

## 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25年 5月31日現在

機関番号：22605

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560146

研究課題名（和文）超音波定在波による微生物の操作を利用した微生物燃料電池の高性能化

研究課題名（英文）Performance improvement of microbial fuel cells by using microbe control with ultrasonic standing waves

研究代表者

館野 寿丈（TATENO TOSHITAKE）

産業技術大学院大学・産業技術研究科・准教授

研究者番号：30236559

研究成果の概要（和文）：微生物燃料電池では、発電を長期間継続すると、活動の衰えた微生物が電極に付着し、性能が劣化する。そこで、超音波を利用して付着した微生物を取り除く操作方法を提案し、実験により効果を評価した。想定される程度の超音波が微生物の発電に悪影響を及ぼさないことを確認したうえで、循環型微生物燃料電池を用いて長期の発電実験を行い、電極に付着した微生物を超音波で取り除くことで発電性能が回復することを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Microbial Fuel Cells (MFC) are known that the generation power becomes down in a long term generation by influence of inactive microbes sticking to an electrode. In this study, a method using ultrasonic standing waves is proposed to remove them from the electrode or to avoid them sticking, and evaluated with some experiments. The experimental results showed that the microbes, which had covered the electrode during the long term generation experiment, could be removed with ultrasonic waves, and the electric generation power was recovered. It was also confirmed that the microbe used in this experiment had no obvious damages from the ultrasonic waves on the functional ability of electric generation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：微生物燃料電池，超音波，微小振動，長期発電，循環型燃料電池

## 1. 研究開始当初の背景

申請者らは、以前より微小振動を利用した微小物体の搬送・整列、および液中の微小物体の姿勢制御に関して、研究および産業応用を指向した開発を行ってきた。微小振動による位置の操作は、機械電子部品等の固体に限らず、微生物でも可能であり、今後の微生物

を利用した機械の開発への応用が期待される。その一つとして、微生物燃料電池に着目し、微生物を微小振動で操作することで、性能向上させられるという着想を得た。

微生物燃料電池は、発電性細菌の活動によって発生する電子を、メディエータを介して電極で受け、電力として取り出す装置である。

このときの電力は、電極付近の微生物の量に依存するが、微生物の活性度により出力が異なる。よって、微小振動による操作で電極付近を活発な微生物に保つことができれば、性能向上が期待できると考えた。

## 2. 研究の目的

本研究では、微生物燃料電池内の微生物の位置を超音波定在波によって操作することで、燃料電池を高性能化させることを目的とする。この最終的な目的を達成するために、研究の段階を追って次に示す具体的な目的を設定した。

- (1) 微生物燃料電池の基礎的性能評価：本研究で使用する微生物燃料電池の基礎的な性能を確認する。
- (2) 微生物の超音波に対する耐性評価：微生物が超音波を受けることによる発電能力への影響を明らかにする。
- (3) 超音波による微生物操作の評価：微生物操作の一つの応用として、長期間の発電によって電極に付着した微生物を超音波で除去する効果を評価する。
- (4) 微生物の操作が発電に及ぼす影響評価：活動が衰えた微生物を電極から除去することが発電性能へ及ぼす影響について評価する。

## 3. 研究の方法

- (1) 微生物燃料電池の基礎的性能評価  
①微生物の準備と実験装置の開発：微生物燃料電池用の微生物である紅色光合成細菌を培養し、実験に用いるだけの量を準備する。実験装置となる微生物燃料電池は、基礎的な発電性能を試験できる小型の構造とする。  
②基礎的性能評価：開発した装置に負荷抵抗をつけて発電実験を行い、発電電力の時間変化を測定する。

### (2) 微生物の超音波に対する耐性評価

超音波洗浄機を用いて十分な超音波を微生物に照射した後、その微生物を使用して燃料電池の発電実験を行う。超音波照射を行った場合と、そうでない場合とを比較することで、超音波が微生物の発電能力に及ぼす影響を評価する。

