

微生物燃料電池の下水処理施設への適用に向けた基礎的研究

BASIC STUDY ON APPLICABILITY OF MICROBIAL FUEL CELL TO SEWAGE TREATMENT FACILITY

飯田 和輝*・麦田 藍*・吉田 奈央子**

Kazuki IIDA, Ai MUGITA and Naoko YOSHIDA

This study examines applicability of Microbial Fuel Cell (MFC) to sewage treatment plant by using sewage wastewater. As an anode in the MFC, graphite felt (GF) and microbially reduced graphene oxide (rGO) were compared in the recoveries of electricity from sewage water by electrochemical cultivation using those electrodes as anode. The rGO was found to produce higher electricity than GF. Then rGO was applied in the floating MFC and polarized in a channel from primary sedimentation tank in the sewage treatment plant.

The result of this study shows that rGO produces almost two times as much electricity as GF using sewage water. In addition, the study indicates that applicability of MFC to sewerage treatment facilities and MFC using rGO has potential for new treatment technology.

Keywords : microbial fuel cell (MFC), reduced graphene oxide (rGO), sewage treatment, electric current recovery test

1. はじめに

微生物燃料電池（以下、MFC）は、下水道で通常用いられている活性汚泥法のように空気曝気が必要とせず、余剰汚泥の発生が少ない特性を持っているため、下水道処理施設に適用することにより、省エネルギー化が可能となり低炭素社会への貢献につながる技術である。MFC の実用化に向けた研究では、下水処理場の実廃水を用いた基礎的な研究が重要である。また、MFC は、燃料電池の理論を応用したものであるが、図-1 に示すように触媒として微生物を用いるため、微生物を生きながらアノード上に補足し有機物分解を促進する技術革新が求められている。

本研究では、アノードに着目し、代表的なアノード素材である黒鉛フェルト（以下、GF）と微生物により酸化グラフェンを導電性の還元体へと還元することで微生物を効率的に担持した電極（以下、還元 GO）^{1),2)}を用いた定電圧培養試験を実施し、電流生産能を比較した。また、浮遊型 MFC を直接下水処理場へ浸漬することにより電流生産能および耐久性を確認した。さらに、還元 GO を用いた MFC における電流生産試験より、除去 COD を算定し、下水処理能力を確認した。

2. 実験方法

(1) 還元 GO および GF 電極の調製

GO 還元のための微生物接種源として、横浜市港北水再生センターより採取した嫌気槽水（汚泥を含む）を用いた。嫌気槽水 1ℓ に対し 0.6g・L⁻¹ の GO を添加し、900ml 容量ガラス瓶に満たした後に密閉し、28℃ で 2 ~ 3 週間静置培養を行った。GF は、厚さ 2.0cm、直径 3.0cm にカットし、1ℓ の嫌気槽水の汚泥を遠心分離機で濃縮したものを染み込ませ、還元 GO とバイオマス量をそろえた。

(2) 定電圧培養試験

900ml 容積の蓋付きガラス瓶の蓋に、塩化銀参照電極、白金線対電極、および集電体として直径 3.0cm、高さ 1.0cm の白金線の籠を作成し、還元 GO または GF を取り付け

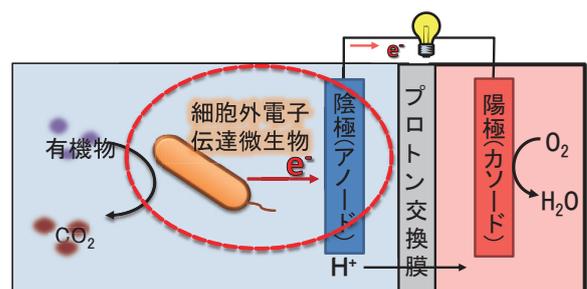


図-1 微生物燃料電池の原理

* コンサルタント国内事業本部 流域・都市事業部 上下水道部

** 名古屋工業大学 若手研究インベータ養成センター

(図-2)。容器内を横浜市北部資源化センターで採水した汚泥分離液（以下、分離液）で満たし、ポテンシオスタットを用いて参照電極とアノード間の電圧を常に +0.2V に保ち培養を行った。発生電流は 1 時間に 1 度データロガーで記録した。

培養物中の化学的酸素要求量 (COD_{Cr}) について、standard method for wastewater treatment COD_{Cr} (5220D) に準拠した比色法により測定した。さらに定電圧培養終了後の GF または還元 GO を取り出し、120ml バイアル瓶に添加した。ここへ、定電圧培養を行った培養容器内のすべての培養液を遠心 (10,000 × g、10 分間、室温) することで回収した汚泥ペレットを添加した。このバイアル瓶に新たに 50ml の各補填廃水を添加し、ヘッドスペースを 100%N₂ ガスで置換した後、アルミシールで密閉し、28℃インキュベーターで培養した。3 時間後、ヘッドスペースのガス組成を GC-FID により測定し、メタン濃度を測定した。

