

**研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム
戦略テーマ重点タイプ 完了報告書(公開版)概要**

技術テーマ	:IoT、ウェアラブル・デバイスのための環境発電の実現化技術の創成
研究課題名	:バイオ燃料電池を搭載したウェアラブルヘルスケアデバイスの創成
プロジェクトリーダー	
機関名	:東京理科大学
氏名	:四反田 功

1. 研究の目的

本研究開発の目標は、生体成分を利用し直接肌に装着可能な、自己駆動型バイオ燃料電池を搭載したウェアラブルヘルスケアデバイスの開発である。印刷技術によって、これまでに市販されているウェアラブル・デバイスに比べ薄型・軽量を実現し、生体成分から発電しながらセンシングを行う。例えば汗中の乳酸をバイオ燃料電池の酵素と反応させて電力を取り出し、この電力を使って発信器から信号を送る仕組みで、電源とセンサの両方の役割を備える。上記の場合、バイオ燃料電池の電力は乳酸濃度に依存するため、電力値から乳酸濃度を測ることができる。また、種々のバイタルサイン（活動量、発汗量など）を計測し、更には通信機能を有することで有用な生体データをリアルタイムに収集する。



2. 研究成果の創出状況

以下表と図に、成果の創出状況をまとめたものを示す。東京理科大学・株式会社タニタ・筑波大学・理化学研究所・株式会社アイシン・コスモス研究所が連携し、(1) 酵素電極の高出力化と安定性の向上、(2) 印刷技術による電池製造技術の確立、(3) 電池の評価技術開発、(4) 生体親和性に優れる電解質の開発、(5) 新規酵素群の開発および製造コストの低減技術の確立、(6) 多段階酵素系の確立によるさらなる電池の高出力化、(7) 体液中の成分をセンシングする自己駆動型ヘルスケアデバイスの開発に成功した。

マイルストーン	達成内容
バイオ燃料電池用多孔質炭素インクの性能を確認	酵素に適した多孔質炭素の開発に成功. 多孔質炭素インクのチクソ性・レベリング性と出力の相関について評価し, 酵素電極の耐久性, 活性が従来の2倍以上に向上.
酵素電極の単極での性能達成を確認	あらかじめ仕込んだ燃料(グルコース)で発電し, 5 mW cm^{-2} 、保存安定性 0.5 ヶ月(冷蔵). 電池容量 10 mAh. 模擬体液(人工尿もしくは人工汗)を用いたときの最大出力目標 0.5 mW cm^{-2} .
酵素群の安定性向上において現状より2倍の酵素安定性を確認	酵素改変技術により, 酵素の安定性を向上させ, 実電極に使用した際の失活の割合が現状酵素の2分の1以下に.
酵素群の活性向上において現状より2倍の酵素活性を確認	酵素改変技術により, 基質結合部位の構造を変化させ, バイオ燃料電池で使用する環境における酵素活性が課題開始時点より2倍程度向上
ウェアラブルバイオ燃料電池の性能達成を確認.	有限要素法によるデザインの改良およびインピーダンス法による特性評価により, 現状の出力を有する電池のサイズを4分の1に縮小. ウェアラブル・デバイスとして無線伝送により出力を転送可能に
印刷型バイオ燃料電池の性能達成を確認	燃料仕込み型で, 最大出力 3 mW, 電極連続使用 5 日間, 電極保存寿命(冷蔵)1000 h (約1ヶ月), 30 円/mW 以下を達成
体液を用いた自己駆動型ウェアラブルデバイスの性能達成を確認.	性能目標としては, 最大出力 1 mW, 一度の燃料補給で連続運転 3 h, 30 円/mW 以下を達成生体親和性ポリマー(接着剤)の塗布により, 1 度の使用中に 10 回着脱が可能.
インピーダンスによる性能評価システムの開発達成を確認	10 mm^2 の参照極を挿入し, 正負極分離した電池の情報をリアルタイムに得て, 10 分以内に解析が完了するシステムを開発
活性化型酵素が迅速に調製できることを確認	補酵素を必要とする酵素に対して, その補酵素を供給しつつリコンビナントとして目的酵素を大量発現させることに成功.
乳酸の多段階酸化反応系の確立を確認	酵素反応を多段階化させ, 乳酸から 4 電子以上の電子取得に成功.
ブドウ糖の多段階酵素反応系の確立を確認	複数の酵素を使った多段階反応系を用いてブドウ糖の分解反応を行い, 8 電子以上の電子取得に成功
自己駆動型センシングデバイスの既存製品の作動を確認	乳酸を用いた自己駆動型デバイスが稼働することを確認. 発汗量・活動量計の駆動に成功.

印刷性に優れた
多孔質炭素インクの開発に成功

高出力なカーボクロス型
バイオ燃料電池の開発に成功

(3) グルコース・乳酸を
酸化・脱水素化する酵素：理研

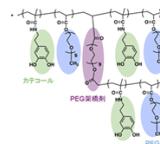


乳酸から4電子とれる
新たな酵素バイオ燃料電池の
開発に成功

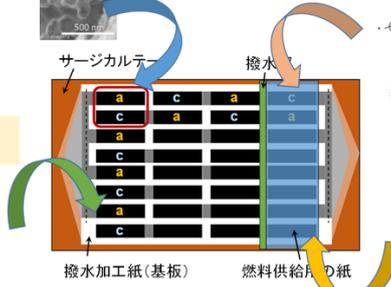
(1) 多孔質炭素：筑波大



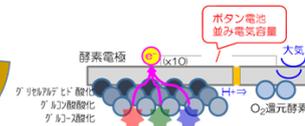
(5) 生体親和性ハイドロゲル
：東京理科大



着脱可能なドーパミン系
ゲルの開発に成功



(2) 印刷技術・配線技術・アレイ化
ウェアラブルデバイス化：東京理科大



(4) 多段階酵素反応による
電池容量向上：アイシンコスモス

6×4直列のセルで
6 mWを達成、3 h連続駆動、
1ヶ月以上の保存安定性（現在継続中）

16電子取得可能な酵素系の
構築に成功。グルコースから8電子を
取得（現在継続中）



(6) 実装に向けた省電力活動量計の開発：タニタ

活動量と温・湿度(外気、発汗量)を同時に連続
でモニタリングできるデバイスを駆動

3. 今後の展開

創出した体液(特に発汗中の乳酸)を燃料として駆動する発汗量・活動量計の実用化検証を行う。リチウムイオン電池と同程度の出力をなるべく小さい面積で達成するための、酸素側の酵素を効率的なものに改変などを行うとともに、コスト削減、デバイスの接合方法などについて検証する。情報処理および通信回路の低消費電力化も進めて、早期のデバイスの市場投入を目指す。

以上