

複数課題プログラムを構成する 研究開発課題（プロジェクト）

C.二酸化炭素回収技術実用化研究事業 （先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業）

評価用資料

平成 30 年 11 月 5 日

経済産業省産業技術環境局環境政策課地球環境連携室
公益財団法人地球環境産業技術研究機構

目次

I. 研究開発課題(プロジェクト)概要	1
1. 事業アウトカム	3
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	5
3. 当省(国)が実施することの必要性	8
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	9
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	10
6. 費用対効果	14
II. 平成 29 年度二酸化炭素回収技術実用化研究事業研究開発プロジェクト中間評価検討会における評価結果(参考)	15

I. 研究開発課題(プロジェクト)概要

※平成 29 年度に中間評価を実施しており、プロジェクトでの評価は行わないこととする。

プロジェクト名	二酸化炭素回収技術実用化研究事業 (先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業)
行政事業レビューとの関係	平成 27 年度 行政事業レビューシート 事業番号 新 27-0040 平成 28 年度 行政事業レビューシート 事業番号 0454 平成 29 年度 行政事業レビューシート 事業番号 0395
上位施策名	攻めの地球温暖化外交戦略(平成 25 年 11 月)、科学技術イノベーション総合戦略 2015(平成 27 年 6 月 19 日)、エネルギー・環境イノベーション戦略(平成 28 年 4 月)、地球温暖化対策計画(平成 28 年 5 月)、エネルギー基本計画(平成 30 年 7 月)、
担当課室	産業技術環境局環境政策課 地球環境連携室
<u>プロジェクトの目的・概要</u> 二酸化炭素回収・貯留(CCS: Carbon dioxide Capture and Storage)は、工場や発電所等から排出される CO₂ を大気放散する前に回収し、地下へ圧入・貯留する技術で、温室効果ガス削減効果が大きいこと等から、地球温暖化対策の重要な選択肢の一つとして世界的に期待されている。 CCS の実用化に向けては、CO₂ の分離回収、圧入貯留、モニタリングまでトータルでの CCS 技術の確立、CCS 事業コストの十分な低減、十分な貯留能力を有した貯留地点の選定、社会的受容性の醸成等が不可欠である。また、CCS 事業に係るコストのうち、CO₂ 分離回収コストが 6 割程度を占めると試算されており(RITE, 2005)、CCS 技術の広範な展開に向けては、CO₂ 分離回収コストの低減が重要であると言える。このことから、分離回収コストの低減を目的として、燃焼排ガスに含まれる CO₂ の回収に有利な技術である化学吸収法(固体吸収材)と、石炭ガス化発電(IGCC)等で発生する高圧のガスに含まれる CO₂ の回収に有利な技術である膜分離法に係る研究開発を実施している。 この二つの技術のうち、固体吸収材は、アミンをシリカ等の多孔質の固体担体に担持させた先進的吸収材であり、従来のアミン吸収液と類似の CO₂ 吸収特性を有しながら、CO₂ を単独で分離する工程で消費される顕熱や蒸発潜熱等のエネルギーを大幅に低減することが期待できる。これまでの基礎研究フェーズにおいて、CO₂ の分離回収性能に優れ、高い CO₂ 回収量を有する先進的固体吸収材を開発している。また、60℃程度での CO₂ の低温再生が可能になれば、未利用排熱を利用することによって CO₂ 分離回収エネルギーをさらに低減することが可能となる。このため本事業では、固体吸収材の実用化研究を実施し、石炭火力発電所等に適用可能な革新的 CO₂ 回収技術の確立を目指す。	

予算額等（委託）				（単位：百万円）
開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期	事業実施主体
平成 27（2015） 年度	平成 31（2019） 年度	平成 29（2017） 年度	2020 年度	公益財団法人地 球環境産業技術 研究機構
H27（2015）FY 執行額	H28（2016）FY 執行額	H29（2017）FY 執行額	総執行額	総予算額
220	315	330	865	2,165

※総事業費は平成 27～29 年度の執行額と平成 30～31 年度の予算想定額の合計

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
石炭火力発電所等から排出されるガスからの CO2 分離回収コストについて、2,000 円/t-CO2 以下を達成し得る、先進的固体吸収材を用いた CO2 分離回収技術である、固体吸収材システム *¹を実用化する。 そのため、平成 31 年度に、ベンチスケール試験 *⁴において CO2 分離回収コスト 2,000 円台/t-CO2 を達成し得る固体吸収材システムを確立し、パイロットスケール *⁵で実証可能な技術を完成させる。 【参考】既存の化学吸収法の分離回収コスト 4,200 円/t-CO2*⁷		
指標目標値		
事業開始時 (平成 27(2015)年度)	計画：ラボスケール試験 * ³ において CO2 分離回収コスト 2,000 円台/t-CO2 を達成し得る、固体吸収材を開発する。	実績：(達成)新規に開発したアミンを用いた固体吸収材のサンプルを合成し、ラボスケール試験において CO2 分離回収コスト 2,000 円台を達成し得ることを確認した * ² 。
中間評価時 (平成 29(2017)年度)	計画：ベンチスケール試験において、CO2 分離回収コスト 2,000 円台/t-CO2 を達成し得る固体吸収材システムの確立に目途を得る。	実績：(ほぼ達成)シミュレーション結果をもとに実機スケール * ⁶ での仕様を検討し、CO2 分離回収コスト 2,000 円台を達成することを確認した。 【現時点(平成 30 年度)】パイロットスケールで実証可能な技術の完成はベンチスケール試験の実施によりデータを取得し、達成の見込み。
終了時評価時 (平成 32(2020)年度)	計画：ベンチスケール試験において、CO2 分離回収コスト 2,000 円台/t-CO2 を達成し得る固体吸収材システムを確立し、パイロットスケールで実証可能な技術を完成させる。	実績：———
目標最終年度 (2030 年度頃)	計画：CO2 分離回収コスト 2,000 円/t-CO2 以下を達成し得る固体吸収材システムを実用化する。	

*1 固体吸収材システム：固体吸収材を用いて CO2 分離回収を行うための複数の機器から構成される系統。他方、プロセスとは、固体吸収材等により CO2 を吸収・脱離する過程。

*2 プロセスシミュレーションの結果を元に化学吸収液プロセスに対する評価と同条件での試算(平成 26 年度二酸化炭素回収技術高度化事業(二酸化炭素固体吸収材等研究開発事業)成果報告書、RITE)

*3 ラボスケール試験：実験室レベル(CO2 処理量：数 kg-CO2/day)での試験(9 頁図 1 参照)

- *4 ベンチスケール試験：ラボスケール試験（CO₂ 処理量：数 kg-CO₂/day）からスケールアップ（CO₂ 処理量：数 t-CO₂/day）する試験（9 頁図 1 参照）
- *5 パイロットスケール試験：実用化試験の前段階として、ベンチスケール試験（CO₂ 処理量：数 t-CO₂/day）からスケールアップ（CO₂ 処理量：数十 t-CO₂/day）する試験。（9 頁図 1 参照）
- *6 実機スケール：実証・実用化フェーズで想定される規模（CO₂ 処理量：数千 t/day）
- *7 次世代火力発電に係る技術ロードマップ技術参考資料集（平成 28 年 6 月）

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

(1) 研究開発内容

本事業では、固体吸収材による CO₂ 回収技術の実用化研究開発フェーズとして、上記の 3 項目を検討する。

① 実用プロセス開発

(材料ハンドリング・熱交換技術(移動層)の実証、評価)

② 実用化のための材料最適化

(吸収材の大量合成、低コスト・高容量製造技術、耐久性等)

③ 燃焼排ガス試験・経済性評価

パイロットスケール試験の実施に向け、ベンチスケール試験設備を用いた研究開発及び評価を行う。

具体的な実施内容は以下の通りである。

① 実用プロセス開発

固体吸収材法は、化学吸収法(液体)で用いられているアミン系吸収剤をシリカ等の固体担体に担持させた材料を用いるプロセスであり、MEA(モノエタノールアミン)等、従来から用いられている化学吸収液を用いる方法に比べ、エネルギー消費量を削減できる可能性を有することから、固体吸収材を用いた最適な CO₂ 分離回収プロセスの構築を行う。

a) システム開発、低温排熱利用技術の開発

安定した CO₂ 吸収のため機器内の固体吸収材を均一に流動させ、吸収材の性能を最大限活用するため CO₂ を含むガスと吸収材の均一な反応が可能となるガス投入を確保する機器の開発を行う。また、CO₂ の安定的な分離回収には吸収材の安定的な搬送が不可欠であるため、搬送機構(弁、定量供給機等)の吸収材のハンドリング性能向上や、吸収材の定量供給を可能とする機器を開発する。更に、粉化した吸収材の除去等、メンテナンス性の向上を図る。

