

添付書類-1

特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄に関する実施計画に係る事項



## 目 次

1. 海底下廃棄実施期間 .....	- 1 -
2. 海底下廃棄をしようとする特定二酸化炭素ガスの特性 .....	- 2 -
2.1 ガス等の発生源及び当該ガス等からの特定二酸化炭素ガスの回収の方法 .....	- 2 -
(1) ガス等の発生源 .....	- 2 -
(2) 当該ガスからの特定二酸化炭素ガスの回収方法 .....	- 2 -
2.2 当該特定二酸化炭素ガスに含有される物質ごとの当該特定二酸化炭素ガス中に占める割合又は濃度 .....	- 7 -
3. 海底下廃棄をしようとする特定二酸化炭素ガスの数量及び特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄をする海域において当該海底下廃棄をする以前に海底下貯留をされていると推定される特定二酸化炭素ガスの数量 .....	- 8 -
3.1 海底下廃棄をしようとする特定二酸化炭素ガスの数量 .....	- 8 -
3.2 特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄をしようとする海域において当該海底下廃棄をする以前に海底下貯留をされていると推定される特定二酸化炭素ガスの数量 .....	- 8 -
4. 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 .....	- 9 -
4.1 海域の緯度及び経度 .....	- 9 -
4.2 海域の水深及び海底下廃棄をする深度 .....	- 14 -
4.3 陸域の主な施設等との位置関係 .....	- 14 -
4.4 海底下廃棄をする海域及びその周辺に設置された特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の用に供する設備の場所 .....	- 16 -
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 .....	- 16 -
(1) 滝ノ上層 T1 部層における特定二酸化炭素ガスが広がる範囲 .....	- 17 -
① 検討に使用した地質モデル .....	- 17 -
ア) 岩相分布・性状分布の推定 .....	- 17 -
イ) 構造モデルの作成 .....	- 18 -
a. 圧入井掘削結果 .....	- 18 -
b. 圧入井掘削結果を反映した構造モデル .....	- 20 -
ウ) 属性モデルの作成 .....	- 24 -
a. 圧入実績 .....	- 25 -
b. CO <sub>2</sub> 圧入時の挙動とパラメータの調整 .....	- 26 -
② CO <sub>2</sub> 挙動予測シミュレーション .....	- 28 -
ア) 圧入した CO <sub>2</sub> の平面的な分布範囲 .....	- 28 -
イ) 圧入した CO <sub>2</sub> の垂直的な分布範囲 .....	- 30 -
ウ) CO <sub>2</sub> の貯留形態ごとの割合 .....	- 30 -
(2) 萌別層砂岩層における特定二酸化炭素ガスが広がる範囲 .....	- 31 -
① 検討に使用したモデル .....	- 31 -
ア) 2019 年度地質モデルの作成 .....	- 31 -
a. 岩相分布・性状分布の推定 .....	- 31 -

b.	構造モデルの作成 .....	- 32 -
c.	属性モデルの作成 .....	- 34 -
②	萌別層砂岩層における CO <sub>2</sub> 挙動予測シミュレーション .....	- 41 -
ア)	2019 年度シミュレーション .....	- 41 -
a.	概要 .....	- 41 -
b.	パラメータ .....	- 41 -
c.	圧入実績 .....	- 42 -
d.	圧入実績から推定される圧入区間 .....	- 43 -
e.	圧入実績を考慮したパラメータの調整 .....	- 46 -
③	圧入した CO <sub>2</sub> の平面的な分布範囲 .....	- 64 -
④	圧入した CO <sub>2</sub> の垂直的な分布範囲 .....	- 66 -
⑤	CO <sub>2</sub> の貯留形態ごとの割合 .....	- 70 -
(3)	繰り返し 3D 探査の差分解析結果と CO <sub>2</sub> の位置 .....	- 71 -
①	2017 年度繰り返し 3D 探査 .....	- 71 -
②	2018 年度繰り返し 3D 探査 .....	- 76 -
③	繰り返し 3D 探査の解析結果と CO <sub>2</sub> 長期挙動予測シミュレーション結果比較 .....	- 80 -
(4)	海域での位置 .....	- 81 -
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 .....	- 83 -
5.	特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の方法 .....	- 84 -
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 .....	- 84 -
(1)	概要 .....	- 84 -
(2)	PSA オフガス圧縮設備 .....	- 86 -
(3)	CO <sub>2</sub> 分離・回収設備 .....	- 87 -
(4)	CO <sub>2</sub> 圧縮設備 .....	- 89 -
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 .....	- 91 -
(1)	基本圧入計画 .....	- 91 -
(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 .....	- 92 -
①	圧入圧力 .....	- 92 -
②	圧入温度 .....	- 94 -
(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圧入時の温度等の圧入条件 .....	- 95 -
①	圧入圧力 .....	- 95 -
②	圧入温度 .....	- 97 -
(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 .....	- 99 -
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 .....	- 99 -
(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 .....	- 99 -

(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

.....  
- 101 -

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.....	- 105 -
5.5	特定二酸化炭素ガスの圧入井の封鎖方法.....	- 109 -
5.6	他の法令の遵守状況 .....	- 110 -
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 .....	- 113 -
6.1	海洋環境の保全上の障害が生じる恐れについて.....	- 113 -
6.2	海洋環境の保全上の障害が生じる恐れの見守り体制について.....	- 116 -
6.3	関連法規に基づく保安計画等について.....	- 118 -
6.4	異常発生時の対応について.....	- 119 -



## 1. 海底下廃棄実施期間

2021年4月1日から2026年3月31日までの5年間<sup>[1]</sup>。

うち、特定二酸化炭素ガスの圧入期間は、未定0トンであり、圧入再開時は、当該許可の変更を申請する。

---

<sup>[1]</sup>2016年4月1日から2021年3月31日までの5年間、うち、特定二酸化炭素ガスの圧入期間は、滝ノ上層：2017年1月1日～2020年3月31日、萌別層：2016年4月1日～2020年3月31日の許可申請の継続。

## 2. 海底下廃棄をしようとする特定二酸化炭素ガスの特性

### 2.1 ガス等の発生源及び当該ガス等からの特定二酸化炭素ガスの回収の方法

#### (1) ガス等の発生源

本計画における CO<sub>2</sub> 発生源は、出光興産株式会社北海道製油所の水素製造装置である。

製油所では、ナフサ等の脱硫・改質により製造したガスから、圧カスイング吸着(以下、「PSA」と称する：Pressure Swing Adsorption) 装置による分離・精製によって高純度水素を製造し、石油製品の脱硫工程で利用している。高純度水素を分離した残りのガス(以下、「PSA オフガス」と称する。)は、CO<sub>2</sub> 濃度が約 50% で他に可燃性ガス(CH<sub>4</sub>, CO, H<sub>2</sub>) を含有している(第 2.1-1 表)。

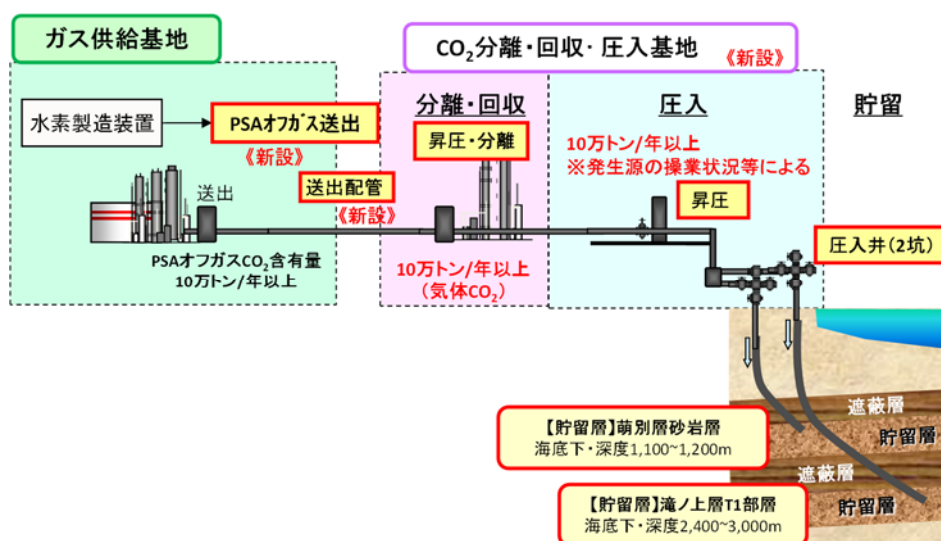
本計画では、この PSA オフガスから分離・回収した CO<sub>2</sub> ガスを特定二酸化炭素ガスとする予定である。

第 2.1-1 表 PSA オフガスの概略組成

	ガス組成 (体積百分率：%)
CO <sub>2</sub>	51.6
CO	2.3
H <sub>2</sub>	38.8
CH <sub>4</sub>	6.6
H <sub>2</sub> O	0.7
合計	100.0

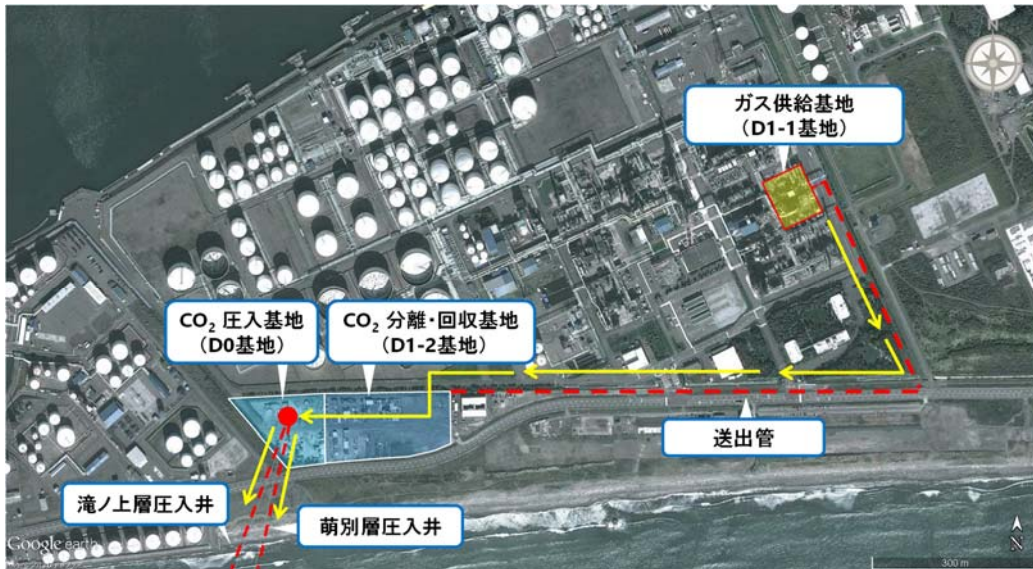
#### (2) 当該ガスからの特定二酸化炭素ガスの回収方法

CO<sub>2</sub> 発生源である製油所内にガス供給基地(以下、「D1-1 基地」と称する。)を建設した。D1-1 基地は、製油所の既設水素製造装置から CO<sub>2</sub> 含有量 10 万トン/年以上(設備仕様は最大 20 万トン/年に対応)の PSA オフガスを分流し、製油所に隣接する CO<sub>2</sub> 分離・回収・圧入基地(以下、「D1-2・D0 基地」と称する。)に送出する(第 2.1-1 図および第 2.1-2 図)。



