

2020 年度案件別外部事後評価：
SATREPS パッケージ 1
(ボツワナ、タイ、インドネシア)

令和 5 年 1 月
(2023 年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

委託先
OPMAC 株式会社
一般財団法人国際開発機構

評価
JR
22-59

本評価結果の位置づけ

本報告書は、より客観性のある立場で評価を実施するために、外部評価者に委託した結果を取り纏めたものです。本報告書に示されているさまざまな見解・提言等は必ずしも国際協力機構の統一的な公式見解ではありません。

また、本報告書を国際協力機構のウェブサイトに掲載するにあたり、体裁面の微修正等を行うことがあります。

なお、外部評価者とJICAあるいは相手国政府側の事業実施主体等の見解が異なる部分に関しては、JICAあるいは相手国政府側の事業実施主体等のコメントとして評価結果の最後に記載することがあります。

本報告書に記載されている内容は、国際協力機構の許可なく、転載できません。

※本事後評価にかかる分析は2021年度に開始されたことから、次頁以降の各報告書のタイトルは「2021年度 外部事後評価報告書」と記載されています。

ボツワナ

2021年度 外部事後評価報告書

技術協力プロジェクト「ボツワナ乾燥冷害地域におけるヤトロファ・バイオエネルギー生産のシステム開発」

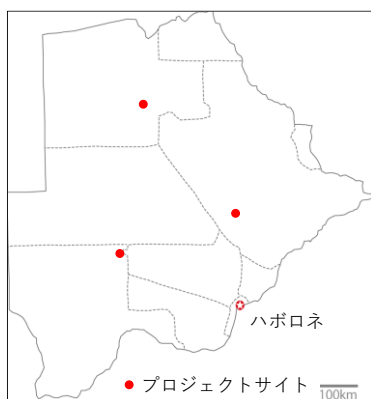
外部評価者：OPMAC株式会社 宮崎慶司

0. 要旨

本事業は、①ボツワナの気候に適したヤトロファの栽培体系の確立、②高収量・ストレス耐性ヤトロファ品種の開発技術基盤の構築、③ヤトロファの油脂分析と利用法の開発、④ヤトロファ非油脂バイオマスの利用技術の開発、⑤ヤトロファ生産とバイオマス利用のインパクトの環境・社会・経済面からの評価などの5つの領域で研究を行い、ボツワナでのヤトロファ・バイオディーゼルの商業生産に向けた技術的知見と経験の蓄積を目的としたものである。これはボツワナの開発政策、開発ニーズ、および日本の援助政策に合致しており、事業の妥当性は高い。5つの領域すべてにおいて、計画に沿って研究成果があげられ、プロジェクト目標はおおむね達成された。上位目標として設定した社会実装への取組については、7つのうち3つが実施済みあるいは実施中、4つが未実施であった。本事業はボツワナ側実施機関の研究能力の向上に一定の貢献が認められ、機材の活用・維持管理状況はおおむね問題がなかった。自然環境へのマイナスのインパクト、用地取得・住民移転も認められなかった。よって、本事業の実施により一定の効果発現がみられ、有効性・インパクトは中程度である。事業費、事業期間ともに計画内に収まり、効率性は高い。持続性については、政策・政治的関与、制度・体制、技術、財務、いずれも問題なく、高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

1. 事業の概要



事業位置図



実験圃場で栽培されたヤトロファ

1.1 事業の背景

ボツワナは1966年の独立以来、順調に経済発展を遂げてきたが、経済はダイヤモンド採掘などの鉱業に偏重し、石油を含む国内消費物は輸入に大きく依存していた。他方、ボツワナ

は気象条件が厳しく農業の採算性が低いため、未利用地が多く残されていた。こうした中、ボツワナ政府はエネルギー自給率を向上し、気候変動の緩和とエネルギーの持続的利用を推進する観点から、バイオ燃料の国内生産に乗り出す方針を固め、第 10 次国家開発計画（2009 年～2016 年）にて、再生可能エネルギーの開拓・利用に積極的に取り組む方針を明確にしていた。また、ボツワナ政府は、2030 年までに全エネルギー消費に占める再生可能エネルギー起源のエネルギー消費を 30%まで引き上げることを検討しており、それに関連して、ヤトロファによるバイオディーゼルの生産が有望視されていた。しかし、ヤトロファ・バイオディーゼルの商業生産を実現するためには、少雨と干ばつに適応した品種の開発、栽培体系の確立、毒性の評価など、多くの課題を克服する必要があった。他方、ボツワナにおけるヤトロファ研究分野の研究経験は極めて乏しく、同研究分野において世界でも先駆的な日本との共同研究の実施が求められていた。

1.2 事業の概要

上位目標	設定なし	
プロジェクト目標	ボツワナにおけるヤトロファ・バイオディーゼルの商業生産に向けた技術的知見と経験が蓄積される。	
成果	成果 1	ボツワナの気候に適したヤトロファの栽培体系 ¹ が確立される。
	成果 2	高収量・ストレス耐性ヤトロファ品種を開発するための技術基盤 ² が構築される。
	成果 3	ヤトロファオイルの特性が明らかになる。
	成果 4	ヤトロファ非油脂バイオマスを利用するための技術が開発される。
	成果 5	ヤトロファ生産とバイオマス利用のインパクトが環境・社会・経済面から評価される。
日本側の事業費	288 百万円	
事業期間	2012 年 4 月～2017 年 4 月	
事業対象地域	セベレ（ハボロネ）、カン、セロウェ、マウン	
実施機関	鉱物資源・グリーンテクノロジー・エネルギー安全保障省 (Ministry of Mineral Resources, Green Technology and Energy Security: MMGE、以下「MMGE」という) エネルギー局、農務省農業研究局、ボツワナ大学	
その他相手国協力機関など	なし	
わが国協力機関	鳥取大学、琉球大学、理化学研究所	

¹ 冬期の乾燥や冷害を克服するための剪定樹形管理、防風対策、水管理、施肥の時期など。

² 品種開発に効率的に取り組むための手法の確立であり、本事業で新品種の開発まで至ることは想定していない。

関連事業	技術協力「モザンビークにおけるジャトロファバイオ燃料の持続的 生産」(2011年7月～2016年6月)
------	--

1.3 終了時評価の概要

1.3.1 終了時評価時のプロジェクト目標達成見込み

プロジェクト目標は部分的に達成見込みとされた。ヤトロファ・バイオディーゼルに関する学术论文が既に4本掲載済みで、3本が各学術誌にてレビュー中、4本がドラフト段階であった。また、ヤトロファの栽培手法、遺伝子組み換えヤトロファの開発、非油脂バイオマスの利用等に係る技術的知見およびプロトコルの原稿が作成された。一方、事業期間中にヤトロファに関連した修士・博士号を取得できた研究者は1名に留まった。

1.3.2 終了時評価時の上位目標達成見込み（他のインパクト含む）

本事業では、上位目標は設定されていなかった。

1.3.3 終了時評価時の提言内容

以下の事項が提言された。

- (1) 社会実装に向けたロードマップの策定
- (2) 国家エネルギー政策への貢献
- (3) 遺伝子関係の規則の整備
- (4) 施設・機材の持続的な活用

2. 調査の概要

2.1 外部評価者

宮崎慶司（OPMAC 株式会社）

2.2 調査期間

今回の事後評価にあたっては、以下のとおり調査を実施した。

調査期間：2021年7月～2023年1月

現地調査：2021年11月1日～11月14日

2.3 評価の制約

本事業は、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: SATREPS³、以下「SATREPS」という) であり、SATREPS

³ SATREPS は、外務省と文部科学省の支援のもと、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）、国立研究開発法人日本医療研究開発機構（AMED）と JICA が連携して実施し、日本の優れた科学技術と ODA との連携によって、開発途上国との科学技術協力、科学技術外交を推進するプログラム。環境、カーボンニュートラル、生物資源、防災および感染症といった地球規模課題の解決に向け、課題の解決につながる新たな知見・技術の獲得やイノベーションの創出、さらには開発途上国の自立的な研究開発能力の向上と課

案件の事後評価は、通常、内部評価として実施している。JICA 評価部は、外部事後評価として実施することで国内関係者へのインタビュー等の評価調査過程で有用な教訓が得られると判断し、本事業は外部事後評価として実施することとした。ただし、評価新基準の導入時期の関係で、本事後評価では旧評価基準（評価 5 項目）に基づき評価を行った。

3. 評価結果（レーティング：A⁴）

3.1 妥当性（レーティング：③⁵）

3.1.1 開発政策との整合性

事前評価時、「第 10 次国家開発計画」（2009 年～2016 年）では、知識社会の構築、鉱業依存の脱却・産業の多角化促進、公共サービスの向上、民間セクターの成長促進、情報通信・研究、人的資源開発、公共安全・治安対策、インフラ整備および保全、サービス産業への投資などが重点項目と掲げられていた。そのなかで、エネルギー自給率を向上し、気候変動の緩和とエネルギーの持続的利用を推進する観点から、再生可能エネルギーの開拓・利用に積極的に取り組む方針が示されていた。また、策定中の国家エネルギー政策に、2030 年までに全エネルギー消費に占める再生可能エネルギー起源のエネルギー消費を 30% まで引き上げる目標を盛り込むことが検討されており、それに関連して、ヤトロファによるバイオディーゼルの生産が有望視されていた。

事後評価時、2036 年までの長期開発戦略を示した「VISION 2036」に基づき策定された「第 11 次国家開発計画」（2017 年～2023 年）では、産業多角化の推進、人材育成、社会開発、天然資源の持続的な利用、効率的な管理と評価システムの実施等が優先分野として掲げられている。それには、ヤトロファ利用を含む再生可能エネルギーの開発も含まれる。また、ボツワナ国家エネルギー政策（2020 年～2040 年）では、2010 年に比べて 2030 年までに 15%、2036 年までに 36% の二酸化炭素排出量の削減が目標として掲げられ、そのなかで、バイオ燃料資源としてのヤトロファの有望性が言及されている。

3.1.2 開発ニーズとの整合性

事前評価時、ボツワナは気象条件が厳しく農業の採算性が低いため、未利用地が多く残されており、未利用地を活用した、ヤトロファによるバイオディーゼルの生産が有望視されていた⁶。しかし、ヤトロファ・バイオディーゼルを商業生産するには、少雨と干ばつに適応した品種の開発、栽培体系の確立、毒性の評価など、多くの課題を克服する必要があった。MMGE エネルギー局は、2010 年に日本のヤトロファ研究者の協力を得て、ヤトロファ・バイオディーゼル生産に向けた課題を特定した結果、ボツワナの乾燥・冷害環境に適した品種の選抜、育種と栽培方法の確立を最優先課題として取り組むべき

題解決に資する持続的活動体制の構築を図ることを目的とする。

⁴ A：「非常に高い」、B：「高い」、C：「一部課題がある」、D：「低い」

⁵ ③：「高い」、②：「中程度」、①：「低い」

⁶ ヤトロファは食用に向かないため、食物と利用可能なトウモロコシなどのバイオエタノールの原料と競合することなく、純粋にエネルギーとしてバイオディーゼルの抽出できるという利点もある。

であることが明らかになった。一方、農務省農業研究局およびボツワナ大学には関係分野の知識を持った研究者が在籍し、研究施設もある程度整っていたが、この分野の研究経験は極めて乏しく、ヤトロファ・バイオディーゼルの商業生産を将来的に可能とするためには、ヤトロファ研究分野において世界でも先駆的な日本との共同研究の実施が求められていた。

事後評価時、MMGE エネルギー局は、本事業を通じて、ボツワナの気候条件下に耐える遺伝子組み換え種の開発および栽培方法などで一定の成果は認められたものの、本格的なヤトロファ栽培を展開するには、継続的な栽培方法研究およびゲノム育種研究と関連分野の国内法整備など解決すべき課題も残るとの認識から、ヤトロファ以外のバイオマス⁷の活用によるバイオディーゼルの開発へと方針を転換した。それを受けて、MMGE エネルギー局、農業省農業研究局、ボツワナ大学は、ボツワナ国内で入手可能な様々なバイオマスを活用した「バイオ燃料生産拡大のための研究プロジェクト⁸」(2018年4月～2023年3月)実施のための覚書に署名した。この研究プロジェクトは、本事業の研究成果に基づきバイオディーゼルの開発を継続・発展させることを目的としているが、一方で、ヤトロファ・バイオディーゼルの開発に限定されず、ボツワナに自生する資源作物や獣脂、廃食用油などの廃棄物系バイオマスを活用したバイオディーゼルの開発へと研究対象範囲を広げている。同プロジェクトは、ボツワナ政府の自己資金にて行われるもので、予算規模は4年間で約14.2百万プラ(約1.42億円⁹)であり、農業研究局およびボツワナ大学の研究費、出張費(バイオディーゼルの原材料の採取のための旅費など)などに充てられる予定である。

他方、日本側研究者、農業研究局、ボツワナ大学などは、バイオ燃料資源としてのヤトロファの有用性およびポテンシャルに引き続き注目しており、農業研究局は、ボツワナの気候条件に適合したヤトロファ栽培法の開発、品種改良の研究などを継続して進める意欲を示している。

3.1.3 日本の援助政策との整合性

事前評価時の我が国の対ボツワナ ODA 政策では、「経済成長のための基盤整備」、「貧困地域の開発促進」を援助重点分野と定め、資源依存型の経済産業構造からの脱却と持続的な経済成長を実現するための支援を行うとしていた。また、我が国は、2008年5月の第4回アフリカ開発会議(TICAD IV)などで、アフリカ諸国の気候変動対策に関する取り組みへの協力の強化を表明しており、本事業はその具体的な支援策として位置づけられていた。さらに、南部アフリカ地域での安定的・持続的なエネルギー供給の実現に向

⁷ 生物資源(bio)の量(mass)を表す概念で、「再生可能な、生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの。バイオマスは、その賦存状態により、(1)廃棄物系バイオマス(家畜排せつ物、食品廃棄物、下水汚泥、し尿汚泥など)、(2)未利用バイオマス(稲わら、麦わら、もみがら、林地残材など)、(3)資源作物(さとうきび等の糖質資源、とうもろこし等のでんぷん資源、なたね等の油脂資源、柳、ポプラなど)に分類される。(出所:九州農政局ウェブサイト <https://www.maff.go.jp/kyusyu/kikaku/baiomasu/teigitou.html>)

⁸ 正式名称「Biofuels Production Project」。ボツワナ政府予算での実施。

⁹ 交換レートは1プラ=10円として計算。

けた支援を目的とする本事業は、JICA 国別事業実施計画において「域内資源・エネルギー供給体制整備プログラム」に位置づけられていた。

3.1.4 事業計画やアプローチ等の適切さ

事前評価時のプロジェクト・デザイン・マトリックスでは、成果 5 において 4 つの指標（指標 5.1～指標 5.4）が設定されていた。しかしながら、終了時評価時に用いられたプロジェクト・デザイン・マトリックスでは、指標 5.3「ヤトロファの商業利用を想定した場合の土地利用、産業、雇用などへの影響が判定される」は削除されていたため、評価判断の対象とはしなかったものの、なぜ指標 5.3 が削除されたかの理由については、確認できなかった。

また、プロジェクト目標の指標 2「少なくとも 7 人の研究者がヤトロファに関連した修士・博士号を取得する」は、成果 1～5 の活動の結果から生み出されたものではなく、プロジェクト目標の達成度を測る指標としては、指標 2 は必ずしも適切ではなかったと考えられる。むしろ、ヤトロファ研究に関するボツワナの若手研究者（修士・博士課程の大学院生）への奨学金の支給と彼らへの研究指導をプロジェクト活動として追加し、その成果指標として使用することがロジック的にも適切であったと考えられる。

しかしながら、上記の 2 つの指標の問題は、本事業の効果の発現を阻害する要因とまでは言えないため、事業計画やアプローチの適切性は問題なかったと考える。

以上より、本事業の実施はボツワナの開発政策、開発ニーズ、日本の援助政策と十分に合致しており、妥当性は高い。

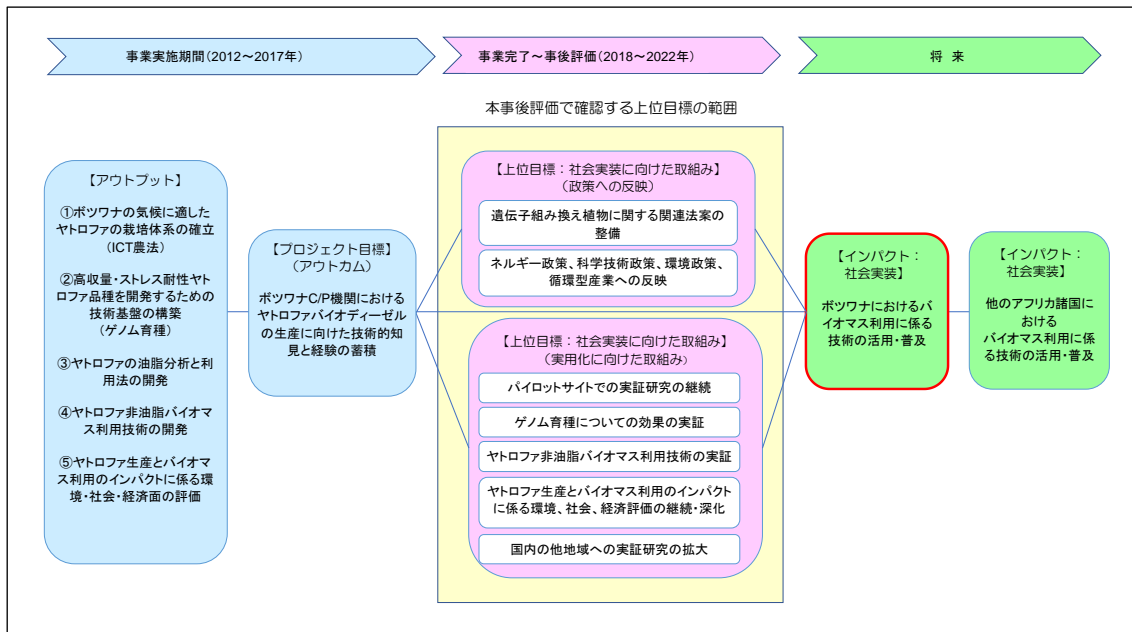
3.2 有効性・インパクト¹⁰（レーティング：②）

本事業は、SATREPS の枠組みで行われた技術協力事業であり、単なる基礎研究や応用研究に関する支援ではなく、相手国の課題・ニーズに応える科学技術の社会実装を進めることを最終的に目指している。本事業が目指す社会実装は「ボツワナにおけるバイオマス利用に係る技術の活用・普及」である¹¹。一方で、SATREPS の実施から社会実装の実現に至るまでには、いくつかの段階を経る必要がある。このことから、本事後評価では、事業完了後 3～4 年目までに達成されるべき「社会実装への取組み」を整理し、本事業の上位目標として位置づけ、事後評価時点において、社会実装の実現に向けて様々な要件が整えられ、社会実装の実現に向けて進展がみられるかといった視点から、上位目標の達成の有無を分析した。「社会実装への取組み」としては、「政策への反映」として、①遺伝子組み換え植物に関する関連法案の整備、②エネルギー政策、科学技術政策、環境政策、循環型産業への反映、「実

¹⁰ 有効性の判断にインパクトも加味して、レーティングを行う。

¹¹ 本事業が目指す社会実装については、当初は「ヤトロファによるバイオディーゼルの商業生産・普及」が想定されていたと考えられるが、本事後評価にて、改めて日本側およびボツワナ側研究者と社会実装の定義について確認を行い、「ボツワナにおけるバイオマス利用に係る技術の活用・普及」とした。

用化に向けた取組み」として、③パイロットサイトでの実証研究の継続、④ゲノム育種についての効果の実証、⑤ヤトロファ非油脂バイオマス利用技術の実証、⑥ヤトロファ生産とバイオマス利用のインパクトに係る環境、社会、経済評価の継続・深化、⑦国内の他地域への実証研究の拡大、と整理した。本事後評価で用いた分析の枠組みおよび本事後評価で確認する上位目標の範囲は、図1のとおり。



出所：評価者作成

図1 評価の枠組みおよび上位目標の範囲

3.2.1 有効性

3.2.1.1 成果

(1) 成果1

成果1「ボツワナの気候に適したヤトロファの栽培体系が確立される」は達成された。セベレ、カン、セロウエ、マウンの4カ所の実験圃場に、ボツワナ固有76系統およびガーナ系統のヤトロファが植えられ、灌漑設備および気象観測装置が設置され、ヤトロファの栽培研究が行われた。過去5年間の気象データの解析による寒波時期の特定に基づき、8月から11月に土壤水分をモニターしながら週2回の頻度で灌水すれば樹体は成長し、花芽分化が促進され、冬季（降霜シーズン）前に種子の収穫が可能であることが確認された。また、優良な数系統については、樹木1本当たり80個を超える種子を収穫することができた。上記の栽培研究に基づき、栽培マニュアル「Jatropha Cultivation in Botswana」が作成された。

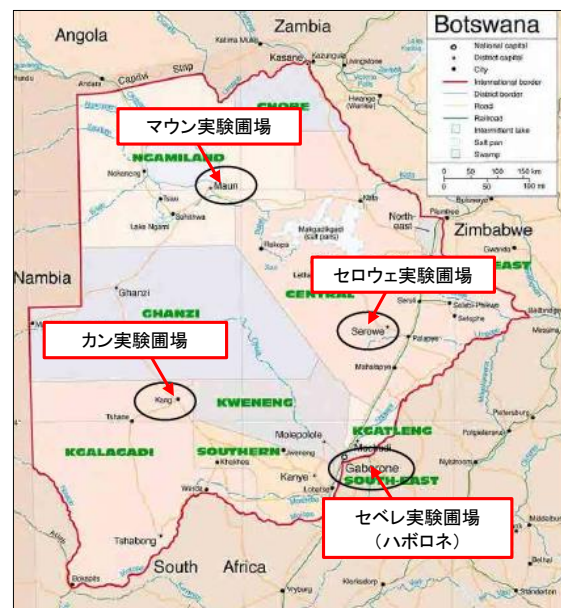
(2) 成果2

成果2「高収量・ストレス耐性ヤトロファ品種を開発するための技術基盤が構築さ

れる」は達成された。セベレ実験圃場に植栽されたボツワナ固有ヤトロファ全 76 系統のバイオマス生産性および種子生産性が調査され、それぞれの形質が高い系統が選抜された。またバイオマスおよび種子生産性を基準に環境ストレス耐性が評価された。また、ボツワナの代表的なヤトロファの 5 系統についてゲノム解析とデータベース化が行われ、それらの塩基配列多型 (SNP) が顕著に高いことが見出された。これらの情報を基に SNP 分子マーカーが開発され、ボツワナの全ての系統の遺伝型が分析され、分子系統樹として分類することに成功した。そして、鳥取大学で開発された減圧処理やフィルターペーパー培養等からなる新規の形質転換法を用いて、高収量・ストレス耐性と結びついた 3 つの遺伝子組み換えヤトロファが開発された。この遺伝子組み換えヤトロファを用いて、鳥取大学にて環境ストレス耐性評価試験が行われ、低温ストレスに対する耐性が向上したことが確認された。ただし、ボツワナ国内では、遺伝子組み換えに関する法規制がまだ整っておらず、日本で開発された遺伝子組み換えヤトロファをボツワナ国内に持ち込むことが出来ないため、成果 2 のボツワナ側への波及には時間を要するとされた。なお、遺伝子組み換えヤトロファは、鳥取大学にて管理・保存されている。

