

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

浅井 靖史*
Yasufumi Asai

1. はじめに

温室効果ガスである CO₂ の削減は脱炭素社会構築のためには必要不可欠である。近年は、排出 CO₂ を有用な炭素資源と捉え、CO₂ から有用化学物質に変換し有効利用する技術 (CCU) の研究開発が進められている¹⁾。CO₂ は極めて安定な物質であることから、その変換には多くのエネルギーを必要とするため、化学触媒等の使用²⁾ による手法が提案されているが、より低コストかつカーボンニュートラルな変換技術も望まれている。そこで、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、この発電電力を活用した微生物電解作用による CO₂ 変換 (メタン生成) の研究に着手した。今回、上記微生物燃料電池式の CO₂ 変換セルを試作し、CO₂ 変換の基礎的知見の収集を目的として、印加電圧量の違いが CO₂ 変換反応に与える影響を調査したので報告する。

2. 実験概要

(1) 微生物燃料電池式 CO₂ 変換セルの作成

以下に今回作成した微生物燃料電池式 CO₂ 変換セルの概要を示す。微生物燃料電池 (Microbial Fuel Cells, 以下 MFC) とは、嫌気性の発電微生物による有機物の分解 (代謝) で生じた電子が、負極を経由して、正極上で酸素と反応することで発電する技術である。

今回、この MFC 方式で構築した発電微生物菌相を応用した負極 (アノード槽) と、電子を受け取って CO₂ からメタンを生成する微生物群を植種した正極 (カソード槽) を組み合わせた 2 槽式 CO₂ 変換セルを試作した (図-1)。発電部の負極は予め作成しておいた MFC の発電微生物 (以下発電菌) をカーボンフェルト電極に植種し、CO₂ 変換部の正極には嫌気汚泥 (メタン生成古細菌) をカーボンフェルト電極に植種した。負極基質としては酢酸ナトリウムを主体とした人工培地、正極基質としては炭酸水素ナトリウムを主体とした人工培地を使用した。また、ポテンシオスタットを用いて外部から電圧を印加した。

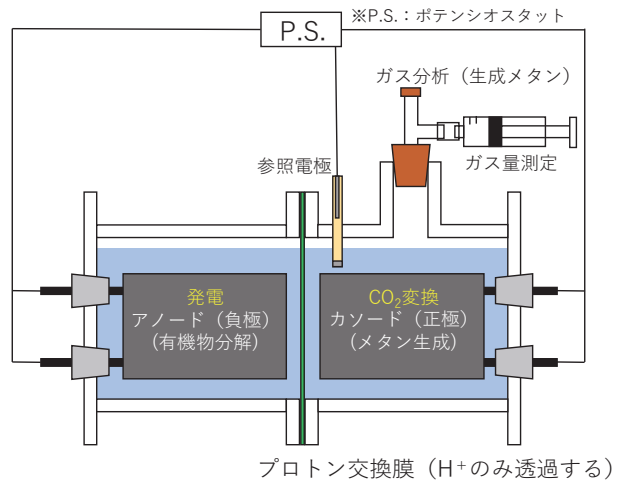


図-1 試作した微生物燃料電池式 CO₂ 変換セル

(2) 実験方法

1) 測定項目

以下に測定項目等を示す。

測定箇所	測定項目	備考
電極間	電圧値 (mV) 電流値 (mA)	ポテンシオスタットによる印加電圧
アノード槽 (負極)	酢酸濃度	発電菌が代謝する有機物として酢酸を使用
カソード槽 (正極)	・ガス組成・生成量 ・カソード菌相	菌相分析には 16 S rRNA を対象とした次世代シーケンサによるアンプリコン解析を実施

2) 実験条件

装置は約 14 日/回の運転を繰り返し実施した。印加電圧はポテンシオスタットによって非印加 (control), 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 V の範囲で変化させ、印加電圧の違いによる CO₂ からのメタン生成への影響を調査した。

3. 実験結果

(1) 印加電圧の違いによるメタン生成速度の変化

本装置における各槽内 (アノード槽・カソード槽) で生じている電極反応の概要を示す (図-2)。アノード槽 (負極) では発電菌により有機物 (酢酸) が分解され、その結果電子が放出される (発電作用)。電子はカソード槽 (正極) に移送され、電極上のメタン生成古細菌が受け取って CO₂ を還元することでメタンが生成される。ここで、発電菌が酢酸を分解して生成した電子からメタンを生成する変換効率の計算式を以下に示す。

$$\begin{aligned} \text{変換効率} [\%] \\ = \text{メタン生成速度} [\text{mg-C/day}] / \text{酢酸分解速度} [\text{mg-C/day}] \times 100 [\%] \end{aligned}$$

上記の式に基づき算出した変換効率およびメタン生成速度と印加電圧の関係を図-3 に示す。印加電圧が増加

* 技術研究所環境技術グループ

するに従い、メタン生成速度が増加し、結果として変換効率が増加した。メタン生成速度は 0.8 V 以上で相対的に高くなり、0.6 V と 0.7 V のメタン生成速度の平均値 (0.08 mg-C/day) と比較して、0.8 V で 4 倍、0.9 V で 6 倍となった。変換効率は 0.8 V において最大の 4.6% を示した。なお、印加電圧が大きいほど有機物 (酢酸) の分解速度とアノードからカソードへの平均電荷移動量が増加した (図-4)。

