

1m 長アニオン交換型微生物燃料電池の運転条件の違いが下水からの発電効率に与える影響評価

名古屋工業大学 学生会員 ○山根 大輝 杉岡 真璃 正会員 吉田 奈央子
玉野総合コンサルタント 団体会員 迫田光弘, 日本工営 団体会員 飯田和輝

1. 緒言

下水道において省エネルギー化ならびに下水資源の有効利用が求められている。下水バイオマス利活用技術の1つとして微生物燃料電池（以下 MFC）が期待されている。しかし、MFC のスケールアップや導入コスト低減が大きな課題であり、1m を超える大きさのエアカソード MFC はこれまでに報告されていない。我々は 33 cm 長の円筒 MFC（図 1、図 2A）の下水処理への適用を検討してきた¹。本研究では、1 m 長の円筒 MFC（φ 5 cm×100 cm）（図 2A）を製作し、下水処理に導入した際の電流生産および有機物除去効果を評価し、エネルギー削減効果を試算した。

2. 理論

MFC によるエネルギー回収効率を示す指標として発電効率（EGE）を（1）式より求めた。

$$EGE [\text{kWh/kg-COD}_{\text{Cr}}] = \frac{\sum_{i=1}^{\text{HRT}} P_i}{\Delta \text{COD}_{\text{Cr}} V} \quad (1)$$

ここで、 P_i [kW]: 滞留時間内に 1 時間毎に測定した電力、HRT [h]: 滞留時間、 $\Delta \text{COD}_{\text{Cr}}$ [kg/m³]: HRT あたりの COD_{Cr} 除去量、 V [m³]: 汚水体積である。

3. 実験方法

3.1 アニオン交換型 MFC の製作

MFC は内部を大気解放とし、ステンレスメッシュに活性炭担持カーボンプクロス（カソード）、アニオン交換膜（セパレータ）、黒鉛不織布（アノード）を巻いたものを用いた。アノードは曝気槽より採取した汚泥を浸して植種した後 MFC に装着した（図 1）。

3.2 最初沈殿池流出水路における電流生産の評価

下水処理場の最初沈殿池流出水路に、上部に浮体を設けた MFC（図 2B）をアノード部分が全て汚水に浸漬し浮体部が浮いた状態で 185 日間（図 2C）、その後連続流入リアクター内に移設し計 256 日間運転した（図 2D）。MFC のアノードおよびカソードは外部抵抗（1, 2, 3, 22 Ω）を介して接続し、データロガーを外部抵抗に並列接続し 1 時間毎に電圧を測定した。

3.3 MFC の有機物除去効果の評価

3.2 で用いた MFC を引き上げ、連続流入リアクター（φ 12.5 cm×130 cm, MFC 体積充填率: 20 %）に再設置した（図 2D）。リアクターには HRT=3, 6, 12, 18h となるようチュービングポンプを用いて汚水を

連続的に供給し運転した。MFC に外部抵抗として 2 Ω を接続し、各条件における電圧を測定した。各 HRT 条件下で 4HRT 以上、流入水および流出水の COD_{Cr} 濃度を測定した。また、MFC 非設置の NON リアクターを別途運転し、MFC の設置が有機物除去に与える影響を評価した。

4. 結果および考察

4.1 最初沈殿池流出水路における電流生産の評価

最初沈殿池流出水路および連続流入リアクターに設置した MFC の電流生産の推移を図 3 に示す。培養開始から 15 日間に徐々に電流生産が活発になり、15~80 日で平均 0.38 A/m² で安定した。その後徐々に電流値が減少し 120~180 日では平均 0.15 A/m² で安定した。185 日目に水路からリアクターに移設後 185~256 日は変動が大きいものの平均 0.20 A/m² を示した。この値は 33 cm 長 MFC と同程度であり⁽¹⁾、スケールアップによる電流生産の低下は見られなかった。



