

## 1m 長のアニオン交換型エアカソード微生物燃料電池の下水処理への適用評価

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  
日本工営 団体会員 飯田和輝, 玉野総合コンサルタント 団体会員 迫田光弘

## 1. 緒言

下水道の省エネルギー化ならびに下水バイオマスの利活用技術の一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 のスケールアップが大きな課題となっており、1 m を超える長さのエアカソード MFC はこれまでに報告されていない。我々は 1 ユニット 33 cm 長のアニオン交換型エアカソード MFC (図 1) の下水処理への適用を検討してきた<sup>(1)</sup>。本研究では、1 m 長にスケールアップした円筒 MFC (φ 5 cm × 100 cm) (図 2A) を製作し、下水処理場に導入した際の電流生産ならびに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、 $P_i$  [kWh/m<sup>3</sup>] : 電力量, HRT [h] : 滞留時間,  $\Delta \text{COD}_{\text{Cr}}$  [kg/m<sup>3</sup>] : HRT あたりの除去 COD<sub>Cr</sub> 濃度,  $V$  [m<sup>3</sup>] : 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 は内部が大気解放で、ステンレスメッシュに活性炭担持カーボクロス (カソード), アニオン交換膜, 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植種した後 MFC に装着した (図 1)。

## 3.2 1 m 長 MFC の電流生産の評価

名古屋市内の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 をアノード部が全て浸漬し浮体部が浮いた状態で 185 日間 (図 2B), その後有機物除去評価リアクター内に移設し計 225 日間運転した。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、外部抵抗に並列接続したデータロガーを用い 1 時間毎に電圧を測定した。異なる HRT 下での電流生産を評価するため、最初沈殿池流出水を連続供給した有機物除去評価リアクター内 (φ 12.5 cm × 130 cm, MFC 体積充填率: 20%) に MFC を設置した (図 2C)。リアクターには HRT=3, 6, 12h 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送水した。

MFC に接続する外部抵抗は 2 Ω とし、各条件における電圧を測定した。

## 3.3 MFC の有機物除去効果の評価

MFC を設置した有機物除去評価リアクターにおいて、各 HRT 条件下で 4 HRT 以上、流入水および流出水の COD<sub>Cr</sub> 濃度を測定した。また、MFC を設置しないリアクターを別途運転し、MFC の設置が COD<sub>Cr</sub> 除去に与える影響を評価した。

## 4. 結果および考察

## 4.1 1m 長 MFC の電流生産の評価

最初沈殿池流出水路に設置した 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 日以降、0.38 A/m<sup>2</sup> 程度で安定した。その後、徐々に電流値が減少し 120 ~ 180 日では平均 0.10 A/m<sup>2</sup> で安定した。185 日目に水路から有機物除去評価リアクターに移設後の 185 ~ 256 日は、変動が大きいものの平均 0.14 A/m<sup>2</sup> を示した。この値は 33cm 長 MFC と同程度であり<sup>(1)</sup>、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 アニオン交換型エアカソード MFC の構造

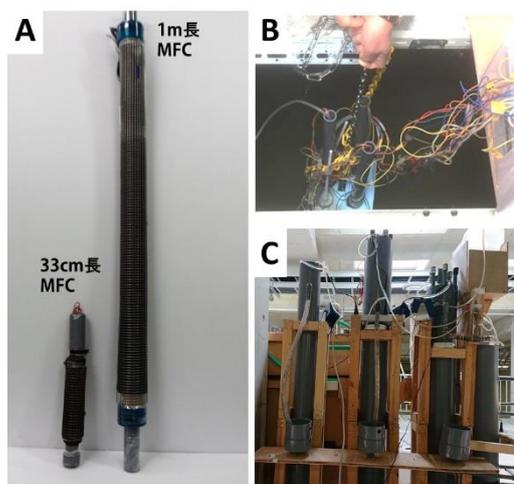


図 2 MFC の外観 (A : MFC, B : 最初沈殿池流出水路に設置した様子, C : 有機物除去評価リアクター)

