



静電気力を用いた触覚ディスプレイによる 柔軟なテクスチャ感表現の提案

Fabric texture expression on electrostatic-force-based tactile display

武井 冠汰¹⁾, 嵯峨 智²⁾

Kanta Takei, Satoshi Saga

1) 熊本大学 自然科学教育部 (〒 860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2 丁目 39-1)

2) 熊本大学 先端科学研究部 (〒 860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2 丁目 39-1)

概要: 静電気力を用いた触覚ディスプレイにおいて、電圧値や入力信号の波形、周波数を変化させることで多様なテクスチャ感を表現できるが、布のテクスチャ感の表現には課題が残っている。本研究では、現在ディスプレイの素材として使用されているガラス板を基材とした導電層に代えて、柔軟性のある導電層を利用することにより、提示触覚と布のテクスチャ感との類似性が向上するかについて検証を実施した。本稿では、この結果について議論する。

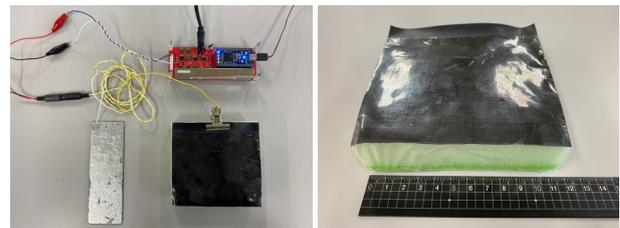
キーワード: 触覚提示, 触覚ディスプレイ, 静電気力

1. はじめに

現在、コロナ禍における暮らしと経済のデジタル化の急速化により、インターネット利用者が増加傾向にある。また、外出自粛の影響により、ネットショッピングの需要は高まってきている [1]。しかし、現状のネットショッピングサイトを通じて衣類を購入する場合、テキスト情報や画像など、視覚的な情報しか与えられない。そのため、実際に手元に商品が届いた際に、自分が想定していたものと違う商品が届いてしまうということが起きてしまう。サイズ違い、色の見た目の想定違いなど多くの問題があるが、特に布のテクスチャ感に関しては、想定違いを現在の技術で解決することは困難である。そこで本研究では、静電気力による触覚ディスプレイを用いて、入力信号の波形や周波数を変化させることで生成される触覚表現により、布のテクスチャ感に類似する表現の検証を行った。また、現在ディスプレイの素材として使用されているガラス板を基材とした導電層に代えて、柔軟性のある導電層を利用することにより、提示触覚と布のテクスチャ感との類似性が向上するかについて検証を実施した。本稿では、この結果について議論する。

2. 提案装置

本研究で用いる装置は、高電圧発生装置、電極、絶縁膜で構成されている。高電圧発生装置は、電気通信大学の梶本研究室で開発された装置を利用する。この装置は、mbed へのプログラミングによって、600 V の電圧の ON/OFF を複数の電極に対して容易に制御することができる。触覚提示用の電極は、生体用ゴム電極 (Sotto ファブリック) を使用する。



(a) 提案装置

(b) 触覚ディスプレイ部分

図 1: 実験装置

2.1 触覚ディスプレイの素材

我々の以前の研究 [2] では、電極に ITO 電極、基材にガラス板を使用した。ガラス板を用いた場合、表面が粗く固い布のテクスチャ感の表現が可能なることを明らかにしたが、柔軟性のある布のテクスチャ感の表現が困難であった。そこで本研究では、柔軟性のある生体用ゴム電極 (Sotto ファブリック) を電極として使用した。この電極は、ウレタン系導電性ゴムと、アラミド繊維によるゴム引き電極であり、柔軟で取扱いが容易である。また、基材には表面の柔軟性が高い、厚み 3.5 cm のスポンジを使用した。また、絶縁膜には食品用のラップを用いた。ラップによる摩擦を低減するため、ベビーパウダーを薄く塗布して使用した。

3. 評価実験

3.1 布とオノマトペの関係性

はじめに、実験を行うにあたり、布のテクスチャの選定について述べる。布は無数に存在するが、実験では代表的なものに限定するため、オノマトペ表現から類推されるテ

クスチャに絞り検証を実施した。そこで、早川らによる触覚オノマトペの分布図 [3] と、花田によるオノマトペと布の関係性に関する分布図 [4] をあわせて検討し、オノマトペと布の関係性に関する分布図を、触覚オノマトペの分布図にマッピングしたところ、図 2 のようになった。

