

[事業報告]

本学発“多孔質体挿入により性能改善した微生物発電”の その後の社会実装に向けた展開

森田 廣

山陽小野田市立山口東京理科大学 工学部電気工学科

Further development toward social implementation of “microbial power generation with improved performance by inserting porous materials” invented by our university

Hiroshi MORITA

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Sanyo-Onoda City University

要 約

本学在職中に筆者の研究室にて研究し発明した「無機多孔質体を用いた微生物燃料電池」は従来の10倍の発電出力をもたらし、現状の化石燃料依存の電気エネルギーに置き換わる、もしくは補完する新たなエネルギーハーベスティング技術として脚光を浴びている。筆者は大学退職後、旧森田研究室の卒業生諸君とこれまで培った微生物発電の基盤技術を世に出し、人類のエネルギー問題に少なからぬ貢献をすべく、無機多孔質体を製造している鳥取県の企業を指導して鳥取市郊外の休耕田にて実証試験を進めてきた。2022年から2023年にかけて、田圃に64基の実験用微生物燃料電池を設置し、屋外での季節をまたいでの発電データを取得するとともに、発電特性の向上に関する実験や自然環境下での稼働で発現した課題に対する改善を行ってきた。この間には、田圃で発電した電力を用いて隣接設置した街路灯を灯したり、クリスマスや桜の花見時期の電飾もタイムリーに行ったり、スマホ等の充電にも使えることを実証し、実用化に一步近づけることができた。現状ではまだ商用電力を置き換えるまでには至っていないが、電気の通じていない遠隔地や離島、開発途上国での活用や近年頻発する台風、大雨の災害時等の緊急電源には好適な技術として実用化できると考えている。

Abstract

While working at Sanyo-onoda City University, the author researched and invented the microbial fuel cell utilizing inorganic porous materials, which has a power generation capacity ten times greater than conventional ones. This achievement is attracting attention as an innovative technology that has the potential to replace or supplement the current electrical energy dependence on fossil fuels. After retiring from university, the author wanted to put the research results achieved at the former Morita laboratory into practical use in order to make a significant contribution to humanity's energy problems. Then, the author conducted the cooperating company in Tottori Prefecture that manufactures inorganic porous materials to carry out practical tests in a fallow field on the outskirts of Tottori City. From 2022 to 2023, 64 experimental microbial fuel cells were installed at the test site, and outdoor power generation data was obtained across seasons. During this period, we also conducted in the laboratory experiments to improve power generation and made improvements to problems that emerged during operation in natural environments. Furthermore, during this period, the electricity generated was used to light street- lamps and used for illumination during Christmas and cherry blossom viewing seasons, bringing us one step closer to practical application. At present, microbial power generation has not yet reached the point where it can replace commercial electricity, but it is suitable for use in remote areas, remote islands, and developing countries where electricity is not available, and as an emergency power source during disasters such as typhoons and heavy rain that have been occurring frequently in recent years. We believe that this technology can be put to practical use as a suitable power source in the situations described above.

Key words: microbial power generation, microbial fuel cells, inorganic porous materials

キーワード: 微生物発電, 微生物燃料電池, 無機多孔質体

1. はじめに

近年、利用が広がっている新規の再生可能エネルギーは太陽光や風力が中心であるが、これらは周辺環境への配慮対策も含め広い設置面積を必要とし、国土面積の狭い日本では課題も多い。また、こうしたエネルギーによる発電は天候や季節変動を含む自然環境に大きく左右されることから出力が一定せず、安定した使用が難しい。加えて、設備費や設置費用が高価といった克服すべき課題が多かった。

以上のような背景から、既存の再生可能エネルギーからの発電を補完する新たな発電方法が求められてきた。微生物燃料電池(MFC: Microbial Fuel Cell)は、これに対応する発電技術のひとつである。微生物燃料電池とは、微生物が有機物を代謝する際に放出する電子を電極で回収することで電力を生み出す微生物発電装置である¹⁾。太陽光発電や風力発電に比べ、設備費や維持費が安価に抑えられ、対環境性の向上や低コストで運用できるという利点から期待されているが、出力が低いことから実用には至っていない。特に不特定多数の微生物種を用いる堆積型(土壌)微生物燃料電池(SMFC: Sediment Microbial Fuel Cell)は簡単な構造から扱い易く、実用化の課題を明確にして解決をもたらす研究開発が望まれている。筆者は、このSMFCに着目し、電極間に配設した多孔質体により発電の源泉である微生物の集積や活動の長期化を図るための有機物の蓄積を行えることを見出し、性能向上のための基本構成の見直しを行ってきた。さらに、これまでのほとんどの研究は屋内実験室の閉鎖系電池で行われてきたが、今後の実用化には微生物や有機物の供給が継続的に行える屋外での発電に注目すべきであると考えた。その結果、筆者らは、環境条件の厳しい屋外での発電へ向けた発電装置構成を室内でのモデル実験により開発し、それらを屋外用発電機に適用した長期間の実証実験を行った。

