

指の摩擦と触感覚にもたらすディスプレイのカーソル遅れと表面テクスチャの影響

The Effects of Display Cursor Delay and Surface Texture on Finger Friction and Tactile Sensation

東工大・院（学）*岡田 大和 東工大（正）青木 才子 東工大（非）葭田 貴子

Yamato Okada*, Saiko Aoki, Takako Yoshida

Tokyo Institute of Technology

1. 緒言

人間性に配慮した、「リアルな触感」を創り出すユーザインターフェースの開発に向けて、Pseudo-Haptic 現象を利用した視覚刺激により生じる「重み」感覚の再現化は重要な鍵となる。本研究では、タブレット端末のディスプレイ上に表示されたカーソルを指で操作する際に、指のすべり距離に対してカーソルの移動距離が短く遅れをとっている場合に「重い」という疑似触覚が誘起されることを利用する。このような疑似的「重み」感覚への力学的応答として、指のすべり速度、加速度、押付け荷重、摩擦力などの力学的データが変化することが予測されるため、入力値としての視覚刺激と出力値としての力学的データの両面から、疑似的な「重み」感覚を定量的に評価することを目的とした。そこで本研究では、視覚刺激用アプリケーションソフトを自作し、指の移動距離に対してディスプレイ上のカーソルの移動距離の比率（Control-Display ratio, C/D）を任意で変更できるように設定し、C/D の変化により付与される視覚刺激がすべり速度、摩擦力、垂直荷重などの指の摩擦挙動に与える影響を調査した。また、指をすべらせる固体表面の粗さ形状やせん断強さを変化させて、入力値として触覚刺激も変化させることで、視覚刺激体験下における指の摩擦挙動に及ぼす触覚刺激の影響についても検討した。

2. 実験方法

2.1 試験片

本研究では、視覚刺激体験下におけるすべり速度、加速度、押付け荷重、摩擦力など力学的応答に対して触覚刺激が与える影響を調査するため、相手摩擦材として粗さ形状やせん断強さが異なる 3 種類のガラス試験片を用いて実験を行った。ガラス基板には市販の無アルカリガラス板（EAGLE XG®, 40×120×0.7 mm）を使用し、サンドブラスト後に微細研磨を施した試験片（SB と表記）、アンチグレア処理（主成分：ポリシロキサン樹脂）を施した試験片（AG と表記）、未処理の試験片（CL と表記）の計 3 種類を用意した。なお、全ての試験片は透明性を保っている。共焦点レーザ顕微鏡を用いて、SB と AG ガラス試験片の粗さパラメータを計測して Table 1 にまとめた。

Table 1 Glass Specimen Roughness Parameters

	SB	AG
Arithmetic mean roughness (Sa), μm	0.13	0.13
Skewness (Ssk)	-1.613	0.797
Kurtosis (Sku)	16.3	3.78

2.2 指の生理学的評価

指の生理学的評価として、研究対象者の指の表皮水分量をポータブル表皮水分計（Moisture Meter EpiD, Delfin Technologies 社）を用いて測定した。また、指のヤング率は押込み試験機（Yawasa-5N-1, テック技販社）により測定した。ヤング率の値は、指先に対して直径 10 mm の圧子を速度 1.0 mm/s、最大荷重 1.0 N で押し付けたときの皮膚のひずみから算出した。

2.3 視覚刺激体験下における指の摩擦試験

2.3.1 視覚刺激用アプリケーションソフトウェアの概要

Windows タブレット Surface Pro8 を用いて、指のすべり操作に対するディスプレイ上のカーソルの移動距離の比率（C/D）を任意で変更できるプログラムを作成した。試作したプログラムを搭載した Surface Pro8 を自作の平板型摩擦測定装置に設置し、カーソルの応答遅れに対する指の摩擦測定を実施した。Figure 1 は Surface Pro8 に搭載したソフトウェアである。画面に 2 個の円形カーソル（半径 15 mm）を並列に表示し、2 個のカーソルを上部から順番に指ですべらせて動かすとき、上部のカーソルは指の動きに同期して動き（これを Normal mode とする、C/D=1）、下部のカーソルは指の移動距離に対して任意の割合で距離を保ちつつ動く（これを C/D mode とする、C/D は 0~1.0 の範囲で 0.1 刻みで任意に変化）ように設定した。上下 2 個のカーソルを 1 回ずつの指で動かす操作を 1 セットとし、C/D mode で C/D をランダムに変化させながら計 11 セットの試験を実施した。