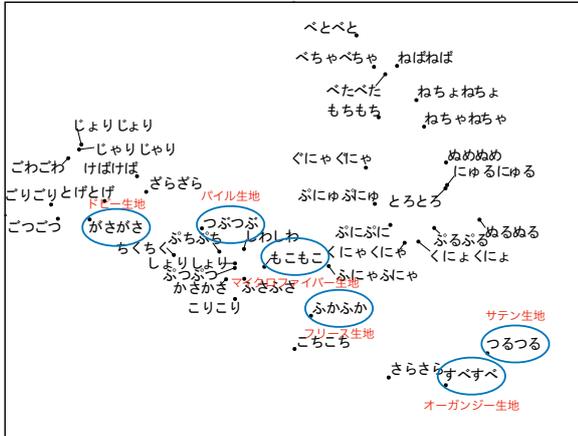


図 2: 触覚オノマトペと布との対応

得られた図 2 から、パイル生地は「つぶつぶ」、サテン生地は「つるつる」、マイクロファイバー生地は「もこもこ」、ドビー生地は「がさがさ」、フリース生地は「ふかふか」、オーガンジー生地は「すべすべ」というオノマトペ表現に近いと考えられる。

次に、mbed 内のプログラムにより波形と周波数を変化させ、それぞれのオノマトペを著者による主観評価で表現した。ここで、波形は正弦波、矩形波、鋸歯状波、デルタ関数の 4 種類、周波数は 0 ~ 500 Hz の間で計測を行った。

計測の結果、「つぶつぶ」は正弦波 100 Hz、「つるつる」は正弦波 300 Hz、「もこもこ」はデルタ関数 120 Hz、「がさがさ」は鋸歯状波 60 Hz、「ふかふか」は矩形波 130 Hz、「すべすべ」はデルタ関数 180 Hz となった。そして、これらの結果を利用して評価実験を実施した。

3.2 実験方法

評価実験では布のテクスチャ感に類似する表現の検証を実施した。実験対象者は 10 名である。まず、実験協力者に第 3.1 節で計測して得た 6 種類の静電気刺激のうち 1 種類を静電気力ディスプレイに提示する。その後、6 種類の布をランダムに 3 回ずつ、計 18 回触ってもらう。そして、実験協力者に提示した触感がそれぞれの布のテクスチャ感とどれだけ類似しているか、5 段階リッカート尺度を利用してアンケートを実施する。

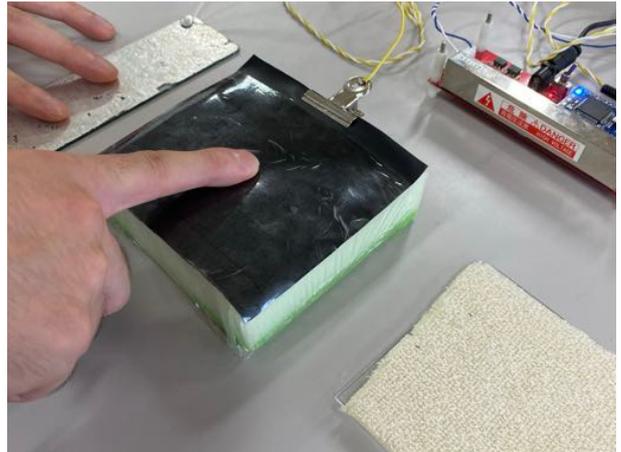
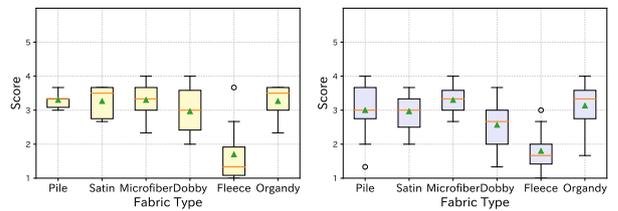


