

電子受容体及び受容方法の違いによる微生物燃料電池の能力変化について

日本大学大学院 学生会員 ○河合 郁郎

日本大学理工学部土木工学科 正会員 齋藤 利晃

1. はじめに

微生物燃料電池(Microbial Fuel Cell:以下 MFC)とは、微生物が下水中の有機物を摂取し、エネルギーに変換する際に産出する電子を何らかの方法で体外に放出させ、電極に流すことで発電が可能となる装置である。電子を代謝経路から取り出して電極に流すことにより、発電と嫌気性微生物のエネルギー生産の障害が同時に起こるため、この技術を下水処理において活用すれば、オンサイト発電と同時に余剰汚泥の削減も期待できる。しかし電子受容体には酸素が用いられるため、曝気にかかるエネルギーは無視できず、さらに白金等の触媒を用いない場合、化学的反応による電子受容能力が低いという課題もある。そこで本研究では、電子受容槽(正極、以下:カソード)にも微生物を投入し、下水処理における好気槽や脱窒槽を仮定して電子受容を微生物の生化学的反応により行う方法により、発電電圧の改善を試みた。

2. 実験条件

各槽 500mL の二槽型 MFC リアクターを用いた。電極は面積 24cm^2 の多孔質な炭素電極を両極に設置し、プロトン交換膜には面積 5cm^2 の NeoSepta(株式会社トクヤマ製)を用いて各極を隔てた。負極(以下:アノード)には実処理場消化汚泥を植種して嫌気状態とし、カソードは純水で満たし、常時曝気した。アノードにはグルコースを炭素源として槽内を常に 400mgCOD/L に保つように栄養塩とともに連続流入させた。外部回路には可変抵抗を設置し、 $1000\ \Omega$ とし、発電電圧は PASPORT (PASCO 社製)にて計測した。

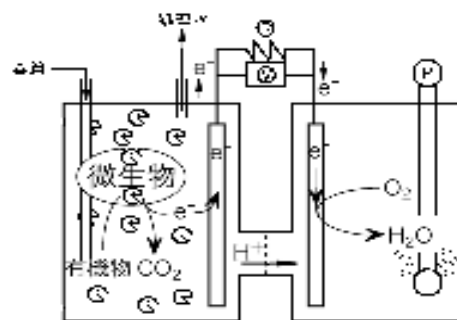


図1 二槽式 MFC

まずカソードの DO と発電電圧の相関関係を測定し、最低必要曝気量を検討する。次にカソード DO を回復させ好気菌(A0 法培養)を投入することにより、酸素の生化学反応による電子受容能力を検討する。その後カソード電極を交換し、カソードに硝酸を 25mgN/L で投入し、化学的電子受容能力を検討する。次に硝酸の濃度を維持したまま脱窒菌(A20 法培養)を投入し、硝酸の生化学的電子受容能力を検討し、発電電圧を比較する。

3. 実験結果

3-1. カソードにおける必要溶存酸素濃度について

まず電子受容体を酸素とした場合の発電電圧および発電電圧とカソードの DO との相関関係を求めた。結果を図 2 に示す。曝気を止めた直後から DO の減少が始まり、 $1.2\text{mgO}_2/\text{L}$ あたりまで発電電圧に特別な変化はなかったが、それを下回ると発電電圧が急激に低下した。それ以降 DO はあまり減少せず、発電電圧もほぼ無いので曝気を再開したところ、発電電圧が再び上昇した。したがってカソードを過剰に曝気する必要はないが、およそ $1.5\text{mg O}_2/\text{L}$ 程度の DO を維持すべきであることが示された。

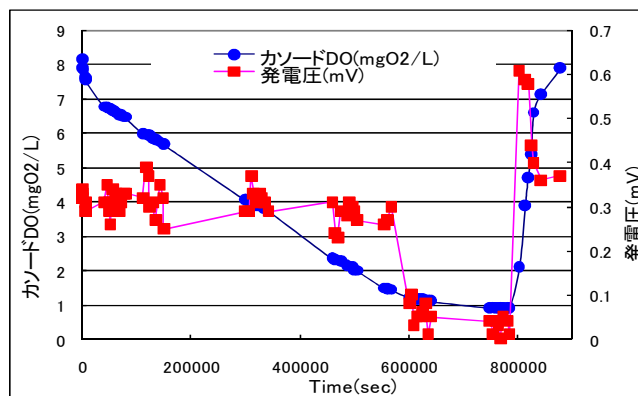


図2 発電電圧とカソード DO の相関関係

キーワード 微生物燃料電池、電子受容効率、Microbial Fuel Cell、MFC

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 日本大学大学院理工学研究科 TEL 03-3259-0875