(3) 成果 3

成果 3「ヤトロファオイルの特性が明らかになる」は達成された。ボツワナ固有ヤトロファ系統のうち収穫に至った 61 系統について、その種子の油脂含量および油脂組成の分析、代表的な系統の熱量データの取得、データベースの構築が行われた。また、76 系統のヤトロファのうち、2015 年シーズンに収穫済みになった 37 系統について、ヤトロファ種子、クルードオイル、バイオディーゼルの毒性物質が分析された。また、ヤトロファ種子から作られた粗油およびバイオディーゼルの熱量、粘性な



出所：JICA 提供資料

図 2 事業サイト

などの燃料規格に関連する基本的な燃料物性が測定され、小型発電機およびエンジン性能試験装置を使用して燃焼特性が明らかになった。そして、ヤトロファから作られたバイオディーゼルのを使って、小型発電機による無電化村の電化に関するシミュレーションや、バイオディーゼル専用車の実車走行試験が行われた。さらに、ヤトロファ・バイオディーゼルの収率が算定された。

(4) 成果 4

成果 4「ヤトロファ非油脂バイオマスを利用するための技術が開発される」は達成された。クルードオイルを搾油した後の搾りかす、果実の殻、収穫時に発生する小枝等の種子以外のバイオマス（非油脂系バイオマス）の重量および成分が分析され、副産物（土壌改良剤、肥料原料、固形燃料、触媒）の生産特性が分析された。また、ヤトロファ炭の土壌への適用実験の結果、ヤトロファ炭を使用した土壌は、使用していない場合と比べると、水分保持能力が 1.0%以上改善し、水利用率も 0.5%以上改善する可能性が高いことが確認された。ヤトロファの非油脂バイオマスの利用法として、バイオ炭を利用した土壌改良材、固形燃料、固形肥料等の製造技術が開発され、それらの効果が確認された。

(5) 成果 5

成果 5「ヤトロファ生産とバイオマス利用のインパクトが環境・社会・経済面から評価される」は達成された。ヤトロファ生産における予備的ライフ・サイクル・アセスメントが行われ、栽培、搾油、精製、流通、利用といったヤトロファ・バイオディーゼル事業の諸段階における温室効果ガスの排出量および削減量の試算が行われた。その結果、ヤトロファ・エネルギー生産・消費プロセスにおいて、削減量が排出量よりも 63.4%上回ることが明らかとなった。次に、ヤトロファ・バイオディーゼル生産による石油燃料（軽油）削減量の試算、木質代替燃料生産による木質燃料（薪）削減量の算出、木質代替燃料による 1 年分の薪が供給可能な世帯数の試算が行われた。そして、実験圃場の栽培活動における支出および収入を算出し、モデルを用いて利益を創出するためのシナリオを構築し、ヤトロファ・バイオディーゼル事業の費用便益分析が行われた。加えて、サハラ以南アフリカに先行導入されたヤトロファ・バイオディーゼル事業に関する文献調査が行われ、その結果、上記の分析結果の妥当性が裏付けられた。

3.2.1.2 プロジェクト目標達成度

プロジェクト目標「ボツワナにおけるヤトロファ・バイオディーゼルの商業生産に向けた技術的知見と経験が蓄積される」は、おおむね達成されたと判断する。各指標の達成度は、表 1 に示すとおり。

表 1 プロジェクト目標の達成度

目標	指標	実績
プロジェクト目標： ボツワナにおけるヤトロファ・バイオディーゼルの商業生産に向けた技術的知見と経験が蓄積される	指標 1： 少なくとも 5 本の学術論文が発行される	おおむね達成 • サハラ以南アフリカに先行導入されたプロジェクトに関する文献調査に基づき、経済持続可能性、エネルギー政策、社会経済影響の観点から、ボツワナでのヤトロファ・バイオディーゼル事業導入要件および問題点に関する分析が行われ、学術論文 4 本として国際学術誌に投稿

目標	指標	実績
		された。 <ul style="list-style-type: none"> 上記の他にも原著論文 28 本（国際誌 26 件、国内誌 2 件）、著作・出版物 13 件なども発表された。その他に、開発の成果をマニュアル、データベース等としてまとめられた。
	指標 2： 少なくとも 6 人の研究者がヤトロファに関連した修士・博士号を取得する	未達成 <ul style="list-style-type: none"> 7 名の研究者がボツワナ政府の奨学金を得て、6 名がボツワナ大学、1 名がボツワナ農業天然資源大学の大学院生としてそれぞれヤトロファ研究を開始したが、ボツワナ政府の予算措置の遅れに伴い奨学金支給開始が大幅に遅れた。そのため、本事業完了までに修士の学位を取得できたのは 1 名に留まった。
	指標 3： プロジェクト成果に基づく技術体系がボツワナ政府に提案される	達成 <ul style="list-style-type: none"> ヤトロファの栽培手法、遺伝子組み換えヤトロファの開発、非油脂バイオマスの利用等に係る技術的知見およびプロトコルが技術パッケージ (Technological Package) としてまとめられ、ボツワナ政府に提出された。

出所：JICA 提供資料

指標 1「少なくとも 5 本の学術論文が発行される」がおおむね達成、指標 2「少なくとも 6 人の研究者がヤトロファに関連した修士・博士号を取得する」が未達成、指標 3「プロジェクト成果に基づく技術体系がボツワナ政府に提案される」が達成となった。指標 2 が未達成の理由は、ボツワナ政府からの奨学金の支給が遅れたため、7 名の博士・修士課程の大学院生の研究開始が遅れ、その結果、事業完了時まで博士・修士号の学位取得ができた大学院生が 1 名に留まったことによる。しかし、指標 2 は成果 1～5 の活動として行われた日本・ボツワナ側の大学・研究機関の共同研究の結果として生み出されたものではなく、本事業で得られた技術的知見と経験に基づいて行われるボツワナの大学院生の研究活動であることから、指標 2 はプロジェクト目標の指標としては、適切であったかどうか疑問が残る。むしろ、ヤトロファ研究に関するボツワナの若手研究者（修士・博士課程の大学院生）への奨学金の支給と彼らへの研究指導をプロジェクト活動として追加し、その成果指標として使用することがロジック的にも適切であったと考えられる。一方、成果 1～5 は、大学院学生への奨学金の支給スケジュールに関係なく、日本側・ボツワナ側の研究者により活動が行われており、プロジェクト目標の指標 1 および指標 3 と直接的に関連している。

以上より、①事業完了までに成果 1～5 は全て達成されていること、②指標 1 および指標 3 が成果 1～5 と直接的な結びつきが強いことなどから、指標 1 および指標 3 の達成度をより重要視して評価判断を行った結果、プロジェクト目標はおおむね達成されたと判断した。

3.2.2 インパクト

3.2.2.1 上位目標達成度

本事業では、上位目標の設定は設定されていなかった。このため、前述のとおり、本事後評価では、事業完了後 3～4 年目までに達成されるべき「社会実装への取組み」を整理し、本事業の上位目標として位置づけ、事後評価時点において、社会実装の実

現に向けて様々な要件が整えられ、社会実装の実現に向けて進展がみられるかといった視点から、上位目標の達成の達成度を判断した。上位目標の実績については、表2に示すとおり。

表2 事後評価で想定した上位目標の達成度

上位目標	実績
① 遺伝子組み換え植物に関する関連法案の整備	<ul style="list-style-type: none"> • 遺伝子組み換え植物に関する法律は、国会で審議中であり、農業省によると2022年中には承認される見通しである。
② エネルギー政策、科学技術政策、環境政策、循環型産業への反映	<ul style="list-style-type: none"> • MMGE エネルギー局により、バイオ燃料の生産を行う上での手順を示したガイドライン「Biofuel Guideline for Botswana」(2021年5月)が作成済みであり、2022年中には正式に承認される見通しである。承認後は、上記ガイドラインは一般公開される予定。
③ パイロットサイトでの実証研究の継続	<ul style="list-style-type: none"> • 事業完了後、セベレ、カン、セロウェ、マウンの4カ所の実験圃場のうち、セベレを除いてヤトロファの栽培は行われていない。セベレの実験圃場では、本事業によりボツワナ固有ヤトロファ全76系統のなかから選抜されたバイオマス生産性および種子生産性の形質が高い系統のヤトロファの保存のため実験圃場は残されているが、冬季に発生する降霜などによる冷害、また圃場内に設置された気象観測機器の盗難などにより、ヤトロファの育成が困難な状況となっている。
④ ゲノム育種についての効果の実証	<ul style="list-style-type: none"> • ボツワナ国内でのゲノム研究の継続に必要な遺伝子組み換え植物に関する関連法案が未整備の状況にあるため、日本で開発された遺伝子組み換えヤトロファをボツワナ国内に持ち込むことが出来ない。そのため、事後評価時においては、農業省農業研究局による多収およびストレス耐性のヤトロファ品種開発(ゲノム育種)に係る実証研究の継続は、実質的に停止している。農業省農業研究局は、同法案の成立後、鳥取大学にて管理・保存されている遺伝子組み換えヤトロファをボツワナ国内に搬入して、ゲノム育種の効果の実証研究を再開し、研究室レベルから圃場に広げて行いたいとの意欲を示している。
⑤ ヤトロファ非油脂バイオマス利用技術の実証	<ul style="list-style-type: none"> • 農業省農業研究局により、ヤトロファ非油脂バイオマスから生産したバイオ炭を活用した農業肥料(コンポスト)の実証研究が継続している。同実証研究では、効果的なコンポストを生産するための適切なバイオ炭の配合割合を研究しており、このコンポストは、農業研究局の農園での野菜栽培のほか、農家へ無償提供されており、その効果検証のためのモニタリングが行われている。農業研究局によると、このバイオ炭は、塩分を多く含んでいるため、土と混ぜてコンポストとして使用する場合は、含有率は10%以内に制限しているとのことであった。 • 農業研究局は、この実証研究の成果に基づき、将来的には、ヤトロファ・バイオ炭の製造・利用に関する知識を農民に広めることを計画している。
⑥ ヤトロファ生産とバイオマス利用のインパクトに係る環境、社会、経済評価の継続・深化	<ul style="list-style-type: none"> • 本事業実施中に想定された研究成果は得られたものの、事業完了後は、同研究は継続して行われていない。
⑦ 国内の他地域への実証研究の拡大	<ul style="list-style-type: none"> • 鳥取大学などの日本側協力機関は、本事業完了後の2018~2019年頃、国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)を通じて本事業の後継案件(フェーズ2)の申請を行ったものの、採択には至らなかった。また、草の根技術協力事業のスキームを活用して、ヤトロファ・ディーゼルによる村落電化プロジェクトおよびバイオ炭を利用した土地改良プロジェクトを行うことを計画し、JICAへ応募を行ったが、事業計画が不十分ということで採択に至っていない。ボツワナ側実施機関および日本側協力機関は、草の根技術協力事業への採択に向けて、事業計画の見直し・精緻化を含む案件形成調査を継続しているものの、新型コロナウイルス感染症の世界的流行により、日本からボツワナへの渡航が困難となり、現地調査ができない状況が続いている。

上位目標	実績
	<ul style="list-style-type: none"> このように、ボツワナ側実施機関および日本側協力機関は、本事業の後継SATREPS 案件（フェーズ 2）の実施、および草の根技術協力事業の活用を通じて、本事業で得られた実証研究の成果をボツワナ国内の他地域へ拡大・展開して行くことを想定していたが、上記の計画が実現しなかったため、事後評価時においては、国内の他地域への実証研究の拡大は行われていない。

出所：ボツワナ側実施機関および日本側協力機関への質問票回答、ヒアリング結果。

ヤトロファ非油脂バイオマスの利用



ヤトロファ・バイオ炭の原料（ヤトロファの幹枝）



ヤトロファ・バイオ炭を利用したコンポスト生産施設



生産されたコンポスト

以上より、本事業の研究成果に基づいて、社会実装に向けた 7 つの取組は、3 つが実施済みあるいは実施中、4 つが未実施の状況である。よって、上位目標は一部達成されていないと判断する。

3.2.2.2 事業効果の継続状況

(1) 研究成果の活用および継続

本事業の 5 つの成果（5 つの研究領域）の継続状況については、表 3 に示すとおり。「3.1.2 開発ニーズとの整合性」で述べたとおり、本事業完了後、ボツワナ政府は、ヤトロファ以外のバイオマスの活用によるバイオディーゼルの開発へと方針を転換し、それを受けて、MMGE エネルギー局、農業省農業研究局、ボツワナ大学の三者の連携・協力のもと、ボツワナ国内で入手可能な様々なバイオマスを活用した「バイオ燃料生産拡大のための研究プロジェクト」（2018 年 4 月～2023 年 3 月）が実施されている。上記の出来事は、事業完成後の各成果の継続・進展に影響を与えている。

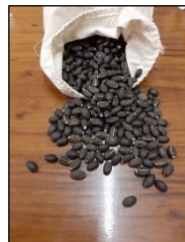
成果 1 は、事後評価時点では継続されていない。成果 2 に関する研究は、ボツワナ国内での遺伝子組み換え植物に関する関連法案の成立後に再開される可能性も残されているが、事後評価時点では休止状態にある。成果 3 については、ボツワナ大学の博士および修正課程の大学院生の研究テーマとして取組まれており、一定程度、継続している。一方、研究活動の主軸は、ヤトロファ種子からのバイオディーゼルの生産に限定されず、トリキリアなど他の植物種、廃食用油、牛脂など、利用可能な選択肢からのバイオディーゼルの生産・活用の研究にまで拡大しており、ボツワナ大学では、廃食用油、牛脂などからのバイオディーゼルの生産し、大学のディーゼル車を使った実車試験を行っている。成果 4 については、農務省農業研究局にてヤトロファ・

バイオ炭を活用した肥料（コンポスト）の実証研究が継続されており、ボツワナ大学でも固体燃料（ペレット）の原料としてのヤトロファ非油脂バイオマの利用に関する研究が継続されている。

成果5については、事業完了後は継続されていない。ただし、バイオディーゼルの原料がヤトロファ以外のバイオ原料の研究開発に重点が移っており、事後評価時における

成果5を継続させることの必要性は、当初想定したようには高くはないと思われる。

ヤトロファ



ヤトロファの種子




ヤトロファの苗



セベレ実験圃場のヤトロファ

表3 研究の継続状況

成果	事後評価時における継続状況
<p>成果1 ボツワナの気候に適したヤトロファの栽培体系が確立される。</p>	<p>【農務省農業研究局】</p> <ul style="list-style-type: none"> 事業完了後、セベレ、カン、セロウェ、マウンの4カ所の実験圃場のうち、セベレを除いてヤトロファの栽培は行われていない。セベレの実験圃場では、本事業によりボツワナ固有ヤトロファ全76系統のなかから選抜されたバイオマス生産性および種子生産性の形質が高い系統のヤトロファ種の保存のため実験圃場は残されてはいるが、冬季に発生する降霜などによる冷害、また本事業で供与され圃場内に設置された気象観測機器の盗難などにより、ヤトロファの育成が困難な状況となっている。セベレ実験圃場は引き続き農業研究局が管理している。 一方、農業研究局は、バイオディーゼルの原料となるボツワナ国内で入手可能なヤトロファ以外の植物（トリチリア、スキソア、クロトンなどの品種）の栽培方法の研究を行っており、この研究には成果1の研究成果も役立っている。
<p>成果2 高収量・ストレス耐性ヤトロファ品種を開発するための技術基盤が構築される</p>	<p>【農務省農業研究局】</p> <ul style="list-style-type: none"> 本事業で開発されたヤトロファ品種は、低温に対するストレス耐性が十分とは言えないため、冬季の冷害に強いヤトロファのゲノム育種の研究は継続して行う必要があるが、遺伝子組み換え植物に関する関連法案の成立を待っており、同研究活動は休止中である（2022年中に法案成立見込み）。 ボツワナ国内に自生し利用可能なバイオマス（Indigenous Potential Biomass）のマップを作成中。 ヤトロファを使ったバイオディーゼルの開発から、ヤトロファ以外の植物（トリキリア、スキソア、クロトンなどの品種）を使ったバイオディーゼルの研究・開発へ研究対象範囲を拡大している。例えば、エチオピア・マスタード（オイルは食用には向かない）の研究など、ヤトロファと他の植物由来オイルとの特性の比較分析なども行っている。
<p>成果3 ヤトロファオイルの特性が明らかになる</p>	<p>【ボツワナ大学】</p> <ul style="list-style-type: none"> ヤトロファ関連の研究は、博士および修士課程の大学院生数名が研究テーマとして取り組んでおり、研究自体は一部で続けられている。

成果	事後評価時における継続状況
	<ul style="list-style-type: none"> • 一方、現在の研究活動の主軸は、ヤトロファ種子からのバイオディーゼルの生産に限定されず、トリキリアなど他の植物種、廃食用油、牛脂など、利用可能な選択肢からのバイオディーゼルの生産・活用の研究にまで拡大している（ヤトロファに限定されないバイオマス活用の研究）。 • 廃食用油、牛脂などからバイオディーゼルを抽出する装置（Bio-Prob 380 EX プロセッサー）を開発し、1回あたり380リットルのバイオディーゼルの生産が可能となった。このバイオディーゼルは、本事業で供与された車両で実際に使われており、ボツワナ大学では、将来的には、大学の全てのディーゼル車に供給可能な量のバイオディーゼルの生産を目指している。  <p style="text-align: center;">Bio-Prob 380 EX プロセッサー</p>
<p>成果4 ヤトロファ非油脂バイオマスを利用するための技術が開発される。</p>	<p>【農務省農業研究局】</p> <ul style="list-style-type: none"> • バイオ炭の生産およびバイオ炭を活用した肥料（コンポスト）の実証研究は継続されている。このコンポストは、農業研究局の農園での野菜栽培のほか、農家へ無償提供されており、その効果検証のためのモニタリングが行われている。 <p>【ボツワナ大学】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 固体燃料（ペレット）の原料としてのヤトロファ非油脂バイオマスの利用に関する研究など、ヤトロファ関連の研究は、ボツワナ大学の博士および修士課程の大学院生数名が研究テーマとして取り組んでいる。
<p>成果5 ヤトロファ生産とバイオマス利用のインパクトが環境・社会・経済面から評価される。</p>	<p>【ボツワナ大学】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 本事業実施中に想定された研究成果は得られたものの、事業完了後は、同研究は継続して行われていない。

出所：ボツワナ側実施機関への質問票回答、ヒアリング結果。

(2) 研究者の能力向上

ボツワナ大学では本事業が同大学の研究者の能力向上・育成に大きく貢献したとの認識を示している。本事業の研究成果に基づき、ボツワナ大学では、工学技術部の博士・修士課程の大学院生の研究論文のテーマが選ばれ、関連研究が続けられている。またこの研究には、本事業でボツワナ大学および農業省農業研究局に供与された実験機材も使用されている。一方、農業省農業研究局によると、これまで農作物栽培・畜産の研究が主な業務であったが、本事業への参加により新たにバイオマスの研究が加わり、同局の研究領域の拡大、高度化につながったとのことであった。

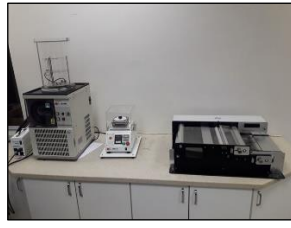
(3) 機材の活用・維持管理状況

本事業では、光合成測定装置、変性剤濃度勾配ゲル電気泳動ユニット、ゲル撮影装置、気象サーバー、葉面積測定器、DNA 電気泳動装置、凍結乾燥機、種子保存用冷蔵庫など、様々な研究・実験用機材が供与されたが、それらは、ボツワナ大学および農業省農業研究局において、事後評価時においても研究のために継続して使用されており、維持管理もおおむね問題ない。

農業省農業研究局への供与機材



農業省農業研究局の研究施設



葉面積測定器



プロテイン測定器



高温高圧殺菌装置

ボツワナ大学への供与機材



ボツワナ大学の研究施設



バイオディーゼル抽出装置



バイオディーゼル抽出装置



バイオディーゼル・スターターキット

3.2.2.3 その他のインパクト

(1) 自然環境へのインパクト

事前評価時には、本事業で扱うヤトロファの毒性物質や遺伝子組み換え品種が、環境や人体へ悪影響を及ぼす可能性が小さいながら認められることから、本事業では、毒性物質の特性を明らかにする研究が活動に組み込まれ、国内・国際法規を遵守した遺伝子組み換えの研究を行うことが計画されており、それらは計画通りに実施された。遺伝子組み換えの研究（ゲノム育種の研究）については、ボツワナでは遺伝子組み換え植物に関する関連法案が未整備であったことから、主に島根大学など日本側協力機関にて日本国内で行われた。

本事業実施中、必要な環境モニタリングが行われたが、農業省農業研究局によると、実験圃場でのヤトロファによる自然環境およびプロジェクト関係者の健康へのマイナスのインパクトは認められなかった。また、遺伝子組み換えに伴う環境への影響も認められなかった。

(2) 住民移転・用地取得

ヤトロファの栽培研究を行った4カ所の実験圃場は、農業省所有地内にあり、本事業の実施に伴う用地取得、住民移転は発生していない。

本事業の実施により、プロジェクト目標は達成された。上位目標として設定した社会実装への取組については、7つのうち3つが実施済みあるいは実施中、4つが未実施であった。事業効果の継続状況については、成果2、成果3、成果4は継続、成果1、成果5は未継続であった。本事業はボツワナ側実施機関の研究者の研究能力の向上に一定の貢献が認めら

れ、機材の活用・維持管理状況はおおむね問題がなかった。自然環境へのマイナスのインパクト、用地取得・住民移転も認められなかった。

以上より、本事業の実施により一定の効果発現がみられ、有効性・インパクトは中程度である。

3.3 効率性（レーティング：③）

3.3.1 投入

投入要素別の計画と実績の比較は、表4に示すとおり。

表4 投入実績

投入要素	計画	実績（事業完了時）
(1) 専門家派遣	<ul style="list-style-type: none"> 長期：業務調整員、栽培（人数、人月の記載なし） 短期：栽培、分子育成、収穫後処理、非油脂バイオマス、その他専門分野（人数、人月の記載なし） 	<ul style="list-style-type: none"> 長期専門家：4人 短期専門家：15人
(2) 研修員受入	記載なし	29名
(3) 機材供与	記載なし	車両、光合成測定装置、各種測定装置・機器等
(4) 在外事業評価費	記載なし	約23.2百万円
日本側の事業費合計	300百万円	296百万円
相手国の事業費合計	記載なし （カウンターパート人件費、圃場労務費、研究用資機材購入費、シンポジウム・ワークショップ開催費など）	約132百万円 （カウンターパート人件費、プロジェクト車両ガソリン代、圃場労働者およびセキュリティーガード人件費、出張費、長期研修生派遣費、ワークショップ・会合・研修開催費等）

出所：JICA 提供資料

3.3.1.1 投入要素

日本側からの派遣専門家（研究者）は、19名（長期専門家4人、短期専門家15人）であった。ボツワナ側からの研修員受入れは、29名であった。既述のとおり、5つの研究領域に関する共同研究は、事業期間内に実施することができ、栽培マニュアル「*Jatropha Cultivation in Botswana*」や技術パッケージの作成、国際学術誌への学術論文4本の発表、データベースの構築などの成果物も産出された。供与機材も概ね良好に活用、維持管理が行われている。ボツワナ側からもカウンターパート人件費、長期研修生派遣費、ワークショップ・会合・研修開催費等の費用として約132百万円の投入が行われており、パートナーシップに基づく事業実施であったといえる。

3.3.1.2 事業費

日本側の事業費は計画300百万円に対して、実績は296百万円であり、計画内に収まった（計画比98%）。

3.3.1.3 事業期間

事業期間は、計画 60 カ月（2012 年 3 月～2017 年 3 月）に対して、実績は 60 カ月（2012 年 4 月～2017 年 4 月）となり、計画どおりであった（計画比 100%）。

