

**地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)**  
**研究課題別終了時評価報告書**

## 1. 研究課題名

生物多様性保全のためのパーム油産業によるグリーン経済の推進(2013年11月～2017年11月)

## 2. 研究代表者

- 2.1. 日本側研究代表者： 白井 義人 (九州工業大学 大学院生命体工学研究科 教授)  
2.2. 相手国側研究代表者： モハメド・アリ・ハッサン (マレーシア プトラ大学 教授)

## 3. 研究概要

本プロジェクトでは、マレーシアにおいて主要な産業であるパーム油産業の余剰バイオマス、余剰エネルギーを活用する新たなグリーン産業のための技術開発を行い、工場のゼロ・ディスチャージ化による環境負荷低減と、新規産業（ナノファイバー、糖、化学品原料などの有用物質、高機能コンポスト、高性能バイオチャー（炭）、等）の創出による経済の振興を目的とする。

巨大な生物多様性を有するサバ州（ケニンガウ）において開発された革新的な知見と実行可能な技術によるビジネスモデルが、潜在的ユーザーによって肯定的に共有され、パーム油産業が持続可能なグリーン産業に変容することが、プロジェクト目標である。

研究題目は以下の4つである。

- (1) 実際のパームオイル工場でのショーケース設備を用いた、エネルギー効率の改善によるゼロ・ディスチャージの実証と余剰バイオマスと余剰エネルギーの確認（「ゼロ・ディスチャージ」の有効性がエネルギー効率の改善を通じて確認され、その結果余剰のバイオマスと余剰エネルギーが生じることが実際のパームオイル工場に設置されたゼロ・ディスチャージの「ショーケース設備」によって示される。）
- (2) 提案されたゼロ・ディスチャージ法と余剰バイオマス、余剰エネルギーを用いる新産業に関するビジネスモデルの関連企業・組織による検討
- (3) サバ州パームオイル製造に伴う環境負荷の低減とパームバイオマス、工場余剰エネルギーの有効利用によるグリーン産業の創出のための革新的科学技術の開発
- (4) サバ州政府、国内外の企業、投資家によるビジネスモデルの妥当性確認と研究結果の広い周知

## 4. 評価結果

総合評価：A+

（所期の計画をやや上回る取り組みが行われ、大きな成果が期待できる。）

余剰バイオマスのエネルギー・マテリアル利活用の促進、および工場のゼロ・ディスチャージ化による環境負荷低減と生物多様性保全によって、パームオイル産業のグリーン化を図るというプロジェクトの目標は非常

に戦略的意義がある。

現地の治安情勢のため予定したパイロット設備の立地決定と活動の立ち上がりが相当遅れたが、研究代表者の精力的・積極的な対応により困難を克服して各種の研究開発を進捗させ、実証実験を実施した。結果として、科学技術への貢献や社会実装につながる大きな成果を上げた。また、持続的な人材育成・組織を構築し、広範囲にわたる研究要素を最終的な成果としてまとめ上げた。このようなプロジェクトを推進した両国の研究者の力量と、研究代表者のリーダーシップは高く評価できる。

現地の治安情勢により研究期間が1年延長され、それに伴いビジネスモデルの検討が進み、アウトリーチ活動により企業からの関心も高まった。要素技術については期間内に2件の事業化が達成されており、成果の社会実装に向けた活動も活発に行われている。成果の展開が今後持続的に発展していく見通しも高い。

ただし、バイオマスエネルギーの利用に関しては、必ずしも革新的技術開発、画期的なビジネスモデルの構築ばかりがなされたとは言えず、今回提示したビジネスプランが実施されるには、継続的な改善が必要と考えられる。また、新たな発想によるパームオイル産業のグリーン産業化が実現するためには、今後も要素技術をビジネスに結びつける発想力のある日本の研究者や企業が貢献できることが重要と考えられる。

以下に、評価項目における特筆すべき内容を列挙する。

#### 4-1. 地球規模課題解決への貢献

##### 【課題の重要性とプロジェクトの成果が課題解決に与える科学的・技術的インパクト】

パームオイル産業からの廃棄バイオマスおよび余剰エネルギーを活用するグリーン産業創出のための技術開発、ゼロ・ディスチャージ化による生物多様性保全、ナノファイバーなどのバイオマスマテリアル利活用による新産業創出など、設定された課題はパームオイル産業の低炭素化と経済価値向上、生物多様性保存というグローバルな課題解決に貢献するものであり、重要性、インパクトともに非常に高いと評価できる。

一方、生物多様性保全については、基礎的なデータ集積によって生物多様性に与える影響を評価する指標を策定する活動が中心で、保全そのものについての効果は定性的評価にとどまり、インパクトとして必ずしも高くなかった。

