

目次

第1章 事業の背景、目的および結果概要	1-1
1.1 本事業の目的	1-1
1.2 年間約10万トン規模でのCO ₂ 分離・回収設備(第2章)	1-2
1.2.1 D1-1基地(供給設備)の保全点検	1-2
1.2.2 D1-2/D0基地(分離、回収、圧入設備)の日常保全および定期保全	1-3
1.2.3 安全・環境管理	1-3
1.2.4 設備の信頼性検討	1-3
1.3 年間約10万トン規模でのCO ₂ 圧入、貯留試験(第3章)	1-4
1.4 貯留したCO ₂ のモニタリング(第4章)	1-5
1.4.1 観測井を利用したモニタリング	1-8
1.4.2 陸上設置地震計によるモニタリング	1-12
1.4.3 常設型OBCによるモニタリング	1-12
1.4.4 OBSによるモニタリング	1-13
1.4.5 総合モニタリングシステムの運用	1-14
1.4.6 繰り返し弾性波探査(第5回モニター調査)	1-16
1.4.7 圧入井・観測井の維持管理	1-21
1.4.8 今後の課題	1-21
1.5 貯留層等総合評価(第5章)	1-22
1.5.1 萌別層地質構造解釈の更新	1-22
1.5.2 地質モデルの更新	1-24
1.5.3 萌別層圧入井IW-2圧入圧力の予実績比較	1-26
1.5.4 萌別層IW-2フォールオフ解析	1-29
1.5.5 IW-2長期挙動予測シミュレーション貯留層モデルの更新	1-30
1.5.6 地化学反応に対する検討(流動-地化学連成シミュレーション)	1-31
1.5.7 今後の課題	1-32
1.6 海洋環境調査(第6章)	1-34
1.6.1 海洋環境調査	1-34
1.6.2 今後の課題	1-38
1.7 CCSに関する法規制・他プロジェクトの動向調査(第7章)	1-38
1.8 国内における社会的受容性の醸成に向けた情報収集発信活動	1-42
1.9 海外への情報発信ならびに情報収集	1-45

1.9.1	海外からの現場見学者対応・意見交換の実施	1-46
1.9.2	海外における国際会議や、国内外セミナー、展示会等における成果発表 と情報交換、フィールドツアー参加による情報収集	1-46
1.9.3	GCCSI との情報交換、協力	1-47
1.9.4	CSLF アジア・太平洋地域ステークホルダーチャンピオンとしての活動	1-47
1.9.5	外国語ツール、ホームページ、メディアを通じた情報発信についての 検討ならびに情報発信ツールの維持、更新	1-47
1.9.6	海外に向けた情報発信活動の在り方ならびに実施の検討	1-47
1.10	社外有識者による技術指導	1-47
1.11	将来計画の検討・準備等	1-48

第1章 事業の背景、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調査株式会社の3者は、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事業（以下、「本事業」と称する。）を実施している。

本事業は、製油所から排出されるガスからCO₂（年間約10万トン規模）を分離・回収し、地中（地下1,000m以深）に貯留するCCS実証試験であり、CO₂の圧入、貯留とモニタリングを実施し、CCSが安全かつ安心できるシステムであることを実証する等を目的としている。

実証試験設備の設計・建設・坑井掘削等を2012年度から2015年度に行い、2016年度からCO₂の貯留、貯留したCO₂のモニタリング等を実施している。なお、2019年11月にCO₂圧入量が目標の30万tに達したことにより、以降はCO₂の圧入は停止している。

また、貯留後のCO₂挙動評価のための貯留層等総合評価、海洋汚染防止法に基づく海洋環境調査、CCSに関する法規制・他プロジェクトの動向調査、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、海外への情報発信並びに情報収集等についても実施している。

本報告書は、2018年度から当社が受託しているNEDO「CCUS研究開発・実証関連事業／苫小牧におけるCCUS大規模実証試験／苫小牧におけるCCUS大規模実証試験」について2020年度の成果をとりまとめたものである。

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うえで実施している事業である。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) 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 年間約10万トン規模でのCO₂分離・回収設備（第2章）

苫小牧CCS実証試験センター（以下、「当センター」と称する。）の設備はD1-1基地およびD1-2/D0基地の2つから構成されており（図1.2-1参照）、それぞれCO₂含有ガスの供給、およびCO₂ガスの分離・回収／圧入を行ってきた。しかしながら、2019年11月22日にCO₂圧入目標量である30万tに達したため、以後は圧入を停止し、これらの設備等は休止中にある。休止中も設備の将来の利活用に備えて各種保全業務を遂行するとともに、耐久性、安全性、操作性等の観点から各設備の機能改善工事を行っている。以下に2020年度に実施した作業内容とその成果を要約する。

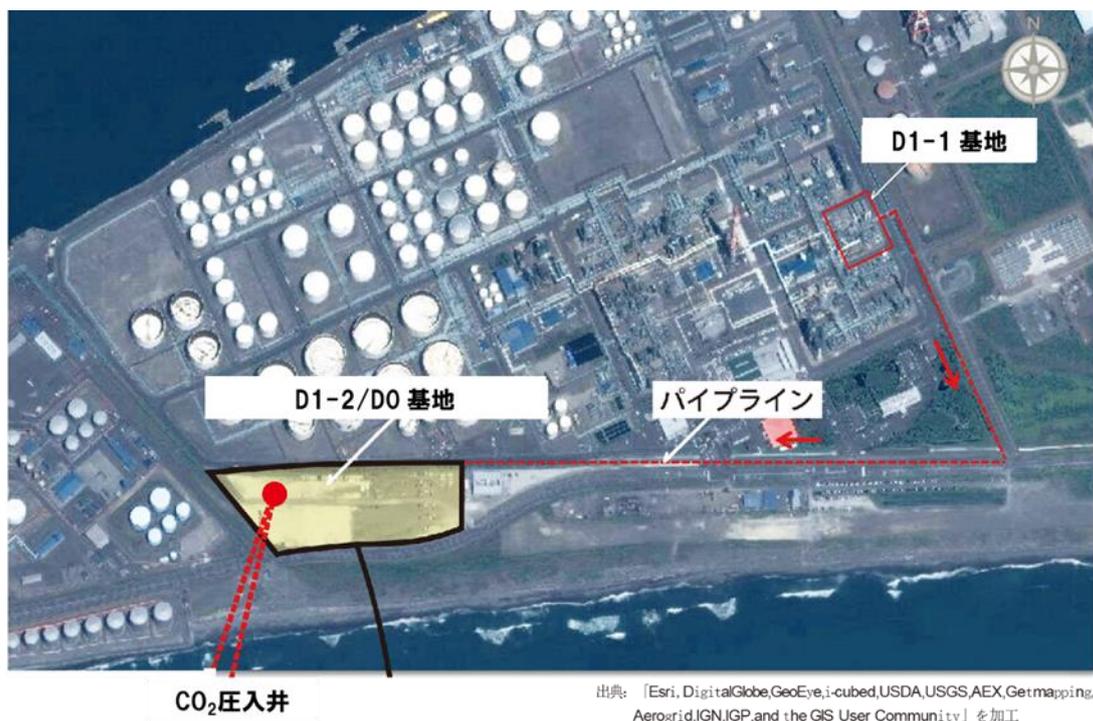


図 1.2-1 D1-1 基地および D1-2/D0 基地位置図

1.2.1 D1-1 基地（供給設備）の保全点検

2020年度は、CO₂含有ガス供給設備とその関連設備の点検保全業務を行った。主たる業

務として、CS-E1A/B（熱交換器）の保存対策工事、PSA オフガスのフレアラインドレンポットの分解整備、およびCS-E81A（ブタン蒸発器）のドレンバルブ交換工事等を実施し、設備の健全性を確保した。

1.2.2 D1-2/D0 基地（分離、回収、圧入設備）の日常保全および定期保全

設備保全に関する管理規程および要領を適切に運用し、日常保全、定期保全、および突発補修等を行った。また、設備機能改善工事として、計装空気圧縮機の2系統化工事および電気トレース用電源ケーブル増強工事等を実施し、さらに、設備休止対応を実施した。

1.2.3 安全・環境管理

安全衛生および環境に関する管理規程および要領に従い、安全管理（安全衛生会議、安全事前評価委員会、安全パトロール等）および環境管理活動（公害の発生を未然に防止するための対策協議、産廃の適正処理等）を実施し、2020年度も当センター開業（2016年2月10日）以来継続している連続無事故・無災害記録を更新した。また、各種環境管理活動を通して産業廃棄物等の適正な処理を実施したことにより、環境汚染等いかなる公害の発生はなかった。

1.2.4 設備の信頼性検討

本検討は、将来CCS技術を実用化する際のCCS設備の計画・設計時の指針を得ることを目的として、設備の内部異常や腐食状況等から設備劣化状況を評価し、実際の運転データと比較して改善点を追求することである。CO₂圧入試験終了後、当センターの設備は休止中である。この間、2019年度は分離・回収設備塔槽類の内部異常や腐食状況、スケール等の付着状況の把握、および設備劣化状況の評価を実施し、2020年度は引き続き塔槽類に接続する機器および配管の開放点検を実施し、内部異常や腐食状況等の調査を行った。

点検の結果、気液分離槽底部における黒色スケールの沈積、およびスピルバックライン上の調節弁に析出物による閉塞が確認された。黒色スケールおよび析出物は、当設備に使用されている配管の素材である炭素鋼の鉄分（Fe）に起因するものと考えられた。黒色スケールの沈積は、移送されたガスに含まれる粒子の大きな鉄系スケールが気液分離槽のフィルターを通過できずに気液分離槽底部に堆積したものと判断された。なお、気液分離槽の本体は、内部検査の結果から腐食による表面欠損は無く健全な状態が維持されていた。また、スピルバックラインの調節弁の析出物による閉塞事象への再稼働時の対策として、①調節弁自体の形状見直し、②気液分離槽底部に位置するドレン配管の液体が停滞しない構造への改造、および③受入れ配管の内面清掃の3点を考案した。さらに、分離回収設備

配管部の開放点検を実施した。規定管厚を下回りはしなかったが、2019年に漏洩の補修を行った箇所に腐食が見られた。当該箇所は2021年度に炭素鋼からステンレス鋼に変更する予定である。他の箇所に腐食は無かった。

1.3 年間約10万トン規模でのCO₂圧入、貯留試験（第3章）

本事業のCO₂圧入は、「本圧入」への移行前に貯留層能力を評価する「試験圧入」、複数のフォールオフ解析（以下、「FOA」と称する。）により貯留層状況の把握に努める「本圧入初期段階」、CCS実用化段階でのCO₂圧入に準じて可能な限り高レートで圧入を継続する「本圧入継続段階」と、目的別に3つの段階がある。

萌別層へは2016年4月6日から5月24日の試験圧入、2017年2月5日から9月15日の本圧入初期段階を経て、2017年9月16日より本圧入継続段階に移行し2019年11月22日に圧入を終了した。

滝ノ上層へは、2018年2月6日から2月23日、7月31日から9月1日まで試験圧入を実施し98 t-CO₂を圧入した。

圧入停止時の累計圧入量は萌別層が300,012 t-CO₂、滝ノ上層が98 t-CO₂、両層の合計は300,110 t-CO₂であった。

圧入停止後の状況を含む萌別層への圧入履歴を図1.3-1に示す。2019年11月22日の圧入停止以降の坑底圧力および坑底温度は、圧入前初期値への回復傾向が継続している。

2021年度も圧入停止を継続する計画であるが、坑底圧力および坑底温度の観測を継続する予定である。

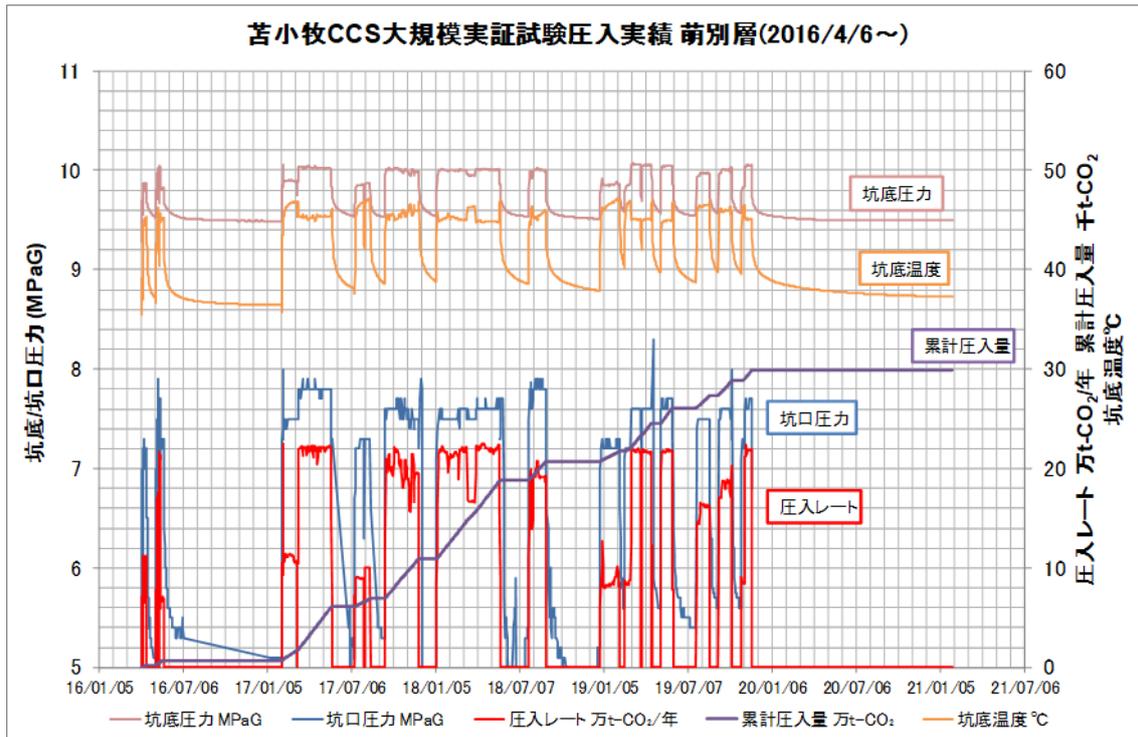


図 1.3-1 萌別層圧入井の圧入履歴

1.4 貯留した CO₂ のモニタリング（第 4 章）

本事業においては、圧入した CO₂ の貯留層での挙動をモニタリングし、漏洩・漏出の是非を検討することを目的に、圧入井*1)および観測井*2)での坑内の圧力・温度観測に加え、観測井坑内地震計、地表、海底および苫小牧周辺の Hi-net*3)による微小振動・自然地震観測、ならびに弾性波探査を用いた地下の状態変化のモニタリングを実施している。圧入井、観測井およびモニタリング設備によるモニタリング実施位置図を図 1.4-1 に示す。2020 年度には、各観測井の半導体圧力センサーを新機種に交換するとともに、地震計の下位に、近年実用化が進んできた SOS 温度・圧力センサー*4)を追加した。表 1.4-1 にモニタリングに使用している観測機器を示す。図 1.4-2 に観測システムの全体構成を示す。2015 年度以降、上記の観測システムによるモニタリングを継続*5)し、各観測システムで取得したデータを当センターに設置した総合モニタリングシステムにおいて集約・一元管理している。また、本システムは観測データの表示と異常の監視および各種解析機能も備えている。

*1) IW-1（滝ノ上層）および IW-2（萌別層）から構成される。

*2) 観測井は OB-1（滝ノ上層）、OB-2（萌別層）および OB-3（滝ノ上層）の 3 坑井から構成される。

*3) Hi-net（High Sensitivity Seismograph Network Japan、(国研) 防災科学技術研究所（NIED）の高感度地震観測網のこと。苫小牧周辺には「厚真」観測点がある。。

*4) SOS（Silicon On Sapphire）：サファイア基盤にシリコン薄膜を組み合わせた高周波性能・低消費電力型素子を用いた温度・圧力計。

*5) 2015 年度は、CO₂ 圧入前のベースライン観測として実施

2020年度は、総合モニタリングシステムの諸機能を利用し、CO₂圧入地点近傍（CO₂圧入地点を中心とする東西 6km×南北 6km の範囲）における微小振動の発生状況*6)と本実証試験の周辺地域（CO₂圧入地点を中心とする東西 50km×南北 38km の範囲）での自然地震の発生状況*7)を把握した。

また、観測システムによるモニタリングに加え、CO₂圧入開始前の弾性波探査の結果と圧入後の弾性波探査の結果を比較することにより地下の状態の変化を把握するため、弾性波探査のベースライン調査とモニター調査を表 1.4-2 の通り実施している。2020年度は、第5回モニター調査（三次元弾性波探査および二次元弾性波探査）を実施した。

各観測井の温度・圧力等のモニタリング結果、微小振動・自然地震の発生状況および海洋環境調査結果等は、情報公開システム*8)を利用して発信した。



図 1.4-1 モニタリング実施位置図

*6) 3本の観測井に設置した地震計、常設型 OBC および OBS の観測データから振源を推定している。

*7) 陸上設置地震計の観測データに加え、Hi-net の 10 観測点（大滝、室蘭、白老、千歳、追分、厚真、西平取、門別西、門別東、静内）のデータ提供を受け、独自に自然地震の震源解析を実施している。

*8) 本事業の進捗状況およびモニタリングの結果を発信することを目的として 2016 年 4 月 6 日に運用開始したシステム。総合モニタリングシステムで集約したデータの当社ホームページからの情報提供および苫小牧市役所内に設置した情報公開用端末に配信・表示を行っている。

