

## 枕センサとピエゾ荷重センサを用いたベッドモニタリング

## The Bed Monitoring System using Pillow Sensor and Piezoelectric Weight Sensors

○下井信浩(秋田県立大) 間所洋和(秋田県立大) 中正和久(秋田県立大) 和崎克己(信州大)

Nobuhiro SHIMOI, Hirokazu MADOKORO and Kazuhisa NAKASHO, Akita Prefectural University  
Katsumi WASAKI, Shinshu University

**Abstract:** In the near future as a serious aging society, we will have more medical and nursing care problems for old people. As one means such a problems solves, we would like to propose a novel system using high quality combination sensors to bed monitoring technology. As an important example of such support, a QOL (Quality of life) monitoring system for aged people and patient are proposed for helper request. We originally developed plate shaped sensors and pillow sensor using piezoelectric elements and 3- dimension accelerometer. Existing sensors such as clip sensors or mat sensors require restraint of patients. Moreover, these sensors present privacy problems. The features of our sensors are that they require no power supply or patient restraint.

**Key Words:** Accelerometer, Loading sensor, Bed monitoring System, Movement

## 1. はじめに

我が国は、高齢者人口が全体の23%を越えた超高齢社会であり、さらに2015年には4人に1人が65歳以上の高齢者になることが予想されている<sup>(1)</sup>。近年、1人暮らしの老人宅において孤独死した後、何日も放置されている報道が多く聞かれる。このような実態は、安心・安全の社会構築を基本とする我が国においては早急に解決しなければならない社会問題と考える。また、老人介護施設等においては、少ない介護者が多数の入居者の面倒を見るため、就寝中または仮眠中の被介護者の生活管理が手薄になる。そのため離床時の転落防止対策として離床センサを用いて対応している施設も多数ある<sup>(2)~(4)</sup>。これらのセンサには超音波センサ、赤外線センサ、マット式の荷重認識センサ、クリップセンサ等が使用されている<sup>(5)</sup>。しかし、センサ応答はON-OFFスイッチを使用していることから誤作動や異常検出、応答の遅れ等が多く発生するため、システムの信頼性と維持管理面での不具合や事故対応時の問題が生じている。また、ビデオカメラを使用したモニタ表示は介護者による監視が必要であり、多数の被介護者を同時に管理する事が困難な状態である。更に、被介護者の長期的な介護には、プライバシーを守るためにもQOL (Quality of Life) に関する問題を解決しなければならない<sup>(6),(7)</sup>。

## 2. ベッドモニタリングシステム

### 2.1 計測装置及び計測方法

本研究においては、従来の高額な介護システムや専用医療ベッドを対象とした多種多様なセンサを複数使用した複雑なモニタリング方式を改善するため、「荷重認識センサ」と「枕センサ」を用いたオリジナルの複合センサ構成による簡易的な計測と行動判定を実施した。「荷重認識センサ」は、一般のベッドや敷き布団においても使用が可能なように敷布型の市販パッドにセンサを貼り付けられるようにした。計測用電源を必要としないピエゾフィルムを用いた「荷重認識センサ」は、有線で3個毎に2枚のPICマイコンボードに接続した。Fig.1(a)にモニタリングシステムの構成図を示す。計測データの解析には、サーバ用PCを用いたデータ通信のために、Fig.1(b)に示すZigBee通信モジュールを用いた実用的でシンプルな設計による無線計測ユニットを構成した。Fig.1(c)に両センサからの測定結果をPC解析したデータ表示状況を示す。「枕センサ」の加速度計は、

実用的なFreescale Semiconductor社製の3軸加速度センサモジュールMMA7361LCを使用した。本センサとArduino FIOをドータボードとして接続している。Arduino FIOは、オープンソースハードウェア規格で製作された組み込み用のマイコン付きボードである。ボードには、近距離無線通信規格のZigBeeのモジュールが搭載されており、計測されたデータがリアルタイムに送信される。

