

下水処理場における非白金触媒アニオン交換型微生物燃料電池の原位置評価

名古屋工業大学 (学) 杉岡真璃, (正) 吉田奈央子
玉野総合コンサルタント (法) 迫田光弘, 源田吉則
日本工営 (法) 松原弘和, 飯田和輝

1. はじめに

下水道において、処理の省エネルギー化ならびに下水資源・エネルギーの有効利用が求められている。国交省が公表する下水道技術ビジョンでは、ロードマップ重点課題に下水資源を活用したエネルギー生産技術として微生物燃料電池 (以下 MFC) ¹ が挙げられる。

本研究では、安価で長期耐久性が期待できる非白金触媒アニオン交換型 MFC の下水適用効果について評価する。本研究で用いるアニオン交換型 MFC は円筒形状であり (図-1), (1) 汚水に面するアノードで微生物による汚水中の有機物の酸化分解反応, (2) カソードで酸素の還元反応が生じ, (3) カソードで生じた OH⁻ がセパレータを通じて移動する。これまでアニオン交換膜は MFC のセパレータとしてほとんど用いられておらず, 下水処理への導入効果も不明である。本研究では, 第一に下水処理場で電流生産が可能か, 第二に MFC の有機物除去効果について評価する。

2. 実験方法

2.1 非白金触媒アニオン交換型 MFC の製作

本実験では内側が空洞の円筒形 MFC (φ 5.0 cm × 33 cm) を 1 ユニットとして製作した (図-1)。塩化ビニル管を加工した支持体に活性炭担持カーボクロス, アニオン交換膜 (ASE, アストム, 東京), 返送汚泥に浸した黒鉛フェルトを巻き固定した (図-2b)。縦方向に 3 ユニートを連結したものを 3 列 1 セットとして発泡スチロール製の浮体に固定した (図-2a)。

2.2 最初沈殿池流入/流出路における電力生産の評価

処理場における MFC の電力生産を評価するため, 最初沈殿池への流入水路と流出水路に図-2a の MFC を水路中に流れる汚水面に浮体より上部が浮かぶように固定した (図-2c)。外部抵抗として 120 Ω または 27 Ω を接続し, MFC の上・中・下部において生産される電圧をデータロガーで 1 時間に一度記録した。

2.3 ケモスタット MFC による有機物除去の評価

MFC による有機物除去効果の評価するため, 2.2 で用いた MFC を引き上げ, 図-3(d) に示すケモスタットリアクター内に再設置し, 表-1 に示す条件で運転した。対照系として MFC を設置しないリアクター (e) を併せて運転し比較した。電流生産は 3.2 と同様に記録し, SBOD, SCOD_{cr} を測定した。

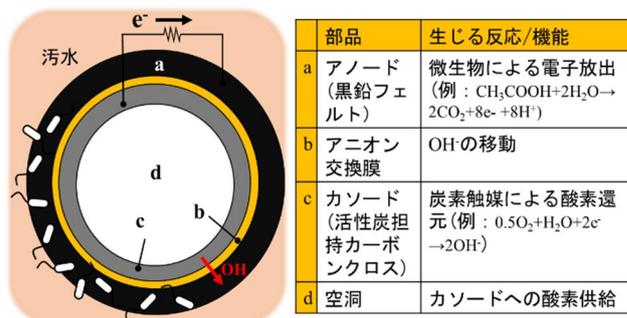


図-1 非白金触媒アニオン交換型 MFC の構成と機能

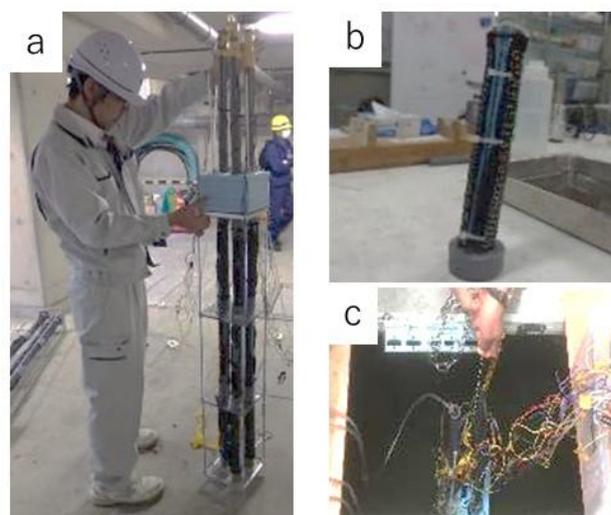


図-2 実験に用いた MFC 全体像 (a), MFC ユニット (b), 最初沈殿池流入水路へ設置した様子 (c)

