

地球規模課題対応国際協力プログラム (SATREPS) 研究課題別追跡調査報告書

I 序文

SATREPS 追跡評価実施要領 (<https://www.jst.go.jp/global/hyouka/pdf/follow-up-evaluation-procedure.pdf>) に基づき、追跡調査を実施した。具体的には、プロジェクト終了後の各研究課題の国際共同研究の成果の発展状況や活用状況を明らかにするために、対象課題の研究者に対し質問票による基礎データ調査を行い、その結果を踏まえた研究者インタビュー調査を経て得られた情報を整理しまとめた¹。

今般の研究課題別追跡調査にあたっては、以下の方にご協力頂き厚く御礼申し上げます。

松岡 俊文 (京都大学 名誉教授)

II プロジェクト基本情報

1. 課題名

インドネシア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及びモニタリングに関する先導的研究

2. 日本側研究代表者名

松岡 俊文 (プロジェクト終了時 京都大学 学際融合教育研究推進センター 特任教授)
(現 公益財団法人深田地質研究所 特別研究員 京都大学 名誉教授)

3. 相手国側研究代表者名

Wawan G. A Kadir (インドネシア バンドン工科大学 (ITB) 教授)

4. 国際共同研究期間

2012年9月～2017年9月

5. 研究概要

(1) 目的

インドネシアは、泥炭地からの二酸化炭素(CO₂)排出量を含めた場合、中国、米国に次ぐ温室効果ガス(GHG)排出国であり、経済成長に伴うエネルギー需要の増加に付随する GHG 排出量の増加が懸念され、中でも、ガス田から天然ガスを生産する際に産出されるガスに含まれる CO₂ の空気

¹ 2021年11月から2022年3月に各種調査および報告書のとりまとめを実施した。

中への大量の排出が問題視されている。同国は 2030 年までに、対策を講じなかった場合と比較して 29%の温室効果ガス削減をコミットしている。

本プロジェクトは、CO₂の直接的な削減法としてガス生産の際に出た CO₂を回収して地中に封じ込める CCS²技術の体系化を目的に、中部ジャワ州グンディ・ガス田において、同国内で初の CO₂地中貯留実証試験およびモニタリング技術の研究開発を行う。具体的には、研究フェーズ 1として貯留サイトの選定から CO₂圧入までを実施し、研究フェーズ 2として CO₂圧入後のモニタリングや SOP (Standard Operation Procedure、作業手順書)作成および普及活動を行うことで、将来的にインドネシア国内での CCS の推進を図る。

(2)各グループの研究題目と実施体制

研究題目 1. 貯留層評価及び数値シミュレーションを含めたモニタリング技術の最適化に関する研究(京都大学、九州大学、早稲田大学、深田地質研究所、秋田大学(2015年度まで)、ITB)

研究題目 2. 電気・電磁法を利用したモニタリング技術の研究(早稲田大学、京都大学、深田地質研究所、ITB)

研究題目 3. 探査データの総合解釈・評価技術の研究(深田地質研究所、京都大学、ITB)

研究題目 4. 貯留層評価及びモニタリング手法の研究(九州大学、秋田大学、京都大学、深田地質研究所、ITB)

(3)SATREPS 期間中の各グループの成果

研究題目 1: 貯留層評価及び数値シミュレーションを含めたモニタリング技術の最適化に関する研究

CO₂の貯留層内での流動に関して、ナノスケールからマクロスケールまでの検討を行うために、分子動力学的手法を用いて、鉱物表面における CO₂の濡れ性の評価を行い、これを基に LBM³を使って孔隙内で CO₂の流動を検討した。モニタリング技術については各手法の探査結果を基に適用性を評価する。重力探査に関しては、九州大学と共同で調査を実施した。調査に必要な各種の観測機器の調達を行い、カウンターパートであるバンドン工科大学(ITB)へ供与した。供与機器を使った操作手法の技術移転を行い、ベースライン調査並びにモニタリング調査を行った。衛星データを使った InSAR⁴解析を行い、圧入に伴う地表地盤変化抽出のための技術開発を行った。

休止坑井⁵JEPON-1の圧入井としての健全性の評価検討を日本・インドネシア合同で行った。

貯留層シミュレータ GEM を利用したシミュレーションにより最適な注入のための諸条件を検討した。シミュレータへの入力物性を得るため、および岩石中の CO₂の挙動を把握するために、

