
(派遣先機関名 (派遣国名)) 研修報告書

(研修テーマ) 食品廃棄物・鉄鋼スラグを用いた微生物燃料電池の作成

先進理工系科学研究科 社会基盤環境工学プログラム 小嶋郁也

1. はじめに

2024年8月20日から同年9月19日の間、インドネシアのスラバヤ工科大学にて微生物燃料電池に関する研究や現地鉄鋼スラグの微生物燃料電池への利用に関する検討を行った。その結果を以下に報告する。

2. 研修/共同研究課題の決定

本研究室では微生物燃料電池により、沿岸域に堆積した有機汚泥（ヘドロ）を浄化する研究が行われている。微生物燃料電池とは有機汚泥等の有機物を分解する際に電力を回収する技術である。また、鉄鋼スラグは製鉄業において、発生する産業廃棄物である一方で、残存鉄を含むエネルギー的に有効利用の可能性を持つものである。そのため、本研究室では、鉄鋼スラグを微生物燃料電池に添加し性能の向上を図っている。広島県福山市での、鉄鋼スラグを用いた微生物燃料電池の現地実験では、電池性能の向上と堆積汚泥の浄化作用を確認している。

一方で、インドネシアでは経済の急激な人口増加とインフラ整備の遅れにより、食品廃棄物問題が深刻化している。そこで、スラバヤ工科大学では食品廃棄物を用いた微生物燃料電池の開発が進められているが、問題解決には至っておらず、更なる性能向上が求められている。本研究では鉄鋼スラグの微生物燃料電池利用技術をインドネシアで適用し、微生物燃料電池の性能向上させることを目的として、スラバヤ工科大学と共同で研究を行った。

3. 研修/共同研究スケジュール

2024年8月20日 出国
2024年8月21日～9月18日 研究、プレゼンテーション
2024年9月20日 帰国

4. 研修先/共同研究派遣先の概要

大学名: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
所在地: インドネシア スラバヤ
指導教員: Dr. Raden Darmawan, Prof. Fredy Kurniawan

5. 研修/共同研究の内容

5.1 概要

これまでのスラバヤ工科大学の微生物燃料電池に関する研究において、食品廃棄物を利用する際の加水分解の重要性とシドアルジョ泥と呼ばれる微生物を含む泥を添加することで性能が向上したことを確認している。本研究では、それらの結果をもとに、インドネシアの鉄鋼スラグを用いた微生物燃料電池を作成し、その評価を行った。なお、本研究で使用する鉄鋼スラグはインドネシアの鉄鋼会社である PT Krakatau Steel より提供頂いている。

5.2 実験方法

5.2.1 OCV (ORP) 測定実験

実験装置は Fig.1 を用いた。3つの円筒容器にシドアルジョ泥（火山噴出泥）(Pic.1-a)、食品廃棄物 (Pic.1-b)、鉄鋼スラグ (Pic.1-c) とカーボンファイバーを分散型に成形した電極 (Cf 分散電極) を投入し、電極電位を連続測定可能な電圧計 (midi LOGGERGL 260, GRAPHTEC) に接続し、開回

路電圧（OCV: Open Circuit Voltage）を測定する．参照電極には Ag/AgCl 参照電極（東陽テクニカ）を使用している．また、各サンプルの巻き上がりを防止するために、直径 2.0mm の通水口を 4 つ開けた蓋をしている．なお、食品廃棄物を利用する際には、前処理として、菌類である *Aspergillus Oyzae*,

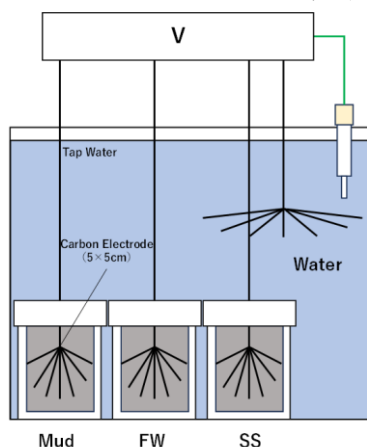


Fig.1 実験装置 1



Pic.1a シドアルジョ泥



Pic.1b 食品廃棄物



Pic.1c 鉄鋼スラグ

Candida Rugosa, *Aspergillus Aculeatus* を混合し、多糖類やタンパク質等の難分解性有機物の易分解化を促進している．

5.2.2 泥の有機物量測定実験

微生物燃料電池の性能を評価するうえで重要な要因として、電子の生産源である有機物量がある．食品廃棄物がおおよそ 100%有機物であることは過去の研究結果より明らかとなっているが、シドアルジョ泥の有機物量を評価している研究結果はない．そこで、実験 2 では、燃焼炉を用いて、シドアルジョ泥の有機物量を測定する．測定方法を以降に記す．

