

ピエゾセンサを用いたベッドモニタリングシステムのセンサ配置に関する研究

Sensor Layout of Bed Monitoring System Using Piezoelectric Sensor

○ 齋藤俊哉（秋田県立大） 間所洋和（秋田県立大） 中正和久（秋田県立大）

下井信浩（秋田県立大）

Shunya SAITO, Hirokazu MADOKORO, Kazuhisa NAKASHO and Nobuhiro SHIMOI, Akita Prefectural University

Abstract: In Japan, The progress of aging of society causes a labor shortage in medical and nursing care fields, and accidents such as falling from beds are increasing in hospitals or nursing homes. The existing sensors and bed monitoring systems have several problems such as cost, privacy or physical restraint. Therefore, we have been studying a monitoring system in consideration of cost, convenience and QOL. In this paper, we evaluated a relationship between sensor positions and accuracy of posture determination of our monitoring system. It is confirmed that higher detection rates are obtained by placing the sensors on positions where stronger pressure is applied by a body. Especially, the best sensor layout enables the monitoring system to accurately detect longitudinal and terminal sitting positions, which are important posture for prediction of bed-leaving.

Key Words: Piezoelectric sensor, Bed monitoring

1. 緒言

我が国では医療技術の進歩による高齢化と，職場における人間関係の問題や低賃金などの理由による介護士の離職率の高さから，医療・介護現場における慢性的な人手不足が問題となっている．特に，団塊の世代が75歳以上の後期高齢者となる2025年には，介護に必要な人材が253.0万人見込まれるが，現状のままでは実際に介護分野で働く人の数は215.2万人と見込まれており，37.7万人の介護人材が不足すると予測されている⁽¹⁾．また，夜間は被介護者を見守る人手が減少するため，ケアが手薄になり，最悪の場合には被介護者の生死に関わる事故が発生する恐れがある．実際に，介護者による見守りがいない状況における高齢者の転倒や転落事故は多数報告されており，特にベッド周辺で多数発生している⁽²⁾．このような事故が発生した場合，施設の管理者は管理責任を問われることがある．そのため，近年では被介護者の離床行動を早期に察知する目的で，離床センサを用いた予防策が求められている⁽³⁾⁽⁴⁾．

現在よく利用されている離床センサとして，クリップセンサやマットセンサ，赤外線センサなどが挙げられる．しかし，これらのセンサには被介護者に身体的拘束を伴うことや検知の遅れ，高価であることなどの問題がある．そのため，我々はコストや利便性，被介護者のQOL(Quality of Life)を考慮したベッドモニタリングシステムの構築について研究を行っている．本論文では，モニタリングシステムにおけるセンサ配置に焦点を絞り，被験者5名を対象に実験を行った．

2. システム構成

Fig. 1に本研究で使用したシート型センサの構造を示す．本センサはピエゾフィルムを上下からウレタンシートで挟み込んだだけの簡単な構造となっている．使用したピエゾフィルムは東京センサ製のLDT-028K/Lである．ピエゾ素子を用いることにより，センサ用の電源を必要とせず，ベッド上の振動を計測することが可能である．本システムではシート型センサ5枚をベッドフレームとマットレスの間に設置している．ベッド上で被験者が動くことによって得られる出力電圧を有線接続によりセンサボードに集約し，無線接続によりモニタリング用PCへ送信する．Fig. 2にシ

ステムの構成図を，Fig. 3にセンサボードを示す．

本システムの特徴は，センサがマットレスの下に設置されていることにある．これにより，センサは被介護者の目に留まることがなく，拘束も伴わないため，被介護者のQOLを考慮したモニタリングが実現できる．さらに，安価で無電源のセンサを用いることで，システム構築の低コスト化を図っている．