第 2.1-1 図 本計画の設備概念



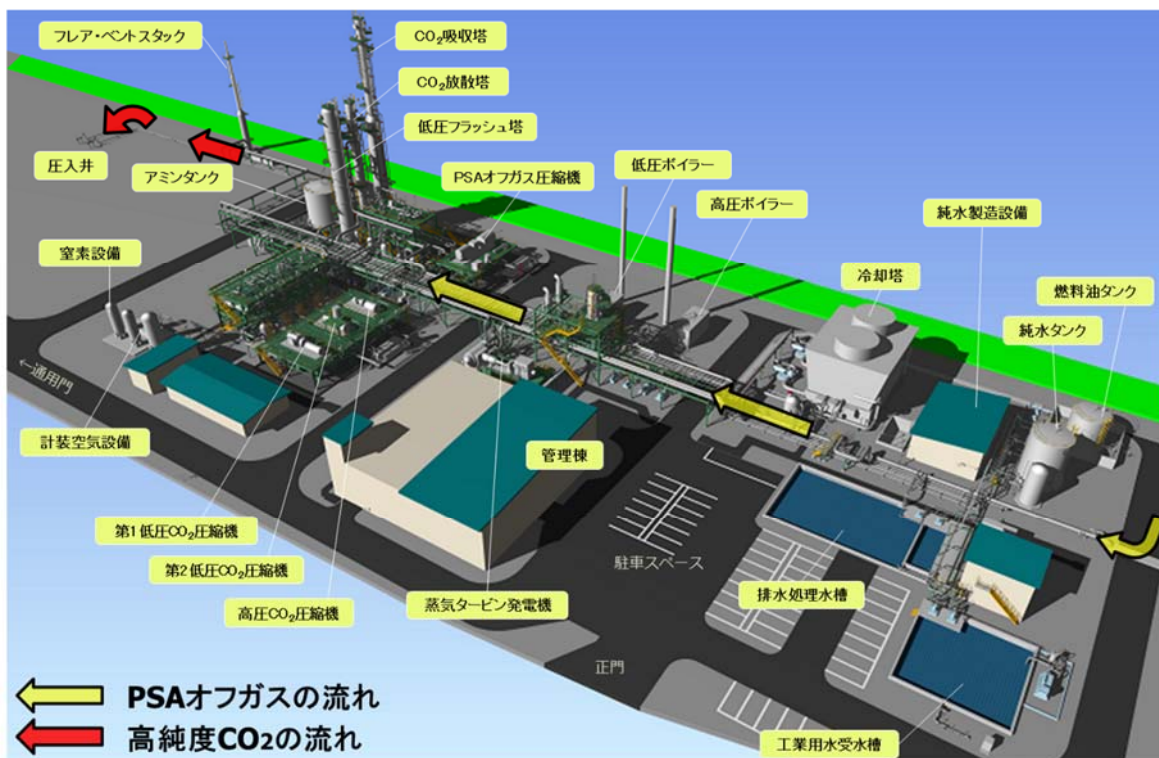


©Google © 2013 ZENRIN Image © 2013 DigitalGlobe

第 2.1-2 図 本計画設備の位置関係

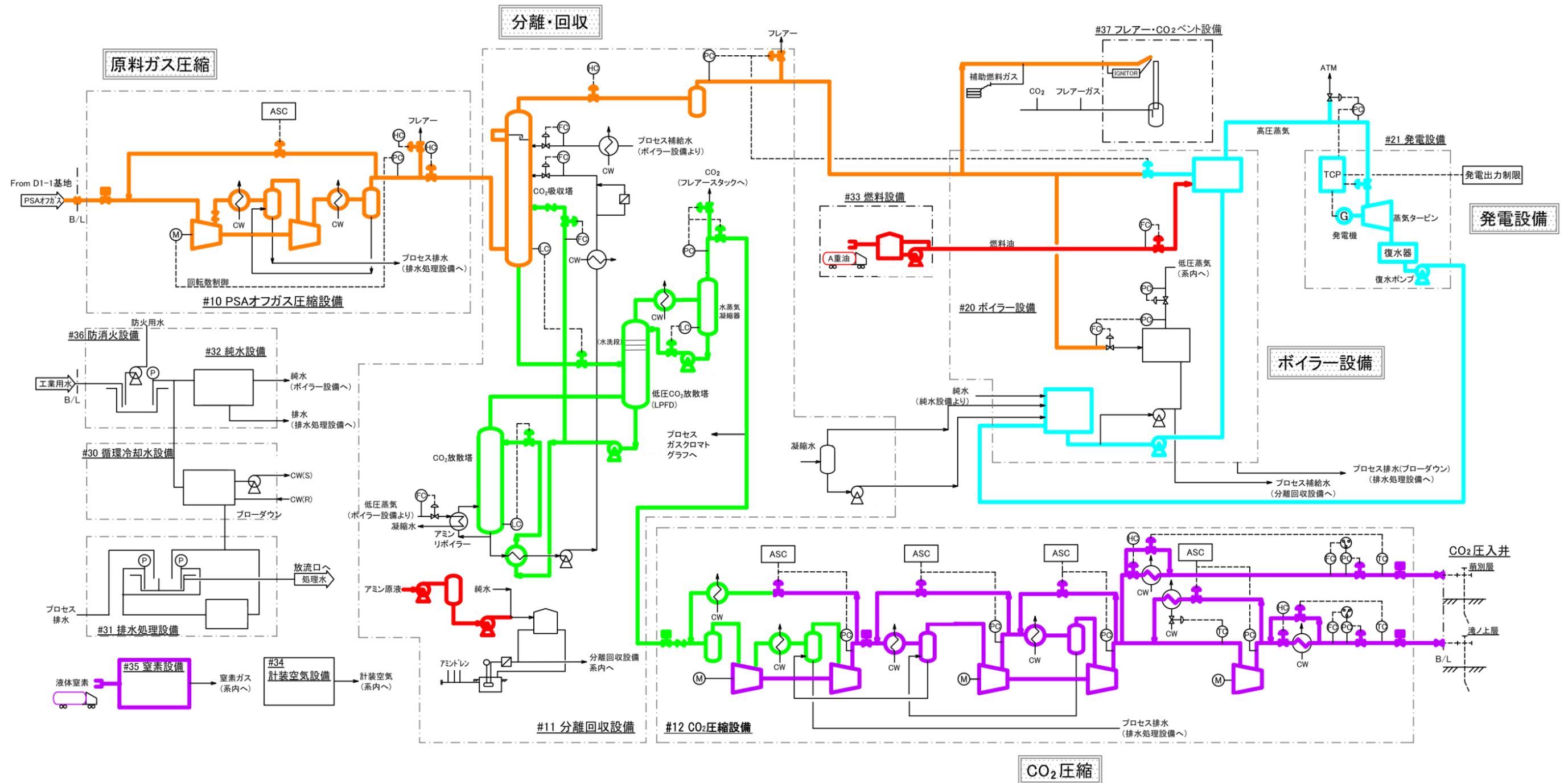
第 2.1-3 図に CO<sub>2</sub> 分離・回収・圧入基地の鳥瞰図を，第 2.1-4 図に CO<sub>2</sub> 分離・回収・圧入基地プロセスフローを，第 2.1-5 図に D1-1 基地および D1-2・D0 基地の概要を示す。

PSA オフガスは，水素製造装置に付帯する PSA 設備下流配管から分岐し，PSA オフガスの一部（約 60%）を分流して送風機により送出することで行う。PSA オフガスの送出先は，D1-2 基地とする。

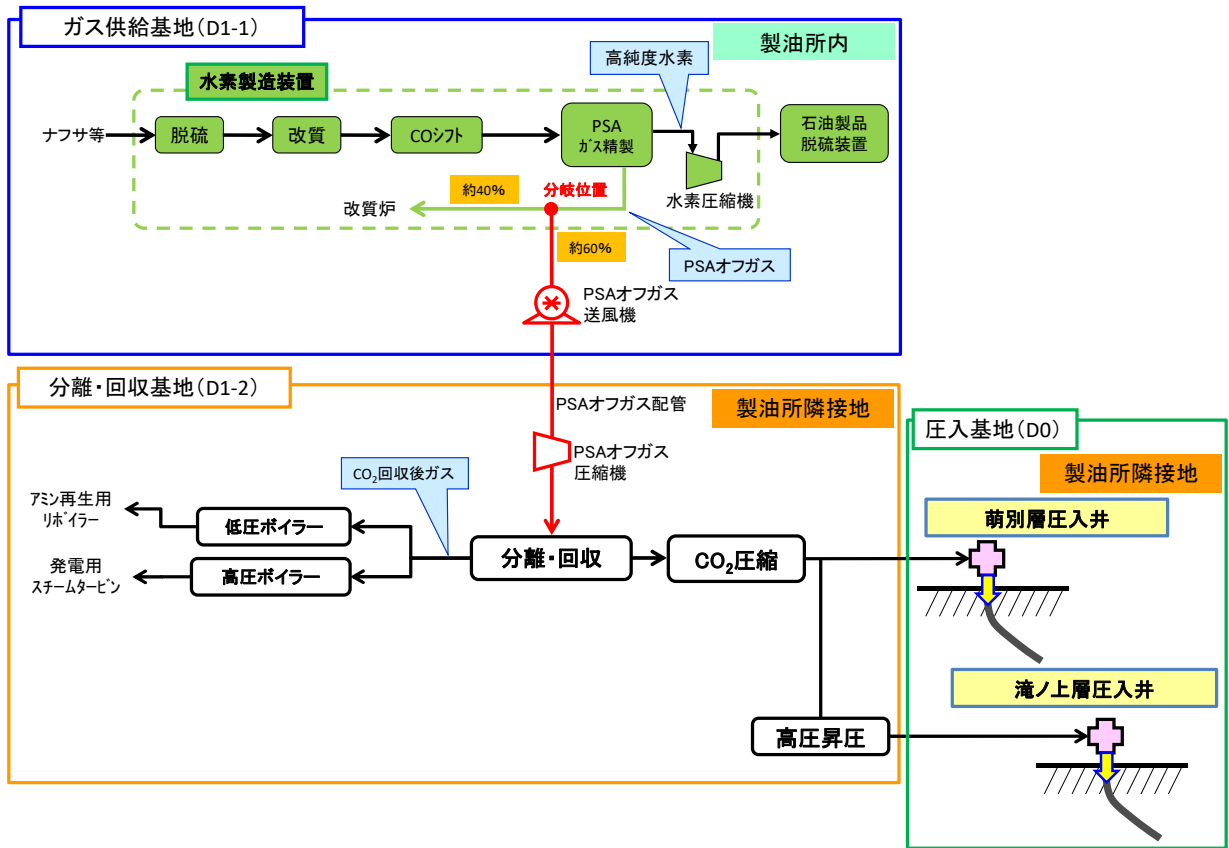


第 2.1-3 図 CO<sub>2</sub> 分離・回収・圧入基地鳥瞰図

- 高圧ガス保安法(ガス設備)適用ライン
- 高圧ガス保安法(高圧ガス設備)適用ライン
- ガス事業法(準用設備)適用ライン
- 電気事業法適用ライン
- 消防法適用ライン

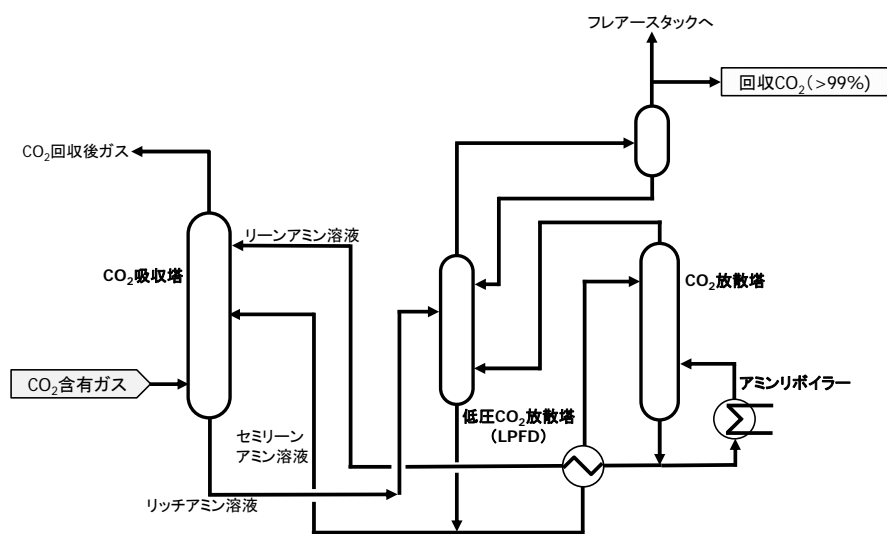


第 2.1-4 図 CO<sub>2</sub> 分離・回収・圧入基地プロセスフロー



第 2.1-5 図 D1-1 基地および D1-2・D0 基地の概要

第 2.1-6 図に、D1-2 基地における CO<sub>2</sub> 分離・回収プロセスを示す。これは、以下のとおり、海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律施行令第十一条の五第一項に規定する「アミン類と二酸化炭素との化学反応を利用して二酸化炭素を他の物質から分離する方法」である。



第 2.1-6 図 CO<sub>2</sub> 分離・回収プロセス

このCO<sub>2</sub>分離・回収プロセスの特徴は、アミン吸収にBASF（ビーエーエスエフ）社の活性アミンプロセス（OASEプロセス）を採用したことと、CO<sub>2</sub>吸収塔とCO<sub>2</sub>放散塔の間にLPFD（Low Pressure Flash Drum：低圧CO<sub>2</sub>放散塔）を設置し、CO<sub>2</sub>吸収塔では、リーンアミン溶液（CO<sub>2</sub>放散塔で得られた再生度の高いアミン）に加え、セミリーンアミン溶液（LPFDでの低圧により得られた再生度が比較的低いアミン）を用いた2段吸収としたことである。OASEプロセスで使用するアミン溶液（第三級アミンを主成分とする水溶液）は腐食性が低く、劣化が少ないことで知られている。また、LPFDを設置することで、低圧によるCO<sub>2</sub>放散が可能となることに加え、CO<sub>2</sub>放散塔頂からCO<sub>2</sub>とともに供給される水蒸気熱をCO<sub>2</sub>の放散に利用することができる。これにより、セミリーンアミン溶液の循環量が増えるものの、CO<sub>2</sub>放散塔に供給されるCO<sub>2</sub>量は減少するため、リーンアミン溶液のみで吸収する場合に比べて、CO<sub>2</sub>放散塔で必要となるアミンリボイラーによる再生熱が削減され、循環量の増を加えてもトータルエネルギー（熱＋電気）を低減することができる。

なお、通常PSAオフガス中のCO<sub>2</sub>の組成は変動するため、回収プロセスを経た後のCO<sub>2</sub>濃度が特定二酸化炭素ガスの濃度基準を満たすよう、CO<sub>2</sub>放散塔頂より回収した高純度CO<sub>2</sub>ガスを、オンラインのプロセスガスクロマトグラフで常時（15～20分ごとに）組成分析し、その結果を見て分離・回収プロセスの運転条件を調整する。CO<sub>2</sub>濃度の変動範囲は99.1%以上とし、組成分析の測定結果でCO<sub>2</sub>濃度が99.1%を下回る場合は、2段吸収法を適用したCO<sub>2</sub>吸収塔のリーンアミン溶液循環量（吸収塔上段）とセミリーンアミン溶液循環量（吸収塔下段）を調整することにより、回収CO<sub>2</sub>純度の上昇を図る。これらの操作によっても純度の回復が図れず、海洋汚染防止法施行令第11条の5に規定する濃度基準（体積百分率98パーセント以上）を満足しない場合は、速やかに圧入を停止し、原因を調べ、対策を立案した後、その原因と対応策を環境省に報告する。

なお、CO<sub>2</sub>ガス中に含まれる物質は、二酸化炭素、水素、酸素、窒素、炭化水素（メタン）、一酸化炭素のみであり、プロセスガスクロマトグラフの分析条件は日本工業規格K0114:2012に従う。また、オンラインの組成分析の他に、第三者機関による組成分析を年1回以上行い、結果は環境省に報告する。許可期間中は、当該許可期間中の記録および当該許可期間以前の許可期間中の記録を保管する。

