

研究成果報告書

所属機関	職名	氏名
佐賀大学 大学院 工学系研究科	教授	富永 昌人

研究テーマ

「泥の電池」の実用化を目指した電極配置ならびに炭素材料の検討

研究報告

1. 研究の背景と目的

汚泥は多様な有機物を多量に含む。下水汚泥には石炭の熱量換算で70%の有機物を含むといわれる。これは、約 2×10^6 J/kgの熱量に相当する（石炭は豪州一般炭として）。すなわち、約556 Wh/kgの電気を生産可能な熱量である。一方で、汚泥の中は、貧酸素環境にあり嫌気性微生物の格好の住処である。従って、嫌気発酵が起こり不快なニオイを発生する。下水汚泥の嫌気発酵によるメタンガス回収はその一例であり、汚泥に含まれるエネルギー回収法の一つである。しかしながら、まだ多量の有機物が利用されないまま残留している。すなわち、嫌気性微生物のみでは汚泥の有機物の大部分が分解しにくいことを意味する。

汚泥は、下水汚泥をはじめとして、家畜排泄汚泥、食品廃棄汚泥、水産養殖場の底に堆積した汚泥、ダム底の汚泥など、人工的に発生したケースが大部分である。また、これらの処理に膨大なエネルギーが必要である。アジアにおいては、急速な経済発展と人口増加による廃棄物が急速増加している。アジアはもとより世界レベルでの廃棄汚泥の再資源化ニーズは極めて高く、新たな汚泥処理技術の早期確立が望まれている。

申請者は、「泥の電池」を開発した（図1）。「泥の電池」は、微生物の代謝によって成り立つ。「微生物燃料電池」の範疇ではあるが、コンセプトが全く異なることから、申請者は「泥の電池」と呼ぶ。すなわち、「泥の電池」は、「現場にあるがままの泥」で、「そこに生息する微生物」をそのまま用いて、「可能なだけの電力」を取り出し、あわせて「泥の浄化」も促進することをコンセプトとする。栄養物を豊富に含み、微生物が無数に生息している泥状のものを「泥」として表現している。「泥の電池」は微生物燃料電池ではあるが、上記コンセプトのもとあえて「泥の電池」と命名した。「泥の電池」は、自然の浄化の仕組みを最大限生かして、いかに低コストでその仕組みを有用に運用できるかに重点をおく。本研究課題では、より実用的展開を視野に入れた研究を進めた。すなわち、下記の2課題を当該研究の目的とした。

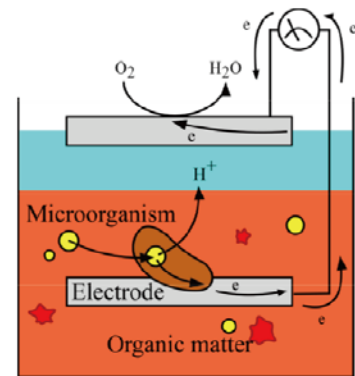


図1 「泥の電池」の模式図。

1. 「泥の電池」を最大効率化する電極設置に関する検討
2. 浄化速度の定量的検討

2. 研究成果および考察

2-1. 「泥の電池」を最大効率化する電極設置

「泥の電池」の電極は、通常、アノード（微生物極）とカソード（酸素還元極）のそれぞれ1本ずつである。実用化の際には、複数本の電極を、深さを変えたりもしくは距離を置いたりして設置することが想定される。実際のところ、発電量は電極の設置の深さの影響を受けることが経験的に解っている。そこで、アノードの深さが及ぼす発電量への影響についての検討を行った。アノードを泥の深さ1 cm、5 cm、10 cm、30 cmに設置し、出力を検討した（図2）。アノードとカソードには、チタンメッ