以上より、本事業は事業費、事業期間ともに計画内に収まり、効率性は高い。

3.4 持続性（レーティング：③）

3.4.1 発現した効果の持続に必要な政策・政治的関与

ヤトロファ利用を含む再生可能エネルギーの開発は、第 11 次国家開発計画（2017 年～2023 年）における優先分野として掲げられており、ボツワナ国家エネルギー政策（2020 年～2040 年）においても、バイオ燃料としてのヤトロファの有望性が言及されている。また、ヤトロファのゲノム育種の研究に必要な遺伝子組み換え植物に関する法律についても、2022 年中には成立する見通しである。一方、事後評価時においては、ボツワナ政府の方針は、ヤトロファ以外のバイオマスの活用によるバイオディーゼルの開発も促進しており、MMGE エネルギー局、農業省農業研究局、ボツワナ大学は、実施中の「バイオ燃料生産拡大のための研究プロジェクト」（2018 年～2023 年）を通じて、本事業の成果を継承・発展させるかたちで、ヤトロファ・バイオディーゼルの開発に限定されない、ボツワナに自生する資源作物や獣脂、廃食用油などの廃棄物系バイオマスを活用したバイオディーゼルの開発に取り組んでいる。

よって、効果持続に必要な政策・政治的関与は確保されている

3.4.2 発現した効果の持続に必要な制度・体制

農業省農業研究局は、ハボロネ郊外セベレの本部のほかに、全国に多数の支部・支所を持ち、作物研究部、畜産・放牧地研究部、支援サービス部、人事部の 4 つの部で構成されている。本部のセベレは広大な実験圃場を有し、土壌などの化学分析や、DNA 分析などを行う実験施設を持つ。また、農業研究局は国内農業の種子提供機関として、重要な役割を果たしており、国内で使われる農業種子の 90%を提供している。植物遺伝子資源の保全も任されており、遺伝子組み換え植物の管理を含む、バイオセイフティを所管する機関でもある。事後評価時、農業研究局では 15 人の研究員が本事業の関連研究に従事している。

ボツワナ大学は、1982 年に開設されたボツワナ唯一の総合大学であり、経営学部、教育学部、工学技術部、保健科学部、医学部、人文学部、社会科学部の計 7 学部が設置されている。ヤトロファを含むバイオディーゼルの研究は工学技術部が担当しており、事後評価時、6 名の研究者（教員および博士・修士課程大学院生）が関連研究に従事している。また、本事業完了後も、鳥取大学を始めとする日本側協力機関とは、個人ベースを中心に、継続して連携・協力関係にある。

よって、効果持続に必要な制度・体制は確保されている。

3.4.3 発現した効果の持続に必要な技術

農業省農業研究局は、2000年の後半からヤトロファの植物資源収集と栽培試験に取り組んでいる。農業研究局は、上記の「バイオ燃料生産拡大のための研究プロジェクト」の支援を受けて、バイオ燃料の原料となるヤトロファ以外の植物（トリチリア、スキソア、クロトンなどの品種）などの栽培および研究を行っている。農業研究局は、遺伝子組み換え植物に関する関連法案の成立後に、鳥取大学に保存されている遺伝子組み換えを行ったヤトロファをボツワナ国内に搬入し、ボツワナの気候に適したヤトロファの栽培方法（ICT 農法）および分子ゲノム育種の継続を行う意向を示しており、そのためセベレ実験圃場において、本事業によりボツワナ固有ヤトロファ全76系統のなかから選抜されたバイオマス生産性および種子生産性の形質が高い系統のヤトロファの保存を行っている。またヤトロファを原料とするバイオ炭の利用技術の研究も継続して行っている。農業研究局に供与された実験用器材も継続して使用されており、維持管理の状況も概ね良い。

ボツワナ大学では、循環型エネルギーの潜在的可能性に早くから着目し、Clean Energy Research Centre (CERC) (=循環型エネルギーの開発や普及に関連する研究者が所属する仮想的な研究組織)を設置し、それぞれの研究者の専門性を活かした学際的な研究を行ってきた。個々の研究者の専門性は高く、学術論文発表も盛んに行っている。ボツワナ大学工学技術部でも「バイオ燃料生産拡大のための研究プロジェクト」の支援を受けて、本事業の研究成果を参考に、ボツワナの自生植物やその他のバイオマス（獣脂、廃食用油など）を活用したバイオディーゼル燃料の研究を進めている。同大学では、獣脂、廃食用油を原料とするバイオディーゼルの製造機器を開発し、実車試験も行っている。ボツワナ大学に供与された実験用器材も継続して使用されており、維持管理の状況も概ね良い。

よって、効果持続に必要な技術は確保されている。

3.4.4 発現した効果の持続に必要な財務

ボツワナ大学では「バイオ燃料生産拡大のための研究プロジェクト」から2020年に2,080,000 プラ（約21.4百万円）、2021年に1,900,000 プラ（約19.5百万円）の研究費を支給されている。同様に、農業省農業開発局も同プロジェクトから、バイオ燃料に利用可能な植物採取に必要な研究費の支給を受けている。農業省農業開発局およびボツワナ大学が取り組んでいるバイオマスを活用したバイオディーゼルの開発の研究に対しては、同プロジェクトをつうじて、少なくとも2023年までは財政支援が行われる予定である。

よって、効果持続に必要な財務に問題はないと判断する。

以上より、本事業は、政策・政治的関与、制度・体制、技術、財務、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高い。

4. 結論および教訓・提言

4.1 結論

本事業は、①ボツワナの気候に適したヤトロファの栽培体系の確立、②高収量・ストレス耐性ヤトロファ品種の開発技術基盤の構築、③ヤトロファの油脂分析と利用法の開発、④ヤトロファ非油脂バイオマスの利用技術の開発、⑤ヤトロファ生産とバイオマス利用のインパクトの環境・社会・経済面からの評価などの5つの領域で研究を行い、ボツワナでのヤトロファ・バイオディーゼルの商業生産に向けた技術的知見と経験の蓄積を目的としたものである。これはボツワナの開発政策、開発ニーズ、および日本の援助政策に合致しており、事業の妥当性は高い。5つの領域すべてにおいて、計画に沿って研究成果があげられ、プロジェクト目標はおおむね達成された。上位目標として設定した社会実装への取組については、7つのうち3つが実施済みあるいは実施中、4つが未実施であった。本事業はボツワナ側実施機関の研究能力の向上に一定の貢献が認められ、機材の活用・維持管理状況はおおむね問題がなかった。自然環境へのマイナスのインパクト、用地取得・住民移転も認められなかった。よって、本事業の実施により一定の効果発現がみられ、有効性・インパクトは中程度である。事業費、事業期間ともに計画内に収まり、効率性は高い。持続性については、政策・政治的関与、制度・体制、技術、財務、いずれも問題なく、高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

4.2 提言

4.2.1 実施機関などへの提言

事業完了後、農業省農業研究局が管理するセベレ（ハボロネ）の実験圃場では、本事業によりボツワナ固有ヤトロファ全76系統のなかから選抜されたバイオマス生産性および種子生産性の形質が高い系統のヤトロファ種の保存のためヤトロファの栽培が続けられているが、本事業で供与され圃場内に設置された気象観測機器が盗難被害にあり、気象モニタリングデータの収集・記録ができない状況となっている。農業省は気象観測機器の再調達およびその盗難防止対策について検討を行うことが望ましい。

4.2.2 JICA への提言

JICA はこれまでヤトロファを活用したバイオディーゼル開発の研究に関連するプロジェクト（SATREPS 含む）を、ベトナム¹²、モザンビーク¹³、タイ¹⁴などボツワナ以外の国でも展開してきたが、事業完了後にヤトロファ・バイオディーゼルそのものの普及・

¹² ベトナム「ベトナムおよびインドシナ諸国におけるバイオマスエネルギーの開発による多益性気候変動ベトナム 緩和策の研究プロジェクト」（2011年～2016年）。

¹³ モザンビーク「モザンビークにおけるジャトロファバイオ燃料の持続的生産（2011年～2016年）」

¹⁴ タイ「非食糧系バイオマスの輸送用燃料化基盤技術」（2010年～2016年）。

実用化まで進展した事例は多くはない。この理由は、各国の気象条件の違いによるヤトロファの栽培の難しさや、栽培に成功した場合でも、市場価格の動向により、ヤトロファ以外のバイオマス燃料や化石燃料と比較して、ヤトロファ・バイオディーゼルの価格が高くなり、ヤトロファ・バイオディーゼルの生産・販売に対するインセンティブが下がることなどが挙げられる。一方で、ヤトロファ・バイオディーゼルの研究の過程で得られたバイオディーゼル生産に関する知識や技術は、事業完了後も活用されている。従って、バイオディーゼル開発の研究に係る SATREPS 案件については、各国横断的に事業実施から社会実装に至るまでの課題の分析を行い、案件形成、実施中、完了後にどのような工夫を行えば SATREPS 案件が目指した社会実装へつながるか整理・分析することがよいと思われる。

4.3 教訓

(1) 計画時、事業完了後における社会実装の再確認の必要性

本事業の中心はヤトロファを使ったバイオディーゼルの商業的生産のための研究であり、本事業での成果（①ボツワナの気候に適したヤトロファの栽培体系の確立（ICT 農法）、②多収・ストレス耐性の品種開発（ゲノム育種）、③油脂分析と利用法の開発、④ヤトロファ非油脂バイオマス利用技術の開発、⑤ヤトロファ生産とバイオマス利用のインパクトの環境・社会・経済面からの評価）の先にある社会実装として「ヤトロファによるバイオディーゼルの商業生産・普及」が想定されると当初考えられたと思われる。しかしながら、本事業を通じて、ボツワナの気候条件下に耐えうる遺伝子組み換え種の開発および栽培方法などで一定の成果は認められたものの、本格的なヤトロファ栽培を展開するには、継続的な栽培方法研究およびゲノム育種研究と関連分野の国内法整備の必要性が明らかとなり、ボツワナでのヤトロファ栽培の難しさが改めて認識され、またボツワナ政府のエネルギー政策も、ヤトロファからのバイオディーゼルの生産からヤトロファを含むバイオ原料からのバイオディーゼルの生産へと方向性が変わった。そのため、本事後評価では、本事業の社会実装を、バイオ資源の品種改良技術やバイオディーゼル生産技術の活用と広くとらえ、「ボツワナにおけるバイオマス利用に係る技術の活用・普及」と再定義した。論理的には上記の軌道修正は適切であると考えられる一方、社会実装からみた本事業の位置づけが、当初想定したよりは相対的に低められた可能性がある。このように、SATREPS を実施した結果、計画時に想定した社会実装の再確認・修正・見直しが必要なケースもある。そのため、計画時に加えて、事業実施期間中においても対象 SATREPS により創出される研究成果の社会実装の方向性について、プロジェクト関係者で議論し、必要に応じて修正、見直しを行うことが求められる。

加えて、事業期間を通して、JICA を含めプロジェクト関係者から法制化を担当するボツワナ政府部局に対して、本事業の意義の説明、および遺伝子組み換えに関する国内法整備の必要性についての働きかけを行うことが望ましい。

(2) ロジックに基づくプロジェクト・デザイン・マトリックスの確認および見直しの必要性

プロジェクト目標の指標②「少なくとも6人の研究者がヤトロファに関連した修士・博士号を取得する」は、成果1～5の活動の結果から生み出されたものではなく、プロジェクト目標の達成度を測る指標としては適切ではなかった。むしろ、ヤトロファ研究に関するポツワナの若手研究者（修士・博士課程の大学院生）への奨学金の支給と彼らへの研究指導をプロジェクト活動として追加し、その成果指標として使用することが理論的にも適切であったと考えられる。そのため、本事後評価では、プロジェクト目標の3つの指標のうち、指標①と指標③にのみ重点をおいて、プロジェクト目標の達成度の判断を行った。事業の有効性を測るうえでプロジェクト目標の指標は重要であることから、事業実施期間を通じて定期的にプロジェクトの成果とプロジェクト目標との関連性、ロジックを丁寧に確認し、必要に応じてプロジェクト・デザイン・マトリックスの変更および代替指標の提案などを行うことが望ましい。

以上

0. 要旨

本事業はタイにおいて、分子育種技術、借り腹技術¹、感染症防除技術、魚粉代替飼料、危害因子検出・低減技術の5つの領域で研究を行い、その相互補完によって新しい養殖技術を開発することを目的としたものである。これはタイの開発政策、開発ニーズ、および日本の援助政策に合致しており、事業の妥当性は高い。5つの領域すべてにおいて、計画に沿って研究成果があげられた。開発された技術は対象魚種で試され、共同研究の結果、研究者の能力向上、研究成果の公表も実現した。さらには、研究成果の実用化に向けた取組みが開始され、疾病診断サービスの実施、魚粉代替飼料の生産・販売といった社会実装も実現している。この他、流行していたエビの病気の診断法がいち早く開発されて国内外で承認されたり、農家・民間企業の科学リテラシーが向上したり、といった正のインパクトも複数確認された。よって、有効性・インパクトは高い。事業期間、事業費は成果に見合ったものであったと判断し、効率性は高いとした。持続性については、持続的で高品質な養殖技術の開発とその社会実装に向け、政策・政治的関与、制度・体制、技術、財務のすべてにおいて十分であり、高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

1. 事業の概要



事業位置図



水産局での供与機材を使った研究の様子
(左：卓上型遠心分離機、右：窒素蒸気装置)

1.1 事業の背景

水産業はタイの基幹産業の一つであり、日本は輸出相手国として極めて重要なパートナ

¹ 親魚の養成方法が確立されている魚種を代理の親魚として、種苗生産を目指す魚種の配偶子を作り出す技術。

一であると同時に、タイが水産物の品質向上と安全性を高めることは、日本にとっても重要な課題であった。2000年代初めまで水産物の主要生産品であった在来種のブラックタイガーは、生産性の低さと病気の大量発生リスク等により生産量が著しく減少し、外来種であるバナメイエビに取って代わられていた。バナメイエビについても魚病が大きな問題となっており、病気への耐性が強く成長の早い魚介類の育種技術の向上が重要となっていた。東南アジアにおける養殖の主流は、安価なティラピア、コイ、ナマズ、バナメイエビ等であったが、さらなる増産と輸出拡大を目指すためには、これらの安価な養殖種の量的拡大を目指すだけでは不十分であり、市場性が高い魚介類を対象とした新しい養殖システムを構築する必要があった。しかしながら、市場性の高い魚介類を対象とした飼料開発、種苗生産への民間企業の投資は、その負担が大きく進んでおらず、公的機関による主導が必要であった。このように、養殖事業者や農家の生産意欲を向上させ、養殖による生産性・経済性を安定化するための技術の開発が求められていた。

1.2 事業の概要

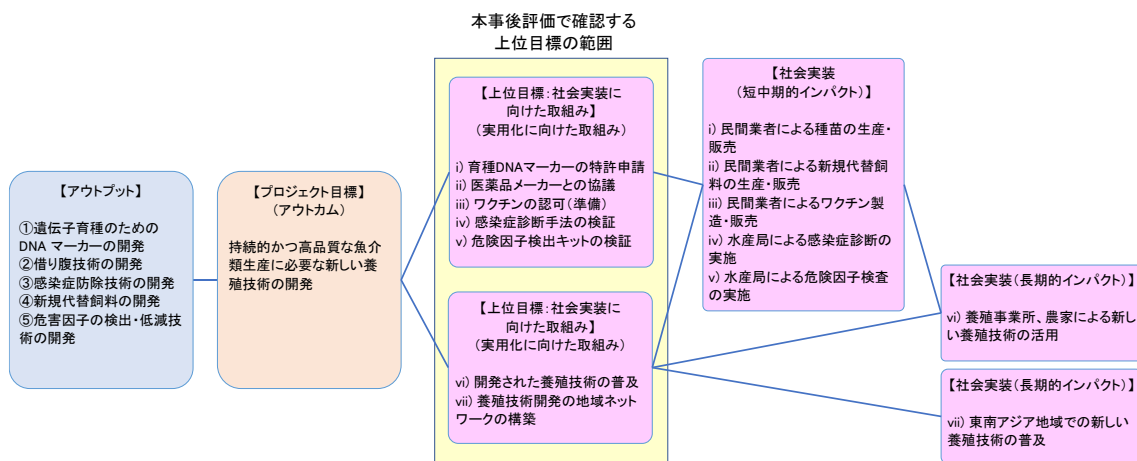
上位目標	設定なし。	
プロジェクト目標	持続的かつ高品質な魚介類生産に必要な新しい養殖技術が開発される。	
成果	成果 1	遺伝子育種のための DNA マーカーが開発される。
	成果 2	借り腹技術を利用した育種技術基盤が構築される。
	成果 3	魚介類感染症防除技術が開発される。
	成果 4	養殖用新規代替飼料が開発される。
	成果 5	養殖システムにおける危害因子を検出・低減させる技術が開発される。
日本側の事業費	408 百万円	
事業期間	2012 年 5 月 ~ 2017 年 5 月	
事業対象地域	バンコク、クラビ県、チョンブリー県、ペッチャブリー県、ソクラー県、ナコンシタラマート県、ナコンラチャシマー県	
実施機関	農業協同組合省水産局、カセサート大学水産学部・理学部、チュラロンコン大学理学部、ワライラック大学農業工学研究所	
その他相手国協力機関など	スラナリー工科大学 ²	
わが国協力機関	東京海洋大学、国際農林水産業研究センター、水産研究・教育機構	
関連事業	【技術協力】世界戦略魚の作出を目指したタイ原産魚介類の家魚化と養漁法の構築（2019 年～2024 年）	

本事業では研究領域ごとに成果が 5 つ設定されていた。成果 1 は養殖に有用な形質に関

² スラナリー工科大学は協力機関としての位置付けであったが、事後評価では実施機関と同様に情報を確認し、分析する。

する DNA マーカーを開発し、そういった形質を持つ個体識別を選別して飼育する分子育種技術の開発である。成果 2 の借り腹技術は、成熟が早く丈夫な魚種のお腹を借りて別種の大形の高級魚の卵を育てるもので、親魚の小型化と成熟期間短縮が可能となり、有用形質の選抜育種を可能にするものである。また、遺伝子資源の保存が可能になる。成果 3 はワクチンなどの感染症防除技術の開発であり、耐病性の高い家系作出（成果 1）と両輪となって養殖の魚病対策を狙ったものである。成果 4 の養殖用の新規代替飼料は、代替タンパク質を配合した飼料を開発し、天然資源である魚粉の使用を減らして生態系保全を狙うものである。成果 5 は食品としての安全性を確保するための飼料や養殖池中の有害因子の検出・低減技術の開発である。このように、商品価値が高くて（成果 1、成果 3）安全な品種（成果 5）を、より短期間・省スペースで産卵・飼育する（成果 2）ことで「高品質」な養殖生産を可能とする。また、魚粉利用に依存しないことで（成果 4）養殖生産を「持続的」なものとする。したがって、相互に関連する課題に対応するため、これらの要素が相互補完的に働くことで、プロジェクト目標の「持続的かつ高品質な魚介類生産に必要な新しい養殖技術が開発される」につながる。

上位目標は設定されていなかったが、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）の終了評価報告書では、上位目標は「生産者の生産意欲向上が期待される新しい魚介類産業化への応用技術（死の谷を越える技術）が確立され、東南アジアに世界の新たな食糧庫ができあがる」と記載されていた³。SATREPS 事業では、研究者に対して事業期間に求められているのは「社会実装の道筋」を付ける段階までであることに鑑み、事後評価では、この目標の前半部分（応用技術の確立）に着目し、事業完了後に「社会実装への取組みが行われる」を上位目標として設定した。具体的には、研究成果の社会実装に必要な 7 項目を想定した。プロジェクト目標達成後の効果発現の道筋を下図のとおり整理した。



出所：評価者作成。

図 1 本事業の効果発現のロジック（成果～長期的インパクト）

³ 東京海洋大学（2017）「次世代の食糧安全保障のための養殖技術研究開発終了報告書」。

1.3 終了時評価の概要

1.3.1 終了時評価時のプロジェクト目標達成見込み

プロジェクト目標は達成されたと判断された。計画された研究活動はほぼ予定どおりに進捗し、特筆すべき成果も報告された。タイ側研究者も研究に必要な先進の知識と技術を習得し、共同論文の執筆も進んだ。他方、9つの対象魚種のうちすべての技術開発が行われたのは1つであり、さらなる技術の統合・完成が必要であるとの指摘があった。

1.3.2 終了時評価時の上位目標達成見込み（他のインパクト含む）

JICAの終了時評価では上位目標の設定はなかった。社会実装の取組みが部分的に進められていることが報告された。

1.3.3 終了時評価時の提言内容

以下の事項が提言された。

- (1) 「次世代の食糧安全保障のための養殖技術」の姿の明確化と共有
- (2) 研究項目ごとの進捗状況の把握と今後の社会実装の見通し
- (3) 知的財産権に関する議論
- (4) 事業実施により構築されたネットワークの活用
- (5) 研究成果の広報及び普及
- (6) 周辺国への技術支援

2. 調査の概要

2.1 外部評価者

野口純子（一般財団法人国際開発機構）

2.2 調査期間

今回の事後評価にあたっては、以下のとおり調査を実施した。

調査期間：2021年7月～2023年1月

2.3 評価の制約

新型コロナウイルスの感染拡大により、予定していた現地調査は中止し、現地調査補助員を通じた遠隔調査に切り替えることとなった。一部実施機関では施設内への立入りができず、対面でのヒアリング及び観察による情報収集ができなかった。このため、質問票に加えてオンラインでのヒアリングに切り替えて対応した。

3. 評価結果（レーティング：A⁴）

3.1 妥当性（レーティング：③⁵）

3.1.1 開発政策との整合性

本事業とタイの開発政策との整合性は事前評価時から事業完了時まで一貫して高い。

「第10次国家経済・社会開発計画（NESDP）」（2007年～2011年）では、知識とイノベーションを基盤とした価値創造が開発に向けた戦略の一つとして掲げられていた。

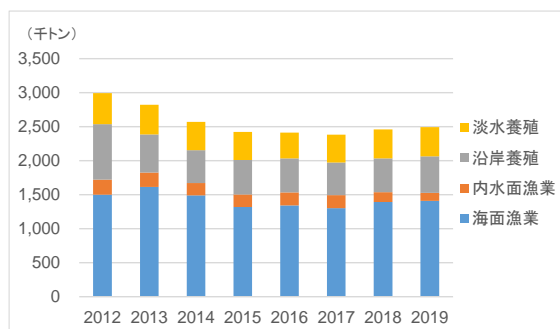
「第11次 NESDP」（2012年～2016年）では、収益性の高い養殖業の開発と養殖業の生産コストを削減する技術開発の重要性が言及されていた。「第12次 NESDP」（2017年～2021年）でも、生産・サービス分野の競争力強化のために、市場の需要に合った農家支援、持続的な漁業生産システム、生産工程における新技術・機材を利用した研究開発の実施が挙げられていた。加えて、タイ政府は「Kitchen of the world（世界の台所）」計画でも食料の増産と輸出産業化を目指すことを表明している。

水産分野の基本政策となる水産局の「戦略計画」（2009年～2012年）では、①養殖による生産量の増加、②養殖魚を活用した水産物の品質向上、③養殖による水産資源の増加、④養殖に関する研究開発の強化、が養殖分野における主要課題とされた。「戦略計画」（2013年～2016年）（2017年～2021年）でも同様であり、水産資源管理による漁業資源の持続性と多様性の維持といった視点が加わった。

3.1.2 開発ニーズとの整合性

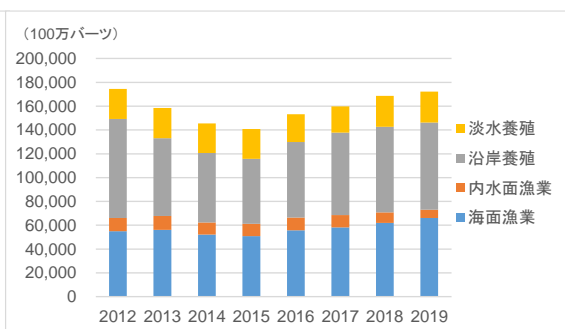
本事業とタイの開発ニーズとの整合性は事前評価時及び事業完了時ともに高い。

タイ国内の一人当たりの年間魚介類消費量は33.7kg（2016年）であり、2012年から2016年まで前年比で平均して11%増加していた⁶。その一方で、漁業・養殖生産量は2012年の299万トンから2017年の238万トンまで減少傾向にあった（図2）。同期間の養殖生産量は127万トン、88万トンであり、同様に減少していた。生産量全体に占める養殖生産の割合も同期間で43%から37%まで大きく減少していた。漁業・養殖生産金額で見



出所：Fisheries Statistics of Thailand 2019.

