

休耕放棄地を利用した微生物発電のための最適な電極に関する実験的研究

第一工業大学 工学部 (学) ○前原日和, (正) 石本 弘治

1. はじめに

概ね過去 1 年以上の間、作物の栽培が行われておらず、今後も耕作に使われない農地のことを耕作放棄地という。農林水産省「荒廃農地の現状と対策について」や、全国農業会議所「地域における利用農地担い手農地利用調査」などによれば、耕作放棄地は全国で 42 万 3 千 ha であり、耕作地のおよそ 10% を占める。中山間地域での増加が著しく、このような状況は、過酷な農業労働からの若者の農業離れに伴う農業従事者の高齢化により、耕作したくても耕作出来ないことが一番の要因であるとしている。

そこで、農林水産省では、耕作放棄地の削減対策のひとつとして、農作業の省力化・労力の軽減や農業技術の継承を目的としたロボット技術や ICT 等の先端技術を活用した超省力化や高品質生産等を可能にする新たな農業形態いわゆるスマート農業の推進構想の検討が進められている。とりわけ各種センサやデータの送信のための機器には電力が欠かせない。太陽電池や小型風力発電機などで対応することも可能であるが、気象に影響されるなど発電が不安定であり、またその後の再耕作が困難となることが考えられる。

ある種の微生物は、有機物を分解してエネルギーを得る際に電子を体内の物質に渡す呼吸代謝を行っている。耕作放棄地の土中にも存在するこれらの微生物から放出する電子を取り出すことが出来れば、スマート農業のための各種センサの電源確保と耕作放棄地の有効利用を図ることが出来る。

微生物から発生する電子の動きを使って発電させる微生物燃料電池 MFC (Microbial Fuel Cell) の最近の研究により、その機構が明らかになってきた。しかし、電極の材質やコストなどは、必ずしも耕作放棄地などの農地において適したものとは言えないことから、いくつかの材質の電極を用い耕作放棄地において適した電極を明らかにするため研究を開始した。

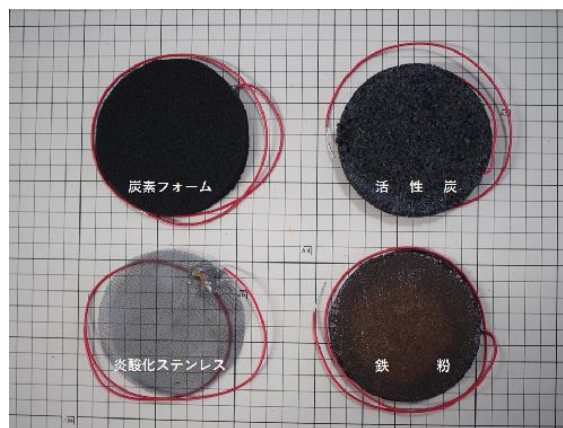
2. 実験の方法

2.1 電極の材料

微生物からの電子転送には、大別して「媒介転送」、「ナノ・ワイヤー転送」、「直接転送」があり、電気出力を取り出

すためには、カソード(正極)とアノード(負極)の電極が必要となる。特に、微生物からアノードへの電子転送効率に大きく依存するものと考えられるため、MFC では効率的な電極の選定が重要となってくる。

筆者らはこれまでに水田の土を使い、両極とも炭素フォームを用い微生物を活性化させると 0.04W/m^2 程度の出力を回収出来ることを明らかにしている¹⁾。さらに大きな出力を得るため、本研究ではコスト、導電性と土壌への影響を考慮して、以下の炭素系材料と金属系材料を電極材料として選定し実験を試みた。写真 1 にそれぞれの電極を示した。



上段：炭素フォーム電極:CF, 活性炭電極:AC

下段：炎酸化ステンレス網電極:FOS, 鉄粉電極:IP

写真1 各種電極

① 炭素フォーム電極:CF

10 mm厚の静電気防止シート F-10-B ESD フォーム(ホーザン株式会社製)を用い直径 95 mmの円形に加工を施し、リード線を挿し入れ電極とした。

② 活性炭電極:AC

脱臭用ヤシ殻活性炭にコーンスターチを主成分とする市販のでんぷん糊(含水率 78%)を活性炭の質量比で 50% を添加し、直径 95 mm高さ 10 mmの円筒形型枠に押し詰め固化成型した。その後定温乾燥機 SPF-450(SIBATA 製)により 40°C で 5 日間乾燥し電極とした。また、高さ 5 mmの位置にリード線を結合したステンレス網を挿し入れ電極とした。

③ 炎酸化ステンレス網電極:FOS

表面が平滑な金属電極では微生物が付着しにくく、直接転送電極としては不向きであることから、入手が容易な「ステンレス製あく取り器」から網を取り外し山下らの研究²⁾などを参考にハンディガスバーナーで溶融しないように 5 分間

加熱し炭酸化処理を行った。その後、リード線をはんだ付けにて接合させ電極とした。

④ 鉄粉電極:IP

活性炭電極と同様の方法にて鉄粉を固化成型し、リード線を接合させたステンレス網を挿し入れ電極とした。

2.2 実験供試体

ポリプロピレン製容器(900ml)に先ず容器下部から 10 mmの厚さに試料土を押し付けながら投入し、リード線を通したそれぞれのアノード電極を敷いた。さらにその上に 50 mm厚の試料土を投入した。最後にリード線を通した炭素フォームのカソード電極を最上部に押しつけ設置し実験に供した。なお、3 年間耕作を行っていない水田の乾燥土にイオン交換水を加え飽和させ試料土とした。

