

紅色光合成細菌による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

国立東京工業高等専門学校機械工学科 ○宮本慎吾 ◎角田陽

要旨

微生物細菌の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、石油エネルギーに依存しない、地球環境に優しいエネルギー源として期待されており、様々な研究が行われている。しかし、実用化に向けて、発電効率が低いなど解決すべき問題も多い。そこで本研究では、電極の形状、表面性状を変化させた場合について、発電性能に及ぼす影響を実験的に明らかにすることで、高性能化ひいては実用化へ向けての足掛かりとする。

1. はじめに

微生物細菌を用いて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、石油エネルギーに依存しない、地球環境に負荷の少ない代替エネルギー源として期待できる。同燃料電池の発電原理は、Fig. 1 に示すように、アノード側に入れられた光合成細菌が、光合成反応をする際に水 H_2O を分解する働きによって発電をすることである。すなわち、細菌によって H_2O は水素イオン H^+ と電子 e^- と酸素 O_2 に分解され、そのうちの H^+ は固体高分子膜を通過してカソード側へと移動する。 e^- はメディエーター(電子を運搬する役目を持っている)によって電極へと運ばれて、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を行うことで電力が発生する。最終的にカソード側へと到達した H^+ と e^- 、あらかじめ挿入されていた大気中の O_2 による反応で H_2O が生成される。

紅色光合成細菌は水田、灌水土壌、海岸や海水湖に一般的に生息しており、この細菌が光合成を行うことでおこる H_2O の分解作用によって光エネルギーのみで発電ができる仕組みであり、容易で環境負荷の小さい発電手法といえる¹⁾。しかし実用化に向けては低い発電量や低寿命など、解決すべき課題も多い。

先行研究のひとつでは、アノード側の電極に微細加工を施すことによって、燃料電池の発電量の増加が可能であることを示している²⁾。しかし、電極表面上の表面性状、例えば適切な形状、大きさ、数量などは未検討であった。

そこで本研究では、こうした電極表面上の表面性状が発電性能にどのような影響を与えるのかを実験的に明らかにし、高性能化に資する知見を得ることを目的とする。

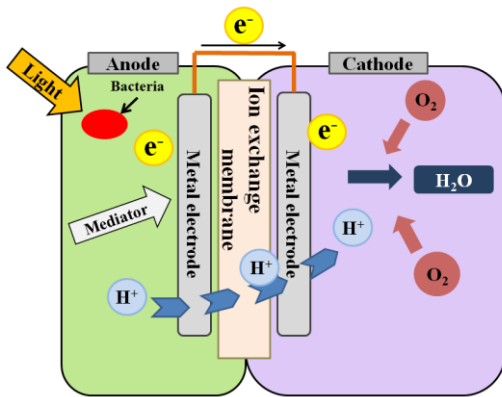


Fig. 1 Appearance of photosynthetic bio fuel cell

2. 実験方法

2.1 紅色光合成細菌の概要

紅色細菌(こうしよくさいきん, purple bacteria)は、光合成細菌のうち酸素を発生せず、カロテノイドの蓄積により赤色ないし褐色を呈するものの総称である。広義には非光合成性で色調も異なる細菌を多数含む類縁の細菌群全てを紅色細菌と呼び、その中で光合成能を有するもの、もしくは光合成器官や光合成色素を有するものを紅色光合成細菌として区別している。

本研究で用いる紅色光合成細菌は、多種な海洋環境や土壌で容易に見られる。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、嫌気条件下のみで光合成を行い、好気条件下では呼吸を行う。

2.2 実験装置

Fig. 2 に本研究で用いる燃料電池の機構の概要を示す。イオン交換膜を金属板ではさみ圧着することで電極とする。細菌を挿入するチャンバースペースとして、Oリングを使用する。カバー部は光透過性や加工のしやすさからアクリル板を使用した。これらをネジとナットで固定して組み合わせる。

実験環境は、室温(約 20°C)で、光源として 60W 型の白熱電球を燃料電池の上部約 16cm 離れたところからあてた。その際は、外乱として、外部から光が入らないようにするため、装置全体をカバーで覆うようにした。覆いには、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。

