

**苫小牧におけるCCS大規模実証試験
30万トン圧入時点報告書
（「総括報告書」）**

2020年5月

**経済産業省
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
日本CCS調査株式会社**

目次

はじめに	1
第1章 苫小牧における CCS 大規模実証試験の目的および結果概要	3
1.1 本事業の目的	4
1.2 本事業の全体概要	4
1.3 本事業の概要	7
1.4 結果概要	15
添付資料1 「課題検討会」有識者委員名簿	17
添付資料2 「NEDO 技術検討委員会」委員名簿	18
第2章 CO ₂ 分離・回収／圧入設備	19
2.1 分離・回収／圧入設備の建設	19
2.2 分離・回収／圧入設備の実証	24
2.3 分離・回収エネルギー消費量	32
2.4 CO ₂ 分離・回収／圧入設備の実証結果まとめ	38
2.5 実用化モデルの CCS コスト試算	39
第3章 圧入井および CO ₂ 圧入・貯留の実施と結果	51
3.1 概要	51
3.2 圧入井	51
3.3 貯留層評価	54
3.4 結果のまとめ	78
第4章 モニタリングおよび海洋環境調査の実施と結果	81
4.1 概要	81
4.2 モニタリング結果	82
4.3 海洋環境調査結果	102
4.4 モニタリングおよび海洋環境調査実施時のトラブル	113
4.5 結果のまとめ	115
第5章 社会的受容性の醸成活動	117
5.1 CCS に対する社会的受容性の醸成活動の目的・意義	117
5.2 国内に向けた情報発信活動	118
5.3 海外に向けた情報発信活動	129
5.4 有事における情報発信活動の実績	146
5.5 地元ステークホルダーとのコミュニケーションの実績と検証	148
5.6 社会的受容性の醸成活動の総括	169

第6章 法規制対応	173
6.1 本事業に係る対応	173
6.2 各国法令・動向調査	175
6.3 制度上の課題	186
6.4 法規制対応の総括	187
第7章 得られた知見と残された課題	189
7.1 本事業を通じて得た知見	189
7.2 CCS を実用化するにあたり残された課題および今後の CCS 事業に向けた検討	196
おわりに	203

はじめに

日本は、最終到達点として「脱炭素社会」を掲げ、それを野心的に今世紀後半のできるだけ早期に実現していくことを目指している。また、これまでの延長線上にない非連続なイノベーションを通じて環境と成長の好循環を実現し、温室効果ガスの国内での大幅削減を目指すとともに、世界全体の排出削減に最大限貢献し、経済成長を実現することとしている。

CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) は、CO₂を大量回収・貯留する抜本的な方策として、IEA (国際エネルギー機関) 報告書において、2060年までの世界のCO₂削減量の14%をCCSが担うことが期待されるなど、気候変動問題の解決に向けて、国内外でその技術の実用化と社会導入が期待される技術である。2019年日本が議長を務めたG20において、その重要性を合意した「非連続なイノベーション」を先導する日本に対しては、この分野においても、技術開発および社会導入に向けた方策を示していくことについて、期待される役割は大きなものがある。

経済産業省は、北海道苫小牧市の海底下をCO₂の貯留地点とし、その沿岸部に地上設備(CO₂の分離・回収/圧入設備)および圧入井等を設置したCCS実証試験を行うべく、2012年度から準備を開始し、2016年4月より、年間10万t規模のCO₂圧入を開始した。世界的には、年間100万t規模の大規模CCSが進みつつある中において、大都市近郊において、地上から海底下にCO₂を圧入するCCSは世界的にも初めての試みであり、この実証の成果は、国内外のCCS導入に大きな影響を与えうるものとして、国際的に注目が高い。このため、本事業を通じて得られた経験やデータ等を広く共有することは、今後の国内外のCCS発展にとって非常に有意義である。

2019年11月22日、本事業では、目標としていた累計CO₂圧入量30万tを達成した。この節目にあつて、これまで得られた経験や成果を総括し、報告書としてまとめるものがある。

第1章 苫小牧における CCS 大規模実証試験の目的および結果概要

CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) は、火力発電所や工場等で発生する二酸化炭素 (CO₂) を大気中に排出せずに回収し、地中へ貯留する技術であり、再生可能エネルギーの利用拡大やエネルギー利用の効率化等とともに地球温暖化対策の一つとして世界的に期待されている。

経済産業省、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」と称する。）および日本 CCS 調査株式会社（以下、「JCCS」と称する。）の3者（以下、「3者」と称する。）は、2012年度から2020年度の9年間にわたって、苫小牧における CCS 大規模実証試験に係る下記の事業（以下、「本事業」と称する。）を実施している。

- 1) 経済産業省「平成24年度二酸化炭素削減技術実証試験事業（国庫債務負担行為に係るもの）」（2012年度～2015年度）
- 2) 経済産業省「平成28年度二酸化炭素削減技術実証試験事業」（2016年度）
- 3) 経済産業省「平成29年度苫小牧における CCS 大規模実証試験事業」（2017年度）
- 4) NEDO「CCS 研究開発／苫小牧における CCS 大規模実証試験」（2018年度～2020年度）

JCCS は、2012年度から2015年度の4年間にわたって上記1)の事業を受託し、設備の設計・建設・坑井掘削等の CCS 実証試験の準備を実施した。その後、2016年度から2017年度にかけて上記2)および3)の事業を受託し、CCS 実証試験を実施した。その事業を引き継いで2018年度から開始された4)の事業を2018年4月から2020年度末までの3年間にわたって受託し、CCS 実証試験を継続実施している。

2016年4月より、年間10万t規模のCO₂圧入を開始し、2019年11月22日に目標としていた累計CO₂圧入量30万tを達成した。本報告書は、2012年度から苫小牧において開始された本事業の累計CO₂圧入量30万t達成時点までの成果および本事業を通じて得られた課題や今後の取組への方向性等をとりまとめたものである。

なお、本事業を遂行するにあたり、機械工学、化学工学、地質学、地球物理学等の有識者から成る「苫小牧 CCS 実証試験に係わる課題検討会」（以下、「課題検討会」と称する。）を設置して、事業推進の一助としてきた（本章添付資料1参照）。また、2020年1月31日にはNEDO技術検討委員会に報告し、本事業に関する技術開発の推進に係る検討を行った（本章添付資料2参照）。

本章では、本事業の目的と概要およびこれまでの結果概要を記す。

1.1 本事業の目的

本事業は、北海道苫小牧市の苫小牧港港湾区域の海底下を CO₂ の貯留地点とし、その沿岸部に地上設備（CO₂ の分離・回収／圧入設備）および圧入井等を設置した上で実施された事業である。本事業の主な目的は、「苫小牧地点における実証試験計画」（平成 24 年経済産業省）等によれば以下のとおりである。

1) CCS の実証

実用プロジェクトと同等の設備構成で我が国として初となる CO₂ の分離・回収から貯留までの CCS プロセス全体を一貫システムとして実証すること。

2) CCS の安全性の実証

一連の操業を通じて、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こと。

3) CCS の理解

情報公開、社会的受容性の醸成の活動を通じて、本事業に関する情報を広く公表し、CCS の理解を深めること。

4) CCS 実用化

操業技術を獲得するとともに実用化に向けた取り組みを行うこと。

1.2 本事業の全体概要

本事業の全体構成を図 1.2-1 に示す。出光興産(株)北海道製油所（以下、「製油所」と称する。）の水素製造設備から発生する、約 52%濃度の CO₂ を含む PSA（Pressure Swing Adsorption）オフガス（2.1 節参照）の一部を、隣接する CO₂ 分離・回収／圧入設備まで 1.4 km の長さのパイプラインにより輸送して CO₂ を分離・回収し、独立した 2 坑の圧入井（傾斜井）により、海岸から 3～4 km 離れた海底下の異なる深度の 2 層の貯留層である萌別層および滝ノ上層へ圧入・貯留するものである。

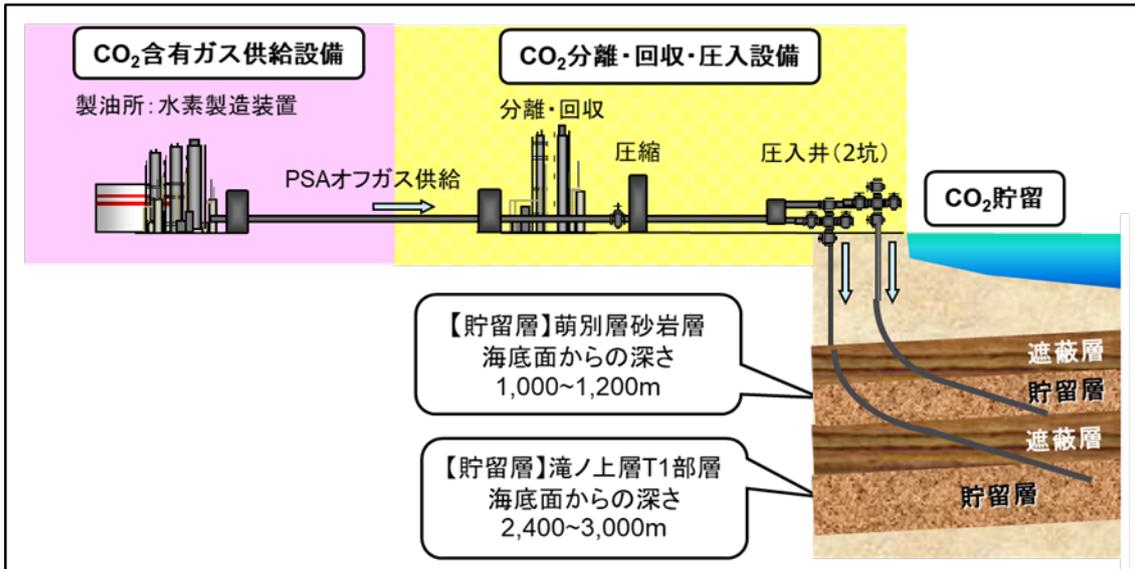


図 1.2-1 本事業の全体概要

本事業の実施期間は、図 1.2-2 に示すように、2012 年度から 2020 年度までの 9 年間である。

2012 年度から 2015 年度までの 4 年間で、本事業に必要な地上設備の設計・建設・試運転、圧入井の設計・掘削およびモニタリング設備の設計・設置を完了した。この期間中に、CO₂ 圧入前の各種データ取得のための調査を実施した。2013 年度に二次元弾性波探査を、2013 年度から 2014 年度には「海洋汚染等および海上災害の防止に関する法律」（以下、「海洋汚染防止法」と称する。）に対応した海洋環境調査（四季調査）を実施した。完成したモニタリング設備による圧入開始前の連続観測を 2014 年度末から開始した。

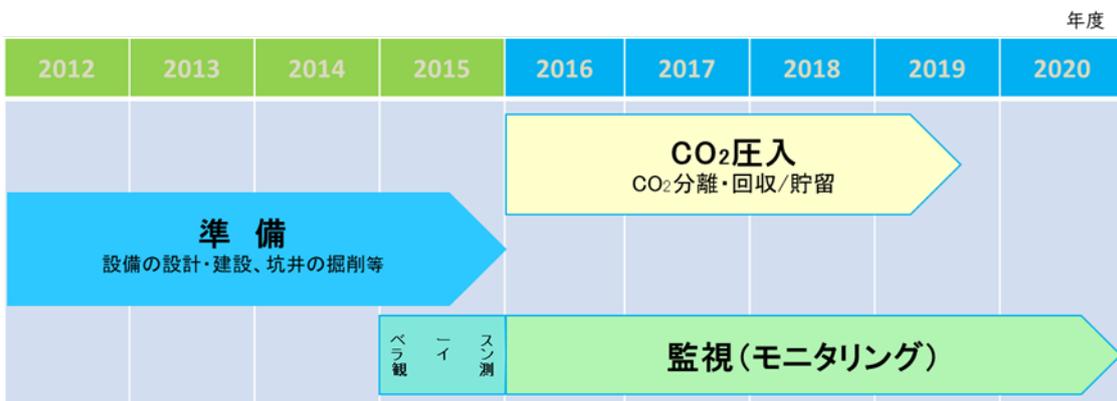


図 1.2-2 全体スケジュール

2016年4月に、CO₂圧入を開始した。ただし、海洋汚染防止法の定めによる監視計画に基づいて最初に実施した海洋環境調査の結果に起因して、各種調査の実施および監視計画の見直しを行うこととなり、見直し期間中のCO₂圧入を中断した。当初計画では2016年度から2018年度の3年間で累計CO₂圧入量30万tを達成する予定であったが、中断の影響によりCO₂圧入期間を2019年度まで延長し、累計CO₂圧入量300,110tに達した2019年11月22日にCO₂圧入を停止した。圧入設備の運転実績（稼働時間数）を図1.2-3に示す。なお、全体スケジュールに則り、2020年度末までモニタリングを継続実施する予定である。

以上により、1.1節で述べた本事業の目的のうち、1) CCSの実証では、分離・回収から圧入、貯留までのCCSプロセス全体を一貫システムとして実証するとともに、適用した既存の各技術が、それぞれ適切かつ有効に機能することを確認した。2) CCSの安全性の実証では、適用法規を遵守又は適用法規に準拠するとともに、実証試験前に作成された経済産業省「CCS実証事業の安全な実施にあたって」に従い対応した。3) CCSの理解では、本事業期間中の広報活動等により対応した。4) CCS実用化では、CO₂の分離・回収から圧入・貯留までのプロセスがCCS一貫システムとして機能し、安定して操業できることを実証した。事業を通じて獲得した操業技術、貯留技術等により、今後のCCS実現の可能性が高められた。

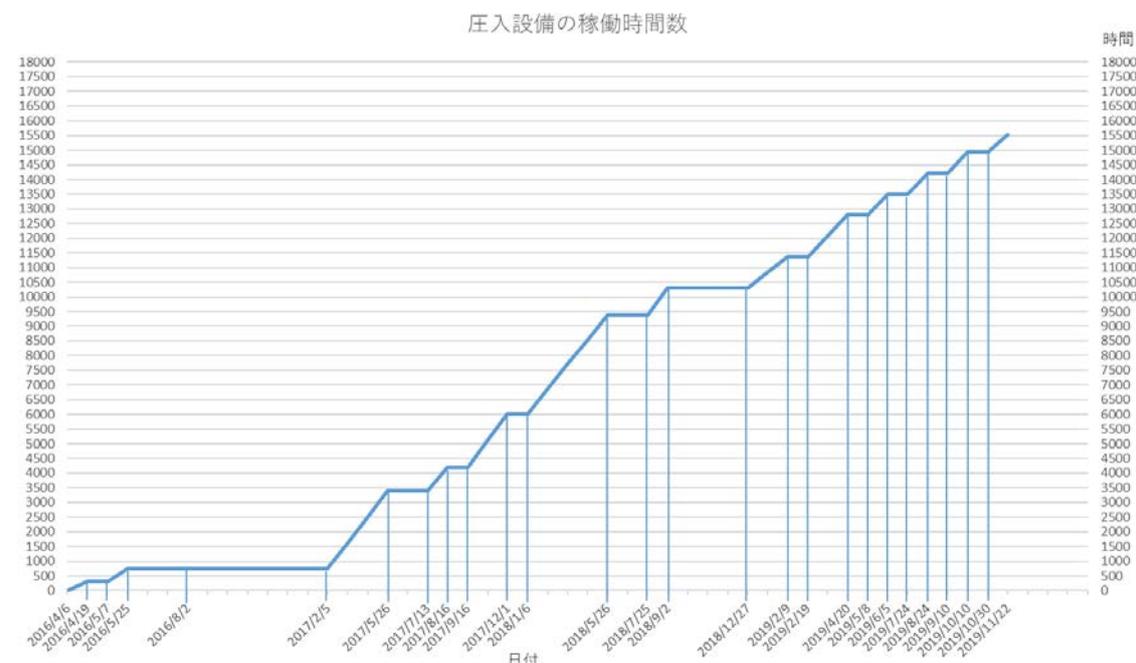


図 1.2-3 CO₂圧入設備の運転実績（稼働時間数）

1.3 本事業の概要

本節では以下の概要を述べ、各論の詳細については第2章～第6章に記す。

- 1) CO₂分離・回収／圧入設備の概要
- 2) 圧入井およびCO₂圧入・貯留の概要
- 3) モニタリング設備および海洋環境調査の概要
- 4) 社会的受容性の醸成活動の概要
- 5) 法規制対応の概要

1.3.1 CO₂分離・回収／圧入設備の概要

図1.3-1に本事業のCO₂分離・回収／圧入設備の俯瞰図を示す。CO₂供給源である製油所の水素製造設備では、PSA方式により高純度の水素が石油精製のために製造されている。水素を回収した後のPSAオフガスには約52%のCO₂が含まれており、他に約39%の水素、約7%のメタン等の可燃性ガス成分が含まれる。PSAオフガスの一部を製油所に隣接する本事業の分離・回収設備に延長1.4kmのパイプラインにより輸送し、CO₂原料とした。

分離・回収設備（CO₂吸収塔、CO₂放散塔、低压フラッシュ塔）では、このPSAオフガスから活性アミン系化学吸収プロセスにより濃度99%以上の高純度CO₂を回収する。

図1.3-2にCO₂分離・回収フローを示す。本事業では、二段吸収法（CO₂吸収塔の上段に低濃度CO₂のアミン溶液、下段に中濃度CO₂のアミン溶液を供給する。）を採用し、さらに低压フラッシュ塔を設置してCO₂分離・回収のためのエネルギー消費量の大幅低減を可能にした。

隣接する圧入設備（第1低压CO₂圧縮機、第2低压CO₂圧縮機、高压CO₂圧縮機）では、回収したCO₂を圧入に必要な圧力まで遠心式圧縮機で昇圧し、昇圧したCO₂を圧入井により海底下の貯留層に圧入・貯留した。

CO₂吸収塔の塔頂から排出されるCO₂分離・回収後のPSAオフガス（約80%の水素と約14%のメタンを主成分とする燃料ガス）を、CO₂放散塔においてアミン溶液からCO₂を分離させるための熱源および分離・回収／圧入設備等用の電力を供給する蒸気タービン発電機の燃料として利用した。

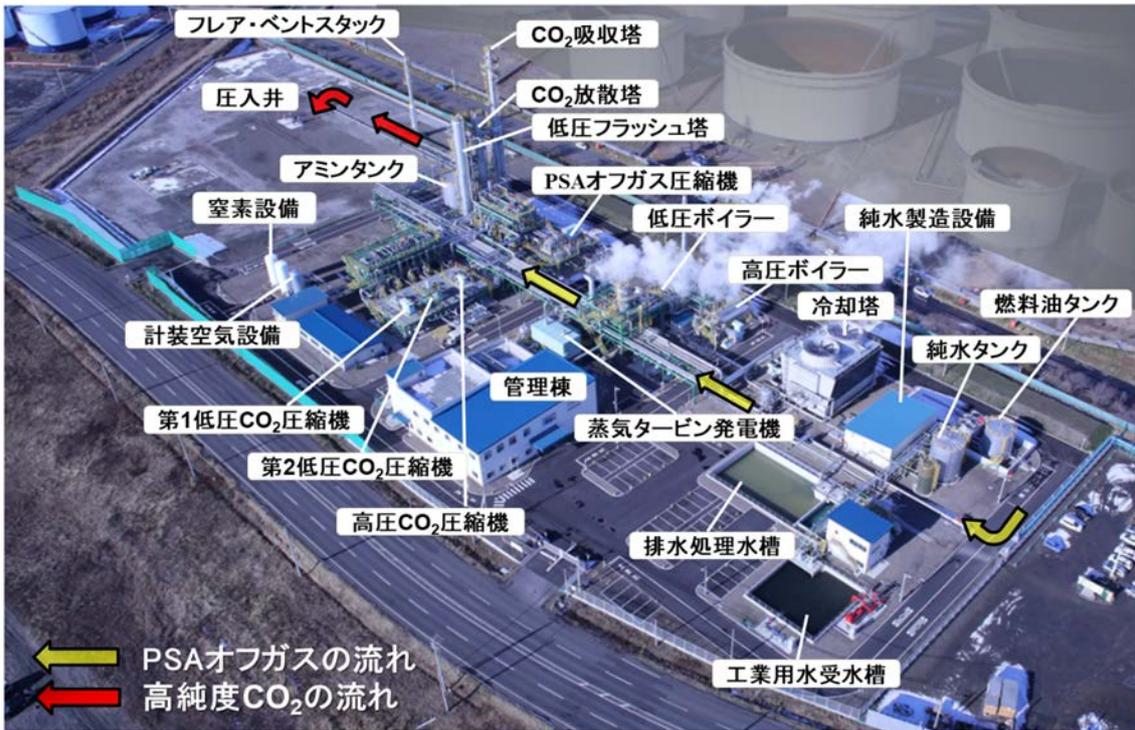


図 1.3-1 分離・回収／圧入設備の俯瞰図

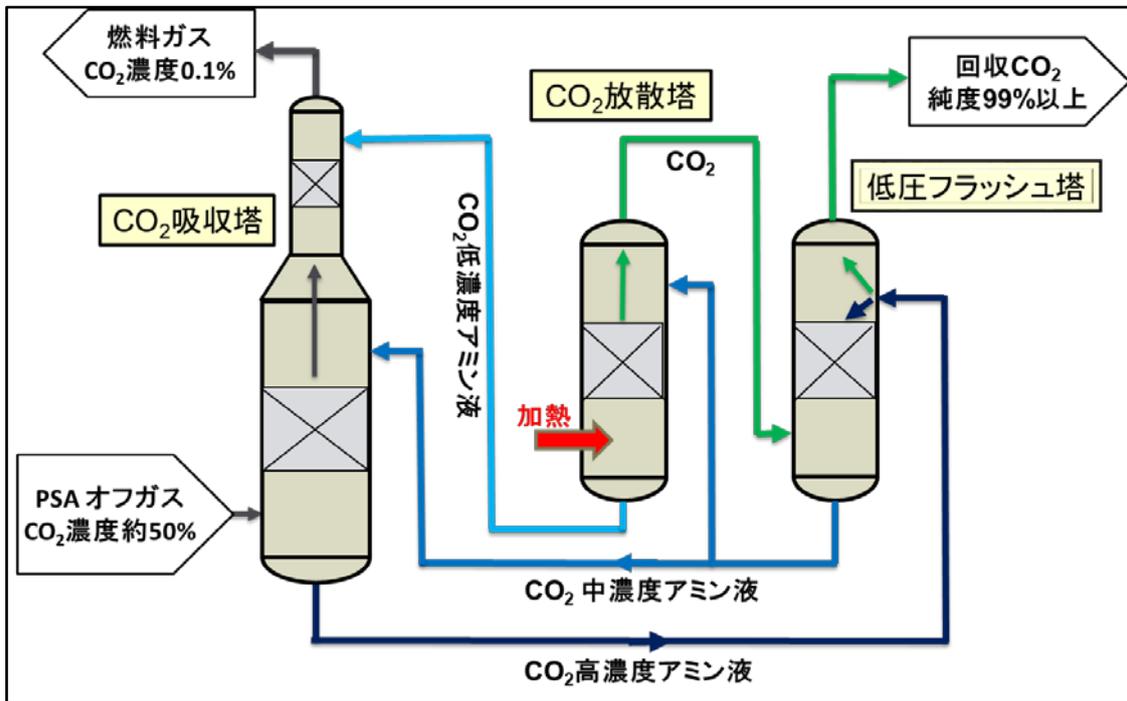


図 1.3-2 CO₂分離・回収フロー

1.3.2 圧入井およびCO₂圧入・貯留の概要

(1) 圧入井の概要

本事業における2坑の圧入井は、ともに陸上沿岸部の坑口地点から沖合の海底下へ向けて掘削された傾斜角（鉛直方向に対する坑井の角度）が大きな高傾斜井である。

図1.3-3に示す萌別層圧入井IW-2は、掘削長3,650m、鉛直深度1,188m、最大傾斜角約83°で、坑口位置から坑底までの水平距離（以下、「水平偏距」と称する。）が3,058mの水平偏距と垂直深度の比が2以上の傾斜井（以下、「大偏距井」と称する。）である。萌別層圧入井IW-2の偏距率（水平偏距と鉛直深度の比）は、わが国の坑井で最大のものである。

図1.3-4に示す滝ノ上層圧入井IW-1は、掘削長5,800m、鉛直深度2,753m、最大傾斜角約72°で、水平偏距は4,346mの大偏距井である。滝ノ上層圧入井IW-1の水平偏距4,346mは、わが国で掘削された坑井で最長のものである。

大偏距井の掘削では、非常に長い高傾斜区間を掘削しなければならないため、高トルク・高ドラグ、不十分なホールクリーニング、坑壁の不安定、ケーシングの降下・設置の困難等を克服する高い技術力が要求される。

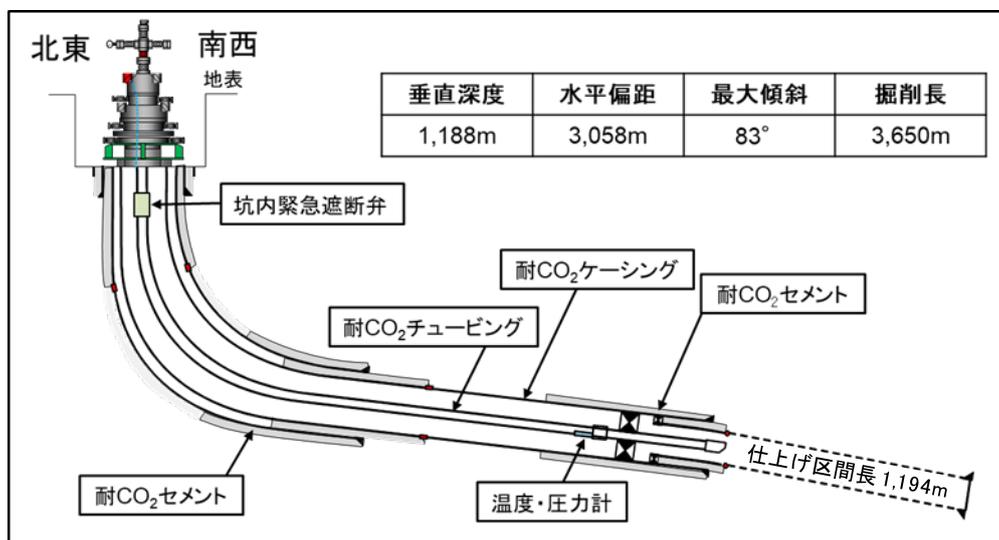


図 1.3-3 萌別層圧入井 IW-2 の形状（模式図）

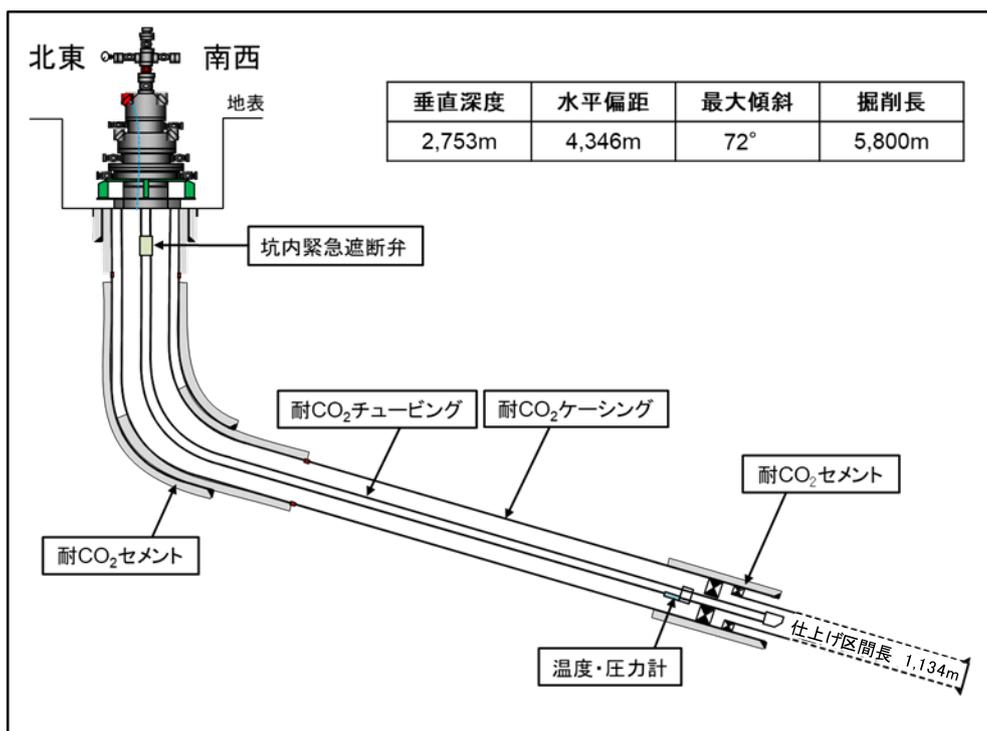


図 1.3-4 滝ノ上層圧入井 IW-1 の形状（模式図）

いずれの圧入井においても、CO₂は、ケーシングと呼ばれる坑井を保護する鋼管内に設置されたチュービングと呼ばれる直径 3.5 インチの鋼管を通して貯留層に運ばれ、直径 7 インチのケーシングにスリット等が施された CO₂ 圧入区間（以下、「仕上げ区間」と称する。）で地層中に圧入される。萌別層圧入井 IW-2 の仕上げ区間長は 1,194 m、滝ノ上層圧入井 IW-1 の仕上げ区間長は 1,134 m である。萌別層は固結度が比較的低いため、坑内への砂粒流入を防止する目的で、仕上げ区間にワイヤースクリーンで覆ったケーシングを用いた。

圧入井を陸域から海底下に向けた高傾斜井として陸上掘削したことにより、港湾の船舶運行と漁業に対する影響がなくなり、かつリグレートが高い移動式リグや開発に要するプラットフォーム等の設備を必要とする海上掘削に比べて掘削コストが大幅に低減した。また、仕上げ区間長を 1,100 m 以上と長く設けたことにより、単位有効層厚当たりの必要圧入量を小さくすることで圧入時の地層の圧力上昇の抑制が期待できるものとなった。

(2) 圧入・貯留の概要

本事業では、CO₂ 圧入を 2016 年 4 月に開始し、2019 年 11 月 22 日に萌別層と滝ノ上層の合計で累計 CO₂ 圧入量 300,110 t を達成した。

萌別層圧入井 IW-2 による CO₂ 圧入は 2 基の低圧 CO₂ 圧縮機を使用して 2016 年 4 月 6

日に開始し、2019年11月22日の圧入停止までに300,012 tを圧入した。萌別層は圧入性状が良好であり、測定圧力は上限圧に対して十分に低く、1坑で50万～100万 t/年のCO₂圧入可能性が示唆された。

2018年2月と8月には、各3～4週間にわたって高圧圧縮機も稼働させ滝ノ上層圧入井IW-1にも圧入し、異なるタイプの貯留層（萌別層、滝ノ上層）への同時圧入を実施した。滝ノ上層の圧入性状は当初期待よりも低く、上限圧力の制限により圧入レートを調整したため98 tの圧入に留まった。滝ノ上層圧入井IW-1の仕上げ区間は、三次元弾性波探査や既存坑井等による事前評価では、調査井のコア試験や圧入テストで確認した圧入性状が良好な溶岩・凝灰角礫岩と予想していたが、実際には凝灰岩が主体であり、十分な圧入性を有する貯留層を確認できなかった。広範囲に均質な岩相が広がる砂岩層に比べて火山岩類は岩相の側方変化が大きいため、岩相分布が予想通りとならなかった。火山岩層の岩相の側方変化に起因する圧入性状の不確実性をいかに予測するかが課題となった。

1.3.4 モニタリング設備および海洋環境調査の概要

(1) モニタリング設備の概要

本事業では、CO₂圧入前、圧入中を通してモニタリングを実施し、圧入したCO₂の挙動（地層中での移動、広がり状況）を把握し、CO₂が貯留層内に安全に貯留されていることを確認した。なお、全体スケジュールに則り、CO₂圧入終了後、2020年度末までモニタリングを継続する予定である。

表 1.3-1 にモニタリング項目、図 1.3-5 にモニタリング設備の配置、図 1.3-6 にモニタリングシステムの概要を示す。

表 1.3-1 モニタリング項目

観測設備/作業	モニタリング項目
圧入井・プラント設備	坑内：温度・圧力 坑口：圧入温度・圧力・CO ₂ 圧入量
観測井	坑内：温度・圧力 微小振動、自然地震
常設型海底受振ケーブル (OBC)	微小振動、自然地震 二次元弾性波探査の受振
海底地震計 (OBS)	微小振動、自然地震
陸上設置地震計	微小振動、自然地震
二次元弾性波探査	貯留層中の CO ₂ 分布範囲
三次元弾性波探査	貯留層中の CO ₂ 分布範囲
海洋環境調査	海洋データ (物理・化学的特性、生物生息状況等)



出典：「LC81070302016141LGN00, courtesy of the U.S. Geological Survey」を加工

図 1.3-5 モニタリング設備の配置

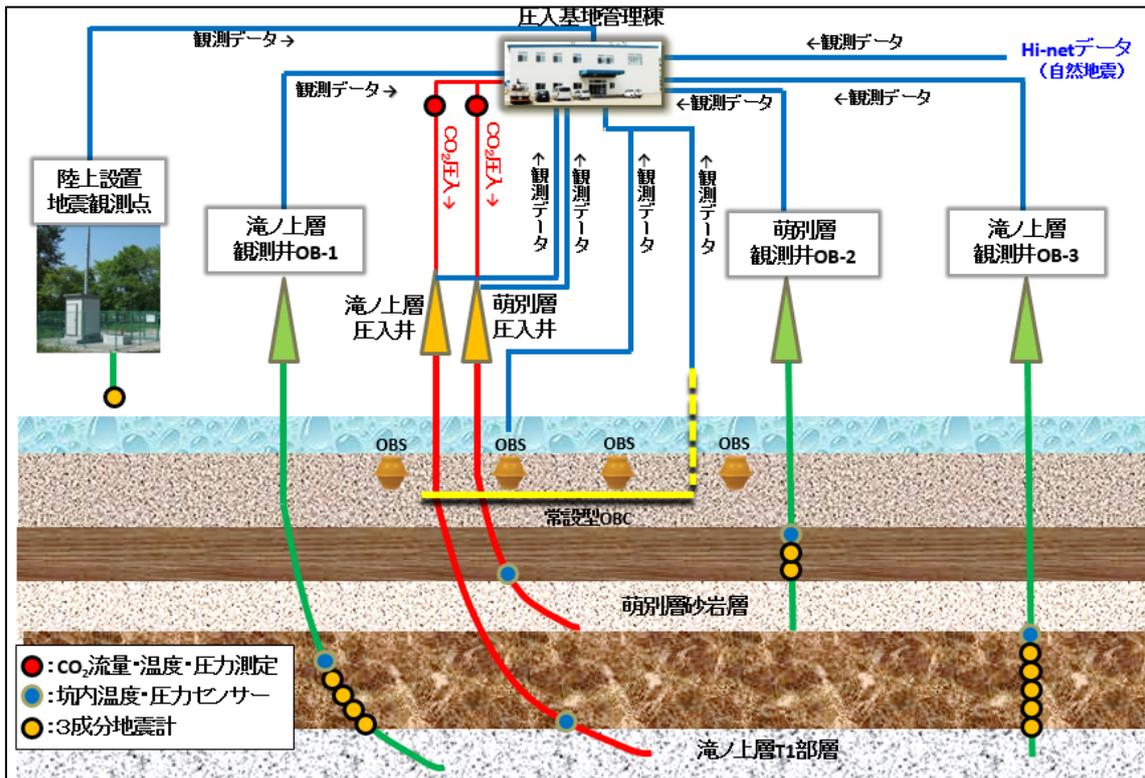


図 1.3-6 モニタリングシステムの概要

3 坑の観測井（OB-1、OB-2、OB-3）に設置された地震計と温度圧力計、複数の地震計が接続された常設型の海底受信ケーブル（以下、「OBC」と称する。）、4ヶ所の海底地震計（以下、「OBS」と称する。）および1ヶ所の陸上地震計により、CO₂圧入開始14ヶ月前の2015年2月に連続観測を開始し、現在（2020年3月）においても継続中である。

弾性波探査については、CO₂圧入前のベースライン観測として、調査段階の2009年度に三次元弾性波探査を、準備期間の2013年度に二次元弾性波探査を実施した。2016年4月のCO₂圧入開始後、二次元弾性波探査（2017年1月～2月）、三次元弾性波探査（2017年7月～8月）、二次元弾性波探査と小規模三次元弾性波探査（2018年9月～10月、萌別層圧入地点近傍のみを対象）を実施した。2019年度に二次元弾性波探査および小規模三次元弾性波探査を実施し、その調査結果の解析を2020年度に実施する予定である。CO₂圧入前のベースライン観測データとCO₂圧入中および圧入後の観測データを比較し、その差分を得ることにより、圧入したCO₂の挙動の把握が可能となる。

(2) 海洋環境調査の概要

我が国におけるCO₂の海底下の地中貯留は、海洋汚染防止法に則り、環境大臣の許可を

得て実施するものである。許可を得た CCS 事業者（本事業では経済産業省）は、申請時に提出する「監視計画」に基づいて監視を実施し、CCS が計画に従い安全に行われていることを確認しなければならない。本事業の「監視計画」では、貯留層の温度・圧力の観測や弾性波探査による CO₂ の分布範囲の把握に加えて、海洋環境調査として、海域の流況観測、採水・採泥等による水質・底質・プランクトン・底生生物の調査、海底面のビデオカメラ撮影による底生生物の観察・気泡の発生の有無の観察等を年 4 回（四季調査）実施した。

CO₂ 圧入終了後、貯留層地点周辺における微小振動観測および海洋環境調査、圧入した CO₂ の挙動等のモニタリングを引き続き 2020 年度末まで実施する。

1.3.4 社会的受容性の醸成活動の概要

本事業への理解および CCS の社会的受容性の醸成を目的として、苫小牧市民をはじめとして国内に向けた以下の情報発信活動を継続的に実施した。

- 1) 苫小牧市およびその周辺地域への情報発信活動
- 2) 国内他地域における情報発信活動
- 3) メディアを通じた情報発信活動
- 4) CCS 解説ツールの制作

加えて、本事業の進捗や成果等の海外に向けた情報発信、CCS に関連する国際的な情報収集、海外との国際協力や連携を推進する以下の活動を継続的に行った。

- 1) 海外における情報発信・情報収集
- 2) 苫小牧市における情報発信・情報収集
- 3) 国際協力・技術交流
- 4) CSLF における活動

上記のほかに、有事における情報発信活動および地元ステークホルダーとのコミュニケーションの実績を検証し、社会的受容性醸成活動の総括を行った。

1.3.5 法規制対応の概要

本事業の実施にあたっては、関連設備の設置、操業の安全確保、環境保護等に係る適用法規を遵守または準拠した。また、CCS 技術の大規模実証事業を実施する際に遵守することが望ましい基準として 2009 年 8 月に経済産業省が策定した「CCS 実証事業の安全な実施にあたって」への適切な対応を行うため、2012～2019 年度継続して海外の CCS に関する「規制」および「技術基準・ガイドライン」等をリストアップし、以下の動向調査を実施した。

- 1) 異常が発生した場合に採るべき措置（国内）
- 2) 周辺環境への影響評価
- 3) CO₂ 圧入・運用時の安全確保
- 4) 圧入する CO₂ の濃度基準
- 5) モニタリング
- 6) 異常が発生した場合に採るべき措置（海外）
- 7) CO₂ 貯留に際し地質面から検討すべき事項
- 8) 海洋環境影響・評価
- 9) 監視移行基準の検討に資する CO₂ 漏出の考え方
- 10) 海洋酸性化の監視体制
- 11) 坑井閉鎖
- 12) 圧入終了後のモニタリングとその現状
- 13) プロジェクトリスク
- 14) CO₂ アカウンティング

調査により最新情報を入手・分析するとともに、CCS に特化した法令がない我が国における制度上の課題を整理した。

1.4 結果概要

ここでは目的に対する結果の概要を述べ、本事業において得られた知見と残された課題について第 7 章に記す。

- 1) 「CCS 実証事業の安全な実施にあたって」に従い、我が国初となる大規模排出源（製油所）の CO₂ を分離・回収して貯留する CCS におけるプロセス全体を一貫システムとした実証試験を行い、2019 年 11 月 22 日に目標としていた累計 CO₂ 圧入量 30 万 t を達成した。圧入期間の実績は、予定した 3 年間に対して外部要因等により 3 年 8 ヶ月となった。
- 2) 本事業により、分離・回収から圧入・貯留までの CCS 一貫システムの操業および安全・環境管理ならびに各種モニタリングおよび海洋環境調査を通じて、CCS が安全かつ安心できるシステムであることを確認した。
- 3) 本事業への理解および CCS の社会的受容性の醸成を目的として、地元および国内への情報発信活動を継続的に実施した。海外へ向けては、本事業に関する情報発信、情報収集、海外との国際協力や連携を推進する活動を継続的に実施した。
- 4) 操業技術を獲得した。また、CCS 実用化に向けた取り組みを通じて得られた知見

と残された課題を整理した。

添付資料1 「課題検討会」有識者委員名簿

(敬称略:五十音順)

委員長	佐藤 光三	国立大学法人東京大学 大学院工学研究科 エネルギー・資源フロンティアセンター システム創成学専攻 教授 兼 米国スタンフォード大学 客員教授
副委員長	松岡 俊文	公益財団法人深田地質研究所 理事長
委員	薛 自求	二酸化炭素地中貯留技術研究組合 技術部 部長 兼 公益財団法人地球環境産業技術研究機構 主席研究員
	徂徠 正夫	国立研究開発法人産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 CO ₂ 地中貯留研究グループ グループ長
	徳永 朋祥	国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授
	中垣 隆雄	学校法人早稲田大学 理工学術院創造理工学部 総合機械工学科 教授
	渕野 哲郎	国立大学法人東京工業大学 大学院物理工学研究科 化学工学専攻 准教授
	増田 昌敬	国立大学法人東京大学 大学院工学系研究科 教授

添付資料2 「NEDO 技術検討委員会」委員名簿

(敬称略:五十音順)

委員長	藤岡 祐一	公立大学法人福岡女子大学 名誉教授
委員	海江田 秀志	一般財団法人電力中央研究所 地球工学研究所 首席研究員
	齋藤 文	みずほ情報総研株式会社 グローバルイノベーション&エネルギー部 エネルギービジネスチーム 課長
	佐藤 光三	国立大学法人東京大学 大学院工学系研究科 エネルギー・資源フロンティアセンター システム創成学専攻 教授
	鷹觜 利公	国立研究開発法人産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域研究戦略部付
	松岡 俊文	公益財団法人深田地質研究所 理事長

第2章 CO₂分離・回収／圧入設備

本章では、2012～2015年度に実施したCO₂分離・回収／圧入設備の設備概要と建設・試運転の工程、2016～2019年度に実施したCO₂圧入実証試験における分離・回収／圧入設備の運転・検証、分離・回収エネルギー消費量の分析評価について記述し、CO₂分離・回収／圧入設備の実証結果のまとめを示した。あわせて、CCS実用化に向けて、本事業結果を基にしたCCS実用化モデルのコスト試算を示した。

2.1 分離・回収／圧入設備の建設

CO₂供給源である製油所の水素製造設備では、PSA (Pressure Swing Adsorption) 方式によりCO₂を含む水素原料ガスから高純度の水素が製造され、石油精製に使用されている。PSAユニットで高純度水素が製造された際に副生するPSAオフガスには約52%のCO₂が含まれており、他に約39%のH₂、約7%のCH₄等の可燃性ガス成分も含まれるため、水素製造設備の燃料ガスとして使用される。

PSAオフガスの一部を製油所に隣接する本事業の分離・回収／圧入設備に延長1.4kmのパイプラインにより輸送し、CO₂原料とした。製油所内でのPSAオフガスの分岐から送風機での昇圧、パイプラインでの輸送までをガス供給設備(D1-1基地)と称する。

隣接する分離・回収／圧入設備(D1-2/D0基地)では、パイプラインで送気されたPSAオフガスから高純度(99%以上)のCO₂(海洋汚染防止法で定める特定二酸化炭素ガス)を回収し、それを超臨界状態(7.38MPa、31.1℃以上)まで圧縮して2本の圧入井に移送した。

2.1.1 設備概要

(1) D1-1基地(ガス供給設備)

PSAオフガスの一部を既設のPSAパージガス配管から分岐し、送風機で昇圧して延長1.4kmのパイプラインにより輸送する。

D1-1基地は以下の設備で構成され、そのプロセスフローを図2.1-1に示す。

- 1) PSAオフガス送気設備(ピンク色で示す)
- 2) ブタン(BS)供給設備(茶色で示す)

PSAオフガスは、CO₂の他にH₂、CH₄、COの可燃性ガスを含むため、図2.1-1に示すように、水素製造装置のReformer(改質炉)の燃料として使用されている。PSAオフガスの代表組成(容量%)を表2.1-1に示す。

表 2.1-1 PSA オフガスの代表組成（容量％）

CO ₂	51.6
H ₂	38.8
CH ₄	6.6
CO	2.3
H ₂ O	0.7

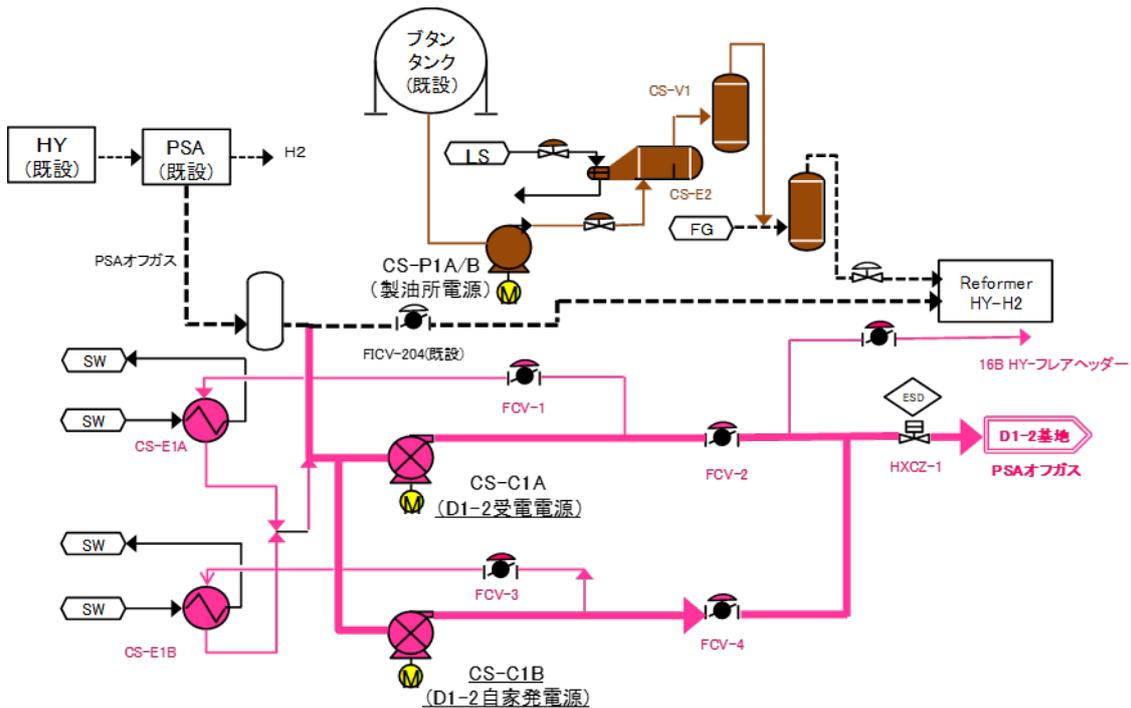


図 2.1-1 D1-1 基地のプロセスフロー（ピンクと茶は新設、黒は既設）

PSA オフガスが CCS の原料として、分離・回収設備（D1-2 基地）に分岐されると、それに相当する改質炉の燃料を補充しなければならない。このため、ブタン供給設備を新たに設置した。

(2) D1-2/D0 基地のプロセス設備

D1-1 基地から送られてきた PSA オフガスを PSA オフガス圧縮機で昇圧し、分離・回収設備で高純度の CO₂（濃度 99%以上）を回収する。回収した CO₂ を圧縮機で圧入井坑口圧力まで昇圧した後、D1-2/D0 基地内にある各圧入井へ構内配管で移送する。

プロセス設備は以下の設備で構成され、そのプロセスフローを図 2.1-2 に示す。

- 1) PSA オフガス圧縮機
- 2) 分離・回収設備

3) CO₂ 圧入設備

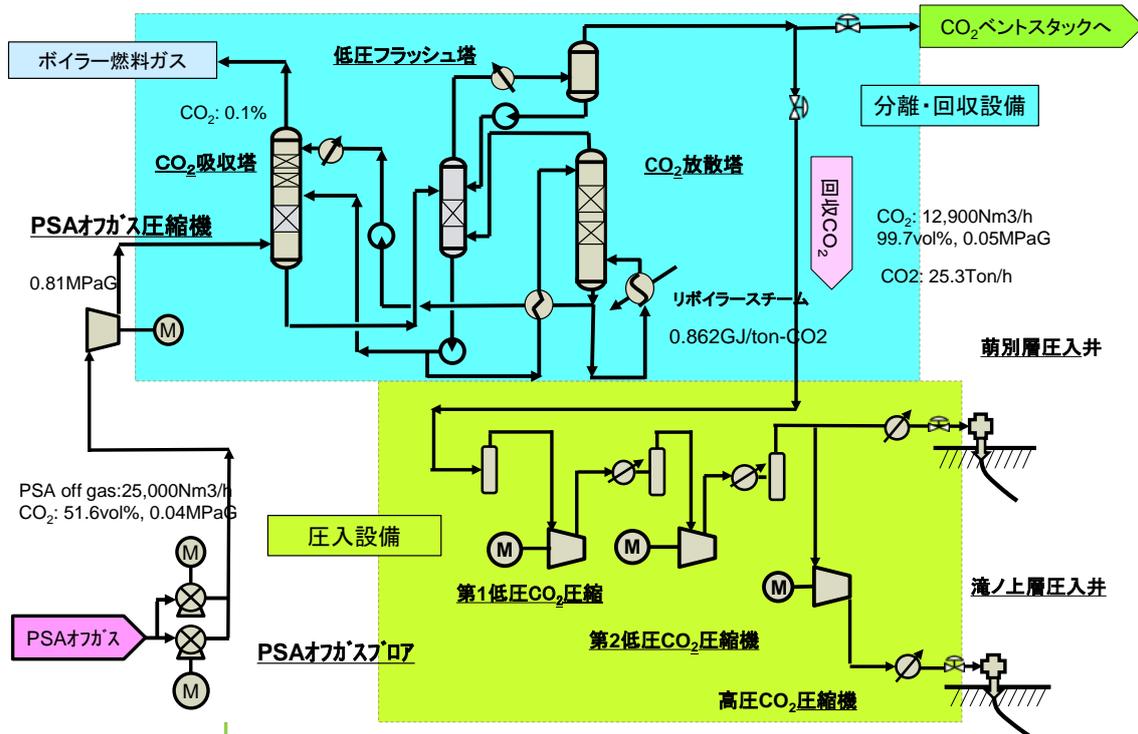


図 2.1-2 PSA オフガス圧縮、分離・回収設備、CO₂ 圧入設備のプロセスフロー

(3) D1-2/D0 基地のボイラー設備と自家発電設備

分離・回収設備で CO₂ を分離した後のガス (H₂、CH₄、CO 等からなる可燃性ガス) を燃料として使用する高圧ボイラーと低圧ボイラーを設置した。高圧ボイラーで発生させたスチームは自家発電設備に送られ、スチームタービン発電機による発電に用いられる。発電された電力は、D1-2/D0 基地および D1-1 基地設備への電力供給の一部として利用される。低圧ボイラーで発生させたスチームは、CO₂ 放散塔リボイラーの熱源等として利用される。

- 1) ボイラー設備
- 2) 自家発電設備

(4) D1-2/D0 基地の用役設備

プロセス設備、ボイラー設備と自家発電設備を稼働するために必要な用役 (燃料、空気、水、窒素等) を供給する設備とその他付属設備を設置した。用役設備とその他付属設備は、以下の設備で構成される。

- 1) 循環冷却水設備

- 2) 排水処理設備
- 3) 純水設備
- 4) 燃料設備
- 5) 計装空気設備
- 6) 窒素製造設備
- 7) 防消火設備
- 8) フレア・ベントスタック設備

(5) D1-2/D0 基地の共通設備

共通設備であり、基地内各プラント設備に共通して設置される。

- 1) 共通配管
- 2) 土木建築
- 3) 電気
- 4) 計装

2.1.2 D1-1 基地および D1-2/D0 基地 EPC 全体工程

D1-2/D0 基地の設備設計・機器調達・設備建設（Engineering Procurement and Construction、以下、「EPC」と称する。）および試運転の期間は 2012 年 11 月 1 日から 2016 年 2 月 10 日までの 39 ヶ月であった（EPC：36 ヶ月、試運転：3 ヶ月）。

業務は 48 ヶ月にわたり、その全体工程を図 2.1-3 に示す。

一方、D1-1 基地の EPC もほぼ同時に進行し、2012 年 9 月から開始し 2015 年 10 月に完成した。

D1-1 基地および D1-2/D0 基地の 21 ヶ月にわたる現場工事は厳密な安全審査・安全管理の下で計画通りに遂行され、労働安全衛生法の労働災害認定において、無事故・無災害を達成した。

2.2 分離・回収／圧入設備の実証

2016 年 4 月 6 日の圧入開始から 2019 年 11 月 22 日の圧入停止までの分離・回収／圧入設備の実証試験は 1,326 日（約 44 ヶ月）となった。1,326 日の実証日数を内容別に分類したものを図 2.2-1 に示す。

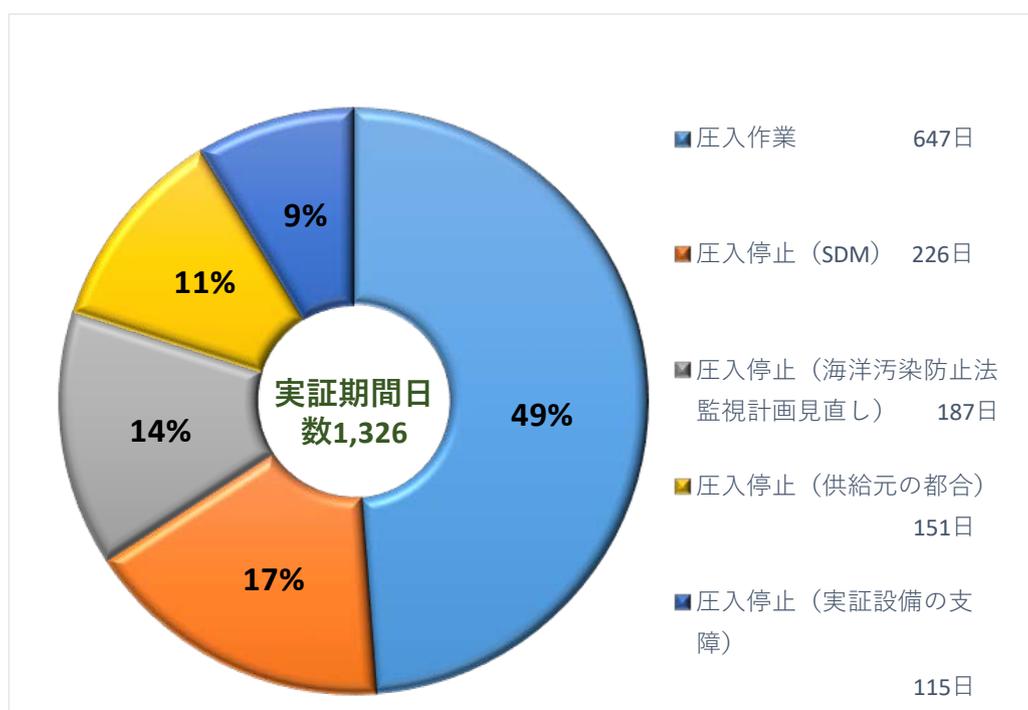


図 2.2-1 実証試験期間中の日数内容分類

CO₂ 圧入作業は延べ 647 日、圧入停止日数は延べ 679 日であった。圧入停止の原因別日数は、2016 年度、2017 年度、2018 年度、および 2019 年度の定期保全工事（Scheduled Shut-Down Maintenance、以下、「SDM」と称する。）に伴う停止期間が計 226 日、海洋汚染防止法に係る監視計画（海洋環境）の見直しによる停止期間（詳細は 3.5.1 に後述）が計 187 日、PSA オフガス供給設備の停止（2018 年 9 月 6 日発生 of 平成 30 年北海道胆振東部地震の影響を含む）による停止期間が計 151 日、分離・回収／圧入設備の不具

合による停止（表 2.2-2 参照）が計 115 日であった。したがって、PSA オフガスの供給が可能な日数 762 日に対して、実際に圧入を行った日数は 647 日であり、その割合は 84.9%となった。

平成 28 年度（2016 年度）の実証試験計画から、分離・回収／圧入設備の実証試験課題として以下の 2.2.1 から 2.2.7 までの 7 項目を掲げ、令和元年度（2019 年度）まで年度ごとに各項目を実証した。

2.2.1 D1-1 基地の供給設備の運転、検証

PSA オフガスの一部を既設の PSA パージガス配管から約 0.03 MPaG で分岐し、送風機で 0.08 MPaG まで昇圧して延長 1.4 km のパイプラインにより D1-2/D0 基地まで輸送した。D1-2/D0 基地との境界では 0.04 MPaG の受入圧力であった。表 2.1-1 の代表組成での PSA オフガス分岐は 25,000 Nm³/h、純 CO₂ の供給量は 25.3 t/h（607 t/日）である。

D1-1 基地の運転を通じて、水素製造装置からの PSA オフガス分岐圧力の変動、PSA オフガス送風機の流量と圧力の変動、D1-2/D0 基地への送風量と着圧の変動に対する自動化運転の追従性を検証した。44 ヶ月の運転期間で、水素製造装置の急激な運転変動により、各基地での自動緊急停止（Emergency Shutdown、以下、「ESD」と称する。）、フレアスタックへの緊急放出等のトラブルが発生したが、PSA オフガス送風機と次項で述べる下流の PSA オフガス圧縮機が自動で安全に停止した結果、各基地の安全対策が適切であると確認した。D1-1 基地の運転と管理は PSA オフガスを供給する出光興産(株)に再委託し、以上の D1-1 基地の自動化の検証、安全対策の評価、課題の抽出等を共同で実施した。

2.2.2 分離・回収設備の運転、検証

分離・回収設備のプロセスフローを図 2.2-2 に示す。PSA オフガスは圧縮機で 0.81 MPaG まで昇圧された後、吸収塔（Absorber）でアミン溶液によって PSA オフガス中の CO₂ が選択的に吸収される。吸収塔出口の CO₂ 濃度は 0.1%（乾式基準）以下であるので、分離・回収設備の CO₂ 回収率は 99.9%以上となる。吸収塔出口の CO₂ 濃度は、CCS 実用化の際に水素製造、アンモニア製造、LNG 製造等の湿式ガス精製プロセスで製品ガス仕様（不純物濃度）から要求される 0.1%（1,000 ppm）以下を前提条件とし、その条件下での回収 CO₂ の純度や分離・回収エネルギーを実証することとした。

回収 CO₂（海洋汚染防止法で定める特定二酸化炭素ガス）の純度は海洋汚染防止法で定める分析方法（ガスクロマトグラフ法および化学吸収法）に基づいて定期的に分析した結果、平均 99.4%（乾式基準）で同法の定める基準である 99%以上を満たすものであ

た。

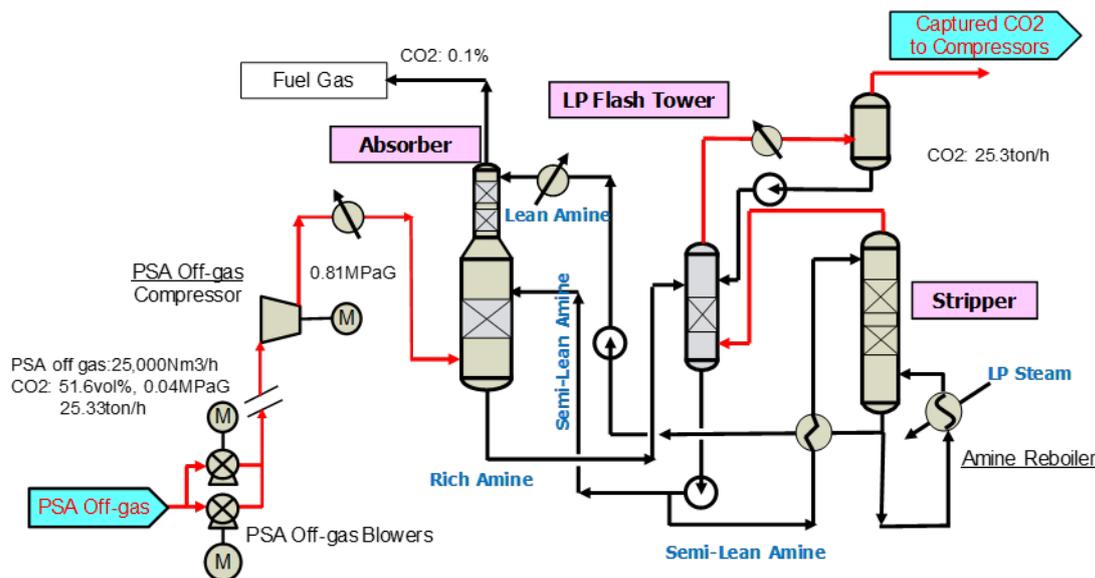


図 2.2-2 分離・回収設備のプロセスフロー

分離・回収設備の課題の一つとして、分離・回収エネルギー (GJ/t-CO₂) の低減がある。代表組成ケースにおいて、CO₂回収率 (設計値: 99.9%以上)、回収 CO₂純度 (設計値: 99%以上) および CO₂回収量 (設計値: 25.3 t/h) の設計条件下で、アミンリボイラースチーム消費量とポンプ動力を実測することにより分離・回収エネルギーを算出した。

代表組成ケースの分離・回収エネルギーは、設計時の期待値 (計算値) が 1.13～1.22 GJ/t-CO₂ (数値の変動は 100℃以上の高温機器からの熱損失に起因する) である。この検証結果は 2.3 節に記載した。

分離・回収設備の運転開始時に系内に導入したアミン溶液は、約 44 ヶ月にわたる実証試験期間で、アミン劣化物の除去 (活性炭吸着)、アミンの再生 (リクレーマー) は不要で、アミン溶液の入れ替えも不要であった。アミン溶液の劣化物 (熱安定性塩) の生成は少なく、CO₂吸収性能 (Rich Amine Loading, Semi-Lean Amine Loading) や CO₂放散能力 (Lean Amine Loading) の顕著な変化は認められず、溶液性能は安定していた。鉄イオン濃度にも顕著な変化はなく (平均 17 ppm 程度)、管理目標値の 20 ppm 以下を維持していたため、炭素鋼の全面腐食はないと考えられた。

炭素鋼の腐食は設備全体 (塔類、槽類、熱交換器、ポンプ、配管、制御弁等) に発生する全面的腐食と機器の一部に発生する局部的腐食がある。2019年10月9日にセミリー

ンアミン溶液ラインで、一部機器（流量制御弁の一部、その下流配管の一部）に局部的腐食が発生した。その溶解鉄イオンがアミン溶液中で CO₂ と反応して炭酸鉄 (FeCO₃) を生成し、それがセミリーンアミン溶液/リーンアミン溶液熱交換器（プレート型）の高温部で固体状に析出しプレート表面に付着蓄積したため溶解鉄イオン濃度に大きな変化はなく（平均 17 ppm）、局部的腐食を検知できなかった。

一方、アミン溶液中の鉄イオン濃度が 20 ppm 以下であれば、全面腐食はないと判定したが、設備の解放点検（2020 年 2 月時点）ではセミリーン溶液ラインの局部的腐食以外の機器は全て健全であったため、20 ppm の管理目標は妥当性があることを確認した。今後は、アミン溶液熱交換器に閉塞が検知された場合には（炭酸鉄の生成）、熱交換器のみならず、関連機器も開放点検する。

2.2.3 圧入設備の運転、検証

CO₂ 圧縮機における制御システムの検証と同システムの最適化に取り組んだ。同制御システムを図 2.2-3 に示す。

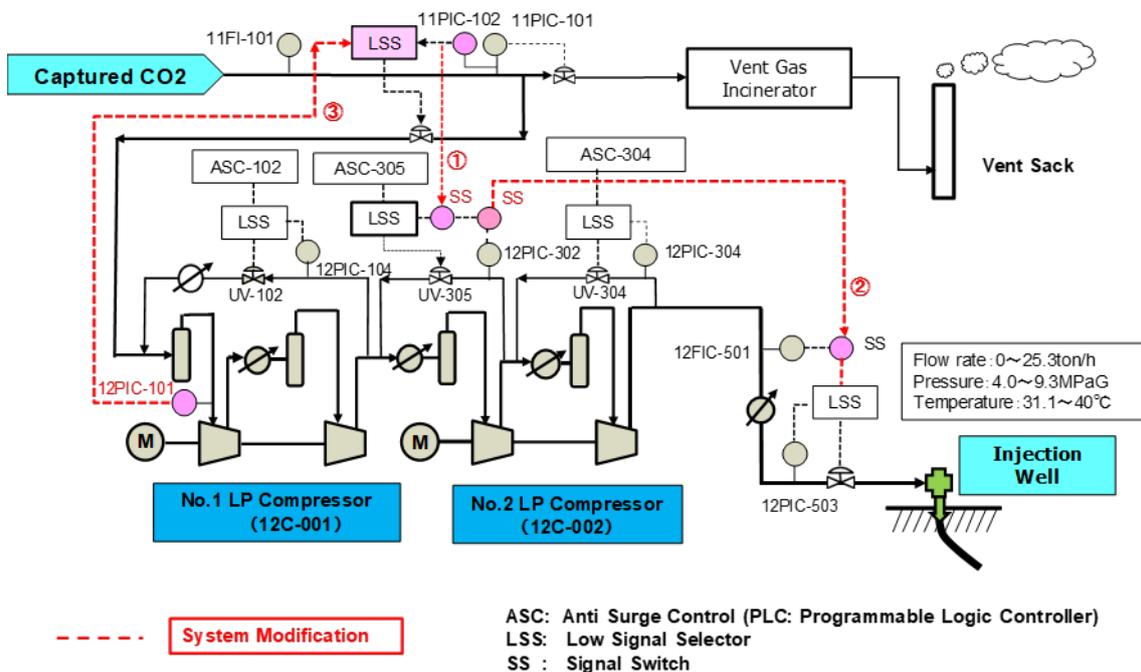


図 2.2-3 CO₂ 圧縮機の最適制御システム

第 1 低圧 CO₂ 圧縮機（12C-001）および第 2 低圧 CO₂ 圧縮機（12C-002）を使用して回収 CO₂ を萌別層へ圧入する。CO₂ 圧縮機制御システムは 4 段の CO₂ 圧縮機（12C-001 は 2 段、12C-002 も 2 段）と、3 系列の吐出圧力制御（12PIC-104、12PIC-302、12PIC-

304) とアンチサージ制御器 (ASC-102、ASC-305、ASC-304 の Programmable Logic Controller) から構成される。

2016年4月～5月の間は、回収CO₂圧力 (11PIC-102 目標 : 0.05 MPaG) と 12C-001 吸込み圧力 (12PI-101 目標 : 10 kPaG) が頻繁に変動し、回収CO₂をベントスタックに放出することがあった。この原因は、CO₂原料のPSAオフガス量が30分程度の周期で±4%程度変動し、さらに、CO₂濃度も変動するため、回収CO₂量 (11FI-101) が周期的に±5%程度変動するためである。回収CO₂を全量圧入するためには、CO₂圧縮機制御システムが流量および圧力の変動に自動的に追従する必要があることが判明した。

このため、2016年10月から2017年10月にかけてダイナミックシミュレーションを使用した制御システムの改善を検討し、2018年1月には図2.2-3の赤色の丸数字で示した3ヶ所の制御システムを以下の1)～3)の考え方に基づいて改造した。

- 1) 回収CO₂の圧力変動 (11PIC-102) が上限 (52 kPaG)、もしくは下限 (48 kPaG) に達した後、12C-002 リサイクル弁 (12UV-305) の開度を自動で0.5%ずつ変更する。同時に、ハンチングを避けるため12UV-305は開度を一度変更させてから5分間は変化させない。
- 2) 12C-002 吐出圧力 (最大 9.7 MPaG) の圧力制御は、12PIC-304 と 12PIC-503 が競合するため、12PIC-302 で12PIC-503をカスケード制御する。
- 3) 12PIC-101 が上限 (15 kPaG) もしくは下限 (5 kPaG) を超えた場合、11PV-102で保護する。この際、11PIC-102は11PV-102による制御が切れるので、同時に1)で述べた12UV-305での制御を開始する。