また、固体吸収材は、従来型の吸収液より低温で CO₂ を放散する特徴を持つことから、低温の排熱を利用できる可能性が高い。そこで、CO₂ 分離回収に必要な熱エネルギーを大幅に削減すべく、排熱利用技術の開発を行い、各種データを取得するとともに、スケールアップ試験装置の基本設計に反映する。

b) ベンチスケール燃焼排ガス試験

最適な移動層システムを構築するために、国内民間企業が保有するベンチスケール試験設備において、燃焼排ガスをを用いた CO₂ 分離回収試験を実施し、固体吸収材の評価を行う。

c) 実ガス試験装置(パイロットスケール)の設計

実ガス試験装置(パイロットスケール、数十 t/day)を用いた燃焼排ガス試験により、実機スケール(数千 t/day)での CO₂ 分離回収設備の設計が可能となる。また、石炭火力発電所等に導入するためには、信頼性の高いエンジニアリングデータの取得が不可欠である。そこで、先進的な固体吸収材の CO₂ 分離回収性能、およびベンチスケール燃焼排ガス試験の結果等を考慮し、燃焼排ガスをを用いた実ガス試験(パイロットスケール)装置の基本設計を行う。

② 実用化のための材料最適化

a) 大量合成・低コスト化検討

本技術の実用化に向けて、低コストで安定的に固体吸収材を製造する技術確立が必要がある。そのため、吸収容量が大きくより低温で CO₂ を放散する吸収材を大量かつ低コストで合成する技術を

開発する。

b) 高耐久性化

吸収材が機器内を移動することによって発生する破砕や粉化は、ランニングコストに重要な影響を与えるため、吸収材の強度・耐久性・耐摩耗性の向上を図り、温度変化、移動に対する耐久性の高い材料の検討を行う。

③ 燃焼排ガス試験・経済性評価

燃焼排ガスを用いた固体吸収材の実ガス曝露試験を実施し、長期間運転時の吸収材の性能を評価する。具体的には、以下について実施する。

a) 実ガス曝露試験

模擬ガスと異なり、実ガスには、SO_x等の微量ガス成分が含まれるため、これらが吸収材の耐久性にインパクトを与えることが懸念される。よって、必要な前処理システムや、実ガスに対する吸収材寿命を明らかにするために、吸収材の実ガス曝露試験を実施する。これにより、所定の吸収材性能を維持するために必要な前処理システムを明らかにする。

b) 耐久性、共存ガス影響評価

繰り返し温度負荷に対する吸収材の耐久性や、燃焼排ガスに含まれる水分、SO_x、NO_xの吸収材への影響等を評価し、水等が吸収材と反応する際の吸収材からのCO₂再生技術やそれらの前処理技術等を検討する。

c) 経済性評価および先進的CO₂分離回収システムの確立

上記の実ガス試験から得られる吸収材の性能を考慮し、実ガスでのパイロットスケール試験に向けて、試験実施の際に検討すべき課題点の抽出、取りまとめ等を実施するとともに、本事業で開発した固体吸収材システムを実機での排ガスに適用した際のCO₂分離回収エネルギーおよびCO₂回収コストを精査する。

以上の検討を通して、先進的吸収材法を総合的に評価し、低コスト・低エネルギー消費型の先進的CO₂分離回収システムを確立する。

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
CO₂ 分離回収コスト 2,000 円/t-CO₂ 以下を達成し得る固体吸収材システムの実用化を目標とし、本事業終了時には、ベンチスケール試験等において 2,000 円台/t-CO₂ を達成し得る固体吸収材システムを確立し、パイロットスケールで実証可能な技術を完成する。そのために、① 分離回収エネルギー低減のための低温再生技術を確立し、② 高性能かつ実用スケールで調達可能な材料の合成技術を確立し、③ これらの技術を用いて、既存のアミン吸収液法からの CO₂ 分離回収エネルギーの大幅な低減を図る。分離回収エネルギーを大幅に低減し、発電プラント等の効率低下を軽減することで、既存の方式と比べ、分離回収コストの削減が可能となる。		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時 (平成 27(2015)年度)	計画： ラボスケール試験において、CO ₂ 分離回収エネルギー1.5 GJ/t-CO ₂ を達成し得る固体吸収材を開発する。	実績： (達成) 開発した固体吸収材に対するプロセスシミュレーションで CO ₂ 分離回収エネルギー 1.5 GJ/t-CO ₂ を達成した。
中間評価時 (平成 29(2017)年度)	計画： ① 固体ハンドリング技術および最適移動層システム（再生方式）を確立する。 ② スケールアップ試験用材料合成技術を確立する（10m³）。 ③ベンチスケール試験を実施・評価し、CO₂ 分離回収エネルギー 1.5GJ/t-CO₂ を達成する。	実績： ① （達成） 固体ハンドリング技術（吸収材供給方法、ガス導入方法）を確立し、低温蒸気で 1.5GJ/t-CO₂ を達成可能な再生方式を確立した。 ② （達成） 実用的な 10m³規模での固体吸収材の合成技術を確立した。 【現時点（平成 30 年度）】14m³ 規模での合成を実施した。 ③ （ほぼ達成） ラボスケールの小型連続回収試験装置で 1.5GJ/t-CO₂ を達成した。ベンチスケール試験でも達成の見込み。【現時点（平成 30 年度）】蒸気流量、蒸気圧力等のプロセス最適化により、再生エネルギー1.5 GJ/t-CO₂を達成した（エネルギー低減と CO₂ 回収量増大の両立に向けた検討を実施中）。

終了時評価時 (平成 32 (2020) 年度)	計画： ① 熱交換技術、低温排熱利用技術を確立する。 ② 低コストな材料合成技術を確立する。 ③ ベンチスケール試験の実施・評価により、パイロットスケール（数十 t-CO ₂ /day レベル）で、CO ₂ 分離回収エネルギー 1.5GJ/t-CO ₂ を実証可能な技術を完成させる。	実績：
-----------------------------	--	-----

< 共通指標実績 >

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の 実施件数	ライセンス 供与数	国際標準へ の寄与	プロトタイ プの作成
8	72	2	0	0	1	2

3. 当省(国)が実施することの必要性

CCS は、生産性向上、省エネルギーなどに寄与せず、利益の向上に資さない地球温暖化問題への対応に特化した技術で、外部不経済（ある経済主体の行動が、その費用の支払いや補償を行うことなく、他の経済主体に対して不利益や損失を及ぼすこと。例えば、公害。）であるため、研究開発に経済性が無く、市場原理だけでは、その導入を図ることは困難である。

そのため、国が主導して、CCS の技術実証やコストの低減、安全性の担保や貯留適地の確保、社会的受容性の確保等を実施し、その上で制度的枠組みを構築するなど、CCS 導入に向けた環境整備を行って行く必要がある。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

(1) アウトカムに至るまでスケジュール

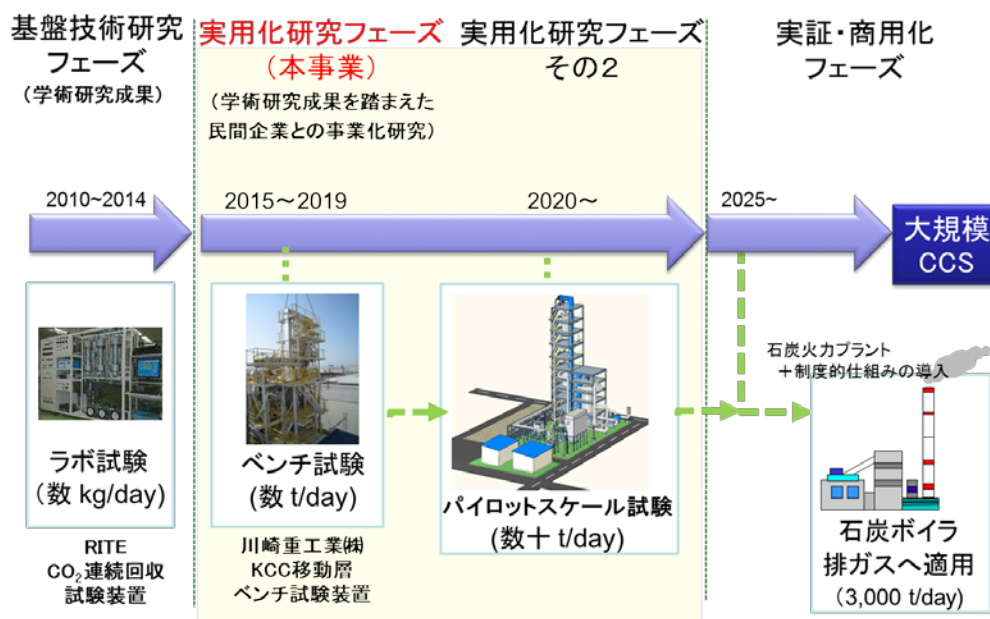


図 1 先進的固体吸収材技術開発シナリオ

本事業終了後、パイロットスケール試験等において、CO₂分離回収コスト 2,000 円/t-CO₂ を達成し得る固体吸収材システムを確立し、実機スケールで実証可能な技術を完成させ、その後実証フェーズを経て、CO₂分離回収コスト 2,000 円/t-CO₂ 以下を達成し得る固体吸収材システムの実用化を目指す。

(2) 知財管理の取り扱い

特許権等の帰属特許法を踏まえ、原則として発明者(研究者)主義としつつ、発明者の所属企業・機関の「職務発明規定」に準拠して機関帰属とする。

共同発明に係る権利持分比率を決める場合は、原則として、発明に対する貢献度(寄与率)で特定するものとする。

シナジー効果を確保する観点から、当該プロジェクトにおいて発生した知財については、原則としてプロジェクト内は非独占実施とする。

ただし、製品化、実用化に向けて(a)特許の一括管理(共有化)、(b)クロスライセンス、(c)独占的实施等による方が有効と考えられる場合等、慎重に検討を行ったうえで、決定、採用するものとする。