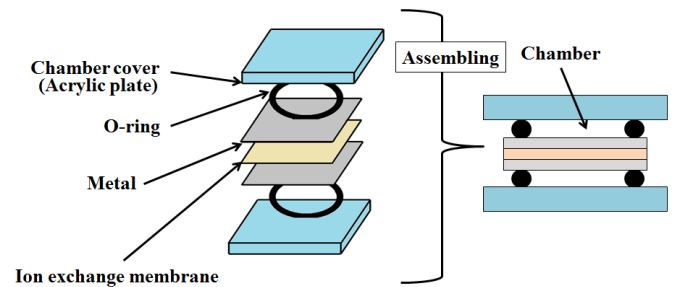


Fig. 2 Laboratory instrument of photosynthetic bio fuel cell

2.3 電極穴形状の大きさや数量が発電性能に及ぼす影響

本研究における燃料電池では、アノード側で分解された H^+ をカソード側へ透過させるための穴が必要である。この水素透過用の穴仕様が発電性能にどのような影響を及ぼすのかを以下の 2 つの場合について調べた。(1)チャンバースペース内の電極部の総面積を 100%としたとき、穴径 3mm で固定し、総穴面積がそれぞれ電極総面積の 20%, 30%, 40%となる(金属部の面積はそれぞれ 80%, 70%, 60%となる)よう、穴の数を設定した。(2)穴径を 3mm, 2mm, 1.5mm とし、穴総面積 20%(金属部 80%)で一定となるよう穴の数を設定した。Fig. 3 に実際に作製した電極の一例を示す。

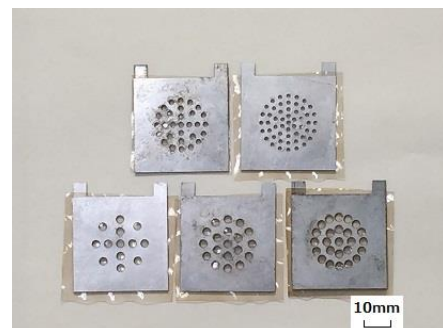


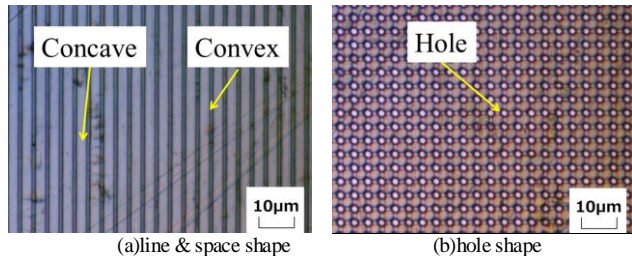
Fig. 3 Example of metal electrode

2.5 表面性状付与方法

電極表面に表面性状を付与する方法としてリソグラフィを用いた。電極材料には銅板を用いた。塗布前には材料の研削処理により、表面粗さの改善を図った。塗布条件は、初速 300rpm, 3sec, 主速 4000rpm, 20sec を 5 回行った。使用したレジスト材は東京応化製の OFPR800 で、膜厚は 1 回の塗布で約 1 μ m であり、5 回塗布することで約 5 μ m になっている。

また塗布前にはOAP(ヘキサメチルジシラザン)の塗布を初速300rpm, 3sec, 主速4000rpm, 20secで行っている。露光時間は12secとした。Fig. 4にリソグラフィで作製した形状の一例を示す。同図(a)の形状は、溝幅が4 μ mの溝が2 μ mの間隔で並んでいるもの、(b)は ϕ 2 μ mの穴が2 μ m間隔で並んでいるものである。

なお、紅色光合成細菌がレジスト材に悪影響を及ぼさないかを確認するために、表面性状を付与した銅電極を細菌の中に3日間浸した。作製形状は剥離などはなく、また細菌にも問題はなかった。



(a) line & space shape (b) hole shape
Fig. 4 example of micro shape generating results

3. 実験結果

3.1 水素透過用の穴の形状による発電能力の変化

水素透過用の穴の総面積による発電能力の違いを調べた結果を Fig. 5, 穴径を変更して穴総面積 20%で一定になるように穴数を設定した場合による発電能力の違いを Fig. 6 に示す。銅電極に対して、 ϕ 24mm の O-リングを使用し、アノード側のチャンバースペースに約 1ml の紅色光合成細菌と、メディエータとして 0.5ml のメチレンブルーを挿入した。電圧の測定は抵抗を 1k Ω はさみ、30 分間隔でデジタルマルチメータを用いて測定し、24 時間分のデータをまとめた。

