

圧電センサ床面設置による高齢者見守り 支援システムの研究

上野 仁

第一工業大学 東京上野キャンパス 〒110-0005 東京都台東区上野7-7-4
h.ueno@ueno.daiichi-koudai.ac.jp

Research of Piezoelectric Sensor Systems Being Set on Floor for Watching Senior Citizens

Hitoshi Ueno

Tokyo-Ueno Campus, Daiichi Institute of Technology, 7-7-4, Ueno, Taito-ku, Tokyo, 110-0005
h.ueno@ueno.daiichi-koudai.ac.jp

Abstract: This report shows a result of trial development for a watching senior citizens system. The trial system receives electric signal from eight sensor sheets those are put on the floor, and it is able to indicate where a person sits or moves. It is able to indicate cardiac signal and respiration signal also, if the monitoring person needs to get detail of the signals. Piezoelectric film sensors are used to pick up vibration of human body and digital filtering method is used to discriminate vital signal from original signal. Last target of this research is achieving an information system of watching senior people every day, and that system will be able to notify a rescue request to senior citizen support organization, if unusual signal is detected.

Keywords: Care Information Systems, Sheet Type Piezoelectric Sensors, Cardiac, Respiration, Elderly People Watching System

1. まえがき

高齢社会の進行に伴い、一人暮らしの高齢者数が大幅に増加し、一人暮らしの高齢者の孤独死が社会問題となっている。しかし、高齢者が脳梗塞などの疾病により自宅で倒れた場合すぐ死に至るわけではなく、早急に救助することにより孤独死を防止することができる。そのため一人暮らしの高齢者を見守る情報システムの必要性がクローズアップされ、技術的には種々の提案がされている。例えば、拘束型の生体センサを常時身につけたり、カメラで撮影した画像を解析したりして異常を検出するシステムが研究されている。しかしこれらのシステムは、日常生活上の面倒が生じたりプライバシーが確保できなかったりといった課題があり、十分満足できるシステムとは言えない。

本研究の目的は、プライバシー侵害の恐れがなく、かつ、対象者に拘束型のセンサ装着を強制する必要も

なしに高齢者の体調異常を検出し、通報する情報システムを提供することにある。すなわち着用を意識する必要のない「ウェアフリー生体センサ」による高齢者見守り支援システムを提供することにある。

本報告では、複数のシート型圧電センサを床面に敷いて同時並行に信号を取り込み、監視対象となる人間がいる場所の信号データを取得するシステムを試作した結果について報告する。

2. 高齢者見守り支援システムの提案構成

2.1 従来の見守り支援システム

現在、国内では多くの見守りサービスが開発されている。一人暮らしの高齢者を監視する方法として、電化製品の使用頻度を計測する方法、日常のエネルギー消費量を計測する方法、人感センサにより人の動きを検出する方法、身体拘束型センサにより高齢者自身に

表 2.1 既存の見守りシステム

#	システム名	監視方法	通報方法
1	みまもりほっとライン i-Pot (ZOJIRUSHI)	ポット利用状況(電源, 給湯, 保温) →システムセンタ	・1日2回, Eメール ・好きな時間に確認
2	みまもへる (東京ガス)	時間帯別ガス使用量 →東京ガス24時間監視センタ	・家族が気になるときに確認
3	フレッツ・ミルエネ (NTT東日本)	時間帯別使用電力量 →ミルエネセンタ	・家族が気になるときに確認
4	HOME ALSOK みまもりサポート (ALSOK)	トイレのドア開閉頻度, ペンダント型緊急ボタン →ALSOKサーバ	・定期連絡メール ・異常通知メール
5	シニアセキュリティ (東急セキュリティ)	ペンダント型緊急ボタン, 通過(体温)センサによる監視 →システムセンタ	・緊急時メール
6	みまもりたい (イーテクノロジー)	カメラで映像・音声見守り →みまもりオペレータ(人間)	・オペレータから緊急時連絡

神奈川県保健福祉局ホームページ(<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f470004/>)より

緊急事態を知らせてもらう方法が開発されている。また、高齢者の住宅内をカメラで撮影し、異常な動きを検出する方法が開発されている。(表 2.1)

