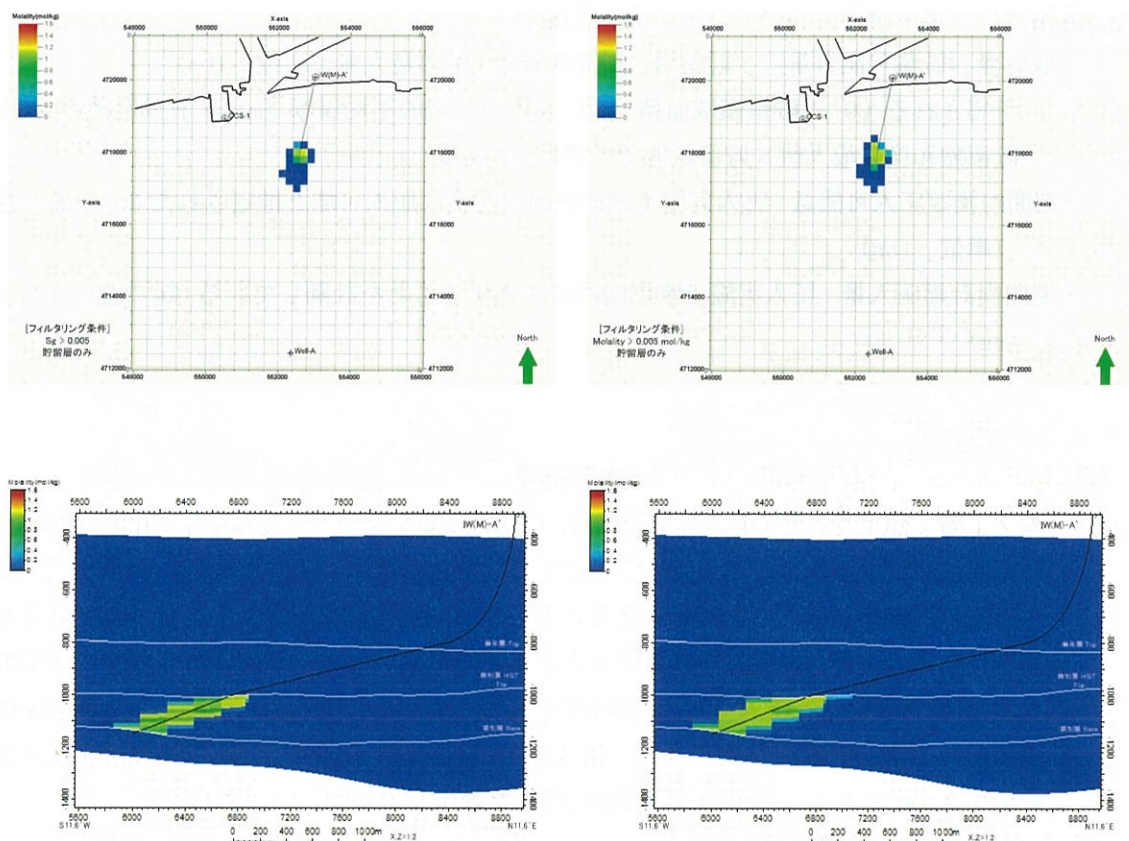




注：1. 左側：圧入開始から3年後，右側：圧入開始から1,000年後。
2. 上段：平面図 ($M_{CO_2} > 0.005$ でフィルタリング)，下段：萌別層圧入井に沿った断面図。

第 4.1-16 図 低浸透率ケースにおける溶解 CO_2 量の分布（平成 24 年度シミュレーション結果）

なお，掘削した萌別層圧入井の貯留層の浸透率は，平成 24 年度シミュレーションの予測より高くなっている（第 2.2-5 表）。しかしながら，第 4.1-11 図～第 4.1-16 図において浸透率による大きな差は見られないことから，本計画を実施しても同様な挙動をとると予測される。

4.2 特定二酸化炭素ガスの推定廃棄可能性に係る事項

海底下廃棄をする海域の海洋環境の保全に障害を及ぼすおそれがないことを担保するため、「収容量 $\geq$ 期間内推定圧入可能量 $\geq$ 期間内計画圧入量」の関係が成立することを確認する。