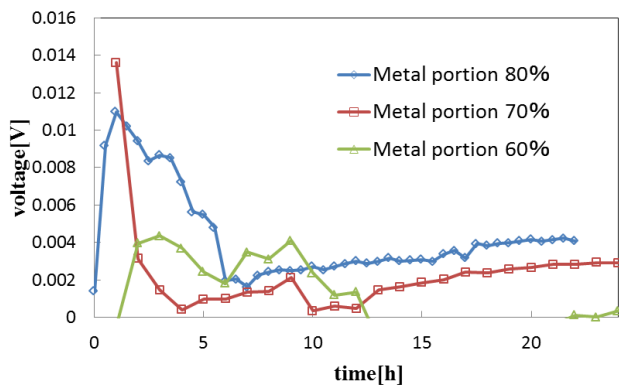


Fig. 5 Effect of hole area on power generation

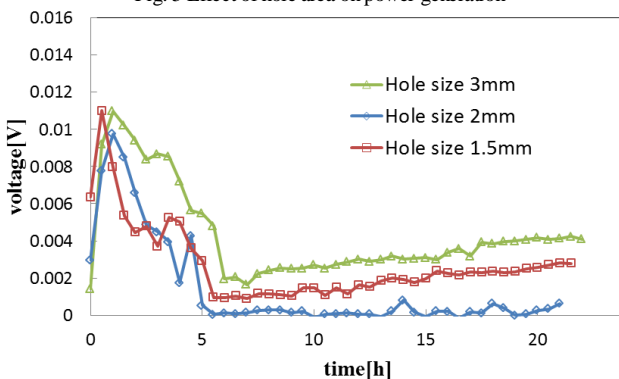


Fig. 6 Effect of hole area on power generation

Fig. 5, Fig. 6 より、どの電極もおおよそ 4.5 時間を過ぎると電圧が安定し始めているのがわかる。これは銅を電極として使用した先行研究²⁾と同じ傾向を示している。それぞれ安定した電圧となった 5 時間から 24 時間までの発電量の平均をとって比較したグラフを Fig. 7, Fig. 8 に示す。Fig. 7 は穴総面積の違い、Fig. 8 は穴径の違いを示している。

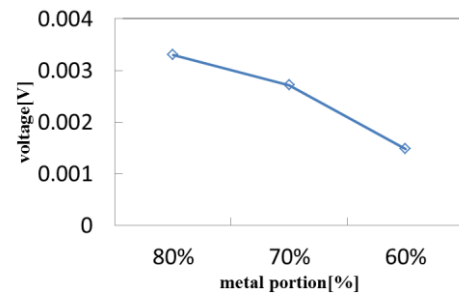


Fig. 7 Average power generation from 5 to 24h

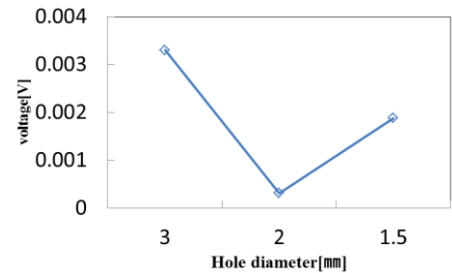


Fig. 8 Average power generation from 5 to 24h

Fig. 6, Fig. 7 から、発電量は穴のサイズが小さいほうが少なくなっているのがわかる。金属部の割合と発電は、比例関係にあらう。これは金属部の面積が減ることで反応面積も少なくなり、電子の運搬効率が悪くなっているためと考えられる。

また Fig. 8 からは、本実験条件の範囲内では、傾向は読み取れない。

3.2 表面性状を作製した場合の発電能力の変化

Fig. 4 の表面性状を付与した電極を用いて発電をした結果を Fig. 9 に示す。付与性状のサイズが 10mm 四方なので、チャンバースペースも小さくし、O-リングは ϕ 16mm のものを使用した。電圧は 1 時間ごとに測定し、12 時間分のデータをまとめた。

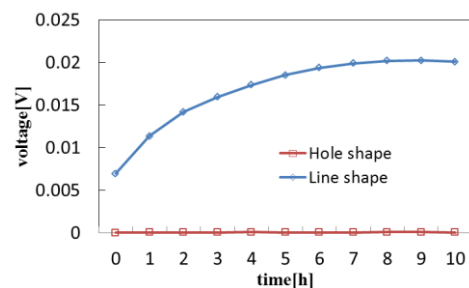


Fig. 9 Effect of surface properties on power generation

Fig. 9 から、溝型形状では発電がされており、穴型形状では発電が極僅かであった。これは、細菌がうまく穴形状の中に入っていない、電子の運搬の効率化が行われなかったためと考えている。すなわち、溝型形状は 4 μ m 溝幅で紅色光合成細菌の平均直径(約 2 μ m)よりも大きく作製しているため、細菌がうまく溝幅に入り発電能力が上がったのではないかと考えている。穴形状は細菌の平均直径とほぼ同じサイズであり、細菌が入りづらかったと考えられる。

4. まとめ

直接光合成燃料電池の電極表面上の表面性状が発電性能にどのような影響を与えるのかを実験的に調べた。今後はより定量的に調べる必要がある。

参考文献

- 1) 森内健行: 接光合成型バイオフェー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) 宿谷篤志: 紅色光合成細菌を利用した直接光合成燃料電池の性能向上, 2011 年度精密工学会学生会卒業研究発表講演会講演論文集, (2011) CD-ROM