

研究成果報告書

研 究 題 目		樹木を用いた微生物燃料電池の研究	実 施 年 度
			2021～2022
代 表 研 究 者	所 属	国立大学法人 山口大学 大学院創成科学研究科（工学） 准教授 工学博士	
	氏 名	アジズル モクスド 印	

1. 研究の目的・背景

研究の背景・ねらい

【背景】エネルギーは、経済成長と、社会的公平性とを結び、世界が繁栄するために必要な黄金の糸といえる。しかしながら、従来のエネルギー源である化石燃料は限られており、環境にも優しくない。SDG's を実現するために、持続可能なエネルギー、いわゆる再生可能エネルギーの一つとして全く新しいクリーンエネルギー源を提案するものである。

【特色】本研究提案は、樹木の地下に張る根付近の土壤中に存在する微生物を利用した革新的な微生物燃料電池技術を提案するものである。本提案の生物由来の電気は、デバイスである微生物燃料電池（MFC）によるもので、化学エネルギーを電気に変換する触媒として電気化学的に活性なバクテリア（EAB）を使用する。光合成により樹木の緑の葉に炭水化物を生成するが、その約 60% を根から土壤中に放出される。EAB はこの炭水化物を生分解し、電子を放出する。この電子を地中に配置した電極により集めることで発電する方法である。

【予想される結果と意義】開発途上国においては、いまだに夜はろうそくやランプの明り、あるいは化石燃料を利用する小型の発電機のみで生活している電気のインフラのない地域が存在している。それら地域は多くが穀物栽培の畑や、樹木が生い茂っている地域でもある。本提案は、太陽電池や風力発電といった設備が不要で費用効果が高く環境に優しい、まさに持続可能なエネルギー源である。簡単な試算によれば、樹木から $5\sim 10\text{W/m}^2$ の発電を期待でき、LED 電球の点灯や携帯電話の充電などの電源として利用できる。

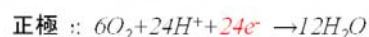
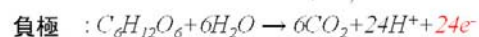
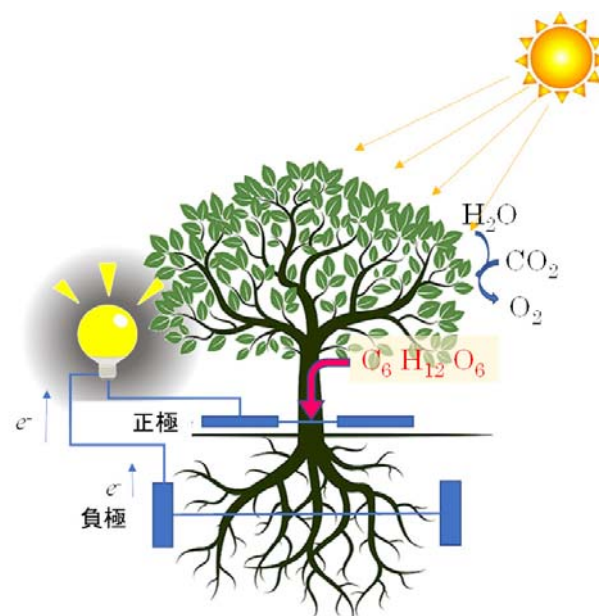


図 1 「樹木微生物燃料電池」の原理を示した模式図

本研究の目的

【研究の全体構想】本提案の目的は、微生物の代謝を利用した、いわば「樹木微生物燃料電池」の実現である。図1にその概念を模式的に示す。

現在、エネルギー源の多くは依然として太陽が育んだ動植物の死骸が長い年月をかけて変化生成したものである。現在実用化・あるいは研究開発が進められている再生可能エネルギーは全て、太陽エネルギーを利用したものである。申請者はこれまで、これまでの再生エネルギーとは異なる、微生物の代謝から得られる電気エネルギーに注目して研究を進めてきた。生ごみを食料として繁殖する微生物の中にも、電気化学的に活性なバクテリア（EAB）が存在し微生物燃料電池を構成することができる。これをさらに進めて、植物が生産する糖を食料として繁殖する地中微生物により、稲などの水生植物を利用して発電する、植物微生物燃料電池の研究を行ってきた。

