

先天性前腕欠損を対象とした幼児用多自由度筋電義手の開発

Development of Multi-DoF Myoelectric Hand for Upper-limb-deficient Children

○ 田中啓太 (電気通信大) 中川慎也 (電気通信大)

關達也 (電気通信大) 加藤龍 (電気通信大) 横井浩史 (電気通信大)

Keita TANAKA, Shinya NAKAGAWA,
Tatsuya SEKI, Ryu KATO and Hiroshi YOKOI, University of Electro-Communications

Abstract: Multi-degrees of freedom (DoF) myoelectric hands, which are powered prosthetic hand controlled by electromyogram (EMG), are not yet applied to upper-limb-deficient children. Since these hands must be made very small and light, it causes weakness of finger structure such as joint axis damage by too large external force at daily life. In this study, we developed smaller-sized multi-DoF myoelectric hand system with dislocating-finger joint mechanism like human fingers joint. In addition, we developed the smaller-sized controller which can control many robot hand motions. As a result, we made the prototype of multi-DoF myoelectric hands. Its total weight of myoelectric hand system is 350g, including battery, and it is comparable in size to healthy children hand. Although its grip force is weaker than children gripping force, robot hand for myoelectric hand has robust joint mechanism that is dislocated by too large external force, and defends itself.

Key Words: myoelectric hand, adoptive joint mechanism

1. 緒言

5 指の屈伸動作の独立制御機能を有する筋電義手は、近年の開発により成人用のサイズについては、研究成果が発表され始めた(1-2)。しかしながら、幼児用の義手については、成人では現れてこない様々な制約があるため、開発研究が進んでいない。代表的な制約は、a)先天性の上肢欠損者のための筋電制御のソフトウェア設計にかかわる制約と、b)機構設計製造にかかわる制約、c)市場性や支援の課題など、3種類に整理される。

a)では、意思疎通が困難な幼児に対して、意図した動作を行ったときの筋電特徴と実際の義手動作を後天的に対応づけるような制御手法の適用は難しいこと、b)では、ロボットハンドの小型化に技術的課題が大きい。5指型ロボットハンドを幼児用のサイズで実現するためには、駆動系の大きさや個数を制限する必要がある、結果として自由度と把持力を共に低下させる。さらには、パーツの小型化により強度低下が大きく、日常生活に必要な耐故障性を維持できないなど様々なサイズ、強度、製造コストなどの問題が生じる。c)については、年30-40名程度と小規模であるため、その経済的負担が大きい。

そこで本論では、先天性の上肢欠損した幼児を対象とした軽量、高把持力、耐故障性を有する小型多自由度筋電義手の開発と低コスト化の研究成果について述べる。指関節に超弾性ワイヤで連結した滑り軸受け機構を適用することで、過剰な外力に対して脱臼し、すぐ復元可能なワイヤ牽引型指機構を提案し、実機を製作した。また、筋電から動作意図を識別し義手を制御するための小型制御器を開発した。

2. 幼児用多自由度筋電義手

2-1 すべり軸受け関節を持つ5指型ロボットハンド

幼児用筋電義手は成人用のものとは比べ極めて小さく軽量であることが必要であるが、自分の体重を支えられるだけの高い把持力が要求される。しかし、高い把持力を実現しようとする、指関節は小さく細く設計するため、シャフ

