

別紙-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廃棄をされて いると推定される特定二酸化炭素の数量	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廃棄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) 滝ノ上層 T1 部層用の地質モデルの作成（圧入井掘削前）	17
a. 岩相分布・性状分布の推定	17
b. 構造モデルの作成	18
c. 属性モデルの作成	22
イ) 滝ノ上層 T1 部層用の地質モデルの作成（圧入井掘削結果を踏まえた更新モ デル）	23
a. 滝ノ上層圧入井掘削結果	23
b. 掘削時のブラインによる圧入テスト等の貯留層に係るテスト結果とその 見直し	24
i) 掘削時の貯留層に係るテスト	24
ii) 貯留層に係るテスト結果の見直し	25
c. 岩相分布・性状分布推定の更新	25
d. 構造モデルの更新	29
e. 属性モデルの更新	29

② CO ₂ 挙動予測シミュレーション	30
7) 滝ノ上層 T1 部層における CO ₂ 挙動予測（圧入井掘削前）	30
a. 概要	30
b. パラメータ	31
c. CO ₂ 圧入時の挙動	32
1) 滝ノ上層 T1 部層における CO ₂ 挙動予測（圧入井掘削結果を踏まえた予測）	33
a. 概要	33
b. パラメータ	35
③ 圧入した CO ₂ の平面的な分布範囲	36
④ 圧入した CO ₂ の垂直的な分布範囲	39
(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	41
① 検討に使用した地質モデル	41
7) 平成 23 年度地質モデルの作成	41
a. 岩相分布・性状分布の推定	41
b. 構造モデルの作成	41
c. 属性モデルの作成	44
1) 平成 24 年度地質モデルの作成	45
② 萌別層砂岩層における CO ₂ 挙動予測シミュレーション	46
7) 平成 23 年度シミュレーション	46
a. 概要	46
b. パラメータ	46
c. ケーススタディ	47
1) 平成 24 年度シミュレーション	49
③ 圧入した CO ₂ の平面的な分布範囲	50
④ 圧入した CO ₂ の垂直的な分布範囲	52
⑤ 遮蔽性能検討	60
⑥ CO ₂ の貯留形態ごとの割合	66
(3) 海域での位置	67
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	69
5. 特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の方法	70
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	70
(1) 概要	70
(2) PSA オフガス圧縮設備	72
(3) CO ₂ 分離・回収設備	73
(4) CO ₂ 圧縮設備	75
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	77

(1) 基本圧入計画	77
(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	78
① 圧入圧力	79
② 圧入速度	80
③ 圧入温度	83
(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	83
① 圧入圧力	83
② 圧入速度	85
③ 圧入温度	86
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	88
(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	88
(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	90
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	94
5.5 特定二酸化炭素ガスの圧入井の封鎖方法	97
5.6 他の法令の遵守状況	98
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	101
6.1 海洋環境の保全上の障害が生じる恐れについて	101
6.2 海洋環境の保全上の障害が生じる恐れの見通しについて	104
6.3 関連法規に基づく保安計画等について	106
6.4 異常発生時の対応について	107

1. 海底下廃棄実施期間

平成 28 年 4 月 1 日から平成 33 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：平成 29 年 1 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日、萌別層：平成 28 年 4 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日。

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 CO₂ 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、圧力スイング吸着（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、CO₂ 濃度が約 50% で他に可燃性ガス（CH₄, CO, H₂）を含有している（第 2.1-1 表）。

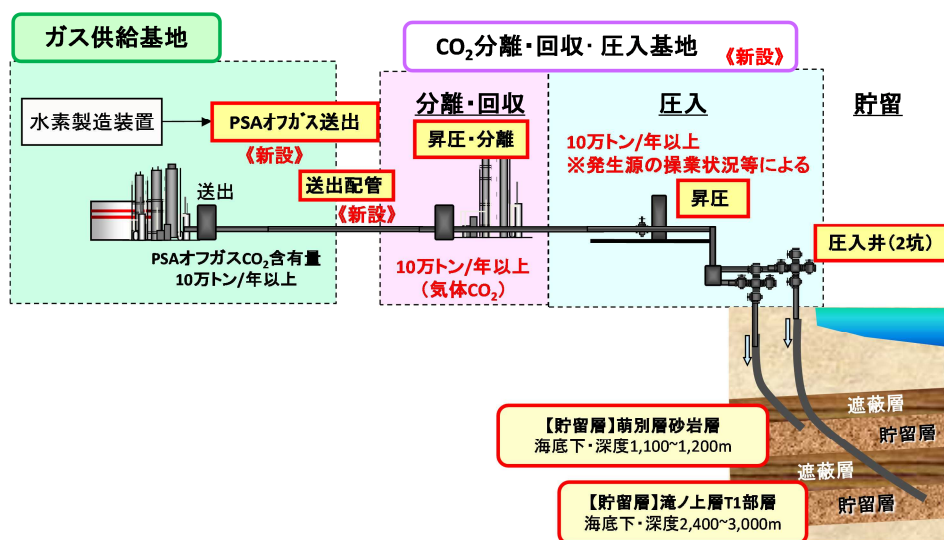
本計画では、この PSA オフガスから分離・回収した CO₂ ガスを特定二酸化炭素ガスとする予定である。

