

G150021

動的触察における振動情報に基づく触感の評価

浅賀 恵美^{*1}, 竹村 研治郎^{*2}, 前野 隆司^{*3}, 牧野 奏才^{*4}

Tactile Sense Evaluation based on Vibration Information obtained during Active Touch

Emi ASAGA^{*1}, Kenjiro TAKEMURA, Takashi MAENO and Yasutoshi MAKINO

^{*1} Graduate School of Science and Technology, Keio University
Hiyoshi 3-14-1, Kohoku-ku, Yokohama, 223-8522 Japan

This paper presents a novel tactile sense measurement method. Tactile sense has not been measured quantitatively which is an important manufacture evaluation factor though. The authors constructed the tactile sense measurement system using vibration information during the active touch. First knowing what factors are related to touch feeling, sensory evaluation about the several samples' tactile sense is carried out. From factor analysis of the sensory evaluation result, three factors are obtained that related to softness, roughness, stickiness. Next, the measurement system imitating human active touch is constructed. The samples which will be evaluated is fixed on a sample table and rotated with constant speed. Then a piezoelectric element touches the object surface with constant normal force. The piezoelectric element measures the vibration information during active touch. Additionally, evaluation values related to tactile factors are defined using the vibration information obtained in experiments. Comparing the evaluation values with the sensory evaluation results, the paper shows effectiveness of this method.

Key Words : Friction Vibration, Measurement, Piezo-element, Sensor, Spectrum Analysis

1. 結 言

近年、対象物の触感の向上を図る研究が盛んに行われているが、触感の表現が多様であることやヒトや環境によってその評価が変化することから、触感を一定の基準で評価することは未だに困難である。たとえば、これまでに開発されている触感センサは対象物表面の凹凸を測定し、大まかな触感を定量化することはできるが、微妙な触感の違いの測定は実現していない⁽¹⁾⁽²⁾。今後、こうした触感の定量化はエンドユーザ向けの製品開発において重要性を増すであろう。ヒトは物体の触感を知覚する際、対象物表面をなぞったり押しったりといった動的触察を選択的に行い、得られた情報を対象物の認識に用いている⁽³⁾。特に、能動的触運動 (Active touch) による振動情報の検出は微細な表面形状を検出する際に有効であると考えられる⁽⁴⁾⁽⁵⁾。したがって、本研究では対象物を触察子によって動的触察することにより得られる振動情報を用い、触感を定量的に測定することを目的とする。

2. サンプルの官能評価実験

ヒトによる触感評価を定量化するために官能評価実験を行った。サンプルは触感が重要となるエンドユーザ向け製品を想定して、本革 8 種類、クロス 5 種類、合皮 3 種類の全 16 種類とし、被験者は成人 36 名 (男性 15 名, 女性 21 名) とした。被験者に視覚を遮断した状態で各サンプルをなぞらせ、硬軟, 冷温, ざらざら, 凹凸, しつとり, ふかふか, すべすべ, ねっとり, きゅっきゅ, 良悪, 好嫌の 11 項目について 7 段階で評価させた。

得られたデータを用いて、官能評価項目について主因子法による因子分析を行った結果、硬軟感および粗滑感

^{*1} 学生員, 慶應義塾大学大学院 理工学研究科 (〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1)

^{*2} 正員, 慶應義塾大学 理工学部

^{*3} 正員, 慶應義塾大学大学院 システムデザインマネジメント研究科 (〒223-8526 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1)

