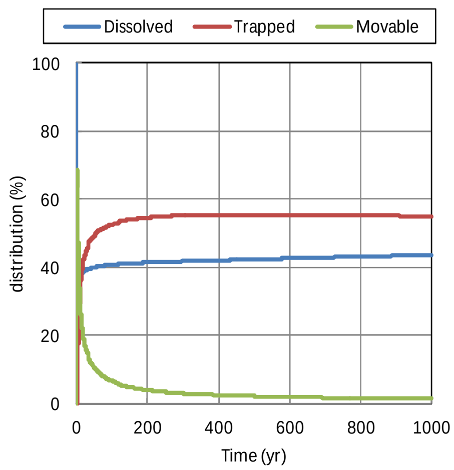
⑥ CO_2の貯留形態ごとの割合

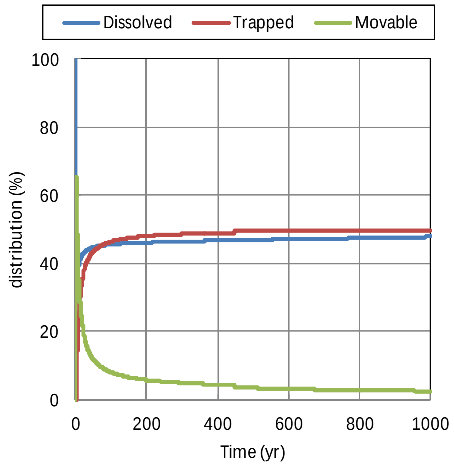
貯留 CO_2 の 3 つの貯留形態を Movable（移動する可能性がある気相 CO_2），Dissolved（溶解 CO_2）および Trapped（孔隙などにトラップされ動かない気相 CO_2）と表現し，各モデルの CO_2 圧入量に対する割合の経時変化を，平成 23 年度シミュレーションにより精査した。その結果を，第 4.5-44 図～第 4.5-46 図に示す。

いずれのケースにおいても圧入終了後すぐに Movable CO_2 は減少し，約 50 年でその割合は 9～10%程度となり，さらに減少を続ける。また，Trapped CO_2 と Dissolved CO_2 の割合はゆっくりと変化する。その割合については，圧入開始後 1,000 年後においては，ベースケースでは Dissolved CO_2 は約 44%，Trapped CO_2 は約 55%，低浸透率ケースでは Dissolved CO_2 は 48%，Trapped CO_2 は 49%，高浸透率ケースでは Dissolved CO_2 は 45%，Trapped CO_2 は 54%となった。この差については，圧入終了までの CO_2 の広がり方による地層水との接触面積の違い，CO_2 が溶解し密度が大きくなった地層水の貯留層内での移動のしやすさ，貯留層内の圧力状態が原因であると考えられる。

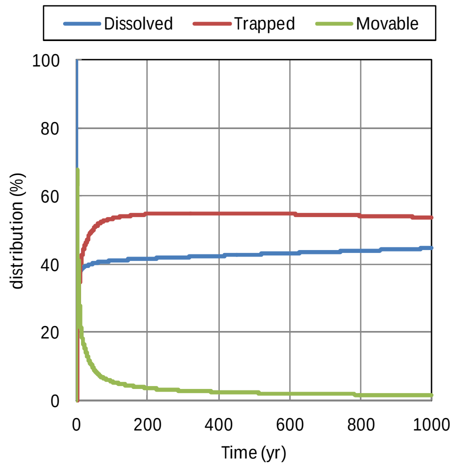
なお，萌別層圧入井の掘削結果において貯留層の浸透率に 370mD と大きな値が解析されているが，孔隙率が同程度であるため，平成 23 年度シミュレーション結果と大きく変わることはなく，ほぼ同等の CO_2 の貯留形態ごとの割合となると予測される。



第 4.5-44 図　ベースケースにおける CO_2 の貯留フォーム（割合）の変化（平成 23 年度シミュレーション結果）



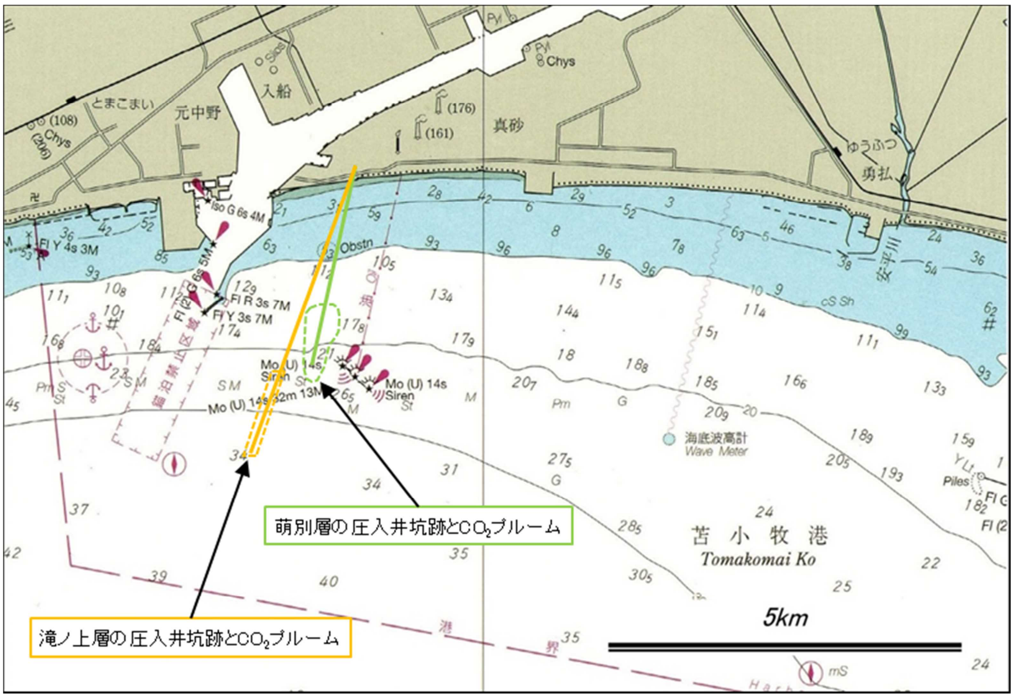
第 4.5-45 図　低浸透率ケースにおける CO_2 の貯留フォーム（割合）の変化（平成 23 年度シミュレーション結果）



第 4.5-46 図　高浸透率ケースにおける CO_2 の貯留フォーム（割合）の変化（平成 23 年度シミュレーション結果）

(3)　海域での位置

海底下廃棄された特定二酸化炭素ガスが広がる範囲について，それぞれの圧入対象層ごとのモデルケースでシミュレーションを行った。滝ノ上層 T1 部層については確認層序に基づき修正した深度モデル/P50 ケースの地質モデルをベースに圧入井の掘削実績に基づいて修正したモデルを，萌別層砂岩層については高浸透率ケースを代表とし，本計画における海域の海図（第 4.2-1 図）に CO_2 プルームの平面的な分布範囲を投影した結果を，第 4.5-47 図に示す。



注：海上保安庁発行の海図（W1034）に加筆

第 4.5-47 図　特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄をする海域の位置及び範囲

4.6 海底下廃棄をする海域及びその周辺の海域における，海洋環境の保全上特に保護を図る必要があるものの所在

苫小牧市および厚真町周辺海域において，海中公園，自然公園（国立公園，国定公園，道立自然公園），ラムサール条約登録湿地，鳥獣保護区，藻場，さんご礁，特殊な生態系（冷湧水生態系，熱水生態系，鯨骨生物群集）等の海洋環境の保全上特に保護を図る必要があるものの所在について，既存資料[1]-[8]を用いて調査した結果，これらの存在は確認されなかった。

なお，干潟については，10 km以上離れた厚真川河口に小規模な干潟が確認されている。

[1]『国立公園』（環境省ウェブサイト：http://www.env.go.jp/park/index.html，2014/10/17 アクセス）
[2]『道内のラムサール条約登録湿地一覧』（北海道環境局生物多様性保全課ウェブサイト：http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/skn/environ/wetland/ramsargaiyou.htm，2014/10/17 アクセス）
[3]『自然環境保全地域等』（北海道環境局生物多様性保全課ウェブサイト：http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/skn/kouen/hozen.htm）
[4]『苫小牧市自然環境保全地区』（苫小牧市環境生活課自然保護係ウェブサイト：http://www.city.tomakomai.hokkaido.jp/shizen/shizenhogo/yachohogo/hozenchiku/tomakomai_hozenchiku.html，2014/10/17 アクセス）
[5]『平成 25 年度鳥獣保護区等位置図』（北海道，2013 年）
[6]『第 4 回自然環境保全基礎調査』（環境庁，1994 年）
[7]『サンゴの生態』（日本サンゴ礁学会ウェブサイト：http://www.jcrs.jp/wp/?page_id=622#q3，2014/10/17 アクセス）
[8]『西太平洋の化学合成生態系』（独立行政法人海洋研究開発機構ウェブサイト：http://www.jamstec.go.jp/jamstec-e/XBRO/eco/project/busshitsu/shinkai/onsen2.html，2014/10/17 アクセス）

