

奨励金No.1458

ウイルスの院内感染予防に向けた遠隔バイタル計測 センサシートの開発

竹井 邦晴
北海道大学 教授



Wireless vital sensor sheet to prevent secondary infection of virus

Kuniharu Takei,
Hokkaido University, Professor

本研究では、ウイルスの院内感染予防に向けた自宅で簡易に健康管理及びバイタルデータ計測ができる貼付型のウェアラブルセンサシートの開発を目指している。本年度は、昨年度の成果をもとに在宅モニタリングの実証試験として、睡眠時無呼吸の簡易検査の可能性について確認を行った。また遠隔在宅モニタリングに向け、被験者のバイタル情報を無線計測するシステム開発及びそのバイタルデータの相関関係から瞬時解析する機械学習アルゴリズムの開発を行った。

This study aims to develop a skin-attachable wearable healthcare sensor sheet toward prevention of virus infection. In this fiscal year (2022), home-use sleep apnea was tested by inviting some volunteers who have a symptom of sleep apnea syndrome. The highly stable humidity sensor attached on a face mask was used for the monitoring tests. Furthermore, for home monitoring of vital detections to prevent the infection of virus, machine learning algorithm was developed for real-time remote monitoring with feedback functions. Finally, by incorporating a wireless circuit, we confirmed the possibility for continuous multimodal vital monitoring.

1. 研究内容

1.1 研究目的

本研究は、院内での二次感染を極力回避することを目指し、自宅で体調等を管理・診断できるセンサシステムの基礎技術構築を目的とした。特に遠隔バイタル管理を実現するフィードバック・アラーム機能搭載絆創膏型ウェアラブルセンサシートを提案した。本研究の目標は、患者のバイタルや身体の状態を遠隔且つ無線で簡易に記録し、必要に応じてアラームを出すフィードバック制御型の多機能フレキシブルセンサシートの実現である。本実現へ向け、「心電図」「皮膚温度」「呼吸」「発汗」「活動量」を無線で同時計測できる高精度なバイタルセンサの開発を行う。

1.2 研究結果

1.2.1 マスク型湿度センサを用いた睡眠時無呼吸症候群の早期発見

昨年度開発した長期安定且つ高精度に計測できる ZnIn_2S_4 (ZIS) ナノシートを用いたフレキシブル湿度センサとその出力結果をスマートフォンアプリと無線通信する回路システムをマスクに設置することで、呼吸の常時計測を実施した（図 1a-d）。これは呼吸に応じてマスク内の湿度が変化するため、その湿度変化の増減を検知することで呼吸数を計測するものである。まず健常者に意図的に普通の呼吸、深呼吸、そして息を止めるという動作を行ってもらった。図 1e に示すように呼吸に応じて湿度センサの抵抗値が変化しており、この抵抗

