



東北大学

2011年3月11日

報道機関 各位

東北大学大学院工学研究科

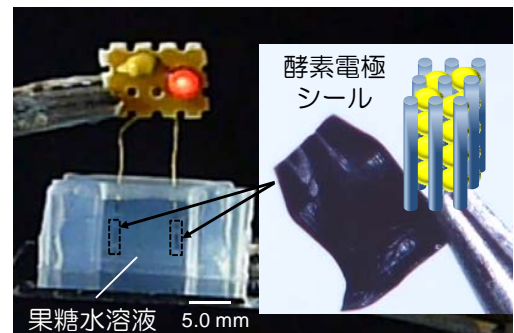
貼ればバイオ電池

酵素を内部に閉じ込めた柔らかい電極シールを開発

東北大学大学院工学研究科の西澤松彦 教授は、独立行政法人産業技術総合研究所（産総研）ナノチューブ応用研究センターの畠賢治 上席研究員と共同で、酵素とカーボンナノチューブ（CNT）が均一に複合化したフィルムを開発しました。これは、「貼ったり」「巻いたり」して使える柔軟な酵素電極シールで、触媒活性も従来の数倍以上です。果糖を分解する酵素と、酸素を分解する酵素を含むシール2枚で作ったバイオ電池は、果糖水溶液から過去最高の出力密度で発電しました。本研究は JST 戦略的創造研究推進事業（CREST）の一環であり、成果の一部が 2011 年 3 月 10 日に米国化学会誌「Journal of The American Chemical Society」にオンライン掲載されました。

バイオ電池やバイオセンサに必要な酵素電極（酵素を固定化した電極）の作製は、先ず炭素のナノ粒子やナノチューブを固めて電極を作り、そこへ“後から”酵素溶液を塗布する2段階の方法で行われてきました。電極を作る時の加熱などに酵素が耐えないためです。しかし、この2段階法では、電極内部の微細構造への十分な酵素導入が困難でした。今回の共同研究では、“酵素のサイズに合わせて電極が収縮する”という1段階のプロセスを実現して、この問題を解決しました。産総研のスーパーグローブ法による CNT フィルムは、16nm (nm は mm の 100 万分の 1) の均一な CNT 間隔を有し、酵素 (7nm 程度) の溶液が十分に浸透できます。さらに、乾燥によって CNT の間隔が“酵素のサイズまで縮む”という性質を見出しました。酵素がフィルム全体に高密度で閉じ込められるため、果糖水溶液からの発電で世界最高の出力密度を記録しました。閉じ込める酵素の種類を変えれば、ブドウ糖水溶液（ジュースや体液）の電池やセンサなども作製可能だと考えられます。

バイオ電池やバイオセンサの応用は医療・食品・環境分野にわたり広大です。酵素電極は一般に、酵素の寿命のため1週間程度しか使い続けられませんが、「貼っても」「巻いても」活性が低下しない酵素電極シールであれば容易に交換できるメリットもあります。本共同研究グループはこの技術の特許出願しており、実用化に向けた研究開発に御協力頂けるパートナー企業を募集中です。



本成果は以下の事業・研究領域・研究課題によって得られました。

科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業(CREST)

研究領域：プロセスインテグレーションによる機能発現ナノシステムの創製
(研究総括：曾根純一(独)物質・材料研究機構 理事)

研究代表者：西澤松彦(東北大学大学院工学研究科 教授)

畠 賢治((独)産業技術総合研究所ナノチューブ応用研究センター 上席研究員)

研究期間：平成20年10月～平成26年3月

<詳細説明>

酵素を固定した電極（酵素電極）は、電気化学バイオセンサやバイオ電池の性能を決定するコア部品です。バイオセンサは既に医療・環境・食品分野の計測に必須のツールであり、一方のバイオ電池は、生体・環境に優しい極めて安全な電源として今後の早急な実用化が期待されています。最近の酵素電極には、カーボン微粒子やカーボンナノチューブを焼き固めた多孔性のナノ電極が用いられ、酵素はこれらのナノ電極に“後から”固定化されます（図1）。しかし、既に出来上がったナノ構造の内部へ、サイズが同程度の酵素を導入するのは極めて困難です。また、このような従来のナノ電極は脆いため、支持体を必要とし、変形もできませんでした。

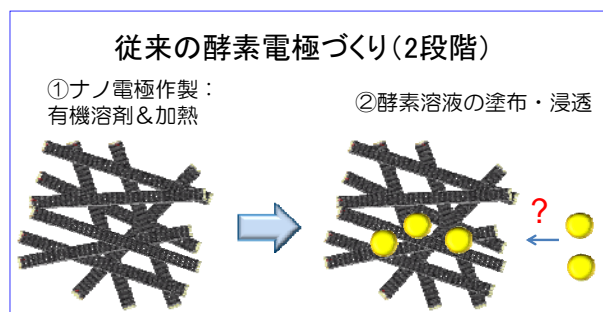


図1 酵素電極の作製法（従来）

本研究では、カーボンナノチューブ（CNT）フォレストをナノ電極に用いることで、上記の問題を解決しました。

このCNTフォレストは、産総研ナノチューブ応用研究センターが開発したスーパーグロース法で作製される1mm x 1mmのフィルムであり（厚さは0.012mmに設計）、合成用の基板からピンセットで剥がして用いることができます（図2上段）。フィルムは、1mm長さのCNTが16nmの間隔で整然と配列したものであり、これは酵素の溶液が容易に浸透できるスペースなので、フィルムの内部深くまで均一に酵素が導入可能でした。さらに、酵素を十分に浸み込ませたCNTフィルムを溶液から取り出して乾燥させると、数分間で酵素のサイズ（フルクトースオキシダーゼの場合は7nm）まで収縮することが確認できました。つまり、内包する酵素のサイズにあわせて内部構造（CNT間隔）が自動的に調節される酵素ナノ電極が実現しました（図2下段）。



