

# 分散系 ER 流体を用いた触覚ディスプレイにおける 感触に関する設計パラメータの影響

正員 南 政孝\* 学生員 阿部 佑貴\*  
非会員 増田 興司\* 非会員 山田 標太\*

## An Effect of Design Parameters on Touch of Tactile Display by using Electrorheological Suspension

Masataka Minami\*, Member, Yuki Abe\*, Student Member, Koji Masuda\*, Non-member, Hyota Yamada\*, Non-member

(2019年1月29日受付, 2019年2月27日再受付)

The tactile display is a device that transmits shape and character informations by giving a stimulus sense of users. This letter proposes a tactile display by using Electrorheological (ER) suspension. To achieve the practical use of the proposed tactile display, it is necessary to determine the parameters for design. This letter experimentally investigates an effect of the design parameters for the proposed tactile display by using ER suspension.

キーワード: 分散系 ER 流体, ER 効果, 触覚ディスプレイ, 感触, 設計パラメータ

**Keywords:** Electrorheological suspension, Electrorheological effect, tactile display, touch, design parameters

### 1. はじめに

分散系 ER 流体は高電界を印加することで粘性が大きく増加する流体であり, この現象は ER 効果と呼ばれている<sup>(1)</sup>。この現象に関して, 内部構造との関係性<sup>(2)</sup>や電界が粘弾性の与える影響<sup>(3)</sup>が研究されている。さらにこの現象を利用して, ブレーキやダンパ<sup>(4)</sup>, さらには触覚ディスプレイ<sup>(5)</sup>などへの応用が進められている。文献(5)で提案された触覚ディスプレイにおいて, デバイスの提案や感触の評価はされたものの, 分散系 ER 流体自体の材料パラメータや触覚ディスプレイの設計パラメータに関する電界特性などの評価はされていない。特に文献(5)では, 直径 1 mm の電極 2 つ (± のため) を 0.6 mm の間隔に設定し, その電極対を 9 つ設定している。またその先行研究<sup>(6)</sup>では, 電極間隔を 0.30 から 0.68 mm に調整している。そこで本研究では, 触覚ディスプレイの設計パラメータおよび触覚ディスプレイに用いる分散系 ER 流体自体の材料パラメータに注目して, 設計指針を立てることを目的としている。

本レターでは, その第一段階として, 触覚ディスプレイの設計パラメータに注目し, 設計パラメータと電界による感触の関係を評価する。

### 2. 実験装置および実験方法

まず実験装置について説明する。Fig. 1 に, 本レターで対

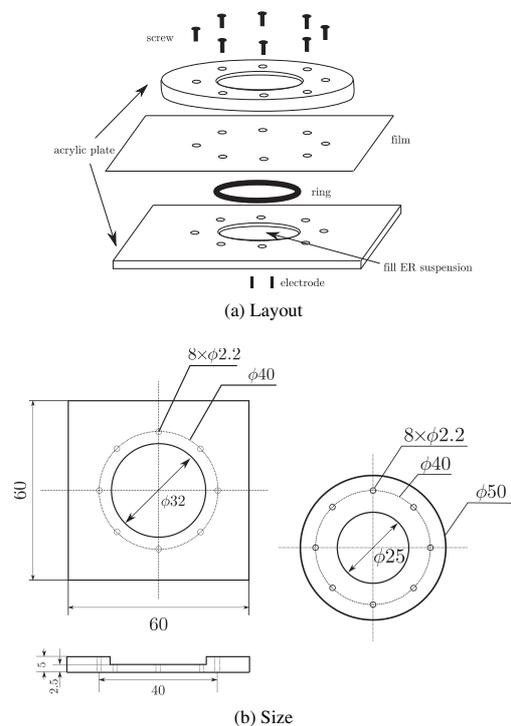


Fig. 1. Design of tactile display.

象にする触覚ディスプレイを示す。Fig. 1 (a) は触覚ディスプレイの構成レイアウト図を, Fig. 1 (b) は触覚ディスプレイの寸法を表している。触覚ディスプレイの下方に設置した電極数  $N$  (2 または 4) 個, 間隔  $w$  [mm] の電極 (直径 1.6 mm)

\* 神戸市立工業高等専門学校  
〒 651-2194 神戸市西区学園東町 8-3  
Kobe City College of Technology  
8-3, Gakuenhigashi, Nishi-ku, Kobe 651-2194 Japan

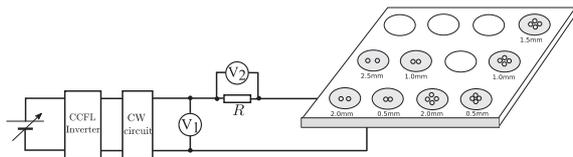


Fig. 2. Experimental system of tactile display.

を高压電源に接続し、電極周辺に高電界を発生させる。その電極の上に円形の溝を有するアクリル板を置き、そこに固体体積分率  $\phi=0.4$  または  $0.5$  の分散系 ER 流体を流し込む。その上から FEP フィルム (厚み  $12.5\ \mu\text{m}$ ) を被せ、アクリル板とネジを用いてフィルムを固定する。また、本実験で使用する分散系 ER 流体は、絶縁性の液体のシリコンオイル (信越化学, KF-96-300CS) に、分極率の高い物質の微粒子であるシリカ粒子 (日本触媒, KE-P50, 粒子径  $0.5\ \mu\text{m}$ ) を分散させて調製している。

