

# 紅色光合成細菌を用いた直接光合成型燃料電池の微細表面形状電極の性能

国立東京工業高等専門学校 ○井ノ口 魁 ◎角田 陽

## 要 旨

微生物細菌を用い、光合成現象によって発電をする方式のバイオ燃料電池は、新たなエネルギー源として期待できる。しかし、発電性能が低いなど実用化に向けて解決すべき課題も多い。その解決手法の一つとして、電極部に微細形状を付与すると、形状に沿って細菌が整列するなどの効果により、発電性能が向上する可能性が考えられる。そこで、本研究では、発電性能とそうした微細形状の関係を実験的に明らかにし、高性能化・実用化に向けての基礎的知見を得ることを目的とする。

## 1. 緒言

エネルギーの安全・安定利用を目的とした多様な発電形式開発の一環として、新しい発電形式の検討を行う必要がある。その一つとして、バイオ燃料電池が挙げられる。微生物細菌を用い、光合成現象によって発電をするバイオ燃料電池は、環境面に配慮可能なことから新たなエネルギー源として期待できる。

光合成型燃料電池の発電原理を Fig. 1 に示す。発電原理としては、アノード側に入れた光合成細菌が光合成反応をする際に、水  $H_2O$  を分解する働きを利用して発電をすることである。すなわち、光照射された細菌によって  $H_2O$  は水素イオン  $H^+$ 、電子  $e^-$  と酸素  $O_2$  に分解され、水素イオンはイオン通過膜を通過してカソード側へと移動する。電子を運搬する役割を持つメディエーターによって、電子は電極を伝ってカソード側へと移動する。この時電子が外部に対して仕事を行うことで電力発生となる。最終的にカソード側へと到達した水素イオン、電子とカソードチャンバー内の酸素による反応で水が生成される。

光合成細菌によるこの燃料電池は光エネルギーのみで発電ができるため、環境負荷の小さい発電手法といえる<sup>1)</sup>。しかし、発電性能が低いなど実用化に向けて解決すべき課題も多い。その解決策の一つとして、細菌が光合成を行うアノード電極部に微細形状を付与すると、形状に沿って細菌が整列するなどの効果により、発電性能が向上する可能性が考えられる。

先行研究<sup>2)</sup>では、微細形状を付与した場合、細菌が微細形状に侵入することが重要であり、細菌と微細形状の関係、さらには、その際の発電性能を明らかにする必要性を指摘している。

そこで本研究では、微細形状の形状を定量的に変化させ、発電性能との関係を実験的に明らかにすることを目的とする。

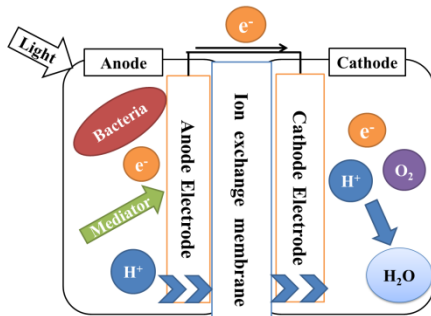


Fig. 1 Principle of photosynthetic fuel cell

## 2. 実験方法

### 2.1 紅色光合成細菌の概要

本研究では微生物として、紅色非硫黄細菌である *Rhodospseudomonas palustris* を用いた。この紅色光合成細菌は、幅広い海洋環境や土壌で見られる。本細菌は、太陽光をエネルギーに変換し、大気中の二酸化炭素をバイオマスに変換することができる。また、条件的嫌気性であるため、好気条件下では呼吸、嫌気条件下のみで光合成を行う。

細菌は培養液 10[ml] に種菌 0.5[ml] を滴下し、水面付近での照度 5,000[Lux]、恒温槽の水温 30[°C] で培養させた。

### 2.2 実験装置

本研究での光合成型燃料電池の構成図を Fig. 2 に示す。光合成細菌とメディエーターを挿入するためのチャンバースペースを設けるために、ゴム製の O-リング φ16[mm] を用いることでその内周部をチャンバースペースとしている。

実験環境は、室温(約 20[°C])で、光源として 60W 型 11,000[Lux] の LED 電球を燃料電池の上部からあてた。その際は、装置全体をカバーで覆い内部に熱がこもらないように、ファンを取り付け、空気を循環させるようにした。