改造実施後は11PIC-102、12PIC-101 および12UV-305の自動制御が安定し、回収CO₂のベントも皆無となり、圧縮制御システムの完全自動化が達成された。この結果、萌別層に流量制御方式および圧力制御方式で安定的に圧入ができること、最大25.3 t/h (年間20万t相当)を圧入できることを確認した。

2018年2月と8月には、各3～4週間にわたって12C-001 および12C-002に加えて高圧圧縮機 (12C-003) も稼働させ (図2.1-3を参照)、異なるタイプの貯留層への同時圧入を実施し、萌別層では所定の流量制御弁、滝ノ上層では少量流量制御弁による安定した運転を達成することができた。

2.2.4 運用システムの検証

運転期間に分離・回収/圧入設備および用役設備で発生した緊急遮断システム作動の実績を解析し、システムの妥当性を評価した。特にPSAオフガス圧縮機、CO₂圧縮機の急

激な変動により、自動緊急停止（ESD）、安全弁（PSV）の作動、ベントスタックへの放出等が発生したので、その実績データを解析して基本設計時の運用システム設計およびダイナミックシミュレーションの結果が妥当であるか否かを評価し、自動緊急停止（ESD）システムの内容、安全弁（PSV）の設置場所が妥当であることが検証された。具体的な事例を後述の表 2.2-2「D1-1 基地および D1-2/D0 基地の主なトラブル事例リスト」の第 2、4、6、11 項にまとめた。

2.2.5 保安管理・保安設備の運転、検証

分離・回収／圧入設備の異常事態を想定した保安設備の安全性を実証試験で検証した。その結果を表 2.2-1 にまとめた。

表 2.2-1 保安設備安全性の検証

異常想定項目		保安設備
1	PSA オフガス・燃料ガス系統の緊急遮断	フレアスタック（高さ 30 m）で、PSA オフガス・燃料ガスの全量を燃焼可能とする。地上での最大熱強度を推算し安全であることを確認した。
2	回収 CO ₂ 圧縮系統の緊急遮断	ベントスタック（高さ 30 m）で、分離・回収および系内残存の CO ₂ 全量を放出する。地上での最大 CO ₂ 濃度を推算し安全であることを確認した。さらに、CO ₂ に同伴される少量（0.6%程度）の可燃成分を完全に焼却できる燃焼炉を設置した。
3	機器設計圧力以上の異常昇圧	機器の保護のために、ほとんどの機器に安全弁を設置した。安全弁からの PSA オフガス、燃料ガス、回収 CO ₂ ガスはフレア・ベントスタックに接続した。
4	火災発生	停電保護用電池でディーゼル発電機を起動させ、防火ポンプ（96 m ³ /h）を起動する。
5	巨大地震の発生	150 gal で地上設備を全て自動で緊急停止する。 一方、2 本の圧入井の各坑口上流の CO ₂ 配管には各々遮断弁を設置し、さらに、各圧入井本体にも遮断弁と逆止弁を設置した。 (なお、2018 年 9 月 6 日早朝の平成 30 年北海道胆振東部地震の際は地震計で 158 gal を検知したが、製油所の都合で 9 月 1 日から圧入を停止していたため、各圧入井坑口の遮断弁は事前に閉にしていた。)
6	有害ガスの漏洩	漏洩箇所を素早く検知するために、CO ₂ 検知器を 18 ケ所、毒性ガス検知器を 15 ケ所、可燃性ガス検知器を 22 ケ所に設置した。

操業に係る規程類（環境管理規定、保安管理規程、安全管理規程、運転管理要領、設備保全計画等）を体系的に作成した。また、保安訓練を定期的を実施した。

自治体（苫小牧市）作成の「大規模地震に伴う津波の浸水深さ」においても、本プラントの浸水深さは 0.5～1.0 m であり、危険物施設である燃料油タンクの安全性は確保される。

分離・回収／圧入設備は高圧ガス保安法の製造所に該当するため、規程類は主に高圧ガス設備等耐震設計基準に従って作成した。それ以外は、油のタンク等は消防法、その他の建築物については建築基準法の耐震設計基準に従って作成した。また電気事業法の規定に

基づき必要な保安規定を改定・追補した（長時間の停電時の電源設置等）。

保安および環境保護に関するトラブルについて、その原因と対策を検証し、システムの妥当性を評価した。CO₂圧縮機の安全弁からのCO₂放出、熱交換器や配管からのアミン溶液の漏洩等が発生したため、その原因と対策を実施した。具体的な事例は後述の2.2.8項にまとめた。

2.2.6 日常保全および定期保全

設備保全に関する管理規程、要領、および年間計画を適切に運用した。

3年8ヶ月の日常保全、SDM期間中には、法令で定期的な点検が定められた機器の局所的腐食劣化状況を検査した。各年の点検実績と設備使用実績（腐食、故障等）を資料としてまとめた。この主な事例として（表2.2-2参照）、12C-002アフタークーラー（112E-005）の冷却水側のチューブ表面（内部は萌別層圧入井へのCO₂）の腐食が明確となり、2019年6月のSDMで新規のチューブバンドルに交換した。

2.2.7 安全・環境管理

安全衛生および環境に関する管理規程、要領、および年間計画を実証試験で適用し、実証試験期間を通じての安全環境管理の実績をまとめた。災害対応マニュアルとしては、緊急時措置要領、自然災害対策要領、緊急連絡要領等を作成し実行した。2018年9月6日の平成30年北海道胆振東部地震の経験を踏まえ、地震発生時の出社基準および安否確認を改訂した。

2.2.8 トラブル事例のまとめ

以上の2.2.4～2.2.6項の事例として、設備運転の停止あるいは負荷低下を引き起こした主なトラブルに関しては、「D1-1基地およびD1-2/D0基地の主なトラブル事例」として表2.2-2に示す17の事例を選定し、各項目の事象、発生年月日等の情報を一覧表にまとめ、原因と対策等の関連情報を容易に検索できる社内データベースを別途作成した。

各トラブルの発生要因はA、B、C、Dに分類した。AについてはESDシステムと安全弁が作動して機器を保護したが、その都度北海道胆振総合振興局に報告し、Bについては予め想定して設備を設計して周囲の環境には影響を与えなかったが、その一部は苫小牧市に報告した。

以上のトラブルには、設計上の安全システムによる自動的な設備の緊急停止、あるいは運転員による適切な設備の停止および対応により対処し、設備運転の安全性を確保しながら目標のCO₂累積30万t圧入量を達成した。

表 2.2-2 D1-1 基地および D1-2/D0 基地の主なトラブル事例リスト

番号	発生年月日	トラブル事象	発生要因
1	2016/4/17	CO ₂ ベントスタックからの可燃性ガスの飛散	C
2	2016/5/12	第 2 低圧 CO ₂ 圧縮機安全弁（12SV-301）の作動	A
3	2016/7/18	計装空気圧縮機トリップ	B
4	2016/10/3	第 2 低圧 CO ₂ 圧縮機（12C-002）のトリップ	A
5	2016/11/14	基地間通信異常のため送気停止	C
6	2017/2/4	12C-002 手動停止時の安全弁（12SV-201）の作動	A
7	2017/3/14	吸収塔上段充填層のフラッディング現象	B
8	2017/8/16	PSA オフガス圧縮機ガスリサイクル弁（10UV-102）閉塞傾向のため送気停止	B
9	2017/12/4	アミン溶液熱交換器の開放・点検	B
10	2018/1/16	第 1 低圧 CO ₂ 圧縮機（12C-001）、12C-002 制御システムの改造工事	B
11	2018/2/23	高圧 CO ₂ 圧縮機（12C-003）トリップ	A
12	2018/5/27	熱交換器からのアミン溶液の漏洩	B
13	2018/9/6	全停電によるモニタリング欠落	D
14	2019/3/14	セミリーンアミンポンプ（11P-002B）チェックバイパス弁からのアミン漏洩	B
15	2019/3/26	PSA オフガス圧縮機（10C-001）トリップ	C
16	2019/6/4	12C-002 出口 CO ₂ 冷却器（12E-005）チューブバンドルの新規交換	B
17	2019/10/9	セミリーンアミン流量制御弁（11FV-002）下流配管よりアミン漏洩	B

トラブルの発生要因：

- A：緊急停止（ESD）が発生し安全弁が作動したトラブル。但し、機器の個別故障等による正常停止（ESD も含む）は対象外とする。
- B：機器の腐食、機器の閉塞、機器の変動等で連続運転が不可能となったトラブル
- C：製油所側に起因、製油所側からの要請、および D1-1 設備に起因して運転を停止したトラブル
- D：巨大地震発生によるトラブル

2.3 分離・回収エネルギー消費量

2.3.1 分離・回収エネルギーの検証

図 2.2-2 の分離・回収設備のプロセスフローで示した吸収塔入口の PSA オフガスおよび吸収塔出口の諸条件（代表組成）を表 2.3-1 に示した。

表 2.3-1 吸収塔入口・出口でのガス条件（代表組成）

項目	吸収塔入口	吸収塔出口
処理量 (Nm ³ /h)	25,000	12,059
ガス組成 (容量%)	PSA オフガス	燃料ガス
CO ₂	51.60	0.1
H ₂	38.80	80.20
CH ₄	6.60	13.62
CO	2.30	4.75
H ₂ O	0.70	1.33
合計	100	100
吸収塔入口圧力 (MPaG)	0.81	0.79
入口温度 (°C)	40	40

分離・回収プロセスには、活性アミンを使用した OASE（BASF 社のライセンスプロセス）の 2 段吸収法を採用した（図 2.3-1 参照）。分離・回収設備は、吸収塔、放散塔、低圧フラッシュ塔から構成され、吸収塔は上下 2 段の充填層に分割されている。CO₂ を高濃度（51.6%）で含む PSA オフガスは加圧下（0.81 MPaG）で吸収塔に供給され、下部充填層でセミリーンアミン溶液により CO₂ 供給量の 60～70% が粗く吸収される（Bulk Absorption）。次に、ガスは吸収塔上部充填層に上昇し、30～40% の残存 CO₂ がリーンアミン溶液によって濃度 0.1% 以下まで吸収される（Lean Absorption）。

吸収塔底から排出されるリッチアミン溶液は低圧フラッシュ塔に送られる。CO₂ を高濃度に吸収したリッチアミン溶液は、低圧フラッシュ塔での減圧効果（0.06 MPaG）と放散塔頂から低圧フラッシュ塔に供給される CO₂ に同伴される余剰熱（水蒸気）による加熱効果により、吸収した CO₂ の 60～70% 程度を放散し、CO₂ を中濃度に吸収したセミリーンアミン溶液となる。大部分のセミリーンアミン溶液は外部から加熱することなしに吸収塔下部に循環される。

一部のセミリーンアミン溶液は放散塔に送られ、加熱によって CO₂ 供給量の残りの 30～40% の CO₂ を放散し、CO₂ を低濃度で含むリーンアミン溶液となる。このリーンアミン溶液は、吸収塔上部充填層へと循環される。

この 2 段吸収法の吸収塔下部での Bulk Absorption と低圧フラッシュ塔での CO₂ フラッシュの効果によって、大量の熱を必要とする放散塔でのアミンリボイラー熱量を大幅に低減することができる。

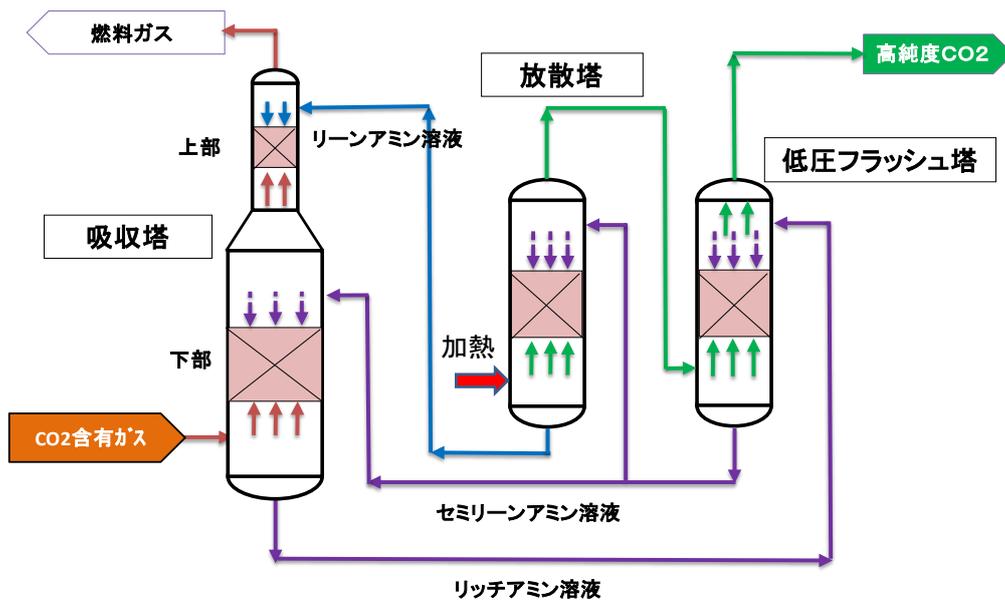


図 2.3-1 OASE 2 段吸収法

CO₂ 吸収塔、低圧フラッシュ塔、CO₂ 放散塔には不規則充填物が充填されて、気体 (CO₂、水蒸気、その他が上昇) と液体 (アミン溶液が降下) の向流接触が促進される。

2.3.2 分離・回収エネルギー消費

44 ヶ月の実証試験期間中に 3 回 (2016 年 12 月、2017 年 10 月、2019 年 5 月) の分離・回収エネルギーの性能確認試験を実施した。PSA オフガス量、アミン溶液循環量、各部の温度圧力条件は、極力、目標値 (設計値) に近づけた。なお、PSA オフガス量が周期的に±4%程度変動すること、CO₂ 濃度も周期的に変動することから、CO₂ 回収量も周期的に±5%程度変動したが、性能確認試験中 5 時間程度、アミン溶液循環量、各部の温度圧力条件を静定させた。ただし、PSA オフガス供給設備の稼働状況により供給量が増減した場合もあった。

3 回の性能確認試験結果を表 2.3-2 にまとめた。表 2.3-2 の目標値とは設備設計値を示す。リボイラー熱量については、高温機器 (放散塔、アミンリボイラー、アミン溶液熱交換器高温部等の 100℃以上の運転温度) からの熱損失によって変動し、その結果、分離・回収エネルギーも幅のある目標値となっている。

表 2.3-2 性能確認試験の結果

		2016 年度	2017 年度	2019 年度	目標値
CO ₂ 回収量	t/h	25.3	24.3	26.4	25.3
リーンアミン溶液	t/h	111	100	118	100*
セミリーンアミン	t/h	102	99.5	93.6	100*
リボイラー熱量	GJ/t-CO ₂	0.923	0.882	0.915**	0.862～ 0.949***
ポンプ電気量	kWh/t	19.8	21	18.8**	19.2
分離回収エネルギー	GJ/t-CO ₂	1.20	1.16	1.18**	1.13～1.22

*アミン溶液循環量は、目標値（設計値）を 100%とした比較値を表示した。

**CO₂回収量が設計値を超過し、リーンアミン溶液が設計値の 118%と過剰となったので（製油所側で PSA オフガス量の調整が変動）、100%リーンアミン溶液量と 100%CO₂回収量に補正した。

***目標値のリボイラー熱量は、100℃以上の高温機器からの熱損失を算出しないケースと算出したケースの値を示した。

アミンリボイラーへの供給熱量は目標上限値よりも小さい 0.882～0.923 GJ/t-CO₂ 程度となった。そして、アミンリボイラー加熱用スチームを製造するスチームボイラーの熱効率（90%）とアミン溶液循環ポンプ電気消費（熱量に換算）を加算した分離・回収エネルギーは、目標値 1.22 GJ/t-CO₂（代表組成ケース）よりも小さな値（1.16～1.20 GJ/t-CO₂）を達成し、良好な結果となった。

なお、分離・回収エネルギーの算出は以下の計算式を用いた。

$$\begin{aligned} \text{分離・回収エネルギー (GJ/t-CO}_2\text{)} = & \\ & \text{CO}_2\text{放散塔リボイラー熱量 (GJ/t-CO}_2\text{)} / (\text{スチームボイラー効率}) + \\ & \text{分離・回収設備電力消費量 (kWh/t-CO}_2\text{)} \times (\text{電気熱量換算係数}) / \\ & (\text{代表発電効率}) \end{aligned}$$

- ・スチームボイラー効率=0.9（ボイラー設計値）
- ・電気熱量換算係数=0.0036（GJ/kWh）
- ・代表発電効率=0.42（LHV 基準）（2012 年度に分離回収エネルギーの算出のために独自に推定した火力発電所の送電端発電効率）

設備設計時の分離・回収エネルギーの期待値は表 2.3-2 に示すように、熱損失なしのケースでは 1.13 GJ/t-CO₂、熱損失ありのケースでは 1.22 GJ/t-CO₂（計算値）であるが、実証試験の性能確認試験では放散塔およびアミンリボイラーからの熱損失が入った場合でも 1.16 GJ/t-CO₂となった。

この性能試験結果において、二段吸収法での吸収塔下段の粗吸収（Bulk Absorption）と低圧フラッシュ塔による 60～70%の CO₂フラッシュの効果で、目標値の運転条件にお

いてアミンリボイラー熱量を大幅に低減できることが検証された。2.5.6 項では海外 CCS プロジェクト (Quest) の低圧フラッシュ塔を設置しない 1 段吸収法での分離・回収エネルギーの実績 (2.79 GJ/t-CO₂) を示したが、性能試験は目標値 1.22GJ/t-CO₂ 以下を達成できたので 56%の削減となっている $((2.79-1.22)/2.79 \times 100\%)$ 。

2.5.6(2)にて 1 段吸収法と 2 段吸収法を燃料費用と電力費用の同一価格 (国内価格) で比較したところ、1 段吸収法がトン当たり 2,013 円上昇する結果となったため、燃料および電力費用が高価な状況における国内 CCS プロジェクトを推進するためには、2 段吸収法が有効なプロセスと評価できる。

2.3.3 CO₂回収率と分離・回収エネルギーの相関

本実証試験設備は CO₂回収率を 99.9% (代表組成ケース) に設定したが、PSA 精製法水素製造、IGCC に CCS を適用するケースでは 90%~95%程度に回収率を下げて分離・回収エネルギーを低減することが想定される。CO₂回収率と分離・回収エネルギーの相関を実証するため、シミュレーションにて相関性を予測した後、CO₂回収率を低下させる実証運転を実施した。その結果を図 2.3-2 に示す。

CO₂原料ガスの発生源である PSA 装置は 10 塔から構成され、各塔内の吸着剤 (分子篩) で水素の不純物 (CO₂、CH₄、CO) を吸着・脱圧・脱着・加圧等のステップを各塔の入口・出口に設置された切換弁によって繰り返し行われる。そのサイクル運転によって原料ガス (PSA オフガス) が変動するため、可能な限り設計流量の 98%~100%の範囲に保持して、リーンアミン流量とリボイラーsteam量を開始点 (基準値 100%とする) から 5%毎に段階的に減少させ 80%まで低下させた (回収 CO₂純度は 99.5%一定に維持)。

リーンアミン量が 80%では分離・回収エネルギーを 82%まで低減できると予測したが、実証運転では 86%であった。リーンアミン流量とリボイラーsteam量を 80%に減少して (横軸左端)、回収率は 95% (◆左側縦軸)、分離・回収エネルギーは 86% (▲右側縦軸) を達成した。

即ち、95%回収率では (吸収塔出口の CO₂濃度 5.1%)、回収 CO₂当たりの分離・回収エネルギー (GJ/t) を約 9.5% (=1-86/95) 減少できることを示唆している。

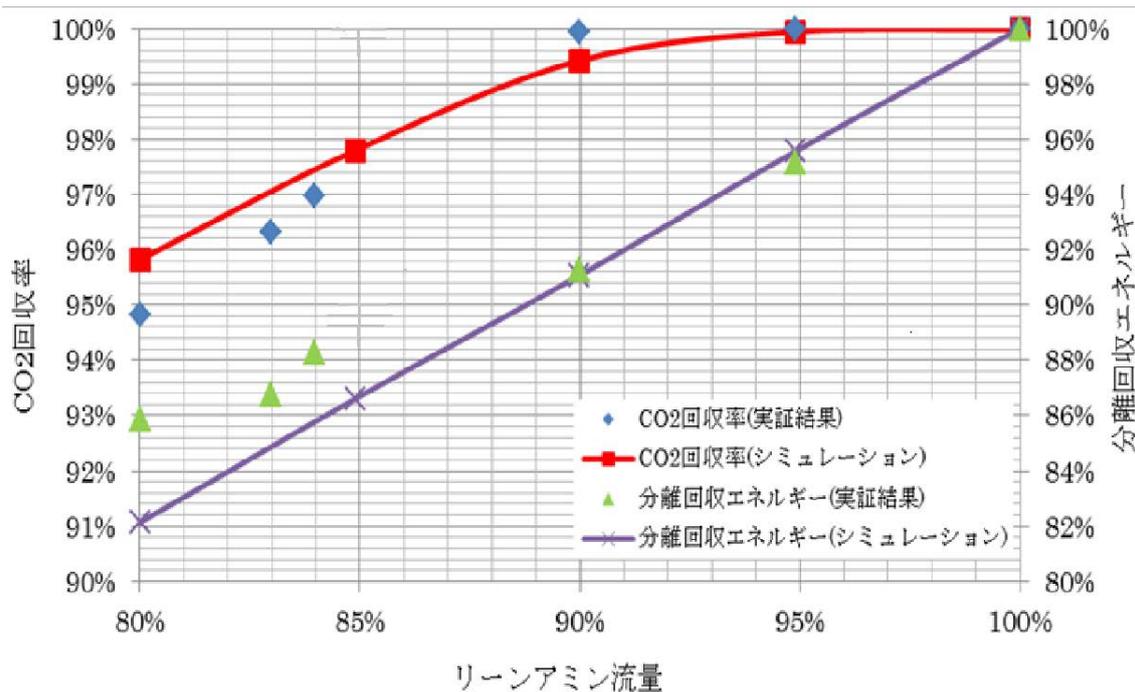


図 2.3-2 CO₂回収率と分離・回収エネルギーの相関

本実証試験設備では、吸収塔出口でのオンライン CO₂ 分析計（赤外線式）の測定上限値が 5%であるため、回収率が 95%以下の試験はできなかった。

CCS 商業化の際に回収率の低下が許容されるケースでは、費用対効果を勘案した最適回収率の詳細な経済性検討（Feasibility Study、以下、「FS」と称する。）が必要である。

2.3.4 分離回収エネルギーのさらなる低減

実用化に向けた検討のために、本実証試験目標値（熱損失なしケース）からさらに分離回収エネルギーを低減できる、新たな方法（以下、「画期的プロセス構成（Innovative Process Layout）」と称する。）のシミュレーションを実施した。

プロセスの機器構成は、図 2.3-1 に低低圧フラッシュ塔（Low-Low Pressure Flash Tower : LLP）と小型圧縮機を追加したもので、分離回収エネルギーは 0.73 GJ/t-CO₂ に低減できる結果を得た。シミュレーションの主な結果を表 2.3-3 に示す。

画期的プロセス構成では、吸収塔下段（Bulk Absorber）、吸収塔上段（Lean Absorber）、放散塔、低圧フラッシュ塔の直径を縮小できるため、設備費用の増加は少ないと期待される。

画期的プロセス構成は、本実証試験の二段吸収法に軽微な設備を追加することで達成できるため、信頼性が高く、熱エネルギー（リボイラー熱負荷）の大幅削減は CCS コスト

削減に非常に有効であるため、今後の実用化レベルの FS では画期的プロセス構成も検討に値すると考える。

表 2.3-3 画期的プロセスの分離・回収エネルギー

Process Layout		実証試験 目標値	画期的プロセス構成 計算値
CO ₂ Capture	t/h	25.3	26.4
Lean Amine	Relative flow	100 (Base)	49.4
Semi-Lean Amine	Relative flow	100 (Base)	99.8
Reboiler Heat Duty	GJ/t	0.862	0.487
Capture Energy			
Heat	GJ/t	0.958	0.541
Electricity	kWh/t	19.2	22.1
Overall Capture Energy	GJ/t	1.13	0.73

2.4 CO₂分離・回収／圧入設備の実証結果まとめ

平成 28 年度（2016 年度）の実証試験開始から、44 ヶ月にわたる分離・回収／圧入の実証試験において、実施計画書で設定した以下の 7 項目の課題を全て実証することができた。各課題の結果は 2.2.1～2.2.7 に記載したが、主な成果を下にまとめた。

1) 供給設備の運転、検証

供給ガス量と着圧の変動に対する自動化運転の追従性、自動緊急停止（ESD）とフレアスタックへの緊急放出等の安全対策等が適切であることを実証した。

2) 分離・回収設備の運転、検証

実施計画書に掲げた CO₂回収量、回収率、回収 CO₂純度、分離・回収エネルギー、アミン溶液の安定性を検証し、すべての目標を達成することができた。分離・回収エネルギーは、目標値 1.22 GJ/t-CO₂ よりも小さな値（1.16～1.20 GJ/t-CO₂）を達成し、良好な結果となった。さらにプロセスフローを改善することで 0.73 GJ/t-CO₂ の可能性を検討した。

3) 圧入設備の運転、検証

萌別層に流量制御方式および圧力制御方式で安定的に圧入ができること、さらに高圧の滝ノ上層への小流量一定圧入運転を検証することができた。

4) 運用システムの検証

運転期間に分離・回収／圧入設備および用役設備で発生した緊急遮断システム作動の実績を解析し、システムの妥当性を検証した。

5) 保安管理・保安設備の運転、検証

分離・回収／圧入設備の異常事態を想定した保安設備の安全性を検証し、操業に係る規程類を体系的に作成し運用した。

6) 日常保全および定期保全

設備保全に関する管理規程、要領、および年間計画を適切に運用することができた。

7) 安全・環境管理

安全衛生および環境に関する管理規程、要領、および年間計画を実証試験で適用し、実証試験期間を通じての安全環境管理の実績をまとめた。

設備の一部に不具合が発生したが、それらの原因究明と適切な対策を実施し、トラブル事例として表 2.2-2 にまとめ、さらに各項目の詳細を社内のデータベースにまとめた。さらに、回収率と分離回収エネルギーの相関性、画期的プロセス構成による更なる分離回収エネルギーの低減等の成果は、CCS の実用化の際の最適な設備設計に貢献できるよう、2.5 節の実用化モデルで CCS コストの削減幅を試算した。

2.5 実用化モデルの CCS コスト試算

本事業では年間 20 万 t 規模の CCS の技術の課題を明確にした。年間 20 万 t の設備能力は、D1-1 基地の水素製造装置で予定外の生産調整や操業停止等が生じて、年間 10 万 t の圧入を確実に確保するために設定したものである。次に、実用化段階で想定される規模に拡大する場合の技術的課題とその実現のための手段と方法を明確にするために、年間 100 万 t 規模の CCS 設備のコストを推算した。コストデータは本事業の EPC 実績コスト（2015 年 9 月建設業務終了）および 2016 年度の操業費を基準とした。推算の前提条件として、設備の耐用年数を 25 年とし、減価償却費は毎年均等とした（EPC コスト/25）。年間 20 万 t 基準で t 単価（圧入 CO₂ の t 当たり分離・回収／圧入・貯留・モニタリングコスト）を算出し、次に年間 100 万 t 基準で t 単価を算出した。

2.5.1 設備コスト試算の仮定（年間 20 万 t-CCS）

設備コストの試算にあたっては、本事業のプロセスフロースキーム（図 2.5-1）の代わりに、水素製造、アンモニア製造および IGCC（石炭ガス化複合発電）の CCS に適用できる実用化モデル（将来の商業段階モデル）を想定し（図 2.5-2）、年間 20 万 t を分離・回収／圧入する設備コストを推算した。

本事業では、排出源側（D1-1 基地）の CO₂ 原料ガスの種類や供給条件の制約から、PSA ガス精製ユニットの下流から低圧の PSA オフガスを送気したため、CCS の分離・回

収／圧入に直接的には必要とされない付帯設備も設置した（図 2.5-1、図 2.5-3 を参照）。しかし、CO₂ 原料ガスを PSA 上流から分岐することも可能で、その場合には高圧（2.5 MPaG 前後）で分離・回収できる（CO₂ 分圧は 0.47 MPaA）。PSA 上流からの分岐と CO₂ 回収後の水素原料ガスの返還を図 2.5-3 に示す。この流れにより上記の付帯設備に該当する高圧ボイラー、発電設備、D1-1 基地への給電設備、PSA オフガスブローア、PSA オフガス圧縮機等を除外し、水素製造やアンモニア製造の CCS に適用できる実用化モデル（将来の商業段階モデル）とした。

表 2.5-1(1)～(2)に、本事業 CCS と実用化モデル CCS の相違箇所をまとめた。なお、本事業では、CO₂ 圧入設備は分離・回収設備と同一敷地（D1-2/D0 基地内）に設置されているため、長距離の CO₂ 輸送パイプラインは不要であった。

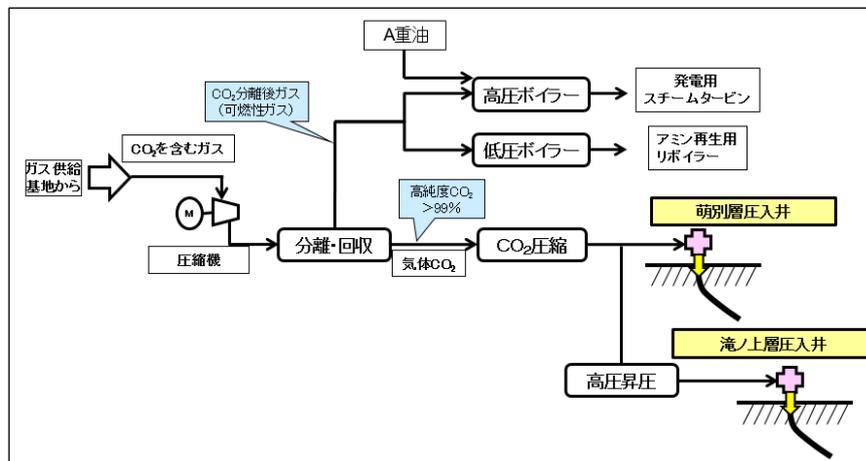


図 2.5-1 本事業のプロセスフロースキーム（分離・回収／圧入設備の構成）

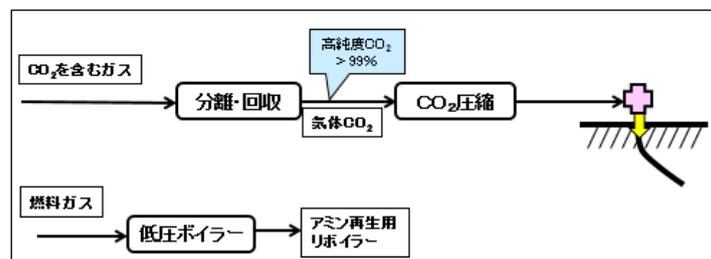


図 2.5-2 実用化モデルのプロセスフロースキーム（分離・回収／圧入設備の構成）

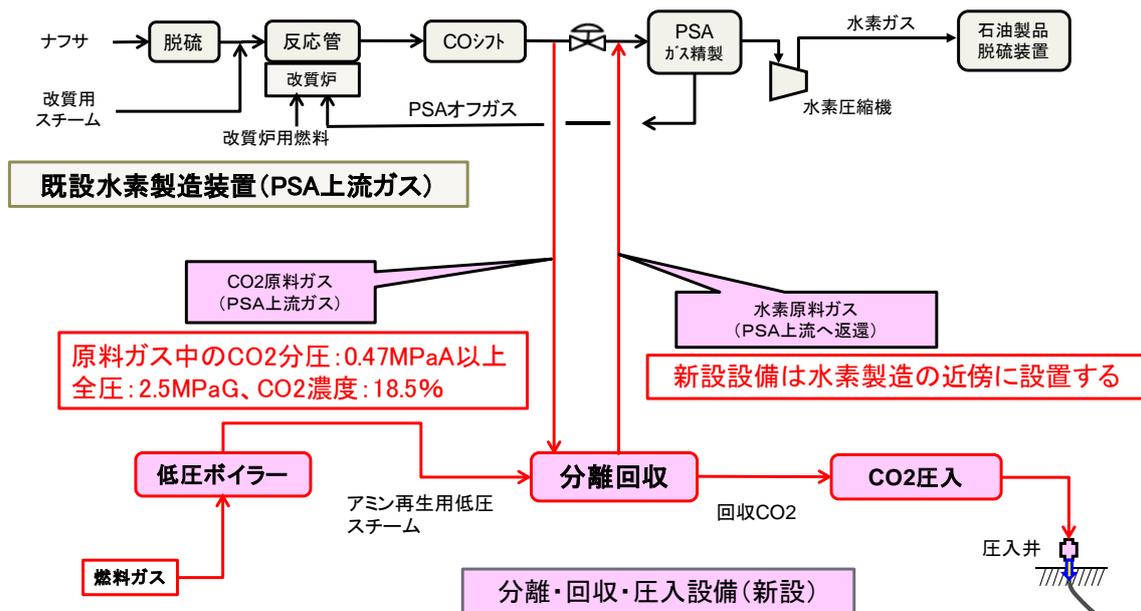


図 2.5-3 実用化モデルでの CO₂ 排出源と原料ガスの流れ

表 2.5-1(1) 地上設備構成の相違箇所

設備構成	本事業	実用化モデルにおけるイメージ
原料ガス圧縮設備	原料ガス圧縮機	なし
CO ₂ 圧縮設備	第一低圧・第二低圧圧縮機 高圧圧縮機	第一低圧・第二低圧圧縮機
自家発電設備	高圧蒸気発電機	なし
ボイラー設備	高圧ボイラー 低圧ボイラー	高圧ボイラー: なし 低圧ボイラー: あり (アミン再生用)
循環冷却水設備	冷却塔	なし
排水処理設備	加圧浮上設備	なし
純水製造設備	イオン交換式純水製造設備	なし

表 2.5-1(2) 貯留設備構成の相違箇所

モニタリング構成	本事業	実用化モデルにおけるイメージ
圧入井	滝ノ上層圧入井 IW-1 萌別層圧入井 IW-2	滝ノ上層圧入井 IW-1：なし 萌別層圧入井 IW-2：あり
観測井	滝ノ上層観測井 (OB-1,OB-3) 萌別層観測井 (OB-2)	OB-1,OB-3：なし OB-2：あり
海底受振ケーブル	貯留地点直上を通過する 1 測線	なし
二次元弾性波探査	圧入中隔年	なし
三次元弾性波探査	圧入中隔年	25 年に 10 回実施

2.5.2 運転コスト試算の仮定（年間 20 万 t-CCS）

燃料ガス、電気、工業用水、冷却水、窒素等の用役消費量は本事業の実績値を基に実用化モデルの設備構成用に再計算し、さらに CCS による CO₂ 排出量を算出した（燃料、電力消費量当たりの排出係数から算出）。主な用役消費量を以下に示す。

- 1) スチーム供給熱量：アミン再生用 21.8 GJ/h、設備加熱用 9.2 GJ/h、合計熱量 31 GJ/h
- 2) 電力消費量：アミンポンプ用 490 kW、ボイラー駆動用 74 kW、CO₂ 圧縮用 3,941 kW、共通設備用 117 kW、合計電気量：4,622 kW

弾性波探査については、三次元弾性波探査を 25 年で 10 回実施とした。環境省「特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の許可申請に係る指針」によると、特定二酸化炭素ガスの位置および範囲等の地震探査は、海底下廃棄実施期間（最長 5 年）内に 2 回程度と定めている。

設備の保全コストは設備コストの 3.7%/年と想定し、年間稼働時間は 7,920 時間（24 時間/日、330 日/年）とした。なお、3.7%/年は本事業の実績値であり、330 日/年は年間の SDM を 35 日予定した場合の連続運転日数である。

燃料ガス単価については、液化天然ガス価格（CIF）2018 年 1 月～2019 年 12 月平均額に諸経費を加算し 1,205 円/GJ とした（消費税抜きでガス仕様としては、40 MJ/Nm³（LHV）で 48.2 円/Nm³に相当）。この諸経費は内閣府資料 LNG の燃料諸経費で 2,200 円/t とした。

電力単価については、新電力ネット（一般社団法人エネルギー情報センターが運営する

会員制情報サイト)のホームページに掲載されたガス火力発電単価データ(2018年1月～2019年12月平均額)より、10.84円/kWhとした(消費税抜き)。なお、電力単価を変化させた場合の試算結果は、2.5.5(1)で示した。

2.5.3 設備および運転コスト(年間20万t-CCS)

年間20万t実用化モデルの設備コストと運転コストを表2.5-2にまとめた。

表 2.5-2 年間20万t実用化モデルの設備コストと運転コスト(消費税抜き)

設備構成 コスト分類	設備コスト		運転コスト		合計	
	円/t	%	円/t	%	円/t	%
分離・回収	335	3.0	1,860	16.7	2,195	19.7
CO ₂ 圧縮	385	3.4	2,174	19.5	2,559	22.9
共通設備	132	1.2	686	6.2	818	7.4
圧入井・貯留	922	8.3	4,635	41.7	5,557	50.0
合計	1,774	15.9	9,355	84.1	11,129	100.0

年間20万t圧入の小規模ケースの場合、CCSコストは11,129円/t-CO₂と推算した。設備コストは1,774円/t-CO₂(CCSコストに占める割合15.9%)、運転コストは9,355円/t-CO₂(同84.1%)となった。ここで示すCCSコストはキャプチャーコスト(Cost of CO₂ Captured)であり、CCSコストを圧入したCO₂量(単位はt)で除した値である。

運転コストの中では、低圧スチームボイラー用の燃料コスト(燃料コストはスチーム供給熱量をボイラー効率90%で除した値)が1,664円/t-CO₂、電力コストが2,008円/t-CO₂で、この二つの占める割合が大きい(同33.0%)。その理由は燃料ガスと電力の単価にある。本事業では、実用化モデルにおいても燃料ガスと電力を外部から購入することとしたが、CCS設備が水素製造・アンモニア製造・石炭ガス化発電等に隣接する場合は同一工場で燃料ガスや電力を融通することができ、その場合は、それらの単価は大幅に低減できるものと考えられる。

CO₂圧縮の運転コストが2,174円/t-CO₂でCCSコストの19.5%を占める。この大部分はCO₂圧縮機の電力コストによるものであり、コスト低減には圧縮機効率の向上が重要である。分離・回収の運転コストは1,860円/t-CO₂でCCSコストの16.7%を占め、そのうちアミンリボイラー熱のコストは1,171円/t-CO₂(CCSコストに占める割合の10.5%)で

二段吸収法の採用による熱エネルギー低減効果が発揮されている（アミン再生熱が 0.862 GJ/t-CO₂に低減する）。

海洋環境調査は 1,540 円/t-CO₂（308 百万円/20 万 t）で、CCS コストの 13.8%を占めるため、その削減は重要である一方で、実用化に向け、必要な調査回数のみ実施することにより、一定程度の削減は可能なコストと考えられる。

CO₂排出係数は 0.165 であることから、アボイデットコスト（Cost of CO₂ Avoided）は 13,328 円/t-CO₂と算出された。ここでアボイデットコストは、CCS コストを「（圧入した CO₂ 量；単位は t）－（CCS で発生した CO₂ 量；単位は t）」で除した値である。

2.5.4 年間 100 万 t-CCS のコスト推算

年間 100 万 t 規模の分離・回収／圧入・貯留では、スケール効果による設備コストの低減が期待できる。そして、電力消費量の削減、CO₂排出係数の低下、アボイデットコストの低減等には CO₂圧縮機動力の低減が重要である。

設備構成は 50 万 t/年×2 系列とし、地上設備の EPC コストは 0.6 乗法則を適用し（2.5 倍の 0.6 乗×2 系列で年間 20 万 t-CCS 設備の 3.46 倍）、100 万 t の設備コスト（円/t-CO₂）は 20 万 t の 0.693 倍（=3.46/5 倍）とした。

CO₂圧縮機は大型モデルによる効率向上（インペラーサイズ・枚数等の増加）により、約 22%の動力（156⇒122 kWh/t-CO₂）を削減することができると推測した結果、圧縮コストは 377 円/t-CO₂減少し、圧縮機冷却水コストは 23 円/t-CO₂減少した。この動力削減により CO₂排出量が 17 kg/t-CO₂減少するため、排出係数は 0.148 となる。なお、燃料ガス単価および電力単価については、2.5.2 に記載した 20 万 t のケースと同額と仮定した。

さらに、100 万 t の年間保全コスト（設備コストの 3.7%）も 20 万 t の 0.693 倍となり、241 円/t-CO₂減少したので、100 万 t の分離・回収／圧入の運転コストは合計 641 円/t-CO₂減少し、4,079 円/t-CO₂となった。

100 万 t での圧入井・観測井設備費は 20 万 t の 2 倍（円/t-CO₂では 1/2.5）、年間モニタリング費は 20 万 t の 2 倍、年間弾性波探査費は 25 年で 10 回、年間海洋環境調査費は 20 万 t と同額と仮定したため、圧入井・貯留運転コスト（円/t-CO₂）は 1/4 となった。

年間 20 万 t と年間 100 万 t との CCS コストの推算値の比較を表 2.5-3 に示す。100 万 t 実用化モデルでは 6,186 円/t-CO₂（Captured）、7,261 円/t-CO₂（Avoided）となった。

なお、今回のコスト試算は、苫小牧の実証データを基に、年間 20 万 t 規模の実用化モデルのコストを試算し、さらに前述の仮定の下で年間 100 万 t 規模の実用化モデルのコストを試算したものである。

表 2.5-3 実用化モデルでの年間 20 万 t-CCS と年間 100 万 t-CCS のコスト比較

CCS コスト (円/t-CO ₂)	20 万 t (実用化モデルにおける イメージ)	100 万 t (実用化モデルにおける イメージ)
1) 分離・回収／圧入		
設備コスト	852	590
運転コスト	4,720	4,079
合計	5,572	4,669
2) 圧入井・貯留		
設備コスト	922	369
運転コスト	4,635	1,148
合計	5,557	1,517
3) 総合計		
Captured	11,129	6,186
Avoided	13,328	7,261
4) CO ₂ 排出係数 (分離・回収／圧入設備から排出された CO ₂ t 数) ÷ (分離・回収／圧入した CO ₂ t 数)		
t-CO ₂ /t-CO ₂	0.165	0.148

2.5.5 年間 100 万 t-CCS のコストに関する各種検討

(1) 電力単価が CCS コストに与える影響

2.5.4 「年間 100 万 t-CCS のコスト推算」では電力単価は 10.84 円/kWh と仮定したが、当該単価を変更した場合の CCS コスト (Captured) を試算した。100 万 t 実用化モデルにおいて、燃料ガス単価ごとの試算結果を図 2.5-4 に示した (電力単価 10.84 円/kWh、燃料ガス単価 1,205 円/GJ が今回の仮定値、電力単価 15.42 円/kWh、燃料ガス単価 1,072 円/GJ が平成 28 年度に試算した際の仮定値)。燃料ガス単価 1,205 円/GJ の今回のケースで、仮に電力単価を 5.0 円/kWh とした場合では、CCS コストは 5,307 円/t-CO₂ (Captured) まで低下することが分かった。

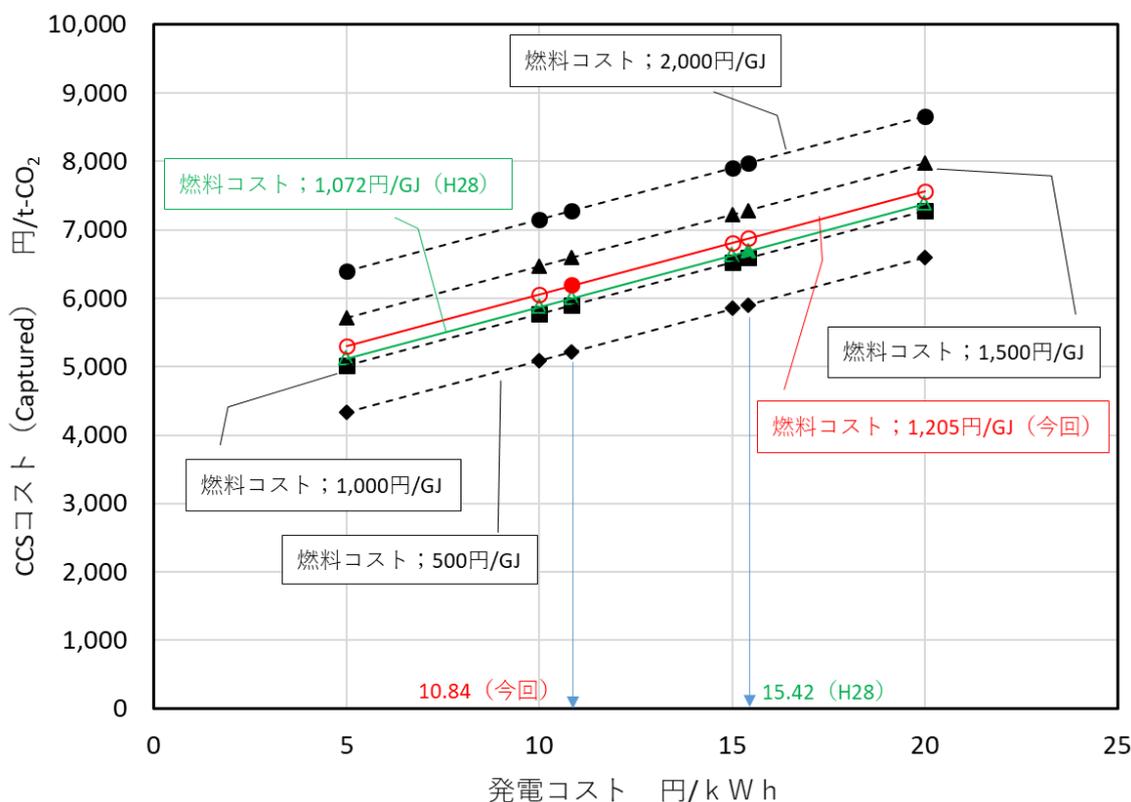


図 2.5-4 電力単価と CCS コスト (Captured) の関係 (100 万 t 実用化モデル)

(2) CO₂回収率が CCS コストに与える影響

2.3.3 「CO₂回収率と分離・回収エネルギーの相関」において、回収率を 99.9%から 95%に減少させた場合は、分離・回収エネルギーを約 9.5%低減できることを試算した (回収率 95%以下の試験が本実証試験設備で不可であることは、2.3.3 を参照)。

この場合、100 万 t の実用化モデルのアミンリボイラー熱費用 1,170 円/t-CO₂およびアミンポンプ電気費用 245 円/t-CO₂の合計 (1,415 円/t-CO₂) で 134 円/t-CO₂削減でき、CCS コストは 6,052 円/t-CO₂ (Captured) となる。

(3) 将来プロセスによる CCS コストの試算

2.3.4 「分離回収エネルギーのさらなる低減」では、画期的プロセス構成により分離・回収エネルギーは 1.130 GJ/t-CO₂ から 0.730 GJ/t-CO₂ まで低減できることが期待された (表 2.3-3 参照)。この場合、実用化モデルのアミンリボイラー熱費用 1,170 円/t-CO₂は 502 円/t-CO₂減少し、アミンポンプ電気費用 245 円/t-CO₂は 31 円/t-CO₂増加して、合計では 471 円/t-CO₂ (31.3%) 低減できるため、CCS コストは 5,715 円/t-CO₂ (Captured) と 6,708 円/t-CO₂ (Avoided) まで削減することができる。

2.5.6 海外 CCS プロジェクトのコスト調査

海外の大規模 CCS プロジェクトでは、Quest CCS Project (Alberta, Canada) の CCS コストが公表されているため、その内容を調査した。本プロジェクトは Scotford Upgrader 製油所の水素製造装置の PSA 上流から CO₂ 原料ガスを分岐して CO₂ 回収後のガスは PSA 上流に返還しているため、図 2.5-1 と同じガスの流れである。年間 100 万 t 以上の CO₂ を分離・回収・圧縮し、65 km のパイプラインで輸送したのち、地下 2,000 m の貯留層に圧入している。

2015 年 8 月から CO₂ 輸送を開始し、2016 年～2018 年の 3 年間で 331.4 万 t (平均：年間 110.5 万 t) を貯留した。そのコスト分析結果 (3 年間の平均値) を実用化モデルと比較して表 2.5-4 に示す。

表 2.5-4 実用化モデルと Quest CCS Project の CCS コスト比較

比較項目		実用化モデルにおけるイメージ	Quest CCS (3年間平均)
1	排出源	水素製造 PSA 上流	水素製造 PSA 上流
2	年間圧入量	100 万 t	110.5 万 t
	分離・回収・圧縮	工場内に設置 50 万 t 設備：2 系列	製油所内に設置 吸収塔：3 系列 放散塔：1 系列 圧縮機：1 系列
	輸送	無し	65 km
	貯留・モニタリング	工場隣接に設置 圧入井 2 本 坑口圧力：9.3MPaG	圧入井：1 本×2 ヶ所 (+1 本予備) 坑口圧力：9.6MPaG
3	分離回収率、回収量	99.9%, 126.5t/h	82%, 148.4t/h
	リボイラー熱量	0.862 GJ/t-CO ₂	2.27 GJ/t-CO ₂
	ポンプ電気消費量	19.2 kWh/t-CO ₂	31 kWh/t-CO ₂
	分離回収エネルギー	1.13 GJ/t (Design)	2.79 GJ/t
4	CO ₂ 圧縮機		
	段数	4 stages	8 stages
	吸込/吐出圧力 (MPaG)	0.05/9.3	0.03/10.5 (PL 入口)
	圧縮動力 (kWh/t)	122	113
5	設備コスト (CAPEX) 百万円 @85 円/Canadian\$		
	初期投資額	分離～圧縮：14,761 輸送：0 貯留・観測：9,214 設備合計：23,975	分離～圧縮：56,130 輸送：12,650 貯留・観測：10,270 設備合計：79,050
	償却年数	25 年	25 年 Fixed Charge
	年間償却率	ゼロ	Factor=0.062
年間償却コスト	959 百万円 (23,975/25)	4,895 百万円 (=79,050 × 0.062=79,050/25 × 1.55)	
6	運転コスト (OPEX) 百万円/年 @85 円/Canadian\$		
	年間燃料コスト	1,664@1,205 円/GJ	618@490 円/t-steam (233 円/GJ)
	年間電気コスト	1,631@10.84 円/kWh	433@2.84 円/kWh
	モニタリング/弾性波 探査/海洋調査	465+344+308=1,117	504 (MMV, Seq-Ope)
	設備保全+その他	569+246=815	963 (人件費、税金含 む)
	年間合計	5,227	2,518
7	年間合計コスト (OPEX+CAPEX)	5,227(85%) + 959(15%) =6,186 百万円/年	2,518(34%)+4,895(66%) =7,413 百万円/年
8	CO ₂ 排出係数 (t-CO ₂ /t-CO ₂)	0.148	0.208
9	CCS コスト	t 単価 (円/t-CO ₂)	t 単価 (円/t-CO ₂)
	Captured Avoided	6,186 7,261	6,708 (5,501) * 8,470 (6,946) *

* () 内の数値は CO₂パイプラインの設備コストと労務費用を除外した CCS コスト

Quest CCS コスト解析の主な結果を下に列記する。

- 1) Quest の CCS コスト (Captured) は日本円に換算して 6,708 円/t-CO₂ であるが、実用化モデルと比較するために長距離パイプラインの設備費 (12,650 百万円) を年間償却費に換算して (783.2 百万円/年)、CO₂ 回収量 1.105 百万 t/年で割り算すると 709 円/t-CO₂ となるため、パイプラインを除外した CCS コストは 5,999 円/t-CO₂ に相当する。更に、Quest では OPEX に労務費用 (Direct Labor and Personnel Costs) として 550 百万円が入っているため (498 円/t-CO₂)、これを差し引くと 5,501 円/t-CO₂ に相当する。
- 2) Quest の OPEX=2,518/1.105=2,279 円/t (34%)、CAPEX=4,895/1.105=4,430 円/t (64%) の割合は、実用化モデルの OPEX=5,227 円/t (85%)、CAPEX= 959 円/t (15%) の割合と大きく異なるが、Quest の燃料単価および電力単価が実用化モデルの約 1/4~1/5 であることが OPEX 差の原因である。
参考として、Quest の分離・回収エネルギーを実用化モデルと同じ燃料単価 (1,205 円/GJ) と電気単価 (10.84 円/kWh) で比較すると、燃料費用は 1,885 円/t (= (2.27-0.862) × 1205/0.9)、電気費用は 128 円/t (= (31-19.2) × 10.84) で合計 2,013 円/t の差額となり、実用化モデルが大幅に分離・回収コストを削減したことになる。
- 3) Quest の CAPEX はパイプラインコストを除外しても実用化モデルとの差は大きい。Quest では主要機器の耐用年数を 30 年で設計し、更に主要機器は実用化モデルより高品質である。例えば、吸収塔、放散塔のインターナルは実用化モデルでは不規則充填物を使用しているが Quest では特殊なトレイを使用している。CO₂ 圧縮機は実用化モデルの 4 段に対し 8 段としている。圧入 CO₂ の脱水は実用化モデルでは気液分離方式であるが Quest では TEG 方式である。
- 4) 更に、Quest の CAPEX 償却費用には FCF (Fixed Charge Factor) を使用しているため、実用化モデルの単純平準ファクター (1/25) の 1.55 倍となっている。

2.5.7 CCS コスト試算のまとめと考察

本事業で蓄積した EPC 実績コストおよび実証試験で検証した用役消費量 (分離・回収エネルギーおよび CO₂ 圧縮動力等) を基準とし、年間 100 万 t 圧入を想定した実用化モデルの CCS コストを試算した。

モデルには以下のような主な条件を設定した。

- 1) 水素製造装置の PSA 上流から CO₂ 原料ガスを分岐し、CO₂ を分離・回収・圧入し、CO₂ を回収した後の水素含有ガスは PSA 上流に返還する。この原料ガス条

件はアンモニア製造、LNG 製造、ガス化発電（空気吹き）等の分離・回収条件（ガス圧力、CO₂分圧、ガス温度等）にも類似している。

- 2) 長距離 CO₂ パイプライン設備費用は含まない。
- 3) 設備運転期間は 25 年を想定し、設備費用の年間償却には金利、税金、利益を含まない（25 年間の平準化）。
- 4) 分離・回収・圧入設備は製油所内に設置されたため、燃料ガス、高圧電気、ボイラー供水、冷却水等の用役は製油所から有償で買い取りできるものと考え、管理棟、排水処理設備も製油所と共有できるものとする。さらに、設備運転員は製油所と融通できると想定し、その労務費は考慮しない。

以上の条件で、CCS コストは 6,186 円/t-CO₂ (Captured)、7,261 円/t-CO₂ (Avoided) となった。さらに、回収率の低下（99.9%から 95%への変化）、「画期的プロセス構成」による分離・回収エネルギーの低減（1.22 GJ/t-CO₂から 0.73 GJ/t-CO₂）等を勘案すると、CCS コストは 5,580 円/t-CO₂ (Captured)、6,360 円/t-CO₂ (Avoided、CO₂ 排出係数が 0.122 に減少) まで減少が期待できる。

一方、カナダのアルバータ州では Quest CCS プロジェクトの運転が稼働し（年間 110 万 t 圧入実績）、その CAPEX および OPEX が公表されているため、実用化モデルと比較した。

比較のために CO₂ パイプラインと運転労務費を除外した CCS コストは、5,501 円/t-CO₂ (Captured)、6,946 円/t-CO₂ (Avoided) となった。

国内での実用化モデルと Quest プロジェクトでは、燃料コストや電気コストが 4~5 倍の格差があるものの、本事業での分離・回収エネルギーの低減成果および画期的プロセス構成の適用等で運転費用（OPEX）を低減することにより、Quest プロジェクトの実績と同等の CCS コストを達成することが期待できる。

なお、国内の実用化 CCS モデル（年間 100 万 t 貯留）の詳細なコストの試算には、具体的な CCS プロジェクトを想定した、FEED (Front End Engineering Design) が必要であることを付記する。

第3章 圧入井およびCO₂圧入・貯留の実施と結果

本章では、2014～2015年度に掘削したCO₂圧入井の概要、2016～2019年度に実施したCO₂圧入実証試験におけるCO₂圧入状況およびCO₂圧入状況に基づいた貯留層の評価について記述し、CO₂圧入・貯留の実証結果のまとめを示した。

3.1 概要

本事業は、苫小港西港の港湾区域の海底下の異なる深度の2層の貯留層である萌別層および滝ノ上層へCO₂を圧入・貯留するものであり、2016年4月に圧入を開始し、2018年度末（3月31日時点）には累計CO₂圧入量は235,598 tに達し、2019年11月22日には累計圧入量300,110 tを達成した。

3.2 圧入井

本事業における2坑の圧入井はともに陸上沿岸部の坑口地点から沖合の海底下へ向けて掘削された傾斜角（垂直からの角度）が大きな高傾斜井である。圧入井を陸域から海底下に向けた傾斜井として掘削したことで、港湾の運行と漁業に対する影響を低減するとともに、洋上掘削に比べて掘削コストの大幅な削減が実現できた。また圧入時の地層の圧力上昇を抑制するため仕上げ区間を1,100 m以上と長く設けた。

3.2.1 萌別層圧入井 IW-2

図3.2-1に示す萌別層圧入井IW-2は、掘削長3,650 m、垂直深度1,188 m、最大傾斜角約83°で、坑口位置から坑底までの水平距離（水平偏距）が3,058 mの大偏距井（水平偏距と垂直深度の比が2以上の傾斜井）である。萌別層圧入井IW-2の偏距率（水平偏距と垂直深度の比）は、わが国の坑井で最大のものである。

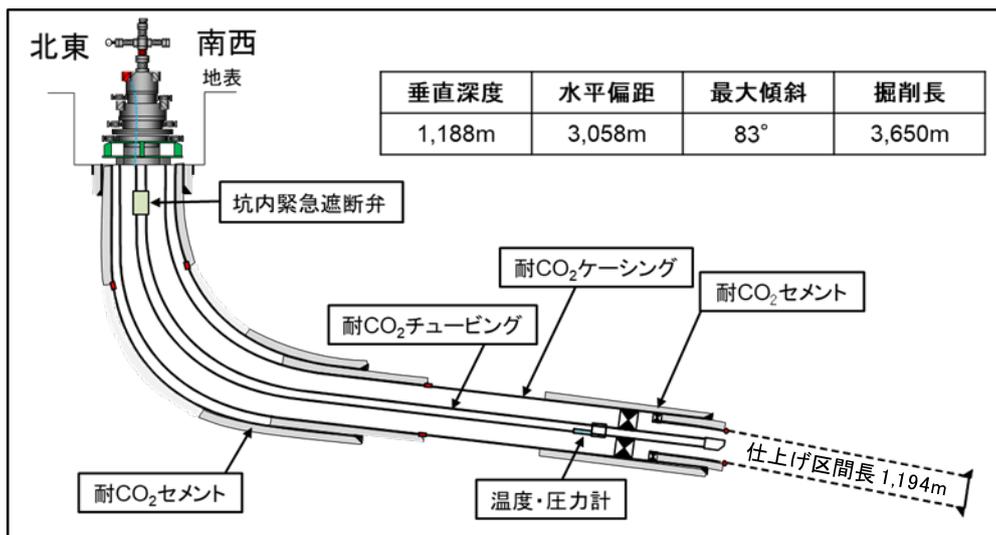


図 3.2-1 萌別層圧入井 IW-2 の形状（模式図）

CO₂は、ケーシング（坑井を保護する鋼管）内に設置したチュービングと呼ばれる鋼管（直径 3.5 インチ）を通して貯留層に圧入する。萌別層圧入井 IW-2 の仕上げ区間は 1,194 m となり、その全区間にわたり図 3.2-2 に示すような孔明管を設置したため、CO₂ は仕上げ区間全体から貯留層の孔隙に浸透可能である。萌別層は固結度が比較的 low、砂粒が坑内に流入することが懸念されたため、仕上げ区間の孔明管を砂粒よりも目が細かいワイヤーラップスクリーンで覆った。

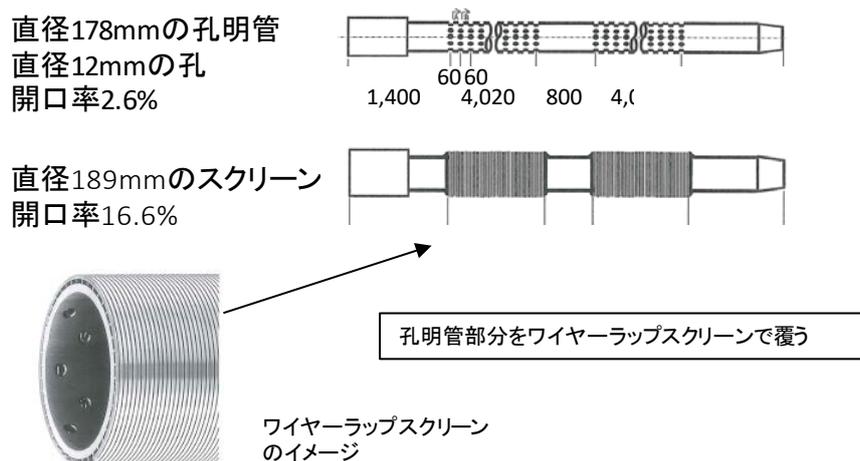


図 3.2-2 萌別層圧入井 IW-2 の仕上げ様式

3.2.2 滝ノ上層圧入井 IW-1

図 3.2-3 に示す滝ノ上層圧入井 IW-1 は、掘削長 5,800 m、垂直深度 2,753 m、最大傾斜

角約 72° で、水平偏距は 4,346 m の高傾斜井である。滝ノ上層圧入井 IW-1 の水平偏距 4,346 m は、わが国で掘削された坑井で最長となる。

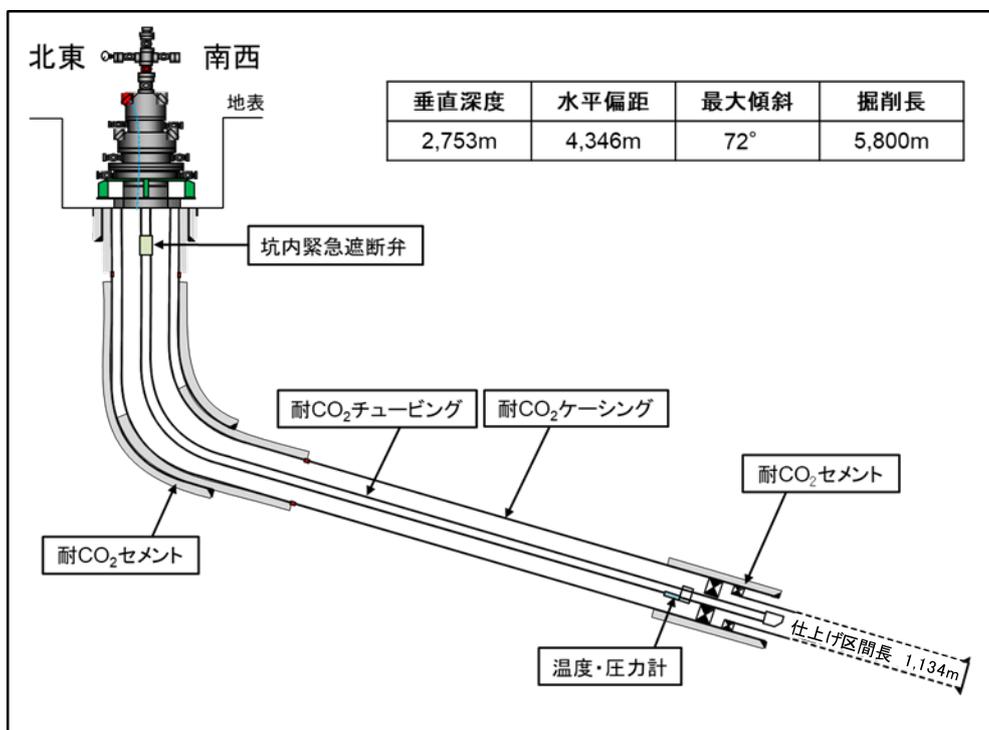


図 3.2-3 滝ノ上層圧入井 IW-1 の形状（模式図）

CO₂ は、ケーシング内に設置したチュービング（直径 3.5 インチ）を通して貯留層に運ばれる。滝ノ上層圧入井 IW-1 の仕上げ区間は 1,134 m となり、その全区間にわたり図 3.2-4 に示すように直径 7 インチのケーシングにスリット等が施されており、CO₂ は仕上げ区間全体から貯留層の孔隙に浸透可能である。

◆ 滝ノ上層T1部層区間には、スリット管を設置

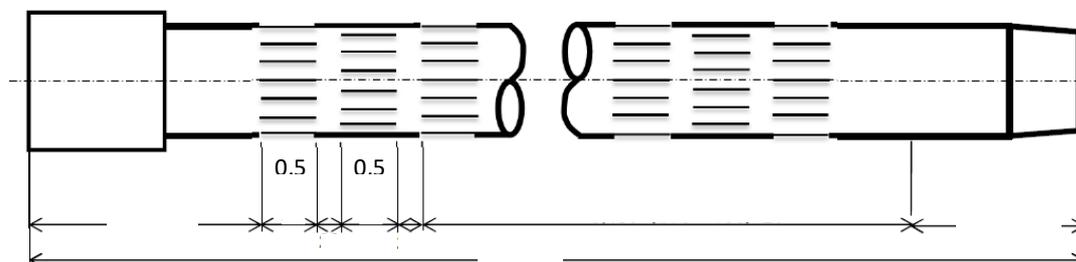


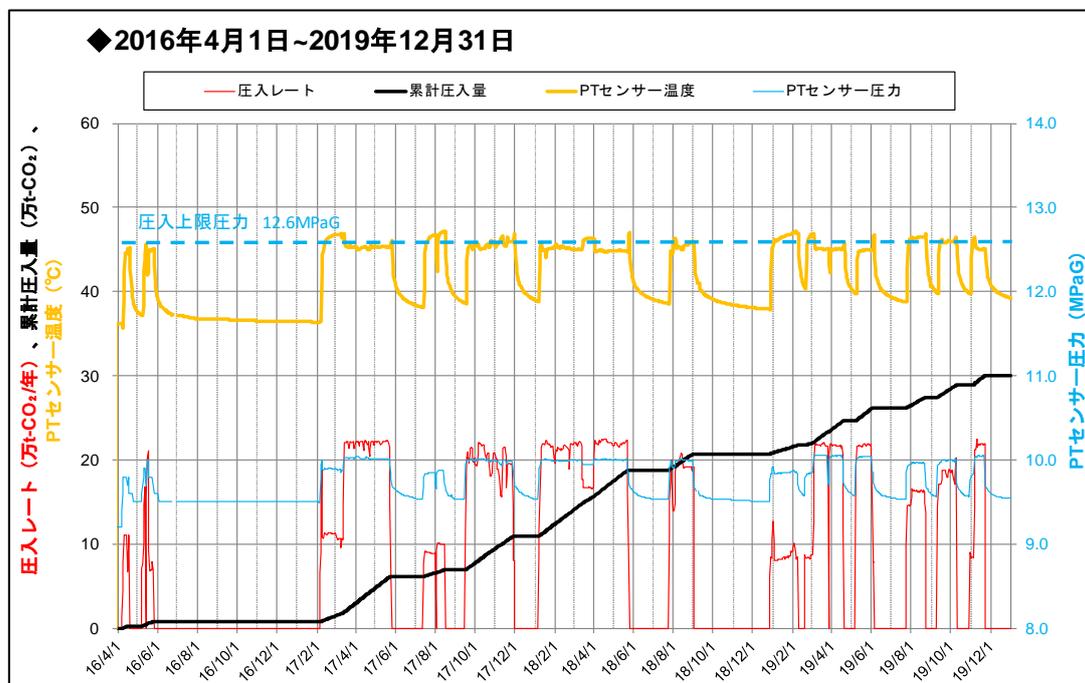
図 3.2-4 滝ノ上層圧入井 IW-1 の仕上げ様式

3.3 貯留層評価

3.3.1 圧入状況

(1) 萌別層への圧入状況

図 3.3-1 に萌別層への圧入実績を示す。萌別層圧入井 IW-2 への CO₂ 圧入は 2016 年 4 月 6 日に開始し、2016 年 4 月 6 日～5 月 24 日まで試験圧入を実施のうえ、2017 年 2 月 5 日から連続的に多量の CO₂ を圧入する本圧入を開始した。これまでの連続圧入レートは 6.7～22.5 万 t/年であり、PT センサーの測定圧力の最大値は 10.07 MPaG で、萌別層の遮蔽層破壊を避けるために圧入井掘削時に測定したリークオフ圧力の 90% として設定した上限圧力 12.63 MPaG に対して十分に低く、圧入開始以降の PT センサーの圧力・温度はあらかじめ想定した範囲内にあった。



