グルコース駆動 O₂ 加給装置を実装した空気バイオ電池に関する研究

Air bio-battery with glucose-driven O₂ charger

医科歯科大 ○ハオ ザイチェン, 瀬島 史也, 杉山 武, 當麻 浩司, 荒川 貴博, 三林 浩二

Tokyo Medical and Dental University,

○Zaichen Hao, Fumiya Seshima, Takeru Sugiyama, Koji Toma, Takahiro Arakawa,

Kohji Mitsubayashi

Email:mbdi@tmd.ac.jp

【はじめに】

バイオ電池は燃料電池の一つで、グルコースなどの生体成分の酸化還元反応を酵素等により触媒し、電気エネルギーに変換する。特に生体成分をエネルギー源とすることで、充電やバッテリー交換が不要になる可能性があり、「ウェアラブル端末」や「体内埋め込み型機器」などの医療・ヘルスケア機器の電源として注目を集めている。しかし、既存のバイオ電池ではカソードにおける反応を溶存酸素濃度が律速し、発電能力が制限するという課題があった。そこで先行研究では、大気(20.9%)から酸素を効率的に取り込む「気液隔膜セル」を用いた「空気バイオ電池」を考案し、カソードへ供給される酸素濃度を上昇させることで、発電特性を向上させた。本研究では、より高濃度な酸素供給を行えるように、グルコースを駆動エネルギーとする「O₂加給装置」を構築し、空気バイオ電池と組み合わせることで、更なる高出力化を図った。

【実験方法】

本研究でのバイオ電池はグルコースをエネルギーとし、3種類の酵素を用いて発電する。電極にはスパッタ成膜したPtを用い、アノード側には酸化型ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド(NAD⁺)依存性「グルコース脱水素酵素(GDH)」と還元型NADHを酸化する「ジアホラーゼ(Dp)」、そして電子メディエータであるVitamin K₃を、またカソード側には酸素の還元反応を触媒する「ピリルビンオキシダーゼ(BOD)」と電子メディエータであるK₃[Fe(CN)₆]を、正負に帯電する2種のポリマー(PSS, PDDA)を用いて、それぞれ静電吸着より固定化した。そして、大気中から酸素を取り込むため、コットンメッシュ(φ: 700μm, t: 100 μm)を隔膜とする「気液隔膜セル」を組み合わせ、「空気バイオ電池」を構築した。さらに、カソードへの高濃度な酸素を供給するために、グルコースをエネルギーとする「O₂加給装置」を3種類の酵素(グルコース酸化酵素: GOD、ピラノースオキシダーゼ: POX、カタラーゼ: CAT)を用いて作製した。本装置では、グルコース溶液を挟むように、2枚の酵素膜(GOD&POX膜、CAT膜)を配置した。酵素膜は、支持膜である透析膜(pore size: 5 nm)に各酵素を紫外線架橋ポリマーPVA-SbQにて包括固定化し、作製した。本装置のGOD&POX膜では、グルコース溶液を基質とし大気から酸素を取り込み、過酸化水素を溶液中に生成し、またCAT膜ではその過酸化水素を基質として酸素ガスを生成・放出する。このO₂加給装置を空気バイオ電池へ装着し、カソードへの能動的なO₂供給を行い、発電特性を評価した。

【結果及び考察】

血糖濃度レベルのグルコース溶液(5 mM)を用い、作製したO₂加給装置を評価したところ、29.1%へと酸素が濃縮されることが確認された。その後、本加給装置を空気バイオ電池へ適用したところ、空気バイオに比して、1.46倍高い発電性能(237 ± 8 μW/cm²)が得られた。この結果より、O₂加給装置の有用性を確認し、酸素濃度の上昇に比例(大気: 20.9%, O₂加給装置: 29.1%)し、空気バイオ電池の発電性能が向上したものと考察される。今後は、O₂加給装置の性能を向上させると共に、可搬性医療機器に利用可能かつ安定性の高いバイオ電池の開発を進める。