- 1) 検体を 100℃乾燥炉に 24 時間に入れ、間隙水を蒸発させる．
- 2) 燃焼炉の温度を 300℃と 600℃に設定し、3 時間放置．
- 3) 燃焼前後の重量より、IL（Ignition Loss）を計算する．
- 4)

5.2.3 食品廃棄物・シドアルジョ泥・鉄鋼スラグを用いた微生物燃料電池の作成

実験 1, 2 で電気化学的特徴及び性状を調べた 3 材料を用いた微生物燃料電池を作成、実験を行う．実験装置はシドアルジョ泥、食品廃棄物、鉄鋼スラグを各々Table1 の様な配合比で、Fig.2・Pic.2 の様に作成する．電極材料は共にカーボンファイバーを使用し、Anode 電極は分散型（Cf 分散）、Cathode 電極は板型（Cf ボード）に成形する．

Table1 実験検体

Sample		1	2	3	4	5	6	7
Sidoarjo Mud	ml	600	—	—	300	300	—	200
Food Waste	ml	—	600	—	300	—	300	200
Steel Slag	ml	—	—	600	—	300	300	200
Water Layer	ml	1400						

Ex. Samp.7

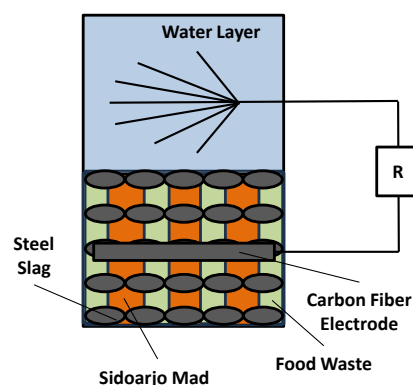


Fig.2 実験装置



Pic.2 実験装置

微生物燃料電池作成時に使用する抵抗は、10種の抵抗を使用し電流量と電力量を測定する V-I 試験を実施し、決定する。決定した最適抵抗値を用いて、20日の通電試験を実施する。通電試験中には、溶液 pH、グルコース・タンパク質濃度、電極電位、電流量、細胞数、COD の経時変化を測定する。

5.3 実験結果

5.3.1 OCV (ORP) 測定実験

OCV 測定結果を Fig.3 に示す。OCV は各々-0.410V (シドアルジョ泥), -0.336V (食品廃棄物), -0.522V(鉄鋼スラグ)まで低下して、一定の値になった。電極電位測定結果は物質の持つエネルギーと逆軸であるため、場のエネルギー準位を低下させている順番は、鉄鋼スラグ、シドアルジョ泥、食料廃棄物である。また、鉄鋼スラグの OCV が-0.522V まで低下した要因として、鉄鋼スラグ内に残存している鉄が要因であり、インドネシアの鉄鋼スラグも日本同様、Anode 材料として利用できることが示唆された。