表-1 連続運転条件	運転条件	抵抗 (Ω)	滞留時間 (h)
	27R3H	27	3
	27R6H	27	6
	27R12H	27	12
	3R3H	3	3
	3R6H	3	6
	3R12H	3	12

図-3 ケモスタットリアクターへの MFC 設置の様子

3. 結果と考察

3.1 初沈殿池流入/流出水路における電力生産の評価

水路中の MFC の電力生産が安定するまで $120\ \Omega$ の抵抗に接続し、その後 $27\ \Omega$ に接続して測定した(図-4)。最初沈殿池流入水路では上部・中部は平均約 $6.0\ \text{Wh/m}^3$ 、下部では平均約 $3.0\ \text{Wh/m}^3$ であった(図-4a)。最初沈殿池流出水路では上部は $6.0\text{--}8.0\ \text{Wh/m}^3$ 、中部では $4.0\text{--}6.0\ \text{Wh/m}^3$ 、下部では $5.0\text{--}7.0\ \text{Wh/m}^3$ であった(図-4b)。いずれも下部で電力が低下した原因として MFC エアカソード内部への浸水およびエアカソード室の空気滞留による酸素不足が考えられ、止水およびエアカソード内の空気循環の改善が必要である。

3.2 ケモスタット培養時の MFC の電流生産

抵抗 $27\ \Omega$ 接続時、平均約 $3.4\ \text{W/m}^3\text{-MFC}$ 体積の電力生産が観察され、抵抗 $3\ \Omega$ 接続時では平均約 $0.8\ \text{W/m}^3\text{-MFC}$ 体積であった(図-5)。一方、電流に着目すると、抵抗 $3\ \Omega$ 接続時に平均約 $27\ \text{A/m}^3\text{-MFC}$ 体積で、抵抗 $27\ \Omega$ 接続時では $18\ \text{A/m}^3\text{-MFC}$ 体積であった。これより、電力は抵抗 $27\ \Omega$ 接続時、電流では $3\ \Omega$ 接続時により生産されることが示された(図-6)。

3.3 ケモスタット培養時の MFC の有機物除去の評価

SCOD_{Cr} の除去率は、 $27\ \Omega$ 接続の MFC 設置時で約 31%、非設置では約 27% で大差がない一方、 $3\ \Omega$ 接続の MFC が約 40% の除去率を示し、MFC 処理水の有機物濃度は $73\ \text{mg-SCOD}_{\text{Cr}}/\text{L}$ および $19\ \text{mg-BOD}/\text{L}$ であった(図-7)。クーロン効率は滞留時間 12 時間で最大となり、 $27\ \text{W}$ 、 $3\ \text{W}$ 接続時で、それぞれ 54%、48% を示した(図-8)。発電効率は $27\ \text{R}12\ \text{H}$ 条件で最大となり $1.37\ \text{kWh/kg-COD}$ を示した(図-8)。 $3\ \Omega$ 接続時の発電効率は、 $27\ \Omega$ 接続時の約 1/20 程度となった。

4. 結論

非白金触媒アニオン交換型 MFC を下水水路に設置し電流生産を試みた結果、平均約 $5.0\ \text{Wh/m}^3$ の出力電力が観察された。ケモスタットリアクター評価の結果、 $3\ \Omega$ 接続時で有機物除去効果(SBOD 除去率 40%)および電流生産(平均 $27\ \text{A/m}^3\text{-MFC}$ 体積)が高く、排水の BOD 値は $19\ \text{mg/L}$ であった。一方で、電力生産は $27\ \Omega$ 接続時に比べて低く発電効率は $0.17\ \text{kWh/kg-SCOD}$ (下水消費電力の 14%程度)を示した。以上より、本 MFC を下水処理に適用する場合、低い外部抵抗で接続し有機物除去を促進し電流を回収し、その後に昇圧して利用することが望ましい。

