

枕・ベッド内蔵センサによる見守りシステムのデータ解析について

Data Analysis for Monitoring System Using Pillow and Bed Plugin Sensors

○ 中正和久（秋田県立大学） 問所洋和（秋田県立大学） 齋藤俊哉（秋田県立大学）
下井信浩（秋田県立大学）

Kazuhiisa NAKASHO, Akita Prefectural University
Hirokazu MADOKORO, Akita Prefectural University
Shunya Saito, Akita Prefectural University
Nobuhiro SHIMOI, Akita Prefectural University

Abstract: According to the recent trend toward nuclear families, expectations for monitoring systems of solitary aged people have been raised among local communities. Although the existing monitoring systems mainly use motion sensors such as infrared sensors, they have difficulty in detecting an emergency situation during sleeping in realtime. To solve the problem, we have been studying a monitoring system using sensors included in pillow and bed. In this study, we report experimental results and analysis of 24-hours monitoring, and discuss obtained knowledge and future outlook.

Key Words: Wellbeing Science, Life Support, Welfare Engineering, Piezoelectric Sensor, Bed Monitoring

1. 緒言

高齢化社会の進展に伴い、医療・介護施設における職員の過重労働が社会問題となっている。日本医療労働組合連合会の調査⁽¹⁾によると、介護施設における夜勤形態は2交替夜勤の職場が9割近くを占めており、2交替制の職場のうち、64.5%が勤務時間16時間以上となっている。さらに、内閣府の平成28年度高齢社会白書⁽²⁾によると、要介護者のうち施設サービスを利用しているのは全体の23.4%に過ぎない。このため、介護施設の夜勤実態は氷山の一角であり、介護職員の数倍に及ぶ要介護者の家族が同様の困難に直面していると考えられる。この実態は2015年に官邸で開かれたロボット革命実現会議においても重点課題の一つとして取り上げられ、同会議が発表した「ロボット新戦略」では、ロボット技術の利活用により医療・介護現場における人手不足の解消を目指すことが謳われている。ベッドモニタリングシステムは、このような介護現場における高齢者見守りの困難を工学的な側面から支援する技術の一つである。

ベッドモニタリングシステムの目的用途は、離床予測と生体情報モニタに大別される。前者は高齢者が離床する際に転んで怪我をするなどの事故を未然に防止すること、後者は就寝中に危急の事態が生じた際に早期に検知することや、深夜徘徊を予防することが目的である。生体情報モニタは病院で用いられている心電図・心拍数、血圧、体温などを波形表示する機器が代表的であるが、これらは患者に電極を装着するなど物理的拘束を伴うことが前提となっており、被介護者のQOL (Quality of Life) を損なう。このため、介護用途としては非接触型の生体情報モニタが主流であり、パラマウント社の眠りSCAN⁽³⁾やEmfit社のSafeBed⁽⁴⁾などが市販されている。これらは、動脈圧変化や呼吸などから生じる微小振動をセンサによって常時モニタリングし、微小振動が途切れた際にアラームを発する。現在、これらのシステムは離床予測システムとは別に販売されているが、離床予測システムの一部として生体情報モニタを組み込むことができれば、システム単価を下げることもできるとともに、離床予測の精度向上にも役立つ。

ベッドモニタリングシステムを一般に普及させるには、QOLの高さと導入費用の安さを両立させなければならない。平成28年度高齢社会白書における60歳以上の男女のアンケートでは、介護を受けたい場所を「自宅」とした回答者が男性42.2%、女性30.2%と最も割合が高かった。また、高齢化社会が進展するに

たがい介護費用が一般家庭の家計を圧迫している状況は、たびたび社会問題として取り上げられている。したがって、ベッドモニタリングシステムが普及するには、一般家庭にある通常のベッドや敷布団に安価かつ容易に設置可能であることが必須条件であると考えられる。