次に実験方法を説明する。Fig. 2 に触覚ディスプレイを含めた実験装置を示す。高電圧発生回路の出力をそれぞれの電極に接続し、電極間の電界<sup>†</sup>を徐々に上昇させることにより、ER 効果によって電極のほぼ真上に固い感触を発生させる。FEP フィルムの上から電極周辺の分散系 ER 流体に指で触れることで、その感触の有無を評価する。本実験では、第 2,4 著者の 2 名により感触を評価する。Fig. 2 に示した実験装置において、同固体体積分率 ( $\phi=0.4$  または  $0.5$ ) の分散系 ER 流体を満たす。そして同一電界時に、電極数 ( $N=2, 4$ ) と電力間隔 ( $w$ ) の異なる全ての装置に対して、評価者が利き手 (右手) 人差し指の先端で 1 度ずつ電極間を上からなぞり、感触の有無を評価する。

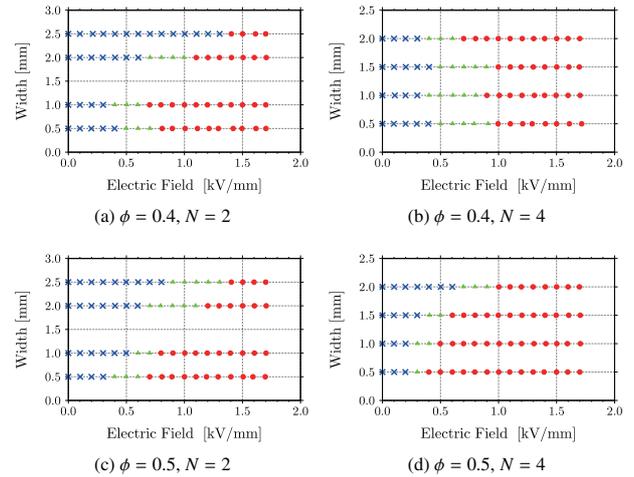
本レターでは、触覚ディスプレイの設計パラメータ (電極数と電極間隔) における感触の変化を明らかにする。そのため本実験では、実験環境による誤差を軽減するために、Fig. 1 の触覚ディスプレイを Fig. 2 のように同一アクリル板に複数個製作して、同電界時に同時に実験可能にしている。

### 3. 実験結果

Fig. 3 に電界および電極間隔に対する感触の結果を示す。4 つの結果はそれぞれ固体体積分率  $\phi=0.4, 0.5$  および電極数  $N=2, 4$  の結果である。横軸を電界、縦軸を電極間隔とし、3 種類のマークは ER 効果によって生じた感触の強さを表している。○は確実に感触が得られたもの、×は得られなかったもの、△はどちらにも属さず曖昧であったものを示している。

まず、電極間隔と感触が得られる電界に関して注目する。電極間隔が広くになるにしたがって、感触が得られる電界が高くなっている。これは、同電界であったとしても電極間隔が広がることによって、電界が空間的に広がっていることが考えられる。同様に、分散系 ER 流体内の粒子の広がりにも影響を受けていることを示唆している。そのため、今後は電磁界シミュレーションによる電界分布を検討する

<sup>†</sup> 電界の値は、印加電圧/電極間隔により簡易的に算出している。

Fig. 3. Experimental results:  $\phi=0.4, 0.5, N=2, 4$ .

とともに、分散系 ER 流体内の粒子挙動の解析が必要であると考えられる。

次に、電極数  $N$  と感触が得られる電界に関して注目する。Fig. 3 (a) と (b) または (c) と (d) を比較する。電極数  $N$  が 2 から 4 になると感触を得るために必要な電界の最低値も低下していることがわかる。これは電極が 1 対 ( $N=2$ ) から 2 対 ( $N=4$ ) になることで、電極間に閉じ込められる電界が強化されることや分散系 ER 流体内の粒子が凝集されていると考えられる。この検証にも前述したような電磁界シミュレーションと粒子挙動解析が今後の課題である。

### 4. おわりに

本レターでは、分散系 ER 流体を用いた触覚ディスプレイの設計パラメータに注目し、その電界依存性を評価した。その結果、電極間隔が広がるにしたがって感触を得る必要な電界が上昇すること、電極数が多い方が感触を得る最低電界が下がる傾向にあることを明らかにした。

今後は、本結果を電界シミュレーションおよび粒子挙動解析を通じて検証する予定である。さらに、触覚ディスプレイに使用している分散系 ER 流体自体の材料パラメータ (固体体積分率、シリコンオイルの種類、生成時の加熱時間、質量<sup>9</sup> など) に注目して、同様の評価を実施するとともに、実用化に向けた再現性の確認が今後の課題である。

### 文 献

- (1) W.M. Winslow: "Induced Fibrillation of Suspensions", *J. Appl. Phys.*, Vol.20, No.12, pp.1137-1140 (1949)
- (2) 花岡良一, 他: 「直流電界下における分散系 ER 流体の内部構造と ER 特性」, 電学論 A, Vol.119, No.6, pp.750-757 (1999)
- (3) 花岡良一, 他: 「分散系シリコンゲルの粘弾性特性に関する電界の効果」, 電学論 A, Vol.122, No.2, pp.157-163 (2002)
- (4) 中野政身, 他: 「分散系 ER 流体を用いたアクティブダンパとその除振制御への応用」, 機械学論 C, Vol.62, No.593, pp.33-40 (1996)
- (5) M. Goto, et al.: "Tactile bump display using electro-rheological fluid", Proc. of IEEE/RSJ International Conference, pp.4478-4483 (2013)
- (6) M. Goto, et al.: "Tactile Roughness Display Technique using Electro-rheological Fluid (in Japanese)", Proc. of the Machine Design and Tribology Division Meeting in JSME, pp.133-136 (2012)
- (7) 阿部佑貴, 他: 「触覚ディスプレイのために使用した分散系 ER 流体の質量と感触の評価」, FMS, 4-P-5 (2018)