

事業事前評価表

国際協力機構地球環境部環境管理グループ環境管理第1チーム

1. 案件名（国名）

国名：マレーシア国（マレーシア）

案件名：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

The Project for Development of Palm Oil Mill Effluent (POME)

Treatment System for Sustainable Energy Production and Resource
Recovery based on Material Innovation

2. 事業の背景と必要性

（1）当該国におけるパームオイル産業の現状と課題及び本事業の位置付け

マレーシアは世界第2位のパームオイル生産国であり、パームオイル産業が同国の農業分野の国内総生産（GDP）の過半数（52.4%）を占めている¹。パームオイルは植物性油のうち、農地面積当たりの収量が多く最も生産性が高いことから、今後も継続的に発展を遂げる産業であると見込まれており、2021年10月に発表された「第12次マレーシア計画」（2021-2025）によると、パームオイル及びパームオイル関連製品の輸出は2015年～2020年にかけて年平均2.7%増加しており、2021年～2025年の農業輸出額はパームオイル及び関連製品等の貢献により年間4.8%の成長を予想している。その一方で、パームオイル産業は森林破壊、泥炭地開発、水質汚濁、悪質な労働環境による人権侵害など様々な問題が指摘されており、EU等ではパームオイルに対するネガティブキャンペーンも行われている。こうした状況を受け、環境や社会に配慮した持続可能な産業への移行が喫緊の課題となっている。

このような状況のもと、マレーシア工科大学と名古屋工業大学が過去に実施した炭素材料および分離膜の共同研究成果を生かし、パームオイル搾油廃水（以下、「POME」という。）の処理・資源再生のための技術開発に係る地球規模課題対応国際科学技術協力（以下、「SATREPS」という。）事業が要請された。パームオイル製造過程において使用される水の約半分がPOMEになり、その処理のために多大なエネルギーが使用されているとともに、処理が不十分なまま排出されることで周辺河川の水質汚濁を引き起こす原因となっている。その一方で、POMEには多量のエネルギーやバイオマスが含まれており、その活用に向けた技術革新が求められている。本事業は、POMEの処理と潜在的なエネルギー、資源、水の回収を両立し、POMEに新たな付加価値を生み出すものであり、持続可能なパームオイル産業への転換に貢献するものである。

¹ マレーシア・プランテーション産業産品省（MPIC）GDP統計（2022年第二四半期）

(2)マレーシアにおけるパームオイル産業に対する我が国及び JICA の協力量針等と本事業の位置づけ、課題別事業戦略(グローバルアジェンダ/クラスター)における本事業の位置づけ

本事業は「対マレーシア国別開発協力量針」(2017年5月)の重点分野「先進国入りに向けた均衡の取れた発展」、開発課題 1-1「経済高度化推進と生活の質改善」、協力プログラム「国民生活向上プログラム」に合致する。また、パームオイルはマレーシア以外の東南アジア諸国でも生産されていることから、本事業の成果は他国でも活用できる可能性があり、同開発協力量針の重点分野「東アジア地域共通課題への対応」にも合致する。また JICA の協力における重点分野として、先進国入りに向けた均衡の取れた発展の支援を掲げており、その中で環境分野への協力の実施が位置付けられていることから、本事業は我が国及び JICA の協力量針とも合致する。

また、環境管理分野のグローバルアジェンダである JICA クリーン・シティ・イニシアティブ(JCCI)では、「環境規制及び汚水処理の適正化を通じた健全な環境質の実現」と、「廃棄物管理の改善と循環型社会の実現」をクラスターに掲げている。高付加価値を生み出す廃水処理を通じた資源回収を図る本事業は、適正な汚水処理と循環型社会の実現の両方に合致する事業として位置付けられる。

