

CCS研究開発・実証関連事業
複数課題プログラム
技術評価報告書（中間評価）
（案）

平成31年2月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成28年12月21日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成29年5月改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。下記の4事業については、平成30年度に当省から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）へ移管・実施しているものであるが、今回の評価対象期間は当省が実施したことから、当省において評価を実施し、評価結果をNEDOと共有する。

経済産業省において実施した「CCS 研究開発・実証関連事業（複数課題プログラム）」は、地球温暖化対策の重要な選択肢の一つとして期待されている二酸化炭素回収・貯留（CCS：Carbon dioxide Capture and Storage）技術の実用化に資するべく、大規模 CCS 実証試験、CO₂ 分離回収コストの低減及び CO₂ 貯留の安全性確保を目指した研究開発を実施するもので、以下の研究開発課題（プロジェクト）から構成されている。

- A 苫小牧における CCS 大規模実証試験事業
（平成 21(2009)年度から 2022 年度）
- B 安全な CCS 実施のための CO₂ 貯留技術の研究開発事業
（平成 28(2016)年度から 2020 年度）
- 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）
（平成 27(2015)年度から平成 31(2019)年度）
- D 二酸化炭素回収技術実用化研究事業（二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業）
（平成 27(2015)年度から平成 31(2019)年度）

なお、「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）」及び「D 二酸化炭素回収技術実用化研究事業（二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業）」は、平成 29 年度に中間評価を実施しており、今回のプロジェクト評価対象事業から除く。

今回の評価は、上記の CCS 研究開発・実証関連事業（複数課題プログラム）及びこの構成要素である研究開発課題（プロジェクト）に関する評価であり、実際の評価に際しては、省外の有識者からなる CCS 研究開発・実証関連事業（複数課題プログラム）中間評価検討会（座長：宝田 恭之 群馬大学大学院 理工学府環境創生部門 特任教授）を開催した。

今般、当該検討会における検討結果が技術評価報告書の原案として産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ（座長：森 俊介 東京理科大学 理工学部経営工学科 教授）に付議され、内容を審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成 31 年 2 月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ

委員名簿

座長 森 俊介 東京理科大学理工学部経営工学科教授

大島 まり 東京大学大学院情報学環教授
東京大学生産技術研究所教授

亀井 信一 株式会社三菱総合研究所研究理事

斉藤 栄子 VALUENEX 株式会社ソリューション事業推進本部本部長代理

鈴木 潤 政策研究大学院大学教授

高橋 真木子 金沢工業大学大学院イノベーションマネジメント研究科教授

津川 若子 東京農工大学大学院工学研究院准教授

西尾 好司 株式会社富士通総研経済研究所上席主任研究員

浜田 恵美子 日本ガイシ株式会社取締役

(敬称略、座長除き五十音順)

CCS研究開発・実証関連事業（複数課題プログラム）

中間評価検討会

委員名簿

座長 宝田 恭之 群馬大学大学院 理工学府環境創生部門 特任教授

金子 憲治 日経BP総研 クリーンテックラボ 上席研究員

川上 浩良 首都大学東京 都市環境学部 教授

栗原 正典 早稲田大学 創造理工学部 環境資源工学科 教授

芝尾 芳昭 イノベーションマネジメント株式会社 代表取締役

杉村 英市 電気事業連合会 技術開発部長

（敬称略、座長除き五十音順）

CCS研究開発・実証関連事業（複数課題プログラム）

の技術評価に係る省内関係者

1. 複数課題プログラム

【中間評価時】

（平成 30 年度）

産業技術環境局 環境政策課 地球環境連携室長 川口 征洋（事業担当室長）

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 大本 治康

2. 研究開発課題（プロジェクト）

A. 苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業

【中間評価時】

（平成 30 年度）

産業技術環境局 環境政策課 地球環境連携室長 川口 征洋（事業担当室長）

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 大本 治康

（平成27年度）

産業技術環境局 環境政策課 環境調和産業・技術室長 永澤 剛（事業担当室長）

大臣官房参事官（イノベーション推進担当）

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 岩松 潤

（平成23年度）

産業技術環境局 環境政策課地球環境連携・技術室長 秦 茂則（事業担当室長）

産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 岡本 繁樹

【事前評価時】（事業初年度予算要求時）

産業技術環境局 環境政策課地球環境技術室 三橋 敏宏（事業担当室長）

B. 安全なCCS実施のためのCO2貯留技術の研究開発事業

【中間評価時】

（平成 30 年度）

産業技術環境局 環境政策課 地球環境連携室長 川口 征洋（事業担当室長）

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 大本 治康

【事前評価時】

(平成27年度)

産業技術環境局 環境政策課 地球環境連携室長 永澤 剛 (事業担当室長)

大臣官房参事官 (イノベーション推進担当)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 福田 敦史

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)

【中間評価時】

(平成29年度)

産業技術環境局 環境政策課 地球環境連携室長 松村 亘 (事業担当室長)

大臣官房参事官 (イノベーション推進担当)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 竹上 嗣郎

【事前評価時】

(平成26年度)

産業技術環境局 環境政策課 環境調和産業・技術室長 永澤 剛 (事業担当室長)

大臣官房参事官 (イノベーション推進担当)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 福田 敦史

D. 二酸化炭素回収技術実用化研究事業(二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業)

【中間評価時】

(平成29年度)

産業技術環境局 環境政策課 地球環境連携室長 松村 亘 (事業担当室長)

大臣官房参事官 (イノベーション推進担当)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 竹上 嗣郎

【事前評価時】

(平成26年度)

産業技術環境局 環境政策課 環境調和産業・技術室長 永澤 剛 (事業担当室長)

大臣官房参事官 (イノベーション推進担当)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 福田 敦史

CCS研究開発・実証関連事業（複数課題プログラム）

中間評価の審議経過

◆ 「CCS研究開発・実証関連事業（複数課題プログラム）」中間評価検討会 第1回評価検討会（平成30年11月5日）

- ・ 事業の概要について
- ・ 評価の進め方について

第2回評価検討会（書面審議）回答期間：平成30年12月13日～12月25日

- ・ 議決日 ：平成30年12月25日
- ・ 技術評価報告書（中間評価）（案）について

◆ 産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ（平成31年2月22日）

- ・ 技術評価報告書（中間評価）（案）について

目 次

はじめに

産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ
委員名簿

CCS研究開発・実証関連事業（複数課題プログラム）中間評価検討会 委員名簿

CCS研究開発・実証関連事業（複数課題プログラム）の技術評価に係る省内関係者

CCS研究開発・実証関連事業（複数課題プログラム）中間評価の審議経過

目次

第1章 複数課題プログラムの概要及び評価	1
Ⅰ. 複数課題プログラムの概要	1
1. 事業アウトカム	4
2. 複数課題プログラムの内容及び事業アウトプット	4
3. 当省(国)が実施することの必要性	5
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	5
5. 複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等	5
6. 費用対効果	6
Ⅱ. 外部有識者(評価検討会等)の複数課題プログラム全体評価	7
1. 事業アウトカムの妥当性	7
2. 複数課題プログラムの内容及び事業アウトプットの妥当性	9
3. 当省(国)が実施することの必要性	10
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	11
5. 複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等の妥当性	12
6. 費用対効果の妥当性	14
7. 総合評価	15
第2章 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)の概要及び評価	17
A. 苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業	17
Ⅰ. 研究開発課題(プロジェクト)概要	17
1. 事業アウトカム	18
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	19
3. 当省(国)が実施することの必要性	27
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	27
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	29
6. 費用対効果	33
7. 用語集	34

Ⅱ. 外部有識者(評価検討会等)の評価.....	35
1. 総合評価.....	35
Ⅲ. 評点法による評価結果.....	38
B. 安全な CCS 実施のための CO2 貯留技術の研究開発事業	39
Ⅰ. 研究開発課題(プロジェクト)概要.....	39
1. 事業アウトカム	40
2. 事業アウトプット.....	41
3. 当省(国)が実施することの必要性	49
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	50
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	51
6. 費用対効果	54
7. 用語集	56
Ⅱ. 外部有識者(評価検討会等)の評価.....	60
1. 総合評価.....	60
Ⅲ. 評点法による評価結果.....	63
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).....	64
Ⅰ. 研究開発課題(プロジェクト)概要.....	64
1. 事業アウトカム	65
2. 研究開発内容及び事業アウトプット.....	66
3. 当省(国)が実施することの必要性	69
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	69
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	70
6. 費用対効果	74
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).....	75
D. 二酸化炭素回収技術実用化研究事業(二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業	87
Ⅰ. 研究開発課題(プロジェクト)概要.....	87
1. 事業アウトカム	88
2. 研究開発内容及び事業アウトプット.....	90
3. 当省(国)が実施することの必要性	93
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ	93
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等	94
6. 費用対効果	99
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).....	100
第3章 今後の研究開発の方向等に関する提言.....	111
第4章 産業構造審議会評価ワーキンググループの所見及び同所見を踏まえた改善点等.....	116

第1章 複数課題プログラムの概要及び評価

I. 複数課題プログラムの概要

複数課題プログラム名	CCS研究開発・実証関連事業
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>複数課題プログラムの目的・概要</u> ＜複数課題プログラム全体＞ 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ある。CCSは、温室効果ガス削減効果が大いこと等から地球温暖化対策の選択肢の一つとして世界的に期待されており、国際エネルギー機関（IEA；International Energy Agency）が公表したEnergy Technology Perspective 2017では、2060年までの累積CO₂削減量の14%をCCSが担うとされている。現在、海外では大規模CCSプロジェクトが17件稼働しており（13件がCO₂-EOR、4件が深部塩水層に貯留するCCS）、5件が建設中となっている。 我が国においても、エネルギー基本計画（平成30年7月閣議決定）において、「2020年頃のCO₂回収・有効利用・貯留（CCUS）技術の実用化を目指した研究開発、国際機関との連携、CCSの商用化の目途等も考慮しつつできるだけ早期のCCS Ready導入に向けた検討や、国内における回収・輸送・圧入・貯留の一連のCCSのプロセスの実証と貯留適地調査等を着実に進めるなど、環境負荷の一層の低減に配慮した石炭火力発電の導入を進める。」との方針が示されるなど、CCS技術を重要な気候変動対策の一つとして位置づけている。 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。 そのため、本プログラムでは、CCS技術の実用化に資するべく、大規模CCS実証試験、CO₂分離回収コストの低減及びCO₂貯留の安全性確保を目指した研究開発を実施している。 ＜A. 苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業＞ CO₂分離回収から圧入・貯留、モニタリングに至るまでのトータルでのCCS技術の確立を目指し、北海道苫小牧市において、実際のCO₂排出源から分離回収したCO₂を用いて、実用に近い規模（年間10万トン規模）でのCCS大規模実証試験を実施する。また、CCS実施に際しての法規制等の現状と課題を明らかにするとともに、CCSに対する国民の認知度を高め理解を深めるために種々の取り組みを行う。	

＜B. 安全な CCS 実施のための CO2 貯留技術の研究開発事業＞

安全かつ経済的な実用化規模（100 万トン規模/年）での CO2 圧入・貯留技術の確立に向け、我が国の不均質で地質構造が複雑な貯留層に適した、実用化規模（100 万トン規模/年）の CCS における CO2 貯留安全管理技術を開発する。

＜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）＞

＜D. 二酸化炭素回収技術実用化研究事業（二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業）＞

CCS 事業に係るコストのうち、CO2 分離回収コストがその 6 割程度を占めると試算されており（RITE, 2005 年）、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非常に重要である。

そこで、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）に係る研究開発（C：先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業）と、石炭ガス化複合発電（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（D：二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業）の 2 つのテーマを実施している。

＜複数課題プログラム全体＞の予算額等（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 21 (2009) 年度	2022 年度	平成 30 (2018) 年度	2023 年度	—
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
9, 536	7, 544	9, 298	58, 288	82, 843

＜A. 苫小牧における CCS 大規模実証試験事業＞の予算額等（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 21 (2009) 年度	2022 年度	平成 30 (2018) 年度	2023 年度	日本 C C S 調査株式会社
平成 27 (2015) FY 執行額	平成 28 (2016) FY 執行額	平成 29 (2017) FY 執行額	総執行額	総予算額
9, 076	6, 133	7, 800	54, 919	73, 662

※総執行額は、平成 21～29 年度の執行額の合計

※総予算額は、平成 21～29 年度の執行額と平成 30 (2018) ～2022 年度予算想定額の合計

＜B. 安全な CCS 実施のための CO2 貯留技術の研究開発事業＞の予算額等（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 28 (2016) 年度	平成 32 (2020) 年度	平成 30 (2018) 年度	2021 年度	二酸化炭素地中 貯留技術研究 組合
平成 27 (2015) FY 執行額	平成 28 (2016) FY 執行額	平成 29 (2017) FY 執行額	総執行額	総予算額
—	887	999	1, 886	5, 746

※総予算額は平成 28～29 年執行額と平成 30 (2018) ～2020 年度予算想定額の合計

＜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)＞の予算額等（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
平成 27 (2015) FY 執行額	平成 28 (2016) FY 執行額	平成 29 (2017) FY 執行額	総執行額	総予算額
220	315	330	865	2, 165

※総予算額は平成 27～29 年度執行額と平成 30～31 年度予算想定額の合計

＜D. 二酸化炭素回収技術実用化研究事業 (二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業)＞の予算額等（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	次世代型膜モジ ュール技術研究 組合
平成 27 (2015) FY 執行額	平成 28 (2016) FY 執行額	平成 29 (2017) FY 執行額	総執行額	総予算額
240	209	169	618	1, 270

※総予算額は平成 27～29 年執行額と平成 30～31 年度予算想定額の合計

1. 事業アウトカム

CCS 技術の実用化に資するべく、CO₂ の分離回収、圧入、モニタリングまでのトータルでの CCS 技術の確立に向けた実証試験、CO₂ 分離回収コストの低減及び CO₂ 貯留の安全性確保を目指した研究開発を実施し、プロジェクトごとに設定したアウトカムの達成を目指す。

2. 複数課題プログラムの内容及び事業アウトプット

(1) 複数課題プログラムの内容

CCS 技術の実用化に資するべく、プロジェクトごとに以下の取組を実施する。

< A. 苫小牧における CCS 大規模実証試験事業 >

北海道苫小牧市において、商業運転中の製油所の水素製造装置を排出源として、年間 10 万トン規模で、CO₂ 分離回収から圧入貯留までを一貫して実施し、必要なモニタリングを行うことにより、CCS 実施に必要な操業能力を獲得するとともに、CCS が安全かつ安心できるシステムであることを実証する。

また、CCS 実施に際しての法規制等の現状と課題を明らかにするとともに、CCS に対する国民の認知度を高め理解を深めるための種々の取り組みを行う。

< B. 安全な CCS 実施のための CO₂ 貯留技術の研究開発事業 >

「大規模 CO₂ 圧入・貯留の安全管理技術の確立」、「大規模貯留層を対象とした有効な圧入・利用技術の確立」、「CCS 普及条件の整備、基準の整備」を事業の柱として設定し、それぞれ課題を定め、CCS 実証サイトも活用しつつ研究を進めて行く。

これにより、実用規模 CCS へのアップスケーリング技術の確立、安全な圧入管理や大規模貯留層の適切な性能評価によるリスクと不確実性の低減、モニタリングの効率化による CCS の経済性の向上が実現する。

< 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) >

燃焼排ガス等からの CO₂ 分離回収技術として、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）、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）、ベンチスケール試験設備による燃焼排ガス試験及び経済性評価等を行い、ベンチスケール試験において 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、パイロットスケールで実証可能な技術を完成させる。

< D. 二酸化炭素回収技術実用化研究事業(二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業) >

高圧燃料ガス等からの CO₂ 分離回収技術として、本事業の前に実施した「二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業」（平成 23 年度～26 年度）で開発した膜素材や膜分離システムを基礎として、IGCC プロセスからの排出ガス（実ガス）を用いた実ガス試験を実施し、分離膜の性能、耐久性等に関する技術課題の抽出と解決に向けた取り組みを行う。併せて、耐圧性、耐乾燥性（湿度依存性）、耐久性、耐不純物性等のプロセス適合性についても検討を進め、分離回収コスト 1,500 円/t-CO₂ 以下を実現する膜エレメントを開発し、膜分離システムで実証可能な技術確立を行う。

(2) 事業アウトプット

プロジェクトごとに設定した事業アウトプットの達成に向け、取り組みを実施する。

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

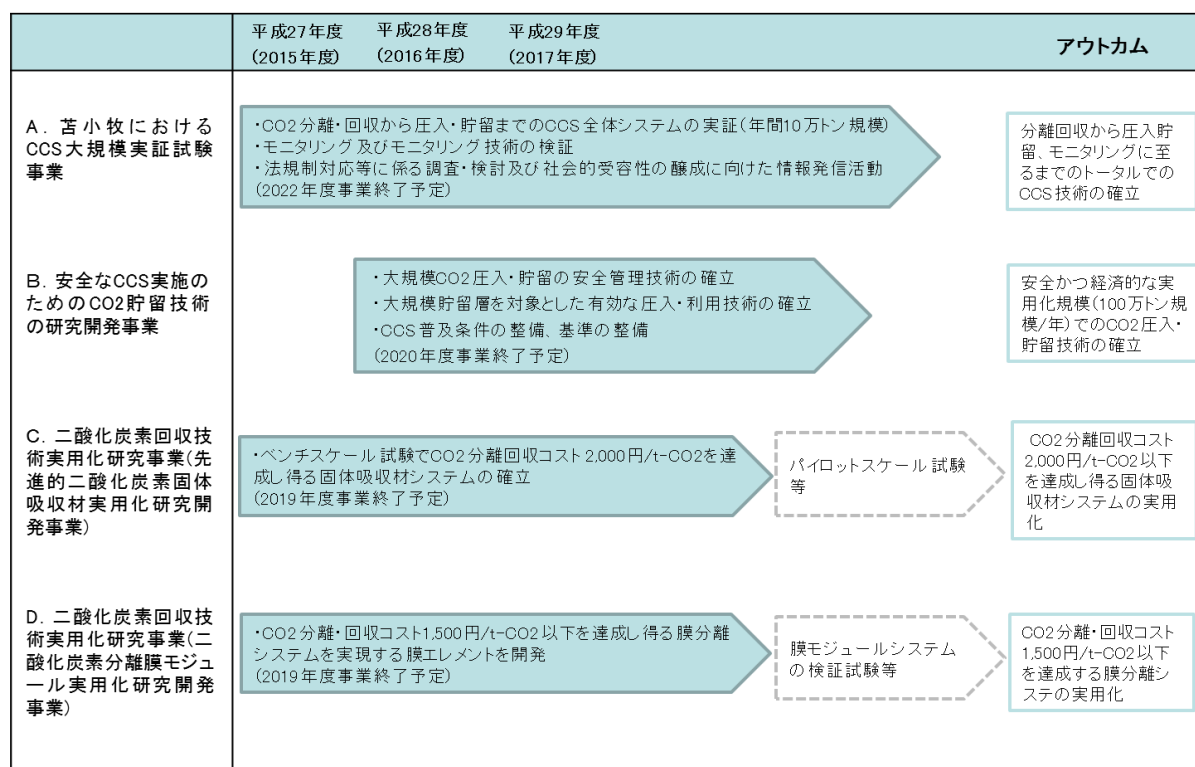


図1-1 各事業アウトカム達成に向けたロードマップ

CO₂ の分離回収、圧入貯留、モニタリングまでのトータルでの CCS 技術の確立に向けた実証試験、CO₂ 分離回収コストの低減及び CO₂ 貯留の安全性確保を目指した研究開発の実施により、CCS 技術の実用化に資するべく、プロジェクトごとに設定したアウトカム達成を目指す。

5. 複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等

本事業は、プロジェクトごとに、それぞれ公募による選定審査手続きを経て、プロジェクトの事業開始年度～平成 29 年度は、経済産業省からの委託事業として実施している。

平成 30 年度からは、高い技術的知見や産学官の専門家との幅広いネットワークを活用して事業の進行全体を管理し、各プロジェクト及び本プログラムの技術的成果及び政策的効果を最大化することを目的として、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）の運営費交付金に移行し、NEDO の委託事業として実施している。

NEDO は、産業技術分野全般に係る技術開発マネジメントを総合的に行う中心的機関として、政府方針に合致する分野において、政府と産業界との間に立ち必要な環境整備等を行いながら、ナショナルプロジェクト（民間企業等のみでは取り組むことが困難な、実用化・事業化までに中長期の期間を要し、かつリスクの高い技術開発関連事業）や実用化促進事業（民間企業等によるテーマ公募型の技術開発関連事業）等に係る技術開発マネジメントを実施し、エネルギー、環境問題の解決等に貢献している。

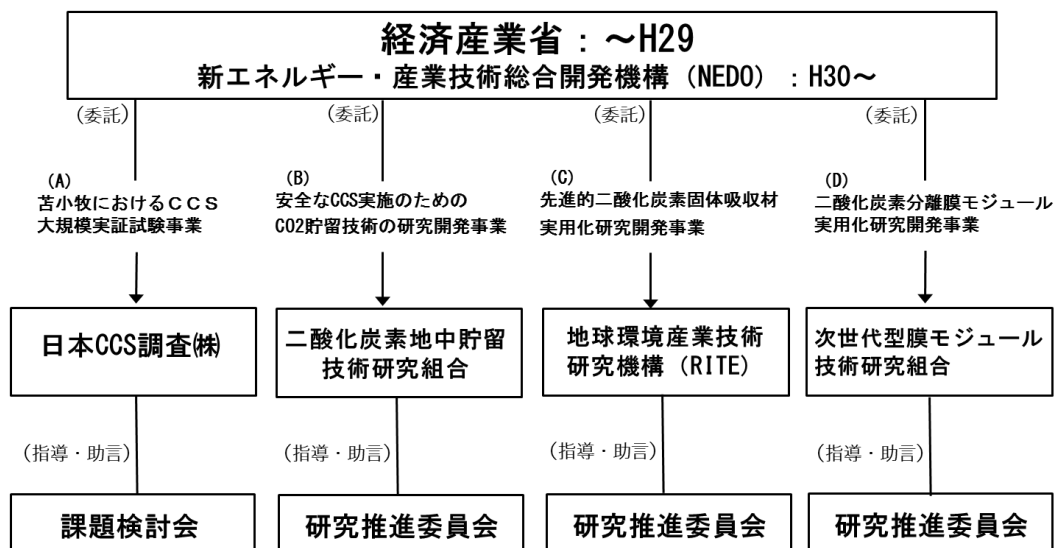


図 1-2 プログラムの実施体制図

6. 費用対効果

CCS 技術については、温室効果ガス削減に極めて重要な役割を果たすものであり、IEA の試算によると気温上昇を 2 度に抑えるシナリオにおいて、CCS 技術がない場合の電力分野の追加コストは全世界において 40 年間で 240 兆円（6 兆円/年）に達すると試算されている。（下図）

本プログラムの実施により、CCS 技術の実用化を図ることは、CO2 削減量への寄与のみならず、経済効果の面からも重要であると考える。

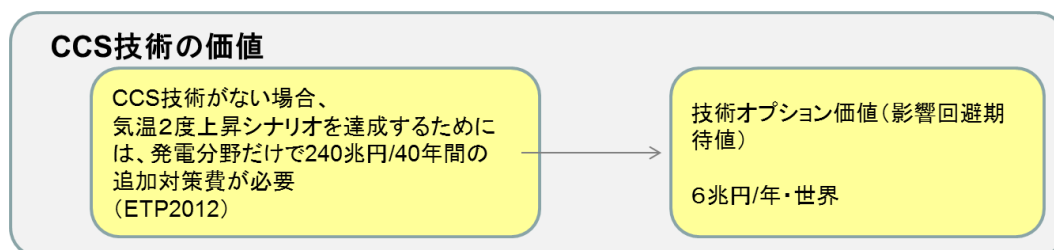


図 1-3 費用対効果の試算例

Ⅱ. 外部有識者（評価検討会等）の複数課題プログラム全体評価

1. 事業アウトカムの妥当性

長岡市で1万トンのCO₂を貯留した実績・知見を活用し、苫小牧市で年間10万トン規模にスケールアップし回収から貯留まで一連のCCSのプロセスの実証により、トータルでのCCSの技術確立を目指すとともに、並行して100万トン規模のCO₂圧入・貯留技術の確立に向けた研究開発事業を実施しており、我が国における圧入実証のスケールアップとして妥当なアプローチと考える。また、CO₂の貯留はCCSの最重要事項の1つであるが、実際に地下にCO₂を圧入することにより、その挙動を把握して、将来の本格的なCO₂貯留の際の指針とすることは、明確かつ極めて妥当なアウトカムである。さらに、低コスト化に向けた有望な技術として、固体吸収材と膜分離法にコスト目標を設定し研究開発を継続することは、十分に意義のあることである。また、本プログラムから得られるデータは、今後のCCSの実用化に向けて有効活用が期待され、意義ある成果と考える。

一方、CCSの実証試験に関してはCO₂圧入量等の数値目標が明確になっているが、周辺技術に関しては、何をもって目標達成と判断するのが曖昧なものもある。これらに関しては、従来手法と比べ精度や効果等の点でどのように異なるのかを常に明確にしながら、事業の推進、結果の報告等を行うことが肝要であり、実用化に向けて、どのレベルまでの検証が妥当なのか再検討する必要があると考える。

【肯定的所見】

- ・本事業のアウトカムは概ね妥当と思われる。（A委員）
- ・長岡市で1万トンのCO₂を貯留した実績・知見を活用し、苫小牧で年間10万トン規模にスケールアップし、並行して100万トン規模のCO₂圧入・貯留技術の確立に向けた研究開発事業を実施するというスケジュールで進めている。これは、大陸に比べて地層の複雑な我が国における圧入実証のスケールアップとして無理のないものであろう。もともと地震が多く、地震とCCSの因果関係に関して疑念が持たれやすい我が国の特殊事情を考慮しても、妥当なアプローチであろう。（B委員）
- ・CCSでのCO₂圧入では、地域自治体・住民からの理解が非常に重要であり、「安全・安心」の確立が求められる以上、拙速にスケールアップして、「安全管理技術を疎かにしている」という印象を与えてしまうことは絶対に避けなければならない。その意味で、100万トンの圧入を前提とした安全管理関連の研究テーマは、必要かつ十分な範囲と内容を備えているように思える。（B委員）
- ・一方、CCSは、将来に想定される炭素価格（排出権価格）に比べて低いコストを達成していないと、将来、民間事業として採用されず、まったく意味がない。その意味では、低コスト化の達成は必須である。その有望なブレークスルー技術として、固体吸収材と膜分離法に絞って研究投資を継続することは、十分に意義のあることであり、CCS関連事業での海外市場開拓という「攻めのCCS」の視点からも評価できる。（B委員）
- ・本プロジェクトから得られるデータは、今後のCCSの実用化に向けては有効活用ができ、意義ある成果である。他の国に先駆けた取り組みでもあり、国際的競争力にも秀でていると思われる。（C委員）
- ・CO₂の貯留はCCSの最重要事項の1つであるが、実際に地下にCO₂を圧入することにより、その挙動を把握して、将来の本格的なCO₂貯留の際の指針とすることは、明確かつ極めて妥当なアウトカムである。また、高度なモニタリングや圧入手法等のCO₂貯留の周辺技術を確立することは、本格

的 CCS の迅速かつ安全な実施や国際競争力の蓄積に繋がる重要な技術開発であり、その目標は明確である。（D 委員）

- ・ 苫小牧における実証実験においては、3 年間で 30 万トンの CO₂ ガスの分離回収と地中貯留の目標に対して、約 2 年半で 20.7 万トンの CO₂ ガスを分離回収し萌別層と滝ノ上層に圧入できている。この間、法規制等に係る対応等により圧入量に対して計画遅れが発生しているものの、実証実験としての成果は順調であり、これまで CO₂ の漏れや CO₂ 圧入による誘発地震の発生も見られず、十分な成果が認められる。（E 委員）
- ・ CCS に対する国民の理解を得るために、国内外にむけて積極的な広報活動を展開しており、CCS プログラムの認知度の向上に貢献している。（E 委員）
- ・ CO₂ 圧入・貯留の安全管理や、CCS 普及条件・基準の整備においては、苫小牧実証実験のデータ等を活用しプログラムの組み立てでプロジェクトを進めている点は評価できる。（E 委員）
- ・ アミンを用いた新規合成固体吸収材において、日米で特許を取得したことは重要なアウトカムとして評価できる（E 委員）
- ・ CO₂ 分子ゲート膜の薄膜化によって、膜性能の向上と製造コストの低減の可能性を高めたことは評価できる（E 委員）
- ・ 「エネルギー基本計画」にもある通り、回収から貯留までの一連の CCS のプロセスの実証により、トータルでの CCS の技術確立を目指すとともに、「CCS の実証および調査事業のあり方に向けた有識者検討会」でも課題として挙げられたコストの低減についても設定されており、評価できる。（F 委員）

【問題あり・要改善とする所見】

- ・ 普及段階への繋がりがやや曖昧。（A 委員）
- ・ コストに関する記載が全くなく、実用化に耐えうるレベルかの判断ができない。他のプロジェクトでそれらが実施されていることは理解しているが、全体を俯瞰して実施している本プロジェクトからも、それらに関する記載が必要ではないか。どこにどれだけのコストが必要かを知らず、実用化に向けての重要な指針となる。（C 委員）
- ・ CCS の実証試験に関しては、CO₂ 圧入量等の数値目標が明確になっているが、周辺技術に関しては、何をもって目標達成と判断するのが曖昧なものがある。これらに関しては、精度や効果等の点で従来手法とどのように異なるのかを常に明確にしながら、事業の推進、結果の報告等を行うことが肝要である。（D 委員）
- ・ 滝ノ上層の CO₂ 圧入量が試掘結果をもとに試算していた想定値に対して数千分の 1 という極めて少ない量しか圧入で来なかったことは、悪い結果ではあるが実証実験としては重要な意味を持つ成果であり、この事実を今後のプログラム活動にどうフィードバックし活用していくのかを検討する必要がある。できれば、火山岩層への注入に関する問題点とその原因を突き止め、CCS プログラムとして火山岩層への適用をどのように進めていくのかをプログラム全体として整理する必要がある。（E 委員）
- ・ 大規模貯留を対象とした有効な圧入・利用技術の確立においては、現時点のロードマップが苫小牧のような大規模な実証実験を通しての技術確立となっておらず、他のプロジェクトにおける技術確立のレベルと比べると一段落ちる実験でとどまることになる。実用的な観点から、どのレベルまでの検証が妥当なのかも再検討する必要性を感じる。（E 委員）

2. 複数課題プログラムの内容及び事業アウトプットの妥当性

圧入規模や分離回収エネルギー・コストなど定量化できる項目については、目標値を明確に設定し事業が進められており、当該プログラムの内容は妥当であると言える。アウトプットに関しては、論文の発表や特許の取得に繋がると考えられるものも多く、研究開発は適切に遂行されていると判断できる。また、ほぼすべての事業アウトプットにおいて計画通り事業が進められ、目標値が達成されていることは、評価できる。

一方、研究的な要素が強い課題に関しては、どのように実践に繋がるのかを明示することを最終的なアウトプットとすべきであり、本プログラムにおいての最終的な技術の完成レベルをどこに設定するのか時間軸を含めて検討が必要である。また、コスト競争性の観点から、経済的優位性についての検討も必要である。