5. 参考文献

¹Logan et al.(2006). Microbial Fuel Cells : methodology and technology, *Environ. Sci. Technol.* **40**: 5181-5192

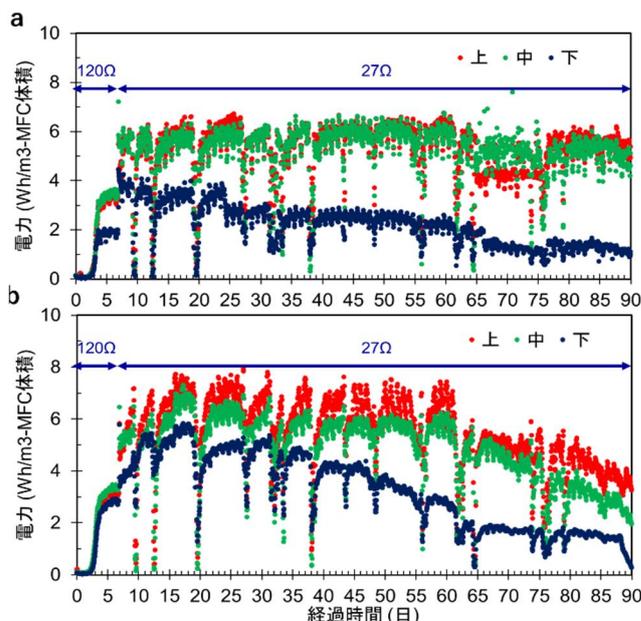


図-4 最初沈殿池流入(a)/流出水路(b)における電力推移

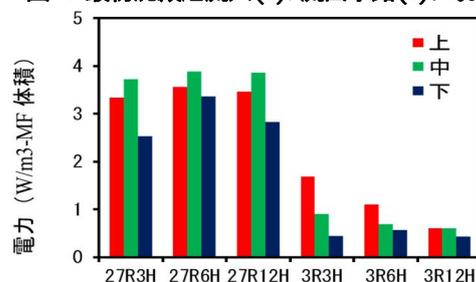


図-5 抵抗と滞留時間が電力生産に与える影響

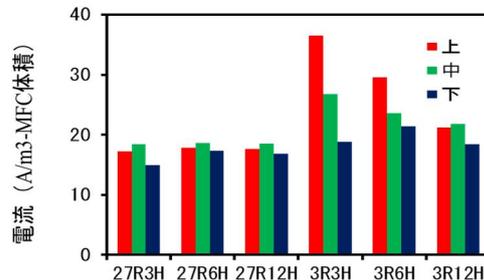


図-6 抵抗と滞留時間が電流生産に与える影響

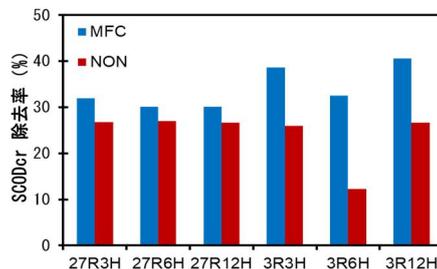


図-7 各運転条件における SCOD_{Cr} 除去率

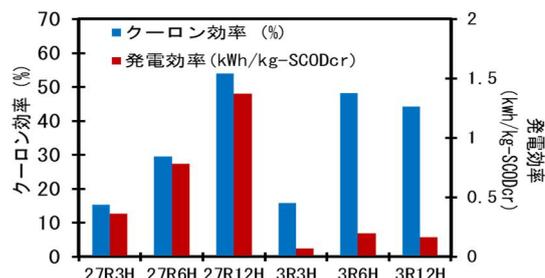


図-8 各運転条件のクーロン効率および発電効率