

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360250

研究課題名（和文） 微生物燃料電池と膜分離活性汚泥の組み合わせによる省エネルギー汚水浄化システムの開発

研究課題名（英文） Wastewater treatment and energy production using membrane bioreactors and microbial fuel cells

研究代表者

福士 謙介（KENSUKE FUKUSHI）

東京大学・サステナビリティ学連携研究機構・准教授

研究者番号：30282114

研究成果の概要（和文）：

膜分離活性汚泥法（MBR）は高度な排水処理方法として広く利用されている。MBR の欠点として高エネルギー需要があること、膜がファウリングしやすいことがあげられる。本研究は微生物燃料電池を MBR に組み込み、エネルギーの生成や電子の制御によるファウリング防止をテストした。その結果、電気の生成は経済的な意味が低い一方、膜表面の電子を制御することによりファウリング防止技術の開発につながる成果が出た。

研究成果の概要（英文）：

The membrane bioreactor is a relatively new technology for treating wastewater. It combines biological degradation of pollutants with membrane separation and can be used to produce a very high quality effluent water. The microbial fuel cell is a new technology for recovering energy from organic waste products. The purpose of this research project was to combine membrane bioreactors and microbial fuel cells to develop new energy efficient wastewater treatment processes.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	7,400,000	2,220,000	9,620,000
2010 年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2011 年度	3,300,000	990,000	4,290,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：土木環境システム

科研費の分科・細目：

キーワード：MBR・エネルギー・廃水処理・微生物燃料電池・排水処理

## 1. 研究開始当初の背景

家庭や工場において大量に排出される有機物は通常の場合、「排水」として区分され、やっかいものとして、下水処理場や排水処理施設でエネルギーを投入し、汚泥に変換

され、最終的に焼却・埋め立処分されている。この有機物は炭素エネルギー的に最も安定な形態である二酸化炭素に変換される過程でエネルギーを出す。このエネルギーは電子として、微生物から獲得が可能で

あり、微生物燃料電池とはそのエネルギーを外部負荷へと導くものである。

## 2. 研究の目的

本研究は生物処理と膜技術を融合させた高度な汚水浄化処理プロセスである膜分離活性汚泥法(メンブレンバイリアクター:MBR)で下水などの排水を浄化すると同時に、有機物の酸化過程で得られるエネルギーを電気(電子)として取り出すシステムを開発することを最終的なゴールとし、それに至るまでの基礎的な知見を収集することを目的としている。

## 3. 研究の方法

本研究プロジェクトでは、実験室規模の多くのタイプの燃料電池システム(ないしは電子制御システム)を構築し、実験的にその有効性を確認した。また、電気を起こすよりも経済的に有効な方向性も見いだすため、過酸化水素を生成する実験も実施した。

## 4. 研究成果

本研究で得られた成果は以下の3転に集約される:

微生物燃料電池は電気を起こすだけに利用されるのではなく、制御される電子を利用して、たとえば、過酸化水素を生成することができる。現在は売電料金が大変安いことから、発電の経済的インセンティブが低い。これに対し、酸化剤や還元剤は工業的に価値が高い。本研究の新しい方向性を示唆した画期的な成果である。数百 mg/l のオーダーで生成する事を確認した過酸化水素はMBRのファウリング原因物質ないしはそれを膜の樹脂と結合するブリッジングをしている物質を分解・除去する可能性が高く、もし、膜の表面や内部で過酸化水素を発生させることができれば、ファウリングがしにくいMBRシステムを構築することができると考えている。

微生物燃料電池をアルカリの発生装置として利用可能であることを証明した。上記成果1と同様の理由で電気以外の物質の算出を行った。その結果、相当量のアルカリを生成することに成功した。アルカリは生物を利用したプロセスでは必ず必要となるpHの調整に使用することが可能であり、利用価値がある。使用した反応槽の形式を図1に示す。(論文番号3より抜粋)

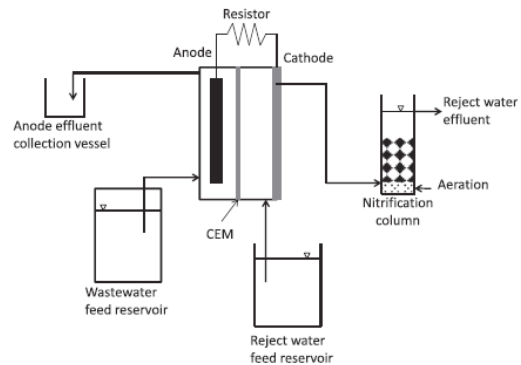


Fig. 1 – Experimental setup. The synthetic wastewater was continuously fed through the anode chamber of the MFC and collected in an effluent vessel. The synthetic reject water was fed through the cathode of the microbial fuel cells and then through a nitrification column. The anode and cathode compartments were separated by a cation exchange membrane (CEM).

