

## モジュール方式を用いたカスタマイズ可能な電動義手の開発

## Development of customizable modular electric prosthetic hand

○ 野村方哉（(株)リハビテック） 西本澄（広工大）

Masaya NOMURA, Rehabitech co.,ltd  
Kiyoshi NISHIMOTO, Hiroshima Institute of Technology

**Abstract:** A modularized electric prosthetics hand is developed. Functions required by each amputee are different, for example from simple pinch specific one to five fingers high functional one. There may be an increased functional demand in the near future. These demands may include specific to finger amputees, optimal size adjusting to specific gender or age group. The developed electrical prosthetics hand can be customized to fulfill such need or demand. It consists of three interchangeable modules of joint module, skeletal module and driving module. In this paper the development of this electric prosthetic hand is presented.

**Key Words:** Electric prosthetic hand, Modular , customize, multifinger

## 1. はじめに

筋電などの操作熟練度や日常作業の内容などにより、ピンチ動作に特化したものから、5指を持つ高機能なものまで、切断者ごとに電動義手に必要とする機能は異なる。さらに今後、指切断への適応や、性別や年齢にあったサイズなど、電動義手への要望も増えると考えられる。そこで本研究では、モジュール方式を用いて、ユーザに合わせてモジュールの組み合わせによって、義手の構成を変更できる電動義手を開発したので報告する。

## 2. 電動義手の設計

### 2.1 設計コンセプト

装飾義手が多く普及している日本において、人間の手に近似させることは、ユーザの受け入れに寄与すると考えた。また、ユーザが仕事や日常生活で行う作業内容や、筋電などのインターフェース熟練度に合わせて、ユーザごとに最適な義手を提供することで、ドロップアウトを軽減できると考えた。そこで、以下の3点をコンセプトとして開発を

行った(Fig.1).

- i)人間の外見的特徴を模倣する
- ii)ユーザに合わせて義手構成が変更できる
- iii)日常において確実な把持ができる

これらのコンセプトをクリアするために、a)モジュール化、b)モジュールの小型化、c)把持評価実験を行ったので、詳細を以下に示す。

### 2.2 モジュール化

本電動義手は、機能別に関節部・骨格部・駆動部の3つのモジュールで構成した(Fig.2).

#### ・関節部

関節部は、関節軸受や関節角度計測、ワイヤ固定部を有する。角度計測には村田製作所製 SV01 を関節軸上に配置し、構造の簡略化を図った。指部に必要な機能を1つのモジュールに集約することで、義手のサイズや構成を変更するために数種類準備が必要な骨格部を簡素にすることができ、コストの削減を目指した。

#### ・骨格部

骨格部は、指のサイズの調節や、3指タイプや5指タイプなど義手の構成を決定する役割を有し、指先や指関節間、手根骨列から構成される。指先部は、関節の個数や作業内容に合わせて、指先形状を選択して組み合わせる。1指3関節では人間の指先形状に近似したものを選択し、MP関節のみの場合ではフック形状の指先形状を選択できる。指関節間は、長さの異なるものを複数準備し、それらの組み合わせを変えることで、ユーザの健側サイズと合わせることができる。手根骨列は、駆動部を接続することで、義手の指の数や配置を決定する機能を有する。現段階では骨格としての役割のみであるが、制御部品を集約したモジュール化を進めている。

