

微生物燃料電池を応用したCO₂変換技術に関する研究(その2)

浅井 靖史*
Yasufumi Asai

1. はじめに

微生物燃料電池 (Microbial Fuel Cell, 以下 MFC) の一種である堆積物微生物燃料電池 (Sediment Microbial Fuel Cell, 以下 SMFC) は、底質にアノードを、直上水中にカソードをそれぞれ設置し電気回路を形成することで構成される。底質汚染が深刻な底生環境においては、貧酸素水塊の発生など慢性的な電子受容体の不足が生じることで、底質改善が滞っているが、本技術はこのような環境においても持続的な底質改善が可能となる。前報において、化石燃料に依らず、有機化合物を分解または浄化しながら安価に発電する電池である微生物燃料電池の特性に注目し、この MFC を活用した微生物電解作用による CO₂ 変換 (メタン生成) の可能性を確認した¹⁾。

上記 SMFC に CO₂ 変換を担うカソードを連結させれば、底生環境を改善しつつ発電した電力で CO₂ からメタン生成を行うことが同時に可能となる。そこで今回、SMFC のアノード槽に CO₂ 変換を担うカソード槽として前回試製セルと同様の微生物電解槽 (Microbial Electrolysis Cell, 以下 MEC) を直接連結させた SMFC + MEC 式の CO₂ 変換セルを新たに試製した。本報では、前報の MFC タイプと比較しつつ SMFC における電圧印加による CO₂ 変換率の向上および底質改善効果に関して検討した結果を報告する。

2. 材料および方法

(1) 実験装置

今回試製した SMFC 式 CO₂ 変換セル (以下 SMFC + MEC) の仕様を表-1、SMFC + MEC および比較用の SMFC の構成を図-1 に示す。

(2) 実験方法

各装置、電極はチタン線とリード線を使って回路接続を行った。

SMFC + MEC ではポテンショスタットを用いてカソードの電位を -0.9 V vs S.H.E. (標準水素電極電位) となるように電位制御を行った。なお、電位制御に必要な参照電極 (Ag/AgCl 電極) は直上水中に設置した。SMFC は 1,000 Ω の外部抵抗と接続した。SMFC + MEC では電

表-1 SMFC + MEC の仕様

装置仕様 (全体)	
寸法	直径 80 mm x 高さ 280 mm
直上水/底質高さ	140 mm / 100 mm
アノード	カーボンフェルト (80 x 60 x 5 mm 2 枚)
カソード	カーボンフェルト (83 x 68 x 1 mm 4 枚)
カソード槽条件 (MEC)	
寸法	直径 39 mm x 高さ 130 mm
培養液	無機栄養塩培地 (80 ml)
接種汚泥	研究室培養嫌気性汚泥
気相部	CO ₂ 充填
イオン交換膜	Nafion 117

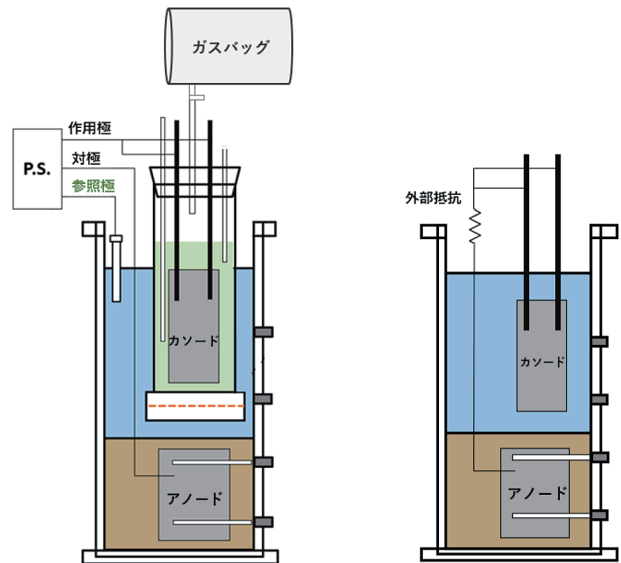


図-1 実験用 SMFC + MEC (左) 比較用 SMFC (右)

流値を、MFC では電圧値をそれぞれデータロガーにて記録した。SMFC + MEC におけるメタン生成を確認するため、定期的にかソード槽内のガス組成を GC-TCD によって測定した。また、回分的に行ったメタンガス濃度およびカソード槽内のガス体積の経時変化よりメタン生成速度を計算した。底質内の変化を評価するため、定期的に底質間隙水を採取し、水質分析として、pH、ORP、溶解性 COD (以下、SCOD)、SO₄²⁻ の測定を行った。カソード菌相は 16 S rRNA 遺伝子を標的とした菌相解析を実施した (次世代シーケンサによるアンプリコン解析を実施)。なお、装置稼働に当たっては比較のため、直上水中にカソードを設置する SMFC および SMFC からカソードを抜いて回路接続を行わない開回路系 (Control) も同時に運転した (図-1 では非表示)。

3. 実験結果および考察

図-2 に SMFC + MEC と SMFC で観察された電流値の経時変化を示した。SMFC + MEC のメタン生成は、実験開始時に電流が増加し、その後 0.2~0.3 mA で安定した 55 日目以降に観察された。図-3 にカソード液容積あ

* 技術研究所環境技術グループ

たりのメタン生成量の経時変化を示した (55 日以降を 0 日とした)。SMFC+MEC におけるメタン生成速度は単位カソード槽あたりで 4.6 L-CH₄ (約 2.5 g-C)/m³/day であった。また、この期間中メタン生成に利用された電子量は 263 C であり、これは SMFC+MEC の電流で生じた電荷量 (328 C) の 80% (アノードで生成された電子総量に対する割合: CO₂ 変換効率) に相当した。なお、前報における MFC+MEC の場合の最も高い CO₂ 変換効率 (印加電圧 0.8 V) が 36.4% (発電菌による発電効率も考慮した場合は 4.6%) であったことから、今回の SMFC+MEC では CO₂ 変換効率が約 2 倍高いことが示された。