【肯定的所見】

- ・プログラムの内容は明確にされている。（A委員）
- ・苫小牧での CCS 大規模実証に関しては、調査から準備、操業に至るステージごとに必要な事項が、技術的、制度的、そして社会的受容性の面から、挙げられており、概ね適切であろう。特に技術的には 2 段吸収法が軌道に乗り、砂岩層への注入は順調で、モニタリングによる結果と事前のシミュレーションがほぼ一致するなど、CO₂ 圧入とモニタリング自体は順調に推移している。（B委員）
- ・指標、目標値が明確である。関連する論文発表、特許出願などの成果も十分であった。（C委員）
- ・当該プログラムの内容は明確で、レベルも高い。また、アウトプットに関しては、論文の発表や特許の取得に繋がると考えられるものも多く、研究開発は適切に遂行されていると判断できる。（D委員）
- ・2018 年 9 月末時点で累積圧入量は約 20.7 万トンを達成し、想定していた設備定格能力の 30%の負荷でも安定して操業ができることを確認できたことは予想以上の成果となっている。また、これまでの運用を通して圧入による微小振動が発生していないこともデータで示せたことはサイエンス的観点から CCS の安全性を示せたことであり意義がある。（E委員）
- ・CO₂ 漏出においても継続的に調査を行い、その兆候や恐れがないことも確認できており、さらに 3 次元弾性波探査データによる累積圧入量約 6 万トンの CO₂ の萌別層内での可視的と CO₂ 挙動予測シミュレーションによる貯留の整合性の確認により安全性が担保できたことも実証実験における重要な成果として評価される。（E委員）
- ・圧入安全管理システムの開発においては、苫小牧サイトでの OBC 受信記録を利用し、2015 年 2 月から 2016 年 1 月までに報告されている地震に関して従来法（STA/LTA）と新規手法（SDAR）を比較検証し新規手法の優位性をデータとして示したとは評価できる。（E委員）
- ・圧入規模や分離回収エネルギー・コストなど定量化できる事象については、目標値を明確に設定し事業を進めている。また、ほぼすべての事業アウトプットにおいて計画通り事業が進められているとともに、目標値が達成されていることから、評価できる。（F委員）

【問題あり・改善とする所見】

- ・経済的優位性については検討が必要。（A委員）
- ・社会的受容性の向上に関しては、課題もある。今年 9 月に発生した北海道胆振東部地震では、長岡サイトでの CCS 実証の際と同様、一部のネットやブログで「CCS が地震を誘発したのでは」という

疑念の声があった。日本 CCS 調査会社は、地震後に CCS との因果関係がないことを説明するリリースをウェブに掲載したが、より丁寧な解説が必要だったのではないかと。（B 委員）

- ・日本国内で CCS 事業を本格的に実施できるか否かは、「地震との因果関係」を払拭できるかどうか、「安全・安心」の観点から大きなカギを握る。そうであれば、今回、たまたま起きた近隣の大地震に関し、それを CCS との関連性という視点で、地域や一般市民がどのように受け止め、評価したのかを調査し、今後の広報に生かしていくべきであろう。（B 委員）
- ・経済的優位性を検討するにはコスト競争性が問われるが、本報告にはそれらに記載がなく、判断できない。（C 委員）
- ・実証試験に関しては、既に他国でも（実証のみならず、商業プロジェクトが）実施されている現状を鑑みて、日本の独自性・特殊性等を分かり易く喧伝する必要があると考える。また、研究的な要素が強い課題に関しては、論文発表・特許取得を最終目標とするのではなく、どのように実践に繋がるのかを明示することを最終的なアウトプットとすべきである。（D 委員）
- ・滝ノ上層の結果は本プログラムの重要なアウトプットであり、火山岩層の難しさを証明してくれたものと考えられる。この結果は非常に重要であり、現在本プログラムで進めている貯留ポテンシャル調査にも大きく影響を与えるものと理解するが、プログラム内でこの結果をどのように受け止めこの先のプログラムのシナリオを進めていくのか検討が必要に思える。（E 委員）
- ・CO₂ 貯留量の増加可能とする CO₂ 圧入井や圧力緩和井の最適配置技術やマイクロバブル CO₂ 圧入技術の適用による貯留率の向上はまだ研究段階の技術であり、実機で適用できる技術としての確立が見えにくい。本プログラムにおいての最終的な本技術の完成度レベルをどこに設定するのかを時間軸を含めて検討する必要がある。（E 委員）

3. 当省(国)が実施することの必要性

CCS は利益の向上に資さない CO₂ 削減への対応に特化した技術で、長期にわたる研究開発期間、多額の研究開発費が必要であり、外部不経済であることから、民間企業が主導して実施することは困難であり、国が主導的に実施すべきものとする。

一方、国の予算を使用して実施しており、結果の還元方法、将来の本格操業への貢献等について明示すべきである。

【肯定的所見】

- ・国が主体となって実施することは妥当である。（A 委員）
- ・大きく 3 つある脱炭素のエネルギー技術（再生可能エネルギー、原子力、CCS 付き火力）のうち、ここにきて世界的に再エネの導入が急加速している。これは、再エネ設備、特に太陽光と風力の導入コストが大幅に下がり、新設設備による発電コストと比較すると、一部の国では、石炭火力と競争できる段階になってきたことが背景にある。こうした大きな流れのなかで、炭素コストの顕在化（炭素税や排出権取引）を前提した CCS 技術に関して、その開発や実証が民間ベースで進むことは当面、期待できない。政策リスクと技術リスク、そして、社会的受容性リスクを抱える「CCS の事業化」は、現時点で見通せないからだ。とはいえ、再エネのコストは、国土の広さや気候に大きく左右され、日本が再エネ主体のエネルギー構成で国土の広い大国などに比べて産業競争力を保てるかどうかは未知数なのが現状だ。現実的に考えると、エネルギー多消費産業が雇用を支え、巨大都市が多い一方、国土の狭い日本では、再エネ比率の向上に限界もあると思われる。その場合、原子

力の再稼働やリプレイスが進まなければ、産業や大都市を支えるエネルギーとして「CCS 付き火力」の低コスト化しか手段がなくなる。「低炭素」から「脱炭素」に世界がシフトするなか、脱炭素電源の選択肢の1つとして、日本が「CCS 付き火力」にめどを付けておくことはたいへんに重要だ。

（B委員）

- ・外部不経済である本プロジェクトを長期間実施するには、国が先導して行う必要がある。国が行うことである程度コストを気にせずに実施でき、それが技術的優位性や強硬な知財基盤の構築に繋がる可能性がある。（C委員）
- ・当該プログラムのように、フィールド規模での実証を必要とする事業は、コスト、社会受容性等の観点から、民間企業が主導して実施することは困難であり、まさに国が推進すべき意義が明確であるとする。（D委員）
- ・2016年5月に閣議決定された「地球温暖化対策計画（温対計画）」では、2050年までに温室効果ガスの80%削減を目指すという長期目標を掲げている。温室効果ガスの主要な原因となっているCO₂の削減は日本のみならず世界共通のテーマとなっており、特に日本においては火力発電において発生するCO₂の削減は重要な課題となっている。CCSは様々なCO₂削減施策において、全体として約14%の貢献が見込まれる技術であり、CCS無しには目標達成は困難である。また、国内においては、CO₂を安全に貯留しやすい石油天然ガス油田は少なく日本特有の地層環境に対してCO₂を安全に長期的に貯留する技術を確立しなくてはならない。一方で、CCSは利益の向上に資さないCO₂削減への対応に特化した技術で、外部不経済であるため、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も困難である。したがって、本事業は国民的な課題でありながら経済性がないものを取り扱う以上、国が率先してやるべきものである。（E委員）
- ・先進的な取り組みであり、長期にわたる研究開発期間、多額の研究開発費が必要であり、また、外部不経済である本研究は民間企業にインセンティブが働きにくいことから、国が主導的に実施すべきものであると考えられる。（F委員）

【問題あり・要改善とする所見】

- ・国の予算を使用して実施するのであるから、結果の還元方法、将来の本格操業への貢献等を明示すべきであるが、一部の研究課題には、それらが不明確なものがある。（D委員）

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

事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは、最終目標を見据えて適切に設定されており、知財管理、安全性基準、国際標準化などの観点からも妥当である。苫小牧での実証実験の完了となる2022年までにはCCSの実用化に必要な関連技術は実用化レベルに至るシナリオとなっており整合性がとられている。また、ISO/TC265のWGに参加し情報収集・提供を行い国際標準化に貢献するとともに、日本企業の産業競争力強化に資するよう努めるとあり、評価できる。

一方、CCSの社会的受容性や産業競争力の確保には先手を打つことが求められるため、苫小牧での実証をさらに広報に活用しつつ、分離回収やモニタリング技術などで特許を取得していくことも重要である。また、実用化に向けては、実証、研究の遂行や、その結果の発表のみならず、結果の評価、スケールアップや実践的適用法に関する考察等、事業結果の還元や応用について、他の事業者がこの知見を基に事業を実施できるかの視点も踏まえて、十分に検討すべきである。

【肯定的所見】

- ・概ね妥当と考えられる。（Ａ委員）
- ・年間 10 万トンの大規模圧入実証の後、安全関連技術をさらに高めて 100 万トンにスケールアップするというスケジュールは、技術的にも社会的受容性の醸成という点でも着実、かつ妥当であろう。安全な CCS 実施のための研究開発の中には、CCS 技術事例集や国際標準化（ISO C265）との連携もテーマになっており、普及から産業競争力の向上にも目配せしており、適切に思われる。（Ｂ委員）
- ・知財管理、安全性基準、国際標準化などの観点からロードマップが策定されており、計画は妥当である。（Ｃ委員）
- ・事業推進のロードマップは、最終目標を見据えて適切に設定されている。（Ｄ委員）
- ・CO₂ 分離回収技術として固体吸収材システムの実用化、及び分離膜モジュールの実用化の確立が 2019 年、そして CO₂ 貯留安全性技術の確立が 2020 年となっており、苫小牧での実証実験の完了となる 2022 年までには CCS の実用化に必要となる関連技術は実用化レベルに至るシナリオとなっており、アウトカムのロードマップとして整合性がとられていることがわかる。（Ｅ委員）
- ・知財管理について、各プロジェクトにて具体的な取り決めがなされている。また、国際標準化については、ISO/TC265 の WG に参加し情報収集・提供を行い国際標準化に貢献するとともに、日本企業の産業競争力強化に資するよう努めるとあり、評価できる。（Ｆ委員）

【問題点・改善とする所見】

- ・実用化に向けて、更に検討が必要。（Ａ委員）
- ・３つある脱炭素可能なエネルギー技術（再生可能エネルギー、原子力、CCS 付き火力）のなかで、最も社会的受容性が高いと思われる再エネでさえ、メガソーラーのように本格的な普及段階では、地域からの反発が大きくなっていく。また、太陽光では、コスト最優先で海外製品が主体になっているのが現実だ。こうした再エネ普及の現実を参考に、CCS の社会的受容性、産業競争力の確保には先手を打つことが求められる。苫小牧での実証をさらに広報に活用しつつ、分離関連の要素技術やモニタリングなどシステム技術などで特許を抑えていくことが重要だろう。（Ｂ委員）
- ・今後、他の事業者がこの知見を基に実施できるかの視点はもう少し工夫が必要か。例えば、実施における注意点、問題点などメリハリをつけた記載も求めたい。（Ｃ委員）
- ・実証、研究の遂行や、その結果の発表のみならず、結果の評価、スケールアップや実践的適用法に関する考察等、事業結果の還元や応用についての検討をする期間を十分に確保すべきと考える。（Ｄ委員）

5. 複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等の妥当性

民間会社や技術組合を中心にプログラム実施体制を組織し、第三者の有識者による課題検討会、研究推進委員会を設置し、指導・助言を受ける体制で実施しており、実施体制は適切である。平成 30 年度からは、国の直轄から NEDO 事業となり、様々な技術的知見や産官学の専門家とのネットワークを有する NEDO の知見等も活用できる体制となっており、評価できる。また、実証や研究のみならず、国民とのコミュニケーション活動等にも対応しており、苫小牧市民への周知も十分になされている。

一方、内容の重複は無駄なコストとなるため、事業アウトカムへの貢献や直結度を考慮し、それぞれのプロジェクト活動の軌道修正や、柔軟な体制の見直しを行うべきであり、プロジェクト間のマネジメント体制の可視化についても考慮すべきと考える。また、温暖化は想像以上に早く進んでおり、スピード感を持った取り組みを期待したい。苫小牧の大規模実証事業の知名度がまだ全国的に低いように思うため、NEDOへ移管したのを機に、違うアプローチでの広報の検討も必要と考える。

【肯定的所見】

- ・概ね妥当と思われる。（A委員）
- ・大規模実証のめどが立ってきたことから、国の直轄からNEDO委託事業に転換し、さらに民間企業との連携を深めていくという流れは適切であろう。（B委員）
- ・実施体制は適切であり、資金も適切に配分されたと思われる。また、苫小牧市民への研究内容の周知も十分になされていた。（C委員）
- ・民間会社や組合を中心としたプログラム実施体制を組織し、実証や研究のみならず、国民とのコミュニケーション活動等にも対応している。（D委員）
- ・全体の統括として様々な技術的知見や産官学の専門家とのネットワークを有するNEDOを据えることで、本事業の技術的成果や政策的効果を最大化できるようにしたことは評価できる。（E委員）
- ・第三者の有識者による課題検討会、研究推進委員会を設置し、指導・助言を受ける体制で実施しており、また、平成30年度よりNEDOの委託事業とし、NEDOの知見等を活用できる体制となっており、評価できる。（F委員）

【問題あり・要改善とする所見】

- ・苫小牧の大規模実証事業の知名度がまだ全国的に低いように思う。再エネ、原子力と並ぶ、もう1つの選択肢として認識している人は少ないのが現状だ。NEDOが受託したのを機に、再エネと同様、「新エネ」の1つとして表彰制度や次世代エネルギーパークの対象にするなど、違うアプローチでの広報も必要ではないか。（B委員）
- ・発表では、プロジェクト間のマネジメント体制がどのように構築されているかは見られなかった。内容の重複は無駄なコストとなるため、プロジェクト間のマネジメント体制の可視化をお願いしたい。温暖化は想像以上に早く進んでおり、必ずしも社会情勢に対応して計画が実施されているとは思えない。スピード感を持った取り組みを期待したい。（C委員）
- ・一部の研究には、(再)委託先の興味を優先させて実施していると感じさせるものが含まれている。事業アウトカムへの貢献や直結度を考慮し、柔軟に体制を見直すべきである。（D委員）
- ・それぞれのプロジェクトでの重要なアウトカムやアウトプット、さらには進行中における中間結果も含めてプログラムとしてフィードバックし、その結果の影響をプログラムレベルで検討・評価し、必要に応じてプログラム成果を最大化するために、それぞれのプロジェクト活動の軌道修正を行うようなプログラムガバナンスを持つ必要がある。（E委員）

6. 費用対効果の妥当性

本事業は、事業全体で総額約 820 億円の予算規模となっており、国の実施する研究開発事業としては大規模な事業である。フィールドでの実証はコストがかかるが、実践的な適用に向けて不可欠なプロセスであり、当該プログラムにおける CO2 圧入の実証および周辺技術の研究を通して得られた実績・経験が、将来の実践的 CCS の遂行に反映されるのであれば、CCS の経済的なインパクトの観点から、費用対効果は大きいと言える。また、従来よりも低コストな技術など優れた CCS 技術が開発されることにより、国際的な需要が見込まれると期待されることから、経済面や環境面への波及も大きいと考えられる。

一方、脱炭素電源（再エネ、原発、CCS 火力）のミックスイメージを、量的な開発可能性とコスト効率の視点から定量的に試算することで、CCS の費用対効果、コスト目標を論じやすくなるを考える。また、一部の研究には、将来の実践的 CCS の遂行に反映できるのか、どう繋がるのかが不明瞭なものもあり、これらに関しては、研究結果の実践的 CCS の遂行への寄与等を常に念頭に置いて研究を実施すべきである。

【肯定的所見】

- ・妥当と思われる。（A 委員）
- ・外部不経済である「CO2 排出」をコストかけて抑える CCS に関しては、公害と同様、費用対効果の視点で評価することは難しい。CCS を使わなかった場合の「脱炭素コスト」は、再エネや蓄電池、原発のコストとの比較になる。太陽光・風力の発電コスト、蓄電池のコストは現在、急速に下がっており、そうした視点での「CCS の費用対効果」は、「再エネは高い」を前提にしていた時代に比べ、急速に悪化しているのが現実だ。ただし、日本における再エネのコストが依然として諸外国に比べて高止まりし、今後の開発量とコスト削減の可能性も未知数であり、原発の再稼働やり替えが不透明ななか、CCS に取り組む意義は依然として高いと考える。（B 委員）
- ・現状、計画通りプロジェクトが進行していることを考えると、事業アウトプット及び事業アウトカムは妥当であると考え。（C 委員）
- ・フィールドでの実証は、コストがかかるが、実践的な適用に向けて不可欠なプロセスである。したがって、当該プログラムにおける CO2 圧入の実証および周辺技術の研究を通して得られた実績・経験が、将来の実践的 CCS の遂行に反映されるのであれば、CCS の経済的なインパクトの観点から、当該プログラムの費用対効果は極めて大きいと考えられる。（D 委員）
- ・本事業は事業全体で総額約 820 億円の予算規模となっており、国の実施するプログラム研究開発事業としては大規模な事業である。この費用に対しての費用対効果を検証することは難しいが、IEA の試算を用いれば気温上昇を 2 度に抑えるシナリオにおいて、CCS 技術がない場合の電力分野の追加コストは全世界において 6 兆円/年に達すると試算されている。その追加コストに比べた場合、費用対効果は大きいと言える。（E 委員）
- ・IEA や IPCC 等において CCS は効果的な技術として評価されていることから、本事業により従来技術よりコストが低いなど優れた CCS 技術が開発されることにより、国際的な需要が見込まれると期待されることから、経済面や環境面への波及は大きく、妥当であると考え。（F 委員）

【問題あり・要改善とする所見】

- ・日本も含めた先進国（G8）が 2009 年 7 月のラクイラ・サミットで合意し、国内の長期目標として掲

げる「2050年に温暖化ガス80%削減」に関して、そろそろ専門家を交えて、脱炭素電源（再エネ、原発、CCS火力）のミックスイメージを、量的な開発可能性とコスト効率の視点から定量的に試算すべき時期に来ているのではないかと。そうすれば、CCSの費用対効果、コスト目標を論じやすくなると思われる。（B委員）

本プロジェクトの費用対効果を現状のデータのみで判断することはできない。特にコストに関する記載がないため、その判断を求めることには無理がある。（C委員）

- ・一部の研究には、将来の実践的CCSの遂行に反映できるのか、どう繋がるのか等が不明瞭なものがある。これらに関しては、研究結果の実践的CCSの遂行への寄与等を常に念頭に置いて遂行すべきであり、それが明示できないのであれば、その技術の費用対効果が示されるまで実施時期を延期すべきである。（D委員）

7. 総合評価

大規模な圧入実証と、「安全・安心」につながる技術、大幅な低コスト化につながる分離技術を並行して進めるプログラムは、社会的受容性と低コストの達成が不可欠な CCS の特性からも適切であり、本プログラムは計画に沿って順調に推移していると言える。このような大規模な実証や研究は、コストや社会受容性の観点から、民間企業が実施することは困難で、まさに国のプロジェクトとして推進すべきものである。実施体制についても、外部有識者の指導・助言を受ける体制で実施するなど、柔軟に研究・実証をマネジメントしている点も評価できる。また、CCS の認知度向上のための広報活動や規制に対する働きかけも積極的に行っており、技術面だけでなく本技術を有効に活用するための環境づくりに対しても戦略的に活動している点も評価できるものであり、今後も技術面以外も積極的に活動してほしい。

一方、一部の研究課題には、将来の実践的な CCS の実施にどのように貢献するのが不明瞭なものもあり、どのように実践に活かすかを常に念頭に置いてプログラムを推進すべきと考える。また、今年 9 月に発生した北海道胆振東部地震に関して、実証実験で得られたデータを用いて早い段階で CO₂ 圧入と因果関係がないことについて見解を公表したことは評価できるが、外部の学識者等にも協力頂いて実証実験や地震のデータを活用し、その関係性がないことを科学的に証明し、より細かな解説を迅速に発する等、CCS の安全性をアピールしてほしい。

【肯定的所見】

- ・本事業は概ね妥当であり、順調に推移している。（A委員）
- ・大規模な圧入実証と、「安全・安心」につながる技術、大幅な低コスト化につながる分離技術を並行して進めるプログラムは、社会的受容性と低コストの達成が不可欠な CCS の特性上、適切なプログラムである。また、注目される苫小牧沖の海底下への圧入については、特性上、貯留の難しい火山岩層では苦戦しているもの、貯留に適している砂岩層では累積の圧入量が 20 万トンを超えるなど、想定した実績になっている。モニタリングも事前シミュレーションと一致するなど、順調に推移していると言えるだろう。（B委員）
- ・安全な CCS 実施のための貯留技術の研究開発事業は、苫小牧サイトでの安全管理を中心に、マイクロバブルなどの圧入自体の効率化、将来、民間に移行する場合に必要な国際標準化や事例集にも取り組んでおり、概ね妥当なラインアップと言えるだろう。（B委員）

- ・プロジェクトはほぼ計画通りに実施されており、妥当である。（Ｃ委員）
- ・CCS は、気候変動の緩和策として有効な手法の１つであるが、その実施に向けては、実際に地下にCO₂を貯留するパイロット試験を実施して様々な知見を得て、それらに学ぶことが肝要となる。このような大規模な実証や研究は、コストや社会受容性の観点から、民間企業が実施することは不可能であり、まさに国のプロジェクトとして推進すべきものである。また、既に CCS を商業規模で実施しているプロジェクトからも種々の知見を得、さらには日本特有の地質等の環境に対応したり、先行プロジェクトの課題を解決したりする必要がある。当該プログラムは、これらの技術課題の解決に向けて明確な目標が設定され、得られるであろう結果の価値も十分に高いと期待される。（Ｄ委員）
- ・苫小牧の CCS 大規模実証実験事業は CCS 運用技術の確立において非常に重要な役割を果たしており、砂岩層に対する CO₂ 圧入貯留における運用性及び安全性に対しては、順調にデータも蓄積され技術的な確立も間近となってきたことは評価できる。さらに、CCS の認知度の向上のための広報活動や規制に対する働きかけも積極的に行っており、技術面だけでなく本技術を有効に活用するための環境づくりに対しても戦略的に活動している点も評価できるものであり、今後も技術面以外も積極的に活動してほしい。（Ｅ委員）
- ・ほぼすべての事業アウトプットにおいて計画通り事業が進められているとともに、目標値が達成されており、着実な技術開発・実証が進められていると考える。また、外部有識者の指導・助言を受ける体制で実施するなど、柔軟に研究・実証をマネジメントしている点も評価できる。（Ｆ委員）

【問題あり・要改善とする所見】

- ・実証中の今年９月に発生した北海道胆振東部地震への対応に関しては、圧入への影響という技術的な側面については検証されていたものの、社会的受容性の視点から課題もあったように感じる。地震と CO₂ 圧入に因果関係がないことに関し、より細かな解説を迅速に発するとともに、圧入実証を知る地域住民がどのように受け止めたかなど、事後的に調査し、今後の広報活動などに生かしてほしい。（Ｂ委員）
- ・コストに関する記載がなく、今後の実用化を見据えると問題である。（Ｃ委員）
- ・一部の研究課題には、将来の実践的な CCS の実施にどのように貢献するのか、繋がるのかが不明瞭なものがある。すなわち、「やってみました→ある程度の結果は出ました→しかし実践では使用することはできません（使用する必要はありません）」といったことがないように、どのように実践に活きるのか、活かすのかを常に念頭に置いてプログラムを推進すべきと考える。（Ｄ委員）
- ・苫小牧の実証実験が近くの断層で発生した大規模地震に対して影響を与えていなかったことを、実証実験で得られた実データを用いて早い段階で説明したことは評価できるが、さらに外部の学識者にも協力頂いて実証実験や地震のデータをもっと活用して、その関係性がないことを科学的に証明し、CCS の安全性をアピールしてほしい。（Ｅ委員）

第2章 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）の概要及び評価

A. 苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業

I. 研究開発課題（プロジェクト）概要

プロジェクト名	苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業
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 0452 平成28年度 行政事業レビューシート 事業番号 0445 平成29年度 行政事業レビューシート 事業番号 0388
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

プロジェクトの目的・概要

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。

本事業では、CCS技術の実用化に資するべく、CO2分離回収から圧入貯留、モニタリングに至るまでのトータルでのCCS技術の確立を目指し、北海道苫小牧市において、実際のCO2排出源から分離回収したCO2を用いて、実用に近い規模（年間10万トン規模）でのCCS大規模実証試験を実施する。また、CCS実施に際しての法規制等の現状と課題を明らかにするとともに、CCSに対する国民の認知度を高め理解を深めるために種々の取り組みを行う。

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21(2009)年度	2022年度	平成30(2018)年度	2023年度	日本CCS調査株式会社
平成27(2015)FY執行額	平成28(2016)FY執行額	平成29(2017)FY執行額	総執行額	総予算額
9,076	6,133	7,800	54,919	73,662

※総執行額は、平成21～29年度の執行額の合計

※総予算額は、平成21～29年度執行額と平成30(2018)～2022年度予算想定額の合計

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
CCS 技術の実用化に資するべく、CO₂ 分離回収から圧入貯留、モニタリングに至るまでのトータルでの CCS 技術の確立を目指す。 取組内容は以下の通り。 (1) 調査段階（平成 21(2009)～23(2011) 年度） ① 候補地点における事前調査 ② 実証試験計画（案）の策定 ③ 法規制対応、安全性確保に係る技術等に関する調査 ④ 社会的受容性の醸成に向けた情報発信 (2) 準備段階（平成 24(2012)～27(2015) 年度） ① 地上設備の設計・建設・試運転、操業体制の整備 ② 坑井の掘削 ③ モニタリングシステムの整備 ④ 法規制対応等に係る調査・検討 ⑤ 社会的受容性の醸成に向けた情報発信 (3) 操業段階（平成 28(2016)～31(2019) 年度） ① CCS 全体システムの実証 ② モニタリング（圧入中）及びモニタリング技術の検証 ③ 法規制対応等に係る調査・検討 ④ 社会的受容性の醸成に向けた情報発信 (4) 監視・評価段階（2020～2022 年度） ① モニタリング（圧入終了後）及びモニタリング技術の検証 ② 法規制対応等に係る調査・検討 ③ 社会的受容性の醸成に向けた情報発信 ④ 設備の解体研究		
指標目標値		
事業開始時 （平成 21(2009) 年度）	計画：実証試験候補地点の 事前調査	実績：（達成） 調査計画の立案
中間評価時 （平成 23(2011) 年度）	計画：実証試験地の選定、 実証試験計画の策定	実績：（達成）調査・検討の結果、実証 試験地を苫小牧に選定した。
中間評価時 （平成 27(2015) 年度）	計画：実証試験実施に向け た準備	実績：（達成）地上設備を設計・建設す るとともに必要な坑井の掘削・改修を 行い、操業体制を含めて実証試験操業 の準備を整え、計画どおり平成 28 年 4 月からの圧入開始に向け準備を完了 した。
中間評価時 （平成 30(2018) 年度）	計画：年間 10 万トン規模 での CO ₂ 分離回収から圧 入貯、モニタリングの実施	実績：（ほぼ達成）平成 28 年 4 月より CO ₂ 分離回収及び萌別層への圧入を開 始し、平成 30 年 2 月より滝ノ上層の 圧入を開始した。平成 30 年 9 月末時 点で約 20.7 万トンの CO ₂ を圧入した。 モニタリングを実施し、CO ₂ 漏出また はそのおそれは確認されていない。

終了時評価時（2023 年度）	計画：分離回収から圧入貯留、モニタリングに至るまでのトータルでの CCS 技術の確立	実績：
目標最終年度（2022 年度予定）	計画：分離回収から圧入貯留、モニタリングに至るまでのトータルでの CCS 技術の確立	

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、北海道苫小牧市において、商業運転中の製油所の水素製造装置を排出源として、年間 10 万トン規模で、CO₂ 分離回収から圧入貯留までを一貫して実施し、必要なモニタリングを行うことにより、CCS 実施に必要な操業能力を獲得するとともに、CCS が安全かつ安心できるシステムであることを実証する。

また、CCS 実施に際しての法規制等の現状と課題を明らかにするとともに、CCS に対する国民の認知度を高め理解を深めるために種々の取り組みを行う。

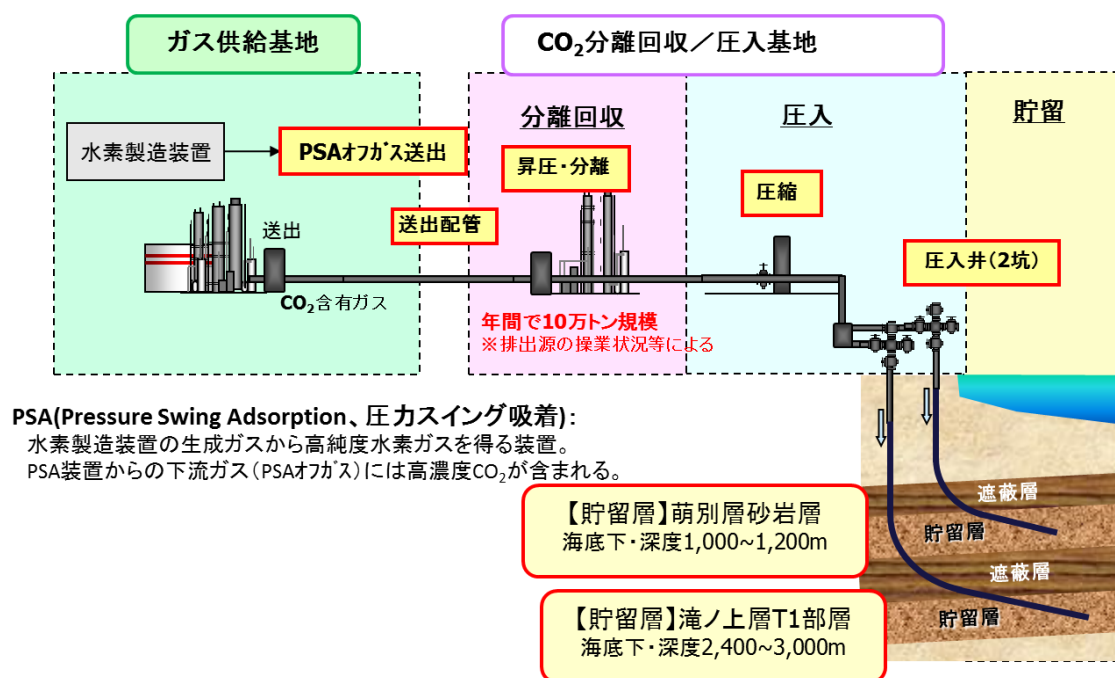


図 2 - 1 実証試験設備の全体システムのフロー



図 2-2 実証試験の位置関係

本事業は、「調査段階」「準備段階」「操業段階」「監視・評価段階」の 4 段階によって進められるが、以下に、本中間評価の対象期間である平成 27 年度から平成 29 年度について「準備段階（平成 24 年度～27 年度）」および「操業段階（平成 28 年度～31 年度）」の実施内容を示す。

