

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（2期目）

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

高分子超薄膜（ナノシート）はユニークな物性を有しており、あらゆる生体組織に接着剤を使用せずに強固に貼付させることができる。導電高分子（PEDOT:PSS）からなるナノシート（ナノシート電極）は皮膚に貼付された状態で筋電位や心電位を測定することができ、既存のゲル電極では継続した測定が難しい水中や運動中の生体信号モニタリング、手のひらや足の裏などの身体の局所における運動解析に適用できる。第1期ではナノシート電極の実地試験導入に必要な周辺機器を開発しつつ、スポーツ科学領域への応用を検討した。第2期ではヘルスケア領域への展開として入浴中の心電図計測を行った。高齢化が進む日本では高齢者の入浴事故は大きな問題となっており、心電図モニタリングによる事故の抑制は急務である。また、よりユーザビリティを高めるために周辺機器の改良を進め、「生体情報モニタリングシステム」として社会に発信する。

2. 主な研究成果

2.1 ナノシート電極を用いた入浴中の心電図計測

心電図計測に一般的に使用されるゲル電極は導電性ハイドロゲルで構成されており、水や水蒸気との接触によって容易に膨潤し電気特性が変化する。そのため、例えば防水フィルムで完全に覆われていたとしても水中での使用は困難である。また長時間の貼付は痒みなどの原因となり、強い粘着力は剥離時に皮膚にダメージを与えることが懸念される。一方で生体信号の日常的なモニタリングは現在益々注目を集めており、特に心電図は生死に直結する発作の予兆を診断できるため速やかなる社会実装が望まれている。本研究では、ナノシート電極を用いた心電図計測を行い、日常生活において最も耐水性が要求される入浴中における継続的なモニタリングを行うことを検討した。

マイクログラビアコート法によって PET フィルム上にポリビニルアルコール、スチレンブタジエンスチレンブロックコポリマー（SBS）、PEDOT:PSS の3層ポリマーシートを作製した。それぞれの厚さは製膜時の濃度によってコントロールでき、SBS の膜厚を 118 nm、PEDOT:PSS の膜厚を 188 nm とした。ポリビニルアルコール層の溶解によって PEDOT:PSS/SBS 二層ナノシートを単離し、電極として使用した。PEDOT:PSS/SBS 二層ナノシートは少量の水のみで被験者の左右の鎖骨下部と左肋骨下部の計三か所に安定に貼付した。それらの電極は電線によって信号増幅基板へと接続され、これらの電極・電線・基板はポリウレタンドレッシングフィルムでカバーした。まずは大気中にて、ナノシート電極による心電図計測を行ない、ゲル電極と同等のシグナルノイズ比で計測できることを確認した。そして、入浴中においても計測を継続でき、急激な体温変化に伴う心電図の乱れと心拍数の増加を観測した。心電図の乱れは入

浴直後 10 秒間に観測されその後すぐに落ち着いたため、湯への入る時が入浴において最もリスクが大きいタイミングであることが示唆された。

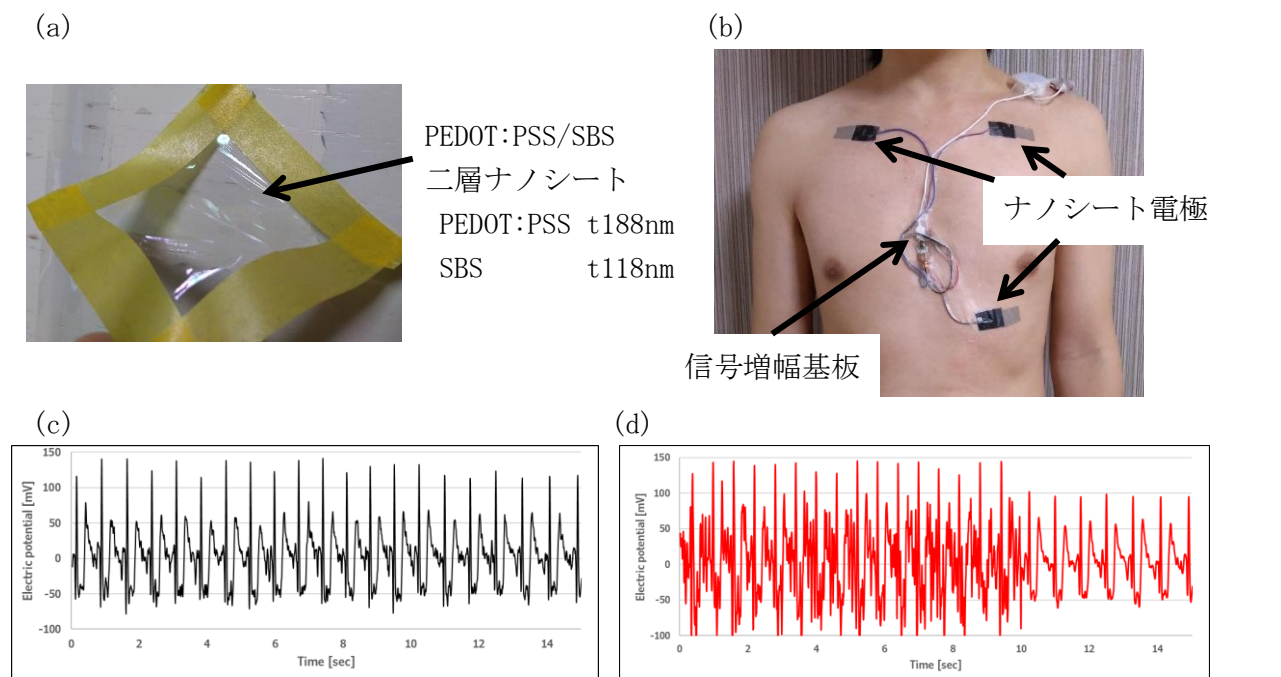


図 1 (a)PEDOT:PSS 二層ナノシートの写真、(b)ナノシート電極と信号増幅基板の被験者への貼付、(c)大気中に測定された心電図、(d)入浴中に測定された心電図⁽¹⁾

