

## 皮膚圧力分布測定に基づく腱駆動式電動グローブの接触部構造改良の検討

Improvement of structure of contact portion of an electric-powered glove  
based on pressure distribution measurement

○ 金香紀、大島幸太郎、宮永祐介、安藤凜太郎、諸麥俊司(中央大)

東登志夫、石松隆和、武岡敦史(長崎大) 石原正博(ブレースオンアール・名古屋)

Hyangi KIM, Kotarou OSHIMA, Yusuke MIYANAGA, Rintaro ANDO, Shunji MOROMUGI, Chuo University  
Toshio HIGASHI, Takakazu ISHIMATSU, Atsushi TAKEOKA, Nagasaki University  
Masahiro ISHIHARA, Brace On R Nagoya

**Abstract:** Authors have been developing an electric-powered glove with an exotendon system to support daily activities of CCI patients. Pinching function according to user's intention has been achieved by using the glove system. However, there remains a problem that user feels slight pain on its hand at continuous long-term glove operations. To solve this problem, authors measured pressure distribution on user's hand by using a pressure measurement film and identified the location of pressure concentration and found the cause of the pain. And then the causes was removed by modifying the structure of the glove. Through this process, the painless glove system has been successfully achieved.

**Key Words:** Cervical Cord Injury, Exotendon glove, Active orthosis, Finger exercise, Pressure distribution measurement

## 1. 緒言

本研究では、頸椎損傷者の日常生活における把持動作の支援を目的とした電動式グローブの開発に取り組んだ。現在日本には頸椎損傷者が約7万人いると言われており、その多くが後遺症として下肢や体幹に加え、手指に運動麻痺を負っている。そのため日常生活において不自由な生活を余儀なくされており、工学的支援技術の開発が求められている。手指麻痺者の支援を目的とした能動的装具はすでにいくつか開発されているが(1)(2)、未だ広く普及するような実用的な装具は開発されていない。そのため新しい工学的支援技術が必要とされている。本研究では使用者の意図した通りの手指運動を実現することに成功したが、長時間の連続使用による圧迫感により手に若干の痛みが生ずる問題があった。この問題を解決するためグローブが手指に与える圧力の分布を測定し、その結果に基づいてグローブ形状の改良に取り組んだ。

## 2. 腱駆動式電動グローブ

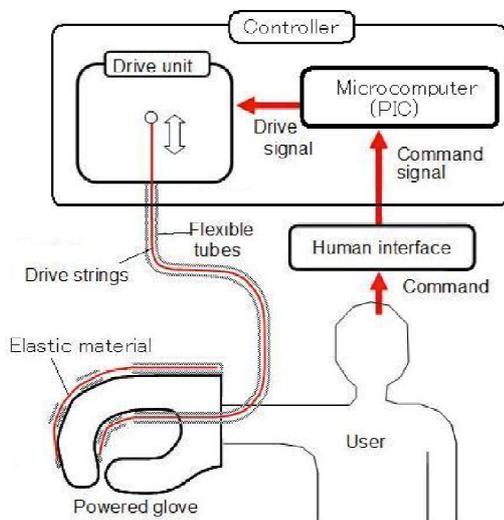


Fig. 1 Overview of the glove system

開発中の腱駆動式電動グローブは、Fig.1の様主に3つの要素で構成されている。

- (1) 装具部：利用者の手に装着する革製手袋。腱駆動システムを有する。
- (2) コントローラ：装具部の動きを操作する駆動ユニットとその制御を行うマイコンを備えている。
- (3) 頭部装着型インターフェース：使用者の頭部に装着する操作入力装置。操作コマンドを検出し、コントローラに送る。

装具部にはヒトの手の腱を模擬したポリエチレン製の糸(駆動糸)がめぐらされており、駆動ユニットが駆動糸の張力を操作することで、装具部の形状が変化し、指の屈伸運動が実現される。

インターフェースには側頭筋の活動を検知するセンサが搭載されており、使用者の意図的な下顎の咬合の有無および強弱を検知することができる。使用者は軽微な咬合を通して操作コマンドをコントローラに伝える。

コントローラはインターフェースから受け取った操作コマンドに応じて駆動ユニットを操作し、駆動糸の張力の制御を行う。

以上のシステムにより、使用者の意図に沿った指運動が可能となる。なお、装具部とコントローラの間は圧縮に強い中空ケーブルで接続されており、その中に駆動糸を通すことによって、駆動ユニットで駆動糸に与えた張力がグローブまで伝えられる。

