

5 特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の方法

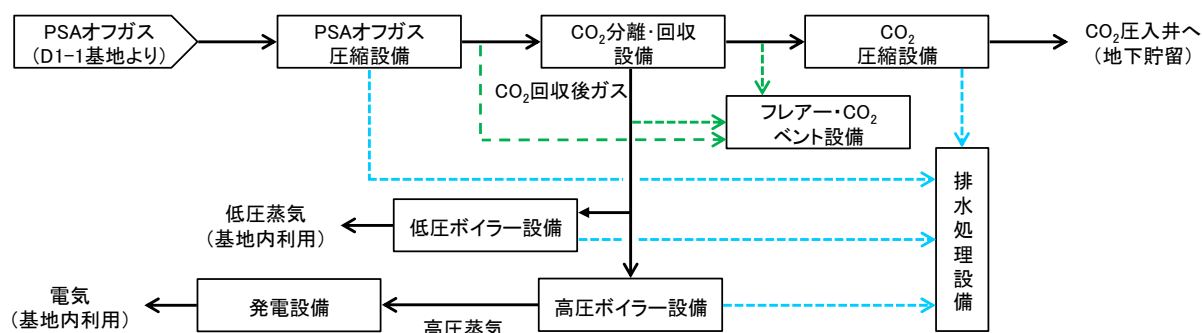
5.1 ガスの発生源から海底下廃棄をする位置までにおいて特定二酸化炭素ガスの回収及び輸送並びに圧入等に用いる設備及び機材等

(1) 概要

第 5.1-1 表に CO₂ 分離・回収・圧入基地の主要設備構成を、第 5.1-1 図に主な設備の配置の概略を、第 5.1-2 図に各種設備の配置図を示す。

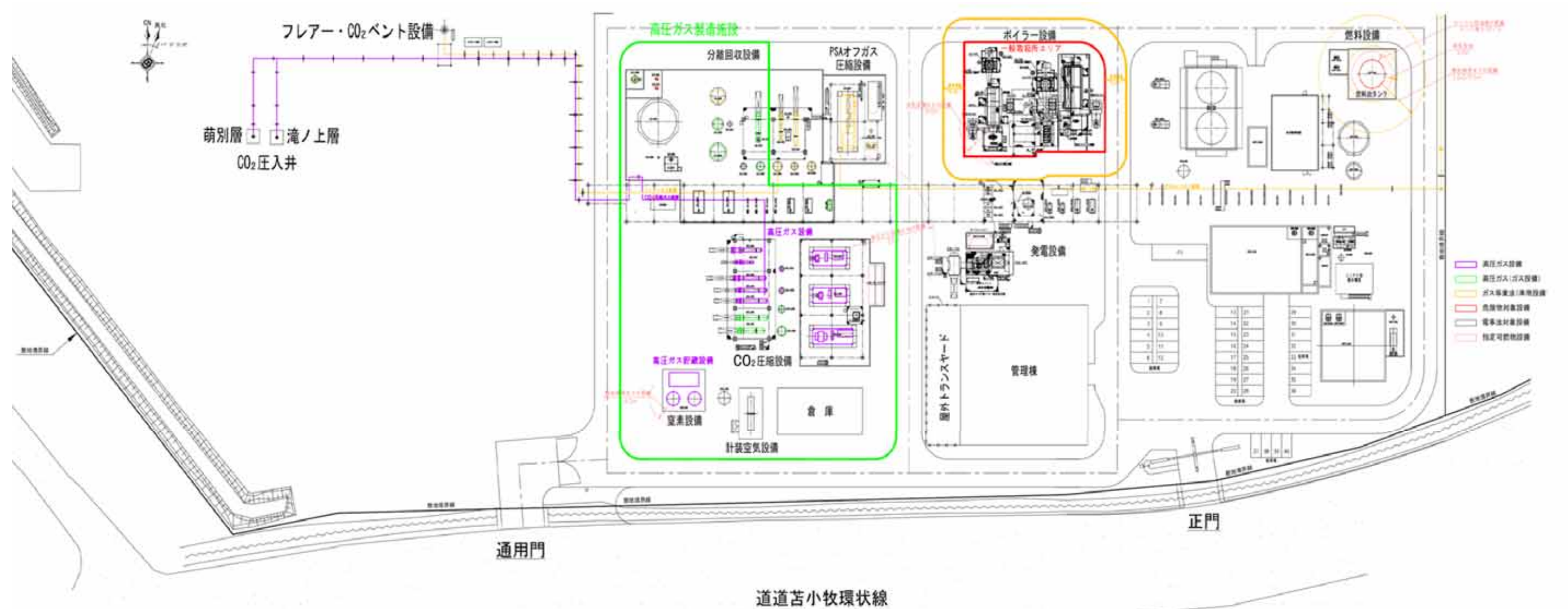
第 5.1-1 表 主要設備構成

設備名称	能力・諸元	基数	備考
PSA オフガス圧縮設備	遠心式圧縮機（原動機出力：4,100kW）	1 基	
CO ₂ 分離・回収設備	CO ₂ 吸収塔、CO ₂ 放散塔、LPFD	各 1 基	
CO ₂ 圧縮設備	遠心式圧縮機（原動機出力：2,800 1,350 1,100kW 各 1 台）	3 基	
発電設備	高圧蒸気発電機（定格出力：12.4MW）	1 式	
ボイラー設備	1) 高圧ボイラー設備（蒸気発生能力：61t/h） 注：燃料ガスならびに補助燃料 A 重油と混焼	1 基	1) 発電ボイラー
	2) 低圧ボイラー設備（蒸気発生能力：30t/h）	1 基	2) 熱源用ボイラー
循環冷却水設備	冷却水循環設備、冷却塔（循環水量：3,400t/h）	1 式	
排水処理設備	油水分離設備、加圧浮上設備（処理能力：15m ³ /h）	1 式	
純水設備	イオン交換式純水製造設備（純水製造能力：20 t/h）	1 式	
窒素設備	液体窒素気化設備（蒸発器能力：250Nm ³ /h ×2）	1 式	
計装空気設備	空気圧縮機、空気乾燥設備（能力：450Nm ³ /h）	1 式	
フレアー・CO ₂ ベント設備	高さ 30m	1 式	
防消火設備	エンジン駆動式防火ポンプ（容量：96m ³ /h）	1 台	
管理棟	事務管理、運転管理用建屋（延床面積：1,580m ² ）	1 棟	電気室兼用



第 5.1-1 図 主な設備の配置の概略

CO₂ 分離・回収・圧入基地（D1-2・D0 基地）は、出光興産株式会社北海道製油所の隣接地（南用地）に設置した。D1-2 基地では、D1-1 基地から配管で受入れた PSA オフガスを昇圧した後、分離・回収設備で高純度の CO₂（体積百分率で 99 パーセント以上）を回収し、同一敷地内にある D0 基地へ構内配管で移送する。分離・回収装置で CO₂ を分離した後のガスは、H₂、CH₄、CO 等からなる可燃性ガスであるため、D1-2 基地内に設置するボイラーでスチームを発生させて CO₂ 放散塔リボイラーの熱源として利用するとともに、スチームタービンにより発電して、CCS に係る設備への電力の一部として供給する。



第 5.1-2 図 CO₂分離・回収・圧入基地における各種設備の配置

(2) PSA オフガス圧縮設備

D1-1 基地から低圧で受け入れた PSA オフガスを昇圧して、CO₂ 分離・回収設備内の CO₂ 吸収塔に 0.81MPaG、40℃の条件で供給することを目的とするガス圧縮設備である。D1-1 基地から温度 40℃±10℃、圧力 0.04MPaG 条件で受け入れる最大流量（29,500Nm³/h）のオフガスに対応する能力となっている。

PSA オフガス送気量は、CO₂ 量を一定とするため、ガス組成のうち CO₂ の比率が変化することにより異なる。PSA オフガスの組成に係る実績データから、設計条件として、最も CO₂ 濃度が低いケース（最大処理量ケース）、最も CO₂ 濃度が高いケース（最小処理量ケース）、CO₂ 濃度の代表組成ケースの三条件を想定し、設計条件としては代表組成ケースを採用している（単位は、体積百分率：％）。

1) 最低 CO₂ 濃度ケース（最大処理量ケース）

CO₂ : 43.86, H₂ : 43.50, CH₄ : 8.03, CO : 3.99, H₂O : 0.62

2) 最高 CO₂ 濃度ケース（最小処理量ケース）

CO₂ : 58.74, H₂ : 30.12, CH₄ : 6.81, CO : 3.53, H₂O : 0.80

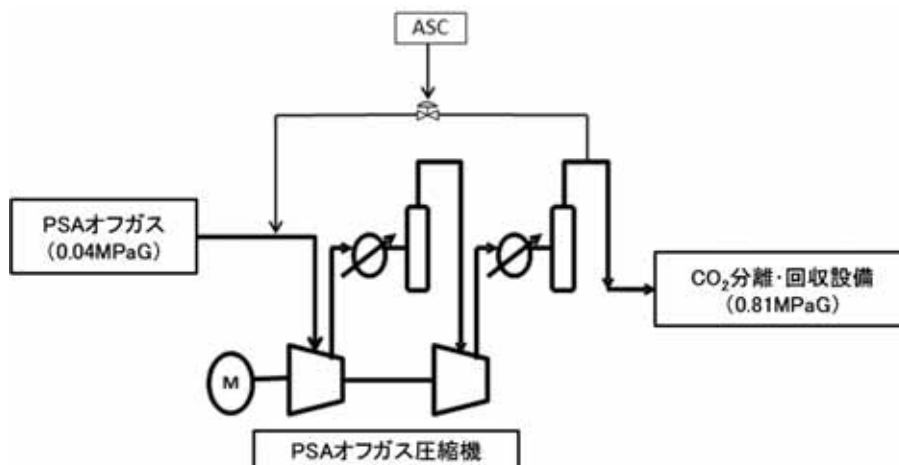
3) 代表 CO₂ 濃度ケース（代表組成ケース）

CO₂ : 51.60, H₂ : 38.80, CH₄ : 6.60, CO : 2.30, H₂O : 0.70

年間 20 万トン（25.3 トン/h）の CO₂ 送出を、PSA オフガス送気量の上限基準とする。圧力・温度は、0.03MPaG・30℃（代表値）とする。

PSA オフガス設備は、第 5.1-3 図に示すように、PSA オフガス第 1 段圧縮機、PSA オフガス圧縮機第 1 段冷却器、PSA オフガス圧縮機第 1 段気液分離槽、PSA オフガス第 2 段圧縮機、PSA オフガス圧縮機第 2 段冷却器、および PSA オフガス圧縮機吐出気液分離槽で構成される。

PSA オフガスは組成および流量が大きく変動するため、PSA オフガス圧縮機は回転数を制御し吸い込み圧力を一定に保つ。また、ターンダウン時にはサージ領域に入る可能性があるのでスピルバックラインを併用して、サージ領域に入らないようにアンチサージコントロール（Anti-Surge Control; ASC）を行う。



第 5.1-3 図 PSA オフガス圧縮設備構成

(3) CO₂分離・回収設備

アミン水溶液を用いた化学吸収プロセスの中でも特にCO₂の吸収性能に優れかつ商業規模での運転実績のあるプロセスを採用し、装置コスト・運転コストを低く抑えることを目的とした分離・回収の設備構成としている。

さらに、石油精製（水素製造）、アンモニア・肥料製造、天然ガス精製（LNG含む）、石炭ガス化複合発電（Integrated coal Gasification Combined Cycle; IGCC）等の分離・回収と類似のプロセス条件（CO₂分圧、CO₂回収率等）を選定することにより、将来的に商業化CCSが期待されるこれら分野の設備設計において、省エネルギー、低コスト化の基準データを提供できることを目的とした。

PSA オフガスは、水素製造装置の運転変動によって第 5.1-2 表に示す範囲でガス組成の変動を生じるが、各ガス組成において特定二酸化炭素ガスの濃度基準に適合した回収CO₂ガスを年間 20 万トン分離・回収できる設備仕様となっている（第 5.1-3 表）。

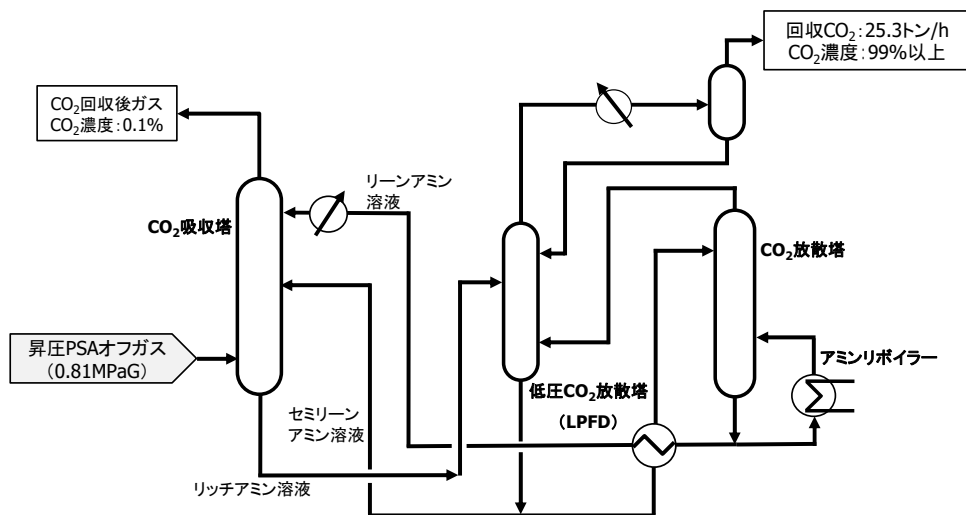
分離・回収プロセスには活性アミンを使用したOASEプロセス（ドイツBASF社のライセンス）の省エネルギー効果の高いプロセスフローを採用している（第 5.1-4 図）。このプロセスは、商品名OASEホワイト（第三級アミンを主成分とする水溶液）をアミン溶液として使用し、LPFD と 2 段吸収法で構成され、分離・回収エネルギー（アミンリボイラー熱量＋アミン循環ポンプエネルギー量）を低減する。

第 5.1-2 表 PSA オフガスの組成

PSA オフガス	最低 CO ₂ 濃度 (最大処理量) ケース	代表 CO ₂ 濃度 (代表組成) ケース	最高 CO ₂ 濃度 (最小処理量) ケース
オフガス処理量 (トン/h)	29.9	28.2	28.2
オフガス組成 (体積百分率 : %)			
CO ₂	43.86	51.60	58.74
H ₂	43.50	38.80	30.12
CH ₄	8.03	6.60	6.81
CO	3.99	2.30	3.53
H ₂ O	0.62	0.70	0.80
合計	100	100	100
分離・回収入口でのオフガス圧力 (MPaG)	0.81	0.81	0.81
オフガス温度 (°C)	40	40	40

第 5.1-3 表 回収 CO₂ の組成

回収 CO ₂ ガス	最低 CO ₂ 濃度 (最大処理量) ケース	代表 CO ₂ 濃度 (代表組成) ケース	最高 CO ₂ 濃度 (最小処理量) ケース
ガス流量 (トン/h)	26.3	26.2	26.3
ガス組成 (体積百分率：%)			
CO ₂	91.42	91.50	91.55
H ₂	0.25	0.20	0.14
CH ₄	0.07	0.05	0.05
CO	0.03	0.02	0.03
H ₂ O	8.23	8.23	8.23
合計	100	100	100
圧力 (MPaG)	0.05	0.05	0.05
温度 (℃)	50	50	50
乾式基準の CO ₂ 濃度 (%)	99.62	99.70	99.76



第 5.1-4 図 CO₂ 分離・回収設備構成

LPFD は加圧下の吸収塔で CO₂ を吸収したアミン水溶液（リッチアミン溶液）を低圧とし、さらに CO₂ 放散塔頂の余剰熱（水蒸気）で加熱して CO₂ を放散することにより、大量の熱量を必要とする CO₂ 放散塔での熱負荷を低減する。

2 段吸収法では、LPFD 塔底のセミアミン溶液（少量の CO₂ を含有）を吸収塔下段に循環して原料 CO₂ を粗吸収し、残りを高熱再生されたリーニアミン溶液（CO₂ をほとんど含まない）により吸収塔上段で仕上吸収する。

主なプロセス性能を示す。

- 1) 回収 CO₂ 純度：体積百分率 99 パーセント以上
- 2) 吸収塔出口 CO₂ 濃度：体積百分率 0.1 パーセント以下（乾式基準）。

すなわち CO₂ 吸収率は、99.9%となる（推算値）。

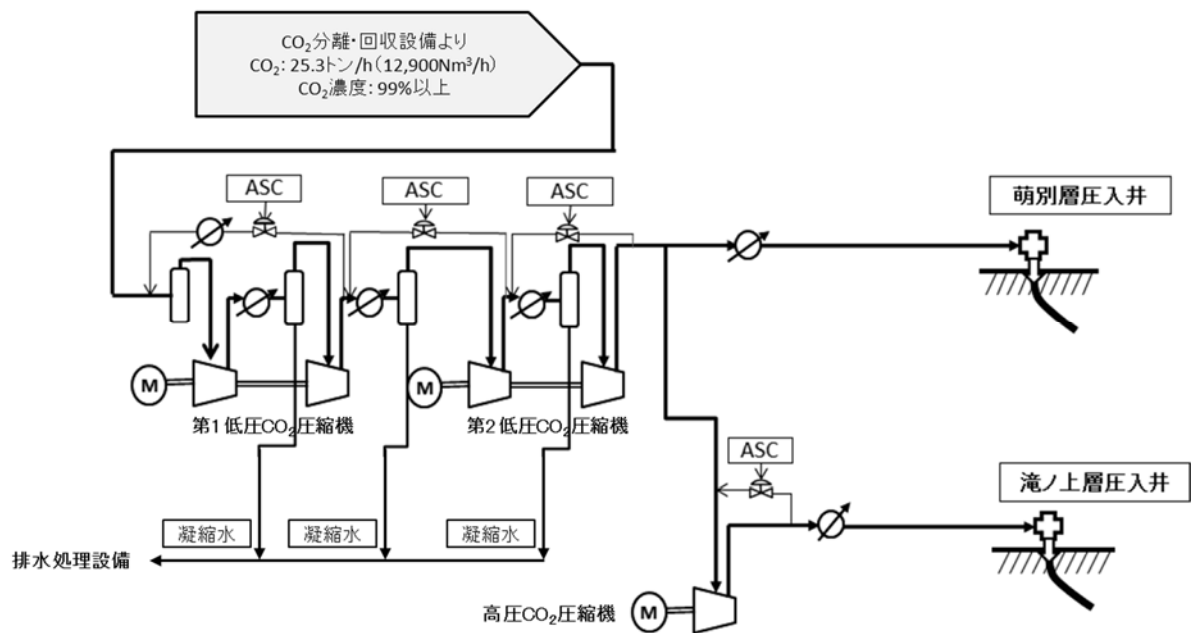
分離・回収した特定二酸化炭素ガスは、パイプラインを通じ、隣接する CO₂ 圧入設備へ送気される。

(4) CO₂ 圧縮設備

PSA オフガスから分離・回収した高純度 CO₂ を大気圧から昇圧し、滝ノ上層圧入井および萌別層圧入井に輸送・圧入する設備である。圧入井入口（坑口）での取り扱い条件は、以下のとおりとしている。

- ・ 温度 : 31.1～40℃
- ・ 流量 : 0～25.3 トン/h
- ・ 圧力（滝ノ上層圧入井） : 14.4～22.8MPaG
- ・ 圧力（萌別層圧入井） : 4.0～9.3MPaG

CO₂ 圧縮設備は第 5.1-5 図に示すように、第 1 低压 CO₂ 圧縮機、第 2 低压 CO₂ 圧縮機および高压 CO₂ 圧縮機、冷却器、気液分離槽などから構成される。



第 5.1-5 図 CO₂ 圧縮設備構成

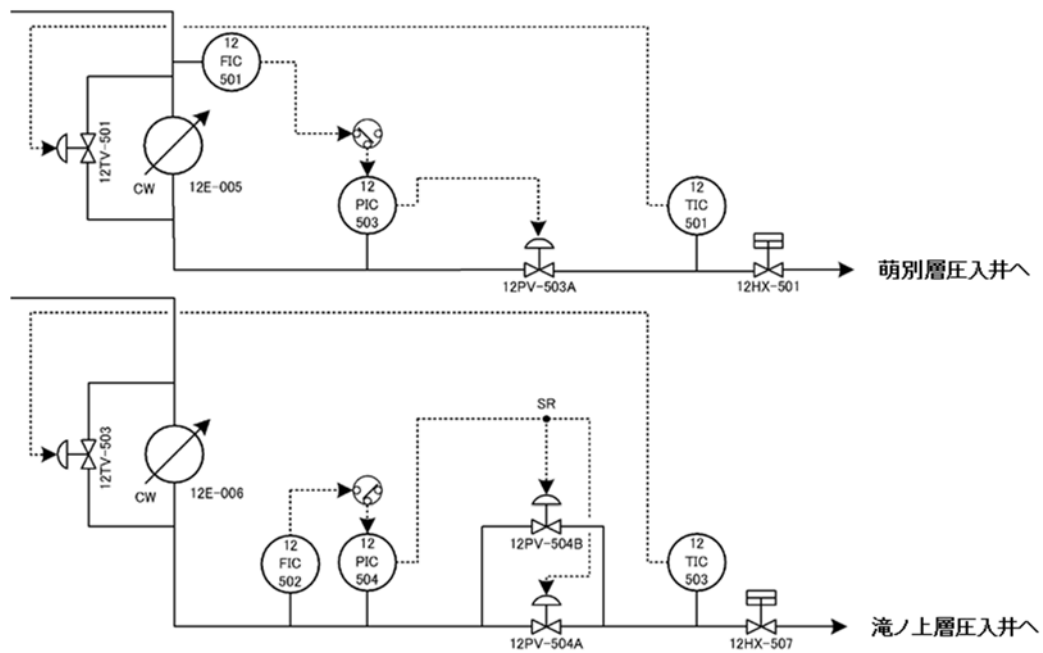
圧縮機は、将来の CCS の実用化を想定し大規模化に対応できるよう遠心式を採用した。また、圧縮機の各段の出口圧力が一定となるようスピルバック（圧縮機の各段の吐出側の CO₂ の一部を吸い込み側にリサイクルさせる）により制御する。

圧縮機により昇圧した CO₂ は、圧入井での水分の凝縮を防止するため、CO₂ の水分は第 2 低压 CO₂ 圧縮機の気液分離槽で、CO₂ の圧力変化に伴う含水率が極小（変曲点）となる 6.0MPaG、40℃ の条件で気液分離し、それ以上の圧力（滝ノ上層圧入井：6.0～22.8MPaG、萌別層圧入井：6.0～9.3MPaG）では水が凝縮しない条件とした。

滝ノ上層圧入井には、第 2 低压 CO₂ 圧縮機で昇圧した CO₂ ガスをさらに高压 CO₂ 圧縮機で昇圧し、40℃ に冷却した後、坑口に移送、圧入する。

萌別層圧入井には、第 2 低压 CO₂ 圧縮機で昇圧した CO₂ ガスを 40℃ に冷却した後、坑口に移送、圧入する。移送には電気トレースによる保温配管を使用し、40℃ の維持を図る。

CO₂ 圧入量の制御方式を、第 5.1-6 図に示す。



第 5.1-6 図 CO₂ 圧入量の制御方式

滝ノ上層および萌別層への圧入量は、主たる圧入を流量制御（FC）とし、従たる圧入を圧力制御（PC）とすることができる。滝ノ上層および萌別層の圧入井坑口での流量、圧力、温度は、各圧入井で単独に変更できる制御システムになっている。例えば、滝ノ上層は坑口圧力 14.4～22.8MPaG から選定した圧力制御によって CO₂ を圧入することができ、萌別層は 0～25.3 トン/時から選定した流量制御ができる。

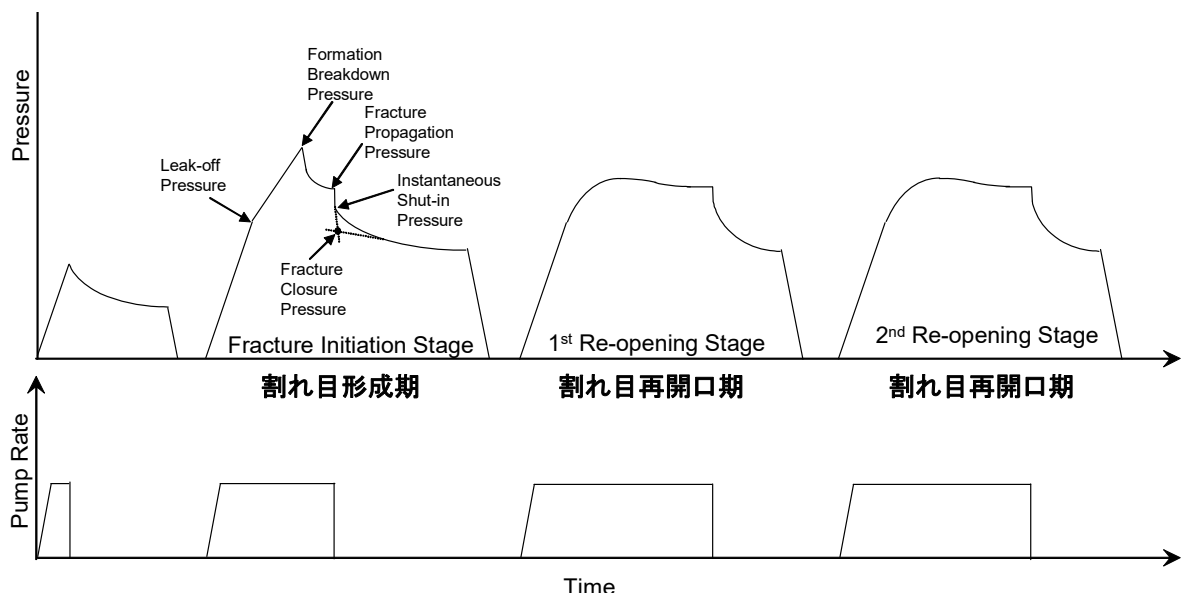
なお、圧入井の坑口設備については、5.4 節にて詳述する。

5.2 特定二酸化炭素ガスの圧入圧力及び速度並びに圧入時の温度等の圧入条件に関する詳細

(1) 基本圧入計画

特定二酸化炭素ガスの圧入にあたっては、坑底圧力を常にモニタリングし、遮蔽層の破壊圧を基に算出した圧入圧力の上限値を超えないように運転する。

遮蔽層の破壊圧は、圧入井掘削時に実施したエクステンデットリークオフテストにより確認した。エクステンデットリークオフテストは、圧入井掘削時に遮蔽層最下部付近だけを坑内で露出させた状態で加圧し、その部分に局所的な割れ目を発生させることにより、遮蔽層に割れ目が発生し始める圧力（リークオフ圧力）や割れ目が継続的に成長する圧力（Formation Breakdown 圧力）などを計測するものである（第 5.2-1 図）。加圧を断続的に複数回繰り返すことにより、より正確に地層の破壊圧を推定する。安全側にたち、割れ目が継続的に成長する圧力よりも低い圧力であるリークオフ圧力を遮蔽層の破壊圧とし、その 90% 値を圧入圧力の上限値とした。なお、このテストにより生じた割れ目はごく局所的なものであり、遮蔽層の能力に影響するものではない。



