

# 低周波摩擦刺激によってやわらかさを提示する 表面触感ディスプレイ技術の研究\*

○千原愛未, 岡本正吾, 畔地未来, 栗田愛衣

## Soft Feel Presentation on Touch Panels using Low-Frequency Friction Stimuli

Ami Chihara, Shogo Okamoto, Mirai Azechi and Ai Kurita

Abstract: This study presents a method for conveying softness on a hard touch panel by combining low-frequency frictional stimuli with visual stimuli. The visual stimuli consisted of two types of moving images depicting a waving cloth. Three different frictional stimuli were compared: two with spatial wavelengths of 1 mm and 18 mm, and one without any frictional stimulus. Participants rubbed the touch panel while viewing the draping cloth images. A user study with twelve participants found that the tactile stimulus with a wavelength of 18 mm was perceived as the softest among the three conditions.

### 1. はじめに

ネットショッピングをするときに、web サイトに表示された服や家具の画像に触れ、それらの触質感を感じることができれば、自分が想像した質感により近い商品が届き、高い満足感が得られるであろう。タッチパネル上での触覚提示機能は、このような要求に応える術となる。また、このような機能はネットショッピングだけではなく様々なコンテンツに応用することができる。

従来の研究より、硬くて平らなタッチパネル上で粗さと摩擦を特徴とするテクスチャを提示する技術は確立されつつある<sup>1)~4)</sup>。しかし、素材のやわらかさを表現することは依然として難しい。硬いタッチパネル上でやわらかさを提示するための有望なアプローチの一つは低周波の機械的刺激を使用することである<sup>5)~9)</sup>。Konyo らは約 5 Hz の振動触覚刺激がやわらかさを感じさせることを報告している<sup>5)</sup>。さらに指がタッチパネルの上を滑るときに 10–20 Hz の摩擦変動は、やわらかさの感覚を生じさせる<sup>6)</sup>。

本研究は上記のような低周波の触覚刺激を応用してやわらかさの提示を試みる。タッチパネルに表示する視覚刺激として揺らめく布の動画を用意した。これまでタッチパネルに対する低周波摩擦刺激の効果を、特定の物体を想起させるような視覚的刺激と併せて検証したことはない。本研究では揺らめく布を表示させた液晶ディスプレイの上に、タッチパネル型触感ディスプレイを配置した。参加者は、タッチパネルを指で擦ることで低周波摩擦刺激を体験した。このように、タッチパネル下に表示された布の動画と、タッチパネルから提示される触覚刺激を同時に体験できる環境下において、われわれは低周波摩擦刺激の効果を検証した。低周波摩擦刺激は、対照条件および統制条件と比較して、より良いやわらかさの知覚を喚起するという仮説を立てた。

\* This study was in part supported by MEXT Kakenhi (24K03019).

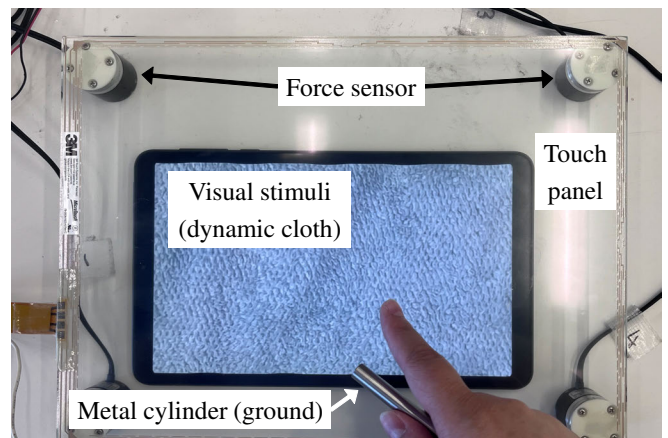


Fig. 1 Tactile texture display used in the experiment.

### 2. 研究手法

#### 2.1 実験装置: 静電摩擦型触覚ディスプレイ

本研究では、Figure 1 に示される静電摩擦型触覚ディスプレイを使用した<sup>10)</sup>。主な構成要素は、静電容量タッチパネル (SCT3260, 3M Touch Systems, inc, MT) と 4 つの力センサー (USLG25, テック技販, 日本) である。タッチパネルの導電層と参加者が持つ金属円筒の間に電圧を加えた。なお、両者の間には絶縁層があり、電流が人体に流れないようにしている。

指と導電層には電界による引力が生じ、これにより指とパネルの間の摩擦が増加する。タッチパネルへの電圧信号は 2 kHz で振幅変調され、アンプ (PD-206-150B, PIEZO DRIVER, NF 回路設計ブロック) を用いて電圧が増幅された。最大印加電圧は参加者に合わせて調整した。

