

触覚ポスター：プリンタブルな大型静電触覚ディスプレイの提案

島津京平¹ 橋本悠希^{1,2}

概要：本研究では、従来の研究より大型化が容易で、安価に作成でき、曲げて使用することのできる静電触覚ディスプレイを開発した。本ディスプレイでは紙をベースとし、その上に銀ナノインクを印刷することによって紙を電極として使用する。さらに、電極の上に直接インクジェットインクを印刷することによって、触覚を提示することのできるポスターとしての活用を行うことができる。ディスプレイを大型化することによる電圧降下の影響、およびインクジェットインクの印刷が触覚に与える影響について調査し、本ディスプレイの大型触覚ポスターとしての活用の可能性を確認した。

Tactile poster: A printable large electrostatic Tactile display

KYOUHEI SHIMAZU¹ YUKI HASHIMOTO^{1,2}

Abstract: In this research, we developed an electrostatic tactile display that can be made cheaper than conventional research, easy to upsize, and can be used by being bent. In this display, paper is used as a base and paper is used as an electrode by printing silver nano ink on it. Furthermore, by printing inkjet ink directly on the electrode, it can be utilized as a poster capable of presenting tactile sense. We investigated the influence of the voltage drop caused by enlarging the display and the influence of printing of inkjet ink on tactile sensation and confirmed the possibility of utilization of this display as a poster.

1. はじめに

近年、バーチャルリアリティ分野の中でも、触覚への関心が高まっている。触覚が他の感覚と大きく異なる点として、受容器が皮膚全体に広がっている点にある。この点を活かし、大面積に触覚を提示することは、他の感覚との差別化に寄与する重要な課題であり、過去に様々な試みが行われてきた[1][2]。これらのほとんどは装着型であるが、多数のアクチュエータを用いることから、装置が複雑かつ重くなり、自由に動くことが難しいという問題があった。これに対して本研究では、環境側にポスターの様な大型の触覚ディスプレイを設置し、手のひらや腕、顔などの大面積に対して触覚を提示するというアプローチを考えた。

ここで問題となるのは、触覚の提示方法である。大面積への触覚提示において、振動子等による直接的な機械振動提示では、多量の振動子が必要となり、装着型の問題を解決できない。そこで本研究では、静電触覚に着目した。静電触覚は、静電気力を用いて摩擦力を制御し、摩擦力の変化によって提示する。この手法は既に、多数の報告がなされている。山本らは、透明電極を用いてタッチディスプレイ上に触覚を付与することに成功した[3]。また、石塚らによる高解像度静電触覚ディスプレイ[4]、Pyo らによる静電触覚を利用して 3D の触覚を提示できるディスプレイ[5]などの開発が報告されている。これらは主に指先に提示する

ものであるが、Disney Research では大型のタッチディスプレイや家具などに触覚を付与することができる静電触覚ディスプレイ[6]を提案しており、大型静電触覚ディスプレイが実現可能であることを示した。

静電触覚以外の感覚提示との複合についても報告されている。加藤らの研究では、静電触覚と電気刺激を組み合わせることによって、より多様な触感を提示することのできるディスプレイが開発された[7]。富田らは、静電触覚ディスプレイ上での触覚強度および触感のオノマトペによる評価を行った[8]。この報告により、オノマトペに準じたより具体的な触感の提示が容易になった。

以上を踏まえて本研究では、静電触覚によって触覚提示が可能なポスターサイズのディスプレイである、触覚ポスターを提案する。

触覚ポスターに求める要素は、以下の 3 点である。

- ・皮膚の広い面積に触覚を提示可能な大型サイズ
- ・簡便で低コストな制作手法
- ・従来のポスターと同様の高い可搬性

静電触覚ディスプレイでは、電極となる金属パタンが必要となるが、従来手法では A1 以上のポスターサイズまで対応することは難しく、製作コストも高い。これに対して、近年成長が著しい紙エレクトロニクス技術は、紙に対して導電体をインクジェット印刷するものであり、大判印刷機を用いることで非常に大型のパタンを容易に製作可能であ

¹ 筑波大学
University of Tsukuba

² 独立行政法人科学技術振興機構 さきがけ
JST, PRESTO

る。また、高価な器材を必要としないため低コストであり、紙なので丸めて持ち運ぶことも可能である。さらには、電極の上から通常の印刷用インクを用いて図柄を印刷することもできることから、視覚と触覚両方が楽しめるポスターが実現可能である。したがって、本研究では、印刷によるペーパー静電触覚ディスプレイの製作を試みる。

本稿では、触覚提示の原理および提案するディスプレイの構造を説明すると共に、提案ディスプレイの有効性を検証した結果を報告する。また、ポスターとしての利用を目指したプロトタイプの実装結果について述べる。

