

引掻き動作評価のための装着型マイクセンサの開発に関する研究

Development of wearable sensor using microphone for evaluation of human scratch motion

○ 磯崎 剛志郎（東北大） 奥山 武志（東北大） 田中 真美（東北大）

Goushiro ISOZAKI, Tohoku University
Takeshi OKUYAMA, Tohoku University
Mami TANAKA, Tohoku University

Abstract: This study aims to develop a system for evaluation of human scratch motion that is important information for medical treatment of skin diseases. We focused on scratch sounds accompanied by human scratch motion to evaluate mechanical characteristics of human scratch motion. At first, we attached microphones at five different positions on the hand, and measured scratch sounds at each position. Then, we determined appropriate fixing position of a microphone sensor. Next, we developed a microphone sensor suited to the appropriate position. Then, we investigated the relationships between scratch sounds and mechanical characteristics of human scratch motion, such as pressing forces and finger tip speeds. We proposed a method to estimate the characteristics of human scratch motion. In conclusion, we elucidated the relationships between a parameter of scratch sounds and pressing forces and also confirmed effects of finger tip speeds on the parameter of scratch sounds.

Key Words: Human scratch motion, Itch, Wearable sensor, Motion analysis

1. 緒言

痒みとは、「引掻きたくなる欲求を引き起こす感覚」⁽¹⁾と定義されており、皮膚疾患だけでなく腎不全などの全身性疾患、ストレスなど様々な原因で発生する症状である。また、重度の痒みは皮膚を掻破する強い引掻き行動を誘発し、皮膚表面のバリア機能を壊してしまうことがある。その状態では、少しの刺激でも痒みを感じやすくなり、痒みの悪循環に陥ってしまう。この痒みの悪循環は皮膚疾患の慢性化や睡眠不足を引き起こし、患者の QOL (Quality of Life) を低下させる要因となる。そのため、痒みの悪循環に陥らないように、痒みを適切に管理することが疾患の治療において重要である。

痒みを管理するためには痒みの評価が必要であり、現在は視診や問診が行われているが、これらは医師や患者による主観的な評価となることから客観的に評価する手法が求められている。そこで、痒みの反射行動である引掻き動作に着目し、手首に取り付けた圧電素子で引掻き動作の回数を計測するデバイス^(2,3)などの引掻き動作を客観的に評価する方法が研究されている。しかしながら、これらの研究では引掻き動作の有無を検知するのみで、皮膚へのダメージに関連する引掻きの接触力や速度などの力学的特徴は評価できていない。

そこで、奥山ら⁽⁴⁾は引掻き動作により発生する引掻き音に着目し、爪に装着する小型マイクにより引掻き動作を計測するセンサシステムを開発した。このセンサシステムを用いて、皮膚モデルに対する引掻き音を計測し、引掻き音と力学的特徴との関連性が確認されているが、実際のヒトの皮膚に対する引掻きの際には、爪に装着したマイクセンサが皮膚と接触する可能性が考えられる。そのため、マイクセンサの装着位置を検討する必要がある。

以上に鑑み、本研究では引掻きの力学的特徴、特に引掻きの接触力の評価が可能であるマイクセンサを用いた引掻き動作計測システムの構築を目的とする。そのために、まず引掻き動作計測のために、マイクセンサの装着位置の検討を行う。次に、選定した装着位置に適したマイクセンサを製作し、そのセンサを用いた引掻き動作計測を行い、引掻き動作と力学的特徴の関係を考察する。

2. マイクセンサ装着位置の選定

2.1 マイクセンサとセンサ位置

引掻き音計測用マイクセンサは小型マイク

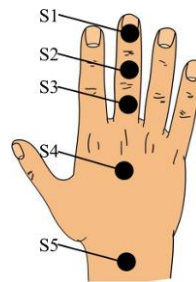


Fig. 1 Sensor position



Fig.2 Aspect of experiment

(CEM-C9745JAD462P2.54R, Challenge Electronics 社製) にオペアンプ (OPA344, Texas Instruments 社製) が搭載されたものを用いる。指に装着する際は、マイクと皮膚が接触しないように ABS 樹脂でマイクカバーを製作し、皮膚とマイクセンサの間に 3mm の隙間を設けた。センサの装着位置を Fig. 1 に示す。センサの装着位置は右手中指の爪の付け根、第一関節と第二関節の間、第二関節と第三関節の間、手の甲、腕の 5 か所とし、それぞれ S1, S2, S3, S4, S5 と呼称する。

