

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）

研究領域「地球規模の環境課題の解決に資する研究」

研究課題名「材料革新に基づく持続可能なエネルギー・資源・水回収型パー

ムオイル搾油廃水（POME）処理システムの開発」

採択年度：令和4年度（2022年度）/研究期間：5年/

相手国名：マレーシア

令和5（2023）年度実施報告書

国際共同研究期間^{*1}

2023年 7月 12日から2028年 7月 11日まで

JST側研究期間^{*2}

2022年 6月 1日から2028年 3月 31日まで

（正式契約移行日 2023年 4月 1日）

^{*1} R/Dに基づいた協力期間（JICAナレッジサイト等参照）

^{*2} 開始日=暫定契約開始日、終了日=JSTとの正式契約に定めた年度末

研究代表者：吉田奈央子

名古屋工業大学・准教授

I. 国際共同研究の内容（公開）

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール

【当初予定】

研究題目・活動	2022年度 (10ヶ月)	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度
P1：POME 汚泥の導体炭素を用いたメタン発酵技術の開発 P4：消化汚泥の肥料化プロセスの最適化ならびに施肥効果の評価 P1P4S：汚泥の嫌気消化・バイオガス発電および消化汚泥の肥料化		P1-1 ラボスケールのメタン発酵リアクター運転化と評価 P1-2 性能評価・微生物群集解析・シミュレーションモデル P4-1 消化汚泥の肥料価値の向上技術の開発化と評価 P4-2 消化汚泥の肥料化プロセスの最適化と評価				
P2：廃水処理型 MFC におけるセパレータ膜・電極の開発(研究) P2S:新材料を用いた MFC による POME 処理試験	既存 MFC を用いた POME 廃水処理試験 ↓ 炭素材料, セパレータ生産, 廃水処理の協力企業・現地企業の選定・調整	P2-1 カソード触媒の選定 P2-2 セパレータの選定 P2-3 アノード材料の選定	P2-4 量産化技術開発	P1P4S 現地での実証試験 P2S リアクターの性能評価・電気化学的解析・微生物群集構・シミュレーション造解析		
P3:POME 廃水の水再生のための高度な膜システムの開発 P3S:POME 処理水のセラミック膜ろ過による再生利用試験	POME 廃水および処理水の水質分析, ろ過試験, 濃縮水の分析	P3-1 膜の設計・開発・製造 P3-2 処理能力の評価・スクリーニング・改良	P2S 10m ³ 規模の MFC リアクター評価			
P5 システムの統合的評価・社会実装性の検証・成果発信						

【変更後】※PDM と統一するため、下記のように記載を変更した

研究題目・活動	2022年度 (10ヶ月)	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度
P1:直接種間電子伝達を促進する炭素材料を導入したPOME バイオガス生産システムの確立		1-1 炭素材料の開発・スクリーニング 1-2 適切な運転条件を特定 1-3 メタンガス純度を高める分離膜の開発 1-4 火力発電と固体酸化物電池発電の効果の比較 1-5 ガス活用方法の検討 1-6 バイオガスに加温が与える影響の検討 1-7 機能微生物の特定 1-8 スケールの決定 1-9 スケールアップ 1-11 電気化学的メタネーション			1-10 実証評価	
P2:POME 処理型 MFC の開発	既存 MFC を用いた POME 廃水処理試験 ↓ 炭素材料, セパレータ生産, 廃水処理の協力企業・現地企業の選定・調整	2-1 開発方針の決定 2-2 MFC 電極・セパレータの開発 2-3 MFC ユニットの評価 2-4 POME-MFC 機能微生物の特定 2-5 MFC モデル計算の検討 2-6 スケールアップ 2-7 実証評価				
P3:POME 廃水の水再生のための高度な膜システムの開発	POME廃水および処理水の水質分析, ろ過試験, 濃縮水の分析	3-1 前処理および逆浸透 (RO) 膜の設計と製造 3-2 汚染のメカニズムと防止方法の分析 3-3 膜の性能と水質の評価および最適化 3-4 水再生能力、エネルギーバランス、および固形物除去能力の計 3-4 水再生膜システムの適切なスケールの決定 3-6 長期的な安定性および COD 除去能力の評価				
P4:POME から栄養塩等の有価物を回収するシステムの開発		4-1 実験室規模でのストルバイト回収のプロセスと評価 4-2 ストルバイト回収プロセスの設計と手順の開発 4-3 栄養塩を回収する光合成システムの開発および改良 4-4 スケールの決定および設計 4-5 機能微生物の同定 4-6 実証評価				

(2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

- ・現地ヒアリングの結果、バイオガスについては現地で発電するよりも純化しガスとして販売する用途への期待が高く見込まれた。これより、ガス純度を高める膜精製方法の開発の他、排ガス中に含まれる CO₂ を電気化学的に還元して用いる電気化学的メタネーションについて併せて取り組むこととした。
- ・「P4:POME から栄養塩等の有価物を回収するシステムの開発」について、ヒアリングの結果、発生

【令和5年／2023年度実施報告書】【240531】

汚泥のコンポスト化はある程度確立されている一方, POME から栄養塩をストルバイトとして回収する技術開発が求められていることが明らかになり、これに新たに取り組むこととした (Fig. 1) .

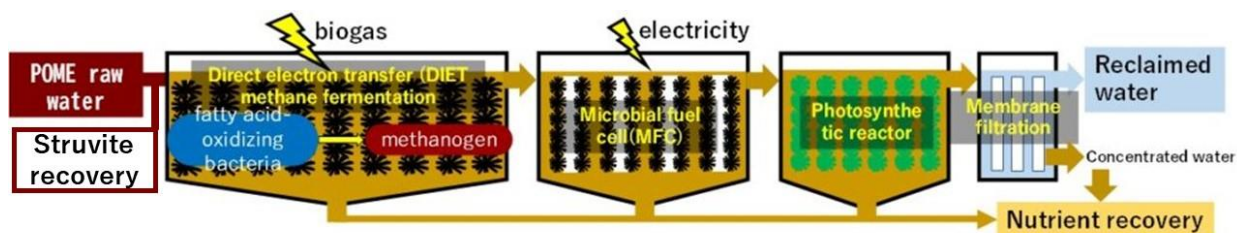


Fig.1 The schematic diagram of whole system treating POME with recovering biogas, electricity, nutrients, and reclaimed water.

