

一槽式微生物燃料電池におけるアノード条件の最適化に向けた実験

日本大学 学生会員 ○瀬田 和紀
 日本大学 正会員 吉田 征史
 日本大学 正会員 松島 眸

1. 背景および目的

近年様々な分野で省エネルギーが求められている中、一般的な処理方式である標準活性汚泥法は多量の下水を短時間に処理する事が可能である反面、処理を行うためにエアレーションや送液ポンプ設備の稼働に約 0.3～0.5kWh/m³の電力を必要としている。一方、下水中の有機物が持つ熱量を電力換算すると約 0.7kWh/m³との試算結果があり、近年、排水処理をしながら直接電気エネルギーを回収する微生物燃料電池(Microbial Fuel Cells : 以下MFC)が着目されている。MFC 発電効率の向上のポイントは①微生物からの電子の取り出し、②負極(以下アノード)電極への電子の受け渡し、③イオン交換膜でのプロトンの選択的透過性、④正極(以下カソード)での電子受容体への電子伝達などが挙げられる。本研究ではエアカソード式の MFC 装置を用い、アノード性能向上を目的として、導電性高分子のポリアニリン(以下 PANI)を重合した電極の検討、また、生物分解性の異なる有機物 (酢酸とグルコース)を炭素源とした場合の発電および有機物除去に与える影響を検討した。さらに、アノード電極の厚みによる電力回収能への影響を検討した。

2. 実験方法

2.1 PANI 重合電極実験

実験にはアノード槽の有効容積が 500mL の円柱型リアクター(Fig.1)を 4 台用いた。カソード電極には 4×4cm の白金が塗布されたカーボンペーパーを用いた。実験開始時の種汚泥は高度処理を行なっている下水処理場の返送汚泥を用い、初期 MLSS 濃度 1050mg/L となるように投入した。プロトン交換膜には有効面積約 50cm² の Nafion117 を使用した。外部抵抗には 1kΩ を接続し、外部抵抗に掛かる電圧を電圧計(GL220、GRAPHTEEC)にて 10 分おきに自動記録した。4 台の実験条件の相違は、炭素源としてグルコースと酢酸を用いた場合と、アノード電極に用いたカーボンフェルトへの PANI 重合の有無である(Table.1)。基質の組成は Table.2 に示す通りである。また、アノード槽内の状態を確認するため ORP 計(YUSB-01OR)にて ORP を 10 分おきに自動記録し、2 日に一回程度アノード槽よりサンプルを採取し、0.45 μm の濾紙で濾過後 COD_{Cr}(HACH 社)を測定した。なお、COD が不足し、電圧が低下した際に基質を入れ替える回分式で実験した。

Table.1 Difference of each reactor

	G-P	G	A-P	A
Carbon source	Glucose	Glucose	Acetate	Acetate
Anode electrode	Carbon felt (PANI) 40×40×5mm	Carbon felt 40×40×2mm	Carbon felt (PANI) 40×40×5mm	Carbon felt 40×40×2mm

Table.2 Composition of substrate

NH ₄ Cl	310mg/L
Na ₂ HPO ₄	2750mg/L
NaH ₂ PO ₄	4872mg/L
NaHCO ₃	3130mg/L
KCl	130mg/L
GOD	640mg/L
T-N	80.37mg-N/L
T-P	1858.6mg-P/L

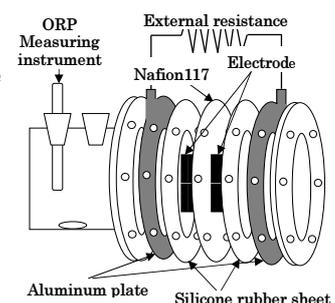


Fig.1 Schematic of MFC reactor

2.2 アノード電極厚相違実験

実験には 2.1 同様 Fig.1 のリアクター 2 台を使用した。本実験では PANI 未重合の通常のカーボンフェルトをアノード電極に用い、厚さが 5mm と 2mm の 2 種類で比較した。炭素源は 2 台とも酢酸を用い、ORP に加え pH も 10 分おきに自動記録した。なお、初期汚泥濃度は約 2600mg/L とした。その他の条件は 2.1 同様である。

3. 実験結果及び考察

3.1 PANI 重合電極実験

キーワード 微生物燃料電池、エアカソード、導電性高分子、ポリアニリン(PANI)