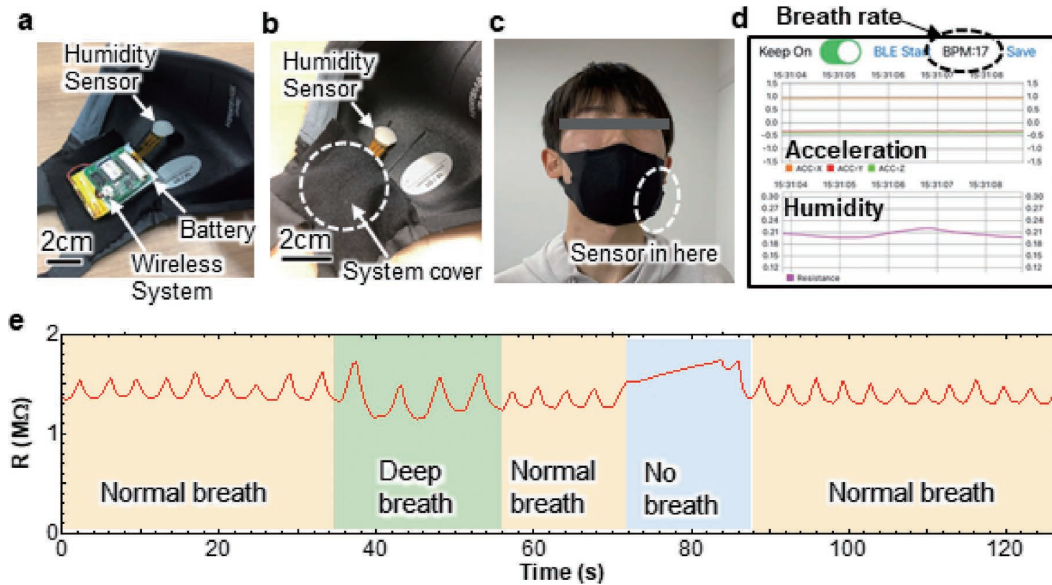


図1 (a) マスクに湿度センサ、無線回路、電源を設置した写真。(b) センサ搭載マスクの最終実装の写真。(c) センサ搭載マスクを装着した場合の写真。(d) 活動と湿度センサ出力を示すスマートフォンアプリの画面。(e) 湿度センサの出力結果。業績文献(1)から抜粋

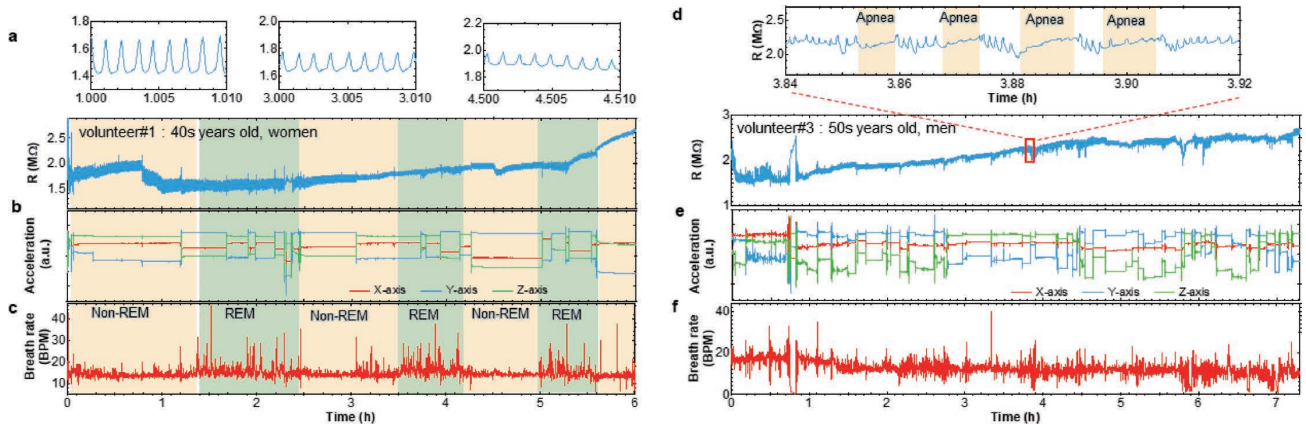


図2 健常者から計測した(a)湿度センサの出力、(b)加速度センサの出力、(c)湿度センサ出力から算出した呼吸数の結果。睡眠時無呼吸症予備軍の(a)湿度センサの出力、(b)加速度センサの出力、(c)湿度センサ出力から算出した呼吸数の結果。業績文献(1)から抜粋

値のピーク間隔が実際の呼吸数と一致していることを確認した。またこのピーク値検出を行うことでスマートフォンアプリ上で自動的に呼吸数を計算できるようにした(図1d)。本結果からコロナ禍で当たり前となったマスクを装着するだけで呼吸の自動計測が可能であることを確認できた。

そこで本センサ搭載型マスクを用いて、健常者及び睡眠時無呼吸症予備軍の方に協力してもらい、睡眠時の呼吸計測を実施した。まず健常者の場合、

図2a-cに示すように睡眠時間約6時間中において呼吸数が安定する時間と大きく変動する時間が周期的にあらわれているのがわかる(図2c)。これは無線回路に搭載した加速度・ジャイロセンサで計測した体の動きの結果でも似た傾向を示した(図2b)。呼吸数が安定している時間は体はあまり動かず、逆に呼吸数が不安定な時間は体が動く傾向にあることがわかる。これらの結果は、Non-REM睡眠とREM睡眠の変化を示していると予想

