

H-5

微生物燃料電池の発電能と水処理能に及ぼす基質種と運転方法の相違による影響

Effects of the differences in the substrate types and operation methods on power generation and wastewater treatment performances of Microbial Fuel Cell.

○吉田輝生¹, 吉田征史²*Kio Yoshida¹, Yukihito Yoshida²

Abstract: In this study, in order to introduce MFC into the aeration tank of the activated sludge process, experiments were conducted with multiple substrates and operating methods. As a result, it was observed that the voltage tended to be higher when acetic acid was used as the substrate than when glucose was used. And the coulombic efficiency was also higher when acetic acid was used.

1. 研究背景・目的

下水道における電力使用量の内、水処理による電力使用量が約50%を占めており下水処理には省エネルギー化が望まれている。そこで、水処理と発電を組み合わせた微生物燃料電池(以下、MFC)が注目されている。本研究では下水処理場へのMFC導入にあたり設置方法及び稼働条件を検討し、効率よく発電ができる条件を模索している。これまでの研究^[1]から、カソード面を大気中に露出させた一槽式MFCを曝気槽の水面上に設置する方法が反応槽の容積に影響をもち、十分に発電できると考えられており、またMFCへの流入基質が酢酸の場合、およそ50mgCOD/Lを下回らなければ発電できることが確認されている。しかし、実下水中の有機物は酢酸だけでなく、多様な有機物が含まれている。このため、本研究では酢酸及びより高分子なグルコースも基質に用いた。また、COD濃度が低下したら基質を入れ替える回分式の運転をこれまで行ってきたが、実処理場では連続的に下水が流入しているため、基質を連続的に導入する連続式の運転も行い、発電能と水処理能の比較を行った。

2. 実験方法

図1に実験装置の概要を示す。MFCユニットのアノード槽の有効容積は約500mLで、アノード電極とカソード電極には厚さ3mmのカーボンフェルトを用い、両電極は厚さ183 μ mのナフィオン膜を挟むように固定した。実験開始時にアノード槽に下水処理場の返送汚泥をMLSS1000mg/L程度で植種した。このMFCユニットのカソード面が、曝気槽に見立てた水槽の水面上に向くように設置した。基質には酢酸(A)・グルコース(G)の2種を使用し、それぞれ基質の投入方法を回分式・連続式で計4系列(回分式A・回分式G・連続式A・連続式G)を運転した。なお、回分系は今回の実験期

間中、基質入れ替え時にアノード槽内で800mgCOD/Lとなるように投入し、連続系は流量約500mL/日で実験開始時は800mg/L、その後100~450mgCOD/Lで基質を流入させた。MFCユニットの集電板と外部抵抗1000 Ω をワニ口クリップで接続しデータロガーで電圧を30分おきに測定し、アノード槽のpH・ORP・COD濃度も測定した。また、定期的にポテンショスタットを用いて内部抵抗・最大電力密度の測定も行った。

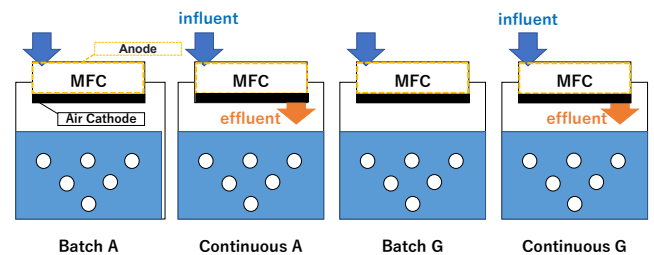


Figure 1. Schematic of MFC reactors

3. 実験結果

図2に電圧の経日変化を示す。実験開始から7日程度で4系列とも電圧が上昇し、その後も大きな差異なく徐々に上昇した。グルコースの方が多様な微生物が利用可能なため電気産生微生物が利用できる有機物が少なくなり電圧が低くなることも想定していたが、そのような傾向は確認されなかった。141日目にカソード面の湿潤状態が不十分であったことが確認され改善を施した(カソードにおける電子受容体である酸素の溶解のためにカソード面が十分に湿潤していることが重要である^[1])。その後、下部水槽の水位の蒸発による変動や散気管の詰まりによる曝気量の差異などによる影響を排除することに注意して運転管理した。これらの影響により特に電圧以外の測定項目に変動が生じてしまったため、測定精度の信頼性が低いデータを除き、50日程度の期間毎に平均値を求めることで、実験期間

