

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：17601
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2018～2021
課題番号：18K11531
研究課題名(和文) 圧電素子を用いた学習機能を有するベッド上での心拍・呼吸・体動検出システムの開発

研究課題名(英文) A Development on Breathing, Heartbeat and Body Movement Adaptive Monitoring System using Multi-piezoelectric Elements on the Bed

研究代表者
田村 宏樹 (tamura, hiroki)
宮崎大学・工学部・教授

研究者番号：90334713
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：リアルタイムに非拘束で健康状態を監視するシステムは、睡眠障害の治療における個人の生活の質を大幅に向上させる。そこで、本研究は、睡眠中の呼吸と心拍の情報を、非装着型で費用効果の高い新しい測定システムを開発した。開発した計測システムは、複数枚の薄型圧電素子で構成されており、被験者が横になっているときの呼吸や心拍によって生じる圧力変動を取得可能である。さらに、睡眠時の呼吸状態評価では、抽出された呼吸波形の変化を抽出して評価することが可能である。これらの性能評価のため、比較・検証実験を行った。実験結果は、提案システムが呼吸および心拍の波形を正確に測定・抽出し、評価できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したシステムは、睡眠中の呼吸、心拍の情報を収集し、呼吸波形の変化からわかりえる睡眠状態を判定することが可能になると期待される。現在のコロナ禍で、在宅治療等が注目されているが、本システムは在宅で自身の睡眠時の状態を把握し、本人が無自覚な睡眠障害を含めて睡眠状態でわかる病気等を予防することができるヘルスケアの機器になりえる。将来的には、在宅だけでなく、介護施設、病院、育児施設等での活用が想定され、無意識に見守られ、見える化できることで、多くの人の生活の質の向上に貢献できるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Incorporating real-time health monitoring systems in a non-restrictive way, can significantly improve an individual's quality of life in the treatment of sleep disorders. This research suggests a novel system for non-wearable, cost effective measurement of breathing and heart-beat during sleep state. The measurement system is composed of flexible multi-piezoelectric elements to acquire the pressure fluctuations persuade by respiratory movement and heart-beat when the subject is lying on it. Further, in the evaluation of non-breathing time intervals, the amplitude changes in the extracted breathing waveforms were considered over its sleep event. Several experiments were conducted in order to evaluate the performance of the system on above criteria, along with a commercially available system. The experimental results suggest that the proposed method can measure and extract the related waveforms of breathing and heart-beat successfully.

研究分野：ソフトコンピューティング

キーワード：呼吸・心拍計測 圧電素子 睡眠時無呼吸症候群判定 ファジィ化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年の高齢化に伴い、一人暮らし・寝たきりの高齢者が増加している。これらの高齢者はベッド上で一日の約 1/3 から大半の時間を過ごしており、ベッド上での健康管理のために呼吸・心拍のモニタリングシステムや転落防止のための体動・離床検知システムが必要とされている。医療機関で睡眠時の呼吸・心拍・体動情報を計測する場合は、睡眠ポリグラフィー検査が一般的である。しかし、この検査方法は患者に脳波、眼電、心電、筋電などの多くの生体信号計測用センサを装着するため拘束性が高く、ビデオカメラで睡眠時の様子を録画するためプライバシーに問題がある。加えて検査費用も高価であるため費用面でも負担が大きい。さらに、現在日本国内に睡眠時無呼吸症候群の患者が全人口の 2% の約 256 万人と推定されており、生活習慣病と合併するなど重症化する危険性が高く放置すると生命の危険に及ぶこともあり、早期に診断し適切な治療が必要である。

