

「国際連携クリーンコール技術開発プロジェクト／
中国での石炭起源の CO₂ の CCS-EOR 適応に関する調査研究」

事業評価（事後評価）報告書

平成 26 年 6 月

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

クリーンコール技術開発（CCS 技術）に関する事後評価委員会

目次

はじめに	3
クリーンコール技術開発（CCS 技術）に関する事後評価委員会 委員名簿	4
審議経過	5
評価	6
事業原簿	12

はじめに

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）においては、国際連携クリーンコール技術開発プロジェクト／中国での石炭起源の CO₂ の CCS-EOR 適応に関する調査研究に係る事後評価について審議を行うために、当該研究の外部の専門家、有識者によって構成されるクリーンコール技術開発（CCS 技術）に関する事後評価委員会を設置した。

本報告書は、「国際連携クリーンコール技術開発プロジェクト／中国での石炭起源の CO₂ の CCS-EOR 適応に関する調査研究に係る事後評価」の事業評価（事後評価）報告書であり、同事後評価委員会に諮り、確定されたものである。

平成 26 年 6 月

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
クリーンコール技術開発（CCS 技術）に関する事後評価委員会

クリーンコール技術開発（CCS 技術）に関する事後評価委員会
委員名簿

（平成 25 年 8 月現在）

[委員長]

清水 忠明 国立大学法人新潟大学 工学部 化学システム工学科
教授

[委員]

赤松 史光 国立大学法人大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻
マイクロ機械科学部門
教授

巽 孝夫 国際石油開発帝石株式会社 経営企画本部 事業企画ユニット
シニアコーディネーター

牧野 尚夫 一般財団法人電力中央研究所
首席研究員

審議経過

平成 25 年 8 月に「クリーンコール技術開発（CCS 技術）に関する事後評価委員会」を開催し、審議を行った。

評 価

事業評価書

平成26年6月24日作成

制度・施策名称	エネルギーイノベーションプログラム	
事業名称	ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト／ ゼロエミッション石炭火力トータルシステム調査研究	PJコード： P08020
推進部	環境部	
総合評価	<p>①総括</p> <p>石炭を起源とする火力発電等からのCO₂を世界全体で2050年までに削減するためには、日本の優れたクリーンコール技術を国際的な連携の下に積極的に普及させていくことが必要であり、そのための方策の1つとして、中国でのCCS-EORへの適応に関する検討を行うことは世界全体のCO₂排出量の大幅な削減に大きく貢献できる可能性がある。</p> <p>本調査事業では、CCS-EOR（CCUS）全体システムの検討を実施した結果、最適化を実施してもCCS-EORの事業性を確保するためには原油回収量の最大化及びCO₂削減に高価値を付けた事業とする必要があることを明らかにした。また、貯留層評価技術の検討を実施した結果、中国石油から提供された岩石試料の弾性波測定試験結果を用いた数値シミュレーションを実施し、坑井間の距離が200m以内であれば、坑井間弾性波トモグラフィは適用できることを明らかにした。さらに、微生物利用CO₂再資源化技術の可能性検討を実施した結果、微生物利用CO₂再資源化技術の経済性が見込めると考えられ、CCS-EORの高付加価値化技術として将来的な活用が期待されることを明らかにした。</p> <p>以上の調査結果から、中国における石炭起源のCCS-EORへの適応に関する実現可能性を検討するという本調査研究の目標は十分に達成したと言える。</p> <p>②今後の展開</p> <p>平成25年度は、本調査研究の成果を活用し、「石炭高効率利用システム案件等形成調査事業／中国におけるCCS-EOR候補地点の抽出及びCO₂挙動モニタリング技術適用プロジェクト案件発掘調査」として具体的なCCS-EOR候補案件の発掘調査を実施する。その後、中国でのCCS-EORモデル事業へ参画し、中国でのCCS-EOR事業の普及を推進していく計画である。</p> <p>【事後評価委員会評価】</p> <p>①CCS-EORの効果の経済性予測及び貯留層モニタリング技術については、本調査研究で大きな進展があったものと考えられる。また、微生物を用いる燃料ガス生成の基礎的な結果が得られたことは、将来技術として油回収が困難な油田からのエネルギー回収の新しい方向性が得られたものと考えられる。</p> <p>②中国と本技術開発を通じて、長い期間、共同研究を推進しており、且つ我が国のCCS技術が評価されていることを鑑みて、十分評価されるべきと思われる。</p> <p>③CCS-EORの具体的な評価結果自体は若干残念だが、その評価手法は汎用性を有するので、幅広い方向で活用できるように発展させて欲しい。</p> <p>④石炭は他の化石燃料と比較して炭素の含有割合が多く、燃料の単位発熱量当たりのCO₂の排出量が多くCCSの必要性が高い。また、CCSには多くの費用が必要となるために、EORとの組み合わせが有効であると考えられる。</p> <p>⑤CCS-EORについては今後の成果活用についての方針が概ね描かれているが、微生物によるメタン生成については、まだ明確に描かれているとは言い難い。CCS-EORと微生物利用の分岐点を与える方針を定められたい。また、油田に注入したCO₂がメタンとして再度地上に出てくることは、本調査研究の大目的であるCO₂地中隔離とはそぐわない。メタン産出と同時に、CO₂を地中に隔離する方法を検討されたい。</p>	

