

## (6) 総合評価

### ① 滝ノ上層評価のまとめ

滝ノ上層について行った貯留層および遮蔽層の評価ならびにCO<sub>2</sub>挙動予測シミュレーションの結果を以下の記述および表 3.1-2 にまとめる。

- 1) 滝ノ上層は、上部の火山岩・凝灰岩からなる滝ノ上層T1部層と下部の泥岩層からなる。本層の圧入対象層は、溶岩～凝灰角礫岩相と凝灰岩相とに大別され、凝灰岩相では、貯留層としてそれほど良好な性状は期待できないが、溶岩～凝灰角礫岩相では良好な性状が期待できる。
- 2) 滝ノ上層T1部層の上位には、主に泥岩からなる層厚約1,100mの振老層および平取+軽舞層が分布する。調査データから、苫小牧沖構造の西翼を通る断層が存在するものの、振老層および平取+軽舞層は良好な遮蔽性能を有する地層であると期待できる。
- 3) 貯留層の性能、遮蔽層の健全性を評価するため、25万トン/年×3年間のCO<sub>2</sub>を圧入し、圧入終了後997年間（圧入開始から1,000年間）のCO<sub>2</sub>挙動を予測するシミュレーション実施した。シミュレーションの結果をまとめると、以下の通りである。
  - ・作成した50個の貯留層モデルの全てにおいて25万トン/年×3年間の圧入は可能であった。
  - ・気相CO<sub>2</sub>の拡がり（圧入終了時点で、圧入井から水平にP10モデルで約600m程度、P50モデルで450m程度、P90モデルで約400m程度）であった。
  - ・溶解CO<sub>2</sub>の拡がり（圧入終了時点で、P10モデルで約800m程度、P50モデルで700m程度、P90モデルで約500m程度）であった。
  - ・3つのモデルでは遮蔽層（振老層、平取+軽舞層）へのCO<sub>2</sub>の到達は、圧入開始から1,000年後においても確認されなかった。
- 4) 滝ノ上層は堆積岩と比較して不均質性・異方性が高く、掘削後の解析結果から苫小牧CCS-1を掘削した領域は滝ノ上層の高AI（低孔隙率、低浸透率）領域であることが判った。今後、滝ノ上層の低AI（高孔隙率、高浸透率）領域に掘削すれば、十分な圧入性能を確認できると考えられる。

### ② 総合評価

滝ノ上層への25万トン/年×3年間のCO<sub>2</sub>圧入を行った場合、滝ノ上層へのCO<sub>2</sub>の圧入は可能であり、遮蔽層（振老層、平取+軽舞層）へのCO<sub>2</sub>の拡がりはないと評価する。

表 3.1-2 滝ノ上層 T1 部層貯留層総合評価のまとめ

項目		
貯留層	構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>●北西-南南東に延びる背斜構造(苫小牧沖構造)の北東翼部。</li> <li>●圧入想定ポイントから2km程度西側に滝ノ上層下位から荷菜層に達する断層の存在が推定される。</li> </ul>
	対象深度・層厚	●垂直深度:約2,400~3,000m ●層厚:約600m
貯留層	岩相	●溶岩～凝灰角礫岩、凝灰岩
	物性	圧入対象岩相は滝ノ上層T1部層下部の溶岩～凝灰角礫岩相で孔隙率・浸透率が高いことが期待される岩相。
		●孔隙率:5~18%(苫小牧CCS-1コア試験:封圧下)、孔隙率:3~19%(周辺坑井のコア試験:封圧下)
		●浸透率:0.68~1.18mD(苫小牧CCS-1圧入テスト解析結果)
		●浸透率:0.001~0.01mD(苫小牧CCS-1コア試験:封圧下、空気)
圧入・貯留性能	●浸透率:0.002~7mD(周辺坑井のコア試験:封圧下)	
	●浸透率:0.01mD~2.6D(坑井Aでの物理換層解析結果)	
遮蔽層	圧入・貯留性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>●【貯留層評価】3Dデータなどの解析で良好と想定している岩相を調査井(苫小牧CCS-1)では未確認。</li> <li>●【シミュレーション】貯留性能が良好な岩相に圧入することで、25万トン/年×3年圧入可能。</li> </ul>
	岩相	●泥岩(振老層～平取+軽舞層)
	層厚	●層厚:約1,100m
	物性	●孔隙率:12.4~18.0%(苫小牧CCS-1コア試験:封圧下)
		●浸透率:8.2×10 <sup>-6</sup> ~36.7×10 <sup>-6</sup> mD(苫小牧CCS-1コア試験:水浸透率)
●スレシヨルド圧力:1.29~12.3 <sup>**</sup> MPa以上(苫小牧CCS-1コア試験:N <sub>2</sub> -水系残差圧力法)		
●スレシヨルド圧力:11.72MPa <sup>**</sup> 以上(苫小牧CCS-1コア試験:CO <sub>2</sub> -水系段階昇圧法)		
●ブレイクスルーしなかった。		
●リークオフ圧力:45.3MPa(等価泥水比重:1.96)(振老層(苫小牧CCS-1)2,352m)		
遮蔽性能	●【シミュレーション】遮蔽層へのCO <sub>2</sub> の到達は確認されなかった。	
坑井掘削難易度	●大深度の高傾斜井となる。	
圧入後CO <sub>2</sub> の挙動(シミュレーション結果)	<ul style="list-style-type: none"> <li>●(3年圧入後)気相CO<sub>2</sub>の拡がりは400m×600m程度。溶解CO<sub>2</sub>は550m×700m程度(P50モデル)。</li> <li>●圧入終了後は地層水への溶解等による下方への移動が認められる。</li> <li>●200年程度で、気相CO<sub>2</sub>の拡がりに変化は見られなくなる。</li> </ul>	

### 3.1.2 萌別層評価結果

#### (1) 貯留層評価

2.8.1で記載のとおり、萌別層砂岩層は、沖合に前進しながら陸棚に堆積したファンデルタからなり、砂岩を主体とし、砂礫岩、シルト岩を伴う。緩やかな西傾斜を示し、層厚は約100mである。

萌別層砂岩層は、比較的浅い海底で堆積した砂岩であると考えられる。シーケンス層序学でいう高海水準期堆積体(HST)に相当し、ファンデルタ・陸棚(Shelf)・斜面(Slope)の3つに分類できる。少なくとも5つファンデルタが北東から南西へ向かって前進して堆積したと解釈した。ファンデルタは北東部を中心に発達し、砂礫岩層は堆積物供給源である北東側がより粗粒で、南西に向かって細粒になる傾向にあると推定した。

以上のことから、ファンデルタと解釈した北東部に存在する砂礫岩層が圧入対象となり得ると考えられる。

#### (2) 遮蔽層評価

2.8.2で記載のとおり、萌別層泥岩層は、層厚約200mのシルト岩～泥岩からなる。微化石分析による堆積環境解析により、水深数10～数100mの比較的深い海底で安定的に堆積したと推定される。周辺坑井間で対比できることから、貯留対象領域を覆う領域で十分な厚さが分布する。コア試験結果からは水浸透率が $0.80 \times 10^{-3}$ ～ $1.73 \times 10^{-3}$ md、スレシヨルド圧力が0.75MPa、1.65MPa、1.67MPaの結果が得られている。