(3) 実証や国際標準化

実証に関しては、本事業終了後、石炭火力発電所等における大規模実証を経て、制度的仕組みの導入等により、本格導入が進むものと想定される。

国際標準化に関しては、ISO/TC265 において、CCS に関する標準化が進められている。特に、回収に関するWGについては、我が国が、WGコンビーナ(主査)と事務局を務めており、回収技術の国際標準を主導している。本事業を実施することにより得られたデータや記録等の成果については、技術パッケージ及びマ

マニュアルとして整理する。それらをもとに、国際標準化の際には ISO/TC265 国際規格のシード文書としての活用や、これらを活かした国際規格の積極的な提案が図れるようにするとともに、日本企業の産業競争力強化に資するよう努める。

（４）性能や安全基準の策定

本事業を実施することにより得られたデータや操業記録等をもとに、技術の性能指標や操業における安全基準を抽出・整理する。これにより、関連業界における安全性基準の策定が進むことを見込んでいる。

さらに、これらを国際規格にも反映するよう努める。

（５）成果のユーザー

実用化研究終了後の主な導入先は大規模 CO₂ 排出源であり、火力発電所のほか、産業利用として、製鉄所、セメント工場、石油化学プラント等があげられる。したがって、ユーザーとしては、電力事業者、鉄鋼産業、設備製作に関してエンジニアリングメーカー等があげられる。

5. 研究開発の実施・マネジメント体制等

（１）研究開発計画

本事業は当初、全５年間でベンチ試験および石炭火力発電所での実ガス試験（パイロットスケール）を行う計画であった（図 2）。実ガス試験（パイロットスケール）実施予定場所の選定を進めた結果、当初想定していた試験実施予定場所と比較して、規模が大きい石炭火力発電所（関西電力株式会社 舞鶴発電所：90 万 kW/ユニット）を試験実施場所として提供を受けられることが分かり、立地的にも近く、より効果的な試験が実施可能と思われる本サイトを試験実施予定場所に選定することとした。また、実施予定場所での定期点検に合わせた実ガス試験（パイロットスケール）設備のつなぎ込み、据え付け工事等を想定した結果、最短でも、平成 31 年度以降に既設配管への接続工事、土建工事に続いて、据え付け工事とするスケジュールが考えられる。

他方、パイロットスケール試験において、CO₂ 分離回収コスト 2,000 円/t-CO₂ 台を達成しうる固体吸収材システムの確立を確実なものにし、システムの最適化・効率化を図り、パイロットスケール試験設備費用の低減を図るべく、ベンチ試験データ等を用いたシミュレーターの更なる最適化、低温再生技術の確立、固体吸収材の商用スケールの生産技術に目途をつける等の検討を並行して行うこととした。

そこで、計画を見直し、パイロットスケール試験は本事業の後継事業で実施する予定とした（図 3）。

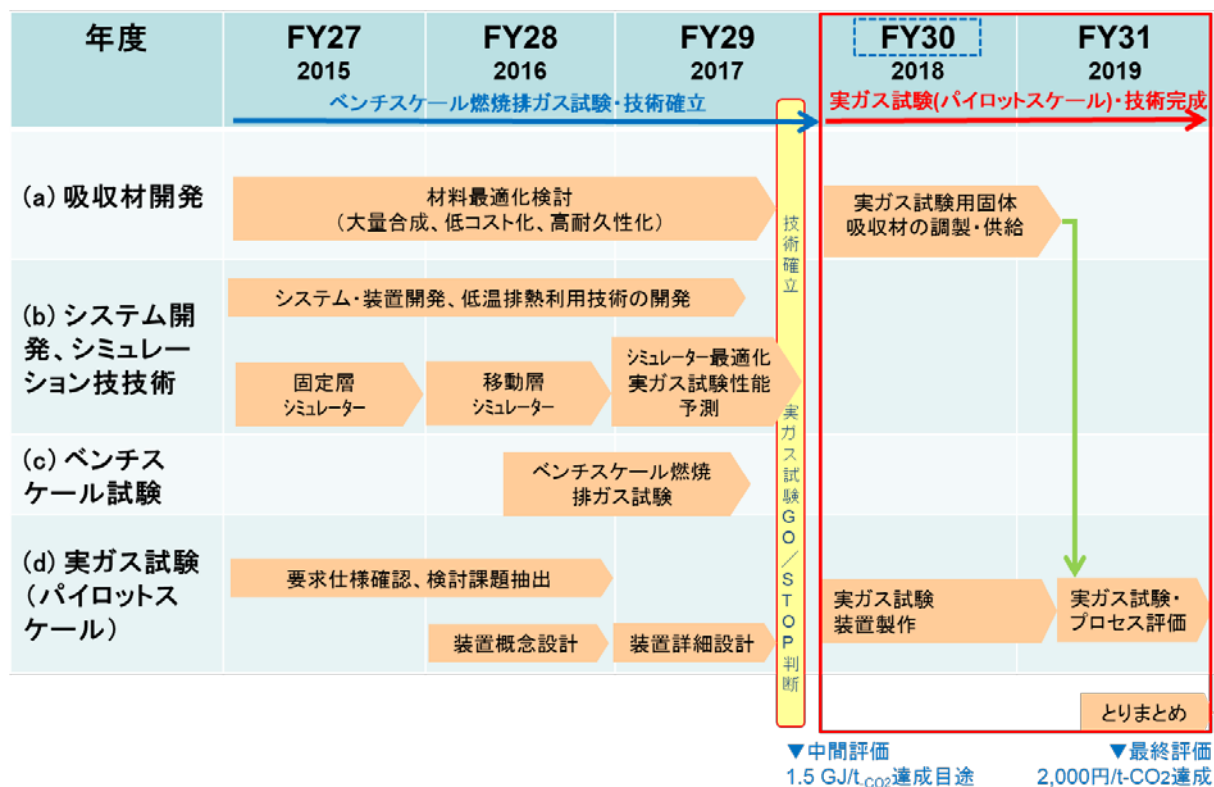


図2 事業の年次展開予定（当初予定）

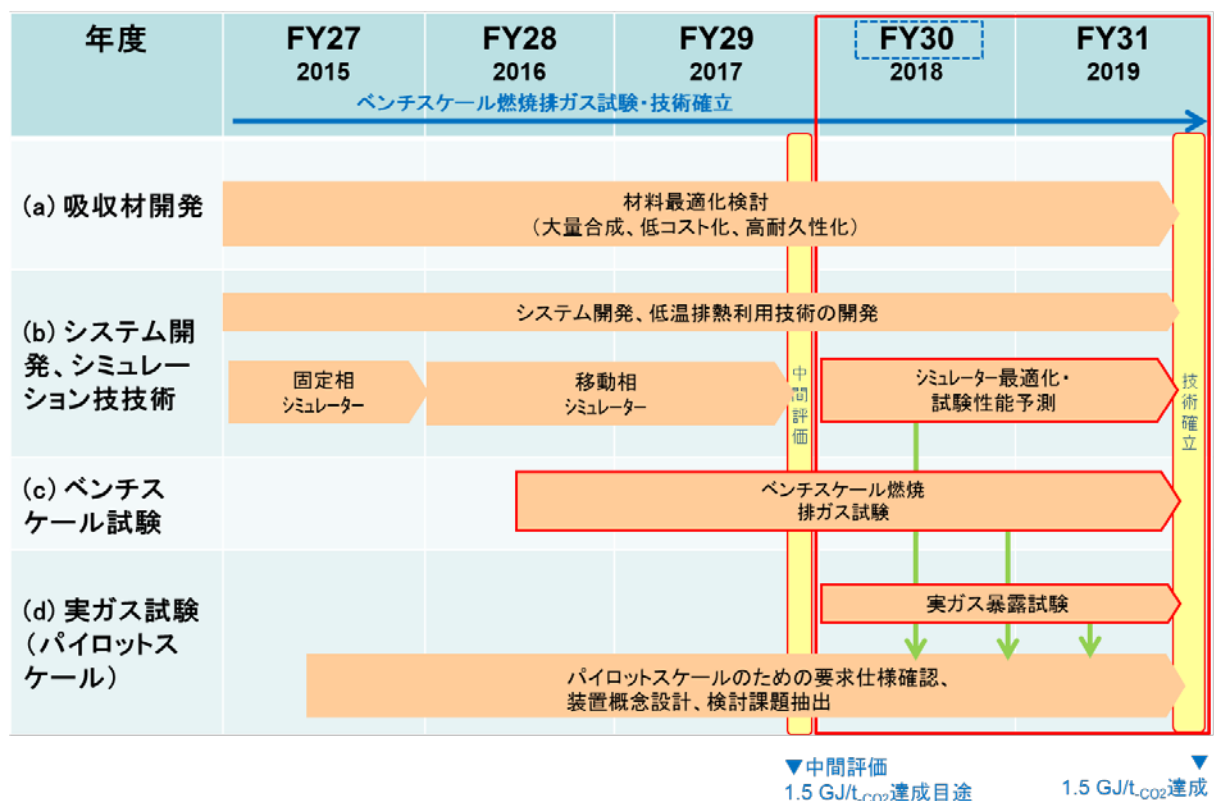


図3 事業の年次展開（現在）

(2) 研究開発の実施体制

図4の研究開発実施体制に示すように、平成27年度～29年度は経済産業省から公益財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE)への委託事業として実施した。平成30年度から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(NEDO)からの委託事業として実施している。

