

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「環境・エネルギー（環境領域）」

研究課題名「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付加価値化技術の開発」

採択年度：平成・令和30年（2018年）度/研究期間：3・4・⑤年/

相手国名：マレーシア

令和2（2020）年度実施報告書

国際共同研究期間^{*1}

2019年3月28日から2024年3月28日まで

JST側研究期間^{*2}

2018年6月1日から2024年3月31日まで

（正式契約移行日 2019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：小杉 昭彦

所属・役職 国際農林水産業研究センター・プロジェクトリーダー

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

研究題目・活動／年度	2018(6ヶ月)	2019	2020	2021	2022	2023
1. 研究題目：OPT 高糖度化技術開発*1 1-1 OPT 高糖度化試験地の選定 1-2 OPT 樹液糖度上昇(熟成)メカニズム解明 1-3 バック解析を用いた OPT デンプン蓄積現象の解明(品種・地域・栽培環境・施肥・共生菌) 1-4 OPT 共生微生物の役割解明 1-3 OPT 高糖度化技術・調達の実証研究(糖度管理・液肥・間作作物栽培・資源価値向上) 1-4 高糖度化 OPT サンプルの調製・供給	試験地決定 サンプル調製	 統合 *2 糖蓄積メカニズム解明 *2 デンプン蓄積現象解明 *2 共生微生物の役割解明 *3 OPT 貯蔵管理法・液肥試験・OPT 調達・資源価値に関する実証試験 サンプル調製および共同研究機関への提供				
2. 研究題目：OPT から高付加価値製品の製造技術開発 2-1 OPT 高糖度化による高品質ボード及びバイオマス製造試験(メタン製造増加) 2-2 PHA→PLA*5 の製造技術開発 2-3 PHA→PLA*5 肥効調節型肥料製造技術及びPHAの植物成長促進作用解明 2-4 OPT 繊維を使ったナノセルロース、ナノコンポジット製造技術開発 2-5 OPT 樹液からの SCP 製造技術開発(タンパク質製造) 2-6 OPT 高度利用化設備の構築	OPT 高糖度化による高品質ボードとガス生産量増加試験(実証試験を含む)*4 PHA/PLA*5 生産・精製法確立 PHA 植物成長促進効果の確認 圃場試験地の選択 製品認証要件の確認	PHA/PLA*5 生産・精製法確立 PHA 植物成長促進効果の確認 SCP 製造技術製造技術確立(飼料用) 原料マルチ化プロセス*6・事業化検討 実証設備移設検討、移設及びオペレーション	PHA/PLA*5 大量生産方法確立 PHA 肥効調節肥料製造法確立 ナノセルロースとコンポジット製造技術確立 安全性テスト実施			
3. 研究題目：バーム農園の再植林による持続的土地利用・再生方法の開発 3-1 再植林促進のため環境診断法の開発 3-2 異なるバーム農地を対象にした環境診断と管理方法の検討 3-3 再植林促進のための土壌環境改善(治癒)方法の開発	検証地域の選定 メタゲノム解析による土壌微生物評価	簡便診断法の開発 農園から発生する GHG の測定 診断による改善(治癒)法の確立と実証		OPT 管理法の確立		
4. 研究題目：マレーシアにおける OPT 高付加価値化利用技術の導入による経済・社会・環境(バーム)への評価 4-1 OPT 高付加価値技術導入の際の LCA 及び環境評価 4-2 政府やバーム油業界・バーム農園関係者への OPT 利用技術のワークショップ・セミナー開催 4-3 人材育成活動 4-4 広報活動	LCA 情報収集	製造プロセスにおける GHG 測定・LCA 評価・費用便益分析 関係省庁・RSPO 等業界との意見交換 共同研究者の招聘・大学院生指導・インターンシップ	周辺地域に与える環境評価及び評価結果公開 ワークショップ等開催(年1回)			マスメディア・展示会・講演等

(1) 研究の主なスケジュール

- *1. マレーシア全域での度重なる移動制限に伴い OPT 調達に支障が出ている。国内対応可能な研究へとシフトした。研究題目 2 でカバーできない課題にも対応するよう研究題目を整理した。
- *2. サポート研究者の移動制限等により、OPT の高糖度化、OPT 共生菌、OPT 中のデンプン蓄積現象に関し統合化して研究の合理化を図った。
- *3. 小規模農園を対象にした糖蓄積実証試験に、クルアン実証試験地からの排水を用いた液肥試験および OPT 安定調達を促すための研究題目を加えた。間作作物栽培への影響および資源価値向上へ資する基礎的研究を加えた。
- *4. OPT 高品質ボード事業のため研究期間を延長した。
- *5. クルアン実証試験地およびマレーシア理科大学にて実証製造可能なバイオプラスチック原料を精査した結果、PHA（ポリヒドロキシアルカン酸）生産に一本化することにした。
- *6. OPT をはじめ、他のパームバイオマス原料が同一プロセスにて製品化出来ることが分かってきた。原料マルチ化によるメリットを確認するために、OPT 以外の他のパームバイオマス原料が加味された際の事業化アドバンテージを確認する。

(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）

プロジェクト構想に変更は無いが、研究題目 1 と研究題目 2 において今年度の研究環境や進捗状況の変化により研究項目の統合や追加修正を行った。以下にまとめる。

研究課題 1

- ① OPT デンプン蓄積と樹液糖度上昇メカニズムと密接に関係がある。OPT の樹液中の糖蓄積に関連する要因（OPT 樹齢、デンプン、共生微生物等）において統合的に解析を行う。
- ② 多くの OPT において高濃度のデンプン（>約 20%w/w）の存在が確認されている。しかし、現在デンプン利用は積極的に行われておらず、クルアン実証試験地での OPT ペレット製造プロセスにおいては、繊維に包埋されている顆粒デンプンが系外へ流出している可能性がある。糖蓄積に係る OPT から流出したデンプン回収を含め糖度上昇を検討する。
- ③ 研究題目 2 のプロセスから出てくる排水の液肥効果に関して検討を加える。実証試験設備において出てくる排水中に多くのミネラル分が含まれている。その排水を濃縮し液肥化することで、パーム農園用の肥料としての可能性を見いだす。小規模農園では肥料は経済的負担となっており、液肥を農園へ戻すような循環を構築できれば、OPT 持ち出し費用に関する交渉の可能性がある。OPT 持ち出しへ向けた動機付けとして位置付け検討を行う。
- ④ OPT 樹液にフリーラジカル消去能を発見した。OPT 資源価値向上の可能性が高い。その成分特性と商品化へ向けた取り組みを行う。

研究題目 2

- ① PKS（パーム種子殻: Palm Kernel Shell）を除き、OPT、EFB（空果房: Empty Fruit Bunch）、MCF（パーム実搾油繊維: Meso Cap Fiber）、OPF（葉柄: Oil Palm Frond）などパーム産業から排出されるバイオマスのほぼ全てを対象に既存クルアン OPT ペレット製造プロセスの改良で、持続可能性を持つバイオマスペレットを製造することが可能となった。本プロセスを「原料マルチ化プロセス」と呼ぶ。こ

のプロセスのメリットは、例えば雨季で農園から OPT 持ち出しが難しい際（OPT 集材が困難な際）に、代替バイオマスとして OPF、EFB、MCF を同プロセスで処理できる。OPT 単独処理事業時における OPT 原料調達条件の緩和と設備稼働率の向上だけでなく、原料に左右されずに事業採算性を維持することができる。また、本技術をパーム搾油工場中心に適用する場合、パーム搾油工場で未利用バイオマスであった EFB と POME の処理に対して、搾油工場周辺から収集可能な OPT と OPF と一緒に処理することで温室効果ガス削減効果の最大化を図ることができる（研究題目 4 にてライフサイクルアセスメントを検証中）。この過程で、パーム搾油工場に必要なエネルギーは生成するバイオガスで充足可能となり、これまで搾油工場で燃料利用されてきた MCF も余剰化してくることが予想され、マルチ化プロセスの対象原料となる。今年度開発したプロセス成果をもとに、「バイオマス原料マルチ化プロセス」技術の最適化として研究項目に加えた。

研究題目 4

① 当初計画では、伐採 OPT 利用によるバイオマス産業全体の環境負荷および社会経済的効果を評価することであった。評価手法や目的に変更は無いが、研究題目 2 において、未利用バイオマスである伐採 OPT に加え、パームミル工場から発生する EFB、パームが成長する過程で農場から発生する OPF を同一のプロセスですべてペレット化する「原料マルチ化システム」の技術開発に成功したことから、IC リアクター（嫌気性排水処理装置）による POME 処理方法の想定を含めて、新しいシステムの社会経済的効果を研究課題 4 の中心的なシナリオとして検討する。

2. プロジェクト成果の達成状況とインパクト（公開）

(1) プロジェクト全体

・ 成果目標の達成状況とインパクト等

新型コロナウイルス感染症拡大による渡航自粛やマレーシア国内の州間の移動制限処置のため、現地での研究活動に遅れが生じ、日本側およびマレーシア側共に、国内で実施可能な研究や情報発信を中心に活動を行った。現地とはオンラインでの意思疎通を図り、またクルアン実証試験地およびメンバー間の会議は、リモートによる作業指示、意見交換等の活動に終始した。一方、国内企業・団体における温暖化問題意識や SDGs への意識、関心、興味は高く、OPT 燃料用ペレットや繊維を使った建材・コンポジット、樹液からのバイオ燃料やバイオマスプラスチック製造等に関する問い合わせは、昨年度よりも増加した。

現地活動拠点であるマレーシア理科大学およびマレーシアジョホール州クルアンにあるクルアン実証試験地では、いち早くオンライン体制を構築し、現場での状況把握や、パイロット試験運転、依頼のあったサンプル製造・供給体制を整備した。このオンライン体制構築により詳細な技術指導が可能となり、渡航制限のデメリットを最小限に食い止めることができた（図 1）。2020 年 5 月クルアン実証試験地において、現場管理者や作業員による IC リアクターの運転立ち上げを皮切りに、2019 年 12 月末に納品された RO 膜装置（Reverse Osmosis Purifying Technology 逆浸透膜濾過技術装置）や MBR 装置（Membrane Bio Reactor 膜分離活性汚泥法装置）の現場据え付け工事、試験運転、完成検査を完全リモート運転で行い、本格稼働に成功した（図 2）。これまで、試験運転や据付工事など、監督者が現地に赴

き指示するのが普通であったが、ウェアブルカメラによるリモート作業により、現地マレー人の作業員や管理者への指示と指導で対応可能となった。本来、大型機器の据付や設置工事、完成検査等、現場に専門家がいなくては出来ない作業と考えられていたが、デジタル化を駆使することである程度可能となることが明らかになったことは、特筆すべき事例であり、ポストコロナにおける新しいプロジェクト推進形態に繋がる取り組みであった。

昨年度末に導入された機材の据え付け、動作確認が終了し、本格的なクルアン実証試験地の開始に入った。2020年12月には日本の電力会社用にOPT燃料用ペレット80トンの提供、日本の化学メーカーに対して、バイオプラスチック製造用にOPT樹液、数百リッター、また、今年度プロジェクトメンバーとして参画されたパナソニックに対し家具用OPT繊維ペレットの数百キロ提供を完了した。さらには、マレーシア企業からのコンポジット製造のためのOPT繊維サンプルの調整と提供、また日本の鉄鋼メーカーから大型ペレタイザー製造販売のためのOPT連用試験も行い、クルアン実証試験地で開発されたOPTプロセスは、実規模レベルのバルク資材供給に十分対応可能であることを証明した。これまでのところ、このようなパームOPTサンプルのバルク供給体制を実現した事例は無い。コロナ感染症の状況を見て、国内外への見学会を開催したいと考えている。

プロジェクト運営推進および社会インパクトへの貢献においては、2020年10月27日にオンラインによる第2回Joint Coordinating Committee（JCC）会議を実施した。JICA、JSTの他、在マレーシア大使館、マレーシア教育高等省、プロジェクト関係者など54名が参加し、①コロナ禍における各研究題目の研究進捗状況の報告やクルアン実証試験地と実況中継、②購入機材変更や研究内容の追記、③新規参画メンバー（パナソニック）の紹介及び参画への意義、について報告・承認を得た（図3）。またマレーシア側代表機関においては、コロナ禍ではあったが、マレーシア理科大学構内にOPT利用技術開発研究棟（OPT-RL）の開所が行われ、本格的に研究活動拠点が作られた（図4）。現在でも、マレーシア政府による活動制限令が続くが、OPT-RLには博士研究員5名のほか、博士後期学生3名、博士前期学生3名、事務員2名、学部生10名体制でSATREPSプロジェクト研究を推進している。

パナソニックの正式メンバー加入により、OPTの家具用アジア・ファニッシング・フェアにて、OPTソリューションの取組み（OPT家具材およびSATREPSプロジェクト参画意義等）が取材され、その概要が12月9日 家具新聞「地球温暖化防止へSDGsへ協働を」、12月7日 家具業界雑誌 ルームファニッシング「オリジナル技術で廃棄物を工業資材へ」で紹介された（図5）。また「アグロイノベーション2020 バイオマスエキスポフォーラム 2020」、「エコプロ Online2020」においてSATREPSプロジェクト紹介を行った（図6）。多数の問い合わせや協力の申し出の数を見ると社会インパクトを与える活動成果であったと考える。



図 1. 現地実証試験地とリモートでの指示の様子
(クラン実証試験地)

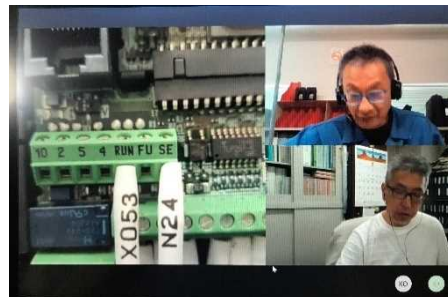


図 2. リモートによる現場据付工事・完成試験の様子
(クラン、東京、大阪からの完成試験)

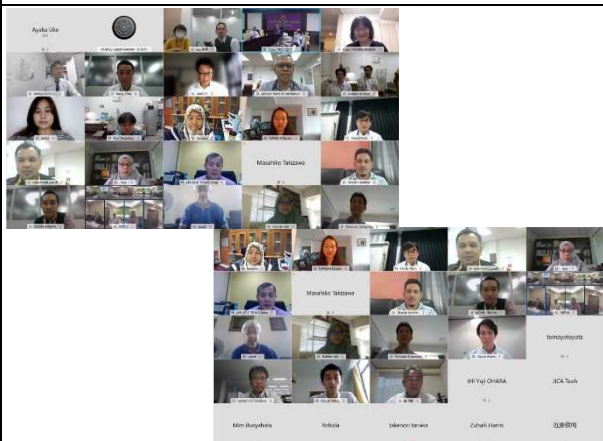


図 3. 第 2 回 JCC 会議(オンライン会議)



図 4. OPT 利用技術開発研究棟(OPT-RL)
(マレーシア理科大学・ペナン大学構内)



図 5. 家具業界専門誌「ルームファニッシング」にて取組発信
P3~9「オリジナル技術で廃棄物を工業資材へ」
(株)パナソニック 足立真治 室長



図 6. 「アグロイノベーション 2020 バイオマスエキスポフォーラム 2020」への出展 (東京ビックサイト)

・プロジェクト全体のねらい (これまでと異なる点について)

プロジェクト全体の狙いにおいて、大きな変更はないが、OPT のマテリアル利用への問い合わせが増加してきている。2020 年度から正式にメンバーとなったパナソニックでは、独自の技術により OPT の加工や製法開発が進み、家具資材として OPT を用いる。クラン実証試験地においては、その OPT 資材提供をクランプロセスにより実施することになった。またマレーシアのポリマー関連企業も次年度から正式メンバーとして参画を予定している。これらの内外における動きは、OPT の資材価値が認知、

浸透されてきていることを意味していると考ええる。さらに、2020 年度、クルアン実証試験地でのサンプル調整等の過程から、パームバイオマスを選ばない「原料マルチ化プロセス」の開発に成功した（特許出願済）。この「原料マルチ化プロセス」は、OPT のペレット化プロセスに OPF、EFB、MCF と言ったパーム搾油工場から日々大量に発生するバイオマスに対しても持続可能性を持ったペレット処理を行うことができる。この「原料マルチ化プロセス」技術開発成功の意義は大きく、特に社会実装化した際、OPT 調達等諸問題の解決策となる。例えば、雨季ではパーム農園がぬかるんでおり OPT の集材が難しく OPT の入手が困難となる。また OPT の価格が上昇した場合、調達価格が見合わないなど、原料調達が困難となる。このような場合、OPT 専用のペレット工場では稼働率が落ちることが予想され、想定していた収益が見込めず操業停止の事態となることが予想されるが、「原料マルチ化プロセス」は他原料も同一プロセスでペレット化出来ることから、これらの諸問題を解決できると考えられる。この成果は、本プロジェクトの一翼である持続可能な経済的な動機付けを与える。

