

静電誘導電流検出による寝床上の体動モニタリング技術

栗田 耕一^{*1}

A Monitoring Method for the Body Motion in Bed based on Electrostatic Induction Technique

Koichi KURITA^{*1}

^{*1} Kinki Univ. Dept. of Electronic Engineering and Computer Science
Takaya-Umenobe 1, Higashi-Hiroshima-shi, Hiroshima, 739-2116 Japan

In this study, we develop an effective noncontact technique for detecting rolling over in bed. We propose a new method for detecting rolling motion by measuring the current generated due to a change in the capacitance between a given electrode and the human body. The technique involves the detection of electrostatic induction current of the order of approximately sub-picoamperes flowing through the electrode that is placed at a distance of 1 m from a subject. A theoretical model is proposed for the electrostatic induction current generated due to a change in the electric potential of the human body. This model can be used to effectively explain the behavior of the electrostatic induction current flowing through the measurement electrode. We apply the noncontact technique to detect the timing of rolling over in bed. Thus, we could quantitatively estimate the timing of rolling over in bed under noncontact and nonattached conditions. Our technique enables easy in-situ detection of the timing of rolling over in bed.

Key Words : Rolling Over, Motion in Bed, Electrostatic Induction, Noncontact Detection

1. 結 言

寝返り動作の研究においては、寝返り動作を構成する要素が明確ではないため、その動作分析は単純ではない。寝返り動作のパターン分類⁽¹⁾⁻⁽³⁾や計測に関してはいくつかの試みがなされている。これらの研究では、体幹回旋運動⁽⁴⁾⁽⁵⁾が重要であることに着目し、パターン分類がなされている。パターン分類には従来からビデオカメラ画像を用いる方法が使用されている。この手法は、ビデオカメラにより簡便な計測ができる反面、取得した画像解析が煩雑で時間を要するという課題がある。一方、モーションキャプチャ、床圧力計測、磁気式3次元座標計測システム等⁽⁶⁾を用いて寝返り動作の検出を試みる方法も提案されている。しかし、これらの手法は一般に計測のために使用する機器が高価であり、装置が大掛かりとなる等の課題がある。一方、高精度3軸加速度センサを内蔵した腕時計型の装置を装着することにより、睡眠中の体動量計測や脈波間隔（心電計RR間隔相当）等を手軽に計測する手法も提案されており、自宅で容易な計測が可能となっている。また、マイクロ波センサを用いて非接触で睡眠中の呼吸による肩の動きや寝返り動作を計測する手法も提案されている。

本研究では、人体に直接電極接触させることなく寝返り動作に伴い変動する人体電位の変化を検出するため静電誘導現象に着目した。この現象は、人体近傍に設置した電極に人体電位の変動に伴い過渡的な静電誘導電流が誘起されるものである。筆者らは人体電位の変動に伴い誘起される静電誘導電流を検出するワイヤレスポータブルセンサを開発した。このセンサを用いることにより、寝返り動作に伴う人体電位の変化を電極に誘起される誘導電流を検出することにより、非接触で寝返り動作の検出が可能となった。また、誘導電流が発生する理論モデルを構築し、寝返り動作との対応関係を明らかにした。その結果、静電誘導電流波形には、寝返り動作によるタ

^{*1} 正員, 近畿大学 工学部 (〒739-2116 広島県東広島市高屋うめの辺 1)
E-mail: kurita@hiro.kindai.ac.jp

イメージで複数のピークが検出されることが分かった。

2. 検出原理

人体は、歩行運動等を行うことにより、電位が変動することが知られている。これは、足と床材との摩擦により誘起された電荷が人体電位を変動させるためである。つまり、人体が周囲の物質と摩擦を生じれば、歩行運動に限らず人体電位が変動すると考えることができる。従って、布団の中で睡眠中の人体が寝返り等の動作を行えば、布団や枕、あるいはパジャマ等との摩擦が生じ人体電位は変動すると予想される。従来の静電気放電 (ESD) の分野での研究では、人体電位の変動を直接人体に電極を装着して計測していた。本研究では以下に示す静電誘導現象を利用して、被験者に対して非接触、非装着で計測を試みた。

近傍に設置した電極に静電誘導電流が誘起される原理を睡眠中の被験者を例にして以下に示す。図 1 に示すように、布団の上で睡眠中の人体を想定し、人体とアースに繋がる周囲の物体との間の静電容量 C_0 が形成されている。また、静電誘導電流を検出するセンサ中に内蔵した電極と人体の静電容量 C が形成される。ここでは、人体を導体として取り扱っている。従って、人体の電位 U_H は、睡眠中の寝返り動作等の摩擦により人体に誘起される電荷 Q_H を用いて以下の式で表すことができる。

$$U_H = \frac{Q_H}{C_0} \quad (1)$$

このような状況下で、被験者の近傍に設置した電極と人体との間で形成される静電容量を C とする。電極の電位を V とすると、睡眠中の寝返り動作等による人体電位の変動に伴う静電誘導現象により電極に誘起される電荷 Q は、以下の式で表すことができる。

$$Q = C(V - U_H) \quad (2)$$

従って、人体近傍に設置した電極に流れる誘導電流 I は電極に誘起される電荷 Q の時間微分として以下の式によって表される。

$$I = \frac{dQ}{dt} = -C \frac{dU_H}{dt} = -\frac{C}{C_0} \frac{dQ_H}{dt} \quad (3)$$