各用語は、本申請書において以下の通り定義する。

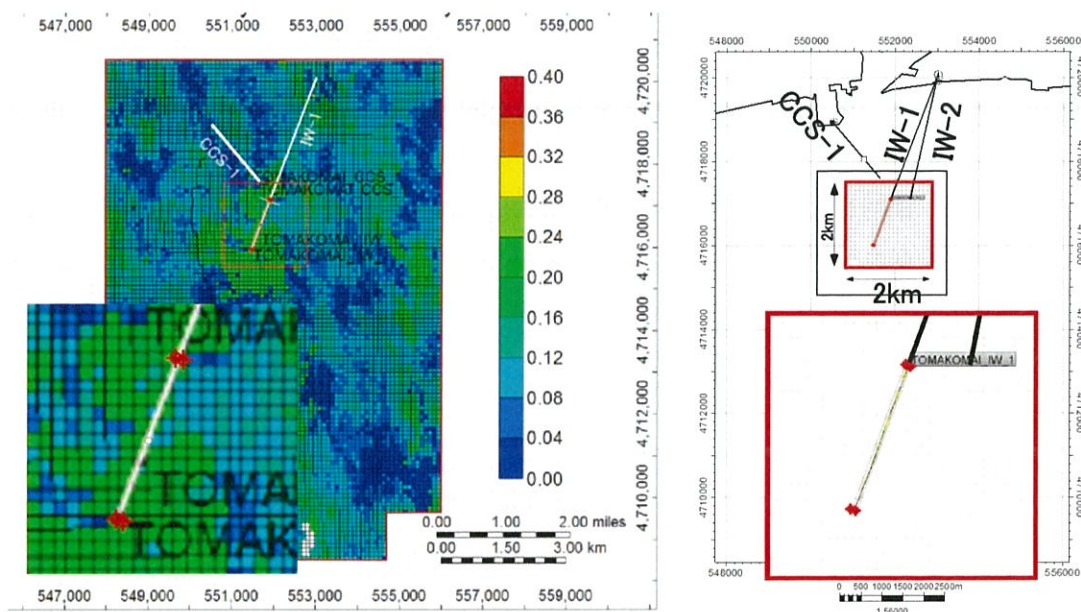
- ・収容量（貯蔵可能容量）：貯留層に貯蔵可能なCO₂の最大量（単位：ton）

$$\text{予想される CO}_2 \text{ の貯留領域面積 (m}^2\text{)} \times \text{その領域の平均層厚 (m)} \times \text{有効孔隙率} \times \text{CO}_2 \text{ 貯留飽和度の最大値} \times \text{貯留状態での平均 CO}_2 \text{ 密度 (ton/m}^3\text{)}$$
- ・期間内推定圧入可能量：圧入実施予定期間内に安全に圧入可能と推定されたCO₂の最大量（単位：ton）
- ・期間内計画圧入量：圧入実施予定期間内に圧入することを計画しているCO₂の量（単位：ton）

(1) 滝ノ上層 T1 部層

① CO₂の貯留領域面積（CO₂貯留領域の水平投影面積）

滝ノ上層で想定されるCO₂の貯留領域は、浸透性が低いものの十数%の有効孔隙率を有する貯留層が連続するため、圧入時間を考慮しなければ、第4.2-1図（左図）に示す地質モデル作成範囲の全体を貯留領域と考えることも可能である。しかし、圧入井の掘削により確認された滝ノ上層の浸透性を考慮すると現実的ではないため、予測されるCO₂の貯留領域面積は、3年間のCO₂圧入でCO₂が分布する範囲を参照し、圧入井の坑跡から半径25mの範囲にあたる64,400m²とした。なお、第4.2-1図（右図）に示す1,000トンのCO₂圧入後のCO₂の分布範囲予測は、圧入井の坑跡に沿った数十mの範囲に限定される。