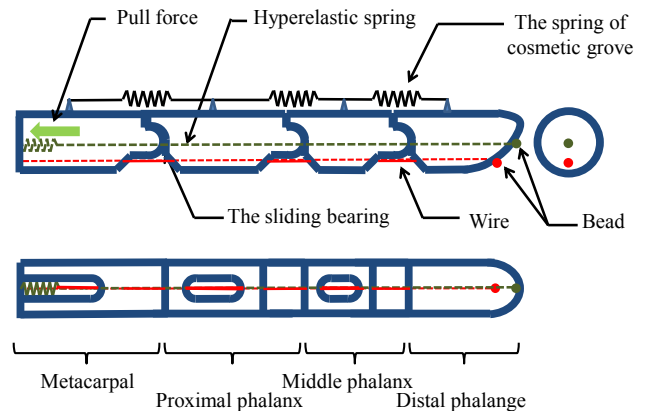


Fig.1 Finger structure of myoelectric hand

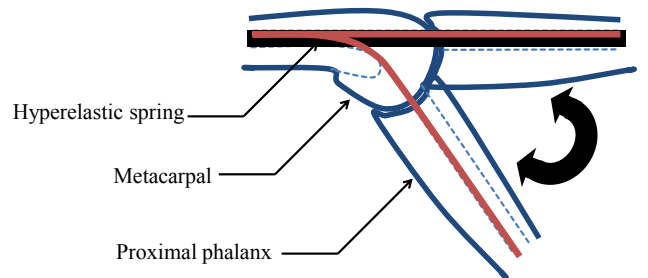


Fig.2 Detail of the sliding bearing

トが指関節に使われていると過大な外力が指先にかかったときに破損してしまう。そこで本研究では、Fig.1に示すような指節を超弾性ワイヤで連結したすべり軸受け関節を持った指関節を提案する。また、滑り軸受けの構造をFig.2に示す。これは、過大な外力がかかると関節が脱臼し、外力を除くと超弾性ワイヤの復元力により指関節が自動復帰する構造である。また、回転軸のシャフトをなくすことで、組立の簡略化や部品数を減らすことによるコスト削減が可能である別なメリットも存在する。

また、これら指関節の駆動には、指先端にワイヤの端を固定し、各指節のガイドを経由して、ワイヤ他端をアクチュエータに連結して牽引することで駆動するワイヤ牽引駆動方式を採用する。このメリットは、アクチュエータを手指から離して配置することが可能となるため、体幹に近いところに大きなアクチュエータを配置すれば、大きな把持力を得ながら大幅な手先重量の軽減を行うことができる点である。

一方、幼児を対象とした義手の重量は非常に軽量にしなければならない。現存するアクチュエータを用いるには、その重量トルク比の関係から搭載できるアクチュエータの数に限りがあり、制御できる運動自由度が制限される。

そこで本研究では、幼児用筋電義手の各指の DIP, PIP, MP 関節は連動して屈伸するよう設計する。また、制御可能な運動自由度を、把持の基本形態である握力把持（例：コップを握る）と精密把持（例：物を3指でつまむ）が可能のように設定し、母指、薬指、小指の3指を連動させることで1自由度、示指と中指を連動させることで1自由度を実現する。また、把持姿勢の変化をさせるため、手首に掌背屈の機能を持たせ、合計3自由度として設計する。

2-2 小型筋電制御器

筋電義手では、皮膚表面に装着した筋電センサから表面筋電位を計測し、その筋電特徴から動作意図を識別し、ロボットハンドをそれに合わせて制御する。

本研究で対象とするような幼児は、成人に比べ非常に体が小さく、かつ前腕欠損部が大きいと残存する前腕部の随意筋も極めて少ない。ゆえに筋電センサを装着する面積自体も小さくなるため、計測箇所は多くても4,5か所となる。そこで、本研究では、義肢装具士の協力の下、義手としてロボットハンドを断端部に装着するためのプラスチック製ソケットを製作し、ソケット内部に最大4か所に筋電センサを配置する。また制御手法としては、予め設計者が、観測した筋電位から特徴分離しやすい特徴差の大きい筋電特徴パターンを明示的に選択し、予め用意した義手動作に対応づけ、幼児に学習させる手法を検討する。識別関数は、これまで専攻研究で有効性の高いニューラルネットワークや最近傍法などを採用し、そのような制御手法が搭載可能なマイコンベースの小型制御器を開発する（本稿ではシステム開発を主とし、制御手法については割愛する）。