2. 本学での微生物発電研究着手

東日本大震災による福島原子力発電所の事故は日本のエネルギー政策の転換を余儀なくし、代替エネルギー開発、分散発電への機運が高まった。そして、その後も立て続けに日本列島を襲った台風や大雨の自然災害は、エネルギー議論に拍車をかけた。北関東で震災を体験した直後の2011年3月に本学に着任した筆者は、それまで企業で培った半導体や電子デバイスの知識を研究の基盤に据えつつも、この大学においては必然的に、環境に寄り沿った、この地に潜在する自然エネルギーを用いた発電の研究

を行う思いに至った。実際、筆者の研究室で学んだ歴代学生諸君と共に10年にわたり行った研究の中身は、本学紀要にて既報²⁾のように、太陽光発電、風力発電、微生物発電の“地産地消エネルギー”に関するものであった。

他のふたつに比べると微生物発電は筆者にとり新しいテーマであった。地球上に存在する微生物は有機物を分解して生存しており、微生物発電とは、微生物の電極呼吸を利用して、有機物の持つ化学エネルギーを電気エネルギーに変換するものである。微生物の代謝と電気との関係は100年も前から知られていたが、化石燃料中心に電力が賄われてきた間は一般の関心は薄く、技術的な発展はなかった。それが、20世紀の終わりに体外に電子を放出しマイナス極に伝達する能力のある微生物が発見され、21世紀の初めには微生物燃料電池の構造が確立された。丁度、人類のエネルギー・環境問題が脚光を浴びた時期と合致し、関心が高まっていたことが筆者の背中を押した。研究室の学生たちと身近にあるエネルギー源の探索(エネルギーハーベスティング)を行い、微生物発電に辿り着いたのである。筆者らは試行錯誤を繰り返し、山口県各地の公園、水路、田畑、海等で採取した土壌や水の中に存在する微生物が発電可能であることを確認し、2016年から本格的に微生物発電の研究を開始した。予備的な実験を繰り返した結果、課題として、発電電力量が不十分なこと(①)と、長期間の発電継続性が不明なこと(②)から実用化にはブレークスルーが必要なことを認識し、研究計画を策定した。卒研究生や大学院生による地道な微生物燃料電池の構成要素の改良や機構の洞察努力により発電量や発電時間の改善がみられ、多くの知見を得て、学術発表³⁻⁶⁾を行うことができたが、まだ抜本対策には至らなかった。それでも、様々な実験結果から方向性は見え、①に対しては、微生物の集積度を上げることにより発電電力が改善されること、②の発電維持のためには微生物の活動継続に必要な有機物の補給が重要であることを研究室として把握できた。

3. 本学での微生物発電研究の成果

上述の問題認識に基づき、卒研究生や大学院生が行った様々な実験の結果、前章の①②の課題に対しての解決手段として導き出したのが、無機多孔質体を微生物燃料電池内に挿入することである⁷⁾。筆者は別の研究⁸⁾で用いた多孔質体(株鳥取再資源化研究所製 Porous α [®])の有する特性をヒントに、発電量増大に寄与する微生物と発電の持続に必要な有機物を多孔質体空隙に取り込み、集積する解決方法を発想した。微生物と有機物を多孔質体により

捕捉、集積化することが、実用化を妨げているふたつの課題解決に有効であるとして実験を行った。Fig. 1の電池を製作し、開放電圧 (V_{oc}) と短絡電流 (I_{sc}) から求めた理想飽和電力 ($P=V_{oc} \times I_{sc}$) の時間推移を測定した。発電主体が自然からの採取物であるために、Fig. 2のように常に多数の電池を作製して得られた測定値を統計的に処理した。

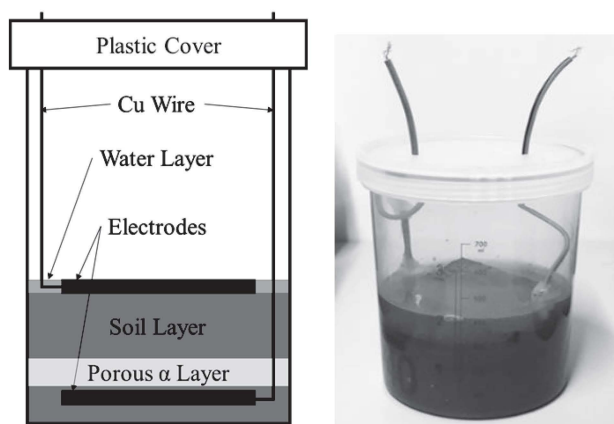


Fig.1. 土壌型微生物燃料電池 (構成と写真)