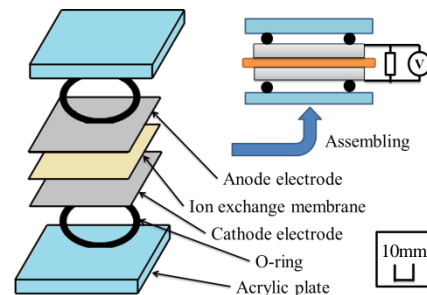


Fig. 2 Structure of photosynthetic fuel cell

### 2.3 微細形状付与方法

付与する微細形状は、溝形状を採用する。細菌が溝形状に入り整列することで、効率よく光合成反応等が活性化され、発電性能の向上が期待できる。微細形状である溝の深さと幅をパラメータとし、異なる溝深さ・溝幅の微細形状を持つ電極を作製する。電極中央部に配置した直径 3[mm] の水素通過用の穴を中心に 10×10[mm] の範囲に微細形状を付与する。紅色光合成細菌の直径は約 2[μm] であることから、ピッチは 100[μm] で一定とし、溝深さ・溝幅を 2[μm]、4[μm]、6[μm] と変化させた。この概要を Fig. 3 に示す。

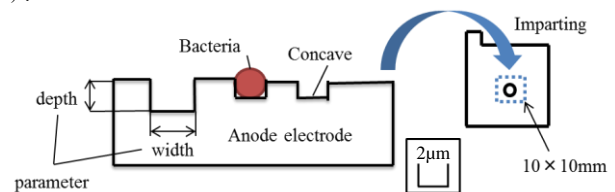


Fig. 3 Anode electrode with line and space shape

電極には市販の金属薄板材料を採用し、微細形状付与前に電極表面に研磨加工を施すことで、各試料の平面度の向上や表面粗さの一定化を図る。

電極表面に微細加工を施す方法として、本研究ではリソグラフィ技術を用いる。レジスト材による微細形状とし、塗布前には洗浄と OAP(ヘキサメチルジシラザン) の塗布を行っている。塗布条件は、初速 300[rpm]、3[sec]、主速 4000[rpm]、20[sec] を複数回行った。レジスト材には東京応化製の OFPR-800 を使用する。膜厚は 1 回の塗布で約 1[μm] であり、塗布回数を増加させることで溝深さを変化させている。溝幅はフォトマスクのパターンによって変化させている。また、露光時間は 8~12[sec] とした。

Fig. 4 にリソグラフィで作製した微細形状の一例を示す。同図(a)の形状は、SUS430 溝幅 4[μm]、溝深さ 2[μm] のもの、(b)は亜鉛溝幅 6[μm]、溝深さ 2[μm] のものである。(a)、(b)共にピッチは 100[μm] である。

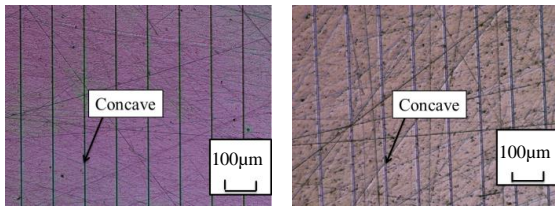


Fig. 4 Example of generated line and space shape

## 2.4 発電実験方法

実験方法としては燃料電池に紅色光合成細菌とメディエーターであるメチレンブルーをアノード側のチャンバースペースに挿入し、光を照射することで発電を行う。細菌量などは一定となるようピペットで計量して注入し、電池のアノード側の O-リング内のチャンバースペースにメチレンブルー水溶液 10[mM] を 0.1[ml]、紅色光合成細菌溶液を 0.4[ml] を滴下した。

電極部に電圧測定回路（回路内抵抗 10[kΩ]）を接続し、電圧計を通して 60[sec]毎に測定・記録を行い、PC に自動保存する。発電性能は電圧と回路内抵抗から導いた電力を用いて評価する。データ量が膨大なため、以下の実験結果では、2.5[h]毎に前後 75[min]の平均を 1プロットとなるようデータ処理を施した。

## 3. 実験結果

### 3.1 電極材料の違いによる発電性能の変化

予備実験として、どの金属材料が発電実験に用いる電極として適しているかを先行研究<sup>2)</sup>と同様の実験条件によって調べた。先行研究でレジスト材の塗布が可能であった銅、ニッケル、亜鉛、SUS430 を電極材料候補とする。

予備発電実験結果を Fig. 5 に示す。これは水素通過用の穴（直径 3[mm]）がチャンバースペース内の面積に対して穴の総面積 40% となるよう穴数を設定した電極を使用した場合で、各金属材料の電力の時間変化を表している。

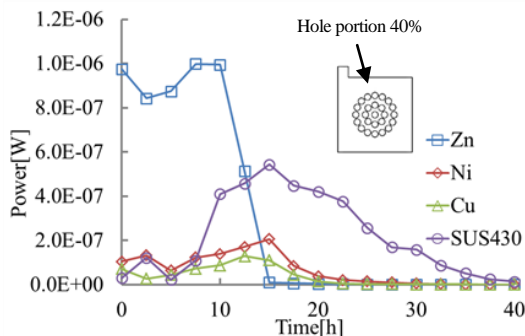


Fig. 5 Preliminary power generation experiment result

Fig. 5 から先行研究と同様に亜鉛と SUS430 の発電性能が高いことがわかる。よって、溝幅・溝深さの違いによる発電性能の変化を調べる実験の電極材料には、亜鉛と SUS430 を用いることとした。

