

# MR 流体を用いて形状と硬さを動的に提示する触覚デバイスの提案

上村 宙\* 湯村 翼\*

**概要.** 触覚を提示するデバイスとして、振動を用いて手触りなどを再現するもの、ピンアレイを用いた形状や点字を提示するものなどが研究されてきた。これらのデバイスでは、手触りや形状、硬さなど触覚情報の部分的な要素の提示にとどまり、触覚の複合的な提示を行うことはできていない。そこで本研究では、形状と硬さの両方を動的に提示するデバイスを開発する。MR 流体と 6 個の電磁石を用いて  $2 \times 3$  の解像度のプロトタイプデバイスの実装を行った。また、操作の GUI アプリケーションを実装した。このデバイスにより、点字の表示や、物が動いているような感覚を提示することが可能となる。

## 1 はじめに

人間は五感を使って情報を得たり外部に影響を及ぼしたりしながら生活をしている。視覚や聴覚が遠くの情報を捉える感覚であるのに対し、触覚はものに触れた時に感じる感覚である。触覚は直接的かつ身体的な体験を伴い、物理的な相互作用においても重要な感覚である。

触覚を提示する手法には、振動を用いて手触りを提示するもの [1]、電気刺激を用いて手触りを提示するもの [2]、ピンアレイを用いて形状を提示するもの [5]、超音波を用いた圧覚を提示するもの [6]、多くのものがある。しかし、これらの手法では、手触りや形状といった触覚情報の単一要素の提示となっており、複合的な触覚情報は提示はされない。

そこで我々は、MR 流体 (Magneto Rheological Fluid) を用いることによって、複合的な感覚の提示を可能とするデバイスを提案する。MR 流体とは水や油などの流体に強磁性体の微粒子を分散させたもので、磁性を持った液体のようにふるまう。MR 流体に磁場を印加すると粒子が磁化され互いに結合し、クラスタを形成する。これによって、せん断応力が増加することで粘度が増加し、あたかも個体のような性質を持つようになる。

提案デバイスでは、電磁石を用いて MR 流体を操作することで、高速に流体の粘度などの特性を変化させ、硬さと形状の両方を感覚の提示を一つの機構で実現する。

## 2 関連研究

MR 流体を用いて触覚情報の再現を行おうとする研究には以下のようなものがある。

Claudia ら [4] は、平面に敷き詰めた 400 個の永

久磁石をステッピングモーターを用いることで上下に動かし、MR 流体を操作し、形状の提示を行うことの可能なデバイスを作成した。この研究では、 $20 \times 20$  という比較的高い解像度で MR 流体を操作することに成功している。しかし、MR 流体の封入は行っておらず、MR 流体が露出しているため、直接触れることは難しくなっている。

Gaoyu ら [3] は、一つの電磁石を用いて MR 流体を操作し、硬さの提示を行うことの可能なデバイスを作成した。中西ら [8] は、電磁石を用いて硬さを提示する機構に加え、接触センサを用いることで押した位置や強さも取得可能なインタラクティブなデバイスを作成した。これらの研究では、MR 流体を封入してデバイスを直接接触することが可能となっており、硬さの提示を行うことが出来ている。しかし、提案されているデバイスでは、同時に一つの硬さの提示しか行うことが出来ず、局所的な硬さの提示を行うことはできない。

石塚 [7] は、シリコンゴム内に MR 流体をセル状に封入し、永久磁石を配置することで、局所的な硬さの提示を行えるデバイスを作成した。この研究では、MR 流体をセル状に封入することで直接接触することが可能で、局所的な硬さの提示を行うことが可能となっている。しかし、永久磁石を使っているため、硬さをリアルタイムに変えることは難しく、形状の提示は行うことができない。

## 3 実装

本項では、提案デバイスと動作のアプリケーションの詳細を述べる。提案デバイスでは、MR 流体を触ることで触覚情報を得られるようにフィルムを用いて封入し、複数の電磁石によって高速に磁場を変化させることが可能となっている。動作のアプリケーションにより、デバイスの電磁石を適切に操作し、滑らかで動的な形状と硬さの提示を行うことが可能となる。

