

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 28 日現在

機関番号：11601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560281

研究課題名(和文)撫でも超高感度で触覚を感じる非常に柔軟性のある従来にない人工皮膚の開発研究

研究課題名(英文)Development study of new artificial skin with high haptic sensibility and flexibility at rubbing

研究代表者

島田 邦雄(Shimada, Kunio)

福島大学・共生システム理工学類・教授

研究者番号：80251883

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本申請者が開発した磁気混合流体(MCF)を柔らかいゴムに混ぜて磁場下で硬化させることにより、実用性を見据えて、0.1N以下の超高感度で人間の皮膚に近い柔らかくて伸縮性のあるMCFゴムを開発した。また、指紋を施し、平行や垂直力がMCFゴムに作用したときの触覚について調べ、また、ツルツル感やザラザラ感を感じる触覚センサを開発した。そして、触覚センサの電気特性について実験的及び理論的に明らかにし、また、応用展開例についても実験的に示した。

研究成果の概要(英文)：By blending the MCF (magnetic compound fluid) developed by the present author in a soft rubber and hardening it under the application of a magnetic field, I developed the MCF rubber that has high sensitivity with less than 0.1 N, and is soft and stretching like a human skin. As giving a finger print, I investigated the sensitivity at the application of shear and normal forces on the MCF rubber, and developed the sensor being sensible to smooth or rough feeling as touching a body. We clarified experimentally and theoretically the electric characteristics of the sensor, and illustrated the application examples experimentally.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，知能機械学・機械システム

キーワード：センサー 機能性流体 流体工学 機械要素 複合材料・物性

1. 研究開始当初の背景

本申請者は、本申請者が開発した磁場に反応する新しい機能性流体である磁気混合流体(通称、MCFと命名。2001年に開発提案)を柔らかいシリコンゴムに混ぜて磁場下で硬化させることにより、触覚を有するゴムを作成することができた。このMCFゴムは、温度に敏感に反応するものであり、また、圧覚や痛覚の機能も有することができるが、これまでの研究で明らかになった。すなわち、人間の皮膚が兼ね備える五覚は、図1に示すように、触覚、温覚、冷覚、圧覚、痛覚であるが、MCFゴムは五覚を有する人工ゴムである。そこで、より人間に近い人工皮膚と目されるこのMCFゴムを使って、次世代型の未来型ロボットや義肢(義手・義足)に搭載できる、より人間に近い人工皮膚の開発を行ってきた。その結果、触った時の触覚を電気信号で検知するという方法により、約1N以下の力で感知するというのが人間の皮膚における触覚の条件であるが、本申請者によるこれまでの開発研究では、この条件をクリアすることができた。

2. 研究の目的

次世代型の未来のロボットは、より人間に近いことが要求されるのは必至であるので、人間の五覚を有する人工皮膚の開発が待たれている。また、義肢(義手・義足)に人間の五覚を有する人工皮膚が搭載されれば、健康な人間と同じく感じ取れるようになり、多くの身障者はそのような快適な生活を望んでいる。本申請者が開発した磁気混合流体(MCF)を柔らかいシリコンゴムに混ぜて磁場下で硬化させることにより触覚を有するゴムができ、これは五覚を有する人工ゴムであるが、次世代型の未来のロボットや義肢(義手・義足)における実用的な場合には、もっと超高感度で、人間の皮膚に近い柔らかくて伸縮性があり、ツルツル感やザラザラ感についても感受できる触覚ゴムを開発しなければならない。そこで本研究では、実用性を見据えて、0.1N以下の超高感度で、人間の皮膚に近い柔らかい伸縮性のあるMCFゴムを開発する。また、指紋を施した凹凸のある人工皮膚を作成し、平行に力が作用したときの触覚について調べ、ツルツル感やザラザラ感を感受する触覚センサを有する人工皮膚(ゴム)を開発する。そして、超高感度で柔軟性・伸張性にある触覚センサや、ツルツル感やザラザラ感を感受する触覚センサにおける電気特性について理論的説明を行う。

3. 研究の方法

本研究では、これまでの研究で用いていたシリコンオイルゴムではなく、風船の原料である天然ゴムを用いて約15mm×10mm四角のMCFゴムを作成し、MCFゴムに0.1N以下の接触力で10Ωの電気抵抗となる超高感度のMCFゴムを作成することにする(「0.1N以

