



# 摩擦力と振動刺激による複合触感呈示の基礎検討

石塚裕己<sup>1)</sup>, 加藤邦拓<sup>2)</sup>, 宮下芳明<sup>2)</sup>, 梶本裕之<sup>3)</sup>

1) 香川大学 (〒113-0033 香川県高松市林町 2217-20, hi1124@eng.kagwa-u.ac.jp)

2) 明治大学 (〒164-8525 東京都中野区中野 4-21-1, kkunihir@meiji.ac.jp, homei@homei.com)

3) 電気通信大学 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, kajimoto@kaji-lab.jp)

**概要:** 人間の触知覚のメカニズムから, 触感呈示には複数の触覚刺激が重要である. そこで, 電気刺激による振動刺激と静電吸着力による摩擦力とを組み合わせた複合触感呈示用触覚ディスプレイを提案する. 本触覚ディスプレイは銀ナノインク印刷技術に基づいており, 高面積化・高密度化が期待できる. 本稿では原理や作製方法について説明し, 予備実験の結果も報告する.

**キーワード:** 触覚ディスプレイ, 電気刺激, 静電吸着, プリンタブルデバイス

## 1. はじめに

触感を伝達する装置の触覚ディスプレイへの関心が高まっている. 触覚ディスプレイは皮膚内部にある受容器と呼ばれる細胞を刺激することで触感を呈示する. この触覚ディスプレイは主に機械的に受容器を刺激する方法と電氣的に受容器を刺激する 2 種類の方法に分類できる. 機械的的刺激方法としては圧電素子の振動によって皮膚表面を刺激する方法やスクイーズ膜効果で皮膚に生じる摩擦力を制御する方法が挙げられる[1,2]. 電氣的刺激方法としては 2 つの電極間に電圧を印加してその際に流れる電流で受容器を刺激する方法が挙げられる[3]. これらの触覚ディスプレイを用いることで, 凹凸感や”つるつる”や”ざらざら”といった触感を再現できる.

人間が物体に触れた際には複数の受容器が同時に刺激されている. 実際の物体のような高度な触覚情報を再現するためには, 複数の受容器を同時に刺激できる方法が必要になる. そのためには, これらの触覚ディスプレイを複数組み合わせ, 同時に刺激呈示する方法が考えられる. 複数の刺激を呈示する触覚ディスプレイに関する研究としては Yem らの装着型の触覚ディスプレイである”FingAR”が挙げられる[4]. これはモーターによる指表面へのせん断力と電気刺激による垂直方向の振動刺激を組み合わせることによって, 4 種類の触覚フィードバックを実現している. また, Pyo らは静電吸着による摩擦力制御と静電アクチュエータによる振動刺激を組み合わせることで触感呈示が可能な触覚ディスプレイを提案している[5].

現在までに提案されてきた複合触感呈示手法は接触している指先にのみに刺激を与えるものが多かった. また, 使用しているアクチュエータの形状や重量の問題があり高密度化が難しいため, 受容器の分布に合わせた密度で広範囲に触刺激を行うことは難しい.

以上を踏まえて, 本研究では図 1(a)に示す電気刺激によ

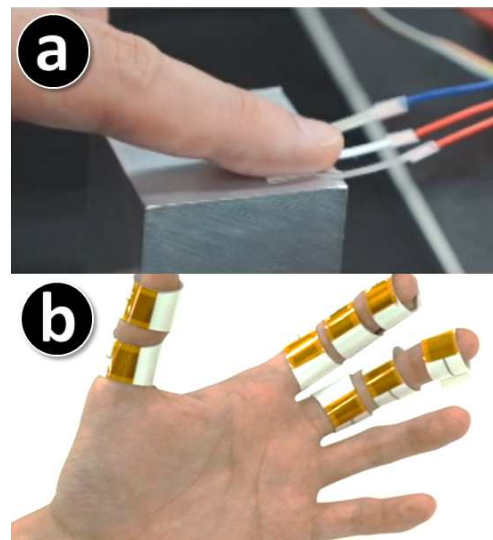


図 1 提案する触覚ディスプレイとその応用. (a) 実際の使用時の様子. (b) グローブ型デバイスへの応用.

る進行方向に対して垂直方向の振動呈示と水平方向の静電吸着力による摩擦力呈示が可能な触覚ディスプレイを提案する. 本触覚ディスプレイは柔軟な紙製の基板の両面に刺激用の電極を印刷することで実現される. 本触覚ディスプレイは電極のみを必要とすることから, 設計によって容易に高密度化・高面積化が可能である. 例えば, 図 1(b)に示すような指の広範囲を覆うような触覚ディスプレイにすることも可能である. 本稿では, 作製方法と原理を説明し, 振動刺激と摩擦力との同時呈示のための予備実験の結果について報告する.