第 2.1-1 表 PSA オフガスの概略組成

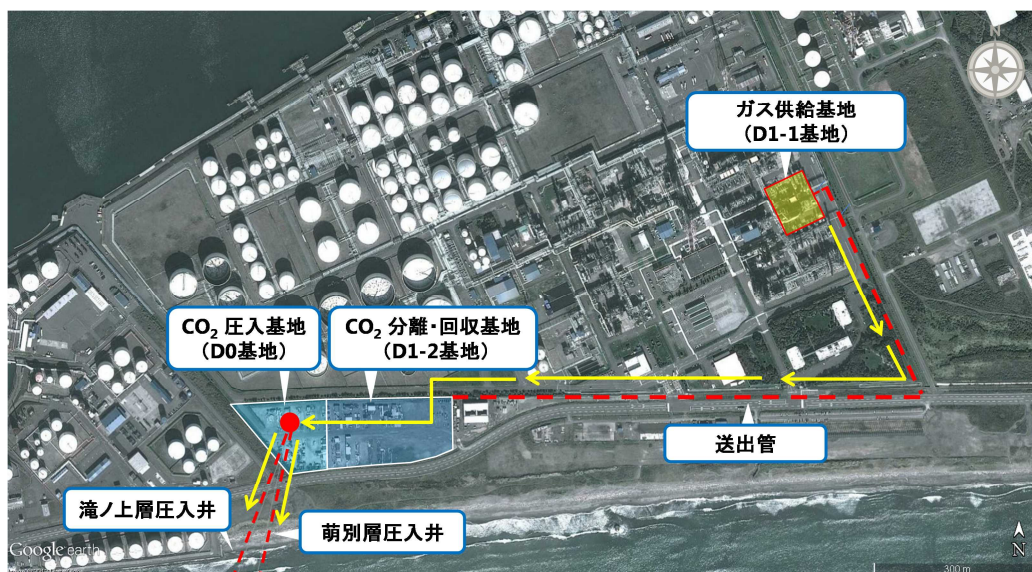
	ガス組成（体積百分率：％）
CO ₂	51.6
CO	2.3
H ₂	38.8
CH ₄	6.6
H ₂ O	0.7
合計	100.0

(2) 当該ガスからの特定二酸化炭素ガスの回収方法

CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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

