

平成 22 年 6 月 3 日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19700445  
 研究課題名（和文） ERゲル力覚提示グローブによる新たな上肢機能検査法  
 研究課題名（英文） New Test Method for Upper Limb Function by Force Display Glove Using ER Gel  
 研究代表者  
 小柳 健一（KOYANAGI KEN'ICHI）  
 富山県立大学・工学部・講師  
 研究者番号：30335377

研究成果の概要（和文）：本研究では、パッシブ力覚提示グローブおよびパッシブ力覚提示サポートアームを開発し、新たな上肢機能検査法となるバーチャル STEF の基盤ソフトウェアを開発した。また、ERゲルの力覚提示グローブへの応用について、一定の目処を立てた。

研究成果の概要（英文）：In this study, the passive type force display glove, the passive type force display support arm, and basic software for VR-STEF as a new test method for upper limb function were developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	0	1,600,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	510,000	3,810,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：バーチャルリアリティ、リハビリテーション、力覚提示、機能性材料、パッシブ型システム

## 1. 研究開始当初の背景

(1) リハビリにおいて、運動機能の評価は重要であるが、現状では医師や療法士などの評価者の主観的判断に基づくものがほとんどである。一方、定量的・客観的な運動機能評価のため、上肢リハビリにロボット技術・バーチャルリアリティ（VR）を導入する研究が盛んである。しかし、多くの手法は従来の評価手法と大きく離れているため、従来の徒手評価で用いられてきた基準統計データが使えず、一般的な基準との比較による患者の回

復程度の把握は難しい。

(2) これを行うには、手指の姿勢を計測し、把持物体からの仮想反力を提示するような力覚提示グローブが必要となる。しかし、市販されている力覚提示グローブは、安全性や価格、性能の面から不満足であった。

## 2. 研究の目的

(1) 3次元力覚提示装置やリハビリロボットに力覚を提示できるグローブを付与し、臨床

現場でよく使用される簡易上肢機能検査 (STEF) をロボット・VR 技術を用いて高機能化し、客観的な手指の把握姿勢・力の計測による定量的評価を目指す。本研究で開発する新しい力覚提示グローブは、装着が容易であり比較的安価で、既存の 3 次元力覚提示装置やリハビリロボットへオプションとして適用でき、本格的な実用化も可能なものを目指す。

(2) ER ゲルとは電場印加により表面摩擦特性が可逆的・連続に変化する新規な機能性材料である。本研究では、ER ゲルを作動媒体としたトルク制御ブレーキを開発し、力覚提示グローブの力発生部とする。このようなパッシブな機器は、暴走することがないため安全機構を含めたシステム構成をシンプルにできる。そのため、安全性が高く比較的安価に構築でき、非常に実用性が高い。

### 3. 研究の方法

開発するシステムは、臨床現場で上肢機能検査によく使用される STEF をロボット・VR 技術を用いて再現し、臨床的統計データの利用と定量的な評価の両立が可能なものとする。これには、定量的な手指の把握姿勢と力の計測が行え、仮想の把持物体からの反力を提示する、力覚提示・センサグローブが必要となる。力覚提示は安全性を考慮してパッシブ型とし、力発生部には ER ゲルブレーキを用いる。以上を前提として、本研究では以下のように研究を行った。

#### (1) 平成 19 年度

ディスクブレーキタイプの ER ゲルブレーキを開発した。これは、電場印加することで表面摩擦抵抗が飛躍的に大きくなる ER ゲルの特性を利用したものである。

ER ゲルをグローブ内に埋め込むタイプのブレーキ要素を検討した。このタイプはより軽量コンパクトに作成でき、着脱性も向上すると考えられた。しかし、ゲル自体の安定性や耐久性に不安があったため、引き続き検討することにした。