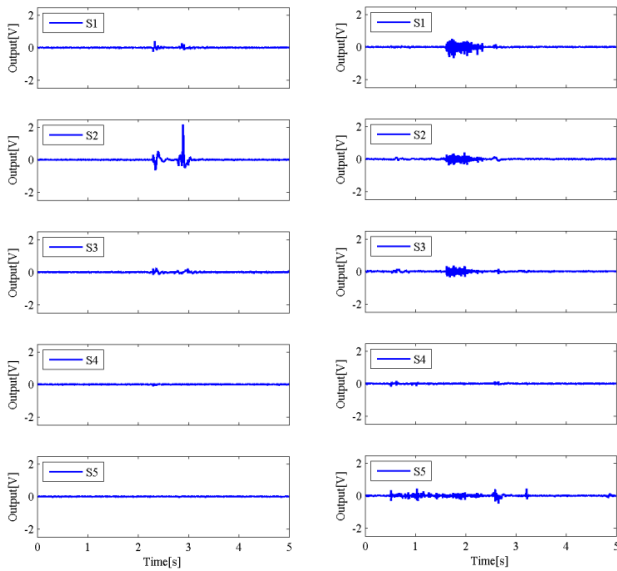
2.2 実験方法

5 つのマイクセンサを用い、同時に 5 か所で引掻き音を計測し、それらの出力値を比較した。被験者は 20 代男性 3 名である。なお、用いたマイクセンサは事前にセンサ感度が同程度であることを確認している。

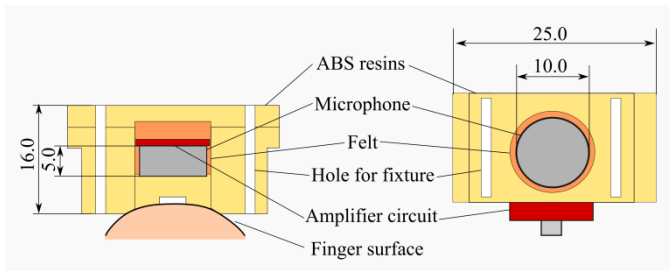
実験の様子を Fig. 2 に示す。被験者にはセンサを装着した右手中指の屈曲動作と左前腕部内側に対する引掻き動作を各 3 試行ずつ行ってもらい、1 試行の測定時間は 5 秒で、1 試行に各動作を 1 回行ってもらい。また、マイクセンサのサンプリング周波数は 10 kHz である。

2.3 実験結果

屈曲動作時と引掻き動作時のマイクセンサの出力値の一例を Fig. 3(a) と Fig. 3(b) にそれぞれ示す。Fig. 3(a) の屈曲動作時の結果を見ると、S2 のマイクセンサにおいて指の屈曲に伴うセンサ出力の変動が大きく生じていることが分かる。また、Fig. 3(b) の引掻き動作時の結果を見ると、S1~S3 において引掻き時にセンサ出力の変動が確認され、引掻き音が



(a) Bending motion (b) Scratching skin
Fig. 3 Output of the microphone sensor



(a) Side view (b) Bottom view
Fig. 4 Structure of the microphone sensor

計測できていると考えられる。S4では、ほとんど出力が得られず、また、S5では、センサ出力の微小な変動が比較的長い時間確認されたが、これはS1~S3で確認された引掻き音が生じる前から生じていたため、腕全体の動作による影響であり、引掻き音ではないと考えられる。

爪の付け根の S1 では、被験者によっては引掻き時にセンサと皮膚が接触する可能性があることが確認された。

以上のことから、引掻き音に対応するセンサ出力が大きく得られ、かつ、引掻き時の屈曲動作の影響が小さく、皮膚との接触も回避できる計測位置として、S3（第二関節と第三関節の間）がマイクセンサの装着位置として適していると考えられる。

3. 皮膚モデル引掻き実験

3.1 実験システム

マイクセンサを装着した状態で、皮膚モデルに対する引掻き実験を行った。マイクセンサを S3 の部位に装着しやすくするため、新しくセンサカバーを作製した。マイクセンサの構造を Fig. 4 に示す。皮膚側からの音を減衰させるために、マイクとマイクカバーの間にはフェルトを入れた。

実験システムの概要を Fig. 5 に示す。右手中指にはマイクセンサと指の動きを解析するためのマーカーを装着した。マイクセンサとマーカーの位置を Fig. 6 に示す。引掻き対象として用いた皮膚モデルはポリウレタン樹脂シート（人肌ゲルシート、アスカ-C 硬度 5、エクシールコーポレーション社製）である。引掻き時の接触力は皮膚モデルの下に配置した 3 軸ロードセル（USL06-H5-50、株式会社テック技販）を、指先の移動速度は、指に貼り付けたマーカー

