

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：23201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650057

研究課題名(和文)機能性ゲルシートで力覚提示を行うVRスーツの開発

研究課題名(英文)Development of virtual reality suit displaying force by functional gel sheets

研究代表者

小柳 健一 (Koyanagi, Ken'ichi)

富山県立大学・工学部・准教授

研究者番号：30335377

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円、(間接経費) 780,000円

研究成果の概要(和文)：ERゲルという機能性材料を柔軟性のある電極に貼り付け、湾曲面に取り付けられるようにした。これをスーツに縫い付けることで、身体に直接的に力覚を提示するVRスーツを開発した。ERゲルは電場を印加すると表面の吸着力が増加し、結果として表面のせん断応力が増加する。VRスーツでは、身体を運動させるとその運動を妨げるような抵抗力を発生する。この研究では片腕をモデルにした実験装置による定量評価と、実際に装着した際の筋電位による評価を行った。

研究成果の概要(英文)：We applied a one of functional materials, ER gel, to flexible film circuits, which can be equipped on winding surfaces. The ER gel sheets were introduced to a suit, thus a virtual reality suit which can display a force directly to a body was developed. When an electric field is applied to the ER gel, the adhesional force on the surface of the ER gel, thereby the shear stress of the surface of the gel increases. At the VR suit, a resistant force to bar the motion of the body is generated. In this research, a quantitative evaluation using an experimental equipment modeled one arm and electromyogram evaluation equipped to human were conducted.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学

キーワード：バーチャルリアリティ 先端機能デバイス 知能機械 力覚提示 機能性材料

1. 研究開始当初の背景

バーチャルリアリティにおける力覚提示の方法には、触っている VR 物体からの反力や形状を計算し、それに必要な力をロボットなどのハンドルやグローブ型装置を介して表すものが多い。しかし、装置が大掛かりになり、暴走すると使用者や周囲にダメージを与えるという問題がある。また、パワーアシスト関連で研究されているロボットスーツや装着型の多くは、外骨格構造であり、リンクを介してモータの力を手先などへ伝達する。そのため、装置が重く、装着がしづらい問題がある。そこで、ボディースーツのような軽量なもので力覚を提示できるデバイスが開発できないかと考えた。

2. 研究の目的

全身スーツの関節各部に力覚を提示することで、バーチャルリアリティにおける VR 物体の形状やその反力を現す VR スーツを開発する。軽量かつシンプルな構造で、着脱が容易なものを目指す。力の発生には機能性材料の一つである ER ゲルを用いる。電場により、表面の滑り抵抗を制御できる新規な材料である。モータを用いた機構のように自ら暴走することがないため、安全性も高い。

アミューズメント施設の他、リハビリテーション、技能伝承、設計支援、VFX 撮影補助など、様々な使用対象および使用施設で適用できるものを目指す。

3. 研究の方法

ER ゲル効果の発現原理は次の通りである。無電場時は図 1(a) のように表面に浮き出ている粒子のみに電極が接触するため摩擦が小さい。電場下では粒子同士が引き合い、同図 (b) のように沈み込むためゲル基材が表出し、電極と吸着し摩擦も大きくなる。この原理から、ER ゲルに与える初期圧力が基礎特性に対する重要な要因であること、曲げ抵抗を与えるためには電極同士がせん断方向にずれる自由度を持つこと、使用者の運動により ER ゲルにかかる力の方向をできるだけせん断方向に特化する必要があること、が分かる。ER ゲルを 1 方向に屈曲させて用いた例 (図 2) はあるが、今回の VR スーツの場合には、2 自由度で屈曲させざるを得ない可能性があり、設計時に考慮に入れる必要があった。