加えて「原料マルチ化プロセス」の導入・展開として考えられるのが、例えば、ボルネオ島サラワク州やサバ州に多く存在するパーム農園と搾油工場が統合経営している場所への導入である。統合経営側としては、2つの大きな環境・経済問題を抱える。①搾油工場で排出される日々の EFB の廃棄処分と、②パーム農園の OPT の伐採、再植林である。どちらも経済・環境的に負荷がかかる問題である。OPT プロセスをベースにした「原料マルチ化プロセス」であれば、OPT だけでなく EFB や MCF、さらには OPF も同一プロセスで処理が可能で、パーム農園や搾油工場の環境負荷問題の解決だけでなく、収益性の向上といった、経済・環境の両方でメリットを受けることができる。我々はこのパーム農園・搾油工場の統合経営者へのアプローチを「サラワクモデル」と呼んでおり、次年度以降、サラワク州のパーム農園・搾油工場経営を中心に「原料マルチ化プロセス」をベースにした実証研究を行う予定でいる。

・地球規模課題解決に資する重要性、科学技術・学術上の独創性・新規性（これまでと異なる点について）

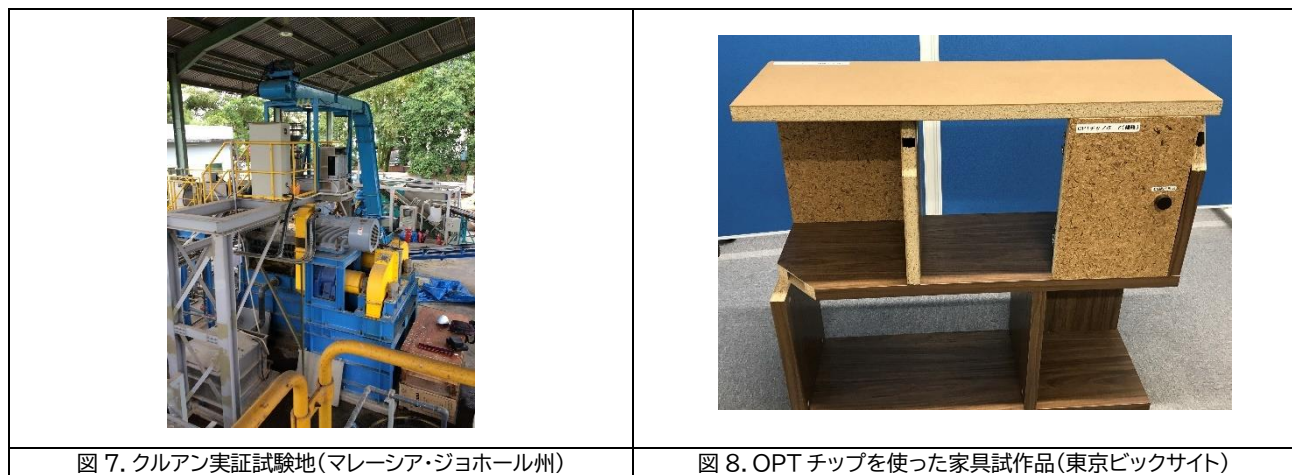
本プロジェクトにおいては、植替え更新のため伐採されパーム農園内に放置・廃棄される OPT の活用技術の開発とその社会実装を通して、パーム農園の抱える地球規模的問題解決を図ることを目的としている。研究題目 1 および 2 は、主に① 伐採 OPT の資源価値の開発、② OPT の糖蓄積のための管理貯蔵技術の開発、③ OPT の付加価値製品化のプロセスを開発と構築、④ OPT の安価で安定な収集のための基礎的研究・調査、⑤ OPT の付加価値製品化を通じた社会実装への道筋作り、を目指し、主に経済的インセンティブを与える役割を担っている。研究拠点をクルアン実証試験地（図 7）及びマレーシア理科大学 OPT-RL を通じて、基礎から応用・実証レベルでの開発を行っている。

今年度、新たな OPT 資源価値の開発として、OPT 樹液中に、高い抗酸化活性、特にフリーラジカル消去能が高く含まれることが明らかとなり、OPT 樹液の新しいより高付加価値製品用途への展開の可能性を示した（論文投稿中）。また OPT 製品化プロセス開発では、OPT 以外の OPF、EFB、MCF 原料マルチ化プロセスを開発した。安定な OPT 収集に関する研究活動として、再植林後の OPT 放置・廃棄がもたらす影響を、小規模農家が間作期に栽培する作物を用いて成長特性や栄養障害について知見を得た。さらに原料マルチ化プロセスにより OPT だけでなく、搾油工場からの EFB、OPF、MCF の原料調達を組み合わせた「サラワクモデル」の実施を次年度よりスタートさせる。

またパナソニックが正式にメンバーとして加入し、OPT の家具用途への開発を行う（図 8）。クラン実証試験地で開発された OPT ペレット化プロセスにより、現在、OPT 材料調製が進められている。当該プロジェクトのように、高付加価値化研究のみならず、実際のプロセスに当てはめ OPT 特性を考慮した実証技術開発から原料調達まで踏み込んだ研究体系は少なく、基礎研究から応用、そして社会実装へと各課題がそれぞれのフェーズで連携し橋渡しとなっている。

研究題目 3 では、農園内放置・廃棄を抑制するための環境インセンティブとなる研究内容と位置付け、植替え再植林を迎えるパーム農園でのガノデルマ属糸状菌やフザリウム（オキシスポラム）など土壌伝染性真菌の動態および、これらが農園に与える影響に対して研究を実施している。今年度、マレーシア国半島部のネグリスンビラン州に位置する土地利用履歴の異なる 4 か所のオイルパーム農園において、パーム残渣放置区と対照区から土壌サンプルを採取、メタゲノム解析を用いて土壌細菌量および土壌病害細菌量の比較を行った。このようなオイルパーム農園において土壌環境微生物の網羅的解析を行った研究報告は少なく、土壌環境の把握と共に環境生態学的にも新しい知見が得られると考える。またパーム農園で放置・廃棄されてきた OPT や OPF のバイオマス分解に伴い放出される温室効果ガス（CO₂、CH₄、N₂O）について、マルチチャンネル式チャンバーシステムを用いて農園から発生する温室効果ガスのモニタリングも行う。今年度、温室効果ガス（温室効果ガス：CO₂、CH₄、N₂O）を観測するためのマルチチャンネル式チャンバーシステムの調達・調整を行ったが、コロナ禍に伴う渡航制限のため現地での設置には至っていない。次年度以降早期に設置を行いオイルパーム残渣の農園内放置が気候変動に及ぼす影響を明らかにする。

研究題目 4 では、最も理想的なパーム加工システムを新規に導入する際の優位性に関して検討するため、パーム加工システムを 6 つのサブシステムに分割し、リサイクルの範囲を示す 4 つのスコープ、4 つの POME（Palm Oil Mill Effluent：パーム油工場廃液）処理技術を組み合わせた 10 のシナリオを定義し、それらの実証分析結果を比較することで、OPT のペレット化によるリサイクルが経済性、環境性、社会性にどのような意味を持つのかを分析する。また研究題目 2 から得られた「原料マルチ化プロセス」の開発を基に、パーム農園からの OPT だけではなく、パーム搾油工場を併設した複合モデルにおけるシミュレーションが可能になる。これまでパームバイオマスを利用しない既存の搾油工場からパーム油製品への製造工程や、EFB や PKS（パーム椰子殻）のバイオマス利用における LCA や環境負荷を考察した研究例は存在するものの、OPT やバイオマス製造プロセスが付与された際のパーム産業全体を俯瞰した環境インパクトや経済的インパクトについて系統立って解析した例はない。将来、この LCA モデルがパーム産業全体の持続可能性の有無を診断する際の指針となるような成果としたい。



- ・研究運営体制、日本人人材の育成（若手、グローバル化対応）、人的支援の構築（留学生、研修、若手の育成）等

プロジェクトの研究方針や研究活動に関して、環境・エネルギー・経済・社会分野のより多くの有識者からの意見や助言を反映させようとの試みから、2021 年度から第三者評価委員会を構成し意見や助言を頂きプロジェクトへ反映する予定である。

OPT の利活用技術の開発推進により、OPT のマテリアルや樹液の利用に関する問い合わせが増加している。また SDGs に関する社会的関心の高まりから、持続可能性のあるパーム油産業転換に具体的に貢献したいと望む声が大きくなっている。今年度よりパナソニックを正式メンバーとして迎え、OPT からの家具用資材の製造に関して研究題目 2 で共同開発を行う。パナソニックの参画は、一企業として OPT 利用と SDGs への貢献を考えた際、SATREPS パームトランクへの参画が、強い社会インパクトになるとの考えに基づくものであった。OPT ペレット製造工程を活用し、家具資材原料の製造・流通を予定している。また「原料マルチ化プロセス」の開発により、上述した「サラワクモデル」の実証案が(株)日新商事を通じてサラワク州のパーム農園・搾油工場オーナーを中心に提案が行われている。次年度より日新商事を新規参画メンバーに加えサラワクモデルの実証試験を行う。

日本人人材育成として特別研究員 1 名を雇用しており（研究課題 1 を担当）、当該国におけるキャパシティーディベロップメントの一環として、JICA 長期研究員派遣制度により、2021 年度に博士後期学生 1 名の来日予定である。

(2) 研究題目 1：「OPT 高糖度化技術開発」

日本人側主担当者 国際農林水産業研究センター（リーダー：小杉昭彦・プロジェクトリーダー）

国際農林水産業研究センター（課題担当者：鶴家綾香・特別研究員）

マレーシア側主担当者 マレーシア理科大学（リーダー：K. Sudesh Kumar・教授）

マレーシア理科大学（課題担当者：Dr. Chuah Jo-Ann・特別研究員）

① 研究題目 1 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

1. OPT 樹液糖度上昇（熟成）メカニズム解明

PDM output 1-1, 1-2 に対応すべく、OPT 貯蔵試験をクルアン実証試験地で実施した（図 9）。市販ヨ

ウ素液を用いて OPT に含まれるデンプン量を判別し、デンプン含量が多い OPT、および低い OPT6 本を対象に上部・中部・下部から経時的に試料採取を行い、糖蓄積現象の確認試験を行った。採取した試料は一度凍結し、マレーシア理科大学 OPT-RL へ送付、OPT 中の糖度分析とデンプン濃度分析を行った。結果、伐採直後の OPT には約 10 %の遊離糖（グルコース、フルクトース、スクロース）が含まれていたが、15 日間後でも糖度は微増に留まり、貯蔵期間後期では逆に糖度が減少する傾向が観察された。これまでの研究からはデンプンを有する OPT は、糖度上昇が認められていたが、今回、微増の結果となった。今回使用した OPT の樹齢が 33 年であり通常利用する 25 年から比較すると古木となることから、糖度蓄積と樹齢との関係性が疑われた。現在、その可能性を精査するために、若い樹齢をもつ OPT との糖蓄積比較試験を実施しており、樹齢への影響を確認する。一方、樹齢の高い OPT でも高いデンプン量が含まれていることが明らかとなった。特に上部～中部にかけては乾燥重量の 20～30%（w/w）で含まれていた。クルアン実証試験地のペレット化プロセスでは、OPT 幹中の糖分や灰分を除くため、2 回の浸漬処理工程を経ている。従って、その処理中に OPT 中のデンプンも流出している可能性が高く、デンプン利用においては回収プロセスを検討する必要がある。

2. OPT 高糖度化技術・調達の実証研究（PDM output 1-1, 1-2, 1-4）

パーム再植林により伐採、放置・廃棄された OPT が、農園再生の肥料となっていると考える小規模パーム農園は多い。特に小規模農園は、再植林後の 3 年間はパーム果房の収穫が出来ないために、収穫出来るまでの間、あいたスペースを使い 1 年で収穫可能なトウモロコシ、チリ、パイナップル等の間作栽培を行う。この間作栽培がパーム果房の収穫が出来ない 3 年間分の収益減少を補填してくれるために、良い収入源となっている。その際、伐採 OPT を施肥として活用し、積極的に伐採 OPT を農地へ残そうと考える農園主が少なくない。しかしながら、OPT はそもそも窒素成分が少ない代わりに、樹液中の糖質を含め、繊維主体のカーボンが主成分である（C/N 比 400～600）。糖を含む樹液やカーボンリッチな繊維質を農地還元した場合、肥料や炭素固定効果があるか、そして、間作作物の成長にどのような影響を与えるか、を確認するために、まず予備的にポット試験を通じて検証した。間作作物としてトウモロコシを選び、市販土壤に OPT 繊維を含めた場合、また対象区には OPT 繊維を入れない場合をモデル的に作出し、作物生育に関し評価した。その結果、植物体分析から OPT 繊維を含む土壤では窒素飢餓状態を誘発し栄養障害の影響を与えた（図 10）。また土壤中のセルロース分解微生物、特に糸状菌（トリコデルマ属やトリコクラディウム属）が特異的に増殖することが明らかとなった。これらの糸状菌は強いセルロース分解酵素を生産することが知られており、酵素製剤としても利用される糸状菌の一種である。C/N バランスが C 側に大きく偏重している OPT を肥料とした場合、糸状菌の増殖誘発につながり植物が活用しやすいアミノ態窒素を収奪してしまうと考察している（Journal of Environmental Management, 印刷中）。今後は農園をベースに圃場試験等を通じて、同様な現象が生じるかについて、同様に間作作物を用いて検証する。小規模農園としては、これまで廃棄 OPT が肥料として何らかの良い影響をもたらすとの認識であったかと考えるが、実は間接的に悪影響を与えることの認識を持つ必要があるかもしれない。こういった認識が圃場試験等で実証出来れば、OPT の持出しや安価な原料調達に繋がる。

OPT の資源価値化は、経済的インセンティブを与え、パーム農園からの OPT の排出を促すことができる。今年度、新たな OPT 資源価値の開発として、電子スピン共鳴法（ESR 法）を用いて、OPT 樹液中に、抗酸化能の指標となるフリーラジカル消去能が高く含まれることが明らかとなった。同じく抗酸化能力が非常に高い液体として知られる緑茶、紅茶、アロエ搾汁液、ブラックベリー搾汁液、キュウ

リ搾汁液、レモン、トマトジュース、リコピン、 β -カロチンの各フリーラジカル消去能に比較して、OPT 樹液には、アルコキシラジカル ($\text{LO}\cdot$) 消去能、ヒドロキシラジカル ($\cdot\text{OH}$) 消去能、極めて強い一重項酸素 (O_2) 消去能を有していることが明らかとなった(図 11)(特許出願済)。紫外線など外的エネルギー因子や、生体内活性酸素が生じた際に、生体内でフリーラジカルが生じることが知られるが、OPT 樹液はこれらを消去することで防御機能を高めてくれることを期待させる。これまで OPT 樹液は特に微生物発酵用の培地原料用途として認識されている報告が多いが、実は化粧品や健康飲料など直接的に高付加価値製品化への展開も可能であることが明らかとなった。今後、SIRIM とマレーシア国内での製品化を目指した取り組みを計画している。



図 9 OPT 高糖度化メカニズム解明試験用の試料収集(クラン実証試験地)

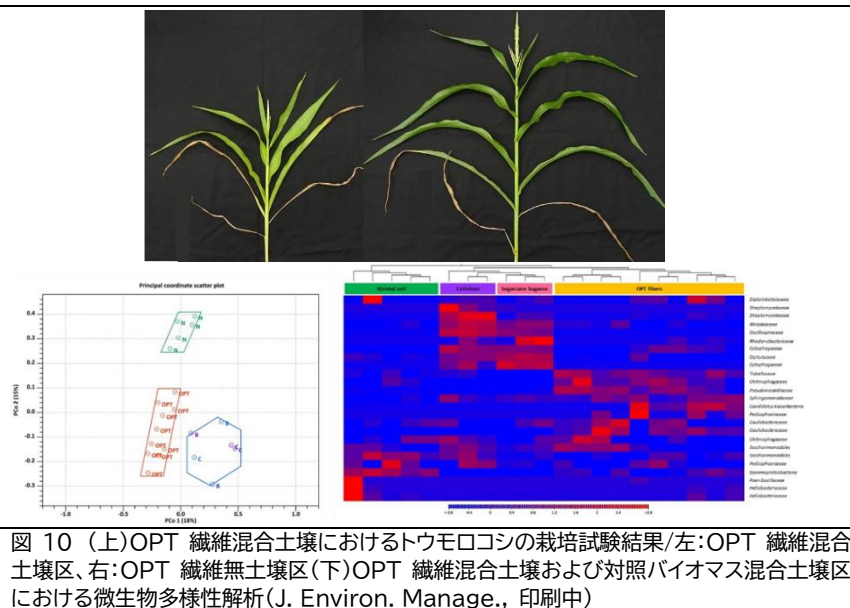
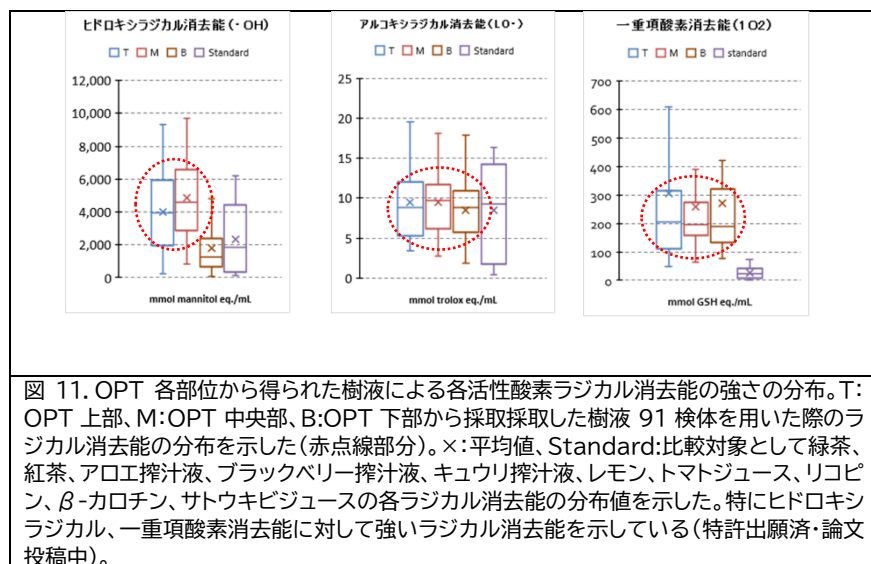