CO<sub>2</sub>の圧入は、年度圧入計画、月間圧入計画および週間圧入計画に基づいて行い、24時間運転による所定期間の一定レート圧入を原則とする。CO<sub>2</sub>を分離・回収するための原料ガス（PSAオフガス）は、上記圧入計画に基づく必要量のみをD1-1基地より受け入れ、定常運転時には全量圧入することを目標に運転するが、圧入計画の急な変更時、急な圧入中断時および圧入開始直後など貯留層の状況などを確認しながら圧入レートを制御する際には、高純度CO<sub>2</sub>ガスに余剰が発生する。その余った高純度CO<sub>2</sub>ガスは、CO<sub>2</sub>放散塔頂から通じるフレアースタックより大気放散する（第2.1-4図参照）。

なお、CO<sub>2</sub>回収後のガス（CO<sub>2</sub>吸収塔のオフガス）は次工程でボイラー燃料として利用し燃焼処理するため、アミンやその誘導体がガスに同伴して大気へ放出されるおそれはない。

## 2.2 当該特定二酸化炭素ガスに含有される物質ごとの当該特定二酸化炭素ガス中に占める割合又は濃度

海底下廃棄をしようとする特定二酸化炭素ガスの組成（乾きガス中の濃度，推算値）を，第 2.2-1 表に示す。

第 2.2-1 表 特定二酸化炭素ガスの組成（乾きガス中の濃度，推算値）

ガス組成	濃度（体積百分率：％）
CO <sub>2</sub>	99.70
H <sub>2</sub>	0.22
N <sub>2</sub>	—
O <sub>2</sub>	—
CH <sub>4</sub>	0.06
CO	0.02
合計	100.00

通常 PSA オフガス中の CO<sub>2</sub> の組成は変化するが，PSA オフガスの組成に係る実績データを用い，最も CO<sub>2</sub> 濃度が低いケースから最も CO<sub>2</sub> 濃度が高いケースについて昇圧後の特定二酸化炭素ガスの組成を検討したところ，第 5.1-3 表に示すように 99.6%以上であった（5.1(3)参照）。

上記推算値は，「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律施行令」（昭和 46 年政令第 201 号）第十一条の五第一項第二号において規定する基準を満たしている。また，当該ガスは，石油の精製に使用する水素の製造工程から分離したガスよりアミン類と CO<sub>2</sub> との化学反応を利用して CO<sub>2</sub> を分離したものであることから，本計画において適用する基準は，体積百分率 98 パーセント以上とする。

なお，圧入開始以降，CO<sub>2</sub> 放散塔頂より回収した高純度 CO<sub>2</sub> ガスの組成分析を行っており，CO<sub>2</sub> 濃度及び当該ガスの組成を確認している。

**3. 海底下廃棄をしようとする特定二酸化炭素ガスの数量及び特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄をする海域において当該海底下廃棄をする以前に海底下貯留をされていると推定される特定二酸化炭素ガスの数量**

**3.1 海底下廃棄をしようとする特定二酸化炭素ガスの数量**

当該計画期間内に、滝ノ上層および萌別層に対する特定二酸化炭素ガスの圧入予定は未定 0 トンであり、圧入再開時は、当該許可の変更を申請する。

**3.2 特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄をしようとする海域において当該海底下廃棄をする以前に海底下貯留をされていると推定される特定二酸化炭素ガスの数量**

特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄をする海域において当該海底下廃棄をする以前に海底下貯留をされている特定二酸化炭素ガスは、300,110 トンと推定される。2016 年 4 月 6 日～2019 年 11 月 22 日にかけて萌別層に 300,012 トン、滝ノ上層に 98 トンを圧入した。

#### 4. 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

##### 4.1 海域の緯度及び経度

特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄をする海域は、苫小牧港港湾区域内(42° 37' 28" E:141° 35' 21" E, 42° 34' 49" E:141° 35' 43" E, 42° 32' 41" E:141° 51' 13" E, 42° 35' 13" E:141° 52' 31" Eを結ぶ線と海岸線に囲まれた範囲)である(第4.1-1図)。





注：©Google © 2013 ZENRIN Image © 2013 DigitalGlobe

第 4.1-1 図 特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄をする海域の位置および範囲



本計画では、二坑の CO<sub>2</sub> 圧入井（滝ノ上層圧入井および萌別層圧入井）を新たに掘削し、それぞれ異なる層準の貯留層に特定二酸化炭素ガスを圧入することにより海底下に廃棄する。二坑の圧入井は、苫小牧市真砂町の陸上（出光興産株式会社北海道製油所隣接の D0 基地）から南西に向かって掘削した。

また、二坑の CO<sub>2</sub> 圧入井の諸元を、第 4.1-1 表および第 4.1-2 表に示す。

第 4.1-1 表 滝ノ上層圧入井の諸元

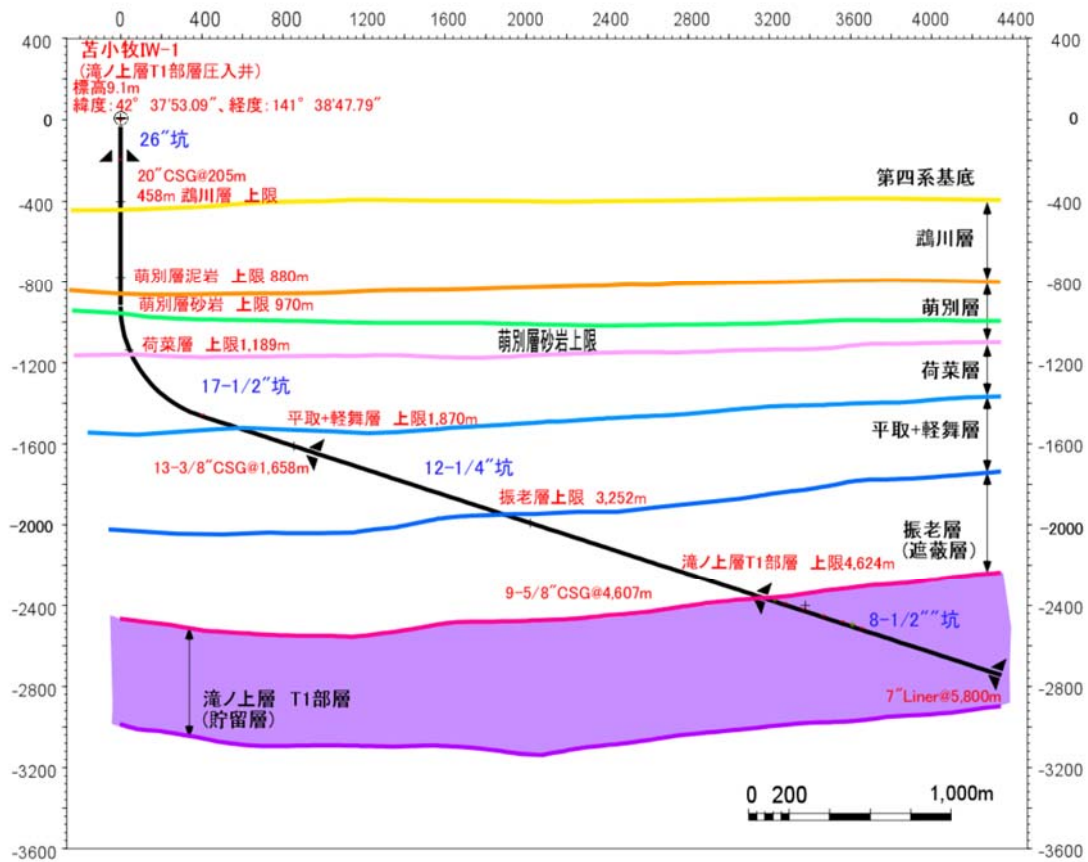
<b>【坑口】</b>	
座標（北緯）	42° 37' 53.09"
座標（東経）	141° 38' 47.79"
標高：m	9.1
<b>【滝ノ上層 T1 部層上限】</b>	
座標（北緯）	42° 35' 14.91"
座標（東経）	141° 37' 58.91"
掘削深度：m	4,624
海面下深度：m	2,381
坑口からの距離：m	3,228
<b>【坑底】</b>	
座標（北緯）	42° 35' 40.93"
座標（東経）	141° 37' 41.85"
掘削深度：m	5,800
海面下深度：m	2,744
坑口からの距離：m	4,346

第 4.1-2 表 萌別層圧入井の諸元

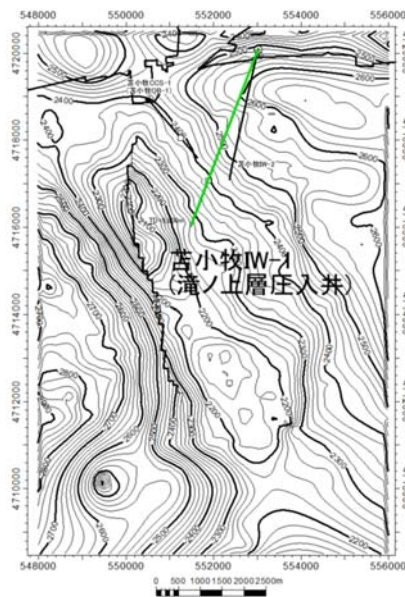
<b>【坑口】</b>	
座標（北緯）	42° 37' 53.09"
座標（東経）	141° 38' 47.55"
標高：m	9.1
<b>【萌別層砂岩層上限】</b>	
座標（北緯）	42° 36' 55.30"
座標（東経）	141° 38' 30.85"
掘削深度：m	2,395
海面下深度：m	961
坑口からの距離：m	1,823
<b>【坑底】</b>	
座標（北緯）	42° 36' 16.11"
座標（東経）	141° 38' 20.01"
掘削深度：m	3,650
海面下深度：m	1,179
坑口からの距離：m	3,058

滝ノ上層圧入井は、海面下 2,000m 程度以深に分布する滝ノ上層 T1 部層の火山岩類を貯留層ターゲットとし、坑口（D0 基地）からの貯留層上限までの水平距離は 3,228m、坑底までの距離は 4,346m である（第 4.1-2 図および第 4.1-3 図）。

坑底深度 TD (Total Depth) は掘削深度 DD (Drilling Depth) : 5,800m、垂直深度 TVD (True Vertical Depth) : 2,753m、KOP (Kick off Point) は DD および TVD : 925m、EOB (End of Buildup) は DD : 1,618m、TVD : 1,461m である。また、最大坑芯傾斜は 72°、偏距は 4,346m である。



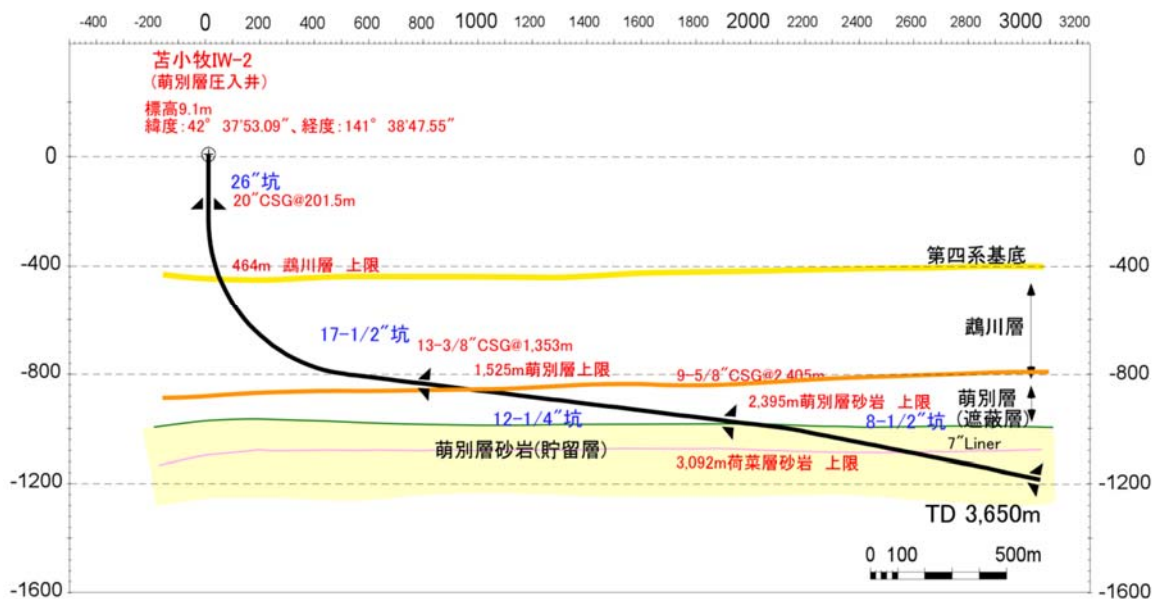
第 4.1-2 図 滝ノ上層圧入井沿いの地質断面図



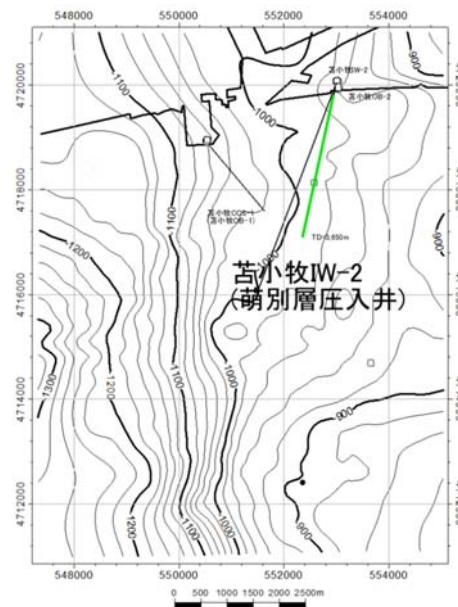
第 4.1-3 図 滝ノ上層 T1 部層上限の地質構造

萌別層圧入井は、海面下1,100～1,200m程度に分布する萌別層砂岩層を貯留層ターゲットとした坑井で、坑口から貯留層上限までの水平距離は1,823m、坑底までの距離は3,025mである(第4.1-4図および第4.1-5図)。

