公開資料

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：マレーシア国

令和４（２０２２）年度実施報告書

国際共同研究期間*1
２０１９年　３月２５日から２０２５年　３月　２４日まで
JST 側研究期間*2
２０１８年　６月　１日から２０２５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

(1)研究の主なスケジュール

研究題目・活動 ／ 年度	2018(6ヶ月)	2019	2020	2021	2022	2023	2024*11
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)ﾒｶﾆｽﾞﾑ解明・樹液濃縮技術確立 ~~1-3 ｵﾐｯｸｽ解析を用いた 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 糖蓄積メカニズム解明・樹液濃縮技術確立*2	~~デンプン蓄積現象解明~~*2 ~~共生微生物の役割解明~~*2 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*3 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ﾊﾞｲｵｶﾞｽ製造試験(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､ﾅﾉｺﾝﾎﾟｼﾞｯﾄ製造技術開発 2-5 OPT 樹液からの SCP 製造技術開発(ﾀﾝﾊﾟｸ質製造) 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 ~~圃場試験地の選択~~ PHA~~/PLA~~*5 生産・精製法確立 SCP 製造技術製造技術確立（飼料用）	PHA 植物成長促進効果の確認*6 製品認証要件の確認 原料マルチ化プロセス*7・SAF 事業化検討*13 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ﾎﾟｼﾞｯﾄ製造技術確立	抗酸化安全性テスト実施*12		
3.研究題目：ﾊﾟ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*8 ~~3-1 再植林促進のため環境診断法の開発~~ 3-1 ﾊﾟｰﾑ残渣の農園内放置がもたらす影響評価手法の開発*8 ~~3-2 異なるﾊﾟｰﾑ農地を対象にしたﾊﾟｰﾑ残渣の環境診断と管理方法の検討~~ 3-2 異なる農地を対象にしたﾊﾟｰﾑ残渣の農園内放置がもたらす影響評価*8 ~~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*9	簡便診断法の開発 農園から発生する GHG の測定		~~OPT 管理法の検討及び実証~~*8 パーム残渣管理手法の開発*10 ~~診断による改善(治癒）法の確立と実証提案~~			

3-3 再植林促進のためのﾊﾟｰﾑ残渣管理手法の開発*8							
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･環境ｲﾝﾊﾟｸﾄの評価 4-1 OPT 高付加価値技術導入の際の LCA 及び環境評価 4-2 政府やﾊﾟｰﾑ油業界･ﾊﾟｰﾑ農園関係者への OPT 利用技術のﾜｰｸｼｮｯﾌﾟ･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*6 製造プロセスにおける GHG 測定・LCA 評価・費用便益分析 周辺地域に与える環境評価及び評価結果公開*6 関係省庁・RSPO 等業界との意見交換　ワークショップ等開催(年 1 回) 共同研究者の招聘・大学院生指導・インターンシップ*6 マスメディア・展示会・講演等						

＊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. マレーシアでのロックダウンに伴う LCA 評価・OPT サンプル製造の遅延により、ボード事業化時期を延期した。

＊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. 新型コロナウィルス感染症拡大による渡航規制および長期ロックダウンのため現地研究機関との調整が遅れたこともあり、試験農場確保が困難となった。課題 2 の実施内容を整理するためにマレーシア側の PHA 生産技術開発へ統合することとし、肥料効果に関しては中止を決めた。

＊7. 爆砕設備を OPT 処理プロセスに加える事で、OPT（パーム幹）、EFB（ヤシ空果房）、OPF（パーム葉柄）、MCF（果実内繊維）の異なる 4 種のパーム未利用バイオマス原料を同一プロセスで燃料ペレット等に製品化可能な原料マルチ化プロセスを開発した。開発した原料マルチ化プロセスのスケールアップ性能を確認するために、サラワク州のパームミルに隣接する EFB 処理プロセスに大型爆砕設備を導入し、製造ペレット品質の向上、設備稼働率向上による事業採算性の向上等の事業性を確認する。

＊8. 当初計画していた「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」に加え、新たに「オイルパーム残渣の農園内放置に伴う温室効果ガス（GHG）発生量の評価」を行うこととなった。それに伴い研究活動名をより包括的なものに修正した。

＊9. 「オイルパーム残渣の農園内放置に伴う GHG 発生量の評価」を新たに実施するにあたり、オイルパーム残渣の分解に係る土壌微生物の特定と動態評価を行う必要性が生じたため、メタゲノム解析による土壌微生物評価の実施期間を延長した。

＊10. OPT だけでなく、OPF も含め、農園内に放置されるパーム残渣全体の管理方法を提案することとし、課題を統合した。

＊11. 研究題目の遅れを挽回するため、第 4 回合同調整委員会（JCC）会議にて 2024 年度末（2025 年 3 月）まで研究期間を延長することが決まった。

＊12.　樹液中の抗酸化作用の安全性検証を SIRIM が行うことになった。
＊13. 出光興産（株）の参画により持続可能な航空燃料（SAF）製造に向けたバイオマス・糖化原料調達の検証を行う。

(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)

令和 2 年度（2020 年度）に研究項目の統合や追加修正を行った。プロジェクト構想についての変更は無いが、令和 4 年度（2022 年度）の第 4 回 JCC 会議によりプロジェクト期間の 1 年延長が決定した。

2. 計画の実施状況と目標の達成状況(公開)

新型コロナウィルス感染症による影響も、落ち着きマレーシアへの渡航制限解除となったことから 2022 年 8 月から現地渡航を再開した。現地渡航が再開されたことから、現場での直接意見を聞く、また問題対応等、これまでリモートでしか判断できなかった状況が、より詳細に把握出来るようになった。

研究計画題目 1 においては、伐採 OPT における貯蔵中の糖蓄積現象解明、高糖度化技術・調達の実証研究を実施しており、植物生理学的な側面からデンプン蓄積能に関して知見を得るために、デンプン含量の多い OPT および低い OPT について、再度収集を行い RNA シーケンスによるトランスクリプトーム解析を実施している。また農園における OPT 繊維放置による糸状菌増殖について知見を得るため、植物病理学的に糸状菌の単離同定を行っており、OPT 残渣放置による特定微生物の増殖や、その増殖に対する OPT への病原性への関係に注目している。さらに、クルアン実証試験地のプロセスから排出される廃液中のミネラル濃縮液を用い、液肥として効果が得られるかどうかパーム苗木を用いた栽培試験を実施しており結果をまとめる予定でいる。

研究題目 2 においては、ゼロエミッション型で構築された OPT ペレット化プロセスを基軸に、エクストルーダー（爆砕機）を導入することで、OPT 以外のパーム未利用バイオマス（EFB、OPF、MCF）を同等の品質を保ったペレット製造が可能となる「原料マルチ化プロセス」の開発に成功している。家具用ボード材 OPT 維管束ペレット製造設備の最適化設計を得た。これは OPT 燃料ペレット製造プロセスを変更することなく、燃料サンプル製造用 OPT ペレット製造、家具用ボード材 OPT ペレットの製造変更を自在に可能とする製造ノウハウの開発に成功した。バイオ製品用原料糖の濃縮方法の最適化として、MBR（膜分離活性汚泥法）と RO（逆浸透膜）設備の濃縮能力の増強を行った。一昨年導入した RO 設備の濃縮倍率を上げるべく、加圧ポンプと RO 膜の能力増強工事を実施した。脱水機を用いて OPT チップから OPT ジュースを直接搾汁し、OPT ジュース中の糖液を濃縮するプロセス（直接搾汁法）、OPT チップを湿式摩砕処理後、湿式摩砕スラリーを脱水してその分離液に糖液を回収し濃縮する（セミ直接搾汁法）を比較確認した。いずれも MBR 膜で固液分離し、RO 膜で濃縮する事で糖液濃度を 20%近くまで濃縮する事ができたが、樹液の性質から腐敗しやすいために搾汁後の早期処理が必要であることが明らかとなった。また脱水分離液中の浮遊性固形物（TSS）として澱粉粒子が含有され、これを同時に回収するプロセスとして開発した。回収する TSS にはデンプンが含まれ、樹液と共にエタノール等発酵原料としての利用が可能である。さらに OPT からの CNF（セルロースナノファイバー）の技術開発として、連続爆砕機と CNF 専用の湿式摩砕機砥石を用いた定性的な処理を行ったが、CNF になるまでさらなる前処理が必要と考えている。液肥製造においては、MASBP（Multi-Stage Activated

Biological Process:多段式生物処理装置）処理水および MBR と RO にて、濃縮倍率は 8~10 倍まで可能となった。RO 設備の能力アップは、RO 処理水量を増加可能となり、OPT 処理プロセスでの再利用率を上げることに成功した。また、RO 濃縮液中の液肥成分濃度の向上に有効であり、濃縮液肥としてパーム農園での再利用が期待される。

研究題目 3 においては、現地マレーシアへの渡航規制緩和により、渡航を再開したことで、コロナパンデミックにより遅れていたマルチチャンネル式自動開閉型チャンバーシステムを用いた、オイルパーム農園における CO_2/CH_4 フラックス観測が開始された。その結果、シロアリ等分解者による CO_2 や CH_4 量のパーム農園からの排出が認められ、これまでメタゲノム解析データを用いた微生物群集機能評価やラボスケール模擬農園メタン発生測定実験からも示された類似のデータが得られつつある。

研究題目 4 においては、OPT 付加価値化による経済・社会・環境インパクトの達成を目指し、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している。これまでに分析枠組みの開発、すなわち経済、社会、環境それぞれのインパクトを同定・定量評価し 10 のシナリオ作り、それらを総合評価可能な分析枠組みを開発すること、そしてその実証データの収集と分析、さらには政策分析・評価に関して検討している。具体的には、経済的、社会的に持続可能か、パーム油搾油工場やパーム農園へ質問票を作成、配布、回答してもらうことでデータ収集を開始している。政策分析や社会実装化においては、現在、サラワクモデル（パームバイオマスの複合利用を通じて調達や資源持続性を高めるモデル。サラワク州にて実施中）を実施している。中でも核となるのが、サラワク州のパーム油搾油工場兼パーム農園統合経営者の協力を得て行われる実証事業である。搾油工場の悩みである EFB を、プロジェクトで開発した「原料マルチ化プロセス」により処理し、その代わりとしてパーム農園で出てくる OPT や同プロセスで利用可能となった OPF の安定調達を約束してもらい、OPT と OPF および EFB を含めたパームバイオマスの複合利用を通じて調達や資源持続性を高められるかを検証する。この「サラワクモデル」が成立する場合、OPT 調達を含めパームバイオマスの環境配慮型処理事業普及への大きな一歩になると期待している。

本プロジェクト開始から今年度で 4 年が経過し、コロナ禍で活動が出来ない中でも、各研究題目の進捗が見られている。特に研究題目 1 は研究題目 2 のサポート的役割として機能し、研究題目 2 にでは予想以上の社会実装化への道筋が作られている。一方、コロナによる影響を大きく受けた研究題目 3 と研究題目 4 は、現地調査が出来ずにデータ収集の遅れが認められているが、今年度 8 月より渡航が可能となり、また当初の計画通り農園へのチャンバーシステムの設置がなされたことから、本格的なデータの取得に入っている。そのデータを利用した LCA 評価についても今後進展が期待できる。2022 年 9 月 29 日に第 4 回研究合同調整委員会（Joint Coordinating Committee：JCC）をハイブリッドにてオンライン開催し、1 年間の延長申請によりマレーシア側、日本側、双方で承認を受け、2025 年 3 月末の終了に延長が承認された。特にフィールドワークが必要な研究題目類に関して、研究期間の延長は詳細なデータを確保することができることから影響は大きい。本プロジェクトも終盤を迎えるにあたり、研究題目の達成度および各課題間の連携を意識して次年度を進めたいと考える。

(1) プロジェクト全体

・成果目標の達成状況とインパクト

新型コロナウィルス感染症による影響も、落ち着きマレーシアへの渡航制限解除となったことから 2022 年 8 月から現地渡航を再開した。これまで完全オンラインでの意思疎通のみとなっていたが、対面による共同研究者との意思疎通や実際に現場へのアクセスなどリモートでは不十分な点が明らかになり、現地へ赴くことで細かい点で対処することが出来るようになった。約 3 年間近くリモート対応が続いたが、やはり現地に赴き、実際の現場や共同研究者との面着での意見交換は有意義であり、現場の状況等、瞬時で把握できることを改めて認識させられた。可能な限り現地渡航による対面や現場に足運ぶ事としながら、今後、新型コロナウィルス感染症の影響に留意し、確立されたオンラインでのコミュニケーションも有効に使ってゆきたい。

ゼロエミッション型 OPT ペレット化プロセス(クルアンプロセス)を基軸に、エクストルーダー（爆砕機）を導入することで、OPT 以外のパーム未利用バイオマス（EFB、OPF、MCF）を同等の品質を保ったペレット製造が可能となる「原料マルチ化プロセス」の開発に成功している。これまでバイオマスの繊維長や堅さに応じてプロセス設計を異にしていたが、爆砕機処理することで、圧力による繊維の断裂そして解繊化によって、OPT ペレット化プロセスラインで、様々なバイオマスから同一プロセスで良質なペレットが製造出来ることに成功している。この成果のインパクトは大きく、原料多様化による共通プロセスの利用によるキャペックスコストの低減だけで無く、バイオマス原料調達やペレット事業の採算性へ大きく影響することになる。すなわち、原料マルチ化プロセスにより OPT 以外にも OPF や EFB など一つのバイオマスを原料ソースとして確保しなくてはならないという縛りから解放されることで、近隣にて排出されるバイオマスを確保、利用する事ができる。このことは、原料調達における運送コストや輸送による GHG 排出了においてもより持続可能性を高める製品が生産出来る事を示しており、事業のライフサイクルアセスメント（LCA）を向上させる。