これらの背景を踏まえ、我々は以前より開発している離床予測システムを改良して生体情報モニタ機能を取り込むために、 Piezoelectric Sensorを用いた荷重認識センサによって生体情報をモニタリングするための基礎データを収集・解析する研究を行なった。

2. 従来研究

我々は従来研究⁽⁵⁾として、枕に内蔵された3軸加速度センサおよび、ベッドマットレスや敷布団の下の計5箇所設置された Piezoelectric Sensorを用いた荷重認識センサにより構成される、安価かつ高QOLな離床予測システムを開発している。本システムでは、離床に至るまでの行動を Fig.1 に示す7姿勢に分類し、各姿勢において生じる振動センサへの信号をあらかじめ機械学習することにより離床行動を予測する。 加速度センサおよび荷重認識セン

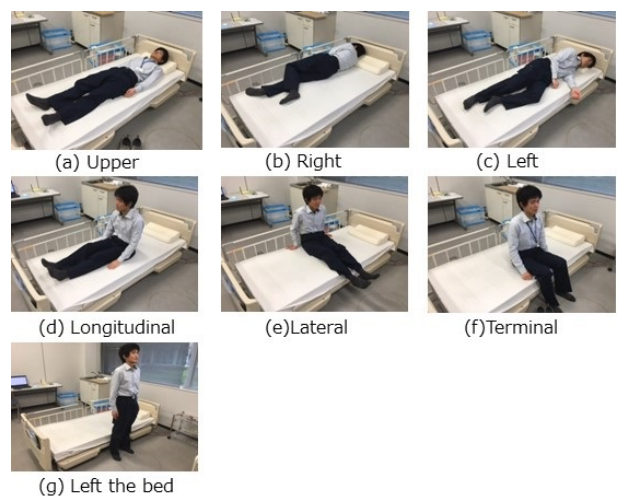


Fig.1 Basic measurement postures

サの出力信号に対する機械学習には、ニューラルネットワークの

一種である SOM(自己組織化写像) によるノイズ除去と CPN(対向伝搬ネットワーク) によるパターン認識を用いている. 本システムの離床に至る 7 姿勢に対する判定率は 78.6 % であるが, これら 7 姿勢を「就寝状態」「離床行動状態」「完全離床」の基本 3 状態に分類すると, 認識率が 95.2 % に達する.

3. センサシステム

3.1 枕センサ

生体情報モニタ機能を実現するためには, 被介護者のあらゆる就寝姿勢に対して動脈圧変化や呼吸から生じる微小振動を拾う必要がある. このため, ベッドに配置するセンサに対しては, 従来の離床予測システムで使っている piezo 素子を用いた荷重認識センサに対して, 感度向上および感知範囲拡大のための改良を加えた. 一般家庭で使用されている敷布団は, 介護ベッドなどに使われるマットレスに比べると振動が伝わりにくい傾向があり, 今回の改良はベッドモニタリングシステムを一般家庭へ普及させる際にも役立つ.

基本となるセンサは, 東京センサ製 piezo フィルム DT2-028K/L(16mm × 73mm) を, 厚さ 1mm のウレタンシート (30mm × 80mm) で挟み込んだものである. (Fig.2, Fig.3) こ