図1 アルカリ発生のための反応槽設計 (Wat Res 2011 より)

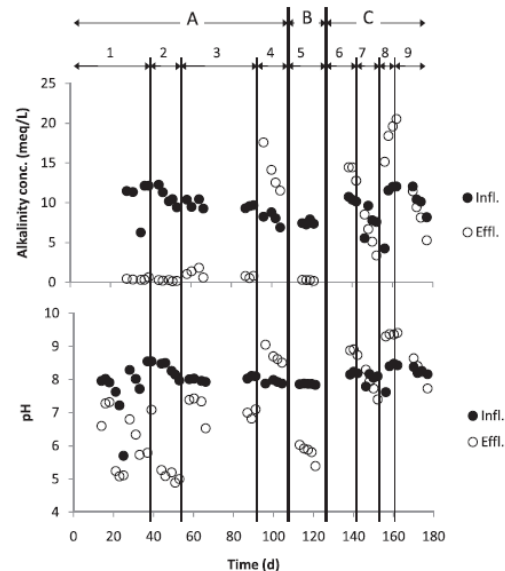


Fig. 5 – Influent and effluent pH (upper diagram) and influent and effluent alkalinity concentrations (lower diagram) from the cathode-coupled nitrification column (Run A), nitrification column alone (Run B), and cathode compartment alone (Run C).

図2 電極周りの pH の変化 (Wat Res. 2011 より)

電気を効率的に生成するための様々な実験研究を行った。たとえば、反応槽を二重構造にすることにより、メディエータを使用せず、水素イオンの濃度蓄積が起こらないことを確認した。また、この反応槽設計に対して特許を申請している。(Water Res., 45, 2691-2699, 2011)

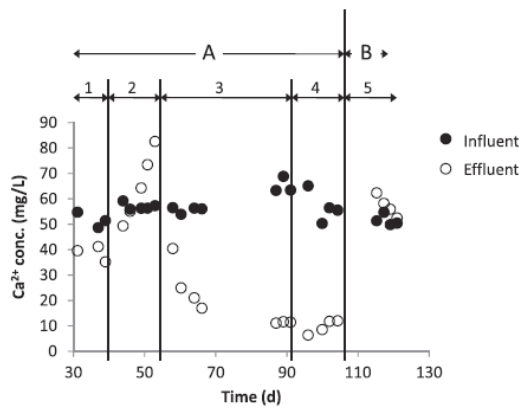


Fig. 6 – Influent and effluent calcium concentrations from the cathode-coupled nitrification column (Run A) and nitrification column alone (Run B).

図3 カルシウムの濃度変化

また、もうひとつ研究としてスパイラル型のメンブレンに電極を配置してファウリングの部分的な制御を目指した。その結果、長期にわたり、洗浄が必要でないシステムの開発に成功した。(Proc. Conf. Jap-Korea, Oct. 2011)

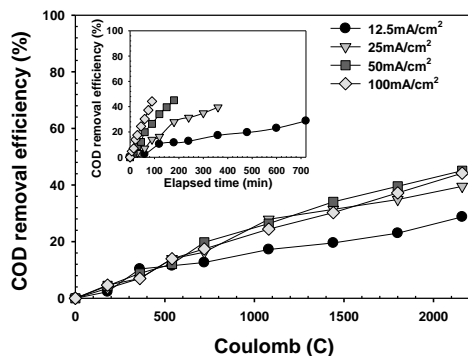


図4 COD 除去率と電流の関係 (Proc. Conf. Jap-Korea, Oct. 2011 より抜粋)

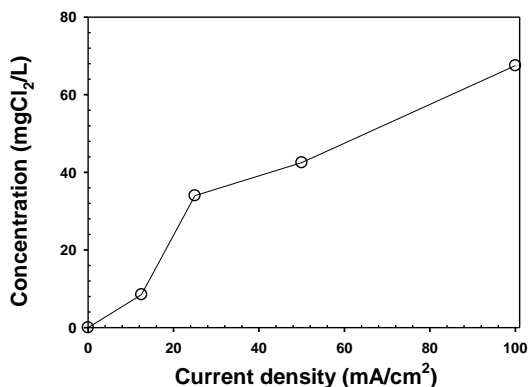


図5 塩素濃度と電流の関係 (Proc. Conf. Jap-Korea, Oct. 2011 より抜粋)

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Oskar Modin, Kensuke Fukushi, Korneel Rabaey, René A. Rozendal, Kazuo Yamamoto  
Redistribution of Wastewater Alkalinity with a Microbial Fuel Cell to Support Nitrification of Reject Water  
「Water Research」、査読有、45 巻 No.8、2011、2691–2699
- ② Oskar Modin, Kensuke Fukushi, Fumiyuki Nakajima, Kazuo Yamamoto, Aerobic Methane Oxidation Coupled to Denitrification: Kinetics and Effect of Oxygen Supply, 「Journal of Environmental Engineering」、査読有、136 巻 No.2、2010、211–219
- ③ Oskar Modin, Kensuke Fukushi, Fumiyuki Nakajima, Kazuo Yamamoto, Nitrate removal and biofilm characteristics in methanotrophic membrane biofilm reactors with various gas supply regimes, 「Water Research」、査読有、44 巻 No.1、2010、85–96

[学会発表] (計1件)

Chung Min CHUNG, Nakajima FUMIYUKI, Fukushi KENSUKE, Yamamoto KAZUO  
Electrochemical Oxidation of Organic Compound and Ammonia using Ti/RuO<sub>2</sub> electrochemical oxidation using BDD anode、第20回日韓水環境シンポジウム—水環境の保全と高度処理の新技术開発—、2011/10/16、韓国

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称：効率的に電極を配置した微生物燃料電池  
発明者：Oskar Modin、福士謙介  
権利者：東京大学  
種類：特願  
番号：2011-001295  
出願年月日：2011. 1. 6  
国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福士 謙介 (KENSUKE FUKUSHI)  
東京大学・サステイナビリティ学連携研究  
機構・准教授  
研究者番号：30282114

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：