

生体分子や細胞と一体化する ソフト・ウェット電気デバイス

研究代表者

西澤 松彦

Matsuhiko Nishizawa

東北大学大学院工学研究科 教授



はじめに

タンパク質や細胞の機能を利用するバイオ電子デバイスの開発には、脆弱なバイオと無理なく融合し一体化する電子材料およびシステムの研究が必要である。ウェットで温和な生理的環境の下で、バイオとの機能的融合構造を自発的に形成する材料プロセスの開発は、バイオ機能を効率よくデバイス機能に結びつける近道であろう。また、生体内と同様に柔らかいウェットな素材で造られたデバイスには、細胞・組織との自然な一体化が期待できる。我々の取り組みを紹介する。

導電性高分子ハイドロゲル電極の創製

導電性高分子PEDOTを電極材料、ハイドロゲルを基板材料に用いて、『大きな比表面積(電気分解が起きやすい)』・『生化学的な細胞親和性』・『柔軟性』、さらに酸素や栄養分などの供給を邪魔しない『分子透過性』を有する細胞刺激システムの開発に取り組んだ。従来の印刷法は乾燥を必要とするため、含水率~80%のハイドロゲルへは適用不可能である。よって、図1に示す全く新しいパターンニング法を開発することになった。

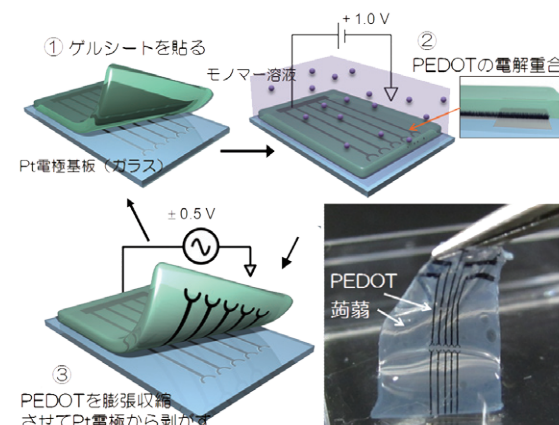


図1 ハイドロゲルへのPEDOTパターンニング

図1は、導電性高分子PEDOT(ポリエチレンジオキシチオフェン)のハイドロゲルシートへの印刷である。Pt電極基板(ガラス)を原図とし、その上に貼り付けたハイドロゲルとの界面にて電解重合を行う。重合後に、交流電場によるPEDOTの体積変化を利用して剥離する。こうして作製した「PEDOTゲル電極」のパターン精度は数μm、表面抵抗は100Ω/□程度である。多種類の天然ゲル(寒天・蒟蒻・コラーゲンなど)や人工ゲル(ポリアクリルアミド・ポリビニルアルコールなど)に配線が可能である。

PEDOTゲル電極の応用は多岐に渡ると期待している。図2の例は、培養した筋肉細胞と組み合わせた「動く細胞チップ」である。電気刺激による筋収縮に同調して電極基板も動くので、細胞への負荷が少ない。また、酸素や栄養分が素通しなので培養条件が乱されず、長期間の評価が可能となった。運動させた細胞には、静止していた細胞よりも多くのグルコーストランスポーター(血糖取り込みチャンネル)が発現しており、2型糖尿病への運動治療の効果の一端を再現できた。