図-4 に MEC 槽の菌相解析結果を示す。植種はカソードの植種源に使用した嫌気性消化汚泥の菌相を、バルクはカソード液中に懸濁していた微生物の菌相を、電極はカソード電極に直接付着していた微生物の菌相を示す。バルク、カソードとも *Proteobacteria* 門、特に発電微生物が多く報告されている *Gammaproteobacteria* 綱に属する細菌群が全体の 4~7 割を占めるまで増加していた。電極で割合が大きかった *Chloroflexi* 門の微生物群も本装置において発電微生物として寄与していると考えられ、本装置のカソードには多くの発電微生物と思われる微生物群が優占化していると考えられた。これらの結果は、今回の高い CO₂ 変換効率 (80%) に何らかの寄与をしている可能性が示唆された。また、メタン生成古細菌の属する *Archaea* は電極内部で 20% 近くまで増加しており電極上でメタン生成に寄与していると考えられた。

図-5 に間隙水中の SCOD の経時変化を示す。SMFC+MEC では実験開始 20 日程度で SCOD は概ね不検出となった。一方で間隙水中の SCOD が急激に低下した時期 (実験開始 20 日後程度まで) は装置の電流値が高かった時期と概ね一致しており、電圧印加を行うことで底質内の有機物分解が促進されることを確認できた。

4. まとめ

SMFC+MEC 式の CO₂ 変換セルを新たに試製し、メタン生成および底質改善効果について検証した。その結果、CO₂ 変換効率では前報の MFC+MEC 式より約 2 倍高い変換効率を確認した。また、電圧印加により底質内の有機物分解が促進され、底質改善効果が期待できることが示された。

謝辞. 本研究は群馬大学大学院との共同研究の成果の一部である。執筆にあたりご指導を賜った窪田恵一助教に心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 浅井靖史: 微生物燃料電池を応用した CO₂ 変換技術に関する基礎的研究, 西松建設技報, 44 号, 2021

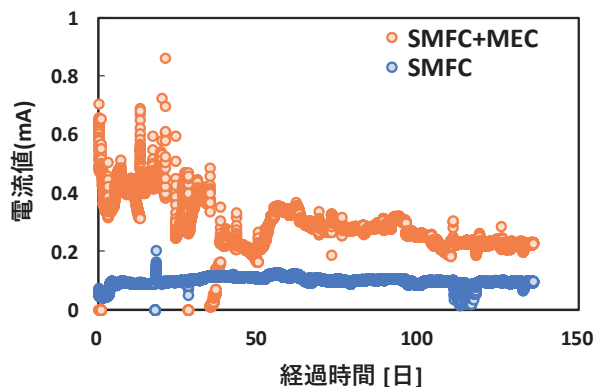


図-2 電流値の経時変化

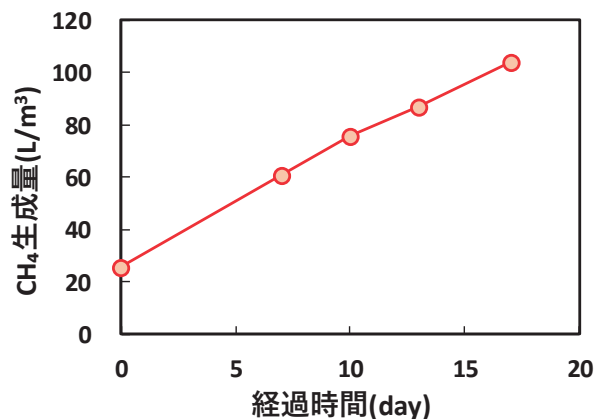


図-3 SMFC + MEC のメタン生成量

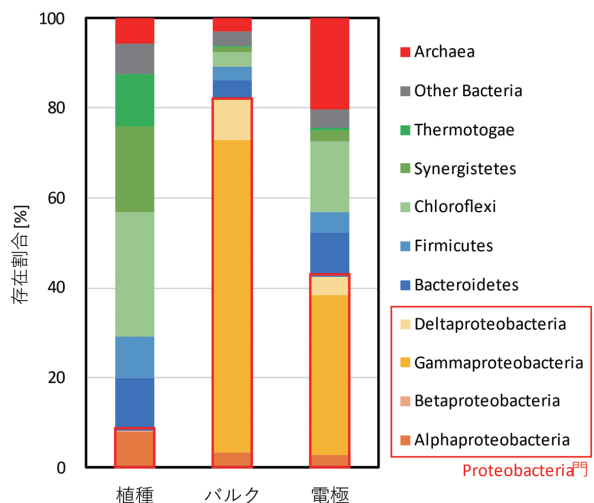


図-4 カソード (MEC 槽) 菌相解析結果

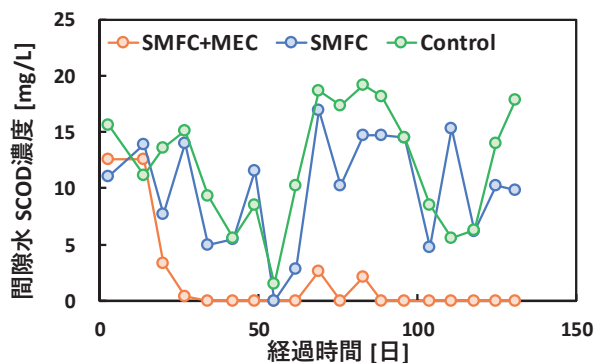


図-5 間隙水中の SCOD の経時変化