スラバヤ工科大学（ITS)（インドネシア）　研修報告書
（研修テーマ）食品廃棄物添加量を変化させたMFCのAnodeにおける電子回収効率向上のための検討

先進理工系科学研究科　社会基盤環境工学プログラム　木下裕貴

1. はじめに

本報告では，2025年08月25日から2025年09月23日にインドネシア・スラバヤ工科大学において実施した食品廃棄物と鉄鋼スラグ，Sidoarjo 泥を利用した微生物燃料電池についての検討について報告する．

2．研修/共同研究課題の決定

海岸工学研究室では微生物燃料電池を利用して，沿岸域に堆積した有機泥の浄化を行う研究が行われてきた．微生物燃料電池とは，電気活性微生物が食品廃棄物をはじめとする有機性廃棄物や汚泥（ヘドロ）などに含まれる有機物を分解する際に電力を回収する技術である．本研究室では特に還元化が進行した有機泥に鉄鋼スラグを混合することでMFCの起電力向上を図っている．鉄鋼スラグは製鉄業において発生する副産物である一方で，残存鉄を多く含みエネルギー的に有効利用の可能性を持っている．鉄鋼スラグは従来，コンクリートの骨材など土木工事で多く利用されてきたが，日本では新規事業の土木工事は減少が予想されており新たな利用方法が模索されている．本研究室で行った広島県福山市での現地実験では，電池性能の向上や，有機泥の浄化が確認されている．

インドネシアでは急激な人口増加とインフラ整備の遅れにより，食品廃棄物の処理について問題が深刻化している．また，東ジャワ州ではKLL（Kasus Lumpur Lapindo；2006年5月29日に発生したガス田泥噴出事故）から続くSidoarjo泥の噴出が継続しており，その処理も重要な課題とみなされている．Laboratory of Industrial Waste and Biomass Treatment（ITS）では，これらの食品廃棄物，Sidoarjo 泥を用いた微生物燃料電池を有機性廃棄物処理の手法として開発が進められている．MFCは有機性廃棄物の分解・安定化に寄与しうる一方で，電力回収に関わる電池性能も重要となるが，電池性能に関しても依然として向上の余地がある．昨年度はこの電池性能向上を目的として，食品廃棄物を用いた微生物燃料電池について鉄鋼スラグを添加する検討を実施した．この昨年度の検討で一定の成果が得られたため，本年度は引き続き電池性能向上を目的として，食品廃棄物の添加量と電池性能の関係について共同研究を実施した．

3．研修/共同研究スケジュール

2025年8月25日　出国
2025年8月25〜9月23日　研究，プレゼンテーション等
2025年9月24日　帰国

4．研修先/共同研究派遣先の概要

大学名: The Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS; 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: Prof. Sri Rachmania Juliastuti, Prof. 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（以後，MFC；Microbial Fuel Cells）に関する研究において，食品廃棄物（以後，FW；Food Waste）を利用する際の加水分解の重要性とシドアルジョ泥（以後，LUSI；Lumpur Sidoarjo）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．昨年度の共同研究において検討した現地の鉄鋼スラグ（以後，SS；Steel Slag）を用いた MFC の電池性能においても一定の成果が得られた. 本研究では, それらの結果をもとに, FW 添加量に差をつけて LUSI，SS 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 より提供頂いた.

5.2 実験方法

5.2.1 実験装置

実験装置の概要は Fig. 1 に示す. 12 鉢の素焼き鉢に Anode 電極として Table 1 に示す通り FW（Pic. 1-a），LUSI（Pic. 1-b），SS（Pic. 1-c）と分散型に成型したカーボンファイバー電極（Cf 電極：10×10cm^2）を投入して水槽に投入し，その上層に水道水を投入した（以後，素焼き鉢内部を Anode 層