本研究では、ZigBeeで送信された測定データを、パソコン等のモニタリング用端末で受信し解析するためのソフトウェアも併せて作製した。電源には容量が850mAhのリチウムイオンポリマバッテリーを用いた。また、本ボードとバッテリーを枕に内蔵するための専用ケースを設計した。Fig.1(d)に示す専用ケースは33mm×55mm×105mmの四角柱形状であり、3次元プリンタを用いてABS樹脂で製作した。ケース内部にはセンサボードとバッテリーをスライド式で上下に格納でき、交換が可能である。また、センサを内蔵している枕には市販品であるニトリ社製「低反発まくら」を用いた。内部素材はウレタンで、50cm×9cm×31cmの一般用サイズである。センサユニットを格納するために枕内部のウレタンを追加加工し、枕の中にセンサのZ軸が上部になるように固定した状態で計測を実施した。こうすることにより外観は普通の枕と変わらない状態で使用でき、被介護者に不快な思いをさせずに見守ることができる。また、センサ調整はキャリブレーション等も不要である。ベッド上にいる被介護者の動作による加速度の変化を枕内に装着した3軸加速度計で計測して、行動状況や就寝状況等を解析する。就寝状態では、被介護者の頭部が枕上に置かれているので比較的大きな加速度がX、Y、Zの3軸方向に計測されるが、これ以外で3軸方向に大きな値が計測される状態は、被介護者が端座に在り、離床行動のためにベッド全体が大きく揺れる場合が想定できる。また、通常の使用において0.5G以上の加速度は計測されないと想定しているため、加速度計におけるX、Y、Zの3軸方向の最大測定値である0.5Gが計測された場合には、枕センサの落下や被介護者により投げ出されたことが認識できるプログラムを設定している。また、被介護者が「座っているか」「横になっているか」を判定する基準として、被介護者の頭部が枕上に存在する時と離れている時の加速度変化を判断し、離床行動時に触れる安全柵のベッドフレーム振動とベッド上

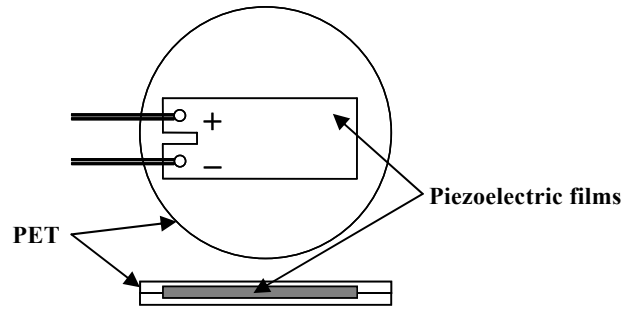
の加速度変化を捉えることによって判別可能になる設定を実施している。

Fig.2(a) に piezoelectric film を用いた「荷重認識センサ」の形状を示す。(b) に詳細を示したこの薄型のオリジナル荷重認識センサは、2 極のリード線を取り付けた piezoelectric element を、φ 140mm × 0.5mm の円盤状に加工した PET 板に接着固定し、上からもう 1 枚の PET 板で挟み製作した。センサは piezoelectric film の変形力と電圧変換の関係を用いて、PET 板の弾性力を利用し自動的に OFF セットが可能ないように設計されている。「荷重認識センサ」は Fig.3(a), (b) に示すセンサ設置図のように、肩部の荷重認識 (①, ②), 腰部の荷重認識 (③, ④), 離床判別の荷重認識 (⑤, ⑥) として所定の位置にファスナーテープで固定した。介護者の離床行動を判定するセンサの配置は、福祉ベッド利用者の情報モニタリングシステムの開発<sup>(4),(9)</sup>を参考に決定した。