表 1.4-1 モニタリングに使用した観測機器

観測システム	設置場所	観測機器
観測井モニタリング	OB-1	地震計（4台）、 FBG*温度圧力センサー（1台） 半導体圧力センサー（1台）、DTS（1式） SOS温度圧力センサー（1台、2020年度以降）
	OB-2	地震計（1台、2017年10月12日以降2台） FBG温度圧力センサー（1台）、 半導体圧力センサー（1台）、DTS（1式） SOS温度圧力センサー（1台、2020年度以降）
	OB-3	地震計（4台、2017年10月7日以降5台） FBG温度圧力センサー（1台）、 半導体圧力センサー（1台）、DTS（1式） SOS温度圧力センサー（1台、2020年度以降）
常設型 OBC	苫小牧沿岸海底	OBC（3.6km）
OBS	苫小牧沿岸海底	有線型（1台）、独立型（3台）
陸上設置地震計	陸域（苫小牧市内）	地震計（1台）
圧入井モニタリング	IW-1	温度・圧力計 （萌別層砂岩層に近い深度に2台）
	IW-2	温度・圧力計 （滝ノ上層 T1 層に近い深度に2台）

*：Fiber Bragg Grating（光ファイバ回折格子）圧力温度センサー

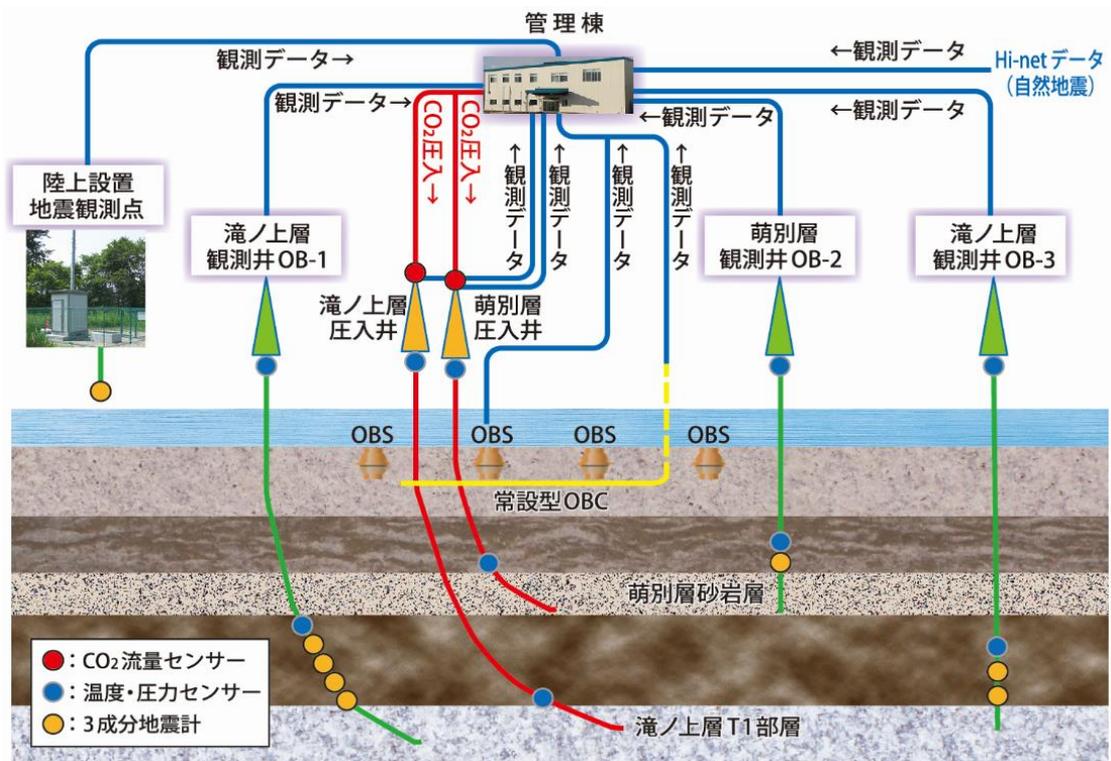


図 1.4-2 観測システムの全体構成（運用当初）

表 1.4-2 繰り返し弾性波探査の実施実績

年度	調査	実施時期
2009年度	三次元弾性波探査ベースライン調査	2009年10～11月
2010年度	三次元弾性波探査追加ベースライン調査	2010年7～9月
2013年度	二次元弾性波探査ベースライン調査	2013年8月
2016年度	第1回モニター調査（二次元弾性波探査）	2017年1月
2017年度	第2回モニター調査（三次元弾性波探査）	2017年7～8月
2018年度	第3回モニター調査（二次元弾性波探査） 圧入地点北側ベースライン調査（小規模三次元弾性波探査）	2018年9～10月
2019年度	第4回モニター調査（小規模三次元弾性波探査および二次元弾性波探査）	2020年1～2月
2020年度	第5回モニター調査（三次元弾性波探査および二次元弾性波探査）	2020年7～8月

1.4.1 観測井を利用したモニタリング

3本の観測井（OB-1、OB-2およびOB-3）に設置した坑内地震計、温度計および圧力計によるモニタリングを実施した。以下に特記事項を示す。

(1) 坑内機器の回収・点検

OB-1、OB-2 および OB-3 の坑口圧力計の校正、坑口装置の保守点検、坑内機器の回収・点検および坑内地震計設置後のチェックショットを実施した。チェックショットは坑井内に再設置した地震計の設置方位を推定するために行ったものであり、発振作業は大型油圧インパクトで行った。OB-1 については、2018年度の回収・点検後、比較的大きな観測値の上昇が見られたことから、観測値が安定するまでの経過を観察するために2019年度は回収・点検を実施していない。

坑内機器の回収・点検では、DTSの校正もあわせて行った。またこれまで約7MPaの坑口圧力が加わっていたOB-3では坑内機器の回収作業では被圧された流体を排出により内圧を大気圧まで払って作業をしていたが、坑内機器の再設置後坑底圧力が回復するまでに半年以上の時間を要していた。このため、2020年度の作業ではこの圧力回復期間を短縮することを意図して、坑内観測機器の再設置後に、回収した流体を坑内に注入して坑口圧力低下を補償することを試みた。実際には、回収前の10月初めにおける約29MPaの坑底圧力が、3月末時点で約28.5MPaまで回復した。

なお2020年度の坑内機器の回収・点検に合わせ各坑井において、PPS26; SOS温度・圧力センサーを新規に設置した。シリコン圧力センサーは、2020年2月にOB-3で交換導入した機種をOB-1とOB-2にも交換した（表1.4-1参照）。

(2) 地震計によるモニタリング事例

2020年4月26日17:48:44に北海道苫小牧沖を震源としたマグニチュード2.9の地震が

発生した。その震央と（国研）防災科学技術研究所 Hi-net 高感度地震観測網「厚真」で観測された地震波形および観測井での観測波形を図 1.4-3 に示す。観測井の波形（各画像について、1トレースが1分間のデータ、横軸：0~59秒）は、各観測井の最下部にあるツールの Z 成分のものを示した。Hi-net で観測された波形データとの良好な整合性が確認できた。

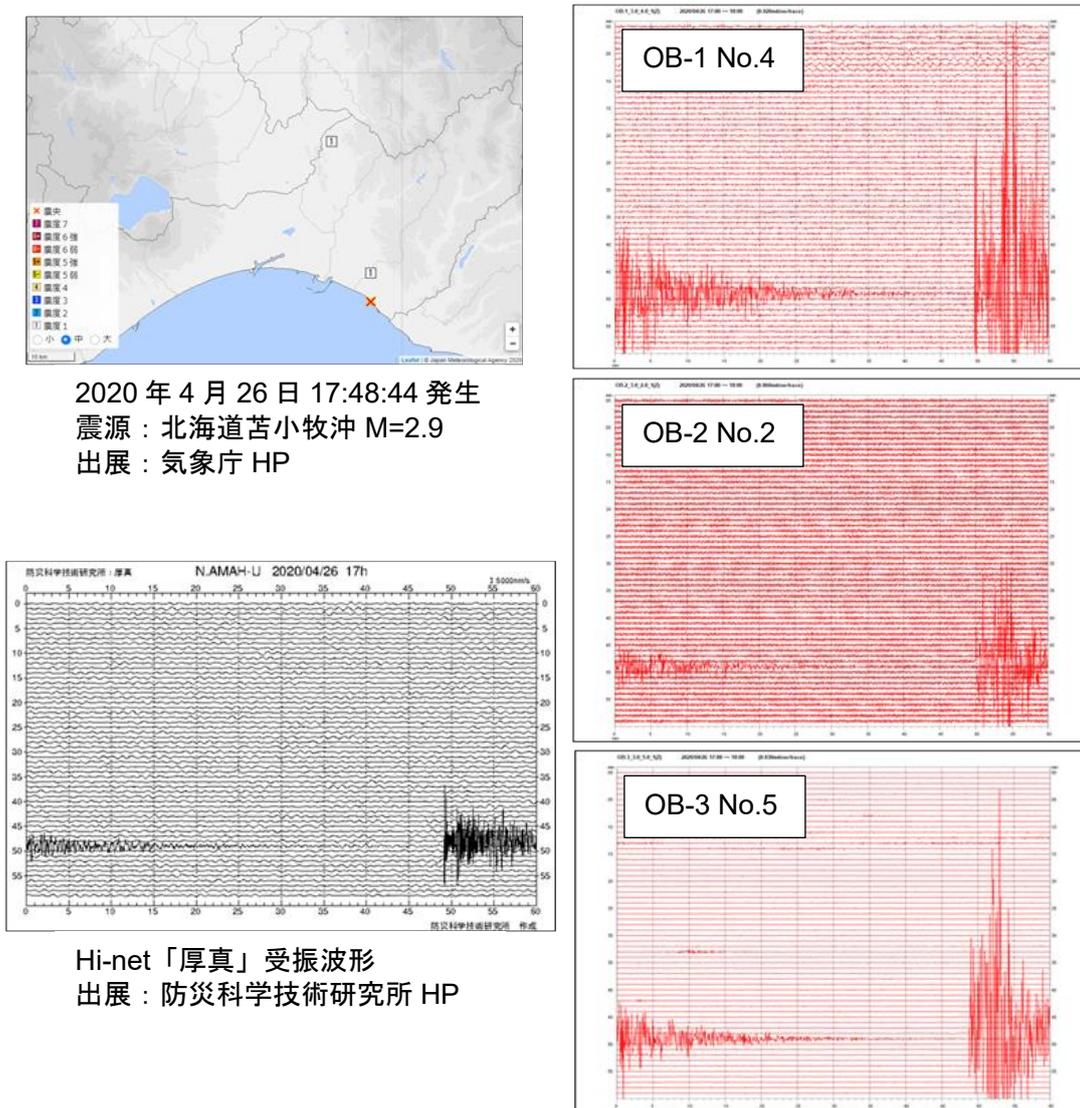


図 1.4-3 例示地震の観測波形

(3) OB-1 における坑内圧力値

OB-1 における FBG センサーの圧力値は、年 1 回の頻度で実施する坑内観測機器回収・点検・再設置作業の度に、時間とともに下降傾向にあることが確認されていた。このため、

ケーブルヘッド内に組み込まれたFBGセンサーやアーマードケーブルを交換したが、坑内観測機器の再設置後も、FBGセンサー圧力値は同様に下降傾向を示した。

図 1.4-4 に 2018 年 2 月 1 日～2020 年 1 月 31 日までの OB-1 の坑口圧力および坑内圧力値を示す。2018 年 12 月に実施した FBG 地上機代替機導入以降も FBG センサー圧力値の低下が確認されている。

このため、2020 年度には、OB-1 と OB-2 においても、ノイズが大きかったシリコン圧力センサーを、2019 年度に OB-3 に交換導入した新型のシリコン圧力センサーに交換するとともに、FBG センサーより精度が高い PPS26 センサーを各観測井の地震計の下位に新規に導入した。

OB-2 に導入した PPS26 センサーによる観測圧力を図 1.4-5 に示す。苫小牧港の潮位を圧力換算した値を併記したが、PPS26 センサーは、静水圧を示す OB-2 では、潮汐変化を捉えていることが分かる。このような高精度の圧力計がアーマードケーブルを用いたワイヤラインで設置可能になったことは、今後の観測機器の選択肢を広げるものと言える。

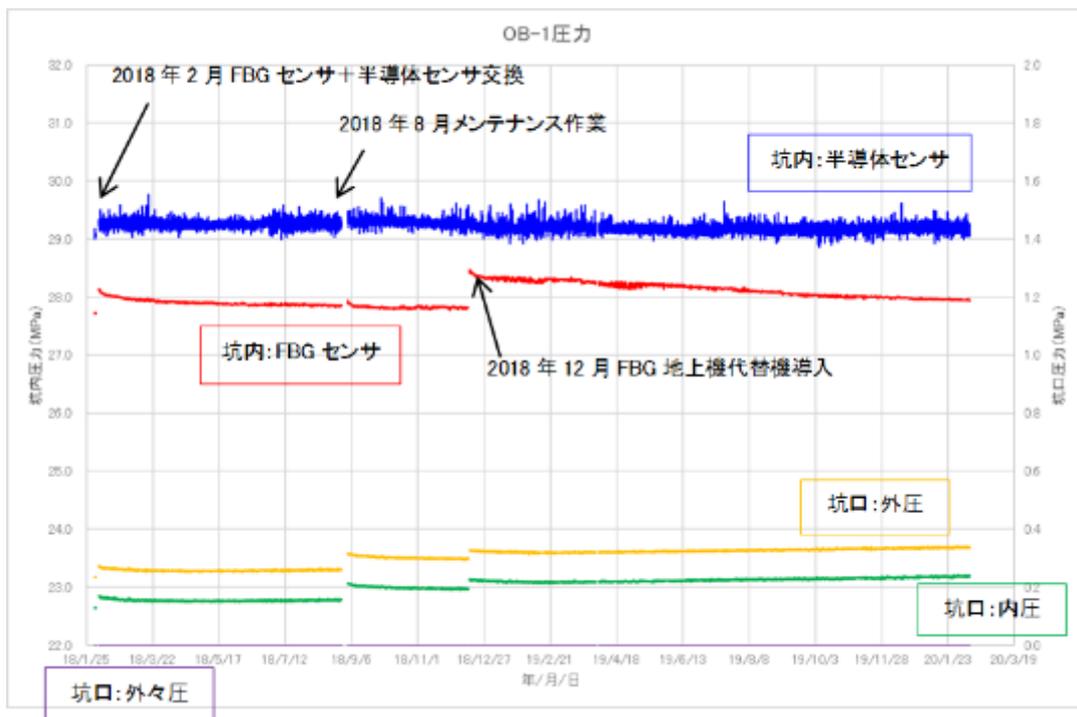


図 1.4-4 OB-1 坑内および坑口圧力値（2018 年 2 月 1 日～2020 年 1 月 31 日）

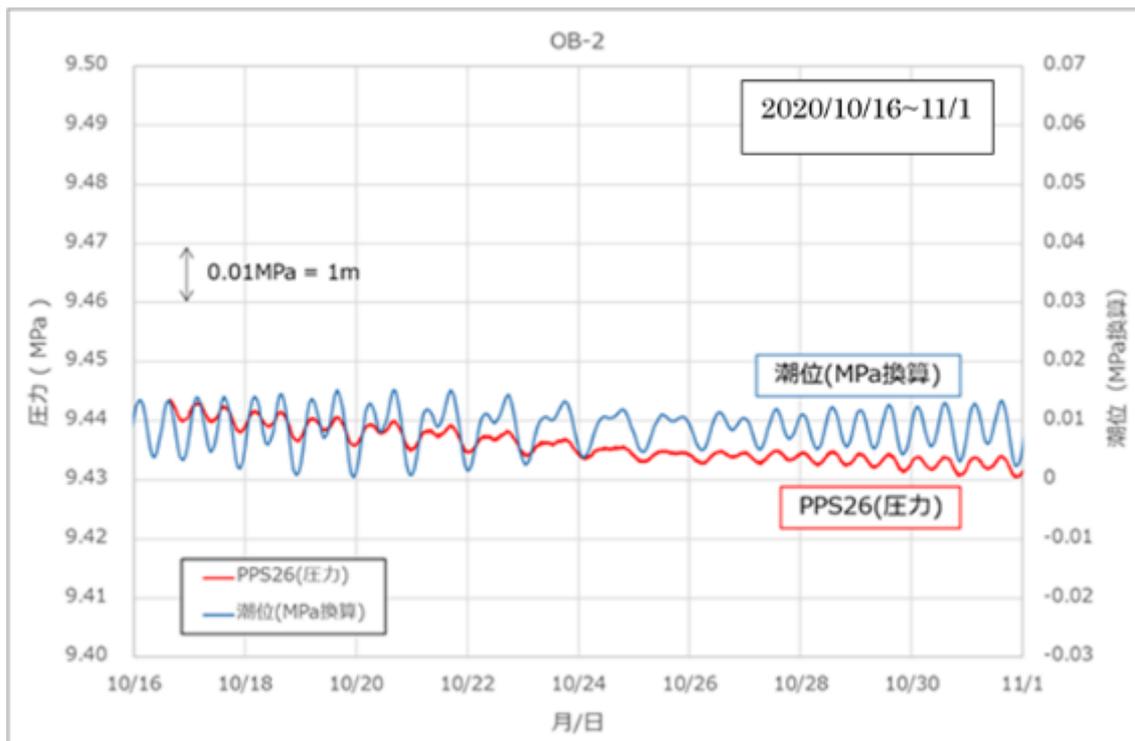


図 1.4-5 OB-2 の PPS26 センサーの圧力値と苫小牧港潮位の圧力換算値

(4) 温度モニタリング

温度データは、FBG センサーと DTS センサーにより取得してきた。2020 年 10 月の回収・点検以降は PPS26 センサーでも取得している。

各観測井で取得した温度データの例として、図 1.4-6 に OB-1 の FBG センサー（深度 2,294.6 m）、DTS（深度 2,200 m、1,900 m、1,700 m、1,500 m、1,300 m、1,100 m、900m、700 m、500 m、300 m および 100 m）および PPS26 センサー（深度 2,294.6 m）の温度データの 2020 年 11 月の推移を示す。