PT センサー：坑内の貯留層近くに設置した温度・圧力計

図 3.3-1 萌別層 圧入実績

CO₂ 圧入開始以降、2019 年 11 月 22 日の圧入停止までに 300,012 t を圧入した。萌別層への月間圧入量および累計圧入量の推移を図 3.3-2 に示す。

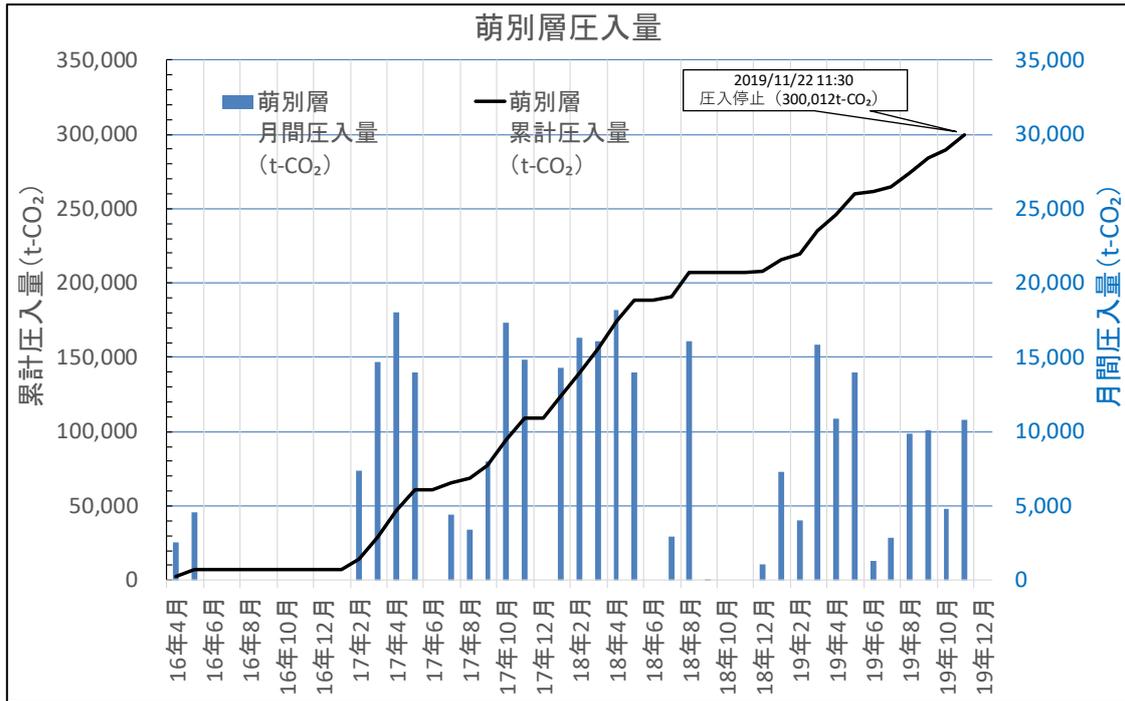


図 3.3-2 萌別層 月別圧入量および累計圧入量

(2) 滝ノ上層への圧入状況

図 3.3-3 に滝ノ上層への圧入実績を示す。滝ノ上層圧入井 IW-1 へは、2018 年 2 月 6 日～2 月 23 日および 2018 年 7 月 31 日～9 月 1 日に試験圧入を実施した。滝ノ上層の遮蔽層破壊を避けるために、圧入井掘削時に測定したリークオフ圧力の 90%として設定した PT センサーにおける上限圧力 38.00 MPaG に対して十分に低い 37.07 MPaG を上限圧力として数週間から 1 ヶ月程度の期間に連続的に圧入した。圧入レートは 435～1,601 t/年となった。圧入開始以降の PT センサー圧力・温度はあらかじめ想定した範囲内にあった。

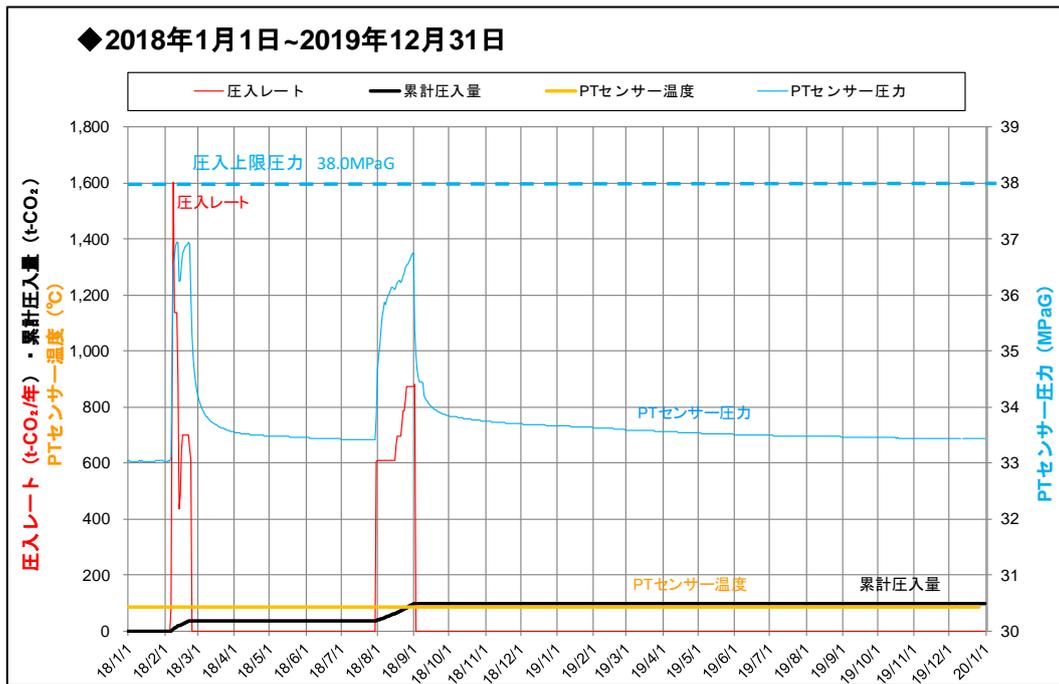


図 3.3-3 滝ノ上層 圧入実績 (日報ベース)

CO₂ 圧入開始以降、2019 年 11 月 22 日までに累計 98t を圧入した。滝ノ上層への月間圧入量および累計圧入量の推移を図 3.3-4 に示す。

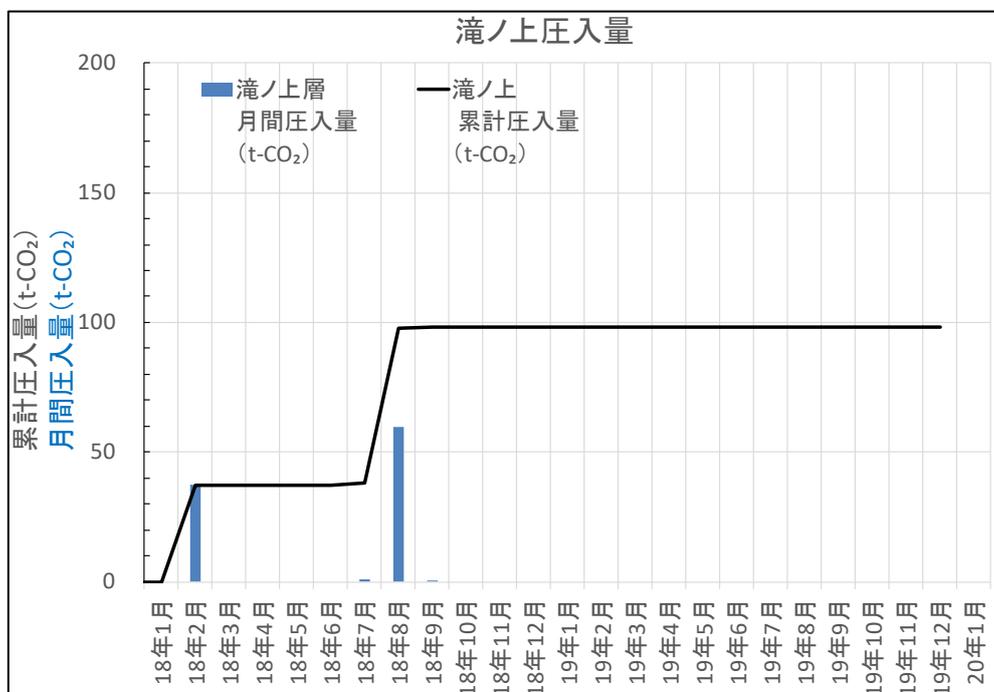


図 3.3-4 滝ノ上層 月別圧入量および累計圧入

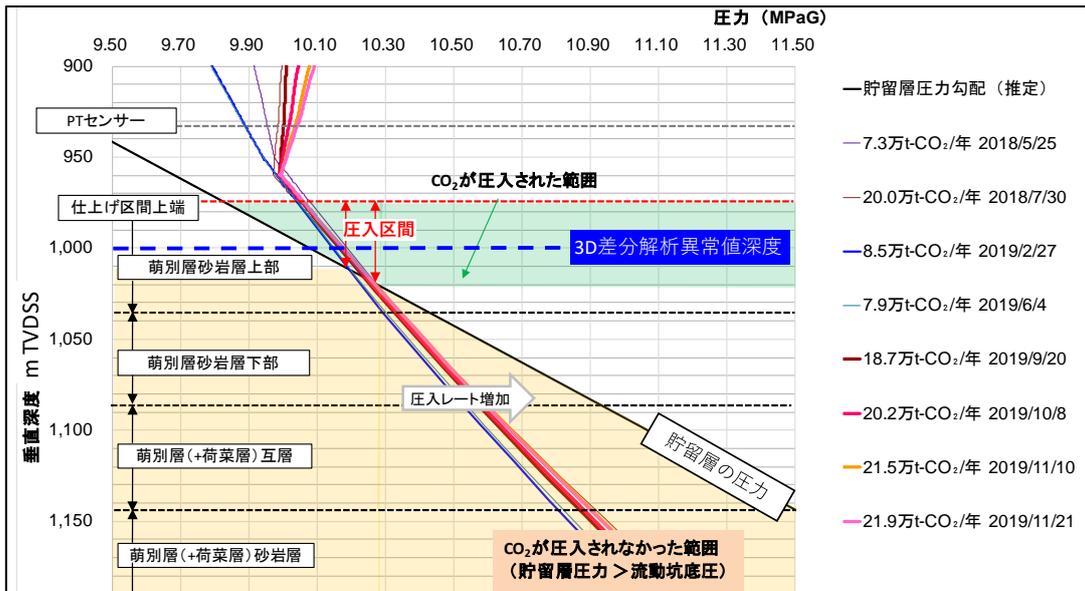
3.3.2 萌別層貯留層評価

(1) 萌別層の圧入区間

萌別層圧入井 IW-2 は、貯留層区間のすべての層準から CO₂ を圧入可能な設計としたが、貯留岩性状が良好であることから圧入による貯留層圧力の上昇が少なく、圧入圧力が貯留層圧力を上回る貯留層深度が貯留層の上部のみとなると推定される。そのため CO₂ は貯留層の上部のみに圧入されているものと考えられる。図 3.3-5 に貯留層圧力と圧入中に貯留層にかかる圧力および圧入区間の関係を示す。萌別層砂岩層（貯留層）はほぼ静水圧であることを考慮して、貯留層圧力と垂直深度との関係を推定した。圧入中に貯留層に加わる圧力は圧入レートによって異なるが、圧入レートが上がるほど上昇する傾向がある。7.3 万 t/年にて圧入時に貯留層に加わる圧力が、貯留層圧力を上回る深度の下限は 1,010 mTVDSS（海水面からの垂直深度）程度と推定されることから、この圧入レート時の圧入区間は仕上げ区間上端～1,010 mTVDSS 程度となり、高レートでの圧入時には貯留層に加わる圧力が増加するため、最大で 1,020 mTVDSS 程度まで圧入区間の下限が拡大すると考えられる。

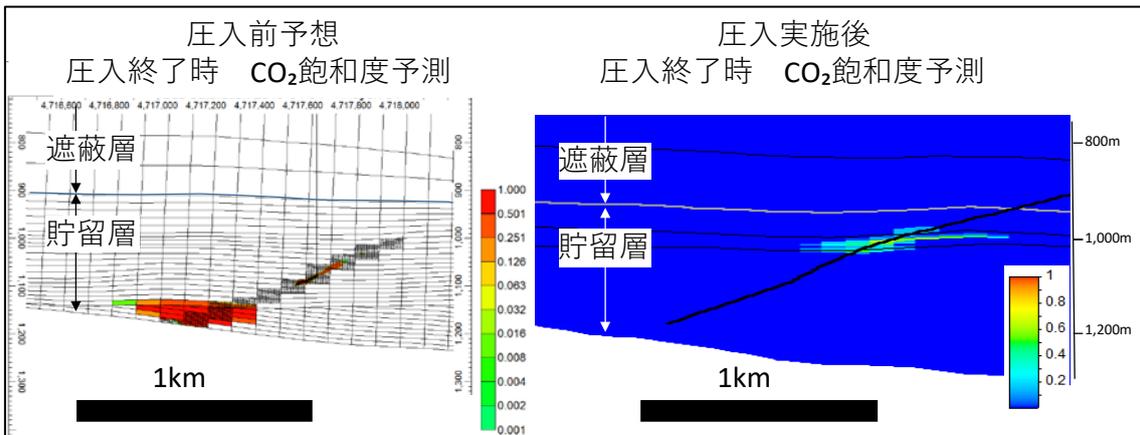
4.2.3 項で示す三次元弾性波探査の差分解析の結果、振幅異常は 1,000 mTVDSS (1,010 mTVD) 程度の深度に認められたことから、圧入区間の推定と整合的な結果となっている。

なお、図 3.3-6 に示すように、CO₂ 圧入開始前には CO₂ は主に圧入井の下部から圧入されるものと推定していた。これは圧入井の掘削時に取得した物理検層データから圧入井の下部に高浸透率な貯留層の存在が確認されたことによる解釈を反映したものである。CO₂ 圧入開始後に、貯留層の上部にのみ圧入されている可能性を仮定し、CO₂ 圧入後に実施した繰り返し弾性波探査記録の解析からこの仮定が確認された。物理検層結果だけでは圧入性の把握が不確実であるため、仕上げ区間を選択的な部分仕上げとせず、できるだけ有効層厚全体を網羅することも検討することが、今後 CCS を進めるにあたり有効であると考えられる。



注) mTVDSS：海水面からの垂直深度。
 注) 圧入中に貯留層に加わる圧力は、圧入中の地上の温度・圧力と PT センサーによる温度・圧力値を基に、管内流動シミュレーションにより推定した圧力勾配を、貯留層内に延長して推定。圧入中に PT センサーの温度圧力値が安定した期間のものを抽出して検討。

図 3.3-5 萌別層圧入井 IW-2 におけるの圧入区間の推定



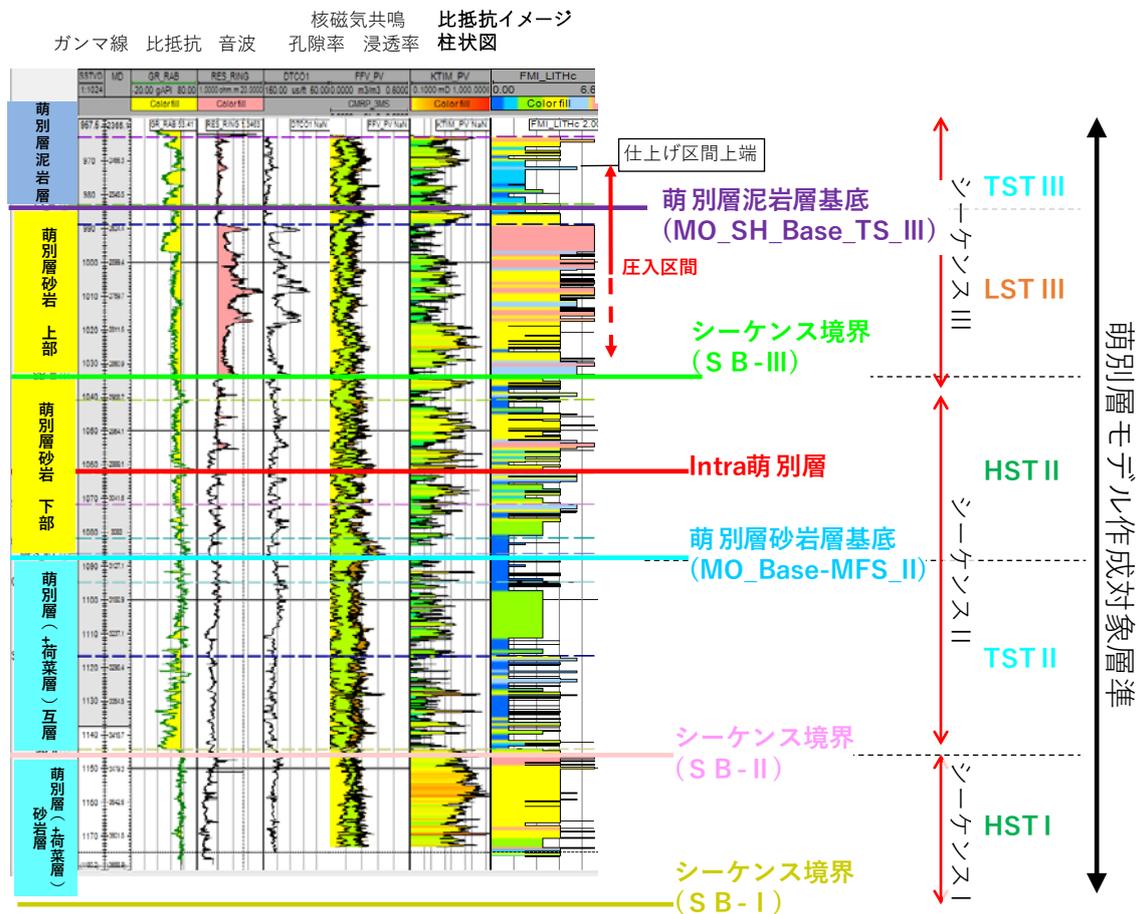
注) 左図は萌別層圧入井 IW-2 のデータを考慮し、CO₂ 圧入開始前に実施したシミュレーションによる 60 万 t 圧入時の CO₂ 飽和度分布予測断面図。右図は CO₂ 圧入開始後に実施したシミュレーションによる 30 万 t 圧入時の CO₂ 飽和度分布予測断面図。CO₂ 圧入前には、主に圧入井の下部から CO₂ が圧入されると推定していたが、圧入開始後には圧入井の上部から圧入されていると考えている。

図 3.3-6 萌別層圧入井 IW-2 掘削後、圧入開始前後の圧入区間の予測

(2) 萌別層地質モデルの作成

地質モデルは、圧入井、観測井、調査井等の坑井データと、三次元弾性波探査記録を用いて作成した。図 3.3-7 に萌別層圧入井 IW-2 における層序区分を示す。地層は同一時間面上にあっても側方で礫岩、砂岩、泥岩等の岩相変化が生じる可能性があることから、相

対的海水準等も考慮したシーケンス層序学的な層序区分を行った。これにより、岩相の側方変化を考慮した地質モデルを作成することが可能となる。萌別層（荷葉層含む）は、シーケンスⅠ～Ⅲの三つのシーケンス（堆積物の周期性）から構成され、主に圧入に寄与する層準はシーケンスⅢに相当する。



注) SB : シーケンス境界、MFS : 最大海氾濫面、TS : 海進面、LST : 低海水準期堆積体、TST : 海進期堆積体、HST : 海水準期堆積体

図 3.3-7 萌別層圧入井 IW-2 における層序区分

シーケンス層序区分に基づいて堆積相解析を実施し、堆積環境を推定した（図 3.3-8）。萌別層砂岩層は河川が海域に流れ込む河口付近に形成されたファンデルタから構成されると解釈される。砂岩、礫岩、泥岩等の堆積物は岩相が側方に変化し、どこまでも均質な岩相が分布するものではない。シーケンス層序区分により、同時時間面を設定して堆積相解析を実施することで、同じ時期に堆積した堆積物の堆積する環境（堆積環境）を推定し、堆積物の側方変化について推定することができる。圧入井、調査井、観測井等の坑井で確認した堆積相を弾性波探査や地球統計学を用いた推定により、周辺への側方変化

を加味した岩相分布の予測を実施した。堆積相解析ではファシス区分やその組み合わせからなるファシス組相を実施し堆積環境の推定も行った（図 3.3-9）。

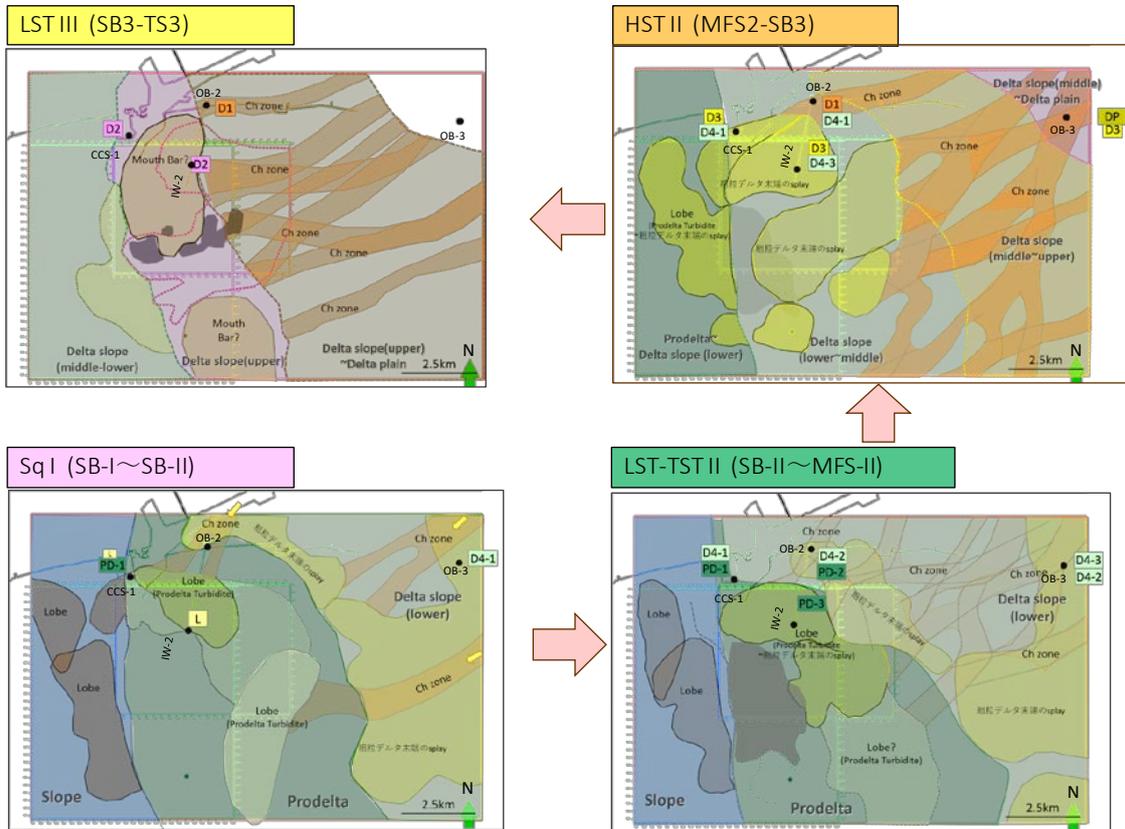
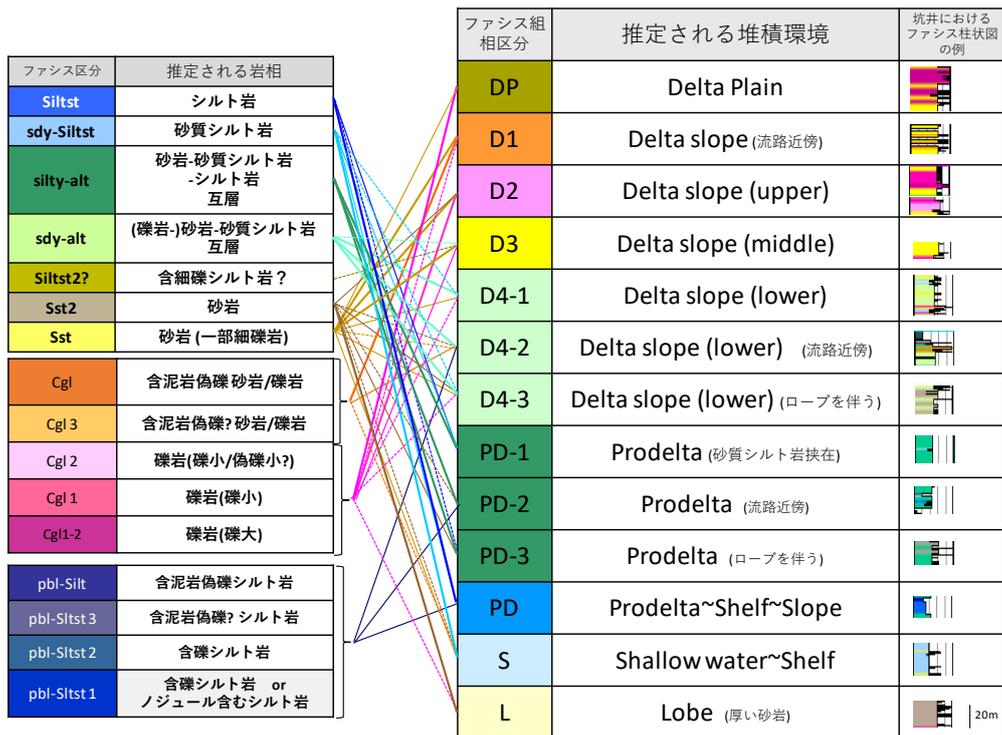


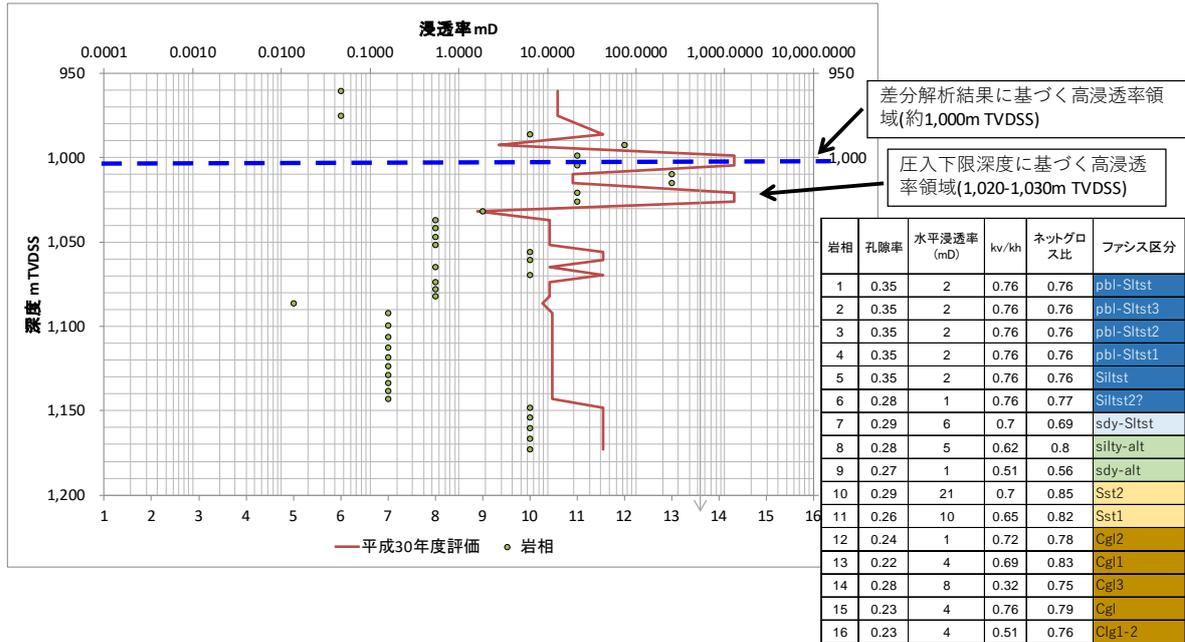
図 3.3-8 層序区分ごとに推定した堆積環境



注) ファシス：検層データから推定した岩相・堆積相。ファシス組相：検層データから推定した堆積組相。ファシス組相から堆積環境を推定した。

図 3.3-9 層序区分ごとに推定した堆積環境

各ファシスには図 3.3-10 (右図) に示す物性値を入力した。また、萌別層圧入井 IW-2 において取得したブライン圧入試験結果、CO₂ 圧入中の圧力挙動、圧入停止時の圧力データの解析等から、萌別層圧入井 IW-2 において妥当と思われる浸透率分布を推定したものを図 3.3-10 (左図) に示す。



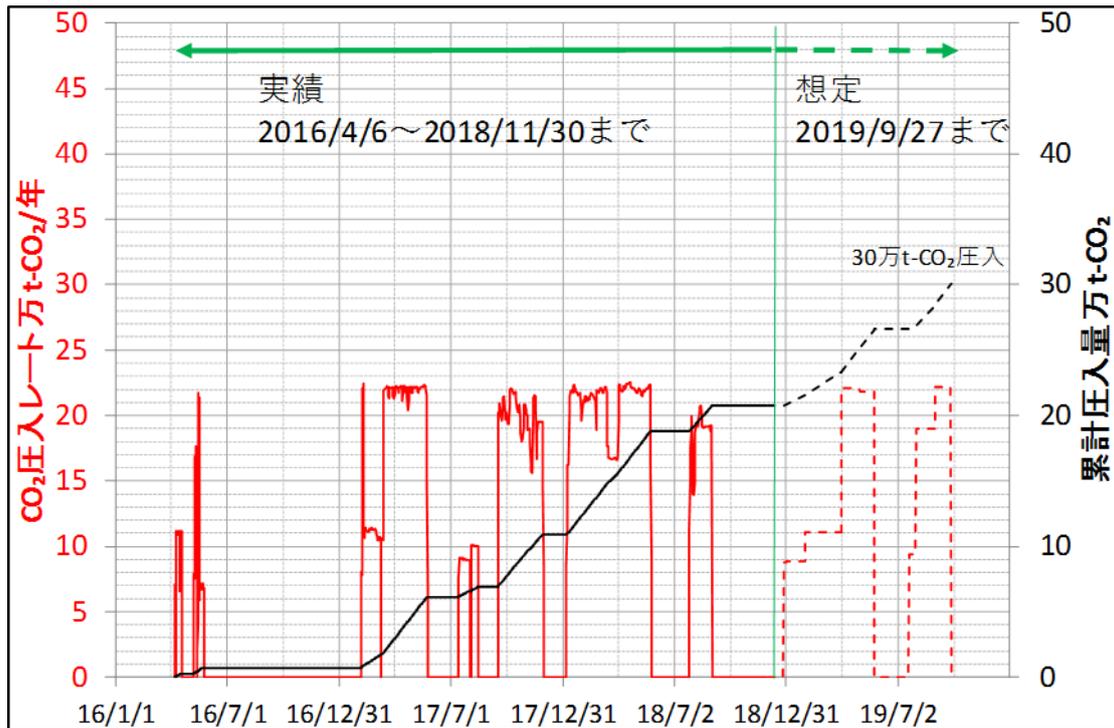
注 1) TVDSS : 海水面からの垂直深度。

注 2) 縦軸は地質モデルの萌別層圧入井 IW-2 における海水面からの垂直深度を示す。赤線はその深度に与えた浸透率を示し、値は上側 X 軸で読む。緑の丸印はその深度に与えた岩相番号を示し、その番号は下側 X 軸で読む。右表はそれぞれの岩相番号に与えた物性値を示している。

図 3.3-10 地質モデルに入力した物性値と萌別層圧入井 IW-2 における浸透率分布

(3) 萌別層 CO₂ 圧入長期挙動予測 (流動シミュレーション)

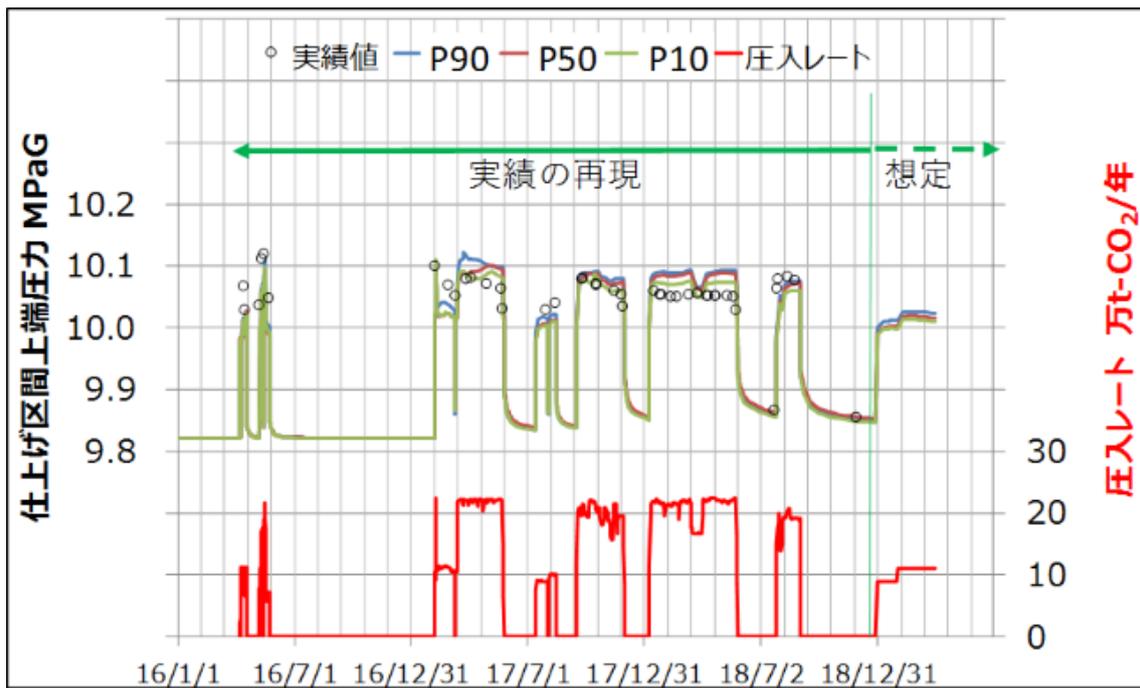
圧入開始から 2018 年 11 月 30 日までの圧入実績と、2018 年 11 月 30 日時点で PSA オフガスの供給量や供給元の SDM スケジュールを考慮のうえ想定した圧入計画に基づき、2019 年 9 月 27 日までに累計圧入量 30 万 t を圧入するケースにて、CO₂ 圧入長期挙動予測シミュレーションを実施した (図 3.3-11)。



注) 2019年9月27日まで圧入を継続し、累計30万t圧入するケースを想定

図 3.3-11 累計30万tを圧入ケース シミュレーションシナリオ

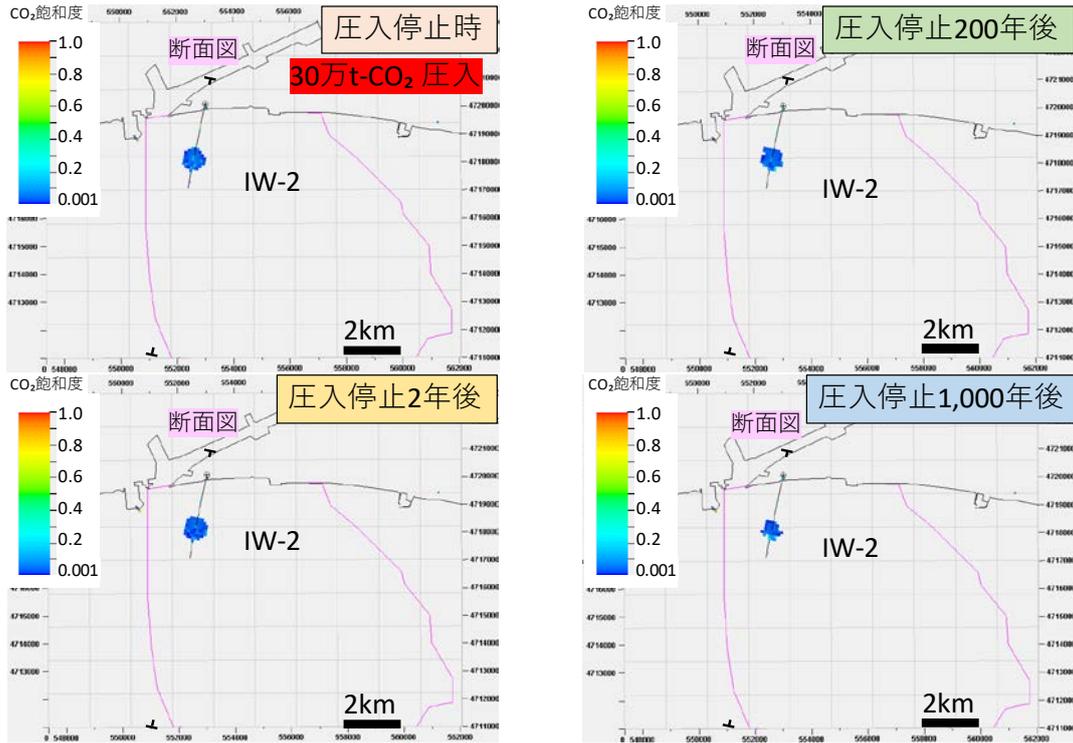
圧入井、観測井、調査井におけるファシス区分の層序的な出現状況を基に、坑井データの無い部分のファシスの三次元的な出現状況を地球統計学的に予測し、その組み合わせであるファシス組相や堆積環境の分布が異なる複数の貯留層モデルを作成し、それぞれに30万tを圧入するCO₂圧入長期挙動予測シミュレーションを実施した。複数のモデルにより圧入終了時点で予測される坑内圧力（仕上げ区間上端）値を値順に並べ、その圧力値が全予測結果の低い方から10%となるモデルをP10モデル、50%となるモデルをP50モデル、90%となるモデルをP90モデルとして設定した。P10、P50、P90モデルにより予測される坑内圧力（仕上げ区間上端）の再現状況を図3.3-12に示す。P10、P50、P90の再現結果に大差はなく、実績値とも概ね一致していることを確認した。



注 1) P90:作成した複数のモデル（具現像）によるシミュレーションの結果、予想される坑内圧力（仕上げ区間上端圧力）が、90%の確率で P90 モデル以下となる。P50、P10 も同様。
 注 2) 実績値：圧入実績に即し、坑口温度・圧力値と PT センサー温度・圧力値から推定した仕上げ区間上端深度における圧入中の圧力の推定値。

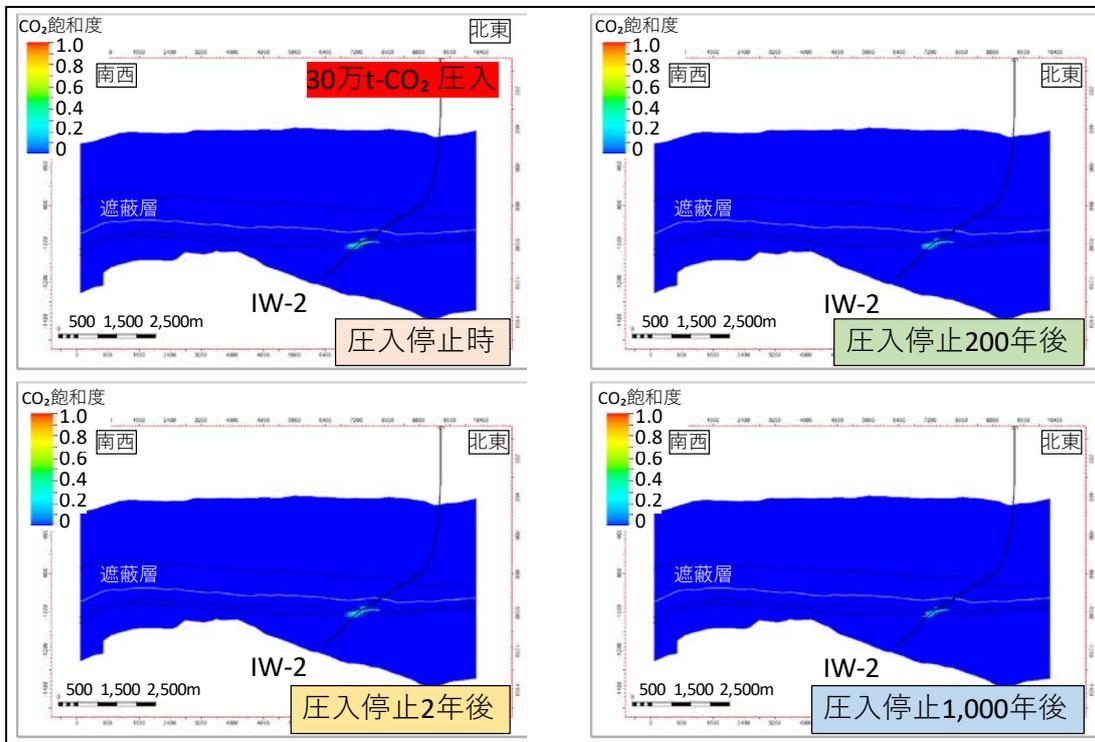
図 3.3-12 シミュレーションによる坑内圧力の再現

累計 30 万 t の圧入における長期挙動予測シミュレーションによれば、圧入した CO₂ は、圧入停止時から 1,000 年後において圧入井を中心に 1,000 m 程度の範囲に分布するものと予測され（図 3.3-13、図 3.3-14）、圧入停止時における圧入井周辺の貯留層圧力の変化は 200 kPa 程度となることが予測された。



注) 圧入した全 CO₂ の飽和度を真上から俯瞰。表示の下限値を 0.001 (frac) とした

図 3.3-13 P50 モデルによる CO₂ 飽和度分布予測 (平面図)

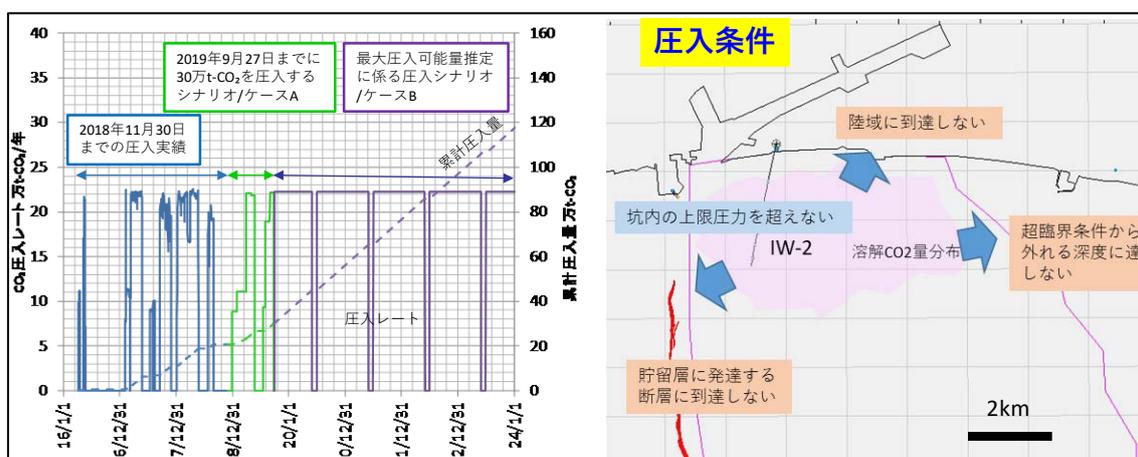


注) 断面図作成位置は図 3.3-13 に示す。

図 3.3-14 P50 モデルによる CO₂ 飽和度分布予測 (断面図)

(4) シミュレーションによる現状の萌別層圧入井 IW-2 のみを用いた最大圧入可能量の推定

30 万 t 圧入後、圧入を継続することを想定したシミュレーションを行い、最大圧入可能量を推定した。30 万 t 圧入後の圧入シナリオは、6 月の 1 ヶ月間（SDM を想定して圧入停止）以外は、22 万 t/年の圧入レートにて 100 万 t を圧入する。その後、1,000 年間の監視期間を設け、図 3.3-15（右図）に示す四つの圧入条件を確認し、この圧入条件を満たすことを確認した場合には、監視期間前に戻り、22 万 t/年の圧入レートにて 100 万 t を圧入する。圧入条件を満たす限り 100 万 t ごとに圧入条件の確認を繰り返し、現状の萌別層圧入井 IW-2 のみを使用した最大圧入可能量を推定した。



注) 左図の圧入実績+ケース A が 30 万 t 圧入時の圧入シナリオ。本検討はケース B のシナリオ。

図 3.3-15 シミュレーションによる現状の萌別層圧入井 IW-2 による最大圧入可能量の推定にかかる圧入シナリオと圧入条件

シミュレーションは(3)で示す P10、P50、P90 の三つの貯留層モデルにて実施し、113 万 t (P90) ~1,023 万 t (P10)、平均的な P50 モデルでは 573 万 t の圧入が可能とする結果を得た。

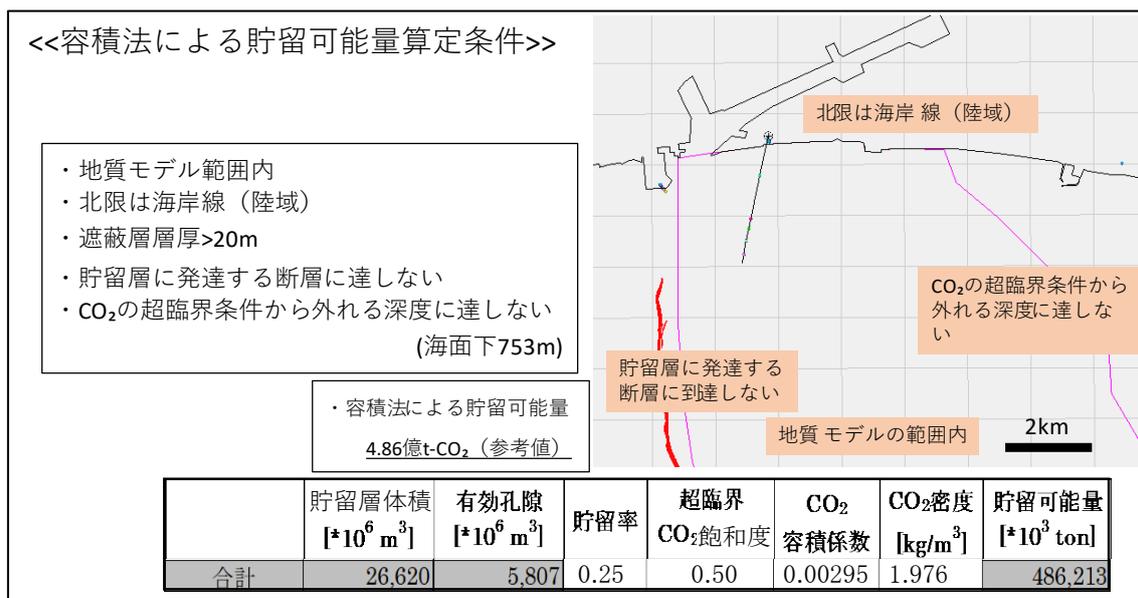
この結果は現状の萌別層圧入井 IW-2 のみを使用した最大圧入可能量を圧入した CO₂ の挙動をシミュレーションにより動的に考察したものであるため、次に述べる容積法による貯留可能量を大幅に下回る量となるが、圧入井の坑数やその配置、仕上げ区間等を工夫することで現状の圧入可能量よりは容積法による貯留可能量に近づけられることが考えられる。

(5) 萌別層貯留層の容積法による貯留可能量の推定

作成した貯留層モデル (P50 モデル) を用いて、容積法により貯留可能量を推定した結

果、4.86 億 t となった（図 3.3-16）。

容積法による貯留可能量評価は指定する範囲・層準における貯留層の孔隙容量に対する静的な評価であり、貯留層の浸透率や圧力、圧入した CO₂ の移動等を考慮していない。圧入井数、配置、圧入区間や圧入レートの設定等を最適化することにより、シミュレーションによる圧入可能量を増加させることは可能であるが、容積法による貯留可能量には及ばないことが多い。



注 1) 西側の断層は、弾性波探査記録において貯留層中に認識されるが、遮蔽層では確認されていない。
注 2) 活断層や活構造との距離の扱い等が、適地調査事業とは異なる。
注 3) 容積法による貯留可能量は、圧入した CO₂ の移動や圧力上昇を考慮していないため、実際に圧入できる量ではない。

図 3.3-16 容積法による貯留可能量の推定

(6) 萌別層圧入井 IW-2 の現状設備での最大圧入可能レートの推定

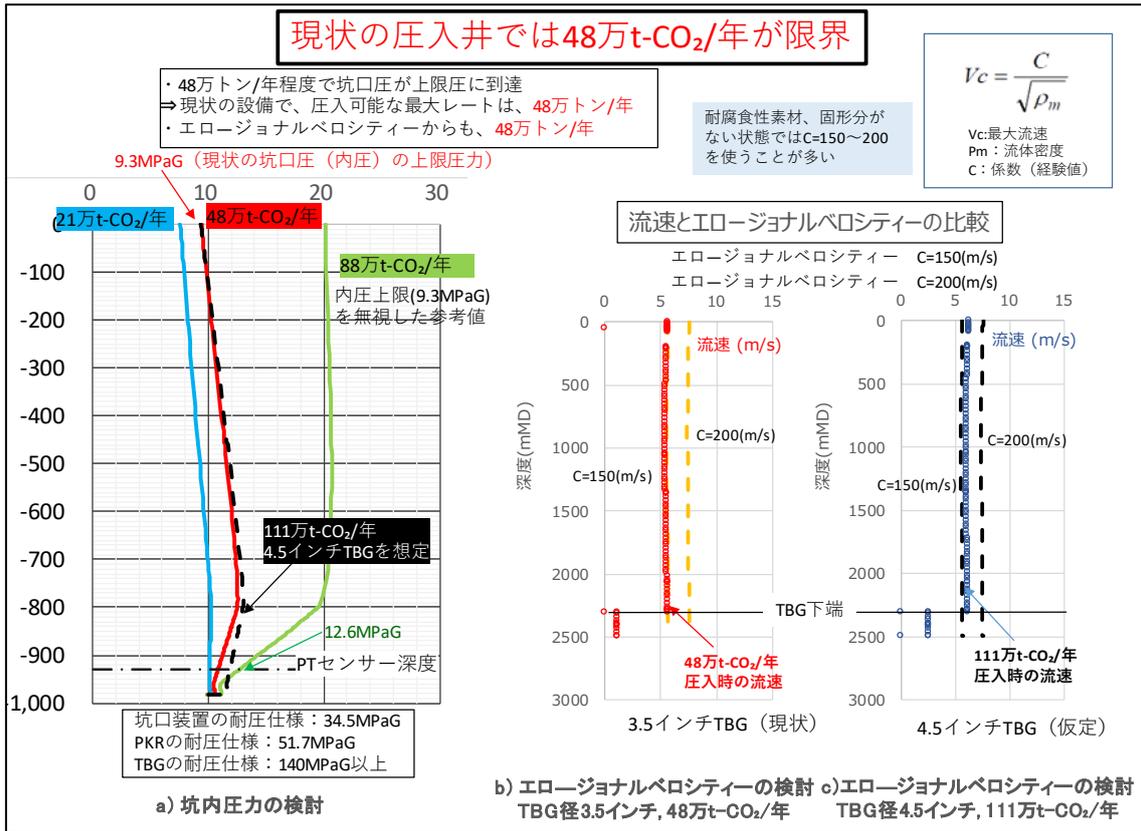
圧入井や圧入設備に係る耐圧的な観点とチューブングのエロージョナルベロシティの観点から、現状の萌別層圧入井 IW-2 における最大圧入レートを推定した。エロージョナルベロシティは CO₂ を地下に圧入するチューブングとその中を流れる CO₂ とに摩耗が生じる速度のことで、チューブングの材質、CO₂ の状態（固形物の有無等）から推定する経験値（C 値）を使用した参考値である。C 値は圧入しやすい条件であるほど大きい値が使用される。萌別層圧入井 IW-2 では、砂粒等の固形分がない CO₂ を圧入し、チューブングは耐 CO₂ 素材を使用しているため大きめの C=150、200 を使用して算出した。

図 3.3-17a) は圧入レートを規制する坑井設備の圧力的な制約を示している。現状の萌別

層圧入井 IW-2 (チュービング径 3.5 インチ) で、圧入レートを上昇させた場合、48 万 t/年において、圧入中の坑口圧 (内圧) があらかじめ規定した上限圧力 (9.3 MPaG) に達するため、圧力の面からには 48 万 t/年が上限の圧入レートとなる。図 3.3-17b)は、現状の萌別層圧入井 IW-2 で使用するチュービング径 (3.5 インチ) により 48 万 t/年で圧入した際に予想されるチュービング内での CO₂の流速とチュービングのエロージョナルベロシティーの関係を示している。C=150 とした場合には、48 万 t/年で圧入した際に予想される CO₂の流速がエロージョナルベロシティーに到達する可能性があるが、C=200 とした場合には、エロージョナルベロシティーに到達しないものと推定されることから、エロージョナルベロシティーの制約を考慮した場合も 48 万 t/年での圧入が可能であることが考えられる。

仮に、現状の萌別層圧入井 IW-2 (チュービング径は 3.5 インチ) において、予め遮蔽層を破壊しないために設定した PT センサーにおける圧力の上限値 (12.6 MPaG) に到達するまで圧入レートを上げた場合、圧入レートは 88 万 t/年となるが、このレートで圧入するためには、圧入中の坑口圧 (内圧) は予め設定した上限値 (9.3 MPaG) を大幅に上回る 20 MPaG まで上昇させる必要がある。高圧コンプレッサー等の地上の圧入設備を強化し圧入中の坑口圧 (内圧) の上限値を高めたとしても、現状のチュービング径 (3.5 インチ) では、100 万 t 規模の圧入は不可能であると考えられる。

参考として萌別層圧入井 IW-2 のチュービング径を 4.5 インチとした場合を想定した検討を実施した。圧入中の坑口圧 (内圧) をあらかじめ規定した上限圧力 (9.3 MPaG) まで上昇させた場合、圧入レートは 111 万 t/年となり、遮蔽層を破壊しないために想定した PT センサー圧力を下回る圧力での圧入が可能となることが考えられる (図 3.3-17a)の黒色破線)。また、この時のチュービング内の CO₂の流速は、チュービングのエロージョナルベロシティーに到達しない (C=200 としたケース) ことが考えられるため (図 3.3-17c) 、エロージョナルベロシティーの検討からは、萌別層圧入井 IW-2 のチュービング径を 4.5 インチとした場合には、流速の制約が軽減され 100 万 t/年規模の圧入が可能であると判断される。



注1) PKR: パッカー、TBG: チュービング

注2) API RP 14Eによると、C値は、固体が含まれていない流体の連続的な流れに対しては150~200を適用することとしている。これは、油ガス田の生産に際するチュービングへの適用を規定しているものであるが、萌別層圧入井IW-2ではCO₂に対する腐食耐性が高い13Crを使用していることから、本検討でもC=150~200を用いて推定した。

American Petroleum Institute, "API RP 14E: Recommended Practice for Design and Installation of Offshore Production Platform Piping Systems", 1991

図 3.3-17 萌別層圧入井IW-2の現状設備での最大圧入レートの推定

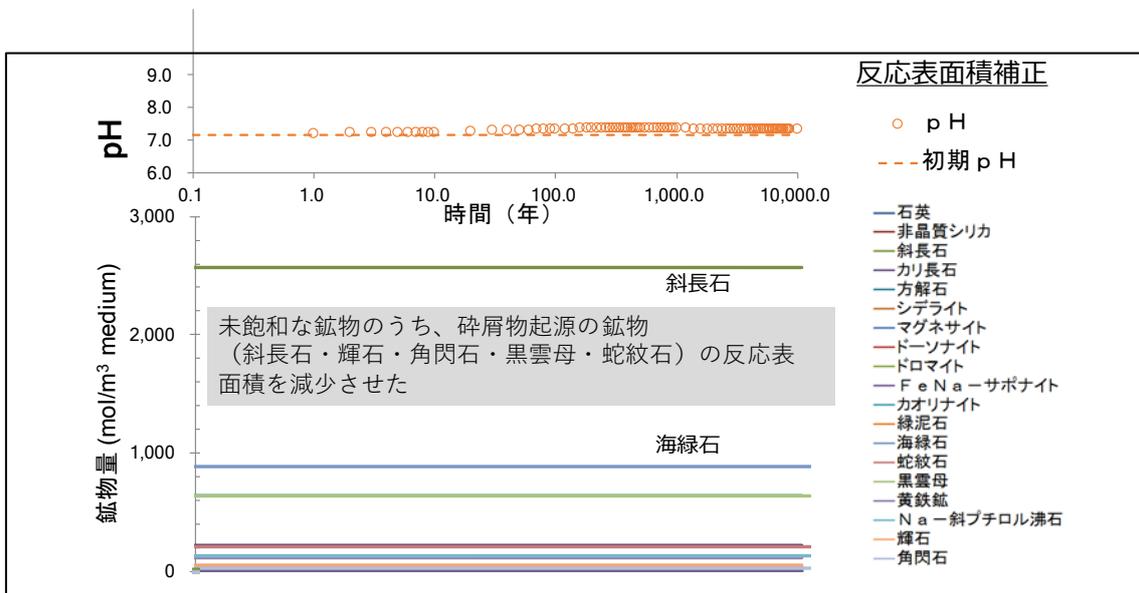
(7) 萌別層流動-地化学連成シミュレーション

一般に、圧入したCO₂の一部は地層水、貯留層鉱物と反応し、長期的には炭酸塩鉱物として貯留層中に固定されることが考えられる。この反応性を推定するために、萌別層におけるCO₂圧入長期挙動予測(流動シミュレーション)と、圧入したCO₂と地層水、貯留層鉱物との化学反応を考慮した流動-地化学連成シミュレーション(以下、「連成シミュレーション」と称する。)を実施した。

貯留層の鉱物組成やその化学組成は、調査井、観測井、圧入井で採取した萌別層の岩石試料の各種分析結果を総合して推定した。地層水組成は萌別層観測において採取した地層水の組成等の測定・検鏡結果に基づき、岩石試料で分析・認識される自生鉱物と地層水との化学平衡を仮定し、地層水中の化学種を推定して熱力学的再構成を行った。こうして推定した鉱物組成、地層水組成のもと、CO₂を圧入しない状態で地層水の組成、貯留層の鉱

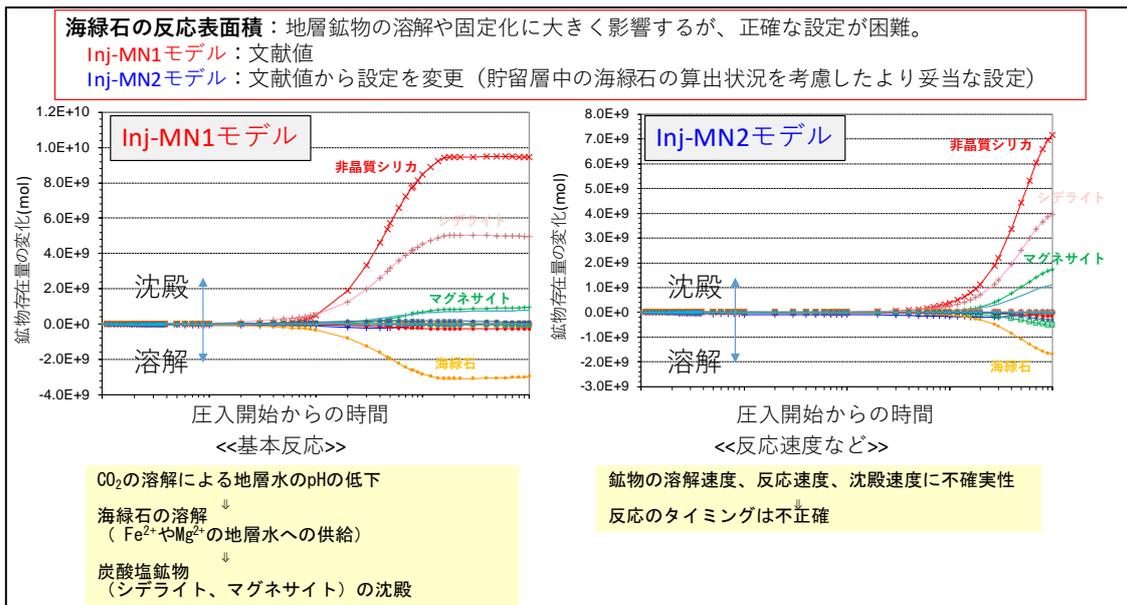
物組成が長期的（10,000年間）に安定することを前提とし、貯留層鉱物のなかで溶解して反応しやすいと推定される鉱物（地層水に未飽和な鉱物）の一部のパラメータ（反応表面積）を調整した（図 3.3-18）うえで連成シミュレーションを実施した。反応表面積は、反応速度や反応量にとって重要なパラメータであるが、正確に把握することが困難であるため、前提条件のもとに文献値を基準として推定した。

連成シミュレーションは 30 万 t を圧入するケースについて実施した。図 3.3-19 に概要を示す。対象地域の萌別層では 12.4% 程度の体積比率で貯留層中に含まれる海緑石との反応が重要になると考えられる。CO₂ が地層水に溶解し、地層水が酸性化するため貯留層鉱物を溶かし、おもに海緑石から Fe²⁺ や Mg²⁺ が供給される。CO₂ が地層水に溶解し生じた HCO₃⁻ や CO₃²⁻ と反応し、鉄を含む炭酸塩鉱物（シデライト）やマグネシウムを含む炭酸塩鉱物（マグネサイト）として鉱物固定されることが基本的な反応となると推定された。



注 1) 文献から推定したパラメータ（反応表面積）を一部変更し、地層水の pH と貯留層鉱物量（反応）が安定するように調整した。

図 3.3-18 連成シミュレーション実施前の地層水-貯留層鉱物安定化の確認結果



注 1) E+数字は10のべき乗を意味する。例：1.0E+10=1×10¹⁰

注 2) 現代の科学では貯留層中で生じる化学反応に係る反応速度等を、正確に推定することが困難。

図 3.3-19 連成シミュレーションから予想される貯留層で生じる地化学反応

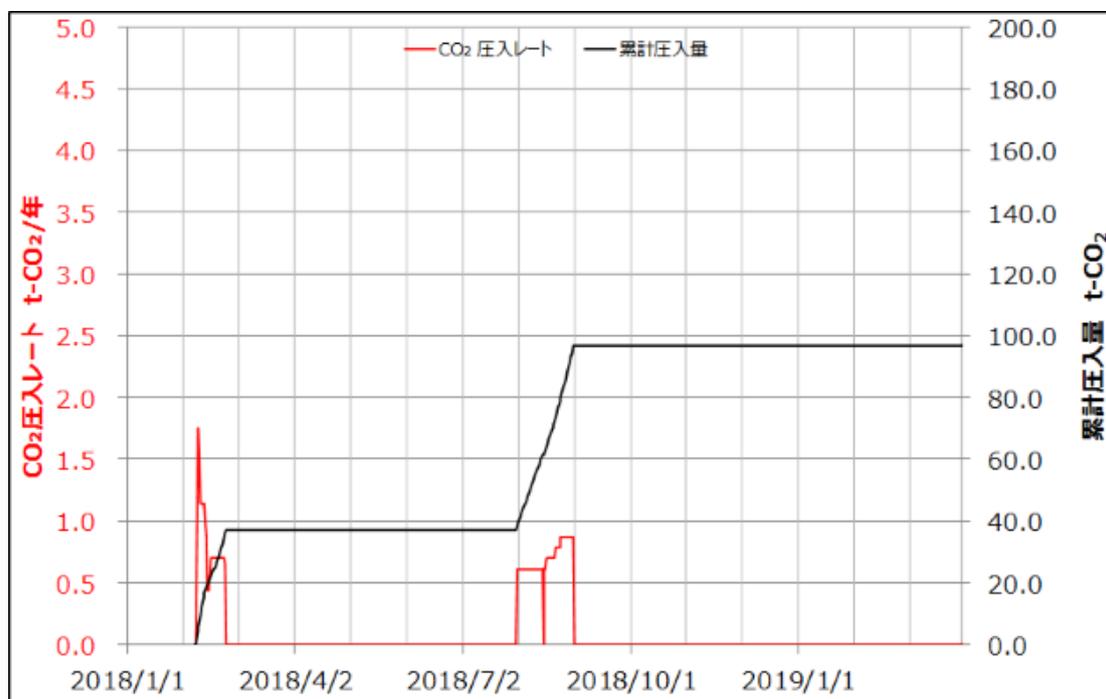
3.3.3 滝ノ上層貯留層評価

三次元弾性波探査記録・調査井・周辺井の掘削結果等を用い、貯留層の不均質性を考慮した解析の結果、十分な貯留層性状が考えられる場所に滝ノ上層圧入井 IW-1 を掘削したものの、滝ノ上層の貯留層性状は予想外に低いものであり、十分な量の圧入を実施することができなかった。滝ノ上層調査井の掘削時に実施した水圧入テストで最大 650 kL/日の圧入性（解析浸透率 1.18 mD）が確認されていたが、水平距離で 1～1.6 km ほど離れた滝ノ上層圧入井 IW-1 の掘削時に実施した水圧入テストの結果は、最大で 35 kL/日程度（解析浸透率 7.7×10⁻⁴ mD）であった。滝ノ上層圧入井 IW-1 の掘削前は、調査井のコア試験や圧入テストにより、本井で想定した溶岩・凝灰角礫岩では圧入性状が良好と予想していたが、実際には凝灰岩が主体であり、十分な圧入性を有する貯留層を確認できなかった。火山岩類は岩相の側方変化が大きいため、砂岩層のように広範囲に均質な岩相が広がりにくいため、岩相分布が予想通りとはならなかった。火山岩層の圧入性状予測の岩相に起因する不確実性が課題となった。火山岩類（滝ノ上層）の不均質性の評価が困難であることを示す結果であると考えられる。

(1) 滝ノ上層 CO₂ 圧入長期挙動予測（流動シミュレーション）

2018年2月および同年7月～9月に実施した試験圧入の実績（図 3.3-20）に基づき、長期挙動予測シミュレーションを実施した。2回の試験圧入で計 98 t の CO₂ を地下に圧入し

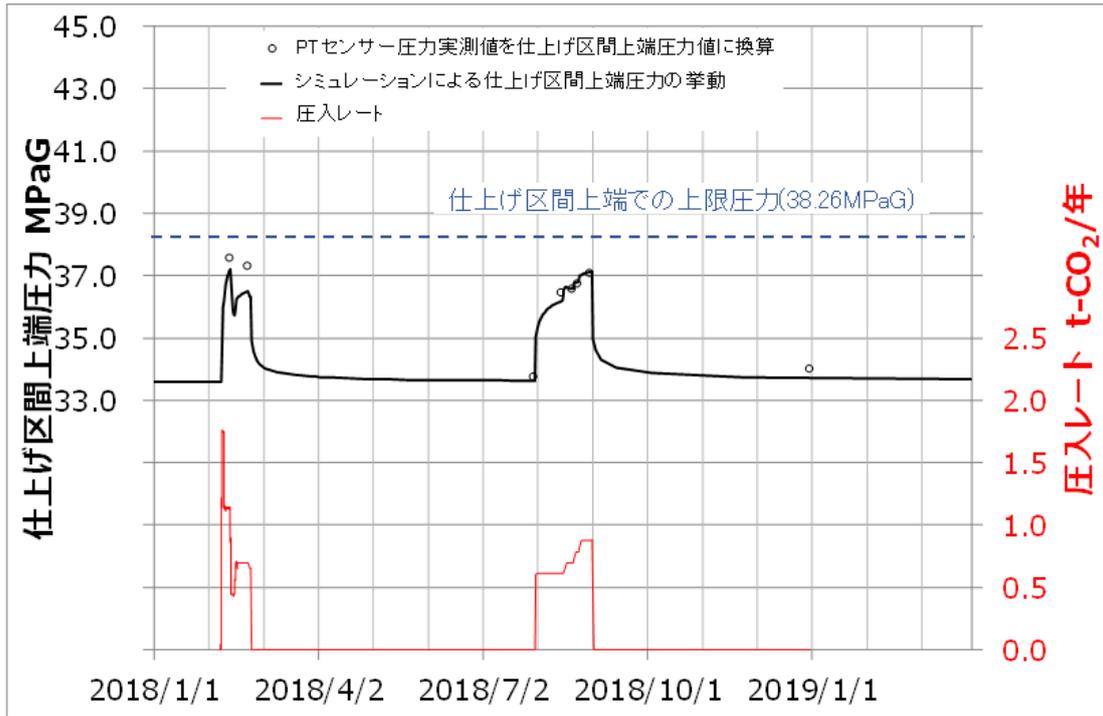
たが、CO₂圧入以前に圧入井の管内を満たしていた管内流体が先に貯留層中に圧入されたため、実際に貯留層に圧入されたCO₂は35t程度と考えられる。