パナソニックハウジングソリューションズの参画を契機に、OPT を使った家具製造や MDF 製造が進められている。世界の木質材の約半分を消費している家具市場において、OPT を積極的に利用することで、森林保全や OPT の農園放置による GHG 削減を期待している。我々の試算（OPT 成分分析値および OPT チップを使ったラボスケール模擬農園メタン発生測定実験より算出）では、OPT 一本農園に放置された場合、約 1.3 トンの GHG（CO_2 換算）が放出される可能性を示しているが、家具等資材用途によりその CO_2 排出を数十年に渡り固定・隔離できることは意義ある成果である。パナソニックは、この OPT を使った家具資材に対して Palm Loop というブランド名として試験販売を進めており、2022 年グッドデザイン賞を獲得している。また 2022 年 6 月からサラワク州のオイルパーム搾油工場に「原料マルチ化プロセス（クルアンプロセス)」を導入し、その有効性を検証している。EFB からの燃料ペレットの連続生産運転に入り、パーム搾油工場で問題となる EFB 処理問題の解消と引き換えに OPT や OPF の安定調達のスキームが成立するかの社会実験を実施している。これらの取り組みはパームバイオマスに関する世界で初めてのパイロットビジネス規模での試みになる。

現地マレーシアへの渡航規制緩和により、渡航を再開したことで、遅れていたマルチチャンネル式自動開閉型チャンバーシステムを用いた、オイルパーム農園における CO_2/CH_4 フラックス観測が開始された。その結果、シロアリ等分解者による CO_2 や CH_4 量のパーム農園からの排出が認められ、これまでメタゲノム解析データを用いた微生物群集機能評価やラボスケール模擬農園メタン発生測定実験からも示された類似のデータが得られつつある。

プロジェクトのアウトリーチ活動として、今年度も「バイオマスエキスポフォーラム 2022」(図 1) への出展、および積極的な講演活動（「第 31 回日本エネルギー学会大会」、「JICA 主催セミナー 森から世界を変えるプラットフォーム」、「バイオマスエキスポフォーラム 2022」、「日本学術会議 公開シンポジウム」）により、本プロジェクトの宣伝・紹介を行った。また 12 月の渡航時において、在ペナン日本国総領事館および在マレーシア日本国大使館に訪問し、これまでのプロジェクトの活動内容に関して説明を行い協力や理解を得ることに努めた（図 2)。本年度 6 月末に本プロジェクトに関する中間評価会議が行われ、OPT 利用を通じた新たなビジネス展開や社会実装にかかる重要な成果として A 評価を得ることができた。一方、中間評価会議においては、パーム農園の再植林をどのように進めるか、それによりいかに持続可能性を担保するのか道筋を示すまでには到達しておらず、残り研究期間をかけて、道筋を明確にすべきとの指摘を頂いている。そのため、OPT 残渣を含めパーム産業から排出されるバイオマスを安易に農園に戻す事への功罪を明らかにする必要や、農園へのメリットデメリットを明らかにする必要がある。その取り組みはコロナ渦により遅延していた。そこで第 4 回合同調整委員会（JCC）を開催し計画修正変更について協議し、プロジェクト期間の 1 年延長申請を行い承認された(図 3)。延長期間については、特にコロナパンデミックにより活動できなかった「パーム農園からの GHG 測定データ」取得を中心に、そのデータを用いた LCA 評価を含めて取り組みたいと考えている。今年度、GHG 測定のためのチャンバーシステムの設置を終了し、測定を本格的に開始している。第 4 回 JCC 会議においては、昨年に続き、新規参画メンバーとして出光興産（株）が持続可能な航空燃料（SAF）製造に関する原料調達検証のため参画することになった。またクルアン実証プラントにおいては、地元パーム関連企業や日本企業からの見学者や依頼が絶えないことから、ショウケースとして本プロジェクトの代名詞といえる場所になっている。日本を初めマレーシアにおいても、本プロジェクトの取り組みへの認識が上昇している。社会実装化へ向け着実に進んでいると考える。

・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 の利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・調査を目指した役割を担っている。

OPT 資源価値の開発として、樹液およびデンプンの利用を含めた液体系バイオマスからの付加価値製品製造プロセスへの基盤的データを収集している。ここで開発される高糖度化技術は、研究題目 2 の「高付加価値化製品開発」の製造プロセスの効率化や製造コスト低減化に貢献する技術に位置づけられる。OPT 幹内へのデンプン蓄積能に関して知見を得るために、デンプン含量の多い OPT および低い OPT について、トランスクリプトーム解析を行っている。その結果、デンプン含量の低い OPT では、病原微生物の感染防御に関連する感染特異的タンパク質の発現が認められている。すなわちデンプン含量の低い OPT において全身獲得抵抗性が誘導されており、OPT が病気感染や生育不良により、デンプン含量が低くなる傾向を示唆していた。これは健全な OPT の場合、光合成によりデンプンへと貯蔵エネルギーへ変換できるが、病害感染や虫害等がある場合、防御反応のためにエネルギーを利用すること

でOPT中のデンプン量が減少してくると推察できる。またSAF需要の高まりからエタノール製造の必要があり、OPT繊維(特に柔組織部分)を用いた微生物糖化技術を用いた開発を始めている。通常、繊維糖化においてはカビ由来の酵素が用いられるが、国際農研において微生物を用いた糖化技術が独自に開発され、酵素の必要ない糖化技術として注目される。この技術を用いてOPT柔組織からグルコース生産が可能かどうかを検証しており、高付加価値製品製造（エタノールやタンパク質製造等）への基盤的研究として確立を急いでいる。

研究題目2においては、OPTの付加価値製品化を通じた社会実装を目指し、ジョホール州クルアンにおいてOPT製品化実証プロセス開発を行っている。今年度は、「原料マルチ化プロセス」の適合性を確認するために、サラワク州のオイルパーム搾油工場の協力を得て、EFBとOPTの原料調達を組み合わせたペレット製造実証試験を実施している。そこで、原料マルチ化プロセスによるEFBでも適応が可能かを確認し、良質なEFBペレット製造が可能であることが認められた。このようなパームバイオマスにおける社会実証試験は、世界初の試みとなる。

OPTの燃料以外の家具等資材用途への開発・製品化が加速している。クルアン実証試験地と日本・門真の研究施設で連携開発されたOPT維管束ペレットにより、OPTボード材料化が進められており、家具市場投入が始まっている。今年度もアジアファニシングフェアー(図4)においてOPT維管束ペレットを利用した数々の家具が展示され、好評を得たと聞く。パナソニックハウジングソリューションズはこのクルアンプロセス処理により得られたOPT維管束ペレットに関して「PALM LOOP」とブランド化し、そのOPT資材を使って製造された家具の市場調査を行っている。使われるOPT維管束ペレットは、クルアンOPT製品化プロセスで製造されており、LCA的にカーボンニュートラルであることや、高い持続可能性を担保することができると考える。現在、LCA評価としては、燃料ペレットを製品として市場に投入したシナリオでの評価であるが、今後、各分野の研究者と共同で、家具材など熱帯林利用と比較したケースも想定しインパクト評価を示せればと考えている。

研究題目3では、「メタゲノム解析によるオイルパーム残渣の分解者の特定」と「GHG発生量の統合的観測」の異なる二つの分野の先端技術の融合により、パーム由来有機物の農園内放置に対して、シロアリや土壌病害菌などの分解者がどのような応答を示し、結果としてオイルパーム農園から各種GHGがどの程度放出されるのか等の疑問を解明することで、OPT利活用技術の社会実装を促進し、持続的オイルパーム農園経営の実現を図ることを目的としている。GHG発生量観測のためのマルチチャンネル式チャンバーシステムの設置が完了し、パーム農園地からのGHG発生測定を実施している。これまでの結果から、オイルパーム農園に存在する分解者、主にシロアリによる採餌によりCH_4に代表されるGHGが発生することが認められている。このようなフィールドにてパーム残渣を用い統合的にGHG発生観測する研究事例はこれまでになく、課題の重要性および学術的新規性は高い。

研究題目4では、インパクト評価として、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している。OPTやEFB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。これまでのパーム油産業において、パーム油を中心とした産業構造である際のLCA評価というのは、数多く報告があるが、パーム油産業からの排出されるバイオマス

をアップサイクルした場合の、環境、社会、経済へ与えるインパクトに関しての研究事例は少なく、特に実証研究と組み合わせた LCA 評価検証はこれまでにないことから、これまでのパーム油産業の構造改革をもたらすような貴重なデータとなる事を期待している。

他、本年度 7 月の JSTnews に本プロジェクトの取組み紹介記事が掲載された。本プロジェクトの生い立ちや独創性など、SATREPS プロジェクト採択に至るまでの経緯などが記載されており特記したいと考える（図 5）。

・研究運営体制、日本人人材の育成（若手、グローバル化対応）等

2022 年 9 月より新たに出光興産を参画メンバーとして迎えた。次年度、日本人人材育成として特別研究員 1 名（研究課題 1 および 2 を担当）を予定している。

・人的交流の構築（留学生、研修等）

JICA 長期研究員派遣制度により、2022 年 6 月に博士前期学生 1 名および後期学生 1 名が来日し、研究題目 1 および 3 の研究を開始している。また現在、筑波大学生命環境科学科博士後期課程に 1 名が在学し、博士課程修了に向けて研究活動を行っている。

一方、新型コロナウィルス感染症拡大のためにこれまでマレーシア国の若手およびシニア研究者の招聘等が困難な状況であったが、ワクチン接種率の上昇や感染者数の落ち着きにより、渡航が解禁となった。今年度 8 月からマレーシア渡航を再開すると共に、大学院生の日本への招へいなど人的交流が始まっている。

図 1. バイオマスエキスポフォーラム 2022
東京ビッグサイト 2022 年 10 月 26 日～10 月 28 日開催。
JIRCAS ブースにて、IHI プラントと同時出展。SATREPS パームトランクプロジェクトの内容に関して展示。
約 300 名近い方々と名刺交換。写真はブースの様子。

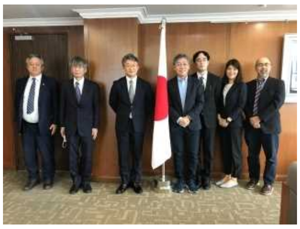


図 2. 在ペナン日本国総領事館　川口総領事への表敬訪問
12 月 12 日、総領事館ホームページから
表敬訪問後の集合写真【日本国国旗左側　川口総領事、国旗右側　研究代表者小杉】
https://www.penang.my.emb-japan.go.jp/itpr_ja/11_000001_00600.html

図 3. 第 4 回研究合同調整委員会（JCC）令和 4 年 9 月 21 日（水）日本時間 15:30～17:30（マレーシア時間 14:30～16:30）オンライン開催。セッションクロージングの際の参加者との集合写真
会議集合写真【(参加者団体： USM、国際農研、（株）IHI、パナソニック（株）、日新商事（株）、出光興産（株）、マレーシアパームオイル庁（MPOB）、広島大学、島根県立大学、マレーシア森林研究所（FRIM）、マレーシア標準工業研究所（SIRIM）、JICA 本部、JST、JICA マレーシア事務所、在ペナン日本総領事館、在マレーシア日本大使館、マレーシア高等教育省（MOHE）、（株）OPTERAZ】

図 4. アジアファニシングフェアー2022　パナソニック ハウジングソリューションズの展示ブース
東京ビッグサイト 2022 年 10 月 26 日～10 月 28 日開催。OPT 再生ボード化技術を使った OPT 家具等の展示。
https://panasonic.co.jp/phs/technology/palmloop/

図 5. JSTnews 2022 年 7 月号に SATREPS パームトランクプロジェクトの紹介が掲載
「マレーシアのパーム油産業を再構築 「下町バイオマス」で持続可能に」という見出しでプロジェクトの全体構想を紹介した。JSTnews は、国立研究開発法人科学技術振興機構（略称 JST）の広報誌。
https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/backnumber/2022/202207/index.html

（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）
同上　（課題担当者：鵜家綾香・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）
同上　（課題担当者：Amar Shafiq・博士課程研究員）
同上　（課題担当者：Shaik Ling・技術補佐員）
同上　（課題担当者：Yong Seng・技術補佐員）

マレーシア標準工業研究所（SIRIM）（Ishak Mohd Yusuff・室長）

① 研究題目１の当初計画（全体計画）に対するに対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

1. OPT 樹液糖度上昇（熟成）メカニズム解明

OPT 内に含まれる樹液糖度の上昇に関して知見を得るため、植物生理学的な側面から OPT 内樹液濃度、デンプン含量および遺伝子の発現状態を、デンプン含量が高い OPT および低い OPT について比較した（図 6）。これまで、デンプン含量が低い OPT では、樹液濃度も低く、病原微生物の感染防御に関連する感染特異的タンパク質（Pathogenesis-related protein：PR タンパク質）の発現が見られることが明らかとなっている。現在までに①管理の行き届いた農園からの OPT、②特に管理されていない農園からの OPT、③子実体の形成が見られる OPT（図 7）、合計 17 本の OPT について糖液および柔組織のデンプン含量についてそれぞれ分析を行った。①の農園では、高濃度の糖液（約 10%（w/w%））とデンプン（約 35%（w/w%））の OPT が多く、高いものではデンプン濃度 50%以上の OPT も見られた。②の農園からは、糖濃度が約 5%、デンプンが約 1-3%と全体的に低く、③の子実体の形成が見られるパーム幹についても同様であったが。その一方で、子実体形成場所によってデンプン含量は大きく異なり、通常幹の上部はデンプン濃度が高いにもかかわらず、子実体がパーム幹の上部で形成されるとデンプン含量は幹全体で低く、子実体がパーム幹の下部に形成された場合、パーム幹上部のデンプン含量は約 50%であった。現在、それぞれの異なる環境下から採集した OPT について、RNA-seq.による遺伝子発現の比較を行い、糖およびデンプン濃度や伐採 OPT を放置することによる糖およびデンプン量について、関連を分析中である。現時点において、管理の行き届いた農園から入手した OPT は総じて糖液・デンプン濃度が高く、前年度までの遺伝子発現解析データでは糖およびデンプン濃度の低い OPT では PR タンパク質の発現も見られたことから、糖およびデンプン量はパーム幹の栽培環境に影響される可能性が高く、農園管理が重要であることを示唆している。

