

平成22年4月21日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19360241
 研究課題名（和文） 微生物電池を利用した電気エネルギー回収型下排水処理プロセスの構築に関する研究
 研究課題名（英文） A STUDY ON DEVELOPMENT OF A WASTEWATER TREATMENT SYSTEM FOR ELECTRICITY RECOVERY USING MICROBIAL FUELS CELLS
 研究代表者
 池 道彦（IKE MICHIIHIKO）
 大阪大学・工学研究科・教授
 研究者番号：40222856

研究成果の概要（和文）：微生物の触媒作用を利用し、排水中の有機物の持つ化学エネルギーを電気エネルギーに変換する微生物電池の開発を試みた。二槽式および空気正極型一槽式微生物電池を作成し、活性汚泥または嫌気汚泥を微生物源として、人工下水からの発電実験を行った。その結果、二槽式よりも空気正極型一槽式微生物電池は高い発電能力を示した。どちらの汚泥にも発電に利用可能な微生物が含まれているが、それらは異なる発電機構を有していることが示された。実用化のためには、装置の改良と発電に関連する微生物の知見の集積が必要であることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：Microbial fuel cells (MFCs) were studied for simultaneous wastewater treatment and biological electricity generation by direct conversion of chemical energy in organic compounds into electricity. Electricity generation from artificial wastewater was examined using two-chamber MFCs and air-cathode single-chamber MFCs. Anaerobic sludge and activated sludge were used as biocatalysts. The air-cathode single-chamber MFCs showed higher power densities. It was suggested that electrochemically active bacteria in activated sludge differed from those in anaerobic sludge. For realization of the MFC systems, improvement of the reactors and information on the MFC bacteria will be further needed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
2008年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2009年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
年度			
年度			
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：微生物電池、下水処理、電力回収、空気正極型、微生物群集解析

1. 研究開始当初の背景

下排水中の有機成分の有する化学エネルギー

ギを産業・民生で利用しやすいエネルギーとして回収する試みとして、高濃度排水や汚

泥を対象とした嫌気性消化によるメタンあるいは水素への転換、汚泥の脱水・乾燥による固形燃料化や燃焼による熱回収などが検討の中心となっており、一部は実用化のレベルに達している。しかし、これらの技術では残渣の処理に問題があるばかりでなく、エネルギーは通常必ずしも質が高いとはいえない燃焼熱の形で回収され、電気等の高質のエネルギーへの変換過程での損失も少ないことから、決め手となる技術であるとはいえない。従って、下排水中の有機成分から高質のエネルギーを効率的に回収していくために、これら既存技術の実用化研究を進展させ効率を高めていくことに加え、これらとは異なる全く新しい技術の開発・適用を試み、多様なエネルギー回収技術の将来のオプションとして確立していくことが望まれる。

近年、有機物からの新たなエネルギー回収のオプションとして微生物電池（Microbial Fuel Cell: MFC）が注目されている。MFCは、微生物が有機物等を分解し、エネルギーを獲得する過程において生成する高エネルギー電子を細胞外に取り出し、電極と反応させて電気エネルギーに変換する技術である。下排水処理は水中の有機成分を微生物に分解させることによって成り立っており、この過程をそのまま MFC で利用し、同時にエネルギー生産を行うことができれば、環境保全と資源生産を同時に達成できる理想的な環境プロセスとなるものと考えられる。

2. 研究の目的

下水処理と関連した MFC 微生物に関する知見は乏しく、どのような基質から電気を回収できるのか、その可能性は未知数である。そこで、MFC を利用した電力回収型下水処理システムの構築を最終目標とし、MFC 微生物の特性を明らかにするための基礎実験を行った。下排水からのエネルギー回収に適した MFC のプロトタイプを試作し、微生物学的側面と装置的側面の両者から最適化して電気エネルギー回収効率を既往研究と同等以上のレベルにまで高めることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 二槽式 MFC による下水からの電気回収