2. 触覚提示原理

本装置では先に述べた通り、静電気力を用いて摩擦力を制御し、摩擦力の変化によって触覚提示を行う。この触覚提示原理を、図1を用いて説明する。

電極上に交流電圧を印加すると、電位の変化に応じて電極からの静電気力が変調する。発生する静電気力の式は、 $F = \epsilon S V^2 / 2d^2$ となる。なお、静電気力を F 、電極と指先の距離を d 、印加電圧を V 、接触面積を S 、絶縁層の誘電率を ϵ とする。

この静電気力によって指先がディスプレイに吸着し、垂直抗力が変化することで摩擦力が変調する。摩擦力が時間変化することによって、体験者はディスプレイ表面に凹凸テクスチャ感を得ることができる。この摩擦力の変化は印加する交流電圧の波形によって制御することができるため、波形を変化させることでさまざまなテクスチャ感を提示することが可能となる。

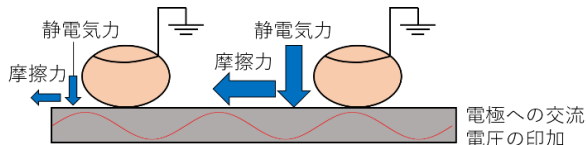


図1 静電触覚の発生原理

3. 提案する静電触覚ディスプレイおよび装置構成

本研究で提案する静電触覚ディスプレイの断面を図2に示す。本ディスプレイでは、白色PETフィルムを台紙として、銀ナノインクを印刷し電極とする。電極の上には絶縁層としてPETフィルムを貼り付ける。この際、通常の印刷方法では導電パターンが高電圧に耐えられないため、(株)川口電機製作所の特殊印刷技術を用いて1000V以上の電圧に耐えられる電極を製作した。

また、銀ナノインクと絶縁層の間に任意で通常のインクジェットインクを印刷することも可能であり、触覚ディスプレイに図柄を付け加えることができる。ただし、その場合は絶縁層の厚みが増加することとなるため、触感が減衰

してしまう可能性がある。

この静電触覚ディスプレイを稼働させるために使用した装置の構成を図3に示す。作成した静電触覚ディスプレイを振動および静電気力減衰防止のためにバックライト板に貼り付け、それに高電圧発生装置から電圧を印加した。GNDには被験者実験用にリストストラップ、または測定実験用にプローブを接続した。

なお、高電圧発生装置は、電気通信大学・梶本研究室で開発されたものを用いた。本装置は接続されている mbed へのプログラミングによって出力電圧を制御することができ、最大 600V の電圧を印加することができる。

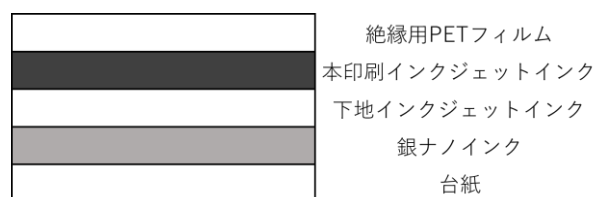


図2 作成した静電触覚ディスプレイ断面図

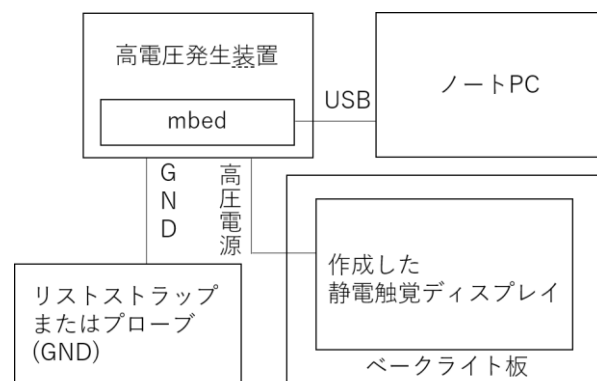


図3 実験装置構成

4. ディスプレイの特徴に関する触覚への影響の検証

4.1 ディスプレイの大型化による電圧降下について

ディスプレイを大型化するにあたって念頭に置かなければならないのは、電圧降下による端部の触感の減衰が発生する可能性についてである。そこで、図2に示した中で、台紙と銀ナノインクのみで構成されたものを利用して、電圧値の測定実験を行った。

実験は、図3においてGNDにプローブを接続した状態で行った。A3サイズの静電触覚ディスプレイに対し、高電圧発生装置から電圧を印加し、オシロスコープを用いてディスプレイ上の電圧値を測定した。測定した点を図4に示す。高電圧発生装置との接続部分を原点として、水平方向および垂直方向に4cmずつ移動させた計77箇所である。

