

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 <sub>2</sub> 分離・回収設備の運転(第2章)	1-2
1.2.1 設備運転および性能検証	1-2
1.2.2 圧入設備の運転検証	1-5
1.2.3 保安設備の運転検証	1-7
1.2.4 胆振東部地震の影響	1-7
1.2.5 日常保全および定期保全	1-7
1.2.6 安全・環境管理	1-8
1.3 年間約10万トン規模でのCO <sub>2</sub> 圧入、貯留試験(第3章)	1-9
1.3.1 萌別層への圧入	1-9
1.3.2 滝ノ上層への圧入	1-12
1.4 貯留したCO <sub>2</sub> のモニタリング(第4章)	1-15
1.4.1 観測井を利用したモニタリング	1-17
1.4.2 陸上設置地震計によるモニタリング	1-18
1.4.3 常設型OBCによるモニタリング	1-19
1.4.4 OBSによるモニタリング	1-20
1.4.5 総合モニタリングシステムの運用	1-21
1.5 貯留層等総合評価(第5章)	1-22
1.5.1 萌別層貯留層モデルの更新	1-23
1.5.2 IW-2およびOB-2の圧力予実績	1-28
1.5.3 2018年度モデルによるヒストリーマッチ	1-29
1.5.4 IW-2長期挙動予測シミュレーション	1-32
1.6 海洋環境調査(第6章)	1-36
1.6.1 監視計画の概要	1-36
1.6.2 海洋環境調査	1-37
1.6.3 水質の長期連続監視技術検討	1-38
1.6.4 海水中放射性炭素分析技術検討	1-39
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)	1-40
1.7.1 CCS規制等の調査	1-40
1.7.2 モニタリング手法の動向調査	1-41

1.7.3 圧入終了後のモニタリングとその現状に関する調査	1-42
1.7.4 プロジェクトリスクに関する調査	1-44
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	1-45
1.9 海外への情報発信ならびに情報収集	1-48
1.10 社外有識者による技術指導	1-49
1.11 将来計画の検討・準備等	1-49

## 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 (CO<sub>2</sub>) 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2018年度の7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CO<sub>2</sub>（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、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>の貯留、貯留したCO<sub>2</sub>のモニタリング等を実施している。

また、貯留後のCO<sub>2</sub>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2018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CO<sub>2</sub>の貯留地点とし、その沿岸部に地上設備（CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>分離・回収設備の運転(第2章)

CO<sub>2</sub>の分離・回収設備は、CO<sub>2</sub>を含む原料ガスを送気するD1-1基地、および分離・回収設備、圧入設備があるD1-2/D0基地から構成される。D1-1基地は、出光興産株式会社北海道製油所(以下、「製油所」と称する。)に設置され、D1-2/D0基地は当社苫小牧CCS実証試験センター(以下、「当センター」と称する。)に設置されている。

### 1.2.1 設備運転および性能検証

#### (1) 供給設備の運転検証

本事業で使用するCO<sub>2</sub>の供給源は、製油所で石油精製用にPSA(Pressure Swing Adsorption)方式で回収される高純度の水素のオフガスである。水素を回収した後のPSAオフガスには約52%のCO<sub>2</sub>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ている。PSAオフガスの一部は、送風機で約0.03MPaGから0.08MPaGへ昇圧された後、既設のPSAパージガス配管から分岐した総長1.4kmのパイプラインにより分離・回収設備があるD1-2/D0基地まで輸送される。D1-2/D0基地との境界地点での受入圧力は0.04MPaGであった。

2018年度の合計のPSAオフガス送気量は84,399kNm<sup>3</sup>、PSAオフガス代表組成(CO<sub>2</sub>濃度51.6mol%)から算出したCO<sub>2</sub>送気量(概算)は、85,519tであった。なお、2018年9月1日に発生したガス供給上の制約および2018年9月6日に発生した平成30年北海道胆振東部地震(以下、「胆振東部地震」と称する。)の影響により、2018年9月から12月まで送気量は、10月および11月の送気ゼロを含めて大幅減となった。

#### (2) 分離・回収設備の運転検証

D1-2/D0基地の分離・回収設備では、D1-1基地から送られてきた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%以上の高純度でCO<sub>2</sub>を回収している。図1.2-1にCO<sub>2</sub>分離・回収フローを示す。本事業では、二段吸収法(CO<sub>2</sub>吸収塔の上段に低CO<sub>2</sub>濃度のアミン溶液、下段に中CO<sub>2</sub>濃度のアミン溶液を供給する。)を採用し、さらに低圧フラッシュ塔を設置してCO<sub>2</sub>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ている。

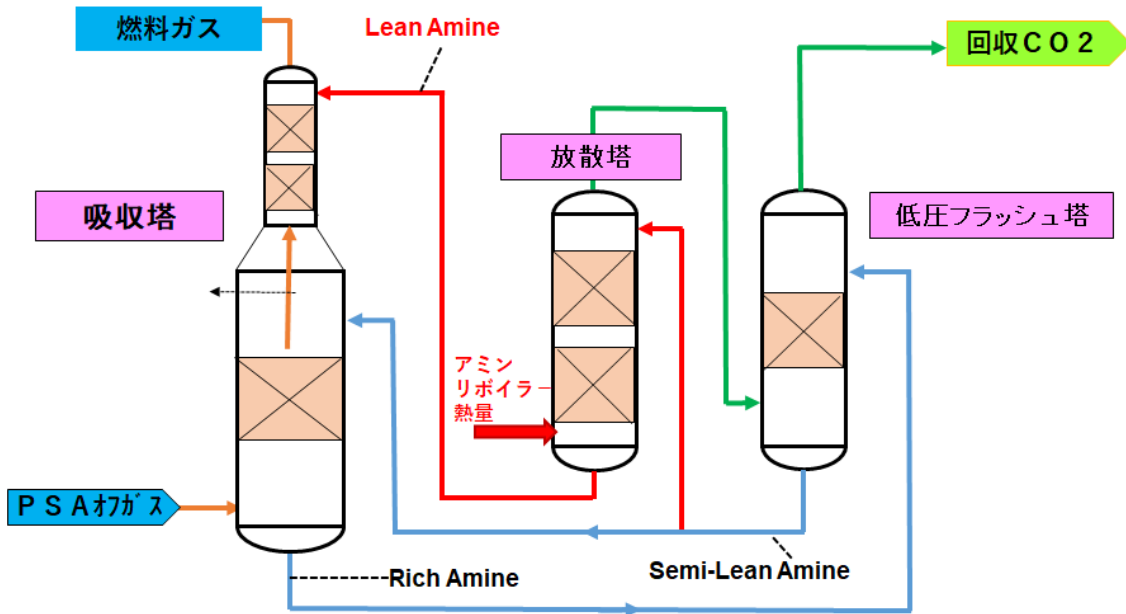


図 1.2-1 二段吸収法による分離・回収プロセスフロー

CO<sub>2</sub> 吸収塔の塔頂から排出される CO<sub>2</sub> 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ガス）を、CO<sub>2</sub> 放散塔においてアミン溶液から CO<sub>2</sub> 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。プロセスフローを図 1.2-2 に示す。

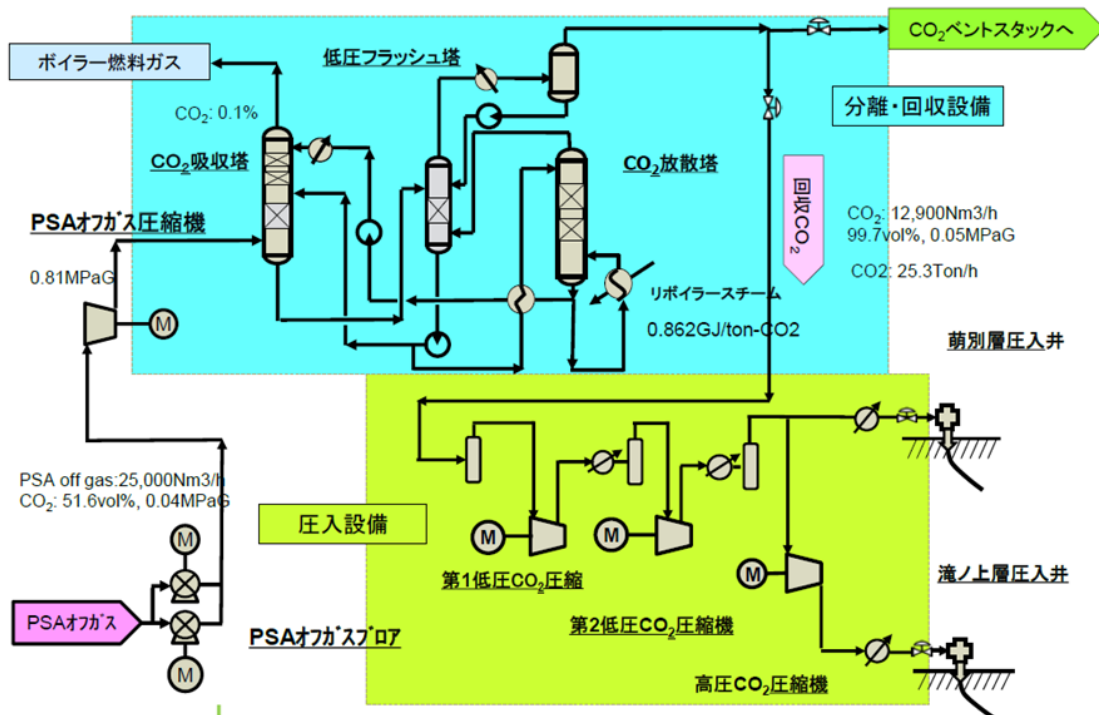


図1.2-2 CO<sub>2</sub>の分離・回収/圧入のプロセスフロー

① 分離・回収エネルギーの検証

分離・回収エネルギーは、アミン溶液の再生に使用される熱エネルギー（CO<sub>2</sub>放散塔リボイラーで消費する低圧スチームの熱量）およびアミン溶液の循環に使用される電気エネルギー（ポンプの消費電力）の合算値で評価した。本事業では、設計時の計算値をもとに、1.20 GJ/t-CO<sub>2</sub>を目標値とした。2017年度の性能確認運転から算出した分離・回収エネルギーは1.16 GJ/t-CO<sub>2</sub>であり、目標を達成している（表 1.2-1）。

表 1.2-1 性能確認運転での分離・回収エネルギー

	設計データ	性能確認運転 2017/10/17	日常運転 2018/4/23
回収 CO <sub>2</sub> 量 (t/h)	25.3	24.3	25.8
リボイラー スチーム (t-Steam/t-CO <sub>2</sub> )	0.411	0.42	0.51
熱エネルギー (GJ/t-CO <sub>2</sub> )	0.959	0.98	1.20
電気エネルギー (GJ/t-CO <sub>2</sub> )	0.173	0.18	0.18
分離・回収エネルギー (GJ/t-CO <sub>2</sub> )	1.13	1.16	1.38

② プロセス性能変化の検証

装置負荷に対する回収 CO<sub>2</sub> の純度等への影響については、2016 年度に CO<sub>2</sub> 受入れ量を 50%～100%とした負荷運転（性能保証範囲）に関する実証試験を、2017 年度に 30%～40%程度の低負荷運転に関する実証試験を行い、所定の性能を維持して安定運転が可能であることを確認している。

2018 年度の性能確認の結果は、2016 年度および 2017 年度の性能確認結果と同じであり、長期的なプロセス性能が維持されていることが確認された（表 1.2-2）。

ただし、負荷を 30%まで下げると回収 CO<sub>2</sub> 純度が「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律（以下、「海防法」と称する。）」で定める下限値（98%）付近まで低下するため、長期の安定運転には懸念がある。

表 1.2-2 性能確認運転でのプロセス性能実測値、および運転パラメータ

	設計値 <sup>1)</sup>	2019 年 (2018 年度)					
		2月4日	2月19日	2月22日	3月11日	3月15日	3月25日
装置負荷(%)		50%	31%	40%	100%	105%	101%
回収 CO <sub>2</sub> ガス CO <sub>2</sub> 濃度 (drymol%)	> 99	99.5	99.0	99.3	99.3	99.2	99.2
燃料ガス中 CO <sub>2</sub> 濃度 (drymol%)	< 0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
アミン循環量 <sup>2)</sup>	36.3	36.7	57.9	44.0	35.2	33.8	35.0
アミン循環量 <sup>3)</sup>	35.8	36.0	57.0	43.7	35.0	34.0	34.6
リボイラー スチーム 使用量 <sup>4)</sup>	0.41	0.52	0.84	0.67	0.52	0.51	0.52

1) 代表組成ケース、PSA オフガス中 CO<sub>2</sub> 濃度 51.6 mol%、2) アミン循環量：t-アミン/1,000 Nm<sup>3</sup>-PSA オフガス、3) アミン循環量：t-アミン/t-PSA オフガス中 CO<sub>2</sub>、4) リボイラー スチーム 使用量：t-低圧 スチーム/t- CO<sub>2</sub>

### ③ 2018年度の分離・回収設備の運転について

2018年度の分離・回収設備の運転は、期初にCO<sub>2</sub>放散塔リボイラー(11E-001)の性能低下が認められ、7月にアミン熱交換器(11E-001)の洗浄したものの、それ以降は、9月6日の胆振東部地震による長期間停止(9月上旬から12月下旬まで)が生じたことにより、安定した性能確認試験を実施できなかった。

通常運転(2018年4月および2019年3月)では、100%負荷での分離回収エネルギーは1.38 GJ/t-CO<sub>2</sub>となり、目標値の1.20 GJ/t-CO<sub>2</sub>を超えているが、この原因として考えられることは、上述の11E-001の性能低下、および余裕を持った安定運転による低CO<sub>2</sub>濃度アミン循環量の増加(+16%)である。

一方、30%~100%負荷運転においては、吸収塔塔頂ガス(燃料ガス)中のCO<sub>2</sub>濃度が設計値の0.1 dry mol%よりはるかに低く、アミン溶液の高い吸収効果が維持されていたと考えられる。しかしながら、負荷を30%まで下げると回収CO<sub>2</sub>純度が運転指針としていた下限値(99%)まで低下するため、本実証設備の負荷は40%程度以上を維持することが望ましいことが判明した。

#### 1.2.2 圧入設備の運転検証

D1-2/D0基地の圧入設備では、回収したCO<sub>2</sub>を圧入に必要な圧力まで遠心式圧縮機(第1 低圧CO<sub>2</sub>圧縮機、第2 低圧CO<sub>2</sub>圧縮機、高圧CO<sub>2</sub>圧縮機)で昇圧し、昇圧されたCO<sub>2</sub>は、超臨界流体状態で圧入井を通じて海底下の貯留層に圧入・貯留される。

##### (1) CO<sub>2</sub>回収量変動への追従性

製油所から供給されるCO<sub>2</sub>原料ガスの量、圧力は±5%程度変動する。圧入運転開始当初は、回収CO<sub>2</sub>量の変動が第1および第2 低圧CO<sub>2</sub>圧縮機の流量・圧力にも変動を与えたため、圧力制御システムの改良を行って、自動での安定的な制御を可能とした。

また、圧入設備においては、圧入井坑底と貯留層間の過度の差圧および急激な圧力変化を避けることで出砂等の危険性を低下させる必要がある。圧力変動に対応した圧入制御システムにより圧入を行い、圧入設備のCO<sub>2</sub>圧縮機吐出圧力および圧入井入口圧力の変動を最小減に制御したことで、滝ノ上層および萌別層の坑底圧力に大きな変動はなく、安定した状態であった。

##### (2) 運用システムの検証

###### ① 緊急遮断システム

運転状態や機器作動に異常が生じ、運転を継続した場合に安全および機器性能に重大な

問題が生じることを回避するため、安全計装システムを組み、安全に緊急停止（ESD：Emergency Shut Down）できるようにしている。

2018年9月に原料であるPSAオフガス供給が停止したことに伴い、D1-2/D0基地の受入圧力が急激に低下し、PSAオフガス圧縮機がサージ領域\*1)に近づいたため、D1-2/D0基地の緊急遮断システムが作動し、自動遮断や開放および機器の運転停止が行われた。これにより安全を確保するとともに、緊急遮断システムの有効性が確認された。

## ② 圧縮機制御システム

PSAオフガス圧縮機（10C-001）は動力消費が大きいことから、エネルギー消費削減のため回転数制御を採用している。導入するPSAオフガスの増減に従い圧縮機回転数を調整することにより、吸込み圧を一定に保っている。ただし設計上サージコントロール領域に入るまでの運転範囲が狭いため、分離・回収設備の負荷に応じたリサイクル量をアンチサージ弁の手動調整による運転操作とし、その上で定常運転時のPSAオフガス量の変動を回転数制御で吸収させる運転モードを採用した。この手動によるアンチサージ弁の絞りは、PSAオフガス量の大きな変化に合わせて圧縮機のサージ余裕と適正回転数範囲を見て実施し、少量の変化に対しては、回転数制御によって自動制御された。この運転により、PSAオフガス量を設計の35%から、徐々に増加していく過程で、アンチサージ弁の調整を加えることにより、適切に制御できることが検証された。

低圧CO<sub>2</sub>圧縮機（12C-001/002）については、回収したCO<sub>2</sub>を定量圧入する場合の制御は問題ないが、流量変動に追従して全量を圧入する運転においては、自動制御に切替えることができない事象が発生していた。この対応として、2017年度に圧縮機制御システムの改善策を講じ、2018年1月以降、運転条件の変更や変動に対しても、人手を介さず第2低圧CO<sub>2</sub>圧縮機のアンチサージ弁開度の自動調整が行なわれ、かつ、回収CO<sub>2</sub>の一部をCO<sub>2</sub>の蓄熱式燃焼装置（Regenerative Thermal Oxidizer：以下、「RTO」と称する。）に放出することもほとんどなくなり、CO<sub>2</sub>圧縮機の制御システムは大幅に改善された。

萌別層と滝ノ上層への同時圧入は、2018年8月1日から8月31日の1箇月間実施した。滝ノ上層圧入量（1日単位）は、流量制御（FIC：Flow Identify Control）設定値に対して、0.4%～0.6%の変動に収まっており、安定した運転であった。また、RTO放出による圧入ロス、PSAオフガス受入量変更時に生じているが、月間合計で、0.003%（0.52t/月）とわずかであり、萌別層と滝ノ上層への同時圧入運転は良好に制御できることを確認した。

