

紅色光合成細菌による直接光合成型燃料電池の循環効果

国立東京工業高等専門学校 機械工学科 ○佐藤直, ◎角田陽, 産業技術大学院大学 ◎館野寿丈

要旨

紅色光合成細菌が光合成を行う働きを利用して発電を行う方式のバイオ燃料電池は、風力発電等の新エネルギーと同様に代替エネルギーとして期待できるが、解決すべき課題も多い。持続時間における課題では、不活性細菌が電極付近に付着し、活性細菌の活動を阻害している可能性が考えられる。この場合細菌を循環させれば長期的な発電が可能になると考えられる。そこで本研究では主としてこの循環による高効率化を実験的に検討した結果を報告する。

1. 研究目的

火力発電など、化石燃料の燃焼による CO_2 発生を伴った発電が地球温暖化防止の観点等から問題となる中、代替の発電方法として、微生物燃料電池が注目されている。

その発電の原理は、微生物が水 H_2O を分解する働きを利用して、Fig. 1 にその発電原理を示す。同図のアノード側(-)に微生物とメディエータ（本研究では紅色光合成細菌とメチレンブルー）を入れて光を当てると、メチレンブルーが細菌内に入り、電子 e^- を奪い、電極へ渡される。固体高分子膜は通電しないので、メチレンブルーに抽出された e^- はアノード側電極から外部回路を通りカソード側(+)へ到達する。この時に外部回路に電力が発生することになる。また、余った水素イオン H^+ は細菌外に放出され、固体高分子膜を通りカソード側(+)へ到達する。この時カソード側(+)では H^+ と e^- が結合して酸素 O_2 が結びつき水 H_2O が発生する。

本研究で用いる紅色光合成細菌は多くの海洋や土壌に広く生息する細菌であり、培養も容易である。しかし、現状では同電池の単位体積あたりの出力が低く(電池 $1[\text{cm}^3]$ あたり $18[\mu\text{W}]$ 程度¹⁾。太陽光発電は約 $0.1[\text{W}/\text{cm}^2]$ 程度、実用化には至っていない。その理由の一つに、衰えた細菌が電極付近に付着し、元気な細菌の光合成(発電)を阻害している可能性がある。したがって細菌溶液を振動などにより循環させれば長期的な発電も可能になるのではないかと考えられる。

そこで本研究では、主としてこの循環による高効率化を実験的に検討した。

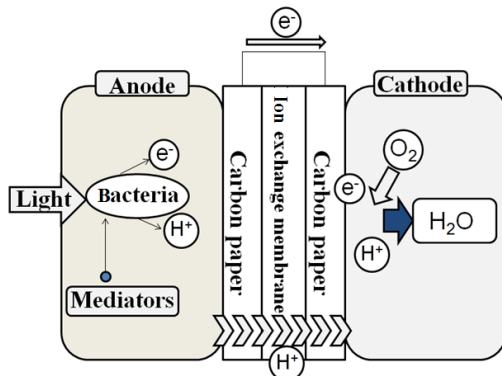


Fig. 1 Principle of photosynthetic fuel cell

2. 実験方法

2.1 実験材料

実験装置は自作とし、カーボンペーパーに配線させることが困難であるため、カーボンペーパーの外側に電極として厚さ $0.3[\text{mm}]$ の銅板を取り付け、銅板に配線した。MEA (Membrane Electrode Assembly) 部分は以下のように製作した。すなわち、カーボンペーパーの間に高分子膜をはさみこむ形式とし、高分子膜が熱で軟化する性質を利用し、加熱により軟化したところで圧着した²⁾。 $155[^\circ\text{C}]$ 、 $80[\text{kg}/\text{cm}^2]$ の環境で4分間圧着して製作した²⁾。

カバーとして、光の透過性が高いアクリルカバー(厚さ $5[\text{mm}]$)を使用した。また、実験装置固定時のクッションとなり、細菌溶液が注入されるチャンバー部として、内直径 $30[\text{mm}]$ 、太さ $4[\text{mm}]$ のシリコンゴムOリングを使用した。

細菌は試験管内の培地に植菌後、1週間程度培養し、コンフルエントの状態になっているものを使用した。

2.2 実験装置

実験装置は、組み立てやすさ、細菌の注入のしやすさを考慮して設計した。実験装置の概要を Fig. 2 に示す。また、振動により循環させる実験で使用する実験装置の構成図を Fig. 3 に示す。PC からアンプに出力する装置としては、USB に接続するだけでドライバ不要の秋月電気通商の「10W+10W ステレオD級アンプモジュール」を使用した。スピーカーは $1\sim 20[\text{kHz}]$ の音域で安定して音の出せる $8\Omega 8\text{W}$ のものを使用した。実際の実験装置の写真を Fig. 4 に示す。