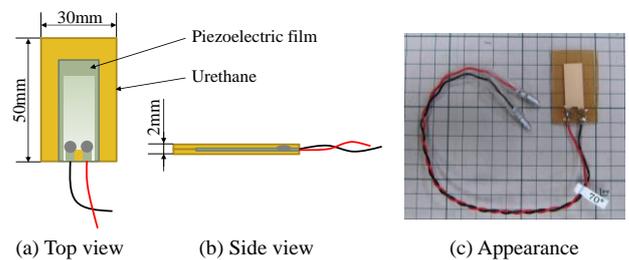


Fig. 1 Piezoelectric sensor

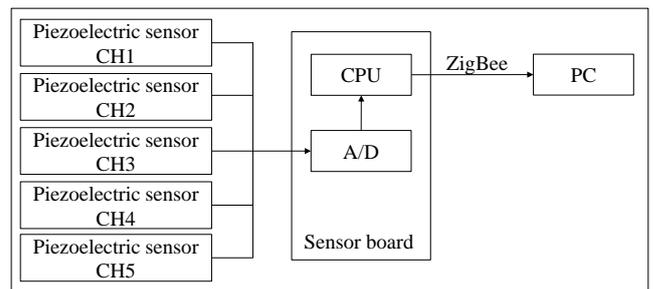


Fig. 2 Block diagram of monitoring system

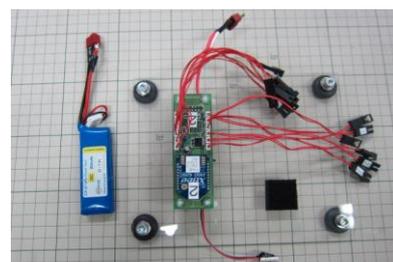


Fig. 3 Sensor boards

3. 姿勢判定方法

3.1 判定対象姿勢

離床までの行動は個人により異なるが，本研究ではシステムを定量的に評価するために，離床行動を Fig. 4 に示す 7 姿勢に分類した．以下に各姿勢の特徴を示す．

- (a) 仰臥位：被験者が仰向けになって就寝している状態．
- (b) 右側臥位：被験者が右を向いて寝ている状態．
- (c) 左側臥位：被験者が左を向いて寝ている状態．
- (d) 長座位：被験者が起床し，ベッドの長手方向に着座している状態．
- (e) 短座位：被験者が離床に向けた行動を試みている状態．
- (f) 端座位：被験者がベッドの端に着座し，離床を試みている状態．
- (g) 離床：被験者が完全に離床している状態．

このうち，離床予測を行う上で重要となる姿勢は長座位と端座位である．長座位は離床行動を開始する姿勢であり，この姿勢を確実に判定することが可能であれば，早期の離床予測が実現できる．しかし，長座位から取りうる行動を考えた場合，就寝状態に再び戻る可能性もある．長座位から短座位への姿勢の変更は身体を回転させる動作を伴うため，利用者が離床に向けて動作を開始していると考えられる．よって，離床行動には長座位から端座位まで移行する状態での判定が重要である．さらに，利用者が離床に向けて行動し，端座位へと移行した場合には離床寸前の状態になるため，迅速かつ確実な判定が必要となる．

3.2 ノイズ除去

計測されたセンサ出力にはノイズが含まれているため，そのまま姿勢判定に使用した場合，判定性能の低下を招いてしまう．一般的に，ノイズを取り除く方法として閾値による処理が使用されている．しかし，閾値は主観的かつ経験的に設定されるため，対象に応じてキャリブレーションや再設定をする必要がある．また，固定された閾値ではセンサの出力特性のばらつきを十分に吸収できない．さらに，本研究では測定対象が人間であるため，個人差による影響を強く受けてしまう．

そこで，本研究では利用者の体重などの事前設定を必要としない判定方法の構築を目指し，利用者の違いによる個人差に対応した機械学習法を用いてノイズ除去を行った．機械学習には様々な方法が提案されているが，本研究ではデータの類似性を自己学習する自己組織化マップ (Self-Organizing Maps : SOM) を用いた⁽⁵⁾．Fig. 5 に SOM のネットワーク構造を示す．SOM は近傍と競合の概念に基づき，教師なし学習による自己写像特性により，類似データの集合を形成する．この特性により，センサ出力のオフセット値に最も結びつくデータをノイズとして除去することができる．