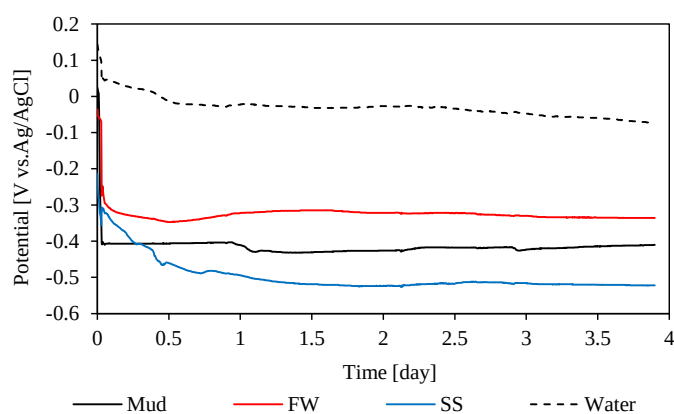


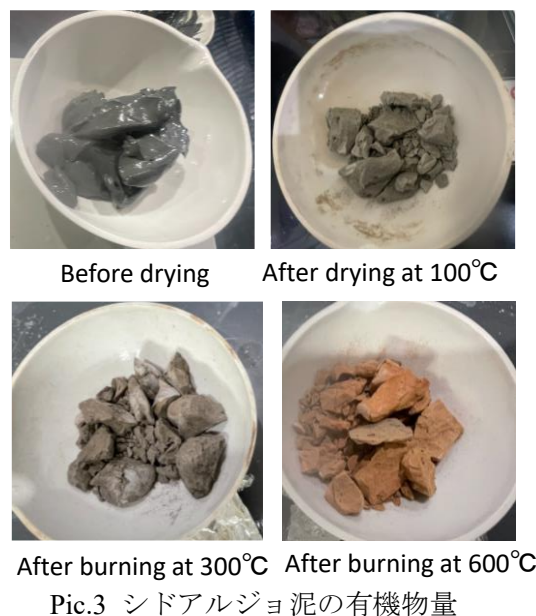
Fig.3 OCV 測定結果

5.3.2 泥の有機物量測定実験

有機物量測定結果を Table2, 泥の乾燥前, 乾燥後, 300°C燃焼後, 600°C燃焼後の写真を Pic.3 に示す. シドアルジョ泥中の全有機物量 (IL₆₀₀) は, 12.74%, 易分解性有機物 (IL₃₀₀) は 6.81%, 難分解性有機物 (IL₆₀₀₋₃₀₀) は 5.93%であった. 本研究室が使用している福山泥に比べ, 全有機物量が少なく, 易分解性有機物量が多いという結果である. また, 600°C燃焼後に褐色に変化したことから, Fe(OH)₂ 等の鉄分も含まれていることが示唆される.

Table2 シドアルジョ泥の有機物量

	water content	IL ₃₀₀	IL ₆₀₀	IL ₆₀₀₋₃₀₀
Before	85.1%	6.81%	12.74%	5.93%



5.3.3 食品廃棄物・シドアルジョ泥・鉄鋼スラグを用いた微生物燃料電池の作成

Fig.4, Table3 に実験装置作成後 1 日目の V-I 試験結果を示す. 最適抵抗値は Case1-4 で, 995Ω, Case5-7 で 467Ω であった. 通電試験ではこれらの抵抗を利用する. 鉄鋼スラグを含むサンプルは, より優れた性能を確認できる. そのため, 鉄の溶解反応による電子生成が電子回収の主な源であると示唆される. ただ, 全ての試料において, 単一試料を用いた場合に比べ, 混合により最大出力の増加が確認された. その理由として二つのことが挙げれる. 一つ目は低電位場状態にすることで FW や泥からの電子回収量が増大したこと, 2つ目は FW または Mud に含まれる微生物が EM として働き, 電子回収効率が向上したことが考えられる.

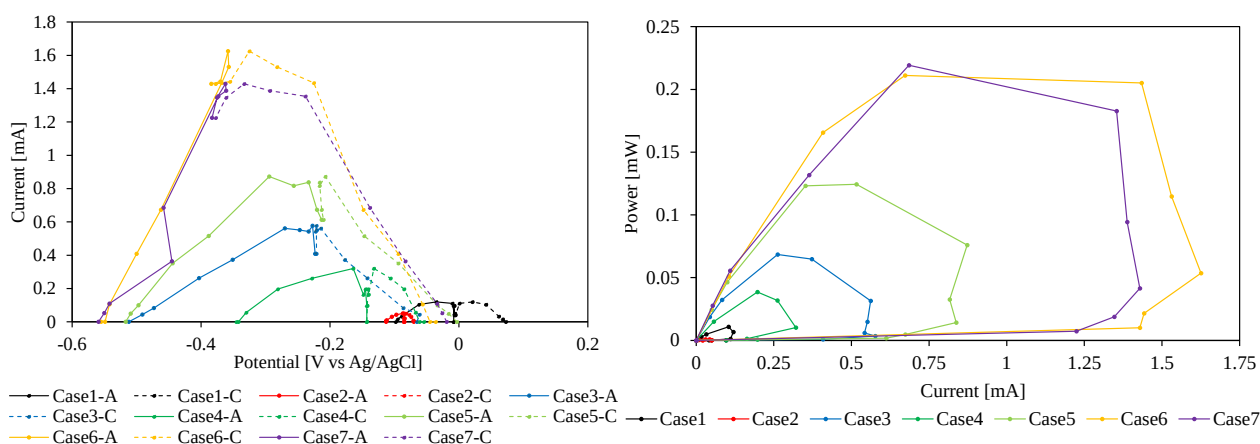


Fig.4 V-I 試験 (通電前) 結果

Table3 V-I 試験（通電前）結果

		Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7
Max. Power	mW	0.011	0.001	0.068	0.039	0.124	0.211	0.219
Opt. Resistance	Ω	995	995	995	995	467	467	467
Rank		6	7	4	5	3	2	1