図2 タイの漁業・養殖生産量



出所：Fisheries Statistics of Thailand 2019.

図3 タイの漁業・養殖生産額

⁴ A：「非常に高い」、B：「高い」、C：「一部課題がある」、D：「低い」

⁵ ③：「高い」、②：「中程度」、①：「低い」

⁶ 水産局からの質問票回答。

ると、2012年は1,743億バーツであったのが2017年は1,597億バーツであった(図3)。同期間の養殖生産金額は1,083億バーツ、912億バーツであり、全体の金額に占める割合はそれぞれ62%、57%であった⁷。

漁業生産量が減少している一方で、輸出は増加していた(2012年は728億バーツ、2018年は1,901億バーツ)。国内消費量の増加に漁業生産が追いついていない状況でも輸出金額が増加していることから、タイの魚介類の輸出と国内消費の両方のニーズは大きなものであったと考えられる。特に、生産量、金額ともに減少傾向が大きかった養殖生産については、市場価値や耐病性を向上させることにより、高品質で効率的な漁業生産が求められていた。また、養殖を含む経済活動により、マングローブ、サンゴ礁、海草などの主要な生態系が脆弱化していることが指摘されていたことから、生態系の維持・改善を伴った養殖生産の必要があった。

3.1.3 日本の援助政策との整合性

本事業と事前評価時における日本の援助政策との整合性は高い。

タイに対する協力の基本姿勢は、対話重視、相互利益等に特徴づけられるパートナーシップに基づく協力関係の構築であった。技術協力の重点分野の一つは「持続的成長のための競争力強化」となっていた。本事業は、タイの主要輸出品である魚介類の生産性と安全性の向上を目指したことから、同分野に合致していたと判断する。

以上より、本事業の実施はタイの開発政策、開発ニーズ、日本の援助政策と十分に合致しており、妥当性は高い。

3.2 有効性・インパクト⁸ (レーティング: ③)

3.2.1 有効性

3.2.1.1 成果達成度

(1) 成果1

DNA マーカー開発に関する研究はすべての対象魚種において行われた。特に大きな成果として、タイガーグルーパー(ハタ科の魚で、和名はアカマダラハタ)、ハイブリッドグルーパーのDNA マーカーがそれぞれ11個、2個開発された。また、家系分析として、グルーパー類の有用なDNA マーカーから9つ遺伝子座が得られ、高成長形質の評価が進められた。タイガーグルーパー、ジャイアントグルーパー(ハタ科の魚で、和名はタマカイ)についてそれぞれ183DNA マーカー、130DNA マーカーの示す遺伝子連鎖地図⁹が作成された。グルーパー類の遺伝子連鎖地図の作成は世界初の事例であり、大きな成果であった。これにより、タイガーグルーパーの3家系、ハイ

⁷ Ministry of Agriculture and Cooperatives of Thailand (2021) “Fisheries Statistics of Thailand 2019.”

⁸ 有効性の判断にインパクトも加味して、レーティングを行う。

⁹ 染色体上の遺伝子の位置を示した地図。

ブリッドグループの1家系が作出された。クルマエビ類についても、バナメイエビとブラックタイガーの家系分析用に DNA マーカーがそれぞれ7つ、5つ得られ、ブラックタイガーについては高成長・耐病性の家系が作出された。このほかにもアジアシーバスの DNA サンプルを用いて遺伝子座が同定され、低酸素耐性・バクテリア耐性・高成長形質を同定するための家系分析が行われた。

指標として設定された開発 DNA マーカー数、作成連鎖地図の数、開発家系の数のいずれも計画を超えており、成果1は達成された。

(2) 成果2

借り腹技術はタイ側にとって新規の研究であった。成熟するまでに7~8年を必要とするジャイアントグループ¹⁰とメコンオオナマズ¹¹を対象を絞って、ドナー細胞調整法の構築、適切なレシピエント種の探索、移植操作及びその周辺技術（移植細胞追跡等）について研究が実施された。借り腹技術が確立できれば、親魚の小型化、成熟期間短縮による有用形質発現家系の選抜育種の効率化、生殖細胞凍結により遺伝子資源の保存が可能になる。本事業ではこのうち、ドナーとレシピエントとの組合せの範囲を明らかにすることが目指された。ジャイアントグループ（ドナー）とタイガーグループ（レシピエント）、メコンオオナマズ（ドナー）とカイヤン（レシピエント）の組合せについて細胞移植法とその周辺技術が開発された。

指標として設定されていた細胞移植法の確立、レシピエント種の開発、ドナー・レシピエントの関係の確立のいずれも達成されており、成果2は達成された。



屋内の研究用水槽（借り腹技術の研究）
（スラナリー工科大学）

(3) 成果3

成果3の感染症防除技術の研究では、グループ類、アジアシーバス及びクルマエビ類が対象とされた。ブラックタイガー及びクルマエビの2魚種でマイクロアレイ¹²が構築され、6魚種（ジャイアントグループ、タイガーグループ、アジアシーバス、ブラックタイガー、バナメイエビ、ナイルティラピア）の遺伝子カタログが作成された。また、耐病性を持つエビ類の遺伝子発現プロファイリングが得られ、ブラックタイガーの11種類の免疫遺伝子候補のカタログが作成された。さらに、腸炎ビブ

¹⁰ グルーパー類はメスとして性成熟した後オスに性転換を行うため、成長が遅いことが知られている。ジャイアントグループは成熟までに7~8年かかるが、同じハタ科のタイガーグループは2年程度で成熟する。

¹¹ 全長約200センチで希に300センチ、体重300キロまで成長する、世界最大の淡水魚の一つ。

¹² DNA マイクロアレイは細胞内の遺伝子発現量を測定するために、多数のDNA断片をプラスチックやガラス等の基板上に高密度に配置した分析器具のこと。

リオとホワイトスポット病原因ウイルス (WSSV) のワクチンが開発された。本事業開始後に、タイを含む東南アジアや中国のエビの養殖場で早期死亡症候群 (EMS) と言われる腸炎ピブリオ由来の急性肝臓壊死症 (AHPND) が発生し、大きな問題となった。急遽、タイ側からの要請を受けて、この病気へ対応する研究が本事業に加えられた。EMS/AHPND



グルーパー、アジアシーバスの飼育
(クラビ沿岸水産研究開発センター)

を引き起こす最新のゲノム解析が行われ、ポリメラーゼ連鎖反応¹³ (PCR) テストによる診断手順が開発された。この手順は 2014 年に水産局の標準手続きとして採用されたほか、2016 年 9 月に国際獣疫事務局 (OIE) の標準手法として採用された (コラム 1)。グルーパー類とアジアシーバスについては、多数の免疫関連遺伝子が同定された。ナイルティラピアについては、病原微生物ワクチン抗原候補 10 種が同定され、B 群溶血性レンサ球菌のワクチンが開発され、フィールド検証が実施された。

指標は、マイクロアレイの構築、免疫関連遺伝子カタログ化、ワクチン抗原候補のカタログ化、病原微生物のワクチンの開発、疾病防除管理法の開発であった。いずれも計画どおりか、それ以上の実績をあげており、成果 3 は達成された。

コラム 1 開発技術の迅速な採用に向けた工夫

タイはじめ東南アジア地域で EMS/AHPND が問題となってから、まずアリゾナ大学が病原微生物を特定し、それから診断法の開発競争がタイのマヒドン大学の研究グループ、台湾の成功大学の研究グループ、本事業の研究グループ (水産局と東京海洋大学) で始まった。検査方法の開発に成功したのは 3 グループがほぼ同時期であったが、その成果を公式に研究論文として発表したのは本事業の研究チームが先であった。本事業の研究チームは、競争相手に査読が回る可能性があること、時間をより要することから、投稿先を国際雑誌ではなく、日本の雑誌 (日本魚病学会の *Fish Pathology*) としたのが功を奏したといえる。OIE の水産部会は定期的に会合を開催し、各国から感染症発生状況について情報を収集している。EMS/AHPND は発生後、急速に世界に拡大したため、OIE はこれを指定感染症とした。OIE で EMS/AHPND の診断法について議論が行われ、3 グループ全ての診断法が標準法として採用された。

出所：東京海洋大学ヒアリング結果を基に作成。

(4) 成果 4

成果 4 の養殖用の新規代替飼料は、天然資源である魚粉使用を減らして生態系保全を狙ったものである。研究対象はバナナエビ、バナマイエビ、タイガーグルーパーであった。バナナエビの親魚の飼料が試作された。タンパク源の代替として複数の選択肢が選定され、給餌試験を経て試作飼料が開発された。バナマイエビの代替飼料は植物性タンパク質材料の最適な配合割合が設定された後、PCR 解析が行われた。タイガ

¹³ 薬液を用いて、検査したいウイルスの遺伝子を増幅させ検出させる検査方法。

ーグループについても代替飼料が開発され、プロトタイプ（試作品）の評価が行われた。

指標である試作飼料と代替飼料が開発されたことから、成果 4 は達成された。

(5) 成果 5

成果 5 は危害因子の検出・低減技術の開発であった。特に世界的に問題となっていたマラカイトグリーン¹⁴ (MG) による汚染に対応するため、タイでは輸出対象魚介類について多大なコストと時間をかけて残留モニタリングが行われていた。しかしながら、国内流通用には十分ではなく、養殖池中の底泥への MG の蓄積が問題視されていた¹⁵。本事業では、飼料、飼育水、底泥からロイコマラカイトグリーン¹⁶ (LMG) を検出するためのイライザ (ELISA)¹⁷ 検出法について検証が行われ、国際的な基準で実用可能であることが確認された。シーバスやタイガーグループの養殖施設でのモニタリングの結果、同分析法は従来の検査法よりも 3 倍近いスクリーニング能力を発揮した。また、研究成果として、LMG の検出キットのプロトタイプが開発された。

指標である有害化学物質の検出キットプロトタイプ、化学物質汚染の低減技術の開発が行われたことから、成果 5 は達成された。

3.2.1.2 プロジェクト目標達成度

プロジェクト目標「持続的かつ高品質な魚介類生産に必要な新しい養殖技術が開発される。」は終了時評価での判断同様、達成されたと判断する。上述のとおり、高成長・耐病性に関する DNA マーカーの開発により養殖に適した形質が明らかになり（成果 1）、成育期間を短縮させる借り腹技術の研究が進んだ（成果 2）。感染症診断・防除のための検査手法やワクチンが開発され（成果 3）、化学物質の検出・汚染低減の方法も開発されたことにより（成果 5）、食の安全を担保する飼育技術が強化された。さらには、魚粉を代替する飼料が開発されたことは（成果 4）水産資源の持続性につながる。これらの研究成果は相互補完し、相乗効果として養殖の品質と持続性を向上させるものである（プロジェクト目標）。終了時評価では、「次世代の食糧安全保障のための養殖技術」の姿の明確化と共有が提言されていた。事後評価で水産局、4 大学の研究者にこの定義を聞いたところ、食糧安全保障と本事業の研究の関連性、相互補完性について共通の理解を持っていたことを確認した。

プロジェクト目標の指標は、下表のとおり、①研究対象の魚種の数、②技術を習得した研究者の数、③研究成果が発表された文書の数、④研究成果が発表された会議等

¹⁴ 青緑色の有機色素で、かつて養殖で抗菌剤として広く使われていたが、発がん性が報告されてから使用が禁止された。地中に在留している MG による汚染が問題視されている。<https://www.jst.go.jp/seika/bt2018-10.html> (2022 年 1 月 10 日アクセス)。

¹⁵ JST 終了報告書, p.14.

¹⁶ マラカイトグリーンの代謝物。

¹⁷ 試料溶液に含まれる目的の抗原あるいは抗体を提供化する分析手法。ELISA は Enzyme Linked Immuno Sorben Assay の略。

の数であった。指標①については、終了時評価では、前述のとおり「すべての技術開発が行われた対象魚種は1つであり、さらなる技術の統合・完成が必要である」との指摘があったが、本事業の研究の申請の時点から各領域の研究発展に適した魚種が選定されており¹⁸、計画どおりの研究実績であった。指標②、③、④についても計画以上の達成度であった。

表1 プロジェクト目標の達成度

目標	指標	実績
プロジェクト目標：持続的かつ高品質な魚介類生産に必要な新しい養殖技術が開発される。	①新しい養殖技術が試される対象の魚介類の種類（少なくとも3種類）	達成 <ul style="list-style-type: none"> 5つの研究領域で9種類（ジャイアントグルーパー、タイガーグルーパー、ハイブリッドグルーパー、アジアシーバス、ブラックタイガー、バナメイエビ、バナナエビ、ナイルティラピア、メコンオオナマズ）の対象魚種に対して新しい養殖技術の開発が試みられた。
	②新しい養殖技術を習得した研究者の数（少なくとも60%）	達成 <ul style="list-style-type: none"> 終了時評価時点で93人のタイ側研究者のうち58人（62%）が本邦研修で先進の養殖技術を習得した。大半の研究者が習得・技術を活用し、継続する能力があると終了時評価で判断された。
	③学術論文、技術報告、指導教材、学会紀要、ニュースレターなどの数（少なくとも50）	達成 <ul style="list-style-type: none"> 日タイ研究者の共同研究による論文は75編であった（うちタイ側研究者が筆頭著者となったのは35編）。技術報告、指導教材、ニュースレターは作成されていない。
	④研究成果を報告するワークショップ・セミナー等の開催数（少なくとも10回）	達成 <ul style="list-style-type: none"> 研究成果を報告するセミナー11回、会議11回、シンポジウムやワークショップ等4回（計26回）が開催された。

出所：終了時評価報告書、水産局質問票回答。

以上より、プロジェクト目標は達成された。

3.2.2 インパクト

3.2.2.1 上位目標達成度

前述のとおり、本事業では上位目標は設定されていなかったため、事後評価ではプロジェクト目標で目指した養殖技術の開発に関する研究成果の社会実装に向けた取組みが行われることを上位目標として想定した。下表のとおり、本事業の研究成果に基づいて、社会実装に向けた取組みが開始されており、上位目標は達成されたと判断する。

①特許申請については、タイガーグルーパーの成長形質に関するDNAマーカーは知的財産として価値のあるもの、今後の産業に資するものと考えられ、日本側研究機関が中心となって特許申請が行われた。②民間企業との協議としては、ティラピアの

¹⁸ 東京海洋大学ヒアリング結果。JST向けの初年度の報告書から対象魚種は明記されている。

レンサ球菌ワクチンが開発され、事業期間中からフィールド検証とともに日本の動物用医薬品メーカーとの協議が開始された。新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の影響から協議は中断されたが、同メーカーは後続の SATREPS 事業「世界戦略魚の作出を目指したタイ原産魚介類の家魚化と養漁法の構築」に参加しており、タイ側研究機関であるカセサート大学との関係は継続している。③のワクチン認可については、タイでは水産用ワクチンを承認するための規則がまだ設定されていないため、カセサート大学はそれに代わる業界基準（Good Manufacturing Practice: GMP）を満たす認証取得を目指している。④感染症診断手法の検証については、前述のとおり、本事業で開発された EMS/AHPND の診断法は水産局の標準手法となった。エビの個体だけでなく、研究施設の診断にも用いられている。同手法は、⑤危険因子検出キットとしても養殖池の水質や堆積物の検査にも活用されている。⑥開発技術の普及として主に、魚粉代替飼料の普及が民間企業や農家を対象として実施されている。プロトタイプを検証中に農家に提供されるケース、講義やセミナーの形で民間企業や農家に紹介されるケース、生産団体に試料作成方法が技術移転されるケース、等がある。大学が流通業者や農家に対して作成した飼料やワクチンを提供し、大規模な商用目的ではなく、研究の社会還元と研究資金の創出を図っているケースもある。⑦の地域ネットワークの構築に向けて、水産局は国際セミナーで研究成果を共有している。これらの取組みのうち継続中であるもの（②、⑥、⑦）は、実施機関が独自でまたは後続事業の中で継続されていることによる。



PCR テストによるエビの EMS/AHPND の診断（水産局）

表 2 事後評価で想定した上位目標の達成度

項目	実績	関連成果
① 育種 DNA マーカーの特許申請	取組み継続中 <ul style="list-style-type: none"> 2016 年、東京海洋大学、水産研究・教育機構は「成長性遺伝形質を有するアカマダラハタの識別方法」の国内特許を日本で出願し、登録完了済み。 2017 年、東京海洋大学と水産局は「成長性遺伝形質を有するアカマダラハタの識別方法」の国際特許を出願した。事後評価時点で審査請求前の段階。 2017 年、東京海洋大学と水産局は「成長性遺伝形質を有するアカマダラハタの識別方法」の台湾での特許を出願した。事後評価時点で拒絶対応中（特許付与に向けて修正対応中）。 	成果 1
② 民間企業との協議	取組み継続中 <ul style="list-style-type: none"> 2016 年からティラピアの B 型溶血性レンサ球菌感染症に対するワクチン市販化に向けて日本の動物用医薬品メーカーとの協議が開始された。COVID-19 の影響を受けて協議は中断しているが、同メーカーは後続事業に参加しており、タイでのワクチン販売を目指している。 	成果 3
③ ワクチンの認可（準備）	取組み継続中 <ul style="list-style-type: none"> タイでは医薬品製造業で必要とされる基準（GMP: Good manufacturing 	成果 3

項目	実績	関連成果
	Practice) に基づいた動物用ワクチン製造がまだ行われておらず、動物用ワクチンの公的登録制度がない。海外からのワクチンのみ登録される。カセサート大学の研究チームは、学部に GMP 部門を設立し、食品医薬品局 (FDA) の規定に従って魚類ワクチン登録に向けて FDA と連絡を取っている。研究チームは動物用ワクチン製造の GMP 認証取得に取り組んでいる。	
④感染症診断手法の検証	取組み完了 <ul style="list-style-type: none"> EMS/AHPND 診断法は水産局の標準手法として採用された。水産局のラボラトリーの診断マニュアルにエビの EMS/AHPND 診断法が加わった。 	成果 3
⑤危険因子検出キットの検証	取組み完了 <ul style="list-style-type: none"> エビの EMS/AHPND 診断法は、エビの個体だけでなく、感染した個体の選別・疾病予防を目的として水質や堆積物の検査にも適用されている。これにより、個体感染を以前より防止できるようになった。 	成果 5
⑥開発された養殖技術の普及	取組み継続中 <ul style="list-style-type: none"> 事業期間中にプーケット県タラーン郡において、エビの魚粉代替飼料の養殖業者へ紹介が行われた。 事業完了後、農業研究開発機構 (ARDA) からの助成と後続事業で、チュラロンコン大学が rALFPm3 添加の飼料を生産している (商業用ではない)。 事業期間中に日本側研究者の助言を受けながら、カセサート大学はウボンラチャタニ大学と共同で、農家に魚のワクチン使用や抗生物質の環境・人体への影響に関する研修を行った。ウボンラチャタニ大学はその後ワクチン開発についての講義を実施するようになった。 水産局は社会実装に向けて以下のセミナーを実施した：①パンガー県沿岸養殖研究開発センター (CARDIC) による、魚粉に代わるグルーパー代替飼料の生産方法 (2018 年～2019 年、チャイパッタナ財団対象)。グルーパーの市場は小さく民間企業は関心を示さないため、NGO へ技術移転を行った。②グルーパー養殖と飼料管理 (2018 年、プーケット県のグルーパー養殖農家対象)。③エビと周辺環境の EMS/AHPND 診断手法 (2018 年～2019 年、水産局ラボラトリー対象)。 ワライラック大学は、2017 年、プロバイオティクス製剤を製造・販売するため事業部門を設立した。 	成果 3、4
⑦養殖技術開発の地域ネットワークの構築	取組み継続中 <ul style="list-style-type: none"> 2017 年 7 月に FAO 加盟国が集まる国際ワークショップでタイ政府としてエビ EMS/AHPND に関して情報共有を行った。 2021 年 12 月、「第 19 回魚類栄養・飼料シンポジウム」で以下の発表を行った：①アジアシーバスの無魚粉飼料、無魚油飼料の開発、②廃棄海洋魚のタンパク質加水分解物のバナナエビ飼料への応用。 	成果 3、4

出所：終了時評価報告書、JST 終了報告書、水産局、カセサート大学、チュラロンコン大学、ワライラック大学、チョンブリーCARDIC、東京海洋大学への質問票回答・ヒアリング結果。

以上のとおり、本事業の研究成果に基づいて、社会実装に向けた取組みは継続している。よって、想定した上位目標は達成されたと判断する。

3.2.2.2 事業効果の継続状況

(1) 研究成果の活用

本事業で実施された研究は 5 つの領域で継続されている (表 3)。また、新規に開始された研究もある。例えば、成果 1 の分子育種の研究で、ジャイアントグルーパー、タイガーグルーパーの遺伝子連鎖地図はそれぞれ 289 個、475 個の DNA マーカーか

らなるものが作成されるに至った¹⁹。成果 2 の借り腹技術の研究も継続されており、2019 年に移植したレシピエントのナマズからメコンオオナマズが誕生したことは大きな成果となった（後述）。成果 5 の危害因子の検出・低減技術については、ニフトフラン検出のフィールド検証、検出キットの量産に向けた研究が行われている。これらの研究成果に基づき、日本人研究者との共著も含め論文も複数発表されている。

表 3 研究の継続状況

プロジェクトの要約		事後評価時における継続状況
成果 1： 遺伝子育種のための DNA マーカー（成長、疾病/耐性、ストレスなどを含む）が開発される。	研究の継続状況	<ul style="list-style-type: none"> グルーパーの分子育種の研究が東京海洋大学と水産局により継続されている。ジャイアントグルーパー、タイガーグルーパーについて、それぞれ 289 個、475 個の DNA マーカーからなる遺伝子連鎖地図が作成された。 アジアシーバスについては、東京海洋大学と水産局により DNA マーカーの開発に向けた共同研究が継続されている。これまでに遺伝子情報の配列が複数特定された。家系評価の表現形質の選択と選定法が確立された。新たに解析用の家系が作出され、水産局のセンター3ヶ所で維持されている。共同研究に国立科学技術開発庁（NSTDA）下の国立遺伝子生命工学研究センター（BIOTECH）も加わった。 エビ類については、ワライラック大学で研究が継続されていたが、施設（停電、ジェネレーター故障）の事故により、WSSV 耐性・高成長形質を持つブラックタイガー、バナメイエビが全滅した。しかしその後 2019 年、再び同形質を持つ個体が見つかり、飼育事業が継続されている。
	後続案件での研究実施状況	<ul style="list-style-type: none"> アジアシーバスの耐病性等の有用形質検出のための分子マーカーの開発、バナナエビの遺伝的多様性の検証、耐病性分子マーカーの開発等に向けた研究が進められている。 アジアシーバス、バナナエビの遺伝的多様性を確認するためのサンプリングと遺伝的多様性解析が継続されている。家魚化に向けて、耐病性等の有用形質検出のための分子マーカーの開発が計画されている。
	新規研究の実施状況	<ul style="list-style-type: none"> 本事業で開発された分子育種技術は遺伝的に多様な稚魚（brooders）の選定に活用され、2020 年以降、水産局でバナナエビとシーバスの育種研究事業が実施されている。 ブラックタイガーの分子育種技術を基に、バナメイエビ、テトラピア飼育の研究がワライラック大学により実施されている。
成果 2： 借り腹技術を利用した育種技術基盤が構築される。	研究の継続状況	<ul style="list-style-type: none"> ジャイアントグルーパー、タイガーグルーパーのドナーとレシピエントの関係確立に向けた研究が東京海洋大学と水産局により継続されている。ジャイアントグルーパーは成熟までに 7、8 年要する魚種であり、雄は成熟した雌がさらに成長した後に性転換により得られるため、親魚の飼育・維持に時間を要している。 メコンオオナマズについても東京海洋大学とスラナリー工科大学により研究が継続されている。2019 年、研究成果として、移植したレシピエントのナマズ（カイヤン）からメコンオオナマズを誕生させることに成功した。遺伝資源は水産局で保存されている。 借り腹技術の研究がスラナリー工科大学で継続されている。大学院生 2 名（博士・修士）が生殖細胞移植についての