注) 98tの圧入：実際の貯留層への圧入量は管内容量分の坑内流体がまず圧入されていたため、約35tと推定。

図 3.3-20 圧入実績に基づくシミュレーションシナリオ

長期挙動予測シミュレーションは、既存の貯留層モデルのパラメータを圧入実績に基づいて微調整し、圧入中の坑内圧力（仕上げ区間上端）の再現状況を確認したうえで実施した（図 3.3-21）。

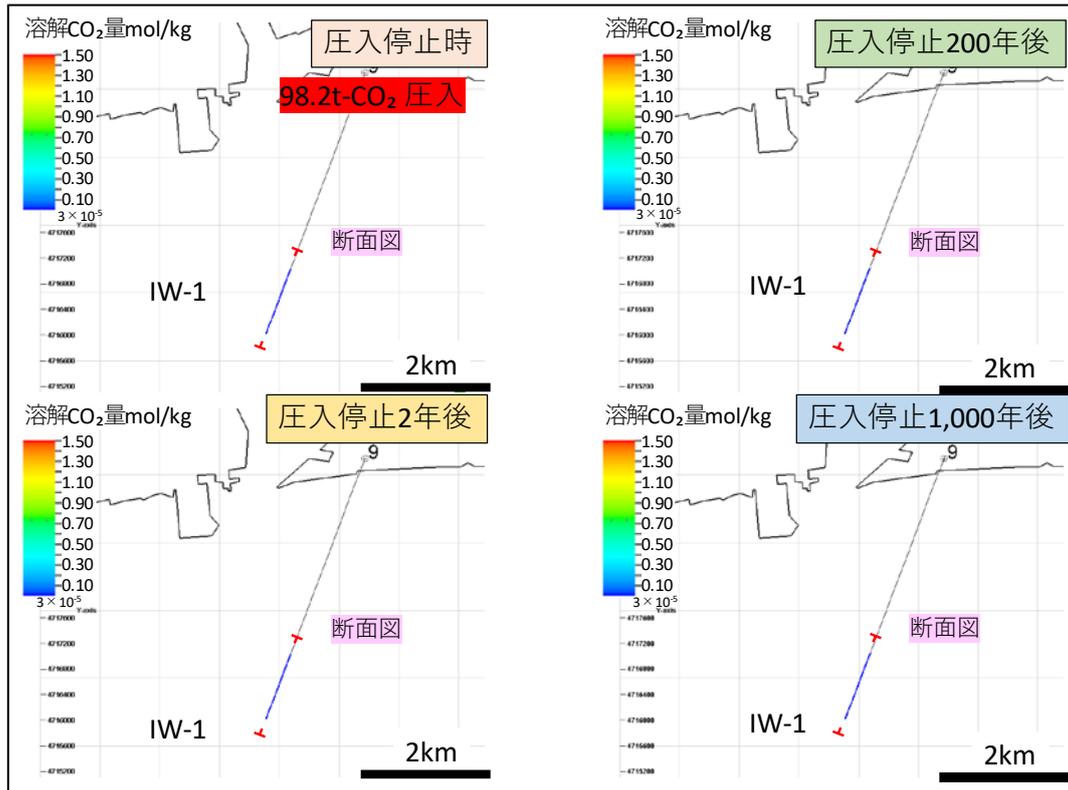


注) 2018年2月の圧入時にはCO₂が貯留層に到達していないと考えられる。

図 3.3-21 シミュレーションによる坑内圧力の再現

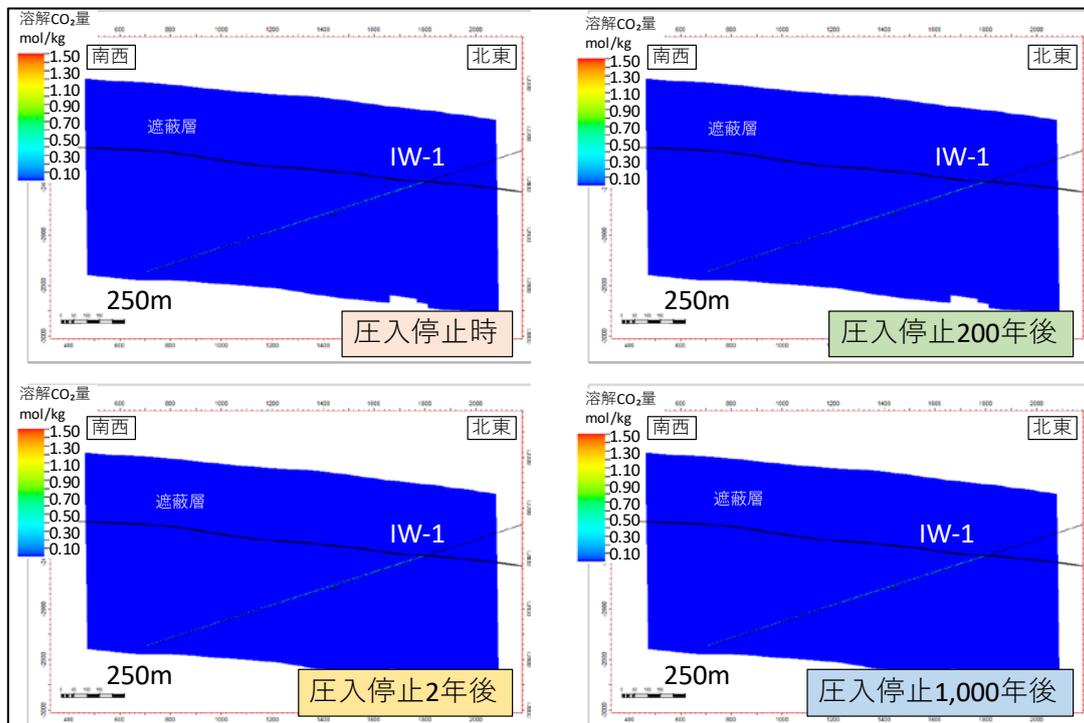
図 3.3-22 および図 3.3-23 に 98 t の圧入（貯留層へは 35 t 圧入）停止時～圧入 1,000 年後の溶解 CO₂ 量分布を示す。圧入した CO₂ は圧入井仕上げ区間の全区間から圧入され、圧入井の極近傍にのみ圧入された。圧入した CO₂ は少量であり、シミュレーションでは、全量が速やかに地層水に溶解するため CO₂ 飽和度分布を再現することができない。

図 3.3-24 および図 3.3-25 に圧入停止時～圧入 1,000 年後のシミュレーションによる貯留層圧力の変化状況の予測を示す。圧入停止時（2018 年 9 月）の圧力変化は圧入井の近傍では 3 MPa 程度に達するが、坑井から 150 m 程度離れた地点では圧力上昇の影響がほとんどなくなることが予測された。圧入井近傍の圧力上昇も圧入停止 2 年後には徐々に貯留層圧力に近づきほとんど解消されるものと予測された。



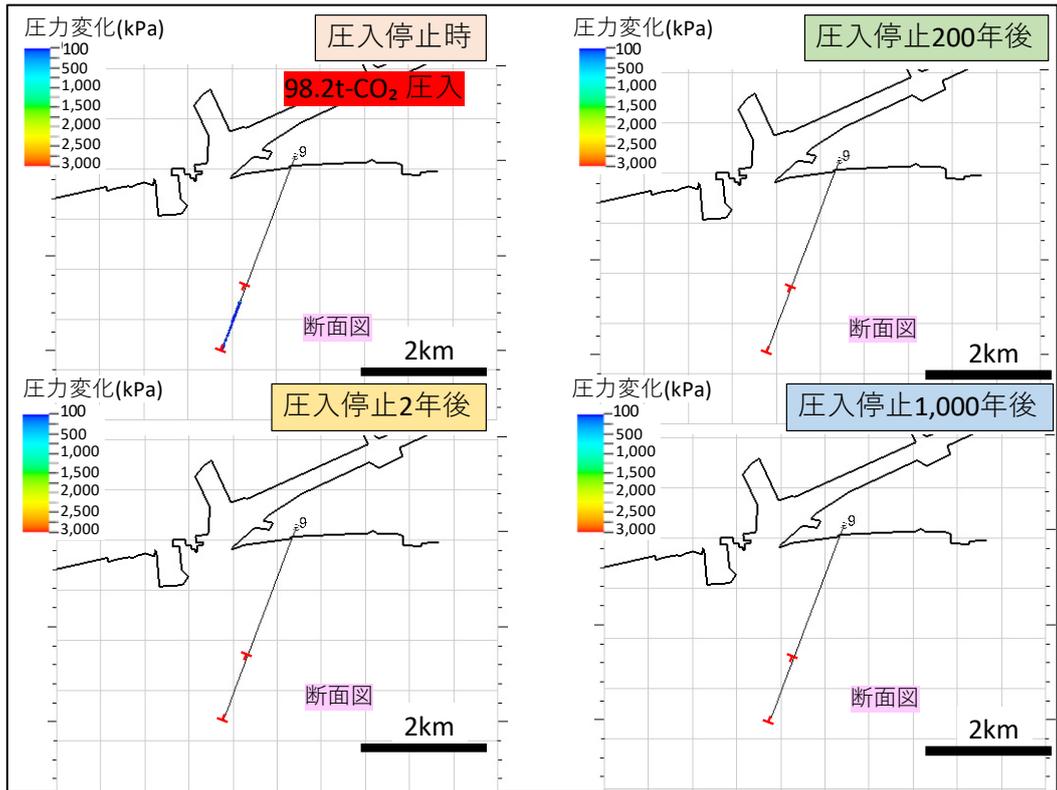
注) 溶解 CO₂ 量の分布範囲を真上から俯瞰。表示の下限値は 3×10^{-5} (mol/kg)。

図 3.3-22 溶解 CO₂ 量分布予測 (平面図)



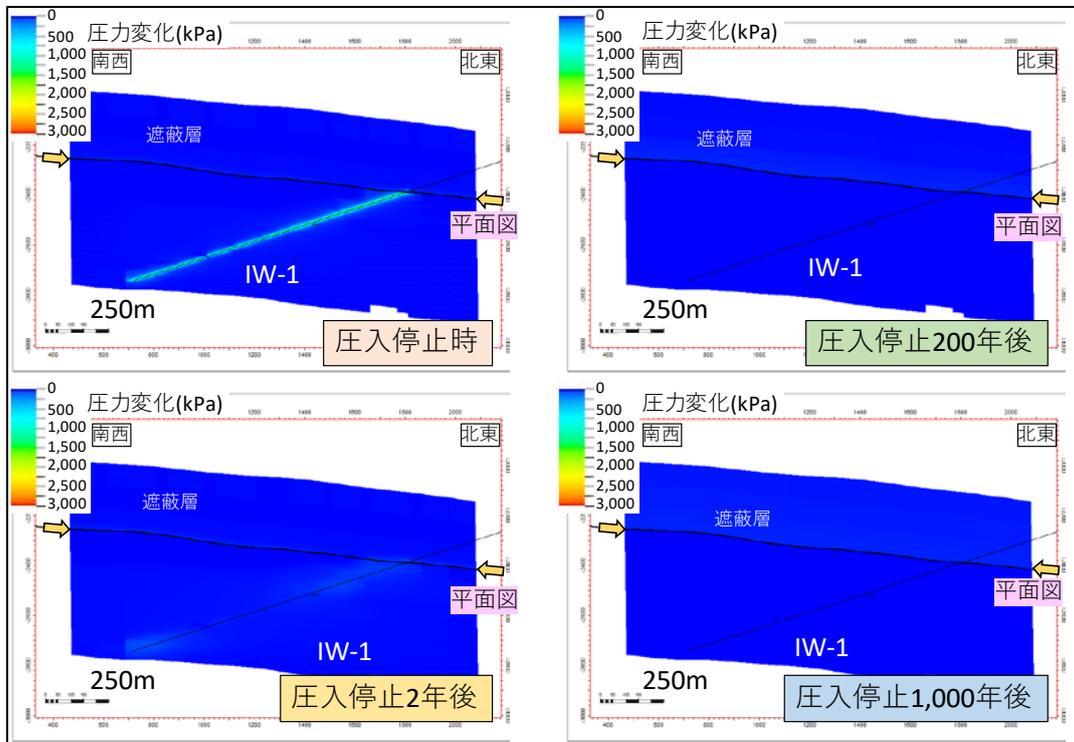
注) 断面図作成位置は図 3.3-22 に示す。

図 3.3-23 溶解 CO₂ 量分布予測 (断面図)



注) 貯留層最上部の圧力変化を表示。

図 3.3-24 貯留層圧力変化予測 (平面図)



注) 断面図作成位置は図 3.3-24 に示す。

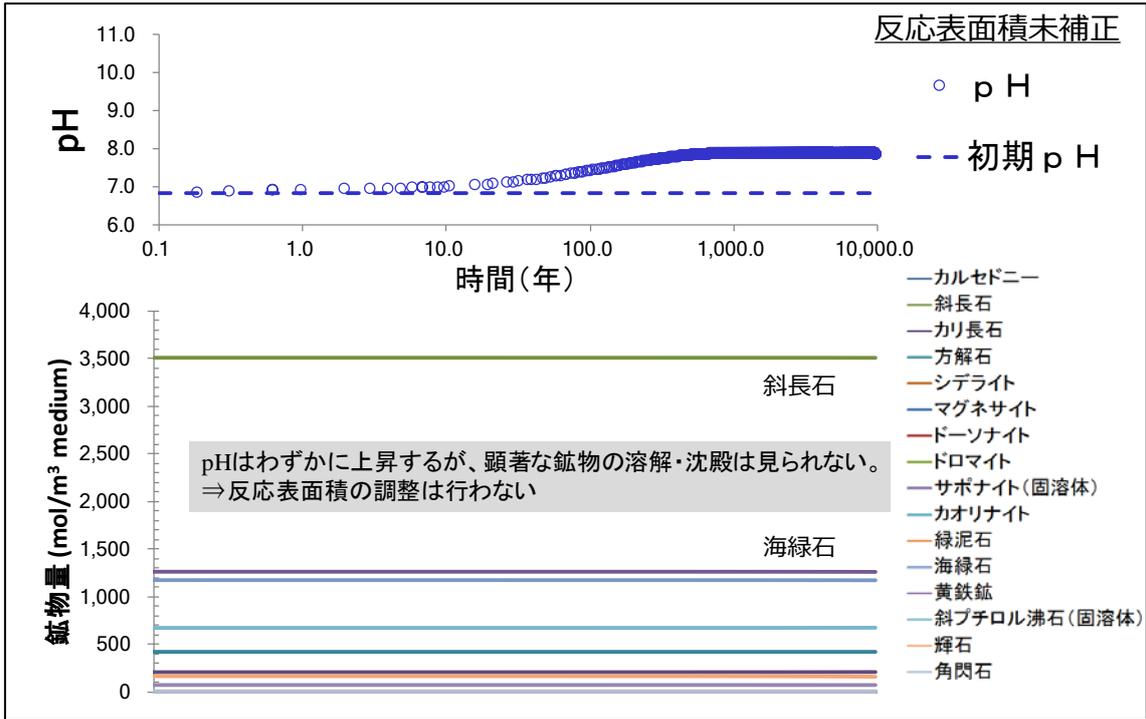
図 3.3-25 貯留層圧力変化予測 (断面図)

(2) 滝ノ上層流動-地化学連成シミュレーション結果

一般に、圧入した CO₂ の一部は地層水、貯留層鉱物と反応し、長期的には炭酸塩鉱物として貯留層中に固定されることが考えられる。この反応性について推定するために滝ノ上層における CO₂ 圧入長期挙動予測（流動シミュレーション）と、圧入した CO₂ と地層水、貯留層鉱物との化学反応を考慮した連成シミュレーションを実施した。

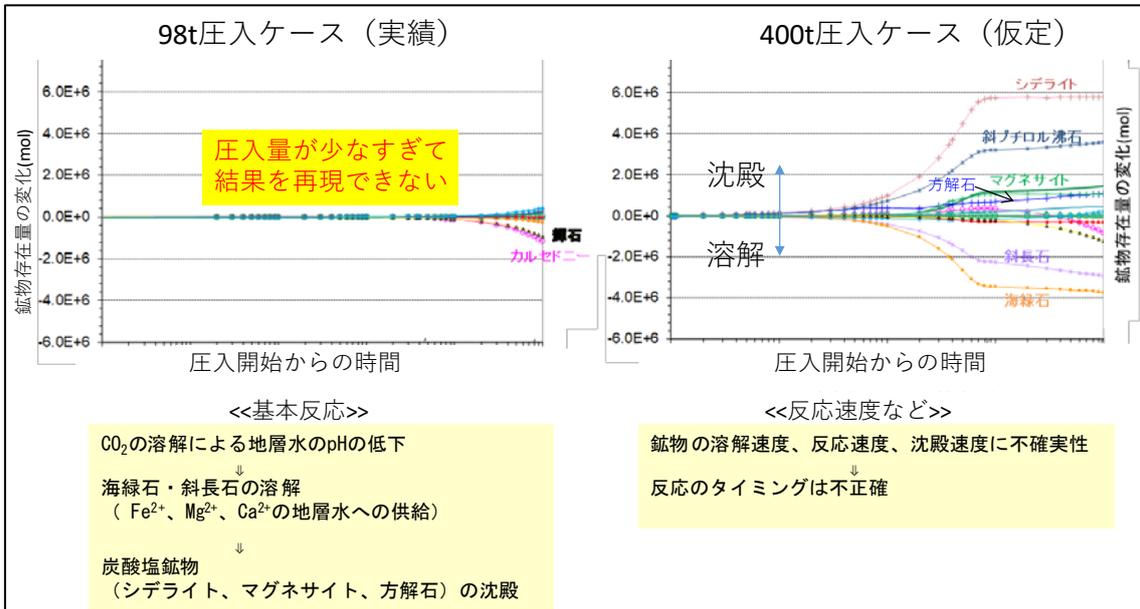
貯留層の鉱物組成やその化学組成は、調査井、観測井、圧入井で採取した滝ノ上層の岩石試料の各種分析結果を総合して推定した。地層水組成は調査井（現滝ノ上層観測井）において採取した地層水の組成等の測定・検鏡結果に基づき、岩石試料で分析・認識される自生鉱物と地層水との化学平衡を仮定し、地層水中の化学種を推定して熱力学的再構成を行った。そのうえで、推定した鉱物組成、地層水組成のもと、CO₂ を圧入しない状態で地層水の組成、貯留層の鉱物組成が長期的（10,000 年間）に安定することを確認の上（図 3.3-26）連成シミュレーションを実施した。pH は若干変動（図 3.3-26 上図）するものの、生成する鉱物量が安定（図 3.3-26 下図）しているため、これ以上のパラメータの調整は実施しなかった。

実績にもとづいた 98 t 圧入の設定による連成シミュレーションでは、CO₂ 量が少ないために状況を再現できなかつたため、400 t を圧入するケースを仮定して実施した。図 3.3-27 に結果の概要を示す。対象地域の滝ノ上層 35.3% 程度含まれる斜長石と 16.4% 程度含まれる海緑石の反応が重要になると考えられる。圧入した CO₂ が地層水に溶解し、地層水が酸性化するため貯留層鉱物を溶かし、おもに海緑石と斜長石から Fe²⁺、Mg²⁺、Ca²⁺ が供給される。CO₂ が地層水に溶解し生じた HCO₃⁺ や CO₂ と反応し、鉄を含む炭酸塩鉱物（シデライト）、マグネシウムを含む炭酸塩鉱物（マグネサイト）、カルシウムを含む炭酸塩鉱物（方解石）として鉱物固定されることが滝ノ上層に CO₂ を圧入した際に生じる主な反応であると推定された。



注) 文献から推定したパラメータもとに、地層水の pH と貯留層鉱物量 (反応) が安定するように調整。文献値の反応表面積は砂岩を対象としたものであるが、滝ノ上層は火山岩類から構成されるため、反応表面積を一律に 1/100 とした。

図 3.3-26 連成シミュレーション実施前の地層水-貯留層鉱物安定化の確認結果



注 1) E+数字は 10 のべき乗を意味する。例：1.0E+10=1×10¹⁰

注 2) 貯留層中で生じる化学反応に係る反応速度等を正確に推定することは困難

図 3.3-27 連成シミュレーションから予想される貯留層で生じる地化学反応

3.4 結果のまとめ

3.4.1 圧入井のまとめ

本事業による CO₂ 圧入は、陸上から海底に向けて掘削した萌別層と滝ノ上層の 2 坑の圧入井により実施した。

萌別層圧入井 IW-2 は、仕上げ区間がほぼ水平となる大偏距井であり、仕上げ区間を孔明管により仕上げた。また、貯留層砂岩が軟質であることから、仕上げ区間には出砂対策を施した。滝ノ上層圧入井 IW-1 は、坑口から坑底までの水平距離がわが国最大の坑井であり、圧入区間を全層仕上げとした。

3.4.2 CO₂ 圧入状況

萌別層への CO₂ 圧入は 2016 年 4 月 6 日に開始した。CO₂ 圧入開始以降、2019 年 3 月 31 日までに 235,499 t、2019 年 11 月 22 日までに 300,012 t の CO₂ を圧入した。PT センサー測定圧力の最大値は 10.07 MPaG で、萌別層の遮蔽層破壊を避けるために設定した上限圧力 12.63 MPaG に対し十分低く、圧入開始以降、PT センサー圧力・温度は範囲内であった。

滝ノ上層への CO₂ 圧入は 2018 年 2 月 6 日に開始した。2018 年 2 月 6 日～2 月 23 日および 2018 年 7 月 31 日～9 月 1 日に試験圧入を実施し、CO₂ 圧入開始以降、2019 年 3 月 31 日までに 98 t を圧入した。滝ノ上層の遮蔽層破壊を避けるために設けた上限圧力 38.00 MPaG の制限により圧入レートを調整した。PT センサー測定圧力の最大値は 37.07 MPaG であり、圧入開始以降、PT センサー圧力・温度は範囲内であった。

3.4.3 貯留層総合評価

萌別層は、貯留層性状が極めて良好なため、圧入に伴い上昇する圧力が深度による地層圧力勾配に比して低いため、貯留層の上部にのみ圧入されたものと推定された。CO₂ 圧入開始前には、地層水と性状が近いブライン（塩水）を使用した圧入試験の結果と検層による貯留層内の浸透率分布から、圧入井の下部から多くの CO₂ が圧入されるものと推定していたが、実際に CO₂ を圧入することで圧入区間に関する推定を変更した。物理検層だけでは圧入性を確実に把握できないことが課題である。なお、弾性波探査の差分解析結果からこの推定を裏付ける結果を得た。

萌別層への圧入に際して CO₂ 挙動予測シミュレーションを実施した。シミュレーションに用いる地質モデルは圧入井、調査井等の坑井データと、圧入海域で取得した三次元弾性波探査記録を主に用いて実施した堆積相解析に基づいて作成した。また、地球統計学的に複数の地質モデルを作成しそれらを用いたシミュレーションを実施した結果、平均的な地

質モデル（P50モデル）によるシミュレーション結果から、30万t圧入後の貯留層中でのCO₂分布範囲は、圧入井を中心に1,000m程度の範囲であると推定された。

また、圧入したCO₂の分布範囲や貯留層の圧力上昇に制約を設けたうえで、現状の萌別層圧入井IW-21坑のみを用いて連続的に圧入することを仮定したシミュレーションを実施し、573万tの圧入可能量を推定した（P50モデル）。同じ制限範囲内に分布する萌別層砂岩層全体の、容積法による貯留可能量は4.86億tと推定された。容積法による貯留可能量は、貯留層の孔隙容量に対する静的な容量を示しており、圧入井の配置や圧入後のCO₂の移動、貯留層圧力の上昇等一切考慮されていない推定であるため、実際に圧入が可能な量とは異なることに注意が必要である。

追加検討として、エロージョナルベロシティと呼ばれる経験値を用いて現状の萌別層圧入井IW-2における最大圧入レートを推定したところ、48万t/年程度と推定された。大口径のチュービングに改修すれば、さらに高レートの圧入が可能になる可能性がある（4.5インチで100万t/年程度）。

萌別層に対しCO₂と地層水および貯留層鉱物との地化学反応を考慮する連成シミュレーションを実施した。長期的には、圧入したCO₂の一部が地層水と溶解し、萌別層貯留層中の海緑石の溶解で生じるFe²⁺やMg²⁺と反応することで、シデライトやマグネサイト等の炭酸塩鉱物として鉱物固定されるとする結果を得た。

滝ノ上層への圧入は2018年2月6日～2018年2月23日および2018年7月31日～2018年9月1日の間に実施し、累計98tを圧入した。事前に想定した圧入中の坑内圧力・温度の範囲内で圧入を実施した。また、圧入実績にもとづくCO₂挙動予測シミュレーションを実施した。CO₂は圧入井の圧入区間全体から貯留層中に圧入され、溶解CO₂量の分布範囲は、圧入井の圧入区間の極近傍に限定されることが予想された。なお、シミュレーション上、圧入したCO₂量が少ないため、圧入したCO₂のすべては圧入後直ちに地層水に溶解する。また、圧入による貯留層圧力の上昇範囲は圧入井の近傍に限定的であることが推定され、上昇した圧力は圧入停止2年後にはほぼ解消されるものと考えられた。

滝ノ上層に対してもCO₂と地層水および貯留層鉱物との地化学反応を考慮する連成シミュレーションを実施した。圧入量が少ないため、実績の圧入量では結果を再現できなかった。400tの圧入を仮定した検討の結果、長期的には、圧入したCO₂の一部が地層水と溶解し、滝ノ上層貯留層中の海緑石と斜長石の溶解で生じるFe²⁺、Mg²⁺、Ca²⁺と反応することで、シデライト、マグネサイト、方解石等の炭酸塩鉱物として鉱物固定されるとする結果を得た。

3.4.4 総括

CO₂圧入は、萌別層には2016年4月6日から2019年11月22日までの間に300,012t、滝ノ上層には2018年2月6日から9月1日の間で98tを圧入した。CO₂圧入におけるPTセンサー圧力の最大値は、各層の遮蔽層破壊を避けるために設けた上限圧力に対して十分低く、圧入開始以降、PTセンサー圧力・温度は正常な範囲内であった。

2019年12月までのモニタリングにより、CO₂貯留層の温度・圧力に異常はないこと、CO₂圧入と貯留に伴う微小振動や自然地震の発生は認められないこと、圧入されたCO₂は貯留層内に留まっていることが確認され、長期挙動予測シミュレーションにより、圧入されたCO₂は1,000年後も貯留層に留まっていることが予想された。また海洋環境調査により、海洋にCO₂圧入開始前からの変化は認められず、CO₂の漏出またはそのおそれがある事象は確認されなかった。これらにより、本事業においてCO₂が安全に貯留されていることが確認された。

第4章 モニタリングおよび海洋環境調査の実施と結果

本事業では、CCSの安全性実証およびCO₂圧入前中後の貯留層状況把握を目的に、2012～2020年度にかけてモニタリングおよび海洋環境調査を実施中である。本章では、2019年度までのモニタリングおよび海洋環境調査の実施状況を記述し、結果のまとめを示した。

4.1 概要

本事業では、CO₂圧入とあわせて各種モニタリングを実施し、圧入したCO₂の挙動（移動、広がり）把握、貯留地点近傍および周辺における地震発生状況の把握、坑井内の温度・圧力の観測を行った。また、海洋環境調査（海域の流況観測、採水・採泥等による水質・底質・プランクトン・底生生物の調査、海底面のビデオカメラ撮影による底生生物の観察・気泡の発生の有無の観察等）により、CO₂圧入に伴う異常の有無を監視してきた。

2012年より設計等の準備を開始し、2015年から事前モニタリング、2016年より圧入開始と共にモニタリングを開始した。観測設備／観測作業詳細とモニタリングおよび海洋環境調査項目を表4.1-1に示す。

表 4.1-1 観測設備／観測作業詳細とモニタリングおよび海洋環境調査実施項目

観測	モニタリング項目	観測頻度	特記事項（設置数など）
圧入井・プラント設備	坑内：温度・圧力 坑口：圧入温度・圧力・CO ₂ 圧入量	連続・リアルタイム観測	淹ノ上層圧入井 萌別層圧入井
観測井	坑内：温度・圧力 微小振動、自然地震	連続・リアルタイム観測	淹ノ上層観測井OB-1 萌別層観測井OB-2 淹ノ上層観測井OB-3
常設型海底受振ケーブル(OBC)	微小振動、自然地震 二次元弾性波探査の受振	連続・リアルタイム観測	貯留層直上を通過する1測線
海底地震計(OBS)	微小振動、自然地震	・連続・リアルタイム観測 (貯留地点直上) ・連続観測(貯留地点周辺)	貯留地点直上 : 1台(有線型) 貯留地点周辺海域 : 3台(独立型)
陸上設置地震計	微小振動、自然地震	連続・リアルタイム観測	苫小牧市：1箇所 他にHi-net観測データも利用
二次元弾性波探査	貯留層中のCO ₂ 分布範囲	2016年度実施 2018年度は二次元＋小規模 三次元探査を実施 2019年度は二次元＋小規模 三次元探査を実施予定	三次元弾性波探査の補完として実施(常設型OBCも利用) ベースラインデータは2013年度に取得済
三次元弾性波探査	貯留層中のCO ₂ 分布範囲	2017年度実施 2020年度実施予定	ベースラインデータは2009年度に取得済
海洋環境調査	海洋データ (物理的・化学的特性、生物生息状況など)	四季調査を実施	ベースライン観測は2013-2014年度に実施

これらの結果、坑井内の温度・圧力挙動に異常が認められないこと、地震発生状況には

圧入に伴う変化が認められないこと、圧入した CO₂ が事前の想定どおりに貯留層内に留まっていること、海洋環境に変化が認められず CO₂ の漏出またはそのおそれがある事象がないことを確認した。

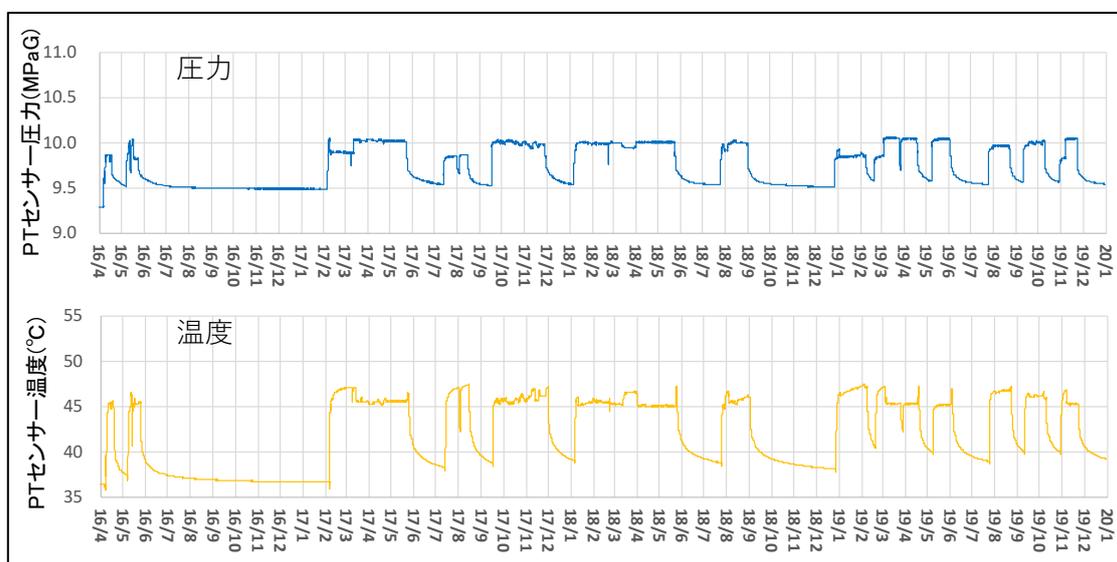
4.2 モニタリング結果

4.2.1 温度・圧力観測

安全な圧入を実施するため、圧入井の坑内に設置した PT センサーにより圧力・温度データを連続的に監視・記録し、圧入中にあらかじめ想定する温度・圧力範囲から逸脱しないことを常時確認している。その結果は、貯留層評価のための重要なデータである。

(1) 萌別層圧入井 IW-2

図 4.2-1 に萌別層圧入井 IW-2 の PT センサー圧力・温度の推移を示す。当該期間の萌別層圧入井 IW-2 の PT センサー圧力は 9.28~10.07 MPaG であり、実績値はあらかじめ想定した設定値の範囲内 (9.28~12.63 MPaG) であった。なお、9.28 MPaG は CO₂ 圧入前に坑内が仕上げ流体 (ブライン) で満たされていた時点の PT センサー圧力 (静止圧力) であり、坑内が CO₂ で満たされた後の静止圧力は 9.51 MPaG であった。また、PT センサー温度は 35.8°C~47.5°C であり、あらかじめ想定した設定値の範囲内 (32.2~52.2°C) であった。

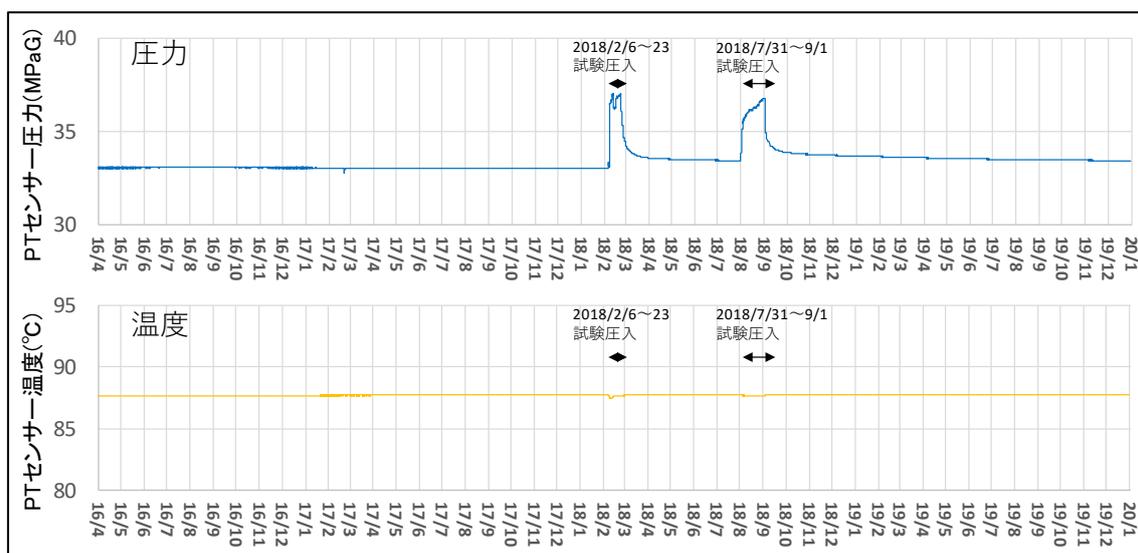


注) PT センサーは地表から垂直方向に 930 m となる坑内に設置。

図 4.2-1 萌別層圧入井 IW-2 PT センサー圧力の推移 (上図) および温度の推移 (下図)

(2) 滝ノ上層圧入井 IW-1

図 4.2-2 に滝ノ上層圧入井 IW-1 の PT センサー圧力および温度の推移を示す。当該期間の PT センサー圧力は、32.84~37.07 MPaG であり、実績値はあらかじめ想定した設定値の範囲内 (32.78~38.04 MPaG) であった。PT センサー温度は、87.4°C~87.8°C であった。圧入開始初期には地表で圧入する CO₂ の温度が低下したため、坑内においても若干の温度低下が認められたが、実績値はあらかじめ想定した設定値の範囲内 (78.7~96.6°C) であった。



注) PT センサーは地表から垂直方向に 2,351 m となる坑内に設置。

図 4.2-2 滝ノ上層圧入井 IW-1 PT センサー圧力の推移 (上図)
および温度の推移 (下図)

(3) 観測井

本事業では、図 4.2-3 に示す観測井を設置して、2015 年から坑内温度圧力の観測を行っている。萌別層を対象に観測を実施している観測井 OB-2 の温度圧力の変化を図 4.2-4 に示す。坑内機器の回収・点検に伴う変化は認められるものの、顕著な変動は確認されていない。



図 4.2-3 観測井配置

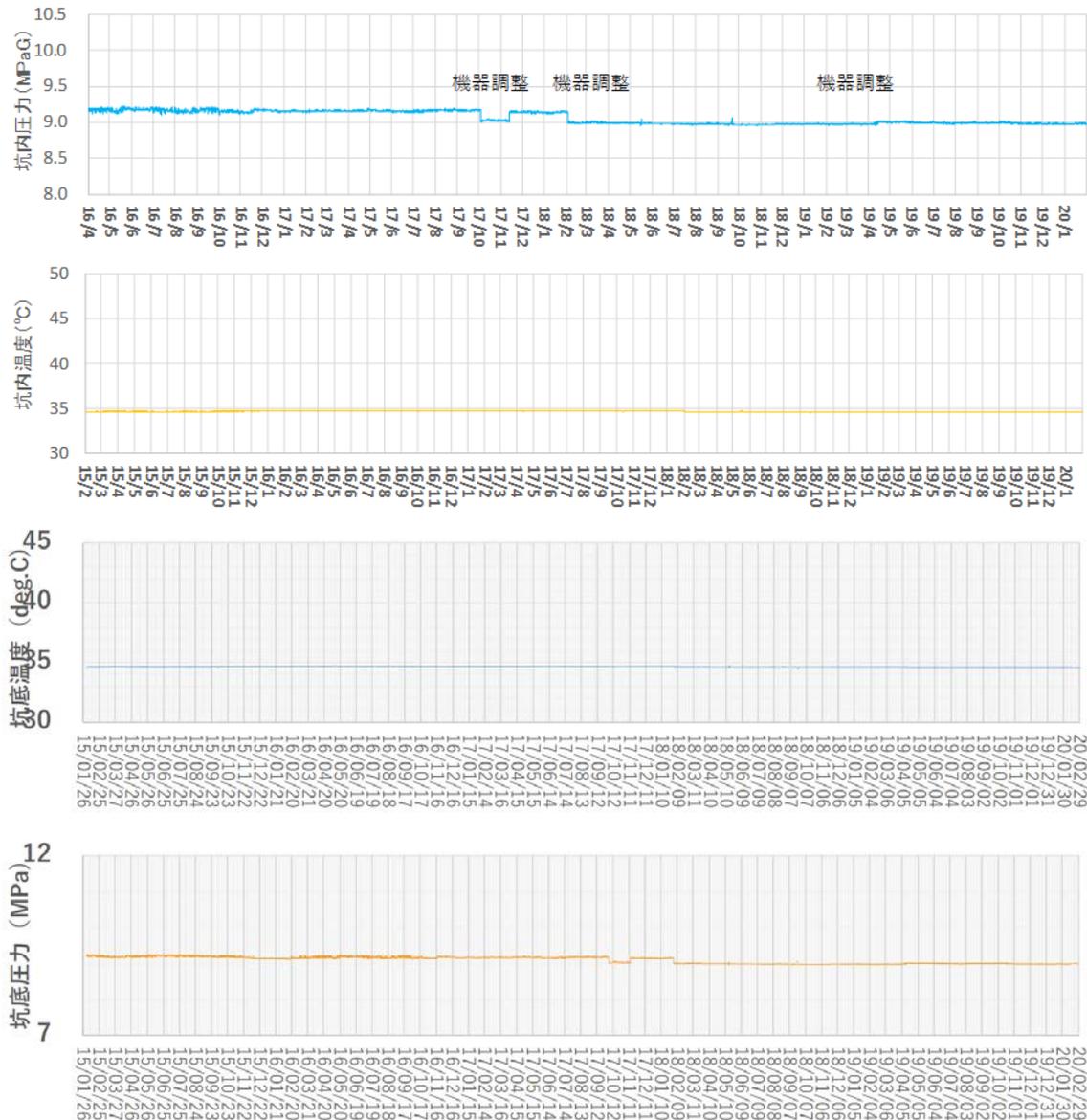


図 4.2-4 観測井 OB-2 による温度圧力の観測結果

4.2.2 微小振動・自然地震観測

本事業では、図 4.2-5 に示す以下の地震観測設備を設置して、2015 年から微小振動・自然地震の観測を行っている。

- 1) 圧入地点の北西約 6 km 地点に設置した陸上地震計
- 2) 圧入地点近傍の 2 地点および東方約 10 km の 1 地点の計 3 地点の観測井に設置した大深度坑内地震計
- 3) 圧入区間直上近傍の 4 地点に設置した OBS
- 4) 圧入区間直上を横切る測線上に設置した常設型 OBC (受振測線長 3.6 km)

これらから得られるデータに周辺の Hi-net 観測点 14 点のデータを加えて、同図に示す東西約 50 km×南北約 38 km の範囲を自然地震モニタリング範囲と定め、地震活動を監視した。また、圧入地点近傍の微小な振動を重点的に監視するため、本事業で設置した地震計を用い、前述の範囲のうち地下の圧入地点を取り囲む東西 6 km×南北 6 km の範囲を微小振動モニタリング範囲と定め、極めて小さな振動を監視した。この微小振動モニタリング範囲内では、貯留層相当深度付近におけるマグニチュード -0.5 以上の微小振動を高い確度で検知することが可能である。

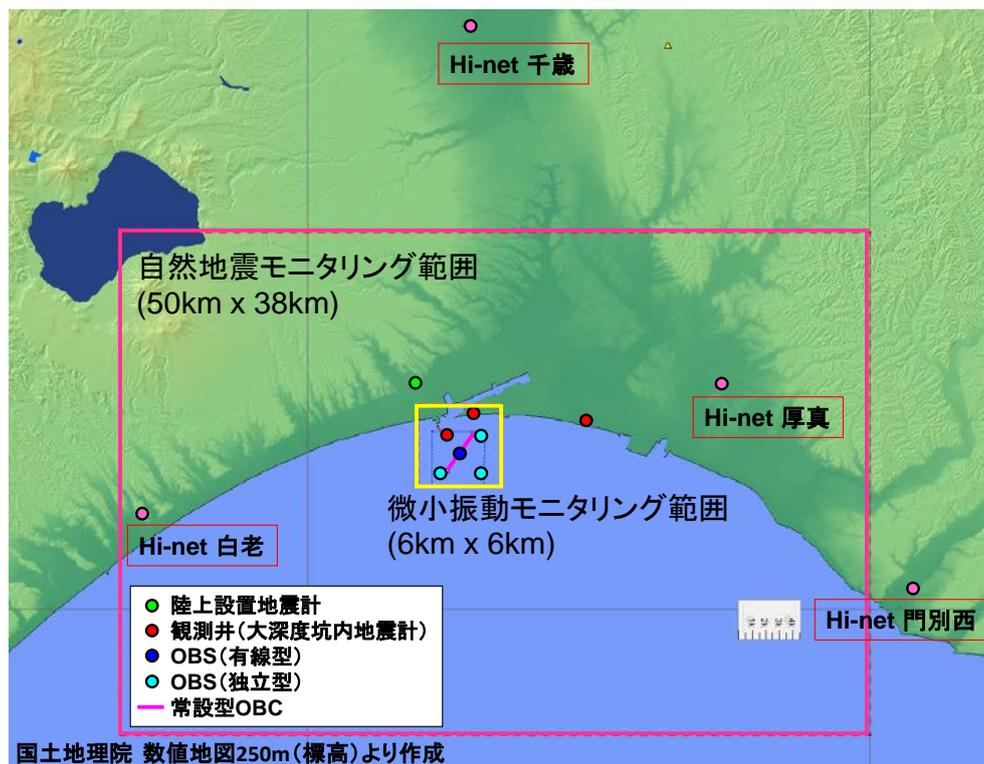


図 4.2-5 地震観測点配置およびモニタリング対象範囲

図 4.2-6 に 2015 年 2 月から 2020 年 1 月末までの期間に微小振動モニタリング範囲内で検知したイベント²の件数および推定震源位置を示す。推定震源位置は、震央を示す平面図と震源深度を示す南北断面図および東西断面図による三面展開図で示している。

圧入開始前の 2015 年 4 月から同年 8 月にかけて 9 件、圧入開始後の 2017 年 8 月に 3 件のイベントを同範囲内で検知した。これらのイベントはいずれも深度約 6 km 以深で発生し

¹ Hi-net : 国立研究開発法人防災科学技術研究所が運用する高感度地震観測網。

² 本章におけるイベントとは、検知した微小振動および自然地震を指す。

ており、当範囲で自然に発生した極微小地震³を捉えたものである。2017年8月の3件のイベント以降、2020年2月末時点までにおいて、平成30年北海道胆振東部地震本震（2018年9月6日午前3時7分発生）の前後を含め、同範囲内ではイベントを検知しなかった。

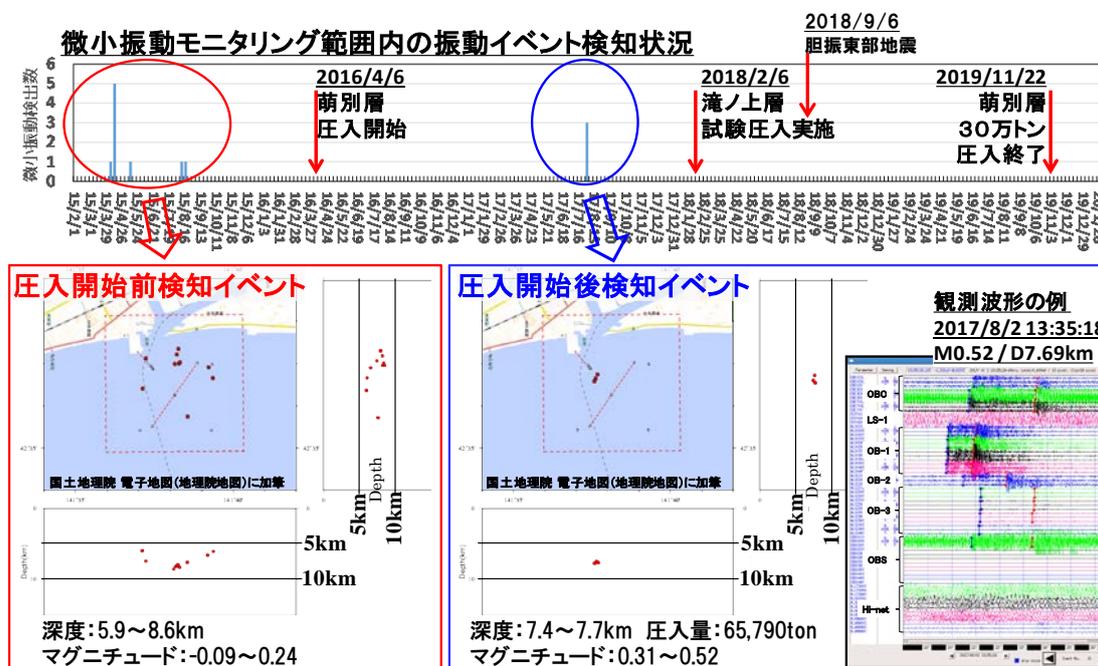


図 4.2-6 微小振動モニタリング範囲におけるイベント検知状況

図 4.2-7 に 2015～2018 年度の年度毎（2018 年度は平成 30 年北海道胆振東部地震本震；2018 年 9 月 6 日以前まで）の自然地震モニタリング範囲内の観測結果を示す。平成 30 年北海道胆振東部地震本震以降は、多数の余震が発生しているため、2018 年度は期間を限定した。いずれの年度においても、樽前山南方周辺（同図中、西方の陸域に震央がある地震）および石狩低地東縁断層帯南部周辺（同図中、東方に震央が分布している地震）に顕著な地震活動が認められる。石狩低地東縁断層帯南部周辺では、2017 年度に苫小牧港東港付近で微小地震、極微小地震が集中して検知された点が特徴としてあげられるものの、いずれの年度においても多くの微小地震、極微小地震を検知しており、圧入前後で地震活動に顕著な時系列的変動も認められなかった。

³ マグニチュード 1 以上 3 未満の地震は微小地震、マグニチュード 1 未満の地震は極微小地震と呼ばれている。

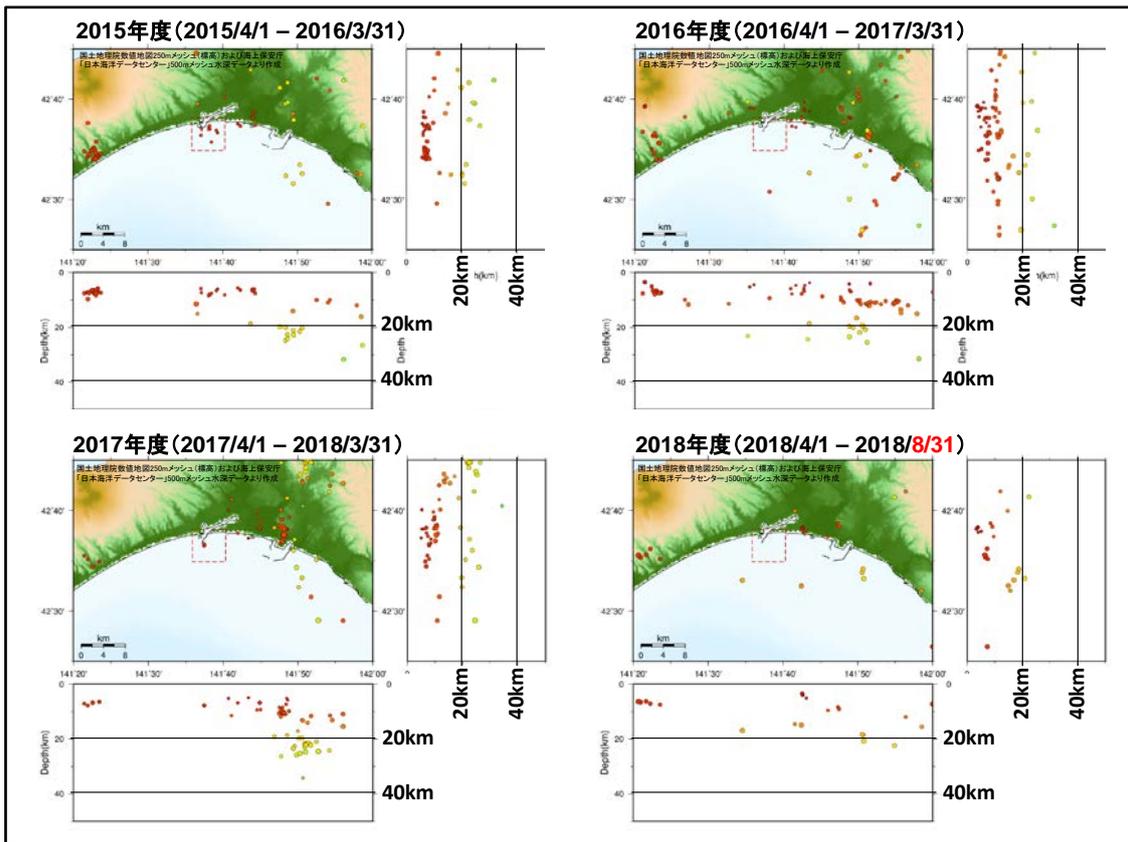


図 4.2-7 2015 年度～2018 年度の自然地震観測結果（2018 年度は 8 月末分まで）

図 4.2-8 に 2018 年度の自然地震モニタリング範囲の観測結果を示す。ただし、平成 30 年北海道胆振東部地震本震直後の停電および定期点検に伴って観測データの欠測が生じており、同図には当該欠測期間の震源は反映されていない。また、本震震源域近傍では膨大な数の余震が発生したため、本震近傍の余震はモニタリング対象から除外した。

勇払から苫小牧港東港にかけての狭い範囲（同図中、中央東寄り陸域で震央が集中している範囲）に多数の微小地震、極微小地震を検知しており、これらの地震の多くは平成 30 年北海道胆振東部地震の余震活動と考えられる。既に述べたように、この周辺は石狩低地東縁断層帯南部付近に位置しており、平成 30 年北海道胆振東部地震の本震以前より微小地震、極微小地震を多く観測している。本震震源域周辺の全体的な地震活動の活発化に伴って発生数は顕著に増加したものの、震源位置は本震以前の自然地震の活動範囲を外れるものではなく、貯留地点近傍においては本震に伴う地震活動領域の変化は確認していない。

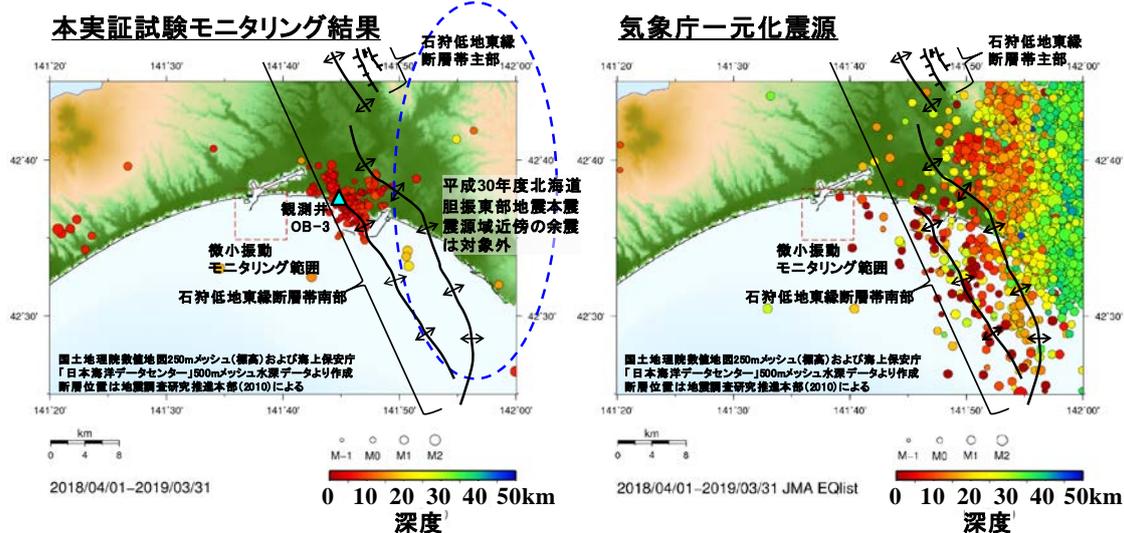


図 4.2-8 2018 年度自然地震観測結果（本事業の観測結果と気象庁一元化震源）

4.2.3 弾性波探査（圧入した CO₂ の分布状況）

弾性波探査は地下深部（ここでは深度 1～3 km 程度）の地質構造を調べる調査手法であり、本事業では弾性波探査を CO₂ 圧入開始前と圧入開始後に複数回実施すること（以下、「繰り返し弾性波探査」と称する。）により、CO₂ 圧入に伴う地下の状態変化を把握している。具体的には、CO₂ 圧入開始後の探査（以下、「モニター調査」と称する。）結果から圧入開始前のベースライン調査結果を減算して得られる結果（差分記録）が CO₂ 圧入による地下の貯留層の物性変化を反映し、差分記録に反射波の振幅が異なる帯域（振幅異常域）として現れることを利用して CO₂ の分布域を求めた。

本事業では、海洋汚染防止法に基づいて環境省より許可を受けた監視計画にしたがい、圧入期間中および圧入終了後 2 年間は弾性波探査を毎年度実施し、CO₂ の分布状況を把握することとしている。

弾性波探査には立体的に地下の構造を調べる三次元弾性波探査と、特定の鉛直断面上の地下構造を調べる二次元弾性波探査の 2 種類がある。地下の CO₂ の状態を精度よく把握するためには、三次元弾性波探査を高頻度で実施することが理想的であるが、三次元弾性波探査は二次元弾性波探査と比較して高額であり、また、調査範囲が広く作業期間も長くなるため、本事業では当該海域利用者への影響も考慮し、原則として二次元弾性波探査と三次元弾性波探査を隔年交互に実施する計画とした。圧入開始前のベースライン調査としては、2009 年度に三次元弾性波探査、2013 年度に二次元弾性波探査をそれぞれ実施した。

2016 年 4 月の圧入開始以降、2019 年度末までに計 4 回のモニター調査を実施した。表 4.2-1 に、これまでのモニター調査実施状況と結果の概要を示す。2016 年度の第 1 回モニ

置 A では 2 本の受振測線に対して 4 本の発振測線、測線配置 B では 2 本の受振測線に対して 2 本の発振測線で観測を行った。この結果、測線配置 A では計 7 本の重合測線上で、測線配置 B では計 3 本の重合測線上でそれぞれ二次元鉛直断面を得た。

図 4.2-10 に、測線配置 A の 7 本の二次元鉛直時間断面のうち最も南東側の断面（ベースライン調査、モニター調査の各断面および両者の差分断面）を示す。萌別層砂岩層深度付近（往復走時 1~1.2 s 付近に対応）において、本モニター調査時点とベースライン調査時点との間に明瞭な変化を認めることはできなかった。同様に、他のいずれの鉛直断面においても変化は検出されなかった。本調査実施時の CO₂ 累計圧入量が約 7 千 t であり、圧入による地下の物性変化が繰り返し弾性波探査の検知限界未満であったためと考えられる。

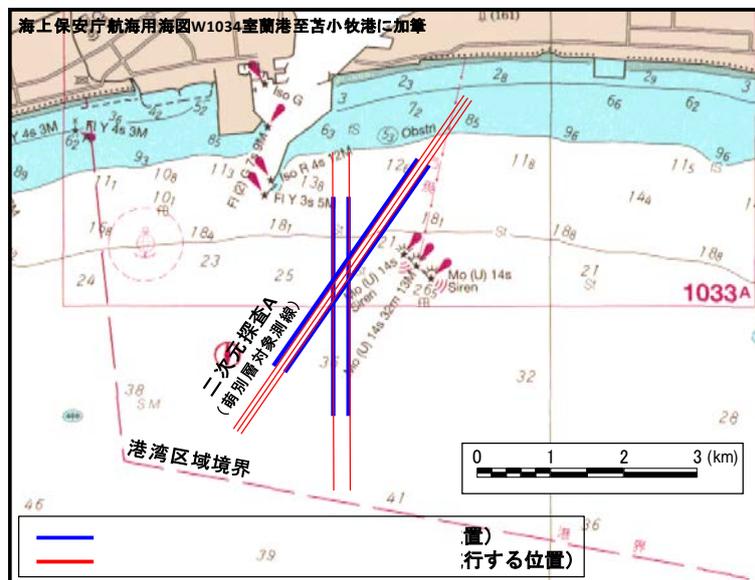


図 4.2-9 2016 年度二次元弾性波探査 調査測線図

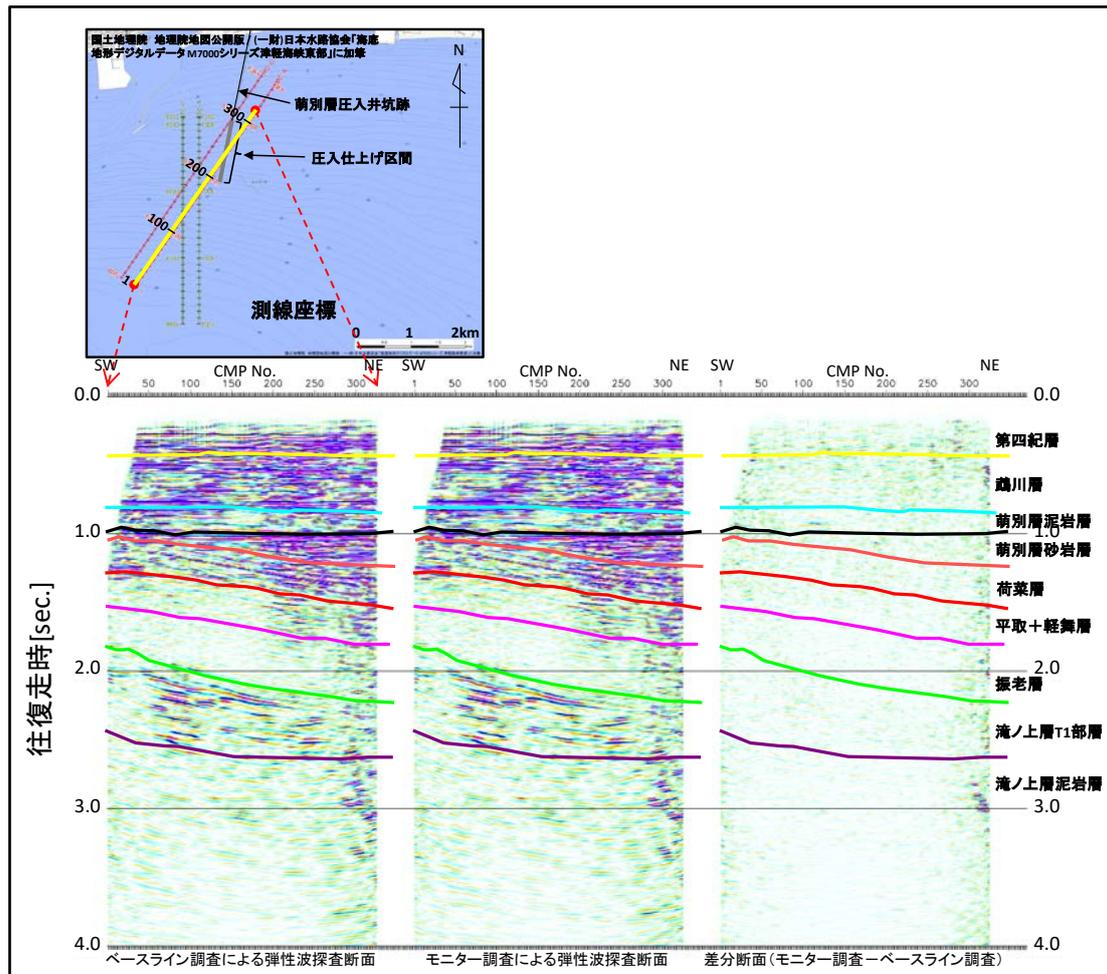


図 4.2-10 2016 年度二次元弾性波探査 鉛直断面例（測線配置 A）

(2) 2017 年度（第 2 回モニター調査）

第 2 回目のモニター調査として三次元弾性波探査を実施した。データ取得期間および期間中の CO₂ 累計圧入量は以下のとおりである。

データ取得期間	2017 年 7 月 9 日～同年 8 月 17 日
累計圧入量	萌別層貯留層 : 61,238.9～69,070.0 t
	滝ノ上層貯留層 : 0 t

図 4.2-11 に調査測線図を示す。本調査では、同図に示すように、南北方向計 16 本の受振測線および東西方向 26 本の発振測線を設定した。受振測線のうち東側の 6 測線はベースライン調査範囲東側の地下構造を確認するために設定したものであるため、差分記録の作成は西側 10 本の受振測線で収録したデータおよびベースライン調査のデータを用いて実施した。

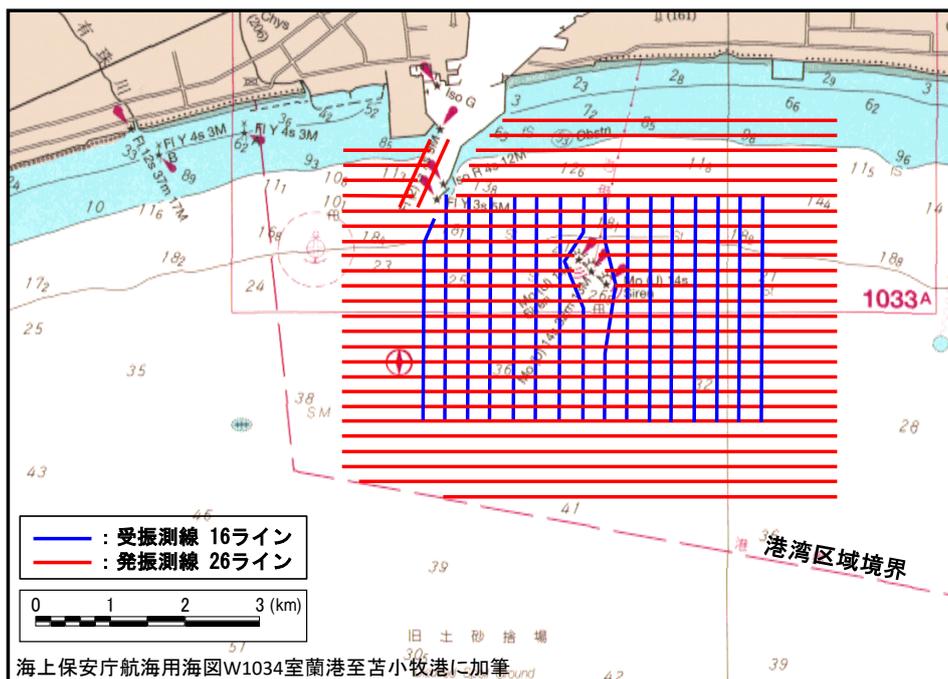


図 4.2-11 2017 年度三次元弾性波探査 調査測線図

図 4.2-12 および図 4.2-13 に差分記録のうち東西鉛直時間断面および南北鉛直時間断面を例示した。この二つの断面は萌別層貯留層への CO₂ 圧入に伴って差分記録上に変化が認められた領域を含む代表例である。差分記録上には、圧入井坑跡周辺の萌別層砂岩層上面深度付近（往復走時 1 s 付近の赤色の楕円内）に、反射波の振幅が異なっている帯域（振幅異常域）が明瞭に認められた。これらは、CO₂ 圧入に伴い、ベースライン調査時点から本モニター調査時点までの期間に地下の物性変化が生じたことを示している。