図 10 (上)OPT 繊維混合土壌におけるトウモロコシの栽培試験結果/左:OPT 繊維混合土壌区、右:OPT 繊維無土壌区(下)OPT 繊維混合土壌および対照バイオマス混合土壌区における微生物多様性解析(J. Environ. Manage., 印刷中)



② 研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

OPT 製品化実証プラントの現場作業従事者に対し、ヨウ素液を用いた OPT 内に含まれるデンプン量の判別方法、RNA 抽出用試料の保存方法について説明を行い、オンラインで作業手順についても指導を行った。また、マレーシア理科大における博士研究員や修士課程の学生に対し、分子生物学的実験手法 (OPT 繊維や土壌からの RNA 抽出、DNA 抽出、抽出物の精製)、糖およびデンプン解析の実験手法について指導した。また、ゲノム解析等の遺伝子解析について、一部得られたデータを用いて解析方法やデータの処理方法について指導した。

OPT 樹液中に、抗酸化能の指標となるフリーラジカル消去能が高く含まれることが明らかとなった。この結果は、OPT が化粧品や食品等のより高付加価値化製品製造への糸口となる新しい知見である。これまでマレーシア国内で化粧品開発や健康食品の商品化を行ってきた SIRIM 研究者と共同で開発を行う予定であり、マレーシア国内での製品化を目指した取り組みを進める。

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

今年度より、糖蓄積試験実施場所を OPT 製品化実証プラントへ集中することで作業効率化が図れた。また、新型コロナウイルス感染症拡大の影響で渡航困難なことから、Web 会議ツールを用いることで、実証プラントへは試料選別、採集について、マレーシア理科大へは実験に関する打ち合わせ、指示を適宜することが可能となった。

安定で安価な OPT 調達に関する研究活動の一環として、OPT 放置・廃棄による間作作物の栄養障害について検討を行った。その際、伐採 OPT 放置や廃棄が間作作物に影響を与える可能性があることが明らかとなった。今後、農園における圃場試験での影響確認が待たれるが、小規模農園における OPT 植替え後の持ち出しを促進させることができる重要な知見になると考えている (PDM output 1-1, 1-2, 1-4)。

新たな OPT 資源価値の開発として、ESR 法により OPT 樹液中に、抗酸化能の指標となるフリーラジカル消去能が高く含まれることが明らかとなった。より高い付加価値製品化への糸口となる知見は当初計画においては予想されておらず、伐採 OPT の農園放置を抑止し、持ち出しさせる経済的動機付けにな

る。

⑤ 研究題目 1 の研究のねらい（参考）

研究題目 1 の狙いは、① OPT に含まれる樹液中の糖度を高めるための方法の開発を主とし、② OPT の糖度向上・肥料実証試験、OPT 資源価値向上、OPT 安定調達に関する基礎的研究・調査であり、研究題目 1 を通じて研究課題 2 の高付加価値製品製造プロセスの効率化、低コスト化に貢献することである。OPT の最大の材料特性である OPT 重量の 7 割の樹液であり、糖度を高める管理技術開発は、研究題目 2 における樹液からのバイオガス生産及び高付加価値化製品製造への直接的貢献となる。OPT 中の樹液糖度の制御管理を可能とするために、主に OPT 内に積極的にデンプンを蓄積させ、貯蔵中の糖度上昇メカニズムを解明する。

OPT の安定調達は、研究題目 2 の社会実装において必須課題であり、パーム農園外への持ち出しを促進させる為には考えざる得ない課題である。そのため、付加価値製品の中でも高価格帯となる化粧品や食品への応用を視野入れることは有益である。また OPT の資源価値を向上させるだけでなく、OPT 持ち出しが経済的メリットに繋がる意義付けも重要である。研究題目 1 としては、主に経済的メリットからの OPT の農園外への持ち出しを促す基礎的知見を積み上げるのも狙いである。

⑤ 研究題目 1 の研究実施方法（参考）

研究題目 1 においては、以下の 3 つのポイントで研究実施を行う。

1. メカニズム解明において：伐採時、デンプン濃度が低い OPT や樹齢の異なる OPT を用いて、RNA シーケンス解析を行い、発現する遺伝子をデンプン濃度が高い OPT と比較する。樹液中の糖濃度解析やデンプン含量の結果と RNA シーケンス結果を照らし合わせることで傾向を分析し、貯蔵中の代謝変遷に関する遺伝子の特定を行う。

2. OPT の糖度蓄積と安定調達：OPT の積極的な持ち出しに繋がる知見を得るため、OPT 繊維を使った圃場試験を行い、間作作物における栄養障害の基礎的データを取得する。放置や廃棄 OPT が間作作物へ栄養障害を引き起こしているのであれば、小規模農園主への施肥方法の意識改革を促すよう周知することで、OPT 園外への持ち出し、安定調達へ向けた取り組みを行ってゆく。

3. OPT 資源価値向上：OPT 樹液中の成分分画と ESR 法にて分画画分のスクリーニングを行い、ラジカル消去活性物質の最終的物質同定を行う。また SIRIM との共同研究により、OPT 樹液を含む化粧品等商品化へ向けて検討を開始する。

(3) 研究題目 2：「OPT から高付加価値製品の製造技術開発」

日本人側主担当者

株式会社 IHI（リーダー：大原雄治・部長）

同上（サブリーダー：山下雅治・主査）

パナソニック株式会社（サブリーダー：大野達司・部長）

国際農林水産業研究センター（サブリーダー：小杉昭彦・プロジェクトリーダー）

国際農林水産業研究センター（SCP 課題担当者：藍川晋平・研究員）

マレーシア側主担当者

マレーシア理科大学（リーダー：K. Sudesh Kumar・教授）

マレーシアパームオイル庁（サブリーダー：Astimar Abdul Aziz・部長）

マレーシア標準工業研究所（サブリーダー：Ishak Mohd Yusuff・室長）

① 研究題目2の当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

PDM Overall Goal 1, 2, 3, 5 推進のため、研究題目2は、OPT 製品の普及・社会実装の加速化を目指し、ジョホール州クランにある OPT 製品化実証プラントを用いて、製品化へ向けたプロセス開発研究と、開発されたプロセスからの製品化を希望する企業との連携促進を行う。また試験研究として、研究題目1の糖度の高い OPT 樹液からバイオプラスチックやタンパク質など高付加価値製品の開発と共に、研究題目4で行う持続可能性評価のための分析フレームワークに LCA データを提供する。

OPT 製品化実証プラントは2018年まで主に OPT 燃料ペレット実証試験で利用された後、運転休止状態であったため、各設備の再確認を兼ねながら全設備の再立ち上げ試運転を再開した。現場管理体制はコロナ禍による渡航制限が掛かっていたことから、日本と現地のリモート体制を構築した。この間、昨年度実施のメンテナンス工事では確認できなかった設備について、メンテナンスと補修工事を適宜行い、この際に技術ノウハウの移転を進めた結果、全設備の保守メンテナンスと運転管理が現地担当者および作業員で実施可能になった。この成果は極めて大きく、それ以降の新たな技術開発を進める上での技術的信頼性を確保・担保するのに非常に役立った。これらの経験と技術は、排水から得られる液肥や、樹液からのバイオプラスチック原料を製造する為の MBR 設備（汚泥固液分離装置）、RO 装置（逆浸透膜濃縮設備）、また MDF（中密度繊維板）製造の為の繊維解繊装置である爆砕装置の据え付け工事、試運転、性能確認運転をリモートで進めることにつながった。研究開発の為の人的ネットワークの構築と OPT 処理既設備と新規導入設備の信頼性の担保を背景にして、以下の取り組みを行った。

1）各種サンプル製造を試作、各社会実装希望者への提供・評価

① OPT ペレット燃料サンプル提供

OPT 燃料ペレットを国内発電事業所で利用促進の為、燃焼用試験用として80トン製造、提供を行った。低灰化された OPT 燃料用ペレットは、ボイラーの燃料転換として専焼、混焼用途利用を検討中であり、今後大きな需要を見込んでいる。

② OPT ペレット材料用サンプル提供

OPT 乾燥ファイバーから OPT ペレットを試作して、家具製造用ボード材への適用性を確認した。その結果として、今年度よりパナソニックが本プロジェクトに参画するに至った。パナソニックは OPT を用いた繊維ボードの社会実装を推進する。OPT 材料を繊維ボードの量産設備へ投入する際の課題解消を今後のスケールアップ試験により進めていく。実大サイズのサンプル提供による品質及び受容性検証も併行して進めていく予定である。

③ OPT 繊維サンプル提供

OPT 繊維、EFB 繊維を解繊し、WOOD プラスチック原料としての適用性を現地マレーシア企業で検討中である。

④ OPT 樹液サンプル提供

OPT ジュースを直接搾汁し、ジュース中の糖分利用技術として、バイオプラスチック製造原料の培養条件に適することを確認した。糖液を利用する際には糖液の腐敗を防止する必要がある。直接搾汁により得られる糖液濃度は 5~10% (w/v) であり、腐敗防止を可能とする濃度である 40% への濃縮の為には、まずは 20% までは RO 設備増強し効用缶による熱濃縮が必要となる。その他、数社より糖液を原料とする各種高付加価値製品を製造する社会実装の検討を進めている。

2) プロジェクト独自の技術開発

新規導入した MBR 装置および RO 装置、爆砕設備 (図 12) を用いて以下の技術開発を行った。

⑤ MBR と既設好気性排水処理システム (MSABP)

設備組合わせにより設計処理水量の 2 倍の能力アップ効果を確認した (PDM Output 2)。

⑥ MBR 装置と RO 装置を組み合わせ

メタン発酵設備 (IC リアクター) 処理水、MASBP 処理水を固液分離と濃縮し、濃縮液と透過処理水の分離試験を行い、設計性能である 4 倍濃縮液と透過水を得た。濃縮液はカリウム、マグネシウム含有量が高く、液肥としての利用が見込め、透過水は OPT 処理工程の浸漬水として再利用が可能と判断できた (図 13 左) (PDM Output 2)。

⑦ OPT 樹液および排水混合液からの SCP (シングルセルプロテイン) 製造技術開発

PDM の Output2.1 の開発項目の一つとして、実験室内で廃水を使った藻類培養方法の検討を進めた。その結果、ペレット製造工程などで発生する複数の廃水を利用することでも、微細藻類の SCP が生産できることを明らかにした。そして、昨年度までに明らかにした OPT 樹液を使った培養技術と統合することで、SCP 生産量を飛躍的に向上させることに成功した。また上記の培養方法の検討は富栄養条件で生育の良い基準株を使用し進めてきたが、さらに SCP 生産量を向上させるために生産能の高い微細藻類株を自然環境中から探索した。集積培養を組み合わせたスクリーニングを実施し、約 70 株程度の樹液を利用できる藻類株を単離し (図 13 右)、その中からモデル株よりも 1.5 倍程度生産性が高い株を複数獲得することに成功した。

⑧ PHA (ポリヒドロキシアルカン酸) 製造プロセスの開発

マレーシア理科大学 OPT-RL では、生分解性資材である PHA 製造プロセスの開発において、OPT ジュース内の糖分を原料として PHA を生産できる事を確認し、150 及び 750 リッターの発酵槽を導入し、大量培養プロセスへの構築に進んでいる (図 14)。今後、大量培養および PHA 精製技術、及び現地での生産コスト試算等を進める。

⑨ 原料マルチ化プロセス開発

OPT を処理するプロセス内の設備を変更することなく OPF、EFB、MCF を OPT 同様に処理することで持続可能性が高く、良質なペレットの製造プロセスを開発した (原料マルチ化プロセス)。例えば、現在、未利用バイオマスである EFB ペレットの製造事業を搾油工場で検討する場合、処理設備の稼働率を上げるためには EFB 発生量が年間最小量となる月に合わせた設備設計を行う必要があり、その製造能力は平均的な搾油工場では、原料 EFB の約 50% 強の 1.6 万トン/年のペレット生産が可能なのだが、EFB 発生量が落ち込む際に OPT、OPF、MCF などの入手可能なパーム未利用バイオマスを原料として補充することが可能となれば、原料 EFB は 100% 処理され、EFB ペレットの

実生産量は 3.0 万トン/年と 2 倍の生産量が可能であり、更にトータルペレット生産量は 4.2 万トン/年にも達する事が可能となる（表 1）。また、OPT、OPF、MCF の受け入れ量を大きく設計能力を引き上げれば、1 搾油工場あたり 10 万トン/年のペレット製造工場を計画することができる事が試算された（図 15）。この時、充足する原料はパームミル周辺農園から入手可能な OPT、OPF 量とすればよく、パームミルの遠方から無理して OPT を高い輸送コストをかけて購入する必要がなくなるメリットがある。パーム搾油工場での処理が課題となっている POME（廃液貯水槽）を同時に処理することでゼロエミッションとなるバイオガス生産量を増強し、それを搾油工場とペレット製造工場で利用することで、両工場での持続可能性を高く設計することが明らかとなった。このコンセプトは、搾油工場とパーム農園が統合経営しているサラワク州やサバ州だけでなく、個別の経営を行っているケースが多いマレー半島側での OPT 調達に対しても動機付けに働くことが予想されると共に、搾油工場側が容易にバイオマス利活用ビジネス参入への動機付けとなる。



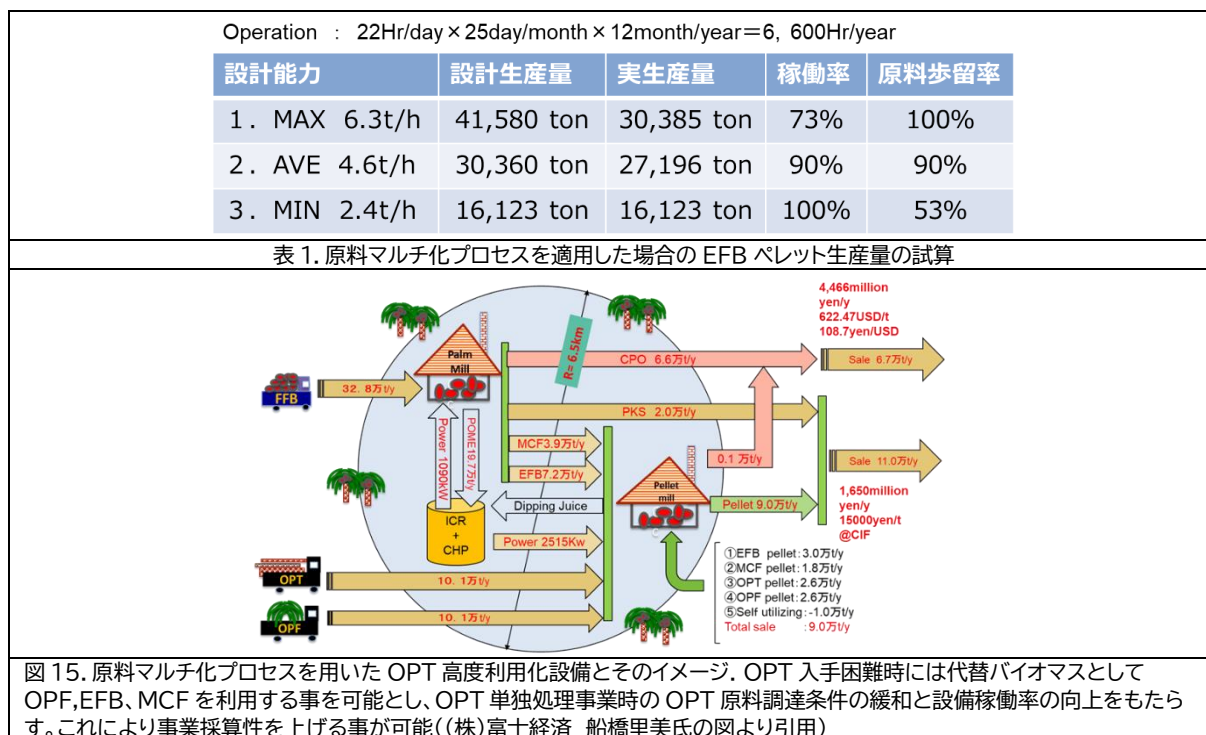
図 12. 新規導入した MBR&RO 設備、爆砕設備(クルアン実証試験地)



図 13. 排水からの液肥製造試験(左)および OPT 樹液と排水混合液からの SCP となる藻類の単離(右)