(3) 下水処理場での浮遊型 MFC の運転試験

図-3 に示すような縦 100mm、横 200mm、高さ 250mm の浮遊型 MFC を作成した。MFC は、カソードとしてカーボンプロセスに 0.5mg・cm⁻² の白金を担持したエアカソードを用いた単槽装置とした。本 MFC のアノード槽の容積は 5ℓ、カソード面積は 182cm² とした。このアノード槽に約 50% の充填率 (v/v) で還元 GO を充填した後に外部廃水とアノード槽

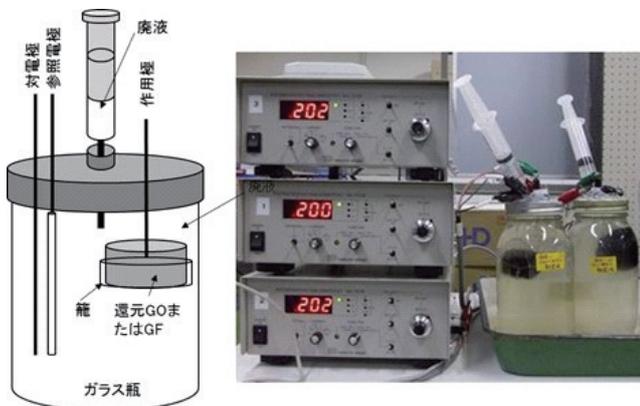


図-2 定電圧培養装置の概略図と外観写真

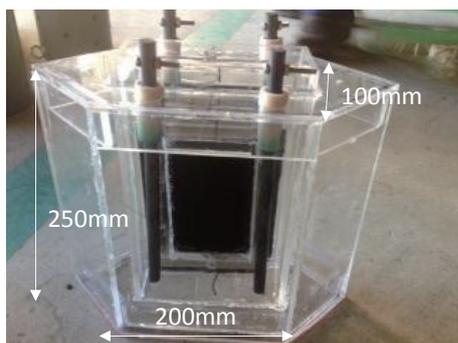


図-3 浮遊型 MFC の外観写真

を仕切るメッシュシートを設置した後、横浜市港北水再生センター最初沈殿池流出水路に設置した。アノード槽とカソードを 47 - 100 Ω の外部抵抗を介して接続し、発電量をデータロガーにより記録した。また、還元 GO を充填したリアクター装置に実廃水を通水し算出された COD 除去量と電力量から、処理場に設置した MFC の COD 除去量を算出した。

3. 結果および考察

(1) 還元 GO および GF が定電圧培養試験による電流生産に与える影響評価

本実験では、14 日以上培養し形成した還元 GO 塊を用いて定電圧培養を行った。還元 GO および GF をアノードとして用いた定電圧培養試験における発生電流値を図-4 に示す。GO 電極の方がアノード 1cm³ あたり最大で 1300μA の電流生産が観察され、GF 電極より高い値を示した。

これは、還元 GO は、GF と比較し比表面積が大きく、電流生産菌の付着状況が良いことによるものと考えられた。

(2) 下水道処理施設における還元 GO 電極からの電流回収システムの性能評価

還元 GO を充填した浮遊型装置を港北水再生センターの最初沈殿池流出水路に平成 26 年 12 月 15 日～平成 27 年 2 月 27 日に設置し、運転を行った。培養開始より 21 日まで、100 Ω の外部抵抗に接続し、その後 82 日まで 47 Ω の外部抵抗に接続し、運転を行った。現地設置した装置の電圧測定値から換算できたアノード体積当たりの電力量は、最大で

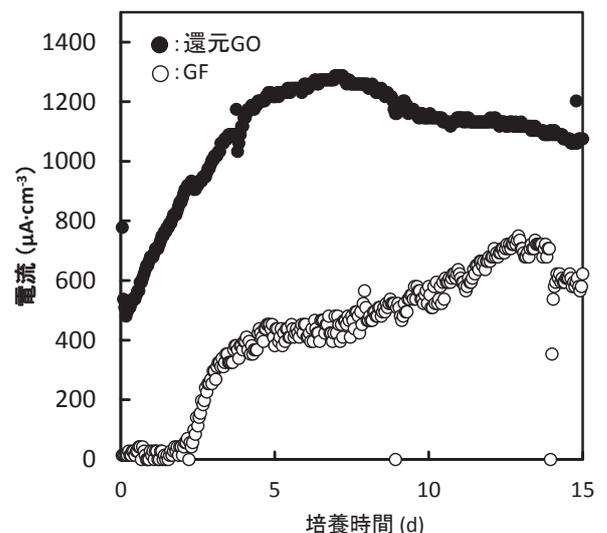


図-4 還元 GO および GF を用いた定電圧培養における生産電流

170mW/m³、平均で 62mW/m³であった (図 - 5)。また、充填していた還元 GO は、82 日目に確認したところ、ブロック塊の崩れが確認された (図 - 6)。