2.3.2 研究対象者による指の摩擦測定の手順

Figure 1 に示す装置を用いて、視覚刺激体験下における指の摩擦測定を実施した。圧電型 3 分力センサ（LSM-B-20NSA1, 協和電子工業）からなる自作の平板型摩擦測定装置の上に Surface Pro8 を設置し、さらにその画面に表示されたカーソルの軌道上に 2 枚のガラス試験片をマスキングテープで貼付するという装置の構成となっている。3 分力センサにより、指をすべらす際に x, y, z 成分の力

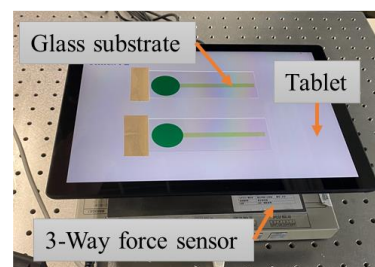


Fig. 1 Tablet and 3-way force sensor

F_x , F_y , F_z を同時に測定し、摩擦力 F は F_x と F_y の合力として算出し、 F_z は押付け荷重として用いた。また、Surface Pro8 のアプリケーションにより 0.01 秒ごとにおける指とカーソルの位置座標を収集した。

摩擦測定の前に、ガラス試験片をアセトンと蒸留水で超音波洗浄した。指の摩擦測定では、研究対象者には装置が設置された実験台に向かって座り、前腕をジャッキ台に静置した状態で右手人差し指を約 30 度の角度でガラス試験片上に押し当てて、カーソルを緑のバーの始点から終点まで約 10 cm の距離を指で動かすように指示した。また、研究対象者による押付け荷重の範囲を限定するため、事前に 1 N までの荷重で指を動かす練習を 20 回程度行った。11 セットを 1 試行とした。研究対象者は 4 名（男性 4 名、21~24 歳）である。すべての試験は、室温 $21 \pm 3^\circ\text{C}$ 、室内湿度 $50 \pm 5\text{ RH}\%$ の実験室で行われた。

2.4 感性評価試験

摩擦実験と同じ装置を用いて、視覚刺激用ソフトウェアによる C/D の変化と 3 種類のガラス試験片がもたらす「重み」感覚の評価を行った。カーソルの C/D を 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 の 5 種類に設定し、上下 2 つのカーソル区別なく C/D をランダムに変化させながら、研究対象者には上部から順に指で操作させて、上部のカーソルに対する下部のカーソルの動作や操作時の感覚について、「重さ (Weight)」および「べたつき (Stickiness)」を感じた程度を 5 件法により 5 段階の数値で回答させた。回答結果をもとに、シェフェの一对比較法（浦の変法）により「重さ」と「べたつき」感覚の比例尺度を算出した。

3. 結果と考察

3.1 摩擦試験の結果

4 名の研究対象者による摩擦測定より、各セットにおける C/D mode と Normal mode でのすべり速度と押付け荷重の比をそれぞれ算出し、C/D に対してプロットした図を Figs. 2-3 に示す。また、C/D に対する押付け荷重比およびすべり速度比の相関を一次の近似曲線で表し、その勾配を C/D に対する力学的応答への触覚感度と定義する。Figure 2 より、C/D の増加に伴い荷重比は減少することがわかった。また、近似曲線の勾配が示す触覚感度は SB, AG, CL の順に相手摩擦材の表面粗さの増加に伴い大きくなることから、表面粗さや粗さ形状により指との接触面積や界面せん断強さが変化した結果、C/D への荷重応答に差異が生じたことが伺える。Figure 3 より、すべり速度比の多くは 1 以下の値を示し、さらに C/D の増加に伴いすべり速度比は増加する傾向であった。近似曲線の勾配は、押付け荷重と同様に SB, AG, CL の順であったため、すべり速度も表面の触覚感度と相関があると考えられる。