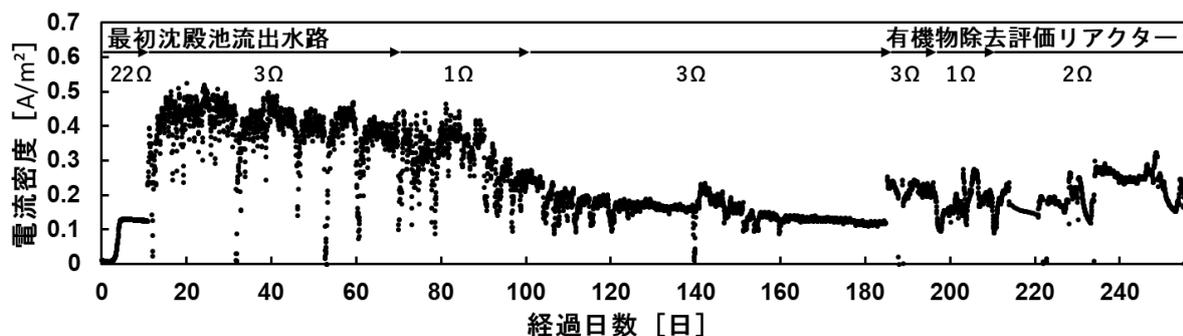


図 3 MFC による下水からの電流生産の推移

続いて、有機物除去評価リアクター内において HRT=3, 6, 12h で MFC を運転した際の電流密度および電力量を図 4 に示す。HRT=3, 6, 12h では電流密度は 0.38, 0.32, 0.26 A/m<sup>2</sup> となり、HRT が長くなるほど低下した。これは時間経過により有機物除去が進み、汚水中の有機物濃度が低下するためであると考えられる。各 HRT 内で生産された電力量は 17, 24, 42 Wh/m<sup>3</sup> となり、HRT が長くなるほど増加した。これは電流密度の減少率に比べ電力を回収できる時間が長くなる効果が大きいためと考えられる。

#### 4.2 MFC の有機物除去効果の評価

MFC の各 HRT における有機物除去率を表 1 に示す。HRT が長くなるにつれ COD<sub>Cr</sub> 除去が進み、HRT=12h で 46% となった。MFC 非設置リアクターによる除去率と比較した場合、HRT=12h でのみ有意差があり (p<0.05), 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<sub>Cr</sub> 除去が期待できるが、HRT=12h で MFC を運転した場合、嫌気処理では分解し難い有機物の分解が促進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 5 に試算した。1 m<sup>3</sup> の汚水の COD<sub>Cr</sub> 濃度を 200 mg/L から 4.0 mg/L まで除去することを想定し、曝気のエネルギーは -0.6kWh/kg-COD, MFC の発電効率は 0.0051×HRT kWh/kg-COD とし、MFC 槽の HRT=0~35h で試算した。HRT=3, 6, 12h で MFC 槽を導入した場合、それぞれ 19, 34, 58% のエネルギー削減効果が得られ、31h で下水処理のエネルギー自立化が可能であることが示された。

#### 5. 結論

アニオン交換型エアカソード MFC を 1 m 長にスケールアップした結果、33 cm 長 MFC に比べ電力の低下はみられない。HRT=12h で MFC を運転した後曝気した場合、51% のエネルギー削減効果が得られ、HRT=31h でエネルギー自立化が可能である。

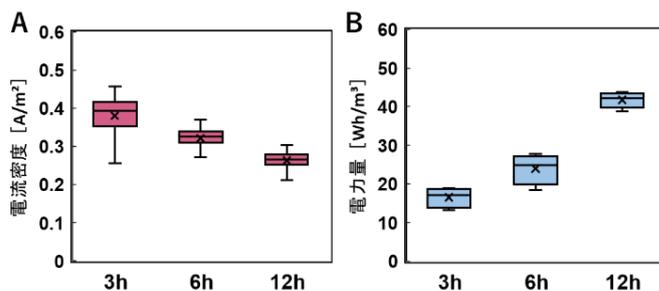


図 4 各 HRT における(A)電流密度 (B)電力量

表 1 各 HRT における COD 除去効果

HRT	流入 COD <sub>Cr</sub> [mg/L]	流出 COD <sub>Cr</sub> [mg/L]		除去率 [%]	
		NON	MFC	NON	MFC
3h	240±57	140±5.6	140±15	42	44
6h	210±15	160±15	150±7.2	21	30
12h	180±24	130±10	99±24	31	46

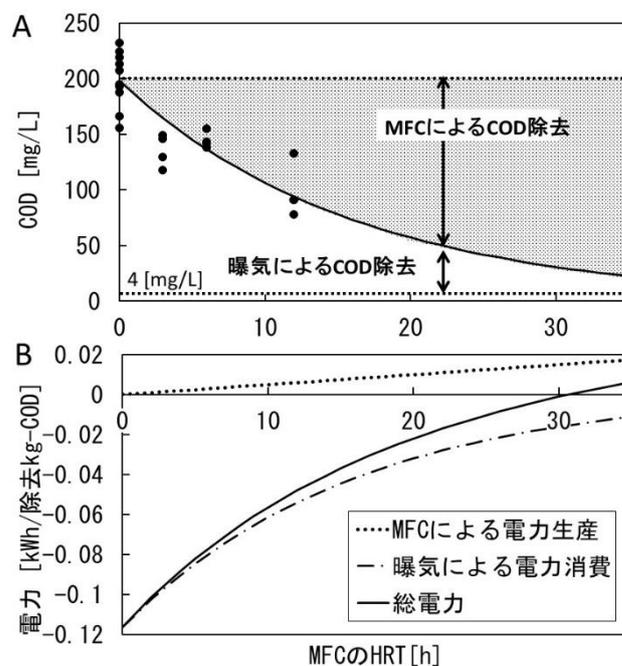


図 5 MFC-後曝気処理で生産/消費される電力 (A) COD<sub>Cr</sub> 濃度 (B) 処理の電力

#### 参考文献

(1) Sugioka et al. (2019). On site evaluation of a tubular microbial fuel cell using an anion exchange membrane for sewage water. *Front. Energy Res.* 7:91.