注：右図は、1,000トンのCO₂圧入後のCO₂の分布範囲予測（第4.1-1表に示す範囲）。

第4.2-1図 滝ノ上層T1部層における孔隙率の分布予測と地質モデル作成範囲および予測されるCO₂の貯留領域面積

② 平均層厚 (CO₂貯留領域の鉛直方向の平均長)

滝ノ上層で作成した地質モデルにおける滝ノ上層 T1 部層の平均層厚を、450m とした。

③ 有効孔隙率

第 4.2-1 図に示す貯留層モデルの孔隙率は、滝ノ上層圧入井掘削時に取得した物理検層データ (NMR 検層) による孔隙率の平均値を用いている。物理検層データのエラーと考えられる数値を除いた平均値から、有効孔隙率を 13.2% とした。

④ CO₂貯留飽和度の最大値

CO₂貯留飽和度の最大値は、下記に示す流動シミュレータの推奨の式を用いて算出した最大残留ガス飽和度 (Sgrmax) を採用し、0.241 とした。

$$Sgrmax = Sgr + 0.5 \times (1 - Swir - Sgr)$$

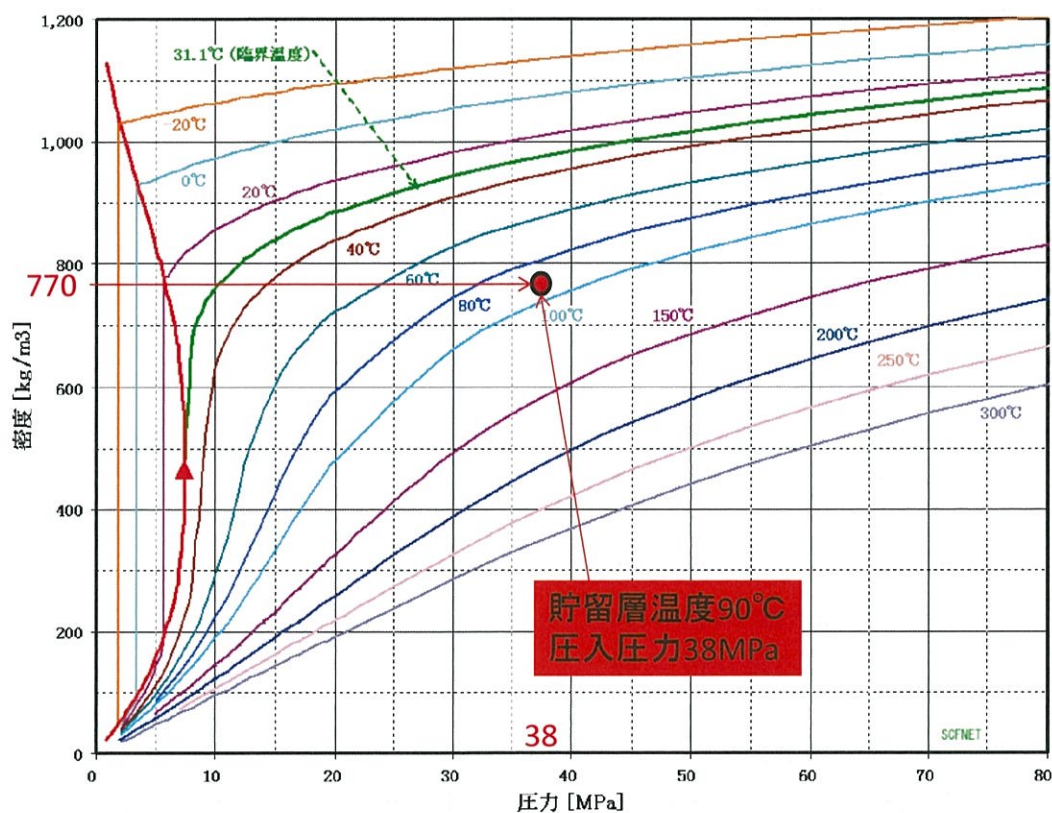
$$Swir (\text{残留水飽和率}) = 0.558$$

$$Sgr (\text{残留ガス飽和率}) = 0.04$$

⑤ 貯留状態での平均 CO₂ 密度

貯留層深度での温度は 90℃程度、圧力は圧入上限圧力である約 38MPa となる。

第 4.2-2 図に示す圧入層準 (滝ノ上層) での CO₂ の密度から、貯留状態での平均 CO₂ 密度は、0.770ton/m³ とした。



注：超臨界流体 NET^[1]より引用・加筆

第 4.2-2 図 圧入層準（滝ノ上層）での CO₂ の密度

⑥ 収容量

上記の①～⑤の数値を用いて収容量を算出した結果を、第 4.2-1 表に示す。

収容量は、71 万トンとなった。

第 4.2-1 表 滝ノ上層 T1 部層の収容量の算出

貯留領域面積 (m ²)	64,400 m ²
その領域の平均層厚 (m)	450 m
有効孔隙率	0.132
CO ₂ 貯留飽和度の最大値	0.241
貯留状態での平均 CO ₂ 密度 (ton/m ³)	0.770 ton/m ³
収容量 (ton)	71 万 ton

なお、現在経済産業省と環境省が実施する『二酸化炭素貯留適地調査事業』では、貯蔵可能容量の算出に（財）地球環境産業技術機構（2006）による下記の式^[2]を使用し、地中貯留量としている。予想される CO₂ の貯留領域の地中貯留量を算出した結果、63 万トンとなった（第 4.2-2 表）。