- 注：1. Leak-off Pressure（リークオフ圧力）：加圧することにより、地層に割れ目が入り始める圧力。Formation Breakdown Pressure（Formation Breakdown 圧力）：圧入中のピーク圧力で、地層が破壊されて割れ目が安定的に成長する圧力。Fracture Propagation Pressure（フラクチャー伸展圧力）：フラクチャーが開き続け、成長を続ける圧力。Instantaneous Shut-in Pressure（ISIP）：フラクチャーが開き続け、成長を続ける圧力。Fracture Closure Pressure（フラクチャー閉合圧力）：シャットイン後、圧力勾配が再び変化した点、または曲率が最大となった点と定義される。フラクチャーが閉合した際の圧力と考えられる。
2. 1 回目の加圧（左端）は、ポンプなどのテストであり、十分な加圧をしない。
3. 加圧によりリークオフ圧力において坑井近傍のごく一部に割れ目が入り始めるが、繰り返し加圧することによりこの割れ目再開口圧力を計測する。
4. リークオフ圧力は、地層が継続的に破壊する圧力である Formation Breakdown 圧力よりも低い。

第 5.2-1 図 エクステンデットリークオフテストの概念

CO₂ 圧入前の圧入レートの計画は、圧入井掘削時のブライン圧入試験および圧入井掘削後に改定した貯留層モデルによるシミュレーションにより計画する。また、CO₂ 圧入開始後は圧入性を確認しながら適宜圧入計画を見直す予定である。

圧入計画は、試験圧入と本圧入の 2 フェーズで作成する。試験圧入では、CO₂ 圧入により滝ノ上層および萌別層の CO₂ 圧入性を把握し、この結果により本圧入計画を見直す。

萌別層に対する試験圧入は、PSA オフガスの最大供給量可能量に対応した最大圧入レート(圧入流量)までの圧入を行う。試験圧入計画では、以下の詳細を規定する。

- ・圧入開始の手順(開始時は地層内:地層水,チュービング内:ブライン,地表配管内:窒素)および停止の手順
- ・ステップレート圧入の圧入レート・圧力・時間,最大圧入レートおよび圧力
- ・フォールオフテスト計画(タイミング・頻度・フォールオフ時間)
- ・その他貯留層性状の把握のための非定常運転等についての詳細
- ・萌別層への圧入は流量制御,滝ノ上層への圧入は圧力制御となる可能性がある。

また、本圧入計画では、以下の詳細を規定する。

- ・圧入開始および停止の手順
- ・定常圧入へ向けての圧入ステップ(圧入レート・圧力・時間)
- ・最大圧入レートおよび圧力
- ・その他貯留層性状の把握のための非定常運転等

本圧入計画における圧入量は、PSA オフガス供給可能量に対応する最大量の CO₂ を、滝ノ上層および萌別層に対して継続圧入することを原則とする。そのため、PSA オフガス供給可能量に対応して、継続圧入のレートは変動する。

なお、圧入計画では、貯留層性状の把握のため、圧入停止によるフォールオフテストを計画的(年数回)に実施する。正常圧入時のフォールオフテストの結果を定期的に取り得し、圧入時のモニタリングで貯留層の異常が懸念された場合に実施するフォールオフテストの結果と比較することで、貯留層の異常を検知できる可能性がある。

貯留層における CO₂ の状況と挙動の把握は、連続的に実施する各貯留層の温度・圧力観測(圧入井および観測井)に加えて、継時的弾性波探査(三次元と二次元)により実施する。

観測により把握された CO₂ の状況と挙動は、定期的に直近の予測結果と比較して、貯留層の地質モデルのパラメータを見直して更新し(ヒストリーマッチング)、新たな CO₂ 挙動予測を行う。

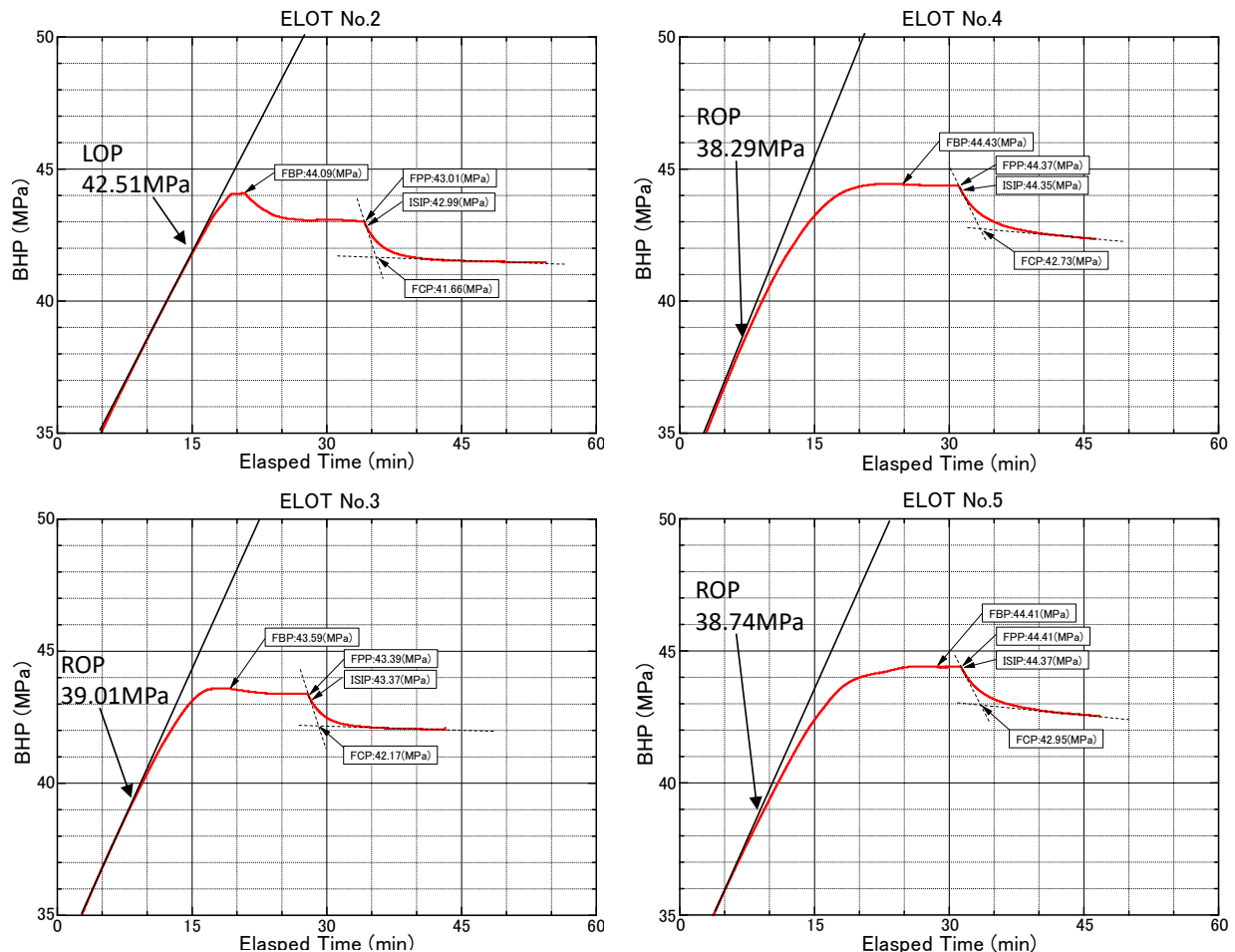
なお、CO₂ の貯留層への圧入性が予想よりも低く、その改善が必要とされ、かつ圧入井から坑井刺激剤を注入することによって坑井周辺の圧入性を改善する処置が有効であると判断された場合には、坑井刺激剤を使用することがある。この場合には、許可申請時の圧入性の現状値および想定される改善の程度(把握できる場合)、使用する物質、使用量、使用方法および使用による貯留層およびその上部の遮蔽層への影響について事前に環境省に連絡し、許可を得るべきか確認し、必要に応じて所定の手続きを行う。

(2) 滝ノ上層 T1 部層における特定二酸化炭素ガスの圧入圧力及び速度並びに圧入時の温度等の圧入条件

前述の「4.5 海底下廃棄をされた特定二酸化炭素ガスが広がる範囲」で用いたシミュレーションにより、特定二酸化炭素ガスの圧入圧力及び速度並びに圧入時の温度等の圧入条件に関する詳細について検討した。

① 圧入圧力

滝ノ上層圧入井掘削時に実施したエクステンデットリークオフテストの結果を、第 5.2-2 図に示す。この結果より、遮蔽層の破壊圧（リークオフ圧力）を 42.51MPa、遮蔽層下部（ケーシング Shoe 深度）での圧入圧力の上限値を 38.26MPa（リークオフ圧力の 90%）とした。



- 注：1. 対象層：振老層（泥岩）。対象深度：4,607m～4,612m。ケーシング Shoe 深度：4,607m（2,385mVD）。対象区間における坑井の傾斜：72°。坑内泥水比重：1.39。
 2. LOP: Leak-off Pressure, FBP: Formation Breakdown Pressure, FPP: Fracture Propagation Pressure, ISIP: Instantaneous Shut-in Pressure, FCP: Fracture Closure Pressure, ROP: Re-opening Pressure（再開口圧力）。
 3. Formation Breakdown 圧力（44.09MPa）は、リークオフ圧力（42.51MPa）よりも約 4% 高かった。

第 5.2-2 図 滝ノ上層圧入井における遮蔽層でのエクステンデットリークオフテスト結果

海洋汚染防止法では、適切な圧力で圧入するため、「坑底圧」と「圧入上限圧力」に対し、「圧入上限圧力 ≥ 坑底圧」の関係が成立している必要がある。

【用語の定義】

- ・ 坑底圧：圧入井ヒール側の貯留層に接している圧入孔における圧力（単位：MPa）
- ・ 圧入上限圧力：遮蔽層を破壊しないように設定した上限圧力（単位：MPa）

坑底圧は、遮蔽層下部（ケーシング Shoe 深度）での圧力とする。圧入上限圧力は、遮蔽層下部（ケーシング Shoe 深度）において 38.26MPa（リークオフ圧力の 90%）である。滝ノ上層圧入井の坑内圧力は、第 5.4-1 図に示す圧入井の遮蔽層最下部付近に設置した圧力・温

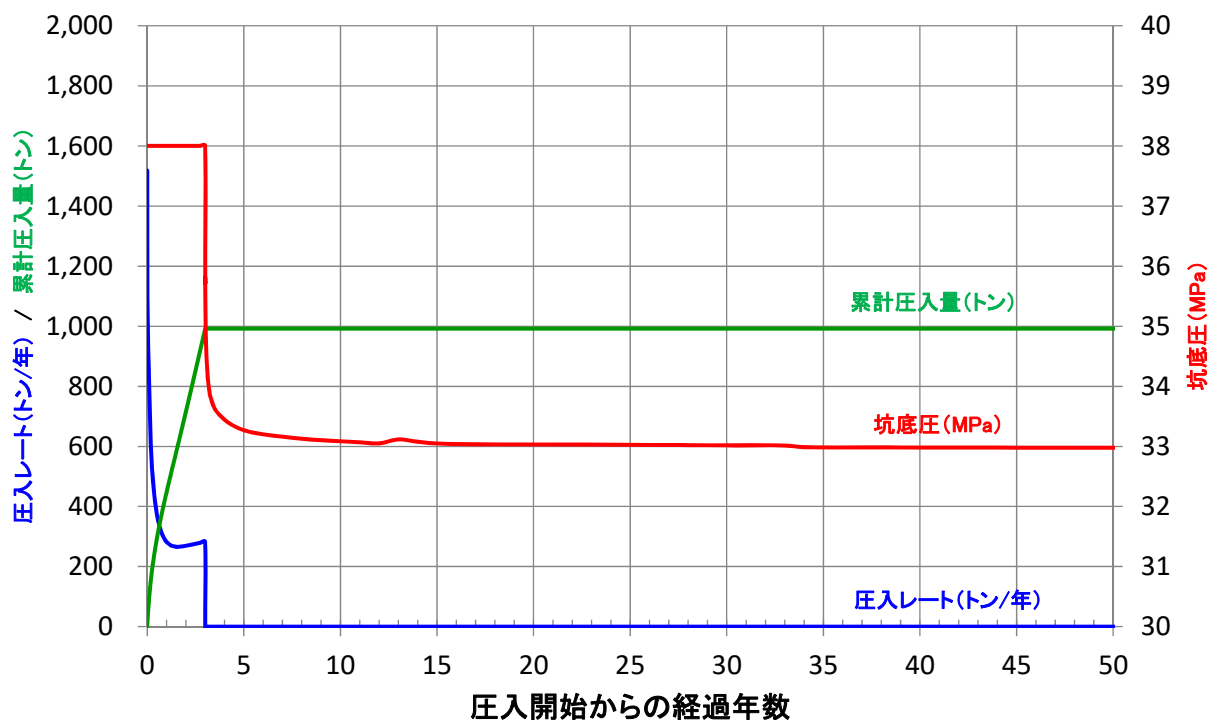
度センサー（P/T Sensor）により監視するが、それは遮蔽層下部（ケーシング Shoe 深度）よりも垂直深度で 33.71m 浅い位置にある。圧力センサーと貯留層の最上部との深度差に対応する圧力差は、その間を満たす超臨界 CO₂ の密度（0.8g/cm³）から算出でき、0.22MPa となる。坑底圧が圧入上限圧力を超えないようにするため、圧力センサーの読み値の上限を 38.04MPa とし、この上限を超えないように圧入圧力と圧入レートを制御し、圧入センサーの読み値が上限に達した場合は、CO₂ の圧入を停止する。

よって、「圧入上限圧力 $\geq$ 坑底圧」の関係が成立している。

なお、遮蔽層下部（ケーシング Shoe 深度）での貯留層の初期圧力は 32.82MPa であり、実際の坑底圧は、32.82～38.26MPa の範囲となる。

② 圧入速度（当初申請時）

坑底圧が圧入上限圧力を超えない範囲で圧入レートを変化させて、CO₂ を 3 年間圧入するシミュレーションを実施した。圧入中の坑底圧、圧入レート、累計圧入量および圧入開始から 50 年後までの滝ノ上層圧入井における坑底圧変化の関係を、第 5.2-3 図に示す。



第 5.2-3 図 CO₂ 圧入時の挙動（平成 27 年度シミュレーション結果）

圧入は 1,500 トン/年程度の圧入レートで開始するが、圧入開始直後に坑底圧の規定上限圧力（38.26MPa）に到達するため、圧入レートを下げる必要があり、約 1 年後には 300 トン/年程度の圧入レートとなる。圧入開始から 1.5 年程度経過したところから、圧入井近傍の CO₂ 濃度が高まるため、地層水に対する CO₂ の浸透性が増すことから、若干圧入レートが上昇するものと考えられる。3 年間での累計圧入量は、1,000 トンと推定される。

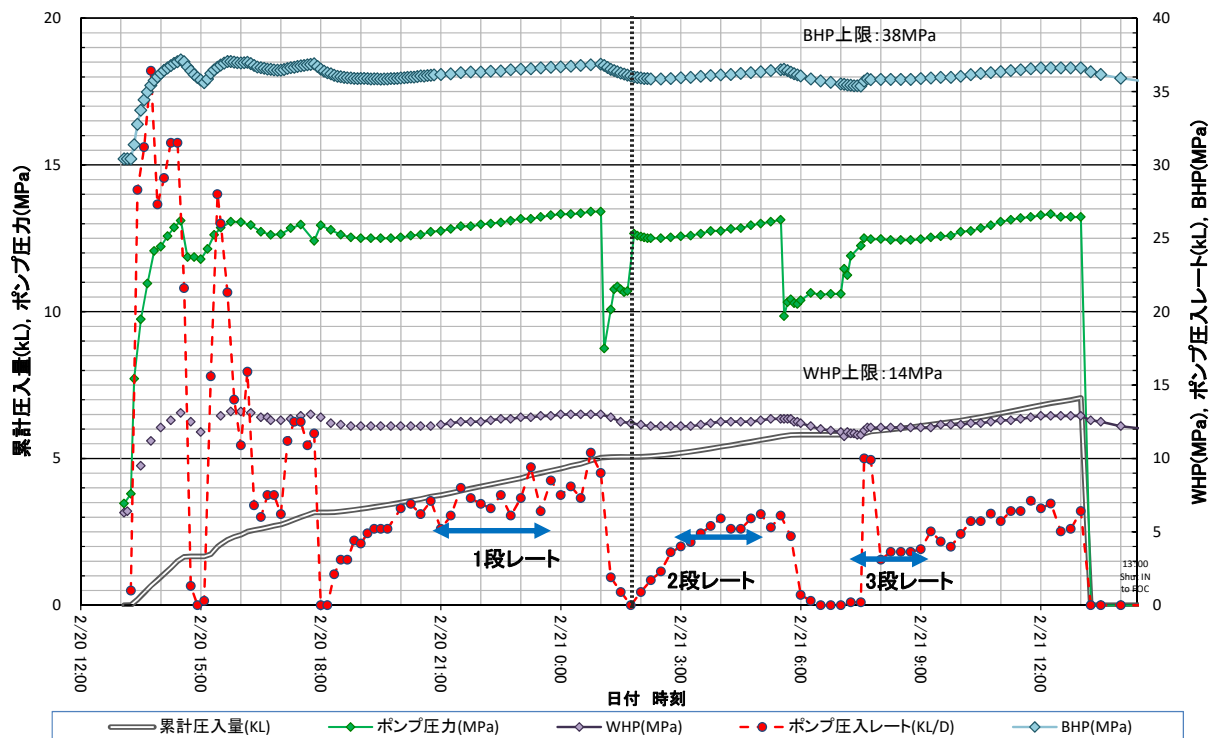
海洋汚染防止法では、適切な圧入レートで圧入するため、「収容レート」と「圧入レート」

に対し、「収容レート $\geq$ 圧入レート」の関係が成立している必要がある。

【用語の定義】

- ・ 収容レート：圧入上限圧力以下で圧入可能と推定された最大の圧入流量（単位：トン/年）
- ・ 圧入レート：圧入する際の圧入流量（単位：トン/年）

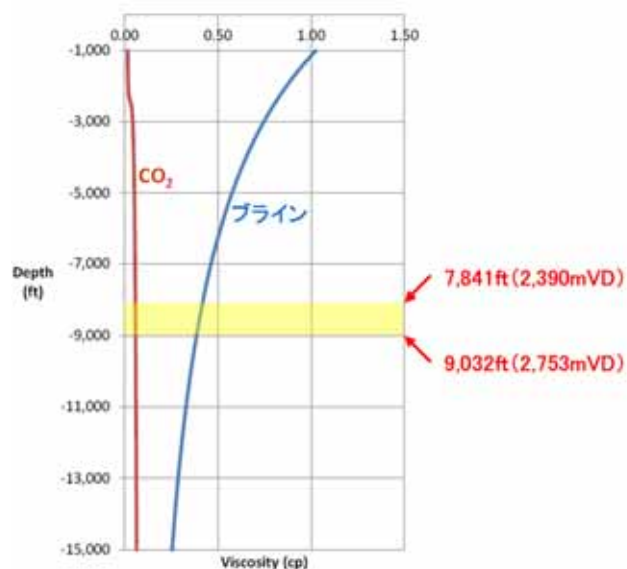
圧入上限圧力以下で圧入可能と推定される最大の圧入流量は、滝ノ上層圧入井掘削時に実施したブラインによる圧入テストの結果により設定する。ブラインによる圧入テストでは、1日間のテスト期間において7kLのブラインを圧入した（平均圧入流量：7kL/日）が、圧入テスト初期の最大圧入流量は36kL/日に達していた（第5.2-4図）。



注：WHP：Well Head Pressure, BHP：Bottom Hole Pressure。

第 5.2-4 図 滝ノ上層圧入井掘削時に実施したブラインによる圧入テストの結果

ダルシー則（流動シミュレーションで流体移動の基本法則として使用されている）では、圧入量は浸透率に比例し圧入流体の粘性に反比例するとされる。滝ノ上層 T1 部層の深度付近でのブラインの粘性が約 0.4cp であるのに対し、CO₂の粘性は 0.06cp となり、ブラインよりも CO₂の粘性は著しく低い（粘性比 6.7 倍）（第 5.2-5 図）。このため、CO₂の圧入速度はブラインの圧入速度よりも大きくなるが、貯留層中での地層水と CO₂の相対浸透率が明確でないため、単純に CO₂の圧入レートを推定することは困難である。



- 注：1. David Morgan & Tim Grant (2014) : CO₂ Storage, A lecture presented at Carnegie Mellon University, NETL Office of Program Performance & Benefits, February 25, 2014 に加筆
 2. 黄色の部分は、滝ノ上層 T1 部層の深度付近を示す。

第 5.2-5 図 CO₂ とブラインに深度に対する粘性の変化

上述したとおり、ブラインによる圧入テストでの最大圧入流量は 36kL/日であったため、CO₂ を少なくとも 36kL/日以上で速度で圧入できると考えられる。超臨界 CO₂ の密度を 770kg/kL (90°C, 38MPa) とすると、最大圧入流量は 1.1 トン/時以上と予測することが可能である。

したがって、「収容レート」は、1.1 トン/時≒10,000 トン/年とする。なお、この圧入速度は、一時的に起こりうる最大の圧入速度として仮定したものである。

滝ノ上層 T1 部層への「圧入レート」は、第 5.2-3 図に示す平成 27 年度シミュレーション結果に基づき、坑底圧が圧入上限圧力を超えない範囲で設定する。同結果に基づく最大の圧入レートは、1,500 トン/年である。

よって、「収容レート≧圧入レート」の関係が成立している。

圧入レートを計測する流量計の仕様を、第 5.2-1 表に示す。

滝ノ上層への CO₂ の圧入量は、当初は年間 20 万トンの計画であったため滝ノ上層圧入流量計を設置したが、滝ノ上層圧入井掘削時に取得したデータによる貯留層評価の見直しにより、3 年間で 750 トンの圧入量とすることに計画変更した。そのため CO₂ の圧入は、圧入上限圧力以下でかつ 250～1,500 トン/年の圧入レートの範囲で行うこととし、この範囲の流量を高精度(±1.1%RD)で測定可能である滝ノ上層少量圧入流量計を追設することとした。この滝ノ上層少量圧入流量計の追設については、分離・回収設備の建設で実績のある施工業者を選定し、2016 年 10 月に設置を完了した。

滝ノ上層少量圧入流量計の仕様は、圧入計画の最大圧入レート (1,500 トン/年=171kg/h) で±17kg/h の精度、平均流量時 (300 トン/年=34.2kg/h) で±0.4kg/h の精度、最小圧入レート (250 トン/年=28.5kg/h) で±0.3kg/h の精度であり、圧入レートの計測に妥当であると判断している。

第 5.2-1 表 圧入速度（圧入量）を計測する流量計の仕様

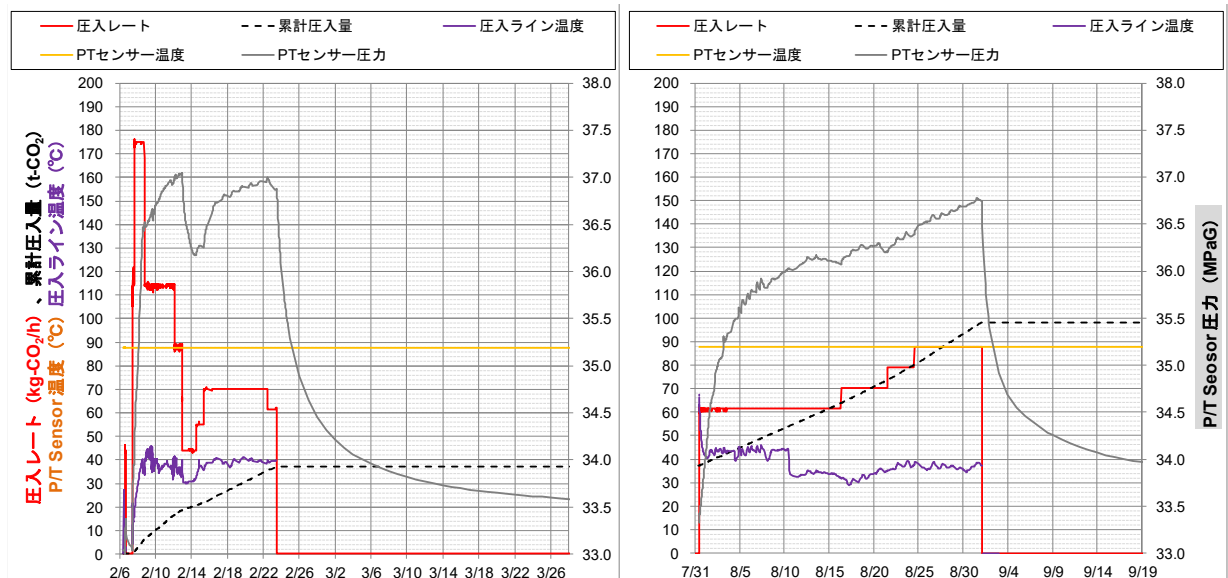
流量計	使用範囲	(保証範囲) 精度
滝ノ上層少量圧入流量計 (コリオリ式)	0～380kg/h	(24～380kg/h) ±1.1%RD (10～24kg/h) ±2.5%RD (期待値)
滝ノ上層圧入流量計 (超音波式)	0～30,000kg/h	(6,744～30,000kg/h) ±1.0%RD (1,686～6,744kg/h) ±0.2%FS (193.9～1,686kg/h) ±5%RD (期待値)

注：1. RD (Reading) は、読み値に対する精度を表す。
2. FS (Full Scale) は、最大流量に対する精度を表す。

また、チュービングの圧力損失は CO₂ の粘度が小さいことから圧力損失も小さく、坑底で上限圧を超えないためには坑口での圧力を 18～20MPa 程度すなわち臨界圧力以下で CO₂ を圧入することになる。したがって、流量計の設計圧力 (24.5MPa) は超えないが、坑底圧力が上限圧力を超えた場合には、CO₂ 圧入を停止する。

③ 圧入速度（変更申請時）

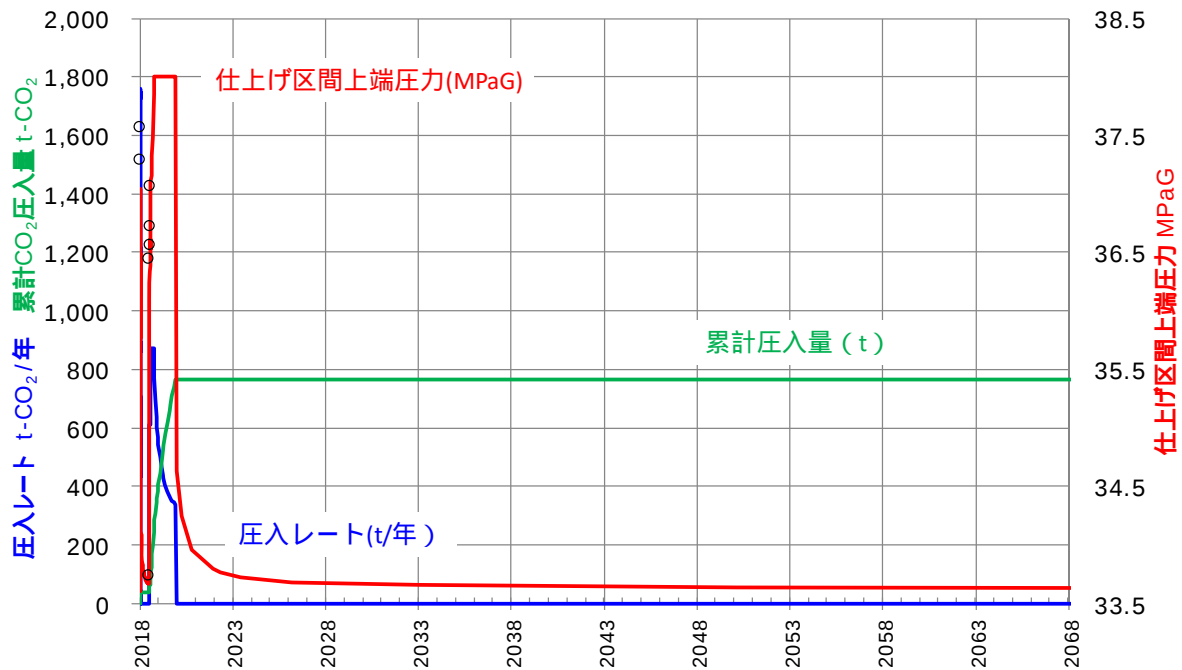
滝ノ上層への圧入は 2018 年 2 月と同年 7 月～9 月に実施した。滝ノ上層への圧入実績を第 5.2-6 図に示す。圧入レートの実績は、圧入開始のごく初期を除き 45～175kg/h (400～1,500 トン/年程度であった。