しかし、これらの方法にはそれぞれ問題がある。身の回りの電化製品の使用頻度やエネルギーの消費量を計測する方法では、数時間間隔で生じる生活習慣行動を監視しているため短時間で異常を検出することが難しく、高齢者が病気で動けなくなったとしても、それを判定するためには1日程度の時間を要する。拘束型センサによる方法は、高齢者個人の性格にもよるが、自分は元気だからセンサは不要だし面倒だと考える人には利用してもらえない。カメラ画像の利用はプライバシーに課題がある。

2.2 提案する見守り支援システム

本研究では上記のような課題を解決する見守りシステムを実現することを目的とする。具体的には人間側でなく住宅側にセンサを設置して、監視対象となる高齢者に不快感を与えることなく常時生体信号を取得するシステムを開発する。また、これにより体調の悪化を検出した時点ですぐに救援に向かえるようにする救援支援システムの開発が最終目標である。(図 2.1)

本報告では宅内に設置するセンサとしてシート型圧電センサを使用する。これは微小な圧力の変動を電気

信号に変換することができるセンサであり、その上に人体が存在すれば心弾動による心拍数の収集など、生体信号が取得可能となることが知られている。

提案するシステムは、高齢者が生活する宅内空間に適当な密度でシート型圧電センサを配置し、センサで得た振動データを監視センタで分析し、異常検出時には介護担当者や家族に電話や電子メールにて通知する構成とする。監視センタでは個人ごとの生体信号を蓄積し、これをいわゆるビッグデータとして詳しく分析することにより、将来的な異常判定ノウハウの蓄積をも可能とする。

シート型圧電センサの配置密度は、監視対象者が通常の生活で移動する範囲内のどこで倒れたり寝たり座ったりしても、センサのうちの1枚が必ず胴体または腰、臀部の圧力を検出可能となるよう設置する。たとえば6畳間に 35cm 四方で1枚の間隔で配置すると仮定すると、約70枚のセンサシートを設置する構成となる。さらにシートセンサは宅内の集線装置で集約しインターネット経由でデータ転送をするための制御装置に接続する。センサシートで取得された信号データは定期的に監視センタに送信する。

3. システムの部分試作

3.1 試作機能の範囲

本論文で報告する試作範囲は、複数枚センサを入力する場合の信号処理機能と表示機能である。今回使用したシート型圧電センサは外形寸法 31cm×34cm のセンサであり、PC にデータを送信するための AD コンバータと受信するための受信機で1セットとなっているものと、8枚のセンサシートを集線してADコンバータを介してPCに接続する構成にしたものとの2種類である。

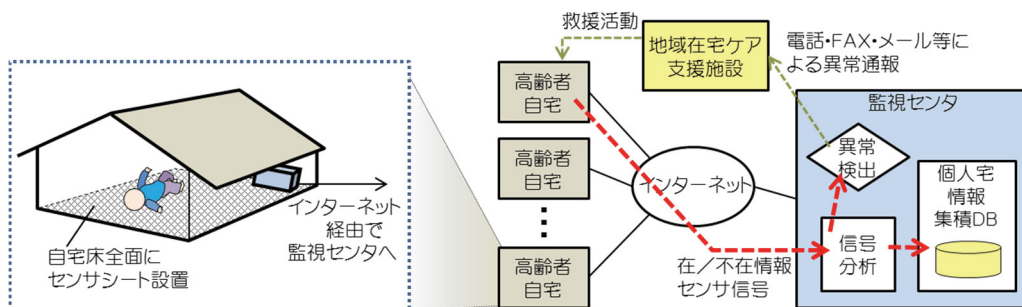


図 2.1 見守り情報システム概念図

センサセットから受信した信号はセンサに加わった圧力による信号すべてであり、生体信号以外のノイズ信号を多量に含んでいる。また心拍による信号と呼吸による信号が重畳された信号となって得られる。ノイズの除去、心拍成分と呼吸成分の分離、測定結果の表示、異常検出時の通報などの機能をPC側で実行する必要がある、これを実行するプログラム ActMon を試作した。