### 3.2 溝幅の違いによる発電性能の変化

電極に SUS430 を用い、溝深さ 2[μm]一定で溝幅を変化させた発電実験の結果を Fig. 6、電極に亜鉛を用い、溝深さ 2[μm]一定で溝幅を変化させた発電実験の結果を Fig. 7 に示す。溝幅によって電極の金属露出面が異なるため、100[mm<sup>2</sup>]あたりの電力を示している。

Fig. 6, 7 から、溝幅が広い 6[μm]の電池が、本実験条件内では比較的高い発電性能を示している。これは溝幅が広いほど、細菌が溝形状内部に侵入し、光合成・発電反応が活性化していると考えられる。

### 3.3 溝深さの違いによる発電性能の変化

電極に SUS430 を用い、溝幅 2[μm]一定で溝深さを変化させた発電実験の結果を Fig. 8、電極に亜鉛を用い、溝幅 4[μm]一定で溝深さを変化させた発電実験の結果を Fig. 9 に示す。電極の金属露出面が異なるため、100[mm<sup>2</sup>]あたりの電力を示している。

Fig. 8, 9 から、溝深さ 4[μm]の電池が高い発電性能を示しているが、その他の傾向は読み取れない。溝深さは浅いと細菌が安定せず、深いと形状内に入り込みにくいいため、発電性能が向上しない可能性がある。

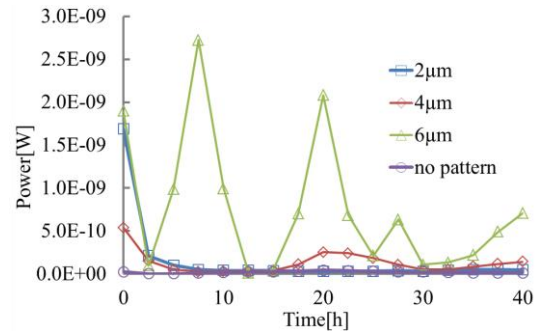


Fig. 6 Power generation experiment result of change in SUS430 concave width

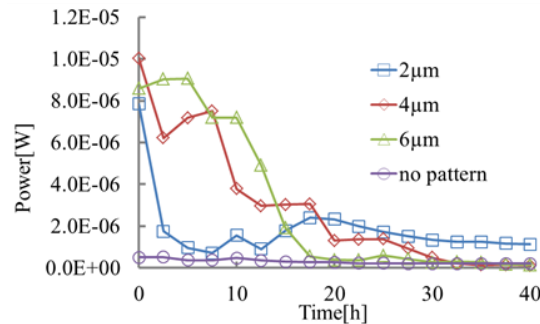


Fig. 7 Power generation experiment result of change in Zn concave width

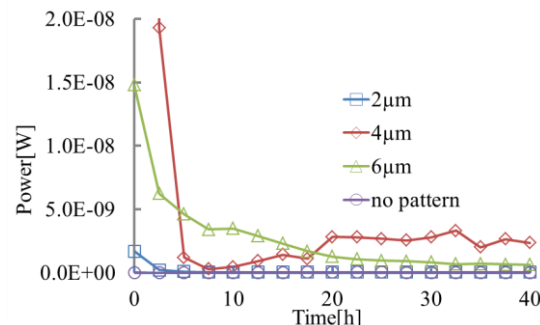


Fig. 8 Power generation experiment result of change in SUS430 concave depth

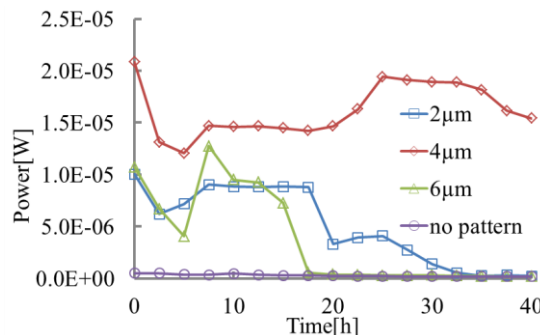


Fig. 9 Power generation experiment result of change in Zn concave depth

## 4. 結言

直接光合成型燃料電池の電極表面上の微細形状が発電性能に及ぼす影響を実験的に調べた。

**謝辞** 紅色光合成細菌および培養液については首都大学東京大学院吉田真先生に、電極の研磨については（株）マルトー竹川尊博氏にご協力いただいた。記して謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 森内健行: 直接光合成型バイオフィューエルセルの動作原理とその実証, 東京農工大学博士論文, (2008) 2-39
- 2) 宮本慎吾: 紅色光合成細菌を用いた直接光合成型燃料電池の電極表面性状が発電性能に及ぼす影響, 第 22 回精密工学会学生会員卒業研究発表講演会論文集, (2014) CD-ROM