また、調査井における萌別層泥岩層下部でのリークオフテスト結果から、等価泥水比重で1.50の強度を確認している。

以上の結果から、萌別層泥岩層は良好な遮蔽性能を有すると考えられる。

#### (3) シミュレーション概要

##### ① 概要

シミュレータとしてGEM(ver.2010.12)を使用し、CO<sub>2</sub>挙動予測シミュレーションを実施した。シミュレーションで考慮した貯留メカニズムは、泥岩の毛管圧力と低浸透性による物理的トラッピング、ガス相対浸透率のヒステリシスによる残留CO<sub>2</sub>トラッピング、CO<sub>2</sub>の地層水への溶解による溶解トラッピングである。

第2章にて作成した属性モデルにおいて分類した堆積相区分について、シミュレーションモデルでは以下の通り大きく2種類に整理し、それぞれに岩相を設定した。

砂岩：堆積相区分4・8・9

泥岩：堆積相区分1・2・3・5・6・7・10

CO<sub>2</sub>圧入井（圧入位置）は、萌別層砂岩層を対象としたAIバージョン結果を基に、貯留CO<sub>2</sub>の拡がり三次元弾性波探査の範囲内に留まるようにすることも考慮して、想定する陸上基地からの掘削方位を設定し、仕上げ区間は圧入井の萌別層砂岩層にあたる全区間とした。また、萌別層砂岩層における坑井の最終坑径を8.5インチ（半径0.10795m）、チュービング径を3.5インチ（内半径0.038m）とした。

圧入時に許容される最大坑底圧力については、苫小牧CCS-2の萌別層泥岩層下部のリークオフ圧力が等価泥水比重で1.50であるので、貯留層上限深度でのリークオフ圧力を計算し、その90%を最大坑底圧力とした。すなわち、CO<sub>2</sub>圧入井において、グリッドモデルでの貯留層最上位での垂直深度が1,011.93mであることからリークオフ圧力を求め、この90%（13,410kPa）をCO<sub>2</sub>圧入時に許容される最大坑底圧力とした。

シミュレーションでは、CO<sub>2</sub>の圧入目標量を25万トン/年×3年として、表3.1-4で示す各ケースに対してシミュレーションを実施した。

② パラメータ

シミュレーションパラメータは苫小牧CCS-1および苫小牧CCS-2で得られたデータ（圧入テスト、コア分析値、物理検層測定値等）および文献値により表3.1-3に示す値を用いた。

表 3.1-3 萌別層砂岩層 シミュレーションパラメータ

モデル	萌別層砂岩層 2011 モデル	
サイズ	8km×15km×1,500m	
グリッド	40×75×43 Grid	
アクティブ・ブロック数	97,024	
基準温度	44.78°C (1,046.835 mVD)	
基準圧力	10,669.4kPa (1,046.835mVD)	
CO <sub>2</sub> 圧入レート、圧入期間	250,000 トン/年×3 年	
圧入圧力上限	13,410kPa	
帯水層容積 (面積×層厚×孔隙率)	49×10 <sup>9</sup> Rm <sup>3</sup>	
<b>岩石性状</b>	<b>砂岩</b>	<b>泥岩</b>
平均孔隙率	0.281	0.342
平均浸透率 (mD)	17.0	0.00173
圧縮率 (kPa <sup>-1</sup> )	1.532×10 <sup>-6</sup> 測定値	
塩分濃度 (ppm NaCl)	18,000 (Cl <sup>-</sup> =10,350mg/L)	
<b>相対浸透率</b>	<b>砂岩</b>	<b>泥岩</b>
気相 相対浸透率 Krg	測定値	Corey (1954) <sup>1)</sup>
液相 相対浸透率 Krw	測定値	van Genuchten (1980) <sup>2)</sup>
臨界ガス飽和率 Sgc	0.05	0.05
不動水飽和率 Swir	0.49 測定値	0.638 Bennion (2007) <sup>3)</sup>
最大残留ガス飽和率 Sgrmax	0.275 Holtz (2002) <sup>4)</sup>	—
<b>毛細管圧力</b>	<b>砂岩</b>	<b>泥岩</b>
	van Genuchten (1980) <sup>2)</sup>	
Pc (kPa)	4.04	750

## 【参考文献】

- 1) Corey, A. T., 1954. The Interrelation between gas and oil relative permeabilities: *Producers Monthly*, November, 38-41.
- 2) van Genuchten, M. Th., 1980 A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of undersaturated soils: *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 892-898.
- 3) Bennion, D.B., 2007. Permeability and Relative Permeability Measurements at Reservoir Conditions for CO<sub>2</sub>-Water Systems in Ultra Low Permeability Confining Caprocks: *paper SPE 106995-MS*.
- 4) Holtz, M. H., 2002. Residual Gas Saturation to Aquifer Influx : A Calculation Method for 3-D Computer Reservoir Model Construction: *paper SPE 75502*.

## ③ ケーススタディ

以下のケーススタディを実施し、各パラメータがシミュレーションの結果に与える影響を検討した。各ケースの概要を表 3. 1-4 にまとめる。

## a ベースケース (表 3. 1-4 におけるケース①)

水平浸透率は苫小牧 C C S - 1 圧入テストにおける圧力解析結果 (No. 3 圧入テスト : 25ml, No. 3a 圧入テスト : 9ml) の平均値  $k_w = 17\text{mD}$  をベースケースにおける水平浸透率 ( $k_h$ ) として設定した。垂直浸透率は水平浸透率の 1/10 ( $k_v/k_h = 0.1$ ) として設定した。

## b 砂岩層の浸透率の影響 (表 3. 1-4 におけるケース②~④)

砂岩の浸透率 (水平浸透率) について浸透率に振幅があった場合の圧入挙動について把握することを目的として、ベースケースに対して、高浸透率ケース ( $k_h = 25\text{mD}$ ) および低浸透率ケース ( $k_h = 9\text{mD}$ ) として検討した。

水平浸透率/垂直浸透率 ( $k_v/k_h$ ) 比についても、ベースケースの 0.1 に対して圧入テストにおける解析結果の平均値 ( $k_v/k_h = 0.675$  :  $k_v = 11.475\text{mD}$ ) を与えることでその影響について検討した。

## c 遮蔽層性状の影響 (表 3. 1-4 におけるケース⑤)

遮蔽層性状が劣る場合の CO<sub>2</sub> 挙動を把握することを目的として、苫小牧 C C S - 2 コア試料の残差圧力測定 (N<sub>2</sub>-水系) で正しい測定ができなかった試料の測定値 (著しく低い測定値) を使用し、水浸透率がベースケースより高く ( $k_w = 7 \times 10^{-3}\text{mD}$ )、スレシヨルド圧力が極端に低い ( $P_c(\text{CO}_2) = 0.012\text{MPa}$  (水-N<sub>2</sub>系スレシヨルド圧力 :  $P_c(\text{N}_2)$  系 = 0.028MPa から換算)) ケースを想定して検討した。

## d 萌別層砂岩層上限の変更 (表 3. 1-4 におけるケース⑥)

図 2. 8-4 に示すように、ベースケースにおいて堆積相区分 5 (萌別層下部 T S T - 陸側下部) については、堆積相解釈において対象地域全体に広がっていると仮定しているため、本来、砂礫岩層である堆積相区分 4 に CO<sub>2</sub> は移動することはない。しかしながら、もし何らかの理由で堆積相区分 4 にも CO<sub>2</sub> が貯留された場合にどのような挙動を見せるかを