図 14. マレーシア理科大学 OPT-RL で行われている大型培養槽を用いた PHA 発酵試験



② 研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

コロナ禍での渡航が不可となったが、日本・マレーシア間にリモートワーク体制を構築し、日々の朝礼、週例定例会、補修改善工事实施などの経験を通して、地道に技術移転を進めた結果、運転、保守メンテナンス、分析及び新規技術開発のノウハウを取得し、現地スタッフによるクルアン実証試験地の運営が可能となった。この成果をもとにして、上記 1)、2) の成果を生み出すに至っている。PHA 製造に関しては、現地培養発酵槽を設置し、マレーシア理科大学の学生及び博士研究員、スタッフが主導で実施している (PDM Output 2) (図 14)。IHI からのバイオチーム担当者の参画もあり、大型発酵槽で問題となっている消泡設備導入のアドバイスや、経済的な PHA 精製プロセスに関して、リモートによる意見交換を実施している。また SCP 培養技術においては、コロナ禍のため国内開発をまずは行った後、オンラインでの実演・講義を通して技術移転を図ると共に、マレーシア側共同研究機関の研究者も渡航制限解除後に来日し国内試験運転に参加する予定でいる (PDM Output 2)。

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

1. 上述の通り、OPT 処理プロセスでの「原料マルチ化プロセス」が開発されたことで、OPT のみならずパーム未利用バイオマス全体を利用することで、OPT、OPF の利用促進を図れる可能性を見出した。この効果は燃料用ペレット製造事業の実装に貢献するだけにとどまらず、各原料繊維の材料利用用途を拡大することにも大きく貢献でき、パーム産業全体での温室効果ガス削減量の大幅な拡大と収益化に貢献できる事が分かった。今後は本コンセプトの実証をサラワク州で実証する予定でいる。

2. OPT 繊維の材料利用事業は社会実装を計画するパナソニックが今年度本プロジェクトに参画した。家具用ボード材料への OPT 繊維の活用技術に目途をつけ、次年度からはボード生産技術のスケールアップと実際に家具を生産してマーケットインでの評価を計画している。

3. OPT 樹液内の糖液を原料として社会実装を計画する事業者が予想以上に多いことが分かった。この為、OPT 樹液内の糖分濃度を濃縮する技術開発を加速させる必要がある。この為、次年度では RO 設備の能力増強を行い、課題 1 と連携し糖度の高い OPT を見だし、樹液の糖度を直接的に高糖度まで上げる為の技術開発を計画している。

4. SCP 製造技術開発において、樹液と廃水を利用することで藻類から SCP が生産できることに加え、廃水に含まれる硝酸態窒素、アンモニア態窒素、リン酸イオンなども吸収消費可能であることが明らかとなり、活性汚泥を用いた廃水処理にかかるコストを低減できる可能性が示唆された。

④ 研究題目 2 の研究のねらい（参考）

パーム農園内へ放置せず、積極的に OPT を持ち出し、適正処理へ向かわせるための経済的インセンティブを与える技術開発を行い、パーム産業界の構造的変換を促すのが狙いである。研究題目 2 で開発する技術やプロセスを導入した際のパーム産業全体の持続性を評価する(図 15)。また研究題目 4 の LCA 解析のためのデータ取得やデータ提供の役割も担っている。さらに、持続可能で安価な OPT 集材・調達システム構築も重要課題となっている。

今年度新たに開発した原料マルチ化プロセスをパームミルに適用し、OPT、OPF、EFB、MCF、POME の複合処理モデルでの収益拡大と温室効果ガス削減量をサラワクモデルの検証と平行して実証し、研究題目 4 にデータを提供し、LCA 解析結果をもとにしたビジネススキームを提示することで、SATREPS パームトランクプロジェクトにおける製造プロセスの普及のため、日本やマレーシア政府関係者へ見学会やシンポジウムを含めた積極的な広報活動を行う。

⑤ 研究題目 2 の研究実施方法（参考）

研究題目 2 では、OPT 製品化実証プラントの燃料用ペレット製造ラインを軸に、ここから得られる副産物を用いた高付加価値製品製造プロセスを検証することで、バリューチェーンの構築を行う。すなわち、燃料用 OPT ペレット製造時、発生する廃液からのバイオメタン回収による発電や、無機廃液からの灰分回収による液肥製造と低灰化水処理、およびその廃液を用いた SCP 生産を目指す(図 16)。また燃料よりも数倍高付加価値な製品として、OPT 繊維に関しては、ウッドプラスチックや MDF などの高付加価値製品製造への道筋も考えられる。パナソニックとしては、熱帯林と比較した、OPT 製品による温室効果ガス排出削減の商品価値や優位性、またクルアン実証試験地からの家具用資材の商品化及び品質検査を通じ、一歩踏み込んだ社会実装を具現化してゆく予定である。研究題目 2 では、以上の製品製造プロセスからの温室効果ガス排出に関する基礎的データ収集を実施し、研究題目 4 への情報提供を行ってゆく。

(4) 研究題目 3：「パーム農園の再植林による持続的土地利用・再生方法の開発」

日本人側主担当者 国際農林水産業研究センター（リーダー：近藤俊明・主任研究員）

国立環境研究所（サブリーダー：梁乃申・室長）

マレーシア側主担当者 マレーシア理科大学（リーダー：K. Sudesh Kumar・教授）

マレーシアパームオイル庁（サブリーダー：Nur Zuhaili Harris Abidin Zainal Abidin）

① 研究題目 3 の当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

研究題目 3 では、伐採 OPT などのオイルパーム残渣の農園内放置に起因する「(1) オイルパームの生長不良や枯死をもたらす土壌病害菌発生」および「(2) オイルパーム残渣の分解に伴う温室効果ガス発生」の 2 つの環境影響を評価することで、研究題目 1 および 2 で開発された OPT 利活用技術の社会実装へ向けた農園経営者(土壌病害菌)および国際的インセンティブ(気候変動)形成(PDM Overall Goal 3)を図ることを目的とする。

以下に、「(1) オイルパーム残渣の農園内放置が土壌病害菌動態に及ぼす影響評価」および「(2) オイルパーム残渣の農園内放置に伴う温室効果ガス発生量の観測」について、当該年度の成果の達成状況とインパクトの詳細を記す。

(1) オイルパーム残渣の農園内放置が土壌病害菌動態に及ぼす影響評価 (PDM Output 3-1, 3-2)

伐採オイルパーム幹に代表されるオイルパーム残渣の農園内放置が、オイルパームの生長不良や枯死をもたらす土壌病害菌動態に及ぼす影響を明らかにするため、マレーシア国半島部のネグリスンビラン州に位置する土地利用履歴の異なる 4 か所のオイルパーム農園(新規植栽区 2 ヶ所、再植栽区 2 ヶ所)において、パーム残渣放置区と対照区(パーム残渣除去区)から土壌サンプルを採取し、定量 PCR 法およびメタゲノム解析を用いて土壌細菌量および土壌病害細菌量の比較を行った。その際、比較として近隣の原生林、択伐林、ゴム園からも土壌サンプルを採集した。なお、オイルパームの生長不良や枯死をもたらす土壌病害菌には、立ち枯れをもたらす菌類 *Ganoderma* spp.、成長不良をもたらす菌類 *Fusarium* spp.、葉腐病をもたらす細菌類 *Erwinia* spp.が知られているが、当該年度は葉腐病をもたらす細菌類 *Erwinia* spp.を調査対象とした。

土壌中に存在する土壌微生物由来の DNA の抽出は QIAGEN 社の DNeasy PowerLyzer PowerSoil Kit を用いて行ない、土壌微生物量を評価するためのリアルタイム定量 PCR 解析および土壌微生物組成を明らかにするためのメタゲノム解析に使用した。なお、サンプル間で土壌微生物量や土壌微生物組成を行うことから、DNA 抽出に使用した土壌サンプル量はサンプルあたり乾燥重量換算で 0.25g に統一した。リアルタイム定量 PCR は Bio-Rad 社の CFX96 Touch™ Real-Time PCR Detection System を用いて行ない、初期変性(95℃30 秒)の後、変性(95℃5 秒)・伸長(60℃30 秒)サイクルを 35 回繰り返すことで行った。なお、リアルタイム定量 PCR は正確性を期すために、土壌サンプル当たり 3 度の反復実験を行った。土壌微生物組成を明らかにするためのメタゲノム解析では、16SrRNA (V3-V4 領域)について PCR 増幅を行った後、AMPureXP (Beckman Coulter 社製)を用いて PCR 産物の精製を行い、プライマー等を除去した。精製した PCR 産物に各サンプルに固有の index 配列を付与し、シーケンスライブラリーを作成した後、イルミナ社製の次世代シーケンサー (MiSeq) を用いて塩基配列情報を取得した。その後、得られた塩基配列情報をもとに、Blast 検索により個々の微生物種の同定を行った。その際、塩基配列が 97%以上一致するものについては同一種 (Operational Taxonomic Unit) とみなした。

マレーシア国における代表的な土地利用変化パターンに沿って、各土地利用における全細菌量を測定した結果、土地利用間で細菌量に有意な差は見られず、熱帯林の伐採を伴うオイルパーム農園の造成や、オイルパームの連作によっても、細菌量の低下は生じていないことが明らかとなった(図 16-a)。一方、葉腐病をもたらす細菌類 *Erwinia* spp.については、原生林や択伐林においても僅かに存在すること

や、有意な差は見られなかったものの、オイルパームの造成により細菌量が増加する傾向があることが明らかとなった（図 16-b）。*Erwinia* spp.は原生林に生育するサゴヤシで感染が知られているが、モノカルチャーなオイルパーム農園ではその量が増加すると考えられた。

こうしたオイルパーム農園における土壌病害細菌量の増加要因を明らかにするため、パーム残渣放置区と対照区（パーム残渣除去区）において、土壌細菌量および土壌病害細菌（*Erwinia* spp.）量の比較を行った（図 17）。その結果、有意な差は見られなかったものの、パーム残渣除去区に比べ、放置区において土壌細菌量が増加する傾向が見られた（図 17-a）。一方、土壌病害細菌（*Erwinia* spp.）量については、パーム残渣除去区と放置区間で明瞭な傾向は見られなかった（図 17-b）。土壌病害細菌（*Erwinia* spp.）量については、土壌サンプル間で大きなばらつきがあったことから、オイルパーム個体や放置される残渣における罹患の有無が、土壌への感染や他個体への感染拡大に影響をもたらすと考えられた。

当該年度はコロナ禍の影響による渡航制限から、日本国内で保管されていた限られたサンプルのみを解析対象としたが、今後はサンプル数や調査対象地を増やし、立ち枯れをもたらす菌類 *Ganoderma* spp. や成長不良をもたらす菌類 *Fusarium* spp.についても同様の解析を行うことで、伐採 OPT をはじめとするオイルパーム残渣の適切な管理指針を示していく予定である。

（2）伐採オイルパーム幹の農園内放置に伴う温室効果ガス発生量の観測（PDM Output 3-3, 3-4）

農園内に放置されるパーム由来の有機物が土壌微生物によって分解される場合、膨大な量の CO_2 が一時的に大気中に放出されるものの、放出された CO_2 は新たに植栽されるパーム樹木によって吸収されるため、気候変動への影響はおおよそニュートラルとなるが、シロアリによって採餌される場合には、腸内共生細菌によるセルロースの分解によって、 CO_2 の 28 倍の温室効果を持つ CH_4 として大気中に放出される。さらに、分解者でもある土壌病害菌の蔓延に伴うパーム樹木の生長不良は過剰な施肥の原因となり、 CO_2 の約 300 倍の温室効果を持つ N_2O の発生源となりうる。そのため、土壌病害菌を含むパーム由来有機物の分解者の特定やその動態評価、および CH_4 や N_2O を含む温室効果ガス発生量の統合的観測は、気候変動に寄与しない持続的オイルパーム農園経営の実現において重要な指標となる。そのため課題 3 においては、OPT の分解等に伴い放出される温室効果ガス（ CO_2 、 CH_4 、 N_2O ）を観測するためのマルチチャンネル式チャンバーシステムの調達・調整を行ったが、コロナ禍に伴う渡航制限や当該国における州間移動規制のため現地での設置には至っていない。

そこで当該年度は上述の「(1) オイルパーム残渣の農園内放置が土壌病害菌動態に及ぼす影響評価」で得られたメタゲノム解析データを用いた微生物群集機能評価から、 CO_2 の約 300 倍の温室効果を持つ N_2O の発生と強く関わる硝化・脱窒に関連する遺伝子量の測定を行った。

マレーシア国における代表的な土地利用変化パターンに沿って、各土地利用における硝化・脱窒関連遺伝子量を測定した結果、原生林から択伐林、択伐林からゴム園やオイルパーム農園への土地利用転換に伴い、土壌微生物群集における硝化・脱窒関連遺伝子量が有意に増加する傾向が見られ、オイルパーム農園では原生林に比べ最大で約 14 倍に上る遺伝子量が確認できた（図 18）。オイルパーム農園では、1 個体あたり十数 kg に上る混合肥料を用いた施肥が年数回行われており、オイルパーム農園における高い硝化・脱窒関連遺伝子量はこうした大量の施肥を反映するとともに、オイルパーム農園からは原生林に比べ多くの N_2O が排出されていることを示唆するものであった。今後はマルチチャンネル式チャンバーシステムを設置し、 N_2O を含めた 3 種の温室効果ガス放出量を正確に測定していくとともに、施