正極・負極ともに 350 ml 容積の二槽式 MFC リアクターを用いた。外略図を図 1 に示す。負極、正極ともカーボンフラファイト（ $5.0 \times 2.5 \times 0.4$ cm、表面積 31 cm^2 ）を用いた。両電極ともそれぞれ約 7cm の白金線（ $\phi 0.4$ mm）と接続して溶液中に浸し、リアクター外部で白金線と 1000Ω の抵抗を接続し、回路を形成した。隔膜には、陽イオン交換膜の Nafion を用いた。外部回路には、電流等の測定のためのマルチメーターも接続した。

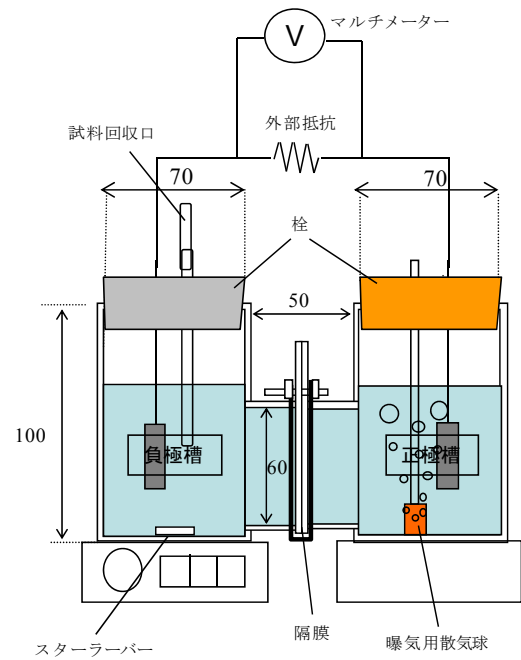


図 1 二槽式 MFC リアクター。各槽の実容積：330 mL、接続部断面積： 28 cm^2 、正極曝気量：0.5 L/min 以下、陽イオン交換膜：Nafion117、電極：グラフアイトフェルト $5.0 \times 2.5 \times 0.4$ cm。寸法は mm。

微生物の植種源には、下水処理場のメタン発酵槽から採取した嫌気汚泥を用いた。MFC の負極槽に汚泥濃度が 1200 mg/l となるように添加した。負極槽溶液には、ペプトンと肉エキスを主体とする合成下水を、正極槽溶液には、リン酸バッファーを 330ml ずつ満たした。MFC リアクターは 25°C の恒温室に設置し、負極槽はスターラーで緩やかに攪拌し、正極槽は常に曝気し続けて運転した。MFC の電流が低下した場合には、負極表面の生物膜を剥がして微生物群を回収し、植え継ぎを行って MFC 微生物の集積を図った。負極槽に残っている溶液を取り出し、中を洗浄後、回収した微生物を含む溶液を注ぎ、正極槽の溶液も新たなものに交換して連続回分運転を行った。微生物を植え継ぐたびに Run1～6 と Run 番号を更新したが、Run 7 では負極電極の生物膜をそのまま残し、溶液を新しいものに入れ替えることで運転を継続し、Run 7-1、Run 7-2 と Run の枝番号を更新した。

(2) 空気正極一槽式 MFC による下水からの電気回収

図 2 に示すようにポリテトラフルオロエチレン (PTFE) 拡散相を持つ空気正極 MFC を構築した。空気側の耐水性 30%PTFE は、炭素層でコーティングした。白金-炭素触媒は、ナフィオンを介して、水相側に接続した。負極となる容器は、アクリル製の立方体の形状であり、実容積 250 ml であった。6cm \times 5cm カーボンフラファイト負極を末端に設置した。陽イオン交換膜 (PEM、Nafion117) は負

極表面に設置し、正極は PEM とゴムの密閉膜の間に設置した。白金線で電極を 1000-Ω の外部抵抗と接続した。空気正極 MFC の負極容器を 150 rpm で攪拌し、27°C においてバッチ運転を行った。実験条件を表 1 に示す。MFC OW1-OW3 と AW1-AW3 は、それぞれ下水処理場の活性汚泥と中温消化槽の嫌気汚泥を植菌した。都市下水を模擬した人工下水を様々な濃度で処理させた。