(a) 「準備段階（平成 24 年度～27 年度）」

準備段階では年間 10 万トン規模の CO₂ を圧入・貯留する実証試験のために必要な準備として以下を実施する。

1) 実証試験地上設備の設計・建設・試運転、操業体制の整備

CO₂ 含有ガスを受け入れて CO₂ を分離回収し、CO₂ を圧縮・圧入するための地上設備および用役設備一式の設計・建設を行うとともに、操業に必要な体制を整える。地上設備は年間 20 万トン相当（25.3 トン／時）の設備能力を持たせる。CO₂ 分離回収設備は、CCS 技術としては投入エネルギーが少ない方式で CO₂ を回収することを目指して、省エネルギー型のプロセスシステムを採用する。

2) 坑井の掘削及びモニタリングシステムの整備等

国内では類のない大きな偏距を持つ圧入井 2 坑を陸域から海底下に掘削するとともに、観測井 3 坑をはじめとしてモニタリングに必要な機器・システムを設置して観測環境を整備する。併せてこれらを使って圧入前のベースラインデータを取得する。また、海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律（以下、「海洋汚染防止法」という。）に係る海洋環境調査を行ってベースラインデータを取得する。

3) 法規制対応等に係る調査・検討及び社会的受容性の醸成に向けた情報発信活動

実証試験設備建設に係る法規制への対応を行うとともに、操業に係る各国の諸法令や情報公開のあり方、CCS 動向等を調査する。

社会的受容性の醸成に向け、地元および国民への情報発信を広くかつ継続的に実施する。また、異常時における情報開示要領を整備する。

海外の政府関係者や CCS 従事者との情報交換、日本における CCS 実証試験の取り組みや成果についての紹介等の情報発信活動、国際的な活動強化に向けネットワークの構築等を行う。

(b)「操業段階（平成 28 年度～31 年度）」

操業段階では、以下のとおり実証試験設備を操業して年間 10 万トン規模の CO₂ を圧入するとともに各種モニタリングを行う。

なお、CO₂ 圧入期間について、当初は平成 28 年度から 30 年度の 3 年間で年間 10 万トン規模での CO₂ を圧入することを目標とし事業を実施していたが、平成 28 年度の法規制等に係る対応※のため、平成 28 年 8 月から平成 29 年 1 月まで CO₂ 圧入停止期間が発生したことから、今後、海洋汚染防止法に基づく変更許可申請を行い環境大臣の許可を得られれば、平成 31 年度も引き続き CO₂ 圧入を実施する予定としている。

※法規制等に係る対応

本事業は海洋汚染防止法に従い、経済産業省が環境大臣の許可を受け、日本 CCS 調査(株)が委託事業として実施している。平成 28 年 4 月 6 日より CO₂ 圧入を開始し、同年 5 月 24 日には設備の法定点検及びガス供給元の定期保全工事のため CO₂ の圧入を一時停止した。その後、海洋汚染防止法に基づく「監視計画」に従い、同年 6 月に海洋環境調査(春季調査)を実施したところ、海水の化学的性状の一部が事前のベースライン調査(平成 25～6 年度に実施)のデータを元に設定した基準値(追加調査を実施するか否かを判断する閾値)を上回る値が認められた。そのため、同年 7 月に予定していた圧入再開を延期し、監視計画で事前に定めた一連の追加調査を 2016 年 10 月まで実施した。経済産業省は、それらの結果を環境省に報告し、環境省からは、CO₂ 漏出は発生していなかったと考えられる旨の見解を得た。あわせて経済産業省は、環境省より示された「監視計画のあり方について」に従い、従来の監視計画の一部の見直し作業を行い、2016 年 12 月 28 日に「監視計画の変更許可申請書」を環境省へ提出した。経済産業省は平成 29 年 2 月 1 日に変更許可証の交付を受け、同年 2 月 5 日に萌別層に対する CO₂ 圧入を再開した。

1) CCS 全体システムの実証

年間 10 万トン規模で CO₂ を圧入し、分離回収から圧入・貯留までの CCS 全体システムを実証する。すなわち、全体システムが安定して操業できることを実証すべく、最大レート年間 20 万トン相当をはじめとした各種操業レートで運転を行い、必要なデータを取得する。また 2 層への同時圧入が可能であることを実証する。

2) モニタリング(圧入中)及びモニタリング技術の検証

地下の温度・圧力の常時観測や弾性波探査、海洋環境調査等のモニタリングの実施や、CO₂ 賦存範囲等の測定技術、地質モデルの構築・精度向上、CO₂ 挙動予測技術等、CCS に係るモニタリング技術の検証を行う。また、自然地震および微小振動の観測や海洋汚染防止法に係る海洋環境調査等の対応等を通してデータを蓄積し、CCS が安全かつ安心できるシステムであることを実証する。

3) 法規制対応等に係る調査・検討及び社会的受容性の醸成に向けた情報発信活動

実証試験に適用された法規制について、実証試験の実績に基づいて必要に応じて制度上の課題を確認する。また、CCS に係る各国の諸法令をはじめとする動向等を調査する。

社会的受容性の醸成に向けて、地元および国民への情報発信活動を広くかつ継続的に実施する。

海外の政府関係者や CCS 従事者との情報交換、日本における CCS 実証試験の取り組みや成果についての紹介等の情報発信活動、国際的な活動強化に向けネットワークの構築等を行う。

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
準備段階（平成 24 (2012) ～27 (2015) 年度） 地上設備の設計・建設・試運転、操業体制の整備		
指標目標値（計画及び実績）		
準備段階開始時 （平成 24 (2012) 年度）	計画： ・設備を建設し、各設備が所定の性能を有することを確認する。 ・分離回収エネルギーが少ないプロセスを採用する。分離回収エネルギーは 2.5 GJ/t-CO ₂ を目標とし、2.0 GJ/t-CO ₂ 以下まで低減することを検討する。 ・実証試験を安全に操業できる体制を整える。 ・実証試験設備の運転変動に起因して CO ₂ 供給源の操業に影響が及ばないように、設備設計において対策を取る。	実績：－
準備段階終了時（中間評価時） （平成 27 (2015) 年度）		実績：（達成） ・必要な設備が所定の性能を有することを確認した。 ・分離回収エネルギーが 2.0 GJ/t-CO ₂ を大きく下回るプロセスとして「二段吸収法」を採用した。 ・安全操業のための人員および諸規定を整備した。 ・実証試験設備の運転変動が CO ₂ 供給源の操業に影響が及ばない対策を取った。
中間評価時 （平成 30 (2018) 年度）	計画：－	実績：－

事業アウトプット指標		
準備段階（平成 24 (2012) ～27 (2015) 年度） 坑井の掘削 モニタリングシステムの整備等		
指標目標値（計画及び実績）		
準備段階開始時 （平成 24 (2012) 年度）	計画： ・圧入井 2 坑を掘削し、圧入性状を確認する。 ・坑井掘削によって得られた情報を反映して地質モデルを更新し、CO ₂ 挙動予測シミュレーションを行い、圧入前の貯留層総合評価を行う。 ・観測井の改修、掘削を行う。 ・観測網を整備し、ベースラインデータを取得する。 ・海洋環境調査のベースラインデータを取得する。	実績：－
準備段階終了時（中間評価時） （平成 27 (2015) 年度）		実績：（達成） ・圧入井 2 坑を掘削した。崩別層は高い圧入性状を確認した。滝ノ上層は想定よりも低い圧入性状であることを把握した。 ・三次元地質モデルを構築し、CO ₂ 挙動予測シミュレーションと圧入前の総合貯留層評価を行った。 ・観測井 3 坑と必要な観測網を整備し、ベースラインデータを取得した。 ・ベースラインとなる四季の海洋環境調査を行った。
中間評価時 （平成 30 (2018) 年度）	計画：－	実績：－

事業アウトプット指標		
準備段階（平成 24(2012)～27(2015)年度） 法規制対応等に係る調査・検討		
指標目標値（計画及び実績）		
準備段階開始時 （平成 24(2012)年度）	計画： ・実証試験設備建設に係る法規制への対応を行う。 ・操業計画立案の参考として各国の諸法令や情報公開のあり方等の動向および各国の CCS に係る動向を調査する。	実績：－
準備段階終了時（中間評価時） （平成 27(2015)年度）		実績：（達成） ・実証試験設備建設に係る法規制への対応として、高圧ガス保安法対応、労働安全衛生法対応等を実施した。 ・操業に係る各国の諸法令や情報公開のあり方、CCS 動向調査として、米国 NETL、DNV GL、ISO、IMO、EU、英国 DECC、米国 EPA 等の情報取得を実施した。
中間評価時 （平成 30(2018)年度）	計画：－	実績：－

事業アウトプット指標		
（２）準備段階（平成 24(2012)～27(2015)年度） 社会的受容性の醸成に向けた情報発信		
指標目標値（計画及び実績）		
準備段階開始時 （平成 24(2012)年度）	計画： ・社会的受容性の醸成に向け、地元のステークホルダーおよび国民への情報発信活動を広く、かつ継続的に実施する。 ・海外に向けた情報発信・情報収集、意見交換、国際活動強化に向けネットワークの構築に取り組む。	実績：－
準備段階終了時（中間評価時） （平成 27(2015)年度）		実績：（計画どおり実施） ・2012 年 4 月から 2016 年 3 月までの 4 年間に以下の情報発信活動を実施した。 パネル展 61 回 現場見学会 2389 名 児童向けイベント 21 回 講義・講演 51 回 CCS フォーラム 4 回 ・海外に向けた情報発信・情報収集、意見交換、ネットワーク構築に向け以下を実施した。 GHGT-11、12 参加（発表、出展） 海外における CCS 国際会議（CSLF 主催等）への参加・発表を実施。 海外政府等の視察対応 ・操業開始を想定して異常時における情報開示要領を整備した。
中間評価時 （平成 30(2018)年度）	計画：－	実績：－

事業アウトプット指標		
操業段階（平成 28(2016)～31(2019)年度）		
CCS 全体システムの実証		
指標目標値（計画及び実績）		
開始時 （平成 28(2016)年度）	計画： ・年間 10 万トン規模で CO₂ を圧入し、全体システムが安定して操業できることを実証し、必要なデータを取得する。 ・分離回収設備は、CO₂ 純度 99% 以上を維持するとともに、分離回収エネルギーが 1.2 GJ/t-CO₂ 以下であることを確認する。 ・萌別層と滝ノ上層の二つの層への同時圧入が可能であることを実証する。	実績： ・年間 20 万トンの最大レートで、分離回収から圧入までの CCS 全体システムの操業を開始した。 ・平成 28 年度 4 月より萌別層 CO₂ 圧入を開始し、平成 30 年 2 月より滝ノ上層の圧入を開始した。 ・CO₂ 純度 99%以上を維持し、分離回収エネルギーが 1.2 GJ/t-CO₂ 以下であることを確認した。
中間評価時 （平成 30(2018)年度）	・自然地震および微小振動の観測、海洋汚染防止法への対応等を通して、CCS が安全かつ安心できるシステムであることを実証する。	実績：（ほぼ達成） ・2018 年 9 月末時点で累積圧入量は約 20.7 万トン。（萌別層 20.7 万トン、滝ノ上層 98.2 トン） ・設備定格能力の 30%の負荷でも安定して操業ができることを確認した。 ・CO₂ 供給源の操業には影響が及ばないことを一連の操業によって確認できている。 ・萌別層と滝ノ上層の二つの層への同時圧入が可能であることを確認した。 ・自然地震および微小振動の観測結果から、自然地震が貯留に影響を及ぼさないこと、圧入によって微小振動がこれまで発生していないことを示すデータを得た。 ・海洋汚染防止法に基づく海洋環境調査では、四季にわたりデータが得られており、CO₂ 漏出またはそのおそれは確認されていない。
操業段階終了時 （平成 31(2019)年度）		実績：—

事業アウトプット指標		
操業段階（平成 28(2016)～31(2019)年度） モニタリング及びモニタリング技術の検証		
指標目標値（計画及び実績）		
操業段階開始時 （平成 28(2016)年度）	計画： ・ CO2 賦存範囲等の把握を行う。 ・ 地質モデルの精度向上を図り、CO2 挙動予測シミュレーションを行う。 ・ 各種モニタリングデータの収集・解析・評価を行う。	実績：（計画どおり実施） ・ 2次元弾性波探査を実施した。 ・ 流動シミュレーションを実施し、CO2 挙動予測シミュレーションを実施した。 ・ 各種モニタリングデータの収集・解析を実施した。
中間評価時 （平成 30(2018)年度）		実績：（計画どおり実施） ・ 圧入開始後の 3次元弾性波探査データにより、累積圧入量約 6 万トン時点で萌別層内の CO2 の広がりを見視的に把握した。 ・ Fall-off Test データおよび貯留層圧力勾配の解析に基づいて地質モデルを改訂し、CO2 挙動予測シミュレーションを行った。3次元弾性波探査で得られた CO2 の広がりとの整合性を確認した。 ・ 観測井 3 坑と圧入井 2 坑で地下の温度・圧力の常時観測を行っている。 ・ 海洋環境調査は、四季にわたりデータが得られている。 ・ 地震関連データの解析の成果は前項に記載したとおり。 ・ モニタリング結果から、CO2 漏出またはそのおそれは確認されていない。
操業段階終了時 （平成 31(2019)年度）		実績：—

事業アウトプット指標		
(3) 操業段階 (平成 28(2016)～31(2019) 年度)		
法規制対応等に係る調査・検討		
指標目標値 (計画及び実績)		
操業段階開始時 (平成 28(2016) 年度)	計画： ・ CCS に係る各国の諸法令をはじめとする動向等を調査する。 ・ 実証試験に適用された法規制について、実証試験の実績に基づいて必要に応じて制度上の課題を確認する。	実績：—
中間評価時 (平成 30(2018) 年度)		実績：(計画どおり実施) ・ 国内、海外の CCS に係る諸制度、諸活動の調査、情報収集を進めている。 ・ 海洋汚染防止法、実証試験に適用された法規制等、制度上の課題を抽出している。
操業段階終了時 (平成 31(2019) 年度)		実績：—

事業アウトプット指標		
(3) 操業段階 (平成 28(2016)～31(2019) 年度)		
社会的受容性の醸成に向けた情報発信		
指標目標値 (計画及び実績)		
操業段階開始時 (平成 28(2016) 年度)	計画： ・ 社会的受容性の醸成に向け、地元のステークホルダーおよび国民への情報発信活動を広く、かつ継続的に実施する。 ・ 海外に向けた情報発信・情報収集、意見交換、国際活動強化に向けたネットワークの構築に取り組む。	実績：—
中間評価時 (平成 30(2018) 年度)		実績：(計画どおり実施) ・ 2016 年 4 月から 2018 年 3 月までの 2 年間に以下の情報発信活動を実施した。 パネル展 13 回 現場見学会 3336 名 児童向けイベント 8 回 シニア向けバスツアー 7 回 講義、講演 40 回 CCS フォーラム 3 回 展示会へのブース出展 5 回 ・ 海外との情報交換、協力関係強化に向けた取組を実施した。 現場見学者数 621 人 接触した国数 32 カ国 大使館セミナー開催 海外メディア対応 IEA、GCCSI、CSLF との協力 (CSLF ステークホルダーチャンピオンとして活動)
操業段階終了時 (平成 31(2019) 年度)		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
0	0	0	0	0	1	0

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。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

調査段階 2009～2011	準備段階 2012～2015	操業段階 2016～2019	監視・評価段階 2020～2022	2023～
事前調査 実証試験計画 法規制対応	設備の設計・建設 坑井の掘削 操業の準備等 ベースライン調査	CO ₂ 圧入 (10万トン規模/年) モニタリング (圧入中)	モニタリング (圧入終了後) 解体研究	大規模 CCS 操業能力の獲得 安全性の確立 コストの削減 貯留適地確保 安心で意義ある事業の認知

社会的受容性の醸成に向けた情報発信

スケジュール(上図)に従い、本事業を安全かつ着実に実施することにより、分離回収から圧入貯留、モニタリングに至るまでのトータルでの CCS 技術の確立が可能となる。

特許権等の帰属特許法を踏まえ、発明者の所属企業・機関の「コンプライアンス管理規定」に準拠して、国または機関帰属とする。

ただし、全体システムによる実証試験を目的とすることから、新技術を導入することによるリスクを避け既存技術の応用に徹しているため、本事業で新規の知財管理に関する案件は概ね生じないものと考えているが、仮に案件が出た場合は、「課題検討会」等で対応について審議することとしている。

（３）実証や国際標準化

CO₂ の分離回収から圧入貯留まで、CCS 全体システムの実証事業として取り組んでいるところである。実証事業ではその操業を通して CCS に係る制度および法規制の課題にも直面しており、本実証事業終了後、CCS の制度的仕組みの導入等の検討が開始され、本格導入に向けた検討が進むものと想定される。

CCS に関する国際標準化については、ISO/TC265 において、検討が進められている。本事業では実証を主体として実施していることから、国際標準化に直接かかわっていることはないが、当該 WG で議論する際、実証試験の経験等に基づく情報発信や海外で議論された情報の入手を行うため委員として出席しており、国際標準化に対し貢献を行っている。さらに、WG1 では編集委員として知見を提供しており、また WG5 が作成している技術報告“CO₂ stream composition”へ苫小牧での回収 CO₂ 濃度および不純物濃度に関するデータおよび関連情報の提供を行った。

（４）性能や安全基準等の策定

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、既存の技術の性能指標や操業における技術基準および安全基準を再度整理する。これにより、実用化段階における各種基準の策定が進むことを見込んでいる。

（５）規制緩和等を含む実用化に向けた取組

① 社会的受容性向上に向けた取り組みについて

実証試験地である苫小牧市民との信頼関係の維持強化に重点を置く地元を中心とした丁寧で分かりやすい情報発信活動に取り組んでいる。苫小牧地域においては、若年層、働く世代、シニア層と世代を 3 つに分け、それぞれに適したイベントや情報発信方法を工夫し、データ開示などの速やかな情報発信とコミュニケーションを継続して信頼関係の構築を図っている。

その他の地域においては、環境関連の展示会への出展、大学での講演や研究発表、学術誌や雑誌への寄稿等により広く CCS を周知している。また、現場見学を積極的に受け入れている。

日頃技術に馴染みのない人も理解できるように、情報発信はできるだけ平易な言葉でその内容を伝え、透明性を確保して十分な情報を提供することを心がけている。

また、一方的な情報発信に留まらず、双方向での意見交換を行うことのできるイベントを意識している。

② 国際社会における情報発信活動、海外におけるネットワークの構築の取り組みについて

海外における本事業の認知度向上に向け、海外からの現場視察依頼、国際会議での発表・出展、海外メディアに対応し、本事業の概要や特徴、事業の成果、広報活動について紹介した。CCS 促進を目指す各国の国際組織や政府関係者との関係強化（ネットワーキング）を図り、経済産業省が目指す CCS を通じた国際協力の強化にかかる支援活動に従事した。

（６）成果のユーザー

当該実証試験の CO₂ 分離回収設備は、製油所や天然ガス精製等の化学プラントへの同様の設計による技術適用により実用化が可能である。また、分離回収した CO₂ の地中貯留技術や監視技術は、各産業で排出される分離回収した CO₂ を地中貯留することを想定した場合の基本的技術となる。

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、公募による選定審査手続きを経て、日本 CCS 調査株式会社が、平成 21 年度～平成 29 年度は経済産業省からの委託事業として実施している、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）の委託事業として実施している。

下図に本事業に係る全体スケジュールを示した。

年度 ※1 (平成) 研究項目	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	-	-	-
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
研究項目	調査段階			準備段階			操業段階			監視・評価段階				
1)候補地点における事前調査														
2)実証試験計画(案)の策定														
3)実証試験設備の設計・建設														
4)CO ₂ 分離・回収・貯留技術の実証											※2			
5)貯留モニタリング技術の実証														
6)法規制対応、安全性評価等に係る調査・検討														
7)社会受容の醸成に向けた情報発信														
8)設備の解体研究														

※ 2019～2022 年度については、現時点における予定

※ 海洋汚染防止法に基づく変更許可申請を行い環境大臣の許可が得られれば、平成 31 年度も CO₂ 圧入を実施する予定

図 2 - 4 研究開発計画

(2) 研究開発の実施体制

本事業の実施体制を以下に示す。

本事業は、地球温暖化対策としての CCS を推進するという国の方針に呼応する形で、電力、石油精製、石油開発、プラントエンジニアリング等、CCS 各分野の専門技術を有する大手民間会社が結集して設立された、民間 CCS 技術統合株式会社である日本 CCS 調査株式会社が委託を受け実施している。

実施に当たっては、事業を統括するプロジェクトリーダーを設置するとともに、専門的知識を有する第三者の学識経験者からなる「苫小牧 CCS 実証試験に係わる課題検討会」を設置して、進捗状況の確認と技術的な助言を得ながら事業を実施している。

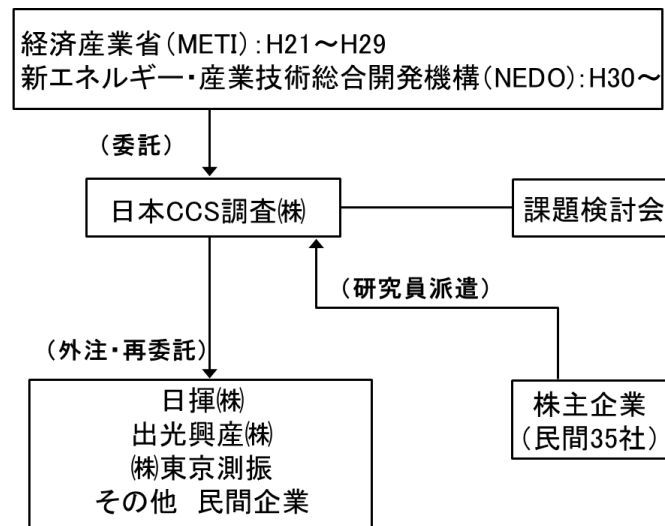


図2-5 実施体制

(3) 国民との科学・技術対話の実施などのコミュニケーション活動

CCSの目的、意義、仕組みや本事業の内容やこれまでの成果について、広く理解を得るため、地元をはじめ全国の企業・団体・個人等の現場見学の積極的な受け入れ、CCS講座・講演会の開催、環境関連の展示会への出展、学会等における研究発表、学術誌や雑誌への寄稿、メディア対応、ホームページを利用した情報発信活動等を実施した。

主な取り組みについて以下に記載する。

【平成27年度】

① 苫小牧 CCS フォーラム「地球温暖化と CCS」

日時：平成28年3月5日（土）13時～15時10分

会場：グランドホテルニュー王子 3階 グランドホール（苫小牧市）

参加人数：320人

② 環境関連展示会への出展

・ CCS パネル展

日時：2015.6.20～10.2

会場：苫小牧市、江別市、札幌市

参加人数：859人

・ エコプロ 2015

日時：2015.12.10～12

会場：東京ビッグサイト

参加人数：2,000人（全体169,118人）

③ 現場見学の受入 1,507人

【平成 28 年度】

① 苫小牧 CCS 講演会「地球温暖化と CCS」

日時：平成 29 年 3 月 4 日（土）13 時～15 時 10 分

会場：グランドホテルニュー王子 3 階 グランドホール（苫小牧市）

② 環境関連展示会への出展

・ CCS パネル展

日時：2016. 6. 18～9. 4

会場：苫小牧市、江別市、札幌市

参加人数：688 人

・ エコプロ 2016

日時：2016. 12. 8～10

会場：東京ビッグサイト

参加人数：1, 944 人(全体 167, 093 人)

③ 現場見学の受入 2, 013 人

【平成 29 年度】

① CCS シンポジウム 「CCS の今後を考える」

日時：平成 29 年 12 月 13 日（水）14 時～17 時 45 分

会場：ステーションコンファレンス東京（東京）

参加人数：310 人

② 苫小牧 CCS 講演会「地球温暖化と CCS」

日時：平成 30 年 3 月 17 日（土）13 時～15 時 15 分

会場：グランドホテルニュー王子 3 階 グランドホール（苫小牧市）

参加人数：315 人

③ 環境関連展示会への出展等

・ CCS パネル展

日時：2017. 6. 1～11. 10

会場：札幌市、江別市、北見市、苫小牧市

参加人数：1, 417 人

・ エコプロ 2017 日時：2017. 12. 7～9

会場：東京ビッグサイト

参加人数：3, 045 人(全体 160, 091 人)

④ 現場見学の受入：1, 950 人

(4) 資金配分

資金配分について下表に示す。平成 24 年度から平成 27 年度までの準備時予算（設備建設など）450 億円に対し、常にコストを意識した事業推進により実績額として 315 億円となり、30%の費用削減がなされた。また、その後の CO2 分離回収、圧入貯留、モニタリングなどの操業においては、安全で安定した操業を基本とし、年間 10 万トン規模の CO2 圧入、モニタリング技術の実証に重点的に資金配分を実施している。

（単位：百万円）

年度	平成 21～ 23FY (2009～2011)	平成 24～ 27FY (2012～2015)	平成 28FY (2016)	平成 29FY (2017)	平成 30FY (予算額) (2018)	合計
1) 候補地点における事前調査	7,956	－	－	－	－	7,956
2) 実証試験計画（案）の策定	655	－	－	－	－	655
3) 実証試験設備の設計・建設	－	26,865	－	－	－	26,865
4) CO2 分離回収・貯留技術の実証	－	－	4,371	4,885	4,540	13,796
5) 貯留モニタリング技術の実証	－	3,015	1,390	2,435	2,076	8,916
6) 法規制対応、安全性評価等に係る調査・検討	480	588	120	151	226	1,565
7) 社会的受容性の醸成に向けた情報発信	405	1,022	252	329	458	2,466
合計	9,496	31,490	6,133	7,800	7,300	62,219

6. 費用対効果

本事業の実施にあたっては「CCS 実証事業の安全な実施にあたって」（2009 年 8 月、経済産業省）で示された CCS の大規模実証事業を実施する際に安全面・環境面から遵守することが望ましいとされる基準を考慮する必要がある、必ずしもコスト最優先で進められるものではなかった。また同基準は将来 CCS が実用化される際に整備されるべき安全上のルールを先取りするものではないとされており、本事業の実施を経た後に安全面・環境面から遵守すべき基準について改めて議論される余地があるものとする。

本事業は気候変動問題への対策として取り組む国内初の CCS 大規模実証試験事業であり、技術面に限らず、実証試験を通して得た経験を今後の制度設計等の施策課題解決に活かす目的も含まれており、効率性のみで実施の是非を論ずることは適当ではないと考える。

他方、CCS 技術については、温室効果ガス削減に極めて重要な役割を果たすものであり、IEA の試算によると気温上昇を 2 度に抑えるシナリオにおいて、CCS 技術がない場合の電力分野の追加コストは全世界において 40 年間で 240 兆円（6 兆円/年）に達すると試算されている。（下図）本事業の実施により、CCS を技術オプションとして保有することは、CO₂ 削減量のみならず、経済効果の面からも重要であるとする。

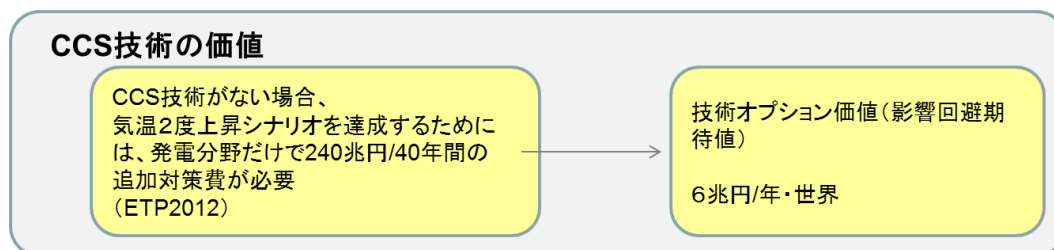


図 2－6 CCS 技術が無い場合の追加コスト

7. 用語集

(1) 略語一覧

① 組織名

D E C C : Department of Energy and Climate Change／英国エネルギー・気候変動省

D N V G L : Det Norske Veritas Germanischer Lloyd／サービス・プロバイダー

E P A : United States Environmental Protection Agency／米国環境保護庁

I M O : International Maritime Organization／国際海事機関

N E T L : National Energy Technology Laboratory／米国エネルギー技術研究所

② プログラム・プロジェクト・会議・委員会等

C S L F : Carbon Sequestration Leadership Forum／

炭素隔離リーダーシップ・フォーラム

G H G T : International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies／

温室効果ガス制御技術国際会議

Ⅱ. 外部有識者（評価検討会等）の評価

1. 総合評価

各事業アウトプットについては概ね計画通り進捗し、着実に実証試験が進められている。萌別層（砂岩層）への CO2 圧入も非常に順調であり、圧入量は 20 万トンを超え、年間 10 万トンの大規模実証という当初の目標は概ね達成しつつあると言える。データの蓄積も順調であり今後の実用化に向けて多くの知見が得られている。実証試験を通して直面した課題、困難等を解決することによって、今後の CCS 事業への良好な教材を提供することも可能であり、CCS 技術の確立に期待が持てる。さらに、住民への理解を深める試みについても着実に浸透していると考ええる。

外部有識者の助言を取り入れていることや CO2 圧入停止に伴う予定の変更など、柔軟にマネジメントしている点も評価できる。また、フィールド規模の実証試験は、コスト、社会受容性等の観点から、民間企業が主導して実施することは困難であり、まさに国が推進すべき事業と考える。

一方、実用化に向けては、今後に関わる問題点の洗い出しや、本事業で得られた知見との繋がりを詳細に検討することが必要と考える。トラブルや問題等が発生し、メンテナンスや外部有識者の助言等により解決した事例について記載があった方がより適切な評価ができるとともに、将来のユーザーへの参考になると考える。また、地震と CO2 圧入に因果関係がないことに関し、より細かな解説を迅速に発信する必要があると考える。

【肯定的所見】

- ・事業は計画通り遂行されており、今後の方向性も概ね妥当と思われる。（A 委員）
- ・これまでのところ圧入量は 20 万トンを超え、年間 10 万トンの大規模実証という当初の目標は概ね達成しつつあると言えるだろう。圧入後のモニタリングも事前のシミュレーションとほぼ一致するなど、これまで蓄積してきた CCS 挙動の予測技術の正確性を裏付けている。（B 委員）
- ・CO2 を圧入する層に関し、貯留に向いた砂岩の萌別層に加え、あえて貯留に向かない火山岩質の滝ノ上層も加えて、実施していることは、実証段階にさまざまな可能性を探求する上で、たいへんに意義のある試みに思う。（B 委員）
- ・結果的に萌別層は順調に CO2 が浸透して圧入量が増えている一方、滝ノ上層は、増えていないが、日本の地盤に多い火山岩層での圧入の難しさを確認する点でも貴重なデータになろう。また、今後、圧入の工夫で火山層での貯留量を増やせる可能性が見いだせれば、国内の潜在的な CO2 貯留量が大幅に増えることになる。（B 委員）
- ・事業自体は順調に進んでおり、今後の実用化のための多くの知見が得られている。住民への理解を深める試みも確実に浸透させている。（C 委員）
- ・当該事業は、今後我が国で CCS を実施する際の最重要項目の 1 つである Storage を実証するものであり（Capture に関しても二段吸収法の実証をしているようであるが）、極めて貴重な知見を得てきていると考える。地下における流体挙動は、「やってみないと分からない」部分が多く、そのため、実際に CO2 貯留を実施することにより、机上では得られない知見を得ることが可能となる。また、実証試験を通して直面した課題、困難等を解決することによって、今後の CCS 事業への良好な教材を提供できる。一方で、こうしたフィールド規模の実証試験は、コスト、社会受容性等の観点から、民間企業が主導して実施することは困難であり、まさに国が推進すべき事業として時宜を得たものと考ええる。（D 委員）