シュの集電極にケッチンブラックを塗布した電極（見かけの表面積が 20 cm^2 ）を用いた。

アノードの深さ 5 cm 、 10 cm のものは、深さ 1 cm 、 30 cm の約 1.5 倍の出力を示した（図3）。全ての深さで約1週間かけて出力が上昇し、その後10日に約 $1\sim 2\text{ mW m}^{-2}$ のペースで下降した。これより、出力はアノードの深さの影響を受けることが解った。アノード表面の微生物を観測するため深さ 1 cm 、 10 cm に設置して2週間後のアノードを取り出し、走査型電子顕微鏡（SEM）により観測した（図4）。アノードの深さが 1 cm の場合では、微生物は観測されたが、少数の集合体であり、まだ炭素表面が観測できる程の微生物量であった。一方、アノードの深さが 10 cm の場合では、表面を覆う多層構造のバイオフィルムが形成されていた。

アノードの深さが 30 cm の場合に関して、深さは十分であると考えられるが、アノードの深さが 10 cm の場合より低い発電量を示した。電極間距離が大きくなったことによるプロトン移動の律速が考えられた。干潟の泥の導電率は、 $177\ \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ であったことから、泥の深さ 10 cm 、 30 cm はそれぞれ $18\ \Omega^{-1}10\text{cm}^{-1}$ 、 $6\ \Omega^{-1}30\text{cm}^{-1}$ である。泥の深さ 30 cm は下水汚泥の $5\ \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ と同等であり、この値が出力に影響を及ぼす因子となることが示唆された。

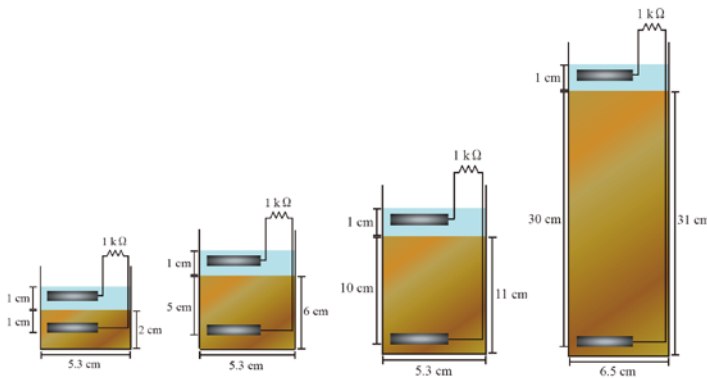


図2 アノードの設置位置の模式図.

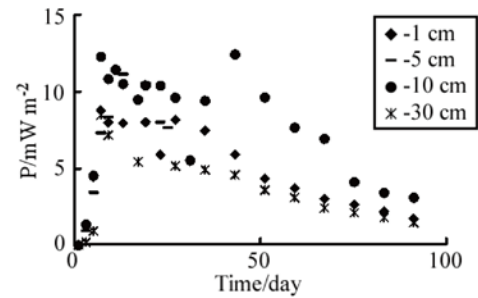


図3 発電量に及ぼすアノードの設置位置の影響.

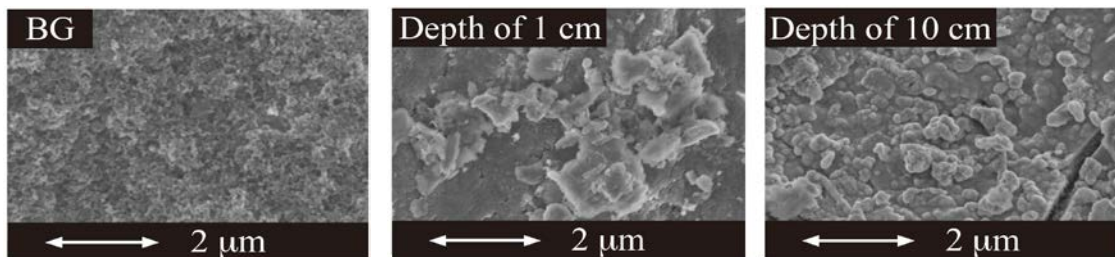


図4 各深さに設置されたアノード表面のSEM像.