- ・ 現地での実証試験の時期について、4－5年目に取り組む予定としていたが、現在、2年目となる本年度に小スケール規模で現地試験を立ち上げるべく試験装置を設計し、この試験装置の設置について現地企業と交渉をしている
- ・ 本課題の主要メンバーは Fig. 2 のようで、実際には Table. 1 に示す通り参画メンバーが拡充されている. さらに Fig. 3 に示す社会実装体制において、現地企業としてパーム油製造企業である JPB および FELDA が参画することが決まり、現地評価試験は JPB の POME 処理池を用いて実施する予定である.

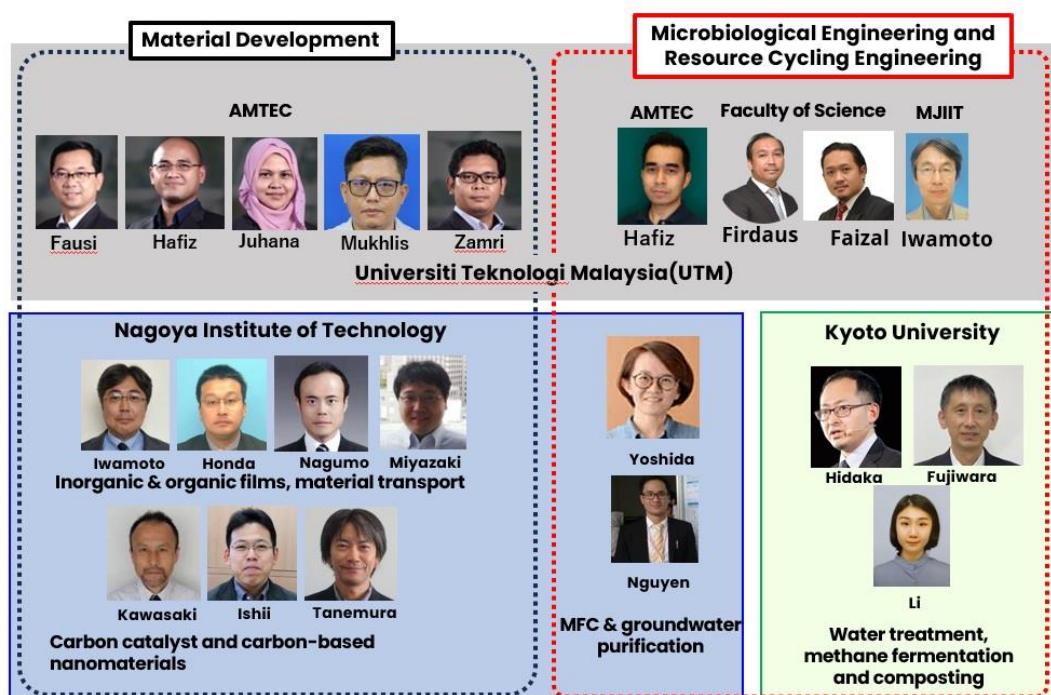


Fig.2 Research organization

Table 1 List of project members

Output	Name	Affiliation (Country)
1	Prof. Dr. Mohd Hafiz Dzarfan Othman	UTM (Malaysia)
1	Assoc Prof. Dr. Roswanira Abdul Wahab	UTM (Malaysia)
1	Dr. Mohd Hafiz Puteh	UTM (Malaysia)

【令和 5 年／2023 度実施報告書】【240531】

1	Dr. Mohd Zamri Mohd Yusop	UTM (Malaysia)
1	Assoc. Prof. Dr. Aznah Nor Anuar	UTM (Malaysia)
1	Mr. Kamarul Ariffin Hassan	UTM (Malaysia)
1	Dr. Nor Akmal Fadil	UTM (Malaysia)
1	Assoc. Prof. Ir. Ts. Dr. Roshanida Abdul Rahman	UTM (Malaysia)
1	Dr. Yazid Yaakob	UTM (Malaysia)
1	Prof. Dr. Nafarizal Nayan	UTM (Malaysia)
1	Ts. Nur Muhammad Afifi Zainal	UTM (Malaysia)
1	Prof. Dr. Mohd Hafiz Dzarfan Othman	UTM (Malaysia)
1	Assoc Prof. Dr. Roswanira Abdul Wahab	UTM (Malaysia)
1,2	Prof. Dr. Masaki Tanemura	Nitech (Japan)
1,3	Prof. Yuji Iwamoto	Nitech (Japan)
1,2	Prof. Dr. Shinji Kawasaki	Nitech (Japan)
1,2	Assist. Prof. Dr. Yosuke Ishii	Nitech (Japan)
1,4	Dr. Taira Hidaka	Kyoto Univ. (Japan)
1,4	Prof. Dr. Taku Fujiwara	Kyoto Univ. (Japan)
1, 2, 4	Assoc. Prof. Dr. Naoko Yoshida	Nitech (Japan)
1,2	Prof. Dr. Shinji Kawasaki	Nitech
2	Assoc Prof. Dr. Juhana Jaafar	AMTEC, UTM
2	Dr. Farhana Aziz	AMTEC, UTM
2	Dr. Wan Norhayati Wan Salleh	AMTEC, UTM
2	Dr. Mohd Akmali Mokhter	AMTEC, UTM
2	Mr. Mohammad Abdul Razis Saidin	AMTEC, UTM
2	Ts. Azuan Abdul Latif	TNBR
2	Ts. Ahmad Nazri Saidin	TNBR
2	Kenny Looi Soon	UTM
2	Hamdan Dwi Rizqi	UTM
2	Thisha Abirami A/P Sivasankar	UTM
2	Mohd Faizal Bin Hamzah	UTM
2	Normaiza Binti Nordin	UTM
2,3	Assoc Prof. Dr. Ryo Nagumo	Nitech
3	Prof. Ahmad Fauzi Ismail,	UTM, Vice chancellor
3	Assoc Prof. Pei Sean Goh	AMTEC, UTM
3	Assoc Prof. Woei Jye Lau	AMTEC, UTM
3	Prof. Yuji Iwamoto	Nitech
3	Assoc. Prof. Hidetoshi Miyazaki	Nitech
4	ASSOC. PROF. DR. MUKHLIS A RAHMAN	AMTEC, UTM
4	Dr. Mohd Firdaus Bin Abdul Wahab	UTM
4	Dr. Mohd Farizal Ahmad Kamaroddin	UTM
4	Dr. Zulhairun Abdul Karim	AMTEC, UTM
4	Assoc. Prof. Dr. Norhaniza Yusof	AMTEC, UTM
4	Dr. Hasrinah Hasbullah	AMTEC, UTM
4	Dr. Khairul Hamimah Abas	AMTEC, UTM
4	Ts. Dr. Nik Noordini Nik Abd Malik	AMTEC, UTM
4	Assoc. Prof. Dr. Siti Hamidah Bt Mohd Setapar	MJIIT, UTM
4	Assoc. Prof. Koji Iwamoto	MJIIT, UTM