連絡先 〒101-8308 千代田区神田駿河台 1-8-14 日本大学理工学部土木工学科 水圏環境システム研究室

電圧の経日変化(Fig.2)と COD の経日変化(Fig.3)を見ると、実験開始初回は全ての系列において COD の減少が確認されたにも係らず電圧は上昇しなかった。しかし、10日目以降では COD の減少速度が初回と同程度である事に加え電圧の上昇(発電)が確認され、特殊な発電微生物を用いずとも、一般的な下水処理場の活性汚泥から発電に寄与する微生物が獲得可能であった。炭素源に酢酸を用いた系とグルコースを用いた系で比較すると、酢酸系は10日以降から安定して 400mV 程度の電圧が得られたのに対し、グルコース系については G-P 系は基質を投入する毎に徐々に最大電圧が上昇する傾向が見られ、基質の生物分解性の相違により発電効率への影響がある事が確認された。しかし G 系では COD は減少するものの電圧が上昇する事はなく、電力回収には利用されずに除去されただけであった。一方、炭素源毎に PANI 重合電極と未重合電極の実験結果を比較すると、G 系に比べ G-P 系の最大電圧が約 8 倍となった。このため、PANI を重合した事によるアノード電極への電子伝達が促進された可能性が示唆された。しかしながら、酢酸系(A 系、A-P 系)では最大電圧に大きな差異は認められなかった。また、有機物分解により生じた電子を実際に電気エネルギーとして回収された効率を表すクーロン効率 (Fig.4) は、G 系以外は回を重ねる毎に上昇し 10% 程度の値であった。

3.2 アノード電極厚相違実験

電圧、COD の経日変化を Fig.5 に示す。装置の不具合により前半のデータが欠けているが、厚さ 2mm の系 (A2) と厚さ 5mm の系 (A5) では電極の薄い A2 の方が高い出力を示した。また、COD の減少速度はどちらの系でもほぼ同じ速度であった。計算可能な(38~50日目程度)範囲でクーロン効率を算出すると、A2 は

3.5%、A5 は 2.9% となり、今回の実験ではアノード電極厚が薄い方が出力は高かった。厚みによる、微生物の生息域となる総表面積の増加と物質透過性の低下の影響をさらに検証する必要があると考えられる。A2 は 3.1 の A 系とほぼ同じ条件で行ったにも係らず約 6 割の電圧しか確認出来なかった。これは、3.1 の実験の後、陽イオン交換膜を交換せずに使用した事による劣化に伴いプロトンの透過性が悪化し律速となってしまった事が考えられた。

4. まとめ

一槽式微生物燃料電池におけるアノード条件の相違による出力への影響を検討した結果、炭素源をグルコースと酢酸とした場合、酢酸系の方が高い出力が得られた。また、導電性高分子である PANI をアノード電極に重合した実験から、PANI 重合電極の有用性が示唆されたが、試験系によっては相違が確認されない場合もあった。しかし、この実験では PANI 重合電極は未重合電極よりも厚みがあった為、アノード電極厚の相違が出力に与える影響を検討したところ、アノード電極が薄い方が高い出力が確認された。また、実験を通じ陽イオン交換膜の劣化による出力低下も懸念された。

参考文献

[1] 惣田訓ら:合成下水を基質とした微生物電池の T-RFLP およびサイクリックボルタンメトリーによる微生物群集解析、環境工学研究論文集、第 46 巻、pp.483-491、(2009)。 [2] 窪田恵一ら:排水の有機物組成変化が微生物燃料電池の性能に与える影響評価、第 48 回環境工学研究フォーラム講演集、pp.97-99、(2011)。

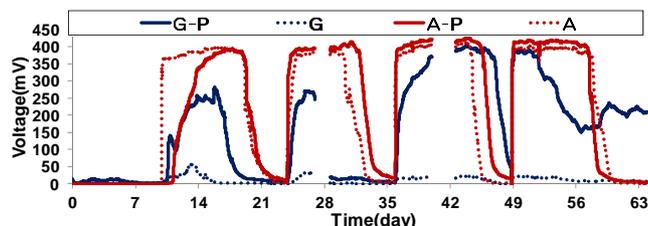


Fig.2 Behavior of voltage

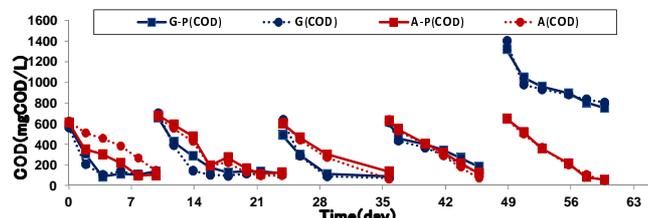


Fig.3 Behavior of COD

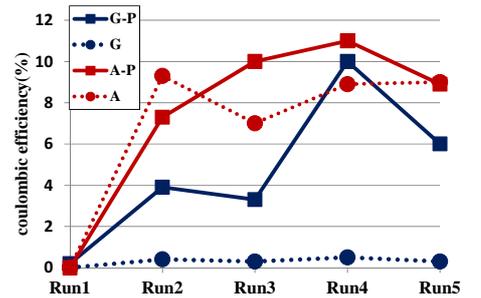


Fig.4 Behavior of Coulombic efficiency

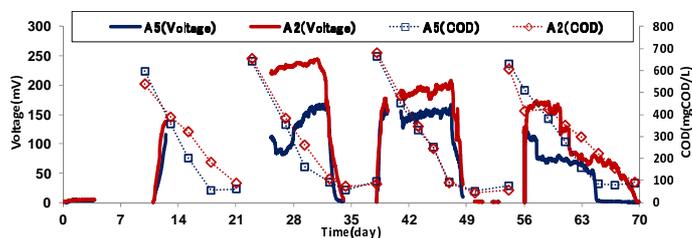


Fig.5 Behavior of Voltage and COD