

CCS研究開発・実証関連事業 複数課題プログラム中間評価 補足資料

CCS研究開発・実証関連事業 複数課題プログラム

平成31年2月22日

産業技術環境局環境政策課地球環境連携室

目次

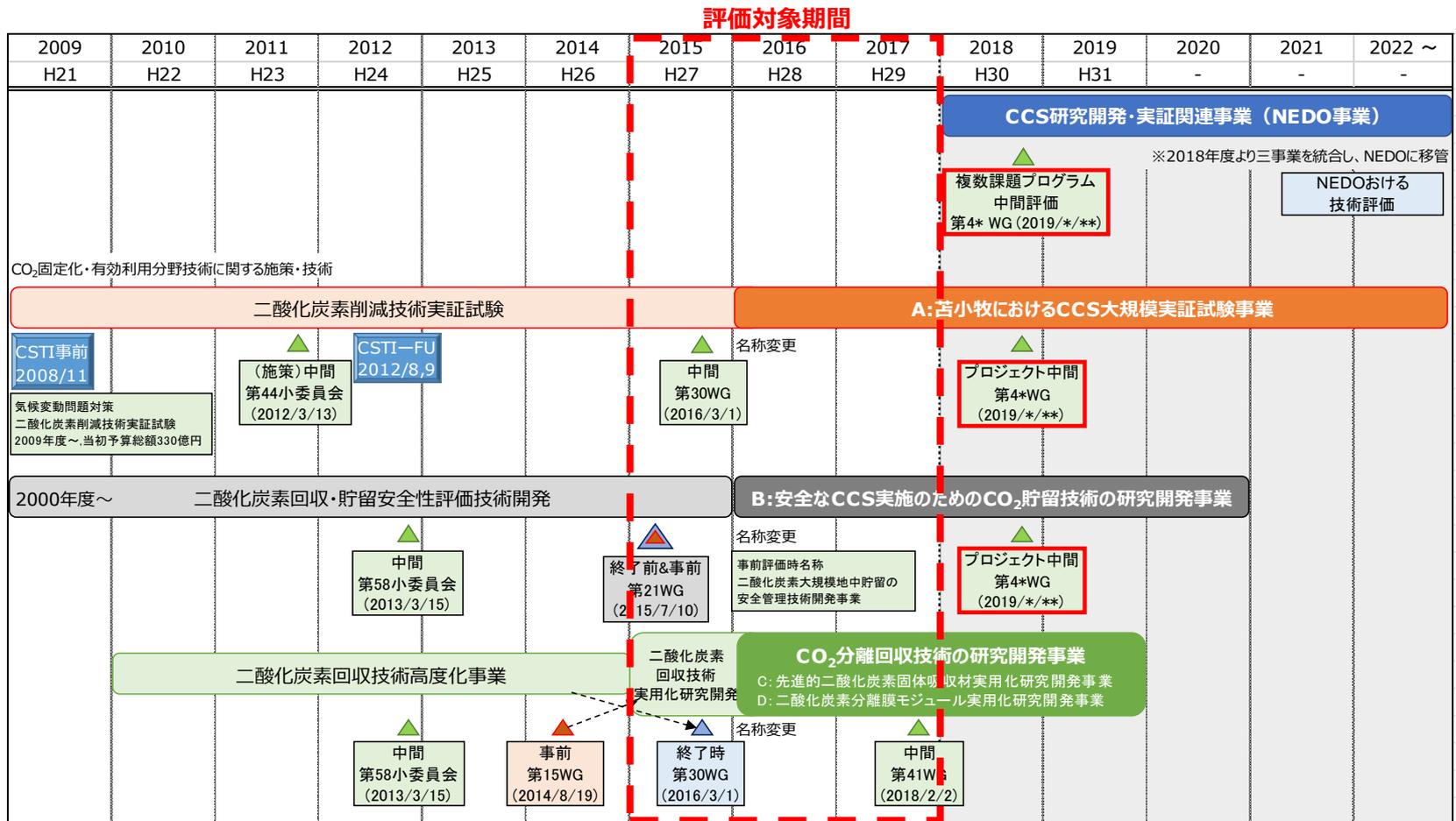
- 1 複数課題プログラムの概要
- 2 事業アウトカム
- 3 事業アウトプット
- 4 当省(国)が実施することの必要性
- 5 各事業アウトカム達成に向けたロードマップ
- 6 複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等
- 7 費用対効果
- 8 外部有識者の評価等
- 9 提言及び提言に対する対処方針

1. 複数課題プログラムの概要

<p style="text-align: center;">概 要</p>	<p>CCS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、温室効果ガスの大気中への排出量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。</p> <p>CCSの実用化にあたっては、CO₂の分離回収、圧入・貯留、モニタリングまでの一貫した操業技術の確立、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特定、社会的受容性の醸成が不可欠である。</p> <p>そこで、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、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。</p>
<p style="text-align: center;">評価期間</p>	<p>平成27(2015)年度～平成29(2017)年度（3年間）</p>
<p style="text-align: center;">プロジェクト名 予算執行額 事業主体</p>	<p>総執行額：263.9億円（評価期間：平成27年度～平成29年度（3年間））</p> <p>A. 苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業（委託） 実施主体：日本CCS調査株式会社 230.1億円（平成27年度：90.8億円、平成28年度：61.3億円、平成29年度：78.0億円）</p> <p>B. 安全なCCS実施のためのCO₂貯留技術の研究開発事業（委託） 実施主体：二酸化炭素地中貯留技術研究組合 19億円（平成28年度：9億円、平成29年度：10億円）</p> <p>C. CO₂分離回収技術の研究開発事業（旧：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）（委託） 実施主体：公益財団法人地球環境産業技術研究機構 8.7億円（平成27年度：2.2億円、平成28年度：3.2億円、平成29年度：3.3億円）</p> <p>D. CO₂分離回収技術の研究開発事業（旧：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）（委託） 実施主体：次世代型膜モジュール技術研究組合 6.2億円（平成27年度：2.4億円、平成28年度：2.1億円、平成29年度：1.7億円（見込み））</p>

1. 1 CCS研究開発・実証関連事業の技術評価

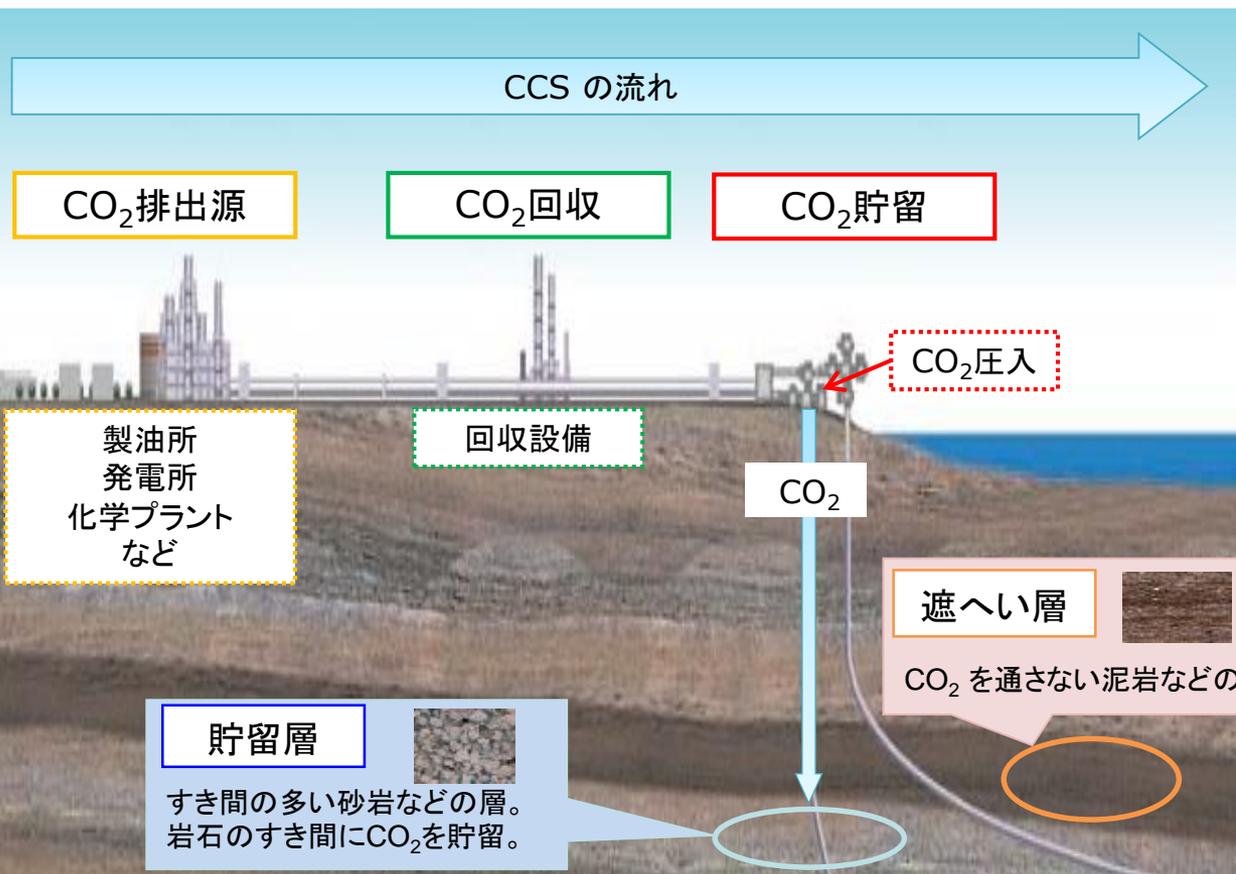
- 中間評価の対象期間は平成27～29年度（3年間）
- 3事業を「CCS研究開発・実証関連事業」複数課題プログラムとして、中間評価を実施。
- 安全なCCS実施のためのCO2貯留技術（B事業）の研究開発事業の対象期間は平成28～29年度。（H27年度事前評価）
- CO2分離回収技術の研究開発事業（C・D事業）は平成29年度に中間評価を実施、プロジェクト評価対象外。（ただし、プログラム評価としては対象）



