

有機系廃棄物を用いた土壤微生物燃料電池の小型 LED ライトへの応用

長崎大学大学院 学生会員 ○李 翠 長崎大学大学院 正会員 大嶺 聖
 長崎大学大学院 フェロー会員 蔣 宇静 長崎大学大学院 正会員 杉本 知史

1. はじめに

地球温暖化問題が深刻化する中で、化石燃料に依存しない環境負荷の少ないエネルギーの獲得は重要な課題となっている。現在世界中で様々な代替エネルギーが開発されているが、その中の一つに有機性廃棄物から生産するエネルギーがある。太陽光や風力発電とは異なり、微生物燃料電池は天候に依存せずに夜間や無風でも24時間発電する利点がある。この研究では、土壤微生物燃料電池の開発に注目した。微生物燃料電池とは、微生物の代謝能力を利用して有機物などの燃料（化学エネルギーを保持した物質）を電気エネルギーに変換する装置である。¹⁾環境負荷低減と発電効果を持つ、安価で容易にできる廃棄物の新たな処理、活用法の提案を行い、土壤微生物電池の開発と性能の向上を目指す。

2. 実験方法

土壤微生物燃料電池の実験装置の概略図を図-1 に示す。竹パウダーを腐葉土およびフルボ酸（10 倍希釈）とともに適切に混ぜ合わせ、容器に充填する。混合試料を容器の底に置き、市販の竹炭を混合試料の底に負極として置き、残りの混合試料を竹炭の上に置き、そして粒状炭を正極として一番上に置く。負極の竹炭には、鉄線（長さ45cm）を巻き付けた条件でも実験を行った。いずれも、粒状炭と竹炭



図-1. 実験装置

は電気抵抗が低いものを用いた。実験は温度 25° 一定の条件で行った。このときに発生する電圧を 5 分間隔でデータログで測定する。試料の異なる混合比における土壤微生物燃料電池の実験条件を表 1 に示す。

表 1. 実験条件

番号	試料	条件
1	竹パウダー 200 g + 腐葉土 200 g + フルボ酸 250m l	正極：14×11cm 負極：12×3.5cm
2	竹パウダー 200 g + 腐葉土 200 g + フルボ酸 300m l	正極：14×11cm 負極：12×3.5cm
3	竹パウダー 200 g + 腐葉土 200 g + フルボ酸 300m l	正極：14×11cm 負極：12×3.5cm×2 個

3. 実験結果と考察

図-2 は電流-電圧曲線であり、傾きは内部抵抗、切片は起電力を示している。図-2 から、フルボ酸が少ない場合は電流と電圧が低い。2 と 3 を比較すると、負極の面積は電流に反比例する。図-3 は図-2 によって作った電力曲線である。

微生物電池のシステムの評価に最も多く使われる評価パラメータは、負極の電極表面積当たりの最大発電力である。最大発電力は内部抵抗に依存するため電流-電圧直線から測定する。本研究では、ある時間の電流-電圧直線を描き、最大発電力を求める。 $P = I \times V$ をとることによって、土壤微生物燃料電池の電力出力 P を計算することが可能である。ここで、オームの法則 $I = V / R$ を使用して計算される。微生物燃料電池の最大電力を得るために、電圧値は 4 つの異なる抵抗（10Ω, 100Ω, 470Ω, 1000Ω）を用いて測定する。最大発電力は内部抵抗に依存するため電流-電圧直線から

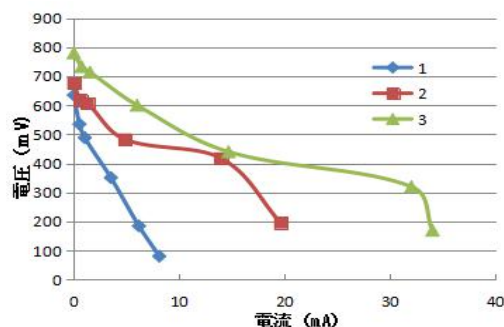


図-2. 電流-電圧曲線

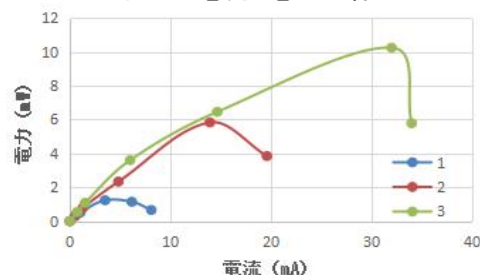


図-3. 電流-電力曲線

求める。外部抵抗を変化させた際の電圧と電流をモニターすることにより測定できる。表2は図-2と図-3から得られた起電力、内部抵抗と単位面積の最大発電力である。

4. 小型LEDライト点灯への応用

地盤工学分野では、湿度や雨量、地下水位などの環境因子を多くの地点で測定することが望まれる。多数の地点で測定を行う場合、測定装置を駆動させる電源の確保が問題になる。微生物燃料電池は、その電