3.3 姿勢判定

ノイズを除去したデータに対して，教師あり学習を用いて姿勢判定を行う．本研究では，SOM を教師あり学習に拡張した対向伝搬ネットワーク (Counter Propagation Networks : CPN) を用いた⁽⁶⁾．これは，CPN は前処理で使用する SOM に教師データを入力するためのグロスバーク層を追加するだけの学習アルゴリズムであり，実装が容易なためである．さらに，写像構造を形成する過程で，データ間の関係をカデコリマップにより可視化できるという特徴を有している．Fig. 6 に CPN のネットワーク構造を示す．学習により構築した判定器に対してテストデータを入力こ

とで，テストデータと特徴パターンの類似度，すなわちユークリッド距離が最小となるマッピング層のユニットが発火する．そのユニットに対応付くラベルが CPN の判定結果となる．

以上に示したノイズ除去から姿勢判定までの手法はモニタリング用 PC に実装されており，取得したセンサデータを入力することで，すべて自動で実施することができる．

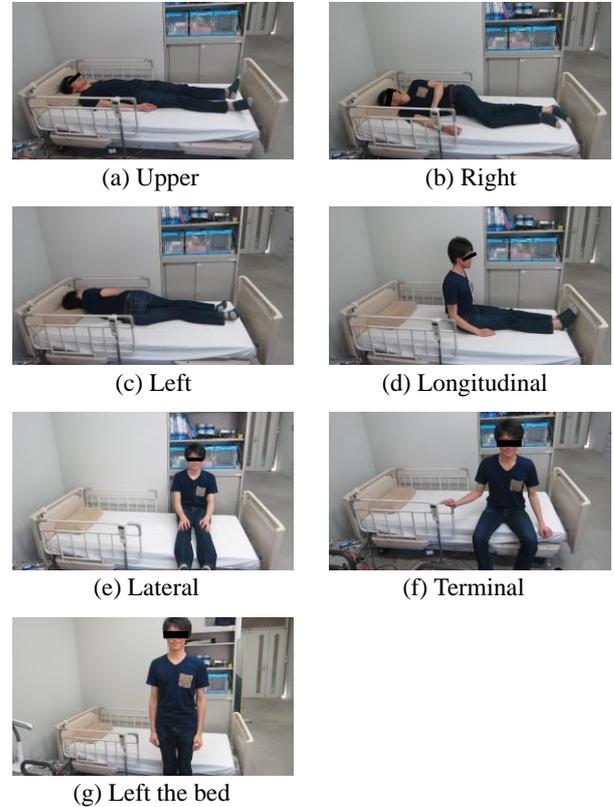


Fig. 4 Bed-leaving behavior pattern

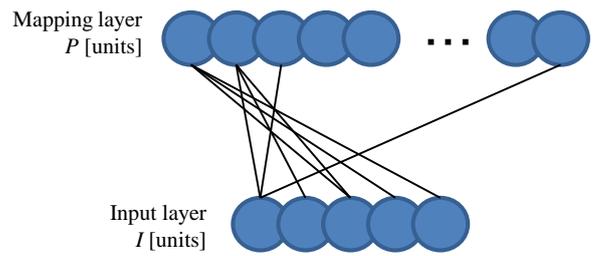


Fig. 5 SOM network structure

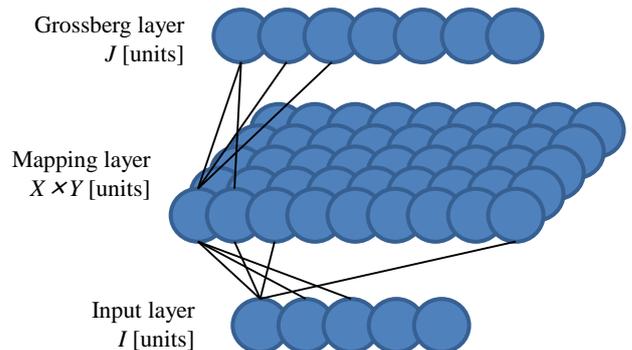


Fig. 6 CPN network structure

4. 評価実験

4.1 実験条件

センサ配置と姿勢判定率の相関を評価するために、被験者 5 名を対象に実験を行った。Table 1 に被験者の属性情報を示す。実験方法として、仰臥位から離床までの各姿勢を 20 秒毎に切り替えて姿勢判定を行っている。仰臥位から離床までの一連の動作 6 回を 1 セットとし、2 セット実施することで計 12 回分のデータを取得した。1 セットのデータのうち、5 回分を学習用、残りの 1 回分をテスト用データとして交差検定を行い、2 セットの平均から姿勢判定率を求めている。このとき、センサのサンプリング周期は 50Hz とした。また、入力層のユニット数は 5 個のセンサの出力を入力するために $I=5$ とし、グロスバグ層のユニット数は 7 姿勢の動作を教師データとして入力するために $J=7$ とした。さらに、マッピング層のユニット数は、SOM の場合は $P=50$ 、CPN の場合は $X=20, Y=20$ としている。

