

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：32601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760372

研究課題名(和文) 屋内環境における無拘束生体情報センシング・システムの開発

研究課題名(英文) Development of unconstrained bio-information sensing system in indoor environment

研究代表者

栗原 陽介 (Kurihara, Yosuke)

青山学院大学・理工学部・准教授

研究者番号：50552600

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、圧電セラミックをベースとして生体計測用の高感度なセンシング・デバイスを開発した。このセンシング・デバイスを、ベッドの脚の下に4箇所設置することで、ベッドの上のヒトの脈動、呼吸、イビキ、寝返りおよび掻破などの生体情報を、無拘束で計測することが可能となる。

また、掻破に関して、アトピー性皮膚炎の患者の痒みの評価を行う際に指標となるTotal Scratching Time(TST)を自動的に検出する方法を提案した。センシング・デバイスの高感度化により、掻破に伴う振動を無拘束にも関わらず高いSN比で計測することが可能となったため、TSTを高精度に自動的に求めることが可能となった。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have developed a sensing device with high sensitivity for bio-signals measurement based on the piezoceramic. By attaching the four sensing devices under the legs of the ordinary bed respectively, it is possible to measure heartbeat, respiration, snoring, body movement, turning over and scratching motion of the person lying on the bed without any attaching sensor on the body.

Furthermore, regarding the scratching motion, we proposed the automatic extraction method for Total Scratching Time (TST) which is correlated to the degree of pruritus in skin diseases such as atopic dermatitis. Since the high sensitivity sensing device could measure vibrations generated by scratching motion with high SN ratio, it is possible to automatically detect TST with high accuracy unconstrainedly.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：生体計測 脈波 呼吸 掻破 無拘束

1. 研究開始当初の背景

世界保健機関機構 (WHO) は、60 歳以上の人口が 2009 年には少なくとも 7 億 3700 万人、2050 年には世界の人口の約 20% になると予想しており、高齢社会は日本だけでなく世界的な問題として認識されている。高齢者が安全で安心して生活するためには、医療福祉の制度の整備だけでなく、科学技術的な支援も必要である。在宅環境において日常的に心拍、呼吸などの生体情報をモニタリングすることは、病気の早期発見・早期治療につながり、科学技術的支援の一助となる。このような背景に鑑み、申請者はこれまで、高齢社会における安心・安全のための医療福祉支援技術の開発として、エアマットレス内の空気に伝搬するヒトの生体情報 (心拍、呼吸、体動) を、高感度圧力センサを用いることで、無拘束に計測する方法を提案してきた。また、計測した生体情報から睡眠の質、無呼吸など健康管理において重要な情報を求めるアルゴリズムの開発にも取り組んできた。

2. 研究の目的

日常的な生体情報のモニタリングでは、「センサで体を拘束しない」、「計測されていることを意識させない」ということが重要である。そのためには、センサをフローリングの下、ベッドの下、壁の内側など設備に組み込んだ状態で生体情報を計測する必要がある。このような状態において、計測した生体情報の信号は、環境雑音に比べて極めて微弱であるため、信号から生体情報を抽出することが困難となる。従って、計測用のセンシング・デバイスには、生体情報を含む信号に対し、高い感度を持つことが要求される。また、感度が向上することで、これまでは信号が微弱で得られなかった生体情報を無拘束で得ることができるようになる。

本研究課題では、これまでの研究成果を踏まえ、在宅環境において、無拘束で生体情報を計測するための感度が高いセンシング・デバイスの開発を行うとともに、計測した生体情報から得られる在宅環境において健康管理やさまざまな疾病の症状の評価に有益な新たな情報の検討と、その検出アルゴリズムの開発を目的とする。

3. 研究の方法

(1) センシング・デバイスの開発

センシング・デバイスの開発において、デバイスははじめからシリコン上で実現するには数千万円の費用がかかり現実的でない。本研究課題では、センシング・デバイスで使用するセンサの候補として、既存デバイスであるコンデンサマイクロフォン、シリコンマイクロフォンおよび圧電セラミックスを比較し、検討する。これらのセンサをベースにして、所定の機能を持たせるための付属部品の設置法や最適条件等を実験を繰り返しながら試行することで、高感度なセンシング・