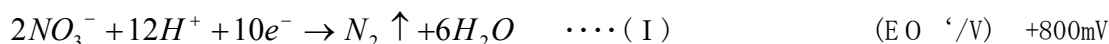
3-2. カソードへの微生物添加および硝酸利用の効果

次に、カソードへ微生物および硝酸を添加した実験の結果を説明する。結果を表1にまとめた。

一旦 DO を 8mgO₂/L まで回復させた後、カソードに好気菌(AO 法培養)を投入し、有機物を含まない栄養塩のみを HRT24h で流入させた。結果として発電圧は 1.65mV まで増加し、微生物を介した生化学的反応について効果が見られた。次に硝酸の化学的反応による電子受容能力を検討する。硝酸を電子受容体にした場合の化学式を(Ⅰ)に示す。

表1 微生物添加および硝酸利用の効果

カソード条件	電子受容体	反応経路	発電圧
曝気	酸素	化学的電子受容	0.30mV
曝気+好気菌	酸素	生化学的電子受容	1.65mV
硝酸+栄養塩	硝酸	化学的電子受容	1.60mV
硝酸+栄養塩+脱窒菌	硝酸	生化学的電子受容	1.55mV



電極を新しいものに変え、硝酸カリウムを 25mgN/L の濃度に槽内を保つように栄養塩とともに HRT24h で連続流入させた。その結果、発電圧は 1.60mV まで増加し、化学的電子受容であっても高い効率を示した。ただこの実験においては栄養塩も同時に流入させているため、硝酸のみが持つ電子受容能力ではないことに注意して解釈すべきである。

次いで、硝酸を 25mgN/L の濃度に保ったカソードに脱窒菌(A20 法培養)を投入し、生化学反応の効果を検討した。微生物を投入した直後、好気菌を入れたときと異なり、発電圧が急激に低下した。一時発電圧がほぼ無くなる状態が続いたがそのまま続行したところ、微生物を投入してから約9日後あたりから発電圧が徐々に増加し、最終的に 1.55mV あたりで安定した。この急激な発電圧の低下の原因は明らかではない。

また、表1に示されるように、酸素単独を除いた残りの系は、いずれも 1.6mV 程度の発電圧に留まり、明確な違いは観察されなかった。因みに、カソード側にフェリシアン化カリウム 2mmol/L を投入した実験では、発電圧 3.0mV が確認されたことから、アノード側の能力による発電圧の制限とは考え難く、今後、発電圧が抑制されていた原因について明らかにしていく必要がある。

4. 考察

酸素の化学的電子受容能力は本実験室の MFC において非常に低く、カソード側が律速になることによる MFC のポテンシャルを下げる原因となっていることが予測された。ただ微生物を介した生化学反応においては酸素は高い値を示した。硝酸に関しては電子受容能力はかなり高い値を示したが、生化学反応においては発電圧は下がり、酸素の場合と逆の特性を示した。したがって電子受容体を酸素とし、微生物を介した反応、すなわちカソードに好気槽を組み込むことが良い様に示唆されたが、曝気にかかるエネルギーを考慮した場合、電子受容体には硝酸、すなわちカソードに脱窒槽を組み込むことが最も効率が良いのではないだろうかとの結論に至った。しかし曝気をする場合でもカソード DO との濃度依存は薄いため、最低曝気量が抑えられることを考えると今後活路があるかもしれない。

また今回の実験では硝酸単体での投入ではなかったため、硝酸単体の電子受容能力はつきりとは示唆できなかったが、今後行う予定である。また今回の実験では微生物を介した生化学反応を起こさせやすくするために、カソード側へは有機物を流入させなかった。しかし実処理場の好気槽、脱窒槽において有機物が存在しない場合は考えにくいので、今後は有機物の濃度を徐々に上昇させた場合にどのような変化があるのかを調べる必要がある。

参考文献

- Bruce Logan ら (2005) Electricity generation from cysteine in a microbial fuel cell *Water Research* 39 (2005) 942-952
 Rabaey ら(2005) Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation *TRENDS in Biotechnology*
 Vol.23 No.6 June 2005