TDはDD:3,650m、TVD:1,188m、1st KOPはDDおよびTVD:240m、1st EOBはDD:1,047m、TVD:806m、2nd KOPはDD:2,672m、TVD:1,018m、2nd EOBはDD:2,780m、TVD:1,023mである。また、最大坑芯傾斜は83°、偏距は3,058mである。



第4.1-4図 萌別層圧入井沿いの地質断面

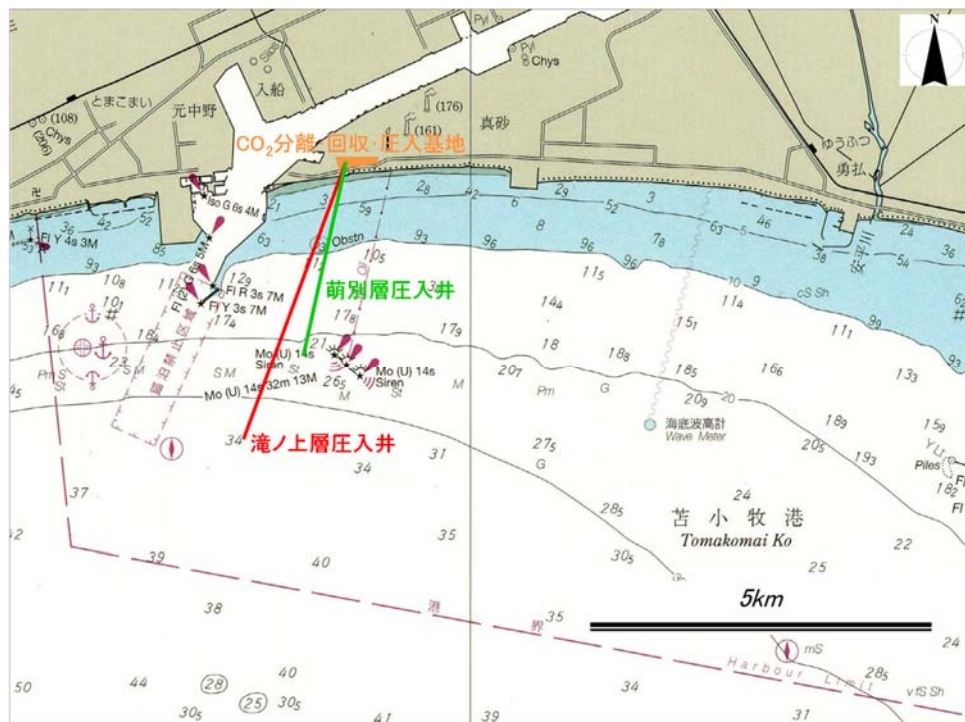


第4.1-5図 萌別層砂岩層上限の構造

#### 4.2 海域の水深及び海底下廃棄をする深度

特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄をする海域の海図を、第4.2-1図に示す。

また、滝ノ上層圧入井および萌別層圧入井の坑底の水深および海面下深度を、第4.2-1表に示す。



注：海上保安庁発行の海図（W1034）に加筆

第4.2-1図 本計画における海域の海図

第4.2-1表 各圧入井坑底の水深および海面下深度

圧入井	水深 (m)	海面下深度 (m)
滝ノ上層圧入井	31	2,744
萌別層圧入井	20	1,179

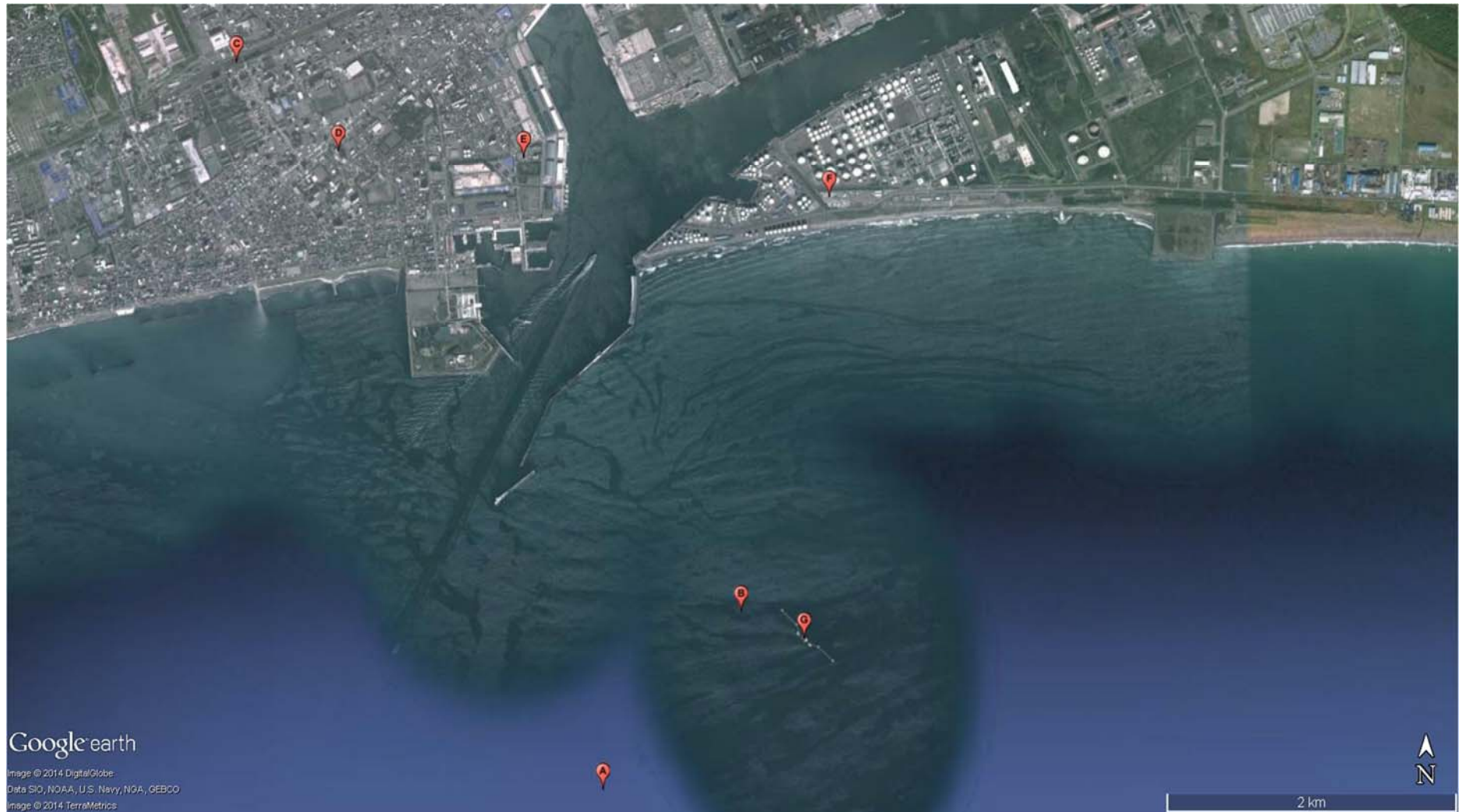
#### 4.3 陸域の主な施設等との位置関係

第4.3-1図に示す陸域の施設から滝ノ上層圧入井および萌別層圧入井の坑底までの地表面直線距離を、第4.3-1表に示す。

第4.3-1表 陸域の主な施設等との位置関係

	A：滝ノ上層圧入井	B：萌別層圧入井	備考
C：JR 苫小牧駅	5.6km	5.1km	苫小牧市表町 6-4-3
D：苫小牧市役所	4.7km	4.2km	苫小牧市旭町 4-5-6
E：苫小牧海上保安署	4.4km	3.5km	苫小牧市港町 1-6-15
F：CO <sub>2</sub> 圧入井坑口	4.3km	2.9km	苫小牧市真砂町 12 番地
G：出光興産シーバース	1.7km	0.5km	苫小牧港港湾区域・港域内





第 4. 3-1 図 陸域の主な施設等の位置

#### 4.4 海底下廃棄をする海域及びその周辺に設置された特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の用に供する設備の場所

海底下廃棄をする海域及びその周辺に設置された特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の用に供する設備の場所は、第4.2-1図に示されるとおりである。

また、CO<sub>2</sub>分離・回収・圧入基地（D1-2・D0基地）の詳細は、次のとおりである。

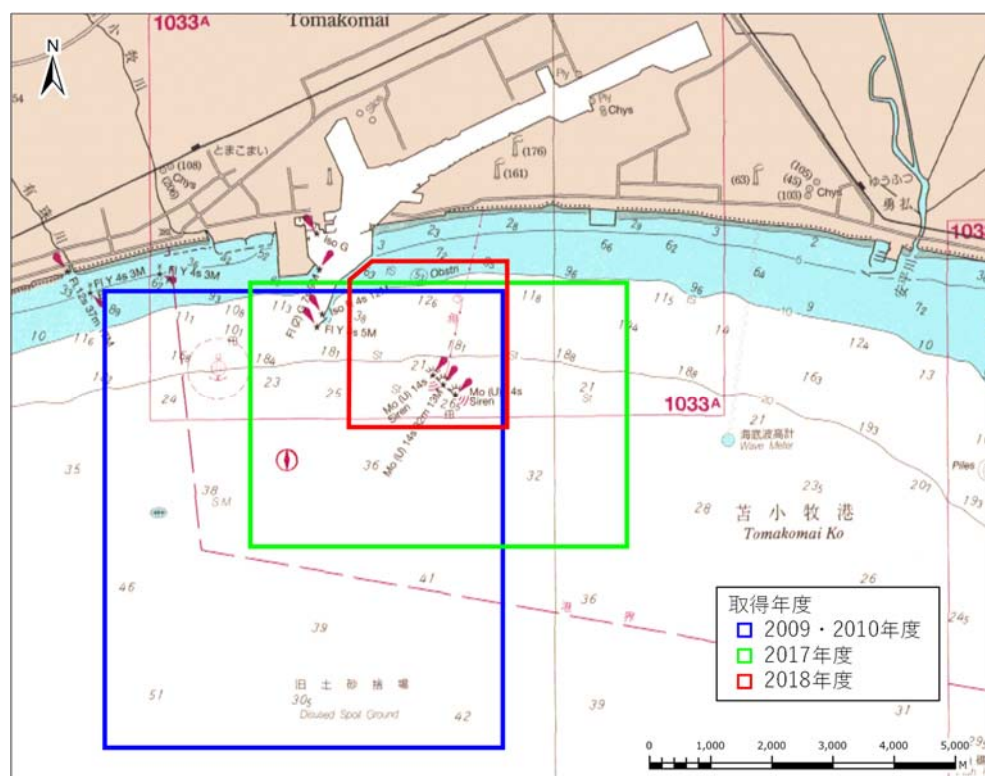
名称：日本CCS調査株式会社 苫小牧CCS実証試験センター

場所：苫小牧市真砂町12番地（出光興産株式会社北海道製油所隣接南用地）

なお、滝ノ上層圧入井および萌別層圧入井は、CO<sub>2</sub>圧入基地（D0基地）より南西方向に掘削した。

#### 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

海底下廃棄をされた特定二酸化炭素ガスが広がる範囲を把握するために、第4.5-1図に示す対象海域において取得された三次元弾性波探査記録および既存坑井のデータを解析した。そして、CO<sub>2</sub>を海底に圧入・廃棄した際の分布範囲をシミュレーションにより推定した。



注：海上保安庁発行の海図（W1034）に加筆

第4.5-1図 対象地域における三次元弾性波探査記録の取得範囲および既存坑井の位置

滝ノ上層圧入井および萌別層圧入井における特定二酸化炭素ガスが広がる範囲について、以下に記す。

## (1) 滝ノ上層 T1 部層における特定二酸化炭素ガスが広がる範囲

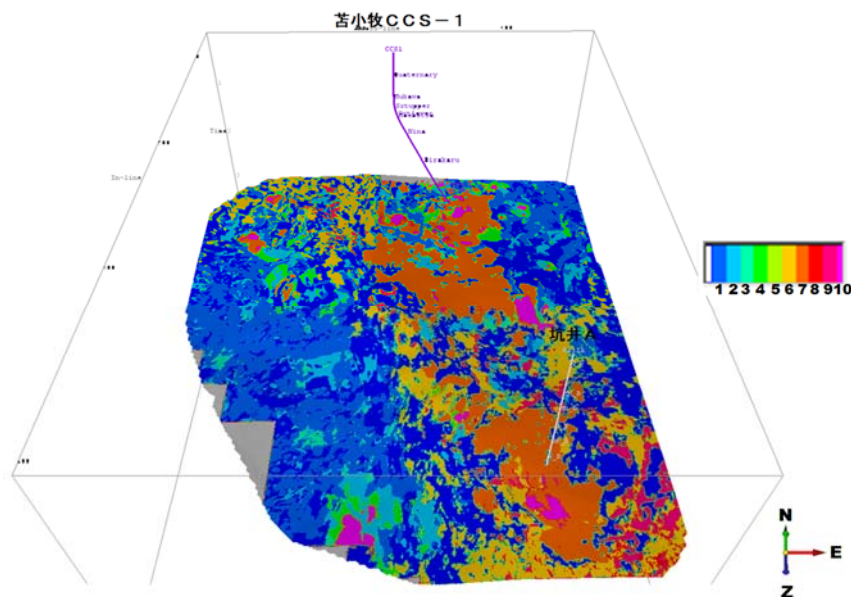
### ① 検討に使用した地質モデル

滝ノ上層圧入井の圧入（廃棄）位置を選定するあたり、CO<sub>2</sub>挙動予測シミュレーションを実施するために作成した平成 23 年度地質モデルを基準とし、圧入井の掘削結果に基づき構造モデルを修正し、CO<sub>2</sub>圧入実績に基づいて属性モデルを修正して作成した地質モデル（2018 年度モデル）を使用した。

