

国名 マレーシア	微細藻類の大量培養技術の確立による持続可能な熱帯水産資源生産システムの構築プロジェクト
-------------	---

I 案件概要

事業の背景	マレーシアにおいて養殖業は重点産業であり、特にエビ養殖が重要な役割を担っていた。しかし、エビ養殖から発生する有機汚泥は、従来の処理方法では費用対効果が低く、未処理のまま排出されることで、脆弱なマングローブやサンゴ礁の生態系に悪影響を及ぼしていた。研究では、この汚泥は微細藻類の低コストの栄養源となり得ることが示唆されていた。微細藻類の中にはドコサヘキサエン酸（DHA）や多価不飽和脂肪酸（PUFA）のような有用な化合物を生産する種もあるが、従来の培養コストが高いために実用化が妨げられていた。そのため、エビ養殖で生じる有機汚泥の再利用技術の確立と、省エネルギーかつ効率的な微細藻類の大量培養技術の開発により、微細藻類培養のコスト削減を図ると同時に、環境に対するエビ養殖業の負のインパクトを軽減するという、実用的で創造的な問題解決が期待されていた。		
事業の目的	本事業は、マレーシア半島において、高価値微細藻類の単離、有用化合物の増産、汚泥栄養塩を用いた効率的な培養、スケールアップされたフォトバイオリアクター、汚泥からの栄養塩回収といった基盤技術の開発・検証により、養殖池汚泥から回収した栄養塩を用いた、有用藻類を効率的に大量培養する新規の生産システムの構築を図り、もってマレーシアや他の養殖生産国における持続可能な養殖産業に向けた、養殖業者による高価値微細藻類の大量培養の導入に寄与することをめざす。 1. 想定された上位目標：マレーシアや他の熱帯地域の国において、有用藻類生産と統合した持続可能な養殖生産が実践される。 2. プロジェクト目標：養殖有機汚泥から回収した栄養塩を用いて有用藻類を効率的に大量培養する新規の生産システムが構築される。		
実施内容	1. 事業サイト：半島マレーシア 2. 主な活動：微細藻類株の単離とスクリーニング、ゲノムと化合物の分析、最適な成長・培養条件の決定、土壌・汚泥抽出液の調製と評価、小型・大型フォトバイオリアクターの開発、栄養塩回収・利用技術の確立、ライフサイクルアセスメント（LCA）/ライフサイクルコスト（LCC）分析と環境評価の実施 3. 投入実績 日本側 (1) 専門家派遣 26人 (2) 研修員受入 26人 (3) 機材供与 室内藻類培養システム、閉鎖系水平薄型バグリアクター、パイロットスケール高温好気発酵システム、ベンチスケール高温好気発酵装置、液体クロマトグラフィー質量分析計や液体クロマトグラフィー分画システム等を含む実験機材 (4) 現地業務費：事業運営費 相手国側 (1) カウンターパート配置 97人 (2) 施設・機材：執務スペース、JICA が供与した以外の機材 (3) 現地業務費：事業運営費		
事業期間	(事前評価時)2016年3月～2021年3月（60カ月） (実績)2016年3月25日～2022年3月24日（72カ月）	事業金額（日本側のみ）	(事前評価時) 352 百万円、(実績) 369 百万円
相手国実施機関	マレーシア・プトラ大学（UPM）、マレーシア・トレンガヌ大学（UMT）、セラランゴール大学（UNISEL）		
日本側協力機関	創価大学、東京大学、東京工業大学、国立環境研究所		

II 評価結果

【留意点】

・プロジェクト目標の指標は、効果の継続状況として検証するには適していない指標のため、本事後評価では調査しなかった。そのため、本事業の成果の活用・継続状況に焦点を当てて検証した。

1 妥当性/整合性

<妥当性>

【事前評価時のマレーシア政府の開発政策との整合性】

本事業は、事前評価時点におけるマレーシアの開発政策と、整合性が高い。マレーシア政府は「生物多様性国家戦略」（1998年）を策定し、その中で生物多様性機能を活用した新産業の創出を促進する目標を掲げていた。さらに、本事業は、適正養殖規範（GAP）やバイオセキュリティに関する1985年「漁業法」、汚泥管理を規定する1974年「環境水質法」などの主要な法律を遵守するものであった。