2. OPT 高糖度化技術・調達の実証研究

パーム再植林により伐採、放置・廃棄された OPT が、土壌改良や苗木の肥料となっていると考えるパーム農園は多い（図 8）。昨年度まで間作作物における糖を含む樹液や OPT 繊維を含む土壌が植物生長に与える影響を検証し、OPT 繊維を含む土壌では窒素飢餓状態を誘発し、植物に生理障害を引き起こすことが明らかとなっていた。今年度は農園での栽培状況を再現するため、農園土壌およびパームの苗木を用いてポットでの栽培試験を行い、試験区には OPT のみを添加する区に加え、化成肥料添加区も設定し、化成肥料に OPT を加えることによる相乗効果も検討した（図 9）。その結果、OPT のみを加えた試験区が最も生長不良となり、次いで OPT 未添加土壌区、OPT+化成肥料区、化成肥料区となり、化成肥料単独で栽培したパーム苗が最も生育が良好であり、パーム苗木についても OPT の肥料効果は見られなかった。更には、OPT 繊維分解に誘引されるセルロース分解微生物により、化成肥料養分が植物より先に利用され、本来の肥料効果を減少させることが明らかとなった。また、栽培後の土壌微生物叢について分析したところ、OPT 繊維を含む土壌中から *Penicillium* 属菌等の分解菌、*Trichoderma* 属菌である木材腐朽菌が多く確認され、特に *Hyphodontia* 属菌の特異的増殖が確認された。子実体を形成する腐朽性菌には、生きた植物体に病原性を示す種が多く報告されているため、農園

内において腐朽菌増殖の原因となるOPTの放置は、次期作へ悪影響を及ぼす可能性が示される。更に、幹の子実体形成箇所はデンプン含量が著しく低下するため、高付加価値利用にも影響が出る。。

3．OPT資源価値向上のための研究開発

OPTの資源価値向上は、経済的インセンティブを与え、パーム農園からのOPTの持出しを促すことができる。OPT 樹液濃縮による廃液に関して液肥利用を検討している。膜濃縮により灰分リッチな廃液が得られることがわかっている。来年度、液肥によるOPT栽培への影響に関する実験を開始している。

② 研究題目1の当該年度の目標の達成状況と成果

OPT中に含まれる糖の熟成に関する試験について、農園環境、パーム幹の健全性を考慮し、試料収集を行い、糖・デンプン濃度の分析がすべて終了した。経時的な糖の蓄積については、伐採したOPTでの個体差も大きいが、デンプン含量が高い OPT は樹液の糖度も高く、低い OPT は糖度も低いという結果は一貫していた。遺伝子発現解析向けて、試料の調整を進めている。OPTの農園放置が与える苗木生長や土壌への影響を確認するため、OPT 残渣を土壌中に混合し、パーム苗木の生育を検討する栽培試験を行っている。両試験について、マレーシア理科大学の博士研究員および博士、修士課程の学生へ、分子生物学、微生物学、植物生理学に関する実験や解析手法について指導を行っている。今年度からは、日本への短期招聘が再開し、マレーシア理科大学の博士、修士学生が次世代シーケンサーを用いた実験手法を学び、糖、デンプン蓄積に関する遺伝子発現解析および土壌に OPT を混ぜ込み栽培試験を行った土壌の菌叢解析を行った。OPT 残渣がパーム栽培に与える影響を調べる試験については、マレーシアパームオイル庁（Malaysia Palm Oil Board：MPOB）がパーム農園で0～100%の範囲でOPTを持ち出した際の影響を調べており、現時点で生育促進等の肥料効果としての要素は見られていない。

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

OPT安定調達に関する知見を得るため、OPT農園放置・廃棄が植物生長へ与える影響について検証している。現在までに、パーム植替え直後にパーム果実収穫までの収入源として利用する間作作物、パーム苗木を用いて栽培試験を進めており、OPT を混ぜ込んだ土壌で栽培した植物体は全て生理障害症状が現れている。肥料とOPTを両方添加した試験区では、肥料のみを加えた試験区より生育が劣り、肥料効果を減少させることが明らかとなっている。これまでの結果から、OPTを混ぜ込んだ土壌では、糸状菌が大量に増殖することが明らかとなっていることから、OPT 放置による糸状菌増殖、蔓延が土壌中の栄養素だけで無く、化成肥料からの栄養分も収奪していることが示唆される。このことからも、OPTの農園からの持ち出しは、農園環境健全化を促進させることが可能となる重要な知見となり得る。

④ 研究題目1の研究のねらい（参考）

研究題目 1 では、OPT に含まれる樹液中の糖度を高めるため技術開発を主としており、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を目的としている。OPTに含まれる樹液については、伐採後に数日間放置することで糖濃度の上昇を見込んでいたが、明確な規則性は確認できていない。樹液については、保存方法によっても糖濃度が安定しない側面がある一方で、デン

プン濃度は安定して存在していることが明らかとなっている。農園からの持ち出しを考慮した場合、伐採後、数日間農園に放置されることもあるため、安定的に存在するデンプンは実装段階で利用するうえで扱いが容易になる可能性がある。デンプンは分解することで糖液としても利用可能であることから、糖・デンプン濃度と関連する遺伝子やタンパク質を特定し、安定的に得られる条件を見出すことで、研究題目 2 における樹液からのバイオガス、液体燃料生産、高付加価値化製品製造への貢献となり、重要な研究開発となる。OPT の安定調達については、研究題目 2 において必須課題であり、農園主に OPT を農園外へ持ち出しを促すためには、必要不可欠な研究である。農園管理において肥料代の問題は大きいため、OPT 農園内放置は化成肥料の適正利用を阻害するといった経済的なデメリットを示し、農園外への持出しを促す基礎的知見を積み上げている。

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っている。

1. メカニズム解明：伐採時、デンプン濃度が低い OPT や生理障害症状が見られる OPT を用いて、RNA-seq.解析による網羅的に遺伝子発現解析することで比較を行い、糖濃度上昇のメカニズムや、生理障害が見られる OPT において、各 OPT にて特に発現が多く見られる共通遺伝子やタンパク質から、糖およびデンプン濃度の関連を詳しく検討する。樹液中の糖濃度解析やデンプン含量の結果と RNA-seq.の結果を照らし合わせることにより傾向を分析し、幹の状態、糖・デンプン含量、貯蔵中の代謝変遷に関する遺伝子を総合的に照らし合わせ、関連遺伝子の特定を行う。

2. 肥料（液肥）効果の検討：農園からの OPT の積極的な持ち出しを推進するため、クルアン実証プラントから出る排水処理後のミネラル溶液に肥料効果があるか検証する。

3. OPT 安定調達：OPT の積極的な持ち出しを促すための知見を得るため、OPT 繊維が植物生長に与える影響について、OPT 繊維を含む土壌から分離した腐朽菌を用いて短期作物やパーム苗木の栽培試験を行い、OPT 放置が及ぼす負の影響の基礎データを取得する。放置や廃棄 OPT が間作作物へ生理障害、パーム苗木には病原性を示すことが明らかとなれば、農園主へ化成肥料の有効利用や農園管理の観点から、OPT 園外への持ち出し、安定調達へ向けた取り組みが行える。また OPT 農園放置により、どのような環境要因において GHG 排出量が最も高くなるか、繊維腐敗が起こりやすいかなど、OPT 持ち出しの動機付けになるような基礎データ収集を開始している。

図 6. 糖液分析用にブロック状にした OPT から搾汁の様子

図 7. 生育不良のパーム幹と白色腐朽菌に感染したパーム幹.

図 8. 放置されたパーム残渣の間にパーム苗木が植わっている様子	図 9. マレーシア理科大学の温室を使ったパーム苗木による OPT 残渣放置の生育影響試験の様子

（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・資源エネルギー環境事業領域　次長）
同上（サブリーダー：山下雅治・同上　主査）
パナソニック ハウジングソリューションズ株式会社（朝田鉄平・PALMLOOP 事業推進部部長）
日新商事株式会社（サブリーダー：中島登・エネルギーシステム部　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）

マレーシア側主担当者

マレーシア理科大学（USM）（リーダー：K. Sudesh Kumar・生物学部　教授）
マレーシアパームオイル庁（MPOB）（サブリーダー：Astimar Abdul Aziz・部長）
マレーシア標準工業研究所（SIRIM）（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）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

研究題目 2 は、OPT 製品の普及・社会実装の加速化を目指し、ジョホール州クルアンにあるクルアン OPT 実証試験地を用いて、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。昨年度までに OPT ジュースの濃縮/デンプン回収試験、シングルセルプロティンの培養リアクターの開発、大型ペレタイザーの処理能力の増強、爆砕装置の爆砕力の強化、連続浸漬装置の改造を実施した。今年度は、OPT 処理既設備と新規導入設備の信頼性を背景にして、以下の取り組みを行った。

1. OPT 安定確保

OPT 農園外搬出への動機付けとして、いくつかの戦略を立案している。最も実装化が進んでいるサラワクモデルの進展に着目し、この効果を検証する事とした。

1）既存 EFB 処理設備改造

2021年度導入した連続爆砕機（エクストルーダ）のスケールアップ機をEFBペレット製造設備（サラワク州所在のパームミル）に導入し、既存EFBペレット製造プロセスを改修した。本年度はこの改修設備の試運転と商業化運転への移行の為の技術フォローを行ってきた。その結果、EFB受け入れからペレット製造までは自動運転が可能となった。今回の改良の結果、房形状が残存する EFB ファイバーを受け入れても、各工程における閉塞のトラブルも無く、乾燥処理後にファイバーカッタの処理をバイパスさせてもペレットを形成できる結果となった（図10)。

２）OPT処理設備

本プロジェクトで開発された原料マルチ化プロセスをOPTペレット2万トン／年製造設備に組み込み、更にOPT材料用途利用であるOPT維管束ペレットを製造するプロセスも加えた設備設計をサラワクプロジェクトとして開始した。OPT燃料用途ペレット生産量2万トン／年製造能力とし、OPT材料用維管束ペレットを製造可能なプロセスとして設計を行った。設計条件は以下の通りとした。
OPTの燃料用途ペレット生産量2万トン／年を製造能力とし、OPT材料用維管束ペレットを製造可能なプロセスとした。

2. 各種サンプル製造を試作、各社会実装希望者への提供・評価開発

1) OPT維管束ペレット製造プロセスの開発と提供

2021年度に引き続きOPTの維管束（Vascular Bundle：維管束）ペレット（VBペレット）をクルアンパイロット設備より提供している。OPT維管束ペレットを用いた家具等資材用途の繊維ボード（MDF代替）の日本市場の社会実装を継続的に推進しており、今回の開発品が品質的な課題もなく市場導入可能であることを確認している。今後は市場要望のあったサイズ及び厚みバリエーション拡充に対応する品質確認を進める。提供した維管束ペレットの品質分析結果をもとに考察しVBペレット品質保証項目を形状、品質項目ごとに定めた。試作ペレットの品質は、要求される品質基準を満足することが確認された。

2) 製造能力増強

VB ペレット製造能力増強の為、設備工事を完成させ、試運転を実施した。手動操作に要していた作業時間を短縮することでOPT処理量は20トン/日が可能となり、OPTペレット製造能力は5.0トン/日が可能となった。

3) セルロースナノファイバー（CNF）サンプルの提供

OPTやEFBの繊維からCNFを製造するプロセス検討を行っている。チップを原料として、エクストルーダ)、湿式摩砕機を通してCNFの試作を定性的に試みた。得られたサンプルを検鏡してCNF化の度合いを確認した。また、CNF試作に使用した砥石の形状を図11に示す。またプロセス毎、各工程のサンプルを採取し、繊維の状態を観察した(図12)。さらにプロセス毎の繊維を採取して電子顕微鏡観察を行った(図13)。CNFとしては更に解繊を進める必要があるが、パルプ原料としては十分な解繊具合であると推察する。

4) Wood Plastic製造原料サンプル提供

プラスチック成型品原料のPP（ポリプロピレン）使用量を半減し、代替原料としてバイオマス繊維を用いてプラスチック成型品を作るウッドプラスチック製造事業がマレーシアで検討されている。ウッドプラスチック原料へのOPT維管束の適応についての技術検討を行った。マレーシア企業が

希望する原料繊維の形状、色調に合致させる為、湿式摩砕機と連続爆砕機で繊維形状を調整、オゾン技術で脱色検討を行った（図 14)。

連続爆砕処理を行う事で、繊維の解繊と粒径の微細化が進んだ。色調は EFB 繊維を所定の長さに調整した後、化学処理して脱色を進めている。繊維サンプルを要求の色調まで脱色させる方法として、オゾンの酸化力を利用 する処理方法を確認した。連続爆砕処理サンプルを対象とした場合、オゾンの脱色方法が適当と思われる(図 14)。

5)　液肥回収、利用プロセス検証

本件は OPT 苗木と生育済 OPT を対象に、液肥の施肥の有無による生育状態を マレーシア理科大学が担当で観察しているところである。次年度よりその結果を報告する。

6)　OPT ジュース糖、デンプン繊維糖化利用

研究題目 1 の OPT 熟成による糖濃度の増加技術を組み合わせるプロセスで、糖液濃度の濃縮試験を実施した。回収プロセスは、OPT 幹をチップ化して、OPT チップからの直接搾汁液を MBR で固液分離後に RO 膜で濃縮する「直接搾汁法」、また、OPT チップを湿式摩砕し、そのスラリー液を脱水処理して得られる脱水分離液を MBR で固液分離後に RO 膜で濃縮する「セミ直接搾汁法」について確認した（図 15)。併せて、OPT 中のデンプンの回収方法も同時に検討することとした。RO 設備は既存の RO 膜の濃縮倍率を 3 倍相当から 8 倍相当に強化した膜を新たに導入した。

a)　直接搾汁法

OPT チップからスクリュウプレスで OPT ジュースを搾汁し、搾汁 OPT ジュースを固液分離し、RO 膜で濃縮する処理プロセスを採用した。各工程でサンプルを採取し、デンプン含有濃度と糖分濃度の代替として SCOD（溶解性 COD）分析を行った。

b)　デンプンの回収

OPT チップ内のデンプンは、スクリュウプレス処理で分離液中に 52%、脱水 OPT チップ中に 48%が残存した。分離液に溶出したデンプンは、ファインスクリーンとスクリュウデカンターで 90%が回収され、初期 OPT チップ中に存在するデンプンが回収可能であった。

c)　糖分の回収

溶解性 COD 濃度を糖分の代替指標として分析考察を行った。脱水 OPT チップ含水率が低ければ低いほど脱水分離液量が多くなり、RO 処理での糖分回収率が上がる事になる。本試験での脱水処理による OPT ジュース回収率は 60%であり、溶解性 COD 回収率は 62%となった。スクリュウプレス以後の処理工程において、脱水分離液貯留槽と浸漬槽での滞留時間を長く設定した為、糖分がアルコール発酵、次に酸生成してしまう現象が発生した。糖分の回収率を上げるには、脱水効率を上げる事で可能になると考えられる。