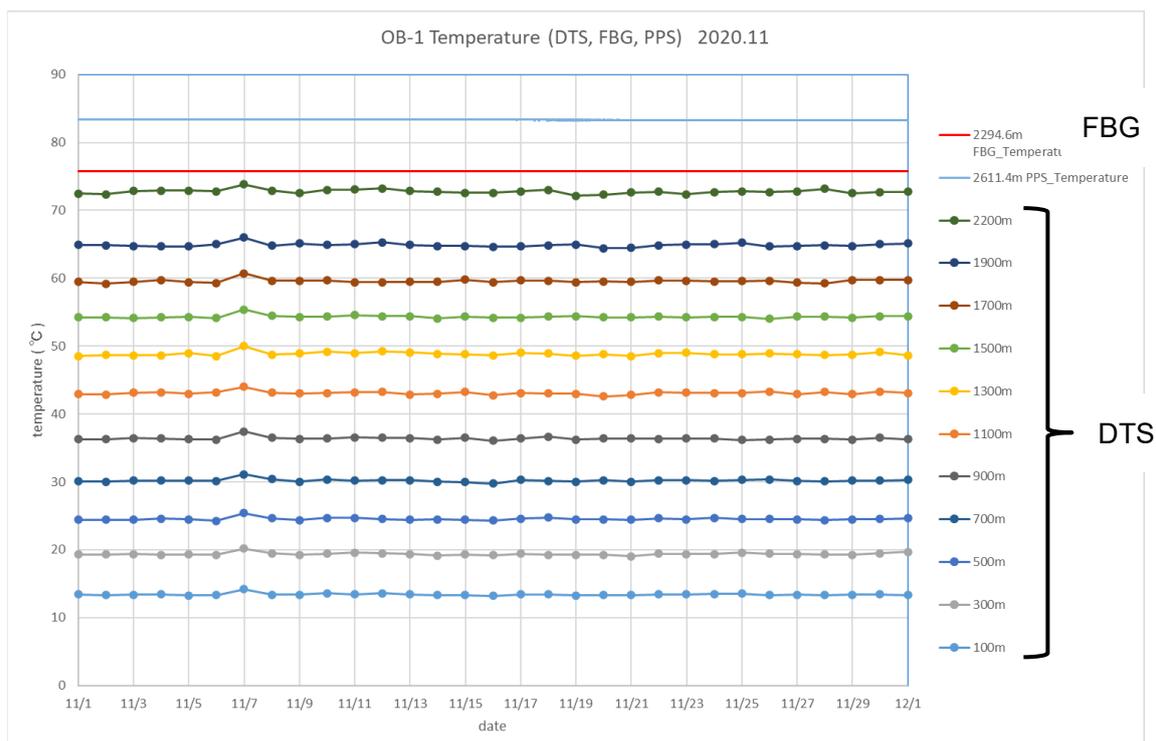


図 1.4-6 OB-1 で観測された温度データの例（2020年11月）

1.4.2 陸上設置地震計によるモニタリング

苫小牧市の緑ヶ丘公園（苫小牧市清水町3丁目地内）内に掘削した深度約200mの観測坑の坑底に地震計を設置し、近傍に設置した観測建屋にデータ収録装置および周辺機器を格納している。一方、当センターには、データ収録サーバと周辺機器を設置している。地震計による観測データは、現地観測施設のデータ収録装置においてAD変換された後、毎0秒を開始時刻とした1分間単位のWIN形式のデータファイルが作成され、公衆回線を利用したVPN経由で実証試験センターのデータ収録サーバに伝送される。現地観測施設、実証試験センターに設置された機器およびVPN全体を「陸上設置地震計観測システム」と称する。

1.4.3 常設型OBCによるモニタリング

2020年度を通して常設型OBC観測システムによる（55モジュール*⁹）×4ch=220ch）データ取得を継続実施した。図1.4-7に海底面下に敷設されている常設型OBC（実線）とデータ伝送ケーブル（破線）の配置を示す。常設型OBC観測システムによるデータ取得を継続実施するため、公衆回線を利用した遠隔監視（原則週1回）、現地保守点検（1回

*9) 2014年12月16日より、センサーケーブルの中央付近から沖側のモジュール17個（39番～71番の奇数番）のデータ受信が不可となっているが、2015年3月に実施した二次元解析により、震源・振源解析には、大きな支障がないことを確認している。

／2 箇月）、メーカーエンジニアによる現地点検 1 回／年）およびモジュール内のジオフォンおよびハイドロフォンのテスト（2 回／年）を実施した。

常設型 OBC と海域部データ伝送ケーブルの埋設状況の確認を目的として、2020 年度は、2013 年度、2016 年度、2017 年度、2018 年度および 2019 年度に続いて、常設型 OBC と海域部データ伝送ケーブルの埋設ルートを中心とする長さ 5.1 km×幅 500 m（片側各 250 m）の海域を対象として海底地形測量を実施し、海底面は概ね堆積傾向にあることを確認した。



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

図 1.4-7 常設型 OBC 設置位置

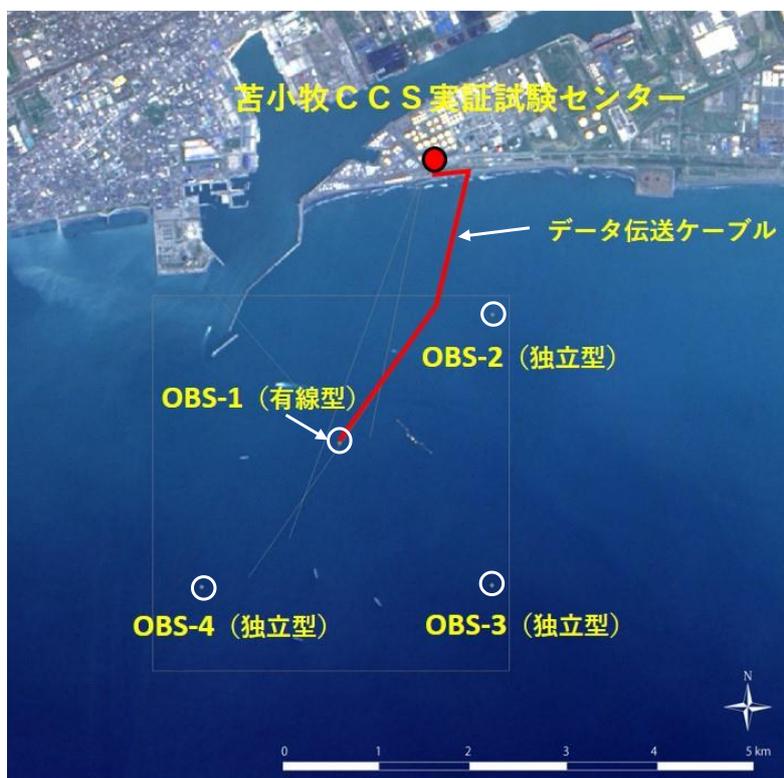
1.4.4 OBS によるモニタリング

本事業では、苫小牧沖に設置した 4 台の OBS（Ocean Bottom Seismometer、以下、各々、「OBS-1」「OBS-2」「OBS-3」および「OBS-4」と称する。）から構成される OBS 観測システムによるモニタリングを実施している。

一般的に OBS は海底に単独で設置され、観測期間中に取得した波形記録は A/D 変換した後、内部の記録媒体（SSD）に連続収録される。OBS-2、OBS-3 および OBS-4 は、一般的な使用方法の OBS（以下、「独立型 OBS」と称する。）を用いた。OBS-1 は、デジタル信号送出回路、アナログ信号増幅回路および同送出回路を装備した OBS（以下、「有線型 OBS」と称する。）を用い、データ伝送ケーブル（2013 年度に敷設）を介して実証試験センター内に設置されているデータ処理システムにリアルタイムで観測データを伝送している。図 1.4-8 に実証試験センター、OBS 設置位置およびデータ伝送ケーブルの敷設

位置を示す。

有線型の OBS-1 ではリアルタイムでのデータ収録を実施した。また、有線型 OBS を含む 4 つの観測点（OBS-1、OBS-2、OBS-3 および OBS-4）に設置した OBS を 4 箇月ごとに交換し、データ回収と次の交換に備えた整備を実施した。



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

図 1.4-8 実証試験センター、OBS 設置位置およびデータ伝送ケーブル位置図

2016 年度から 2019 年度に続き、OBC 埋設ルート周辺の海底地形測量実施時（2020 年 7 月 5 日）に各 OBS 設置地点（4 地点）を中心とする 20 m×20 m の正方形の範囲に対し、マルチビームによる海底地形測量を実施した。その結果、OBS-2 設置容器の周囲では海底面の洗掘が進んであることが確認できたものの、それ以外の場所では水深の変化はほとんどないと確認された。

1.4.5 総合モニタリングシステムの運用

総合モニタリングシステムは、すべての観測データの一元的管理、観測データの表示と異常の監視および各種解析機能を備えたシステムである。図 1.4-9 に総合モニタリングシステムのハードウェア構成図を示す。総合モニタリングシステムは、各観測システムで取

得される観測データ、CO₂分離・回収／圧入設備のDCS*10)から受け取る操作データおよび国立研究開発法人防災科学技術研究所から取り込んだHi-netデータを一元管理する。

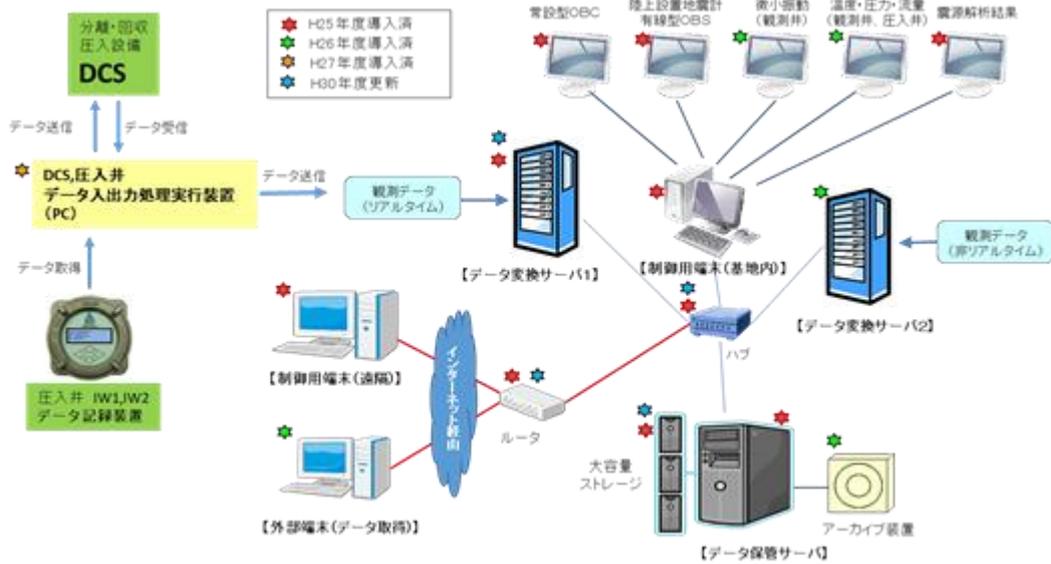


図 1.4-9 総合モニタリングシステムのハードウェア構成図

総合モニタリングシステムの主な機能は、データ管理機能、データの時系列表示機能、異常検出機能、振源・震源*11)決定機能、振源・震源分布等表示機能である。

2020年度も総合モニタリングシステムを用いて微小振動・自然地震モニタリングを実施した。最終的にモニタリング対象は対象領域内かつマグニチュード-0.5以上、深度50km以浅と推定されたイベントとした。この条件で検知したイベントを図1.4-10に示す。

以下に検知したイベント等について記す。

- 1) 気象庁 206 件に対して実証試験では 576 件のイベントを検知した。
- 2) 微小振動モニタリング範囲内において 1 件のイベント（2020 年 9 月 24 日 11 時 53 分 15 秒頃、推定深度 5.86 km、推定マグニチュード 0.59）を検知した。震源は圧入地点よりも深い位置に推定されており、圧入とは無関係の極微小地震を検知したものと考えられる。
- 3) 2018 年 9 月 6 日の平成 30 年北海道胆振東部地震の余震が多く観測されており、自然地震観測範囲の東縁からやや西側にかけて余震の推定振源が南北に分布し

*10) DCS（Distributed Control System：分散制御システム）

*11) 本実証試験の観測データを用いて決定した微小振動の振源と自然地震の震源を併せて「振源・震源」と称する。

ていることを確認した。

- 4) 実証試験にて推定された余震震源は、気象庁一元化震源リスト記載の震源分布に比して西寄りであり、またやや浅く推定される傾向を確認した。これらの違いは、解析に用いる観測点および速度モデルが異なることによると考えられる。
- 5) OB-3 の周辺において、気象庁一元化震源リストにはほぼ記載がない小規模イベントを推定した。OB-1 および OB-3 ではノイズレベルが低い大深度で地震観測を行っているため、イベントの検知能力が高く、深度方向の震源推定精度を高める上で有用である。貯留地点近傍では、観測点密度も高く、震源推定結果の信頼性は高いと考えられる。

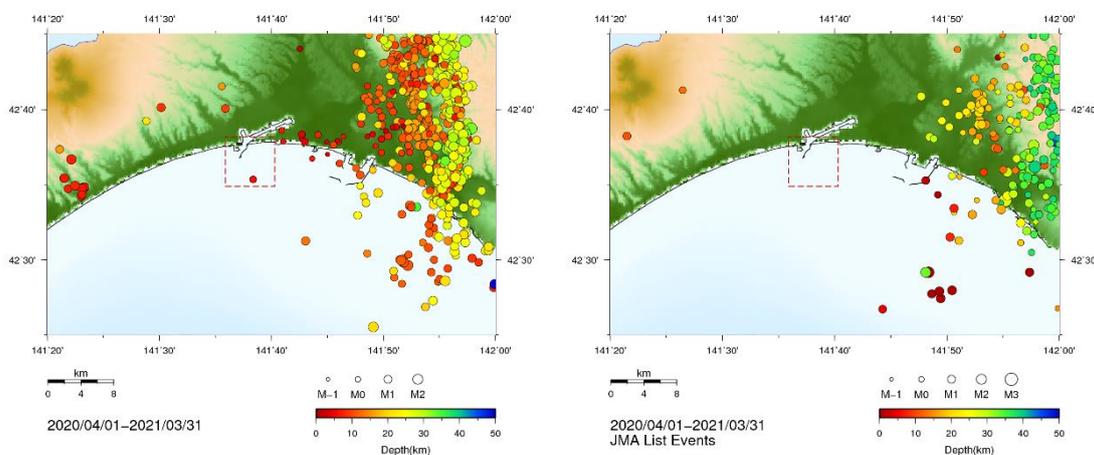


図 1.4-10 2020 年度期間中に自然地震モニタリング範囲内で検知した振源・震源分布
（左：本事業モニタリング結果、右：気象庁一元震源リスト）

1.4.6 繰り返し弾性波探査（第 5 回モニター調査）

繰り返し弾性波探査の第 5 回モニター調査（以下、「本調査」と称する。）として、三次元弾性波探査（以下、「三次元調査」と称する。）および常設型 OBC による二次元弾性波探査（以下、「二次元調査」と称する。）を実施した。

取得したデータに対して標準的な反射法データ処理を行い、マイグレーション時間ボリュームおよびマイグレーション時間断面を作成した。また、本調査で取得する記録に加えて、2009 年に取得した三次元弾性波探査ベースライン調査（以下、「三次元ベースライン調査」と称する。）、2013 年度に取得した二次元弾性波探査ベースライン調査（以下、「二次元ベースライン調査」と称する。）、および第 1 回から第 4 回までのモニター調査を併用し、CO₂ 貯留分布域推定を目的とした差分抽出処理を実施した。

本調査の海上作業は 2020 年 7 月 11 日から同年 8 月 8 日までの 29 日間に実施した。図

1.4-11 に調査範囲図を示す。三次元調査では、南北方向 10 本の受振測線および東西方向 27 本の発振測線を設定した。萌別層貯留層の想定 CO₂ 分布域周辺を十分に含めるよう、三次元ベースライン調査の一部を拡張した領域で実施した。二次元調査は、萌別層貯留層を対象とする平行測線配置に対して実施した。受振測線は常設型 OBC を使用した。