本研究ではセンサ配置を決定するにあたり、仰臥位における体圧分布を参考にした⁽⁷⁾⁽⁸⁾。これは、ベッド上に横たわった際に高い圧力がかかる箇所（肩甲骨部）にセンサを取り付けることで、微小な動きに対しても出力が得られやすいと考えたためである。検証のため、ベッド上に横たわった際に高い圧力がかかる箇所と、その周辺の比較的圧力がかからない箇所のそれぞれにセンサを設置し、姿勢判定率の比較を行った。Fig. 7 に本研究におけるセンサ配置を示す。CH1 と CH2 は肩部、CH3 と CH4 は肩甲骨部、CH5 と CH6 は膝部、CH7 と CH8 は腓腹部、CH9 と CH10 は腰部、CH11 は仙骨部、CH12 は臀部付近に対応している。なお、センサの配置は成人男性の平均身長である 168cm を基準とした。

この 12 箇所のセンサの中から、就寝状態における上体付近の動きを捉えるための CH1,2 または CH3,4 の 2 パターンと、下腿付近の動きを捉えるための CH5,6 または CH7,8 の 2 パターン、腰付近の動きおよび起き上がりを捉えるための CH9, CH10, CH11, CH12 の 4 パターンを組み合わせた計 16 パターンで比較を行った。Fig. 8 に比較に使用したセンサの組み合わせを示す。

4.2 実験結果

Table 2 に 16 パターンの組み合わせそれぞれの検知率を示す。ここで、仰臥位、右側臥位、左側臥位の就寝中 3 姿勢については離床行動中と比較して転倒・転落の危険性は低く、詳細に判定する必要はないと考えられるため、まとめて臥位として判定した。まず、Table 2 から離床予測において重要となる長座位と端座位に着目する。長座位では、腰部のセンサである CH9 または CH10 を使用した際には検知率が 30% 以下であったが、仙骨部のセンサである CH11 または臀部のセンサである CH12 を使用した際には 95% 以上の確率で検知ができていた。さらに、CH11 と CH12 を比較すると、全ての組み合わせにおいて CH11 を使用した場合で高い検知率が得られていた。原因として、CH11,12 は横たわった際に体重がかかる箇所に設置されており、特に CH11 は起き上がり時の圧力変化が大きい箇所であったのに対し、CH9,10 のセンサは背骨の前湾している箇所に設置されていたためと考えられる。これにより CH9,10 は出力がかなり微弱なものとなり、起き上がり時の出力を検知できなかったと推測される。端座位では、腓腹部のセンサである CH7,8 を使用した場合に高い検知率が得られている。CH7,8 は、今回使用したベッドでは昇降口の中央付近の位置となる。このため、端座位の姿勢をとった際に高い圧力がかかり、他の姿勢と明確に区別できたのだと考えられる。