7)　原料マルチ化プロセスの用途拡大

昨年度までで原料マルチ化プロセスとして、同一の OPT 処理設備で、一部の工程を変更することで、OPF、EFB、MCF を同様に処理し、持続可能性を維持し、良質なペレットを製造するプロセスを開発した。今年度、本プロセスの用途を拡大するために、ソルガムを原料としてペレットの製造試験を実施した。ソルガムは比較的繊維の長いバイオマスであるために、その処理プロセスは EFB や OPF と同様な処理を行う。連続浸漬装置により洗浄処理を行い、以降は OPT 処理と同様のプロセスとした。形

成ペレットの品質については、 SIRIM にて分析を行った。結果、ソルガムチップから同質の燃料ペレットの製造が可能である事が実証され(図 16)、プロセスの汎用性を示すことができた。

② 当該年度の目標の達成状況と成果

コロナ禍での渡航が不可となったが、昨年度、日本ーマレーシア間にリモート体制を構築し、今年度も、日々の朝礼、週例の定例会、補修工事の実施などを通して、クルアン実証試験地の現地パートナーへ技術共有を進めた。現現在、クルアン実証試験地のパートナーは、設備のメンテナンスなどのスキルも習熟しており、最近では、現地のパーム搾油工場からの問い合わせにも対応できるようになった。これまでは、渡航制限下で、マレーシア理科大学の学生および博士研究員、スタッフがクルアンの実証試験地を訪問することは出来なかったが、次年度は、現場に訪問していただき、教育面においても充実させていきたい。

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. 我々の試算によれば、マレーシアの一般的な平均的な搾油工場において、「原料マルチ化プロセス」導入した場合、OPT、OPF、MCF の受入れ量が見込める環境であれば、1 搾油工場あたり 9 万トン/年のペレット製造が成立する見込みである。昨年度は、スケールアップを目的とした実証試験を行うため、サラワク州の搾油工場に隣接する EFB 処理設備を「原料マルチ化プロセス」へ、大型連続爆砕機を導入した。

2. SAF 製造について、糖液をアルコール発酵でエタノールを製造し、エタノールを原料として SAF を製造する Alcohol to Jet（A to J）プロセスの技術検討がなされている。一方、原料マルチ化プロセスで生じる排水を処理する際に回収されるバイオガス中の CH_4 ガスを原料として、Gas To Liquid（GTL）プロセスで、液体燃料を製造する場合のプロセスフローについて、A To J プロセスと比較し優位性を確認出来た。

3. パーム未利用バイオマス以外のバイオマスへの用途拡大検討として、ソルガムを原料としてペレット製造試験を実施した（図 16)。形成ペレット品質をマレーシアの分析機関（SIRIM）で検査したところ、OPT や EFB などのパームバイオマスペレットの性状、品質と遜色ないペレットの形成が確認された(図 17)。原料マルチ化プロセスの汎用性が実証された。

④ 研究題目2の研究のねらい(参考)

OPT をパーム農園内に放置せず、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転換を促すのがねらいである。研究題目 2 で開発する技術やプロセスを導入した際、パーム産業全体の持続性向上に至ったかを技術プロセスやコスト面から評価する。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・調達システム構築への貢献も重要である。

新たに開発した「原料マルチ化プロセス」をパーム搾油工場に適用し、OPT、OPF、EFB、MCF、POME の複合処理により「高い収益を維持しながらの環境対策」となるサラワクモデルの検証を進めるべく、サラワク州パームミルに OPT ペレット製造の設計を進めた。

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基軸に、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っている。燃料用 OPT ペレット製造を基盤プロセスとして、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、有機廃液からの灰分回収による液肥製造と低灰化水処理、さらにその有機廃液を利用したタンパク質生産等技術の開発を目指す。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、ナノセルロースファイバー、ウッドプラスチックなどへの展開も視野に入れる。更に、近年注目が集まる航空機燃料としての液体燃料について、バイオエタノール製造や回収メタンガスを原料とした GTL（Gas To Liquid）への可能性の検証も試みる。

図 10. サラワク州 EFB ペレット製造への原料マルチ化プロセス
爆砕機導入による EFB ファイバーの形状推移

図 11. CNF 試作用の砥石形状

図 12. 爆砕機処理後の繊維(上写真)および湿式磨砕機処理後 2 パス（下写真）

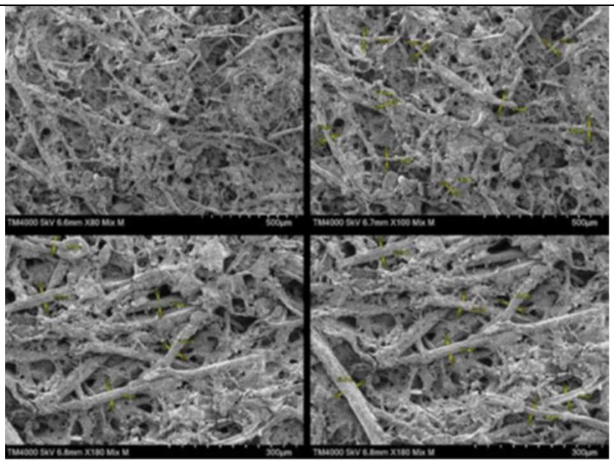


図 13. リモートによる脱水機の主軸交換作業
高圧脱水機の上部カバーを開き、軸およびスクリーンを交換

図 14. Wood Plastic 製造原料サンプル提供（左：解繊不良、右：解繊良好）原料は EFB	図 15. OPT ジュース 熟成→搾汁→ 糖分回収 濃縮 方法

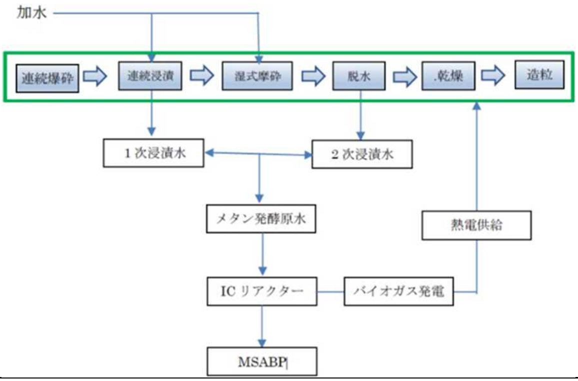



図 16. 原料マルチ化プロセスによるソルガムチップ処理フロー	図 17. 原料マルチ化プロセス工程ごとのソルガムサンプルの形状変化（左：脱水後、中：乾燥後、右：ペレタイザー後）

（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・研究員）

① 研究題目３の当初の計画(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)

研究題目 3 では、伐採オイルパーム幹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）伐採オイルパーム残渣の分解に伴う GHGs 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）形成を図ることを目的とする。

令和 4（2022）年度は、コロナ禍の影響に伴う渡航制限および当該国における州間移動制限等の各種制限の解除を受け、野外における観測を主要な課題とする「（２）伐採オイルパーム幹の農園内放置に伴う GHGs 発生量の評価」について重点的に調査・研究を実施した。

以下に、「（２）オイルパーム残渣の農園内放置に伴う GHGs 発生量の評価」について、カウンターパートへの技術移転および当該国における人材育成の状況等を踏まえ、実施状況の詳細を記す。

「（２）伐採オイルパーム幹の農園内放置に伴う GHGs 発生量の観測（PDM Output 3-3、 3-4）」

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、伐採されたオイルパーム幹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、農園内に放置された伐採されたオイルパーム幹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、過施肥下で生育したオイルパーム残差の分解は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、GHGsの発生に係る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GHGs発生量の観測は、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。

そこで「(2)伐採オイルパーム幹の農園内放置に伴うGHGs発生量の観測」では、国際農林水産業研究センターによって土壌炭素フラックス(土壌有機物の分解に伴うCO_2発生および土壌を介したCH_4の分解・吸収)の観測を目的に、マレーシア国ネグリセンビラン州のオイルパーム農園に設置されたマルチチャンネル式チャンバーシステム(図18)を活用し、伐採オイルパーム幹の放置に係る3つの異なる処理を施した15基のチャンバーを用いてCO_2およびCH_4の連続測定を行うことで、伐採オイルパーム幹の分解に伴い発生するCO_2/CH_4量およびシロアリの影響を評価した。

調査は国立環境研究所およびマレーシア理科大学の協力のもと、国際農林水産業研究センターにより、マレーシア国ネグリセンビラン州パソ地区の個人所有オイルパーム農園に設置された土壌炭素フラックス観測サイトで行った。同サイトには、土壌有機物の分解に伴うCO_2発生および土壌を介したCH_4の分解・吸収および温暖化影響の観測を目的に、20基のチャンバーからなるマルチチャンネル式チャンバーシステムが設置されている(図18)。2022年度は、伐採オイルパーム幹の農園内放置が温室効果ガス(CO_2およびCH_4)発生量に及ぼす影響を明らかにするため、15基のチャンバーを活用し、5基ごとに以下の異なる3種類の処理を施して観測を実施した(図19)。

1. 無処理区(コントロール):オイルパーム残渣を除去した試験区
2. 微生物分解区:伐採オイルパーム幹を導入し、忌避剤によりシロアリの影響を除去した試験区(図20)
3. シロアリ分解区:伐採オイルパーム幹を導入し、シロアリの影響を除去しない試験区(図20)

伐採オイルパーム幹の導入日を起点に、前後それぞれ18日間、計37日間に渡り、15基のチャンバー内のCO_2およびCH_4濃度の24時間連続観測を行い、各処理区におけるCO_2およびCH_4の単位時間面積当たりの発生速度(あるいは吸収速度)を計測した(図21、 22)。

その結果、CO_2については、無処理区(コントロール)では観測期間を通じてほとんどCO_2の発生がなかったのに対し、微生物分解区およびシロアリ分解区では伐採オイルパーム幹を導入した直後にCO_2発生量が急激に増加し、その後、発生量が減少して一定値で安定する傾向が見られた(図21)。こうした微生物分解区およびシロアリ分解区で見られたCO_2発生量の急激な増加・減少傾向は、分解性の高い、資源量の限られた有機物の分解を示すもので、オイルパーム幹における高い含水率や糖濃度を考慮すると、樹液内の糖の微生物分解に起因するものと考えられた。また、微生物分解区に較べシロアリ区にお

いて CO_2 放出の高止まりが確認されたが、これはシロアリの呼吸やシロアリによる伐採オイルパーム幹の一時分解物の微生物による分解に起因するものと考えられる。無処理区においては全く CO_2 の発生が見られなかったことを考慮すると、降雨量が多い熱帯域のオイルパーム農園土壌は土壌中に有機物を保持する能力に欠け、土壌を介して発生する CO_2 は土壌表面に放置されたオイルパーム残差にのみ由来し、シロアリによるオイルパーム残差の噛砕に伴い分解が促進されることが明らかとなった。

一方、CH_4 については、CO_2 とは異なる傾向が見られた（図 22)。無処理区および微生物分解区では観測期間を通じてほとんど CH_4 の発生・吸収がなかったのに対し、シロアリ区では伐採オイルパーム幹を導入した直後に CH_4 発生量が徐々に増加する傾向が確認できた。この結果は、森林や一般的な農地とは異なり、果房の収穫等による土壌踏圧によって嫌気化が進むオイルパーム農園土壌はほとんど CH_4 の吸収に貢献しないことを示すだけでなく、シロアリがオイルパーム幹に代表されるオイルパーム残差の分解に寄与することで、オイルパーム農園が CH_4 の大きな発生源になっていることを示すものである。実際、シロアリ分解区における CH_4 放出速度は、本サイトから直線距離で 2km の距離の熱帯原生林土壌における吸収速度（Liang et al. 未公表）の約 50〜100 倍に上ることも明らかになっている。

以上から、(1) オイルパーム農園土壌の CH_4 吸収能は極めて低いこと、(2) 伐採オイルパーム幹の主要な分解者はシロアリであり、シロアリによる伐採オイルパーム幹の分解により膨大な量の CH_4 が発生すること、(3) シロアリの採餌による伐採オイルパーム幹の噛砕は、微生物による残差分解に伴う CO_2 発生量の増加をもたらすこと、(4) 伐採オイルパーム幹内の樹液は分解性が高く、微生物による分解によって CO_2 放出源となることなど、伐採オイルパーム幹の農園内放置は気候変動に対し大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

なお、カウンターパートへの技術移転および当該国における人材育成については、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取り組んでおり、すでに成果の一部を国際誌に投稿中である。

また、マルチチャンネル式チャンバーシステムを設置しているオイルパーム農園において、マレーシアオイルパーム庁（Mei Ching Law 博士)、マレーシア森林研究所（Azian binti Mohti 博士)、およびサラワク泥炭地研究所（Ken Wong 博士および Frankie Kiew 博士）の研究者の視察の受け入れを行い、オイルパーム残差の農園内放置に起因した GHGs 発生量観測に係る技術移転を図っている。

② 研究題目３の当該年度の目標の達成状況と成果

コロナ禍の影響に伴う渡航制限および当該国における州間移動制限等の影響により、特に高度な専門性が要求される野外観測システムの構築が不可欠な「（２）伐採オイルパーム幹の農園内放置に伴う GHGs 発生量の評価」課題については、伐採オイルパーム幹の分解に伴う GHGs 発生量を直接的に観測することができないといった問題点があった。

しかしながら、2022 年度中期以降のコロナ禍に伴う各種制限の解除に伴い、マルチチャンネル式チャンバーシステムを用いた GHGs 発生量の直接観測が可能となり、(1) オイルパーム農園土壌の CH_4 吸収能は極めて低いこと（果房の収穫や農園管理に伴う踏圧による土壌の嫌気化と好気性メタン資化細菌

の減少)、(2) 伐採オイルパーム幹の主要な分解者はシロアリであり、シロアリによる伐採オイルパーム幹の分解により膨大な量の CH_4 が発生すること、(3) シロアリの採餌による伐採オイルパーム幹の嚙砕は、微生物による残差分解に伴う CO_2 発生量の増加をもたらすこと、(4) 伐採オイルパーム幹内の樹液は分解性が高く、微生物による分解によって CO_2 放出源となることなど、伐採オイルパーム幹や幹内樹液の利活用の促進に係る多くの知見を得ることができた。