本腱駆動式電動グローブの主要な特徴は以下のとおりである。

- (a) スリムで軽量の装具部：利用者にとって扱いやすく負担が少ない。
- (b) 咬合による操作コマンド：損傷部位にかかわらず頸髄損傷者の多くが操作可能。
- (c) 強いピンチ力：伸展から屈曲にかけて、いずれの指姿勢においても一指で40[N]以上の指先力を確認。

2-1 装具部

装具部の背側、掌側の外観を Fig. 2(a), (b)にそれぞれ示す。装具部は基本的に柔軟性の高い革製シートで構成され、従来の把持装具にみられる骨格構造は無い。装具部の掌側には指の屈曲運動を実現するための駆動糸が通っており、背側には指の伸展運動を実現するためのばねが固定されている。このばねは指の屈曲時に、逆に伸展させようとする復元力を得るためのものであり、これによりモータ1個の駆動で、指の屈伸運動を実現している。この復元力は指曲げ角によらずほぼ一定であることが望ましいため、超弾性ばねを用いている。指を案内する部分や牽引力伝達用ケーブルは装具部の着脱を容易にすること、およびクリーニングや滅菌をしやすくすることを目的に、グローブ本体と一体ではなく、取り外し可能な構造としている。

本装置は可能な限り簡素な構造でピンチ動作を実現することを目的としており、駆動されるのは示指と中指の2指のみである。これらの2指を対立位に固定した母指に向けて屈曲させることで、ピンチ動作や把握動作を実現している。本グローブにより実現される指運動のメカニズムを Fig.3 に示す。駆動糸を牽引することで屈曲運動が実現され、逆に緩めることで伸展運動が実現される。図の赤色の線が駆動糸を、青色の線が伸展用バネをそれぞれ示している。

2-2 コントローラ

コントローラの外観を Fig.4 に、また内部の駆動ユニットの概観を Fig.5 にそれぞれ示す。コントローラの寸法は 70×55×189[mm]、重量がバッテリーを含めて 723[g]となっている。上面には LCD が一つ、側面にはボタンが5つ設けられており、インターフェースの閾値や駆動ユニットの牽引量などをディスプレイの表示を見ながら容易に設定および操作が可能となっている。

コントローラは主に駆動ユニットと制御部に分かれており、駆動ユニットはボールネジと DC モータで構成される直動機構となっている。駆動糸はボールネジ上で直線駆動するランナーに固定され、ランナーの位置制御により駆動糸の張力を操作している。

また性能試験により、設計仕様である牽引力 100[N]、駆動速度 100[mm/s]、ストローク 100[mm]を全て満たしていることを確認した。



Fig. 4 Photo of the controller

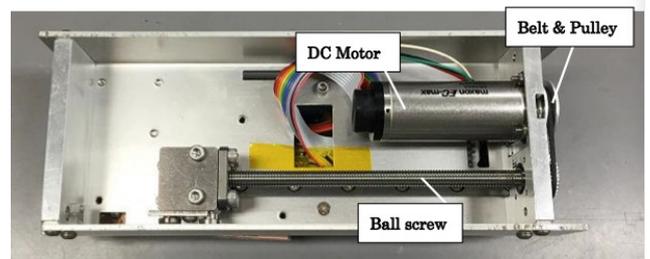
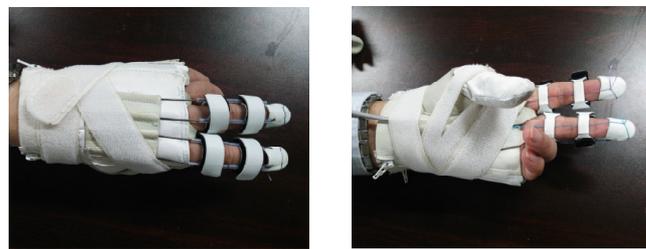


Fig. 5 Drive unit

2-3 インターフェース

本電動グローブは下肢と両手の指に運動麻痺を負う頸髄損傷者の日常生活における上肢作業能力の向上を目的としている。着脱が容易で、簡便に仕様でき、その上確実に操作が可能な操作手段が必要となる。本電動グローブでは、効果的な操作手段として独自の頭部装着型インターフェースを採用した。Fig.6 に利用者の頭部に装着されたインターフェースの写真を示す。こめかみ付近に当てられた円形部分の内側に側頭筋の活動に伴う隆起を検知するセンサが搭載されている。本センサは Fig.7 に示すとおり、厚さ約 7mm のスポンジを柔軟性の高いシート型電極で挟んだ構造をしている。皮膚との接触をとおして、皮下の筋肉(側頭筋)の活動に伴うわずかな隆起を、電極間の静電容量の変化から検知する。これにより、意図的な咬合を検出することが



