

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月1日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22760178

研究課題名（和文） ウェアラブル掻破行動モニタリングシステムの開発

研究課題名（英文） Development of wearable scratching monitoring system

研究代表者

奥山 武志 (OKUYAMA TAKESHI)

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：40451538

研究成果の概要（和文）：

皮膚疾患の治療経過をモニタリングするための引っ掻き動作計測システムの開発を行い、爪装着引っ掻き音計測センサ、指関節装着屈曲センサ、指輪型指先力センサを考案し、その有効性を明らかにした。特に引っ掻き音計測センサシステムについては、引っ掻き音の分散値を算出することで、引っ掻き時の皮膚と爪の間のせん断力を推定し、特定の周波数成分を用いることで、引っ掻き時の指の速度を推定する手法を創出した。

研究成果の概要（英文）：

In this work, monitoring system for human scratching behavior has been developed in order to evaluate itch sensation and therapeutic process of skin disease. For this purpose, a nail-mounted scratch sound sensor, a finger bending polymer sensor, and a ring-type finger force sensor were designed and the effectiveness against monitoring of scratching were verified by experiment. Additionally, relationship between sensor output from scratch sound sensor and scratch motion properties such as shear force and velocity was investigated. And estimation methods of motion properties were constructed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：バイオメカニクス，ヒトの引っ掻き動作計測

1. 研究開始当初の背景

痒みはアトピー性皮膚炎や接触性皮膚炎、ストレスをはじめとした様々な皮膚疾患に伴う身近な症状でもある。痒みは反射反応として引っ掻き動作を引き起こし、皮膚疾患の症状を悪化させてしまう場合がある。このことから、痒みを管理することが、皮膚疾患の治療や患者の QOL (Quality of life) の向上において非常に重要になっている。

これまで、皮膚疾患の病状の把握には、病院での問診と視診、臨床検査によって行われる。臨床検査とは、血液中のかゆみや炎症に関する物質をマーカーとしてその量を調べるものである。しかしながら、血中マーカーによる検査は、定点観察しかできず、夜間の掻破行動を時系列で評価することが困難である。またアトピー性皮膚炎患者には乳幼児も多く、検査のための採血は患者や医療従事者の負担が大きいという課題もある。

そのため、さまざまな引っ掻き動作のモニタリングや検査手法の研究がなされている。例えば赤外線カメラによる評価に関する研究がある。患者とともに掻破行動の確認ができ、有用であるが、大規模なシステムが必要である。また、加速度計を手首に取り付けて掻破行動を評価する研究も行われている。しかしながら、寝返りなどの引っ掻き動作以外の影響が大きいという問題点がある。この問題点を克服するためには、手や指の動きにのみ注目するのではなく、引っ掻き動作によって生じる指と皮膚の機械的なインタラクションという観点から、センサシステムの構成および信号処理方法の検討を行う必要がある。

2. 研究の目的

本研究課題では、引っ掻き動作の強度や頻度、時間帯を計測することで、診断の指標となる数値データを提示し、治療効果の検証に利用できるウェアラブル引っ掻き動作モニタリングシステムの開発を目指す。

3. 研究の方法

皮膚疾患の治療経過をモニタリングするために指輪型指先力センサ、指関節装着屈曲センサ、爪装着引っ掻き音計測センサを開発し、引っ掻き動作の特徴と各センサ出力の関連性を検証した。

(1) 指輪型指先力センサシステム

引っ掻き動作は、爪あるいは指先を皮膚に押し付けて行い、指先の押し付け力が皮膚のダメージと関連する。そこで、指先にかかる力を計測するためのセンサシステムを開発する。センサの模式図を図 1 に示す。本センサは指輪のように中手指節関節(MP 関節)と近位指節間関節(PIP 関節)の間に装着し、指