5　特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の方法

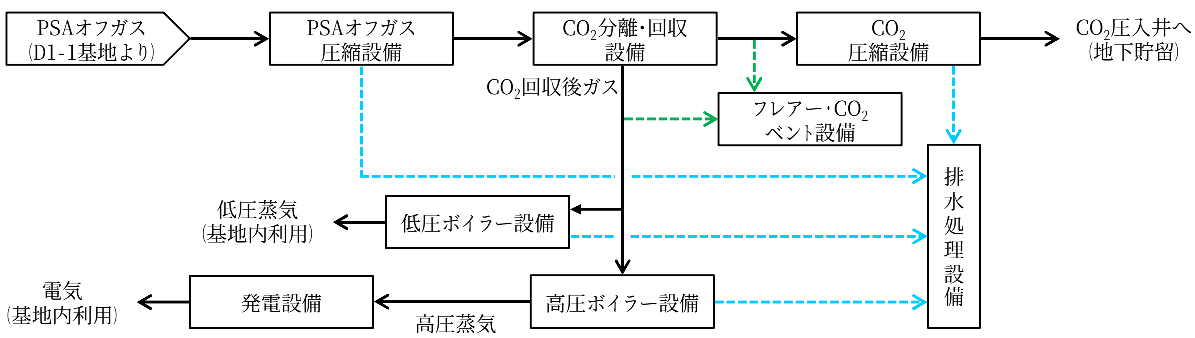
5.1 ガスの発生源から海底下廃棄をする位置までにおいて特定二酸化炭素ガスの回収及び輸送並びに圧入等に用いる設備及び機材等

(1)　概要

第 5.1-1 表に CO_2 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。

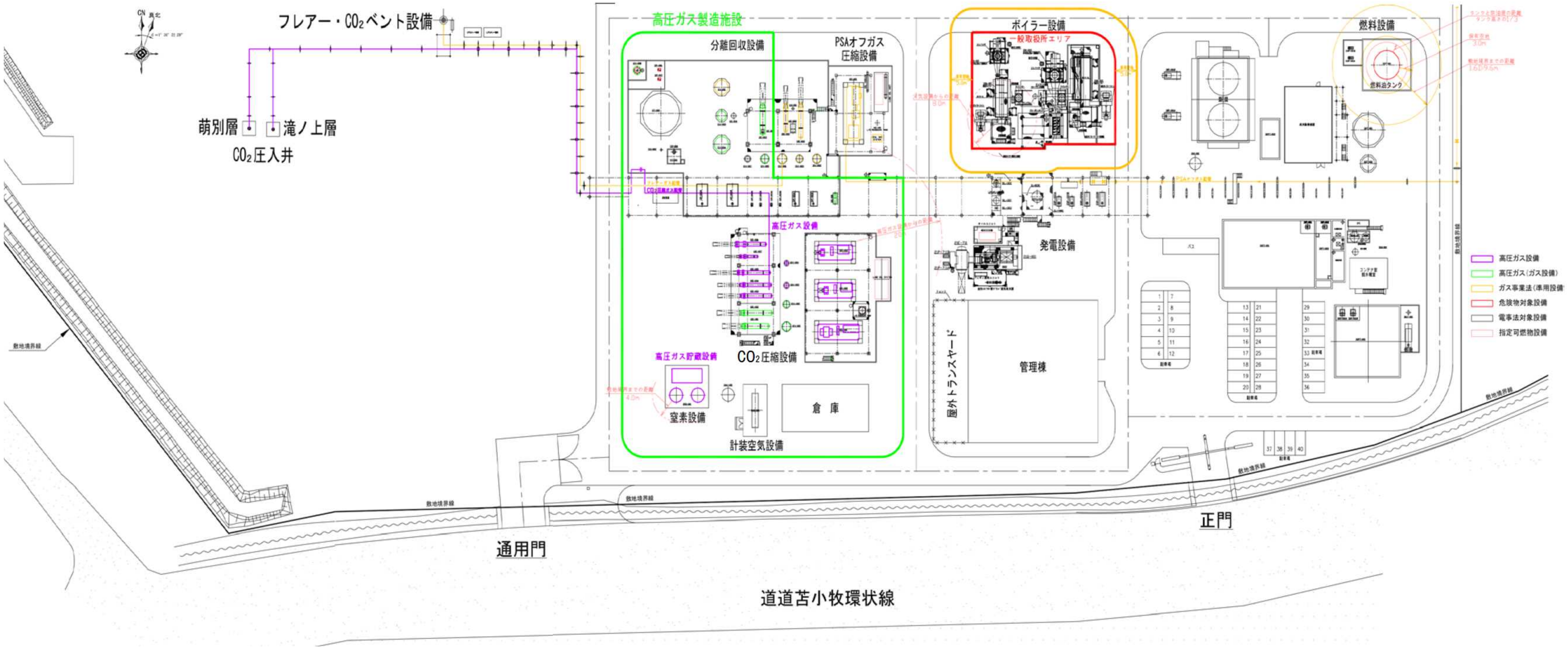
第 5.1-1 表　主要設備構成

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　850kW　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 2）低圧ボイラー設備（蒸気発生能力：30t/h）	1 基 1 基	1）発電ボイラー 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：20ｔ/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

CO_2 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 CO_2（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 CO_2 を分離した後のガスは，H_2，CH_4，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 CO_2 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　CO_2 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，CO_2 分離･回収設備内の CO_2 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（29,500Nm^3/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，CO_2 量を一定とするため，ガス組成のうち CO_2 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 CO_2 濃度が低いケース（最大処理量ケース），最も CO_2 濃度が高いケース（最小処理量ケース），CO_2 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 CO_2 濃度ケース（最大処理量ケース）

CO_2：43.86，H_2：43.50，CH_4：8.03，CO：3.99，H_2O：0.62

2）最高 CO_2 濃度ケース（最小処理量ケース）

CO_2：58.74，H_2：30.12，CH_4：6.81，CO：3.53，H_2O：0.80

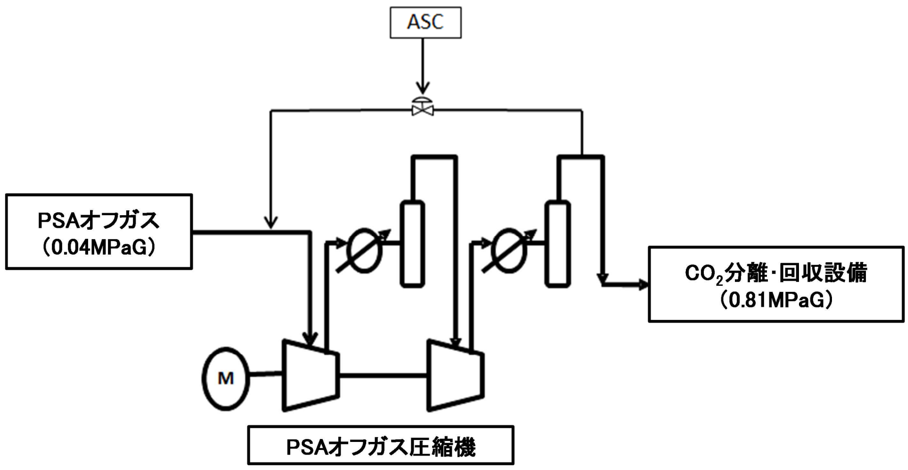
3）代表 CO_2 濃度ケース（代表組成ケース）

CO_2：51.60，H_2：38.80，CH_4：6.60，CO：2.30，H_2O：0.70

年間 20 万トン（25.3 トン/h）の CO_2 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) CO_2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 CO_2 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（CO_2分圧，CO_2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 CO_2 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）。

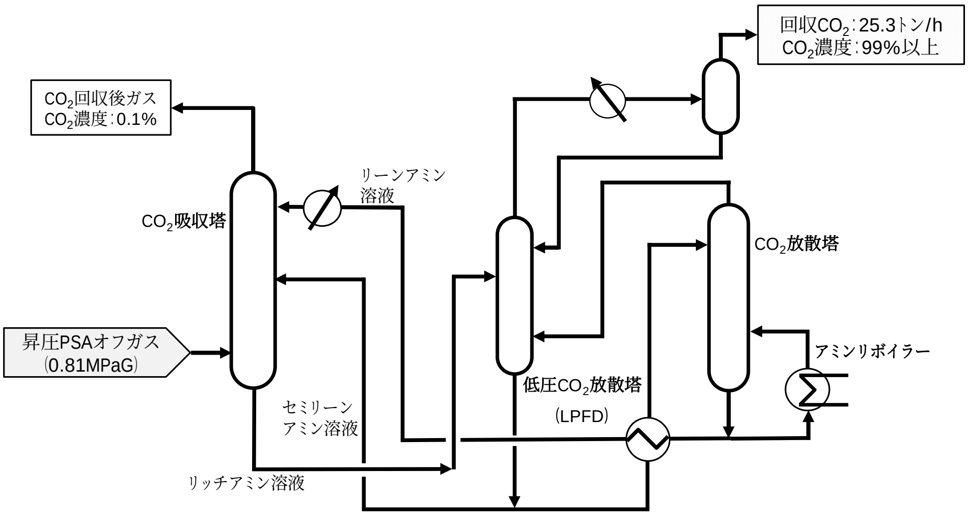
分離･回収プロセスには活性アミンを使用したＯＡＳＥプロセス（ドイツＢＡＳＦ社のライセンス）の省エネルギー効果の高いプロセスフローを採用している（第 5.1-4 図）。このプロセスは，商品名ＯＡＳＥホワイト（第三級アミンを主成分とする水溶液）をアミン溶液として使用し，LPFD と 2 段吸収法で構成され，分離･回収エネルギー（アミンリボイラー熱量＋アミン循環ポンプエネルギー量）を低減する。

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_2O	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（℃）	40	40	40

第 5.1-3 表　回収 CO_2 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_2O	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　CO_2 分離･回収設備構成

LPFD は加圧下の吸収塔で CO_2 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 CO_2 放散塔頂の余剰熱（水蒸気）で加熱して CO_2 を放散することにより，大量の熱量を必要とする CO_2 放散塔での熱負荷を低減する。

2 段吸収法では，LPFD 塔底のセミリーンアミン溶液（少量の CO_2 を含有）を吸収塔下段に循環して原料 CO_2 を粗吸収し，残りを高熱再生されたリーンアミン溶液（CO_2 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 CO_2 純度：体積百分率 99 パーセント以上