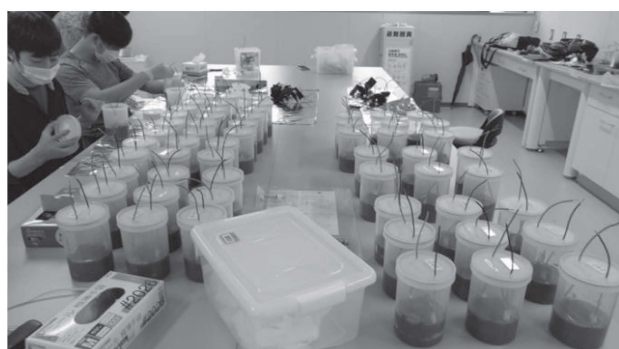


Fig.2. 測定用電池が並んだ実験風景

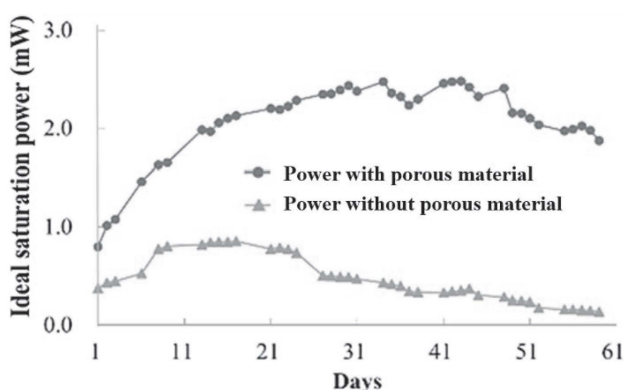


Fig.3. 多孔質体挿入による発電電力増加

多孔質体挿入有無での結果はFig.3となり、予想通り、多孔質体挿入により、発電電力が増大し、平均して6倍、最大では約10倍の出力増加が確認できた。多孔質体を挿入した電池では4週間程度まで増加を続け、以後一定化し、

7週間後からは若干の減少があった。多孔質体を挿入しない電池では出力は1週間程度で最大に達するが、3週間後から徐々に減少に転じた。微生物燃料電池では微生物が有機物を分解した際に、電子、プロトン、二酸化炭素を発生する。電子を回収するアノード電極と電子を放出するカソード電極での電子交換反応を利用して外部に電気として取り出すことができる。ここに多孔質体を挿入したことにより微生物と有機物がアノード近傍に十分に捕捉され、微生物が有機物を分解して発生する電子・プロトンが増加した。これにより、アノードでの電子の回収率が改善され、カソードでの還元反応がプロトンの発生量の増加によって促進された。多孔質体を挿入した電池で発電電力が増加した主因はこのように考えられる。しかし、使用した電池は容器を使った閉鎖系で行ったため、微生物が分解する内部の有機物量が時間と共に減少していくことから、7週間後には出力が減少してしまうと考えられる。

予備実験で明らかにした実用化に対するふたつの課題は一応改善されたもののまだ不十分である。そこで次のフェーズでは①の発電量増大を微生物燃料電池内部の電子伝達モデルに基づいて考えた。微生物発電の原理は前述のように、微生物が有機物を嫌氣的に酸化する際のエネルギーを電気に変換する反応と理解されている。この場合、微生物からアノードへの電子移動については、微生物が電極に直接接して電子を電極に伝える直接電子伝達とメディエータと呼ばれる電子伝達物質の介在がある間接電子伝達の双方の様式があると考えられている。これまでのアノードへの電子伝達は前者が担っているとしてきたが、筆者はメディエータとなる物質をアノードと微生物の間に設ければその寄与による電流増加が見込まれると考えた。例えば、鉄は後者におけるメディエータとして働き、電子伝達を促進する効果を有するはずである。すなわち、三価の鉄イオン (Fe^{3+}) が微生物から電子を受容し、二価の鉄イオン (Fe^{2+}) となり、アノード電極へ電子を伝達して三価の鉄イオン (Fe^{3+}) に戻ると考えることができる。アノード近傍に鉄酸化物を混入介在させれば、上記のメディエータ効果により、それが無い場合に比べて発電電力の増加があると考えた。実際に、鉄酸化物を添加した電池を作製してみるとFig.4に示すように電池出力が向上した。添加酸化物起因の鉄イオンがアノード電極付近に存在することにより微生物が電極へ電子を受け渡しやすい環境が整えられ、アノード電極での電子回収量が増加、出力が増加した結果と考えられる。課題①に対する実用化へ向けての大きな改善方法を見出すことに成功した⁹⁾。