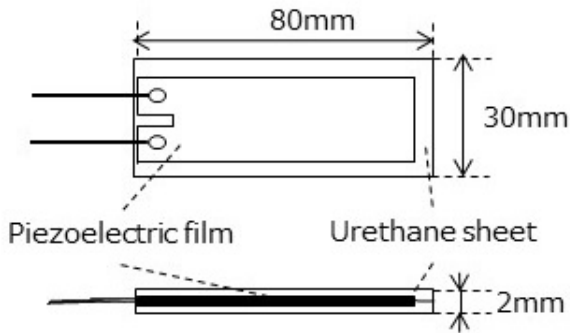


Fig.2 Sketch of pillow sensor

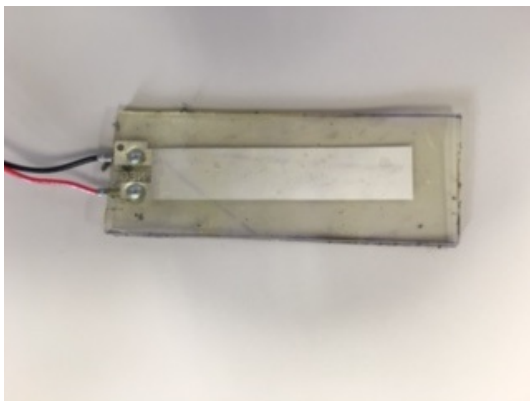


Fig.3 Picture of pillow sensor

れを枕センサとして枕上側中央部の枕本体と枕シートの間に粘着テープで貼付して用いた.

3.2 ベッドセンサ

ベッドセンサには, 上述のセンサに以下の改良を加えて, ベッドのマットレスまたは敷布団直下の所定位置に 5 箇所設置した.

1. ウレタンシートで挟み込んだセンサをウレタンフォーム (寸法 30mm × 60mm × 100mm) にアーチ状に埋め込むことにより, piezo フィルムが鉛直方向からの荷重により変形しやすくなるようにした.
2. さらにウレタンフォームに半径 200mm, 厚さ 0.5mm の円形の PET 板を取り付けることにより, 感知範囲を広げた. ベッドセンサの模式図と写真を Fig.4, Fig.5 に示す.

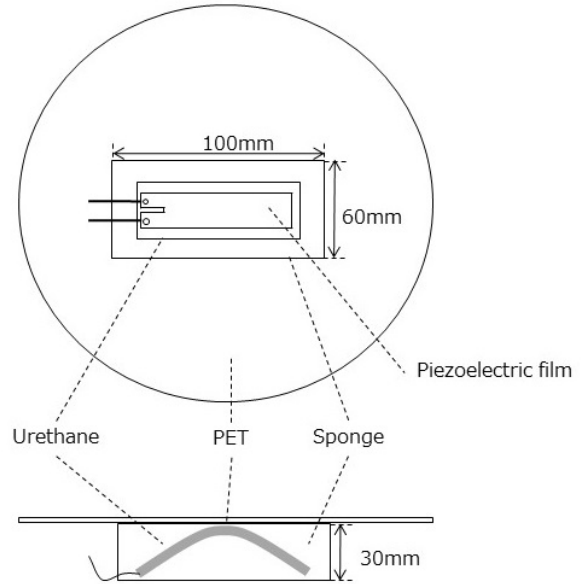


Fig.4 Sketch of bed sensor

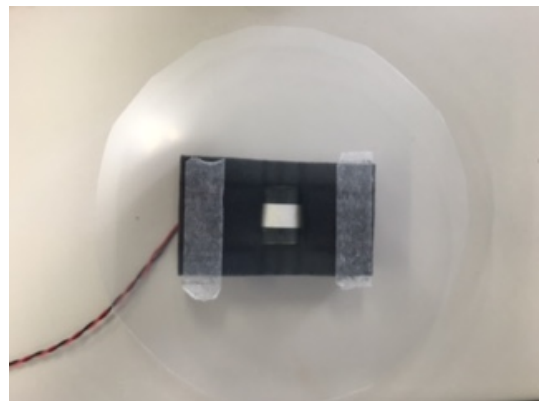


Fig.5 Picture of bed sensor

3.3 信号処理

各センサから得られる出力電圧に対して, 以下の処理により動脈圧変化・呼吸・身体動作による荷重変化を抽出した.