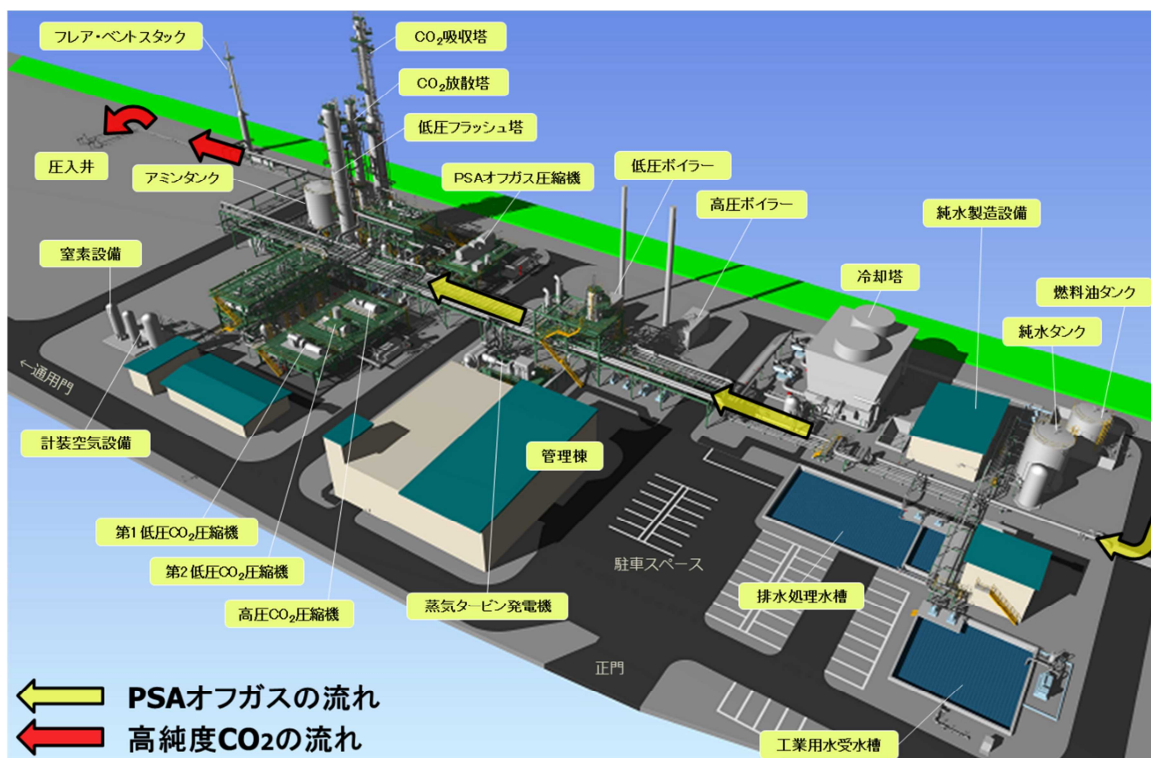


©Google ©2013 ZENRIN Image ©2013 DigitalGlobe

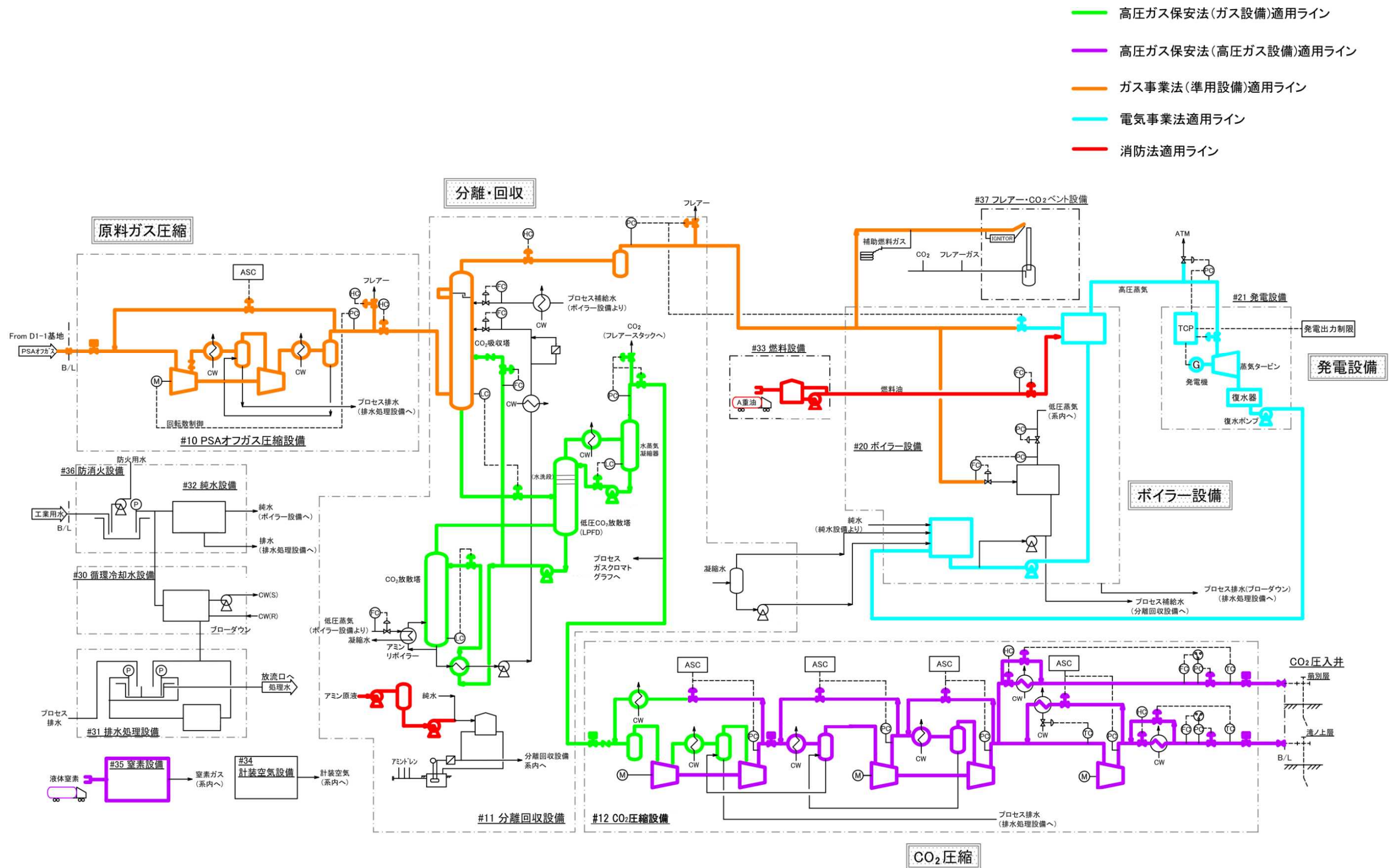
第 2.1-2 図 本計画設備の位置関係

第 2.1-3 図に CO₂ 分離・回収・圧入基地の鳥瞰図を，第 2.1-4 図に CO₂ 