続いて②の課題に対する解決策には幾つかの実験結果がヒントになった。電池に挿入する前の多孔質体を土中に

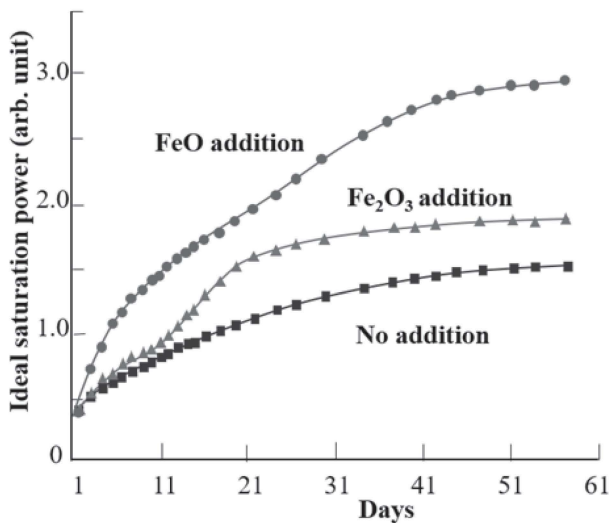


Fig.4. 微生物燃料電池への鉄酸化物添加効果



Fig.5. 大学構内中庭の微生物発電実験

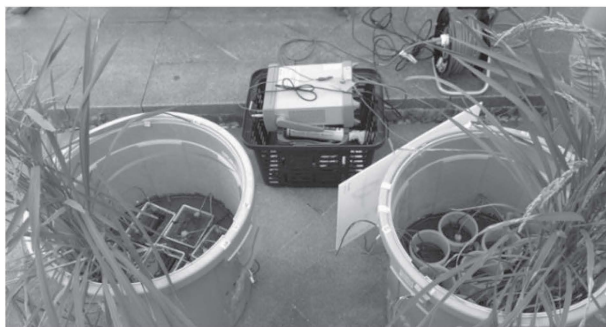


Fig.6. 疑似田圃に挿入した穴空き電池

埋設しておくことにより、細孔へ微生物と有機物が集積され、電池化直後から発電が可能となり、さらに電池寿命の長期化が判明した¹⁰⁾。また、電池構成の中に植物を植えた実験結果から発電の継続性が確認された。これらの知見から電池を閉鎖系ではなく、屋外の環境の中に設置することにより自然環境からの有機物の供給(植物の光合成による有機物生成、田・池・用水等からの有機物流入)や微生物の流入や新陳代謝が行われ、発電の継続性が保持されると予測できた。筆者らはこの実証のための実験を屋外環境で行った¹¹⁾。Fig.5に示すように、キャンパス

の建屋の中庭に稲を植えたポリ容器からなる疑似田圃を作り、そこにFig.6のように、穴をあけて外部との微生物や有機物の往来を可能とした微生物燃料電池を埋め込み、長時間にわたり発電の状況を観察した。また、Fig.7に示すような7.5Lのポリバケツをそのまま電池にして植栽を施したり、120Lの大型容器に電極を並べたりしたものも屋外実験に供した。

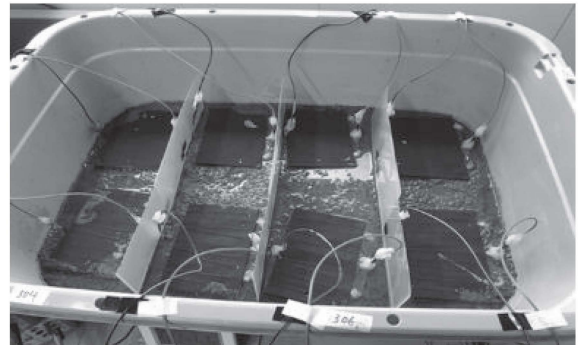


Fig.7. 疑似田圃に組んだ微生物燃料電池

結果の一例をFig.8に示す。予測通り、電池内への外部からの微生物の流入や入れ替わり、微生物の活動継続に必要な有機物の供給が行われ、発電維持時間が長くなった。

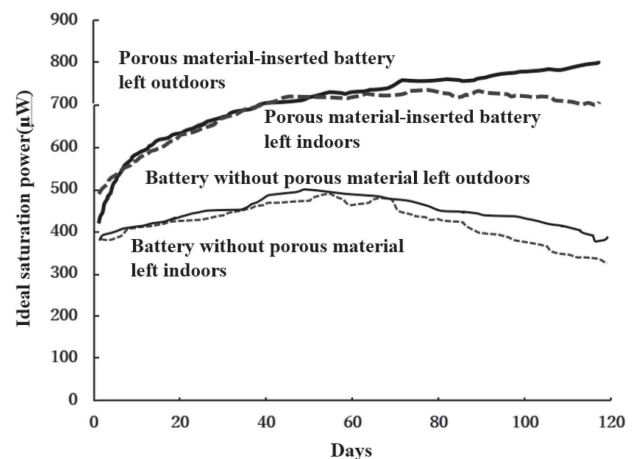


Fig.8. 屋内外に設置した多孔質体有無の微生物燃料電池の発電電力推移比較

4. 微生物発電の社会実装に向けた取組み

以上の本学における研究成果に基づき、フィールド試験を企画した。微生物燃料電池出力向上に大きな効果を発揮した無機多孔質体(商品名;ポラスα[®])の製造元である(株)鳥取再資源化研究所の協力を得て、鳥取市鹿野町にある休耕田にて屋外実験を開始した。2021年秋から準備を開始したが、コロナ感染症の蔓延により実務ができなく、本格的な実証実験は2022年夏からであった。



Fig.9. 田圃埋設用微生物燃料電池

具体的にはFig.9のような、直径30cm、深さ45cmの円筒形状のプラスチック容器(18L)に225cm²の電極を設置した土壌微生物燃料電池を田圃に埋設した(Fig.10)。



Fig.10. 田圃に埋設した微生物燃料電池群

7月から9月にかけて開始した第一次の試験には、発電の継続性を保つために微生物や有機物が田圃から流入できるように容器の壁に円形の穴をあけた電池と比較用の穴の無い閉鎖系の電池を混在させた。7月には田圃の北側に5個を直線状に設置、気温や降水量の影響や田圃の水量や植物の繁茂量、水棲昆虫の動静など様々な影響を観察しつつ定期的に開放電圧(V_{oc})、短絡電流(I_{sc})を測定し、理想飽和電力(P)を観測した。次に、9月には既設置電池群のメンテナンスを行いながら直線状に5個の電池を加えた。