- A. フィルタ処理: 荷重認識センサから得られた信号を, ローパスフィルタ (通過帯域: ~10Hz) に通して高周波ノイズを除去する.
- B. 動脈圧変化: A で得られた信号の各時刻で過去 0.5 秒間の変動量を算出し, これを 1 分間の心拍数 50~120 回に相当するバンドパスフィルタ (通過帯域: 0.8~2.0Hz) に通す.
- C. 呼吸: A で得られた信号の各時刻で過去 2 秒間の変動量を算出し, これを 1 分間の呼吸数 12~30 回に相当するバンドパスフィルタ (通過帯域: 0.2~0.5Hz) に通す.

D. 身体動作：A で得られた信号の各時刻で過去 5 秒間の変動量を算出し、これをローパスフィルタ（通過帯域：～0.1Hz）に通す。

各フィルタ処理にはバターワースフィルタを用い、通過域リップルは 1dB、阻止域減衰量は 40dB と設定した。以降、上述の各処理をそれぞれ処理 A, B, C, D, 各処理で得られる信号をそれぞれ信号 A, B, C, D とする。

各処理に使われるアルゴリズムは、フィルタリングと変動量の算出のみで、シングルボードコンピュータのような低スペックな PC でもリアルタイム処理が可能である。実装言語および信号処理ライブラリには、それぞれ Python と Scipy を用いて処理に要する時間を計測した。100Hz・60 分間の信号に対して、通常のデスクトップ PC (CPU: Intel Core i7-5930K 3.50GHz, Memory 16.0GB) を用いたときに各処理に要した時間を Table 1 に示す。

Table 1 Process time

Process	time[s]
A	0.017
B	0.885
C	0.489
D	0.451

4. システム評価実験

実験は 2 段階に分けて行なった。まず、荷重認識センサが生体情報モニタとしての性能を十分に有することの確認と、荷重認識センサから得られる信号に対するソフトウェア処理について知見を得ることを目的としてシステム評価実験を行なった。次に、実際の就寝において生体情報がモニタリングできることを実証するための 24 時間モニタリングを行なった。

4.1 実験条件

システムの性能を評価するため、被験者 5 名 (男性 3 名, 女性 2 名) を対象に評価実験を行なった。被験者は、まず就寝状態を再現するために 15 分間仰臥位で安静を保ち、次に覚醒状態を再現するために 15 分間同じ姿勢を保ちながら読書を行なった。枕にはニトリ社の低反発まくらを、ベッドにはパラマウント社の介護ベッドを用い、それぞれに枕センサおよびベッドセンサを配置した。荷重認識センサの配置を Fig.6 に示す。実験では、HIOKI

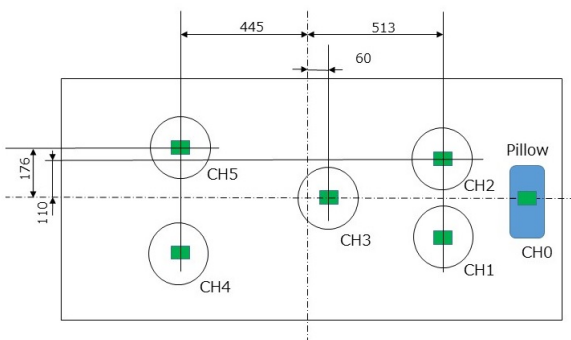


Fig.6 Sensor position

社製メモリハイロガー 8430 と 8431 を使用し、枕センサおよびベッドセンサの出力をサンプリング周波数 100Hz で記録した。

4.2 実験結果と考察

4.2.1 ノイズの影響

荷重認識センサの出力には、主に交流電源 (50Hz) により生じるものと推測される振幅 1~2mV 程度のノイズが生じた。これらのノイズは信号処理 A により、10 秒間の変動量が 400mV 未満 (元信号の 50% 未満) に軽減されることを確認した。