3. 実機製作

製作した幼児用筋電義手を Fig.3 に示す。指部材は、ナイロン粉末を焼熟して積み重ねる積層造形法で製作し、関節に当たる部分を鞍関節の形状にして超弾性ワイヤで関節を結合することで滑り軸受け機構を実現した。また、滑り軸受け機構による脱臼の様子を Fig.4 に示す。超弾性ワイヤ（弾性係数 2.4N/mm）は、指の根元部に超弾性バネを取付け、ワイヤを結合した。牽引ワイヤ（PE 繊維）の一端を指先に取付け、もう一端を設置したサーボモータ（GWS 社、トルク 6.4kg・cm）のホーンに取付ける。モータ回転によりワイヤを牽引することで指の屈曲を実現する。また伸展は、ロボットハンドの上から装着する装飾用グローブの弾性力を利用する（Fig.5）。また、ワイヤを牽引するモータは前述の3自由度を制御するために、母指・薬指・小指の屈曲動作に1つ、示指・中指の屈曲動作に1つ、手首の掌背屈動作に1つを用意し、連動するようワイヤを配置する（Fig.6）。

一方、小型筋電制御器とし、RENESAS 製 H8/3694 マイコン（CPU:20MHz, RAM 4KB）を用いる。ソケット内部に設置された4つの筋電センサ（金メッキ電極、1次・2次アン