1.2 CCS政策について

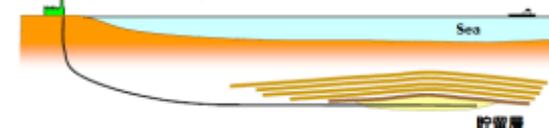
CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) とは

- CCS (二酸化炭素回収貯留) とは、工場や発電所等から排出される二酸化炭素 (Carbon dioxide) を大気放散する前に回収し (Capture)、地下へ貯留 (Storage) する技術。
- IEA (国際エネルギー機関) や、IPCC (気候変動に関する政府間パネル) 等において、CCSは地球温暖化対策に効果的な技術として評価。

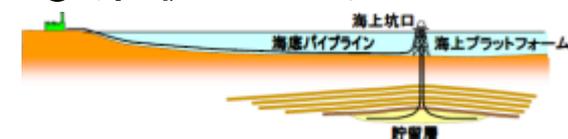


圧入方式

- ① 陸上からの圧入
※ 二酸化炭素削減技術実証試験事業



- ② 海上抗口からの圧入



- ③ 海底抗口からの圧入



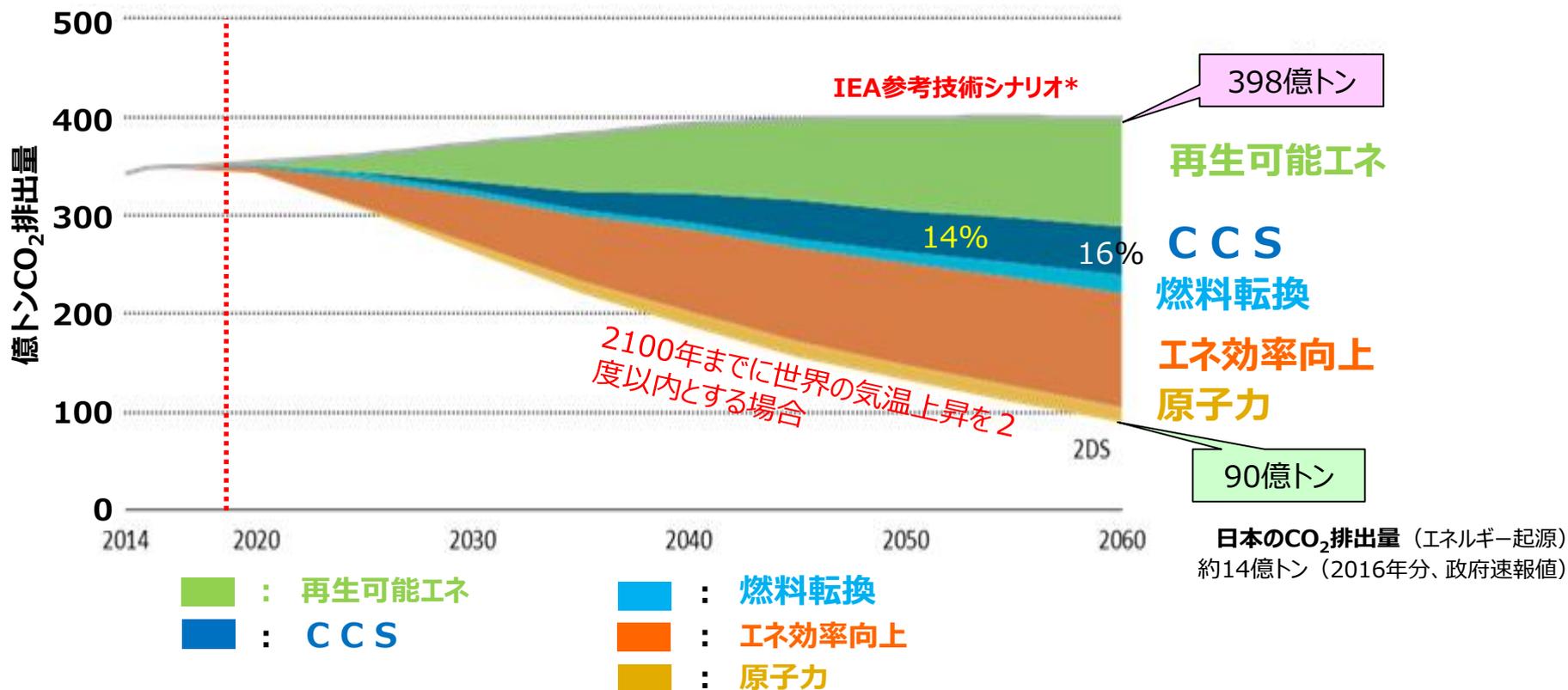
1.2 CCS政策について

温暖化対策におけるCCS技術の必要性

- IEA（国際エネルギー機関）報告書*によると、2060年までの累積CO₂削減量の14%をCCSが担うことが期待されている。（2060年時におけるCO₂削減量の16%、49億トン／年）

* IEA ETP (Energy Technology Perspectives) 2017に基づく。なお、IEA ETP 2016においては、2050年までの累積CO₂削減量の13%、2050年におけるCO₂削減量の16%がCCSによる削減量と評価。

2060年世界のCO₂削減量見通し



*パリ協定に基づくCO₂排出の抑制とエネルギー効率の改善に向けた各国の現在の削減目標を考慮

出典：IEA “Energy Technology Perspectives 2017”

1. 1 CCS政策について

世界のCCSプロジェクトの普及状況

- 稼働中の事業の大半はCO₂EOR※であり、帯水層での大規模CCSは4件のみ(2018年)。
- 北米で多くのプロジェクトが先行している一方、中東、東アジアでのプロジェクト数も増加傾向。今後、後続のCCS関係プロジェクトの立ち上げが期待される。

※大規模:年間 80万t以上(石炭火力)
年間40万t以上(その他の排出源)



大規模プロジェクト37件(2018年3月)

運転中: 17件	北米: 16件
建設中: 5件	欧州: 5件
精査中: 4件	中東: 2件
評価中: 11件	南米: 1件
	オセアニア: 3件
	アジア: 10件

Large-scale CCS projects: Global

Industry sector

■ Power generation	■ Coal-to-liquids (CTL)
■ Natural gas processing	■ Chemical production
■ Synthetic natural gas	■ Iron and steel production
■ Fertiliser production	■ Oil refinery
■ Hydrogen production	■ Not specified
■ Various	