\*1) 圧縮機（遠心式）はある流量（サージング点）まで流量を下げると圧力の急激な変動が起こり、逆流等を起こす。このような現象を起こす流量領域のこと。サージングはインペラやケーシングの破損等を引き起こす原因にもなる。



### 1.2.3 保安設備の運転検証

各種保安設備（安全計装システム、ガス検知警報設備、防火ポンプ設備、アース設備、火災報知器）に関し、適宜作動確認の実施により異常のないこと、および正常に作動することを確認した。

### 1.2.4 胆振東部地震の影響

2018年9月6日午前3時7分に発生した胆振東部地震（当センターの地震計では158gal（震度5弱）を記録、苫小牧市では震度5強を記録）の影響について記載する。

- 1) 9月1日から全設備が停止していたため、感震遮断システム（プロセス全体緊急停止）はアラームのみ作動した。
- 2) 地震後の一次点検および二次点検において設備の被害は見られなかったが、装置内セメント舗装部やスピルウォールには新しい亀裂が各所で見受けられた、なお、構内の道路には新規の亀裂や陥没は認められなかった。
- 3) ボイラーや加熱炉内部点検を行い、高圧ボイラーおよび低圧ボイラーの火炉内部、煙道、エコマイザーの目視点検を行ったが異常は見受けられなかった。CO<sub>2</sub>ベント燃焼設備の炉内点検を行ったところ、耐火材・ハニカムの割れ等は見受けられなかったが、ハニカム間に隙間が散見されたため、充填剤を施工して隙間を埋める補修を行った。
- 4) 当センターは、地震発生とほぼ同時に特高受電が停止した。その後苫東厚真火力発電所の3機が次々に停止し北海道全体がブラックアウトとなった。当センターも全停電となり、その約1時間後には無停電電源装置（UPS：Uninterruptible Power Systems）も停止したので、圧入井や観測井等のモニタリングシステムへの電力供給も停止し、観測ができなくなった。この対策として、小型発電機を設置し、DCS（Distributed Control System）や照明、モニタリングシステムへの電力供給ができるように設備を改善した。なお、当センターの電力については、9月8日の12時15分に通電を確認し復旧を完了した。

### 1.2.5 日常保全および定期保全

#### (1) 保全業務内容

保全業務として保全計画や現場巡視に対応する日常保全業務、設備を停止して実施する定期保全業務（SDM：Shut Down Maintenance）、突発補修業務を実施した。

## (2) 日常保全業務結果

日常保全業務として、配管・計器等の凍結防止対策、圧力計および液面計の指示不良補修、ポンプ補修、正門発錆部塗装、弁作動不良整備、監視カメラ（ITV：Industrial Television）清掃、スチームトラップ分解整備、スチームトレース改善、アミン熱交換器分解清掃等を実施した。また、各分析計、警報機等の点検整備、回転機類のグリスアップ等についても実施した。

## (3) 定期保全業務（SDM）結果

2018年度のSDMにおける法定点検検査は、高圧ガス保安法に基づく機器開放検査、配管肉厚検査、安全弁分解点検検査、配管気密検査、窒素製造設備検査の実施、労働安全衛生法に基づく第1種圧力容器検査および低圧ボイラー設備検査の実施、電気事業法に基づく高圧ボイラー検査の実施等であった。

## (4) 突発補修業務結果

アンチサージ弁分解整備、電気トレースケーブル損傷点検整備、アミン熱交換器開放清掃、燃料ガス圧力調節弁分解整備、高圧ボイラー調率弁取替、潤滑油タンク油煙対策、回収CO<sub>2</sub>分析計サンプルガス配管凝縮水侵入防止対策が発生した。

## 1.2.6 安全・環境管理

当センターでは、本事業を実施するに当たり、人身事故、健康障害、環境汚染等のリスクが潜在することを十分に認識し、そのリスクが顕在化しないように安全・環境管理を実施してきた。

### (1) 安全管理

当センターでは労働災害の未然防止、健康の保持増進および快適な職場環境の醸成、安全衛生水準の向上に努めることを目標に種々の安全管理活動（安全衛生会議、安全事前評価委員会、安全パトロール、保安教育および防災訓練等）を実施した。その結果、2018年度も無事故・無災害を達成することができた。

### (2) 環境管理

当センターの環境管理については、北海道、苫小牧市、当社の三者で締結している「公害防止協定書」（2014年5月13日締結、以下「協定書」と称する。）に基づき、環境保全対策を実施している。2018年度は、協定書に定められた大気汚染物質の排出量の協定値および排水の自主管理目標値を遵守しており、協定書に抵触する異常状況の発生はな

かった。騒音・振動防止、土壌および地下水汚染防止、悪臭防止に関しても協定書を遵守しており、また産業廃棄物の適正な処理等を実施したことにより、環境汚染につながる公害の発生はなかった。

なお、2018年8月28日に協定書に基づき北海道および苫小牧市による事業所構内の立入調査が行われ、協定書の遵守状況は良好であることが確認されている。

また、2018年5月27日に発生した「熱交換器からのアミン溶液の防液堤内漏えい事象」については、2018年6月4日に協定書第16(報告、立ち入り調査および報告)に基づき北海道および苫小牧市による立入調査が行われ、本事象による公害の発生はなかったことが確認されている。

### 1.3 年間約10万トン規模でのCO<sub>2</sub>圧入、貯留試験(第3章)

本事業では、本圧入への移行前に貯留層能力を評価する試験圧入、複数回のフォールオフテスト(以下、「FOT」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CO<sub>2</sub>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、三つの段階がある。2018年度は萌別層へのCO<sub>2</sub>圧入は本圧入継続段階に、滝ノ上層は試験圧入段階にあたる。萌別層および滝ノ上層への合計圧入量は、2018年度は79,575 t-CO<sub>2</sub>であり、圧入を開始した2016年4月6日から2019年3月31日までに累計235,598 t-CO<sub>2</sub>を圧入した。

#### 1.3.1 萌別層への圧入

##### (1) 萌別層への圧入実績

萌別層圧入井IW-2<sup>\*2)</sup>(以下、「IW-2」と称する。)においては、2018年度は本圧入継続段階の方針に準じ、その時々で可能な最大レートでの圧入を継続した。圧入実績を図1.3-1に示す。北海道胆振東部地震の影響による長期の圧入停止、設備補修による2回の圧入停止があったが、IW-2へは年間で79,514 t-CO<sub>2</sub>、プロジェクト開始から2019年3月31日までに235,499 t-CO<sub>2</sub>を圧入した。

圧入中のPT(Pressure、Temperature)センサー圧力は最大圧入レートの22万t-CO<sub>2</sub>/年でも10MPaG程度であり、遮蔽層破壊を避けるための上限圧力12.63MPaGに比べて十分に低かった。また、PTセンサー圧力および温度ともに坑井および貯留層の異常を示す挙動はなく、正常な範囲内であった。

<sup>\*2)</sup> IW-2：萌別層へのCO<sub>2</sub>圧入井(2015年度に掘削)

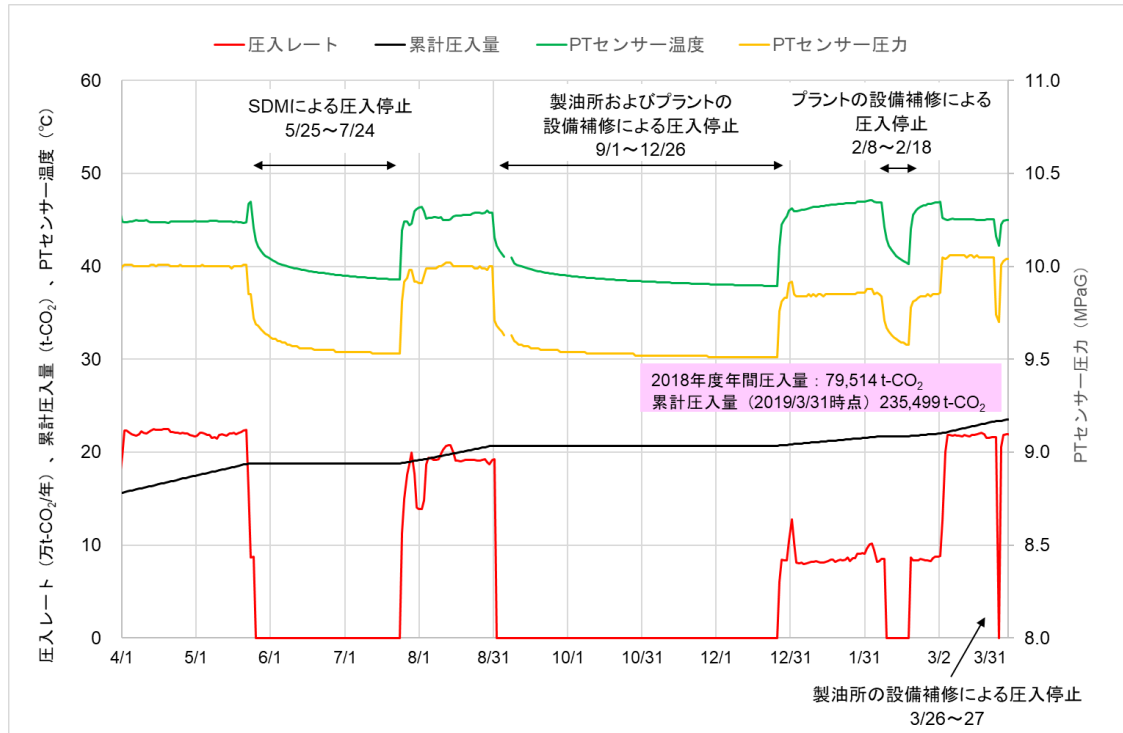


図 1.3-1 IW-2 の圧入実績 (2018 年度)

(2) 圧入区間

流体は高压側から低压側に流れるため、坑内圧力が貯留層圧力以上の区間で CO<sub>2</sub> が圧入されることとなる。圧入区間を推定するために、図 1.3-2 のように貯留層圧力と仕上げ区間の圧力を比較した。仕上げ区間の圧力（各色の線）は管内流動シミュレーションによる坑内圧力分布から外挿した値であり、貯留層圧力（黒線）は CO<sub>2</sub> 圧入前の PT センサー圧力 9.29 MPaG および地層水の比重 1.02 における圧力勾配 0.01 MPa/mVD から求めた。ここで、圧入区間は仕上げ区間上端から、双方の直線の交点までとなる。すなわち、図 1.3-2 において、緑色に着色した萌別層砂岩層上部のみに CO<sub>2</sub> が圧入されていると考えられる。萌別層砂岩層上部の浸透率は圧入井掘削時に取得した核磁気共鳴検層（以下、「NMR 検層」と称する。）データから 0.01～153 mD 程度と推定される。圧入に寄与する区間は限定的であるものの、萌別層が年間 10 万 t 規模の CO<sub>2</sub> 圧入に対し十分な圧入性を有することが示された。

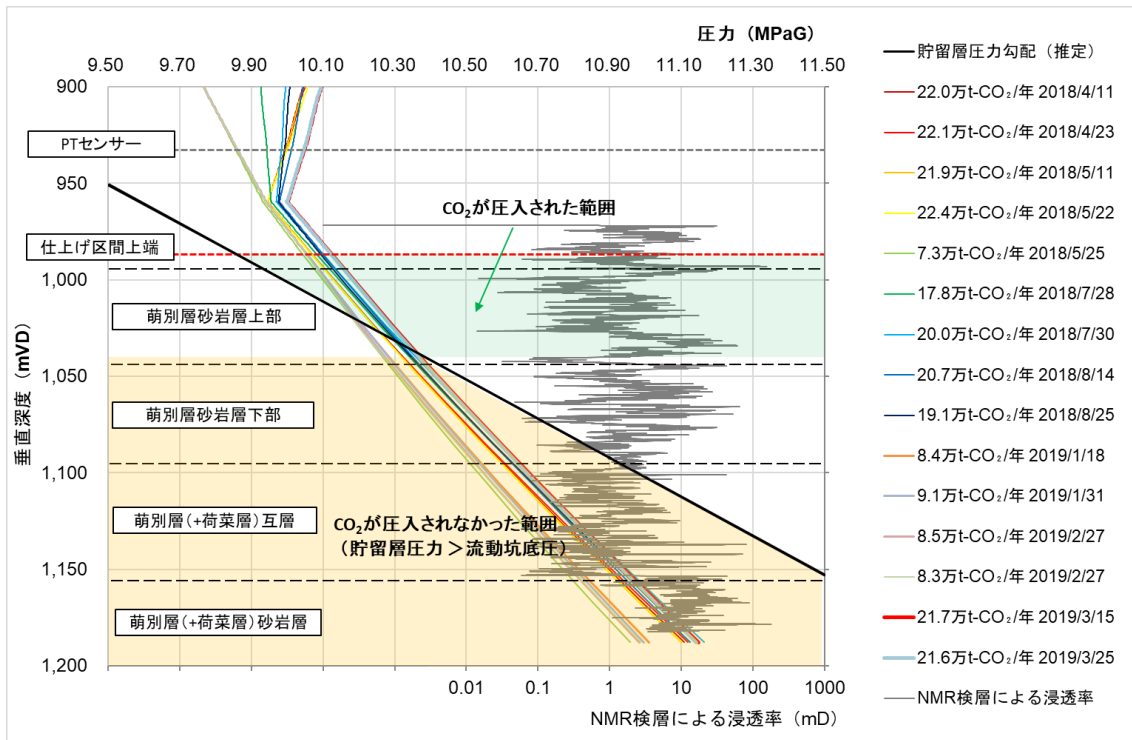


図 1.3-2 CO<sub>2</sub>が圧入された区間の推定 (2018年4月1日～2019年3月31日)

### (3) 圧入指数

圧入指数とは圧入レートを圧入中の坑内圧力と貯留層圧力の差で除した値で、圧入性の指標となる。圧入指数が高いほど圧入性が良く、一定量の流体をより小さい圧力差で貯留層に圧入できる。

図 1.3-3 に圧入指数の経時変化を示す。圧入レートの違いによる影響を小さくするために、圧入レートの範囲を六つに区分して表示している。圧入レートが 21.0-22.4 万 t-CO<sub>2</sub>/年の場合の圧入指数 (赤のひし形) は 2016 年 4 月の圧入開始から経時的な増加が見られ、2018 年 5 月頃までに約 4,000 m<sup>3</sup>/d/MPa まで増加した。これは累計圧入量の増加に伴う坑井周辺の CO<sub>2</sub> 飽和率の上昇に起因すると推察される。また図 1.3-2 にも示されているが、圧入レートが増えるほど圧入区間が拡大すると推定され、それが圧入指数の増加要因にもなっていると考えられる。

一方、長期圧入停止後の 2019 年 3 月における圧入指数は約 3,200 m<sup>3</sup>/d/MPa であり減少した。長期圧入停止中は CO<sub>2</sub> の浮上や地層水への溶解により圧入区間周辺の CO<sub>2</sub> 飽和率が低下する可能性があり、そのために圧入指数が減少したと推察されるが検証はできていない。今後の圧入状況を踏まえた上で検討する必要がある。

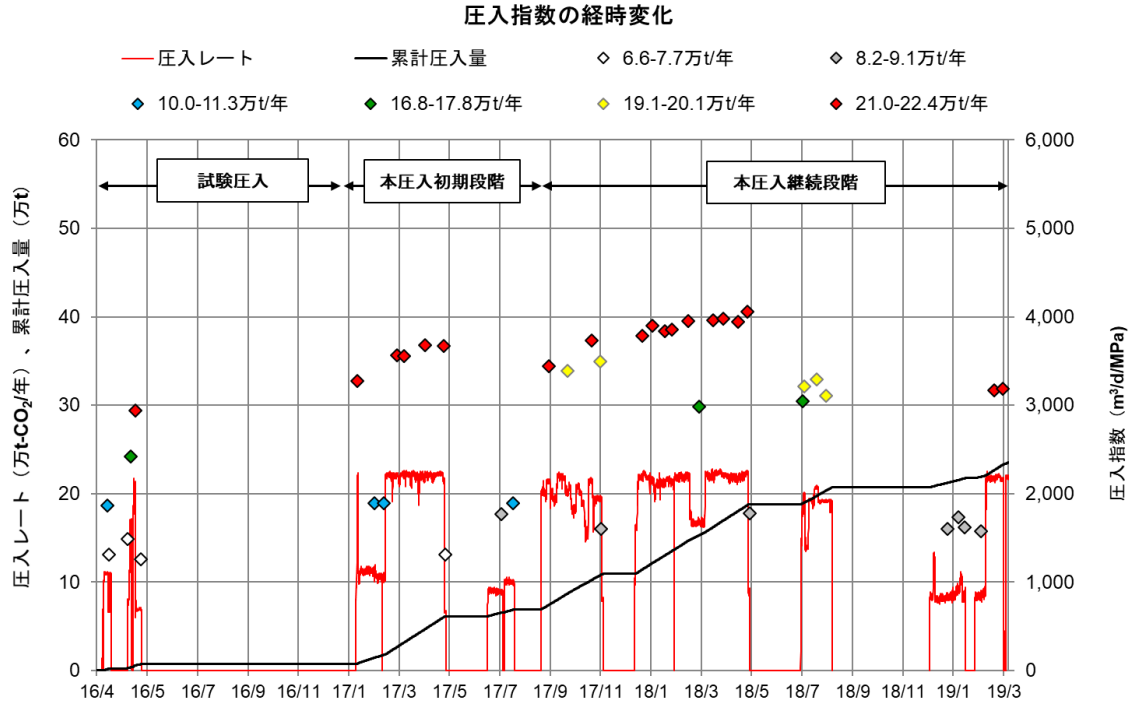


図 1.3-3 本圧入における圧入指数の経時変化

### 1.3.2 滝ノ上層への圧入

#### (1) 滝ノ上層への圧入実績

滝ノ上層圧入井 IW-1\*3) (以降、「IW-1」と称する。)は2018年2月6日に第1回試験圧入を開始したが2月23日に高圧CO<sub>2</sub>圧縮機が緊急停止したため圧入停止した。図1.3-4に2018年度の圧入実績を示す。7月31日に第2回試験圧入を開始し、坑内のブライイン置換を継続した。累計圧入量が63 t-CO<sub>2</sub>に達した8月15日に坑内のブライインがCO<sub>2</sub>に置換したとみなし、8月16日から最大レート(PTセンサー圧力37.50 MPaG以下で連続圧入可能な最大レート)調査に移行した。本試験期間中に最大レートは確認できなかったが、管内流動シミュレーション結果から108~144 kg/-CO<sub>2</sub>/h(933~1260 t/年相当)の範囲にあると推定された。IW-1へは年間で61 t-CO<sub>2</sub>、プロジェクト開始から2019年3月31日までに98 t-CO<sub>2</sub>を圧入した。