##### 【国際社会における認知、活用の見通し】

ナノコンポジットなどのマテリアル利用も含めて、多くの研究成果が論文、学会発表、公開シンポジウムの開催等で積極的に発信され、国際的な活用のポテンシャルがある。ただし、パームオイル産業が対象なので、東南アジアが中心にならざるを得ず、地域的広がりには限定的とならざるを得ない。ビジネスモデルの提案も発信しており、今後の社会実装の出発点となりえる点で評価できる。今後、社会実装によって実績を示すと同時に、国際社会に対する発信を今後も積極的に進めることが期待される。

##### 【他国、他地域への波及】

パームオイル工場を低炭素化する一連の技術と考え方は、パームオイル産業を有する全ての国にも有効であり、近隣諸国、特にインドネシアへの波及は十分期待できる。また生物多様性に関する研究成果も、他地域にも適用可能である。波及の可能性は高く、積極的に推進することが期待される。

#### 【国内外の類似研究と比較したレベルや重要度】

ナノコンポジットおよび生物多様性に関して、世界的に高い学術レベルの研究がなされ、注目すべき成果が得られている。また、パームバイオマスを徹底的に効率利用するという視点で技術開発からビジネスモデル開発まで網羅的に取り組んでいる。時間的な制約のためか全体的なとりまとめがやや不十分であったのが残念であるが、全体として類似研究と比較して相当に高い水準に達していると評価される。

### 4-2. 相手国ニーズの充足

#### 【課題の重要性とプロジェクトの成果が相手国ニーズの充足に与えるインパクト】

パームオイル産業はマレーシア、中でもサバ州の経済を支える主要産業であり、環境負荷の低減と余剰・未利用バイオマスの活用のニーズは非常に大きい。従って、本研究の成果でバイオマスをエネルギー・資源として活用することにより環境保全と産業の収益拡大が両立できれば、相手国のニーズの充足に、大きなインパクトを与えると評価できる。

#### 【課題解決、社会実装の見通し】

本研究で開発した一部の要素技術についてすでに事業化がなされている点が高く評価できる。本課題では研究の一環として、グリーン産業振興と生物多様性保全を同時に達成できるビジネスモデルの提示までおこなった。これは意欲的な取り組みとして評価できる。このビジネスモデル提案がマレーシア政府や産業界の関心を引き、課題解決と社会実装に向けて変化をもたらす可能性があるが、多大な設備投資を要することもあり、本格的活動と事業化に結びつくかは今後の活動にかかっていると考えられる。

#### 【継続的発展の見通し（人材育成、組織、機材の整備等）】

九州工業大学（九工大）は、従来からプトラ大学（UPM）と多くの交流があったが、本プロジェクトの実施により、九州大学、サバ大学（UMS）などを含めたより大きなネットワークが形成された。多くの学位取得者も輩出しており、相手国に供与した装置・機材の運用を含め、現地人材の活躍による継続性が見込まれる。また、社会実装に向けた活動も既に開始されているため、継続発展の見通しは極めて高いと評価できる。

#### 【成果を基とした研究・利用活動が持続的に発展していく見込み（政策等への反映、成果物の利用など）】

研究活動を持続的に発展させるための研究基盤が構築され、マレーシア側研究者も多数育成された。ビジネスモデルの提示、コスト・ベネフィット解析を行うソフトの開発、セミナーの開催など活発なアウトリーチ活動を行い、多くの投資家や企業に関心を持ってもらった点も高く評価できる。提案されているビジネスモデルを実現するために、政策への反映のための活動、企業等との一層の連携など、今後の活動に期待する。

### 4-3. 付随的成果

#### 【日本政府、社会、産業への貢献】

本共同研究を通じて構築された人的ネットワークと、ビジネスモデル提案を活用して、マレーシアにおける日本企業のビジネスチャンスを創出する可能性があり、高く評価できる。「SATREPS プロジェクト成果を活用し

た SDGs ビジネス化支援プログラム」において、多くの日本企業及び在マレーシア日系企業から、本課題の成果を活用したいとの応募があったことは、その可能性を如実に示すと考えられる。

#### 【科学技術の発展】

要素技術としては多くの実用性の高い成果が得られ、特にナノコンポジットおよび生物多様性評価法に関する成果は、科学技術の発展へ大いに貢献しうると評価できる。今後、マレーシア側が主体となって生物多様性評価を発展させることが期待できる。

#### 【世界で活躍できる日本人人材の育成（若手、グローバル化対応）】

JICA 専門家として現地に派遣した日本人研究者は准教授以上が中心で、若手日本人の派遣はかならずしも多くなかったが、UPM 内には九工大海外教育研究拠点もあり、学生の交流は活発であった。研究代表者らのリーダーシップと現地に溶け込んでの献身的な活動は、若手研究者らの模範となるものであり、特に現地で活動した者は良い刺激を受けたものと考えられる。また、研究開始までの困難への対応等、事業遂行の苦労を通じ、異文化コミュニケーションスキルの向上を含む日本人人材の育成に貢献したと考えられる。