[1] 超臨界流体 NET (http://www5c.biglobe.ne.jp/~cassia/SCF_HP/PropertyW.htm, 2016/1/28 アクセス)

[2] （財）地球環境産業技術機構. 2006. 平成 17 年度 二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業 二酸化炭素地中貯留技術研究開発 成果報告書.

$$\text{地中貯留量} = S_f \times A \times h \times \phi \times S_g / BgCO_2 \times \rho$$

Sf : 貯留率 (50%または 25%)

A : 面積

h : 有効層厚

ϕ : 孔隙率

Sg : 超臨界 CO₂ 飽和度 (20-50%-80%)

BgCO₂ : 超臨界 CO₂ の容積係数 (約 0.003m³/m³)

ρ : CO₂ 密度 (1.976kg/m³ 標準状態)

注 : 『二酸化炭素貯留適地調査事業』では, Sf および Sg は 50%を使用。

第 4.2-2 表 滝ノ上層 T1 部層の地中貯留量の算出

Sf : 貯留率 (50%)	0.5
A : 面積	64,400 m ²
h : 有効層厚 (m)	450 m
ϕ : 孔隙率	0.132
Sg : 超臨界 CO ₂ 飽和度 (50%)	0.5
BgCO ₂ : 超臨界 CO ₂ の容積係数 (約 0.003m ³ /m ³)	0.003 m ³ /m ³
ρ : CO ₂ 密度 (1.976kg/m ³ 標準状態)	0.001976 ton/m ³
地中貯留量	63 万 ton

⑦ 期間内計画圧入量が適切であることの確認

ア) 収容量

上記⑥で算出した収容量は, 1,000 トンの CO₂ 圧入後の CO₂ の分布範囲予測から算出したものである。期間内計画圧入量の 750 トンでは, 予測される CO₂ の貯留領域の貯留層の収容量は, 少なくとも 53 万トン以上と推定される。

イ) 期間内推定圧入可能量

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 CO₂ を安全に圧入できることを確認している。圧入期間は 27 か月であり, 期間内推定圧入可能量は, 750 トンとする。