また、全姿勢の平均検知率に着目すると、上部部のセンサは CH3,4 を使用した場合に高い検知率が得られていた。これは、肩甲骨部は仰向けで横たわった際に高い圧力がかかる部位であり、姿勢の変化による圧力の変動が大きいためだと考えられる。腰部付近のセンサでは、仙骨部、臀部のセンサである CH11,12 を使用した場合に高い検知率が得られていた。これは、肩甲骨部は仰向けで横たわった際に高い圧力がかかる部位であり、姿勢の変化による圧力の変動が大きいためだと考えられる。CH11,12 を使用した場合でも高い検知率が得られたのは長座位の場合の考察と同様である。以上の結果から、離床予測を行うために使用するセンサの組み合わせは、CH3,4,7,8,11 が最適であるといえる。

ただし、離床の項目を見ると、ほとんどのセンサの組み合わせにおいて、他の姿勢項目と比較して低い検知率となっている。離床は被験者が完全にベッドから離れて立っている状態であるため、センサの出力電圧はほとんど 0 となる。よって、機械学習によって分類しようとした場合に特徴が少なくなり、分類が困難になったのだと考えられる。

Table 1 Information of subjects

Subject	A	B	C	D	E
Height [cm]	178	160	165	175	169
Weight [kg]	85	52	59	87	51
Age	22	23	21	21	22
Gender	M	M	M	M	M

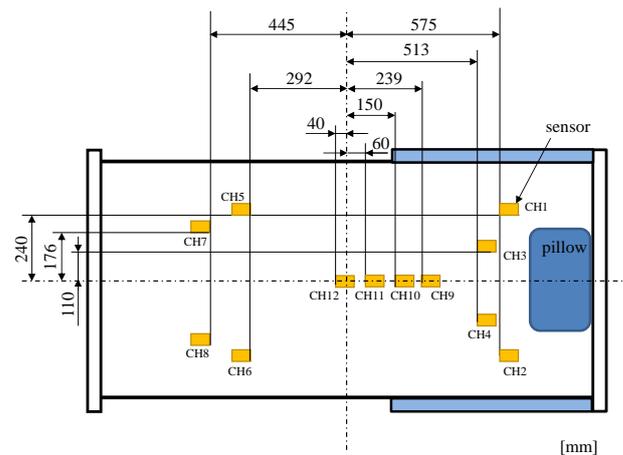


Fig. 7 Sensor layout

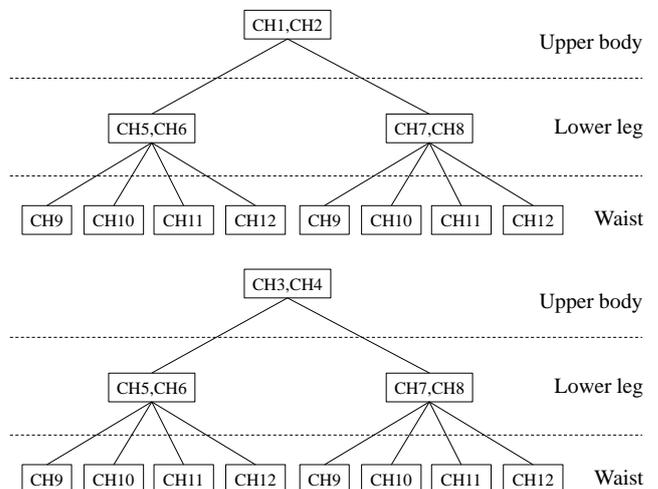


Fig. 8 Combination of sensors

Table 2 Recognition accuracies [%]

