン設立。2008 年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科教授を経て、2013 年より東京大学生産技術研究所教授。義足や感覚に訴えるロボットなど、人との新しい関係を研究している。



松本吉央 (Yoshio Matsumoto)

1998 年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。博士 (工学)。同年オーストラリア国立大学研究員。1999 年より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手、助教授を経て、2007 年大阪大学大学院工学研究科特任教授。2009 年 4 月より (独) 産業技術総合研究所知能システム研究部門サービスロボティクス研究グループ長。実社会で役に立つ支援ロボットの実現を目指す。

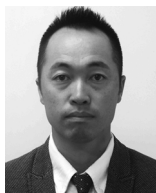
(日本ロボット学会正会員)



小笠原司 (Tsukasa Ogasawara)

1983 年東京大学大学院工学研究科情報工学専門課程博士課程修了。工学博士。1993~1994 年ドイツ、カールスルーエ大学客員研究員。1998 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授となり現在に至る。知能ロボットの研究に従事。計測自動制御学会、情報処理学会などの会員。

(日本ロボット学会正会員)



河島則天 (Noritaka Kawashima)

2000 年金沢大学大学院教育学研究科修了、2005 年博士号取得 (学術・論博)。2000 年より国立障害者リハビリテーションセンター技術員、2002 年同流動研究員、2005 年芝浦工業大学先端工学研究機構助手、2006 年学術振興会海外特別研究員、2008 年同特別研究員 SPD、2009 年国立障害者リハビリテーションセンター研究所研究員、2012 年より同研究所・神経筋機能障害研究室長。神経科学を専門に新しいリハビリテーション方法の開発を目指した研究に従事。