下」と表現したのは、現有実験室にあるロードセルでは0.1Nを測定するのが限界であり、これより小さな力で感知することを確認している)。すなわち、ゴムの素材として風船ゴムを用いるのがポイントである。また、風船ゴムを用いると、伸縮性もシリコンオイルゴムよりも良くなるので申し分ない。そこで、この風船ゴムを用いて、本研究を遂行する。

4. 研究成果

(1)MCFゴムの開発

実用性を見据えて、0.1N以下の超高感度(これは、ちょっと触れただけで反応する程度である)で、人間の皮膚に近い柔らかい伸縮性のあるMCFゴムを開発するために、水溶性の風船天然ゴムに対しニッケル粉や銅粉と水ベース磁性流体の混合から成るMCFを混ぜて、磁場中で硬化させることによりMCFゴムを作成した。

(2)MCFゴムの特性

(1)より作成されたMCFゴムに対して指紋を施し、平行に力が作用したときの触覚について、電気特性、及び温度特性を調べ、ツルツル感やザラザラ感を感受する触覚センサを有する人工皮膚(ゴム)を提案することができた。成果の一例として図1に示すように、垂直力を印加し時に電流が流れ始める力が0.0149Nで、その時の電気抵抗が3491Ωであった。従来のMCFゴムは、0.294Nで335Ω、市販の感圧導電性ゴムは、6.53Nで52.5Ωである。

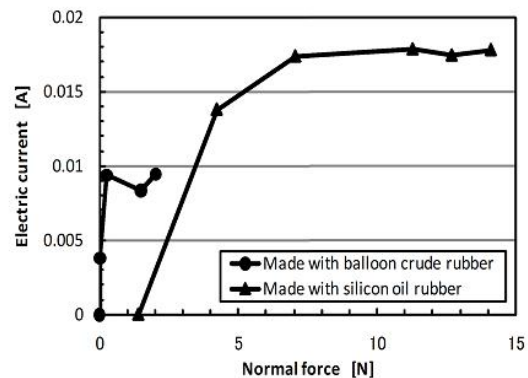


図1 超高感度のMCFゴムの特性

(3)MCFゴムのセンサ化

指紋のつけた通常のゴム(非導電性)と、風船ゴムによるMCFゴムを接着し、MCFゴムに導線を接続する。このMCFゴムを図2に示すような実験装置を製作して取付け、指紋の形状に似せた凹凸面を持つMCFゴムが、凹凸面の表面粗さ(R_a と R_y をあらかじめ計測しておく)を持った面上を滑った時の電気信号(印加電圧に対する出力電流)を計測した。図3にその一例を示す。ザラザラ感やツルツル感は、滑らせる面上の凹凸面の表

面粗さ (R_a と R_y をあらかじめ計測しておく) が変化した時の電気信号の変化として捉えられる。また、表面粗さと電流波形には相関式が存在することも明らかにした。また、指紋を付けることによって触覚の感度が上がる、指紋の形状に依存することなどを明らかにした。

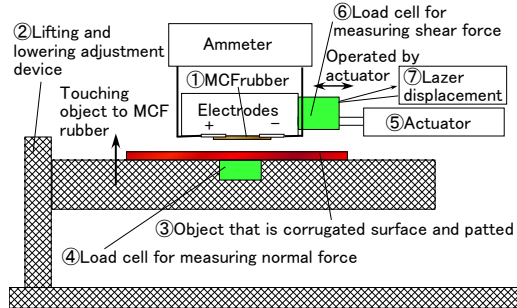


図2 実験装置概略図

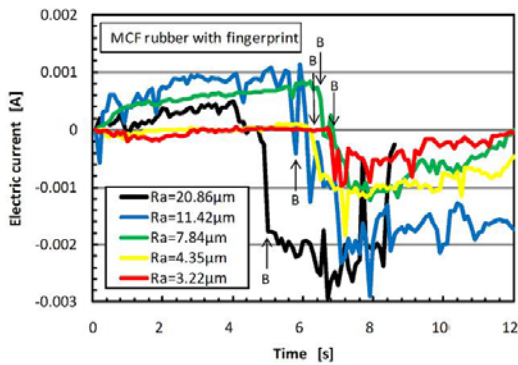


図3 表面粗さに対する電流波形の変化

(4) MCF ゴムの理論的解明

超高感度で柔軟性・伸張性にある触覚センサや、ツルツル感やザラザラ感を感じる MCF 触覚ゴムセンサにおける電気特性について理論的解明を行った。すなわち、量子力学における半導体のトンネルダイオード効果と同じ原理でシュレディンガー方程式を展開することにより、図4にその一例を示すように理論値を得、これが実験結果を定性的、定量的に説明することが示された。こうして、超高感度の指紋つき MCF ゴム中に電気が流れる理論的仕組みを解明した。