(a)Back side (b)Palm side

Fig. 2 Appearance of glove

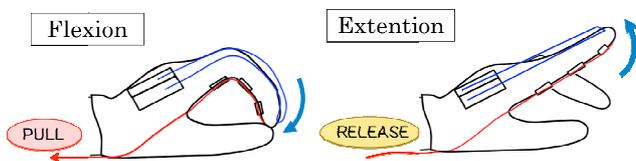


Fig. 3 Mechanism of finger exercise



Fig. 6 Head-mounted Interface

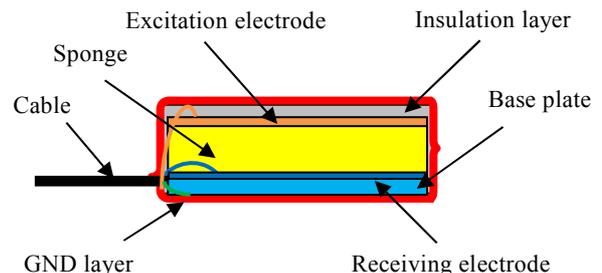


Fig. 7 Cross-section of the skin deformation sensor

可能となっている。また、このインターフェースの利点としては、ヘッドホンのように着脱が容易で長時間使用しても不快感が少ないという点が挙げられる。

### 3. 手に加わる圧力分布の測定

電動グローブを日常生活の中で利用することを想定した場合、長時間に渡って快適に使用でき、安全かつ負担が少ない事が望まれる。しかし、長時間の連続使用を試みたところ、手の複数個所に若干の痛みを生じることが確認された。対策が求められたが、手のどの部位にどの程度の痛みが生じ、どのような対策を取ればどの程度改善されるかを、正確に把握することは困難であった。

そこで本研究において、グローブ使用時に手に加えらるる圧力の分布を富士フィルム(株)製の圧力画像解析システム FPD-9270 で測定した。特殊なフィルム型測定器で測定し、過度な圧力のかかる箇所を特定することで、グローブ形状の効果的な改良とその評価への活用を試みた。

今回は駆動される2指のうち代表して示指についての圧力分布測定およびグローブの改良を試みた。測定箇所としては、集中して圧力がかかることが予想される DIP 関節まわり、PIP 関節まわり、MP 関節まわりの3箇所を選定して、それぞれ測定を行った。Fig.8 に感圧フィルムを固定した箇所を示す。

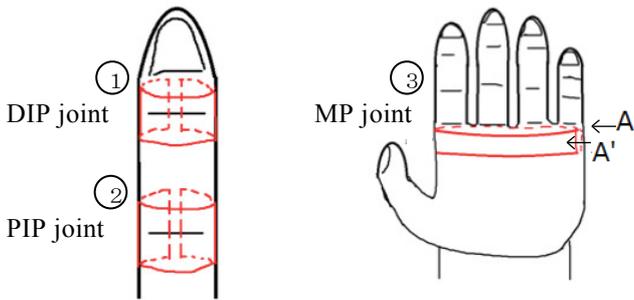


Fig.8 Measurement points

#### 3-1 測定結果

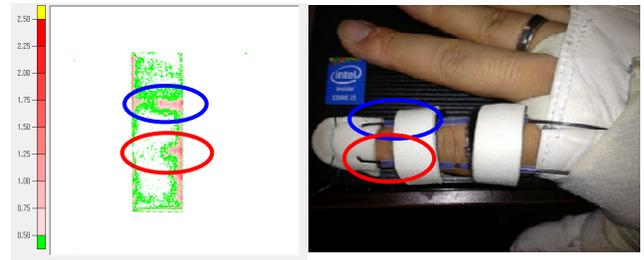
DIP 関節、PIP 関節、MP 関節それぞれの測定結果、ならびに測定結果に基づいて特定した圧力集中の原因箇所を Fig.9(a)-(c) に示す。高い圧力が加わった部位は赤色、低い圧力が加わった部位は緑色で着色されている。今回行った測定は瞬間圧ではなく、指の屈伸運動1回を通しての皮膚とグローブの間で生じた圧力の累積値を記録している。シートのエッジの部分には、シート自身の厚みの影響から高い結果を示す傾向が見られたため、今回はその影響とみられる部位は評価対象からはずすこととした。