Storage type

△ Deep saline formations
□ Enhanced oil recovery (EOR)
☆ Depleted oil and gas reservoirs
○ Various options considered/ not specified

出典: Global CCS Institute, "The Global Status of CCS 2016" の図を使用し、大規模プロジェクト件数はその後の進展を反映。

※ CO₂EOR (CO₂による原油増進回収法/CO₂攻法)は、CO₂を油田へ圧入することで、地層中の原油の流動性を向上させ、原油の生産量を増大させる手法。

1. 2 CCS政策について

2050年に向けた主要国の戦略

● 米国、カナダ、欧州諸国の2050年に向けた長期戦略においても、濃淡はあるものの、各国ともゼロエミ化、電化の重要な手段としてCCSを位置付けている。

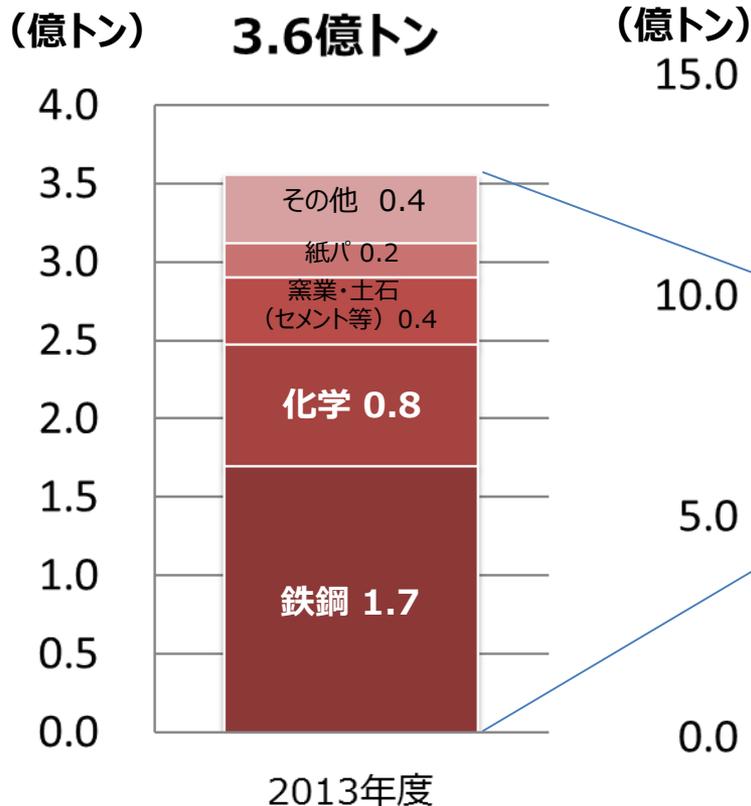
	削減目標	柔軟性の確保	主な戦略・スタンス		
			ゼロエミ化	省エネ・電化	CCUS
米国	▲80%以上 (2005年比)	削減目標に向けた 野心的ビジョン (足下での政策立案を意図するものではない)	ゼロエミ比率 引き上げ 変動再エネ + 原子力	大幅な電化 (約20%→45~60%)	<ul style="list-style-type: none"> 2050年 CCS火力 0~25%。 シナリオにより CCS付火力存在
カナダ	▲80% (2005年比)	議論のための 情報提供 (政策の青写真ではない)	電化分の確保 水力・変動再エネ + 原子力 <small>※既にゼロエミ電源比率は約80%</small>	大幅な電化 (約20%→40~70%)	<ul style="list-style-type: none"> 2050年 CCS火力 0~10% 多排出産業で CCSの削減余地
フランス	▲75% (1990年比)	目標達成に向けた あり得る経路 (行動計画ではない)	電化分の確保 再エネ + 原子力 <small>※既にゼロエミ電源比率は90%以上</small>	大幅な省エネ (1990年比半減)	<ul style="list-style-type: none"> 完全ゼロエミ化 シナリオではCCS 不可欠 多排出産業で CCS活用
英国	▲80%以上 (1990年比)	経路検討による今後数年の 打ち手の参考 (長期予測は困難)	ゼロエミ比率 引き上げ 変動再エネ + 原子力	省エネ・電化を 推進	<ul style="list-style-type: none"> 2025年までに CCSの無い石炭火力を廃止 CCUS技術開発を先導
ドイツ	▲80~95% (1990年比)	排出削減に向けた 方向性を提示 (マスタープランを模索するものではない) <small>※定期的な見直しを行う</small>	引き上げ 変動再エネ	大幅な省エネ (1990年比半減)	産業部門で新技術による低炭素化が困難な場合に、CCU, CCSの順に検討

1.2 CCS政策について

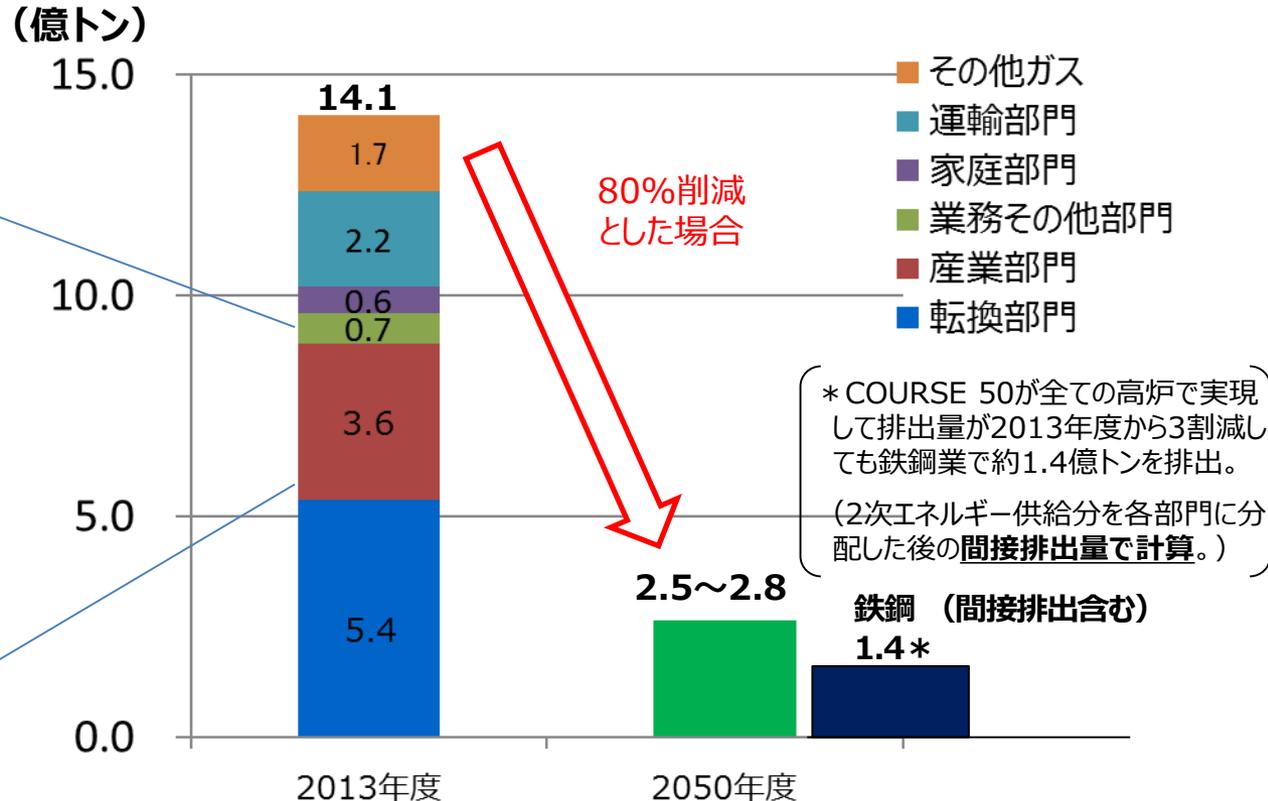
温室効果ガスの大幅な削減に向けて

- 2050年までに温室効果ガスの大幅な削減を行うためには、従来の取組の延長では実現が困難。
- CCSを含めた革新的技術の開発・普及などイノベーションによる解決に向けた取り組みが重要。

