

衣類への組み込み可能な導電性繊維を用いた 繊維型ウェアラブルバイオセンサの開発

Textile-Type Wearable Biosensors Using Embeddable Conductive Fibers in Clothing

濱谷ほのか¹⁾

指導教員 荒川貴博¹⁾

1) 東京工科大学 大学院 工学研究科 サステナブル工学専攻 バイオ計測工学研究室

キーワード：バイオセンサ, グルコース, 導電性繊維

1. 概要

現在、世界中で糖尿病患者数は急激に増加しており、大きな社会問題となっている[1]。糖尿病による代謝異常は軽度の場合、自覚症状は乏しいものの、長期間放置されると網膜症や腎症、心筋梗塞などの合併症を引き起こす恐れがある。そこで我々は、糖尿病患者の血糖値測定の負担を軽減するため、血糖と相関のある汗中のグルコースを計測可能な繊維を用いたウェアラブルバイオセンサの開発を行った。繊維を用いることで常に皮膚と接する衣服に組み込み可能なデバイス作製および利用可能性を求め、センサの構築法として刺繍を用いることでデザイン性の拡張可能性について検討を行う。

2. 実験方法

2.1 布上への刺繍を用いた電極作製

バイオセンサ作製のため、電極材料として導電性繊維の作製を行う。バイオセンサは三電極での構築となっており、作用極と対極は炭素導電繊維、参照極は銀塩化銀導電繊維を用いる。炭素導電繊維は市販のポリエステル繊維 2 m に対して、炭素導電塗料(藤倉化成株式会社 ドータイト XC-3050) 3 g をスパチュラを用いて塗布し、室温で 24 時間乾燥させた。銀塩化銀導電繊維は、ポリエステル繊維 2 m に対して銀導電塗料(藤倉化成株式会社 ドータイト XA-3513)3 g を塗布し、室温で 24 時間乾燥させる。

銀電極の塩化処理方法としては、塩酸 10 mL に

対し pH7.0 のリン酸緩衝液 90 mL を混合した溶液 100 mL に、作用極に銀導電繊維 (30 cm/5 本)、対極に白金線を接続して浸漬し、電圧 1.25 V を 30 分間印加することで塩化処理を行った。

電極としては、対極には炭素導電繊維 20 cm、参照極には銀塩化銀導電繊維 60 cm、作用極には炭素導電繊維 10 cm に両端 1 cm の範囲を除き、一液型 RTV ゴム(KE45T、信越ゴム株式会社)を塗布し、シリコーンゴムを塗布していない端の片側に酵素膜を作製した。キトサン (3wt%)を用いて、酵素の固定化を行った。キトサン 30 mg に GOD 1 mg を混合し 3 本の作用極を加工した。以上を用い、図 1 に示すように刺繍によってセンサを構築した。