1: 日大理工・院(前)・土木 2: 日大理工・教員・土木

における変化傾向を単純化した。図2に期間1~6の区割りを示し、図3に各期間における電圧の平均値を示す。

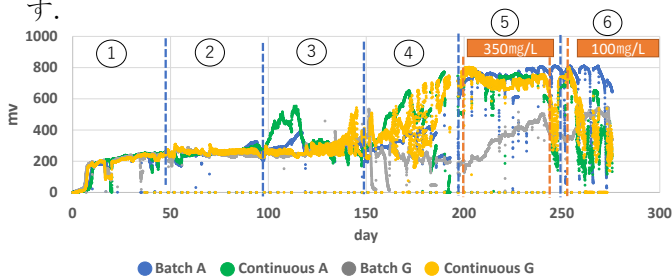


Figure 2. Voltage-time profiles of the 4 MFCs

回分 A, 回分 G は実験期間を通して基質の COD 濃度が 800mgCOD/L で一定であり, 電圧の変化傾向は期間が進むごとに上昇傾向にあった。一方, 連続 A, 連続 G は 800mgCOD/L の基質を流入させている期間 1~4 では期間を追うごとに上昇した。期間 1~3 では基質種, 運転方法による有意は確認されなかったが, 期間 4 において連続系の方が回分系よりも平均電圧が高い傾向が観察された。このため, アノード槽への物質の蓄積を避けるため MFC の実験では回分式がよく用いられるが, 連続式運転であっても十分に発電が可能であることが示唆された。なお, 回分 G は他 3 つの系と比較して期間 4 以降, 最も電圧が低かった。連続 A, 連続 G は, より低い COD 負荷でも発電が可能かを調べる目的で期間 5 では 350mgCOD/L, 期間 6 では 100mgCOD/L と基質濃度を低下させた。その結果 350mgCOD/L (期間 5) では継続して電圧が上昇したが 100mgCOD/L (期間 6) では低下した。

図 4 に COD 除去速度の期間平均を示す。回分系では期間 6 において上昇傾向にあるが, 全体的に大きな変動はなかった。一方, 連続系では実験開始初期に除去速度が速く期間を追うごとに低下していた。実験初期は電気産微生物以外の細菌が返送汚泥に残っているためこのような結果になることはあるが, 同様の植種源を用いているのに回分系ではその傾向が観察されなかった原因は明らかになっていない。また, A 系と G 系での差異も特に確認されなかった。

図 5 にクーロン効率の期間平均を示す。クーロン効率は, 消費された COD が持つクーロン量の内, どれだけ発電に利用されたかを示す指標である。電圧と同様に期間 1~3 では大きな差異はなく, 期間 4 から各系で差異が生じていた。連続系の方が高い傾向にあり, 回分 A は連続系と同等であるが, 回分 G は他 3 つと比較して小さい傾向となった。なお, 回分系においても連続系においても A 系の方が G 系よりも高い傾向があり,

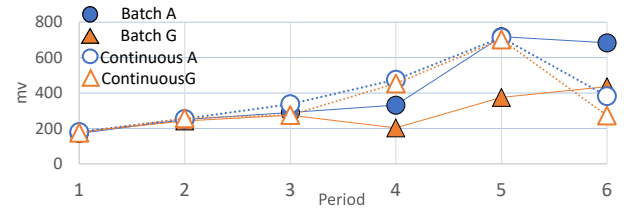


Figure 3. Voltage profiles in each period

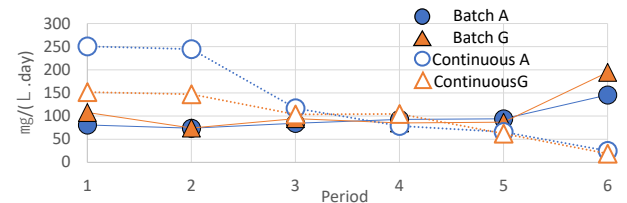


Figure 4. COD removal rate in each period

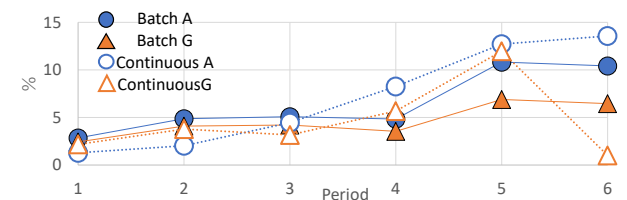


Figure 5. Coulombic efficiency in each period.

これは既存の知見^[2]とも同様な結果であった。これは, 電気産微生物以外にもグルコースを代謝する細菌が多いためであると考えられる。このため, A 系と G 系ではアノード槽に生息する細菌が異なることが予想されるため, 今後, 分子生物学的手法を用いた生物叢解析を実施する予定である。

4. まとめ

微生物燃料電池の運転において, 流入基質に酢酸とグルコースを用いた場合, また, 回分式と連続式で運転した場合の組み合わせによる計 4 種類の実験系によりこれらの相違が発電性能及び水処理性能に与える影響を検証した。その結果, 連続式実験であっても発電は可能であった。また, 微生物燃料電池の研究でよく利用される酢酸よりも高分子なグルコースを用いても発電は可能であったが, 酢酸を用いた系の方が電圧及びクーロン効率ともに高い傾向が観察された。

5. 参考文献

- [1] 吉田輝生, 吉田征史, 第 54 回水環境学会年会講演集。2020。
- [2] 木村善一郎, 水環境学会誌, Vol. 33, pp. 357-360, 2010。