さらに11月には第二次の試験用に22個(内2個は10個ずつを直線に並べた外に敷設したモニター用)の新規の電池を設置した。第二次の電池は電極の面積や材料は第一次と

同一であるが、電極面からの電流取り出し用電極の形状や下部電極近傍に設けた多孔質体などの量を小型実験電池で確認した最適値に合わせた。容器壁に穴はあけていない。11月の第二次電池群の設置により、屋外試験フィールドである田圃の北側に32個の電池群が備わり、秋から冬を越して春までの間、長期間の発電推移を観察することとした。田圃の北側に設置した電池群の様子をFig.11に示す。



Fig.11. 田圃北側に設置した電池群

定期的なメンテナンス(電池・電極外観や配線の異常チェックと是正、水門開閉による水位調節、田圃の草取りなど)を続けながら開放電圧(V_{oc})、短絡電流(I_{sc})の測定と理想飽和電力(P)の把握を行った。

実用化を目指しての屋外フィールド試験の大きな目的は研究室レベルでは分からなかった課題の抽出である。この観点から重要なふたつのことが明らかになった。一つ目は電池内への水の往来による微生物や有機物の供給を確保することである。田圃では周囲環境との一体化を確保するために容器に穴をあけておけばよいのだが、大きさによっては電池内部の多孔質体や土壌、電極などの流出や必要以上の田圃からの物質の流入があり発電量の低下や混乱を引き起こしてしまう。これを調べるため、第一次の試験用電池(北1~10)では容器の穴の有無、穴の大きさ、個数や場所を変えて比較を行った。二つ目は田圃に置いた電池同士のリークの問題である。所望の電圧を確保するために、閉鎖系の電池を直列にした場合には問題は無いが、田圃中にあると異なる電池間の電極間で水を介して電荷の流入出が生ずることが分かった。この大きさについても上記穴の状態の依存性を調べた。第二次の電池群では穴をあけず、外部環境からの水の出入りは降雨や水門の開閉による容器壁を越えてのオーバーフローに任せましたが、平均的に1割程度のリーク損失は生じてしまうことが判明した。以上のふたつの課題、発電継続維持のための微生物と有機物の電池内への流入と実用的に必要な電池直列時のリーク対策とのトレードオフを最適にする設置電池容器の穴構造の詳細な検討を、2023年の1~3月に室内にお

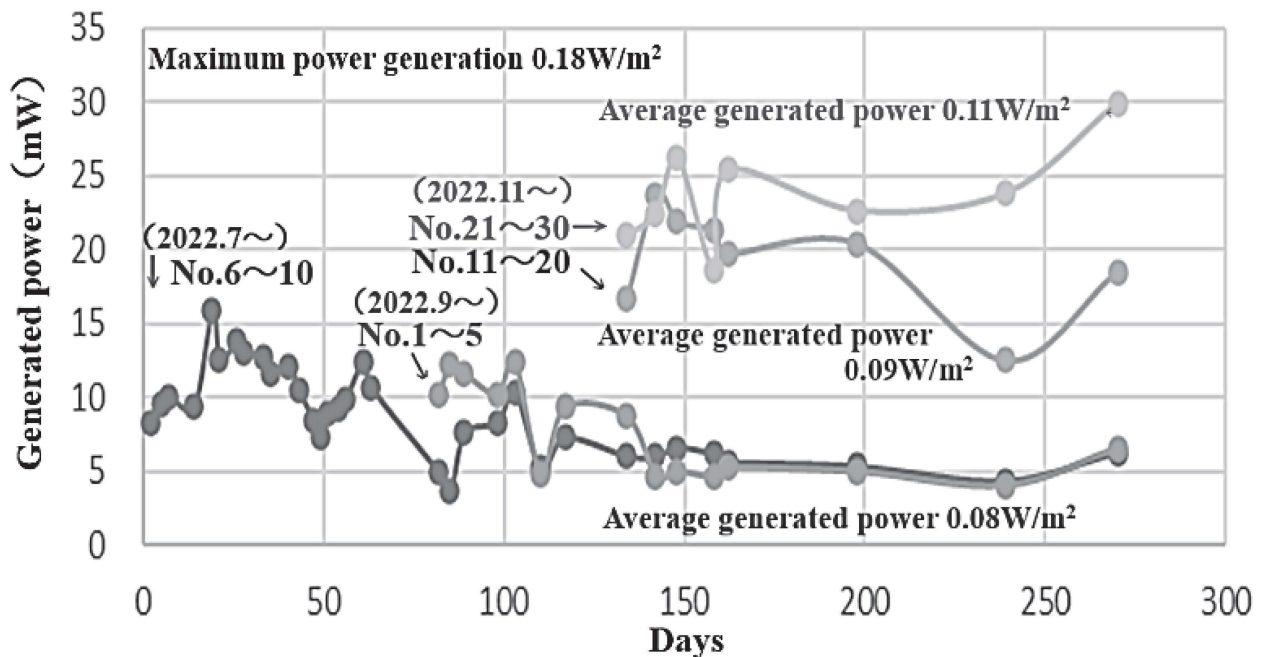


Fig.12. 鹿野田圃電池群別発電量推移(2022年7月~2023年3月)