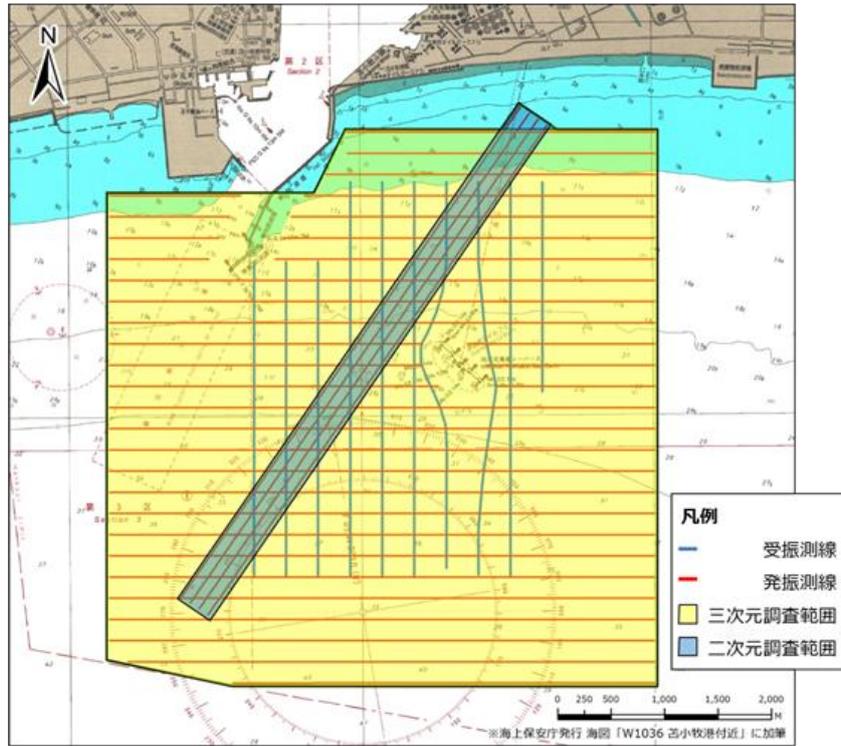


図 1.4-11 第 5 回モニター調査 調査範囲図

図 1.4-12 に、二次元データ処理での重合測線（MC-D）の鉛直断面の拡大図および各重合測線の差分記録の振幅変化の水平分布を示す。鉛直断面図は、二次元ベースライン調査記録、二次元調査記録、および両者の差分記録を示した。振幅変化の水平分布は、差分記録に対してトレースごとに RMS (Root Mean Square、実効値) 振幅を計算し、各重合測線上のトレース位置に平面表示したものである。圧入により貯留層内の地震波速度が変化すれば、弾性波の振幅値が変化するため、RMS 振幅は定性的に貯留層内の物性変化の程度に対応すると考えられる。同図には萌別層圧入井坑跡の平面投影位置をあわせて示した。RMS 振幅の計算に用いた時間ウィンドウは、萌別層に相当する深度として、鉛直断面上で顕著な変化を生じている 0.97 s から 1.05 s までとした。本調査の差分抽出処理結果では、差分記録の鉛直断面上で明瞭な振幅変化を確認することができ、また水平分布上ではおおむね圧入井坑跡を中心として 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が確認できる。

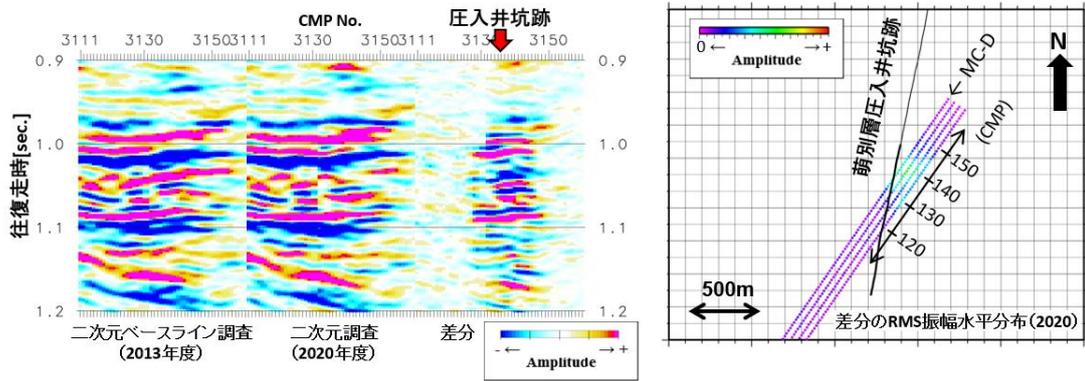


図 1.4-12 二次元データ処理結果（MC-D および差分の RMS 振幅水平分布）

図 1.4-13 に第 2 回～第 4 回モニター調査（2017～2019 年度）と三次元調査（2020 年度）それぞれの差分抽出処理結果の比較として、東西鉛直断面の拡大図および差分記録の振幅変化の水平分布（差分記録の RMS 振幅）を示す。いずれのモニター調査記録でも、往復走時約 1.02 s において三次元統合ベースライン調査記録上にはない反射面が認められ、差分記録上で明瞭な振幅異常を確認できる。2017 年度（約 6 万 t 圧入時点）と 2018 年度（約 20 万 t 入時点）の処理結果を比較すると、2018 年度の方がやや深部まで変化が及んでおり、圧入量が増えたことにより速度低下が顕著になったと考えられる。一方 2018 年度以降、2019 年度（圧入停止後約 2 箇月）と 2020 年度（圧入停止後約 8 箇月）の処理結果を比較すると、圧入量が増えたにもかかわらず顕著な変化は確認できない。これは CO₂ の飽和率が大きくなるに従い弾性波の速度低下が緩やかになったことを示唆している。

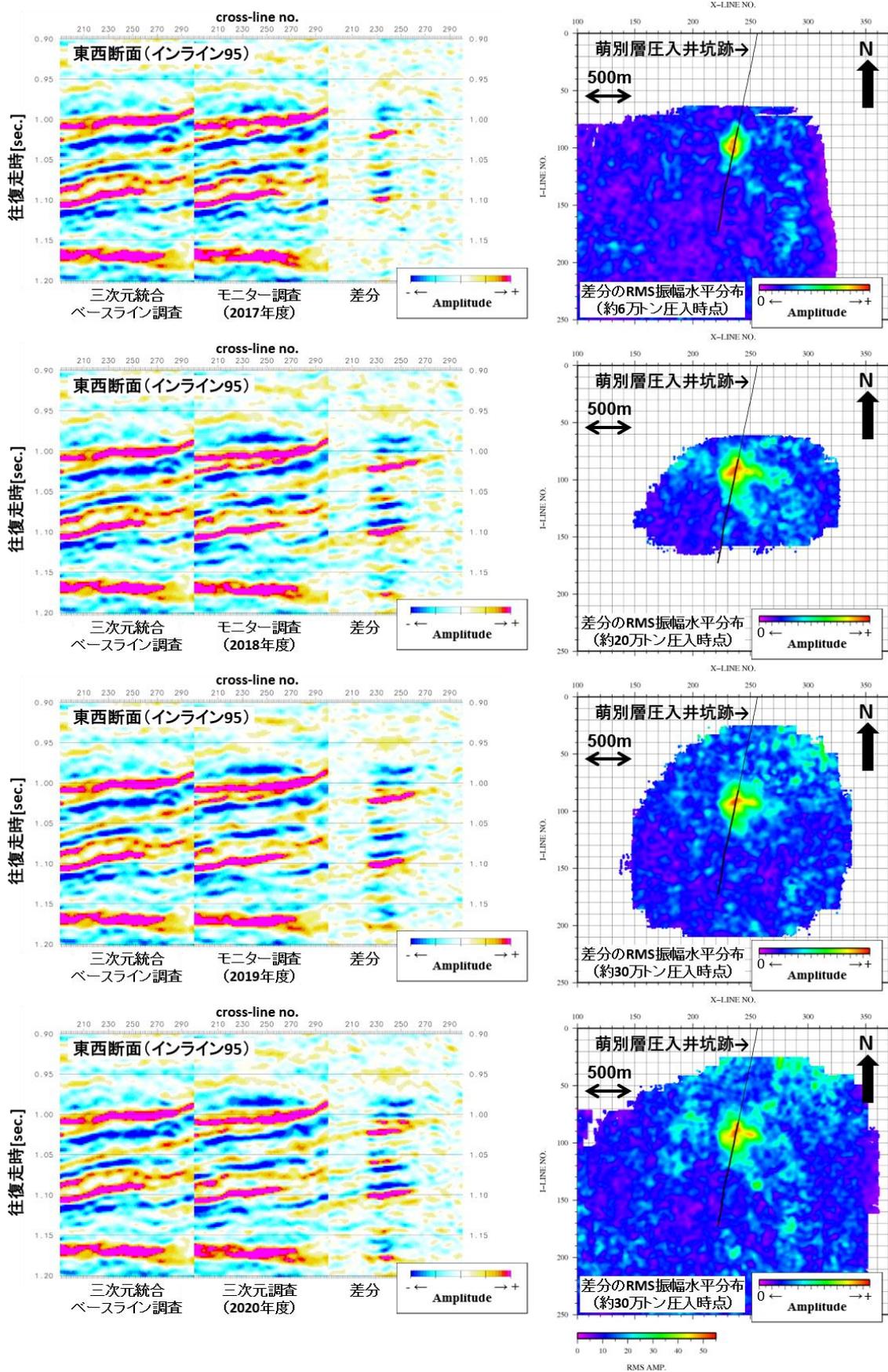


図 1.4-13 三次元データ処理結果（第2回から第5回の比較）

図 1.4-14 に、本調査による差分抽出処理結果と 30 万 t の貯留層シミュレーション結果との比較として、南北鉛直断面の拡大図と差分記録の RMS 振幅水平分布を示す。鉛直断面上で連続する往復走時約 0.97 s から同 1.05 s の振幅異常を圧入による影響であると考え、CO₂は萌別層砂岩層最上部（往復走時約 1.0 s から同 1.05 s）、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（往復走時約 0.97 s から同 1.0 s）に貯留されていると判断できる。よって、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、鉛直断面上で新たな亀裂等による漏洩経路の存在は確認されていないことから貯留層区間外への漏出等は生じていないと考えられる。また、差分記録の RMS 振幅水平分布は、シミュレーションにより予想される CO₂ 飽和率の分布範囲と整合的な結果を示しており、圧入した CO₂が想定通りに貯留層内に存在していると考えられる。

以上のことから本調査結果は、圧入した CO₂ が想定通りに貯留層内に存在しており、想定範囲を超えて CO₂ が拡散する等の異常は生じていないことを示している。

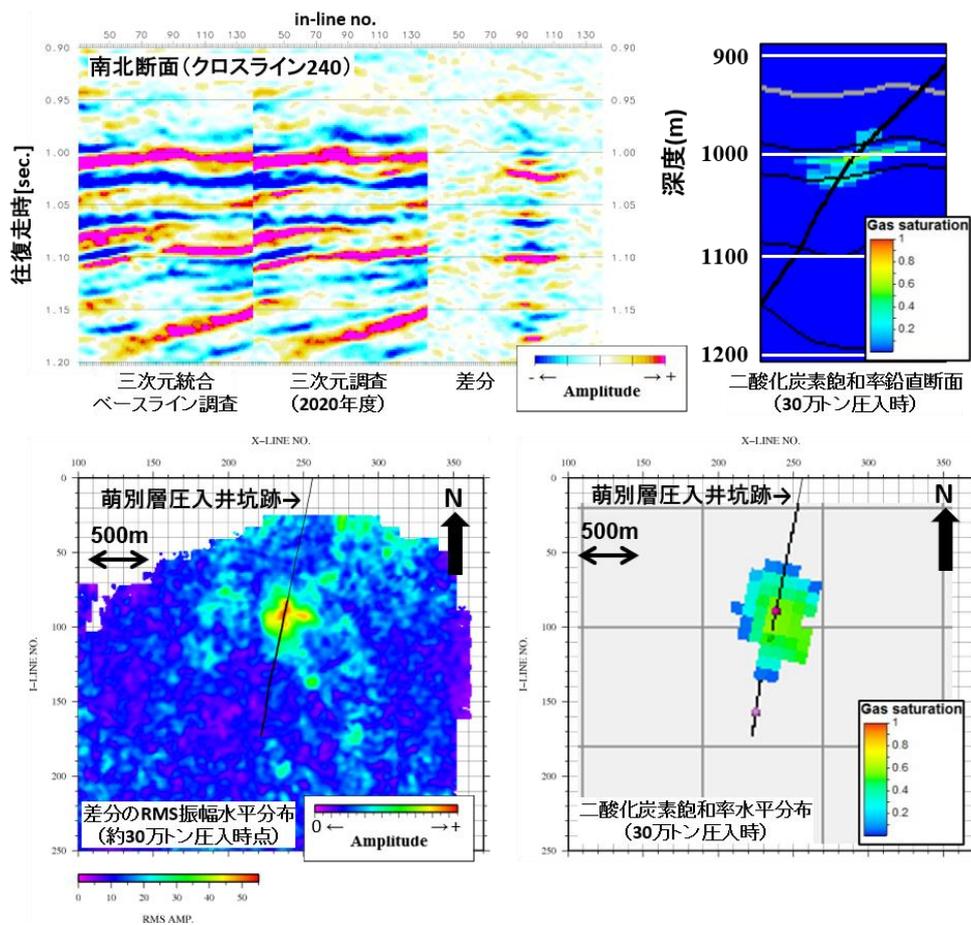


図 1.4-14 三次元データ処理結果と貯留層シミュレーション結果との比較

1.4.7 圧入井・観測井の維持管理

滝ノ上層圧入井 IW-1、萌別層圧入井 IW-2 の維持管理を実施した。圧入井では 1 日に 1 回の日常点検および月 1 回の月例点検、観測井では月 1 回の月例点検を行った。2020 年度においては坑井健全性に関わる異常は確認されなかった。

滝ノ上層圧入井 IW-1 の坑口装置マスターバルブの交換準備として、2020 年 11 月に TRSV 部ランディングニップルへのプロングプラグタイプの保安プラグの設置を実施した。また萌別層圧入井 IW-2 では 2020 年 3 月に取り外したマスターバルブの漏洩原因調査を実施し、内部シールの微少漏洩の原因は、弁体とバルブボディ側シート間のメタル-メタルのシール面にできた微少な傷であることが判明した。

1.4.8 今後の課題

2021 年度も継続して観測井および圧入井を利用した圧力・温度測定を実施し、貯留層状況を監視する必要がある。

全観測井で取得されている微小振動・自然地震観測データに、PPS26 センサーに起因すると思われる約 2 秒間隔のパルスノイズが発生していることが確認されている。今後、パルスノイズの発生を抑制できる対策を引き続き検討して、可能であれば、2021 年度以降の坑内観測機器回収・点検・再設置作業時に対応する必要がある。

総合モニタリングシステムの運用では、独立型 OBS 観測点 3 地点のデータは、4 箇月ごとの定期交換作業にあわせて回収するため、リアルタイムデータ処理に用いることができない。本事業では 2020 年度と同様に、日常のモニタリングではリアルタイムで利用可能なデータのみを用いることとし、定期的に回収する独立型 OBS のデータは事後検証用のデータとして使用した。図 1.4-15 に独立型 OBS の記録を追加して求めた振源・震源分布と、追加前の分布との比較図を示す。同図に示されるとおり、震源位置の推定に対する独立型 OBS の寄与は相対的に小さくなると考えられるため、今後その運用に関しては検討が必要と考えられる。

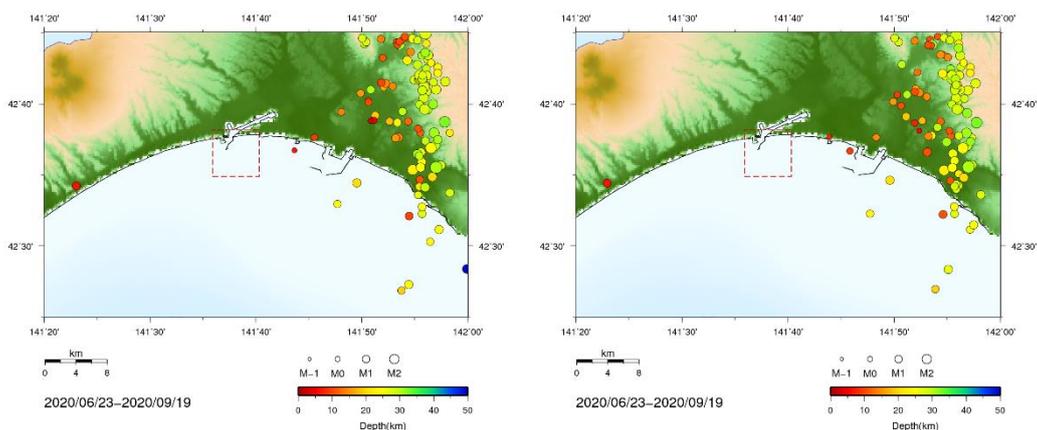


図 1.4-15 独立型 OBS データを用いた再推定結果

（2020年6月23日から2020年9月19日まで）

（左図：独立型 OBS データ追加前、右図：独立型 OBS データ追加後）

1.5 貯留層等総合評価（第5章）

1.5.1 萌別層地質構造解釈の更新

2020年度貯留層総合評価では、2019年度の繰り返し弾性波探査で取得した第4回モニター調査記録を用いて地質構造解釈を更新した。今回は主に萌別層圧入井 IW-2 近傍の萌別層貯留層の更新を中心に、図 1.5-1 に示す調査対象範囲における既存の地質モデルの構造図を更新した。

