

# 微細加工による電極アレイを用いた高解像度摩擦振動触覚ディスプレイ

石塚裕己<sup>†1</sup> 鈴木勝順<sup>†1</sup> 梶本裕之<sup>†2</sup>

**概要:** 物体をなぞった際の触感をリアルに再現するためには物体をなぞった際の皮膚変形を高精度に再現することが必要になる。本報告では高精度な皮膚変形を再現するために、微細加工によって触覚呈示用の電極を微小化し密に配置した静電吸着による摩擦振動触覚ディスプレイを製作した。本触覚ディスプレイはそれぞれの電極への印加電圧を制御することで摩擦力分布を呈示でき、これによって局所的に触れている指表面を変形できる。実際に触覚ディスプレイを駆動させたところ、周波数とその組み合わせによって知覚される触感が異なることが確認された。

## High Resolution Electrostatic Tactile Display Using Micro-fabricated Electrode Array

HIROKI ISHIZUKA<sup>†1</sup> KATSUYORI SUZUKI<sup>†1</sup>  
HIROYUKI KAZIMOTO<sup>†2</sup>

**Abstract:** This paper demonstrates a high resolution electrostatic tactile display. The tactile display consists of an array of chromium electrode which is fabricated with micro-fabrication process. The tactile display can present frictional force distribution by controlling the voltage to each electrodes. We experimentally confirmed that the users could perceive the presented frictional force distribution.

### 1. はじめに

現在、スマートフォンや Apple Watch のように触覚へ情報伝達を行う装置への関心が高まっている。今後は、これらのデバイスの振動による簡易な触覚情報伝達から実際の物体の触感の再現のような高度な触覚への情報伝達への関心が高まると予想される。物体の触感再現を再現するためには、物体をなぞった際に生じる皮膚変形を高精度に再現することが必要になる。そのためには、触感呈示用のピクセルを密に配置し、それらを個々に制御することで皮膚の接触部の皮膚変形を高精度に制御することが必要になる。

現在、数多くの報告例があるアクチュエータを用いた機械式触覚ディスプレイはアクチュエータを小型化した際に高変位を実現することができず、高解像度化することが難しい[1]。また、電気式触覚ディスプレイも提案されているが、これは高解像度化すると深部にある神経を刺激できなくなるという問題がある[2]。

そこで、本研究では高精度に皮膚変形を生じさせるために、高解像度な静電吸着による摩擦振動触覚ディスプレイを提案する。本触覚ディスプレイは電極の上に絶縁層を形成することで構成されている。この触覚ディスプレイに周期的

に変化する電圧を印加することで、凹凸感のような触感を使用者に呈示できる。静電吸着による摩擦振動触覚ディスプレイは多くの報告があるが、構成要素である電極は単一のものが殆どである [3]。また、円状の電極を 3 mm の間隔で配置した摩擦振動触覚ディスプレイを製作した例もあるが、摩擦振動で点字を使用者に呈示するものであった[4]。本研究では、図 1 に示すように、この摩擦振動触覚ディスプレイの構成要素の電極を微細加工技術によって従来よりも小さい 1 mm の大きさまで微小化し、アレイ化する。そして、個々の電極への印加電圧を制御することで指と触覚ディスプレイとの間に働く静電吸着力を局所的に制御する。



図 1 触覚ディスプレイの概要

Figure 1 Schematic illustration of the tactile display.

<sup>†1</sup> 香川大学  
Kagawa University

<sup>†2</sup> 電気通信大学  
University of Electro-Communication

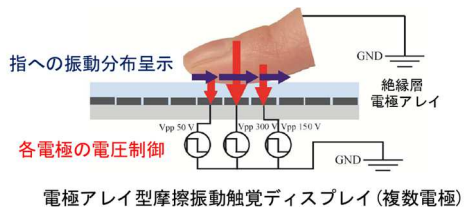


図2 触覚ディスプレイの原理

Figure 2 Principle of the tactile display.