\*3) IW-1：滝ノ上層へのCO<sub>2</sub>圧入井(2015年度に掘削)

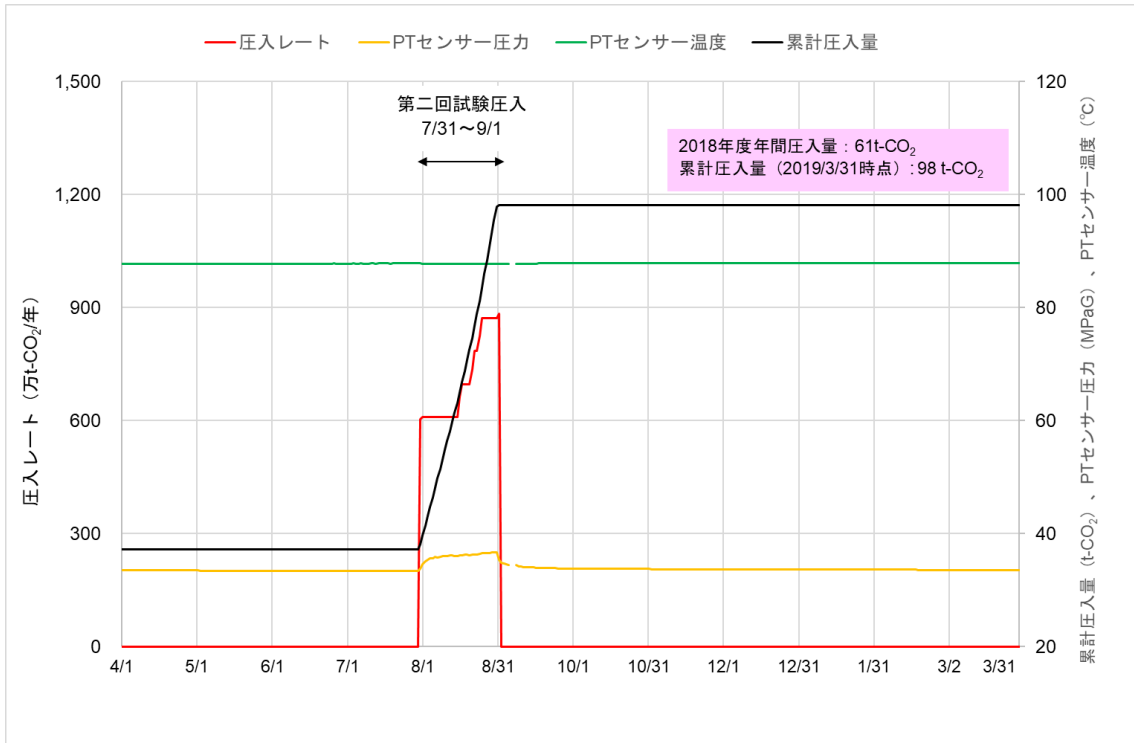


図 1.3-4 IW-1 の圧入実績 (2018 年度)

(2) 圧入区間

図 1.3-5 に IW-1 における推定圧入区間を示す。貯留層圧力（黒の実線）にスレッシュホールド圧力を加算した圧力（茶色の実線）と各圧入レート時の坑内圧力（赤色、黄色、緑色、青色、紺色の実線）を比較して CO<sub>2</sub> の圧入区間を推定したものである。灰色の実線は NMR 検層データから評価された浸透率を示す。圧入時の坑内圧力はいずれの深度でも貯留層圧力より高く、スレッシュホールド圧力を考慮しても、仕上げ区間のほぼ全区間が圧入区間になりうると推定された。また、レートアップに伴い坑内圧力が上がることで、スレッシュホールド圧力の高い領域にも CO<sub>2</sub> が入り始める可能性が示唆された。このことが、レートアップにより圧入指数が増加する要因の一つである可能性はあるが、対象が低浸透領域であることから影響は小さいと考えられる。

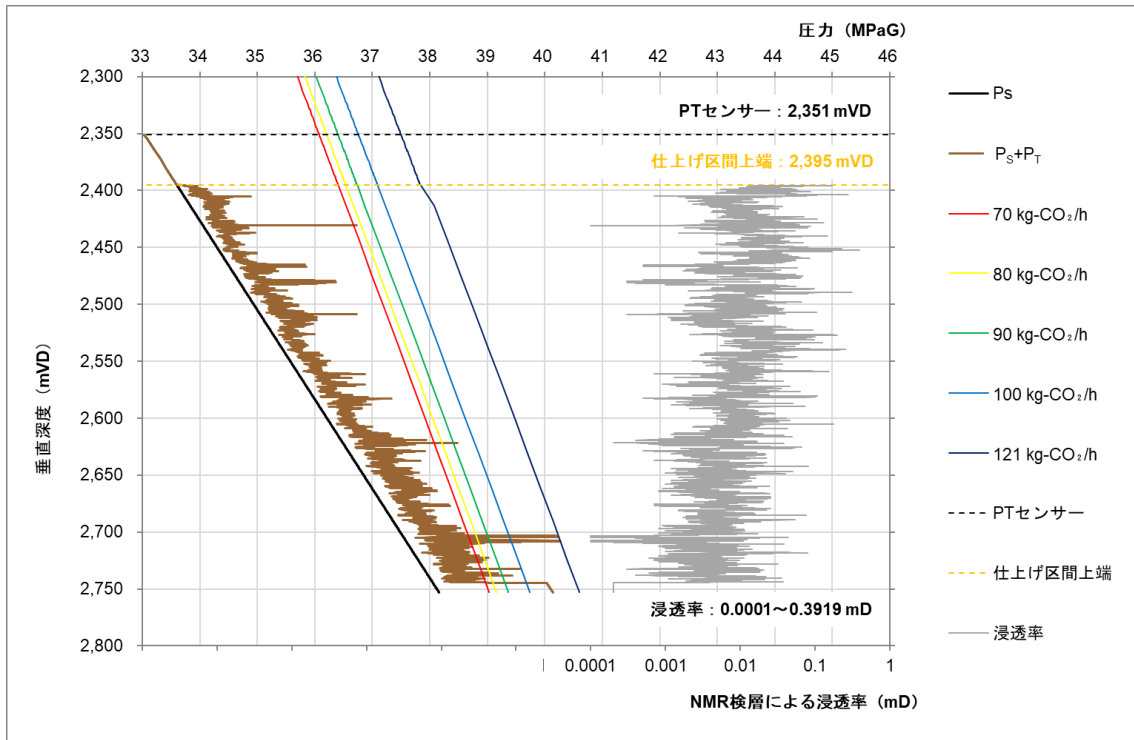


図 1.3-5 IW-1における推定圧入区間

### (3) 圧入指数

圧入レートを質量レートから体積レートに換算するために、PT センサー深度および仕上げ区間上端深度の圧力、温度における CO<sub>2</sub> 密度を用いた。表 1.3-1 に各圧入レートにおける PT センサーと仕上げ区間上端の圧力および圧入指数を示す。圧入レートが増加するほど、PT センサー圧力および仕上げ区間上端の圧力は上昇した。

表 1.3-1 各圧入レートにおける坑内圧力と圧入指数 (IW-1 第 2 回試験圧入)

圧入段階	日付	圧入レート (kg-CO <sub>2</sub> /h)	PTセンサー			仕上げ区間上端		
			Pwf (MPaG)	ドローダウン (MPa)	圧入指数 (m <sup>3</sup> /d/MPa)	Pwf (MPaG)	ドローダウン (MPa)	圧入指数 (m <sup>3</sup> /d/MPa)
試験圧入	推定値	0	33.28	0.0	-	33.60	0.00	-
	8/16	70	36.08	2.80	0.79	36.40	2.80	0.79
	8/21	80	36.21	2.93	0.85	36.53	2.93	0.85
	8/24	90	36.40	3.12	0.90	36.73	3.13	0.90
	9/1	100	36.76	3.48	0.89	37.09	3.49	0.89

IW-2 ではそれぞれの圧力の上昇傾向に差が見られたが IW-1 は同程度であった。圧入レートを変更しても PT センサー～仕上げ区間における CO<sub>2</sub> の密度変化が小さいことや低流速のため圧力損失が無視できるほど小さいことが要因と考えられる。



#### 1.4 貯留したCO<sub>2</sub>のモニタリング(第4章)

本事業では、貯留したCO<sub>2</sub>のモニタリングとして、地震観測システムおよび弾性波探査を用いた、微小振動と自然地震の発生状況および地下の状態変化の把握を実施している。

3本の観測井OB-1、OB-2およびOB-3内に設置した地震計、FBG\*4)センサー(温度・圧力を計測)、半導体圧力センサー、DTS\*5) (温度)、萌別層砂岩層と滝ノ上層T1部層の圧入地点の直上を横切る海底に敷設した受振測線長3.6kmの常設型OBC(Ocean Bottom Cable)、萌別層圧入地点直上とその近傍の海底に設置した4台のOBS(Ocean Bottom Seismometer)、CO<sub>2</sub>の圧入地点の北西の陸域に設置した地震計(以下、「陸上設置地震計」と称する。)および圧入井IW-1とIW-2に設置した温度、圧力計からなる観測システムを構築した。図1.4-1に各モニタリングの実施位置を、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、総合モニタリングシステムの諸機能を利用し、CO<sub>2</sub>圧入地点近傍(CO<sub>2</sub>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と本実証試験の周辺地域(CO<sub>2</sub>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\*6)を把握した。

観測システムによるモニタリングに加え、CO<sub>2</sub>圧入開始前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している。2018年度は第3回モニター調査(二次元弾性波探査)を実施し、2013年度に実施したベースライン調査との比較解析を実施した。第3回モニター調査にあわせて、萌別層圧入区間より北部の領域を対象とする小規模三次元弾性波探査を実施し、CO<sub>2</sub>の分布が当初想定より北側に拡大した場合に備えたベースライン調査記録を取得した。各観測井の温度、圧力等のモニタリング結果、微小振

\*4) FBG (Fiber Bragg Grating) : 光ファイバのコア部に周期的な屈折率変化を形成したデバイス。屈折率変化は回折格子(グレーティング)として働き、回折格子の周期が作るブラッグ反射条件を満たす波長の光のみを反射させるため、ブラッグ波長を観測することによりFBGに加えられた歪(圧力)と温度を観測することができる。

\*5) DTS (Distributed Temperature Sensor) : 光ファイバを用いた温度センサー。温度分布を深度方向に連続的に計測できる。

\*6) 陸上設置地震計の観測データに加え、(国研)防災科学技術研究所(NIED)から本実証試験地域周辺にあるHi-net (High Sensitivity Seismograph Network Japan)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)のデータの提供を受け、独自に自然地震の震源解析を実施している。なお、Hi-netは、日本各地、地域ごとの地震の特徴を詳しく把握するために約20km間隔で設置された無人で微弱な揺れの感知が可能な24時間連続稼働の高感度地震観測網であり、1996年に観測が開始され、2011年時点で日本全国に約800箇所の観測点が配置されている。観測データは常時、中央局(データセンター)に送られ、気象庁による緊急地震速報や地震発生後の震源決定、地震調査委員会による地震活動の現状把握、高精度即時震源パラメータ解析システム(AQUA)等、様々に利用されている。

動、自然地震の発生状況および海洋環境調査結果等は、情報公開システムを利用して発信した。

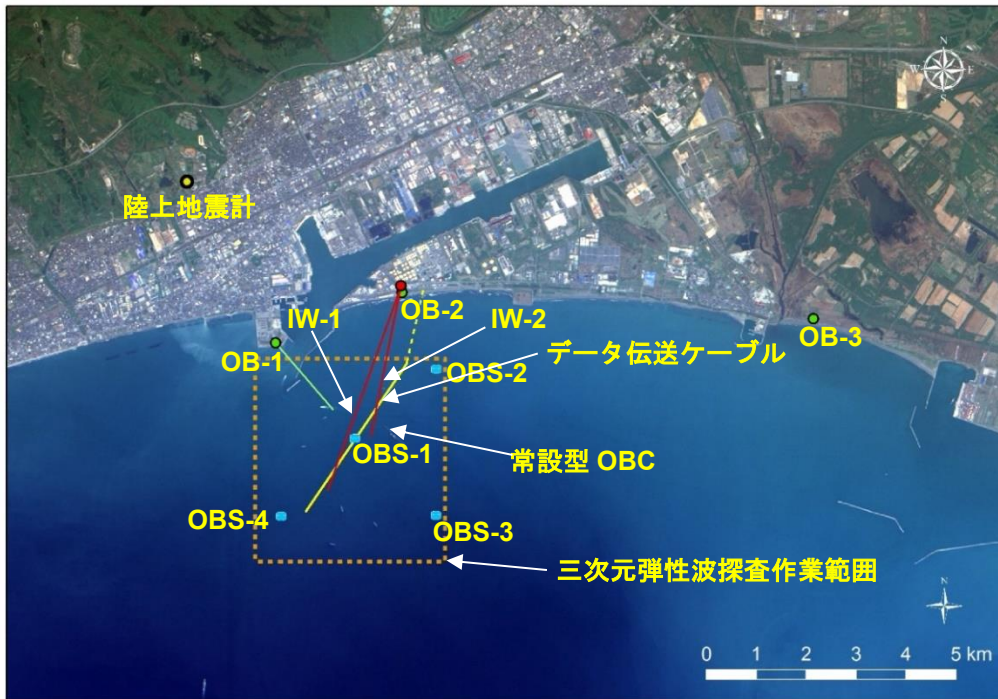


図 1.4-1 モニタリング実施位置

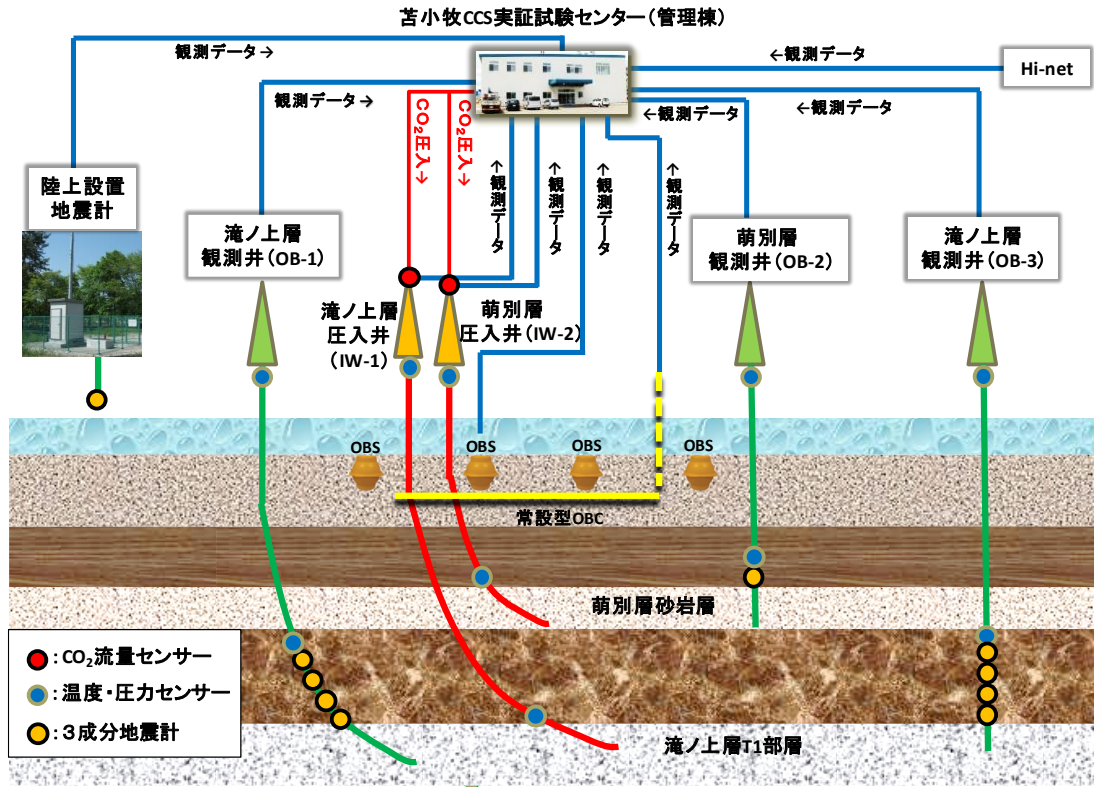


図 1.4-2 観測システムの全体構成

#### 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。

図 1.4-3 に観測システムの略図を示す。坑内には、坑口に近い方から FBG（Fiber Bragg Grating）センサーと半導体圧力センサーを内部に組み込んだケーブルヘッド、地震計、CCL<sup>\*7)</sup>（Casing Collar Locator）、最下部にシンカーバー（重錘）を ITC<sup>\*8)</sup>

（Interconnect Tool Cable）で接続した多連編成で設置している。また、地表付近のノイズ状況を把握するため、2016年度に各観測井の近傍の地表付近（埋設深度 50 cm 程度）に地震計（以下、「リファレンス地震計」と称する。）を設置した。

\*7) コイルと永久磁石で構成され、前後より肉厚なケーシングジョイント部を通過すると CCL コイル内の磁場が変化し、コイルに電流発生する。この信号を利用してツールストリング降下状況を確認する（外径：41.3 mm、長さ：432 mm）