本研究では、非拘束の面から、圧電素子に着目した。本研究で使用する圧電素子は「高感度」、「超薄型」であり、素子が検知した圧力を電圧信号に変換する。圧電素子に圧力を加えない状態では基準電圧から電圧変化はないが、圧電素子を加圧するとその瞬間に電圧が正方向に発生する。そのまま加圧し続けると基準電圧に電圧値は戻るが、減圧するとその瞬間に負方向に電圧が発生する。この特徴を生かして、人の胸部と圧電素子を密着させなくても(例: 布団の下に圧電素子を引いても) 呼吸による胸部の表面変化は呼吸信号として取得でき、心臓の微細な鼓動は心拍信号として取得可能である圧電素子が、近年開発されている。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、非拘束で人の呼吸・心拍の抽出がどの程度できるか、圧電素子を用いた場合は不明であるため、医療機器と比較し、その性能及び今ある接触型の医療機器に置き換わる可能性を究明する。

(2) (1) にて検証及び開発したシステムを用いてオリジナルに製作したマイコンに実装し、製品レベルのプロトタイプ製作及び商用電源ノイズの影響等や実環境上での性能検証を行う。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、圧電素子を用いて、ベッド上の人の睡眠時の呼吸・心拍信号を抽出する信号解析の実験を実施する。具体的には、圧電素子を複数枚用いて図 1 の実験環境にて行う。圧電素子の電圧信号を取得するために、ベッド上に設置した圧電素子と A/D 変換器を接続し、A/D 変換器を通してパーソナルコンピュータに電圧信号を記録する。被験者には圧電素子と同時に睡眠状態と心拍の真値を計測する計測器として睡眠評価装置「ウォッチパット」を装着してもらう。ウォッチパットは手に装着し、指先の末梢の血流量を測定可能であるため心拍数をカウントすることができる。心拍に関してはウォッチパットと、呼吸に関してはカメラで確認された回数と比較し、性能を評価する。

複数枚の圧電素子から取得した信号に対して、デジタルフィルタ処理後に、まずは、周波数解析(ウェーブレット変換)を用いて複数枚の素子から計測に成功している素子を候補として選ぶ。次に選択された素子の信号に対し、オンライン学習機能(適応能力)を有するファジィ化処理をすることで、体重や身長などの個人差やベッドの状態の変化の影響を少なくし、高性能な信号抽出を実現する。また、複数枚の圧電素子を用いることによって、ノイズなのか、体動なのかの判定も容易になる。このような信号処理の技術を用いることで、どの程度の精度で呼吸・心拍信号を抽出可能か、明らかにする。

(2) パーソナルコンピュータを用いた構成では、長時間の計測や他の機器のノイズの影響が大きいという実用面での問題がある。(1) にて開発したシステムをオリジナルに製作したマイコンに実装し、継続的に長時間モニタリング可能な小型なプロトタイプ製作を行う。完成させたプロトタイプを、現場で使用できる実用的な装置かどうか、検証実験を行い、本研究で開発した装置の有効性を確認する。

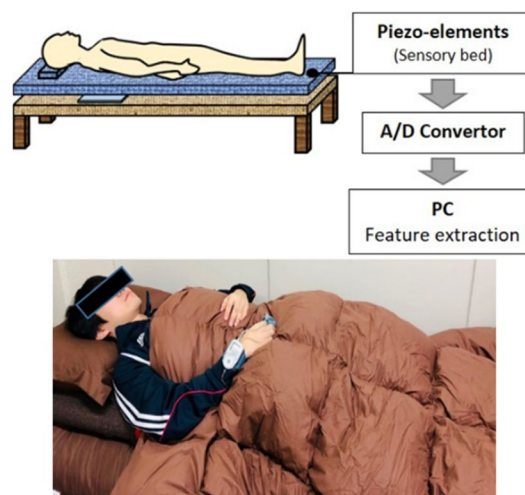


図 1 実験環境

4. 研究成果

(1)本研究では、図2に示すような位置に圧電素子を配置したベッドセンサーを構築した。ベッドセンサーの圧電素子からの電圧値に対して開発したアルゴリズムにて、呼吸用にデジタルフィルタを行った結果が、図3のグラフである。図3のように呼吸波形を得ることに成功しており、また、故意に無呼吸にした場合、図3のように振幅が小さくなり、無呼吸の判断およびその時間を確認することが可能であることがわかった。