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。

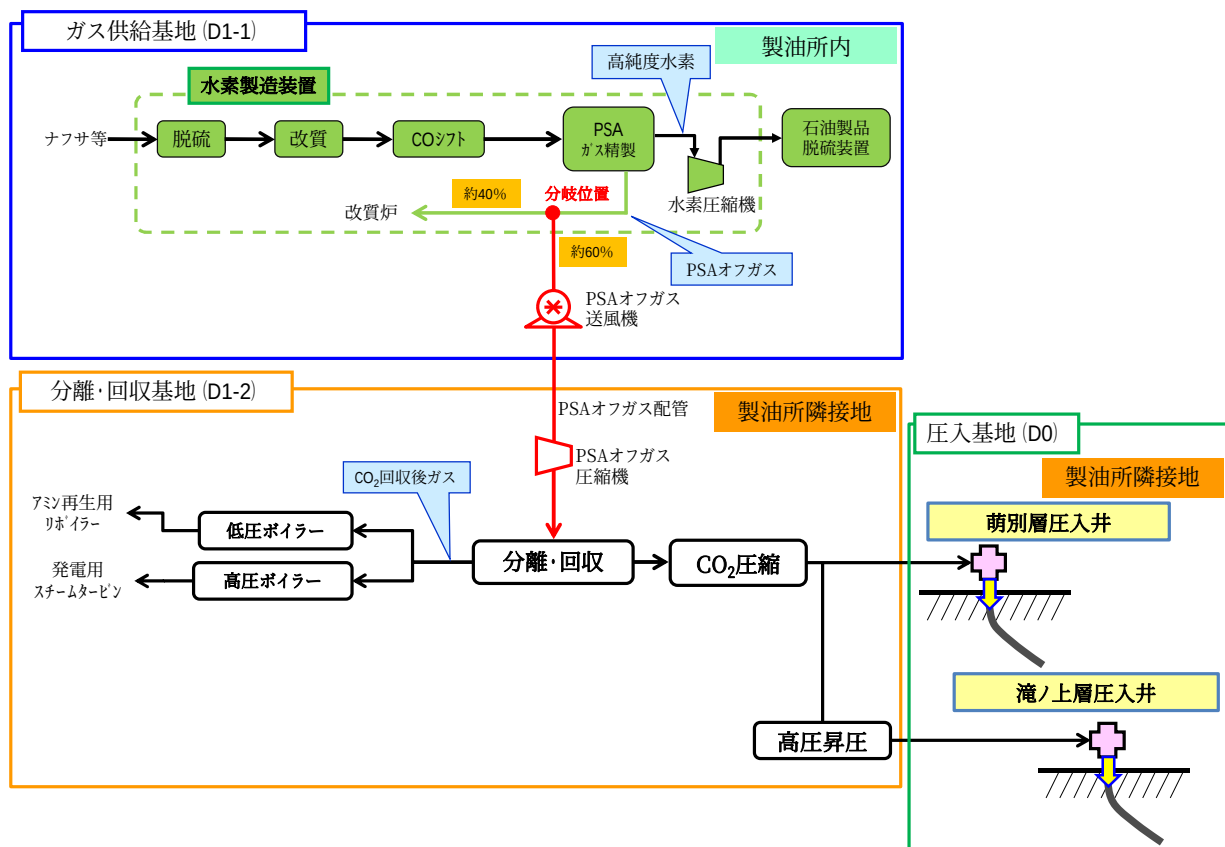
PSA オフガスは，水素製造装置に付帯する PSA 設備下流配管から分岐し，PSA オフガスの一部（約 60%）を分流して送風機により送出することで行う。PSA オフガスの送出先は，D1-2 基地とする。