注：圧入上限圧力は 38MPaG

第 5.2-6 図 滝ノ上層への圧入実績（2018 年 2 月～3 月および 2018 年 7 月～9 月）

圧入実績を考慮し、2018 年 2 月～2020 年 3 月までに、仕上げ区間上端にかかる流動坑底圧が圧入上限圧力を超えない範囲で累計圧入量が 750 トンに達するように CO₂ を圧入するシミュレーションを実施した。圧入開始から 50 年後までの、圧入中の仕上げ区間上端圧力、圧入レート、累計圧入量を第 5.2-7 図に示す。



第 5.2-7 図 CO₂ 圧入時の挙動（平成 30 年度（暫定）シミュレーション結果）

シミュレーションでは、2018 年 8 月 31 日までは圧入実績に基づき、それ以降をほぼ 876 トン/年（100kg/時）での圧入を継続することを想定した。③圧入速度（当初申請当時）で示したとおり、収容レートは 10,000 トン/年であるため、実績および予想の双方で、適切な圧入レート「収容レート $\geq$ 圧入レート」が成立している。また、圧入レートが当初申請の収容レートを超えないということに加え、リークオフ圧力等を考慮し、実績を踏まえつつ安全な圧入方法で 750 トンを収容（貯留）するため、圧入速度の設定は妥当である。

圧入レートを計測する流量計の仕様は、圧入実績および予測に基づく圧入レートから、③圧入速度（当初申請当時）で示したとおり、妥当であると考えられる。

④ 圧入温度（当初申請時）

圧縮機により昇圧した CO₂ は、40℃に冷却した後、坑口に移送する。移送には電気トレースによる保温配管を使用し、40℃の維持を図る。なお、気象条件（雨、風、雪など）による降温も想定されるが、坑口では、CO₂ の超臨界状態を保つための温度（31.1℃以上）は維持する。

坑口から貯留層までの区間の CO₂ 温度については、ほぼ各地層温度に近くなるものと推定される。滝ノ上層圧入井の坑内温度は、第 5.4-1 図に示す圧入井の遮蔽層最下部付近に設置した圧力・温度センサー（P/T Sensor）により監視する。現在の観測値（坑内は比重 1.41 の NaBr ブラインで満たされている状態）は約 87℃であり、滝ノ上層 T1 部層に圧入される CO₂ の温度も同程度となる。

⑤ 圧入温度（変更申請時）

圧縮機により昇圧した CO₂ は、定常圧入時には 40℃に冷却した後、坑口に移送する。移送には電気トレースによる保温配管を使用し、40℃程度の維持を図る。なお、これまでの圧入実績では、圧縮開始初期において、圧縮機で昇圧した CO₂ がより低圧の圧入ラインに流入し

た際の断熱膨張による温度低下により、ハイドレート化することが懸念されたため、ハイドレート化による圧入ラインの閉塞対策として、圧入ライン温度を 60℃以上まで昇温して対応したケースがある（第 5.2-6 図）。気象条件（雨、風、雪など）による降温も想定されるが、定常圧入時には、坑口において CO₂ の超臨界状態を保つための温度（31.1℃以上）を維持することを目標としており、ほぼすべての期間でこの目標を達成した（第 5.2-6 図）。

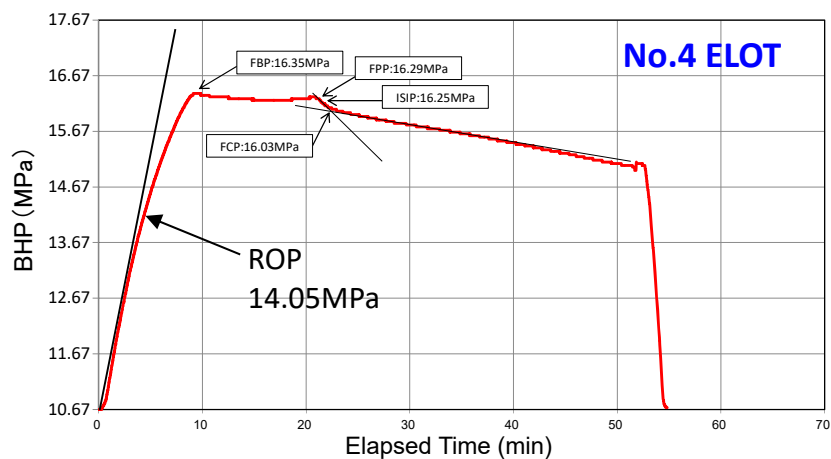
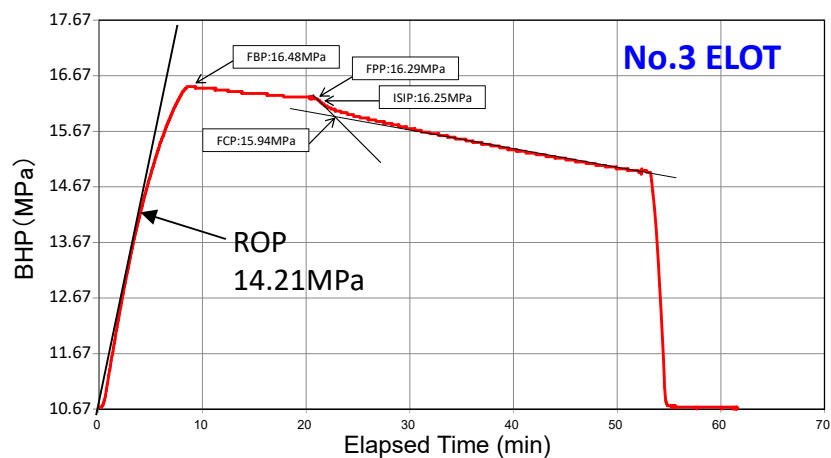
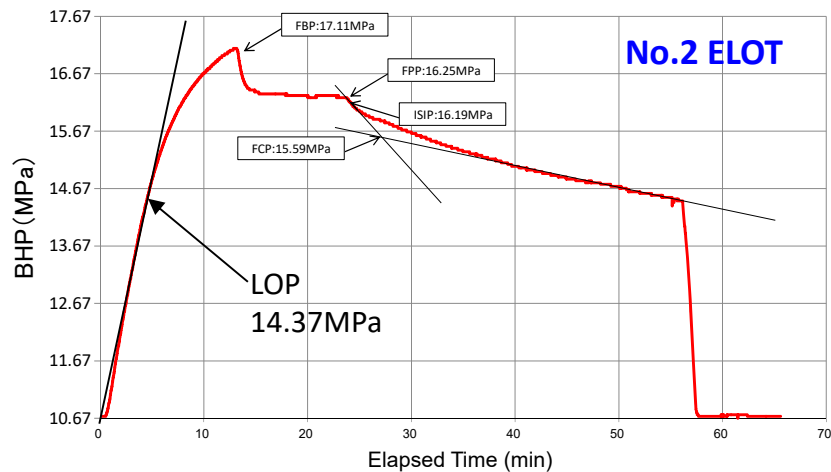
坑口から貯留層までの区間の CO₂ 温度については、ほぼ各地層温度に近くなるものと推定される。滝ノ上層圧入井の坑内温度は、第 5.4-1 図に示す圧入井の遮蔽層最下部付近に設置した圧力・温度センサー（P/T Sensor）により監視している。第 5.2-6 図に示すように、圧入中の坑底温度は 87～88℃程度で安定していた。P/T Sensor から、貯留層の仕上げ区間上端部までの深度差は垂直深度で 42m となる。地温勾配は 3.37℃/100m（添付書類-4（海域選定書）第 2.2-11 図）であるため、貯留層の仕上げ区間上端部における CO₂ 圧入温度は 88.4～89.4℃程度であったと考えられる。

(3) 萌別層砂岩層における特定二酸化炭素ガスの圧入圧力及び速度並びに圧入時の温度等の圧入条件

前述の「4.5 海底下廃棄をされた特定二酸化炭素ガスが広がる範囲」で用いたシミュレーションにより、特定二酸化炭素ガスの圧入圧力、圧入速度及び圧入時の温度等の圧入条件に関する詳細について検討した。

① 圧入圧力

萌別層圧入井掘削時に実施したエクステンデットリークオフテストの結果を、第 5.2-8 図に示す。この結果より、遮蔽層の破壊圧（リークオフ圧力）を 14.37MPa、遮蔽層下部（ケーシング Shoe 深度）での圧入圧力の上限値を 12.93MPa（リークオフ圧力の 90%）とした。



- 注：1. 対象層：萌別層。対象深度：2,405m～2,408m。ケーシング Shoe 深度：2,405m (971mVD)。坑内泥水比重：1.12。
 2. LOP：Leak-off Pressure, FBP：Formation Breakdown Pressure, FPP：Fracture Propagation Pressure, ISIP：Instantaneous Shut-in Pressure, FCP：Fracture Closure Pressure, ROP：Re-Opening Pressure (再開口圧力)。
 3. Formation Breakdown 圧力 (17.11MPa) は、リークオフ圧力 (14.37MPa) よりも約 19%高かった。

第 5.2-8 図 萌別層圧入井における遮蔽層でのエクステンデットリークオフテストの結果

海洋汚染防止法では、適切な圧力で圧入するため、「坑底圧」と「圧入上限圧力」に対し、「圧入上限圧力 $\geq$ 坑底圧」の関係が成立している必要がある。

【用語の定義】

- 坑底圧：圧入井ヒール側の貯留層に接している圧入孔における圧力 (単位：MPa)

- ・ 圧入上限圧力：遮蔽層を破壊しないように設定した上限圧力（単位：MPa）

坑底圧は、遮蔽層下部（ケーシング Shoe 深度）での圧力とする。圧入上限圧力は、遮蔽層下部（ケーシング Shoe 深度）において 12.93MPa（リークオフ圧力の 90%）である。萌別層圧入井の坑内圧力は、第 5.4-2 図に示す圧入井の遮蔽層最下部付近に設置した温度・圧力センサー（P/T Sensor）により監視するが、それは遮蔽層下部（ケーシング Shoe 深度）よりも垂直深度で 41.54m 浅い位置にある。圧力センサーと貯留層の最上部との深度差に対応する圧力差は、その間を満たす超臨界 CO₂ の密度（0.74g/cm³）から算出でき、0.30MPa である。坑底圧が圧入上限圧力を超えないようにするため、圧力センサーの読み値の上限を 12.63MPa とし、この上限を超えないように圧入圧力と圧入レートを制御し、圧入センサーの読み値が上限に達した場合は、CO₂ の圧入を停止する。

よって、「圧入上限圧力 $\geq$ 坑底圧」の関係が成立している。

なお、遮蔽層下部（ケーシング Shoe 深度）での貯留層の初期圧力は 9.67MPa であり、実際の坑底圧は、9.67～12.93MPa の範囲となる。

② 圧入速度（当初申請時）

CO₂ を萌別層圧入井から 20 万トン/年のレートで 3 年間圧入するシミュレーションを、各ケースについてそれぞれ実施した。その結果を、第 5.2-9 図に示す。

3 年間の圧入終了時には、12,000～13,000kPa 程度まで坑底圧が上昇するが、圧入停止後には急速に減圧し 10,500kPa 程度まで下がり、47 年後には 10,350kPa 程度まで下がる。

掘削した萌別層圧入井の貯留層の浸透率は、370mD と大きな値が解析されている。よって、本計画を実施した場合、坑底圧力の上昇が大きい高浸透率ケースに近い挙動をとると予測され、より安全に特定二酸化炭素ガスを圧入できると考えられる。

海洋汚染防止法では、適切な圧入レートで圧入するため、「収容レート」と「圧入レート」に対し、「収容レート $\geq$ 圧入レート」の関係が成立している必要がある。

【用語の定義】

- ・ 収容レート：圧入上限圧力以下で圧入可能と推定された最大の圧入流量（単位：トン/年）
- ・ 圧入レート：圧入する際の圧入流量（単位：トン/年）

萌別層砂岩層については、平成 23 年度 CO₂ 挙動予測シミュレーションにおいて、25 万トン/年の圧入レートで圧入可能であることを確認している。したがって、「収容レート」は 25 万トン/年とする。

一方、圧入計画では、原料ガスの供給量や二酸化炭素の分離・回収設備の能力の制約から、圧入量は年間 20 万トン/年が上限である。設備の稼働日数は 330 日/年であり、「圧入レート」は 20 万トン/330 日 $\div$ 22.1 万トン/年以下となる。

よって、「収容レート $\geq$ 圧入レート」の関係が成立している。

なお、圧入レートを計測する流量計の仕様を、第 5.2-2 表に示す。

圧入計画の最大圧入レート（22 万トン/年 $\div$ 25,300kg/h）で $\pm$ 253kg/h の精度、最大圧入レートの 1/10 流量時（2,530kg/h）で $\pm$ 38.0kg/h の精度であり、流量計の仕様は圧入レート

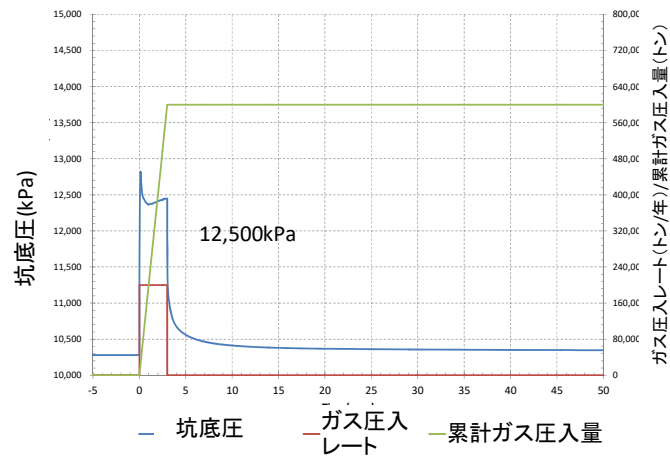
の計測に妥当であると判断している。

第 5.2-2 表 圧入速度（圧入量）を計測する流量計の仕様

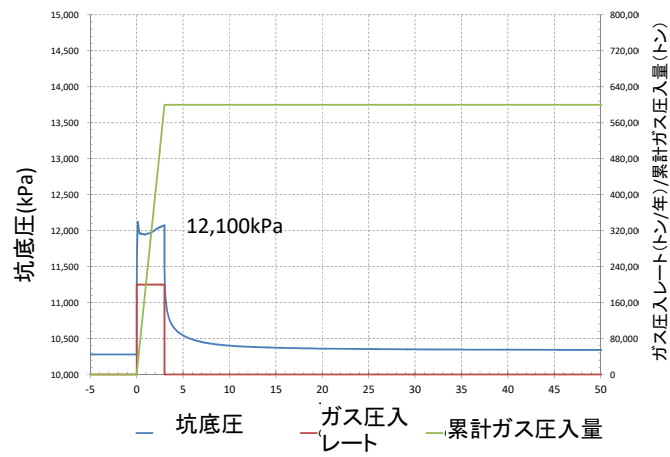
流量計	使用範囲	(保証範囲) 精度
萌別層圧入流量計 (コリオリ式)	0～30,000kg/h	(3,000～30,000kg/h) ±1.0%RD (1,200～3,000kg/h) ±1.5%RD

注：RD (Reading) は、読み値に対する精度を表す。

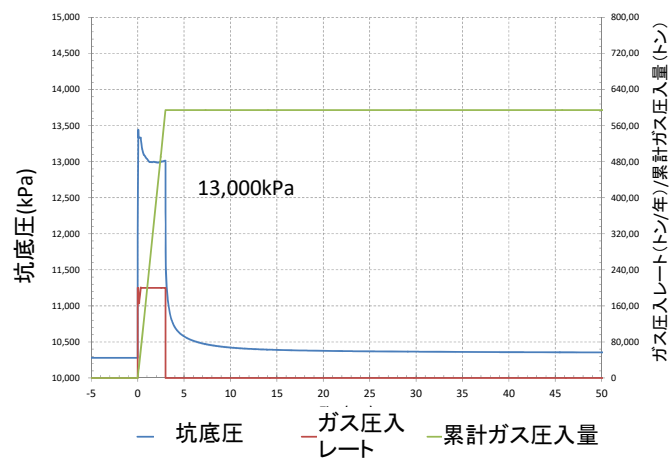
また、チュービングの圧力損失は CO₂ の粘度が小さいことから圧力損失も小さく、坑底で上限圧を超えないためには坑口での圧力を 6～7MPa 程度すなわち臨界圧力以下で CO₂ を圧入することになる。したがって、流量計の設計圧力 (9.7MPa) は超えないが、坑底圧力が上限圧を超えた場合には、CO₂ 圧入を停止する。



ベースケース（圧入終了時の坑底圧：12,500kPa）



高浸透率ケース（圧入終了時の坑底圧：12,100kPa）



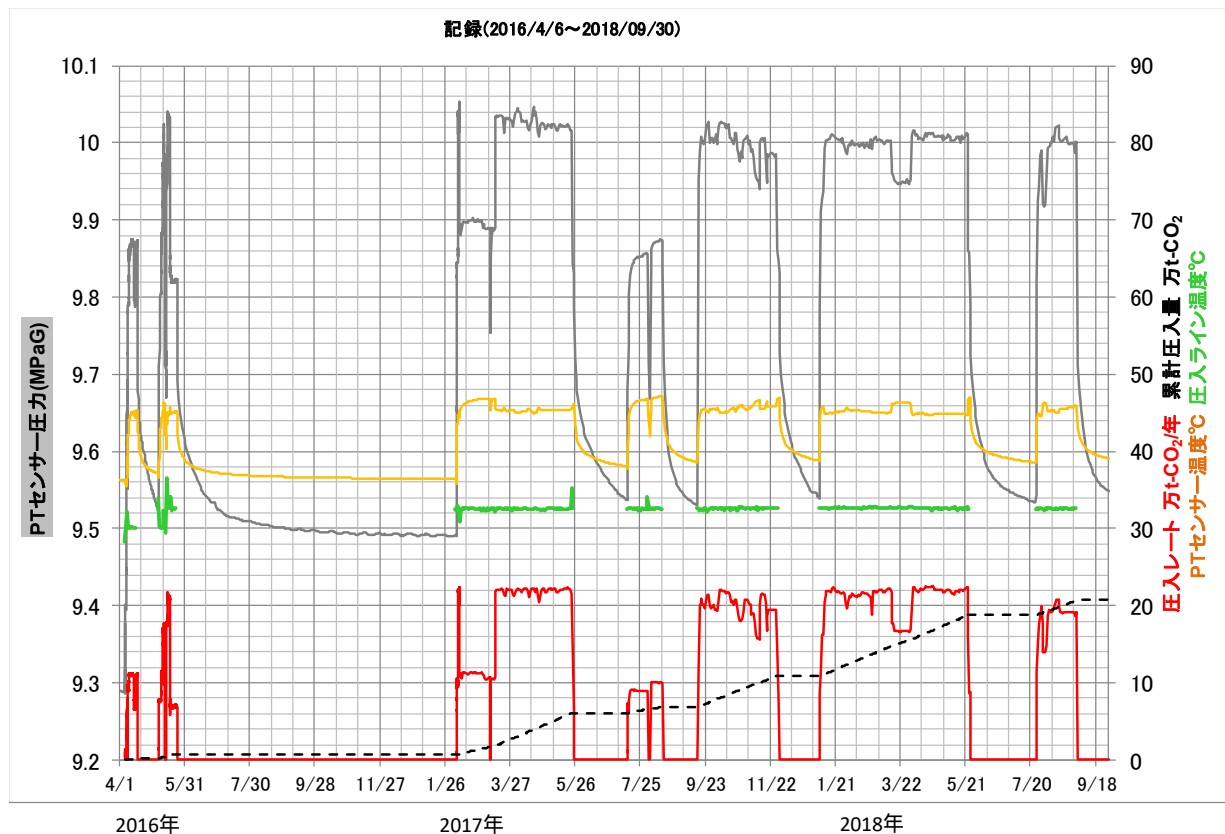
低浸透率ケース（圧入終了時の坑底圧：13,000kPa）

注：萌別層圧入井の掘削により確認した萌別層の浸透率は、本シミュレーションの設定値よりも高いことが確認された。よって、CO₂圧入時の圧力上昇は、本シミュレーション結果よりも低くなることが予想される。

第 5.2-9 図 萌別層砂岩層における圧入圧力挙動（平成 24 年度シミュレーション結果）

③ 圧入速度（変更申請時）

萌別層への圧入は2016年4月6日より実施している。萌別層への圧入実績を第5.2-10図に示す。実績圧入レート 0～22.5 万トン/年程度となった。記録された最大の圧力・温度センサー（P/T Sensor）における圧力は 10.05MPaG 程度であった。この深度でにおける圧入上限圧力の 12.63MPaG には十分余裕をもった安全な圧入を実施した。

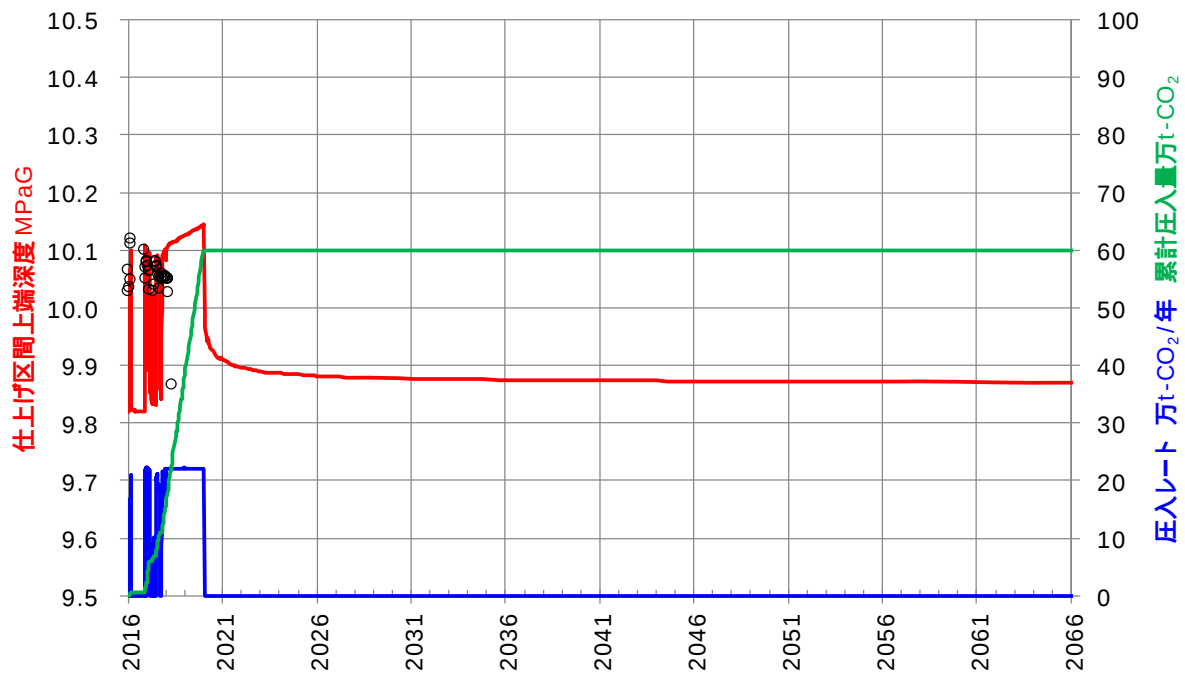


注：1 1年=365日

2 P/T Sensor における圧入上限圧力は 12.63MPaG

第 5.2-10 図 萌別層への圧入実績

圧入実績を考慮し、2016年4月6日～2020年3月31日までに、仕上げ区間上端にかかる流動坑底圧が圧入上限圧力を超過しない範囲で圧入を継続し、累計圧入量が 60 万トンとなるシミュレーションを実施した。圧入開始から 50 年間の圧入中の仕上げ区間上端圧力、圧入レート、累計圧入量の関係を第 5.2-11 図に示す。仕上げ区間上端深度における上限圧力は 12.93MPaG であるが、圧入期間中に予想される最大圧力は 10.15MPaG 程度であった。



注：1 1年=365日

2 仕上げ区間上端における圧入上限圧力は 12.93MPaG

第 5.2-11 図 CO₂ 圧入時の挙動（平成 30 年度（暫定）シミュレーション結果）

萌別層砂岩層については、平成 23 年度 CO₂ 挙動予測シミュレーションにおいて、25 万トン/年の圧入レートで圧入可能であることを確認している。したがって、「収容レート」は 25 万トン/年とする。

圧入実績および今後の圧入予測シミュレーションにおいて想定する最大圧入レートは、22.5 万トン/年であるため、「圧入レート」は 22.5 万トン/年とする。したがって、適切な圧入レート「収容レート $\geq$ 圧入レート」が成立している。

④ 圧入温度（当初申請時）

圧縮機により昇圧した CO₂ は、40℃に冷却した後、坑口に移送する。移送には電気トレースによる保温配管を使用し、40℃の維持を図る。なお、気象条件（雨、風、雪など）による降温も想定されるが、坑口では、CO₂ の超臨界状態を保つための温度（31.1℃以上）は維持する。

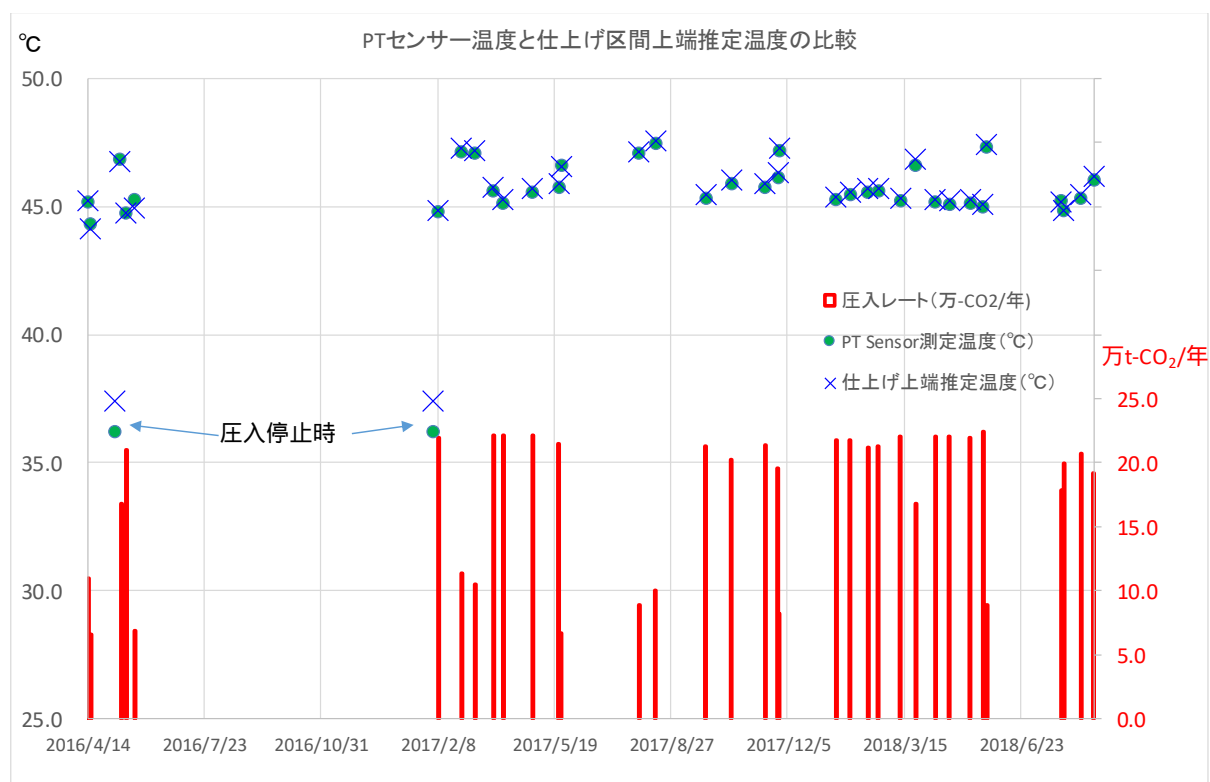
坑口から貯留層までの区間の CO₂ 温度については、ほぼ各地層温度に近くなるものと推定される。萌別層圧入井の坑内温度は、第 5.4-2 図に示す圧入井の遮蔽層最下部付近に設置した圧力・温度センサー（P/T Sensor）により監視する。現在の観測値（坑内は比重 1.02 の NaCl ブラインで満たされている状態）は約 37℃であり、萌別層砂岩層に圧入される CO₂ の温度も同程度となる。