肥量の低減に向けた適切な農作物残渣の管理法についても検討していく予定である。

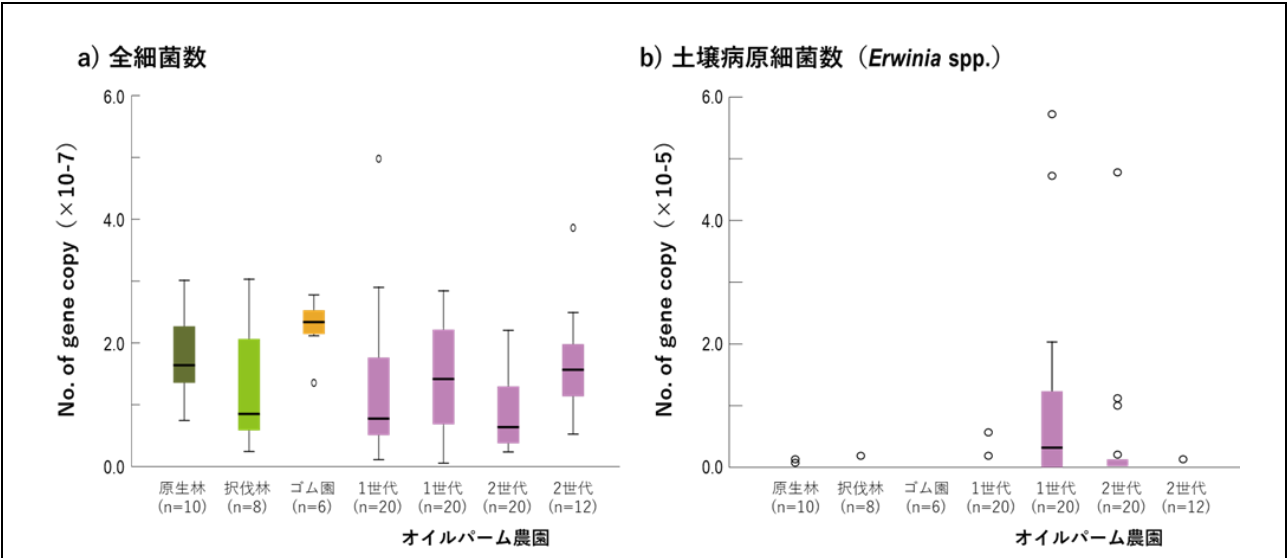


図 16. 土地利用変化が(a)土壌細菌量および(b)土壌病原細菌量(*Erwinia* spp.)に及ぼす影響

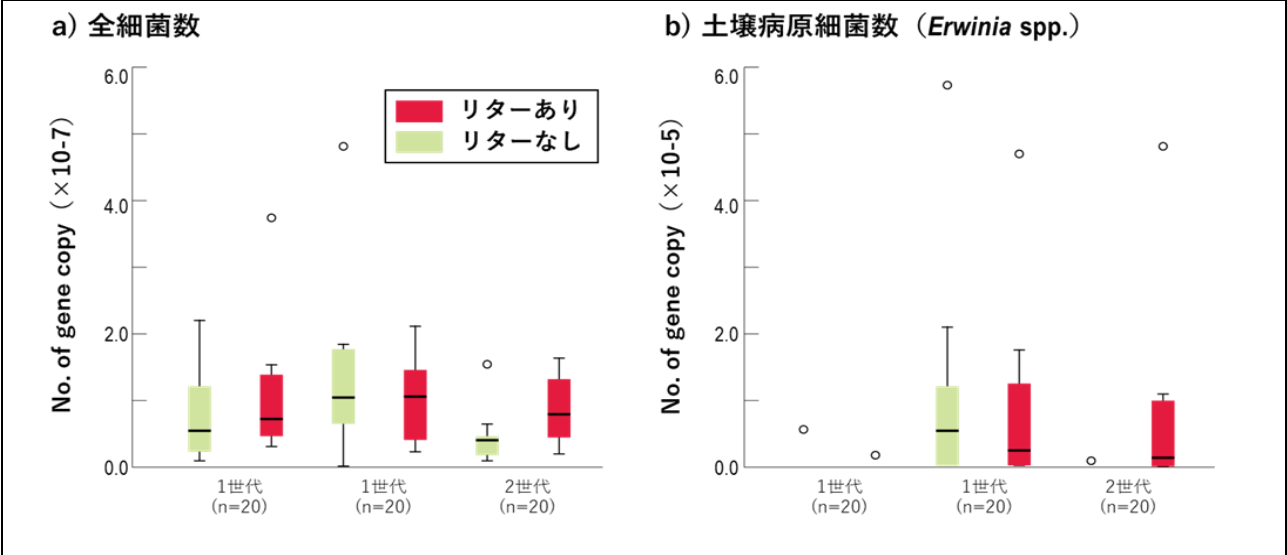


図 17. オイルパーム残渣の農園内放置が(a)土壌細菌量および(b)土壌病原細菌量(*Erwinia* spp.)に及ぼす影響

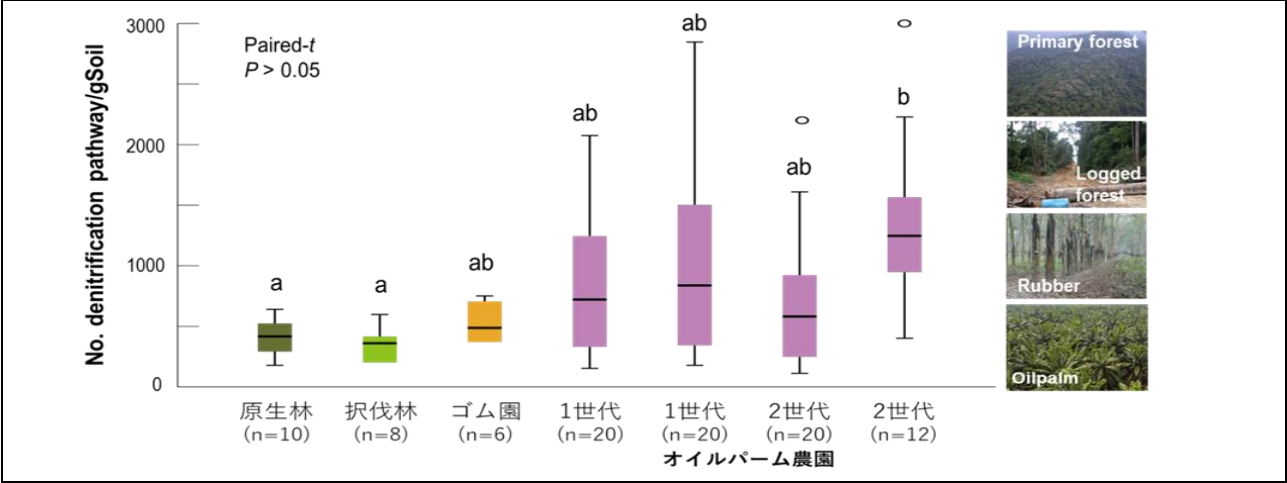


図 18. 微生物群集機能評価に基づく土地利用変化が N_2O 発生ポテンシャルに及ぼす影響

② 研究題目 3 のカウンターパートへの技術移転の状況

「(1) 伐採オイルパーム幹の農園内放置が土壌病害菌動態に及ぼす影響評価」では、マレーシア理科大学で修士号を取得した学生 1 名を対象に、JICA 長期研究員派遣制度を活用して筑波大学博士後期課程で受け入れ、土壌病害菌動態評価のための DNA・RNA 解析等の指導を行っている。現地カウンターパートと連携して当該学生の博士論文作成指導を行うことで、環境持続的なオイルパームプランテーション経営に向けた当該国研究者の育成による技術移転に取り組んでいる。

「(2) 伐採オイルパーム幹の農園内放置に伴う温室効果ガス発生量の観測」については、マルチチャンネル式チャンバーシステムの調達・調整は済んでいるものの、コロナ禍に伴う渡航制限や当該国における州間移動規制のため現地での設置には至っていない。そのため、制限が解除され次第、現地協力機関と共同で設置、運用を行っていくことで技術移転を図る予定である。

③ 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 3 の当初計画における目的は、伐採 OPT の農園内放置が土壌病害菌動態にもたらす影響の評価を通じて、研究題目 1 および 2 で開発された OPT 利活用技術の社会実装へ向けた農園経営者のインセンティブ形成を図ることである。

初年度における調査の結果、伐採 OPT の主要な分解者はシロアリであり、伐採 OPT はシロアリの腸内共生細菌による分解によって CH_4 として大気中に放出されること、また、土壌病害菌の蔓延に伴う過剰な施肥によって N_2O の発生が懸念されることなどが明らかとなった。こうした CH_4 および N_2O はそれぞれ CO_2 の 28 倍および 298 倍の温室効果を持つことから、OPT の農園内放置は気候変動にも影響を及ぼす可能性があり、2 年度目に実施したメタゲノム解析を用いた微生物群集機能評価からもこうした温室効果ガス発生を裏付ける結果が得られている。

そこで研究題目 3 では、土壌病原菌動態と併せて温室効果ガス (CO_2 、 CH_4 、 N_2O) の統合観測を行うことで、バイオマス利活用技術の社会実装へ向けた国際的インセンティブ形成に係る研究も新たに行うこととした。

④ 研究題目 3 の研究のねらい（参考）

オイルパーム農園では、果房生産量の低下から約 25 年周期でオイルパームの伐採・再植林が行われるが、伐採された OPT は搬出に係る経済的負担等の理由から農園内に放置され、地球規模の環境問題をもたらす要因となりうる。例えば、パーム由来の有機物が土壌微生物によって分解される場合、膨大な量の CO_2 が一時的に大気中に放出されるものの、放出された CO_2 は新たに植栽されるパーム樹木によって吸収されるため、気候変動への影響はおおよそニュートラルとなるが、シロアリによって採餌される場合には、腸内共生細菌によるセルロースの分解によって、 CO_2 の 28 倍の温室効果を持つ CH_4 として大気中に放出される。また、分解者でもある土壌病害菌の蔓延に伴うパーム樹木の生長不良は過剰な施肥の原因となり、 CO_2 の約 300 倍の温室効果を持つ N_2O の発生源となりうる。そのため、土壌病害菌を含むパーム由来有機物の分解者の特定や動態評価、および CH_4 や N_2O を含む温室効果ガス発生量の統合的観測は、気候変動に寄与しない持続的オイルパーム農園経営の実現において重要な指標となる。

研究題目 3 では、「(1) 伐採オイルパーム幹の農園内放置が土壌病害菌動態に及ぼす影響評価」および「(2) 伐採オイルパーム幹の農園内放置に伴う温室効果ガス発生量の観測」の 2 つをサブ課題とし

て設定し、伐採オイルパーム幹の農園内放置がもたらす影響を評価することで、研究題目 1 および 2 で開発された伐採オイルパーム幹利活用技術の社会実装へ向けた農園経営者（土壌病害菌）および国際的インセンティブ（気候変動）形成を図り、持続的オイルパーム農園経営の実現を目指す。

⑤ 研究題目 3 の研究実施方法（参考）

「(1) 伐採オイルパーム幹の農園内放置が土壌病害菌動態に及ぼす影響評価」においては、気候条件や土地利用変遷の異なる半島北部ペナン州および半島中央部ネグリスンビラン州に調査サイトを設置し、複数の異なるオイルパーム農園において、伐採 OPT 放置区と対照区から土壌サンプルを採取し、メタゲノム解析等による土壌病原菌の特定やその動態評価を行う。

「(2) 伐採オイルパーム幹の農園内放置に伴う温室効果ガス発生量の観測」については、ネグリスンビラン州に設置したオイルパーム農園試験地において、(1) パーム由来有機物について異なる処理を施した 20 基のマルチ自動開閉チャンバー式温室効果ガス測定システムを用いて、3 種の温室効果ガス（CO₂、CH₄、N₂O）発生量を連続測定するとともに、(2) メタゲノム解析等により、チャンバー内の土壌を対象に、1. 土壌微生物種組成、2. 土壌微生物量、および 3. 群集機能、の 3 つを評価することで、土壌病害菌を含む土壌微生物動態に対するパーム由来有機物の農園内放置の影響を明らかにする。

研究題目 4：「マレーシアにおける OPT 高付加価値化利用技術の導入による経済・社会・環境インパクトの評価」

日本人側主担当者 広島大学（リーダー：金子慎治・教授）

島根県立大学（サブリーダー：豊田知世・准教授）

① 研究題目 4 の当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

PDM Project Purpose 4 及び PDM Output 4-4 を目指し、研究題目 4 では、OPT 高付加価値化技術が社会実装された際のパーム産業全体の持続可能性を議論するため、(1) 分析枠組みの開発：経済、社会、環境それぞれのインパクトを同定・定量評価し、それらを総合評価可能な分析枠組みを開発すること、(2) 持続可能性の実証分析：経済的、社会的に持続可能か、具体的なデータを用いて評価すること、(3) 政策分析・評価：OPT 高付加価値化技術が実装されたパーム産業全体の持続可能性を高めるための政策手段について検討することを目的とする。

当該年度は、(1) 分析枠組みの開発、および (2) 持続可能性の実証分析（環境影響評価、経済影響評価、社会影響評価）のため、パーム農地、搾油工場、OPT などのバイオマス残渣の加工工程など、実証分析に必要なパラメータの収集、データベースの整備を行った。また、(3) 政策分析・評価について検討し、(1) (2) の枠組みを用いた評価として、最も理想的なパーム加工システムを新規に導入する際の優位性に関する検討を中心とすることとした。

図 19 は、(1) の検討結果をまとめたものである。開発した分析枠組みは、6 つのサブシステムで構成されるパーム加工システムを定義し、これにリサイクルの対象範囲を占める 4 つのスコープを組み合わせる。

サブシステム 1 は、農地マテリアルであり、パーム農園の栽培から FFB（パーム生鮮果房）収穫ま

でを対象とする。FAO によれば、マレーシアでは年間で平均 18.6 t/ha の FFB が収穫されているが、研究題目 3 で計測される、パーム農園土壌や農園に放置された伐採 OPT から排出される温室効果ガス等の環境負荷を加えた総合的な評価を行う。

サブシステム 2 は、FFB から CPO（パーム粗油）を搾油する搾油プロセスであり、1 トンの FFB から CPO 210 kg と核油 3.3 kg、副産物として EFB 230 kg、MCF 170 kg、PKS 90 kg、POME 600 kg が排出される。MCF と一部の PKS はボイラーの燃料として燃やし、搾油プロセスで使用する電気や熱に利用する。なお、パーム残差に含まれる熱量は表 2 であり、そのうち POME の内容は表 3 である。パーム残差を燃料に、工場内でボイラーや発電機を使う場合、これらの熱量や COD を基準に、発電可能量やエネルギー供給可能量を推計する。

サブシステム 3 は、CPO からパーム精油に加工する精油プロセスであり、いくつかの搾油工場から CPO を集め、精油へと加工するプロセスである。その工程はどのシナリオにも共通しているため、全体のとりまとめが終わった後、最後に加える。

サブシステム 4 は、サブシステム 2 のバイオマス残差である EFB をペレットとして加工するプロセスである。EFB は通常チップに加工し、パーム農園の土壌にまかれていたが、ペレット製品として商品化するプロセスを想定している。

サブシステム 5 は、通常パーム農園に放置していた OPT を工場に集めペレット化するプロセス、サブシステム 6 も同様に、農地に放置していた OPF をペレット化するプロセスである。

POME 処理技術については、別途比較対象を特定し、検討に加える。具体的には、1) オープンラグーンで処理する方法、2) ラグーンにカバーをかけ（カバーラグーン）、集めたメタンを燃焼して処理する方法、3) カバーラグーンでメタンを回収し、そのメタンを燃料として工場内に電熱併給する方法、4) IC リアクターを用いてメタンを回収し、そのメタンを燃料に電熱併給する方法（課題 2 の実証実験の成果を利用）、の 4 つの処理技術を対象とする。

次に、リサイクルの範囲を示す 4 つのスコープは次の通りである。

まずスコープ I は、現状シナリオであり、3 つのサブシステム（SS1、SS2、SS3）からなる（図 20）。SS2 で発生する EFB をペレットとして加工せず、チップにして農地に撒くところが、他のスコープと異なる。スコープの適用範囲と 4 つの POME 処理技術の方法と組み合わせて、実証分析のためのシナリオを設定する。スコープ I では、3 つのシナリオを設定し、ScopeI-1 は、1) オープンラグーンで処理する方法、ScopeI-2 は 2) カバーラグーンでメタン燃焼処理する方法、ScopeI-3 では 4) IC リアクターを用いて熱電併給する方法、とした。ScopeI-3 では、IC リアクターから発生する熱電を工場ですることを想定している。IC リアクターでメタン回収され、熱や電気へと変換されたエネルギー量は、SS2 の搾油工場に必要なエネルギーよりも大きい。そのため、通常搾油工場から出るバイオマス残差であるメソカップファイバーを燃やして工場内の熱や電気を供給していたが、メソカップファイバーを燃やす必要がなくなり、新たなバイオマス残差となることが予測されるため、リサイクル方法の検討が必要となる。

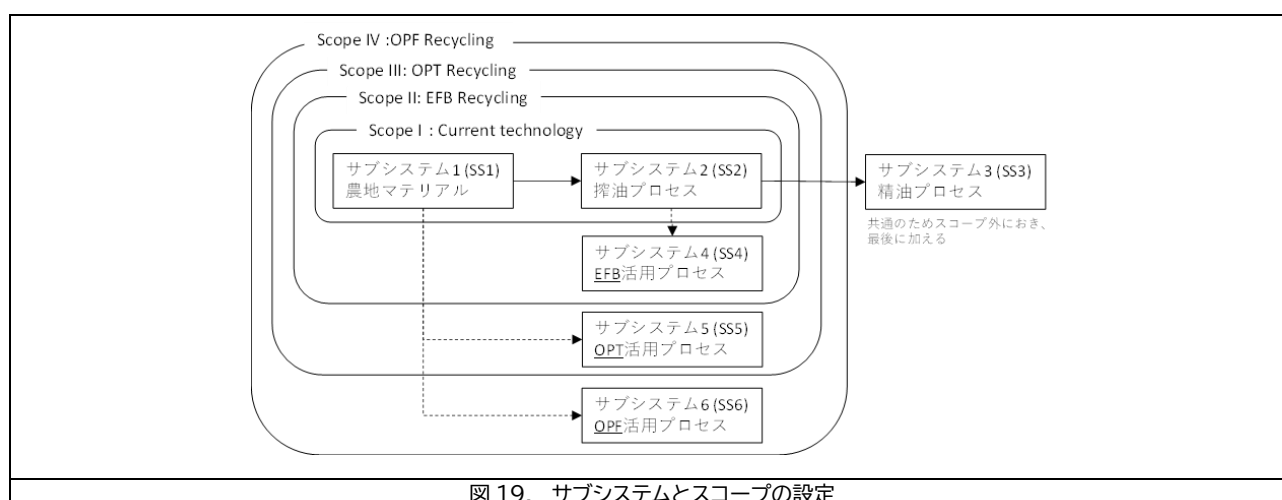
スコープ II は、SS1 と SS2、SS3 に、SS4 を追加する（図 20）。スコープ I では、EFB は農場に撒いていたが、スコープ II では、ペレットとして加工する。EFB をチップにする SS4 の追加によって、全体に必要な電気や熱量も増加する。そのためスコープ II-1 は、通常燃料として販売していた PKS を、SS2 と SS4 に必要な熱や電気の燃料として利用する必要がある。一方、スコープ II-2 は、POME 処理を

3) カバーラグーンでメタンを回収し、SS2 と SS4 への熱電供給源として利用するため、追加的な PKS の投入は必要なく、PKS は燃料として販売可能である。また Scope II-3 は、POME 処理を 4) IC リアクターを用いて工場内に熱電供給する方法である。

スコープ III は、スコープ II に加え、SS5 である OPT をペレットとして加工するプロセスを追加する（図 21）。スコープ I と II では、伐採された OPT はパーム農園にそのまま放置されることを想定されていたが、スコープ III では農園から OPT を回収し、ペレット加工して商品化することを想定している。スコープ III-1 では、POME 処理を 3) カバーラグーンで発電し、工場に熱電供給する方法を用いる。スコープ III-2 では、POME 処理を 4) IC リアクターによって発電し、工場に熱電併給する方法を用いる。ただし、IC リアクター導入によって、工場が必要となるエネルギー需要量が満たされる場合、工場内で必要なボイラーの燃料として燃やしていたメソカップファイバーを燃やす必要がなくなるため、SS4 の EFB ペレット化と合わせてペレットにする方法が考えられる。なお、スコープ I とスコープ II では、伐採 OPT が農園に放置されることによって、研究題目 3 で想定されるように、土壌劣化や温室効果ガスの追加的な排出が懸念されている。スコープ I と II では、このような伐採 OPT が農園に放置されることによって発生する環境負荷も評価対象とする。スコープ III は、伐採 OPT を農園から持ち出すことによる追加的なコストや環境負荷が発生するが、伐採 OPT を農園から取り除くことによる環境改善効果も期待される。そのため、他の研究課題の結果も含めた総合的な評価を試みる。