	<p>⑥単に原油の回収率を基準とする経済的な観点では今後本技術の是非を問えないと思われる。本技術の優位性を見出して、新しいビジネスモデルを構築されることを期待したい。</p> <p>上記の評価から、本調査研究の総合評価としては、必要性、効率性、有効性の観点で適正であり、妥当であると判断する。今後の具体的な CCS-EOR 候補案件の発掘調査において、微生物による地中メタン生成の適用シナリオについて明確化するとともに、新しいビジネスモデルを構築できるようにマネジメントしていく。</p>
<p>評価詳細</p>	<p>1. 必要性（社会・経済的意義、目的の妥当性）</p> <p><事業の意義></p> <p>石炭は、供給の安定性、経済性の面で他の化石燃料に比べ優れており、今後とも石油代替エネルギーの重要な柱の一つであるが、近年の地球環境問題への高まりから、石炭利用に伴う地球環境問題への積極的な対応が求められている。したがって、この石炭利用に伴う環境負荷を低減させることを目的としたクリーンコール技術の開発は、エネルギー及び環境政策上、非常に重要な技術開発である。</p> <p>また、2008年3月の「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」において、高効率石炭火力発電及び二酸化炭素回収・貯留（CCS）技術は、大気中の二酸化炭素を短期間で大幅に削減する有力なオプションと位置づけられている。この日本の優れた技術を国際的な連携の下に促進し、世界全体で2050年までの大幅削減に積極的に貢献していくこととされている。</p> <p>中国は、石油増進回収（EOR）に関連した本調査研究において、我が国のクリーンコール技術と併用した CCS への我が国の関与・協力を期待している。また、ゼロエミッション石炭火力の早期確立を目指す我が国にとっても、中国における CCS-EOR の実施可能性の検討は有用である。したがって、これらを目的とした国際的な連携事業を実施することには大いに意義がある。</p> <p><目的の妥当性></p> <p>石炭火力を発生源とする CCS の早期確立への寄与を目指すために、中国での石炭起源の CO₂ の CCS-EOR 適応に関する調査研究を完了するとしており、本調査研究に対しては具体的に以下を実施することとしている。</p> <p>①CCS-EOR（CCUS）全体システムの検討</p> <p>中国における CO₂ 排出源と油田のマッチングを考慮した CCS-EOR としての全体システムの技術、経済性分析・評価を行い、CO₂ バリューチェーンモデルを作成して、CO₂ 排出削減量の最大化方策を明確化する。</p> <p>②貯留層評価技術の検討</p> <p>中国の CCS-EOR プロジェクトへの適用を目指して、CO₂ 挙動モニタリング技術の現状について調査し、中国石油から提供された貯留層岩石の物性測定実験結果を基に、中国の油田へのモニタリング技術の応用を検討する。</p> <p>③微生物利用 CO₂ 再資源化技術の可能性検討</p> <p>油田微生物の調査・スクリーニング手法を中国の油田に適用することで、中国の油層内に水素及びメタン再生に有効な微生物が存在するかを確認し、その生産能力を概観することにより、微生物利用地中メタン再生技術の有効性に関する経済性の予備的な検討を行う。</p> <p>これらの内容は、中国側との情報交換やサンプル提供等による連携で国際的な調査研究を進めることができ、CCS の早期確立に向けた実施内容として妥当であると考えられる。</p>

