

# 触覚を持った義手開発のための基礎的な研究

Basic study for development of artificial arm with tactile sense

鄭 耀陽

福島工業高等専門学校機械工学科

Yaoyang Zheng

Fukushima National College of Technology, Department of Mechanical Engineering

(2013年9月14日受理)

We proposed MCF conductive rubber and developed it. MCF (Magnetic compound fluid) rubber is a kind of new functional materials. In this research, our experiments revealed the characteristics of the MCF conductive rubber. Furthermore, we made a sensor chip using MCF conductive rubber, attached to the artificial arm as tactile sensor and validated its tactile sense.

**Key words:** MCF conductive rubber, artificial arm, tactile sensor.

## 1. はじめに

著者はこれまでMCF混合磁性流体という機能性流体を使った応用研究を行ってきた。機能性流体とは、磁場や電場などを外部から印加することによって、その流体の持つ固有な特性が発揮される流体の総称である。磁場に反応するものには、磁性流体(MF)やMR流体(MRF)がある。島田らは、新しい磁場に反応する機能性流体の開発中、MFとMRFのそれぞれの特性の中間に位置する磁気混合流体(Magnetic compound fluid, 略称MCF)を提案した。MCFは、 $1\mu\text{m}$ オーダーの球形の金属粒子と $10\text{nm}$ の球形のマグネタイト粒子から成る一種のコロイド溶液である。その流体中には、金属粒子とマグネタイト粒子から成る一種の凝集体である磁気クラスタが存在する。このMCFを使うと、従来のMFやMRFの応用機器における特性より優れた特性が得られることが明らかになってきた。例えば、MCF研磨やMCFダンパ、MCF複合材料などが上げられる<sup>1),2)</sup>。

特に、MCF複合材料については、混合されている金属粒子の種類を変えることにより、MCFを混合したシリコンオイルゴムを磁場下で硬化することにより、新しい複合材料としてのゴムを提案した<sup>3),4)</sup>。すなわち、MCFゴムには硬化時の磁場の働きにより、混合されている金属粒子のネットワーク状のクラスタが形成され、しかも、ある一定な方向に並ぶとき、導電性と伝熱性を向上させることができる。筆者は、そのMCF複合材料のゴムをMCF導電性ゴムと呼んでいる。このMCF導電性ゴムの導電性を利用することにより、ロボットの要素におけるハブティックとしての機能性を有する人工皮膚やハブ

ティックセンサへの応用展開が期待されている<sup>5)-8)</sup>。本研究ではこのMCF導電性ゴムを触覚センサーとして義手に感覚を与え触覚を持つ義手の試作を行い、基礎的な評価を行った。

## 2. MCF導電性ゴムについて

### 2.1 MCF導電性ゴムの作成方法

ニッケル粉(123, 平均長 $3\sim 7\mu\text{m}$ , 山石金属(株)製)と、銅粉(MF-D2, 平均長 $8\sim 10\mu\text{m}$ , 山石金属(株)製), MF(50wt%, ケロシンベース, フェロテック(株)製)からなるMCFをシリコンオイルゴム(SH9550, トーレダウコーニングシリコン(株)製)に混合し、Fig. 1に示すように、対向する永久磁石(表面磁束密度約 $5000\text{gauss}$ )と厚さ $1\text{mm}$ の非磁性板の間に挟んで磁場下で硬化させて、MCF導電性ゴムを作成する。本研究では、Ni: 3g, Cu: 3g, MF: 4g, SH9550: 10gの混合割合でサンプルを作って実験する。このように、強磁場下で硬化させることにより、MCF中の金属粒子によるクラスタが磁場方向に形成され、導電性が生じると考えられる。しかも、外力よりその導電性(電気抵抗)が変化する。その特性を用いて触覚センサーへの応用を試みた。

### 2.2 MCF導電性ゴムにおける導電性と押付け力の関係

Fig. 2, Fig. 3に、それぞれ厚さ $0.37\text{mm}$ ,  $20\text{mm}\times 16\text{mm}$ の四角片のMCF導電性ゴムにおける電気抵抗と、かけられた押付け力、その力による縮みとの関係をそれぞれ示す。