なお、本実験では印加する電圧を、最も安定して正弦波を印加できる最低の電圧であった37Vとし、オシロスコー

プの最低測定可能電圧値を 0.4mV として測定を行った。

結果、測定した 77 箇所において電圧降下は確認されなかった。この結果より、A3 サイズの静電触覚ディスプレイにおける電圧降下値は 0.4mV 以下であると考えられる。実際に触覚を提示する際には数百 V の電圧を印加するため、0.4mV 以下電圧降下は誤差に過ぎない。そのため、本ディスプレイにおける電圧降下の影響は無いと考えられる。

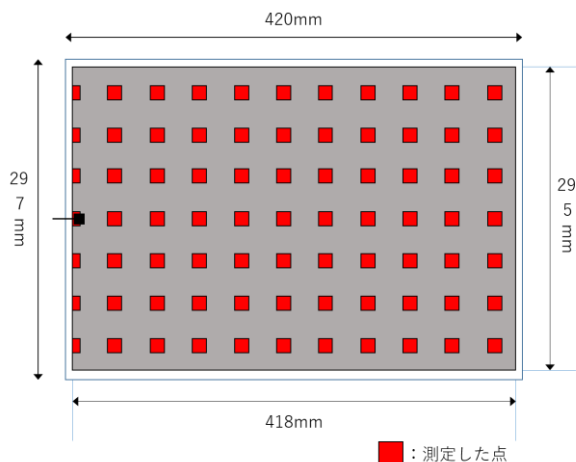


図4 測定を行った点

4.2 インクジェットインクの厚みの変化による触感の変化について

3 章において示した、下地および印刷インク層を追加した場合の、絶縁層の厚みの増加が触感に与える影響について検証する実験を行った。

装置構成は、図 3 において GND にリストストラップを接続した状態でを行った。実験には、図 5 に示す A3 サイズのディスプレイを 3 分割したものを使用した。左側から銀ナノインクのみを印刷した面（厚さ約 3 μ m）、銀ナノインクの下塗り用インクを印刷した面（厚さ約 33 μ m）、下塗り用インクの上に黒色のインクを印刷した面（厚さ約 73 μ m）となっている。図 6 には、実際に作成した実験用ディスプレイを示す。

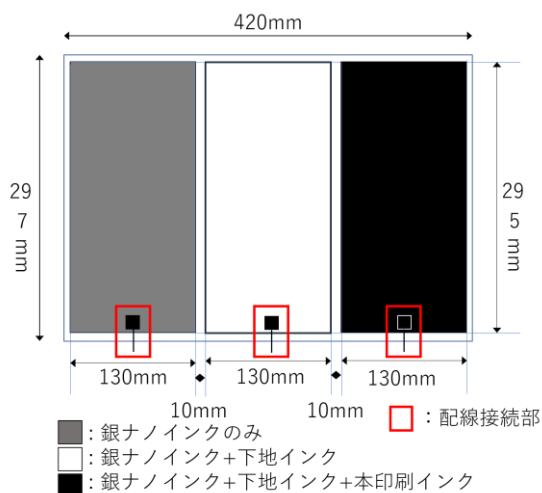


図5 実験用ディスプレイ

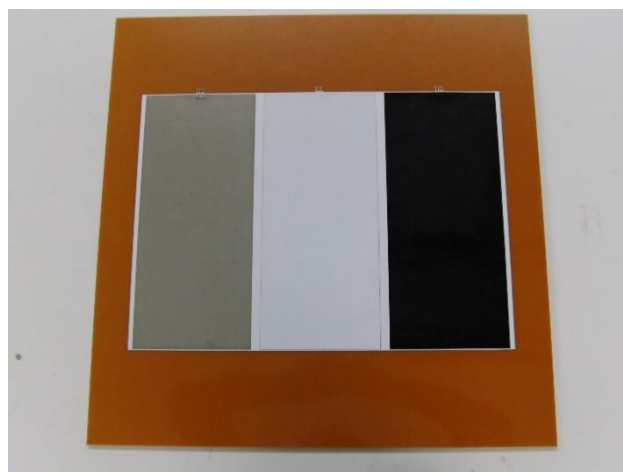


図6 実際に作成した実験用ディスプレイ

本実験は極限法に準ずる方法で行った。印加する交流電圧は 100Hz の正弦波とした。被験者は電圧を印加した面と印加していない面を交互になぞり、触感に差異が有るかどうかを回答した。電圧を 10V 刻みで徐々に上昇させて被験者が最初に差異を感じた電圧と、10V 刻みで徐々に下降させて最後に差異を感じた電圧を記録した。この工程をディスプレイの各面において 3 回ずつ行った。実験順は左面 3 回、中央面 3 回、右面 3 回の順で、計 18 回の実験を行った。なお、手汗による触感の減衰を防ぐため、被験者は任意のタイミングで備え付けのティッシュペーパーで手を拭くことができるものとした。被験者は 21 歳～26 歳の男性 5 名である。