把握するために、堆積相区分4のトップが萌別層砂岩層トップとなるように本来は泥岩からなる堆積相区分5に砂岩のパラメータを設定したシミュレーションを実施した。

ただし、堆積相区分4、5は圧入対象とはしないため、パーフォレーションを設定せず、圧入圧力の上限もベースケースなど他のケースと同様にした。

e 帯水層容積の影響（表3.1-4におけるケース⑦）

周辺部を含めた既存地質データから、萌別層砂岩層は、地質モデル構築範囲外側への拡がりが確認されている。ケース①～⑥では、外側の帯水層容積についても外周部セルの孔隙容積に反映させている。ケース⑦では帯水層容積を、貯留層の分布域が3Dデータの範囲内に限られるケース（シミュレーションモデルの外周グリッドのVolume Modifyを行わない）を想定した。

表 3.1-4 ケーススタディにおいて使用した各岩相に与えたパラメータ

ケース名	砂岩相				泥岩相				帯水層容積 ( $Rm^3$ )
	水平浸透率 (mD)	垂直浸透率 (mD)	垂直浸透率/ 水平浸透率	堆積相	水平浸透率 (mD)	垂直浸透率 (mD)	スリット圧力 (MPa)	堆積相	
	①ベースケース	17	1.7	0.1	4.8.9	0.00173	0.00173	0.75	
②低浸透率	9	0.9	0.1	4.8.9	0.00173	0.00173	0.75	1.2.3.5.6.7.10	$49 \times 10^9$
③高浸透率	25	2.5	0.1	4.8.9	0.00173	0.00173	0.75	1.2.3.5.6.7.10	$49 \times 10^9$
④高kv/kh	17	11.475	0.675	4.8.9	0.00173	0.00173	0.75	1.2.3.5.6.7.10	$49 \times 10^9$
⑤遮蔽性能(低)	17	1.7	0.1	4.8.9	0.007	0.007	0.012	1.2.3.5.6.7.10	$49 \times 10^9$
⑥前別層砂岩層上限変更	17	1.7	0.1	4.5.8.9	0.00173	0.00173	0.75	1.2.3.6.7.10	$49 \times 10^9$
⑦帯水層容積(小)	17	1.7	0.1	4.8.9	0.00173	0.00173	0.75	1.2.3.5.6.7.10	$3 \times 10^9$



#### (4) シミュレーションによるCO<sub>2</sub>の圧入挙動

上述の7ケースについて25万トン/年の圧入レートで3年間(75万トン)の挙動予測シミュレーションを行ったところ、ベースケースおよび高浸透率ケースにおいて25万トン/年×3年間の圧入が可能であることを確認した。

低浸透率ケースでは、圧入開始後、坑底圧力(貯留層上限深度での坑内圧力)がすぐに圧入圧力の上限(約13.4MPa)に達することから、圧入レートを14~16万トン/年に減少せざるをえなくなり、その結果、累計圧入量が45.2万トンであった。

以上の通り、貯留可能量に影響を与える要因が水平浸透率であることから、本項では水平浸透率が異なるケースのCO<sub>2</sub>圧入挙動について述べる。

##### ① CO<sub>2</sub>圧入時の挙動

###### a ベースケース

図3.1-18にベースケースにおける坑底圧力、圧入レートおよび累計圧入量の時間的変化を示す。想定圧入レートおよび期間である25万トン/年の圧入レートで3年間(累計圧入量75万トン)CO<sub>2</sub>を圧入可能であることを確認した。ベースケースでは、坑底圧力が、圧入圧力上限(13.4MPa)以下で圧入することができ、圧入終了時点での坑底圧力は13.2MPaとなった。圧入終了後に坑内圧力は大きく低下し、圧入終了5年後には10.6MPaとなり、以後ゆっくりと圧入前の地層圧(10.3MPa)に近づいていく結果が得られた。

###### b 低浸透率ケース

図3.1-19に低浸透率ケースにおける坑底圧力、圧入レートおよび累計圧入量の時間的変化を示す。低浸透率ケースでは、圧入開始後すぐに坑底圧が圧入圧力上限(13.4MPa)に達して、圧入レートが11~16万トン/年、累計圧入量が45.2万トンとなった。ベースケースと同様に圧入終了後に坑底圧力は大きく低下し、圧入終了5年後には10.7MPa程度となり、以後ゆっくりと圧入前の圧力(10.3MPa)に近づいていく結果が得られた。

###### c 高浸透率ケース

図3.1-20に高浸透率ケースにおける坑底圧力、圧入レートおよび累計圧入量の時間的変化を示す。想定圧入レートおよび期間である25万トン/年の圧入レートで3年間(累計圧入量75万トン)CO<sub>2</sub>を圧入可能であることを確認した。高浸透率ケースでは坑底圧力が、圧入圧力上限(13.4MPa)以下の圧力で圧入することができ、圧入終了時点では12.5MPaとなった。他のケースと同様に坑底圧力は圧入終了後に圧力は大きく低下し、圧入終了5年後には10.6MPa程度となり、以後ゆっくりと圧入前の圧力(10.3MPa)に近づいていく結果が得られた。