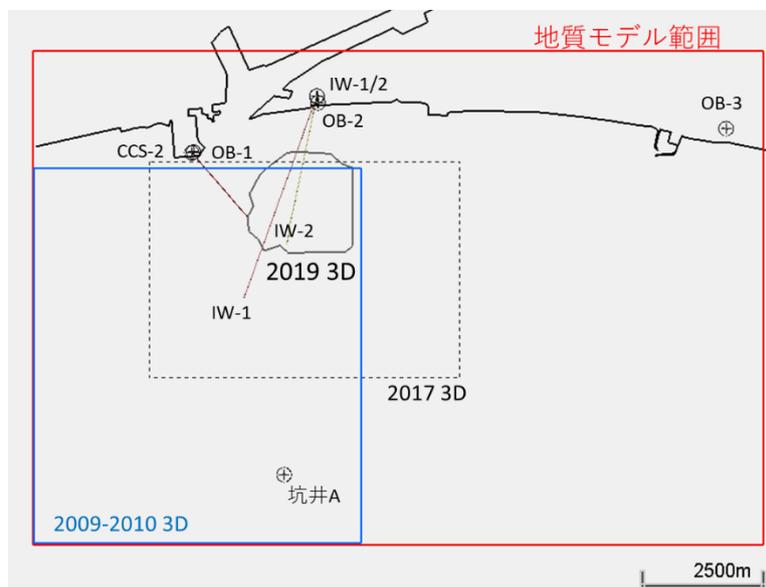


図 1.5-1 調査対象範囲

2009年度に取得した三次元ベースライン調査記録について、2019年度の差分解析時に新たに取得したエリアを追加して更新した結果を「2019年度ベースライン記録」と称する。

なお、本項において差分記録は各年度のモニター調査記録と 2019 年度ベースライン記録の差分を示す。2019 年度ベースライン記録を詳細に確認したところ、萌別層泥岩基底ホライズンや SB-3 ホライズンは、既存三次元ベースライン解釈と一致しない個所があることが判明した。図 1.5-2 は、2019 年度ベースライン記録上に 2020 年度再解釈ホライズン（実線）と 2018 年度に実施した既存解釈ホライズン（破線）を重ねて表示したものである。南北断面を見ると、2019 年度ベースライン記録上の萌別層泥岩基底ホライズン（マゼンタ）および SB-3 ホライズン（緑）の極隆部が 2020 年度再解釈（実線）と既存の解釈（破線）で一致していない。

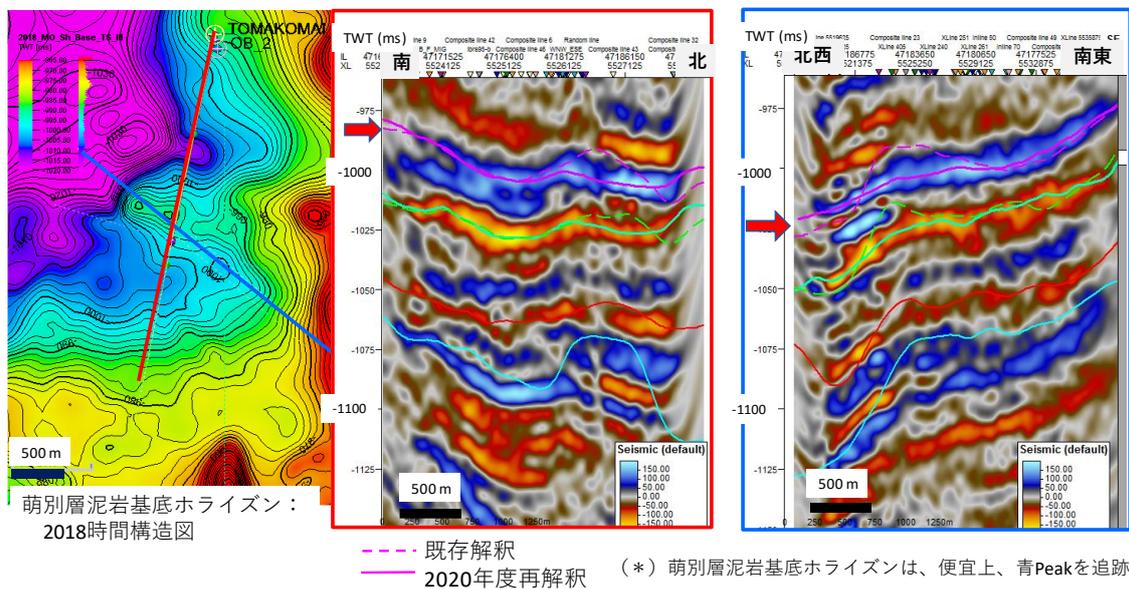
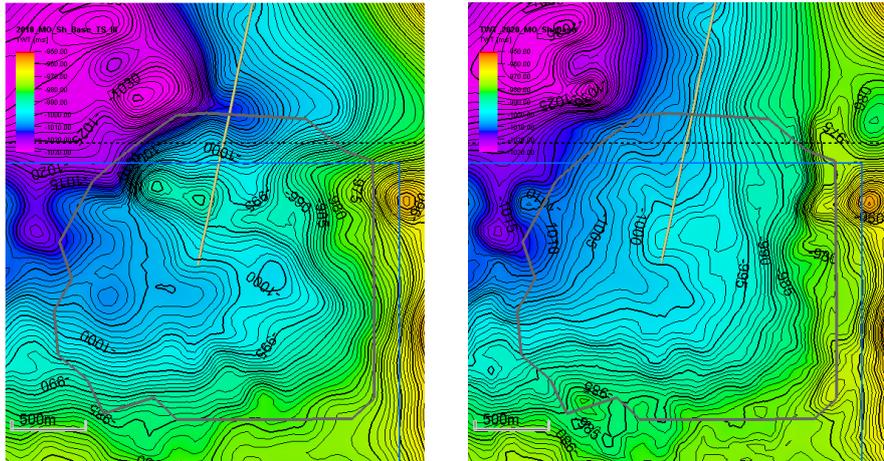


図 1.5-2 既存解釈と 2020 年度再解釈の違い

このような理由により 2020 年度の総合評価では 2019 年度ベースライン記録を用いて構造の再解釈をすることとした。構造図を更新する対象ホライズンは、萌別層貯留層の上限および下限の 2 つのホライズン、すなわち萌別層泥岩基底ホライズンと SB-3 ホライズンのみとした。それぞれの更新前と更新後の時間構造図を図 1.5-3 および図 1.5-4 に示す。

新旧 萌別層泥岩基底（コンター間隔 1ms）

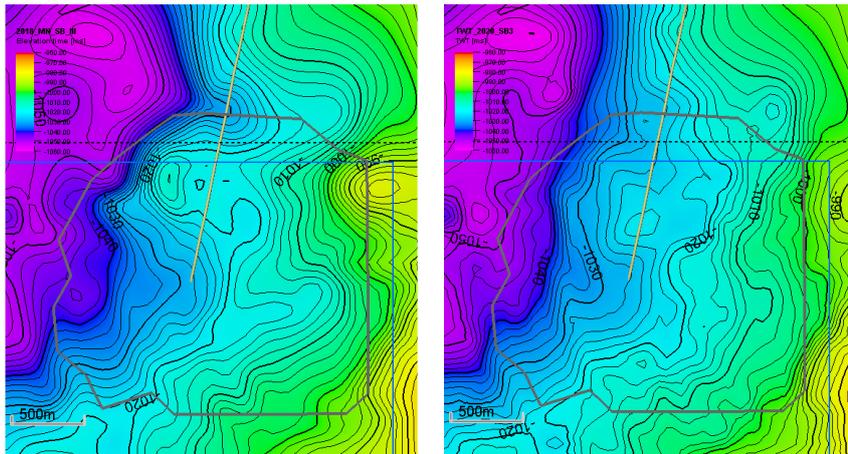


旧時間構造図（既存解釈）

新時間構造図（2020年度再解釈）

図 5.1-3 萌別層泥岩基底時間構造図

新旧 SB-3（コンター間隔 2 ms）



旧時間構造図（既存解釈）

新時間構造図（2020年度再解釈）

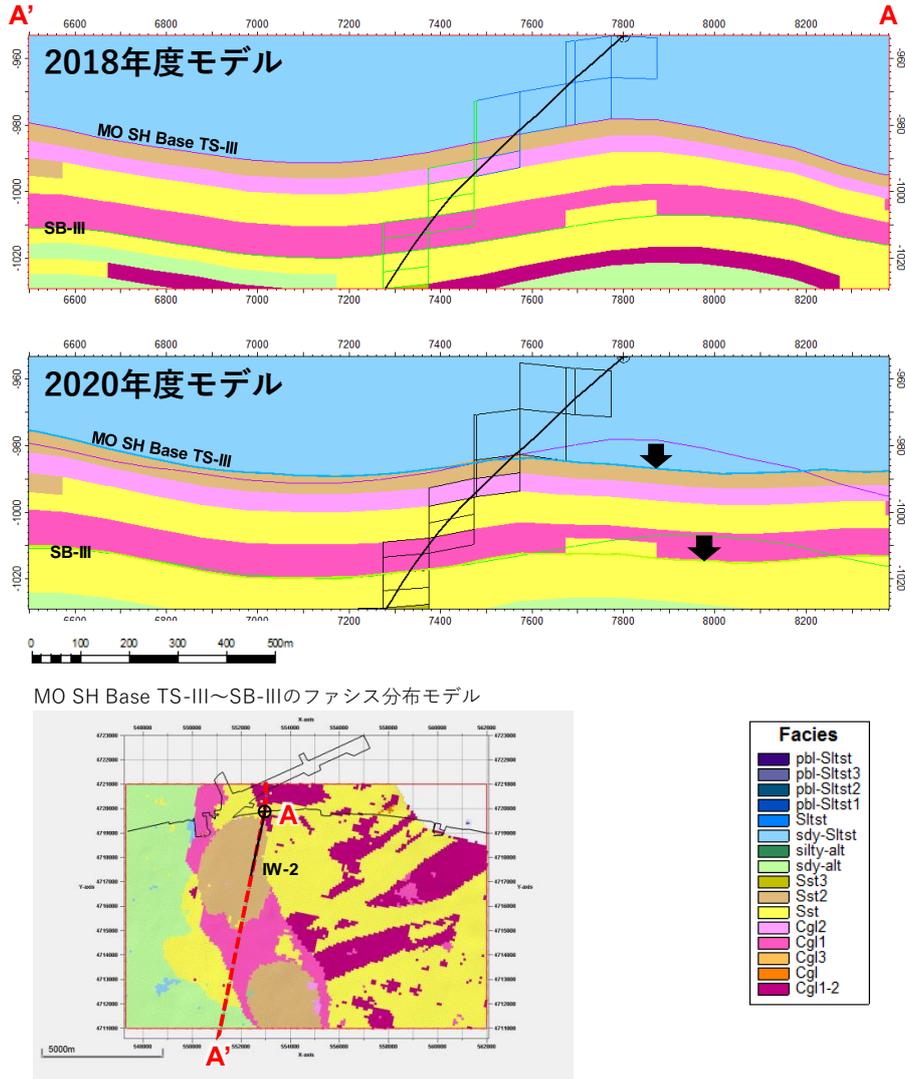
図 1.5-4 SB-3 時間構造図

1.5.2 地質モデルの更新

萌別層貯留層の地質モデルは、2017年度に取得した繰り返し弾性波探査（第2回モニター調査）の苫小牧沖三次元弾性波探査記録に基づき2018年度に構造解析・堆積相解析を行い、圧入開始前に作成されたモデルから大幅に拡張・更新している。今回は2019年度に実施した第4回モニター調査データに基づく差分解析検討結果を用いて、2018年度に構築した地質モデルを更新した。地質モデルの範囲は、2018年度と同様であり、約10 km

× 15 km の範囲とした。

図 1.5-5 に 2018 年度地質モデルと 2020 年度地質モデルの IW-2 坑跡沿いの断面を示す。両者を比較すると、グリッディングとアップスケールリングファシスを維持したまま、圧入位置の北側において萌別層泥岩基底（MO SH Base TS-III）と SB-3 の深度構造図の変更が反映されていることが確認できる。2018 年度モデルでは圧入位置の北側に高まりが解釈されていたが、2020 年度モデルではこの高まりが消失し、IW-2 が萌別層泥岩基底に到達する位置が構造の高まりとなっている。したがって、本検討で作成した地質モデルと 2018 年度地質モデルを使ったシミュレーション結果を比較することで、深度構造図の変更による圧入挙動の影響を評価できるものと判断される。



注 1) 下図は岩相分布モデルの平面図であり図中 A-A' は断面線の位置を示す。
 注 2) facies（ファシス）：相：均一な性質をもったもの。その意味は広く、堆積学では層相、岩石学では鉱物相や変成相など。（日本応用地質学会 応用地質用語集より）

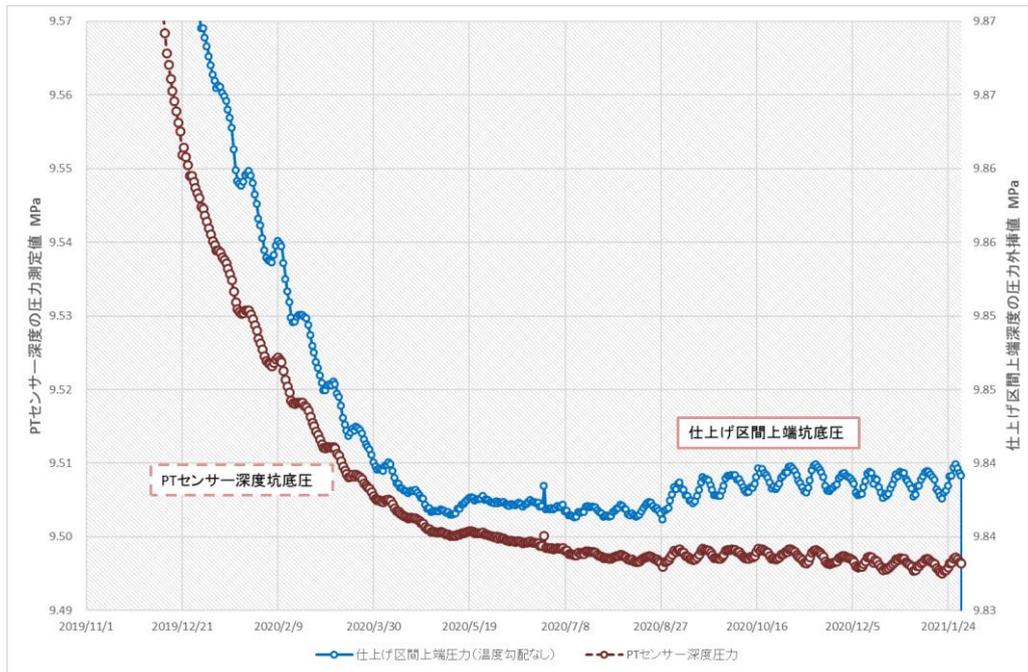
図 1.5-5 IW-2 坑跡沿い断面における 2018 年度地質モデルと 2020 年度地質モデルの比較

1.5.3 萌別層圧入井 IW-2 圧入圧力の予実績比較

圧入井 IW-2 に設置した PT センサーより取得した坑底圧力データに基づき、2019 年度に作成した貯留層モデルを用いて、坑底圧力の予実績比較を実施した。また、2020 年度に実施した弾性波探査解析結果を用いて、CO₂ 飽和度の比較を行った。具体的には 2019 年度評価にて作成した具現像モデルを用いて、IW-2 と OB-2 の坑底圧力の予実績比較、弾性波探査の差分解析結果とシミュレーションによる CO₂ 飽和度の比較を実施した。フィールドモデルを用い、圧入を開始した 2016 年 4 月 6 日から圧入を終了した 2019 年 11 月 22 日までの CO₂ 圧入実績を入力し、IW-2 の坑底圧力を予測した。予実績比較は図 1.5-6 のとお

りである。

フィールドモデルによる予測値は、圧入停止以降、坑底圧力が低下傾向を継続している。一方で、PTセンサーの測定圧力（図 1.5-6）は、2020年8月頃より約2週間周期で上下する様子が顕著に見られるものの低下傾向は続いている。このPTセンサーでの測定圧力を仕上げ区間上端深度に深度変換した圧力値は、2020年5月頃よりほぼ一定に転じている。これはPTセンサー深度における温度が圧入停止以降低下し続けていることから、図 1.5-7に示すように換算に使用したCO₂密度が上昇しているためと考えられる。



注：青線の仕上げ深度上端坑底圧は茶線のPTセンサー深度坑底圧（実測値）をもとにPTセンサーから仕上げ区間までのCO₂の密度を温度圧力より補正し深度換算した計算値である。