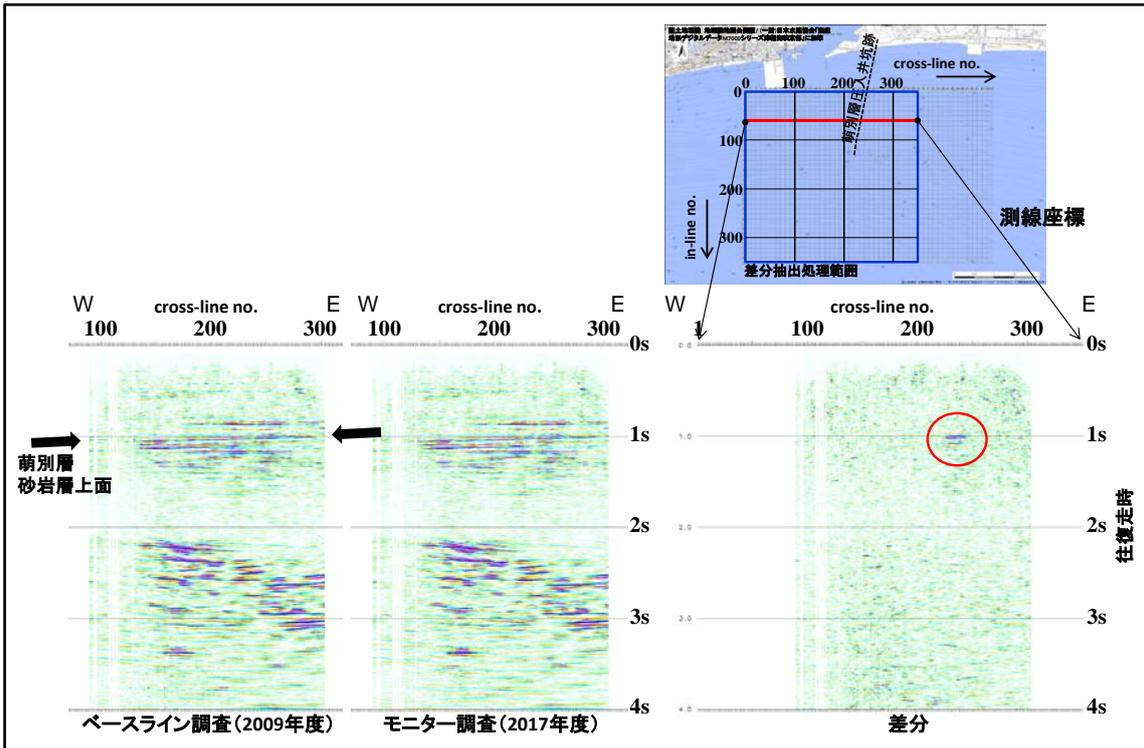


図 4.2-12 2017 年度三次元弾性波探査 東西鉛直時間断面例

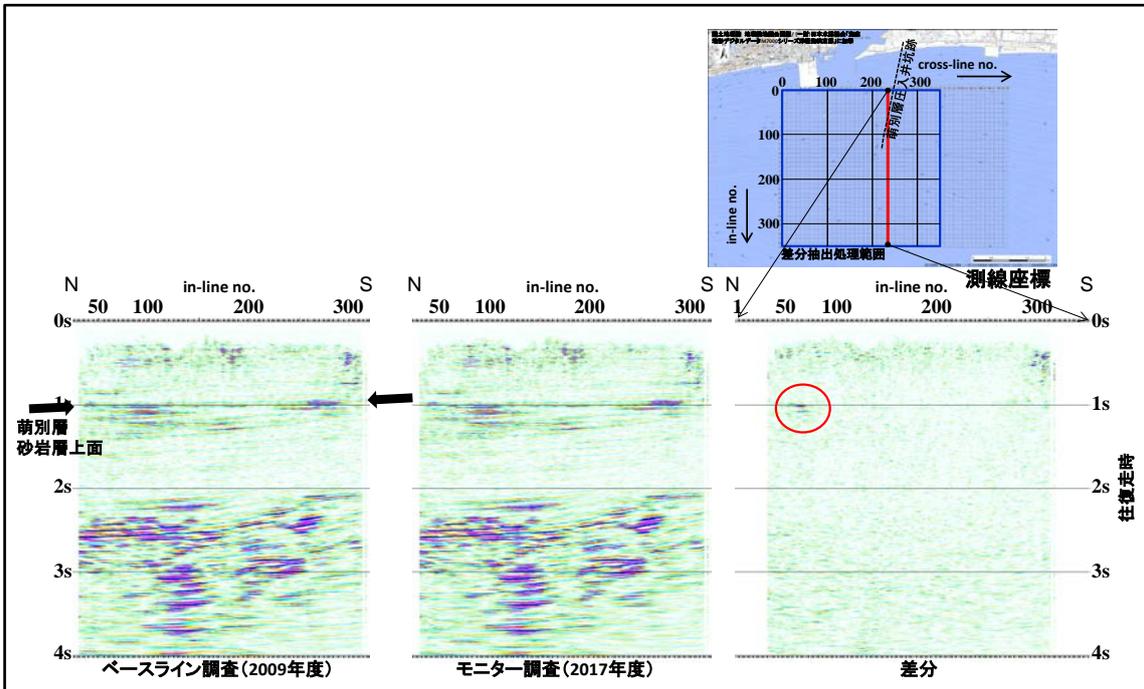


図 4.2-13 2017 年度三次元弾性波探査 南北鉛直時間断面例

図 4.2-14 に東西鉛直時間断面の拡大図を示す。時間断面上の振幅異常域は、図中に黒の

実線で示す萌別層砂岩層上面付近に位置しており、圧入した CO₂ が萌別層砂岩層最上部、およびその直上の萌別層泥岩層最下部に狭在する砂岩層内に貯留されていることがわかる。同図では、往復走時約 1.07 s と同約 1.15 s 付近にも弱い振幅異常が認められたが、これらは下方進行波が CO₂ 貯留領域を透過する際に振幅が減少したために生じた偽像であり、下部の地層に物性変化が生じたことを示すものではない。以上のことから、圧入した CO₂ は貯留層の上部付近に限定して存在しており、貯留層区間外への漏洩等の異常は生じていないといえる。

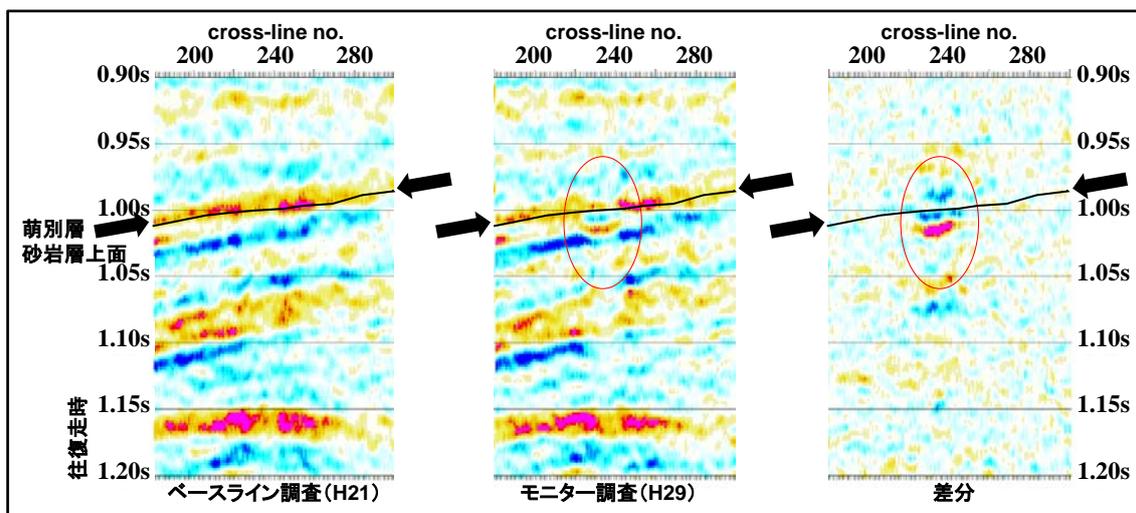


図 4.2-14 2017 年度三次元弾性波探査 東西鉛直時間断面拡大図

図 4.2-15 は、鉛直時間断面上で顕著な振幅異常が観測された往復走時 992 ms から 1,032 ms までの時間ウインドウ内の差分記録の RMS 振幅⁴を計算し、平面図上に投影して表示したものである。同図には萌別層圧入井 IW-2 坑跡の平面投影位置を重ねて表示した。

この平面上では圧入井坑跡を中心として暖色系の RMS 振幅の大きい領域が分布しており、CO₂ が圧入井から周囲に浸透していることを示していると考えられる。この RMS 振幅が大きい領域の中心部付近において、その値は最大を示しており、当該位置は投影平面上で圧入井坑跡上に位置している。坑跡上の当該位置の深度は約 1,010 m であり、圧入仕上げ区間の上部区間に相当する。なお、この平面図の南西側縁辺部に認められる RMS 振

⁴ RMS (Root Mean Square) 振幅：ある任意の往復走時の間（時間ウインドウ）の内において計測された信号の二乗平均平方根。波動の強度（実効値）を表す際に用いられる。

幅の大きな領域は、鉛直時間断面（例えば、図 4.2-14）と同様に、観測に伴うノイズによるものである。

RMS 振幅値の変化は定性的に貯留層内の物性変化の程度に対応しているため、圧入した CO₂ は深度約 1,010 m 付近を中心として貯留層内に浸透しているものと考えられる。

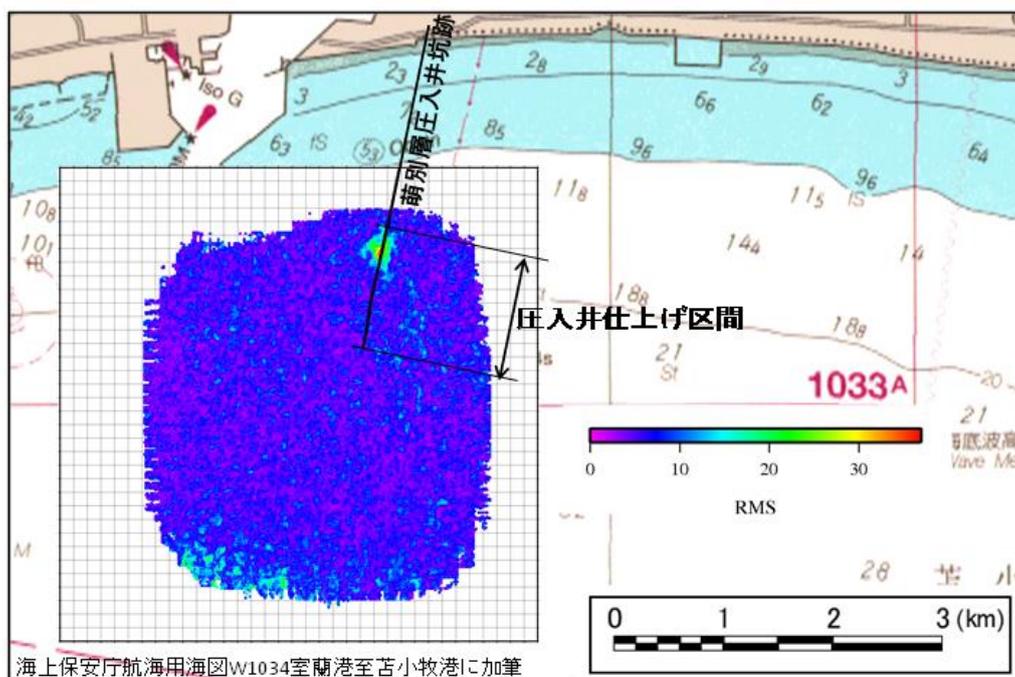


図 4.2-15 2017 年度三次元弾性波探査 差分記録の RMS 振幅水平分布
(時間ウィンドウ : 992 ms~1,032 ms)

(3) 2018 年度 (第 3 回モニター調査)

第 3 回目のモニター調査として二次元弾性波探査を実施した。データ取得期間および期間中の CO₂ 累計圧入量は以下のとおりである。

データ取得期間	2018 年 9 月 26 日~同年 10 月 18 日
累計圧入量	萌別層貯留層 : 207,208.9 t (圧入停止中に調査を実施)
	滝ノ上層貯留層 : 98.2 t

図 4.2-16 に調査測線図を示す。

本調査では当初計画した二次元弾性波探査に加えて、今後の圧入進展に伴って北方に CO₂ 分布域が拡大する場合に備えたベースライン記録を取得するために、三次元弾性波探査ベースライン調査領域の北端部および同北側領域を対象とした小規模三次元弾性波探査を実施した。これらの調査測線は図 4.2-16 に併記した。

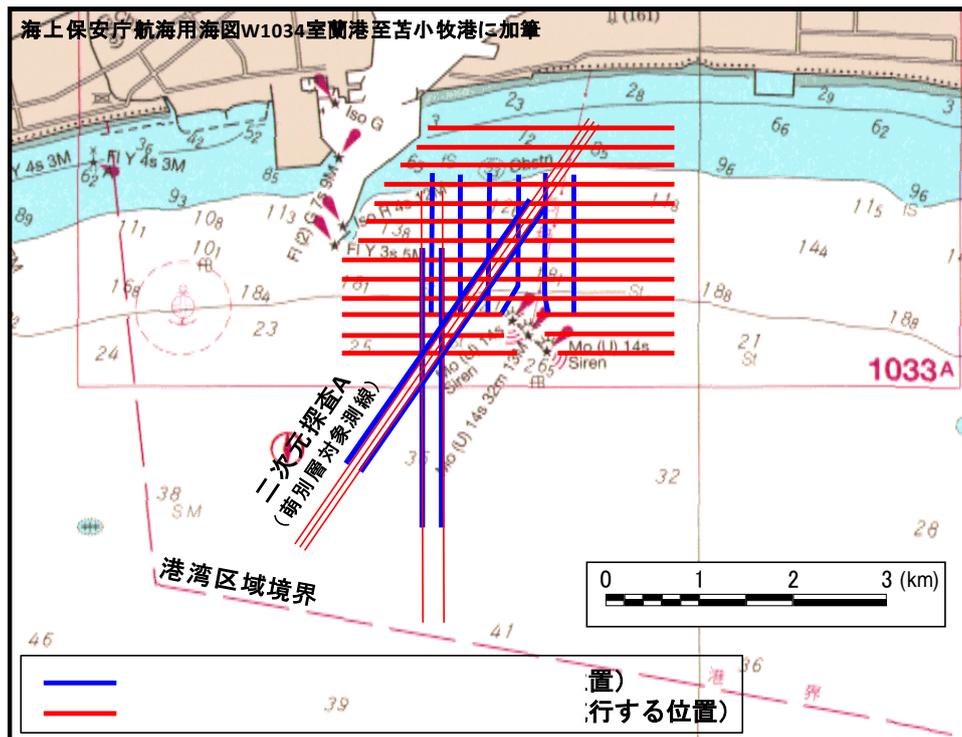


図 4.2-16 2018 年度二次元弾性波探査および小規模三次元弾性波探査 調査測線図

二次元弾性波探査では 2016 年度の第 1 回モニター調査と同様の測線配置で観測を行い、測線配置 A では計 7 本の重合測線上で、測線配置 B では計 3 本の重合測線上でそれぞれ二次元鉛直時間断面を得た。

図 4.2-17 に、測線配置 A の 7 本の二次元鉛直時間断面のうち最も南東側の断面（ベースライン調査、モニター調査の各断面および両者の差分断面）を示す。萌別層砂岩層深度付近（往復走時 1~1.2 s 付近に対応）において、本モニター調査時点とベースライン調査時点との間に振幅異常が明瞭に認められた。三次元弾性波探査とは異なって、二次元弾性波探査結果からは詳細な空間分布を求めることはできないものの、第 2 回モニター調査時点に引き続いて地下の CO₂ 分布状況が確認され、CO₂ は想定どおりに貯留層内に留まっていると考えられた。

図 4.2-18 に、測線配置 B の 3 本の二次元鉛直時間断面のうち中央の断面（ベースライン調査、モニター調査の各断面および両者の差分断面）を示す。滝ノ上層深度付近（往復走時 2~2.5 s 付近に対応）において、本調査時点とベースライン調査時点との間に明瞭な変化を認めることはできなかった。本モニター調査実施時の滝ノ上層への CO₂ 累計圧入量は約 98 t であり、圧入による地下物性変化が、繰り返し弾性波探査の検知限界未満であったためと考えられる。

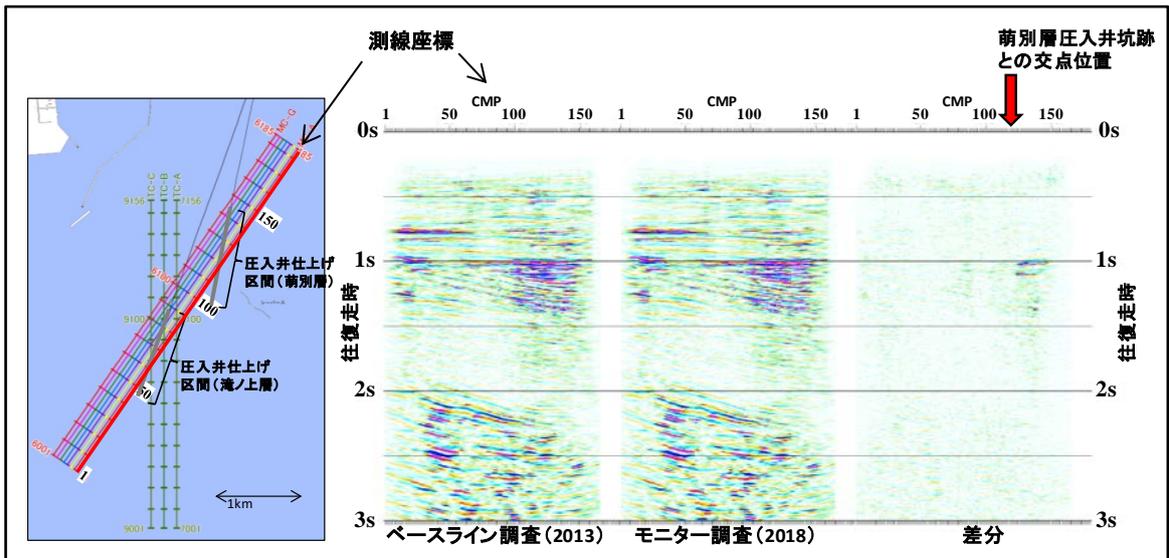


図 4.2-17 2018 年度二次元弾性波探査 鉛直断面例 (測線配置 A)

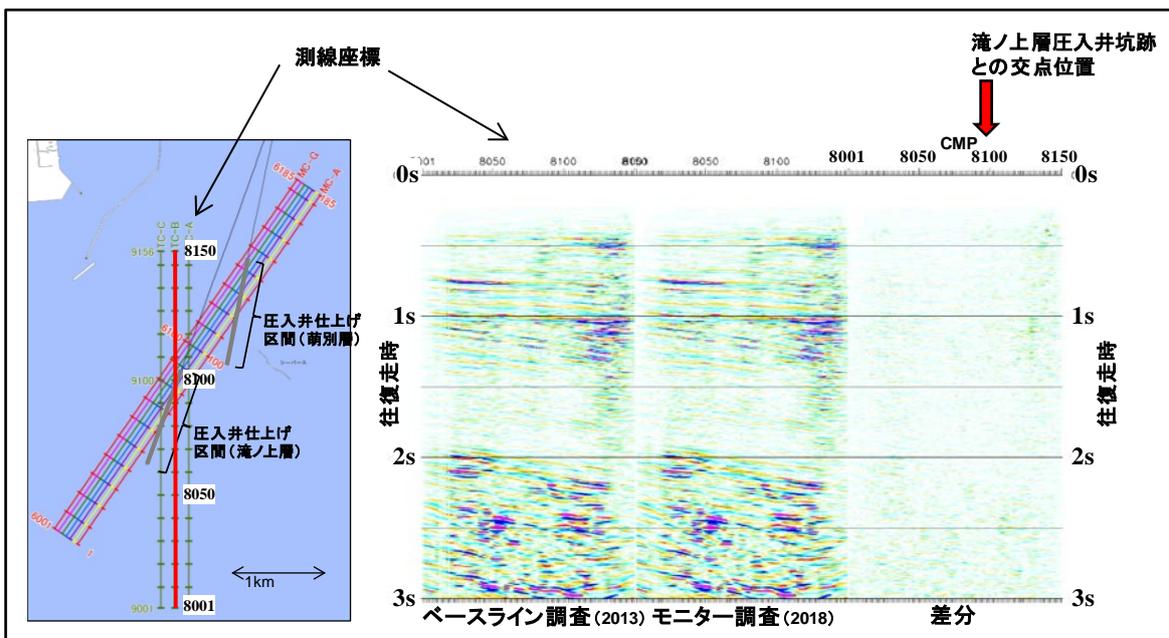


図 4.2-18 2018 年度二次元弾性波探査 鉛直断面例 (測線配置 B)

図 4.2-19 に小規模三次元弾性波探査で得られた三次元反射法ボリュームの東西鉛直時間断面および南北鉛直時間断面の例を示した。弾性波探査では地層境界等の構造変化を地震波の伝搬速度で把握するが、萌別層貯留層深度に相当する往復走時 1 s 前後の反射面およびこれ以深の地層による反射面が明瞭に捉えられており、ベースライン記録を補間するためのデータとして十分な品質が確保されている。

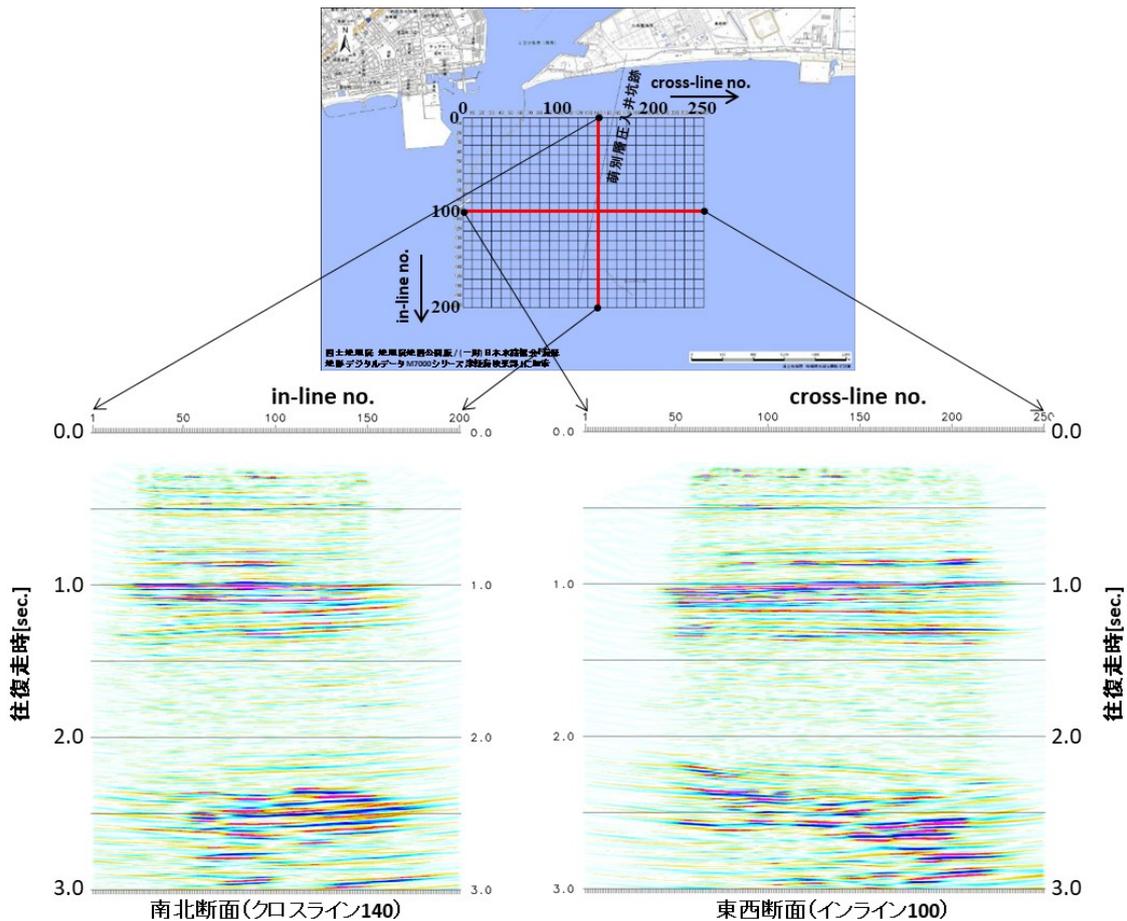


図 4.2-19 小規模三次元弾性波探査による鉛直時間断面例（東西断面および南北断面）

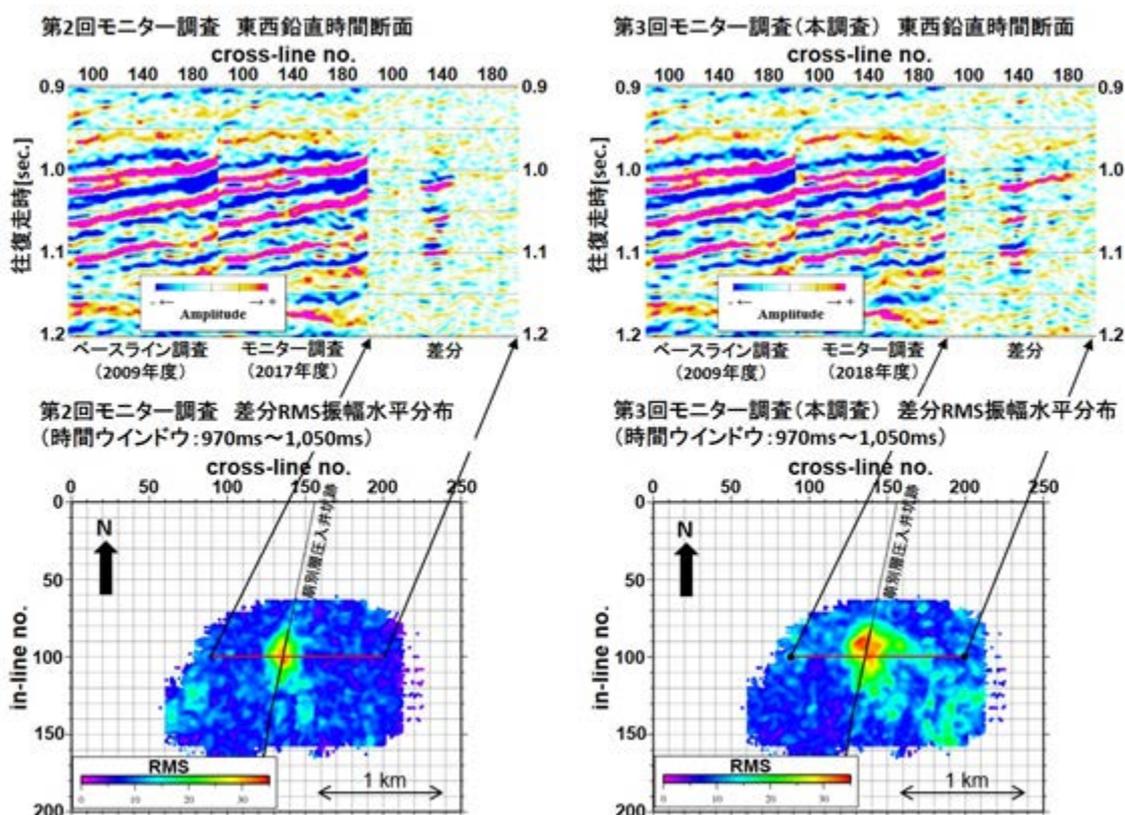
図 4.2-20 に本調査記録と 2009 年度の三次元弾性波探査ベースライン調査記録による差分抽出処理結果を示す。差分抽出処理は両調査の重複領域（本調査範囲の概ね南半分）に共通して存在する受振点と発振点の組み合わせによる限られたデータのみを用いて実施するため、重合数の低下に伴って特に縁辺部における S/N が低下し、得られた差分記録には圧入した CO₂ とは無関係のノイズが含まれる点に注意を要する。

同図には、作成した差分記録のうち、前年度の第 2 回モニター調査において CO₂ 圧入に伴う振幅異常を示した領域のほぼ中心を通る東西鉛直断面（拡大図）および萌別層砂岩層上面付近に対応する往復走時 970 ms から 1,050 ms の範囲で計算した RMS 振幅の平面分布を示した。また、比較のため第 2 回モニター調査の結果も併せて示した。

第 2 回モニター調査時点と比較して振幅異常の領域が拡大しており、圧入の進展に伴い CO₂ 貯留範囲が拡大していた。その北側への拡大範囲は 50 m 程度と小さく、当初計画の繰り返し三次元弾性波探査で捕捉可能な範囲に収まっているため、本調査で取得したデータのうち 2009 年度の三次元弾性波探査ベースライン調査と重複しない受振測線北側区間

で取得したデータには、これまでに圧入した CO₂の影響を受けていないデータが十分に含まれており、三次元ベースライン調査記録と併用することが可能である。

これらのことから、同図に示した 2009 年度の三次元弾性波探査ベースライン調査と重複しない領域において取得されたデータは、今後の弾性波探査データを比較するためのベースライン記録として参照に資するデータであると判断した。



注) 2018 年度に実施した小規模三次元弾性波探査は、将来の圧入進展に伴って CO₂ 分布域が当初想定範囲の北側に拡大した場合に備えたベースライン調査を想定して実施したものであり、縁辺部における S/N の低下によって、得られた差分記録には圧入した CO₂ とは無関係のノイズが含まれる点に注意する必要がある。

図 4.2-20 2018 年度小規模三次元弾性波探査と前回調査との比較
(差分記録の鉛直時間断面および RMS 振幅水平分布の例)

(4) 2019 年度 (第 4 回モニター調査)

第 4 回目のモニター調査として二次元弾性波探査および小規模三次元弾性波探査を実施する。データ取得期間および期間中の CO₂ 累計圧入量は以下のとおりである。

データ取得期間 2020 年 1 月 16 日～同年 2 月 10 日

累計圧入量 萌別層貯留層 : 300,012 t (圧入停止後に調査を実施)

滝ノ上層貯留層 : 98 t

図 4.2-21 に調査測線図を示す。2019 年度は、2020 年 1～2 月に小規模三次元弾性波探査と二次元弾性波探査を実施し、その調査結果の解析は 2020 年度に実施する。

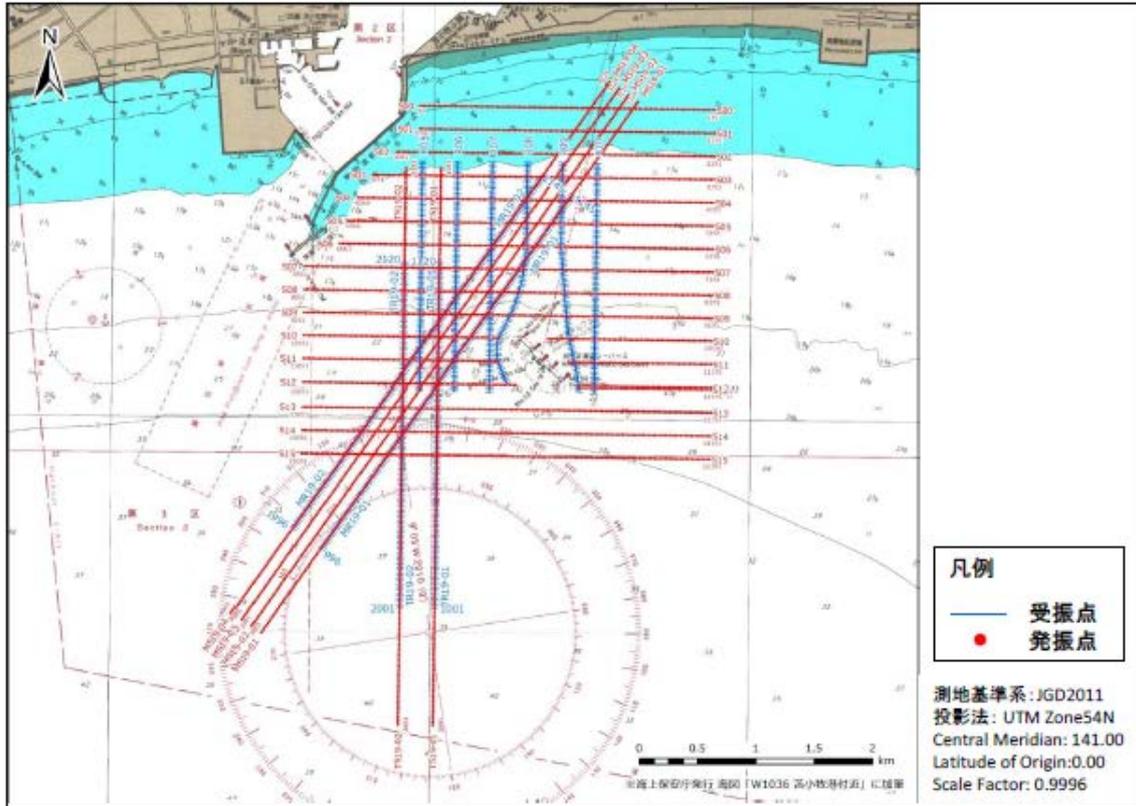


図 4.2-21 2019 年度弾性波探査の調査測線

4.2.4 モニタリング結果のまとめ

CO₂ 圧入に伴う貯留層の温度圧力の変化をモニタリングし、あらかじめ想定した設定値の範囲内にあることを確認した。圧入開始以降から 2019 年度まで、平成 30 年北海道胆振東部地震本震前後を含めて、貯留地点近傍において微小振動および自然地震をモニタリングした結果、圧入との関連を疑うべき微小振動等は検知されなかった。

弾性波探査を用いたモニター調査の結果、2017 年度以降では、萌別層における CO₂ 分布状況が検知され、圧入した CO₂ は貯留層の上部付近に限定して存在しており、貯留層区間外への漏洩等の異常は生じていないと考えられた。滝ノ上層への CO₂ 累計圧入量は 98 t と非常に少なく、弾性波探査による CO₂ 分布状況は確認できなかった。弾性波探査による検知限界未満であったためと考えられる。

4.3 海洋環境調査結果

4.3.1 概要

わが国における CO₂ の海底下の地下貯留は、海洋汚染防止法に則り、適切な「監視計画」等の同法に規定する許可条件を満たした上で、環境大臣の許可のもと実施されねばならない。また許可を受けた事業者は監視計画に従い監視を実施し、その結果を環境大臣に報告する必要がある。監視計画においては監視段階を三段階に定め、事前に定めた移行基準により監視段階が移行する。

経済産業省は、特定二酸化炭素の海底下廃棄許可申請の準備として、2013年6月よりベースライン調査（2013年度夏季、秋季、冬季および2014年度春季）を実施する一方、環境省との事前協議を行い、2016年2月22日に環境省へ、海洋汚染防止法に係る「特定二酸化炭素の海底下廃棄許可申請書」を提出し、同年3月31日に本事業海域における CO₂ 海底下貯留についての許可証⁵の交付を受けた。これに基づき、同年4月6日に萌別層への CO₂ 圧入を開始し、同年5月24日まで継続した後、本事業の設備定期保全工事のため計画的に圧入を停止した。この間に萌別層には 7,163 t の CO₂ が圧入された。

萌別層への CO₂ 圧入の再開は 2016 年 8 月初旬を予定していたが、監視計画に則って同年 6 月に実施した海洋環境調査（春季調査）において、海水の化学的性状に、事前に定めた溶存酸素飽和度と二酸化炭素分圧との関係に基づく監視段階の移行基準（後述図 4.3-4 の旧基準線）を上回る値が認められた。そのため圧入の再開を延期し、監視計画で定めた一連の追加調査を同年 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、環境省からは同年 10 月 13 日に、「特定二酸化炭素の漏出またはそのおそれがある事象は確認されなかった」との見解を得た。

あわせて経済産業省は、2016 年 10 月 13 日に環境省より発せられた「海底下 CCS 事業に係る監視計画のあり方について」に基づく監視計画の見直しを実施し、同年 12 月 28 日に監視計画の変更申請を環境省に届出し、翌 2017 年 2 月 1 日に監視計画の変更⁶を許可された。

従来の監視計画では、圧入を中断して監視段階を移行するか否かを判断するための確認調査は、海水の化学的性状の再調査のみであった（図 4.3-1）。一方、新たな監視計画では、海水の化学的性状の再調査に pH センサー調査と気泡確認調査を加えて、より詳細な

⁵ 環水大水発第 1603319 「特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の許可証について」。

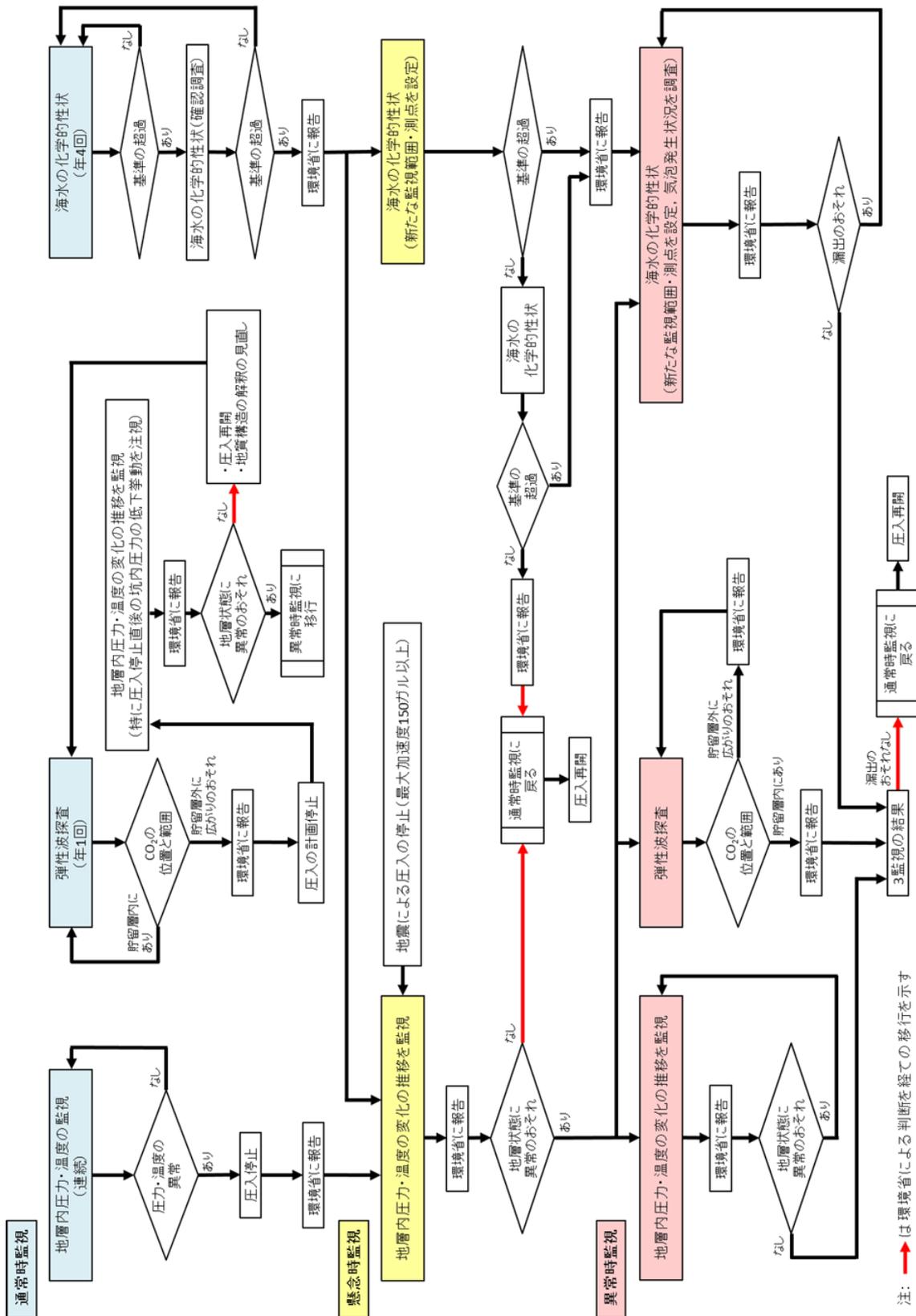
⁶ 20161222 産第 1 号「特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄変更許可申請書」の添付書類-1「特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄する海域の特定二酸化炭素ガスに起因する汚染状況の監視に関する計画に係る事項」。

海域の状況を把握した後に、圧入を中断して監視段階を移行するか否かを判断することとなり（図 4.3-2）、萌別層への CO₂ 圧入を、2017 年 2 月 5 日に再開した。2016 年度冬季海洋環境調査（2017 年 2 月 15 日～22 日に実施）以降は、この改定された監視計画に従って海洋環境調査を実施した。

新旧いずれの監視計画においても、そこに示された移行基準は、圧入前 1 年間（2013 年度夏季～2014 年度春季）に実施したベースライン調査（以下、「ベースライン」と称する。）のデータのみに基づいて作成したこともあり、監視を継続することで毎年蓄積される自然変動のデータを加えることにより見直すこととされている。上述の 2016 年度冬季海洋環境調査以降、2017 年度に四季の海洋環境調査を行いデータが蓄積されたことから、経済産業省はそれらのデータを追加した移行基準の見直しを行い、2018 年 7 月 19 日に移行基準を見直した監視計画の変更申請を環境省に届出し、同年 8 月 31 日に監視計画の変更⁷が許可された。

本章では、監視計画に記載した監視方法のうち、海域の状況に関する事項の「海水の化学的性状」と「海洋生物の状況」について、2016 年度から 2019 年度秋季までに実施した海洋環境調査の結果を報告する。

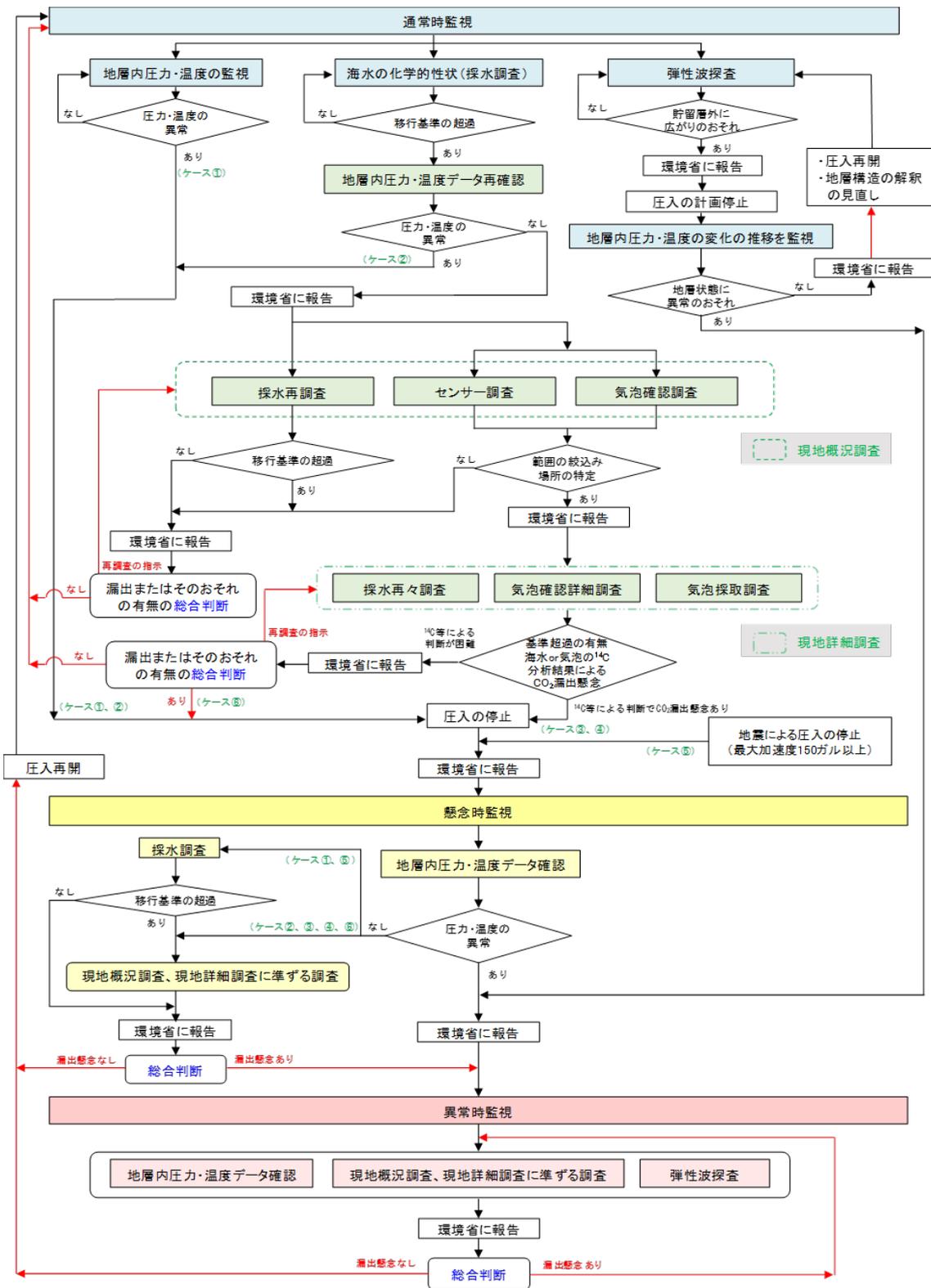
⁷ 20180709 産第 1 号「特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄変更許可申請書」の添付書類-1「特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄する海域の特定二酸化炭素ガスに起因する汚染状況の監視に関する計画に係る事項」。



注：→ は 環境省による判断を経ての移行を示す

図 4.3-1 変更前の監視計画における通常時・懸念時・異常時監視の移行の流れ

(2017年1月31日まで)



注：→ と赤字は環境省による判断を経ての移行を示す。

図 4.3-2 変更後の監視計画における通常時・懸念時・異常時監視の移行の流れ
(2017年2月1日以降)

4.3.2 海洋環境調査の目的と調査内容

海洋環境調査は、採水・採泥等により「海水の化学的性状」調査および「海洋生物の状況」調査を、環境省との事前協議に基づいて決定した12点の調査測点⁸（図4.3-3中の赤丸印）で、春夏秋冬の四季毎に行う。

なお、海水の化学的性状に関しては、CO₂の海洋への漏出のおそれを検知する指標として、監視段階の移行基準が設定され、調査ごとに基準超過判定を実施している。

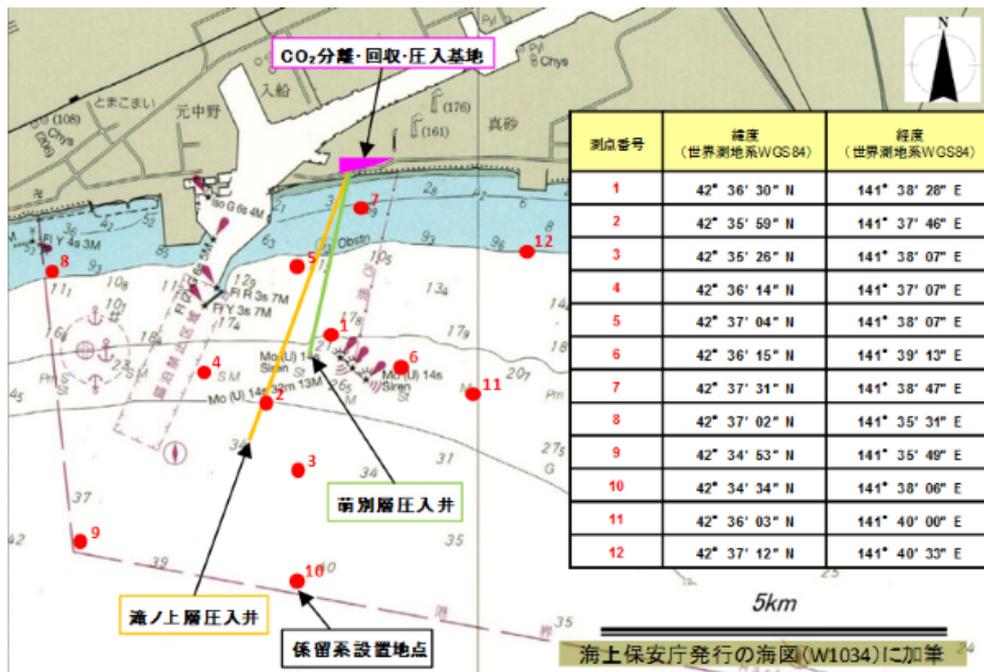


図 4.3-3 調査海域と測点位置 (No.01~12)

4.3.3 海洋環境調査結果

調査は、表 4.3-1 に示す時期に実施した。2016 年度から 2019 年度秋季までの調査結果について、CO₂貯留前のベースラインの結果と比較して報告する。

⁸ 萌別層および滝ノ上層の圧入地点の直上を最も可能性の高い漏出点と想定して 2 点の調査測点を設定し、萌別層圧入地点を中心とする 2 km 四方のエリアと滝ノ上層圧入地点を中心とする 2 km 四方のエリアと統合した 3 km 四方のエリアの四辺に 4 点の調査測点を設定した。さらに漏出点の不確実性に備えて、萌別層圧入地点を中心とする 6 km 四方のエリアと滝ノ上層圧入地点を中心とする 6 km 四方のエリアを統合した周辺エリアに、水深等を考慮して計 6 点の調査測点を設定した。

表 4.3-1 海洋環境調査の実施時期

		春季	夏季	秋季	冬季
ベースライン	CO ₂ 貯留前	2014年5月	2013年8月	2013年11月	2014年2月
2016年度	CO ₂ 貯留 開始後	2016年6月	2016年8,9月	実施せず	2017年2月
2017年度		2017年5月	2017年8月	2017年11,12月	2018年2月
2018年度		2018年5月	2018年8,9月	2018年11月	2019年2月
2019年度		2019年5,6月	2019年8,9月	2019年11,12月	2020年2月

(1) 海水の化学的性状

① 水質調査

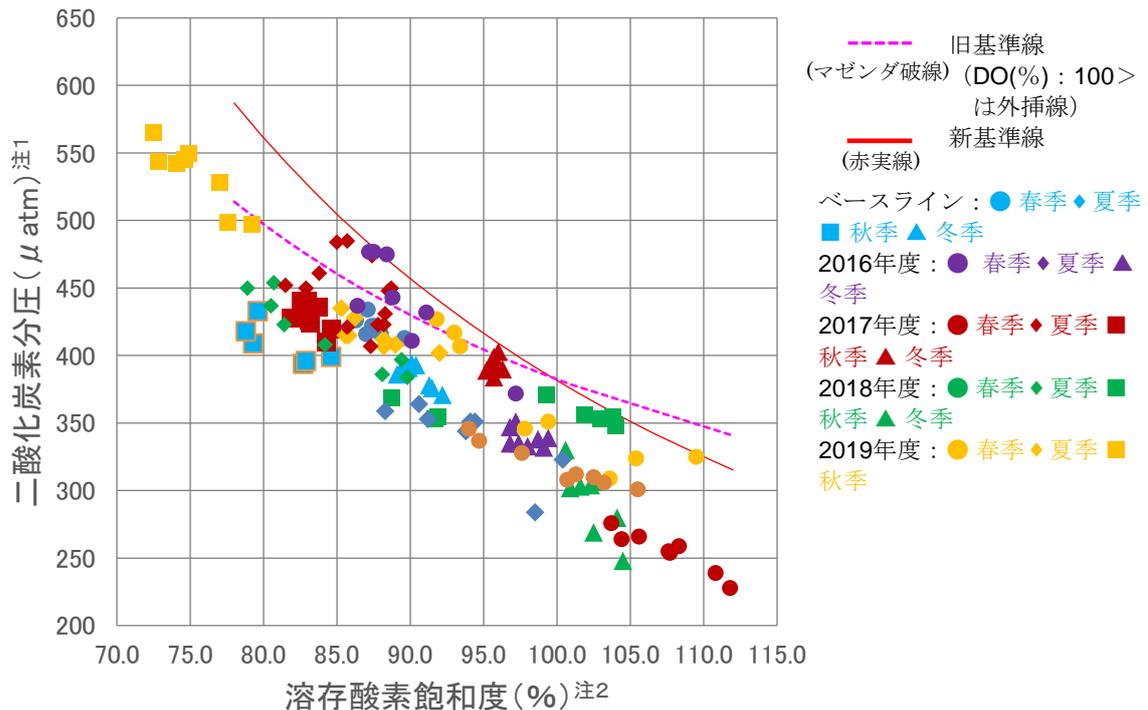
多項目水質センサーを用いた海水中の鉛直観測および採水（採水水深の深い方から、底層、下層、上層および表層の4点で採水）により、海水の化学的性状を分析した。測定項目は、表 4.3-2 のとおりである。

表 4.3-2 測定項目

測定項目	定義	観測の目的
pH	酸および塩基の指標	水質の異常（CO ₂ 漏出）
溶存酸素	水中に溶存する酸素（量）	採水値を基準超過判定に使用
二酸化炭素分圧 (pCO ₂)	二酸化炭素の圧力	基準超過判定に使用
塩分	海水の塩分（実用塩）	pCO ₂ の算出に使用
全炭酸	海水に溶けている炭酸物質の総和	pCO ₂ の算出に使用
アルカリ度	海水中の塩基濃度	pCO ₂ の算出に使用

多項目水質センサーによる底層の pH および溶存酸素は、ベースラインの結果および 2016 年度春季以降の結果を比較して、大きな相違は見られなかった。

採水調査による底層の塩分、全炭酸、アルカリ度およびこれらから算出された pCO₂ について、ベースラインの結果および 2016 年度以降の結果を比較して、顕著な上昇または増加傾向は見られなかった。



注 1) 水温（多項目水質センサー）、塩分、全炭酸、およびアルカリ度から CO2SYS による炭酸平衡の関係式により算出。

注 2) 水温（多項目水質センサー）、塩分および溶存酸素から Weiss（1970）式に従って算出。

図 4.3-4 監視段階の移行基準と観測値

ベースラインの結果に基づき作成された旧基準線（図 4.3-4 中のマゼンダ色破線）による超過判定（図 4.3-3 の No.5、7、8 および 12 を除く 8 測点が対象）では（図 4.3-4）、2016 年度春季、2017 年度夏季および冬季に基準線超過の結果を生じたが、その後の確認調査等により、「特定二酸化炭素の漏出またはそのおそれがある事象は確認されなかった」との見解が環境省より出された。

図 4.3-4 中の旧基準線はベースライン 1 年のみのデータに基づいて作成しており、自然変動の反映が不十分と判断し、2018 年 8 月にベースラインデータに 2016 年度冬季から 2017 年度冬季までのデータを追加して作成した新基準線（図 4.3-4 中の赤色実線）を経済産業省へ提案し、2018 年 8 月 31 日に経済産業省は環境省から変更許可を受けた。

2018 年度夏季以降は、この新基準線により超過判定を行っており、2018 年度春季から 2019 年度秋季まで、基準線を超過する数値は認められなかった。

② 底質調査

採泥試料から分取し測定した底質の pH の変動幅は、ベースラインの結果と 2016 年度春季以降の結果を比較して、大きな相違は見られなかった。

③ 気泡発生の有無と状況調査

船上からの目視による海面の観測、水中カメラおよび遠隔操作型無人探査機（Remotely Operated Vehicle、以下、「ROV」と称する。）による海底面付近の観測のいずれにおいても、気泡の発生は確認されなかった。

(2) 海洋生物の状況

植物プランクトン、動物プランクトン⁹、メイオベントスおよびマクロベントスの門数、綱数、種数、1調査測点あたりの平均細胞数と平均出現個体数を調査した。

いずれもベースラインの結果および2016年度春季以降の結果を比較して、大きな相違は見られなかった（表4.3-3、表4.3-4）。メガロベントスはベースライン時に出現した主要な種について、2016年度春季以降の調査で生息数を確認した。

⁹ 植物プランクトンおよび動物プランクトン調査は、監視計画以外の調査項目。

表 4.3-3 プランクトンの出現種類数および出現個体数

年度	植物プランクトン				動物プランクトン				
	門	綱	種	平均細胞数 /L	門	綱	種	平均出現 個体数/m ³	
春季	ベースライン	4	5	100	1,000,000	10	14	78	8,400
	2016年度	5	6	92	3,500,000	12	19	85	17,000
	2017年度	5	9	96	1,100,000	11	18	85	53,000
	2018年度	6	7	49	3,000,000	9	14	72	26,000
	2019年度	6	7	69	690,000 ¹⁰	9	18	70	29,000
夏季	ベースライン	5	7	131	1,200,000	12	17	115	21,000
	2016年度	5	6	94	70,000	13	19	126	43,000
	2017年度	6	9	105	10,000,000	10	19	113	23,000
	2018年度	6	8	91	620,000	13	19	87	10,000
	2019年度	5	7	96	2,400,000	12	21	104	21,000
秋季	ベースライン	5	7	102	370,000	10	14	100	5,500
	2016年度	—	—	—	—	—	—	—	—
	2017年度	6	8	87	1,200,000	11	17	91	20,000
	2018年度	6	7	101	130,000	13	21	135	14,000
	2019年度	6	7	81	100,000	10	18	89	5,300
冬季	ベースライン	5	5	82	120,000	10	13	58	1,500
	2016年度	4	6	79	1,300,000	8	15	79	8,700
	2017年度	6	7	65	330,000	9	14	86	4,100
	2018年度	6	8	84	5,600,000	10	16	67	4,400

注) ベースライン 2013年度～2014年度

¹⁰ 植物プランクトンの大増殖は、2018年度冬季調査の時期にみられており、2019年度春季は大増殖の時期を過ぎたタイミングの時期であったこと等が考えられる。

表 4.3-4 ベントスの出現種類数および出現個体数

年度	メイオベントス				マクロベントス				
	門	綱	種	平均出現個体数/0.01m ²	門	綱	種	平均出現個体数/m ²	
春季	ベースライン	6	9	31	27,000	10	16	155	3,100
	2016年度	5	9	34	10,000	10	16	156	3,000
	2017年度	6	11	32	11,000	8	16	155	2,200
	2018年度	6	12	34	13,000	9	16	153	2,000
	2019年度	6	11	39	23,000	9	17	182	5,800
夏季	ベースライン	6	8	35	7,700	8	16	158	5,300
	2016年度	6	8	38	3,700	9	15	129	1,800
	2017年度	6	12	35	27,000	8	16	146	2,100
	2018年度	5	11	33	19,000	8	15	133	2,100
	2019年度	6	13	48	17,000	9	16	162	3,200
秋季	ベースライン	5	5	19	9,400	10	18	147	2,200
	2016年度	—	—	—	—	—	—	—	—
	2017年度	6	13	38	9,400	9	18	126	1,300
	2018年度	7	14	34	9,000	7	14	133	2,100
	2019年度	6	11	35	24,000	9	7	133	1,800
冬季	ベースライン	5	8	25	21,000	10	16	146	2,500
	2016年度	6	11	32	10,000	8	14	134	1,800
	2017年度	7	13	27	35,000	10	16	139	2,100
	2018年度	6	13	28	19,000	8	15	151	1,900

注) ベースライン 2013年度～2014年度

4.3.4 海洋環境調査結果のまとめ

海洋環境調査結果のまとめを下記に記す。

- 1) 「海水の化学的性状」および「海洋生物の状況」の調査において、2016年度春季から2019年度秋季までの調査結果はCO₂貯留前のベースラインの結果と大きな相違は見られなかった。
- 2) 基準超過判定結果は、旧基準線に対して3回の超過判定が生じたが、その後の確認調査等により、全て自然変動の範囲内であり、環境省から「特定二酸化炭素の漏出またはそのおそれがある事象は確認されなかった」との見解を得た。旧基準線は1年間のベースラインデータのみに基づいて作成したものであり、自然変動を反映するためには不十分であり複数年のデータ取得が必要であった。
- 3) 基準超過判定の対象となっている各調査測点における溶存酸素飽和度-pCO₂プロットに、いずれも大きな相違は認められなかった。

- 4) 基準超過判定について、水温により低温（春季、冬季）と高温（夏季、秋季）に分類することで、累乗近似式の相関係数の二乗（以下、「R2」と称する。）はそれぞれ向上することがわかった。春季と冬季を比較すると、春季の R2 が高いが、冬季の方は観測値のばらつきが小さく、また夏季と秋季を比較すると、秋季の方が R2 は高く、観測値のばらつきも小さいことから、基準判定は春季と冬季のいずれか 1 回と、秋季の年 2 回で十分と考えられる。
- 5) 気泡発生の有無と状況調査は、船上からの目視による海面の観測および水中カメラによる海底面付近の観測で十分であったと考えられる。
- 6) 底質調査は、CO₂ 漏出との関係が不明確であり、CO₂ 漏出検知に対する有用性は高くないと考えられる。
- 7) 海洋生物の状況調査は、ベースラインも含めて調査毎の変動が大きく、またベースラインと比較した統計解析等の定量的な評価が困難であることから、CO₂ 漏出検知に対する有用性は高くないと考えられる。

4.3.5 今後の海洋環境調査

今後の海洋環境調査に関する課題等を以下に記す。

- 1) 海洋環境調査は海洋汚染防止法に則り実施しており、現行法令の下でも、より簡素化が可能である。すなわち、調査範囲は、萌別層への圧入口に最も近い測点（No.1）および CO₂ が分布している範囲とその近傍とし（合計で数測点）、調査頻度は水温の低温時期（春季または冬季）および高温時期（秋季）の年 2 回、調査内容は採水調査のみとすること、また底質調査および海洋生物の調査については、CO₂ 漏出との関係が不明確であったことから、特定二酸化炭素ガス海底下廃棄許可期間に 1 回の実施とすることについて、当該許可更新申請時に反映させるべく今後環境省との協議が必要である。
- 2) 基準判定には溶存酸素飽和度－pCO₂ プロットを当面使用するが、より判定の精度を高めて誤検知の発生を極力防ぐために、さらに自然変動を反映させるためのデータを追加した基準線の改訂、溶存酸素飽和度－pCO₂ と他の指標と組み合わせた判定、現行の溶存酸素飽和度－pCO₂ に代わり得る指標の検討等を行う。
- 3) 海洋汚染防止法が改正され、監視計画に対する規制が緩和された場合、通常時監視においては、他の監視項目に異常が見られた場合のみ海洋環境調査を実施するとする監視計画について、将来的に環境省と協議する必要がある。

4.4 モニタリングおよび海洋環境調査実施時のトラブル

4.4.1 三次元弾性波探査ケーブル紛失

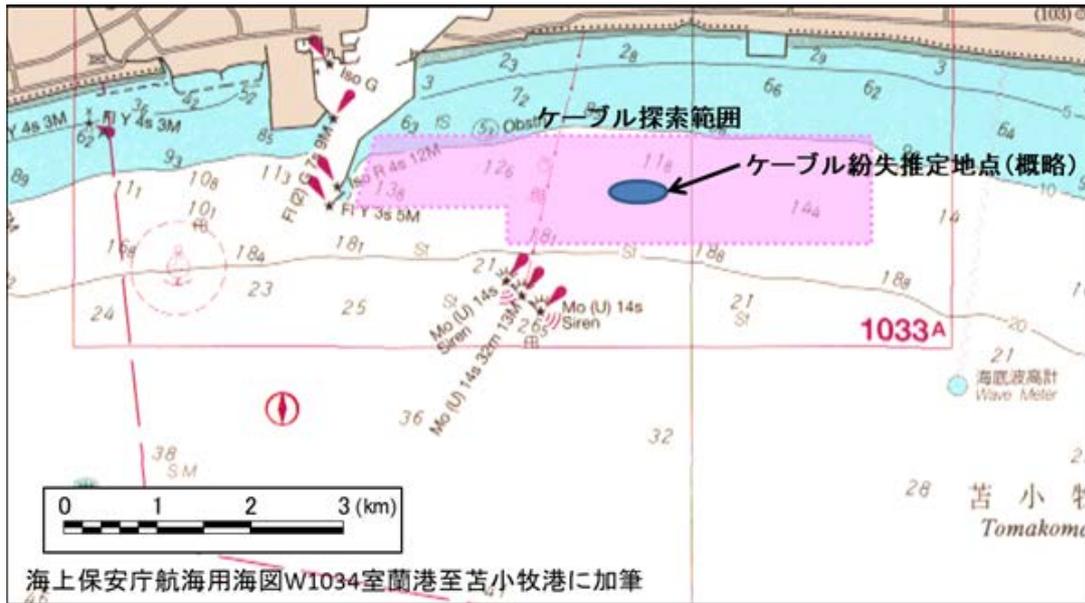
2017年7月から同年8月にかけて実施した三次元弾性波探査において、調査海域に設置中の海底受振ケーブルの一部が何等かの外力により切断され、そのうちの一部を紛失し、海底に残置した。切断されたのは、センサーを装着したケーブルと観測船との間を接続する全長400mの延長ケーブルのうちの約200m分であり、このうち約120mを紛失した。

受振ケーブルの移設作業中の2017年8月12日に当該ケーブルの切断を確認し、その後の各作業船の船底調査を経て、同年8月15日に最終的に紛失を確認した。その後、漁具による海底の浚い（同年8月21～同年8月22日）、およびサイドスキャンソナーによる海底探査（同年9月5日～同年9月7日）により、付近の海底を探索したものの発見に至らなかった（図4.4-1）。同年9月7日に、苫小牧海上保安署、苫小牧漁業協同組合および苫小牧港管理組合に探索結果を報告し、他に有効な手段がないことから探索を打ち切った。

2017年9月14日に、苫小牧漁業協同組合および苫小牧海上保安署に対してあらためてケーブル紛失の経緯、探索結果を報告するとともに、残置ケーブルにより漁業に支障が生じた際の費用弁済、再発防止策について説明し、了承を得た。

港湾区域内にケーブルが着底している可能性があることから、2017年9月19日および9月20日に苫小牧港管理組合および港湾関係各社各所を訪問して文書を配布し、紛失の経緯と残置ケーブルによる損害が発生した場合の対応を説明した。

その後、2019年9月末時点までにおいて、当該ケーブルの発見あるいは当該ケーブルによる損害等の情報はない。



注) 港湾関係各社配布文書より

図 4.4-1 ケーブル紛失推定地点および探索範囲

4.4.2 海洋環境調査アンカーおよびアンカーロープ紛失

2017年度秋季海洋環境調査期間中の2017年11月24日に、調査測点 St.10 において ROV による海洋生物調査を終了し、調査船船尾側の抜錨作業中に、アンカーロープが何らかの原因により切断された。当初、アンカーロープが海面上で目視できたことから回収を試みたが、波が高くなりアンカーロープを見失い、アンカーおよびアンカーロープを紛失した。

2017年11月25日から12月2日までの間、紛失現場周辺の目視搜索および紛失箇所を中心に半径約500mの範囲のサイドスキャンソナー探索3回を実施したが、発見できなかった(図4.4-2)。その後、2017年度冬季海洋環境調査(2018年2月)、2018年度春季海洋環境調査(2018年5月)、2018年度夏季海洋環境調査(2018年9月)および2018年度秋季海洋環境調査(2018年11月)実施時に、目視およびROVによる探索を実施したが、アンカーおよびアンカーロープの発見には至らなかった(以下にこれまで実施した探索手段、回数および実施年月日をまとめた)。

- | | |
|---------------|--------------------------------------|
| 1) サイドスキャンソナー | 3回 (2017/11/27、12/1、12/2) |
| 2) 目視 | 4回 (2017/11/25、11/30、2018/2/15、2/20) |
| 3) ROV | 4回 (2018/2/16、5/26、9/26、11/15) |

紛失から時間が経過しており、アンカーは潮流により流され、アンカーロープも含めて砂に埋もれている可能性が高く、これ以上探索を継続しても発見できる可能性は極めて低

いものと判断し、苫小牧港管理組合と協議の上、2018年度秋季調査時をもってアンカーおよびアンカーロープの探索を終了することとし、2018年度冬季調査開始時（2019年1月）に港湾関係各社に探索終了を周知した。

また、再発を未然に防止する策として、作業実施前にアンカーやアンカーロープの状況を作業員が点検し、整備が不十分である場合は、交換等の措置を施すとともに、投錨時にアンカー投入位置をGPSにより記録し、緊急的に設置する浮標を作業船に配備することとした。

その後、2019年12月末時点までにおいて、当該アンカーおよびアンカーロープの発見あるいは当該アンカーおよびアンカーロープによる損害等の情報は無い。

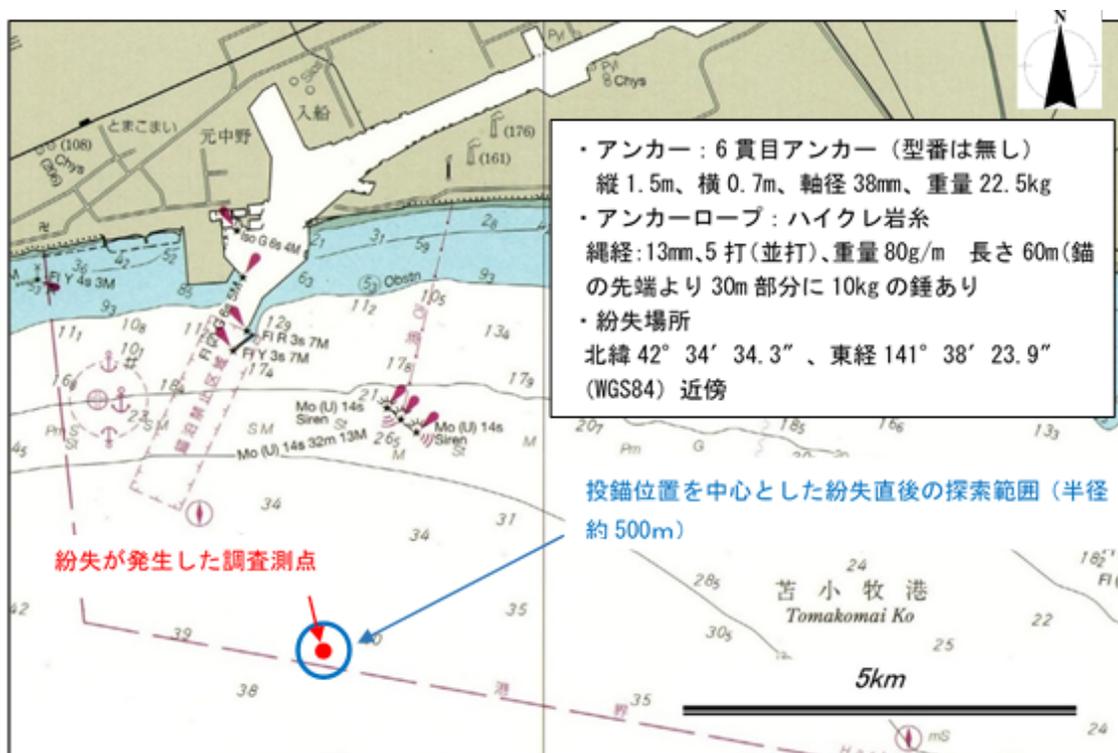


図 4.4-2 アンカー紛失地点および探索範囲

4.5 結果のまとめ

4.5.1 モニタリング結果

圧入開始以降、2019年12月まで、平成30年北海道胆振東部地震本震前後を含めて、貯留地点近傍において圧入との関連を疑うべき微小振動および自然地震は検知されなかった。

2017年度の弾性波探査以降、萌別層におけるCO₂分布状況が確認され、圧入したCO₂

は事前の想定どおりに貯留層の上部付近に限定して存在しており、貯留層区間外への漏洩等の異常は生じていないものと考えられる。

滝ノ上層へのCO₂累計圧入量は98tと非常に少なく、弾性波探査によるCO₂分布状況は確認できなかった。弾性波探査による検知限界未満であったと考えられる。

4.5.2 海洋環境調査結果

2016年度以降の調査結果は、ベースライン調査（2013年度～2014年度）結果と大きな相違はなく、またベースライン調査結果から大きく逸脱するような傾向も見られなかった。

基準超過判定は、旧基準線（ベースライン調査）に対して、2016年度春季、2017年度夏季、冬季に基準超過の結果が生じたが、確認調査等の結果により、「CO₂の漏出またはそのおそれがある事象は確認されなかった」との見解が環境省から示された。2018年度は、基準より高い数値は認められなかった（2018年度夏季以降、新基準線にて超過判定）。

4.5.3 総括

CO₂圧入は、萌別層には2016年4月6日から2019年11月22日までの間に300,012t、滝ノ上層には2018年2月6日から9月1日の間で98tを圧入した。CO₂圧入におけるPTセンサー圧力の最大値は、各層の遮蔽層破壊を避けるために設けた上限圧力に対して十分低く、圧入開始以降、PTセンサー圧力・温度は正常な範囲内にあった。

2019年12月までのモニタリングにより、CO₂貯留層の温度・圧力に異常はないこと、CO₂圧入と貯留に伴う微小振動や自然地震の発生は認められないこと、圧入されたCO₂は貯留層内に留まっていることが確認され、長期挙動予測シミュレーションにより、圧入されたCO₂は圧入停止から1,000年後においても貯留層に留まっていることが予想された。また海洋環境調査により、海洋にCO₂圧入開始前からの変化は認められず、CO₂の漏出またはそのおそれがある事象は確認されなかった。これらにより、本事業においてCO₂が安全に貯留されていることが確認された。

第5章 社会的受容性の醸成活動

本章では、CCSに対する社会的受容性の醸成に向けて実施した国内に向けた情報発信活動および海外に向けた情報発信活動について記述した。あわせて、有事における情報発信活動および地元ステークホルダーとのコミュニケーションの実績の検証に基づき、社会的受容性の醸成活動を総括した。

5.1 CCSに対する社会的受容性の醸成活動の目的・意義

本事業開始時点の2012年において、国内の一般社会ではCCSはほとんど知られておらず、CCSの認知度は低かった。CCS実用化のためには、CCS技術実用化の取組に加え、幅広い各世代が、CCSが地球温暖化対策の一つであることを知り、CCSに対する社会的受容性の醸成を図る必要があった。

CCSの社会的受容性の醸成を図る際、Wüstenhagenら¹によれば以下の三つの項目に関して、効率よく情報発信や意見交換を実施する必要があるとされている

- 1) 社会的・政策的な受容性の醸成として、地球温暖化やエネルギー問題等の関連情報を通じてCCSの必要性を伝える。
- 2) 地域の受容性の醸成として、信頼を獲得するための継続的なコミュニケーション活動に加え、二酸化炭素の漏洩、誘発地震等に関するリスクコミュニケーションや万が一の際の対応に備える。
- 3) 事業の受容性の醸成として、実用化に際しては事業として成り立つために、国の政策等の支援が必要である。

本事業では、国内においてCCSの目的・意義・技術を理解してもらうことを目的に、様々な情報発信活動を行ってきた。できるだけ平易な言葉でCCS技術の内容や必要性を伝えるとともに、こちらからの一方的な情報提供にとどまらず、CCSへの意見や疑問、不安を聞き取り、それに対する説明を行うといった相互に意見が述べられる機会を創出する情報発信活動に重点を置いた。

海外に向けては、海外の研究機関および企業との意見交換、CCS関連の国際会議等を活用した本事業の情報発信等、日本におけるCCSへの取り組みに関する情報発信に努めた。本事業実施期間中、海外からの視察を積極的に受け入れ、英語および中国語資料の提供、英語による説明により本事業の情報提供を実施した。

上記情報発信活動のほかに、有事における情報発信活動の実績、実証試験の地元ステー

¹ Wüstenhagen, R., Wolsink, M., Burer, M.J., 2007. Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. *Energy Policy* 35, 2683-2691.