2) 吸収塔出口 CO_2 濃度：体積百分率 0.1 パーセント以下（乾式基準）。

すなわち CO_2 吸収率は，99.9%となる（推算値）。

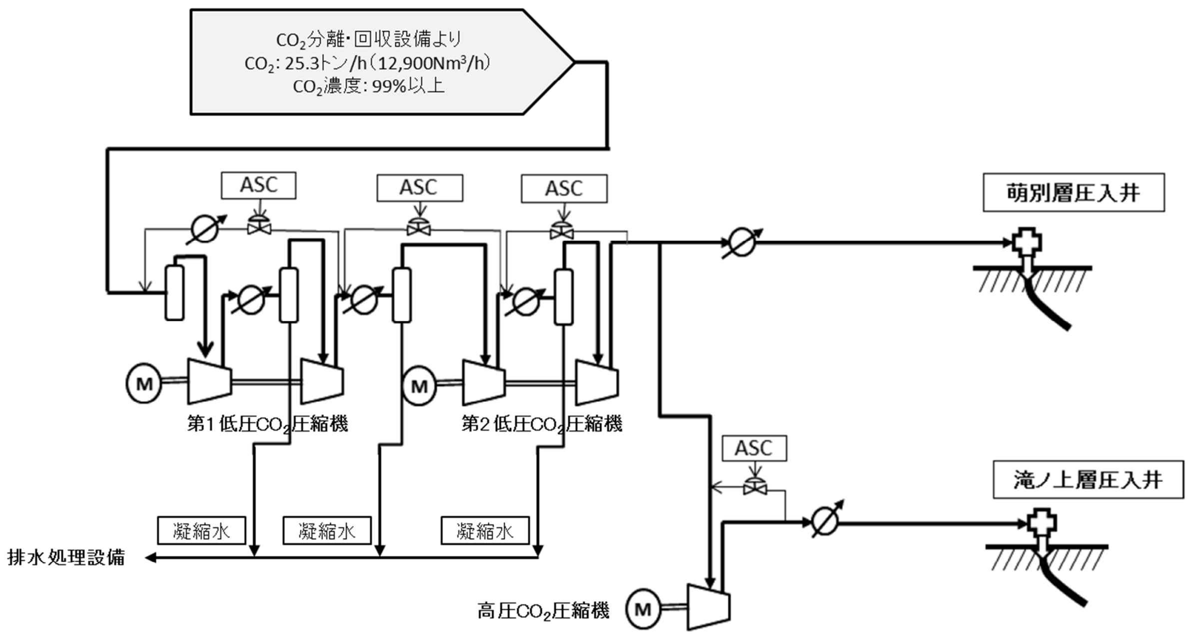
分離･回収した特定二酸化炭素ガスは，パイプラインを通じ，隣接する CO_2 圧入設備へ送気される。

(4) CO_2圧縮設備

PSA オフガスから分離･回収した高純度 CO_2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）での取り合い条件は，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

CO_2圧縮設備は第 5.1-5 図に示すように，第 1 低圧 CO_2圧縮機，第 2 低圧 CO_2圧縮機および高圧 CO_2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　CO_2圧縮設備構成

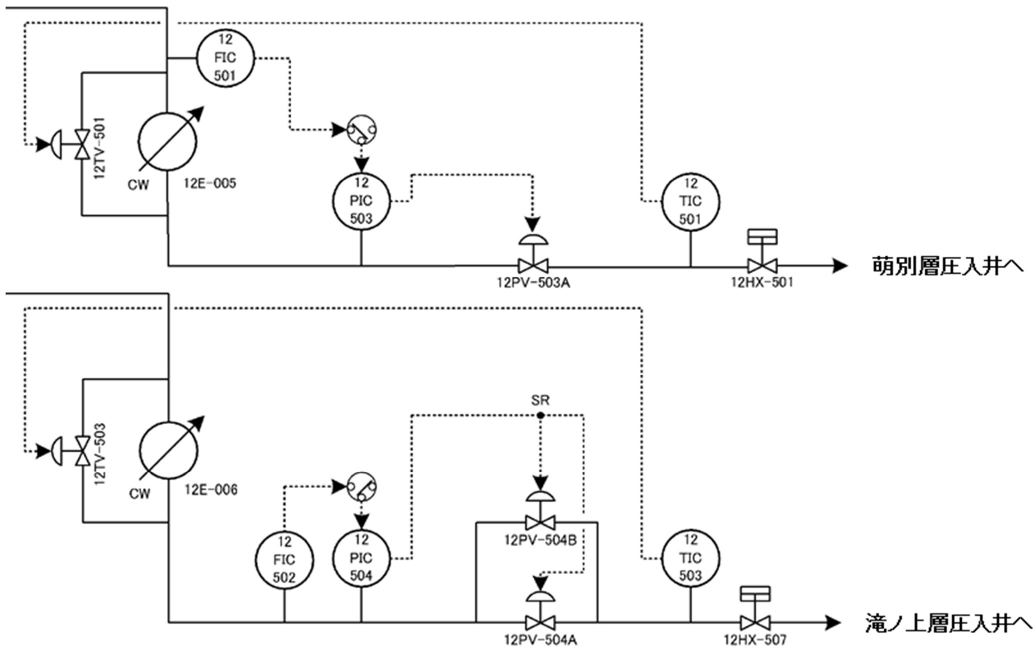
圧縮機は，将来の CCS の実用化を想定し大規模化に対応できるよう遠心式を採用した。また，圧縮機の各段の出口圧力が一定となるようスピルバック（圧縮機の各段の吐出側の CO_2の一部を吸い込み側にリサイクルさせる）により制御する。

圧縮機により昇圧した CO_2は，圧入井での水分の凝縮を防止するため，CO_2の水分は第 2 低圧 CO_2圧縮機の気液分離槽で，CO_2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 低圧 CO_2圧縮機で昇圧した CO_2ガスをさらに高圧 CO_2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 低圧 CO_2圧縮機で昇圧した CO_2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。

CO_2圧入量の制御方式を，第 5.1-6 図に示す。



第 5.1-6 図　CO_2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 CO_2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。

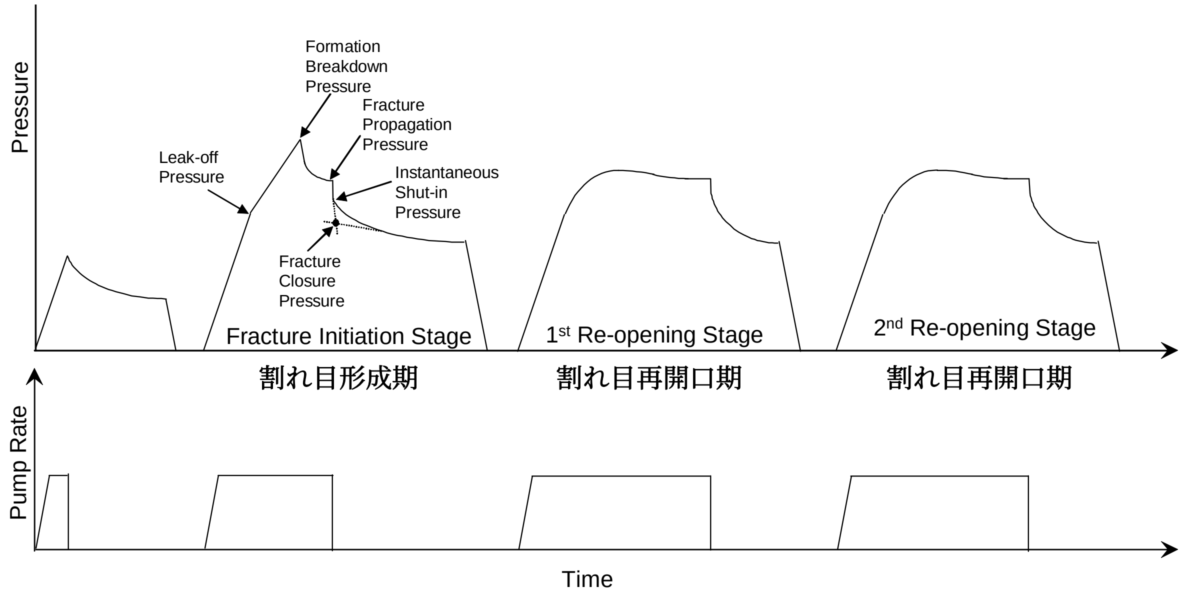
なお，圧入井の坑口設備については，5.4 節にて詳述する。

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）：フラクチャーが開口し続け，成長を続ける圧力。Instantaneous Shut-in Pressure（ISIP）：フラクチャーが開口し続け，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

CO_2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，CO_2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，CO_2圧入により滝ノ上層および萌別層の CO_2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 CO_2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 CO_2 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 CO_2 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 CO_2 挙動予測を行う。