ける小型実験用電池で行った。結果、穴をあけたものは外部より微生物や有機物の流入があるので閉鎖系のものに比べ、初期段階での出力特性は上がるが、時間と共に低下した。穴からの微生物や有機物の流出、それらの保持体である多孔質体や土壌の散逸、水素イオンの拡散などが低下原因として考えられる。また、直列接続にした場合のリークについて、上述したように、閉鎖系とした場合でも10%は見込まれることから、穴を設けない容器でも上部からの水の出入りは起こるものと思われ、強いて穴をあけずとも必要な有機物や微生物の出入りは行われると考えてよいとした。長期的な出力安定のためには、電池容器側面に大きな穴をあける必要は無く、水面よりわずかに高いところに水面変動による水の出入りを可能とする程度の小穴をあけるか、電池容器の上端を水面ぎりぎりにすればよい。後者は難しいので水の調整用の穴のみあればよいとして、後述の第三次電池群設置では容器の上部に調整用小穴をあけ、梅雨時や台風時の大雨に備えてゴム栓を併用した水位調整法を採用した。

5. 微生物発電実証実験の成果

2020年度は、上記のとおり田圃に3回に分けて電池群を敷設した。7月6日設置の5個(北6~10)の電池群、9月26日設置の5個(北1~5)の電池群、11月11日設置の22個(北11~20の10個、北21~30の10個、モニター用北31,32の2個)の電池群である。Fig.12に2022年7月6日から2023年3月30日までの各電池群別(モニターを除く)発電量推

移を示す。また、図中に発電効率を面積当たりの発電電力に換算して表した。

各電池群別に発電期間での平均をとると、北1~10電池群は平均出力 0.08W/m^2 、北11~20電池群は 0.09W/m^2 、北21~30電池群は 0.11W/m^2 である。また、測定した全体の最高値は 0.18W/m^2 (複数回観察)であった。Fig.13は期間中の総発電量推移である。図中には、後述の発電電力を用いた照明点灯等のイベントを行った時点も矢印で挿入した。

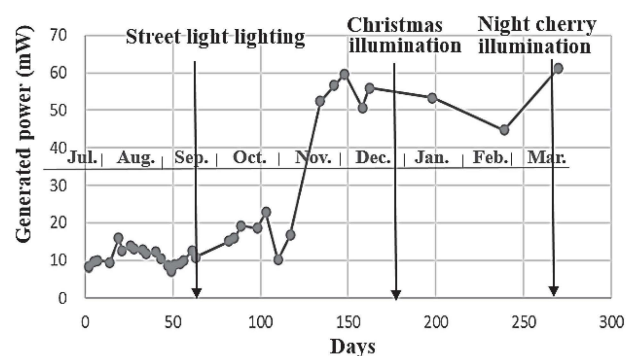


Fig.13. 鹿野田圃電池群総発電量推移(2022年7月~2023年3月)

総発電量としては2022年7月~9月が5個の電池を用いて 12mW 、10月~11月が10個の電池を用いて 20mW 、12月以降は30個の電池を用いて $50\sim 60\text{mW}$ となった。

この初めての屋外連続発電試験の間には発電した電力を用いて照明を点灯するデモンストレーションを行った。9月には、市販LED街路灯(10W級、高輝度LED28個搭載1500ルーメン)を田圃横に設置して点灯した。48Whの大

容量LiB電池を有する器具であるが、田圃の電池を5直列ないしは10直列として、3日～1週間の充電で長時間の点灯に成功した。その様子をFig.14に示す。



Fig.14. 微生物発電による街路灯点灯

また、12月の後半にはストリングスライットのクリスマスイルミネーションを試みた。降雪の悪天候で現場での実施はできなかったが、発電電力を用いて屋内での点灯を行った。1.56WhのNiH電池を充電電池として付帯するストリングスライット（橙色LED120球）を準備してイルミネーションを行った。

さらに、3月末の桜開花に合わせ、電池群を設置した鹿野の田圃脇にある桜並木に複数のランタンを配置し点灯した。多数のLED電球を内部に配置したランタン1個当たり0.72WhのNiH電池を付帯しており、フル充電で半日の点灯可能であり、夜桜を照らし出すことができた。その様子をFig.15に示す。