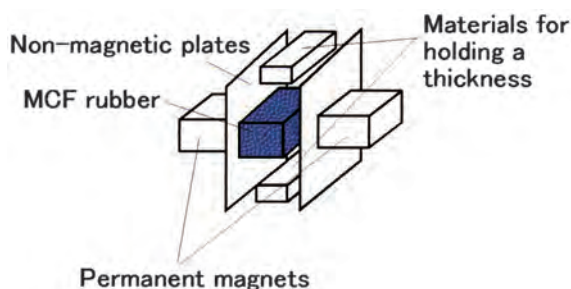


Fig. 1 Schematic diagram of producing MCF conductive rubber

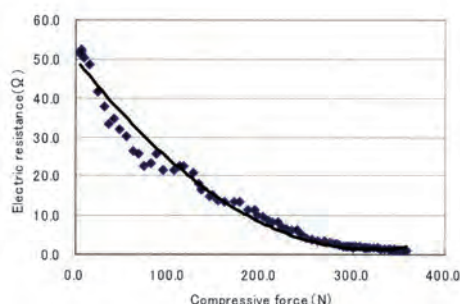


Fig. 2 Electric resistance-compressive force relation of the MCF conductive rubber.

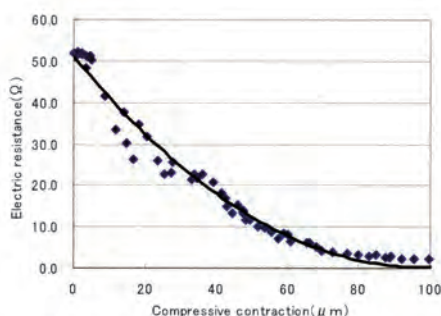


Fig. 3 Electric resistance-compressive contraction relation of the MCF conductive rubber.

### 2.3 MCF導電性ゴムに生じる電気抵抗の安定性

MCF導電性ゴムの導電性において、興味深い特徴が得られた。すなわち、MCF導電性ゴムに一定の力で押し付けると、あるいは、一定の縮み量をもたせると、その電気抵抗値が最初のうちは時間進行につれて少し変化するが、その電気抵抗の変化量が次第に小さくなっていき、数分後には安定する。Fig. 4に、その結果を示す。

ただし、膜厚が薄い時、そのMCF導電性ゴムの電気抵抗値は非常に狭い範囲内（数Ω）において変化する。MCF導電性ゴムの実用化の際には、膜厚が小さいハプティックセンサチップを作成するので、この時間的影響は無視

できる。また、押し付け力が大きいほど、その時間的影響も無視できる。

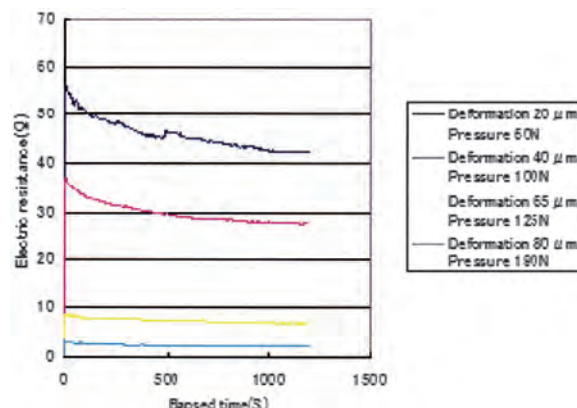


Fig. 4 Electric resistance-elapsed time relation of the MCF conductive rubber when keeping a compressive force

### 3. MCF導電性ゴムの義手への応用

今回の研究では、MCFゴムシートを使って次のように行った。

①義手にMCFゴム製センサチップを数箇所貼付け、そのMCFゴムセンサチップに接続する電極から触覚に関係する電気信号を個別に引き出す。

②それぞれの電気信号は義手内設置のアンプで出力を増幅し、電気回路により信号処理したあと、被験者の腕に装着した腕輪などにその電気信号を出力する。

③その電気信号の強弱とパターンに応じて腕輪にあらかじめ装着された電極を励起し被験者に異なるパターンの刺激を与えることにより触覚を与える。

④被験者にその触覚（刺激）を与える手法として例えば腕輪に分布した電極による刺激の強弱のみにしたが、パターンの違い、音声での伝達、ディスプレイでの提示、或いはそれらの組み合わせ等について今後検討する必要がある。

⑤これらを検証した上で、義手システムを試作し評価を行った。

#### 3.1 MCF導電性ゴム触覚センサチップの試作

上述したMCF導電性ゴムを使いハプティックセンサチップを試作した。その作成方法は、Fig. 5に示すように、まず0.2~0.3厚さのMCF導電性ゴムを選んでその両面に数ミリ四角の極薄金属電極と極細リード線をつける。半田付けの隆起部分のみはゴムと接触させ、その電極の外側だけシリコンで接着し、しっかりとMCF導電性ゴムと接着させる。しかも、ゴムの両側の半田付けの隆

