

機能性ナノシートを用いた生体情報モニタリングシステムの開発

研究代表者 武岡 真司
(先進理工学部 生命医科学科 教授)

1. 研究課題

本プロジェクト研究では、生体情報や環境情報を持続的にモニタリングする薄膜型センサの開発を参画企業と共に行うことを目的としている。測定対象としては、筋電、心電、脳波、脈拍、血圧、温度、pH、酸素、そのほか乳酸値などのバイオマーカーなどであり、要素技術として、皮膚貼付型電極、歪センサ、アンテナコイル、機能性蛍光プローブなどを期間内に確立して新しいバイオエレクトロニクスを開拓する。今年度は、超薄膜電極を用いた生体情報計測システムの開発、インクジェット印刷からなる高分子超薄膜を基材としたアンテナコイルの開発について検討した。

2. 主な研究成果

2.1. 超薄膜電極を用いた生体情報計測システムの開発

昨年度までに、超薄膜電極を用いて投球時の母指内転筋の筋電情報を取得し、球種及び競技経験の違いによって異なるシグナルが得られることを明らかにしていた。これらの成果を原著論文としてNPG Asia Materials 誌に掲載、及びプレスリリースを行った。それを受けて取材や共同研究の依頼があり、幅広い応用展開と迅速な社会実装が望まれていることを実感した。現在、個々の共同研究に対して具体的な対応を行っている。

今年度は、この技術を更に発展させ、柔軟な高分子超薄膜（膜厚 116nm）に支持された導電高分子超薄膜（膜厚 73nm）の特異な柔軟性に着目し、2 層構造の状態で導電状態を維持したまま完全に折りたたむことに成功した。比較的頑強なポリスチレン超薄膜を支持層とした導電高分子超薄膜は折り畳みによって抵抗値が 75%悪化することに対し、柔軟なポリスチレン-ポリブタジエン-ポリスチレンブロック共重合体超薄膜を支持層に用いることで抵抗値の悪化をわずか 5%に抑えることができた。この折りたたまれた超薄膜はその両面が導通しており、生体に貼り付けられたまま嵩張ることなく配線と接続することができる。このことにより、装着者の負担が少ないだけでなくポリウレタンフィルムを用いた防水も負担なく行え、実際に入浴中の心電情報の取得に成功した。環境温度変化に伴う心拍数の急激な増加と心電図の乱れが観察され、特に心臓発作リスクの高いタイミングを明らかにした。

本デバイスは高齢者や心臓病患者に対して、自宅でのモニタリングデバイスとしての応用が期待される。また、在宅医療やオンライン診療において、重要な診断ツールになることが期待される。現在、これらの成果を原著論文にまとめて投稿している。並行して社会実装に向けた超薄膜電極のハンドリング性の向上も検討を続けた結果、水転写によって容易に電極パターンを肌に貼付できるシール型デバイスを開発、その構成について特許を出願した（特願 2019-206470「生体用電極、その製造方法及び装着方法」）。

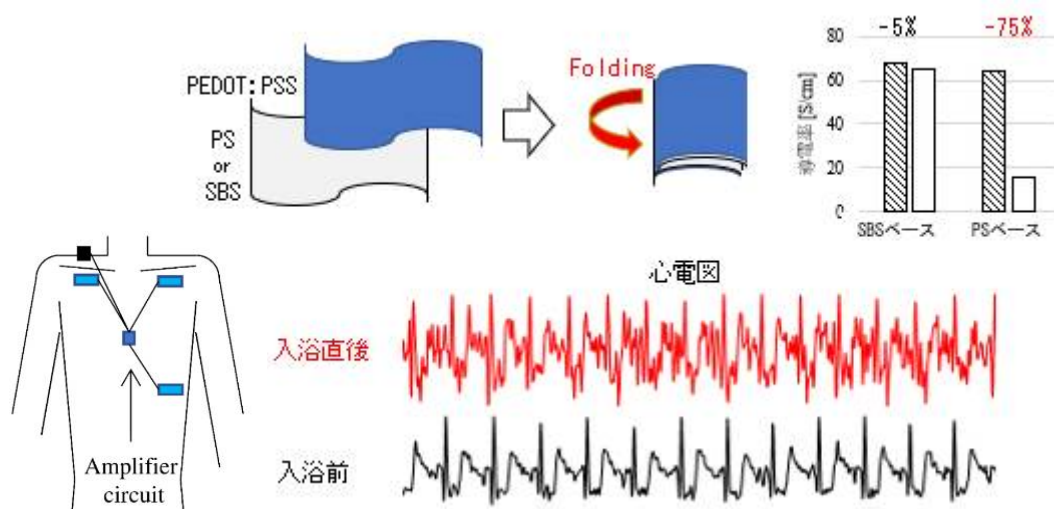


Fig. 1 Elastomer(SBS)-supported PEDOT/PSS nanosheet electrodes for folding durability and application for ECG measurements.