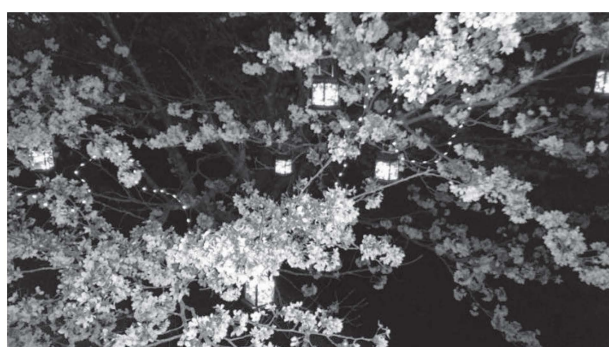


Fig.15. 微生物発電により照らされた夜桜

以上の2022年度に実施した田圃北側敷設電池群の実証試験結果を受けて、2023年4月末に第三次の電池群（32個、2個はモニター）を南側に敷設し（Fig.16）、鹿野の屋外発電場には南北64基の電池が備わった（Fig.17）。



Fig.16. 田圃南側に設置した電池群(32個)



Fig.17. 鹿野田圃全景(手前・北・奥・南)

この南側電池群についてはまだ設置後初期の段階であるが、上述の北側電池群での問題点を改善する工夫が取り入れてあり、発電量において良い結果が得られつつある。2023年5月～6月の発電量推移をFig.18に示す。

2023年は異常気象で、春先から梅雨期の水量調整が難しく、一時的に低出力の電池も発生したが、Fig.12に示した第一次と第二次の北側電池群に比べると発電電力の改善は明らかである。出力が安定するまでの初期変動期（40日程度）後から出力が上昇している。今後の出力推移を観測しつつ、得られた電力で社会実装への一歩進めた実験ができると期待している。現状でもスマホへの充電等が可能であるが、さらに非常用の容量の大きな蓄電電源へのチャージや多数の街路灯の点灯、屋外情報表示等に発電電力を供したいと考えている。

6. 微生物発電実用化に向けた今後の展望

筆者の研究室で、新たな工夫の下に開発した多孔質体を用いた微生物燃料電池により、世の中で示されていた発電レベル（数mW～数十mW/m²）の10倍近い性能（0.7W/m²）を実現でき、2020年春に学会発表し、特許出願した。同時点で、実験用小型電池では最高値3mWの発電電力を達成できたが、これは面積換算で、0.9W/m²に相

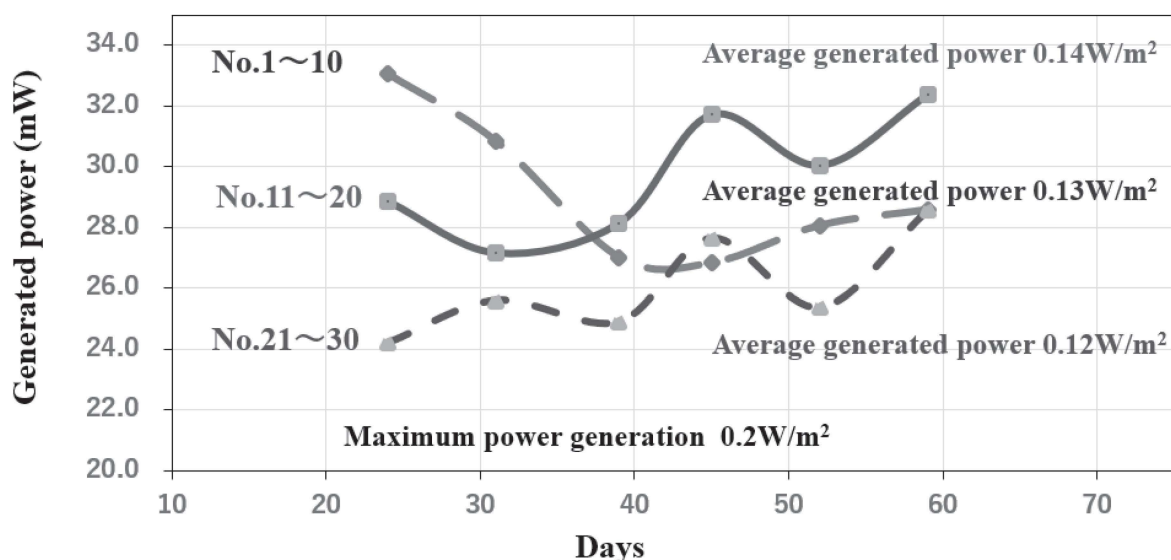


Fig.18. 南側電池群の群別発電電力推移

当する。この値を基に発電のポテンシャルや今後の目標を試算する。

1年は $24\text{h} \times 365\text{d} = 8,700\text{h}$ として、仮に年間の発電量を計算すると、上記の値は $0.9\text{W}/\text{m}^2 \times 8,700\text{h} = 7,830\text{Wh}/\text{m}^2$ となる。

4人家族の世帯で年間 $5,500\text{kWh}$ の電力を消費する家庭ならば、 702.4m^2 の発電面積が必要となるが、仮に7割程度の実用効率とすると $1,000\text{m}^2$ の発電面積で賄える。