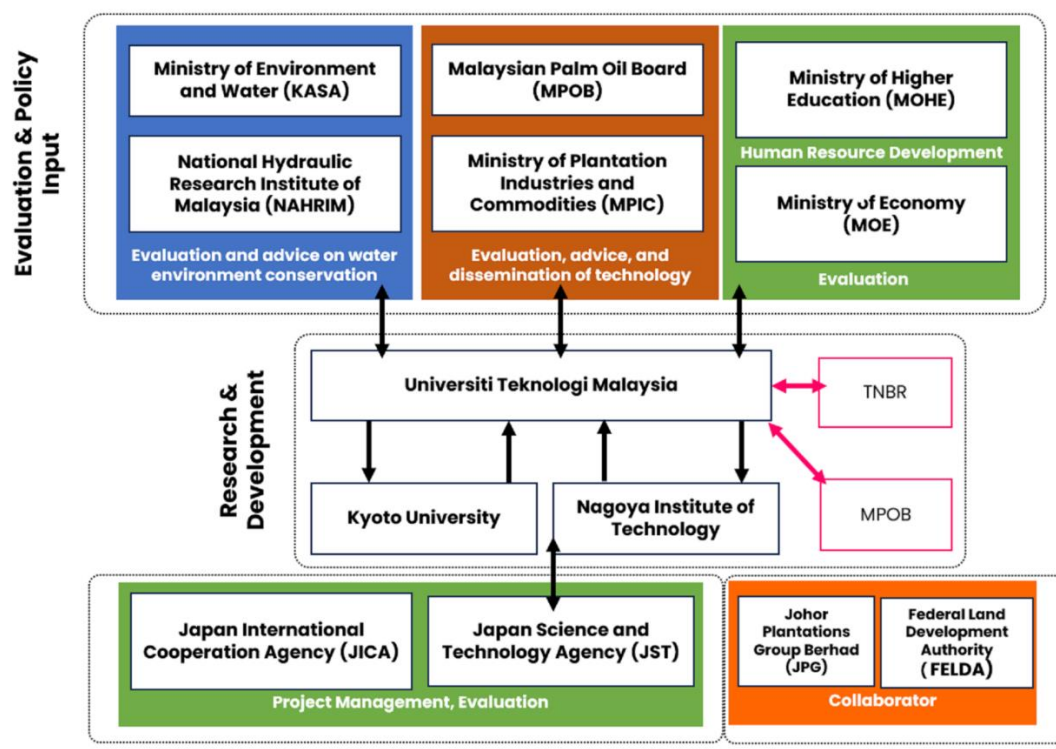


Fig.3 Social Implementation system

2. 計画の実施状況と目標の達成状況 (公開)

(1) プロジェクト全体

- 2023 年度に予定していた POME メタン発酵を促進する炭素材料についてマレーシアで行った際の課題を解決する材料を用い日本国内で行った試験で有効性を確認した。微生物燃料電池について新たなセパレータ材料の評価試験を実施したが、既存のセパレータに比べて性能が劣る結果となり、その原因がカソード側におけるカルサイトの析出にあることを明らかにした。少量の酸素還元触媒を製造し酸素還元試験による性能評価を実施したが、MFC に塗布し評価するには至らなかった。POME 処理水を用い光合成培養による栄養塩の回収試験を実施し、光合成微生物の培養が可能で、また処理水の色を低減できることを示した。
- JICA 予算による研究設備の機材調達を 8 割方終え、国内調達の機材についても 6 月中の輸出完了を予定している。UTM 内にプロジェクトに用いる機材を集中的に設置する実験室を整備が遅れているが、本年度内には完了する予定である。2023 年秋には全成果チームにマレーシア側および日本側にポスドクや博士課程学生が配され、実験を開始している。また、現地で POME 処理システムを設置する企業が決定し、小規模規模の現地試験開始できるよう交渉している状況である。
- 2023 年度は日本側教員 2 名、大学院生 2 名およびポスドクの計 5 名がマレーシアに渡航し実験や打ち合わせ等を行った。さらに 2024 年度にマレーシアに渡航する大学院生 4 名を決定し、各 2.5 カ月の滞在期間に実施する研究テーマについて UTM 内の受け入れ教員と決定し、渡航準備を進めている。

また、マレーシア側より 8 名の UTM 教員を受け入れ打ち合わせ、学長来訪等大学間の交流、共同研究に用いる実験設備の見学等を実施した。さらにマレーシアより 2 名が研究生として来日し 2024 年 4 月に名工大博士後期課程へ入学した。さらに 2024 年度に研究生として来日し博士後期課程へ入学する学生 1 名が国費留学生 SATREPS 枠に申請し採用され 2025 年 4 月に入学予定である。