さらに本事業は、持続可能な開発目標(以下、「SDGs」という。)の複数のゴール達成にも貢献する。まず POME 廃水処理を創エネルギー処理へと転換することで、ゴール 7「エネルギーをみんなに そしてクリーンに」に貢献する。次に、本事業では高付加価値を生み出す廃水処理システムの構築によるパームオイル産業の持続可能性強化に加え、廃水や廃水中の残渣の再生利用を通じて、ゴール 9「産業と技術革新の基盤を作ろう」、ゴール 12「持続可能な生産消費形態の確保」(ターゲット 12.4「製品ライフサイクルを通じ、環境上適正な化学物質やすべての廃棄物の管理を実現し、大気、水、土壌への放出を大幅に削減する。」)に貢献する。最後に、POME 処理過程で放出される温室効果ガスの排出を削減する技術を開発することで、ゴール 13「気候変動に具体的な対策を」にも貢献する。

加えて本事業は、上述のとおり温室効果ガスの排出を削減する技術の開発により、気候変動緩和に資する事業として位置付けられる。

(3) 他の援助機関の対応

POME 利用における他援助機関等の支援はない。また、本事業の実施機関への他ドナーによる重複事業等はない。

3. 事業概要

(1) 事業目的

本事業は、マレーシア国ジョホール州ジョホールバル市において、POME 処理と資源回収の両立を可能とする炭素材料および膜材料技術の開発を行うことにより、高付加価値を生み出す廃水処理システムの構築を図り、もってパームオイル産業の持続可能性強化に寄与するもの。

(2) プロジェクトサイト／対象地域名

マレーシア国ジョホール州（人口約 377 万人（2020 年）、面積約 19,166km²）
ジョホールバル市（人口約 170 万人（2020 年）、面積約 220 km²）

(3) 本事業の受益者（ターゲットグループ）

直接受益者：マレーシア工科大学（高度膜技術工学研究センター（以下、「AMTEC」という。）、マレーシア日本国際工科院（以下、「MJIT」という。）、マレーシアパームオイル委員会（MPOB）、TNB 研究所（TNBR）、マレーシア国立水理学研究所（NAHRIM）の研究者
最終受益者：マレーシアの国民（3,277 万人（2021 年））

(4) 総事業費（日本側）

約 3.5 億円

(5) 事業実施期間

2023 年 4 月～2028 年 4 月を予定（計 60 カ月）

(6) 相手国実施機関

- ・マレーシア工科大学（AMTEC、MJIT）（全体総括、成果 1～5 担当）
- ・マレーシアパームオイル委員会（MPOB）（主に成果 1、3～5 を担当）
- ・TNB 研究所（TNBR）（主に成果 1、2、4、5 を担当）
- ・マレーシア国立水理学研究所（NAHRIM）（主に成果 3、5 を担当）

(7) 国内協力機関

名古屋工業大学、京都大学

(8) 投入（インプット）

1) 日本側

- ① 在外研究員派遣：導体炭素を用いたメタン発酵技術開発、微生物燃料電池（以下、「MFC²」という。）のための膜・電極開発、再生水回収のための膜

² MFC: Microbial Fuel Cell

開発・製造、汚泥肥料化等

- ② 長期専門家派遣（業務調整員）
- ③ 招へい・外国研究員受け入れ：導体炭素を用いたメタン発酵技術開発、MFCのための膜・電極開発、再生水回収のための膜開発・製造、汚泥肥料化等
- ④ 機材供与：バイオガス発酵装置、MFC 設備、固体酸化物形燃料電池（以下、「SOFC³」という。）設備、再生水処理装置、栄養塩回収設備等
- ⑤ セミナー/ワークショップの実施

2) マレーシア国側

- ① カウンタパートの配置
- ② 案件実施のためのサービスや施設、現地経費の提供
- ③ 供与機材の設置や実証実験サイトのための土地やスペースの提供

(9) 他事業、他開発協力機関等との連携・役割分担

1) 我が国の援助活動

① 【案件名】 マレーシア生物多様性保全のためのパーム油産業によるグリーン経済の推進プロジェクト(SATREPS)