一方、筆者らが、2022年夏に、鳥取市鹿野町の田圃に設置した微生物電池は1個で、最高 3mW の電力を得ている。これは単位面積に換算すると $0.15\text{W}/\text{m}^2$ 程度で、最高でも、まだ実験室レベルの $1/4 \sim 1/5$ しか実現できていないことになる。 $5,500\text{kWh}$ を賄うには $1,000\text{m}^2$ の4~5倍の面積が必要となる。屋外環境では、当初予期しなかったものも含め、様々な電力損失要因がある。これをひとつずつ除去して研究室レベルでの最適値に近づけねばならない。こうした発電電力の損失原因とその対策法は鹿野での検証や実験室での実験から様々に掴めてきたので、それらの知見を加味して、まずは発電電力を研究レベルで達成している5倍に上げたい。新たな性能向上策も手の内にあり、さらに先には、発電性能を10倍に高め、 $5,500\text{kWh}$ の家庭電力を 100m^2 の発電面積で生み出せるようにしたいと思っている。これが実用化への当面の目標である。

ただし、以上はあくまでも商用電力からの置き換えを想定した場合の話で、現実的に微生物発電を世の中で活用する場面は、電線の通っていない未開発地、遠隔地での使用や災害時などの緊急時の代替電源としての使用が先になろう。夜間や雨天で太陽光もあてにならず、風も吹いていなくとも土中の微生物さえ存在すれば24時間発電可

能なので、希薄な電力でもこれを蓄電すれば多くの用途に使用可能である。

7. おわりに

大学に着任して以来、実学を旨とする学部設置の主旨に鑑み、“Dream come true”いつかは社会の役に立つ研究をと念じてきた。本学で培った研究のひとつである「微生物発電」はまだ道半ばであるが、携わった学生諸君の誰もが大きな夢を描いて研究に没頭してくれた。その努力が研究を前に進める原動力であることを痛感している。大学に来る前、大企業で研究開発、事業化を主導してきた身には限られたリソースしかない大学での研究環境に当初、戸惑ったものである。しかし、今では大学には企業の莫大な研究資金や設備に引けを取らない若いひたむきな情熱があることを誇りに思う。そしてそれは研究そのものを営利や競争目的ではない、科学技術本来の姿もしくは正論で前に進めることができる推進力であると確信している。今後も実学を柱とする本学に、科学技術の大道を往く役割を期待したい。

謝辞

本学でのパイオニア的研究にあたっては、ゼロから多くの成果を作り上げる努力をした研究室卒業生各位に感謝します。また、研究の一部に御支援を頂いた(株)鳥取再資源化研究所、(株)タイガーマシン製作所に御礼申し上げます。さらに、鳥取市鹿野町での実証試験では(株)鳥取再資源化研究所及び(株)エーイーエスラボの皆様にご協力頂きましたこと、深謝いたします。なお、実証研究の一部は鳥取市

SDGs未来都市推進事業支援補助金を受けた(株)鳥取再資源化研究所を技術指導して実施したものです。

参考文献

- 1) 渡辺一哉 監修:微生物を用いた発電および水素生産,シーエムシー出版, 2021.
- 2) 森田廣:エネルギーの地産地消を目指して,山陽小野田市立山口東京理科大学紀要, 4, pp77-63, 2021.
- 3) 古屋直史, 山内健太郎, 合田和矢, 森田廣:土壌微生物による微生物燃料電池の基礎研究,第79回応用物理学会秋季学術講演会予稿集,名古屋国際会議場, 20a-PB1-6(2018.9.20)
- 4) 古屋直史, 長嶋哲也, 松尾匠剛, 森田廣:有機物添加による微生物燃料電池の効率向上,第66回応用物理学会春季学術講演会予稿集,東京工業大学, 9a-W371-2(2019.3.9)
- 5) 八塚淳弘, 古屋直史, 久保航一, 森田廣:アノード電極の改良による微生物燃料電池の発電量向上,第70回電気・情報関連学会中国支部連合大会予稿集,鳥取大学, R19-07-02-02(2019.10.26)
- 6) 古屋直史, 久保航一, 八塚淳弘, 森田廣:微生物燃料電池に利用可能な原水に関する調査,第80回応用物理学会秋季学術講演会予稿集,北海道大学, 19a-E303-6(2019)
- 7) 古屋直史, 久保航一, 八塚淳弘, 森田廣:ポーラス^a®による土壌微生物燃料電池の出力向上,第67回応用物理学会春季学術講演会予稿集,上智大学, 12a-PB5-4(開催中止・予稿集刊行)(2020.3.12)
- 8) 森田廣, 吉田博行:液晶ディスプレイ廃ガラスの再活用高機能化,第59回応用物理学会関係連合講演会予稿集,早稲田大学, 8a-GP3-2(2012.3.18)
- 9) 森田廣:無機多孔質体を活用した土壌微生物燃料電池の発電電力向上,山陽小野田市立山口東京理科大学紀要, 5, pp25-31, 2022.
- 10) 古屋直史, 久保航一, 八塚淳弘, 森田廣:土壌微生物蓄積による微生物燃料電池の出力特性改善,第81回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 8a-Z26-2(オンライン開催, 2020.9.8)
- 11) 松尾健志, 厚東朋希, 藤本侑里, 森田廣:多孔質体を挿入した微生物燃料電池の屋外実用化に向けた実験,第68回応用物理学会春季学術講演会予稿集, 17p-Z15-13(オンライン開催, 2021.3.17)