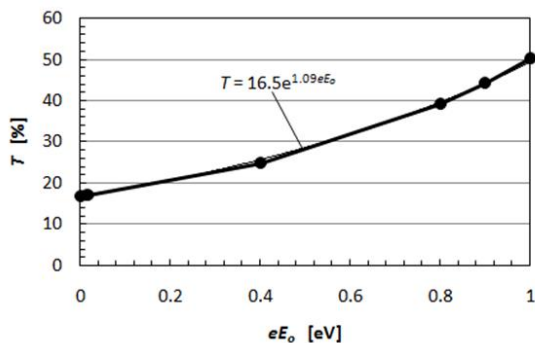


図4 トンネル効果による理論値

(5) MCF 触覚ゴムセンサの応用展開

これまで作成してきた MCF 触覚ゴムセンサを使って、様々な応用例に展開した。

① 服飾に対する展開

図5に示すように、種々の布に対して、柔らかさや繊維密度等の変化に応じて捉えることが出来ることが判明した。

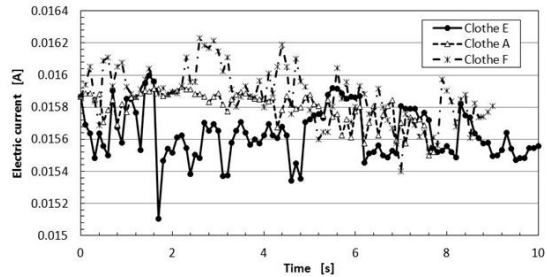


図5 種々の布における電流変化

② 弾力性 (柔らかさ) における展開

柔らかさの異なるシリコンオイルジェルに対しても、捉えることが出来ることが判明した。

③ 化粧品に対する展開

人の指の表面を撫でた時の測定を行い、図6に示すように、化粧したかどうかの違いを捉えることが出来ることが判明した。

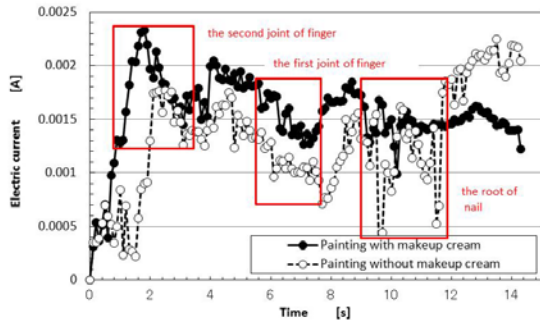


図6 指を撫でた時の電流変化

④ 凹凸面にたいする展開

果物の表面、生物 (虫の羽根と魚のうろこ)、点字などの比較的大きな凹凸面に対しても、捉えることが出来ることが判明した。

⑤ 製紙に対する展開

新聞紙やコピー用紙、トイレットペーパーなどの粗さについても、捉えることが出来ることが判明した。

以上のように、本研究で開発した MCF ゴムは、工業的有用性が高い。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計9件)