こうした成果の一部は日本学術会議の公開シンポジウム「東南アジアのアブラヤシ農園の持続的開発の問題点と課題」や日本生態学会の公募式シンポジウム「土壌のメタン吸収能および有機炭素動態の把握に向けた多面的アプローチ」においても発表されており、当該年度の目標の達成状況は極めて良好と言える。

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や過施肥下で生育したオイルパームの残差の分解によって 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 年度目以降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 GHGs 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、GHGs 発生に係る土壌微生物動態評価およびオイルパーム残渣の農園内放置に起因した GHGs 発生量の直接観測を統合的に行うことで、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 GHGs 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 GHGs 発生量の評価」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、複数の異なる複数の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 GHGs 発生量の評価」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 15 基のチャンバーからなるマルチ自動開閉チャンバー式 GHGs 測定システムを用いて、GHGs 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。

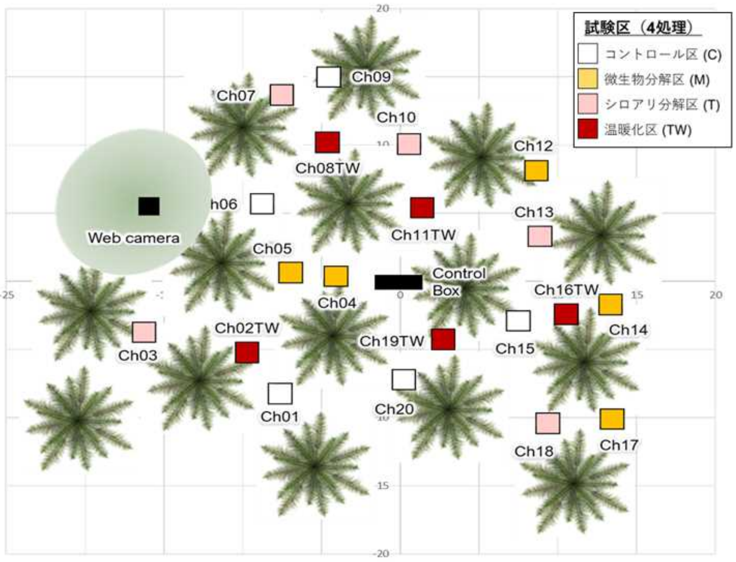
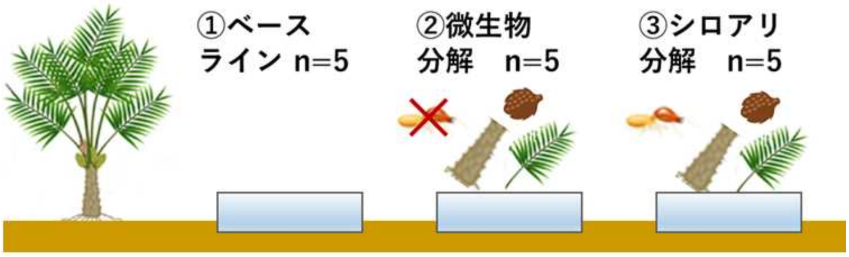


図 18. ネグリセンビラン州パソ地区に設置されたオイルパーム農園土壌炭素フラックス観測サイト



	オイルパーム残渣を除去した試験区	オイルパーム残渣を放置、シロアリの影響を除去した試験区	オイルパーム残渣を放置、シロアリを除去しない試験区
①と②の比較	微生物によるパーム残渣の分解が CO2/・CH4フラックスに及ぼす影響		
①②③の比較	パーム残渣の分解におけるシロアリの寄与と、土壌CO2/CH4フラックスへの影響		

図 19. 土壌炭素フラックス観測サイトに設定した異なる 3 つの処理区

図 20. 伐採オイルパーム幹の導入試験の様子

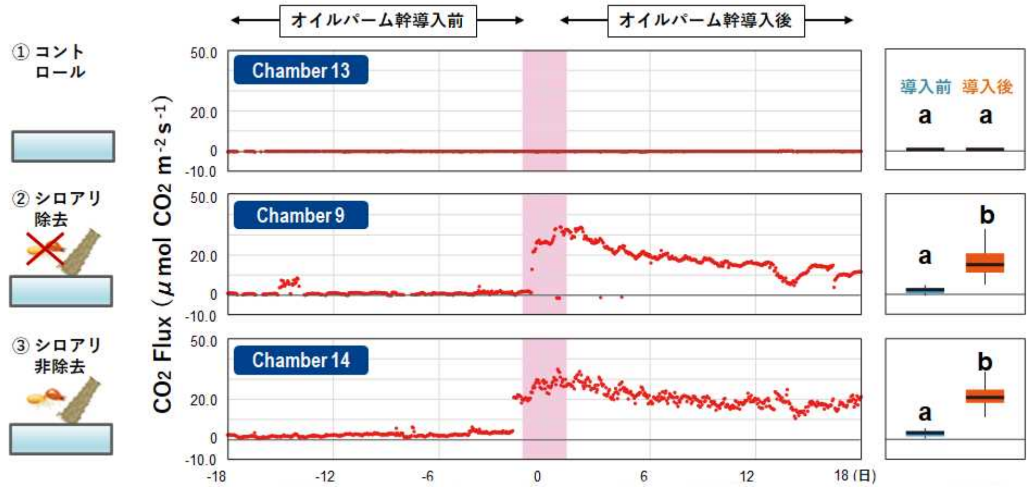


図 21. 異なる3つの処理区における土壌 CO_2 フラックスの比較

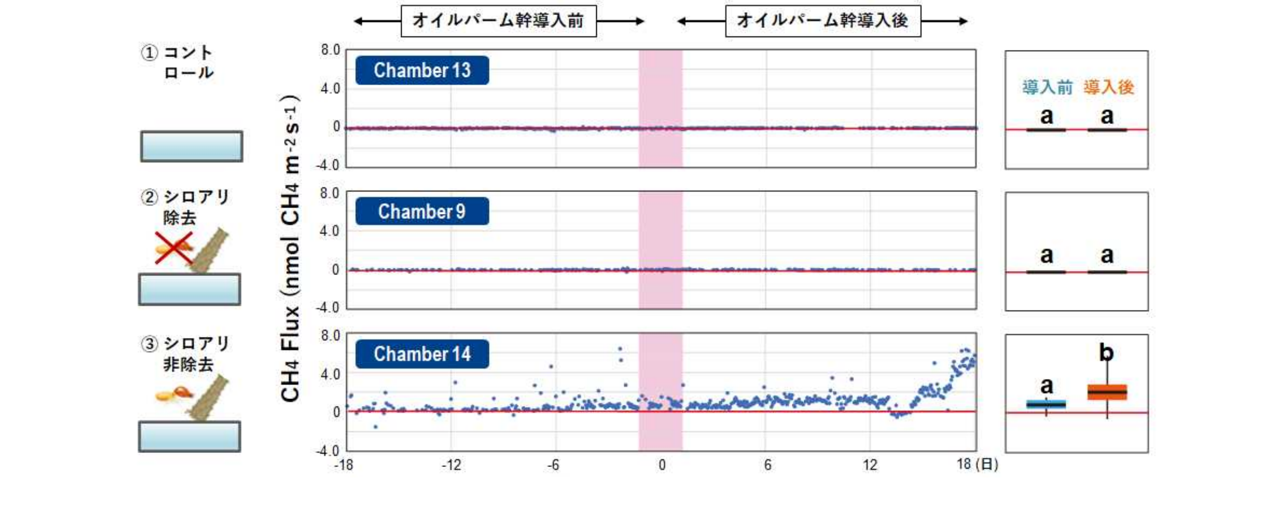


図 22. 異なる3つの処理区における土壌 CH_4 フラックスの比較

（5） 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）
国際農林水産業研究センター（小杉昭彦・プロジェクトリーダー）

① 研究題目 4 の当初の計画(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)

PDM Project 4 および PDM Output 4（OPT 付加価値化による経済・社会・環境インパクト）の達成を目指し、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。また社会実装化への道筋作りとして、ステークホルダーへの広報活動等社会実装に必要な活動について取り組む。

【インパクト評価】

これまで、(1) シナリオをベースにした分析枠組みの開発、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、データの整備を行った。これまで、農地から排出される GHG を考慮していなかったが農地をから排出される GHG の推計も加えている。また、(3) 経済性を評価するための財務関連のパラメータ収集およびデータ整備を行った。さらに (4) 政策分析・評価について検討し、(1) (2) (3) 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 23、図 24 は、(1) の分析枠組みとシナリオを設計した際に設定した、典型的なパーム農園の基礎条件および検討したシナリオである。スコープ 1 はパームバイオマス残差のリサイクルを行わない現状

シナリオであり、POME の処理技術方法によって 3 つのシナリオを設定している。スコープ 2 は EFB のみをリサイクルするシナリオであり、POME 処理技術の違いによって 3 つのシナリオを設定している。スコープ 3 は EFB に加えて OPT をリサイクルしており、POME 処理技術の違いによって 2 つのシナリオを、スコープ 4 は EFB と OPT に加えて OPF もリサイクルし、POME 処理技術の違いによる 2 つのシナリオを作成している。なお POME 処理技術 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）、集めたメタンガスを燃焼して処理する方法、3）カバーラグーンでメタンガスを回収し、そのメタンガス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ガスを回収し、そのメタンガスを燃料に電熱併給する方法の 4 つの処理技術を設定している。また、パームバイオマス残差のリサイクルは、まずは工場内で使うエネルギー源（熱源および発電機の燃料）として燃焼して利用し、残ったバイオマス残差はペレット燃料として商品化することを想定している。

2022 年度までの利用可能なデータ収集範囲における、10 シナリオ別の CO_2 換算結果を図 25 にまとめた。パーム農園からの GHG 排出データは課題 3 で計測中であったが、部分的な観測データから、農地に戻された EFB、農地に放置されている OPF や OPT に含まれる COD のうち、半分はバクテリアやシロアリ等によって分解されて CH_4 として排出されると想定し、暫定的な結果として整理した。ここでは、農地からパームバイオマス残差が分解されることで排出される CH_4、ミル工場、POME からの CO_2、CH_4 などの排出量を集計し、CO_2 換算して表示している。

シナリオの I-1 から I-3 は現状の状態である、パームバイオマス残差をリサイクルせず農地に放置するシナリオである。図 26 の緑色のグラフは農地に放置されたパーム残差が分解されることによって発生するメタンを CO_2 換算した値を示している。パーム残差を農地に残すことによって排出される CH_4 は、パーム搾油工場や POME から発生するメタン量よりも大きくなることが示唆される。なお、シナリオ I -3 は IC リアクターを入れて POME を処理することを想定しているため、工場やＰＯＭＥからの GHG 排出量がほとんどない。しかし、通常のパーム搾油工場に IC リアクターを追加的に導入することによる経済性が課題である。

また、経済性については粗油の他、EFB や OPT から作るペレット、PKS の他、工場で使いきれない電力をインドネシア国内で販売した場合を想定してデータを整備した。一方、OPT や OPF を回収する費用、ミル工場の固定費および管理運営費用などの費用データについては、情報が公開されていないため、プロジェクトサイトでの追加のヒアリングと調査が必要であり、これら費用のデータを整備したうえで最終的な経済評価を行う。なお、経済的な内部収益率の評価の他、GHG 削減効果を環境価値として評価した、経済的内部収益率の評価も行う。

【社会実装】

本プロジェクトの中で様々な技術的進捗が成された。例えば「原料マルチ化プロセス」の開発は、これまでのバイオマス調達の問題点や設備投資による高コスト化を改善できる技術として有効であると考えられる。プロジェクト終了 2 年を残し、本プロジェクトの取り組みを如何に社会へ還元および実装してゆくかについて、検討する必要があり、そのためにはプロジェクトの継続性が必要と考える。国際農研では、「ベンチャー企業等の認定及び援助等に関する規程（令和 3 年 9 月 8 日制定）」に基づき、同制度を利用したベンチャー起業制度を持っており、この制度を利用することで、事業の継続性を果た

すことが、培った技術の社会への還元に近道であると考え、第2例目となる国際農研発ベンチャー『株式会社 JIRCAS ドリームバイオマスソリューションズ（社長：小杉 昭彦)』を、令和4年10月4日に発足、法人登記させた(図28)。本会社は、「原料マルチ化プロセス」を中心に、SATREPS プロジェクトで開発した周辺技術を活用し、未利用のオイルパームバイオマスを原料とする燃料および資材製造を行うための事業化コンサルティングとプラントの設計・建設支援・運用支援、製品販売事業を展開し、本プロジェクトで開発された技術を社会実装し、社会へ成果を還元する。現在、マレーシア国サラワク州において、「原料マルチ化プロセス」導入したペレット工場建設を支援しており、OPT の利用や OPT 調達が、「サラワクモデル」に繋がるか社会実験を実施している。

② 研究題目 4 の当該年度の目標の達成状況と成果

2021 年までは現地調査の機会が少なく、主に先行研究で得られた原単位と、現地工場での測定結果をもとに、パーム産業全体の環境影響評価を実施しており、とくに分析に使うための経済データ（工場初期費用や管理運転費用）を得るためには、現地でのヒアリング調査が必要である。パーム産業全体を評価した LCA の分析手法を現地に展開し、評価手法の社会実装を進めるために、現時点で不足している経済データと農地からの GHG 排出データを整備したうえで、LCA 分析に必要となるデータリストを整備し、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、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る。

③ 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。渡航制限や移動制限も大きく緩和されたことから、分断された部分の補完やキャッチアップへ向けた活動を行ってゆきたい。

④　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-CO_2、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（Roundtable on Sustainable Palm Oil：持続可能なパーム油のための円卓会議)、MSPO（Malaysian Palm Oil Certification Council：マレーシア持続可能なパーム油基準)、ISPO（Indonesian Sustainable Palm Oil：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・情報収集する。

