（スラバヤ工科大学（インドネシア））　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における鉄鋼スラグ混合率による性能変化の検討

先進理工系科学研究科　社会基盤環境プログラム　和田聡一隆

1. はじめに

2025 年 8 月 24 日から同年 9 月 7 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，現地で生産される鉄鋼スラグ，食品廃棄物，火山泥の微生物燃料電池への利用と性能評価に関する研究を行った．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．既往研究により，同大学の食品廃棄物を利用した微生物燃料電池技術に弊学の鉄鋼スラグを微生物燃料電池に利用する技術を導入することで，微生物燃料電池の性能を向上させることが確認されている．本研究では，微生物燃料電池システム内の鉄鋼スラグ含有率による性能変化の検討に関する研究をスラバヤ工科大学と共同で行った．

3. 研修/共同研究スケジュール

2025 年 8 月 24 日　出国
2025 年 8 月 25 日～9 月 6 日　研究
2025 年 9 月 7 日　帰国
2025 年 9 月 11 日　プレゼンテーション（中間発表）
2025 年 9 月 22 日　プレゼンテーション（最終発表）

4. 研修先/共同研究派遣先の概要

大学名：Institut Teknologi Sepuluh Nopember（スラバヤ工科大学）
所在地：インドネシア，スラバヤ
指導教員：Dr. Raden Darmawan

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．昨年度までの同大学と弊学による共同研究では，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．これにより微生物燃料電池の性能を向上させることが確認されている．一方で，装置構造の問題や鉄鋼スラグの最適混合率に関する知見は得られていない．そこで本年度の共同研究では微生物燃料電池に用いる電極材料の再選定を実施し，鉄鋼スラグのシステム内の含有率を変化させた際の性能変化について検

討した．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 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

現地にて，上記の 3 材料を入手した．火山噴出泥であるシドアルジョ泥は現地の火山を視察し，直接採取した（**Pic.1**）．食品廃棄物はスラバヤ工科大学内の学生食堂から頂いた（**Pic.2**）．食品廃棄物の利用の際には，ミキサーで攪拌し一様にした後，前処理として菌類である Aspergillus Oyzae, 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．鉄鋼スラグ（**Pic.3**）は反応表面積を増加させるため，粒径 2cm 程度以下になるように破砕して用いた．



Pic.1 シドアルジョ泥（左：採取時の様子）



Pic.2 食品廃棄物



Pic.3 鉄鋼スラグ

Pic.1~3 の材料を用いて，微生物燃料電池（**Fig.1**）を作成した．装置内の材料の配合比は **Table1** に示す．電極材料は Anode 電極，Cathode 電極ともにカーボンファイバーで，電子回収量増大のために表面積の多い分散型を用いる．回路としては，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）および閉回路電圧（CCV: Close Circuit Voltage）を測定できるようにする．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．素焼き鉢は現地の花屋にて直接入手した．実際の装置の様子は **Pic.4** に示す．

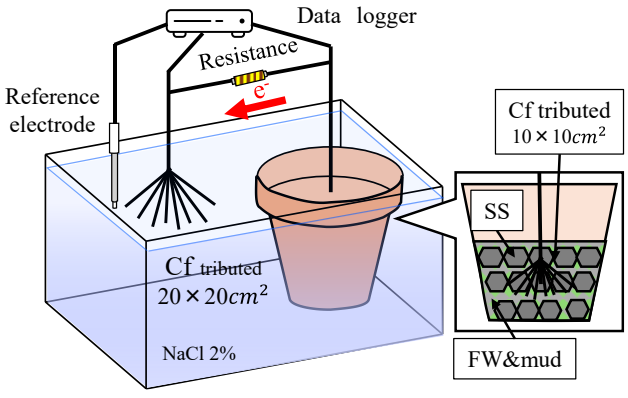


Fig.1 微生物燃料電池

Table1 装置内配合比

Sample	a	b	c	d	e	f
Mud(g)	100					
Food Waste(g)	100					
Steel Slag(g)	0	25	50	100	150	200