¹⁹ 東京海洋大学ヒアリング結果。

プロジェクトの要約	事後評価時における継続状況	
		論文を作成した。
	後続案件での研究実施状況	<ul style="list-style-type: none"> アジアシーバスの遺伝的多様性・遺伝資源保存のための生殖細胞移植技術の開発、タイ産ナマズの生殖細胞技術改良、バナナエビ等の生殖細胞の保存、細胞移植技術の開発に向けた研究が進められている。 2021年3月までに、アジアシーバスのドナー個体の成熟段階及び移植に適したレシピエントの発生段階の同定、生殖細胞のレシピエント生殖腺への生着効率の検証を経て、生殖細胞移植系の基盤が構築された。 ナマズとシーバスの精巣と卵巣の凍結保存に関する研究がスラナリー工科大学で行われている。
	新規研究の実施状況	<ul style="list-style-type: none"> スラナリー工科大学では借り腹技術の研究成果を基に、生殖細胞の形成を特定する生殖細胞マーカーの研究を実施し、同テーマで論文を4本作成された。 本事業で得た技術、機材を活用して、ナマズの遺伝子編集や給餌に関する新たな研究プロジェクトが考えられている。
成果3： 魚介類感染症防除技術が開発される	研究の継続状況	<ul style="list-style-type: none"> バナメイエビについては、2017年12月、東京海洋大学と東北大学発ベンチャー企業により、同大の医工学研究科の技術（デング熱等のヒトの感染症、PCRベースの検査手法）の技術を活用して養殖エビの感染症を遺伝子検査で早期に発見するキットが開発された。この過程で、水産局が現地で実際に調べるサンプルを用いて従来の検査結果との比較等を行った。産業化に向けて、インドネシア、フィリピン（販売代理店）で試験が行われていたが、COVID-19の影響で中断している。 ナイルティラピアのワクチン開発に関して、東京海洋大学とカセサート大学により共同研究が継続されている。ナイルティラピアのワクチン開発に関して、日本の薬株式会社、タイの食品メーカー（CP、Betagro）とも連絡を取っている。 細菌性ワクチンの開発がワライラック大学で継続されている。 エビの免疫学、抗菌ペプチドに関する研究がチュラロンコン大学で実施されている。
	後続案件での研究実施状況	<ul style="list-style-type: none"> アジアシーバスの病原生物感染症病魚のためのワクチンとアジュバンド開発、ワクチン評価法の開発、バナナエビの耐病性研究のための遺伝子ツールの開発、クルマエビ類の微生物感染症に対する防除法の開発等に向けた研究が進められている。 バナナエビのWSSVに対する生体防御反応を調べるための次世代シーケンサー実施のサンプル調整が行われた。エビ類のEMS/AHPNDの防除・治療を目的としたファージセラピー法の開発のため、養殖池から13のファージの分離が行われた。 クルマエビの遺伝子のカタログ化が行われ、バナナエビの遺伝子のカタログ化が始まった。
	新規研究の実施状況	<ul style="list-style-type: none"> 魚介類の感染症病原体の特性を明らかにし、疾病の検出・予防・制御のため、以下を含む研究がカセサート大学で実施されている：①淡水魚と海水魚の様々な疾病、②細菌性疾患を制御するための様々なタイプのワクチン、③細菌性疾患を検出するためのモジュール、④エビの疾病管理のためのプロバイオティクス。 エビの新興感染症や飼育のための分子マーカーの研究がチュラロンコン大学と民間企業と共同で実施されている。

プロジェクトの要約	事後評価時における継続状況	
成果4： 養殖用新規代替飼料 が開発される。	研究の継続状況	<ul style="list-style-type: none"> タイガーグループの魚粉代替飼料プロトタイプの評価が水産局により継続されている。
	後続案件での研究 実施状況	<ul style="list-style-type: none"> アジアシーバスの出荷前栄養強化餌・給餌法の開発、バナナエビ等の全雌生産の基盤技術の開発、親エビの効率的な人工養成技術の開発に向けた研究が進められている。 飼料開発だけでなく、給餌法の開発への研究範囲が拡大された。2021年3月までに、アジアシーバスでは魚油を段階的に削減した飼料の成長への影響の研究が進められた。 バナナエビの親エビの催熟飼料開発、仔エビ用飼料向けの新規タンパク源の検討、飼育法改良の研究が行われた。
	新規研究の実施状況	<ul style="list-style-type: none"> タイガーグループ親魚の魚粉代替飼料の開発に関する研究が水産局により実施されている。
成果5： 養殖システムにおける 危害因子を検出・軽減 させる技術が開発 される。	研究の継続状況	<ul style="list-style-type: none"> カセサート大学により残留マラカイトグリーン、分解生成物、残留抗生物質の検出に関する研究が継続されている。また、危害要因の色素系検査に関して、日本の製菓企業研究所との研究交流が行われている。 ニトロフラン類検出のフィールド検証、検出キットの量産に向けた研究がカセサート大学で実施されている。
	後続案件での研究 実施状況	<ul style="list-style-type: none"> NA
	新規研究の実施状況	<ul style="list-style-type: none"> クロラムフェニコール等、魚介類水産物に含まれる様々な化学物質の検出システムの拡張に関する研究がカセサート大学で実施されている。

出所：水産局、カセサート大学、チュラロンコン大学、ワライラック大学、スラナリー工科大学、東京海洋大学への質問票回答・ヒアリング結果、「世界戦略魚の作出を目指したタイ原産魚介類の家魚化と養魚法の構築」JST 令和2年度実施報告書。

(2) 研究者の能力向上

水産局と4大学は後続事業にも実施機関として参加しており、研究を継続している研究者も多い(表4)。上述のとおり、本事業の研究が継続されているほか、本事業の成果にもとづいて新規の研究が開始されている。

表4 実施機関の研究者の継続状況

	関連する 成果	本事業に参加 した研究者	研究を継続し ている研究者	新入の研究者	後続事業に参加し ている研究者
水産局	1, 2, 3, 4, 5	66	36	44	74
チュラロンコン大学	4	3	6	5	2
カセサート大学	3, 5	7	3	6	16
ワライラック大学	1, 3	13	8	4	9
スラナリー工科大学	2	6	1	3	12

出所：水産局、チュラロンコン大学、カセサート大学、ワライラック大学、スラナリー工科大学への質問票回答・ヒアリング結果。

(3) 機材の活用・維持管理状況

本事業により供与された研究機材は、水産局と4大学で継続して活用されている。水産局では供与機材がリスト化されて管理されている。地方センターに設置された機

材については、毎年機材の状況と維持管理計画が水産局に報告される。事後評価時点で、地方センターに設置された PCR 装置 2 台のみ故障していたが、修繕費用が高いことからこれらは修理せずに他の 4 台を活用し、支障なく研究を実施している。いずれの実施機関においても、供与機材は日々の研究で点検・活用されている。

3.2.2.3 その他のインパクト

本事業だけでなく、後続事業もあり、効果を切り離して考えることは難しいが、以下に述べるような正のインパクトが確認できた。なお、自然環境等への負のインパクトは報告されていない。住民移転・用地取得はなかった。

(1) 研究成果の社会実装の実現（正のインパクト）

上述の取組みの結果として想定される社会実装を短中期、長期で整理した（図 1）。下表のとおり、想定された社会実装の一部がすでに実現している。②の代替飼料や③のワクチンは、民間業者による大規模な商用生産を想定していたが、研究担当大学や水産局から技術移転を受けた NGO が小規模で商品を販売し、農家がその便益を受けている。④の感染症診断、⑤の危険因子検査については、既述のとおり、事業期間中に診断法が開発され、水産局が公式に全国展開していることから、この研究成果が早くから社会実装された。



本事業の成果に基づいて開発されたプロバイオティクス製剤（ワライラック大学）

表 5 社会実装の実現状況

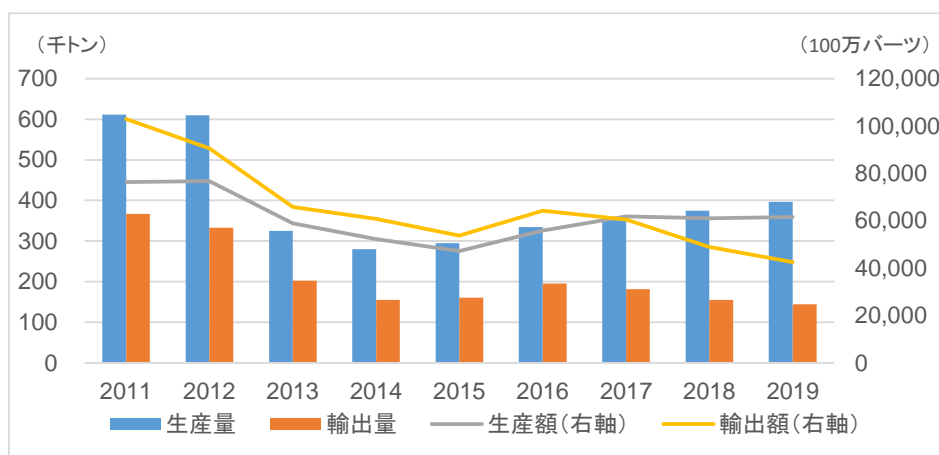
項目	取組み	実績
①民間業者による種苗の生産・販売	• 有用形質 DNA マーカーの開発（特許申請）	実現していない • 選択した形質を持った種苗を安定して得るためには時間を多く要するため、水産局ではその生産には至っていない。民間企業による生産についても同様である。
②民間業者による新規代替飼料の生産・販売	• 医薬品メーカーとの協議	一部実現している • NGO（チャイパッタナ財団）はグルーパーの魚粉代替飼料の生産を開始した（2019 年から組織再編、内部事情により製造・販売を中止）。
③民間業者によるワクチン製造・販売	• ワクチンの認可	一部実現している • ワライラック大学がエビのプロバイオティクス製剤を作成し、南部地域の販売業者 3 社、東部地域の販売業者 1 社に卸している。
④水産局による感染症診断の実施	• 感染症診断手法の検証	実現している • 水産局は養殖事業者、農家に対して年間 400 件の EMS/AHPND 診断を実施している。
⑤水産局による危険因子検査の	• 危険因子検出キットの検証	• 実現している • 水産局は EMS/AHPND 診断法を用いて、養殖池の水質や堆積物

項目	取組み	実績
実施		の検査を実施している。
⑥養殖事業者、農家による技術の活用	<ul style="list-style-type: none"> 開発された養殖技術の普及 	<ul style="list-style-type: none"> 一部実現している パンガー、プーケット、クラビ県のグルーパー養殖農家は魚粉代替飼料を NGO から購入し、利用していた。 南部地域、東部地域のエビ養殖農家は販売会社を通じてエビのプロバイオティクス製剤を購入、活用している。
⑦東南アジア地域での技術の普及	<ul style="list-style-type: none"> 地域ネットワークの構築 	実現していない

出所：水産局、カセサート大学、ワライラック大学、チャイパッタナ財団への質問票回答・ヒアリング結果。

(2) エビの疾病診断法の開発による正のインパクト

前述のとおり、本事業により EMS/AHPND の診断法が開発された。病気の発生後、エビ類の生産量は 2013 年に激減し、その後は徐々に回復しつつある（図 4）。病気発生後、迅速に研究活動が追加されたことで、早い段階での診断法開発につながった。また、水産局の主導により国全体で進められた。エビ類はタイの主要養殖産品であり、これらの取組みによって防がれた経済的損失は大きかったと考えられる。



出所：水産局提供データを基に作成。

図 4 エビの生産・輸出

水産局によると、EMS/AHPND の発生後は、養殖事業者や農家は以前よりも水質管理に投資を行うようになり、生産コストが大きくなったことで、国際的な競争力が下がっている。そのため、エビ養殖をやめる事業者や農家もあり、今後もエビ類の生産量は病気発生前の水準には戻らないだろうと推察されている²⁰。他方、EMS/AHPND の診断法が水産局主導により国全体で進められたことで養殖事業者・農家の科学リテラシーが向上したインパクトは特筆に値する（コラム 2）。

²⁰ 水産局ヒアリング結果。

コラム 2 養殖事業者、農家の科学リテラシーの向上

EMS/AHPND の診断手法の開発によるエビ生産は回復しつつあるが、以前のように戻らないと推察されている。他方、この診断手法の開発が全国的に進められたことで養殖農家の科学リテラシーが向上し、経営改善につながった。第一に、タイでは他国と異なり、EMS/AHPND の診断手法が国全体で進められたことにより、養殖農家の科学リテラシーが向上した。具体的には、養殖事業者や農家はそれまで病気流行が収まるのを待つばかりであったが、病気の原因がわかったことでそのリスク要因を回避するようになった。病気対応により収益性が下がることを理解した農家や業者は、品質改善やトレーサビリティや EMS 診断といった安全性という視点を加えて事業を継続するか、短絡的な収益を追うことなくエビ養殖をやめる（他魚種に変更する、または、異業種に転じる）かの経営判断を行うことにつながった。タイでは近隣他国と比較して、輸出までのトレーサビリティ制度が整備されている。安心さを伝えることでアメリカ向けの輸出につながった業者もある（タイユニオン（タイの水産加工メーカー）等）。第二に、農家は EMS/AHPND を理解したことで民間養殖場での汚染を指摘することができるようになり、その情報は瞬時に行き渡った。この結果汚染対策が十分でない養殖場は事業継続ができなくなった。また、養殖事業の持続性を優先して、エビの過密養殖を避けたり、一部の養殖池を水質調整用の貯水池に変えたり、他魚種へ転作したりすることで、エビ養殖場の面積が減少した。このようにエビ生産量は年間 30 万トン前後で今後も推移すると予想されるが、養殖産業全体としての成熟度は高まり、タイは世界のエビ供給においても安定的な地位を維持すると見られている。

出所：水産局、日本の商社へのヒアリング結果を基に作成。

(3) 共同研究実施による正のインパクト

本事業を通じて研究者と民間企業とのネットワークが拡大した。例えば、ワクチン開発に関して大学は民間企業と共同研究を実施した。共同研究は、大学にとっては研究成果の実証、資金援助、民間企業の施設機材の利用という利点があり、民間企業にとっては先進技術の事業化の準備という利点があり、双方の関心が合致していた。本事業でも民間企業をセミナーに招待し、交流を促進した。別の例として、日本側研究者からワライラック大学に日本のセメント製造会社が紹介された。同社は水処理に関連する分野の資材開発・事業化、養殖池の環境改善の技術開発に取り組んでおり、大学は同社が養殖用水質安定資材²¹のフィールド検証を行った。その後、製品化され、タイ、台湾、中国で販売されている。

(4) 生物多様性に関する正のインパクト

事業完了時、メコンオオナマズ（ドナー）とカイヤン（レシピエント）の移植適合性が観察中であったが、事業完了後も日本側研究機関とスラナリー工科大学により借り腹技術の共同研究が継続され、カイヤンからメコンオオナマズが誕生した。その遺伝資源は水産局に保存されている。在来メコンオオナマズは国際自然保護連合の絶滅

²¹ 水質及び底質の改善を目的とする浄化剤（セラクリーン）。養殖池、ゴルフ場のほか、天然の湖沼や干潟の改善剤として使用される。同社 HP では、同製品施用により養殖エビの体重増と生存率向上の効果実証が説明されている。https://www.taiheiyo-cement.co.jp/service_product/ceraclean/cultivation.html（2022 年 4 月 10 日アクセス）

危惧種 IA 類 (CR) ²²に指定されていたが、同希少種の保全の強化につながった。

(5) 日本側若手研究者の育成

日本から多数の准教授、助教、研究員がタイに派遣された。タイ側研究員との交流だけでなく、国際セミナーでの発表を経験したことで、帰国後に市民講座を若手研究者だけで運営するなどの人材育成につながった。

本事業の実施により、プロジェクト目標として掲げられた持続的かつ高品質な魚介類生産に必要な新しい養殖技術の開発は達成された。上位目標として設定した社会実装に向けた取組みも開始されており、その結果として、疾病診断サービスの実施、魚粉代替飼料の生産・販売といった社会実装につながった。この他、正のインパクトも複数確認された。よって、有効性・インパクトは高い。

3.3 効率性 (レーティング : ③)

3.3.1 投入

投入要素別の計画と実績の比較は下表のとおりである。

表 6 投入実績

投入要素	計画	実績 (事業完了時)
(1) 専門家派遣	<ul style="list-style-type: none"> 長期 業務調整員 (人数、人月の記載なし) 短期 分子育種、借り腹技術、免疫学・ワクチン開発、代替飼料開発、危害因子分析、等 (人数、人月の記載なし) 	<ul style="list-style-type: none"> 長期 2名 (66.37人月) 短期 17名 (19.20人月)
(2) 研修員受入	人数の記載なし	58名
(3) 機材供与	実験室分析機器、DNA アナライザー、PCR 装置、高速液体クロマトグラフィー (金額の記載なし)	分子育種用の分析機器等、DNA アナライザー、PCR 装置、等 (約 160 万円)
(4) 在外事業強化費	金額の記載なし	約 60 百万円
日本側の事業費合計	合計 353 百万円	合計 408 百万円
相手国の事業費合計	金額の記載なし (カウンターパート人件費、プロジェクト事務所、実施機関の研究室と養殖用水槽、養殖池等の施設)	合計約 151 百万円 (カウンターパート配置 116 名、カウンターパート人件費、消耗品、分析用試薬、光熱費、専門家執務スペース (水産局)、実施機関の研究室)

出所 : JICA 提供資料、水産局質問票回答。

3.3.1.1 投入要素

日本からの研究者 (短期専門家) の派遣は 17 名であった。派遣は延べ 102 回派遣であり、一回の派遣日数は、大半は 1 週間程度であった。タイ側研究者の受入れは計 58 名 (延べ 68 回) と多かったが、既述のとおり、研究は計画どおりに進められてお

²² 国際自然保護連合のリストで CR は「絶滅寸前」と評価されている。

り、論文共同執筆も計画以上の 75 編あったことから、共同研究はスムーズに実施されたと判断する。本事業では 5 つの研究領域で 13 の研究グループが編成され、タイ側研究者も 116 名と多く、終了時評価では「複雑な実施体制による情報共有不足」があったと指摘された。しかしながら、毎年度全グループによる進捗報告会が開催され、研究者間のネットワークも生まれており、事後評価のヒアリングでもこの点は問題視されていなかった。供与機材は故障した PCR 装置 2 台を除いて、すべて活用されていることから、適切な選定が行われたと解釈できる。

タイ側からは 151 百万円の投入が行われたことから、パートナーシップに基づく事業実施であったといえる。

3.3.1.2 事業費

日本側の事業費は計画 353 百万円に対して、実績は 408 百万円であった。計画を超過した理由は、①研究の進展に伴って研究者派遣回数が増加したこと、②キックオフミーティングにタイ側研究者を招へいたこと、③DNA マーカーや免疫関連遺伝子の解析等に使用する試薬を現地購入から本邦調達に変更したこと、④業務支援要員を雇ったこと、等である。特に、2013 年初めに東南アジアで大きな問題となった EMS/AHPND に対して、タイ側より緊急対応を要請され、JICA 及び JST により検討が行われた。その結果、当初計画になかった EMS/AHPND に対応する共同研究が事業スコープに追加された。成果 3 の感染症防除技術に関連した活動追加であったため、PDM の改訂は行われなかった。しかし、2014 年度予算が増額となっており、共同研究が開始されたことは JICA 及び JST の資料から確認できた²³。この研究活動により、翌年の 2014 年には毒素の遺伝子特定、PCR テストによる診断法の開発という成果につながった。よって、事業費は追加スコープの成果のために見合ったものであったと判断する。

3.3.1.3 事業期間

事業期間は、計画 60 か月（2012 年 3 月～2017 年 3 月）に対して実績も 60 か月（2012 年 5 月～2017 年 5 月）であり、計画どおりであった。

以上より、本事業は、事業期間については計画どおりであり、事業費は産出された成果に見合ったものであったと判断し、効率性は高い。

²³ JST 平成 25 年度実施報告書、JICA 提供資料、中間レビュー報告書。

コラム3 社会実装を後押しした日本人専門家の役割・貢献

本事業は研究成果の社会実装の一部として、開発されたワクチンや飼料の民間企業による生産を目指したものである。社会実装に向けた取組が早い段階から進んだ要因として、以下の二つの要因が挙げられる。第一に、本事業では実施機関による研究実施や情報共有だけでなく、民間企業も巻き込んで事業実施が進められた。具体的には、毎年度末にバンコクで公開型の研究成果会を実施し、この報告会には研究対象分野に関連するタイの企業と在タイの日本企業を招待していた。招待企業は日本側研究者、タイ側研究者がそれまでに協働関係があり、本事業内でも安心して共同研究ができる企業が選定されており、会議の中では事業の成果報告だけでなく、招待企業への開発技術の紹介という目的も兼ねていた。実際、関心を持った日本企業がタイの実施機関と研究中のワクチンの市販化に向けた協議を開始するに至り、後続事業に日本側協力機関として参加している。第二に、東京海洋大学は以前よりタイをはじめとして留学生を受け入れており、本事業の専門家であった日本側研究者は20年以上、元留学生との共同研究や交流を続けてきた。元留学生の多くは水産局、大学の水産関連研究科、民間企業の研究部門で主要な地位を得ている。彼らとのネットワークや信頼関係を基に本事業で研究活動をスムーズに進め、上記のように実施機関以外の組織も共同研究に巻き込むことに成功した。

出所：水産局、東京海洋大学へのヒアリング結果を基に作成。

3.4 持続性（レーティング：③）

3.4.1 発現した効果の持続に必要な政策・政治的関与

持続的で高品質な養殖技術の開発とその社会実装はタイ政府の開発政策に後押しされている。政府の「Kitchen of the World」計画に基づいて「第12次NSDP」（2017年～2021年）では養殖産業の技術開発を通じ魚介類の増産を進める方針が打ち出されている。また、水産局の「戦略計画」（2017年～2021年）においても、4つの戦略目標が打ち立てられている：①生産性の向上と農家の強化、②付加価値のある水産物の品質開発、③持続可能な漁業と水産資源管理、④水産局の組織管理。①に関して、生産コスト削減に向けた研究開発・技術革新、②に関して付加価値を生み出すための研究開発・技術革新、③水産資源管理の効率化のための研究開発、④については職員の能力強化、国際的なネットワーク強化が目指されている。

