

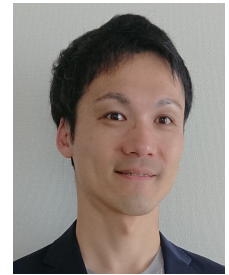
■受領No.1458

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

代表研究者

竹井 邦晴

大阪公立大学 教授



Wireless vital sensor sheet to prevent secondary infection of virus

Principal Researcher

Kuniharu Takei,

Osaka Metropolitan 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、特に心電図と蒸汗を皮膚表面から安定して計測できるフレキシブルセンサの開発を実施した。またこれまで開発してきた呼吸センサ及び温度センサを集積化させるプロセスを確立させた。更に簡易な無線システムを融合させることで、常時多種バイタルデータを計測できることを確認した。

This study aims to develop a skin-attachable wearable healthcare sensor sheet toward prevention of virus infection. In this fiscal year (2021), an electrocardiogram sensor and a skin perspiration sensor were mainly developed, especially focusing on the stability of measurements during activity. Furthermore, process development to integrate these sensors, respiration sensor, and temperature sensor we have already developed previously were conducted. Finally, by incorporating a wireless circuit, we confirmed that the sensor system can be used 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の開発を実施する。目標は、中症状以下の患者に本ウェアラブル機器を装着してもらうことで、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。特に「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 心電図センサの開発

心電図センサは心筋活動により生じる微小な電気信号を皮膚を介して測定するものであり、電極のみで計測可能である。しかし簡易な計測手法であるため、体を動かす等の活動下でも筋電によるノイズが大きな問題となる。そこで本研究ではこのノイズを出来る限り小さく、また正確な計測に向けた信号ノイズ比 (SN 比) が大きくなるセンサ構造の最適化を行った。まず皮膚とゲル電極の間のインピーダンス解析を行うことで界面状態の理解をはかった。そしてインピーダンス値 (10 Hz での計測) はゲル電極面積に反比例することがわ

かった (図 1a-b)。次に実際にゲル電極を胸部に貼付し、電極サイズ及び電極間隔を変えた際の心電図信号の SN 比の計測を行った (図 1c-e)。まずゲルサイズを変えても心電図で良く用いられる R 波の振幅に大きな変動は見られなかった。これは心電図計測に使用したアンプの入力インピーダンスが皮膚-ゲル電極間のインピーダンス値より十分に高いため信号の減衰が起こらなかったためである。しかしノイズレベルは電極サイズが小さくなるに伴い大きくなり、200 mm² 以下では SN 比が大きく減少してしまうことがわかった。また運動時における SN 比の計測も行った (図 1f)。実験

は歩行時と軽いジョギング時の心電図計測を行い、その結果から SN 比を算出した。結果からジョギング時は、若干ノイズレベルが上昇してしまい SN 比が悪化するが、電極サイズ 200mm² 以上で SN 比 13 以上と比較的精度高く心電図波形を計測できることが確認できた。これらの結果から、皮膚に接触する導電性ゲルサイズの面積は約 200 mm²、電極間隔は 1.5 cm が最適であると結論付けた。このような貼付型心電図センサのサイズ依存性解析などはこれまでに報告例がなく、本研究においてその解析方法の提案と電極サイズの最適化手法について示すことができた。