起部分が相対するように配置する。試作チップの寸法は、厚さ0.6~0.8mm、面積10mm×10mmである。Fig. 6にその試作品の一例を示す。

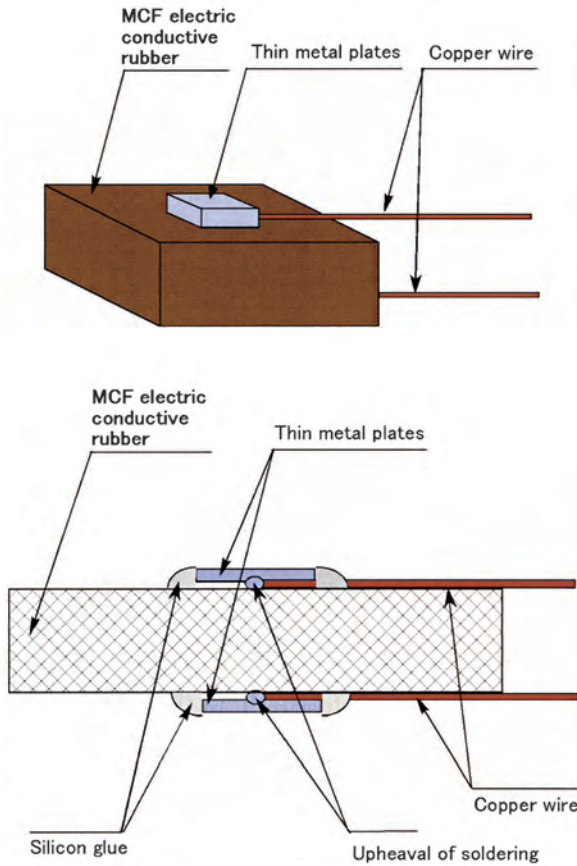


Fig. 5 Schematic diagram of structure of the haptic sensor chip made from the MCF conductive rubber

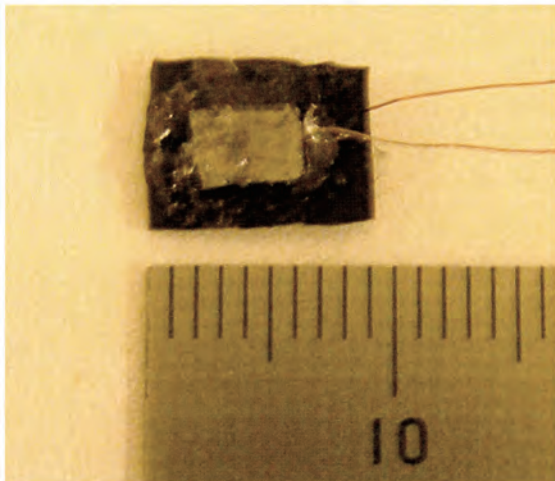


Fig. 6 Photograph of the haptic sensor chip made from the MCF conductive rubber.

### 3.2 触覚センサチップ試作品の義手への取付け

MCFゴムを作り、それをセンサチップにし、義手に装着し、刺激方法を次の三パターンに分けて実験を行った。

ただし、周りに義手を使っている障害者が居なかったので、購入した義手（木製マネキンの手）にMCFゴムセンサを装着（接着）することにした。その方法の原理図をFig. 7, Fig. 8に示す。

また、その義手に与えた力の大きさ（触覚）はロードセルで測定する。（Fig. 8）刺激装置として携帯電話用にも使う小型振動モータ（SE-4F-A3A1-X0）を利用する。義手に装着したMCFゴムセンサに力を加えると、センサーの電気抵抗が小さくなり、小型振動モータにかかる電圧が大きくなり、回転数が多くなり、振動が激しくなるという仕組みになっている。

刺激方法としては研究室に居る学生たちのハンドにその小型振動モータを貼り付け、その刺激による筋肉の反応を記録し、平均を取りグラフを作った。測定に安価で簡単な「筋測くん」（MA-1000W-0015, Oisaka Development Ltd. 製）を用いた。その「筋測くん」は自動的に筋肉の受けた刺激信号をパソコンに取り込むことができないが、音、光、相対強度（%MVC）三パターンで弱から強まで10段階にわけて表示ができるものである。この「筋測くん」の電極をできるだけ小型振動モータの張り付けたところに近い場所に張り付けることにより、取れたデータはその場所の筋肉に受けた刺激信号とみなせる。