クホルダーとのコミュニケーションの実績と検証、社会的受容性の総括を 5.4 節～5.6 節に記述する。

5.2 国内に向けた情報発信活動

5.2.1 概要

本事業の実施地である苫小牧市および周辺地域（以下、「地元地域」と称する。）の住民に CCS を正しく理解してもらうことが本事業を円滑に推進するために重要であると位置づけ、地元住民と直接コミュニケーションを取り信頼関係を構築することに重きを置いて、地元地域の様々な活動を通じた情報発信と独自の広報活動を継続的に実施した。広報活動では、地元住民への CCS 理解促進の機会を多くもつことを目的に、子ども、一般、シニアと三つの世代それぞれに適したイベントを地元地域で開催した。

本事業を実施するうえで関係する行政機関、漁協および港湾事業者等へは、本事業に関する情報を迅速かつ正確に提供するとともに、各機関からの情報提供要望に対応した。苫小牧市は本事業の誘致のために苫小牧市長を会長とする「苫小牧 CCS 促進協議会」を立ち上げており、同会の協力により円滑な情報発信活動を実施した。

本事業の情報発信活動の分類を以下に示し、各活動について 5.2.2～5.2.5 項に記述する。情報発信活動実績を表 5.2-1 に示す。

- 1) 苫小牧市およびその周辺地域への情報発信活動
 - ・ CCS 講演会の実施
 - ・ 地元住民向け現場見学会（バスツアー）、パネル展、地元の学校での講座、子どもを対象としたイベントの実施
 - ・ 苫小牧市との連携
- 2) 国内他地域における情報発信活動
 - ・ 全国からの現場見学の積極的な受入れ
 - ・ 各種団体や大学等での講演・講義
 - ・ 展示会、シンポジウム、学会へのブース出展
- 3) メディアを通じた情報発信活動
 - ・ プレスリリース、メディアからの取材への対応
 - ・ 専門誌等への寄稿
 - ・ JCCS ホームページ (<https://www.japanccs.com/>) からの情報発信
- 4) 地元住民／メディア向けリスクコミュニケーションの充実
 - ・ JCCS ホームページの活用

- ・ 地元住民への対応

5) CCS 解説ツールの制作

- ・ 上記の活動や理解促進のための本事業を解説する様々なツールの制作（制作したツールに関しては 5.2.6 項に具体的に示す。）

表 5.2-1 情報発信活動実績

年度		現場 見学会	パネル 展	展示会 等ブー ス出展	子ども 実験教 室	高専・ 大学 講義	講演会 (企業/ 団体)	CCS 講演会
2012	件数	3	29	0	1	0	0	1
	人数	83	—	0	100	0	0	236
2013	件数	19	18	4	10	12	0	1
	人数	221	—	2,460	242	536	0	202
2014	件数	44	8	4	3	6	0	1
	人数	558	1,160	2,118	89	245	0	369
2015	件数	126	6	4	6	7	19	1
	人数	1,570	859	2,827	110	534	1,508	320
2016	件数	153	5	5	1	8	14	1
	人数	2,013	688	2,834	24	404	908	312
2017	件数	168	8	6	5	7	12	1
	人数	1,944	1,417	4,080	176	313	1,139	315
2018	件数	181	7	7	5	11	10	1
	人数	2,276	1,690	4,653	130	1,104	591	368
2019	件数	206	8	11	3	12	15	1
	人数	2,168	1,896	7,128	120	724	875	600

現場見学会には海外からの視察者を含む

5.2.2 苫小牧市およびその周辺地域への情報発信活動

(1) CCS 講演会の開催

「CCS 講演会」は、地元住民を対象として、環境問題や CCS の重要性、本事業への理解を高め、協力体制を構築するために「地球温暖化と CCS」をテーマとして 2012 年度から毎年実施した。「CCS 講演会」は、地元地域における社会的受容性の醸成活動の総括的な位置づけであり、経済産業省が本事業の進捗状況をはじめ、CCS 技術や CCS を取り巻く国際情勢について地元住民に説明を行う重要な機会であることから、多くの地元住民が聴講することが大切との考えの下で実施した。具体的には、地元住民の積極的な参加を促すために、環境問題を語れる著名人や有識者を講師として招くこと等により、毎年 200 名

以上の地元住民が参加した。講演会の最後には聴衆からの質疑を受ける時間を設け、対応した。また、2014年度からは講演会の午前中に現場見学会もあわせて開催した。

CCSに関する有識者の委員からなる社内の課題検討会からは、社会的影響力の大きい、発言力のある人物に CCS を理解してもらい、そのような人物から発信してもらうことも社会的受容性の醸成、すなわち、本事業の推進、ひいては CCS 実用化に重要であるとの指摘があった。その指摘に基づき、社会的な影響力も講師の選定基準に加えて検討するという改善を行った。「CCS 講演会」において、地球温暖化対策の解決に CCS が資することを伝えること等により国の地球温暖化への取り組みを紹介できたことは、CCS の地元理解への一助となったと考えられる。

「CCS 講演会」で実施した参加者へのアンケート結果によると、CCS について「よく知っている」、「知っている」と回答したのは、2013年度は4割程度であったが、2018年度には8割となり、CCS への認知度が約2倍に増加した。

2019年度は「苫小牧 CCS 大規模実証プロジェクトにおける社会的受容性の醸成活動についての外部評価業務」の対象として、CCS 講演会のアンケート調査の設計・分析・評価を実施した。今後はこのフォーマットに統一してアンケートを実施し、質疑応答・アンケート等で関心が高いと思われる内容について、より重点的に丁寧な説明を実施することで、参加者の満足度・理解度を高めていくことが課題である。

2019年度のアンケートの回収率は58%で、回答者の67%が講演会に初めての参加であった。講演会による本事業の理解度については、講演会前に「既によく知っていた」、「ある程度知っていた」と回答したのは48.5%であったが、参加後の理解度は90%と大幅に上昇した。また、本事業について「意義がある」、「ある程度意義がある」と回答したのは92%、国内での CCS について「意義がある」、「ある程度意義がある」と回答したのは93%と高い数値であり、地元住民の環境への関心度、CCS への理解度の高さがうかがえた。これは、現場見学会と講演会を組み合わせた開催や、講演会の継続開催等による効果によって、CCS や本事業に対する認知・理解が促進されたものと考えられる。

「CCS 講演会」に代表される地元地域での様々な活動は、対象年齢も幅広く、また、内容が多彩であるため、有識者の委員からなる課題検討会でも評価されている。

CCS 講演会の様子を図 5.2-1 に示す。



(左)2019/3/9 CCS 講演会／(右)2020/2/13 CCS 講演会

図 5.2-1 CCS 講演会の様子

(2) 地元住民向け現場見学会（バスツアー）

地元住民とのコミュニケーションの場として、また、現場を見て理解してもらうことを目的に、幅広い世代に対して、それぞれの世代に合う現場見学会を企画・実施した。

地元住民向け現場見学会（バスツアー）は一般向けに 2014 年度から開始した。2015 年度から 5.2.2(5)に記す「夏休み宿題教室」と併せた子ども向け現場見学会（バスツアー）を、2016 年度からシニア世代向け現場見学会（バスツアー）を開始した。子どもやシニア世代には現場見学を楽しい思い出として捉えてもらえるよう、苫小牧市のリサイクルプラザや(株)J ファーム苫小牧工場等の見学先を組み合わせた。

見学会終了時に実施したアンケート結果からは、回答者の 90%以上が説明内容を理解でき、良い見学会だったと回答していた。また、本事業が苫小牧市で行われていることに関して、80%以上が良いことだと思うとの回答をしていた。

現場見学会の様子を図 5.2-2 に示す。



(左)2015/6/5 苫小牧市民による見学会／(右)2018/7/30 長生大学による見学会

図 5.2-2 現場見学会の様子

(3) パネル展の開催

パネル展は、地元住民と直接対話することにより、CCS および本事業の周知を図ることを目的として本事業開始前の 2011 年度から開催した。開催当初は経済産業省および苫小牧市と協議のうえ開催場所を選定したが、途中からそれまでの実績を考慮し地元住民が比較的多く集まる場所を開催場所とした。

パネルや DVD、パンフレット等の解説用ツールに加えて地下の地層のコアサンプルや CCS 全体の仕組み模型の展示を行う等、初心者でも理解可能な説明に工夫を凝らし、来場者と直接コミュニケーションを取ることににより、CCS 技術および本事業の説明を行った。

パネル展の様子を図 5.2-3 に示す。



(左)2013/6/17-21 駒澤大学附属苫小牧高校 (苫小牧市) / (右) 2018/10/21 “とまこまい Style!!”

図 5.2-3 パネル展の様子

(4) 地元の学校での講座

地元で実施中の本事業の情報発信と環境問題への関心喚起のため、地元の大学の学生および高等専門学校生徒を対象として、2013 年 6 月より 2019 年 12 月までに計 14 回の講座を開催した。開催実績は、苫小牧駒澤大学 6 回、苫小牧工業高等専門学校 3 回、北海道大学 3 回、室蘭工業大学 2 回である。

講座・講演会の様子を図 5.2-4 に示す。



(左) 2018/11/5 苫小牧工業高等専門学校／(右)2019/7/18 室蘭工業大学

図 5.2-4 地元の学校での講座の様子

(5) 子どもを対象としたイベント

子供を対象としたイベントとして、「子ども実験教室」および「夏休み宿題教室」を開催した。

苫小牧市の小学校高学年生を主な対象として、アニメーションによる説明や二酸化炭素を利用した実験等を通じて、楽しみながら環境問題や CCS について学習することを目的として開催した。また、同伴の保護者や児童センターのスタッフ等を通じた家庭や地元地域社会への波及効果も期待した。

「子ども実験教室」は、2012 年度よりプログラム内容等を十分検討して実施した。子どもたちの理解が容易となるように、大人向けの説明を子ども向けの表現にして簡潔に説明した。また、アニメーション「地球温暖化と CCS」や子供向けの CCS バナー等のツールを利用して子どもたちの興味をひいてもらうようなプログラムを導入した。

2015 年度には、「夏休み宿題教室」を開催した。これは、子どもたちが記者になり、CCS を取材（現場見学）し、予め用意したフォームに各々が記事を書いて、新聞を作成するというイベントである。

「子ども実験教室」「夏休み宿題教室」は、検討・改善を重ねながら継続実施した。環境問題を他人事ではなく自分自身の問題として捉えるという意識を子ども時代より育み、また、日本の先端技術について知る機会となったと考えられる。そのために、子どもたちとのコミュニケーションを通じて、良好な信頼関係を醸成することに努めた。

子ども実験教室／夏休み宿題教室の様子を図 5.2-5 に示す。



(左)2015/8/6 夏休み宿題教室／(右)2018/10/31 子ども実験教室（錦岡児童センター）

図 5.2-5 子ども実験教室／夏休み宿題教室の様子

(6) 苫小牧市との連携

苫小牧市とは、常時情報共有を行い、様々な活動を連携して行ってきた。例えば、苫小牧市役所は、本事業のデータ・情報等の発信のために市役所内にモニターの設置や、市の広報紙による CCS 関連記事の掲載・イベント開催案内を行った。本事業では、苫小牧 CCS 促進協議会から同協議会総会等への参加や情報提供を行う機会を得る一方、CCS 講演会への協賛や集客等で協力を得た。地元行政機関である苫小牧市と連携して本事業を行うことにより、行政機関が関与し支援しているという安心感から、地元住民は本事業への理解を深めたと考えられる。

5.2.3 国内他地域における情報発信活動

(1) 全国からの現場見学の積極的な受入れ

CCS の意義、技術概要、安全性および本事業について理解を深めてもらうことを目的として、2012 年度より現場見学を開催した。JCCS ホームページでの掲載および開催イベント等での現場見学案内等により、全国から見学者を積極的に受け入れた。現場見学会では、映像やプレゼンテーションにより CCS および本事業内容を紹介後、説明担当者が各施設を案内し、見学後に質疑応答時間を設けることで、本事業への理解を深めてもらうことに努めた。質疑応答を記録に残し、以降の現場見学会の参考資料とした。

見学者数は、2013 年度の 221 名から、2018 年度には 2,276 名と、5 年間で約 10 倍に増加した（2019 年度は 2,168 名）。地上設備の完成、圧入開始、30 万 t に向けた圧入というフェーズの進展に伴う本事業への関心の高まりを示すものと考えられる。見学者の約半数は企業関係者であり、見学の目的は、低炭素・脱炭素に向けた取り組みや環境問題等に関連して CCS についての情報を収集することであった。見学者が企業内で報告することによる、企業内での CCS 情報の共有と周知が期待できる。

現場見学会の様子を図 5.2-6 に示す。



(左) 2013/7/11 CCS 促進協議会 / (右) 2019/8/21 世耕経済産業大臣 (当時) 現場視察

図 5.2-6 現場見学会の様子

(2) 各種団体や大学等での講演・講義

これから社会人となる若い世代や環境への関心の高いビジネス関係者、研究者を対象に CCS への理解促進と本事業の情報発信を目的に、大学や研究機関、企業・団体等で講座・講演会を開催した。

大学での講座は 2013 年度より開催し、計 47 回開催した。企業・団体向け講演会は 2015 年度から開催し、計 68 回開催した。

大学での講座、企業・団体での講演会では、世界の CCS の状況や本事業の具体的な情報を発信することで、広く CCS 技術の周知が進むことを期待した。特に、聴講した教授あるいは研究者等が、有識者かつ第三者としての立場で CCS を取り上げることにより、学内あるいは企業・団体はもとより広く社会へ情報の波及と CCS への信頼性の醸成につながるよう対応した。

講座・講演会の様子を図 5.2-7 に示す。



(左) 2014/11/21 早稲田大学理工学院／(右) 2017/4/20 中大技術士会

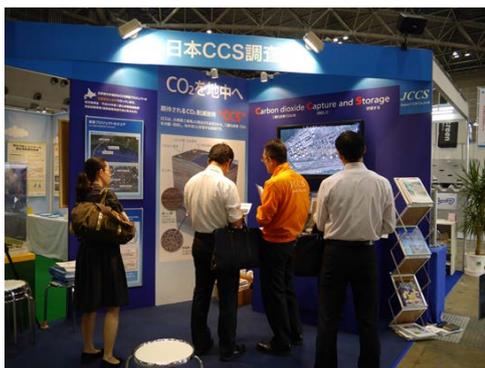
図 5.2-7 講座・講演会の様子

(3) 展示会、シンポジウム、学会へのブース出展

多くの来場者が見込める首都圏で開催される「地球温暖化防止展」「エコプロ」を中心に、CCSの周知および本事業を認知してもらうことを目的として、2013年度から展示会等にブースを出展した。

展示会ごとの主な来場者層を対象としたブース展示内容の構成を企画した。「エコプロ」は、環境学習に取り組む小中学生を中心とする子どもたちの来場が多いことから、子どもたちが体験しながらCCSを理解できるようなコーナーを設け、子どもたち向けに短い時間でCCSを紹介するミニプレゼンテーションを行う等、説明方法の工夫を図った。

ブース出展の様子を図 5.2-8 に示す。



(左)2014/5/27-30 地球温暖化防止展／(右)2018/12/6-8 エコプロ 2018

図 5.2-8 ブース出展の様子

5.2.4 メディアを通じた情報発信活動

(1) プレスリリース、メディアからの取材への対応

地元地域および広く国内外に CCS 技術ならびに本事業の情報を発信することを目的

に、新聞、テレビ等メディアへの対応を実施した。メディア対応に際し、CCS および本事業の正確な情報を伝えることを第一とし、広く社会に発信してもらうことが重要と考えた。

2019年12月までの実績として、プレスリリースは2012年度から52件、新聞の掲載実績は2012年度から478件、雑誌への掲載実績は2017年度から4件、テレビでの報道実績は2012年度から58件、ラジオでの報道実績は2012年度に1件、新聞・テレビ等のWEB版での掲載実績は2018年度から57件となった。

本事業が取り上げられた新聞記事としては、見学会や講演等に関するものが93件、イベントに関するものが16件、本事業に係るものが266件、実用化に向けた課題等に関するものが32件、その他72件であった。本事業に関わる取材に対しては専門用語等の解説も行った。

(2) 専門誌等への寄稿

CCS技術および本事業への理解を深めてもらうため、学会誌および業界の会報誌や技術系あるいは産業系のビジネス雑誌等に分野にとらわれず、機会をとらえて寄稿した。

2012年度より2019年12月までに延べ52誌に寄稿した。

講演や現場見学を契機として寄稿を依頼された事例もあり、積極的に対応した。また、本事業の進展にともない複数回依頼された学会誌等もある。産業界の分野によっては、CO₂削減が課題となっており、それを意識した記載も行った。

(3) JCCS ホームページからの情報発信

国内の幅広い対象者に向けて、JCCSのホームページを活用してCCSと本事業の情報発信を行った。

2012年度にホームページを開設し、「お知らせ」「プレスリリース」欄で、最新情報を発信した。ホームページには、CCSの解説、本事業の紹介、子ども向け、ライブラリー等の専門ページを設けた。ライブラリーでは、パンフレットやパネル、ツールとして制作した動画等を公開した。QAコーナー、CCSに関連する用語解説ページ（準備中）も開設した。

ホームページでは、常に新しい情報の発信に努めた。情報更新を月に平均5～10回程度実施した。2019年5月～11月のホームページアクセス数の平均は、約4,200件/月であった。

2018年度から、モバイルサイトからのCCS講演会参加申込を可能としたところ、事前の申込数441名のうち、メールを含めたモバイルサイトから140件程度の申込があった。

CCSの社会的受容性の醸成に向けた情報発信活動を充実させるため、CCSに関する情報収集およびホームページ等での情報更新を日々実施した。新聞やインターネット、関係する官庁、団体、企業等から、日頃よりCCSに関連する情報収集を心掛け、必要に応じ各種講演会、現場見学等での説明資料を更新した。特に、本事業で関与した、大きな国際イベントや国内でのイベント後には各種資料の更新、ホームページのお知らせ欄の更新等を実施し、常に新しい情報を提供した。

5.2.5 地元住民／メディア向けリスクコミュニケーションの充実

リスクコミュニケーションを充実させる一環として、本事業開始時からホームページを通じた情報公開を行ってきた。また、2013年度からはホームページ上でライブカメラによる実証試験設備のリアルタイム映像の公開を開始し、現場の様子をいつでも見られるようにした。2016年度からは苫小牧市役所のホールに設置したモニター上で、前日の圧入状況（圧入量）、前月の圧入井・観測井の温度・圧力測定データ、各種モニタリング結果、圧入停止中の設備稼働状況等の情報開示を継続して行った。

本事業では、四季毎（年4回）の海洋環境調査、弾性波探査等の海域でのモニタリングを実施している。地元漁業関係者からは、弾性波探査が水産物であるホッキ貝をはじめとする二枚貝の生態系に影響を与えているのではないかとの懸念が示された。そのため実態把握のため、年4回の海洋環境調査の範囲外を含めて本事業海域での二枚貝等の生態系調査を2019年10月～2020年3月に実施した。

また、苫小牧地域における社会的受容性の醸成活動についての外部評価も実施した。本調査業務では、今までの情報発信活動を受けて、本事業およびCCS技術が苫小牧地域においてどのように受け入れられているかの社会的受容性を調査し、下記の活動評価を2020年1月31日から3月25日に実施した。

- 1) アウトリーチ活動結果の分析・評価
 - 2) 市民現場見学会・CCS講演会（2020/2/13）アンケート調査の設計・分析・評価
 - 3) 社会的受容性の醸成活動に資するアウトリーチ活動に向けた今後の改善点の提言
- 外部評価の結果、今後の改善点に関する提言は次のとおりである。

海外の大規模CCSプロジェクトや実証試験の事例でみられるように、CCSに関するアウトリーチ活動の際は、予め情報提供やコミュニケーションすべき対象者別にアウトリーチ活動の目的や目標を設定し、誰にどのような情報をどのタイミングでどうやって情報提供・共有すべきかについて戦略を立案し、体系的・合理的に進めていくことが重要である。そして、それらの目的・目標が達成できているかどうかを確認するため、適切な評価

指標や評価手法を選定し、毎回の活動結果に基づき評価・改善していくことが重要である。

5.2.6 CCS 解説ツールの制作

専門家および地元住民の世代別に向けた説明用ツールを制作し、常に最新情報に更新することに注力した。説明対象に応じて、適切なツールを選択して活用することで、より効果的に CCS の情報発信を行い、理解を促進した。例えば、家族連れが多い展示会等では「CCS の仕組み模型」に興味を持った家族連れがブースに来場した。その家族連れの大人にはパネルやパンフレットを用いて CCS と本事業の説明を行い、子どもには「CCS の仕組み模型」に加えて、CCS アニメや CCS マンガも用いて説明を行った。

「CCS の仕組み模型」は、説明者と聞き手の双方向コミュニケーションツールとして機能し、子どもだけでなく大人も楽しみながらより良く CCS について理解できるとの意見が大人の来場者からあった。

1) 子ども向けツール

CCS マンガ（「美しい地球☆僕らの星」、「地球の未来を支える技術」）、CCS アニメ、下敷き、CCS の仕組み模型、CCS の大型模型（2015 年度エコプロブース展示物を苫小牧 CCS 実証試験センターエントランスに移設）、子ども向けバナー、CCS マンガバナー、高校生向けポスター（A1 サイズ、4 枚組）等

2) 大人向けツール

パンフレット（「CCS（二酸化炭素回収・貯留）について」、「CCS 実証試験プロジェクト」）、実証試験パネル（A1 サイズ、12 枚組）、実証試験ポスター（A0 サイズ、2 枚組）等

3) 共通ツール

DVD（「CCS の可能性」、「苫小牧 CCS 実証プロジェクト」、「建設の記録」、「苫小牧から世界へ」）、コアサンプル観察セット、CCS バナー、鳥観図バナー、ジオラマ模型、展示会用テーブルクロス（2 種）等

4) その他

「北海道胆振東部地震の CO₂ 貯留層への影響等に関する検討報告書」

5.3 海外に向けた情報発信活動

5.3.1 概要

日本国政府は、本事業開始前の 2008 年 7 月に閣議決定された「低炭素社会づくり行動計画」において「CCS 技術の実証試験を通じて 2020 年頃の CCS 技術の実用化」を目標

とし、また経済産業省が本事業の取り組みを開始する前の 2011 年に公表した本事業の概算要求資料においても「CCS 等、我が国企業の優れた省エネ・新エネ技術やシステムを海外に積極的に展開・普及を進めることで、成長著しいアジア諸国を始めとした途上国でのビジネスの獲得や、先進国における積極的な実証事業を通じたビジネスの獲得と、国際標準化の提案につなげていくこと」を目標としていた。最近では、「エネルギー基本計画」や「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」等でも CCS の重要性が謳われている。

こうした政府の目標を受け、本事業の国際活動として、本事業の進捗や成果等に関する海外に向けた情報発信、CCS に関連する国際的な情報収集、海外との国際協力や連携を推進する活動を 2012 年度から 2019 年度の 8 年間にわたり行った。

本節では本事業の国際活動を、以下の項目に分類して報告し、国際活動の総括を「5.6 社会的受容性の総括」の節に記載する。

- 1) 海外における情報発信・情報収集
- 2) 苫小牧市における情報発信・情報収集
- 3) 国際協力・技術交流
- 4) Carbon Sequestration Leadership Forum (炭素隔離リーダーシップフォーラム、以下、「CSLF」と称する。)における活動
- 5) 本事業の国際的な評価

なお、海外に向けた情報発信活動では、海外に向けた情報発信活動で製作した CCS 解説ツールの英語版および中国語版を製作し活用した。

5.3.2 海外における情報発信・情報収集

(1) 講演、口頭発表

本事業を開始した 2012 年度から、事業の進捗に合わせた国際的な情報発信を積極的に進めてきた。2012 年から 2015 年にかけての事業の前半では本事業の安全な取り組みや進捗状況について、事業の後半では将来的な国際協力や日本の CCS 技術の国際展開を見据えた情報発信を行った。

2012 年 4 月から 2019 年 11 月までの講演／口頭発表回数は 65 回、論文 (Proceedings を含む) 投稿数は 22 件、国際会議での出展回数は 19 回となった。表 5.3-1 に (年度別) 講演、口頭発表、論文投稿、および出展先の一覧を示す。

① 主な発表先

2012 年から 2015 年の準備期間のうち前半は The Greenhouse Gas Control

Technologies Conference (GHGT 国際会議：温室効果ガス制御技術国際会議) を含め、本事業の安全な実施に向けた海外調査の際に視察した、米国バリー発電所の CCS 技術関係者に本事業の紹介をする等、年に数回の発表機会を得たのみであったが、実証設備が完成し操業準備期間に入ると、本事業の計画や目的に関して CCS 研究等を実施している台湾、インドネシア等のアジア諸国や CCS 先進国である米国等の海外組織から発表依頼を受け対応した。また 2016 年の 4 月の分離・回収、圧入、貯留という一連の操業が計画通り始めると、一貫した CCS 技術の実証概要に加え、本事業中の課題、さらに実証設備を地元の反対を受けずに予定通り完工し、操業準備を進めた際の地元広報活動や成果に関する発表依頼も増加し、豪州、英国、第 13 回 GHGT 国際会議 (GHGT-13) が開催されたスイスにおいて計 6 回の発表を行った。こうした国際活動を通じて本事業の国際社会における認識度が向上したことにより、2016 年 6 月には世界的シンクタンクであるグローバル CCS インスティテュートより本事業が世界の Notable Project の一つに指定され、同インスティテュートのプレゼン資料やレポートの表紙に本事業の空撮写真が掲載される等、本事業が国際機関からも世界に向けて発信されたこと、10 月には CSLF の認定プロジェクトに選出されたことから、2017 年度は、アジア、欧米、中東等で 11 件の発表を実施した。さらに 2018 年度は、国際連合主催の気候変動枠組条約第 24 回締約国会議 (COP24) において、政府や海外組織と連携して CCS セミナーを開催する等、計 17 件の発表を実施した。本事業において累計圧入量が 30 万 t に達成した 2019 年度は、圧入やモニタリングの課題と成果のほか、経済産業省や NEDO と協議の上、日本の CCS の将来計画や政策的な位置づけについて、2018 年度に続き COP25 の開催地となったスペインを含む欧米諸国、アジア等で 17 件の発表を実施した。

本事業に係る発表を行った主な国際会議は、IEAGHG が世界各地で隔年開催する GHGT 国際会議やワークショップ、米国を中心に開催されている IEAGHG モニタリングネットワークミーティング、Post Combustion Capture Conference 等、CCS 事業に従事するステークホルダーを中心に CCS 技術を専門的に扱う会合等のほか、グローバル CCS インスティテュートが主催する Asia Pacific CCS Forum、欧州を中心とする世界的な地質関連学会である CO2GeoNet が主催する CO2GeoNet Open Forum、英国の CCS 専門学会である UKCCSRC が主催する年次会合、石油開発関連学会である European Association of Geoscientist and Engineers と Society of Exploration of Geophysics (EAGE/SEG) が主催する Research Workshop 等であった。また 2015 年の COP21 を境にパリ協定達成に向け CCS への関心や導入への着手が世界的に進むにつれ、海外政府や民間企業が主催する環境、金融、政策等をテーマとする会合で、政府や金融関係者等を

含めあらゆるステークホルダーを対象とする発表等を行った。一例ではグローバル CCS インスティテュート主催の Norwegian CCS Safari、ノルウェー政府主催の European High Level Conference on CCS や米国とノルウェー政府の二国間会合である US-Norway Bilateral Meeting、英国政府が主催の Accelerating CCS や、TOTAL 社等の民間が主催する環境、金融、政策等をテーマとする会合であった。

主催者側の依頼の主な動機は、いずれも本事業が政府、民間、地元等が一体となって CCS 事業の成功を目指し取り組んでいること、本事業期間を通じて全てのステップを計画通りに踏み、成果を積み上げていること等を発表して知見を共有してほしいことであった。

② 発表概要

海外の政府関係者や国際的な CCS の推進組織は、CCS 事業者による成果や知見の積極的な情報発信が、自国の CCS 技術の向上や国際展開はもとより、世界の CCS 事業の発展にも貢献するということを国際社会に呼びかけている。本事業ではこうした呼びかけに応じ、事業の進捗状況を積極的に発信した。

発表では海外の CCS プロジェクトに比較して、高傾斜井による陸上から海底下貯留層への圧入等、世界に前例のない取り組みや本事業の特徴を中心に、地上設備、坑井・モニタリング設備の詳細、社会的周辺環境やステークホルダーの概要、広報活動の実施概況等、事業を技術面と社会受容性の側面から包括的に説明した。さらに 2018 年 9 月に発生した平成 30 年北海道胆振東部地震についての検討報告書の公開（2018 年 11 月）以降は、地震後のモニタリングの分析結果や、地震発生直後の地元対応についても発表した。本事業の特徴として海外向けに発信した主な要点は、以下の通りである。

- 1) 一貫システムの実証試験
- 2) 高傾斜井による陸上から海底下貯留層への圧入
- 3) 充実したモニタリングシステム
- 4) 省エネ型分離・回収システム
- 5) 市街地近傍での世界初の CCS、および国内外における広報活動等
- 6) 平成 30 年北海道胆振東部地震についての検討報告書の結果等

表 5.3-1 (年度別) 講演、口頭発表、投稿(寄稿)、および出展

年度	講演、口頭発表	投稿	出展
2012	3件：韓国、日本(2)	9件	GHGT-11
2013	1件：豪州	1件	Clean Coal Day
2014	3件：台湾、米国(2)	0件	GHGT-12、Clean Coal Day
2015	6件：台湾(3)、米国 インドネシア、日本	0件	Clean Coal Day
2016	6件：豪州、英国、日本、 スイス(3)	1件	GHGT-13、Clean Coal Day、 CSLF リヤド閣僚級会合
2017	10件：中国、インドネシア、 イタリア、米国(4)、日本 (2)、サウジアラビア	3件	Clean Coal Day、 Japan CCS Forum
2018	17件：米国(1)、ノル ウェー(3)、英国、豪州 (3)、イタリア(2)、中国 (2) カナダ、韓国、ポーラ ンド(2) オランダ	6件	GHGT-14、Clean Coal Day、 Japan CCS Forum
2019 (12 月迄)	19件：米国(3)、日本 (6)、イタリア(3)、中国 (2)、豪州(2)、カナダ、 スペイン(2)	2件	WCA Tokyo Conference、G20 軽 井沢エネルギー大臣会合、Clean Coal Day、 カーボンリサイクル産官学国際会議 Japan CCS Forum、COP25
合計	65回	22件	19回

(2) 投稿

GHGT 国際会議を中心とする CCS の国際学会の論文集への発表や、グローバル CCS インスティテュートの紹介による「Carbon Capture Journal」等の海外 CCS 専門誌への投稿を合計 22 回実施した。本事業期間中は主に事業の全体計画や概要、技術の詳細な解説等を中心に執筆した。これらの投稿内容は、IEAGHG のブログやグローバル CCS インスティテュートのホームページでも引用や紹介がされ、海外の CCS 関係者への本事業の理解に寄与したと考えている。

なお今後のモニタリングの成果等を含む本事業の総合的な成果に関する執筆は、今後実施する。

(3) 出展

国内外において、海外に向けた情報発信を目的とする出展は計 16 回となった。

海外では、隔年開催の GHGT 国際会議に 4 回、CSLF リヤド閣僚級会合に 1 回(ポスター出展)、COP においてはポーランドで開催された COP24、スペインで開催された COP25 に 2 回出展した。また国内では、一般財団法人石炭エネルギーセンター(以下、

「JCOAL」と称する。)がクリーンなエネルギーとしての石炭利用(以下、「クリーンコール」と称する。)の普及に向けた技術開発の取り組みをテーマに毎年開催する Clean Coal Day International Conference に7回のほか、2019年に長野県軽井沢町で開催された G20 持続可能な成長のためのエネルギー転換と地球環境に関する関係閣僚会合とカーボンリサイクル産官学国際会議での出展を行った。

本事業開始当初は、GHGT 国際会議等、CCS の専門家を対象とする会議への出展が中心であったが、2015年12月のパリ協定の採択後から、経済産業省の要請により海外の閣僚や政策担当者、科学者、金融関係者等が参加する CSLF や COP、G20、カーボンリサイクル産官学国際会議にも出展した。これらの出展では、日本がパリ協定に基づく長期戦略の中において CCS を、経済成長を伴う低炭素社会実現への重要な施策としていること、その実現に向けて本事業を推進していること等を発信した。

(4) 国際会議における情報収集

世界では CCS の技術開発や CCS 市場の確立に向けて、様々なアプローチで CCS を議論する国際会議が開催されている。本事業では日本の 2030 年頃の CCS の実用化に向けた制度設計等に有効と考えられる海外の技術動向や制度が議論される会議等に参加し、情報発信を行うとともに、日本の CCS の実用化に向けた制度設計等に有効と考えられる海外の技術動向や制度に関する情報収集を行った。参加した会議では主に CCS の分離・回収、貯留、モニタリング等の動向や開発状況を扱う技術テーマのほか、CCS のコスト、法整備、排出源やビジネスモデル、インセンティブ、さらには CCS による大規模な CO₂ 削減の価値等、CCS の普及条件に必要な議論が行われた。これらの情報は、日本の制度設計に向けた提言等に活用し、また海外における CCS 全般の情報を纏めたデータベース用の情報として整理した。

2012 年から 2019 年の 8 年間を通じて参加した会議では、常に世界が共通の課題として CCS 事業普及の障壁を取り上げていた。CCS は投資額が大きく、操業している事業も少ないことから、課題の解決にはそれなりの時間を要する。そのため、会議の参加各国からは、国際協力による CCS の推進が重要であること等が常に報告されている。特に 2018 年度頃からは、欧米を中心に CCS のビジネスモデルの研究が進んでおり、ノルウェーやイギリス、米国、カナダ、豪州におけるプロジェクトを参考に、各国における制度設計やインセンティブ等の効果、官民の役割等も議論され、日本への適用に参考となる有益な情報が多く得られた。

日本の CCS の実用化に有効な情報となり得るような事業環境の整備に関する情報は、

CCS コストの低減、社会的受容性の醸成活動のあり方、法整備や官民の役割（貯留やモニタリングの期間や責任）、CO₂の輸送方法、CO₂の貯留適地選定、インセンティブ等で、これらの動向についても多数の報告があった。一例として、英国政府が示したビジネスモデル、CSLF 等で発表された米国におけるインセンティブ情報、カナダの CCS プロジェクト視察の際に示された州レベルのインセンティブ情報、カナダ国際ナショナル CCS ナレッジセンターが Shand プロジェクトのフィージビリティスタディを通じて示した建設コストの低減策、その他、将来の CCS 事業を検討する上で、参考となる貯留やモニタリング等の技術情報等がある。その他収集した情報の概要は、7.1.4 項に、別途記載する。

5.3.3 苫小牧市における情報発信・情報収集

(1) 海外からの視察者への情報発信、情報交換、情報収集

① 海外からの視察者の概要

本事業を開始した 2012 年 4 月から 2019 年 11 月までの間、50 ヶ国以上の国から、総計約 1,400 名の海外からの視察者を受け入れた。表 5.3-2 に（国別）海外からの視察者と主な所属先を示す。

表 5.3-2 (国別) 海外からの視察者と主な所属先

国別	主な所属先
米国	米国政府（エネルギー省）、米国大使館（経済科学部、政治部、エネルギー省）、テキサス大学、イリノイ大学、ワイオミング州政府、ローレンスバークレー国立研究所、USA Today 他
豪州	豪州政府、ビクトリア州政府、CarbonNet、豪州大使館（産業・エネルギー部）、BHP、CO2CRC、グローバル CCS インスティテュート、Geoscience Australia 他
中国	国家発展改革委員会、MOST（科学技術部）、SINOPEC、中国大使館科学技術部、中国能源局 中国生態環境部 他
英国	英国政府（ビジネス・エネルギー省）、Shell、World Coal Association、クランフィールド大学、ロバートゴードン大学、ロイター通信、Financial Times 他
ノルウェー	ノルウェー政府（石油エネルギー省）、ECCSEL、ノルウェー大使館
カナダ	カナダ政府、International CCS Knowledge Centre
タイ	タイ政府（エネルギー省） 他
フランス	TOTAL 社、BGV フランス
台湾	工業技術研究院（ITRI）、台湾電力、
インドネシア	インドネシア政府（エネルギー・鉱物資源省）、プルタミナ国営石油会社、バンドン工科大学
韓国	韓国地質資源研究院（KIGAM）

視察者の主な所属先は、海外政府や国営企業、大使館、民間企業、CCSの研究機関、シンクタンクやコンソーシアム、大学関係者、学会、銀行や金融関係者、メディア等であった。また視察者の多くはCCSの先進国である欧米、豪州からのほか、アジア圏では中国、台湾や韓国、タイ等であった。また中東、南米のエネルギーや石油関連企業からの研修生の来訪も受けた。

視察目的は視察者の所属先によって多岐にわたり、海外政府関係者は将来のCCSの導入の検討や政策立案、法整備、インフラ等の環境整備の参考とするため本事業を視察した。例えば、台湾や韓国ならびにタイからの政府機関や研究機関の場合は、自国民へのCCSの理解促進に向けて、本事業を通じてCCS技術の実証と安全性が十分に確保されている事例として確認するために来訪するケース等である。

またシンクタンクや金融関係者等は、CCSが将来的にもたらず経済性や市場の見極めに

向け、世界の CCS の開発状況と日本の CCS 技術の到達点等を確認するため来訪した。大学や研究機関、技術者等の企業関係者は、CCS 技術の開発や CCS 事業の推進に向けて、日本における本事業から知見を得ることや、国際協力の可能性の検討に向けた情報交換等を目的としていた。

海外からの最初の視察者は、2012 年 11 月に京都で開催された第 11 回 GHGT 国際会議 (GHGT-11) に合わせて JCCS が主催した「GHGT-11 フィールドトリップ」(以下、「本ツアー」と称する。)の参加者で、CCS プロジェクトや研究が既に進んでいた欧米や豪州の技術者や研究者 (CCS プロジェクトを行う Shell 社、The Midwest Geological Sequestration Consortium (MGSC : 米国政府が主導する米国 7 地域における CCS 研究組合の一つ) の理事、CCS に関する多数の論文発表のあるイリノイ大学の研究者等を含む) のほか韓国、台湾、日本等からの CCS 研究者や技術者 44 名であった。

当時、本事業の設備建設予定地周辺には、1 坑の調査井 (坑口装置) があるのみの状況であったが、苫小牧市長をはじめ地元漁業協同組合、商工会議所等の地元関係者等を交えて開催した情報交換会では、地元関係者が、苫小牧市が本事業の誘致を目指していることや町内会や地元企業のステークホルダーを中心に苫小牧 CCS 促進協議会を立ち上げたこと等を説明した。欧州では、2010 年にオランダの Barendrecht とドイツの Schwanau における CCS 計画が地元の反対運動により相次ぎ撤回された後であり、市街地近傍における CCS の難しさが大きな課題として認識されていたため、こうした地元関係者との信頼形成と社会的受容性の醸成活動に対し、本ツアー参加者から高い関心を得た。

以上の取り組みを契機に、本事業は政府と民間と地域社会が一体となって取り組む事業として世界的にも注目を集め、その後の海外政府や海外組織からの視察依頼や情報交換依頼、さらに海外組織からの国際協力の検討依頼の増加に大きく寄与した。一例として地上設備の建設開始後まもなく、米国政府機関 (米国エネルギー省、以下「DOE」と称する。) が日米協力に向けた調査団を派遣し、また操業開始直後には、豪州政府が CO2CRC と共に国際協力の可能性についての意見交換を求めて来訪した。さらにグローバル CCS インスティテュートの CEO や、豪州大使をはじめ国内大使館関係者等、その後も約 1400 名の視察者が日本における一貫した CCS 技術の実証である本事業の調査や国際連携等を求めて来訪し、対応した。

② 視察者数の推移

図 5.3-1 に海外からの視察者数の推移を示す。地上設備の建設が本格化した 2015 年頃

から海外からの視察者数は増加し、2016年4月よりCO₂圧入と本格的な操業が開始以降、2017年度より、年間視察者数は毎年100名単位で増加した。

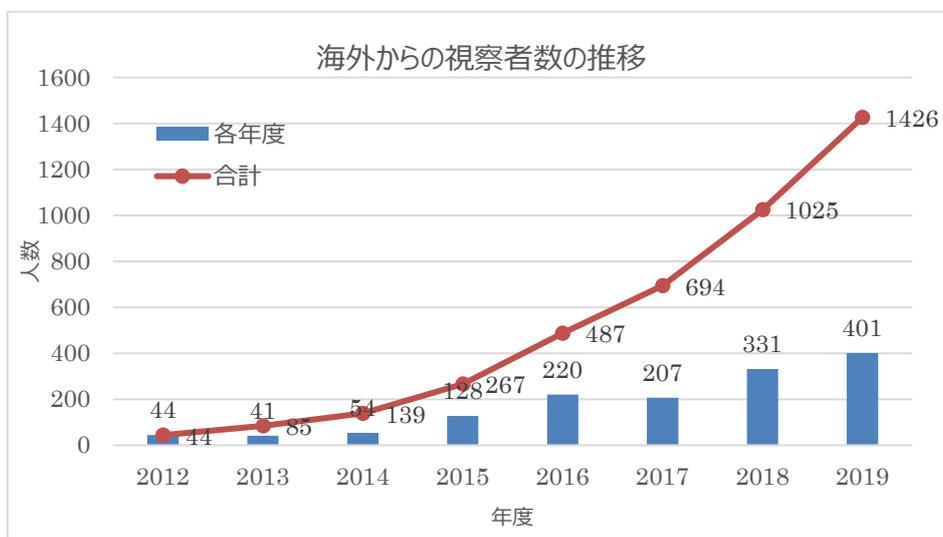


図 5.3-1 海外からの視察者数の推移

以下に、視察を受けた国を地域ごとに、視察者数の上位順に示す。

- 1) 欧米地域：米国、カナダ、ノルウェー、英国、フランス、ドイツ、ロシア、イタリア、オランダ、スイス、スペイン、ウズベキスタン、カザフスタン、フィンランド
- 2) アジア太平洋地域：タイ、中国、豪州、韓国、インドネシア、台湾、ベトナム、モンゴル、ミャンマー、カンボジア、インド、フィリピン
- 3) 中東・アフリカ地域：イラン、サウジアラビア、UAE、クウェート、イラク、カタール、リビア、スーダン、オマーン
- 4) 中南米地域：メキシコ、ブラジル、ペルー、コロンビア

欧米では CCS の事業化が進んでいる米国、カナダ、ノルウェーからが多く、アジア・太平洋地域では同じく CCS が進んでいる豪州から多数の視察を受けた。

中近東および中南米地域では(一財)JCCP 国際石油・ガス協力機関 (以下、「JCCP」と称する。)の技術者研修コースの一環で毎年、同地域の産油国研修生の現場見学を多数受け入れている。

視察者数の上位 2 国は、タイ (1 位)、中国 (2 位) であった。タイからはエネルギー省等政府幹部による視察を計 5 回受けた。タイはいずれも将来的に自国での CCS の導入等を視野に入れ、政府のエネルギー政策の中での CCS の安全性について国民からの理解

を得るため本事業の安全な取り組みを事例とした視察であり、政府がタイのメディアを数十名帯同したことが、視察者数が多数となった理由である。

中国については、2017年2月に中国国営石油会社 SINOPEC 社が来訪し、その後2017年4月に同社主催の会合で本事業の発表したことを契機に、同社からの視察団を多数受けるようになった。また、中国大使館エネルギー部参事官の2017年10月の視察以降、大使館の紹介により中国国家発展改革委員会の副委員長をはじめ、中国科学技術部、生態環境部等、中央政府からも多数の視察を受け入れた。このほか中国科技日報等のメディアや企業関係者、大学関係者の視察も多数受けた。中国では帯水層貯留については2016年末までに中国中部（オルドス盆地）において30万tの圧入を成功させる等、CCSへの取り組みが日本に先行している一方で、分離・回収エネルギーコストの低減等のCCSの技術的課題解決に向けた情報収集や、国際協力による技術開発にも積極的に取り組んでおり、本事業の情報収集や国際協力の可能性検討を目的とした視察であった。

こうした視察のほか、政府が取り組むCCSを通じた二国間または多国間協力事業の推進に協力するための視察対応を実施した。

米国関連では既述のGHGT-11フィールドトリップにおいて、米国CCS研究組合であるMGSCの理事やイリノイ大学のCCS研究者に対応したことを契機に、2013年9月にCSLFのメンバーでもある米国DOE化石燃料総局クリーンコール局企画環境分析部長が米国大使館DOE日本事務所代表と共に東京本社に来訪し、本事業の取り組みについて説明した。その後2015年4月には、経済産業省と米国エネルギー省との間でCCS分野に係る協力文書の署名がなされたことを受け、同年6月に米国政府団として初めて来訪した米国DOEアジア地域代表視察団と、同年9月に来訪した米国DOE化石燃料総局クリーンコール局次官補の視察に対応した。その際米国側より、日米協力事業の具体的な検討に向け新たな視察団を早々に再派遣すること等の約束を受けた。これにより2016年1月には日米協力事業の検討団としてテキサス大学、イリノイ大学（兼MGSC）、Los Alamos National Laboratory（LANL：ロスアラモス国立研究所）、Battelle Memorial Instituteを含む米国政府視察団が来訪し、対応するとともに日米協力事業(案)についての検討等を実施した。こうした一連の視察と検討結果を受けて2016年7月に、米国DOEが苫小牧CCS実証試験フィールドを使用した共同研究の実施者となるテキサス大学に約2.5億円の資金提供を決定し、2017年よりテキサス大学が浅層高分解能三次元弾性波探査等のデータ取得・解析を行った。本事業ではこうした調査の際の地元対応等に協力し、日米協力事業を支援した。

多国間協力では、2016年10月に経済産業省がメンバーとして参画している多国籍間の

国際気候変動イニシアティブである CSLF の視察を受け、CSLF 認定プロジェクトに認定するための検討が行われた。CSLF による検討の結果、本事業は CSLF 認定プロジェクトとしての認定を受けるとともに、JCCS は本事業の広報活動における国内外のステークホルダーに対する対応に基づき、CCS 事業の実施組織として適切な調整役であるとの評価を CSLF より受け、CSLF の活動支援を行うアジア・太平洋地域のリージョナルチャンピオンに選出され、本事業の国際社会における認知度向上等に貢献した。

その他、政府が構築している Joint Credit Mechanism（二国間クレジット制度、以下、「JCM」と称する。）による途上国の事業推進を支援するため、政府の要請の下、メキシコ国営石油会社の視察や、インドネシア政府による視察、サウジアラビア政府、サウジアラムコ社研究者による視察対応を実施し、各国の CCS 研究やインフラ整備を担う政府支援の人材育成事業等にも協力した。

③ 視察行程

一般的な視察行程は新千歳空港からウトナイ湖を経て、苫小牧 CCS 実証試験センターの見学を基本とし、視察者の要望に沿って、(株)Jファームの温室型植物工場（CO₂利用による野菜の温室栽培）を見学した。社会的受容性の醸成活動に関心の高い視察者には苫小牧市役所を案内し、市役所内に設置されている情報公開モニターの説明を実施した。またグローバル CCS インスティテュートの CEO や豪州大使、BHP の副社長の来訪時には、苫小牧市長と視察者との意見交換等も調整し、地元自治体による本事業への協力状況の説明の機会を設けた。

④ 説明概要、質疑概要

視察者には本事業の特徴を中心に、地上設備、坑井・モニタリング設備の詳細と、周辺環境やステークホルダーの概要、広報活動の実施概況等を紹介し、事業の全体像を技術面と社会的受容性の両面から包括的に説明した。また日本における実証試験の趣旨や目的等も説明し、資料提供や情報交換、技術協力に関する依頼にも、今後の国際協力や連携を見据え、委託者と協議のもと可能な限り対応した。視察者に対し発信した主な要点は、既述の 5.3.2 (1)②を参照されたい。

またこれに加えて、視察者の主な関心事項として質疑応答内容を以下に記す。本事業の技術的な優位点やコスト、日本の法令下の CCS の課題やインセンティブ、社会的受容性の課題等、各自が将来 CCS の導入を検討する上で必要な情報と考える。

- 1) 本事業終了後の計画（次の展開や商用化の可能性等）
- 2) 世界における深部塩水層貯留と CO₂-EOR の実施状況、相違点や有効性

- 3) 地球温暖化対策における CCS の貢献度
- 4) 炭素税やインセンティブの導入状況、CO₂ 貯留適地調査等について
- 5) ビジネスモデルの構築状況
- 6) 官民の役割
- 7) CCS 導入に向けた法整備や環境整備の状況等

(2) 情報収集、意見交換

視察者は、海外における CCS の取組み状況を中心に情報収集を行い、また国内外の産業界への CCS 導入の展望や課題、CO₂ の有効利用の展望についても、日本政府が公表するロードマップを元に意見交換を実施した。多数の視察者との意見交換を実施したうち、本事業についての主要な確認事項は以下のとおりであった。

- 1) 政策面：本事業終了後の計画、日本における CCS の将来展望、制度やインセンティブ、モニタリング期間と責任の所在、ビジネスモデル、取得データの公開状況
- 2) 技術面：地上・地下設備のエンジニアリング技術、エンジニアリング企業、陸上から海底下への圧入のメリット、苫小牧港の水深、建設および操業費、分離・回収プロセスとライセンス、CO₂ 圧入時の圧力、分離・回収後の CO₂ 純度、苫小牧地点の貯留ポテンシャル、火山岩層の浸透性等
- 3) その他：世界の CCS の概要等、本事業の開始段階での広報活動の様子、地震への対応等

5.3.4 国際協力・技術交流

本事業では、政府が目指している CCS 技術の国際展開の可能性を拡大すること、さらに第 5 次エネルギー基本計画にある「国際協力の展開」の下に推進する多国間、または二国間によるエネルギー協力体制（協力関係）の強化、深化を支援すること等を目的に、国際協力・技術交流の推進に取り組んだ。

各国がパリ協定の合意を受けて、野心的な温室効果ガス排出量の削減目標の達成に向けて ESG 投資を促進する等、持続可能な産業への移行に向けた様々な取り組みや環境整備を進めている中で、石炭（火力発電）だけでなく石油等のエネルギー産業や、製鉄、セメント産業等も、市場環境の変化に合わせ温室効果ガス排出量削減に努めながら、持続可能な産業へのシフトを進めている。こうした産業界は CCS の導入を検討する上で、本事業によって得られた分離・回収技術や陸上から海底下への圧入井の掘削技術、また貯留・モニタリング技術の成果の知見の共有と活用を望んでいることから、本事業の後半である

2017年頃から海外から複数の国際協力の依頼を受けた。日本の CCS 技術を世界へ展開するためには、海外組織との国際協力・技術交流が必須であるとの認識のもとに、これらの要請に積極的に対応した。

(1) DOE（米国エネルギー省）との日米協力

2015年4月に経済産業省は DOE との間で CCS 分野に係る協力文書に署名した。2016年7月に DOE は、本事業のサイトにおける日米間の CCS の共同研究を行うことを目的として、浅層高分解能三次元弾性波探査等データ取得・解析の実施に関し、実施者のテキサス大学へ US\$2.5million（約 2.5 億円）の提供を決定した。2017年8月には苫小牧 CCS 実証試験フィールドで、日本協力のもとテキサス大学が浅層高分解能三次元弾性波探査を実施した。政府の日米協力事業の推進を支援するため、調査事業の支援やデータ提供等を通じて協力した。本調査の結果により、2坑の圧入井、直上の浅層部には CO₂ の漏出経路となる断層がないことが解り、その成果は日米間で共有している。なお 2017年10月には、日米間の協力範囲を具体的事業案件の形成等の協力も含むべく協力文書を改訂した。

(2) 日・サウジワークショップにおける発表

政府が 2016年に推進することを発表した「日・サウジビジョン 2030」の一貫で、同年9月に経済産業省が、サウジアラビアのエネルギー産業鉱物資源省と MOU を締結した。本事業では政府の国際協力の支援に向けて、同年12月に本合意のもとにサウジアラビアで開催された、再エネ分野での企業間の情報共有等を目的とする両国の共同ワークショップ「CCS and Hydrogen in the framework of Collaboration in studies on technologies toward low carbon energy system in Saudi Japan Vision 2030」に参加し、サウジアラビアの政府関係者、石油産業関係者等を対象に本事業についての紹介を行った。

(3) UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy（BEIS：英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省）との日英協力

2019年7月に経済産業省は BEIS とクリーンエネルギーのイノベーションについての協力文書に署名した。署名文書には、CCUS の研究開発および展開に関し情報と専門知識を共有し、国際協力の促進を図ることが記載されていることから、2019年10月に、第一回日英 CCUS ワークショップが開催され、本事業の成果と日本の CCS や CCUS の展望等を英国政府に向けて紹介した。英国政府からは将来の CCUS の検討内容やビジネスモデル研究成果等が紹介された。

(4) International CCS Knowledge Centre（国際 CCS ナレッジセンター）との協力文書の署名

2019年10月にカナダ サスカチュワン州の CCS 促進組織である International CCS Knowledge Centre との間で、JCCS は CCS 分野に係る協力文書に署名した。これは二酸化炭素排出量を大幅に削減することで気候変動に対処するという共通の目標に向け、CCS の促進に協力することに合意したものである。

同センターはバウンダリーダムプロジェクトで築いた膨大な知見やデータの公開を通じて世界に貢献し、それらの知見に基づき複数の海外プロジェクト関係者との情報交換にも取り組んでいる。2019年にはセメント産業における CCUS 事業の立ち上げに協力し、有効利用のノウハウの取得にも専念している。本合意はこうしたカナダの大規模事業の経験と知見の習得を通じて日本が CCS への理解をより一層深める契機であり、双方の知見の共有化を図ることで、国際的な CCS の発展に寄与するものとする。この合意に基づき、2019年10月に苫小牧 CCS 実証試験センターにて第1回技術交流会を実施した。

(5) TOTAL 社との情報交換

ノルウェーの Northern Lights プロジェクトにも参画しているフランスの TOTAL 社からの要請を受け、2019年9月に TOTAL 社の貯留関係者と NDA（守秘義務契約）を締結し技術交流会を実施した。10月には船舶関係者と技術交流会を実施した。

5.3.5 CSLF における活動

(1) Carbon Sequestration Leadership Forum（CSLF）の概要

CSLF は、2003年に米国 DOE の主導により設立された閣僚級国際気候変動イニシアティブで、25箇国の政府機関および IEA がメンバー（日本は経済産業省が代表）となり、国際協力を通じて費用対効果が高い CCS の技術開発と事業展開の推進を目指している。年2回の定例会（年次会合：Midyear Meeting、年次会合：Annual Meeting）を通じて、CCS の世界的な技術開発の促進に向けて技術的、経済的、環境的障壁に共同で対処することで CCS の認知度の向上を図ること、また法務・法規、制度面の環境整備を進めることを目標としている。組織構成は、CSLF の枠組みや政策の統括や CCS に関する法規制・財務・主要課題の特定等を担う Policy Group（政策グループ：省庁の政策担当者）、CCS の技術、経済、環境上の主要課題や協力可能分野の特定を行う Technical Group（技術グループ：国立研究機関等の CCS の専門家）、技術グループに属し、CSLF 認定プロジェクトの審査や技術グループへの提言を行う PIRT（Project Interaction and Review Team）からなり、これらのメンバーのほか、CSLF 活動を民間

サイドから支援するステークホルダーが活動に参加している。

なお上記のうち、Policy Group については IEA が事務局を務める閣僚級フォーラム (Clean Energy Ministerial、以下、「CEM」と称する。) に活動基盤を移した。CEM は、24 ヶ国および欧州委員会の政府 (大臣・閣僚級)、多国籍企業 (経営幹部)、NGO、国際金融機関が加盟し、世界のベストプラクティスの共有と、クリーンエネルギーへの移行の促進を行っている。

CSLF は、2016 年の 10 月に日本で開催した東京総会 (年次会合) で、本事業を CSLF 認定プロジェクトに認定し、また JCCS をアジア・太平洋地域の CCS 事業普及の主導役としてリージョナルチャンピオンに任命した。詳細を、以下 (1) ~ (2) の通り記す。

(2) 本事業の CSLF 認定プロジェクト認定について

CSLF は、同組織が定める一定の条件を満たし、また世界的な CCS の推進に寄与する事業を CSLF 認定プロジェクトとして認定している。

本事業は 2016 年 10 月に東京で開催された CSLF 年次総会で、CSLF 認定プロジェクトの認定を受けた。CSLF は認定プロジェクトの条件として「情報交換」、「研究開発」、「実証等」を総じて満たすことを定めており、本事業ではこれらの活動を国際活動を通じて実施しているが、最も評価された点は、海洋環境を保護するため陸上から海底下へ圧入井を掘削し CO₂ の地中貯留を行う世界初の CCS プロジェクトであること、充実したモニタリングシステム、取得データの情報公開等である。本認定は PIRT を統括する DOE と CSLF 技術グループの推薦を受け、CSLF 政策グループによって全会一致で採択された。また本事業の仕様を記載した認定申請書は、今後の新たな認定プロジェクト申請者のための雛形として活用されている。

(3) アジア太平洋地域リージョナルチャンピオンの活動

2016 年 10 月に東京で開催された CSLF 年次総会において、本事業の広報活動が評価され、DOE の推薦によりアジア太平洋地域リージョナルチャンピオンに選出された。それ以降、CSLF の会議に経済産業省のオブザーバーとして定期的に参加し、発表等を通じて本事業についての国際的な情報発信を行うとともに、情報収集の機会拡充に努めてきた。また国際協力の深化を見据え、海外政府関係者や各国のステークホルダーとの関係強化も図った。

また 2017 年 7 月から 11 月にかけて、CSLF 活動の支援の一貫で、アジア太平洋地域のステークホルダー (300 名超) に対するアンケート調査と意見交換を実施し、CCS の国際的な普及に向けた意見の集約を行った。本調査により集約した意見は下記の通りである。

- 1) CCS 実証プロジェクトの実施と継続を支援
- 2) 分離・回収技術と貯留管理技術の研究開発への支援
- 3) CCS 導入のためのインセンティブの確立
- 4) 実証から実施への CCS 普及に向けたインフラストラクチャの確立の検討
- 5) CCS の普及に関する法的小よび規制枠組みと技術基準の確立
- 6) 国際協力推進への支援

上記の意見は他地域のステークホルダーの意見との統合に向けて、米国、ヨーロッパ、中東・アフリカ地域のリージョナルチャンピオンと協力してまとめ、2017年12月に UAE エネルギー省と CSLF が主催した CSLF 閣僚級会合において発表される等、関係各国の閣僚への提言に協力した。

5.3.6 本事業の国際的な評価

既述のように、本事業は各国閣僚レベルの CCS 国際推進組織である CSLF の認定プロジェクトに選ばれた。

また本事業は2016年6月に、CCS 展開促進のための国際的なシンクタンクであるグローバル CCS インスティテュートによって世界の Notable Project（注目すべきプロジェクト）の一つに指定された。また2016年に公開した「The Global Status of CCS 2016-Summary Report」においては、本事業が地元住民に対し長年にわたり取り組んできた広報活動について、CCS 事業を地元住民が受け入れる上で必要な鍵となる事業者と地元住民間の信頼関係を醸成し、地元住民が CCS を深く理解することで CCS 事業も受け入れやすくなるという好循環を生むモデル活動として紹介した。2018年12月にポーランド・カトヴィツェで開催された COP24 では、グローバル CCS インスティテュートが「Global Status Report of CCS 2018」を世界に発表した際に、苫小牧市長による CCS を通じた国際協力についてのメッセージとともに、本事業の紹介をした。また翌年2019年12月にスペイン・マドリードで開催された COP25 のグローバル CCS インスティテュートの講演でも、本事業の広報活動に言及し、本事業が CCS の社会需要性醸成活動における国際的なモデル事業であるとの紹介をした。

2018年頃から CCS 事業やビジネスモデル形成の計画を進めている英国政府は、2018年11月に英国政府が公表した CCUS ロードマップ “Clean Growth: The UK Carbon Capture Usage and Storage Deployment pathway” の中で、本事業を革新的技術開発プロジェクトとして紹介した。また2019年7月に同政府が公表した CCUS ビジネスモデル “Business Models for Carbon Capture, Usage and Storage” の中では、JCCS が CCS 事業の調整・

実施組織の適切な組織として紹介された。

5.4 有事における情報発信活動の実績

5.4.1 有事広報マニュアルの作成

本事業において不測の事故・事態が発生した際、報道機関やマスメディアその他社外に対してとるべき対応の原理・原則、心得や考え方、やるべきこと、その手順と公表基準等を定めた有事広報マニュアルを作成した。有事における様々な状況を想定し、想定した状況に応じたマニュアルを整備した。

情報開示方法として、JCCS ホームページへの掲載、プレスリリース、記者への個別説明、記者会見の四つを設定した。本マニュアルの位置付けを図 5.4-1 に示す。

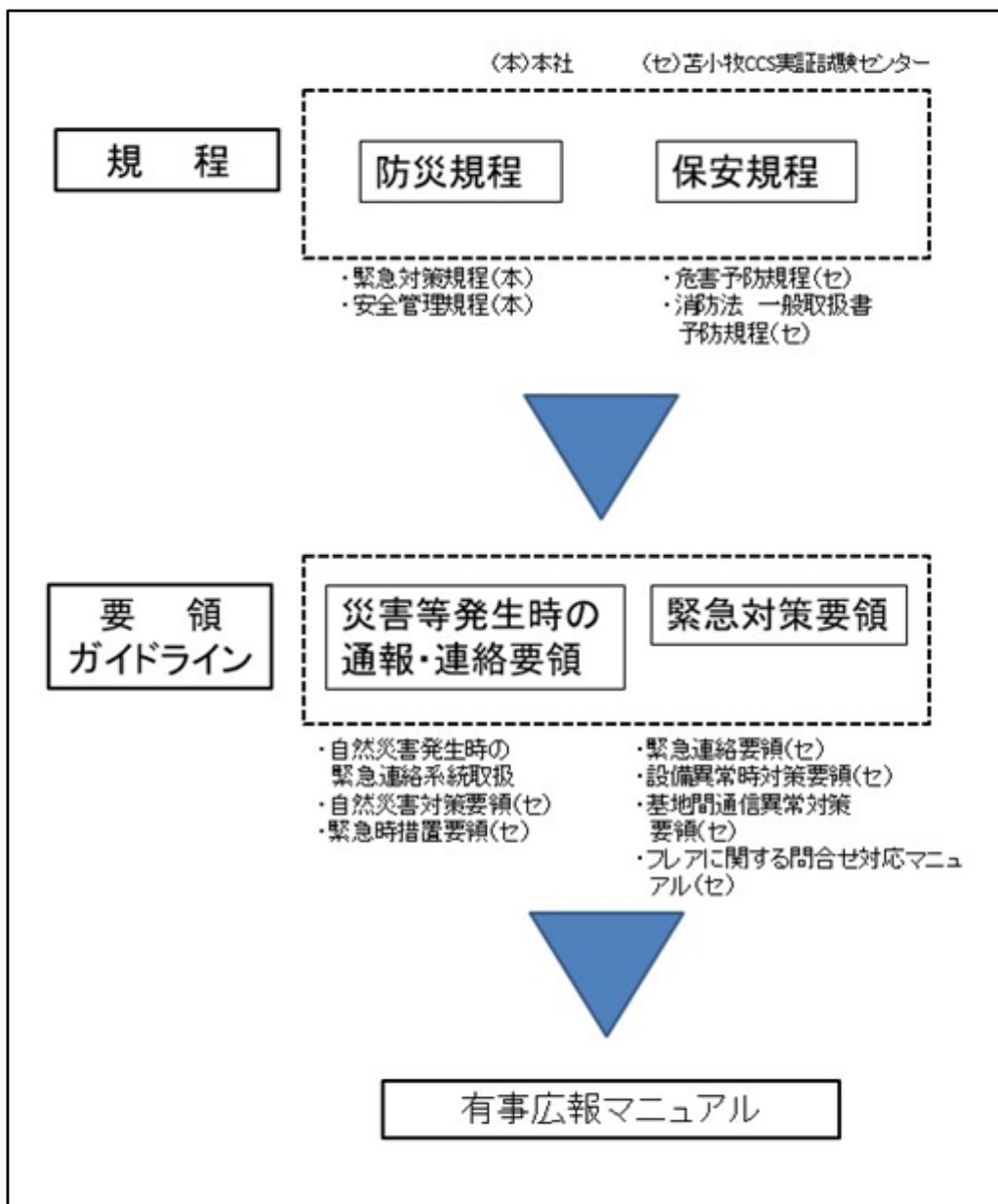


図 5.4-1 有事広報マニュアルの位置付け

想定した有事とは、一般的な地上設備運転における災害事故や自然地震の発生等に加えて、CCS 事業に特有のものである CO₂ の漏出である。

2018 年 9 月の平成 30 年北海道胆振東部地震と、その後 2019 年 2 月に発生した余震後の情報発信においては、「有事広報マニュアル」に沿って地震直後と地上設備点検後に情報発信を行った。この対応結果を踏まえ、震源が圧入エリア外であっても経済産業省／NEDO と協議の上情報発信を行う必要があること、SNS 等への対応方法の追記等、マニュアル内容を見直した。