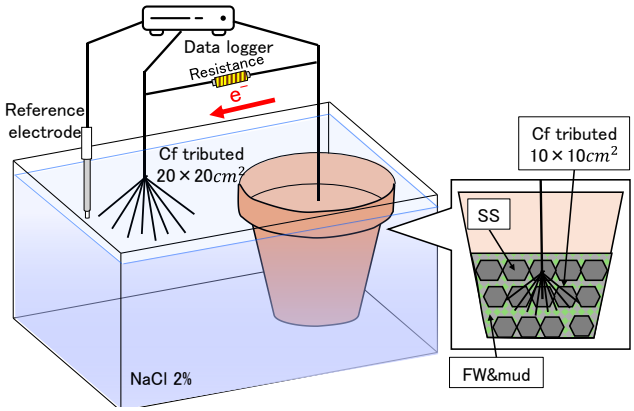


Fig. 1-a 実験装置（1 検体）

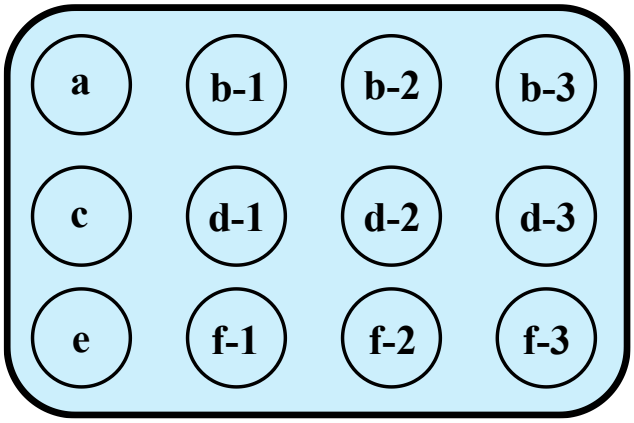


Fig. 1-b 実験装置（鳥瞰図-配置）

Table 1 実験検体

Sample	a	b	c	d	e	f
Sidoarjo mud(g)	100					
Food Waste(g)	0	1	5	10	50	100
Steel Slag(g)	100					
Sample number	1	3	1	3	1	3



Pic. 1-a FW



Pic. 1-b SS



Pic. 1-b LUSI

と呼称)．水槽には水道水を 15L，NaCl を 20.3g/L の濃度で溶かして投入した（以後，素焼き鉢外の NaCl 溶液を Cathode 層と呼称)．Cathode 層には Cathode 電極として Cf 電極（20×20cm^2)，Ag/AgCl 参照電極を設置した．これらの電極を銅線で接続してデータロガー（Voltage Recorder VR-71;T&R corporation，LR5042 voltage logger；HIOKI）にて電位測定を実施した．電位測定は装置作成後から解体まで基本的に (データ回収時, 接続不良などによる欠損を含む) 20 分おきに実施された．なお，FW を利用する際には，前処理として，菌類である Aspergillus Oyzae, Candida Rugosa, Aspergillus Aculeatus を混合し 50 時間静置して，多糖類やタンパク質等高次の有機物分解を促進している．

5.2.2 実験方法

Fig. 2 に示すスケジュールで検討を行った．装置は 9/5 に作成され，電位測定が **5.2.1** に示すようになされた．9/8 に抵抗を変えながら分極の程度を確認する VI 試験を実施した．抵抗には 4700，1000，470，100，47，10Ω で実施した．9/9 19：00 から抵抗（270Ω）を用いた通電試験を実施した．9/9，12，16，19 に Anode 上層の溶液を採取して pH，細胞数濃度を計測したほか，9/9，9/16 については COD，BOD の測定が実施された．pH は 9/15 以降溶液を採取しない日も測定された．Anode 層の還元性を保つため，Anode 上層溶液として適宜水道水を投入したほか，各種測定に利用されなかった採取溶液は戻す処理がなされた．9/9 以外の採水日には Anode 上層溶液の体積をメスシリンダーを利用して計測しており，種々の測定値はすべて溶液体積で除して 200mL で乗ずることにより，200mL の溶液に対する値と

Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
24 Aug.	25Departure from Osaka Arrival in Surabaya	26 Slag crushing	27 Slag crushing	28 Making electrode Slag clushing	29 Buying cray pot Collecting mud	30
31	1 Sep. Slag clushing	2 Collecting &Treatment FW	3 Clay pot test	4 Clay pot test Making samples	5 Holiday Making line	6
7	8 VI test	9 Energization	10	11	12	13
14	15	16	17	18 VI test Measurement all items	19	20
21	22 Final Presentation	23 Departure from Surabaya	24 Arrival in Narita	25	26	27