図1 MFCの構造および機能

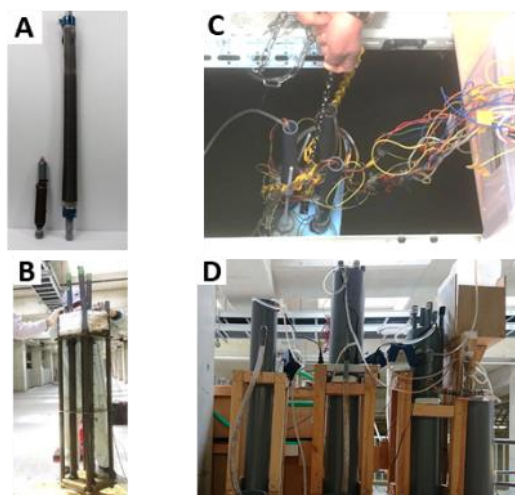


図2 MFCの外観

A: 33 cm 長 MFC および 1 m 長 MFC, B: 最初沈殿池流出水路設置前の MFC, C: 水路への設置状況, D: 連続流入リアクター

キーワード 微生物燃料電池, 循環型社会, 下水処理, 有機物除去

連絡先 〒466-0006 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 TEL 052-732-2111

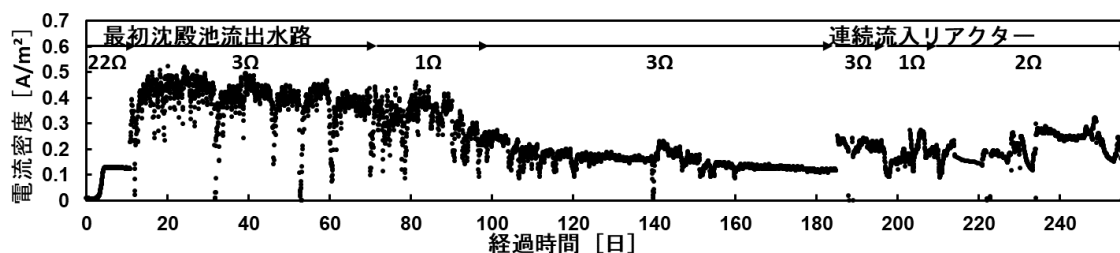


図3 最初沈殿池流出水路および連続流入リアクターにおける電流生産の推移

4.2 MFCの有機物除去効果の評価

連続流入リアクター内でMFCをHRT=3, 6, 12, 18hで運転した際の電流密度および電力量の平均値を表1に示す。HRT=3, 6, 12, 18hでは電流密度は0.41, 0.32, 0.26, 0.14 A/m²となり、HRTが長くなるほど有意に減少した。これはMFC槽内の反応時間が長くなることで有機物除去が進み、槽内でMFCに供給される有機物濃度が低下するためと考えられる。各HRT内で生産された電力量は2.1, 2.5, 4.5, 1.8 Wh/m³となり、HRT=12hまではHRTが長くなるほど有意に増加した。これは電流密度の減少率に比べ電力を回収する累積時間が長いと考えられる。しかし、HRT=18hでは有機物除去による電流密度の低下がより大きく影響し電力量は1.7 Wh/m³に低下した。

MFCの各HRTにおける有機物除去効果を表2に示す。HRTが長くなるにつれCOD_{Cr}除去率が増加し、HRT=18hで最大59%となった。MFC非設置のNONリアクターによる除去率と比較した場合、HRT=12h以上で有意差があり、HRT=6h以下では有意差が見られなかった。これより、MFCを設置せずとも一定のCOD_{Cr}除去が期待できるが、HRT=12h以上でMFCを運転した場合、嫌気処理では分解し難い有機物が分解されると考えられる。