⑤ 圧入温度（変更申請時）

圧縮機により昇圧した CO₂ は、定常圧入時には 40℃に冷却した後、坑口に移送する。移送には電気トレースによる保温配管を使用し、40℃程度の維持を図る。気象条件（雨、風、雪など）による降温も想定されるが、定常圧入時には、坑口において CO₂ の超臨界状態を保つための温度（31.1℃以上）を維持することを目標とする。なお、第 5.2-10 図に示すとおり、

ほぼ目標通りの圧入を実施している。

坑口から貯留層までの区間の CO₂ 温度については、圧入レートに応じた圧入井管内の圧力損失や断熱変化により変化すると考えられる。萌別層圧入井の坑内温度は、第 4.5-62 図および第 5.4-2 図に示す圧入井の遮蔽層最下部付近に設置した圧力・温度センサー（P/T Sensor）により監視している。この圧力・温度実測値を参照し、管内流動シミュレーションにより、仕上げ区間上端における流動坑底温度を推定した。第 5.2-10 図に示すように、圧入中の P/T Sensor 深度における温度は 44～48℃程度ある。管内流動シミュレーションにより推定した様々な圧入レートにおける仕上げ区間上端の流動坑底温度は、第 5.2-12 図に示すとおり P/T Sensor 深度において計測された温度とほぼ同等の 44～48℃程度であったと推定される。今後もこれまでと同様の条件で圧入するため、貯留層に圧入する CO₂ の温度は 44～48℃程度となると考えられる。



第 5.2-12 図 圧入中の P/T Sensor 測定温度と仕上げ区間上端で推定される圧入温度

(4) 特定二酸化炭素ガスの坑井内での相変化による影響について（当初申請時）

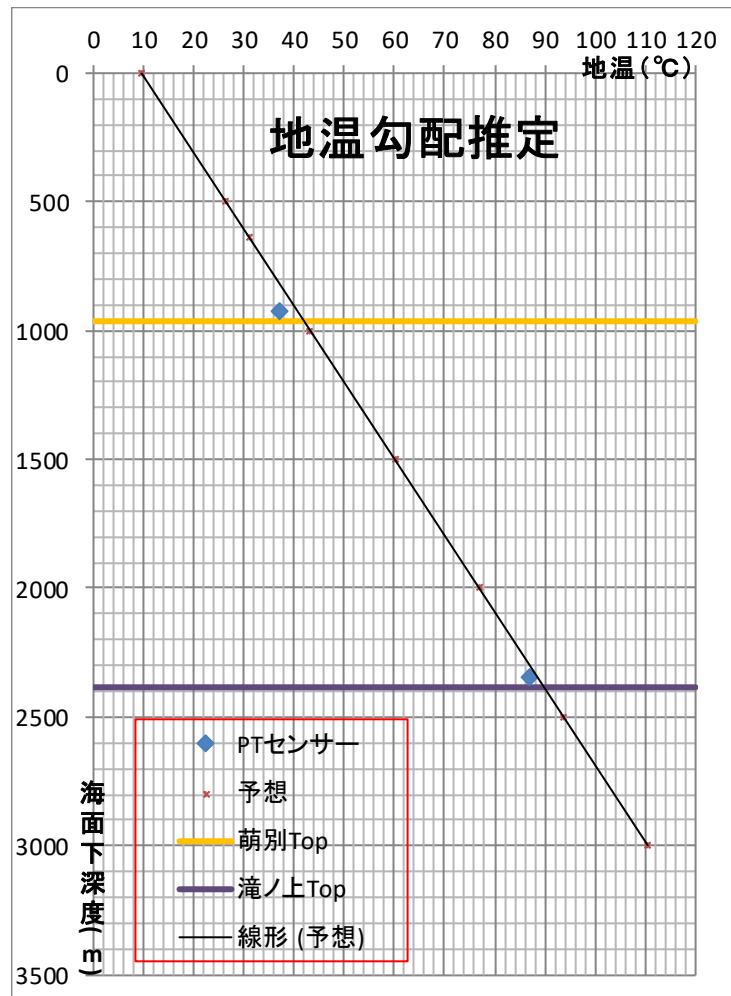
CO₂ による配管腐食は、超臨界、液相、気相いずれにおいても水が介在した場合に酸性腐食の恐れが生じる可能性がある。そのため、圧入井のチュービングには、貯留層の温度・圧力条件を再現した環境での CO₂ の飽和した塩水による腐食試験で高い耐食性を確認したステンレス鋼（萌別層は 13Cr、滝ノ上層は 13Cr-5Ni-2Mo）を使用している。圧入する CO₂ には水分が 0.3% 程度含まれるが、上記試験により耐食性を確認したチュービング内で CO₂ が相変化したとしても、CO₂ による配管腐食の可能性が増大する恐れはないと考えている。

管内で気液二相領域が発生した場合のバブルの流動挙動（上昇，下降）に関し，チュービング内に気相が出現することで，坑底の圧力制御に問題の生ずる可能性は無いと判断している。その理由は，浅部の地温が低下し気相が存在する可能性がある世界各地の寒冷地や大水深域において，既に CO₂-EOR を含む多くの CCS が実施されているが，このような問題が報告されていないことによる。

なお，できる限り気液二相状態を生じないことを基本とすることから，坑口においても超臨界の条件で圧入を行う。

チュービング内は超臨界 CO₂ が大部分の区間を占めると考えるが，相変化した場合でも操業上の問題は生じないと考えているため，チュービング内での相変化の全判定は行っていない。なお，相変化の可能性については以下のように考える。

苫小牧での坑井掘削結果から，地温勾配は約 3.37℃/100m であり，深度約 600m で 31℃となるが，この浅部でも，連続圧入中は超臨界状態が維持できると考えている。しかし，CO₂ の流量が小さく，温度が地層温度に限りなく近づくと仮定すると，深度約 600m より浅い深度では亜臨界状態の液相となる。萌別層および滝ノ上層の地温勾配の推定と圧入井に設置した圧力・温度センサー（P/T Sensor）の温度のプロットを，第 5.2-13 図に示す。周辺坑井物理検層（ワイヤーライン検層）時に計測された最高温度を元に推定した地温勾配から求めている。添付書類-4（海域選定書）第 2.2-11 図に示したとおり，地温勾配（℃）＝海面下深度（m）× 0.0337377+9.5 の関係があるとして推定している。

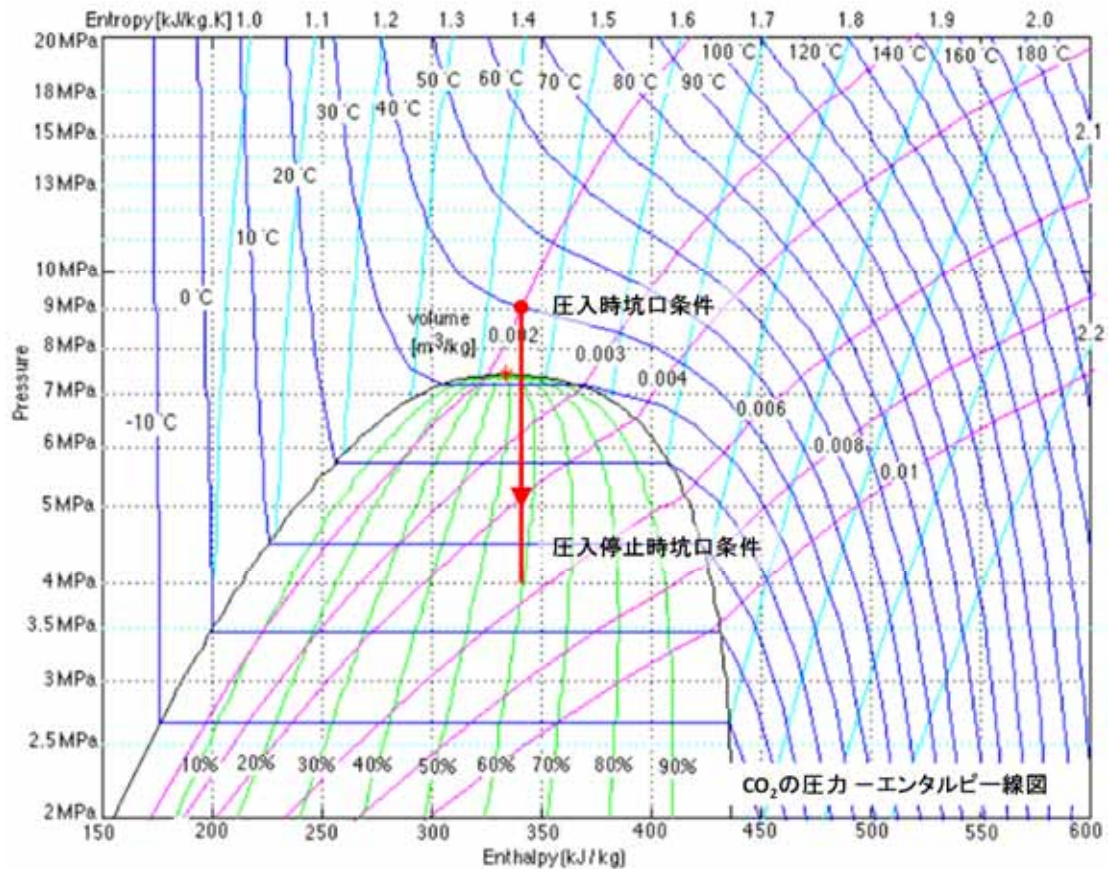


注) 地表付近の温度は外気温の影響を受けるため一定ではない。

第 5.2-13 図 地温勾配の推定

萌別層において坑底圧力の上限值 12.93MPa 以下に保って圧入を行う場合、坑口圧力は 8MPa 以上に保たれ、超臨界圧力以下に下がることはないと推定される。萌別層では比較的大きな流量で圧入が行われるため、チュービング内の圧力上昇（圧縮）によって流体温度はむしろ上昇する場合があります。超臨界 CO₂ の平均密度は、臨界点での密度 0.45 前後が維持されることが考えられる。萌別層圧入井の坑口圧力は、圧入時には臨界圧力を超えているが、圧入停止時には 4～5MPaA まで低下する。この圧力低下が断熱的に起こると、気液二相領域に入る。なお、約 500m より深い位置では、圧入停止時にも超臨界状態が維持されている。

第 5.2-14 図により坑口における CO₂ の状態変化を考察すると、圧入時の坑口温度圧力条件が 40℃、9MPaA の場合、圧入停止時に断熱的に 5MPaA まで圧力が低下すると温度は約 14℃となり、4MPaA まで圧力が低下すると温度は約 6℃となる。これらの条件では、気液混相 CO₂ の密度は 200～250kg/m³ 程度、気液比率はほぼ半々となる。



第 5.2-14 図 坑口条件の変化と CO₂ 状態の変化

滝ノ上層は、坑底圧力の上限を 38.26MPa 以下に保つ場合、坑口圧力は 18-20MPa と推定され、超臨界圧力以下に下がることはない。また、流量が少なく、地層温度に近づく場合も、超臨界相または液相の領域にあり、気液二相領域には入らない。圧入を停めても、坑口装置によってこの圧力は維持される。

(5) 特定二酸化炭素ガスの坑井内での相変化による影響について（変更申請時）

CO₂による配管腐食は、超臨界、液相、気相いずれにおいても水が介在した場合に酸性腐食の恐れが生じる可能性がある。そのため、圧入井のチュービングには、貯留層の温度・圧力条件を再現した環境でのCO₂の飽和した塩水による腐食試験で高い耐食性を確認したステンレス鋼（萌別層は13Cr、滝ノ上層は13Cr-5Ni-2Mo）を使用している。13Cr鋼は炭酸腐食対策として開発された坑井用の金属材料であり、100℃以下では非常に高い耐食性を示すことが知られ、坑井用材料として汎用的に使われている。

圧入するCO₂には水分が0.3%程度含まれ、遊離水が生成すれば炭酸腐食環境となる。しかし、チュービング内で遊離水が生成する条件となることはなく、仮に遊離水が生成したとしても、上記試験および13Cr鋼の炭酸腐食耐性・産業界での実績に基づけば、坑底よりも低温である坑口付近で、液相、気相、超臨界相を問わずCO₂による配管腐食が起こる可能性はなく、今後も安全に圧入を継続できると考えている。

坑口においても超臨界の条件で圧入を行うことを目指すが、圧入開始や圧入再開の極初期をはじめ、また定常圧入時においても、圧入速度によっては坑口における圧入圧力が超臨界条件（7.38MPaA）未満となり、気液二相状態を生じた可能性がある。しかしながら、2016年4月6日以降の圧入実績において、管内で気液二相領域が発生したことにより、坑底の圧力制御に問題が生じたことはなかった。今後も同様の条件で圧中を継続する計画であるため、圧力制御御問題が生じるとは考えていない。なお、圧力・温度センサー（P/T Sensor）で観測される温度・圧力値は全て超臨界条件を満たしており、貯留層に圧入したCO₂は全て超臨界状態であった。

5.3 特定二酸化炭素ガスの圧入等による地層内圧力及び温度の変化等の見通し

前述の「4.5 海底下廃棄をされた特定二酸化炭素ガスが広がる範囲」で用いたシミュレーションにより、特定二酸化炭素ガスの圧入等による地層内圧力及び変化等の見通しについて検討した。以下、滝ノ上層 T1 部層および萌別層砂岩層それぞれについて記す。

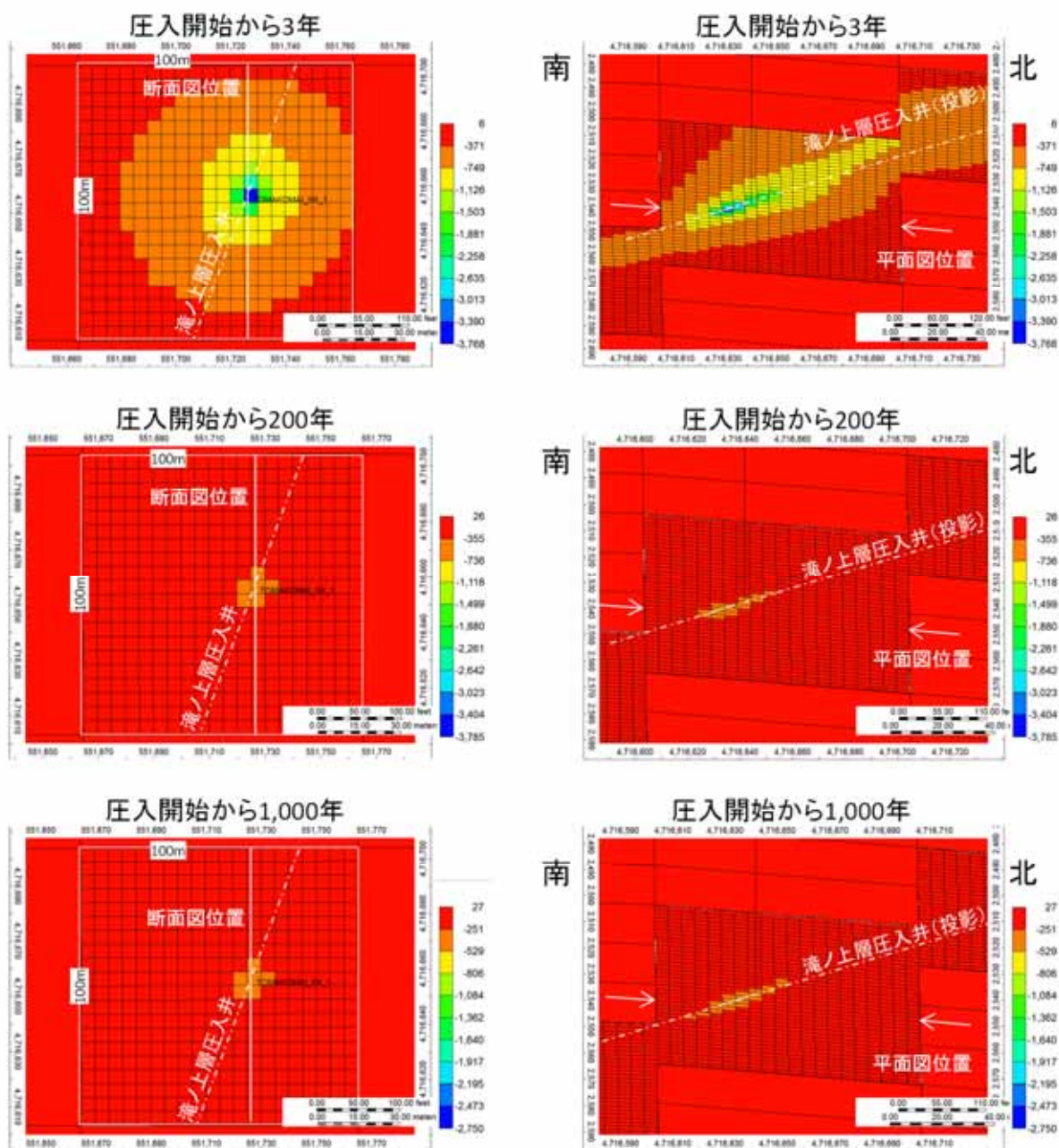
(1) 滝ノ上層 T1 部層における特定二酸化炭素ガスの圧入等による地層内圧力及び温度の変化等の見通し（当初申請時）

CO₂を滝ノ上層 T1 部層に3年間圧入した直後、および圧入開始から200年後および1,000年後の貯留層内での圧力変化について、シミュレーションにより予測した。その結果を、第5.3-1図に示す。

3年間のCO₂圧入により上昇した圧力は、圧入井の周辺約50m程度まで伝播する（第5.3-1図上段）。また、垂直方向には、上下20～30mの範囲の圧力が上昇する。

その後圧力は低下し、200年後には坑跡に沿ってわずかな影響を残す程度まで圧力は低下する。しかしながら、それ以降ほとんど圧力は下がらず、1,000年たってもその影響はほとんど変わらないと予測された（第5.3-1図の中段および下段）。

圧入による貯留層内の温度分布については、一時的に温度が変化することはいえるものの、圧入したCO₂の温度は、貯留層深度での地温に支配されることが考えられることから、貯留層の初期温度からほとんど変化しないと予想された。なお、貯留層の温度は88℃（海面下2,340m）としてシミュレーションを実施した。



- 注：1. 坑跡が通過する地点の平面図（左図）とその地点の南北方向の断面図（右図）。単位は、kPa。
 2. 上段：圧入開始から3年後（圧入停止直後），中段：圧入開始から200年後，下段：圧入開始から1,000年後。
 3. 圧力の上昇はマイナスで示され，寒色ほど圧力の上昇量が高い。
 4. シミュレーションに使用する地質モデルを，圧入井掘削時に実施した圧力試験の結果と整合させるために，地質モデルのグリッドサイズを細分化した。平面図のグリッドは100m×100mのグリッドであるが，圧入井が通過するグリッドは5m×5m(1/20)としてシミュレーションを実施した（平面図では5m×5mのグリッド表示は省略）。圧入井が通過するグリッドは，垂直方向は約2mに分割した。

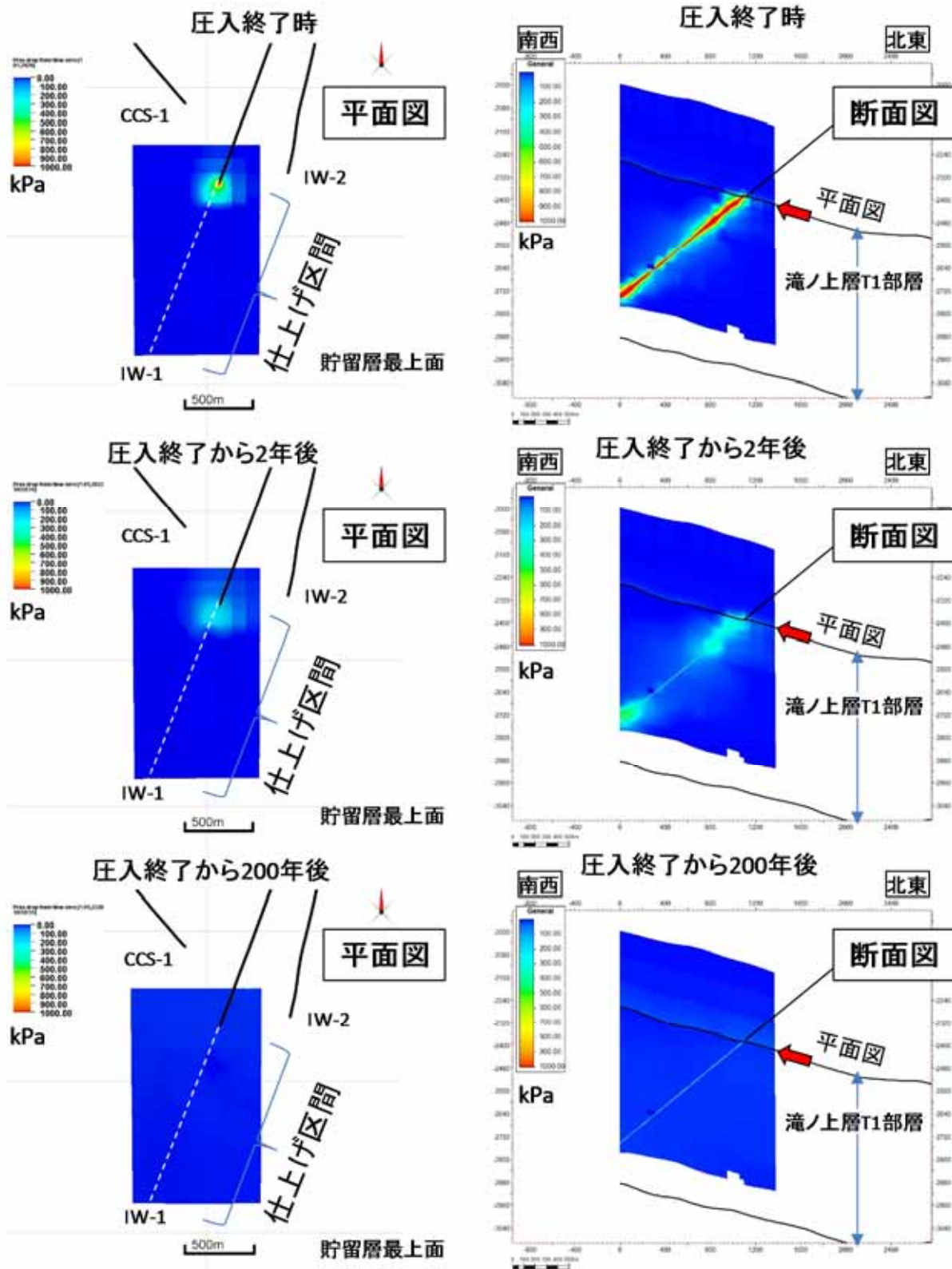
第 5.3-1 図 CO₂ 圧入終了時からの圧力変化量の推移（平成 27 年度シミュレーション結果）

(2) 滝ノ上層 T1 部層における特定二酸化炭素ガスの圧入等による地層内圧力及び温度の変化等の見通し（変更申請時）

CO₂を滝ノ上層 T1 部層に 750 トン圧入した直後、および圧入終了から 2 年後および 200 年後の貯留層内での圧力変化を、シミュレーションにより予測した。その結果を、第 5.3-2 図および第 5.3-3 図に示す。なお、圧入期間は圧入実績を踏まえ、2018 年 2 月～2020 年 3 月までの約 2 年間とした。

750 トンの圧入により、圧入井の周辺では圧入上限圧力程度（5MPa 弱）まで上昇する。坑井から半径 150m 程度までは、100kPa 程度の圧力上昇が見込まれる。圧入終了から 2 年後に、上昇した圧力は低下するが、影響範囲が広がり、坑井から半径 300m 程度の範囲で 100kPa 以上の圧力上昇が見込まれる。その後圧力は低下し、200 年後には坑跡に沿ってわずかな影響を残す程度まで圧力は低下する。

圧入による貯留層内の温度分布については、一時的に温度が変化することはいえるものの、圧入した CO₂ の温度は、貯留層深度での地温に支配されと考えられることから、貯留層の初期温度からほとんど変化しないと予想された。なお、貯留層の温度は 88℃（海面下 2,340m）としてシミュレーションを実施した。



- 注：1. グリッドの設定は第5.3-1図と同様。
 2. 上段：圧入停止直後，中段：圧入停止から2年後，下段：圧入停止から200年後。
 3. 圧力の上昇はマイナスでされ，暖色ほど圧力の上昇量が高い。

第5.3-2図 CO₂圧入終了時からの圧力変化量の推移/坑跡に沿った断面図と貯留層最上部の平面図（平成30年度(暫定)シミュレーション結果）

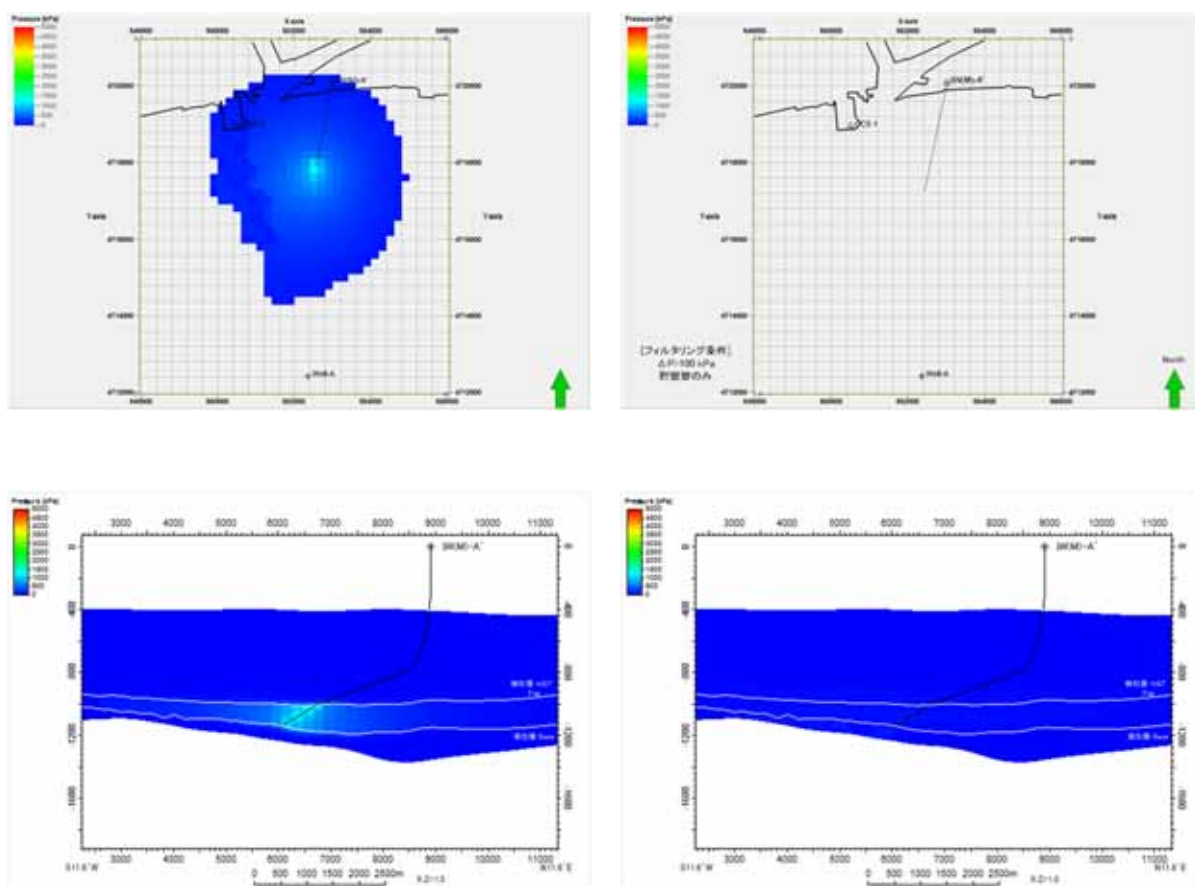
(3) 萌別層砂岩層における特定二酸化炭素ガスの圧入等による地層内圧力及び温度の変化等の見通し(当初申請時)