【事後評価委員会評価】

- ①CO₂を EOR 用資材に用いた CCS-EOR は、CO₂ 地中貯留と石油資源確保の両方に貢献できる技術であり、この技術の実地適用について具体的サイトを選んで検討することは実現に向けた一歩として重要である。中国は CO₂ 排出が多いので CO₂ 排出低減が望まれているとともに、国内油田の枯渇問題を抱えている国でもあるので、本技術が貢献できる可能性が大きい国である。したがって、中国を本技術の適用先に選ぶことに妥当性がある。
- ②CCS に際しては、貯留した CO₂ が漏洩しないようにモニタリングする必要がある。本調査研究の成果であるモニタリング手法は、EOR に限らず適用可能と考えられるので、調査研究の対象としての大きな意義を有する。
- ③本調査が行っている微生物による地中メタン生成については、油としての回収が困難な状況において適用可能と考えられ、将来技術として現段階から着手しておく妥当な理由があるものと考えられる。一方で、注入した CO₂ が一部メタンとなって再度地上に出てくることで、そのメタンを利用すると再度 CO₂ を生成することになる。したがって、単にメタンを回収するだけでなく、回収したメタン中の炭素に相当する CO₂ を再度注入する必要があると考えられるが、そのことに対する検討がまだ十分とは言えない。また、どのような条件で油回収からメタン回収に切り替えるかのシナリオについて十分な検討が必要である。本段階までに得られた成果では、分岐点あるいはその分岐点を見つけるための手法についての考察がまだ十分とは言えず、今後の検討を必要とする。

上記の評価から、本事業の必要性については妥当であると判断する。微生物による地中メタン生成の適用シナリオについては、今後の具体的な CCS-EOR 候補案件の発掘調査において更に検討が進められるものとする。

2. 効率性（事業計画、実施体制、費用対効果）

①手段の適正性

本調査研究は、当初計画では平成 22 年度から 23 年度の 2 年間で、中国での石炭起源の CO₂ の CCS-EOR 適応に関する検討を実施し、日本側と中国石油側との協議の下で事業計画を策定することにしてきた。平成 23 年度は、対象油田を最適な油田に変更したことにより、油田のデータ等の入手に遅れがみられたので、相手国側との情報交換や日本側での調査研究による想定シナリオの予備検討等を実施した。本調査研究を確実に実施するため、実施期間を 1 年延長し、平成 22 年度から 24 年度までの 3 年間に変更した。

実施体制については、委託先各社の技術やノウハウ等を活用し、CCS-EOR 全体システム、貯留層評価技術、微生物利用 CO₂ 再資源化技術をそれぞれ分担して検討を行っており、相手国側とも 3 者で協議を行う等、体制は適切であるとする。

②効果とコストとの関係に関する分析

費用についても、3 項目の内容に応じて予算を配分しており、相手国側から得られる情報をもとに効率的に事業を行っている。

【事後評価委員会評価】

- ①本調査研究では、さまざまなケースを想定した試算を行い、EOR 時の原油価格を推算した。これにより経済的な実現可能性についての予測手法が進歩したものと思われる。
- ②貯留層評価技術については、物性測定並びにシミュレーションにより、具体的な測定方法及び坑井間隔が得られ、実現に向けた具体像が描けたものと考えられる。
- ③微生物利用水素、メタン生成については、微生物のスクリーニング及び水素、メタン発生速度が得られ、それに基づいて大まかではあるものの経済性の試算が得られた。
- ④CO₂ 抑制の視点と EOR による燃料供給力の強化を組み合わせた場合のメリット、デメリットに対する評価を、より多面的な視点と幅広い条件において可能となる

ように、更なる工夫を図った方が良かったと思われる。

- ⑤相手国からの情報を以って実施可能な範囲が大部分であり、且つ技術レベルに乖離があり、運営に支障をきたした部分もあったと推定する。このような状況の場合、事前すり合せを更に入念に行われるように期待したい。今後、このような状況になると推定される案件も多くなるので、対策や期間に留意してもらいたい。

上記の評価から、本調査研究の手段及び実施体制の適正性については概ね妥当であると判断する。今後の具体的な CCS-EOR 候補案件の発掘調査では、事前に相手国との意見の摺り合わせを行う必要があると考える。