### (3) 超音波による微生物操作の評価

- ①循環型燃料電池システムの開発：数日間程度の長期間発電ができるよう、十分な微生物の格納容量があり、発電領域と培養領域とを循環させる循環型の構造として開発する。
- ②微生物の操作：長期間発電後、微生物が付着した電極を取り出し、超音波洗浄機によって電極表面に超音波を照射することで、電極から微生物を除去できることを顕微鏡観察によって確認する。

### (4) 微生物操作が発電に及ぼす影響評価

循環型微生物燃料電池を用いて長期間発電を行い、その時の電力変化を測定する。発電性能が劣化したことを確認した後、電極を取り出し、超音波による微生物除去を行う。そして再度、燃料電池に戻して長期間の発電実験を行う。洗浄前後での電圧変化を比較することで、微生物の操作が発電に及ぼす影響を評価する。

## 4. 研究成果

### (1) 微生物燃料電池の基礎的性能評価

①微生物の準備と実験装置の開発：微生物を培養させるために必要な設備を整えたうえで、微生物燃料電池用の微生物である紅色光合成細菌(*Rhodospseudomonas palustris*)を連携研究者から株分けしてもらい培養した。図1に培養の様子を示す。過去の文献と同様の培養結果が得られた。



図1 培養の様子

実験装置となる燃料電池では、プロトン交換膜をアノード電極膜とカソード電極膜で挟み込む MEA (Membrane Electrode Assembly)を採用した。プロトン交換膜(デュボン製, Nafion117)と、2枚の炭素繊維(東レ製, カーボンペーパー)を、150 °C、50 kg/cm<sup>2</sup>で、4分間熱圧着して作製した。

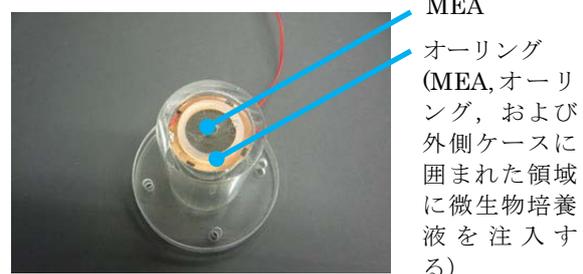


図2 微生物燃料電池外観

- ②基礎的性能評価：開発した燃料電池に培養した微生物およそ 2.2ml、メディエータとしてのメチレンブルー10mMを 0.1ml 入れ、発電電圧の時間変化を測定した。実験時には 30,000 Lux 程度の LED 光を常に微生物容器

に照射した。両電極間に負荷抵抗 1.0k $\Omega$  を設置し、電圧を測定した。図 3 に電圧の時間変化の例を示す。複数回の実験を行った結果、毎回結果は異なるものの、およそ、電圧の上昇がみられてから、5 分程度後に 5~10mV 程度のピークを得た後、降下するという結果が得られた。

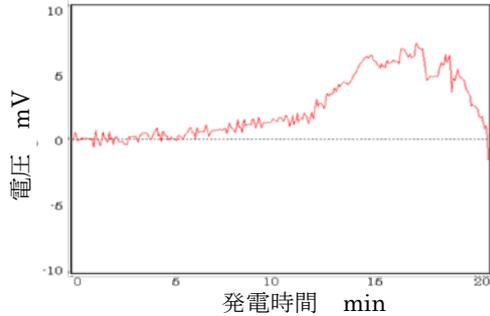


図 3 基礎実験における電圧の時間変化

## (2) 微生物の超音波に対する耐性評価

微生物培養液を樹脂容器に入れ、超音波洗浄機で十分に超音波を照射した後、発電実験を行った。この結果を図 4 に示す。この結果、基礎的性能評価で得られた結果と同等の出力を得ることが確認できた。顕微鏡による観察の結果(図 5)を比較しても、明確な違いは見られなかった。これにより、想定する超音波の程度では、微生物発電への悪影響はほとんど無いことが確認された。