(2) 印加電圧の違いによるカソードの菌相変化

印加電圧 0 V (control), 0.8 V, 0.9 V におけるカソード (正極) の菌相変化を図-5 に示す。印加電圧が 0 V では Archaea (100% がメタン生成古細菌) の存在割合は約 1% であったが、印加電圧を上昇させると 6.0~6.7% にまで増加することが認められた。Deltaproteobacteria に属する Geobacter 属 (発電菌) は印加電圧なしでは殆ど存在しなかったが、印加することで全体の約 33% を占めるまで存在していたことが認められた。以上から、カソードにおいてメタン生成古細菌および Geobacter 属によるメタン生成への大きな関与が示唆された。その他としては、印加電圧増加で Archaea は上記のとおり増加したが、Firmicutes 門の割合増加と Bacteroidetes 門の割合減少によるメタン生成への影響は不明である。

4. まとめ

印加電圧の増加に伴いメタン生成速度が増加し、結果として、CO₂ からメタンへの変換効率が増加した。変換効率は 0.8 V 印加時で最大の 4.6% を示した。

アノードにおける有機物分解の際に細胞外に電子伝達を行うことで知られている Geobacter 属がカソードにおいても存在が確認され、カソードでのメタン生成反応に寄与している可能性が示唆された。

謝辞. 本研究は群馬大学大学院との共同研究成果の一部である。本報告の執筆にあたっては共同研究者である窪田恵一助教の全面的なご協力を頂きました。心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 経済産業省：カーボンリサイクルロードマップ, <https://www.meti.go.jp/press/2019/06/20190607002/20190607002.html>, 2019
- 2) 鎌田博之：二酸化炭素 (CO₂) の再資源化に向けた触媒技術, IHI 技報, Vol.59/No.1, pp.16-20, 2019

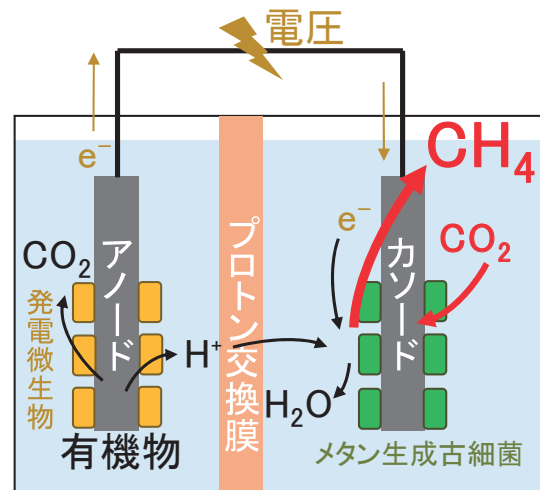


図-2 各槽内における電極反応

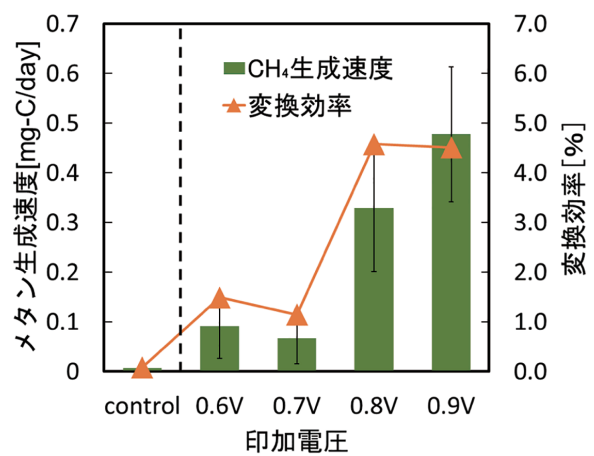


図-3 印加電圧毎の生成速度及び変換効率への影響

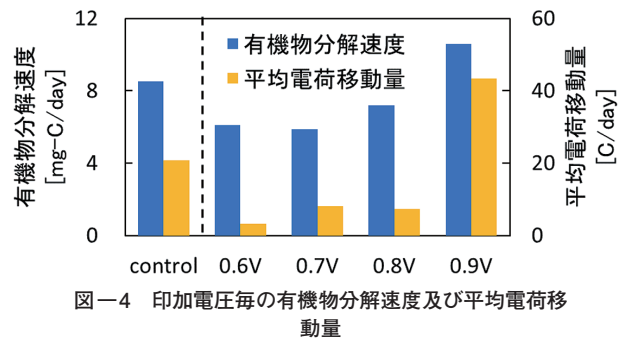


図-4 印加電圧毎の有機物分解速度及び平均電荷移動量

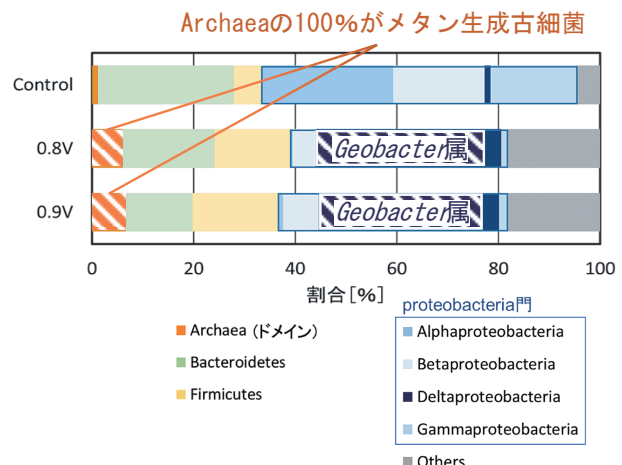


図-5 カソード (正極) 上の菌相変化