「枕センサ」の加速度計測による X, Y, Z 方向の閾値設定基準を Table 1 に示す。モニタリングにおいては 20 秒を一行動としてサンプリングした判定を実施している。基本的に、「荷重認識センサ」の測定値には機械学習法によるデータ処理 (SOM+CPN) を行い、他方で「枕センサ」の測定値には一定の閾値を加算した後に荷重認識センサと同様の情報処理結果を求め、最終的に「荷重認識センサ」と「枕センサ」の複合センサによる判定を実施した。

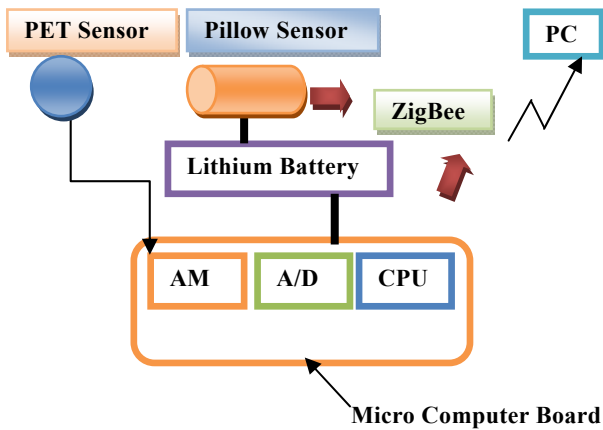


(a) PET piezoelectric load sensor

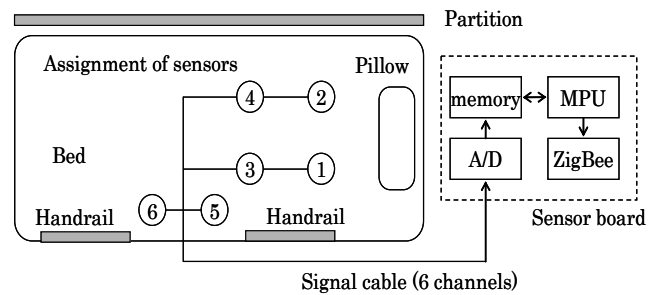


(b) Piezoelectric element

Fig.2 Piezoelectric load sensor



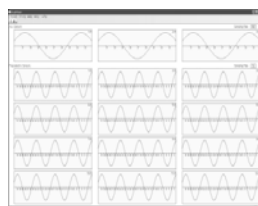
(a) Measuring instrument



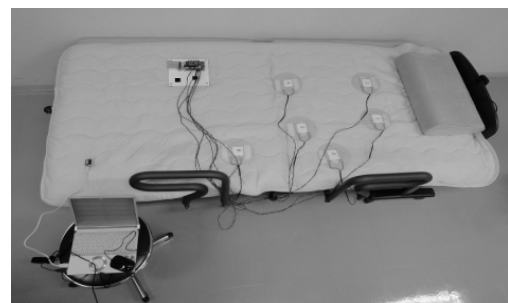
(a) Install place of bed monitoring sensor



(b) Zigbee radio



(c) Monitoring software



(b) Install place of bed monitoring sensor



(d) 3D accelerator sensor and case with Pillow



Fig.1 Block diagram of experimental system

Fig.3 Block diagram of our proposed system and assignment of pat sensors on the bed.

Table 1 Thresholds in Pillow sensor [m/s<sup>2</sup>]

Channel	X axis	Y axis	Z axis
Fuzzy Value	0.02	0.02	0.02
Final Value	0.025	0.025	0.025