#### 【知財の獲得、国際標準化、生物資源へのアクセス、データ入手】

国際標準化への取り組みについては多くなかったが、積極的に特許出願（外国含め5件）を行うなど知財獲得につとめた点、生物多様性保全のための細菌群集構造データなど貴重な情報を入手した点など、高く評価できる。

#### 【その他の具体的成果物（提言書、論文、プログラム、試作品、マニュアル、データなど）】

相手国との共著を中心に125篇の論文を発表した点、ビジネスモデルの提示と、その費用便益分析用コンピュータプログラムの開発など、極めて多くの成果物を出したと高く評価できる。

特に、ビジネスプランと費用便益分析を策定したことで、環境負荷が少なく、エネルギーを最大限活用する新しいパームオイル産業と新規事業のイメージを明確化し、ビジネスとして成立するために必要なポイントや要素を明らかにした。今後、企業や行政担当者が、既存事業や既存工場への実現可能な範囲の投資額で効率を改善するヒントとして活用できると期待できる。

#### 【技術および人的ネットワークの構築（相手国を含む）】

研究代表者が現地に長期間滞在したことに加え各大学の支援もあり、よい人的ネットワークが構築された。両国の多くの学生、研究者がプロジェクトに参画して相互に交流し、多くの共著論文等も執筆した。セミナーの開催やモデルプラント見学会などのアウトリーチ活動を通して、研究者以外の広い人的ネットワークを構築した。

### 4-4. プロジェクトの運営

#### 【プロジェクト推進体制の構築（他のプロジェクト、機関などとの連携も含む）】

広範な学術領域に係る研究プロジェクトであるが、参加5機関の間の連携がよく、しっかりした推進体制が

構築された結果それぞれの領域で成果を挙げ、全体としての調整もよく取れている。サバ州政府要人とも面談するなど政府機関とも積極的に良い関係を構築したことは、高く評価できる。以上の結果、プロジェクト推進体制について、非常に優れていると高く評価できる

#### 【プロジェクト管理および状況変化への対処(研究チームの体制・遂行状況や研究代表者のリーダーシップ)】

治安の問題によりプロジェクト開始が遅れたが、それに対する対応が適切で、委託研究期間を1年間延長した以外はほぼ予定通り研究を進め、多岐にわたるテーマと社会実装に向けたビジネスプランまで纏め上げることができた。当初予定していた場所でのパイロットプラントの設置ができなくなったという困難を克服して大きな成果を上げた、研究代表者の強力なリーダーシップは、極めて高く評価できる。

#### 【成果の活用に向けた活動】

ショーケース設備は交通の便の悪い場所に設置せざるを得なかったが、それにもかかわらず興味を持った企業等からの訪問があった。また、ショーケース設備の運転データを取得するとともにエネルギーおよびマテリアルフローや具体的なビジネスモデル等を提示したことは、成果活用に向けた活動に有効であったと高く評価できる。また、成果の展開に向けてUPMのベンチャー支援制度等の活用も行われている。ただし、パームオイル産業を革新するような大規模な事業変革に活用されるかについては、今後の課題として残されている。相手国政府の取り組み、事業変革などに対する効果等について有効であったか否かはまだ評価できる段階にない

#### 【情報発信(論文、講演、シンポジウム、セミナー、マスメディアなど)】

前述の通り、多数の論文、特許などの成果物を出した上、アウトリーチ活動を極めて活発に行った。両国でセミナー、シンポジウムを開催し、専門家だけでなく広く産業界に積極的な情報発信を行ったことは高く評価できる。また、リーダーが現地に長期間滞在し人的ネットワークを構築したことや、工場へのショーケース設備の設置、ビジネスモデルの提示などが、情報発信および連携活動を促進した点でも、非常に高く評価できる。

#### 【人材、機材、予算の活用(効率、効果)】

機材の導入については一部遅れが見られたが、研究期間が1年延長されて遅れを取り戻したこともあり活用された。人材、機材、予算の活用について、概ね優れていると評価できる。

### 5. 今後の研究に向けての要改善点および要望事項

パームオイル産業での未利用バイオマス、余剰エネルギーをうまく利用できるビジネスモデルの検討を、今後も継続してほしい。その場合、周辺にエネルギー需要がないパームオイル工場でどのようにエネルギー(電力あるいは燃料、熱)を商品化するのか、という点に新たなアイデアが必要と考えられる。また、小規模農園の生産性の向上なども重要と思われる。さらに、パームオイルだけでなく、他のバイオマス資源にも適用する波及効果があるような技術開発を行うべきである。