上記のブレーキ要素について基礎特性試験を行った。

安全かつ装着が容易で比較的安価なパッシブ型力覚提示グローブを開発した。ER ゲルブレーキが開発中のため、経過処置として電磁ブレーキを用いた。

開発した力覚提示グローブを取り付けるパッシブ型力覚提示サポートアームを製作した。自重補償が可能な機構とした。

#### (2) 平成 20 年度

トルク重量比の大きなディスクブレーキタイプの ER ゲルブレーキを開発した。前年度の研究のものでは、トルク重量比が小さく、

グローブに取り付けて用いるには十分でなかった。

パッシブ型力覚提示グローブとパッシブ型力覚提示サポートアームそれぞれの基本力覚提示ソフトウェアを開発した。

力覚提示グローブを力覚提示サポートアームに取り付け、バーチャル STEF システムのハードウェアを完成させた。基本的な円柱状物体を作成し、バーチャル STEF のための基盤ソフトを完成させた。

#### (3) 平成 21 年度

ER ゲルブレーキ使用の小型軽量な力覚提示・センサグローブとするため、グローブ内に ER ゲル要素を埋め込むことを考えた。その前段階として、フレキシブルな導体を用いた ER ゲルの機能特性を検証した。

前年度開発した基本力覚提示ソフトにおいて精度が不十分な箇所があったため、アルゴリズムを修正した。

バーチャル STEF の一部に必要な柔物体をパッシブ型力覚提示で行えるか検討した。

### 4. 研究成果

#### (1) パッシブ型力覚提示グローブ

手指への力覚提示はエグゾスケルトン型デバイスを用いるのが適当と考えた。開発した力覚提示グローブを図 1 に示す。日常生活動作で頻繁に見られる把持行為の再現に重点を置き、機構のシンプルさに留意した。そのため、実現できるアプリケーションに制限があるが、各指への力覚提示自由度は 1 とした。

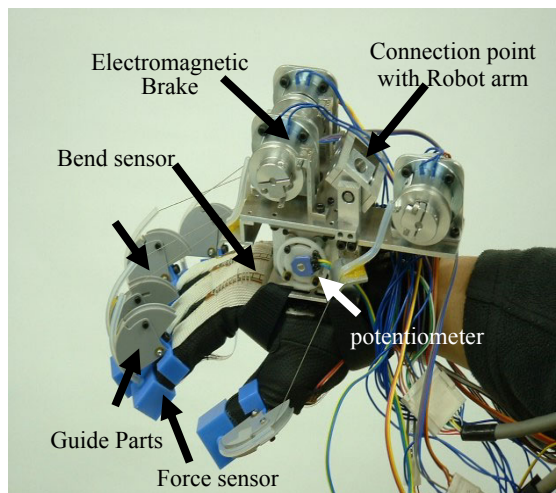


図 1 パッシブ型力覚提示グローブ

コストダウンと装着の容易さのため、一般的な作業用手袋に各パーツを取り付けた構造とした。また、重力補償等のため、外部装置と結合するためのジンバル状コネクタを手首関節上部にあたる箇所に設置してある。

力発生は電磁ブレーキにて行い、安全性を

確保した。電磁ブレーキから指先までは、プーリおよび高潤滑チューブを介したワイヤで繋がっている。

ブレーキによる制動力が指先に伝達され、VR 物体を把持した際の反力を提示する。中節骨上部のガイドパーツは、ワイヤが指腹に対し垂直に力を与えるようにするため設置した。これは遠位指節関節 (DIP 関節) の曲げ角度に依存して回転するため、関節運動を妨げる事はない。プーリの回転軸には、ワイヤ巻取りのため、ねじりバネが取り付けられている。

指の曲げ角度計測のため、ポテンショメータと曲げセンサの 2 種類を用いている。曲げセンサは手の甲から基節骨にかけてつけられており、中手指節関節 (MP 関節) 角度を測定する。ポテンショメータはブレーキシヤフトの先端に取り付けてあり、プーリの回転角を測定し、指を曲げる事で引き出されるワイヤの長さを計測する。DIP 関節の関節角度は、生理学的に近位指節関節 (PIP 関節) と連動している事が判明している。

