

令和 2 年 5 月 31 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12727

研究課題名(和文)高解像度摩擦振動触覚ディスプレイを用いたリアルな触覚再現技術

研究課題名(英文)Development of high resolution electrovibration tactile display for real surface texture

研究代表者

石塚 裕己(Ishizuoka, Hiroki)

大阪大学・基礎工学研究科・助教

研究者番号：40784418

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文):本研究では、リアルな触覚再現に向けて静電触覚ディスプレイの多電極化に関する検討を行った。まず、デバイスの設計を行い、1mm幅の電極が配置された触覚ディスプレイを設計し作製した。その後、作製したデバイスの特性評価を行った。その結果、細い電極を用いた場合でも静電刺激が行えており、また、入力電圧の周波数によって閾値が変化することが確認された。2点の弁別に関する実験も行ったが、弁別には5mm程度の幅が必要であることが明らかになった。合わせて、触覚ディスプレイの有限要素法シミュレーション環境を構築した。それによって静電触覚ディスプレイを用いると細かい形状の物体の触覚を再現できる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では静電気によって摩擦力を制御する触覚ディスプレイを作製し、その特性評価を行った。静電触覚ディスプレイを多電極化することで、よりリアルな触覚再現を行えることが期待できる。多電極化については研究例が少なく、本研究によって多電極化した際の静電刺激の知覚を明らかにすることができた。また、この触覚ディスプレイによって提示される感覚をシミュレーションから導出するためのシステムの構築も行った。これによって、今までは官能評価によって決めていた静電刺激の条件を皮膚内部の状態を考慮して決定することが可能になった。

研究成果の概要(英文): In this research, we evaluated a multi-electrode electrovibration tactile display. First, we designed the tactile display with an array of electrodes with a width of 1 mm, and fabricated the tactile display with micro-fabrication process. Then, we evaluated the tactile display. The narrow electrode successfully provided electrovibration stimulus to subjects and we found that the threshold voltage of the electrovibration stimulus is affected by the frequency of the applied voltage. Also, 5 mm separation was required to provide two separated electrovibration stimulus. Additionally, we developed a finite element method simulation for electrovibration tactile displays. The simulation result indicates that fine textures are able to be reproduced via electrovibration tactile displays.

研究分野：インタラクション

キーワード：触覚 静電刺激 シミュレーション ロボティクス

## 1. 研究開始当初の背景

スマートフォンのタッチパネルや Apple Watch のようなウェアラブルデバイスといった触覚に働きかける装置の普及により触覚への情報呈示に関心が高まっている。物体の触覚を使用者に呈示する装置としては触覚ディスプレイが研究されており、多くの報告例がある。その方法として、振動による皮膚変形で物体をなぞった際の触覚を疑似的に再現する機械式触覚ディスプレイや皮膚深部の神経に電流を流し疑似的に触覚を呈示する電気式触覚ディスプレイがある。これらの触覚ディスプレイは長期に渡り研究されているが、未だに社会実装の段階には至っていない。この理由としては物体をなぞった際の皮膚変形と使用者が知覚する触覚との間の関係が十分に理解されておらず、ディスプレイ上に再現される触覚が実際の物体の触覚と一致しない事が挙げられる。もしも、触覚ディスプレイを用いてリアルな触覚の再現や伝送が可能になれば、触覚呈示への潜在需要を掘り起こし社会実装に繋がれると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、静電触覚ディスプレイを多電極化することによって、リアルな触覚を提示することを目指して、多電極化した触覚ディスプレイの特性評価を行った。具体的には以下の3つの事項を検討した。

1. 触覚ディスプレイの最適化と製作：触覚ディスプレイの構成要素である電極の寸法とその間隔決定する。そして、微細加工プロセスによってこの触覚ディスプレイを製作した。
2. 触覚ディスプレイの駆動条件の検討：被験者が触覚ディスプレイをなぞる官能試験によって触覚ディスプレイに印加する電圧の値や周波数と知覚の関係を明らかにした。
3. 触覚ディスプレイのためのシミュレーション環境構築：関連研究で得られた皮膚の物性値や形状を参考に指の断面モデルを作成した。そして、その妥当性を検証し、触覚ディスプレイのシミュレーションへの適用を試みた。

## 3. 研究の方法

(1)デバイスの作製：まず、図1に示す加工の手順で触覚ディスプレイをMEMSプロセスによって試作した。実際に作製したデバイスの外観を図2に示す。尚、電極は幅が約1mmで長さが15mmである。