図 3: 実験風景

3.3 結果と考察



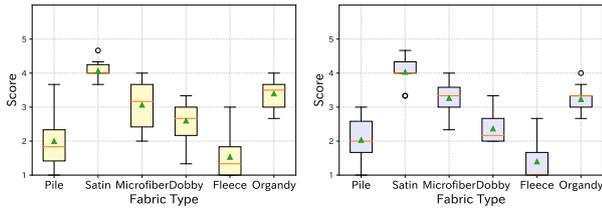
(a) 前回の結果

(b) 今回の結果

図 4: パイル生地

パイル生地のテクスチャ感を想定した正弦波 100 Hz でのアンケートの結果を図 4b に示す。6 種類の布との間における有意差を調べるため、Kruskal-Wallis の検定を有意水準 5% で実施した。その結果、 $p = 1.80 \times 10^{-3}$ となったため、有意差があると考えられる。次に、Scheffe の多重比較法を実施した結果、パイル生地はフリース生地 ($p = 1.82 \times 10^{-2}$) と有意差があったが、他の生地と有意差はなかった。図 4b を見ると、パイル生地の評価は低く、他の生地の評価とあまり差がない。そのため、提示触覚とパイル生地のテクスチャ感との類似性はあまりないと考えられる。これは、パイル生地は 6 種類の布の中で比較的厚みのある布であり、触覚ディスプレイでは布の厚みまで表現ができなかったためであると考えられる。

また、前回の結果 (図 4a) と今回の結果 (図 4b) を比較すると、今回の結果では、パイル生地の評価は分散が大きくなっている。ディスプレイ上で布のテクスチャ感を表現する上では、実験対象者ごとに評価のばらつきがあることは望ましくない。そのため、布の厚みに関する問題は十分に検討を行う必要がある。

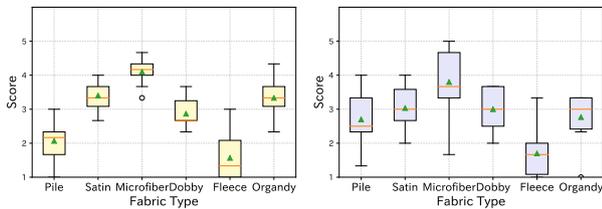


(a) 前回の結果 (b) 今回の結果

図 5: サテン生地

次にサテン生地のテクスチャ感を想定した正弦波 300 Hz でのアンケートの結果を図 5b に示す。6 種類の布との間における有意差を調べるため、Kruskal-Wallis の検定を有意水準 5% で実施した。その結果、 $p = 8.47 \times 10^{-9}$ となったため、有意差があると考えられる。次に、Scheffe の多重比較法を実施した結果、サテン生地はパイル生地 ($p = 1.63 \times 10^{-9}$)、ドビー生地 ($p = 2.83 \times 10^{-7}$)、フリース生地 ($p = 1.26 \times 10^{-13}$)、オーガンジー生地 ($p = 4.10 \times 10^{-2}$) と有意差があったが、マイクロファイバー生地と有意差はなかった。図 5b を見ると、サテン生地の評価は高くなっている。そのため、提示触覚とサテン生地のテクスチャ感との類似性があると考えられる。

また、前回の結果 (図 5a) では、オーガンジー生地の評価も高くなっていたが、今回の結果 (図 5b) では、オーガンジーの評価は低下している。そのため、サテン生地のテクスチャ感の再現性は前回と比較して高いと考えられる。



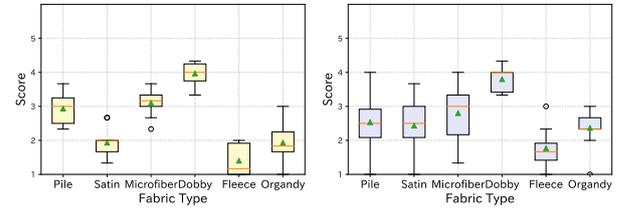
(a) 前回の結果 (b) 今回の結果

図 6: マイクロファイバー生地

次にマイクロファイバー生地のテクスチャ感を想定したデルタ関数 120 Hz でのアンケートの結果を図 6b に示す。6 種類の布との間における有意差を調べるため、Kruskal-Wallis の検定を有意水準 5% で実施した。その結果、 $p = 5.84 \times 10^{-3}$ となったため、有意差があると考えられる。次に、Scheffe の多重比較法を実施した結果、マイクロファイバー生地はフリース生地 ($p = 3.30 \times 10^{-5}$) と有意差があったが、他の生地と有意差はなかった。図 6b を見ると、マイクロファイバー生地の評価は高くなっている。そのため、提示触覚とマイクロファイバー生地のテクスチャ感との類似性があると考えられる。