できる。これに対して、睡眠時無呼吸症予備軍の被験者では、健常者のような呼吸の周期は見られず、常に大きく変動し、体も大きく動いている状態であることが結果からわかった（図 2d-f）。また呼吸センサの出力をよく観察すると図 2d 上に示すように呼吸が停止している時間が多くあることがわかった。これは睡眠時の無呼吸を意味している。このように簡易な無線センサ搭載マスクにより、自宅においても簡易に睡眠時の呼吸状態を観測することができることがわかった。本計測は、長期間安定且つ高精度なフレキシブル湿度センサを実現できたことにより達成されたものである。ただし、このようなマスク型では呼吸の有無は確認できるものの、睡眠時無呼吸症候群検査で得られる睡眠レベルや呼吸努力等の指標を得ることができない。そこで現在は、本湿度センサを含めた多機能センサシートを開発し、実際に共同研究機関病院にて睡眠時無呼吸症候群患者での実証試験を開始している。被験者数は 30 名として、現在、医療機器データと共に、我々の開発したセンサ結果をもとにデータ解析を進めている。

1.2.2 データ解析アルゴリズムの開発

次にこれまで開発してきた湿度センサ、心電図センサ等を一センサシートとして集積化させ、それらデータを一括に計測できる無線システムの開発を行った。現状、論文投稿前であり詳細を示すことは出来ないが、多種バイタルデータを計測することに成功している。さらにその多種データと機械学習を用いてバイタル異常等を瞬時に解析・発見するアルゴリズムの開発を行っている。簡単な異常については既に解析することが出来ており、今後はこれらアルゴリズムを更に発展させ、予防医療及び在宅診断等へと展開できるかどうか検討する予定である。

2. 全研究期間のまとめ

本研究ではウイルス感染における二次感染予防

として自宅で容態を計測及び診断できる無線型センサシステムの開発を実施してきた。特に応用を視野に、バイタルを貼付型センサシートで測れることに加え、長期安定且つ高精度に測れるセンサシートの開発に注力してきた。その中で、構造及び材料等の最適化を行うことで、心電図、蒸汗・湿度を長時間安定に計測するセンサを開発した。またそれらのセンサ出力を無線で計測する回路システムの開発を行い、実際に睡眠時無呼吸症候群の簡易検査の実証試験や、バイタルの異常をリアルタイムで検知するデータ解析用アルゴリズムの開発にも成功してきている。まだ目標とする在宅での遠隔診断や管理といった応用には実証試験やデータ収集等多くの課題が残っているが、本研究課題で得られたセンサ技術及びデータ解析アルゴリズムはその基礎を作り上げるものである。本研究助成終了後も引き続き本研究を実施することで、出来る限り早い段階での遠隔無線センサシステムを実現させ、将来的な予防医療・健康管理に貢献することを目指す。

3. 発表（研究成果の発表）

1. S. Honda, H. Hara, T. Arie, S. Akita, K. Takei, "A Wearable, Flexible Sensor for Real-Time, Home Monitoring of Sleep Apnea", *iScience*, Vol. 25, p. 104163, 2022.
2. Y. Xuan, H. Hara, S. Honda, Y. Li, Y. Fujita, T. Arie, S. Akita, K. Takei, "Wireless, minimized, stretchable, and breathable electrocardiogram sensor system", *Applied Physics Reviews*, Vol. 9, p. 011425, 2022.
3. (Invited) K. Takei, Multimodal flexible sensor system, 7th IEEE Electron Devices Technologies and Manufacturing (Seoul, Korea), March 7-10, 2023.
4. (Invited) K. Takei, Wireless healthcare flexible sensor system with comfortable and precise monitoring, 242nd ECS meeting (Atlanta,

USA), October 9-13, 2022.

5. (Invited) K. Takei, Multimodal flexible sensor sheet for remote healthcare application, **2022 MRS Spring Meeting & Exhibit (Online)**, May, 23-25, 2022.