### 7) 岩相分布・性状分布の推定

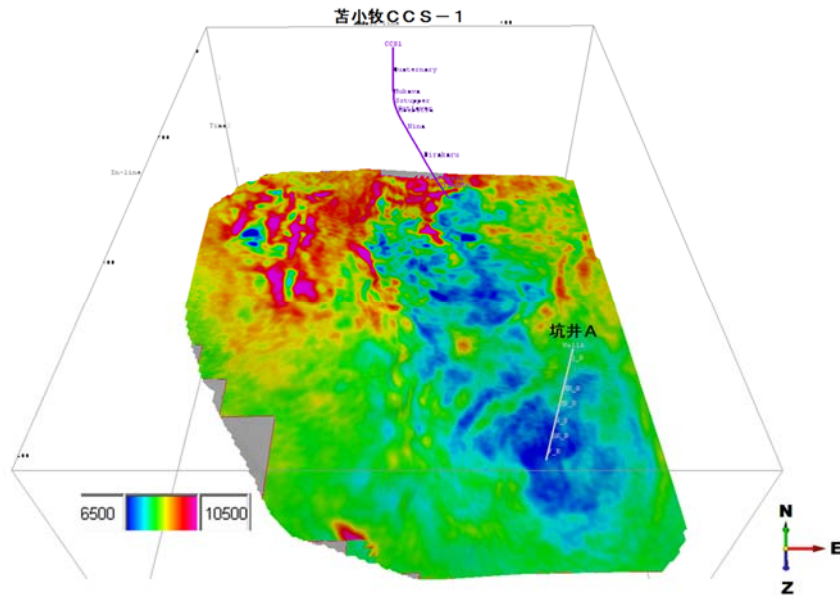
- ・滝ノ上層は、火山岩起源であり不均質性が高いため三次元弾性波探査データを活用した岩相分布・性状分布を推定した不均質モデルを作成した。
- ・スケルトン・アトリビュート解析にて弾性波形の特徴を強調
- ・SOM (Self-organizing Maps : 自己組織化マップ) 解析による波形分類を行い、
- ・クラスター解析 (K-means 法) により各分類の境界を決定
- ・坑井 A (既存民間井) における溶岩～凝灰角礫岩 (良好な貯留岩) との比較により、この岩相を示す弾性波形を決定し、三次元弾性波探査データ上で溶岩～凝灰角礫岩の分布領域を推定。
- ・コア試料と物理検層データの解析から、溶岩～凝灰角礫岩については、AI (Acoustic Impedance : 音響インピーダンス : 密度×弾性波速度) と孔隙率とが逆相関関係にあることを確認した。

例として、第 4.5-2 図に滝ノ上層 T1 部層下部の岩相分布 (K-means Index) を、第 4.5-3 図に三次元弾性波探査データから取得した滝ノ上層 T1 部層下部の音響インピーダンスを示す。



注：オレンジの部分が、良好な貯留層性状が期待される岩相（溶岩～凝灰角礫岩相）。苫小牧 CCS-1（調査井）は、貯留層性状が良好ではない場所に掘削された。

第 4.5-2 図 滝ノ上層 T1 部層下部の岩相分布 (K-means Index)



注：青色の部分が、低 AI で高孔隙率と考えられる箇所。高浸透率である可能性も高い。滝ノ上層圧入井は、低 AI 域に掘削した。

第 4.5-3 図 滝ノ上層 T1 部層下部の音響インピーダンス

#### イ) 構造モデルの作成

3次元弾性波探査記録を用いた地質構造解釈により作成した時間構造図を深度変換し深度構造図を作成し、構造モデルを作成した（平成23年度モデル）を元に、苫小牧 IW-1（滝ノ上層圧入井）の掘削により取得した層序データを考慮したうえで修正した構造モデルを使用した。

##### ア. 圧入井掘削結果

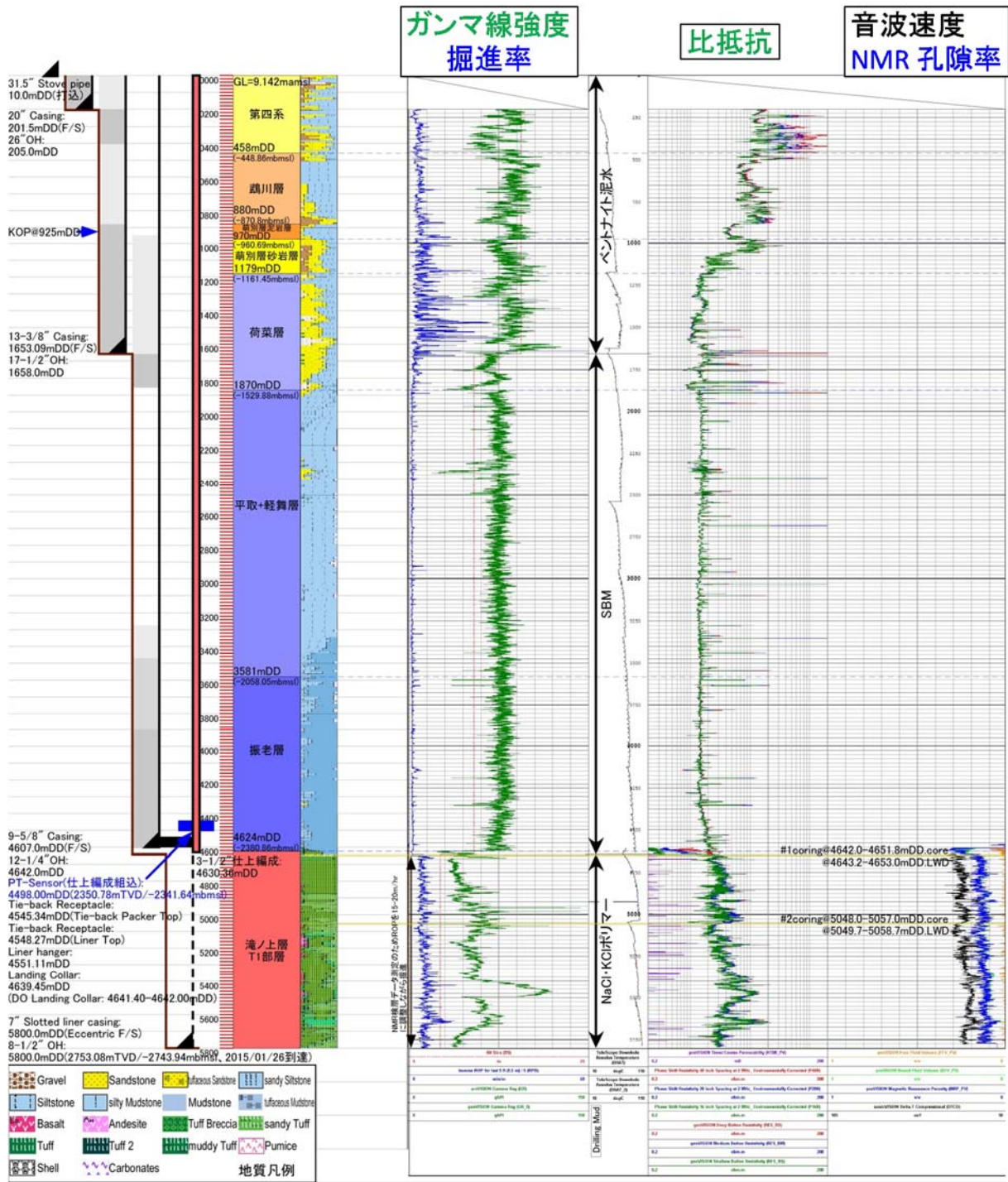
特定二酸化炭素ガスの圧入を実施する滝ノ上層圧入井は、深度 5,800m（垂直深度 2,753m）の傾斜井として掘削した。確認層序を、第 4.5-1 表および第 4.5-4 図に示す。

第 4.5-1 表 滝ノ上層圧入井における確認層序と岩相

地層名	掘削深度 mMD (垂直深度 mVD)		岩相
第四系	0	458	未固結砂礫、シルト等。
鵠川層	458	880	砂礫岩およびシルト岩等。
萌別層泥岩	880	970	シルト岩～泥岩主体とし、砂岩、礫岩等を伴う。
萌別層砂岩	970	1,179 (1,171)	砂岩、礫岩を主体とし、砂質シルト岩、凝灰岩を伴う。
荷菜層	1,179 (1,171)	1,870 (1,539)	砂岩、シルト岩を主体とし、細礫岩、凝灰岩を伴う。
平取+軽舞層	1,870 (1,539)	3,581 (2,067)	シルト岩を主体とし、泥岩、砂岩を伴う。稀に凝灰質シルト岩～砂岩、マールを伴う。
振老層	3,581 (2,067)	4,624 (2,390)	泥岩を主体とし、シルト岩を伴う。稀に凝灰質シルト岩、砂岩、マールを伴う。
滝ノ上層 T1 部層	4,624 (2,390)	5,800 (2,753)	凝灰岩の再堆積相を主体とし、凝灰角礫岩を伴う。稀に泥岩を伴う。



- ・掘進中に物理検層を実施（LWD 検層）し、岩相や物性を評価するための基礎データを取得した。主な種目は、比抵抗、ガンマ線、音波速度、比抵抗画像、NMR である。第 4.5-4 図に、物理検層結果の事例を示す。
- ・カッティングス試料を地表から滝ノ上層 T1 部層までの深度 5,800m の間、分析項目により 10m～50mVD ごとに採取した。
- ・コア試料（直径約 10cm）を、滝ノ上層 T1 部層で 2 回（合計 18.8m）採取した。
- ・これらの試料に関し、微化石分析（有孔虫分析）、岩石鉱物分析（X 線分析および薄片鑑定）および岩石物性分析（孔隙率、浸透率、孔口半径分析など）を実施した。
- ・有孔虫化石分析により各地層の堆積時代を推定するとともに、周辺にある既存坑井と対比することで地層名を確認した。有孔虫化石分析により堆積環境を推定し、振老層は中部半深海（古水深 500～1,000m）、荷葉層および平取+軽舞層は中部～上部半深海（古水深 200～1,000m）、萌別層は中部半深海上部から上部半深海（古水深 200～500m）との結論を得た。
- ・深度 4,607～4,612m（垂直深度 2,384～2,485m）の振老層下部において、エクステンディッド・リークオフテストを実施した。
- ・滝ノ上層 T1 部層を一括して仕上げ、ブラインによる圧入テストを実施した。ブラインによる圧入テストの前には、坑内洗浄を主な目的として排泥を実施し、その後貯留層圧力の回復状況を解析するビルドアップテストを実施した。また、ブラインによる圧入テストの後に、上昇した貯留層圧力の回復状況を解析するフォールオフテストを実施した。これらの結果から、貯留層の浸透率を推定した ( $5.25 \times 10^{-5} \text{mD}$ )。なお、この浸透率については、垂直方向/水平方向の区別はない。