第 2.1-3 図 CO₂ 分離・回収・圧入基地鳥瞰図

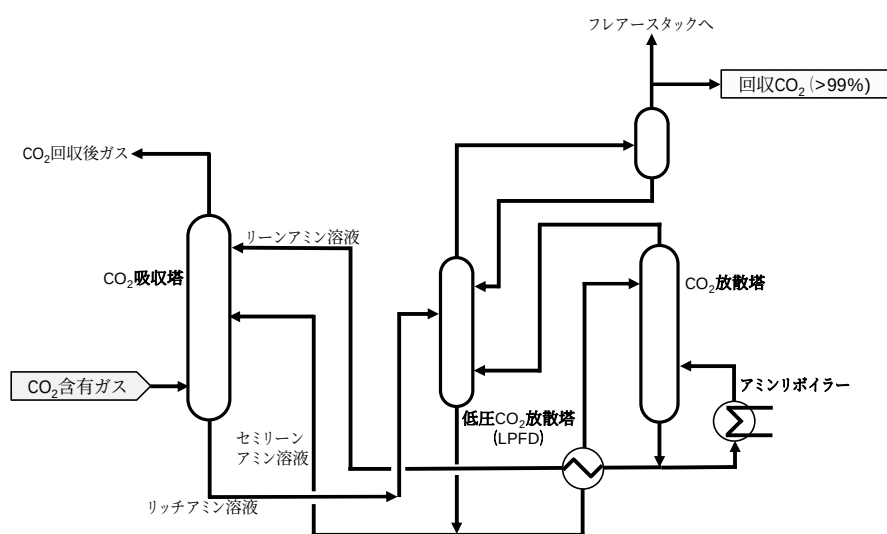


第 2.1-4 図 CO₂ 分離・回収・圧入基地プロセスフロー



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 CO₂ 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 CO₂ 分離・回収プロセス

このCO₂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、CO₂吸収塔とCO₂放散塔の間にLPFD（Low Pressure Flash Drum：低圧CO₂放散塔）を設置し、CO₂吸収塔では、リーナミン溶液（CO₂放散塔で得られた再生度の高いアミン）に加え、セミリーナミン溶液（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CO₂放散が可能となることに加え、CO₂放散塔頂からCO₂とともに供給される水蒸気熱をCO₂の放散に利用することができる。これにより、セミリーナミン溶液の循環量が増えるものの、CO₂放散塔に供給されるCO₂量は減少するため、リーナミン溶液のみで吸収する場合に比べて、CO₂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CO₂の組成は変動するため、回収プロセスを経た後のCO₂濃度が特定二酸化炭素ガスの濃度基準を満たすよう、CO₂放散塔頂より回収した高純度CO₂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。CO₂濃度の変動範囲は99.1%以上とし、組成分析の測定結果でCO₂濃度が99.1%を下回る場合は、2段吸収法を適用したCO₂吸収塔のリーナミン溶液循環量（吸収塔上段）とセミリーナミン溶液循環量（吸収塔下段）を調整することにより、回収CO₂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、CO₂ガス中に含まれる物質は、「特定二酸化炭素ガスに含まれる二酸化炭素の濃度の測定の方法を定める省令（平成19年9月19日環境省令第22号）」に挙げられている物質のみであり、ガスクロマトグラフの分析条件は省令に従う。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。

CO₂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。CO₂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CO₂ガスに余剰が発生する。その余った高純度CO₂ガスは、CO₂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、CO₂回収後のガス（CO₂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 ₂	99.70
H ₂	0.22
N ₂	—
O ₂	—
CH ₄	0.06
CO	0.02
合計	100.00

通常 PSA オフガス中の CO₂ 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 CO₂ 濃度が低いケースから最も CO₂ 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。なお，圧入開始前に CO₂ 放散塔頂より回収した高純度 CO₂ ガスの組成分析を行い，上記推算値に近似していることの確認を行う。なお，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 CO₂ との化学反応を利用して CO₂ 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(添付書類-1 の 1.2 節参照)。