このシステムを用いて無呼吸の状態を判定できるかどうかを検証するために、自動的に無呼吸及び低呼吸の状態をカウントできるアルゴリズムを開発し、それにより、故意に低呼吸状態にした場合、どの程度の割合で判定できるか検証実験を行った。被験者5名を対象に、各被験者6回のテストを行った結果、90% (27/30) で正しく判定できる結果となった。

また、ウォッチパットで計測される心拍数との結果比較を行っている。完全に一致はしていないが、誤差7%の精度で算出できる結果を得た。図4はシステムにて算出された呼吸、心拍の波形であり、提案アルゴリズムによりファジィ化された結果、回数をカウントしやすくなっていることがわかる。

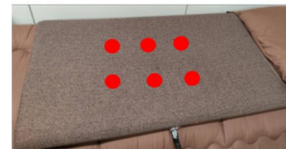
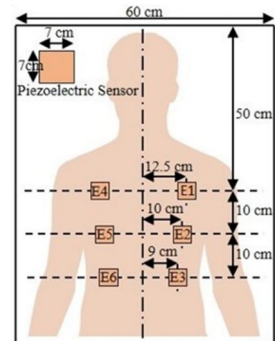


図2 圧電素子配置位置

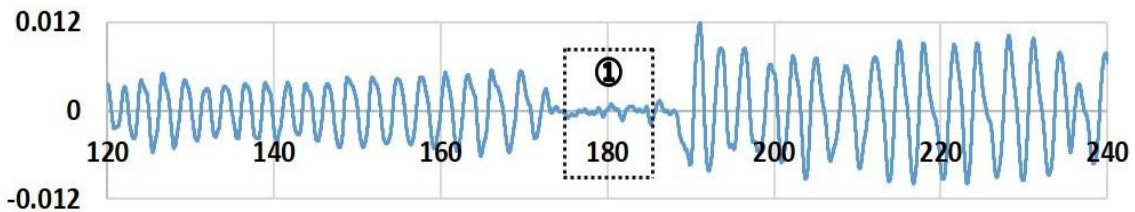


図3 計測された呼吸波形のグラフ

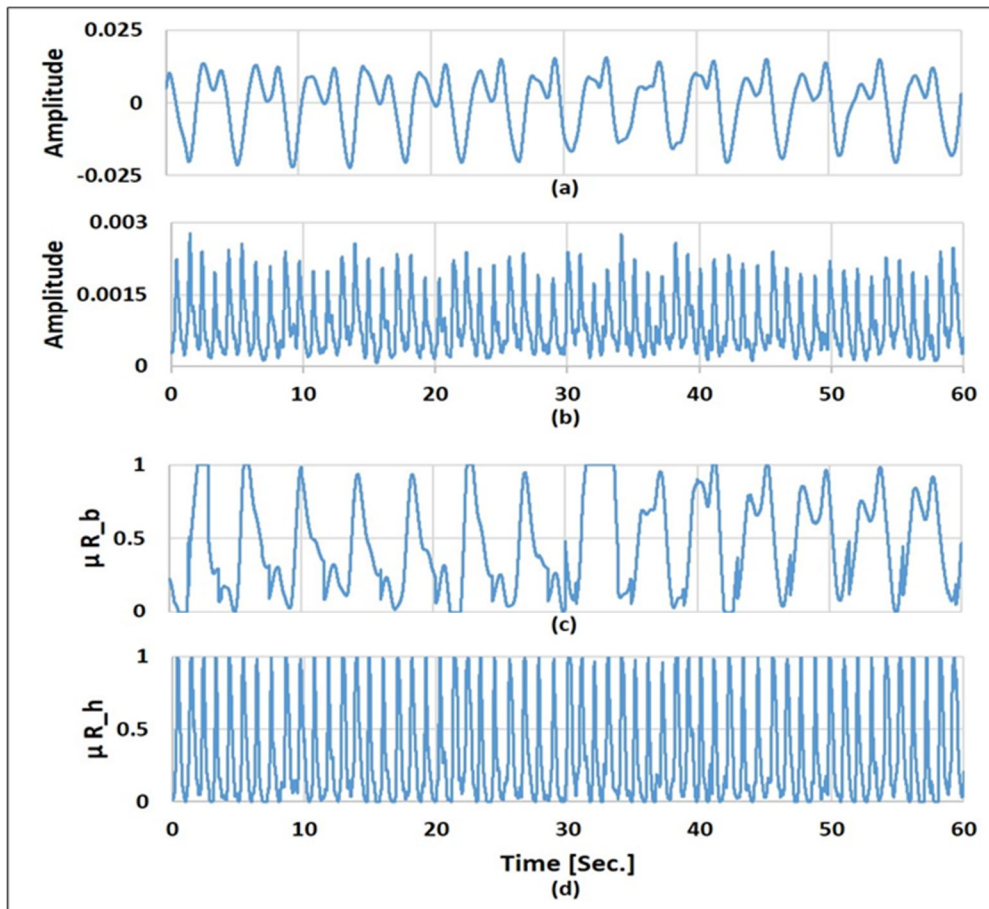


図4 開発したシステムで計測された呼吸波形(a)、心拍波形(b)、呼吸波形のファジィ化した波形(c)、心拍波形のファジィ化した波形(d)

(2) 図5に本研究で開発したプロトタイプのマイコンボードを示す。また、このマイコンボードにて計測、記録された呼吸波形を図6に示す。図6は、本研究で提案したデジタルフィルタの設定を用いて加工した後の波形である。図6より、呼吸の様子を表していることがわかる。

この開発したプロトタイプを用いて、6時間以上の連続計測の実験を6日間行った。その間、睡眠時無呼吸症候群の指標であるAHIの評価を行った。日によって異なるが、AHIの値のために必要な呼吸の深さの低下率50%及び呼吸の深さの低下率30%の検知率は高いものの、誤検知が9.7% (最大30%)であった。この実験結果を検証した結果より、誤検知の原因はノイズや体動等によるものであることがわかった。実用化のためには、より小型化及び、さらなるノイズ対応を行い、検知精度の向上を図る必要があるといえる。



図5 開発したマイコンボード

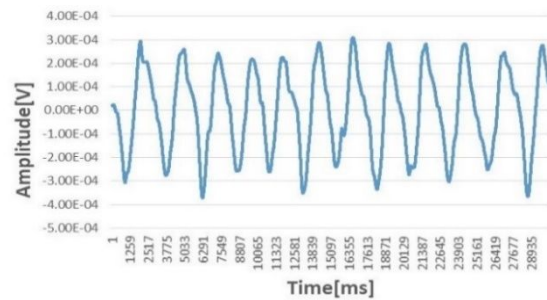


図6 マイコンボードで計測された呼吸波形

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Praveen Gunaratne, Hiroki Tamura, Chika Yoshida, Keiko Sakurai, Koichi Tanno, Nobuya Takahashi, Junko Nagata
2. 発表標題 A Study on Breathing and Heartbeat Monitoring System During Sleeping Using Multi-Piezoelectric Elements
3. 学会等名 2019 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Praveen Nuwantha Gunaratne, Chika Yoshida, Keiko Sakurai, Hiroki Tamura, Koichi Tanno
2. 発表標題 A Study on Breathing and Heartbeat Monitoring System during Sleeping using MultiPiezoelectric Elements
3. 学会等名 The 2019 International Conference on ARTIFICIAL LIFE AND ROBOTICS (ICAROB2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田千香, 田村宏樹, 淡野公一, 高橋伸弥
2. 発表標題 圧電素子を用いた心拍・呼吸・体動計測システムとその応用に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 田村宏樹 (第4節を担当)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 NTS	5. 総ページ数 7ページ (担当分)
3. 書名 生体情報センシングと人の状態推定への応用	

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	淡野 公一 (tanno koichi) (50260740)	宮崎大学・工学部・教授 (17601)	
研究 分担者	永田 順子 (nagata junko) (50264429)	宮崎大学・医学部・講師 (17601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------