- ・実証実験として萌別層の砂岩層への CO2 圧入は非常にうまく行っており、実証実験としてデータの蓄積も順調であり、CCS 運用技術の確立を含めて期待ができることは非常に良い。（E 委員）
- ・概ね各事業アウトプットにおいて計画通り進捗しており、また、GCCSI により世界の Notable Project の一つに指定されるなど国際的にも評価されており、着実に実証試験が進められていると考える。また、外部有識者の助言を取り入れていることや法規制等に係る対応による CO2 圧入停止に伴う予定の変更など、柔軟にマネジメントしている点も評価できる。（F 委員）

【問題あり・要改善とする所見】

- ・実用化に向け、本事業で得られた知見との繋がりを詳細に検討することが必要である。（A 委員）
- ・全体評価のコメントでも触れたが、今回の実証中にたまたま発生した北海道胆振東部地震に対し、単に受け身の対応だけでなく、社会的受容性を高めるのに必要なデータを集めるなど、積極的に活用する視点も必要ではないか。地震と CO2 圧入に因果関係がないことに関し、より細かな解説を迅速に発信するとともに、圧入実証を知る地域住民がどのように受け止めたか、専門家の説明をどのように受け止め、感じたかなど、事後的に調査し、今後の広報活動などに生かしてほしい。（B 委員）
- ・全体のコスト概要が見えない。折角、実証試験を行っているので、今後に関わる問題点の洗い出しを検討頂きたい。（C 委員）
- ・不確実性の多い地下を対象とした事業であるため、想定外の問題（急に圧入レートが減少してしまう、圧力が上昇してしまう、測定機器が作動しなくなる、等）に直面することが懸念される。これらを解決するには時間がかかると予想されるため、これまでの経験を基に、思い通りに行かない場合のシナリオも想定し、その対応策の準備を怠らず、諸問題に迅速に対応できるように備えておくべきと考える。また、特性や環境の異なる他フィールドへの適用を常に念頭に置いて、結果の解析等を行っていただきたい。（D 委員）
- ・実証試験時にトラブルや問題等が発生し、メンテナンスや外部有識者の助言等により解決してきた事例がもしあるのであれば、当該記載があった方がより適切な評価ができるとともに、将来のユーザーへの参考になると考える。（F 委員）

【総合評価の評点に当たり、特に重要視した評価項目】

< A 委員 >

- (○) 1. 事業アウトカムの妥当性
- (○) 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
- () 3. 当省（国）が実施することの必要性
- (○) 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
- () 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
- () 6. 費用対効果の妥当性

< B 委員 >

- (○) 1. 事業アウトカムの妥当性
- (○) 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
- () 3. 当省（国）が実施することの必要性
- (○) 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
- () 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
- () 6. 費用対効果の妥当性

<C委員>

- (○) 1. 事業アウトカムの妥当性
- (○) 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
- () 3. 当省（国）が実施することの必要性
- (○) 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
- () 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
- () 6. 費用対効果の妥当性

<D委員>

- (○) 1. 事業アウトカムの妥当性
- () 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
- (○) 3. 当省（国）が実施することの必要性
- () 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
- () 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
- () 6. 費用対効果の妥当性

<E委員>

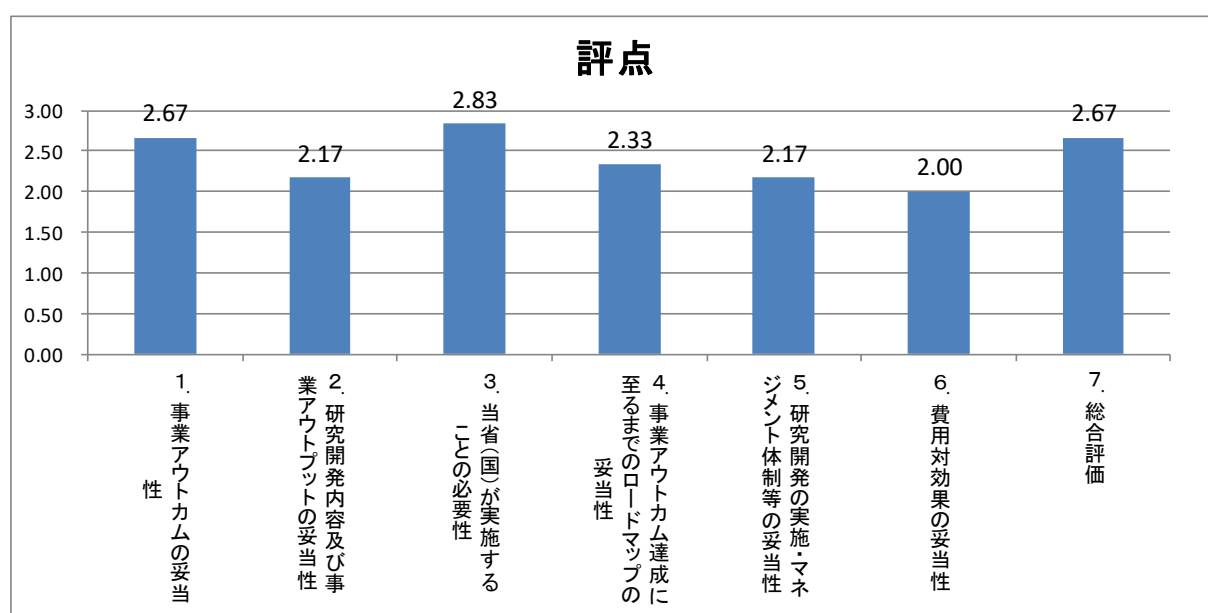
- (○) 1. 事業アウトカムの妥当性
- (○) 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
- () 3. 当省（国）が実施することの必要性
- (○) 4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
- () 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
- () 6. 費用対効果の妥当性

<F委員>

- (○) 1. 事業アウトカムの妥当性
- (○) 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
- (○) 3. 当省（国）が実施することの必要性
- () 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
- () 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
- () 6. 費用対効果の妥当性

Ⅲ. 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	F委員
1. 事業アウトカムの妥当性	2.67	3	2	2	3	3	3
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.17	2	2	2	2	3	2
3. 当省(国)が実施することの必要性	2.83	3	3	2	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	2.33	3	2	1	2	3	3
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	2.17	2	3	1	3	2	2
6. 費用対効果の妥当性	2.00	2	1	2	3	2	2
7. 総合評価	2.67	3	2	2	3	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。

B. 安全な CCS 実施のための CO2 貯留技術の研究開発事業

I. 研究開発課題（プロジェクト）概要

プロジェクト名	安全な CCS 実施のための CO2 貯留技術の研究開発事業			
行政事業レビューとの関係	平成 28 年度 行政事業レビューシート 事業番号 新 28-0044 平成 29 年度 行政事業レビューシート 事業番号 0399			
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。 本事業では、安全かつ経済的な実用化規模（100 万トン規模/年）での CO2 圧入・貯留技術の確立に向け、我が国の不均質で地質構造が複雑な貯留層に適した、実用化規模の CCS における CO2 貯留安全管理技術を開発する。さらに、我が国の CCS 技術の海外展開を志向した研究開発等を実施する。				
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 28 (2016) 年度	2020 年度	平成 30 (2018) 年度	2021 年度	二酸化炭素地中貯留技術研究組合
平成 27 (2015) FY 執行額	平成 28 (2016) FY 執行額	平成 29 (2017) FY 執行額	総執行額	総予算額
—	887	999	1,886	5,746

※総予算額は平成 28～29 年執行額と平成 30 (2018)～2020 年度予算想定額の合計

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
CCS 実用化のためには、安全で経済的な CO2 貯留技術の開発が必要であり、さらには CCS 技術事例集の作成や社会受容性向上などの CCS 普及条件の整備も必要となる。その実現に必要な技術開発要素を設定し、それぞれの技術を開発、確立、実用化することをアウトカム指標とする。 (1) 大規模 CO2 圧入・貯留の安全管理技術の確立 ①-1. 圧入安全管理システムの開発 ①-2. CO2 長期モニタリング技術の開発 ①-3. 大規模貯留層を対象とした地質モデル構築手法の確立 ①-4. 大規模貯留層に適した CO2 挙動シミュレーション、長期挙動予測手法の確立 ①-5. 光ファイバーを利用した地層安定性や廃坑井の健全性監視システムの開発 ①-6. CO2 漏出検出・環境影響評価総合システムの構築 ①-7. リスクマネジメントツールをはじめとする日米 CCS 協力や海外機関との CCUS 技術開発の連携 (2) 大規模貯留層を対象とした有効な圧入・利用技術の確立 ②-1. CO2 圧入井や圧力緩和井の最適配置技術の確立 ②-2. マイクロバブル CO2 圧入技術の適用による貯留率の向上 (3) CCS 普及条件の整備、基準の整備 ③-1. CO2 貯留安全管理プロトコルの整備 ③-2. 苫小牧大規模実証試験や海外プロジェクトの成果や情報を用いた、CCS 技術事例集の作成、国際標準化 (ISO TC265) との連携 ③-3. CCS の広報活動を通じた社会受容性向上方策の検討		
指標目標値 (計画及び実績)		
事業開始時 (平成 28 (2016) 年度)	計画: 基盤技術開発・実証体制の整備	実績: (達成) ・ CO2 回収・貯蔵安全性評価技術開発 (平成 23-平成 27) により、関連調査、基盤技術開発を行い、上記目標技術開発・実証の基盤を構築 ・ 各技術の開発・実証にノウハウのある研究機関、石油会社、建設会社等で技術研究組合を構成し、開発体制を整備
中間評価時 (平成 30 (2018) 年度)	計画: 開発計画の作成と、各実用化要素技術の開発	実績: (達成) ・ 我が国の地質的特性に適した大規模 CO2 貯留の実用化に必要な安全管理技術の開発、有効圧入・貯留技術の開発、および CCS の普及条件や基準の整備に関する計画を作成 ・ 本計画に基づき、大規模 CO2 貯留へのアップスケーリングに向けての地質評価手法、地層安定性監視や漏出 CO2 検出等のモニタリング技術、貯留率向上に資する圧入技術を構築、実証。さらに、社会科学的手法を取り込んだ社会受容性向上手法を開発、実践。
終了時評価時 (2021 年度)	計画: 地中貯留技術の実用化に必要な実用化規模の CO2 圧入安全管理技術、有効な CO2 貯留技術、および社会科学的手法を取り込んだ社会的受容性向上策を確立	実績:
目標最終年度 (2020 年度)	計画: 各実用化要素技術の確立	

2. 事業アウトプット

(1) 研究開発内容

①事業の全体像

前述のアウトカムで設定した研究開発項目とその関連性を下図に示す。

各技術確立を図ることによって本事業の目的が達成されるため、技術項目ごとに目的とスケジュールを設定し、適切なマネジメントのもと研究を推進していく。

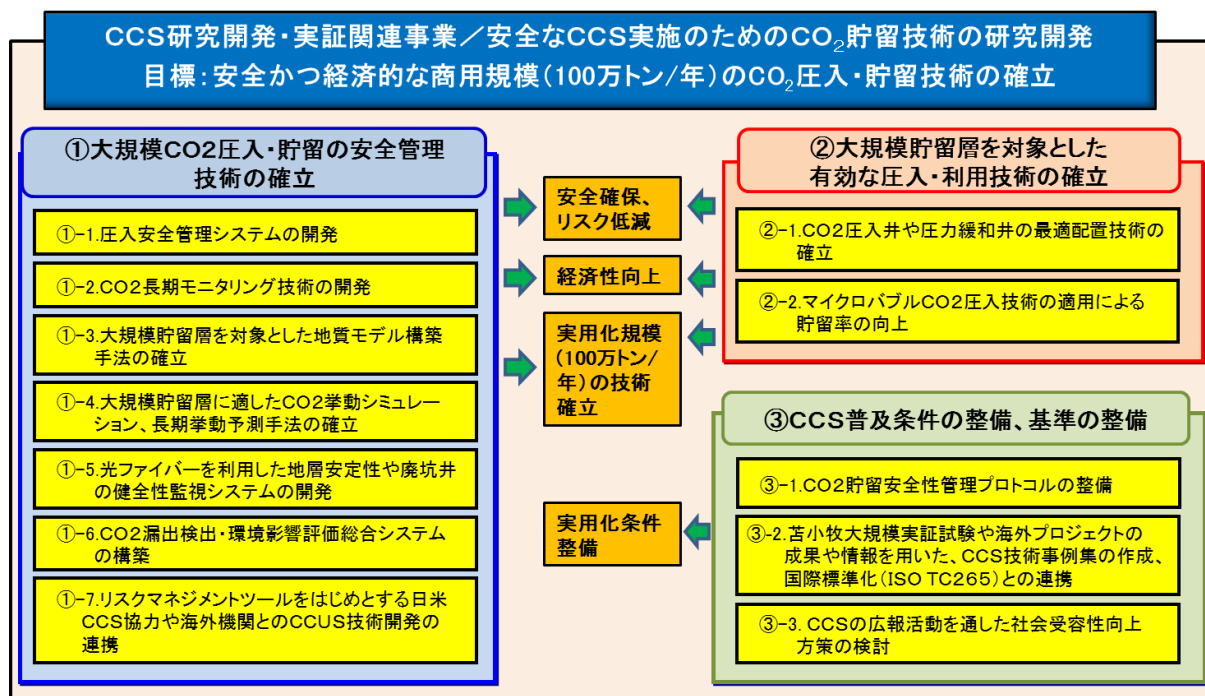


図 3 - 1 事業の全体像

また、研究成果の実施の活用イメージを以下に示す。

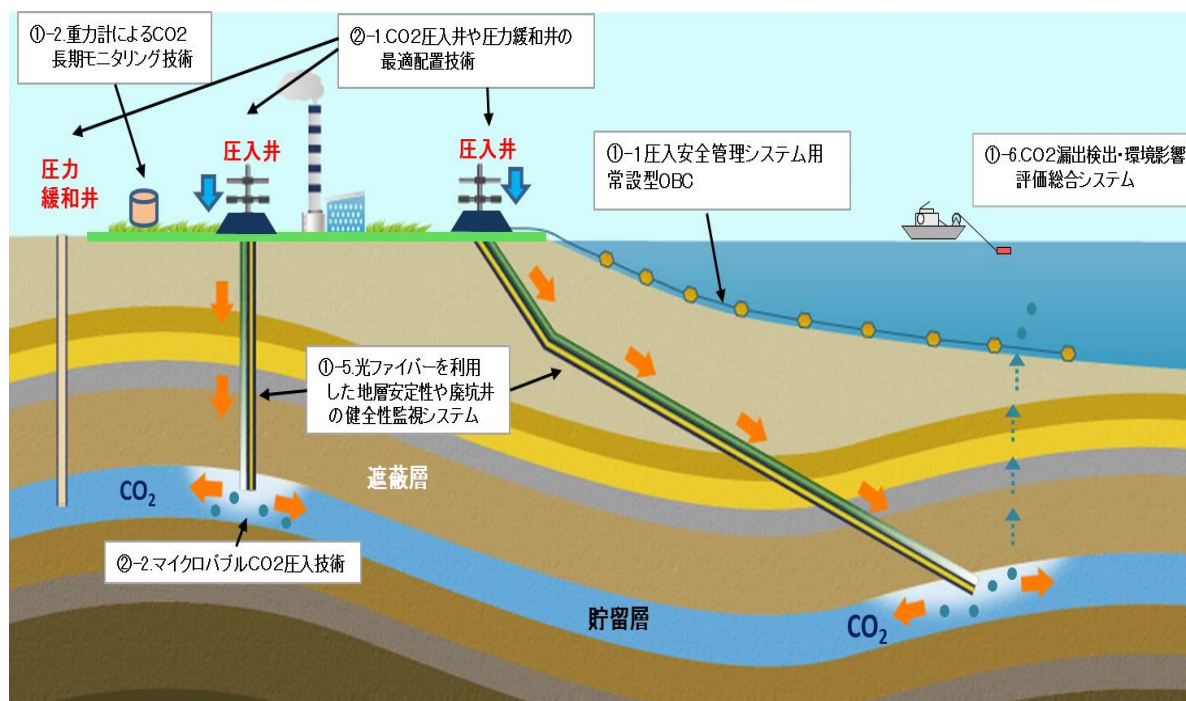


図 3 - 2 研究成果活用のイメージ図

②研究開発内容

本事業では、技術開発の柱として「大規模CO2圧入・貯留の安全管理技術の確立」、「大規模貯留層を対象とした有効な圧入・利用技術の確立」、「CCS普及条件の整備、基準の整備」を設定し、それぞれ具体的な課題を定め、CCS実証サイトも活用しつつ研究を進めて行く。

これにより、実用規模CCSへのアップスケーリング技術の確立、安全な圧入管理や大規模貯留層の適切な性能評価によるリスクと不確実性の低減、モニタリングの効率化によるCCSの経済性の向上、さらにはCCS実現に向けた社会受容性の向上が実現する。

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
(1)大規模 CO2 圧入・貯留の安全管理技術の確立 ① 圧入安全管理システム (ATLS) の開発		
指標目標値 (計画及び実績)		
事業開始時 (平成 28 (2016) 年度)	計画： ・我が国の実状（沿岸域、自然地震が多発）に対応した圧入安全管理技術の確立に目途	実績：(達成) ・苫小牧 CCS 実証試験サイトのデータを活用し、我が国の貯留サイトでの圧入安全管理技術のための基本性能要件を整理 ・ノイズに強い微小振動検知手法を開発
中間評価時 (平成 30 (2018) 年度)	計画： ・圧入安全管理システムの判断基準となる地震活動カタログの作成 ・圧入安全管理システムの個別要素ツールの作成	実績：(達成) ・気象庁から地震観測データ入手し、地震活動カタログを作成していく方法を確立 ・データ処理を行うツール群を完成
終了時評価時 (2021 年度)	計画： ・実観測データ・実適用に基づいた圧入安全管理システムの確立	実績：—

事業アウトプット指標		
(1) 大規模 CO2 圧入・貯留の安全管理技術の確立 ② CO2 長期モニタリング技術の開発		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時 （平成 28(2016) 年度）	計画： ・超伝導重力計を用いた重力データ取得・解析技術の開発に目途 ・苫小牧 CCS 実証試験における高精度重力データの取得	実績：（達成） ・米国 SWP サイトにおいて、世界で初めて超伝導重力計を CCS に適用し、その有効性を確認
中間評価時 （平成 30(2018) 年度）	計画： ・長期連続観測データにおよぼす自然要因の分離方法の検討 ・自然由来の重力変化（ノイズ）の評価と、実測値からノイズを除去するためのデータ解析手法確立	実績：（達成） ・観測データから潮汐成分、気圧応答成分、不規則ノイズを分離し、長期において連続したトレンド成分の抽出に成功 ・潮汐、気圧応答成分除去後の重力値と降水量に相関があることを見出すことで、左記データ解析手法を確立するとともに、ノイズ除去に目途
終了時評価時 （2021 年度）	計画： ・沿岸域 CCS における高精度重力モニタリング技術の確立 ・圧入停止後を含む苫小牧 CCS 実証試験の高精度重力データの取得	実績：—

事業アウトプット指標		
(1) 大規模 CO2 圧入・貯留の安全管理技術の確立 ③ 大規模貯留層を対象とした地質モデル構築手法の確立		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時 （平成 28(2016) 年度）	計画： ・実証規模スケールでの地質モデル構築手法から大規模貯留サイトでのモデル構築に目途	実績：（達成） ・苫小牧 CCS 実証試験サイトの地質モデル構築のためのデータを入手し、検層データ解析を実施 ・地層が堆積した時の環境（堆積環境）の違いが CO2 挙動に影響を及ぼすことを確認
中間評価時 （平成 30(2018) 年度）	計画： ・マクロな堆積環境と弾性波探査データを結びつける手法の確立 ・ミクロスケールでの堆積環境把握手法の確立	実績：（達成） ・弾性波探査データにおいてスペクトル・デコンポジションを行うことにより、マクロな堆積環境の違いを把握 ・イメージ検層データにおいて、ミクロスケールの堆積環境の違いを地質モデル構築へ反映する方法を確立
終了時評価時 （2021 年度）	計画： ・ミクロとマクロをつなげるデータ統合手法の確立 ・大規模貯留層を対象とした CCS に必要なデータの取得、地質モデル構築手法の確立	実績：—

事業アウトプット指標		
(1)大規模 CO2 圧入・貯留の安全管理技術の確立 ④ 大規模貯留層に適した CO2 挙動シミュレーション、長期挙動予測手法の確立		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時 （平成 28(2016) 年度）	計画： ・ジオメカニクスや地化学反応を組み込んだ CO2 挙動シミュレーション構築に目途 ・コアスケールの CO2 挙動に基づくモニタリングデータ解析手法に目途	実績：（達成） ・地化学反応を組み込んだ小さい（数万格子）規模の CO2 挙動シミュレーションの確立 ・X 線 CT による CO2 挙動可視化手法の確立
中間評価時 （平成 30(2018) 年度）	計画： ・ジオメカニクスを考慮したシミュレーションコードの開発 ・X 線 CT による流体の可視化や力学的挙動解析手法の確立	実績：（達成） ・ジオメカニクスを考慮したシミュレーションコードを開発し、実サイトの観測データにより検証 ・X 線 CT による CO2 挙動可視化と力学的挙動解析手法の確立
終了時評価時 （2021 年度）	計画： ・ジオメカニクスや地化学反応を組み込んだ大規模サイトでの長期挙動シミュレーションツールの完成	実績：—

事業アウトプット指標		
(1)大規模 CO2 圧入・貯留の安全管理技術の確立 ⑤ 光ファイバーを利用した地層安定性や廃坑井の健全性監視システムの開発 a) 分布式ひずみ測定		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時 （平成 28(2016) 年度）	計画： ・光ファイバーを用いた分布式ひずみ測定技術の確立に目途	実績：（達成） ・光ファイバーを用いた分布式ひずみ測定に成功し、深度 800m の坑井に設置して検証を実施
中間評価時 （平成 30(2018) 年度）	計画： ・長期連続観測ツールの開発 ・ひずみ測定に適した光ファイバーの設計	実績：（達成） ・長期連続ひずみ測定及び地盤安定性監視システムを開発 ・地層条件に適したひずみ測定光ファイバーの設計と坑井への施工方法を確立
終了時評価時 （2021 年度）	計画： ・長尺光ファイバーを用いた地層安定性や廃坑井の健全性監視システムの開発	実績：—

事業アウトプット指標		
(1)大規模 CO2 圧入・貯留の安全管理技術の確立 ⑤ 光ファイバーを利用した地層安定性や廃坑井の健全性監視システムの開発 b) DAS-VSP による CO2 挙動モニタリング技術開発		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時 （平成 28(2016) 年度）	計画： ・ 光ファイバーを用いた DAS-VSP 観測仕様の決定及び作業準備	実績：（達成） ・ 光ファイバーを用いた DAS-VSP 観測仕様及び実施計画の策定
中間評価時 （平成 30(2018) 年度）	計画： ・ 実坑井を用いて光ファイバーによる DAS-VSP 測定作業	実績：（達成） ・ 実坑井での測定作業および測定データの基本解析
終了時評価時 （2021 年度）	計画： ・ DAS-VSP を用いた繰り返しモニタリング手法の確立	実績：—

事業アウトプット指標		
(1)大規模 CO2 圧入・貯留の安全管理技術の確立 ⑥ CO2 漏出検出・環境影響評価総合システムの構築		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時 （平成 28(2016) 年度）	計画： ・ CO2 海中拡散シミュレーション手法及び化学的漏出検出手法の確立 ・ 物理的漏出検出技術の開発 ・ 漏出による海洋生物影響の調査	実績：（達成） ・ 海流による水温、塩分変化を考慮したシミュレーション手法を構築 ・ 溶存態 CO2 濃度と溶存酸素濃度の相関関係を使った異常値検出手法を提案 ・ 漏出後の気泡に対するサイドスキャンソナーの気泡検出能力を把握 ・ CO2 濃度上昇と暴露時間による生物への影響閾値を提示
中間評価時 （平成 30(2018) 年度）	計画： ・ 潮流、海流を考慮した拡散シミュレーションによる漏出継続時間と濃度の関係の把握 ・ 化学的漏出検出手法における誤判定割合計算手法の構築 ・ サイドスキャンソナーによる CO2 気泡検出手法の総括	実績：（達成） ・ 低解像度モデルによるトレーサシミュレーションにより、濃度が漏出継続時間に依存しないことを把握 ・ 溶存態 CO2 濃度の異常値検出基準値の誤判定割合の計算手法を構築 ・ CO2 気泡検出に関する現場実験を行い、サイドスキャンソナーを使った検出手法を確立
終了時評価時 （2021 年度）	計画： ・ 生物影響データベースの構築 ・ 海中拡散シミュレーション、漏出監視手法、生物影響データベースを組み合わせた CO2 漏出検出・環境影響評価総合システムの構築	実績：—

事業アウトプット指標		
(1)大規模 CO2 圧入・貯留の安全管理技術の確立 ⑦ リスクマネジメントツールをはじめとする日米 CCS 協力や海外機関との CCUS (CO2 回収・有効利用・貯留) 技術開発の連携		
指標目標値 (計画及び実績)		
事業開始時 (平成 28(2016)年度)	計画： ・我が国に適したリスクマネジメント手法の確立と、海外機関と関連技術開発の協力の目途	実績：(達成) ・米国 DOE が開発した NRAP (National Risk Assessment Partnership) リスクマネジメントツールの詳細調査 ・日本における NRAP ツール適用時の課題抽出
中間評価時 (平成 30(2018)年度)	計画： ・海外事例・リスクマネジメントツールの調査 ・日米協力としての海外現場試験への参加と光ファイバー計測試験の実施	実績：(達成) ・NRAP ツール(Phase1)の調査及び課題抽出を完了 ・カナダ CaMI フィールドでの光ファイバーひずみ測定試験を実施
終了時評価時 (2021 年度)	計画： ・我が国に適したリスクマネジメント手法の策定 ・海外機関との技術協力を通じたわが国の CCS 研究技術開発成果の海外発信	実績：—

事業アウトプット指標		
(2)大規模貯留層を対象とした有効な圧入・利用技術の確立 ① CO2 圧入井や圧力緩和井の最適配置技術の確立		
指標目標値 (計画及び実績)		
事業開始時 (平成 28(2016)年度)	計画： ・複数坑井配置を最適化するシミュレーション手法の構築に目途	実績：(達成) ・海外における複数の圧入井や圧力緩和井の有効性検討の事例を調査
中間評価時 (平成 30(2018)年度)	計画： ・海外の複数坑井導入サイトの調査 ・複数坑井の最適配置シミュレーション技術を実サイトに適用	実績：(達成) ・複数坑井の最適配置シミュレーション手法を構築し、既存サイトの情報に基づく有効性検討
終了時評価時 (2021 年度)	計画： ・大規模サイトを対象とした複数坑井の最適配置技術の確立	実績：—

事業アウトプット指標		
(2)大規模貯留層を対象とした有効な圧入・利用技術の確立 ② マイクロバブル CO2 圧入技術の適用による貯留率の向上		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時 （平成 28(2016) 年度）	計画： ・ マイクロバブル CO2 圧入による地層孔隙有効利用に目途	実績：（達成） ・ マイクロバブル CO2 が狭い孔隙にも侵入し、貯留率が向上することを確認
中間評価時 （平成 30(2018) 年度）	計画： ・ マイクロバブル発生装置の設計、検証 ・ コア試験によるマイクロバブル有効性の検証	実績：（達成） ・ マイクロバブル坑内ツールの製作と、現場着脱試験を実施 ・ マイクロバブル CO2 浸透メカニズムを解明
終了時評価時 （2021 年度）	計画： ・ 実サイトでのマイクロバブル CO2 圧入手法の確立及び有効性の検証	実績：－

事業アウトプット指標		
(3)CCS 普及条件の整備、基準の整備 ① CO2 貯留安全管理プロトコル（IRP）の整備		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時 （平成 28(2016) 年度）	計画： ・ 許可申請書類を対象とした海外事例調査	実績：（達成） ・ 英国、オランダ、米国、カナダの CO2 貯留の許可申請書類の調査、取りまとめ ・ 海外のインシデント対応事例（Weyburn の CO2 漏洩疑惑対応など）の調査、取りまとめ
中間評価時 （平成 30(2018) 年度）	計画： ・ 国内外の事例に基づき日本版 IRP の要件を抽出 ・ 日本版 IRP が対象とするインシデントの抽出 ・ 日本版 IRP の基本構成案の作成	実績：（達成） ・ 海洋汚染防止法、METI ガイドライン、苫小牧 CCS 実証試験に係る許可申請書、ISO、カナダの関連法規などを分析し、日本版 IRP の要件を抽出 ・ ステークホルダーが懸念するインシデントを検討し、日本版 IRP が対象とするインシデントを抽出 ・ 抽出した日本版 IRP の要件と対象インシデントから基本構成案を作成
終了時評価時 （2021 年度）	計画： ・ 日本版 IRP の完成 ・ ステークホルダーの懸念に対応した QA 集の完成	実績：－

事業アウトプット指標		
(3) CCS 普及条件の整備、基準の整備 ② 苫小牧大規模実証試験や海外プロジェクトの成果や情報を用いた、CCS 技術事例集の作成、国際標準化（ISO TC265）との連携		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時 （平成 28 (2016) 年度）	計画： ・技術事例集の構成が固まり、関連する情報を収集し、事例集の作成を開始	実績：（達成） ・事例集の構成を「基本計画」、「サイト選定」、「特性評価」、「実施計画」、「設計・建設」、「操業・管理」、「サイト閉鎖」、「閉鎖後管理」と設定 ・長岡実証試験など、関連する事例を収集し、内容の記載に着手
中間評価時 （平成 30 (2018) 年度）	計画： ・「基本計画」、「サイト選定」、「特性評価」、「実施計画」のドラフト版を作成 ・「設計・建設」、「操業・管理」、「サイト閉鎖」、「閉鎖後管理」について、海外事例を調査し、作成に着手	実績：（達成） ・長岡実証試験や海外事例を収集、整理し、「基本計画」「サイト選定」「特性評価」「実施計画」のドラフトを作成 ・米国、カナダ、豪州等の CCS 専門家からヒアリングするなどし、「設計・建設」、「操業・管理」、「サイト閉鎖」、「閉鎖後管理」に関する情報を収集し、事例集に反映
終了時評価時 （2021 年度）	計画： ・技術事例集の完成と公開	実績：－

事業アウトプット指標		
(3) CCS 普及条件の整備、基準の整備 ③ CCS の広報活動を通じた社会受容性向上方策の検討		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時 （平成 28(2016) 年度）	計画： ・ CCS に関するワークショップを開催するなど、社会受容性向上の活動の継続実施	実績：（計画どおり実施） ・ CO2 回収・貯蔵安全性評価技術開発（平成 23～平成 27）事業において、ワークショップなどを通して社会受容性向上活動を継続実施
中間評価時 （平成 30(2018) 年度）	計画： ・ ワークショップ開催などを通じ、事業成果を積極発信し、CCS の社会受容性向上に貢献 ・ P0 マニュアルの作成を目指し、海外事例の調査 ・ P0 教材を試作、評価・改良の実施	実績：（計画どおり実施） ・ ワークショップを年 1 回開催し、事業成果に高評価を獲得（アンケート結果） ・ P0 マニュアルの作成を目指し、CCS の社会受容性向上策として海外の先行事例を調査 ・ 小中高生向けの P0 教材を試作し、CCS 普及教育等に活用し、評価・改良を実施 ・ フォーラムは平成 29 年度より開催。
終了時評価時 （2021 年度）	計画： ・ ワークショップ、有識者を対象としたフォーラムの開催など、社会受容性向上活動の強化 ・ P0 マニュアルと P0 教材の完成 ・ 事業成果の海外展開を指向し、海外関係者への PR や海外展開の条件整備	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
34	64	7	1	0	0	0