CO₂を萌別層圧入井から 20 万トン/年のレートで 3 年間圧入した直後、および圧入開始から 10 年後の貯留層内での圧力変化について、シミュレーションにより予測した。ベースケースを第 5.3-4 図に、高浸透率ケースを第 5.3-5 図に、低浸透率ケースを第 5.3-6 図に示す。

いずれのケースにおいても圧入直後は萌別層圧入井の近傍で初期圧に比べ 1,000kPa 程度の圧力上昇が認められるが、7 年経過後には圧力上昇の影響範囲はほとんど認められなくなる。

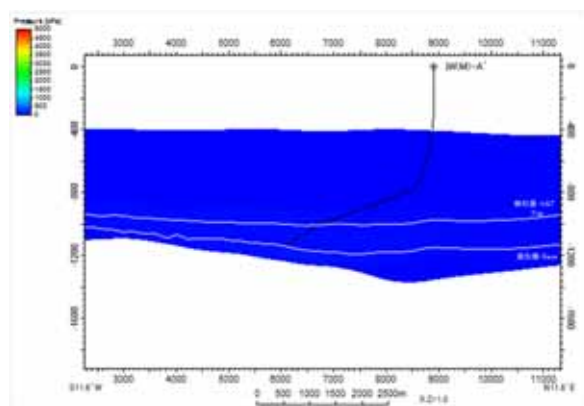
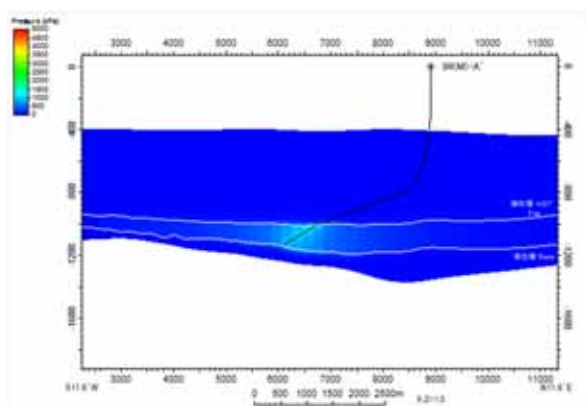
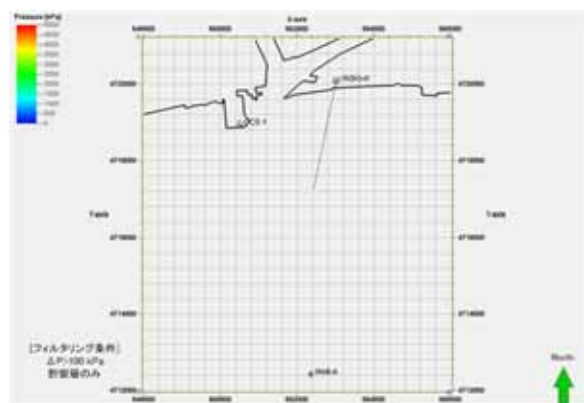
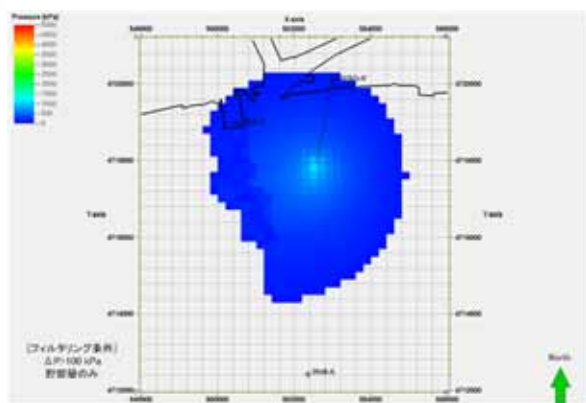
なお、掘削した萌別層圧入井の貯留層の浸透率は 370mD と解析されており、平成 24 年度シミュレーションの設定値より高くなっているが、地層に占める孔隙の割合（孔隙率）が 12～42%と同シミュレーションでの設定値と同程度であるため、本計画を実施した場合には、貯留層内の圧力変化は高浸透率ケースの第 5.3-5 図とほぼ同様な挙動を示すと予測される。また、浸透率が平成 24 年度シミュレーションの設定値より高くなったことにより、圧入時の貯留層圧力は、第 5.3-4 図～第 5.3-6 図が示す結果よりは低くなると予想され、安全上は問題がないと判断される。

圧入による貯留層内の温度分布については、一時的に温度が変化することはいえるものの、圧入した CO₂の温度は、貯留層深度での地温に支配されと考えられることから、貯留層の初期温度からほとんど変化しない。なお、貯留層の温度は 45℃（海面下 1,047m）としてシミュレーションを実施した。



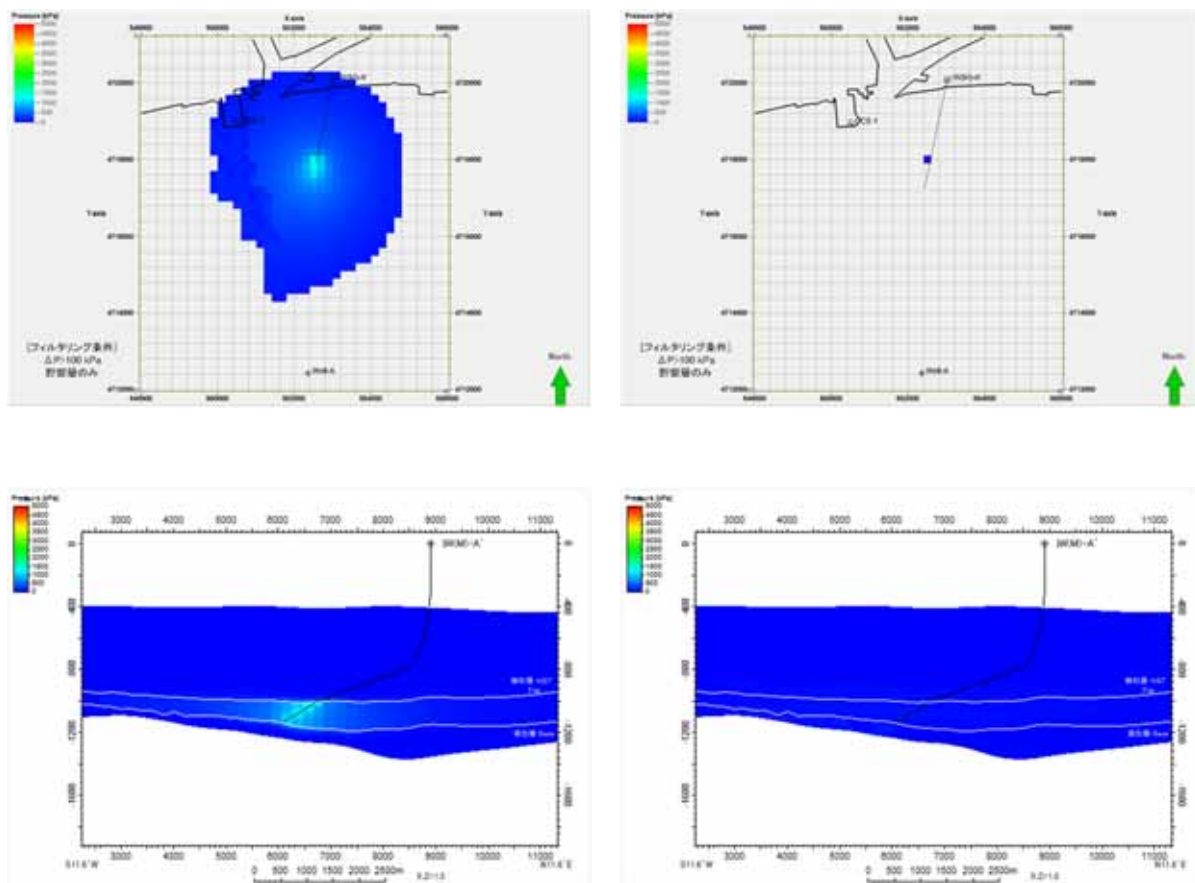
- 注：1. 左側：圧入開始から3年後，右側：圧入開始から10年後。
 2. 上段：平面図（ $\angle P > 100 \text{ kPa}$ でフィルタリング），下段：萌別層圧入井に沿った断面図。
 3. 萌別層圧入井の掘削により確認した萌別層の浸透率は，本シミュレーションの設定値よりも高いことが確認された。よって， CO_2 圧入時の圧力分布は本シミュレーション結果よりも低くなることが予想される。

第 5.3-4 図 萌別層砂岩層への圧入による貯留層内圧力変化：ベースケース（平成 24 年度シミュレーション結果）



- 注：1. 左側：圧入開始から3年後，右側：圧入開始から10年後。
 2. 上段：平面図（ $\angle P > 100 \text{ kPa}$ でフィルタリング），下段：萌別層圧入井に沿った断面図。
 3. 萌別層圧入井の掘削により確認した萌別層の浸透率は，本シミュレーションの設定値よりも高いことが確認された。よって， CO_2 圧入時の圧力分布は本シミュレーション結果よりも低くなることが予想される。

第 5.3-5 図 萌別層砂岩層への圧入による貯留層内圧力変化：高浸透率ケース（平成 24 年度シミュレーション結果）



- 注：1. 左側：圧入開始から3年後，右側：圧入開始から10年後。
 2. 上段：平面図（ $\Delta P > 100 \text{ kPa}$ でフィルタリング），下段：萌別層圧入井に沿った断面図。
 3. 萌別層圧入井の掘削により確認した萌別層の浸透率は，本シミュレーションの設定値よりも高いことが確認された。よって， CO_2 圧入時の圧力分布は本シミュレーション結果よりも低くなることが予想される。

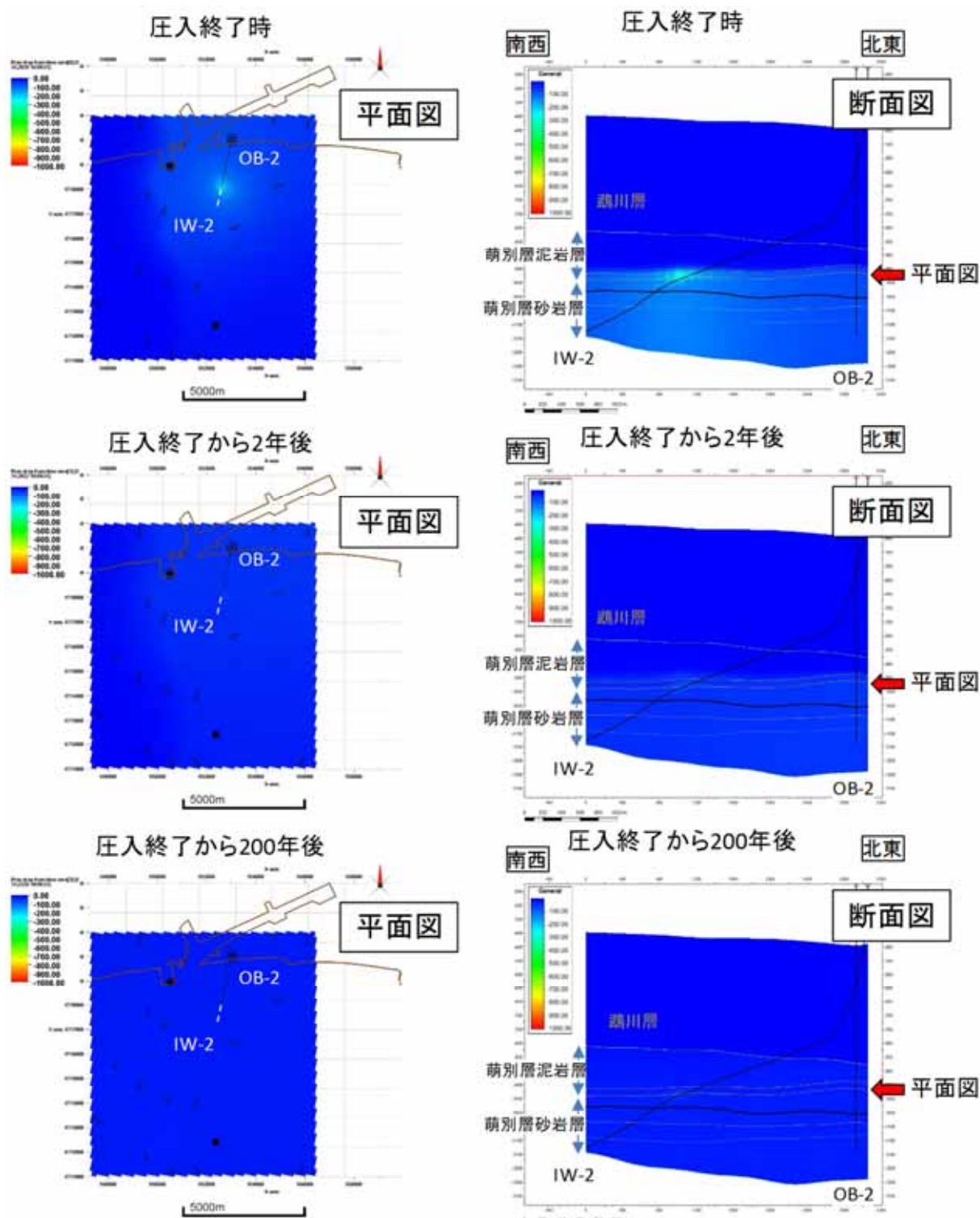
第 5.3-6 図 萌別層砂岩層への圧入による貯留層内圧力変化：低浸透率ケース（平成 24 年度シミュレーション結果）

(4) 萌別層砂岩層における特定二酸化炭素ガスの圧入等による地層内圧力及び温度の変化等の見通し(変更申請時)

CO₂を萌別層砂岩層に 60 万トン圧入した直後、および圧入終了から 2 年後および 200 年後の貯留層内での圧力変化を、シミュレーションにより予測した。その結果を、第 5.3-7 図に示す。圧入期間は圧入実績を踏まえ、2016 年 4 月～2020 年 3 月までの約 4 年間とした。

圧入終了直後は萌別層圧入井の近傍で初期圧に比べ数 100kPa 程度の圧力上昇が認められる。絶対値は低いものの、広範囲に圧力上昇の影響が及ぶと考えられる。2 年経過後には圧力上昇の影響はほとんど認められなくなる(第 5.3-7 図)。

圧入による貯留層内の温度分布については、一時的に温度が変化することはいえるものの、圧入した CO₂の温度は、貯留層深度での地温に支配されと考えられることから、貯留層の初期温度からほとんど変化しない。なお、貯留層の温度は 42.3℃(海面下 973m)としてシミュレーションを実施した。



注：1. 左側：圧入開始から3年後，右側：圧入開始から10年後。
2. 上段：平面図（ $\angle P > 100\text{kPa}$ でフィルタリング），下段：萌別層圧入井に沿った断面図。

第 5.3-7 図 萌別層砂岩層への圧入による貯留層内圧力変化/萌別層砂岩層最上部（平成 30 年度（暫定）シミュレーション結果）

5.4 特定二酸化炭素ガスの圧入井の維持管理の方法の概要

滝ノ上層圧入井および萌別層圧入井の概念図を，第 5.4-1 図および第 5.4-2 図に示す。

圧入井はあらかじめ地層の構造と深度に対する地層圧の変化を分析し、必要に応じた多段のケーシングを設置した。ケーシングと坑壁間は必要区間をセメントで固めていて地層を保護すると同時に地層間の圧力移動が起きないように措置を取った。特に CO₂ 貯留対象層を直接遮蔽する区間については CO₂ に対する腐食性、耐久性を考慮した材質のケーシング、特殊セメントを使用した。

地下に圧入された CO₂ はチュービングを介して貯留層に圧入されることになるが、圧入層直上にはパッカーを設置し、地表部と遮蔽している。また、チュービング内には緊急遮断弁を設置し、非常時には地表部と圧入部を遮蔽する構造としている。

チュービング内部、外部、また、各段のケーシングごと（ケーシングとケーシングとの間ごと）に地表坑口装置に圧力監視装置を取り付け、圧力変化の有無を常時測定し、圧入している CO₂ 漏洩の兆候について監視する。また、圧入層直上のパッカー付近に設置した P/T センサーにより、温度および圧力変化を常時監視する。

鉱山保安法では、掘削時に使用する機器に対しての安全の考え方は存在するものの、坑井自体の設計・仕様は、当該分野の先駆者であるアメリカや英国の考え方が基本となっており、それに石油会社各社が自社の考え方（例えば、安全係数をいくら取るか、など）を上乗せし設計する。石油会社各社では、掘削作業中とその後の作業（ここでは圧入実施）にかかる最大限の負荷を十分に耐える設計とするのが通常であり、圧入井のセメンチングもこの考え方に基づいて設計した。なお、高圧ガス保安法は地上設備に対するものであり、坑井には適用されない。

セメンチング加圧テストはセメンチング管内のセメント浚い時に、ある深度までセメントを切削した後、セメント屑を完全に除去して、地表にある暴噴防止装置（Blow Out Preventor）を閉めて、泥水ポンプで加圧する方法を取るのが一般的である。なお、坑井の修繕が必要となるケースとして、①セメントの破損、②セメンチングおよびチュービングなどパイプ類の破損など坑井自体が壊れるケース、③出砂などによる坑井（セメンチングおよびチュービング）の閉塞などが考えられる。

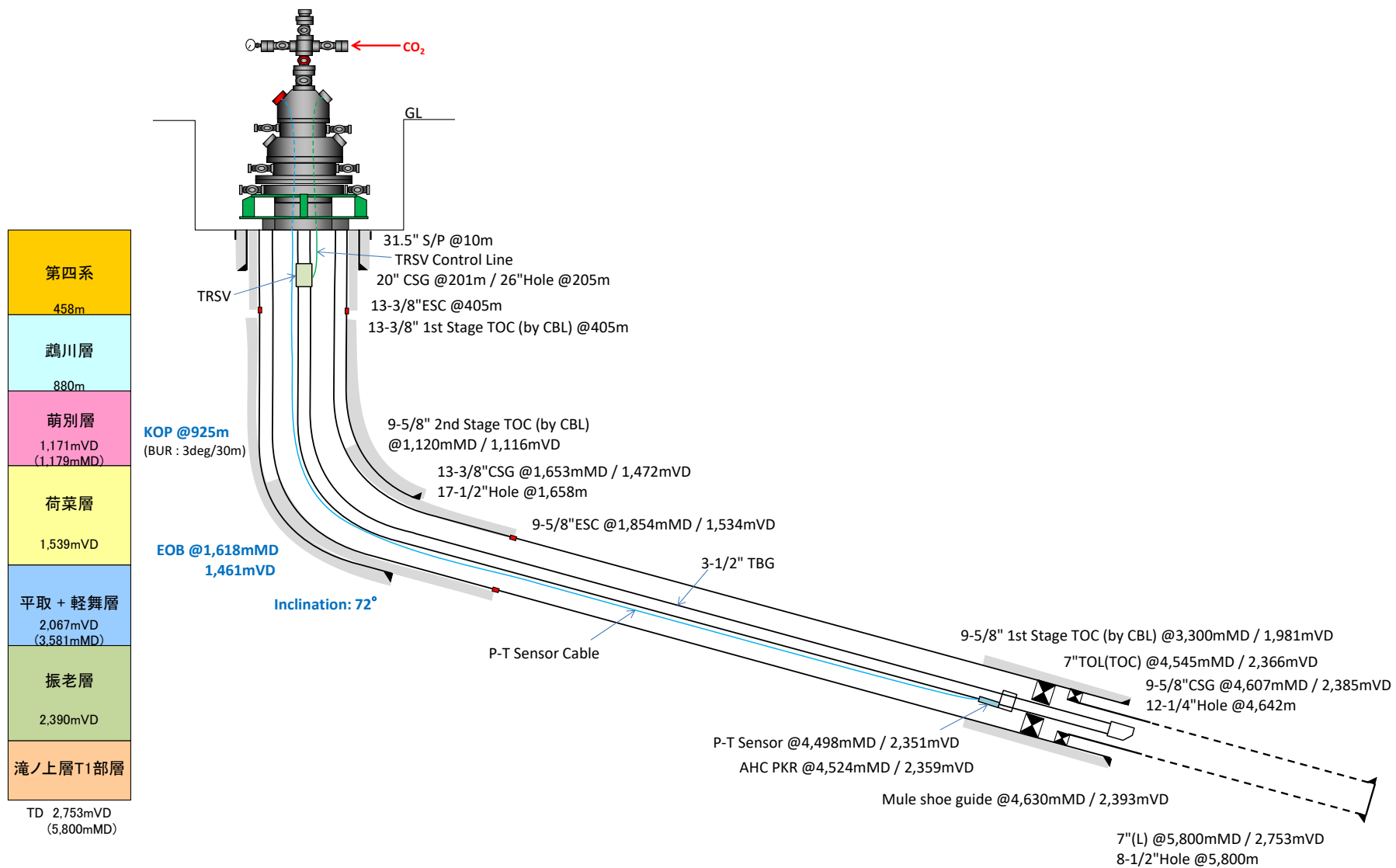
①については、本計画においては世界的に実績のある CO₂ 耐性を有するセメントを使用し、設置後にその評価と耐圧試験（セメント浚い時に泥水を使用して 24MPa の加圧テストを実施し、圧力の漏れがないことを確認）を実施し、問題がないことを確認している。なお、加圧テスト圧力は、CO₂ 圧入作業時において発生する可能性が想定される最悪ケースのシナリオの最大圧力をもって加圧テスト圧力としている。CO₂ 圧入作業で当該セメンチングに最も負荷がかかるのは、CO₂ 圧入中にチュービングの地表付近において漏洩が発生し、セメンチング下端にその圧力がかかったケースである。24MPa は、それを想定した最大圧力であり、それ以上の圧力がかかることはない。根拠のない過剰な圧力で加圧テストを実施することは無駄にセメンチング外側のセメントを破壊することにつながるので実施されない。よって、24MPa の圧力で耐圧試験を行うことで十分確認できる。

②については、事前に CO₂ による腐食試験（オートクレーブを使用して坑内を模擬した条件を作り、その中に試料片を 30 日間設置して腐食の有無を確認）を実施して、より腐食しにくい材質のパイプを選定し、設置後に 24MPa の耐圧試験を実施して問題がないことを確認している。なお、鋼管メーカーにより実施されている腐食試験は通常 4 日から 14 日であり、30 日間の腐食試験は非常に長い試験であることから、確認には十分であると考えられる。

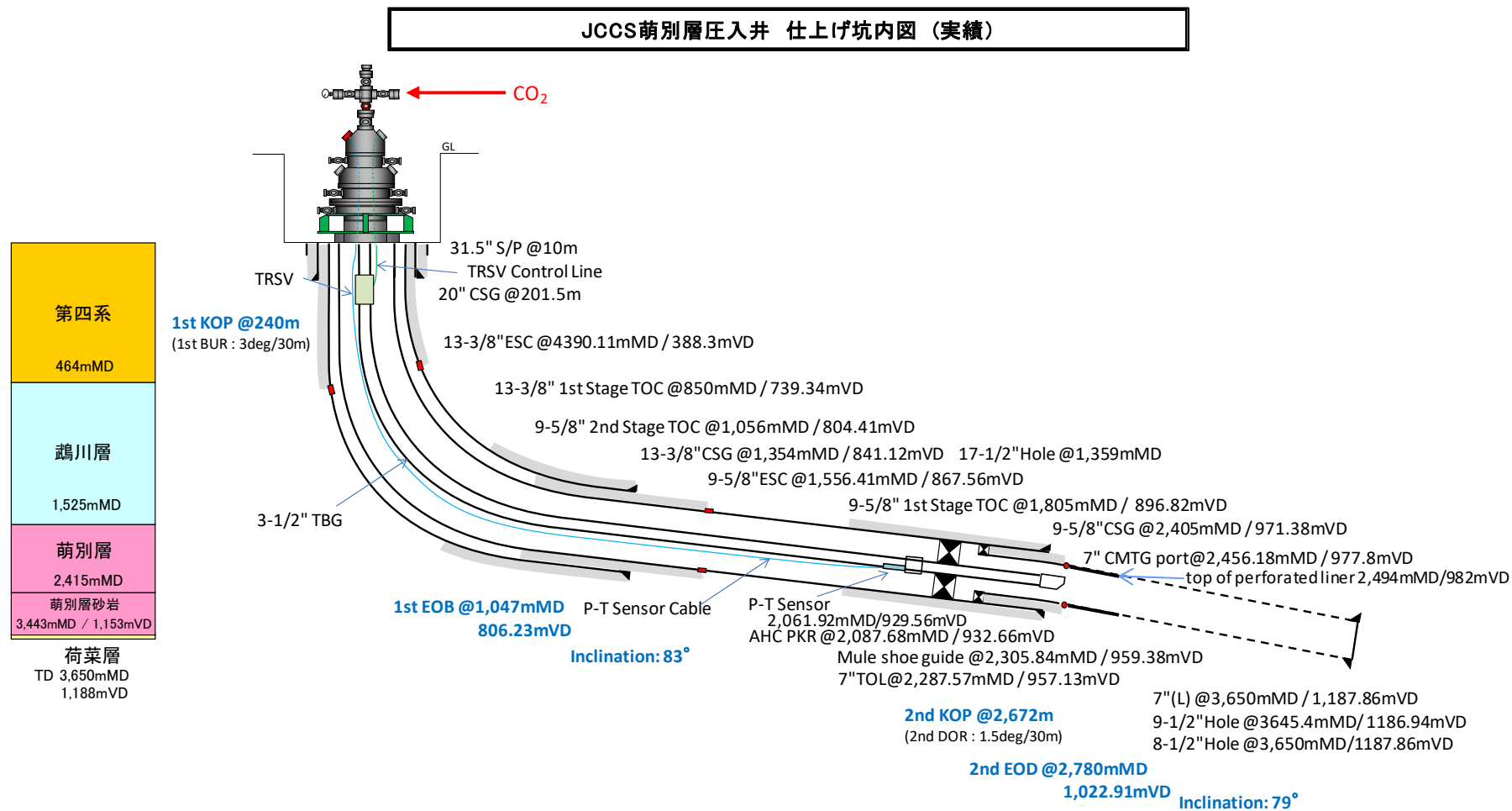
③については、事前にコアなどを用いて、粒度分析、一軸圧縮試験、硬度測定などの実測データから孔の安定性を解析して、パイプにスクリーンを取り付けるなどの対策処置を施している。

以上のことから、現状計画している圧入期間における修繕の必要性はほぼないものと考えられる。なお、万が一補修が必要になった場合には、損傷の内容に応じて当該箇所を交換もしくは補強（例えば、セメントを押し込む、パッチを充てるなどが考えられる。）して対処する。