² CCS(Carbon dioxide Capture and Storage) : 二酸化炭素の地中貯留

³ LBM(LatticeBoltzmannMethod) : メソスケールの格子ボルツマン方程式

⁴ InSAR : 干渉 SAR。地表面の変化を調べる技術的手法。(SAR は合成開口レーダー)

⁵ 坑井(こうせい) : 鉱山の坑内に設けられた小規模な立て坑

現地で採取した岩石サンプルを用いて室内試験を行った。モニタリング技術の研究としては、自然地震を利用したトモグラフィ⁶法や地震波干渉法の適用性を検討し、モニタリングのための観測仕様を決定した。

シミュレータ ECLIPSE による数値流動計算の高精度化を図った。また、残留 CO₂ 量、溶解 CO₂ 量、鉱物固定 CO₂ 量の変化を詳細分析するために、GEM による長期計算を行った。計算結果が予測した CO₂ 分布に弾性定数を与え、地震波伝播シミュレーションを行い、地震波によるモニタリング可能性を評価した。また、岩石試料にマイクロサイズ粒子を流動させ、流動条件を評価した。

研究題目 2：電気・電磁法を利用したモニタリング技術の研究

注入した CO₂ の貯留層内での動態をモニタリングする手法の 1 つとして電気・電磁法の適用性を研究、評価した。時間領域電磁法探査 (TDEM) の最新の測定機を導入し、その現地適用を通じて、従来の周波数領域電磁法では必ずしも明確になっていない電磁法探査の CO₂ 挙動モニタリングへの適用性を明らかにした。CO₂ が地層内で比較的狭い範囲に拡散している状態でのモニタリングでは、送信源と受信センサーの間隔をできるだけ短くして探査の感度を上げることが効果的である。

研究題目 3：探査データの総合解釈・評価技術の研究

CO₂ を地下に貯留する上で、貯留層およびその上位の遮蔽層の力学的、水理学特性の把握が重要である。広範囲に広がる貯留層や遮蔽層の特性を把握するためには、広域の地下の構造や物性を把握できる物理探査の適用が有効である。そこで、物理探査データから貯留層、遮蔽層の力学的、水理学的特性の把握、加えて貯留層内の CO₂ の飽和度などの特性を評価手法について研究を行った。また、健全性の把握や、モニタリングする手法として、サイト周辺で観測される微小地震データを利用する手法が考えられた。そこで、微小地震観測に必要な孔内微小地震観測システムを導入し、実験サイトでの性能評価を経たうえで、実際の CO₂ 圧入サイト周辺に設置し、観測を行った。

更には、CO₂ の圧入に伴う貯留層や遮蔽層の変化をモニタリングする手法として、人工衛星によるマイクロ波を利用した InSAR 技術の適用が考えられた。そこで、本研究では、InSAR 技術の基礎的な研究を行うとともに、圧入サイト周辺の衛星データを収集、解析し、CO₂ 圧入前後の地表変動の検知可能性について検討した。

研究題目 4：貯留層評価及びモニタリング手法の研究

サイトの地質モデル及び CO₂ 貯留層モデルを構築し、CO₂ 圧入シミュレーションによって貯留性能の評価と CO₂ の圧入が断層へ与える影響を評価した。またインドネシアといったテクトニクス⁷活動の強い場所で、高い精度で貯留層モデルを構築し、圧入した CO₂ をモニタリングする手法の開発を実施した。既往の適用事例を調査し、複数の物理探査データから貯留層、帽岩⁸及び

⁶ トモグラフィ：断層映像法または断層映像法。コンピュータを用いて処理することで、画像を構成する技術はコンピュータ断層撮影と呼ばれる。

⁷ テクトニクス：地球の表面近くで起こるさまざまな地学的な現象

⁸ 帽岩：石油や天然ガス、地熱鉱床で、油層やガス層、熱水層の上部にあって石油、ガス、熱水の拡

貯留層内の CO₂ の評価手法について整理し、課題を抽出した。物理探査データから帽岩の力学的、水理学的特性を評価する手法について研究した。グンディ・ガス田の既往データの解析によって貯留サイトの地質モデル及び CO₂ 貯留層モデルを構築し、CO₂ 圧入シミュレーションによって貯留性能の評価を行った。また現地で取得した岩石試料に対して実験を行い、貯留層の弾性特性や水理⁹特性を測定し、貯留層シミュレーションに組み込んだ。現地で重力探査等を実施し、圧入 CO₂ のモニタリングの有効性について検討を行った。さらに、圧入 CO₂ のモニタリングの新規手法に関する研究も実施した。既往の適用事例を調査し、複数の物理探査データから貯留層、遮蔽層及び貯留層内の CO₂ の評価手法について整理し、課題を抽出した。物理探査データから帽岩の力学的、水理学的特性を評価する手法について研究した。