【期間】 2013年11月～2017年11月

【日本側実施機関】 九州工業大学大学院生命体工学研究科、独立行政法人産業技術総合研究所、九州大学大学院農学研究院

【マレーシア側実施機関】 マレーシア・プトラ大学、マレーシア国立サバ大学、サバ州天然資源庁

【協力概要】

マレーシア(サバ州)においてバイオマスや余剰エネルギーの有効活用技術の開発やビジネスモデルの開発を行い、グリーン経済の振興と POME 由来の汚染物質の軽減による生物多様性保全を目指す。

② 【案件名】 オイルパーム農園の持続的土地利用と再生を目指したオイルパーム古木への高価値化技術の開発プロジェクト(SATREPS)

【期間】 2019年4月～2024年4月

【日本側実施機関】 筑波大学生命環境科学研究科、広島大学大学院国際協力研究科

【マレーシア側実施機関】 マレーシア理科大学、マレーシア標準工業研究所、マレーシア森林研究所

【協力概要】

オイルパーム農園における古木伐採後の放棄地の土壌環境解析を基にした持続的な土地管理と古木の高付加価値製品製造の技術を組み合わせ、持続的なパームオ

³ SOFC: solid oxide fuel cell

イル産業の構築に貢献する。

2) 他の開発協力機関等の援助活動

2(3)に同じ。

(10) 環境社会配慮・横断的事項・ジェンダー分類

1) 環境社会配慮

① カテゴリ分類：C

② カテゴリ分類の根拠:本事業は、「国際協力機構環境社会配慮ガイドライン」(2010年4月公布)上、環境への望ましくない影響は最小限であると判断されるため。

2) 横断的事項

本事業は、気候変動対策(緩和)に資する。

3) ジェンダー分類：【対象外】■(GI) ジェンダー主流化ニーズ調査・分析案件

<分類理由>詳細計画策定調査にてジェンダー主流化ニーズが調査されたものの、ジェンダー平等や女性のエンパワメントに資する具体的な取組について指標等を設定するに至らなかったため。

(11) その他特記事項

特になし。

4. 事業の枠組み

(1) 上位目標:

プロジェクトで開発された技術がエネルギーの持続的生産、水や栄養塩の回収・再利用、CO₂削減のために官民で利用される。

指標及び目標値⁴:

1. 開発技術や研究成果を活用したパームオイル企業及びその他の企業、または政府機関の数(目標値: XX)

2. 研究成果がパームオイル産業またはその他の関連産業を有する他国や、廃水処理が必要な地方自治体と共有される。

(2) プロジェクト目標:

⁴ 数値目標に関しては、事業実施期間の中間時点(事業開始から2.5年)までに決定する。プロジェクト目標や成果目標の指標についても同様。

エネルギー、水、栄養塩を回収・再利用し、温室効果ガスの排出を抑制した POME 処理システムを確立する。

指標及び目標値：

1. 開発システム全体⁵を通して生産されるクリーンエネルギーの量は、消費されるエネルギーの量より大きい。
2. システム全体を通して POME の化学的酸素要求量(以下、「COD」という。)⁶値が XX%低減する。
3. システム全体を通じた CO₂ の排出削減量が試算される。
4. POME 汚泥の XX%が肥料として加工処理される。
5. 社会実装に関する戦略が関連省庁と共有される。