(2) 各研究題目

(2-1) 研究題目 1 (P1)：直接種間電子伝達を促進する炭素材料を導入した POME バイオガス生産システムの確立（日本側リーダー：藤原拓）

① 研究題目 1 の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）
計画において、2023 年度には、1. 炭素材料の開発・スクリーニング（名工大・京大・UTM）、2. 適切な運転条件を特定（名工大・京大・UTM）、3. メタンガス純度を高める分離膜の開発（UTM）、4. バイオガスに加温が与える影響の検討（UTM）、以上 4 つに着手する予定としていた。1. 炭素材料の開発・スクリーニングは特に実証スケールに用いる炭素材料について概ね決定したとともに、新たな炭素材料の試作が UTM で行われ始めている状況にある。2. 運転条件については、名工大および京大で異なる廃水を用いて検討をはじめており、3. メタンガス純度を高める分離膜の開発は UTM で開発方針が立てられたところである。4. バイオガスに加温が与える影響の検討については、UTM では実験室リアクターの設計や装置のセットアップに着手した状況である。

② 研究題目 1 の当該年度の目標の達成状況と成果

① に述べた通り、おおむね計画通り進行している。加えて、現地での実証試験を小規模・大規模の 2 段階で行うこととし、装置のスケールと実施方法について原案を現地協力企業に提案した。今後協議して決定し実施する。

③ 研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

名工大・UTM 間で検討した試作品を用いメタン発酵促進効果が得られるか、京都大学で模擬廃水を用い、名工大では下水を用いて検討を進めた。得られた結果では有機物濃度が濃い・もしくは負荷量が高い場合に大きな差がない一方、下水のような有機物濃度が薄い廃水では顕著な促進効果が示された。これよりバイオガスリアクターに導体炭素を導入する場合は前段・後段にわけ、後段に導入することで費用対効果の高い導入が可能であることが示された。

④ 研究題目 1 の研究のねらい（参考）

パーム搾油企業へのヒアリングの結果、バイオガスの活用方法として最も期待されるのはガス発電よりも純度の高いメタンガスの生産であった。本課題では 3 つのアプローチで純度の向上を狙う：第 1 に導体炭素を用いた直接直越種間電子伝達（DIET）メタン発酵によるメタン発酵の促進、第 2 に分離膜を用いたバイオガスの精製、第 3 に電気化学的メタネーションである。

⑤ 研究題目 1 の研究実施方法（参考）

京都大学では POME 模擬廃水を調製し炭素材料を添加したもの、添加していないものを用意し、負荷量を変えて培養した際のメタン発生量を比較した。名工大では下水を用いて炭素材料を添加したもの、添加していないものを用意し、セミバッチ試験を行い、メタン発生量を比較した。さらに実験に用いた炭素材料についてサイクリックボルタンメトリー解析を行った。

(2-2) 研究題目 2 (P2)「廃水処理型 MFC におけるセパレータ膜・電極の開発」

(日本側リーダー：吉田奈央子) ①研究題目 2 の当初計画 (全体計画) に対する実施状況 (カウンターパートへの技術移転状況含む)

- ・計画では、マレーシア国内で現地製造できるセパレータ膜・アノードおよびカソード電極ならびに触媒の製造方法の開発方針の決定、方針に従って MFC を試作評価する予定であった。
- ・アノードについては安価に大量生産可能な材料を選定したとともに、集電体として用いる抵抗が小さな非白金金属について腐食させずに長期間電流回収が可能となるよう炭素被膜形成を試み、これが可能であることを示した。
- ・カソード触媒については、新たに少量の酸素還元触媒を合成し既存材料よりも高い活性を示す結果が得られたが、MFC に塗布して試験するまでには至らなかった。
- ・セパレータについて、日本において新たに製作したセパレータを用いた MFC について従来ユニットとの性能比較試験を継続し、残念ながら長期運転において性能が大きく低減し、これがカソード上に生じるカルサイトの析出にあることを明らかにした。新たに製造したセパレータでは、アニオン交換性をもつ薄膜を形成する改良に UTM および名工大で取り組んでいる。

②研究題目 2 の当該年度の目標の達成状況と成果

MFC においてはアノード材料と構造についておよそ決定し、有機物分解～生産電力に影響するアノード抵抗の計算方法を確立した。実証試験に用いるカソードおよびセパレータについてはまだ決定できておらず 2024 年度内に決定する予定である。

③研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

- ・MFC の性能を統合的に評価する際にはアノード抵抗およびカソード抵抗を運転条件に応じて決定する。アノード抵抗の計算はほぼ確立している一方、カソード抵抗については参照電極をアノード槽に設置しているためにセパレータの抵抗と考えられる溶液抵抗と分離できず、内訳も不明であった。2023 年度に行ったインピーダンス測定の結果より、溶液抵抗は無視できるほど小さく、且つ、新しく製造したセパレータでは酸素還元触媒上にカルサイトが析出することが原因でカソード抵抗が増大する現象を観察した。これまでセパレータはそれ自体の抵抗が小さいことが重要ととらえ、分離して計算する方法を模索していたが、それよりもカソードの酸素還元反応を低下させないイオン選択性が重要であることが示された。これよりセパレータの評価はそれ自体の抵抗を測定して考慮するのではなく、カソード抵抗に含めて評価するのが实际的であると考えられる。以上より、MFC の有機物分解～電力出力の統合的な計算には、アノード抵抗とカソード抵抗の合算とし、カソード抵抗の計算に酸素還元活性だけでなくセパレータのイオン選択性や pH を盛り込んだ計算をするのが実用的である。

④研究題目 2 の研究のねらい (参考)

- ・メタン発酵で分解できる有機物濃度には限界があり、後処理が必要である。従来の処理では電力を消費して曝気処理を行うが、これに代わって MFC を用いることで曝気電力を使わず有機物を分解し電流へ転換する。

⑤研究題目 2 の研究実施方法 (参考)

- ・微生物燃料電池カソードの酸素還元触媒として優れた安定性をもつ炭素材料を探索することを目的として、単層カーボンナノチューブ (SWCNT) の電気化学的な耐酸化性を評価した。具体的には、直