さらに、本計画においては、圧入井の機能の改善のために化学物質を使用する予定はない。



第 5. 4-1 図 滝ノ上層圧入井の坑内



第 5. 4-2 図 萌別層圧入井の坑内

5.5 特定二酸化炭素ガスの圧入井の封鎖方法

特定二酸化炭素ガスの圧入終了後 2 年間は、圧入井坑底および坑口での温度および圧力の監視を継続するため、圧入井は封鎖しない。

2021 年 4 月以降の圧入井の封鎖については、その後のモニタリング継続の方法と内容を、必要と有効性の見地から検討の上、決定する。

なお、封鎖する場合は、当省が作成した「CCS 実証事業の安全な実施にあたって」^[1]および日本 CCS 調査株式会社が作成した基準^[2]より抜粋した以下の技術基準に準拠し、封鎖方法を立案する。

【坑井の封鎖に係る技術基準】

- 1) CO₂ と接触するおそれがある箇所のセメントプラグ性状については、CO₂ に対する耐久性が高い特殊セメント/セメント添加剤を使用する。
- 2) 原則として坑井内にチュービング、パッカーがある場合の封鎖作業は、坑内からこれらを回収して行うものとする。チュービング等の回収前には地層圧力以上の比重をもった流体で坑内を満たし、暴噴防止装置（Brow Out Preventer : BOP）設置等の噴出防止対策を行った後、坑内作業を実施する。
- 3) 坑井近傍に残留する CO₂ を減少させる目的で、抑圧流体またはセメントを圧入層へ圧入することを試みる。
- 4) 圧入区間の封鎖は、鉱山保安法の廃坑基準に加え、世界的に最も厳しいとされる、ノルウェーの石油井に対する法規制を参考に、以下の基準に従う。
 - i) 原則として圧入区間の閉塞は、これの上端および下端から、少なくとも各 50m 先までセメントプラグが達するように行う。なお、圧入区間が複数ある場合には各圧入区間に対して、それらの上端および下端から、少なくとも各 50m 先までセメントプラグが達するように行うが、圧入区間の上下端に 50m のスペースが無い場合にはこれに限らない。

なお、坑井条件等の理由で坑内のチュービング、パッカー等の回収が不可能で圧入区間周りにセメントプラグを設置できない場合は、回収不能なパッカー上部より圧入層へセメントを圧入するなどの処置を施すとともに、パッカー直上に少なくとも 100m 以上のセメントコラムを置くこととする。
 - ii) 圧入区間をセメントで閉塞出来ないような状況が発生した場合には、圧入区間の直上にブリッジプラグをセットした上で 100m 以上のセメントコラムを施す。
 - iii) 一番深くセットしたケーシングの下方に裸坑がある場合には、ケーシングシューの上方および下方の少なくとも各 50m 先まで達するように、セメントプラグをセットする。
 - iv) ライナーをセットしている場合には、セメントプラグがライナートップの上方および下方に各 50m まで達するように、セメントをセットする。

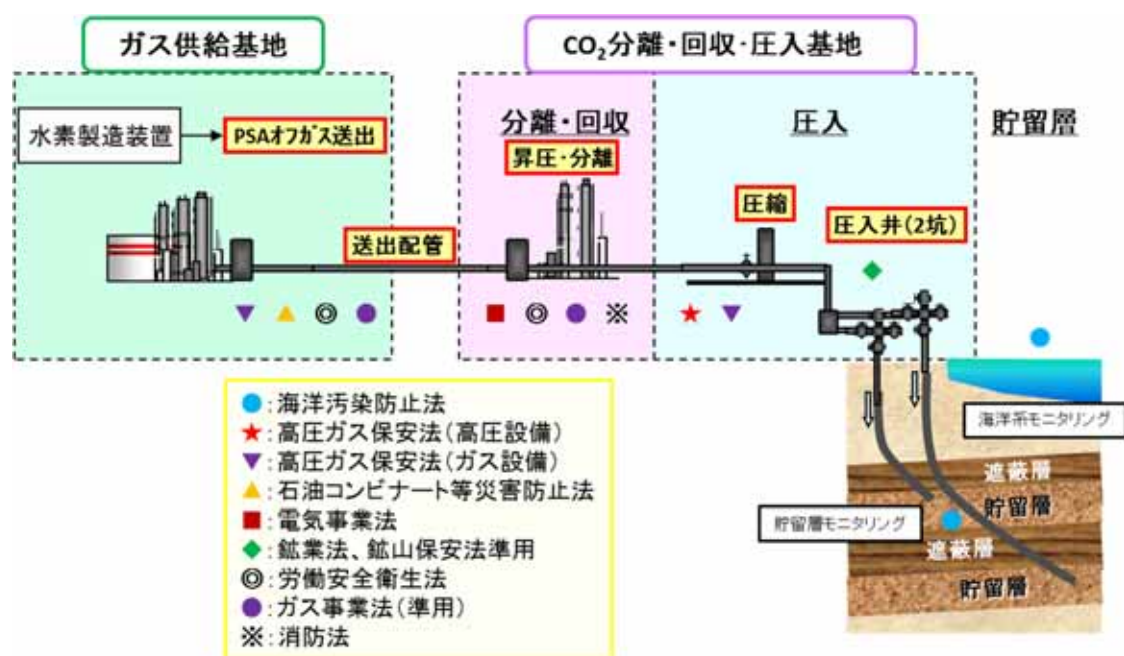
^[1] 『CCS 実証事業の安全な実施にあたって』（経済産業省産業技術環境局 二酸化炭素回収・貯留（CCS）研究会，2009 年，p. 18，p. 20）

^[2] 『CO₂ 地中貯留を目的とした坑井の掘削・閉鎖の技術基準』（日本 CCS 調査株式会社，2012 年，pp. 5-7）

- 5) 圧入区間を封鎖した後に、管内圧力テストを実施しセメントプラグの健全性を確認する。
- 6) 圧入区間の閉塞終了後は、地表部まで残っているケーシング区間にセメントプラグ（100～200m 程度）を1 箇所以上設置する。
- 7) 地表部分（坑井の最上部）については、地表まで達している最小径のケーシングの地表付近に長さ 50m 以上のセメントプラグを設置し、坑井を密閉する。なお、最小ケーシングのアニュラス部の地表付近に充填されたセメントがない場合には、当該ケーシングの一部を切断・抜管の上、ケーシング切断部にセメントまたはブリッジプラグ設置した後に、地表付近に長さ 50m 以上のセメントプラグを設置し、坑井を密閉する。

5.6 他の法令の遵守状況

本計画の各設備に係る主な適用法規を、第 5.6-1 図に示す。



第 5.6-1 図 各設備に係る主な適用法規

本計画における他の法令の適用状況を、第 5.6-1 表に示す。

第 5.6-1 表 他の法令の遵守状況

番号	対象法令	条 項	対象・内容	許可・届出等	実績
1	土壤汚染対策法	第 4 条：土壤汚染のおそれがある土地の形質変更	建設用地全体での土地の形質の変更行為をするため	届出	届出：平成 26 年 3 月 28 日
2	大気汚染防止法	第 6 条：ばい煙施設の設置の届出 第 10 条：実施の制限	一定規模以上のボイラーを設置するため	届出	届出：平成 26 年 4 月 25 日
3	公害防止条例	第 40 条：騒音発生施設等の設置の届出 第 44 条：騒音発生施設等の実施の制限	・騒音はボイラーの送風機等 ・振動は圧縮機等	届出	届出：平成 26 年 4 月 25 日
4	公害防止協定	第 16 条：環境への負荷の低減に関する協定の締結等	ボイラー等大気要件での三者協定	協定	協定締結：平成 26 年 5 月 13 日
5	港湾法	第 37 条：港湾区域内の工事等の許可等 第 38 条：港湾区域内の行為の届出等	廃物投棄許可，構築物の建設許可，工事等行為の届出	許可 届出	届出：平成 26 年 4 月 4 日 許可：平成 26 年 4 月 21 日
6	海岸法	第 7 条：海岸保全区域の占用許可 第 8 条：海岸保全区域の行為の制限	施設設置に伴う区域の占用許可 施設の新設許可等	申請 許可	申請：平成 25 年 11 月 28 日 許可：平成 25 年 12 月 9 日
7	建築基準法	第 6 条：建築物の建築等に関する申請及び確認	管理棟等の建築物確認申請	申請 許可	申請：平成 26 年 4 月 22 日 許可：平成 26 年 6 月 18 日
8	景観法	第 16 条：届出及び勧告等	景観計画区域内での建築等法律で定める行為	届出	届出：平成 26 年 4 月 25 日
9	ガス事業法	第 38 条：準用 第 39 条：事業の開始等の届出	自ら製造したガスを使用する準用事業者として	届出	届出：平成 27 年 12 月 1 日
10	高压ガス保安法	第 5 条：製造の許可等	1 日 100m ³ 以上のガス容積を処理する設備を設置製造する	申請 許可	申請：平成 26 年 5 月 22 日 許可：平成 26 年 6 月 10 日
11	電気事業法	第 48 条：工事計画	事業用電気工作物を設置するため	届出	届出：平成 26 年 5 月 26 日
12	消防法	第 10 条：危険物の貯蔵・取扱の制限等 第 11 条：製造所等の設置，変更等	危険物貯蔵所・一般取扱所を設置するため	申請 許可	申請：平成 26 年 5 月 29 日 許可：平成 26 年 6 月 27 日
13	労働安全衛生法	第 88 条：計画の届出等	低圧ボイラー，圧力容器等適用範囲に該当するため	届出	届出：平成 26 年 5 月 29 日
14	道路法	第 24 条：道路施工承認 第 32 条：道路の占用の許可	工業用水道や排水管等を道路内に設置するため	申請 許可	申請：平成 25 年 3 月 8 日 許可：平成 25 年 4 月 4 日
15	道路交通法	第 77 条：道路の使用の許可	道路において工事もしくは作業等をするため	申請 許可	申請：平成 25 年 4 月 24 日 許可：平成 25 年 4 月 26 日
16	国有財産法	第 18 条の 2：処分等の制限	国の行政財産である土地を借用するため	契約	契約締結：平成 26 年 4 月 8 日

CCS を直接対象とした適用法規として、海底下の CO₂ の地下貯留を規制する海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律があるが、坑井の掘削及び閉鎖に係わる技術基準は対象とされていない。また、CCS は鉱業と見なされていないため、鉱業法、鉱山保安法は適用されていない。

しかしながら、坑井掘削作業中や圧入後の安全確保と CO₂ 漏洩による環境への影響を防止することを目的とし、鉱業法・鉱山保安法を準用し、米国 UIC Class VI など海外における CCS 規制動向を参考にした上で作成した当省の技術指針「C C S 実証事業の安全な実施にあたって」^[1]に沿い安全確保に努める。

労働安全衛生法等の一般法規については当然のことながら遵守するものである。

^[1] 『C C S 実証事業の安全な実施にあたって』（経済産業省産業技術環境局 二酸化炭素回収・貯留（C C S）研究会，2009 年，pp.17-20）<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g90807a01j.pdf>（2015/1/26 アクセス）

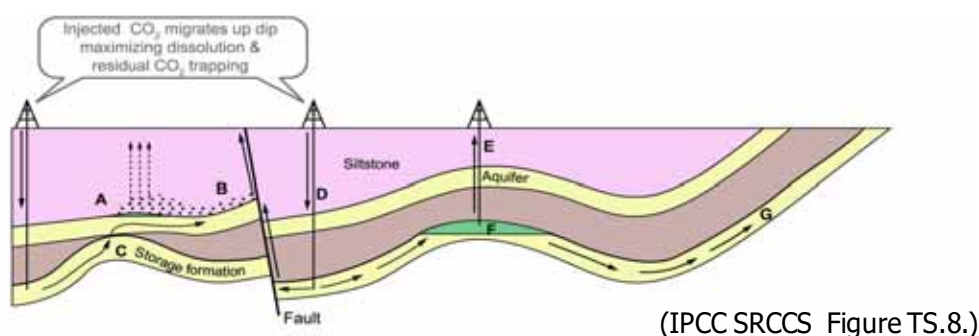
6 特定二酸化炭素ガスに起因する海洋環境の保全上の障害が生じ、又は生ずるおそれが生じた場合に当該障害の拡大又は発生を防止するために講ずる措置

6.1 海洋環境の保全上の障害が生じる恐れについて

CCS で主として想定される異常事態は、大きくは施設からの漏出ケースと廃棄した地層からの漏出ケースに分類されるが、本計画では、特定二酸化炭素ガスの分離・回収・圧入設備は全て陸上に設置するため、海洋環境の保全上の障害を生じさせるおそれがあるのは地層からの漏出ケースのみとなる。

貯留層から CO₂ が漏出する要因として、IPCC 特別報告書^[1]によると、第 6.1-1 図において示される潜在的な漏洩経路があり、下記のとおり分類されている。

- (A) CO₂ のガス圧が遮蔽層の毛管圧を超えて移動
- (B) 断層を通じて CO₂ が移動
- (C) キャップロックの局所的な不連続部分を通じた移動
- (D) CO₂ 貯留層圧の増加および断層の浸透率の増加によって生じる移動
- (E) プラグの状態が完全でない廃坑井を通じた移動
- (F) 地下水に溶解した CO₂ が貯留層の外に移動
- (G) 地下水に溶解した CO₂ が傾斜した地層を通じて地表に移動



第 6.1-1 図 IPCC 特別報告書^[1]による潜在的な漏洩経路

苫小牧地点における貯留層総合評価の検討結果^[2]によると、貯留後の CO₂ が貯留対象層から漏出する要因の可能性として、以下の漏出経路が想定されている。

- (1) 遮蔽層の毛細管圧を超えて移動
- (2) 断層を通じた移動
- (3) 廃坑井を通じた移動
- (4) 圧入井等の設置予定の構造物に沿った移動

上記の想定される漏出経路(1)～(4)について検討した結果のまとめは、以下のとおりである。

^[1] 『IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage 』(IPCC, 2005, pp.34-35)
http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf (2015/1/26 アクセス)

^[2] 『苫小牧地点における貯留層総合評価, 平成 23 年 10 月 26 日』(経済産業省, 2011, pp. 第 3 章 59-60)
http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/sangi/ccs/report_001_s01.pdf (2015/1/26 アクセス)

(1) 遮蔽層の毛細管圧を超えて移動

滝ノ上層 T1 部層および萌別層砂岩層の圧入圧力は、それらの遮蔽層の毛細管圧（スレシヨルド圧力）を超えることはなく、CO₂は遮蔽層には浸透しない。

(2) 断層を通じた移動

シミュレーションによる CO₂ 長期挙動予測の結果、圧入後 200 年程度で CO₂ の広がりに変化は見られなくなり、1,000 年を経ても CO₂ は断層に到達しないことから、断層は CO₂ の漏出要因にならないと考える。

(3) 廃坑井を通じた移動

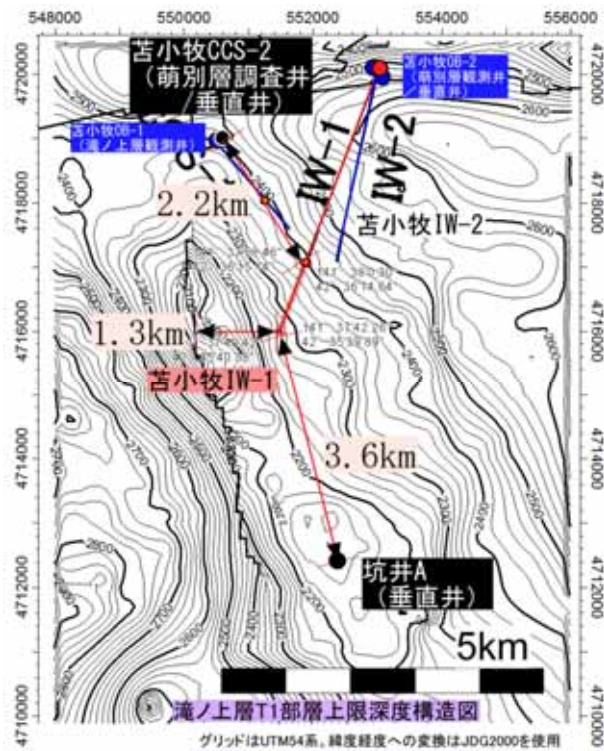
シミュレーションによる CO₂ 長期挙動予測の結果、圧入後 200 年程度で CO₂ の広がりに変化は見られなくなり、1,000 年を経ても CO₂ は廃坑井に到達しないことから、廃坑井は CO₂ の漏出要因にならないと考える。

(4) 圧入井等の設置予定の構造物に沿った移動

圧入井等の構造物の設計・設置では、CO₂ が接触する鋼材やセメント等を耐 CO₂ 仕様にする等の対策を施すことで、これら構造物に起因した CO₂ の移動を防止する。

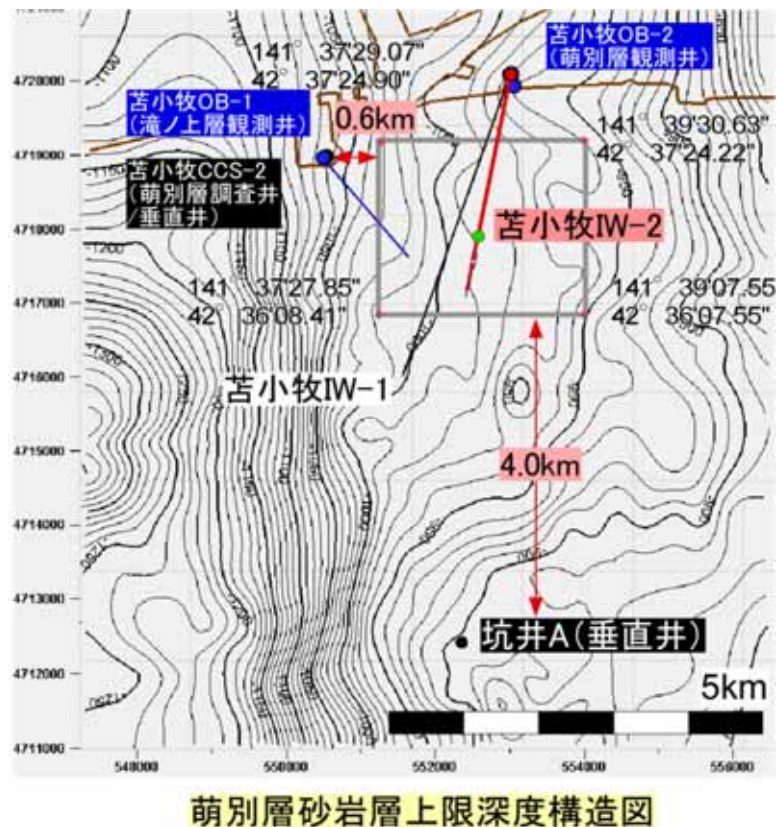
(2) および (3) について、CO₂ プルームが断層および廃坑井に到達しないことについて検討した。

滝ノ上層圧入井（第 6.1-2 図）周辺には、滝ノ上層を切る断層が解釈されている。CO₂ 分布予測範囲から断層までの距離は、1.3km であった。また、周辺に存在が知られる廃坑井は苫小牧 CCS-2 および坑井 A の 2 坑井があり、CO₂ 分布予測範囲からの距離は、それぞれ 2.2km, 3.6km であった。



第 6. 1-2 図 滝ノ上層圧入井周辺の圧入した CO₂ の分布予測範囲と、周辺の断層および廃坑井との位置関係

萌別層圧入井（第 6. 1-3 図）周辺には、萌別層を切る断層は解釈されていない。また、廃坑井である苦小牧 CCS-2 および坑井 A それぞれとの CO₂ プルームからの距離は、1.3km、4.3km であった。



第 6.1-3 図 萌別層圧入井周辺の圧入した CO₂ の分布予測範囲と、周辺の廃坑井との位置関係

上記 (4) の検討結果を踏まえ、CO₂ 貯留対象層を直接遮蔽する区間については、CO₂ に対する腐食性、耐久性を考慮した材質のケーシング (13%Cr ステンレス鋼)、特殊セメント (Schlumberger 社 : EverCRETE CO₂-Resistant Cement) の仕様とした。

以上の検討結果および対策の実施により、漏出のおそれが生じる可能性のある想定ケースから特定二酸化炭素ガスの漏洩は生じないと判断する。したがって、「想定ケースごとの漏出防止のための措置内容」と「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」の記載は不要と判断する。

6.2 海洋環境の保全上の障害が生じる恐れ of 監視体制について

CCS を安全かつ安定的に実施するためには、万一の事態を想定して、貯留した CO₂ の挙動の把握や貯留層外部への漏出・漏洩検知を継続的に行う必要がある。

本計画では、海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律に加えて、「CCS 実証事業の安全な実施にあたって」^[1]の内容も踏まえて、CO₂ の圧入開始前、圧入中、圧入後において適切な場所および頻度でモニタリングを実施する。実証試験におけるモニタリングの目的は、以下のとおりである。

^[1] 『CCS 実証事業の安全な実施にあたって』(経済産業省産業技術環境局 二酸化炭素回収・貯留 (CCS) 研究会, 2009 年, pp.14-15, pp.25-31) <http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g90807a01j.pdf> (2015/1/26 アクセス)

(1) CO₂ の漏洩，貯留層圧力の異常の検知

- ・ 圧入された CO₂ が計画通りに安全に貯留層内に留まっていることを確認する。
- ・ 貯留層から CO₂ の漏洩を検知する。

(2) 圧入された CO₂ の貯留層内での挙動把握（貯留層モニタリング）

- ・ CO₂ の圧入および貯留が計画通り安定的に行われていることを確認する。
- ・ CO₂ の圧入後も安定して貯留されていることを確認する。

(3) 微小振動と自然地震の観測

- ・ CO₂ の圧入に起因する微小振動の有無を確認する。
- ・ 実証試験地点を含む広い範囲の自然地震活動を把握する。

実証試験におけるモニタリングの項目は，以下のとおりである。

(1) 圧入井における連続測定・観測項目

- ・ 圧入井坑口における温度・圧力，アニュラス圧力，CO₂ 圧入量測定
- ・ 圧入井坑底における温度・圧力測定

(2) 観測井における連続測定・観測項目

- ・ 観測井坑口における温度・圧力，アニュラス圧力測定
- ・ 観測井坑底における温度・圧力測定
- ・ 観測井内における微小振動，自然地震観測

(3) 弾性波探査

本計画では，地下に圧入した CO₂ の分布状況や挙動を把握するための手段としては，定期的に弾性波探査を実施する。弾性波探査によって観測されたデータとベースライン観測データを比較し，差分の抽出を行うことで，CO₂ の分布範囲（賦存位置）を把握し，連続的な変化から圧入開始以降の地下での挙動が確認できることとなる。

(4) 海洋系のモニタリング

海洋系のモニタリングは，CO₂ 漏出を想定した海洋環境への事前影響評価を踏まえた上で，圧入前に実施したベースライン調査における調査範囲，調査項目，調査頻度等を基本として実施する。海洋系のモニタリングは，通常時監視，懸念時監視および異常時監視に区分され，海水中への CO₂ 漏出のおそれの度合いによってより詳細な監視段階に移行する。

(5) 微小振動，自然地震観測

以下の観測態勢で微小振動，自然地震の観測を実施する。

- ① 常設型海底受振ケーブル（Ocean Bottom Cable; OBC）
- ② 海底地震計（Ocean Bottom Seismometer; OBS）
- ③ 坑井内受振器
- ④ 陸上設置地震計

それぞれの観測システムで観測されたデータをもとに，いつ，どこで，どの程度のマグニチュード（振動規模）の微小振動，自然地震が発生したかを解析，発生位置や発生頻度等を統計的に分析し，CO₂ の圧入との微小振動との関連性の検証に資する。

通常時監視または自然災害等により、海洋環境の保全上の障害が生じるおそれが生じた場合、直ちに懸念時監視を実施する。懸念時監視の結果は、集計/解析の後、直ちに環境大臣に報告する。監視の結果が海洋環境の保全上の障害が生じるおそれが生じていないことが環境省により判断された場合、通常時監視に戻り圧入を再開する。懸念時監視の結果では海洋環境の保全上の障害が生じるおそれが否定できないと判断された場合は、引き続き異常時監視を実施する。異常時監視は、海洋環境の保全上の障害が生じるおそれが無いと判断されるまで継続し、監視結果は、直ちに環境大臣に報告する。

上記の監視計画については、「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」で詳述する。

なお、「特定二酸化炭素ガスに起因する海洋環境の保全上の障害を生じさせるおそれがある程度の地層内圧力の変化が認められた場合」は、通常時監視における坑内圧力の監視で、あらかじめ設定する範囲から外れた場合や事前に予測した挙動から外れた急な変化が観測された場合が該当し、「実施する措置」は、圧入の停止となる。また「特定二酸化炭素ガスが海洋に漏出した場合」は、通常時監視の確認調査（現地概況調査及び現地詳細調査）を実施し、海水または気泡の14C分析の結果により特定二酸化炭素ガスの漏出またはそのおそれが生じていると判断された場合が該当し、「海洋環境の保全上の障害を除去又は緩和するために実施する措置」は、圧入の停止となる。圧入の停止後は、直ちに環境省に報告した上で、環境省指示のもと適切な措置を実施する。

6.3 関連法規に基づく保安計画等について

本計画の実施にあたっては、以下に示す保安に関連する法令を遵守し、また、「CCS実証事業の安全な実施にあたって」^[1]の内容を踏まえ、安全を確保し、事故・災害の発生を未然に防ぐように努める。

- ・海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律
- ・高圧ガス保安法
- ・労働安全衛生法

また、CO₂の圧入運転、設備、周辺環境、人命あるいは人の健康等に多大な影響を与える事象である異常事態の発生に備え、圧入作業開始以前に異常事態発生時の対処を準備しておく必要があり、以下に取り組む。

(1) 異常事態の想定とその対処方法の確立（保安規程の策定）

発生が予見される異常事態をリストアップし、それら異常が発生した場合にとるべき措置や異常発生を未然に防ぐために準備する内容を規定し（保安規程）、同規程の中で、保安管理体制の整備、保安に携わる人員の選任とその職務範囲の決定、異常事態の判別方法とその対処方法に関することを取り決める。

(2) 保安設備の設置

^[1] 『CCS実証事業の安全な実施にあたって』（経済産業省産業技術環境局 二酸化炭素回収・貯留（CCS）研究会、2009年、pp.32-36）<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g90807a01j.pdf>（2015/1/26アクセス）

遵守すべき関連法令を満たし、策定した保安規程に即した保安設備を設ける。その際は、異常事態の規模や頻度、影響度を考慮し、必要に応じて遠隔操作が可能な保安設備や、複数のバックアップ設備の設置等の措置を講じる。

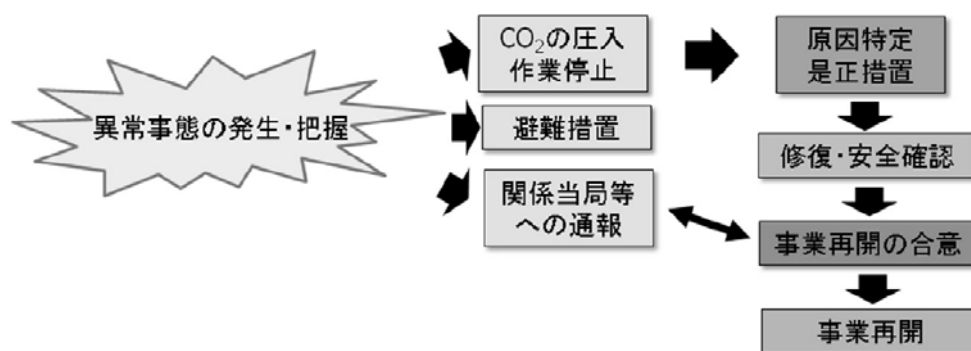
(3) 保安訓練の実施

異常事態が発生した際に、策定した保安規程に即して関係者が迅速に対応できるように、定期的に保安訓練を実施する。また、訓練を通じて問題点の抽出、および必要な改善措置をとる。