本事業実施にあたっては、プロジェクトリーダーを選任して、プロジェクト全体のとりまとめを行うとともに、方針の提言、研究開発の進捗管理を行っている。

材料技術開発、実用プロセス開発、実ガス試験については、それぞれ技術的知見を有するRITE、民間企業(川崎重工業株式会社)が研究開発を実施しており、平成30年度からは大学(東京農工大)がシミュレーション技術開発を担当している。また、CO₂回収設備のユーザーとなり得る電力会社からの協力を得ながら研究を進めており、今後、石炭火力発電所等からの燃焼排ガススケールアップ試験に向けた検討を進めていく。

また、外部の学識経験者等から構成される有識者委員会を設置し、研究実施内容について評価・助言をいただき、計画を適宜見直しながら進めている。

以上の実施体制を戦略的に構築することにより、有効かつ効率的な研究開発を実施している。

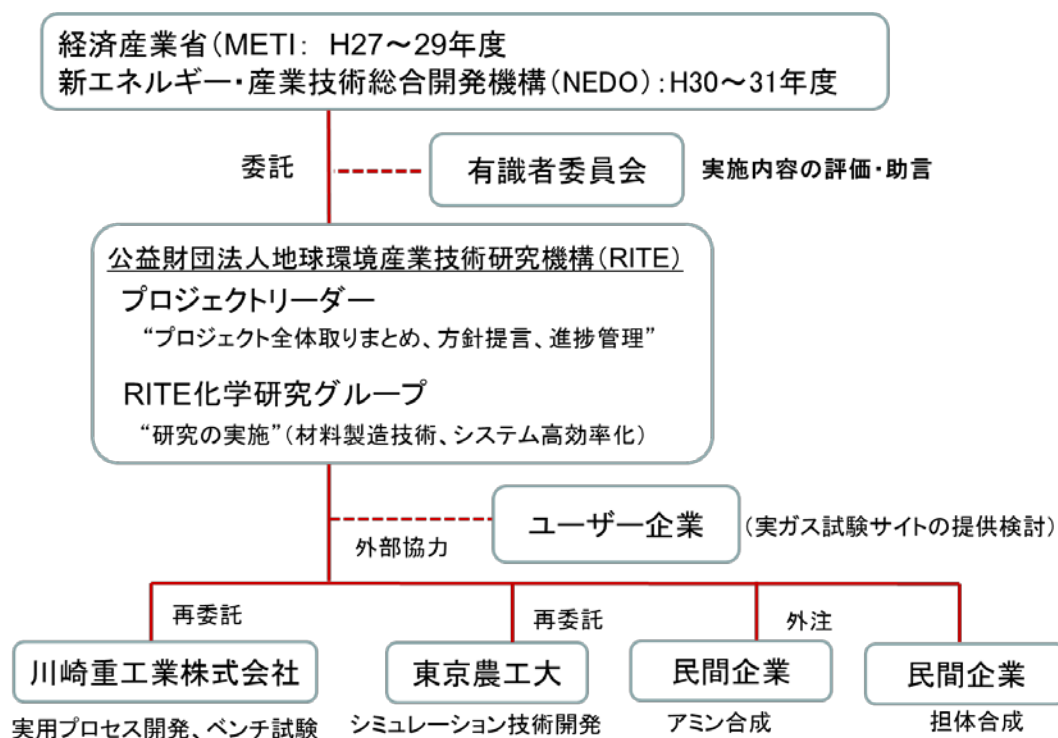


図4 研究開発の実施、マネジメント体制

（３）「国民との科学・技術対話」の推進

本事業の内容や成果を社会・国民に対して分かりやすく説明することを目的として、以下の活動を実施した。

（a）シンポジウムの開催

RITE がこれまで推進してきた低炭素社会実現に向けての温暖化対策シナリオ提案、CO₂ 分離回収技術、CO₂ 地中貯留技術、バイオリファイナリー技術に関する研究・開発の成果と今後の展望について、世界の最新動向・日本の現状を踏まえて研究活動報告を実施した。

【平成 27 年度】

革新的環境技術シンポジウム 2015 「今後の低炭素社会の実現を目指して」

日時：平成 27 年 12 月 18 日

会場：伊藤謝恩ホール（東京）

参加人数：360 人

【平成 28 年度】

革新的環境技術シンポジウム 2016 「エネルギー・環境技術のイノベーションによるゼロエミッション社会の構築」

日時：平成 28 年 12 月 7 日、

会場：伊藤謝恩ホール（東京）

参加人数：390 人

【平成 29 年度】

①革新的環境技術シンポジウム 2017 「温暖化対策の長期戦略を支える革新的技術の開発推進」

日時：平成 29 年 12 月 6 日

場所：伊藤謝恩ホール（東京）

参加人数：389 人

（b）大学院大学における研究・教育活動

RITE 化学研究グループは国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学の先端科学技術研究科において連携研究室（環境適応物質学研究室）を担当し、温暖化対策技術に関する講義と配属学生の研究指導を実施している。講義（先端物質科学特論）では、研究目的、内容等、研究成果の講演や受講者との対話を行うとともに、配属学生 of 修士論文、博士論文指導を通じて技術の理解を深める活動を実施した。

(4) 資金配分

年度ごとの資金配分を以下に示す。

平成 27 および 28 年度は基盤技術研究フェーズで開発した固体吸収材をベンチスケール試験規模で安価に大規模に合成するための技術開発に資金を重点的に配分した。また、平成 28 年度からベンチスケール試験を開始しており、実用プロセス開発・燃焼排ガス試験への資金配分を徐々に増加させている。また、平成 30 年度以降はベンチ試験と並行して、実ガス試験（パイロットスケール）に向けた予備（概念設計、実ガス曝露試験）検討を開始しており、さらに実用プロセス開発・燃焼排ガス試験への資金配分を増加させている。

（単位：百万円）

年度	27FY (2015)	28FY (2016)	29FY (2017)	30FY(予算額) (2018)	合計
実用化のための材料最適化 (材料開発)	200	196	168	375	939
実用プロセス開発・ 燃焼排ガス試験	20	119	162	275	576
合計	220	315	330	650	1,515

(5) 社会経済情勢等周囲の状況変化への柔軟な対応

本事業では、石炭火力発電所からの低コスト CO₂ 回収技術の確立を最重要課題として、RITE、川崎重工業株式会社、関西電力株式会社、3 社協力体制を構築し、実ガス試験（パイロットスケール）の実施予定場所として国内の石炭火力発電所を選定した（平成 29 年 9 月、プレスリリース）。さらに、今後の CCS 実施先に広く対応すべく、他の排出源（製鉄所、セメント工場、ボイラ等）への適用性も検討しつつ開発を進めている。

6. 費用対効果

本事業は、二酸化炭素回収・貯留（CCS）の実用化を目的とし、そのために総コストの 6 割程度を占める分離・回収コストを低減する技術を開発するものである。本事業の二酸化炭素回収技術を実用化し、発電所等の大規模発生源からの CO₂ 分離に本技術を実用化することで、CO₂ の分離に要するコストを従来の約 3 分の 1 の 2,000 円/t-CO₂ に削減する。温暖化対策としての CCS は、それ単独では経済的価値を産み出しにくい技術であるが、これらの事業成果により、CCS の経済的障害を緩和し、CCS の実用化に向けて着実に前進することができるものとする。

また、本事業のアウトカムにより、分離回収コストが現状よりも 2,200 円/t-CO₂ 低減出来る場合を仮定すると（現状で約 4,200 円/t-CO₂ の分離・回収技術が 2,000 円/t-CO₂ になれば）、たとえば、80 万 kW 級の石炭火力発電所から回収の場合（CO₂ を年間 500 万 t 回収と想定）、1 基当たり 110 億円/年のコスト削減となる。

Ⅱ. 平成 29 年度二酸化炭素回収技術実用化研究事業研究開発プロジェクト中間評価検討会における評価結果(参考)

1. 事業アウトカムの妥当性

CCS の実用化に向けて、CO₂ の分離・回収コスト低減は、解決すべき重要な技術課題のひとつであり、CO₂ 分離回収コストを 2,000 円/t-CO₂ まで下げることが、事業アウトカムとして妥当であると言える。

他の競合国に比して、事業アウトカムが早期に実用化されれば、国際的にその効果は優れたものとなり、市場の占有率も高まると考えられる。市場規模も早期に実用化に至れば大きなものとなるため、早期の実用化が望まれる。

他方、これまで目標としてきた 2,000 円/t-CO₂ の分離・回収コスト及び実現時期について、ここ最近の再生可能エネルギーの急激なコストダウン等を考えると、再エネと比較したコスト競争力の確保という観点も重要であり、場合によっては見直しを視野に入れておくことも必要である。

【肯定的所見】

・(A 委員) 欧州や豪州など他の競合国に比して、事業アウトカムが早期に実用化されれば、国際的にその効果は優れたものとなる。その場合は市場の占有率も高まると考えられる。国際的優位性、市場の占有率を高めるためにも、早期の実用化が望まれる。