## 2. 動作原理

図 2 に本研究で作製した触覚ディスプレイの外観を示す. 本触覚ディスプレイは 2D CAD ソフトウェアで作成し

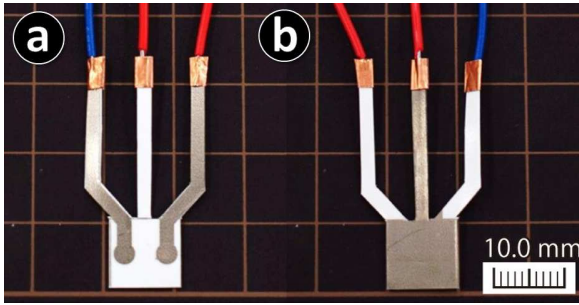


図2 実際に製作した触覚ディスプレイ。(a) 表面の電気刺激用の電極。(b) 裏面の摩擦力呈示用の電極。

た図面を、銀ナノインク(NBSIJ-MU01, 三菱製紙)が充填された家庭用のインクジェットプリンタから両面印刷することで作製されている。表面には直径3mmの電気刺激用電極が2mmの間隔で印刷されている。赤い配線に接続された電極が電源の+側に接続されている。また、青い配線に接続された電極がGND側に接続されている。これらの電極にパルス電圧を印加すると皮膚内部に瞬時的に電位差が生じ神経が活動する。これによって、使用者は垂直方向の振動のような触感を知覚することができる。背面には10mm\*10mmの大きさの静電吸着用電極が印刷されている。この表面には厚さ50 $\mu$ mのセロハン製のテープを貼り合わせることで絶縁層が形成されている。この電極は+側に接続されている。GND側に接続された導体の上で電極に電圧を印加すると導体と電極間に異なる電荷が帯電し、クーロン力による静電吸着力が生じる。静電吸着力が生じた状態で触覚ディスプレイを水平方向に移動させると、触覚ディスプレイに作用する摩擦力が増大する。また、この静電吸着力を断続的に生じさせることで、振動のような触感を使用者に呈示できる。これらの電気刺激による振動刺激と静電吸着力による摩擦力を組み合わせることによって、本触覚ディスプレイは複合触感を呈示することが可能である。

### 3. 予備実験

作製した触覚ディスプレイによって複合触感の呈示が可能かを調査するための予備実験を行った。被験者に電気刺激による振動刺激、静電吸着力による摩擦力、それらの複合刺激の3種類の刺激を異なる触感に感じるかを確認した。触覚ディスプレイは高圧電源(MHV 12-1.0k 2000P, バルニクス)に接続されており、各電極への印加電圧はマイクロコントローラ(mbed, ARM)によって制御される。触覚ディスプレイへの印加電圧の波形はピーク電圧が300V

のパルス電圧とした。静電側は基板を介しており高い周波数では知覚することが難しいと考えられることから、周波数を10Hzとした。そのDuty比は10%に設定した。電気刺激側は静電側よりも高い50Hzとした。電気刺激は電圧の印加時間が長い場合には被験者が痛みを感じることから、Duty比は1%に設定した。尚、本実験の被験者は30代男性である。

実験では被験者は振動刺激、摩擦力、それらの複合刺激をそれぞれで異なる刺激として知覚することができた。この結果から静電吸着による摩擦力を低周波数にし、電気刺激による振動刺激を高周波数にした場合に同時に呈示した場合にはどちらか単一の場合とは異なる刺激に感じられる可能性が示唆された。

### 4. おわりに

本稿では電気刺激による振動刺激と静電吸着力による摩擦力を同時に呈示可能な触覚ディスプレイを提案した。本触覚ディスプレイの作製方法を確立し、実際に触感呈示可能かを確認した。予備実験では振動刺激、摩擦力、それらの組み合わせがそれぞれ異なる刺激として被験者に知覚されることが確認できた。今回の予備実験では振動刺激と摩擦力の周波数が数倍異なったため知覚することが可能であったが、周波数の差が大きくなった場合や小さくなった場合にはどちらかの刺激のみ知覚されることも想定される。今後は被験者の数を増やすとともに、振動刺激と静電吸着力による摩擦力を同時呈示可能な刺激の条件を明らかにする。

#### 参考文献

- [1] Qi Wang and V. Hayward : Compact, Portable, Modular, High-performance, Distributed Tactile Transducer Device Based on Lateral Skin Deformation, Proceedings of Haptics 2006, pp. 67-72, 2006.
- [2] M. Wiertelowski, R. Fenton and J. E. Colgate : Partial squeeze film levitation modulates fingertip friction, PNAS, vol. 113, pp. 9210-9215, 2016.
- [3] H. Kajimoto : Design of Cylindrical Whole-Hand Haptic Interface Using Electrocuteaneous Display, Proceedings of EuroHaptics'12, pp. 67-72, 2012.
- [4] V. Yem and H. Kajimoto : Wearable Tactile Device using Mechanical and Electrical Stimulation for Fingertip Interaction with Virtual World, Proceedings of IEEE VR'17, pp. 99-104, 2017.
- [5] D. Pyo, S. Ryu, S. C. Kim and D. S. Kwon : A New Surface Display for 3D Haptic Rendering, Proceedings of EuroHaptics'14, pp. 487-495, 2014.