\*8) メタル線 8 芯のアーマードケーブル（φ12 mm）

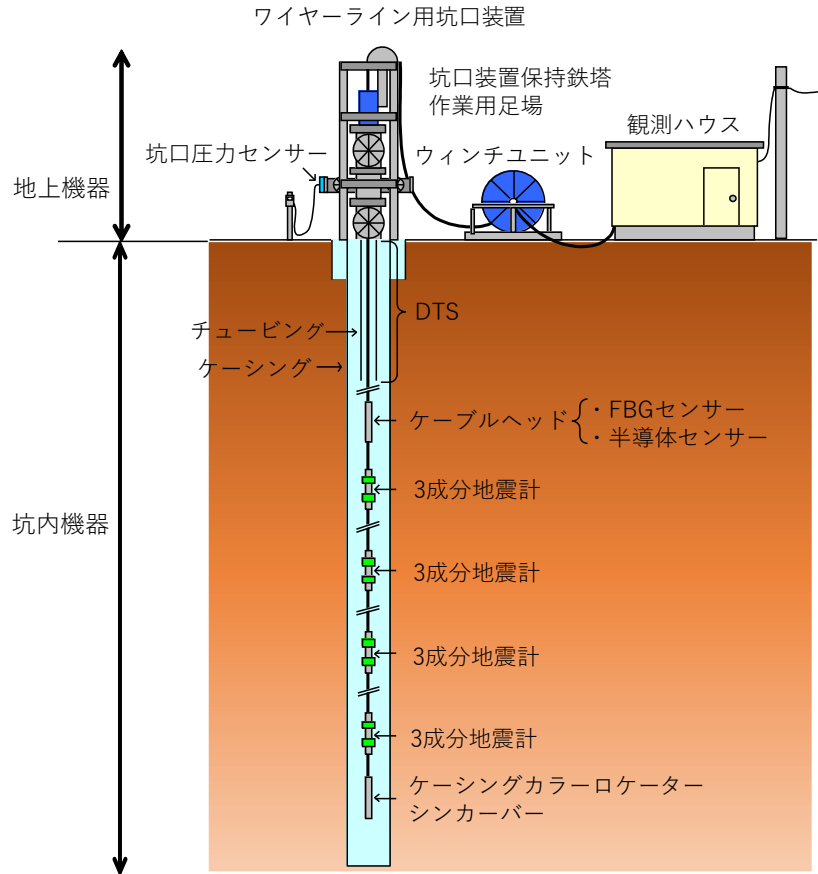


図 1.4-3 観測井システム

坑内に設置した各観測機器で取得したデータは、ITC ケーブルおよびケーブルヘッドに接続されたアーマードケーブルを経て観測ハウス内に設置されているデータ収録装置に伝送される。また、観測井の坑口には坑口圧力観測機器が設置されており、別系統でデータ収録装置に接続されている。観測ハウス、実証試験センターおよびメンテナンス拠点間にはVPN\*9)を構築しており、観測ハウス内のデータ収録装置から実証試験センターのデータ保管ストレージに観測データを送信する。

#### 1.4.2 陸上設置地震計によるモニタリング

苫小牧市内の深度約 200 m の観測孔の孔底に地震計を設置し、近傍に設置した観測小屋にデータ収録装置および周辺機器を格納している。また、当センターにはデータ収録サー

\*9) Virtual Private Network : 通信事業者の公衆回線を経由して構築された仮想的な組織内ネットワークである。企業内ネットワークの拠点間接続等に使用され、あたかも自社ネットワーク内部の通信のように遠隔地拠点と通信が可能である。本観測システムでは、暗号技術を用いる事で IP パケット単位で改竄検知や秘匿機能提供する IPsec (Security Architecture for Internet Protocol) 方式を採用しており、暗号化をサポートしていないトランスポート層やアプリケーションを用いた通信路の途中での通信内容の覗き見や改竄も防止することができる

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、データ収録サーバに伝送される。これら設備から構成される陸上設置地震計観測システムと称する(図1.4-4参照)。

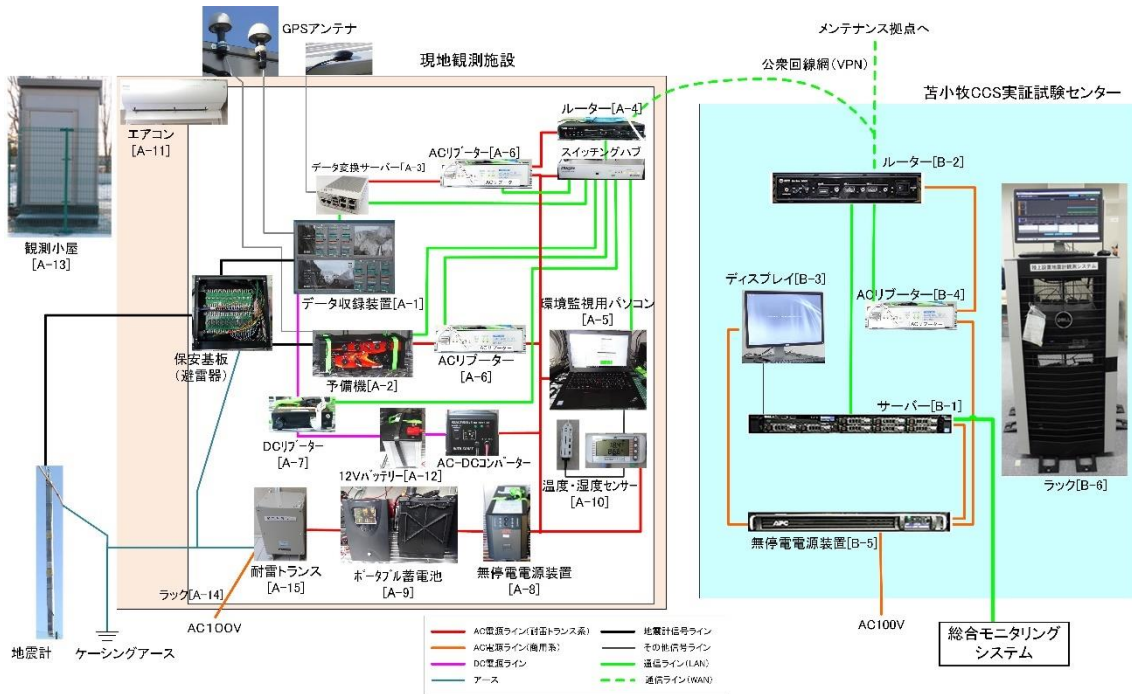


図 1.4-4 陸上設置地震計観測システムの構成図

2018年度の観測では、計525,600個(60分×24時間×365日)の観測データを得た。陸上設置地震計観測システムにより捕捉した月ごとの自然地震の数を表1.4-1に示す。

表 1.4-1 陸上設置地震計観測システムで観測した自然地震

年	2018年										2019年			計
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
回数	20	19	15	31	27	291	59	38	23	18	25	19	585	
	—	—	—	—	—	270	35	12	4	4	10	2	337	

注) 回数欄の下端は、胆振東部地震の余震とみられる地震。上段の内数

### 1.4.3 常設型 OBC によるモニタリング

2018年度を通して、常設型 OBC 観測システムによるデータ取得を継続実施した。

常設型 OBC 観測システム(米国 Geospace 社製)は、センサーケーブル部、データ収録部およびセンサーケーブル部とデータ収録部を繋ぐデータ伝送ケーブル部により構成される。図 1.4-5 に常設型 OBC 観測システムの構成を示す。

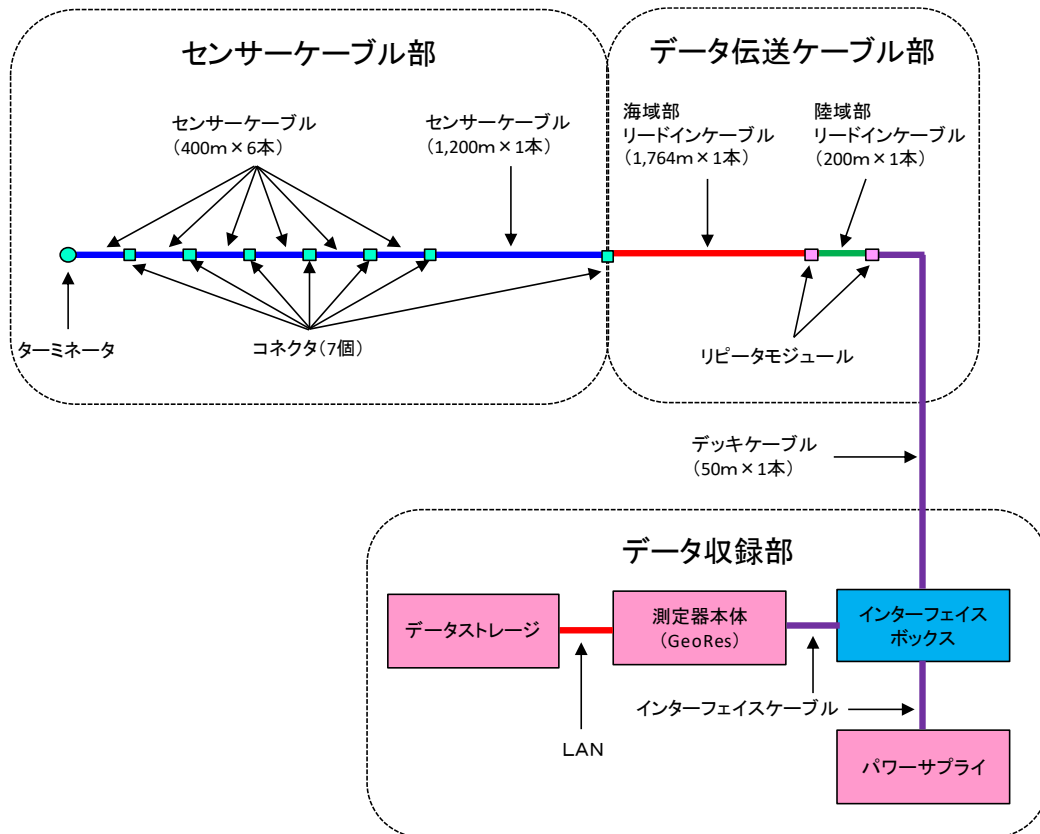


図 1.4-5 常設型 OBC 観測システム構成の概念図

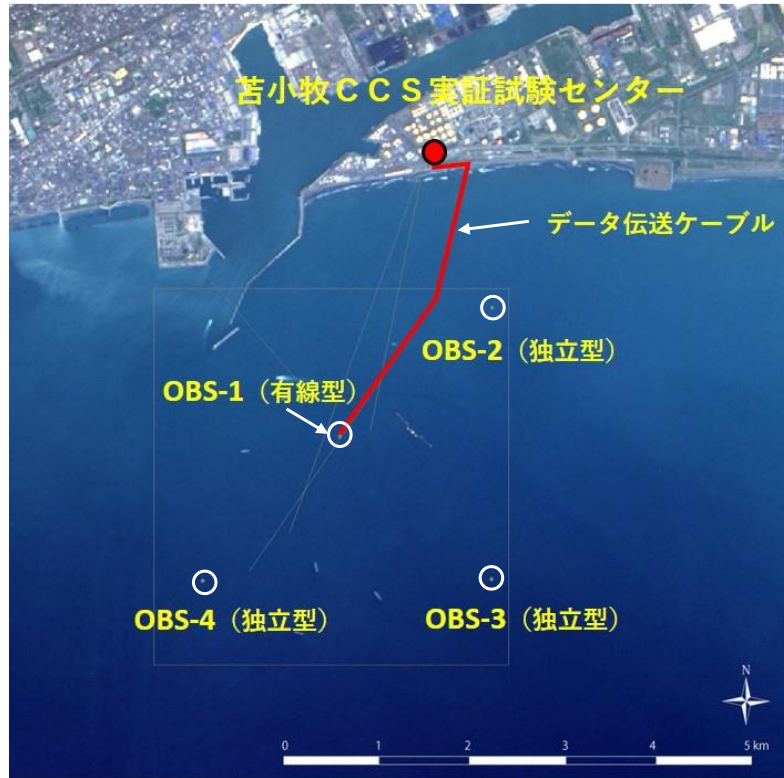
2018年度を通して常設型 OBC による観測（55 モジュール×4ch=220ch）を実施した。GeoRes<sup>\*10</sup>のシステムテスト、現地保守点検および不具合対応以外は問題なく観測を実施した。

#### 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（OBS-1、OBS-2、OBS-3およびOBS-4）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。OBS-2、OBS-3およびOBS-4は、機器内に波形記録を収録する独立型OBSであり、OBS-1は取得データを接続ケーブルにより、リアルタイムで伝送する有線型OBSである図1.4-6に苫小牧CCS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。

\*10) 4成分×72センサーユニットに対応可能な測定器（GeoRes HC-E：Geospace社製：GeoResと称する）で、常設型OBC観測システムのデータ収録部の測定機本体である



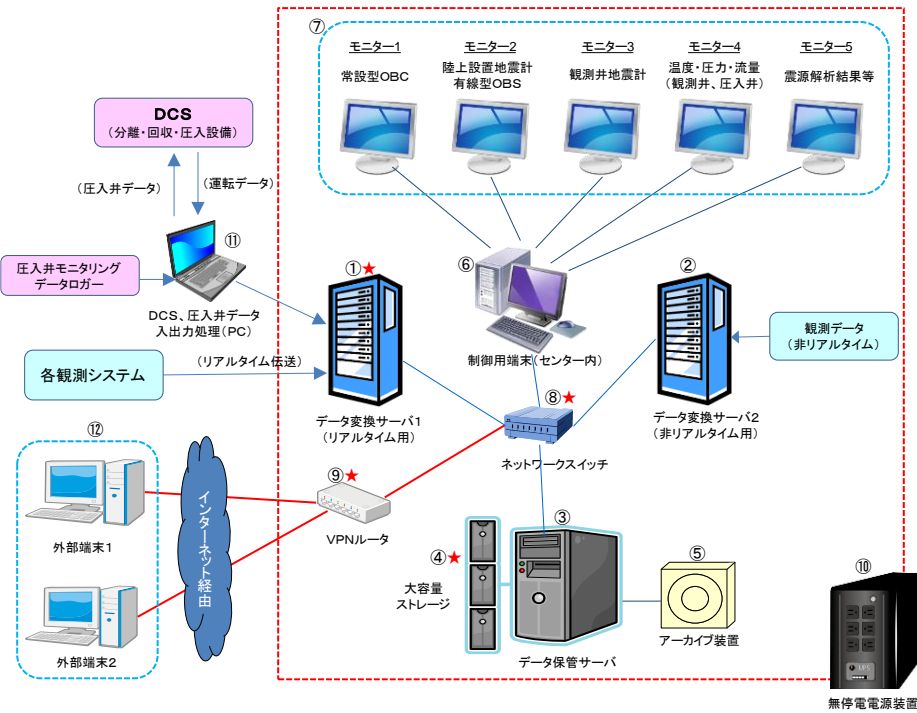


注) 出典：「LC81070302016141LGN00, courtesy of the U.S. Geological Survey」を加工  
 図 1.4-6 実証試験センター、OBS 設置位置およびデータ伝送ケーブル位置図

#### 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、3本の観測井（OB-1、OB-2 および OB-3）内に設置した各種測定機器（地震計、FBG センサー（温度・圧力を計測）、半導体圧力センサー、DTS）、萌別層砂岩層と滝ノ上層 T1 部層の圧入地点の直上を横切る海底に敷設した受振測線長 3.6 km の常設型 OBC、萌別層圧入地点直上とその近傍の海底に設置した 4 台の OBS、CO<sub>2</sub> の圧入地点の北西の陸域に設置した地震計および圧入井 IW-1 と IW-2 に設置した温度・圧力計から取得される観測データ、CO<sub>2</sub> 分離・回収/圧入設備の DCS<sup>\*11)</sup>から受け取る操業データおよび Hi-net データを一元管理、また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。本システムは 2015 年度までに構築した。図 1.4-7 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。

\*11) DCS (Distributed Control System : 分散制御システム)



注) 2018年度に更新した機器を★で示す。

図 1.4-7 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が有する主な機能は次のとおりである。

- 1) データ管理機能、2) データの時系列表示機能、3) 異常検出機能、4) 振源・震源\*12)決定機能、5) 振源・震源分布等表示機能

2018年度も2017年度に引き続き、圧入時および圧入後の微小振動・自然地震モニタリングを実施した。対象データは、2018年4月1日～2019年3月31日の期間中に観測されたモニタリングデータおよびモニタリング対象領域周辺のHi-netデータである。

2018年9月6日に発生した北海道胆振東部地震により当センターも停電となり、この間、NTT回線の障害も発生したため、総合モニタリングシステムの復旧は9月8日11:50頃となった。実証試験センターと各観測点の電源供給の再開、通信回線の復旧タイミングがずれたため、総合モニタリングシステムの復旧後に保存されている各観測データの確認と整理を実施した。

### 1.5 貯留層等総合評価 (第5章)

圧入井の圧力解析を行い、その結果に基づき、貯留層性能の変化の有無、坑井の健全性の確認等を行っている。2018年度は圧入中および圧入中断時の圧力解析と流動シミュレー

\*12) 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。



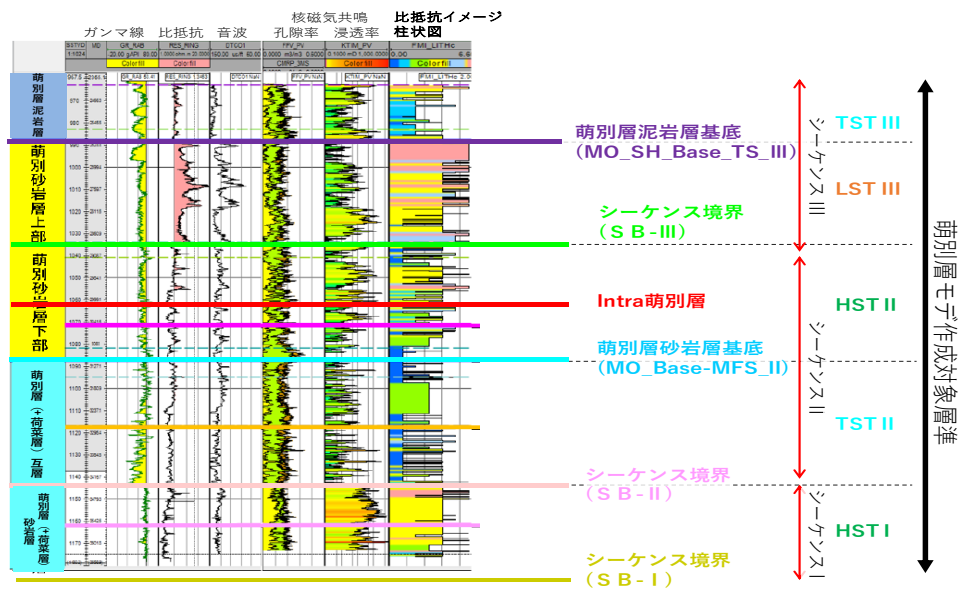
シオンに使用する貯留層パラメータの最適化検討、弾性波探査の解析から推定される貯留層内のCO<sub>2</sub>分布範囲との整合性検討等を実施した。