・(B 委員) 最終的には、実用化に近づくと推定している CO₂ 分離回収コスト 2,000 円/t-CO₂ を目標値に設定しており、2020 年までに分離回収コストを 2,000 円台/t-CO₂ とする「環境エネルギー技術革新計画」に沿った目標設定、並びに CO₂ 分離回収コストは目標値を達成済、固体吸収材システム確立は本年度後半で達成見込みと計画通りに進めており、事業アウトカムが実現した場合の問題解決に与える効果、目標値及び達成時期の適切な設定が認められるため、評価できる。

・(C 委員) CO₂ 分離回収コストの目標と設定した「中間評価時・2,000 円台/t-CO₂」「事業終了時・2,000 円/t-CO₂」は、現状のカーボンコスト水準を前提にした場合、仮にそのコストが顕在化したとしても、民間企業が自立的に「CCS 付き石炭火力」に取り組む水準ではない。とはいえ、パリ協定の締結など、今後、カーボンコストの上昇・顕在化リスクは高まっていく方向であり、技術的な実現可能性と革新性とのバランスを考えると、「2,000 円/t-CO₂」は妥当な目標設定と言える。

・(D 委員) CCS 技術において CO₂ 分離回収コストを十分下げることが、実用化のカギになることは明白であり、その指標を最終的に 2,000 円/t-CO₂ と設定している。これは実用化に向けた高い目標値であるが、中間評価時の経済性評価において、ラボにおけるベンチ試験やパイロットスケールにおいて得られる CO₂ 分離回収エネルギーの算定から十分に達成見込みが有望とされる内容であることがわかる。これは前例にないほど画期的なデータであり、今後も現在の計画に従って進めることで、目標を達成できると期待できる。

・(E 委員) 2016 年 5 月 13 日に地球温暖化対策計画の閣議決定において、中期目標として 2030 年度に 2013 年度比で 26%削減、長期的目標として 2050 年までに 80%の温室効果ガスの排出削減目標が示された。一方で 2011 年の東日本大震災以降、原子力発電規制が強まり、それを補うべく火力発電の需要は長期化しており CO₂ 排出の問題はより深刻となってきた。我が国として国際公約として掲げたパリ協定の 2℃目標を達成するためには、大規模排出源となっている火力発電所における CO₂ 排出削減は避けて通れない課題であり、国としての達成すべき重要なテーマとなっている。その目標達成において大きな障害となりえる CO₂ の分離・回収コストの低減は、解決すべき重要な技術

課題であり、CCS の実用化を促進するための CO₂ 分離回収コストを 2,000 円/t-CO₂ まで下げることが期待する事業アウトカムを達成するためにも妥当な数字であると言える。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（A 委員）市場規模も早期に実用化に至れば大きなものとなるが、時間を要すると他のエネルギー（再生エネルギーなど）との競争で、必ずしも優位性が保たれるのか疑問となる。
- ・（C 委員）ここ 1～2 年の再生可能エネルギーの急激なコストダウンを考えると、将来、CO₂ 分離回収技術の活用を促すには、さらなる挑戦的なコスト低下目標を掲げる必要がある。海外では、3 円/kWh を切るメガソーラーの PPA（電力購入契約）が登場し、陸上・洋上風力発電でも 10 円/kWh を下回る応札例が出てきている。これまで、「再生可能エネルギーは高い」を前提に、CCS は、化石燃料による火力発電に課されるカーボンコストとの対比（削減）で、開発戦略を立ててきた。しかし、「カーボンコストのない再エネ」が石炭火力並みの低コストになりつつあることで、「CCS 付き石炭火力」をゼロエミッション電源の 1 つとしてとらえ、再エネと比較したコスト競争力の確保という観点も重要になってきたと考える。
- ・（E 委員）炭素取引価格が以前に比べ下がってきている実態がある。今後の炭素取引価格の推移を見守る必要があるが、これまで目標としてきた 2,000 円/t-CO₂ の分離・回収エネルギーコスト、及び実現時期については、CCS の普及の経済性論理の観点から場合によっては見直すことも視野に入れておくことも必要である。

2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性

研究開発内容、事業アウトプットは明確かつその目標も適切に示されており、中間評価時においても目標が的確に達成されている。CO₂ 分離回収コストの大きな要素である「分離回収エネルギー」に開発目標のターゲットを絞り、まず「1.5GJ/t-CO₂」、最終的に「1.0GJ/t-CO₂」を掲げ、固体ハンドリング技術や最適な移動層システムを確立し、未利用廃熱が活用可能な 60℃の再生温度条件で、消費エネルギー1.5GJ/t-CO₂ を達成したこと、実用化に向け大きく寄与する材料合成技術の確立、高耐久性の実現を達成したことは評価に値する。また、将来のユーザーとなり得る関西電力とも連携し、スケールアップ試験に向けた検討を行っていることは、実用化に向けたステップとして大いに評価できる。

他方、今後の改善項目が明確になっているものの、最適化すべき要素の多いこともうかがわせる。しかし、平成 30 年度からは実ガス試験の装置製作が始まるスケジュールになっており、スケールアップの開発スケジュールがやや拙速になっているようにも感じる。

【肯定的所見】

- ・（A 委員）研究開発内容は明確かつその目標も適切に示されている。
- ・（B 委員）世界各国で行われている吸収液法のコスト低減の困難さを把握したうえで固体にアミンを担持する本手法を見出しており、CCS 実用化に向けて、具体的数値による目標設定、並びに固体ハンドリング技術の確立・最適移動層システムの確立、スケールアップ試験用材料合成技術の確立（10m³）、ラボレベル連続試験で CO₂ 分離回収エネルギー1.5GJ/t-CO₂ を達成しており、評価できる。
- ・（C 委員）CO₂ 分離回収システムのコストを決める大きな要素である「分離回収エネルギー」に開発目標のターゲットを絞り、まず「1.5GJ/t-CO₂」、最終的に「1.0GJ/t-CO₂」を掲げたことは、研

究開発の要素が具体化、明確化されている。加えて、海外の固体吸収材の開発動向を調査し、

「2GJ/t-CO₂ を達成した技術はない」ことを見出し、それを半減させる省エネ性能を目指したことは、十分な革新性を持つと評価できる。ラボスケールで目標（1.5GJ/t-CO₂ 以下）を達成し、ベンチスケールで 2.1GJ/t-CO₂ まで到達している。現在、各プロセスの改善に取り組んでおり、1.5GJ-CO₂ を目指すとしている。目標である 1.5GJ/t-CO₂ の達成に向け、これからが正念場だが、スケールアップに伴う最適化に加え、固体のハンドリングという開発要素もあり、経験工学的にノウハウを蓄積していく面の多いことは理解できる。ベンチスケールで既に従来の液体アミンベースに比べ、分離回収エネルギーの半減に成功したことは、基本技術の「筋の良さ」を感じさせる。化学プラントは、一般的にスケールアップにより、熱ロス低減する方向になることを考えれば、目標達成も期待できる。

再生温度が60度のため、復水器入口の蒸気など未利用排熱を利用できる可能性も大きく、その場合、発電効率の低下や追加的なランニングコストを伴わずに分離・回収できる道が拓ける。

また、実ガス試験に向け、すでに関西電力とも提携し、40 t-CO₂/d の試験装置の設計に取りかかっていることは、実用化に向けた次のステップとして大変、評価できる。RITE による固体吸収材と KOC 移動層システムのそれぞれで国際特許を押さえており、今後、両技術を統合したエンジニアリング技術として、特許出願を予定しているとのこと。今後、開発競争が激しくなる分野だけに、早めの知財戦略は評価できる。

・（D 委員）CO₂ 分離回収技術の実用化に向け、問題点を明確にし、それに向け多角的に戦略を立て、優れた吸収材の開発、低エネルギーでの経済性の高い回収システムの実現に向けた努力がなされてきている。国内外の類似の研究の問題点を克服し、技術的にも経済的にも優位性を示している。適正なアウトプットの目標が示され、中間評価時における目標が的確に達成されている。それらの科学技術は論文や特許等のアウトプットとして、見える形にされている。

・（E 委員）火力発電所における未利用の排熱を利用できることは、CO₂ 分離回収のためのエネルギーロスによって生じる発電コストの増加を抑制することにつながり、CCS の普及においても重要な課題となっている。固体ハンドリング技術確立し、発電所において未利用となっている 60℃の再生温度条件で、消費エネルギー1.5GJ/t-CO₂ を達成したことは国際的な達成基準から見ても評価に値する。実用化に向けて材料合成技術の確立、高耐久性能の実現を達成したことは、実用化の実現性に大きく寄与する成果であり評価できる。

【問題あり・改善とする所見】

・（A 委員）事業アウトプット指標及び目標値が、他の競合国等と比べ適切かが必ずしも十分に示されているとは思えない。

（C 委員）ベンチスケールで 2.1GJ-CO₂ の実績値を、今後の最適化で 1.5GJ-CO₂ まで高めるとし、担持アミン種・量の最適化、蒸気流量の調整、蒸気条件の変更、塔・コンベアからの放熱低減、乾燥工程の削除など、5 項目の対応テーマを掲げている。改善項目が明確になっている半面、まだ、最適化すべき要素の多いこともうかがわせる。一方で、平成 30 年度から、実ガス試験の装置製作が始まるスケジュールになっている。スケールアップの開発スケジュールがやや拙速になっていないか、今後の開発状況を注視していきたい。