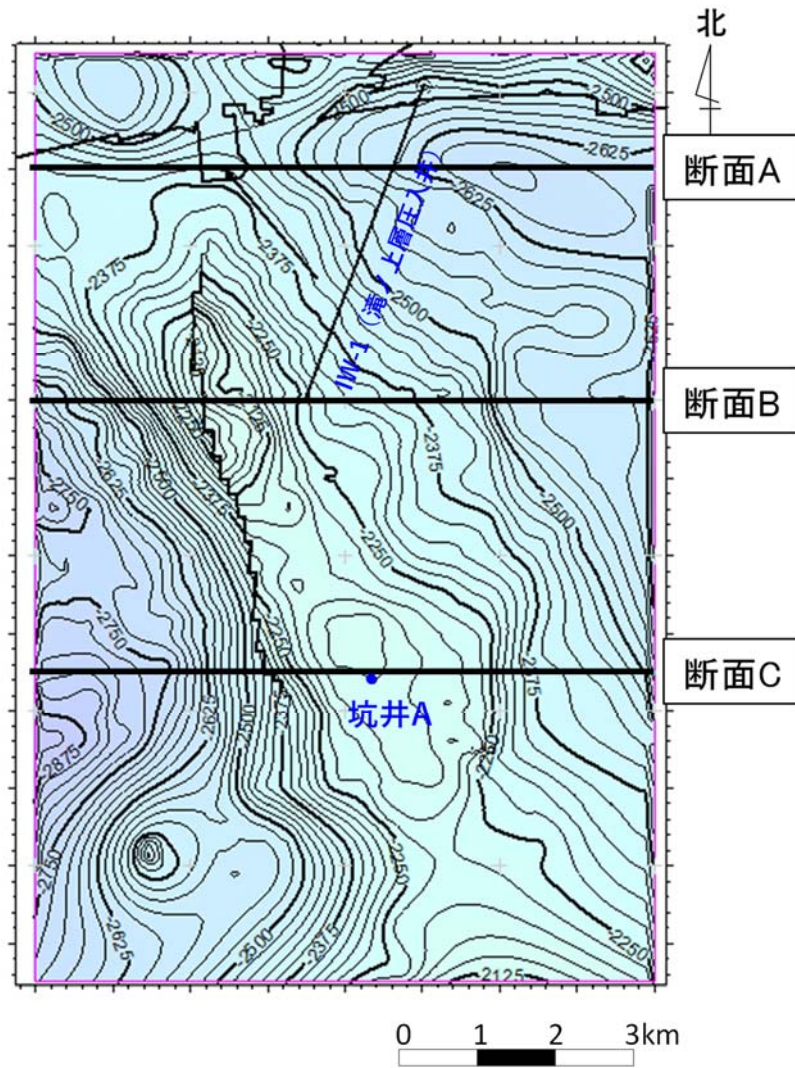


注：貯留層区間以外では、比抵抗イメージ検層、音波検層、NMR 検層は実施していない。

第 4.5-4 図 滝ノ上層圧入井の物理検層結果事例

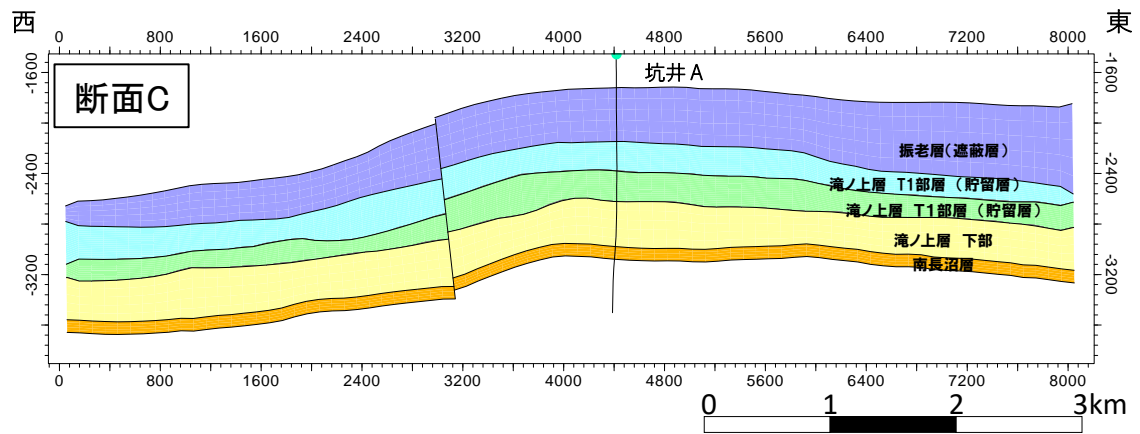
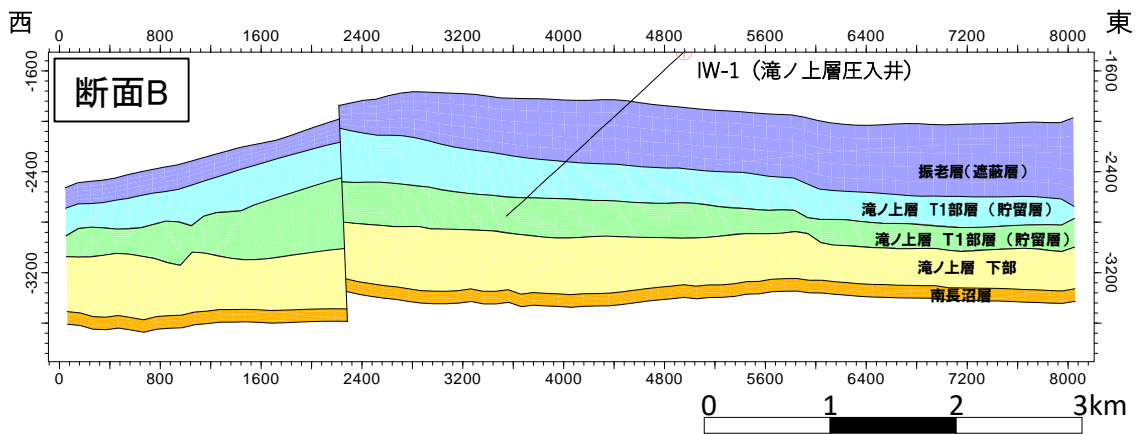
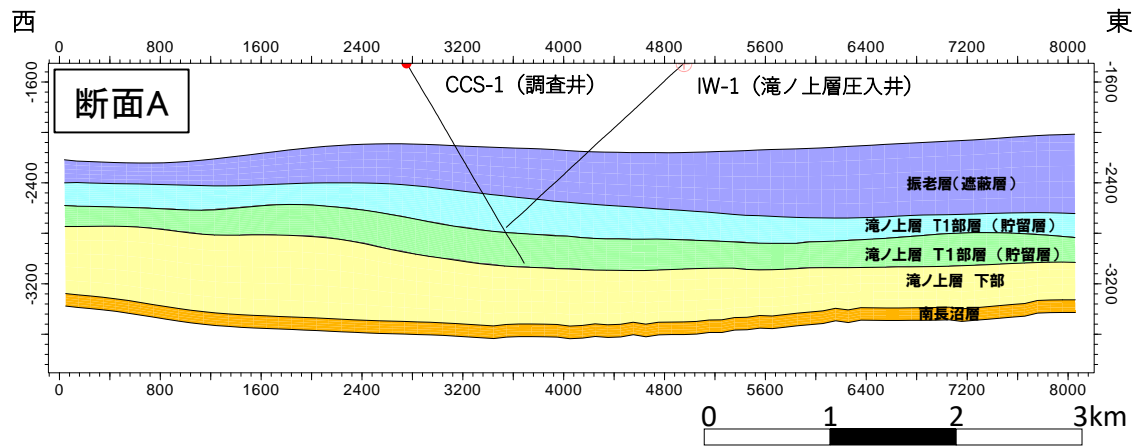
b. 圧入井掘削結果を反映した構造モデル

既存の構造モデルを滝ノ上層圧入井の掘削結果を反映させ、修正した。結果滝ノ上層 T1 部層上限の深度構造図とモデル断面位置を第 4.5-5 図に、主要東西断面図（地質モデル断面）を第 4.5-6 図に、作成した構造モデルのグリidding情報を第 4.5-2 表に示す。



注:世界測地系 WGS84 の UTM54 系の座標

第 4.5-5 図 モデル断面位置と深度構造図【滝ノ上層 T1 部層（貯留層）上限】



注) 坑跡は投影

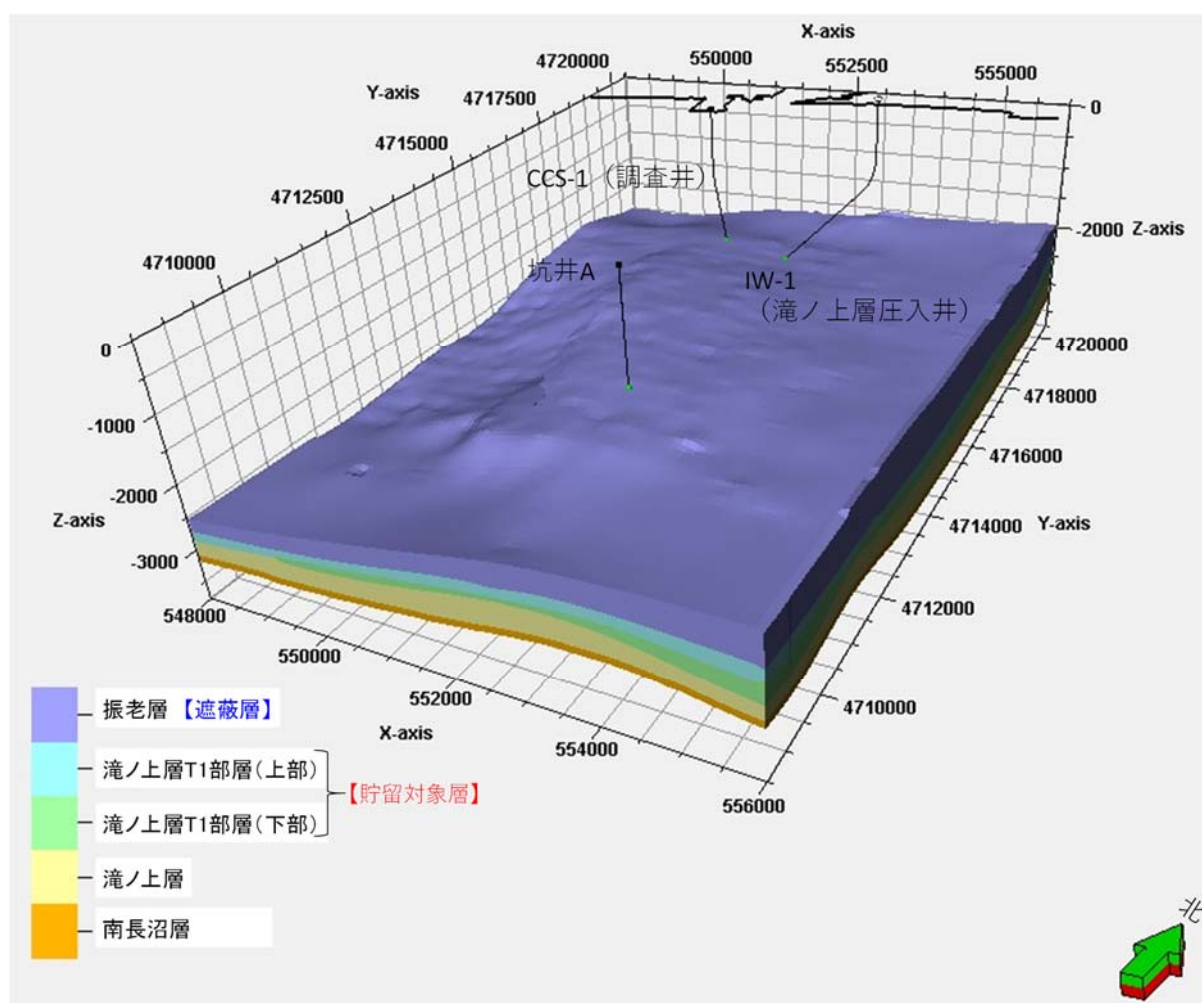
第 4.5-6 図 地質モデル断面



第 4.5-2 表 滝ノ上層構造モデルのグリidding

i 方向 (東西方向) セル数	100m	80 セル
j 方向 (南北方向) セル数	100m	120 セル
k 方向 (垂直) セル数		
振老層 :	5 レイヤーに分割	
滝ノ上層 T1 部層上部 :	15m ごとに分割	(33 レイヤー)
滝ノ上層 T1 部層下部 :	15m ごとに分割	(39 レイヤー)
滝ノ上層下部 :	5 レイヤーに分割	
南長沼層 :	5 レイヤーに分割	

構造モデルの鳥瞰図を、第 4.5-7 図に示す。滝ノ上層 T1 部層は CO<sub>2</sub> 圧入対象層準であり、シミュレーションを詳細に行うため上下の地層よりも小さめの垂直方向サイズとなるようにした。

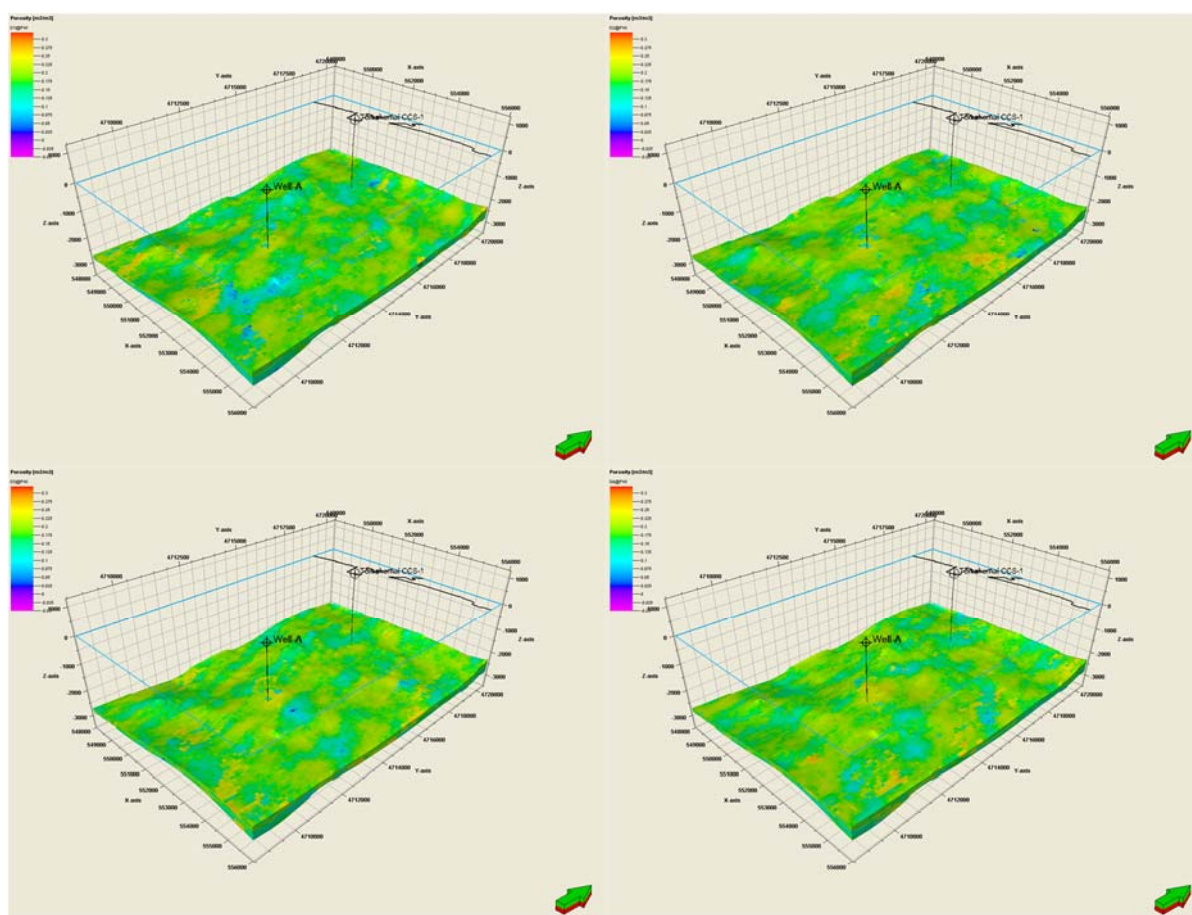


第 4.5-7 図 三次元地質モデル鳥瞰図

## ウ) 属性モデルの作成

作成した構造モデルの各セルに属性（岩相，孔隙率および浸透率）を与え，CO<sub>2</sub>挙動予測シミュレーションのための地質モデルを作成した。

まず，CO<sub>2</sub>圧入対象層である滝ノ上層 T1 部層における属性値分布は，三次元弾性波探査データ，苫小牧 CCS-1（調査井）および坑井 A（既存民間井）のデータより，地球統計学的手法を用いて，岩相，孔隙率および浸透率の分布が確率的に 50 種類となる具現モデルを作成した。参考例として，50 個の内から 4 つの具現モデルにおける孔隙率分布を，第 4.5-8 図に示す。



