圧電フィルムによる臥床者の体動検出の基礎実験

非会員 井上 浩 (秋田大)

非会員 今野和彦 (秋田大)

非会員 照井球一朗 (秋田大)

Fundamental Experiments on the Detection of Decubital Movement Using Piezoelectric Film

Hiroshi Inoue, Nonmember (Akita University)
Kazuhiko Imano, Nonmember (Akita University)
Kyu-ichiro Terui, Nonmember (Akita University)

Monitoring system is very important technique for the careful management of the condition of patients. Most of the system measures the quantitative information, such as cardiograph, blood pressure and so on. However, the qualitative monitoring including a decubital body motion also gives an important information. In this study, the living information of patients lying on the bed is measured. The direction of patient's body motion is the subject of analysis, and the method for automated recognition of the direction of body motion is suggested. In the experiments, the body motion was detected by the monitoring system as the electrical signal using the PVDF piezoelectric film sensors. The signal from the sensor was transformed into three levels digital signal having zero, +1 and -1 to discriminate the kind of body motion. As the result of experiments, the suggested method successfully discriminates between the longitudinal and transversal direction of body motion on the ordinary bed.

キーワード：モニタシステム，臥床者，体動検出，圧電フィルム

1. はじめに

近年，医療福祉分野における ME 技術の応用は必要不可欠なものとなってきた^{1,2)}．なかでもモニタシステムは，患者の容態管理や治療のため重要であり，心拍や血圧など定量的な情報を対象に広く利用されている³⁾．また，運動や愁訴といった定量的な情報のモニタについても，臥床者を対象としたマット状容量センサによる沈み込み計測^{4,5)}や，寝床面にサーミスタを配置した温度計測⁶⁾などの研究例が報告されている．これらモニタシステムは，今後，医療従事者不足の問題や在宅での介護が進むにしたがって，さらに必要性が高まるものと考えられる^{7,8)}．

これまでのモニタは，臥床姿勢の画像化^{4,5,9)}や身体の動き（体動）の計数⁶⁾を対象としているのに対して，本研究では臥床者の寝床面上での起床動作，臥床動作，寝返り（姿勢変化），愁訴などの単純な体動の検出によって

臥床者の生活反応の検出の可能性について検討する．また，臥床者のプライバシー保護の立場から画像や音声信号を対象とせず，コスト面から簡易で設置が簡単なモニタシステムの構築の可能性を基礎的な実験により検討する．臥床者の体動センサとしては，臥床者の寝床面に加わる力の変化に着目し，フィルム状の高分子圧電センサを用いて体動を検出する方法を採用した．これにより無拘束で計測が可能となり，運搬が容易でしかも電源が必要ないなどの特徴を持ったシステムの実現が可能と考えられる．以下では，本システムによって臥床者の体動検出が可能で，出力信号の符号化処理により，単純な体動の種類判別の可能性¹⁰⁾について述べる．

2. 計測に用いるセンサの特徴

体動検出用に用いたセンサは高分子圧電材料である PVDF フィルム（AMP 社製）である．PVDF フィルムは，薄

く軽量であり耐衝撃性、柔軟性及び化学的安定性が高い¹¹⁾ため、フィルム状のセンサを構成するのに適している。センサは厚さ 28 μm の PVDF フィルムを 2 枚の厚さ 75 μm のポリエステルフィルムでラミネート処理して一体化している。厚さ T 、面積 A 、圧電ひずみ定数 g の PVDF フィルムに力 $F (=m\alpha, m$:質量, α :加速度) を加えた場合、測定器の入力抵抗と入力容量を R_i, C_i 、フィルムの容量を C_f とすれば、圧電フィルムの出力電圧 V_o は時間 t の関数として次式のように表される。

$$V_o = g \frac{T}{A} F e^{-\frac{t}{R_i(C_f+C_i)}} \dots\dots (1)$$
$$= g \frac{Tm}{A} \alpha e^{-\frac{t}{R_i(C_f+C_i)}}$$

すなわち、出力電圧は加えられる力に比例し、時定数 $\tau = R_i(C_f+C_i)$ で減衰することから、PVDF フィルムは本研究のような動的な量の検出に適しているといえる。ただし、本測定のような方法で得られる電圧信号は目的とする体動の情報の他に寝床面の特性を含んでいるため信号波形のそのものの解析から体動の種類まで推定することは簡単でないと考えられ、後述のように複数の PVDF センサを用いてセンサ間の信号の関係から単純な体動の種類の判別を行う。