### 1.5.1 萌別層貯留層モデルの更新

流動シミュレーションや流動地化学連成シミュレーションを実施するため、貯留層モデルを作成した。貯留層モデルを作成するためのグリッドモデルは、対象範囲内に位置する坑井の確認層序を基準とし、弾性波探査記録の解析と総合して作成した。

#### (1) 弾性波探査データの解析

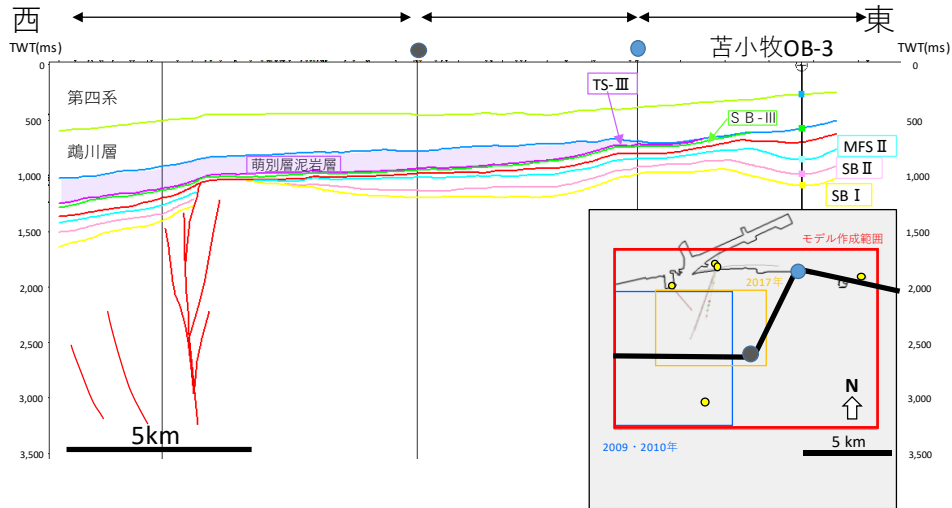
解析ホライズンは2017年度以前を基本的に踏襲し、坑井層序とシーケンス層序学的な観点からシーケンス境界（以下、「SB」と称する。）、最大海氾濫面（以下、「MFS」と称する。）、海進面（以下、「TS」と称する。）等を設定し弾性波探査記録上で追跡した（図1.5-1）。



HST：高海水準期堆積体、TST：海進期堆積体、LST：低海水準期堆積体  
 シーケンス I (Sq I)には LST I、TST I、HST I が含まれると推定されるが、主に HST I からなるため、HST I 記載（以降同様）。

図 1.5-1 苫小牧 IW-2 における萌別層貯留層モデル作成層準のシーケンス層序区分

図 1.5-2 は弾性波探査解析を元に作成した時間ホライズントレース断面である。この断面において萌別層貯留層の遮蔽層である紫色に着色した萌別層泥岩層が対象地域の北東側において鵜川層基底に削剥され欠如することを示している。

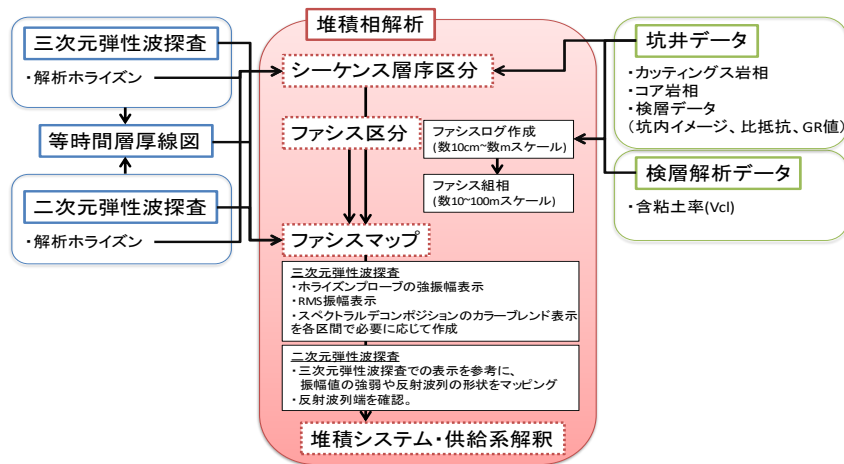


注) 対象範囲の北東部では、萌別層泥岩層(遮蔽層)は鶴川層に削剥され消滅する。

図 1.5-2 弾性波探査解析を元に作成した断面図

## (2) 堆積相解析

萌別層(+荷葉層)砂岩層～萌別層砂岩層の分布を推定するために、CCS-1、IW-2、OB-2、OB-3の4坑井のデータおよび3D弾性波探査データ、2D弾性波探査データを用いて堆積相解析を実施し、堆積システムについて考察を行った。堆積相解析は図1.5-3に示す手順により実施した。



注) ファシス区分は堆積相区分に相当する。主な解析材料が検層データであり、直接地層を解析したものでないため、「ファシス区分」とした。ファシス組相も堆積組相に相当するが、同様の理由により「ファシス組相」とした。

図 1.5-3 堆積相解析作業ののワークフロー

シーケンス層序学的検討により、萌別層(+荷菜層)～萌別層は3つの堆積シーケンス(下位からシーケンスⅠ、シーケンスⅡ、シーケンスⅢ)に区分され、基底面がシーケンス境界(SB-I、SB-II、SB-III)と定義できる(表1.5-1)。SB-II～SB-III間のシーケンスⅡ内には、最大海氾濫面であるMFS-IIが、シーケンスⅢ内には海進面であるTS-IIIが定義でき、それぞれ萌別層砂岩層基底、萌別層泥岩層基底に相当する。

表 1.5-1 シーケンス層序区分

シーケンス層序区分	同時間堆積体	ゾーン名	相当する層準名	ホライズン	ホライズン略称
				鵜川層基底	MU_Base
Sequence III	TST	TST III	萌別層泥岩層	萌別層泥岩層基底	MO_SH_Base_TS_III
	LST	LST III	萌別層砂岩層上部	シーケンス境界SB III	SB_III
Sequence II	HST	HST II	萌別層砂岩層下部	萌別層砂岩層基底	MO_Base-MFS_II
	LST-TST	LST-TST II	萌別層(+荷菜層)互層	シーケンス境界 SB II	SB_II
Sequence I		Sq I	萌別層(+荷菜層)砂岩層	シーケンス境界SB I	SB_I

注) Sq I には LST I、TST I、HST I が含まれると推定している。

堆積相解析から、対象地域の堆積システムと堆積物の供給系を解釈した。以下に萌別層砂岩層の検討結果を示す。

① 萌別層(+荷菜層)砂岩層(シーケンスⅠ/SB-I～SB-II)

この層準は対象区間における最下位区間となる。3D弾性波探査データのホライズンプローブの検討では、下部と上部に二分して解釈した(図1.5-4 a)、b)。同図の着色された部分の中部には南北方向に延びる断層が推定されており、その断層の西側に正負の強振幅反射波が広く分布する。その分布域は、本層準の下部よりも上部においてより西側に移行する傾向が認められる。断層の東側には図1.5-4 a)、b)で白く着色した範囲周辺で構造的な高まりがあり、この層準の堆積物が分布しない。また、北東部にはやや強い正負の振幅値の反射波が分布する。RMS振幅でも同様の傾向が認められる(図1.5-4 c)。既存坑井の2D弾性波探査記録では、西あるいは南へのベースラップが認識され、北東方向から、西～南側への堆積物の供給を示唆する。

以上および坑井ファシス組相から、OB-3を含む北～東部のエリアは粗粒デルタのスロープ下部であると解釈した。既存坑井の2D弾性波探査記録では、このエリアに短い強反射もしくは凹状の反射が認められ、この部分を流路(チャンネル)が発達するゾーン

と考へ、その周辺部の連続的な強反射が発達する部分を粗粒デルタ末端のスプレイと解釈した。その西側の CCS-1 と IW-2 を含むエリアは、粗粒デルタのプロデルタの堆積環境を示しているものと解釈した。IW-2 の比抵抗イメージ検層でみられた厚いタービダイト砂岩のようなファシスを含むローブが発達しているものと解釈した。また、断層の西側はプロデルタと推定したエリアよりも構造的に下がっており、また層厚も増す傾向が認められることから、プロデルタよりも沖合で水深が深いスロープの堆積環境であったと解釈した。このエリアには強振幅反射波が広がっていることから、プロデルタを越えて沖合に供給された粗粒堆積物のローブが堆積している可能性もありえる。

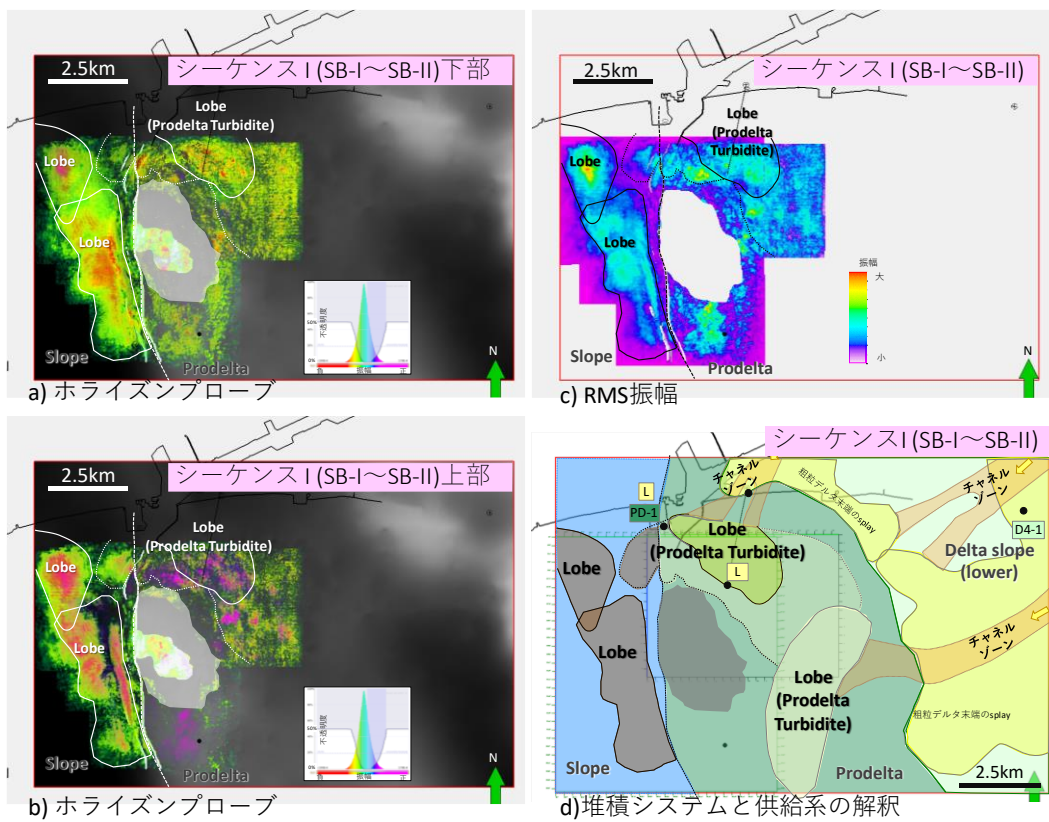
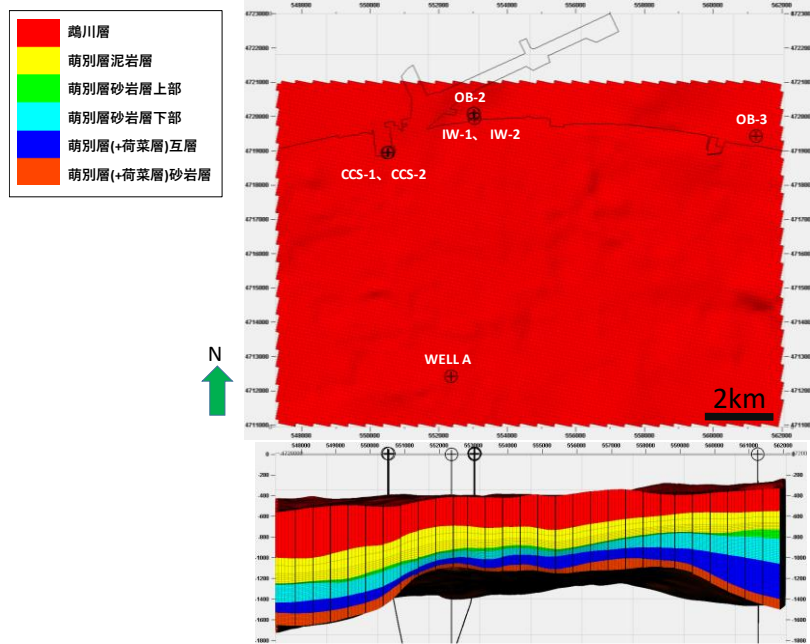


図 1.5-4 萌別層（+荷菜層）砂岩層（シーケンス I /SB-I~SB-II）の堆積システムと堆積物供給系の解釈

### (3) 萌別層地質モデルの作成

作成した深度構造図を用いて地質モデルのグリッドモデルを作成した。グリッドモデルは、弾性波探査記録を解析して得た各ホライズン間を 6 ゾーンに区分し、それぞれのゾーンを任意のレイヤー数で垂直方向を分割し、平面的には 100 m×100 m となるように分割してセル化した。貯留層区間の垂直方向のセルサイズは、IW-2 において 5 m 程度になるよ

うに設定した。作成したグリッドモデルの概要を図 1.5-5 に示す。



注) (上) 上方からの外観。(下) 南方向からの外観。

図 1.5-5 グリッドモデルの概要

ファシス組相分布の推定結果と坑井におけるファシス組相の解釈結果をハードデータ(基準)として用いて、地球統計学的手法にもとづいてファシス分布を推定した(図 1.5-6)。ファシス組相をなすファシスの組み合わせの範囲で分布に変化が生じることとなる。



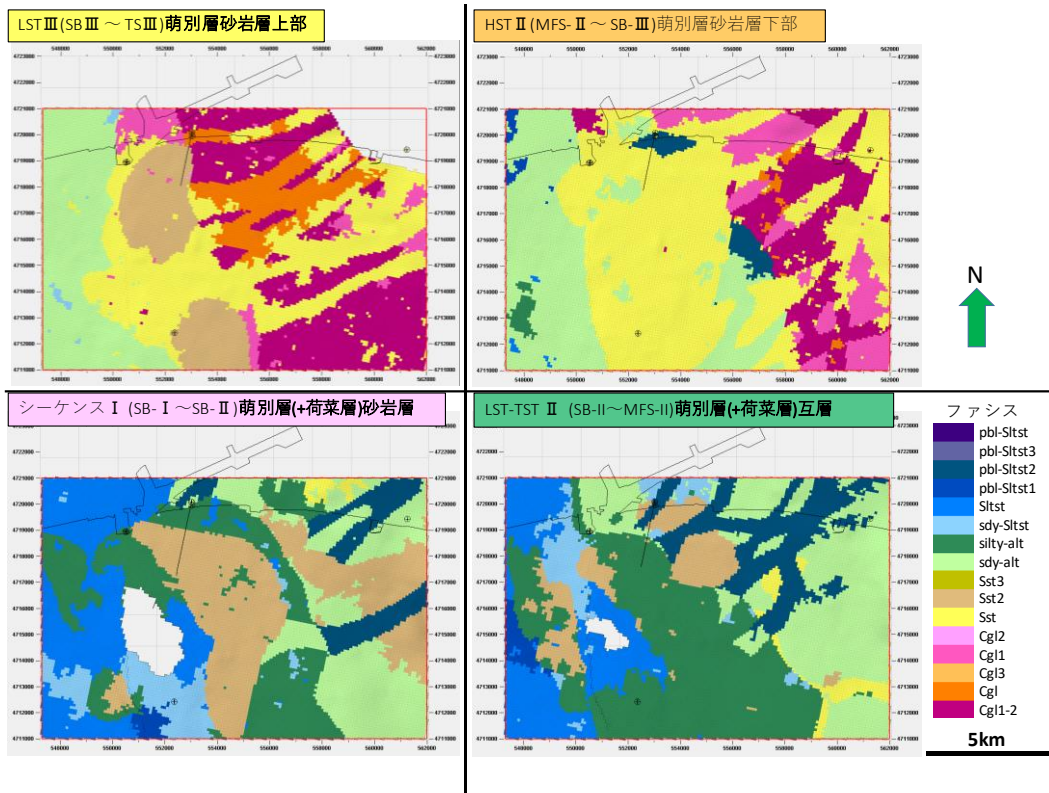


図 1.5-6 地質モデルにおけるファシスの推定

### 1.5.2 IW-2 および OB-2 の圧力予実績

2017年度に作成した貯留層評価モデルの再現性を確認するために、IW-2の圧入実績に応じたシミュレーション値と実績値との比較を行った。

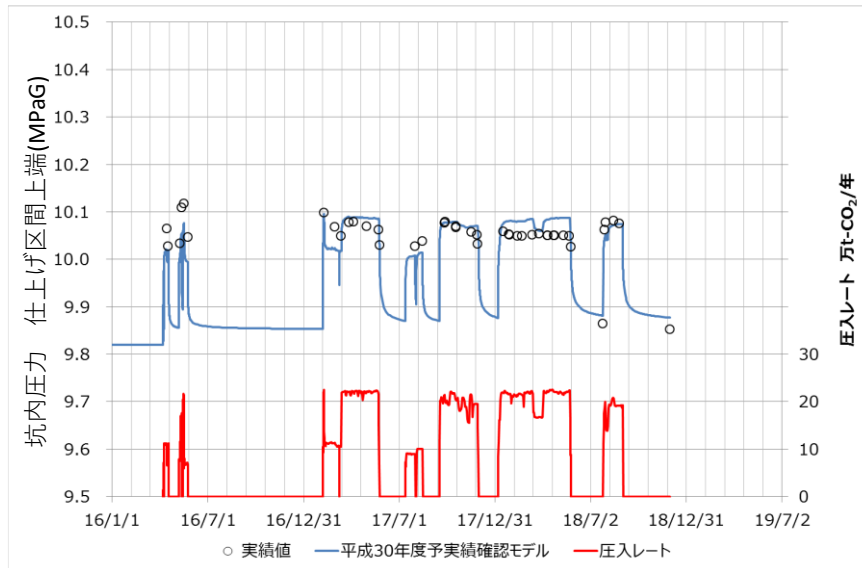
#### (1) 2018年度予実績確認モデルのグリッドシステム

2018年度は目的に応じてフィールドモデルとセクターモデルを使用した。

- 1) フィールドモデル：OB-2まで含めた広域のモデルであり、OB-2の坑底圧力推定に用いた。
- 2) セクターモデル：フィールドモデルから坑井周辺を切り出し、グリッドサイズを細分化したモデル。IW-2の仕上げ区間上端圧力およびログ-ログプロットの予実績比較には本モデルを用いた。