<産業部門の排出量実績>



<温室効果ガスの排出量>



※1 ここでは、2次エネルギー供給分を各部門に分配しない直接排出量としている。

※2 なお、農林水産分野の排出量は、0.4億トン

・CO₂ (農業機械、漁船等) : 3.0百万トン

・メタン (牛など家畜のゲップ、稲作等) : 28.0百万トン

・一酸化二窒素 (家畜の排泄物、農用地土壌等) : 10.3百万トン

1. 2 CCS政策について

国内におけるCCS技術の政策的位置付け

➤ 東京電力の火力電源入札に関する関係局長級会議取りまとめ (平成25年4月25日)

(2) 2050年目標との関係

(ア) 国は、当面は、火力発電設備の一層の高効率化、2020年頃のCCS商用化を目指したCCS等の技術開発の加速化を図るとともに、CCS導入の前提となる貯留適地調査等についても早期に結果が得られるよう取り組む。

➤ 攻めの温暖化外交戦略 (ACE) (平成25年11月15日)

(『イノベーション』項にて、2050年世界半減に必要な技術として位置づけ)

CCS (CO₂回収・貯留技術) : 火力発電等から排出されるCO₂を回収し地下に貯留。日本はCCS普及の鍵となる分離回収技術の高効率化で世界に貢献。

➤ 地球温暖化対策計画 (平成28年5月13日閣議決定)

2030年以降を見据えて、CCSについては、「東京電力の火力電源入札に関する関係局長会議取りまとめ」や「エネルギー基本計画」等を踏まえて取り組む。

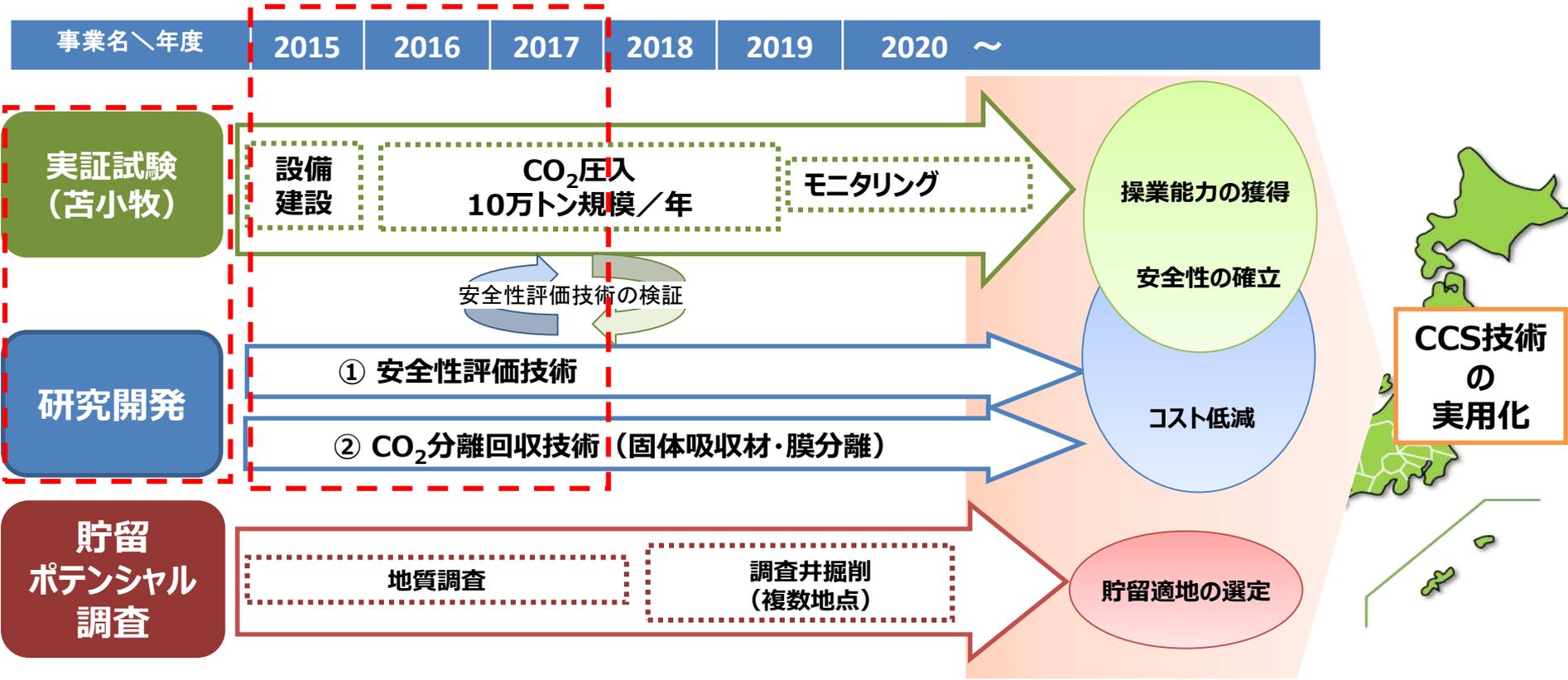
➤ 第5次エネルギー基本計画 (平成30年7月3日閣議決定)

加えて、温室効果ガスの大気中への排出を更に抑えるため、IGCC・IGFC等の次世代高効率石炭火力発電技術等の開発・実用化を推進するとともに、「東京電力の火力電源入札に関する関係局長級会議取りまとめ」(2013年4月25日経済産業省・環境省)等を踏まえ、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。

1. 2 CCS政策について

現在の我が国のCCSに係る取り組み

- 現在、エネルギー基本計画に沿って、2020年頃のCCS技術の実用化を目指して、苫小牧における大規模CCS実証、低コスト化に向けた研究開発、CO2の貯留適地の調査を実施中。



国際協力

多国間の取組：CEM、CSLF、ISO/TC265等への積極参加

近年に活発化している国際イニシアティブへ積極的に関与することで、我が国に有利なCCS関連市場を整えるべく、産業界・金融機関とともに有望なビジネスモデルやファイナンスメカニズムの検討・共有を進める。

二国間での取組：米国、サウジをはじめとしたCCS展開への共同スタディ

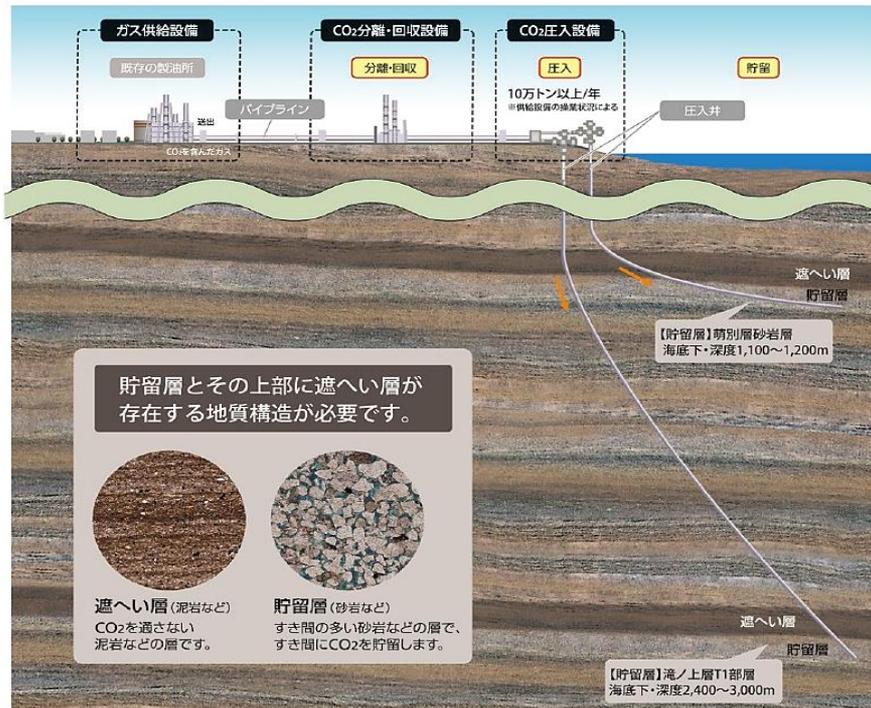
相手国との二国間協力下での共同スタディや技術支援、プロジェクト形成を通じて、我が国および相手国の温暖化対策、経済振興、エネルギーの安全供給に資すると共に、世界的な温暖化対策へ貢献する。