(3) 成果

成果 1：導体炭素を用いた直接種間電子伝達メタン発酵集積により POME 廃棄物からバイオガスを通じてエネルギー変換するシステムを構築する。

成果 2：POME 発酵水を MFC により電気変換するシステムを構築する。

成果 3：多孔質膜と逆浸透膜を用いて POME 廃水をパームオイル生産に再利用可能な水に再生するシステムを構築する。

成果 4：POME バイオガス発酵汚泥と廃水から栄養塩を生産または回収するシステムを構築する。

成果 5：プロジェクトで開発された研究成果や技術が、社会実装のために官民に広く共有される。

(4) 主な活動：

1-1. POME 中の有機物のメタンガスへの転換を促進する炭素材料を開発しスクリーニングする。

1-2. 炭素材料の有無、COD および水理的滞留時間 (HRT)⁷ に応じたメタン発酵ガス生産量の計算式を開発し、適切な運転条件を決定する。

1-3. 高純度のバイオガス (メタン) を分離するための機能膜を開発しその膜を用いてバイオガスを精製する。

1-4. バイオガスの発電量と CO₂ 削減量を、ガスタービンとガスエンジンを用いた場合は計算により、SOFC を用いた場合はラボスケール試験により、それぞれ評価する。

⁵ 成果 1 から成果 4 で開発されるシステム全体を含める。

⁶ この値が大きいほど、水の汚れの度合いが大きいことを示す。

⁷ 汚水流入から放流までの時間を指す。

- 1-5. バイオガスの電力転換方法（CNG-バイオガス、ガスエンジン、ガスタービン、SOFC）と、メタン発酵槽の規模を決定する。
 - 1-6. 小型リアクターで熱処理した POME 汚泥によるバイオガスの精製について研究する。
 - 1-7. 炭素材料に付着したバイオフィルムの微生物群集を分析し、機能性微生物を特定する。
 - 1-8. 実証実験の適切な規模を決定し、実証スケールでのバイオガスの精製量を評価する。
 - 1-9. バイオガスリアクターと膜によるバイオガスの精製システムの容量をスケールアップする。
 - 1-10. 開発したシステムのエネルギーバランスと COD 除去能力を計算する。
-
- 2-1. MFC 用電極とセパレータの開発方針を策定する。
 - 2-2. カーボンアノード材料、セラミックセパレータ、カソード触媒の製造・評価・選定と量産方法を検討する。
 - 2-3. 小型リアクターでの MFC コアユニットの確立と評価を行う。
 - 2-4. MFC 電極の微生物群集を解析し、機能微生物を特定する。
 - 2-5. MFC の性能を示す計算モデルを開発する。
 - 2-6. 廃水処理システムの適切な規模を決定し、大型リアクターで MFC と組み合わせた廃水処理システムを実証実験サイトで開発・運用し、必要に応じてシステムの改良を行う。
 - 2-7. 開発したシステムのエネルギーバランスと COD 除去能力を計算する。
-
- 3-1. 水の再生用膜システムの開発方針を策定する。
 - 3-2. 前処理膜と逆浸透膜の設計・製作と膜内の水透過性とイオン排除の計算を行う。
 - 3-3. 膜ファウリングとその低減メカニズムを分析する。
 - 3-4. 膜の性能と水質を評価し、膜を最適化する。
 - 3-5. 水再生膜システムの適切な規模を決定し、実証実験サイトで同システムを構築する。必要に応じて改良を行う。
 - 3-6. 開発した膜処理システムの水再生能力、エネルギーバランスと総懸濁固体量（TSS）と全容解固形物（TDS）の除去能力を計算し、耐久性と COD 除去能力を評価する。
-
- 4-1. マレーシアにおける POME バイオガス発酵汚泥肥料の使用について調査する。

- 4-2. 実験室レベルで汚泥コンポストを処理し、評価する。
- 4-3. 処理方法の設計を行い、汚泥コンポストを処理するためのマニュアルを開発する。
- 4-4. POME から栄養塩を吸着するための技術を開発し、改良する。
- 4-5. 実証実験の適切な規模を決定し、栄養塩回収のための連続吸着槽を設計・開発する。
- 4-6. ラボスケールで吸着塩を用いて光合成細菌を培養し、機能性微生物を特定する。
- 4-7. 実証実験サイトで汚泥肥料の処理と光合成細菌の培養を行う。
- 4-8. 汚泥コンポストや光合成細菌に対して、肥料またはその他の有価物としての価値の向上方法を探求する。
- 4-9. 開発した肥料の生育促進効果、病原性リスク、エネルギーや CO₂ バランスの評価を行う。