Collecting solution, Potential (Voltage), Current

Potential (Voltage), Current

Fig. 2 Schedule

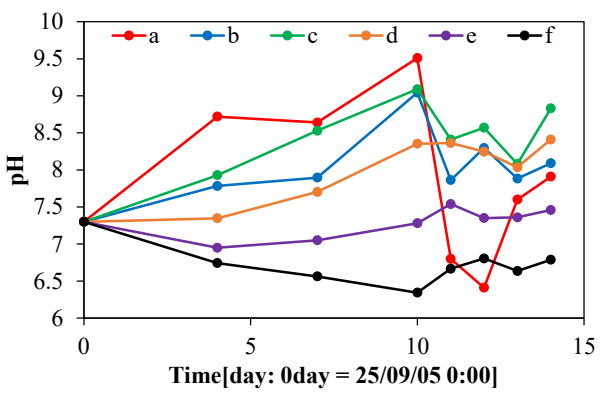


Fig. 3 Time~ pH

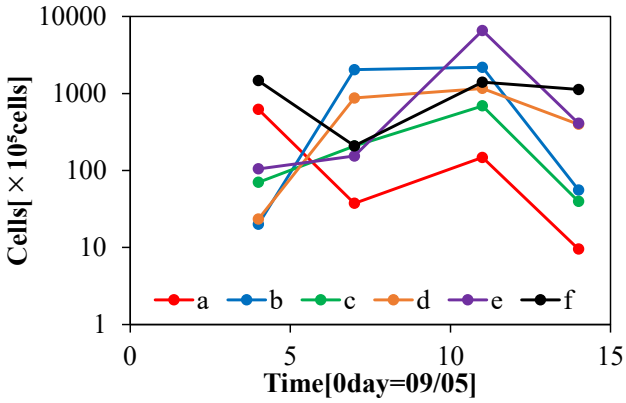


Fig. 4 Time~ Cells

して以後示す.

5.3 結果と考察

Fig. 3，Fig. 4 には pH と細胞数の経時変化を示す．Day0～Day10 にかけては Anode 基質に占める鉄鋼スラグ割合が多いほど pH が上昇し，FW 割合が多いほど pH が低下した．Day11 付近から e，f 以外の検体で pH の低下が発生しておりこれに同調するように微生物数も Day11 に向かって上昇している．その後，f 以外の検体は Day11～Day14 にかけて微生物数の低下が見られたが，f に関しては，まだ活性が維持されそうな挙動を示している（実験期間の問題で測定には至っていない）.

Fig. 5 には Anode 電位の経時変化，Fig. 6 には Day 4 から Day13 での Anode 電位（OCV）の変化を示している．Anode 電位は FW 割合が大きいほど高くなっており，鉄鋼スラグ（SS）の影響が小さくなるとともに還元性が保ちづらい状態となっている．一方で，Day4 に通電試験が開始され CCV となっているにも関わらず，Anode 電位が低下していく挙動が見られた．Cathode 電位も著しく低下しているため一概には言えないものの，SS からの Fe 等の溶出，細胞数の増加と同調していると思われる．Fig. 6 では FW 割合が大きいほど OCV の低下が見られており，Anode 性能と FW 量の関係性が表れている.

Fig. 7~10 には通電前後の VI 試験結果を示す．通電前は FW 量が最も少ない a では，電流が最大約 7 mA まで増加し，最大出力は約 2.5 mW に達した一方で，FW 量が最も多い f では，電流は約 2 mA 程度で頭打ちとなり，最大出力も約 0.3 mW に留まっており，通電前の初期状態においては，FW 添加量の増加が直ちに発電性能向上に結びつくとは限らず，むしろ高負荷側で電流の伸長が抑制される傾向が確認された．通電後の VI 試験結果では，曲線形状において Cathode 電位の低下が大きく，条件によっては電位が過度に落ち込む挙動が認められたため，通電後の性能差は Anode 層条件のみでは説明しにくく，Cathode 分極の影響が支配的に現れた．その中でも b および f は高い OCV から測定が開始されており，通電後の出力差には初期 OCV の差が寄与している可能性が示唆される．出力曲線では b が最大出力（約 1.1 mW）を示し，通電後条件の中で相対的に良好な性能を維持した．一方 f は比較的大きい電流域まで到達するものの出力の伸びは限定的であり，電流は流れるがセル電圧が維持できない（損