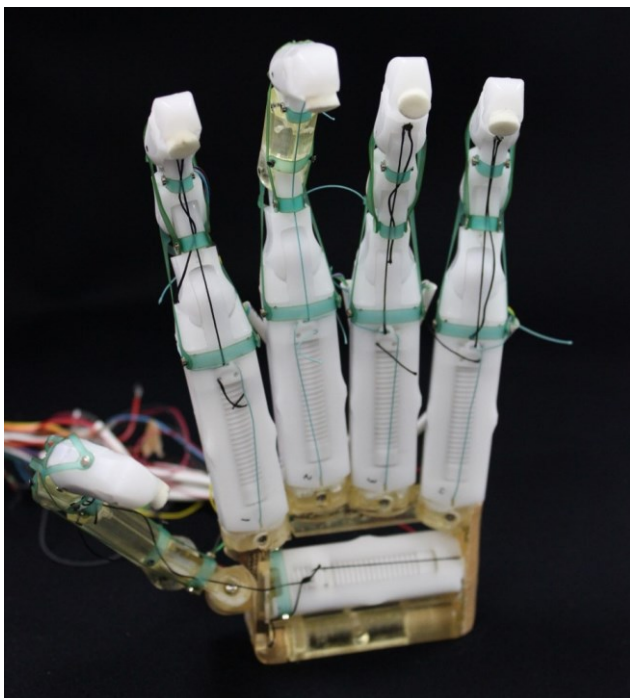


Fig. 1 Development of 5 finger type

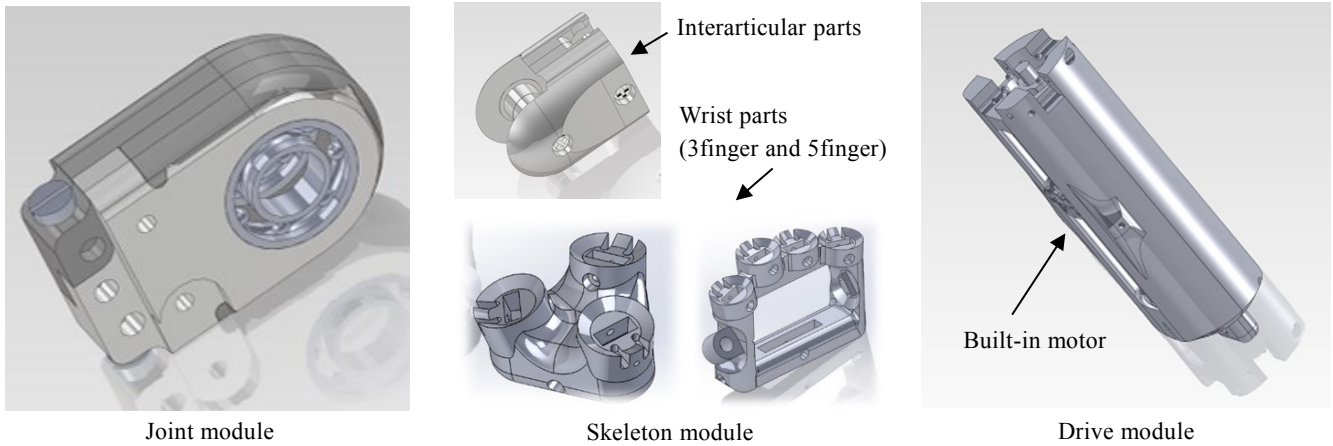


Fig.2 Moduler parts

・駆動部

駆動部は、直流モータの回転運動をネジ機構により直動運動に変換する機構を用い、1つの駆動部で屈曲・伸展側ともにワイヤを引くことができる構造にした。ストロークは3関節を十分に可動できるように30mmに設定した。

これら、機能別にモジュール化することにより、構成変更だけでなく、破損時の迅速な対応にも貢献できる。破損部分のモジュール部品を交換するだけで、現場での修理ができるため、義手を使用できない期間を最小限に抑えることで、ユーザの負担を減らすことができる。さらに、モジュールごとに開発可能であり、各社が各モジュールを開発することで、組み合わせによって様々な機能を有した義手を作り上げることができるため、ユーザの選択肢を増やすことができる。と考える。

2.3 使用材質と製作方法

各モジュールは強度と軽量化、ワイヤ駆動による摩擦を考慮し、POMを使用し、部品の製作にはNC加工機による切削加工を用いた。しかし、切削加工は部品精度は高いものの加工時間が長く、設計後の実機評価に時間を要する。

そこで、動作評価用としてキーエンス製 3D プリンタ「AGILISTA」を用いて製作した。AGILISTAは積層ピッチが15μmであり、センサ軸部など精度が必要な部品も製作可能であり、さらに5指分のパーツを7h程度で造形できるため、開発期間を短縮できる。しかし、使用環境によってはPOMに比べると経年劣化が早く、作り替えまでの3～4年間を安全に使用することは現状では難しい。

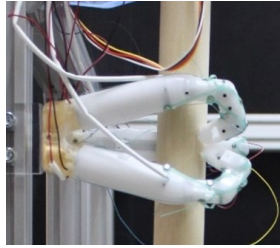
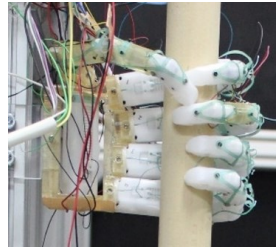
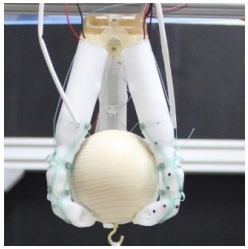
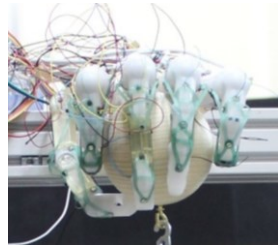
2.4 小型化

駆動部を指部と分離することで、指部を関節と骨格のみに簡素化することができ、さらに軸構造やセンサの見直しにより小型化を行った。また、骨格表面をワイヤが通る駆動方式を用いることで、骨格内部に関節を可動させる機構を無くし、骨格の簡素化と小型ができた。

3. 把持評価

義手構成の違いが、把持能力にどのように影響するかを1指3関節を有する3指タイプと、人間の指配置を模倣した5指タイプにて比較した。把持条件としてD30mmの円柱を握力把持した場合と、D80mmの球体を指先把持において、把持部材に吊り下げた重りを増加し、10s間把持できた

Table1 Gripping stability experiment

Grip condition	Results (gf)		Figure	
	3 finger	5 finger	3 finger	5 finger
Power grasp performance (Gripping a 30mm diameter tube)	840	1050		
Fingertips grasp performance (Grasping an 80mm diameter sphere)	700	760		