ウ) 期間内計画圧入量

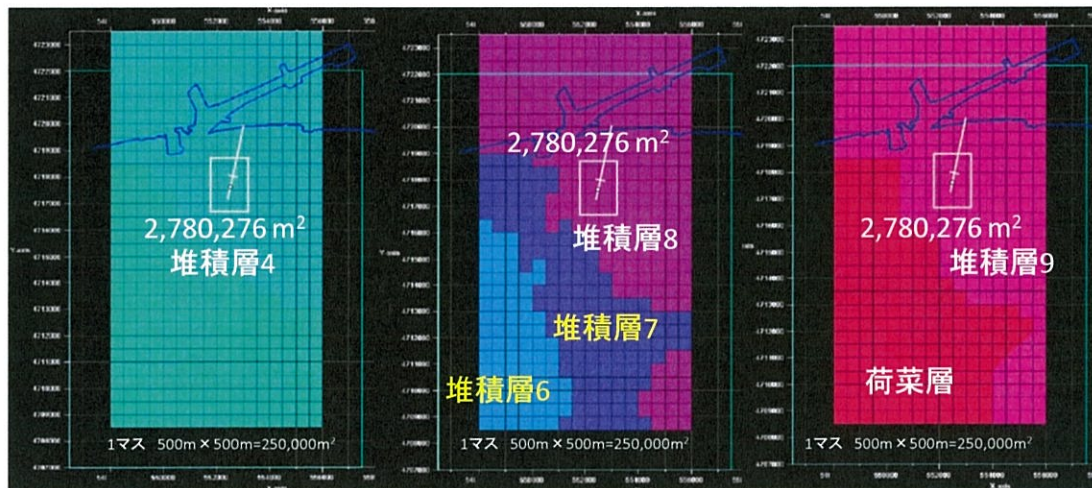
750 トンとする。

以上より, 滝ノ上層について「収容量 ≥ 期間内推定圧入可能量 ≥ 期間内計画圧入量」の関係が成立する。

(2) 萌別層砂岩層

① CO₂の貯留領域面積（CO₂貯留領域の水平投影面積）

予測される CO₂の貯留領域面積は、60 万トンの CO₂を圧入した際に予測される貯留層内での CO₂の分布範囲と、圧入井から海岸までの距離を勘案し、3 年間の CO₂圧入において地下で CO₂が広がる範囲とする。なお、萌別層の評価に用いた地質モデルでは、萌別層砂岩層を堆積層 4、8 および 9 の 3 層準の堆積層に分類しており、第 4. 2-3 図にそれぞれ堆積層の地質モデル作成範囲内での分布と予測される CO₂の貯留領域面積の投影図を、第 4. 2-3 表に予測される CO₂の貯留領域面積を示す。



- 注：1. 図中でほぼ南北に伸びる直線は、萌別層圧入井が当該層準に到達するまでの坑跡を上方から投影したもの。
 2. 図中のマス（グリッド）は、500m×500m。
 3. 堆積層 6 および 7 は、泥岩層。
 4. 図中の四角形は、第 4. 1-4 表に示した、60 万トンの CO₂圧入後の貯留層内での CO₂の分布予測範囲。

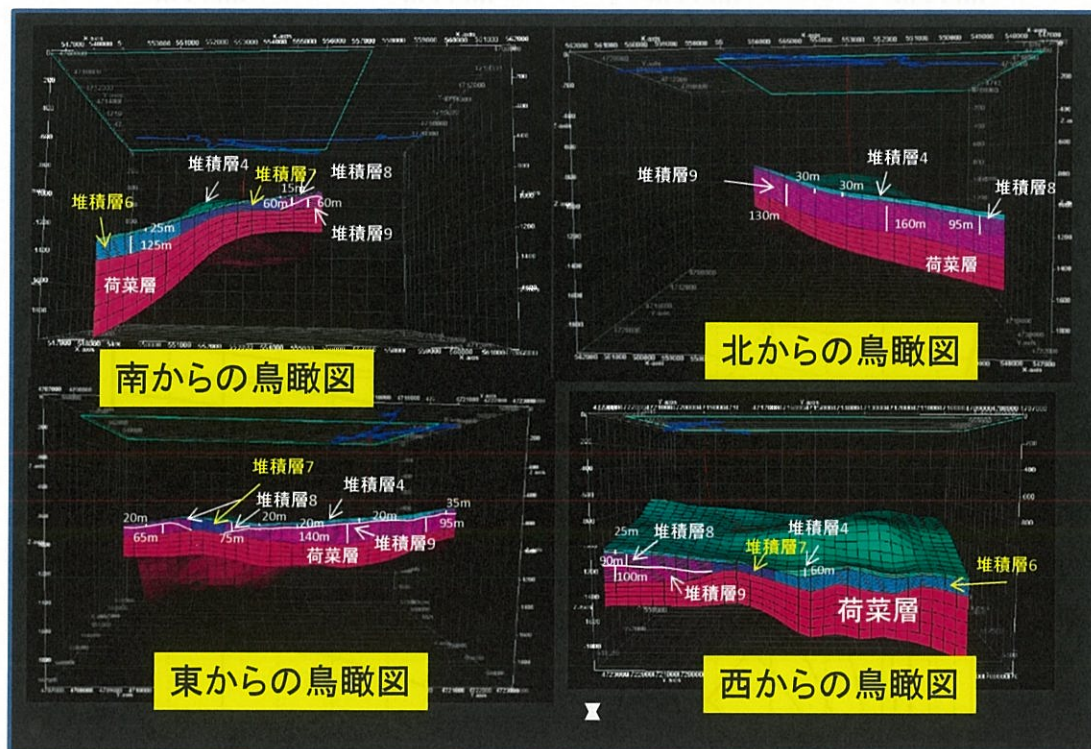
第 4. 2-3 図 萌別層砂岩層（堆積層 4、8 および 9）の分布域と予測される CO₂の貯留領域面積の投影図