III 調査結果まとめ

1. 研究の継続・発展について

今回のインドネシア国グンディでの CCS プロジェクトは、SATREPS プロジェクトが終了後、ADB(アジア開発銀行)が進めている温暖化対策の支援対象となり、SATREPS と同じインドネシア側の研究機関 ITB(バンドン工科大学)のメンバーと共に FS を 2 年間続けた。FS では CO₂ 圧入の為に新規に圧入坑井の掘削を求められたが、ADB の予算ではカバーできず、実際の CCS 実施までには至らず ADB プロジェクトは 2019 年秋で頓挫した。しかしながら、その後経済産業省がグンディ・ガス田 CCS プロジェクトに興味を示し、2020 年度からは、経産省の JCM¹⁰プロジェクトの実証候補として採択され、現在は、日揮(株)・電源開発(株)・JANUS の民間会社が日本側の窓口となり、インドネシア側はプルタミナ石油と ITB が中心となって、インドネシアとの JCM プロジェクトとして検討が進んでいる。計画が順調に進めば、2022 年度より、FEED(詳細設計)が始まり、その後地上設備の建設を経て、2024 年末から CO₂ の地中貯留が開始される予定である。

1-1. 貯留層評価及び数値シミュレーションを含めたモニタリング技術の最適化に関する研究(京都大、九州大、早稲田大、深田地質研、秋田大)グループ

CO₂ 挙動予測に関して分子動力学で得られたノウハウと成果は、その後粘土鉱物表面への CO₂ 吸着現象に応用され、さらに現在では石油の各種増進回収手法の開発などに利用されている。インドネシア側で本 SATREPS 担当した教員とは現在も交流があり、2021 年 11 月 27 日には関連するテーマに関して、東京大学の Liang Yunfeng 博士が ITB 向けの 2 時間の講義を行った。

散を防ぐ役目をするケツ岩などの不透過性岩層。

⁹ 水理：地下水の通じる道筋。水脈。

¹⁰ JCM(Joint Crediting Mechanism)：二国間クレジット制度。途上国と協力して温室効果ガスの削減に取り組み、削減の成果を両国で分け合う制度

1-2. 電気・電磁法を利用したモニタリング技術の研究（早稲田大、京都大、深田地質研）

ITBはプロジェクト終了後においても、本 SATREPS 技術開発を行った先進の電磁探査法である時間領域電磁探査法¹¹を用いて、引き続き地下水探査や金属鉱床探査をはじめ、多方面の地下調査を続けている。また日本国内においては、本 SATREPS の研究者は、これらの経験を生かし、海洋における電磁探査法技術の開発を継続し、大きな成果をあげている。

1-3. 探査データの総合解釈・評価技術の研究（深田地質研、京都大）

- ・インドネシアにおける CCS のモニタリング計画の立案や評価技術に関する研究が、カウンターパートの ITB に引き継がれ、修士、博士課程の研究として取り組まれている。
- ・2019年7月には、次期 CCS プロジェクトのためのモニタリング計画立案に必要な地震探査のシミュレーション法の研究のため来日した ITB の学生と様々な議論を行った。

1-4. 貯留層評価及びモニタリング手法の研究（九州大、秋田大、京都大、深田地質研）

九州大学においては、JSPS の研究資金等により共同研究を継続している。さらに SATREPS プロジェクトで共同研究を実施した相手国側学生が九州大学で PhD を取得した。