Fig. 2, Fig. 4 におけるアノード側の O リングが細菌溶液のチャンバーとなっている(容量は約 $2[\text{ml}]$)。

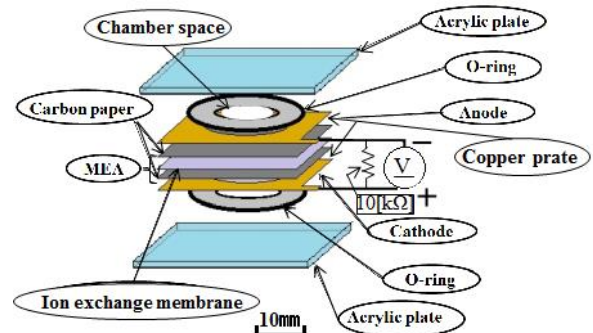


Fig. 2 Sketch of experimental apparatus

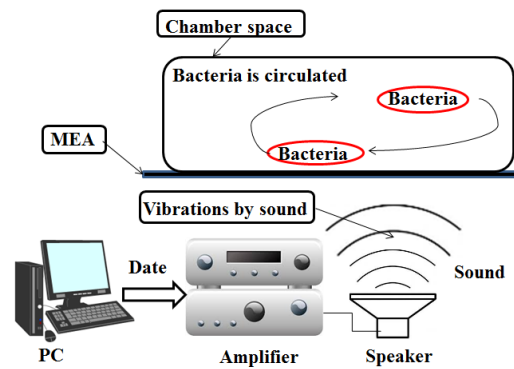


Fig. 3 Diagram of the experiment

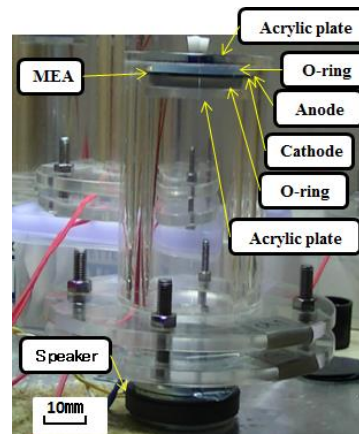


Fig. 4 Photo of experimental apparatus

2.3 実験結果

振動による細菌循環効果を比較するため、振動の有無を変えて実験をした。

2.3.1 予備実験

比較対象として、紅色光合成細菌のみを注入し、発電実験中に水を加えず、拡散もしない実験を行った。細菌量などは一定となるよう、ピペットで計量して導入した。メチレンブルー水溶液 10[mM]を 0.1[ml]とし、紅色光合成細菌溶液を 1.8[ml]とした。

電圧の測定は CONTEC 社の C-LOGGER を使用し、30[sec]毎に PC に自動保存されるようにした。回路の抵抗は 10[k Ω]とした。

実験環境は室温 28 \pm 2[$^{\circ}$ C]、湿度 60 \pm 5[%]、光は LED 電球により約 30,000[Lux] を 100[mm]上から照射し、約 80 時間の連続実験を行った。また、発電実験の再現性を取るために、1 回の実験で 5 つの実験装置を使用した。

実験結果の一例を Fig. 5 に示す。ほとんどの場合、実験開始から 40 時間を過ぎると発電電力量が大きく変化してしまい、発電電力量は安定しなくなった。

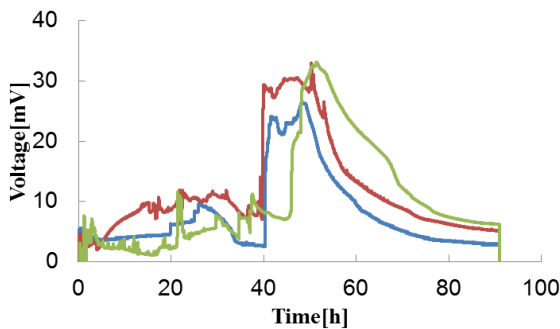


Fig. 5 Power generation experiment result of non-diffusion

2.3.2 純水を加える場合のみの実験

発電中のチャンバー内に、約 20 時間毎に純水（工業用精製水）を約 1.5[ml]注入する実験を行った。細菌の滴下量、電圧の測定方法、実験環境は 2.3.1 の実験と同様である。