第 4. 2-3 表 萌別層砂岩層で予想される CO₂の貯留領域面積

堆積層	予想される CO ₂ の貯留領域面積
堆積層 4	2,780,276m ²
堆積層 8	2,780,276m ²
堆積層 9	2,780,276m ²

② 平均層厚（CO₂貯留領域の鉛直方向の平均長）

3 層準（堆積層 4、8 および 9）に分類した萌別層砂岩のそれぞれについて、第 4. 2-4 図に地質モデルの鳥瞰図上での代表的な層厚を、第 4. 2-4 表にその層厚の範囲と推定される平均層厚を示す。



第 4.2-4 図 萌別層砂岩（堆積層 4、8 および 9）の分布鳥瞰図と層厚

第 4.2-4 表 萌別層砂岩層の層厚

堆積層	層厚範囲	平均層厚
堆積層 4	15～30m	20m
堆積層 8	20～95m	30m
堆積層 9	0～160m	60m

③ 有効孔隙率

コア分析は孔隙にヘリウムを押し込むことにより実施されたため、測定された孔隙率は有効孔隙率である。これらの分析値から、有効孔隙率の平均を 28.1%^[1]とした。

④ CO₂ 貯留飽和度の最大値

CO₂ 貯留飽和度の最大値は、Holtz (2002) による式^[2]により算出した最大残留ガス飽和度 (Sgrmax) を採用し、0.275 とした。

$$Sgrmax = -0.9696 \times \phi + 0.5473$$

$$\phi \text{ (平均孔隙率)} = 0.281$$

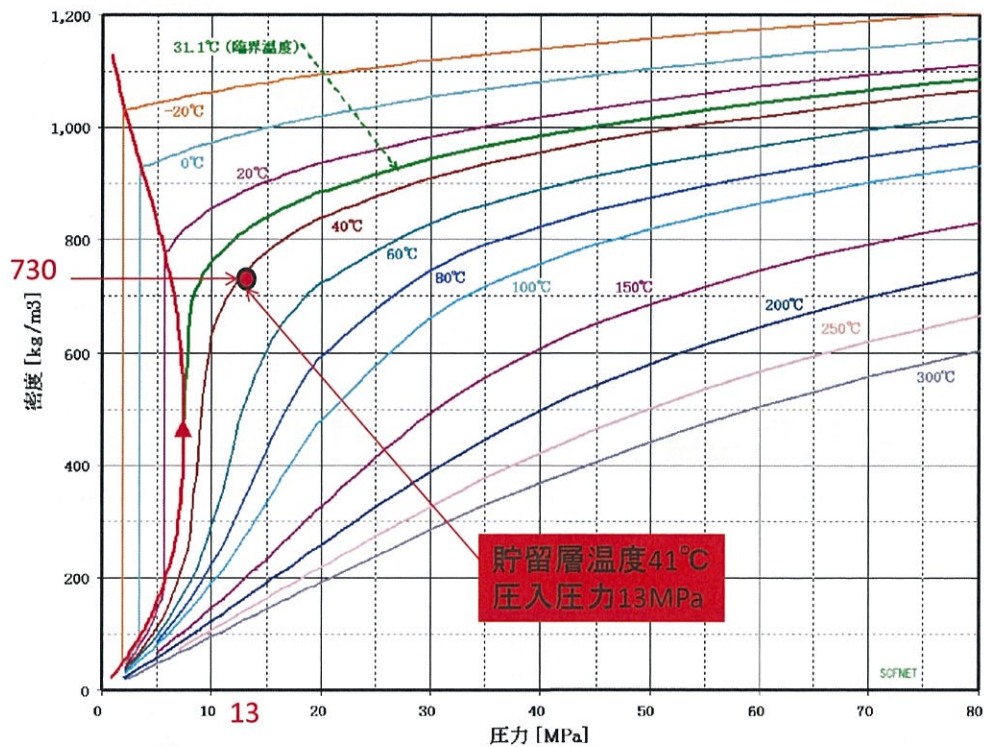
[1] 石油資源開発(株) 2011. 苫小牧地点における調査・検討 地質モデル構築・CO₂長期挙動シミュレーション 作業実施報告書. 日本CCS調査(株) 社内資料. p.118

[2] Holtz, M.H. 2002. Residual Gas Saturation to Aquifer Influx: A Calculation Method for 3-D Computer Reservoir Model Construction. SPE-75502.

