

## 数理モデルを利用した微生物燃料電池による 汚泥からのエネルギー回収

Energy Recovery from Sludge by Microbial Fuel Cells using Mathematical Models

藤長 愛一郎（FUJINAGA Aiichiro）

### 1. 研究の目的

近年、廃水が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。この研究では、前年度に有機物をエネルギー源とした MFC の発電メカニズムの数理モデルを、実験を行って構築した。そこで、本研究では、汚泥からのエネルギー回収することを目的に、最大電力を得るための電気回路を実験と数理モデルを用いて検討した。

### 2. 実験および解析方法

#### 2.1 MFC の製作と実験条件

牛ふん堆肥 100 g に蒸留水 200 g を加え、直径 9 cm の容器の底面に直径 8.0 cm のグラファイト製の負極、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
0	対照実験 (MFC を個別に単独で使用)
1	並列接続 (MFC 2~6 個)
2	直列接続 (MFC 2~6 個)
3	直列 4 個を並列に 3 組, 並列 3 個を直列に 4 組

外部抵抗：1000 Ω, 測定時間：10~40 分, 実験開始前には、1 時間連続で電流を流し、電池のばらつきを抑えた。

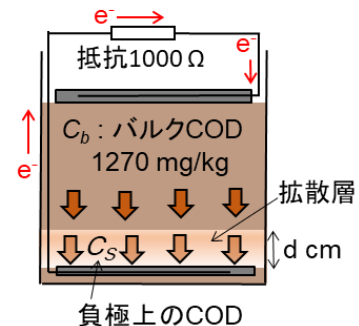


図 1 微生物燃料電池(MFC)の拡散層における有機物(COD)消費と拡散による供給の概念図

#### 2.2 数理モデルを用いた解析

たい肥間隙中の有機物濃度  $C_b$  と電流の関係を式(1)に示す。そして、負極表面上の有機物濃度  $C_s$  の変化を電流に応じた消費と拡散による供給で表した式(2)を示す。

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

ここで、 $I$ : 電流(mA),  $I_{max}$ : 最大電流(mA),  $C_s$ : 負極上の 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 (mg/L),  $n_e$ : 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),  $CE$ : クーロン効率,  $d$ : 拡散層厚(cm),  $D$ : 間隙水中酢酸の拡散係数( $6.45 \times 10^{-6}$  cm<sup>2</sup>/s),  $r$ : MFC 容器の半径 (4 cm).

### 3. 結果および考察

#### 3.1 実験 1(並列接続)

並列接続では, 初期と 5 分後の電流は 3 個か 4 個が最大で, それ以上接続してもほとんど変わらなかった。

#### 3.2 実験 2(直列接続)

直列接続では, 初期値は個数に応じて電流が大きくなったが, 5 分後は減少して 2 個以上の差がなくなった。

#### 3.3 実験 3(並列と直列接続の組み合わせ)

直列 3 個を並列に 3 組, または並列 3 個を直列に 4 組の組み合わせが, 40 分後も 1.1 mA 以上を保っていた。MFC 1 個の場合と比較すると, 電流は  $1.1 \text{ mA} / 0.26 \text{ mA} = 4.2$  で約 4 倍となり, 電力は  $1.1 \text{ V} \times 1.1 \text{ mA} / (0.26 \text{ V} \times 0.26 \text{ mA}) = 17.9$  で約 18 倍となる。

#### 3.4 解析結果

MFC 2 個以上の並列接続の計算値は, 実験値と同様に, 電流低下が抑えられる結果となった。これは, MFC 1 個あたりの電流が MFC の個数で分割されるため, 消費される有機物量が低減するためと考えられる。

### 4. おわりに

実験および解析結果より, 並列接続については, MFC 3, 4 個の電流低下が最小であることが分かった。これは, 1 個当たりの MFC における消費有機物量が低減されるためと考えられる。

一方で, 直列接続については, 実験では接続直後は MFC 数に応じて電流が増加するが, 10 分以降は差がなくなった。また, 最大電流となる接続は, 直列接続で増加させ, それを維持するために並列接続させるとよいことが分かった。

それで, 電圧の上昇が電流に与える影響をこの数理モデルに組み込むことが, 今後の課題である。

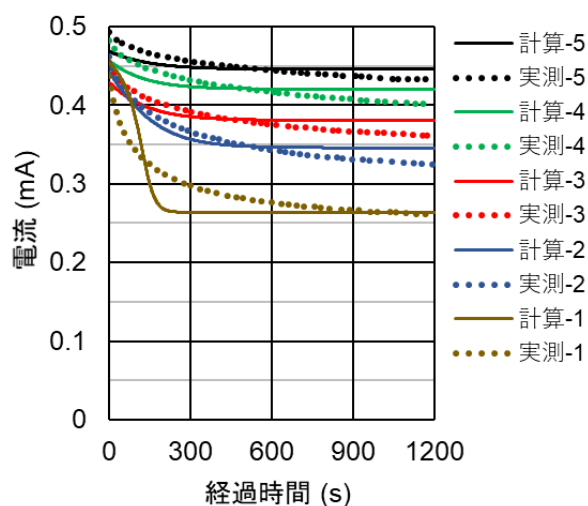


図 2 実験 1 並列接続 MFC1~5 個の電流変化 (実測値と計算値)