よって、曲げセンサにより MP 関節角度を測定できれば、PIP 関節および DIP 関節の曲げ角度を算出できる。ただし、拇指においては、対向握りのみを考え、MP 関節の変化は微小と仮定し、CM 関節と IP 関節の角度を測定する。また指先には、シート状の力センサを配置しており、指先にかかる把持力を測定することで、VR 物体の把持検出を行う。

## (2) パッシブ型力覚提示サポートアーム

本研究の力覚提示グローブは、力覚提示サポートアームと接続することを前提としている。サポートアームと接続することで、力覚提示グローブ全体の重量を補償することが可能となり、操作者の負担を軽減し、長時間の使用や要りハビリ患者など力覚提示グローブの自重を自らの筋力で十分に賄えない使用者であっても扱いやすくなる。さらに力覚提示グローブの三次元位置測定が可能になり、握りだけではなく空間的な手腕の運動を考えたアプリケーションが構築でき、その応用範囲が格段に拡大する。また、サポートアームでも力覚提示を行うことで、更なる没入感を与えるだけでなく、必要な情報を直感的に操作者に提示することができる。

以上を元に開発したパッシブ型力覚提示サポートアームを図 2 に示す。サポートアームは、電磁ブレーキのみを動力発生源として使用し、慣性力の低減とバックドライブ性の向上を重視した、シンプルな機構とした。したがって、力覚提示グローブと同様にブレーキのようなパッシブ要素のみで構成するため、非常に高い安全性を維持できる。サポートアームでは、円柱シャフト根元での回転、ラックピニオン機構によるアームの上下、

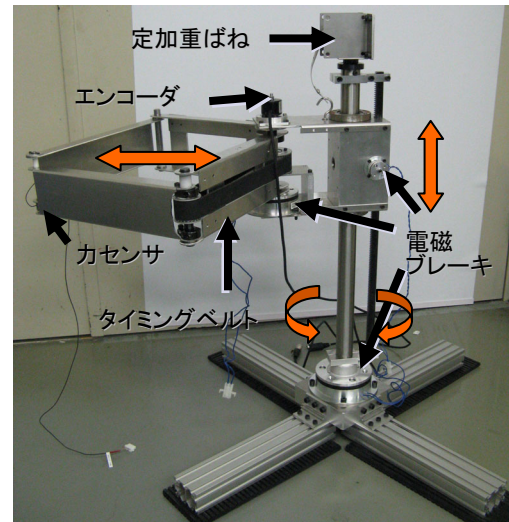


図 2 パッシブ型力覚提示サポートアーム

アームの伸縮の 3 自由度から、円筒座標系の動きが可能である。また、上記関節には電磁ブレーキが設置されており、力覚の提示を行う。三次元位置の計測は、それぞれ電磁ブレーキと同軸に設置されているエンコーダで行い、運動学により手先位置を計算する。アーム先端には 3 軸力センサが取り付けられており、物体との接触状態を検出し、VR 物体の提示に利用する。センサは慣性を小さくするため、小型な静電容量型 3 軸力センサを用いた。アーム先端の可動範囲は、およそ半径 150 ~ 650mm 高さ 400mm の範囲内である。最大力覚提示量はおおよそ 50N である。また、重力補償は定荷重バネを用いて行う。

## (3) パッシブ型力覚提示グローブシステム

力覚提示グローブとサポートアームを組み合わせたパッシブ型力覚提示グローブシステムを開発した。バーチャル STEF 実現のため、基本的な Pick-and-Place 作業の再現を目指した基礎アプリケーションを開発した。