スコープ IV は、スコープ III に加え、農地に放置されていた OPF も回収し、ペレットとして加工するプロセスを追加する（図 21）。スコープ IV-1 では、POME 処理を 3) カバーラグーンで発電し、熱電併給する方法を用い、スコープ IV-2 では POME 処理を 4) IC リアクターにて処理し、工場内に熱電併給する方法である。

以上により、4 つのスコープをもと、10 のシナリオを設定し、各サブシステムに投入されるインプットとアウトプットの指標を整理したうえで、環境、経済、社会的な影響評価を実施する。10 のシナリオ同士の実証分析結果を比較することで、OPT のペレット化によるリサイクルが経済性、環境性、社会性にどのような意味を持つのかを理解することができる。なおパーム樹木の平均更新期間が 25 年であることを踏まえ、分析期間は 25 年間と 50 年間とし、それぞれのスコープとシナリオの包括的な評価を試みたうえで、シナリオごとの実現可能性および持続可能性を評価する。



	水分 %	(ドライ) %	油分 %	熱量 (dry) kcal/kg
EFB	65	35	5	3,700
Fibre	42	58	5	4,420
Shell	7	93	1	4,950
POME	95	5	1	---

(source: Gurmit et al. (1999))

表 2. パーム残差に含まれる熱量

pH	4.7 ph.	Phosphorous	18 mg/l
Oil & Grease	4,000 mg/l	Potassium	2,270 mg/l
BOD	25,000 mg/l	Magnesium	615 mg/l
COD	50,000 mg/l	Calcium	439 mg/l
Total Solid	40,500 mg/l	Boron	7.6 mg/l
Suspended Solid	18,000 mg/l	Iron	46.5 mg/l
Total Volatile Solid	34,000 mg/l	Manganese	2 mg/l
Ammoniacal Nitrogen	35 mg/l	Copper	0.89 mg/l
Total Nitrogen	750 mg/l	Zinc	2.3 mg/l

(source: 表 4-1 と同じ)

表 3. 搾油プロセスから排出される POME 特徴

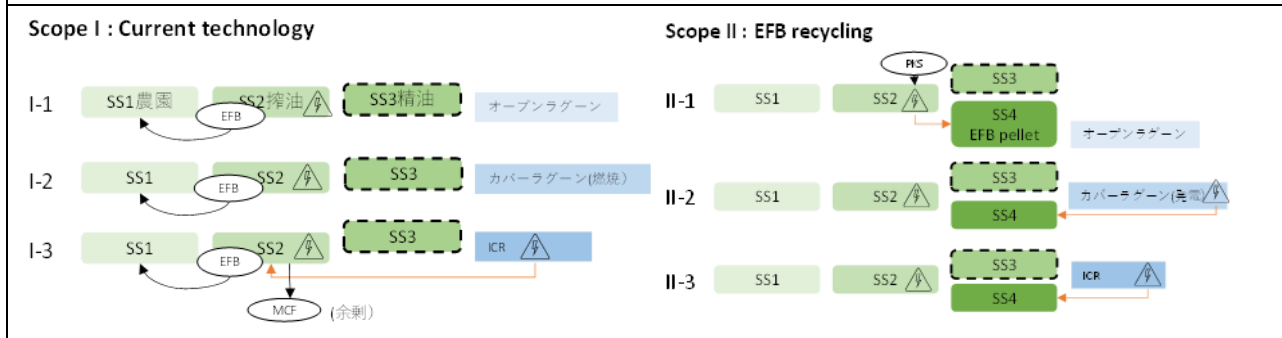


図 20. スコープ I および II の設定

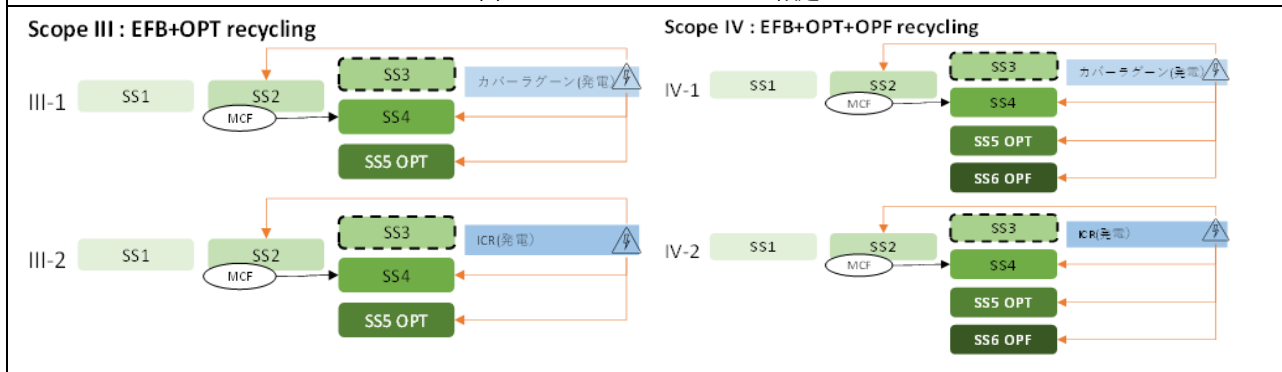


図 21. スコープ III および IV の設定

② 研究題目 4 のカウンターパートへの技術移転の状況

2020 年は先行研究をもとに、OPT 高付加価値化技術が社会実装された際のパーム産業全体の持続可能性を評価するための基本的な分析フレームワークを組み立てている段階であり、現地への技術移転の段階には至っていない。来年度は、パーム産業全体を評価した LCA の分析手法について、現地協力機関と情報共有しながら、経済的な妥当性を含めた実現可能性について議論を進める予定である。

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 の当初計画では、伐採 OPT 利用によるバイオマス産業全体の環境負荷および社会経済的効果を評価することであった。

研究題目 2 において、未利用バイオマスである伐採 OPT に加え、パームミル工場から発生する EFB、パームが成長する過程で農場から発生する OPF を同一のプロセスですべてペレット化するシステムの技術開発に成功したことから、IC リアクターによる POME 処理方法の想定を含めて、新しいシステムの社会経済的効果を研究課題 4 の中心的なシナリオとして検討することとした。

また、当初予定では、現地でカウンターパートと協力して、現地のパームミル工場やパーム農場で収集・観測したパラメータを利用する計画であったが、初年度は予算的な制約、次年度からはコロナ禍での渡航禁止などの理由から、実現できていない。そのため、実証分析に必要なデータは、他の研究題目から得られるデータ以外では文献から得られるデータを用いざるをえない状況である。

④ 研究題目 4 の研究のねらい（参考）

本研究題目は、OPT 高付加価値化技術が社会実装された際のパーム産業全体の持続可能性を議論するため、マレーシアの具体的なデータを用いて経済、社会、環境それぞれの分野に対するインパクトを同定・定量評価し、それらを総合評価可能な分析枠組みを開発することで、パーム産業全体の持続可能性を高めるための政策手段の検討を目指すものである。

⑤ 研究題目 4 の研究実施方法（参考）

今後の実施手法として、(1) 積極的にパームバイオマスをリサイクルしない場合（ベースラインシナリオ）、(2) 積極的にパームバイオマスをリサイクルする場合 A [パームヤシ殻（PKS）、パーム空果房（EFB）、パーム幹（OTP）、パーム葉柄（OPF）を個別にリサイクルする場合]、(3) 積極的にリサイクルする場合 B [統合プロセスによって全て一貫してリサイクルする場合] のライフサイクル環境負荷の違いを算出する。そのために、以下の取り組みを予定している。

1) 分析枠組みの開発

- ・ベースラインシナリオとリサイクルシナリオの確定
- ・土地利用モデルの具体化・精緻化と統合
- ・社会的インパクト評価のための基礎的検討

2) 持続可能性の実証分析

- ・持続可能性の実証分析ツールの開発
- ・製造プロセスにかかるマテリアルフロー分析
- ・LC-CO₂、LC-GHGs、LCA それぞれに必要な原単位データベース構築
- ・製造コストや製品の販売価格など費用便益分析に必要な金額データベース構築

3) 政策分析・評価

- ・パーム産業全体の持続可能性が消費者の選好に及ぼす影響の分析

- ・RSPO（持続可能なパーム油のための円卓会議）、MSPO（マレーシア持続可能なパーム油基準）、ISPO（インドネシア持続可能なパーム油基準）からの今後の認証制度に関するヒアリング・情報収集
- ・OPT 高付加価値化技術を利用したビジネスコンテストの企画・実施

II. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し（公開）

・研究題目 1 糖蓄積メカニズム解明に向けて取り組むと共に、伐採 OPT のもつ特徴（樹齢、品種、地域性など）との関連性に関しても考察を行う。また OPT 幹中のデンプンの回収を検討することで、糖度の高い糖液調製方法を検討する。OPT 調達への基礎的研究として、伐採 OPT と間作作物の生育に関して農園を使った実証試験を行い、農園主への経済的メリットを示すデータを取得する。さらに OPT の資源価値向上に関して、ESR 法を用いたスクリーニングを行い OPT 樹液中のフリーラジカル消去物質の同定を進めると共に SIRIM と共同で化粧品等の商品化を進める。

・研究題目 2 サラワクモデル検証の為に、原料マルチ化プロセスによるパームミルでの OPT、OPF、EFB、MCF、POME の複合処理モデルの技術実証を進め、パーム農園と搾油工場の社会実装の為の協業スキームを検討推進する。その為の投資可能なパームオイル利用企業やバイオマス燃料ペレット利用企業とのビジネスマッチングを進める。もし OPT/EFB ペレット製造工場での複合処理モデルの技術実証が進めば、近年中に本技術の普及が開始される見通しである。また、SCP 製造技術の開発では、国内培養装置での培養を開始し、大規模培養での課題を抽出する。

・研究題目 3 伐採 OPT の農園内放置がオイルパームの葉枯れ病をもたらす土壌細菌 *Erwinia* spp. の増加をもたらすことや、シロアリによる分解や生育改善のための過施肥に由来する温室効果ガスの発生に寄与することなど、伐採 OPT 利活用技術の社会実装へ向けたインセンティブ形成に貢献するデータが順調に収集できている。また、JICA 長期研究員派遣制度を活用して当該国研究者 1 名を筑波大学博士後期課程で受け入れ、土壌病害菌動態評価のための DNA・RNA 解析等の指導を行うとともに、現地カウンターパートと連携して博士論文作成指導を行うことで、環境持続的なオイルパームプランテーション経営に向けた当該国研究者の育成による技術移転にも取り組んでいる。今後、得られた成果を RSPO や MSPO などのパーム油認証機関に積極的に提供し、気候変動や農地管理に関わるパーム油認証基準の高度化を促すことで、伐採 OPT 利活用技術の社会実装による地球規模環境問題の解決に貢献する。

・研究題目 4 オイルパーム農園からは伐採 OPT に加え、果房収穫の際に剪定される OPF や搾油後の EFB など様々な農作物残渣が得られることから、バイオマス利活用技術を活用した様々なタイプの高付加価値化製品の開発が可能である。しかしながら、どの製品に市場性があり、収益性が高められるかについては不確実性が極めて大きく、研究者による限られた情報やアイデアのなかで、これらを確定的かつ限定的にバイオマス利活用シナリオに含めることは難しく、将来予測の精度に大きな問題が発生する。そのため、マレーシア側共同研究機関と共同で、主要な原材料についてのビジネスコンテストの実施も検討しており、その結果を将来の農作物残渣を活用した高付加価値化製品製造のシナリオに反映させることにより、より精度の高い LCA 分析や社会的費用便益分析が可能となる。

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）

(1) プロジェクト全体

- ・プロジェクト全体の現状と課題、相手国側研究機関の状況と問題点、プロジェクト関連分野の現状と課題。

新型コロナウイルス感染症拡大に伴い、渡航制限やマレーシア国内での移動規制により、国内研究機関や相手国側研究機関において、研究進捗に関して遅れや影響が出てきている。マレーシア側における MCO においては、大学、研究機関等への入館の禁止や州間の移動禁止といった厳しい処置が執られており、研究活動に直接的に影響するだけでなく、PDM Project Purpose 2 に関連する政府機関や認証機関等への意見交換や広報活動が停滞している。

一方、日本側の研究推進においては、リモートによる設備設置業務の指示や、プロセス改良における指示や指導体制を早期に構築したこともあり、大きな研究停滞もなく順調に研究推進が来ている。特にクルアン実証試験地においては、現地管理会社を通じ毎日の打合せや、進捗状況の把握や定期報告会を通じ様々な技術開発が行われた。一つは PDM Goal、PDM Project Purpose, PO にも述べられている、プロジェクトをベースとした社会実装化（パナソニック・IHI の取り組み）や OPT からの高付加価値化（原料マルチ化プロセスの開発・OPT 樹液中に含まれるフリーラジカル消去能・SCP 開発）、また持続可能なパーム農園を具体化するサラワクモデルの実施へと繋がりがつつある。これらの研究成果の社会実装化は、PDM Goal 1～3, PDM Project Purpose 1, 3, 4 に記載のある、OPT を含めパーム産業から排出されるバイオマスを使った新産業創出に繋がり、地域雇用創出や拡大に繋がることが予想される。

- ・各種課題を踏まえ、研究プロジェクトの妥当性・有効性・効率性・インパクト・持続性を高めるために実際に行った工夫。

今年度、新型コロナウイルス感染症拡大のプロジェクトへの影響を最小限に食い止めるために、マレーシアにおいて実施予定であった研究や実証試験の多くをリモート体制で実施した。通常、導入機器の設置や試験運転、また保守と補修工事においては、現場に日本側の担当者が不在では難しいと言われてきた業務であるが、現地に赴かずとも遠隔操作により設置工事から試運転、完成検査までこなせることが明らかとなった。特にパイロット設備においては、プロセスや高付加価値製品開発においても多数のスタッフが必要であるが、自動化や OPT に知見のある管理会社を現場に当てさせることにより上手にスケジュールを管理することが出来た。またパナソニックの参画により、OPT のマテリアル化が大きく進むことになった。さらにクルアン実証試験地においてリモート研究により進められた、原料マルチ化プロセスは、サラワクモデルの実証へ繋がると共に、新しいシステムの社会経済・環境インパクト評価として、研究課題 4 の中心的なシナリオとして検討することになった。これは PDM output 4-4 に直接的に貢献する活動となる。環境的側面からは、コロナ禍により伐採 OPT の農園内放置に伴う温室効果ガス発生量の観測は出来ていないものの、事前に収集したオイルパーム農園において、パーム残渣放置区と除去区から土壌サンプルを採取し、定量 PCR 法およびメタゲノム解析を用いた、土壌病害細菌 (*Erwinia* spp.) 量の比較を行うなど、PDM output 3 や今後の解析に役立てる結果を得ることができた。

- ・プロジェクトの自立発展性向上のために、今後相手国（研究機関・研究者）が取り組む必要のある事項。

パーム産業からのバイオマス利用に関する制度化への取り組みとして、MPOCC や国家認証制度 MSPO「持続可能なパーム油のマレーシア基準」へ周知・理解を得ることが大切と考えている。その理解を得るためには、広報や意見交換的活動が不可欠であるが、新型コロナウイルス感染症拡大により、対面的な発表や直接的な意見交換を行うことが出来なかった。また周知という意味では、今年度予定していた国際会議 ByPalma も中止となったことから、ステークホルダーへの理解は深まっていない。ByPalma 国際会議は世界のパーム農園からの副産物とその用途に焦点をあて、将来的な循環経済のための資源としてパーム副産物を再発見することをテーマとして開催される。パーム油産業から廃棄・排出されるバイオマスの適正処理は、MPOCC が唱えるパーム油の持続性を高めるだけでなく、全体の 8 割を占めるバイオマスから新たな産業を生む可能性がある。このことからエンドユーザー含む多くのステークホルダーが注目する会議としても知られている。次年度 2021 年 9 月に同国際会議がオンラインで開催される予定であり、2021 年 9 月 29 日午前 9 時～午後 12 時（マレーシア時間）まで、本 SATREPS プロジェクトの特別セッション（図 22）として、プロジェクト関係者より講演する機会を得た（<https://www.facebook.com/bypalmaconf>）。そのセッションにおいては、ぜひマレーシアにて実施中のプロジェクトの進捗と OPT 活用技術の社会実装をテーマに研究成果について周知、理解してもらうよう国内外にアピールしたいと考えている。



Sustainable Replantation of Oil Palm By Adding Value to Oil Palm Trunk Through Scientific and Technological Innovation
(Special issue: value added technology for OPT and EFB)

Joint Coordinating Committee of SATREPS OPT Project

Project Director / Vice Chancellor of USM
Project Manager/Prof. Dr. K. Sudesh Kumar

Members: Malaysian Side
Deputy Project Manager / USM
Representative MPOB
Representative FRIM
Representative SIRIM
Representative MPOCC
Representative MPOCC
Representative MoHE
Representative Ministry of Primary Industries
Representative RSPO
Representative MPOCC
Representative MEA