を上下から挟む構造となっている。この指輪型センサの指腹側にひずみゲージが貼り付け、その出力から押し付け力を推定するセンサである。

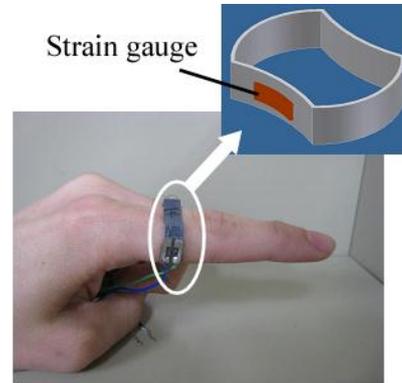


図 1 指輪型指先力センサ

筋肉と指先は腱で結合されており、筋肉が収縮すると、指先が屈曲する。指先に物体が接触している場合は、物体に対して接触力を発揮する。このような場合、筋肉の発揮力 F_m と実際に指先で発揮する力 F_{real} は関連する。また、 F_m は、腱に張力である。そこで、本センサは、腱にかかる張力を計測することで、接触力 F_{real} を推定する手法である。

(2) 指関節装着屈曲センサシステム

指で皮膚を引っ掻く際は、一般的に指の屈曲運動を伴う。イオン液体を内包した固体高分子電解質から成る新しい柔軟曲率センサを用いて、引っ掻き時の指の角度を計測するセンサシステムを開発した。本研究では、図 2 に示すように、この屈曲運動を計測するために、柔軟曲率センサを指の関節に貼り付ける非常にシンプルな構造を考案した。センサを装着した指関節を屈曲させるとセンサ素子に曲げ変形が加わり、センサ出力が得られ、指の屈曲運動を推定する手法である。

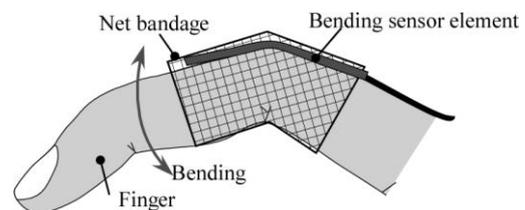


図 2 指関節装着屈曲センサ

(3) 爪装着引っ掻き音計測センサシステム

皮膚を引っ掻く動作は「ボリボリ」という音で表現されるように引っ掻き音が発生する。この引っ掻き音は引っ掻き動作による爪と皮膚の間に発生する振動に起因している。

この引っ掻き音は爪を皮膚へ押し付ける力の変化や引っ掻き動作時の指先の速度、肌の乾燥状態などにより変化する。そこで、引っ掻き音を効果的に計測するため、直径 6 mm の小型マイクをシリコンで覆い、受音部を爪に取り付けるセンサを開発した。計測された引っ掻き音の音圧解析および周波数解析を行い、音の特徴量を抽出することで、引っ掻き動作の力学的特徴を推定する手法である。

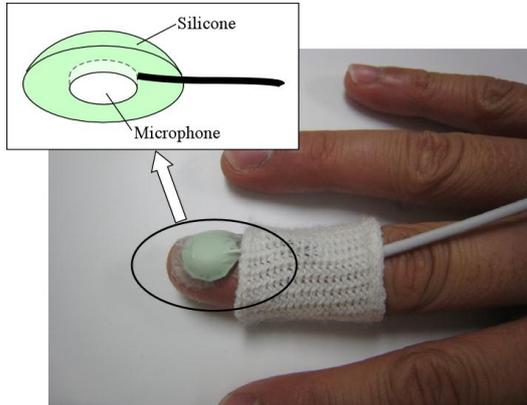


図3 爪装着引っ掻き音計測センサ

4. 研究成果

開発したそれぞれのセンサシステムの特徴評価を行い、引っ掻き動作の特徴量を推定するために有効であることを実験により明らかにした。

(1) 指輪型指先力センサシステム

指先力センサのひずみ出力と接触力の関係を実験により検証する。センサは塩化ビニルで製作した。実験では、センサを被験者の示指に装着し、示指のみを参照用ロードセルに接触させ、ロードセルに対して 5N 以上の押し付け力を負荷した。

