

微生物燃料電池(MFCs)の性能におよぼす諸条件の影響に関する比較評価

熊本大学工学部 学生会員 山下敬裕

熊本大学大学院 非会員 芳野裕一郎, 周广宇

熊本大学大学院 正会員 川越保徳

1. はじめに

近年, 下水や廃水の生物学的処理技術に関し, 活性汚泥法に代表される好気性処理よりも消費エネルギーやコストを抑えることのできる嫌気性処理が注目されている。また, 嫌気性処理はメタンガスや水素ガスなどの形でエネルギーの回収も可能であるが, 比較的低い負荷条件での処理の安定性や, 回収したメタンガスの利用効率などについては今なお改善すべき課題である。さらに, 昨今の化石燃料の将来的な不足や核エネルギー依存からの脱却といったエネルギー問題を鑑みれば, 従来よりも効率的でしかも質の高いエネルギーが回収可能である嫌気性処理の研究の促進と技術開発が望まれる。このような背景から現在研究が進められている技術の一つとして, 微生物燃料電池(MFCs)の廃水/廃棄物処理への応用があげられる。廃水処理における MFCs とは, 廃水に含まれる有機炭素源などを電子供与体として生育, 増殖でき, かつ, 電子を細菌細胞外の電極などに伝達可能な微生物を介して電気回路を形成することによりファラデー電流を発生させる技術である。MFCs においては, これまでにエネルギー回収効率や処理能力の向上に関する様々な研究が行われているが, それらは主として電池性能や処理能力に影響を与える条件を個別に検討した例が殆どであり, 各条件の影響度を相互に比較した例はない。

我々の研究室では, 種々のイオン交換膜や Anode 電極が MFCs の電池性能に与える影響に関する研究を行ってきた。本研究では 3 種類の実験条件 (Anode の電極面積, イオン交換膜の種類, イオン交換膜の面積) の性能への影響度を相互比較, 評価するため, 実験計画法と呼ばれる手法を用いて検討を行い, 一定の知見を得たので報告する。

2. 実験方法

2.1 使用材料および MFCs リアクタ

植種源には嫌気性細菌の集積が推定される下水処理場の消化汚泥を使用した。リアクタの概略図を図 1 に示す。本実験では, 各 90 ml の Anode 槽と Cathode 槽をイオン交換膜で隔てた 2 槽型のリアクタを使用した。Anode 槽には, 既往研究で多く利用されている酢酸ナトリウム (10 mmol/L: 0.8 g/L) を基質とする MFCs 用培地を, Cathode 槽にはリン酸緩衝液¹⁾を投入した。なお, 培地および緩衝液はリアクタに加える前にオートクレーブにて滅菌した。植種源は 5g/L (wet) の濃度になるように Anode 槽に投入し, Anode 電極にはカーボンシート、Cathode 電極には 2×2 (cm) の白金板を使用した。Anode 槽は実験開始前にアルゴンガス曝気にて嫌気状態とし, その後, 両槽の上部をゴム栓で密栓した。両極は銅線にて接続し, 回路内に 1k Ω の外部抵抗を接続した。

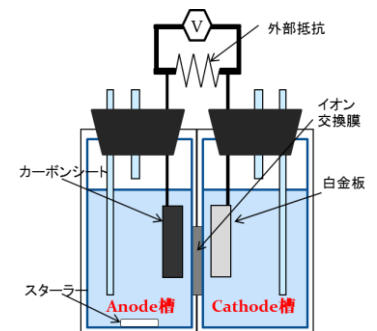


図 1 MFCs リアクタ概略図

2.2 MFCs リアクタの運転条件

リアクタは恒温槽内に設置し, 温度を 28℃に設定, 維持した。Anode 槽はスターラーによって穏やかに攪拌、Cathode 槽は常に空気を曝気し続けて好気状態を維持した。各実験の開始時には前処理として 48 時間の通電処理を施し¹⁾、所定条件の下で回分試験を繰り返し行った。

2.3 測定・評価項目

発生電圧と電流はポテンショスタットを使用して測定した。酢酸濃度は高速液体クロマトグラフにて, 全有機炭素 (TOC) は TOC 計にて測定し, 実験開始前後の濃度から酢酸および TOC の消費量を求めた。また, MFCs の電池としての性能は, 最大電力密度とクーロン効率にて評価した。ここで最大電力密度は, 電流電圧曲線で示される