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廃棄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、滝ノ上層に海底下廃棄をしようとする特定二酸化炭素ガスの数量は 750 トン、また萌別層に海底下廃棄しようとする特定二酸化炭素ガスの数量は 60 万トンである。

滝ノ上層の期間内推定圧入可能量は、圧入井掘削時の取得データをベースに行った平成 27 年度 CO₂ 挙動予測シミュレーションにおいて、3 年間で 1,000 トンの圧入が可能であることを確認したことより、1,000 トンとする。

滝ノ上層の期間内計画圧入量は、750 トンとする。

なお、CO₂ 挙動予測シミュレーションは、圧入実績から得られるデータによる見直しを随時行うが、それに合わせて滝ノ上層の期間内推定圧入可能量も見直す。この見直しにより滝ノ上層の期間内推定圧入可能量を変更することが適切と考えられる場合は、海洋汚染防止法に基づく変更許可に係る所要の手続きに従い、滝ノ上層の期間内推定圧入可能量と滝ノ上層の期間内計画圧入量の変更を申請する。

萌別層の期間内推定圧入可能量は、平成 23 年度 CO₂ 挙動予測シミュレーションにおいて年間 25 万トン、3 年間で 75 万トンの圧入が可能であることを確認したこと、さらにそれを上回る量の圧入が可能であることが期待できるデータを圧入井掘削時に取得したことより、75 万トンとする。

萌別層の期間内計画圧入量は、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、20 万トン/年、3 年間で 60 万トンとする。

収容量は、添付書類-2 の第 4.2 節において算出している。その結果、滝ノ上層の収容量は 53 万トン以上、萌別層の収容量は 1,725 万トン以上である。

したがって、滝ノ上層および萌別層それぞれの貯留層について、「収容量 $\geq$ 期間内推定圧入可能量 $\geq$ 期間内計画圧入量」の関係が成立する。

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廃棄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廃棄をされていると推定される特定二酸化炭素ガスは、0 トン。

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（ $42^{\circ}37'28''\text{E}$ ： $141^{\circ}35'21''\text{E}$ ， $42^{\circ}34'49''\text{E}$ ： $141^{\circ}35'43''\text{E}$ ， $42^{\circ}32'41''\text{E}$ ： $141^{\circ}51'13''\text{E}$ ， $42^{\circ}35'13''\text{E}$ ： $141^{\circ}52'31''\text{E}$ を結ぶ線と海岸線に囲まれた範囲）である（第4.1-1図）。



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 CO₂ 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 CO₂ 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

【坑口】	
座標（北緯）	42 ° 37 ' 53.09 "
座標（東経）	141 ° 38 ' 47.79 "
標高：m	9.1
【滝ノ上層 T1 部層上限】	
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
【坑底】	
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

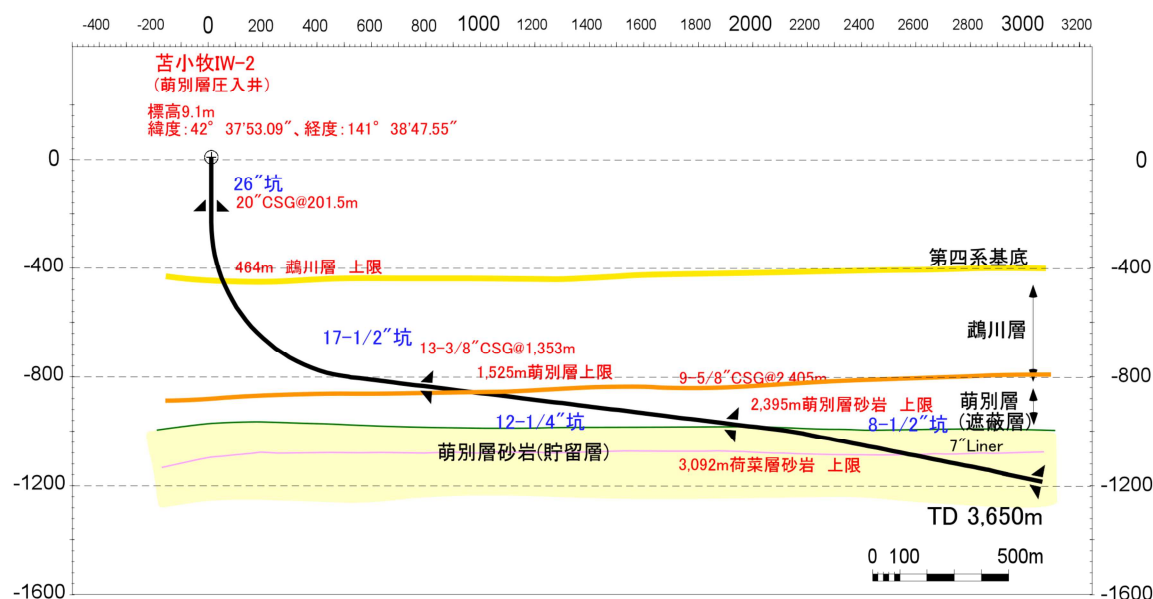
【坑口】	
座標（北緯）	42 ° 37 ' 53.09 "
座標（東経）	141 ° 38 ' 47.55 "
標高：m	9.1
【萌別層砂岩層上限】	
座標（北緯）	42 ° 36 ' 55.30 "
座標（東経）	141 ° 38 ' 30.85 "
掘削深度：m	2,395
海面下深度：m	961
坑口からの距離：m	1,823
【坑底】	
座標（北緯）	42 ° 36 ' 16.11 "
座標（東経）	141 ° 38 ' 20.01 "
掘削深度：m	3,650
海面下深度：m	1,179
坑口からの距離：m	3,058