1.2 CCS政策について

A: 苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業

- 北海道苫小牧市にて、我が国で初となる大規模CCSの実証試験を実施。
- 2012年度から2015年度の4年間で、CO₂分離・回収設備等の設計や建設、井戸の掘削が完了。
- 2016年度より、製油所の排出ガスから分離回収したCO₂を年間約10万トン規模で地中に貯留するとともに、貯留したCO₂のモニタリングを実施中。
- CCSに対する国民の認知度を高め理解を深めるための取組を実施。

<CO₂圧入イメージ>



<実証試験スケジュール>

～2011fy	2012fy	2015fy	2016fy	2019fy	2020fy～
調査	準備		圧入		監視・評価
実地調査終了	苫小牧実施決定		モニタリング		
	設備の設計・建設、坑井の掘削、操業の準備等		CO ₂ 圧入 (10万トン規模/年)		
			地層モニタリング・弾性波探査 海洋環境調査等		

※ 2016年度より圧入開始

<事業の実施状況>



<CO₂分離・回収設備の建設>



<地上設備>

日本CCS調査株式会社 (JCCS)

2008年に設立。電力、ガス、石油、プラントエンジニアリング、商社ら35社が共同出資。

業務内容：CO₂の分離、回収、輸送、地中貯留の実証プロジェクトの調査・実施。ポテンシャル調査事業も実施。

1. 2 CCS政策について

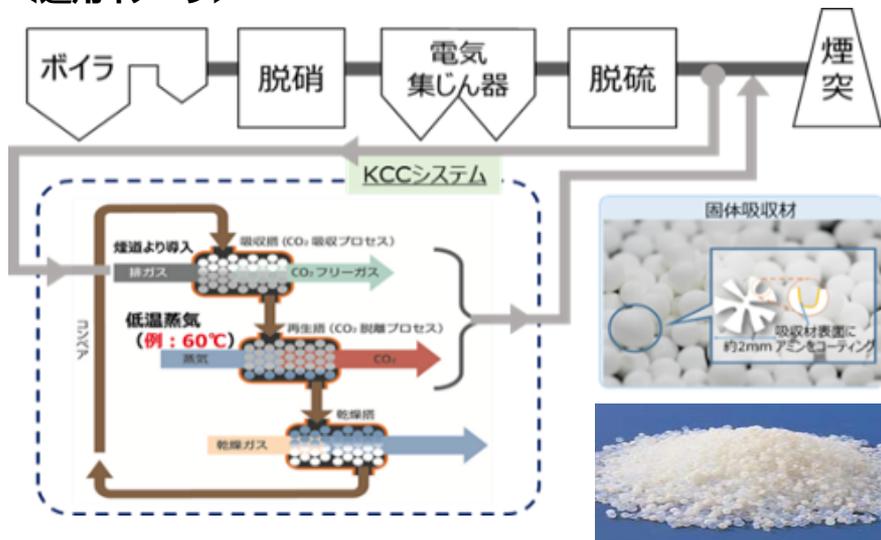
C・D:分離回収技術の研究開発事業（旧：二酸化炭素回収技術実用化研究事業）

- CCS事業コストのうち6割程度を分離回収コストが占めると試算(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。
- CO₂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の実用化に向けた研究開発を実施。

C:先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業

- 固体吸収材とは、化学吸収剤であるアミン化合物を多孔質支持体に担持させた先進的な吸収材
- CO₂再生時に比熱の大きい水を加熱する必要が無いため、CO₂分離回収エネルギーの低減が可能

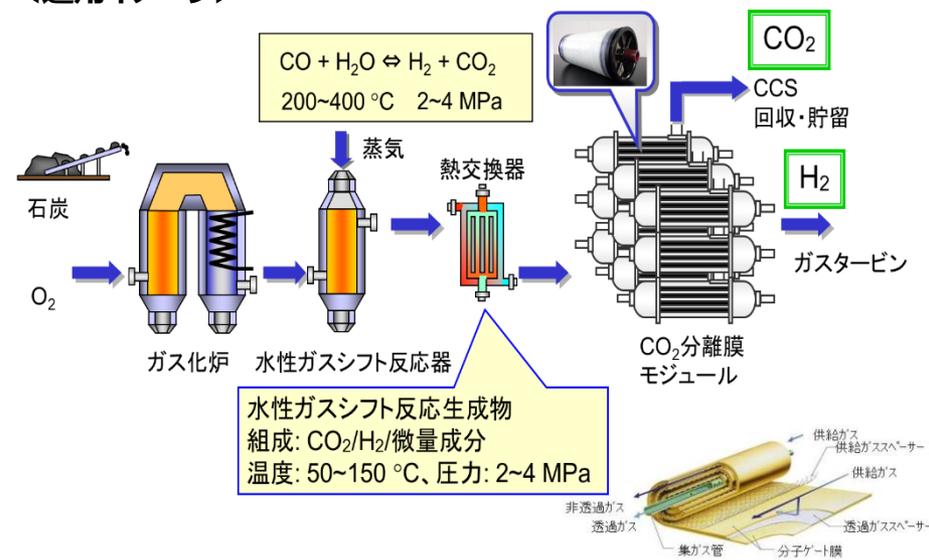
<適用イメージ>



D:二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業

- CO₂を選択的に透過させる特殊な分離膜を用いて、効率的にCO₂を分離回収
- ガスが持つ圧力差を駆動力としてCO₂を分離するため、CO₂分離回収エネルギーの低減が可能

<適用イメージ>



2. 事業アウトカム

CCS研究開発・実証関連事業 複数課題プログラム

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、分離回収のコスト低減、CO₂貯留の安全性確保を目指した研究開発事業の実施により、各プロジェクトで設定したアウトカムを達成し、CCS技術の実用化を目指す。

(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技術の確立を目指す。

(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、「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」を実施。

(C) CO₂分離回収技術の研究開発事業（先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業）

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。

(D) CO₂分離回収技術の研究開発事業（二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業）

CO₂分離・回収コスト1,500円/t-CO₂以下を達成し得る膜分離システムの実用化を目指す。

2. 事業アウトカム

A: 苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業（1）

事業アウトカム指標(妥当性・設定理由・根拠等)

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 抗井の掘削
- 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

2. 事業アウトカム

A: 苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業（2）

	目標値(計画)	達成状況(実績値・達成度)	原因分析 (未達成時)
事業開始時 (平成21(2009)年度)	実証試験候補地点の事前調査	(達成) 調査計画の立案	
中間評価時 (平成23(2011)年度)	実証試験地の選定、実証試験計画の策定	(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)	実証試験実施に向けた準備	(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(2020)年度)	年間10万t規模でのCO ₂ 分離回収から圧入貯留、モニタリングの実施	(ほぼ達成) 平成28年度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29年2月より滝ノ上層への圧入を開始した。平成30年9月末時点で約20.7万t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)	分離回収から圧入貯留、モニタリングに至るまでのCCS技術の確立		
事業目的達成時 (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トータルでのCCS技術の確立		

2. 事業アウトカム

B:安全なCCS実施のためのCO2貯留技術の研究開発事業

事業アウトカム指標(妥当性・設定理由・根拠等)	目標値	達成状況(実績値・達成度)	原因分析
CCS実用化に必要な技術開発、およびCCS普及条件整備のため、以下を開発、確立、実用化する (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	(事業開始時)(平成28(2016)年度) 基盤技術開発・実証体制の整備	(達成) ・CO2回収・貯蔵安全性評価技術開発(H23-H27)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	
(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	(中間評価時)(平成30(2018)年度) 開発計画の作成と、各実用化要素技術の開発	(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	
(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	(事業終了時)(2021年度) 地中貯留技術の実用化に必要な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		
③-3. CCSの広報活動を通じた社会受容性向上方策の検討	(事業目的達成時)(2020年度) 各実用化要素技術の確立		

2. 事業アウトカム

C:CO2分離回収技術の研究開発事業（先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業）

事業アウトカム指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)	原因分析 (未達成時)
<p>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、先進的な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。</p> <p>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。</p> <p>【参考】 既存の化学吸収法の分離回収コスト 4,200円/t-CO2*2</p>	<p>(事業開始時)【平成27(2015)年度】 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。</p>	<p>(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*6。</p>	
	<p>(中間評価時)【平成29(2017)年度】 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。</p>	<p>(ほぼ達成)シミュレーション結果をもとに実機スケール*7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見込み。</p>	
	<p>(事業終了時)【平成31(2019)年度】 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。</p>		
	<p>(事業目的達成時)【2030年度頃】 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。</p>		