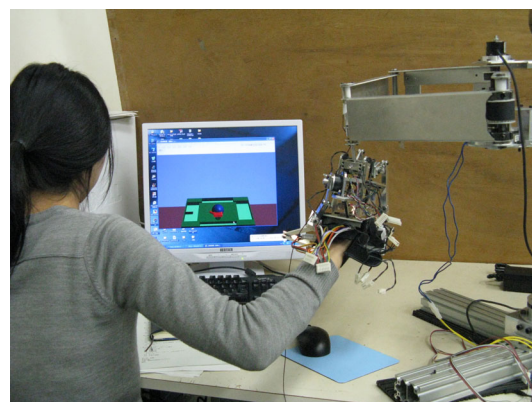


図 3 パッシブ型力覚提示グローブシステムによる Pick-and-Place アプリケーション

アプリケーションの様子を図3に示す。搬送するVR物体は球体とした。中指には球の半径をそのまま用いたが、他の指は異なる半径を用いた。全指で握りが成功すると、把持成功とした。ただし、力覚は各指独立に提示した。

**Pick-and-Place** アプリケーションにおいて、VR物体の把持、持ち上げ、水平移動、下ろし、VR物体の開放の手順で作業を行い、各データから搬送が行えているかを確認した。

示指のMPおよびPIP関節角度の和を図4に示す。また、VR物体中心座標の前後方向の時間変化を図5に示す。なお、VR物体を把持している区間を実線から破線までで、水平移動の開始を一点鎖線で示している。

これらより、およそ3~6.5秒の間でVR物体を把持していることが分かる。また、確かに把持が成功している間のみ、VR物体が移動していることが確認できる。さらに、VR物体を持ち上げている間のみ水平方向の位置が大きく変化しており、作業手順と比べて矛盾が無いことが分かる。

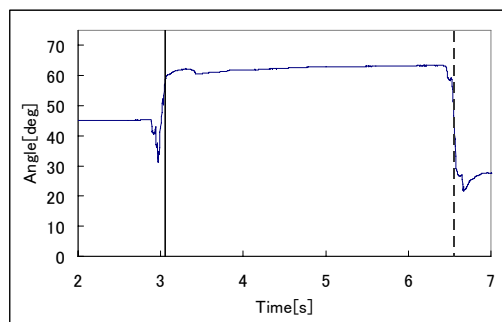


図4 示指の曲げ角度

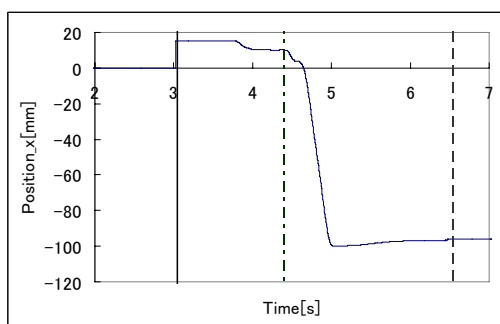


図5 前後方向の時間変化

#### (4) ERゲルブレーキ

ERゲルは機能性材料であり、直径 $20\mu\text{m}$ 程度の誘電性高分子粒子を絶縁油中に分散させ、ゲル化したものである。例えばクラッチ面に用いると、図6のようになる。電極板で挟んだERゲルに電場を印加すると、ゲル基材中の粒子の微小移動により、ERゲル表面のせん断応力特性が数十倍に上昇する。

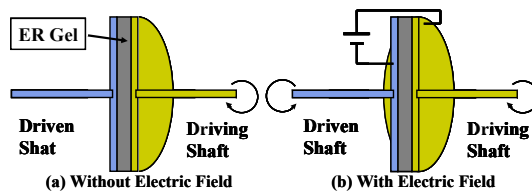


図6 ERゲルをクラッチ面に用いた模式図

ERゲルブレーキ内部は図7のように、ブレーキ外筒に固定された出力円板、入力円板付き回転軸、ERゲルで構成される。シート状のERゲルは出力円板に取り付けられ、入出力円板に挟まれ圧力を受ける。入力軸は一定回転する駆動用モータに接続する。ERゲルのせん断応力は印加する電場の大きさに変わるため、出力側へ任意のトルクが伝達できる。ここで、出力側外筒を外部に固定すると、ブレーキとして使用できる。このような円板クラッチ型構造としたため、ERゲルを貼った板を増やすことで、容易に出力を増加できる利点がある。

