



丸文学術賞 受賞者

竹井 邦晴

大阪府立大学 大学院工学研究科
教授

無機ナノ材料を用いたフレキシブル集積化センサシステムの開発

ナノでマクロな情報をみる!?

研究の背景

全てのモノがインターネットに接続される“Internet of Things (IoT)”時代が到来し、多くのモノにセンサやコンピューターが搭載され、その情報を管理する社会が少しずつ実現してきています。しかし本社会の実現には多くの技術の融合による、さらなる発展が必要です。その一つの重要な素子がセンサです。これは次世代IoTとして、多種センサを集積させることで人に違和感なく貼付し多種健康情報を常時管理したり、狭い隙間の情報を検知したり、さらには形状を変えずに乗り物(ドローンや飛行機など)表面に設置し風向などを計測することが期待されています。これらを実現する技術として、極薄膜で曲面や柔らかい表面に貼付可能なフレキシブルセンサに注目が集まってきています。実際、国内外で本研究分野は非常に活発になっています。しかしそのほとんどがセンサの高性能化に焦点があてられており、多種フレキシブルセンサの集積化やそのシステム化の研究はまだ多くありません。そして残念ながら既存のチップ型センサでは

なく、フレキシブルセンサでなくてはできない応用を示さない限り、本分野の実用化への展開は難しいと言われてしています。

このような背景のもと、我々はセンサの高感度化、高精度化、そして安定性・信頼性を確保したフレキシブルセンサの開発と、それらセンサの多種集積化およびシステム化の研究開発を実施してきました^[1-8]。まだそれらセンサの実用化へのブレイクスルーにはつながっていませんが、フレキシブルセンサだからこそ計測できる様々な情報を常時計測することを提案し、その実証試験を行っています。特徴は、無機ナノ材料を大面積で形成する技術を開発することで高性能・集積型多種フレキシブルセンサを開発しているところにあります。以下にその開発の一例を紹介します。

ナノからマクロ、そして集積型システムへの展開

最初に私たちのグループの取り組みについて紹介します。図1に示すように研究の方針として、無機ナノ材料の優れた、あるいは

面白い電子物性に注目し、それを解析することでデバイスとして利用できるかどうかを考えます。そのナノ材料を大面積に形成する技術を構築し、高性能かつ安定なフレキシブル電子デバイスを開発します。ここではまだ半導体プロセスを用いてデバイスの作製を行っており、大面積化と低価格化を両立することは困難です。またフレキシブルデバイスは、破れてしまうことから超低価格化を実現しないと実用化への普及は難しいと考えられます。そこでこの問題を解決するため、これらデバイスを印刷技術で簡単に作製する技術を開発します。このフレキシブルセンサを一括集積させることで多機能化させ、健康管理用ウェアラブルデバイスやロボットの電子皮膚の開発へと展開します。そして無線システムや実証試験で得られたデータをもとにフィードバックシステムを開発する流れです。

研究の成果

1. 多種バイタル計測へ向けた集積型フレキシブルセンサ

図1 無機ナノ材料からマクロデバイス、そしてシステムまでの研究の流れ



これまで多くの集積型フレキシブルセンサの開発を行ってきました。本稿ではそのうちのひとつとして健康管理用途に向けたデバイス開発の取り組みを紹介します。デバイスは、肌に直接貼付することで皮膚表面から多種バイタル情報を同時に常時計測し、その多種情報の相関関係から健康予測を目指すものです。既にウェアラブルデバイスが販売されていますが、そのほとんどが活動量と心拍数(血中酸素濃度)のみの計測に限定されています。フレキシブルセンサにすることで肌に違和感なく密着させることが可能になり、これまで計測できなかったバイタル情報の取得が期待できます。その例として、フレキシブルな温度センサと超高感度汗pHセンサを集積させ腕に貼付することで皮膚温度と汗のpH値の連続計測を行うデバイス(図2a) [1]、そして胸元に集積型多種センサを貼付することで心電図、皮膚温度、活動量(3軸加速度)、室内紫外線量を常時管理するデバイス(図2b) [2]などを開発してきました。また実際にそれらセンサを用いることで常時・連続計測の実証試験も行っています(図2c-d)。最近では、これら集積型フレキシブルセンサに無線システムを搭載し、常時バイタル情報などを解析し異常と判断した場合、アラームを出すフィードバックシステムの融合にも成功しました。今後は、本デバイスを用いた実証試験を増やし多くのデータを蓄積させることで、健康状態や病気を常時管理するシステムデバイスへと発展させていこうと思っています。