【事前評価時のマレーシアにおける開発ニーズとの整合性】

本事業は、事前評価時点におけるマレーシアの開発ニーズと、整合性が高い。上記の「事業の背景」に記述したように、効率的な微細藻類培養のために汚泥を再利用する実用的な方法が求められていた。

¹ SATREPS とは、「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム」（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development）を指す。

【事業計画/アプローチの適切性】

本事業の計画/アプローチは、非常に適切である。本事業は、小規模農家や低所得（B40）コミュニティを含む脆弱なグループのニーズに合わせて開発された、低コストで利用しやすい技術を開発するという点で、介入による便益の公平性を考慮していた。これらの課題解決策は、長期的なレジリエンスを構築し、持続可能な養殖への公平な参加を確保するため、現地での研修やコミュニティ連携を通じて積極的に移転された。

生物資源の国際的な移転に関する過去の事業からの教訓を活かし、本事業はマレーシアと日本の協力機関間の円滑な共同研究を促進するため、遺伝資源の共有システムを構築した。システム構築は、マレーシアで新たに制定された「生物資源へのアクセスと利益配分（ABS）法」の複雑な規定にも適切に対応し、包括的な物質移動合意書（MTA）を締結したこと、さらに、強固なパートナーシップを維持するため、この合意規則を法律の施行以前に採取されたサンプルにも遡及的に適用したことによって達成された。

【評価判断】

以上より、本事業の妥当性は③²と判断される。

<整合性>

【事前評価時における日本の援助方針との整合性】

本事業は、事前評価時点の日本の対マレーシア援助方針と整合している。

日本の「対マレーシア国別援助方針(2012年4月)」は、「先進国入りに向けた均衡のとれた発展の支援」を重点分野として指定していた。さらに、2006年に発効した「日マレーシア経済連携協定（JMEPA）」では、農林水産業が協力分野の一つとして挙げられており、日本はこの分野における人材育成支援を積極的に行っていた。

【JICA他事業・支援との連携/調整】

事前評価時及び事業実施中において、本事業と JICA の他の事業との連携/調整は、明確に計画されていなかった。

【他機関との連携/国際的枠組みとの協調】

事前評価時または事業実施中に計画された、本事業と複数の大学、民間企業、NGO、国連の SDGs のような国際的枠組みとの連携/協調が想定以上に実施され、事後評価時に正の効果が確認された。具体的には、これらの連携は知識の共有と共同での論文発表を促進し、コミュニティへのアウトリーチ活動を推進し、本事業の技術導入に関心を持つ企業を引きつけることで、具体的な官民連携の相乗効果を生み出した³。

【評価判断】

以上より、本事業の整合性は③と判断される。

【妥当性・整合性の評価判断】

以上、本事業の妥当性及び整合性は③と判断される。

2 有効性・インパクト

【プロジェクト目標の事業完了時における達成状況】

事業完了時までに、プロジェクト目標は、おおむね計画どおりに達成された。本事業では、フォトバイオリアクターや栄養塩回収システムなどの主要な要素技術が開発・設置され、これらは UPM のデモンストレーションサイトに構築された最終運用システムに統合された。これらのシステムにより、年間バイオマス生産量（指標 1）と投入エネルギーあたりのバイオマス収率（指標 2）の実績は目標を上回り、藻類生産あたりの汚泥削減量（指標 3）の実績もほぼ計画どおりであった。

【事業効果の事後評価時における継続状況】

事後評価時点で、本事業の効果は、UPM が主導する後継イニシアティブである BLUE-SEED プログラム（2022 年～2026 年）を通じて、継続し、さらに発展している。同プログラムは、農家、産業界、地域コミュニティを巻き込んだ実社会でのパイロットプロジェクトを通して、本事業の研究成果（以下、「COSMOS⁴技術」）の長期的な活用を確保しようとするものである。同プログラムの下で、以下を含むさまざまな取り組みが進行中である。