従って、睡眠中の寝返り動作等により生じた電荷 Q_H の時間微分に比例した大きさの静電誘導電流が電極に誘起されることになる。

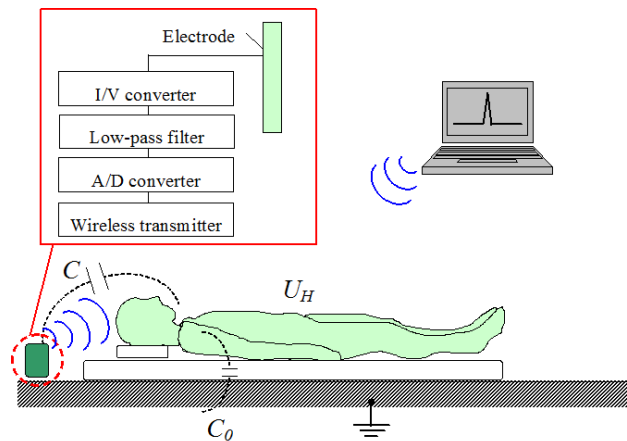


Fig. 1 Schematic of interaction between human body and wireless portable sensor

3. 実験方法

被験者の寝返り動作に伴う人体の電位変動を検出するため、ワイヤレスポータブルセンサを製作した。このセンサに内蔵された静電誘導電流検出用の電極には、被験者の歩行動作による人体電位の変化に起因して pA 程度の微弱な静電誘導電流が誘起される。本研究で使用した電極サイズは 2cm 角の正方形である。この電極に誘起される静電誘導電流 I は図 2 に示すような OP アンプを用いた I/V 変換回路により電流を電圧に変換し、A/D コンバータを経てサンプリング周波数 20Hz でデータを取得した。 I/V 変換の変換比率は約 3V/pA である。電極に誘起される静電誘導電流はピコアンペア程度と微弱であるため、商用電力による誘導ノイズの影響を受ける。そこで、 I/V 変換回路内に 60Hz とその高次周波数のノッチフィルタを挿入した。さらに、カットオフ周波数 20Hz のローパスフィルターを用い、商用周波数に起因するノイズをカットした。センサにより検出した静電誘導電流信号は、ZigBee を用いて短距離無線通信により PC にデータ転送した。製作したワイヤレスポータブルセンサの外観を図 3 に示す。被験者には図 1 に示すように、このセンサを被験者の枕元（被験者の頭から 50cm の位置）に配置し、就寝中の寝返り動作の計測を行なった。被験者として被験者 A（ 54 歳の男性）、被験者 B（ 49 歳女性）と被験者 C（ 18 歳女性）で実施した。被験者 A, B, C には、それぞれ真上を向いて就寝中の意識がある状態で寝返り動作を依頼した。さらに、被験者 C について就寝中 3 時間の寝返り動作を検出した。