2. 地球規模課題の解決に向けた科学技術の進展への貢献について

本 SATREPS において検討され確立した手法は、国内における CCS 事業にも適応されつつある。また CCS 技術のインドネシア国内での適用を目的に、インドネシア政府のエネルギー鉱山省が CCS/CCUS¹²の研究センターCOE (Center of Excellence) を新たに設置した。そのセンター長にはインドネシア側の代表研究者であった ITB の Wawan G. Kadir 教授が就任した。また本 SATREPS にかかわった多くの ITB の教員が COE のメンバーとして兼務している。現在 COE では本 SATREPS の成果をもとに、インドネシア国内での CCS の商用化に向けて、幾つか新しいプロジェクトが進行中である。

2-1. 貯留層評価及び数値シミュレーションを含めたモニタリング技術の最適化に関する研究（京都大、九州大、早稲田大、深田地質研、秋田大）グループ

ナノテクノロジー技術は、多くの場合材料工学や医療・生物学など広い応用分野を持っているが、資源開発、特に石油開発工学への応用は今までなされてこなかった。本 SATREPS プロジェクトで始められた二酸化炭素 - 塩水 - 鉱物の三相界面の濡れ性の解析に利用されたナノテクノロジーの手法と考え方は、現在東京大学に異動した Liang Yunfeng 博士（元京都大学）や中国石油大学に移った賈冀輝博士（元九州大学ポスドク）によって引き継がれ、環境問題や石油開発分野に広く利用される状況に至っている。

2-2. 電気・電磁法を利用したモニタリング技術の研究（早稲田大、京都大、深田地質研）

電磁探査法は、地震探査法と比較して分解能が低いため、地下資源や詳細な地下構造を把握

¹¹ 時間領域電磁探査法：物理探査手法の一つであり、ループ状の電流送信を行いその応答として観測される磁場成分から地下構造を推定する電磁探査手法の一種

¹² CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)：分離・貯留した CO₂ の利用法

するための手法として、頻りに採用されては来なかった。しかしながら CO₂ は絶縁体であり、電磁気的な手法によるモニタリングへの適用は期待できる。一方、地下深部のモニタリングには、地表に設置した探査装置に大電流を流す必要が生じるため、取り扱いには注意を要するが、CO₂ 圧入対象地層の深度は、時間領域電磁探査法に非常に適した深度であった。今回の CCS への適用研究実績は、この分野のみならず幅広い分野のコミュニティから興味をもたれた。2021 年度より開始された地球環境産業技術研究機構 (RITE) が進めている NEDO の CCS 研究プロジェクトにおいては、本 SATREPS に参加はしていなかった研究者が、自然電位¹³を利用したモニタリング手法の研究を提案し、現在進行中である。将来的にこれらの研究成果が出ることで、更に CCS 分野における電気・電磁法の適用の機会が増えてくると考えている。

2-3. 探査データの総合解釈・評価技術の研究（深田地質研、京都大）

- ・本 SATREPS で実施したモニタリングのためベースライン探査結果をインドネシアおよび日本国内学会にて発表した。
- ・具体的に探査で得られた経験を、グンディ・ガス田で計画されている CCS プロジェクトにおけるモニタリング計画の立案に生かしている。

2-4. 貯留層評価及びモニタリング手法の研究（九州大、秋田大、京都大、深田地質研）

- ・成果を著名な国際学会で発表し、論文を投稿した。
- ・SATREPS プロジェクトで実施したアクロス震源¹⁴を用いた CCS モニタリングシステム研究が発展し、新たな CO₂ 地中貯留のモニタリング技術の開発に成功した。

3. 地球規模課題の解決、及び社会実装に向けての発展について

インドネシアでは本 SATREPS 以前においては CCS の概念と具体的なイメージを持っている技術者は皆無であり、本 SATREPS がインドネシアでの CCS 技術の起爆剤および推進役となった。本 SATREPS を遂行する過程において、エネルギー鉱山省の交流と援助を得た結果、エネルギー鉱山省は CCS 技術がインドネシアにおけるエネルギー政策上も重要であるとの認識を持つに至った。このため、現在ではインドネシアでの CO₂ 削減の一手法として CCS は重要な地位を占めており、温暖化対策に対する政策上の大きな手法と位置づけられている。これを受けて、インドネシアでガス生産を行っている国際石油メジャーの BP 社は、自社のタングーガス田において CCUS の実施を決定した。このガス田は、日本の幾つかの民間石油会社が権益を所有しており、BP 社の CCUS 事業は、これらの民間企業を経由して日本にも影響を及ぼすと予測される。また経済産業省はアセアン圏での CCUS の推進を重要視しており、インドネシアにおける受け皿として、同国の COE とも交流を持っている。2021 年 6 月には経済産業省と東アジア・アセアン経済研究センター (ERIA) が「アセアン CCUS ネットワーク」を立ち上げたが、アセアン圏での初めての CCS 事業としてグンディ CCS プロジェクトの紹介が、インドネシアエネルギー鉱物大臣より言及された。アセアン CCUS ネットワークは、将来的に可能であれば日本の CO₂ を輸送し、現地での CCS の可能性も探ってい