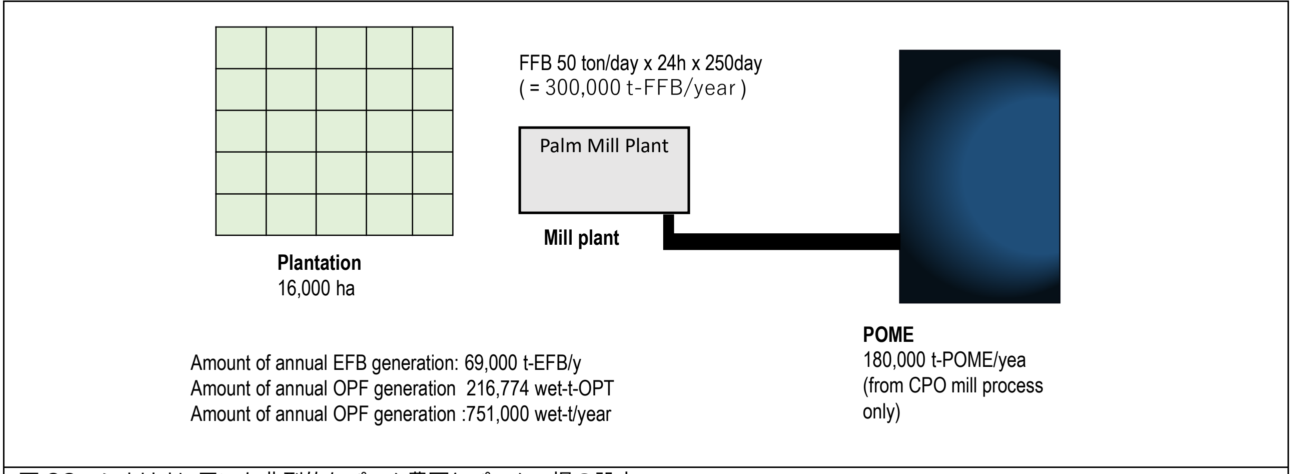


図 23. シナリオに用いた典型的なパーム農園とパーム工場の設定

	Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment Technology			
	1. Open Lagoon	2. Covered Lagoon		3. IC Reactor
		Simple combustion	Elec. generation	
Scope I	I-1	I-2		I-3
Scope II	II-1		II-2	II-3
Scope III			III-1	III-2
Scope IV			IV-1	IV-2

図 25. 検討した 10 のシナリオ

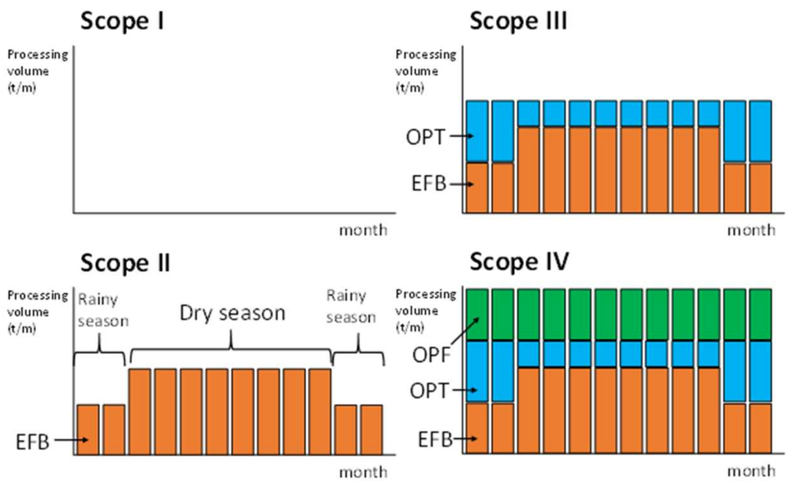


図 26. シナリオ別ペレット生産能力

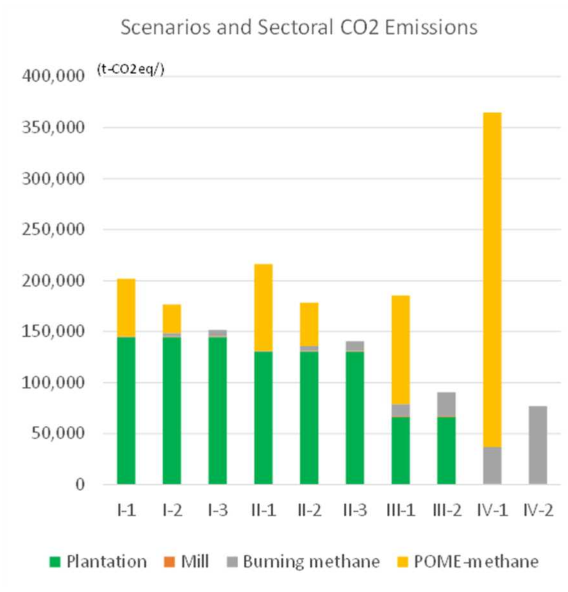


図 27. シナリオ別の GHG 排出量の推計(農地を含む)

図 28. 国際農研発のベンチャー企業「JIRCAS ドリームバイオマスソリューションズ」のホームページより
https://opt-jdbs.com/jp/

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）

・研究題目 1　糖蓄積メカニズム解明に向け、農園環境や生育状態の異なる OPT から採取した樹液に含まれる糖およびデンプン含量について分析を進めてきた。今後は採取した試料からの遺伝子解析を中心に、得られた糖およびデンプン含量、栽培環境や生育状況を総合し、糖蓄積メカニズムの解明に向けて研究を遂行する。OPT 安定調達を目的とした、OPT 農園放置がパーム栽培へ及ぼす影響を調べる基礎研究として、OPT を混ぜ込んだ土壌を用いて間作作物やパーム苗栽培試験を行い、糸状菌、特に *Trichocradium* 属菌や *Hyphodontia* 属菌の特異的な増殖が菌叢解析によって明らかになったことから、これらの菌がパーム苗に直接的に与える影響や土壌栄養の収奪に関してデータの取得を行い、論文やワークショップ等での公表や広報活動を引き続き行う。研究題目 2 との連携に関しては、特に OPT 樹液および繊維からのバイオエタノール生産に向けた繊維糖化試験を中心に液体燃料生産技術開発の知見を得る。

・研究題目 2　サラワク州にて OPT の調達モデルを検証する為に、原料マルチ化プロセスによる複合処理モデルの技術実証・連続運転を進め、パーム農園と搾油工場とを統合した調達システムを構築するための実験を実施する。この取り組みを成功させ、技術の普及と廃棄物ゼロへの啓蒙活動を推進し、社会実装をより確実なものへ進めていきたい。具体的には、サラワクモデルの実証結果を、RSPO や MSPO 等パーム油認証機関へ情報共有し、廃棄されるバイオマスを含めたパーム油産業の持続可能性認証を促す活動へ繋げていく。また、高糖度の樹液の調整では高圧濃縮機を導入、また、クルアンプロセスにおけるデンプンの回収についても、どの工程で回収可能か目処が立ち始めている。実証試験で高糖度の回収が達成できれば、OPT 樹液から持続可能性の高い糖質生産の目処が付けられる。

一方、本題目では、特に燃料用 OPT ペレット製造を基軸プロセスとして、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、有機廃液からのミネラル分の回収による液肥製造と、低灰化のための洗浄排水の再利用など、カスケード利用の開発も行っていることから、単なる燃料製造よりも、高付加価値な製品の検討を同時に行ってきた。例えば、OPT 繊維に関しては、家具の用途としての OPT 維管束ペレットだけではなく、化粧品などに向けた天然の増粘剤・機能性物質の分散材として利用されるセルロースナノファイバー、従来のプラスチックに木質バイオマスを複合材料であるウッドプラスチ

ックへの展開も考えている。更に、近年注目が集まる航空機燃料としての液体燃料については、回収されるメタンガスを原料とした GTL（Gas To Liquid）による液体燃料製造への可能性調査や、有機排水からの肥料製造も試みる。

・研究題目 3　ネグリセンビラン州パソ地区に設置された土壌炭素フラックス観測サイトにおいて、引き続きオイルパーム残差の農園内放置に起因した GHGs 発生量の観測を継続する。また、同サイトにおいてメタゲノム解析に基づく土壌微生物およびその機能評価を行うことで、オイルパーム残渣の農園内放置が土壌病原菌動態や観測が困難な N_2O 発生に及ぼす影響を評価する予定である。

また、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た当該国研究者 1 名について、土壌病害菌動態評価のための DNA・RNA 解析等の指導を引き続き行うとともに、現地カウンターパートと連携し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む。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、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していく。

・研究題目 4　研究題目 3 で測定された結果を入れたシナリオを整理し、農地を含めたパーム産業全体の環境・経済影響評価を行う。また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あり、研究者による限られた情報やアイディアのなかで、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、将来予測の精度に問題が発生する可能性がある。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への展開も検討し、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を行う。

プロジェクトの広報、キャパシティービルディング、アウトリーチ、社会実装化活動としては、これまでと同様に国際会議での特別セッションやワークショップ開催などを検討している。次年度、国際農研の国際シンポジウムが「熱帯林：気候変動・生物多様性喪失への課題と強靭性向上への機会」をテーマに東京で開催される予定でおり、その中で、「オイルパーム農園の持続的土地利用と高付加価値化や、気候変動に適応した森林遺伝資源利用と管理」の小テーマで議論が予定されている。コロナ渦の落ち着き、プロジェクト残期間も考慮し、マレーシア側の共同研究者を日本に迎え、SATREPS プロジェクトが主催となり、第 5 回 JCC 会議を東京にて開催しようと計画している。またワークショップに関しても開催を計画している。また政府機関へのプロジェクト成果のアピールにおいても、第一次産業省を代表とするパーム産業を所管する監督省庁や RSPO や MSPO などパーム油認証機関との意見交換も再開したいと考えている。

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）

(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。当該課題や問題点を解決するために取り組んだ事項。

新型コロナウィ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で大きな影響を受けていたが、今年度 8 月から渡航および研究活動が再開された。遅れを取り戻すべく、マレーシアへの渡航も今年度 8 月、12 月、2 月と 3 回にわたり進捗状況の把握や現地視察を行った。その結果、ほぼ、パンデミック前の状況に戻り、研究活動が再開されていることを把握した（図 29）。

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、研究題目 1 や 2 は想定以上に研究推進が成されている。特にクルアン OPT 実証試験地においては、パンデミック期間でありながら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ており、技術移転も現地の方々へ移転が出来たと言えるレベルになっている。PDM Goal、PDM Project Purpose、PO 記載の目標である、プロジェクトをベースとした社会実装化への流れは、IHI・パナソニック・日新商事、そして今年度から出光興産の参画と協力により確実に推進していると考える。また社会実装化への大きな障壁であった OPT 調達に関する対応は、EFB ペレット製造と OPT 調達を組み合わせたサラワクモデルの社会実験を通じて前進している。さらに今年度 10 月には、本プロジェクト研究成果である原料マルチ化プロセスを基軸とする EPC（Engineering/Procurement/Construction）事業を行う国際農研発のベンチャー企業（JIRCAS ドリームバイオマスソリューションズ）が起業し、より研究成果をダイレクトに実用化しようという取り組みを始めた。これにより、プロジェクト終了により折角開発した技術が、使われなかったり、途絶えたり、廃れたりすることを避け、プロジェクトの取り組みや成果を継続的に社会還元することが可能と考える。

図 29. 渡航再開による各共同研究機関との集合および会議の写真
２年半ぶりの対面による会議。上段左から：USM、クルアン実証プラントでの見学者との意見交換、MPOB、下段、左から SIRIM、FRIM、サラワクでのサラワクモデルの説明

・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。類似プロジェクト、類似分野への今後の活動実施にあたっての教訓、提言等。

国内研究やリモートだけでは不十分と考えられる GHG 定量測定などフィールド試験や調査が必要な研究題目 3 や 4 の一部分については、渡航制限およびマレーシア国内の移動制限により遅延していた。しかし、今年度 8 月から研究題目 3 では GHG 測定観測のためのチャンバーシステムの設置が完了し、測定を開始した。また、研究題目 4 においては、今後、GHG データの収集により、評価が進むものと考える。研究題目 4 においては、各所専門機関へのヒアリング、情報収集に変更し、必要な情報を直接集めるために評価に必要な質問を整理、各機関へ配布した。さらに、一部交流が止まっていたマレーシア側の研究者招聘も今年度 2 名招聘し、トレーニングを行っている。次年度さらに加速させたいと思っている。また関連する政府機関や認証機関等との意見交換や政策提言等が停滞しているが、これも次年度以降再開をしたい。

(2)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)

- **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。当該課題や問題点を解決するために取り組んだ事項。**

今年度マレーシア理科大学内の SATREPS 研究棟へ、樹液濃度分析のため新たに高速液体クロマトグラフィー（HPLC）を購入し、旧式機器よりスムーズに分析が進むようになった。導入当初は、機器についての経験や知識不足によるエラーやトラブルが頻発していたが、オンライン通話による対処方法の指示や、マレーシア出張時に状況確認し、対応を指導することで、予定していた全ての試料について現地研究員のみで分析をやり遂げることができた。また、マレーシア理科大学構内での試料採取について、大学側からの許可に時間を要することもあったが、頻繁に状況を確認することで予定内に試料採取が完了し、糖試験のサンプル採取も無事に完了した。苗木の試験については、これまでコロナの影響で開始が遅れていたが、2 回目の試験もスタートし、現地スタッフも一連の作業に精通してきたこともあり、順調にデータが取れてきている。

- **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。類似プロジェクト、類似分野への今後の活動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 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が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プロセスは、持続可能性の高さを売りにするプロセスなので、政府などへの提案・提言は、高い訴求力を持つものと考えている。

(3)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)

- **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。当該課題や問題点を解決するために取り組んだ事項。**

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

ので、昨年度から今年度までマレーシア現地の技術者へ指導を行った。今後は、社会実装化を目指し、技術移転を受けたメンバーの拡大により、SATREPS の成果による本格的な事業化が期待される段階に入る。それが故に、日本・マレーシア両政府には、これらのスタートアップ企業を支援する為の援助や政策が必要であり、政策提言を積極的に行いたいと考えている。今後、再度の感染症蔓延などの緊急事態に備えて、国内でも代替品で技術開発できるよう対策を講じておくことが重要である。

- **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。類似プロジェクト、類似分野への今後の活動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が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実用化プロセスは、持続可能性の高さを売りにした設計になっているため、環境・脱炭素政策重視のサラワク州・サバ州政府などへの提案は高い訴求力を持つと考えている。

(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」

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)

- **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。当該課題や問題点を解決するために取り組んだ事項。**