5.4.2 「平成 30 年北海道胆振東部地震」後の情報発信活動

2018 年 9 月と 2019 年 2 月、苫小牧市の近隣の厚真町を震源地として大きな地震が発生した。気象庁の発表によると、2018 年 9 月 6 日（1 回目）：マグニチュード 6.7、2019 年 2 月 21 日（2 回目）：マグニチュード 5.8）であった。

2018 年 9 月 6 日「平成 30 年北海道胆振東部地震」の発生後、有事広報マニュアルに則り、同日中に地上設備を点検し健全性を確認したことをホームページに掲載した。9 月 12 日には圧入井の圧力と温度のモニタリングデータを、会社見解とともにホームページを通じて公表した。その後、10 月 19 日に地震学等の専門家を含む有識者からなる検討会を開催し、モニタリングデータ等の解析結果を踏まえて、以下のことを委員の共通認識として確認し、検討会の結果を取りまとめた報告書を、11 月 21 日にホームページに掲載した。

- 1) 同地震による CO₂ の漏洩がない
- 2) 同地震の発生と CO₂ 圧入の間には因果関係がない

一方、2019 年 2 月 21 日に胆振地方中東部で発生した最大余震の前後に、地震と CO₂ 圧入の因果関係についての誤情報が SNS を通じて発信された。マスメディアや一般からの問合せに対応し、誤情報を否定し上記検討会報告書に基づく情報を提供した。

その後も、行政機関やステークホルダーに対して、上記検討会報告書を用いて同地震による CO₂ の漏洩がないこと、地震と CO₂ 圧入の間には因果関係がないことの説明を行った。現場見学や地元地域で開催されたパネル展等でも、同様の説明を行った。

5.5 地元ステークホルダーとのコミュニケーションの実績と検証

本事業の実施にあたっては、準備段階から圧入操業および圧入後のモニタリングの全期間を通じて、地元地域を中心とした住民一人一人の事業に対する理解が必要である。加えて、地元地域での事業活動を、安全、安心に、また地元地域の信頼のもとに推進していくためには、主要なステークホルダーである苫小牧市および苫小牧漁業協同組合（以下、「苫小牧漁協」と称する。）からの支援が不可欠である。

本節では、両者をはじめとした地元ステークホルダーとのコミュニケーション実績について記録し、その検証を行うことで、将来、相互信頼関係に基づくより円滑な事業運営の糧としたい。

5.5.1 苫小牧市

地元行政として本事業を受け入れた苫小牧市（産業経済部企業立地推進室企業立地課（現：企業政策室港湾・企業振興課））は、本事業の遂行に協力して、以下の業務を実施した。

- 1) 経済産業省、CCS 事業者からの報告・相談に係る対応
- 2) 苫小牧市での CCS 関連イベント・来客等への対応・関与
- 3) CCS モニター（市庁舎設置）の管理
- 4) 地元住民への周知普及活動、地元住民からの問い合わせへの対応（電話、面談、まちかどミーティング）、議会報告
- 5) CCS 事業に係る同意書の立会人
- 6) 経済産業省への市職員の派遣（CCS に係る業務、地元関係先との連絡調整等）
- 7) 苫小牧 CCS 促進協議会に係る事務

5.5.2 苫小牧漁業協同組合

苫小牧漁協は、民間団体でありながら海域の利用者として、地元漁協および胆海共第 26・27 号共同漁業権共有管理委員会（苫小牧、室蘭、いぶり中央、鶴川の 4 つの単位漁業協同組合の共有になる胆振沖海域の共同漁業権の管理、運営を目的とする組織、以下、「26・27 共有管理委員会」と称する。）事務局の立場より、本事業の遂行に協力して、以下の業務を実施した。

- 1) 漁業者への対応：事業の説明、苦情対応、不安の払しょく等
- 2) 弾性波探査による漁業への影響懸念の調査（ホッキ貝の歩留、鮭の漁獲量等）
- 3) 漁業関係者（北海道漁業協同組合連合会、胆振総合振興局、室蘭漁協、いぶり中央漁協、鶴川漁協等）への情報共有、事前説明、報告、調整等（苫小牧漁協理事会・総会、26・27 共有管理委員会、周辺漁協訪問時の同行等）
- 4) 経済産業省、JCCS からの報告・相談に係る対応
- 5) 漁業者との調整：漁期との調整、漁具の移動手配。荒天時の再調整等
荒天待機対応：2016 年度 25 日、2017 年度 29 日、2018 年度 29 日
- 6) 事故・トラブル時の現場確認や漁業者との調整
- 7) CCS 事業を実施のための周辺漁協の同意を得るための対応（26・27 共有管理委員会の事務局）
- 8) 海洋環境調査・弾性波探査等実施に係る備船手配
2016 年度 146 隻、2017 年度 232 隻、2018 年度 126 隻

本事業実施にあたって、苫小牧漁協は、26・27 共有管理委員会の事務局として、経済産業省が環境省に対して海洋汚染防止法に基づく「特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄についての許可申請」を行うに際し、2015 年 11 月 25 日付で、経済産業省産業技術環境局地球環境連携室と「苫小牧西港区周辺海域における二酸化炭素ガスの海底下貯留に係る同意

書」を手交している。苫小牧漁協は、CO₂貯留への同意条件として、以下の同意書の条件が満たされていることを継続的に確認できることをあげている。

- 1) 貯留した CO₂の漏出による海洋環境への影響を起さず、漁業活動への支障が生じないこと
- 2) 定期モニタリングの実施とモニタリング結果の年度ごとの遅滞ない報告
- 3) 漁業活動との調整（漁具の移設や撤去等）が必要な調査等についての協議等

苫小牧漁協は、万が一の CO₂漏洩があった場合の風評被害や水産資源等への影響を懸念した漁業者から直接苫小牧漁協に漁業への影響等の不安の声が出る場合を想定し、漁業者に対して CCS 事業説明、苦情対応、不安の払しょく等を行うため、事業者である経済産業省および JCCS に適時の情報開示、共有を常に履行するよう要請した。

5.5.3 地元ステークホルダーとのコミュニケーションの課題と対応

本事業を開始して以降、これまでの間に発生した緊急時等の対応のなかで、JCCS において当該事象、対応が地元関係者に及ぼす影響、懸念等を十分に斟酌できず、結果として、地元関係者、特に苫小牧漁協をはじめとする苫小牧港湾利用関係者に対して適時の報告、連絡が遅延することとなった事例が存在する。

以下に、このような代表的な事例Ⅰ～Ⅳを取り上げるとともに、そこでなされた地元関係者からの指摘事項を踏まえることで、本事業における初動対応の在り方、緊急時の報告・連絡体制の実効性を確保するための判断基準等について検証し、今後の本事業の運営、対外対応の改善に資することとしたい。

事例Ⅰ：OBC 埋設工事に関する報告および対応について

事例Ⅱ：CO₂濃度観測値の基準線超過に係る対応について

事例Ⅲ：アミン漏洩時の報告について

事例Ⅳ：平成 30 年北海道胆振東部地震発生後の会社見解公表に係る事前連絡遅延について

(1) 事例Ⅰ OBC 埋設工事に関する報告および対応について

2013 年 7 月～8 月、モニタリング用 OBC 敷設工事に際して、当初計画していなかった屈曲が生じたことおよび埋設深度（計画値 2.0 m）が一部で未達となり不十分な施工区間が発生した。

ケーブルの屈曲事象を即時に地元関係者へ報告せず、また作業終了報告時にも OBC が所定の埋設深度に達していないことが未報告であった。とりわけ苫小牧漁協への報告は同年 11 月末となり、他の地元行政機関への報告より大幅に遅延した。

その後、JCCSは深度未達への対策として施工業者を変更したうえ、埋設深度が60 cmとなった区間を追加施工（2014年2～3月）した。なお、追加施工後も埋設深度が1.2 m未満である区間への措置として、将来、強風時等の船舶の走錨により万一OBC損傷事故が発生した場合、苫小牧港湾関係者への賠償請求を回避するために、JCCSとOBC所有者公益財団法人地球環境産業技術研究機構（以下、「RITE」と称する。）ほかとの間で「求償権放棄に関する協定書」を締結し、当該情報を関係者に周知、共有することで、関係者の了解を得た。

① ケーブル屈曲および埋設深度未達の経緯等について

2013年7月～8月に実施したOBCおよびOBS用接続ケーブルの海底埋設作業（実施責任者：RITE、請負工事者：日本サルベージ(株)）において、OBCが、海岸より約4.16 km付近を中心に長さ約200 mにわたり、敷設計画ルートから西側に最大53 m離れ、大きく屈曲していることが判明（8月8日時点）した。屈曲の原因は、他船舶の錨等にOBCが牽引されたため、仮置きした位置から移動したものと推定された。

8月～11月の間、JCCSはRITE現場責任者への状況確認、善後策に係る検討作業を進めるとともに、苫小牧海上保安署、第一管区海上保安本部海洋情報部監理課に対し、全埋設位置および深度等に関し当初計画と変更が生じた状況について、都度、報告を行ってきたが、苫小牧漁協に対しては未報告であった。

11月下旬、JCCSは、苫小牧漁協に対し、全埋設位置および深度等に関して、当初計画と変更が発生した点について報告するも、事前説明の内容と異なったことから、苫小牧漁協より、早急に屈曲と埋設深度との問題を解決できる対応策を提示するよう要請を受けた。

12月、JCCSは、苫小牧漁協に対し報告遅延の謝罪と顛末書の提出およびOBC敷設工事に係る経緯報告を行ったが、再度、苫小牧漁協より、埋設深度の問題を解決できる対応策の提示を要請された。

その後、2014年2月～3月の間に、深度未達区間の一部（ケーブル屈曲部40 m区間）で埋設工事を追加施工した（図5.5-1）ものの、他の区間では海底下の地盤が固いことから、機械式埋設機による強力なジェット水流による埋設工事が必要とされたが、当該ジェット水流によって既設OBCに組み込まれたセンサーに、重大な障害を与える可能性が高いとの調査結果を得た。

調査結果を踏まえ、JCCSでは、次の条件を前提に追加埋設工事を行なわないとしたうえで、関係者の了解を求めていくこととした。

- 1) 埋設深度 1.2 m 以上あれば、船舶の走錨により OBC および OBS 伝送ケーブルを引っかける恐れがないこと。
- 2) OBC および OBS 伝送ケーブルに、将来、強風時等の船舶の走錨により万一の事故が発生した場合、苫小牧港湾関係者に一切の迷惑が及ばないよう、事故に伴い発生した損害賠償の求償権を放棄すること。
- 3) この前提の下で、追加埋設工事を行わないことで、苫小牧港湾関係者として苫小牧市、苫小牧港管理組合、苫小牧海上保安署並びに苫小牧漁協から、了承を得ること。

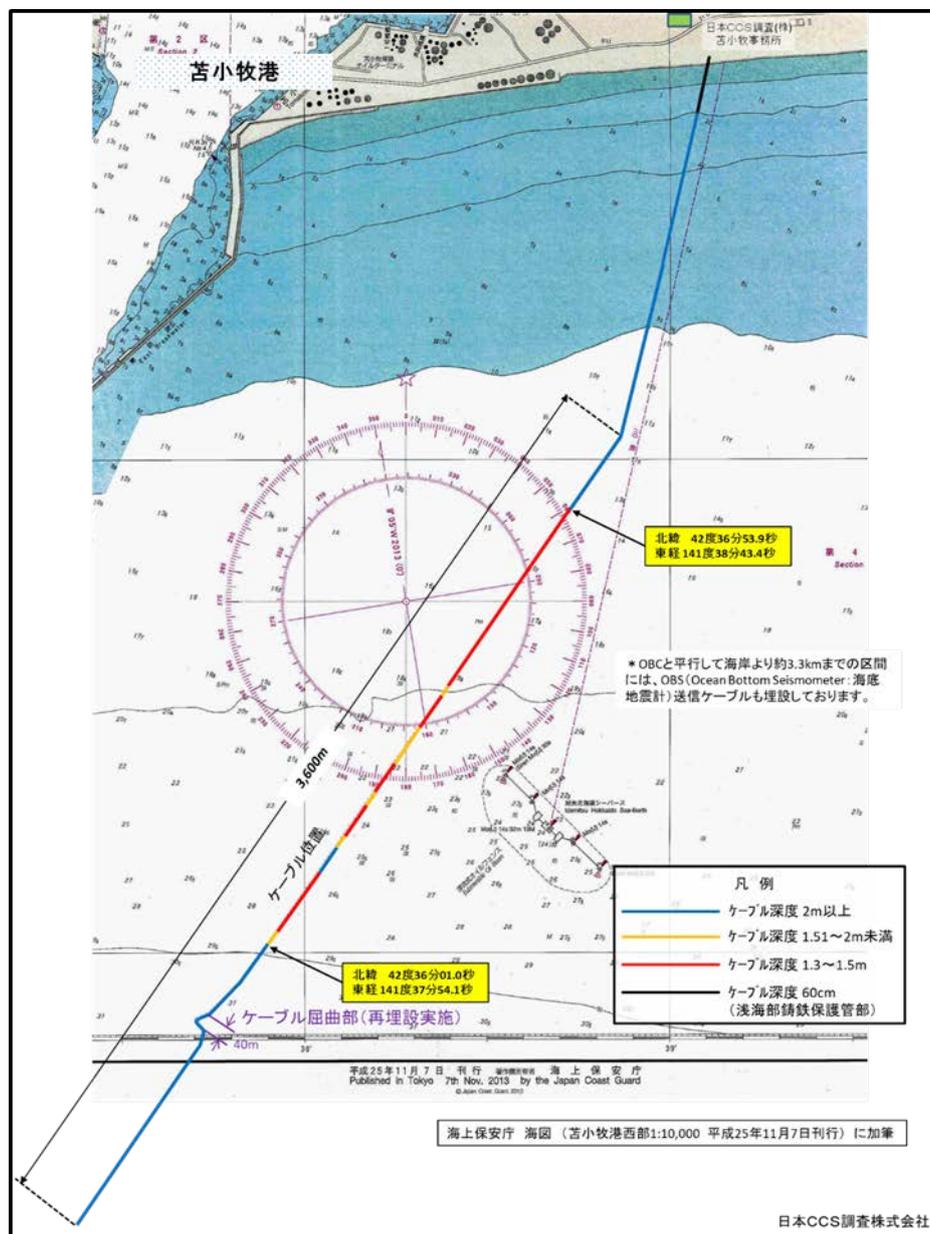


図 5.5-1 OBC および OBS 用接続ケーブルの海底埋設実績図

② 地元関係者からの指摘事項について

地元関係先は下記のとおりである。

- 1) 苫小牧市産業経済部 企業立地推進室企業立地課
- 2) 苫小牧漁業協同組合
- 3) 苫小牧港管理組合
- 4) 苫小牧海上保安署
- 5) 第一管区海上保安本部海洋情報部監理課

JCCS 担当者は、屈曲が判明した時点で、OBC 埋設深度が 60 cm となった箇所は海底下地盤が極めて固いためさらに深く埋設する事は困難であることから、以下の判断を基に当工事終了後直ちに報告しなかった。

- 1) OBC 屈曲部は苫小牧漁協の操業区域ではない。
- 2) 敷設したケーブル位置が以後の海図に記載されることで、港湾を利用する船舶に対しては、ケーブル敷設位置付近への投錨は回避され安全を損なうものではない。

かかる JCCS の判断は「他の港湾利用船舶の航行の安全を確保するうえで、極めて安易な行為ではないか。」との指摘を受けた。

また、「JCCS における人事異動に伴い地元対応の引継ぎや業務連携の不十分さが露呈し、苫小牧市における本事業に対する苫小牧漁協によるこれまでの理解と協力に対して、信頼関係を著しく損ねるものでないのか。」との指摘もあった。

③ 再発防止のための対策について

JCCS は、追加埋設工事施工後、なお埋設深度未達が解消困難な区間の対策として、将来、強風時等の船舶の走錨により万一 OBC 損傷事故が発生した場合、苫小牧港湾関係者への賠償請求を回避するために、JCCS と OBC 所有者 RITE ほかとの間で「求償権放棄に関する協定書」を締結し、当該情報を港湾関係者に周知、共有し、その了解を得た。

今後は、苫小牧漁協ほか地元関係先への報告対応が迅速で遺漏がないよう、JCCS の対苫小牧漁協連絡担当に係る業務分掌を総務部に移管するとともに、直接窓口は、苫小牧事務所長（現・苫小牧 CCS 実証試験センター副センター長）を主担当者とし同事務所全体でサポート、本社での苫小牧漁協の統括担当部を総務部とする強化体制で臨むこととした。図 5.5-2 に緊急連絡系統図を示す。

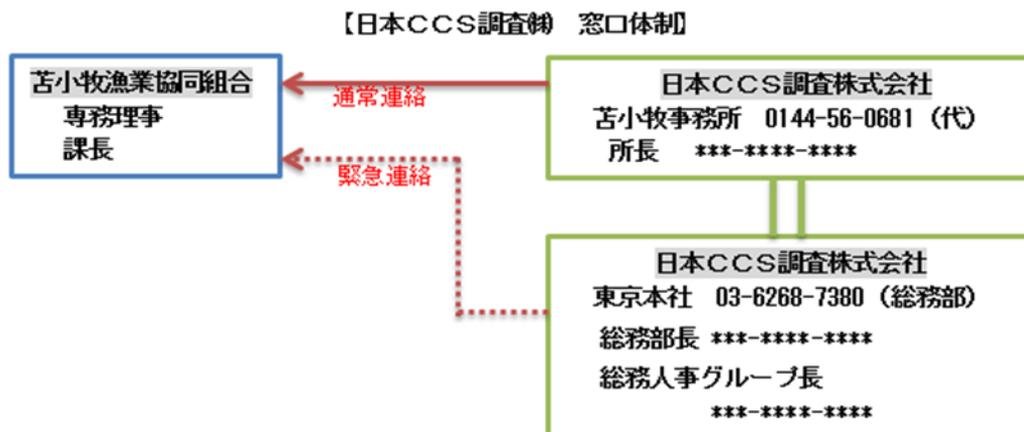


図 5.5-2 2013 年 12 月に設定した緊急連絡系統図（個人情報・省略）

(2) 事例Ⅱ CO₂濃度観測値の基準線超過に係る対応について

2016 年 6 月～2017 年 2 月の間、海洋汚染防止法に基づき実施した海洋環境調査において、取得した CO₂ 濃度の観測値が基準線を超過したことにより、当初 2016 年 8 月に予定した圧入再開がおおよそ半年間遅延することとなった。

その間、監視計画に従って懸念時調査として追加の海洋環境調査を実施（～2016 年 9 月まで）した。2016 年 10 月、環境省より「今後の監視計画のあり方」が示された。2016 年 12 月、経済産業省が「新たな監視計画」を取りまとめ、26・27 共有管理委員会に説明のうえ、環境省に変更計画申請を実施した。

2017 年 2 月、環境省より「海洋汚染防止法の変更許可書」が発出され、地元説明を経て圧入を再開した。

① 海洋環境調査での CO₂ 濃度観測値が基準線を超過したことにより、圧入再開が半年間遅延した経緯等について

JCCS は、2016 年 4 月、「平成 28 年度二酸化炭素削減技術実証試験事業」を経済産業省より受託し、2016 年 4 月 6 日から 5 月 24 日にかけて、7,163t の CO₂ 圧入を実施し、同年 5 月末、実証設備の法定点検および保全工事ならびにガス供給元（出光興産(株)北海道製油所）の大規模保全工事に伴って CO₂ 圧入を停止し、同年 8 月初旬の圧入再開を予定していた。

同年 6 月から 7 月にかけて、CO₂ 貯留海域において実施した海洋汚染防止法で定める許可申請書に基づく春季海洋環境調査において、海水中の CO₂ 濃度について、基準線を上回る値が確認され、圧入再開を延期し懸念時追加調査を行うこととなった。その後、数次にわ

たり追加調査および分析等を行い、その結果を環境省に報告した。

報告内容について環境省において検討が行われた結果、同年 10 月 13 日に環境省より、漏出は発生していなかったと考えられる旨、および今後の監視計画のあり方がとりまとめられ、経済産業省へ示された。特に監視計画については、今後、採水調査によって基準線を上回る値が得られた場合には、採水調査に加えて、より直接的に CO₂ の漏出の有無やそのおそれを確認するための調査（センサー調査や気泡調査）を迅速に実施したうえで CO₂ 漏出の有無を総合的に判断できるような監視計画のあり方について取りまとめられ、「海底下 CCS 事業に係る監視計画のあり方について」として経済産業省へ示された。

これらを踏まえ、経済産業省では監視計画の見直し作業を行い、同年 12 月 28 日、「海洋汚染防止法に基づく監視計画の変更許可申請書」を環境省へ提出した。変更許可申請書は環境省において受理された後、1 ヶ月間の公告縦覧が実施された。

公告縦覧の結果を踏まえた審査の後、2017 年 2 月 1 日環境省から経済産業省へ変更許可書が通知された後、26・27 共有管理委員会の構成 4 単協に経過報告、説明を実施したうえで、2 月 5 日、圧入を再開した。

② 地元関係者からの指摘事項について

地元関係先は下記の通りである。

- 1) 苫小牧市産業経済部 企業立地推進室企業立地課
- 2) 苫小牧漁業協同組合
- 3) 鷗川漁業協同組合
- 4) いぶり中央漁業協同組合
- 5) 室蘭漁業協同組合
- 6) 胆海共第 26 号・第 27 号共同漁業権共有管理委員会
- 7) 北海道漁業協同組合連合会環境部、同室蘭支店
- 8) 北海道胆振総合振興局産業振興部水産課
- 9) 苫小牧港管理組合、同バース会議
- 10) 苫小牧海上保安署
- 11) その他、民間フェリー運航会社等

海洋環境調査の結果、何らかの要因により移行基準の超過が確認された場合、CO₂ 圧入設備や圧入井・観測井のデータからは CO₂ 漏出を疑う状態にはないにも関わらず、懸念時監視に移行し、より詳細な追加調査を長期に継続することは、安全側に立った考え方とはいえ、この状況は風評被害等から地元関係者を守る観点から、可能な限り避けなければな

らない。

また、自然変動により海水の化学的性状の異常を観測する可能性はあり、懸念時監視に移行すると CO₂ 圧入を停止することとなるが、実際に CO₂ が漏出していないにも関わらず、今回のように半年間の長期間に渡り圧入再開を延期するような事態は、結果として、本事業の信頼性と社会的受容性を損なうこととなり、風評被害等が発生する懸念がある。

「特に、26・27 共有管理員会の 4 単協の構成組合員、周辺漁業者からの疑問に対しては、正確な情報をタイムリーに開示し、丁寧な説明で答えていかなければ強い反発を招くことにもなりかねないため、そうした対応が懸念を払しょくするためには不可欠である。」との指摘を受けた。

上記状況を踏まえ、苫小牧漁協では、経産省による「海洋汚染防止法に基づく監視計画の変更許可申請」の許可、圧入再開までの約半年余りの期間中、26・27 共有管理委員会および構成 4 単協への経過報告、説明のため、数次にわたって委員会開催や単協を訪問し、調整にあたった。また、経済産業省および JCCS、並びに環境省を含め、新たな監視計画策定のための実務的な協議を十数回重ねることとなった。

③ 再発防止のための対策について

a. 環境省による対応

報告内容について環境省において検討が行われた結果、10 月 13 日に環境省より、漏出は発生していなかったと考えられる旨、および今後の監視計画のあり方がとりまとめられ、経済産業省へ示された。特に監視計画については、今後、採水調査によって基準線を上回る値が得られた場合には、次の監視段階に移行すべきかを確認するための調査（確認調査）として採水調査に加えて、より直接的に CO₂ の漏出の有無やそのおそれを確認するための調査を迅速に実施したうえで CO₂ 漏出の有無を総合的に判断できるような監視計画のあり方について取りまとめられ、「海底下 CCS 事業に係る監視計画のあり方について」として経済産業省へ示された。

b. 経済産業省による対応

これらを踏まえ、経済産業省では監視計画の見直し作業を行い、同年 12 月 28 日、「海洋汚染防止法に基づく監視計画の変更許可申請書」を環境省へ提出した。変更許可申請書は環境省において受理された後、1 ヶ月間の公告縦覧が実施された。

c. 2018 年 8 月、移行基準の見直し

なお、当初、2016 年 3 月の「特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の許可申請」に係る

海洋環境監視計画の移行基準に関しては、その後、モニタリングデータの経年蓄積状況を踏まえて、2018年7月19日、経済産業省より環境省へ「特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の変更許可申請書（移行基準の見直し）」を提出、同年8月31日、変更許可となったところである。それ以降の各年四季の海洋環境調査では、いずれも「移行基準」の超過は発生していない。

(3) 事例Ⅲ アミン漏洩時の報告について

2018年5月、圧入停止後の熱交換器からアミン溶液の漏洩が発生したが防液堤内に留まったため、苫小牧漁協への即時通報を怠り、翌々日の報告・説明となった。

漏洩したアミン溶液は防液堤内に留まったため外部環境への影響なしと判断したが、漏洩量は約15.5 m³と大量に及んでいたため、気象条件等によっては万一の影響が懸念される状況であった。

公害防止協定締結先の道・市環境部局へは即時に報告するも、苫小牧漁協へは即時連絡がなく、翌々日の報告・説明となった。

アミン漏洩再発防止対策の実施、緊急連絡体制の強化・連絡項目の見直し、CCS施設管理体制を強化した。

① 圧入停止後の熱交換器からアミン溶液漏洩が発生した経緯等について

表 5.5-1 に発生状況を示す。

表 5.5-1 発生状況

2018/5/25（金） 13時45分	PSA オフガス受入停止（定期保全のため圧入停止。再開は7月下旬を予定）
5/26（土） 12時40分	設備全停止に向けアミン溶液冷却循環運転開始
5/27（日） 5時25分	運転員が熱交換器（11E-001）からアミン溶液が漏洩し、防液堤内に溜まっていることを発見。直ちに冷却循環運転を停止し、漏洩は止まった。漏洩量：約15.5 m ³

JCCSでは、現場での事後処置として、防液堤外の土壌汚染がないことの確認および漏洩したアミン溶液の処理を直ちに実施し、防液堤内アミン溶液を水中ポンプで地下タンクに回収後、防液堤内を洗浄、洗浄水も地下タンクに回収した。5月28日、回収アミン溶液および洗浄水は、産業廃棄物運搬処理業者にてローリー車に汲み出し運搬、適正に処理した。

JCCS は、公害防止協定に基づき、5月29日、北海道苫小牧地方環境監視室および苫小牧市環境衛生部環境保全課に漏洩事案を報告し、その後、道や市の立入調査が実施され、土壌汚染がないことの現地確認を得た。

現地において、熱交換器の運転履歴と現地開放点検による調査を実施した。今回の漏洩原因は、前年の2017年12月に実施した熱交換器の現地開放点検において、組付けの際の施工不良と推測され、その要因は、寒冷時期による屋外作業環境、不十分な点検・再組み込み設備環境、時間制約による突貫作業がガスケットの取付け不良を誘発させた可能性が示唆された。

この間、苫小牧漁協に対しては、漏洩したアミン溶液は防液堤内に留まったため外部環境への影響なしと判断し、報告に及んでいなかったが、漏洩発生から3日目の第1報・報告となった。

② 地元関係者からの指摘事項について

地元関係先は下記の通りである。

- 1) 北海道苫小牧地方環境監視室
- 2) 苫小牧市環境衛生部環境保全課
- 3) 苫小牧漁業協同組合
- 4) 鶴川漁業協同組合
- 5) いぶり中央漁業協同組合
- 6) 室蘭漁業協同組合
- 7) 胆海共第26号・第27号共同漁業権共有管理委員会
- 8) 北海道漁業協同組合連合会環境部、室蘭支部
- 9) 北海道胆振総合振興局産業振興部水産課

苫小牧漁協から「OBCの屈曲、埋設深度未達時の対応と同様に、JCCSの体質に関して、危機管理等に問題があるのではないかと。即時の第一報を受ければ、苫小牧漁協サイドでも直ちに緊急体制を敷くことができるが、こうした報告の遅れがあるようでは過去のOBC埋設不具合時の対応と同じで、基本的な手順を間違っており、この間、何度も確認を求めてきたはずの相互の信頼関係を損なうものである。」との指摘を受けた。

③ 再発防止のための対策について

a. CCS施設管理体制を強化

今後、熱交換器の開放点検は、必ずメーカー工場に搬入し薬液洗浄、ガスケット交換

を行い、気密試験による健全性を確認した後に、現地搬入取付けを実施する。また工場での作業には十分な時間を確保する。併せて、漏洩早期検知のための対策として、冷却循環運転中の熱交換器は、点検巡回頻度を上げ巡視強化を行うことで早期検知に努めることとする、等の作業手順書・マニュアルの整備を行った。

b. 緊急連絡体制の強化

本事業設備現場操業に係る重要事項に関する臨機応変の判断を可能とする観点から、2018年7月、JCCSとして相応の職務権限を有する者、常務取締役プラント本部長を緊急時連絡体制に組み込むこととし、苫小牧漁協との間で臨機に緊密な情報共有に努めることとした。

(4) 事例Ⅳ 平成30年北海道胆振東部地震発生後の会社見解公表に係る事前連絡遅延について

2018年9月6日、圧入停止中に「平成30年北海道胆振東部地震」が発生した。JCCSは翌週9月12日にCO₂貯留層の圧力・温度のモニタリングデータを開示したうえでCO₂の漏洩は生じていない旨の会社見解をJCCSホームページに公表するも、地元関係者への説明は公表翌日となった。

翌10月19日、有識者検討会を開催し、報告書を取りまとめ、地元説明を経て、2018年12月、圧入を再開に至った。

① 平成30年北海道胆振東部地震発生時、会社見解の事前連絡遅延の経緯等について

9月6日の本地震の発生に伴い、社内規程に沿った対応を行うとともに、次のように関係先への報告や情報開示を逐次、実施した。

3:07 地震発生により、当直運転員は、まず、避難、人員点呼、情報収集を行った後に、点検リスト（「自然災害対策要領」において点検すべき箇所を定めたもの）に従い、現場点検を実施し、「地上設備」の事故・災害、設備異常がないことを確認して、苫小牧 CCS 実証試験センター長に報告した。

7:03 本社貯留技術部長、追ってプラント本部長より経済産業省産業技術環境局地球環境連携室、NEDO 環境部に対し、プラントに異常がない旨の第一報を社内規程に従い、メール送付した。

8:00 「点検リスト」以外の安否確認、設備や建屋、構内全域についても異常がないことが確認できたため、改めて「点検結果、人的、設備の物的被害、異常が認められない」ことを苫小牧 CCS 実証試験センター長から本社プラント本部に連絡した。

8:50 苫小牧漁協、9:00 苫小牧市産業経済部、9:15 北海道漁業協同組合連合会に苫小牧 CCS 実証試験センターより、「設備異常がない」旨の第一報を携帯電話で行った。

9:37 JCCS ホームページのお知らせに地上設備に異常がないことを掲載した。以降、地元関係先に対して「設備異常がない」旨の第一報を逐次、実施した。

9月12日 19:40、JCCS ホームページのお知らせに CCS と本地震に関する見解を掲載した。

9月13日、震源がモニタリング範囲以外であり、社内規定では情報開示しないが、適切な情報を適宜提供する観点から、苫小牧漁協、苫小牧市産業経済部、北海道漁業協同組合連合等の主な地元関係先にお知らせの内容を連絡した。

② 地元関係者からの指摘事項について

地元関係先は下記の通りである。

- 1) 苫小牧市産業経済部企業立地推進室企業立地課（現：企業政策室港湾・企業振興課）
- 2) 苫小牧漁業協同組合
- 3) 北海道漁業協同組合連合会環境部
- 4) 北海道経済産業局エネルギー対策課
- 5) 北海道産業保安監督部電力安全課
- 6) 北海道胆振総合振興局産業振興部商工労働観光課
- 7) 北海道苫小牧地方環境監視室
- 8) 苫小牧市環境衛生部環境保全課
- 9) 苫小牧消防署

苫小牧漁協から、以下の指摘を受けた。

「本事業実施エリアに近接しての地震発生は、かねて本事業に入る以前から懸念してきた事態であり、周辺漁業者として、特に地震による CO₂ 貯留層からの漏洩有無に関する情報に関しては、ことさら過敏にならないければならないことは、理解しているはず。」

「本件事態においても、26・27 共有管理員会の 4 単協の構成組合員、浜の漁業者から疑問、懸念が出た際には、正確な情報を適時に開示し、丁寧な説明で答えていかなければならないが、JCCS から何の事前連絡もなくこうした会社見解を一方的に示されては、苫小牧漁協執行部としても対応が後手に廻ってしまわざるを得ない。一つ対応を誤れば強い反発を招くことにもなりかねない。プレスリリースに関しては、事前連絡が必

須条件である。」

③ 再発防止のための対策について

a. 危機管理に係るマニュアルの体系の整備

本事業の開始にあたっては 2016 年 4 月の圧入開始前に、発生しうる危機に必要な対応措置等の想定に基づき、災害等発生時取るべき措置についてルール化した規程を整備していた。体系としては、危機管理基本マニュアルを中心に、事業形態（地上設備・地下貯留層・広報）毎に危機管理のマニュアル体系（図 5.5-3）を整えており、今回の地震発生時においても本マニュアルの体系が適用され、これに沿った対応を行った。

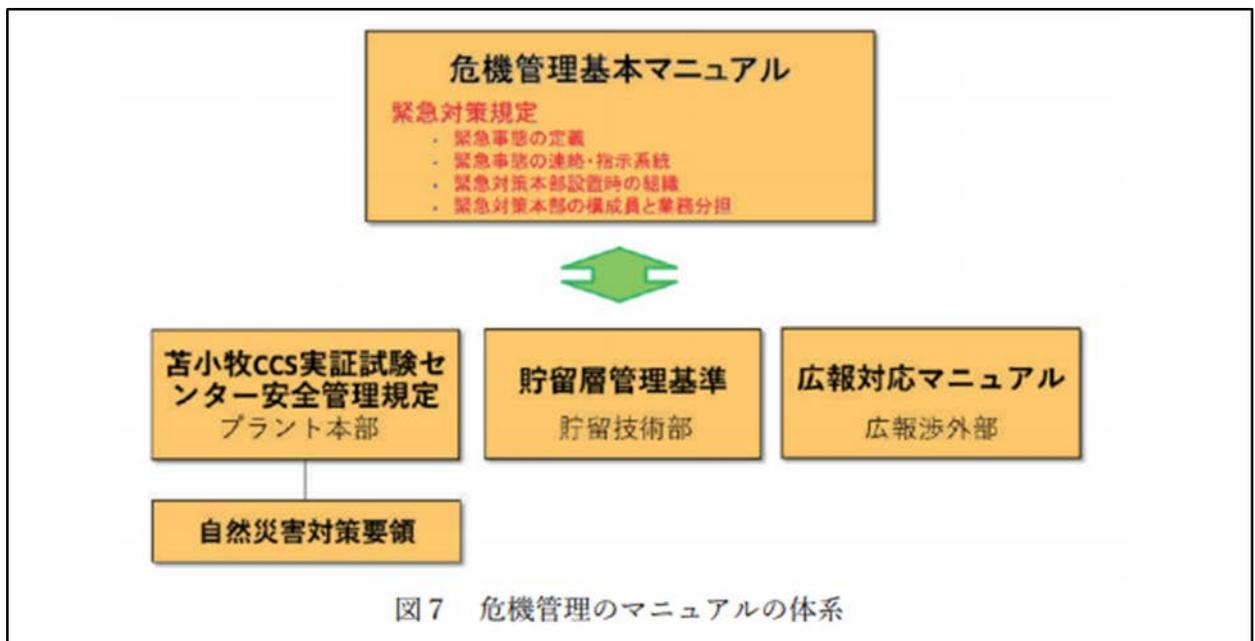


図 5.5-3 危機管理のマニュアルの体系

b. 有識者委員会の開催、報告書のとりまとめ

2018 年 10 月 19 日、課題検討会による委員構成に加えて、地震学等の専門家を含む有識者からなる検討会（出席委員合計 13 名）を開催し、「北海道胆振東部地震の CO₂ 貯留層への影響等に関する検討報告書」をとりまとめた後、地元説明を経て 2018 年 12 月、圧入を再開した。本報告書は JCCS ホームページでも公開し、製本したうえで関係方面の求めに応じて広く配布、活用している。

c. 緊急連絡体制の強化、CCS 施設管理体制を強化

本事業設備現場操業に係る重要事項に関する臨機応変の判断を可能とする観点から、JCCS として相応の職務権限を有する者を現地苫小牧 CCS 実証試験センターに配置し、緊急時連絡体制を強化する（図 5.5-4 参照）ため、常務取締役プラント本部長を同年 10 月 15 日より常駐することとした。以降、苫小牧漁協との間で定期（2 回/月）および必要に応じて緊密な情報共有に努めることとした。

別紙



【 日本CCS調査船 緊急体制図 】

平成 31 年 4 月 1 日～

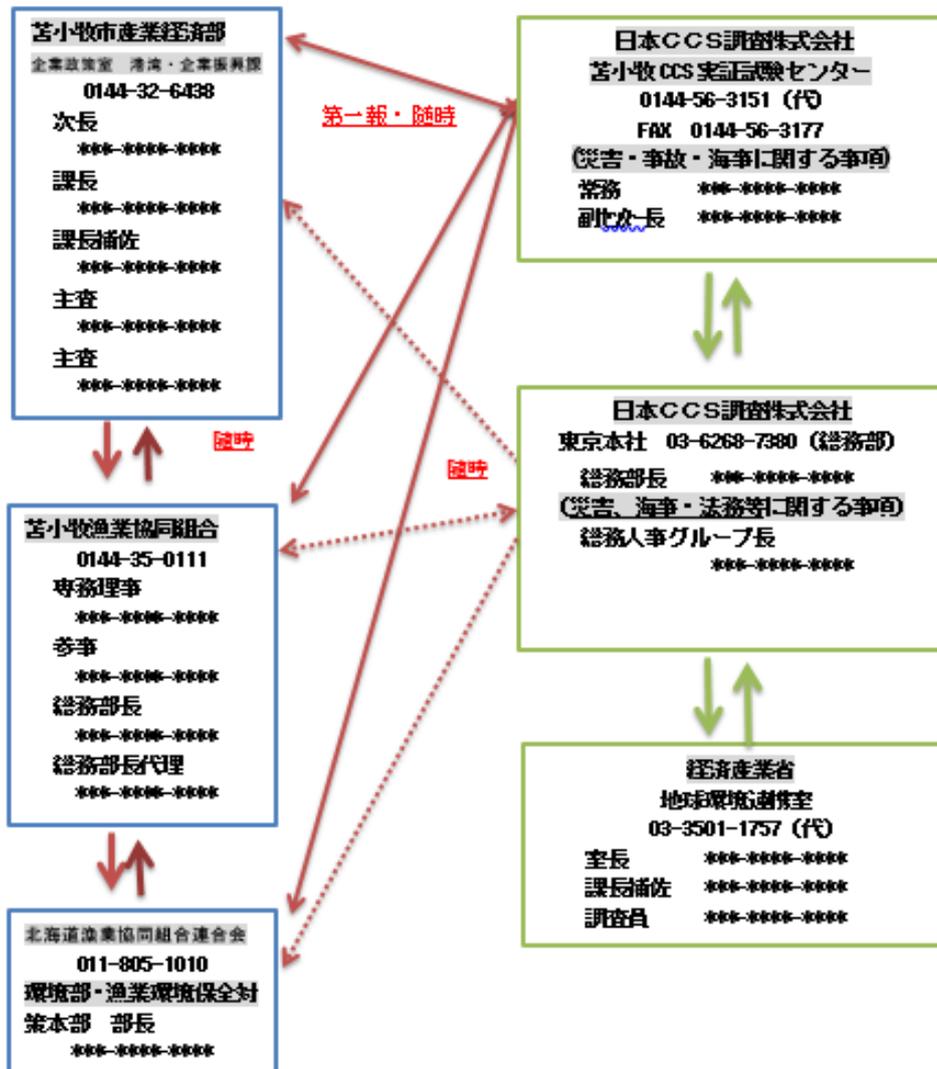


図 5.5-4 改訂した緊急体制図（個人情報・省略）

d. 連絡項目の見直し

本件対応を機会として、JCCS では、「苫小牧 CCS 事業の実施に伴う漁業活動との調整に係る特定情報取扱規程」を制定し、2015年11月25日付、26・27 共有管理委員会（事務局・苫小牧漁協）が経済産業省産業技術環境局地球環境連携室との間に取り交わした「苫小牧西港区周辺海域における二酸化炭素ガスの海底下貯留に係る同意書」（以下、「同意書」と称する。）の規定に基づき、同意書の条件が満たされていることを、苫小牧漁協が継続的に確認できるよう、表 5.5-2 に定める重要事項について、事前の情報共有、報告に最大努力することとした。

表 5.5-2 重要事実等一覧表

対象事項	主管部	備考
<p>1. METI による海洋汚染防止法の許可条件の変更または新たな許可申請に関する事項 実施位置・範囲、圧入期間・モニタリング期間、圧入対象層・圧入量の変更または新たな許可申請に関する事項等</p>	<p>技術企画部、 貯留技術部</p>	<p>海洋汚染防止法の許可条件</p>
<p>2. METI への同意書に記載の条件及び関連する事項</p> <p>① 貯留した CO₂ の漏出による海洋環境への影響（海洋生物の状態や海水の化学的性状の変化等）の懸念が発生し、漁業活動への支障が生ずると想定される場合</p> <p>② 定期モニタリング（海水の化学的性状や海洋生物の調査、井戸の圧力温度の常時観測、地震計による微小振動や自然地震の常時観測、弾性波探査による地層の状態の確認等）の実施、モニタリング結果の年度ごとの遅滞ない報告</p> <p>③ 漁業活動との調整（漁具の移設や撤去等）が必要な調査（弾性波探査等、<u>モニタリング機器に係わる海域での工事・保全作業を含む</u>）等を実施しようとする場合</p> <p>④ 事業計画の変更や H33 年度以降の事業計画の策定を行う場合（<u>前項 1. の場合</u>）</p> <p>⑤ <u>貯留地点に近接した地域での地震等の自然災害が発生するなど、不測の事態が生じた場合（不測の事態による影響並びに事後対処を含む）</u></p> <p>⑥ その他、本件に関連した事項（<u>当社により 2.①～⑤関連のプレスリリース、ホームページへの掲載を実施しようとする場合など</u>）</p>	<p>貯留技術部、 技術企画部、 広報渉外部、 総務部</p>	<p>H27.11.25、委員会による METI に対する同意条件 ・海水の化学的成分の移行基準超過に関する事例は、2.①、②の該当事項と認識。</p> <p>・ OBC 埋設深度に関する事例は 2.③の漁業活動との調整が必要な海域での工事に付帯する事項と認識。</p> <p>・北海道胆振東部地震に対する見解の事例は、2.⑤の不測の事態が生じた場合への事後対処に係る事項及び⑥事項と認識。 なお、下線部については、同意書の記述内容に追加したもの。</p>
<p>3. 火災・災害等の発生による圧入作業の中断、再稼働</p> <p>① JCCS 設備等に発生した火災・災害（地震、津波、大雨、暴風、暴風雪、大雪、波浪、高潮等の自然災害により生じた設備被害・</p>	<p>プラント本部</p>	

損傷を含む)等により、圧入作業が一定期間中断を余儀なくされる場合 ② ①の設備被害等に起因する大気汚染、水質汚濁、土壌汚染及び地下水汚染に係る排出、漏えい、飛散等、外部環境に影響を及ぼすおそれのある事態が発生した場合		
4. 圧入作業の一時的な停止、再稼働等 ① JCCS 設備 (CO2 分離・回収、CO2 圧入)、ガス供給元設備 (CO2 含有ガス送気) 等の不調・故障、及び補修実施等に伴う一時的な圧入作業の停止、再稼働 ② ①の設備の不調等に起因する大気汚染、水質汚濁、土壌汚染及び地下水汚染に係る排出、漏えい、飛散等、外部環境に影響を及ぼすおそれのある事態が発生した場合	プラント本部	・アミン漏えいに係るトラブル対応は 4.②に係る事例と認識。
5. 圧入作業の計画停止、再稼働 JCCS 設備、ガス供給元設備の定期補修等の実施による設備の計画停止、再稼働 (あらかじめ年度事業計画に織り込まれ、事前に報告済みであるもの)	プラント本部	随時、または定期報告事項
6. 圧入作業を伴う定常運転	プラント本部	随時、または定期報告事項

上表中、4.に該当する一時的な JCCS、ガス供給元設備の不調、トラブル、補修等に起因する事項は事前察知が困難であることから、発生した場合は遅滞なく報告するものとし、5.6.項のあらかじめ年度事業計画に織り込まれた事項、または定常運転期間の事項に関しては、随時、または定期報告の中で連絡することとする。

5.5.4 その他、地元関係者との間で、検討課題とされた事例

(1) 海洋環境調査・弾性波探査等モニタリング実施に係る備船手配について

モニタリング期間中、海防法による監視計画のもと毎年四季毎の海洋環境調査および毎年 1 回実施する繰り返し弾性波探査 (二次元、三次元) の実施にあたっては、当該調査のための調査船、並びに海上航行の安全を確保するための警戒船 (小型漁船) の配備が必要である。

過去の 3 年間に当該調査に備船した苫小牧漁協所属の漁船の備船実績は、2016 年度 146 隻、2017 年度 232 隻、2018 年度 126 隻である。

こうした漁船備船に関しては、調査実施者からの苫小牧漁協に対する備船斡旋依頼に応じて、都度、苫小牧漁協が必要な漁船の割当、備船連絡・手配等の実務処理を実施、さらに荒天時には備船待機、再調整 (荒天待機 : 2016 年度 25 日、2017 年度 29 日、2018 年

度 29 日) を要するもので、通常の苫小牧漁協業務に加え追加的に発生するため、その事務負担は大きいと、かかるロードの軽減、解消が要請されている。

(2) 海洋環境調査・弾性波探査等モニタリング実施に係る漁業者との調整について

前項モニタリングの実施に際しては、当該海域で実施されている通常漁業操業への支障を回避するため、漁期との調整を図り、休漁期に調査を行うこと、また可能な場合は海域設置の漁具の移動手配等を実施する等、所要の調整が求められる。

何れの調整作業も前項同様に、事務負担の軽減、解消が要請されている。

(3) ホッキ貝の生態系に係る調査の実施について

2019 年度海洋環境調査の実施に伴う海上作業計画に関して、苫小牧漁協よりホッキ貝の身入り減少が 9～10 月分で顕著に表れており、組合員からは作業期間に必要な調整を施したとしても、なお CCS 事業との因果関係に対する不安の声があった。「鮭の漁獲減とともに、ホッキ貝の身入りが減少しているのは事実として受け止めなければならない、貝の身入り減少による収入減の組合員への影響は大きい。」「モニタリング期間終了後の弾性波探査は歓迎したくない、モニタリング期間以降の計画も早く示してもらいたい。」等のコメントがあった。

かかる要請を踏まえ、ホッキ貝の生育状況の調査（軟体部の湿重量測定等）について、次期以降のモニタリング期間中、四季の海洋環境調査に際してホッキ貝の生態調査方法とその規模（個体数等）等に関し、協議のうえ実施することとした。

併せて、海洋環境調査ほかのモニタリング調査自体がホッキ貝の生育状況に直接影響を及ぼしているのではないかと、という漁業者懸念との因果関係を調査するため、2019 年 10 月より 6 ヶ月間・月単位で、四季の海洋環境調査とは別に、JCCS が苫小牧漁協に調査作業を委託して、苫小牧沖東海域においてホッキ貝の生態系調査を実施し、ホッキ貝の身入り等の生育状況の海洋環境調査実施の経時変化を観測することとした。

5.5.5 その他、地元関係者との間で、速やかな報告、連携により情報共有の支障を回避できた事例

(1) 三次元弾性波探査ケーブル紛失

2017 年 7 月～8 月に実施した三次元弾性波探査において、調査海域で海底受振ケーブルの一部が何等かの外力により切断され、一部約 120 m 分を紛失し、海底に残置した。漁具による海底浚い、サイドスキャンソナーによる海底探査により、付近海底を探索したが発見に至らなかった。

同年 9 月、苫小牧海上保安署、苫小牧漁協および苫小牧港管理組合に探索結果を報告し、他に有効な手段がないため探索を打ち切った。同月中にあらためて、苫小牧漁協、海上保安署に対してケーブル紛失の経緯、探索結果を報告するとともに、残置ケーブルにより漁業に支障が生じた際の費用弁済、再発防止策について説明し、了承を得た。

(2) 海洋環境調査アンカーおよびアンカーロープ紛失

2017 年度秋季海洋環境調査期間中の 2017 年 11 月、ROV による海洋生物調査を終了し、調査船船尾側の抜錨作業中に、アンカーロープが何らかの原因により切断された。回収を試みたが、波が高くなりアンカーロープを見失い、アンカーおよびアンカーロープを紛失した。

同年 11～12 月、紛失現場周辺の目視搜索および半径約 500 m 範囲のサイドスキャンソナー探索 2 回を実施したが、発見できなかった。その後、2018 年 2 月、5 月、9 月および 11 月の海洋環境調査実施時に、各々目視および ROV による探索を実施したが、発見には至らなかった。

紛失から時間が経過し、潮流、砂による埋没を考慮すれば、これ以上の探索を継続しても発見可能性は極めて低いものと判断し、苫小牧港管理組合と協議の上、2019 年 1 月に探索を終了することとした。

(3) アミン溶液の漏洩

2019 年 10 月 9 日、CO₂分離回収装置の吸収塔に接続しているセミリーンアミン溶液配管から、アミン溶液が防液堤内のコンクリート床に約 3L 漏洩した。発見時に直ちにウェス拭き取り処理し、外部環境への影響は生じなかった。

道・市環境部局並びに苫小牧漁協、北海道漁業協同組合連合会に即時通報、説明を実施、所要の補修工事を実施後、圧入作業を再開した。

(4) 圧入作業の計画停止、圧入作業の一時的な停止および再稼働

本事業設備またはガス供給元設備の定期補修等の実施による設備の計画停止、再稼働、またはそれら設備等の不調、トラブルおよび補修実施等に伴う一時的な圧入操業の停止に関しては、あらかじめ年度事業計画に織り込まれ、事前に報告済みである場合を含め、発生の都度、または定期的な報告（2 回/月）のなかで、情報共有に遺漏がないよう努めた。

5.5.6 地元ステークホルダーとのコミュニケーションの課題と対応のまとめ

本事業に着手して以降、この間、JCCS では当該対応が地元関係者に及ぼす影響等を十分に斟酌できず、結果、地元関係者、特に苫小牧港湾利用関係者に対して即時の報告、連

絡、説明が遅延することとなった事例が関係者より指摘された。

このような事例に対し、JCCS では、設備操業上のトラブル等に対しては、定期点検の実施方法、手順に改善を図り、点検巡回頻度を上げ巡視強化を行うことで危険の早期検知に努める等、安全管理規程、作業手順書・マニュアルの整備を行い、施設管理体制の強化に努めた。

また、地元関係者からの指摘事項の多くが、緊急時における報告、連絡、説明や JCCS の初動対応の在り方に関してのものであったことを踏まえ、適宜、苫小牧 CCS 実証試験センター、本社組織の業務分掌を見直す等して、緊急連絡体制の改善、強化に努めてきたが、実効性の面で、結果として必ずしも関係先ステークホルダーの期待に応え得るものではなかったといえる。

しかしながら、平成 30 年北海道胆振東部地震後の報告・連絡体制に関する指摘とその見直しに関して、本事業設備現場操業に係る重要事項に関する臨機応変の判断を可能とする観点から、相応の職務権限を有する者を現地苫小牧 CCS 実証試験センターに常駐配置し、緊急時連絡体制を強化するとともに、平常時から定期的な報告、情報共有に努めること、また、併せて「苫小牧 CCS 事業の実施に伴う漁業活動との調整に係る特定情報取扱規程」を整備し、報告・連絡と情報共有のあり方について、具体的な項目を明文化したことで、以降の本事業の運営と対外対応の改善にむけた一定の対応を行った。

また、平成 30 年北海道胆振東部地震後に 1 ヶ月半後に実施した地震学等の有識者による有識者委員会の開催、報告書のとりまとめに関しては、その後の大きな余震発生時への対応を含め、地震による緊急事態に対して、本事業実施者として機動的に対処し、地元関係者に対しても納得性、説得力の高い報告の提供が可能となり、この側面では先鞭となる事例となった。

ここに、地元ステークホルダーとのコミュニケーション実績を踏まえ、事業者における初動対応の在り方、緊急時の報告・連絡体制の実効性を確保するための判断基準等について検証し、今後の本事業の運営、対外対応のさらなる改善に努める必要がある。

については地元地域におけるコミュニケーション活動に関して、社会的受容性の醸成に関する専門家による外部評価を継続して実施し、これまでの活動についての科学的な裏付けのある分析・評価を行うとともに、今後の活動のための提言を受けることを予定している。

外部評価のスケジュール（予定）と内容を表 5.5-3 に示す。

表 5.5-3 外部評価のスケジュール（予定）と内容

(1) 2020年4月～2021年3月（予定）
① 社会的受容性の醸成活動に資するイベントの際に、収集すべき情報項目の提言
② 地元対応活動に対する評価の実施（関係者からのヒアリングを含む）
③ CCS技術そのものに対する地域受容性の分析と評価の実施
④ 報告書の作成

5.6 社会的受容性の醸成活動の総括

5.6.1 CCSに対する国内における社会的受容性の醸成活動の目的・意義

地元地域において、本事業開始前年の2011年より情報発信活動を開始した。2011年時点では、苫小牧市は実証試験候補地の一つであったため、この時期の活動はCCSを認知してもらうことに主眼を置いた。

実証試験の実施が苫小牧市に確定した2012年2月以後は、住民の理解を深めることを目的として、世代別に各種情報発信活動を実施してきた。子ども世代にはCO₂を用いた実験を通して環境問題への興味・喚起を、大人世代にはCCS技術の説明をすることにより、CCSに対する不安を払しょくし、本事業に対する理解を深めてもらうことに注力した。

また、行政が責任を持って関与していることを示すため、CCS講演会等では経済産業省が直接地元住民に進捗を説明し、市役所に設置したモニターで観測データ等を公表すること等により、国や地元の自治体と連携して本事業を推進していることを地元住民に示した。

広く国内へのCCSの認知と理解促進のため、全国的な各種環境関連の展示会等へのブース出展や大学での講義、専門誌等への寄稿、メディア対応を通して、本事業の進捗とCCSの安全性や必要性について発信した。

平成30年北海道胆振東部地震後には、ホームページにてモニタリングデータの公表や有識者による検討会報告書の掲載を行った。また、検討会報告書を用いて現場見学やパネル展等で説明を続けた。

実証試験地である苫小牧市では、実証試験開始前の2011年当時行ったCCSフォーラムにて、実証試験はもとより、CCSそのものに反対の意見を述べる人も見られたが、最近の講演会では、今後はどうするのか、世界で行っているCCSと苫小牧市でのCCSはどのように違っているのか等、質問の質が変わってきた。これは地元地域において、パネル展等直接対話による説明を継続した結果が出てきていると考えられる。

今後、地元地域ではそれぞれのイベントをアンケート内容等も含めて評価し、より深い理解促進のために効果的な活動を継続する。また、他の国内の広い地域では、幅広い世代を対象に、より効果的な周知活動を検討しながら継続する。

5.6.2 地元ステークホルダーとのコミュニケーション

本事業の実施にあたっては、準備段階から圧入操業および圧入後のモニタリングの全期間を通じて、地元住民を中心とした一人一人の事業に対する理解が必要なことは言うまでもないが、加えて、地元地域での事業活動を、安全、安心に地元地域の信頼のもとに推進していくためには、主要なステークホルダーである地元行政としての苫小牧市（産業経済部企業政策室港湾・企業振興課）ならびに本事業が苫小牧西港区沖合の海底面下へのCO₂地中貯留を実施することから、当該海域の利用者としての苫小牧漁協からの支援が不可欠である。

これまでの間、JCCSでは本事業に着手して以降、当該対応が地元関係者に及ぼす影響等を十分に斟酌できず、結果、地元関係者、特に苫小牧港湾利用関係者に対して即時の報告、連絡、説明が遅延することとなった事例が関係者より指摘された。

かかる既往事例に対し、JCCSでは、設備操業上のトラブル等に対しては、定期点検の実施方法、手順に改善を図り、点検巡回頻度を上げ巡視強化を行うことで危険の早期検知に努める等、安全管理規程、作業手順書・マニュアルの整備を行い、施設管理体制の強化に努めた。

また、地元関係者からの指摘事項の多くが、緊急時における報告、連絡、説明やJCCSの初動対応の在り方に関してのものであったことを踏まえ、適宜、苫小牧 CCS 実証試験センター、本社組織の業務分掌を見直す等して、緊急連絡体制の改善、強化に努めたが、実効性の面で、結果として必ずしも関係先ステークホルダーの期待に十分に応え得るものではなかったといえる。

しかしながら、平成30年北海道胆振東部地震後の報告・連絡体制に関する指摘とその見直しに関して、現場操業に係る重要事項に関する臨機応変の判断を可能とする観点から、相応の職務権限を有する者を現地苫小牧 CCS 実証試験センターに常駐配置し、緊急時連絡体制を強化するとともに、平常時から定期的な報告、情報共有に努めること、また、併せて「漁業活動との調整に係る特定情報取扱規程」を整備し、報告・連絡と情報共有のあり方について、具体的な項目を明文化したことで、以降の本事業の運営、対外対応の改善にむけ一定の進捗があったと認識する。

また、平成30年北海道胆振東部地震後に速やかに実施した地震学等我が国の権威によ

る有識者委員会の開催、報告書のとりまとめに関しては、その後の大きな余震発生時への対応を含め、地震による緊急事態に対して、本事業実施者として機動的に対処し、地元関係者に対しても非常に納得性、説得力の高い報告の提供が可能となり、この側面では先鞭となる事例となったのではないかと受け止めるところである。

ここに地元ステークホルダーとのコミュニケーション実績を踏まえることで、事業者における初動対応の在り方、緊急時の報告・連絡体制の実効性を確保するための判断基準等について検証することで、今後の本事業の運営、対外対応のさらなる改善に努めることとしたい。

5.6.3 国際活動の総括

本事業では、2012年度から2019年度の8年間の本事業の国際活動として、日本のCCS技術の国際展開に資する活動を実施することを目的に、本事業の進捗や成果等に関する海外に向けた情報発信活動、CCSに関連する国際的な情報収集、海外組織との国際協力を推進する活動を行った。またこうした活動を推進するため、2016年7月には社内の体制強化を行い適切な対応に取り組んだ。

こうした活動の最大の成果は、人口が密集する都市近傍等の社会的受容性の厳しい環境下でも、CCSが実現可能な技術であることを示し、また事業開始前の2008年からおよそ10年間にわたり積み上げた経験やCCS事業の実施や運営に伴う様々なノウハウを得たことを海外に向けて示したことである。特に苫小牧市長をはじめとする苫小牧CCS促進協議会や地元住民の支援のもと、政府、民間、地元社会が一体となり事業の目標を達成するまでの事業者と地元住民との信頼関係の醸成を通じた社会受容の取り組みは、国際社会からCCSの社会的受容性のモデルと評され、CSLFのアジア・太平洋地域のリージョナルチャンピオン選出の要因となり、本事業の国際的な知名度向上にも寄与した。

また本事業が陸上から海底下の深部塩水層にCO₂貯留を安全に遂行したことを海外に発信したことにより、世界のCCS関係者には、陸域から海底下に向けた深部塩水層貯留という選択肢が安全かつ有効性の高い選択肢であること、社会的受容性の面でも受け入れられやすく実効性が高いオプションであることを示した。

情報収集については、政府がCCS技術の国際展開や、国内産業界へCCS技術の導入とそれに必要な環境や整備に向けた検討を進めていることから、本事業では諸外国のCCSの研究開発の状況や課題、さらに技術導入に向けた政策・法整備の状況等包括的な情報収集を実施し、情報の入手に有効となる海外組織とのネットワークも構築した。とくに国際協力のあり方や将来の日本のビジネスモデル形成において参考となる情報を得るため、米

国とノルウェー政府間のバイラテラルミーティングや、経済産業省が関与する国際イニシアティブである CSLF、CEM、ICEF、IEA の各種会合等にも積極的に協力した。またこれらの成果等は、今後の日本のインセンティブや法整備、ビジネスモデルの研究や形成に必要な情報として整理し、政策検討に活用した。

また技術的な面でも、今後の CCS 事業を検討する際に、有効かつ参考となる分離回収、貯留、モニタリング等の情報も収集した。

国際協力では、5.4.4 に既述の通り、政府の国際協力の指針に従い、多国間、または二国間によるエネルギー協力体制（協力関係）の強化、深化を支援する事等を目的に、米国、欧州、アジア圏諸国等政府と経済産業省との CCS を通じた多国間、二国間協力を促進する政府による活動の支援も行った。

世界では 2050 年の低炭素化を目標とした CCS への取り組みが期待され、そうした中で日本が本事業の構想段階から一連の経験を積んだこと、すなわち事業の立ち上げ方、実施体制の形成、事前調査による貯留地点の選定、仕様・システム設計、許認可プロセス等の経験を得たことを海外に示したことは、CCS 事業を検討中の海外の産業関係者との協力の可能性の拡大にも寄与したと考える。

また石油開発等の既存の技術を適用し、陸上から海域における分離・回収から貯留まで一貫した CCS 技術の実証と 30 万 t の圧入を達成したことは、世界の海域に面する CO₂ の排出事業者に、充実したモニタリング設備の配置による安全な CCS の検討への道筋を大きく切り開き、こうした事業との連携の可能性も大いに高まったと考える。

第6章 法規制対応

本事業の実施にあたり、我が国においては CCS に特化した法令がないため、国内関連法規および海外の法規制状況を調査した。本章では、本事業の法規制対応状況ならびに法規制に関する調査状況および調査結果に基づいた制度上の課題を記述し、法規制対応の総括を示した。

6.1 本事業に係る対応

6.1.1 地上設備の操業に係る法規制対応

地上設備の操業に関しては、国内にある化学プラントと同様な法規が適用されており、当該諸法規に対応するかたちで事業を進めた（図 6.1-1）。分離・回収／圧入運転が開始された 2016 年度から毎年、定期保全工事の一環として、各種法規に基づく法定点検を実施し、所管官庁からの検査証受領により、法規対応の妥当性を確認した。

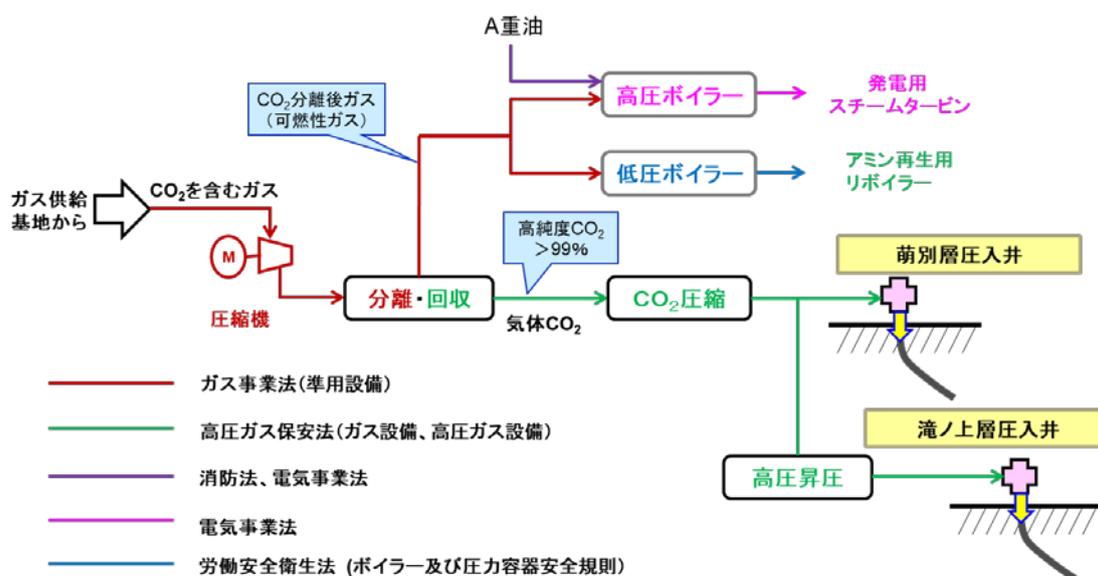


図 6.1-1 地上設備（分離・回収／圧入設備）の適用法規

他方、圧入井から先の CO₂ の海底下貯留に係るプロセスについては、化学プラントの法規とは異なる海洋汚染防止法が適用され、当該法規に係る「監視計画」に基づき、CCS 独自の対応を行った。

6.1.2 圧入した CO₂ ガスに含まれる CO₂ と不純物の濃度測定方法

圧入した CO₂ ガスに含まれる CO₂ と不純物（水素、酸素、窒素、メタン、一酸化炭素）の濃度測定方法の主な検討結果を記す。

検討対象は、CO₂分離・回収設備の運転管理のため、定期的に自動でサンプリングし、プロセスガスクロマトグラフで行う分析とは別に、「特定二酸化炭素ガスに含まれる二酸化炭素の濃度測定の方法を定める省令」（平成十九年九月十九日環境省令第二十二号）（以下、「省令」と称する。）に従い年1回以上実施し、環境大臣に報告する濃度測定に関わる場所である。省令によれば、CO₂については、日本工業規格 K1106 の 4・3・2 に定めるアルカリ吸収法により、不純物の水素・窒素・酸素については日本工業規格 K1106 の 4・3・1(4)および(6)(a)、メタンについては K0225 の 9、一酸化炭素については K0225 の 7・1 に定めるガスクロマトグラフィー（以下、「GC」と称する。）により、第三者機関で測定するのが基本である。しかし、環境省令に規定された分析方法と第三者機関が通年採用している手法とに違いがあり、キャリアガスの変更、校正ガスの準備、検量線の作成等、分析条件の確立に多大な時間が掛かり、迅速に分析できないことが挙げられた。経済産業省と環境省で協議した結果、下記の省令と実質同等で現実的に対応可能な分析要領で濃度測定を行うことが認められた。

- 1) CO₂濃度は、アルカリ吸収法の一つであるオルザット法を用い、5回繰り返し測定をして小数点以下2桁まで算出する。
- 2) 不純物濃度（水素、酸素、窒素、メタン、一酸化炭素）は、GCを用いて、第三者機関が実質的に省令と同等と判断した分析条件で測定する。
- 3) 2)のGCに用いる校正ガスの濃度設定にあたっては、省令に指定されている校正ガス濃度はあくまで参考とし、作成する検量線の精度を高めるため、実際に分析するガスの濃度の上下それぞれ近傍に位置すると予想される濃度のものを使用する。

この要領に合わせて、CO₂ガスをCO₂分離・回収設備の下流（CO₂圧縮設備の上流）からサンプリングし、海洋汚染防止法に係る「監視計画」に基づきアルカリ吸収法とGCによりガス濃度を測定する方法を確立した。

