

土壌微生物燃料電池の発電効率を高めるための 内部抵抗の低減策

High generating efficiency of soil-based microbial fuel cell
by reducing internal resistance

主任研究員名：藤長 愛一郎

分担研究員名：部谷 学

研究概要

本研究では、安定した発電が長期間可能な土壌を用いた微生物燃料電池（土壌 MFC）を開発するために、土壌中有機物の挙動や微生物分解に基づく発電メカニズムをモデル化して、発電量を最大にする条件を見つけ、実際の有機性廃液を連続処理するシステムを開発することを目標としている。

研究期間は平成 27-29 年度であり、平成 27 年度には土壌 MFC の発電効率を高めるための方法として、放電と充電を繰り返すことで放電効率が高まる現象について、繰り返し時間を数秒から数十秒と短く取り、どの程度高まるかを把握した。平成 28 年度には、分担研究（部谷、玉谷）として、安定した発電を長期間継続させるための条件を把握するために、土壌 MFC を 20 個作成し、約 3 か月にわたって充電特性および放電特性を計測した。そして、特徴的な変化を詳細に把握するため、交流インピーダンス法を用いて、MFC の内部抵抗の解析を試みた。

また、実験結果から土壌 MFC の発電メカニズムを解析するために、モデル式を用いてシミュレーションを行った。土壌を用いた MFC の外部抵抗への接続(Close Circuit: CC, 放電)と開放 (Open Circuit: OC, 充電)を短い時間で切り替え、くり返す際の電力を試算した。その結果、CC で消費された酢酸が OC で回復し、その回復には、時間が短い方が有利であるが 60 秒以下ではほとんど差が出ないことを示した。

研究発表：藤長愛一郎，高浪龍平，谷口省吾，尾崎博明，玉谷常晴，部谷学：モデル式を用いた土壌微生物燃料電池の閉回路・開回路の繰り返しによる電力向上の現象解明，第 17 回環境技術学会年次大会，No.115, p.14, 2017.

土壌微生物燃料電池の閉回路・開回路の繰り返しによる発電特性の把握

藤長 愛一郎 (工学部都市創造工学科)

1. 研究の目的・計画・方法 (概要)

近年、微生物燃料電池 (Microbial Fuel Cell: MFC) は、有機物を電気に直接変換できる技術として注目を浴びているが、発電量が小さくて不安定なことが課題である。我々は、土壌を用いた MFC の外部抵抗との閉回路 (Close Circuit: CC) と開回路 (Open Circuit: OC) を短い時間で切り替え、くり返すことにより、CC を同じ時間続けるよりも発電量が増加することを 2015 年に発表した。今回は堆肥を用いて MFC を作成し、CC-OC の時間を変えて、実験を行った。そして、モデル式を作成して、CC-OC の繰り返しによる電圧を試算した。

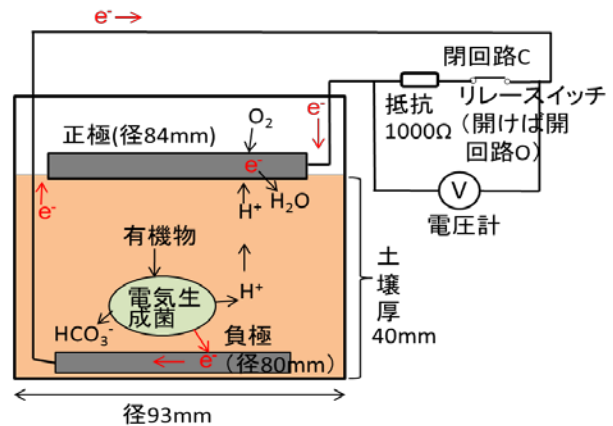


図1 土壌微生物燃料電池、抵抗、リレースイッチおよび電圧計を用いた実験概要図

牛ふん堆肥 200g に蒸留水 200g を混合し、底面に負極、表面に正極を設置した。CC と OC の時間は、1 秒、5 秒、10 秒、30 秒、60 秒とし、それぞれ 6 分間、合計 12 分間測定した (図 1)。各 CC-OC の比較のために連続 CC (6 分) を各条件の直前に実施した。