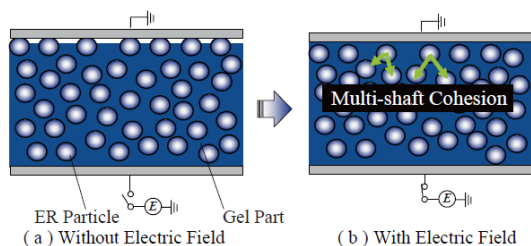


図 1 ER ゲル効果の発現原理

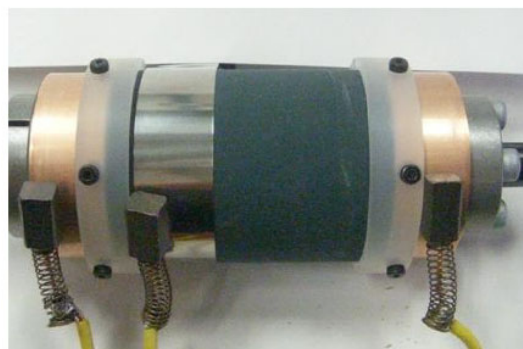


図 2 ER ゲルを屈曲させて使った例

そこで、図 3 のような、人間の腕を模擬した単純で理想的な単関節リンク機構で試してから、スーツや関節へのサポート型に移行するのが適切と思われる。

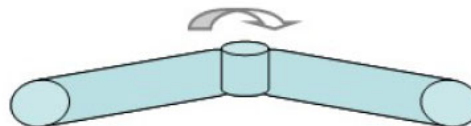


図 3 円筒が曲がる単関節リンク

4. 研究成果

図 4 にフレキシブルプリント基板に ER ゲルを貼り付けた例を示す。このように柔軟性のある電極材料と ER ゲルを用いることで、湾曲面に沿わせて ER ゲルを取り付けることができる。図 5 には、単関節をモデルにした特性試験装置を示す。上腕と肘関節、前腕できており、肩口が固定されている。手首に当たるところにロードセルが取り付けられている。ER ゲルは上腕部外側に貼付され、プラスチックシートに金属テープを貼り付けた柔軟性のある対向電極がその外側を覆う。肘関節軸についたモータが回転することで前腕が屈曲するが、ER ゲルに電場を印加すると制動力が掛かる。その制動力を、対向電極とワイヤでつなげられたロードセルによって測定する。

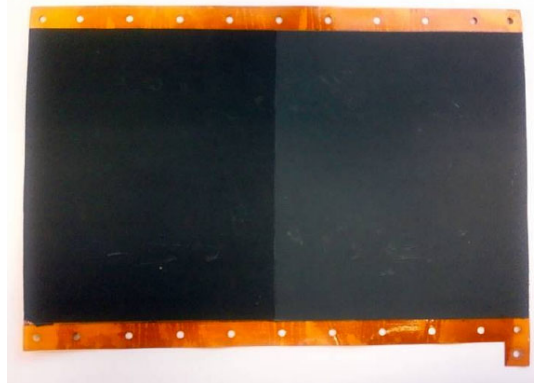


図 4 FPC に貼付した ER ゲル

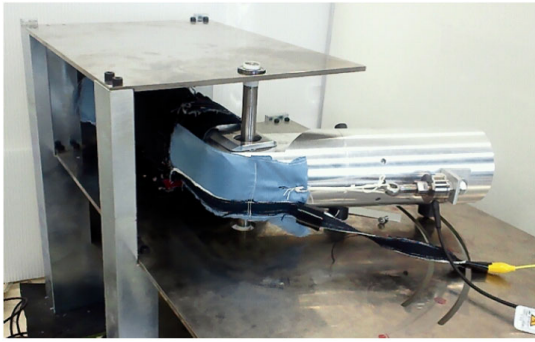


図5 単関節モデルによる特性試験装置

この装置により ER ゲルのせん断応力が発現することは確認できたので、図6に示すサポータ状の装着型力覚提示装置を開発し実装した。図5のものと同様な構成をしており、ER ゲルや電極はカフで上腕に取り付けられる。対向電極の片側は前腕に固定される。また、肘関節角度は曲げにより抵抗値が変化する曲げセンサを用いて測定する。