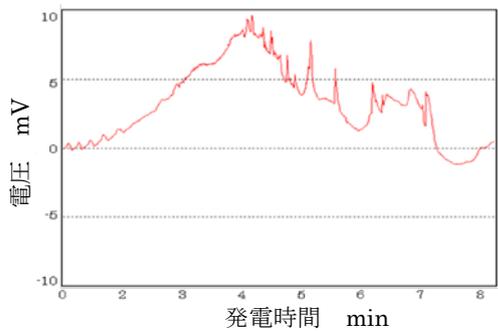
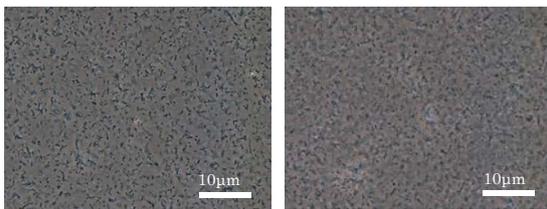


図 4 超音波照射後の微生物を使用した発電実験の結果



(a) 照射前 (b) 照射後 (40kHz, 80W, 20 分)

図 5 超音波照射前後における微生物の顕微鏡観察写真

## (3) 超音波による微生物操作の評価

### ① 循環型燃料電池システムの開発:

長期間の発電に向けて、基礎的性能評価実験で使用した実験装置に比べ容量が大きく、微生物循環ができるよう円環状の容器を採用した。電極は一か所に設置し、発電する領域と培養する領域とを分けられるようにした。MEA は基礎的性能評価実験で使用した装置と同じ構造で、かつ同じ大きさとして、両者での実験結果の比較ができるようにした。装置の上部には LED ライト 5 機を設置し、11,000 Lux 程度の光を照射できるようにした。開発した実験装置を図 6 に示す。

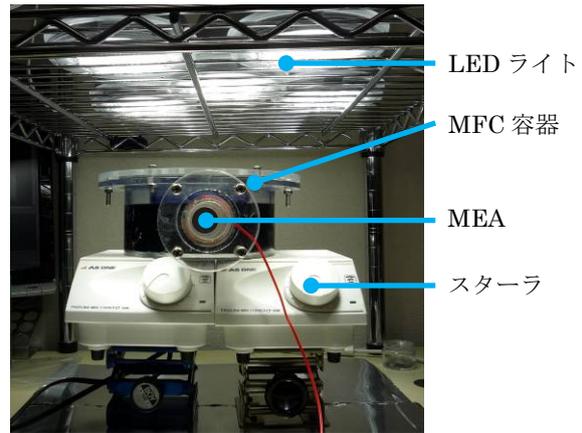
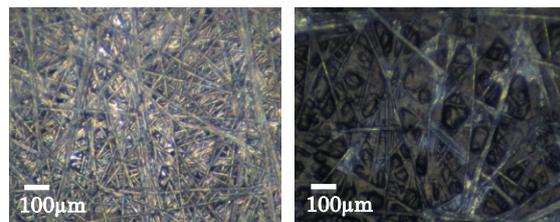


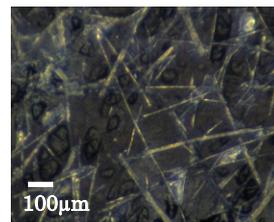
図 6 循環型微生物燃料電池外観

### ② 微生物の操作

数日間程度の長期間発電によって微生物が付着した電極を超音波洗浄機によって除去する操作を行った。操作前後での顕微鏡観察写真を図 7 に示す。この結果、完全な除去は難しいものの、多くを除去できることが確認された。



(a) 初期状態 (b) 長期発電後



(c) 超音波照射後 (40kHz 80W 1 分×2 回)

図 7 超音波による電極からの微生物除去操作前後の顕微鏡観察写真

#### (4) 微生物の操作が発電に及ぼす影響評価

十分に洗浄した電極を用い、循環型微生物燃料電池を用いて100時間程度の長期間発電実験を行った。微生物培養液は400ml程度使用し、上部からLED光を照射しながら実験を行った。負荷抵抗は10k $\Omega$ とした。電圧の時間変化を図8に示す。実験開始から10時間程度で発電のピークを生じた後、徐々に低下し、40時間を過ぎるころから、ピーク時の10分の1に満たない値を維持する結果となった。実験後に電極を顕微鏡で観察したところ、微生物が電極を覆っている様子が確認された。(図7(b))