3.2 感性評価の結果

各セットにおける「重さ」および「べたつき」を感じる比例尺度を算出し、各 C/D に対してプロットした図をそれぞれ Figs. 4-5 に示す。Figure 4 より、全てのガラス試験片において C/D の増大に伴い「重さ」感覚が増大するが、ガラス試験片による差異はほとんど見られなかった。一方、Fig. 5 より、「べたつき」は平滑面の CL において C/D による比例尺度の変化量が大きくなった。

4. 結言

カーソルの C/D の増加に伴い押付け荷重は減少する一方、すべり速度は増加し、視覚刺激により指の力学的応答に変化が現れることがわかった。また、C/D に対する指の力学的応答はガラス試験片の粗さ形状により増幅される結果となった。感性評価により、「重さ」や「べたつき」感覚は C/D の増加に伴い増幅されたが、「べたつき」では平滑面の CL において C/D に対する比例尺度の変化が大きくなることがわかった。

5. 文献

- 1) Sato M., Nagata Y., Komazawa annual reports of psychology, 2018, 20, 29-32
- 2) Ujitoko Y., The Japanese Journal of Psychonomic Science, 2023, Vol. 42, No. 1, 159-167

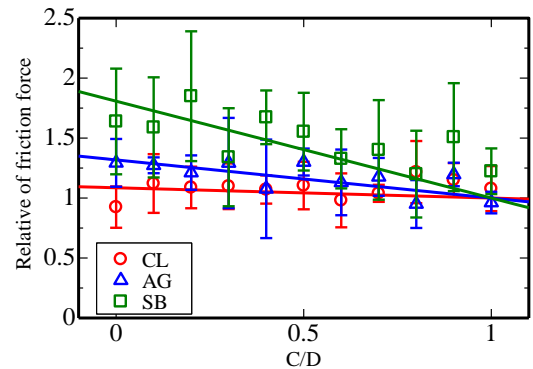


Fig. 2 Relative normal load vs. C/D ratio

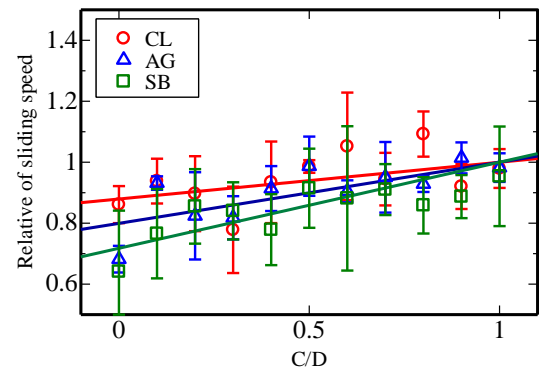


Fig. 3 Relative sliding speed vs. C/D ratio

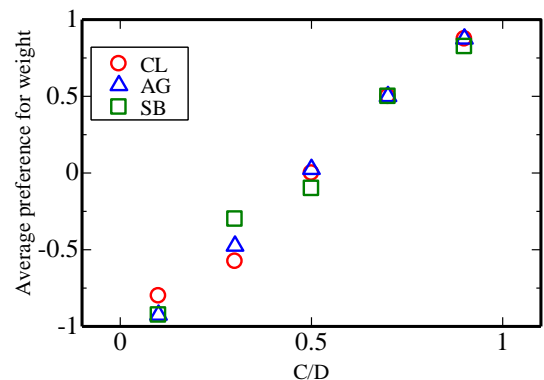


Fig. 4 Average preference for weight vs. C/D ratio

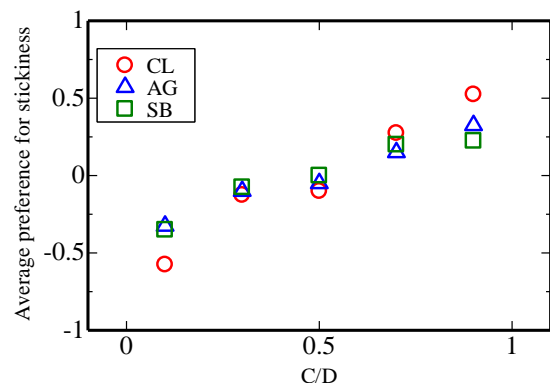


Fig. 5 Average preference for stickiness vs. C/D ratio