デバイスを開発する。従って、この工程は、「試作」、「実証実験および評価」を繰り返すプロトタイプモデルの開発工程で実施される。

本開発工程におけるポイントは、圧電セラミックスおよびマイクロフォンの特性と回路特性の仕様を合わせる事である。本研究で用いる圧電セラミックスはセンサ用途としてのものではないため、特性を丹念に調査し、本目的に適合するものを選別すると同時に、圧電セラミックの信号を受ける回路を作成することになる。同様にマイクロフォンについても、本研究の目的で使用する周波数帯域は、メーカーの保障範囲外にあり、同じ型番でも個体ごとに異なるため、その特性を調査する必要がある。この地道な作業は、今後のデバイスの製造可能性を探る意味でも重要である。

(2) 複数の生体情報を分離および、健康管理に必要な情報を検知するためのアルゴリズムの構築

生体情報分離アルゴリズムおよび健康管理に必要な情報の検知アルゴリズムでは、健康管理に必要な生体情報の調査および検討が必要となる。その結果を基にして、信号処理としてのアルゴリズムの構築が行われる。

4. 研究成果

(1) センシング・デバイスおよびセンシング・システム

本研究課題では、生体計測用の高感度なセンシング・デバイスとして、圧電セラミックをベースとして用いたセンシング・デバイスを開発した。図 1 に、圧電セラミック素子をベースとして開発したセンシング・デバイスの内部の構造を示す。

直径 20mm の圧電セラミック素子を直径 25mm の真鍮のプレートに固定し、厚さ 1mm のステンレス製のプレートに貼りつける。底面

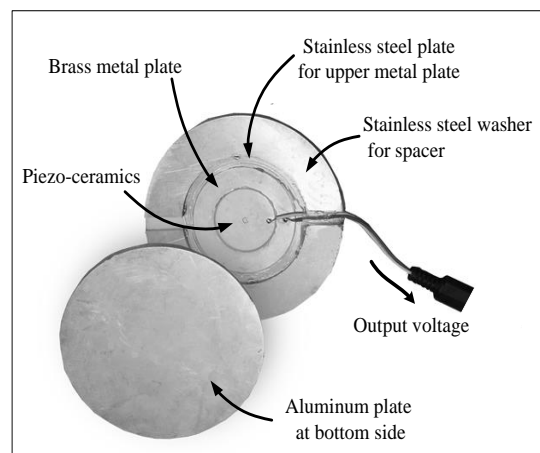


図 1 圧電セラミックを用いたセンシング・デバイス

は、アルミニウム製のプレートでふたをする。圧電セラミック素子は、 $1 \times 10^{-3} \text{ C/m}$ で $0.01 \mu\text{F}$ である。圧電セラミック素子は、キャパシタンスの特性を持つため、ゼロボルトからの変化をとらえることができる。

図2にセンシング・システムの構成図を示す。図1のセンシング・デバイスを、ベッドの4つの脚の下にそれぞれ設置する。ベッドはコイルベッドで重さ 60kgf 、 $1.0 \times 2.1\text{m}$ のサイズである。この状態で、ヒトがベッドの上に横になると、生体信号に伴う微小振動を計測することができる。また、4つのセンシング・デバイスを用いることで、ベッド上でのヒトがどの方向に動いたかを推定することができる。ここで、図2に示すように4つの圧電セラミックからの出力をそれぞれ

$$V_{\text{right}}^{\text{head}}(t), V_{\text{left}}^{\text{head}}(t), V_{\text{right}}^{\text{foot}}(t), V_{\text{left}}^{\text{foot}}(t)$$

とする。

(2) 脈波信号、呼吸信号およびベッド上での動作の計測の検証実験結果

① 実験方法

図2のシステムで、4つの脚の下に設置したセンシング・デバイスからの出力には、脈波信号、呼吸信号が重複している。したがって、4つの出力信号をそれぞれ、脈波、呼吸用のバンドパスフィルタに入力することで、脈波成分と呼吸成分を分離する。脈波用のバンドパスフィルタでは、脈波の高調波成分を抽出するため、 $5 \sim 10\text{Hz}$ のバンドパスフィルタを通し、全波整流したのち出力される。呼吸用のバンドパスフィルタでは、呼吸帯域の $0.2 \sim 0.8\text{Hz}$ のバンドパスフィルタを通し出力する。