2.3 測定方法

室温 20-25℃の雰囲気において、シングルボードコンピュータ Raspberry Pi[®]を用いた自作の 4 チャンネルのデータロガーにより、電圧の変化を計測した。

3. 実験結果

電極ごとの日平均電圧の変化を図1に示した。アノードに炭酸化ステンレスと鉄粉を使った場合は、当初から正の出力が確認された。しかし、二種類の炭素系材料の場合は、出力が得られていないような挙動を示した。デジタルマルチメータで手動測定すると、炭素フォームの場合は-1.75V、活性炭の場合では-3.43Vの最大電圧を得た。

これは、このような現象を当初に想定しておらず、ローガーのセンサが負の出力の測定に対応していなかったからであり、今後の計測を含めた実用化にあたっての課題である。

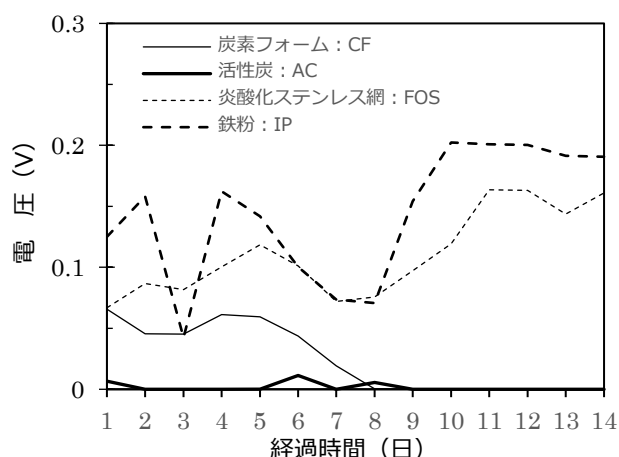


図1 アノード電極の違いによる電圧の変化

電圧の出力が安定後、電流値を計測し最大発生電圧を求めた。出力電圧を絶対値として表示し図2に示した。

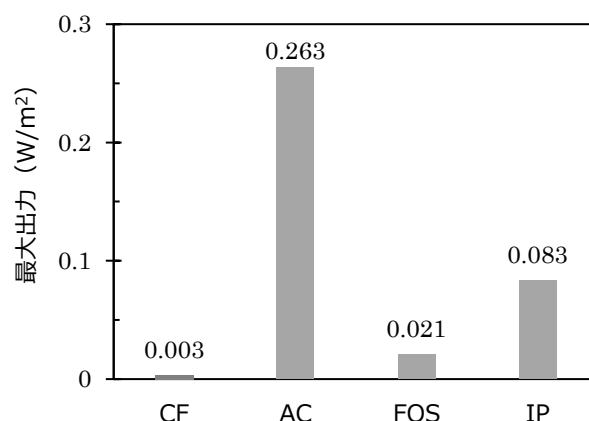


図2 アノード電極の違いによる発生最大出力

4. まとめ

本研究において得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 炭酸化ステンレス網、鉄粉、活性炭の各電極を用いた場合、これまでに確認した炭素フォームに比べ高い発電性能を示した。特に活性炭電極は飛躍的な出力向上が見られ、およそ10日経過後から安定する。
- 2) 時間経過とともに炭素系の二つの電極の場合は、出力が正逆転する現象が見られる。これは、アノードとカソードが逆転していることを意味している。また、炭素フォームの場合は、正電圧から時間経過とともに負電圧に変化していくことが認められた。微生物からの何らかの電子伝送機構が働いていることが示唆される。
- 3) 老朽化水田においては、収穫が減量するため炭素、鉄、マンガンなどの補給が有効であると報告がある³⁾。活性炭および鉄粉は、耕作再開時にそのまま土壌リフレッシュ材としての再利用することも可能と考えられる。

5. 今後の予定

本研究では、安価で耕作地にとって影響が少ないと考えられる幾つかの材料をアノード電極に用い、発電出力の違いを検証した。今後、得られた結果を基にカソード電極との材質の組合せや配置などの検討を行い、耕作放棄地における最適な微生物発電システムの実用化を目指していく。

参考文献:

- 1) 前原日和, 石本弘治, 第29回環境社会地質学会シンポジウム論文集, pp.73-76, 2019
- 2) Yamashita et al., Enhanced electrical power generation using flame-oxidized stainless steel anode in MFC and the anodic community structure, Biotechnology for biofuels, 2016
- 3) 例えば, 北海道農業試験所, 第20回農業新技術発表会資料, No4, 2002

謝辞:

本研究にあたり、試料土を快く提供して頂きました霧島市立国分中央高校榎木教諭に御礼を申し上げます。

キーワード 耕作放棄地, 微生物燃料電池, 発電菌, 電極

連絡先 〒899-4395 霧島市国分中央 1-10-2 第一工業大学 工学部 自然環境工学科 TEL0995-45-0640