3. PVDF フィルムによる体動検出の基礎実験

＜3・1＞ 実験方法 臥床者の体動にともなう PVDF フィルムの出力電圧を測定するため、最初に市販のシートタイプの体圧分布測定装置(Newscan システム, ニッタ製)を用いて臥床者の体動にともなう圧力分布変化を測定し、センサ配置の検討を行った。なお、用いた Newscan システムはシート上に数千個のセンサを配置し、二次元的に走査して画像表示するもので規模が大きく高価になるため在宅用としては不向きである。この結果から図 1 のように上半身において左右の肩・肩甲骨・広背筋の 6 点の体圧が大きく、これら 6 点に PVDF フィルムを配置して体動の特徴が得られるかを検討した。体動モデルとして、

図1 センサシート上の PVDF フィルムの配置
Fig.1 Arrangement of PVDF film on the sensor seat.

日常生活上の動作をモデル化した以下の 4 種類を行わせた。
体動①：仰臥位から上半身を起こし座位になる
体動②：座位から仰臥位になる
体動③：仰臥位から側転し側臥位になる
体動④：側臥位から仰臥位になる
体動モデル①, ②は起床・臥床をモデルとした縦方向体動, ③, ④は寝返り等をモデルとした横方向体動である。
実験は図 2 のように体圧測定装置の感圧シートを 6×8×190 (cm) のマットレス上に敷き、その表面に PVDF センサを貼り付け、体圧分布測定装置の出力と PVDF センサの出力電圧を同時に測定した。体圧分布測定装置は、圧力を分解能 8bit, サンプリング周波数 100Hz で測定した。一方、PVDF フィルムセンサの出力電圧はデジタルオシロスコープ (DL-1200, 横河電気) により、分解能 8bit, サンプリング周波数 1kHz で測定した。なお、被験者は健康な成年男子 1 名である。

＜3・2＞ 体動検出実験 測定結果の例として、体動①による肩甲骨下での 体圧・その単位時間あたり変化・PVDF センサ出力電圧を図 3 に示す。身体を起こす過程で、加圧と除圧を行っていることがわかる。PVDF センサからの出力電圧波形は、理論的には式 (1) に示すように時定数 $\tau = R_i(C_f+C_i)$ により減衰するが、 $\tau = 2.5\text{ms}$ と体動の継続時間に比べて小さいため、電圧波形は力 F の微分形に近くなる。第 3 図 (b), (c) から、PVDF センサの出力電圧の前半部分 (図中←) が体動信号に対応していると考えられる。また、身体が寝床面から離れる時に信号が振動的になることから、後半部分 (図中→) の信号成分は寝床面とフィルムの振動が同時に検出されていると考えられる。
第 3 図 (c) の左右二つの波形間には高い相似性が観測さ

図2 実験装置の構成
Fig.2 Experimental set-up for detecting body movement.

図3 体動モデル①による測定結果 (a)肩甲骨下の圧力, (b)その単位時間あたりの変化, (c)肩甲骨下の PVDF フィルム出力

Fig.3 Experimental results for body motion① (a) Pressure under the scapular, (b)Its changes in unit time, (c) Output voltage from PVDF film under the scapular

れる。これは縦方向体動においては左右の測定点間で動作の相似性が高いためである。一方、横方向体動の際には、例えば左側が加圧されれば右側は除圧されるというように、動作の左右対称性は低い。したがって、左右対称配置の測定点間における電圧波形の相似性の高低を評価することによって、単純な体動判定が可能となると考えられる。

4. 複数センサによる体動判定方法の提案

＜4.1＞ 信号の符号化による体動の種類判別 前節で述べたように、複数のセンサの出力が得られれば、単純な体動の種類判別の可能性がある。ここでは肩甲骨部のセンサからの出力電圧を例にとって符号化による体動判定について述べる。センサから得られる電圧波形は個人差