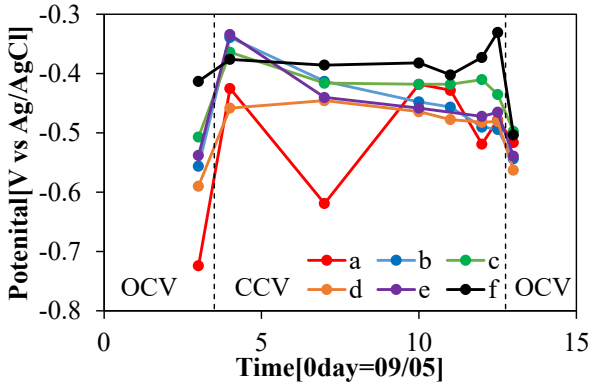


Fig. 5 Time~ Potential

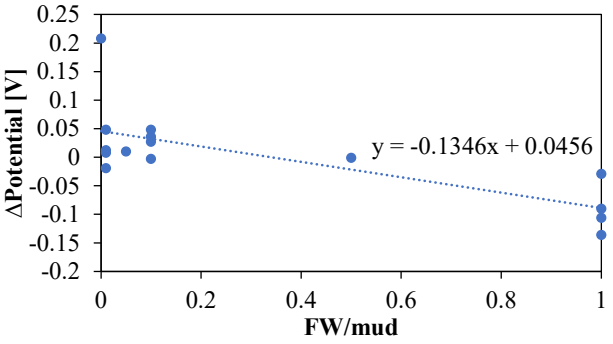


Fig. 6 FW/mud~ ΔPotential

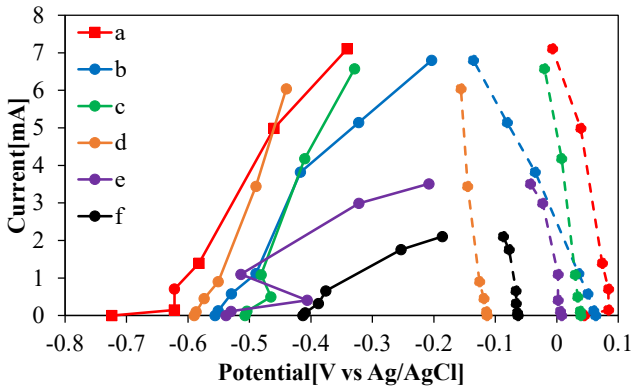


Fig. 7 Polarization Curves (before energizing)

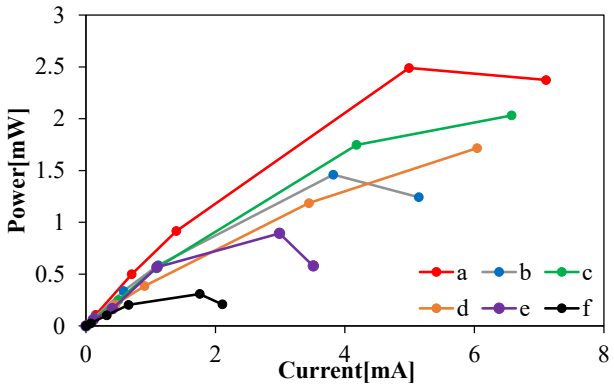


Fig. 8 Power Curves (before energizing)

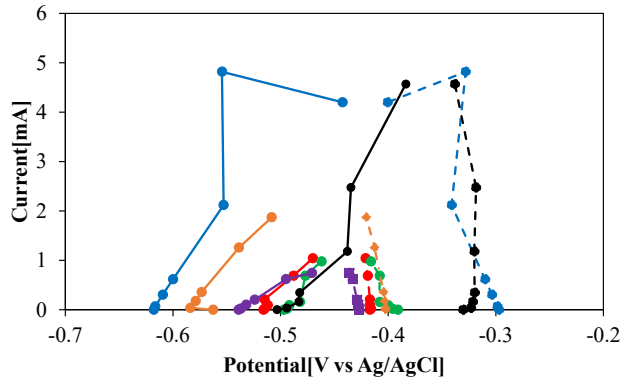


Fig. 9 Polarization Curves (before energizing)