注：図中右下の矢印は，北を示す。

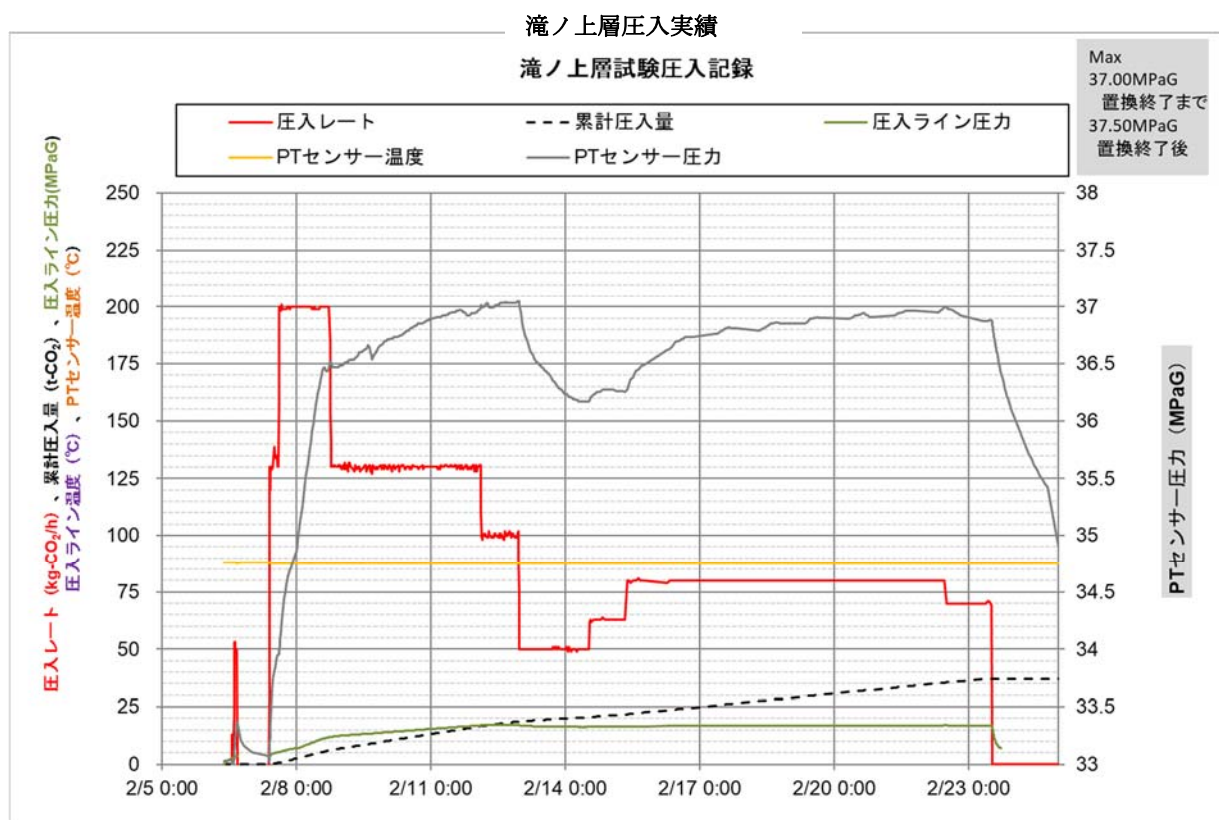
第 4.5-8 図 50 個の内 4 個の具現モデルの参考例：滝ノ上層 T1 部層の孔隙率分布（平成 23 年度地質モデル）

他の層準における属性値は，苫小牧 CCS-1 の振老層から採取されたコアの分析値を一様に分布させた。圧入井掘削前のモデルは地球統計学的に 50 種類のモデルを作成したが，圧入井の掘削の結果，圧入井の極近傍以外で岩相や属性を地球統計学的に推定することは困難と判断し，1 ケース標準的な圧力挙動を示す属性モデル（P50 モデル）に対し圧入実績を考慮し，地質モデルを更新した。

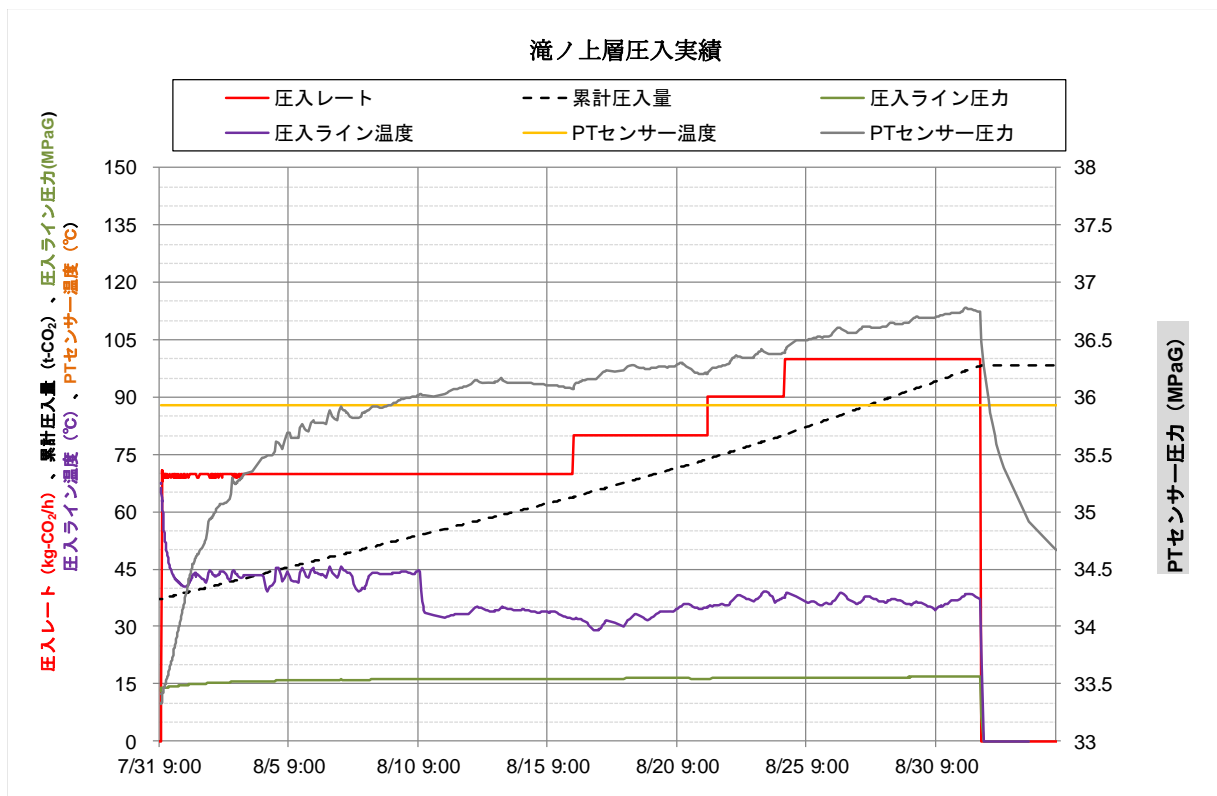
### a. 圧入実績

滝ノ上層へのCO<sub>2</sub>圧入は2018年2月6日に開始したが、2月26日に地上設備の不具合により圧入を停止した(第4.5-9図)。問題対応等の後7月31日に圧入を再開したが、PSA オフガス供給元の不具合により PSA オフガスの供給が途絶えたため、9月1日に圧入を停止し、累計圧入量は98t-CO<sub>2</sub>となった(第4.5-10図)。

なお、圧入レートに対する圧入圧力および圧入温度は当初の想定内にあり、生産実績や圧入停止後のデータをもとに更新を行った最新のモデルを適用することにより今後の挙動予測は可能である。



第 4.5-9 図 滝ノ上層圧入実績(2018年2月)

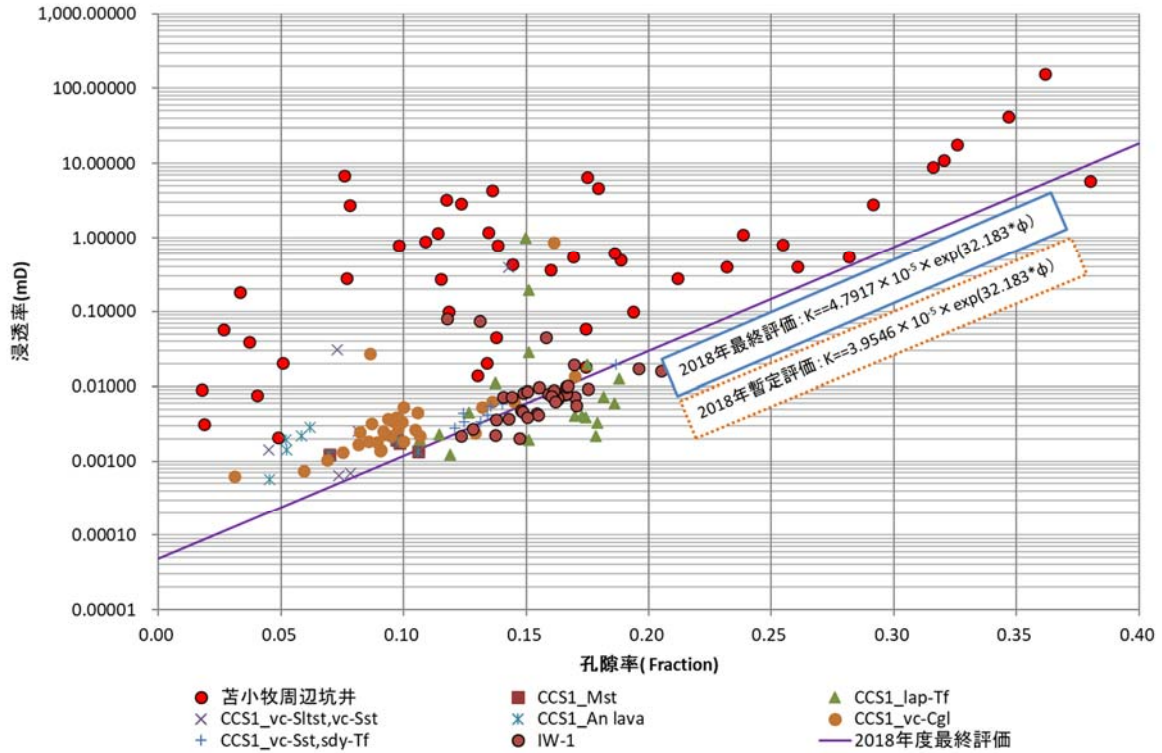


第 4.5-10 図 滝ノ上層圧入実績(2018年7月~9月)

b. CO<sub>2</sub> 圧入時の挙動とパラメータの調整

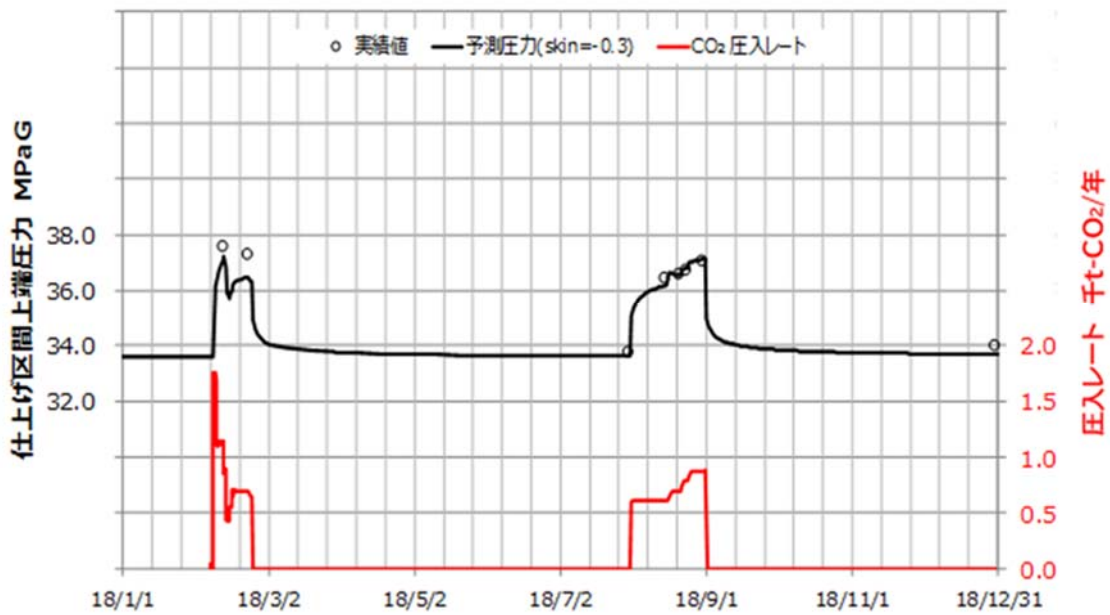
CO<sub>2</sub> 挙動予測シミュレーションは 2018 年 8 月 31 日までの圧入実績を反映し、圧入実績に即した 98 トンの CO<sub>2</sub> を圧入するシミュレーションを実施した。2018 年 8 月 31 日までの圧入中の仕上げ区間上端の圧力 (坑底圧) を反映するように、フォールオフの解析結果をもとに地質モデルの孔隙率と浸透率の相関式を修正し、最終的に浸透率を暫定値の 1.2 倍程度とした (第 4.5-11 図)。その結果、モデルで想定される坑底圧力は 2018 年 7 月以降の圧入実績とほぼ一致するまで改善した (第 4.5-12 図)。