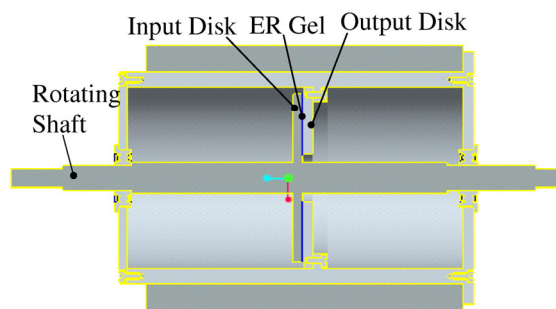


図7 ERゲルブレーキ構造図

#### (5) ERゲルの屈曲試験

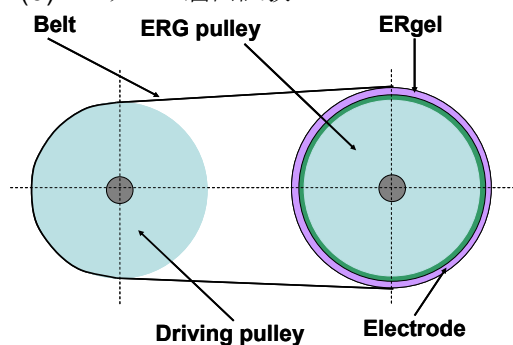


図8 ERゲル屈曲試験模式図

屈曲した状態のERゲルの特性を調べるため、ベルト伝達機構を図8のように開発した。モータに直結した駆動プーリとERゲルを固定した従動プーリとをスチールベルトにより連結した構成となっている。

図9の実験システムにより、電場印加を変化させることで伝達率を制御可能であるか実験的に評価した。駆動・従動プーリは共に径40mmとし減速比は1とした。電場印加はERゲルを直接定着させた電極シートとスチールベルトによる両側電極構造とした。これにより高い電場をERゲルに印加することが可能となる。ERゲルをプーリ上に固定した状態(湾曲状態)においても、電場強度を増加させることで出力トルクが増加した。すなわち、グローブの中にERゲルを内蔵し、屈曲させた状態であっても、印加電場を変化させることにより力覚を提示できると考える。

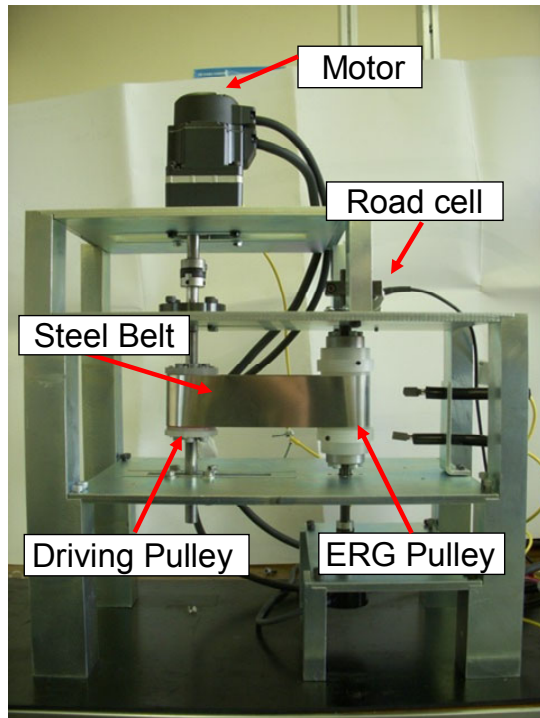


図9 ERゲル屈曲試験システム

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計8件)

- (1) Y. Ogawa, K. Koyanagi and T. Oshima, "Passive Force Display Method to Actualize Virtual Clay," Proceedings of the 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp.909-914 (2009), 査読有.
- (2) K. Sato, K. Koyanagi, Y. Kakinuma, H. Anzai, K. Sakurai and T. Oshima, "Improvement of Linear Actuator with ER Gel," Proceedings of the 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication,

pp.171-176 (2009), 査読有.