ビジネスモデルの社会実装に向け、企業との一層の連携、政策への反映、事業化への協力支援、成果の見届けなどが重要であると考えられるので、推進してほしい。

そのために、日本側研究機関・研究者の支援・協力体制を確立しておくことを期待したい。また、マレーシア側でかなり人材が育ったと思われるので、より強固な連携活動を期待する。

パームヤシ空果房（EFB : Empty Fruit Bunch）を原料としたセルロースファイバーのマイクロ・ナノコンポジットへの応用は、今後も有望な開発テーマであり、コストの視点を重視しながら社会実装に向けて継続してほしい。

以上

研究課題名	生物多様性保全のためのパームオイル産業によるグリーン経済の推進
研究代表者名 (所属機関)	白井 義人 (国立大学法人九州工業大学)
研究期間	H24採択(平成25年11月21日～平成29年11月20日(国際協力期間))
相手国名 /主要相手国研究機関	マレーシア国/マレーシア・プトラ大学・マレーシアサバ大学

### 上位目標

マレーシアサバ州のパームオイル産業からの廃偽物を削減することにより生物多様性を保全し、その手段であるゼロ・ディスチャージの結果生じる余剰のバイオマスとエネルギーを用いグリーン産業を興す。

本事業で提案、あるいは、触発された技術を、少なくともパームオイル企業2社が事業に採用する。  
 本事業で提案、あるいは、触発された技術を少なくとも企業10社が事業に採用する。  
 政策決定者の間で、本事業成果に基づく政策策定の議論がなされる。

### プロジェクト目標

ケニンカウ工場で示された成果がパームオイル産業のグリーン産業化のため関係者間で共有される

### 付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> <li>日本企業による成果の事業化</li> <li>日本のバイオマス変換技術の利用</li> <li>日本の環境保全技術の移転</li> </ul>
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナノコンポジットに関する革新技術の開発</li> </ul>
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナノ・インターフェースの制御方法</li> <li>バイオマス由来高性能ナノ・コンポジットとその製造方法</li> <li>名古屋議定書等の遵守</li> </ul>
世界で活躍できる日本人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>日本人博士のマレーシアでの研究</li> <li>日本人学生のインターンシップ教育</li> </ul>
技術及び人的ネットワークの構築	該当なし
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナノ・インターフェース制御機序について掲載</li> <li>表面グラフト重合によるナノ・スペースの拡大について掲載</li> <li>ナノコンポジットのレオロジー特性の精密解析について掲載</li> </ul>

少なくとも企業5社が事業モデルを考案し始める。  
 少なくとも企業2社が研究成果の活用を表明。

実機規模のゼロ・ディスチャージ実機のプロセス設計。事業モデルの提案とWSを通じての社会実装示唆

ゼロ・ディスチャージの確認。WS開催と事業モデルの改良。社会実装のためのコーディネート開始

ショーケース工場でのゼロ・ディスチャージの実証開始。バイオマス、エネルギーの余剰確認

ショーケース工場場所の決定と建設開始。事業モデルの試作と事業関係者へのアライン。WS開催

搾油工場工程の確認。余剰バイオマス、エネルギーの確認。WS開催

提案技術、システム、ビジネスモデルに関する論文を50報以上が査読付学術雑誌に掲載される。  
 本事業を通じて、各40人以上の博士、修士がマレーシアから輩出される。

バイオマス由来のナノ・コンポジット性能評価(弾性率対汎用樹脂50Gup)。母材プラと同等以上で20%以上廉価なバイオコンポジットの供給。糖化効率80%以上。CNF製造条件確定。生物多様性に及ぼすゼロ・ディスチャージの影響を評価。

バイオマス由来ナノ・コンポジットの容融成形性の確認(MFI>5)。糖化効率70%以上。CNF製造効率60%以上。生物多様性SS資料の菌叢解析と搾油工場由来化学物質の探索

ナノ・インターフェース制御バイオコンポジットのマスターバッチ作製。肥料・炭の肥効確認と微生物叢の確認。セルロースナノファイバー(CNF)の製造確認。生物多様性SSの試料の解析。

ナノ・スペース内での気相重合によるナノ・インターフェース制御(重合率対バイオマス10%以上)。肥料製造実験と分解・糖化実験の実施。生物多様性サンプリングサイト(SS)の確認

過熱水蒸気処理などに伴うナノ・スペース(<100nm)の形成と制御。肥料・糖・炭製造の確認。生物多様性の評価法の検討



パイロットプラント	事業モデル	社会実装	新技術開発	生物多様性保全
-----------	-------	------	-------	---------

図1 成果目標シートと達成状況 (2018年3月時点)