

■ はじめに

日常生活や産業活動の結果、年間280億トンもの有機性廃水が排出されている。今日では、生活排水や産業廃水の大部分は好気性の微生物を利用した廃水処理法(活性汚泥法)によって適切に処理されることで水環境保全を実現している。好気性処理は処理水質が良好であるという利点があるが、多大な電力消費(曝気動力)や、処理の結果、多量の余剰汚泥が発生することが問題となっている。そこで、処理水質に加え、省エネルギー化を達成する次世代型の廃水処理技術の開発が求められている。

また、湖沼や内湾などの閉鎖性水域では、水の流出入が乏しいため富栄養化が起りやすく、しばしば植物プランクトンの異常増殖(赤潮等)が生じている。増殖したプランクトンはやがて死滅し、湖底・海底へと沈降する。その結果、酸素濃度が極端に低い貧酸素水塊が形成され、底質環境や水環境に悪影響(底生生物の死滅、リン放出による水質悪化)を及ぼしている。底泥の浄化は、浚渫や覆砂といった間接的改善方法に頼っているのが現状であり、より効率的な直接浄化手法の開発が必要である。

本研究グループではこのような水環境を取り巻く様々な課題について、嫌気性微生物の力を利用して浄化・発電を行う微生物燃料電池技術を応用した新規水環境保全技術の開発に取り組んでいる。

■ 微生物燃料電池とは

微生物燃料電池(MFC: Microbial Fuel Cells)とは、微生物の代謝反応を利用して発電を行うことが可能な燃料電池技術の一つである。アノード電極で生じる微生物(細菌)による有機物分解反応より電気エネルギーを取り出すことが可能であり、廃水処理への適用が期待されている。

微生物燃料電池は装置形状によって、アノード槽とカソード槽の2つの槽を有する二槽式、拡散層型カソードを用いることでカソード槽が不要な一槽式の二形式に大別される。図1に一槽式微生物燃料電池の概要を示した。アノードに付着した嫌気性細菌の働きによって有機物分解が生じ、その際に電子(e⁻)とプロトン(H⁺)が発生する。発生した電子とプロトンはそれぞれ電極間を繋ぐ導線もしくは液中を移動してカソードへと移動し、触媒反応により酸素と反応して水を生成する。微生物燃料電池は、有機物分解に酸素(曝気)を必要とせず、アノード電極に電子を受け渡す微生物の増殖収率(=余剰汚泥発生量)も少ないという優れた省エネルギー性能を有する。

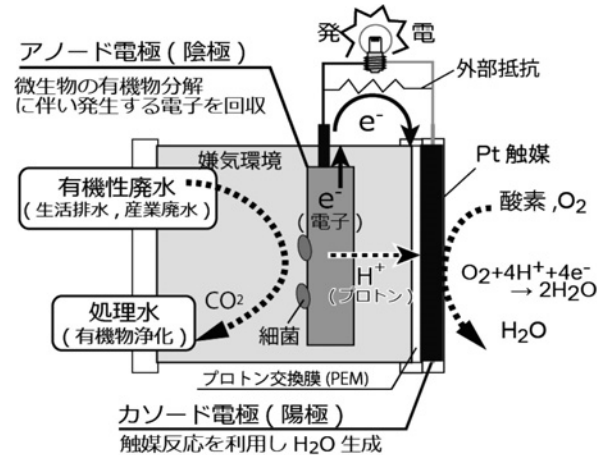


図1 一槽式微生物燃料電池の概要

■ 微生物燃料電池による新規廃水処理技術の開発

微生物燃料電池の廃水処理への応用では、電気エネルギーの回収、余剰汚泥の発生抑制に加え、有機物の嫌気分解で生じるメタン(温室効果ガス)の排出抑制効果から、低環境負荷型の廃水処理技術として期待されている。一方、実用化までには多くの課題があり、発電性能や有機物処理速度の向上等があげられる。我々の研究グループでは、一槽式微生物燃料電池による廃水処理試験を行い、同技術の実用化に向けた基礎知見の収集を行った。

図2に実験装置と実験結果を示した。本試験では外部抵抗値の変更により回路の電流を操作し、その条件で観察される電圧値での、廃水の主要構成有機物である有機酸の分解特性を評価した。その結果、観測電圧値によって大きく有機酸分解速度が変化し、プロピオン酸は観測電圧値が低い時に分解速度が高くなる事が分かった。

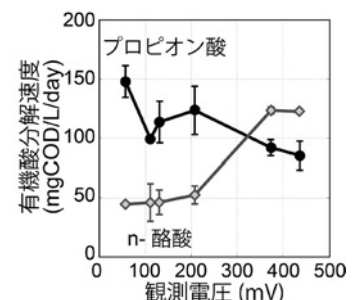


図2 実験装置 (MFC) と有機酸分解速度変化

代表発表者 珠坪 一晃 (しゅつぽ かずあき)
 所属 (独)国立環境研究所
 地域環境研究センター
 地域環境技術システム研究室
 問合せ先 〒305-8506 つくば市小野川16-2
 TEL:029-850-2058 FAX:029-850-2412
<http://www.nies.go.jp/>