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、社会的受容性の向上等を実施し、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のスケジュール

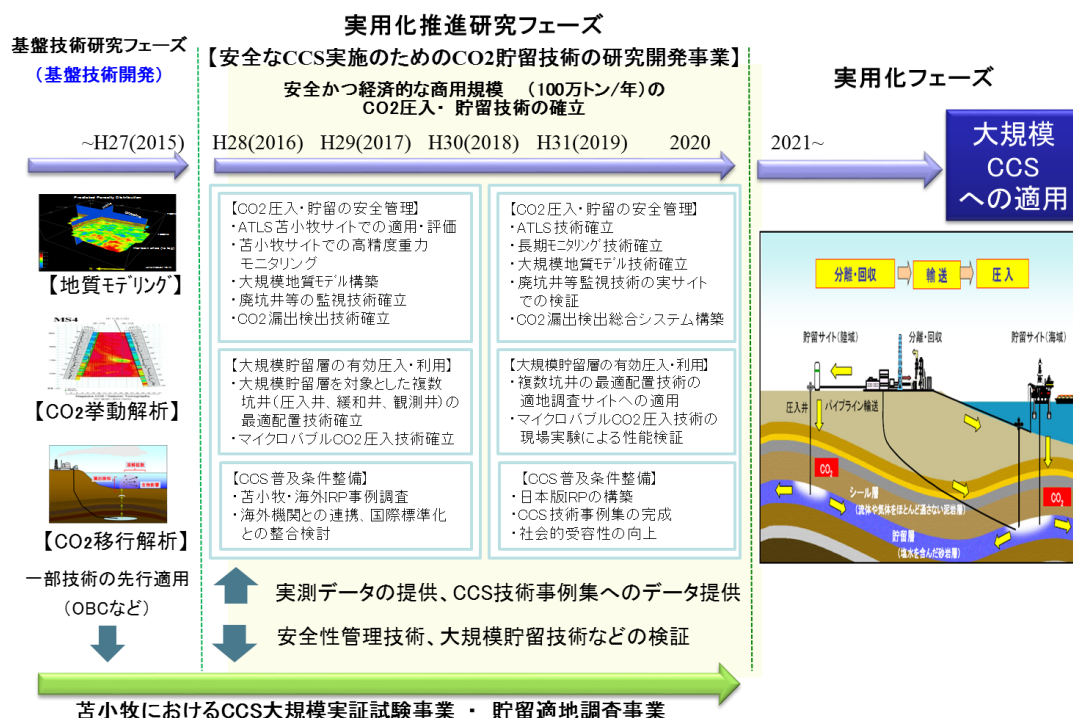


図3-3 アウトカムに至るまでのスケジュール

スケジュール（上図）に従い、2. 事業アウトプットに示した基盤技術開発を進めることにより、安全かつ経済的な実用化規模（100万トン規模/年）でのCO₂圧入・貯留技術の確立を目指す。

(2) 知財管理の取扱い

二酸化炭素地中貯留技術研究組合「知的財産委員会」において、二酸化炭素地中貯留技術研究組合の研究開発の成果についての権利化、秘匿化、公表等の方針決定、実施許諾に関する調整等を行う。特に、権利の帰属に関しては、発明者の寄与度等を考慮して判断するようにし、研究者個々のモチベーションを高めるようにしている。

技術研究組合から組合員への知的財産権の譲渡については、「知的財産権取扱協定書」に基づき行う。

(3) 実証や国際標準化

実証に関しては、本事業ならびに並行で進められている苫小牧CCS実証試験等の終了後、制度的仕組みの導入等の検討が開始され、本格導入に向けた検討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、地中貯留WG3はすでに出版した。本事業にて作成するCCS技術事例集については、将来のCCS事業者に向けた参考資料として作成しているが、その海外展開に際しては、ISO/TC265との整合性をとりつつ進めていく。

(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

将来のCO2貯留事業者が本事業成果のユーザーとなる。CO2貯留事業者の運営主体は石油会社、エンジニアリング会社等、資本出資主体は主要CO2排出業者となると考えられる。

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、公募による選定審査手続きを経て、二酸化炭素地中貯留研究技術組合が、平成28年度～平成29年度は経済産業省からの委託事業として、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）の委託事業として実施している。

下図に本事業の全体スケジュールを示した。

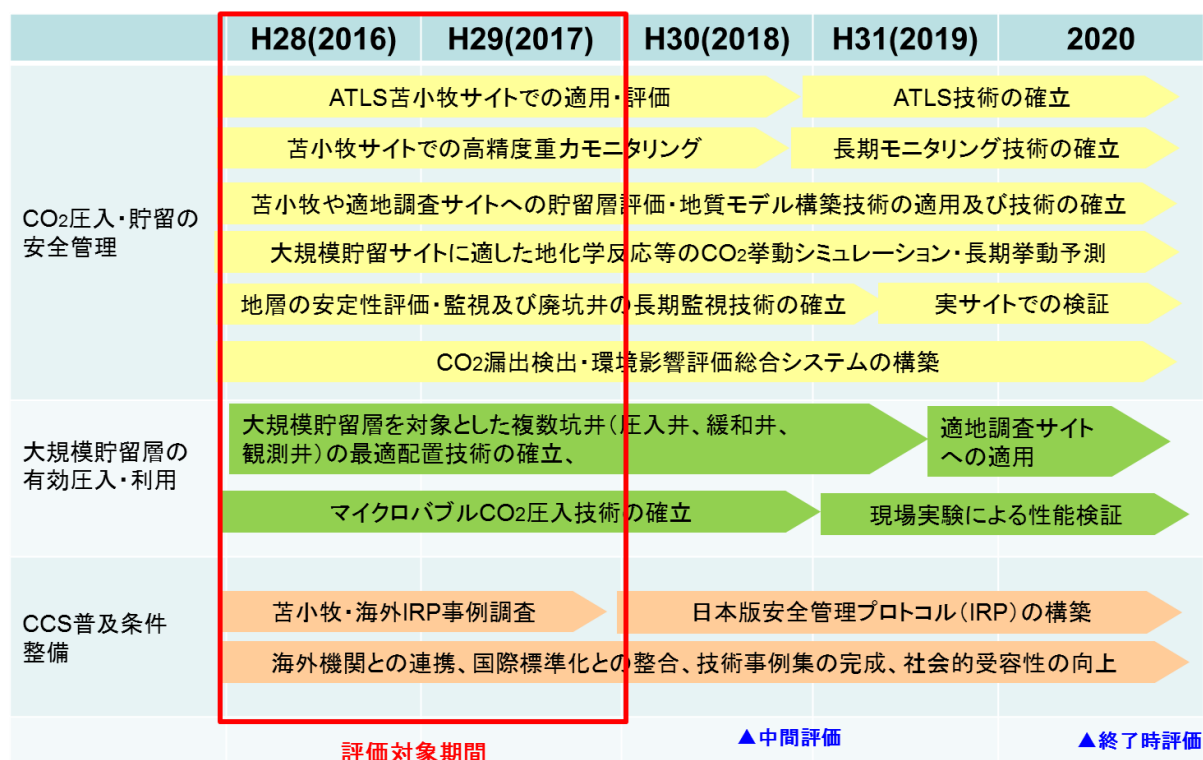


図 3 - 4 研究開発計画

(2) 研究開発の実施体制

① 事業の実施体制

本事業の実施体制を次頁に示す。

プロジェクトリーダーによる全体とりまとめや進捗管理を行うとともに、第三者の有識者委員会による「研究推進委員会」を設置し、進捗状況の確認と技術的な助言を得るなど、計画を適宜改善しながら事業を実施している。

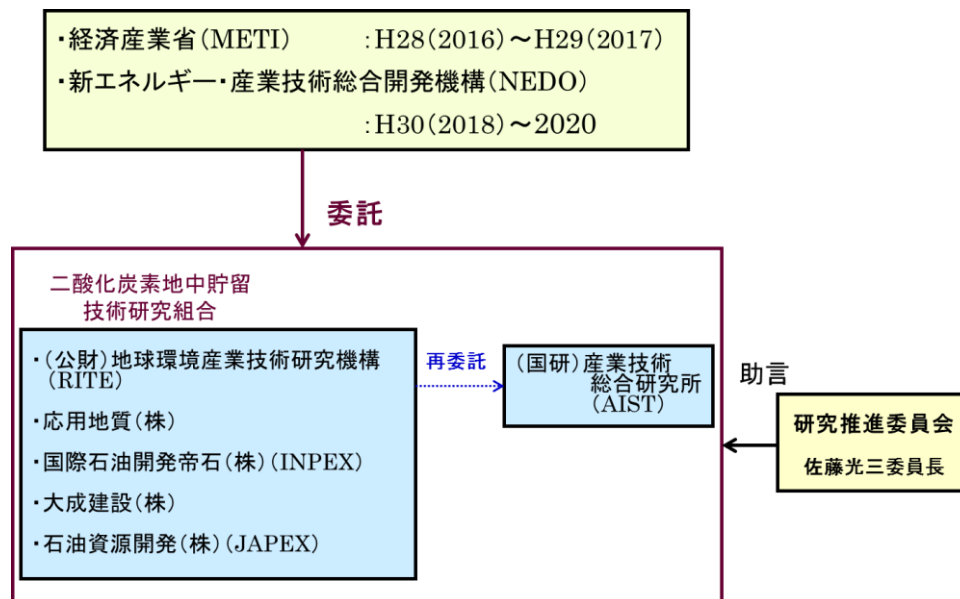


図3-5 実施体制

② 事業の運営体制

二酸化炭素地中貯留技術研究組合に参加している研究機関と企業は、専門とする分野、あるいは保有する研究設備や実証サイトに基づいて、適切な分担で事業を運営している。

研 究 課 題		実施組員
(1)大規模CO ₂ 圧入・貯留の安全管理技術の確立	①圧入安全管理システムの開発	RITE、JAPEX、INPEX
	②CO ₂ 長期モニタリング技術の開発	AIST
	③大規模貯留層を対象とした地質モデル構築手法の確立	RITE、JAPEX、応用地質
	④大規模貯留層に適したCO ₂ 挙動シミュレーション、長期挙動予測手法の確立	RITE、AIST、大成建設、応用地質
	⑤光ファイバーを利用した地層安定性や廃坑井の健全性監視システムの開発	RITE、AIST、JAPEX、INPEX
	⑥CO ₂ 漏出検出・環境影響評価総合システムの構築	RITE
	⑦リスクマネジメントツールをはじめとする日米CCS協力や海外機関とのCCUS技術開発の連携	RITE、大成建設
(2)大規模貯留層を対象とした有効な圧入・利用技術の確立	①CO ₂ 圧入井や圧力緩和井の最適配置技術の確立	RITE、大成建設
	②マイクロバブルCO ₂ 圧入技術の適用による貯留率の向上	RITE、JAPEX
(3)CCS普及条件の整備、基準の整備	①CO ₂ 貯留安全管理プロトコルの整備	RITE
	②苫小牧大規模実証試験や海外プロジェクトの成果や情報を用いた、CCS技術事例集の作成、国際標準化(ISO TC265)との連携	RITE
	③CCSの広報活動を通じた社会受容性向上方策の検討	RITE

図3-6 二酸化炭素地中貯留技術研究組合における役割分担

(3) 「国民との科学・技術対話」の推進

CO2地中貯留技術の最近の研究開発動向や海外での開発状況全般について報告し、CO2地中貯留に関心を持つ方々に最新の情報を広く伝えることで、官民を挙げたCO2削減に関する研究開発活動の理解を得ることを目的として、「国民との科学・技術対話」に積極的に取り組み、「CCSテクニカルワークショップ」を平成28年度と平成29年度に各1回行った。（本事業期間中、毎年1回実施予定）

【平成28年度】

CCSテクニカルワークショップ2016「安全な大規模CO2地中貯留に向けて」

日時：平成29年1月19日（木）10時～17時30分

会場：虎ノ門ヒルズ メインホール

参加人数：365名

【平成29年度】

CCSテクニカルワークショップ2017「大規模CO2地中貯留技術の実用化に向けて」

日時：平成30年1月23日（火）10時～17時30分

会場：イイノホール

参加人数：320名

(4) 資金配分

年度ごとの資金配分を以下に示す。

研究開発に当たっては、技術項目ごとにリソースの配分を適正化し、研究資金の最適な振り分けとコストダウンを図っている。

（単位：百万円）

年度	平成28FY (2016)	平成29FY (2017)	平成30FY (予算額) (2018)	合計
(1) 大規模CO2圧入・貯留の安全管理技術の確立	680	800	700	2,180
(2) 大規模貯留層の有効圧入・利用技術の確立	90	89	190	369
(3) CCS普及条件の整備、基準の整備	117	110	110	337
合計	887	999	1,000	2,886

(5) 社会経済情勢等周囲の状況変化への柔軟な対応

苫小牧CCS実証試験の実施状況に合わせ、研究開発課題の設定・修正や研究成果の提供等を柔軟に行っていく。また、他の関係事業の推進状況も把握するようにしている。CCSの実用化については、米国など海外が先行しており、その情報収集、共同研究の実施などを通し、研究計画を柔軟に改良・拡充するようにしている。

研究成果は、CCS事業へ適用するのみでなく、CO2利用や他分野で活用することも指向している。

6. 費用対効果

CCS技術については、温室効果ガス削減に極めて重要な役割を果たすものであり、IEAの試算によると気温上昇を2度に抑えるシナリオにおいて、CCS技術がない場合の電力分野の追加コストは40年間で240兆円に達すると試算されている。（下図効果1）さらに、CCS無しでは、他のCO2排出削減オプションに対する圧力も増すことになるとされている。

本事業は主にCCS事業の安全性向上に資する技術開発であるが、開発技術の導入による圧入後モニタリング（3D探査頻度の低減）のコスト低減効果を試算すると、1サイト当たり80億円程度が見込まれる。（下図効果2）

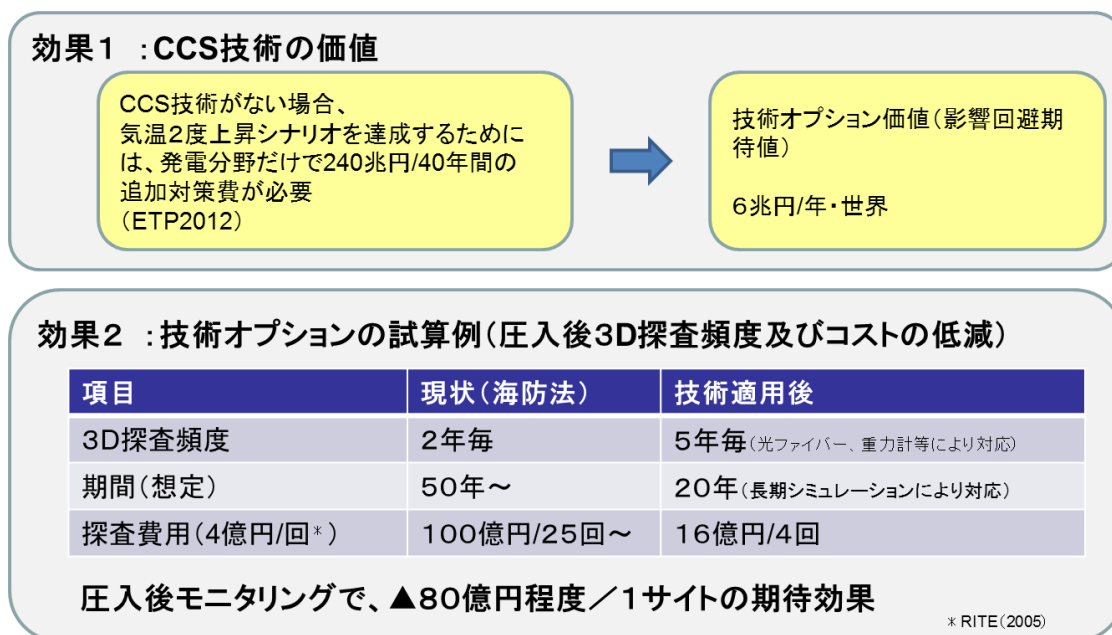


図3-7 費用対効果の試算例

さらに、事業アウトプットを適切に活用すれば、次頁の表に示す貢献が可能であり、さらなる費用対効果の向上が期待される。

表 1 本事業の各分野において期待される効果

事業貢献分野	対象成果	貢献内容	効果の評価
事業の不確実性の低減	・地質モデル構築 ・長期シミュレーション ・NRAP	・貯留可能量を推定するとともに、不確実性やリスクも定量評価し、投資メリット・リスクを明確化する。	・民間企業の投資判断促進（経営リスクを許容範囲以下に抑制） ・インセンティブ、ファイナンスの適正化
貯留量拡充	・地質モデル構築 ・坑井最適配置	・潜在貯留可能量を正確に見極め、坑井を最適配置し、貯留量の拡充を図る。	・貯留層の活用範囲を拡充
貯留層有効活用	・マイクロバブルCO2圧入技術	・マイクロバブルCO2圧入技術の適用により、貯留層の孔隙を有効活用する。	・貯留層の孔隙の利用率を向上
稼働率向上	・ATLS ・IRP	・地震カタログの整備により、不要な停止を排除し、CCS全体の稼働率を向上させる。 ・トラブル発生時に適切な地域対応を行い、CCSに対する不安払しょくを図る。	・地震による停止期間を削減 ・トラブル発生時の地元対応（非技術対策）的確化による停止期間を削減
設備・運用コスト低減	・光ファイバーセンサー ・CO2漏出検知 ・超伝導重力計、電磁探査 ・長期シミュレーション	・重力計と光ファイバーセンサーにより、CO2圧入後のモニタリング頻度と期間を短縮する。 ・サイドスキャンソナーにより海域におけるCO2漏出監視を効率化する。 ・長期シミュレーションにより、CO2挙動安定時期を明確にし、超長期のモニタリングを不要にする。	・モニタリングコスト・期間を低減 ・モニタリング用設備を合理化
最適事例参照	・技術事例集 ・海外連携	・国内外の適切な先例を的確に把握することにより、CCSの計画・設計・建設・運用・保守を効率化する。	・設計、建設の手戻りを削減 ・適切な運用保守方法を設定し、関連コストを削減
社会受容性向上	・PO/PA	・国民・住民の理解を得ることで、CCS促進や適切な貯留地点の選定が可能となる。 ・国内外の適切な先例を的確に把握することにより、CCS立地計画を効率化する。	・CCSへの国民理解度向上 ・費用対効果の高い貯留層の選定 ・住民理解により、計画期間やトラブル対応停止時の停止期間を削減
波及効果	・マイクロバブルCO2圧入技術 ・光ファイバーセンサー	・CO2-EORの効率向上 ・地すべりや長尺構造物の監視	・石油増産効果→CCS経済性の向上 ・市場規模：国内で数千億円/年

7. 用語集

(五十音、アルファベット順)

圧入安全管理システム (ATLS) :

サイト周辺での微小振動を含む地震発生状況を操業側にフィードバックし、地中への CO₂ 圧入時の安全性確保を行うためのシステム。

アップスケール技術 :

貯留規模を 100 万トン/年の実用化規模にするために必要な大規模化技術。地質モデル確立やシミュレーション技術、圧入井等の最適配置技術等がある。

圧力緩和井 :

大量の CO₂ 圧入による貯留層の圧力上昇を緩和する目的で、貯留層内から揚水するために用いる坑井。

イメージ検層データ :

比抵抗、空隙径分布等の検層データを図面化し、視覚的に理解しやすいようにしたデータのこと。

インシデント (Incident) :

CO₂ 貯留事業を遅滞または中断させる可能性がある事象がある事象。具体的には CO₂ 漏出懸念や地震の発生が相当する。

化学的漏出検出手法 :

海水の pH 等化学的な数値で、海水への CO₂ 漏出を検出する手法。

カナダ CaMI フィールド :

カナダのカルガリー州にあるカナダ・米国・ドイツが参加している CCS 実証サイト。

気圧応答成分 :

気圧の変化により、重力が変化する成分。

検層データ解析 :

地質モデル構築やモニタリング目的のため、観測井等に観測機器を降下させ、深さ方向毎に、中性子や音波を利用した物理データ測定や、比抵抗の測定を実施し、地層の状態を把握するための解析。

コア試験 :

ボーリングで採取された岩石コアを用いた試験。

コアスケール：

ボーリングによって採取された岩石コアを対象とする規模。CCS サイト全体（数 km 四方）と対比した規模感を示す。

高精度重力モニタリング技術：

超伝導重力計を用いて、重力の微小変化から、CO₂ の挙動を監視するための技術で、弾性波探査を補完するためのもの。

サイドスキャンソナー：

音波を発して、その反射画像を面的に捉える機器を使用し、水中の CO₂ 気泡に対する反射信号を解析し、海底下地中深部の貯留層からの万が一の CO₂ 漏出監視に利用する。

ジオメカニクス：

流体の圧入等で生じる貯留層等の変形を、応力、間隙圧力、岩盤強度といった力学的データで評価するもの。

地盤安定性監視システム

坑井周辺の地盤変形を時間的・空間的に連続に計測するための測定機器。

シミュレーションコード

貯留層内における CO₂ 挙動把握のため計算プログラム。

スペクトル・デコンポジション：

弾性波探査データを周波数帯に分けて分析することで、堆積体の境界の明瞭化や堆積体の層厚の変化を調べる技術。

堆積環境：

堆積物は、それらがたまる区域やその周辺地域の物理的・化学的・生物的・地理的・地質的な条件の違いに応じて、それぞれ特有の性質をもっているが、堆積物がたまる時の諸条件を堆積環境という。

弾性波探査：

地表または地中で人工的に発生させた弾性波（縦波：P 波、または横波：S 波）が直接または屈折して地層中を伝播する状況を地表に設置した測定装置で観測し、その結果を解析して地下構造を解明する方法。

地化学反応

圧入した CO₂ が地下水に溶解し、その CO₂ 溶解水が地層中の鉱物に及ぼす化学的反応。

地層孔隙：

貯留層内の岩石粒子間の空間および隙間であり、通常は地下水で満たされている。

長期挙動シミュレーションツール

圧入された CO₂ が、長期にわたり貯留層内をどのように移動拡散していくかを予測するプログラム。

潮汐成分：

潮の満引きと地球の変形により、重力が変化する成分。

超伝導重力計：

超伝導体を流れる電流によって生じる磁場を利用して球体を浮かせ、その位置の制御に必要な電圧変化から重力を測定するもの。高精度の重力測定が可能。

トレーサーシミュレーション：

溶存態 CO₂ の広がりを推定するため、海流や潮流を表現する海洋循環モデルを使って、海水の流動で移動していく仮想物質（トレーサー）の広がりを計算すること。

長岡実証試験：

RITE が新潟県長岡市 INPEX 岩野原基地内で実施した、深部帯水層へのわが国初の CO₂ 圧入試験。平成 15 年から 17 年にかけて 10400 トンの CO₂ を圧入し、各種の貴重なデータを取得した。

物理的漏出検出技術：

海水中の CO₂ 気泡を音波等によって見つけることで、海水への CO₂ 漏出を検出する技術。

米国 SWP サイト：

米国エネルギー省（DOE）が主導する地域パートナーシップ（Regional Carbon Sequestration Partnerships：RCSP）の 1 つである南西部炭素隔離地域パートナーシップ（Southwest Regional Partnership for Carbon Sequestration：SWP）に参画して重力モニタリングを実施した、テキサス州ファーンズワースの EOR サイト。

マイクロバブル CO₂ 圧入技術：

CO₂ をマイクロバブル（微細気泡）化し、貯留層に圧入することによって、CO₂ が地層の狭い孔隙まで入り込み、貯留率を高める方法、

溶存態 CO₂ 濃度：

海水中に溶解している CO₂ の濃度を示す指標。

リスクマネジメント：

経営活動に生じるさまざまな危険を、その影響度や頻度を踏まえた上で、組織的に管理（マネジメント）し、損失などの回避または低減をはかる危機管理手法。

CO2 貯留安全性管理プロトコル（IRP）：

インシデントが生じた際に使用する対応手順・計画。具体的には関係者への情報連絡手順等。
（現場での具体的なオペレーション手順（バルブ操作手順など）は対象外）

DAS-VSP（Distributed Acoustic Sensing - Vertical Seismic Profiling）：

分布型音響センサー（Distributed Acoustic Sensing）を用いて、坑井周辺の地層構造断面図を表示する手法。

NRAP（National Risk Assessment Partnership）：

米国 DOE が開発したリスク評価ツール。CCS の実施に当たり、事業者、投資家、規制当局などが、リスクや不確実性を的確に把握し、適切な措置を図れることを目的とする。

PO（Public Outreach）：

CCS など公共財の立地・運用に関して国民、地元住民、その他関係者への理解促進を図り、社会受容性を向上させるための広報活動。

Ⅱ．外部有識者（評価検討会等）の評価

1．総合評価

研究項目は多岐に渡り、地質モデリング技術やシミュレーション技術等のように挙動予測に関するもの、モニタリング技術、CO₂漏洩検出技術、CO₂圧入手法等のようなフィールド規模のものが含まれるが、過去2年間で着実に高度な要素技術を蓄積しつつあり、本プロジェクトは順調に進んでいると言える。外部有識者の助言を取り入れていることや海外CCSの情報収集、共同研究の実施などを通し、研究計画を改良・拡充するなど、柔軟にマネジメントしている点も評価できる。また、フィールド規模の研究は、コスト、対象フィールドの確保等の観点から、民間企業が主導して実施することは困難であり、まさに国が推進すべきプロジェクトと考える。

一方、より実用的な観点からの検討、研究開発の実施が必要と思われる。例えば、ここで開発された技術が、従来手法に比べ、どのようにCO₂貯留の質を向上させるのか明確にし、可能であれば定量的に示す必要がある。そうでなければ、技術は開発したものの、実際に適用可能なのか、適用したとしてどの程度の効果があるのかが不明なまま終了してしまう懸念がある。また、研究項目は多岐に渡っていて数多く実施することも重要ではあるが、それに伴いコストが上昇するため、優先順位をつけ、どの時期にどのような評価を行うかなどについて検討することも必要と考える。

【肯定的所見】

- ・概ね妥当と思われる事業成果である。（A委員）
- ・地震国の日本でCCSを大規模に実施することの大きな課題の1つは、社会的受容性の向上といえる。具体的にいうと、「CO₂の圧入によって地震を誘発することがない」ことをサイト近隣の住民や自治体に科学的に分かりやすく説明し、理解・納得してもらえるか、ということになる。そうした視点で見ると、今回の「安全なCCS実施のための研究開発事業」で、モニタリングとそのデータ分析に7項目を挙げ、研究リソースの多くを割いているのは適切だろう。それぞれの研究テーマが既存技術の応用であっても、それを大規模なCCS事業に適用して、適切なデータを取得・分析するかは意義があり、それがCCS事業者の説明責任を果たすことになる。（B委員）
- ・CCSにおけるCO₂圧入に関する安全管理やモニタリング、シミュレーション技術などは、油田の探索や掘削で蓄積した技術が生かせるが、もともと地層中にある異物（原油）を取り出すことと、新たに圧入することでは、似て非なる面もあろう。大規模CCSに向け最適化の意味は大きい。（B委員）
- ・CO₂の圧入規模をさらに大きくした場合、複数の圧入井を並行して運用することになり、また、圧力緩和井が必要になるとされている。こうした苫小牧サイトで経験できないオペレーションに関して事前に研究する意義は大きい。（B委員）
- ・CCS普及条件整備として、事例調査、事例集の作成、国際標準化との連携に取り組むことは、CCSが民間ベースで実施され始めた際に生かされる。世界的にCCSが普及し始める段階で、日本が主導権を確保し、日本企業のビジネスを広げるなど、産業政策的な側面からも意義が大きい。（B委員）
- ・事業アウトカムが明確であり、事業アウトプットの指標及び目標値が明確である。事業も多くの成果をあげており、事業は順調に進んでいると判断できる。（C委員）
- ・当該事業は、実用化規模でのCCSを想定して、Storageに関する周辺技術の向上・確立を目指すもので、今後我が国での大規模なCO₂貯留の安全かつ効率的な実施を支援するものである。研究項目は

多岐にわたり、地質モデリング技術やシミュレーション技術等のように挙動予測に関するもの、モニタリング技術、CO₂漏洩検出技術、CO₂圧入手法等のようなフィールド規模のものが含まれるが、個々の研究の目標は明確で、過去2年間に着実に高度な要素技術を蓄積しつつある。また、フィールド規模の研究は、コスト、対象フィールドの確保、等の観点から、民間企業が主導して実施することは困難であり、まさに国が推進すべき事業として相応しいと考える。（D委員）

- ・本プロジェクトのテーマ「①大規模CO₂圧入・貯留の安全管理技術の確立」においては、苫小牧の大規模実証実験のデータを有効に活用しながら検証を行い技術の確立を進めているので、その点は評価できる。（E委員）

- ・概ね各事業アウトプットにおいて計画通り進捗しており、また、定量的なメリットが期待できるマイクロバブルCO₂圧入技術にてCO₂貯留量約30%増加の結果が得られるなど、着実に研究が進められていると考える。また、外部有識者の助言を取り入れていることや海外CCSの情報収集、共同研究の実施などを通し、研究計画を改良・拡充するなど、柔軟にマネジメントしている点も評価できる。（F委員）

【問題あり・要改善とする所見】

- ・より実用的観点からの検討、開発実施が必要と思われる。（A委員）

- ・数多く評価することは重要ではあるが、当然それに伴いコストは向上する。必要なこと、不要なこと、あるいはどの時期にどのような評価が必要かなど、コストの視点からも評価も必要である。（C委員）

- ・CO₂の圧入・貯留に関する周辺技術・要素技術であるために、これらの技術がなくとも、CO₂の貯留自体は可能である。本事業の価値は、単にCO₂の貯留を可能とするための技術開発ではなく、安全性、経済性等の観点から、より質の高いCO₂貯留の実現を目指すところにある。したがって、ここで開発された技術によって、従来手法に比べて、どのようにCO₂貯留の質が向上するのかを、明確に、できれば定量的に示さなければ、技術は開発したが、実際に適用可能なのか、適用したとしてどの程度の効果があるのかが不明なまま終了してしまう懸念がある。（D委員）

- ・本プロジェクトの目標である「安全かつ経済的な実用化規模（100万トン/年）のCO₂圧入・貯留技術の確立」において経済性と規模の点でCCSの実用化に資する技術を確立する必要があるが、「②大規模貯留層を対象とした有効な圧入・利用技術の確立」はどのレベルで技術の確立をしようとしているのかが現在のロードマップから見えてこない。大規模な実証実験をせずに確立するのであれば、それで十分であることの技術的またはデータの裏付けが必要であるし、大規模な実証実験が必要であるならば、いつそれをやるのか明確にする必要がある。豪州のCO₂圧入実証サイトOtwayでのマイクロバブルの圧入試験への参加も検討されているようだが、その位置づけと、それを実施した場合にどの程度のレベルで国内での大規模実証実験の代用となれるのかの説明は必要があるかと思われる。（E委員）