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）。

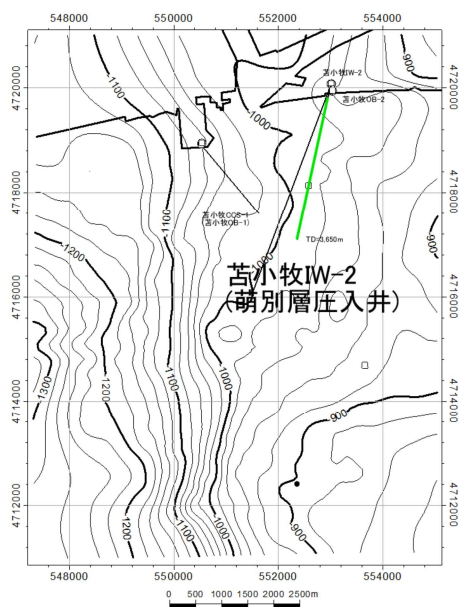
坑底深度 TD (Total Depth) は掘削深度 DD (Drilling Depth) : 5,800m、垂直深度 TVD (True Vertical Depth) : 2,753m、KOP (Kick off Point) は DD および TVD : 925m、EOB (End of Buildup) は DD : 1,618m、TVD : 1,461m である。また、最大坑芯傾斜は 72 °、偏距は 4,346m である。