図4に得られたロードセル出力（接触力）とセンサ出力（センサ下部ひずみゲージ出力）の1例を示す。5回の計測結果は概ね一致した出力挙動を示しており、接触力が増加することで、センサ出力も増加することを明らかにした。また、出力挙動は片対数近似でき、小さな接触力の場合により感度が高いことがわかった。実際の引っ掻き動作の接触力範囲では十分な感度があることを確認することができた。

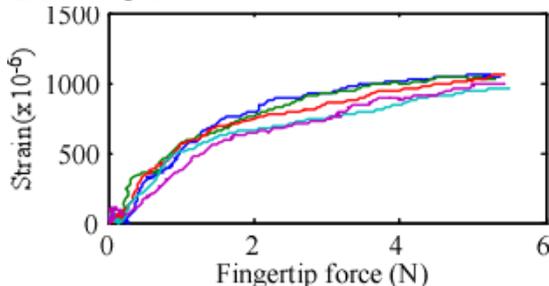


図4 指先力センサ出力と接触力の関係

(2) 指関節装着屈曲センサシステム

本センサシステムで用いた柔軟曲率センサの出力と曲げ変形の曲率が線形関係にあることはこれまでの研究でわかっているが、指の屈曲による曲げ変形に対する本センサ出力特性は未解明であり、実験により検証した。実験装置の概要を図5に示す。実験では、センサを被験者のPIP関節に装着し、指を屈曲させ、その時のセンサ出力と指の関節角度を計測した。関節角度は、指に取り付けたマーカーを側面からハイスピードカメラで撮影し、画像解析により算出した。

図6に指の関節角度とセンサ出力の関係を示す。センサ出力と指の関節角度は線形関係にあり、指の関節が小さくなる（屈曲する）ほど、センサ出力が大きくなることを明らかにした。また、複数回の計測でほぼ一致した勾配であり、高い再現性が得られた。さらに、引っ掻き動作に対するセンサ出力の1例を図7に示す。図6の屈曲のみの場合に対して、ヒステリシスループを生じることが分かった。引っ掻き動作では、屈曲と伸展を繰り返すことから、屈曲時と伸展時でのセンサ出力特性が異なることが明らかになった。しかしながら、センサ出力の最大値と最小値から引っ掻き動作時の指の関節角度の変動幅を推定することはでき、本センサは引っ掻き動作時の指の角度情報の推定に有効であることを示した。