CO₂圧入中に想定される異常事態としては、主に以下が挙げられる。

- ・ CO₂の大規模な漏洩、漏出
- ・ 大規模な地震、津波の発生
- ・ 関係施設の事故や火災の発生

異常事態が発生した際には、第 6.3-1 図に示す対応が求められる。



第 6.3-1 図 異常事態発生時の基本的対応

ここに示した手順と関係法令を踏まえて保安規程を策定し、取り決めた保安規程の内容通りに関係者の迅速な対応が実践されるように、定期的な保安訓練を実施し、訓練を通じて問題点の抽出、および必要な改善措置をとる。

関連法規に基づく保安計画等として、本書類末に、参考資料-1：高圧ガス保安法に基づく「危害予防規程」および参考資料-2：消防法に基づく「予防規程」を示す。

6.4 異常発生時の対応について

実証試験実施中に異常事態が発生・検知された場合は、CO₂の漏出を回避するために、CO₂圧入作業を直ちに中断する。その上で、人的被害の回避のための避難や設備に対する被害拡大防止の措置（火災時の消火活動等）を講ずる。また、同時に関係当局等に対して異常事態発生の通報を行い、周辺環境への影響拡大を防止する。

異常事態への対処終了後は、被害状況の把握、異常事態の原因特定および環境大臣をはじめとした関係当局への情報提供を行い、必要な修復を実施する。修復後は、安全確認を十分に行い、関係当局等との間で事業再開に関する合意を得たのち、圧入を再開する。

特別規程
01-01

危 害 予 防 規 程

日本CCS調査株式会社
苫小牧CCS実証試験センター

改定經歷表

(要領名称)

(所 管)

危害予防規程

苫小牧CCS実証試験センター

[illegible]

目 次

第1章 総則

- 1.1 目的
- 1.2 適用範囲
- 1.3 用語の定義
- 1.4 危害予防規程の目的等

第2章 保安管理体制

- 2.1 保安管理組織
- 2.2 保安に関する協定
- 2.3 規定類の管理
- 2.4 保安管理の記録
- 2.5 保安査察

第3章 保安統括者等の職務

- 3.1 保安統括者及び代理者
- 3.2 保安技術管理者及び代理者の職務
- 3.3 保安係員及び代理者の職務

第4章 運転、操作等に関する保安管理

- 4.1 運転及びその管理を行う者
- 4.2 運転、操作等に関する規定類の作成及び実施
- 4.3 交替勤務の引継
- 4.4 夜間及び休日の運転開始及び運転停止
- 4.5 運転、操作等の記録

第5章 施設に関する保安管理

- 5.1 法令に定められた製造施設の技術基準
- 5.2 設備管理の規定類の作成及び実施
- 5.3 設備管理の記録
- 5.4 施設の検査
- 5.5 工事を行うときの保安管理
- 5.6 施設を新增設するときの保安管理

第6章 異常状態に対する措置

- 6.1 不調・故障に対する措置
- 6.2 事故・災害に対する措置
- 6.3 人身事故に対する処置
- 6.4 異常状態に関する記録
- 6.5 関係事業所、協力会社等との関連

第7章 保安教育及び規定類の周知

- 7.1 保安教育の計画及び実施
- 7.2 危害予防規程及び規定類の周知及び活用
- 7.3 事故・災害対策訓練
- 7.4 改善提案等
- 7.5 危害予防規程等に違反した者の措置

第8章 協力会社の保安管理

- 8.1 管理監督の方法
- 8.2 保安教育

第9章 危害予防規程の制定及び変更

- 9.1 作成、制定及び変更の方法
- 9.2 届出
- 9.3 経過の記録

第1章 総 則

1.1 目的

高圧ガス保安法(以下、法という)に基づき、日本CCS調査株式会社苫小牧CCS実証試験センター(以下、当センターという)の保安維持に必要な事項を定め、もって人的及び物的損傷を防止し、公共の安全を確保することを目的とする。

1.2 適用範囲

この規程は、当センターを対象とする。

1.3 用語の定義

この規程に用いる用語の定義は、コンビナート等保安規則、一般高圧ガス保安規則及び液化石油ガス保安規則において使用する用語の例によるほか、次による。

1.3.1 保安規則等

一般高圧ガス保安規則、液化石油ガス保安規則、コンビナート等保安規則、容器保安規則、特定設備検査規則及びこれらに基づく告示、例示基準及び法及び関係政省令の運用及び解釈について(内規)(平成19年7月1日付 平成19・06・18原院第2号)

1.3.2 特別規程

法により制定することが義務付けられた規程等。

1.3.3 規定類

会社又は事業所が制定した規定、規則、基準、規格等。

1.3.4 協力会社

製造、工事、輸送等に関連する作業を行う請負会社、外注会社等

1.3.5 異常状態

異常の原因、程度及び被害の状況により区分される1.3.5.1～1.3.5.4の不調、故障、事故及び災害を総称したもの。

1.3.5.1 不調

正常でない乱れた状態であるが、運転を停止することなく、正常に戻しうる状態。

1.3.5.2 故障

設備を正常な手順により停止して、補修等の措置を要するが、人員に損傷なく、また、その設備以外には損害を及ぼさない状態。

1.3.5.3 事故

破壊、漏えい、火災又は爆発等が起こり、緊急措置を必要とし、設備に若干の損害を生ずるが、事務所自らの措置により、人身に損傷なく、かつ、第三者に脅威を及ぼさない状態。

1.3.5.4 災害

大きい事故又は自然災害等により人身、設備等に損傷を及ぼし、第三者に脅威を与え、あるいは外部に援助を要するような状態。

1.4 危害予防規程の位置づけ等

1.4.1 位置づけ

危害予防規程は、当センターの特別規程として明確に位置づける。

1.4.2 保安教育計画との関連

危害予防規程は、別に定める保安教育計画と一体のものとする。なお、危害予防規程と不可分の関係にある保安教育計画についても当センターの特別規程として位置付ける。

第2章 保安管理体制

2.1 保安管理組織

2.1.1 当センター内の組織

保安統括者は、保安管理の全般を統括する最高責任者とする。保安技術管理者は、技術事項全般を統括管理する。保安係員は、製造施設の保安管理を行う。

保安管理組織を図1に示す。

2.1.2 センター外の組織との関連

当センターの保安管理組織と、本社、協力会社、関係事業所の保安管理組織との関連を図2に示す。

2.1.3 保安統括者等の選任

社長は、当センターのセンター長を保安統括者として、また、技術副センター長をその代理者として任命する。

センター長は当センターの技術事項全般を統括管理できる者を保安技術管理者及びその代理者として任命する。

センター長は交替制により運転を行う担当者を、保安係員及びその代理者として任命する。

保安技術管理者、保安係員及びそれらの代理者は製造保安責任者免状を有し、かつ、保安に関する十分な知識及び経験を有するものとする。

2.2 保安に関する協定

2.2.1 事業所外との協定

高圧ガス地域防災協議会に関する協定を、必要に応じて協定する。

2.2.2 従業員代表との協議

労働争議及び事故・災害の発生時における保安に関する体制を明確にするため、従業員代表と必要な事項について協議する。

2.2.3 協力会社との協定

事故・災害の発生時の防災体制に協力会社の応援を求める場合には、協力会社と必要な事項について協定する。

2.3 規定類の管理

2.3.1 関連する規定類

危害予防規程の細部を明らかにするために、関連する規定類を十分に整備する。また、規定類相互の関連、対象者及び重点を明確にする。

2.3.2 制定の方法等

規定類は標準化して作成し、管理責任者を定めて必要の都度改正と整備を行う。また、作成、制定、変更等に関する決裁の方法を明確に定める。

2.4 保安管理の記録

保安に関する必要事項は、それぞれの責任者が記録し、保安技術の向上に資する。

重要な記録は、関係する責任者の検印を受け、保存期間及び廃棄に関する事項を定めて保存する。

2.5 保安査察

社長は、定期的に当センターの保安状況を査察し、保安統括者等の意見を聞き、保安確保に関し指導する。

第3章 保安統括者等の職務

3.1 保安統括者及び代理者の職務

当センター全般の保安に関する業務を統括管理する。

社長に対し、当センターの保安に関する報告及び提案を行い、その指示を受ける。

代理者は保安統括者が旅行、疾病その他の事故によってその職務を行うことができない場合に、その職務を代行する。

3.2 保安技術管理者及び代理者の職務

保安技術管理者は、保安に関する技術的事項全般を統括管理し、保安統括者を補佐し、保安係員を指揮する。また、保安教育を実施する。

代理者は、保安技術管理者が旅行、疾病その他の事故によってその職務を行うことができない場合に、その職務を代行する。

3.3 保安係員及び代理者の職務

保安係員は、保安に関する技術的事項を管理し、部下を直接指揮監督する。

代理者は、保安係員が旅行、疾病その他の事故によってその職務を行うことができない場合に、その職務を代行する。

保安係員及びその代理者の製造施設に関する具体的な職務は、次のように定める。

3.3.1 製造施設及び製造の方法の管理

製造施設の位置、構造及び設備並びに製造の方法が保安規則等で定められた技術上の基準及び規定類で定められた基準に適合するように監督する。

3.3.2 製造設備の運転管理

運転基準類の作成に関し助言を行い、部下に周知させる。

安全な運転及び操作を行うよう部下を訓練し、監督する。

運転管理について記録し、必要なものは保存する。

3.3.3 製造施設の維持及び管理

製造の為の設備、保安設備、測定機器等に関する管理基準の作成に関し助言を行い、正常な機能を維持する。

工事及び修理に際しては、基準に従い保安を確認する。

3.3.4 製造施設の巡視点検及び検査

製造施設の巡視点検及び定期自主検査を、基準に従って実施又は監督し、かつ、記録する。また、その結果に基づく措置を行う。

北海道知事等が行う保安検査に立会い、必要な対策を行う。

3.3.5 協力会社の保安管理

協力会社の作業基準の作成及び保安管理について指導する。

3.3.6 異常状態に対する措置

異常状態に対する措置基準の作成に関し助言を行い、措置基準を関係者に周知させる。

また、異常状態が発生した場合に、応急措置及び対策を実施する。

3.3.7 保安の計画及び実施

保安教育計画の作成に関し助言を行い、実施計画を作成する。

関係者に対し、施設に関する保安教育訓練を実施する。

第4章 運転、操作等に関する保安管理

4.1 運転及びその管理を行う者

保安係員は運転を管理し、部下の運転及び操作を監督する。

保安上重要な運転及び操作は熟練者が行い、また、未経験者が従事するときは、熟練者が直接監督する。

運転操作員が欠員するときの補勤者を定め、必要に応じて欠員をカバーする。

4.2 運転、操作等に関する規定類の作成及び実施

4.2.1 作成及び整備

規定類は可能な限り標準化して作成し、関係者に周知する。

規定類はプロセス又は設備の変更等に応じて改定整備する。

4.2.2 運転基準

正常な運転、始動及び停止、停電、通常行わない作業、特別危険な作業等に関する運転基準を定める。また、運転基準において、用役不足、過負荷、低負荷等に際しての運転限界を定める。

4.2.3 巡視点検基準

製造施設及び製造の方法についての巡視点検の基準を定める。

巡視点検基準に従って、製造設備の使用開始及び使用終了時に、かつ、1日に1回以上高圧ガスの種類及び製造設備の態様に応じて頻繁に施設を巡視点検して保安の確認を行い、その結果を記録し、必要な対策をとる。

4.2.4 清掃基準

設備の補修、工事等の前後における系内のパージ清掃の基準を定める。

パージ清掃の実施は、全系列と設備の区分ごとに分けて行い、保安を確認する。

4.2.5 用役等の管理基準

電気、水、蒸気、不活性ガス、制御用空気等の用役は基準を定めて管理する。

4.3 交替勤務の引継

交替勤務の引継は、関係者立会いのもとに各直の運転操作員が対面引継を実施する。また、必要な引継事項は記録する。

4.4 夜間及び休日の運転開始及び運転停止

夜間及び休日における施設の計画的な運転開始及び運転停止は、原則として、平日の保安体制と同様な体制を確保した場合に限り実施する。

4.5 運転、操作等の記録

運転、操作等製造に関する保安上必要な事項を記録し関係者に閲覧し、期間を定めて保存する。

第5章 施設に関する保安管理

5.1 法令に定められた製造施設の技術基準

保安係員は法第8条第1号に定められた製造施設の技術基準に関し、所管の製造施設が保安規則等に適合するように監督する。

その内容は次の各項に示す事項を網羅するものとする。

5.1.1 製造施設の位置及び距離並びに建造物の構造等

製造施設の保安距離、設備間距離等

計器室等の建造物の構造、材料の種類等

5.1.2 製造設備の構造等

定置式製造設備、貯槽についての機能、構造、材料の種類等

5.1.3 保安設備、測定機器等

安全弁、破裂板、除害、緊急遮断、防爆、防消火、散水、保安電力、非常照明、ガス漏えい検知警報、静電気除去、不活性ガス等に関する保安設備及び温度計、圧力計、流量計等測定機器の位置、機能、構造、数量等

これらの設備の取扱いは定められた基準に従って行い、常に正しく作動するよう維持する。

5.2 設備管理の規定類の作成及び実施

設備管理の規定類は、次のような内容を網羅するものを作成し、常に整備して関係者に周知させる。

保全工事管理、定期自主検査、保安設備の取扱い、測定機器取扱い、火気取扱い、工具防具取扱い、立入制限等

5.3 設備管理の記録

施設の履歴、保全等に関する必要事項は記録し、重要な記録は保安統括者等の検印を受け保存する。

5.4 施設の検査

定期自主検査に関する検査方法、検査頻度及び検査箇所の選定方法は、検査基準として具体的に定め、保安係員が実施又は監督し、必要な対策を行う。その結果は記録する。

北海道知事等が行う保安検査に際しては、検査方法等について事前に北海道知事等の承認を得るとともに、保安係員等関係者が立会い、その指示に基づいて対策を行う。

5.5 工事を行うときの保安管理

施設の補修工事を行うときは、保安管理基準を保安規則等に従って定め、あらかじめ計画を立て関係者と協議し、次のように措置する。

5.5.1 工事責任者

工事全般に関する責任者を定め、関係者に対し、引火、爆発、ガス中毒又は酸欠に関する教育を行い、責任者の監視の下で工事を行う。

5.5.2 工事前後の保安措置

保安係員は、工事着手前にバージ清掃その他の保安措置を確認し、また、工事完了及び運転開始に際しても保安措置を確認する。

5.5.3 設備内作業に関する保安措置

設備内で作業を行う場合は、系内を完全に空気置換し、ガス中毒及び酸欠の防止を確保する。

5.5.6 施設を新増設するときの保安管理

施設を新増設するときには、保安係員を早い時期に決定し、運転基準、設備管理基準等を定め、かつ、プロセスの保安に関する重点を明確にして、関係者に周知させる。

第6章 異常状態に対する措置

6.1 不調・故障に対する措置

運転又は用役が不調又は故障のときの発見方法、処置、対策及び関係者への通報連絡に関する措置基準を定め、関係者を教育訓練する。また、その原因を調査し、対策を検討する。

6.2 事故・災害に対する措置

各種の事故・災害を想定し、高圧ガスの種類及び事故・災害の程度に対応する応急措置、

防災活動、当センター内外の関係者への通報連絡、退避の方法及び指揮、原因の調査及び対策等に関する措置基準を定め、関係者を教育訓練する。

6.3 人身事故に対する処置

人身事故が発生したときの救急体制を定め、救急箱、担架、保護具及びその他作業場の状況に応じて必要な緊急設備及び用具を配備し、関係者を教育訓練する。

6.4 異常状態に関する記録

異常の状況、時期、措置、対策等を記録し保存する。また、その結果を検討し、保安技術の向上に資する。

6.5 関係事業所、協力会社等との関連

事故・災害の発生時における関係事業所、協力会社等への通報連絡及び援助に関し必要事項を定め、関係者を教育訓練する。

第7章 保安教育及び規定類の周知

7.1 保安教育の計画及び実施

保安教育計画に基づき、関係する従業員に対し、保安意識の高揚、必要な規定類の周知徹底、保安技術の向上、異常状態に対する措置等について教育及び訓練を行う。

実施した結果は記録し活用する。

7.2 危害予防規程及び規定類の周知及び活用

危害予防規程は関係する従業員に教育して周知徹底させ、規定類は対象者別に必要な規定を重点に教育訓練し活用する。

7.3 事故・災害対策訓練

事故・災害の発生に備え、防災訓練、及び夜間休日の防災訓練を定期的に計画し、実施する。

7.4 改善提案等

広く従業員に対し、保安に関する改善提案を求め、優秀なものは表彰し、保安意識の高揚と保安レベルの向上を図る。

7.5 危害予防規程等に違反した者の措置

危害予防規程及び規定類に違反した者があった場合は、教育及び訓練を繰り返し実施し違反防止に努める。

第8章 協力会社の保安管理

8.1 管理監督の方法

協力会社の保安上の責任範囲を具体的に定め、保安係員は協力会社の作業基準の作成を指導し、その従業員が基準を遵守するよう監督する。また当センターの規定類のうち協力

会社に必要なものを抜粋して与え、遵守するよう監督する。

8.2 保安教育

協力会社の従業者には、保安教育計画に従い教育を実施し、また、協力会社の行う教育を指導し、保安を確保する。

第9章 危害予防規程の制定及び変更

9.1 作成、制定及び変更の方法

危害予防規程は、センター長が関係者と協議して作成し、センター長が制定する。また、変更する時も同様に行う。

9.2 届出

社長は、制定又は変更した危害予防規程を北海道知事に届け出る。

9.3 経過の記録

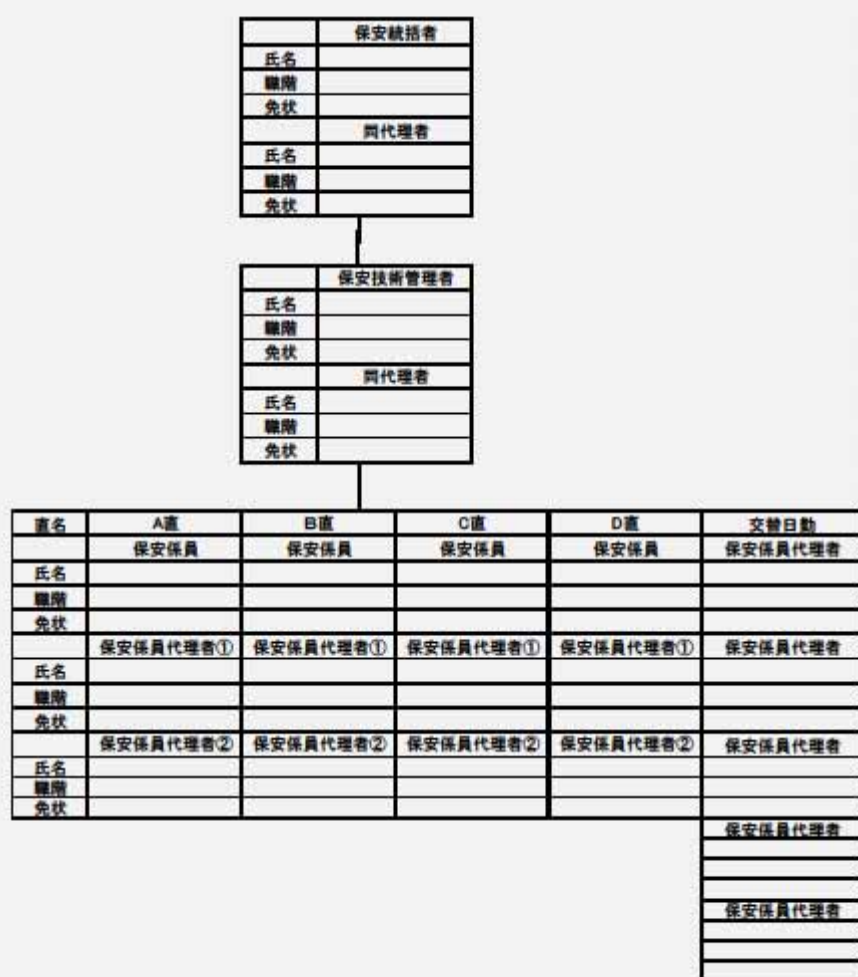
危害予防規程の制定及び変更の経過を明らかにするため、制定又は変更年月日、目的、主要事項等の事項を改定経歴表に記録する。

9.3.1 届出受理年月日 平成27年10月27日

図1

日本CCS調査株式会社 苫小牧CCS実証試験センター

高圧ガス保安法 保安管理組織図

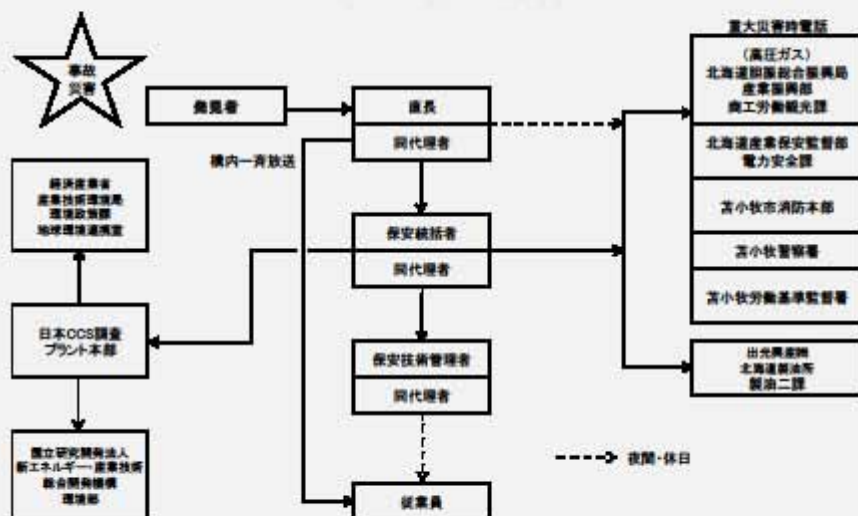


保安係員が不在の場合、保安係員代理者が保安係員の職務を代行するが、その代行者を次のとおりとする。

- ・保安係員不在の場合 ⇒ 保安係員代理者①
- ・保安係員および代理者①が不在の場合 ⇒ 保安係員代理者②
- ・代直者がいる場合は、代直者を含めて上記の順序で代行者を決める
- ・保安係員、代理者①及び②が不在の場合 ⇒ 交替日勤の保安係員代理者(都度決定)

図2

苫小牧CCS実証試験センター
高圧ガス保安法 保安管理組織関連図
災害発生時緊急連絡体制



※ 異常状態が発生した場合、経済産業省産業技術環境局環境政策課地球環境連携室及び国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構と協議の上、適切に対応する。

消防法 一般取扱所予防規程

(会社名) 日本ＣＣＳ調査株式会社

(一般取扱所名) 苫小牧ＣＣＳ実証試験センター
＜ボイラー設備＞

(住 所) 北海道苫小牧市真砂町１２番地

改定経歴表

(規定名称)

消防法予防規程

(所管)

苫小牧 CCS 実証試験センター

制定・改定・廃止・定期見直し年月日	目的	主要事項	承認者印	点検者印	作成者印
H27 年 9 月 1 日	制定	認可申請のため新規作成			
H28 年 3 月 25 日	改訂	組織変更に伴う見直し等			
H30 年 3 月 28 日	改訂	緊急連絡網変更等による改訂			

消防法

一般取扱所予防規程

目 次

第1章 総 則	1
第2章 保安の役割分担	1
第3章 危険物の貯蔵及び取扱いの基準等	2
第4章 点検、検査及びその他の安全管理	3
第5章 改修、補修等	3
第6章 火災、地震、津波及びその他の災害時の措置	4
第7章 教育及び訓練	6
第8章 予防規程に違反した者の措置	6
付則	7

第1章 総 則

(目的)

第1条 本規程は、消防法第14条の2に基づき、苫小牧CCS実証試験センター（以下、「当センター」という。）における危険物の取扱作業その他保安管理に関する必要な事項について定め、もって火災、危険物の流出、自然災害等を防止することを目的とする。

(適用範囲)

第2条 この規程は、当センターの全域及び当センターに勤務し又は出入りするすべての者に適用する。

(遵守の義務)

第3条 当センターの従業員（以下「センター員」という。）は、この規程を遵守しなければならない。

(告知の義務)

第4条 センター員は、当センターに出入りする者に対して、必要に応じてこの規程の内容を告知し、遵守させなければならない。

(規程の変更)

第5条 センター長は、この規程を変更しようとするときは、危険物保安監督者及び危険物取扱者の意見を尊重し、火災予防上支障のないように変更しなければならない。

- 2 センター長は、規程の変更を行ったときは苫小牧市長に変更の申請をして、認可を受けなければならない。但し、個人名等の変更については、この限りでない。

第2章 保安の役割分担

(組織)

第6条 当センターにおける保安管理を円滑かつ効果的に行うため、別様式-1「保安管理任務分担表」の通り分担する役割を定め、当センター内の見やすい箇所に保安管理任務分担表を掲示する。

また、交替勤務者の交代時は、業務日誌の記載内容を相互に確認し、業務を確実に引き継ぐものとする。

- 2 苫小牧CCS実証試験センターの最高責任者はセンター長とする。センター長は、前項の危険物保安監督者が、旅行、疾病その他の事情により、不在となることを考慮し、あらかじめその職務を代行する者を危険物取扱者の中から指定しておかなければならない。
- 3 当センターは24時間勤務であり、夜間および休日におけるセンター長の職務の代行者は交代勤務体制の最高責任者である直長とする。

(センター長の責務)

第7条 センター長または代行者は、危険物保安監督者以下を指揮し、保安上必要な業務を適切に行うとともに施設が適切に維持管理されるよう努めなければならない。

(危険物保安監督者の責務)

第8条 危険物保安監督者は、消防法令及び苫小牧市火災予防条例（以下、消防法令等という。）に定められた業務を行うほか、この規程の定めるところにより、保安の維持の確保に努めなければならない。

(危険物取扱者の責務)

第9条 危険物取扱者は、消防法令等に定められた業務を行うほか、この規程に定める危険物の貯蔵及び取扱作業の安全を確保しなければならない。

- 2 危険物取扱者の氏名等は、在、不在の別をセンター内の見やすい箇所に掲示しなければならない。（別様式-1「保安管理任務分担表」参照）

(センター員の遵守事項)

第10条 センター員は、消防法令等及びこの規程を遵守するとともに、危険物保安監督者及び危険物取扱者の指示に従い、適正な危険物取扱作業及び危険物施設の維持に努めなければならない。

第3章 危険物の貯蔵及び取扱いの基準等

(貯蔵及び取扱基準)

第11条 危険物を貯蔵し又は取り扱う場合においては消防法令等に定めるところによるほか、特に次の事項に留意しなければならない。

- (1) 危険物取扱者以外の者が危険物を取り扱う場合は、甲種又は乙種危険物取扱者が必ず立ち会う。
- (2) 危険物取扱者が不在となる場合は、危険物取扱業務は行わない。
- (3) みだりに火気及び火花を発生させるおそれのある機械器具等は使用しない。
- (4) 危険物を移動タンク貯蔵所から屋外タンク貯蔵所に荷卸しする場合は、当センターの危険物取扱者が必ず立ち会い、危険物の種類、数量を確認し、作業中は、危険物の漏れ、溢れ又は飛散しないように監視する。
- (5) 危険物を屋外タンク貯蔵所へ注入する場合、アースに接続するとともに油種、注入量の確認をする。

(設備機器の運転操作の基準)

第12条 当センターの設備等の運転及び操作に当たっては、作業する者はその設備等の構造及び運転操作要領を熟知するとともに、誤操作のないよう確認して行う。

(駐車)