(3) 還元 GO 投入による COD 除去の検討

アクリル製の 0.5ℓ 容量の筒状微生物燃料電池リアクターに、嫌気槽水で培養した還元 GO を充填し、滞留時間 1 日で最初沈殿池流出水を連続投入し、COD 除去量と生産電流を計測した。流入水と処理水の COD 値から算出した COD 除去量は 400g/d/m³、リアクターの累積電荷量は 160,000C/d/m³、電流転換効率は 3.2%であった。下水処理施設で、同様の除去 COD からの電流転換効率が得られると仮定した場合、(2) で計測された累積電荷量の平均値、51,000c/d/m³より、本浮遊型 MFC リアクターを設置した場合の 1 日あたりの COD 除去量は、130g/d/m³と算出された。

4. まとめ

下水実廃水を用いた定電圧培養を行った結果、MFC のアノード電極として還元 GO が GF に比べて電流生産を促進することが示された。また、本アノードを用いた浮遊型 MFC を下水処理場に設置した結果、回収された電力は、アノード体積当たり最大で 170mW/m³、1 日あたりの COD 除去量は、130g/d/m³と算出された。

還元 GO をアノードとした微生物燃料電池は、下水廃水中

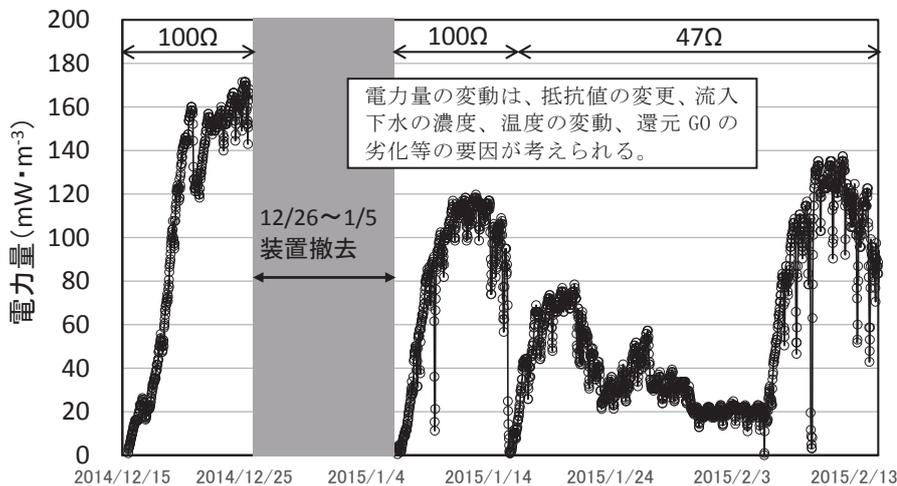


図 - 5 浮遊型 MFC におけるアノード体積当たりの電力量

の微生物を利用した電力生産および COD 除去が可能であることから、下水処理場における新たな処理技術としての可能性を見出す結果が得られた。

ただし、定電圧培養試験に比べ MFC での電流転換効率が低く留まったことから、MFC を構成する電極と電流生産菌の接触効率等を改善した装置構造の検討が必要である。また、還元 GO のブロック塊の崩れが確認されたため、実用化にあたっては、より耐久性のあるものに改良することや安定した電力量を得るための検討が今後の課題として挙げられる。

謝辞: 本研究は、国土交通省・下水道技術研究開発 (GAIAプロジェクト) による助成のもとで行ったものである。また、下水の提供、微生物燃料電池の設置に、横浜市の港北水再生センターおよび北部資源化センターに協力いただいた。ここに感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 吉田奈央子: 電流生産微生物を集積・パッケージングする炭素分子アノード『微生物燃料電池による発電・省エネ型廃棄物・廃水処理技術最前線』渡邊一哉監修、第 2 編微生物燃料電池効率化技術、NTS 出版、2013
- 2) Yoshida et al.: (2016) Graphene oxide-dependent growth and self-aggregation into a hydrogel complex of exoelectrogenic bacteria., Scientific Reports, 6:21867, pp.1-11



図 - 6 リアクター内の還元 GO の様子
上: 装置設置初日
下: 装置設置 82 日目