2. 研究成果および考察

CC-OC の電力密度を直前の連続 CC と比較すると、1.2~1.3 倍の電力密度が発生することが分かった (図 2)。どれも約 26 mW/m² で、繰り返し時間の長短による増加や低減は見られなかった。

CC-OC の繰り返しで電圧 (電力) が増加する理由として、①抵抗損失 (電流の抵抗)、②活性化損失 (化学反応の熱)、③濃度損失 (物質の供給: 生成、移動) が考えられる。

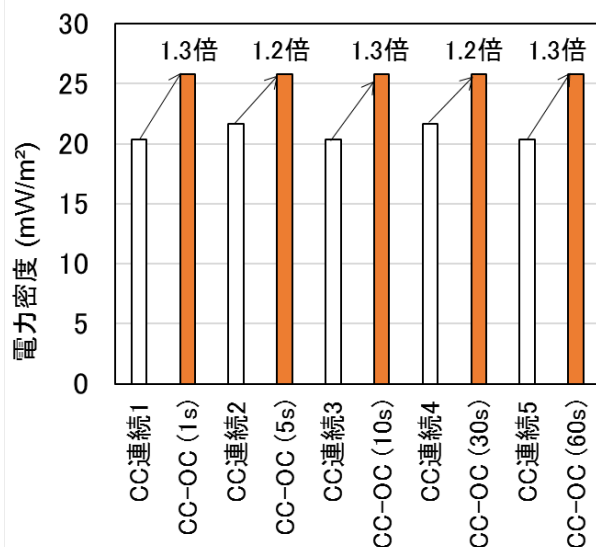


図2 閉回路連続6分間と閉回路-開回路の時間ごとの電力密度

図 3 に閉回路の時の酢酸の消費と開回路の時の酢酸の移動（拡散）を示した模式図を示す。ここでは、有機物として酢酸を仮定し、それが電池の底にある負極に供給されるメカニズムを考慮した数式を考案した。

一方、抵抗と繋げた際の閉回路電圧 V は以下の式で表される。

$$V = E - rI - A \cdot \ln \frac{I}{I_0} + \frac{RT}{8F} \ln \frac{C}{C_0}$$

ここで、 V ：閉回路電圧、 E ：開回路電圧

r ：内部抵抗、 R ：外部抵抗（1000Ω）

I と I_0 ：電流とその初期値

A ：定数

C と C_0 ：酢酸濃度とその初期値

各項目を算出すると、濃度損失の値が最も大きく、電圧に影響を与えることが分かった。

3. 今後の課題

CC-OC を繰り返すことにより、CC 連続より 1.2 倍程度の電力を得ることができた。しかし、発電力は、CC-OC のくり返し時間が 1 秒～60 秒では、差があまり生じなかった。また、解析によって、CC で消費された負極付近の酢酸が OC で回復し、その回復にはくり返し時間の差がほとんど差がでないことがシミュレーションにより示せた。

しかし、現状のモデル式は、負極付近の酢酸濃度が均一で、距離に応じた濃度差を考慮していない単純なものである。そこで、本年度はその濃度差を考慮するために、拡散層を定義したモデル式を作成し、発電量を高めるための条件を把握することに努める。

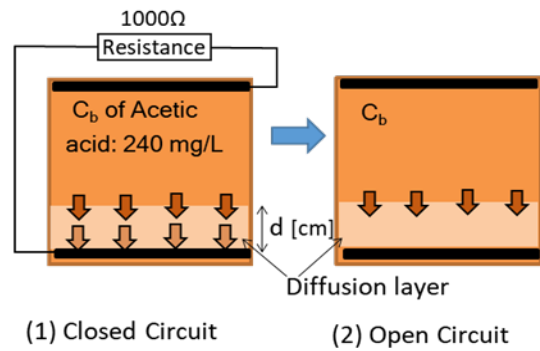


図 3 閉回路の時の酢酸の消費と開回路の時の酢酸の移動（拡散）を示した模式図

土壌評価及び交流インピーダンス法による各種内部抵抗の測定

部谷 学（工学部電子情報通信工学科）

1. 研究の目的・計画・方法（概要）

本研究では、安定した発電が長期間可能な土壌を用いた微生物燃料電池（MFC）を開発するために、土壌中有機物の挙動や微生物分解に基づく発電メカニズムをモデル化して、発電量を最大にする条件を見つけ、実際の有機性廃液を連続処理するシステムを開発することを目的としている。平成 28 年度では、20 個の MFC を約 3 か月にわたって充電特性および放電特性を計測した。また、特徴的な変化を観測した時点において交流インピーダンス法を用いて MFC の等価電気回路の同定を試みた。