よって、効果持続に必要な政策・政治的関与は確保されている。

3.4.2 発現した効果の持続に必要な制度・体制

各実施機関における養殖技術開発に関する研究部門の位置づけは明確であり、研究継続のための人員が確保されている（表7）。終了時評価では水産局内の人事異動が懸念されたが、事後評価で確認したところ、本部内での異動やセンター間での昇進目的の異動があるが、その際研究成果は出版物、報告書、マニュアル等にまとめられており、これまでに問題は生じていない。

水産局では、養殖関連の研究開発部門が5つある。社会実装に向けて、研究開発部門ごとに技術管理グループが設置されている。主な責任事項は各部門の研究成果の評価と社会実装に適した研究成果の選定である。さらに、養殖技術の普及、養殖場のデモンストラクション、パイロット事業、関係者の巻き込み等を行っている。社会実装を担当する

人員は15～20人であり、地方センターからの支援もあり、水産局は十分な人数と認識している。4つの大学についても研究グループは関連学部内に明確に位置付けられている。研究内容の拡大のためには研究者の人数が十分ではないと回答した大学もあったが、研究の継続状況、効果発現の状況から、問題はないと判断する。

表7 実施機関の研究体制

	研究担当の部署と人員
水産局	<ul style="list-style-type: none"> 水産局は4クラスターで編成されており、このうち一つの養殖関連クラスターに以下の部署（人数）が設置されている。 <ol style="list-style-type: none"> ①内陸養殖研究開発部門（154人） ②沿岸養殖研究開発部門（124人） ③水産動物遺伝子学研究開発部門（34人） ④水生動物保健研究開発部門（27人） ⑤水生動物飼料研究開発部門（28人）
チュラロンコン大学	<ul style="list-style-type: none"> バイオ科学学部と海洋科学学部が養殖技術開発に関する研究を担当している。研究者を含む学術人員は10人。様々な研究トピックや魚種があるため、「人数は十分ではない」と認識している。
カセサート大学	<ul style="list-style-type: none"> 水産学部養殖学科と理学部バイオ科学学科が合同で、疾病特性、病原菌分離・特性、疾病検出、疾病予防・管理、食品汚染化学物質の検出の5つの研究部門を運営している。それぞれに教員、研究者が3～5人いる。「人数は十分ではない」が、2022年度は博士の学生を2～3人増員する予定がある。 若者の関心を集めるため、奨学金や短期で修了できるファストトラックプログラムを用意している。
ワライラック大学	<ul style="list-style-type: none"> 養殖技術センターが養殖の研究開発を担当している。教員4人、研究者5人で、「人数は十分である」。 大学が奨学金を提供しているが、修士課程の学生数が減少している。大学は国内他地域や外国からの学生を対象としたカリキュラムを作成する計画がある。
スラナリー工科大学	<ul style="list-style-type: none"> 農業技術研究所の動物科学革新大学院に養殖バイオテクノロジープログラム（修士、博士課程）があり、ここが関連研究を実施している。担当教員3人、研究員5人が研究に従事し、持続的で質の高い養殖に向けた研究実施には「人数は十分である」。

出所：水産局、チュラロンコン大学、カセサート大学、ワライラック大学、スラナリー工科大学への質問票回答・ヒアリング結果を基に作成。

全ての実施機関は後続事業にも参加しているほか、それぞれ他研究機関と共同研究体制を敷いている。水産局は国内大学3校、国立科学技術開発庁と研究開発や普及に関する協定を締結しているほか、養殖農家や農協、タイ冷凍食品協会と共同事業を実施している。大学も国内の他大学や研究機関、海外の研究機関、民間企業と共同研究を実施している。例えば、スラナリー工科大学はフランスのポー大学国立農業食料環境研究所と養殖用飼料に関する共同研究を実施している。カセサート大学は民間企業と実施している共同研究の一つは、国家競争力強化のためのプログラムマネジメントユニット（PMUC）からの助成を受けている。この助成事業では、企業が研究後に研究成果の活用・事業化を約束する保証として研究費用総額の10%を負担することとなっている²⁴。

²⁴ PMUC (Program Management Unit for Competitiveness) は、タイ高等教育科学研究イノベーション政策協議会事務局（NXPO）の後援を受けて設立された研究助成機関で、研究成果の商業化を促進する狙いがある。研究機関のレベルに応じて助成を行っている。

以上のように、実施機関の制度・体制は十分であると判断する。

3.4.3 発現した効果の持続に必要な技術

既述のとおり、事業完了後も本事業の継続研究及び新規研究が全領域で継続されている。また、後続事業では分子育種、感染症防除、効率的な給餌・飼育、生殖細胞移植の4領域で共同研究が進められている。これらの領域はそれぞれ、本事業の成果1、成果3、成果4、成果2と共通する部分が多い。

水産局にとって借り腹技術の研究は本事業で初めての取組みであり、専用の機材も必要となるため、「他領域と比較して高度な技術が求められるが、そのほかの領域では研究継続の技術は十分である」とのことである。水産局は本部の新入研究者を含む職員及び地方のセンターの研究者を対象としてセミナー、ワークショップ、OJTを通じて能力向上を図っている。4大学も、後続事業での研究に加えて、新入研究者へのOJTや他機関との共同研究を行っている。例えば、チュラロンコン大学では、後続事業や外部助成事業への参加の他、学内で研究グループ間の交流を行ったり、教員、学生、ポスドク研究員への短期研修を実施したりして研究技術の維持に努めている。

研究機材も前述のとおり、日常的に活用されている。

以上のように、研究実施状況及び機材活用状況から、実施機関の技術は十分であると判断する。

3.4.4 発現した効果の持続に必要な財務

水産局の養殖・水産に関する研究事業の予算は下表のとおりである。2017年に就任した局長は研究を重視しており、その予算は増加を続けている。このほかに外部研究機関への研究助成にも申請し、研究を実施している。本部及び地方センターでは年間活動計画が作成されており、ここに研究機材の修繕費用、消耗品購入が計上されている。

表8 水産局の研究予算

単位：バーツ

	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年(計画)
収入	1,526,200	4,741,600	4,908,265	11,075,946	13,061,600	32,146,440
支出	1,526,200	4,741,600	4,908,265	7,024,697	NA	NA

出所：水産局質問票回答。

4大学からは詳細な財務データは得られなかったが、3大学は大学からの予算と研究助成を加えた研究予算は本事業完了後、ほぼ同じか微増の傾向にある。この予算で研究機材の維持管理が賄われている。チュラロンコン大学では2017年の研究予算は約800万バーツあったが、2021年以降は700万バーツに減少した。同大学によると、近年魚介類の疾病に関する基礎研究よりも、付加価値を高める応用研究がより重視されていること、政府はエビ養殖産業では民間セクターに頼る部分が多いことから、政府は民間企業から

の投資に期待をしているとのことである。ワライラック大学はプロバイオティクス製剤の販売から年間約 60 万パーツ（開発費の 40%）の収益を上げている。カセサート大学は民間企業を対象とした有償サービス（研究室での実験や調査）からの収入もある。

以上のとおり、厳密な財務データが得られなかった部分もあるが、研究実施状況、機材の活用状況から、実施機関の財務に問題はないと判断する。

以上より、本事業は、政策・政治的関与、制度・体制、技術、財務、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高い。

4. 結論及び教訓・提言

4.1 結論

本事業はタイにおいて、分子育種技術、借り腹技術、感染症防除技術、魚粉代替飼料、危害因子検出・低減技術の 5 つの領域で研究を行い、その相互補完によって新しい養殖技術を開発することを目的としたものである。これはタイの開発政策、開発ニーズ、および日本の援助政策に合致しており、事業の妥当性は高い。5 つの領域すべてにおいて、計画に沿って研究成果があげられた。開発された技術は対象魚種で試され、共同研究の結果、研究者の能力向上、研究成果の公表も実現した。さらには、研究成果の実用化に向けた取組みが開始され、疾病診断サービスの実施、魚粉代替飼料の生産・販売といった社会実装も実現している。この他、流行していたエビの病気の診断法がいち早く開発されて国内外で承認されたり、農家・民間企業の科学リテラシーが向上したり、といった正のインパクトも複数確認された。よって、有効性・インパクトは高い。事業期間、事業費は成果に見合ったものであったと判断し、効率性は高いとした。持続性については、持続的で高品質な養殖技術の開発とその社会実装に向け、政策・政治的関与、制度・体制、技術、財務のすべてにおいて十分であり、高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

4.2 提言

4.2.1 実施機関などへの提言

(1) チャイパッタナ財団での内部事情により魚粉代替飼料の製造が 2 年前より中断している。南部地域でのグルーパーに対する消費者のニーズが高くないことから、再開の見込みは大きくないと思われる。グルーパー用の魚粉代替飼料開発の知識・技術は他の魚種の飼料にも適用できるものである。水産局に対して、代替飼料のマーケティング調査を継続し、本事業で得た知識・技術をよりニーズの高い魚種へ適用し、生産体制のある NGO や民間企業へ製造の働きかけを行うことを提言する。

(2) 本事業の研究成果に基づく新たな研究や、後続事業での研究が行われている。今後とも国際セミナーや学術論文を通じて研究成果を他国に発信し、東南アジア地域の養殖技術研究をけん引していくことを提言する。

4.2.2 JICA への提言

なし。

4.3 教訓

社会実装の素地のある研究機関、民間企業の巻き込み

事業期間中から社会実装に向けた取組が行われ、一部実現している。本事業では養殖技術の研究開発や普及を担当する水産局だけでなく、持続的かつ高品質な魚介類生産に必要な技術分野での研究を進めている大学も実施機関となった。水産局は政府機関であり、その指示により本事業で開発したエビの病気の診断法が全国的に広まった。また、公的な立場のため、民間企業とは直接事業を実施できないが、研究や普及機能を持つ地方センターが多くあり、本事業での研究成果(病気の診断、施設の検査等)を農家に直接波及することができた。一方、大学は民間企業と共同研究を進めることで、研究成果の実証だけでなく、将来の商業化に向けての協議を開始することができた。この共同研究は大学にとっては研究成果の実証、資金援助、民間企業の施設機材の利用という利点があり、民間企業にとっては大学の専門的な研究を事業化することに向けた準備という利点があり、双方の関心が合致していた。このように、SATREPS 事業では、社会実装の重要な担い手となる民間企業や事業化の経験のある大学を共同研究に巻き込むことで、事業期間中から社会実装に向けた取組を推進することが可能となる。

以上

インドネシア

2021 年度 外部事後評価報告書

技術協力プロジェクト「中部ジャワ州グンディガス田における二酸化炭素の地中貯留およびモニタリングに関する先導的研究」

外部評価者：OPMAC 株式会社 宮崎慶司

0. 要旨

本事業は、インドネシア中部ジャワ州のグンディガス田において、二酸化炭素（CO₂）の回収・貯留（Carbon Dioxide Capture and Storage：CCS、以下「CCS」という）推進のため、CCS 技術を安全に適用するために不可欠となる深部地層の評価技術、地下での CO₂ 分布・挙動のモニタリング技術に関わる研究を目的としたものである。これはインドネシアの開発政策、開発ニーズ、および日本の援助政策に合致しており、事業の妥当性は高い。5つの成果のうち、3つが達成あるいは概ね達成、2つが一部達成であった。上位目標は達成され、社会実装に向けた 6 つの取組は、事後評価時において実施済みあるいは実施中であることから、上位目標は達成されたと判断する。本事業はインドネシア側実施機関の研究能力の向上に対する貢献が認められ、機材の活用・維持管理状況はおおむね問題がなかった。自然環境へのマイナスのインパクト、用地取得・住民移転も認められなかった。よって、本事業の実施により計画どおりの効果発現がみられることから、有効性・インパクトは高いと判断する。事業費、事業期間ともに計画内に収まり、効率性は高い。持続性については、政策・政治的関与、制度・体制、技術、財務、いずれも問題なく、高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

1. 事業の概要



事業位置図



グンディガス田の CO₂ 圧入を予定している井戸

1.1 事業の背景

インドネシアは、泥炭地からの CO₂ 排出量を含めた場合、中国、米国に次ぐ世界第 3 位の温室効果ガス排出国（31 億 4,300 万 CO₂ 換算トン、国際湿地保全連合報告）であり、経

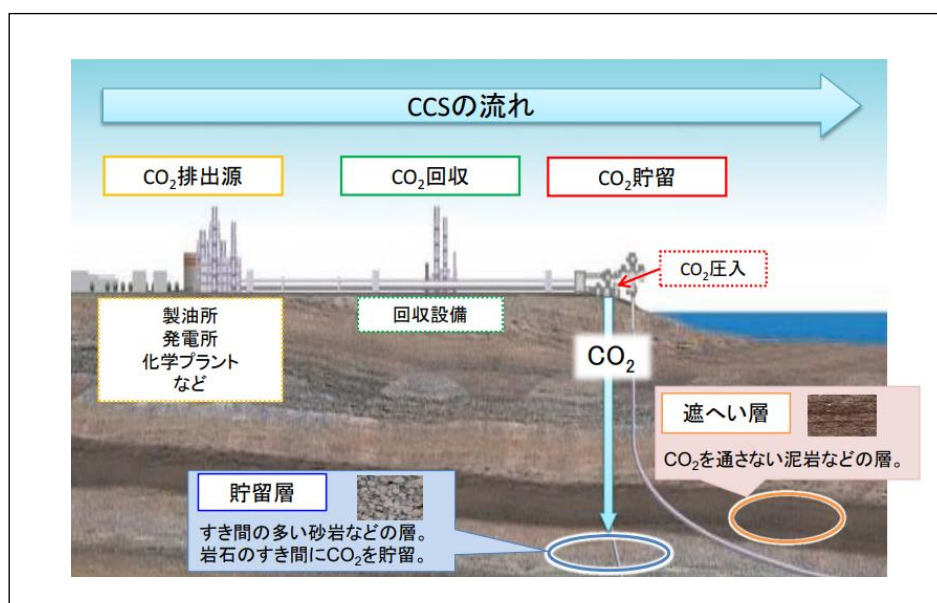
済成長に伴うエネルギー需要の増加に付随する温室効果ガス排出量の増加が懸念されていた。これを踏まえ、2009年10月に発足した第2期ユドヨノ政権は、2020年の温室効果ガス排出量を対策を取らない場合と比較して26%削減する自主的な削減目標を設定し、2010年～2029年の約20年間にわたる適応策および緩和策に係る部門別ロードマップ「インドネシア国気候変動ロードマップ」（2010年3月）を策定するなど、気候変動対策を同政権の重要な政策課題と位置づけていた。同ロードマップでは、石炭火力発電所から排出される温室効果ガスの削減策のひとつとしてCCSの可能性が指摘されていた。しかしながら、同国内においては、CCSに関する調査研究が始まったばかりであった。一方、我が国では、2000年ごろからCCSに関する研究と技術開発が進められおり、特にCO₂の挙動に関するモニタリングの技術開発に関しては、実証研究を経て一定の技術開発の成果が得られていた。このような背景から、インドネシア政府より我が国に対して、インドネシアにおけるCCS技術の開発のための共同研究の要請があった。

1.2 事業の概要

上位目標	インドネシアにおける二酸化炭素の回収貯留プログラムが、石油・ガスの開発・生産に際して、CO ₂ ゼロエミッションを視野に活用・促進される。	
プロジェクト目標	インドネシアの陸域ガス田における二酸化炭素の回収貯留（CCS）事業推進のため、CCS技術を安全に適用するために不可欠となる深部地層の評価技術、地下でのCO ₂ 分布・挙動のモニタリング技術に関する標準業務手順書（SOP）が提案される。	
成果	成果1	グンディガス田におけるCO ₂ 地中貯留およびモニタリングに関する実施体制が検討され、詳細な実施計画が作成される。
	成果2	成果3での活動および地表施設的设计シミュレーションを行うため、CO ₂ 地中貯留サイトおよびCO ₂ 貯留層の特性が調査され、評価される。
	成果3	グンディガス田でのCO ₂ 地中貯留およびモニタリングのため、地表施設設計とコスト評価を含むフェージビリティ調査が実施される。
	成果4	CO ₂ 貯留層の評価およびモニタリング技術検証のためにCO ₂ 地中貯留およびモニタリングに応用する地球物理学的および地球化学的技術が実際の貯留層において適用され、評価される。
	成果5	グンディガス田におけるCO ₂ 地中貯留およびモニタリングの分析・評価を基にしてSOPが作成される。
日本側の事業費	370百万円	
事業期間	2012年9月～2017年9月	
事業対象地域	バンドン、中部ジャワ州グンディガス田	

実施機関	バンドン工科大学 (Institut Teknologi Bandung: ITB、以下「ITB」という)
その他相手国協力機関など	国営石油会社プルトミナ
わが国協力機関	京都大学、早稲田大学、九州大学、公益財団法人深田地質研究所
関連事業	なし

本事業で取組む共同研究の主要な内容は、地質・地球物理学的知見に基づく最適な CO₂ 貯留層の選定方法、ならびに貯留された CO₂ が地層でどのような挙動を示すのかについてのモニタリング手法の開発と適用であった。同時に、関連する CO₂ 分離・回収・圧入方法、法規制、リスク解析、社会的受容性などに関する研究も対象とした。この CO₂ の分離・回収は、国営石油会社プルトミナが所有する中部ジャワ州のグンディガス田において、天然ガス生産時に随伴ガスとして大気中に放出される CO₂ の一部に対して適用を試みるもので、分離・回収された CO₂ をさらに液化後、ガス田から約 40 km 離れたプルトミナが所有する井戸に輸送し、2 年間の予定で圧入する計画であった。最終的には、本事業では、上記の研究結果をもとに、CO₂ の地中貯留事業に関わる技術指針としての標準業務手順書 (SOP) を作成し、その普及を図ることを目指していた。一方、CO₂ 圧入井の掘削については、最大で 15 億円程度の費用が想定されており、本事業で対応することが困難であったことから、別途、インドネシア側で対応する計画であった。



出所：経済産業省

図1 二酸化炭素の回収貯留 (CCS) の流れ (概念図)

1.3 終了時評価の概要

1.3.1 終了時評価時のプロジェクト目標達成見込み

プロジェクト目標は部分的に達成見込みとされた。

CO₂ 圧入を予定していた井戸にガス漏れが見つかったため、貯留層内で CO₂ 挙動モニタリングが実施できず、事業完了までに CO₂ 挙動の評価を行うことができなかった。そのため、共同研究の成果をまとめた「陸域での安全で効果的な CO₂ 隔離技術に関する標準業務手順書 (SOP)」は作成されたものの、内容的に一部未完成であった。一方、本事業では、日本およびインドネシア側研究者の協力を通じて、時間領域電磁探査 (TDEM) や高分解能地震探査のような、先進技術や手法を活用して CO₂ 圧入前のベースライン調査を実施しており、共同研究を通じて、インドネシアにおける CO₂ 隔離とモニタリングのための技術が開発された。

1.3.2 終了時評価時の上位目標達成見込み (他のインパクト含む)

終了時評価では、上位目標の達成度についての判断は行われなかった。

1.3.3 終了時評価時の提言内容

以下の事項が提言された。

- (1) インドネシア国内の主な関係者、JICA およびアジア開発銀行 (Asian Development Bank: ADB、以下「ADB」という) との調整の継続
- (2) CCS の広報
- (3) 機材の活用
- (3) CCS を促進するための法的枠組みの構築
- (4) CCS の温室効果ガスの国が決定する貢献 (国別削減目標 : NDC) 達成への貢献度分析

2. 調査の概要

2.1 外部評価者

宮崎慶司 (OPMAC 株式会社)

2.2 調査期間

今回の事後評価にあたっては、以下のとおり調査を実施した。

調査期間 : 2021 年 7 月 ~ 2023 年 1 月

2.3 評価の制約

新型コロナウイルスの感染拡大により、予定していた現地調査は中止し、現地調査補助員を通じた遠隔調査に切り替えることとなった。このため、質問票に加えてオンラインでのヒアリングに切り替えて対応した。

本事業は、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: SATREPS¹、以下「SATREPS」という)であり、SATREPS 案件の事後評価は、通常、内部評価として実施している。JICA 評価部は、外部事後評価として実施することで国内関係者へのインタビュー等の評価調査過程で有用な教訓が得られると判断し、本事業は外部事後評価として実施することとした。ただし、評価新基準の導入時期の関係で、本事後評価では旧評価基準（評価 5 項目）に基づき評価を行った。

3. 評価結果（レーティング：A²）

3.1 妥当性（レーティング：③³）

3.1.1 開発政策との整合性

(1) 開発政策との整合性

2009 年 10 月に発足した第 2 期ユドヨノ政権は、2020 年までに対策を取らない場合と比較して、温室効果ガス排出量を 26%削減する（国際的支援を得た場合には 41%削減）という目標を設定した。「国家中期開発計画（RPJM）」（2010 年～2014 年）では、重点分野の一つとして「環境および防災」が挙げられていた。インドネシア政府は、同計画の中に気候変動問題を主要課題として継続的に組み込むため、2010 年～2029 年の約 20 年間にわたる適応策および緩和策にかかる部門別ロードマップ「インドネシア国気候変動ロードマップ」（2010 年 3 月）を策定するなど、気候変動対策を同政権の重要な政策課題と位置づけていた。同ロードマップでは、特に同国がエネルギーを依存する石炭火力発電所から排出される温室効果ガス増加が課題として示されており、CCS はその緩和策の一つになり得るとされていた。

事後評価時、「中期開発計画（RPJMN）」（2020 年～2024 年）では、災害に対する回復力を高め気候変動に取り組むことを優先事項のひとつとして掲げており、低炭素化もその一部に含まれている。具体的には、①環境の質の改善、②災害と気候変動に対する回復力の向上、③低炭素化アプローチに分類され、それぞれのアプローチごとに数値目標が設定されており、③低炭素化アプローチについては、温室効果ガスの排出量を 2024 年までに対策を取らない場合と比較して 27.3%削減する目標が掲げられている。インドネシアは、2021 年 10～11 月に開催された国連気候変動枠組み条約第 26 回締約国会議（COP26）に先立ち、同年 7 月に「低炭素および気候レジリエンスに向けたインドネシア長期戦略」を発表し、2060 年までにカーボンニュートラルを達成することを表明している。

以上より、計画時および事後評価時のインドネシアの国家開発政策において、温室

¹ SATREPS は、外務省と文部科学省の支援のもと、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）、国立研究開発法人日本医療研究開発機構（AMED）と JICA が連携して実施し、日本の優れた科学技術と ODA との連携によって、開発途上国との科学技術協力、科学技術外交を推進するプログラム。環境、カーボンニュートラル、生物資源、防災および感染症といった地球規模課題の解決に向け、課題の解決につながる新たな知見・技術の獲得やイノベーションの創出、さらには開発途上国の自立的な研究開発能力の向上と課題解決に資する持続的活動体制の構築を図ることを目的とする。

² A：「非常に高い」、B：「高い」、C：「一部課題がある」、D：「低い」

³ ③：「高い」、②：「中程度」、①：「低い」

効果ガスの削減を含む気候変動への対応は優先事項であり、本事業と開発政策との整合性は認められる。

3.1.2 開発ニーズとの整合性

(2) 開発ニーズとの整合性

事前評価時、インドネシア政府は、新エネ・省エネの推進のため 2011 年 2 月にエネルギー・鉱物資源省内に、新・再生可能エネルギー・省エネルギー総局を設立した。同局は、2025 年の 1 次エネルギーに占める新・再生可能エネルギーの割合を 25%とする目標「Vision 25/25」や、それらを推進するための「クリーンエネルギー・イニシアティブ (Clean Energy Initiative)」を発表した。同イニシアティブは化石燃料の燃焼による CO₂ 排出を削減する総合的な指針であり、化石燃料燃焼後の対策の一つとして CCS の技術開発が進められることになっていた。一方、同国では、CCS に関する調査研究が始まったばかりであった。本事業の実施機関である ITB は、インドネシアを代表する大学の一つであり、地質学、地球物理学、地球化学や他の関連分野で多くの知識の蓄積があったが、CCS 分野の調査・研究実績は限られていた。そのため、同国の工学系技術をリードする ITB の CCS に関する技術的知見を蓄積させる必要があった。他方、本事業の実証研究の対象となる国営石油会社プルタミナが所有する中部ジャワ州のグンディガス田は、天然ガス生産時に 20%の CO₂ が随伴ガスとして生産され、日量約 800 トンの CO₂ が大気中に放散されていた。