*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 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)

*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

*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

*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

*6 プロセスシミュレーションの結果をもと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)

*7 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)

2. 事業アウトカム

D:CO2分離回収技術の研究開発事業（二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業）

事業アウトカム指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)	原因分析 (未達成時)
CO2分離・回収コスト1,500円/t-CO2以下を達成する膜モジュール*3を用いたCO2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-CO2/年規模を想定)でCO2分離・回収コスト1,500円/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*2を開発する。	(事業開始時)【平成27(2015)年度】 模擬ガス試験において、CO2分離回収コスト1,500円/t-CO2以下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。	(達成)CO2分離・回収コスト1,500円/t-CO2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】 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、CO2分離・回収コスト2,100円/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*6を開発する。	(達成)連続製膜処方*5により作製した単膜を用いて、CO2分離・回収コスト目標を達成した(1,790円/t-CO2)。 【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。	
	(事業終了時)【平成31(2019)年度】 実ガス試験において、CO2分離・回収コスト1,500円/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。		
	(事業目的達成時)【2030年度頃】 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)

*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

*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。

*4膜分離システム:膜モジュールを用いて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。

*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320mm、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)。

3. 事業アウトプット

各事業で設定したアウトプットの達成に向け、取り組みを実施する。

A: 苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業（1）

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)
<p>【準備段階】 (平成24(2012)～27(2015)年度)</p> <p>実証試験地上設備の設計・建設 操業体制の整備</p> <p>・妥当性、設定理由 実証試験実施に必要な地上設備の設計・建設を確実に実施するため</p>	<p>(準備段階開始時)【平成24年度】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・必要な設備を建設し、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-CO₂を目標とし、2.0 GJ/t-CO₂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CO₂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。 	<p>(達成)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・必要な設備を建設し、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-CO₂を大きく下回るプロセスとして、「二段吸収法」を採用した。
	<p>(中間評価時)【平成27年度】 同上</p>	<p>(達成)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・安全操業のための人員および諸規定を整備した。 ・実証試験設備の運動変動がCO₂供給源の操業に影響が及ばない対策を取った。

3. 事業アウトプット

A: 苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業（2）

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)
<p>【準備段階】 (平成24(2012)～27(2015)年度)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・坑井の掘削 ・モニタリングシステムの整備等 <p>・妥当性、設定理由 圧入実証試験の健全性を担保するためには必須</p>	<p>(準備段階開始時)【平成24年度】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・圧入井2坑を掘削し、圧入性状を確認する。 ・地質モデルを構築し、CO₂挙動予測シミュレーションを行う。 ・3坑の観測井の改修・掘削を行う。併せて観測網を整備し、ベースラインデータを取得する。 ・海洋汚染防止法に係る海洋調査のベースラインデータを取得する。 	<p>—</p>
	<p>(中間評価時)【平成27年度】</p> <p>同上</p>	<p>(達成)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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、CO₂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。

3. 事業アウトプット

A: 苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業（3）

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)
<p>【準備段階】 (平成24(2012)～27(2015)年度)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・法規制対応等に係る調査、検討 ・妥当性、設定理由 法規制対応等に係る調査であり、平成21年8月に経済産業省が公表した「CCS実証事業の安全な実施にあたって」の「まえがき」に対応するために必要。 	<p>(準備段階開始時)【平成24年度】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<p>—</p>
	<p>(中間評価時)【平成27年度】</p> <p>同上</p>	<p>(達成)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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動向を調査した。 ・米国NETL、米国EPA等の情報取得を実施した。

3. 事業アウトプット

A: 苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業（4）

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)
<p>【準備段階】 (平成24(2012)～27(2015)年度)</p> <p>・社会的受容性の醸成に向けた情報発信</p> <p>・妥当性、設定理由 ・CCSの認知度が低い状況下で、目的・意義・安全性に関し、理解度を深め、将来の実用化につなげるために必要。</p>	<p>(準備段階開始時)【平成24年度】</p> <p>・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。</p> <p>・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。</p>	<p>—</p>
	<p>(中間評価時)【平成27年度】</p> <p>同上</p>	<p>(計画通り実施)</p> <p>・平成24年4月から平成28年3月までの4年間に情報発信活動を行った。(パネル展・講演等116回、現場見学会 2389名)</p> <p>・海外に向けた情報発信・情報収集、意見交換、ネットワークキングに向け、CCS国際会議(CSLF主催等)への参加・発表、海外政府等の視察対応を実施。</p> <p>・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。</p>

3. 事業アウトプット

A: 苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業（5）

事業アウトプット指標	目標値(計画)	達成状況(実績値・達成度)
<p>【操業段階】 (平成28(2016)～31(2019)年度)</p> <p>CCS全体システムの実証</p> <p>・妥当性、設定理由 本事業で、日本初となるCCS一貫システムを操業することから、目標設定どおり操業可能なことや操業の過程でデータを収集する等の実証が必須。</p>	<p>(操業段階開始時)【平成28年度】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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、平成29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1.2GJ/t以下であることを確認した。
	<p>(中間評価時)【平成30年度】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・同上 	<p>(ほぼ達成)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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t、滝ノ上層97.9t) ・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。 ・萌別層と滝ノ上層への同時圧入を実施。 ・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。
	<p>(操業段階終了時)【平成31年度】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・同上 	

3. 事業アウトプット

A: 苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業（6）

事業アウトプット指標	目標値(計画)	達成状況(実績値・達成度)
<p>【操業段階】 (平成28(2016)～31(2019)年度)</p> <p>モニタリング及びモニタリング技術の検証</p> <p>・妥当性、設定理由 本事業で、日本初となるCCS全体システムを操業することから、目標設定どおり操業可能なことや操業の過程でデータを収集する等の実証が必須。</p>	<p>(操業段階開始時)【平成28年度】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<p>(計画どおり実施)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。
	<p>(中間評価時:)【平成30年度】</p> <p>同上</p>	<p>(計画どおり実施)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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の広がり可視的に把握した。 ・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。 ・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。
	<p>(操業段階終了時)【平成31年度】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・同上 	

3. 事業アウトプット

A: 苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業（7）

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)
<p>【操業段階】 (平成28(2016)～31(2019)年度)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・法規制対応等に係る調査・検討 ・妥当性、設定理由 法規制対応等に係る調査であり、平成21年8月に経済産業省が公表した「CCS実証事業の安全な実施にあたって」の「まえがき」に対応するために必要。 	<p>(操業段階開始時)【平成28年度】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<p>—</p>
	<p>(中間評価時)【平成30年度】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・同上 	<p>(計画どおり実施)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。
	<p>(操業段階終了時)【平成31年度】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・同上 	

3. 事業アウトプット

A: 苫小牧におけるCCS大規模実証試験事業（8）

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)
<p>【操業段階】 (平成28(2016)～31(2019)年度)</p> <p>・社会的受容性の醸成に向けた情報発信</p> <p>・妥当性、設定理由 CCSの認知度が低い状況下で、目的・意義・安全性に関し、理解度を深め、実用化につなげるために必要。</p>	<p>(操業段階開始時)【平成28年度】</p> <p>・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。</p> <p>・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。</p>	<p>—</p>
	<p>(中間評価時)【平成30年度】</p> <p>同上</p>	<p>(計画どおり実施)</p> <p>・2016年4月から2018年3月までの2年間にパネル展・講演等56回実施、現場見学回答で3336名の見学者の受入。</p> <p>・海外との情報交換、協力関係強化に取り組み、接触した国数は32カ国にのぼり、大使館セミナー開催や海外メディアへの対応を実施し、CCS関連機関であるCSLF、IEA、GCCSIとの協力強化に取り組んでいる。</p>
	<p>(操業段階終了時:平成31年度)</p> <p>・同上</p>	

3. 事業アウトプット

B:安全なCCS実施のためのCO2貯留技術の研究開発事業（1）

個別要素技術 (1)大規模CO2圧入・貯留の安全管理技術の確立

各研究開発課題	アウトプット指標・目標値	達成状況(実績値・達成度)	原因分析
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	(事業開始時)【平成28(2016)年度】 <ul style="list-style-type: none"> 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 	(達成) <ul style="list-style-type: none"> 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】 <ul style="list-style-type: none"> 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روسケールでの堆積環境把握手法の確立 	(達成) <ul style="list-style-type: none"> 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روس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 	
	(事業終了時)【2020年度】 <ul style="list-style-type: none"> 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 		