また、前回の結果 (図 6a) と今回の結果 (図 6b) を比較すると、マイクロファイバー生地の評価は前回と同様に最も

高いが、分散が大きくなっている。これは、ディスプレイの素材に柔軟性を持たせたが、前回と同じ波形と周波数を用いていることが影響していると考えられる。そのため、柔軟性のある導電層を利用することに加え、波形と周波数を調整することで、マイクロファイバー生地のテクスチャ感の再現性が向上するか検討を行う必要がある。

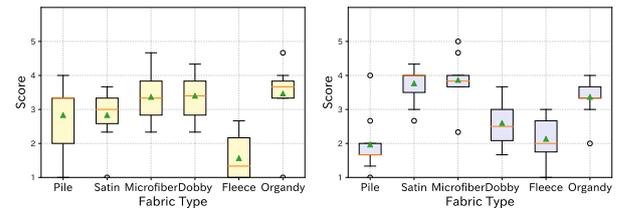


(a) 前回の結果 (b) 今回の結果

図 7: ドビー生地

次にドビー生地のテクスチャ感を想定した鋸歯状波 60 Hz でのアンケートの結果を図 7b に示す。6 種類の布との間における有意差を調べるため、Kruskal-Wallis の検定を有意水準 5% で実施した。その結果、 $p = 4.0 \times 10^{-5}$ となったため、有意差があると考えられる。次に、Scheffe の多重比較法を実施した結果、ドビー生地はパイル生地 ($p = 1.08 \times 10^{-2}$)、サテン生地 ($p = 4.51 \times 10^{-3}$)、フリース生地 ($p = 5.0 \times 10^{-6}$)、オーガンジー生地 ($p = 2.44 \times 10^{-3}$) と有意差があったが、マイクロファイバー生地と有意差はなかった。図 7b を見ると、ドビー生地の評価は高くなっている。そのため、提示触覚とドビー生地のテクスチャ感との類似性があると考えられる。

また、前回の結果 (図 7a) と今回の結果 (図 7b) を比較すると、ドビー生地の評価は前回と同様に最も高いが、他の布の評価が全体的に向上している。これは、ディスプレイの素材に柔軟性を持たせたが、前回と同じ波形と周波数を用いていることが影響していると考えられる。そのため、柔軟性のある導電層を利用することに加え、波形と周波数を調整することで、ドビー生地のテクスチャ感の再現性が向上するか検討を行う必要がある。



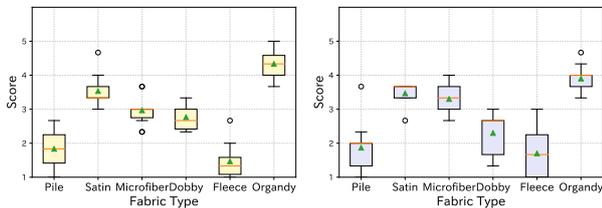
(a) 前回の結果 (b) 今回の結果

図 8: フリース生地

次にフリース生地のテクスチャ感を想定した矩形波 130 Hz でのアンケートの結果を図 8b に示す。6 種類の布との間における有意差を調べるため、Kruskal-Wallis の検定を有意水準

5%で実施した。その結果、 $p = 1.68 \times 10^{-6}$ となったため、有意差があると考えられる。次に、Scheffe の多重比較法を実施した結果、フリース生地はサテン生地 ($p = 2.23 \times 10^{-4}$)、マイクロファイバー生地 ($p = 7.70 \times 10^{-5}$)、オーガンジー生地 ($p = 1.09 \times 10^{-2}$) と有意差があったが、パイル生地、ドビー生地と有意差はなかった。図 8b を見ると、フリース生地の評価は低くなっている。そのため、提示触覚とフリース生地のテクスチャ感との類似性はあまりないと考えられる。これは、フリース生地は 6 種類の布の中で比較的厚みのある布であり、触覚ディスプレイでは布の厚みまで表現ができなかったためであると考えられる。