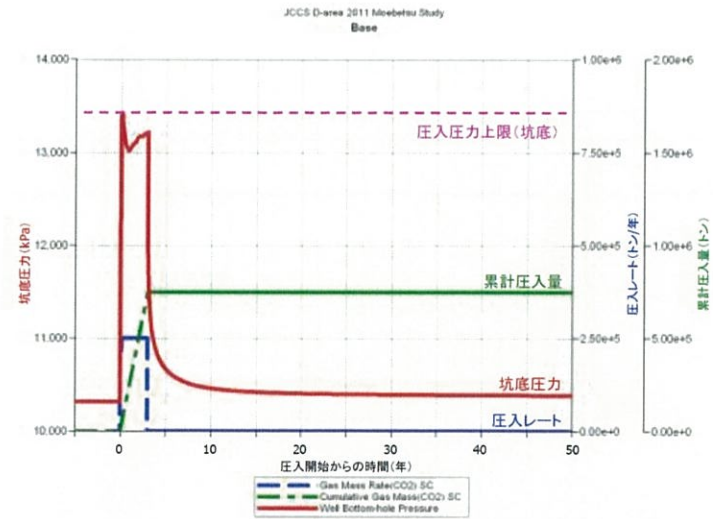


図 3.1-18 ベースケースにおける坑底圧力の時間（年）的变化

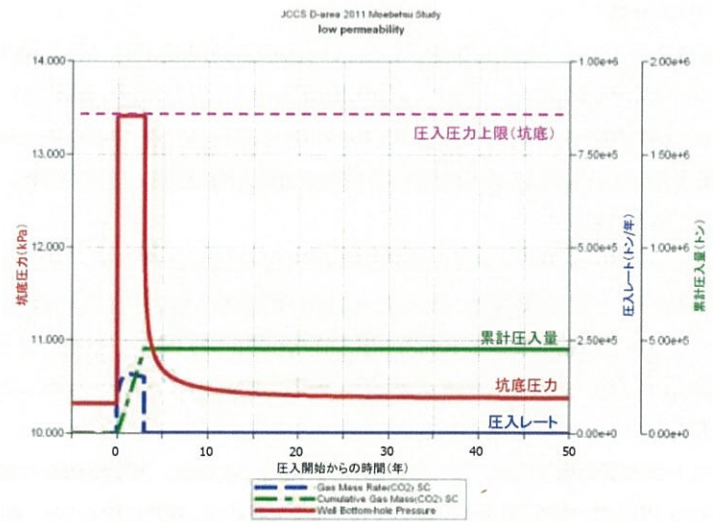


図 3.1-19 低浸透率ケースにおける坑底圧力の時間（年）的变化

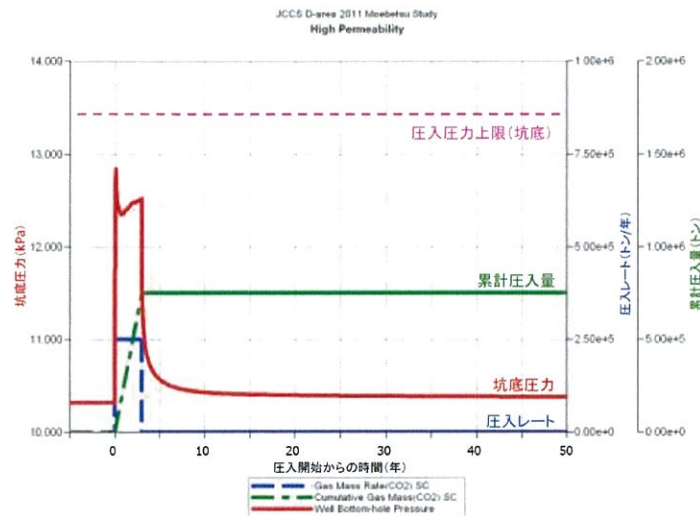


図 3.1-20 高浸透率ケースにおける坑底圧力の時間（年）的变化

② 貯留層の圧力分布

a ベースケース

図 3.1-21 にベースケースにおける圧入終了時点の圧力分布を示す。南北に約 800m、東西約 800m の範囲に 1,000kPa（圧入前の地層圧の約 10%）以上に上昇した領域が、南北に約 6km、東西約 6km の範囲に 100kPa（圧入前の地層圧の約 1%）以上に圧力が上昇した領域が確認された。しかし、20 年後までには前述の圧力上昇は見られなくなった。

b 低浸透率ケース

図 3.1-22 に低浸透率ケースにおける圧入終了時点の圧力分布を示す。南北に約 600m、東西約 400m の範囲に 1,000kPa（圧入前の地層圧の約 10%）以上に上昇した領域が、南北に約 4km、東西約 4km の範囲に 100kPa（圧入前の地層圧の約 1%）以上に圧力が上昇した領域が確認された。しかし、20 年後までには前述の圧力上昇は見られなくなった。

c 高浸透率ケース

図 3.1-23 に圧入終了時点の圧力分布を示す。南北に約 800m、東西約 800m の範囲に 1,000kPa（圧入前の地層圧の約 10%）以上に上昇した領域が、南北に約 6.5km、東西約 4km の範囲に 100kPa（圧入前の地層圧の約 1%）以上に圧力が上昇した領域が確認された。しかし、20 年後までには前述の圧力上昇は見られなくなった。

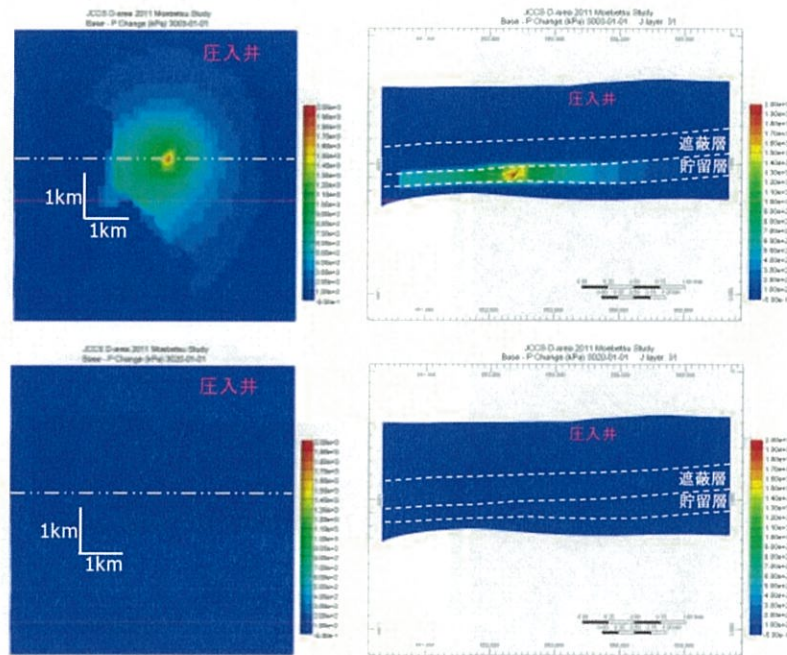


図 3.1-21 CO<sub>2</sub> 圧入前からの圧力変化量 (単位: kPa) の推移 (ベースケース)  
 (上: 3 年後 下: 20 年後)  
 (左: 平面分布 (k 方向セル 28) 右: 東西断面 (位置は平面分布の点線の位置))

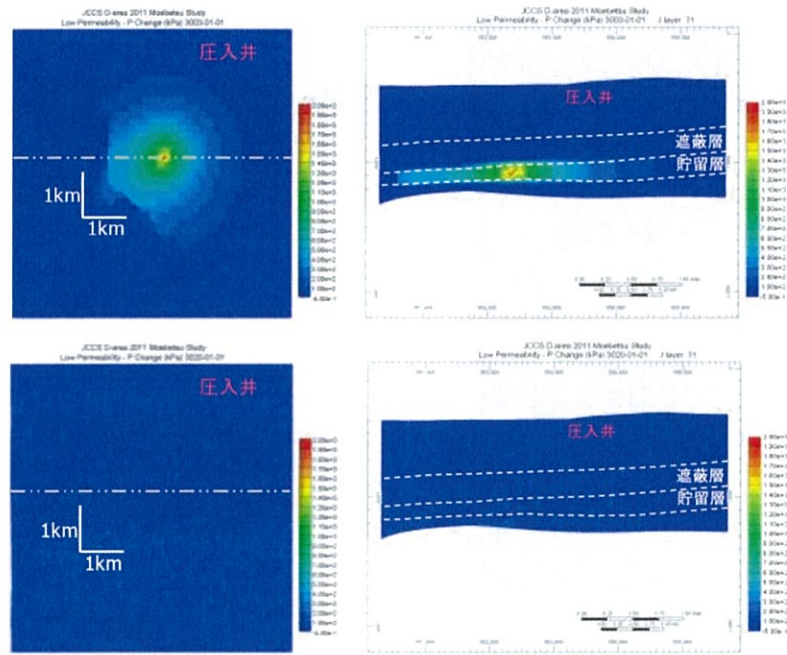


図 3.1-22 CO<sub>2</sub> 圧入前からの圧力変化量 (単位: kPa) の推移 (低浸透率ケース)  
 (上: 3年後 下: 20年後)  
 (左: 平面分布 (k 方向セル 28) 右: 東西断面 (位置は平面分布の点線的位置))