図 1.5-6 IW-2 坑底圧力の予実績比較（2019/11/22~）

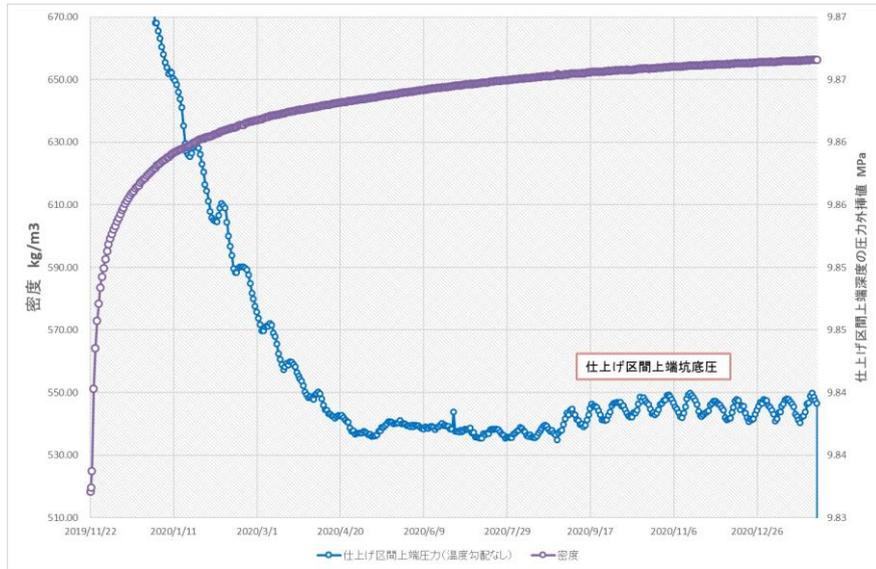


図 1.5-7 IW-2 仕上げ区間上端深度換算圧力値と密度変化（2019/11/22~）

同様に、フィールドモデルを用い、圧入開始の2016年4月6日から2019年11月22日までのCO₂圧入実績を入力し、OB-2の坑底圧力を予測した。予実績比較は図1.5-8のとおりである。なお、フィールドモデルの値は圧入開始直前の坑底圧力を初期圧力として圧入後に上昇する坑底圧力の推移を予測している。OB-2坑内測定器の定期点検に伴い機器の回収・再設置が影響し、2020年2月18日や2020年10月16日に圧力上昇値の急変が生じているように、絶対値の傾向を考察することが困難であるが、モデル上でもIW-2への圧入開始後にOB-2の圧力上昇が認められることから圧力伝搬がOB-2には届いていると想定され、少なくともOB-2とIW-2は同一貯留層内にあるものと考えられる。

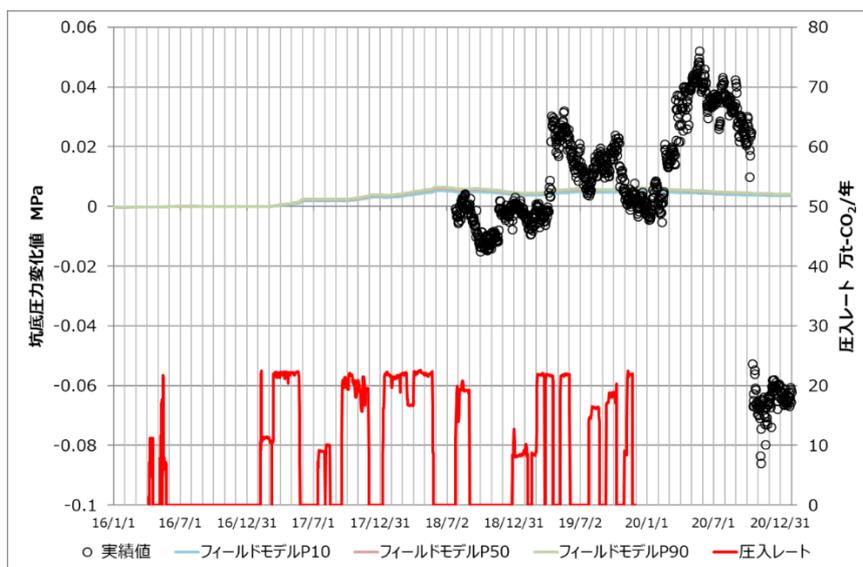


図 1.5-8 IW-2 による圧入レートとOB-2の坑底圧力上昇値の予実績比較

1.5.4 萌別層 IW-2 フォールオフ解析

IW-2ではこれまで合計17回のFOA（Fall Off Analysis）が実施された。ここではFOA17について、実測値の解析解および流動シミュレーションを用いた数値解を基に、流動様式と貯留層性状を推定した。表 1.5-1 に FOA 一覧、表 1.5-2 にその解析の有無を示す。

表 1.5-1 FOA 一覧

FOA	開始時刻	終了時刻	停止要因	測定時間	密閉前平均圧入レート	累計圧入量
				時間	t-CO ₂ /年	t-CO ₂
FOA1	2016/4/8 6:14	2016/4/8 17:01	外圧上昇	11	58,800	81
FOA2	2016/4/17 22:16	2016/5/7 15:15	圧縮機停止	473	109,351	2,558
FOA3	2016/5/13 1:00	2016/5/14 14:19	安全弁不具合	37	139,056	4,330
FOA4	2016/5/24 9:00	2017/2/5 17:35	計画密閉	6,177	71,079	7,163
FOA5	2017/5/25 9:47	2017/7/13 16:15	計画密閉	1,183	64,861	61,239
FOA6	2017/8/1 10:00	2017/8/3 9:57	計画密閉	48	88,474	65,793
FOA7	2017/8/15 9:00	2017/9/16 12:00	点検・修理	771	100,124	69,070
FOA8	2017/11/30 9:27	2018/1/6 11:50	計画密閉	890	85,159	109,250
FOA9	2018/5/25 9:20	2018/7/25 11:36	計画密閉	1,466	87,709	188,136
FOA10	2018/9/1 2:25	2018/12/27 13:28	圧縮機停止	2,819	189,602	207,209
FOA11	2019/2/8 8:33	2019/2/19 11:18	点検・修理	267	83,620	217,425
FOA12	2019/3/26 10:37	2019/3/28 11:03	供給側トラブル	48	218,008	233,438
FOA13	2019/4/19 13:31	2019/5/8 11:28	供給側トラブル	454	108,463	246,354
FOA14	2019/6/4 8:49	2019/7/24 17:10	計画密閉	1,208	78,536	261,632
FOA15	2019/8/23 5:19	2019/9/10 11:48	供給側トラブル	438	137,885	274,342
FOA16	2019/10/9 18:20	2019/10/30 11:08	供給側トラブル	497	80,592	288,874
FOA17	2019/11/22 11:30	測定中	計画密閉		216,498	300,012

表 1.5-2 FOA 一覧（解析の有無）

FOA	圧入停止方法	Early Radial Flow (ERF)	Late Radial Flow (LRF)	備考欄
FOA1	×	—	—	徐々にレートを下げて圧入停止
FOA2	○	×	×	ERF 確認不可
FOA3	×	—	—	徐々にレートを下げて圧入停止
FOA4	○	×	×	ERF 確認不可
FOA5	×	—	—	徐々にレートを下げて圧入停止
FOA6	○	○	×	フォールオフ時間が短く LRF 確認不可
FOA7	○	○	×	フォールオフ時間が短く LRF 確認不可
FOA8	○	○	×	フォールオフ時間が短く LRF 確認不可
FOA9	○	○	○	
FOA10	○	○	○	
FOA11	○	○	×	フォールオフ時間が短く LRF 確認不可
FOA12	○	○	×	フォールオフ時間が短く LRF 確認不可
FOA13	×	—	—	直前でレートダウンした後に圧入停止
FOA14	○	○	×	フォールオフ時間が短く LRF 確認不可
FOA15	×	—	—	圧入停止前に何度かレート変更した後に圧入停止
FOA16	×	—	—	徐々にレートを下げて圧入停止
FOA17	○	○	○	

2019年度評価にて実施したFOA9、10、14のホーナープロット解析結果との比較のため、図1.5-9および表1.5-3に圧カデリバティブのログログプロット、ホーナープロット解析結果をまとめた。

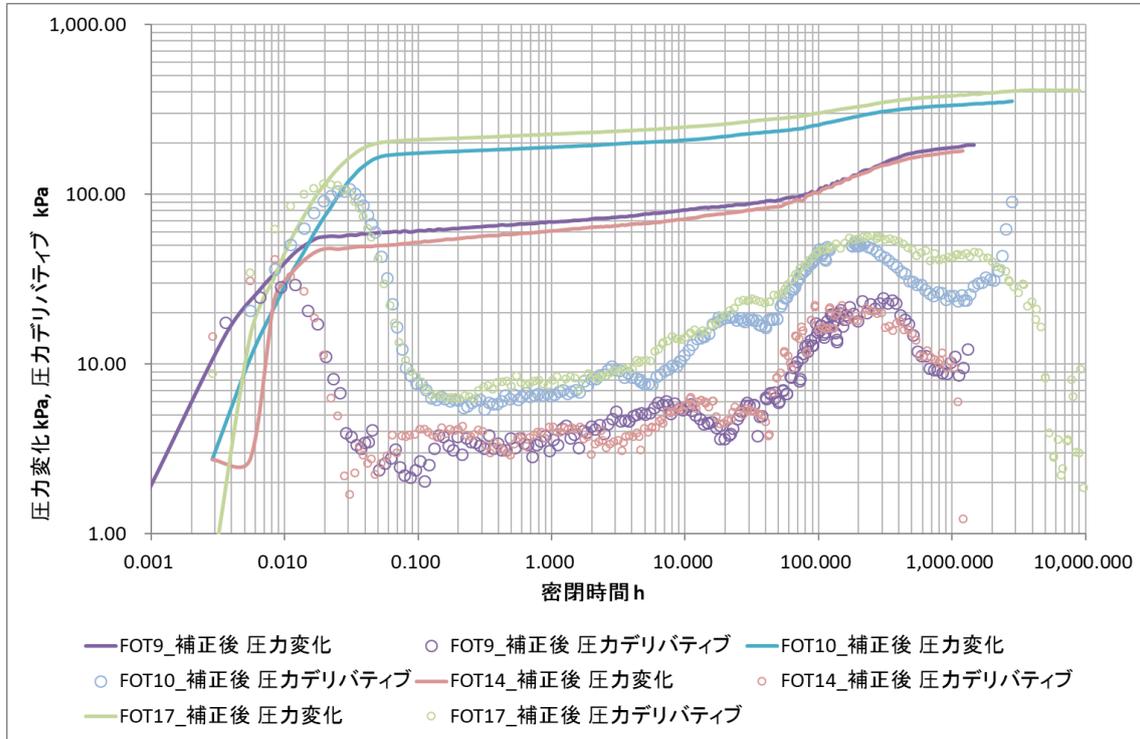


図 1.5-9 FOA9、10、14、17における圧カデリバティブ

表 1.5-3 ホーナープロット解析結果（FOA9、10、14、17）

		FOA9	FOA10	FOA14	FOA17
平均圧入レート	m ³ /D	128,502	277,785	115,063	216,498
累計圧入量	t-CO ₂	188,136	207,209	261,632	300,012
浸透率×有効層厚	mDxm	1,691	1,425	1,662	994
浸透率	mD	141	106	135	62
貯留層平均圧力	MPaG	9.824	9.823	9.827	9.800

1.5.5 IW-2 長期挙動予測シミュレーション貯留層モデルの更新

2020年度に更新した地質モデルを用いて貯留層モデルを更新し、坑底圧力およびCO₂飽和度分布から、今後のヒストリーマッチングに向けた予備検討を行った。

最初にIW-2坑底圧力の予実績比較を行ったところ、目的関数が25 kPaを下回り、今回の浸透率の設定方法により坑底圧力を再現することを確認した。また、CO₂飽和度分布に

ついて、差分解析結果に基づく推定とシミュレーション結果とを比較したところ、シミュレーション結果では、坑井を中心に同心円状にCO₂分布が拡大する様子が見られた。各岩相分布では、坑井周辺に高浸透率の岩相が分布しており、また、地層傾斜はほとんどないため、現在のシミュレーションの設定では本業務で実施した地質構造変更による影響はないものと考えられた。

1.5.6 地化学反応に対する検討（流動-地化学連成シミュレーション）

安全かつ普遍的なCCSの実施のためのシミュレーション作業の効率化と不確実性低減の可能性を目的として、(1) 流動-地化学連成シミュレーションの設定法の現状の調査、(2) 地化学連成シミュレーションの設定法の改善（案）、(3) CCSにおける流動-地化学連成シミュレーションのあり方に関する提言からなる動向調査を行った。

(1) 流動-地化学連成シミュレーションの設定法の現状の調査

現行のCCSの長期挙動評価においては、流動-地化学連成シミュレータであるTOUGHREACTが最も一般的に適用されていることを踏まえ、CCSを対象としたTOUGHREACTの設定法の現状について、文献情報に基づいた調査を行った。この中で、鉱物組成および地層水組成の初期状態設定および速度論計算の方法について、現状の考え方と取り扱い方を整理した。また、流動-地化学連成シミュレーションでは、特に反応速度算出時に必要となる反応表面積の不確実性が高いことから、どのように不確実性が取り扱われているのかを調べるとともに、その提示の方法について事例を踏まえた検討を行った。なお、TOUGHREACTの使用においては、過去の事例（特に当該シミュレータの作成者であるXu氏の手法を踏襲することが一般的となっているが、例えば設定方法について一般化された手法は見当たらず、また反応速度関係のパラメータ等を研究者独自に適用する試みも行われており、依然として試行錯誤が続いている状況にある。すなわち不確実性の改善に繋がる設定法や作業手順は確認できなかったため、これまでと同じような手法でシミュレーションを継続すべきか否か検討する必要がある。

(2) 流動-地化学連成シミュレーションの設定法の推奨案

以上の調査結果を踏まえて、当該シミュレーションの設定法について現状で最も適切と考えられる推奨案を検討した。具体的には、地化学的数値解析ソフトウェアの概要を整理した上で、化学平衡論および反応速度論、それぞれの観点からの地層水の推定と、反応速度計算に関して、実際にシミュレーションを行う上での留意点をとりまとめた。特に文献からの情報が得られなかった溶存化学種の設定については、主要元素ごとにその出現状況

を計算し、Eh-pH 図*12)および濃度-pH 図として例示した。対象とする系について、あらかじめ pH や Eh、濃度等の範囲が推定できる場合は、これらの図を適用することで必要な溶存化学種の絞り込みが可能となる。したがって、計算時間の短縮を含めた効率化の観点で、今回提示した情報はきわめて有用であると考えられる。ただし、効率化は限定的で大幅な時間短縮や効率化に繋がる設定方法や作業手順は確認できなかった。

(3) CCS における流動-地化学連成シミュレーションのあり方に関する提言

CCS における流動-地化学連成シミュレーションに関して、有識者からの意見を集約し、意義、結果の提示、結果の解釈、および社会への影響の観点から、そのあり方に関する提言としてまとめた。ここでは、時間スケールの長い地化学プロセスを理解する上で流動-地化学連成シミュレーションはきわめて有用なツールとなるが、一方で、地化学プロセスは時間スケールが長いことに起因して検証できないからこそ、シミュレーション結果の取り扱い方には慎重になるべきである。

したがって、CCS のように社会的に影響の大きい課題に対する不確実性の大きい地化学連成シミュレーションの結果の取り扱いについては、前提条件を明示した上で、変動範囲を示して不確実性を含めた結果を説明すべきと考える。また、一方で、わずかに条件が違うシミュレーションを頻繁に実施して結果を変更することは無用な混乱を招く可能性があるため、データの取り扱いに留意し、影響の大きさを検討した上で慎重に更新すべきである。

1.5.7 今後の課題

(1) 萌別層の浸透率分布

具現象モデルを用いた CO₂ 飽和率のシミュレーション結果は、P10 と比べて P50 は分布領域が小さく、P90 は北側の拡散が抑えられている様子が見られることから、高浸透率領域の水平浸透率の分布が実際の CO₂ 飽和度分布の形状に影響を与えている可能性が示唆された。よって、貯留層モデルの更なる精度向上のためには、繰り返し弾性波探査による追加データ収集、および差分解析を行い、浸透率分布の確認、場合によっては浸透率分布の検討・更新を行う必要があると考える。

(2) 管内圧力勾配の検討

一般的には、水の場合は 1 MPa/100 m 程度、CO₂ の場合は 0.6 MPa/100 m 程度の勾配を示すが、圧入停止直後に 1 MPa/100 m を超えているのは、圧入停止に伴う坑井への地層

*12) 水中における化学種（特に金属）の存在領域を電極電位(Eh)と pH の 2次元座標上に図示したものである。

水の浸入による影響と考えられる。その影響が小さくなる密閉時間1時間後からは圧力勾配は、CO₂の勾配である0.6 MPa/100 mに向かって低下し、さらに時間が経過すると、管内から貯留層内に水が浸入し、密閉300時間後からはCO₂の勾配から水の勾配である1.0 MPa/100 mに上昇していく様子が見られた。

この圧力勾配の変化に伴い、シミュレーション上ではあたかも圧力低下が継続していくように計算される。一方、FOAではこのような圧力勾配の変化は考慮していないので、解析精度向上のためには、PTセンサー以深の圧力勾配の測定を実施して検証する必要がある。

(3) IW-2 長期挙動予測シミュレーション貯留層モデルの更新

2020年度に更新した貯留層モデルを使つてのシミュレーションでは従来の結果とほぼ同様の結果が得られた。これは2020年度に更新した地質モデルの各岩相分布では、従来と同様に坑井周辺に高浸透率の岩相が分布しており、また、坑井周辺の地層傾斜はほとんどないという従来同様の設定を踏襲しているため、本業務で実施した坑井から離れた領域の地質構造の変更が結果にあまり影響しなかったためと考えられる。なお、坑井近傍の浸透率分布が、CO₂飽和度分布の形状に影響を与える可能性が示唆されるため、2021年度以降、差分解析結果を再現する場合に、浸透率分布の検討を行う必要がある。