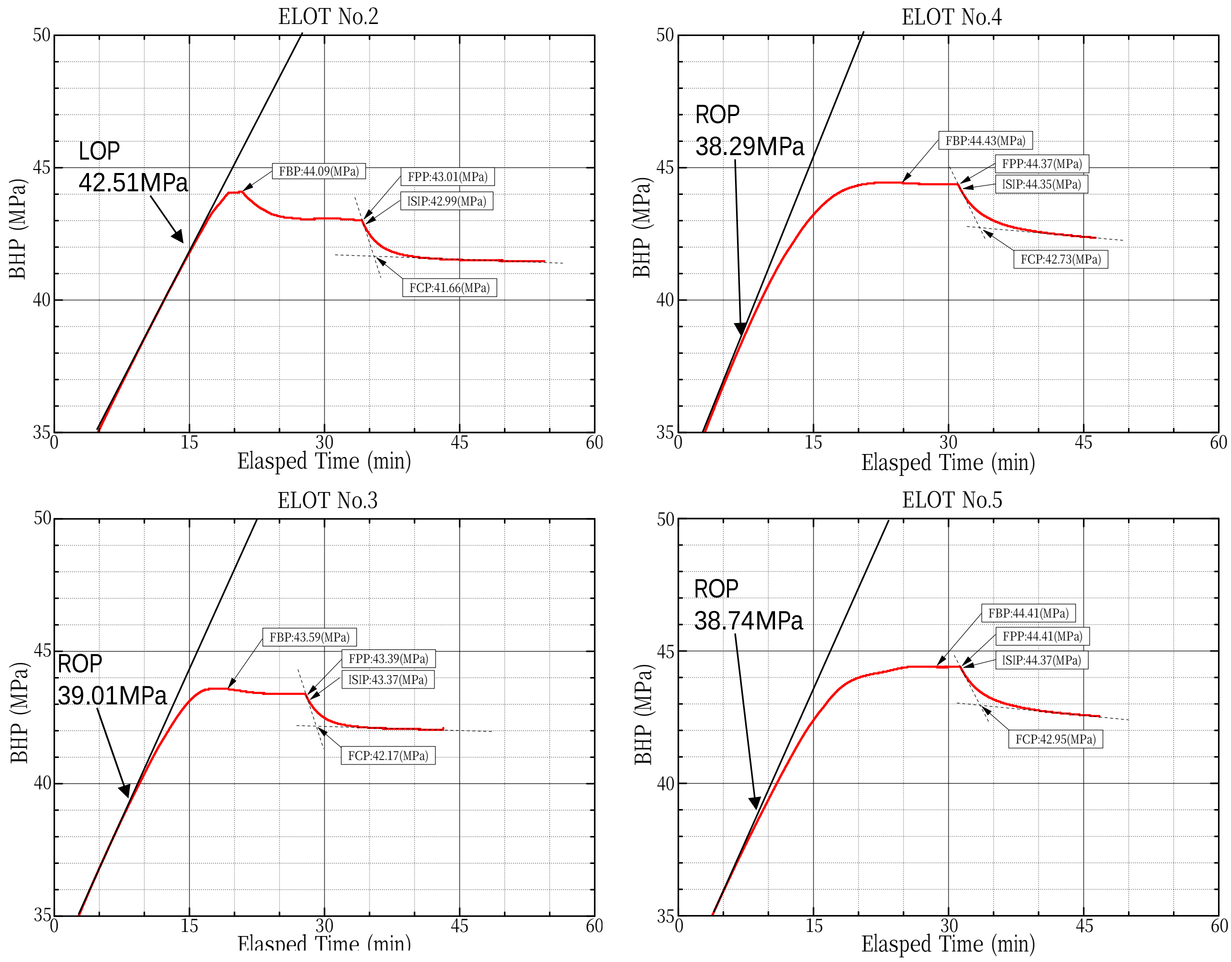
なお，CO_2の貯留層への圧入性が予想よりも低く，その改善が必要とされ，かつ圧入井から坑井刺激剤を注入することによって坑井周辺の圧入性を改善する処置が有効であると判断された場合には，坑井刺激剤を使用することがある。この場合には，許可申請時の圧入性の現状値および想定される改善の程度（把握できる場合），使用する物質，使用量，使用方法および使用による貯留層およびその上部の遮蔽層への影響について事前に環境省に連絡し，許可を得るべきか確認し，必要に応じて所定の手続きを行う。

(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ド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ド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・

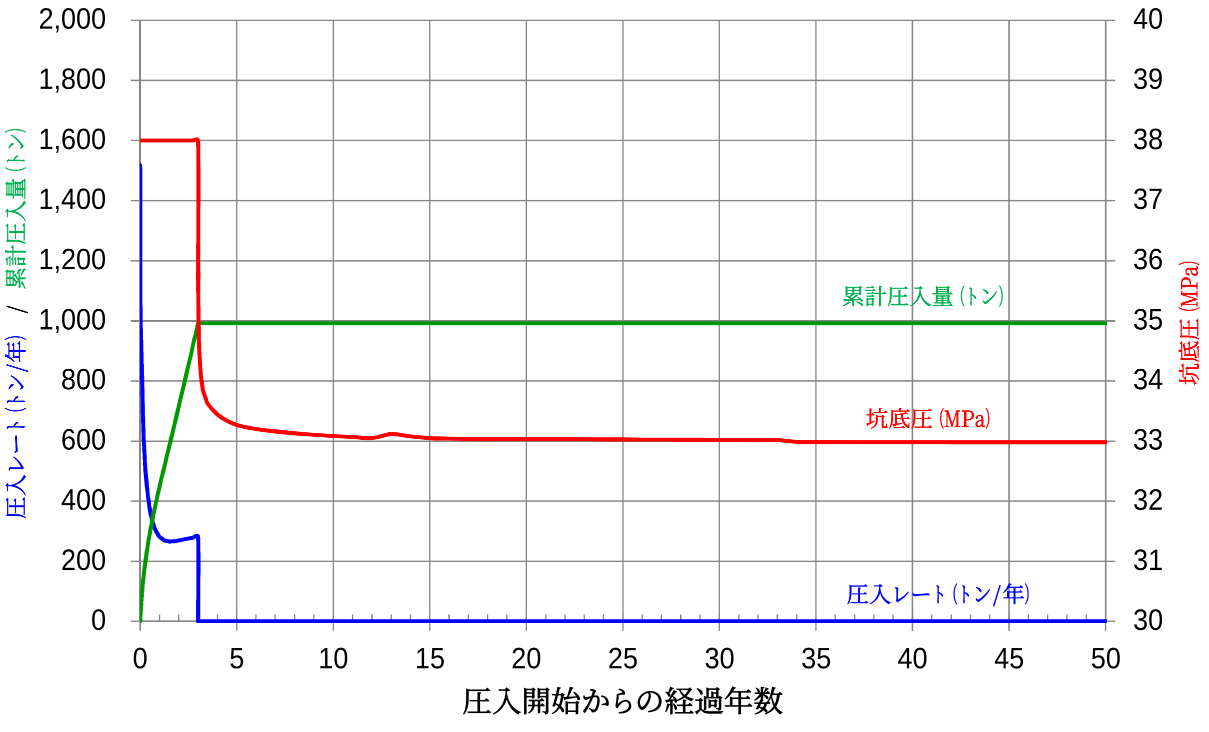
温度センサー（P/T Sensor）により監視するが，それは遮蔽層下部（ケーシング Shoe 深度）よりも垂直深度で 33.71m 浅い位置にある。圧力センサーと貯留層の最上部との深度差に対応する圧力差は，その間を満たす超臨界 CO_2 の密度（0.8g/cm^3）から算出でき，0.22MPa となる。坑底圧が圧入上限圧力を超えないようにするため，圧力センサーの読み値の上限を 38.04MPa とし，この上限を超えないように圧入圧力と圧入レートを制御し，圧入センサーの読み値が上限に達した場合は，CO_2 の圧入を停止する。

よって，「圧入上限圧力≧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

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，CO_2 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　CO_2 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 年程度経過したころから，圧入井近傍の CO_2 濃度が高まるため，地層水に対する CO_2 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」