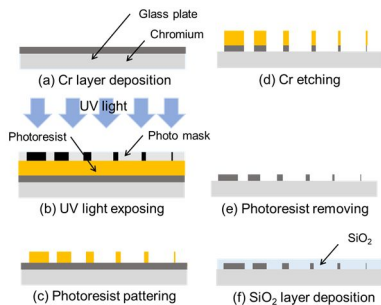


図1 作製方法

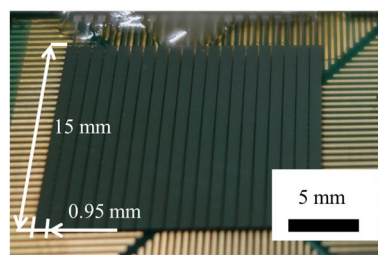


図2 作製した触覚ディスプレイ

(2)電極幅を変化させたことによる閾値の評価：過去の研究より、単一の電極を用いて静電刺激を行った際には、知覚可能な最小の静電刺激のための電圧は電圧波形の周波数によって変化することが知られている[1]。そこで、被験者に電圧を印加した状態で触覚ディスプレイをなぞってもらい、知覚できなくなるまで電圧値を下げていった。これによって、知覚可能な電圧値の最小値を求めた。尚、実験に用いた周波数は25 Hzから400 Hzとした。また、刺激のために使用する電極の数は1本から5本までとして、電極の幅が変化した場合の影響も評価した。

(3)刺激の弁別に必要な電極幅の調査：2つの押刺激を弁別できるための最小の2つの押刺激の幅は2点弁別と言われ、検討が行われている。本実験では2つの電極(AとB)に電圧を印加して、その電極間の幅を1mmずつ変化させていった。その際に2つの刺激をそれぞれ知覚することが可能な電極間距離を被験者実験から明らかにした。尚、実験に用いた周波数は25 Hzから400 Hzであり、それらの組み合わせから16通りの組み合わせで、実験を行った。

(4)有限要素法によるシミュレーション環境の構築と静電刺激触覚ディスプレイの実装：有限要

素法シミュレーションのような指断面モデルを関連研究で使用されているパラメータを元に作製した。そして、静電触覚ディスプレイのように摩擦力を変化させた場合と、凹凸のある形状をなぞった場合とで、皮膚内部のミーゼス応力がどのように変化するかをシミュレーションし、比較した。

#### 4. 研究成果

(1) 電極幅を変化させたことによる閾値の評価: 結果を図 3 に示す。この結果から電圧の周波数が小さくなるにつれて、刺激のための電圧値の最小値が大きくなっていく傾向が確認された。これは静電刺激は皮膚全体を摩擦力の変化で振動させていることから、パチニ小体によって静電刺激は知覚されていると考えられる。そのため、パチニ小体は低い周波数の刺激に対して鈍く、知覚されるためにはより大きい刺激が必要になったためと考えられる。電極の数が多くなると刺激のための電圧値が下がる傾向がみられているが、これは接触面積が大きければ大きいほど、皮膚全体が振動しやすくなることによると考えられる。

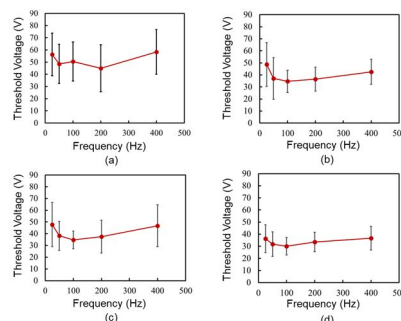


図 3 実験結果。(a)1 本。(b)2 本。(c)3 本。(d)4 本

(2) 刺激の弁別に必要な電極幅の調査: 図 4 に結果を示す。電極に印加する電圧の条件に関わらず、およそ 5 mm 程度の距離が無いと 2 つの電極の静電刺激を別に知覚することができないということが明らかになった。この理由としては、静電刺激が皮膚全体を振動させているため、2 点を弁別するためには、2 つの刺激を分離して知覚するためには、ある程度の距離が必要になってくると言える。刺激の知覚の弁別は良くないことは確認されたものの、2 つの刺激を複合すると別な刺激として知覚される可能性等もあるため、今後は複数の刺激を同時に提示した場合の影響を評価することを検討している。

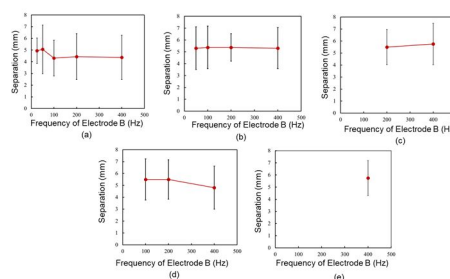


図 4 実験結果。(a)電極 A の周波数が 25 Hz。(b)50 Hz。(c)100 Hz。(d)200 Hz。(e)400 Hz

(3) 有限要素法によるシミュレーション環境の構築と静電刺激触覚ディスプレイの実装: 凹凸形状をなぞる場合と摩擦力が時間によって変化するような静電触覚ディスプレイの原理を模した場合とを有限要素法解析を用いたシミュレーションによって比較した例を図 5 に示す。凹凸形状をなぞる場合には、凹凸の間隔を 2.05 mm として、なぞり速度を 48 mm/s とすることで、20 回/s の間隔で凹凸に指が接触するような条件とした。静電触覚ディスプレイを模した条件では摩擦係数が 1.1 と 3.3 が交互に代わるように設定されており、その周期を 20 Hz とした。この際のマイスナー小体、メルケル触盤、パチニ小体の位置におけるミーゼス応力の変動を示している。この結果から、静電触覚ディスプレイを模した場合においては、実際の凹凸の形状に起因したミーゼス応力の変動がメルケル触盤の位置において大きく違っていることが確認された。こ