^{*4} 非会員, 慶應義塾大学大学院 システムデザインマネジメント研究科

E-mail: smile-luv@z8.keio.jp

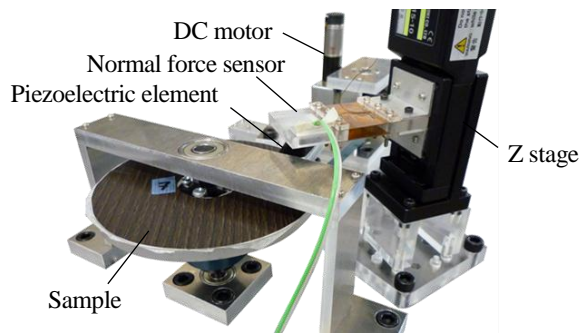


Fig. 1 Measurement system

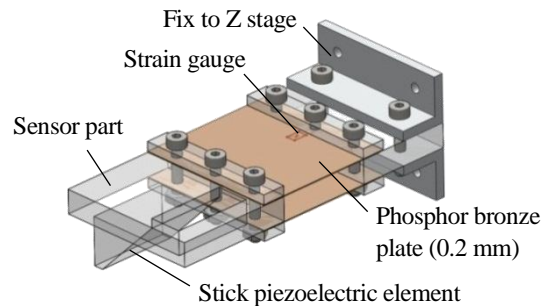
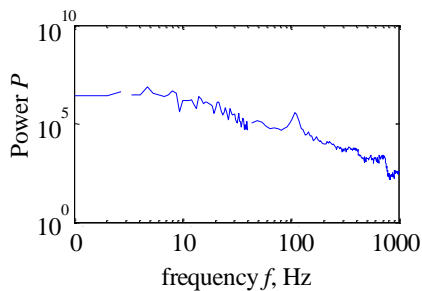
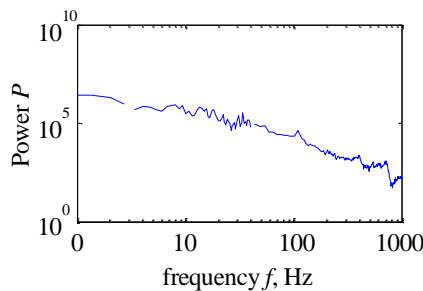


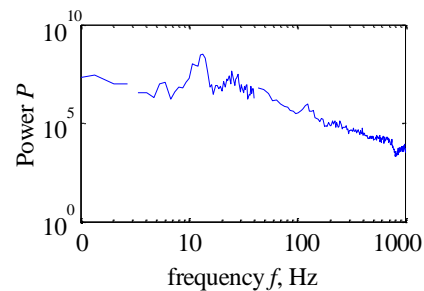
Fig. 2 Normal force sensor



(a) Soft sample



(b) Smooth sample



(c) Rough sample

Fig. 3 FFT result periodgrams

に關係する2つの因子が抽出された。ただし、「ねっとり」および「きゅっきゅ」の項目はいずれの因子に対しても寄与率が大きくならないことから、抽出された2つの因子では説明できない触感も存在すると考えられる。これらの評価項目は、対象物と指腹部の間で固着と滑りを繰り返す stick-slip 現象に關係すると考えられ、本実験で用いたサンプルはいずれも比較的 stick-slip 現象が生じにくいサンプルであったため、これら2つの項目に關係する因子が抽出されなかったと考えられる。

3. 触感測定システムの提案

3.1 触感測定システム

ヒトが行う動的触察を模擬して触感を測定するために、図1に示す触感測定システムを開発した。触感測定システムは、主にサンプル台、押下力センサおよび圧電素子から構成される。サンプル台は直径100 mmの試料面を有しており、ベルトを介してDCモータで駆動され、一定触速度下における動的触察を可能としている。図2に示す押下力センサは厚さ0.2 mmのりん青銅板を用いた板ばね式となっており、ひずみゲージによって押下力を測定する。押下力センサはZステージに固定されており、Z方向の移動によって、押下力を調整可能である。すなわち、ひずみゲージから得られる押下力情報を基に、押下力センサの高さを制御する。なお、押下力センサの先端には触察子となる圧電素子が固定されており、これによって触察時の振動情報を測定する。

3.2 振動情報の測定方法

製作した触感測定システムを用いて、各サンプルを動的触察した際の振動情報を測定した。サンプルをサンプル台の試料面に固定し、DCモータにより回転させた。回転数および押下力は、ヒトの触動作⁽⁶⁾⁽⁷⁾をもとにそれぞれ10 rpm (外周部で52.4 mm/s)、0.20 Nとした。また、測定により得られた振動データの周波数成分を抽出するため高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform; FFT) を行った。