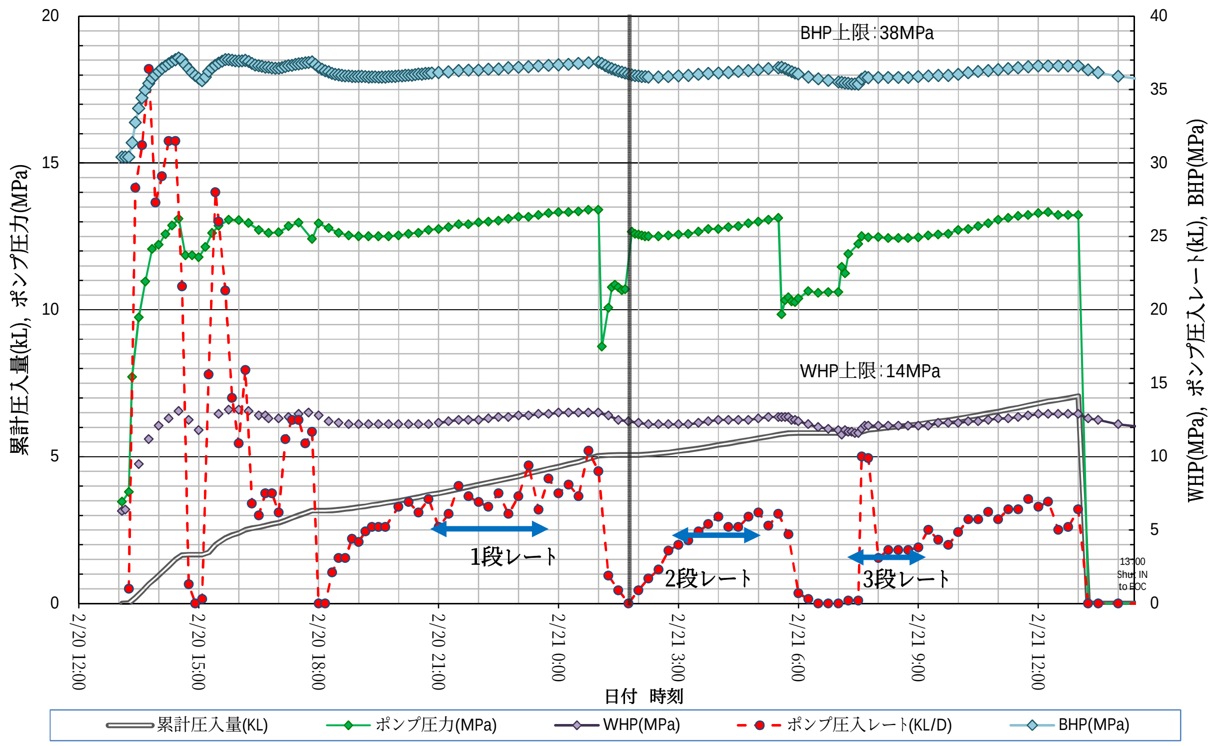
に対し，「収容レート≧圧入レート」の関係が成立している必要がある。

【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）

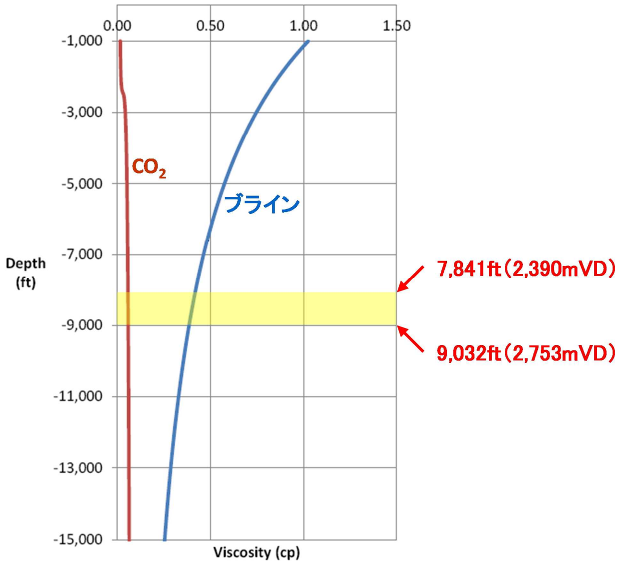
圧入上限圧力以下で圧入可能と推定される最大の圧入流量は，滝ノ上層圧入井掘削時に実施したブラインによる圧入テストの結果により設定する。ブラインによる圧入テストでは，1 日間のテスト期間において 7kL のブラインを圧入した（平均圧入流量：7kL/日）が，圧入テスト初期の最大圧入流量は 36kL/日に達していた（第 5.2-4 図）。



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，CO_2 の粘性は 0.06cp となり，ブラインよりも CO_2 の粘性は著しく低い（粘性比 6.7 倍）（第 5.2-5 図）。このため，CO_2 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 CO_2 の相対浸透率が明確でないため，単純に CO_2 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)：CO_2 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　CO_2 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，CO_2 を少なくとも 36kL/日以上の速度で圧入できると考えられる。超臨界 CO_2 の密度を 770kg/kL（90℃，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 CO_2 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 CO_2 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，既に購入機器の納期，設置工事の工期等に関し確認を得ており，2016 年 11 月末までに設置する。さらに不測の事態への担保期間を考慮し，滝ノ上層の CO_2 圧入開始は 2017 年 1 月からとする。なお，流量計の追設工事において工期の変更等の事態が発生した場合は，直ちに環境大臣に報告し，海洋汚染防止法の定めに従い，適切に対応する。

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 CO_2 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 CO_2 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，CO_2 圧入を停止する。

③　圧入温度

圧縮機により昇圧した CO_2 は，40°C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°C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，CO_2 の超臨界状態を保つための温度（31.1°C以上）は維持する。

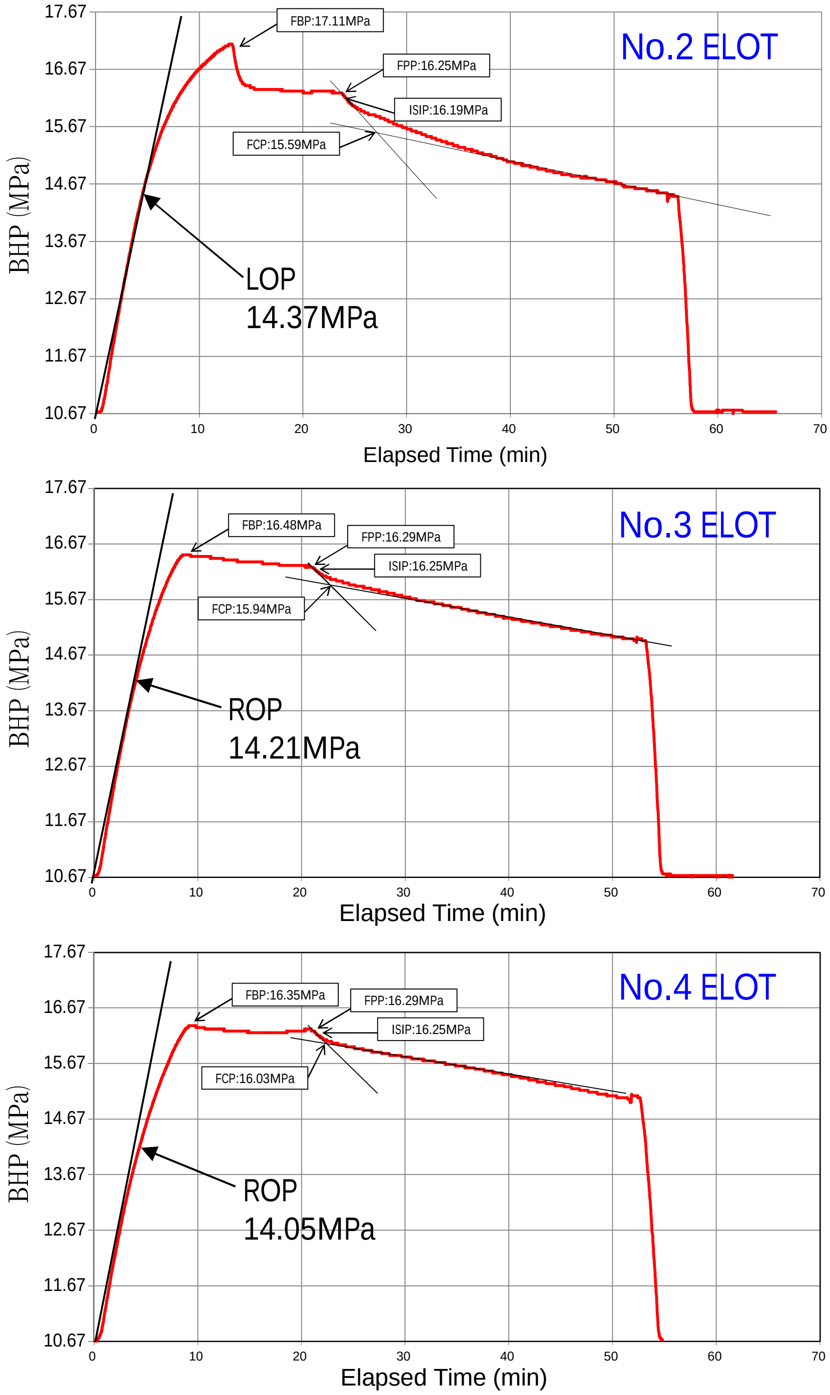
坑口から貯留層までの区間の CO_2 温度については，ほぼ各地層温度に近くなるものと推定される。滝ノ上層圧入井の坑内温度は，第 5.4-1 図に示す圧入井の遮蔽層最下部付近に設置した圧力・温度センサー（P/T Sensor）により監視する。現在の観測値（坑内は比重 1.41 の NaBr ブラインで満たされている状態）は約 87°Cであり，滝ノ上層 T1 部層に圧入される CO_2 の温度も同程度となる。

(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 5.2-6 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 5.2-6 図　萌別層圧入井における遮蔽層でのエクステンデッド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≧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 CO_2 の密度（0.74g/cm^3）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，CO_2 の圧入を停止する。

よって，「圧入上限圧力≧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

CO_2 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 5.2-7 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くな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≧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 CO_2 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　22.1 万トン/年以下となる。

よって，「収容レート≧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　25,300kg/h）で±253kg/h の精度，最大圧入レートの 1/10 流量時（2,530kg/h）で±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

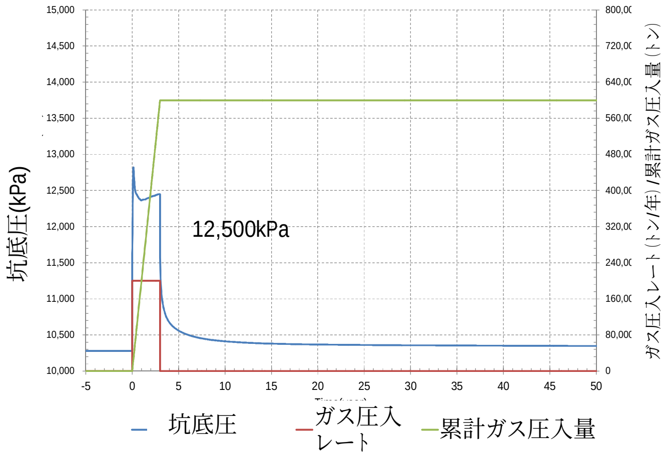
注：RD（Reading）は，読み値に対する精度を表す。

また，チュービングの圧力損失は CO_2 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 CO_2 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，坑底圧力が上限圧力を超えた場合には，CO_2 圧入を停止する。

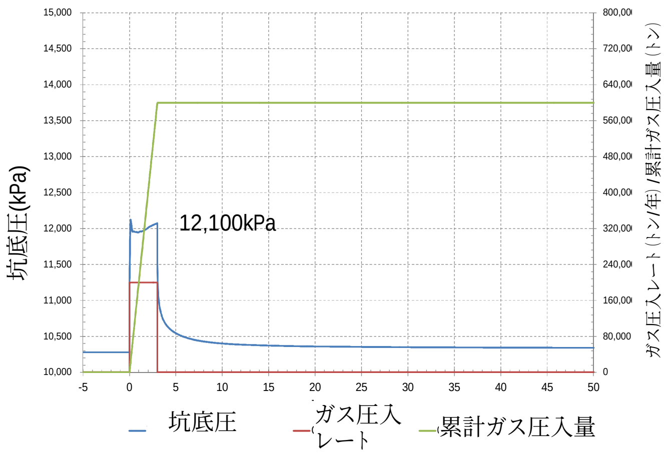
③　圧入温度

圧縮機により昇圧した CO_2 は，40°C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°C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，CO_2 の超臨界状態を保つための温度（31.1°C以上）は維持する。