1) 音によるハンドが受けられた刺激強度と義手に受けた接触力の関係

2) 光による刺激ハンドが受けられた刺激強度と義手に受けた接触力の関係

3) 強度による刺激ハンドが受けられた刺激強度と義手に受けた接触力の関係

の三パターンはそれぞれ実験を行った。しかし、音、光による実験においては本研究室の受験者10人から見たところ、聞こえた信号の強さの変化に鈍感である同時に、義手に力を受けたという直接的な関連付けはなかなか頭のなかに浮かべなかったという指摘があった、または、現実では音、光の外乱も非常に多くて干渉されやすいという欠点もあるので、その方法によるフェードバックは適切でない判断した。従って、Fig9に示した写真とFig. 7, Fig. 8に示した原理図のように、三番目の実験を行い、データを取り、その結果はFig. 10に示す。横軸は指の受けた力、縦座標の単位「%MVC」（Maximum Voluntary Contraction: 最大随意収縮）とは、あらか

じめ最大随意収縮 (100%MVC) を入力し、それを基準とした上での計測信号の%を表示する機能である。指の受けた力が大きくに連れ、ハンド筋肉への刺激強度もほぼ線形的に上昇したことがわかった。よってこのシステムを装着することにより、義手が付けられた障害者に簡単な訓練を受けさせれば (刺激の強弱さを覚えるだけ)、誰でもその程度の触覚が得られる。

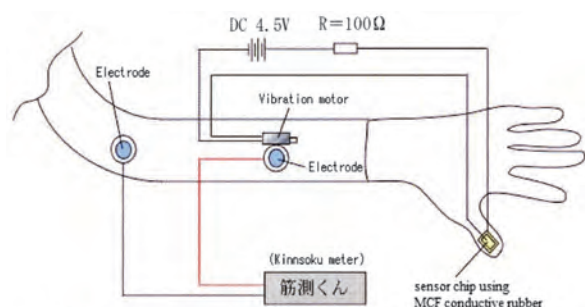


Fig.7 Schematic diagram of the measurement experiment

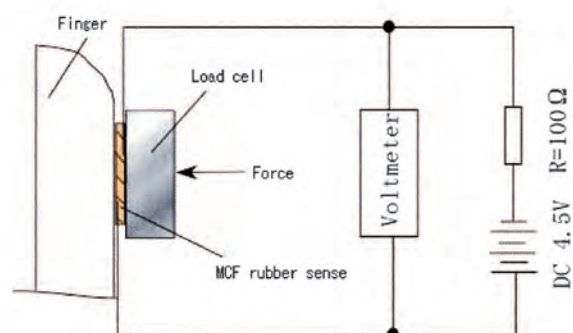


Fig.8 Schematic diagram of principle of the measurement

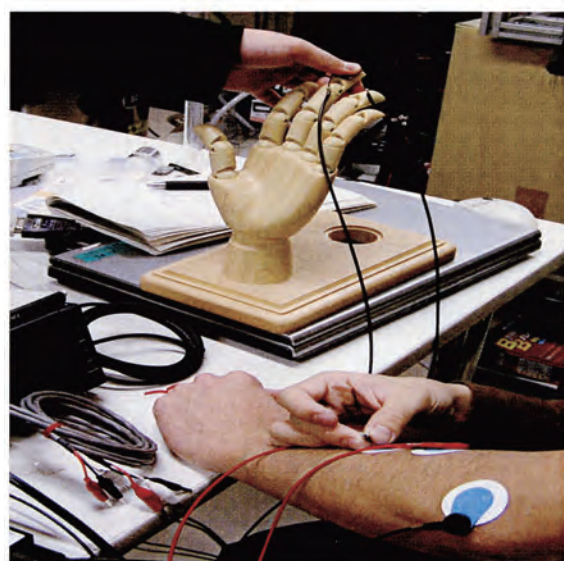


Fig.9 Photograph of sensing experiment

ただし、今回使用した「筋測くん」は非常に安価で簡単な測定器であり、あくまで定性的なものであるため、力が10N以下の場合、安定した傾向が取れなかった。これから測定精度を高めていく必要があると考えている。