## 2.2 判定対象パターン

複数の「荷重認識センサ」を個々に使用した測定結果と「枕センサ」の振動測定結果を複合的に用いた定量的な判定をするために、解析時における判定ルールを下記に設定した。被介護者の行動は大別すると「就寝中」「離床行動」「完全離床」の3パターンが対象となる<sup>(8),(9)</sup>。判定に必要な行動は、被介護者が起きて行動を起こす時であり、就寝中は移動が困難であるから離床予測判定は不要に思われる。ゆえに、仰向けや左右の寝姿に正確な精度を求めるよりも、仮眠しているか座っているかを区別して完全離床する直前の状況を判断することが重要であると考えた。被介護者の行動判定パターンの認識誤りを軽減する目的で、判定パターンを最小限にする必要から最初は Fig.4 に示す7種類の姿勢を検討した。しかし、判定精度を向上させるためには、更に(a)～(c)を「就寝中」、(d)、(e)を「離床行動」、(f)を「離床直前行動」、(g)を「完全離床」にまとめることで7種類の姿勢区分から離床・離床予測の判定精度を向上させることが可能であると考えた。被介護者の各行動に対応した複合センサの判定基準は、以下のように決定した。

(a) 被介護者が仰向けになって就寝している状態

ベッドの昇降口付近に敷設した「荷重認識センサ」⑤、⑥の出力がなく、上半身の体圧が加わる①～④に荷重変化が認められる。また、「枕センサ」の加速度計測において、X、Y、Zの3軸出力に確定値や不確定値が同数程度ある場合は就寝中であると予想され、確定値と不確定値が多く認められる場合は覚醒して横になったまま寝返り等をしている行動が予想される。

(b) 被介護者が右側を向いて就寝している状態

ベッド右側に設置した「荷重認識センサ」②、④に荷重変化が認められる。また、「枕センサ」の加速度計測においてX、Y、Z方向の3軸出力に確定値と不確定値が同数程度ある場合。

(c) 被介護者が左側を向いて就寝している状態

ベッド左側に設置した「荷重認識センサ」①、③に荷重変化が認められる。また、「枕センサ」の加速度計測においてX、Y、Zの3軸出力に確定値と不確定値が同数程度ある場合。

この(a)～(c)までの状況が「就寝中」または「仮眠中」の姿勢と予想される。

(d) 被験者が起床し、ベッドの長手方向に着座している状態

「長座位」：ここからが離床予測の重要ポイントとなる。ベッド中央部に設置した「荷重認識センサ」③、④に臀部からの荷重変化が認められる。「枕センサ」の加速度計測においてX、Y、Zの3軸に確定値と不確定値の両方が揃って認められない場合。

(e) 被験者が離床に向けた動作を試みている状態

「短座位」：ベッド中央部に設置した「荷重認識センサ」③、④と昇降口付近に設置した⑤、⑥に断続的に荷重変化が認められる。また、「枕センサ」の加速度計測においてX、Y、Zの3軸に確定値と不確定値の両方が揃って認められない場合。

(f) 端座位にある被験者がベッドの端に着座し、離床を試みている状態

「端座位」：「荷重認識センサ」①～④には出力がなく、昇降口付近に敷設した⑤、⑥に荷重変化が想定される。

(g) 離床被験者がベッドから完全に離床している状態  
「完全離床」：「荷重認識センサ」の全てと「枕センサ」の加速度の計測値が全く認められない場合。なお、被験者

が意識を失った状態や、心肺停止などの生命の危機にさらされている状態にもセンサの反応がなくなると考えられるため、データサンプリング時間を短くして緊急対応が求められる。