(1) S. Mihara, H. Lee, S. Takeoka, *MRS Communications*, **10**, 2020, 628-635

2.2 生体情報モニタリングシステムの提案

ナノシート電極の社会実装のためにはそれに適した周辺部材の開発も必須である。新型コロナウイルスの影響で共同研究者との実地試験の実施が困難な状態でこの生体情報モニタリングシステムを幅広く評価するためには、未経験者でも容易に使用できるようそれぞれの部材についてユーザビリティを改善する必要がある。

ナノシート電極の担持基材

ナノシート電極はその薄さにより少量の水で皮膚に貼付することができるが、自立した状態での運搬が難しい。そこで、でんぷんが塗布された水透過紙（水転写紙）上にナノシート電極を担持することで安全に運搬し、使用する際も紙の上から少量の水をつけることで貼付できる構成とした。

ナノシート電極と配線のコネクタ

厚さがわずか数百 nm のナノシートでは一般的な電気配線に直接接続することが難しい。応力集中による破損を防ぐために平面的に接触するフレキシブル配線型コネクタを開発した。このコネクタは本プロジェクト研究の第 1 期に開発された伸縮性配線と容易に接続することができることを確認した。

伸縮性配線

激しい運動などにより引張応力が接続部に加わると、皮膚に貼付されたナノシート電極は破損することが課題であった。引張応力を軽減しつつ電気特性を維持する切り紙構造伸縮配線を第1期に開発したが、その構造をさらに工夫して伸縮強度をさらに高めた。



図2 フレキシブル配線型コネクタと伸縮配線の写真

信号増幅基板、保存・制御デバイス、ソフトウェア

生体情報モニタリングのデータは容量が大きくなり転送に時間がかかるが、音声入力を用いた簡便な転送システムを考案した。新規に開発された信号増幅基板はPCやスマートフォン等のデバイスのイヤホンジャックへ有線接続することができ、増幅された生体信号を音声データとしてデバイスに保存することができる。特にスマートフォンを用いた生体計測は日常生活における生体電位モニタリングに好適であり、また音声情報として被験者へのフィードバックも可能となる。本プロジェクトではデモンストレーション用にAndroidスマートフォン向けの生体電位測定・表示アプリケーションを開発した。

(a)



(b)



図3 (a)信号増幅基板、(b)生体電位測定・表示アプリケーション画面

3. 共同研究者

早稲田大学スポーツ科学学術院 教授

川上 泰雄

早稲田大学スポーツ科学学術院 教授

彼末 一之

長崎大学 FFG アンチプレナリシップセンター 教授

上條 由紀子

東京工業大学生命理工学院 准教授

藤枝 俊宣

北里大学一般教育部 講師

永見 智行

Singapore University of Technology & Design

Postdoctoral Research Fellow

山岸 健人

エフ・ピー・エス株式会社 代表取締役社長	堀 昌司
ナノシート株式会社 代表取締役社長	大坪 信也
株式会社 iFlasco 代表取締役社長	木内 裕基
株式会社朝日ラバー 代表取締役社長	渡邊 陽一郎
株式会社朝日ラバー 企画本部 本部長	小林 由幸
株式会社朝日ラバー 企画本部 開発部 部長	高見 弘志
株式会社朝日ラバー 企画本部 開発部 係長	我妻 優
株式会社朝日ラバー 企画本部 開発部 主任	塚原 始
株式会社朝日 FR 研究所 主幹研究員	渡辺 延由
株式会社朝日 FR 研究所 研究員	三原 将

4. 研究業績

4.1 学術論文

S. Mihara, H. Lee, S. Takeoka, *MRS Communications*, **10**, 2020, 628-635

4.2 総説・著書

石油学会情報誌 ペトロテック 2020 年 11 月号 「機能性高分子ナノシートの特性とバイオエレクトロニクス」

日本工業出版 月刊プラスチック 2020 年 3 月号 「切り紙構造伸縮配線の特徴と展開」

4.3 招待講演

4.4 受賞・表彰

4.5 学会および社会的活動

第 69 回高分子討論会, オンライン, 2020 年 9 月 18 日

早稲田オープン・イノベーションフォーラム 2021, オンライン, 2021 年 3 月 9 日～10 日

日本化学会第 101 回春季年会, オンライン, 2021 年 3 月 19 日

5. 研究活動の課題と展望

より幅広い分野の研究者に本開発デバイスを提供して実地試験を行ってエビデンスを蓄積し、改善すべき課題を見つけるために、本デバイスに必要な電極ならびに周辺部材の供給体制を整える必要がある。次年度は供給する電極及び周辺部材の仮仕様決定と品質管理項目の策定、取り扱い説明資料の作成と安全性試験を実施する。