6.1.3 海洋環境調査に係る対応

海洋環境調査は、海洋汚染防止法に係る「監視計画」に基づき、全12点の調査測点において、採水・採泥等による海水・底質の化学的性状調査や海洋生物の状況調査を四季毎に実施してきた。また、海水の化学的性状に関しては、CO₂の海洋への漏出のおそれを検知する指標として、監視段階の移行基準が設定され、基準超過判定を実施してきた。

本事業中、2016年6月に実施した春季海洋環境調査において、当時の移行基準（旧基準線）を上回る値が認められたため、同年8月に予定していた設備定期保全による中断後

の圧入再開を延期した。その後、一連の追加調査を実施して環境省から特定二酸化炭素の漏出またはそのおそれがある事象は確認されなかったとの見解を得るとともに、経済産業省は監視計画の見直しを実施し、同年 12 月 28 日に監視計画の変更申請を環境省に届出し、翌 2017 年 2 月 1 日に許可されたことから、CO₂ 圧入を 2017 年 2 月 5 日に再開した。

ベースライン調査のみに基づき作成された移行基準では自然変動の影響があることから、2018 年に 2017 年度の海洋環境調査データを追加した移行基準の見直し（新基準線の設定）を行い、同年 7 月 19 日に移行基準を見直した監視計画の変更申請を環境省に届出し、同年 8 月 31 日に許可され、以降は、許可後の計画に従って、新基準線に基づく基準超過判定を実施している。

6.1.4 海洋環境調査に係る今後の課題

本事業において、今後も CO₂ の漏出がなくても自然変動により現行の移行基準超過が発生する可能性があること、底質の科学的調査と CO₂ 漏出監視の関係が不明確であること、海洋生物の状況調査は CO₂ 漏出監視としての有効性が低いと考えられること等の課題が明らかになった。

海洋汚染防止法の次期海洋汚染防止法許可期間（2021 年度～2025 年度）に向けた新たな更新申請手続きにおいては、これらの課題を踏まえて、現行の調査測点数、調査頻度、調査項目の削減等の提案について検討を行う。

6.2 各国法令・動向調査

6.2.1 CCS 規制等のリストアップ

2009 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」では、「実証事業を行う事業者は、関連法規を遵守または準用するとともに、本基準を踏まえて適切な対応を図り、加えて、事業を実施するサイトに応じてより詳細な安全性確保のための体制（組織、内規等）を整備することが期待される」と記載されている。

上記を受け、「CCS 実証事業の安全な実施にあたって」への適切な対応に資するため、2012 から 2019 年度継続して海外の CCS に関する「規制」および「技術基準・ガイドライン」に関する最新情報を入手・整理した。この期間を通じて調査対象とした全ての文献の総数は、「規制」が 42 件、「技術基準・ガイドライン」が 43 件であった。調査対象とした文献はその内容によって、1) 「規制」等に関する文献、2) 「技術基準・ガイドライン」等に関する文献に分類した。1) は、国際条約または各国の国内法等に基づくもので

あり、事業者に対する拘束力が2)に比べて厳しい。2)は、Best Practice Manual等の事業者に対する指針あるいはガイドラインに類するものである。

6.2.2 「異常が発生した場合に採るべき措置」に関わる調査

「CCS実証事業の安全な実施にあたって」の「9. 異常が発生した場合に採るべき措置」に対応し、国内関連法および異常の判断基準について整理するとともに、異常時対応に含むべき内容について調査した。

(1) 国内関連法

① 海洋汚染防止法

2006年の「ロンドン議定書」の改正により国際的にCO₂の海底下地層貯留が許可制で可能となったことを受け、日本においても2007年に当該条約の国内担保法である海洋汚染防止法が改正され、環境大臣の許可の下にCO₂海底下地層貯留が可能となった。海洋汚染防止法における許可申請時に必要な主な書類として実施計画と監視計画があり、実施計画における異常時対応の記載内容については告示に示されている。さらに、告示をより詳細に解説する指針では、許可申請にあたっては、万一の事態を想定した障害防止計画を立案し、これを勘案して許可の可否を審査するとしている。

一方、監視計画はCO₂の漏出リスクに対応した3種類の計画から構成される。何らかの異常を検出した場合、圧入中止等の緊急措置を講じた後に通常時監視から懸念時監視へ移行し、さらに漏出のおそれが強まれば異常時監視を行いつつ漏出防止措置をとることになる。

② 高圧ガス保安法

「高圧ガス保安法」は、高圧ガスによる災害を防止するため、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、移動その他の取扱および消費ならびに容器の製造および取扱を規制する法律である。ここでいう高圧ガスとは、主に常用の温度において圧力1MPa以上となる圧縮ガスを指し、CCS事業においてはCO₂を圧入するための昇圧設備から坑口直近元弁までが適用される。高圧ガス保安法では、一定規模以上の設備を有する第一種製造者は、災害の発生の防止や災害の発生が起きた場合において、事業所が自ら行うべき保安活動について規定した危害予防規程を定めることとされている。

高圧ガス保安法においては、製造施設等が危険な状態となった場合には、直ちに災害の発生防止のための応急の措置を講じ、またそのような事態を発見した者は、直ちにその旨を都道府県知事または警察官、消防吏員もしくは消防団員もしくは海上保安官に届

け出なければならぬとある。

(2) 異常の判断基準について

「CCS 実証事業の安全な実施にあたって」では、「異常」の検知に有用な項目として常時モニタリングを行う温度、圧力、微振動に加えて、以下の項目があげられている。

- 1) 圧入井や観測井における圧力または温度の急変
- 2) 弾性波測定や比抵抗測定を通じた CO₂ 漏洩の検知
- 3) 施設または貯留サイトに被害を及ぼす可能性のある強い地震動
- 4) 施設の火災

各国政府や国際機関が定める法規制やガイドラインでは、異常時の対応についての記載があるものの、異常の判断基準については確認することができなかった。一方で、プロジェクトベースの文献については、米国 Illinois Industrial CCS の 1 件のみで坑口圧力の異常判断基準を 2,380 psi (約 16.41 MPa) と定める等の具体的な数値に関する記載があるものが確認できた。

なお、海洋汚染防止法の監視においても異常が懸念される場合は、懸念時監視、異常時監視と監視体制を強化する仕組みになっているものの、その移行基準については示されていない。

(3) 異常時対応に含むべき内容の検討

海洋汚染防止法では、漏出発生時を「異常時」としており、異常時対応について記載する障害防止計画に以下を含むべきとしている。

- 1) 海洋環境での漏出発生あるいは漏出のおそれが生じる可能性のある想定ケースの整理
- 2) 上記想定ケースごとの漏出防止のための措置内容
- 3) 漏出を未然に防止する、あるいは最小に留めるための安全設備等の説明
- 4) 関連法規に基づく保安計画等。緊急時の連絡体制や訓練等の計画、従業員の安全教育等

上記の海洋汚染防止法の考え方をもとに、海外のプロジェクトベースの異常時対応計画等を参考にし、異常時対応に含むべき内容を表 6.2-1 のようにまとめた。

表 6.2-1 異常時対応に含むべき内容

カテゴリー	項目
漏出時の措置	施設からの漏出時の人体および設備保護を目的とした緩和措置 地層からの漏出時の漏出軽減、緩和措置
漏出の未然防止または最小化のための安全設備等	施設からの漏出を予防・制御する緊急遮断弁等の設備 サイト選定、貯留計画、モニタリング計画等における地層からの漏出予防措置
保安計画	緊急時における事象の緊急度合いの分類 作業員および公衆の安全確保 緊急時のコミュニケーション（緊急連絡網等の通知体制の明確化） 作業員に対する異常発生時の安全教育、訓練 異常発生時に迅速に対応することを目的とした社内、社外協力体制の構築

6.2.3 「周辺環境への影響評価」に関わる調査

ロンドン議定書では海洋投入処分の許可を発行するにあたっての評価の枠組みの一環として、CO₂の漏洩による海洋環境への潜在的影響を評価することが求められている。OSPAR 条約および EU-CCS 指令においても、同様に漏洩の潜在的影響を評価するように求められており、英国の国内法では EU-CCS 指令にしたがって評価をするように定められている。一方、米国 UIC プログラムでは、漏洩による環境影響評価等は求められておらず、貯留層の健全性を説明することのみが求められていた。また、豪州においては、漏洩のリスクは地層評価の一環として検討することとなっており、漏洩による環境影響評価に関する規定は特になかった。

「技術基準・ガイドライン」においては海洋環境への影響についての研究が進められている。代表的な研究プロジェクトの例として、欧州の **Research into Impacts and Safety in CO₂ Storage**（以下、「RISCS」と称する。）があった。RISCS ではさまざまな種類の生物への CO₂の暴露実験が行われており、石灰化を行う生物への影響が大きいことや、藻類等一部の生物の個体数が増加することが確認された。その結果として、種ごとの脆弱性に差異があるため、CO₂の漏出が生物群集の変化に影響を及ぼす可能性があることが示された。

6.2.4 「CO₂圧入・運用時の安全確保」に関わる調査

CO₂圧入に対する坑井の健全性および貯留層の安全性（遮蔽層の破壊等）に関連した運

用条件（圧入圧力や圧入レート）に関する記載を中心に情報収集を行った。その結果、UIC プログラムを除く「規制」や「技術基準・ガイドライン」では圧入圧力や圧入レート等の運用条件に関する具体的な数値が規定されていないことが確認された。これは、貯留サイトの特性はそれぞれ異なるため、すべてのサイトに有効な圧入圧力と圧入レート等の基準を定めることが難しいためであると考えられる。

6.2.5 「圧入する CO₂ の濃度基準」に関わる調査

圧入する CO₂ 濃度の基準に関しては、EU-CCS 指令等の「規制」において極めて高い割合であることといった記載があるのみで、具体的な数値基準を設けた「規制」は存在しなかった。一方で、World Resources Institute が発行する EOR を行うための CO₂ パイプラインに関するガイドラインによれば、濃度約 95% が 1 つの基準であることが確認され、不純物に関しても輸送の観点から一定濃度以下であることが望ましいことが確認された。

6.2.6 「モニタリング」に関わる調査

米国の National Energy Technology Laboratory の文献には、大気、地表付近、地下のモニタリング技術についての解説があった。また、弾性波探査やワイヤーライン検層だけでなく、地下水モニタリングが多くプロジェクトで行われていることが確認された。一方、生物モニタリングや重力探査、電磁探査を行っている事例は少なかった。

沖合の深部塩水層のモニタリング可能性を分析した Scottish Carbon Capture & Storage（以下、「SCCS」と称する。）プロジェクトの報告では、弾性波探査に加えて、モニタリングの目的に応じて異なる地球物理学的手法（電磁探査、重力探査等）を組み合わせることによって、より正確なモニタリングが可能になるとの記載があった。

RISCS の文献では海洋環境におけるモニタリング手法に注目しており、海洋環境ではベースラインデータが変動するため、それに対する理解と微量の漏出を検知する能力が課題となると指摘していた。漏出を検知する方法について、CO₂ が溶解した場合は pH のモニタリングが効果的と指摘していた。

6.2.7 「異常が発生した場合に採るべき措置」に関わる海外規制の調査

RISCS の 1 件のみに、「異常が発生した場合に採るべき措置」に関する詳細な記述があった。

当該文献では、RISCS コンソーシアムによる 4 年間の研究に基づき、CO₂ 貯留サイトからの CO₂ 漏洩の潜在的な影響について結論と提言がまとめられていた。この文献の第 9 章に漏洩に対する緩和策がまとめられており、その中で、断層やキャップロックの破壊によ

る漏洩や地下水中への CO₂ 蓄積等の、海域および陸域における漏洩シナリオが複数想定されており、それぞれのシナリオに対して、圧入停止を含むさまざまな緩和策が整理されていた。緩和策ごとにリスクと不確実性の低減に対する費用対効果を評価し、評価結果に基づいて優先度を定めて、適切な対策を検討することを推奨していた。

6.2.8 「CO₂貯留に際し地質面から検討すべき事項」に関わる調査

(1) ヒストリーマッチングの手法および考え方

ヒストリーマッチングとは、数値シミュレーションモデル構築後、坑井において圧入前に実施されるさまざまな検層等によって得られるデータおよび圧入後のモニタリングデータをフィードバックしてモデルの更新を行い、精緻化することである。地質面から CO₂の挙動を検討するにあたって、水理地質および地質構造についての数値シミュレーションモデルを構築することが必要である。ヒストリーマッチングによって、実測データとシミュレーション結果との乖離を可能な限り小さくし、CO₂挙動予測にあたってのシミュレーションモデルの信頼性向上を図ることが重要となる。

多くの「規制」ではヒストリーマッチングの実施を要件としていたが、実際の手法に関する具体的な記載は見られなかった。これは地層条件等の圧入サイトの状況がサイト特有であるため、一意的な手法や考え方を定めるのが難しいためであると考えられた。

海洋汚染防止法では指針（3-3（1）1）において、海域の状況に関する事項の一つである地層および地質の状況の監視方法の一つとして、新たに取得されたデータに基づく数値シミュレーションがあげられているものの、ヒストリーマッチングについて明確には言及していなかった。

(2) 貯留容量および貯留可能性の評価

ロンドン議定書等の多くの「規制」では、サイトの絞り込み、選定および特性把握の段階における重要な検討事項として貯留容量および貯留可能性の評価を規定していた。

EU-CCS 指令および UIC プログラムでは、サイトの特性把握の一環として、貯留容量や貯留可能性を評価するように求めており、十分な貯留容量を持つことを許可の要件としていた。「技術基準・ガイドライン」においては、モデル計算を使った貯留容量の推定手法が具体的に示されていた。

我が国の海洋汚染防止法では、告示（3. 2（3））において、特定二酸化炭素ガスの推定廃棄可能量は、利用可能な最良の手法を用いて、調査および解析した結果を海域選定書に記載することを求めていた。さらに指針（5.（3））によると、選択した廃棄海域の地層が十分な CO₂ 収容能力を有しており、予定する廃棄を確実に実施できることを示す必要が

あるため、廃棄（貯留）海域の地層／地質の特徴の詳細に基づいた数値シミュレーション等により、廃棄した CO₂ の地層中における空間的な広がりや貯留可能容量等を把握し、記載することが必要とされていた。これにより、日本においても、他国と同様に、貯留容量の評価が許可要件として規定されているといえる。

(3) 貯留性状および圧入性に及ぼす地層内での反応性の影響

地層内での反応性について、EU-CCS 指令では貯留サイトの選定のための特性把握にあたって考慮すべき項目の一つとして地層内反応をあげており、米国の UIC プログラムでは坑井の掘削や圧入の許可等において考慮すべき情報として、CO₂ の地下における反応性に関する情報があげられていた。「技術基準・ガイドライン」においては、サイトの情報に基づいて地層内反応を想定しその影響を評価することとしていた。

海洋汚染防止法では指針（5（2））において、廃棄した特定二酸化炭素ガスと廃棄する地層やシール層の成分との相互作用について推定による記述を行うことが求められていた。

(4) 自然地震および誘発地震の評価および影響

EU-CCS 指令等の多くの「規制」では、自然地震および誘発地震の評価影響について、サイトの絞り込み、選定、特性把握および評価の段階で、対象地域の自然地震に関する情報を確認することを許可の要件としていた。米国の UIC プログラムおよび豪州の沖合石油・温室効果ガス貯留法では、自然地震に関する情報が CCS 事業の許可の申請に必要であり、UIC プログラムは参照すべき情報源についても詳細に記載していた。「技術基準・ガイドライン」においては、地震により必ずしも貯留の安全性が脅かされるわけではないとしつつも、そのリスク評価を行うことを推奨していた。

我が国の海洋汚染防止法では省令第 2 条 1 において、特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄をするサイトは、地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がない海域と定めている。さらに、告示（3-2（1））では、海底下廃棄をする海域を含む広域の地層の特徴に関する情報を把握することを求めており、指針（5.（1））ではその詳細として、プレート構造、活断層の存在、火山の存在、大規模地震の履歴等、廃棄の安全性に関わるものを中心に整理することを求めている。

6.2.9 「海洋環境影響・評価」に関わる調査

CO₂ 漏出による海洋環境への影響については、深海底での調査が技術的に困難であることや海洋の生態系の複雑さ等の理由から、影響が未だ不明瞭な部分がある。一方、モデリ

ングの分野が大きく進展していることに加え、生物影響についても海洋酸性化の影響を確認するための多くの実験が行われていることから、生物種ごとの影響や、影響を受けやすい時期といった要因が解明されつつある。複雑な生態系への影響をより正確に理解していくためには、英国で行われた QICS (Quantifying and Monitoring Potential Ecosystem Impacts of Geological Carbon Storage) プロジェクトのような実際の海洋における漏出実験等を通じて、総合的な影響を評価し、知見を蓄積していく必要がある。

6.2.10 「監視移行基準の検討に資する CO₂ 漏出の考え方」に関わる調査

CO₂ 漏出の考え方については、海洋汚染防止法のほか、EU-CCS 指令においても監視計画策定時に判断基準を設定することが求められていたものの、具体的な設定方法は記述されていなかった。従って、各国における個別の CCS サイトで、ベースラインデータを蓄積して判断基準を設定していくほか有効な手段が見出せない状況である。

天然のトレーサによる CO₂ 漏出検知の手法については、地層中における CO₂ の挙動を監視する際には有効であることが期待できるが、海底面付近で漏出検知が可能か否かは、CO₂ 漏出量、監視箇所におけるバックグラウンドのトレーサ濃度と圧入 CO₂ 中のトレーサ濃度の差異の程度によるものであり、現時点では一般化されていなかった。

6.2.11 「海洋酸性化の監視体制」に関わる調査

海洋酸性化の監視については、世界的にも関心が高い問題であることから、国内外の機関で積極的に調査が行われている。国内では気象庁や水産庁、国立環境研究所、海洋研究開発機構等の機関が定期的な観測調査を行っていた。一方、海外では、米国の NOAA (National Ocean and Atmospheric Administration) を中心とした研究機関により、沿岸ブイによる測定や、沖合・外洋における全球的な海洋観測等が実施されていた。このような国際的な海洋観測プロジェクトにおいて得られたデータは、国際的なデータ同化プログラム Carbon Dioxide Information Analysis Center (以下、「CDIAC」と称する。) に集約されており、世界的な情報共有が進んでいる。

6.2.12 「5. CO₂ 地中貯留を目的とした坑井の掘削・閉鎖に当たっての安全確保」における坑井閉鎖に関する調査

(1) CCS のための CO₂ 圧入井の閉鎖に関する調査

CO₂ 圧入井の閉鎖に関する「規制」について、米国、英国、EU、豪州の文献調査を行った。その結果、米国の UIC プログラムが坑井の閉鎖作業も含めた具体的な技術要件を示す一方、他国の規制は許認可の枠組みや基本的かつ定性的な要件の提示のみであった。

「技術基準・ガイドライン」としては、ISO（International Organization for Standardization, 国際標準化機構）とカナダの標準化機関である CSA（Canadian Standards Association）による基準において坑井の閉鎖に関する記載が確認され、いずれも坑井自体の閉鎖に関する技術的手順が具体的に示されていた。UIC プログラムの記載内容は、これら「技術基準・ガイドライン」の記載内容に近いものであった。

いずれにしても、圧入井の閉鎖に関する記載内容は、油ガス開発における一般的な坑井の閉鎖に関する内容とほぼ同様、または、それを簡易に表現したものとなっており、技術的には坑井閉鎖後の管理を除いて、油ガス業界の基準・慣習を基本として実施されることが要求されていた。

(2) EOR のための CO₂ 圧入井の閉鎖に関する調査

米国における CO₂-EOR の圧入井は、CCS と同様に UIC プログラムにより規制され、その規制内容は技術的な詳細に踏み込んだ内容となっていた。ただし、UIC プログラムの規制は広く油ガス開発に係る圧入井が対象であり、CO₂ 圧入井に特化したものではなかった。また、油ガス生産井に関する「規制」と比べると、その技術的内容はセメントプラグ（坑井を密閉することを目的として坑井内に設置するセメント）の設置方法等の一部にとどまっていた。これは、ベースとして類似事業である油ガス開発の生産井に関する詳細な法規制・基準が既に存在するためと考えられる。

(3) 沖合の油ガス生産井の閉鎖に関する調査

沖合の油ガス生産井を対象とした「規制」について、米国、ノルウェーおよび英国では事前の承認の下で適切な廃坑が実施されるよう規定されていた。中でも米国はその規則において、閉鎖作業に関して最も詳細に技術的な要件を示しており、パッカーとブリッジプラグに関しては米国内の産業基準である API の規格に適合することを求めている。ノルウェーおよび英国では、必要な手続きや定性的な要件を示したうえで、技術的な詳細についてはそれぞれ NORSOK 規格、Oil & Gas UK ガイドラインを参照するものとしていた。

「技術基準・ガイドライン」を含めた坑井の閉鎖に関する規制内容はいずれの国も類似しており、セメンチングおよびプラグの適切な実施方法について、数値基準も含めた詳細な基準が確認された。米国はその「規制」において、プラグ方法や撤去後の海底面の障害物撤去確認方法等について詳細に記述していた。ノルウェーおよび英国では、坑井閉鎖の主な目的である対象層を確実に隔離し、坑井を介した流体の移動を防止するための技術基準を詳細に記載していた。英国では、廃坑の際にリスクをベースとしたセーフティケース

の提出とその内容を規則で規定していたことも特徴的である。

(4) 坑井の閉鎖に関する海外の法規制や技術基準

CCS のための CO₂ 圧入井、EOR のための CO₂ 圧入井、沖合の油ガス生産井、の三つの種類の坑井について、その閉鎖に関する米国および欧州等を対象として海外の「規制」や「技術基準・ガイドライン」の内容を整理した。

米国における CO₂-EOR の圧入井は UIC プログラムにより規制され、その規制内容は技術的な詳細に踏み込んだ内容となっている。沖合の油ガス生産井の廃坑に関して、米国、ノルウェー、英国の法規制・技術基準では、セメンチングおよびプラグの適切な実施方法に関する数値基準も含めた詳細な基準が確認された。各国とも法規制により、坑井の閉鎖に関してその計画から実施に至るまでの具体的な作業内容を規定していた。加えてそれらの法規制と強く連携した産業界の技術基準がその実施方法を詳細に解説しており、事業者はこの「技術基準・ガイドライン」に従って坑井を閉鎖すればよい。ただし、CCS のための CO₂ 圧入井の閉鎖に関しては油ガス開発関連の「規制」と「技術基準・ガイドライン」をベースに作成されており、「使用する資機材は CO₂ に耐性を持つこと」といった程度の記述しか確認できなかった。

(5) 海底下への CO₂ 圧入井の閉鎖に関する国内法

坑井の閉鎖に関する技術基準として、我が国の鉱山保安法と温泉法の関連文書を調査した。鉱山保安法において、油ガス生産に係る坑井（生産井および EOR のための CO₂ 圧入井等）を対象とした坑井の閉鎖に関する明確な規定が定められていた。「鉱業権者が講ずべき措置事例」および「石油鉱山の坑井の廃止に関する措置基準の解説」に坑井閉鎖の方法が示されていた。

温泉法では温泉井戸および地熱井を対象とし、事業を廃止した際には届出と埋戻しを行うことが求められているが、その具体的な内容については定められていなかった。

6.2.13 圧入終了後のモニタリングとその現状に関する調査

米国の Illinois Industrial CCS プロジェクト等の多くの CCS プロジェクトにおいて、圧入終了後には、三次元弾性波探査、坑底の温度圧力、環境モニタリングといったモニタリング技術が採用されていた。廃坑後のモニタリングについて具体的な計画を確認できたのはいずれも海域のプロジェクトであり、三次元弾性波探査と音響探査によるモニタリングが計画されていた。実施頻度は、数年に一回や異常検知時のみと限定的であった。米国およびカナダの大規模プロジェクトでは、圧入終了後も廃坑せずに坑井を用いた数十年間

のモニタリングを実施し、規制当局から許可を得られ次第、廃坑するといった計画であった。

圧入終了後のモニタリングでは、稼働中のモニタリングの一部を継続し、廃坑後のモニタリングは、さらに項目と頻度を限定する事例がいくつか確認された。また、廃坑までの期間がプロジェクトによって異なることが確認された。

6.2.14 プロジェクトリスクに関する調査

CCS プロジェクトのリスクマネジメントとしては、プロジェクト全体に対するリスクを対象としたものと、貯留のリスクを対象としたものに分けられる。プロジェクト全体に対するリスクに対しては、リスク登録簿を作成しリスクマネジメントを実施している事例がいくつか確認された。リスク登録簿にはリスクの詳細、リスク所有者、対応策といった情報が含まれており、これらは定期的に更新されるとともに、プロジェクト関係者に共有される仕組みであった。また、リスクマトリクスを用いて、可能性および影響の大きさという二つの要因によってリスクの評価を行っていた。

貯留のリスク評価に対しては、様々な背景や状況からリスクシナリオを想定した上でリスクの評価を行い、対応策やモニタリング計画を検討するといった事例が確認された。リスクの評価結果に対しては、専門家によるレビューを受けることが一般的であった。

6.2.15 CO₂ アカウンティングに関する調査

CO₂ アカウンティングとは、事業活動における CO₂ または温室効果ガスの出入りを算出することであり、大きく分けて排出量を算定するものと、削減量を算定するものに区分される。前者は、気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change、IPCC）のインベントリガイドライン、米国の GHG Reporting Program や欧州連合域内排出量取引制度（European Union Emissions Trading System、EU-ETS）における算定、日本の温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度（SHK 制度）等においてその手法が整備されていた。後者は、クリーン開発メカニズム（Clean Development Mechanism、CDM）に代表されるように、削減に伴うクレジット取得が主な目的であり、それぞれのクレジット制度に即した算定手法が整備されていた。CO₂ 貯留に関する算定の焦点は主に漏洩や散逸等の CO₂ の直接的排出であり、事前に準備されたモニタリング計画に従って排出量が算定されていた。

ISO/TC265, Carbon Dioxide Capture, Transportation and Geological Storage (CCS) が発行した CO₂ の定量化および検証に関する技術報告書によれば、CCS および CO₂-EOR プロジェクトにおける排出量の定量化に関する課題として、長期的な貯留性能と貯留層か

らの漏洩リスクについて一部の算定手法を除き算定に反映されていないこと、算定手法により報告対象範囲が異なること、定量化のためのベースラインの設定等があげられていた。

6.3 制度上の課題

我が国においては、CCSに特化した法令はないが、日本初のCCSプロセスを一貫して行うCCS実証試験の実施に際し、環境保全、安全確保等を目的として、本事業の設備操業に係る各種法規制に対応した。具体的には、CO₂分離・回収設備は、高圧ガス保安法、労働安全衛生法、ガス事業法等が適用され、圧入・貯留設備と圧入時の安全基準等は、鉱業法、鉱山保安法に準拠し、CO₂の海底下廃棄（地中貯留）については、6.2節に示す海洋汚染防止法が適用されている。

この内、圧入・貯留設備と圧入時の安全基準等で準用している鉱業法、鉱山保安法は、油ガス開発の貯留層からの生産が対象であるのに対し、CO₂貯留の場合は、貯留層へのCO₂の圧入であり、圧入管理基準のような適用可能な項目が存在しない。そこで、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」（2009年8月）に準じた対策を取り、海外のCCS規制および技術基準・ガイドライン等を参考として「CO₂圧入時の貯留層管理基準要領」を作成し適用した。

また、今後CCSの実用化に際しては、国内でCO₂貯留に関し、大きく二点の制度上の課題が顕在化すると考える。

1) 圧入井掘削のための地下の権利

鉱業法では鉱業権がある。CO₂の圧入井の掘削についても、CO₂貯留を含め地下の利用の権利を定めるべきか検討する必要がある。

2) 貯留地点および貯留CO₂に係る長期的責任

我が国では、長期的責任とその移管の主体が定められておらず、唯一海洋汚染防止法において、CO₂が地中貯留（廃棄）されている限り実施者が監視を続けることが示されている。

一方、実際にCCSプロジェクトが実施されている海外においては、国や地方自治政府の法令等によるCO₂貯留に関する法的枠組みの整備が進んでいる。法的枠組みの形式は多様であるものの、貯留層の探査・アクセス・利用に係る許認可、圧入期間中の圧入・貯留の管理、法的責任の移転に関する規定、モニタリング・報告・検証等の項目が含まれている点は、ほぼ共通である。

また、海外では税控除や補助金などのCCS導入のインセンティブとなりうる制度整備

が国や地方自治政府が主導する形で進んでいる。国内においてもそうした CCS 導入のインセンティブとなる制度整備が課題である。

6.4 法規制対応の総括

6.4.1 本事業に係る対応の総括

(1) 設備操業に係る法規制対応の総括

分離・回収・圧入設備（地上設備）に適用されている各種法規（高圧ガス保安法、ガス事業法、消防法、電気事業法、労働安全衛生法）への対応については、分離・回収／圧入運転が開始された 2016 年度から毎年、定期保全工事の一環として、各種法規に基づく法定点検を実施し、所管官庁からの検査証受領により妥当性を確認した。また、CO₂の海底下廃棄に係るプロセスについては、海洋汚染防止法が適用され、当該法規に係る「監視計画」に基づき対応を行った。

(2) CO₂濃度の測定方法の総括

圧入した CO₂ ガスに含まれる CO₂ と不純物（水素、酸素、窒素、メタン、一酸化炭素）の濃度測定方法について、省令による方法が困難な場合は、省令と実質同等で現実的に対応可能な分析要領が認められた。認められた要領を含め、省令に基づいて CO₂ ガスを CO₂ 分離・回収設備の下流（CO₂ 圧縮設備の上流）からサンプリングし、海洋汚染防止法に係る「監視計画」に基づきアルカリ吸収法と GC によりガス濃度を測定する方法を確立した。

(3) 海洋環境調査に係る対応の総括

海洋汚染防止法に係る「監視計画」に基づき、海洋環境調査を実施したが、CO₂ の海洋への漏出のおそれを検知する現行の指標が、CO₂ の漏出がなくても自然変動により現行の移行基準超過が発生する可能性があること、底質の科学的調査や海洋生物の状況調査は CO₂ 漏出監視としての有用性が低いと考えられること等の課題が明らかになった。

海洋汚染防止法の次期海洋汚染防止法許可期間（2021 年度～2025 年度）に向けた新たな更新申請手続きにおいては、これらの課題を踏まえて、現行の調査測点数、調査頻度、調査項目の削減等の提案を行うべく検討する。法規制の問題点については、「7.2.2 圧入貯留・監視計画に関する法規整備」にて記載する。

6.4.2 各国法令・動向調査

2009 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」では、「実証事業を行う事業者は、関連法規を遵守または準用するとともに

に、本基準を踏まえて適切な対応を図り、加えて、事業を実施するサイトに応じてより詳細な安全性確保のための体制（組織、内規等）を整備することが期待される」と記載されている。

上記を受け、「CCS実証事業の安全な実施にあたって」への適切な対応に資するため、2012～2019年度継続して海外のCCSに関する「規制」および「技術基準・ガイドライン」に関する最新情報入手・整理した。この期間を通じて調査対象とした全ての文献の総数は、「規制」が42件、「技術基準・ガイドライン」が43件であった。調査対象とした文献はその内容によって、1)「規制」等に関する文献、2)「技術基準・ガイドライン」等に関する文献に分類した。1)は、国際条約または各国の国内法等に基づくものであり、事業者に対する拘束力が2)に比べて厳しい。2)は、Best Practice Manual等の事業者に対する指針あるいはガイドラインに類するものである。

また、2012～2019年度の各年度において、「CCS実証事業の安全な実施にあたって」にあげられている9項目からテーマを設定し、国内および海外の「規制」および「技術基準・ガイドライン」を収集・整理し、国内におけるCCSの実施に資することを目的として設定したテーマごとの調査を実施した。

6.4.3 制度上の課題

6.4.1項で示した海洋汚染防止法の見直しの他に、今後のCCS導入に向けて、CO₂貯留に関する法的枠組みの整備が必要である。

海外では、CCS関連法規制が制定されている国や地方自治政府もあり、サイト閉鎖後のモニタリング・法的責任の国や地方自治政府への移転事例がある。一方、国内では、分離・回収には高圧ガス保安法等プラント設備の法令が適用され、海域での海底下地中貯留には海洋汚染防止法が適用されるものの、CCSを目的にした事業法は存在せず、苫小牧CCS実証試験では坑井掘削や圧入は鉱業法や鉱山保安法に準拠した。さらに、CO₂地中貯留に関しては、適用できる項目がなく、新たに「CO₂圧入時の貯留層管理基準要領」を作成し適用したが、圧入終了後のモニタリングおよび坑井閉鎖等、CCS事業に関連する法的な規制体系を構築し、民間参入の障壁を取り除くことが必要である。

また、海外では、税控除や補助金などのCCS導入のインセンティブとなりうる制度整備が進んでおり、国内においてもそうしたCCS導入のインセンティブとなる制度整備が課題である。

第7章 得られた知見と残された課題

7.1 本事業を通じて得た知見

7.1.1 安全性実証

(1) 実証の内容

CCSの実施に当たっては、貯留したCO₂の漏出が起きないことに加えて、自然地震が起きても貯留したCO₂に影響が及ぶことがないこと、CO₂の圧入によって地震が起きることがないことを収集したデータに基づいて検討し、地震に関連する不安を払しょくすることが肝要である。本事業では、安全性に関する実証として、一連の操業を通じて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ため、表7.1-1に示す「CCS実証事業の安全な実施にあたって」（2009年8月）に記載された事項への具体的な対策を実施して、妥当性を確認してきた。

表 7.1-1 「CCS 実証事業の安全な実施にあたって」（2009 年 8 月）
に記載された事項および対策

番号	事項	対策
1	地質的検討	地質構造モデルを用いたCO ₂ 挙動予測および漏洩の可能性等の検討
2	関連施設における保安	関連法規の遵守または準拠（高圧ガス保安法、鉱山保安法等）
3	周辺環境への影響評価	関連法規の遵守（海洋汚染防止法等）
4	坑井掘削・閉鎖における保安	関連法規の遵守（鉱山保安法）および国内外関連法規動向調査
5	圧入・運転時の保安	関連法規の遵守または準拠および圧入・運用における最適化
6	圧入CO ₂ 濃度基準	関連法規の遵守（海洋汚染防止法等）
7	モニタリング	圧入開始前後に実施すべき事項の整理および的確な運用
8	異常発生時の措置	保安設備整備と保安管理体制構築

設備的には、分離・回収・圧縮設備の緊急遮断システム（主要機器、個別機器）を整備し、大規模地震検知による緊急停止、圧入井の緊急遮断弁・逆止弁の設置、ガス検知器（CO₂、可燃性ガス、毒性ガス）等の設置等により、異常発生時に安全かつ速やかな措置を施せるようにした。

貯留技術面としては、CO₂の圧入とあわせて各種モニタリングを実施し、圧入したCO₂

の挙動（移動、広がり）把握、貯留地点近傍および周辺における地震発生状況の把握、坑井内の温度・圧力の観測、海洋環境調査、海域の流況観測、採水・採泥等による水質・底質・プランクトン・底生生物の調査、海底面のビデオカメラ撮影による底生生物の観察・気泡の発生の有無の観察等により、CO₂圧入に伴う異常の有無を監視してきた（第4章参照）。

これらの結果、圧入に伴う地震発生状況の変化が認められないことから地震に対する不安が払しょくされるほか、坑井内の温度・圧力挙動に異常が認められないこと、圧入したCO₂が事前の想定どおりに貯留層内に留まっていること、海洋環境に変化が認められずCO₂の漏出またはそのおそれがある事象がないことを確認した。

上記の確認事項に基づき、本事業によるCO₂圧入は安全に実施されているものと判断している。今後も、モニタリングを継続し、CCS実用化に向けて必要な監視事項の整理および適切な監視計画立案に向けた検討を行っていく。

(2) 平成30年北海道胆振東部地震

平成30年北海道胆振東部地震が2018年9月6日午前3時7分に発生した。地震の規模はM6.7、震源は胆振地方中東部の深さ37kmを震源と気象庁は発表し、苫小牧CCS実証試験センターでも震度5弱相当の揺れを観測した。

苫小牧CCS実証試験センターでは150gal以上の地震の揺れを感知した場合に設備を緊急停止する安全システムを採用している。ただし、平成30年北海道胆振東部地震が起きた当時、苫小牧CCS実証試験センターは、CO₂含有ガス供給元の都合により、9月1日午前2時25分からCO₂含有ガスの供給が停止しており、当該地震発生時には地上設備の操業および圧入は既に停止中であったため、当該地震による緊急停止は生じなかった。また、実証試験設備には当該地震による被害や異常は認められなかった。

萌別層圧入井IW-2および滝ノ上層圧入井IW-1の2本の圧入井については地層の圧力と温度の値を連続観測しているが、一部停電の影響によるデータの欠損はあるものの、復電後にデータの取得を再開したところ、停電前と同じトレンドにあり、過去の圧入停止時と同様であることから、CO₂の漏洩を示唆するデータは確認されなかった。また、圧入地点における微小振動は常にモニタリングしているが、検出されなかった（圧入開始以来検出されていない）。

本事業実施前の2011年に、圧入量75万t（年間25万tで3年間圧入）を実施した場合の地層への影響を評価しており、岩盤亀裂等に沿った滑りが生じる（微小地震が発生する）可能性がないことは確認済であった。また平成30年北海道胆振東部地震発生後に、

圧入実績に基づき CO₂挙動シミュレーションを実施して、当該地震の震源位置での応力変化は地球潮汐力による地殻への圧力変化（数 kPa）の 1/1,000 程度と計算された。

上記については、2018 年 10 月 19 日に開催した「苫小牧 CCS 実証試験に係わる課題検討会」にて報告され、委員の間で CO₂圧入と当該地震の因果関係があるとは考えられないとの共通認識が得られた後、「北海道胆振東部地震の CO₂貯留層への影響等に関する検討報告書」としてまとめて 2018 年 11 月に JCCS ホームページにて公開した¹⁾。

7.1.2 CO₂分離・回収／圧入

2016 年 4 月から 2019 年 11 月までの約 44 ヶ月にわたる、分離・回収、および圧入設備による圧縮の実証試験の結果、主に、以下の知見を得た。

分離・回収エネルギーについては、3 回（2016 年 12 月、2017 年 10 月、2019 年 5 月）の性能確認試験を実施し、アミンリボイラーからの熱損失等を勘案した目標値 1.22 GJ/t に対して、1.16～1.20 GJ/t の実証値を得て目標を達成した。

分離・回収設備の運転開始時に系内に張り込んだアミン溶液については、実証試験期間において、アミン劣化物の除去およびアミンの再生は不要で、アミン溶液の入れ替えも不要であった。アミン溶液の劣化物（熱安定塩）の生成は少なく、CO₂吸収性能（Rich Amine Loading, Semi-Lean Amine Loading）や CO₂放散能力（Lean Amine Loading）の顕著な変化は認められず、溶液性能は安定していた。

圧入設備については、CO₂圧縮機制御システムを改造し、回収 CO₂の流量および圧力の変動に自動的に追従するようにしたことにより、回収 CO₂のベントスタックからの放出がなくなり、回収 CO₂の安定かつ全量圧入が可能になった。また、2 層同時圧入運転の安定的実施が可能なることを実証した。

分離・回収／圧入設備の安全対策については、緊急遮断システム、安全操業、設備の耐震設計、および緊急時の地震対策の面で健全性が実証された。

なお、設備の一部に不具合が発生したが、それらの原因究明と適切な対策を実施し、トラブル事例として文書にまとめた。まとめた文書は社内のデータベースとして扱っている。さらに、回収率と分離・回収エネルギーの相関性把握、更なる分離・回収エネルギーの低減の提案等の成果は、CCS の実用化の際の最適な設備設計に貢献できると考える。

7.1.3 CO₂貯留・モニタリング

萌別層への CO₂圧入は 2016 年 4 月 6 日に開始し、2019 年 11 月 22 日までに 300,012 t

¹⁾ URL : <https://www.japanccs.com/news/北海道胆振東部地震のCO2貯留層への影響等に関する-6/>

の CO₂ を圧入した。圧入性状が良好であったため、PT センサーの測定圧力の最大値は 10.07 MPaG で、萌別層の遮蔽層破壊を避けるために設けた上限圧力 12.63 MPaG に対して十分低く、計画した量の圧入が可能であった。

滝ノ上層への CO₂ 圧入は 2018 年 2 月 6 日に開始した。2018 年 2 月 6 日～2 月 23 日および 2018 年 7 月 31 日～9 月 1 日に試験圧入を実施し、圧入性状が予想したよりも悪かったため、PT センサーの測定圧力の最大値を滝ノ上層の遮蔽層破壊を避けるために設けた上限圧力 38.00 MPaG に対し十分に低い圧力に収まるよう圧入レートを調整したことにより、累計 98 t の圧入にとどまった。事前に想定した溶岩・凝灰角礫岩とは異なり、実際には凝灰岩が主体であったため、火山岩層の圧入性状予測の岩相に起因する不確実性が課題となった。

圧入開始以降、平成 30 年北海道胆振東部地震本震の前後を含めて、貯留地点近傍において圧入との関連を疑うべき微小振動および自然地震は検知されていない。

2017 年度の弾性波探査以降、萌別層における CO₂ 賦存状況が確認され、事前の想定どおりに貯留層内に留まっていることが確認された。圧入した CO₂ は貯留層の上部付近に限定して存在しており、貯留層区間外への漏洩等の異常は生じていないものとする。一方で滝ノ上層への CO₂ 累計圧入量は 98 t と非常に少なく、弾性波探査による CO₂ 賦存状況は確認できなかった。物性変化が、弾性波探査の検知限界未満であったと考えられる。

海洋環境調査については、2016 年度以降の調査結果は、ベースライン調査（2013 年度～2014 年度）結果と大きな相違はなく、またベースライン調査結果から大きく逸脱するような傾向も見られなかった。基準超過判定は、ベースライン調査のみに基づく旧基準線に対して、2016 年度春季、2017 年度夏季、冬季に基準超過の結果が生じたが、確認調査等の結果により、CO₂ の漏出またはそのおそれがある事象は確認されなかった。2018 年度および 2019 年度についても、2018 年度夏季以降は新基準線にて超過判定を行っており、基準より高い数値は認められなかった。

これまでのモニタリングにより、CO₂ 貯留層の温度・圧力に異常はないこと、CO₂ の圧入と貯留に伴う微小振動や自然地震の発生は認められないこと、圧入された CO₂ は貯留層内に留まっていることが確認され、長期貯留挙動予測シミュレーションにより、圧入された CO₂ は 1,000 年後も貯留層に留まっていることが予想された。また海洋環境調査により、海洋に CO₂ 圧入開始前からの変化は認められず、CO₂ の漏出またはそのおそれがある事象は確認されなかった。これらモニタリング手法の実証により、本事業の CO₂ が安全に貯留されていることが確認された。

7.1.4 CCSに対する国内における社会的受容性の醸成活動

苫小牧および周辺地域においては、本事業決定の前年の2011年より本格的な情報発信活動を開始した。ひとりでも多くの地元住民に地球温暖化対策の1つに「CCS」という技術があることを知ってもらうため、2011年には市内、周辺地域で22回のパネル展を開催した。本事業の実施地が苫小牧市に確定した後は、本事業について地元住民の理解を深めることを目的として、世代別のイベントを企画し、情報発信活動を実施した。子ども世代にはCO₂を用いた実験を通して環境問題への興味を喚起し、大人世代にはCCS技術の説明をすることによりCCSに対する不安を払しょくし、本事業に対する理解促進に努めた。

このような実証プロジェクトにおいて、地元住民の協力を得ることや更に理解を深めてもらうために重要なことは、事業への行政の関与と、関与しているという事実を地元住民に明確に伝えることである。本事業においては、国が責任を持って実証試験を進めていることを地元住民へ伝えるため、CCS講演会では経済産業省の担当者が直接進捗を説明し、また、地元自治体と連携して事業を推進していることを示すために、市役所に設置したモニターで観測データ等を公表した。これにより地元住民は、責任所在が明確な公の事業であると認識し、事業そのものへの信頼の増幅につなげることができた。

また、地元住民と実施事業者間の信頼関係も重要である。事業者に対しての信頼があれば、事業そのものに対する不安も軽減する。本事業開始当初、「CO₂が漏れたらどうなるのか」「CO₂が漏れても危険はないのか」といった質問がイベントのたびに多数あったが、お互いの意見を述べ合う双方向の情報発信活動を続けたことで、それらの質問が出る頻度が減った。これは地元住民がCCSへの理解を深めるとともに、CCS事業やCCS事業者に対する信頼感が醸成されたことによるものと考えられる。

また、広く国内へのCCSの認知を高め、理解を促進するためには、出来る限り多くの機会を利用し、あらゆる方法や様々な手段を駆使してCCSに関する情報を発信することが必要であり、それを継続して行っていくことが重要である。

7.1.5 海外における情報発信と情報収集

(1) 海外におけるCCSの現況

深刻化する気候変動の脅威に対し世界全体が一致して対応するため、国際社会では2015年のCOP21においてパリ協定やSDGsの理念が掲げられた。各国政府は2020年度からのパリ協定の本格的な運用に伴う野心的な削減目標の達成に向け、脱炭素化に向けた水素等の革新的技術の導入や産業システムの構築等、インフラ整備や制度設計を進めている。

金融分野では、「脱炭素社会」への好循環を促す ESG 投資（環境（Environment）、社会（Social）、企業統治（Governance）の頭字語）を拡大し、企業の脱炭素化への設備投資等、環境面への取り組み等を重視している。こうした脱炭素化への情勢を踏まえ、世界の産業界は大幅な炭素削減が可能となる CCS にも着目し、世界各地で CCS 導入への動きが加速傾向にある。

グローバル CCS インスティテュートが 2019 年の世界の CCS 情報をまとめた報告書「Global Status Report 2019」で公表した 2019 年 11 月現在の世界の大規模 CCS プロジェクトは、操業中プロジェクトが 19 件である。19 件の、合計の分離回収能力は、約 3700 万 t/年に上る。その内訳は米国が 60%、カナダが 14%、欧州が 5%、中国が 2%、その他のプロジェクトの総計が 20%で、分離回収量は米国が最も大きい。産業別では、天然ガス処理が 78%で最も多く、発電が 7%、水素製造が 5%、肥料製造が 5%であった。また EOR と深部塩水層への貯留で比較した場合、EOR が 81%、深部塩水層への貯留が 19%である。天然ガス処理（含、合成天然ガス）、かつ、EOR のケースは 64%、その他のケースは 36%である。またこれら 19 件に加え、4 件のプロジェクトが建設中である。

一方で、IEA が 2019 年に公開した“The IEA’s World Energy Outlook 2019”における持続可能なシナリオ（SDS : Sustainable Development Scenario）では、2050 年までに年間あたりおよそ平均 15 億 t の分離・回収、貯留の実施と、2050 年時点には年間 28 億 t の分離・回収、貯留の実施を達成することが必要であることが示されている。この目標達成には今後 2040 年までに現在の 100 倍規模の CCS 事業の世界的展開が必要となり、IEA はこうした CCS 導入の加速化に向けて、インフラ等の環境や法整備、および投資の拡大等の早急な策を講ずることが重要であることを指摘している。

CCS のプロジェクト数、分離・回収量が最も大きい米国では、パリ協定からは離脱するものの、産業界の CCS の導入の後押しとなる補助金の導入や融資、45Q 等の税額控除等の CCS 導入のインセンティブとなりうる制度の整備を率先して進めている。基本的に CCS 事業は、分離・回収費の大小や EOR か深部塩水層への貯留か等の条件の違いにより、ビジネスモデルや官民のコスト負担の割合が大きく異なる。天然ガスに含まれる CO₂ 処理のように分離・回収費が CCS の費用とならず、また回収した CO₂ を EOR 用に販売し、石油会社が CO₂ を利用して石油を増産している場合は、公的補助がなく商業的に成り立っているプロジェクトが多い。一方分離・回収費が大きい場合や CO₂ を EOR 用に販売できない場合等は、補助金や税額控除制度が重要なインセンティブとなっている。

カナダでは、世界で初めての石炭火力発電所の排出ガスから分離・回収を行う Boundary Dam CCS プロジェクトや、深部塩水層に CO₂ を貯留する Quest CCS プロ

プロジェクト等の商業プロジェクトが稼働している。またカナダ政府は CCU の技術開発を支援しており、小規模の CCU 事業の創生と研究開発への投資の強化を図っている。さらに世界の大規模な CCS の展開の推進を目的として 2016 年に BHP 社と SaskPower 社が設立した Canada International CCS Knowledge Centre を拠点に、中国をはじめとする国際協力や情報発信にも取り組んでいる。

欧州ではノルウェーにおいて世界で初めての CCS プロジェクトが北海の海底下地層貯留層で行われた。ノルウェー、英国、オランダにおいて船舶輸送を伴う CCS プロジェクトの構想が進んでおり、天然ガスからの水素製造や、複数の排出源から回収、集約した CO₂ の有効利用や貯留ポテンシャルの高い北海の海底下地層貯留等を検討している。ノルウェーの Northern Lights プロジェクトでは、事業の大規模化によるコスト低減を目指し、CO₂ の越境受入も検討している。CCS のスケールアップは CCS のコスト低減の重要なドライバーであり、日本が将来の CCS の大規模化を図る上でこうした欧州のケースはモデルケースとなりうる。また英国ではビジネスモデルの研究が 2018 年頃から特に活発化しており、官民の役割分担の提言や、分離・回収と輸送・貯留の事業を分離しコストダウンを図る等、様々なビジネスモデルを研究し、レポートも公開している。オランダの Porthos プロジェクトでは、ロッテルダム港を CO₂ のハブ拠点として複数の排出源から CO₂ を集め、既存海底パイプラインの利用や船舶輸送により、海底下地層貯留を目指している。

中国では 1996 年までに中国中部（オルドス盆地）の深部塩水層に 30 万 t の CO₂ の圧入実証試験を行い、また吉林 CCS プロジェクト等の商業化されているプロジェクトが複数ある。分離・回収の実証試験や CO₂ 利用研究のほか、情報発信にも取り組む等活発な活動をしている。

サウジアラビアでは Uthmaniyah CCS プロジェクト、アラブ首長国連邦では Al Reyadah CCS プロジェクト等、実証プロジェクトや商用化 CO₂-EOR プロジェクトが稼働している。中東では 2020 年にサウジアラビアが議長国を務める G20 の主要テーマでもある CO₂ を有効利用する「Circular Carbon Economy」のコンセプトのもと、CCUS を必須の技術と捉えている。

豪州では、深部塩水層に貯留するプロジェクトとしては世界最大である Gorgon CCS プロジェクトが 2019 年に操業を開始したほか、南オーストラリア州の Santos' Moomba CCS プロジェクト、クイーンズランド州の Surat Basin CCS プロジェクト、ビクトリア州の Carbon Net プロジェクト等の大型プロジェクトの検討が進んでいる。

(2) 日本の CCS 技術の世界への貢献について

こうした世界の CCS の動きの中で、日本が本事業を通じて築いた“日本の強み”は、特に地震多発国である日本の都市近傍において海底下地層貯留を行い、CCS 技術の安全性を確保し、技術を確立したこと、地元や政府の協力を得ながら多くの課題を乗り越えたこと等であり、長期にわたり日本の強みとして国際的な CCS の推進に大きく寄与するものとする。こうした日本の CCS の強みを常に発信していく必要がある。この際、海外の動向把握にも注力し、海外の CCS、CCUS 事業への積極的な関与のタイミングを見極めていくことが重要と考える。

7.1.6 有事対応への備えとしての情報発信

本事業において不測の事故・事態が発生した際、速やかな情報発信を行うべく、報道機関やマスメディアその他社外に対してとるべき対応の原理・原則、心得や考え方、やるべきことの手順と公表基準等を定め、「有事広報マニュアル」を作成した。具体的な情報開示方法として、JCCS ホームページへの掲載、プレスリリース、記者への個別説明、記者会見の4つを設定した。

ここで想定する「有事」とは、一般的なプラント運転における事故や地震発生等の自然災害に加えて、CCS 事業に特有のものである CO₂ の漏洩懸念を指す。

2018 年 9 月 6 日に発生した平成 30 年北海道胆振東部地震と、その後 2019 年 2 月 21 日に発生した最大余震後の情報発信においては、「有事広報マニュアル」に沿って速やかに情報発信を行った。また、実際の対応を踏まえ、内容の見直しを行った。

7.2 CCS を実用化するにあたり残された課題および今後の CCS 事業に向けた検討

7.2.1 CO₂ 多排出産業への分離・回収技術の展開

(1) 展開可能な産業分野

国内で早期に CCS を実用化する際の大きな課題の一つとして、経済的な分離・回収技術を適用できる排出源を探し出すことが重要である。分離・回収技術には大きく燃焼前回収 (Pre-Combustion Capture : Pre-CC) と燃焼後回収 (Post-Combustion Capture : PCC) に分類されるが、世界では、Pre-CC と PCC の両方で、すでに年間 100 万 t 程度の大規模分離・回収設備が稼働している。多くは Pre-CC であるが、その理由は、Pre-CC が技術的および経済的に有利な特徴を有するからである (CO₂ 分圧が高い、供給ガスの全圧が高い、還元性ガスが多いので吸収液が劣化しない、処理後のガスを燃焼するため二次公害を起こさない等)。

本事業での CO₂ 排出ガスは製油所からの PSA オフガスを使用し、Pre-CC 技術を採用し

たが、その特徴は以下のとおりである。

- 1) 可燃性の還元性ガスであり、CO₂の他に H₂、CH₄、CO を含有する。この還元性ガスは、水素製造、アンモニア製造合成ガスに類似する。これらの合成ガスはアミン溶液の劣化の原因となる不純物（酸素、硫黄化合物、ダスト等）を含有しない。IGCC（石炭ガス化複合発電）ではガス化やガス精製に多くのオプションがあるが（物理吸収法、化学吸収法）、例えば、空気吹きガス化でスウィートシフト方式（脱硫後の CO シフト）では、合成ガスと同様な組成の還元ガスである。
- 2) PSA オフガスは低圧であるが、本事業では圧縮機で昇圧することによりガス中の CO₂ 分圧を上記製造ガス（合成ガス）と同等の 0.47 MPaA とした。よって、本事業の成果を上記の水素製造やアンモニア製造の分野にも応用できると考える。また、空気吹きガス化でスウィートシフト後のガスは、CO₂ 分圧が本事業と同等となり、本事業の成果を応用できると考える。
- 3) 本事業では、分離・回収エネルギーを従来の Pre-CC 技術（1 段吸収法）の 1/2～1/3 に削減できたので、CCS コストも大幅に低減できると期待する。

本事業の分離回収技術を展開できる可能性を確認するために、本事業の運転条件と水素製造、アンモニア製造、IGCC（石炭ガス化複合発電）の条件を類似の事例として表 7.2-1 にまとめた。

水素製造分野では表に記載した PSA 以外にも湿式吸収法が多く使用され（熱炭酸カリウム法）、さらに、IGCC でもアミン法による Pre-CC が開発段階であるので、今後の CCS 実用化でこれらの産業分野に本事業の成果を応用することは大いに期待が持てる。

なお、この表に示された分野に本事業で得られた分離・回収技術が全て適用できるものではないが、今後、CCS 実用化モデルの経済性検討（Feasibility Study : FS）あるいは基本設計（Front End Engineering Design : FEED）を実施する段階で、多くの本事業の情報（分離・回収エネルギー、設備設計実績、運転実績データ、用役消費量等）を活用できるものと考えられる。

これらの可能性を実現していくためには、今後の CCS 事業者へ情報を提供できるシステムの構築（社内情報の文書化、コンサルタント業務、有望な排出源の発掘等）が今後の課題と考えられる。

表 7.2-1 CO₂ 多排出産業への分離・回収技術の展開可能性がある分野

排出源		水素製造	アンモニア製造	IGCC	水素製造
CO ₂ 回収対象ガス		天然ガスの水蒸気改質合成ガス	天然ガスの水蒸気改質合成ガス	石炭ガス	PSAオフガス
プロジェクト名		カナダ Quest	標準型	空気吹きFS	苫小牧実証試験
対象ガス条件					
ガス圧力	MPaA	3.00	2.8	1.51	0.91
CO ₂ 入口濃度	mole%	17.00	17.8	23.67	51.60
CO ₂ 分圧	MPaA	0.51	0.49	0.38	0.47
吸収塔出口CO ₂ 濃度	mole%	3.94	0.1	0.03	0.10
CO ₂ 回収率	%	80.0	99.9	99.9	99.9
CO ₂ 分離方法		活性アミン	活性アミン	活性アミン	活性アミン
アミン溶液名称		Adip-X	OASE	Activated MDEA	OASE

(2) 国内での大規模 CCS への展開可能性

海外プロジェクトにおける CCS の規模や大型化技術の信頼性およびスケールメリットによる CCS コストの低減等を勘案して、年間 100 万 t 以上の CO₂ を処理するプロジェクトを、「大規模 CCS プロジェクト」として考える。

(1)で述べた Pre-CC の分離・回収技術を、展開可能な産業分野を国内に限定して大規模 CCS プロジェクトを想定すると、空気吹き石炭ガス化の IGCC が挙げられる。

既に 540 MW（発電端出力）の IGCC 設備が建設中であるが、その CO₂ 排出係数は 650 g/kWh 程度と予測されているため、年間 330 日稼働で計算した場合、年間 CO₂ 排出量は 280 万 t 程度と想定される。

空気吹き石炭ガス化ガスは、還元性ガスを用いたスウィートシフト反応後の CO₂ 吸収塔入口において、ガス圧力（全圧）は 1.5 MPaG 以上の高圧となる場合であれば、CO₂ 濃度は 20%以上となることが期待できるので、二段吸収法によって分離・回収エネルギーが 0.73 GJ/t-CO₂ まで低減可能であることを期待できる。

また、この二段吸収法による分離・回収技術を展開することによって、石炭 IGCC に CCS を設置した場合でも分離回収エネルギーとして使用する発電用スチームタービンの抽気スチーム量（アミン溶液再生用）および使用電気量（アミン溶液ポンプ動力）を大幅に節約できるため、送電端出力の低下を抑えることが期待できる。

7.2.2 圧入貯留・監視計画に関する法規整備

本事業において、30 万 t の CO₂ 圧入、微小振動および自然地震検知、弾性波探査による CO₂ 賦存状況確認、海洋環境調査による CO₂ の漏出調査、長期貯留挙動予測シミュ

レーションによる長期 CO₂ 賦存状況予測等の実施については、貯留層が今回と同様の条件であれば、技術的に実用化が可能であると判断できる。100 万 t 規模の大規模 CCS プロジェクトにおける圧入貯留についても、坑井数を増やすことで適用可能と思慮される。

適用法規については、我が国においては CCS に特化した法令が存在しないため、本事業実施に当たっては、関連法規制を遵守または準拠することで対応した。地上設備に関しては適用法規が存在し、高圧ガス保安法、労働安全衛生法、ガス事業法等が適用された。一方で、圧入井掘削と圧入時の安全基準等は存在しないため、鉱業法、鉱山保安法等に準拠した。CO₂ の海底下廃棄（地中貯留）については、海洋汚染防止法が適用されている。

本事業から見出された、CCS の事業化にあたっての法規制の問題点を以下にまとめる。

問題点の一つとして、海洋汚染防止法に係る「監視計画」に基づく廃棄した特定二酸化炭素ガスに含まれる CO₂ および不純物の濃度測定方法があった。すなわち、環境省令に規定された分析方法と第三者機関が通年採用している手法とに違いがあり、キャリアガスの変更、校正ガスの準備、検量線の作成等、分析条件の確立に多大な時間が掛かり、迅速に分析できないことがあげられた。そのため、経済産業省と環境省が協議を行った結果、下記の分析条件で濃度測定を行うことが認められた。

回収 CO₂ 濃度はオルザット法で、不純物濃度は GC 法で測定するが、GC 法においては分析の正確性を確保しつつ、水素の分析でキャリアガスにアルゴンを使用、CH₄ と CO の分析ではキャリアガスに市販の高純度窒素（99.999%以上）を使用する等、省令とは異なる方法も採用した。

海洋環境調査においては、海洋汚染防止法に係る「監視計画」に基づき、全 12 点の調査測点において、採水・採泥等による海水・底質の化学的性状調査や海洋生物の状況調査を四季毎に実施してきた。また、海水の化学的性状に関しては、CO₂ の海洋への漏出のおそれを検知する指標として、監視段階の移行基準が設定され、基準超過判定を実施してきた。

これまでの調査によって、今後も自然変動が原因で現行の移行基準超過が発生する可能性があること、底質の科学的調査と CO₂ 漏洩監視の関係が不明確であること、海洋生物の状況調査は CO₂ 漏洩監視としての有用性が低いと考えられること等の課題が明らかになった。海洋汚染防止法の次期海洋汚染防止法許可期間（2021 年度～2025 年度）に向けた新たな申請手続きにおいては、これらの課題を踏まえて、現行の調査測点数、調査頻度、調査項目の削減等の検討が必要である。

実際に CCS プロジェクトが実施されている海外においては、既存法を改正する等、国や地方自治政府の法令等による CO₂ 貯留に関する法的枠組みの導入が進んでいる。法的枠

組みの形式は多様であるものの、貯留層の探査・アクセス・利用に係る許認可、圧入期間中の圧入・貯留の管理、法的責任の移転に関する規定、モニタリング・報告・検証等の項目はほぼ共通である。特に圧入終了後にCO₂の漏洩がないかのモニタリング等の管理は長期間続くため、民間企業である貯留実施者に何十年も義務を課すのは現実的ではない。海外では15年から20年、最大50年程度で、規制当局に管理義務を移管する制度がとられている例もある。また、税控除や補助金等のCCS導入のインセンティブとなりうる制度整備が進んでおり、今後日本でもCCS導入のインセンティブとなりうる制度の整備が課題である。

7.2.3 国内における社会的受容性の醸成に向けた情報発信活動

このような実証プロジェクトにおける社会的受容性の醸成活動の一番の目的は、地元住民の理解を得ることである。7.1.4項でも記載したが、地元住民の協力を得ることやさらに理解を深めてもらうために重要なことは、事業への行政の関与と、関与しているという事実を地元住民に明確に伝えることである。本事業においては、国が責任を持って本事業を進めていることを明らかにするために、国の担当者がCCS講演会で直接進捗を説明し、また、地元行政が協力していることを示すために市役所のロビーにモニターを設置して、本事業で得られたデータの開示を実施した。これらにより地元住民は責任所在が明確な公の事業であると認識し、本事業そのものへの信頼の増幅につなげることができた。その上で、事業者への信頼を醸成するために、できるだけ多くの機会を得て対面で技術の説明を行い、安全であることへの理解促進を行った。

また、苫小牧地域の住民は新しいものを受け入れることに比較的柔軟であり、説明に耳を傾ける傾向が高かったため、結果としてはパネル展等の対面での説明がCCSの周知・理解に効果をもたらしたが、今後のCCSの展開の際、特定地域で社会受容性の醸成活動を行う場合は、その地元住民の特性を事前調査等により見極め、その地域に合ったアプローチを検討し、情報発信活動を行うことが望ましい。そしてその上で地元住民と実施事業者とのお互いの信頼関係の構築を行うことが必要である。

さらに、これまで苫小牧地域で実施してきた数々の周知活動の内容や、地元ステークホルダーとのコミュニケーションの実績を踏まえ、外部専門家による評価により事業者における初動対応の在り方、緊急時の報告・連絡体制の実効性を確保するための判断基準等について検証し、今後の本事業の運営、対外対応のさらなる改善に努めるとともに、それらを体系的にまとめることにより、社会的受容性の醸成活動の実績として今後のCCS展開の際の参考とすることができると考えられる。2020年2月、3月で実施した、これまでの

数々のイベントでの市民からのアンケート等に対する専門家による分析では、活動自体は評価できるが、その内容の分析と改善が不十分であるとの結果が出ている。また、今後の改善点として、地域事情、当該対象者や対象団体の特徴を踏まえた上で、活動の基盤となる基本方針を策定し、戦略的な企画立案を実施する必要がある等の提言を得ている。

一般的にはまだまだ CCS の認知度は低い。国内の広い地域へは今後も各種環境関連展示会への出展や大学での講義等の周知活動を継続して実施し、さらに CCS を新しく実施する地域においては、行政が責任を持って事業を推進していることを地元を知って頂くこと、本事業で得られた知見を基に地域に合った適正な活動を実施すること、その上で地元住民と実施事業者間の信頼関係を構築することが重要である。

7.2.4 国際活動

2019 年に政府が閣議決定した「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」では 2050 年までに 80% の温室効果ガスの削減を長期目標としており、その重要な施策として CCS への取り組みと国際協力の重要性が示されている。本事業ではこの目標達成のために重要なマイルストーンとなる 30 万 t の圧入目標を達成し、今後の国際的な技術協力や連携に向け有効となる膨大な知見や経験を蓄積した。また本事業は政府、民間、地元等が一体となり着実な成果を積み重ね、世界で初めて圧入地点近傍における大地震を経験し、その後も事業を継続した世界的にも稀少なケースであるほか、実証した分離・回収、貯留、モニタリング等の一連の CCS システムは、日本の厳しい環境下でも CCS が安全に実現可能であることを示しており、日本の CCS 技術の安全性や取り組みに対する信頼性も獲得した。

現在、世界各地域で水素社会の構想や脱炭素社会に向けた CCS、CCUS の導入・検討が急速に進んでおり、本事業の知見や広報活動による経験を礎としたビジネスチャンスや技術展開の可能性は非常に大きい。これらのチャンスを確実な形にするため、引き続き海外への情報発信による知見の共有を進めるとともに、日本の CCS 技術、企業の国際展開のため、官民の役割分担の協議を開始し、海外事業や組織との連携・協力への着手を早急に進めることが重要である。またこうした海外事業との連携・協力を通じて日本の経験を培い、知見の深化を図ること、さらに日本と海外の共通課題や CCS 事業におけるさまざまな障壁を、国際協力を通じて解決するノウハウを蓄積することが今後の取り組みの主要テーマとなる。

前述のとおり、CO₂ 貯留やモニタリング期間等に関する法的枠組みの整備は、CCS の実用化や導入には必須であり、持続可能な CCS のビジネスモデルや事業推進のための制度

の形成とともに、早急に取り組む必要がある。CCSの法整備やビジネスモデルの概念設計の議論は、海外では先行している現状がある。日本はこうした国際議論に積極的に関与することにより、官民の役割等についても多様なケースから情報を得ることが重要かつ有効である。

特に世界各国と共に早急な温暖化対策を進めるには、経済性を追求するとともに、多彩な発想のもとに柔軟性のあるCCS産業の形成を進めることが重要であり、法律の未整備により国内におけるCCS導入のチャンスが限定されないようCCSのポテンシャルの拡大を見据えた法整備の検討を進めること、2030年には商用化を前提とするCCS導入にスムーズに移行すること、そして世界の温暖化削減に貢献することを目標とする。

おわりに

CCS の個別技術は、産業部門における研究開発や取組等により、更なるコスト低減が必要であるものの、既に確立していたが、苫小牧における実証試験では、それら CCS の個別技術を一貫したシステムとして実証し、累計圧入量 30 万トンを達成した。また、各種モニタリングや海洋環境調査を通じて、CCS が安全かつ安心できるシステムであることを確認した。さらに、事業を通じて操業技術、貯留技術等を獲得した。これにより、国内においても CCS 技術の実用化ができたものと考えられる。

他方で、商用化を前提に、2030 年までに CCS を導入するためには、更なる低コスト化、CO₂ 輸送手段の確立、CCS とカーボンリサイクルの組み合わせによる拠点化、貯留適地の確保、事業環境整備、といった課題が存在する。実証試験で得られた成果を踏まえて、このような課題を解決していくとともに、今回とりまとめた「総括報告書」を国内外の関係者に広く共有することで世界の叡智を結集し、国内での CCS 導入に向けて着実に取り組む必要がある。

CCS は将来の脱炭素化を実現する上で鍵となる技術である。本実証事業に直接携わった関係者のみならず、苫小牧市及び地元関係者の皆様にも、気候変動問題の解決に向けた方策の重要な一端を担っていただいていると認識している。引き続き、苫小牧市や地元関係者のご理解とご協力を仰ぎながら、安全を最優先に事業を進めていく所存である。

苫小牧におけるCCS大規模実証試験 30万トン圧入時点報告書（「総括報告書」）
2020年5月15日 発行

* 本報告書の無断転載・複写を禁ずる。

問合せ先

経済産業省 産業技術環境局 環境政策課 地球環境対策室

〒100-8901 東京都千代田区霞が関1丁目3番1号

電話：03-3501-7830

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310 ミューザ川崎セントラルタワー 電話：044-520-5293

日本CCS調査株式会社

〒100-0005 東京都千代田区丸の内一丁目7番12号 サピアタワー

電話：03-6268-7610