(1) 研究開発（R&D）及び教育への統合：本事業で UPM、UMT、UNISEL に設置されたデモンストレーションサイトや実験室規模のシステム、機材は、大学院生や博士研究員の研究に積極的に活用されており、アクアポニックスやバイオ肥料の開発といった新たなテーマにも拡大している⁵。これらの継続的な研究は、本事業の広範な論文発表実績を土台として、さらに新たな科学論文の発表へとつながっている。これらの活動は教育的アウトリーチ活動とも統合され、初等・中等教育（K-12）及び高等教育向けの科学・技術・工学・数学（STEM）プログラムに貢献している。

(2) 商業的実証及びパートナーシップ：複数の民間企業が、COSMOS 技術に基づいた製品開発や実地検証に取り組んでいる⁶。また、UPM は学内のプトラ・サイエンス・パークを通じてベンチャー支援の仕組みを構築し、知的財産（IP）の管理や COSMOS 技術に基づくスピノフ企業の設立を促進している。

(3) コミュニティ及び政府との連携：COSMOS 技術は、特に B40 コミュニティを支援するため、Kg Begia など選定された養殖村で実証されている。農家や政府機関を含むステークホルダーとの連携は継続しており、本事業の目標が適正養殖規範（BAP）やマレーシア養殖場認証制度（SPLAM）といった国家政策や持続可能性の枠組みとの整合性を確保している。

【想定された上位目標の事後評価時における達成状況】

事後評価時点までに、上位目標は、計画を超えて達成された。養殖汚泥から回収した栄養塩を用いて生産された有用物質の種類（指標 1）は、目標値を上回った。養殖業者への大量培養技術の導入（指標 2）は、二つの養殖業者でシステムが導入され、他の 4 社が導入に向けた取り組み（計画、試験、パイロット導入など）を開始しており、計画どおりに達成された。その

² ④：「非常に高い」、③：「高い」、②：「やや低い」、①：「低い」

³ 例：事業期間中に厦門大学（中国）との連携が構築されたが、これは本事業で育成した大学院生がきっかけとなって始まったものである。この計画外の連携は、国際的な知識共有のための新たな窓口の創設という相乗効果を生み、本事業の学術的ネットワークを拡大するなど、当初の想定を上回る成果をもたらした。

⁴ COSMOS：本事業の英文略称（Continuous Operation System for Microalgae Production Optimized for Sustainable Tropical Aquaculture）。

⁵ また、デモンストレーションサイトは、Hellas Sdn. Bhd. 社のような民間パートナーからの多大な機材寄贈によって、さらに拡充されている。

⁶ 連携している民間パートナーには、YHL Aquatics、Quantum EcoFarm、Green Lagoon、MarketBoy、PETRONAS、World New Energy Centre Sdn. Bhd. 社、Next Generation Oil Sdn. Bhd. 社などが含まれる。

他多くの民間養殖業者からも、同技術への強い関心が寄せられている。商業規模での導入には、現場ごとの技術的なカスタマイズの必要性、養殖業者の初期投資の障壁、生産物の規制認証が未了であることなどの課題があるが、後継の BLUE-SEED プログラム（商業化可能なモデルの開発と産業界との連携強化を重視）を通じて積極的に対応がなされている。

【事後評価時に確認されたその他のインパクト】

(1) 環境：本事業による自然環境への負の影響は観察されなかった。むしろ、本事業の中核技術は、養殖汚泥による環境汚染を軽減するために特に設計されたものであった。これは、排出を制御するための閉鎖系リアクターシステム、汚染を防止するための浸出水ろ過システム、デモンストレーションサイトでの定期的な水質モニタリングなど、事業設計に積極的に組み込まれた環境保護策によって実現した。

(2) 公平性と社会的インパクト：本事業は、B40 グループを含む脆弱な農村コミュニティに代替的な生計機会と技術訓練を提供することで、社会的な公平性とエンパワーメントに正の影響を与えた。負の社会的インパクトは報告されていない。

(3) ジェンダー：本事業は、女性研究者が積極的なリーダーシップの役割を果たし、地域コミュニティの女性や女子学生が研修や教育プログラムに積極的に参加したため、ジェンダー平等の観点から正の影響があった。

(4) 研究者の能力向上：事業実施期間中、研究者の能力向上活動により、102 報の研究論文と 130 件の学会発表がなされた。人材育成の面では、合計で博士課程 18 人、修士課程 14 人が、本事業関連の研究を通じて学位を取得した。事業の正式な完了後もこれらの活動は継続され、少なくとも 13 報の新規関連論文と 4 件の学会発表につながっている。また、協力大学である UMT と UNISEL の大学ランキング向上にも貢献した。