3. 当省(国)が実施することの必要性

CCS は CO₂ 削減技術として、その実用化に大きな期待が寄せられているが、CCS は追加エネルギーをかけて CO₂ を削減する技術であり、現時点では導入に経済的なインセンティブは働かず、民間企業による自主的な CCS 技術の確立、CCS の推進は期待できない。その中で、CCS 全コストの 6 割程度を占める CO₂ の分離・回収コストの大幅な低減は重要な課題であるが、長期にわたる研究開発期間、多額の研究開発費が必要なことから、国が主導的に実施すべきものである。

【肯定的所見】

・(A 委員) 外部不経済の本研究は、国主導で進めるべきである。特に多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない可能性が高い。

・(B 委員) CO₂ 分離回収分野の技術開発は重要であるが、先進的な取組であること、また、制度的仕組みがなく CCS 導入のインセンティブがない中で長期にわたる研究開発期間、多額の研究開発費が必要なことから、国が主導的に実施すべきものであると考えられる。

・(C 委員) CCS 技術が、経済性を持つか否かは、炭素税・排出権取引など CO₂ 排出(カーボン)コストが顕在化し、しかもそのコストが CCS のコストよりも高くなる場合に限られる。温暖化対策のなかで、再生可能エネルギー推進を後押しした固定価格買取制度(FIT)や RPS 制度は、各国で導入が相次ぎ、世界的な市場形成では政策リスクが低減してきた。一方、本格的なカーボンコストの導入政策は、依然として不透明で、民間で自発的に CCS 技術の開発や実証に乗り出す局面になっていない。従って、国が主体的に CCS プロジェクトに関与する意義は大きい。また日本企業は、IGCC(石炭ガス化複合発電)を含めた高効率な石炭火力のプラント技術で世界をリードしている。CCS は、今後、石炭火力と組み合わせることで国内外で設置が進む可能性が高く、「CCS 付き石炭火力プラント」は、官民が連携したインフラ輸出のアイテムとして有望になる。国が産業政策として民間をリードする形で実用化を進める意義がある。

・(D 委員) 二酸化炭素など地球温暖化ガス対策は、政策的なものであり、市場原理に基づくものではないため、国が積極的に関与して事業を進めるべきであり、必要なことである。これらの内容について他省庁と連携して国としての政策や施策に反映させ、この分野で世界をリードすることが期待される。

・(E 委員) 地球温暖化の影響は深刻度を増しており、2015 年 12 月に「パリ協定」が採択され、わが国も実現にむけ国際公約を果たすことが求められている。CCS は国際的にも CO₂ 削減の中核技術として位置付けられており、その実用化には大きな期待が寄せられている。一方で、CCS は追加エネルギーをかけて CO₂ を削減する技術であり、CCS の導入に経済的なインセンティブは働かず、民間企業が自主的に CCS 技術を確立し推進する合理的理由が見いだせない。その中で、CCS 実用化において全コストの 6 割程度を占める CO₂ の分離・回収エネルギーコストの大幅な低減は特に重要な課題であり、民間企業の自主的な推進が期待できない以上、国がリーダーシップを発揮して取り組むことは当然のことと言える。CCS の実用化には相当な費用発生が見込まれ、経済性に合わないとなると民間企業への促進は困難となる。CCS を推進するために国として財政支援や税制優遇措置を行うことは避けられず、高コストのままであるとその費用は膨大なものになってしまう。低コストの CCS 技術を確立することは国際公約の達成とともに、将来的な国の財政負担を軽減するためにも不可欠であり、国が率先して事業を推進する意義も大きい。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・ 所見無し

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性

実用化研究フェーズの 2019 年度末までのロードマップと目標設定は具体的であり、また、アウトカムの実現に向けて電力会社の協力を得て、実際の火力発電所を対象として実ガス試験を行うことも長期的な成果を考えると適切な選択であると言え評価できる。アウトカムに至るまでの戦略も示されており、小規模スケールの CO2 回収においては、大規模適用に先行して実績を積み上げて実用化の技術を確認する方向性も実践的で評価できる。

知財の取扱いについても妥当であり、国際標準化や性能や安全性基準の策定などに積極的に取り組んでいることも評価できる。ISO/TC265 の作成においては、イニシアティブをとって、日本の技術が国際的な標準となり、我が国の産業競争力強化に寄与することに期待したい。

早い時点で本技術のユーザーとなる電力会社の協力を取り付けたことは非常に良いことであるが、本技術が普及した場合の潜在的なユーザーを念頭に置き、積極的なユーザー拡大のシナリオもロードマップに描くべきと考える。

【肯定的所見】

・（A 委員）知財管理の取扱い、実証や国際標準化、性能や安全性基準の策定などに積極的に取り組んでいる。また、達成時期における目標値の達成の可能性も高い。

（B 委員）次世代火力発電に係る技術ロードマップに、開発方針として「CO2 分離回収技術は、2020 年代後半から 2030 年頃にかけて、経済的な回収技術を確認させることを目指す」としており、当該方針に沿ったロードマップであることは評価できる。

・（C 委員）ラボ試験から、エンジニアリング会社と連携したベンチ試験（数 t/d）、電力会社と連携した実ガス試験（数十 t/d）というスケールアップを 5 年間で実施し、2020 年以降の実証・商用化、並行して制度的な仕組みの導入というロードマップを掲げている。

このスケジュールは、技術的にはかなり急いだスケジュールにも思えるが、我が国のエネルギー政策、具体的には 2030 年のベストミックス（あるべき電源構成）を議論する上で、ギリギリのタイミングとも言える。その意味で、このロードマップは評価できる。2030 年までに「CCS 付き石炭火力」が「ゼロエミッション電源」の 1 つとして、再エネ、原発とともにある程度のコスト競争力を持てば、原発に代って、CO2 を出さないベース電源として位置づけられる。想定よりも原発の再稼働が進まない場合、ゼロエミ電源（非化石電源）として掲げた 44%は、現状では、再エネで補うしかない。だが、「CCS 付き石炭火力」の実用化のめどが立てば、ベストミックスに織り込み、政策的に後押しするシナリオも考えられる。その意味では、2020 年からのエネルギー基本計画（ベストミックス）の見直しまでに、実ガス試験で成果を挙げ、ベストミックスのなかに位置付けることが望ましい。

・（D 委員）知財の取扱いは妥当である。国際標準化に関して、ぜひ ISO/TC265 の作成においてイニシアティブをとって、日本の技術を標準となるように期待したい。実用化に向けた計画は妥当であり、十分計画に従った成果を上げている。

・（E 委員）実用化研究フェーズの 2019 年度末までのロードマップと目標設定は具体的である。また、アウトカムの実現に向けて電力会社の協力を得て、実際の火力発電所を対象として実ガス試験

を行うことも長期的な成果を考えると適切な選択であると言え評価できる。アウトカムに至るまでの戦略も示されており、2020 年台に CCS の普及を想定したシナリオを念頭に進めており、小規模スケールの CO2 回収においては、大規模適用に先行して実績を積み上げて実用化の技術確立する方向性も実践的で評価できる。国際標準の分野においても、CO2 回収に関しては主査と事務局を務めており、国際規格への積極的な提案により我が国の技術を国際標準化に押し上げるリーダーシップを発揮しようとしていることは、わが国の産業競争力を強化に資すると言える。

【問題点・改善とする所見】

- ・（A 委員）今後、本技術が普及した場合のユーザー利用の可能性が見通すことができない。
- ・（E 委員）早い時点で CCS のユーザーとなる電力会社の協力を取り付けたことは非常に良いことであるが、潜在的なユーザーを念頭に、積極的なユーザーベースの拡大のシナリオもロードマップに描いて欲しい。

5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性

研究開発計画、研究開発実施者の適格性、研究開発の実施体制は妥当である。エンジニアリング会社、CO2 回収設備のユーザーとなり得る電力会社と連携し、外部学識経験者等の意見を取り入れる体制で実施しており評価できる。

他方、実ガス試験の次の段階となる大規模実証プロジェクトでは、ファイナンスの視点からの技術的、制度的な助言を得るためにも、金融セクターの参加を促すことも必要と考える。また、今後スケールアップ等において、様々な技術課題が出てくると思われるが、オープンイノベーションの手法は非常に効果的であり、技術課題の早期解決が必要な場合は、プロジェクト体制を超えた外部の知見や技術を利用することも視野に入れて活動したほうがよいと考える。