(4) 地化学反応に対する検討（流動-地化学連成シミュレーション）

今回の動向調査結果により、作業の効率化は図れる可能性はあるものの効率化は限定的で大幅な時間短縮や効率化に繋がる設定方法や作業手順は確認できなかった。また、地化学反応の不確実性は最新の研究結果でも大きくは改善されていないことが判明した。

一方、苫小牧CCSの圧入実績からは地化学反応が生じている兆候やその影響は見られておらず、また、これまでのシミュレーション結果から地化学反応が開始されるのは100年から1,000年単位の時間経過が必要な可能性があり、シミュレーション結果の実証は困難と考えられる。

以上のことから、流動シミュレーションの更新ごとに地化学シミュレーションを更新してもシミュレーション結果に大きな改善は見込めず、実施する意味はあまり無いと考えられる。そのため、流動-地化学連成シミュレーションの実施は、将来の圧入再開等の貯留層の状況が変化する場合や定期的に動向調査を実施した上で技術的に必要とされる段階で、不確実性が改善される等大きな進展が見込まれる場合に実施することとする。

1.6 海洋環境調査（第6章）

1.6.1 海洋環境調査

海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律（海洋汚染防止法）では、許可を受けた事業者は、特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄許可申請書類の別紙-2「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」（以下、「監視計画」と称する。）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。

経済産業省は、2016年3月31日に環境省より許可を受けた監視計画について、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」に基づく見直しを行い、2016年12月28日に監視計画の変更申請を届出、環境省より2017年2月1日に監視計画の変更を許可され、2017年2月の2016年度冬季海洋環境調査以降は、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ている。

一方、監視計画において、本申請書で示した溶存酸素飽和度とCO₂分圧との関係による移行基準は、通常時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、毎年見直しすることとされており、上述の2016年度冬季海洋環境調査以降、2017年度四季調査を行いデータが得られたことから、2018年7月19日に同データを追加して移行基準を見直した監視計画の変更申請を届出し、環境省より2018年8月31日に監視計画の変更が許可された。監視計画において、溶存酸素飽和度（DO）とCO₂分圧（pCO₂）との関係による移行基準（以下、「移行基準」称する。）を定めており、2018年度夏季調査以降は、2018年8月31日に許可された監視計画の移行基準に従い、基準超過判定を実施した。2020年度は通常時監視項目による海洋環境調査を図1.6-1に示す12地点において実施し、春季調査、秋季調査、および冬季調査では基準より高い観測値は認められなかったものの、夏季調査において基準より高い観測値が基準判定対象8測点中5測点で認められた。このため引き続き確認調査（現地概況調査）を実施し、判定の結果、基準より高い観測値は認められないことを確認した。具体的な調査内容の概要を以下に記載する。

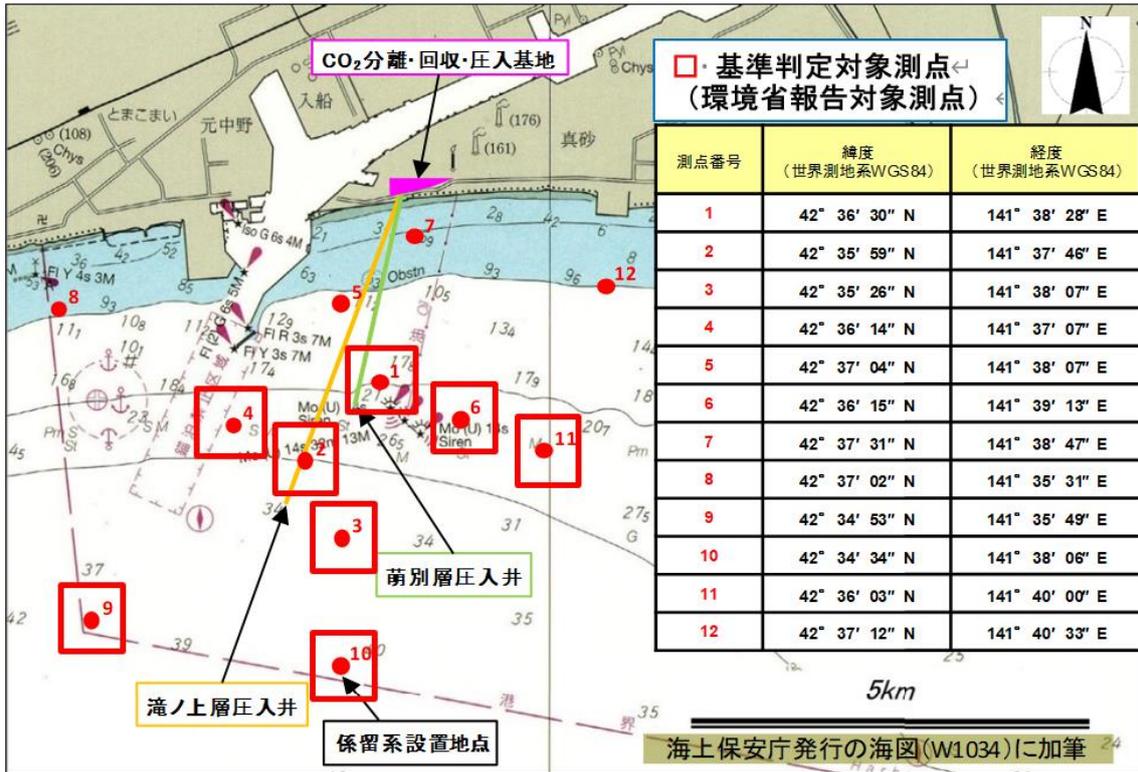


図 1.6-1 海洋環境調査測点の位置（赤字 12 点）

監視計画に記載した海域の状況に関する事項のうち、海水の化学的性状、海洋生物の状況等の現地調査を「海洋環境調査」と称している。

海水の化学性状は、「採水による水質分析」、「多項目水質センサーによる鉛直観測」および「クロロフィル a および栄養塩類の採水分析」の調査で構成されている。海洋生物の状況は「植物プランクトン調査」、「動物プランクトン調査」、「貝けた網による調査」により構成され、その他として「気泡発生状況調査」と「係留系による水質連続観測」を行う。「貝けた網による調査」は毎年 1 回夏季に行い、「貝けた網による調査」以外の調査項目は年 4 回（春、夏、秋、冬）行う。

2020 年度に実施した海洋環境調査は以下の通りであった。

海水の化学的性状は、春季、秋季および冬季の各調査とも各水質分析項目の分析値について特記する異常値は認められなかったが、夏季調査において、監視段階の移行基準からの超過判定を行った結果、St.01、St.02、St.04、St.06 および St.11 において基準より高い観測値が認められた（図 1.6-2 参照）。このため監視計画に基づく通常時監視フローに従い、地層内圧力・温度データの再確認を行い、IW-1 や OB-1 の温度圧力挙動に変化が見られないことを確認し、本件を環境省に報告するとともに現地概況調査（採水再調査、センサー調査、気泡確認調査）を実施した。その結果、採水再調査では図 1.6-3 に示すように

基準より高い観測値は認められず、センサー調査や気泡確認調査でも特定二酸化炭素ガス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。

海水の化学性状以外の調査項目のうち海洋生物の状況は、春季、夏季、秋季、冬季とも植物プランクトンおよび動物プランクトンの出現個体数に異常は認められなかった。また夏季に行われた貝けた網による調査の結果、ウバガイの分布密度に経年的な変化は認められなかった。

その他、4回の調査いずれにおいても、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において、気泡の発生は確認されなかった。

通常時監視における「特定二酸化炭素ガスの状況に関する事項」および海域の状況に関する事項のうち「地層内圧力および温度の変化等の地層及び地層の状況」の報告については、滝ノ上層および萌別層の両層に対して2020年度はCO₂の圧入を行っておらず、圧入井と観測井の圧力・温度測定において地層の異常を示すような変化は確認されなかった。

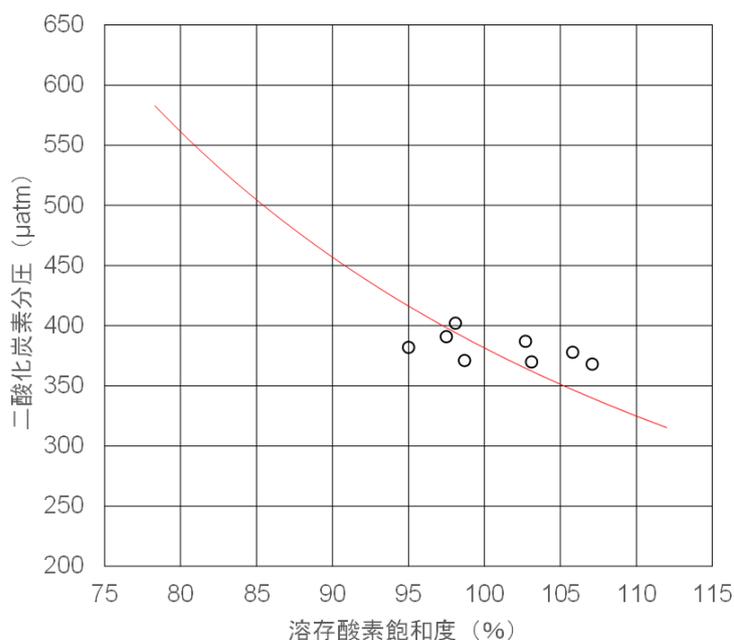


図 1.6-2 夏季海洋調査の移行基準超過判定（○：観測値）

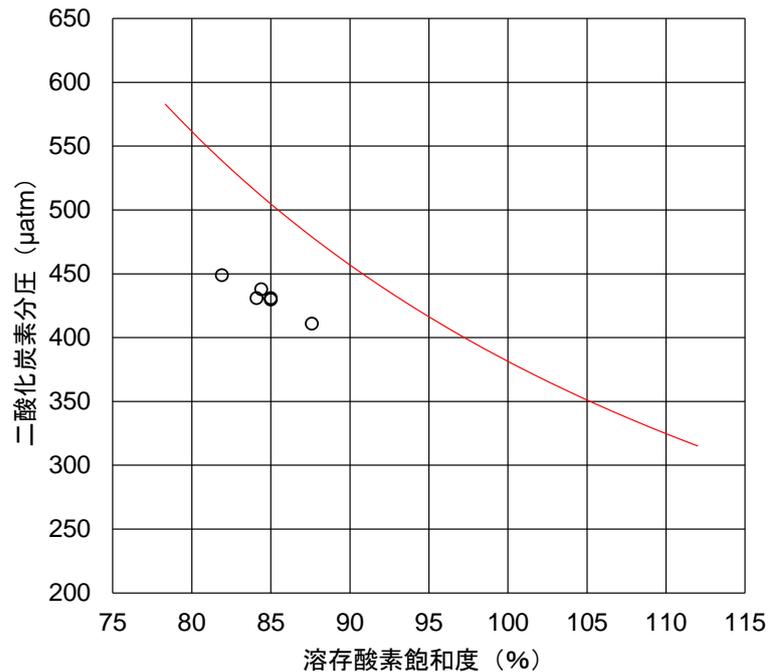


図 1.6-3 監視段階の移行基準(赤線)および採水再調査で得られた観測値

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は環境大臣から許可を受ける必要がある。経済産業省は 2016 年 3 月 31 日に係る許可を受けており、2021 年 3 月 31 日までが有効期限であった。このため 2020 年度中の更新申請が必要であり、当社はこの更新作業の支援を行うとともに、この更新にあわせて CO₂ 漏出検知の指標という観点から、実効性・有用性の少ない調査項目は除外して、監視項目の適切化を図ることを目的に監視計画の見直し検討を行い、経済産業省へ監視計画の見直し案を提案した。

経済産業省と環境省の協議の結果 2021 年 3 月 18 日付けで特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄許可証（環水大水発第 2103183 号）が発給され、改訂された監視計画に基づく海洋環境調査項目の主な変更内容を以下に示した。

- 1) 海水の化学的性状の水質分析は、年 4 回四季に実施し、12 測点での調査を継続する。ただし、環境省への報告対象は基準超過判定対象 8 測点とするとともに、従来自主調査項目であったクロロフィル a 量および栄養塩類調査を環境省報告項目に加える。
- 2) 海洋生物の状況調査は、ベントス類調査から植・動物プランクトン調査に変更し、年 4 回四季に実施し、12 測点での調査を継続する。但し、環境省への報告対象は基準超過判定対象 8 測点とする。
- 3) ウバガイ（ホッキガイ）の分布密度観測は、3 測点（St.07、08 および 12）にお

いて夏季のみ実施し、生育状況調査は St.05、07、08 および 12 に近い 1 測点に
いて毎月実施する（環境省への報告は年に 1 回）。

- 4) 採泥による底質分析およびベントス類調査は、「必要性を鑑みて自主調査として
実施する」という位置付けとなり、これらの調査またはこれらに代わる調査項
目を許可期間 5 年以内に 1 回実施する。

海洋環境調査項目について 2020 年度までと 2021 年度以降の相違を表 1.6-1 に示した。

表 1.6-1 海洋環境調査項目の相違点

		2020年度まで		2021年度以降	
		監視計画	自主調査	監視計画	自主調査
頻度（回／年）		4	4	4	4
調査測点数		12	12	8	12
学 海 的 水 性 の 状 化	水質分析	○		○	
	底質分析	○			
	クロロフィルa・栄養塩類		○	○	
	係留系		○（1点）		○（1点）
海 洋 生 物 の 状 況	植物プランクトン		○	○	
	動物プランクトン		○	○	
	メイオベントス	○			
	マクロベントス	○			
	メガロベントス	○			
	ウバガイ分布状況＊)	○（3点）		○（3点）	
	ウバガイ生育状況＊＊)		○（1点）	○（1点）	

＊) 歩留り調査を含み、St.07、08および12の3測点で年1回（夏季）実施

＊＊) St.05、07、08および12に近い1測点で年12回実施

1.6.2 今後の課題

海水の化学的性状および海洋生物の状況を正しく把握するためには、今後も引き続き調査を実施し、データを蓄積する必要があるため、2021 年度も継続して海洋環境調査および圧力・温度測定を実施し、海洋環境や地層状況を監視する予定である。

1.7 CCSに関する法規制・他プロジェクトの動向調査（第7章）

海外の主要政府やエネルギー企業等が、今世紀半ばごろまでのカーボンニュートラルやゼロエミッションの目標達成を公約し、CCS、CCUS 技術の普及や開発支援を前提とするクリーンエネルギーへの転換に向けた財政政策等の設定を進めている。こうした国際情勢

の中で日本政府も CCS、CCUS の課題検討、制度設計等を急務の課題としていることを受け、本事業の国際活動の一環として、国内における政策、制度、規制のあり方の検討および日本の CCS 技術の国内外における将来的な展開に資するために、海外先行事例等の調査を実施した。

また、豪州が海洋石油開発にかかわる鉱業法に CCS を取り入れていることを受け、豪州における CCS 関連法規制（石油、鉱山法規も含む）を調査した。

海外先行事例等の調査の目的は海外の CCS、CCUS 政策、制度、規制および技術基準・ガイドライン、ならびに国内外の CCS プロジェクトのビジネスモデル、CO₂ 輸送等の最新動向等の情報を入手し、国内における政策、制度、規制のあり方の検討ならびに日本の CCS 技術の国内外における将来的な展開に資することである。2020 年度は、2019 年度に実施した「海外の CCS 全般にかかる動向調査」で得た 15 箇国（豪州、ブラジル、カナダ、中国、フランス、ドイツ、イタリア、インドネシア、メキシコ、オランダ、ノルウェー、サウジアラビア、アラブ首長国連邦、英国、米国）および EU における CCS 関連政策の基本情報更新を図るとともに、CO₂ 貯留の長期責任に関する最新動向の調査、ロンドン議定書における CO₂ 国境移動等に関する調査、米国、カナダ、豪州の州別の CCS 制度の調査、操業中大規模 CCS プロジェクトのビジネスモデルの調査、今後の CCS ビジネスモデルの調査、また経済的発展の著しい ASEAN（東南アジア諸国連合）・インドにおける CCS・CCUS および関連情報の机上調査を、規制や政策等を加味した総合的なポテンシャルの観点で行った。

2019 年度から 2020 年度の更新、追加情報等は、「15 箇国（および EU）の CCS 関連政策の基本情報（2010 年度の更新・追加情報）」、「世界の CCS 施設について」、「CCS とハブ」、「ASEAN における CCS の兆し」、「水素と CCS」、「バイオエネルギーと CCS (BECCS)」、「CO₂ Utilization (CO₂ の有効利用)」、「CO₂ 船舶輸送の最新情報」、「ロンドン議定書に基づく CO₂ の越境輸送」、「米国、カナダ、豪州の州別の CCS 制度の調査」、「運転中・開発中の商業規模施設の CCS プロジェクトのビジネスモデル」であり、2020 年度の調査による「世界の CCS 関連の最新動向」を以下のとおりまとめる。

- 1) 調査を実施した 15 箇国および EU では、気候変動への政策が野心的に進められており、従来 CCS への関心が低かったドイツ等でもその対応の一環で、CCS 技術の取り組みが公約されている。欧州では CCS を通じた環境対策、経済政策を推進する多額の基金設置も進んでいる。中国では CCS に対する政府支援も進んでいるほか、中東、アジア諸国でも経済と環境対策の両立に向けた様々な施策