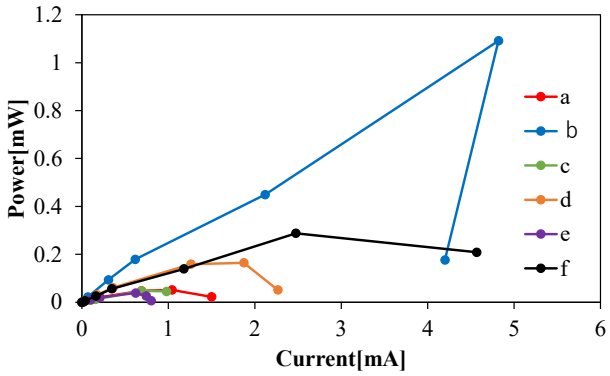


Fig. 10 Power Curves (before energizing)

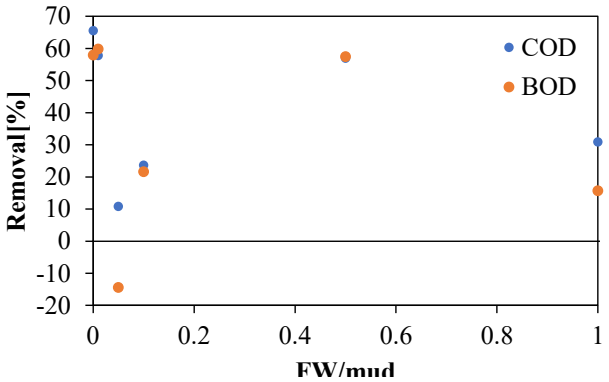


Fig. 11 Removal rate(COD &BOD)

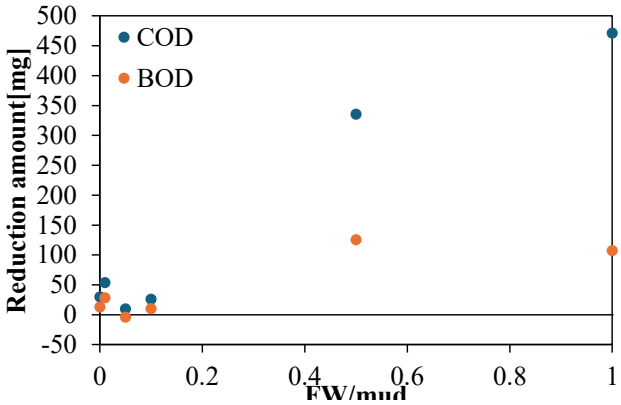


Fig. 12 Reduction amount(COD &BOD)