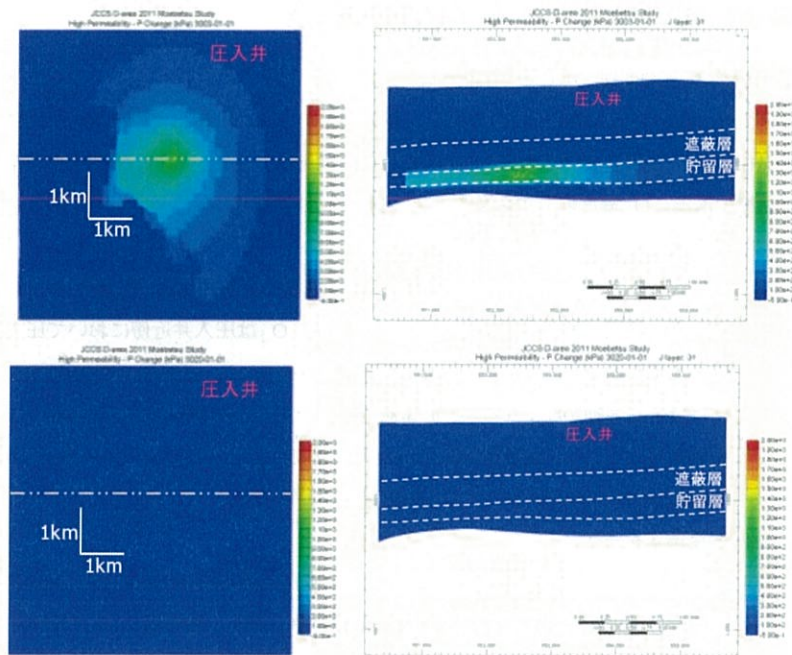


図 3.1-23 CO<sub>2</sub> 圧入前からの圧力変化量 (単位: kPa) の推移 (高浸透率ケース)  
 (上: 3年後 下: 20年後)  
 (左: 平面分布 (k 方向セル 28) 右: 東西断面 (位置は平面分布の点線的位置))

(5) シミュレーションによる貯留CO<sub>2</sub>の長期挙動予測① 圧入に伴う貯留層内のCO<sub>2</sub>分布予測

圧入終了時点（圧入開始から3年後）、圧入開始から200年後および1,000年後における気相のCO<sub>2</sub>飽和率分布を図3.1-24～図3.1-26に示す。また、CO<sub>2</sub>が地層水に溶解した状態の溶解CO<sub>2</sub>濃度の分布を図3.1-27～図3.1-29に示す。

## a ベースケース

気相CO<sub>2</sub>は圧入井近傍において圧入終了直後で東西約400m、南北約600mに飽和率の高い範囲が広がっている。同様に、溶解CO<sub>2</sub>は圧入井近傍において圧入終了直後で東西約400m、南北約600mの範囲に広がっている。その後、CO<sub>2</sub>は水平方向にはほとんど動かなくなるが、貯留層内での上方への移動があり、遮蔽層下限までの移動が見られる。20年後以降、1,000年後まではほとんど動かなかった。一方で、溶解CO<sub>2</sub>は1,000年後まで主に垂直方向に広がった。

## b 低浸透率ケース

気相CO<sub>2</sub>は圧入井近傍において圧入終了直後で東西約200m、南北約200mに飽和率の高い範囲が広がっている。一方、溶解CO<sub>2</sub>は圧入井近傍において圧入終了直後で東西約400m、南北約600mに広がっている。その後、CO<sub>2</sub>は1,000年後までほとんど動かなかった。溶解CO<sub>2</sub>は1,000年後まで拡がり続けた。

## c 高浸透率ケース

気相CO<sub>2</sub>は圧入井近傍において圧入終了直後で東西約400m、南北約600mに飽和率の高い範囲が広がっている。一方、溶解CO<sub>2</sub>は圧入井近傍において圧入終了直後で東西約600m、南北約800mに広がっている。その後、CO<sub>2</sub>は水平方向にはほとんど動かなくなるが、貯留層内での上方への移動があり、遮蔽層下限までの移動が見られる。20年後以降、1,000年後まではほとんど動かなかった。一方で、溶解CO<sub>2</sub>は1,000年後まで主に垂直方向に広がった。