¹³ 自然電位法：鉄筋腐食により変化する鉄筋表面の電位を測定し、鉄筋腐食の発生を推定する方法

¹⁴ アクロス震源：地表固定型人工震源

る。

3-1. 貯留層評価及び数値シミュレーションを含めたモニタリング技術の最適化に関する研究
(京都大、九州大、早稲田大、深田地質研、秋田大)グループ

インドネシアにおいて実施された、重力探査手法¹⁵を利用した地下のモニタリング手法は、再生可能エネルギーである地熱開発の場面で数多く利用されている。

3-2. 電気・電磁法を利用したモニタリング技術の研究（早稲田大、京都大、深田地質研）

CCS 技術は温暖化対策として重要であり、近年世界中で数多くの CCS プロジェクトが検討され始めている。モニタリング技術は CCS プロジェクトには必須な技術であり、多くの研究組織が技術開発に取り組んでいる。開発された時間領域電磁探査法は、弾性波探査手法の適用が困難と考えられる地域(例：火山岩が地表を覆うような地域)においては重要な代替手法であり、また複数のモニタリング手法による探査精度向上のために必要になると考えられる。今回適用した時間領域電磁探査法は、その後技術開発が進み、海底鉱床探査に適用されつつある。日本においては経済産業省と NEDO が北海道苫小牧市において、30 万トンの CO₂ を海底下に貯留した。また将来的には国内の CCS 事業は海洋での貯留になると考えられている。このような場合には、海洋での時間領域電磁探査法は、コスト面において地震探査法にとって変えられる可能性もゼロではない。

3-3. 探査データの総合解釈・評価技術の研究（深田地質研、京都大）

・インドネシアにおける二酸化炭素排出削減のためにグンディ・ガス田で計画されている 300 万トンの CCS プロジェクトに本研究の成果が活用されている。

3-4. 貯留層評価及びモニタリング手法の研究（九州大、秋田大、京都大、深田地質研）

- ・当該分野の日本企業や海外企業より産学連携の打診があり、協議を進めている。
- ・相手国が実施している CO₂ 地中貯留のサマースクールに毎年、講師として講演を行い、海外大学の学生に教育を行っている。

4. 日本と相手国の人材育成や開発途上国の自立的な研究開発能力の向上について

プロジェクトを契機にインドネシアにおいて設立された CCS/CCUS 研究センター(COE)により、インドネシアでは CCS に関する人材育成が進められている。さらに「アジア CCUS ネットワーク」の重要な活動項目は、人材育成と技術の普及であり、ERIA を拠点としインドネシアにおいて活動も活発である。この活動を担っている人材も ITB の関係者が多い。また 2020 年には IEAGHG¹⁶が主催している学生を対象とした CCS のサマースクールが、ITB で開催された。コロナの影響により、WEB を利用した 2 週間の講義には、本 SATREPS に関連していた多くの ITB の教員、および日本側のメンバーや企業人が多数講師として参加した。

¹⁵ 重力探査手法：万有引力の法則で、地下を構成する土や岩の密度差を利用して地下構造を調査する方法

¹⁶ IEAGHG：国際エネルギー機関・温室効果ガス R&D プログラム

4-1. 貯留層評価及び数値シミュレーションを含めたモニタリング技術の最適化に関する研究
(京都大、九州大、早稲田大、深田地質研、秋田大)グループ

九州大のポスドクであった賈冀輝博士は、その後中国石油大学の助教として活躍している。
また蔣飛博士は山口大学の助教として活躍している。

4-2. 電気・電磁法を利用したモニタリング技術の研究 (早稲田大、京都大、深田地質研)