次に、通電試験結果の考察を行う。Fig.5 に電圧、電力、pH、COD の測定を示す。FW の巻き上がり激しい検体（FW と M,FW）では電圧が維持できておらず、得られる電力量が減少傾向にある。巻き上りを防止するために、隔膜を利用する等の対策が必要であることを確認した。SS のみと SS+FW の検体では、電力が常に減少傾向である。一方で、Mud を含む検体では、電力上昇も確認された。この理由として、泥中の微生物の環境条件の変化による活動の変化である予想される。COD の除去量が多いのは検体 4(M, FW), 5(M, SS), 1(M)である。一方で、COD と電流量の相関は確認されず、更なる検討が必要。

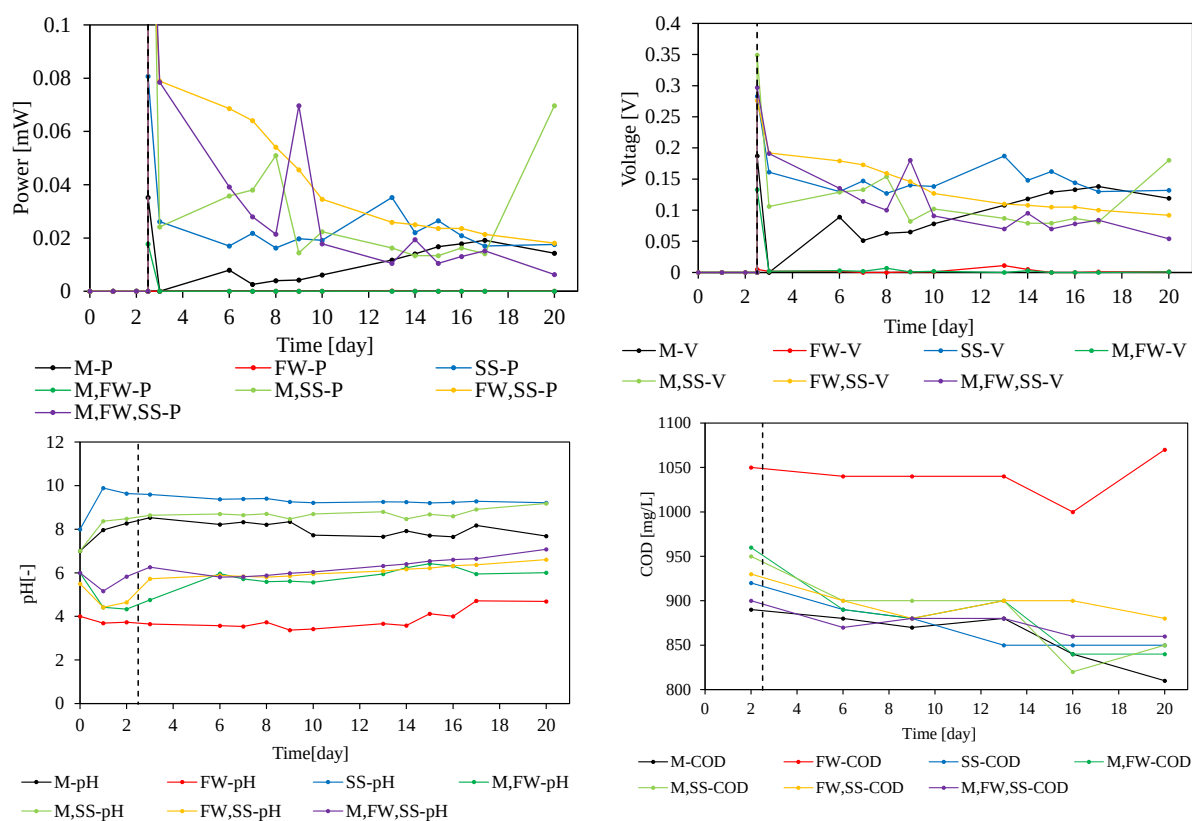


Fig.5 通電試験結果

最後に通電試験終了後の V-I 試験についての考察を行う。Fig.6 に V-I 試験（後）の結果を示す。Sample5 (M, SS)の性能が一番良い結果であった。これは Cathode 電位が高い、すなわち巻き上がりの影響が少ないことで水層の DO が十分に供給されることで、Cathode 律速の通電が行えたことを示しています。そのため、通電試験からも得られたように性能向上のためには Cathode をどのように設置してくかが課題である。