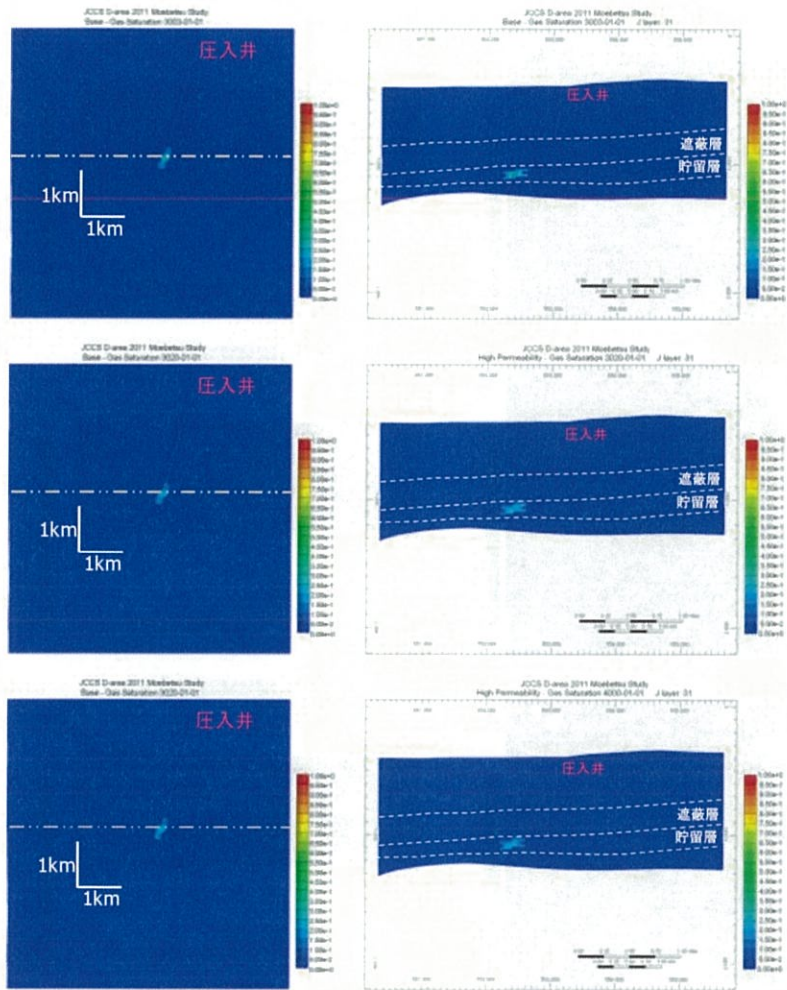


図 3.1-24 CO<sub>2</sub>飽和率の推移（ベースケース）

（上：3年後 中：20年後 下：1,000年後）

（左：平面分布（k方向セル28） 右：東西断面（位置は平面分布の点線の位置））



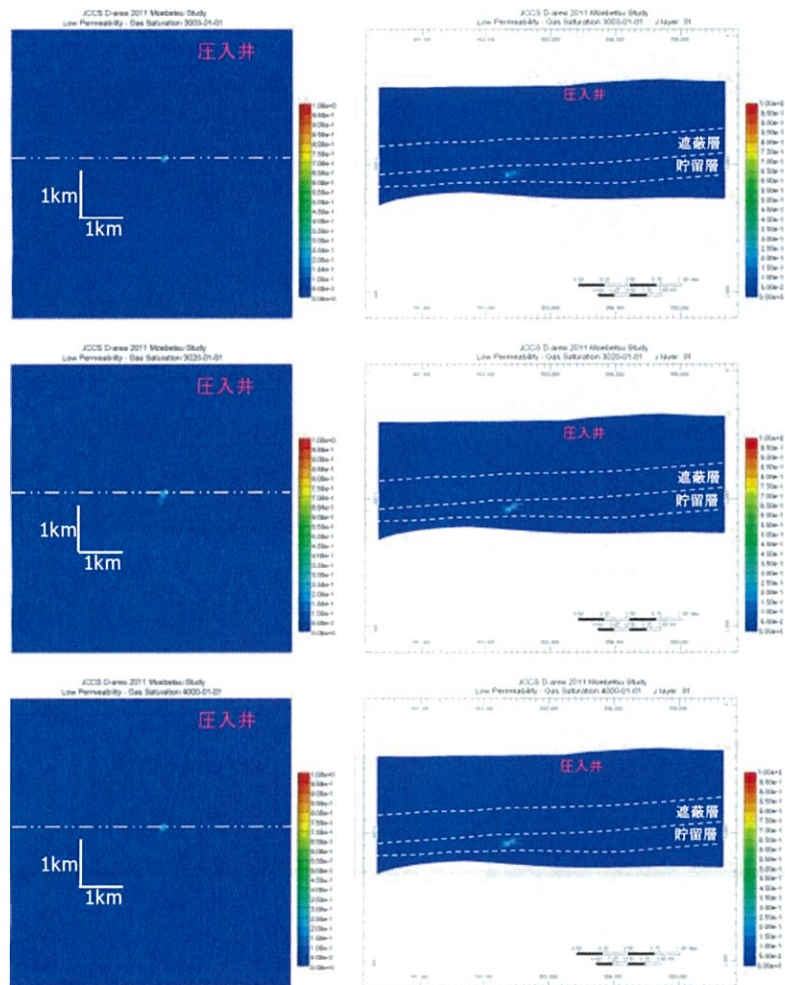


図 3.1-25 CO<sub>2</sub>飽和率の推移 (低浸透率ケース)

(上 : 3年後 中 : 20年後 下 : 1,000年後)

(左 : 平面分布 (k 方向セル 28) 右 : 東西断面 (位置は平面分布の点線の位置))

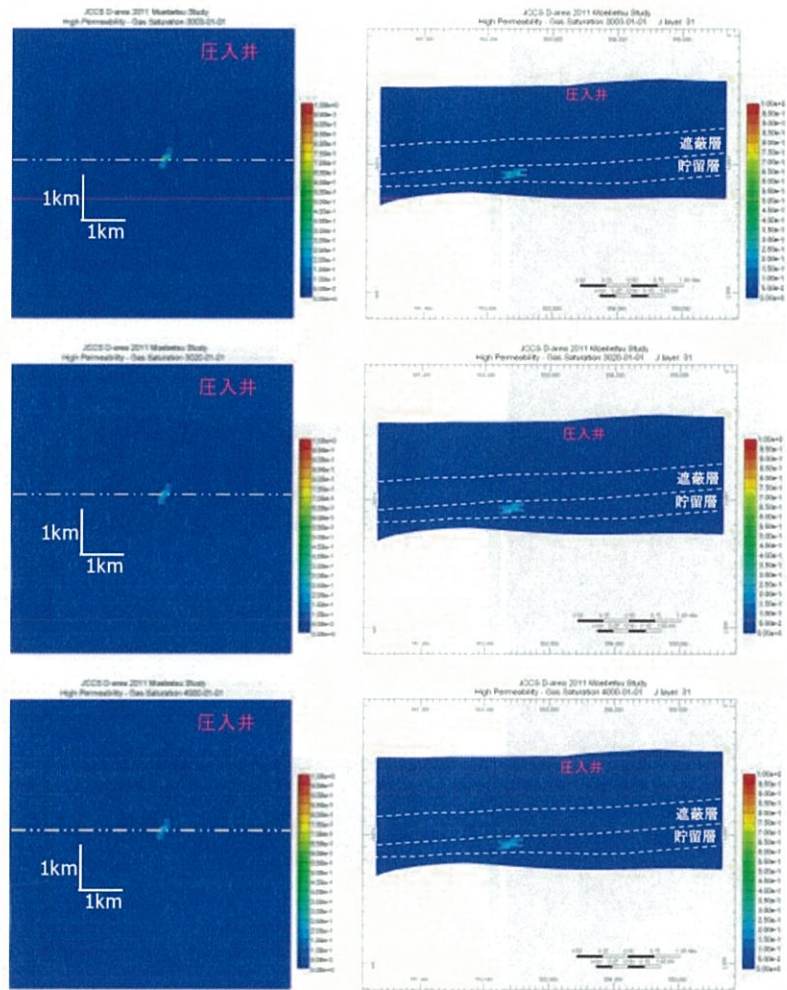


図 3.1-26 CO<sub>2</sub>飽和率の推移 (高浸透率ケース)

(上: 3年後 中: 20年後 下: 1,000年後)

(左: 平面分布 (k方向セル28) 右: 東西断面 (位置は平面分布の点線の位置))

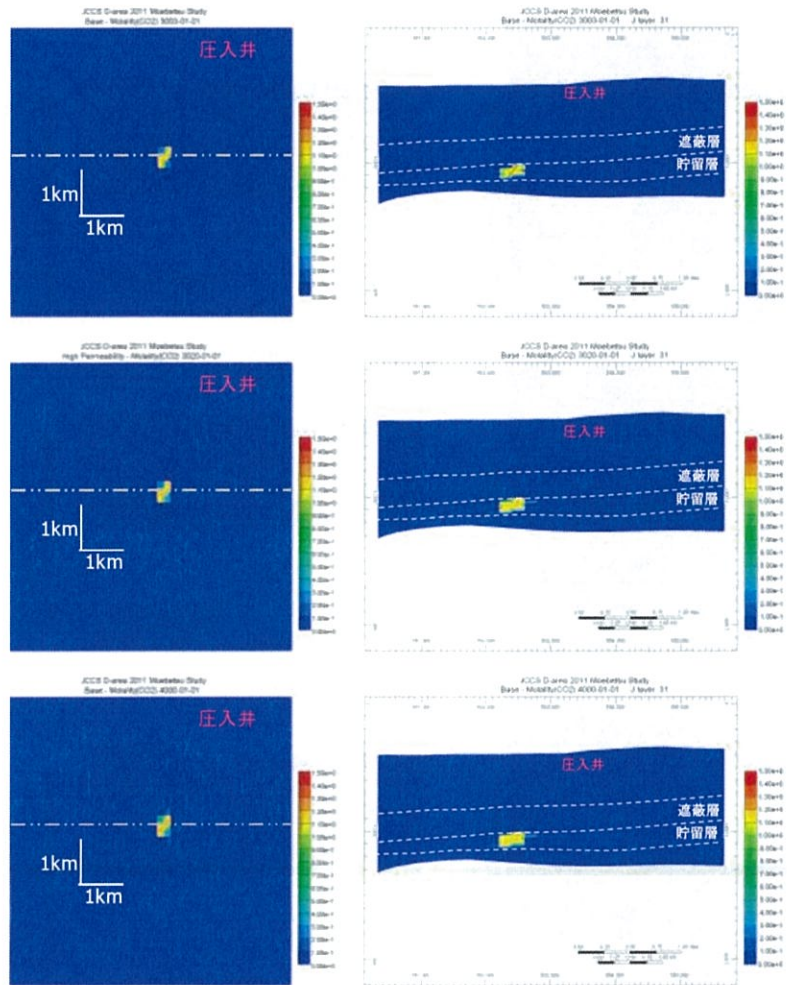


図 3.1-27 溶解CO<sub>2</sub>濃度 (単位: mol/kg) の推移 (ベースケース)  
 (上: 3年後 中: 20年後 下: 1,000年後)  
 (左: 平面分布 (k 方向セル 28) 右: 東西断面 (位置は平面分布の点線の位置))