(5) 科学リテラシー：本事業は、ワークショップや協議を通じて、複数の関連政府機関⁷の持続可能な養殖技術に関する科学リテラシーを向上させた。

(6) 生態系：本事業は、汚泥からアンモニアなどの栄養塩を回収し、微細藻類の培養に再利用するシステムを実証することで、水質汚染リスクの低減に貢献している。この資源循環プロセスは、生態系保全に向けた具体的な進展を示している。

【評価判断】

以上より、本事業の有効性・インパクトは④と判断される。

プロジェクト目標及び上位目標の達成度

目標	指標	実績	情報源
プロジェクト目標 養殖有機汚泥から回収した栄養塩を用いて有用藻類を効率的に大量培養する新規の生産システムが構築される。	(指標 1) 藻類バイオマス生産が年間 1 トン/1ヘクタール以上(の効率) で達成される。	達成状況 (継続状況) : 計画を超えて達成 (継続し、発展) (事業完了時) 閉鎖系水平薄型バグリアクターを用いて、1日あたり 3.2g/m ² 、年間 11.68 トン/ha に相当する藻類バイオマスの安定した生産速度を達成。 (事後評価時) COSMOS 技術の研究開発と商業的実証は、主に BLUE-SEED プログラムの下で進行中。	事業完了報告書、JST 終了報告書、実施機関回答
	(指標 2) 2 種類の現地有用藻類について、従来の培養技術 (Raceway) と比較して、投入エネルギー1ギガジュール当たりのバイオマス収率が 2 倍以上となる。	達成状況 (継続状況) : 計画を超えて達成 (継続し、発展) (事業完了時) 屋外大型藻類培養装置を用いて、在来藻類 2 種 (クロレラとスピルリナ) において 2.60t/GJ のバイオマス収量を達成。これは、従来のレースウェイ式のリアクターのバイオマス収量と比較して約 20 倍 に相当する。 (事後評価時) COSMOS 技術の研究開発と商業的実証は、主に BLUE-SEED プログラムの下で進行中。	同上
	(指標 3) 藻類バイオマス生産量 10 キロにつき、1 トン以上の養殖有機汚泥が減少する。	達成状況 (継続状況) : おおむね計画どおり達成 (継続し、発展) (事業完了時) デモンストレーションサイトにおける統合システムの最終運転試験に基づく解析の結果、乾燥重量で 11.8kg の藻類バイオマス生産につき 1 トンの養殖池汚泥が削減されることが示された。 (事後評価時) COSMOS 技術の研究開発と商業的実証は、主に BLUE-SEED プログラムの下で進行中。	同上
想定された上位目標 マレーシアや他の熱帯地域の国において、有用藻類生産と統合した持続可能な養殖生産が実践される。	(指標 1) 養殖有機汚泥から回収した栄養塩を用いて培養した藻類から、2 種類以上の有用物質が生産される。	達成状況 : 計画を超えて達成 (事後評価時) 少なくとも 4 種類 の有用物質が生産された。 ・事業完了までに、養殖汚泥から回収した栄養塩で培養した微細藻類から、抗酸化物質やエイコサペンタエン酸 (EPA)、DHA などの PUFA を含む有用物質が特定された。 ・事業完了後には、カロテノイドの一種であるフコキサンチンや、α-リノレン酸 (ALA) などの他の PUFA も、汚泥由来の培地を用いて生産されている。これらの化合物の検証と商業的評価は BLUE-SEED プログラムの下で進行中。	実施機関回答
	(指標 2) マレーシアや他の熱帯地域の国において、3 社以上の養殖業者が藻類培養技術を導	達成状況 : 計画どおり達成 (事後評価時) 大量培養技術は、UPM のデモンストレーションファームと、ケダ州の協力民間エビ養殖場という、マレーシアの二つの 養殖場 で導入されている。	同上