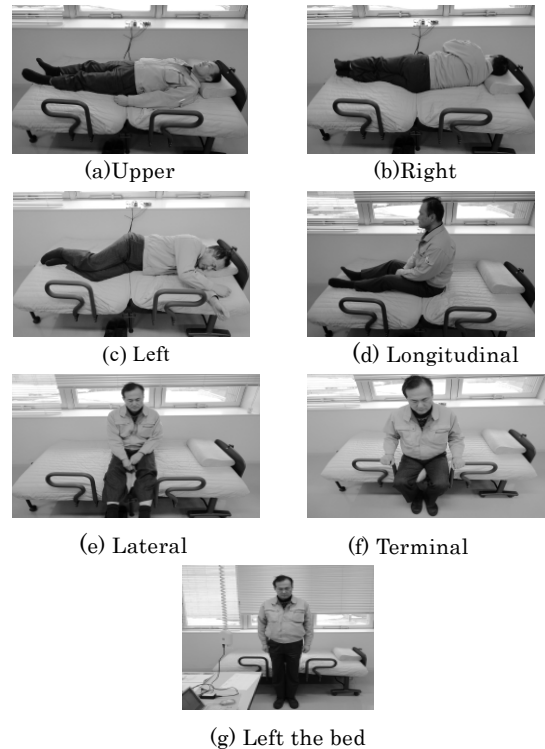


Fig.4 Basis of the measurement posture

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 実験条件

臨床現場を模した実験環境を構築し、提案システムの評価実験を実施した。被験者は3名（被験者A～C）とした。属性情報として、各被験者の体重は被験者Aが70kg台、被験者Bが60kg台、被験者Cが50kg台である。各被験者は7パターンから成る一連の動作を6回繰り返した。よって、被験者毎に6通りのデータを取得した。各姿勢の動作は20秒を一動作として計測した。また、データサンプリングレートは50 Hzとし、SOMとCPNを設定したネットワークのパラメータについてTable 2に示す。判定結果の評価には、交差検定法を用いた。本実験では、6通りのデータを、学習用に5データ、テスト用に1データに分割して判定した。従って学習データとテストデータで6通りの組み合わせを作成して評価できる。更に、枕センサの加速度計による就寝状態と離床行動状態の度数分布による重みづけにより判定精度の向上を目指した。

### 3.2 各センサによる計測結果

#### 3.2.1 荷重認識センサの測定結果

機械学習法による情報処理技術（SOM+CPN）を付加した「就寝中」或いは、横になっている状態から起きあがって「長座の姿勢」になった行動判定は治験者3人の平均で約94.4%と高い確率が認められた。この結果をTable 3に示す。また、「端座」の姿勢、つまり離床直前の判定は約94.4%で認識が可能である。更に離床に関しては100%の認識が可能であると証明された。これらの結果から被介護者の離床予測に重要な3姿勢であることが判明し、基本7姿勢を改め

て「就寝状態」，「離床行動状態」（長座位以降の座位姿勢），「完全離床」の3パターンの基本姿勢に区切ることで「荷重認識センサ」単体の行動認識率を95.2%に向上させることが可能であった。

Table 2 Setting values of parameters on SOM and CPN

Method	I [unit]	J [unit]	P [unit]	Q [unit]	S [unit]	A	B	O [epoch]
SOM	6	-	20	-	16	0.5	-	1000000
CPN	6	7	20	20	16	0.5	0.8	100000

Table 3 Recognition accuracies of respective subjects and positions [%]

Subject	Upper	Right	Left	Longitudinal	Lateral	Terminal	Leaved	Average
A	100	83.3	66.7	83.3	16.7	100	100	78.6
B	83.3	100	100	100	0	100	100	83.3
C	0	33.3	100	100	100	83.3	100	73.8
Average	61.1	72.2	88.9	94.4	38.9	94.4	100	78.6

### 3.2.2 枕センサ（加速度計）

センサ出力値の時間推移をFig.5に示す。波形は縦軸が加速度 [m/s<sup>2</sup>] の出力，横軸は計測時間となる。図中の点線は、20秒ごとに变化した基本7姿勢の境界線を示している。Table 4に「就寝状態」「離床行動状態」「完全離床」の3姿勢にまとめた各々の認識率を示す。加速度の波形図からも分かるように3姿勢の出力には特徴があることが読み取れた。