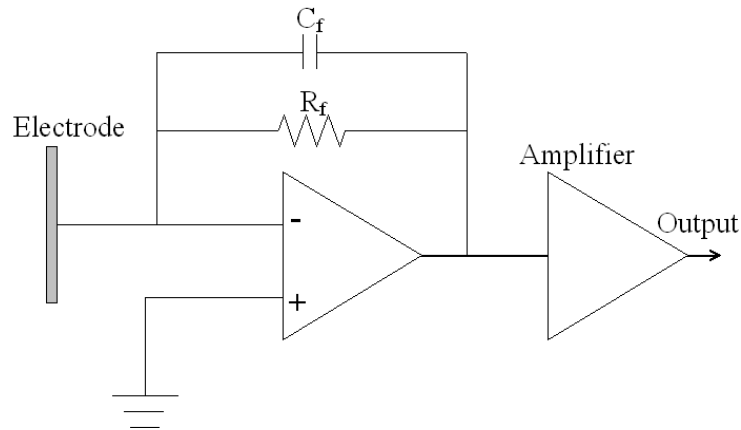


Fig. 2 Schematic circuit diagram of the I-V converter

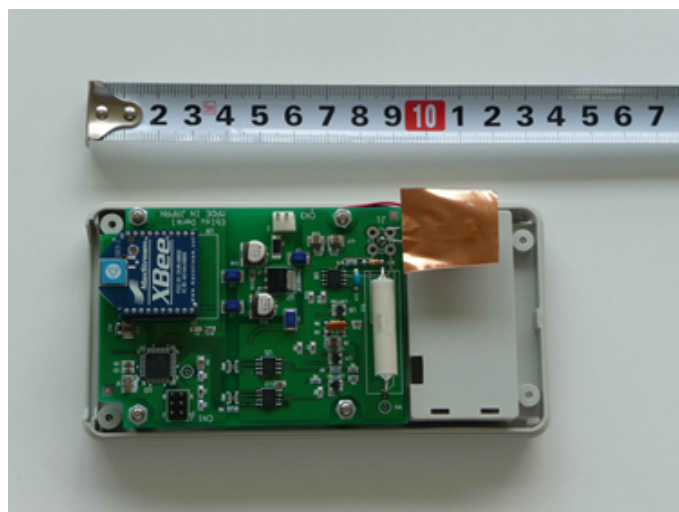


Fig. 3 Photograph of prototype portable wireless sensor

4. 実験結果と考察

上述した実験方法により得られた典型的な寝返り動作による静電誘導電流波形を図4に示す。この信号は、被験者Aにより意識のある状態で計測されたものであり、真上を見た状態で右に寝返り、約6秒後にこの状態から真上に向き直った寝返り動作により得られた波形である。寝返り動作は、大きく二つのパターンに大別でき、パターン1は下肢から順番に骨盤、胸郭、頭部の順で回旋もの、パターン2は頭部から順番に胸郭、骨盤、下肢の順で回旋するもの分類されると考えられている。但し、この動作の開始から終了までに①両側もしくは片側を膝立たせる動作、②頭頸部を屈曲し頭を持ち上げる動作、③寝返る方向に視点を向ける動作、④寝返る方向と反対側肩甲帯を外転させ、寝返る方向へ上肢を伸ばす動作、⑤寝返る側の肩関節・股関節の内旋させる動作、等の動作を組み込む場合があり複雑である。図4に示した信号は寝返り動作の観察から、最初の真上を見た状態で右に寝返る動作に関しては、パターン2に属し①の片足がやや膝立ちした動作であった。さらに、約6秒後にこの状態から真上に向き直った寝返り動作もパターン2に属し①と②が共存した動作であった。

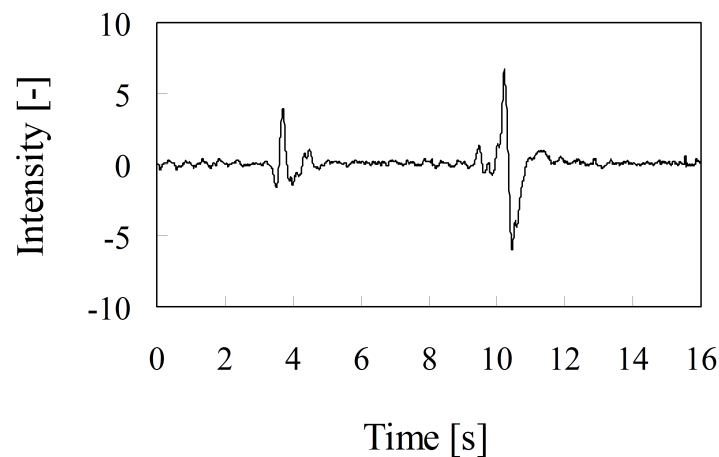


Fig. 4 Typical waveform of electrostatic induction current generated due to rolling over by using portable contact sensor

5. 結 語

本研究では、人体に直接電極接触させることなく寝返り動作に伴い変動する人体電位の変化を検出するため静電誘導現象に着目した。この現象は、人体近傍に設置した電極に人体電位の変動に伴い過渡的な静電誘導電流が誘起されるものである。筆者らは人体電位の変動に伴い誘起される静電誘導電流を検出するワイヤレスポータブルセンサを開発した。このセンサを用い、就寝中の被験者の寝返り動作を非接触、非装着で検出を試みた。その結果、寝返り動作に伴う人体電位の変化を電極に誘起される誘導電流を検出することにより、非接触で寝返り動作の検出が可能であることを明らかにした。また、誘導電流が発生するモデルを構築し、寝返り動作の際に生じる摩擦電荷による時間変化が静電誘導電流と比例関係にあることを明らかにした。

文 献

- (1) Richter, R., "Description of adult rolling movement and hypothesis of developmental sequences", *Phys. Ther.*, Vol. 69, No. 1 (1989), pp. 63-71.
- (2) 角博行, 米村一幸, 多々納善広, 上田正樹, 渡部訓久, "健常成人の寝返り動作における検討", *理学療法学*, Vol. 22, No. 2 (1995), pp. 455.

- (3) Sekiya, N., Takahashi, M., “Kinematic and kinetic analysis of rolling motion in normal adults”, *J. Jpn. Phys. Ther. Assoc.*, Vol. 7, No. 1 (2004), pp. 1-6.
- (4) 野崎真奈美, 野呂影勇, “高齢者における寝返り動作の分類と身体特性による推奨パターンの予測”, *人間科学研究*, Vol. 1, (2005), pp. 123-124.
- (5) 新井清代, 芳野純, 宮澤満, 丸山仁司, “寝返り動作の体幹パターンに関連する因子の検討—下肢での床押し力, 身体特性, 体幹機能, バランス機能に着目して—”, *理学療法科学*, Vol. 26, No. 6 (2011), pp. 769-772.
- (6) 田中幸子, 前島洋, 吉村理, “健常者寝返りにおける 3 次元動作解析—頸髄損傷者が行う寝返りと比較して—”, *日本職業・災害医学会会誌*, *JJOMT* Vol. 52, No. 4 (2004), pp. 224-230.