- ・実証試験の段階に入る項目が増えてくると、想定しない様々な問題が発生する可能性があるため、実用化に向けて、計画および協議中である海外サイトでの実証の実現に向けて、積極的に対応を進めていただきたい。（F委員）

【総合評価の評点に当たり、特に重要視した評価項目】

< A 委員 >

- (○) 1. 事業アウトカムの妥当性
- (○) 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
- () 3. 当省（国）が実施することの必要性
- (○) 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
- () 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
- () 6. 費用対効果の妥当性

< B 委員 >

- (○) 1. 事業アウトカムの妥当性
- () 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
- () 3. 当省（国）が実施することの必要性
- (○) 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
- () 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
- () 6. 費用対効果の妥当性

< C 委員 >

- (○) 1. 事業アウトカムの妥当性
- (○) 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
- (○) 3. 当省（国）が実施することの必要性
- () 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
- () 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
- () 6. 費用対効果の妥当性

< D 委員 >

- (○) 1. 事業アウトカムの妥当性
- () 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
- (○) 3. 当省（国）が実施することの必要性
- () 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
- () 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
- (○) 6. 費用対効果の妥当性

< E 委員 >

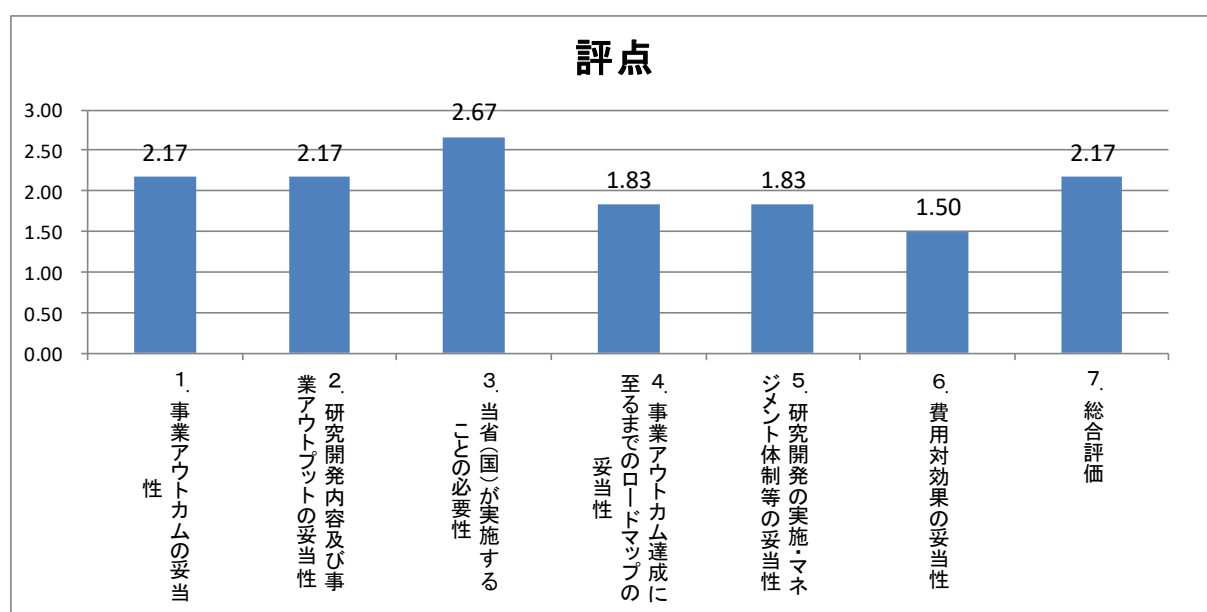
- (○) 1. 事業アウトカムの妥当性
- (○) 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
- () 3. 当省（国）が実施することの必要性
- (○) 4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性
- () 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
- () 6. 費用対効果の妥当性

< F 委員 >

- (○) 1. 事業アウトカムの妥当性
- (○) 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性
- (○) 3. 当省（国）が実施することの必要性
- () 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
- () 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性
- () 6. 費用対効果の妥当性

Ⅲ. 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	F委員
1. 事業アウトカムの妥当性	2.17	2	2	2	2	2	3
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.17	2	2	2	2	2	3
3. 当省(国)が実施することの必要性	2.67	3	3	2	2	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	1.83	2	2	1	3	1	2
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	1.83	1	3	1	2	2	2
6. 費用対効果の妥当性	1.50	2	1	1	1	2	2
7. 総合評価	2.17	2	2	2	2	2	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。

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)

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、今回は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
平成 27（2015）FY 執行額	平成 28（2016）FY 執行額	平成 29（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碎や粉化は、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		
C02 分離回収コスト 2,000 円/t-C02 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-C02 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 C02 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、C02 分離回収エネルギー1.5 GJ/t-C02 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 C02 分離回収エネルギー 1.5 GJ/t-C02 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、C02 分離回収エネルギー1.5GJ/t-C02 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-C02 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-C02 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-C02/day レベル）で、C02 分離回収エネルギー1.5GJ/t-C02 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

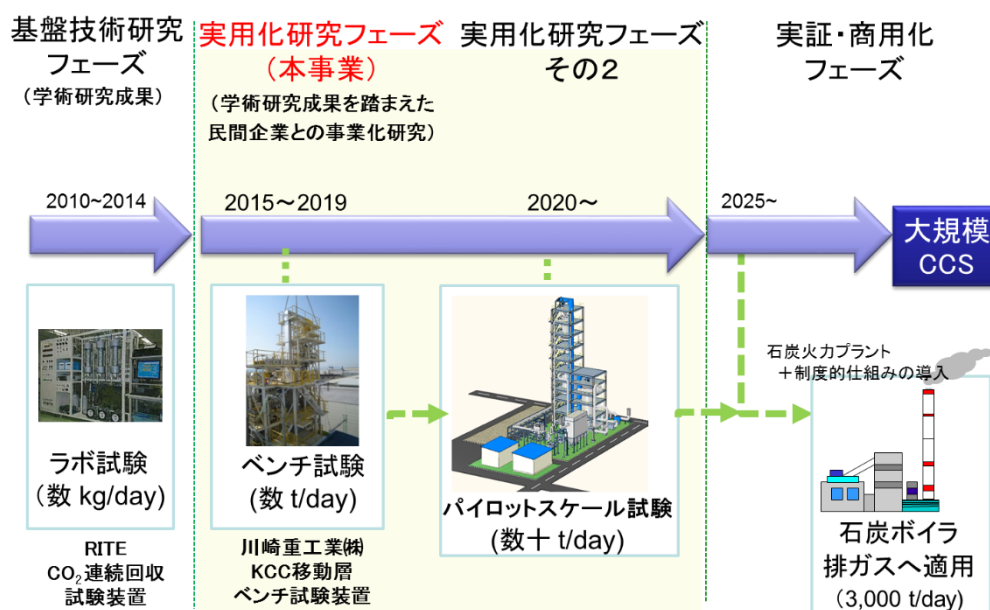


図4-1 先進的固体吸収材技術開発シナリオ

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 円台/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4-3)。

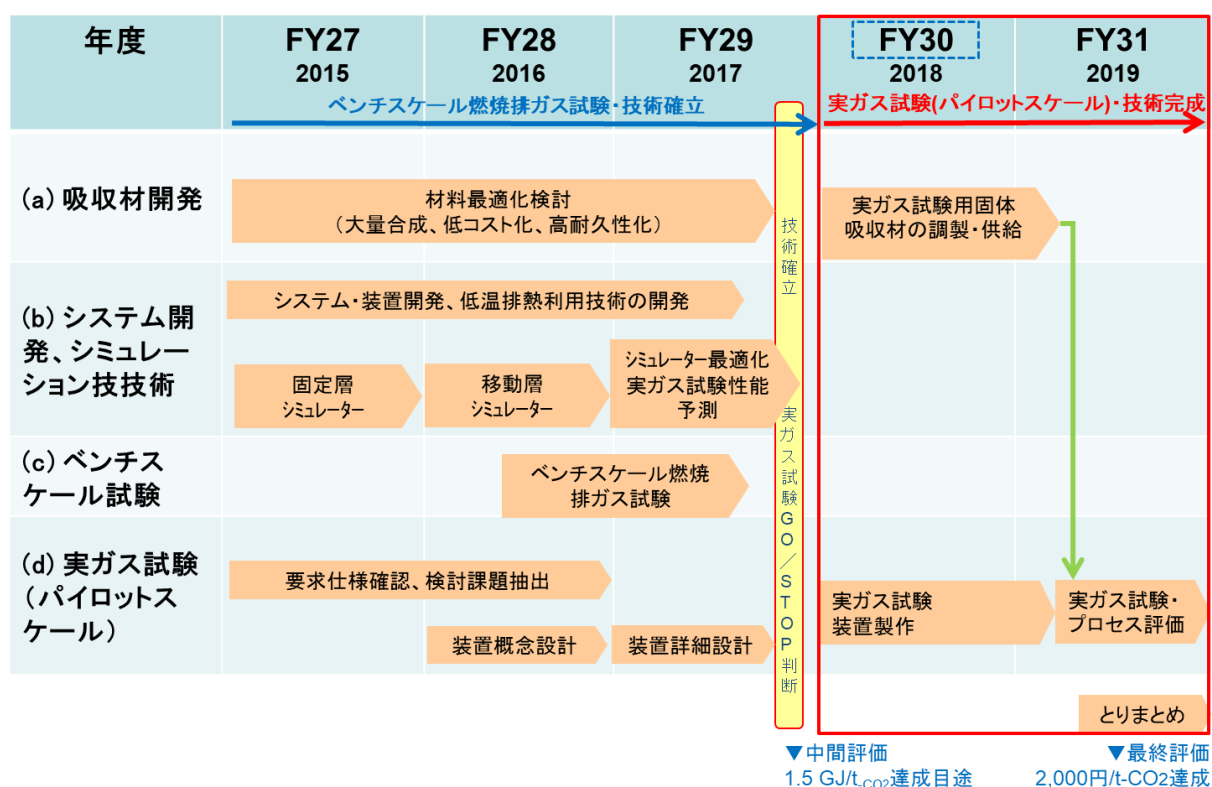


図 4 - 2 事業の年次展開予定 (当初予定)

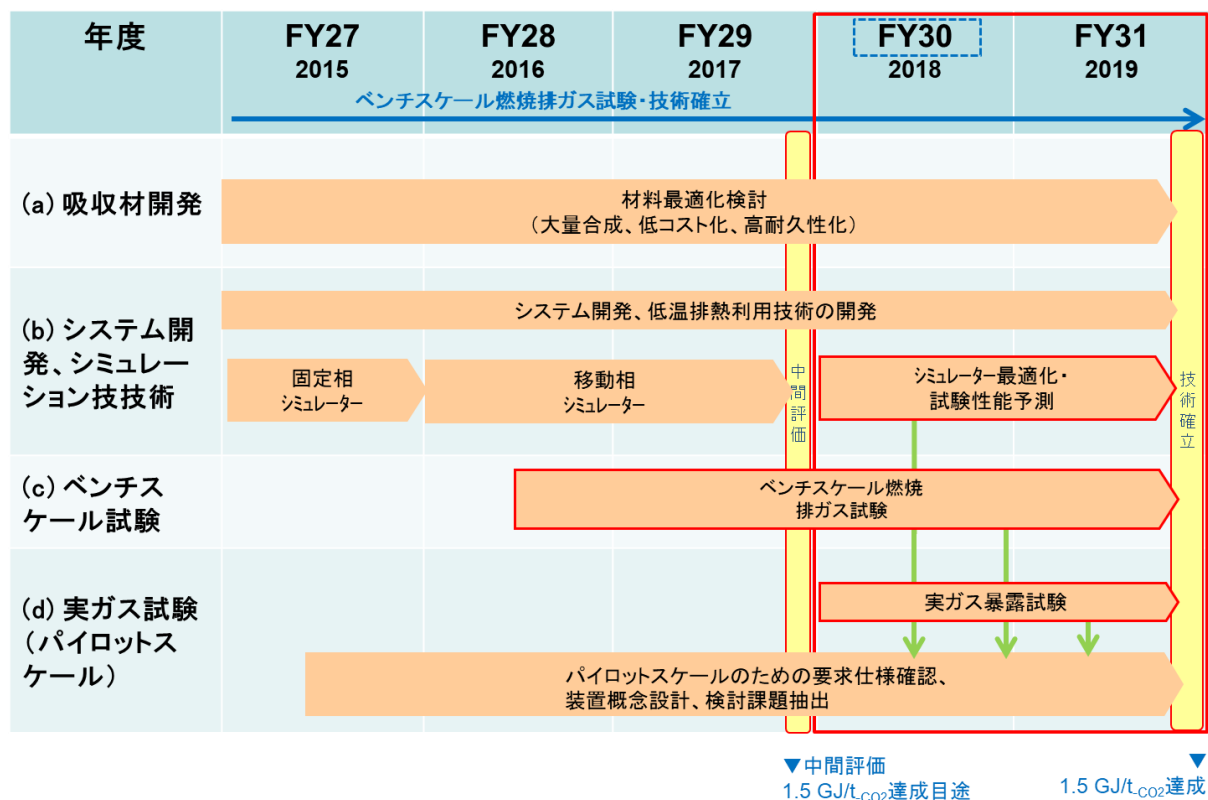


図 4 - 3 事業の年次展開 (現在)

（２）研究開発の実施体制

下図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。

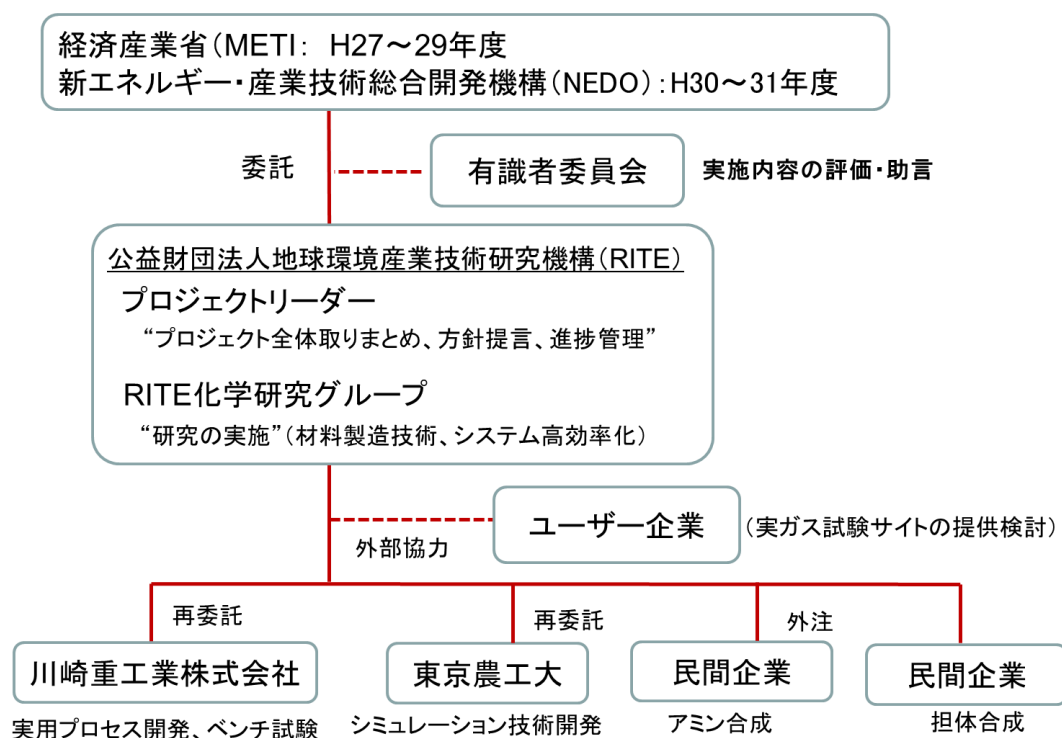


図 4-4 研究開発の実施、マネジメント体制

(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、配属学生の修士論文、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	平成 27FY (2015)	平成 28FY (2016)	平成 29FY (2017)	平成 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考ええる。

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】

- ・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。（A 委員）
- ・最終的には、実用化に近づくとして推定している 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。（B 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。（C 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。（D 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。(E 委員)

【問題あり・要改善とする所見】

- ・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。(A 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。(C 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。(E 委員)

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、高耐久性能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】

- ・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。(A 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。(B 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 KCC 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。（C 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。（D 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。（E 委員）

【問題あり・改善とする所見】

・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。（A 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。（C 委員）

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】

- ・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。
(A 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。(B 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て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。(C 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。(D 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。(E 委員)

【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】

- ・ 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。(A 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。(B 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。(C 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。(D 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を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。(E 委員)

【問題点・改善とする所見】

- ・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。(A 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。(E 委員)

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】

- ・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。(A 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。(B 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。(C 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。(D 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。(E 委員)

【問題あり・要改善とする所見】

- ・知財の取扱い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。（A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。（B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。（C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れて活動していただきたい。（E委員）

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】

- ・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。（A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。（B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。（C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。（D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。（E委員）

【問題あり・要改善とする所見】

- ・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。（A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。(C 委員)

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】

- ・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。(A 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。(B 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。(C 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。(D 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。(E 委員)

【問題あり・要改善とする所見】

・ 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。(A 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れる必要も出てくる。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。(C 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。(D 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。(E 委員)

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】

- ・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。

（A 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。（B 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。(C 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。(D 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、本技術のシナジー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。(E 委員)

<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に行い、また、実用化に向けたノウハウとして蓄積していく。

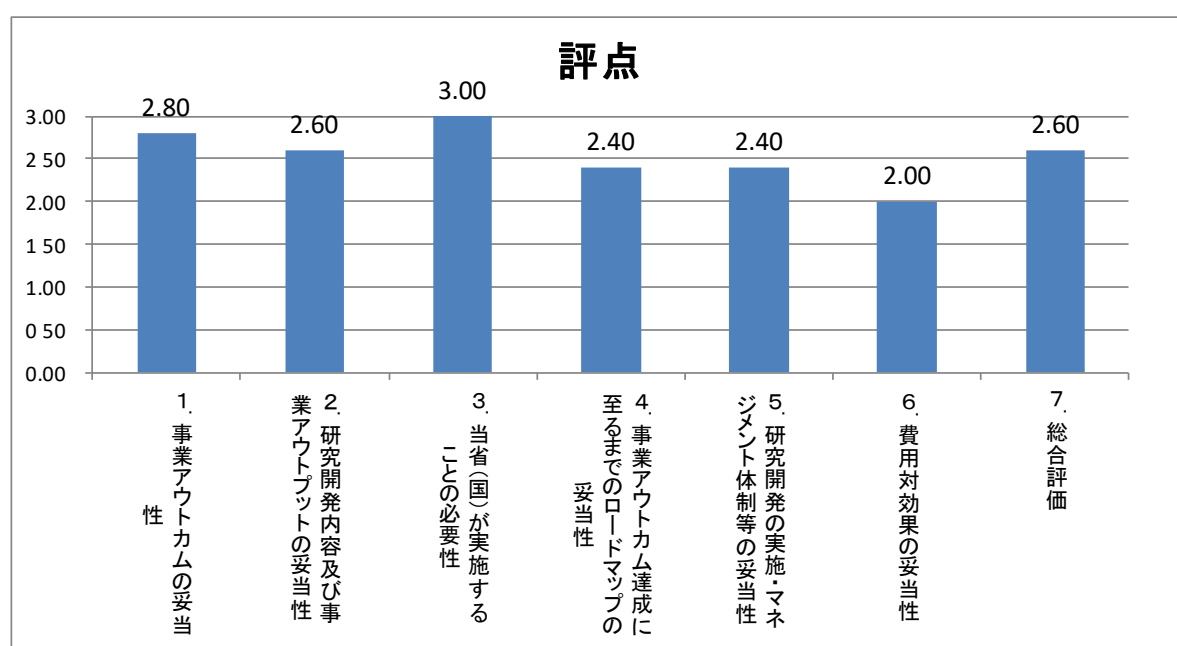
目標達成にとどまらず、少しでもコスト削減ができるよう、研究開発を行っていく。

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。

D. 二酸化炭素回収技術実用化研究事業(二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業)

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、今回は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 (二酸化炭素分離膜モジュール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

プロジェクトの目的・概要

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。

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、大気圧の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、石炭ガス化複合発電（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、膜分離法は、圧力差によって CO₂ を透過・分離するため、特に圧力を有するガス源からの CO₂ 分離において、他の分離法に比べ低コストでの分離が可能となることから、主に IGCC への適用が期待されている。本事業では、膜分離法の実用化に向けて、従来技術の約 3 分の 1 以下の 1,500 円/t-CO₂ 以下で、IGCC 等の圧力を有するガス源から CO₂ を分離・回収する技術の実用化研究を行う。

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	次世代型膜モジュール技術研究組合
平成 27(2015)FY 執行額	平成 28(2016)FY 執行額	平成 29(2017)FY 執行額	総執行額	総予算額
240	209	169	618	1,270

※総予算額は平成 27～29 年執行額と平成 30～31 年度予算想定額の合計

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
C02 分離・回収コスト 1,500 円/t-C02 以下を達成する膜モジュール^{*3}を用いた C02 膜分離システム^{*4}を確立し、実用化すべく、平成 31 年度までに、実用化段階（百万 t-C02/年規模を想定）で C02 分離・回収コスト 1,500 円/t-C02 以下を達成し得る膜分離システムを実現する膜エレメント^{*2}を開発する。		
指標目標値		
事業開始時 (平成 27(2015) 年度)	計画： 模擬ガス試験において、C02 分離回収コスト 1,500 円/t-C02 を達成し得る膜分離システムを実現する単膜 ^{*1} を開発する。	実績：(達成) CO ₂ 分離・回収コスト 1,500 円/t-CO ₂ 以下を達成するために設定した分離性能をラボ試験レベルで実現した。
中間評価時 (平成 29(2017) 年度)	計画： 量産化を念頭においた連続製膜を行い、模擬ガス試験において、C02 分離・回収コスト 2,100 円/t-C02 以下を達成し得る膜分離システムを実現する膜エレメント用単膜 ^{*6} を開発する。	実績：(達成) 連続製膜処方 ^{*5} により作製した単膜を用いて、C02 分離・回収コスト目標を達成した（1,790 円/t-C02）。 【現時点（平成 30 年度）】 薄膜化、膜組成最適化等を行い、最終目標性能達成の目処をつけた。
終了時評価時 (平成 32) 2020) 年度)	計画： 実ガス試験において、C02 分離・回収コスト 1,500 円/t-C02 以下を達成し得る膜分離システムを実現する膜エレメントを開発する。	実績：－
目標最終年度 (平成 2030 年度頃)	計画：C02 分離・回収コスト 1,500 円/t-C02 以下を達成する膜分離システムを確立し、実用化する。	

*1 単膜：ラボスケールの平膜（膜面積：1.2～58cm²程度）（図 5-1 参照）

*2 膜エレメント：大面積の膜を用いた構造体で、膜とその支持体および流路材などの部材を一体化したもの（図 5-2 参照）

*3 膜モジュール：膜エレメントとそれを収納する容器（ハウジング）を組み合わせたもの。（図 5-3 参照）

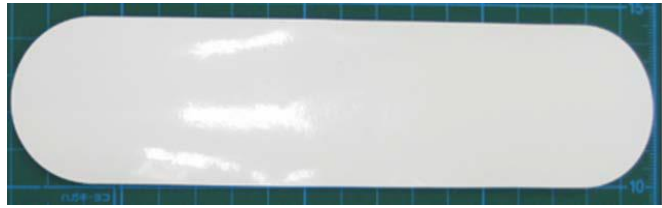
*4 膜分離システム：膜モジュールを用いて C02 分離回収を行うための複数の機器から構成される系統。

*5 連続製膜処方：大面積膜の連続製膜（基材を連続的に搬送し、連続的に製膜溶液を塗布して乾燥させる製膜方法で、本プロジェクトでは塗布幅 320 mm、塗布長さ約 20m を検討。塗布長さは100m 以上も可能）のための製膜溶液調製や製膜等に関する手順。均一で膜欠陥の無い大面積膜を得るためには、連続製膜レシピ処方の確立が重要な技術課題である。本プロジェクト中で検討を進め、処方を決定した。

*6 膜エレメント用単膜：連続製膜処方により作製したラボスケールの平膜（膜面積：約 6m²）。



① 単膜 (1.2cm²)

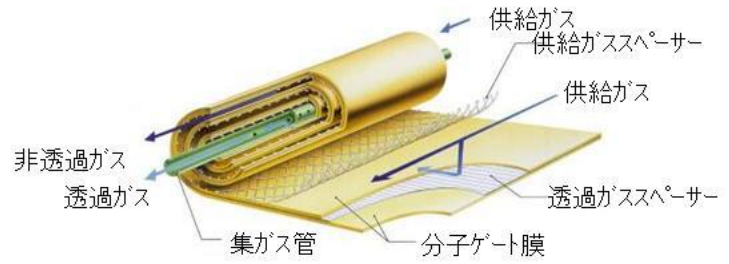


② 単膜 (58cm²)

図5-1 単膜イメージ



① 膜エレメント
(左 2inch、右 4inch、L200mm)



② 膜エレメント概念図

図5-2 膜エレメントイメージ



① 膜エレメントを組み込んだ
ステンレス製ハウジング



② ハウジング中に組み込んだ膜エレメントのイメージ
(透明なアクリル製ハウジングを使用)

図5-3 膜モジュールイメージ

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「二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究事業」では、前身の「二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業」（平成 23 年度～26 年度）で開発した膜素材や膜分離システムを基礎として、実用化に向けて IGCC プロセスからの排出ガス（実ガス）を用いた実ガス試験を実施し、分離膜の性能、耐久性等に関する技術課題の抽出と解決を行う。併せて、耐圧性、耐乾燥性（湿度依存性）、耐久性、耐不純物性等のプロセス適合性についても検討を進め、分離・回収コスト 1,500 円/t-CO₂ 以下を実現する膜エレメントを開発し、膜分離システムで実証可能な技術確立を行う。

①「実機膜モジュールの実用化研究」では、実用化を想定した連続製膜、膜エレメント化技術を確立すると共に、IGCC プロセスからの排ガスと同成分を含むガス（模擬ガス）を用いたプロセス適合性に関する試験を行い検討を進め、実機膜モジュールの実用化のための研究開発を行う。

②「実ガス試験による実用化研究」では、これまでに開発した膜素材や膜分離システムの実用化に向け、実ガス試験により実用化研究を行い、膜エレメントの性能、耐久性等に関する技術課題の抽出と解決を行う。

③「経済性評価・取りまとめ」では、模擬ガス、実ガス試験結果を用いた実機と同等の操業条件でのシミュレーション等により、膜モジュール及びその周辺技術（不純物の前処理、水蒸気導入方法等）から構成される実機での CO₂ 分離膜システムの検討を行い、併せて、これらの経済性評価を行う。

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
分離・回収コスト 1,500 円/t-CO₂ 以下を実現する分離膜、実機膜モジュール、膜分離システムの技術を確立するため、以下の 3 項目を検討する必要がある。 (1) 実機膜モジュールの実用化研究： 実用化を想定した連続製膜、膜エレメント化技術を確立し、IGCC プロセス適用条件でのプロセス適合性（耐圧性、耐乾燥性、耐久性、耐不純物性）を付与する。 (2) 実ガス試験による実用化研究： IGCC プロセス用実ガス試験装置を製作・手配し、実ガス試験により膜モジュールの性能を評価し、技術課題を抽出する。 (3) 経済性評価・取りまとめ： 模擬ガス、実ガス試験結果を用いた実機での膜モジュール分離システムを検討し、経済性評価を行う。		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時 (平成 27(2015)年度)	計画： 模擬ガスを用いて、単膜におけるプロセス適合性（耐圧性、耐乾燥性、耐久性、耐不純物性）を確認	実績：（達成） 模擬ガスを用いて単膜におけるプロセス適合性を確認した。
中間評価時 (平成 29(2017)年度)	計画： ①-1. 連続製膜とエレメント化技術の課題抽出と課題の解決 ①-2. 実用化条件で製造した膜と膜モジュールを IGCC プロセス適用条件での耐圧性、耐久性等のプロセス適合性を確認する。 ①-3. 模擬ガス試験において、分離性能低下が 2 年間で 25%以内である膜エレメント用単膜を開発する。 ①-4. 模擬ガス試験において CO₂ 分離・回収エネルギー 0.9GJ/t-CO₂ 以下を達成し得る膜分離システムを実現する膜エレメント用単膜を開発する。	実績：（達成） ①-1. 量産化を念頭において、実用化を想定した連続製膜、膜エレメント化技術の開発を進めた。 【現時点（平成 30 年度）】 薄膜の連続製膜に成功した。また、膜エレメントのスケールアップに関する設計指針を得た。 ①-2. 単膜の耐圧性、耐久性等のプロセス適合性について確認した。 ①-3. 連続製膜の単膜で分離性能低下が 2 年間で 25%以内が期待できるデータ（600 時間の耐久性試験から推算）を取得した。 ①-4. 連続製膜処方により作製した単膜を用いて、CO₂ 分離・回収エネルギー目標を達成した（0.53GJ/t-CO₂）。

	②IGCC プロセスによる実ガス試験装置の製作、手配 ③模擬ガス試験結果に基づく経済性評価を行う	②IGCC プロセスの種々の前処理設備を有する米国 UK-CAER*における実ガス試験設備を使用するよう調整した。 【現時点（平成 30 年度）】 米国 UK-CAER において、単膜評価装置の準備を完了し、平成 30 年度後半に単膜の実ガス試験を実施する予定である。また、平成 31 年度の膜エレメント評価に向けて、評価装置の準備を進めている。 ③経済性評価を行い、事業アウトカムの目標値を達成することを確認した。
終了時評価時 (平成 32(2020) 年度)	計画： ・実ガス試験結果に基づき、プロセス適合性に関する要因を把握し、その課題について解決する。 ・実ガス試験において、分離性能低下が 2 年間で 25%以内である膜エレメントを開発する。 ・実ガス試験において、CO₂ 分離回収エネルギー 0.5GJ/t-CO₂ 以下を達成し得る膜分離システムを実現する膜エレメントを開発する。 ・実ガス試験結果に基づく経済性評価を行う。	実績：－

* UK-CAER: 米国ケンタッキー大学応用エネルギー研究センター (University of Kentucky, Center for Applied Energy Research の略)

< 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
2	0	12	0	0	1	0

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5-4 アウトカムに至るまでのスケジュール

本事業終了後、実証フェーズにおいて、膜モジュールシステムとしての検証試験等を行い、CO₂分離膜モジュールシステムを組み込んだプロセスとして完成させ、CO₂分離・回収コスト1,500円/t-CO₂以下を達成する膜分離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、CCS の制度的仕組みの導入により、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、日本の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。