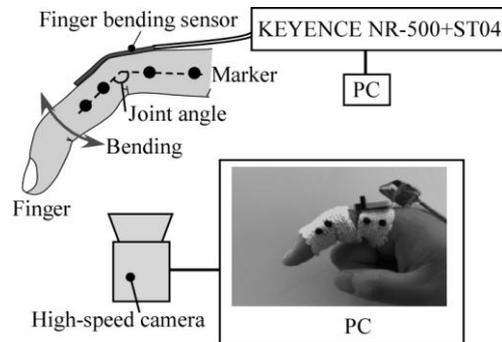


図5 実験装置

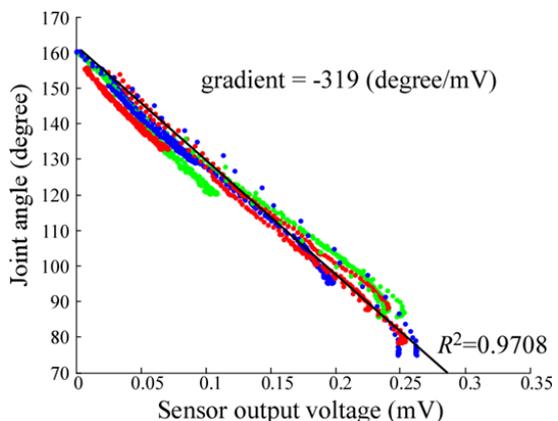


図6 指の関節角度とセンサ出力の関係

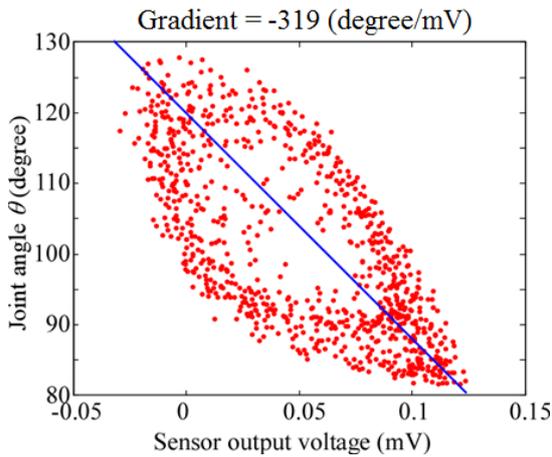


図7 引っ掻き動作時のセンサ出力

(3) 爪装着引っ掻き音計測センサシステム

本センサによる皮膚の引っ掻き音の計測実験を行い、有効性を検証した。被験者は中指の爪にセンサを装着し簡易防音室内で、皮膚を引っ掻いた時の引っ掻き音を本センサにより計測した結果を図8に示す。センサ出力において引っ掻き時に大きな振幅の変動が観測され、SN比も高いことから、本センサにより引っ掻き音を効果的に計測できることを確認した。

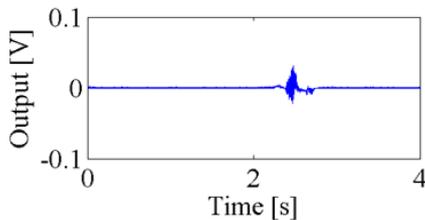


図8 引っ掻き音波形

また、引っ掻き動作の力学的な特徴（押し付け力と速度）と引っ掻き音の関係を調べるために、図9に示す実験装置を製作し、ポリウレタン樹脂で製作した人工皮膚モデルに対する引っ掻き実験を行った。人工皮膚モデルの下部には3軸ロードセルを設置し、接触力を計測し、指の速度は、高速度カメラを用いて指先を撮影し、画像解析を行うことで求めるシステムである。

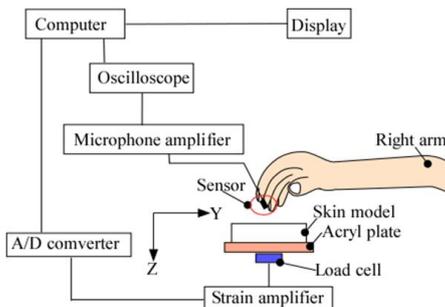


図9 引っ掻き音計測実験システム

実験では、接触力とその目標値を被験者に提示し、速度についても電子メトロノームを用いてテンポを提示して、4種類（接触力2種類、速度2種類）の目標動作に対して引っ掻き音および実際の動作特徴を取得した。計測データを基に動作については、垂直力、せん断力、速度それぞれの平均値と最大値の6つの特徴量を算出した。引っ掻き音については引っ掻き動作1回分を抽出し、以下の5つの特徴量を算出した。

- ① 全体の分散値 VAR
- ② 4.2ms 毎の分散値の最大値 VAR_{max}
- ③ 周波数解析して得られたパワースペクトル密度 1~50Hz を加算した値 Sp_{1-50}
- ④ 51~100Hz の加算値 Sp_{51-100}
- ⑤ 101~2000Hz の加算値 $Sp_{101-2000}$

これらの動作の特徴量と音の特徴量に対して、相関行列の作成およびクラスタ分析を行った結果、せん断力と垂直力には強い相関係数があり、本実験系ではまとめて接触力として捉え、独立性が確認できた接触力と指先の速度が、引っ掻き動作の特徴量であることを明らかにした。さらにこれらの特徴値と相関係数が高く、独立性の高い引っ掻き音の特徴量はそれぞれ VAR_{max} と Sp_{1-50} であることを得た。図10は、7名の被験者に対する計測結果について X 軸を Sp_{1-50} 、Y 軸を VAR_{max} としてプロットしたものである。図中のマークの違いは速度を示し、十字型>丸型>ダイヤモンド型の順である。色の違いはせん断力を示し、赤色>青色>黒色の順である。図10は、引っ掻き動作評価マップであり、マップ上の分布により、引っ掻き動作の1回ごとの個別の強度を評価することが可能となった。