最大荷重で評価した。結果，Table1 のように把持形態によらず 5 指タイプの方が把持能力が高いものの，3 指と大きな差は無かった。要因として，5 指タイプでは CM 関節が 1 自由度しかない状況において，単純な人間の配置を模擬しただけでは小指側に空間が生まれ，荷重時に把持物体が脱落し，5 指本来の機能を発揮できないためであり，関節自由度に対する配置の最適化が必要である。

#### 4. ワイヤ駆動

ユーザに合わせて，関節の数や関節間の長さを変更した場合，関節を駆動する機構も調節が必要となる。また義指など駆動部を中手骨部分以外に配置する必要がある場合にも対応できる必要がある。そこで，駆動部レイアウトの自由度が高いワイヤ駆動方式を用いた。さらに，最小限のアクチュエータで最大 3 関節を協調して駆動できるワイヤ走行にした。ワイヤ駆動の詳細を以下に示す。

##### 4.1 ワイヤ走行

3 関節 1 アクチュエータにおける模式図を Fig.3 に示す。本電動義手では，3 関節の屈曲・伸展を各 1 本のワイヤで動作させるために屈筋腱は末節骨に，伸筋腱は基節骨に固定し，各関節間を人体の腱構造を模倣したリンク機構で連動するようにした。それにより，1 つの駆動部で MP 関節の伸展動作に協調して PIP 及び DIP が伸展が可能となった。

##### 4.2 ワイヤ材質

これまで駆動用のワイヤ素材として，テグス，ステンレスワイヤ，縫い糸などを使用してきたが<sup>(1)</sup>，90°まで屈曲する関節を通過する際に塑性変形を起こしたり，長期使用により伸びが発生した。そこで，組紐内部に芯線を通した紐を用いた。組紐は柔軟性があるが，荷重時に伸びがあるため，伸びづらい芯線と合わせることで柔軟性と伸びづらさを両立している。さらに，芯線だけではほつれが起こるため，ほつれづらい組紐と組み合わせることで軽減している。

MP と DIP・PIP の協調動作を行うリンクは，Fig.4 のような A 字状であり，組紐で再現するには困難であるため，レーザーカットで複雑な形状が容易に作れるウレタン材を使用した。使用したウレタン材は多少の伸縮性があるものの，低摩擦で引裂きに強い特性があり，腱だけでなく腱鞘にあたる部分にも使用した。

#### 5. 課題及び今後の展望

各項目における課題と展望を示す。

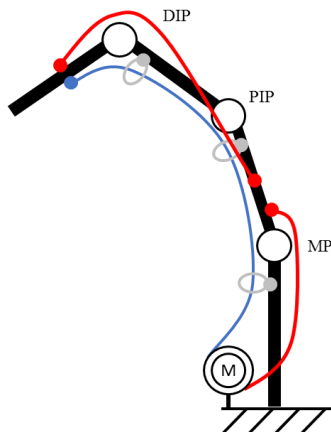


Fig.3 Schematic for 3 joint by 1 finger

#### ・モジュールパーツ

臨床評価に向け，操作性と安全性を確保するために，動作スピードと強度の改善が必要である。動作スピードに関しては，現在のワイヤ走行における 1 指 3 関節モデルの関節角速度が，1.0rad/s と他の電動義手に比べて遅い<sup>(2)</sup>。これは，3 関節を可動させるために，屈筋腱を最大で 30mm 引く必要があるためである。そこで，MP 関節のみ駆動部にて可動し，屈曲・伸展共に MP 関節の動きを PIP，DIP へと連動することにより，駆動部の最大屈曲に必要な移動量を最小限に抑えることで，関節角速度の改善を図る。さらに otto bock 社のアクソンバスシステムなどと接続する機能を組み込むことで，他の義手との汎用性を持たせる。

#### ・駆動ワイヤ

ワイヤの摩耗による破損がボトルネックとなる。特に，指関節の腱鞘にあたる部分での摩耗による破損が多い。対策として，関節にプーリを配置したり，腱鞘にあたる部品の材質・形状を見直し，ワイヤへの摩擦軽減を図る。

#### ・把持性能

把持評価においては，臨床で確実に把持できるように，より日常生活動作に近い評価指標で評価を行い，義手構成別の最適な指配置を検証する。

#### 6. おわりに

ユーザの活動量や作業内容，インターフェースの操作熟練度などによって，義手の構成を変更できるモジュラー方式の電動義手の開発を行った。さらに改良を進め，機構の信頼度や臨床使用における把持能力向上を目指す。

**謝辞** 本研究の一部は，京都府の「中小企業活路開拓緊急事業」採択番号 22 京 21 第 663 号と，京都市の「知恵産業創造支援事業補助金」採択番号産産第 142 号より援助を受けた。

#### 参考文献

- (1) 野村方哉，西本澄，人間の指を規範とした電動義手骨格の試作開発と拮抗制御アルゴリズムの検討，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集，pp.1P1-H04(1)-1P1-H04(4)，2012
- (2) Joseph T. Belter, Jacob L. Segil, Mechanical design and performance specifications of anthropomorphic prosthetic hands, JRRD, Vol.50, No.5, pp.599-618, 2013.



Fig.4 Wire strike for extensor