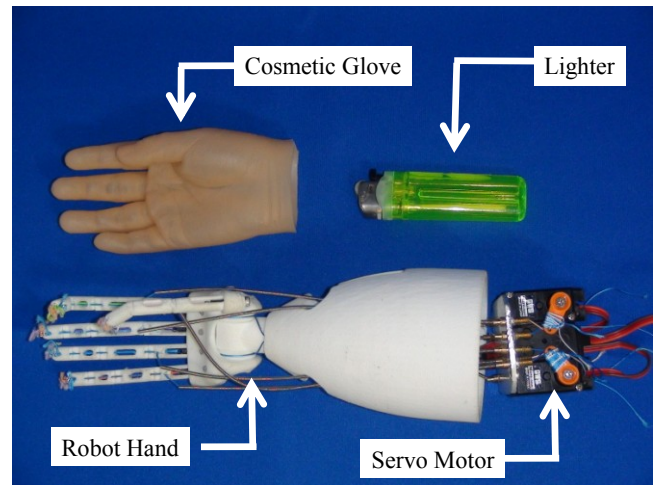


Fig.3 The developed myoelectric hand for infant

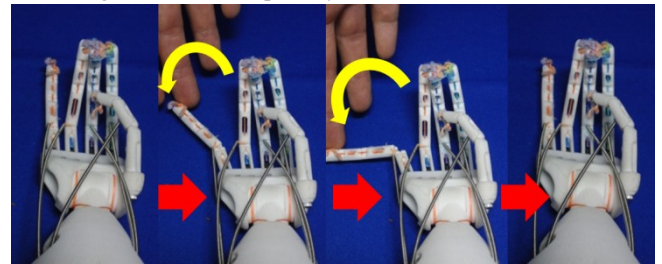


Fig.4 Abarticulation and restitution with the sliding bearing

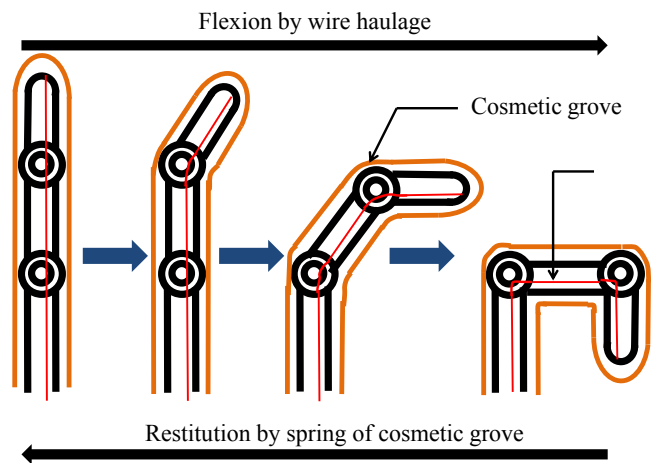


Fig.5 Behavior of developed robot hand finger

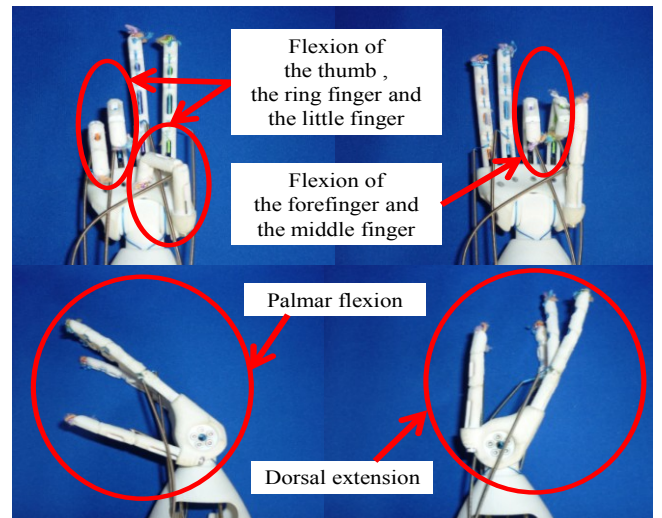


Fig.6 Three motions of hand

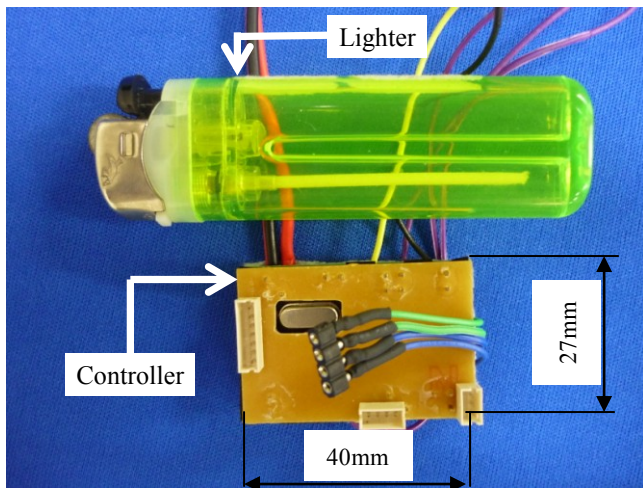


Fig.7 Developed smaller-sized controller

ブ内蔵型)で計測された筋電位は、マイコンの A/D 変換器により量子化精度 10bits でデジタル化され、識別処理を実施する。さらに識別された動作に応じて、マイコンの PWM ポートから 3 個のサーボモータの角度制御し、義手の手指動作を制御する。これらマイコンとセンサを仲介するインターフェースボードを設計し、小型な制御器(40×27×10mm)を開発した。(Fig.7)

4. 性能評価

4-1 把持力

本研究で開発した幼児用の筋電義手が同年代の幼児と比べ、どの程度の把持力の違いがあるかをみるために、把持力を測定した。母指・示指・中指の 3 指を用いて物を掴む時と、5 指全てを用いて物を握った時の把持力をフォースゲージ(IMADA 製)を用いて測定した。測定方法は、幼児用筋電義手で物体を安定的に把持させるためにモータ制御を直接おこない物体を把持させ、グローブを装着した幼児用の筋電義手が物体を手放すまで、ワイヤを付けた物体を引っ張ることを行った。この時ワイヤの另一端に測定器を取付け、把持力を測定した。測定回数は、各々 5 回ずつ行った。また把持に用いた物体は、3 指の把持力の測定時は直径 14mm、高さ 32mm の円筒形の物体を、5 指の把持力の測定時は直径 12mm のボールペンをういた。把持力の結果を Table1 に示す。開発したロボットハンドの 3 指による精密把握と 5 指による握力把握の把持力の平均値は 7.94N と 13.88N であった。また日本国における園児の年中男子と女子の握力平均はそれぞれ 72N と 60N である。握力と把持力の単純比較は出来ないが、この握力に比べると本研究における筋電義手の把持力は劣っている。把持力については改善の余地はあるが、指が超弾性ワイヤで連結されることで指の関節剛性が低く、把持物体に馴染むように柔らかく把持する事が可能であり、ペンや缶コーヒースサイズであれば十分に把持する事が可能である。