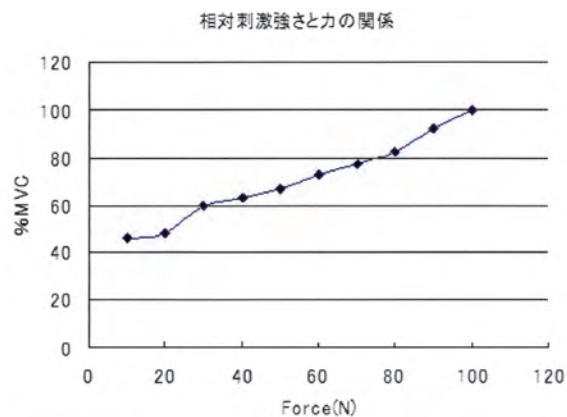


Fig.10 Relation of MVC and force

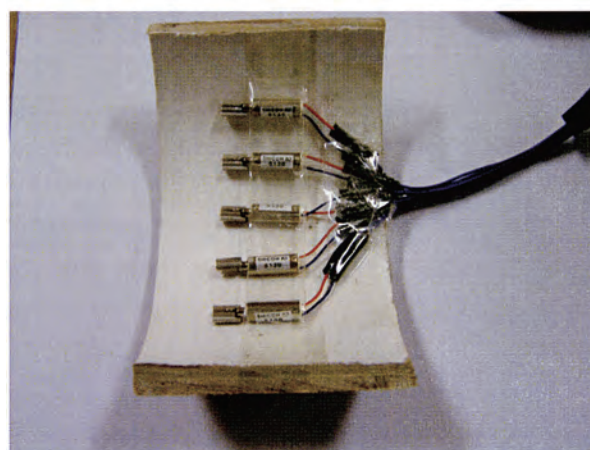


Fig.11 Attached vibration motors

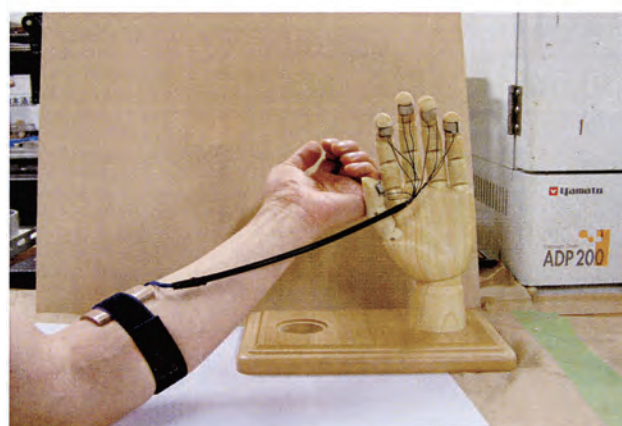


Fig.12 An artificial arm system with tactile sensor

上述より提案した方法での触覚をもつ義手システムが有効であることが検証された。

最後に、上記の実験結果を踏まえて試作した義手システムをFig. 11, Fig. 12に示す。

五本指に対応する五個の小型振動モータを輪の内側に装着している様子をFig. 11に、

義手システム試作品の全体写真をFig. 12に示す。(黒いチューブ中にボタン電池と抵抗を内蔵)

#### 4. 結論

今回の研究では、押付け力による刺激に対する感覚のみ実験を行い、その有効性をある程度で検証したが、別の研究では、MCFゴムの感温性も実証されているので今後の課題として温度刺激に対する感覚も加えたい。

#### 参考文献

- 1) Shimada, K. : Development of element of haptic robot, Proceedings of 15th Magnetodynamics Conference (in Japanese), (2006), 54-57.
- 2) Fujita, T. and Shimada, K. : Characteristics and application of magnetorheological fluid, Recent Research Development Magnetism and Magnetic Materials, 1 (2003), 463-479.
- 3) Shimada, K., Fujita, T., Oka, H., Akagami, Y. and Kamiyama, S. : Hydrodynamic and magnetized characteristics of MCF (magnetic compound fluid) (in Japanese), Transactions of Japan Society Mechanical Engineers, 67-664 (B) (2001), 3034-3040.
- 4) Shimada, K., Akagami, Y., Fujita, T., Miyazaki, T., Kamiyama, S. and Shibayama, A. : Characteristics of MCF (Magnetic Compound Fluid) in a rotating rheometer, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 252 (2002), 235-237.
- 5) Shimada, K., Miyazaki, T., Shibayama, A. and Fujita, T. : Extraction of magnetic clusters self-assembled by a magnetic field, Smart Material Structure, 12-2 (2003), 297-303.
- 6) Shimada, K., Shuchi, S., Kanno, H., Wu, Y. and Kamiyama, S. : Magnetic cluster and its applications, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 289 (2005), 9-12.
- 7) Shimada, K., Shuchi, S. and Kanno, H. : Magnetic rubber having magnetic clusters composed of metal particles, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 16 (2005), 15-20.
- 8) Shimada, K. and Zheng, Y. : Development of MCF rubber with temperature and electric senses for an element material in haptic robot sensor, Transactions of Japan Society Mechanical Engineers, (2007), in submitting.