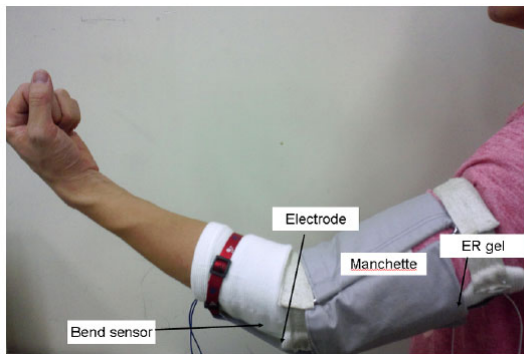


図6 サポータ型力覚提示装置

この装置を身につけて力覚提示実験を行ったが、制動力が特性試験装置の場合より弱く、力覚提示には不十分であった。

そこで、ER ゲルと対向電極を図7のように多層化することで、制動力の増加を図った。また、平面板に ER ゲルを貼付したものをを用いた実験から、多層化した方が電極板や ER ゲルが互いに変形しあうことで面なじみが良化し、接触状態が安定になるため、ER ゲルの本来出しようせん断応力を発現しやすくなることが分かっていた。そのため、本研究のように、人間の腕のような複雑な湾曲面に取り付けた場合であっても同様な効果が得られると考えた。

ER ゲルを多層化して柔軟性のある布に取り付けたものを図8に示す。対向電極は、それを取り付けた布を図9のように手袋にまで伸ばすことで、前腕に固定するのではなく手袋を装着するだけで肘の屈曲に追従して滑り動けるようにした。いずれも、導電布を縫い付け導線代わりにした。

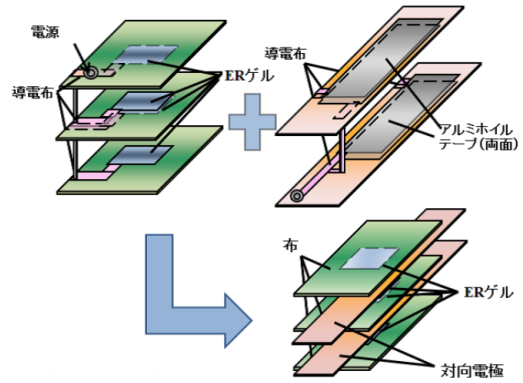


図7 多層化 ER ゲルシート原理図

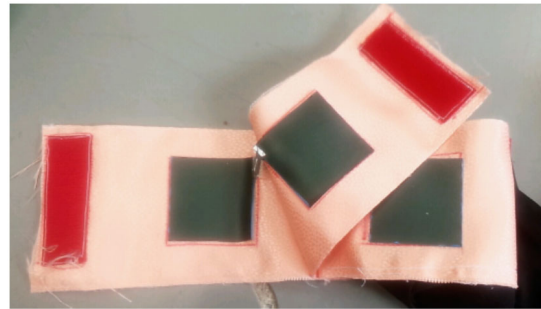


図8 多層化 ER ゲルシート

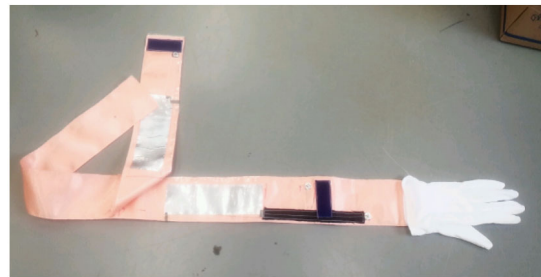


図9 多層化 ER ゲル用対向電極



図10 多層化 ER ゲルシートを用いた装着型力覚提示装置

多層化 ER ゲルシートを用いたパッシブ型力覚提示装置を装着したものを図10に示す。

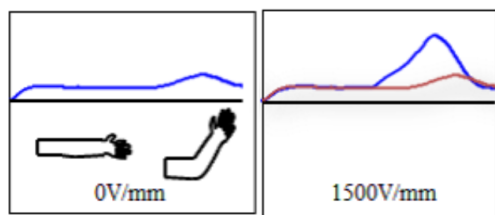


図 11 肘の屈曲実験の結果

力覚提示装置を装着したまま肘を屈曲させ、その際の上腕二頭筋の筋電位を測定する実験を行った。ER ゲルに電場を印加しない場合と 1.5kV/mm を印加した場合の積分筋電位を図 11 に示す。この値が大きい方が、上腕二頭筋が大きな筋力を発生していると言える。腕を曲げるにしたがって電場を印加しない場合でも若干の筋力が発生しているが、電場を印加すると 2.5 倍程度の筋力が発生していることが分かる。また、これにより大きな拘束力を感じることができ、例えば何か大きなものを抱いたような感覚を得ることができた。