2. フレキシブル皮膚湿度センサ

フレキシブルセンサの集積化開発だけでなく、現在はそのフレキシブルセンサを用いたバイタル情報計測および解析に取り組み始めています。図3は独自に開発したフレキシブル湿度センサを用いて、皮膚表面の湿度を常時計測することで脱水症状などの現象を早期に検知することを目指した研究成果です [8]。実験では水分補給の有無による皮膚表面からの発汗に起因する湿度を連続計測しました。まだ脱水症状や熱中症症状を検知できると断言はできませんが、興味深いデータが集まり始めています。現在は、さらに実証試験を進めることで上記症状の早期検知に向けたデバイスの開発を行っています。

図2 (a) 温度センサを集積した超高感度フレキシブル汗pHセンサの写真
(b) 多種センサ集積型フレキシブルデバイスの写真
(c) 皮膚温度と汗pHの連続計測結果 [1]
(d) 皮膚温度、心電図、活動量、室内紫外線量を常時計測した結果 [2]

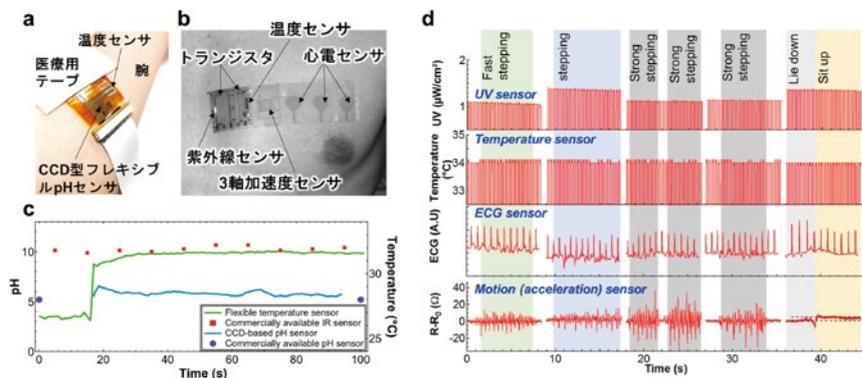
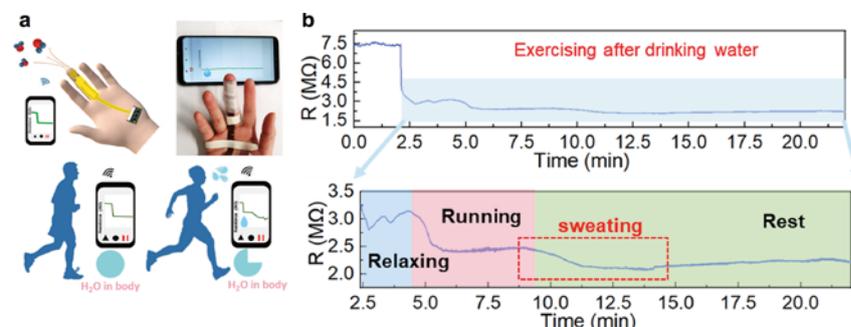


図3 (a) 発汗に起因する皮膚湿度を計測する無線型フレキシブルセンサシステムとその実験イメージ
(b) 運動中における指先の皮膚湿度の計測結果 [8]



将来の展望

これまで新しいデバイスの形としてフレキシブルセンサの開発に取り組んできました。特に高性能、高精度、安定、低価格化に注目し、多種センサを集積させたフレキシブルデバイスの開発を実施してきました。最近ではそれに無線回路を搭載することで無線計測ができ、さらに異常を検知した場合、アラームを発することも可能になりつつあります。今後は、さらに実証試験を増やすことで、その結果からデバイスを改良・最適化し、ただ計測するだけではないフィードバック

型のセンサシステムを実現していきたいと考えています。これにより従来のチップ型センサでは実現できなかった新たな応用展開を創出し、次世代のIoT社会の構築に貢献していきたいと考えています。

謝辞

本研究は、大阪府立大学の秋田成司教授、有江隆之准教授をはじめ多くの研究者および学生の協力により実現できたものです。また本研究推進にあたり政府系機関や企業・財団のご支援を受けました。この場を借りて、深く御礼申し上げます。

References (参考文献)

- [1] S. Nakata et al., Nature Electronics 1, 596-603 (2018).
- [2] Y. Yamamoto et al., Science Advances 2, e1601473 (2016).
- [3] K. Xu et al., ACS Nano 13, 14348-14356 (2019).
- [4] Y. Lu et al., ACS Nano 14, 10966-10975 (2020).
- [5] T. Yamaguchi, T. Kashiwagi, T. Arie, S. Akita, & K. Takei, Advanced Intelligent Systems 1, 1900018 (2019).
- [6] S. Honda et al., Advanced Electronic Materials 6, 2000583 (2020).
- [7] S. Honda et al., Advanced Functional Materials 29, 1807957 (2019).
- [8] Y. Lu et al., Nanoscale Horizons, in press (2021) (DOI: 10.1039/D0NH00594K).