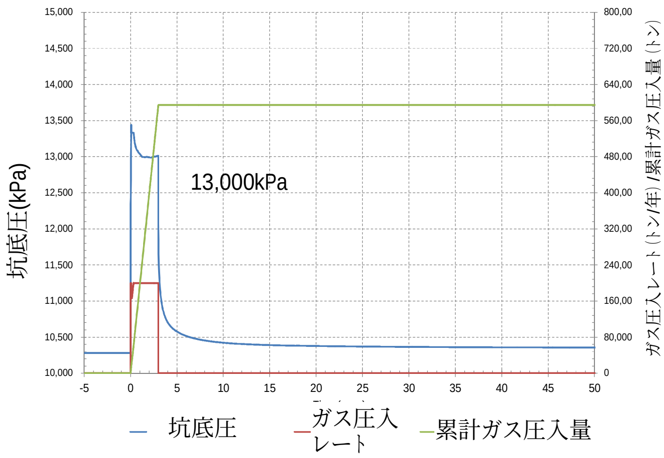
坑口から貯留層までの区間の CO_2 温度については，ほぼ各地層温度に近くなるものと推定される。萌別層圧入井の坑内温度は，第 5.4-2 図に示す圧入井の遮蔽層最下部付近に設置した圧力・温度センサー（P/T Sensor）により監視する。現在の観測値（坑内は比重 1.02 の NaCl ブラインで満たされている状態）は約 37°Cであり，萌別層砂岩層に圧入される CO_2 の温度も同程度となる。



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，CO_2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 5.2-7 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）

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。

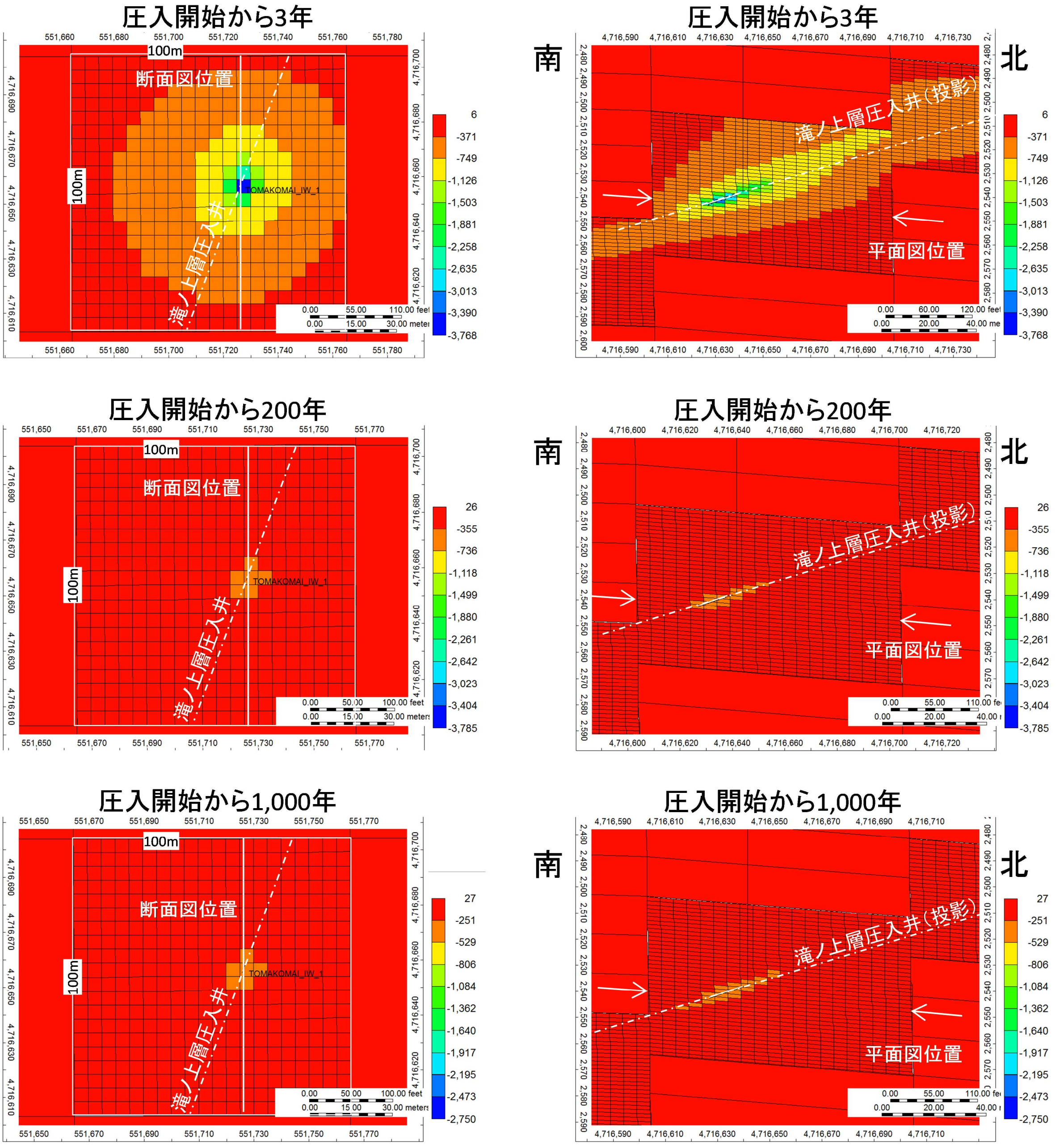
(1) 滝ノ上層 T1 部層における特定二酸化炭素ガスの圧入等による地層内圧力及び温度の変化等の見通し

CO_2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 CO_2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ありえるものの，圧入した CO_2 の温度は，貯留層深度での地温に支配される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°C（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　CO_2 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）

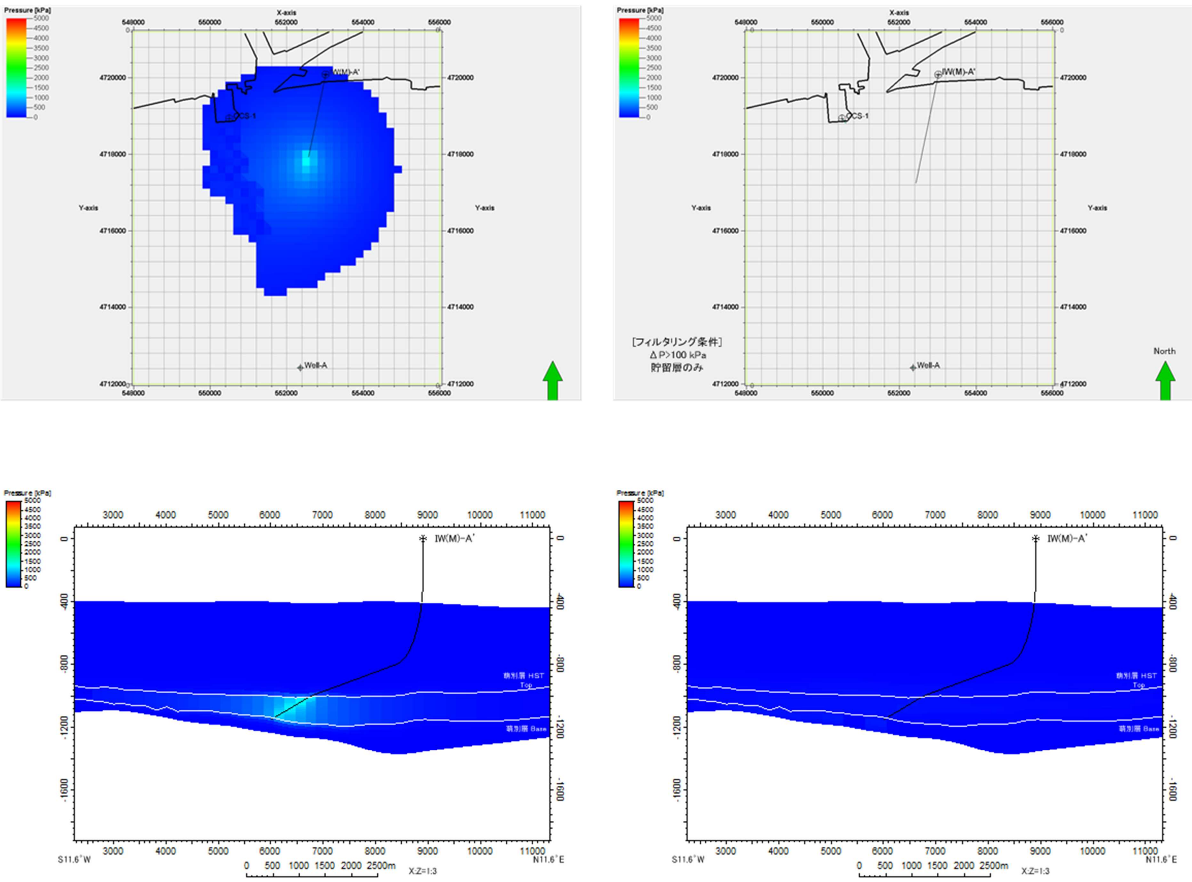
(2) 萌別層砂岩層における特定二酸化炭素ガスの圧入等による地層内圧力及び温度の変化等の見通し