4. 研究成果

(1) 二槽式 MFC による下水からの電気回収

図 3 に合成下水 MFC の成績を示す。実験開始後、数日は電流が増加しなかったため、118、186 時間後に有機成分を再添加した。その結果、0.18 mA まで電流が急増し、それに伴って 溶存態有機物 (DOC) 濃度は急減した。

Run 2 以降、植え継ぎを行って運転を継続した結果、電流は 0.1 mA 以上に増加することはなく、即座に下降し、安定した発電は行われなかった。各 Run の開始直後には、乳酸が検出され、酢酸やプロピオン酸も検出された。しかし、ギ酸、酪酸、メタノール、エタノールは検出されなかった。

Run 7 からは負極電極の生物膜をそのまま残し、合成下水の交換のみを繰り返して運転を継続したところ、酢酸やプロピオン酸が高

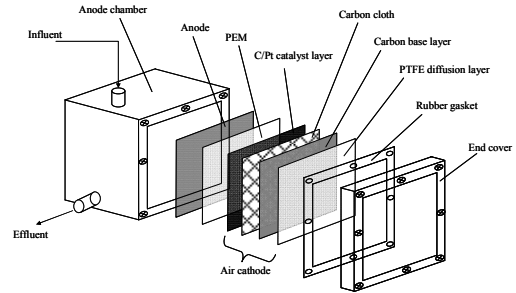


図2 空気正極式MFCリアクター. 実容積:250 mL, 負極の大きさ 6cm×5cm.

表 1 MFC の運転条件

MFC	植種	初期 TOC 濃度 (mg/l)
OW1	活性汚泥	600
OW2	(2500 mg/l)	1400
OW3		2500
AW1	嫌気汚泥	400
AW2	(2500 mg/l)	1000
AW3		2300

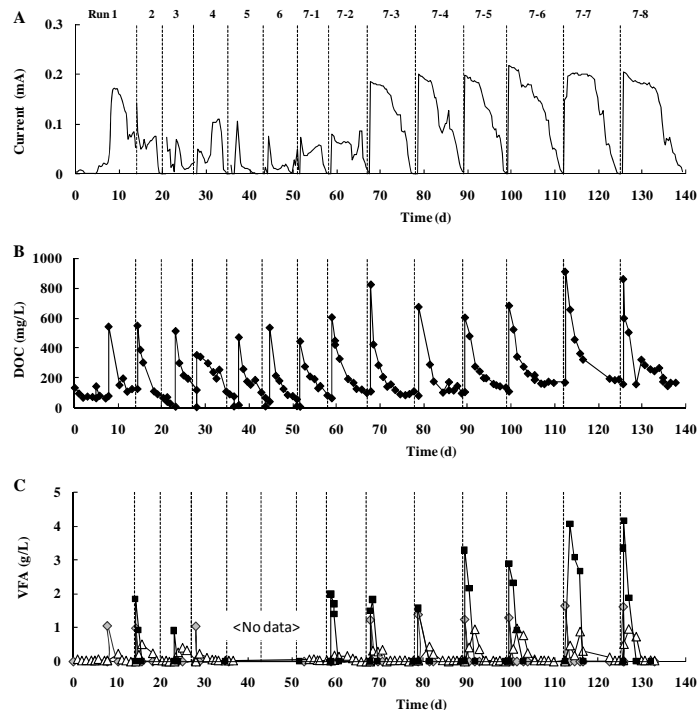


図 3 二槽式 MFC の性能. (A) 電流, (B) DOC 濃度, (C) 有機酸濃度 (■: 酢酸塩, △: プロピオン酸塩, ◆: 乳酸塩). Run 1~6 で負極槽電極の生物膜を剥がし、新しい合成下水に懸濁させて植え継いだ. Run 7-1~7-9 では、生物膜を電極にそのまま残し、合成下水を新しいものに交換した。