- (3) K. Koyanagi, T. Yamaguchi, Y. Kakinuma, H. Anzai, K. Sakurai and T. Oshima, "Basic research of Electro-rheological Gel Drum for novel linear actuator," Journal of Physics: Conference Series, Vol.149, 012020 (2009), 査読有.
- (4) K. Koyanagi, Y. Kakinuma, H. Anzai, K. Sakurai, T. Yamaguchi and T. Oshima, "New Construction Linear Actuator with ER Gel Drum," Proceedings of the 11th International Conference on New Actuators, pp.491-494 (2008), 査読有.
- (5) W. Nozaki, K. Koyanagi and T. Oshima, "Passive Force Display Glove and Passive Type Supporting Arm," Proceedings of SICE Annual Conference 2008, pp.705-710 (2008), 査読有.
- (6) K. Koyanagi, "A Study on Time-Delay of an ER Fluid's Response Which Effects on Control Performance of Servo-systems," Proceedings of the 10th International Conference on ER Fluids and MR Suspensions, pp.519-526 (2007), 査読有.
- (7) W. Nozaki, K. Koyanagi, T. Oshima, T. Matsuno and N. Momose, "Development of Passive Force Display Glove System and Its Improved Mechanism," Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp.2645-2650 (2007), 査読有.
- (8) K. Koyanagi, Y. Kakinuma, H. Anzai, K. Sakurai, T. Yamaguchi, T. Oshima, N. Momose and T. Matsuno, "Basic Structure and Prototype of Novel Linear Actuator with Electro-Rheological Gel," Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp.3266-3271 (2007), 査読有.

[学会発表] (計13件)

- (1) 山口知也, 「ERゲルを応用した直動型アクチュエータの基礎研究開発」, 日本機械学会2007年ロボティクス・メカトロニクス講演会(2007年5月11日, 秋田市).
- (2) 野崎航, 「電磁ブレーキを用いた受動型力覚提示グローブの開発」, 日本機械学会2007年ロボティクス・メカトロニクス講演会(2007年5月12日, 秋田市).
- (3) 山口知也, 「ERゲルを内蔵した直動型アクチュエータの基礎研究」, 第5回生活支援工学系学会連合大会(2007年10月2日, つくば市).

- (4) 野崎航,「力覚提示グローブのための受動型サポートアーム」,第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(2007年12月20日,広島市).
- (5) 佐藤健太郎「ERゲルを用いたリニア型アクチュエータの小型化」,日本機械学会2008年ロボティクス・メカトロニクス講演会(2008年6月6日,長野市).
- (6) 小川祐太郎,「パッシブ型力覚提示グローブによるバーチャル粘土の力覚提示手法」,日本機械学会2008年ロボティクス・メカトロニクス講演会(2008年6月6日,長野市).
- (7) 山口知也,「ERゲルリニアアクチュエータにおけるERゲルドラムの基礎研究」,第26回日本ロボット学会学術講演会(2008年9月10日,神戸市).
- (8) 野崎航,「パッシブ型の力覚提示グローブとそのサポートアームの基礎実験」,日本バーチャルリアリティ学会第13回大会(2008年9月24日,奈良市).
- (9) 小川祐太郎,「バーチャル粘土の力覚提示手法--パッシブ型力覚提示への応用を目指して」,第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(2008年12月7日,岐阜市).
- (10) 佐藤健太郎,「ERゲルを用いたリニア型アクチュエータの高性能化」,第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(2008年12月7日,岐阜市).
- (11) 小柳健一,「グローブ型パッシブ力覚提示システムの適応と可能性」,第21回バイオメカニズム・シンポジウム(2009年8月5日,神奈川県足柄下郡).
- (12) 小川祐太郎,「パッシブ型力覚提示システムによるバーチャル粘土の提示手法」,第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(2009年12月25日,東京都).
- (13) 小柳健一,「機能性ゲルアクチュエータにおける出力安定化」,第15回ロボティクス・シンポジウム(2010年3月16日,奈良県吉野郡).

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

小柳 健一 (KOYANAGI KEN'ICHI)  
富山県立大学・工学部・講師  
研究者番号：30335377

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

なし