径の異なる複数の SWCNT 試料を対象に、電解液の種類や印加電圧を変えた際の劣化挙動をラマンや X 線光電子分光によって解析した。

- ・新たなセパレータとして主に石英で構成された 4 種類のセラミックセパレーター (CS) を用いた MFC を製作しアニオン交換膜 (AEM) をセパレーターとして用いた MFC を用いて、下水中で 171 日間電流生成性能を比較した。運転期間中の電力生産のほか、電池内部抵抗、セパレータの気孔率とイオン伝導率、インピーダンス測定、エネルギー分散型 X 線分光法、および X 線回折分析により運転中のセパレータの状態変化を解析した。さらに気孔サイズの分布を水銀圧入法により決定した。

(2-3)研究題目 3 : 「POME 廃水の水再生のための高度な膜システムの開発」

水再生膜リーダー : ©Fauzi, Pei Sean, Woei Jye (UTM)

- ① 研究題目 3 の当初計画 (全体計画) に対する実施状況 (カウンターパートへの技術移転状況含む)
- ・計画では、3-1 前処理および逆浸透 (RO) 膜の設計と製造、3-2 汚染のメカニズムと防止方法の分析を行う予定としており、予定通り RO 膜作成の方針をたて、膜性能は処理水質およびファウリングの状態を示す運転圧力によって評価し、具体的な目標を決定した。

研究題目 3 の当該年度の目標の達成状況と成果

- ・2023 年 10 月に 3 名の博士課程の学生がプロジェクトに参加し実験を開始した段階である。2 名の学生は RO 関連の研究に従事し、1 名の学生は限界ろ過膜 (UF 膜) の研究に従事する。現在、学生らを主体として実験室で膜の製造と既存膜を用いた水質試験を行っている。
- ・また膜の改質および特性評価に必要なゼータポテンシャルアナライザーおよびナノミストスプレーコーターの選定を終え調達準備を進めている。
- ・題目 4 の処理対象となる前段の POME 処理水を用意できていないことから、模擬廃水を用いた試験を行っており、現在国内でも下水を用いた評価を行う準備を進めている。

- ② 研究題目 3 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

- ・研究題目 4 の栄養塩回収において、メタン発酵の前段の最も濃度が高い段階でスケールの原因を大まかに取り除くとともに、光合成微生物培養による取り込み栄養塩の固定が行われることで題目 3 におけるファウリングへの負荷を低減することとした。

- ④ 研究題目 2 の研究のねらい (参考)

- ・マレーシアでは、あらゆる産業において用いる水の 30% を再生水で賄う目標が掲げられている。搾油工場から排された廃水処理システムから再生水を製造し搾油工場で再利用することを目指す。

- ⑤研究題目 3 の研究実施方法 (参考)

- ・RO 膜は、Polyvinylidene fluoride (PVDF)、Polyvinylpyrrolidone (PVP) および N-Methyl-2-pyrrolidone (NMP) を用いた中空糸膜として作成後に、表面を親水化する処理を行い作成し、高分子、低分子量有機分子、溶解イオンを除去する。さらに、膜性能は処理水質およびファウリングの状態を示す運転圧力によって評価し、具体的な目標を決定した。
- ・膜の性能評価は、AFM や SEM を用いた表面形状の分析、接触角測定による膜の疎水性評価、TGA を用いた膜の熱特性、ATR-FTIR を用いた膜表面の官能基の分析、ゼータ電位系を用いた異なる pH における膜性質の変化、膜ファウリングについてレーザー共焦点顕微鏡を用いて分析する。

(2-4)研究題目 4：光合成微生物の培養等による栄養塩の利活用

- ① 研究題目 4 の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）
 - ・当初の計画では、暫定期間～1 年において MFC 処理水から栄養塩回収するためのゼオライトの設計・スクリーニングを予定していたが、昨年に予備試験で行ったゼオライトを用いた栄養塩の回収試験において想定よりも寿命が短く再生利用が困難であることが明らかになり、ゼオライトと磁性粒子を用いた、さらに現地企業でのヒアリングにおいて POME を処理システムに送る配管でのスケールが大きな問題になっていることが明らかになり、送液する前に主なスケール成分であるストルバイトとして栄養塩を回収する計画に修正した。修正後の計画では 2023 年度は、4-3MFC 後の栄養塩の除去・回収を目的に栄養塩を回収する光合成システムの開発および改良、4-5 機能微生物の同定に着手する計画としており、実験室規模のバッチ試験において光合成微生物培養が POME 処理に与える影響評価試験を開始した。
- ② 研究題目 4 の当該年度の目標の達成状況と成果
 - ・予備試験で想定と異なる結果が得られたこと、また現地企業ヒアリングの結果、バイオガスや MFC 処理された後の薄い処理水から樹脂に栄養塩を吸着回収する計画からバイオガスの前段の濃い廃水で析出除去する計画の修正があったが、これ以外はおよそ予定通りにすすめられている。
- ③ 研究題目 4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開
 - ・研究題目 4 は申請段階では想定していなかった題目であるが UTM 内に藻類培養に実績ある研究体制が構築された。2023 年度は、実際に京大および名工大から研究者が滞在しこのラボを借りて実験を行い円滑に共同で研究を進められる状況であることを確認した。
 - ・上記に詳しく述べた通り、ストルバイト析出による栄養塩回収を前段におく計画修正を行った。
 - ・光合成処理において想定していなかった色の低減効果が観察された。POME の処理水の色は現地でも問題になっており具体的に環境基準値の設定が検討され始めていることから、色の低減効果があればより効果的な処理となりえる。
- ④ 研究題目 4 の研究のねらい（参考）
 - ・ストルバイトとして栄養塩を回収することで POME 排水管のスケール発生の課題解決に寄与するとともに、後段の光合成処理により栄養塩回収・CO₂ 固定および POME 処理水の色を低減する。さらに再生水処理時の負荷低減によって再生膜のファウリングを低減し長寿命化する。
- ⑤ 研究題目 4 の研究実施方法（参考）
 - ・現状、バイオガスおよび MFC からの廃水を予備試験するに足るだけは用意できていないことから、現地で採水した処理水を用いて予備試験を行っている。POME 処理水で満たした容器に馴致した POME を炭素源として生育させた光合成微生物群集を与えた場合と与えない場合で n=3 で培養試験した結果、馴致系において高い有機物の除去、光合成バイオマスの回収ならびに色の低減を観察した。この培養容器より処理水を培地とした光合成微生物の培養を行い培養法及び非培養法に基づき微生物の同定を行っている。