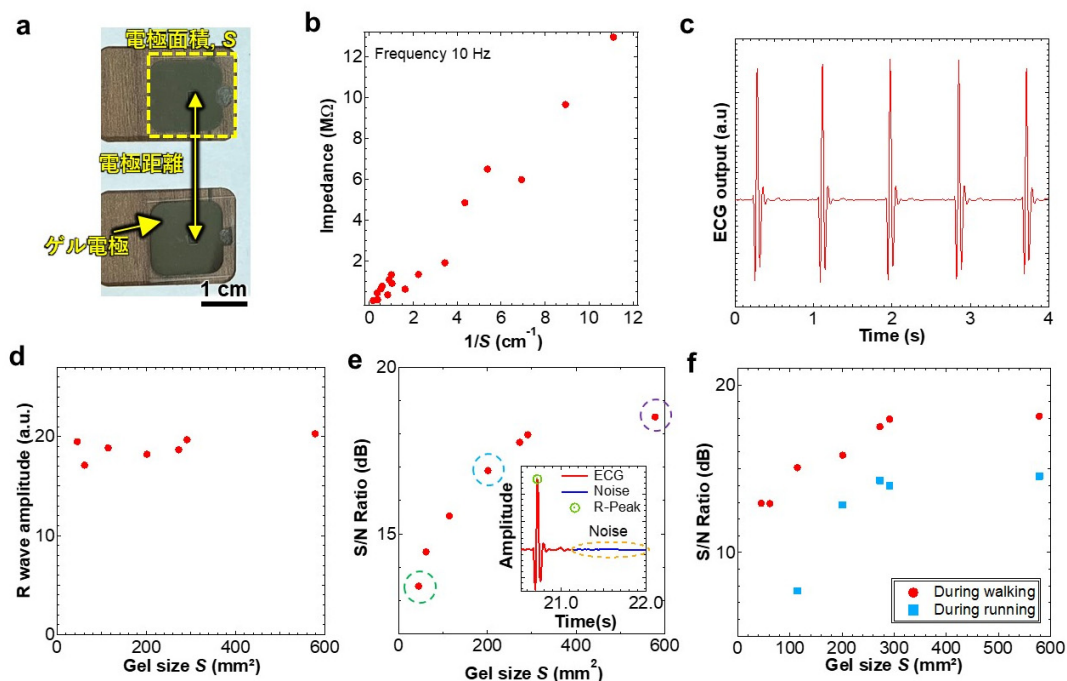


図 1 (a) 心電図センサ解析で用いたデバイス写真、(b) 電極面積 S に対するインピーダンス計測結果、(c) 計測した心電図、(d) 電極サイズに対する心電図から抽出した R 波の振幅値、(e) 電極サイズに対する SN 比、(f) 歩行時及びジョギング時の電極サイズに対する SN 比

1.2.2 蒸汗センサの開発

ストレス具合や体調不良などを早期検知する目的で、皮膚表面から計測する蒸汗検出に向けた湿度センサの開発を行った。本研究では、特にこれまで開発してきた ZnIn_2S_4 (ZIS) ナノシートを溶液中で多層形成した湿度センサの安定性解析を行うことで、長時間安定且つ高精度に計測できるセン

サの実現を目指した。本センサ材料は微小な ZIS ナノシートの積層及び集合により抵抗型の湿度センサを実現しており、この ZIS ナノシート間の界面に不安定性をだす要因があるのではと考えた。まず界面数を極力減らす目的で、ZIS の抵抗変化を読みだすレーザー誘起で形成したグラフェン電極の距離を変化させた (0.1 mm から 1.1 mm) (図

2a)。図 2b-d にその結果を示す。結果から電極間距離が大きくなるにつれて湿度を変える計測を繰り返す毎に抵抗値が変化してしまうことが分かった。その一方、電極間距離を 0.1 mm にすることで、その抵抗値のバラつきが極力抑えることができ、ヒステリシスもほとんど無視できるレベルであった。次に、ZIS 膜厚依存性 (2.5 μm から 15 μm) についても解析を行った。その結果を図 2e-g に示す。こちらも膜厚が厚くなることで繰り返し測定において抵抗値のバラつきが大きくなっていることがわかる。本結果も膜厚が増えることで電気のパスが広がる、すなわち界面数が増えることに起因しているものと考えられる。

これらの結果から、まだ断定は出来ないが ZIS ナノシートの多層膜を用いた湿度センサは、ZIS

ナノシートの界面が安定性に悪影響を及ぼしている可能性を示唆することができた。現状、膜厚に関しては安定した薄膜形成に 2.5 μm 以上が必要であり、また電極間距離も使用しているレーザー加工機の解像度の問題で 0.1 mm が最小距離である。今後、プロセス技術を発展させることができれば、更に安定した湿度センサが実現できる可能性がある。

これらの最適化させたセンサ構造を用いて、環境オープン内で湿度を 40 % から 75 % 程度まで繰り返し変化させる実験を行った。図 2h に示すように、150 時間以上安定して ZIS 湿度センサで湿度を計測可能であることを確認できた。現在は、本センサを用いて人に貼付することで蒸汗を計測する実験を開始している。