植物微生物燃料電池の研究は、海外でも稲などの水生の植物で多くの研究例はあるが、いまだに実用には供されていない。稲などを発電源とすると、栽培中の夏から初秋にかけては発電するものの、刈り取りが終わった秋から春には発電は望めない。四季を通じて発電させるためには、植物として樹木が利用できるのではないかと発想した。図2は観葉植物を利用して電極を配置し発電を確認した様子である。

研究の主な目的は、樹木微生物燃料電池により、発電量 5～10W/m²、を達成する見通しを得ることである。そのための研究課題として、

- 1) 在来の中微生物を中心に、化学物質を変換する触媒として効果的な電気化学活性細菌（EAB）を抽出・選抜し、その他微生物と組み合わせ、発電および継続生存に好適な微生物群候補とする。
- 2) 低コストで環境に優しい電極材料を開発する。
- 3) さまざまな種類の木に適用し、好適な電極配置や埋設方法、季節変動を含む樹木の生育環境が発電に及ぼす影響の確認。

研究課題1) については、これまでの微生物燃料電池、植物微生物燃料電池研究の知見から、身近な微生物を持ちることが効果的であることが明らかになっている。

研究課題2) については、環境にやさしい、生物由来の炭化物の利用を積極的に進めたい。例えば、ジュート茎木炭およびジュート繊維木炭などの可能性を検討していく。

研究課題3) については、常緑樹を中心に、ポットで苗木を育成しながら、発電実験を実施する。併せて、キャンパス内の植栽から常緑樹を選んで発電実験を実施する。



図2 観葉植物（樹木）を用いた発電確認。電圧 0.512V を測定している。

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

樹木を用いた PMFC の実験には、山口大学工学部のキャンパス内にあるクロガネの木を選んで実施した。最初の大きな課題は、大きな樹木に対して PMFC を構成する部材を、樹木のどこにどのように配置すべきかであった。観葉植物などの小型の植物では PMFC の負極は微生物が多く生息する植物の根の下に、容易に設置することができる。一方、成長した樹木の根は非常に深く、根の下に負極を設置することは不可能である。そこで、陰極、陽極を適正に構成したバイオ電池のユニットを製作し、木の周囲や根元付近に、配置する新しいシステムを開発した。図 3 は、上述のクロガネに設置した PMFC から発生する電圧の経時変化をしめす。本樹木を用いた PMFC においては、最大 10000mV 以上の電圧が発生していることが確認できるが、1 本の木から発生する出力電圧としては、これまでで最大の値である。

図 4 は、1 日の出力電圧の時間変化の一例である。1 日単位でも出力電圧は変化しているが、日照がない暗い時間帯でも高い発電を示していることが見てとれる。この結果は、日没後に発電量が急速に低下する水稲用 PMFC の先行研究とは大きく異なるものである。大きな樹木の場合、緑の葉で光合成により合成された糖が幹を下降し根に達するまで

時間がかかることを示しているように考えられるが、日照状況やその他の要因との関係を精査する必要があると考える。いずれにしろ、安定な出力が得られることを示した点で、この研究結果は意義がある。しかしながら、パワー密度としては、 3000mW/m^2 であったことから、今後は、この樹木を用いた PMFC の開発では、さらなる電力密度の向上が課題である。