事後評価時、インドネシア政府は、既存油田生産の最適化、探鉱による新規埋蔵量の発見、原油増進回収法 (EOR) およびガス増進回収法 (EGR) の実施により、2030 年には原油生産を 100 万バレル/日、天然ガス生産を 12 BSCFD (1 日あたり 10 億の標準的な立方フィート) まで引き上げる目標を掲げている。これには、CCS および CO₂ の回収・利用・貯留 (Carbon Capture, Usage and Storage : CCUS、以下「CCUS」という) の技術が不可欠である。そのため、インドネシア政府は、エネルギー・鉱物資源省省令としての CCS/CCUS を推進するための規則を策定中であり、この規則には本事業で作成された CO₂ 隔離技術に関する標準業務手順書 (SOP) も参考とされている。同規則では、原油増進回収法 (EOR)、ガス増進回収法 (EGR)、コールベッドメタン増進回収技術 (ECBM) を通じた石油・ガス分野における CCS/CCUS の活用⁴に焦点が当てられ、それに必要な枠組みについて、技術、法律、経済、およびビジネスの観点から検討がなされている。2022 年 1 月、日本の経済産業省とエネルギー・鉱物資源省との間で「エネルギー・トランジションの実現に関する協力覚書」が署名された。同覚書では、協力分野として、水素、燃料アンモニア、カーボンリサイクル、CCS/CCUS など、現実的なエネルギー・トランジションに貢献する技術の開発・展開、およびそれに係る技術協力を促進するための多数

⁴ 例えば、CO₂ を古い油田やガス田に圧入することで、油田やガス田に残った原油や天然ガスを圧力で押し出しつつ、CO₂ を地中に貯留するという方法で、CO₂ 削減が実現できるほか、石油や天然ガスの増産にもつながる。

国間フォーラムでの取組の支援などが、協力分野として挙げられている。

以上より、計画時および事後評価時において、インドネシアでの CCS に関する研究および技術開発のニーズは高く、本事業と開発ニーズとの整合性は認められる。

3.1.3 日本の援助政策との整合性

事前評価時の我が国の対インドネシア援助計画では、重点分野のひとつとして「アジア地域および国際社会の課題への対応能力向上のための支援」が挙げられており、それに関連して「環境保全・気候変動等の地球規模課題への対応」への支援を行うとしていた。また、外務省「対インドネシア事業展開計画」（2010年8月）において、気候変動対策プログラムは「特別課題」と位置付けられていた。我が国は2009年9月の国連気候変動首脳会合において、途上国のCO₂排出削減に対する先進国の資金・技術支援を表明するとともに、我が国も2020年までに1990年比で25%、2005年比で33.3%削減というCO₂削減目標を発表しており、CO₂の削減へ向けた取組みは日本およびインドネシア両国において国家的な課題であった。

このように、計画時における本事業と日本の援助政策との整合性は認められる。

以上より、本事業の実施はインドネシアの開発政策、開発ニーズ、日本の援助政策と十分に合致しており、妥当性は高い。

3.2 有効性・インパクト⁵（レーティング：③）

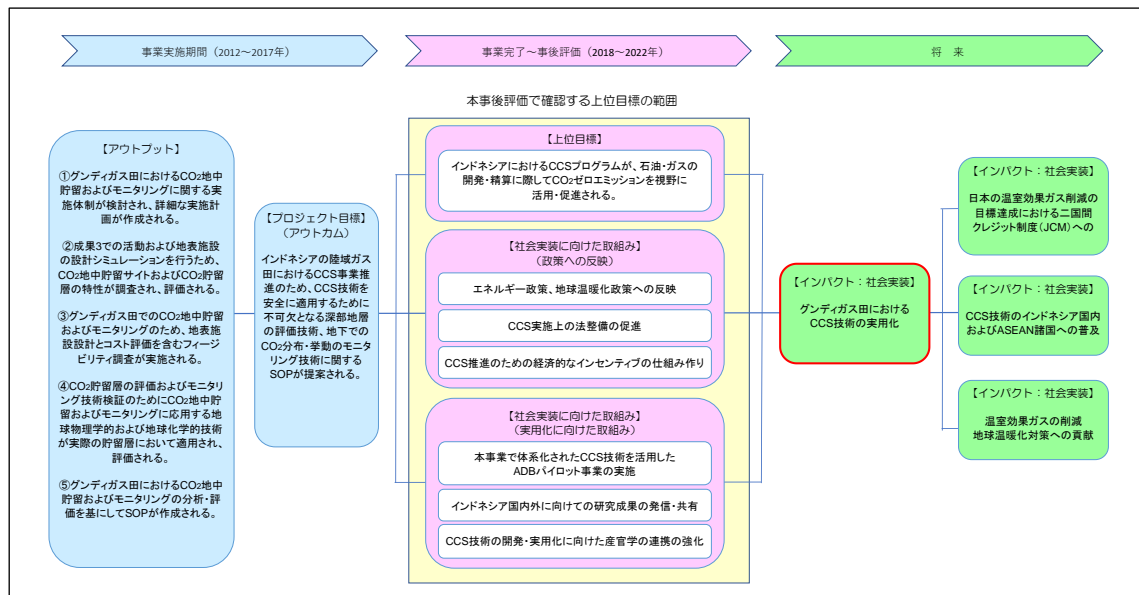
本事業は、SATREPSの枠組みで行われた技術協力事業であり、単なる基礎研究や応用研究に関する支援ではなく、相手国の課題・ニーズに応える科学技術の社会実装を進めることを最終的に目指している。本事業が目指す社会実装は、一義的には「グンディガス田におけるCCS技術の実用化」ととらえ、その先に「日本の温室効果ガス削減の目標達成における二国間クレジット制度（JCM）への活用」、「CCS技術のインドネシア国内およびASEAN諸国への普及」、「温室効果ガスの削減」へと社会実装が展開されてゆくと整理した。一方で、SATREPSの実施から社会実装の実現に至るまでには、いくつかの段階・過程を経る必要がある。このことから、本事後評価では、事業完了後3～4年目までに達成されるべき「社会実装への取組み」を整理し、本事後評価で確認する上位目標の範囲とした。この上位目標の範囲には、本来の本事業の上位目標「インドネシアにおける二酸化炭素の回収貯留プログラムが、石油・ガスの開発・生産に際して、CO₂ゼロエミッションを視野に活用・促進される」も含まれる。

「社会実装への取組み」としては、「政策への反映」として、①エネルギー政策、地球温暖化政策への反映、②CCS実施上の法整備の促進、③CCS推進のための経済的なインセンティブの仕組み作り、「実用化に向けた取組み」として、④本事業で体系化されたCCS技術

⁵ 有効性の判断にインパクトも加味して、レーティングを行う。

を活用した ADB パイロット事業の実施、⑤インドネシア国内外に向けての研究成果の発信・共有、⑥CCS 技術の開発・実用化に向けた産官学の連携の強化、などと整理した。

本事後評価で用いた分析の枠組みおよび本事後評価で確認する上位目標の範囲は、図 2 のとおり。



出所：評価者作成

図 2 評価の枠組みおよび上位目標の範囲

3.2.1 有効性

3.2.1.1 成果

(1) 成果 1

成果 1「グンディガス田における CO₂ 地中貯留およびモニタリングに関する実施体制が検討され、詳細な実施計画が作成される」は、達成された。共同研究の開始に際して、各技術課題に応じた技術チームが編成され、作業計画（年間計画）が策定された。また、グンディガス田での CO₂ 地中貯留・モニタリングの詳細実施計画書が協議され、作成された。

(2) 成果 2

成果 2「成果 3 での活動および地表施設の設計シミュレーションを行うため、CO₂ 地中貯留サイトおよび CO₂ 貯留層の特性が調査され、評価される」は、達成された。プルトミナから提供された地質、坑井、地震探査情報、およびフィールド調査による地質データを用い、グンディガス田に関する地質学・地球物理学的探査および物理学的特性のデータベースと CCS のための地質・貯留層モデルが 2013 年に構築された。また、地質・貯留層モデルに対して、各種パラメーターを変化させることにより CO₂ 挙動シミュレーションが実施され、CO₂ 漏洩が長期間に亘り発生しないと結論付けた。

さらに、地表施設設計とコスト評価を含むフィージビリティ調査において、CO₂ 圧入期間中の井戸の腐食速度についてのシミュレーションが行われ、この結果は地表施設の詳細設計に反映された。

なお、「CO₂ 地中貯留サイトおよび貯留層の評価⁶」に関しては、既存反射法物理探査データの再解釈や、現地でのボーリング調査、地表地質調査などを実施し、地質モデルの作成、それを利用した貯留層数値モデルの構築、さらに圧入シミュレーションを行い、圧入サイトの精密な評価と、貯留層の特性評価を実施した。また圧入に伴う貯留層での孔隙圧の変化に着目し、近傍断層の再活動の可能性を評価した。これは本事業によって新しく開発された技術であった。

(3) 成果 3

成果 3「グンディガス田での CO₂ 地中貯留およびモニタリングのため、地表施設設計とコスト評価を含むフィージビリティ調査が実施される」は、おおむね達成された。グンディガス田における地表施設の設計、CO₂ 地中貯留およびモニタリングに関する指針などがフィージビリティ調査報告書としてまとめられ、精緻化された後、2015 年 3 月に関係機関へ提出された。なお、地表施設の建設、圧入井の準備、CO₂ の回収・運搬・圧入は、本事業のスキームの範囲に含まれていなかったが、本事業に関心を示した ADB により研究資金提供の申し出があり、このフィージビリティ調査は、ADB の支援により実施された。また、ノルウェーからの資金提供により、プロジェクトのリスク解析調査も行われた。

(4) 成果 4

成果 4「CO₂ 貯留層の評価およびモニタリング技術検証のために CO₂ 地中貯留およびモニタリングに応用する地球物理学および地球化学的技術が実際の貯留層において適用され、評価される」は、一部達成であった。理由は、CO₂ 貯留層の評価およびモニタリング手法については CO₂ 圧入前のデータ取得までは行ったものの、CO₂ 圧入を予定していた既存井戸（Jepon-1）にガス漏れの可能性が指摘されたため、CO₂ 圧入が困難となり、その結果、事業完了までに地下における CO₂ 挙動の評価まで行うことが出来なかったためである。一方、CO₂ 挙動モニタリングおよび評価技術に関しては、時間領域電磁探査法や、パイブロサイス震源による反射法物理探査、干渉 SAR（InSAR）による地表変形測定法など、本事業を通じて、初めてインドネシアで適用された技術であった。

⁶ 貯留層の評価とは、CO₂ を地表から圧入する地層の地質学的、力学的、水理学的特性を、地質的、物理的、化学的試験や分析法を用いて明らかにすること。これにより、CO₂ をどの程度（量や期間）貯留することができるかを評価できる。

(5) 成果 5

成果 5「グンディガス田における CO₂ 地中貯留およびモニタリングの分析・評価を基にして標準業務手順書 (SOP) が作成される」は、一部達成であった。成果 1~4 の研究結果に加えて、これまで世界各地で実施された CCS に係わる文献調査、また公益財団法人地球環境産業技術研究機構 (RITE) により実施された長岡市岩野原での CCS 実証実験、および経済産業省により実施中の苫小牧市における CCS 大規模実証試験の成果などを取り込み、陸域ガス田での CO₂ 地中貯留およびモニタリングに関する標準業務手順書 (SOP) 案が作成された。しかしながら、上述のとおり、事業完了時までにグンディガス田での CO₂ 圧入が出来なかったため、SOP 案は、CO₂ 圧入後の地下における CO₂ 挙動モニタリングの分析・評価結果が反映されておらず、完全なものではなかった。

なお、上記の成果 1~5 の活動に加えて、本事業は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (New Energy and Industrial Technology Development Organization: NEDO、以下「NEDO」という) が実施する 2015 年度「地球温暖化対策技術普及等推進事業」に認定され、NEDO の支援を受けて、本事業を事例として、日本が進めている炭素クレジットの二国間取引である二国間クレジット制度 (JCM) のフィージビリティ調査も実施された。

3.2.1.2 プロジェクト目標達成度

プロジェクト目標「インドネシアの陸域ガス田における CCS 事業推進のため、CCS 技術を安全に適用するために不可欠となる深部地層の評価技術、地下での CO₂ 分布・挙動のモニタリング技術に関する標準業務手順書 (SOP) が提案される」は、一部達成されたと判断する。各指標の達成度は、表 1 に示すとおり。

表 1 プロジェクト目標の達成度

目標	指標	実績
プロジェクト目標： インドネシアの陸域ガス田における CCS 事業推進のため、CCS 技術を安全に適用するために不可欠となる深部地層の評価技術、地下での CO ₂ 分布・挙動のモニタリング技術に関する標準業務手順書 (SOP) が提案される	指標 1： 陸域での安全で効果的な CO ₂ 隔離技術に関する SOP の提案が 20 の組織に広められる	一部達成 <ul style="list-style-type: none"> 本事業で作成された標準業務手順書 (SOP) は、インドネシア政府機関、大学、自治体、企業等へ共有されたものの、事業完了までに CO₂ 圧入が出来なかったため、貯留層内での CO₂ 挙動モニタリング結果が手順書に反映されておらず、完成版の手順書の配布は困難であった。
	指標 2： インドネシア側研究者および技術者の共同作業を通じて、CO ₂ 隔離とモニタリングのための技術が開発される	達成 <ul style="list-style-type: none"> 日本人とインドネシア人研究者の協力を通じて、時間領域電磁探査 (TDEM) や高分解能地震探査のような、先進技術や手法を活用して CO₂ 圧入前のベースライン調査が実施され、CO₂ 挙動モニタリング手法に係る技術が開発された。

出所：JICA 提供資料

指標 1「陸域での安全で効果的な CO₂ 隔離技術に関する SOP の提案が 20 の組織に広められる」は一部達成、指標 2「インドネシア側研究者および技術者の共同作業を通じて、CO₂ 隔離とモニタリングのための技術が開発される」は達成となった。本事業で作成された SOP は各組織に配布されたものの、事業完了までに CO₂ 圧入が出来なかったため、貯留層内での CO₂ 挙動モニタリング結果が手順書に反映されておらず、配布された SOP は完成版ではなかった。一方、本事業での共同研究を通じて、時間領域電磁探査 (TDEM) や高分解能地震探査などを利用した CO₂ 挙動モニタリングの技術や手法が開発された。

なお、CO₂ 圧入に伴うプルトミナ社の法的責任などの問題により、本事業はエネルギー・鉱物資源省の直轄事業 (国家プロジェクト) となり、事業完了後は、引き続き ADB の支援を受けて、ガス漏れの可能性が指摘された既存井戸 (Jepon-1) の改修を行った後、ADB パイロット事業として、CO₂ 圧入および CO₂ 挙動のモニタリングを行うことが見込まれていた。

以上より、本事業の有効性は中程度と判断される。

3.2.2 インパクト

3.2.2.1 上位目標達成度

前述のとおり、本事業の上位目標は「インドネシアにおける CCS プログラムが、石油・ガスの開発・生産に際して、CO₂ ゼロエミッションを視野に活用・促進される」であった。これに加えて、事業完了後 3~4 年目までに達成されるべき「社会実装への取組み」を、事後評価時で確認すべき本事業の上位目標の範囲に含めたいうで、これらの達成度を判断した。上位目標の実績については、表 2 に示すとおり。

表 2 事後評価で想定した上位目標の達成度

上位目標	実績
【上位目標】 インドネシアにおける CCS プログラムが、石油・ガスの開発・生産に際して、CO ₂ ゼロエミッションを視野に活用・促進される	指標：本事業により提案された SOP を参考に、インドネシアにおいて 5 件以上の CCS プログラムが計画される。 達成 <ul style="list-style-type: none"> 本事業により提案された標準業務手順書 (SOP) は、CCS 実施に係る事項に関して幅広い視点でかかれた技術指針を示すものである。この SOP は、事後評価時において策定中の CCS/CCUS に関する規則の参考として活用されている。 事後評価時、エネルギー・鉱物資源省に対してインドネシアにおける CCS/CCUS 事業化に向けた調査・研究プロジェクトの申請が国内外の企業より寄せられており、9 案件が承認され、調査および準備作業が進行中である。これら 9 案件のうち 5 案件については、ITB がインドネシア企業および日本を含む海外企業と共同で調査・研究を行っており、SOP はそれに必要な基礎情報として利用されている。
【政策への反映】 ①エネルギー政策、地球温暖化政策への反映	<ul style="list-style-type: none"> CCS/CCUS はインドネシアにおけるエネルギー・トランジションに向けたひとつの解決策となり得るとの方針のもと、2021 年に「国家開発における国家貢献目標達成のための炭素経済価値と温室効果ガス排出抑制の実施に関する大統領令第 98/2021 号」 (Presidential decree No. 98/2021

上位目標	実績
	<p>regarding Implementation of Carbon Economic Value to Achieve National Contribution Target and Greenhouse Gas Emission Control in National Development) が発令された。この大統領は、温室効果ガスの削減およびインドネシアの国が決定する貢献 (NDC) の達成に向けた政府の取り組みにとって重要な法的根拠となった。</p> <ul style="list-style-type: none"> この大統領令には、炭素排出の削減は、CCS/CCUS などの工学的技術の導入により実施することができるとの言及がある。
<p>【政策への反映】 ②CCS 実施上の法整備の促進</p>	<ul style="list-style-type: none"> 2017 年 5 月、エネルギー・鉱物資源省の主導のもと ITB に国家 CCS/CCUS 研究センター (National Center of Excellence for CCS/CCUS) が設立され、同センターに対して、インドネシアにおける CCS/CCUS を支援するための新規則案の作成が命じられた。事後評価時においては、2022 年内の制定を目指して、同センターを中心に策定作業中であった。 CCS/CCUS に関する規則 (エネルギー・鉱物資源省省令) は、請負業者がその作業領域で CCS または CCUS を実施する権利、プロジェクトの承認と実施のメカニズム、経済的インセンティブ、(温室効果ガス排出量の) 測定、報告および検証 (MRV) の要件、健康・安全・環境・社会面のモニタリング、プロジェクト終了後の廃炉・譲渡責任などを扱うことが想定されている。 本事業で提案された SOP には、深部地層の評価技術、地下での CO₂ 分布・挙動のモニタリング技術などを含んでおり、これらの技術・手法は、同規則のなかに取り込まれる形で活用される予定である。
<p>【政策への反映】 ③CCS 推進のための経済的なインセンティブの仕組み作り</p>	<ul style="list-style-type: none"> 上記の CCS/CCUS に関する規則では、CCS/CCUS プロジェクトのオペレーターである石油・ガス事業者に焦点を当て、炭素クレジットの収益化とその収益の分配方法など、経済的インセンティブの枠組みについても検討がなされている。
<p>【実用化に向けた取組み】 ④本事業で体系化された CCS 技術を活用した ADB パイロット事業の実施</p>	<ul style="list-style-type: none"> 本事業完了後、本事業は ADB が進めている温暖化対策の支援対象となり、ADB の支援によりガス漏洩の可能性が指摘され既存井戸 (Jepon-1) の改修方法の提案と評価、および地表施設の設計、社会的受容性や法的検討を含むフィージビリティ調査の更新が行われた。その結果、CCS パイロット事業を実施するには、既存井戸を改修して利用するのではなく、新しく圧入井の掘削が必要であることが明らかになった。また随伴ガスから CO₂ を分離・回収する過程で発生する硫化水素の取り扱い (CO₂ と一緒に硫化水素を地下に圧入するかどうか) に関して、関係者間での意見の相違があった。最終的には、ADB の事業予算 (約 12 億円) の規模では、新規井戸の掘削まで行うことは困難であるとの結論に至り、2019 年秋に ADB パイロット事業は中止された。 その後、インドネシア政府、インドネシア側実施機関および日本側協力機関から日本政府に対して CCS パイロット事業の継続に対する協力要請が行われた結果、経済産業省「二国間クレジット取得等のためのインフラ整備調査事業」のスキームを活用して、ADB が行ったフィージビリティ調査のレビュー (2020 年度)、および課題解決のための調査 (2021 年度) が行われ、CCS 実証事業に向けた基本設計 (Pre-FEED) が完了した。 上記を踏まえて、2022 年度以降は、NEDO「民間主導による低炭素技術普及促進事業」(NEDO-JMC) のスキームを活用して、グンディガス田における CCS 実証事業を行うことが計画されている。この実証事業の事業期間は 5 年間、予算額約 60~70 億円、スケジュールとしては 2022 年~2023 年に実証設備の詳細設計 (FEED)、2023 年~2025 年に設計・調達・建設 (EPC) を経て、2026 年を目途に CO₂ の圧入、モニタリングの開始が想定されている。 本事業で開発された CO₂ 挙動モニタリングの手法、圧入手法、地表施設の基本設計など多くの成果がこの実証事業のベースとなる。
<p>【実用化に向けた取組み】 ⑤インドネシア国内外に向けての研究成果の発</p>	<ul style="list-style-type: none"> 本事業の研究成果は、ITB およびエネルギー・鉱物資源省により、国際会議、国際的なシンポジウムおよびウェビナーでの発表、学術論文、などを通じて、インドネシア国内外への情報発信・共有が積極的に行われている。

上位目標	実績
信・共有	<ul style="list-style-type: none"> ITB は国際エネルギー機関温室効果ガス R&D プログラム (IEAGHG)⁷のメンバーでもあり、先進国を中心とした各国代表とともに、特に途上国での CCS/CCUS 実施に関する戦略を提案している。2020年に ITB と IEAGHG が主催した 2 週間の CCS/CCUS コースは 250 名の参加があり、本事業に従事した多くの ITB 教員、日本側研究者などが講師として参加した。
【実用化に向けた取組み】 ⑥CCS 技術の開発・実用化に向けた産官学の連携の強化	<ul style="list-style-type: none"> ITB に設立された国家 CCS/CCUS 研究センターは、インドネシアにおける CCS/CCUS の研究拠点として位置づけられており、インドネシア国内で進められる CCS/CCUS 事業において、産業界とエネルギー・鉱物資源省との間の調整窓口としても機能しており、産官学の連携による CCS/CCUS 技術の開発、促進において重要な役割を果たしている。 また、国家 CCS/CCUS 研究センターとは別に、CCS/CCUS に関する研究・コンサルティング業務などの営利活動を行う目的で、2020年3月に二酸化炭素・フレアガス利活用センター (Center for Carbon Dioxide and Flared Gas Utilization) が ITB に設立された。この新組織を通じて、ITB 自身も民間企業と連携して CCS/CCUS 案件へ直接的に従事する機会が増えている。

出所：インドネシア側実施機関および日本側協力機関への質問票回答、ヒアリング結果。

上位目標「インドネシアにおける CCS プログラムが、石油・ガスの開発・生産に際して、CO₂ゼロエミッションを視野に活用・促進される」については、事後評価時点において達成されている。本事業により提案された SOP は、事後評価時において策定中の CCS/CCUS に関する規則の参考として活用されている。また、事後評価時において、エネルギー・鉱物資源省が承認済みの CCS/CCUS 事業化に向けた調査・研究プロジェクト 9 案件のうち、5 案件については ITB がインドネシア企業および日本を含む海外企業と共同で調査・研究を行っており、SOP はそれに必要な基礎情報として利用されている。