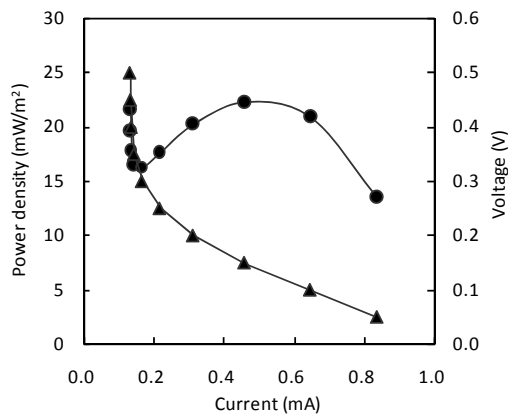


図4 二槽式MFCの電流電圧曲線および電力密度。●：電力密度、▲：電圧。

濃度で検出されるようになり、Run 7-3において電流の急激な増加が見られ、それ以降は安定した発電が行われるようになった。Run 7-6の安定して発電が行われていた期間に電流電圧曲線を作成した。図4に示すように、最大電圧密度は 22.2 mW/m^2 が記録された。

(2) 空気正極一槽式MFCによる下水からの電気回収

図5、6に嫌気汚泥と活性汚泥を植種したMFCの発電成績を示す。嫌気汚泥を植種したMFCは、初期TOC濃度に応じて $60 \sim 120 \text{ mW/m}^2$ まで最大電力密度が増加した。一方、

活性汚泥を植種したMFC OW1-OW3の最大電圧密度は、初期TOC濃度によらず、 100 mW/m^2 でほぼ一定であった。これらの値は、二槽式MFCに比較すると、大きな値であり、様々な基質を用いた他の空気正極型MFCと同等のものである。

初期TOC濃度と最大電力密度の関係を図7に示す。活性汚泥を植種したMFC OW1-OW3の最大電圧密度は、飽和してしまっているといえる。嫌気汚泥を植種したMFCは初期TOC濃度が低い場合は、活性汚泥を植種したMFCより最大電力密度は小さかったが、初期TOC濃度が高くなると優れた最大電力密度を示した。これらの結果は、活性汚泥と嫌気汚泥に含まれるMFC微生物が異なる発電特性を有していることを示唆している。

また、どの実験条件においても、50%以上のTOCが15日間で除去された(図5、6)。しかし、MFC AW3とOW3のTOC濃度は、15日目にも 700 mg/l が残存しており、廃水処理プロセスとしては、後処理が必要であるといえる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① 惣田訓、清和成、日置賢、宇野晋、池道彦、合成下水を基質とした微生物電池のT-RFLPおよびサイクリックボルタンメトリーによる微生物群集解析、環境工学研

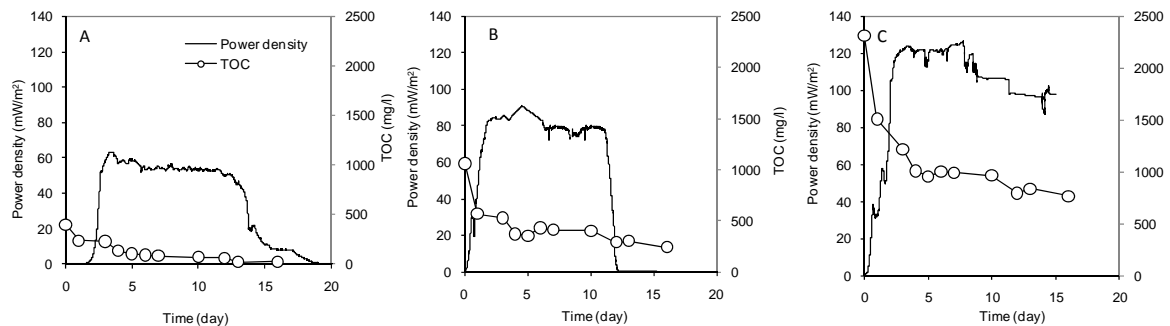


図5 活性汚泥を植種した空気正極型MFCの電力密度とTOC濃度の変化. 初期TOC濃度 400 mg/l (A), 1060 mg/l (B), 2300 mg/l (C) .