今回の装置では、ER ゲルを上腕部に設置した。これは、想定したせん断応力で十分な拘束力を発現するためには、肘関節直上では面積が足らなかったためである。ER ゲル材料の特性向上がなされれば、よりコンパクトな機構設計にできる可能性はあり、今後の課題である。

また、ER ゲルには 1500V という大きな電圧を印加したが、電流値は数ミリアンペアと小さく、たとえ漏電しても大きな危害を装着者に与えることはない。しかし、ER ゲルシートをより薄く作ることができれば、より低い電圧でも同じ大きさの電場を与えることができるため、安全性が向上する。

本研究の装置では、このほかに具体的なアプリケーションを開発し検証する必要がある。現時点では、スポーツのフォームの教示や、体全体を動かす体感型アトラクションの一部に考えている。

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 5 件)

- (1) K. Koyanagi, Y. Takata, Y. Kakinuma, H. Anzai, K. Sakurai, T. Motoyoshi and T. Oshima “Temperature and shear rate characteristics of Electrorheological gel applied to a clutch” Journal of Physics: Conference Series, Vol. 412, 012013 (2013), 査読有。
- (2) M. Kanamori, K. Koyanagi, Y. Kakinuma, H. Anzai, K. Sakurai, T. Motoyoshi and T. Oshima, “Basic Research on a Force Display System

using Electrorheological Gel,” Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp.825-830 (2013), 査読有。

- (3) 小柳健一, 柿沼康弘, 「(解説) 電気粘性ゲル・エラストマーの応用」, 日本ロボット学会誌, Vol. 31, No. 5, pp. 465-468 (2013), 査読無。
- (4) K. Koyanagi, M. Dohi, Y. Kakinuma, H. Anzai, K. Sakurai, T. Motoyoshi and T. Oshima, “Controllable Belt Drive System Using ER Gel,” Proceedings of the 13th International Conference on New Actuators, pp.85-88 (2012), 査読有。
- (5) Y. Takata, K. Koyanagi, Y. Kakinuma, H. Anzai, K. Sakurai, T. Motoyoshi and T. Oshima, “Enlarging Output of High Torque Controllable Clutch Using ER Gel,” Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp.13-18 (2012), 査読有。

[学会発表] (計 8 件)

- (1) 小柳健一, 「湾曲面に機能性エラストマーを貼付した可制御な伝動/制動要素」, 第 19 回ロボティクスシンポジウム, 2014 年 3 月 13 日, 神戸市。
- (2) 金森元成, 「ER ゲルを用いた VR スーツの開発」, 第 14 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, 2013 年 12 月 19 日, 神戸市。
- (3) 金森元成, 「装着型力覚提示装置のための多層化 ER ゲルの評価」, 日本ロボット学会第 31 回学術講演会, 2013 年 9 月 4 日, 八王子市。
- (4) 金森元成, 「ER ゲルを用いた力覚提示システム開発のための基礎的検討」, 第 13 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, 2012 年 12 月 20 日, 福岡市。
- (5) 高田悠大, 「ER ゲルを用いたクラッチ機構の大出力化」, 第 13 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, 2012 年 12 月 20 日, 福岡市。
- (6) 金森元成, 「力覚提示への応用を目指した ER ゲルブレーキ要素の基礎的検討」, 日本機械学会 2012 年度年次大会, 2012 年 9 月 10 日, 金沢市。
- (7) 高田悠大, 「ER ゲルを用いたクラッチ機構の大出力化」, 第 24 回電磁力関連のダイナミクスシンポジウム, 2012 年 5 月 17 日, 富山市。
- (8) 金森元成, 「湾曲面に ER ゲルを用いたブレーキ要素の開発」, 日本機械学会 2012 年ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2012 年 5 月 29 日, 浜松市。

〔図書〕（計 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://isd.pu-toyama.ac.jp/~koyanagi/>

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・准教授
研究者番号：30335377

(2) 研究協力者

安齊秀伸 (ANZAI, Hidenobu)
藤倉化成株式会社・研究開発部

桜井宏治 (SAKURAI, Koji)
藤倉化成株式会社・研究開発部