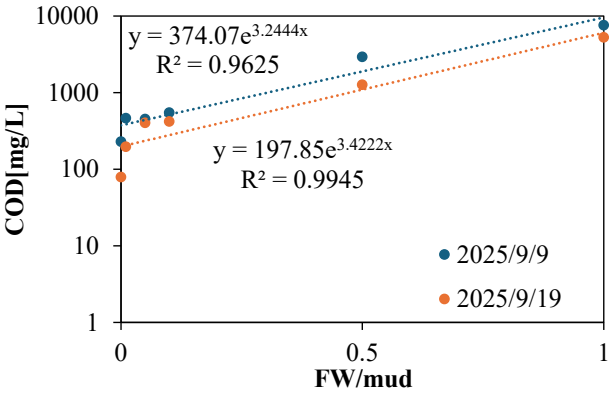


Fig. 13 COD Result

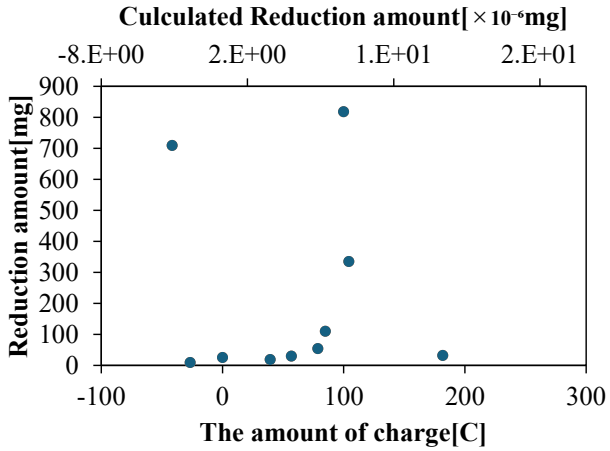


Fig. 14 Coulomb ~ COD reduction

失が大きい）挙動として整理できる．

FW/mud と有機物除去の関係を Fig. 11（除去率）および Fig. 12（除去量）に示す．除去率は概ね FW 量が少ない条件ほど高い傾向を示したが，C（FW/mud=0.05）や D（FW/mud=0.1）ではこの傾向に従わない挙動が確認された．その一方で，除去量（mg）で整理すると，FW 量が多い条件ほど除去量が大きい傾向が確認され，除去率と除去量で評価の印象が変化することが示された．Fig. 13 は COD の結果を縦軸を対数軸にして示しているが，COD は FW/mud に依存した水準を示し，FW/mud の増加に伴い指数関数的に増加する関係をなしており，除去率と除去量の相反する傾向は初期値に依存してしまうため FW/mud は有機物除去の説明変数にならなかった．獲得電気量（通電量）と COD 減少量の関係を Fig . 14 に示す．本整理は「通電量に対して有機物の処理量が変化する」ことを確認する意図で作成し

たが，優位な相関は認められなかった．また，獲得電気量を COD の次元に換算した値は×10^{-6} mg オーダーと小さく，獲得電気量と COD 除去量を同一の物質量として直接比較することは難しい(COD は Anode 上層溶液から測定されたため，Anode 基質内の COD 除去に対し不十分であるが，いずれにしても獲得電気量に対してさらに離れていく検討である)．Fig. 15 に示す最大微生物量と COD，BOD 除去量においても関係性が示されている．最大微生物量が 1500 ×10^5Cells 程度の検体は f でありさらに大きな微生物量が得られた可能性が否定できない．ここに示す微生物量は必ずしも電気活性微生物（電極に電子を供与しうる）を示すものとは限らないものの，微生物量に対して有機物除去量がこのように得られるのであれば，適切に Cathode を設定することで電池性能向上が期待できると考えられる．

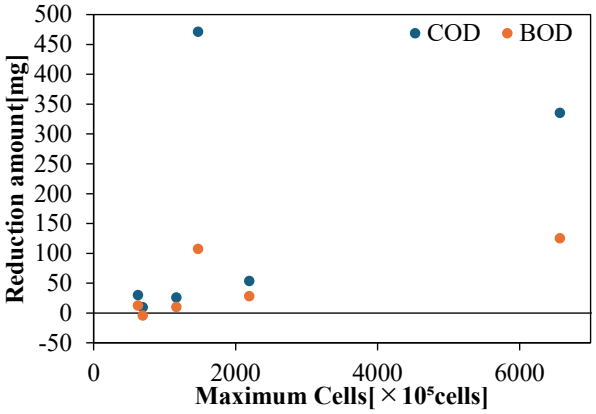


Fig. 15 Maximum Cells ~Reduction amount

6. まとめ

今回の派遣では，約 1 か月間，普段とは異なる生活環境と研究環境に身を置いたことで，自分の価値観や日常の前提を見直す機会となった．私生活では，イスラム教文化に根ざした生活習慣を間近で知り，宗教的な所作が日常に自然に組み込まれている点が特に印象に残った．例えば，金曜日には男性が集まって礼拝を行っていたり，モスクから大きい音で音楽が鳴っていたり，生活のリズムと結びついていることを実感した． その一方で，住環境の違いによる負担も大きく，トイレや入浴設備の仕様や使い方が日本と異なるため，衛生習慣の切り替えに慣れるまで苦労した．衛生設備や衛生行動は，単に設備の有無だけでなく，行動様式や運用と一体になって生活の質や安心感に影響することを体感した．研究面では，研究室の学生の多くが英語でコミュニケーションをとれる点に刺激を受けた．同時に，研究設備や実験環境について，日本の所属研究室がいかに整備され，恵まれた条件のもとで研究できているかを再認識した．しかしながら，英語でのコミュニケーションを日常的に行いながら研究を進めた経験は，言語面の不安を抱えつつも実務としてやり切れたという点で，自分にとって大きな自信につながった．さらに，渡航前は生活面の不安もあったが，受入先の研究室の方々が温かく迎え入れ，多方面で支援してくださったことで，生活上の心配を抱え込まず研究に集中できた．この経験を通して，人とのつながりが研究活動の基盤であることを改めて実感した．

7. 謝辞

本研究においてご指導して頂いた Juliastuti 先生 Darmawan 先生，Fredy 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．