1. 島田邦雄, 熊谷亜未, 早坂隆史, 機能性流体による垂直力だけでなくせん断力も感知できる超高感度触覚 MCF ゴムのロボットにおけるセンサーへの適用一突

- き, 回転, 肘曲げの場合一, 日本実験力学学会誌, Vol. 12, No. 4, 2012, pp. 322-331, 査読有
2. 島田邦雄, 熊谷亜未, 早坂隆史, 機能性流体による垂直力だけでなくせん断力も感知できる超高感度触覚 MCF ゴムのロボットにおけるセンサーへの適用一歩行と腕立て伏せの場合一, 日本実験力学学会誌, Vol. 12, No. 4, 2012, pp. 315-322, 査読有
 3. 島田邦雄, 大塚俊幸, 早坂隆史, 機能性流体による垂直力だけでなくせん断力も感知できる超高感度触覚 MCF ゴムセンサーのすり触覚に及ぼす指紋の影響, 日本実験力学学会誌, Vol. 12, No. 4, 2012, pp. 308-314, 査読有
 4. 島田邦雄, 熊谷亜未, 早坂隆史, 機能性流体による垂直力だけでなくせん断力も感知できる超高感度触覚 MCF ゴム内部の材料力学的トライボロジー的特性, 日本実験力学学会誌, Vol. 12, No. 4, 2012, pp. 302-307, 査読有
 5. 島田邦雄, 早坂隆史, 機能性流体による垂直力だけでなくせん断力も感知できる超高感度触覚 MCF ゴムの応用展開の可能性についての検討, 日本実験力学学会誌, Vol. 12, No. 4, 2012, pp. 295-301, 査読有
 6. 島田邦雄, 早坂隆史, 機能性流体による垂直力だけでなくせん断力も感知できる超高感度触覚 MCF ゴムにおける原理と特性, 日本実験力学学会誌, Vol. 12, No. 4, 2012, pp. 288-294, 査読有
 7. 島田邦雄, 磁性と導電性を有する MCF (磁気混合流体) ゴムセンサーにおける
 8. 島田邦雄, 伝熱下の導電特性に対する量子力学的考察, 日本 AEM 学会誌, Vol. 19, No. 2, pp. 414-423, 2011, 査読有
 9. Kunio SHIMADA, Quantum mechanical investigation of the electric and thermal characteristics of magnetic compound fluid as a semiconductor on metal combined with rubber, ISRN Nanotechnology, Vol. 2011, Article ID 259543, 12 pages, 2011, 査読有
- [学会発表] (計 23 件)
1. 島田邦雄, MCF ゴムを用いた多電極型点字センサーに関する実験的研究, 第 22 回 MAGDA コンファレンス in 宮崎講演論文集, pp. 17-22, 2013, 平成 25 年 12 月 2 日~3 日, 宮崎
 2. 島田邦雄, MCF ゴムとその応用, 磁性流体連合講演会講演論文集, 2013-11, pp. 37-40, 2013, 平成 25 年 11 月 15 日~16 日, 富山
 3. 島田邦雄, MCF (磁気混合流体) の特性と応用, 磁性流体連合講演会講演論文集, 2013-11, pp. 34-36, 2013, 平成 25 年 11 月 15 日~16 日, 富山
 4. 島田邦雄, MCF ゴムの導電性のメカニズムに関する研究, 日本機械学会 2013 年度年次大会講演論文集, No. 13-1, S051051, 2013, 平成 25 年 9 月 8 日~11 日, 岡山
 5. 島田邦雄, MCF ゴムにおける柔軟性とその応用としての免震ゴムに関する研究, 2013 年度日本実験力学学会年次講演会講演論文集, No. 13, pp. 185-186, 2013, 平成 25 年 8 月 20 日~22 日, 由利本荘
 6. 島田邦雄, MCF ゴムにおける固体と液体の電気特性の相違, 2013 年度日本実験力学学会年次講演会講演論文集, No. 13, pp. 183-184, 2013, 平成 25 年 8 月 20 日~22 日, 由利本荘
 7. 島田邦雄, MCF ゴムセンサーで点字をなぞる技術に関する実験的研究, 2013 年度日本実験力学学会年次講演会講演論文集, No. 13, pp. 181-182, 2013, 平成 25 年 8 月 20 日~22 日, 由利本荘
 8. 島田邦雄, 指型 MCF ゴムセンサーの大きな凸型表面を撫でた時の特性, 2013 年度日本実験力学学会年次講演会講演論文集, No. 13, pp. 179-180, 2013, 平成 25 年 8 月 20 日~22 日, 由利本荘
 9. 島田邦雄, 酌井徹也, MCF を利用した液体導線の試み, 第 25 回電磁力関連のダイナミックシンポジウム講演論文集, No. 13-4, pp. 170-171, 2013, 平成 25 年 5 月 15 日~17 日, 箱根
 10. 島田邦雄, 熊谷亜未, 温度変化のある床上で動作するロボットに搭載した MCF 触覚ゴムセンサーの特性, 第 21 回 MAGDA コンファレンス講演論文集, pp. 139-144, 平成 24 年 11 月 21 日~22 日, 仙台
 11. 島田邦雄, 熊谷亜未, 歩行時のロボットに搭載した MCF 触覚ゴムセンサーに及ぼす温度の影響, 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集, No. 12-40, pp. 111-112, 平成 24 年 11 月 17 日~18 日, 京都
 12. 島田邦雄, 新 MCF 触覚ゴムの撫でた時のセンシングにおける力学的領域の解明, 日本機械学会 2012 年度年次大会講演論文集, No. 12-1, J165036, 平成 24 年 9 月 9 日~12 日, 金沢
 13. 島田邦雄, MCF ゴムと触覚センサー, 日本機械学会 2012 年度年次大会講演論文集, No. 12-1, S054035, 平成 24 年 9 月 9 日~12 日, 金沢
 14. 島田邦雄, 磁気混合流体 (MCF) の特性, 日本機械学会 2012 年度年次大会講演論文集, No. 12-1, S054033, 平成 24 年 9 月 9 日~12 日, 金沢
 15. 島田邦雄, MCF 触覚ゴム内部の材料力学的トライボロジー的特性, 日本実験力学学会 2012 年度年次大会講演会講演論文集, No. 12, pp. 238-243, 平成 24 年 7 月 14 日~7 月 15 日, 豊橋