2. 研究成果

図 1 に無負荷電圧と負荷電圧の時間変化の一例を示す。図では 8 個の MFC の測定データしかのせていないが、実際は 20 個の MFC の測定を行った。最初の充電期間では、まれに特異な振る舞い

（急激な電圧低下）が観測されたが、おおむねばらつきの少ない、0.8 V でほぼ安定した充電特性が得られた。放電期間においては、負荷電圧は 0.1-0.2 V で安定していた。

2 つの時定数を有する、抵抗と安定位相要素（コンデンサの特性を持つ）の並列接続が 2 つ直列に接続され、これに抵抗成分が直列に接続されている、等価回路を用いてフィッティングができ、

MFC の詳細な内部抵抗の評価が可能であることを示した（図 2 参照）。

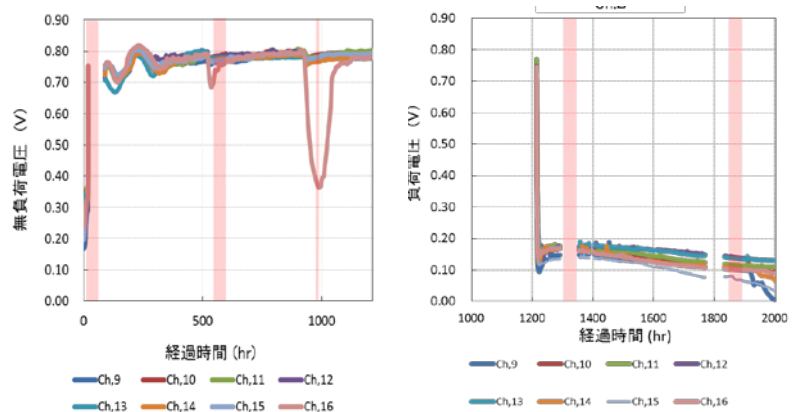


図 1 充電および放電特性の測定例。左図は充電特性（無負荷電圧）、右図は放電特性（負荷電圧）を示す。測定開始が 0 時間である。ピンクのバーは交流インピーダンス法で MFC を測定した時期を表す。

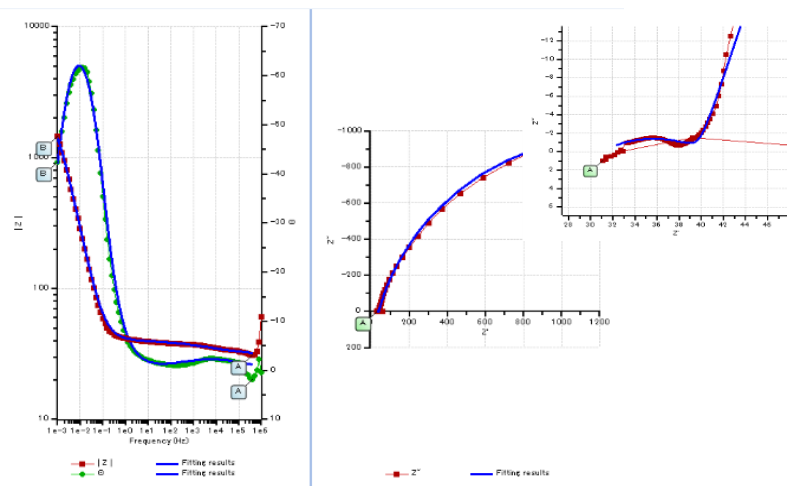


図 2 交流インピーダンス法による測定結果とフィッティング結果の一例。