「①エネルギー政策、地球温暖化政策への反映」については、本事業と関連して、2021年に「国家開発における国家貢献目標達成のための炭素経済価値と温室効果ガス排出抑制の実施に関する大統領令第 98/2021 号」が発令され、炭素排出の削減に向けて CCS/CCUS などの工学的技術の導入の必要性が示されている。

「②CCS 実施上の法整備の促進」については、2017年に ITB に設立された国家 CCS/CCUS 研究センターを中心に、2022年内の制定を目指して、CCS/CCUS に関する規則（エネルギー・鉱物資源省省令）の策定作業が行われている。同規則では、請負業者がその作業領域で CCS または CCUS を実施する権利、プロジェクトの承認と実施のメカニズム、経済的インセンティブ、(温室効果ガス排出量の)測定、報告および検証 (MRV) の要件、健康・安全・環境・社会面のモニタリング、プロジェクト終了後の廃炉・譲渡責任などを扱うことが想定されており、本事業で提案された SOP が同規則のなかに取り込まれる形で活用される予定である。

⁷ IEAGHG は温室効果ガスの削減技術の評価、普及促進、評価調査の情報発信、国際協力の推進を目的として、国際エネルギー機関 IEA のもとで締結された協定に基づいて 1991年に設立された組織。現在、温室効果ガスの削減技術のうち、主に CCS が活動対象となっている。日本、インドネシアを含む 19 か国のほか、欧州委員会 (EU)、石油輸出国機構 (OPEC)、22 企業が参加している。IEAGHG の主要な活動の一つに CCS の専門家ネットワークの運営とワークショップの開催、また、大規模な国際学会の開催がある。

「③CCS 推進のための経済的なインセンティブの仕組み作り」については、CCS/CCUS に関する規則において、CCS/CCUS プロジェクトのオペレーターである石油・ガス事業者に焦点を当て、炭素クレジットの収益化とその収益の分配方法など、経済的インセンティブの枠組みについても検討がなされている。

「④本事業で体系化された CCS 技術を活用した ADB パイロット事業の実施」については、本事業完了後、本事業は ADB が進めている温暖化対策の支援対象となり、ADB の資金提供を受けて、ガス漏れの可能性が指摘された既存井戸 (Jepon-1) の改修を行った後、ADB パイロット事業として、CO₂ 圧入および CO₂ 挙動のモニタリングを行うことが見込まれていた。しかし、調査の結果、CCS パイロット事業を実施するには、新規井戸の掘削が必要となり、想定していた ADB の事業予算規模では対応が困難であったため、最終的には、2019 年秋に ADB パイロット事業は中止された。その後、経済産業省「二国間クレジット取得等のためのインフラ整備調査事業」のスキームを活用して、ADB が行ったフィージビリティ調査のレビュー (2020 年度)、および課題解決のための調査 (2021 年度) が行われ、CCS 実証事業に向けた基本設計 (Pre-FEED) が完了した。上記調査は、日本のプラント・エンジニアリング会社、電力会社、エンジニアリング・コンサルタント会社の共同企業体、および同共同企業体と共同研究協定を結んだ ITB およびプルタミナにより実施された。上記を踏まえて、2022 年度以降は、同じ実施体制で、NEDO「民間主導による低炭素技術普及促進事業」(NEDO-JMC) のスキームを活用して、グンディガス田における CCS 実証事業を行うことが計画されている。この計画では、2022 年～2023 年に地表施設 (CO₂ 回収施設、CO₂ 輸送施設、CO₂ 圧入施設など) の詳細設計 (FEED)、2023 年～2025 年に設計・調達・建設 (EPC) を経て、2026 年を目途に CO₂ の圧入、モニタリングの開始が想定されている。

「⑤インドネシア国内外に向けての研究成果の発信・共有」については、ITB およびエネルギー・鉱物資源省により、国際会議、国際的なシンポジウムおよびウェビナーでの発表、学術論文の発表などを通じて、本事業の研究成果は、インドネシア国内外へ発信・共有が行われている。

「⑥CCS 技術の開発・実用化に向けた産官学の連携の強化」については、インドネシアにおける CCS/CCUS の研究拠点として ITB に設立された国家 CCS/CCUS 研究センターを中心に CCS/CCUS 技術の開発・促進に向けての産官学の連携が図られている。また、ITB には、二酸化炭素・フレアガス利活用センターも設立され、ITB 自身も民間企業と連携して CCS/CCUS に関する研究・コンサルティング業務に従事する機会も増えている。

以上より、本事業の上位目標は達成され、社会実装に向けた 6 つの取組は、実施済みあるいは実施中である。よって、上位目標は達成されたと判断する。

3.2.2.2 事業効果の継続状況

(1) 研究成果の活用および継続

「3.2.2.1 上位目標達成度」で説明のとおり、本事業完了後、ADB 支援による地表施設の設計を含むフィージビリティ調査の更新（2018 年～2019 年度）、経済産業省のスキームを活用した CCS 実証事業に向けた基本設計調査（2020 年～2021 年度）が行われた。上記調査は、本事業の研究成果をベースに行われている。

一方、本事業で提案された標準業務手順書（SOP）は、貯留層内での CO₂ 挙動モニタリング結果が反映されておらず完全版ではなかったが、SOP の提案内容は、策定作業中の CCS/CCUS に関する規則に統合される予定である。同規則の策定が最優先課題であることから、ITB では今後、SOP の更新は行わないとの立場である。

(2) 研究者の能力向上

本事業実施前は、インドネシアでは CCS に関する調査研究が始まったばかりであり、ITB による CCS 分野の調査/研究経験は限定されたものであった。その後、本事業における日本側研究者との共同研究、本邦研修の機会を得て、ITB の CCS に関する調査研究能力は、格段に向上した。本事業を契機に ITB に設立された国家 CCS/CCUS 研究センターには、本事業に従事した ITB の教員が中心メンバーとして参加しており、インドネシアにおける CCS/CCUS に関する人材育成が進められている。また、ITB では、本事業で取り組んだ CCS 研究から、その回収・貯留した二酸化炭素を有効利用する CCUS の研究および実証へと研究領域を広げている。

(3) 機材の活用・維持管理状況

本事業では、地震探査装置、微小地震観測装置、受信機交換ユニット、電磁法探査装置、重力モニタリング計、気象データ等環境モニター用観測装置、GPS 装置など、様々な研究・調査用器材が供与されたが、事業完了後も、それらは ITB での教育・研究目的で継続して使用されており、維持管理もおおむね問題ない。

グンディガス田があるプルタミナ中央生産施設



実証実験用の新規井戸
(Kedungtuban 井戸)



地表施設建設予定地



天然ガス生産プラント



プルタミナのスタッフ

3.2.2.3 その他のインパクト

(1) 自然環境へのインパクト

グンディガス田があるプルトミナ中央生産施設では、本事業の実施期間中、3 か月ごとに労働、健康、安全、環境保護（HSE）の一環である環境モニタリング活動を実施し、第三者機関による排出物や廃棄物の分析が行われた。また、事業サイト関係者からの聞き取りによると、グンディガス田からの天然ガス生産時に随伴ガスとして大気中に放出される CO₂ は硫化水素の含有率が高く、中央生産施設では脱硫装置を使って、硫化水素の除去を行っている。プルトミナによると、本事業による自然環境への負のインパクトは確認されなかったとのことであった。

(2) 住民移転・用地取得

本事業サイトはプルトミナ中央生産施設内にあることから、本事業の実施に伴う用地取得、住民移転は発生しなかった。なお、実証事業の実施において、将来的に中央生産施設から 4 km 離れた場所に新たに実証用井戸 1 本の掘削を行い、中央生産施設から井戸まで CO₂ を送るパイプラインを建設することが計画されているが、このパイプラインはプルトミナが取得済みの通行権（ROW）に沿った形で建設されることになっており、新たな用地取得および住民移転は発生しない予定である。

本事業の実施により、プロジェクト目標は一部達成された。上位目標は達成され、社会実装に向けた 6 つの取組は、実施済みあるいは実施中であった。事後評価時において、研究成果は活用されており、事業効果も継続されている。本事業はインドネシア側実施機関の研究者の研究能力の向上に貢献が認められ、機材の活用・維持管理状況はおおむね問題がなかった。自然環境へのマイナスのインパクト、用地取得・住民移転も認められなかった。

以上より、本事業の実施により計画どおりの効果発現がみられることから、有効性・インパクトは高い。

3.3 効率性（レーティング：③）

3.3.1 投入

投入要素別の計画と実績の比較は、表 3 に示すとおり。

表 3 投入実績

投入要素	計画	実績（事業完了時）
(1) 専門家派遣	<ul style="list-style-type: none"> 長期：1 名（業務調整員） 短期：20 名、約 80 人月（地質、地質物理、石油開発等） 	<ul style="list-style-type: none"> 長期専門家：1 名 短期専門家：26 名、総 27.4 人月（地質、地質物理、石油開発等）、
(2) 研修員受入	記載なし	86 名
(3) 機材供与	CO ₂ モニタリング作業に必要な各種測定装置、データ解析用コンピュータおよびソフトウェア等	地震探査装置、微小地震観測装置、受信機交換ユニット、電磁法探査装置、重力モニタリング計、気象データ等環境モニター用観測装置、GPS 装置等
(4) 在外事業評価費	記載なし	約 51.6 百万円
日本側の事業費合計	401 百万円	357 百万円

投入要素	計画	実績（事業完了時）
相手国の事業費 合計	記載なし (カウンターパート人件費など)	記載なし (カウンターパート人件費、プロジェクト事務所、出張費、機材購入費(重力計、超音波速度テスト機材、多電極地熱システム等))

出所：JICA 提供資料

3.3.1.1 投入要素

日本側からの派遣専門家（研究者）は、27名（長期専門家1名、短期専門家26名）であった。インドネシア側からの研修員受入れは、86名であった。グンディガス田における CCS およびモニタリングに関する共同研究は、事業期間内に実施することができ、「CO₂ 地中貯留サイトおよび貯留層の評価」や「CO₂ 挙動モニタリングおよび評価」など、新しい技術や手法の開発などが行われ、標準業務手順書（SOP）も作成された。供与機材も概ね良好に活用、維持管理が行われている。ボツワナ側からも ITB から 29 名、プルタミナから 4 名がカウンターパートとして本事業に従事し、カウンターパート人件費、プロジェクト事務所、出張費、機材購入費がインドネシア側により負担されるなど、パートナーシップに基づく事業実施であったといえる。

3.3.1.2 事業費

日本側の事業費は計画 401 百万円に対して、実績は 357 百万円であり、計画内に収まった（計画比 89%）。

3.3.1.3 事業期間

事業期間は、計画 60 カ月（2012 年 4 月～2017 年 3 月）に対して、実績は 60 カ月（2012 年 9 月～2017 年 9 月）となり、計画どおりであった（計画比 100%）。

以上より、本事業は事業費、事業期間ともに計画内に収まり、効率性は高い。

3.4 持続性（レーティング：③）

3.4.1 発現した効果の持続に必要な政策・政治的関与

インドネシア政府は、「国が決定する貢献（NDC）および長期低排出発展戦略などにおいて、温室効果ガス排出量の具体的な削減目標を掲げており、目標達成に向けて CCS は有効な手段のひとつと位置付けられている。そのため、インドネシア政府は、CCS/CCUS の推進に積極的に取り組んでおり、本事業は 2017 年にエネルギー・鉱物資源省の直轄事業となり、国家プロジェクトとして位置づけられている。また、インドネシアにおける CCS/CCUS の推進に必要な CCS/CCUS に関する規則も策定中である。

よって、効果持続に必要な政策・政治的関与は確保されている

3.4.2 発現した効果の持続に必要な制度・体制

【エネルギー鉱物資源省】

エネルギー鉱物資源省は、資源・エネルギー分野全般を所掌しており4総局（新・再生可能エネルギー・省エネルギー総局、石油・天然ガス総局、鉱物・石炭総局、電力総局）と3庁（エネルギー鉱物資源教育訓練庁、エネルギー鉱物資源研究開発庁、地質庁）から構成されている。そのうち石油・天然ガス総局の石油・天然ガス工学環境局（職員数10名）が策定中のCCS/CCUSに関する規制（省令）のとりまとめを行っている。同省は、長年にわたり日本の経済産業省とエネルギー分野における協力関係を構築しており、2022年1月には、経済産業省との間でエネルギー・トランジションの実現に関する協力覚書が締結され、CCS/CCUS技術の開発・促進に向けて、引き続きインドネシアおよび日本の両国で協力して取組む体制となっている。

【ITB】

バンドン工科大学は、1959年に西ジャワ州に設立されたインドネシアで最初の工科大学で、12の学部・学科、128の研究プログラム、111の研究グループ、25のセンター、7つの研究センター、そして7つのセンター・オブ・エクセレンス⁸を有する。本事業完了後、ITBにおけるCCS/CCUS技術の研究・開発・実証の活動は、2017年に設立された国家CCS/CCUS研究センターおよび2020年に設立された二酸化炭素・フレアガス利活用センターを中心に行われている。前者はインドネシアにおけるCCS/CCUSの研究・開発の拠点であり、後者は民間企業等と連携したCCS/CCUSに関する研究・コンサルティング業務の実施という位置づけである。両センターのスタッフ数は約45名（両方の組織を兼務⁹）であり、本事業に従事したITBの教員の多くが、センター長を始め、中心メンバーとして両センターで重要な役割を担っている。

既述のとおり、ITBおよびプルタミナは、日本側共同企業体と共同研究協定を締結し、経済産業省のスキームを利用して2020年～2021年度にCCS実証事業に向けた基本設計（Pre-FEED）を日本側と共同で実施しており、2022年度以降に計画されているNEDOスキーム活用したグンディガス田におけるCCS実証事業についても、引き続き同じ体制で取組む予定である。

また、事業完了後も、ITBは京都大学、早稲田大学、九州大学、公益財団法人深田地質研究所などの日本側協力機関と研究・教育の交流を継続しており、両国の研究者同士も頻繁に情報交換を行っている。日本側協力機関もITBからの博士課程の学生や博士課程の修了後の研究職（ポスドク）の受入れを行っている。本事業に従事した日本側研究代表者は、国家CCS/CCUS研究センターの海外アドバイザーとして、引き続きITBの研究活動を支援している。

⁸ 大学に設置された優秀な人材・最先端の設備を集約した研究拠点。

⁹ スタッフは業務の内容によって、どちらのセンターでの活動とするかを使い分けている。国家CCS/CCUS研究センターで業務を行う場合は、ボランティアベース（無報酬）である。

【プルタミナ】

プルタミナは 1957 年に設立された石油・ガス公社が母体となっており、インドネシア政府が株式を所有する国有の最大手石油・天然ガス関連会社である。同社は、インドネシア国内で石油・天然ガスの採掘・精製、国内販売および輸出を行っている。プルタミナは、持ち株会社の下に 6 つのサブホールディング会社¹⁰がある。そのうち石油・ガスの探鉱・生産事業のサブホールディング会社の PT Pertamina Hulu Energi (PHE)（国内外に 59 の出資会社、8 つの合弁企業、2 つの子会社を所有）の傘下であり、上記の出資会社のひとつである Pertamina EP Cepu (PEPC), Zone 11 がグンディガス田を所有している。

グンディガス田があるプルタミナ中央生産施設に配属されているプルタミナの職員は 10 名（生産スタッフ 5 名、メカニック 3 名、電気設備スタッフ 2 名）であり、施設の維持管理は外部委託スタッフが担当している。既述のとおり、ITB およびプルタミナは、日本側共同企業体と共同研究協定を締結し、グンディガス田における CCS 実証事業についても、引き続き取り組む予定である。

よって、効果持続に必要な制度・体制は確保されている。

3.4.3 発現した効果の持続に必要な技術

【エネルギー鉱物資源省】

エネルギー鉱物資源省は、事後評価時において、国家 CCS/CCUS 研究センターを通じて CCS/CCUS に関わる規則のドラフトを作成し、各国ステークホルダーへの説明および意見聴取、関係省庁間での調整を経て、2022 年中の成立・発効させる予定である。また、同省はインドネシア国内の CCS/CCUS 事業の審査、承認、モニタリングも担当しており、事後評価時において承認済みの CCS/CCUS 事業化に向けた調査・研究プロジェクト 9 件のモニタリングを行っている。

【ITB】

国家 CCS/CCUS 研究センターおよび二酸化炭素・フレアガス利活用センターの業務に従事する ITB の教員・研究者は、本事業の実施に関わったものが大半であり、本事業の研究成果の継続を行う能力を有している。ITB の教員・研究者のなかには、2021 年に九州大学で博士号を取得後、ITB で講師を務める者もいる。ITB は、両センターの業務を通じて、二酸化炭素を回収・貯留する CCS 研究から、その回収・貯留した二酸化炭素を有効利用する CCUS の研究および実証へと研究領域を広げている。本事業の実施中に、供与機材の使用・維持管理方法は、日本側から ITB に移転されており、供与機材も引き続

¹⁰ 2020 年 6 月 12 日に発行された国営企業省大臣令 No. SK-198/MBU/06/2020 に基づき、プルタミナグループが持つ各子会社が 7 つのセクターに振り分けられ、「サブホールディング」および「コーポレーション」へと再編された。

き使用されており、維持管理の状況も概ね問題ない。

【プルタミナ】

プルタミナは、グンディガス田の所有者かつオペレーターであり、グンディ地域の坑井、地下、地表施設に関するデータの提供を含めて、本事業の実施およびその後の調査においても、継続して技術的支援を行っている。その他にも、プルタミナは、日本のプラント・エンジニアリング会社との間で、水素、アンモニア、CCUS、バイオガス等の分野における脱炭素ビジネスの推進、新規プロジェクトの探索のための協力覚書を締結した。また、日本の石油開発会社と共同で、スコワティ油田における二国間クレジットを活用したCCUSプロジェクトの事業性評価も行っている。さらに、プルタミナは、国際石油資本（石油メジャー）と南スマトラ、東カリマンタン西部ジャワ島におけるCCS/CCUS技術の適用に係る共同研究の覚書を締結するなど、本事業以外にも、インドネシアのCCS/CCUS技術の研究・開発および推進に積極的に関わっている。またプルタミナは、CCUSのプロセスでのブルー水素¹¹の生産に係る研究を進めており、プルタミナ大学（Pertamina Corporate University）と九州大学との間で共同研究に係る協定の締結に向けて動いている。

よって、効果持続に必要な技術は確保されている。

3.4.4 発現した効果の持続に必要な財務

エネルギー・鉱物資源省およびITBのCCS/CCUSに係る予算（2017年～2021年）は、表4に示すとおり。

表4 投入実績

項目	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
エネルギー・鉱物資源省（石油ガス工学環境局）	636,089,000 インドネシア・ルピー	620,618,000 インドネシア・ルピー	25,108,000 インドネシア・ルピー	249,375,000 インドネシア・ルピー	491,252,000 インドネシア・ルピー
ITB（二酸化炭素・フレアガス利活用センター）	200,000ドル	150,000ドル	150,000ドル	350,000ドル	350,000ドル
プルタミナ	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

出所：エネルギー・鉱物資源省およびITBからの質問票回答。

注1：上記とは別に、ITBは連携する民間企業からコンサルタント料としての収入もある。

注2：プルタミナからの情報提供は得られなかった。

本事業はエネルギー・鉱物資源省の直轄事業（国家プロジェクト）との位置づけであり、事業終了後は、ADBおよび経済産業省の資金により、CCS実証事業に向けた基本設計

¹¹ 天然ガスや石炭等の化石燃料を、蒸気メタン改質（Steam Methane Reforming）や自動熱分解（Autothermal Reforming）などで水素と二酸化炭素に分解し、二酸化炭素を大気排出する前に回収する方法。

(Pre-FEED) まで進捗した。2022 年度以降は、NEDO 資金を活用した実証事業の実施が計画されており、事後評価時においては、日本側共同企業体と経済産業省、NEDO との間で計画実現に向けた検討が行われている。今後、NEDO 公募事業として採択された場合は、NEDO より実証事業実施のための 5 年間の予算が付けられることになる。一方、プルタミナにおいても、グンディガス田での CCS 実証事業の所管がサブホールディング会社の PT Pertamina Hulu Energi (PHE) からガス田のあるプルタミナ中央生産施設を管理・所有する Pertamina EP Cepu (PEPC), Zone 11 に委譲された後、プルタミナ側がガス田の運営費用を提供する可能性が検討されている。

よって、効果持続に必要な財務に問題はないと判断する。

以上より、本事業は、政策・政治的関与、制度・体制、技術、財務、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高い。

4. 結論および教訓・提言

4.1 結論

本事業は、インドネシア中部ジャワ州のグンディガス田において、CCS 推進のため、CCS 技術を安全に適用するために不可欠となる深部地層の評価技術、地下での CO₂ 分布・挙動のモニタリング技術に関わる研究を目的としたものである。これはインドネシアの開発政策、開発ニーズ、および日本の援助政策に合致しており、事業の妥当性は高い。5 つの成果のうち、3 つが達成あるいは概ね達成、2 つが一部達成であった。上位目標は達成され、社会実装に向けた 6 つの取組は、事後評価時において実施済みあるいは実施中であることから、上位目標は達成されたと判断する。本事業はインドネシア側実施機関の研究能力の向上に対する貢献が認められ、機材の活用・維持管理状況はおおむね問題がなかった。自然環境へのマイナスのインパクト、用地取得・住民移転も認められなかった。よって、本事業の実施により計画どおりの効果発現がみられることから、有効性・インパクトは高いと判断する。事業費、事業期間ともに計画内に収まり、効率性は高い。持続性については、政策・政治的関与、制度・体制、技術、財務、いずれも問題なく、高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

4.2 提言

4.2.1 実施機関などへの提言

エネルギー・鉱物資源省は、現在策定中の CCS/CCUS に関する規則について、計画どおり 2021 年中に制定・発効が可能となるよう、関係省庁・機関との調整を含めて引き続きリーダーシップを発揮することが期待される。

4.2.2 JICA への提言

なし

4.3 教訓

(1) 事業完了後の研究成果の持続性を高めるための事業実施中における研究分野・対象に興味を持つ関係国政府・国際機関等との協力関係の構築

本事業では、事業開始時には予定されていなかったが、ADB やノルウェー政府が本事業の研究分野に興味を示し、ADB から提供された研究資金を利用して、圧入地域の住民に対する社会受容性に対する調査、グンディガス田での CO₂ 分離回収技術の検討、CO₂ の輸送に関する検討、圧入に伴う地表設備の検討、CCS 実施上の法規制に関する検討などが進められた。また、ノルウェーからは、プロジェクトのリスク解析調査のための費用の提供を受けた。さらに、本事業は、NEDO の 2015 年度「地球温暖化対策技術普及等推進事業」に認定され、NEDO の資金を利用して、グンディガス田での CCS 事業を例題に二国間クレジット制度 (JCM) に対するフィージビリティ調査も行われた。このように事業実施中に ADB、ノルウェー国、および NEDO との連携が図られた。一方、エネルギー・鉱物資源省と我が国の経済産業省との間では長年にわたるエネルギー分野の協力関係があり、また、インドネシアのエネルギー分野には日本企業も多く投資を行い、権益を確保していた。このように、インドネシアにおける CCS/CCUS 技術開発および実用化は、日本の優れた低炭素技術・システムの普及や地球規模での温室効果ガス削減への貢献に加えて、日本における将来の排出権確保の観点からも日本企業および我が国にとって大きな裨益が見込まれる分野であった。これらのこともあり、本事業完了後においても、ADB および経済産業省が本事業の研究分野に対して資金供与を行うこととなり、グンディガス田の CCS 実証事業に向けての調査が継続された。

このように事業実施中に本事業の研究分野・対象に興味を持つ関係国政府・国際機関との連携を行ったことは、本事業完了後の研究成果の継続に繋がった可能性は高いと考えられる。

以上