⁷ マレーシア水産局 (DOF)、高等教育省 (MOHE)、地方自治体、コミュニティ開発ユニットなど。また間接的には、環境・水省 (KASA) も含まれる。

	入する。	他の四つのマレーシア民間企業が導入に向けた取り組み（計画、試験、パイロット導入など）を開始している。
--	------	--

3 効率性

事業費及び事業期間は複合的な要因により、やや計画を上回った（計画比：それぞれ 105%、120%）。事業費に関しては、新型コロナウイルス（COVID-19）パンデミックのような予期せぬ出来事により、すべての研究活動が停止したが、実施機関は事業実施期間中、大学院生への学費・研究費の支払いを継続し、計画外の予算総額の増加につながった。また、パンデミック後は、大半の化学薬品の輸送費が大幅に上昇し、これもまた予期せぬ予算増加につながった。事業期間に関しては、洪水被害によるデモンストレーションサイト建設の6カ月の遅延と、その後のパンデミックによる中断に対応するため、協力期間が1年延長された。

もっとも、本事業では、戦略的な取り組みにより資源を効率的に活用したことも確認された。これには、両国からの質の高い学際的な専門知識の投入、マレーシアの協力機関からの多大な現物・資金的支援の確保、30人以上の学生やインターンを研究ワークフローに組み込んだことなどが含まれ、運営コスト削減と人材育成支援の両方を達成した。これらの取り組みが総合的に、本事業による費用対効果の高い成果達成を可能にし、後継のBLUE-SEEDプログラムによる多額の外部助成金獲得につながるなど、将来の資源動員の基盤を築いた。

	事業金額（日本側の支出のみ、円）	事業期間（月）
計画（事前評価時）	352百万円	60カ月
実績	369百万円	72カ月
割合（%）	105%	120%

アウトプットは計画どおり産出された。

以上より、効率性は③と判断される。

4 持続性

【政策面】

本事業とその成果を引き継いだBLUE-SEEDプログラムの研究成果は、マレーシアの主要な国家政策と強く連携している。これらには、「国家食料農業政策2.0」（NAP 2.0、2021年～2030年）、「第12次マレーシア計画」（12MP、2021年～2025年）、「国家科学技術イノベーション政策」（NPSTI、2021年～2030年）「国家バイオテクノロジー政策2.0」（NBP 2.0、2022年～2030年）などがある。これらの政策は、持続可能な水産養殖、循環型バイオエコノミー、バイオテクノロジーイノベーションを推進しており、すべて本事業の成果に直接関連している。

将来的にも、COSMOS技術が国家プログラムに統合される明確な可能性がある。例えば、NAP 2.0が推進する持続可能な飼料源や水産養殖の近代化は、技術導入への直接的な道筋を提供するものである。また、本事業が12MPのバイオエコノミーやグリーンテクノロジー重視の方針と整合していることも、その妥当性をさらに強固にしている。

政府機関との対話や協力も継続中である。水産局（DOF）は、COSMOS技術（堆肥化、栄養塩回収など）を「水産養殖産業の環境持続性ロードマップ」（2023年からの継続的取り組み）や最良管理慣行のために活用することを検討している。農業食糧安全保障省（MAFS）や高等教育省（MOHE）などの省庁も、BLUE-SEEDプログラムのような事業後のプログラムを通じて事業チームと連携を続けている。大学レベルでは、UPMのプトラ・サイエンス・パークが政府との連携や政策連携を促進し、システムレベルでの技術導入を強化している。

【制度・体制面】

本事業は、事業後も継続的に機能する、強固で協力的な組織体制を構築した。この体制には、マレーシアの研究機関3機関、日本の大学、そしてさまざまな政府・民間セクターのパートナーが含まれている。

UPMは、進行中の研究開発と実証の国内拠点としての役割を担っている。その役割の基盤となっているのがCOSMOSデモンストレーションサイトで、同サイトは、研究、研修、ステークホルダー連携のためのプラットフォームとして完全に機能している。また、同校の持続性は、知的財産の管理、商業化、産業連携を行うプトラ・サイエンス・パークのような内部組織によってさらに強化されている。他の協力大学もそれぞれの役割を継続的に維持している。UMTは継続的な汚泥管理と堆肥化研究に関与し、UNISELは藻類製品開発と汚泥の価値向上に焦点を当てている。