また、ベッド上でのヒトの動きの推定では、ベッド上での前後方向の起き上がり動作を示す信号 $P_{\text{th}}(t)$ および、左右方向への寝返りを示す信号 $P_{\text{rl}}(t)$ を、以下の式で求める。

$$P_{\text{th}}(t) = \int_0^t \{V_{\text{left}}^{\text{foot}}(\tau) - V_{\text{left}}^{\text{head}}(\tau) e_{\text{th}}(\tau)\} d\tau$$

$$P_{\text{rl}}(t) = \int_0^t \{V_{\text{right}}^{\text{head}}(\tau) - V_{\text{left}}^{\text{head}}(\tau)\} d\tau$$

図2のシステムを用いて、実際に被験者にベッドの上に寝てもらい脈と呼吸を計測できるかを確認する。脈のリファレンスとしてパルスオキシメータを耳に設置し、呼吸のリファレンスとしてマイクロフォンを鼻腔の下に設置した。

② 実験結果

図3に脈を計測した結果を示す。図3(a)がパルスオキシメータ、図3(b)が提案する手

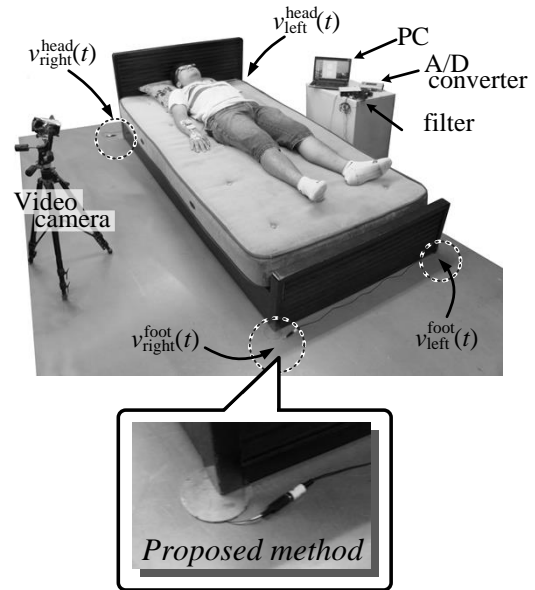


図2 センシング・システムの構成

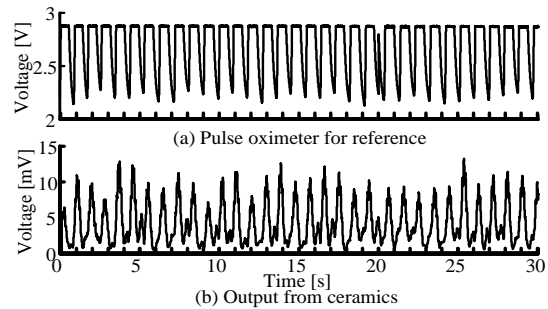


図3 脈波信号の計測結果

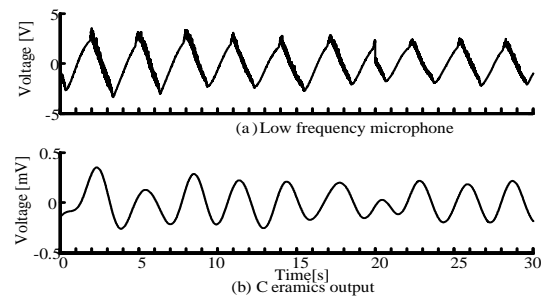


図4 呼吸信号の計測結果

法による脈波の波形を示す。また、図4に、呼吸を計測した結果を示す。図4(a)がマイクロフォン、図4(b)が提案する手法による呼吸の波形を示す。

図3、図4に示すように、提案する方法による脈波信号および呼吸信号のピークがそれぞれのリファレンスの信号のピークと一致していることを確認できる。

図5に被験者がベッドの上で起き上がった際の波形を示す。また、図6に被験者がベッドの上で、左右に寝返りをした際の結果を示す。それぞれ、カメラによる画像と、提案手法の出力を示す。図5被験者が前方に起き上がった際には、 $P_{fh}(t)$ のみが大きく変化し、 $P_{fl}(t)$ は変化していないことを確認できる。また、図6に示すように、被験者が左右に寝返りをした際には、 $P_{fl}(t)$ が寝返りをした方向に大きく変化し、 $P_{fh}(t)$ は変化していないことを確認できる。これらの波形から、ベッド上でヒトがどのように動いたかを推定することが可能となる。