Members: Japanese Side
Chief Advisor / Prof. Dr. Akihiko Kosugi
Project Coordinator
Chief Representative / JICA Malaysia Office
Project Experts
Embassy of Japan
Representative of JST

SATREPS OPT PROJECT SESSION PROGRAM 29th Sep 2021

USM Bio 09:00-09:15	Prof. Dr. K. Sudesh Kumar (SATREPS Project Manager) Opening remarks
JIRCAS 09:15-09:30	Prof. Dr. Akihiko Kosugi (SATREPS Project Leader/Chief Advisor) Future prospects for oil palm biomass utilization led by SATREPS-OPT project
IHI 09:30-09:45	Mr. Masaharu Yamashita (IHI Project Manager/SATREPS Leader) Process development for IHI OPT&EPB fuel pellet production
OPTERAZ 09:45-10:00	Mr. Chuah KH (OPTERAZ CEO/SATREPS Plant Manager) Research and development of oil palm biomass utilization technologies from Kuang pilot plant
Panasonic 10:00-10:15	Mr. Mohd Erman Fauzi (Assistant Manager/SATREPS Member) Development of fiberboard using oil palm trunk
Texchem 10:15-10:30	Dr. Pun Meng Yan (Deputy Managing Director) Strategy of oil palm biomass utilization from TExa
MPOB 10:30-10:45	Ms Noorshamsiana Abdul Wahab / Ms Nur Eliyanti Ali Othman (Head of Unit Biomass Technology /Researcher) Cellulose from oil palm trunk and its conversion to carboxymethyl cellulose (CMC)
USM TI 10:45-11:00	Associate Prof. Dr. Leh Cheu Peng (SATREPS Deputy Project Manager) Sustainability considerations in producing chemical cellulose from the vascular bundle of oil palm trunk
USM Bio 11:00-11:15	Dr. Manoj Kumar (Postdoctoral Research Fellow) Insights into the production of microbial-based bioplastics using oil palm trunk sap
USM Bio 11:15-11:30	Dr. Chuah Jo-Ann (Postdoctoral Research Fellow) The effect of oil palm trunk fibers on plant growth and soil microbial community
11:30-12:00	Q&A/Overview/Closing



2nd World Conference on ByProducts of Palms and their Applications (ByPalma)

29-30 September 2021
ONLINE Conference

SATREPS OPT PROJECT SESSION in ByPalma on 29th Sep 2021









図 22. SATREPS OPT プロジェクト特別セッション ByPalma World Conference (2021 年 9 月 29 日 日本時間 午前 10 時～午後 1 時 オンライン会議)

・諸手続の遅延や実施に関する交渉の難航など、進捗の遅れた事例があれば、その内容、解決プロセス、結果。

日本側研究推進状況は、早期のリモート構築やリモートによるクラン実証試験地の操業により、一部遅れは見られるものの研究進捗状況は悪くない。一方、国内解析だけでは不十分と考えられる OPT 糖蓄積メカニズム解明や、フィールド試験や調査が必要な研究題目 1, 3 や 4 の一部分については、渡航制限による不便さが出始めている。例えば、伐採オイルパーム幹の農園内放置に伴う温室効

果ガス発生量の観測や、対面交渉が不可能なためプロジェクトの意図が得られず、一部調査許可が得られていない農園がある。またコロナ禍で共同研究機関において長くロックダウンしていた状況もあり、実施できるカウンターパートを発掘できていない。現在のコロナ禍ではカウンターパートを探すことが困難となっている。いずれも今後、渡航規制解除を見計らい現地での交渉を開始や、研究所や大学にコンタクトすることを計画している。

(1) 研究題目 1 : 「OPT 高糖度化技術開発」

研究グループ 国際農林水産業研究センター : (リーダー : 小杉昭彦)

・相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用。

マレーシア活動制限令によりクルアンからのマレーシア理科大学へのサンプル輸送や、大学内への入構制限もあり、分析活動に制限が出ている。そのため当初の予定の 6 割程度の実験データとなっているが、日本側で出来ることはサンプル送付を行い日本国内で分析等を行うと共に、分析会社への委託分析などを上手く活用しデータを積上げしている状況である。また日々のコミュニケーションは週一回のオンライン会議を実施し、積極的に情報共有しながら対応に努めている。コロナ感染状況が落ち着いたら農園での試験等の実施を早期に進める予定である。

・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等。

収集されている OPT のデンプン含量に関して簡易なヨウ素デンプン反応による判別方法（パーム幹の利用方法 : 国際特許出願番号 PCT/JP2015/078124）を用いることが出来る。クルアン実証試験地へ調達してくる OPT はデンプン蓄積能が高いが、製品中に混在していないことからプロセスにおいて流出している可能性がある。上記判別法を用いることでデンプンの流出している工程が簡便に特定できると考える。

(2) 研究題目 2 : 「OPT から高付加価値製品の製造技術開発」

研究グループ 株式会社 IHI (サブリーダー : 山下雅治)

・相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用。

本研究・技術開発に際しては、相手国側の共同研究機関での専門技術者の育成が必要と考えていたが、今年度の技術指導により現地技術者へ指導することができた。今後は、社会実装化の促進を目的として、技術移転を受けたメンバーでの指導や実事業化が期待される段階にいる。そのため、日本・マレーシア両政府によりこれらスタートアップ企業を支援する為の政策立案が必要であり、研究課題 4 と協調して政策提言を行いたいと考えている。感染症蔓延などの緊急事態に備え、国内でも代替品などで技術開発できるように対策を講じておくことが重要だと思われる。

・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等

OPT 繊維を利用する製品や、OPT 樹液の糖分を利用する製品販売を目指す事業者は、持続可能性が高く必要な供給量を確保できる原料を求めている。本プロジェクトで対象とする OPT バイオマスは、確

保可能なバイオマス量の観点から要求レベルに十分に合致するものであるが、持続的に供給可能かどうか社会実装の実現に向けた重要課題である。本プロジェクトが目指す加工プロセスを付加すれば、持続可能性が高い製品として供給が可能となる。日本国内では環境省がこれらの原料を材料とする高付加価値製品を研究する補助事業（<https://www.env.go.jp/press/107210.html>）を推進しており、本プロジェクトとのシナジーが期待できる。同様の政策についてマレーシア側でも調査する必要がある。

(3) 研究題目3：「パーム農園の再植林による持続的土地利用・再生方法の開発」

研究グループ 国際農林水産業研究センター（リーダー：近藤俊明）

・相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用。

パーム果実生産を目的とするオイルパーム農園においては、収穫作業等の妨げとなることから、調査機器の設置に関わる許可の取得が困難な場合が多く、とりわけパーム産業に対してネガティブな成果をもたらす可能性がある研究や海外の研究者が行う調査については、機器類の設置を伴わない調査であってもその実施が難しい場合が多い。

研究題目3においても、一部調査許可が得られていない農園があるものの、現地カウンターパートによる許可申請や、現地研究者と共同で調査を行うこと等により、調査や調査機器の設置が順調に開始できる体制が構築されている。

・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等。

先述の通り、野外調査を必要とする研究課題においては、調査地の設定や調査機器の設置に関わる許可の取得が困難な場合が多く、とりわけ海外の研究者が行う調査については実施が困難である。そのため、調査地の設定や調査機器の設置にあたっては現地カウンターパートとの緊密な関係構築が不可欠である。また、調査補助や調査機器管理等で地域住民を雇用することで、調査機器の盗難やいたずらによる機器損傷等を防止でき、円滑な調査が可能となる。

(4) 研究題目4：「マレーシアにおける OPT 高付加価値化利用技術の導入による経済・社会・環境インパクトの評価」

研究グループ 国立大学法人 広島大学（リーダー：金子慎治）

・相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用。

パーム産業を統括する MPOB、製品の性能評価・認証を行う SIRIM は、実務機関としてパーム油およびオイルパーム由来製品の製造過程における LCA に関心があるが、これまでウッドボード等にか利用されてこなかった伐採 OPT に特化した LCA に関心のある研究者は多くない。一方、大学で LCA を実施する研究者は主に工学系の分野に集中するが、製品に特化した LCA の適用に関心が留まっており、社会課題としての伐採パーム幹の持続性評価にまでは至らず、経済学や政策科学の分野の研究者はそもそも LCA のような視点で分析する研究者が少ないため、共同で研究を実施できる当該国カウンターパートは見つかっていない。現在のコロナ禍においては本研究を共同で実施できるカウンターパートを探すことはますます困難となっているが、海外渡航制限が解除され次第、この目的のために積極的に

研究所や大学にコンタクトすることを計画している。また、そのために論文やネット上の情報で出来る限りの情報収集をする予定である。

・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等。

技術的に、またサイエンスとしても成熟していない段階で、OPT リサイクル推進がパーム産業全体の持続可能性に与える意義を考えるフレームワークを与えるような作業は学術的に極めて特殊なテーマであると考ええる。そのため類似プロジェクトを見出すことは難しいが、関連する政策課題、例えば、植物油全体の持続可能性におけるパーム油の役割や日本の発電におけるバイオマス利用促進政策の手段としての OPT 利用等と関連づけて協力的な研究プロジェクトを実施することは可能であると考ええる。

IV. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

（1）成果展開事例

- ・ 現在、パナソニックにより OPT 繊維原料とする家具用ボード材を生産する事業が進められている。早期に本格的な製造を開始する予定。
- ・ 日本への FIT 向け燃料需給では、多くのバイオマス発電所の運転開始が予定されているが、現状では PKS のみが提供可能である。OPT ペレットをふくめ燃料需要に向けた事業の拡大がこれまで以上に望まれている。そのような中で本プロジェクトにおいて開発された「原料マルチ化プロセス」により OPF、EFB、MCF を原料とする燃料ペレットの持続可能性と燃料性状が OPT と同等である事を実証できれば、持続可能性のある燃料としての理解が広がると共に、安定したバイオマス燃料を日本へ提供できるようになる。これに先駆けて、IHI では、OPT、EFB、POME の複合処理モデルに関して、IHI 技報 Vol.59, No.4 (2019) に「パーム産業における未利用バイオマスの有効利用と最適なプロセス開発」を発表した。

https://www.ihico.jp/var/ezwebin_site/storage/original/application/9f1ad44d6ea3cd2b69c56a55b228bc16.pdf

- ・ アグロイノベーション 2020 バイオマスエキスポフォーラム 2020 東京にての招待講演の中で本プロジェクトを紹介した。
- ・ エコプロ Online2020 オンライン開催 2020 年 11 月にて本プロジェクトを紹介した。
- ・ 家具新聞「地球温暖化防止へ SDGs へ協働を」、家具業界雑誌 ルームファニッシング「オリジナル技術で廃棄物を工業資材へ」で本プロジェクトを紹介した。
- ・ 「オイルパーム農園の持続的土地利用技術がもたらすパーム油産業の未来」のタイトルにて国際農林水産業研究センターの広報誌「JIRCAS ニュース」にてプロジェクト紹介した。
https://www.jircas.go.jp/ja/publication/jircas_news/89
- ・ 「パーム油産業の未来」のタイトルにて国際農林水産業研究センターの広報誌「JIRCAS ニュース」にてプロジェクト紹介した。https://www.jircas.go.jp/ja/publication/jircas_news/89
- ・ 藻類の「SCP 製造技術」について、国際農林水産業研究センターの広報誌「広報 JIRCAS」(URL; <https://www.jircas.go.jp/ja/publication/jircas/6>) にて紹介した。
- ・ エネルギー学会の機関誌「えねるみくす」にて、本プロジェクトの変換技術に関して紹介した。
- ・ OPT 樹液中のフリーラジカル消去能に関する「抗酸化剤及びその製造方法」の特許出願した。

(2) 社会実装に向けた取り組み

本プロジェクトで開発する未利用バイオマス利活用技術の社会実装においては、1. 伐採 OPT の農園内放置によって生じる地球規模環境問題を適切に評価し、パーム油認証機関（RSPO や MPOCC 等）に対して認証基準化を促すとともに、2. 開発された高付加価値化製品や、製造に必要となる機器類や開発プロセスを広く普及させ、当該国において経済持続的なバイオマス産業を創出することが必要となる。昨年から続く新型コロナウイルス感染症拡大の影響で、環境問題に関する研究やパーム認証機関への問題訴求などは出来ずにいるが、クラン実証試験地との連携により、サンプルの調整やプロセス開発、また社会実装化に興味のある民間企業へのコンサルタントが順調に進捗した。

本プロジェクト、研究課題 2 で開発したプロセス技術を基にしたコンサルタントを受けたい国内外の民間企業が現れている。これまでパームバイオマス事業というと PKS を中心にした商社による貿易業態のみであった。付加価値製品のプロセス研究報告は多いものの、実証プラントで得られたデータを基礎知見としたまさに社会実装に役立つ研究データを取得している例は非常に少ない。そのためプロセス等相談可能な受け皿が少なく、産業化への具体化が困難であった。本プロジェクトで開発された技術を用い、パームバイオマスの総合的な処理や収益化等の解決策について、コンサルタントができるようになったことは、産業化への入り口に立ったことに等しい。国内外において特にパーム産業への環境対策への貢献やパームバイオマス事業への参加希望の潜在的ニーズは多いと考えられ、今後、国内外の民間企業の興味を引くことになるため、ポスト SATREPS の体制に関しても考えておく必要がある。その最初の一手としては、パームバイオマスの現場情報や開発技術情報の共有を目的に、次年度以降、国際農研のホームページにオイルパームバイオマス研究会（仮称）の立ち上げを計画している。

V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

パーム油は世界で最も多く生産・消費される植物油脂（総生産量の約 35%）であり、多くの国と地域において、社会・経済を支える重要かつ不可欠な植物油脂となっている。そのため、オイルパーム産業が引き起こす気候変動や熱帯雨林の伐採等の地球規模環境問題の解決は、生産国のみならず、消費国を含めたすべての国が取り組むべき喫緊の課題である。

こうした背景から、バイオマス利活用技術の開発とその社会実装を通して、地球規模環境問題の解決と新たな産業創出の同時達成を目指す本プロジェクトは当該国のみならず、国際社会においても日本のプレゼンスの向上をもたらすものと言える。今年度、新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、現地活動が制限を受けたが、いち早くリモート体制を構築し、原料の付加価値向上化や社会実装化へのプロセス研究への活動を中心に進めた。その結果、世界で初となる「原料マルチ化プロセス」を開発し OPT、OPF、EFB、MCF、POME の複合処理モデルを実証レベルで確認出来た。この世界で唯一無二の「原料マルチ化プロセス」を主導的に普及できるのは、SATREPS プロジェクト、引いては日本の技術アドバンテージと考える。その期待される温室効果ガス削減量は、2013 年の我が国の温室効果ガス発生量に近いレベルである。また強調したいのが、この一連の技術開発が成し遂げられたのは、実は日本の中小企業が持つオンリーワン技術を結集した事によるところが大きい。従って、日本の中小企業の技術の結集とオーガナイズ化による輸出促進体制の構築が、日本のプレゼンス向上拡大には欠かせないであろう。いうなれば下町企業連合によるパームバイオマス・ソリューションの提案・提供である。SATREPS

プロジェクトで出てきた成果・技術を基盤に、二国間取引（JCM）などのスキームを活用し、下町企業連合の技術インフラを輸出することで、温室効果ガス削減カウントはもとより、経済的にも大きなメリットを生み、我が国らしい地球温暖化問題の解決策となる。本 SATREPS プロジェクトを通じて関係者へ提言してゆきたい。

VI. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

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。)
2019	Wichitra Bomrungnoka, Takamitsu Araia, Tadashi Yoshihashia, Kumar Sudeshb, Tamao, Hattaa, Akihiko Kosugi, “Direct production of polyhydroxybutyrate from waste starch by newly-isolated Bacillus aryabhatai T34-N4”, Environmental Technology, 2019	10.1080/09593330.2019.1608314	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 2.21
2019	Naoki Tani, Zubaidah Aimi Abdul Hamid, Natra Joseph, Othman Sulaiman, Rokiah Hashim, Takamitsu Arai, Akiko Satake, Toshiaki Kondo and Akihiko Kosugi, “Small temperature variations are a key regulator of reproductive growth and assimilate storage in oil palm (Elaeis guineensis)”, Scientific Reports, 2019, vol. 10 No.650, pp1-11	10.1038/s41598-019-57170-8	国際誌	発表済	プレスリリース Journal Impact Factor 3.998
2020	Norhafizah Saari, Junidah Lamaming, Rokiah Hashim, Othman Sulaiman, Masatoshi Sato, Takamitsu Arai, Akihiko Kosugi, Wan Noor Aidawati Wan Nadhari. “Optimization of binderless compressed veneer panel manufacturing process from oil palm trunk using response surface methodology.” Journal of Cleaner Production 2020. vol 265, 20 Aug 2020, 121757	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121757	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 7.246
2020	Paramasivam Murugan, Su Yean Onga, Rokiah Hashim, Akihiko Kosugi, Takamitsu Arai, Kumar Sudesh. “Development and evaluation of controlled release fertilizer using P(3HB-co-3HHx) on oil palm plants (nursery stage) and soil microbes.” Biocatalysis and Agricultural Biotechnology vol 28, Sep 2020, 101710	https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101710	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 2.14
2020	Saima Sohni, Rokiah Hashim, Hafiz Nidaullah, Othman Sulaiman, Cheu Peng, Leha Junidah Lamaming, Takamitsu Arai, Akihiko Kosugi. “Enhancing the enzymatic digestibility of oil palm biomass using supercritical carbon dioxide-based pretreatment towards biorefinery application”. Industrial Crops and Products, vol. 157, 1 Dec 2020, 112923.	https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112923	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 4.24
2020	Arthy, S., M. Lakshmanan, J. Y. Chee, M. S. Azlinah, , D. Van Thuoc, K. Sudesh. (2020) Can polyhydroxyalkanoates be produced efficiently from waste plant and animal oils? Front. Bioeng. Biotechnol. 8: 169	10.3389/fbioe.2020.00169	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 5.122