また、ユーザはタッチパネルの透明ガラスの下にあるタブレットで再生される布の動画を見ることができた。

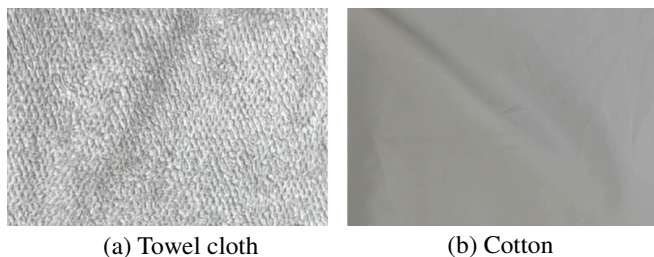


Fig. 2 Moving cloth images.

## 2.2 触覚刺激

触覚刺激として使用した摩擦刺激は、ディスプレイ面に接触した指の位置  $x(t)$ 、低周波摩擦振動の空間波長  $(\lambda)$ 、および調整可能なゲインパラメータから決定した:

$$V(t) = a \sin \frac{2\pi x(t)}{2\lambda}. \quad (1)$$

また、低周波摩擦刺激を触るにあたって、参加者ごとに電圧ゲイン  $a$  を調整した。これは参加者ごとに適切に刺激を感じる電圧が異なるからである。出力電圧の絶対最大値は  $\pm 75$  V であった。指の位置  $x(t)$  は4つの力センサで測定された荷重の中心とした。

$\lambda$  を調整することによって、触覚刺激の空間周波数を制御した。

## 2.3 視覚刺激: 揺らめく布

視覚刺激で用いた動画は (a) 表面に凹凸があるコットン 100% のタオル生地と (b) 表面が滑らかなポリエステル 100% の布を用意した。

布がゆらめく動画は、次の手順で作成した。まず、しわを少しつけた布の静止画を撮影した。つぎに、Adobe Premiere Pro (Adobe Inc., CA) のウェーブワープ効果を静止画に適用した。視覚刺激としての、動的テクスチャは静的テクスチャよりも、強い質感を想起させる<sup>11)</sup>。テクスチャ動画に、低周波摩擦刺激を併せて提示することによって、布の質感がより強く伝わるのが期待される。このような使用法は、触感ディスプレイの有効な使用法の1つと考えられるため、本研究では、布が揺らめく動画を採用した。

## 2.4 実験方法

2種類の視覚刺激に対して3つの触覚刺激(波長なし、波長1 mm、波長18 mm)を組み合わせて提示し、合計6種類の刺激を与えた。参加者は視覚刺激を見ながら、20秒間ディスプレイの表面を指で滑らせるように指示をだし、その間に触覚刺激を加えた。この時指を動かす速さやタイミングなどは指定しておらず、参加者の好きなタイミングで動かしてもらった。その後視覚刺激である布のやわらかさを0から9までの10段階スコアで評価してもらった。このとき9が最も柔らかいと感じた時の評価とした。

Table 1 Summary table of two-way analysis of variance on softness ratings

Factor	d.o.f	Variance ratio	p-value
Visual stimuli	1	20.9	2.17E-05
Tactile stimuli	2	45.1	4.58E-13
Cross effects	2	2.50	0.090
Error	66		

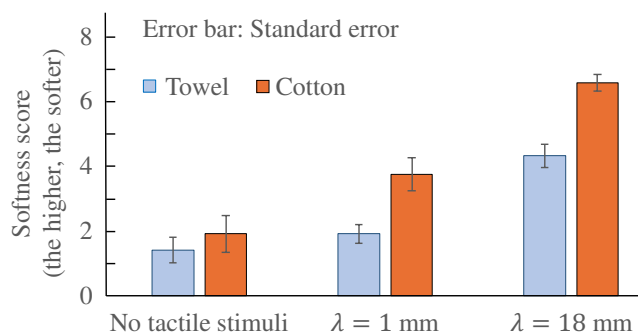


Fig. 3 Mean and standard errors of softness scores for different cloth and tactile stimuli conditions.