(3) 在宅での搔破の計測の検証実験結果 さまざまな疾病の症状の評価

研究課題の一つである計測した生体情報から得られる在宅環境において健康管理やさまざまな疾病の症状の評価に有益な新たな情報の検討において、今回、睡眠中の搔破の指標である Total scratching time の推定法について検討を行った。

医療現場でアトピー性皮膚炎の患者などの痒みを評価する際、カメラで患者を一晩中撮影し、評価する医療従事者がその映像から、睡眠時間に対し、どの程度の割合で搔破していたかを評価する。この指標を Total scratching time (TST) という。TST は総計測時間を T_m [秒]、搔破している時間の合計を T_s [秒] とすると、以下の式で求まる。

$$TST = \frac{T_s}{T_m} \times 100$$

しかし、この方法は、一晩中患者を撮影する必要があるため、患者のプライバシーを侵害してしまうと同時に、撮影した数時間に及ぶ映像から、医療従事者が搔破している時間帯を目検で判断するため、負荷が大きい。また、在宅での計測や評価を日常的に行うことが難しい。そこで、本研究課題では、図1、図2に示したセンシング・デバイスおよびシステムを用いることで、在宅において無拘束に搔破を計測し、自動的に Total scratching time を推定する方法を提案した。

① 実験方法

センシング・デバイスおよびシステムは、図1、図2と同じものを使用する。ベッドの上にヒトが横になった状態で、右手で頬を20回搔破し、そのときのTSTを推定する。

搔破の動作は主に、次の流れで行われる。(1)安静状態、(2)右手を頬へ移動している状態、(3)頬を搔破している状態、(4)搔破後、右手を戻す状態、(5)安静状態

圧電セラミックス素子で計測された信号を用いて、上記の一連の動作の中から、(3)の搔破状態のみを抽出する。しかし、圧電セラミックで計測した信号には、前述の実験のとおり、脈波、呼吸信号等が重複している。

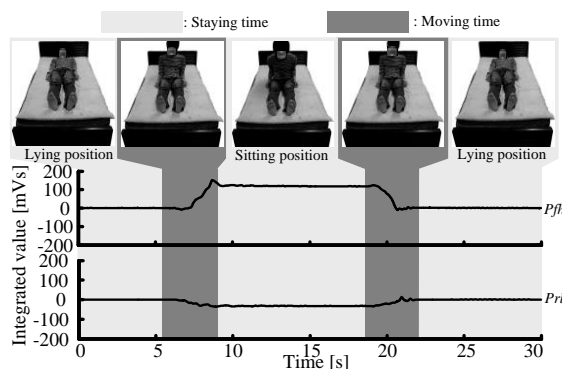


図5 前方方向への起き上がりの結果

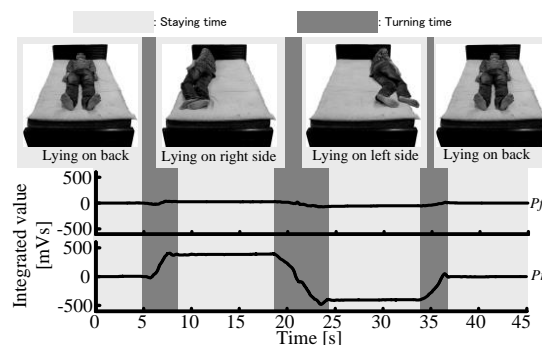


図6 左右方向への寝返りの結果

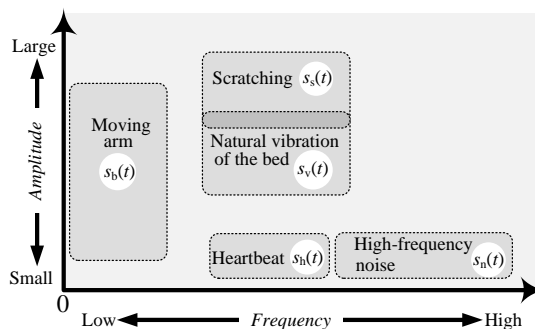


図7 搔破時における各振動の大きさおよび周波数の比較

また、手を動かす動作に伴いベッドの固有振動も発生し出力信号に重複する。つまり、搔破における一連の動作には、脈波、ベッドの固有振動数、手を動かす際の運動および搔破による振動が含まれている。そこで、図7に示すように、それぞれの信号の振幅および周期の違いにより、(3)の搔破状態のみを抽出し、その時間 T_s を求め、TST を求める。搔破のリファレンスとして、ビデオカメラを設置し、映像から目検で判断した結果と、提案する手法により求めた TST との Root mean square error (RMSE) を比較検証した。