また、多数のセンサシートを床に敷き詰める場合のセンサ間隔や信号取得状況を監視するためのマンマシンインタフェースを評価するため、8枚のシート型圧電センサの信号処理と表示が可能なプログラム ActMonAP を含む床面設置センサ実験システムを試作した。

3.2 ActMon および ActMonAP の処理概要

ActMon は測定対象者を予め定めた場所に座らせて（または寝かせて）生体信号を取得するためのプログラムであり、ActMonAP は対象者がどこに移動しても測定可能となるように、多数の床面設置センサを用いたときの表示および分析信号表示機能を評価するためのプログラムである。ActMon により基本的な信号処理アルゴリズムを検証し、ActMonAP により見守り情報システムとしての監視機能を検証する。

ActMon は最大4枚のセンサシートを入力とすることができるが、これは例えば4台のベッドや椅子の生体信号を並行して取得することを可能とする機能である。したがって、各シートは別々の人間を監視対象とするので、異常検出時のメール通報機能では個別に通報先を設定可能とするなど、個別監視の機能を持たせている。一方、ActMonAP では一人の高齢者を複数のセンサ

シートで追跡する考え方としている。

両者のプログラムともセンサシートからはサンプリング周波数 100Hz でデータを取得し、PC の COM ポートでそれを受信する。

ActMon では1枚のセンサシートを1台のシングルポートの AD コンバータに接続して取得しており、それぞれのセンサのデータ入力タイミングが同期されていないため、非同期にデータを受信するスレッドを起動し、描画メインプログラムに対してリングバッファを用いてデータを渡す。メインプログラムは一定間隔でリングバッファ上に得られているデータを基に、フィルタリングや表示する心拍数、呼吸数などを計算し表示する。

ActMonAP では1台のマルチポートの AD コンバータに接続された8枚分のセンサシートのデータが入力され、ひとつのスレッドにより取得する。受信した8系列のセンサ信号すべてに対して生体信号の有無を確認するためフィルタリング処理を実行し、信号有無の状況に対応した画面表示を行う。さらにプログラムのユーザが特定のシート信号についての詳細信号を表示する指示がある場合にはそのシートの信号波形や心拍・呼吸情報を表示する。

3.3 信号フィルタリング処理

センサシートの信号は 100Hz でサンプリングされているので 0~50Hz の周波数成分を含んでいる。一方、心拍の基本周波数成分は 1Hz 前後、呼吸は 0.3Hz 前後で、正確な信号波形の分析には数倍の高調波成分が必要であるとしても、この信号中には両方の信号が重畳された形で含まれていると見て良い。したがって、この周波数の相違を利用してフィルタリングを行うこと

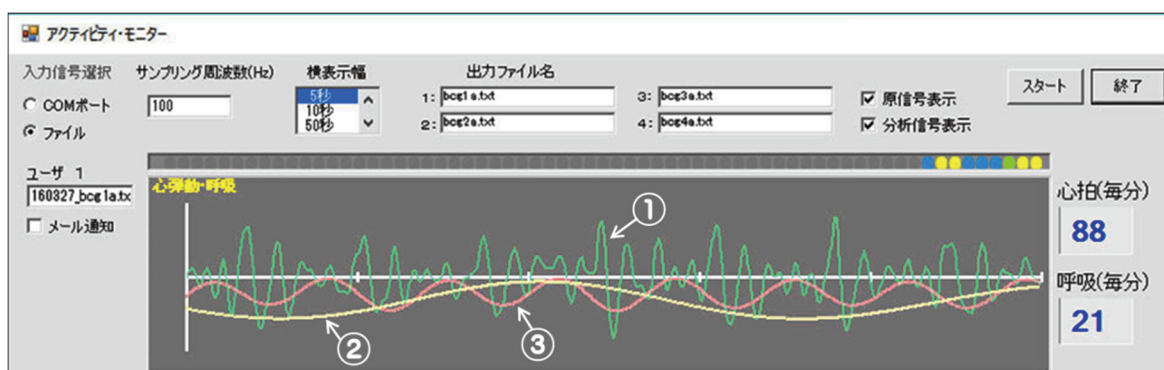


図 3.1 ActMon プログラム表示例

により心拍周期信号と呼吸周期信号を分離することができる。

信号フィルタリング処理は ActMon により有効性を確認しており、図 3.1 の例ではセンサから入力された信号①に対してフィルタリング処理を行うことにより、呼吸周期信号②と心拍周期信号③を抽出している。また、同じアルゴリズムを ActMonAP にも適用した。