4.2.2 動脈圧変化

就寝時のノイズ除去後の信号 A (Fig.7 の Signal A) において、動脈圧変化による荷重変化が支配的であった。信号 A は

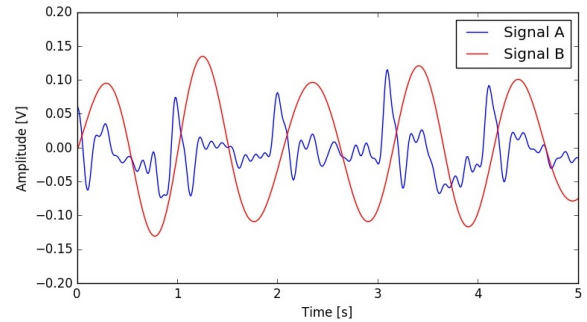


Fig.7 Arterial blood pressure

起伏が激しく、そのままでは動脈圧変化を捉えることは難しいが、過去 0.5 秒間の変動量にバンドパスフィルタを施した信号 B (Fig.7 の Signal B) では、位相が崩れるものの安定した波形を得ることができた。

また、信号 B の過去 10 秒間の変動量を算出したところ、離床時には 100mV に満たないが、在床時には安定して高い数値が得られることを確認した。ただし、これらの数値には個人差およびセンサ位置による差が生じていた。

4.2.3 呼吸

呼吸に相当する信号 C の波形を Fig.8 の Signal C に示す。動脈圧変化と同様に、過去 2 秒間の変動量にバンドパスフィルタを施すことにより、呼吸に相当する安定した波形を得た。

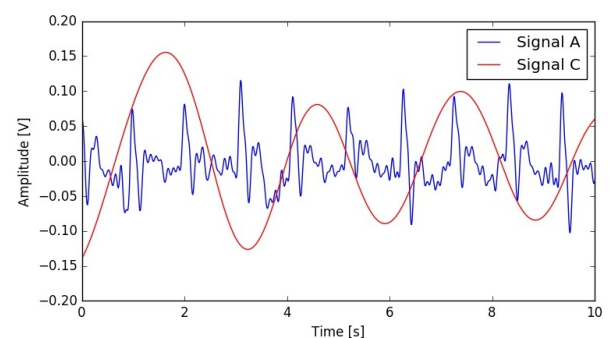


Fig.8 Breath vibration

4.2.4 身体動作

身体動作に相当する信号 D の波形を、Fig.9 の Signal D に示す。個人差があるものの、睡眠時 (Fig.9 の 0~900s) よりも覚醒時 (900~1800s) に身体動作による荷重変化が生じることが確認された。

4.2.5 荷重認識センサの位置および個人差による影響

Table 2 は、安静時における荷重認識センサの出力電圧の最大振幅の平均値である。この結果から、以下の知見が得られた。

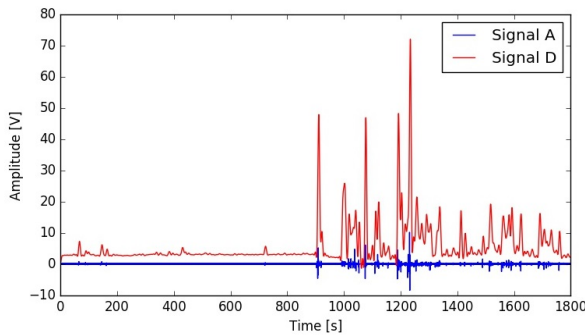


Fig.9 Variation of body vibration

- ・枕センサから出力される信号が最も大きい。枕センサはベッドセンサと異なり、身体に近い位置で計測しているためと考えられる。
- ・左肩甲骨付近の荷重認識センサの出力電圧の大きさは、右肩甲骨付近のセンサ出力に比べて3倍以上となっている。これは心臓付近に近いセンサほど動脈圧変動を捉えやすいためと考えられる。
- ・尾骨付近の荷重認識センサの出力電圧が最も低い。尾骨付近は荷重が集中するため、微少な荷重変化ではセンサが変形しにくいことが理由と考えられる。