■キーワード: (1) 水環境
 (2) 環境浄化
 (3) 微生物燃料電池

一方で、n-酪酸は、観測電圧が高い時に分解速度が高まった。これより、実際の廃水処理において、廃水の有機酸組成に応じた観測電圧を設定・制御する事で、微生物燃料電池での廃水処理効率の向上が見込める事が明らかになった。

この他、微生物燃料電池の発電性能向上を目指し、複数台の装置を直列接続するスタック型微生物燃料電池の検討を行っている。その結果、2台の装置をスタック構造にすることにより、装置の起電力を310 mVから630 mVまで向上させる事が出来た。また、微生物燃料電池の廃水処理における最適な有機物容積負荷等の検討も行っており、廃水処理技術確立に向けた研究開発を進めている。

■ 微生物燃料電池による底質浄化技術の開発

底質汚染の結果、貧酸素水塊が発生した水域では、温室効果ガスであるメタンガスや有毒な硫化水素等が発生し、底質環境だけでなく周辺の環境への悪影響も甚大である(図3 左)。また、このような環境下では自浄作用は極めて低く、底質環境は悪化の一途をたどる。このような背景から、堆積物微生物燃料電池を用いた底質の直接浄化技術の開発を目標とした研究を進めている。

堆積物微生物燃料電池は、底質中(還元環境)にアノード、その上部の水もしくは水面(酸化環境)にカソードを設置することで堆積物中(アノード)の有機物分解により生じた電子をカソードで利用して発電を行う技術である

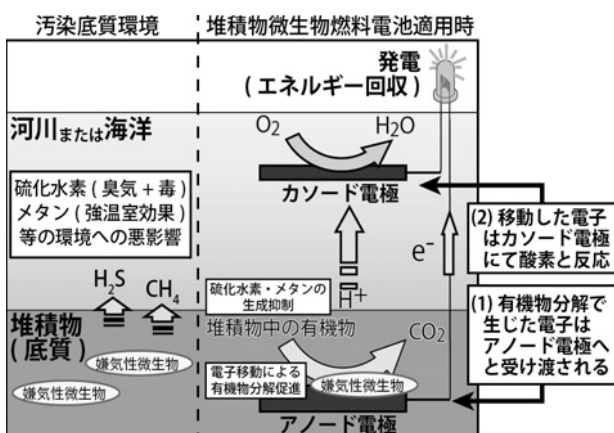


図3 汚染底質環境と堆積物微生物燃料電池

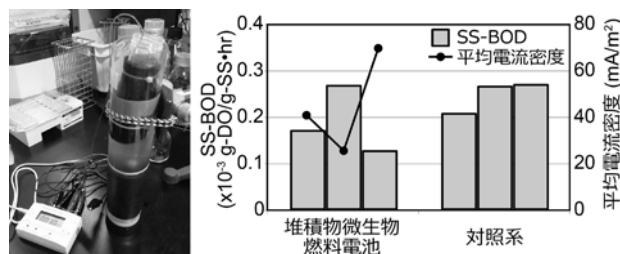


図4 実験装置(コア浄化試験)と浄化性能比較

(図3 右)。アノードからカソードへの電子の受け渡しによって電子移動(=有機物分解)が促進される。シンプルな装置構成であり、プロトン交換膜やPt触媒などの高価な部材を必要としないため、底質の原位置での直接的浄化への応用が期待されている。

堆積物微生物燃料電池の浄化性能を把握するため、東京湾から汚染底質のサンプルコアを採取し、ラボスケールサイズで堆積物微生物燃料電池を構成し浄化試験(3系列で実施)を行った。対照系として堆積物微生物燃料電池を適用しなかったサンプルコアも準備した。

図4にラボスケールサイズの堆積物微生物燃料電池と、運転開始3ヶ月後の底質のSS-BODの値並びに運転中の平均電流密度を示した。なお、SS-BODとは、底質1gの単位時間での酸素消費量で有機物濃度を間接的に表す指標である。SS-BODの値は、堆積物微生物燃料電池を適用した系で対照系よりも明らかに低下する傾向が見られ、底質の浄化促進効果があることが示唆された。また、3系列準備した堆積物微生物燃料電池はそれぞれで発電性能に差が生じており、平均電流密度が高い系でSS-BODの値が低くなっており、発電量と底質の浄化性能が密接に関係している事が示唆された。

現在、実環境中での底質浄化性能を把握するため、現地に堆積物微生物燃料電池を設置し、実証規模での浄化試験を実施中である。

■ 関連情報

窪田恵一, 山口隆司, 珠坪一晃 (2012) 低級脂肪酸含有排水の微生物燃料電池における分解・発電特性の評価. 土木学会論文集 G(環境), 68 (7), 379-386