3.4 試作プログラムの機能

ActMon プログラムは得られた生体信号から得られた状態情報の表示と、離床、入床を検出した場合のメール通知機能を持つ。(図 3.1)

黒地に振動波形が表示されている領域には、シート型圧電センサから入力された振動信号、信号フィルタリングにより得た心拍周期波形と呼吸周期波形を表示している。信号表示領域は、センサ 1 枚あたり 1 領域存在し、得られた信号を 5 秒ごとに分析し心拍と呼吸を求めた結果を右端表示欄に数字で表示している。

各ユーザ領域の左端に「メール通知」チェックボックスを設けた。なんらかの異常イベントを検出した際に、予め登録された介護担当者や家族にメールを自動送信する機能を設け、その機能を有効にするか無効にするかを指定するチェックボックスである。メールアドレスは、予め構成情報ファイルに登録する。センサ信号が無信号になったときに「離床」を通知し、無信号の状態からなんらかの振動信号が再開されたときに「入床」を通知する機能を持っている。

各信号表示領域の上部に、色別のだ円形で過去の状態を簡易的に表示する履歴表示領域を設けた。1 個のだ

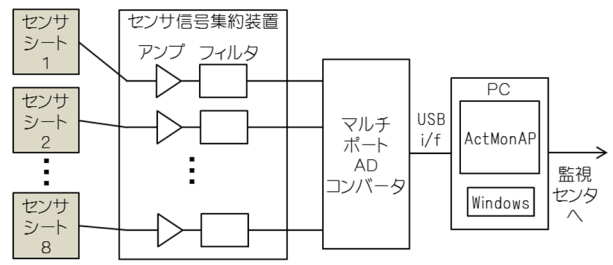


図 3.2 ActMonAP プログラムのセンサ接続構成

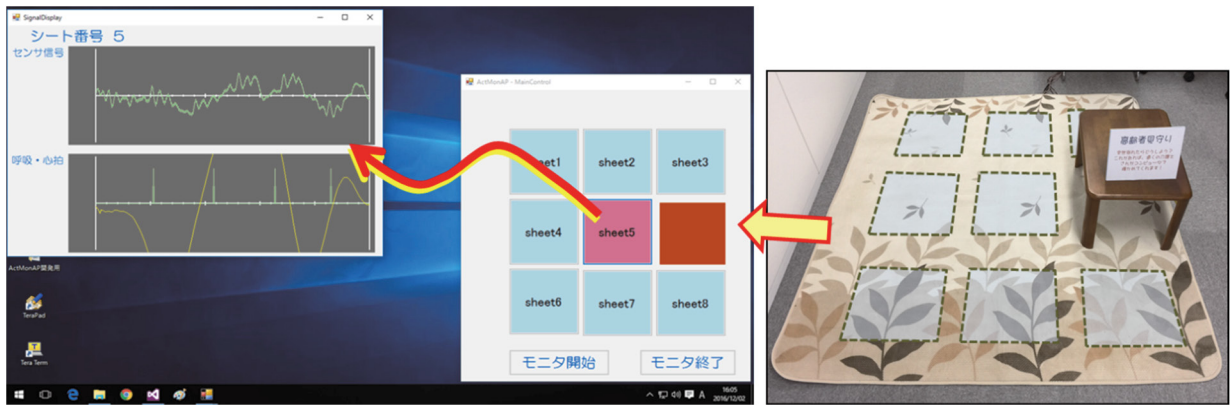
円形が 5 秒間の状況を表しており、グレーが無信号状態 (離床状態)、緑が心拍と呼吸が落ち着いた範囲にある状態、黄色が心拍または呼吸のいずれかが規定範囲外にある状態、水色が体動検出状態を示す。

センサから得られた信号は画面上部にある出力ファイル名欄に指定したファイルに記録される。このファイルは本プログラムの入力としても利用でき、オフラインで過去の監視対象者について詳しく分析することが可能である。