CH	Recumbent	Longitudinal	Lateral	Terminal	Left the bed	Ave.
1,2,5,6,9	61.7	30.0	88.3	55.0	16.7	50.3
1,2,5,6,10	67.8	20.0	90.0	60.0	11.7	49.9
1,2,5,6,11	58.9	95.0	98.3	76.7	45.0	74.8
1,2,5,6,12	60.6	98.3	95.0	66.7	46.7	73.4
1,2,7,8,9	46.7	18.3	91.7	88.3	51.7	59.3
1,2,7,8,10	47.2	23.3	90.0	95.0	41.7	59.4
1,2,7,8,11	43.3	96.7	93.3	96.7	71.7	80.3
1,2,7,8,12	41.7	98.3	91.7	96.7	85.0	82.7
3,4,5,6,9	94.4	10.0	96.7	70.0	25.0	59.2
3,4,5,6,10	93.9	13.3	93.3	71.7	8.3	56.1
3,4,5,6,11	93.9	100.0	96.7	80.0	1.7	74.4
3,4,5,6,12	96.7	96.7	98.3	81.7	5.0	75.7
3,4,7,8,9	91.1	20.0	93.3	100.0	63.3	73.6
3,4,7,8,10	85.6	20.0	95.0	98.3	43.3	68.4
3,4,7,8,11	90.6	100.0	91.7	100.0	55.0	87.4
3,4,7,8,12	83.3	100.0	88.3	96.7	53.3	84.3

5. 結言

本論文では、ピエゾセンサを用いたベッドモニタリングシステムのセンサ配置について述べた。被験者5名を対象とした評価実験から、体圧の高い箇所にセンサを設置することで、高い姿勢判定率を得ることができていることが分かった。特に、本研究における最適組み合わせであるCH3,4,7,8,11を使用した場合には、離床予測を行う上で重要となる長座位と端座位を100%検知することができた。しかし、離床の検知率は55.0%であり、半分近くを検知できなかった。

今後の予定について述べる。現在は仰臥位から離床までの7姿勢を20秒間隔で順に切り替えて判定を行っている。しかし、実際には離床までの行動は個人により異なる。そのため、各姿勢のとり順序と時間間隔をランダムにした場合について検討を行う。また、今回の実験結果をでは、他の姿勢と比較して離床の検知率が低くなってしまった。離床の検知は離床予測を行う上ではあまり重要ではないが、長座位や端座位の検知ができずに離床予測ができなかった場合には必要となる可能性がある。そこで、ある一定時間センサ出力がなかった場合は「離床」と判定するプログラムに改良する。

参考文献

(1) 厚生労働省, 2025年に向けた回後人材にかかる需給推計(確定値)について, 2015

(2) 三田寺裕治, 赤澤宏平, 介護保険施設における介護事故の発生状況に関する分析, 社会医学研究, Vol. 30(2), pp. 123-130, 2013

(3) 茂木学, 村松成宗, 山田智広, 武藤伸洋, 金丸直義, 下倉健一郎, 阿部匡伸, 大久保由美子, 森田佳子, 葛西圭子, 山本友子, 落合慈之, 転倒転落事故の予防を目的とした見守りベッドシステム, 電子情報通信学会誌 D, Vol. J94-D, No. 6, pp. 1025-1038, 2011

(4) 清水雅年, 菅原協子, 尾崎文恵, 浜善博, 西村三千雄, 吉野裕教, 超音波アレイセンサを用いた離床検出システムの開発(Part 3), ライフサポート学会誌, Vol. 21, No. 3, pp. 9-16, 2009

(5) T. Kohonen, Self-Organizing Maps, Springer Series in Information Sciences, Vol. 30, pp. 1-10, 2005

(6) R. H. Nielsen, Counterpropagation networks, Proceedings of IEEE First International Conference on Neural Networks, 1987

(7) 吉田和枝, 山田章子, 高植幸子, 仰臥位における簡易的除圧の試み, 三重看護学誌, pp. 117-119, 2007

(8) 白石晴美, 大串靖子, 仰臥位持続時の訴えの発現と体圧および皮膚知覚との関連, 日本看護研究学会雑誌, Vol. 13, No. 4, 1990