源として注目されている。現在、土壌微生物電池の電圧は最大0.8Vである。²⁾ 土壌微生物電池を実際に使用するには、直列に接続する電池の数を増やすことで電圧を上げることができる。図-4に示すように、ここまでの実験で最適な条件を用いて、土壌微生物電池を12個作製し、6個の土壌微生物燃料電池を直列に接続し、LEDが点灯した。図-5に電流-電圧直線を示す。図-5から、土壌微生物電池の電力は約53.75 mWである。

電圧制御素子“MOSFET”を用いて、微生物燃料電池をLEDライトと組合せ、センサーを駆動できる微生物燃料電池システムを開発する。“MOSFET”は、NチャネルとPチャネルがあり、チャネルの違いにより電圧の加え方が異なる。Nチャネルを用いると水を感じるとライトが点灯し、Pチャネルを用いると水がなくなるとライトが点灯する。実験装置を図-6に示す。電極A、電極B、電極Cを土壌に入れ、水の量が多い場合は赤色のLEDライト（順方向電圧が2V）が点灯し、水分が少ない場合は青色のLEDライト（順方向電圧が3.4V）が点灯できる。LED抵抗の計算式とキルヒホッフの第一法則によれば、赤色LEDと青色LEDを流れる電流はそれぞれ8.5mAと5.5mAであるため、2つのLEDの電力は17mWと18.7mWである。

5. まとめ

本研究では、安価で容易にできる廃棄物の新たな処理、竹パウダーにより発電する土壌微生物燃料電池を開発した。負極は鉄を巻いた竹炭を、正極に粒状炭を用いることで、安価な資材による土壌微生物燃料電池を作製することができた。試料の量と正極の面積は、土壌微生物燃料電池の電力に影響を与える。さらに使用していた試料は、有機物分解が進み堆肥として利用できるため、環境負荷低減と発電効果を持つ有機系廃棄物の有効利用法となり得る。微生物燃料電池は既存の発電法と比較して出力が低いので大規模な発電には不向きだが、小型LEDライトとセンサーを駆動する程度の発電力は備えている。地盤災害危険度の可視化センサーの開発に微生物電池を用いるなど、それらを融合した新たな研究分野の構築を目指す。

参考文献

- 1) K.Omine,V.Sivasankar,S.D.Chicas.Bioelectricity Generation in Soil Microbial Fuel Cells Using Organic Waste.Microbial Fuel Cell Technology for Bioelectricity 7:137-150,Spriger.2018
- 2) L. Cui, K. Omine. Development of soil microbial fuel cells using organic wastes and its application to a battery of small LED light. GeoTech Forum 2019

表2. 内部抵抗と単位面積の最大発電力

	1	2	3
内部抵抗(Ω)	81.65	22.85	35
起電力 V_{max} (V)	0.65	0.8	0.7
単位面積の最大発電力(mW/m^2)	238	2476	714

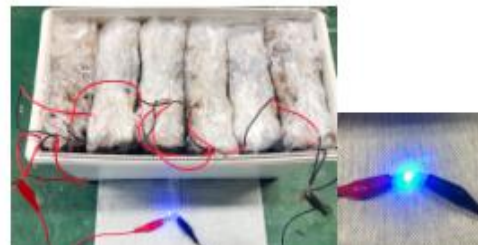


図-4. 土壌微生物燃料電池によるLED点灯

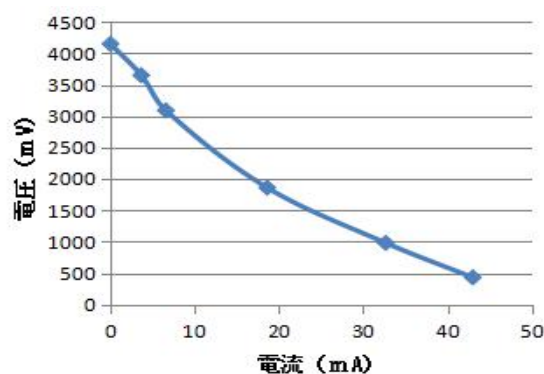


図-5. 電流-電圧曲線

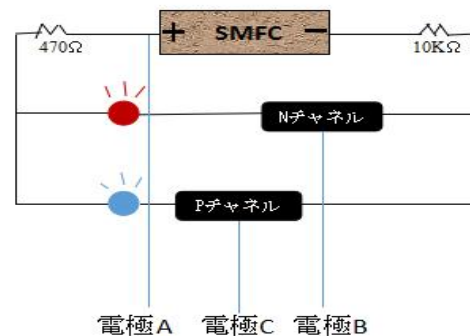


図-6. SMFCを使用した回路図