まず DIP 関節の測定においては、高い圧力を示す部位が2箇所見つかった。このうち青丸で囲んだ箇所は、写真上の同じく青丸で囲んだ部位に相当し、赤丸で囲んだ箇所は同様に写真上の赤丸で囲んだ部位に相当する。いずれも、伸展用ばねの位置と重なっており、革製のベルトにより伸展用ばねが皮膚に押し付けられることで他の部位よりも高い圧力が生じていることが分かった。

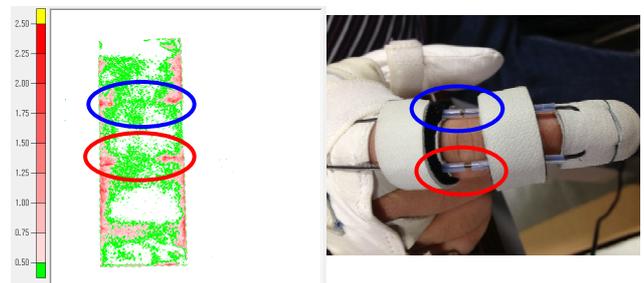
次に PIP 関節の測定においては、高い圧力を示す部位が4箇所見つかった。このうち青丸で囲んだ2箇所は、写真上の青丸で囲んだ部位に相当し、赤丸で囲んだ2箇所は同様に写真上の赤丸で囲んだ部位に相当する。こちらも伸展用ばねの位置と重なっており、革製のベルトに近い部位で高い圧力が生じていることが分かった。

さらに MP 関節の測定においても2カ所において点状の

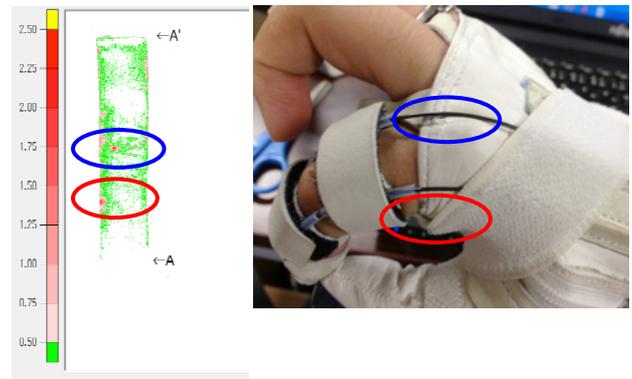
高い圧力箇所が見つかった。青丸で囲んだ部位はグローブの生地折り返し部分を伸展用ばねが押し付けることで一点に高い圧力が生じており、また赤丸で囲んだ部位は、母指を対立位に固定するためのベルトがグローブに付いているファスナーのランナーを押さえることでこちらも一点に集中して圧力が生じていることが分かった。



(a) DIP joint



(b) PIP joint



(c) MP joint

Fig.9 Pressure distribution measured at measurement point

#### 3-2 パワーグローブ形状の改良

上記の圧力分布測定で確認された圧力集中箇所において、圧力を分散させるために、各原因に応じたグローブの改良を試みた。DIP 関節と PIP 関節のリング、MP 関節の弾性ばねとチャックの部分に緩衝材を加えると同時に、母指固定用ベルトの位置をファスナーにかからないよう変更した。緩衝材には厚さ約 5mm のウレタンスポンジを用いた。改良後のグローブの外観を Fig.10 に示す。改良後に再度圧力分布の測定を行い、改良前の結果と比較したものを Fig.11 に示す。いずれの箇所においても改良前のような高い圧力の箇所は見られず、圧力の分散に成功したことが確認できた。また、複数の被験者による使用テストにおいても、痛みが感じられなくなったというコメントが得られた。

