

内部抵抗に着目した微生物燃料電池の接続方法の最適化

Optimization of connecting methods of Microbial Fuel Cells
based on the Internal Resistances

藤長 愛一郎 (Fujinaga Aiichiro)

1. はじめに

近年、廃水は無曝気処理できる微生物燃料電池(MFC)の研究が世界中で進められている。MFCは有機物処理と同時に発電もできることがメリットであるが、その電力が小さいことが課題である。MFCの電力が小さい原因として、燃料電池など実用化された電池に比べて、エネルギー損失が大きいことが挙げられる。エネルギー損失にも要因が複数あり、①「抵抗損失」と呼ばれる電流が流れる際や水素イオンが溶液中を流れる際の抵抗による熱損失がある。また、②「活性化損失」と呼ばれる化学反応による熱損失がある。さらに、③「濃度損失」と呼ばれる有機物が拡散で供給されるまで時間がかかることによる損失がある。①と②はどのような種類の電池にも存在するので、MFCでは特に③「濃度損失」が重要であると考え、この濃度損失を数理モデルで表すことを提案している。

このエネルギー損失を抑制する方法として、MFCを並列接続、直列接続、またそれらの組み合わせの方法があり、これらの実験を実施している¹⁾。また、負極付近の有機物の拡散に着目した数理モデルを作成している。そこで、本研究では、最大電流が得られる接続の組み合わせを実験と数理モデルによるシミュレーションで計算して、検討する。

2. 実験および解析方法

(1) 実験方法

牛ふん堆肥 100 g に蒸留水 180 g を加え、内径 8.0 cm の容器の底面に直径 8.0 cm のグラファイト製の負極を、表面に正極を設置した。実験条件を表 1 に示す。

表 1 実験条件

実験	接続方法
A	直列接続 MFC 2~7 個 (各 3 回実施)
B	並列接続 MFC 2~6 個 (各 1 回実施)
C-1	直列接続 MFC 5 個を並列に 2~4 組 (各 2 回)
C-2	直列接続 MFC 6 個を並列に 2~4 組 (各 2 回)

(2) 数理モデルを用いた解析

たい肥間隙中の有機物濃度 C_b と電流 I の関係を式(1)に示す。次に式(2)に、負極表面上の拡散層中の有機物濃度 C_s の変化を電流による消費と拡散による供給で表した物質収支式を示す (図 1 参照)。

$$I = I_0 \frac{C_s}{K + C_s} \quad (1)$$

ここで、 I : 電流(mA), I_0 :電流の初期値(mA), C_s : 拡散層中の COD (mg/L), K : 定数 (mg/L).

$$\frac{dC_s}{dt} = -\frac{M_a}{n_e F C E \pi r^2 d} I + D \frac{C_b - C_s}{d^2} \quad (2)$$

ここで、 C_b : バルク溶液の COD (平均 1885 mg/L, 実験前後で変化せず), n_e : 酸素 1 分子あたりの電子数 (4), F : ファラデー定数 (96,500 C/mol), M_a : 酸素 1 モルの質量 (32 g/mol), $C E$: クーロン効率 (実験の電流値から最小二乗法で求めた), d : 拡散層厚(cm) (閉回路 10 分後を定常状態として求めた), D : 間隙水中酢酸の拡散係数($6.45 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$), r : MFC 容器の半径(4.0 cm).

3. 結果および考察

(1) 実験 A(直列接続)

直列接続の場合は MFC の個数に応じて電流が上昇した。しかし、上昇する値には限りがあり、MFC 6 個と 7 個の差はなかった。

(2) 実験 B(並列接続)

並列接続の場合は、MFC の個数が多いほど、電流が高い状態を維持できた。これは、並列接続にすると電流を分割するために、内部抵抗が減少するためである。

(3) 実験 C-1 と C-2(直列接続 5 個の並列接続, および直列接続 6 個の並列接続)

直列接続で電圧を高くした後、並列接続の数が 2 組より 3 組や 4 組の方が電流を高く維持できた (図 2 参照)。結果として、直列 6 個を並列 4 組の放電後 600 秒の電力は、1.94 mW と 1 個単独の 0.060 mW の約 32 倍となった。この実験結果は、シミュレーションによる計算でも同様になることが示された。

4. おわりに

本研究の主な結果を列挙する。

- ・直列接続は MFC の個数に応じて初期電流が上昇するが、放電後の低下も大きい。
- ・電流低下の防止策として、並列接続が効果的である。
- ・たい肥 MFC が最大電力となる接続は、直列接続 6 個を並列に 4 組接続したもので、電力は 1.94 mW であった。

参考文献 1) Fujinaga A, et al. (2023) Maximizing the Electric Power Using a Mathematical Model of Single-chamber Air-cathode Microbial Fuel Cells in Series and Parallel Connected, Water and Environment Technology Conference 2023, 1 B-1-a.

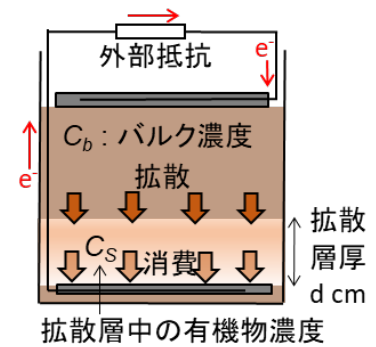


図 1 MFC の拡散層における有機物消費と拡散による供給のイメージ図

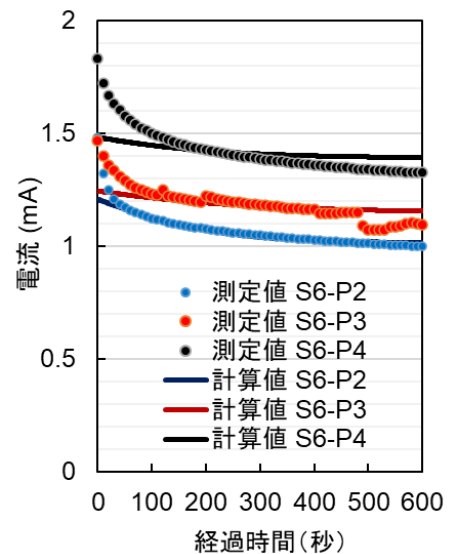


図 2 実験 C-2 MFC の直列接続(S) 6 個で並列(P) 2~4 組の電流の変化 (実測値と計算値)