各面に対して上昇時と下降時のデータをまとめた実験結果を、中央値をまとめた表として表 1 に、箱ひげ図として図 7 に示す。

表 1 インク厚みに関する実験結果（中央値）

条件	①	②	③	④	⑤	⑥
中央値[V]	210	230	265	270	250	250

条件①…塗料無：上昇時、②…塗料無：下降時、③…下塗り：上昇時、
④…下塗り：下降時、⑤…本印刷：上昇時、⑥…本印刷：下降時

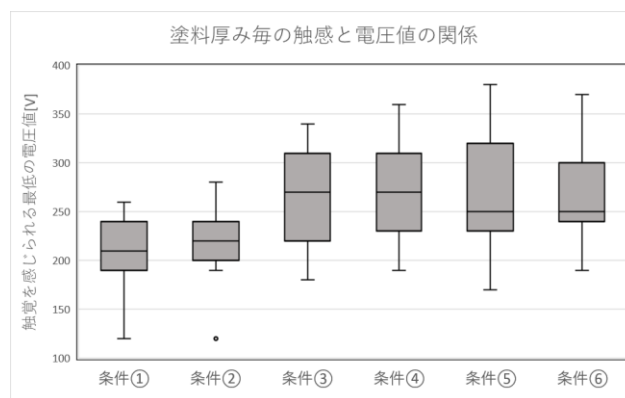


図7 インク厚みに関する実験結果（箱ひげ図）

銀ナノインクのみを印刷した面と塗料を印刷した面を比較すると、触感を感じることでできる最低の電圧値には数十Vの電圧値差があることが確認された。この結果から、実際に触感を提示する際の 600V 電圧に対しては、大きな触感の減衰なく触感を提示できると考えられる。

5. ポスターへの利用可能性の検証

4 章の検証結果より、静電触覚ディスプレイの大型化による電圧降下が触感に影響を与えないこと、インクジェットインクを用いた図柄をポスター上に印刷しても触感に大きな影響がないことが示唆された。このため、本静電触覚ディスプレイによる大型触覚ポスターとしての使用が可能であると考えられる。

また、電極として用いる銀ナノインクの図柄に関しても、プリンターを用いて印刷するために制限がない。これを利用して、本研究では、ありふれたポスターに触覚を付与するという新たなインタラクションを提案する。

ポスターとしての作成例の図案を図 8 に、実際に作成したポスターを図 9 に示す。



図 8 ポスター作例図案



図 9 実際に作成したポスター

図 8 のように銀ナノパターンと印刷パターンを個別に設計し、触覚を提示したい部分について銀ナノパターンを印刷する。

また、図 9 のポスターに実際に電圧を印加した結果、触覚の提示が行えることが確認できた。しかし、印刷されたパターン上の複雑な形状をしたエッジの知覚が難しいという問題点が発見された。いかにしてエッジを体験者に明確に知覚させるか、その表現方法が今後の課題である。

6. おわりに

本研究では、静電触覚ディスプレイを紙上に印刷することによる大型化、およびポスターとしての活用の可能性についての提案を行った。

ポスターとして活用する上での懸案事項と言える、大型化による電圧降下と、インクジェットインクの印刷による触感の減衰について、検証 実験を行うことでその影響の小ささを確認した。

今後、提示できる触覚に応じて様々なポスターの作成を行うと同時に、ポスター上でのエッジの表現方法についても模索していく。

謝辞

本研究は、(株)川口電機製作所の協力によって行われた。

参考文献

- [1] Yukari Konishi, Nobuhisa Hanamitsu, Kouta Minamizawa, Ayahiko Sato, and Tetsuya Mizuguchi, "Synesthesia Suit: the full body immersive experience", In SIGGRAPH '16: Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques Conference VR Village Proceedings, SIGGRAPH '16, pp. 1, Anaheim, USA, Jul 2016.
- [2] 栗原, 高下, 岡崎, 梶本: 発泡ビーズの振動伝搬を用いた広範囲触覚ディスプレイ, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2013 論文集, pp. 365-368, 2013.
- [3] 山本, 石井, 樋口: 摩擦制御を用いた静電皮膚感覚ディスプレイ, 計測自動制御学会論文集, 40-11, pp. 1132-1139, 2004.
- [4] 石塚, 鈴木, 梶本: 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, インタラクション 2017 予稿集, pp. 250-251, 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.
- [6] Olivier Bau, Ivan Poupyrev, Ali Israr, Chris Harrison, TeslaTouch: electrovibration for touch surfaces, Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology, October 03-06, 2010
- [7] 加藤, 石塚, 宮下, 梶本: 導電性インクの両面印刷による電気刺激と静電吸着を用いた複合触覚ディスプレイの作成手法, WISS2017, 2017.
- [8] 富田, 嵯峨, 梶本: 静電気力を用いた触覚ディスプレイ上での触覚強度と触感の調査, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 論文集, 1A1-M06, 2017