第13条 センター内に自動車等を駐車させる場合は、あらかじめ指定された駐車場所に駐車しなければならない。

第4章 点検、検査及びその他の安全管理

(危険物施設の点検)

第14条 危険物施設の構造及び施設等を適正に維持管理するため、別に定めるところにより点検を実施しなければならない。

なお、地震時等の災害により当該施設に影響があると認められる場合にも点検を実施する。

- 2 危険物施設の点検の責任者（以下、「点検責任者」という。）は危険物取扱者の中から指名する。
- 3 点検は毎日点検、定期点検、臨時点検とし、点検責任者の下に行う。
- 4 点検を実施し、構造、設備等に異常を発見した場合は、点検責任者は使用禁止等の適切な処置を行い、その旨をセンター長に報告しなければならない。
- 5 センター長は、前項の報告を受けたときには、当該異常個所の修理等を行わせなければならない。
- 6 センター長は、第1項の規定による点検を実施したときは、点検記録簿に点検結果を記録し、6年間保存しなければならない。

第5章 改修、補修等

(改修、補修)

第15条 危険物施設の改修、補修工事等を行う場合は、その内容に応じて必要な手続きを行わなければならない。

- 2 センター長またはセンター長が指定する者は、前項の工事を行う場合、工事が安全かつ適正に行われるよう必要に応じて立ち会い、工事関係者に対して指示する等監視監督を行うとともに、工事終了後、当該工事に係る設備の点検・検査を実施し安全性を確認しなければならない。

(工事實任者)

第16条 工事請負業者は工事實任者を定め、センター長に報告しなければならない。

(連絡)

第17条 工事實任者は、センター長またはセンター長が指定する者と綿密な連携を保ち、作業を行わなければならない。

(工事實任者の責務)

第18条 工事實任者は、自らがこの規程を遵守して工事の監督にあたるとともに、作業員に周知徹底を図り、作業の安全を確保しなければならない。

(作業工程)

第19条 工事請負業者は、作業工程表を作成し、センター長の承認を受け、工程表に従って作業を行わなければならない。

(火気使用許可)

第20条 作業上、火気の使用を必要とする場合は、あらかじめセンター長の許可を受けなければならない。

(火気使用の一時禁止)

第21条 センター長は、風力、風向、気温、湿度、その他の気象条件を把握し、火災予防上必要であるときは、火気使用を制限、又は停止させることができる。

(危険物の取扱工程又は設備等の変更管理)

第22条 危険物の取扱工程又は設備等を変更する場合は、計画段階から想定される危険要因に対して、取扱工程又は設備仕様計画部署の管理者および担当部署による事前検討を行い、必要な安全対策を講じなければならない。また、危険物施設担当者に対して当該変更内容による危険要因を把握させるための保安教育を実施する。

(関係書類及び図面等の整備保管)

第23条 法に基づき設備許可された一般取扱所の施設等の位置、構造及び設備が明示された関係書類及び図面は、分類整理して所定の場所に整理保管する。

(記録の作成及び保存)

第24条 法令による検査、点検、その他修理又は保安、教育訓練等に関する記録は、すべて作成するものとし、6年間保存するものとする。

第6章 火災、地震、津波及びその他の災害時の措置

(自衛の防災組織)

第25条 センター長を自衛防災隊長とし、全センター員を隊員とした自衛防災隊を編成して火災等災害時の即応体制を整えておくものとし、その編成及び責務分担は、別様式-2「自衛防災隊編成表」のとおりとする。

- 2 自衛防災隊長は、災害時において隊員を指揮して、人身保護、初期消火その他災害の拡大防止の措置を行い、また、公設消防隊が到着したときは火災等の概要について報告するものとする。
- 3 隊員は、自衛防災隊長の指揮を受け、人身保護、初期消火その他災害の拡大防止に努めなければならない。
- 4 自衛防災隊長は、別に定める別様式-3「自然災害発生時の対応要領」に基づき、地震、津波、台風等の異常気象時におけるセンター内施設の安全を確保するために必要な対策を講じなければならない。

- (1) 自衛防災隊長は、津波襲来等の情報を収集し、センター員および構内の作業者等に対し、的確に情報を提供する。
- (2) 避難誘導班は、津波襲来等の情報を得た場合、構内のセンター員に対し、津波浸水予想区域内からの速やかな避難誘導をする。

- (3) 自衛防災隊長は、施設の施設、電源の遮断その他安全措置を図り、直ちにセンター員とともに、あらかじめ指定した場所へ避難する。
- (4) 外出、出張等により当センター構外にいたセンター員は、津波襲来の情報を得た場合、津波浸水予測図内へは立ち入らない。
- (5) (1) から (4) については、津波対策の場合、津波襲来予想時間に応じた対応とすること。

- 5 自衛防災隊長は、地震、津波、台風等の異常気象時、直ちにセンター内施設の点検を実施し、安全を確認しなければならない。

(緊急時の連絡網)

- 第26条 当センターに火災等災害が発生したときに備え、別様式-4「緊急連絡網」を作成しておかなければならない。
- 2 災害を覚知したときは、状況に応じ前項の連絡網により全センター員に連絡する。連絡を受けたセンター員は当センターに参集しなければならない。

(消火活動等)

- 第27条 消火活動等は次により行わなければならない。
- (1) 火災、危険物の流出等が発生した場合には、自衛防災隊長の指揮の下に直ちに初期消火、外来者等の避難・誘導、消防機関への通報、危険物の流出防止等の応急措置を講ずること。
 - (2) 危険物がセンター外に流出し、または可燃性蒸気が拡散するおそれがあるときは、周辺地域住民、通行人及び車両の運転者等に対して火気使用の禁止、その他必要な協力を求めるとともに、危険物の流出拡大防止、回収等の応急措置を講ずること。

(地震及び津波の被害予防)

- 第28条 地震及び津波時の災害を防止するため、日常、次の事項を行わなければならない。
- (1) 当センターの建物、その他付随する施設及び設備の倒壊、転倒、落下物の有無等の点検
 - (2) 消火設備、警報設備の作動状況及びその他の設備の安全装置の作動状況の点検

(地震及び津波の発生時の措置)

- 第29条 地震及び津波が発生したときは、直ちに危険物の取扱作業及び火気設備・器具の使用を中止しなければならない。
- 詳細は別に定める「自然災害対策要領」によるものとする。
- 2 センター内に被害が発生した場合は、応急措置により二次災害の発生防止を図るとともに、設備・機器の使用禁止等の措置をとる。
 - 3 再開する場合は、地震・津波の規模に拘わらず危険物施設並びに建物及びこれに付随する設備の点検を行い、安全を確認してから再開すること。
 - 4 外来者が当センター構内にいる場合、隊員は外来者への必要な指示及び混乱防止のための措置を講じるとともに、安全な場所に避難誘導しなければならない。

(地震及び津波の発生後の措置)

第30条 地震及び津波が発生した場合（基地内への浸水が認められた場合も含む）、点検責任者は、建物及び設備の点検、検査を、別様式-5「地震および津波発生時の設備点検表」に定める点検項目に従って行い、異常があった場合は速やかにセンター長に報告するとともに、必要に応じて消防機関等に通報しなければならない。

詳細は別に定める「自然災害対策要領」による。

- 2 センター長は、点検責任者から前項の規定による報告を受けた場合は、直ちに異常を確認するとともに、必要に応じて補修、取替え及び改修の工事を実施しなければならない。

(地震及び津波に備えての準備品)

第31条 地震に備え、次の物品を常に持ち出せるよう準備しておかなければならない。

- (1) 救急医薬品 (2) 懐中電灯 (3) 貴重品 (4) その他必要なもの

第7章 教育及び訓練

(保安教育)

第32条 センター長はセンター員に対し、別様式-6「教育・訓練計画表」により保安教育を実施しなければならない。

- 2 保安教育を実施した時は、その内容を記録し6年間保存しなければならない。

(訓練)

第33条 訓練は、総合訓練、部分訓練及び震災訓練とし、総合訓練にあつては年1回、部分訓練にあつては年2回、震災訓練にあつては総合訓練、部分訓練に含めて、別様式-5「教育・訓練計画表」により実施しなければならない。

- 2 訓練を実施したときは、その訓練結果を記録し、6年間保存しなければならない。

第8章 予防規程に違反した者の措置

第34条 センター長はこの規程に違反する行為を行った者に対して、直ちにその作業を停止させるとともに、厳重注意その他必要な措置をとるものとする。

付則

(施行期日)

第1条 本規程は平成27年9月1日制定し、27年10月1日より実施する。

(作成、制定及び変更の方法)

第2条 本規程は、安全環境G長が関係者と協議して作成し、センター長が制定する。
また、変更する時も同様に行う。

(届出)

第3条 センター長は、制定又は変更した予防規程を苫小牧市に届け出る。

(経過の記録)

第4条 本規程の制定及び変更経緯を明らかにするため、次の事項を記録する。

- ①制定又は変更年月日及び届出受理年月日
- ②変更経緯
- ③届出受理番号、届出受理年月日

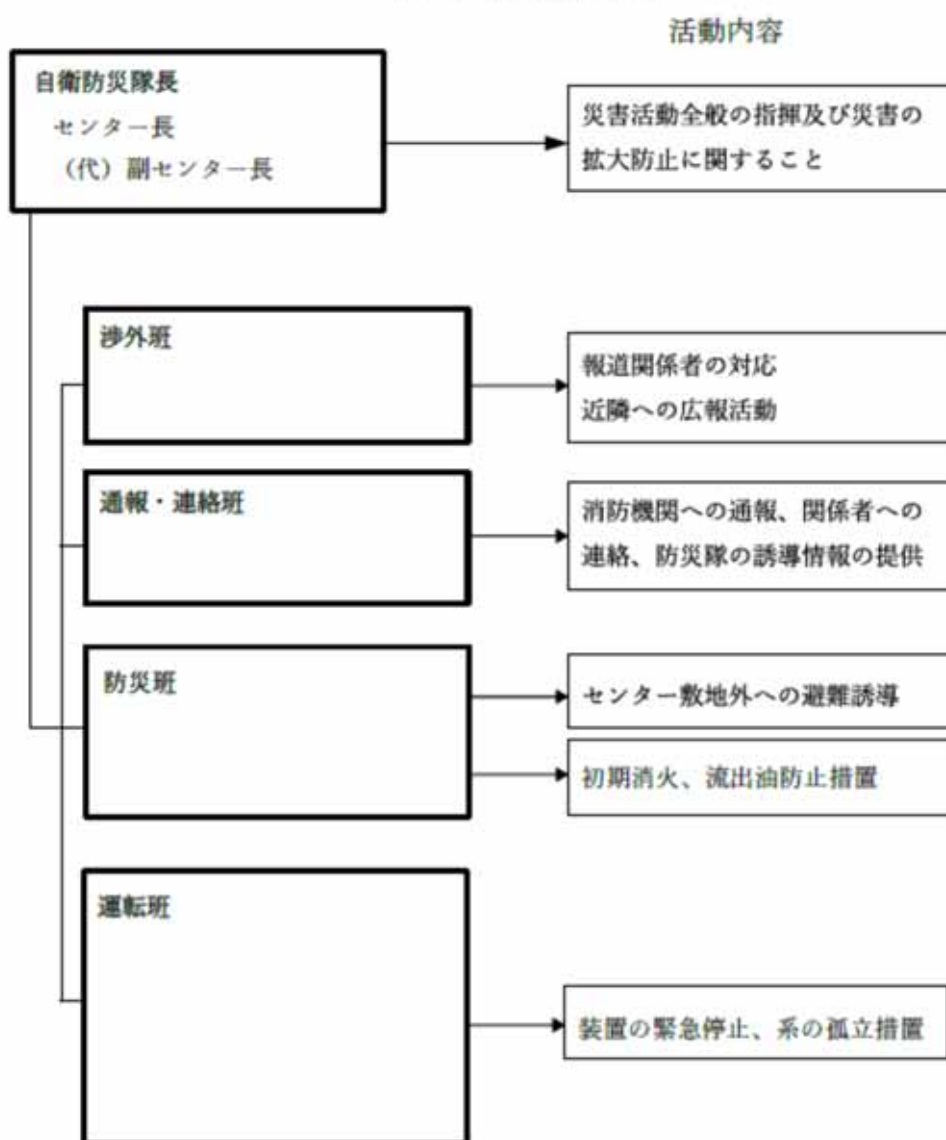
別様式－1

保安管理任務分担表

職 務 担 当	氏 名	在・不在	備考
セ ン タ ー 長			
危険物保安監督者			
代行者			
危険物取扱者（A直）			
代行者			
危険物取扱者（B直）			
代行者			
危険物取扱者（C直）			
代行者			
危険物取扱者（D直）			
代行者			
点検責任者（A直）			
点検責任者（B直）			
点検責任者（C直）			
点検責任者（D直）			

別様式－2

自衛防災隊編成表



別様式-3

▼自然災害発生時の対応要領▼

①情報収集及び周知・連絡

正確な津波情報等の
周知・連絡を確実に
実施する。

情報の収集

- 津波情報伝達システム
- ラジオ、TV等
- 携帯電話



情報の周知・連絡

- 構内一斉緊急放送
- 無線ページング等で
当センター内にいる
外来者・センター員等
へ津波情報等を周知・
連絡

②作業中止及び安全措置

津波等による二次災
害の防止に努める。

全ての作業を中止

- A重油の受入中止
- 液体窒素の受入中止
- その他薬品類の充填
作業等の中止



安全措置

- ポンプ等電源の停止
- 危険物漏洩防止措置
- 建物等の施設
- その他安全措置

③外来者及びセンター員の避難

迅速に津波浸水予想
区域から状況に応じ
た避難をする。

外来者等の避難

- 「津波からの避難の
手引き」等避難経路
の周知。
- 外来者を津波浸水予
想域外へ避難誘導
(管理棟への避難)



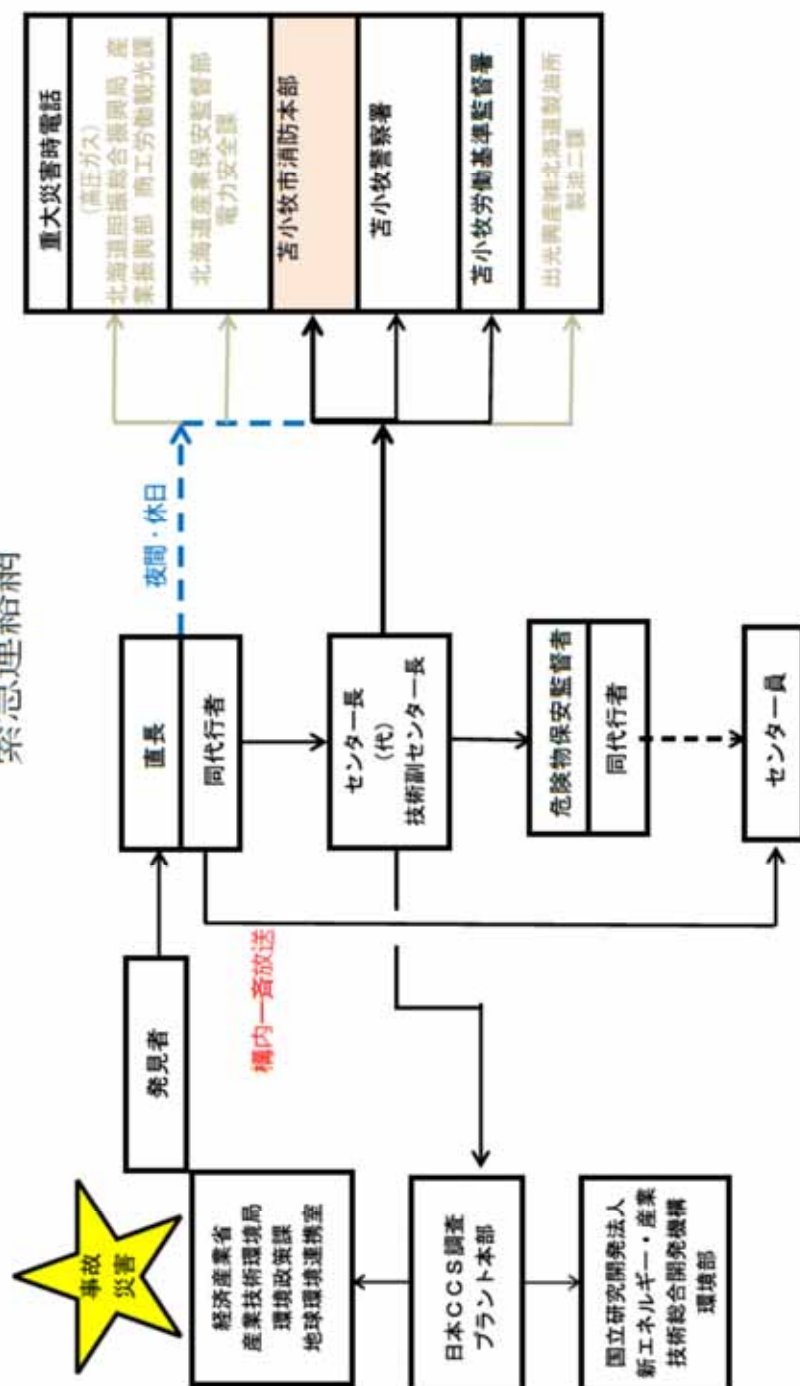
センター員等の避難

- 非常用持出し品等の
確認
- 全センター員は管理
棟へ避難誘導する。
- 避難後は津波浸水予
想区域へ戻らない。

津波警報発令時：津波襲来予想時間を考慮し、慌てずに対応する！

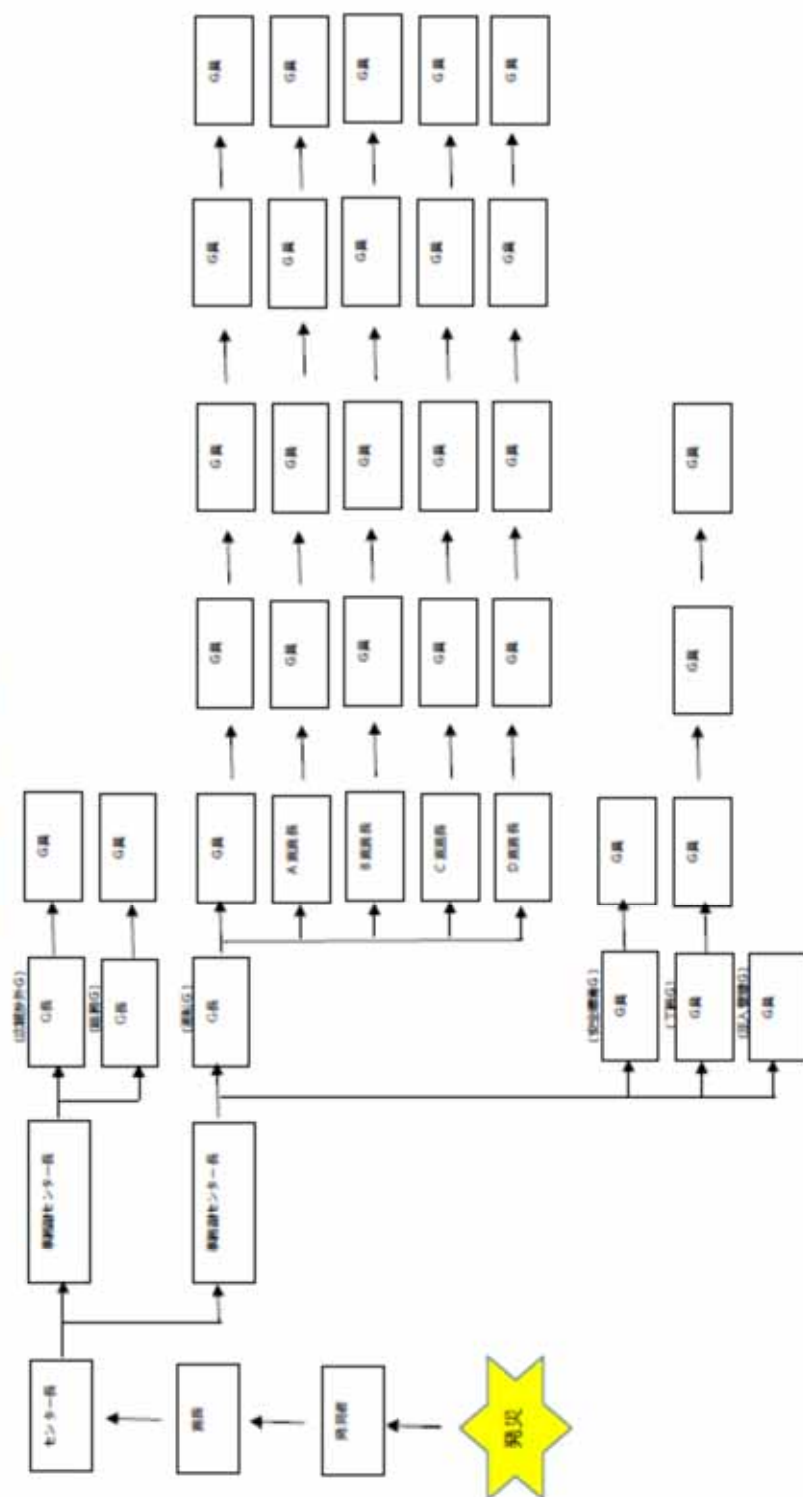
別様式-4-1

苫小牧CCS実証試験センター
緊急連絡網



※ 異常状態が発生した場合、経済産業省産業技術環境局環境政策課地球環境連携室及び国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構と協議の上、適切に対応する。

緊急連絡(非常召集)網



注1: 既得身日も含め7回一週間 (74→79) は平倉の上原(→渡辺)

別様式-5

一般取扱所及び屋外タンク貯蔵所

地震および津波発生時の設備点検表

点検項目		点検内容	点検方法	点検結果	措置年月日及び措置内容
燃焼装置等	基礎、梁台、支柱	変形、亀裂、損傷の有無	目視		
		沈下の有無	目視		
		支柱取付け部損傷の有無	目視		
		ボルト等の緩みの有無	目視		
	本体部	変形、亀裂、損傷の有無	目視		
		ボルト等の緩みの有無	目視		
		保温材の損傷、脱落等の有無	目視		
	バーナー等燃焼設備	漏洩の有無	目視		
		取付け部の緩み等の有無	目視		
		機能の適否	作動確認		
	安全装置	機能の適否	作動確認		
		機能の適否	作動確認		
	計測装置	温度計	損傷の有無	目視	
			取付け部の緩み等の有無	目視	
			作動、指示状況の適否	目視	
		圧力計	損傷の有無	目視	
			取付け部の緩み等の有無	目視	
			作動、指示状況の適否	目視	
	熱源監視装置	損傷の有無	目視		
		取付け部の緩み等の有無	目視		
		機能の適否	作動確認		
	火災を防止するための付帯設備	損傷の有無	目視		
		固定状況の適否	目視		
		機能の適否	作動確認		
屋外タンク貯蔵所	基礎	大走り、コンクリートリング損傷の有無	目視		
		亀裂、損傷等の有無	目視		
	防油堤等	巨地の脱落等の有無	目視		
		波打ち、傾斜の有無	目視		
		基礎部分の沈没の有無	目視		
		階段の変形、損傷の有無	目視		
		漏洩の有無	目視		
	タンク本体	側板および屋根板の変形、亀裂、損傷の有無	目視		
		ボルト等の緩みの有無	目視		
		底板張り出し部の変形の有無	目視		
		通気管、安全装置の損傷の有無	目視		
		漏洩の有無	目視		
		変形、損傷の有無	目視		
	ノズル、マンホール等	取付けボルトの折損等の有無	目視		
		通気管、安全装置の損傷の有無	目視		
		損傷の有無	目視		
	液量自動表示装置	取付け部の緩み等の有無	目視		

別様式-5

一般取扱所及び屋外タンク貯蔵所

地震および津波発生時の設備点検表

点検項目		点検内容	点検方法	点検結果	措置年月日及び 措置内容	
屋外 タンク貯蔵所	計測装置	温度計	作動、指示状況の適否	作動確認		
			損傷の有無	目視		
			取付け部の緩み等の有無	目視		
		圧力計	作動、指示状況の適否	作動確認		
			損傷の有無	目視		
			取付け部の緩み等の有無	目視		
		配管、バルブ等 (含むボイラー回リ)	配管 (可換部を含む)	漏洩の有無	目視	
				変形、損傷の有無	目視	
				地面との離隔状況	目視	
	バルブ、フランジ等		漏洩の有無	目視		
			変形、損傷の有無	目視		
			バルブ開閉機能の適否	目視		
			フランジボルトのゆるみ等の有無	目視		
	ラック、サポート		固定状況の適否	目視		
			変形、損傷の有無	目視		
	ポンプ設備	ポンプ	漏洩の有無	目視		
			変形、損傷の有無	目視		
			異音、異常振動、異常発熱の有無	目視		
			ポンプ据付基礎の亀裂、損傷の有無	目視		
			固定ボルトの緩み等の有無	目視		
			アース断線の有無	目視		
		床、油分離装置	変形、亀裂、損傷の有無	目視		
			漏油の有無	目視		
			配電盤、遮断器、 コンセント、配線等	変形、損傷の有無	目視	
固定状況の適否	目視					
機能の適否	目視及び 作動確認					

別様式-5

一般取扱所及び屋外タンク貯蔵所

地震および津波発生時の設備点検表

点検項目		点検内容	点検方法	点検結果	措置年月日及び 措置内容
電気設備	照明機器及びその他の 電気機器	変形、損傷の有無	目視		
		固定状況の適否	目視		
		配線結合部の緩み等の有無	目視		
		機能の適否	作動確認		
	アース、避雷設備	断線の有無	目視		
		配線結合部の緩み等の有無	目視		
		接地抵抗値の適否	接地抵抗計による測定		
制御装置等	制御系計器の損傷の有無	目視			
	制御盤の固定状況の適否	目視			
	制御系の機能の適否	作動確認または シーケンス試験による			
	監視設備の機能の適否	作動確認			
	警報設備の機能の適否	作動確認			
消火設備	位置、設置数、外観異常の有無	目視			
警報設備	損傷の有無	目視			
	機能の適否	作動確認			
管理棟及びその他建屋	基礎部分の亀裂、沈下等の有無	目視			
	外壁、窓、屋根部等の損傷の有無	目視			
	建屋内への浸水による異常の有無	目視			
その他					

別様式－6

教育・訓練計画表

教育	対象者	実施時期	教育の内容
	全センター員	・危険物安全週間中 ・防災週間中	(1)予防規程の内容 (2)火災予防上の遵守事項 (3)安全作業等に関する基本的事項 (4)各自の任務、責任等の周知徹底 (5)地震・津波対策に関する事項 (6)その他
	新入社員	入社時	
訓練	訓練別	実施時期	訓練の内容
	総合訓練	危険物安全週間中	部分訓練を有機的に連携させて総合的に行う訓練
	部分訓練	春の火災予防週間中	消火・通報訓練、初動措置訓練
		防災週間中	消火・通報訓練、避難・誘導訓練 流出油防除訓練、応急救護訓練
	震災訓練	総合訓練及び部分訓練に含めて実施	近隣事業所等との連携 訓練、帰宅困難者対応訓練 応急措置訓練、設備・機器の使用可否判断訓練
記録	教育、訓練を実施した時は速やかに記録を作成し、3年間保管すること。 添付の「教育・訓練記録表」に記載する。		

教育・訓練記録表								
		<table border="1"> <tr> <td>センター長</td> <td>点検</td> <td>担当</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	センター長	点検	担当			
センター長	点検	担当						
教育・訓練名	教育・訓練区分	☐ 教育 ☐ 訓練						
	教育・訓練名							
実施年月日	実施年月日	平成 年 月 日 ()						
	時 間	時 分 ～ 時 分						
講 師	社 内							
	社 外							
参 加 者		計 名						
【内 容】								
【所 感】								
【上司コメント】								