#### (2) 予実績比較結果

予実績比較モデルを用いて、2016年4月6日～2018年11月30日間の圧入実績にもとづいた仕上げ区間上端の圧力推移を推定し、実績値と比較した(図1.5-7)。この結果の目的関数は25 kPaとなり、予実績比較モデルの圧力再現精度は妥当と考えられた。



注) 実績値は、1.3節において圧入能力評価に用いた坑内流送シミュレーションで推定した仕上げ区間上端圧力。圧入停止時の実績値はPTセンサーの圧力からの推定値。2018年度予実績確認モデルは、予実績確認モデルによるシミュレーションで予測した仕上げ区間上端における圧力推移を示す。

図 1.5-7 IW-2における圧入レートと仕上げ区間上端圧力の予実績比較

予実績確認モデルを用いた予実績比較では、2018年11月30日までのIW-2の坑内圧力がほぼ再現されたことから、本モデルで設定した垂直方向の浸透率分布は妥当と考えられる。また、OB-2における坑内圧力観測で示唆される坑内圧力の上昇傾向を、シミュレーションで再現できている可能性がある。

### 1.5.3 2018年度モデルによるヒストリーマッチ

2017年度モデルはIW-2の仕上げ区間上端圧力や各FOTのログ-ログプロットにおけるアーリータイムおよびミドルタイムの再現性は高いが、FOT9、10のレイトタイムの再現性は低い。貯留層の水平方向の不均質性を考慮することでこの点が改善されると期待されたことから、貯留層の不均質性を考慮すべく地質モデルを更新し、そのモデルを用いてヒストリーマッチを行った。2018年度のヒストリーマッチで行った作業概要は以下である。

- 1) フィールドモデルから圧入井周辺を部分的に切り出したセクターモデルを用いて、シミュレーション精度を損なうことなく計算時間を短縮するためグリッドシステムを変更した。
- 2) 坑井データで認められた16の岩相を設定し、それぞれのパラメータを決定した。
- 3) NMRの解析結果、2017年度評価における浸透率分布、2017年度実施の繰り返し3D弾性波探査の解析結果を参照し、各岩相の浸透率を見直した。
- 4) 地球統計学的手法で作成したグリッドシステムが共通で、岩相分布が異なる50個

のセクターモデル(以下、「具現像」と称する。)で、圧入実績の再現性および累積分布関数を評価するとともに、ログ-ログプロットの再現性や繰り返し3D弾性波探査データの解析結果との整合性を確認した。

(1) 2018年度モデルのグリッドシステム

図1.5-8に示すように、フィールドモデルからセクターモデルを切り出し、坑井周辺のセクターモデルのグリッドをさらに細分化した。細分化は坑井が通過する100m×100m×5mのグリッドを最終的に1.23m×1.23m×1.25mとした。

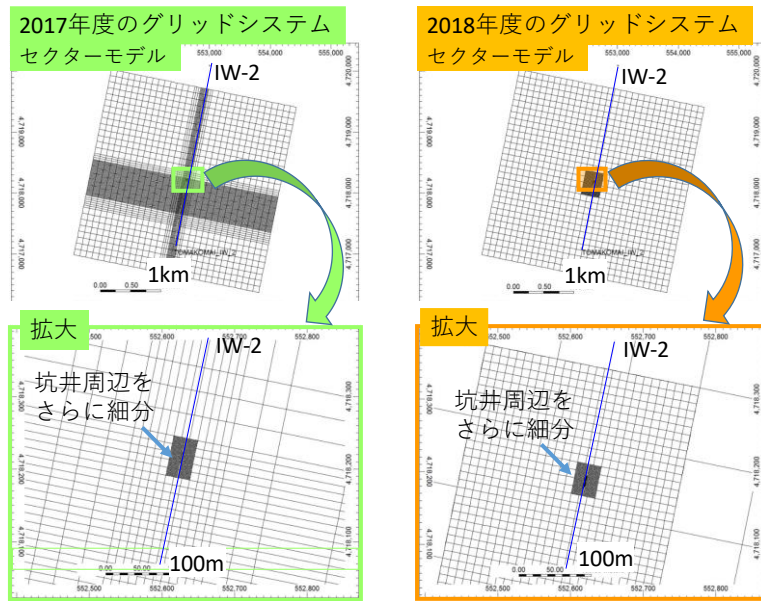


図 1.5-8 2017年度モデルと2018年度モデルのグリッドシステムの比較

ヒストリーマッチに使用したセクターモデルへの入力パラメータは、坑井データから認められた16の岩相のパラメータをIW-2およびOB-2、CCS-1の検層解析に基づき決定した。また、岩相の浸透率については見直しを行った。

岩相分布が異なる50個の具現像を用いてヒストリーマッチを実施し、その精度を4項目(仕上げ区間上端の圧力、圧入指数の推移、FOTのログ-ログプロット、2017年度繰り返し3D弾性波探査の解釈結果との比較)を指標に評価した。

評価した50個の具現像の目的関数は23.4~38.3 kPa、平均値は28 kPaであった。図1.5-9は目的関数が23.4 kPaと最も小さい具現像(具現像38)を用いて、8万t-CO<sub>2</sub>/年および22万t-CO<sub>2</sub>/年でCO<sub>2</sub>を圧入するシミュレーションを実施した際に、CO<sub>2</sub>が圧入される深度と、圧入される全CO<sub>2</sub>に対する当該深度に圧入されるCO<sub>2</sub>の割合を示している。



圧入レートが増えたことで圧入区間が拡張する様子がうかがえる。この結果は圧入レートが増えるほどに圧入区間下端深度が下降する傾向と整合しており、圧入時に想定される圧入状況を再現できている。

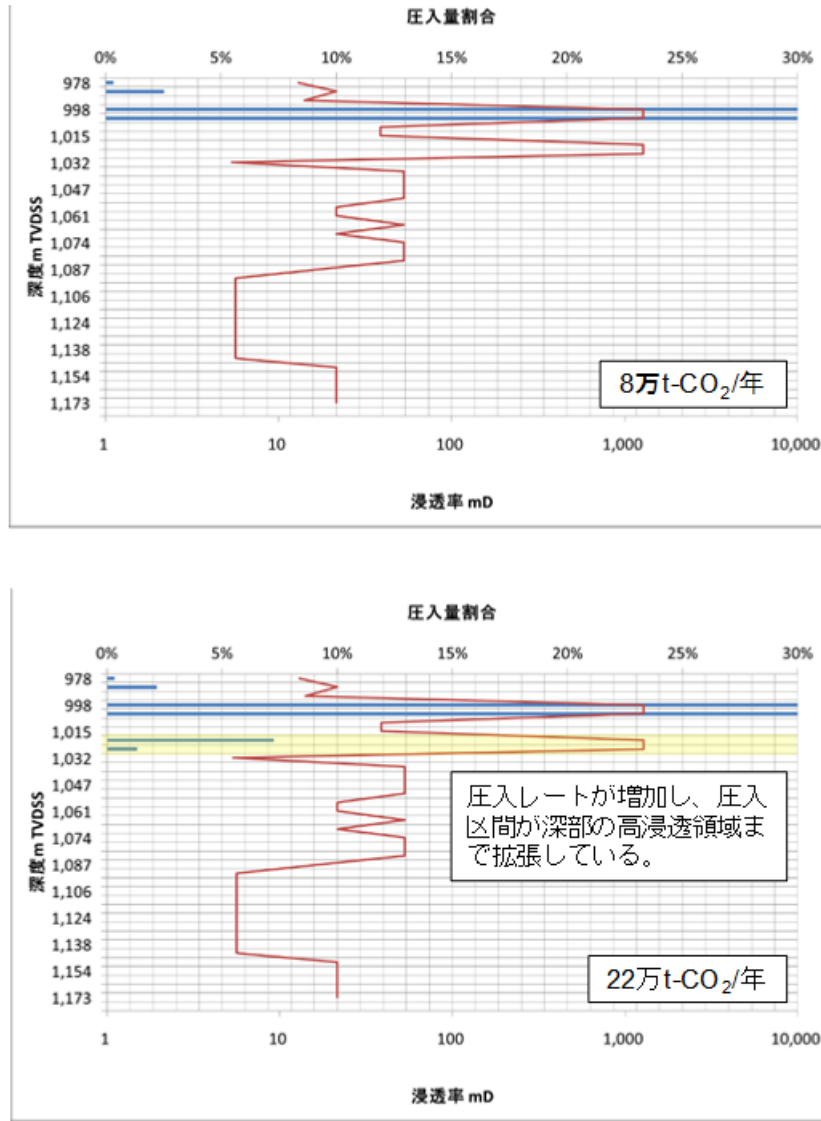
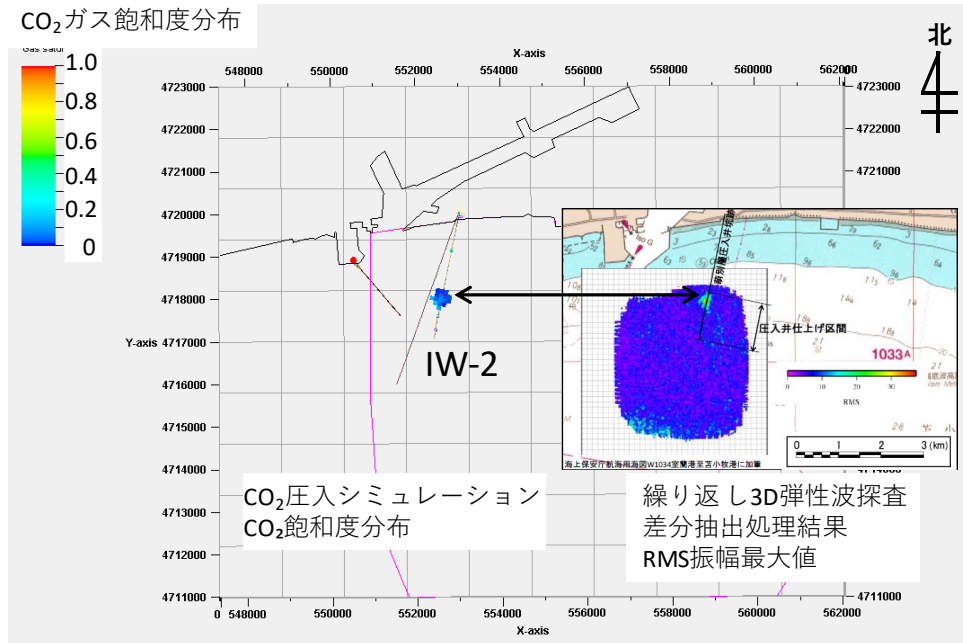


図 1.5-9 圧入レートに応じ再現される圧入量の割合と深度との関係  
(具現像 No.38、上：8万 t-CO<sub>2</sub>/年、下：22万 t-CO<sub>2</sub>/年)

圧入開始前の初期状態で実施した 3D 弾性波探査データと、65,000 トン程度の CO<sub>2</sub> を圧入した、2017 年 8 月 1 日頃に実施した 3D 弾性波探査データとの差分を解析した結果から、RMS 振幅値に異常値が認められた (図 1.5-10 右図)。同時点の貯留層内での CO<sub>2</sub> 飽和度の広がり、目的関数が最も小さい具現像 38 を用いてシミュレーションにより再現した (図 1.5-10 左図)。RMS 振幅値の異常値の広がり、とシミュレーションにより再現し

たCO<sub>2</sub>飽和度の分布範囲は、仕上げ区間の上部付近にて同程度の広がりとなり整合的な結果を示している。RMS振幅値の異常値がCO<sub>2</sub>飽和度の分布を示唆するものであると仮定した場合、具現像38が適切なモデルであると考えることができる。



注) 左図は上方から俯瞰したCO<sub>2</sub>飽和度分布。CO<sub>2</sub>飽和度の下限値は0.001。右図は圧入開始前の初期状態と2017年8月1日頃の、三次元弾性波探査の差分解析結果で示されたRMS振幅の異常値の範囲(緑色)

図 1.5-10 繰り返し 3D 弾性波探査による差分解析結果との比較

#### 1.5.4 IW-2長期挙動予測シミュレーション

ヒストリーマッチで調整したパラメータを用いて、CO<sub>2</sub>を圧入し、圧入中および圧入後の挙動を予測する長期挙動予測シミュレーションを実施した。

##### (1) 使用した貯留層モデル

122通りの岩相分布を有する具現像について圧入実績に準ずる圧入をシミュレーションし、目的関数が25 kPa以下となる具現像を30個抽出し、その中で最も目的関数が小さい具現像の地質モデルをシミュレーションに使用した。

使用した地質モデルは、全体のグリッドサイズが100 m×100 m×5 m程度となるフィールドモデルを使用した。使用した地質モデルは、ヒストリーマッチでは計算時間を短縮するためにセクターモデルを使用し、長期挙動予測シミュレーションではフィールドモデルを使用した。また、地質モデルの端のグリッドに入力する貯留層の有効孔隙を増加させることで、地質モデルの境界が開いたモデルを設定した。

(2) 長期挙動予測シミュレーション結果

2018年11月30日までの圧入実績に加え、それ以降は計画圧入レートで圧入する3ケースについてCO<sub>2</sub>を圧入しその挙動を予測する長期挙動予測シミュレーションを実施した(表1.5-2)。

表 1.5-2 シミュレーション実施ケースの設定

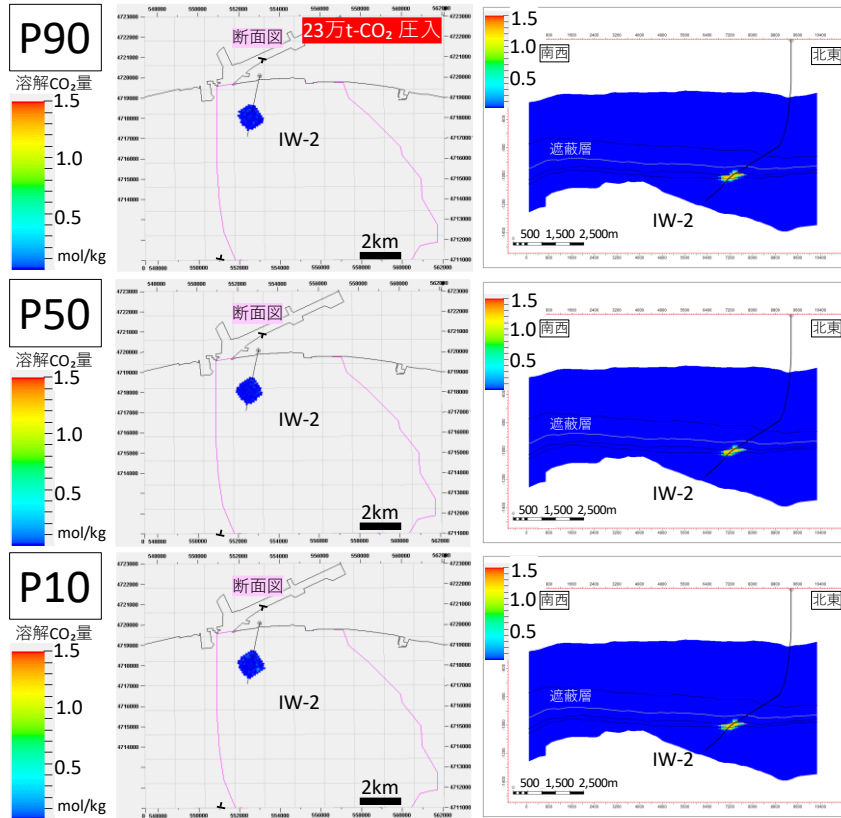
	圧入期間	累計圧入量	備考
ケース1	2016/4/6~2019/3/31 まで	23 万 t-CO <sub>2</sub>	2018/11/30 までの圧入実績 + 計画
ケース2	2016/4/6~2019/9/27 まで	30 万 t-CO <sub>2</sub>	
ケース3	2016/4/6~2028/5/31 まで	P90 モデル 200 万 t-CO <sub>2</sub>	
	2016/4/6~2048/5/31 まで	P50 モデル 600 万 t-CO <sub>2</sub>	○最大圧入量の確認 ○22 万トン/年で圧入(6 月は圧入停止)で圧入し、100 万 t-CO <sub>2</sub> 圧入ごとに条件を確認。条件から外れない限り圧入を継続。
	2016/4/6~2067/5/31 まで	P10 モデル 1,000 万 t-CO <sub>2</sub>	条件: 圧入上限圧力を超えない。 1,000 年後までに 条件: 西側の断層に到達しない。 条件: 陸域に到達しない。 条件: 超臨界条件から外れる深度に移動しない。

以下にケース1とケース3(P50モデル)のシミュレーション結果を示す。

① ケース1(2019年3月時点までの圧入を想定)

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日時点で想定した、圧入計画に基づき、2019年3月31日までに累計圧入量23万t-CO<sub>2</sub>を圧入するケースを想定した。

図1.5-11にP90、P50、P10各具現像における圧入終了時に予想される溶解CO<sub>2</sub>量分布を示す。左側の平面図は圧入したすべての層準の溶解CO<sub>2</sub>量の分布を上方から俯瞰している。右側の断面図はIW-2の坑跡に平行な方向の断面図を示している。各具現像の結果から推定される溶解CO<sub>2</sub>量の分布に大差は認められない。



注) 圧入終了時の溶解CO<sub>2</sub>量分布。平面図は圧入された全溶解CO<sub>2</sub>量分布を上方から俯瞰した図。表示の下限値は $3 \times 10^{-5}$  mol/kg。

