

静電触覚ディスプレイにおける皮膚変形の計測

金子 征太郎¹⁾, 水原 遼¹⁾, Yem Vibol¹⁾, 梶本 裕之¹⁾, 岡本 正吾²⁾

- 1) 電気通信大学 情報学専攻 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-4-1, {kaneko,mizuhara,yem,kajimoto}@kaji-lab.jp)
2) 名古屋大学 機械理工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町, okamoto-shogo@mech.nagoya-u.ac.jp)

概要: 早期の普及が見込まれるタッチパネル用の触覚ディスプレイとして、静電触覚ディスプレイが注目されている。しかしこれまで、静電触覚ディスプレイをなぞった際の皮膚変形に関して直接観察された例はない。本稿では我々が作成した、透明電極及び高速カメラを用いた観察システム、及び様々な波形を静電触覚ディスプレイに入力した際の皮膚変形について報告する。

キーワード: 触覚ディスプレイ, 静電触覚ディスプレイ, 皮膚変形, 計測

1. はじめに

これまで、触ったときの形状や触感を再現するために、触覚ディスプレイに関する研究が多くなされてきた[1][2][3]。その中でも、静電触覚ディスプレイは、タッチパネル用の触覚ディスプレイとして早期の普及が見込まれている。静電触覚ディスプレイは、透明ガラス、導電層、絶縁層の3層から構成される(図1)。導電層に対して高い電圧をかけると、静電気力によって皮膚が板に吸着する。これを利用し、指の動作中に入力電圧を変化させることで、凹凸感や細かいテクスチャ感を再現することが可能となっている[4][5][6]。

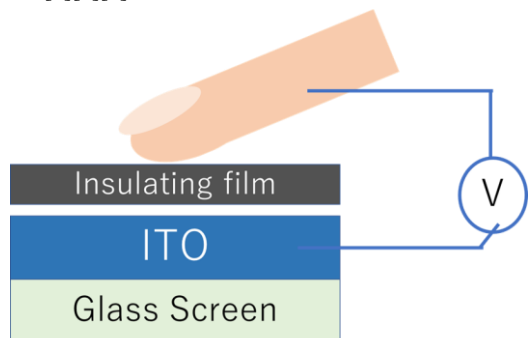


図 1 静電触覚ディスプレイ構成

静電触覚ディスプレイ上の指の動きに対して、指全体で発生する振動や摩擦力は計測されている[7]。しかしながら、静電触覚ディスプレイをなぞった際の皮膚変形を直接計測した例は、著者らの知る限り存在しない。つまり、静電触覚ディスプレイをなぞっている際の皮膚変形が実際のテクスチャをなぞった際の皮膚変形をどの程度再現しているかは明確にされていない。

よって本研究では、静電触覚ディスプレイの表現領域を

明確にすることを目的として、静電触覚ディスプレイをなぞった際の皮膚変形を計測し、実物のテクスチャをなぞった際の皮膚変形と比較する。本稿ではその最初のステップとして、静電触覚ディスプレイをなぞる際の皮膚変形を計測した予備的な計測結果に関して報告する。

2. 実験条件

2.1 計測装置

計測装置には、我々が先行研究で作成した計測系を改良して用いる[8]。実験装置を図2に、概念図を図3に示す。鏡を用いてガラス面越しに皮膚変形が計測できるように装置を作成した。