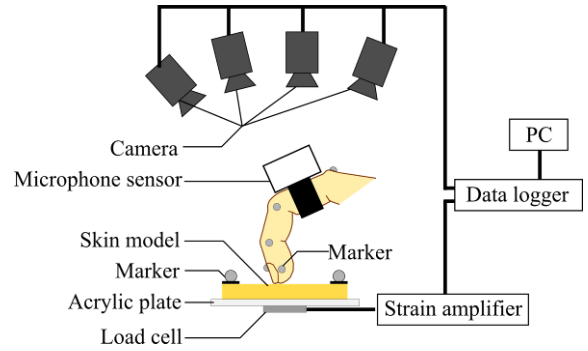


Fig. 5 System of experiment

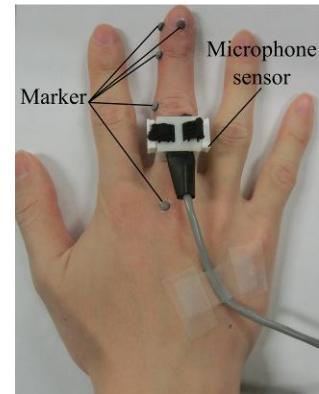


Fig. 6 Sensor and marker position

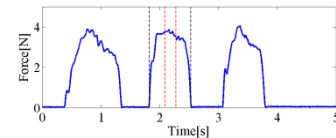


Fig. 7 Pressing force

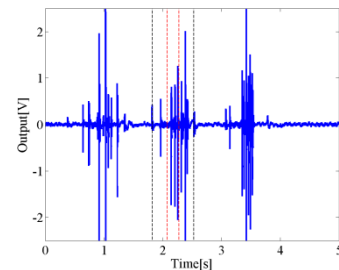


Fig. 8 Scratch sound

と赤外線カメラ（MX-T160, Inter Reha Co.），光学式三次元動作計測システム（VICON GIGANET/M, Inter Reha Co.）を用いて計測する。また、マイクセンサおよび 3 軸ロードセルのサンプリング周波数は 10 kHz，動作計測システムは 100 Hz である。

3.2 実験方法

被験者は 20 代男性 4 名であり、それぞれ被験者 A~D とする。被験者には皮膚モデルに描いた直線に沿ってマイクセンサを装着した右手中指で引掻き動作を行ってもらう。引掻き動作は強さを 5 段階、速さを 3 段階として計 15 条件について行ってもらう。ただし、引掻き方法は自由とし、引掻きの強さと速さは被験者の主観に任せ、目安は提示していない。各条件 3 試行ずつの計 45 試行行ってもらい引掻き動作を計測する。1 試行の測定時間は 5 秒で、1 試行の間に 3 回程度引掻きを行ってもらう。

3.3 解析方法

ロードセルで測定した鉛直方向の力（押付力）の計測結果の一例を Fig. 7 に示す。解析では、1 試行で連続して行

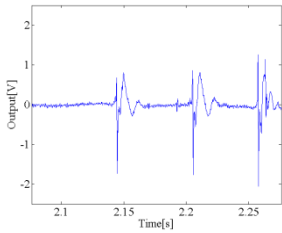


Fig. 9 Cut wave pattern

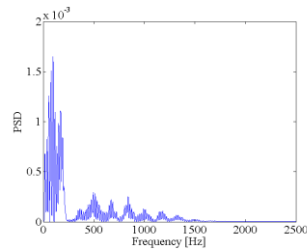
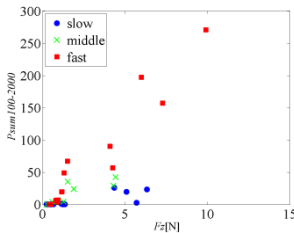
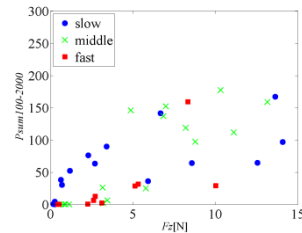