このような協力の枠組み全体がBLUE-SEEDプログラムを通じて維持・推進されている。同プログラムは、研究者、産業界、政府を結びつけ、継続的な資金的・人的資源の支援を担う、主要な事業後イニシアティブとなっている。もっとも、協力は活発であるものの、事業成果の正式な政府主導プログラムへの完全な取り込みはいまだ進行中であり、さらなる調整が必要である。

【技術面】

本事業は、対象機関全体の技術・研究能力を大幅に強化した。「有効性・インパクト」の項で詳述したように、これは多数の大学院生の学位取得と広範な論文発表記録によって裏付けられており、事業完了後も新たな研究論文が生み出されている。本事業に関与した研究者は、微細藻類バイオテクノロジー、フォトバイオリクター設計、栄養塩再利用において高い能力を発揮した。この技術的ノウハウは、UPMのデモンストレーションサイトで積極的に活用されており、研究者や訓練を受けたスタッフが、高度な設備や施設を自立的に操作・維持している。さらに、DOF、MOHE、MAFSを含む政府当局の科学リテラシーは、説明会やワークショップへの参加を通じて向上した。

【財務面】

研究活動の継続と施設の維持に必要な財源は、多角的な資金調達戦略により大部分が確保されており、本事業の財務持続性を高めている。

後継のBLUE-SEEDプログラムが継続的な研究資金の主要な担い手であり、これに大学内部の研究開発配分、外部の共同研究助成金⁸、民間セクターのパートナーからの拠出金が組み合わせられている。施設・設備の運営・維持管理（O&M）も、大学内部の維持管理予算、民間パートナーとの費用分担協定、商業的な研修やコンサルティングサービスからの収入など、複数のメ

⁸ これらには、科学技術イノベーション省（MOSTI）、高等教育省（KPT）、マレーシア研究パートナーシップ・アライアンス（MyPAIR）プログラムなどの国内機関、並びにカナダ国際開発研究センター（IDRC）のような国際機関からの助成金が含まれる。

カニズムを通じて維持されている。

COSMOS の成果に対する政府の専門的な資金提供はまだ正式化されていないが、DOF や MAFS などの政府機関は、NAP 2.0 などの既存の政策手段を通じた予算支援を検討している。官民パートナーシップの可能性や商業化への道筋があり、将来のさらなる資金源の見通しを高めている。

【環境・社会面】

「有効性・インパクト」の項で詳述したように、重大な負の環境的または社会的影響は観察されておらず、これは本事業の設計が当初から環境保護策と社会的配慮を積極的に統合していたことによる。事業完了後も、積極的なモニタリングや包括的なステークホルダー連携などのリスク管理が後継のBLUE-SEEDプログラムを通じて継続して実施されており、長期的な持続性につながっている。

【評価判断】

以上より、政策面、制度・体制面、技術面、財務面、環境・社会面いずれも問題なく、本事業によって発現した効果の持続性は④と判断される。

5 総合評価

本事業は、有用藻類を効率的に大量培養する新規の生産システム構築というプロジェクト目標をおおむね計画どおりに達成し、技術の養殖業者による導入についての上位目標を、計画を超えて達成した。事業では、栄養塩回収とフォトバイオリアクターを組み合わせた統合システムがデモンストレーションサイトに成功裏に構築され、バイオマス生産とエネルギー効率に関する主要な性能指標は目標値を上回った。養殖業者による技術導入は、本事業の公式な出口戦略として策定された後継のBLUE-SEEDプログラムの下で、関連研究の継続的な発展、商業的実証、ステークホルダーとの連携によって進展している。

以上より、総合的に判断すると、本事業の評価は非常に高いといえる。

III ノンスコア項目

適応・貢献：

JICA 本部及びマレーシア事務所の職員は、事業監理においてそれぞれの役割を果たした。JICA 本部は事業の方向性に関する監督を行い、マレーシア事務所は現地の調整と事務面での支援を担当した。例えば、デモンストレーションサイトが洪水で被害を受けた際、マレーシア事務所は必要資材の一部を調達支援し、定期的な現場訪問とフォローアップの連絡を通じて密接な連絡を保ち、COVID-19 期間中であっても問題が迅速に対処されるようにした。