3. 事業アウトプット

B:安全なCCS実施のためのCO2貯留技術の研究開発事業（2）

個別要素技術 (1)大規模CO2圧入・貯留の安全管理技術の確立

各研究開発課題	アウトプット指標・目標値	達成状況(実績値・達成度)	原因分析
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	(事業開始時)【平成28(2016)年度】 <ul style="list-style-type: none"> 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 	(達成) <ul style="list-style-type: none"> 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】 <ul style="list-style-type: none"> 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 	(達成) <ul style="list-style-type: none"> 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を確立 	
	(事業終了時)【2020年度】 <ul style="list-style-type: none"> 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 		

3. 事業アウトプット

B:安全なCCS実施のためのCO2貯留技術の研究開発事業（3）

個別要素技術 (1)大規模CO2圧入・貯留の安全管理技術の確立

各研究開発課題	アウトプット指標・目標値	達成状況(実績値・達成度)	原因分析
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	(事業開始時)【平成28(2016)年度】 ・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	(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】 ・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	(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	
	(事業終了時)【2020年度】 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		
b) DAS-VSPによるCO2挙動モニタリング技術開発	(事業開始時)【平成28(2016)年度】 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	(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】 ・実坑井を用いて光ファイバーによるDAS-VSP測定作業	(達成) ・実坑井での測定作業および測定データの基本解析	
	(事業終了時)【2020年度】 ・DAS-VSPを用いた繰り返しモニタリング手法の確立		

3. 事業アウトプット

B:安全なCCS実施のためのCO2貯留技術の研究開発事業（4）

個別要素技術 (1)大規模CO2圧入・貯留の安全管理技術の確立

各研究開発課題	アウトプット指標・目標値	達成状況(実績値・達成度)	原因分析
⑥CO2漏出検出・環境影響評価総合システムの構築	<p>(事業開始時)【平成28(2016)年度】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 	<p>(達成)</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 	
	<p>(中間評価時)【平成30(2018)年度】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 	<p>(達成)</p> <ul style="list-style-type: none"> 低解像度モデルによるトレーサー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 	
	<p>(事業終了時)【2020年度】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 		

3. 事業アウトプット

B:安全なCCS実施のためのCO2貯留技術の研究開発事業（5）

個別要素技術 (1)大規模CO2圧入・貯留の安全管理技術の確立

各研究開発課題	アウトプット指標・目標値	達成状況(実績値・達成度)	原因分析
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	(事業開始時)【平成28(2016)年度】 ・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を旨とする	(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】 ・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	(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	
	(事業終了時)【2020年度】 ・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		

3. 事業アウトプット

B:安全なCCS実施のためのCO2貯留技術の研究開発事業（6）

個別要素技術 (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

各研究開発課題	アウトプット指標・目標値	達成状況(実績値・達成度)	原因分析
①CO2圧入井や圧力緩和井の最適配置技術の確立	(事業開始時)【平成28(2016)年度】 ・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	(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】 ・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	(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	
	(事業終了時)【2020年度】 ・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		

3. 事業アウトプット

B:安全なCCS実施のためのCO2貯留技術の研究開発事業（7）

個別要素技術 (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

各研究開発課題	アウトプット指標・目標値	達成状況(実績値・達成度)	原因分析
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	(事業開始時)【平成28(2016)年度】 ・マイクロバブルCO2圧入による地層 孔隙有効利用に目途	(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】 ・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	(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浸透挙動メカニズムを解明	
	(事業終了時)【2020年度】 ・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		

3. 事業アウトプット

B:安全なCCS実施のためのCO2貯留技術の研究開発事業（8）

個別要素技術 (3)CCS普及条件の整備、基準の整備

各研究開発課題	アウトプット指標・目標値	達成状況(実績値・達成度)	原因分析
①CO2貯留安全性管理プロトコル(IRP)の整備	(事業開始時)【平成28(2016)年度】 <ul style="list-style-type: none"> 許可申請書類を対象とした海外事例調査 	(達成) <ul style="list-style-type: none"> 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】 <ul style="list-style-type: none"> 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 	(達成) <ul style="list-style-type: none"> 海洋汚染防止法、METIガイドライン、苫小牧許可申請書、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 	
	(事業終了時)【2020年度】 <ul style="list-style-type: none"> 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 		

3. 事業アウトプット

B:安全なCCS実施のためのCO2貯留技術の研究開発事業（9）

個別要素技術 (3)CCS普及条件の整備、基準の整備

各研究開発課題	アウトプット指標・目標値	達成状況(実績値・達成度)	原因分析
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	(事業開始時)【平成28(2016)年度】 <ul style="list-style-type: none"> 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 	(達成) <ul style="list-style-type: none"> 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】 <ul style="list-style-type: none"> 「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 	(達成) <ul style="list-style-type: none"> 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 	
	(事業終了時)【2020年度】 <ul style="list-style-type: none"> 技術事例集の完成と公開 		

3. 事業アウトプット

B:安全なCCS実施のためのCO2貯留技術の研究開発事業（10）

個別要素技術 (3)CCS普及条件の整備、基準の整備

各研究開発課題	アウトプット指標・目標値	達成状況(実績値・達成度)	原因分析
③CCSの広報活動を通じた社会受容性向上方策の検討	(事業開始時)【平成28(2016)年度】 <ul style="list-style-type: none"> • 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 	(計画どおり実施) <ul style="list-style-type: none"> • CO2回収・貯蔵安全性評価技術開発(H23-H27)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】 <ul style="list-style-type: none"> • ワorkshop開催などを通し、事業成果を積極発信し、CCSの社会受容性向上に貢献 • POマニュアルの作成を目指し、海外事例の調査 • PO教材を試作、評価・改良の実施 	(計画どおり実施) <ul style="list-style-type: none"> • ワorkshop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) • PO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事例を調査 • 小中高生向けのPO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H29年度から開催 	
	(事業終了時)【2020年度】 <ul style="list-style-type: none"> • ワorkshop、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・POマニュアルとPO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 		

3. 事業アウトプット

C:CO2分離回収技術の研究開発事業（先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業）

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)
<p>CO2分離回収コスト2,000円/t-CO2以下の固体吸収材システムの実用化を目標とし、本事業終了時には、ベンチスケール試験等において、2,000円台/t-CO2を達成し得る固体吸収材システムを確立し、パイロットスケールで実証可能な技術を完成する。</p> <p>そのために、</p> <p>① 分離回収エネルギー低減のためのCO2の低温再生技術を確立し、</p> <p>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、</p> <p>③ これらの技術を用いて、既存のアミン吸収液法からのCO2分離回収エネルギーの大幅な低減を図る。</p> <p>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。</p>	<p>(事業開始時)【平成27(2015)年度】 ラボスケール試験において、CO2分離回収エネルギー1.5 GJ/t-CO2を達成し得る固体吸収材を開発する。 【参考】既存吸収液の分離回収エネルギー2.5GJ/t-CO2</p> <p>(中間評価時)【平成29(2017)年度】</p> <p>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。</p> <p>② スケールアップ試験用材料合成技術を確立する(10m³)。</p> <p>③ ベンチスケール試験を実施・評価し、CO2分離回収エネルギー1.5 GJ/t-CO2を達成</p> <p>(事業終了時)【平成31(2019)年度】</p> <p>① 熱交換技術、低温排熱利用技術を確立する。</p> <p>② 低コストな材料合成技術を確立する。</p> <p>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-CO2/dayレベル)でCO2分離回収エネルギー1.5 GJ/t-CO2を実証可能な技術を完成させる。</p>	<p>(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CO2分離回収エネルギー1.5 GJ/t-CO2を達成した。</p> <p>①(達成) 固体ハンドリング技術(吸収材供給方法、ガス導入方法)を確立し、低温蒸気で1.5GJ/t-CO2を達成可能な再生方式を確立した。</p> <p>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。</p> <p>③(ほぼ達成) ラボスケールの小型連続回収試験装置で1.5GJ/t-CO2を達成した。ベンチスケール試験でも達成の見込み。【現時点(平成30年度)】(達成)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(再生エネルギー低減とCO2回収量増大の両立に向けた検討を実施中)。</p>