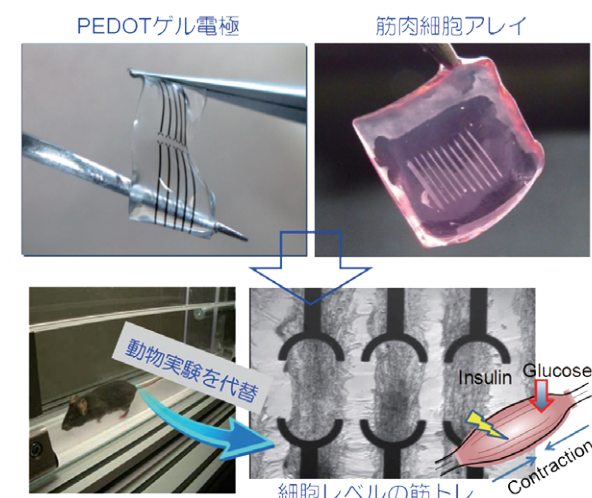


図2 動く筋肉細胞チップ

酵素電極パッチの創製

産総研の畠チームの協力を得て、酵素とCNTが整然と複合化した酵素電極フィルムの開発に取り組んだ。バイオ電池やバイオセンサのコア部品である酵素電極は、通常、カーボン微粒子などを焼き固めた多孔性ナノ電極に、酵素の溶液を“後から”塗って作製される。しかし、ナノ構造の内部へ酵素を導入する過程には無理がある。それに対して我々は、“電極のナノ構造が酵素に合わせて変形する”自己組織化プロセスの開発に成功した。産総研・畠チームのスーパーグロース法によるCNTFはピンセットでハンドリングできるフィルムであり、約1mm長さのCNTが、酵素の導入に十分な16nmの間隔で整然と配列している。酵素を均一に浸み込ませたCNTFフィルムを乾燥させると、数分間で酵素のサイズまで(例えば、フルクトースオキシダーゼの場合は7nmまで)収縮する事が分かった。つまり、内包する酵素のサイズにあわせてナノ電極の内部構造(CNT間隔)が自動的に調節されるプロセスが実現した。果糖(フルクトース)を酸化する酵素と、O₂を還元する酵素によるフィルムを造って組み合わせると、果糖水溶液から世界最高の出力密度で発電できた。酵素とCNTによる理想的な複合構造がもたらした成果と言える。

この酵素包含CNTFは自立した柔軟なフィルムである

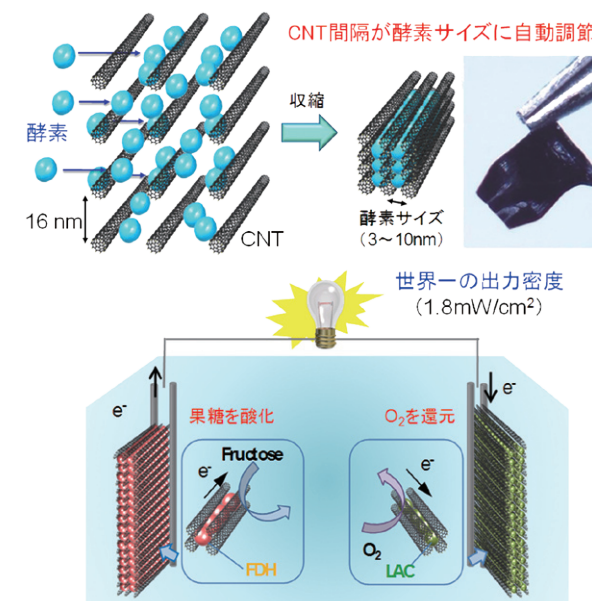


図3 酵素/CNT複合フィルムによるバイオ発電

ため、電子デバイスへの「張り付け」「巻き付け」が可能なパッチであり、一定期間(~1週間程度)の連続発電で性能が劣化した際には、容易に貼り換えることが出来る。例えば図4では、LED発光デバイスのリード線に巻きつけて使用している。このLEDデバイスにはチャージポンプICとコンデンサからなる昇圧回路が組み込んであり、点滅間隔がバイオ燃料電池の出力(ブドウ実の果糖濃度)に反比例する仕組みとした。すなわちこれは、果汁で自己発電して作動する、「自己発電するミニチュア糖度計」である。

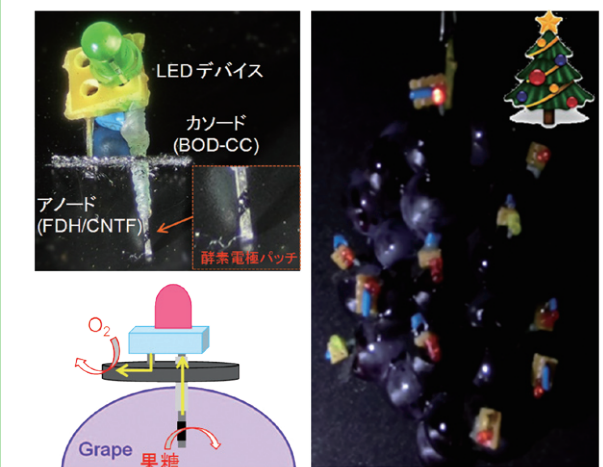


図4 自己発電するミニチュア糖度計

今後の展開

ここで紹介したハイドロゲル素材への電気配線技術や、柔軟な酵素電極フィルムを組み合わせ、投薬や創傷治癒に促進効果を発揮するシート型通電デバイスの開発に着手した。自己発電するウェット・ソフト電気デバイスの具体を、世界に先駆けて実現したいと意気込んでいる。

参考文献

- 1) S. Sekine et al., *J. Am. Chem. Soc.*, 132 (2010) 13174.
- 2) K. Nagamine et al., *Biotechnol. Bioeng.*, 105 (2010) 1161; *Lab Chip*, 11 (2011) 513.
- 3) T. Miyake et al., *J. Am. Chem. Soc.*, 133 (2011) 5129; *Energy Environ. Sci.*, (2011) DOI: 10.1039/c1ee02200h.