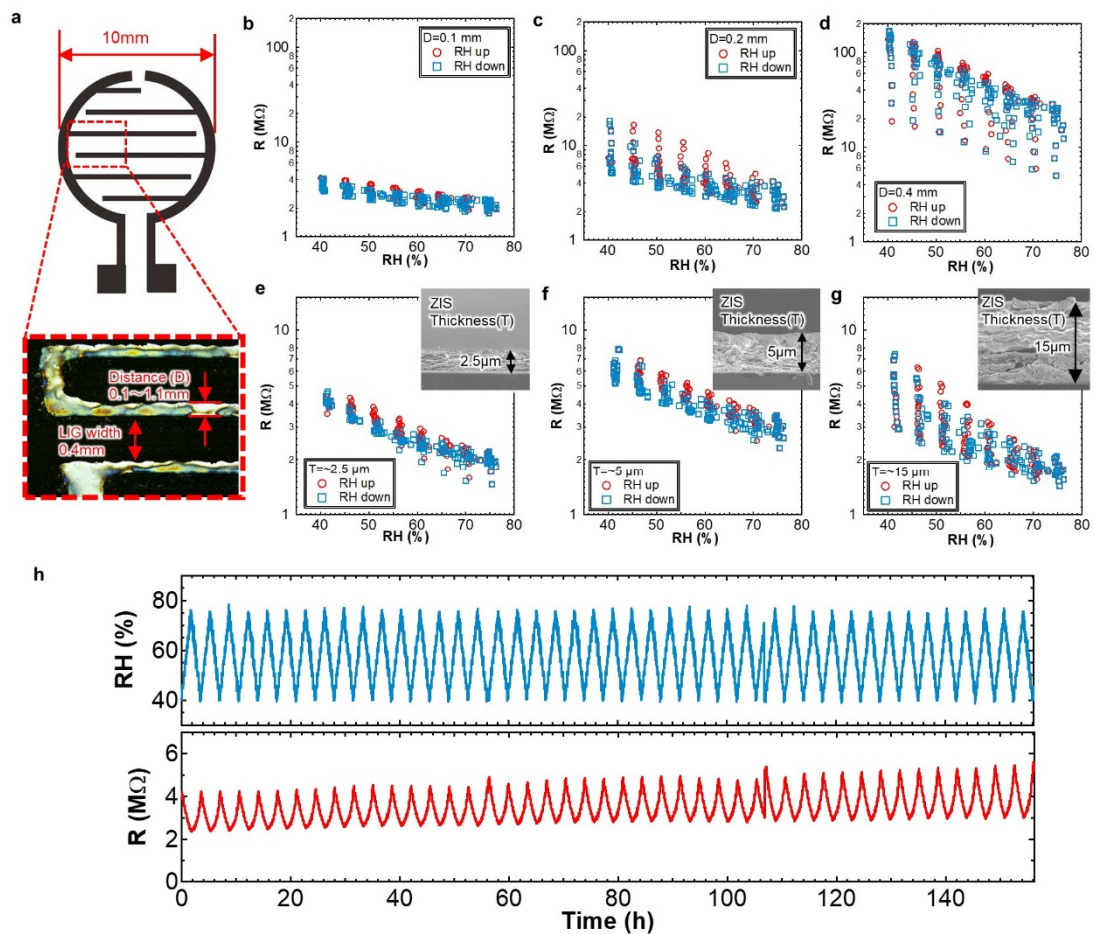


図 2 (a) 湿度センサのデザイン、電極間距離 (b) 0.1 mm、(c) 0.2 mm、(d) 0.4 mm における繰り返し湿度を変化させた際の ZIS センサの抵抗値計測結果、ZIS 膜厚 (e) $\sim 2.5 \mu\text{m}$ 、(f) $\sim 5 \mu\text{m}$ 、(g) $\sim 15 \mu\text{m}$ における繰り返し湿度を変化させた際の ZIS センサの抵抗値計測結果、(h) 150 時間以上の連続湿度センサの計測結果

1.2.3 集積化センサシステム

本研究で開発した心電図センサと湿度センサを、これまで開発してきた温度センサ、呼吸センサと集積化させるプロセス開発を行った。またそれらを無線通信するシステム及びそれを無線計測するアプリ開発を実施した。現状、その詳細な結果は、

実験中ということもあり示すことは出来ないが、図3に示すような無線システム、そしてアプリ開発を行い、実際にフレキシブルセンサからの出力をリアルタイム計測且つ保存できるようになってきている。

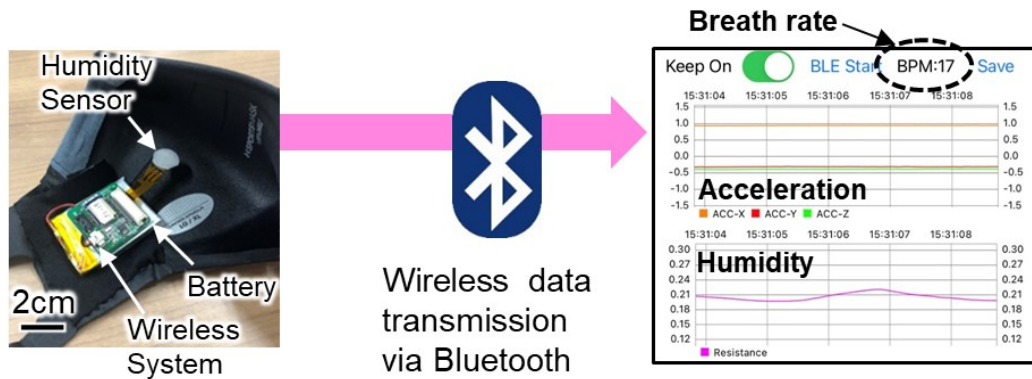


図3 開発した無線回路システムとセンサ出力を表示・計測するスマートフォンアプリ

2. 発表(研究成果の発表)

国内外の学会誌、学会講演会等における発表があれば5件程度記載。

記載内容：氏名、題目、誌名、巻、号、頁(年次)、学会名(場所、年次)

1. 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). DOI: 10.1063/5.0082863.

2. 招待講演 K. Takei, "Human-interactive multimodal wearable sensor sheet", Online Conference: Nanomaterials & Electronics for Wearable Implantable Devices & Applications (NEWIDEA 2021), 2021年12月6日オンライン

3. 招待講演 K. Takei, "Heterogeneous material-integrated multi-functional flexible healthcare sensors", 京都大学 iCeMSセミナー, 2021年11月29日(京都大学)

4. 招待講演 K. Takei, "Multimodal flexible sensor system with wireless feedback alarm function", 240th ECS meeting, 2021年10月10日-14日オンライン

5. 招待講演 K. Takei, "Multimodal flexible sensor sheets for feedback wearable applications", 6th International Conference on Advanced Electromaterials (ICAE 2021), 2021年11月9日-12日オンライン