⑤ 貯留状態での平均 CO₂ 密度

貯留層深度での温度は 41℃程度、圧力は圧入上限圧力である約 13MPa となる。

第 4.2-5 図に示す圧入層準（萌別層砂岩層）での CO₂ の密度から、貯留状態での平均 CO₂ 密度は、0.730ton/m³ とする。



注：超臨界流体 NET^[1]より引用・加筆

第 4.2-5 図 圧入層準（萌別層砂岩層）での CO₂ の密度

⑥ 収容量

上記の①～⑤の数値を用い 3 層準（堆積層 4, 8 および 9）のそれぞれについて収容量を算出した結果を、第 4.2-5 表に示す。

収容量の総計は 1,725 万トンとなった。

なお、『二酸化炭素貯留適地調査事業』で採用する式における地中貯留量は、1,415 万トンであった（第 4.2-6 表）。

^[1] 超臨界流体 NET (http://www5c.biglobe.ne.jp/~cassia/SCF_HP/PropertyW.htm, 2016/1/28 アクセス)

第 4. 2-5 表 萌別層砂岩層の収容量の算出

堆積層 4

CO ₂ の貯留領域面積	2, 780, 276 m ²
平均層厚	20 m
有効孔隙率	0. 281
CO ₂ 貯留飽和度の最大値	0. 275
貯留状態での平均 CO ₂ 密度	0. 730 ton/m ³
収容量	314 万 ton

堆積層 8

CO ₂ の貯留領域面積	2, 780, 276 m ²
平均層厚	30 m
有効孔隙率	0. 281
CO ₂ 貯留飽和度の最大値	0. 275
貯留状態での平均 CO ₂ 密度	0. 730 ton/m ³
収容量	470 万 ton

堆積層 9

CO ₂ の貯留領域面積	2, 780, 276 m ²
平均層厚	60 m
有効孔隙率	0. 281
CO ₂ 貯留飽和度の最大値	0. 275
貯留状態での平均 CO ₂ 密度	0. 730 ton/m ³
収容量	941 万 ton