インドネシアにおいては、物理探査法の手法としての電気探査法は一定の研究がなされてきたが、時間領域電磁探査法に関しては探査装置制作の難しさや大電流を扱うことの危険性のために適用が進んでいなかった。本 SATREPS プロジェクトにおいて、この分野の研究課題が採用された点の意義深さは、今後 ITB の物理探査分野の教員を中心に、この手法の CCS や地熱開発、更に石油探査、金属鉱床探査への適用機運が高まっている点である。本 SATREPS で採用した時間領域電磁探査技術では、市販のシステムがなく測定装置を独自開発した。このように SATREPS では装置の開発、使用方法、データ取得方法、データ解析解釈方法の全てをインドネシアの技術者に技術転移を行い、本分野の人材が増えると同時に研究開発能力も向上したと言える。

4-3. 探査データの総合解釈・評価技術の研究 (深田地質研、京都大)

- ・ 本 SATREPS で供与した孔内地震計がインドネシア国内の地熱地帯での自然地震のモニタリングに利用されている。ITB の学生がデータ解析手法の研究を行い、新しい知見が得られるとともに、修士論文等の作成につながっている。

4-4. 貯留層評価及びモニタリング手法の研究 (九州大、秋田大、京都大、深田地質研)

- ・ 本 SATREPS に参画した相手国研究機関や育成された研究者が当該分野で主体的に活動し、日本の大学の博士課程に若手研究者を送るなど、若手人材の育成に取り組んでいる。

5. 日本と開発途上国との国際科学技術協力の強化、科学技術外交への貢献について

本 SATREPS のインドネシア側の研究者で、プロジェクト立ち上げに尽力したバンドン工科大学元学長の Djoko Santoso 教授は、これまでの功績などが広く評価され、2020 年に日本の外国人叙勲を受けた。グンディ・ガス田 CCS プロジェクトを通して作られたインドネシアと日本のパイプは、大学レベルにとどまらず、日本の民間企業での交流に道を開き、現在いくつかの民間 CCUS プロジェクトの提案が日本からなされており、ITB および COE を受け皿として検討が進められている。

5-1. 貯留層評価及び数値シミュレーションを含めたモニタリング技術の最適化に関する研究
(京都大、九州大、早稲田大、深田地質研、秋田大)グループ

SATREPS プロジェクトで行われたインドネシアでの地震探査のベースライン調査においては、日本から民間コンサル会社が参加し、同時にインドネシアの調査会社も参加することとなったため、民間企業レベルの技術者の交流と共に技術移転がなされた。

5-2. 電気・電磁法を利用したモニタリング技術の研究（早稲田大、京都大、深田地質研）

電気・電磁手法は取得データの逆解析を行って、地下の比抵抗構造を推定するが、解の安定化のための初期条件や境界条件は、探査対象地域ごとに変化する。今回のプロジェクトではインドネシアの技術者と密な連携をもって、多くのノウハウを共有した。また ITB の教員との研究成果などを、日本で開催された国際会議などで発表を行い、科学技術協力を進めた。

5-3. 探査データの総合解釈・評価技術の研究（深田地質研、京都大）

インドネシアと日本人研究者が進めた InSAR 解析技術は、その後インドネシア国の地盤沈下を評価する手法として利用され、地域防災対策などに利用された。

5-4. 貯留層評価及びモニタリング手法の研究（九州大、秋田大、京都大、深田地質研）

九州大の辻健教授は、相手大学の地球物理学 Department のアドバイザーになり、研究プロジェクトなどに対して助言をしている。

6. 終了時評価における要望事項に対する現状報告

要望事項：

プロジェクトの研究者には、このプロジェクトの成果を最大限に活かせる様に、後継事業の展開にも積極的に関与し、CO₂が圧入されてからのモニタリングのフォローをしっかりとやってほしい。本プロジェクトの実績が ADB 出資のパイロット事業の中で埋没しないように、インドネシアの CCS 事業における本プロジェクトの貢献・レガシーを明確に維持するよう努力してほしい。