4. 測定結果および評価指標の提案

4.1 各触覚受容器に対する振動刺激値

3.2節の測定により得られた振動情報のFFT結果の一例を図3に示す。ここで、指腹部をはじめとするヒトの

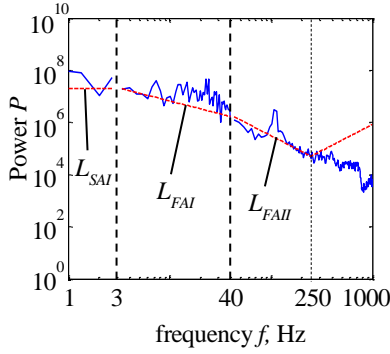


Fig. 4 Evaluation calculation

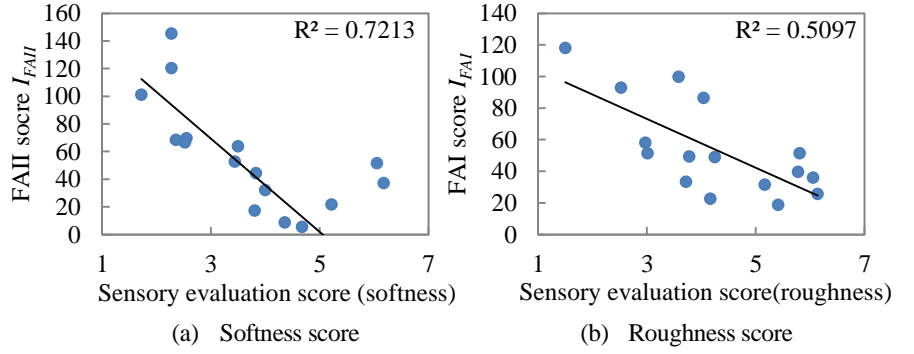


Fig. 5 Relation between vibration stimulation values and tactile factors

皮膚の無毛部に存在する4種類の触覚受容器は、検出する周波数帯域などそれぞれ異なる知覚特性を有している。ヒトは得られた情報を統合することによって触感を知覚していることに注目すると、図3に示したピリオドグラムの1 Hzから1000 Hzの区間について、受容器ごとの受容特性⁽⁸⁾⁽⁹⁾と比較することによって各触覚受容器の振動刺激値を推定することが必要であろう。このため、以下のように振動刺激値を定義した。

まず、ピリオドグラムにおいて触覚受容器SAI、FAIおよびFAIIの振動検出閾値を決定した。ただし、SAIIはSAIと同様の検出閾値特性を持つため、本研究では省略した。各振動検出閾値 L_{SAI} 、 L_{FAI} 、 L_{FAII} の線形近似直線を図4に示す。SAIの検出閾値は0~3 Hzにおいてほぼ一定値であることが知られており、グラフ上で傾きゼロの直線 L_{SAI} で近似できる。一方、FAIの検出閾値には周波数依存性があり、3~40 Hzで傾き-20 dBの直線で近似した。また、FAIIは40 Hz以上で刺激を検出するが、250 Hz付近で傾きが-40 dBから40 dBに変化する直線で近似した。

上記で定義した振動検出閾値を用いて、各受容器 r に対応する振動刺激値 I_r を、

$$\Delta P_i = \begin{cases} \log P_i - \log L_i, & \text{if } P_i > L_i \\ 0, & \text{if } P_i \leq L_i \end{cases} \quad (1)$$

$$I_r = \sum_{f=f_i}^{f_h} \Delta P_i \quad (2)$$

によって定義する。ここで、 P_i はピリオドグラムにおける i 番目のデータのパワー、 L_i は振動検出閾値直線の i 番目の値、 f_i および f_h は各受容器が検出可能な周波数の最小値および最大値である。

3.2節の方法により振動測定した各サンプルの結果から、式(1)および(2)を用いて振動刺激値を算出した。ただし、SAIは変位を検出する受容器であることから、 I_{SAI} がすべてのサンプルにおいて正の値となるよう L_{SAI} の値を設定した。

以上のように定義した各受容器に対する振動刺激値 I_r について、官能評価結果から得られた2つの触感因子との相関を求めた。なお、各因子を代表する評価値として、因子分析において比較的高い因子負荷量が得られた「ふかふか」および「ざらざら」の官能評価値を用いた。相関関係の一例を図5に示す。図のように、適切な振動刺激値 I_r を用いれば、触感因子と振動刺激値は高い相関を有することがわかる。

4・2 触感因子評価指標の定義

官能評価より得られた硬軟感および粗滑感に関する2つの触感因子と、これらの複合的な評価であると考えられる「好き」因子をそれぞれ定量化する3種類の評価指標を定義する。

図5(a)において、官能評価値が6以上となる2種類のサンプルは、他のサンプルと比較して厚みがあり触察する際に圧電素子がサンプル表面から深く沈み込むものである。これらのサンプルを除くと、硬軟感因子の評価はFAIIの振動検出閾値に基づく振動刺激値 I_{FAII} と線形の関係にあると言える。このため、硬軟感に関する指標 E_{soft} は I_{FAII} を標準化した値を用いることとした。同様に、図5(b)から、粗滑感因子はFAIの振動検出閾値に

