

疑似指を使用した摩擦における皮膚の運動解析

Movement Analysis of Finger's Skin in Friction with a Pseudo-Finger

兵庫県工技センター（正）佐伯 光哉

Mitsuya Saeki

Hyogo Prefectural Institute of Technology

1. はじめに

物体の質感を調べるため、ヒトは指先で物体表面をなぞる動作を行う。この動作で指先に発生する力の変化を指や手に装着した加速度センサ、力計などを用いて計測し、それらを触感情報として解析に用いられることがある。また、この信号に基づいて復元した力や振動は触感ディスプレイとしても利用されている。しかし、これらのデータ取得は、振動を発生する物体と指先の接触部を直接計測するのではなく離れた位置にある爪、関節に発生する力を力学センサで間接的に検出することになる。一方で、ヒトの触感に関する受容器は皮膚表面に近いところに存在することや、指紋などの影響があることが知られている¹⁾。このように受容器と離れた位置での力学情報を計測する方法では、伝播の過程で発生する共振、ノイズなどの影響が、差異を及ぼすことも否定できない。

そこで、本研究では、触動作の際に実際に受容器に伝わる信号により近い情報を得ることを目的とし、山口によるガラス板をもちいた粘着性ゲルの摩擦界面の観察方法を倣って²⁾、疑似指表面の動き、疑似指とプラスチック板の間に生じた摩擦力、垂直方向の変動を計測・解析しこれらを比較検討したので報告する。

2. 実験方法

Figure 1 に動画撮影および摩擦力と垂直方向の変位の計測に用いた装置の構成とデータ処理システムを模式的に示す。動画撮影と各計測は下記の手順で行った。スライドテーブルに摩擦力センサ（トリニティーラボ（株）製 TL201 型）を介して透明なプラスチック板（ポリスチレン製、厚み : $t = 1.3 \text{ mm}$ ）を固定し、疑似指の指紋面（Fig. 2、トリニティーラボ（株）製）が透明プラスチック板に傾斜角度 2° で接するよう基台に固定した。プラスチック板に 1.96 N を荷重して疑似指に接触させ速度 10 mm/sec にて x 軸方向に片道距離 20 mm を 1 往復動かし、これにともなう疑似指の動きを撮影するとともに、接触面に働く摩擦力 F および距離 Z を計測した。なお、 Δz は $\Delta z = Z - (\text{移動平均})$ より求めた。

疑似指（指紋面を指す）の動きは接写リングによりマクロ化した CMOS 型カメラ（The Imaging Source 社製、バッファメモリは未搭載）を使用し、USB3.0 経由で接続した PC（OS : windows10, CPU : intel core i5, メモリ : 8 GB）に撮影中にリアルタイムで転送し、画像処理に対応した非圧縮 AVI フォーマット動画（容量 : 2 GB/5s）として保存した。この過程にはセンサに搭載されるグローバルシャッター（ソニー（株）製）によるマルチ ROI（部分指定読み出し）、Binning（ピクセル統合）のハードウェア側処理によりセンサから読み出すデータ量を大幅に制限（カラー-RGB32, $640 \times 240 \text{ dot}$, 1,000 fps）することで、コマ落ちのないリアルタイム転送を実現した。疑似指の動き(Δx)は、疑似指に記したマーク点（Fig. 2 の黒色点）に着目して解析した。 x 軸方向シフト Δx と摩擦力 F のデータの同期は、動画上のマーク点の動きが認められる最初のフレーム、摩擦力の増加が確認できるデータを起点としてデータ記録時間を同期処理した。

動画からの波形生成座標の抽出は、画像処理ライブラリである OpenCV を使用し Python 言語上で画像処理プログラムを作成して実施した。処理のフローは、[動画の読み込み] \Rightarrow [単画像検出] \Rightarrow [HSV 色空間で 2 値化] (Fig. 2) \Rightarrow [重心座標計算] \Rightarrow [座標の点群データ作