4-2 耐故障性

回転方向に対して垂直方向に過剰な外力がかかっても故障しないかを検討するため、各指に対してどれ程の力がかかるとロボットハンドが脱臼を起こすかを測定した。測定方法はグローブを被せた状態のロボットハンドの第 1 関節部に指の回転と垂直の方向に測定器を押しつけ、ロボットハンドの MP 関節が脱臼して測定器を離れるまでの力を測定した。これを各指に対し、5 回ずつ行い、測定結果より MP 関節にかかるトルクを計算した。結果は Table2 に示す。またトルクに用いた長さは、指の腹の真中から MP 関節間

Table1 Measured result of grip force

	1	2	3	4	5
3fingers	7.6	8.1	9.3	4.9	9.8
5fingers	15.6	22.4	14.1	7.0	10.3

(N)

Table2 Calculation result of torque

	1	2	3	4	5	Average
1st finger	72.5	70.0	57.5	50.0	50.0	60.0
2nd finger	80.0	72.0	52.0	84.0	84.0	74.4
3rd finger	90.0	130.5	72.0	76.5	99.0	93.6
4th finger	72.0	64.0	64.0	64.0	72.0	67.2
5th finger	63.0	56.0	49.0	52.5	59.5	56.0

(N・mm)

Table3 Distance between MP joint and ball of this finger

	1st finger	2nd finger	3rd finger	4th finger	5th finger
distance	25	40	45	40	35

(mm)

の距離であり、Table3 に 5 指のトルク計算に用いた長さを示した。脱臼する時のトルクの最大値は 130.5N・mm であり、この外力が掛かり脱臼した時においても指関節は自動復帰したことより、滑り軸受け機構は有効である。また、3 歳児における平均体重は 11~15kg であり、この全体重が構造上トルクの 1 番大きくなる中指の MP 関節にかかっても、トルクは体重 15kg 時に 6650N・mm であり、これよりも小さな力で筋電義手は脱臼を起こすため、本研究で開発した筋電義手は日常生活において耐故障性を有している。

4-3 重量

健常者の幼児の前腕とその部位にあたる筋電義手の重さを比較するため、重量計測を行った。幼児用の筋電義手の総重量は 350g である。内訳はロボットハンドが 160g、グローブが 20g、ソケットが 80g、電池が 60g、制御器が 30g である。この幼児用の筋電義手の使用者は 3 歳の女の子である。標準体重は約 11~15kg であり、片腕の重量は全体重の 1/16 とされており、肘から先の重さを全体重の 1/32 と見積もると約 400g である。本研究で開発した幼児用の筋電義手の重量は、標準の重さより 50g 軽いことから筋電義手を装着しても重さとして負荷を感じないと言える。これは動作自由度を限定するためのアクチュエータ数も適切であるといえる。よって本研究で開発した筋電義手は日常生活で装着していても、過負荷にならない。

5. 結言

本研究では、先天性の上腕欠損をした幼児用の筋電義手の開発と性能評価を行った。そして日常生活においても滑り軸受けによる脱臼構造が有効に機能すること、ロボットハンドを年齢に見合った重量にすることができた。一方、把持力は不足しているが、柔らかい把持が可能である。

今後は更に筋電義手の性能を上げること、制御器に動作意図の推定機能を組み込み、被験者を用いて動作を確認していく予定である。

参考文献

- (1) 加藤龍, 横井浩史, 筋電義手使用による運動機能再建と評価, 日本ロボット学会誌, Vol.27, No.8, pp.102-108,2009
- (2) Marco Controzzi, Marco Donati, and Maria Chiara Carroz-za, "Bio-Inspired Mechanical Design of a Tendon-Driven Dexterous Prosthetic Hand," Proc. of 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS Buenos Aires, Argentina, Aug. 31-Sep. 4, 2010.