事業実施中に本事業と他の JICA 事業との連携/調整はなかったが、JICA がマレーシア側関係機関との間で、技術レベル及び政策レベルの情報共有と調整を広く支援したことが、本事業の組織的なネットワークと技術的能力を強化し、最終的に本事業が策定した出口戦略に基づき、事業後の「BLUE-SEED プログラム」を通じて、事業成果の拡張可能で持続的な継続につながった。

協力関係にある日本の大学から派遣された JICA 専門家は、それぞれの分野で技術指導と監督を行った。その活動には、フォトバイオリアクターなどの技術設計の指導、現地研究者への技術移転のためのワークショップの実施、事業成果を普及させるための科学論文の共同執筆などが含まれた。

付加価値・創造価値

本事業では、環境工学と循環型バイオエコノミーアプローチを融合させたイノベーションモデルを確立することにより、創造的な価値が提供され、JICA はこれに貢献した。主要な技術革新の一つは、複数の閉鎖系水平薄型バグリアクターを統合して作られた、最終的な屋外大型藻類培養装置の開発であった。このシステムは、低コスト、省エネルギー、拡張可能であり、設置に特別な工事を必要としない、社会実装を念頭に設計されたものである。加えて、本事業の公式な終了報告書によると、本事業は二つの分野で世界初の成果を達成した。一つは、養殖汚泥からのクリーンなアンモニアガスの回収に成功したことで、もう一つは、土壌抽出液の特定の画分が藻類の成長を促進することを実験的に示したことである。これらの技術的成果は、JICA による複数機関の協力促進と長期的な能力開発と相まって、後継の BLUE-SEED プログラムの基盤を築いた。

IV 提言・教訓

実施機関への提言：

養殖業者による大量培養技術のより広範な導入を促進し、上位目標の完全な達成を確実にするため、実施機関は、既に BLUE-SEED プログラムの下で実施されている以下の主要な活動を着実に進めることが推奨される。

- 大学の技術移転部門と連携し、商業化ロードマップの策定と実行を継続すること。これには、ライセンス戦略の最終決定や、技術導入を加速させるための確立された産業界とのパートナーシップの活用が含まれる。
- 商業的な養殖業者から地域コミュニティまでのエンドユーザーとの連携をさらに強化すること。既に行われたステークホルダーとの連携に基づき、長期的な導入を確実にするための継続的なニーズ評価を含むべきである。

JICA への教訓：

- ・ 本事業では、政策や産業界のステークホルダーとの連携が本格化したのは後期の段階であった。これは、当初の事業の構造が、実験室での検証と学術的な発表を重視し、初期段階ではステークホルダー主導の設計に焦点を当てていなかったためである。事業後半では、現地養殖業者の意見も取り入れて低コストで導入しやすい技術の開発に成功し、結果的に事業完了後の技術の発展・普及が実現しているが、ステークホルダーの観点をより早く取り入れていれば、商業化への道筋をより確実にすることができたと思われる。この経験に基づき、将来の SATREPS や研究開発事業では、事業後の円滑な技術導入と発展を確保するために、商業・政策関係者を最初から関与させることが推奨される。
- ・ 本事業では、商業化に関する議論や知的財産ライセンス活動が始まったのは事業の最終年度であったため、産業への完全な移行にはほとんど時間が残されていなかった。これは、事業の科学的研究目標と、市場への応用に必要な実施インフラとの間にギャップがあったことに起因する。対策として、商業的可能性のある将来の事業は、商業化に向けた技術の完成度を向上させるために、事業の中間段階までに、製品の認証・認定や知財戦略を含む明確な商業化ロードマップを策定すべきである。
- ・ 本事業では、運営・維持管理予算を含む事業完了後の継続メカニズムが事業の終盤に正式化されたため、持続性に関して

一時的な不確実性が生じた。その背景には、包括的な持続性の枠組みが、事業の初期段階から中核的な構成要素として十分に確立されていなかったことがある。したがって、将来の事業では、事業完了後段階への円滑な移行を確保するために、明確な運営・維持管理予算を含む持続性計画を、最終年度となる前に策定し、合意することが推奨される。



UPM デモンストレーションサイトの屋外大型藻類培養装置
(複数の閉鎖系水平薄型バッグリアクターを統合)
(出所：UPM 提供写真)



UPM デモンストレーションサイトのパイロットスケール
高温好気発酵システム (出所：UPM 提供写真)