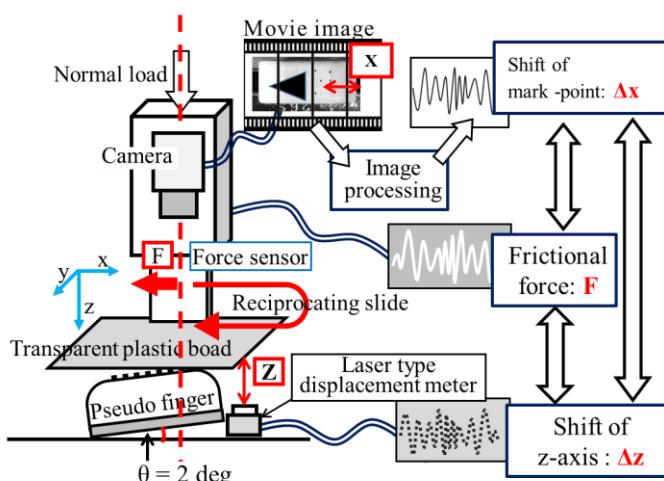
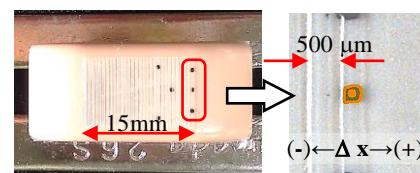


Fig. 1 Schematic diagram of this experiment



Mark on pseudo-finger (left image)
Recognition of mark by image processing (right image)

Fig.2 Photograph of the pseudo-finger surface

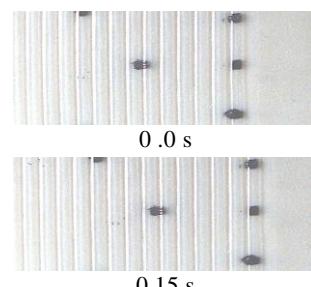


Fig.3 Photograph of the finger-print which was captured from movie

成]とした。周波数解析については、Microsoft社 Excel にて数値データのグラフ化、数値整形処理した後、MATLAB R2015b を使用して周波数解析を実施した。

3. 結果

Figure 3 は、動画からコマ画像を抽出したものである。画像が横長であるのは Binning 処理により y 方向解像度が 480 dot から 240 dot に小さくなつたためである。疑似指に記したマーク点の流れは確認されず座標点の抽出に使用しても問題ないものと判断した。スタート時の 0.0 s の場合と比較して、0.15 s においては x 軸右方向にシフトしていることが確認できる（後述する静止摩擦区間）。5 s 間の撮像中にフレームの欠損は発生しなかつた。

Figure 4 は、 Δx , F, Δz の時間変化を示したものである。F と Δx の絶対値においては初期の立ち上がりで反応の遅れがあるがそれ以降は比例する傾向にある。摺動開始のち 0.0 s–2.0 s までの区間において表面が変形する静止摩擦区間（0.0 s–0.2 s）、立ち上がり区間（0.2 s–1.2 s）、安定区間（1.2 s–2.0 s）に分かれていると考えた。 Δz は、安定区間において振幅が大きく増加していることが分かる。

Figure 4において、0.2 s–2.0 s の区間の Δx , F, Δz について時間周波数解析を実施した結果をそれぞれ Fig. 5(a), (b), (c) に示す。ピークの持続を示すいずれも 50 Hz, 80 Hz のパワースペクトル密度と共に通したピークを確認した。Figure 5(c), Δz の 80 Hz の時間変化注目すると、1.1 s–1.7 s（安定区間に相当する）で、80 Hz のパワースペクトル密度が立ち上がり区間に比較して明瞭なピーク強度の増加を示しており Fig. 4 の Δz の振幅の増加からも明らかである。振動の発生原因是スティックスリップによるもので、その周波数成分は 50 Hz 以下に限定されると考えていたが、本研究で z 軸成分として 80 Hz の明瞭な振動ピークの存在が判明した。 Δx , F, Δz の周波数特性に表れている特徴の相違として考えられる原因には、摩擦力 F では疑似指全体に作用する力が影響しているのに対し、 Δx では摩擦面の狭い範囲の特徴であること、F はセンサ自体の共振が影響する可能性もあるが、非接触で測定された Δx , Δz にはそのような影響がないことも考える必要がある。