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、現地研究者との共同調査、農園所有者への調査の詳細説明等を行うことにより、調査や調査機器の設置、およびデータの収集が順調に行える体制が構築されている。

- **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。類似プロジェクト、類似分野への今後の活動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や農園所有者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。

(5) 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）

- **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。当該課題や問題点を解決するために取り組んだ事項。**

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、これまでほとんど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。データの原単位収集のためには、複数種類の研究から原単位を集める作業が必要となり、複数の先行研究からデータリストの作成を試みた。また、実際現地のパーム農園からどの程度の GHG 排出量が出ているのか不明だったため、いくつかの仮定をおいて推計を試みた。今後は、推計値と実際の観測データとの乖離を明らかにしたうえで、パーム産業全体の評価を行う。

- **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。類似プロジェクト、類似分野への今後の活動実施にあたっての教訓、提言等**

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、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り、類似プロジェクトを見出すことは難しい。しかし関連する政策課題、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と考えている。

Ⅳ. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1)成果展開事例

- 日本国内家具市場における社会実装の確度向上を図るため、パナソニックハウジングソリューションズ㈱では、商品バリエーションを拡大し、市場検証を継続・深化させると共に、法人顧客向け（オフィス・建築用途等）への市場導入も進め、更なる市場受容性の検証を推していく。
- またグローバル市場への社会実装も実現するため、PALM LOOP の商品紹介英語版サイトを立上げると共に、マレーシアへの人員配置も行うことで市場導入の活動基盤を構築し、今後海外での市場検証を進める。
- 第 4 回 JCC 会議により出光興産の参画が決定。該社は OPT より製造されるバイオエタノールのオフテイク先として、社会実装の検討に参加する。
- JST ニュース 8 月号への本プロジェクトに関する記事の掲載
- 2022 年 10 月に国際農研発のベンチャー企業『株式会社 JIRCAS ドリームバイオマスソリューションズ（JDBS）』を設立することで開発技術の具現化に推進することにした。SATREPS プロジェクトで蓄積されたノウハウおよび開発された「原料マルチ化プロセス」等関連技術を基盤とし、OPT

をはじめ未利用のパームバイオマスを原料に燃料と資材製造を行うための事業化コンサルティング・製造設備の設計・建設支援・運用支援、製品販売事業の展開を行う（会社ホームページ：https://opt-jdbs.com）

（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 MSPO 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。クルア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、また社会実装化へ民間企業との連携は順調である。

「原料マルチ化プロセス」の開発は、大きな経済的インセンティブに繋がることが予想され、利用が進むことでパーム農園の環境問題解決に繋がる可能性がある。このプロセスから製造される OPT 維管束ペレットは、パナソニックが手がける家具材の原料として採用され、2023 年からの本格的商品化の予定となっている。今後は、家具材供給体制へ向けた取り組みへ大きく展開されるものと考える。また、現地パーム搾油工場兼パーム農園の統合経営企業の協力を得て、2021 年 12 月からサラワク州で OPT 調達兼利用を促す「サラワクモデル」の社会実験に注力している。プロジェクト期間、残り 2 年となるが、社会実装化には、技術や事業の継続性が重要であると考える。2022 年 10 月に国際農研発のベンチャー企業『株式会社 JIRCAS ドリームバイオマスソリューションズ（JDBS)』を設立することとした。SATREPS プロジェクトで蓄積されたノウハウおよび開発された「原料マルチ化プロセス」等関連技術を基盤とし、OPT をはじめ未利用のパームバイオマスを原料に燃料と資材製造を行うための事業化コンサルティング・製造設備の設計・建設支援・運用支援、製品販売事業の展開を行う（会社ホームページ：https://opt-jdbs.com）。現在、サラワク州に「原料マルチ化プロセス」を導入したペレット工場建設支援を行っており、その中で OPT 調達や利用を通じて、サラワクモデルが実証されるかも注視している。サラワク州での実証実験が成功すれば、必ず第 2、第 3 と手を上げるステークホルダーが現れると見込んでいる。その結果、自ずとバイオマス利用・社会実装の道は開かれ、環境負荷低減に繋がり、かつ経済活動が活発になるようなサーキュラーエコノミー(経済循環)が生まれると考えている。

V. 日本のプレゼンスの向上

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している本プロジェクトは、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。新型コロナウィルス感染症拡大の影響により、現地活動の制限を受けたが、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

プロセス研究活動を中心に進めた。SATREPS プロジェクトで出てきた成果・技術を基盤に、二国間排出権取引（JCM）などのスキームを活用し、中小企業連合の技術インフラ輸出や技術移転することで、我が国らしい地球温暖化問題の具体的解決策を提供できる。本プロジェクトを通じて政府関係者への提言や、ポスト SATREPS プロジェクトも視野に入れた成果普及の取り組みを行ってゆきたい。

本プロジェクト終了を見据えて、本プロジェクト事業普及や社会実装化に対する一つの答えとして、私たちは国際農研発のベンチャー企業『株式会社 JIRCAS ドリームバイオマスソリューションズ（JDBS）』を設立することで開発技術の具現化することにした。JIRCAS ドリームバイオマスソリューションズは、SATREPS プロジェクトで蓄積されたノウハウおよび開発された「原料マルチ化プロセス」等関連技術を基盤とし、OPT をはじめ未利用のパームバイオマスを原料に燃料と資材製造を行うための事業化コンサルティング・製造設備の設計・建設支援・運用支援、製品販売事業の展開を行う。技術成果の社会還元を行うためには、長期的なビジョンで進めることが大切であるとこれまでの経験から強く思うことである。そのためには、プロジェクト期間中だけの取り組みでは無く、継続的に活動できる取り組みや仕組み作りが必要と考えている。本ベンチャー企業が技術導入に向けて機動力を持って実施するいわばファーストペンギン的役割を担うことは重要である。開発したプロセスは、容易に現地企業等が真似をすることが出来ないプロセスとなっており、日本の技術プレゼンスが多く詰まっている。今後、現地民間企業の取り組みも牽引できるような企業として期待したい。

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	Wichittra Bomrungnoka, Takamitsu Araia, Tadashi Yoshihashia, Kumar Sudeshb, Tamao, Hattaa, Akihiko Kosugi, "Direct production of polyhydroxybutyrate from waste starch by newly-isolated Bacillus aryabhattai 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, Takashi 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	Murugan, P., S. Y. Ong, R. Hashim, A. Kosugi, T. Arai, K. Sudesh. (2020) Development and evaluation of controlled release fertilizer using P(3HB-co-3HHx) on oil palm plants (nursery stage) and soil microbes. Biocatal. Agric. Biotechnol. 28: 101710	10.1016/j.bcab.2020.101710	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 2.14
2020	Sohni, S., Hashim, R., Nidaullah, H., Sulaiman, O., Leh, C.P., Lamaming, J., Arai, T., Kosugi, A. 2020. Enhancing the enzymatic digestibility of oil palm biomass using supercritical carbon dioxide-based pretreatment towards biorefinery application. Industrial Crops and Products 157():-112923.	10.1016/j.indcrop.2020.112923	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 4.244
2020	Saari, N., Lamaming, J., Hashim, R., Sulaiman, O., Sato, M., Arai, T., Kosugi, A., Wan Nadhari, W.N.A. 2020. Optimization of binderless compressed veneer panel manufacturing process from oil palm trunk using response surface methodology. Journal of Cleaner Production 265():-121757.	10.1016/j.jclepro.2020.121757	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 7.246
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
2021	Uke A, Nakazono-Nagaoka E, Chuah JA, Zain NA, Amir HG, Sudesh K, Abidin NZHAZ, Hashim Z, Kosugi A. Effect of decomposing oil palm trunk fibers on plant growth and soil microbial community composition (2021) J Environ Manage. 2021 Oct 1;295:113050.	10.1016/j.jenvman.2021.113050	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 6.789
2021	Arai T, Aikawa S, Sudesh K, Kondo T, Kosugi A. Electrotransformation of thermophilic bacterium Caldimonas manganoxidans (2021) Journal of Microbiological Methods, In press.	https://doi.org/10.1016/j.mimet.2021.106375	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 2.363
2022	Noorfarisya, I. J., Nurul, F. MR., Leh, C. P., Rokiah, H., Mohamad, H. M.K., Mazlan, I., Tay, G.S., Arai, T., Kumar, S., Kosugi, A. (2022) Polymer Composites, 44:8-22.	https://doi.org/10.1002/pc.27024	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 3.531
2022	Pulingam, T., Lakshmanan, M., Chuah, J.A., Surendran, A., Zainab-L, I., Foroozandeh, P., Uke, A., Kosugi, A., Sudesh, K.* (2022) Industrial Crops and Products, 189: 115827.	https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115827	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 6.449
2022	Arai, W., Kameya, H., Hashim, R., Sulaiman, O., Arai, T., Sudesh, K., Yusuff, I.M., Ghani, S.M., Rashid, A.H.A. and Kosugi, A. (2022) Industrial Crops and Products. 182; 114887	https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114887	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 6.449
2022	Thiruchelvi Pulinga, Manoj Lakshmanan, Jo-Ann Chua, Arthy Surendran, Idris Zainab-LaParis Foroozand, Ayaka Uke, Akihiko Kosugi, Kumar Sudesh. 2022. Industrial Crops and Products	https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115827	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 6.449

論文数	15	件
うち国内誌	0	件
うち国際誌	11	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 Clostridium thermocellum PAL5 possessing high cellulose-degradation ability", Data in Brief, 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 Paenibacillus curdlanolyticus B-6", AMB Express, 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 Barameea, 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 Herbivorax saccincola", Enzyme and Microbial Technology, 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 *Paenbacillus curdlanolyticus* B-6 possessing a unique xylanolytic-cellulolytic multienzyme system", Data in Brief, 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 *Hydrogenispora* of the uncultured taxonomic OPB54 cluster", Data in Brief, 2020, vol. 33, No. 106528, pp.1-6	10.1016/j.dib.2020.106528	国際誌	発表済	
2020	Ungkulpasvich, U., Baramee, S., Uke, A., Kosugi, A.,"Symbiotic chitin degradation by a novel anaerobic thermophilic bacterium *Hydrogenispora* sp. UUS1-1 and the bacterium Tepidanaerobacter sp. GT38", Enzyme and Microbial Technology, 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., Baramee, S., Ungkulpasvich, U., Tachaapaikoon, C., Pason, P., Waeonukul, R., Ratanakhanokchai, K., Kosugi, A.,"Draft genome sequence data of the facultative, thermophilic, xylanolytic bacterium *Paenibacillus* sp. strain DA-C8", Data in Brief, 2021, vol. 35 No. 106784, pp.1-6	10.1016/j.dib.2021.106784	国際誌	発表済	
2020	Ungkulpasvich, U., Baramee, S., Uke, A., Kosugi, A.,"*Capillibacterium thermochitinicola* gen. nov., sp. nov., a novel anaerobic thermophilic chitinolytic bacterium from compost", International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2021, pp.1-7	10.1099/ijsem.0.004693	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 2.415
2021	Chhe C, Uke A, Baramee S, Ungkulpasvich U, Tachaapaikoon C, Pason P, Waeonukul R, Ratanakhanokchai K, Kosugi A. Draft genome sequence data of the facultative, thermophilic, xylanolytic bacterium Paenibacillus sp. strain DA-C8. Data Brief. 2021 Jan 22;35:106784.	doi: 10.1016/j.dib.2021.106784.	国際誌	発表済	
2021	Uke A, Chhe C, Baramee S, Tachaapaikoon C, Pason P, Waeonukul R, Ratanakhanokchai K, Kosugi A. Draft genome sequence data of Paenibacillus cisolokensis strain LC2-13A and Xylanibacillus composti strain K-13 Data Brief. (2021) Sep 8;38:107361.	doi: 10.1016/j.dib.2021.107361.	国際誌	発表済	
2021	Chhe C, Uke A, Baramee S, Tachaapaikoon C, Pason P, Waeonukul R, Ratanakhanokchai K, Kosugi A. Characterization of a thermophilic facultatively anaerobic bacterium Paenibacillus sp. strain DA-C8 that exhibits xylan degradation under anaerobic conditions. J Biotechnol. 2021 Oct 22;342:64-71.	doi: 10.1016/j.jbiotec.2021.	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 5.123
2021	Arai, T., Aikawa, S., Sudesh, K., Kondo,T. and Kosugi, A.*, Electrotransformation of thermophilic bacterium Caldimonas manganoxxidans(), Journal of microbiological methods, Jan;192:106375	doi: 10.1016/j.mimet.2021.106375.	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 2.363
2022	Nhim S, Waeonukul R, Uke A, Baramee S, Ratanakhanokchai K, Tachaapaikoon C, Pason P, Liu YJ, Kosugi A. Biological cellulose saccharification using a coculture of Clostridium thermocellum and Thermobrachium celere strain A9. Appl Microbiol Biotechnol. 2022 Feb 14. doi: 10.1007/s00253-022-11818-0.	doi: 10.1016/j.mimet.2021.106375.	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 5.56
2022	Chhe, C., Uke, A., Baramee, S., Tachaapaikoon, C., Pason, P., Waeonukul, R., Ratanakhanokchai, K. and Kosugi, A. (2023.3) Int J Syst Evol Microbiol 73.	doi: 10.1099/ijsem.0.005724.	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 2.689
2022	Guang-Lei Liu, Xian-Ying Bu, Chaoyang Chen, Chunxiang Fu, Zhe Chi, Akihiko Kosugi, Qiu Cui, Zhen-Ming Chi & Ya-Jun Liu., (2023) Biotechnology for Biofuels and Bioproducts volume 16, 9.	https://doi.org/10.1186/s13068-023-02260-z	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 7.670
2022	Heng, S., Sutheeworapong, S., Champreda, V., Uke, A., Kosugi, A., Pason, P., Waeonukul, R., Ceballos, R.M., Ratanakhanokchai, K., Tachaapaikoon, C. (2022) Peer J, 10: e14211.	https://doi.org/10.7717/peerj.14211	国際誌	発表済	Journal Impact Factor 3.061

	16	件
うち国内誌	0	件
うち国際誌	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－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.ihi.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ｼﾞｱﾊﾞｲｵﾏｽﾌﾟﾛジェクト, 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
2022	小杉昭彦 アジアのバイオマス利用から日本のエネルギー問題を考える：資源調達とカーボンニュートラル　第31回日本エネルギー学会大会		学会機関誌	発表済	https://doi.org/10.20550/jietaikaiyoushi.31.0_xvi