- 注：1. 地質モデルにおける孔隙率と浸透率の関係は、「 $浸透率 = 0.000039546 \times e^{32.1823 \times 孔隙率}$ 」を用いた。  
 2. CCS-1: 苦小牧 CCS-1 (現苦小牧 OB-1), Mst: 泥岩, lap-Tf: 火山礫凝灰岩, vc-Sltst: 火山岩質シルト岩, vc-Sst: 火山岩質砂岩, An lava: 安山岩質溶岩, vc-Cgl, 火山岩質礫岩, sdy-Tf: 砂質凝灰岩, IW-1: 苦小牧 IW-1  
 3. 圧入停止後の圧力挙動も考慮。

第 4.5-11 図 滝ノ上層 浸透率調整 (2018 年度シミュレーション)



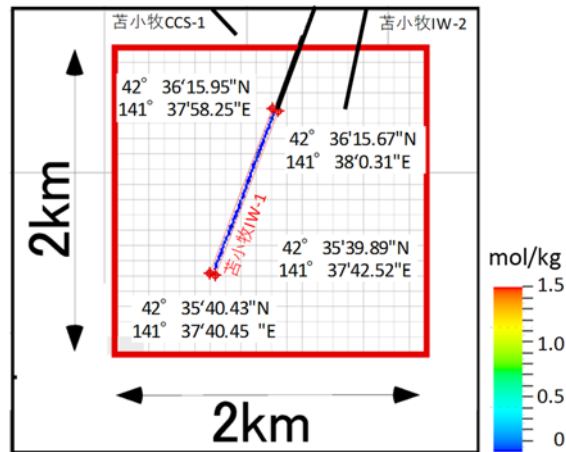
- 注) シミュレーションによる推定される圧力値と実績値の乖離について目的関数 (Objective function) を用いて検討し, SkinFactor=-0.3 とした。

第 4.5-12 図 滝ノ上層 CO<sub>2</sub> 挙動予測 (2018 年度シミュレーション)

## ② CO<sub>2</sub>挙動予測シミュレーション

### 7) 圧入した CO<sub>2</sub>の平面的な分布範囲

圧入開始から 1,000 年後までの溶解 CO<sub>2</sub> 量の分布範囲を考慮し、圧入した CO<sub>2</sub> の平面的な分布範囲を推定した (第 4.5-13 図)。圧入した CO<sub>2</sub> 量が少ないため、CO<sub>2</sub> 飽和度の分布域を示すことができない。



溶解CO<sub>2</sub>量の最大分布域

- 注：1. 図中の滝ノ上層圧入井、萌別層圧入井および苦小牧 CCS-1 は、坑井の坑跡を上面に投影したもの。  
 2. 滝ノ上層圧入井の仕上げ区間全体から、CO<sub>2</sub>が滝ノ上層中に圧入される。圧入に際し予想される溶解 CO<sub>2</sub> 量の分布を、階調をつけて色表示した。CO<sub>2</sub> 圧入量が少ないため、CO<sub>2</sub> 飽和度分布を示すことができない。  
 3. 図中の座標は、シミュレーションにより予想される溶解 CO<sub>2</sub> 量の分布域を考慮して想定した圧入した CO<sub>2</sub> の分布範囲を平面に投影したもの。シミュレーション結果は、三次元的にグリッド化した地質モデルを用いて実施したため、分布自体もグリッドを反映した形 (四角) となる。  
 4. 溶解 CO<sub>2</sub> 量の下限值は、 $3 \times 10^{-5}$  mol/kg (約 1ppm)。

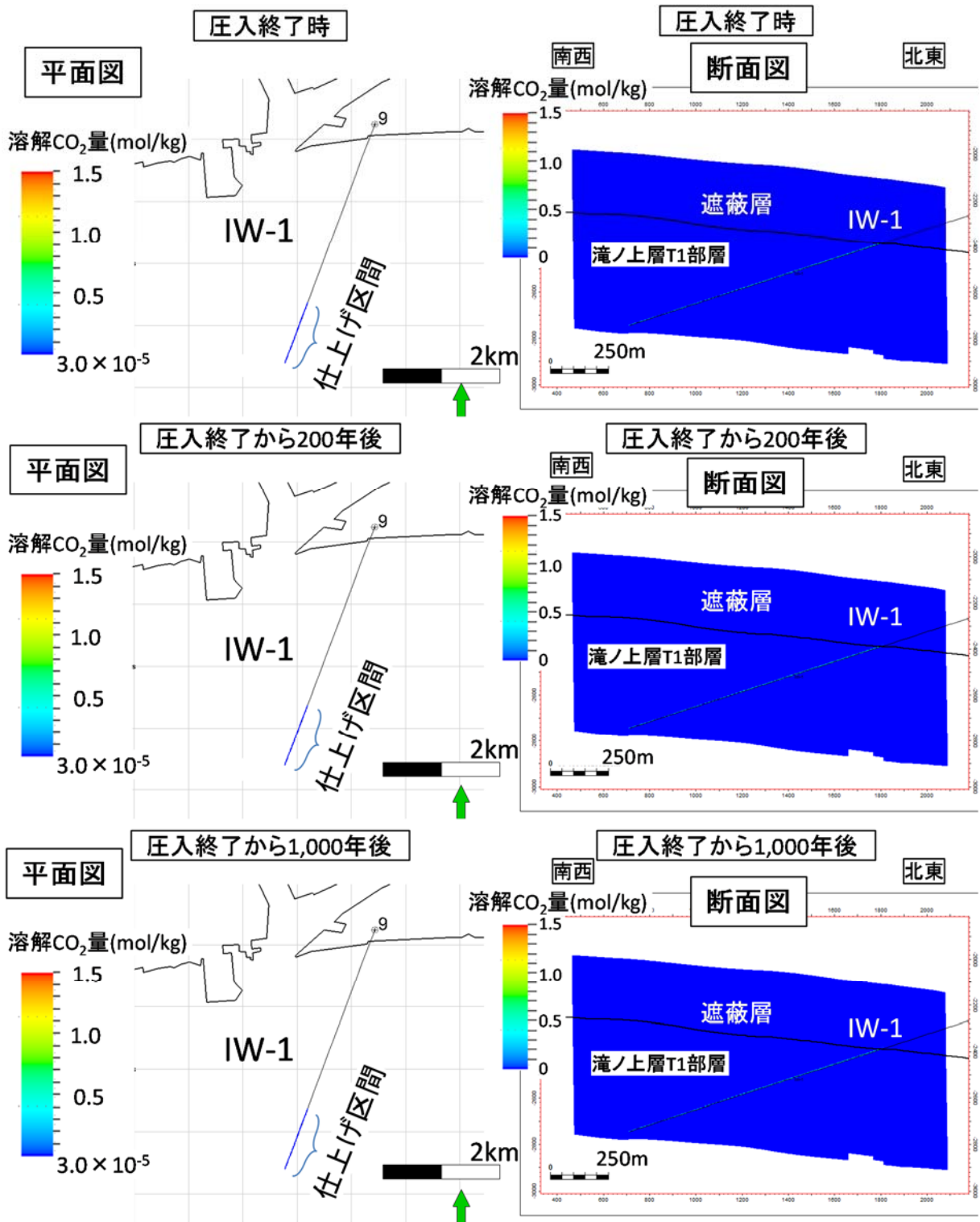
第 4.5-13 図 CO<sub>2</sub>の平面的な分布範囲(2018 年度シミュレーション結果)

予想される CO<sub>2</sub> の分布域として、溶解 CO<sub>2</sub> 量の分布域の平面的な座標範囲を示す (第 4.5-3 表)。

第 4.5-3 表 海底下廃棄した CO<sub>2</sub>の平面的な分布範囲 (滝ノ上層 T1 部層)

北限			南限			東限			西限		
度	分	秒	度	分	秒	度	分	秒	度	分	秒
42	36	15.95	42	35	39.89	141	38	0.31	141	37	40.45

また、溶解 CO<sub>2</sub> 量の分布に対するシミュレーション結果を第 4.5-14 図に示す。圧入した CO<sub>2</sub> が地層水に溶解して生じる溶解 CO<sub>2</sub> の分布範囲は圧入井の極近傍に限定される。



- 注：1. 左：上方から俯瞰した平面図，右：坑跡に沿った断面図。  
 2. 上段：圧入終了時，中段：圧入終了から200年後，下段：圧入終了から1,000年後。  
 3. シミュレーションに使用する地質モデルを，CO<sub>2</sub>圧入時の圧力挙動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4.5-14図 溶解CO<sub>2</sub>量分布の推移（2018年度シミュレーション）

イ) 圧入した CO<sub>2</sub> の垂直的な分布範囲

圧入開始から 1,000 年後までの CO<sub>2</sub> 飽和度および溶解 CO<sub>2</sub> 量の垂直的な分布範囲は、第 4.5-14 図に示すとおり、圧入井の坑跡に沿って限定的となると考えられる。

第 4.5-4 表に、CO<sub>2</sub> の垂直的な分布範囲の座標を示す。なお、安全側に立ち、下限は圧入井の貯留層区間の下 25m とし、上限は遮蔽層深度とした。

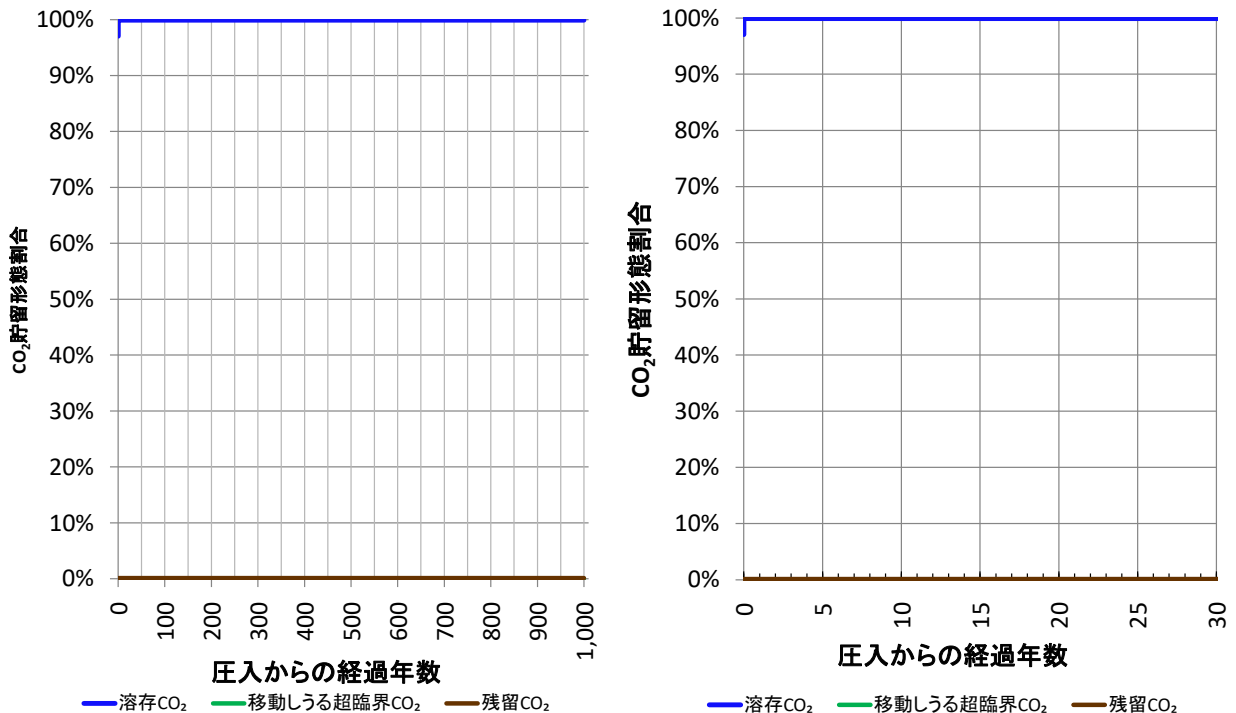
第 4.5-4 表 海底下廃棄した CO<sub>2</sub> の垂直的な分布範囲（滝ノ上層 T1 部層）

GL = 9.1m	掘削深度 (mMD)	垂直深度 (mVD)	レベル (mbmsl)	備考
滝ノ上層上限	4,624	2,390	2,381	
圧入井坑底深度	5,800	2,753	2,744	
CO <sub>2</sub> 上限分布深度	—	—	2,381	遮蔽層深度
CO <sub>2</sub> 下限分布深度	—	—	2,769	坑底+25m
溶解 CO <sub>2</sub> 量上限分布深度	—	—	2,381	遮蔽層深度
溶解 CO <sub>2</sub> 量下限分布深度	—	—	2,769	坑底+25m

注：CO<sub>2</sub> の圧入量が少なすぎるため、圧入した CO<sub>2</sub> は圧入後直ちに溶解するため、CO<sub>2</sub> 飽和度の分布範囲は示すことができない。圧入した CO<sub>2</sub> の分布範囲は限定的となるため、下限は圧入井の坑底（圧入区間の最深部）から、溶解 CO<sub>2</sub> 量では 25m までの範囲とした。また、上限については、遮蔽層までとした。

ウ) CO<sub>2</sub> の貯留形態ごとの割合

貯留 CO<sub>2</sub> の 3 つの貯留形態を、Movable（移動する可能性がある気相 CO<sub>2</sub>）、Dissolved（溶解 CO<sub>2</sub>）および Trapped（孔隙等に残留トラップされ動かない気相 CO<sub>2</sub>）の 3 つに表現し、CO<sub>2</sub> 圧入量に対する割合の経時変化を、第 4.5-15 図に示す。圧入した CO<sub>2</sub> は全量溶解し溶解 CO<sub>2</sub> としてトラップされる。



注：左図；時間スケールが 0～1,000 年。右図；時間スケールが 0～30 年。

第 4.5-15 図 CO<sub>2</sub> の貯留フォーム（割合）の変化（2018 年度シミュレーション）