これらの結果から、微生物は発電によって次第に活動が衰え、それらが電極を覆うことで電極での電子のやり取りが妨げられて発電性能が低下すると考察された。

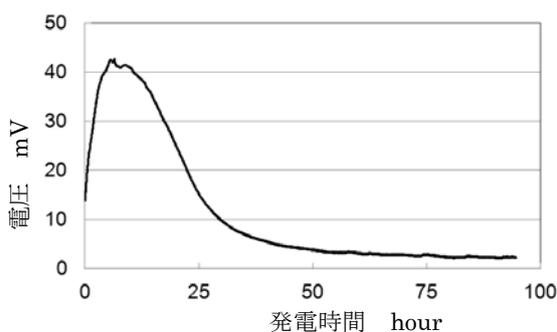


図8 長期間発電での電圧変化

続いて、微生物が付着した電極を超音波洗浄器に浸し、再度、燃料電池に戻して長期間の発電実験を行った。実験結果を図9に示す。実験再開後すぐに高い電力を発生し、20時間を過ぎることから、再開直後の10分の1に満たない値を維持する結果となった。この理由は、超音波によって電極に付着した微生物が除去されたものの、その後、発電によって再び微生物が付着したため性能が低下したと考えられる。

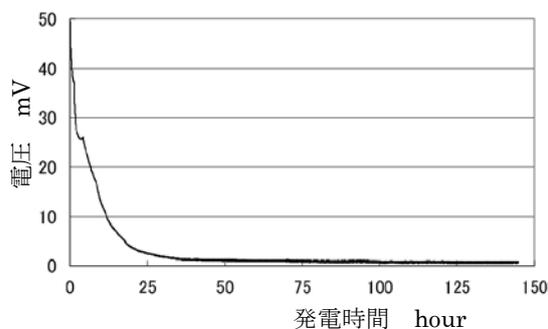


図9 超音波照射後の長期間発電における電圧変化

以上の結果から、超音波を電極に照射することで、活動の衰えた微生物を電極から除去し、性能が劣化した燃料電池を復活させることが明らかになった。すなわち、超音波による微生物操作で微生物燃料電池を長期に性能維持できることが明らかになった。

#### 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計7件)

- ① 舘野寿丈, 角田陽, 高橋潤一, “微生物燃料電池の長期発電のための超音波による電極振動に関する研究”, 日本機械学会関東支部総会講演会, 2013年3月16日, 首都大学東京.
- ② Toshitake TATENO, Akira KAKUTA, Shohei TOKUDOME and Kotaro OKUI, “Ultrasonic Vibration Stage for Microbes Alignment”, International Conference on Positioning Technology, 2012年11月14日, 高雄(台湾).
- ③ Toshitake TATENO, Akira KAKUTA, Sachiko TOKORO, “Performance Improvement of Microbial Fuel Cells by using Ultrasonic Vibration”, The 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2011年11月10日, メルボルン(オーストラリア).
- ④ 徳留昌平, 角田陽, 舘野寿丈, “機械的振動を利用した液中紅色光合成細菌の位置制御”, 精密工学会秋季大会学術講演会, 2011年9月20日, 金沢大学.
- ⑤ 所幸子, 舘野寿丈, 角田陽, 徳留昌平, “機械的振動を利用した生物型燃料電池の高性能化に関する研究(第2報) - 超音波振動が紅色光合成細菌に及ぼす影響 -”, 精密工学会春季大会, 2011年3月14日, 東洋大学.
- ⑥ 舘野寿丈, 角田陽, “機械的振動を利用した生物型燃料電池の高性能化に関する研究(第1報)”, 精密工学会春季大会学術講演会, 2011年3月14日, 東洋大学.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

舘野 寿丈 (TATENO TOSHITAKE)  
産業技術大学院大学・産業技術研究科・  
准教授  
研究者番号：30236559

##### (2) 連携研究者

角田 陽 (KAKUTA AKIRA)  
国立東京工業高等専門学校・機械情報システム工学専攻・准教授  
研究者番号：60224359