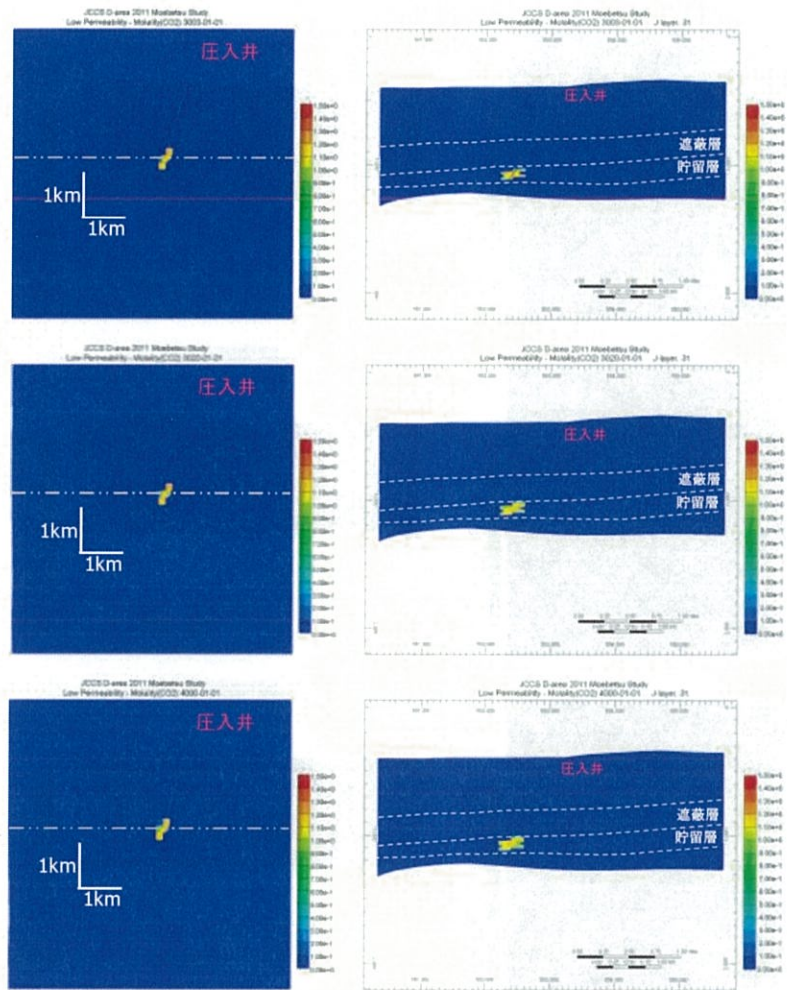


図 3.1-28 溶解CO<sub>2</sub>濃度 (単位: mol/kg) の推移 (低浸透率ケース)  
 (上: 3年後 中: 20年後 下: 1,000年後)  
 (左: 平面分布 (k方向セル28) 右: 東西断面 (位置は平面分布の点線の位置))

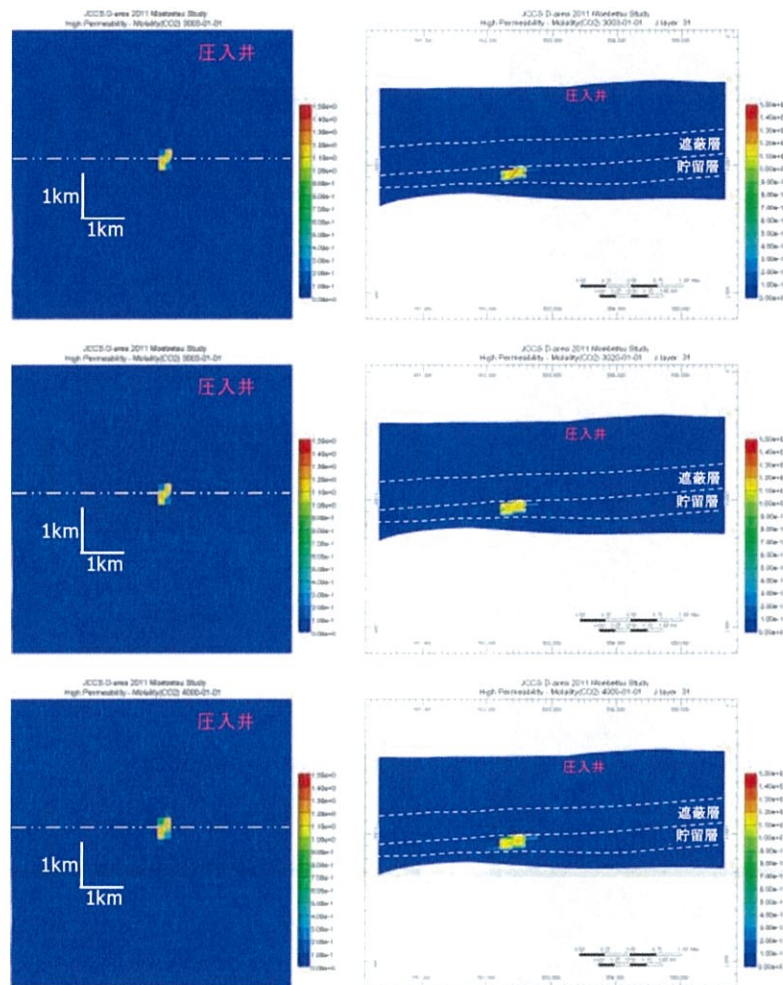


図 3.1-29 溶解CO<sub>2</sub>濃度 (単位: mol/kg) の推移 (高浸透率ケース)  
 (上: 3年後 中: 20年後 下: 1,000年後)  
 (左: 平面分布 (k方向セル28) 右: 東西断面 (位置は平面分布の点線的位置))

② 遮蔽性能検討

遮蔽性能の評価の一環として、遮蔽層と貯留層の境界付近の鉛直に並んだ3つのセルにおけるCO<sub>2</sub>飽和率と溶解CO<sub>2</sub>濃度を精査した。遮蔽層と貯留層の境界で最も圧力が高くなる箇所は圧入井が通るセルであることから、このセルを選択し、貯留層上限のセル（堆積相区分8）を貯留層C、その直上の遮蔽層下限のセル（堆積相区分5）を遮蔽層B、さらにその直上の遮蔽層のセル（堆積相区分4）を遮蔽層Aとする（上位から遮蔽層A、遮蔽層B、貯留層Cの順、図2.8-6および図3.1-30）。

コア試料の分析結果では、堆積相区分2（遮蔽層Aよりも上部の泥岩）ではスレシヨルド圧力0.75MPa、遮蔽層Bではスレシヨルド圧力1.65~1.67MPaが得られている。圧入終了時における貯留層上限での圧力（貯留層C：12.1MPa）が、圧入終了時における遮蔽層下限の圧力（遮蔽層B：10.9MPa）にスレシヨルド圧力（1.65MPa）を加えた圧力（12.55MPa）を超えていないことを確認した（図3.1-31）。