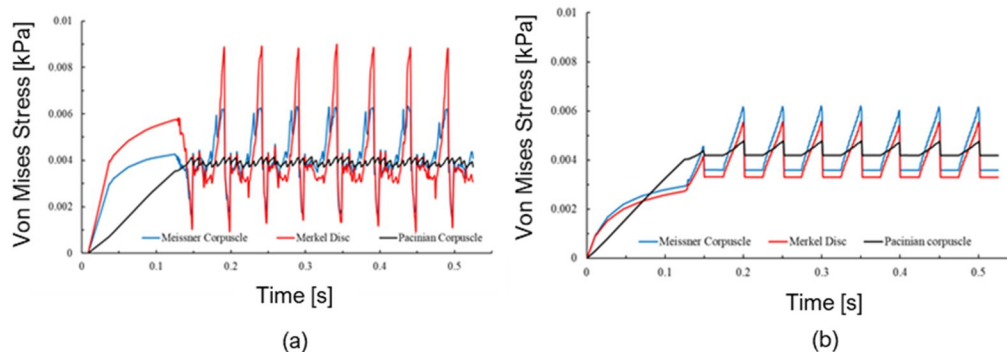


図 5 触覚受容器(SA, RA, PC)の位置におけるミーゼス応力の変動。(a)凹凸時。(b)静電触覚ディスプレイ時。

れは、パチニ小体の位置では凹凸形状によって皮膚が変形しているものの、静電触覚ディスプレイでは皮膚の変形が生じにくいことによると考えている。このことから、凹凸形状が大きいものについては静電触覚ディスプレイでは再現が難しいのではないかと考えられる。一方で、関連研究で行われているような凹凸の小さいものの形状の触感再現についてはメルケル触盤の位置におけるミーゼス応力の変動が小さくなるため、触感を再現しやすくなるのではないかと考えられる[2]。

#### 引用文献

1. Vardar, Y.; Guclu, B.; Basdogan, C. Effect of Waveform on Tactile Perception by Electro vibration Displayed on Touch Screens. *IEEE Trans. Haptics* **2017**, *9*, 1-1, doi:10.1109/TOH.2017.2704603.
2. Haghighi Osgouei, R.; Kim, J.R.; Choi, S. Data-driven Texture Modeling and Rendering on Electro vibration Display. *IEEE Trans. Haptics* **2019**, *1412*, 1-1, doi:10.1109/toh.2019.2932990.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ishizuka Hiroki, Komurasaki Seiya, Kato Kunihiro, Kajimoto Hiroyuki	4. 巻 9
2. 論文標題 Evaluation of Electro vibration Stimulation with a Narrow Electrode	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 483 ~ 483
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.3390/mi9100483">https://doi.org/10.3390/mi9100483</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hiroki Ishizuka, Katsuyori Suzuki, Kyohei Terao, Hidekuni Takao, Fusao Shimokawa, Hiroyuki Kajimoto	4. 巻 10
2. 論文標題 Evaluation of Multi-Electrode Effects on Electro vibration Tactile Stimulation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Transactions of The Japan Institute of Electronics Packaging	6. 最初と最後の頁 004-1-004-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.5104/jiepeng.10.E17-004-1">https://doi.org/10.5104/jiepeng.10.E17-004-1</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件/うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Seiya Komurasaki, Ryo Kurokawa, Shoki Kitaguchi, Hiroyuki Kajimoto, Hiroki Ishizuka
2. 発表標題 Multi-electrode Electro vibration Tactile Display with Microfabrication Process
3. 学会等名 Eurohaptics 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroki Ishizuka
2. 発表標題 Development of Electro vibration Tactile Displays with Microfabrication and Digital Fabrication
3. 学会等名 IDW (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shoki Kitaguchi, Norihide Yoshimura, and Hiroki Ishizuka
2. 発表標題 Numerical Method to Simulate Activities of Mechanoreceptors with FEM Analysis
3. 学会等名 Eurohaptics 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Analytic Models to Convert Skin Deformation into Mechanoreceptor Activity for Finite Element Method Analysis
2. 発表標題 Shoki Kitaguchi, Norihide Yoshimura, and Hiroki Ishizuka
3. 学会等名 Haptics Symposium 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kunihiro Kato, Hiroki Ishizuka, Hiroyuki Kanjimoto, and Homei Miyashita
2. 発表標題 Double-sided Printed Tactile Display with Electrostimuli and Electrostatic Forces and its Assessment.
3. 学会等名 CHI 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kunihiro Kato, Hiroki Ishizuka, Hiroyuki Kanjimoto, and Homei Miyashita
2. 発表標題 Tactile Element with Double-sided Inkjet Printing to Generate Electrostatic Forces and Electrostimuli
3. 学会等名 UIST 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----