この静電吸着力の分布を制御し実際の物体をなぞった際に指に生じる皮膚変形を再現することで、実際の物体をなぞった際の触感が再現を目指す。

## 2. 原理と製作方法

図2に触覚ディスプレイの触覚呈示の原理を示す。本触覚ディスプレイは電極を密に配置し、表面に厚さ $1\mu\text{m}$ の絶縁材料の $\text{SiO}_2$ 膜が形成されている。触覚ディスプレイは矩形波や交流のように周期的に変化する電圧が印加される。電圧が印加されている場合には指と電極の間に異なる電荷が溜まり、吸着力が発生する。一方で、電圧が印加されていない場合には吸着力は生じない。これによって電圧が印加されている状態では指に働く摩擦力が増大し、摩擦力が周期的に変動することで凹凸をなぞったような触感が呈示される。個々の電極への印加電圧の値、周波数、Duty比をそれぞれ制御することで、摩擦力の分布を制御できる。

図3に本触覚ディスプレイの製作工程を示す。(a)基板となるガラス板を洗浄した後にスパッタリングにて膜厚 $0.1\mu\text{m}$ のクロム膜を形成した。(b)保護膜を塗布しウェットエッチングによってクロム膜を局部的に削り、(c)電極のパターンを形成した。その後、保護膜を剥離し再び洗浄した後に、(d)スパッタリングにて膜厚 $1\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ 膜を電極上に形成した。最後に基盤と電極とをワイヤーボンディングにて

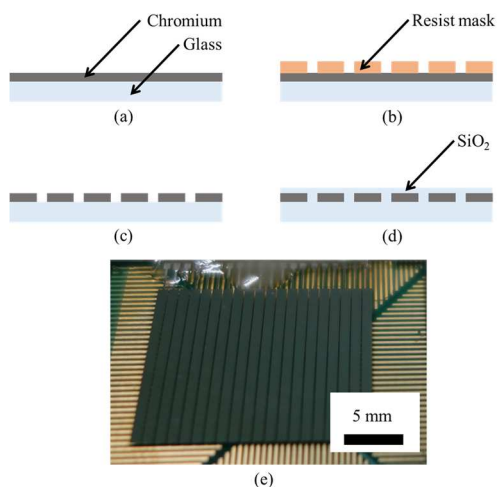


図3 製作工程

Figure 3 Fabrication process of the tactile display.



図4 触覚呈示の様子

Figure 4 Photograph of the actual experiment.

接続して(e)のような触覚ディスプレイとした。

## 3. 考察と議論

昇圧回路とトランジスタとを組み合わせて触覚ディスプレイへの入力電源の回路を製作した。電源装置はマイコン(mbed, ARM Ltd.)によって制御されており、電圧の周波数や Duty 比を制御することができる。触覚ディスプレイの各電極への入力電圧を電圧値 $300\text{V}$ と Duty 比 $10\%$ で固定し、全て周波数 $50\text{Hz}$ とした場合と $100\text{Hz}$ とした場合、そして交互に $50\text{Hz}$ と $100\text{Hz}$ として図4に示すように知覚実験を行った。その結果 $50\text{Hz}$ と $100\text{Hz}$ との違いは知覚でき、また交互に $50\text{Hz}$ と $100\text{Hz}$ とした場合には一様な周波数とは異なる触感が呈示できていることを確認した。このことから $50\text{Hz}$ と $100\text{Hz}$ の入力電圧を用いた場合には摩擦力の分布は被験者によって知覚された。従来の単一電極からなる摩擦振動触覚ディスプレイでは再現できなかった触感を本触覚ディスプレイでは電極を密に配置しそれぞれ制御することで再現できていたと言える。本報告では微小な電極を用いることで従来の静電吸着方式の触覚ディスプレイでは呈示できなかった触感が再現できていることを示唆した。今後は触覚ディスプレイへの入力電圧の大きさ、周波数、Duty比、電圧を印加する電極のパターンについて検討し、それらが知覚可能かを検討していきたい。そして、それらを組み合わせて触覚呈示を行うことでリアルな物体の触覚再現へと拡張する。

## 参考文献

- [1] Akther, A., Kafy, A., Zhai, L., Kim, C., Reza, M. I., Kim, J., Ultrasonic wave propagation of flexible piezoelectric polymer for tactile actuator: simulation and experiment, Smart Mater, vol. 25, 2016, 15043.
- [2] Tezuka, M., Kitamura, N., Miki, N., Presentation of Various Tactile Sensations Using Micro-Needle Electrostatic Display, PLoS One, vol. 11, no. 2, 2016, e0148410.
- [3] Bau, O., Poupyrev, I., Harrison, C., TeslaTouch: Electrostatic Haptic for Touch Surface, Proceedings of UIST' 10, 2010, p. 283-292.
- [4] Tang, H., Beebe, D. J., A Microfabricated Electrostatic Haptic Display for Persons with Visual Impairments, IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, vol. 6, no. 3, 1998, p. 241-248.