3. 事業アウトプット

D:CO2分離回収技術の研究開発事業（二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業）

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)
<p>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に、以下の3項目を設定した。</p> <p>(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。</p> <p>(2)実ガス試験による実用化研究：IGCCプロセス用の実ガス試験装置を製作・手配し、実ガス試験により膜エレメントの性能を評価し、技術課題を抽出する。</p> <p>(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分離システムを検討し、経済性評価を行う。</p>	<p>(事業開始時)【平成27(2015)年度】 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</p> <p>(中間評価時)【平成29(2017)年度】 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。</p> <p>①-2. 実用化条件で製造した膜と膜エレメントを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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>②IGCCプロセスによる実ガス試験装置の製作、手配。</p> <p>③模擬ガス試験結果に基づく経済性評価を行う。</p>	<p>(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。</p> <p>(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、連続製膜の目処をつけた。 【現時点(平成30(2018)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%以内を達成し得るデータ(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(2018)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。</p>

*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

3. 事業アウトプット

D:CO2分離回収技術の研究開発事業（二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業）

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況 (実績値・達成度)
<p>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に、以下の3項目を設定した。</p> <p>(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。</p> <p>(2)実ガス試験による実用化研究：IGCCプロセス用の実ガス試験装置を製作・手配し、実ガス試験により膜エレメントの性能を評価し、技術課題を抽出し、解決する。</p> <p>(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分離システムを検討し、経済性評価を行う。</p>	<p>(事業終了時)【平成31(2019)年度】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 	

4. 当省(国)が実施することの必要性

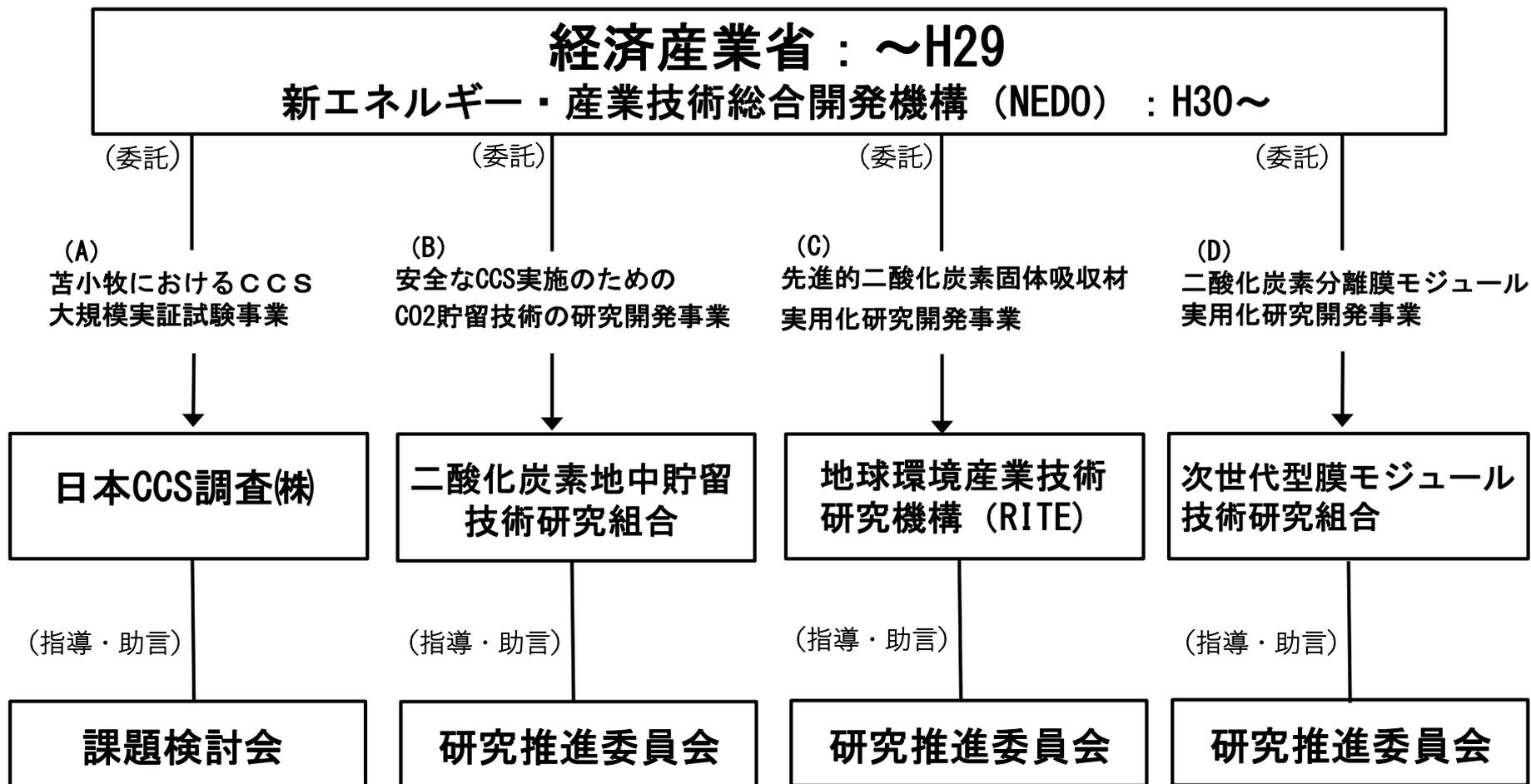
- CCSは、生産性向上、省エネルギーなどに寄与せず、利益の向上に資さない地球温暖化問題への対応に特化した技術で、外部不経済(ある経済主体の行動が、その費用の支払いや補償を行うことなく、他の経済主体に対して不利益や損失を及ぼすこと。例えば、公害。)であるため、研究開発に経済性が無く、市場原理だけでは、その導入を図ることは困難である。
- 国が主導して、CCSの技術実証やコストの低減、安全性の担保や貯留適地の確保、社会的受容性の確保等を実施し、その上で制度的枠組みを構築するなど、CCS導入に向けた環境整備を行って行く必要がある。

5. 各事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

	平成27年度 (2015年度)	平成28年度 (2016年度)	平成29年度 (2017年度)	アウトカム
A. 苫小牧における CCS大規模実証試験 事業	<ul style="list-style-type: none"> ・CO2分離回収から圧入貯留までのCCS全体システムの実証(年間10万吨規模) ・モニタリング及びモニタリング技術の検証 ・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(2022年度事業終了予定) 			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
B. 安全なCCS実施のためのCO2貯留技術の研究開発事業	<ul style="list-style-type: none"> ・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(2020年度事業終了予定) 			安全かつ経済的な実用化規模(100万吨規模/年)でのCO2圧入・貯留技術の確立
C. CO2分離回収技術の研究開発事業(先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業)	<ul style="list-style-type: none"> ・ベンチスケール試験で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の確立(2019年度事業終了予定) 			パイロットスケール試験等 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
D. CO2分離回収技術の研究開発事業(二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業)	<ul style="list-style-type: none"> ・CO2分離・回収コスト1,500円/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(2019年度事業終了予定) 			膜モジュールシステムの検証試験等 CO2分離・回収コスト 1,500円/t-CO2以下を達成し得る膜分離システムの実用化

6. 複数課題プログラムの実施・マネジメント体制等

- 各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。
- 平成30年度より、NEDOが有する技術的知見や産学官の専門家とのネットワークを活用し、各プロジェクトの技術的成果や政策的効果を最大化することを目的に、NEDOの委託事業として実施。



7. 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ます。

CCS技術の価値

CCS技術がない場合、
気温2度上昇シナリオを達成するためには、
発電分野だけで240兆円/40年間の追加対策費が必要
(ETP2012)

技術オプション価値
(影響回避期待値)

6兆円/年・世界

8. 外部有識者の評価等

評価検討会

評価検討会名称

CCS研究開発・実証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

評価検討会委員

委員

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 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

8. 外部有識者の評価等

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。
- 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。
- 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。

9. 提言及び提言に対する対処方針

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、柔軟に対応しプログラムを進めていただきたい。

提言に対する対処方針

- 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。

9. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

- 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。

提言に対する対処方針

- 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。