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

\* 北海道情報大学

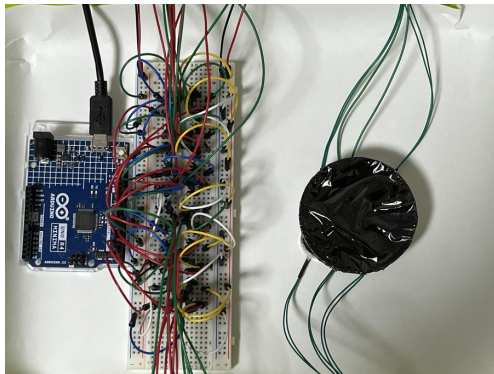


図 1. 提案する触覚デバイスのプロトタイプ。

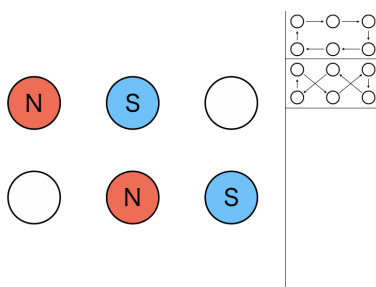


図 2. デバイスを制御するアプリケーション画面。

### 3.1 デバイス

MR 流体の封入には、直径 60mm 高さ 5mm のプラスチックシャーレと、厚さ 10 $\mu$ m のポリエチレン製フィルムを用いた。シャーレに 10mL の MR 流体を入れ、空気が入らないように MR 流体に密着させながらフィルムをシャーレに接着させた。この時、シャーレの容量よりも少なく MR 流体を入れることでフィルムに余裕を持たせ、MR 流体による触覚情報の提示を受け取りやすくなる。

電磁石には直径 20mm の物を 6 個用い、2 $\times$ 3 の格子状に並べた。電磁石の制御には、Arduino とトランジスタを用いて電源からの電気の供給を管理し、電磁石のオンオフと磁極の反転を高速に行えるようにした。

図 1 は作成したデバイスのプロトタイプである。右側の円形のもののが MR 流体を封入した触覚デバイスであり、デバイスの下には電磁石が配置されている。左側の装置は電磁石を Arduino で制御するためのものである。

### 3.2 アプリケーション

アプリケーションでは、GUI で任意の電磁石と磁極の反転を行えるようにした。また、電磁石の操作をプログラムすることで形状と硬さを動的に変化させることも可能となっている。実装には Unity を用い、Arduino とシリアル通信をして電磁石の制御を行っている。

図 2 は作成したアプリケーションの画面である。中央の 6 つの円は電磁石の状態を示しており、クリックすることで状態を直接変化させることも可能となっている。右上の円と矢印からなるものは電磁石の操作を動的に行うプリセットであり、クリックすることでプリセットを再生することが可能となっている。

## 4 議論

提案したデバイスでは、次のような触覚情報の提示が可能となっている。提案デバイスは電磁石を 2 $\times$ 3 の格子状に並べることで、合計 6 点の硬さと盛り上がり具合を独立して変化させることができる。6 点を独立して変化させられるため、点字の表記などが可能である。また、隣り合った電磁石の一方を S 極、もう一方を N 極とすることで、二点にまたがった形状の変化が可能となる。そのため、電磁石の適切に操作することによって、物体がなめらに動いているような表現も可能である。

提案したデバイスでは、次のような限界がある。提案デバイスに用いた電磁石は直径 20mm のため、それ以下の解像度で情報を提示することはできない。使用した MR 流体の特性と電磁石の磁力の限界から、硬さと盛り上がり具合にも限界があり、硬いものや高低差の大きい凹凸は表現できない。電磁石を並べる際に隙間ができるため、形状を変化させることができない場所が存在する。