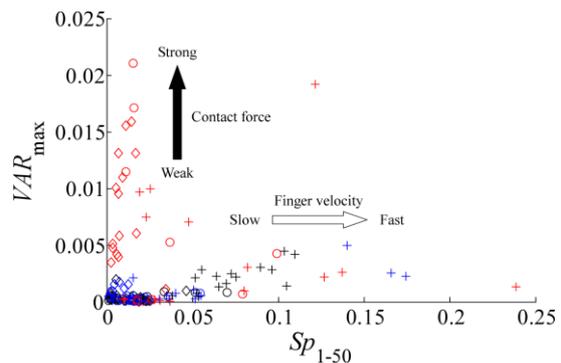


図10 引っ掻き動作評価マップ

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Manabu Otsuki, Takeshi Okuyama, Mami Tanaka, "Time response properties on

deformation velocity for a solid polymer electrolyte sensor,” International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.39 (1-4), pp. 1063-1068, (2012), 査読有, (DOI: 10.3233/JAE-2012-1579).

- ② Manabu Otsuki, Takeshi Okuyama, Mami Tanaka, “Characteristic evaluation of a solid polymer electrolyte sensor,” Microsyst. Technol., Vol.17, pp.1129-1133, (2011), 査読有, (DOI: 10.1007/s00542-011-1285-z).
- ③ Takeshi Okuyama, 他 4 名, “A curvature sensor using a solid polymer electrolyte,” Int. J. Appl. Electromagnetics and Mechanics, Vol.33 (1-2), pp. 823-829, (2010), 査読有, (DOI: 10.3233/JAE-2010-1191).

[学会発表] (計 9 件)

- ① 奥山武志, 畠山一樹, 田中真美, ヒトの引っ掻き動作計測、第 28 回寒地技術シンポジウム、2012 年 10 月 31 日、弘前
- ② 畠山一樹, 奥山武志, 田中真美, 小型マイクを用いた引っ掻き動作計測に関する研究、第 23 回バイオフィロンティア講演会、2012 年 10 月 5 日、弘前
- ③ 畠山一樹, 奥山武志, 田中真美, 引っかき動作による振動現象の計測に関する研究、第 24 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム、2012 年 5 月 18 日、富山
- ④ 大槻学, 奥山武志, 田中真美, 柔軟曲率センサの時間応答特性、第 24 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム、2012 年 5 月 18 日、富山
- ⑤ Takeshi Okuyama, 他 3 名, Development of bending sensor for monitoring of scratch motion using polymer sensor、the 2012 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment、2012 年 6 月 20 日、サンタクララ (アメリカ)
- ⑥ Takeshi Okuyama, Kazuki Hatakeyama, Mami Tanaka, Study on the measurement of human scratch motion using nail mounted sensor、IWPMA2012、2012 年 4 月 25 日、弘前
- ⑦ 畠山一樹, 奥山武志, 田中真美, 引っかき動作による振動現象の計測に関する研究、日本機械学会東北支部第 47 期秋季講演会、2011 年 9 月 22 日、米沢
- ⑧ Manabu Otsuki, Takeshi Okuyama, Mami Tanaka, Time response properties on deformation velocity for a solid polymer electrolyte sensor、The 15th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics、2011 年 9 月 7 日、ナポリ (イタリア)
- ⑨ 奥山武志, 田村誠, 田中真美, 触診動作計測用指力センサに関する研究、第 19 回

MAGDA コンファレンス、2010 年 11 月 22 日、札幌

6. 研究組織

(1) 研究代表者

奥山 武志 (OKUYAMA TAKESHI)

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：40451538

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：