CO_2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5.3-2図に，高浸透率ケースを第5.3-3図に，低浸透率ケースを第5.3-4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5.3-3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5.3-2図～第5.3-4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ありえるものの，圧入した CO_2 の温度は，貯留層深度での地温に支配される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。

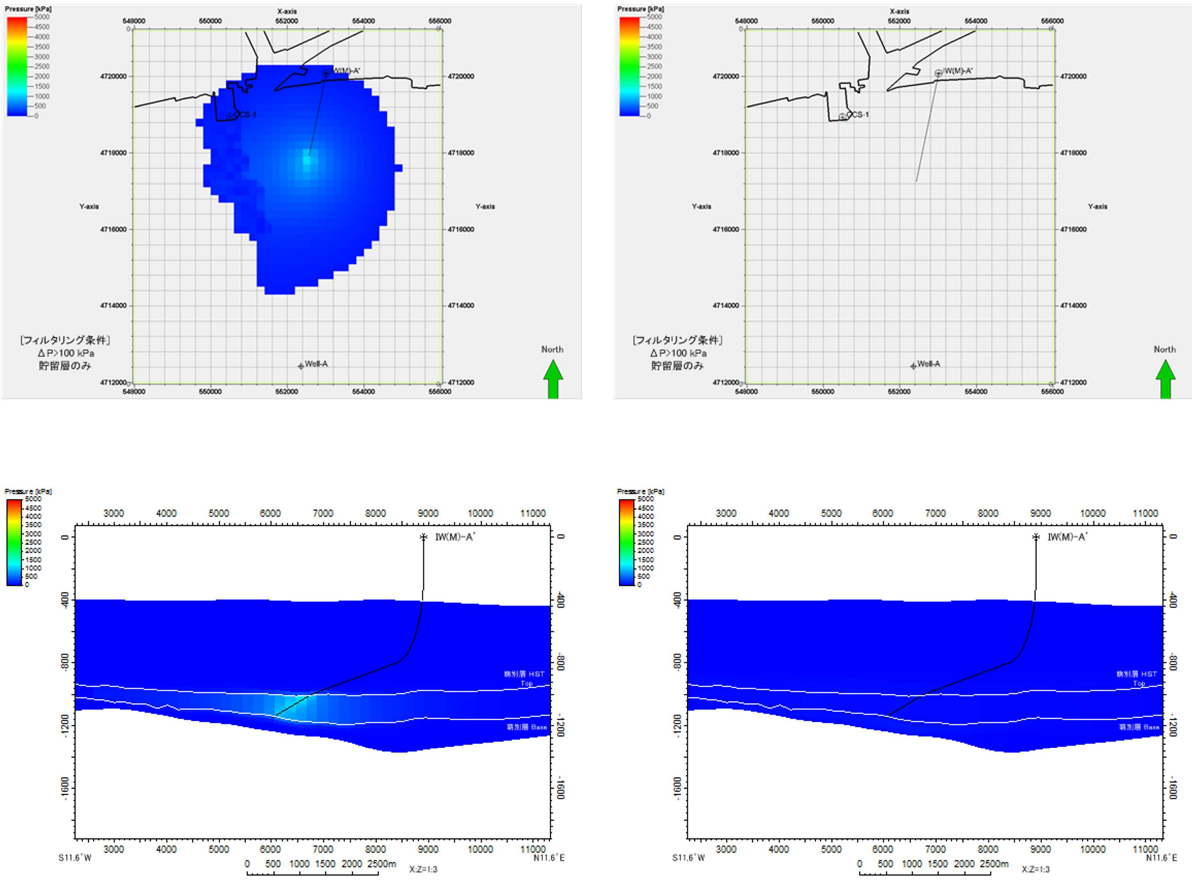


注：1．左側：圧入開始から 3 年後，右側：圧入開始から 10 年後。

2．上段：平面図（⊿P>100kPa 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 5.3-2 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）

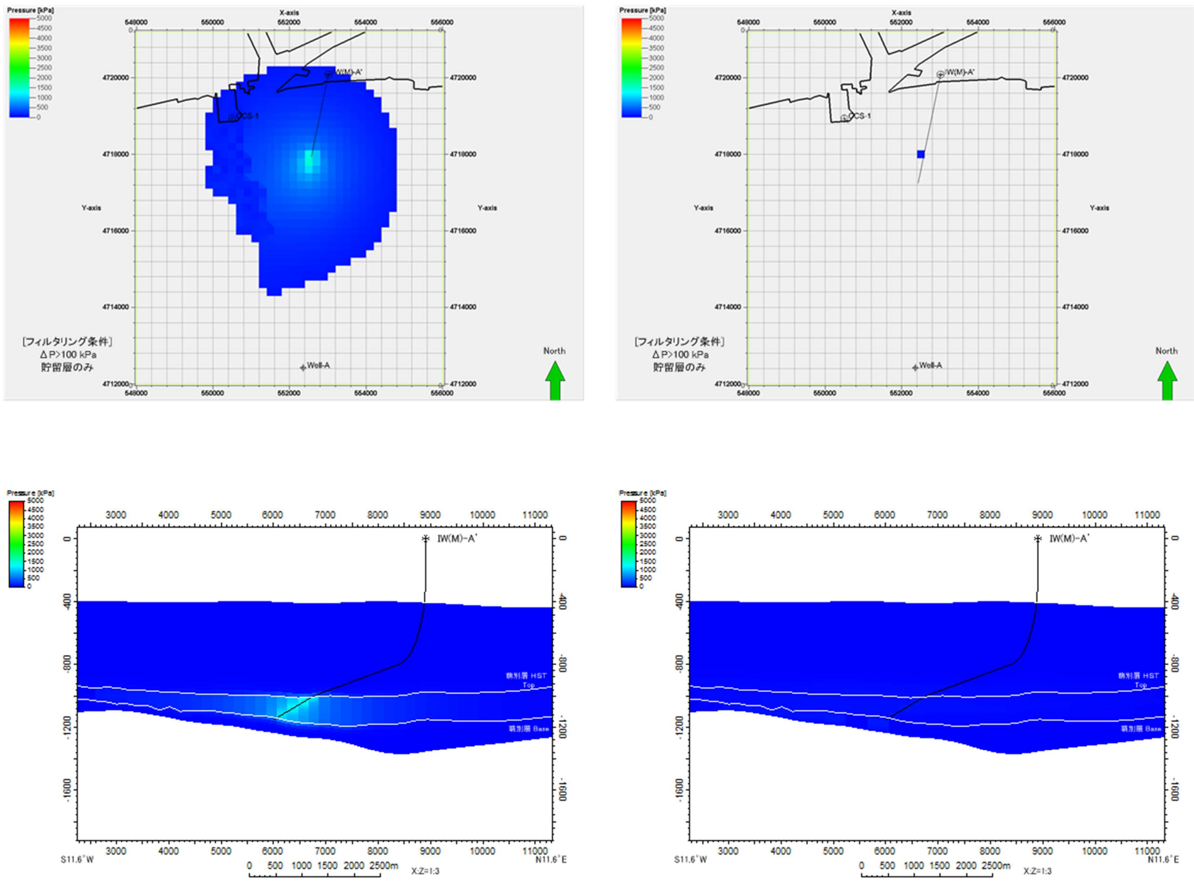


注：1．左側：圧入開始から 3 年後，右側：圧入開始から 10 年後。

2．上段：平面図（⊿P>100kPa 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 5.3-3 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（⊿P>100kPa 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：低浸透率ケース（平成 24 年度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な措置を取った。特に CO_2 貯留対象層を直接遮蔽する区間については CO_2 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 CO_2 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。

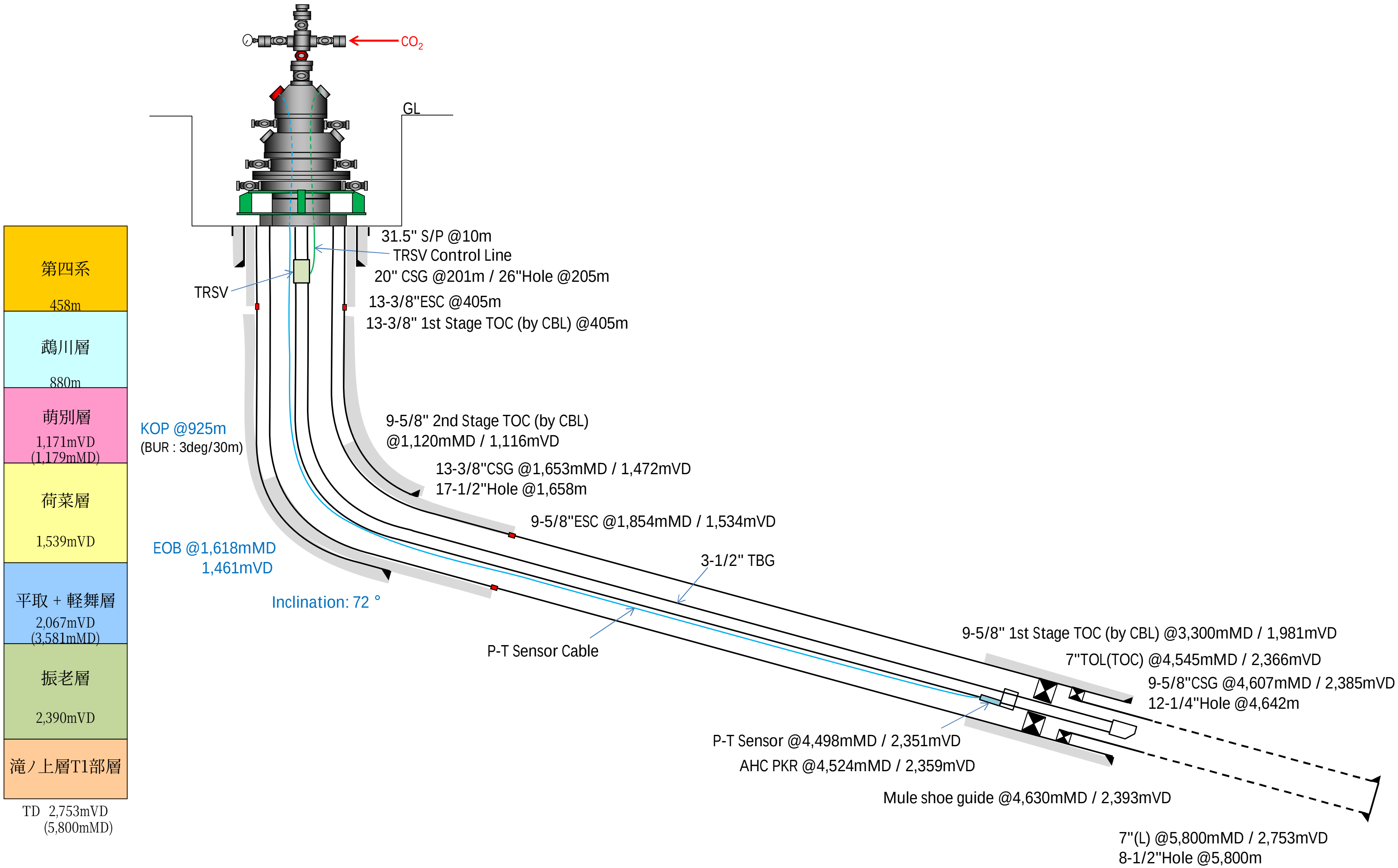
チュービング内部，外部，また，各段のケーシングごと（ケーシングとケーシングとの間ごと）に地表坑口装置に圧力監視装置を取り付け，圧力変化の有無を常時測定し，圧入している CO_2 漏洩の兆候について監視する。また，圧入層直上のパッカー付近に設置した P/T センサーにより，温度および圧力変化を常時監視する。