実験結果の一例を Fig. 6 に示す。純水の注入時に電圧の回復がみられ、2.3.1 の結果よりも発電電力量が安定している傾向がみられた。

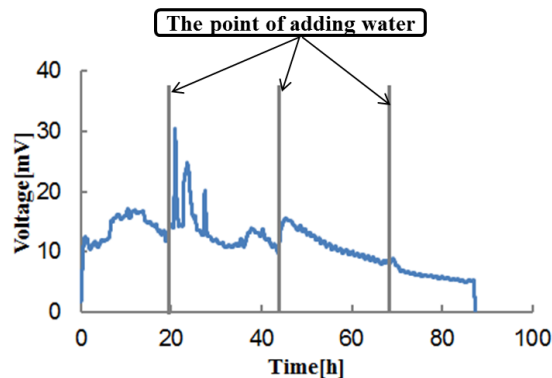


Fig. 6 Power generation experiment result of diffusion

2.3.3 純水を加え、音による振動を与える実験

発電中のチャンバーの細菌溶液に対して、純水を定期的注入するとともに、定期的に音による振動を与えることで循環拡散させ、その効果を調べた。スピーカーと MEA の位置関係（距離 80[mm]）から、適切な周波数は、式(1)より、 $f=4.250$ [kHz]である。

$$\lambda=v/f \text{ 式 (1)}$$

f は周波数[Hz]、 λ は波長、 v は音速 (340.29[m/s])

この周波数の振動音が実際に MEA を振動させるかを確かめた。実験方法は、ドップラー振動計を使用し、スピーカーが安定して音の出せる最小値である 1[kHz]から 5[kHz]までを、0.1[kHz]おきに振動数を測定した。Fig. 7 に実験装置の振幅と周波数の関係を示す。測定は 2 回行った。が、ばらつきは少ないといえる。

理論的に算出した値も確かに周辺に比べて振幅が大きい、算出値の半周期である 2[kHz]付近のほうがより振幅が大きいことが読み取れる。音は周波数が高くなると波長が短くなり、同じ距離でも振動数が増えるため振動に要するエネルギーが多くなるので、このような結果になったと考えられる。本研究では、以下、より振幅の大きい 2[kHz]を実験で使うことにした。

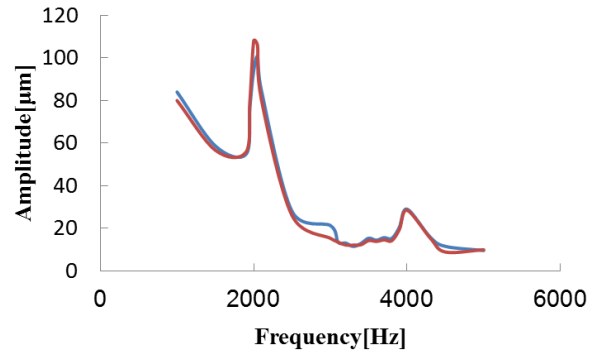


Fig. 7 Natural frequency of MEA

実験環境は 2.3.1 と同様にし、純水の滴下量も 2.3.2 と同様にした。5 時間に 1 度 5 秒間、2[kHz]、43[dB]の振動を当て細菌溶液を循環拡散させ、発電電力量がどのように変化するかを調べた。

実験結果の一例を Fig. 8 に示す。2.3.2 の実験よりも発電電力量の変化が少ないという傾向がみられた。

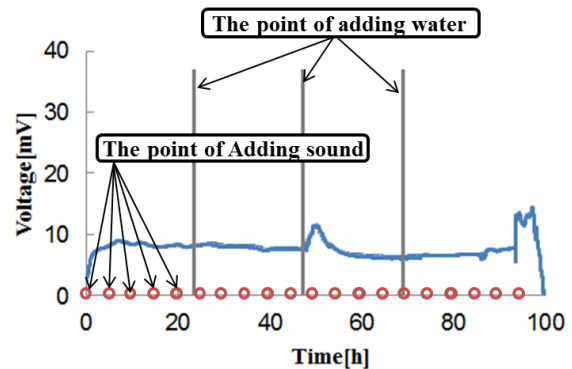


Fig. 8 Power generation experiment result of diffusion by vibration

3. 考察

2.3.1~2.3.3 の実験から、振動による細菌溶液の循環拡散による発電電力量の安定化がみられた。チャンバー内部の活性化している細菌が均一化され、発電電圧量が安定化するためと考えられる。しかし、どの程度の長期発電ができるかを見極めなければならない。純水を注入するだけではチャンバー内の細菌もいずれ全て不活性になってしまうので、培地を注入し振動を与え、発電電力量の変化を観察し、考察する必要がある。

4. まとめ

細菌の循環によって発電電力量の約 1 週間の安定化を確認した。しかし、1 週間以上の長期発電をする場合には、チャンバースペース内での培養が必要で、そのためには培地を注入しても影響のない量を検討する必要があるであろう。

参考文献

- 1) 森内健行: 直接光合成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) 2-11, 52-59.
- 2) Y. Furukawa, T. Moriuchi and K. Morishima: Design Principle and prototyping of a direct photosynthetic/metabolic biofuel cell(DPMFC), Journal of micromechanics and microengineering, institute of publishing, 16 9, (2006) 220-225.