



Electricity producing property and bacterial community structure in microbial fuel cell equipped with membrane electrode assembly

膜電極複合体を装着した微生物燃料電池における電気生産特性と細菌群集構造

(JBB, Vol. 116, No. 1, 106–113, 2013)

Rubaba Owen¹・荒木 葉子²・山本 脩二³・鈴木 溪⁴・
坂本 尚敏⁵・松田 厚範⁶・二又 裕之*

筆者は微生物（生態）を利用した環境浄化・保全に関わる研究を推進しつつ、微生物を使って「新しい仕組みで何かを生み出すこと」にも挑戦したい、と感じていた。数年前、ポストク時代のボスから微生物燃料電池（MFC）の研究を伺い、微生物から電気を取り出せる研究内容に、驚愕と焦りと自分の不甲斐なさを痛感しつつ、MFCの研究をスタートした。

MFCは、微生物による生物化学的変換機能により、有機物から直接電気エネルギーを取り出すことが可能な次世代型エネルギー生産装置として着目されている。微生物は燃料電池における触媒として作用しており、電池というより実体は発電機である。実用化という面では、電流密度を1000倍～数十万倍に増加させる必要があると言われている。

高効率（発生電流密度の増加）型MFCの構築には、*Geobacter*属細菌をはじめとする電気高生産微生物を用いた分子生物学的解析や複合微生物系における電気高生産微生物群集の選択的集積化に関する知見の蓄積が必要である。また、電極やプロトン交換膜など部材の研究開発あるいは装置設計も重要である。そのため、MFCの研究開発には異分野融合が求められる。逆に言えば、高効率型MFC構築へのアプローチは複数あることを意味している。そのいくつかを一つの研究として展開できれば、統合的な知見を基にした次の展開が可能となる。

MFCの高効率化には、内部抵抗の削減と電子移動の促進があり、それらには重複する部分も少なくない。というのは、MFCにおいて電気生産とはすなわち微生物による電極呼吸だからである。電子が流れるためには、正極上で電子がプロトンと酸素と反応し消費される必要がある（正極に担持された白金の触媒作用によって）。正極での反応は、プロトン交換膜および正極といった部材の性能に依存する。また、MFCの実用化を考慮すると単一の微生物（純粋培養系）よりも複合微生物系を考えざるを得ない。複合微生物系は与えられた場に順応する特徴を有する。このように考えると、MFCの性能は

部材の性能に依存していると言っても過言ではない。

微生物を専門とする筆者らが材料科学系の先生と共同研究できたのは、学内の産学連携コーディネーターの御陰であった。ともあれ、正極とプロトン交換膜が一体化した膜電極複合体（MEA）が作製された。対照として一般的なNafion溶液をスパッタリング法で薄膜（膜厚18 μm, 白金担持量0.5 mg cm⁻²）形成したMEA-I, 1分子ずつ層状に積層するLBL法によって新素材を異なる膜厚としたMEA-II (0.3 μm, 0.5 mg cm⁻²), -III (0.3 μm, 2.0 mg cm⁻²) および-IV (1.0 μm, 2.0 mg cm⁻²) が作製された。水田土壌を複合微生物の接種源とするMFCにMEAを装着し、電気化学的および微生物生態学的に解析した。

結果は、膜厚が薄いもの程、発電効率が高くなるという予想とは異なり、MEA-Iを装着したMFCの性能がもっとも高かった。供試したMEAを電子顕微鏡観察すると、MEA-Iは割れ目がまったくない完璧な膜が形成されていた。一方、他のMEAでは割れ目が多数観察された。すなわち、基盤に用いた正極（カーボンペーパー）の表面は繊維による凸凹と空隙が多数存在し、超薄膜における割れ目形成の原因と考えられ、微細構造の重要性が再認識された。この隙間から酸素が負極槽へ侵入し、電子が電極呼吸よりも酸素呼吸に利用され、結果として電流生産力の低下を招いた。このことは、負極槽内の微生物群集構造にも反映されていた。電気生産能力のもっとも高かったMEA-I装着MFCでは複数の電気生産微生物の優占化が確認された。その中には、本研究で分離され電気生産性が実証されたグラム陽性嫌気性*Propioniferax*属細菌も含まれており、微生物学的な新知見の獲得にも成功した。

微生物は与えられた環境に実に上手く適応していく。微生物生態系の好適制御に向けた電極電位や細胞外電子伝達機構の最適化に加え、MFCの二次電池化など、新規のバイオマスエネルギーの有効活用技術の発展とその基盤研究の深化が期待される。

* 著者紹介 静岡大学大学院工学研究科化学バイオ工学専攻（教授） E-mail: thfutam@ipc.shizuoka.ac.jp

¹University of KwaZulu Natal, ²WDB (株), ³三菱化学 (株), ⁴静岡大学創造技術大学院, ⁵(株) 神戸製鋼所,

⁶豊橋技術科学大学電気・電子情報工学系（教授）