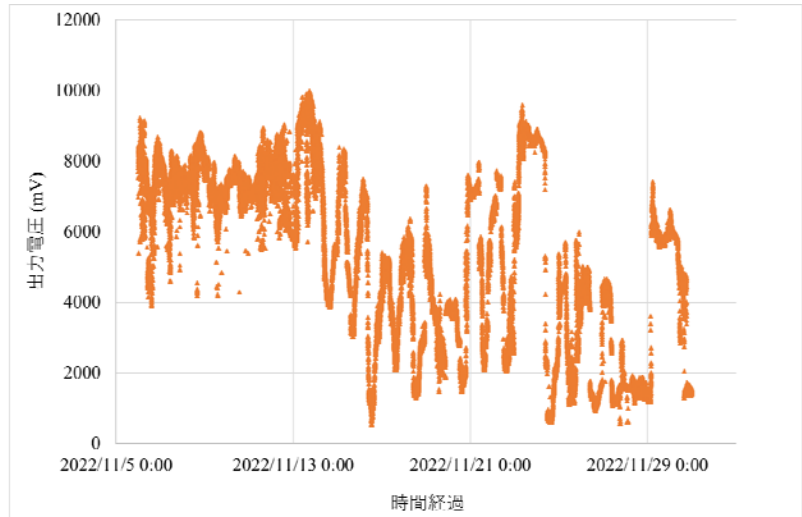


図 3. クロガネに適用した PMFC 出力電圧の経時変化

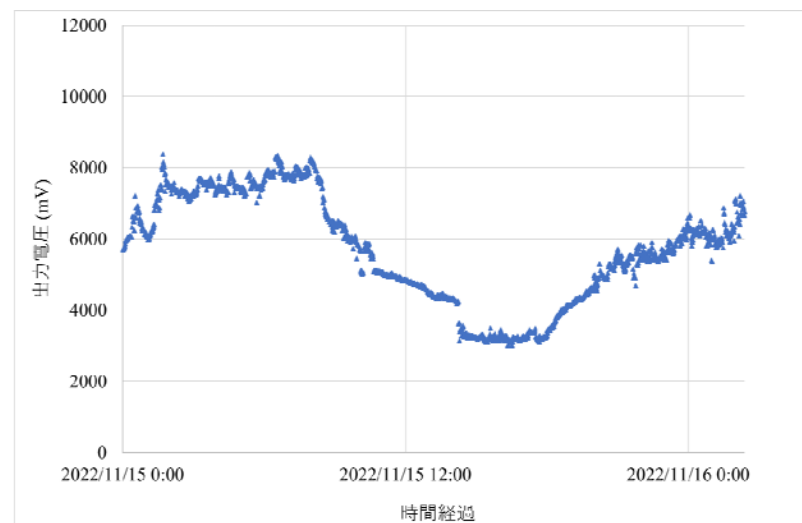


図 4. クロガネを用いた PMFC の出力電圧の経時変化（1 日当たり）

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

予算は全額研究費に充当しましたが、国際会議出席のための旅費は、COVID-19 パンデミック時の渡航制限とオンライン会議のため、使用しませんでした。旅費の代わりに、実験材料の購入や実験器具の追加購入に充当しました。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本技術の今後の展望は、樹木を用いた植物微生物燃料電池（PMFC）を広く普及させることである。

- 1) 気温、降雨量、湿度などの気象条件の影響について、PMFC では慎重に確認する必要がある。
- 2) PMFC の適用範囲を拡大する上では、常緑樹と落葉樹の発電量の季節的な影響についても、今後モニタリングしていく必要がある。落葉樹は季節の影響で葉の色が変わり、秋から冬にかけては落葉する。この点については、今後の研究において確認が必要である。
- 3) さらに、PMFC の適用範囲を拡大する上では、果実を実らせる樹木もあるが、結実による発電効果はどうなるのかも興味深い研究となる。
- 4) PMFC の製造コストを下げるために、農業廃棄物や缶から電極材を製造する研究を行う必要がある。
- 5) 現段階（最大 3000mW/m²）からの出力密度向上は、将来的には少なくとも 6000mW/m²）までには向上させる計画である。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

1. Bioelectricity generation from grown-up tree. Under preparation for submitting to journal “Nature”.