V-I 試験の前後比較を行う。ほとんどの検体で、通電前と比べ性能の低下が確認された。その要因として、電子生成物質、水層の電子授受物質 (Ex.O₂) の減少が原因である考えられる。一方で、Sample1 (M), 5 (M, SS)では性能が向上しました。その要因として、泥中の微生物の環境条件の変化による活動の変化であると予想される。

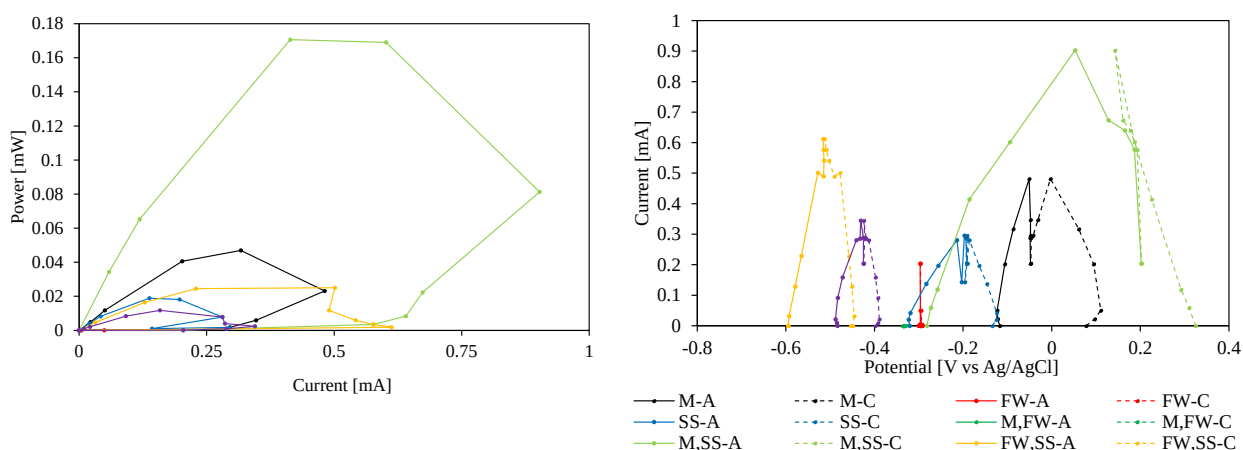


Fig.4 V-I 試験（通電前）結果

6. まとめ

今回の派遣で1ヶ月間普段と異なる環境に自分を置いたことにより、多くのことを考え、感じる貴重な機会になりました。海外での私生活において感じる日本の文化やルールの違いや、研究生活で感じる研究室の学生の競争意識の高さ、また研究設備面において自分の研究室がどれだけ恵まれているか等、日本で過ごしたままでは気づくことができないことを多く体験できた1ヶ月でした。その様な環境で、英語を使つてのコミュニケーションで過ごし、研究を行うことができたことは今の自分の自信になっています。

また、海外での1ヶ月の生活ということで、不安を感じていました。しかし、研究室の方々が温かく迎えて頂いて、様々なサポートをして頂いたおかげで、生活面での不安なく研究に取り組むことができました。今回の海外共同研究を通して、人との繋がり的重要性を改めて感じる事ができました。将来技術者として、世の中に出る際には、人との繋がりを大切にし、独りよがりではなく、周りの見え、周囲の人に頼られるような人間になりたいと感じました。

7. 謝辞

本研究においてご指導して頂いた Darmawan 先生, Fredy 先生, 研究や現地での生活のサポートをして頂いた研究室の方々には、大変お世話になりました。心より感謝しております。また、貴重な機会を与えて頂いた日比野忠史准教授に厚く御礼申し上げます。最後に、海外共同研究プログラムのサポートをして下さいました諸先生方, 学生支援グループ国際事業担当の皆様に深く御礼申し上げます。