また、前回の結果 (図 8a) と今回の結果 (図 8b) を比較すると、フリース生地の評価は向上している。そのため、柔軟性のある導電層を利用することにより、厚みのある布のテクスチャ感を表現できる可能性があると考えられる。



(a) 前回の結果

(b) 今回の結果

図 9: オーガンジー生地

最後にオーガンジー生地のテクスチャ感を想定したデルタ関数 180 Hz でのアンケートの結果を図 9b に示す。6 種類の布との間における有意差を調べるため、Kruskal-Wallis の検定を有意水準 5% で実施した。その結果、 $p = 5.95 \times 10^{-8}$ となったため、有意差があると考えられる。次に、Scheffe の多重比較法を実施した結果、オーガンジー生地はパイル生地 ($p = 5.70 \times 10^{-8}$)、ドビー生地 ($p = 1.80 \times 10^{-5}$)、フリース生地 ($p = 6.03 \times 10^{-9}$) と有意差があったが、サテン生地、マイクロファイバー生地と有意差はなかった。図 9b を見ると、オーガンジー生地の評価は高くなっている。そのため、提示触覚とオーガンジー生地のテクスチャ感との類似性があると考えられる。

また、前回の結果 (図 9a) と今回の結果 (図 9b) を比較すると、オーガンジー生地の評価は前回と同様に最も高いが、少し低下している。これは、ディスプレイの素材に柔軟性を持たせたが、前回と同じ波形と周波数を用いていることが影響していると考えられる。そのため、柔軟性のある導電層を利用することに加え、波形と周波数を調整することで、オーガンジー生地のテクスチャ感の再現性が向上するか検討を行う必要がある。

4. 結論

本研究では、現在ディスプレイの素材として使用されているガラス板を基材とした導電層に代えて、柔軟性のある導電層を利用することにより、提示触覚と布のテクスチャ

感との類似性が向上するかについて検証を実施した。その結果、前回の結果と同様に、サテン生地、マイクロファイバー生地、ドビー生地、オーガンジー生地は提示触覚との類似性があり、パイル生地とフリース生地は提示触覚との類似性があまりないと考えられる。これは、6 種類の布の中で比較的厚みのある布であり、触覚ディスプレイでは布の厚みまで再現ができなかったためであると考えられる。

また、パイル生地、マイクロファイバー生地、ドビー生地、オーガンジー生地は前回の結果と比較して、提示触覚との類似性が低下していると考えられる。これは、ディスプレイの素材に柔軟性を持たせたが、前回と同じ波形と周波数を用いていることが影響していると考えられる。そのため、柔軟性のある導電層を利用することに加え、波形と周波数を調整することで、布のテクスチャ感の再現性が向上するか検討を行う必要がある。

また、各評価の分散に着目し前回の結果と比較すると、オーガンジー生地においては分散が小さくなっているが、パイル生地、マイクロファイバー生地においては分散が大きくなっており、サテン生地、ドビー生地、フリース生地においては同程度の分散となっている。このことは押し付ける力のばらつきなどにより基材から生成される感覚の変動が大きいためであると考えられるが、生地によってはそのことが影響を受けない可能性があると考えられる。今後、提案する提示手法の利用方法を考察する材料としたい。

5. 今後の展望

本研究では、電極を ITO 電極から柔軟性のある生体用ゴム電極 (Sotto ファブリック) に、基材をガラス板から表面の柔軟性が高い、厚み 3.5 cm のスポンジに代えることで、前回の結果がどのように変化するか検証した。そこで、今後はこれらの電極と基材を使用した上で、波形と周波数を変化させると、提示触覚と布のテクスチャ感との類似性が向上するか検証を行う予定である。また、布の厚みの再現方法についても検討を行う予定である。

参考文献

- [1] KDDI エボルバ. EC・通販ユーザー動向調査レポート, 2021.
- [2] 武井 冠汰. 静電気力を用いた触覚ディスプレイによる布の質感の提示. 電子・情報・システム部門 知覚情報研究会, 2022-03-06.
- [3] 早川智彦, 松井茂, 渡邊淳司. オノマトペを利用した触り心地の分類手法. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 15, No. 3, pp. 487-490, 2010.
- [4] 花田光彦. オノマトペによる布の触覚次元の検討. 日本心理学会大会発表論文集, Vol. 83, pp. 1C-039-1C-039, 2019.