収容量 (萌別層全体)	1, 725 万 ton
-------------	--------------

第 4. 2-6 表 萌別層砂岩層の地中貯留量の算出

堆積層 4

Sf : 貯留率 (50%)	0. 5
A : 面積	2, 780, 276 m ²
h : 有効層厚	20 m
ϕ : 孔隙率	0. 281
Sg : 超臨界 CO ₂ 飽和度 (50%)	0. 5
BgCO ₂ : 超臨界 CO ₂ の容積係数 (約 0. 003m ³ /m ³)	0. 003 m ³ /m ³
ρ : CO ₂ 密度 (1. 976kg/m ³ 標準状態)	0. 001976 ton/m ³
地中貯留量	257 万 ton

堆積層 8

Sf : 貯留率 (50%)	0. 5
A : 面積	2, 780, 276 m ²
h : 有効層厚	30 m
ϕ : 孔隙率	0. 281
Sg : 超臨界 CO ₂ 飽和度 (50%)	0. 5
BgCO ₂ : 超臨界 CO ₂ の容積係数 (約 0. 003m ³ /m ³)	0. 003 m ³ /m ³
ρ : CO ₂ 密度 (1. 976kg/m ³ 標準状態)	0. 001976 ton/m ³
地中貯留量	386 万 ton

堆積層 9

Sf : 貯留率 (50%)	0. 5
A : 面積	2, 780, 276 m ²
h : 有効層厚	60 m
ϕ : 孔隙率	0. 281
Sg : 超臨界 CO ₂ 飽和度 (50%)	0. 5
BgCO ₂ : 超臨界 CO ₂ の容積係数 (約 0. 003m ³ /m ³)	0. 003 m ³ /m ³
ρ : CO ₂ 密度 (1. 976kg/m ³ 標準状態)	0. 001976 ton/m ³
地中貯留量	772 万 ton

地中貯留量 (萌別層全体)	1, 415 万 ton
----------------------	---------------------

⑦ 期間内計画圧入量が適切であることの確認

7) 収容量

予測される CO₂ の貯留領域の貯留層の収容量は、少なくとも 1, 725 万トン以上と推定される。

4) 期間内推定圧入可能量

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。

ウ) 期間内計画圧入量

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。

以上より、萌別層について「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。

5. 海底下廃棄をする海域の海洋環境の特徴に係る事項

海底下廃棄をする海域の海洋環境の特徴は、添付書類-1「特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄をすることが海洋環境に及ぼす影響についての調査の結果に基づく事前評価に関する事項を記載した書類」（海底下廃棄事前評価書）において記載した内容から、次のようにまとめることができる。

- ・対象海域は、水深 6～42m、海底は砂泥質の緩傾斜面で、一部に砂礫域がある。水塊構造としては、夏季を中心として鉛直的な成層が形成されて明瞭な温度躍層がみられる。この成層構造は、冬季を中心として鉛直混合が起こると解消される。また、この海域は、親潮と津軽暖流の勢力の季節的变化の影響下にある。これらに加えて、冬季には低温、低塩分の沿岸親潮の影響や、春季には雪解けによる流入河川水の増加の影響が認められる。
- ・海水の温度、塩分、溶存酸素等の分布や、プランクトンの出現状況は、水塊構造の季節変化を反映したものとなる。
- ・底生生物の出現状況には、ほとんど季節性が認められず、調査測点の水深や底質の状況を反映したものとなる。海藻草類については、人工構造物等に数種の海藻が着生しているが、漁獲はされていない。魚等の遊泳動物では、魚類、水産動物、貝類、海棲哺乳類の生息があり、漁獲対象となっている種類が含まれている。
- ・脆弱な生態系および特殊な生態系としては、調査海域近傍の厚真川河口に干潟がみられるが、藻場やサンゴ群落、熱水生態系等は確認されていない。
- ・調査海域および近傍海域における海域利用としては、漁業や海上交通としての利用があり、漁場や港湾区域が設定され、中長距離フェリーや RORO 船、コンテナ船等の航路がある。

当該海域では、海底下廃棄した特定二酸化炭素は基本的に漏出しないと結論したが、添付書類-1において漏出させるシナリオを設定し、海洋環境への影響を検討した。この結果、万が一の漏出が起こった場合でも、生物影響は極めて軽微であると評価できた。