4. 結論

疑似指（指紋面）の動きをマクロ画像で撮影した 1,000 fps の動画の画像処理により求めたマーク点の x 軸方向のシフト量 Δx は、摩擦力に従つた変形移動や振動に伴う動きが計測可能なことを確認した。これまで触感評価にもちいていた摩擦力 F と、新たに提案したシフト量 Δx や Δz との違いは、①時間周波数解析の結果から、50 Hz, 80 Hz のピークは 3 種類のデータに共通して確認できるが、その他のピークはデータごとに異なつていて、② Δz の 80 Hz のピーク強度は、立ち上がり区間から安定区間への時間変化で明確な増加が認められた。今後はこの 80 Hz のピークの発生原因を含めて指指紋面の動き解析について検討を進めたい。

文献

- 1) 前野隆司：ヒト指腹部と触覚受容器の構造と機能、日本ロボット学会誌、18, 6(2000)772-775.
- 2) 山口哲生：ゲルのすべり摩擦における界面可視化、日本ゴム協会誌、85, 10(2012)319-323.

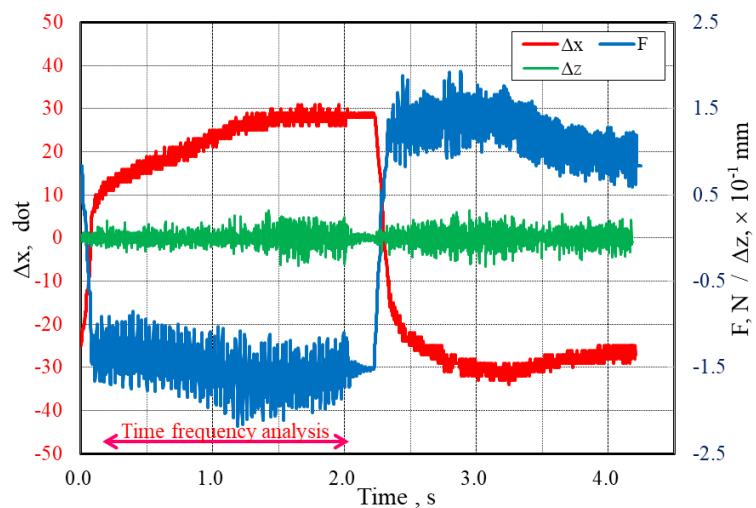
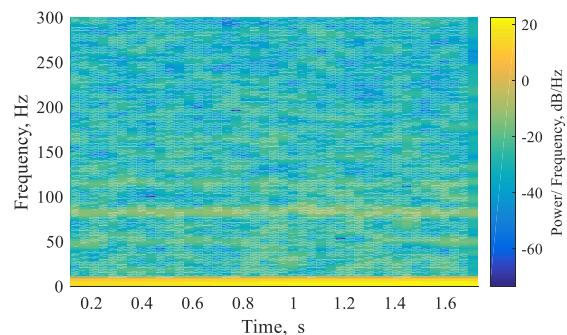
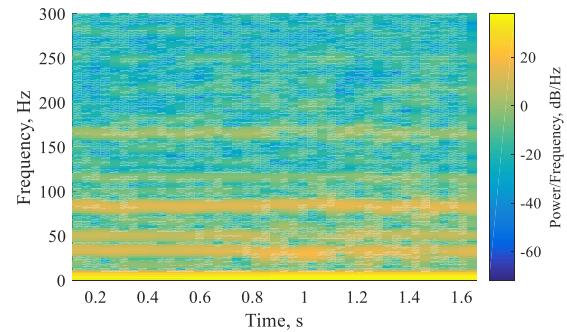


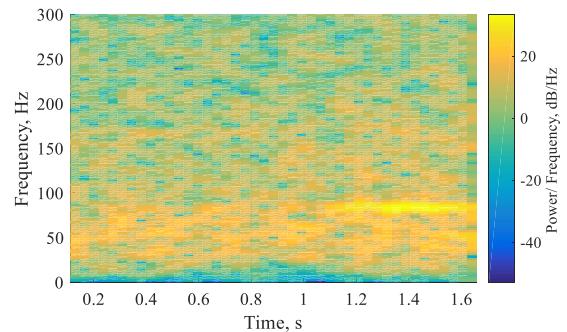
Fig. 4 Result of fiction test



(a) Shift of x-axis: Δx



(b) Frictional force: F



(c) Shift of z-axis: Δz

Fig. 5 Results of time-frequency analysis