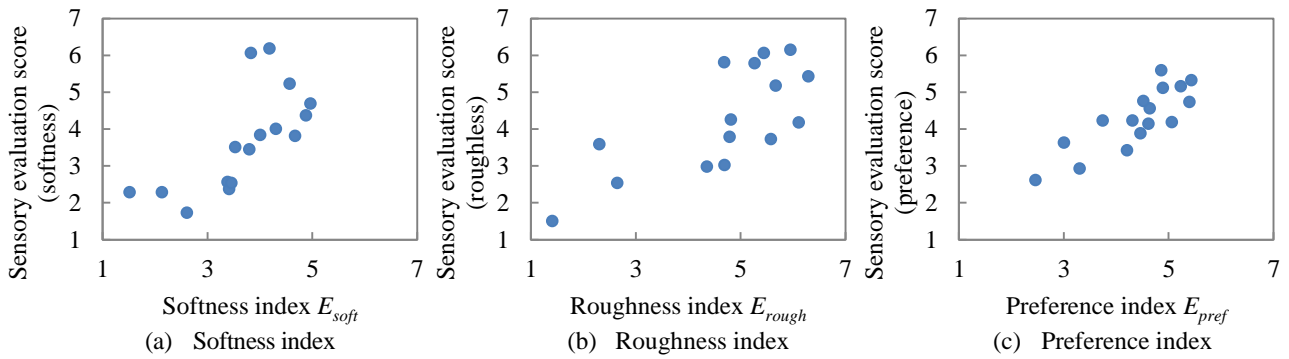


Fig. 6 Relation between evaluation indexes and sensory evaluation scores

基づく振動刺激値 I_{FAI} と線形の関係にあると言えるため、粗滑感に関する指標 E_{rough} は I_{FAI} を標準化した値を用いることとした。

つぎに、「好き」評価は硬軟感および粗滑感と相関があり、より柔らかかつ滑らかであると評価が高くなる。したがって、好き因子は硬軟感指標および粗滑感指標を組み合わせることにより評価指標を定義することができる。このため、好き指標 E_{pref} を、 E_{soft} と E_{rough} の平均と定義した。

以上に述べた3つの評価指標と対応する触感因子の官能評価値の関係を図6に示す。好き指標 E_{pref} と官能評価によって得られた「好き」評価の間には明らかに相関があり、 R^2 値は0.69であった。

5. 結 言

ヒトの動的触察を模擬し、触察時の振動情報を測定および分析することによって触感を測定することが可能な触感測定システムを開発した。はじめに、複数のサンプルについて官能評価を行い、得られた結果の因子分析を行うことにより、硬軟感および粗滑感に関する2つの触感因子を抽出した。また、各サンプルについて測定システムを用いた振動の測定を行った。得られた振動データから各触覚受容器に対応する振動刺激値を算出し、この値を用いて硬軟感、粗滑感、好きの3項目についての評価指標を定義した。

文 献

- (1) Mukaibo Y., Shirado H., Konyo M., Maeno T., “Development of a Texture Sensor Emulating the Tissue Structure and Perceptual Mechanism of Human Fingers”, *Proceeding of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, (2005), pp. 2565-2570.
- (2) 小林秀光, 田中真美, “触覚感性計測用センサシステムの開発に関する研究”, 日本機械学会情報・知能・精密機器部門講演会講演論文集, No.08-3(2008), pp.107-110.
- (3) 岩村吉晃, 脳と認識 (伊藤正男編), 初版 (1982), pp. 145-165, 平凡社選書.
- (4) 西松豊典, 長野史智, 前田邦峰, 上條正義, 鳥羽栄治, 石澤広明, “能動的触運動による材質判別評価について”, 感性工学研究論文集, Vol. 1, No. 1 (2001), pp. 39-44.
- (5) Lederman S. J., “Tactile roughness of grooved surfaces: The touching process and effects of macro- and micro surface structure”, *Perception & Psychophysics*, Vol. 16, No. 2 (1974), pp. 385-395.
- (6) 岩村吉晃, “能動的触知覚(アクティヴタッチ)の生理学”, バイオメカニズム学会誌, Vol. 31, No. 4 (2007), pp. 171-177.
- (7) 大岡昌博, 川村拓也, 宮岡徹, 三矢保永, “ヒトの表面粗さ弁別に及ぼす触運動速度の影響”, 日本機械学会論文集 (C編), Vol.66, No.641 (2000), pp. 226-231.
- (8) 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, Vol. 18, No. 6 (2000), pp. 772-775.
- (9) 日本バーチャルリアリティ学会, “バーチャルリアリティ学”, 初版 (2010), pp. 320, 株式会社工業調査会.