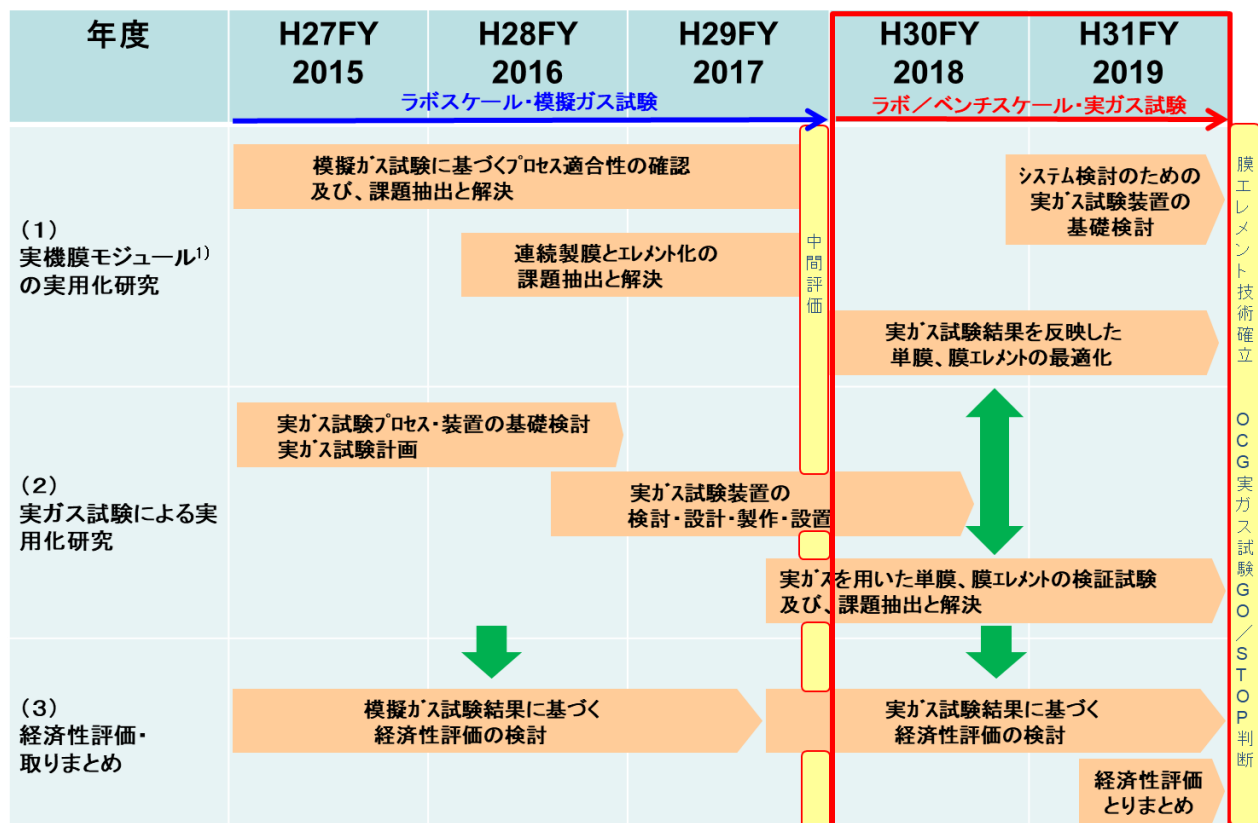
（５）成果のユーザー

実用化研究終了後の主な導入先は IGCC 発電所が想定されるが、IGFC（石炭ガス化燃料電池複合発電）等の新規技術の開発にも利用できる。したがって、ユーザーとしては、電力事業者、設備製作に関しては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、公募による選定審査手続きを経て、次世代型膜モジュール技術研究組合が、平成 27～29 年度は経済産業省からの委託事業として実施している。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）の委託事業として実施している。



1) 膜モジュール：大面積膜の構造体（膜エレメント）＋容器（ハウジング）

図5－5 事業の年次展開予定

（２）研究開発の実施体制

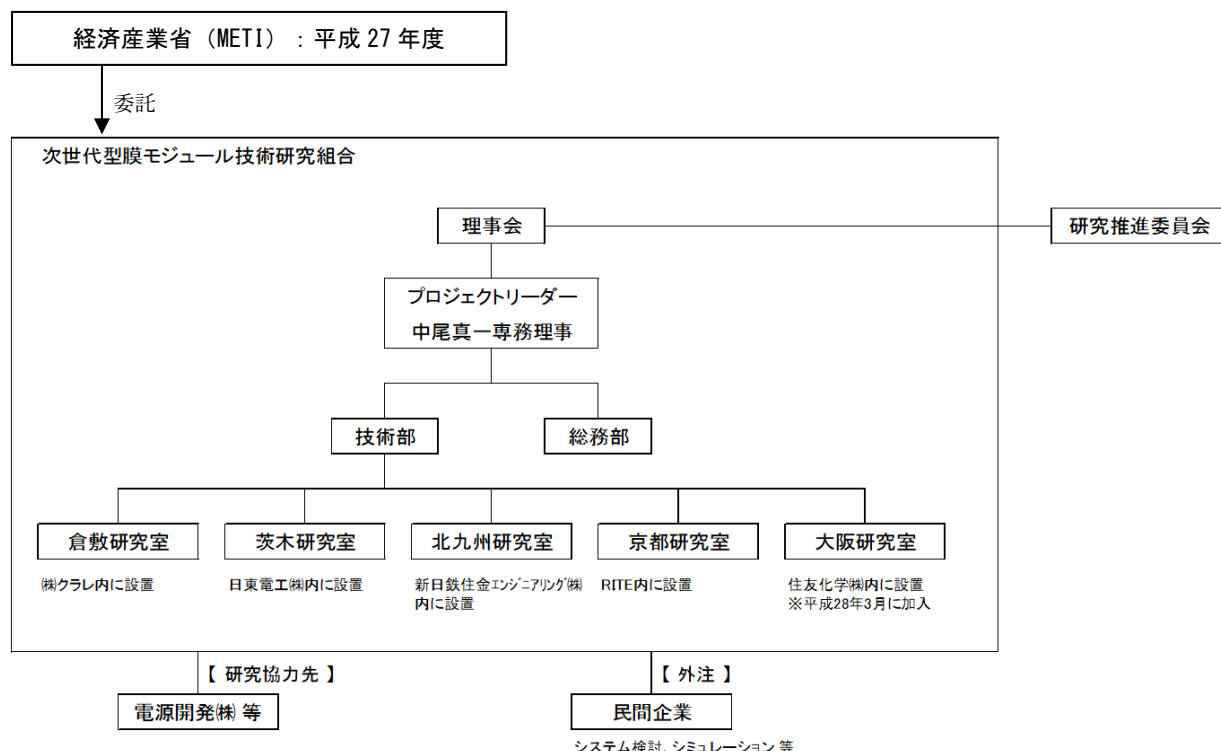
プロジェクトリーダーの指示に基づき、技術部が主催する定例技術会議にて、各研究室の進捗を管理するとともに、その成果を融合して、更なる開発を進めて行く上で、関係者が情報共有し、一体となって研究遂行する。

更に、外部の有識者の参加する研究推進委員会を開催することにより、研究開発の進捗、成果について、客観的な意見提言、必要な指導、支援を受けることで、プロジェクト進捗を管理してきた。

平成23年2月に、CO₂回収型石炭ガス化複合発電（IGCC-CCS）で用いる二酸化炭素分離膜モジュールの実用化を推進する目的で、分子ゲート機能CO₂分離膜の基盤技術を有し、膜素材を担当する（公財）地球環境産業技術研究機構と㈱クラレ、分離膜モジュールを担当する日東電工㈱、エンジニアリングを担当する新日鉄住金エンジニアリング㈱からなる次世代型膜モジュール技術研究組合を設立し、素材から膜モジュール、システムまでの一貫した研究体制を構築した。平成23年度より平成26年度までの4年の期間、経済産業省から受託した「二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業」を実施した。

①平成 27 年度

平成 27 年度の実施体制図は以下の通りである。



（公財）地球環境産業技術研究機構（RITE）〔京都研究室〕、（株）クラレ〔倉敷研究室〕、日東電工（株）〔茨木研究室〕、新日鉄住金エンジニアリング（株）〔北九州研究室〕の 4 社で構成する「次世代型膜モジュール技術研究組合」にて実施した。

また、研究推進委員会を 2 回実施し、研究推進委員の先生に、第 1 回は計画の妥当性、第 2 回は研究開発の成果について確認していただき、今後の計画等につき指導を受けた。

平成 28 年 3 月には、CO₂ 分離膜モジュールの基盤技術を有する住友化学（株）が次世代型膜モジュール技術研究組合に参加し、実ガス試験に向けたモジュール開発を加速する体制を整え、より実ガス試験の実施に向けた体制へと変革させている。同年 3 月末には、（株）クラレ、日東電工（株）、新日鉄住金エンジニアリング（株）は、基礎開発段階の当初の役割を果たし、その成果を次世代型膜モジュール技術研究組合へ技術移転した上で、同技術研究組合を脱退した。

②平成 28 年度以降

平成 28 年度以降の実施体制図は以下の通りである。なお、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。

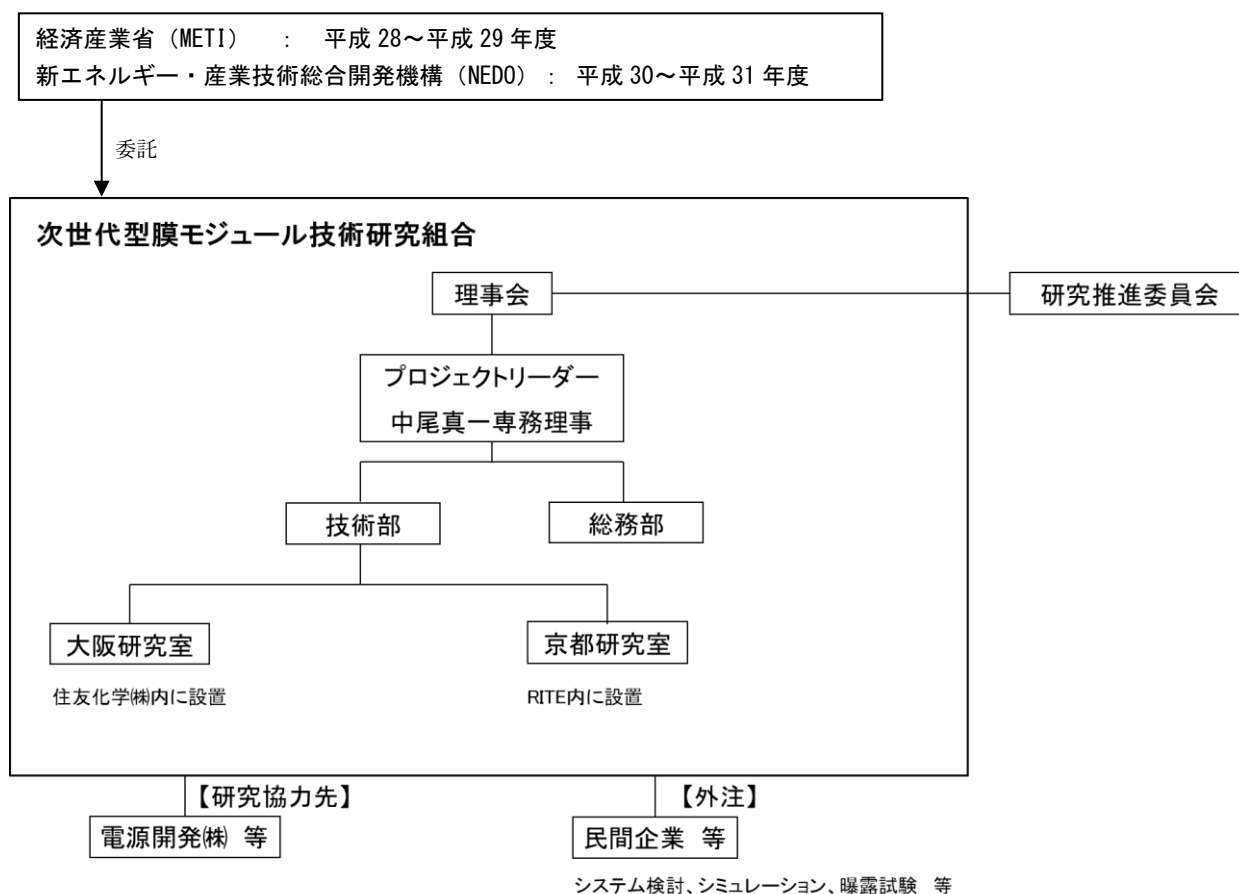


図 5-7 研究開発の実施、マネジメント体制（平成 28 年度以降）

RITE〔京都研究室〕、住友化学（株）〔大阪研究室〕の 2 社で構成する「次世代型膜モジュール技術研究組合」にて実施した。次世代型膜モジュール技術研究組合において、膜モジュールの量産化検討が重要な課題であるが、住友化学（株）は膜エレメント製作技術を保有しており、次世代型膜モジュール技術研究組合で開発してきた膜のエレメント化を担当することにより、開発を加速する役割を担っている。

（3）「国民との科学・技術対話」の推進

CO₂ 分離膜技術の最近の研究開発動向や海外での開発状況全般について報告し、CO₂ 分離回収に関心を持つ方々に最新の情報を広く伝えることで、官民挙げた CO₂ 削減に関する研究開発活動の理解を得ることを目的として、「国民との科学・技術対話」に積極的に取り組み、「革新的 CO₂ 膜分離技術シンポジウム」を平成 27 年度から平成 29 年度に毎年 1 回行った。（本事業期間中、毎年 1 回実施予定）

【平成 27 年度】

第 5 回革新的 CO₂ 膜分離技術シンポジウム「温暖化防止に貢献する膜分離技術の最新動向」

日時：平成 27 年 10 月 2 日（金）13 時～17 時

会場：東京大学伊藤謝恩ホール参加人数：242 人

【平成 28 年度】

第 6 回革新的 CO₂ 膜分離技術シンポジウム「温暖化防止に貢献する膜分離技術の最新動向」

日時：平成 29 年 1 月 23 日（月）13 時～17 時

会場：東京大学伊藤謝恩ホール参加人数：201 人

【平成 29 年度】

第 7 回革新的 CO₂ 膜分離技術シンポジウム「地球温暖化防止に貢献する膜分離技術の最新動向」

日時：平成 30 年 2 月 13 日（火）13 時～17 時

会場：東京大学伊藤謝恩ホール参加人数：179 人

（４）資金配分

実機膜モジュールの実用化研究に軸足を置いて、膜本来の耐久性を模擬ガス試験により確認し、合わせて、大量生産を目指した連続製膜と膜エレメント化技術の開発を進めた。一方、実ガス試験による実用化研究では、試験装置の設計・製作から予算に見合った既存の実ガス試験サイトで実施する方向に転換し、コストミニマム化を図った。

（単位：百万円）

年度	平成 27FY (2015)	平成 28FY (2016)	平成 29FY (2017)	平成 30FY (予算額) (2018)	合計
（１）実機膜モジュールの実用化研究	192	182	145	212	731
（２）実ガス試験による実用化研究	10	11	20	131	172
（３）経済性評価・取りまとめ	38	16	4	7	65
合計	240	209	169	350	968

（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、二酸化炭素分離膜モジュールの早期実用化を見据え、民間会社と（公財）地球環境産業技術研究機構が参加する次世代型膜モジュール技術研究組合、及び研究協力先として電力会社、米国ケンタッキー大学応用エネルギー研究センター（UK-CAER）からなる研究開発体制を構築している。

CCS に係る技術開発は世界中で行われているが、分離・回収コスト削減は共通の課題となっており、この分野に膜分離技術を適用する研究は加速されてきている。

このため、国内外の技術動向を注視しており、国内外における学協会情報収集等を積極的に行っている。また、同時に、本事業で取り組んでいる革新的 CO₂ 膜分離技術シンポジウムでは、海外招聘者より二酸化炭素分離膜技術の研究動向や海外での開発状況について最新状況を紹介していただき、常に競合技術との比較を行い、競合技術に勝てる二酸化炭素分離膜モジュールの実用化研究を推進している。

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 1,500 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 2,700 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 1,500 円/t-CO₂ になれば）、たとえば、50 万 kW の IGCC から回収の場合（CO₂ を年間 260 万 t 回収と想定）、IGCC 1 基当たり 69 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

事業アウトカムの指標は、従来型アミン吸収液方式のコスト 4,200 円/t-CO₂ に比べて低減された数値目標 1,500 円/t-CO₂ が設定され、十分に革新性があり、挑戦的な目標と言える。また、中間評価時に掲げた回収コスト 2,100 円/t-CO₂ という中間目標も、最終目標に至る段階的な数値目標としては妥当な水準と考える。

また、CO₂ 分離膜を用いた CCS は世界中で研究が進められている事業で、事業アウトカムが早期に実用化されれば、国際的なインパクトは極めて大きく、市場の占有率も高くなり、市場規模も大きなものとなることが期待される。

他方、国際的優位性、市場の占有率を高めるため早期の実用化が望まれるものの、海外では太陽光・風力発電の急速なコストダウンが進んでおり、国内外の再エネと蓄電池のコストを注視し、これまで目標としてきた 1,500 円/t-CO₂ の分離・回収コスト及び実現時期については、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と考える。

【肯定的所見】

- ・ CO₂ 分離膜を用いた CCS は世界中で研究が進められている事業で、事業アウトカムが早期に実用化されれば、国際的なインパクトは極めて大きい。その場合は市場の占有率も高まる。当然、市場規模も早期に実用化に至れば大きなものとなるが、時間を要すると他にエネルギー（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なくなる可能性もある。（A 委員）
- ・ CCS のコストの大部分を占める CO₂ 分離回収コストについて、従来型アミン吸収液方式のコスト 4,200 円/t-CO₂ に比べて低減された具体的な数値目標 1,500 円/t-CO₂ が設定されるとともに、世界的に石炭利用の拡大が見込まれる中で、我が国が先行する IGCC 等の高効率石炭火力への適用を前提としていることから、実用化や国際競争力へ寄与する目標設定と考えられるため、評価できる。（B 委員）
- ・ CO₂ 分離回収コスト 1,500 円/t-CO₂ という事業アウトカムの指標は、今後、顕在化し得るカーボンコストを想定した場合、IGCC-CCS が経済性を持ち得るコスト水準と言えるだろう。既存の CO₂ 分離技術のコストと比べると十分に革新性があり、挑戦的な目標と言える。また、中間評価時に掲げた回収コスト 2,100 円/t-CO₂ という中間目標も、最終目標に至る段階的な数値目標としては妥当な水準と考える。（C 委員）
- ・ IGCC 火力発電から排出される高圧 CO₂ の分離回収に向けた経済的なシステムの構築は重要であり、実用化のカギとなるコストの最終目標値を 1,500 円/t-CO₂ と設定しており、この値は大変高い目標値であり、評価できる。中間評価時において、試算コストとして 1,790 円/t-CO₂ が得られており、順調に進んでおり、良好な状況である。（D 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°C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る。膜分離法は圧力を有するガス源からの CO₂ 分離の低コスト化に有力な技術であり、特に CO₂ の排出削減が大きな課題となる IGCC などの石炭火力に対して有効である。火力発電所における CCS の導入において、本技術により CO₂ 分離費用を従来の約 1/3 以下となる 1,500 円/t-CO₂ まで下げることができれば事業アウトカムとしても大きな成果となる。(E 委員)

【問題あり・要改善とする所見】

- ・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。国際的には IGCC 以外のいわゆる Post 型 CCS が多く、そこへのアプローチは将来的に可能なのか？あるいは他の分離膜で対応するのか。(A 委員)
- ・CCS を巡る新たな環境変化として、太陽光・風力発電の急速なコストダウンを意識する必要がある。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 CO₂ を出さないが高コスト」という前提で、発電コストの安い石炭火力にカーボンコスト（CCS のコスト）を加えても競争力を維持するというイメージだった。カーボンコストのない再エネの低コスト化は CCS の経済性に関し、さらなるコストダウンの必要性を高めることになる。とはいえ、国内の再エネコストは相対的に高止まりしており、自然変動電源である太陽光・風力の大量導入には、蓄電池など出力変動の抑制コストも加わることになる。CCS のコストターゲットには、今後の国内外の再エネと蓄電池のコストを注視していく必要がある。(C 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 1,500 円/t-CO₂ の分離・回収コスト、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。(E 委員)

2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性

研究開発内容は明確かつその目標も適切に示されている。また、実用化に向けて重要と考えられる、連続製膜、高圧での耐圧・耐久性、耐不純物性、湿度依存性について試験を行い、状況確認したことは実用化の推進において大きな進歩であり評価できる。特に国内化学メーカーと連携し、連続製膜、膜エレメント化技術に目途をつけたことは実用化の推進において大きな進歩であり評価できる。

他方、経済性評価において、実導入を想定し膜モジュールの数量など具体的に検討しデータ化することで、より正確な評価ができるのではないかと考える。また、分子ゲート膜の CO₂ 分離性能にバラツキがみられるが、実用化に向けて製品品質のバラツキを極力低減すべく改善して頂きたい。

模擬ガス試験において 2 年間で 25%内の性能低下が示されているが、実際の火力発電所に導入された場合、CO₂ 分離・回収コストにどのように影響するのかを検討頂きたい。

【肯定的所見】

- ・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。(A 委員)
- ・実用化に向けて重要と考えられる、連続製膜、高圧での耐圧・耐久性、耐不純物(H₂S)性、湿度依存性について試験を行い、状況確認したことは評価できる。(B 委員)

- ・事業アウトプットとして掲げた「実機膜モジュールの実用化研究」「実ガス試験による実用化研究」「経済性評価」は、実稼働時の耐久性や交換コストが問題になりやすい膜技術の実用化において、必須の課題と言える。中間評価の目標として、連続製膜技術の課題抽出、IGCC プロセスでの耐久性の確認などを掲げ、定量的な目標として、模擬ガスでの「分離性能低下・2年間で25%」を掲げたことは、途中段階の具体的な目標設定として、概ね適切に思われる。こうした中間評価目標を達成していることは、研究室段階の初期研究が順調に進んでいることを伺わせる。特に国内化学メーカーと連携し、連続製膜、膜エレメント化技術にめどをつけたことは、ある程度の劣化・交換が避けられない膜方式の経済性を高める上で大きな前進といえる。(C委員)
- ・分離回収コストを1,500 円/t-CO₂ を実現するために、膜モジュールの性能向上、低コスト化が集中的に検討されてきた。今回のヒアリング資料よりさらに高性能なデータもあるとのことで、目標値に向けて順調に進んでいることが確認できた。(D委員)
- ・量産化を念頭に置いた連続製膜、膜エレメント化技術の目途をつけたことは実用化の推進において大きな進歩であり評価できる。連続製膜レシピにより作成された単膜でCO₂分離・回収エネルギーにおいて0.53GJ/t-CO₂、そしてCO₂分離・回収コストにおいて1,790 円/t-CO₂ を達成できたことは、実用化研究が順調に進んでいることを裏付けており評価できる。実ガス試験において、試験の実情を考慮し外部施設となる米国 NCCC の実ガス試験装置を活用することを選択したことは費用対効果の観点からも正しい選択だと考えられる。(E委員)

【問題あり・改善とする所見】

- ・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。(A委員)
- ・経済性評価において、膜モジュールの数量など詳細なデータがあれば、より正確な評価ができるため望ましい。(B委員)
- ・今後は、実ガスによる試験を通じた課題抽出や改善が期待されるところだが、米 NCCC の試験装置を使う方向になっていることはやや疑問を感じる。環境関連技術の開発で、国際的な連携はたいへん重要であるが、日本企業に強みのある膜技術の研究段階で、海外の装置を活用することは、日本の戦略技術の手の内を明かすことにならないか危惧される。予算的な制約もあると思うが、国内における IGCC 実用化研究などとも連携する形で、国内の装置で実ガス試験を行うことが好ましいと考える。(C委員)
- ・分子ゲート膜のCO₂分離性能にバラツキがみられる。技術的な課題として既に認識されているものと思われるが、実用化において製品品質のバラツキは極力低減する必要がある。分離膜性能の均質化についても十分議論をして改善して頂きたい。模擬ガス試験において2年間で25%内の低減を示されているが、その性能低減が実際の火力発電所に導入された場合、ライフサイクルに渡ってCO₂分離・回収コストにどのように影響するのかを検討し、分離回収コストへのインパクトを示して頂きたい。米国での試験が初めての試みであることも考慮し、事前検討に十分な時間を割き、様々な想定されるリスクを議論しつつして、実ガス試験に臨んでいただきたい。(E委員)

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】

- ・ CCS は外部不経済に基づく事業のため、基本的に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。(A 委員)
- ・ CO2 分離・回収技術の技術開発は重要であるが、先進的な取組であり、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。(B 委員)
- ・ 温暖化対策の技術の中でも、CCS はそれ自体で価値を生まないため、カーボンコストを顕在化させる政策を前提に、初めて導入インセンティブが出てくる。温暖化ガス削減の義務的な世界枠組みがないなか、各国のカーボン政策は不透明で、民間が自発的に開発を進めることは期待できない。IGCC は、次世代石炭火力として、日本企業が長年、官民で取り組んできた革新技術で、世界をリードする位置にある。IGCC と組み合わせた低コストの CSS 技術は、こうした既存技術を生かすうえでも、是非とも日本が主導権を持っておきたい分野である。また、国内では原発の再稼働が進まないなか、パリ協定で日本が掲げた温室効果ガス削減目標(2030 年のベストミックス)を目指す際、電源構成のベースを担うゼロエミッション電源が不足する恐れが高い。IGCC-CCS の低コスト化は、原発に代るベースを担うゼロエミ電源になる可能性もある。国主導で積極的に実用化に取り組む意義は大きい。(C 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。(D 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。コスト的に高い競争力を持つ石炭火力発電の効率化において我が国は世界トップの技術力を有する中で、最大の課題は石炭火力発電における環境

問題である。CCS 技術を含めた低コストの石炭火力発電所の技術を確立できれば、CO₂ をほとんど排出しない石炭火力発電の実現が可能となり、この分野においてわが国の国際競争力を高めることが可能となる。環境問題を解決し産業競争力を高めることでも、国としての関与する意義もある。
(E 委員)

【問題あり・要改善とする所見】

- ・科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性はむしろ学術サイドの知見を活用すべきで、本事業が担うべき内容ではなく、むしろ広くアイデアは募るべきである。(A 委員)

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

長期的な目標に向け、実用化研究と実証研究を組み立てており、現実的なロードマップとなっていることは評価できる。また、経験工学的な要素の大きいプラント技術の実用化においては妥当な開発期間である。知財管理の取扱、実証や国際標準化、性能や安全性基準の策定などについても積極的に取り組んでいる。

他方、本技術が普及した場合の他分野への波及効果や事業展開の道筋、「実証フェーズ・商用化フェーズ」における課題解決に向けた取組の方向性は明確でないと考える。また、技術を取り巻く環境は刻々と変化し、技術の実用化のタイミングが実ニーズに合わないケースも多々あることから、基本的なロードマップは現状で良いとしても、早期実現が必要になったときのシナリオを等も検討しておくべきと考える。

【肯定的所見】

- ・知財管理の取扱、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。(A 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立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。(B 委員)
- ・2020 年以降に実ガスによる実証フェーズ、2030 年以降に実用化フェーズというロードマップは、経験工学的な要素の大きいプラント技術の実用化においては妥当な開発期間であろう。(C 委員)
- ・分離回収コストを 1,500 円/t-CO₂ を実現するために、実機膜モジュールの実用化研究、実ガス試験による実用化研究、経済性評価を検討することとしており、それぞれにおいて具体的計画が立てられており、前者 2 つの中間評価時の達成度は 100% であり、妥当である。実ガス試験の計画において、既存の実ガス試験サイトで行うなど、目標達成のために柔軟にスケジュールの変更もなされている。(D 委員)
- ・次世代火力発電の早期実現に向けた評議会において策定された技術ロードマップにおいては、2030 年に向けて IGCC の実用化が見込まれている。その長期的なゴールをもとに、実用化研究と実証研究を組み立てており、現実的なロードマップとなっている。(E 委員)

【問題点・改善とする所見】

- ・今後、本技術が普及した場合、他分野への波及効果が明確ではない。また企業がこの技術をどの程度本格的に使用して、事業展開を図ろうとしているかを見通すことができない。(A 委員)

- ・「実証フェーズ・商用化フェーズにおける課題」において、もう少し課題解決に向けた方向性が伺えるような具体性があれば、より望ましい。(B委員)
- ・国連気候変動枠組み条約によるパリ協定の中期目標のターゲットが 2030 年であり、国内のエネルギー基本計画で 2030 年度の電源構成を議論していることを考えると、もう少しロードマップを前倒しすべきだろう。2020 年台の前半には実用化のメドをつけ、ベストミックスにも折り込んだうえで、政策的措置によって電力会社が導入に向けて動き出せることが望ましい。CCS のコストがある程度、明確になれば、政策支援の規模も明らかになる。政策的に IGCC-CCS の投資収益性が確保されれば、民間の金融セクターの資金によって導入が進むことも考えられる。(C委員)
- ・時代環境は変化することも多く、技術の実用化のタイミングが実ニーズに間に合わないケースも多々ある。基本的な技術ロードマップは現状のものでも良いとしても、早期実現が必要になったときのシナリオなども事前に検討しておき、ある意味では環境変化にもある程度対応できるタフなロードマップを用意しておくことも検討して頂きたい。(E委員)

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と考える。また、膜モジュールの量産化に対応可能な技術を持つ化学メーカーと連携し、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。実ガス試験においては、無駄な費用を抑えるべく既存設備での実施を検討し、コスト低減を行っていることは評価できる。

他方、実ガス試験フェーズに入った場合、IGCC の開発に取り組んでいるエンジニアリング会社等の知見は不可欠であり、早期の実用化に向け、IGCC 関連企業との連携を図るべきと考える。

【肯定的所見】

- ・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。(A委員)
- ・課題である膜モジュールの量産化に対応可能な技術を持つ住友化学(株)が参画しており、また、外部有識者の意見を取り入れる体制としていることから、体制は妥当と考える。知財については、住友化学(株)と RITE が取扱いについて適宜協議・決定しており、妥当と考える。(B委員)
- ・膜モジュールという技術集約度の高い要素技術を考えると、こうした技術で実績のある化学メーカーとの共同研究体制を組むことは適切だろう。(C委員)
- ・石炭火力発電や CCS の取組は国プロとして行う必要性が高いものであり、それに対して適切な研究開発の実施体制、マネジメント体制であり、材料開発やシステム開発がうまく機能している。IGCC 関係企業との連携も進められ、実用化に向け有意義な組織となっている。(D委員)
- ・プロジェクトの中核的な二つの課題となっている、1) 実機膜モジュールの実用化研究、2) 実ガス試験による実用化研究に対して、課題ベースの研究体制を再構築し問題解決をやりやすくしていることは評価できる。実ガス試験において無駄な費用を抑えるべく、米国 NCCC での実施を検討しコスト低減を行っていることは評価できる。(E委員)

【問題あり・要改善とする所見】

- ・知財の取扱い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。また、IGCC 以外への展開は可能なのか。その場合の知財戦略は整っているのか。あるいはそれが実行されているのか。(A 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。(B 委員)
- ・実ガス試験のフェーズに入った場合、IGCC の開発に取り組んでいるエンジニアリング会社、重工業メーカーの知見が不可欠になると思われる。早期の実用化のためにも、IGCC 関連企業との連携を図るべきではないか。(C 委員)