2. 2. インクジェット印刷からなる高分子超薄膜を基材としたアンテナコイルの開発

昨年度までに、導電インクのインクジェット印刷からなる電子回路を、高分子超薄膜（ナノシート、膜厚 182 nm）上に搭載することで、ナノシートアンテナコイルを開発した。このアンテナコイルに青色 LED チップ子を搭載することで外部から無線で電力を供給し、青色 LED を点灯させることに成功している。今年度は、ナノシートアンテナコイルが曲面に貼付された状態を想定し、曲面に対するアンテナコイルの周波数特性および繰り返しの曲げに対する抵抗値変化を評価した。その結果、曲率が小さくなると共に S11 パラメータが小さくなることが確認され、5mm の曲率において平面状態の約半分の給電効率であることが示唆された。また、5mm 以上の曲率で 100 回曲げた時、アンテナコイルの抵抗値の増加は 20%程度であることが明らかとなった。これらの結果を踏まえて、ナノシートアンテナコイルを経口カプセル(サイズ #00, $\phi 8.6$ mm)に格納したところ、カプセル内でも青色 LED を作動させることに成功した。さらに、ナノシートアンテナコイルを生体組織（例：小腸）に貼付したところ、曲率状態の生体組織上でも外部からの無線給電によって青色 LED を作動させることが実証された。これらの成果を原著論文にまとめ、Advanced Electronic Materials 誌に掲載された。

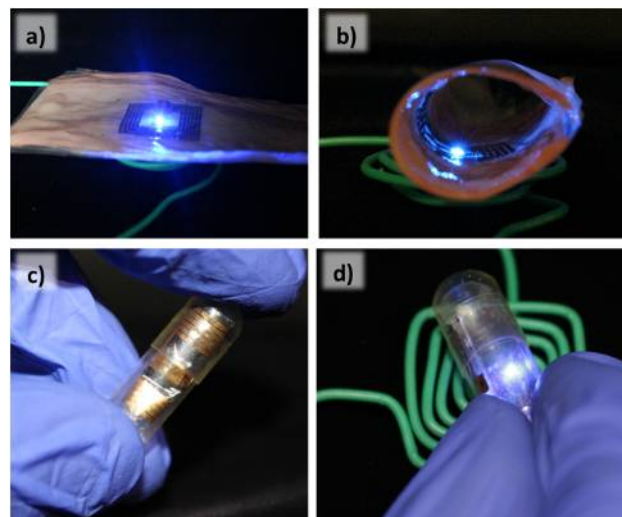


Fig. 2 The nanosheet antenna coil attached to biological tissue and lit up by wireless powering at (a) flat and (b) rolled state. (c) The nanosheet antenna coil was stored worked in an oral capsule.

3. 共同研究者

彼末一之（早稲田大学スポーツ科学学術院・教授）

永見智行（北里大学・講師）

藤枝俊宣（早稲田大学高等研究所・准教授、現東京工業大学・講師）

山岸健人（シンガポール工科大学・博士研究員、ナノライフ機構招聘研究員）

岩田浩康（早稲田大学理工学術院・教授）

岩瀬英治（早稲田大学理工学術院・教授）

新井敏（理工総研招聘研究員）

朝日 FR 研究所

4. 研究業績

4.1 学術論文

- [1] Yuma Tetsu, Yusuke Kido, Meiting Hao, Shinji Takeoka, Takeshi Maruyama, and Toshinori Fujie “Graphene/Au Hybrid Antenna Coil Exfoliated with Multi-Stacked Graphene Flakes for Ultra-Thin Biomedical Devices”, *Advanced Electronic Materials*, 6, 1901143 (2020).
- [2] Kento Yamagishi, Takenori Nakanishi, Sho Mihara, Shinji Takeoka, Toshinori Fujie, “Elastic kirigami patch for electromyographic analysis of the palm muscle during baseball pitching”, *NPG Asia Materials*, 11, 80 (2019).
- [3] Takenori Nakanishi, Kento Yamagishi, Eiji Iwase, Hiroyasu Iwata, Shinji Takeoka, and Toshinori Fujie, “Sinter-free stretchable conductive inks composed of polystyrene-block-polybutadiene-block-polystyrene and silver flakes in tetrahydrofuran”, *Applied Physics Express*, 12, 75001 (2019).

4.2 招待講演

- [1] 武岡真司「機能性高分子ナノシートの生体組織接着特性ならびにバイオエレクトロニクス基材への応用」 超分子研究会・精密ネットワークポリマー研究会 第3回合同講座 2019.11.8 東京
- [2] 武岡真司「高分子薄膜の医療応用 一貼る発光デバイスによる光線力学療法」 第41回生体膜と薬物の相互作用シンポジウム 2019.10.19 千葉

4.3 学会および社会的活動

- [1] *MRS Communications*, Principal Editor
- [2] *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, Editorial Board Member

5. 研究活動の課題と展望

今後は、2017～2019年度に得られた研究成果を基にフレキシブルデバイスを更に発展させると共に、スポーツ科学や人間工学分野への応用として、電子ナノ絆創膏および伸縮配線を繊細な皮膚感覚の手のひら・足裏・指などに貼付することで、様々な動きの際に生じる筋電図情報を動画情報と共に取得し、パフォーマンス評価に応用する。そのためには、生体情報をリアルタイムに送達するための無線通信技術やデータ処理、データ解析技術が必要となるため、データサイエンティストとの共同が必要となる。