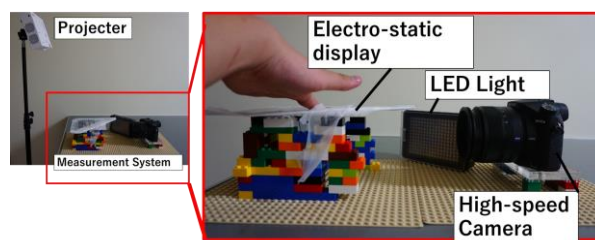


図 2 計測系概要

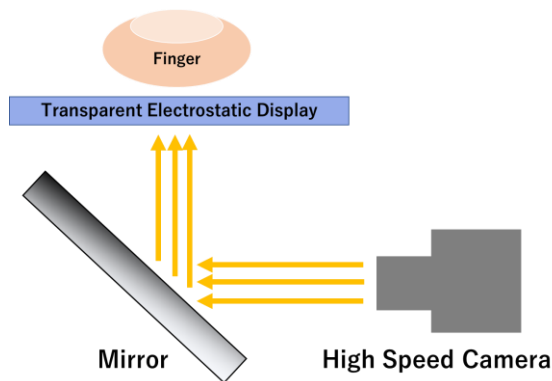


図 3 計測系概念図

皮膚変位計測を行う際には画像処理用のマーカーを2種類装着する。指皮膚表面に対して塗布するマーカーと爪に装着する固定マーカーである。指に塗布するマーカーは、皮膚表面変位を計測するために塗布される。マーカーは 10×16 の計 160 個配置され、それぞれの間隔は 0.5mm 、点の中心間距離は 1.0mm である。マーカーはスタンプを用いて塗布される。爪に装着する固定マーカーは、画像処理において、指全体の位置を認識させるために用いる。それぞれのマーカーの挙動は、ハイスピードカメラを用いて解像度 1920×1080 、 1000fps で測定した (SONY,RX10 II)。図 4に実際の計測例を示す。



図 4 指表面の撮影例

計測に用いるディスプレイは、ITO 透明電極を $15\mu\text{m}$ の絶縁膜で覆ったものを使用した。この電極は、ガラス板に対して電極となる酸化インシウムスズ(ITO)の薄い膜をコーティングして作成された。

2.2 計測条件

今回の計測では、入力波形として正弦波、矩形波の2種類、周波数を $20,40\text{Hz}$ の2条件、合計4条件で計測した。振幅は 600V で固定した。被験者が静電触覚ディスプレイをなぞる速度は 3cm/s となるようにプロジェクタで光を投影した (図 5)。垂直方向の力は、被験者が最も触感を感じられる大きさとした。

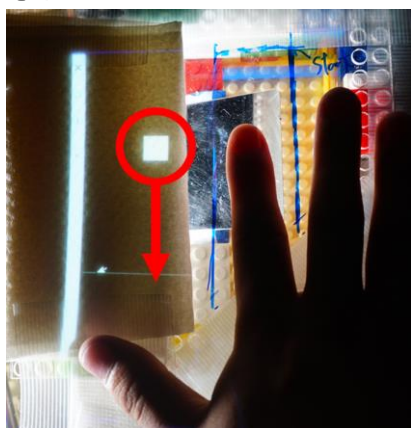


図 5 プロジェクタによる速度目安の例
白い四角が手前方向に 3cm/s で移動する

2.3 計測手法

本計測は被験者6人 (男性5人、女性1人、左利き1人) で行った。

まず被験者の指をエタノールで脱脂し、各種マーカーを

装着した。次になぞる速度が一定になるよう、プロジェクタの光に追従する練習を行った。その後、6条件の入力波形それぞれをなぞってもらい、その際の皮膚変形をハイスピードカメラで計測した。それぞれの計測を行う前に、静電触覚ディスプレイを駆動しなかった場合とは異なる触感を感じたか質問を行い、感じなかった場合には、アルコールで板表面を拭き再度なぞってもらった上で質問を行った。なお3回連続で触感を感じなかった被験者は実験を中止することとした。

撮影中にマーカーが薄くなった場合は、再度マーカー塗布を行った。一回の試行は約15分であった。計測の様子を図6に示す。

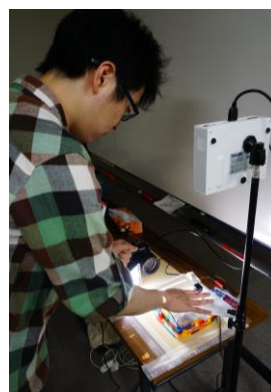


図 6 計測の様子

2.4 解析方法

マーカーの追尾結果の解析には、画像処理ライブラリ OpenCV を用いた画像処理プログラムを使用した[8]。処理結果例を図7に示す。得られたマーカー変位の結果を用いて、以下の方法で処理を行った。