6. 費用対効果の妥当性

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。

しかし、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】

- ・説明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。(A 委員)
- ・世界的課題である CO2 排出量削減に寄与する技術開発であるとともに、従来技術より大幅なコスト削減が図れるなど、大きな効果が期待できる。また、今後、火力発電所新設の需要が見込まれることから、本技術が実用化されれば経済面や環境面への波及は大きいため、妥当であるとする。(B 委員)
- ・CCS の費用対効果は、世界的なカーボン政策の動向、それによるカーボンコストの顕在化とその水準によって、実際に得られる便益が決まるので、現段階で具体的に評価することは難しい。ただ、今後、地理的に日照や風況に恵まれた海外の国々が再エネの大量導入でゼロエミッション電源の低コスト化を進めるなか、国内の再エネコストが高止まりした場合、日本のカーボンリスクが急速に高まる恐れがある。その場合、IGCC-CCS が安いゼロエミ電源を担えば、その便益は巨大になる可能性がある。(C 委員)
- ・IGCC 発電と組み合わせることで、回収コストが低く抑えられ、これにより CCS の意義が高くなることや、IGFC 等の発電にも展開可能な技術であり、波及効果もあり、費用対効果は申し分ない。(D 委員)
- ・資源エネルギー庁のレポート「火力発電における論点（平成 27 年 3 月）」によれば、国内における石炭火力は 4,080 万 KW あり、IGCC の CO2 排出は平均 0.7kg/kWh となっている。国内の石炭火力が全て IGCC に置き換わったと仮定し、稼働率を火力発電所の平均的な 80%をベースに試算した場合、IGCC においても約 2.0 億 t-CO2/年を排出することになる。その CO2 を本事業のアウトカムにより全て回収する場合、CO2 分離・回収コストが 2,500 円/t-CO2 低減できたとすると、ポテンシャルとして CCS で回収できるコストは約 6,100 億円/年低減できることになり、その効果は大きい。(E 委員)

【問題あり・要改善とする所見】

- ・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。(A 委員)
- ・国内においても、再エネのコストが大幅に下った場合、ゼロエミッション電源としての IGCC-CCS の便益は低下する。IGCC-CCS の便益を確保するには、太陽光・風力+出力変動抑制(蓄電池など)の合計コストより、IGCC-CCS のコストが下回る必要がある。(C 委員)

7. 総合評価

外部不経済の CCS 事業においては、事業の道筋がつくまでは国が支援すべきと考える。模擬ガス試験と膜の連続製造の開発は、着実に進んでおり、早期に実ガス試験に移り、実用化へのめどを付けることが期待される。国際的優位性や、市場の占有率などは事業実施時期に強く依存するため、早期の実用化を望むとともに、本技術の成果を最大限に生かすためにも、導入シナリオや制度的な仕組みの導入を早期に検討する必要性を感じる。外部有識者の意見を取り入れるなど柔軟に研究をマネジメントしている点は評価できる。

他方、再エネの導入状況も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である。

【肯定的所見】

- ・外部不経済の CCS 事業においては、事業の道筋がつくまでは国が支援すべきである。また、集中投資で早く実用化ベースに乗るよう、進めるべきである。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。(A 委員)
- ・課題が概ね明確化されているとともに、すべての課題に対する中間目標が達成されており、着実な技術開発が進められていると考えられる。また、外部有識者の意見を取り入れていることや予算に見合うスケジュールへ変更するなど柔軟に研究をマネジメントしている点も評価できる。(B 委員)
- ・IGCC 排ガスの圧力を利用した膜による CO₂ 分離という着想は素晴らしく、CCS のコストを大幅に削減できる可能性を持つ。模擬ガス試験と膜の連続製造の開発は、順調に進んでおり、早期に実ガス試験に移り、実用化へのめどを付けることが期待される。膜モジュールによる CO₂ 分離技術は、装置全体がコンパクトになる可能性があり、IGCC 以外にも応用範囲は広いと思われる。発電分野では、分散電源に活用でき、バイオマス発電に適用すればカーボンマイナス(大気中の CO₂ 削減)も可能になる。また、製鉄やセメントや化学など、電気への代替が難しい産業プロセスからの CO₂ を大幅に減らせる数少ない手法になる可能性もある。(C 委員)
- ・CCS 技術だけでは利益を生む事業とはなりにくい、IGCC 発電と組み合わせることによって、CCS 技術の意義が高められ、高圧二酸化炭素排出条件に合う産業においても応用可能な事業である。中間評価段階ですでに高い目標値を達成しており、最終目標に向け期待できる。知財や国際標準化に向け、リードしていくことを期待する。(D 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。(E委員)

【問題あり・要改善とする所見】

- ・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。(A委員)
- ・世界では、太陽光・風力の発電コストが大幅に下がっている。10円/kWhを下回るものも多く、こうした低コストの自然変動電源に蓄電池や水素ストレージを組み合わせたエネルギーシステムのトータルコストがどの程度まで下がっていくのか、評価・分析しておく必要がある。将来的にIGCC-CCSを海外展開する場合、ゼロミッション電源として競合する可能性がある。(C委員)
- ・CCSの最終段階の貯留・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。(D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。(E委員)

8. 今後の研究開発の方向等に関する提言

実ガス試験の段階に入ると、想定しない様々な問題が発生し、進捗の遅れや費用の拡大につながりかねないリスクもある。早期実用化に向けて、実ガス試験サイトの研究機関と十分に事前検討を行うと共に、国内外の技術や知見を有する企業に協力を依頼するなど、適宜発生する問題に柔軟に対応しプロジェクトを進めていただきたい。

量産化に向けては、膜の性能のバラツキの許容目標を設定し、その範囲に収まるよう技術を確立していただきたい。

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と考える。

【各委員の提言】

- ・固体吸収材と分離膜の棲み分。固体吸収材はPost型、Pre型いずれにも対応可能化と思われるが、その場合、他国などと性能やコスト比較を精度よく実施して頂きたい。(A委員)
- ・実ガス試験の段階に入るため、予期しない問題が発生してくると思われる。早期実用化に向けて、場合によっては、試験サイトである米国NCCCや平成27年度まで本研究開発に参画していた企業に協力を依頼するなど、適宜発生する問題に柔軟に対応いただければと考える。また、CO₂分離・回収技術の技術開発は先進的な取組であり、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していくことが重要と考える。(B委員)
- ・国連気候変動枠組条約・パリ協定は、京都議定書と違い義務的な枠組みではない一方、主要排出国が参加している。したがって、同協定が、各国のエネルギー・環境政策にどの程度の影響力を持つかに関しては、見方が分かれている。ただ、これまでのところ、米国に温暖化対策に消極的な政権が登場しても、欧州や新興国の温暖対策を重視する姿勢に変わりなく、CO₂削減の機運はもはや不

可逆的な流れになっていると思われる。加えて、ここ 1～2 年で太陽光・風力の発電コストが大幅に下がり、火力発電と同等か、それを下回るケースも出てきた。これが、再エネ大量導入、CO2 大幅削減の実現性を高めている。こうした流れの中、原発の再稼働が遅れ、再エネのコストが高止まりしている日本は、世界の中でカーボンリスクが高まっている。温暖化対策の世界枠組みの中でカーボンコストを顕在化する制度が導入されるシナリオだけでなく、CDP（カーボン・ディスクロージャー・プロジェクト）、SBTI（科学的ベースの削減目標イニシアティブ）、RE100（再エネ 100%イニシアチブ）のような民間ベースの「脱・炭素」機運の高まりのなかで、世界の多国籍企業はゼロエミッション電源への切り替えを進め、「高いカーボン比率」が、取引条件となり、非関税障壁化する恐れもある。そうした世界の脱カーボントレンドを考慮すると、原発の再稼働が遅れ、再エネのコストが高止まりしている日本で、IGCC-CCS の実用化にめどを付け、将来の「ベストミックス」に組み込んでいく意義は極めて大きい。世界的に石炭火力への金融機関から投融資が避けられ、石炭火力インフラを“座礁資産”と呼び、経営リスクと見る動きもあるだけに、石炭火力をゼロエミ化する CCS の実用化は加速すべきと考える。（C 委員）

- ・ IGCC 発電と CCS を組み合わせれば、石炭から発電といえどもクリーンなエネルギーとなりうることを示せると良い。Carbon Capture 技術は実用化可能になりつつあるので、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。（D 委員）
- ・ 実ガス試験をコスト対効果を考えて米国で実施することは良いことであるが、仕事の仕方や考え方などは日本と大きく違う環境での仕事となり、これまでに想定しない様々な問題が出てくる可能性もあり結果として進捗の遅れや費用の拡大につながりかねないリスクもある。海外での類似業務の経験者などの意見なども聞き、米国 NCCC と也十分にすり合わせ、確認をして進めて頂きたい。分離膜の量産化を視野にいたした研究を継続されていくにおいて、膜の性能バラツキの改良も是非積極的に取り組んでいただきたい。量産化においては、性能のバラツキの許容目標も設定しその範囲に収まる量産化技術を確立して欲しい。（E 委員）

<上記提言に係る担当課室の対処方針>

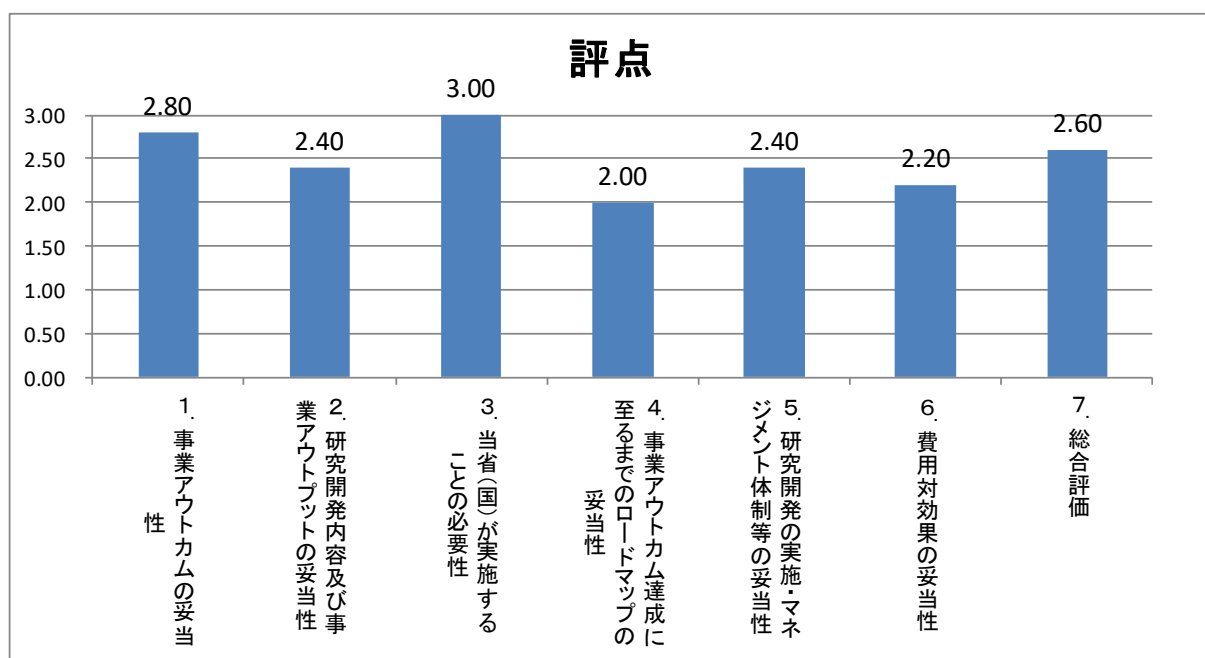
実ガス試験段階における様々な問題に対しては、実ガス試験サイトの研究機関と十分に事前検討を行うと共に、必要に応じて国内外の技術や知見を有する企業に協力を依頼するなど、柔軟に対応しプロジェクトを進めていく。

量産化に向け、膜の性能のバラツキの許容目標を設定し、その範囲に収まるよう技術を確立すべく研究開発を行う。

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を着実に進めていく。

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	2.40	1	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	2.00	1	2	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	1	3	2	3	3
6. 費用対効果の妥当性	2.20	1	3	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。

第3章 今後の研究開発の方向等に関する提言

1. 複数課題プログラム

今後の研究開発の方向等に関する提言

当該プログラムの個々の数値目標を達成するのみでなく、結果を詳細に分析し、今後の CCS 事業を円滑に推進するための規範となるような成果を挙げることを期待している。当該プログラムで得た知見を基に、将来 CCS を実施する際のガイドライン的なものを作成していただきたい。

それぞれのプロジェクトで得られた知見や成果を他のプロジェクトにフィードバックし、プログラム全体の成果を担保するという点において課題があるように感じる。プログラムとしてプロジェクト間のフィードバックの仕組みを検討してほしい。

実証試験の段階では、想定外のような問題が発生する可能性があるため、実用化に向けて、必要に応じて国内外の技術や知見を有する企業の関与を得るなど、柔軟に対応しプログラムを進めていただきたい。

最終的に CCS が実用化されるには、コストをどれだけ抑えられるかが重要であり、コストの検討も必要と考える。

国直轄から NEDO 事業になったのを機に、NEDO の持つ広報力を活用し、苫小牧サイトをより積極的に PR してはどうか。

【各委員の提言】

- ・実用化に向けて、本事業で得られた知見をどのように活用するかに関して、詳細な検討が必要と思われる。（A 委員）
- ・これまでのところ圧入による微小地震は観測されていないとしているが、原理的には、さらに圧入を続けていくと微小振動が起こる可能性がある。微小振動の有無は、社会的受容性にも大きく影響することから、今後、どの程度の量と圧力で圧入した場合、振動が起きるのか、圧入と微小振動の関連性を説明できるデータを蓄積して欲しい。その上で、微小振動と人が感じる地震との因果関係がないことを明確に示すことが、かえって社会的な受容性を高めることになると思う。（B 委員）
- ・国直轄から NEDO 委託事業に移ったのを機に、NEDO の持つ広報力を活用し、苫小牧サイトをより積極的に PR してはどうか。福島沖の浮体式風力の実証では、NEDO がホームページなどで積極的に広報したこともあり、全国的に認知度が上がった。また、苫小牧の近隣地域には、全国有数のメガソーラー（大規模太陽光発電所）や、レドックスフローを導入した大型系統蓄電池などがある。今後のエネルギー技術の方向性を知るうえで、重要な施設が集積している。これら施設と CCS 圧入施設を一緒に見学するようなイベントや産業観光など、自治体などと連携して企画することも有効かもしれない。（B 委員）
- ・全体のコスト概要と、各プロセスのコスト見積もりが必要。最終的に CCS が実用化されるには、コストをどれだけ抑えられるかがポイントになると思われる。（C 委員）
- ・当該プログラムの個々の数値目標を達成するのみでなく、結果を詳細に分析し、今後の CCS 事業を円滑に推進するための規範となるような成果を挙げることを期待している。すなわち、個々の貯留層特性等に大きく依存しない技術に関しては、研究成果を標準技術として提言し、貯留層や

地層状況に依存する技術に関しては、その特性をいくつかのパターンに分類して、各パターンごとに推進すべき技術を考察する等、当該プログラムで得た知見を基に、将来実践的に CCS を実施する際のガイドラインのようなものを作成していただきたいと考える。（D 委員）

- ・プログラムとして複数のプロジェクトを切り出し、そのプロジェクトごとに目標を立て個別に進めていること自体は正しいアプローチであるが、それぞれのプロジェクトで得られた知見や成果を他のプロジェクトにフィードバックし、プログラム全体の成果を担保するのかという点で課題があるように感じる。個別のプロジェクトで得られた結果は、プログラム内の活動として相互に影響する可能性があり、場合によっては他のプロジェクトの計画や活動にも大きな影響を及ぼすこともあり得る。さらに、新たに生じた課題に対してプログラムの成果を担保するために新たにプロジェクトを立ち上げることさえ必要なこともある。プログラムとしてのプロジェクト間のフィードバックの仕組みを検討してほしい。（E 委員）
- ・実サイトでの検証や実ガス試験など、実証試験の段階に入る項目が増えてくると、想定しない様々な問題が発生する可能性があるため、実用化に向けて、必要に応じて国内外の技術や知見を有する企業の関与を得るなど、柔軟に対応して進めていただきたい。（F 委員）
- ・本事業は先進的な取り組みであり、長期にわたる研究開発期間、多額の研究開発費が必要であることから、引き続き国が主導的に実施していくことが重要と考える。（F 委員）

<上記提言に係る担当課の対処方針>

将来的に CCS を実施する際のガイドライン等の作成に資するべく、本プログラムにおいては、得られた知見や成果等を用いて、CCS 技術事例集（事業者等が参考とできる手引き）の作成を行う。

各プロジェクトで得られた知見や成果を他のプロジェクトにフィードバックすべく、プロジェクト間の連携等に向けた検討を行う。

本プログラムの実施にあたっては、必要に応じて技術や知見を有する国内外の企業の関与を得るなど、柔軟に進めていく。

CCS 事業に係るコストのうち 6 割程度を占めると試算（RITE, 2005）されている CO₂ 分離回収コストの低減を図るべく、本プログラムにおいて研究開発を着実に実施する。また、苫小牧での実証事業の実績に基づく CCS の実用化を想定した際の運転費用や圧入コストについては、本実証試験終了後に精査を行う。

NEDO の持つ広報力を活用した PR についても検討を行う。

2. 研究開発課題

A. 苫小牧における CCS 大規模実証試験事業

今後の研究開発の方向等に関する提言

民間では取り組むことが難しい本プロジェクトを国が主体となり実施することは妥当であり、CO₂ 圧入量の目標達成もさることながら、今後の CCS 事業を円滑に推進するための、規範となるような成果が期待される。本プロジェクトで得られた知見を基に、例えば、貯留層の選定基準、

坑井仕上げ、モニタリング技術、圧入操業、社会受容性や法規等との共生、今後のスケールアップ手法、特性や環境の異なる他フィールドへの適用手法等、制度的な枠組みや環境整備も含めて、実用化に向けた十分な検討が必要と考える。

滝ノ上層（火山岩層）の CO2 圧入が想定を大きく下回る結果であったことは、今後の CO2 貯留適地の選定に影響を与える可能性もあるため、その原因を明らかにし、滝ノ上層のように浸透性が低い地層を選定するリスクを回避する方法についても検討する必要があると考える。

CCS 実用化に向けては、コスト低減は課題のひとつであり、重要な指標でもあるため、コストに関する情報をまとめていく視点も重要と考える。

【各委員の提言】

- ・民間では取り組むことが難しい本事業を国が主体となることは妥当である。但し、今後、実用化に向けて、本事業の知見を生かすことに十分な検討が必要と思われる。その際も国の関与が重要である。（A 委員）
- ・CO2 圧入が順調に増えている萌別層に関しては、今後も特に微小振動の観測に注力し、圧入量と微小振動との関連性のある程度、定量的に説明できるようなデータを蓄積することが好ましい。（B 委員）
- ・全体評価のコメントでも触れたが、今後さらに広報活動に力を入れ、CCS 付き火力が、再エネ・原発と並ぶ、3 つの目の脱炭素のエネルギー技術であることの意義を広めてほしい。（B 委員）
- ・並行して、年間 100 万トン規模にスケールアップした大規模実証プロジェクトの計画を進めると共に、ファイナンスセクターの専門家を交え、民間による大規模事業に移していく上での制度的な枠組みや環境整備などを検討してはどうか。（B 委員）
- ・環境外交のなかで、オーストラリアなど石炭輸出国と連携しつつ、産炭地で CCS を行い、水素を輸入するようなプロジェクトについても民間企業を交えて構想を練っていくべきではないか。そうしたビジョンを掲げることが、現場での研究開発を後押しすることにもなる。（B 委員）
- ・最終的に CCS が実用化されるには、コストをどれだけ抑えられるかがポイントになるため、全体のコスト概要と、各プロセスのコストを検討いただきたい。（C 委員）
- ・CCS の Storage の部分に関してはパイオニア的な事業であるため、圧入 CO2 量の目標達成もさることながら、今後の CCS 事業を円滑に推進するための、規範となるような成果を挙げることを期待している。また、本事業で得た知見を基に、貯留層の選定基準、坑井仕上げ、モニタリング技術、圧入操業、社会受容性や法規等との共生、さらには今後のスケールアップ手法、特性や環境の異なる他フィールドへの適用手法、等に関する教科書のようなものを作成していただきたいと考える。（D 委員）
- ・滝ノ上層の火山岩層への CO2 圧入が想定を大きく下回る結果であったことは、今後の CCS 貯留適地の選定に大きな影響を与えるものであり、火山岩層へのリスクを明確にするためにもその原因を明らかにして欲しい。さらには、火山岩層への地質リスクを回避できる方法はないのか、無い場合はどうするのかプログラムとしての検討は必要に思える。（E 委員）
- ・コストの低減が「CCS の実証および調査事業のあり方に向けた有識者検討会」でも課題として挙げられたように、コストは重要な指標であるため、ランニングコスト等の情報をまとめていく視点が重要と考える。（F 委員）

- ・先進的な取り組みであり、長期にわたる実証期間、多額の費用が必要であり、また、外部不経済であるため民間企業にインセンティブが働きにくいことから、引き続き国が主導的に実施頂ければと考える。（F委員）

＜上記提言に係る担当課の対処方針＞

本プロジェクトで得られた成果や知見を実証試験の成果・知見集としてとりまとめ、別途作成される CCS 技術事例集（事業者等が参考とできる手引き）に情報を提供する。

将来の CO2 貯留適地の選定において、滝ノ上層のような浸透性が低い地層を選定することがないよう、その原因分析に基づいて、今後の CCS 事業に向けた対処法について検討を行う。

本実証事業の実績に基づく CCS の実用化を想定した際の運転費用や圧入コストについては、本実証試験終了後に精査を行う。

B. 安全な CCS 実施のための CO2 貯留技術の研究開発事業

今後の研究開発の方向等に関する提言

本プロジェクトで実施している各研究が、実際に適用できるのか、どのように CCS の実用化に役立つのか、やるべき技術の確立はどこまでなのか等を明確にし、研究結果と適用可能性やその効果との関係を常に念頭に置いて事業を進めていただきたい。また、本プロジェクトと苫小牧実証試験との間で技術のフィードバック等を円滑に行うことも必要と考える。

開発した技術の有用性の確認等は、早期実用化や改良のためにも、可能な範囲で既に進行している CCS サイトの積極的な活用を進めるとともに、現地の有識者等の知見も取り入れるなど柔軟に対応いただきたい。

【各委員の提言】

- ・我が国にとって、極めて重要な開発課題であり、得られた知見をどのように実用化に結びつけるかを十分に検討頂きたい。（A委員）
- ・すでに苫小牧での大規模実証の評価コメントのなかでも触れたが、CCS での CO2 圧入事業が実際に活用されるか否かの大きなカギを握るのは、社会的受容性で、なかでも地震国日本においては、誘発地震への疑いや懸念を持たれないことが非常に重要になる。そうした「CCS の安全・安心」の観点から見た場合、近隣で実際に有感地震が起きた場合、有感地震のメカニズムと CO2 圧入の「関連性がないこと」を一般の人が理解しやすい形で示すことが大変に重要になる。そのためには、地層のモニタリングは、圧入サイト付近に加え、数 km、数十 km 離れた地点も測定範囲とし、有感地震が起こった場合の検証データを広範に蓄積しておくことも必要かもしれない。また、CO2 の圧入によって起こる「微小振動」は、有感地震との関連性を連想しやすい。このため、こうした現象に関する知見をさらに蓄積しておくことも重要であろう。（B委員）
- ・CCS の圧入サイトが、地域にとってプラスになるようなプロジェクト、例えば、IGCC→CCS の一貫プラントから CO2 とともに水素も取り出して未来型の水素インフラに供給したり、CCS と同様に海底地盤の事前探索が必要になる着床式洋上風車と一体的に開発するなどのアイデアも必要ではないか。（B委員）

- ・最終的に CCS が実用化されるには、コストをどれだけ抑えられるかがポイントになるため、安全性にかかるコストの概要を示して頂きたい。また、苫小牧実証試験と密に関係を保ち、技術のフィードバック等を円滑に実施して頂きたい。（C 委員）
- ・CCS の Storage の部分に関しては不確実な部分が多いため、当該事業で提案している各研究が、実際に適用できるのか、どのように CCS の向上に役立つのかについて明確に説明できるよう、研究結果と適用可能性やその効果との関係を常に念頭に置いて事業を継続していただきたい。（D 委員）
- ・複数の技術確立を行っている中で、「②大規模貯留層を対象とした有効な圧入・利用技術の確立」のゴールをどこに持っていこうとしているのかがわからない。そもそも 100 万トン/年以上の地中貯留を可能にする技術の確立としているが、どこまでを達成すると技術が確立されたと言えるのか、実用面からみて十分と思えるレベルはどこなのかがわかりにくい。圧入井や緩和井の最適配置化の技術は豪州のデータでの活用しようとしているが、苫小牧の国内の地層では実際どうなのか、モデルだけの検証で十分なのか、萌別層のような砂岩で検証しようとしているのか、わが国に多いが苫小牧でも上手くいかなかった滝ノ上層のような火山岩類でも検証しようとしているのかよくわからない。同様なことはマイクロバブル圧入の技術確立も同様で、豪州での検証が苫小牧での砂岩や、火山岩類での検証にどのように整合するのかがわからない。一方で、苫小牧の 10 倍の 100 万トン/年の実証実験を行うことが経済性の観点から困難であることも理解できるので、国としてやるべき技術の確立はどこまでなのかゴールを明確にしたうえで技術開発を進めて頂きたい。（E 委員）
- ・貯留について安全かつ最適なモニタリングの手法の検証は、「CCS の実証および調査事業のあり方に向けた有識者検討会」でも課題として挙げられているほど重要である。開発した大規模 CCS 向け技術の有用性の確認等は、早期実用化や改良のためにも、可能な範囲で既に運転している海外の CCS サイトの積極的な活用を進めるとともに、現地有識者の知見を取り入れるなど柔軟に対応いただければと考える。（F 委員）
- ・先進的な取り組みであり、長期にわたる実証期間、多額の費用が必要であり、また、外部不経済であるため民間企業にインセンティブが働きにくいことから、引き続き国が主導的に実施頂ければと考える。（F 委員）

<上記提言に係る担当課の対応方針>

本プロジェクトで実施している各研究について、成果の適用可能性やその効果を明確にし事業を進めるべく、苫小牧実証試験事業との連携や将来の CCS プロジェクトへの適用を含めて、内容の精査・検討を行う。

開発した技術の有用性の確認においては、既存の CCS サイトを活用すべく検討を行う。

第4章 産業構造審議会評価ワーキンググループの所見及び同所見を踏まえた改善点等

1. 複数課題プログラム

評価ワーキンググループの所見【中間評価】（平成30年度）
所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価】（平成30年度）

2. 研究開発課題（プロジェクト）

A. 苫小牧における CCS 大規模実証試験事業

評価ワーキンググループの所見【中間評価】（平成30年度）
所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価】（平成30年度）

評価ワーキンググループの所見【中間評価】（平成27年度） ＜事業アウトカムの妥当性＞ 本事業は意義が高いと考えられる。予算措置による成果としてアウトプット、アウトカムを適切に示していくこと、次のステージに有効につなげていくことが重要である。次のステージでは、本事業から得られた知見を生かした有効なアウトカムの策定、国内外への展開等計画の高度化を図ってほしい。
所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価】（平成27年度） ＜事業アウトカムの妥当性＞ 実証試験事業として、圧入段階の目標設定において圧入量、漏えい回数をアウトプットとした上で、実証試験を通じて CCS 技術の実用化に向けた技術的課題を解決してまいりたい。また、本事業のスコープ外ではあるが、今後の政策検討の中で当該実証試験の知見及びアウトカムを踏まえて CCS 施策に寄与するよう努力してまいりたい。

評価ワーキンググループの所見【中間評価】（平成23年度） 技術開発に焦点が当てられているが、安全性や環境への影響も懸念されることから、引き続き、社会に受け入れられるかどうかにもっと配慮し、経済的有効性をさらに真剣に考えるべきである。そのために、プロジェクト単体ではなく、経済性や安全性や環境に十分配慮したプログラムとして実施すべきである。
--

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価】（平成 23 年度）

CCS を実用化するためには、周辺環境へ影響を与えることなく安全に長期間にわたり CO₂ を貯留できることは勿論のこと、CCS のコストを低減させることが不可欠と考えております。

実証試験では、周辺環境へ影響を与えることなく安全に CCS を実施し、コスト低減のためにはどのようなシステム、運用方法を構築することが求められるかなど幅広い観点での検証を行うこととしていますが、ご指摘を踏まえ、プログラムとしての観点から、経済性や安全性や環境に更に配慮した実証試験となるよう努めてまいります。

B. 安全な CCS 実施のための CO₂ 貯留技術の研究開発事業

評価ワーキンググループの所見【中間評価】（平成 30 年度）

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価】（平成 30 年度）

評価ワーキンググループの所見【事前評価】（平成 27 年度）

＜事業アウトカムの妥当性＞

社会受容性は、論理的な説明にしっかり取り組むことにより、獲得できる可能性が高まるものであり、その取組はほかの事業にも参考になる。また、フィールドの実験は貴重であり、特許などの研究成果が期待できるのみならず、その波及効果をよく意識しながら研究成果が展開できるように事業を推進していくこと。

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【事前評価】（平成 27 年度）

＜事業アウトカムの妥当性＞

本事業の成果を踏まえ、社会受容性の獲得に向けて論理的な説明に取り組んでまいりたい。

本事業について、公募により選定する事業者により詳細な事業計画を作成させる際に、成果の波及効果を意識した計画とするよう調整してまいりたい

C・D. 二酸化炭素回収技術実用化研究事業

評価ワーキンググループの所見【中間評価】（平成 29 年度）

＜研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性＞

① オープンイノベーション的な手法を活用するべく、具体的な計画を作成し検討すること。

- ② A事業（先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業）におけるスケールアップの課題、B事業（二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業）における量産化の課題、等を解決して、CO₂分離回収コストの低減という一番大きな課題克服を期待したい。中間評価以降、さらにそれらの課題解決に向けて戦略的かつ効率的に事業を進行させること。

＜研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性＞

- ③ このプロジェクトだけで関連する事業全体が終わるわけではなくて、今後は実証、さらに商用に向けて国の戦略が必要となるので、事業後半において十分留意すること。

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価】（平成 29 年度）

＜研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性＞

- ① ご指摘を踏まえ、実用化に向けた技術課題の早期解決に向け、オープンイノベーション的な手法の活用等について検討してまいります。
- ② 中間評価以降も、課題解決に向けて本事業を戦略的かつ効率的に進行すべく、事業計画を精査し事業を進めてまいります。

＜研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性＞

- ③ ご指摘を踏まえて、事業の後半においては、CCSの実証試事業の結果や制度的仕組みの検討状況等にも十分留意し事業を推進してまいります。

評価ワーキンググループの所見【事前評価】（平成 26 年度）

- ① 分離膜の開発については開始時に検証可能な基準を設けステージゲート方式等で絞り込みを行うことを検討すること。
- ② CCSの導入戦略について検討を継続すること。
- ③ 国際協力の観点および国際標準の枠組みを含む本事業の海外戦略の検討を行うこと。
- ④ プロジェクト内を非独占実施とすることは参加企業のインセンティブを損なう恐れがあるため、知的財産管理戦略について再検討すること。

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【事前評価】（平成 26 年度）

- ① ご指摘を踏まえ、中間評価時に係る指標を見直しました。評価時点において当該指標を達成できない場合には、研究計画等を見直すことといたします。
- ② 今後、CCS実証事業の結果などを踏まえ、導入戦略の検討を継続してまいります。
- ③ ご指摘を踏まえ、当該プロジェクトの実施に当たり、海外戦略についても検討して参ります。特に、国際標準化については、既にISOに専門委員会（TC265）が設置されており、本事業における成果も含めた我が国の技術が国際標準化に適切に反映されるよう取り組んでまいります。

④ ご指摘を踏まえ、知的財産権の管理・運用を適切に実施してまいります。