Pic.4 装置概観

5. 2. 2 OCV，CCV 測定，VI 試験

装置の作成後，OCV を測定した．また VI 試験を実施した．試験後，10 日間の通電を行い，通電期間中に CCV を測定した．

5. 3 実験結果

5. 3. 1 OCV 測定結果

OCV 測定結果について昨年度および本年度の結果を **Fig.2** にともに示す．昨年度結果について，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ることができている順番は，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確認されている．本年度の結果について，昨年度同様に鉄鋼スラグを全体に対し 50%以上の割合で含有する Case-d, e, f の 3 検体は-0.6V 付近まで低下し，鉄鋼スラグの効果が発揮されている．一方で最も鉄鋼スラグの含有率の高い Case-f は-0.4V までの低下にとどまる結果となった．

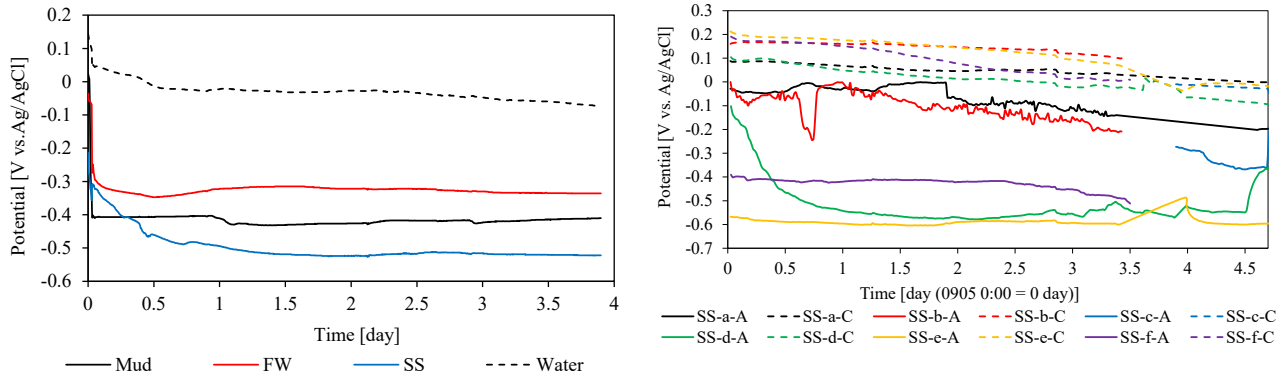


Fig.2 OCV 測定結果（左：昨年度，右：本年度）

5. 3. 2 VI 試験結果

VI 試験結果について，**Fig.3** に示す．昨年度結果から，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られる．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．この結果を受けて，本年度はすべて混合試料としている．一方で装置内の電極を昨年度は板型であったのを本年度は分散型に変更した．これにより，電極の表面積が増大し電子回収能力が上昇した結果，最大電流量が昨年度 1.6mA であったのに対し，本年度は 6.0mA であった．また，鉄鋼スラグ含有率の増加に伴い，電流量が増加する傾向がみられ，鉄鋼スラグ含有率の増加が微生物燃料電池の性能を向上する可能性が示唆された．一方で，鉄鋼スラグの含有率が最大の Case-f は OCV 測定結果と同様に，Case-d, e と比較して若干の性能減退がみられ，鉄鋼スラグの含有率には最適値が存在する可能性が示唆された．これは，鉄鋼スラグに含まれるその他のイオン（カルシウム等）がシステム内のイオン状態に影響を与えているためと考えられる．