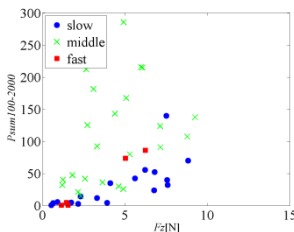
Fig. 10 PSD



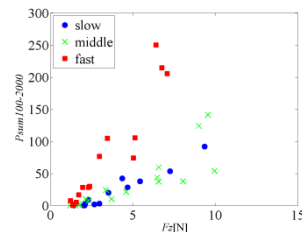
(a) Subject A



(b) Subject B



(c) Subject C



(d) Subject D

Fig. 11 Relationship between F_z and $Psum100-2000$

われる引掻き動作のうち、開始と終了時の姿勢に影響を受けないと考えられる2回目の引掻き動作に注目する。引掻き動作の抽出は押付力の値を基に行った。Fig. 7に抽出した2回目の引掻き動作の区間を黒線で区切って示す。また、2回目の引掻き動作の中で一定の動作で引掻きを行っている区間として、引掻き時間の中間値から前後0.1秒間のデータを切り取り解析を行うこととした。解析に用いる区間をFig. 7に赤線で区切って示す。

引掻き動作の特徴として、解析区間の引掻きの平均押付力 F_z を算出した。

また、解析区間の指に貼り付けたマーカーの移動距離を0.2秒で割った値を指先の移動速度として算出し、その値が60 mm/s以下の場合をslow、60~120 mm/sの場合をmiddle、120 mm/s以上の場合をfastとした。

実験で得られたマイクセンサの出力値の一例をFig. 8に示す。Fig. 8の結果に対して抽出した解析区間のマイクセンサ出力をFig. 9に示す。Fig. 9に対して周波数解析を行い、求めたパワースペクトル密度(PSD)をFig. 10に示す。本実験では、先行研究^[4]で引掻き音と関係していると示唆された100-2000 Hzの周波数帯のPSDの合計 $Psum100-2000$ をマイクセンサから得られる引掻き音の評価パラメータとして算出した。

3.4 解析結果と考察

各被験者の引掻き時の接触力 F_z と引掻き音のパラメータである $Psum100-2000$ の関係をFig. 11に示す。指先の移動速度は、slowを青、middleを緑、fastを赤で示した。被験者全体としては引掻き時の接触力が強くなると $Psum100-2000$ が大きくなる傾向が見られた。各被験者の引掻き時の接触力 F_z と引掻き音のパラメータである

$Psum100-2000$ の相関係数を見ると、被験者Aが0.789、被験者Bが0.736、被験者Cが0.402、被験者Dが0.652であり、相関関係が低い被験者も確認された。

この違いの考察として、各被験者の引掻き速度に着目した。被験者A、Dは指先の移動速度が速いほど $Psum100-2000$ が大きくなる傾向が見られ、被験者Cは指先の移動速度がfastより、middleのほうが $Psum100-2000$ が大きくなる傾向が見られ、被験者Bに関しては指先の移動速度による傾向が見れず、被験者によって異なる傾向が見られた。

この被験者間の差異については、引掻き動作時の爪と皮膚との接触角度や指の姿勢などの差異が影響していると考えられる。そのため、引掻き動作の特徴を分類し、引掻き音との関係性について調べる必要があると考える。

4. 結言および今後の展望

本研究では、引掻き動作を評価可能なマイクセンサを開発するために、まず、5つのマイクセンサを用いて、引掻き動作計測に適切な測定位置を調べた結果、第二関節と第三関節の間が適切であることを確認した。また、皮膚モデルを対象とした引掻き動作の計測を行い、引掻きの接触力および指先の移動速度と引掻き音の関係を調査した。その結果、引掻きの接触力および指先の移動速度と引掻き音の関連性が確認でき、被験者ごとに傾向が異なることも分かった。

今後は、引掻きの接触力および指先の移動速度と周波数特性との関連性について、個人差を解明するため、接触角度や指の姿勢などの引掻き動作の特徴を基に、引掻き動作を分類し、引掻き音を解析する。

参考文献

- (1) Ekblom A, Some neurophysiological aspects of itch, *Stem Dermal*, 14, pp.262-270, (1995).
- (2) Yuichi NORO, et al, Novel acoustic evaluation system for scratching behavior in itching dermatitis: Rapid and accurate analysis for nocturnal scratching of atopic dermatitis patients, *Journal of dermatology*, Vol.41, pp.233-238, (2014).
- (3) Toshiya Ebata, et al, An Infrared Video Camera System to Observe Nocturnal Scratching in Atopic Dermatitis Patients, *Journal of Dermatology*, Vol.23, pp.153-155, (1996).
- (4) 奥山武志, 畠山一樹, 田中真美, 引掻き音計測による引掻き動作評価に関する研究, *日本 AEM 学会誌*, 23, pp.80-85, (2015).