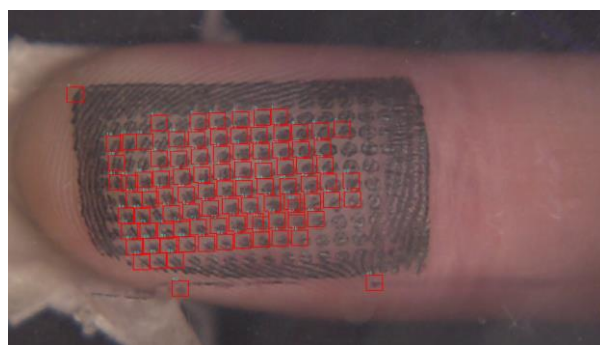


図 7 解析結果例,
赤四角で囲われた部分が認識された部分

まず計測されたマーカー全体から、なぞり方向 (今回は指根本方向1行分マーカー群を抽出した。このマーカー群は、画像処理によって認識されたマーカー群から、指中央に近い1行の群を抽出することとした。次に各マーカーの変位から、各マーカーのフレーム間速度を計算した。その後、得られた速度を5フレームごとに平均化した。また、マーカーが振動する周波数分布を計測するため、1行分のマーカー群の平均変位速度に対してフーリエ変換を行っ

た。

今回の解析では、なぞり方向に発生する振動にのみ注目した。これは、指皮膚の振動は物理的になぞっている方向に対して大きく発生すると考えられるためである。

3. 実験結果

ある被験者において計測された皮膚変形を図 8に、群ごとに平均をとった速度変化を図 9に示す。最後に全被験者の速度変化の平均を図 10に示す。

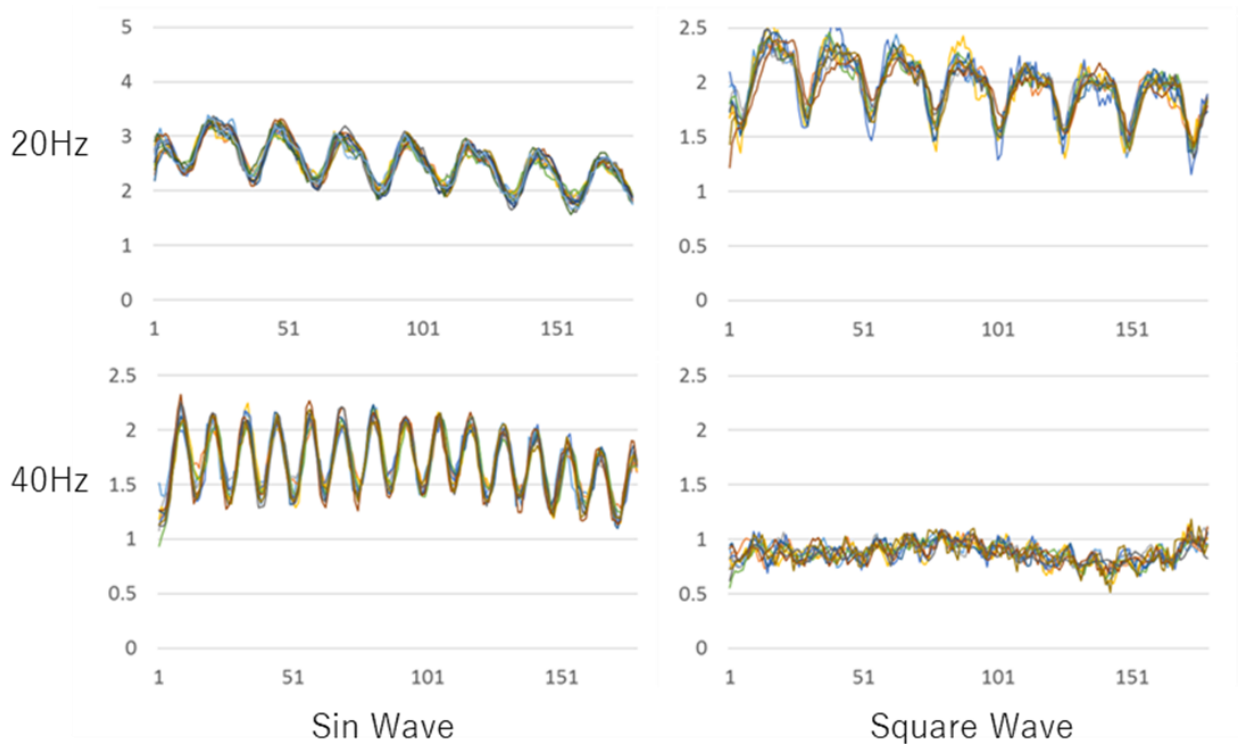


図 8 ある被験者の群内マーカーにおける皮膚変形速度変化
グラフ上部が 20Hz, 下部が 40Hz, 左部が正弦波, 右部が矩形波となる。

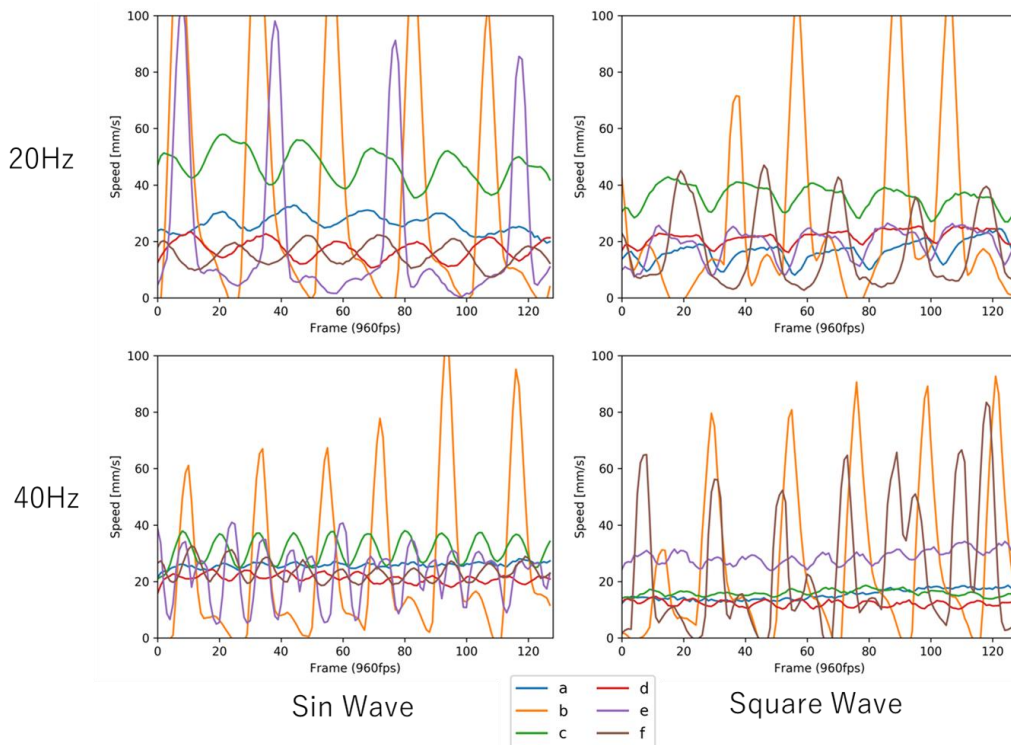


図 9 抜き出した一群の速度変化を各条件, 各被験者ごとに平均化したグラフ
グラフ上部が 20Hz, 下部が 40Hz, 左部が正弦波, 右部が矩形波となる。

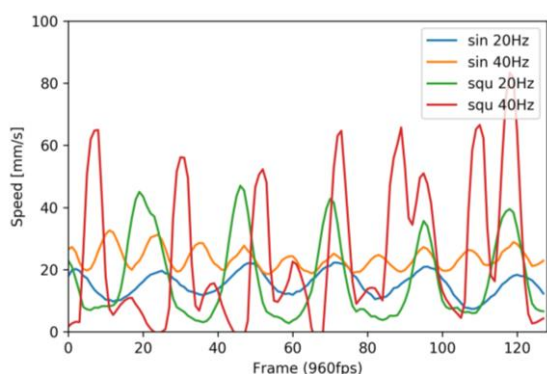


図 10 各条件での速度変化平均

4. 考察

それぞれのマーカー変位速度を示した図 8の結果より、それぞれの場所において、皮膚変位の場所による位相ずれ（時間ずれ）はおおよそ起きていないことが分かる。通常、指表面が面に接している際の押付力は空間的に同一ではなく、差がある。このため、滑り始めの皮膚せん断を見ると、すぐに動きだす部分とそうでないところに別れると予想される。しかし、今回の観察の範囲ではこの事象は観察されず、皮膚全体がほぼ同一のタイミングで滑っていたことが分かる。

各マーカー変位の平均を示した図 10の結果より、正弦波に比べて、矩形波のほうが瞬間的に発生する速度が早いことが分かる。これは、sin 波よりも矩形波のほうが瞬間的に摩擦力が変化するため、強いスティックスリップ現象が起きていると考えられる。

5. おわりに

