

落ち葉等の有機系廃棄物を用いた土壤微生物燃料電池の開発

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

1. はじめに

現在、化石燃料の枯渇や地球温暖化などの資源や環境問題を解決するためには、化石燃料への依存を最小限に抑えることが重要である。微生物燃料電池は、微生物を使って有機物中の化学エネルギーを電気エネルギーに直接変換する装置である。これまで、有機物の生分解によって電気を発生させる土壤微生物燃料電池の開発が行われている¹⁾。本研究では、落ち葉等を用いて、微生物の堆肥化により電気を発生させる土壤微生物燃料電池を開発する。土壤微生物燃料電池における混合材料と電極条件の影響を調べ、嫌気性条件下での土壤微生物燃料電池の性能を検討する。土壤微生物燃料電池の性能を向上させるために、より発電効果の高い、安価で簡単な有機系廃棄物の利用方法を提案する。

2. 実験方法

一般に、微生物燃料電池は、空気中の好気性カソードおよび廃水中の嫌気性アノードの条件下で使用される。本研究では、有機性廃棄物が堆肥化する過程で電気を取り出せることのできる土壤微生物燃料電池を開発する。落ち葉、腐葉土および米ぬかを水およびフルボ酸を所定の割合で混合する。厚さ 0.5mm のプラスチック板で作製した容器 (120×70×60mm) に混合試料を嫌気状態となるよう密に詰める。土壤微生物燃料電池の実験装置の概略図を図 1 に示す。落ち葉、腐葉土、米ぬかを水とフルボ酸 (100 倍希釈) とともに適切に混ぜ合わせ、容器に充填する。使用した試料と電極材料を図 2 に示す。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、そして市販の粒状炭 (ヤシ殻活性炭) 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、粒状炭と竹炭は電気抵抗が低い (5Ω 以下) のものを用いた。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 分間隔に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試験条件を表 1 に示す。

表 1. 実験条件

番号	落ち葉	腐葉土	米ぬか	水	フルボ酸	鉄線
1-1	190 g	0	0	190ml	0	あり
1-2	190 g	0	0	0	190ml	あり
1-3	120 g	120 g	0	190ml	0	あり
1-4	120 g	120 g	0	190ml	0	なし
2-1	190 g	0	19 g	190ml	0	あり
2-2	190 g	0	19 g	0	190ml	あり
2-3	120 g	120 g	19 g	190ml	0	あり
2-4	120 g	120 g	19 g	190ml	0	なし

電圧と電流の積、すなわち $P=I \times V$ をとることによって土壤微生物燃料電池のワット (W) で電力出力 P を計算することが可能である。ここで、 V は測定電圧、 R はオーム単位の外部負荷抵抗の既知の値、電流 I の単位はアンペア (A)、オームの法則 $I=V/R$ を使用して計算される。土壤微生物燃料電池の最大電力を得るために、電圧値は 6 つの異なる抵抗 (10, 30, 100, 470, 1000 および 10000 Ω) を用いて測定する。

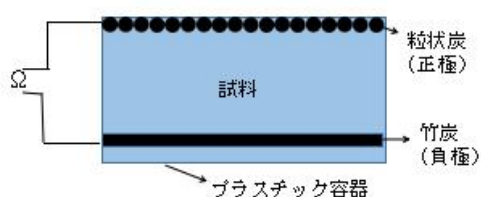


図 1. 実験装置

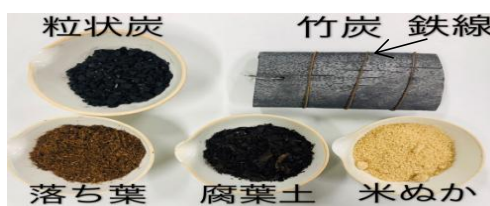


図 2. 使用した試料と電極材料

3. 実験結果と考察

米ぬかは有機肥料として広く用いられている。米ぬかの影響は、米ぬかの有無による土壤微生物燃料電池の電圧

で評価することができる。図3と図4は、外部抵抗を付けていない条件での電圧（起電力）と時間の関係を比較したものである。図3および図4と比較すると、米に加えられる土壌微生物燃料電池の電圧はより高くそして維持時間はより長い。また、鉄による影響も検討した。図3と図4から、鉄線を使用した場合の方が電圧値が高い。水の場合、電圧は0.63Vまで徐々に増加してから下がり始める。フルボ酸を添加すると、電圧は最大0.82Vに達しそしてより長く持続する。混合腐葉土の場合、電圧は0.81Vに達し、これはフルボ酸の結果と同様であった。図4で示されるように、米ぬかを加えた後、鉄線が存在する3つのケースの電圧値は基本的に同じ傾向にある。