【肯定的所見】

- ・（A 委員）研究開発計画、研究開発実施者の適格性、研究開発の実施体制は概ね適切であると思われる。
- ・（B 委員）実ガス試験の技術的知見を有する民間企業が参画し、CO2 回収設備のユーザーとなる電力会社の協力を得ながら、外部学識経験者等の意見を取り入れる体制で実施しており、評価できる。
- ・（C 委員）ラボ試験からベンチ試験、実ガス試験のフェーズに入り、エンジニアリング会社、電力会社と連携する体制を構築したことは的を射ている。また、CCS の国際標準化を進めている ISO/TC265 の回収に関する WG において、日本が WG コンビーナ（主査）と事務局を務め、議論を主導していることは評価できる。同 WG に実例データなどを提供していくためにも、実ガス試験、そして大規模実証の実績を他国に先駆けて実施する必要がある。
- ・（D 委員）国プロとして妥当な研究開発の実施体制、マネジメント体制であり、システム開発、材料開発がうまく機能している。ユーザー企業を入れて、意見を聞くなど、実用化に向け有意義な組織となっている。
- ・（E 委員）プロジェクト体制の中に、ユーザー企業の参画を得たことは今後のプロジェクトの推進に、大きなプラスとなることであり、異なる立場から様々なフィードバックを得ることが期待できる。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（A 委員）知財の取扱についての戦略及びルールが十分に説明されたとは思えない。
- ・（B 委員）知財について、特許の一括管理（共有化）、クロスライセンス、独占的实施等が有効と判断する目安のようなものがあれば、より適切と考える。
- ・（C 委員）CCS が普及していく場合、ゼロエミッション電源の 1 つとして制度的に高い設備利用率を保証した上で、プロジェクトファナンスなど金融セクターのサポートが必要になる。実ガス試験の次の段階となる大規模実証プロジェクトでは、ファイナンスの視点からの技術的、制度的な助言を得るためにも、金融セクターの参加を促すことが必要と考える。
- ・（E 委員）今後スケールアップ等において、様々な技術課題が出てくると思われるが、実現までのスピード化を考え、今回のプロジェクト体制を超えた外部の知見や技術を利用することも視野に入れて欲しい。実用化段階では、オープンイノベーションの手法は非常に効果的であり、技術課題の早期解決が必要な場合は、国内、海外を含めた外部の有効な技術を利用することも視野にいて活動していただきたい。

6. 費用対効果の妥当性

C02 排出量削減のための制度設計など不確定要素が多いものの、削減を可能とする技術開発は必要であり、示された費用対効果が実際に適用されれば、その効果は絶大である。

他方、費用対効果は実用された時期により異なると考えられるため、再生可能エネルギーのコストと比較するなど、引き続き分析が必要である。

【肯定的所見】

- ・（A 委員）示された費用対効果が実際に適用されれば、その効果は絶大である。
- ・（B 委員）C02 排出量削減のための制度設計など不確定要素が多いものの、削減を可能とする技術開発は必要であり、従来技術より大幅な分離回収コスト削減が期待できることから妥当である。
- ・（C 委員）固体吸収方式によって回収コストが 4,200 円/t-C02 から 2,000 円/t-C02 に下がった場合、その分、カーボンコストの水準が下がっても、「CCS 付き石炭火力」の経済性が得られることになる。発電事業者にとっての費用対効果は、顕在化したカーボンコストとの差になるため、現時点で、それを議論しても大きな意味を持たないと考える。
- ・（D 委員）本目的について十分な効果があり、さらに波及効果も大きいので、費用対効果としては申し分ない。
- ・（E 委員）パリ協定では 2030 年までに 2013 年度の排出量 26%を削減目標に掲げ、2050 年までに 80%の温室効果ガスの排出削減を目指している。2015 年 10 月に出された環境省レポート「2050 年を見据えた 温室効果ガスの大幅削減に向けて」によれば、2050 年の目標を達成するには、CCS において約 2 億トン/年の C02 回収が必要とされている。この数字をベースに試算すると、本事業の技術成果により 1,200 円～2,200 円/t-C02 の便益を想定すると、2,400 億円/年～4,400 億円/年の効果が見込まれ、当事業の研究開発にくらべても大きな効果が見込まれる。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（A 委員）費用対効果は実用された時期により異なると考えられるため、引き続き分析が必要と思われる。

・（Ｃ委員）これまで「CCS 付き石炭火力」は、CCS 付きでも再生可能エネルギーよりも安いという前提があったと思われる。例えば、5000 円/t-CO₂ のカーボンコストが顕在化した場合、仮に CCS コスト 4000 円/t-CO₂（回収コスト 2,000 円/t-CO₂、貯留コスト 2,000 円/t-CO₂）とした場合、CCS によって 1000 円/t-CO₂ の便益が得られ、導入する意味がある。だが、太陽光・風力発電の発電コストが急速に下がっており、海外では、3 円/kWh を切るメガソーラーの PPA（電力購入契約）が登場し、陸上・洋上風力発電でも 10 円/kWh を下回る応札例が出てきている。もちろん太陽光・風力は自然変動電源のため、大量導入した場合、需給バランスを維持して系統負荷を抑制するには蓄電池の併設など「平準化のコスト」がかかる。今後、「CCS 付き石炭火力」の便益を考える場合、例えば「蓄電池併設型の太陽光・風力」の発電コストよりも、どの程度安いかなど、「ゼロエミッション電源」の 1 つとしてのコスト競争力という視点も必要になってくるとと思われる。

7. 総合評価

外部不経済の CCS 事業においては、国が道筋をつけて事業をランディングさせる必要があるため、本事業の意義は高いと考える。CCS 実用化に向けて、コストの大部分を占める分離回収分野をターゲットとして、事業開始・中間評価・終了時評価とステップ毎に CO₂ 分離回収のコストや消費エネルギーの目標値を定め、中間評価時点で概ね目標を達成しており、着実な研究開発が進められている。また、エンジニアリング会社や CO₂ 回収設備のユーザーとなり得る電力会社と連携し、外部学識経験者等の意見を取り入れる体制を構築しており、実用化を視野に入れた研究開発マネジメント体制である点も評価できる。また、本技術の成果を最大限に生かすため、導入シナリオや制度的な仕組みの導入を早く検討する必要性を感じる。

他方、国際的優位性や、市場の占有率などは事業時期に強く依存し、再エネの導入状況を視野に入れる必要も有り、実用化に向けたスピードも最重要の指標のひとつと考える。技術課題の早期解決に向けてオープンイノベーション的な手法を活用するなどし、早期の実用化を期待したい。また、わかりやすい説明を様々な形で示すなど、広く国民に理解されるような取り組みも必要と考える。

【肯定的所見】

・（Ａ委員）外部不経済の CCS 事業においては、国が道筋をつけて事業をランディングさせる必要があるため、本事業の意義は高い。研究計画に沿って固体吸収材の開発は進んでおり、早期の実用化を強く望む。

・（Ｂ委員）CCS 実用化に向けて、コストの大部分を占める分離回収分野をターゲットとして事業開始、中間評価、終了時評価とステップ毎に CO₂ 分離回収のコストや消費エネルギーの目標値を定め、中間評価時点で概ね目標を達成しており、着実な技術開発が進められていると考えられる。

また、CO₂ 回収設備のユーザーとなる電力会社の協力を得ながら、外部学識経験者等の意見を取り入れる体制を構築しており、実用化を視野に入れた柔軟な研究開発マネジメント体制である点も評価できる。

・（Ｃ委員）ベンチスケールで既に従来の液体アミンベースに比べ、分離回収エネルギーの半減に成功したことは、基本技術の「筋の良さ」を感じさせる。化学プラントは、一般的にスケールアップにより、熱ロスが低減する方向になることを考えれば、目標達成も期待できる。再生温度 60 度を実

現したため、復水器入口の蒸気など未利用排熱を利用できる可能性も大きく、その場合、発電効率の低下や追加的なランニングコストを伴わずに分離・回収できる道が拓ける。目標である 1.5GJ/t-CO₂ の達成に向け、これからが正念場だが、スケールアップに伴う最適化に加え、固体のハンドリングという開発要素もあり、経験工学的にノウハウを蓄積していく面の多いことは理解できる。

・（D 委員）CO₂ 分離回収エネルギーを軽減するための戦略が立てられ実現できたため、中間評価段階でのコスト目標値を十分にクリアしており、最終目標値も達成できると期待できる。再生温度を 60℃に抑えることができ、廃熱等のエネルギーを利用できる材料やシステムの開発に成功したことが成功のカギといえる。素晴らしい成果である。

・（E 委員）本事業が予定通り研究目標を達成し推進されていることは非常に喜ばしいことである。しかし、炭素取引価格の大幅な低下など外部環境の変化も激しく、本技術の本格的な適用タイミングでは当初予想していた利用環境が想定と異なる状態も想定しうる状況にある。本技術の成果を最大限に生かすためにも外部環境の変化も視野に入れ、タイムラインから考えた導入シナリオを国としての制度的な仕組みの導入とともに早く検討する必要性を感じる。

【問題あり・要改善とする所見】

・（A 委員）国際的優位性や、市場の占有率などは事業時期に強く依存するため、早期の実用化を望む。また、他の技術、例えば再生エネルギーや水素エネルギーなどが普及し始めると、本事業の効果は限定的となる。CCS は必要な技術であることは疑いのないことなので、費用対効果からも早期の実用化を期待したい。

・（C 委員）太陽光・風力の発電コストが急速に下がり、海外では 10 円/kWh を切る PPA（電力購入契約）例が出てきており、国内でも、今後、急速に下がっていくことが見込まれる。「CCS 付き石炭火力」は、今後、ゼロエミッション電源として、カーボンコストのない再エネとの競合も視野に入る必要も出てくる。その意味では、最終目標である回収エネルギー「1.0GJ/t-CO₂」に加え、未利用排熱を利用した追加的なランニングコスト・ゼロを目指したシステム開発が望まれる。