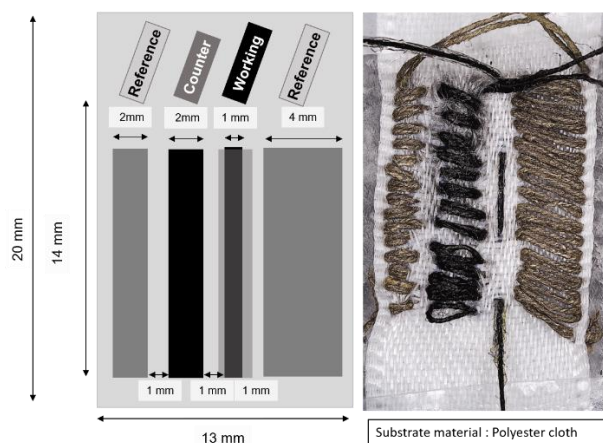


図 1 作製するセンサの概略と、作製した繊維状グルコースバイオセンサの外観

2.2 皮膚での装着を模したグルコース測定系

作製したセンサを図 2 のように接続し、濃度が

10 μM ~3.0 mM のグルコース溶液を 3~5 分間隔で各濃度 10 μL を滴下して出力応答を測定した。

測定毎にセンサ全体をリン酸緩衝液 10 mL で洗浄を行い、不織布ウエスを交換することとした。

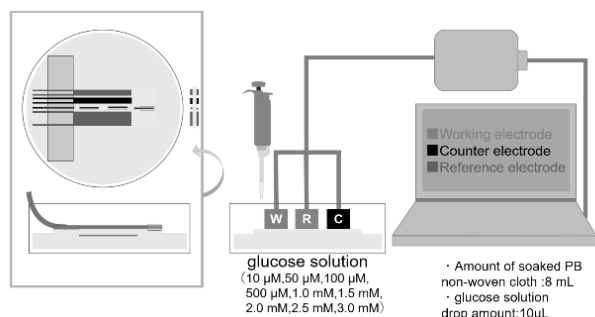


図2 グルコースバイオセンサの評価実験系

3. 実験結果と考察

3.1 繊維状グルコースバイオセンサの作製

3種類の電極を基板となる生地に刺繍によりそれぞれの導電繊維を生地に縫い込むことで、繊維型バイオセンサを作製した。作製したバイオセンサを図1の右に示す。作用電極である炭素電極の先端にキトサン溶液と混合したグルコース酸化酵素固定化膜を形成することができた。作用電極を測定毎に付け替えたところグルコース測定が可能であったことから、参照電極と対極の再利用できることが確認された。

3.2 皮膚での装着を模したグルコース測定系での繊維状グルコースバイオセンサの評価

バイオセンサの感応部付近に各濃度のグルコース溶液を滴下したところ、滴下による出力電流の増加を確認することができた(図3)。500 μM のグルコースとの滴下に対して約 0.14 μA の出力電流を確認することができた。作製した繊維状バイオセンサにおいて 500 $\mu\text{mol/L}$ から 3 mmol/L の範囲で定量性が確認された。10 μM から 100 μM の低濃度では滴下に対する安定値は確認されなかったが、滴下に応答は確認することができた。リン酸緩衝液を含ませた不織布に対し低濃度のグルコースを滴下しているため、拡散によりグルコース濃度が小さくなってしまい十分な応答が

得られなかったことが考えられる。

結果としてグルコース滴下による応答は確認されたものの、出力応答の安定性には課題が残る。また、100 μM 以下の低濃度グルコースに対する出力が小さい点、センサ動作時のドリフト電流の低減については改善が必要である。汗中グルコース濃度は 20 μM から 200 μM 程度と報告されているところから[2]、高感度化に向けた改良を進める。

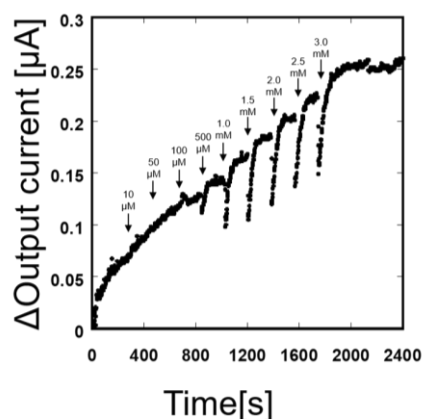


図3 皮膚での装着環境を模した測定系での繊維状グルコースセンサの応答特性

4. まとめ

今回は平易な方法による導電繊維の作製と刺繍を用いたバイオセンサの構築に関する検討などを行った。製法や素材の精査によって出力応答や外観などに大きな改善をもたらすことができるのではないかと考える。作用極を交換することで10回程度は測定可能であることを確認できており、連続使用に関しては本センサの作製法が有用であることが示された。

5. 参考文献

- [1] IDF Diabetes Atlas 10th edition 2021
- [2] Correlation Between Sweat Glucose and Blood Glucose in Subjects with Diabetes, James Moyer et al, Diabetes Technology & Therapeutics Volume 14, Number 5, 2012