

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

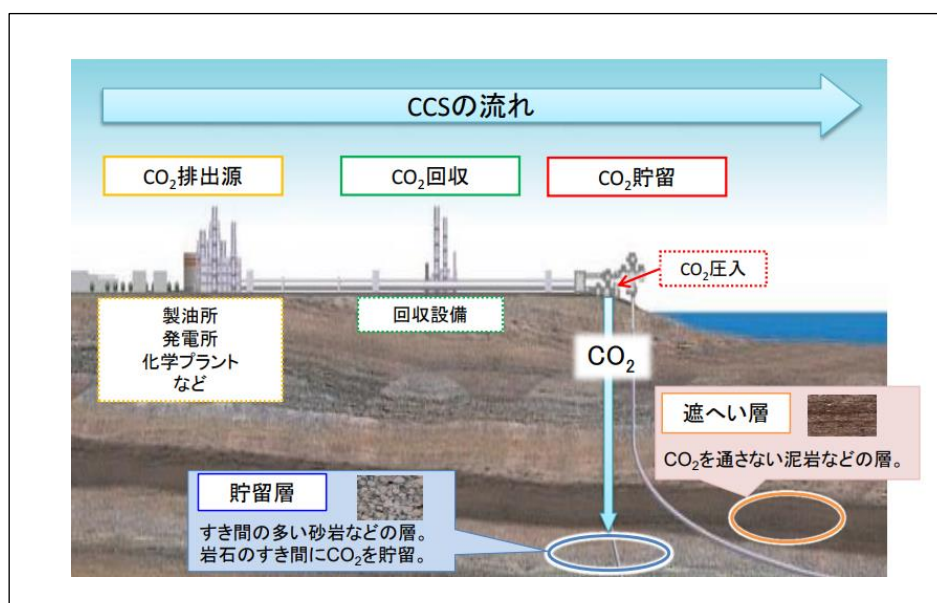
済成長に伴うエネルギー需要の増加に付随する温室効果ガス排出量の増加が懸念されていた。これを踏まえ、2009年10月に発足した第2期ユドヨノ政権は、2020年の温室効果ガス排出量を対策を取らない場合と比較して26%削減する自主的な削減目標を設定し、2010年～2029年の約20年間にわたる適応策および緩和策に係る部門別ロードマップ「インドネシア国気候変動ロードマップ」（2010年3月）を策定するなど、気候変動対策を同政権の重要な政策課題と位置づけていた。同ロードマップでは、石炭火力発電所から排出される温室効果ガスの削減策のひとつとしてCCSの可能性が指摘されていた。しかしながら、同国内においては、CCS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）

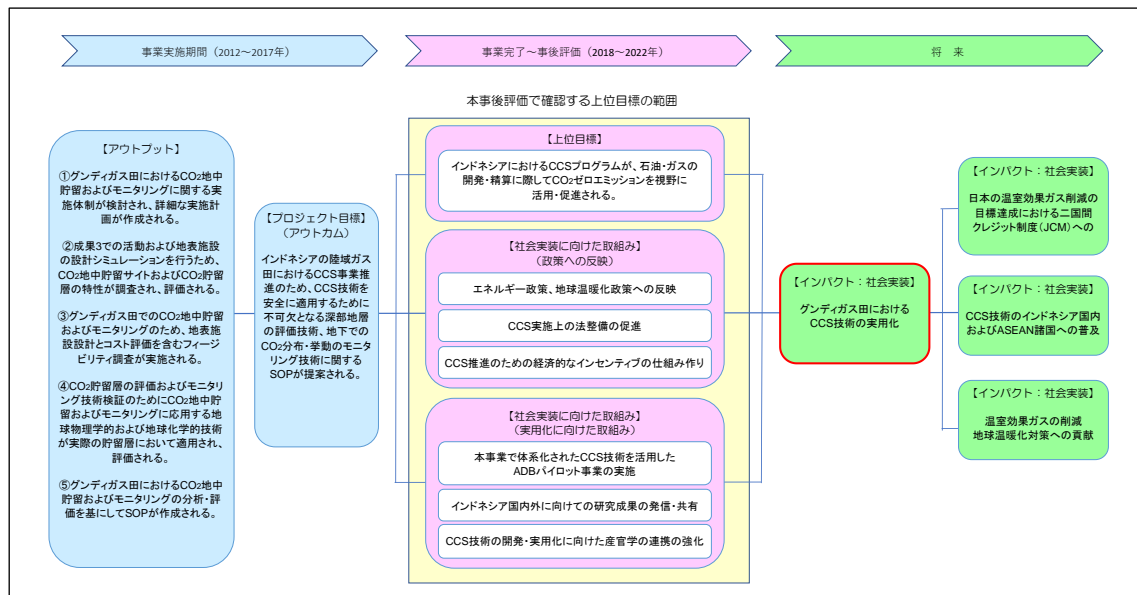
本事業は、SATREPSの枠組みで行われた技術協力事業であり、単なる基礎研究や応用研究に関する支援ではなく、相手国の課題・ニーズに応える科学技術の社会実装を進めることを最終的に目指している。本事業が目指す社会実装は、一義的には「グンディガス田におけるCCS技術の実用化」ととらえ、その先に「日本の温室効果ガス削減の目標達成における二国間クレジット制度（JCM）への活用」、「CCS技術のインドネシア国内およびASEAN諸国への普及」、「温室効果ガスの削減」へと社会実装が展開されてゆくと整理した。一方で、SATREPSの実施から社会実装の実現に至るまでには、いくつかの段階・過程を経る必要がある。このことから、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、パイブロサイズ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 およびプラ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