II. 今後のプロジェクトの進め方、およびプロジェクト／上位目標達成の見通し（公開）

- ・本プロジェクト目標は「POME 廃バイオマスをエネルギー、肥料、再生水としてリサイクルするエネルギー・資源・水循環型 POME 廃水処理システムの確立」であり、これより、「エネルギー・資源・水

循環型 POME 廃水処理システム」により廃水処理に付加価値を生み出すグリーン産業を創出し、「POME からのエネルギー・資源・水循環利用産業の創出によるパーム油産業の持続可能性の強化」を上位目標として目指す。本プロジェクトは 2023 年 7 月 1 日に国際共同研究を正式に開始したが、この目標に変更はない。

- ・プロジェクトの達成目標の指標は、パイロット試験で実証されたバイオマスからの電力回収および廃水処理にかかる電力の削減効果による CO2 排出量の削減効果、廃水栄養塩を用いた有価物製造量、再生水の製造量とする。サイトにおける電力回収は主にバイオガスが占めることが想定されるが、現地ヒアリングの結果、バイオガスは発電よりも純度の高いガスとして転用する需要が高いことが示された。よってバイオガス由来のエネルギーは発電量を実測するのではなくバイオガス生産量から算出される発電量となる可能性があり、現在も検討中である。
- ・暫定期間内に正式契約に向け計画を練り直し、申請時よりもパイロット試験のスケールを縮小し、プロジェクト終了後も日マ間において材料開発研究を今後も長く継続するべく研究開発に要する設備環境を早期に確立し、共同研究を継承する人材育成に取り組むこととした。1 年が経過した現在もこの方針に変更はなく、実証と研究開発を並行的に行うため、実証試験の際に用いる材料については安価で導入しやすい材料を用い部分的に本プロジェクトで開発した先進的な材料を用いることで比較検証することで両立を図る方針である。
- ・4-5 年に実施予定であった現地試験を前倒し、小・大スケールの 2 段階で本年度より現地で運転評価する計画に変更できないか現地企業に打診している。

Ⅲ. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

- ・対面での打ち合わせが必須であると感じる。全体ミーティングは短く、できるだけ個別に各成果リーダーとやりとりするのが望ましい。また、現地で同じ建屋にプロジェクトメンバーがいる場合とない場合で随分とコミュニケーション密度が異なる。Teams は機能せず現地で最も用いられているオンラインコミュニケーションツールである WhatsApp を通じたコミュニケーションが最も円滑で応答がはやい。日本ではメールよりもカジュアルなツールとしてビジネス場面で用いることは憚れるが、Teams は普及しておらず Teams のような感覚で WhatsApp や Google drive でのデータ共用が行われている。本プロジェクトではデータ共用は、JICA 予算で契約した Dropbox で行うこととし、この契約及び管理を JICA 業務調整員に行って頂いている。
- ・1 点の機材調達で詐欺被害にあった。現地の大学においても初めて契約する企業には諸々照会したうえで機材調達を進める必要がある。
- ・2024 年度に学生の派遣を予定しているが、この際は研究経験等を送り、現地受け入れ教員を決定し、研究テーマの決定、実験計画を事前に書類のやり取りで行うことで、現地滞在時に効率的に学生が成果を上げられるよう工夫した。また、学内の国際化支援等に申請し活用した。
- ・現地企業へ実証試験の計画および共同研究契約のひな形を示しても応答が思うように得られない。これについては、いまただメール送信を繰り返す以外の有効な手段がなく模索している。

Ⅳ. 社会実装に向けた取り組み（研究成果の社会還元）（公開）

Fig. 3 に示した通り、社会実装に向け、現地のパーム油製造企業として JPB および FELDA の参画が決

まった。現地評価試験は JPB の POME 処理池を用いて実施する予定である。このほか、国内企業について JICA によるマッチングのミーティングを複数回行っているが、現状は参画が決まっていない。

V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

- ・2024 年 2 月 23 日に第 1 回 JCC を実施し、この際の現地政府関係者としてマレーシアの主要な電力会社である TNB 研究開発部門 Tenaga Nasional Berhad Research Sdn Bhd, マレーシア国立水力研究所 NAHRIM (National Hydraulic Research Institute of Malaysia), Malaysian Palm Oil Board (マレーシア・パームオイル委員会, MPOB), Ministry of Education, Malaysia (マレーシア教育省, MOE) および Ministry of Higher Education, Malaysia (マレーシア高等教育省, MOHE) に出席いただいた。TNBR 出席者からは特にバイオガスのアップグレードに関して、現在の問題の一つは最高級の純度を達成することであり、本プロジェクトが解決策を提供できる可能性があるとの期待の言葉がかけられた。NAHRIM 出席者からは、工業セクター、連邦土地開発庁、および商品省から利害関係者を招待し、プロジェクトの進捗状況を関連する大臣/省に直接報告すべきであると提案頂いた。さらに MOE 出席者からは、プロジェクトのメンバーとして植林・商品省および自然資源・環境持続省を招待してはどうかと提案頂きました。また、MOE は現在、国家エネルギー転換ロードマップ (NETR) に取り組んでいる情報共有を頂き、さらに研究成果を少なくとも ASEAN 諸国と共有すべきだという意見を頂いた。以上、政府関係者の意見を踏まえてプロジェクトの方針・発信方法にフィードバックする。
- ・本事業の実施体制には、マレーシア日本国際工科院 (MJIT) が参加することから、同事業で派遣されている産学連携担当の長期専門家との連携による相乗効果が期待される。
- ・本事業の実施体制には、Malaysia Palm Oil Board (MPOB) および TNB 研究所 (TNB Research Sdn Bhd : TNBR) が参加する。さらに MPOB より日本に長期研究員を受け入れたことより、マレーシアにおける政府研究機関との関係強化が期待できる。