図 1.5-11 ケース 1 P90、P50、P10 具現像における溶解CO<sub>2</sub>量分布

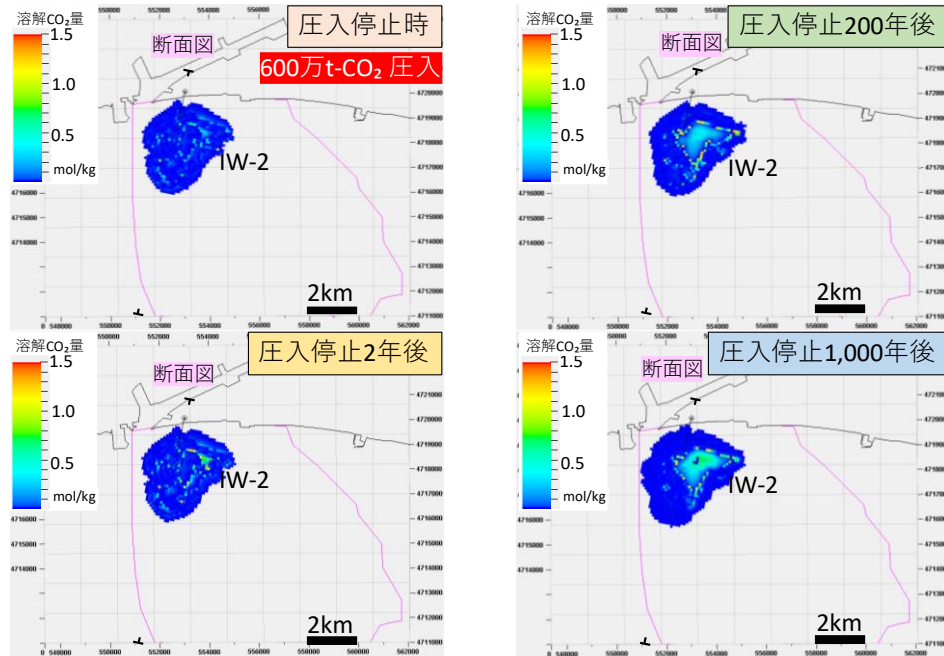
## ② ケース 3 P50 の具現像で想定される挙動予測

P50 の具現像では、700 万 t-CO<sub>2</sub> 圧入時の溶解 CO<sub>2</sub> 分布域が海岸線に到達する。600 万 t-CO<sub>2</sub> の圧入に際しては、全て表 1.5-2 に示す圧入の条件を満たす。以上より、P50 の具現像では 600 万 t-CO<sub>2</sub> の圧入が可能であると判断した。

図 1.5-12、図 1.5-13 に圧入停止時、圧入停止 2 年後、200 年後、1,000 年後の各時点において予測される溶解 CO<sub>2</sub> 量の分布を示す。CO<sub>2</sub> 飽和度の分布と同様に圧入停止から 200 年後ころまでには、東側に分布範囲が拡大することが予想され、1,000 年後ころまでには、さらに分布範囲が拡大するものの、溶解 CO<sub>2</sub> 量自体は減少することが予想される。また、1,000 年後ころまでには、溶解 CO<sub>2</sub> 量分布の下方への垂れ下がりが顕著となる。

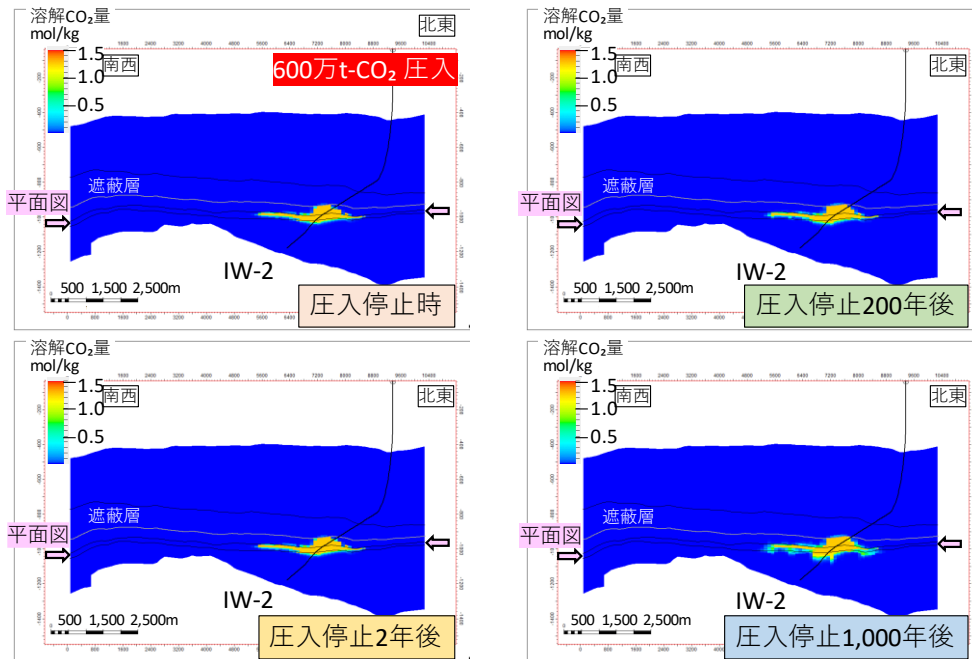
圧入した CO<sub>2</sub> の貯留形態としては、圧入中期間中は、移動しうる状態の CO<sub>2</sub> の割合が最も高い。圧入を停止後しばらくの間は、圧入による流れと浮力により貯留層内を移動する CO<sub>2</sub> が残留トラップされるため、残留 CO<sub>2</sub> の割合が高まる。貯留層内での CO<sub>2</sub> の移動が収束し、新たに残留トラップされる CO<sub>2</sub> の割合が減少すると、残留 CO<sub>2</sub> と移

動しうるCO<sub>2</sub>の地層水への溶解が進み、溶存CO<sub>2</sub>の割合が増加する。圧入開始から1,000年後ころに圧入したCO<sub>2</sub>の86%程度が貯留層中にトラップされるものと推定される。



注) 貯留層に圧入された溶解CO<sub>2</sub>量の分布を上方から俯瞰した図。表示の下限値は $3 \times 10^{-5}$  mol/kg。

図 1.5-12 ケース 3 P50 具現像における溶解CO<sub>2</sub>量分布



注) 図 1.5-27 に示す断面図位置における断面図。

図 1.5-13 ケース 3 P50 具現像における溶解CO<sub>2</sub>量分布

### (3) IW-2 長期挙動予測シミュレーションのまとめ

30個の具現像を用いて、長期挙動予測シミュレーションを実施した結果、30万t-CO<sub>2</sub>の圧入は安全に実施可能であるとする結果を得た。

最大貯留可能量を推定した結果、最大貯留可能量は平均で573万t-CO<sub>2</sub>、標準偏差は351万t-CO<sub>2</sub>となった。振れ幅が大きい、地質の不均質性に対する不確実性の大きさに起因するものと推察される。

## 1.6 海洋環境調査(第6章)

本事業は海底下にCO<sub>2</sub>の貯留を行うため、海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律(以下、「海洋汚染防止法」と称する。)による許可と、「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。)に従った監視を行っている。

監視計画には四季ごとの海洋環境調査の実施が定められており、「溶存酸素飽和度と二酸化炭素分圧との関係による移行基準」による基準超過判定を行うが、この移行基準は、毎年蓄積される自然変動のデータを加えて見直しを行うこととされており、2018年度には移行基準の見直しを行った。

2018年度の春季海洋環境調査は、見直し前の移行基準を用い、以降は見直し後の移行基準を用いたが、いずれも基準値の超過は認められなかった。

### 1.6.1 監視計画の概要

2017年2月1日付で許可を受けた監視計画の全体概要を表1.6-1に示す。2018年8月31日付で許可を受けた監視計画の全体概要と通常時監視・懸念時監視・異常時監視の移行の流れに変更はない。

表 1.6-1 監視計画の全体概要

監視項目		①特定二酸化炭素ガスの状況に関する事項			②海域の状況に関する事項						
監視方法	廃棄量	濃度	圧入条件	地層内圧力および温度の変化等の地層ならびに地質の状況		特定二酸化炭素ガスの位置および範囲		海水の化学的性状	海洋生物の状況	生態系および海洋の利用の状況	
監視方法	流量計	アルカリ吸収法およびガスクロマトグラフ分析法	圧入圧力・速度、圧入時の温度	圧入井の圧力・温度	観測井の圧力・温度	弾性波探査	観測井の圧力・温度	海洋環境調査	海洋環境調査	文献調査・ヒアリング調査	
通常監視	頻度等	連続監視	定期分析	連続監視	連続監視	連続監視	年1回	連続監視	年4回 必要に応じて確認調査を実施	年4回	許可期間終了年前年に1回
	報告	年1回	年1回	年1回	年1回	年1回	年1回	年1回	年4回 確認調査の報告は直ちに	年4回	許可期間終了年
懸念時監視	頻度等	運転停止			連続監視	連続監視	/	連続監視	状況に応じて実施	/	/
	報告				海水の化学性状と同時	海水の化学性状と同時		海水の化学性状と同時	直ちに		
異常時監視	頻度等	運転停止			連続監視	連続監視	速やかに実施	連続監視	状況に応じて実施	状況に応じて実施	状況に応じて実施
	報告				海水の化学性状と同時	海水の化学性状と同時	海水の化学性状と同時	海水の化学性状と同時	直ちに	直ちに	直ちに

1.6.2 海洋環境調査

(1) 海洋環境調査の方法

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、海洋生物および生態系ならびに海洋の利用の状況、その他特定二酸化炭素ガスの状況および海域の状況を把握するために必要な項目の現地調査を「海洋環境調査」と称する。また、海洋汚染防止法では科学的知見の充実または国際的な動向を踏まえ、「利用可能な最良の技法」により監視計画の見直しを行うこととされており、この海洋環境調査に関連する調査技法のブラッシュアップを目的として自主的に行った調査についても記載した。上記現地海洋環境調査に含まれる項目のうち「海水の化学的性状」「海洋生物の状況」「気泡発生の有無の状況」調査を、図 1.6-2 に示す 12 地点において実施した。



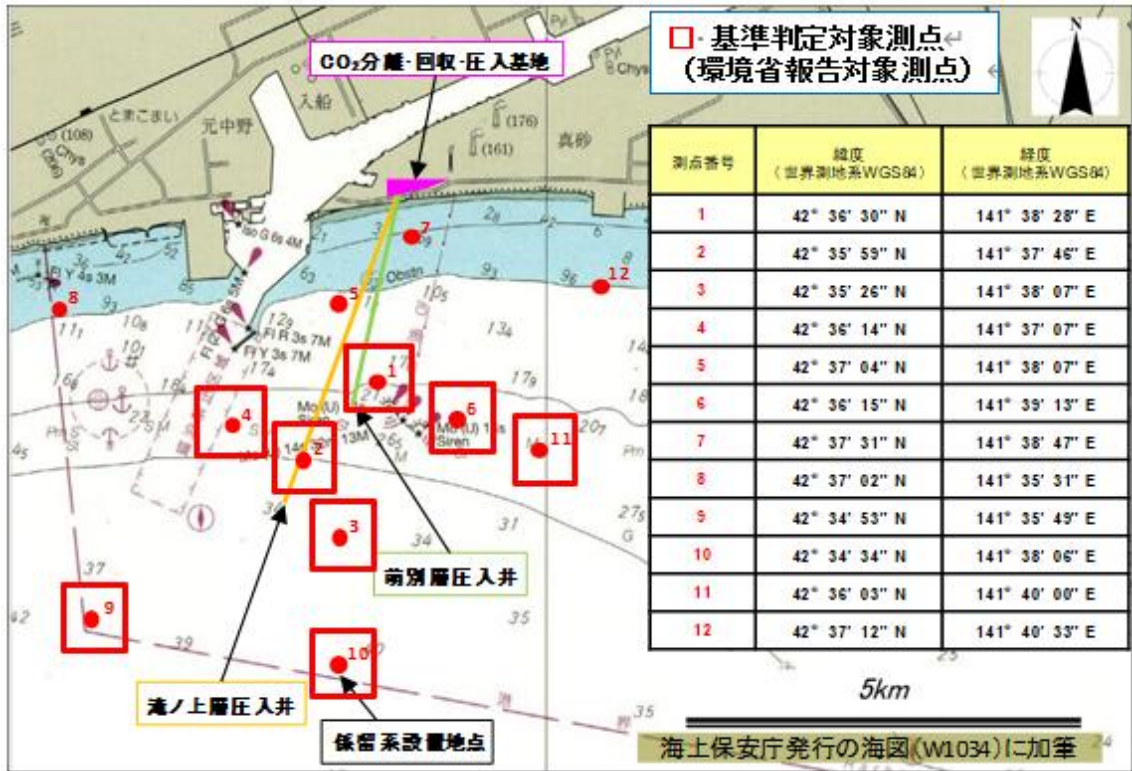


図 1.6-2 海洋環境調査測点の位置 (赤字 12 点)

## (2) 海洋環境調査の結果

2018年度の海洋環境調査は、春季調査を2018年5月24日～6月1日に、夏季調査を2018年8月29日～9月29日に、秋季調査を2018年11月8日～11月16日に、冬季調査を2019年2月7日～2月15日に実施した。

海水の化学的性状、海洋生物の状況、気泡発生の有無と状況の調査、海洋汚染防止法対応に係る支援業務に関する調査、移行基準の超過判定を行った。移行基準の超過判定については、いずれも超過は認められなかった。

なお、移行基準は2017年2月の2016年度冬季海洋環境調査および2017年度四季調査で得られたデータを加えて見直しを行っている。環境省より2018年8月31日に監視計画の変更が許可されており、春季海洋環境調査は、見直し前の移行基準を用い、夏季、秋季、冬季海洋環境調査は見直し後の移行基準を用いた。

### 1.6.3 水質の長期連続監視技術検討

本技術検討の目的は、海底下貯留CO<sub>2</sub>の海水漏出検知に資する技術を立案することである。2018年度は係留系による炭酸系物質の連続観測の検討として、pCO<sub>2</sub>センサーとpHセンサー比較検討を行い、pH等の連続観測データを用いたpCO<sub>2</sub>のモニタリングの可能



性、CO<sub>2</sub>漏洩監視の技術的展望についても検討を実施した。

新潟県柏崎港の沖合において、3回の連続観測を、2018年6月から10月に実施した。この期間、ドップラー多層流向・流速計、水質計およびpHセンサーを用いて連続測定を行った。

その結果、pCO<sub>2</sub>センサーによる測定値は採水による値に比べて、100 μatm以上の差が認められる等、課題が確認された。pHセンサーによる測定値から求めたpCO<sub>2</sub>値は、採水によるpCO<sub>2</sub>測定値と良く一致しており、pHセンサーからpCO<sub>2</sub>が再現できている可能性が示唆された。

本技術検討から、センサーの連続的なpH観測データを、採水分析値で補正してpCO<sub>2</sub>を算出することにより、採水値のpCO<sub>2</sub>と数μatmの差でpCO<sub>2</sub>を推定できることや、センサー観測のpHを採水分析値で補正しなくても、ある程度の誤差範囲内でpCO<sub>2</sub>を推定できることが明らかとなった。今後、この誤差範囲は、データを蓄積するに伴って狭められることが期待される。また、自己校正機能を有するpHセンサーも開発されつつあり、そのようなセンサーを用いれば、採水値による補正作業も不要となる。以上のように、水質のリアルタイム観測が可能になることで、海洋監視の効率化にもつながっていくものと考えられる。

#### 1.6.4 海水中放射性炭素分析技術検討

##### (1) 苫小牧海域におけるベースライン調査

監視計画では、海底下からのCO<sub>2</sub>漏洩検知のために、海水の放射性炭素(<sup>14</sup>C)分析を用いる方法が記載されている。しかし、当該海域における<sup>14</sup>Cの自然変動の程度は把握されていないので、<sup>14</sup>C分析によりCO<sub>2</sub>の漏洩を検知する技術は確立されていない。このため、ベースライン調査および技術的な検討を要する。

本調査は、CO<sub>2</sub>漏洩検知技術検討に資することを目的として、苫小牧海域において実施する海洋環境調査のうち、<sup>14</sup>C分析に関する技術検討を行った。2017年度は、サンプリング誤差、繰り返し誤差、年間を通じた同海域における季節変動等について調べ、また、通年をとおして、苫小牧沖については化石燃料燃焼起源の炭素の影響を受けていないと判断できる結果を得た。しかし、自然変動の程度を把握するためには、経年変動について考慮していないことから、2018年度も引き続きデータを取得し、海水中の<sup>14</sup>Cの経年変動について評価する必要がある。

$\delta^{13}\text{C}$ による生物活動補正無し( $\delta^{13}\text{C}$ 補正無し)pMC(%: Percent Modern Carbon)の略。1950年の炭素濃度を100とした時の<sup>14</sup>C濃度を表す単位であり、すなわち標準現

代炭素に対する試料炭素の $^{14}\text{C}$ 濃度の割合である)で2017年度と2018年度の結果を比較・再検討した結果、すべての季節において100%を越えて現代の値を示した。また、2017年度と2018年度のそれぞれの年間平均値の範囲は $3\sigma$ (99%の信頼性)を考慮した場合、98.69~109.08%と97.01~112.58%であり、それらと季節ごとの値には有意な差は見られなかった。また、2017年度と2018年度との季節ごとの経年的な差も見られなかった。このため、通年、経年を通して生物活動補正無しのpMC(%)は平均 $104\pm 2\%$ ( $1\sigma$ )の範囲で現世の値で、安定した値であることが示唆された。

## (2) $^{14}\text{C}$ 有効性評価調査(JCCS 苫小牧「 $\text{CO}_2$ ガス」通気実験)

確認調査の現地詳細調査における採水再々調査に備えて、苫小牧CCS実証試験センターにおいて圧入している $\text{CO}_2$ ガス(以下、「圧入 $\text{CO}_2$ ガス」と称する。)の放射性炭素(以下、「 $^{14}\text{C}$ 」と称する。)の分析を行い、これらの結果をベースラインデータとして取得する。圧入 $\text{CO}_2$ ガスを既知海水に通気した場合および通気しない場合の海水試料とガスそのものの $^{14}\text{C}$ を分析し、 $^{14}\text{C}$ から得られるpMC値等から $^{14}\text{C}$ を用いた漏出検知の適性や可能性を検討した。