3. 有効性（目標達成度、社会・経済への貢献度）

<目標達成度>

本調査研究の目標である中国における石炭起源の CCS-EOR への適応に関する実現可能性の把握に向けて、相手国側と情報交換を実施することで以下の成果を得た。

①CCS-EOR（CCUS）全体システムの検討

最適化を実施しても全般的に今回検討したモデルでは、現実的な事業にするには厳しい結果となった。CCS-EOR の事業性を確保するためには原油回収量の最大化及び CO₂ 削減に高価値を付けた事業とする必要があることを明らかにした。

②貯留層評価技術の検討

中国の油田の地質を念頭に、CCS-EOR における CO₂ 挙動モニタリング手法の有効性について検討した。CO₂ 挙動モニタリング手法は実績が多い弾性波探査のうち、複数の坑井を有する EOR サイトに適した坑井間弾性波トモグラフィを選定した。また、中国石油から提供された岩石試料の弾性波測定試験結果を用いた数値シミュレーションでは、坑井間の距離が 200m 以内であれば、坑井間弾性波トモグラフィは適用できることが明らかになった。

③微生物利用 CO₂ 再資源化技術の可能性検討

中国油田の油層水試料を用いた室内実験および各種油層情報を基に検討した結果、微生物利用 CO₂ 再資源化技術の経済性が見込めると考えられた。CCS-EOR の高付加価値化技術として、将来的な活用が期待される。

<社会・経済への貢献度>

石炭を起源とする火力発電等からの CO₂ を世界全体で 2050 年までに削減するためには、日本の優れたクリーンコール技術を国際的な連携の下、積極的に普及させていくことが必要であり、そのための方策の 1 つとして、中国での CCS-EOR への適応に関する検討を行うことは大幅削減に大きく貢献できる可能性がある。

【事後評価委員会評価】

- ①本調査研究によって、CCS-EOR により生産された原油の具体的なコストを明確にすることができ、実現可能性の予測手法が進歩したものと考えられる。これにより、CO₂ 回収を行う際の社会負担がどの程度になるか明らかになり、実際にこの方法を行うかどうかの判断材料が与えられたものと考えられる。
- ②CCS においては長期の CO₂ 隔離を必要とするが、そのためには貯留層のモニタリングを必要とする。モニタリングに必要な物性測定試験法及び物性に基いたシミュレーション技術は、EOR 以外の CCS にも適用可能であり、社会への貢献があると考えられる。
- ③油田に残存する原油を資源として取り出す方法には、液体の油として取り出すほかに、ガス状燃料として取り出すことも考えられる。新規なエネルギー採掘方法として微生物利用は将来技術の一つとして考えられるので、その目的に適当な微生物の採取とそのガス燃料生成特性を明らかにすることは、枯渇に近づいた油田からのエネルギー回収に貢献する可能性があると考えられる。
- ④本調査研究で対象とした CCS-EOR サイトにおいては、かなりの原油コスト高になることが判明した。今後はコストを抑制する方法の検討が必要である。

⑤原油の回収率向上と経済性のみでは、本技術の有効性は中国で極めて限定されると思われる。より広範囲なビジネスモデルを検討して、貢献度の向上を図ってほしい。

上記の肯定的意見から、本調査研究の目標達成度及び社会・経済への貢献度については妥当であると判断する。今後の具体的な CCS-EOR 候補案件の発掘調査において、コスト抑制方法の検討、及びより広範囲なビジネスモデルの検討を行って、社会・経済への貢献度を向上していく必要がある。

4. その他の観点

平成 23 年度以降、以下の 3 点について、優先して進めた。これらは、我が国として、CCS の有効性を早期に実証し、CO₂ 削減の早期実現に寄与する必要があると判断したためである。

- ①特定サイトでの発電から CO₂ 貯留に至るトータルシステムの概念設計として、勿来 IGCC 実証機からの CO₂ を、貯留地として検討されている対象ガス田に貯留する FS を優先して実施した。本事業は、当時実証化が予定されており、実証事業の早期実施のため、FS 検討期間を 1.5 年前倒し実施した。
- ②我が国において、大規模排出源である既設の微粉炭火力発電所に、分離回収設備を追加設置し、CO₂ を回収・貯留する検討を IGCC との比較のために行う。これは、既設の微粉炭火力発電所の改造が、2020 年度までの CO₂ 削減に、即効性を有する可能性があるため、追加検討した。
- ③既設の微粉炭火力発電所からは、大量の CO₂ が排出されるため、大容量の貯留ポテンシャルを持つ福江沖サイトの追加検討を実施した。