- 5-1. 成果 1～4 で開発した技術の市場分析、費用便益分析、CO₂ 排出量計算を実施し、報告書を作成する。
- 5-2. 公共及び民間セクターに対してシンポジウムやセミナーを定期的で開催し、開発した技術とその経済・社会・環境に対する潜在的影響について発表する。
- 5-3. 公共及び民間セクターとともに開発した技術の社会実装のための戦略を策定する。開発した要素技術及びシステム全体の利用を促進するために民間企業とのコミュニケーションを行う。
- 5-4. 産業廃水からの水回収やその他のトピックに関する政策提言を作成し、関係省庁と共有する。
- 5-5. 開発した技術に関する特許を申請する。
- 5-6. 開発したシステムに関するマニュアルや、開発した技術・材料とその競争優位性を紹介するリーフレットを作成する。

5. 前提条件・外部条件

(1) 前提条件

- ・ POME の安定供給及び/また実証プラントの設置場所の提供に関して、本事業に協力するパームオイル工場が特定される。
- ・ マレーシア工科大学は共同研究及びその他の活動のためのマッチングファンドを高等教育省から確保する。

(2) 外部条件

【上位目標達成に係る外部条件】

- ・ マレーシア政府は廃水処理、クリーンエネルギー、CO₂ 排出削減にかかる政策を大きく変更しない。
- ・ マレーシア政府はパームオイル産業に対して POME の再利用及び/または CO₂ 削減のためのインセンティブを提供する。
- ・ マレーシア経済が著しく悪化しない。
- ・ 他機関により類似技術の特許が取得されない。

【プロジェクト目標達成に係る外部条件】

- ・ 本事業により技術を取得したカウンタパート職員の離職率が低い。
- ・ 機材の調達やシステムの製造が著しく遅延しない。

【成果達成に係る外部条件】

- ・ 新型コロナウイルスの感染拡大、自然災害及び/また治安状況の悪化により研究者の活動実施が妨げられない。

6. 過去の類似案件の教訓と本事業への適用

(1) インド SATREPS 事業「インドにおける低炭素技術の適用促進に関する研究」(2010年～2014年)において、実証された技術の導入に関する設備投資費用及び運営維持管理費用が高額で同国企業の大部分を占める中小企業の財政基盤ではコストを負担することができなかつたため、企業のエネルギー効率向上に向けた効果が限定的であったとの教訓が得られている。そのため本事業においては、経済面での市場性の検討も重視する。

(2) マレーシア SATREPS 事業「生物多様性保全のためのパーム油産業によるグリーン経済の推進プロジェクト」(2013年11月～2017年11月)において、終了時評価により以下の点が指摘されており、本事業の設計および実施にあたり留意する。

- ① プロジェクト・デザイン・マトリックス (PDM) の時宜を得た修正
- ② 民間連携による社会実装をプロジェクト目標とする場合は、PDM の設計に際して民間視点を取り入れる。

7. 評価結果

本事業は、マレーシアの政策、開発ニーズ、我が国及び JICA の協力量針と合致し、POME 処理と資源回収の両立を可能とする炭素材料および膜材料技術の開発を行うことにより、高付加価値を生み出す廃水処理システムの構築を図り、もってパームオイル産業の持続可能性強化に寄与するものであり、これは SDGs ゴール 9「産業と技術革新の基盤構築」を始め、複数の SDGs ゴールに貢献すると考えられることから、事業実施を支援する必要性は高い。

8. 今後の評価計画

- (1) 今後の評価に用いる主な指標
 - 4. のとおり。
- (2) 今後の評価スケジュール
 - 事業終了3年後 事後評価

以上

別添：プロジェクトサイト位置図