本 SATREPS の目標は、温暖化という地球規模の課題に対して、直接的に大気中から CO₂ の削減が可能であり、また最も経済的な手法と認識されている CCS 技術を発展途上国において確立することであった。本 SATREPS 事業期間においては、CCS 手法の技術的な確立を目指しプロジェクトは遂行された。その後、本 SATREPS は ADB 出資のパイロット事業となったが、最終的に予算規模の限界により頓挫した。しかしながらグンディ・ガス田における CCS 事業の重要性と、日本における将来の排出権確保を目的とする JCM 事業の重要性により、経済産業省が進める JCM の検討事業として 2020 年に採択され、現在はインドネシアと日本が共同で進めるシンボリック CCUS 事業と位置づけられている。現在事業計画は、年間 30 万トンの CO₂ を削減し、10 年間で 300 万トンの CO₂ 削減を目標としている。この商用事業を進める主体は民間企業であり、日本は電源開発(株)・日揮(株)・JANUS が主体となり、インドネシア側はプルタミナ石油と ITB が共同で FS を進めている。現在は、2024 年からの CO₂ の圧入目標に向けて事業計画の作成作業を進めている。本 SATREPS で進められたモニタリングの手法、圧入手法、地上設備の基本設計などの多くの成果は、これらの検討のベースとなっており、現在進められているのは、商用事業としてのコスト見積もり作業が中心である。また「第 1 回アジア CCUS ネットワークフォーラム」では、梶山経済産業大臣、およびインドネシアのエネルギー大臣からも「日本のアジア地域での CCUS 発展への貢献の事例」として本 SATREPS プロジェクトが言及された。他方、本 SATREPS 事業に参加した石油資源開発(株)は、本 SATREPS 終了後、プルタミナ石油と独自にスコワチ油田において

CCUS 事業の検討を進めている。また ITB はインドネシアの CCUS の為の COE の中核を担っており、インドネシアで進められているほぼすべての CCUS 事業におけるエネルギー鉱山省との窓口役となっている。BP が今後始める年間約 300 万トンの CCS 事業においては、地質解析、貯留層シミュレーションなどを担当し、事業活動の援助を行っている。さらに 2021 年には、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) と三菱商事(株)は、中央スラウェシ州におけるブルーアンモニア¹⁷生産の為の CCS の為に、ITB 及び PT Panca Amara Utama 社と、共同調査を実施することに合意し覚書に調印した。

本 SATREPS で始まったインドネシアにおける CCS 技術の種は既に大きく成長しており、日本側は商社・石油会社・エンジニアリング会社など民間企業などが主体となり、インドネシア側はエネルギー鉱山省・COE と ITB さらに石油会社が中心的なプレイヤーとなっている。CCS の商用化に必要とされる予算規模は数千億円規模であり、大学人が事業の指導的立場を取れるプロジェクト規模ではない。これらの現状を考えるならば、この本 SATREPS が果たした役割は、大変大きかったと総括できる。

7. プロジェクトの上位目標を踏まえた現状報告

上位目標：インドネシアでの CCS 技術指針の普及（当該指針に基づく CCS 計画の策定）

インドネシアのジョコ大統領は、脱炭素に向けて 2060 年に CO₂ 排出量の実質ゼロ達成を目標に掲げた。これに伴い炭素税の導入を行い、さらに現在排出権取引の開始を検討している。インドネシアでは本プロジェクトをきっかけに CCS という二酸化炭素削減方法に対する認識が広まった。特にエネルギー関連産業の間では CCS の有効性に対する認識が広まり、具体的な事業の計画が進んでいる。本 SATREPS では、基礎的な要素技術を確立し、さらにそれらをベースに CCS に対する標準手順書 (SOP) を作成した。これは CCS 実施に係る事項に関して広い視野で書かれたものであり、技術指針を示すものである。現在 ITB は多くの民間企業に対して CCS の技術指導を行っており、この手順書も一役を担っている。さらにインドネシアでは CCS を実施する際の法律体系の整備が進められており、貯留層の安全性の確認の為のモニタリングなどの方法論や、実施期間などを大統領令として作成中であるが、これらの作成にも ITB が深くかかわっており、SOP も利用されていると思われる。現在のインドネシアでの商用 CCS の検討現状を見るならば、技術指導を行っているのは SATREPS にかかわった ITB の教員が多く、SOP を作成した意義も大変高いと言える。

以上

¹⁷ ブルーアンモニア：天然ガスから製造されるが、製造時に排出される CO₂ を分離回収し、石油増進回収や CO₂ 回収貯留に利用することでカーボンニュートラルなアンモニア。