本稿では、静電触覚ディスプレイに対して 4 種類の波形を入力した際の皮膚変形を計測した。皮膚表面にマーカーを塗布し、ディスプレイをなぞった際の皮膚挙動を高速カメラで記録した。

今回の計測の最も重要な結果は、静電触覚ディスプレイに対する入力波形（正弦波、矩形波）と実際の皮膚振動は基本周波数は同一出会っても波形としては大きく異なることである。

今後の計測の課題として、なぞる速度の均一化、垂直方向の力を均一化することが考えられる。また、今回計測できなかったより幅広い周波数を用いた皮膚変形の計測や、より高精度での計測、指の定期的な移動時ではなく動かしはじめの計測を行うことで、より静電触覚ディスプレイ表現領域を明確化してゆく。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 15H05923（新学術領域研究「多元質感知」）の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] V. Levesque, J. Pasquero, and V. Hayward, "Braille Display by Lateral Skin Deformation with the STReSS2 Tactile Transducer," in *Second Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (WHC'07)*. Tukuba, 2007, pp. 115-120
- [2] M. Biet, F. Giraud, and B. Lemaire-Semail, "Squeeze film effect for the design of an ultrasonic tactile plate.," *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control*, vol. 12, no. 54, pp. 2678-2688, Nov. 2007.
- [3] L. Winfield, J. Glassmire, J. Edward Colgate, and M. Peshkin, "T-PaD: Tactile Pattern Display through Variable Friction Reduction," in *Second Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (WHC'07)*, 2007, pp. 421-426.
- [4] I. Poupyrev, A. Israr, C. Harrison O. Bau, "TeslaTouch: electrovibration for touch surfaces," *In Proc. Of 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '10)*, New York, USA, pp. 283-292., 2010
- [5] H. Ishizuka, K. Suzuki, K. Terao, H. Takao and F. Shimokawa, "Development of high resolution electrostatic tactile display," 2017 International Conference on Electronics Packaging (ICEP), Yamagata, 2017, pp. 484-486.
- [6] 富田洋文, 嵯峨智, 梶本裕之: 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, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2017.5
- [7] Meyer, David J., Michael A. Peshkin, and J. Edward Colgate. "Fingertip friction modulation due to electrostatic attraction." *World Haptics Conference (WHC)*, 2013. IEEE, 2013
- [8] S. Kaneko and H. Kajimoto, "Method of Observing Finger Skin Displacement on a Textured Surface Using Index Matching," in *Haptics: Perception, Devices, Control, and Applications: 10th International Conference, EuroHaptics 2016, London, UK, July 4-7, 2016, Proceedings, Part II.: Springer International Publishing*, 2016, pp. 147-155.