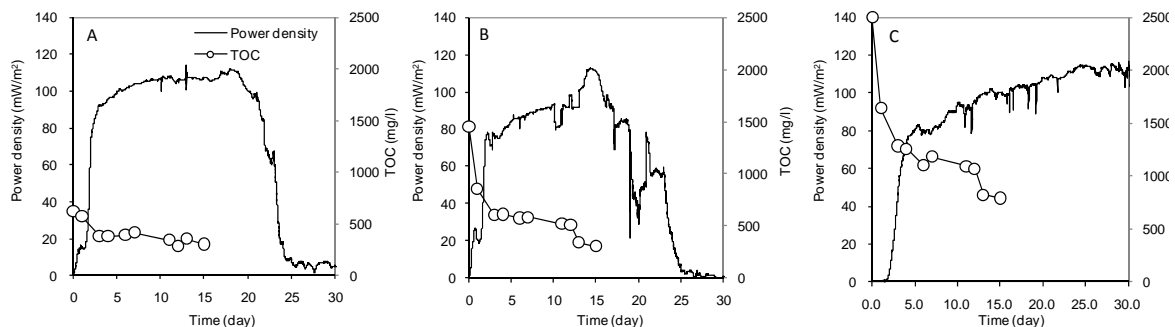


図6 嫌気汚泥を植種した空気正極型MFCの電力密度とTOC濃度の変化. 初期TOC濃度 620 mg/l (A), 1450 mg/l (B), 2500 mg/l (C) .

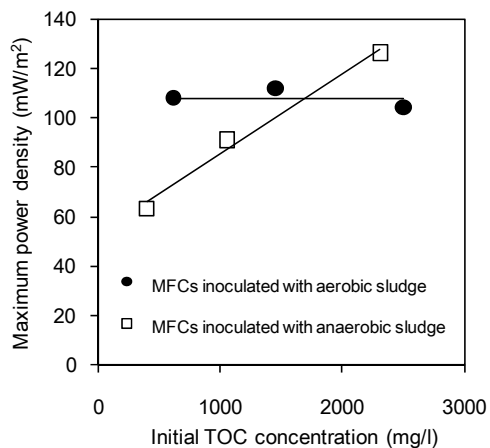


図7 空気正極型MFCにおける初期TOC濃度と最大電圧密度の関係。

究論文集、査読有、46巻、2009、483-491

[学会発表] (計3件)

- ① 惣田訓、清和成、日置賢、宇野晋、池道彦、合成下水を基質とした微生物電池のT-RFLPおよびサイクリックボルタンメトリーによる微生物群集解析、土木学会環境工学委員会環境工学研究フォーラム、2009年11月29日、新島学園短期大学(高崎市)
- ② Nguyen Thanh Trung、Daisuke Inoue、Kazunari Sei、Satoshi Soda、Michihiko Ike、Hiroki Fujihira、Effects of organic carbon concentration in synthetic wastewater on electricity production by two-chamber microbial fuel cell、日本水処理生物学会、2009年11月13日、高知市文化プラザかるぼーと(高知市)
- ③ 惣田訓、日置賢、清和成、池道彦、人工下水を基質として構築した微生物電池の微生物群集およびサイクリックボルタンメトリー解析、第11回日本水環境学会シンポジウム、2008年9月17日、関西大学(吹田市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池道彦 (IKE MICHIHIKO)
大阪大学・工学研究科・教授
研究者番号：40 222856

(2) 研究分担者

惣田訓 (SOUDA SATOSHI)
大阪大学・工学研究科・准教授
研究者番号：30 322176
清和成 (SEI KAZUNARI)
大阪大学・工学研究科・助教
研究者番号：80324177