Table 2 Average amplitudes at rest [mV]

Subject	CH0	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5
1(male)	91.2	17.2	8.1	4.2	5.2	6.1
2(male)	57.2	12.2	8.8	3.7	9.9	10.5
3(female)	50.1	18.5	9.9	3.3	8.5	7.2
4(female)	47.6	25.6	14.8	4.1	9.2	22.2
5(male)	70.6	21.8	8.7	3.5	7.5	8.5
Average	63.3	19.1	10.1	3.8	8.1	10.9

4.3 判定基準の設定

実験結果から、在床・離床判定基準は、信号 B(動脈圧変化)の過去 10 秒間の変動量が 200mV を超えるか否か、また、覚醒・睡眠判定基準は、信号 D(身体動作)の過去 10 秒間の変動量が 1500mV を超えるか否か、と設定した。この判定基準を用いると、本システム評価実験における在床・離床判定率は 100 %、睡眠・覚醒判定率は 74.1 %となる。個人別の判定率を Table 3 に示す。

Table 3 Accuracy of detection [%]

Subject	left the bed	awakeness
1(male)	100.0	88.7
2(male)	100.0	81.1
3(female)	100.0	76.7
4(female)	100.0	76.9
5(male)	100.0	47.0
Average	100.0	74.1

5. 24 時間モニタリング

システムの実証試験として、被験者 1 名(男性)に対して 24 時間モニタリングを実施した。枕にはニトリ社の低反発枕を、ベッドには東洋紡プレスエアーを中芯とする嵩高約 14cm の敷布団を用い、それぞれに枕センサおよびベッドセンサを配置した。実験での在床・離床判定率は 99.5 %、睡眠・覚醒判定率は 80.5 %となり、システム評価実験と同等の精度が得られた。

6. 結言

本論文では、 piezofilm を用いた荷重認識センサを枕およびベッドに取り付けることによって生体情報モニタリングシステムとして利用可能であることを述べた。これらのセンサは離床予測システムとして利用してセンサを改良したもので、今後、離床予測システムとセンサを共用することにより、同程度の価格帯で従来よりもさらに信頼性の高い見守りシステムを構築できるものと期待される。

また、生体情報モニタリングには、得られた信号に対して変動量算出とフィルタ処理を施すことにより動脈圧変動、呼吸および身体動作に関する信号を抽出することが可能であることを述べた。これらの処理は軽量で、即時性が必要とされるモニタリングシステムにとって有効な手法と考えられる。

さらに、本システムにより得られた生体情報から、99 %を超える精度で在床・離床判定が可能であること、また、睡眠・覚醒判定についても 80 %に近い精度で判定が可能であることを検証した。

今後は、24 時間モニタリングの被験者数を増やし本判定手法の信頼性を高めるとともに、研究成果を離床予測システムヘフィードバックして離床予測の精度を向上させる予定である。

7. 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。平素の研究支援に対して感謝御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 日本医療労働組合連合会, 2015 年介護施設夜勤実態調査結果, 医療労働, 587 号, pp.10-31, February 2016.
- (2) 内閣府, 平成 28 年度高齢社会白書, 2016.
- (3) Kogure T, Shirakawa S, Shimokawa M, Hosokawa Y, Automatic sleep/wake scoring from body motion in bed: validation of a newly developed sensor placed under a mattress, Journal of Physiological Anthropology, vol.30, no.3, pp.103-109, 2011.
- (4) J.M. Kortelainen, M.O. Mendez, A.M. Bianchi, M. Matteucci, S. Cerutti, Sleep Staging Based on Signals Acquired Through Bed Sensor, IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, vol.14, issue.3, pp.776-785, 2010.
- (5) 下井信浩, 間所洋和, 徐粒, piezofilm 振動計測センサと加速度計を用いたベッドモニタリングシステム, 日本機械学会論文集 vol.80, no.812, pp.1-14, 2014