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

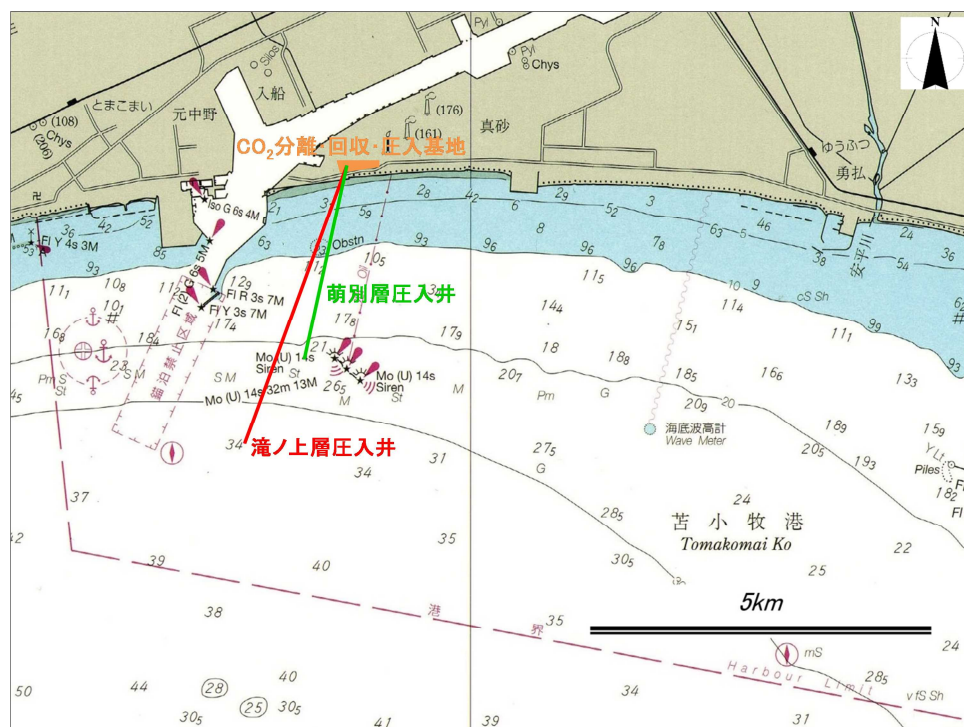


第 4.1-5 図 萌別層砂岩層上限の構造

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

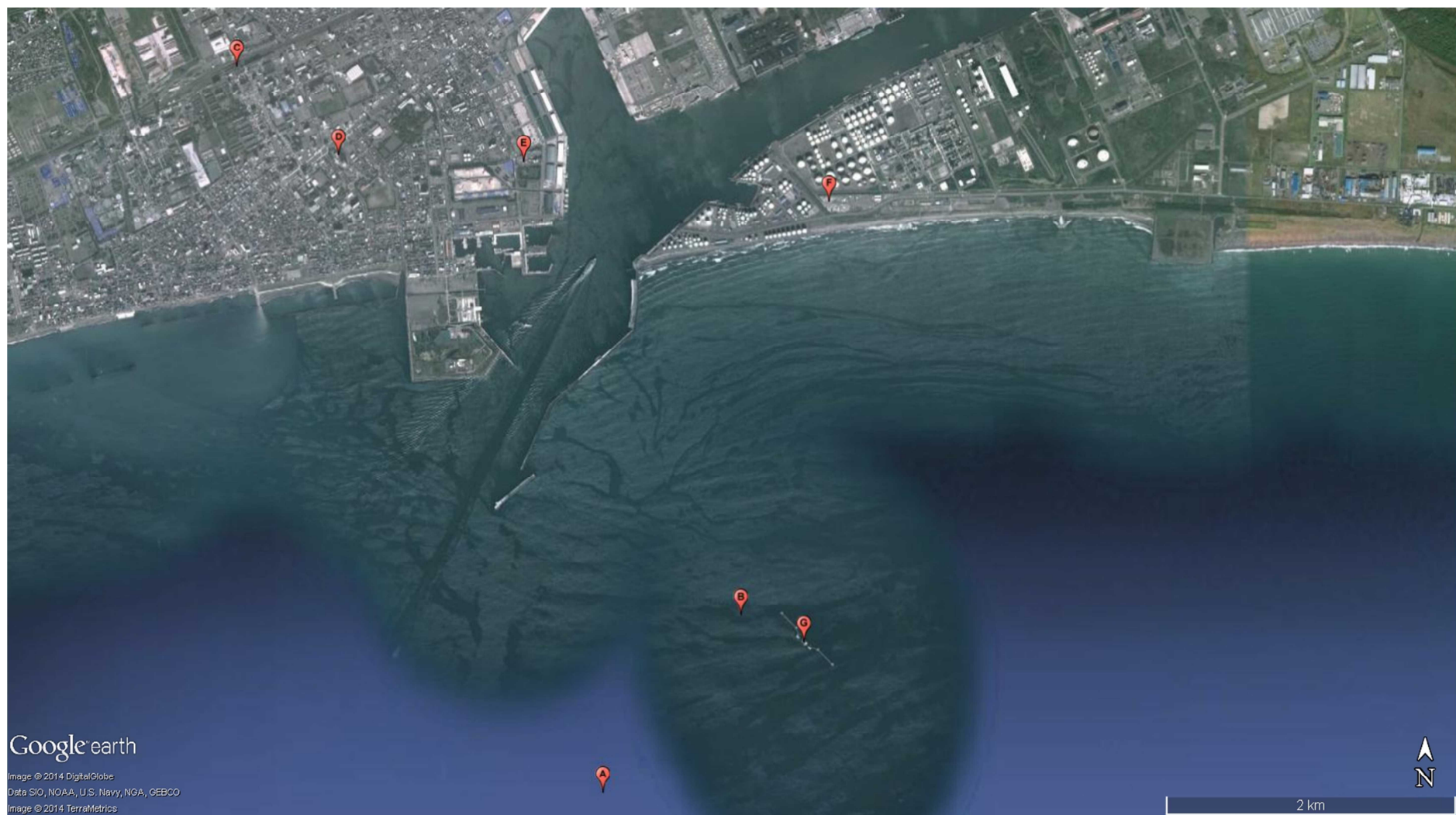
圧入井	水深 (m)	海面下深度 (m)
滝ノ上層圧入井	31	2,744
萌別層圧入井	20	1,179

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：J R 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 ₂ 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