② 実験結果

図8にそれぞれ、頬を搔破している際の、

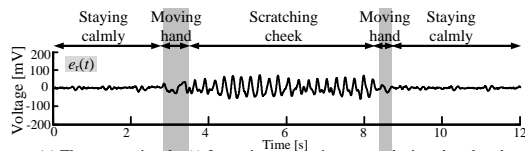


図8 搔破時の出力結果

表1 RMSEの結果

Attachment place of the sensor		RMSE [%]
Head of the bed	Left side	1.51
	Right side	0.92
Foot of the bed	Left side	6.58
	Right side	3.97

センシング・デバイスの出力結果を示す。図8の波形では、搔破に伴う周期的な信号を確認することができる。また、安静時には、脈波信号も確認できるが、搔破の振動と比較して、小さい波形であることから、搔破の振動と区別できる。

また、表1に、4つの圧電セラミックの出力信号それぞれにおいて、ビデオカメラにより判断したTSTとのRMSEを示す。表1に示すように、最も誤差が小さい頭の右側に設置したセンシング・デバイスにおいて、従来のビデオカメラの映像を目標検で判断した場合と比較して、0.92%程度の誤差でTSTを推定することが可能となった。

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2件)

① Yosuke Kurihara, Takashi Kaburagi, Kajiro Watanabe, Development of a Non-Contact Sensing Method for Scratching Activity Measurement, IEEE Sensors Journal, vol.13, no.9, pp.3325-3330 (2013), 査読有
DOI: 10.1109/JSEN.2013.2264283

② Yosuke Kurihara, Kajiro Watanabe, Development of Unconstrained Heartbeat and Respiration Measurement System with Pneumatic Flow, IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, vol.6, no.6, pp.1450-1459 (2012), 査読有
DOI: 10.1109/TBCAS.2012.2189007

[学会発表] (計5件)

① T.Sumii, S.Nukaya, T.Kaburagi, H.Tanaka, K.Watanabe, Y.Kurihara, Development of Scratching Monitoring System Based On Mathematical Model of Unconstrained Bed Sensing Method, World Academy of Science, Engineering and Technology 84 2013, pp.1106-1112, Dec.17 (2013), Melbourne, Australia

② Y.Matsunaga, H.Negoro, Y.Kurihara, K.Watanabe, Evaluation and Practical Use Nature of the Pressure Pulse Wave Meter Using a Directional Microphone, 3rd World Conference on Information Technology (WCIT-2012 Nov.), vol. 3, pp.465-470, Nov.15 (2013), Barcelona, Spain

③ T.Shino, Y.Kurihara, S.Nukaya, K.Watanabe and H.Tanaka, Signal Processing Method for Extracting Scratching Time, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2012 Vol II, pp.1141-1146, Mar.16 (2012), Hong Kong

④ T.Shino, Y.Kurihara, S.Nukaya, K.Watanabe and H.Tanaka, Unconstrained Measurement System for Scratching by Limb and Estimation of Scratching Area, International Conference on Intelligent Computational Systems (ICICS'2012), pp.71-75, Jan.8 (2012), Dubai

⑤ T.Shino, Y.Kurihara, S.Nukaya, K.Watanabe and H.Tanaka, Unconstrained Bed Monitoring System for Scratching Motion, The Third International Symposium on Sensor Networks and Applications, pp.135-140, Nov.17 (2011), Hawaii, USA

[図書] (計2件)

① 栗原 陽介 他、パーソナルヘルスケアユビキタス、ウェアラブル医療実現に向けたエレクトロニクス研究最前線、株式会社 エヌ・ディー・エス、2013、pp.15-23

② Yosuke Kurihara, et al. edited by Fei Hu, Tele Healthcare Computing and Engineering: Principles and Design, SCIENCE PUBLISHERS, 2013, pp.325-340

6. 研究組織

(1)研究代表者

栗原 陽介 (KURIHARA, Yosuke)
青山学院大学・理工学部・准教授
研究者番号: 50552600