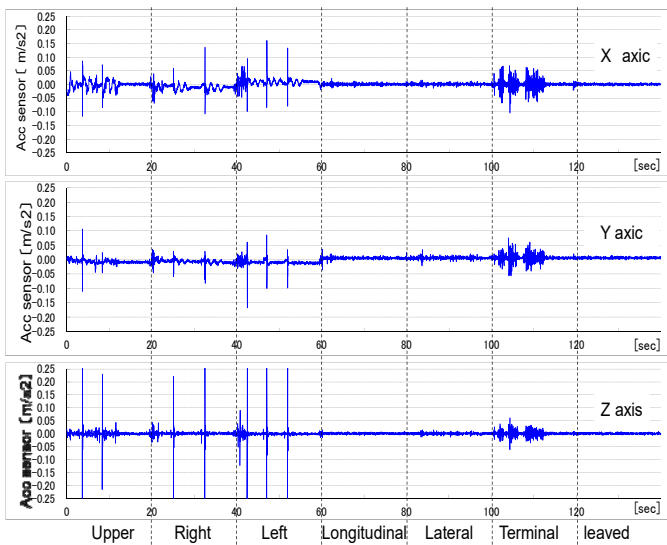


Fig.5 Time-series change of ACC sensor output and frequency distribution

Table 4 Relationship each body position and acceleration respective positions on the bed [%]

Subject	In bed			Getting out		Terminal	Left the bed
	Upper	Right	Left	Longitudinal	Lateral		
A	94.4			83.9		100	100
B	88.9			88.9		100	100
C	100			94.4		100	100
Average	94.4			88.9		94.4	100

### 4. 結言

本論文では、離床行動を予測するためのQOLを重視した非拘束の複合センサシステムを提案した。圧電素子を用いたパッド形状の「荷重認識センサ」と加速度計を用いた「枕センサ」を提案するとともに、機械学習法を用いたデータ解析方法等によるモニタリングシステムを開発した。臨床環境を模した実験において、3名の被験者を対象とした離床行動のデータを取得し、提案手法の有用性を検討した。認識目標とした7パターンの姿勢に対して、平均で78.6%の認識率が得られた。特に、離床予測の判定に重要な「長座位と端座位」は94.4%の認識率が得られ、離床予測における本システムの有効性が認められる結果を得られた。更に、枕センサを用いた「就寝状態」「離床行動状態」「完全離床」に分類した基本3パターンについても、94.4%の認識率で判定が可能であったことから、今後は被験者数を10名程度に増し、本手法の検証を実施しつつ適用範囲を広げる考えである。

謝辞：本研究は、総務省SCOPEの助成金により実施されています。平素の研究支援を感謝申し上げます。

### 参考文献

- (1) 国立社会保障・人口問題研究所，日本の将来推計人口，2012.
- (2) 山田，高島，佐藤，伊藤，伊藤，浅沼：転倒・転落に伴うインシデント事例の検討と対策-発生構造に基づいた分類法を用いて，秋田大学大学院医学系研究科保健学専攻紀要，Vol.18，No.2，pp.144-150，2010.
- (3) 今泉，岩上，山下：高齢者の健康支援のためのモニタリングシステムの有用性，ITヘルスケア，Vol.5，No.1，pp.63-64，2010.
- (4) 松田，山口，荒川：高齢者生活行動モニタリングシステム，松下電工技報，Vol.82，pp.4-8，2003.
- (5) 辰巳，金本，八木：転倒むしの効果的な使用方法-誤作動しない紐の長さとし身長との検討をして，日本看護学会論文集，Vol.38，pp.144-146，2007.
- (6) 田中稔彦：フィンランド製，超高感度感圧センサによる生体信号モニタリング技術の独居老人対応遠隔監視の活用事例，日本遠隔医療学会学術大会，1，2007.
- (7) 関弘，堀：高齢者モニタリングのためのカメラ画像を用いた異常動作検出，電学論D，Vol.122，No.2，pp.1-7，2002.
- (8) 初雁，椎野，村井：ベッド上の患者行動を推定・通知するシステム「離床CATCH」の提案，労働科学，Vol.88，No.3，pp.94-102，2012.
- (9) 春山，田中，小林，安岡，内堀，岡：電灯線通信とマット・センサーを用いた離床検知通報装置の開発，電学論D，Vol.126，No.11，pp.1507-1513，2006.