## 5 おわりに

本研究では、MR 流体と電磁石を用いることで、滑らかで動的な形状と硬さの提示を行うことが可能なデバイスと、制御用のアプリケーションの作成を行った。提案デバイスでは、2 $\times$ 3 の解像度で硬さと形状の提示を行うことができ、点字の表示に用いたり、物体が滑らかに動いている触覚情報の提示を行うことができた。しかし、前項で述べた表現能力の限界に加え、電磁石の排熱が間に合わず高温になってしまい長時間の使用が難しいことや、MR 流体の封入に使用したフィルムに穴が開いてしまうなどの耐久性の問題がある。

今後は、デバイスの表現力を上げるために、異なる性質の MR 流体を用いたり、小型の電磁石を使用したり、電磁石の配置を変えたり、磁力の強さを操作可能にしたりし、かつ電磁石の排熱や耐久性の問題なども解決できるようにデバイスの構造や素材の選定も行っていく。

## 謝辞

本研究の一部は、経済産業省 AKATSUKI プロジェクト北海道 IT クリエータ発掘・育成事業（新雪プログラム）の支援を受けた。また、本研究を進めるにあたり、公立ほこだて未来大学の美馬義亮先生には多くのご助言、ご協力を頂いた。

## 参考文献

- [1] M. Konyo, S. Tadokoro, A. Yoshida, and N. Saiwaki. A tactile synthesis method using multiple frequency vibrations for representing virtual touch. pp. 3965 – 3971, 09 2005.
- [2] K. Kunihiro, I. Hiroki, K. Hiroyuki, and M. Homei. Double-sided Printed Tactile Display with Electro Stimuli and Electrostatic Forces and its Assessment. *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 04 2018.
- [3] G. Liu, L. Hongpeng, X. Zhao, W.-H. Liao, and J. Cao. Simulating mechanical properties of human tissues or organs based on magnetorheological fluid for tactile display. *Smart Materials and Structures*, 32:055007, 03 2023.
- [4] C. Simonelli, A. Musolino, R. Rizzo, and L. Jones. Development of an Innovative Magnetorheological Fluids-based Haptic Device Excited by Permanent Magnets. pp. 61–66, 07 2021.
- [5] T. Takaaki, S. Sho, N. Takuya, and H. Koichi. Multi-point Pressure Sensation Display Using Pneumatic Actuators. *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 58–67, 2018.
- [6] 岩本 貴之, 篠田 裕之. 音響放射圧の走査による触覚ディスプレイ (「触・力覚情報の処理と呈示」特集). 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 11(1):77–86, 2006.
- [7] 石塚 裕己. 磁気粘性流体を微小領域に封入した触覚ディスプレイ. PhD thesis, 慶應義塾大学, 2016.
- [8] 中西 裕崇, 松浦 昭洋. 磁気粘性流体を用いた硬度が可変な触覚デバイスの開発と応用. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2022 論文集, 2022:278–281, 08 2022.

## 未来ビジョン

この研究の目標とするところは触覚情報の複合的な再現である。MR 流体と電磁石を用いることで、高速かつ動的な MR 流体の操作が可能であり、形状、硬さ、手触りに加え、入力装置としても使用できる可能性がある。本論文では、形状と硬さを提示するところにとどまったが、手触りに関しては電磁石の磁力を高速に切り替えることで MR 流体を振動させて表現できる可能性がある。入力装置としては、デバイスに触れた際の磁場の変化を取得することで、どこをどれくらいの強さで触って

いるかという情報を得ることができ切る可能性がある。このデバイスが実装されることで、例えば普段触れることができない美術工芸品や生き物などの手触りを体験することが出来たり、料理におけるパンの捏ね具合や、病気の患部の手触りなどを直接伝達することが可能になったりする。現状は物の見た目や素材、構造などがデータとして記録するメインの物になっているが、触覚再現デバイスが実装されることで、これまで比喩や擬音によってしか記録していなかった硬さや手触りなどの情報を詳細なデータとして記録する重要性が上がり考えられる。