の検討、取組みが進められている。

- 2) 東南アジア諸国では、経済と温暖化対策の両立に向けて、官民間で CCS の関心が高まりつつある。ただし CCS の展開に必要な政策については、現時点ではインドネシア以外は、CCS に特化した法的・規制的枠組みの開発や開発の表明や、短期、長期目標における CCS 技術の導入の公約がみられない。
- 3) インド政府は再生可能エネルギーの導入に前向きでありつつも、化石燃料への将来的な依存度は継続して高く、ビジネスとしての CCS の導入を鑑み、同国のエネルギー需要と排出削減が、大きなメリットとなる可能性は十分ある。しかしながら政府が効果的な気候変動緩和政策を実施する意欲が低く、結果として CCS 事業に対する多くの支援活動があるにもかかわらず、CCS の将来展開の見通しが低い。
- 4) 世界各国の CCS 事業のうち、操業中プロジェクトの排出源の多くは、天然ガス処理等、回収コストの小さいプロジェクトである。
- 5) 建設中・開発後期のプロジェクトの排出源の多くは、発電所等、回収コストの大きなプロジェクトであり、それらの CCUS 展開のため、12 年～15 年間の補助金、税額控除等の政策的インセンティブが与えられている。特に米国は新規 CCS 開発において世界をリードしており、17 件の新規施設のうち 12 件が米国における事業である。これは政府が政策として、投資を促すビジネスケースを作ることによって、プロジェクトが進むことを示している。
- 6) 操業中プロジェクトの貯留の多くは EOR で、石油増産の経済的利益を得るためである。建設中・開発後期のプロジェクトの貯留では、EOR が減少し、DGS^{*13)} プロジェクトが増加している。要因として、原油価格の低迷、炭素価格の上昇予測、DGS に対する補助金、税額控除等の政策的インセンティブの付与があげられ、また欧州では経済的な EOR の機会が限られていることが挙げられる。
- 7) CCS の従来モデルは、分離回収施設と貯留施設が 1 対 1 で対応していたのに対し、検討中プロジェクトでは、多くの排出源から CO₂ を収集し、単一または複数の貯留地に貯留するハブ・クラスターモデルが増加している。これはスケールメリットにより、コスト単価を小さくできるためである。
- 8) 欧州では沖合海底下に貯留するハブ・クラスターモデルが主体である。
- 9) 世界では CCS 付きの水素製造精製の取組みが拡大しており、ゼロエミッション

*13) 純粋地層貯留 (Dedicated Geological Storage : DGS)

ン燃料としての水素の新たな利用法開発に伴い、市場が急成長することが予想されている。

- 10) ノルウェーの Longship では、回収コストは原則国負担である。輸送・貯留コストは一部民間負担であるが、輸送・貯留事業者は第三国からの CO₂ 受入等で民間負担の解消を目指すビジネスモデルである。
- 11) ロンドン議定書における CO₂ の越境輸送については、2009 年 10 月に第 6 条の正式な改正の採択後、2019 年の議定書締約国会議で漸く暫定適用の合意がなされ、地中貯留用の CO₂ が国境を越えて輸送・輸出できるようになった。しかし、これは修正案に暫定的に拘束されることを選択した締約国にのみ拘束力を与えるものである。
- 12) 米国、カナダ、豪州では、連邦政府、州政府が協調して CCS に関連する法規制を開発している。CCS に特化した制度設計のない場合は、既存の資源開発に係る法案を拡大するケースがある。また CCS に特化した制度設計、実施、規制開発や、連邦政府による許可制度を補完する技術規制や許可の制度は、州が主導するケースも多く、州内の商業規模の CCS プロジェクトのスムーズな展開に寄与している。
- 13) CCS のビジネスモデルのコスト構造は、プロジェクトの要件（主に CCS 施設の規模や設置場所、CO₂ 発生源の特性）により異り、各国で不定要件下でのケーススタディやビジネスモデルの検討が進んでおり、実用化に向けた収入モデル、所有構造、債務要件等の提案も行われている。

また、豪州が海洋石油開発にかかわる鉱業法に CCS を取り入れていることを受け、豪州における CCS 関連法規制（石油、鉱山法規も含む）を調査した。その概要は以下のとおりである。

オーストラリアの行政のシステムは、連邦政府と州政府の両方に、CCS 活動を規制するための管轄権を与えている。各州はそれぞれの領域と沿岸の境界内で発生する CCS 活動（沿岸から最大 3 海里まで）について立法する権限を有している。連邦政府は、3 海里からオーストラリア大陸棚の端までの沖合海域での活動に対する規制責任を保持している。州レベルでは、ビクトリア州、クイーンズランド州、南オーストラリア州、西オーストラリア州が、温室効果ガスの地中貯留や CCS プロセスのその他の個別の側面を規制する法律を制定している。

1.8 国内における社会的受容性の醸成に向けた情報収集発信活動

本事業は、分離・回収から貯留までを一貫システムとして実証する日本初のCCS大規模実証試験である。本事業を円滑に推進するには、国民から深い理解と信頼を獲得することが必要で、そのためにはCCSの目的・意義・技術・安全性を正しく理解してもらうことを基本として情報発信した。また、実証試験地域の市民との良好なコミュニケーションの確保と信頼関係の維持・強化は重要であり、苫小牧市と周辺地域への情報発信および意思疎通に活動の多くを充てている。2019年11月のCO₂圧入30万t達成後も、一方的な情報発信に留まらず、双方向での意見交換を行い、対面での説明による理解促進に取り組んできた。なお、2020年度は新型コロナウイルス感染防止のために、活動が制限された。2020年度の活動の概要を表1.8-1に示す。

表 1.8-1 国内における社会的受容性の醸成に向けた情報収集発信活動

苫小牧市およびその周辺地域における情報収集発信活動		
地元市民向け現場見学会 （バスツアー）	新型コロナウイルス感染症のため開催なし	0回
パネル展の開催	えべつ環境広場 2020、苫小牧西港ターミナルパネル展他	4回
北海道における講義・講演の実施、CCS講演会の開催	学校・団体等、CCS講演会	3回
子ども実験教室／夏休み宿題教室の開催	新型コロナウイルス感染症のため開催なし	0回
苫小牧市との連携	市庁舎に情報公開モニターの設置等	—
国内他地域における情報発信活動		
現場見学会	企業、大学、研究機関、一般等	21件、82名
講義・講演の実施	大学、学会、市立科学館他	16回、1,268名
展示会、シンポジウム、学会へのブース出展	地球温暖化防止展 2022、エコプロ 2022 他	5回、1,361名
その他の情報発信活動		
メディア対応	プレスリリース、新聞報道、雑誌・書籍掲載等	62件
寄稿および発表	『二酸化炭素回収・貯留（CCS）技術の最新動向』他	8件

2020年度は、5月にこれまでの実証試験の総括として、「苫小牧におけるCCS大規模実証試験30万t圧入時点報告書（「総括報告書」）」をとりまとめ、その成果と課題を広く公表した。また、各情報発信活動については、その都度改善と改良を重ねてきたが、2020年度は、2019年度に実施した苫小牧における社会的受容性の醸成活動（Public acceptance。以下、「PA活動」と称する。）についての外部評価の結果を踏まえて活動内容の見直しや検討を行い、あらたな改善案をまとめ、可能なものから実施した。具体的には、頻出される質問や関心が高いと思われる事項を事前に資料に盛り込む等、発表資料や発表方法を改善した。また、アンケートの項目をイベントに合わせて構成するとともに、データの収集、分析を行い、2021年度以降の活動の企画・開発につなげることとした。アンケートの実施方法については、回答率の向上とデータ集計の効率化を目指し、従来の紙

面によるアンケートに加えて、QRコードを利用したWebアンケートのシステムを導入した。

しかしながら、2020年度は新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、対面で実施する情報発信活動のほとんどが中止または延期となり、イベントの多くが実施困難となったことから、コロナ禍における新しい情報発信の取組みが必要となった。対面での情報発信に代わる手段としてWebを活用した情報発信を検討し、まず、当社のホームページを活用し、現場見学の紹介や、施設の360度動画等、内容の充実を図った。同時に、YouTube等のSNSツールを利用した発信方法も検討した。また、オンラインで実施される展示会等へ参加するとともに、大学でのオンラインやオンデマンド講義への対応等、例年とは異なる新たな情報発信に取り組み、展開した。学会誌や技術誌への論文寄稿、メディアへの情報提供等についても継続して取り組んだ。リスクコミュニケーションの一環として、CCS実証試験海域での二枚貝等の生態系調査を実施した。

また、2019年度に引き続き、専門家によるPA活動に対する外部評価を実施した。具体的には、苫小牧市の市民を対象としたCCSアンケート調査と、ステークホルダーへのヒアリングおよびアンケート調査を実施し、CCSに関する苫小牧および周辺地域における市民の理解度や事業に対する受容度について分析・考察し、来年度以降の広報活動指針を検討した。その結果本事業についてステークホルダーおよび一般市民は、おおむね好意的に受け止めているが、各所においては種々の批判、対応の不備の指摘等あり、これらの批判、指摘を真摯に受け止め、今後は日々の広報活動のなかで更なる改善努力をして行く必要がある。特にステークホルダーの協力は苫小牧CCS実証試験のスムーズな推進には不可欠である。当センターの見学件数と見学者数の実績を図1.8-1に示す。



図 1.8-1 現場見学件数と見学者数の推移（2012年度 - 2020年度）

苫小牧が実証試験地点に決まった2012年から、積極的に国内外から見学受け入れを行っており、特に本格的な稼働を開始した2016年度以降は毎年約2,000名以上を受け入れた。コロナ禍においても、現場見学の問い合わせがあったが、感染者数の増加や二度にわたる緊急事態宣言により、申込みのほとんどを断らなければならなかった。現場見学が実施できないなか、現場見学への興味を喚起し、見学が再開された際に見学したいと思ってもらえるように、当社のホームページに現場見学のバーチャル体験ができる現場見学紹介コーナーを新設した。脱炭素に向けた社会の動きが活発化する傾向にあり、CCS/CCUSへの注目の高まりに伴い見学希望者が増えると予想されるが、コロナ禍の終息が見えない今、今後の現場見学に関しても、感染者数の増減や苫小牧近隣施設の見学受け入れ状況をみながら検討し、見学者の安全を第一に考え対応する。

外部評価結果からも国内におけるCCSに関する認知度はまだ低い。モニタリングを継続中の苫小牧CCS実証試験やCCSの将来の社会実装に向け、苫小牧市や周辺地域は元より、広く国内への情報発信と周知活動を継続して実施する必要性をあらためて強く認識した。今後も情報発信活動を継続し、CCSの社会的受容性の向上に取り組む必要がある。

1.9 海外への情報発信ならびに情報収集

実施計画書に基づく以下1)~6)の活動を実施し、本事業の国際的なプレゼンスの向上、ならびに国際市場における日本のCCS安全性・有効性に対する信頼確保を図った。期初の取組として、2019年11月の30万t圧入目標の達成を受けて2020年5月に日本政府とと

もに公表した事業総括報告書「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」（概要版）の英語版（Summary Report）を作成し、海外に向けて、当社のウェブサイトにも公開するとともに、本事業が苫小牧市の全面協力のもと安全かつ計画どおり遂行されたことを詳細な技術成果とともに発表した。

世界的なコロナ禍の影響により、2020 年度の国際活動は年間を通じてオンラインによる活動が中心となったものの、海外組織との連携によりウェビナーや国際会議を主催する等、新たな情報発信や情報収集等の策を講じ、コロナ禍における国際活動を推進した。

- 1) 海外からの現場見学者対応・意見交換の実施
- 2) 海外における国際会議や、国内外セミナー、展示会等における成果発表と情報交換、フィールドツアー参加による情報収集
- 3) Global CCS Institute との情報交換、協力
- 4) CSLF アジア・太平洋地域ステークホルダーチャンピオンとしての活動
- 5) 情報発信、情報収集の機会拡充を見据えた海外政府や海外 CCS 事業者、研究者との協力、共同事業、共同研究の実施
- 6) 外国語ツール、ホームページ、メディアを通じた情報発信についての検討ならびに情報発信ツールの維持、更新

1.9.1 海外からの現場見学者対応・意見交換の実施

本事業の国際的な理解の促進と海外展開の可能性等の向上を図るため、海外からの現場見学や意見交換に対応した。コロナ禍による制約から、2020 年度は一部の案件への対応となった。また CCS の国際的な普及を目指す国内外の企業からの情報交換にも対応した。2020 年度の国際会議・ワークショップにおける本事業の発表は、GHGT-15、Asia Clean Energy Forum (ACEF)等 14 件であり、すべてオンラインでの発表であった。なお、コロナ禍の状況により、2020 年度はフィールドツアー参加による情報収集は実施していない。

1.9.2 海外における国際会議や、国内外セミナー、展示会等における成果発表と情報交換、フィールドツアー参加による情報収集

世界各地で開催された CCS の主要会議を含む 12 件のオンライン会議やウェビナーにおいて、本事業の最新の成果や日本の CCS の将来展望について 15 件の発表を実施した。これらのうちの 5 件はアジア諸国や中東・アフリカ等が主な対象となった会議においてであり、2020 年度の実施計画に基づき同地域における本事業の認知度向上にも努めた。

情報収集の観点では、大規模プロジェクトの実施を計画中のノルウェーや英国について、CCS の社会実装に重要なテーマとなるビジネスモデル、船舶輸送、官民の役割分担等の検

討内容等も収集した。各種海外ウェビナーにも参加し、海外プロジェクトの最新動向、CCSの関連政策、インセンティブ等の最新動向を収集した。また、CCSに関する国際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（以下、「GCCSI」と称する。）による海外のCCS全般にかかる動向調査を通じて、前年度までの海外における情報等の更新等を図ったほか、法規制動向調査も実施した。このほか、これらは日本の制度検討の参考情報として経済産業省、NEDOに報告した。

1.9.3 GCCSIとの情報交換、協力

GCCSIと連携し「Japan-Asia CCUS Forum 2020」を開催したほか、GCCSIの旗艦レポート「Global Status of CCS 2020」への寄稿等を行った。

1.9.4 CSLFアジア・太平洋地域ステークホルダーチャンピオンとしての活動

25 箇国および欧州委員会で構成されたCCSの普及と発展を目指す国際協力枠組みであるCarbon Sequestration Leadership Forum（以下、「CSLF」と称する。）に、Regional Champion およびCCSに関する日本の産業界の代表として参加し、日本政府が重点的に取り組む国際協力の推進に向けた各種情報を収集した。

1.9.5 外国語ツール、ホームページ、メディアを通じた情報発信についての検討ならびに 情報発信ツールの維持、更新

本事業の総括報告書の外国語版および日々の国際活動の成果のホームページへの掲載、各種海外向けページの拡充を図ることにより、当社ウェブサイトを通じた情報発信の強化を行った。また本事業の圧入目標の達成を受けた英語版事業紹介ビデオの更新も行った。

1.9.6 海外に向けた情報発信活動の在り方ならびに実施の検討

2020年度は海外におけるCCS導入に向けた制度設計の動向を把握し、主要な文献等の解説、検討を行った。

1.10 社外有識者による技術指導

外部有識者から構成される「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いる。2020年度は、第14回課題検討会を2020年8月、第15回課題検討会を2021年3月に実施した。

課題検討会は、CCSに関わる専門的知見および地質調査・研究等の実績を有する大学・研究機関等の学識経験者8名の委員に2020年度第15回検討会より臨時委員2名を加えた計10名体制とした。

課題検討会では、圧入実績（温度、圧力）、貯留層評価（圧入指数の解析、地化学反応解析）、各種海洋環境調査結果の解析、海洋環境調査の頻度、モニタリングシステム改善等について社外有識者による確認と助言を得た。また 将来の CCS 社会実装にむけて、海洋汚染防止法にかかわりなく、技術的、経済的に望ましい日本における CCS のモニタリングのあるべき姿を検討し、CCS 事業を進めるうえで早急な対応が求められている法規制のあり方に係る技術的な検討材料に資することを目的に、新たに「将来の CCS 社会実装を見据えたあるべきモニタリングに係る分科会」を課題検討会の中に設置するための体制を整えた。

1.11 将来計画の検討・準備等

日本ではCO₂排出源とCO₂利用・貯留地点が離れていると想定されており、CCUSを早期に社会実装するために必要となる長距離CO₂輸送に優位である船舶輸送について調査を実施した。本調査では、CO₂排出源からの液化CO₂の出荷、輸送、受入の3要素について年間100万t規模の輸送時の課題抽出を行った上で、それら課題の検証と解決に向けた船舶輸送実証の実現可能性を確認するために年間1万t規模の船舶輸送実証の工程検討、コスト試算を実施した。また、出荷基地と受入基地については概念設計を、船舶については基本設計を実施した。

輸送実証に向けたFeasibility Studyを出荷基地、輸送船舶、受入基地の3要素につき実施し成果を得た。出荷基地について、国内石炭火力発電所において分離・回収されたCO₂の液化から船舶へのお荷まで複数の設備を組み合わせた系統の試設計を行った。液化されたCO₂の輸送について、過去検討されてきた技術的な課題を纏め、実証船の設計に反映させた。受入基地について、船舶で輸送された液化CO₂の苫小牧での受入に関し、現行の国内規則上最大となる貯槽タンク的设计及び液相・気相別の陸上輸送方法を検討した。