図2 CNTフィルムの構造と酵素の固定プロセス

果糖を酸化する酵素(フルクトースオキシダーゼ)を内包した CNT フィルムと、酸素を還元する酵素(ラッカーゼ)の CNT フィルムを作製し、それぞれをアノードとカソードに用いてバイオ電池を作製しました(図 3)。200mM の果糖水溶液に酸素を飽和させて発電実験を行ったところ、攪拌条件下で $1.8\text{mW}/\text{cm}^2$ の出力密度が得られ、これは過去の最高値を大きく上回る性能です。CNT フィルムが高密度に酵素を保持し、また、酵素と電極(CNT)との電氣的接触が効率よく形成されたためと考えられます。内包させる酵素の種類を変えれば、ブドウ糖水溶液(ジュースや体液)の電池やセンサなども作製可能だと考えられます。さらに、この酵素電極は柔軟な自立型フィルムであり、「貼ったり」「巻いたり」しても活性が落ちないことが確認できました。使い終わったら剥がして交換するなど、自由な使い方が選べる便利な酵素電極です。

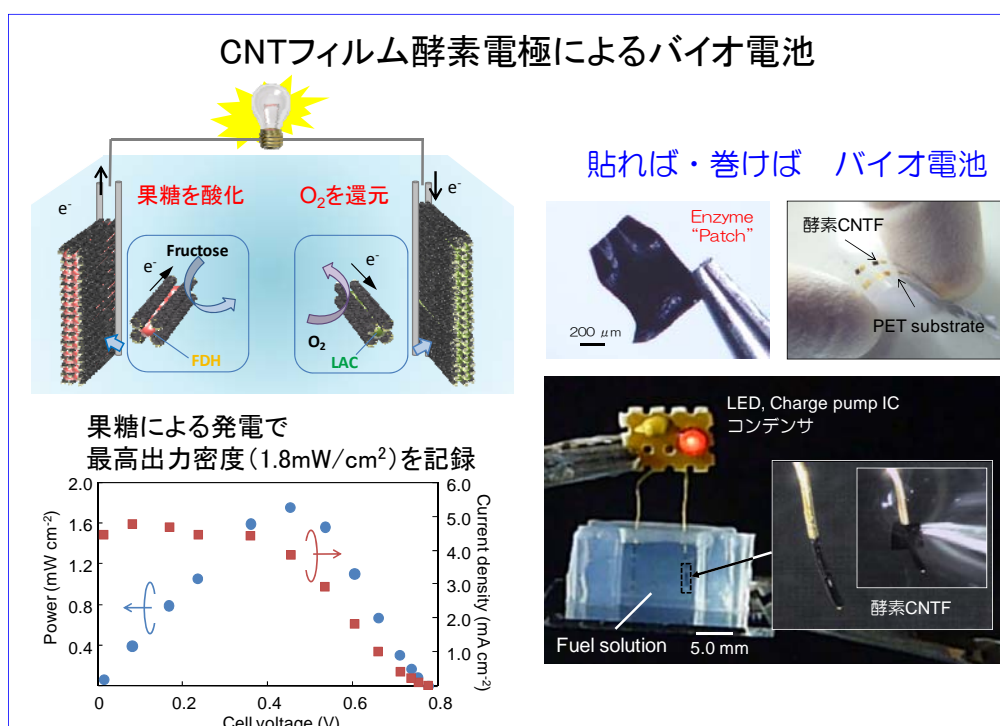


図 3 果糖水溶液からの発電実験

<論文名・著者名>

“Self-Regulating Enzyme-Nanotube Ensemble Films and Their Application as Flexible Electrodes for Biofuel Cells” T. Miyake, S. Yoshino, T. Yamada, K. Hata, M. Nishizawa, J. Am. Chem. Soc.(2011), DOI: 10.1021/ja111517e

<お問い合わせ先>

西澤 松彦 (ニシザワ マツヒコ) (教授)

TEL/FAX: 022-795-7003 E-mail: nishizawa@biomems.mech.tohoku.ac.jp

三宅 丈雄 (ミヤケ タケオ) (助教)

TEL/FAX: 022-795-3586

東北大学大学院 工学研究科 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01

畠 賢治 (ハタ ケンジ)

独立行政法人産業技術総合研究所ナノチューブ応用研究センター 上席研究員

つくば市東 1-1-1 中央第 5 事業所

TEL/FAX: 029-861-4654 E-mail: kenji-hata@aist.go.jp