著作物数 6 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
2021	国際学会	Kosugi A (JIRCAS).Future Prospects For Oil Palm Biomass Utilization Led By Satreps Opt Project. ByPalma 2021.Sep	口頭発表
2021	国際学会	Yamashita M (IHI).Process Development For Ihi Opt & Efb Fuel Pellet Production. ByPalma 2022.Sep	口頭発表
2021	国際学会	Chuah Keng Hua (OPTERAZ).Research And Development Of Oil Palm Biomass Utilization Technologies From Kluang Pilot Plant. ByPalma 2023.Sep	口頭発表
2021	国際学会	Pun Meng Yan (TEXa).Strategy of oil palm biomass utilization from texa. ByPalma 2024.Sep	口頭発表
2021	国際学会	Noorshamsiana Abdul Wahab (MPOB).Cellulose from oil palm trunk and its conversion to carboxymethyl cellulose (CMC). ByPalma 2025.Sep	口頭発表
2021	国際学会	Leh Cheu Peng (USM).Sustainability considerations in producing chemical cellulose from the vascular bundle of oil palm trunk (opt)eps Opt Project. ByPalma 2026.Sep	口頭発表
2021	国際学会	Thiruchelvi Pulingam (USM).The effects of oil palm trunk fibers on plant growth and soil microbial community. ByPalma 2027.Sep	口頭発表
2021	国際学会	Manoj Kumar (USM).Insights into the production of microbial-based bioplastics using oil palm trunk sap. ByPalma 2027.Sep	口頭発表
2022	国内学会	近藤 俊明（国際農研）・孫 力飛 （国環研）・小杉 昭彦（国際農研）・Kumar Sudesh（マレーシア理科大）・梁 乃申（国環研）、東南アジアにおけるオイルパーム農園開発が土壌微生物および土壌炭素フラックスに及ぼす影響、日本生態学会公募式シンポジウム、オンライン、3月19日	口頭発表

招待講演 1 件

口頭発表 8 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―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	
2021	国内学会	小杉昭彦（国際農研）SATREPSプロジェクトから見えてきたバイオマス資源の安定調達とその仕組み作りの重要性 （一財)バイオインダストリー協会 アルコール・バイオマス研究会 オンラインセミナー2021年10月19日	招待講演	
2021	国内学会	小杉昭彦（国際農研）東南アジアでの熱帯バイオマス資源の安定調達・利活用技術による地域環境保全と日本型国際貢献 バイオマスエキスポフォーラム’21 11月26日	招待講演	
2021	国内学会	小杉昭彦, バイオマス資源の確保・調達, 石油学会 新エネルギー部会講演会 ～ カーボンニュートラルに向けた、エネルギー・環境政策と革新技術～,2022年2月15日	招待講演	
2022	国内学会	近藤俊明（国際農研）、持続的なアブラヤシ農園経営に向けた農作物残渣の利活用技術の開発、日本学術会議公開シンポジウム「東南アジアのアブラヤシ農園の持続的開発の問題点と課題」、オンライン、9月29日	招待講演	
2022	国際学会	Tomoyo Toyota(The University of Shimane) Shinji Kaneko(Hiroshima University), NERPS Coference 2023, Thailand, Feb 28, 2023.	口頭発表	
2022	国際学会	Aikawa, S., Hama, S., Kosugi, A., Ogino, C. 10th Asian Conference on Biomass Science (Online, 2022, 11)	口頭発表	件
2022	国内学会	藍川晋平、菓子野康浩、秋本誠志、植野嘉文、和泉自泰、小杉昭彦 光質・光量が藍藻・微細藻の光合成におよぼす影響 第70回生態学会（オンライン、2023年3月）	口頭発表	件
2022	国内学会	小杉昭彦 アジアのバイオマス利用から日本のエネルギー問題を考える：資源調達とカーボンニュートラル（第31回日本エネルギー学会大会）	招待講演	件

招待講演 9 件

口頭発表 6

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	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	

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	PI2021003802	2021/7/2	SOLID FUEL PRODUCTION SYSTEM AND SOLID FUEL PRODUCTION METHOD（バイオマスペレット製造における原料選択多様化技術）	（株）IHI・国際農林水産業研究センター・（株）OPTERAZ	マレーシア優先出願	無	PI 2021003802（マレーシア）	2021年7月6日	審査中		山下雅治・小杉昭彦・Chuah Keng Hua	（株）IHI・国際農林水産業研究センター・（株）OPTERAZ	
No.2													
No.3													

外国特許出願数 1 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 (「○○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
2021	2021/9/29	ベストプレゼンテーション	Effect of decomposing oil palm trunk fibers on plant growth and soil microbial community composition	Thiruchelvi Pulingam	ByPalma国際会議	1.当課題研究の成果である	

1 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
2021	2021/11/15	パナソニックホームページ	アブラヤシ廃材を活用した再生木質ボード化技術を開発	https://news.panasonic.com/jp/press/data/2021/	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2021	2021/11/15	FNNプライムオンライン	パナソニック食用油などに使われる「アブラヤシ」廃材を活用して家具づくり　世界初の技術	https://www.fnn.jp/articles/-/270618	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2021	2021/11/17	日経新聞	アブラヤシ廃材を活用 パナソニック、木質ボードに	https://www.nikkei.com/article/DGKKZO77582310	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2021	2021/11/17	電波新聞	アブラヤシの廃材を木質ボードにパナソニック、温室効果ガス削減に貢献	https://news.yahoo.co.jp/articles/2735f5f7c590d6625710929877d5007d8ebc	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2021	2022/1/11	日刊工業新聞	成長につなぐ―事例17ゴールズ＆169ターゲット(68)国際農林水産業研究センター	https://www.jircas.go.jp/ja/program/proc/blog/20220121	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/11/9	日経新聞	国際農研、第2号VB設立 パーム油バイオマスを再資源化	https://www.nikkei.com/article/DGXZQOCC09AUH0Z01C22A1000000/	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/11/11	化学工業日報	国際農研、VB設立、燃料ペレットや資材製造	https://chemicaldaily.com/archives/225622	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/11/10	農業協同組合新聞	国際農研発第2号ベンチャー「ドリームバイオマスソリューションズ」」設立	https://www.jacom.or.jp/ryutsu/news/2022/11/221110-62754.php	1.当課題研究の成果である	
2022	2022/11/10	リム情報開発 マーケットニュース	国際農研=バイオマス燃料ベンチャーを設立、パーム油生産の残渣活用	https://www.rim-intelligence.co.jp/news/rre/1729791.html	1.当課題研究の成果である	

11 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。
2021	4月20日	島根県立大学地域政策学部「SDGs概論」受講者への紹介	オンライン講義	148名	非公開	島根県立大学地域政策学部の講義(1年生)「SDGs概論」受講者に、SATREPSプロジェクトの取り組みについて紹介した
2021	5月25日	島根県立松江南高等学校での講演での紹介	島根県	275名	非公開	松江南高校1年生275名を対象に実施したワークショップにて、SDGsとパーム産業および本プロジェクトの概要を紹介した。
2021	6月10日	島根県立大学地域政策学部「総合政策概論」受講者への紹介	オンライン講義	219名	非公開	島根県立大学総合政策学部の3回生必修講義「総合政策概論」受講者に、パーム産業と日本との関わりと、SATREPSプロジェクトの取り組みについて紹介した。
2021	6月6日	鹿児島大学での講義「経済政策論I」受講者への紹介	オンライン講義	102名	非公開	鹿児島大学の2年～4年対象講義「経済政策論I」受講者に、パーム産業と日本との関わりと、SATREPSプロジェクトの取り組みについて紹介した。
2021	6月22日	島根県立大学総合政策学部「日本経済論」受講生への紹介	オンライン講義	215名	非公開	島根県立大学総合政策学部の講義「日本経済論」受講者に、日本のエネルギー政策に関して、SATREPSプロジェクトの取り組みについて紹介した。
2021	9月3日	出雲第二中学校への講演での紹介	島根県	215名	非公開	出雲第二中学校3年生に講演した「持続可能な開発目標(SDGs)と森林資源:くらしを見直す」にて、SATREPSプロジェクトの取り組みについて紹介した。
2021	10月31日	筑波大学つくばSKIPアカデミー主催サイエンスカフェ「ラボビジット」講演で紹介	オンライン講義	30名	非公開	つくば市立の小学校及び茨城県立並木中等教育学校の小中学生に「SDGsと私」にてプロジェクト紹介を行った。
2021	11月11日ー13日	アグロイノベーション2021バイオマスエキスポフォーラム 2021	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2021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。
2021	11月26日	アグリイノベーション2021にて「地域活性化の新潮流！豊富な地元バイオマス資源を活用した次世代ビジネスプラン」にて講演	東京	200名	公開	タイトル「東南アジアでの熱帯バイオマス資源の安定調達・利活用技術による地域環境保全と日本型国際貢献」にて本プロジェクトの取り組みを講演した。
2021	2月17日	バイオマス生産と利用:現状とその最適化, 科学技術振興機構 研究開発戦略センター(CRDS)俯瞰ワークショップ「バイオエコノミーに資する基盤技術開発:真のサスティナビリティーを実現す	オンライン	100名	非公開	タイトル「バイオマス利用の現状:パーム林の持続的な徹底利用によるパーム林利用最適化」にて本プロジェクトの取り組みを講演した。

2022	10月11日	アグロイノベーション2022バイオマスエキスポフォーラム 2022	東京	100名	公開	「脱炭素社会に向け、国際農研が進めるバイオマス研究とその社会実装への挑戦」のタイトルで本プロジェクトの取り組みを講演した。
2022	10月29日	森から世界を変えるプラットフォーム主催セミナー（森林の減少・劣化の現状と農業セクターの取組から学ぶ対策）	東京・オンライン	100名	公開	「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」のタイトルで本プロジェクトの取り組みを講演した。

20 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
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。
2021	9月29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	80	第3回JCCをオンラインにて開催し、2021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）日新商事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。
2022	9月21日	2022年度に関する進捗報告、一年延長及び新規メンバーの参画	80	第3回JCCをオンラインにて開催し、2021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、③一年延長申請、④新規メンバーである出光興産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。

4 件

成果目標シート（雛形：適宜変更してご利用ください）

公開資料

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～令和7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ニシアチブ発揮） ・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

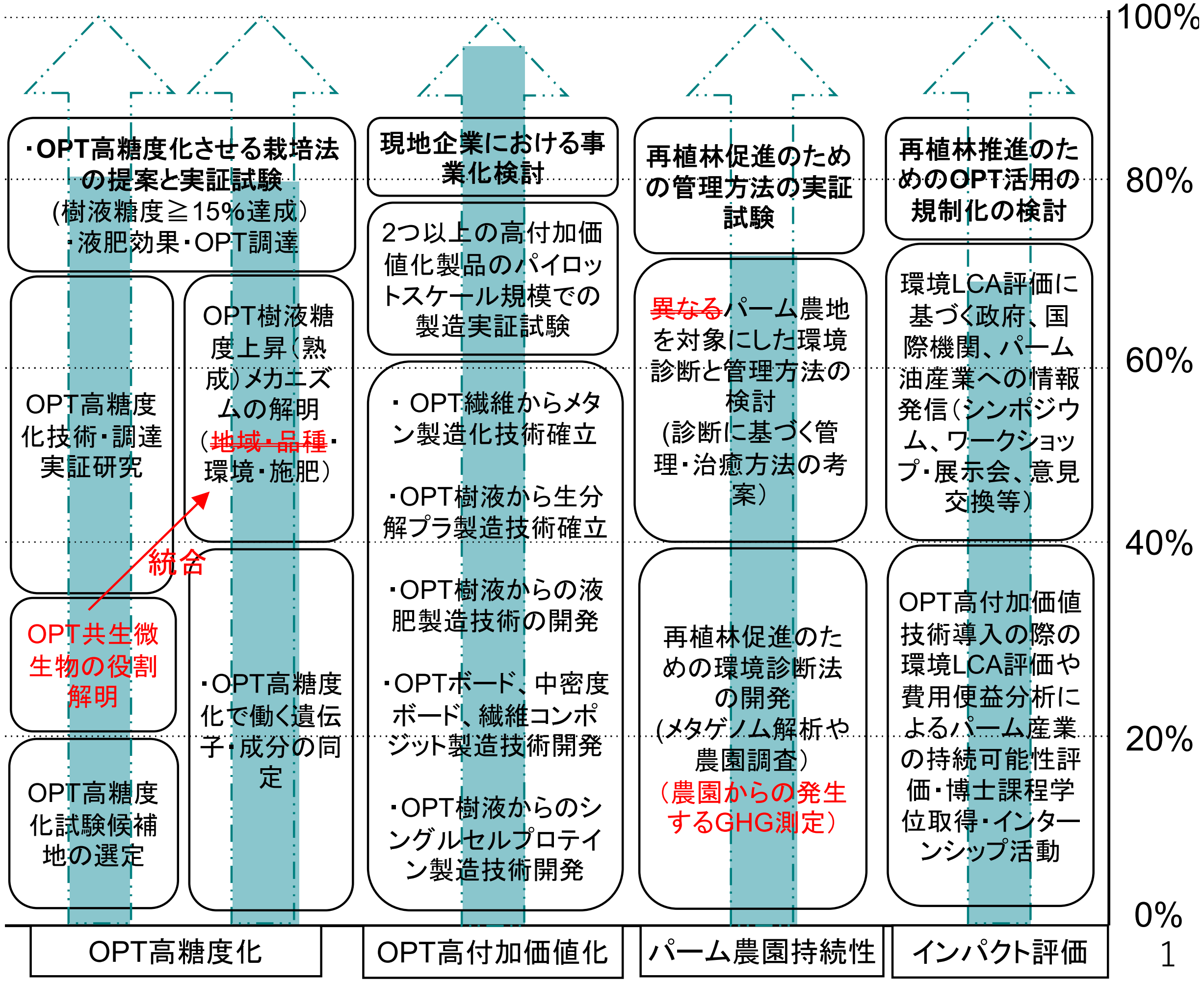
上位目標

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、パーム実収穫量の増加**。

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



Ver.170401