2-1. 浄化速度の定量的検討

「泥の電池」の実用化における目的の1つとして、発電に伴う泥の浄化がある。これまで検討してきたセル構造を考慮した「泥の電池」を作製し、生物化学的酸素要求量 (Biochemical Oxygen Demand : BOD)による泥の浄化の定量化を行った。アノードには、表面積が 70 cm^2 のカーボンフェルト電極を用いた。「泥の電池」の構成を図5に示す。

電池の発電量は、約10日~20日で最大を示し、これまでの電池と比較して1週間ほど遅れて最大に達した（図6）。これは、本実験で用いた泥は、12月の冬季に採取したものであり、電池設置時の泥が低温であったためと考えられた。発電後の泥は、未発電のものと比較して1週間後の測定で約 $5\sim 10\%$ の浄化の促進がみられた（図7）。この結果から、発電量が上昇する間に浄化が進んでいることが解った。

発電量は2週間後に最大に達し、そのときには約30%の浄化の促進がみられた。30日後の発電での浄化量は未発電のものと比較して約40%であった。発電開始から2週間後までで30%、2週間後から30日後の間で10%の浄化の促進がみられた。このことから、発電量が上昇する2週間までの間で電極付近の有機物の浄化が進み、以降の発電量の低下は、電極付近の有機物の減少によるものであることが考えられた。

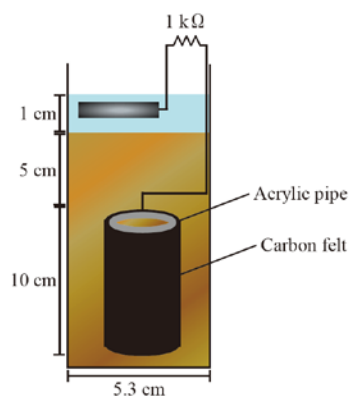


図5 浄化速度測定用の「泥の電池」の模式図.

3. 将来展望

「泥の電池」の性能アップを図るための研究開発がまだまだ必要である。特に、各環境下での現場における実証試験が必要不可欠と考えている。近い将来に、社会インフラが整っていない国や地域の人々の安全・安心な生活の向上に、「泥の電池」が少しでも貢献できたら幸いである。

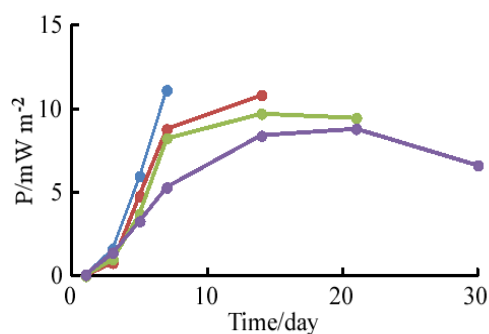


図6 発電量の経時変化.

4. 研究発表

- 1) M. Tominaga, "Energy Conversion Systems with Biocatalytic Fuel Cells", The 3rd International Seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering (ISFACHE 2016), Sheraton Surabaya Hotel & Towers, Surabaya, Indonesia (2016, 11, 2).招待講演
- 2) 富永昌人, "微生物燃料電池による先進的資源循環システムの構築", 「化学工業」, (株)化学工業社出版, Vol. 68, No. 5, pp.358-362, 2017.

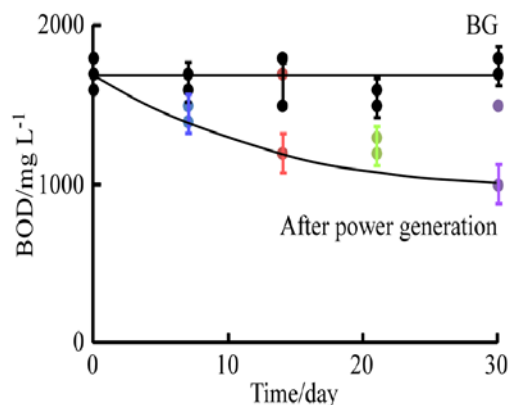


図7 BOD 値の経時変化.