・（D 委員）貯留・固定化において、広く国民に理解されるような取り組みが必要である。わかりやすい説明を様々な形で示していくと良い。

・（E 委員）実用化研究における推進においては、スピードも最重要の指標と考え、場合によっては技術課題の解決に本プロジェクト関係者以外の協力も視野に入れた、オープンイノベーション的な手法の採用も考えて頂きたい。

8. 今後の研究開発の方向等に関する提言

ベンチスケールから実ガス試験（パイロットスケール）へ10倍程度のスケールアップを計画しているが、経験上、プラント系実証試験における2ケタのスケールアップはハードルが高いと認識しており、十分検討のうえ、実ガス試験の規模を計画すべき。今後、予期せぬトラブルが発生する可能性もあるが、原因を究明し、今後の実用化に向けたノウハウとして蓄積すべき。

再生可能エネルギー（特に、太陽光と風力）の発電コストが急速に低下している中、「CCS 付き石炭火力」の存在意義を高めるには、更なるコスト低減が求められる。

CCS を進めるには、分離回収技術だけでなく貯留技術実証も早急に安全に進める必要があり、広く国民の理解を深め、貯留場所の確保を促進すべき。

ユーザー企業のニーズや運用面における課題など、実証・商用化を見越しながらプロジェクトを推進しつつ、オープンイノベーションの考え方を利用するなど本技術の潜在利用者を積極的に探す活動も行うべき。

【各委員の提言】

・（A 委員）欧州や豪州なども CCS 技術の確立を目指し、大型プロジェクトが進行する中、本プロジェクトの固体吸収材が諸外国のプロジェクトに比べどの程度優れているかの比較を明らかにして頂きたい。

・（B 委員）ベンチスケールから実ガス試験（パイロットスケール）へ10倍程度のスケールアップを計画されているが、我々のプラント系実証試験における経験上、2ケタのスケールアップはハードルが高いと認識しており、スケールアップの規模について十分検討のうえ、実ガス試験の規模を計画されたい。今後、実ガス試験（パイロットスケール）の段階に入るため、予期しないトラブルが発生する可能性がある。本事業の CO2 分離回収コスト、エネルギーの最終目標の達成はもとより、万一トラブルが発生した場合も、その原因をしっかりと究明し、今後の実用化に向けたノウハウとして蓄積していただきたい。CO2 分離回収分野をはじめ、CCS の技術開発は先進的な取組であるものの、CCS 導入インセンティブがない中で長期にわたる研究開発期間、多額の研究開発費が必要なことから、引き続き、国が主導的に実施いただければと考える。

・（C 委員）再生可能エネルギー、なかでも太陽光と風力の発電コストが急速に低下している中、「CCS 付き石炭火力」の存在意義を高めるには、より一層の低コストが求められる。海外では、3 円/kWh を切るメガソーラーの PPA（電力購入契約）が登場し、陸上・洋上風力発電でも 10 円/kWh を下回る応札例が出てきている。平成 27 年 5 月に開催した経産省・発電コスト検証ワーキンググループの報告書では、2030 年モデルにおけるメガソーラーの発電コストを 12.7～15.6 円/kWh（政策経費含む）、陸上風力 13.6～21.5 円/kWh（同）、洋上風力 30.3～34.7 円/kWh（同）と予測したが、海外ではこれを大幅に下回る水準までコスト低減が進んでいる。国内の太陽光・風力発電も、長期的には国際水準に収斂していく可能性もある。同発電コスト検証 WG では、2030 年モデルにおける石炭火力の発電コストを 12.9 円/kWh とし、その際、カーボンコスト 4000 円程度/t-CO2 を前提に、CO2 対策費 4.0 円/kWh を折り込んでいた。この CO2 対策費を CCS のコストとすれば、固体吸収材の 2,000 円/t-CO2 は、この水準（12.9 円/kWh）に近いと推察できる。従って、今回の目標を達成しても、10 円/kWh を下回った太陽光・風力に対して競争力がないことになる。もっとも、自然変動電源である風力・太陽光を火力発電のように需要に応じた供給減にするためには蓄電池が必要で、その場合、kWh 当たりのコストは 2 倍近くなる。「CCS 付き石炭火力」のコスト目標は、蓄電池併設メガソーラー・風力

のコストを下回る必要があり、それを目標として意識すべきと考える。ここにきて、定置型蓄電池のコストも大幅に下がっており、今後ともその価格動向などを注視していく必要がある。並行して、再生熱 60 度の特徴を生かし、未利用排熱を活用した追加的なランニングコストの発生しないシステムの実証を急ぐべきと考える。

・(D 委員) Carbon Capture の方はこの事業によって期待できる水準に達しており、現在の計画を進めることで、実用化可能と期待している。実際に CCS を進めるには、Storage 技術を早急に安全に進める必要がある。そのためには、広く国民に貯留・固定方法の内容について理解してもらい、貯留場所の確保を促進すべきである。

・(E 委員) 実ガス試験をユーザー企業の協力とともに推進できることは非常に大きな意味を持つと思われる。ユーザー企業のニーズや運用面における課題など、実証・商用化を見越しながらプロジェクトを推進されていくことを期待する。新規適用先の分野は CO2 分離回収技術の幅広い利用につながるものであり、小規模であれば現在の技術の応用で早期商用化も実現できる可能性もあり、本技術のシナジ的な活用が可能となる。これもまたオープンイノベーションの考え方を利用して本技術の潜在利用者を積極的に探す活動を行って頂きたい。

<上記提言に係る担当課室の対処方針>

ベンチスケールから実ガス試験（パイロットスケール）へのスケールアップ規模については、慎重に検討を行う。

実ガス試験中のトラブルについては、原因究明と対策を確りと行い、また、実用化に向けたノウハウとして蓄積していく。

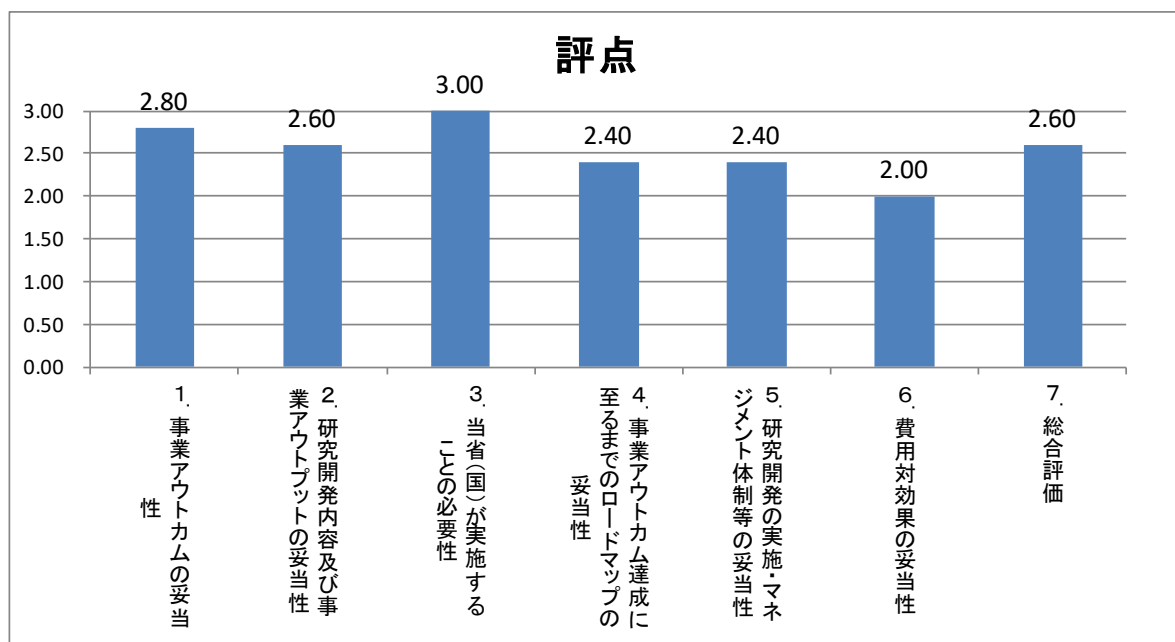
目標達成にとどまらず、少しでもコスト削減ができるよう、研究開発を行っていく。

CCS 技術の実用化に向け、本プロジェクトの他、「大規模 CCS 実証事業」、「貯留適地調査事業」、「安全に CCS を実施するための研究開発事業」等を着実に進めていく。

ユーザーとなり得る企業のニーズや運用面における課題を整理し、実証・商用化段階での、本技術の潜在利用者を想定し、プロジェクトを推進する。

9. 評点法による評価結果

	評点	A委員	B委員	C委員	D委員	E委員
1. 事業アウトカムの妥当性	2.80	3	3	2	3	3
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.60	2	3	2	3	3
3. 当省(国)が実施することの必要性	3.00	3	3	3	3	3
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性	2.40	2	3	2	3	2
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	2.40	2	3	2	3	2
6. 費用対効果の妥当性	2.00	1	2	1	3	3
7. 総合評価	2.60	2	3	2	3	3



【評価項目の判定基準】

評価項目 1. ～ 6.

3点：極めて妥当

2点：妥当

1点：概ね妥当

0点：妥当でない

評価項目 7. 総合評価

3点：事業は優れており、より積極的に推進すべきである。

2点：事業は良好であり、継続すべきである。

1点：事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。

0点：事業を中止することが望ましい。