や測定回によるばらつきがあるため波形そのものの解析から体動の判別をすることは簡単でない。前節の実験結果から、縦方向体動では左右の波形の相似性が高く、横方向では低い。したがって、符号化された信号の左右の相似性、すなわち、符号の一致の程度により縦と横の体動判別が可能であると考えられる。そこで、信号波形を加圧、除圧、体動なしの3種類に分類するため波形を-1, 0, +1の符号に変換する。一体動中において複数のセンサ信号の符号が一致する割合をRSBM (=Ratio of Symmetry in Body Motion)として式(3)のように定義する。

$$RSBM [\%] = \frac{\text{同符号データ数}}{\text{体動認識データ数}} \times 100 \quad \dots (3)$$

(1) Longitudinal direction (Model ①)

(2) Transverse direction (Model ③)

図4 解析例 (a)PVDF フィルムの出力電圧, (b)その符号化信号

Fig.4 Sample of analysis (a)Output voltage of PVDF film under the scapular, (b)Its coded signal

体動にともなう出力電圧波形とその符号化の例を図4に示す。図の(1), (2)の(a)はそれぞれは体動モデル①の縦方向体動および体動モデル③の横方向体動の電圧波形である。また、図の(1), (2)の(b)は(a)が符号化された波形である。RSBMはサンプリング周波数1kHzで記録されており、体動の開始から終了までのデータ数と、そのうちの同符号のデータ数の両者の比からも求める。さらに、体動データを任意のしきい値 V_{th} により波形をクリッピングし、出力電圧 $V_{out} \geq V_{th}$ のとき+1, $V_{out} \leq -V_{th}$ のとき-1, $-V_{th} < V_{out} < +V_{th}$ ならば0として雑音の影響を除いている。

図4(1)の縦方向体動時は左右センサからの電圧波形間の相似性が高いことがわかる。このため符号データの一致性が高く、式(3)で定義したRSBM値は大きな値となる。複数の被験者に対して同様の基礎実験を行った結果、方向性を持つ体動モデルとRSBMの関係は図5のようになった。これより V_{th} を最大電圧の10%程度にとれば、RSBM=50%を基準に縦方向体動ではそれ以上、横方向体動では50%未満、と判別できることが明らかとなった。

＜4.2＞ モデル実験による検討 被験者はセンサシートを配置した寝床面上に横臥し、上で定めた体動モデル①～④を行う。測定されたデータは演算によりRSBM=50%を基準にして体動方向の判定を行った。

実験は、寝床面条件を次の3種類に変えて行った。

- (a)厚さ6cm, 寸法88cm×190cmのマットレス
- (b)厚さ12cm, 寸法90cm×200cmのマットレス

(a) Body motion of longitudinal direction

(b) Body motion of transverse direction

図5 RSBM値のしきい値 V_{th} への依存性と体動方向による差異

Fig.5 Dependence of RSBM on the threshold V_{th} , and its difference by direction of body movement

(c)厚さ1.4cm, 寸法78cm×98cmの木製板
また、被験者は普通体型・肥満体型・やせ体型の成年男子3名とした^{12,13)}。

符号データよりRSBMを算出して体動方向を判定し、その正確さを次式により定量化して評価した。

$$\text{Accuracy} [\%] = \frac{\text{判定と実際の一致件数}}{\text{体動検出件数}} \times 100 \dots (4)$$

各寝床面条件における体動方向判定の評価を図6に示す。同図から、RSBMが V_{th} に依存し、判定の正確さが影響を受けることがわかる。いずれの寝床面条件においても $V_{th}=0.35V$ 前後の範囲で安定して判定が可能であるが、Accuracyは平均で

- (a) 6cm厚マットレス : 80% ($V_{th}=0.25 \sim 0.4V$)
- (b) 12cm厚マットレス : 83% ($V_{th}=0.35 \sim 0.7V$)
- (c) 1.4cm厚板 : 68% ($V_{th}=0.15 \sim 0.35V$)

であった。これより本方法によれば、通常の寝具であるマットレス上において、単純な体動の種類の判定が可能であるといえる。また、図7に示すようにAccuracyの

図6 体動判定の正確さ (a) マットレス(厚さ=6cm), (b) マットレス(厚さ=12cm), (c) 木の板(厚さ=1.4cm)

Fig.6 Accuracy of judgement. Mattress(thickness=6cm), (b) Mattress (thickness=12cm), (c) Board (thickness=1.4cm)

図7 最大判定検出時の V_{th} の寝床面の依存性
Fig.7 Dependence of V_{th} jading with largest accuracy on the condition of bed