通気実験を行った結果、pMCの顕著な低下が確認されたことから、 $^{14}\text{C}$ 年代を用いれば、全炭酸が自然変動の範囲内であっても、 $\text{CO}_2$ の漏洩を検知できる可能性が示された。ただし、この予測は、ガラス容器で行った閉鎖系の実験結果に基づくもので、 $\text{CO}_2$ が漏出した場合、その場所の全炭酸がコンスタントに増加し、pMCが低下するということを前提としている。このため、その状況が自然変動の範囲内で生じた場合に、 $^{14}\text{C}$ 年代で検知できるかどうかの可能性の概観である。自然海水の中では、同位体分別や生物化学的な反応が生じ、また、海水は閉鎖系ではなく、大気開放系であり、 $\text{CO}_2$ が漏出したとして、全炭酸がコンスタントに増加し、それに伴って $^{14}\text{C}$ 年代もコンスタントに変化するかどうかは不明である。

また、今回は、 $\Delta$ 全炭酸と $\Delta$ pMCの関係を3次関数で近似させ、全炭酸が自然変動の範囲内で $^{14}\text{C}$ 年代により $\text{CO}_2$ 漏出を検知できる可能性を示したが、この式の妥当性についても検討が必要である。

## 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)

### 1.7.1 CCS規制等の調査

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」への適切な対応に資するため、海外のCCS規制および技術基準・ガイドライン等に関する最新情報を入手・解析した。また、「CCS実証事業の安全な実施にあたって」の9項目のう

ち、「8. モニタリング」項に関して、欧州等での海域への圧入を目的とした CCS プロジェクトにおける、モニタリング手法の動向調査および圧入終了後のモニタリングに関する調査等を実施した。さらに、今後の CCS プロジェクトに資するべく、海外の CCS プロジェクトにおけるプロジェクトリスクに関する調査を行った。

「規制」などに関する新たな文献は 1 件で、米国 UIC プログラムの 6 等級坑井に関する規制当局に対するマニュアルであった。法規制面で大きな変化は確認できなかった。他の 4 件は「技術基準・ガイドライン」等に関するもので、新たな ISO 規格に関連する文献であり、このことから、ISO 規格が徐々に整備されつつあることがうかがえた。

### 1.7.2 モニタリング手法の動向調査

我が国における CCS プロジェクトでは、貯留ポテンシャルや社会的受容性等の観点から、海域の貯留層に CO<sub>2</sub> を圧入することが有望視されている。海洋のモニタリング技術に関しては様々な検討がなされており、当事業でも実際に各種モニタリングを実施している。そこで、我が国における今後の CCS 事業において参考とするため、海域の CCS におけるモニタリング技術の動向に関して国内外の文献を対象とした調査を行い、その最新情報の整理を行った。

欧州、北米および豪州における、海域での CCS プロジェクトにおいて採用された圧入中のモニタリング項目を整理した。その結果を表 1.7-1 に示す。

表 1.7-1 海域のCCSプロジェクトにおけるモニタリング実施項目

技術区分	技術名称	Sleipner	Snøhvit	K12-B	Goldeneye	ROAD	苫小牧
弾性波探査	ストリーマー-3D 弾性波探査	◎	◎		○	○	
	ストリーマー-2D 弾性波探査	◎					
	ストリーマー-P-Cable 弾性波探査 (高分解能 3D 弾性波探査)		◎		○		◎
	海底ケーブル(OBC) / 海底ノード(OBN)				○		◎
	サブボトムプロファイラー	◎			○		
	VSP(Vertical Seismic Profile)				○		
	坑井間(弾性波) トモグラフィ	海域での貯留モニタリングの配備・提案実績					なし
微小振動観測	受動振動(微小振動を含む)モニタリング				○	○	◎
重力探査	重量測定法	◎	◎				
電磁探査	海洋 MT(Magneto-Telluric)法 海洋 CSEM(Controlled Source Electro Magnetic)法	◎			○		
電気探査		研究段階					
音響探査	マルチビーム音響測深	◎	◎		○	○	
	サイドスキャンソナー	◎			○	○	◎
坑井 モニタリング	圧力計および温度計	◎	◎	◎	○	○	◎
	物理検層			◎	○	○	
	地下水サンプリング			◎	○	○	
	トレーサー			◎	○		
海洋 モニタリング	水中ビデオ	◎					◎
	海底(地表)変位モニタリング / 地表傾斜				○		
	海水センサー	◎	◎		○		◎
	採水分析	◎	◎		○		◎
	採泥分析	◎	◎		○	○	◎
	生態系反応モニタリング (「バイオマーカー」)	◎			○		◎

◎：実際に採用された項目

○：計画もしくは検討されたものの実施には至っていない項目

### 1.7.3 圧入終了後のモニタリングとその現状に関する調査

圧入終了後のモニタリングの実施有無およびモニタリング項目についても調査した。終了した4プロジェクト中3件、稼働中でモニタリング計画を有している事例が2件、中止となったがモニタリング計画を作成していた事例が4件、合計9件で圧入終了後もモニタリングを実施、あるいは計画していた(表 1.7-2)。

表 1.7-2 本調査において確認された稼働中および圧入終了後の主なモニタリング技術

プロジェクト	圧入終了後 廃坑までの 期間	3D 弾性波 探査	坑底の 温度圧力	環境モニタ リング※	トレー サー	パルス 中性子 検層	受動的振 動観測	InSAR	貯留層の流 体サンプリ ング
Ketzin (陸域)	4年	◎	◎	◎			○	○	○
Mountaineer (陸域)	6年	○	◎	◎					○
Plant Barry (陸域)	3年	●	◎	◎	◎	◎			◎
IL-ICCS (陸域)	10年	◎	◎	◎		◎	◎		◎
Quest (陸域)	10年	◎	◎	◎	○	○	◎	◎	
FutureGen 2.0 (陸域)	50年		○	◎		◎	◎	◎	◎
White Rose (海域)	3年	◎	◎	◎	◎		◎		
Peterhead (海域)	2年	◎	◎	◎		○			○
ROAD (海域)	1年	◎	◎	◎					●

凡例 ○：稼働中に実施 ●：圧入終了後に実施 ◎：稼働中および圧入終了後に実施  
 ※地下水サンプリング・地表フラックス計測・海水分析等

多くのプロジェクトにおいて、圧入終了後には、3D 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手法が採用されていた。各プロジェクトで共通するモニタリング技術は存在したものの、異なるモニタリング手法も見られたこと、実施事例も少ないことから、圧入終了後の一般的なモニタリング手法はいまだ確立されてはいないと推測された。欧州の三つの大規模プロジェクト（White Rose、Peterhead、ROAD）では、圧入を終了してから廃坑までの期間が数年と短く、廃坑後もモニタリングを継続する計画であったことが確認された（表 1.7-3）。

表 1.7-3 本調査において確認された廃坑後のモニタリング技術

プロジェクト	廃坑後のモニタリング	実施頻度
Quest (陸域)	原則すべてのモニタリング設備を廃止する計画だが、政府との合意によって決定する。	—
White Rose (海域)	3D 弾性波探査	異常検知時
	音響式気泡検知 (AUV)	必要に応じて
	環境モニタリング	必要に応じて
Peterhead (海域)	3D 弾性波探査	圧入終了後 6 年目
	MBES ※責任移転後のモニタリングはそれまでのモニタリング結果に基づいて決定する。	圧入終了後 6 年目、責任移転後 20 年目、30 年目
ROAD (海域)	3D 弾性波探査	異常検知時
	土壌中のガスサンプル採取	異常検知時
	音響式気泡検知	異常検知時

一方で、米国およびカナダの大規模プロジェクト (IL-ICCS、Quest、FutureGen 2.0) では、圧入終了後も廃坑せずに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。廃坑後の実施頻度は、数年に一回や異常検知時のみと、かなり限定的であった。

調査対象とした主要な法規制における圧入終了後の管理期間および責任移転の条件に関する内容をまとめた。法規制により定められた圧入終了および廃坑後の管理期間が存在するものの、実際のプロジェクトにおける管理期間はそれよりも短縮した事例がいくつか確認された。管理期間を短縮できる要件は各法規制において示されており、実際の管理期間は柔軟に運用されることが想定され、それに従い短縮が承認された事例も存在した。

#### 1.7.4 プロジェクトリスクに関する調査

海底下の深部塩水層での CCS は、陸域での CCS と比較して建設・操業費用が大きく、また開発も技術的に困難な場合が多い。そのためプロジェクト開始時のリスク分析が特に重要となる。本調査では、海外の CCS プロジェクト (海域に加えて陸域も対象とした) におけるプロジェクト全体に対するリスクマネジメントの事例の調査・整理を行った。

リスクマネジメントは、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が存在していた。貯留のリスクに関してのみ別途詳細に扱われている理由は、CCS プロジェクトのリスクとして貯留された CO<sub>2</sub> の漏洩によるリスクが大きく、ステークホルダーの関心も高いためと考えられた。また、中止となった CCS プロジェクトの中には、社会的受容性 (Public Acceptance、以下「PA」と称する。) の欠如が原因となり、中止に追い込まれた事例がいくつか存在することから、PA も一つのリスク要因であると考えられる。そのような CCS プロジェクトの中止の経緯等の情報を表 1.7-4 にまとめた。

表 1.7-4 PAの欠如が原因で中止となったCCSプロジェクト

プロジェクト名 (サイト名)	国	中止時期	CO <sub>2</sub> 圧入規模	中止となった経緯
Jämschalde CCS Demo Project (Jämschalde)	ドイツ	2011年	170万t /年	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>漏出が及ぼす地下水汚染並びに不動産業および観光業への悪影響を不安視する多くの住民および地元自治体が反対運動を実施した。</li> <li>主な出資者であるVattenfall社は、情報窓口の開設、説明会の開催、近隣の学校への情報提供等も行ったものの、住民の理解は得られず、2011年12月にプロジェクトの中断を発表した。</li> </ul>
Barendrecht Shell CO <sub>2</sub> Storage B.V. (Barendrecht)	オランダ	2010年	40万t /年	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>漏出の影響を不安視する多くの住民および地元自治体による反対運動が発生。このため、事業者は事業に必要な地元自治体の許可を得ることができず、事業に大幅な遅延が生じた。</li> <li>事業の遅れを懸念した政府は条件付きで事業の実施を承認したが、地元自治体が許可発給を拒み続けたため事態は膠着し、2010年3月にプロジェクトは中止となった。</li> </ul>
Greenville Battelle's pilot Project (Greenville)	米国	2009年	28万t /年	<ul style="list-style-type: none"> <li>主な懸念として「圧入による地震の誘発」「不動産価格の下落」を理由に住民を中心とした反対運動が発生した。</li> <li>2009年8月事業者は実証事業の中止を発表した。</li> </ul>
Carson CCS Project (Carson)	米国	2009年	400万t /年	<ul style="list-style-type: none"> <li>EORとCO<sub>2</sub>貯留のサイトを決定することができず、2007年半ば頃には事業進捗が停滞。この間に、プロジェクトへの反対派が増加した<sup>20)</sup>。</li> <li>最終的に、プロジェクトの実施場所を国内の別の場所に移したが、その理由は経営上の理由とされる<sup>20)</sup>。</li> </ul>
Taiwan Power Company Project (彰濱工業地帯)	台湾	2013年	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査井による地質調査まで行われていたものの、2013年6月にCO<sub>2</sub>漏出の危険性に関する報道があり、近隣住民の反対運動が発生した。</li> <li>反対運動の後事業者はプロジェクトの中止を決定した。</li> </ul>
China Petroleum Corporation Project (苗栗永河山)	台湾	2015年	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民および地方自治体への説明なく2012年に圧入を開始したが、2013年6月のCO<sub>2</sub>漏出の危険性に関する報道を受け、プロジェクトは中断した。</li> <li>2015年5月に近隣住民への理解を目的としたシンポジウムを開催するも、近隣住民の理解は得られず、その後プロジェクトは中止を決定した。</li> </ul>

プロジェクト全体に対するリスクに対しては、EasyRisk や ColibriWeb といったツールを用いて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ような仕組みになっていた。また、リスクの評価においては、リスクマトリクスが用いられる事例が多く、可能性および影響の大きさという二つの要因によって、リスクのスコアを評価していた。

## 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

苫小牧 CCS 実証試験は、各産業分野の技術を統合した日本で初めて行われる本格的な CCS であり、本事業を円滑に推進し、国民の深い理解と信頼を得るためには、積極的な情報発信活動が必要である。そこで、地球温暖化対策としての CCS の認知度を高め、CCS の目的・意義・技術・安全性を理解してもらうことを目的に、下記 4 点を重点項目として、正確で分かりやすい情報発信活動に取り組んだ。

- 1) 実証試験地である苫小牧市民との信頼関係の維持強化が重要であるため、これまでと同様 苫小牧市と周辺地域への情報発信および意思疎通に重点を置く。
- 2) 事業の長期性を踏まえ、地元の個別事情に沿いながら、より丁寧で分かりやすく正確な説明を行い、良好なコミュニケーションを確保し、信頼関係を築く。
- 3) 事実に基づいた、適切かつ広範囲に亘る CCS に関する情報を速やかに提供する。
- 4) 環境関連の展示会への出展、論文や雑誌への寄稿等により、全国的な理解と周知を深める。

情報発信活動にあたっては、CCSが多様な技術的側面をもつため、技術に日頃馴染みのない人も理解できるように、できるだけ平易にその内容を伝えること、情報の透明性を確保して十分な情報を速やかに提供することが重要である。

また、これまでの活動の成果を踏まえて、当社からの一方的な情報発信に留まらず、相互コミュニケーションの場を提供することによって双方向での意見交換を行うことにより、本事業の必要性について理解を得ることを意識して取り組んだ。

2018年度の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を表 1.8-1 にとりまとめた。



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）	市民／、子ども～10代／シニア向け現場見学会	9回、352名
パネル展の開催	環境広場さっぽろ、ビジネスEXPO札幌、イオンパネル展他	7回、1,690名
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	4回、827名
子ども実験教室／夏休み宿題教室の開催	児童センター、小学校実験ワーククラブ等	6回、152名
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	181件、2,276名
講義・講演の実施	大学、学会、工業会、協議会、教育機関他	17回、1,236名
展示会、シンポジウム、学会へのブース出展	2018地球温暖化防止展、エコプロ2018他	6回、4,533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	71件
寄稿および発表	二酸化炭素回収・貯留(CCS)と苫小牧CCS実証試験について他	7件

また、2018年9月6日に発生した「北海道胆振東部地震」における広報対応について以下に記載する。

「北海道胆振東部地震」は、有事広報マニュアルにおける「地震発生時の報道対応」にしたがって対応した。震源が苫小牧市に隣接していることから、電話、メールによる直接の問合せや、SNS上での様々な意見が想定されたため、上記有事広報マニュアルに加え、経済産業省、NEDOとも協議しながら以下の通り対応した。

- 1) ホームページを用いた情報発信：当社の公式ホームページお知らせ欄を用いた情報発信
- 2) 電話による個別対応：一般の方からの問合せは、経済産業省への問合せを含め合計17件（2019年1月31日現在）あり、すべてCCSと地震との関連性を問うも

のであった。

- 3) メールによる問合せ：北海道胆振東部地震以降、当社ホームページに掲載しているインフォメールへの問合せは合計 26 件（2019 年 1 月 31 日現在）あり、すべてに対して対応した。
- 4) ソーシャルメディアによる発信への対応：地震の後にソーシャルメディアを通して拡散された CCS についての誤情報について、正しい情報をホームページで発信した。

### 1.9 海外への情報発信ならびに情報収集

CO<sub>2</sub> の圧入開始から 3 年目となる 2018 年度は、日本の CCS 技術の将来的な国際展開や、CCS 事業の国際的推進を目指して、従来通り海外からの視察者への情報発信、CCS 関連の国際会議での成果発表を通じ、本事業の概要や 2016 年 4 月の圧入開始前から継続して取得してきたモニタリングデータ等、これまでの事業の成果や知見を国際社会のステークホルダーと広く共有することを目指した。また CCS を通じた将来の国際協調や海外組織との連携を見据え、海外政府や CCS の専門家との意見交換を実施したほか、海外における CCS 研究、CCS 技術、CCS 事業の動向調査等も行った。

海外への情報発信活動の一環として、国内外の外国人の苫小牧 CCS 実証試験センターの視察依頼に対応した。スケジュールにより実証試験センターを訪問できない際は、東京本社にて事業説明、意見交換の依頼に対応した。苫小牧 CCS 実証試験センター視察は、本事業の海外に向けた広報活動において件数が最も多く、視察者は各国の政策関係者や CCS 研究者等が大半を占めた（16 件、計 326 名）。

在日大使館関係者を含む海外政府や海外企業から本事業に関する情報提供や、意見交換の依頼を受け、海外に向けた情報発信の機会拡充や日本の CCS 技術の国際展開の可能性を見据えた活動として対応した（10 機関）。

日本の CCS 技術の将来的な国際展開と、CCS 事業の国際的な促進に寄与することを見据えた活動として、18 件の国際会議に参加した。その中で、特に大きな成果として GHGT や COP において講演を実施したことがあげられる。

国際的な CCS 推進機関である GCCSI とは、毎年同組織の日本事務所を通じた定期的な情報交換を行い、連携して情報発信の機会拡充を図っている。同組織からの依頼により、Asia Pacific CCS Forum（北京）、Accelerating CCUS Conference（英国）等で発表を行い、海外の政策担当者を含む重要な国際議論の場における本事業の成果発表の機会を得た。CLSF「アジア太平洋地域 Regional Champion」として、2018 CSLF Midyear

Meeting、2018 CSLF Annual Meeting に参加し、情報発信・情報収集の機会拡充を行った。

海外政府や海外 CCS 事業者、研究者との協力、共同事業、共同研究の可能性検討として、IEAGHG、英国政府、米国テキサス大学、ノルウェーNORSAR、ECCSEL、豪州ビクトリア州政府、CO2CRC、CarbonNet、CTSCo.、また中国研究者等との交流を通じて、CCS 推進に取り組む政府担当者や専門家との交流を行い、海外における情報発信・情報収集の機会を拡充した。

#### 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。2018年度は、第10回課題検討会を2018年6月28日、第11回課題検討会を2018年10月19日に実施した。課題検討会では、繰り返し弾性波探査、萌別層への圧入状況、モニタリング、海洋環境調査等の現状報告、北海道胆振東部地震への対応とCO<sub>2</sub>貯留層への影響の考察について報告を行い、社外有識者による確認と助言を得た。

#### 1.11 将来計画の検討・準備等

本事業の将来計画として、圧入終了後の地上設備等の撤去等、CCS事業の開始段階から、運用時の変更検討さらに地上設備の撤去等の最終段階までを広範囲、長期的にとらえる検討が必要であり、2018年度は、実証試験終了後の設備撤去、圧入終了後のモニタリング計画等について検討を行った。