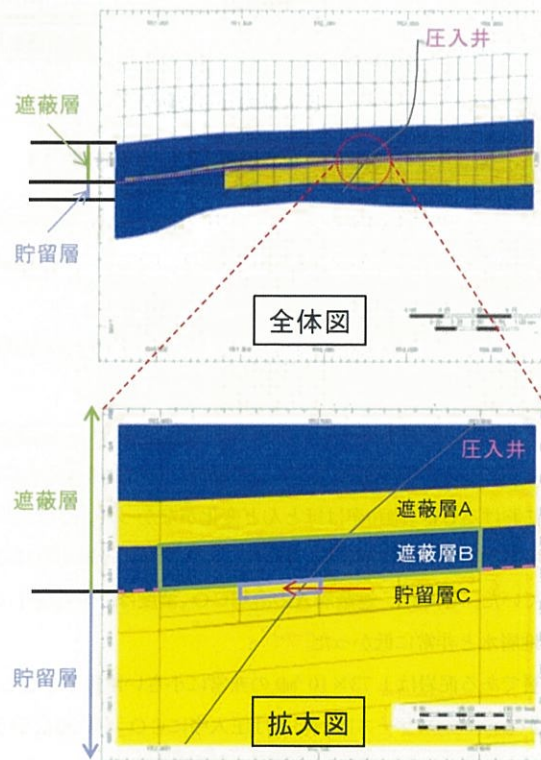


図 3.1-30 萌別層の地質モデル断面図（黄色：砂岩 青色：泥岩）

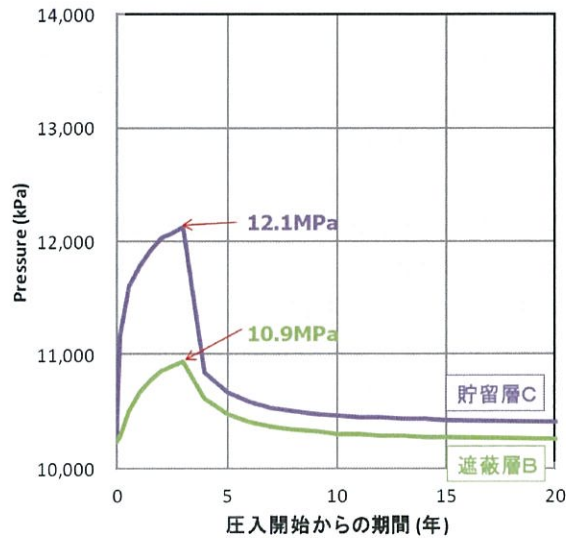


図 3. 1-31 遮蔽層Bと貯留層Cの圧力の時間変化

なお、シミュレーションにおけるスレシヨルド圧力については、より安全サイドの設定としてコア試験で得られている最低値 (0.75MPa) を採用して遮蔽性能の検討を行った。

a ベースケース

図 3. 1-32 にベースケースにおけるそれらのセルのCO<sub>2</sub>飽和率および溶解CO<sub>2</sub>濃度の時間変化を示す。

圧入中は、遮蔽層Bと貯留層Cのセルの圧力差 (約 1.2MPa) が遮蔽層Bに設定したスレシヨルド圧力 (0.75MPa) を越えるために、貯留層Cから遮蔽層BへCO<sub>2</sub>の流れがあるが、遮蔽層BにおけるCO<sub>2</sub>飽和率はほとんど変化がなかった。

一方で、遮蔽層Bにおける溶解CO<sub>2</sub>濃度は、圧入開始 1,000 年後に 0.16mol/kg-地層水だけ増加していた。さらに、遮蔽層Aの溶解CO<sub>2</sub>濃度は圧入開始 1,000 年後でも  $3.4 \times 10^{-4}$ mol/kg-地層水と非常に低かった。

また、遮蔽層である泥岩は  $1.73 \times 10^{-3}$ mD の非常に小さい浸透率を有している。

以上のことから、ベースケースにおいては圧入中にCO<sub>2</sub>が貯留層から遮蔽層へとわずかに移動するが、泥岩内の水に溶解して安定した状態となる。したがって、萌別層泥岩層は、所定量のCO<sub>2</sub>を貯留層するのに十分な遮蔽性能を有していると判断する。

## b 遮蔽性能(低) ケース (表 3.1-4 の⑤)

遮蔽層性状が劣る場合の $\text{CO}_2$ 挙動を評価した。スレシヨルド圧力を 0.012MPa、水平浸透率を  $7 \times 10^{-3} \text{mD}$  とベースケースよりも遮蔽層性状としては劣る値を設定した。

ベースケースと同様に、遮蔽層と貯留層の境界付近の鉛直に並んだ 3 つのセルにおける $\text{CO}_2$ 飽和率と溶解 $\text{CO}_2$ 濃度を精査した。図 3.1-33 にそれらのセルの $\text{CO}_2$ 飽和率および溶解 $\text{CO}_2$ 濃度の時間変化を示す。ベースケースと同様に遮蔽層 A と遮蔽層 B における $\text{CO}_2$ 飽和率はほとんど変化がなかった。

一方で、遮蔽層 B における溶解 $\text{CO}_2$ 濃度は  $0.55 \text{mol/kg}$ -地層水 (圧入開始 1,000 年後) とベースケースより多くなった。また、遮蔽層 A の溶解 $\text{CO}_2$ 濃度は圧入開始 1,000 年後で  $2.6 \times 10^{-3} \text{mol/kg}$ -地層水と非常に低かった。

以上のことから、遮蔽性能が極端に劣るケースを想定した場合でもベースケースと同様に遮蔽層内の水に溶解した $\text{CO}_2$ 濃度のわずかな上昇は認められるが、溶解して安定した状態であることがわかった。



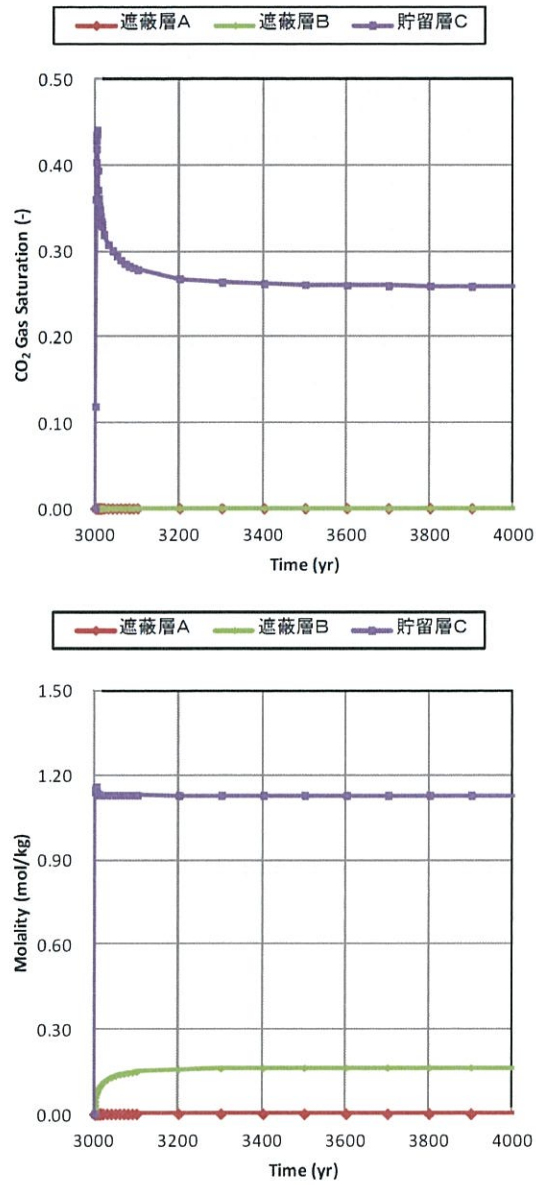


図 3.1-32 遮蔽層・貯留層境界付近でのCO<sub>2</sub>飽和率と溶解CO<sub>2</sub>濃度の時間変化  
 (ベースケース) (上: CO<sub>2</sub>飽和率 下: 溶解CO<sub>2</sub>濃度)  
 (上位から遮蔽層A、遮蔽層B、貯留層Cの順)