4.3 エネルギー削減効果の試算

MFCによる電流生産ならびに有機物除去効果の結果に基づき、MFC後に曝気を行うMFC-後曝気処理を行った際の総エネルギー量を図4に試算した。1m³の汚水のCOD_{Cr}濃度を180 mg/Lから4 mg/Lまで除去することを想定し、MFC槽のHRTが0~50hで試算した。曝気のエネルギーは-0.6 kWh/kg-COD_{Cr}、MFCの発電効率は0.04 kWh/kg-COD_{Cr}とした。図4AよりMFCのHRTが長いほどMFCによる有機物除去が進み後曝気で処理すべきCOD_{Cr}量が減少する。これよりMFCによる電力生産の増加と曝気エネルギー消費が削減され(図4B)、MFC槽をHRT=0~50hで導入すると仮定し試算したところ、HRT=42hで下水処理のエネルギー自立化が可能であることが示唆された。

5. 結論

1 m長アニオン交換型MFCを最初沈殿池流出水路にて運転した結果、185日以降も平均0.20 A/m²で安定し、33 cm長MFCに比べ電流生産の低下は見られな

かった。HRT=18hでMFCを運転した後曝気した場合、65%のエネルギー削減効果が得られ、HRT=42hでエネルギー自立化が可能であると試算された。

表1 各HRTにおける電流密度および電力量

HRT [h]	電流密度 [A/m ²]	電力量 [Wh/m ³]
3	0.41 ± 0.04	2.1 ± 0.4
6	0.32 ± 0.03	2.5 ± 0.4
12	0.26 ± 0.02	4.5 ± 0.2
18	0.14 ± 0.06	1.8 ± 0.1

表2 各HRTにおける有機物除去効果

HRT [h]	流入COD _{Cr} [mg/L]	流出COD _{Cr} [mg/L]		除去率 [%]	
		NON	MFC	NON	MFC
3	152 ± 19	107 ± 11	109 ± 10	29	28
6	210 ± 15	160 ± 15	150 ± 7.2	21	30
12	180 ± 24	130 ± 10	99 ± 24	31	46
18	178 ± 30	102 ± 12	73 ± 6.4	43	59

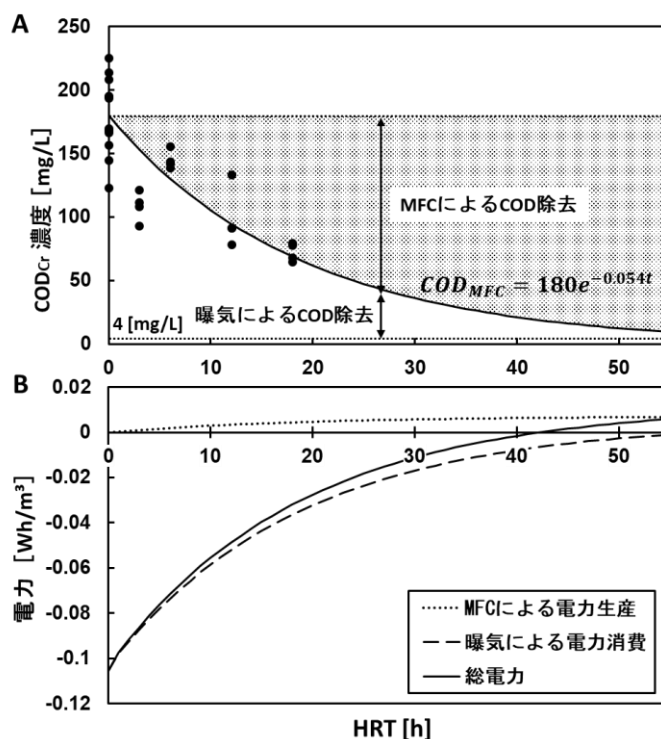


図4 MFC-後曝気処理で生産/消費される電力
COD_{Cr}濃度 (A) 処理の電力 (B)

参考文献

- (1) Sugioka et al. 2019. *Front. Energy Res.* 7:91.