3.5 床面設置センサ実験システム

複数の床面設置センサからデータを入力する実験システムの構成は図 3.2 のようになっている。8 枚のシートを床面に設置し、それぞれの信号をプリアンプ回路で増幅し、商用電源ノイズをノッチフィルタで削減した後マルチポートの AD コンバータで読み込み、ActMonAP プログラムが動作する PC に送信する。

シート型圧電センサを見守り支援システムとして活用するためには高齢者が生活する家屋内にこれを敷き詰めなければならない。家屋内のどこで倒れた場合にも生体信号を取得可能とするためである。しかしながら、シート型圧電センサは通常の床材やカーペットな



(a) 各センサの信号取得状態表示プログラム画面

(b) センサシート設置位置

図 3.3 ActMonAP プログラム表示画面例

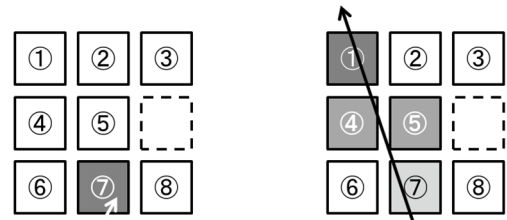
どと比較すると現状では面積単価比で2桁以上大きなコストを要する。将来の低価格化を見込むと仮定しても実用に供するためには床面に敷き詰めるシートの枚数を必要最小限とする必要がある。これらの検討を行うため本試作システムでは8枚のセンサシートを敷いた実験環境を構築した。

この環境を構築するためマルチポート（最大12ポート）のADコンバータを使用した。見守りシステムでは、すべてのポートから並行してセンサ信号を取得する必要があり、かつその頻度は100分の1秒以下のピッチであることが必要である。必要な性能を満たすADコンバータは一般に信号解像度が低く（12ビット程度以下）なるため、生体信号成分は外部ノイズ（特に電源系ノイズ）に対して振幅が非常に小さく、量子化誤差の中に隠れてしまうという課題がある。したがって、各センサ信号の入力部には1ポートごとに個別にノイズフィルタ回路を設けた。

図3.3(b)に実験室内にシートを敷き詰めた状況を示す。高齢者の生活空間をイメージし易いよう、カーペットを敷き小テーブルを設置した。カーペットの下に点線で示すように計8枚のシート型圧電センサを設置した。これを表示する画面を図3.3(a)に示す。右側のウインドウ内に表示されている9個の四角形はセンサシートの位置を示し、中段右の四角形は小テーブルの位置でありセンサシートが存在しないことを示す。いずれかのセンサ上に監視対象者が載ると、振動を検出したセンサシートの色が変わる（中段中央の四角形）。このシートをクリックすると左側のウインドウが開き、そのシートが検出した振動信号（原信号）と分析して得た呼吸周期信号、心拍周期信号を表示する。

ActMonAP 試作システムのセンサ上に人間の被験者が乗ると、一か所に座っていて移動しない場合には1枚のセンサ信号の表示だけが色が変わる（図3.4(a)）。被験者がセンサシートの上を移動する場合には通過した順番にセンサの色が変わっていく（図3.4(b)）。このように、このシステムでは高齢者の自宅内での移動量といった情報も取得可能となる。

この見守り実験システムを用いることにより、高齢者の生活上の動作を想定したセンサシート配置の方式の検討も可能となる。



(a) 矢印位置から被験者が移動しない場合 (b) 矢印方向に被験者が移動する場合

図3.4 被験者移動時のセンサ信号検出パターン

4. 結果

見守り支援システムの開発を目標としてその原理実験プログラムの試作を行った。また、介護施設内で介護対象者の状態をモニタする利用形態を考慮した機能を設けた。さらに、8枚のセンサシートを配置した実験システムを構築した。

報告者および4名の被験者により測定試験を行ったところ、得られる信号の強弱や質は圧電センサシートに対して測定対象者がどのように接しているかで大きく異なることが分かった。また寝返りや若干の姿勢変化だけでも大きな体動信号が発生するし、生体信号検出が困難となることも分かった。