以上

VI. 成果発表等

(1)論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2023	Asmat Ullah Khan, Ojo Samuel, Mohd Hafiz Dzarfa Othman, Mohammad Younas, Roziana Kamaludin, Mohd Hafiz Puteh, Tonni Agustiono Kurniawan, Keng Yinn Wong, Farahdila Kadirkhan, Naoko Yoshida. Enhancing CO2 adsorption selectivity of MOF-199: Investigating the synergistic effect of Mg metal doping and polyethyleneimine impregnation, Separation and Purification Technology,34:127511, 2024	10.1016/j.jece.2024.112434	国際誌	発表済	
2023	Asmat Ullah Khan, Muhammad Hafizuddin Hazaraimi, Mohd Hafiz Dzarfan Othman, Mohammad Younas, Zulhairun Abdul Karim, Zhong Sheng Tai, Ojo Samuel, Mohd Hafiz Puteh, Tonni Agustiono Kurniawan, Keng Yinn Wong, Naoko Yoshida. A comprehensive review on dual-layer organic hollow fiber membranes fabrication via co-extrusion: Mechanistic insights, water treatment and gas separation applications,Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 12, Issue 2, 112434, 2024	10.1002/admt.202301564	国際誌	発表済	
2023	Wei Ming Lin, Giri Suresh, Vikaskumar Pradeepkumar Gupta, Shota Tomida, Kento Oyama, Yazid Yaakob, Toru Asaka, Noriyuki Sonoyama, Mohd Zamri Mohd Yusop, Masaki Tanemura In Situ Transmission Electron Microscopy Observation of Electrochemical Process Between Li-C Nanocomposites and Multilayer Graphene, Advanced Materials Technologies, 2301564	10.1002/admt.202301564	国際誌	発表済	

論文数 3 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 3 件
公開すべきでない論文 0 件

②原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2022	Meng Lingyu, Xie Li, Hirose Yuu, Nishiuchi Takumi, Yoshida Naoko. Reduced graphene oxide increases cells with enlarged outer membrane of Citrifermentans bremsense and exopolysaccharides secretion Biosensors and Bioelectronics (2022)218: 114754～114754	10.1016/j.bios.2022.114754	国際誌	発表済	
2022	Xie Li, Yoshida Naoko, Meng Lingyu. Polyphasic Characterization of Geotalea uraniumreducens NIT-SL11 Newly Isolated from a Complex of Sewage Sludge and Microbially Reduced Graphene Oxide (2022) 11:349	10.3390/microorganisms11020349	国際誌	発表済	
2023	Li Xie, Fumichika Tanaka, Toshiyuki Yagi, Hideaki Hashimoto, Kyo Ikeru, Takashi Igarashi, Hiroaki Kobayashi, Mitsuhiro Sakoda, Naoko Yoshida Multi-anode enhanced the bioelectricity generation in air-cathode microbial fuel cells towards energy self-sustaining wastewater treatment Environmental Research, 243, 117744	10.1016/j.envres.2023.117744	国際誌	発表済	
2023	F Tanaka, L Xie, Y Ishii, S Kawasaki, N Yoshida Anode biomass rather than soluble organic matter is fuel for electricity production in microbial fuel cell at longer hydraulic retention time Journal of Cleaner Production 439, 140544	10.1016/j.jclepro.2023.140544	国際誌	発表済	
2023	Ayano Shimidzu, Fumichika Tanaka, Takahiro Matsumura, Mitsuhiro Sakoda, Kazuki Iida, Naoko Yoshida, Optimizing low-voltage boosting for an air-cathode microbial fuel cell with an anion exchange membrane in a 246 L wastewater treatment reactor, Environmental Science: Water Research & Technology, 2024	10.1039/D3EW00448A	国際誌	発表済	

論文数 5 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 5 件
公開すべきでない論文 0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の 種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
著作物数			0	件	
公開すべきでない著作物			0	件	

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ—おわりのページ		出版物の 種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
公開すべきでない著作物			0	件	

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

①学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2023	国内学会	Bin Ngatiman Muzzammil, Yoshida Naoko Isolation of exoelectrogenic bacteria using anthraquinone-2, 6-disulfonate 第 58 回日本水環境学会年会 2024/3/5-8	口頭発表
			招待講演 0 件
			口頭発表 1 件
			ポスター発表 0 件