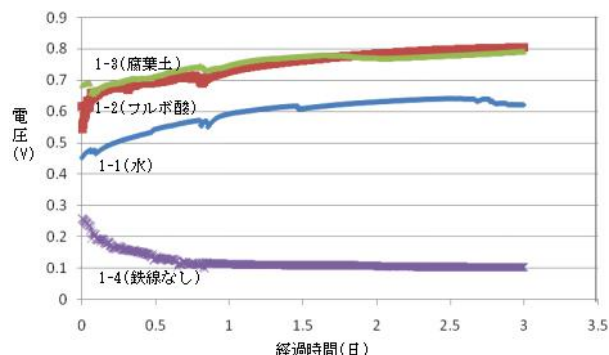


図3. 米ぬかを添加しない実験結果

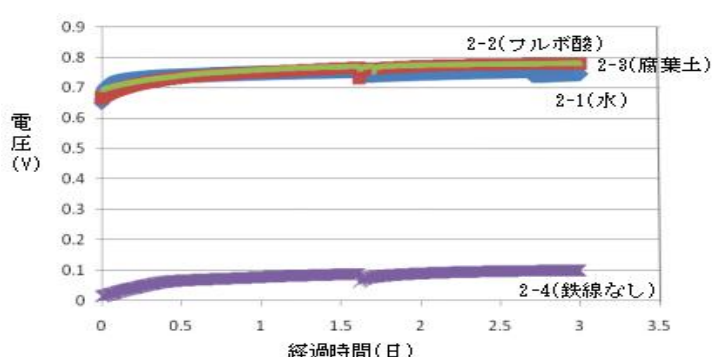
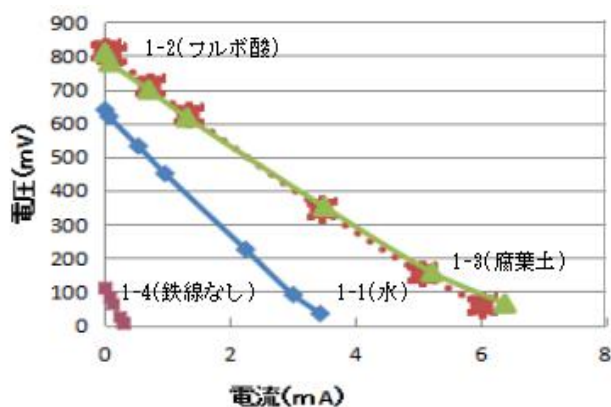
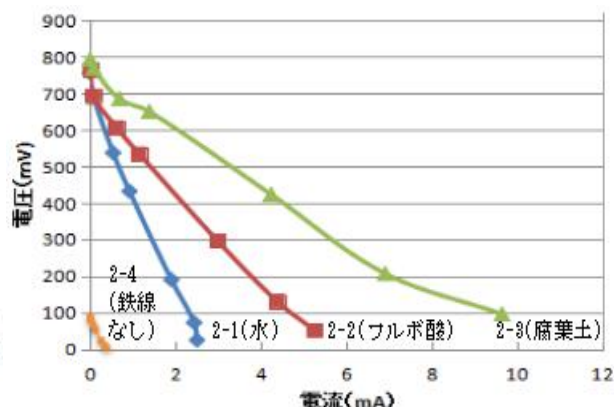


図4. 米ぬかを添加した実験結果

これまで電圧と経過時間の関係について置き述べたが、実際に電池として充電させたり、LEDを点灯させたりするには電力量が大きく影響する。図5は、異なる抵抗を接続して電圧値を測定することによる電流 - 電圧曲線である。表2は図5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。負極の断面積は0.006m²である。最大発電力は、米ぬかなしと米ぬかありの各ケースで、それぞれ216mW/m²と308mW/m²が最大であった。



(a). 米ぬかなし



(b). 米ぬかあり

図5. 電流 - 電圧曲線

表2. 内部抵抗と単位面積の最大発電力

	条件							
	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4
内部抵抗(Ω)	188	136	127	355	304	148	80	237
起電力 V _{max} (V)	0.64	0.82	0.81	0.11	0.76	0.77	0.77	0.09
単位面積の最大発電力(mW/m ²)	91	2066	216	1	79	167	308	1

4. 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、落ち葉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、安価な資材による微生物燃料電池を作製することができた。また、落ち葉に米ぬかを加えることで発電力の向上につながった。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。将来実用化を実現するために、より最適な材料の配合割合を検討していきたい。

5. 参考文献

1) K. Omine, V. Sivasankar, S. D. Chicas (2018) Bioelectricity Generation in Soil Microbial Fuel Cells Using Organic Waste. Microbial Fuel Cell Technology for Bioelectricity 7:137-150, Springer.