しかしながら、一定時間（10秒程度）体が動かない時間帯があれば、ほぼ正しい心拍と呼吸数を算出できる。したがって毎日24時間といった長時間の測定をすれば、一定頻度で心拍数や呼吸数の正常・異常判定が可能であると考えられる。また体動発生時間帯は健康状態に問題ないと考えて良く、介護のための監視という観点からは、問題が無い状態と判断して良い。

複数枚のシート型圧電センサを床面に設置したシステムでは、一人暮らしの高齢者の生体信号や自宅内移動量など、健康状態を取得できる可能性があることを確認できた。

しかしながら、見守り支援システム全体の中では、いくつかの機能は今回の試作では開発しておらず、将来課題である。ひとつは個人ごとのデータを1ヶ月、1年というレベルで長期間に蓄積する機能であり、もうひとつは、多数のシート型圧電センサを床面に敷いた場合の、監視対象個人の追跡方法である。また、センサで検出した振動信号から呼吸と心拍信号を抽出する精度は、監視対象者がセンサ上にどのような形で乗っているかにも依存して異なってくる。多数の被験者お

よび多様な姿勢で実験をし、精度を検証していく必要がある。

おわりに

最終的な目標は一人暮らし高齢者の見守り支援システムの開発であるが、家屋の床全面に圧電センサを敷きつめる構成はコスト的な課題が大きい。実用性が明らかになれば将来的には大量生産による圧電センサのコストダウンが見込まれるが、当面の研究としてはセンサ数をできるだけ少なくして監視能力を最大化する方式の検討を進めていく。

参考文献

- 1) 内閣府, 平成 27 年版高齢社会白書(全体版), pp. 13-14,
http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2015/zenbun/27pdf_index.html (2015)
- 2) National Institute on Aging, National Institutes of Health, Global Health and Aging, NIH Publication no. 11-7737, October (2011)
- 3) 前川泰子, 中島智晴, 今西昇, 樋口由美, “居住空間のスマート化に向けた高齢者見守りシステム開発の取り組み,” ヒューマンケア研究学会誌, 第 5 巻 2 号, pp. 51-54 (2014)
- 4) 勝手美紗, 内海ゆづ子, 黄瀬浩一, “物体と動き特徴を用いた行動認識,” 信学技報, PRMU 2011-212, pp. 125-126 (2012)
- 5) 小林明夫, 沼田宗純, 目黒公郎, “平時から災害時まで利用可能な高齢者の生活習慣の遠隔見守り支援システムの研究,” 生産研究, 63 巻 4 号, pp. 465-470 (2011)
- 6) 吉田勤彦, 岸本真迪, 水野文雄, 早坂智明, 他 4 名, “歩行解析を核とした要介護者の見守りのためのウェアラブルシステムの開発,” 日本機械学会第 19 回バイオエンジニアリング講演論文集, pp. 192-193 (2007)
- 7) 池田英信, “ウェアラブルサービスの市場動向,” CEATEC JAPAN 2014 シンポジウム「第 5 世代モバイル通信とウェアラブルデバイスが拓く新しい社会への期待とそれを支える最新技術動向」, 電子情報通信学会,
https://www.ieice.org/tokyo/ceatec2014_03.pdf (2014)
- 8) 内田泰広, 澤本潤, 杉野栄二, “加速度センサを活用した非装着型の人間の行動推定システム,” 信学技報, vol. 115, no. 232, pp. 1-6 (2015)
- 9) 松野敬司, “タイルカーペットに埋め込まれた荷重センサの連続接続方式提案とその独居高齢者見守りシステムへの応用,” 信学技報, vol. 114, no. 497, pp. 53-56 (2015)
- 10) 萩原健, 杉田典大, 吉澤誠, 本間経康, 阿部誠, 小原一誠, 松岡成己, 斉藤功一, 後藤厚志, “シート型微小変位センサを用いて推定した心拍数変動の信頼性評価,” 生体医工学, 52 巻 1 号, pp. 18-24 (2014)
- 11) 上野仁, 鐘ヶ江正巳, “ウェアフリーセンサによる高齢者見守り支援システムの提案と部分試作,” 信学技報, MICT2015-39 (2016)
- 12) Hitoshi Ueno, “Development of Wear-Free Health Monitoring System for Independent Aged People,” 2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON), Proceedings of the International Conference, pp. 1502-1505 (2016)