②学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2022	国内学会	田中文親, 謝 理, 張 思清, 吉田奈央子(名工大), アノード面積を考慮した下水処理微生物燃料電池の包括的モデル計算, 2022年度水環境学会年会シンポジウム	口頭発表
2022	国際学会	Li Xie, Naoko Yoshida (Nitech) Elucidation of metabolic mechanism of electron-transport biofilm with extremely low assimilation rate in microbial fuel cell ISMET8, Greek	ポスター発表
2022	国際学会	Naoko Yoshida, Ayano Shimidzu, Toshiaki Hashimoto, Kyosuke Mitsuoka, Fumichika Tanaka (Nitech) Optimization of low-voltage boosting for an air-cathode microbial fuel cell with an anion exchange membrane in a 246L wastewater treatment reactor, ISMET8, Greek	口頭発表
2022	国内学会	光岡恭介, 清水彩乃, Xie Li, 田中文親, 吉田奈央子(名工大), 陰イオン交換型下水処理微生物燃料電池の昇圧および二次利用の検討 日本微生物生態学会 第35回大会	ポスター発表
2022	国内学会	田中文親, Xie Li, 吉田奈央子 アノード面積を考慮した下水処理微生物燃料電池の包括的モデル計算 日本微生物生態学会 第35回大会	口頭発表
2022	国内学会	Li Xie, Naoko Yoshida, Shun'ichi Ishii, Lingyu Meng Isolation and Polyphasic Characterization of Desulfuromonas versatilis sp. Nov., an Electrogenic Bacteria Capable of Versatile Metabolism 日本微生物生態学会 第35回大会	口頭発表
2023	国際学会	Siquing Zhang, Li Xie, Naoko Yoshida The effect of intermitted aeration driven using electric power generated by microbial fuel cells on the removal of organic and nitrogenous compounds 2023AP-ISMET(Korea), 2023/7/26-28	口頭発表
2023	国際学会	Miki Aoki, Naoko Yoshida Post-treatment of microbial fuel cell (MFC)-treated effluent by zeolite adsorption and microbial photosynthesis, 2023AP-ISMET(Korea), 2023/7/26-28	ポスター発表
2023	国際学会	Naoko Yoshida The microbial wastewater treatment and innovation are based on the advanced material for a circular economy. International Conference of Sustainable and Environmental Technology 2023 (ISET 2023) & Regional Conference on Environmental Engineering 2023-AUN/SEED-Net (RCEnvE 2023), 26th to 27th September 2023. Johor, Malaysia	招待講演
2023	国際学会	*Fumichika Tanaka, Li Xie, Naoko Yoshida Anode biomass rather than soluble organic matter is fuel for electricity production in microbial fuel cell at longer hydraulic retention time, ASME, Hamamatsu, 2023/11/27-2023/11/30	ポスター発表
2023	国際学会	Li Xie, Toshiyuki Yagi, Fumichika Tanaka, Kyo Ikeru, Naoko Yoshida Optimizing a 1600 L-Scale Air Cathode Microbial Fuel Cell System and Utilizing Recovered Electricity to Enhance Wastewater Treatment, ASME, Hamamatsu, 2023/11/27-2023/11/30	ポスター発表
2023	国際学会	Miki AOKI, Toshiyuki YAGI, Kyou IKERU, and Naoko YOSHIDA Performance Evaluation of Microbial Fuel Cells (MFC) using Inexpensive and Tough Ceramic Separators in Actual Wastewater, ASME, Hamamatsu, 2023/11/27-2023/11/30	ポスター発表
2023	国際学会	Que Nguyen Ho, Toshiyuki Yagi, Ikeyu Kyo, Naoko Yoshida Post-treatment of microbial fuel cell (MFC)-treated effluent by zeolite adsorption and microbial photosynthesis, ASME, Hamamatsu, 2023/11/27-2023/11/30	口頭発表
2023	国内学会	Nguyen Ho Que, Yagi Toshiyuki, Ikeyu Kyo, Yoshida Naoko Treating the effluent from Microbial Fuel Cells with photosynthesis as a post-treatment process 第 58 回日本水環境学会年会 2024/3/5-8	口頭発表
2023	国内学会	青木実希, 八木敏行, 吉田奈央子, 宮崎秀俊 セラミックセパレータを用いた微生物燃料電池(MFC)の実汚水での性能評価 第 58 回日本水環境学会年会 2024/3/5-8	ポスター発表
			招待講演 1 件
			口頭発表 7 件
			ポスター発表 7 件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者 所属機関	関連する外国出願※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 件
公開すべきでない特許出願数 0 件

② 外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者 所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 件
公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等
 (4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2023	2023/11/30	JSME/ASME 2023 Excellent poster award	Fumichika Tanaka , Li Xie, Naoko Yoshida Anode biomass rather than soluble organic matter is fuel for electricity production in microbial fuel cell at longer hydraulic retention time	Fumichika Tanak	日本微生物生態学会 /Asian symposium on Microbial Society	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2023	2023/7/28	AP-ISMET meeting 2023 Excellent Oral Presentation Award	The effect of intermitted aeration driven using electric power generated by microbial fuel cells on the removal of organic and nitrogenous compounds	Siquing Zhang	Asia-Pacific International Society of Microbial Electrochemistry and Technology (AP-ISMET)	3.一部当課題研究の成果が含まれる	

2 件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項

0 件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	公開/ 非公開の別	概要

0 件

② 合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要
2023	2月23日	Presentation of The Project’s progress, current challenges and next steps Confirmation of Amendments of annex of RD	30	各課題の進捗状況を報告し、PDMの変更などをJCCもしくはモニタリングシートでできるようにし、またProject Description (Annex 11)をR/Dに追加し、より柔軟な計画の実施を可能とした。

1 件

成果目標シート

公開資料

研究課題名	材料革新に基づく持続可能なエネルギー・資源・水回収型パームオイル搾油廃水(POME)処理システムの開発
研究代表者名 (所属機関)	吉田奈央子 (名古屋工業大学)
研究期間	R4採択(令和4年6月1日～令和10年3月31日)
相手国名／主要相手国研究機関	マレーシア／マレーシア工科大学
関連するSDGs	SDGsゴール6「安全な水とトイレを世界中に」 SDGsゴール7「エネルギーをみんなに そしてクリーンに」

上位目標

POMEからのエネルギー・資源・水循環利用産業の創出による
パーム油産業の持続可能性の強化

「エネルギー・資源・水循環型POME廃水処理システム」
により廃水処理に付加価値を生み出すグリーン産業の創出

プロジェクト目標

POME廃バイオマスをエネルギー、肥料、再生水としてリサイクルする
「エネルギー・資源・水循環型POME廃水処理システム」の確立

成果の波及効果

日本政府、社会、産業への貢献	・日本企業による成果の事業化 ・日本の炭素材料・ろ過膜製造技術の移転 ・微生物燃料電池廃水処理の技術移転
科学技術の発展	・新規な炭素材料・膜材料技術の開発 ・導体炭素による生物反応制御技術の開発 ・持続可能な植物油脂資源循環システムの確立
知財の獲得、国際標準化の推進、遺伝資源へのアクセス等	・新規な炭素材料(微生物反応担体／触媒) ・膜材料(ガス分離膜、再生水ろ過膜) ・POME廃バイオマス資源利用システム
世界で活躍できる日本人人材の育成	・日本人学生参画および受け入れ研究員との交流を通じた国際共同研究を実施能力の育成
技術及び人的ネットワークの構築	・POME再資源化によるグリーン産業を達成するモデルネットワークの形成
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	・新規材料開発の成果・効果に関する国際論文 ・廃水処理システム全体の総合的評価・効果の試算 ・新システム導入のためのガイドライン作成