## 2.5 参加者

20代の大学生12名が研究に参加した。彼らは実験前に研究の仮説を知らなかった。

## 2.6 分析手法

やわらかさの評価について、布の種類と触覚刺激条件を因子とする二元配置分散分析(ANOVA)を適用した。その結果視覚刺激、触覚刺激の両因子で効果が有意となった。しかし交互作用効果は有意ではなかった。そこで事後分析として同じ分析を3回行い( $3C_2$ )、その都度3つの触覚刺激のうち2つを考慮した。事後分析ではボンフェローニ補正を用いて有意確率を3倍に調整した。

## 3. 結果

ANOVAの結果は表1の通りとなった。視覚刺激と触覚刺激の効果はともに有意であったが、交互作用効果は有意ではなかった。事後検定により、任意の2つの触覚条件間で交互作用効果をのぞいた触覚刺激の有意な効果が見られた。 $\lambda = 18$  mm と  $\lambda = 1$  mm の条件間での有意確率は  $p = 6.42 \times 10^{-9} \times 3$  であった。よって  $\lambda = 18$  mm の方が  $\lambda = 1$  mm のときと比べて、布をよりやわらかいと感じたということがわかる。次に  $\lambda = 1$  mm と波長なしの条件間での有意確率は  $p = 1.29 \times 10^{-3} \times 3$ 。また、 $\lambda = 18$  mm と波長なしの条件間での有意確率は  $p = 5.62 \times 10^{-12} \times 3$  であった。よってディスプレイ上に提示される布のやわらかさを再現するには低周波摩擦刺激があった方がより良くやわらかさを知覚できるということがわかった。

## 4. 考察

結果より、布の視覚刺激と低周波摩擦刺激を組み合わせることでディスプレイに映った布がよりやわらかく感じることを示された。この効果は波長が長いときにより効果を発揮した。また視覚刺激と触覚刺激の間に交互作用は見られなかったため、他の布を用いた動画でも同様の効果が見られると予想される。この効果は最適化ができるとさらにやわらかさを知覚できるようになり、他分野への応用も期待される。しかし触覚刺激においては必ずしも刺激を出した方がやわらかく感じるということはない。波長が短い刺激であれば粗い感覚を受けてしまい、やわらかさとは反対の感覚を抱いてしまうためである。そのため触覚刺激がないディスプレイの方がやわらかさを感じるという被験者も存在した。今回は波長に差がある2つの触覚刺激を用いたが、どの程度からやわらかく評価できるのかはまだ不明であり最適化されていると言えない。またディスプレイを擦る指の動きを制御していないため、個人でやわらかさの評価に差が出ていると考えられる。Kimらは指を動かす速さに応じて波長を調整し、やわらかさを評価する方法を提示している<sup>6)</sup>。そのため触覚刺激を増やすだけでなくこれらを考慮することによってよりよい効果を得る可能性がある。

## 参考文献

- [1] C. Basdogan et al. A Review of Surface Haptics: Enabling Tactile Effects on Touch Surfaces. *IEEE Transactions on Haptics* 13.3, pp. 450–470, (2020). doi: 10.1109/TOH.2020.2990712.
- [2] K. Otake et al. Tactile Texture Rendering for Electrostatic Friction Displays: Incorporation of Low-Frequency Friction Model and High-Frequency Textural Model. *IEEE Transactions on Haptics* 15.1, pp. 68–73, (2022). doi: 10.1109/TOH.2021.3138647.
- [3] L. Winfield et al. T-PaD: Tactile Pattern Display through Variable Friction Reduction. *The Second Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*. (2007), pp. 421–426.
- [4] J. Jiao et al. Data-driven rendering of fabric textures on electrostatic tactile displays. *IEEE Haptics Symposium*. (2018), pp. 169–174.
- [5] M. Konyo et al. A Tactile Synthesis Method Using Multiple Frequency Vibration for Representing Virtual Touch. *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. (2005), pp. 3965–3971.
- [6] G. Kim, S. Okamoto, and H. Maruyama. Response Surface of Softness Perceived via Frictional Tactile Stimuli on Flat Touch-display. *International Symposium on Affective Science and Engineering*. (2024), PM-1B-04. doi: 10.5057/isase.2024-C000012.
- [7] K. Ito et al. Feeling softness on a hard touch panel using an electrostatic tactile texture display. *IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics*. IEEE, (2017), pp. 282–283. doi: 10.1109/GCCE.2017.8229484.
- [8] A. Ikeda et al. Producing method of softness sensation by device vibration. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. (2013), pp. 3384–3389.
- [9] G. Kim et al. Softness Presentation via Friction Force Control on Electrostatic Tactile Panel Display. *IEEE 2nd Global Conference on Life Sciences and Technologies*. IEEE, (2020), pp. 219–221. doi: 10.1109/LifeTech48969.2020.1570618774.
- [10] M. Azechi and S. Okamoto. Combined virtual bumps and textures on electrostatic friction tactile displays. *IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics*. (2022), pp. 315–317. doi: 10.1109/GCCE56475.2022.10014107.
- [11] A. Toet et al. Emotional effects of dynamic textures. *i-Perception* 2.9, pp. 969–991, (2011).