最大値を与える雑音しきい値 V_{th} は寝床面の厚さに依存することがわかる。したがって、面の条件によってこれを補正し、適切に設定する必要がある。

5. まとめ

高分子圧電材料である PVDF フィルムを用いたセンサによって臥床者の体動を計測し、臥床者の寝床面での縦方向および横方向体動を検出するための方法を提案し、モデル実験によりこれを検討した。体動検出用の PVDF センサからの出力信号を符号化し、センサ相互の符号の一致率から単純なモデル体動の判別を試みたところ、一般的な寝具上で縦および横方向体動の判定が可能であった。今後、センサの体温による温度変化や経時変化などによる特性変化の検討や、寝床面の条件による補正を行うとともに、複数の測定点からの計測データを複合して、より詳細な情報抽出をめざしたい。また、在宅医療として必要な通信設備等の周辺環境の整備を行う必要があると考えられる。

謝 辞

本研究の一部は、中小企業庁地域産学官共同研究事業の一端として、秋田県工業技術センターと共同研究を行ったものである。

(平成 10 年 11 月 30 日受付, 平成 11 年 3 月 15 日再受付)

文 献

- 1) 廣瀬稔・渡辺敏 : 「看護婦 (士) の ME 機器取り扱いの問題点の傾向」, BME, 10-7, 27~35, (1996-7)
- 2) 辻隆之 : 「高齢障害者生活支援と ME」, BME, 10-5, 1~2, (1996-5)
- 3) 稲田紘・堀尾裕幸 : 「在宅医療における ME 技術の応用の現状と課題」, BME, 7-10, 1~7, (1993-10)
- 4) 大久保友寛, 米沢義道, 伊東一典, 橋本 昌巳 : 容「量型センサによる患者監視システム」, 信学技報,

MBE94-60, 33~38, (1994-3)

- 5) 大久保友寛, 米沢義道 : 「容量型センサによる患者動態」の計測システム, 医用電子と生体工学, 32-2, 50~53, (1994-2)
- 6) 呂林海, 田村俊世, 戸川達男 : 「寝床面温度測定による体動の検出」, 信学技報, MBE97-19, 17/22, (1997)
- 7) 稲田紘, 若松秀俊, 山本博美, 清水孝一, 鈴木真, 土肥健純 : 「高齢者に優しい技術」, 信学誌, 80-8, 812~821, (1997-8)
- 8) 石原謙 : 「在宅医療モニターのニーズとシーズ」, 医用電子と生体工学, 35, 秋期特別号, 39, (1997-9)
- 9) 片岡昭栄, 柴田幸男, 高橋清, 山崎弘郎 : 「センサハンドブック」, 培風館, 1067~1079, (1986)
- 10) 照井球一朗, 今野和彦, 井上浩 : 「圧電素子による横臥位体動検出の一検討」, 信学技報, EMD-97-7, 1~6, (1997-5)
- 11) 実吉純一, 菊池喜充, 能本乙彦 監修 : 「超音波技術便覧」, 日刊工業新聞社, 317~347, (1960)
- 12) 池田義雄・井上修二 編 : 「新版肥満の臨床医学-病態・診断・治療-」, 朝倉書店, 129~147, (1993)
- 13) 内山源 : 「健康のため生活管理」, 家政教育社, 209~273, (1982)

井上浩

昭44東北大・工・電子卒。昭50同大学院博士課程単位習得退学。同年東北大助手。昭55秋田大講師。現在同大工学資源学部電気電子工学科教授。接点雑音やデバイス雑音などの環境電磁工学, 生体と超音波の相互作用等の研究に従事。工博。電子情報通信学会, 日本音響学会, 計測自動制御学会, 日本ME学会, 日本超音波医学会, IEEE, ASA 各会員。

今野和彦

昭54秋田大・鉱山・電子卒。同年同大・鉱山・電子助手。現在同大工学資源学部電気電子工学科教授。工博。主として超音波計測, 超音波デバイスの研究に従事。電子情報通信学会, 日本音響学会, 計測自動制御学会, 日本ME学会, IEEE各会員。

照井球一朗

平8秋田大・鉱山・電気電子卒。平10同大大学院博士前期課程修了。在学中超音波超音波変換器の応用の研究に従事。現在, アルプス電気 (株) 勤務。