事業原簿

事業原簿（ファクトシート）

作成日：平成20年4月1日作成
更新時期：平成25年8月 現在

制度・施策名称	エネルギーイノベーションプログラム	
事業名称	国際連携クリーンコール技術開発プロジェクト／ 中国での石炭起源のCO ₂ のCCS-EOR適応に関する調査研究	PJコード： P10017
推進部	環境部	
事業概要	<p>国際連携クリーンコール技術開発プロジェクトでは、石炭利用に伴う地球環境問題への積極的な対応による環境負荷低減を目的として、石炭火力を発生源としたCO₂に対するCO₂回収・貯留（CCS）の早期確立を図るために、当該分野に優れた実績を有する我が国の研究機関と中国の研究機関が連携し、中国におけるCCS-EORの技術検討を実施する。</p> <p>本調査研究では、中国の石油増進回収（EOR）を対象としたCCS分離回収システムの検討や、我が国が保有するモニタリング技術、システム・インテグレーション技術等の中国CCS-EORへの適用、油田層の回収・漏洩等の将来予測等、中国における石炭火力起源のCO₂によるCCS-EORの実施に向けた経済性・実現性の検討等について、中国の研究機関との共同調査研究を実施する。</p>	
事業の位置づけ・必要性について	<p>石炭は、供給の安定性、経済性の面で他の化石燃料に比べ優れており、今後とも石油代替エネルギーの重要な柱の一つであるが、近年の地球環境問題への高まりから、石炭利用に伴う地球環境問題への積極的な対応が求められている。したがって、この石炭利用に伴う環境負荷を低減させることを目的としたクリーンコール技術の開発は、エネルギー及び環境政策上、非常に重要な技術開発である。</p> <p>また、2008年3月の「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」において、高効率石炭火力発電及び二酸化炭素回収・貯留（CCS）技術は、大気中のCO₂を短期間で大幅に削減する有力なオプションと位置づけられている。この日本の優れた技術を国際的な連携のもと促進し、世界全体で2050年までの大幅削減に積極的に貢献していくこととされている。</p> <p>さらに、2008年7月の「低炭素社会づくり行動計画」（閣議決定）においても、石炭利用の高度化としてCCSは我が国の排出量の約3割を占める火力発電や約1割を占める製鉄プロセスより排出されるCO₂の大幅削減につながり得る技術であるとされ、環境エネルギー国際協力パートナーシップ構想の実現の重要性などが指摘されている。</p> <p>昨今、世界的に気候変動への対応が加速化する中、中国は、石油増進回収（EOR）に関連して、我が国のクリーンコール技術と併用したCCSへの我が国の関与、協力を期待しており、ゼロエミッション石炭火力の実現を目指す我が国にとっても、国土の制約等のある中で、その可能性検討は有用である。</p> <p>以上から、石炭火力を発生源とするCCSの早期確立を図るため、中国におけるCCS-EORの技術検討を目的とした国際的な連携事業として実施する必要がある。</p>	

事業の目標	<p>本調査研究では、中国における石炭火力起源のCO₂によるCCS-EORの実施に向けた経済性・実現性の検討等について、中国の研究機関との共同調査研究を実施することにより、石炭火力を発生源とするCCSの早期確立へ寄与することを目標とする。</p>				
事業規模	<p>事業期間：平成22年度～平成24年度（3年間） 契約等種別：委託(NEDO負担率100%) 勘定区分：エネルギー需給勘定 [単位：百万円]</p>				
		H22年度 (実績)	H23年度 (実績)	H24年度 (実績)	合計
	予算額	95	95	10	200
	執行額	38	73	87	198
情勢変化への対応	<p>事業の進捗状況については、毎年度評価等の結果を踏まえ、必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。</p>				
評価に関する事項	<p>評価時期及び方法（外部評価又は内部評価、レビュー方法、評価類型）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・毎年度評価：毎年度、内部評価 ・事後評価：25年度、外部評価 				
事業成果について	<p>平成25年度は、本調査研究の成果を活用し、「石炭高効率利用システム案件等形成調査事業／中国におけるCCS-EOR候補地点の抽出及びCO₂挙動モニタリング技術適用プロジェクト案件発掘調査」として具体的なCCS-EOR候補案件の発掘調査を実施する。その後、中国でのCCS-EORモデル事業へ参画し、中国でのCCS-EOR事業の普及を推進していく計画である。</p>				