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。

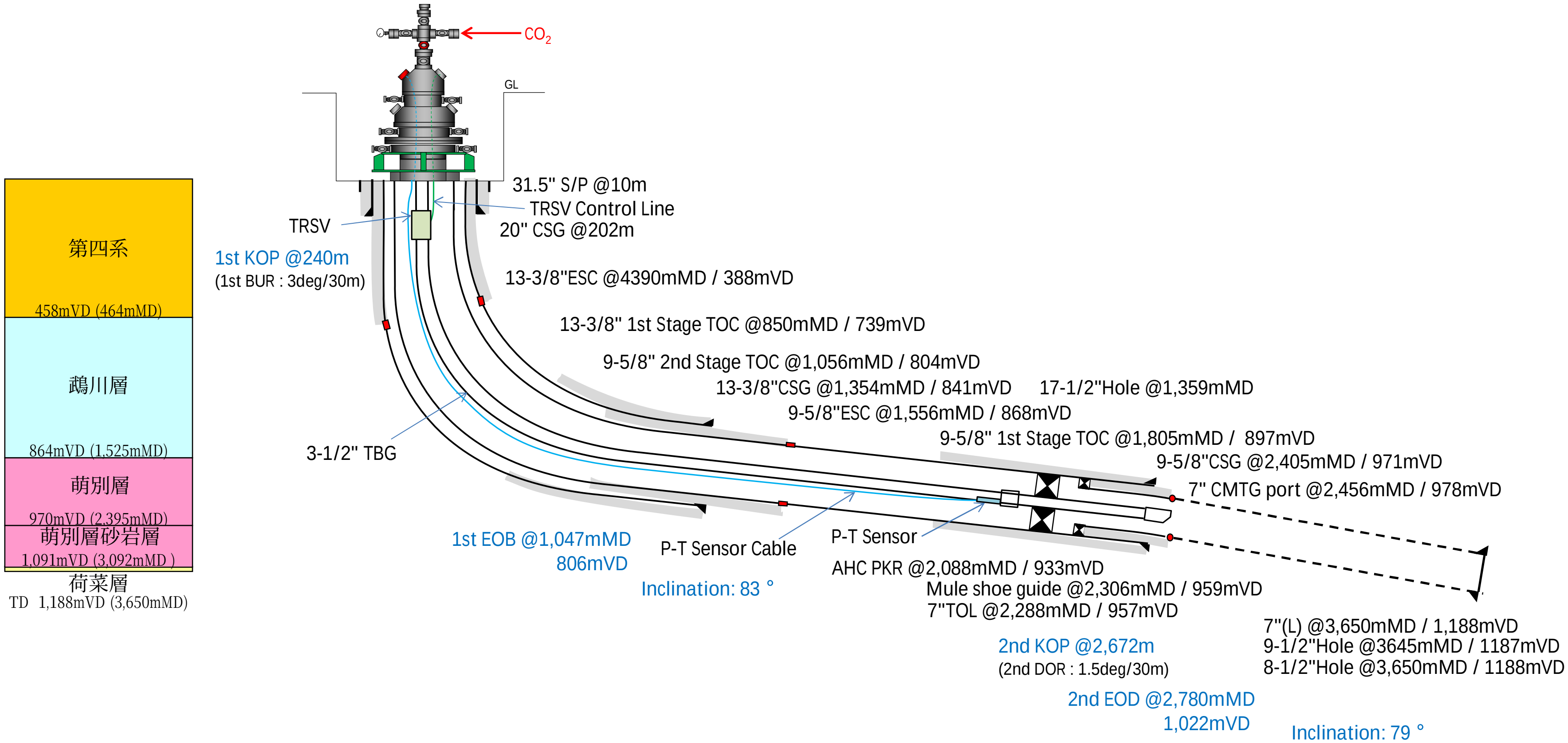
①については，本計画においては世界的に実績のある CO_2 耐性を有するセメントを使用し，設置後にその評価と耐圧試験（セメント淺い時に泥水を使用して 24MPa の加圧テストを実施し，圧力の漏れがないことを確認）を実施し，問題がないことを確認している。②については，事前に CO_2 による腐食試験（オートクレーブを使用して坑内を模擬した条件を作り，その中に試料片を 30 日間設置して腐食の有無を確認）を実施して，より腐食しにくい材質のパイプを選定し，設置後に 24MPa の耐圧試験を実施して問題がないことを確認している。③については，事前にコアなどを用いて，粒度分析，一軸圧縮試験，硬度測定など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，必要性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】

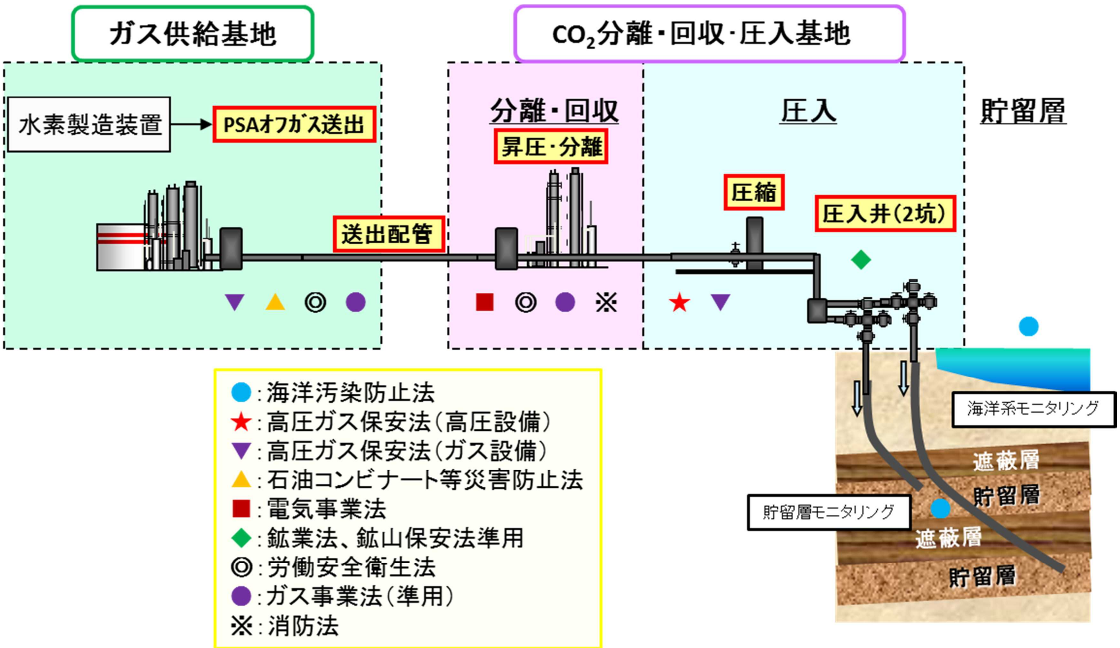
1) CO_2 と接触するおそれがある箇所のセメントプラグ性状については，CO_2 に対する耐久性が高い特殊セメント/セメント添加剤を使用する。
2) 原則として坑井内にチュービング，パッカーがある場合の封鎖作業は，坑内からこれらを回収して行うものとする。チュービング等の回収前には地層圧力以上の比重をもった流体で坑内を満たし，暴噴防止装置（Brow Out Preventer：BOP）設置等の噴出防止対策を行った後，坑内作業を実施する。
3) 坑井近傍に残留する CO_2 を減少させる目的で，抑圧流体またはセメントを圧入層へ圧入することを試みる。
4) 圧入区間の封鎖は，鉱山保安法の廃坑基準に加え，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] 『CO_2 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	土壌汚染対策法	第 4 条：土壌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	高圧ガス保安法	第 5 条：製造の許可等	1 日 100㎥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 CO_2 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 CO_2 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「ＣＣＳ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] 『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.17-20）http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g90807a01j.pdf（2015/1/26 アクセス）