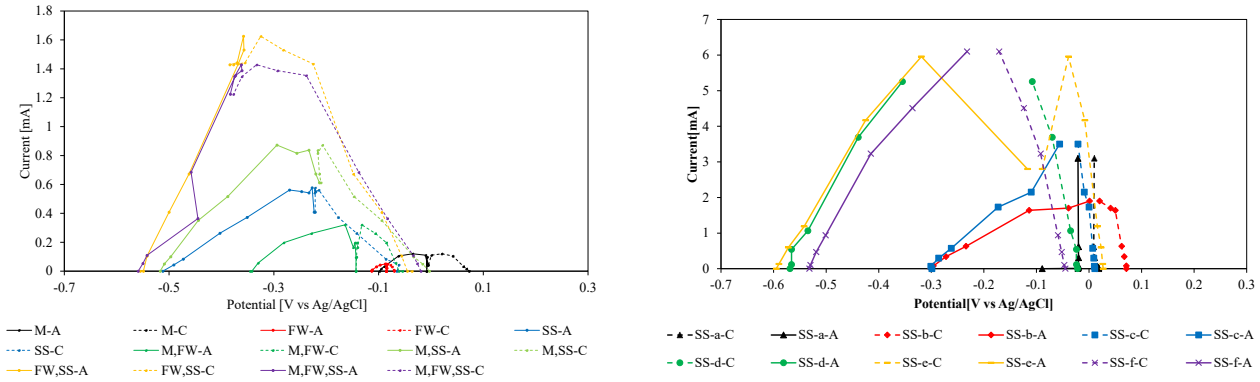


Fig.3 VI 試験結果（左：昨年度，右：本年度）

5. 3. 3 CCV 測定結果

CCV 測定結果について，**Fig.4** に示す．昨年度使用した装置は Anode，Cathode 電極が同一溶液内にあったことから食品廃棄物の巻き上がりの影響を電極が強く受けたために電圧を維持できないという事案が発生していた．そこで，本年度は素焼き鉢（多孔質角膜材）を用いて，溶液内で Anode と Cathode を分離することで本事案を解消した．そして，通電後の結果では鉄鋼スラグ含有率の高い Case-e, f で電圧を維持しており，電子供給能が多く，微生物燃料電池として安定したシステムになっていることが確認された．

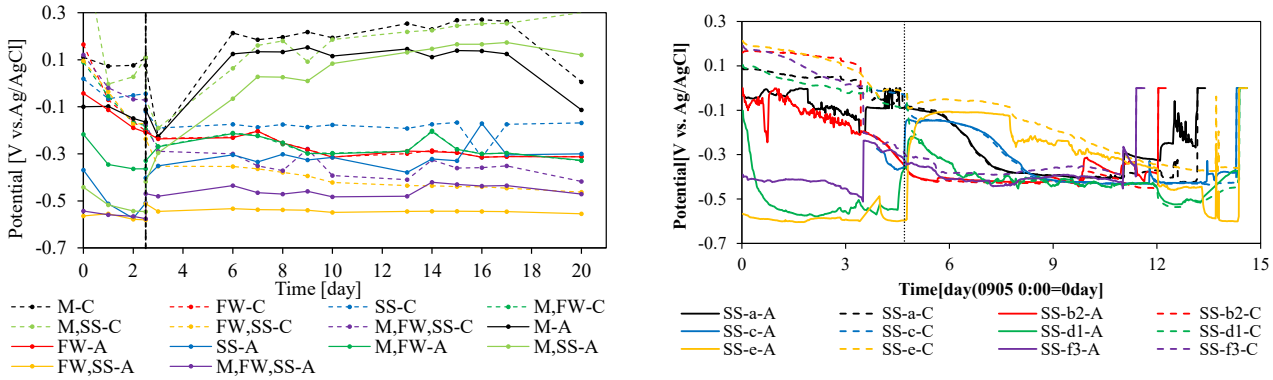


Fig.4 CCV 測定結果（左：昨年度，右：本年度）

5. 3. 4 実験結果まとめ

各種実験から，一般的に鉄鋼スラグの含有率が高いほど微生物燃料電池の性能は上昇することが確認された．一方で，鉄鋼スラグ内の鉄以外のイオンがシステム内に化学的な影響を与える（pH の過剰な上昇等）とき，一部微生物燃料電池の性能を低下させ得ることが示唆された．今後はシステム内の溶液等の化学的条件を整理しながら最適混合比を定めていく必要がある．

6. まとめ

2 週間という短い期間ではありましたが，初の海外渡航経験を非常に中身の濃いものにできました．語学力も向上し，海外での学会における英語発表の際にプレゼンテーションの経験がとても役立ちました．また，自身で研究課題を決定し，調査や実験を通して解決していくうえで，さまざな人と協力しながら目標へ進んでいくことの大切さを学ぶことができました．また，自身の就職が決まっている会社には海外部門があり，今回のプログラムを通して将来海外で働くイメージを以前より明確に持つことができました．今後もこの経験をしっかりと活かし，一人前になれるよう努力していきたいと思います．

7. 謝辞

本研究においてご指導して頂いた Darmawan 先生，研究や現地での生活のサポートをして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．