最大電力を Anode 電極の面積で除することで算出され、クーロン効率とは、電流超過時間を積分して得られる総クーロンを基質（酢酸）量から計算される理論的なクーロン量で除したものである¹⁾。

2.4 実験計画法による実験条件の設定

我々のこれまでの研究を踏まえ、本研究では Anode の電極面積、イオン交換膜の種類、面積の 3 つの条件を検対象とした。Anode の電極面積は small : 9 と large : 27 (cm²) , イオン交換膜は MFCs 研究で一般的に使用されている水素イオン交換膜の Nafion117 (Nafion) と汎用的な陽イオン交換膜である Yumigrafter BA28DGZ (Yumi) を、面積については small : 8.04 と large : 15.4 (cm²) を各々設定した。以上の条件の組合せ数は 8 種類となるが、実験計画法から定まる直交表にもとづき、表 1 に示す 4 種類の実験にて検討することとした。

3. 実験結果および考察

表 1 に、4 種類の各実験における結果を整理した。ここで表 1 中の k1 と k2 は、各条件において同じ設定で得られた結果の平均値であり、R は k1 と k2 の差の絶対値である。例えば、電極面積の違いが、発生電圧に与える影響を評価する場合、電極面積が small の場合を k1, large の場合を k2 とすると $k1 = (157.6+131.7)/2 = 144.65\text{ mV}$, $k2 = (189.1+173.2)/2 = 181.15\text{ mV}$ となり、 $k1 < k2$ であることから電極面積が大きいほど高い発生電圧が得られたと判断する。同様に、膜の種類は Nafion 膜が優れ、膜の面積の違いによる差はない。ここで、R が大きいほど結果に対する影響力が強いと考え、上記条件の発生電圧に対する影響は 電極面積>膜の種類>膜の面積 と評価できる。同様に、クーロン効率は電極面積にはあまり影響されず、膜の種類は Nafion 膜が、膜の面積は大きいほど高い値となり、影響の強さは 膜の種類>膜の面積>電極面積 の順となった。電力密度では、電極面積は小さく、膜の種類は Yumi 膜、膜の面積は大きいほど高い値が得られ、影響の強さは 電極面積>膜の面積>膜の種類 の順となった。

MFCs の能力を評価する上で重要なのは、廃水の処理（除去）能力と電気エネルギーの回収量である。本研究では、全ての実験にて約 90% の TOC 除去率が得られた。基質が酢酸である等の条件ではあるが十分な処理能力を有していた。一方、エネルギー回収においては違いが示された。発生電圧に最も影響を与えたのは電極面積である。これは電極面積を大きくすることで微生物がより多く接触し、電子伝達を行うためと考えられる。一方電力密度は電極面積に反比例している、反応槽の大きさに合わせるなど、適当な電極面積を考慮する必要がある。イオン交換膜は Nafion 膜で若干良好な成績が得られたが、コストや汎用性の面で Yumi 膜の様な一般的な陽イオン交換膜の利用は十分に検討に値する。膜の面積に関しても、MFCs の性能向上には検討すべき条件であることが分かった。

表 1 各実験条件下での MFCs 性能と諸条件の性能に対する影響の比較評価

実験No.	実験条件			結果		
	電極面積	膜の種類	膜の面積	電圧(mV)	クーロン効率(%)	電力密度(mW・m ⁻²)
1	small	Nafion	small	157.6	9.2	16.5
2	small	Yumi	big	131.7	7.6	22.2
3	big	Nafion	big	189.1	10.2	5.4
4	big	Yumi	small	173.2	5.4	2.2
電圧	k1	144.65	173.35	165.4		
	k2	181.15	152.45	160.4		
	R	36.5	20.9	5		
クーロン効率	k1	8.4	9.7	7.3		
	k2	7.8	6.5	8.9		
	R	0.6	3.2	1.6		
電力密度	k1	19.35	10.95	9.35		
	k2	3.8	12.2	13.8		
	R	15.55	1.25	4.45		

参考文献

1) 永田靖：入門実験計画法，日科技連出版社（2000）
2) 芳野裕一郎，他：イオン交換膜の違いによる微生物燃料電池(MFCs)の電池性能への影響, 平成 22 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，775-776（2011）