論文数 6 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 6 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。)
2019	Eiko Nakazono-Nagaoka, Takashi Fujikawa, Ayumi Shikata, Chakrit Tachaapaikoon, Rattiya Waeonukul, Patthra Pason, Khanok Ratanakhanokchai and Akihiko Kosugi, "Draft genome sequence data of <i>Clostridium thermocellum</i> PAL5 possessing high cellulose-degradation ability", <i>Data in Brief</i> , 2019, vol.25 No. 104274, pp1-5	10.1016/j.dib.2019.104274	国際誌	発表済	
2019	Patthra Pason, Junjarus Sermsathanaswadi, Rattiya Waeonukul, Chakrit Tachaapaikoon, Sirilak Baramee, Khanok Ratanakhanokchai and Akihiko Kosugi, "Molecular characterization of hypothetical scaffolding-like protein S1 in multienzyme complex produced by <i>Paenibacillus curdlanolyticus</i> B-6", <i>AMB Express</i> , 2019, vol. 9, No. 171, pp1-11	10.1186/s13568-019-0896-0	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 2.499
2019	Shimpei Aikawa, Phakhinee Thianheng, Sirilak Baramee, Umbhorn Ungkulpasvich, Chakrit Tachaapaikoon, Rattiya Waeonukul, Patthra Pason, Khanok Ratanakhanokchai, and Akihiko Kosugi, "Phenotypic characterization and comparative genome analysis of two strains of thermophilic, anaerobic, cellulolytic-xylanolytic bacterium <i>Herbivorax saccincola</i> ", <i>Enzyme and Microbial Technology</i> , Vol.136, pp.1-9	10.1016/j.enzmictec.2020.109517	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 3.448
2020	Baramee, S., Uke, A., Tachaapaikoon, C., Waeonukul, R., Pason, P., Ratanakhanokchai, K., Kosugi, A., "Draft genome sequence data of <i>Paenibacillus curdlanolyticus</i> B-6 possessing a unique xylanolytic-cellulolytic multienzyme system", <i>Data in Brief</i> , 2020, vol. 32, no. 106213, pp.1-6	10.1016/j.dib.2020.106213	国際誌	発表済	
2020	Ungkulpasvich, U., Uke, A., Baramee, S., Kosugi, A., "Draft genome sequence data of the anaerobic, thermophilic, chitinolytic bacterium strain UUS1-1 belonging to genus <i>Hydrogenispora</i> of the uncultured taxonomic OPB54 cluster", <i>Data in Brief</i> , 2020, vol. 33, No. 106528, pp.1-6	10.1016/j.dib.2020.106528	国際誌	発表済	

2020	Ungkulpasvich, U., Baramée, S., Uke, A., Kosugi, A., "Symbiotic chitin degradation by a novel anaerobic thermophilic bacterium <i>Hydrogenispora</i> sp. UUS1-1 and the bacterium <i>Tepidanaerobacter</i> sp. GT38", <i>Enzyme and Microbial Technology</i> , 2021, vol. 144, No. 109740, pp.1-10	10.1016/j.enzmictec.2020.109740	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 3.448
2020	Chhe, C., Uke, A., Baramée, S., Ungkulpasvich, U., Tachaapaikoon, C., Pason, P., Waeonukul, R., Ratanakhanokchai, K., Kosugi, A., "Draft genome sequence data of the facultative, thermophilic, xylanolytic bacterium <i>Paenibacillus</i> sp. strain DA-C8", <i>Data in Brief</i> , 2021, vol. 35 No. 106784, pp.1-6	10.1016/j.dib.2021.106784	国際誌	発表済	
2020	Ungkulpasvich, U., Baramée, S., Uke, A., Kosugi, A., " <i>Capillibacterium thermochitinicola</i> gen. nov., sp. nov., a novel anaerobic thermophilic chitinolytic bacterium from compost", <i>International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology</i> , 2021, pp.1-7	10.1099/ijsem.0.004693	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 2.415

うち国内誌 8 件
 うち国際誌 0 件
 公開すべきでない論文 8 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,はじめーおわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2019	小熊崇大, 本村和也, 山下雅治, 河西英一, 中山竜太郎, パーム産業における未利用バイオマスの有効利用と最適なプロセス開発, IHI技報, 2020年, 59巻, 4号, 77-89		技術報告	発表済	https://www.ihl.co.jp/var/ezwebin_site/storage/original/application/9f1ad44d6ea3cd2b69c56a55b228bc16.pdf
2020	藍川晋平, 研究グループ紹介 国際農林水産業研究センターアジアバイオマスプロジェクト, 日本エネルギー学会機関誌えねるみくす, 2020, 99, 710-716		学会機関誌	発表済	https://doi.org/10.20550/jieenermix.99.6_710
2020	藍川晋平, 藻の力で熱帯プランテーション農業の環境問題を改善する, 広報JIRCAS, 2020, 6, 4-7		JIRCAS機関誌	発表済	https://www.jircas.go.jp/ja/publication/jircas/6
2020	小杉昭彦, オイルパーム農園の持続的土地利用技術がもたらすパーム油産業の未来, JIRCASニュース		JIRCAS機関誌	発表済	https://www.jircas.go.jp/ja/publication/jircas_news/89
2020	小杉昭彦, オイルパーム幹(OPT)の高付加価値化技術開発と社会実装へ向けた取り組み, JIRCASニュース		JIRCAS機関誌	発表済	https://www.jircas.go.jp/ja/publication/jircas_news/89

著作物数 5 件
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
2019	国際学会	Aikawa, S.(JIRCAS), Arai, T.(JIRCAS), Kondo, T.(JIRCAS), Kosugi, A.(JIRCAS), Heterotrophic cultivation of microalgae using sap from oil palm trunks, 7th Asian Conference on Biomass Science, Fukushima, Japan, 2019. Dec.	ポスター発表
2019	国際学会	Kosugi A, Kondo T, Arai T, Aikawa S, Kaneko S, Yamashita M, Sudesh K, Azize AA, Ishak MF, Ibrahim WA. Sustainable Replantation of Oil Palm by Adding Value to Oil Palm Trunk through Scientific and Technological Innovation. 7th Asian Conference on Biomass Science, Fukushima, Japan, 2019. Dec.	ポスター発表
2020	国際学会	Arai T(JIRCAS), Sudesh K(USM), Aikawa S(JIRCAS), Kondo T(JIRCAS), Kosugi A(JIRCAS). Development of bioplastic production technology from crop wastes in Southeast Asia. 8th Asian Biomass Science Conference. 2021. Jun.	ポスター発表
2020	国際学会	Sudesh K. Sap from oil palm trunk is a potential renewable carbon feedstock for polyhydroxyalkanoate (PHA) biosynthesis and other value-added products. The Belt and Road Initiatives- international forum-biomass resource utilization. Ningbo Institute of Materials Technology and Engineering, Chinese Academy of Sciences, China. 28 Aug 2020	招待講演

招待講演	1 件
口頭発表	0 件
ポスター発表	3 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
2019	国内学会	藍川晋平(国際農研)、荒井隆益(国際農研)、近藤俊明(国際農研)、小杉昭彦(国際農研)、オイル パーム樹液を利用した微細藻類の従属的培養法の検討、第15回バイオマス科学会議、福島、2019年 12月	口頭発表
2019	国内学会	藍川晋平(国際農研)、荒井隆益(国際農研)、近藤俊明(国際農研)、小杉昭彦(国際農研)、微細藻類 に対するオイルパーム樹液の増殖促進効果、日本藻類学会第44回大会、鹿児島、2020年3月	口頭発表
2019	国際学会	Kosugi A. (JIRCAS), Old oil palm trunk is a promising bioresource for renewable energy production. Asia Biomass To Power 2019, Kuala Lumpur, Malaysia, 2019. Nov.	招待講演
2019	国内学会	小杉昭彦(国際農研)、パームオイル産業から排出されるバイオマス資源のポテンシャルとその利用展 開、第19回バイオマス合同研究会、東京、2019年12月	招待講演
2020	国内学会	小杉昭彦(国際農研)、地球環境保全とエコノミーの両立をめざしてーバイオマス活用による地産地消・ 外消による地域活性化へのシナリオ、アグロイノベーション2020バイオマスエキスポフォーラム 2020、東 京、2020年11月	招待講演
2020	国内学会	小杉昭彦(国際農研)、地球環境保全とエコノミーの両立をめざした農産廃棄物活用による地産地消・外消 モデル、エコプロOnline2020、オンライン開催、2020年11月	招待講演
2020	国内学会	藍川晋平(国際農研)、有用藻による水質浄化で熱帯農業に起因する温室効果ガスの発生を抑制す る、SATテクノロジー・ショーケース2021、オンライン、2月19日	ポスター発表
2020	国内学会	近藤俊明(国際農研)・寺本宗正(鳥取大学)・高木健太郎(北海道大学)・小嵐淳(原子力機構)・安藤 麻里子(原子力機構)・市井和仁(千葉大学)・高木正博(宮崎大学)・石田祐宣(弘前大学)・山貫緋称 (千葉大学)・梁乃申(国立環境研究所)、温暖化に対する土壌微生物群集の応答と土壌炭素フラックス への影響、日本生態学会、岡山(リモート)、2021年3月17日	口頭発表

招待講演	4	件
口頭発表	3	
ポスター発表	1	

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	2019-112364	2019/6/17	微細藻類の培養方法及び微細藻類の培養液	国際農林水産業研究センター・農業・食品産業技術総合研究機構	PCT出願希望	無			優先権主張出願		藍川晋平・小杉昭彦	国際農林水産業研究センター	
No.2	2021-287	2021/1/4	抗酸化剤及びその製造方法	国際農林水産業研究センター・農業・食品産業技術総合研究機構	PCT出願希望	無			優先権主張出願		小杉昭彦・亀谷宏美	国際農林水産業研究センター・農業・食品産業技術総合研究機構	
No.3													

国内特許出願数 2 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

0 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
2020	2020/12/9	家具新聞	地球温暖化防止へSDGsgへ 協働を	P1、P3	その他	協働取組紹介
2020	2020/12/7	ルームファニッシング ※家具業界雑誌	オリジナル技術で廃棄物を工 業資材へ	P3～P9	その他	協働取組紹介

2 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
2019	6月5-7日	バイオマスエキスポ2019	東京	200(0)	公開	本プロジェクトの成果を国内の企業や関連機関に広く発信することを目的に、2019年6月5-7日に東京ビッグサイト青海展示棟で開催されたバイオマスエキスポ2019に出展した。民間企業の技術・研究開発部署の研究員及び営業担当職員を中心に約200名の訪問があり、バイオマス資源利活用技術への強い関心が寄せられた。
2019	11月9日	JSTグローバルサイエンスキャンパス事業「持続可能な発展を導く科学技術人材育成コンソーシアムGSC広島:世界を舞台とした教育プログラムと地域の産学官連携による人材育成」における異分野融合シンポジウム	広島	30(0)	非公開	全国から選抜された高校生30名を対象に、オイルパームプランテーションがもたらす環境影響について解説するとともに、その解決に向けた本プロジェクトの活動を紹介した。
2019	11月22日	土浦第一高等学校「企業・研究所、官公庁訪問」	茨城	15(0)	公開	土浦第一高校の1年生10名を対象に、環境・経済持続的オイルパームプランテーション経営に向けた本プロジェクトの概要を紹介した。
2019	11月28日	Asian Biomass to Power 2019	マレーシア	50(30)	非公開	「Old oil palm trunk is a promising bioresource for renewable energy production」のタイトルで発表。SATREPSプロジェクトの取り組みに関して、紹介を行った。
2020	2月13日	日本大学生物資源科学部生 春研修 研究所訪問	茨城	16(0)	公開	国際協力ゼミ所属予定の学部生(2年生)の春研修として実施。SATREPSプロジェクトの取り組みに関して、紹介を行った。

2020	11月11日ー13日	アグロイノベーション2020バイオマスエキスポフォーラム 2020	東京	5,806名(来場者総数)	公開	本プロジェクトの成果を国内の企業や関連機関に広く発信することを目的に、東京ビッグサイト青海展示棟で開催されたバイオマスエキスポフォーラム2020に出展した。民間企業の技術・研究開発部署の研究員及び営業担当職員を中心に約150名の訪問があり、バイオマス資源利活用技術への強い関心が寄せられた。
2020	11月27日	エコプロOnline2020	オンライン開催	100名	公開	エコプロ2020 国立研究開発法人協議会シンポジウム「国研協による科学技術の連携で目指すSDGs」に参加講演 https://youtu.be/00Vc78BXcQg
2021	1月29日	東京都立戸山高校学生へのWebinar	オンライン開催	30名	非公開	戸山高校の1年～3年生約30名を対象に、環境・経済持続的オイルパームプランテーション経営に向けた本プロジェクトの概要を紹介した。

8 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
2019	9月19日	PDMおよびPOの修正	50	マレーシア国ペナン州のGホテルガーニー会議室において第1回Joint Coordinating Committeeミーティングを開催した。研究担当者を中心に、マレーシア側から約30名、日本側からはJICAマレーシア事務所の府川所長、JSTシンガポール事務所の金子所長ら約20名、合計約50名の参列があり、1. プロジェクト概要説明および各研究題目の進捗状況報告、および2. Project Design Matrix (PDM) およびPlan of Operation (PO)の修正案の提示と承認を行った。
2020	10月27日	コロナ禍における研究進捗状況報告 及びPO、新規メンバーの紹介	54	第2回JCCをオンラインにて開催し、2020年度のプロジェクト進捗や活動計画について確認するとともに、①コロナ禍における研究進捗状況の報告、②PDM記載の購入機材変更、及びPOの研究内容の追記、③新規メンバーである(株)パナソニックの紹介及びプロジェクト参画への意義、に関する説明が行われ、全ての議題について承認された。

2 件

成果目標シート

研究課題名	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付加価値化技術の開発
研究代表者名 (所属機関)	小杉 昭彦 (国研) 国際農林水産業研究センター
研究期間	平成30年(平成31年4月1日～平成36年3月31日)
相手国名／主要 相手国研究機関	マレーシア／マレーシア理科大学、マレーシアパーム オイル庁、マレーシア森林研究所、マレーシア標準工 業研究所
関連するSDGs	目標 15. 陸域生態系の保護、回復、持続可能な利用の推 進、持続可能な森林の経営、砂漠化への対処、ならびに土 地の劣化の阻止・回復及び生物多様性の損失を阻止する 目標 12. 持続可能な生産消費形態を確保する 目標 17. 持続可能な開発のための実施手段を強化し、グ ローバル・パートナーシップを活性化する

成果の波及効果

日本政府、社 会、産業への 貢献	・パーム油の持続可能な生産に貢献・食料安全保障 ・日本企業による成果事業化と新規産業創出によるイ ンフラ輸出の促進
科学技術の発 展	・パーム油生産国における日本の環境対策技術及びバ イオ技術の展開 ・パーム油産業の持続的生産モデルの開発
知財の獲得、 国際標準化の 推進、遺伝資 源へのアクセ ス等	・OPTの高糖度化及び農園管理法 ・OPTのエネルギー・材料・農業分野の産業化モデル ・パーム農園管理による持続的土地利用再生による熱 帯林違法伐採の抑止
世界で活躍で きる日本人材 の育成	・パーム農園問題を専門とする科学者育成(パーム生 産国へのインシアチブ発揮) ・博士課程学生・研究者のインターンシップ教育
技術及び人的 ネットワークの 構築	・現地民間企業との共同事業推進 ・国際シンポを通じたネットワーク作り ・新規パーム産業開発国への技術・管理モデルの導入
成果物(提言 書、論文、プロ グラム、マニ ュアル、データ など)	・OPT高糖度化メカニズム ・高付加価値製品の製造技術開発と社会実装 ・古木伐採・放置によるパーム農園環境アセスメント ・OPT利活用推進とそのルール作り

上位目標

オイルパーム農園から排出されるOPTを高度利用することで、再植林によるパーム農園の持続的土地利用・再生が促進され、安易で無秩序な熱帯林伐採が減少する。

OPT高糖度化技術により、OPTに資源価値が生まれ、パーム農園からの持出が進む。
OPT樹液・繊維からエネルギー、材料、食料製造技術が確立され、新産業が創出される。
OPT持出によりパーム農園の病害減少・健全化が進み、パーム実収量の増加。

プロジェクト目標

OPT高付加価値化による新産業創出と再植林促進によるパーム農園の健全化