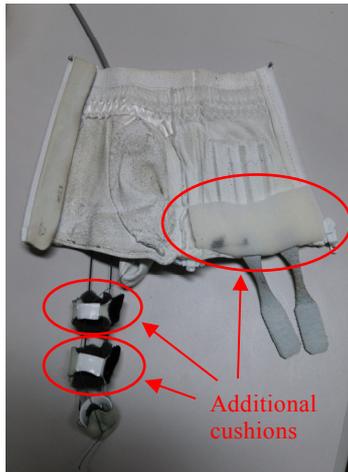
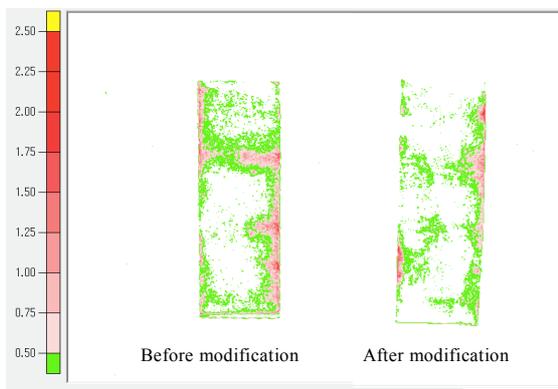
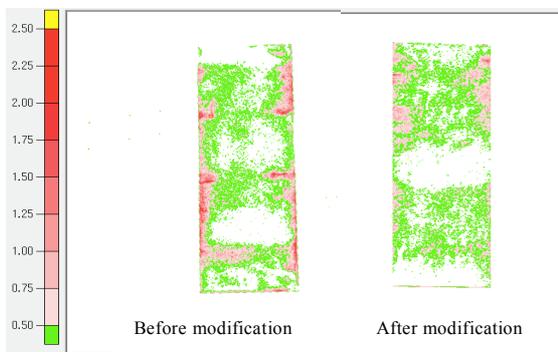


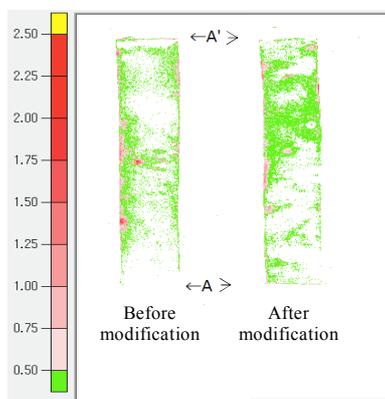
Fig.10 Modified glove



(a)DIP joint



(b)PIP joint



(c)MP joint

Fig.11 Pressure distribution before/after modification of glove structure

#### 4. 結言

本研究では、開発中の腱駆動式電動グローブが連続使用時において手に痛みが生じるという問題があったため、その改良に取り組んだ。グローブシステム使用時に利用者の手に及ぼす圧力の分布を測定し、過度な圧力が生じている箇所を探しその原因を特定した。また、その過度な圧力を生じている箇所に、緩衝材を配置したり、干渉部分を避けるようベルトの位置を調整するなど、原因に応じてグローブの構造に改良を加えることで効果的に圧力の分散させることができた。これにより、長時間の使用においても痛みを生じず、利用者に負担の少ない電動グローブを実現する事に成功した。

#### 謝辞

本研究は国立研究開発法人科学技術振興機構、戦略的創造研究推進事業(社会技術研究開発) による研究成果の一部である。PO をはじめ関係各者のご協力に対しここに感謝の意を表す。

#### 参考文献

- (1) 山本圭治郎, パワーアシスト技術の開発, かながわ政策研究・大学連携ジャーナル, No.5, pp-51, 2013.
- (2) T.Takakura, K.Miura, K.Endo and H.Fukuda, "Measuring of Number-of-Chewing using Flexible Capacitive Sensor," Proc. of 4th Asia International Symposium on Mechatronics, TP2-A-5-P221 in CD-ROM, 2010.
- (3) S.Moromugi, K.Kawakami, K.Nakamura, T.Sakamoto and T.Ishimatsu, A tendon-driven glove to restore finger function for disabled, Proc. of ICROS-SICE International Joint Conference 2009 (ICCAS-SICE2009) with review process, Aug.18-21, 2009, Fukuoka, Japan, with review process, pp-794-797, 2009.
- (4) 大島幸太郎, 三橋健史, 有菌美藍, 林裕樹, 諸麥俊司, 東登志夫, 武岡敦史, 石原隆和, 石原正博, 頸椎損傷者の日常生活支援を目的とするパワーグローブ, 第32回日本ロボット学会学術講演会予稿集(DVD), RSJ2014AC1H3-03, Sep.2014.
- (5) S.Kudo, K.Oshima, M.Arizono, Y.Hayashi, S.Moromugi, T.Higashi, A.Takeoka, M.Ishihara and T.Ishimatsu, Electric-powered glove for CCI patients to extend their upper-extremity function, Proceedings of the 2014 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Chuo University, Tokyo, Japan, December 13-15, 2014