16. 島田邦雄, MCF ゴムのロボットにおけるセンサーへの適用, 日本実験力学会 2012 年度年次大会講演会講演論文集, No. 12, pp. 232-237, 平成 24 年 7 月 14 日~7 月 15 日, 豊橋
17. 島田邦雄, MCF 触覚ゴムセンサのざり触覚に対する指紋の影響, 日本実験力学会 2012 年度年次大会講演会講演論文集, No. 12, pp. 221-226, 平成 24 年 7 月 14 日~7 月 15 日, 豊橋
18. 島田邦雄, MCF ゴムの進展, 磁気混合流体応用講演会, 平成 24 年 6 月 14 日, 富山
19. 島田邦雄, 早坂隆史, MCF ゴム触覚センサーによる工業的応用展開と特性の解明, 第 24 回電磁力関連のダイナミックスシンポジウム講演論文集, pp. 601-606, 平成 24 年 5 月 16 日~18 日, 富山
20. 島田邦雄, 早坂隆史, 磁気応答機能性流体からなる MCF ゴムの応用展開の可能性, 第 24 回電磁力関連のダイナミックスシンポジウム講演論文集, pp. 383-388, 平成 24 年 5 月 16 日~18 日, 富山
21. 島田邦雄, 熊谷亜未, MCF 触覚ゴムセンサーのロボットへの応用, 第 61 回理論応用力学講演会講演論文集, GS05-02, 平成 24 年 3 月 7 日~9 日, 東京
22. 島田邦雄, 触覚センシングを有する MCF ゴムの導電特性におけるトンネルダイオード効果についての量子力学による理論的解明, 日本実験力学会 2011 年度年次大会講演会講演論文集, No. 11, pp. 66-71, 平成 23 年 8 月 30 日~9 月 1 日, 奈良
23. 島田邦雄, 早坂隆史, 指紋付き超高感度触覚ゴムにおけるザラザラ感・ツルツル感を感知する触覚技術の開発研究, 日本実験力学会 2011 年度年次大会講演会講演論文集, No. 11, pp. 31-34, 平成 23 年 8 月 30 日~9 月 1 日, 奈良

〔図書〕(計 2 件)

1. 島田邦雄, MCF 導電性触覚ゴムの開発と応用, 未来材料, Vol. 13, No. 1, エヌティエス出版, pp. 65-67, 2013
2. 島田邦雄, 磁気混合流体, よくわかる実験技術・学術用語, 第 2 版, 日本実験力学会出版, pp. 90 -91, 2012

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 2 件)

1. 名称: 触覚センサ
 発明者: 島田邦雄
 権利者: 福島大学
 種類: 特許出願
 番号: 2012-102583
 出願年月日: 2011 年 4 月 27 日

国内外の別: 国内

2. 名称: 触覚センサ用ゴム及び触覚センサ
 発明者: 島田邦雄
 権利者: 福島大学
 種類: 特許出願
 番号: 2011-245792
 出願年月日: 2010 年 11 月 9 日
 国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島田 邦雄 (Kunio Shimada)
 福島大学・共生システム理工学類・教授
 研究者番号: 80251883

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし