

注：1. 左：坑跡が通過する地点の平面図，右：その地点の南北方向の断面図。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。

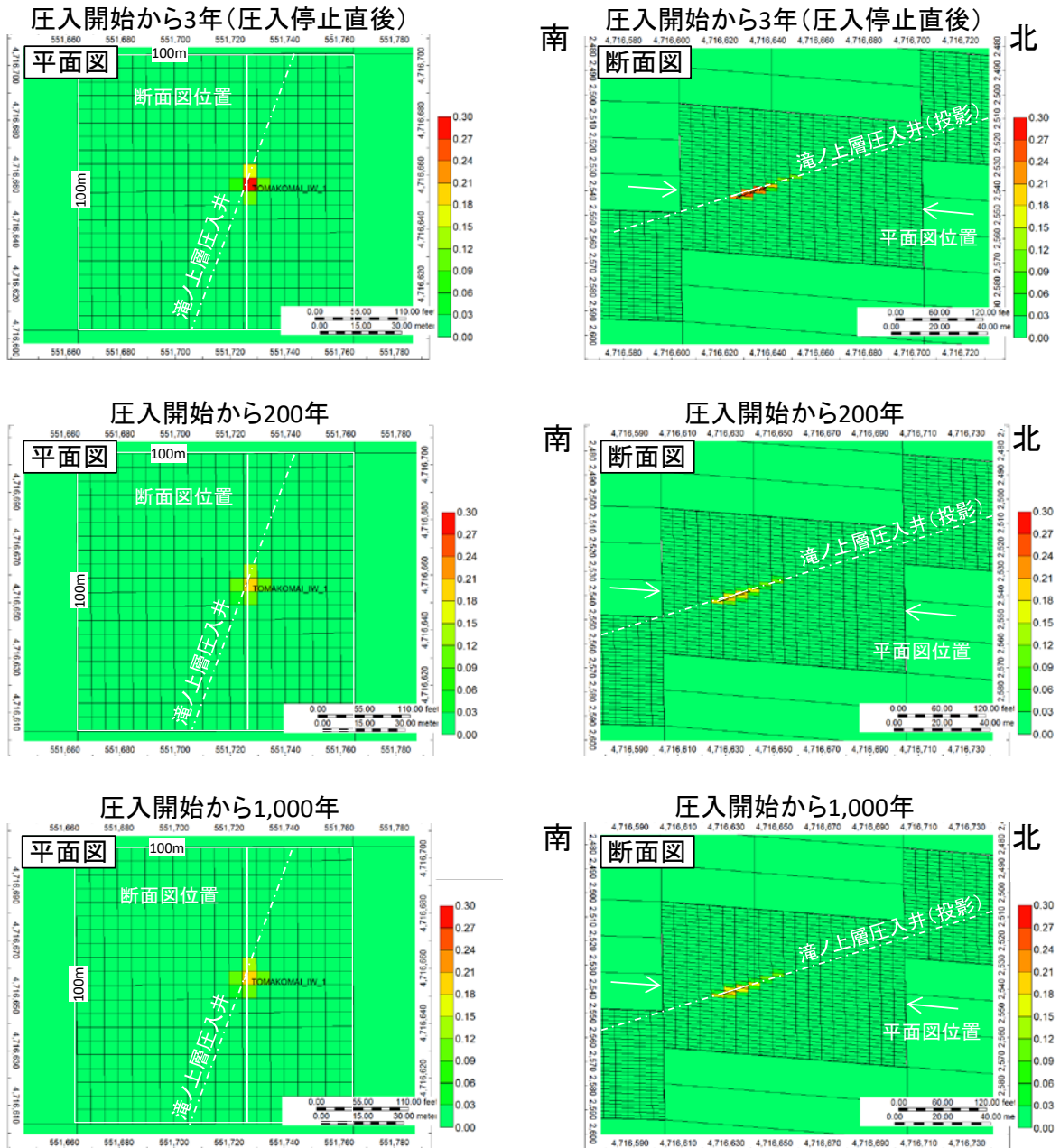
第2.2-44図 CO<sub>2</sub>圧入終了時からの圧力変化量の推移（平成27年度シミュレーション結果）

e. 圧入に伴う貯留層内のCO<sub>2</sub>分布予測（貯留CO<sub>2</sub>の長期挙動予測）

CO<sub>2</sub>飽和度の推移を，第2.2-45図に示す。

3年間のCO<sub>2</sub>圧入によりCO<sub>2</sub>が分布する範囲は，圧入井が通過するセルとそのセルに隣接するセル程度のごく狭い範囲となる。水平方向に半径10m程度，垂直方向に上下～4m程度と推定される（第2.2-45図上段）。

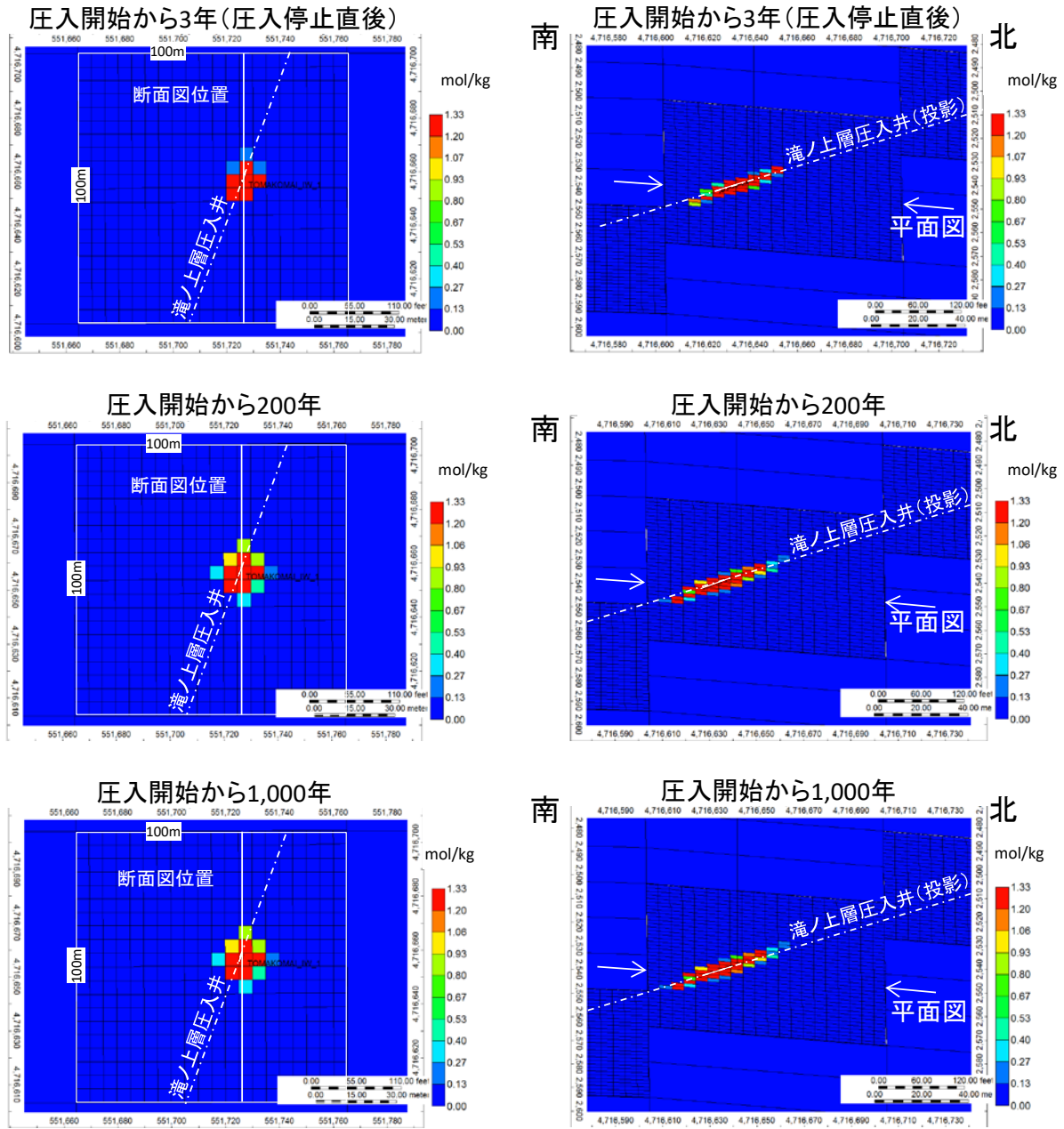
圧入停止後に CO<sub>2</sub>濃度は低下するが、圧入井周辺の CO<sub>2</sub>濃度が 20%程度となって以降はほとんど低下せず、200 年後と 1,000 年後の状況にほとんど変化はない（第 2.2-45 図の中段および下段）。



注：1. 左：坑跡が通過する地点の平面図，右：その地点の南北方向の断面図。  
 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. 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 2.2-45 図 CO<sub>2</sub>飽和度の推移（平成 27 年度シミュレーション結果）

溶解 CO<sub>2</sub>量の推移を、第 2. 2-46 図に示す。



- 注：1. 左：坑跡が通過する地点の断面図，右：その地点の南北方向の断面図。単位は、mol/kg。  
 2. 上段：圧入開始から3年後（圧入停止直後），中段：圧入から300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，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。

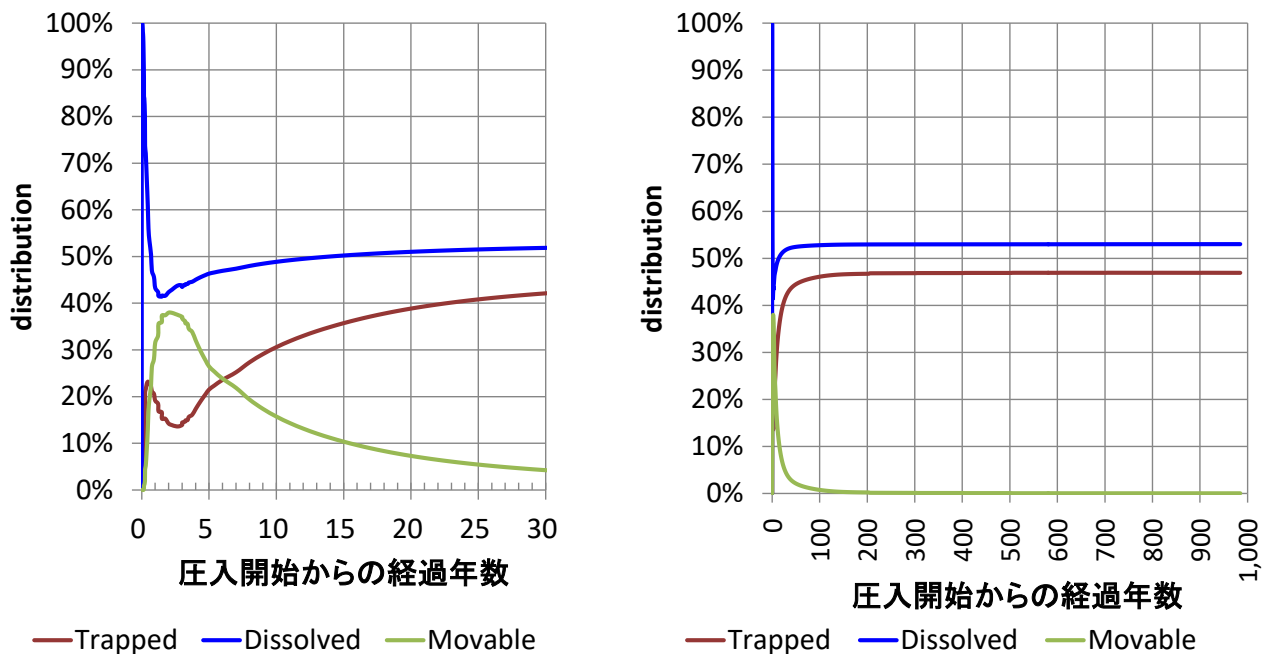
第 2. 2-46 図 溶解 CO<sub>2</sub>量の推移（平成 27 年度シミュレーション結果）

3年間の CO<sub>2</sub>圧入により溶解 CO<sub>2</sub>は，滝ノ上層圧入井が通過するセルとそのセルに隣接する1~2セル程度のごく狭い範囲に分布する。溶解 CO<sub>2</sub>量の分布は，水平方向に半径10~15m程度，垂直方向に上下4~6m程度と推定される（第 2. 2-46 図上段）。

圧入停止後にはさらに周辺の溶解 CO<sub>2</sub>量の増加域は拡大するが、水平方向に半径 15m 程度、垂直方向に 4~5m 程度の範囲に影響を与えるものと推定される。浸透性が低いために影響範囲はそれ以上拡大せず、200 年後と 1,000 年後の状況にほとんど変化はない（第 2.2-46 図の中段および下段）。

#### f. 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>）、Trapped（孔隙等に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 2.2-47 図に示す。



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

第 2.2-47 図 CO<sub>2</sub>の貯留フォーム（割合）の変化（平成 27 年度シミュレーション結果）

圧入開始初期には圧入した CO<sub>2</sub>のほとんどは溶解するが、貯留層の浸透性が低いために影響範囲が広がらず、すぐに溶解しきれなくなり、Movable CO<sub>2</sub>の割合が増加する。

圧入停止後に徐々に溶解 CO<sub>2</sub>量が増加するが、圧入停止後 50 年程度で安定する。圧入終盤より圧入井から徐々に周辺に移動した Movable CO<sub>2</sub>がトラップされ、約 200 年でその割合はほとんど 0 となる。

圧入停止から 200 年程度以降では、Movable、Dissolved および Trapped の割合は安定する。

#### ウ) 萌別層砂岩層における CO<sub>2</sub>挙動予測

##### a. 概要

シミュレータとして GEM (ver. 2010.12) を使用した。属性モデルにおいて分類した堆積相区分（第 2.2-29 図）を、以下の 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

萌別層圧入井（圧入位置）は、萌別層砂岩層を対象とした AI バージョン結果をもとに、貯留 CO<sub>2</sub>の広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（CO<sub>2</sub>圧入基地）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は、苫小牧 CCS-2 の萌別層泥岩層下部のリークオフ圧力から、予測される地層破壊圧の 90%（13,410kPa）とした<sup>注1</sup>。

#### b. 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）および文献値から設定した（第 2.2-14 表）。

---

<sup>注1</sup> 苫小牧 CCS-2 の遮蔽層におけるリークオフテストで確認したリークオフ圧力は、その垂直深度(991m)において、14.6MPa(148.6kg/cm<sup>2</sup>)であった。これは等価泥水比重で 1.50g/cm<sup>3</sup>となる。この等価泥水比重から、萌別層圧入井の遮蔽層下限深度（垂直深度 1,012.2m）のリークオフ圧力を求め（151.8kg/cm<sup>2</sup>）、その 90%の値（136.65kg/cm<sup>2</sup>=13,410kPa）をシミュレーション上の地層破壊圧と仮定した。

第 2.2-14 表 シミュレーションパラメーター一覧 (平成 23 年度地質モデル)

モデル	萌別層砂岩層 2011 モデル	
サイズ	8km×15km×1.5km	
グリッド	40×75×43 グリッド	
アクティブ・ブロック数	97,024	
基準温度	44.78°C (1,046.835mVD)	
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	
深部塩水層容積 (面積×層厚×孔隙率)	49×10 <sup>9</sup> Rm <sup>3</sup>	
岩石性状	砂岩	泥岩
平均孔隙率	0.281	0.342
平均浸透率 : mD	17	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)	
相対浸透率	砂岩	泥岩
気相 相対浸透率 K <sub>rg</sub>	測定値	Corey (1954) <sup>[1]</sup>
液相 相対浸透率 K <sub>rw</sub>	測定値	van Genuchten (1980) <sup>[2]</sup>
臨界ガス飽和率 S <sub>gc</sub>	0.05	0.05
不動水飽和率 S <sub>wir</sub>	0.49	0.638
	測定値	Bennion (2007) <sup>[3]</sup>
最大残留ガス飽和率 S <sub>grmax</sub>	0.275	—
	Holtz (2002) <sup>[4]</sup>	
毛細管圧力	砂岩	泥岩
	van Genuchten (1980) <sup>[2]</sup>	
P <sub>c</sub> : kPa	4.04	750

<sup>[1]</sup> Corey, A.T. 1954. The Interrelation between gas and oil relative permeabilities. Producers Monthly, November, pp.38-41

<sup>[2]</sup> van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of undersaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44, pp.892-898

<sup>[3]</sup> 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, p.5

<sup>[4]</sup> Holtz, M.H. 2002. Residual Gas Saturation to Aquifer Influx : A Calculation Method for 3-D Computer Reservoir Model Construction. paper SPE 75502, p.7

### c. 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、第 2.2-15 表に示す。

第 2.2-15 表 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（平成 23 年度地質モデル）

ケース名	砂岩層				泥岩層				深部塩水層容積 (Rm <sup>3</sup> )
	水平浸透率 kh (mD)	垂直浸透率 kv (mD)	垂直浸透率 / 水平浸透率	堆積相	水平浸透率 kh (mD)	垂直浸透率 kv (mD)	スレシヨルド圧力 (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	1, 2, 3, 5, 6, 7, 10	49×10 <sup>9</sup>
2) 低浸透率ケース	9	0.9	0.1	4, 8, 9	0.00173	0.00173	0.75	1, 2, 3, 5, 6, 7, 10	49×10 <sup>9</sup>
3) 高浸透率ケース	25	2.5	0.1	4, 8, 9	0.00173	0.00173	0.75	1, 2, 3, 5, 6, 7, 10	49×10 <sup>9</sup>
4) 高 kv/kh ケース	17	11.475	0.675	4, 8, 9	0.00173	0.00173	0.75	1, 2, 3, 5, 6, 7, 10	49×10 <sup>9</sup>
5) 遮蔽性能（低）ケース	17	1.7	0.1	4, 8, 9	0.007	0.007	0.012	1, 2, 3, 5, 6, 7, 10	49×10 <sup>9</sup>
6) 萌別層砂岩層上限変更ケース	17	1.7	0.1	4, 5, 8, 9	0.00173	0.00173	0.75	1, 2, 3, 6, 7, 10	49×10 <sup>9</sup>
7) 深部塩水層容積（小）ケース	17	1.7	0.1	4, 8, 9	0.00173	0.00173	0.75	1, 2, 3, 5, 6, 7, 10	3×10 <sup>9</sup>

#### 1) ベースケース

苫小牧 CCS-1 圧入テストにおける圧力解析結果（No. 3 圧入テスト：25mD, No. 3a 圧入テスト：9mD）の平均値  $k_w = 17\text{mD}$  を、水平浸透率（kh）として設定した。垂直浸透率は、水平浸透率の 1/10 ( $k_v/k_h = 0.1$ ) とした。

#### 2) 低浸透率ケース

砂岩層の浸透率を、 $k_h = 9\text{mD}$  として設定した。垂直浸透率は、水平浸透率の 1/10 とした。

#### 3) 高浸透率ケース

砂岩層の浸透率を、 $k_h = 25\text{mD}$  として設定した。垂直浸透率は、水平浸透率の 1/10 とした。

#### 4) 高 kv/kh ケース

砂岩層の水平浸透率/垂直浸透率を変化させて設定した ( $k_v/k_h = 0.675$  :  $k_v = 11.475\text{mD}$ )。

#### 5) 遮蔽性能（低）ケース

苫小牧 CCS-2 コア試料の残差圧力測定で正しい測定ができなかった試料の測定値を使用し、泥岩層の水平浸透率がベースケースより高く、スレシヨルド圧力が極端に低いケースを想定した。

#### 6) 萌別層砂岩層上限変更ケース

泥岩層のパラメータを与えている堆積相区分 5（第 2.2-13 図参照）に砂岩層のパラメータを設定した。

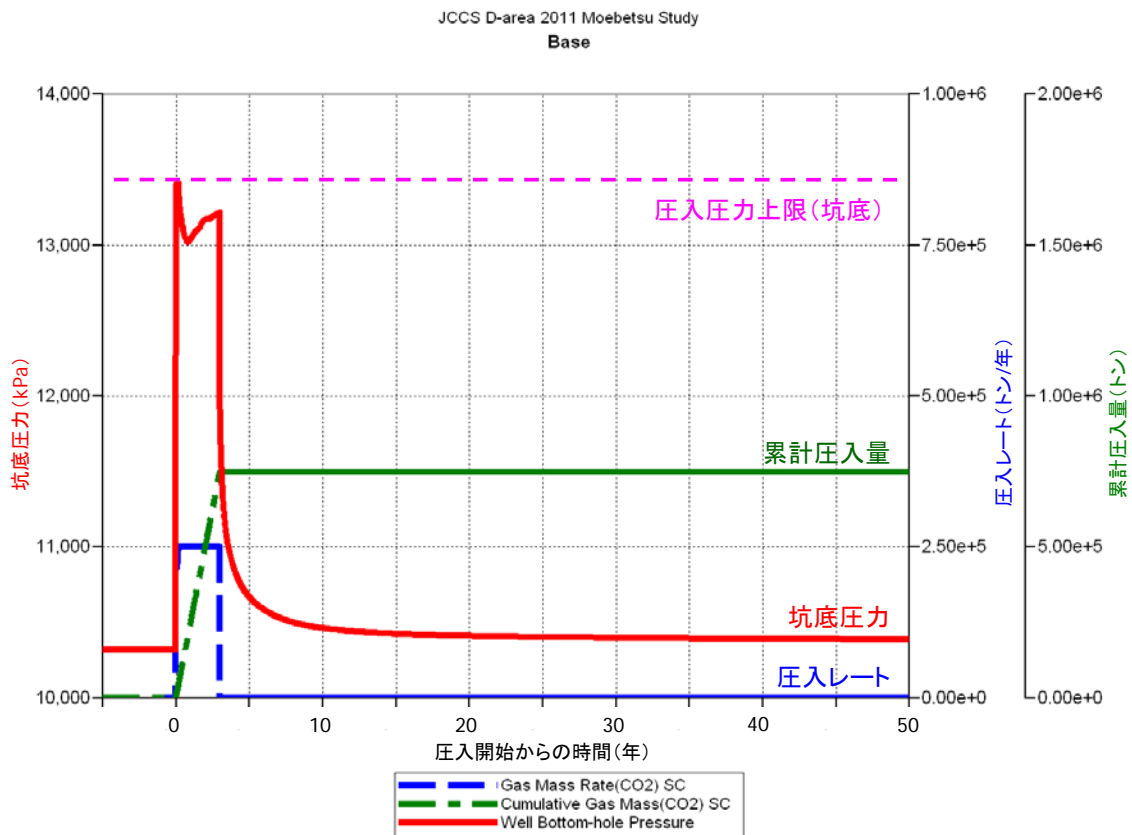
#### 7) 深部塩水層容積（小）ケース

深部塩水層容積を貯留層の分布域・三次元弾性波探査データの範囲内に限定したケー

スを想定した。

#### d. CO<sub>2</sub> 圧入時の挙動

ベースケースにおける圧入挙動を、第 2.2-48 図に示す。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。圧入終了後には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。

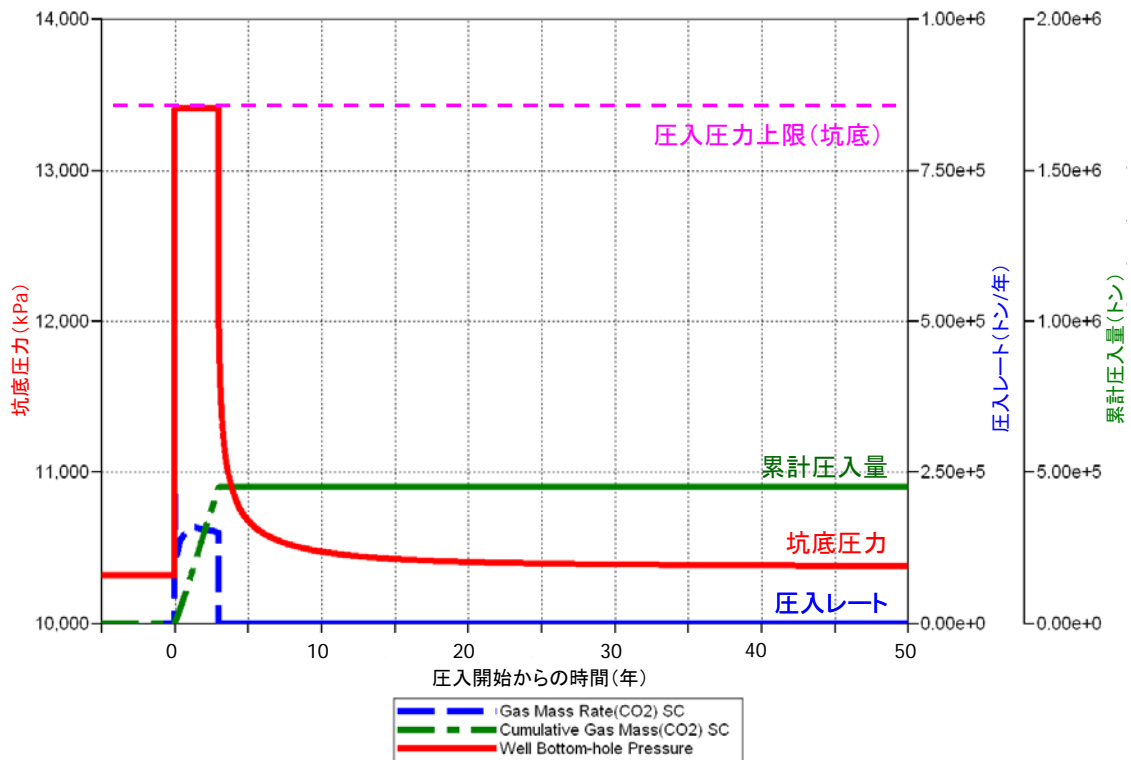


注：萌別層圧入井の掘削により確認した萌別層の浸透率は、本シミュレーションの設定値よりも高いことが確認された。よって、CO<sub>2</sub> 圧入時の圧力上昇は、本シミュレーション結果よりも低くなることが予想される。

第 2.2-48 図 ベースケースにおける圧力挙動（平成 23 年度シミュレーション結果）

低浸透率ケースにおける圧入挙動を、第 2.2-49 図に示す。低浸透率ケースでは、圧入開始後すぐに坑底圧力が圧入圧力上限（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。





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<sub>2</sub>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 2. 2-49 図 低浸透率ケースにおける圧力挙動（平成 23 年度シミュレーション結果）

高浸透率ケースにおける圧入挙動を、第 2. 2-50 図に示す。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。

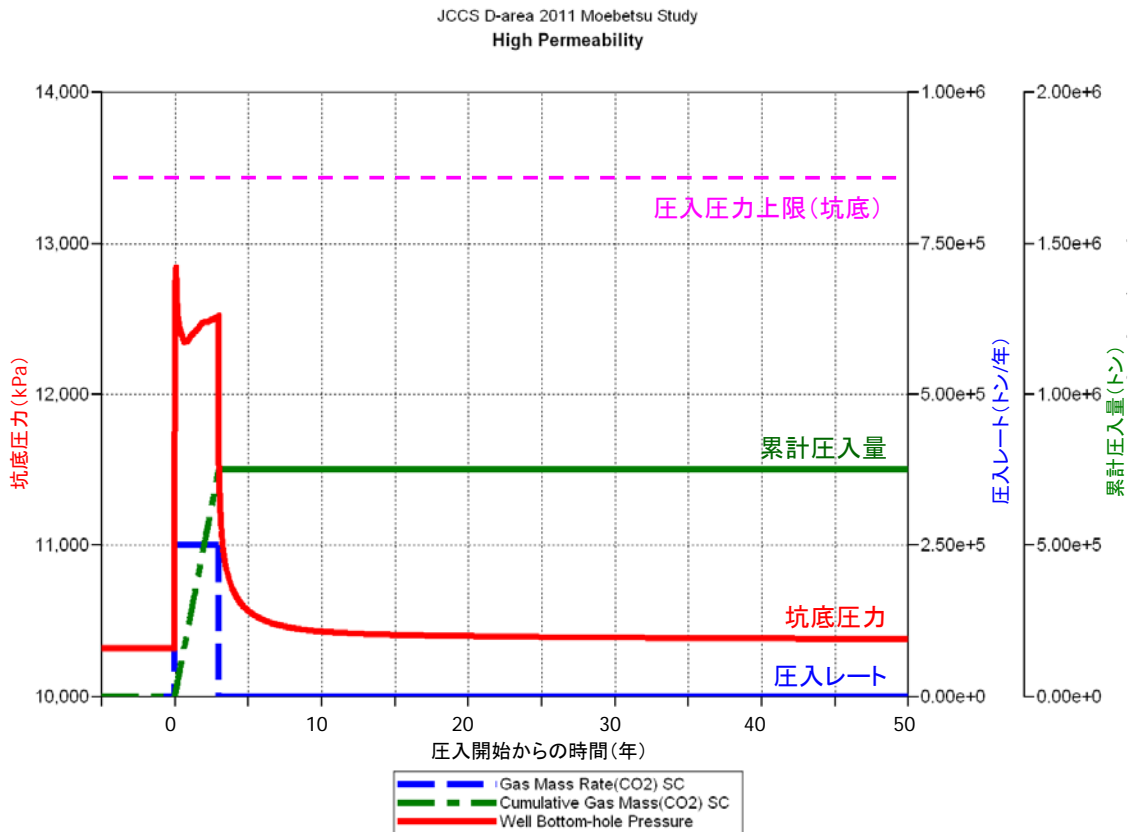
以上より、貯留層の浸透率が高くなるにつれて坑底圧力の最大値は低くなることわかる。

掘削した萌別層圧入井の貯留層の浸透率は 370mD と解析されている（第 2. 2-5 表）。なお、萌別層圧入井掘削後に実施したフォールオフテストより得られたデリバティブプロットにおいて断層を示唆する挙動が認められなかったことから、この大きな値は断層に寄与するものではない。

本計画を実施した場合、坑底圧力の上昇が大きい高浸透率ケースに近い挙動をとると予測される。したがって、圧入中に貯留層の圧力が遮蔽層の破壊圧に近づく可能性が低くなり、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。なお、圧入中に貯留層の圧力が遮蔽層破壊圧の 90%となった場合、圧入を停止する。

本計画における遮蔽層の破壊圧の基準は、安全性を重視し、実際に地層が破壊される圧力（Formation Breakdown）ではなく、リークオフ圧力を基準に採用し、その90%を圧入の上限圧と規定している。萌別層圧入井掘削時に実施したエクステンデッドリークテストの解析から、遮蔽層の下限におけるリークオフ圧力は14.37MPaであり（第2.2-6表）、本計画における実際の圧入圧力の上限は12.93MPa（ $=0.9 \times 14.37\text{MPa}$ ）となり、平成23年度シミュレーションにおいて予測していた圧入圧力上限13.4MPaよりも低くなる。なお、高浸透率ケースにおける圧力挙動から、圧入圧力の上限が12.93MPaであっても安全に特定二酸化炭素ガスを圧入できることがわかる。

また、平成23年度シミュレーションにおいては、25万トン/年の圧入レートで3年間（累計圧入量75万トン）のCO<sub>2</sub>圧入を想定しているが、本計画においては、原料ガスの供給量やCO<sub>2</sub>分離・回収設備の能力の制約から、20万トン/年、3年間で60万トンが上限であり、この上限量に変更はない。このことから、坑底圧の上昇は平成23年度シミュレーション結果よりも下回ると判断できる。



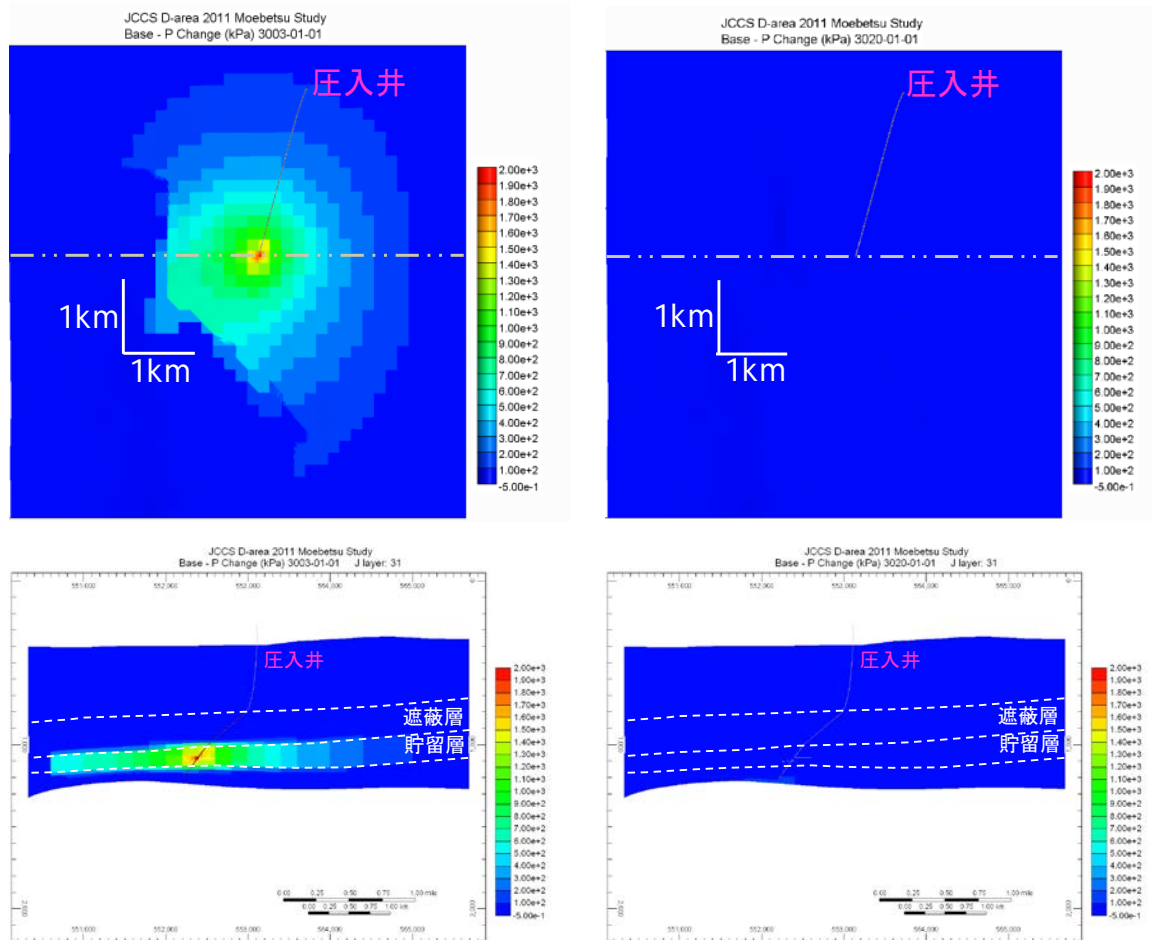
注：萌別層圧入井の掘削により確認した萌別層の浸透率は、本シミュレーションの設定値よりも高いことが確認された。よって、CO<sub>2</sub>圧入時の圧力上昇は、本シミュレーション結果よりも低くなることが予想される。

第2.2-50図 高浸透率ケースにおける圧力挙動（平成23年度シミュレーション結果）

#### e. 貯留層圧力分布

ベースケースにおける圧入終了時点の圧力分布を、第2.2-51図に示す。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

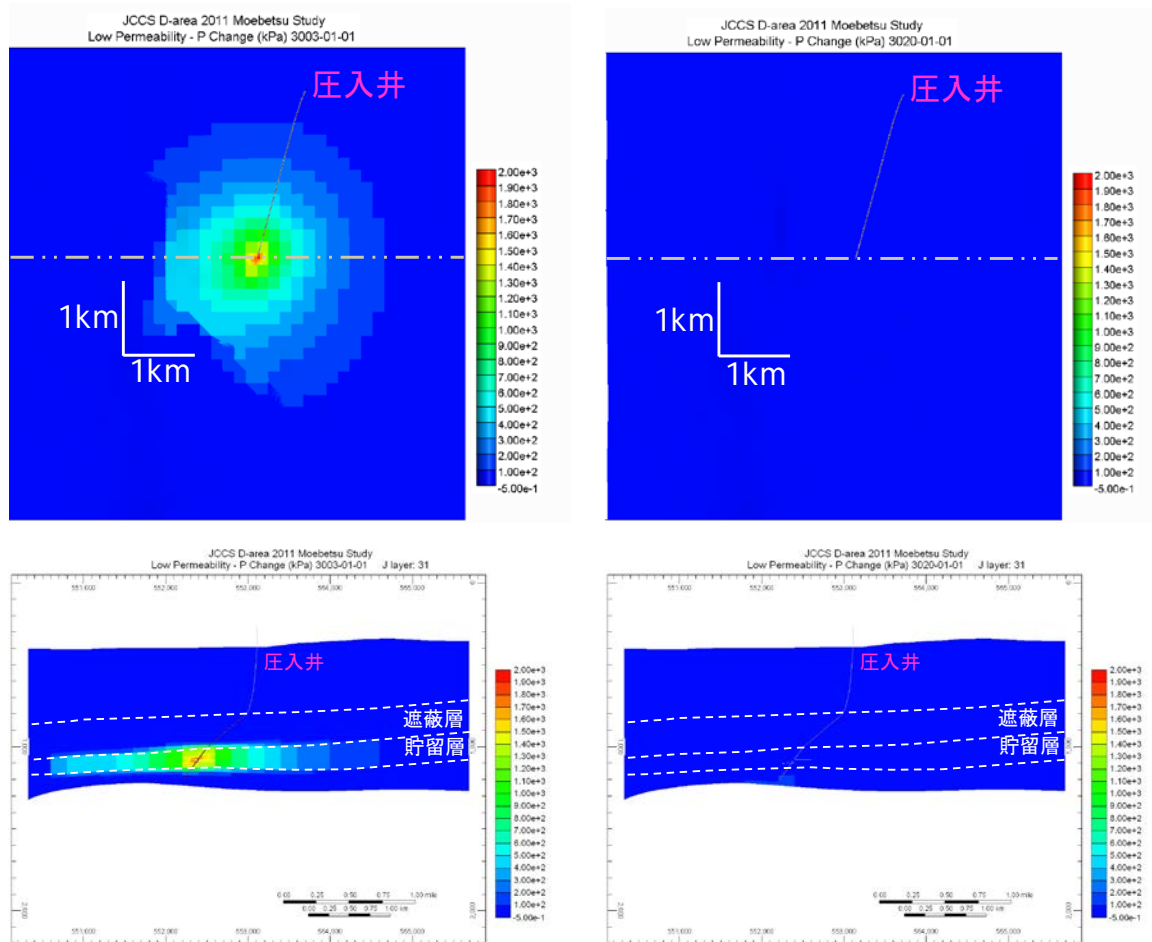
に約 6km, 東西約 6km の範囲に 100kPa (圧入前の地層圧の約 1%) 以上に圧力が上昇した領域が確認された。20 年後までには圧力上昇の影響は見られなくなる。



- 注:1. 左側: 圧入終了時 (3 年後), 右側: 20 年後。上段: 平面分布 (k 方向セル 28), 下段右: 東西断面 (位置は平面分布の点線の位置)。単位は, kPa。
2. 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<sub>2</sub> 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 2.2-51 図 CO<sub>2</sub> 圧入前からの圧力変化量の推移 (ベースケース) (平成 23 年度シミュレーション結果)

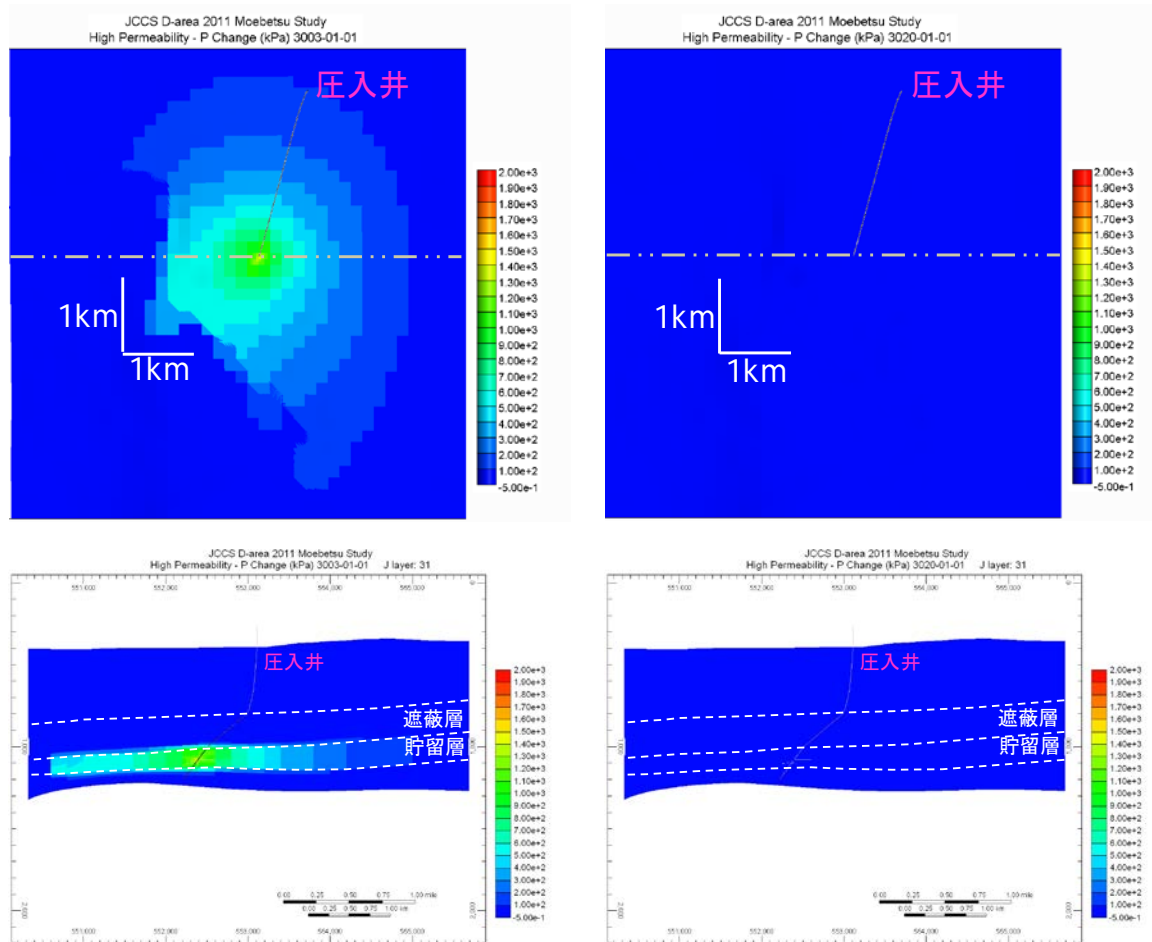
低浸透率ケースにおける圧入終了時点の圧力分布を, 第 2.2-52 図に示す。南北に約 600m, 東西約 400m の範囲に 1,000kPa (圧入前の地層圧の約 10%) 以上に上昇した領域が, 南北に約 4km, 東西約 4km の範囲に 100kPa (圧入前の地層圧の約 1%) 以上に圧力が上昇した領域が確認される。20 年後までには圧力上昇の影響は見られなくなる。



- 注:1. 左側 : 圧入終了時 (3 年後), 右側 : 20 年後。上段 : 平面分布 (k 方向セル 28), 下段右 : 東西断面 (位置は平面分布の点線的位置)。単位は, kPa。
2. 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<sub>2</sub>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 2.2-52 図 CO<sub>2</sub>圧入前からの圧力変化量の推移 (低浸透率ケース) (平成 23 年度シミュレーション結果)

高浸透率ケースにおける圧入終了時点の圧力分布を, 第 2.2-53 図に示す。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。20 年後までには圧力上昇の影響は見られなくなる。



- 注:1. 左側: 圧入終了時(3年後), 右側: 20年後。上段: 平面分布(k方向セル28), 下段右: 東西断面(位置は平面分布の点線的位置)。単位は, kPa。
2. 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<sub>2</sub>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 2.2-53 図 CO<sub>2</sub>圧入前からの圧力変化量の推移(高浸透率ケース)(平成 23 年度シミュレーション結果)**

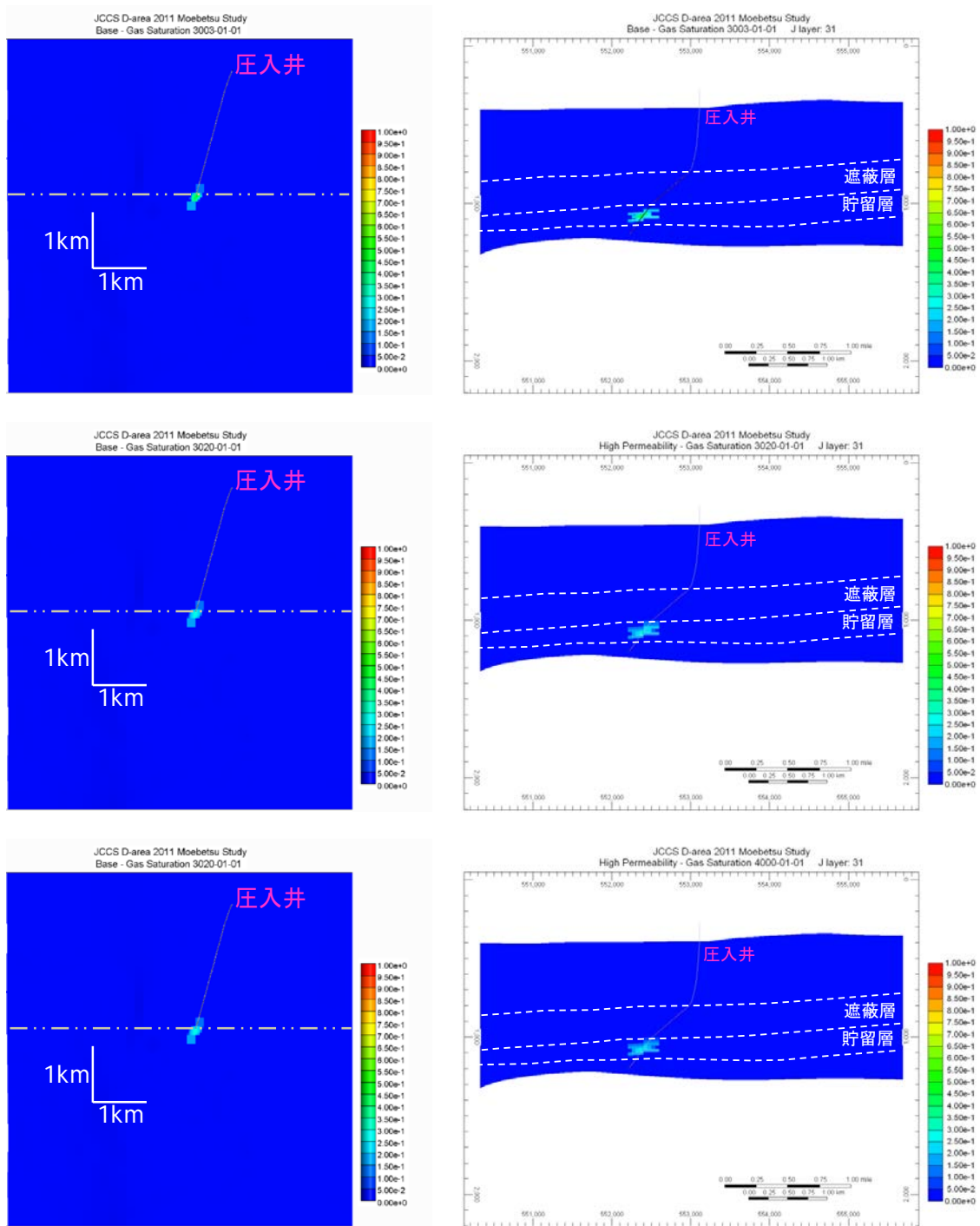
圧入された特定二酸化炭素ガスは, 貯留層(砂岩)の孔隙の地層水を押し出しながら広がる。掘削した萌別層圧入井の貯留層の浸透率は370mDと解析されており, 平成23年度シミュレーションの設定値より高くなっているが, 地層に占める孔隙の割合(孔隙率)の予実績が同程度であるため(第2.2-5表), 貯留層圧力分布は平成23年度シミュレーション結果と大きく変わることはない。よって, 本計画を実施した場合には, 高浸透率ケースとほぼ同様の挙動を示すと予想される(第2.2-53図)。また, 浸透率が平成23年度シミュレーションの設定値より高くなったことにより, 圧入時の貯留層圧力は, 第2.2-51図～第2.2-53図で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。

**f. 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>飽和度の分布を, 第2.2-54図～第2.2-56図に示す。また, 溶解CO<sub>2</sub>量の分布を第2.2-57図～第2.2-59図に示す。

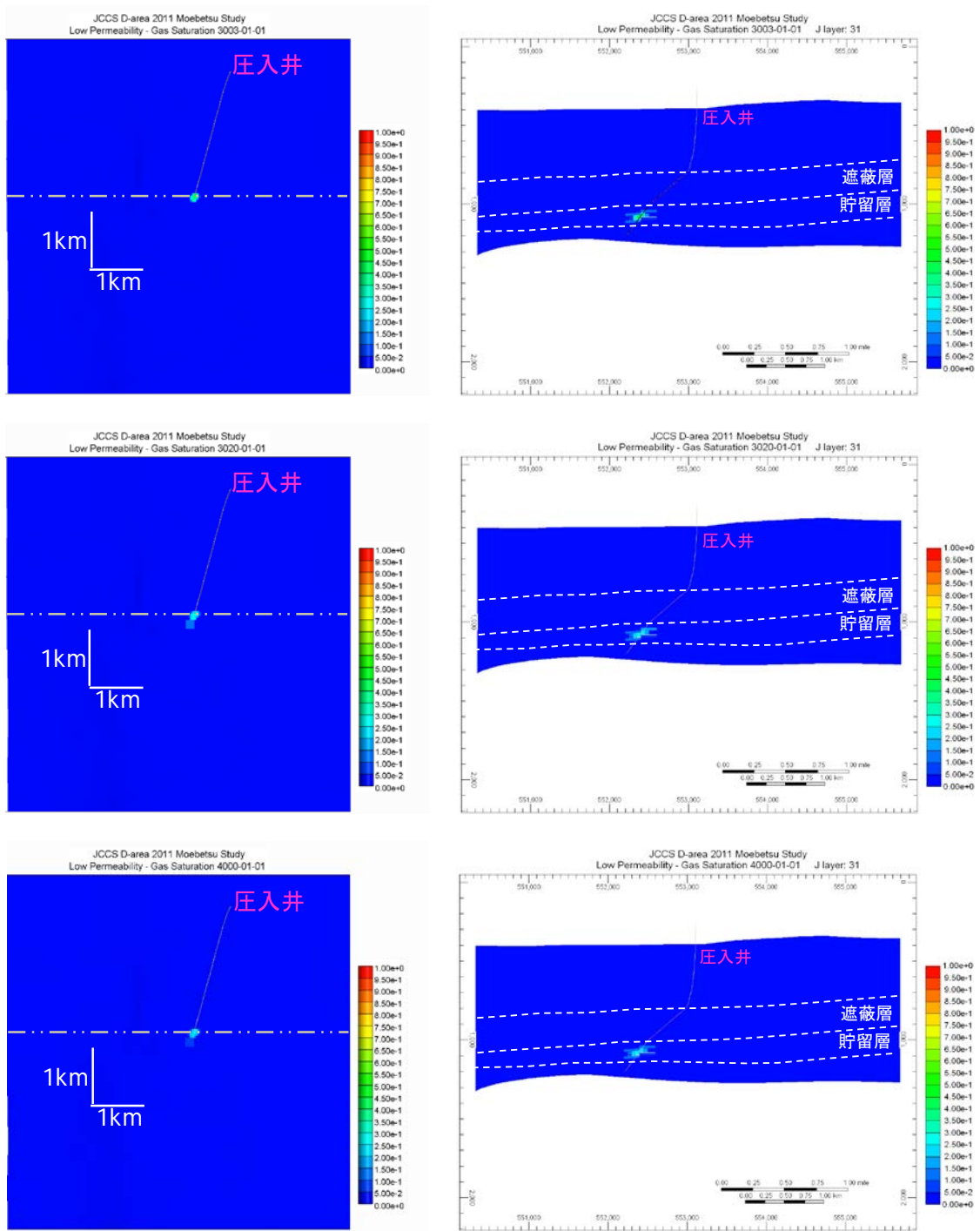
ベースケースでは、気相 CO<sub>2</sub>は圧入井近傍において圧入終了直後で東西約 400m、南北約 600m に高い CO<sub>2</sub>飽和度の範囲が広がっている。同様に、溶解 CO<sub>2</sub>は圧入井近傍において圧入終了直後で東西約 400m、南北約 600m の範囲に広がる。その後、CO<sub>2</sub>は水平方向にはほとんど動かなくなるが、貯留層内での上方への移動があり、遮蔽層下限までの移動が見られる。20 年後以降、1,000 年後まではほとんど動かない。溶解 CO<sub>2</sub>は、1,000 年後まで主に垂直方向に分布を広げる。

低浸透率ケースでは、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 に高い CO<sub>2</sub>飽和度の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い。溶解 CO<sub>2</sub>は、1,000 年後まで分布を広げる。



注：上段：3年後，中段：20年後，下段：1,000年後。左側：平面分布（k方向セル28），右側：東西断面（位置は平面分布の点線の位置）。

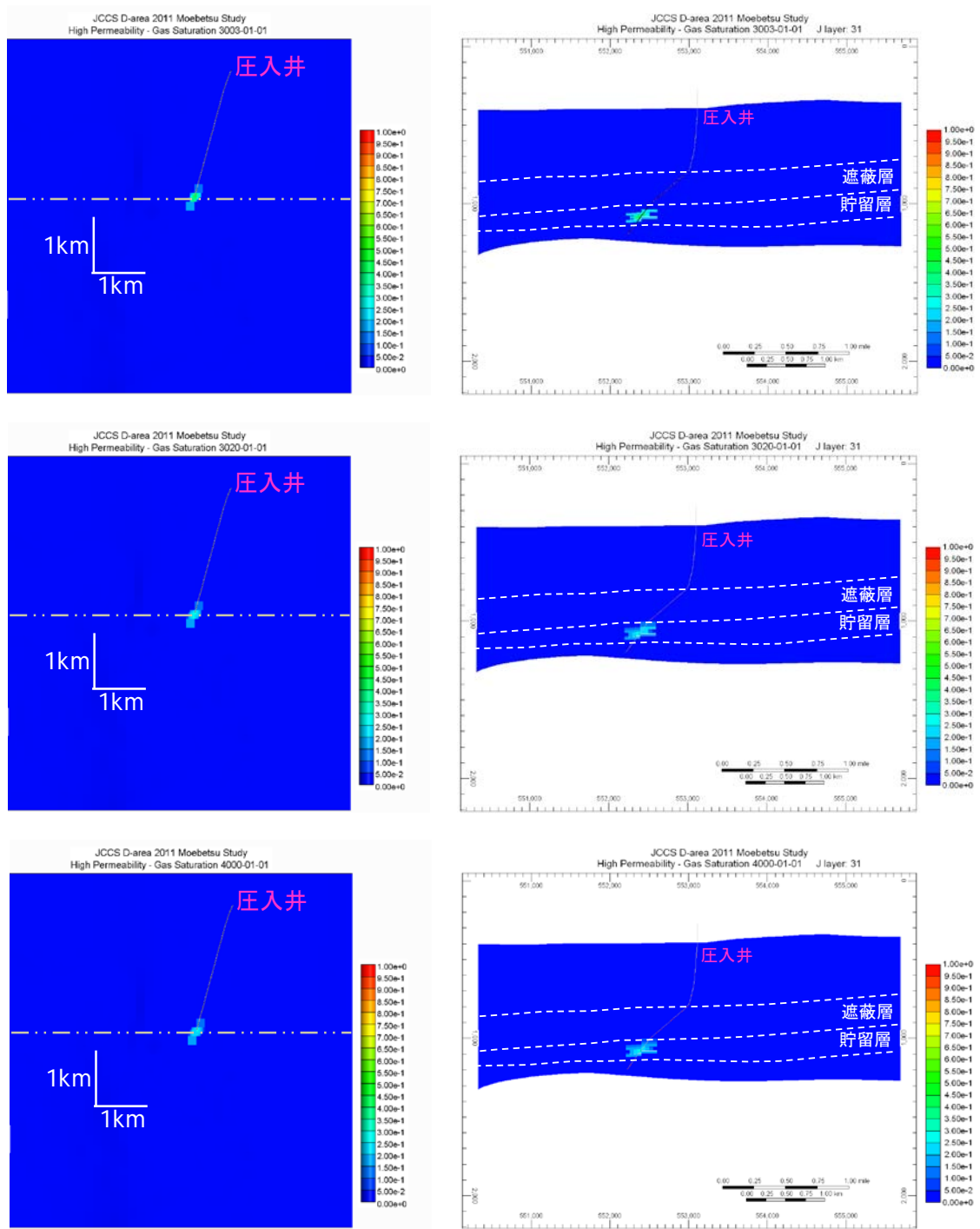
第 2. 2-54 図 CO<sub>2</sub>飽和度の推移（ベースケース）（平成 23 年度シミュレーション結果）



注：上段：3年後，中段：20年後，下段：1,000年後。左側：平面分布（k方向セル28），右側：東西断面（位置は平面分布の点線的位置）。

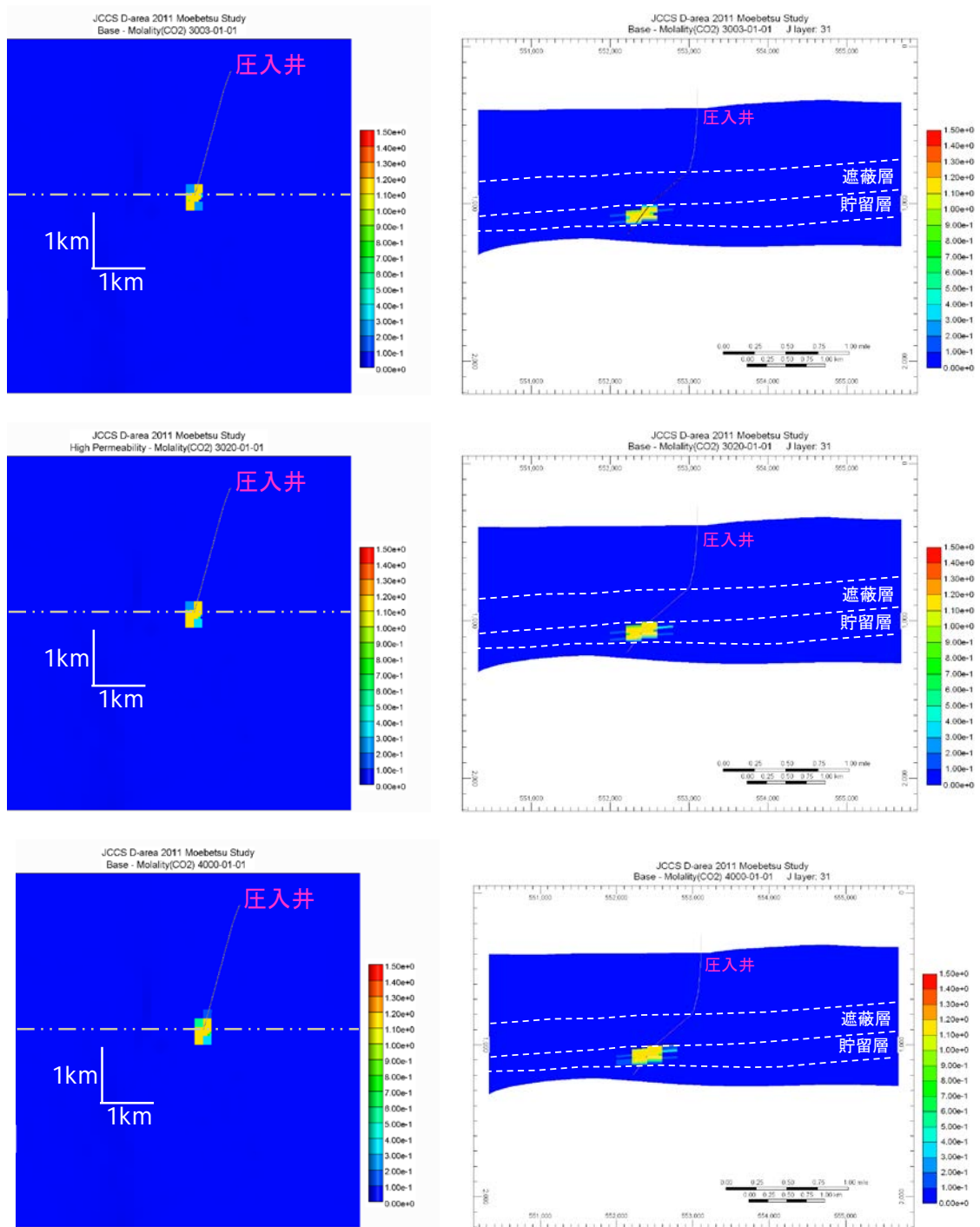
第 2.2-55 図 CO<sub>2</sub>飽和度の推移（低浸透率ケース）（平成 23 年度シミュレーション結果）





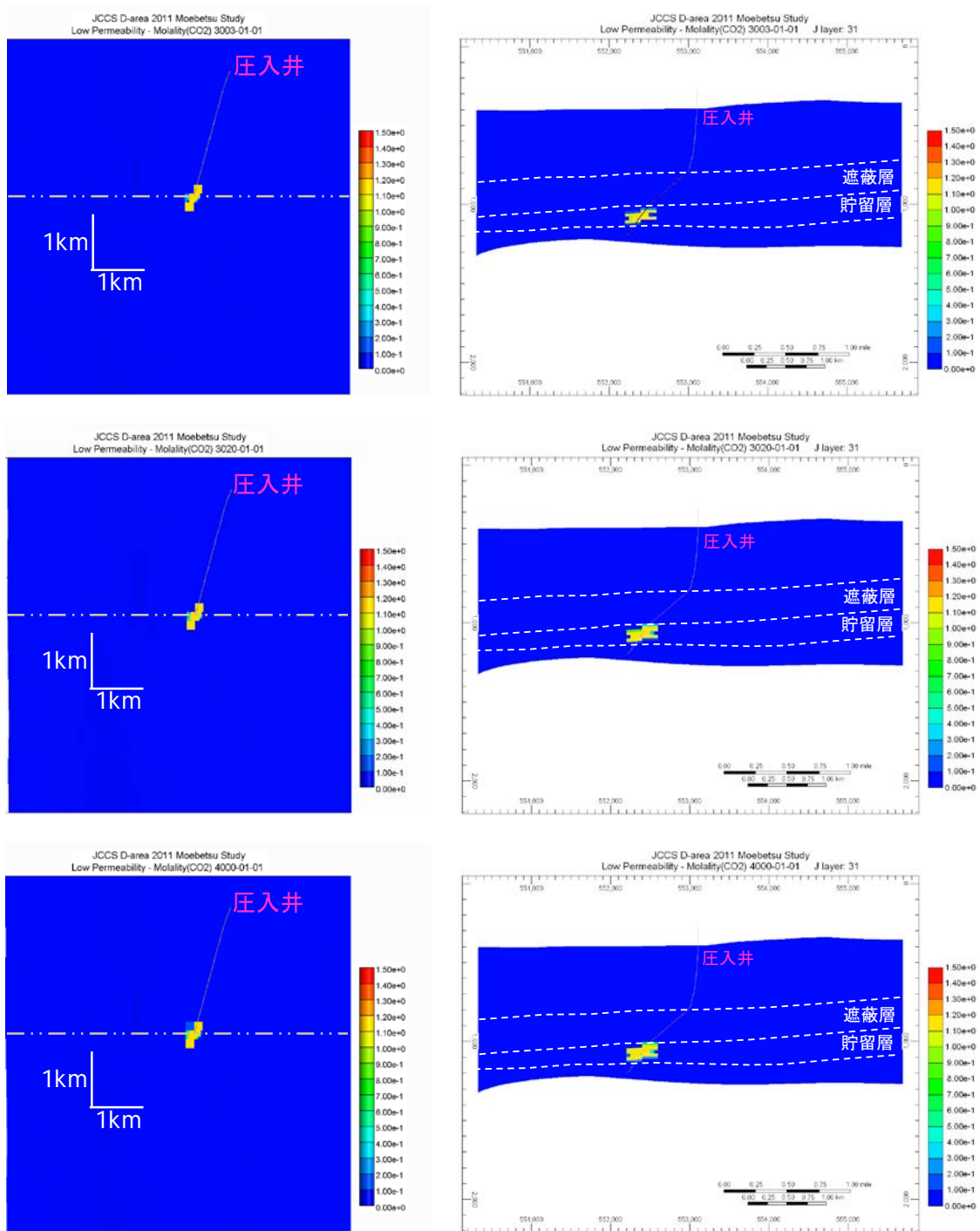
注：上段：3年後，中段：20年後，下段：1,000年後。左側：平面分布（k方向セル28），右側：東西断面（位置は平面分布の点線位置）。

第 2.2-56 図 CO<sub>2</sub>飽和度の推移（高浸透率ケース）（平成 23 年度シミュレーション結果）



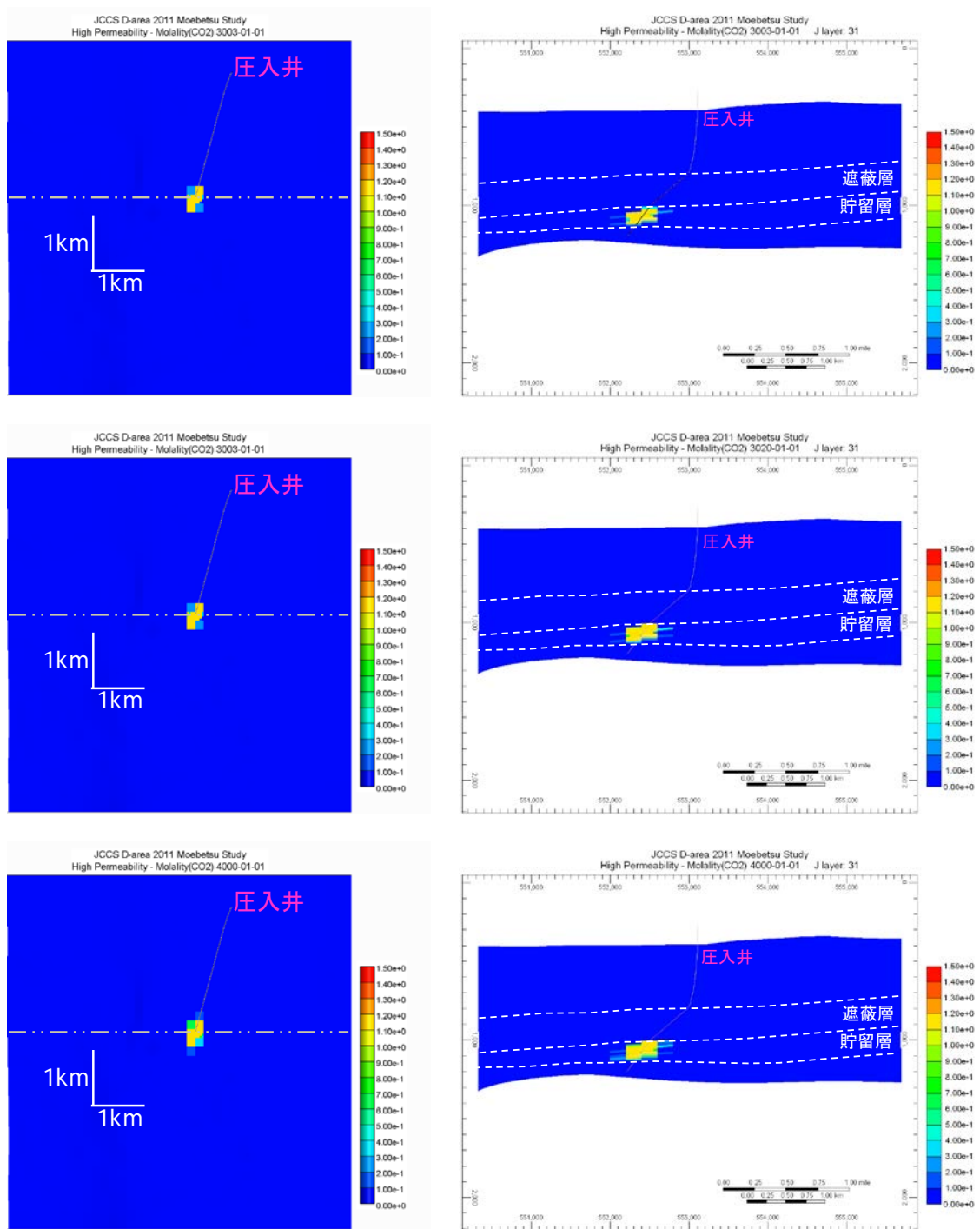
注：上段：3年後，中段：20年後，下段：1,000年後。左側：平面分布（k方向セル28），右側：東西断面（位置は平面分布の点線的位置）。単位は，mol/kg。

第 2. 2-57 図 溶解 CO<sub>2</sub>量の推移（ベースケース）（平成 23 年度シミュレーション結果）



注：上段：3年後，中段：20年後，下段：1,000年後。左側：平面分布（k方向セル28），右側：東西断面（位置は平面分布の点線的位置）。単位は，mol/kg。

第 2.2-58 図 溶解 CO<sub>2</sub>量の推移（低浸透率ケース）（平成 23 年度シミュレーション結果）



注：上段：3年後，中段：20年後，下段：1,000年後。左側：平面分布（k方向セル28），右側：東西断面（位置は平面分布の点線の位置）。単位は，mol/kg。

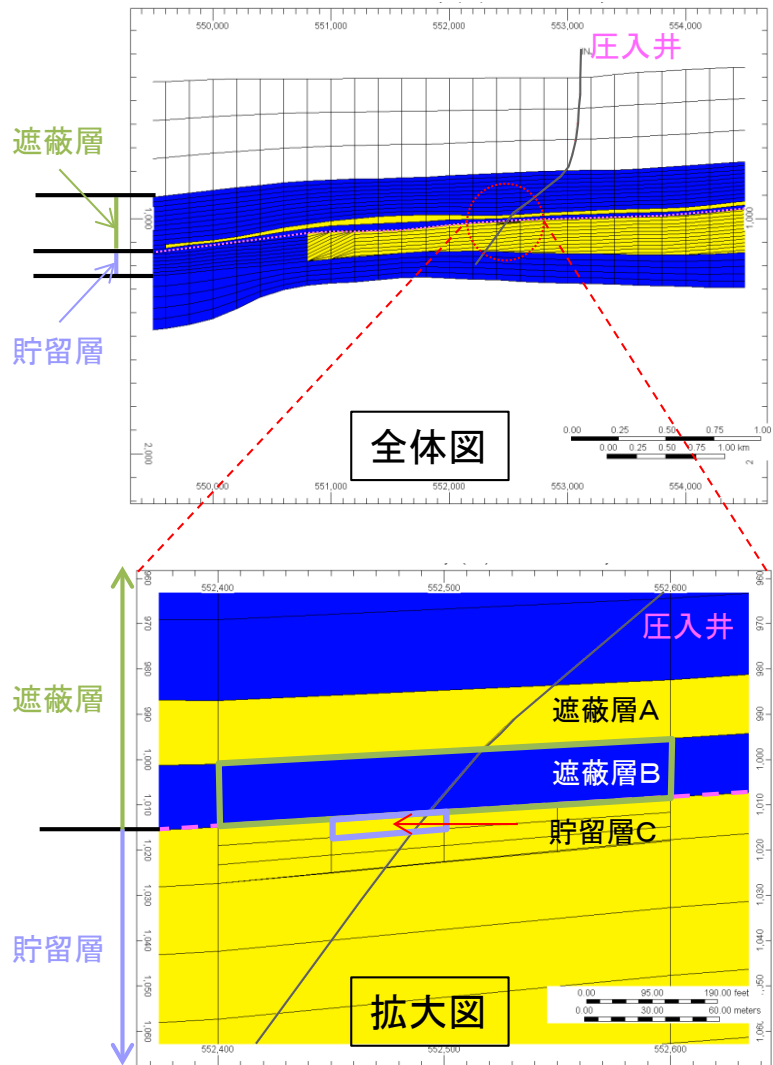
第 2.2-59 図 溶解 CO<sub>2</sub>量の推移（高浸透率ケース）（平成 23 年度シミュレーション結果）

高浸透率ケースでは、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 に高い CO<sub>2</sub>飽和度の範囲が広がる。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 に広がる。その後、CO<sub>2</sub>は水平方向にはほとんど移動しなくなり、貯留層内で上方方向に分布を広げる。20 年後以降、1,000 年後までには安定するが、溶解 CO<sub>2</sub>は 1,000 年後まで主に垂直方向に分布を広げる。

圧入された特定二酸化炭素ガスは、貯留層（砂岩）の孔隙の地層水を押し出しながら広がる。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 23 年度シミュレーションの設定値より高くなっている（第 2.2-5 表）。しかしながら、第 2.2-54 図～第 2.2-59 図において浸透率による大きな差は見られないこと、また本計画における特定二酸化炭素ガスの圧入量は平成 23 年度シミュレーションの予測よりも 20%減であることから、CO<sub>2</sub>圧入に伴う貯留層内の CO<sub>2</sub>分布は、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いと予測される。

#### g. 遮蔽性能検討

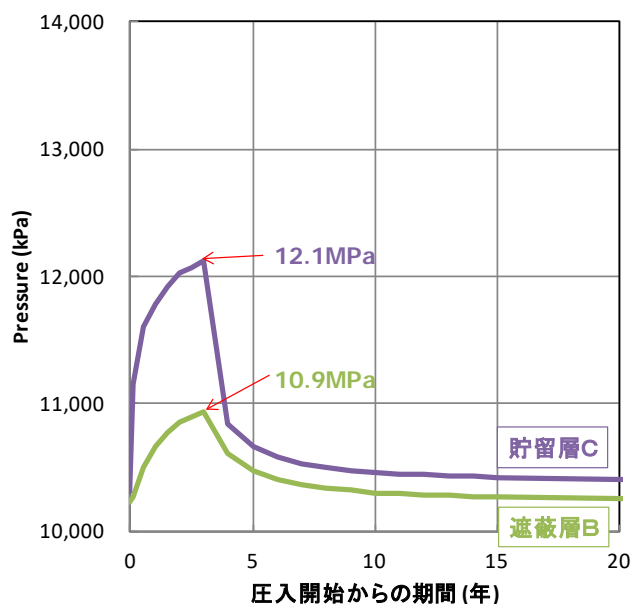
遮蔽性能評価として、遮蔽層と貯留層の境界付近の鉛直に並んだ 3 つのセルにおける CO<sub>2</sub>飽和度と溶解 CO<sub>2</sub>量を精査した。圧入井が通るセルで最も圧力が上昇するので、このセルを選択し、貯留層上限のセル（堆積相区分 8）を貯留層 C、その直上の遮蔽層下限のセル（堆積相区分 5）を遮蔽層 B、さらにその直上の遮蔽層のセル（堆積相区分 4）を遮蔽層 A とした（上位から遮蔽層 A、遮蔽層 B、貯留層 C の順。第 2.2-29 図および第 2.2-60 図）。



注：黄色：砂岩，青色：泥岩。

第 2.2-60 図 萌別層の地質モデル断面図（平成 23 年度シミュレーション結果）

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（第 2.2-61 図）。

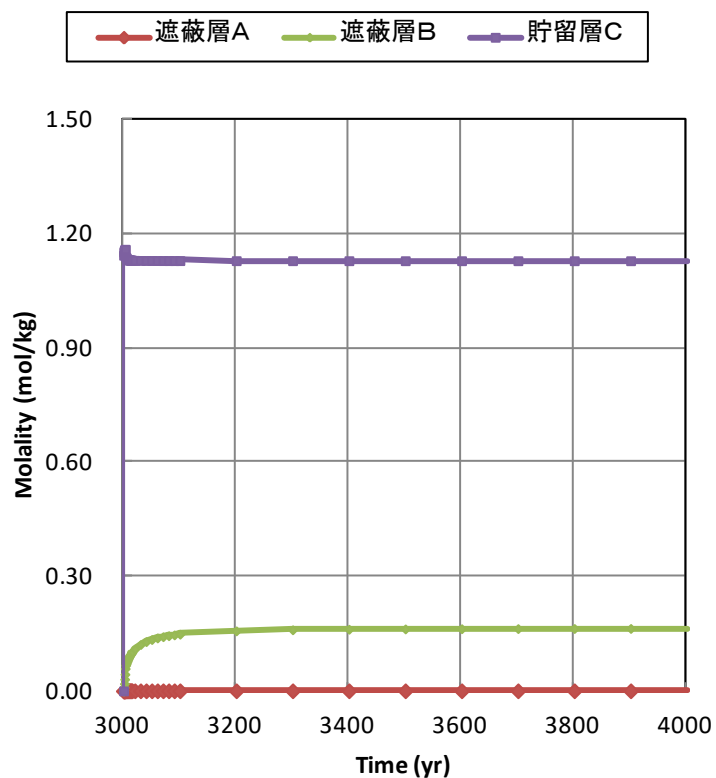
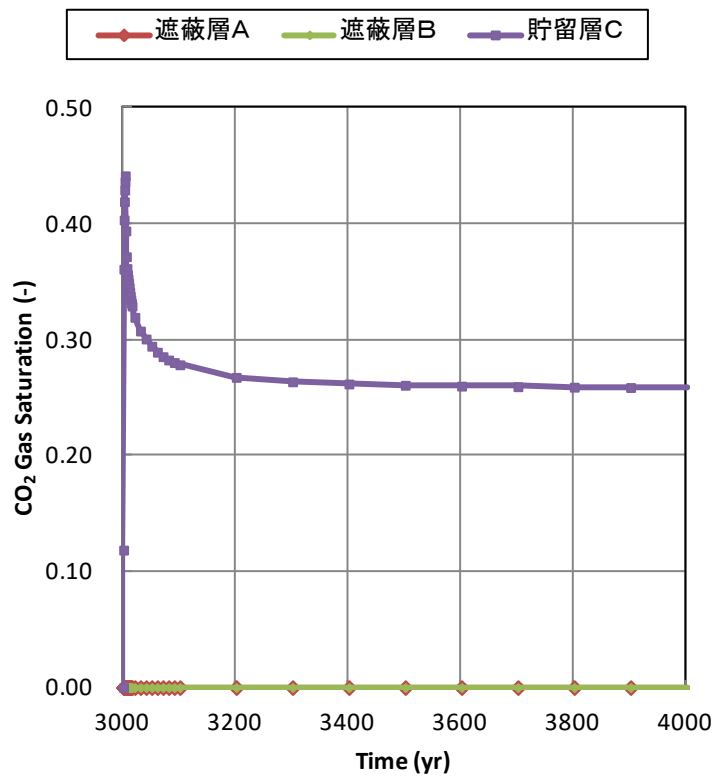


第 2.2-61 図 遮蔽層 B と貯留層 C の圧力の時間変化（平成 23 年度シミュレーション結果）

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、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。ベースケースにおけるそれらのセルの CO<sub>2</sub>飽和度および溶解 CO<sub>2</sub>量の時間変化を、第 2.2-62 図に示す。

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>飽和度はほとんど変化がない。遮蔽層 B における溶解 CO<sub>2</sub>量は、圧入開始 1,000 年後に 0.16mol/kg-地層水だけ増加する。さらに、遮蔽層 A の溶解 CO<sub>2</sub>量は圧入開始 1,000 年後でも  $3.4 \times 10^{-4}$ mol/kg-地層水と非常に低い。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。

以上より、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ものの、泥岩内の水に溶解して安定した状態となる。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。



注：上段：CO<sub>2</sub>飽和度，下段：溶解CO<sub>2</sub>量。上位から遮蔽層A，遮蔽層B，貯留層Cの順。

第 2.2-62 図 遮蔽層・貯留層境界付近での CO<sub>2</sub>飽和度と溶解 CO<sub>2</sub>量の時間変化（ベースケース）  
（平成 23 年度シミュレーション結果）



遮蔽層性状が劣る場合（第 2.2-15 表の 5）の CO<sub>2</sub>挙動を評価した。スレシヨルド圧力を 0.012MPa、水平浸透率を  $7 \times 10^{-3}$ 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 CO<sub>2</sub>飽和度と溶解 CO<sub>2</sub>量を精査した。第 2.2-63 図に、それらのセルの CO<sub>2</sub>飽和度および溶解 CO<sub>2</sub>量の時間変化を示す。

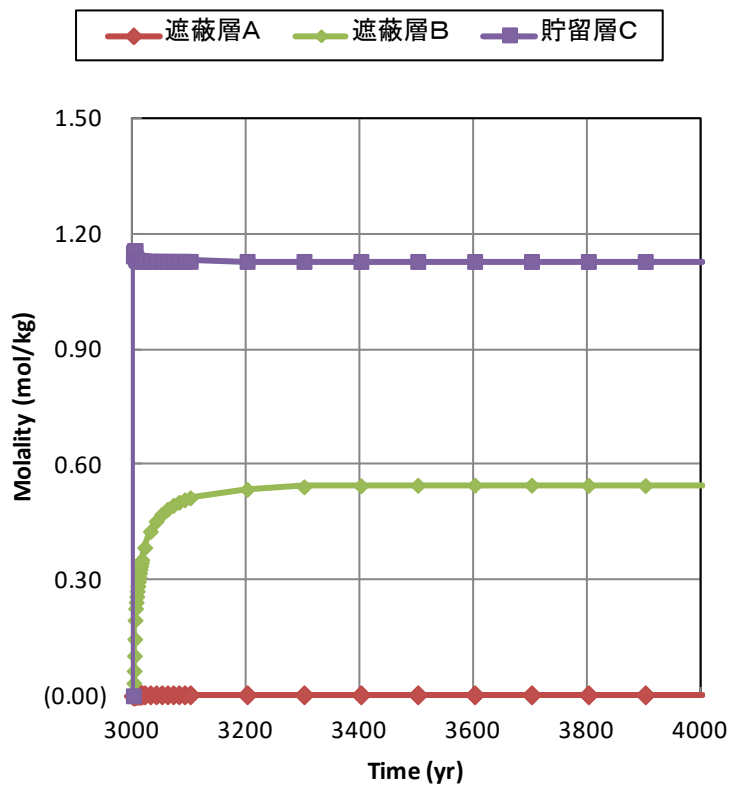
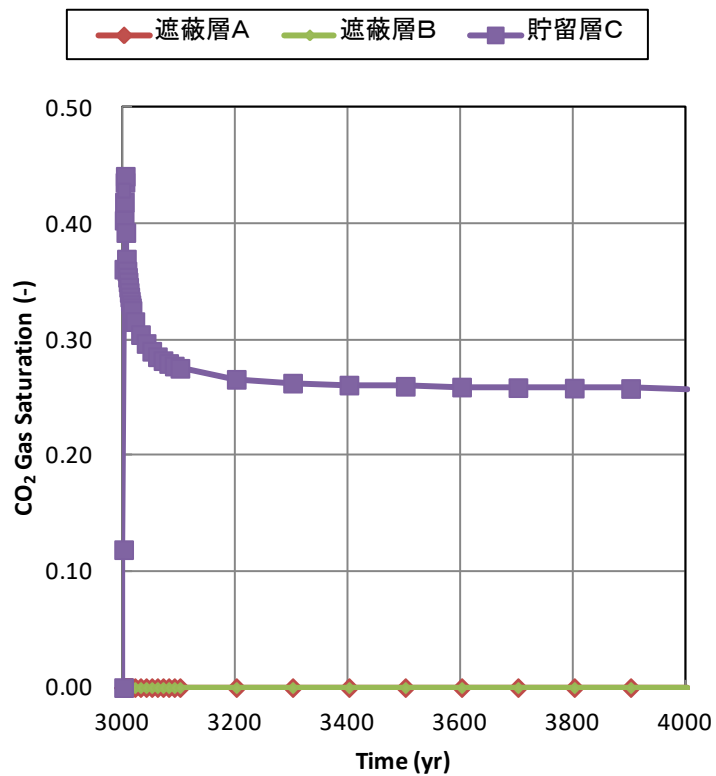
ベースケースと同様に、遮蔽層 A と遮蔽層 B における CO<sub>2</sub>飽和度は、ほとんど変化がない。遮蔽層 B における溶解 CO<sub>2</sub>量は、0.55mol/kg-地層水（圧入開始 1,000 年後）とベースケースより多い。また、遮蔽層 A の溶解 CO<sub>2</sub>量は圧入開始 1,000 年後で  $2.6 \times 10^{-3}$ mol/kg-地層水と非常に低い。

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 CO<sub>2</sub>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と判断できる。

萌別層圧入井の掘削結果を踏まえて、遮蔽性能を検討した。

本書類の第 2.2 節(3)②エ)において、本井掘削時に採取した萌別層泥岩のカッティングス試料の孔口半径を測定し、調査井（苫小牧 CCS-2）および萌別層観測井で採取した萌別層泥岩の孔口半径を比較することから、遮蔽層の浸透率（ $1.73 \times 10^{-3}$ mD）・スレシヨルド圧力（0.75MPa）を推定した（第 2.2-6 表）。また、遮蔽層層準のカッティングス試料の分析により、遮蔽層の孔隙率（30～37%）を取得した。

上記より、平成 23 年度シミュレーションは、安全側の浸透率・スレシヨルド圧力で実施されているため、本井における掘削結果を勘案しても、安全側の評価ができていると考えられる。



注：上段：CO<sub>2</sub>飽和度，下段：溶解CO<sub>2</sub>量。上位から遮蔽層A，遮蔽層B，貯留層Cの順。

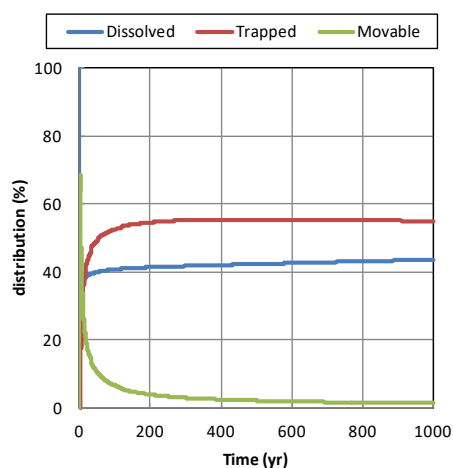
第 2.2-63 図 遮蔽層・貯留層境界付近での CO<sub>2</sub>飽和度と溶解 CO<sub>2</sub>量の時間変化（遮蔽性能（低）ケース）（平成 23 年度シミュレーション結果）

#### h. CO<sub>2</sub>の貯留形態ごとの割合

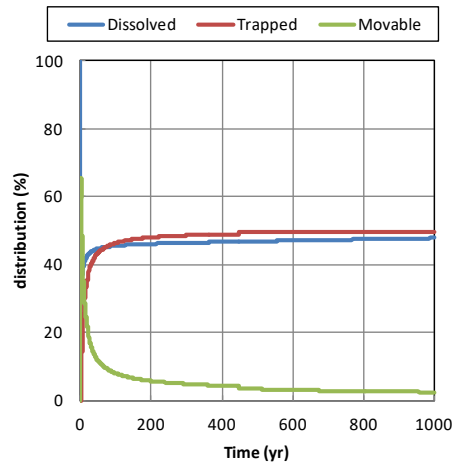
貯留 CO<sub>2</sub>の3つの貯留形態を Movable (移動する可能性がある気相 CO<sub>2</sub>), Dissolved (溶解 CO<sub>2</sub>), Trapped (孔隙などにトラップされ動かない気相 CO<sub>2</sub>) と表現し、各モデルの CO<sub>2</sub> 圧入量に対する割合の経時変化を、第 2.2-64 図～第 2.2-66 図に示す。

いずれのケースにおいても圧入終了後すぐに Movable CO<sub>2</sub>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<sub>2</sub>と Dissolved CO<sub>2</sub>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<sub>2</sub>は約 44%, Trapped CO<sub>2</sub>は約 55%, 低浸透率ケースでは Dissolved CO<sub>2</sub>は 48%, Trapped CO<sub>2</sub>は 49%, 高浸透率ケースでは Dissolved CO<sub>2</sub>は 45%, Trapped CO<sub>2</sub>は 54%となった。この差については、圧入終了までの CO<sub>2</sub>の広がり方による地層水との接触面積の違い、CO<sub>2</sub>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。

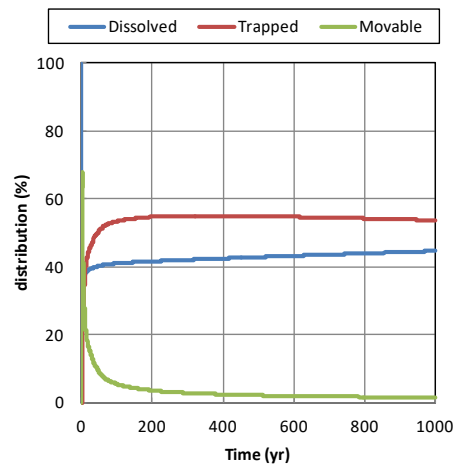
なお、萌別層圧入井の掘削結果において貯留層の浸透率に大きな値が解析されているが(第 2.2-5 表)、孔隙率が同程度であるため、平成 23 年度シミュレーション結果と大きく変わることはなく、ほぼ同等の CO<sub>2</sub>の貯留形態ごとの割合となると予測される。



第 2.2-64 図 ベースケースにおける CO<sub>2</sub>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 2.2-65 図 低浸透率ケースにおける CO<sub>2</sub>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 2.2-66 図 高浸透率ケースにおける CO<sub>2</sub>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）

### 2.3 鉱業権の設定または出願の状況について

当該海域には、民間会社により、試掘権が設定されている。ただし、当該区域において、現時点で公開されている開発計画はない。

当該地域の北方に位置する勇払油・ガス田において、滝ノ上層 T1 部層中に油・ガスの胚胎が知られていることから、滝ノ上層 T1 部層中には油・ガスが胚胎する可能性はあるが、同一構造における構造的上位で掘削された坑井 A（第 2.2-5 図参照）において、稼行に足る油・ガスの発見がなされなかったことから、当該海域における油・ガスの胚胎の可能性は低いものと判断される。

萌別層砂岩層については、特に鉱物資源の胚胎は知られていない。

### 3 海底下廃棄をされた特定二酸化炭素ガスの潜在的な移動及び漏出の経路の推定結果に係る事項

#### 3.1 特定二酸化炭素ガスと地層やシール層の成分との相互作用

滝ノ上層 T1 部層および萌別層砂岩層に CO<sub>2</sub>を圧入し、それぞれの地層と CO<sub>2</sub>との地化学反応状況を推察するために、一次元地化学シミュレーションを実施した。

##### (1) 滝ノ上層 T1 部層

滝ノ上層 T1 部層の地層水は、苫小牧 CCS-1 (滝ノ上層調査井) で採取した地層水を基に、第 3.1-1 表に示す地層水組成を使用した。滝ノ上層 T1 部層の鉱物組成は、苫小牧 CCS-1 の試料を参照し、第 3.1-2 表に示す組成を採用した。

また、鉱物の熱力学データは、公開データベースである Thermoddem<sup>[1]</sup>を参照した。

第 3.1-1 表 地化学反応シミュレーションで使用した滝ノ上層 T1 部層の地層水組成

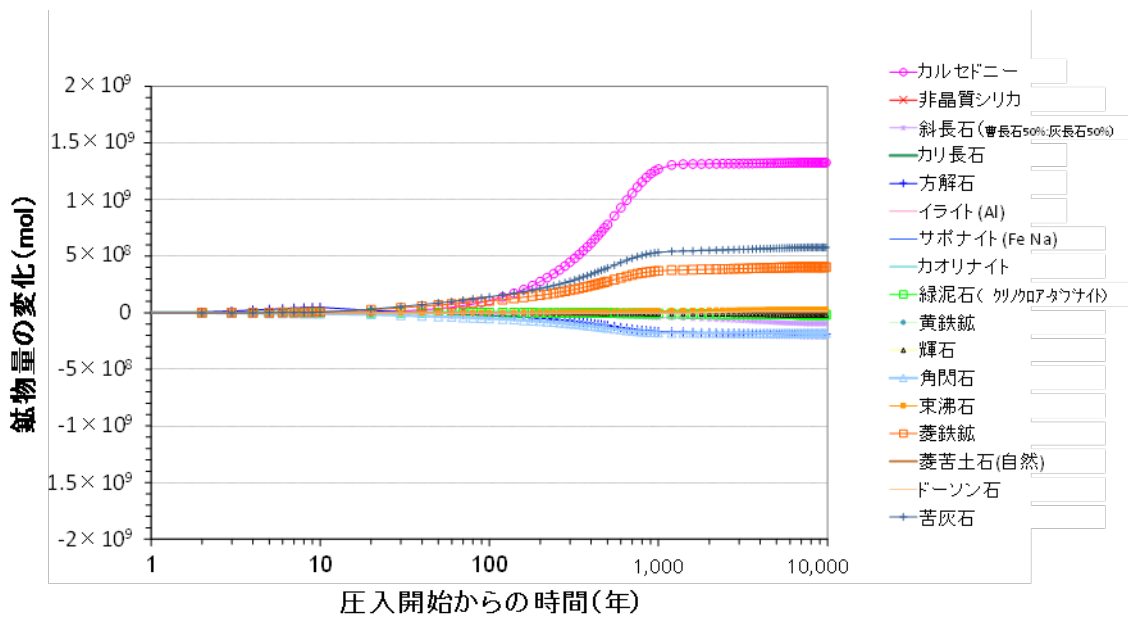
滝ノ上層 T1 部層 地層水組成	
貯留層温度 (°C)	90
pH	6.75
組成	濃度 (mg/kg)
Cl <sup>-</sup>	20,732.00
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	63.33
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10.23
HS <sup>-</sup>	4.89E-04
SiO <sub>2</sub> (aq)	83.93
Al <sup>3+</sup>	8.78E-03
Ca <sup>2+</sup>	8,321.83
Mg <sup>2+</sup>	2.06
Fe <sup>2+</sup>	9.24
K <sup>+</sup>	11.69
Na <sup>+</sup>	3,893.70
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	16.61
備考	黄鉄鉱, カルセドニー, 東沸石, カオリナイト, 方解石, サポーナイト (Fe, Ca), イライト (Al) と化学平衡になるように地層水組成を熱力学的に再構成 (Thermoddem を使用)。

[1] Thermoddem (BRGM, the French Geological Survey : <http://thermoddem.brgm.fr/>, 2015年2月5日アクセス)

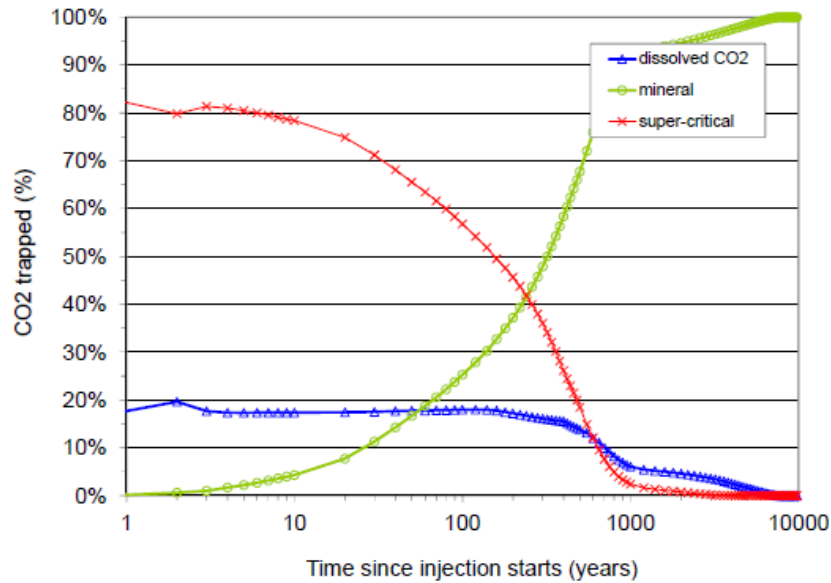
第 3.1-2 表 地化学反応シミュレーションで使用した滝ノ上層 T1 部層の鉱物組成

Class	和名	Name	Abbreviation	鉱物組成 (vol%)
シリカ鉱物	玉髄	chalcedony	chalcedony	8.61
長石	斜長石	albite/anorthite	ab0.5an0.5	16.04
長石	カリ長石	K-feldspar	microcline	10.85
炭酸塩鉱物	方解石	calcite	calcite	4.05
粘土鉱物	イライト	illite	illite(Al)	14.01
粘土鉱物	サポナイト	saponite	saponite(FeCa)	3.07
粘土鉱物	カオリン石	kaolinite	kaolinite	0.00
粘土鉱物	緑泥石	clinoclore/daphnite	clcl2.5dap2.5	5.07
粘土鉱物	黄鉄鉱	pyrite	pyrite	3.10
輝石	輝石	diopside/hedenbergite	diop0.8hed0.2	5.81
角閃石	角閃石	tremolite/actinolite	trem3act2	5.63
沸石	束沸石	stilbite	stilbite	8.24
炭酸塩鉱物	菱鉄鉱	siderite	siderite	0.00
炭酸塩鉱物	菱苦土鉱	magnesite	magnesite(Natur)	0.00
炭酸塩鉱物	ドーンソン石	dawsonite	dawsonite	0.00
炭酸塩鉱物	苦灰石	dolomite	dolomite	0.00

シミュレーションの結果を、第 3.1-1 図および第 3.1-2 図に示す。



第 3.1-1 図 滝ノ上層 T1 部層に CO<sub>2</sub> を圧入した際の鉱物変化量の推定



第 3.1-2 図 滝ノ上層 T1 部層に CO<sub>2</sub>を圧入した際の鉱物固定化量の推定

CO<sub>2</sub>圧入終了から 20 年程度は、ほとんど反応が起こらない。100 年程度以降から、カルセドニー、方解石、苦灰石が析出し、緑泥石や角閃石、方解石が溶解するものと推定される。溶解した鉱物も含め化学反応が進行し、数 10 年後ごろから CO<sub>2</sub>が鉱物として固定化される量が増加する。10,000 年後には、圧入した CO<sub>2</sub>のほぼすべてが鉱物として固定化される結果となった。

第 3.1-3 表に、苫小牧 CCS-1 で採取したカッティング試料の X 線回折分析結果を示す。

第 3. 1-3 表 苫小牧 CCS-1 で採取したカッティング試料の X 線回折分析結果

深 度 (m)	地 層 名		岩 相 (肉眼記載)	同 定 さ れ た 鉱 物														
	累層	部層		ミクタイト	イソト	緑泥石	斜方沸石	モルデン沸石	スフェルイソト	カークライト	石英	斜長石	角長石	方解石	トルマリン	黄鉄鉱	赤鉄鉱	角閃石
900	萌別層泥岩		砂質泥岩	×	△	△					◎	○		×		△		△
950			砂質泥岩	×	○	○					○	○	△	×		△		△
1000			砂質泥岩	×	○	○					◎	○		×		△		△
1050			砂質泥岩	×	○	○					◎	○				△		△
1100			砂質泥岩	×	○	○					◎	○	△			×		△
1150			砂質泥岩	×	△	△	△				○	○	○			×		△
1200	萌別層砂岩		砂質泥岩	×	○	○	△				◎	○	△			△		△
1250			砂質泥岩	×	○	○					◎	○				△		△
1300	荷葉層		砂質泥岩	×	○	○				◎	○				△		△	
1350	荷葉層		砂質泥岩	×	○	○				◎	○	△			△		△	
1400	荷葉層		砂質泥岩	×	△	△				○	◎		×		△			
1450	荷葉層		砂質泥岩	×	○	○				○	○	△	×		×		○	
1500	荷葉層		砂質泥岩	×	○	○	△			◎	○		×		×		△	
1550	荷葉層		砂質泥岩	×	○	△	△			◎	○		×		△		△	
1580	荷葉層		砂質泥岩	×	○	△	○			○	○	△	×		△		△	
1650	平取+軽舞層		泥岩	×	○	○				○	○				△		△	
1700	平取+軽舞層		泥岩	×	○	○	○			×	○	○			△		△	
1750	平取+軽舞層		泥岩	×	○	○	○			×	○	○	×		△		△	
1800	平取+軽舞層		泥岩	×	○	○	○			△	◎	×			△		△	
1850	平取+軽舞層		泥岩	×	○	○	△			△	○	○	△		△		△	
1900	平取+軽舞層		泥岩	×	○	△	○			△	○	○			△		△	
1950	平取+軽舞層		泥岩	×	○	○	△			△	○	○			△		△	
2000	平取+軽舞層		泥岩		○	○	△			△	◎	○			△		△	
2050	平取+軽舞層		泥岩	×	○	○	△			△	○	○			△		×	
2100	平取+軽舞層		泥岩	×	○	○	○			△	△	○		×	△		×	
2150	平取+軽舞層		泥岩	×	○	○	△			△	○	○			△		×	
2200	平取+軽舞層		泥岩	×	○	○	△			△	◎	○			△		×	
2250	平取+軽舞層		泥岩	×	○	○	△			×	◎	○			△		×	
2300	振老層		泥岩	×	○	○	△				◎	○			△			
2350			泥岩		○	○	△				◎	○			△			
2400			泥岩	×	○	○					◎	○		×	△			
2450			凝灰質泥岩	×	○	○					◎	○		×	△			
2500			泥岩	×	○	○					◎	○		×	△			
2550			凝灰質泥岩	×	○	○					◎	○		×	△			
2600			泥岩	×	○	○					◎	○		×	△			
2650			凝灰質泥岩	×	○	○					◎	○		×	△			
2700			泥岩	×	○	○					◎	○		×	△			
2750			泥岩	×	○	○					◎	○		×	△			
2800			泥岩	×	△	○	△				◎	○		×	○			
2900		滝ノ上層	T1	火山礫凝灰岩	×	△				◎		△	○			×		
2950	滝ノ上層	T1	火山礫凝灰岩	×	△				◎		△	○						
3000	滝ノ上層	T1	砂質凝灰岩	×	△		○		◎		△	○						
3100	滝ノ上層	T1	砂質凝灰岩	△	△		○				○	◎		×				
3150	滝ノ上層	T1	砂質凝灰岩	△	×				△		○	◎		×		△		
3250	滝ノ上層	T1	砂質凝灰岩	△	△		◎				△	◎		×				
3300	滝ノ上層	T1	砂質凝灰岩	△	△		○		○		△	◎		×	△		×	
3400	滝ノ上層	T1	砂質凝灰岩	△					○		○	◎		×		△		
3450	滝ノ上層	T1	凝灰岩	×	×		◎			○	△	○		×				
3500	滝ノ上層	T1	砂質凝灰岩	△					◎		○	◎		×				
3550	滝ノ上層	T1	砂質凝灰岩	△					△		○	◎		×		△		
3600	滝ノ上層	T1	砂質凝灰岩	○							○	◎		×		○		
3650	滝ノ上層	T1	砂質凝灰岩	○							○	◎		×				
3700	滝ノ上層	T1	砂質凝灰岩	△		○			○		○	◎		×				

◎: 多い    ○: 中    △: 少ない    ×: 極めて少ない

第 3. 1-3 表に示すように、砕屑岩である振老層（遮蔽層）で同定された鉱物は、滝ノ上層 T1 部層の火山岩類とは異なり、萌別層泥岩などに近い組成を示す。したがって、遮蔽層と CO<sub>2</sub> の化学的な反応は萌別層に近い反応が生じることになる。遮蔽層には CO<sub>2</sub> がほとんど浸透できないと考えられ、化学的反応は遮蔽層と CO<sub>2</sub> の接触部分でのみ生じることとなる。

(2) 萌別層砂岩層

萌別層砂岩層の地層水は、苫小牧 0B-2（萌別層観測井）で採取した地層水を基に、第 3. 1-4 表に示す地層水組成を使用した。萌別層砂岩層の鉱物組成は、苫小牧 0B-2 試料を参照し、第 3. 1-5 表に示す組成を採用した。



また、鉱物の熱力学データは、公開データベースである Thermoddem<sup>[1]</sup>を参照した。

第 3.1-4 表 地化学反応シミュレーションで使した萌別層砂岩層の地層水組成

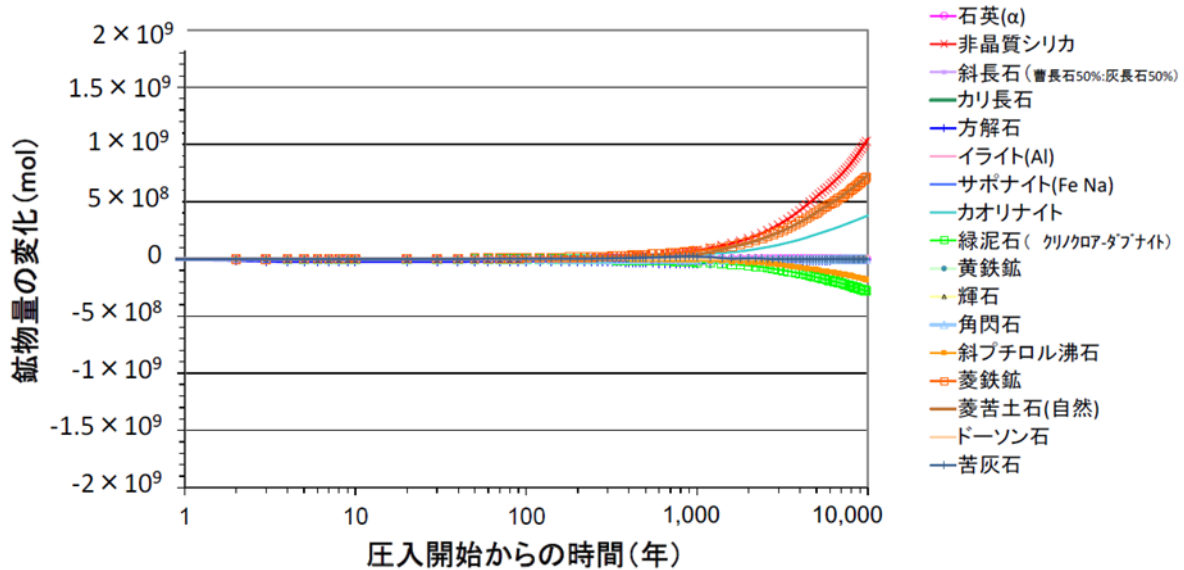
萌別層砂岩層 地層水組成	
貯留層温度 (°C)	40
pH	7.17
組成	濃度 (mg/kg)
Cl <sup>-</sup>	1,864.10
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	9.17
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	541.40
HS <sup>-</sup>	7.28E-05
SiO <sub>2</sub> (aq)	156.00
Al <sup>3+</sup>	1.35E-04
Ca <sup>2+</sup>	45.91
Mg <sup>2+</sup>	8.04
Fe <sup>2+</sup>	0.45
K <sup>+</sup>	11.02
Na <sup>+</sup>	1,321.74
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2.69
備考	黄鉄鉱, 非晶質シリカ, クリノプチロライト (Na), カオリナイト, 菱鉄鉱, 方解石, サポナイト (Fe, Ca), 菱苦土石, イライト (Al) と化学平衡になるように地層水組成を熱力学的に再構成 (Thermoddem を使用)。

第 3.1-5 表 地化学反応シミュレーションで使した萌別層砂岩層の鉱物組成

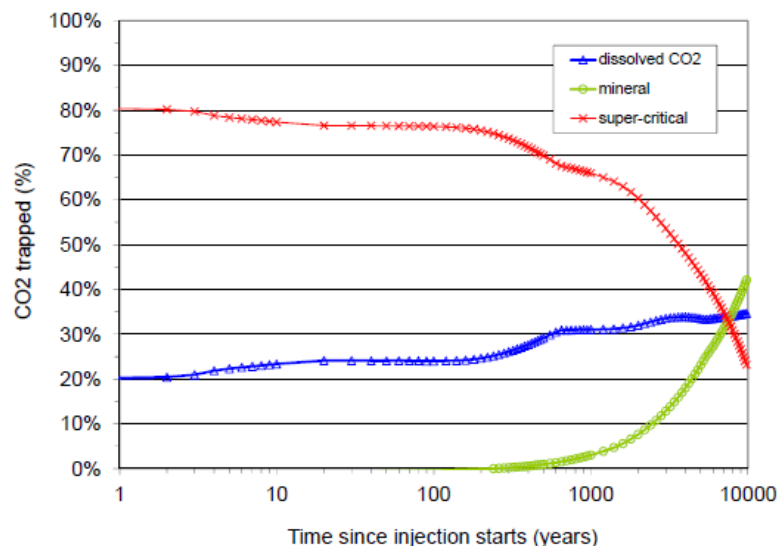
Class	和名	Name	Abbreviation	鉱物組成 (vol%)
シリカ鉱物	石英	quartz	quartz, alpha	22.34
シリカ鉱物	非晶質シリカ	amorphous silica	amorphous silica	0.00
長石	斜長石	albite/anorthite	ab0.5an0.5	11.06
長石	カリ長石	K-feldspar	microcline	9.75
炭酸塩鉱物	方解石	calcite	calcite	0.49
粘土鉱物	イライト	illite	illite(Al)	9.40
粘土鉱物	サポナイト	saponite	saponite(FeCa)	3.50
粘土鉱物	カオリン石	kaolinite	kaolinite	1.71
粘土鉱物	緑泥石	clinochlore/daphnite	clcl2.5dap2.5	8.65
粘土鉱物	黄鉄鉱	pyrite	pyrite	1.13
輝石	輝石	diopside/hedenbergite	diop0.8hed0.2	0.61
角閃石	角閃石	tremolite/actinolite	trem3act2	4.83
沸石	斜プチロル沸石	Na-clinoptilolite	clinoptiloliteNa	19.03
炭酸塩鉱物	菱鉄鉱	siderite	siderite	0.00
炭酸塩鉱物	菱苦土鉱	magnesite	magnesite(Natur)	0.00
炭酸塩鉱物	ドーソン石	dawsonite	dawsonite	0.00
炭酸塩鉱物	苦灰石	dolomite	dolomite	0.00

[1] Thermoddem (BRGM, the French Geological Survey : <http://thermoddem.brgm.fr/>, 2015年2月5日アクセス)

シミュレーションの結果を，第 3. 1-3 図および第 3. 1-4 図に示す。



第 3. 1-3 図 萌別層砂岩層に CO<sub>2</sub> を圧入した際の鉱物量変化量の推定



第 3. 1-4 図 萌別層砂岩層に CO<sub>2</sub> を圧入した際の鉱物固定化量の推定

CO<sub>2</sub> 圧入終了から 100 年程度は，ほとんど反応が起こらない。1,000 年程度以降から，非晶質シリカ，菱鉄鉱，カオリナイトが析出し，緑泥石や斜プチロル沸石が溶解すると推定された。溶解した鉱物も含め化学反応が進行し，400～500 年ごろから CO<sub>2</sub> が鉱物として固定化される量が増加する。

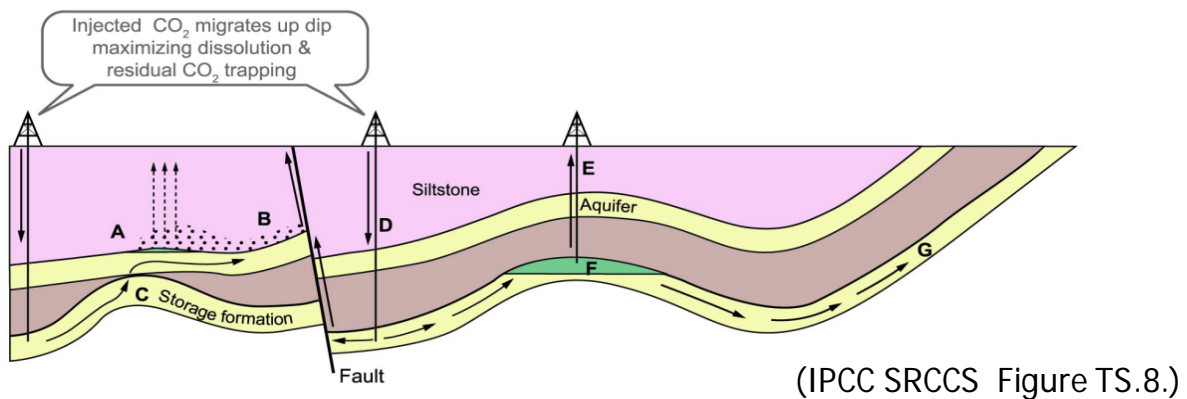
萌別層砂岩および萌別層泥岩の堆積物の主な供給源は共通していると考えられ，鉱物組成も類似している（第 3. 1-3 表）。1,000 年以降に溶解量が増加する角閃石や斜プチロル沸石の存在量も同程度であることから，CO<sub>2</sub> への化学的な反応は類似したものになるが，遮蔽層には CO<sub>2</sub> がほとんど浸透できないと考えられ，化学的反応は遮蔽層と CO<sub>2</sub> の接触部分でのみ生じることとなる。

### 3.2 CO<sub>2</sub>漏出の可能性検討

#### (1) CO<sub>2</sub>漏出要因の洗い出し

貯留層からCO<sub>2</sub>が漏出する要因として、IPCC特別報告書<sup>[1]</sup>において示されている潜在的な漏洩経路は、下記のとおり分類されている（第3.2-1図参照）。

- (A) CO<sub>2</sub>のガス圧が遮蔽層の毛細管圧を超えて移動
- (B) 断層を通じてCO<sub>2</sub>が移動
- (C) キャップロックの局所的な不連続部分を通じた移動
- (D) CO<sub>2</sub>貯留層圧の増加および断層の浸透率の増加によって生じる移動
- (E) プラグの状態が完全でない廃坑井を通じた移動
- (F) 地下水に溶解したCO<sub>2</sub>が貯留層の外に移動
- (G) 地下水に溶解したCO<sub>2</sub>が傾斜した地層を通じて地表に移動



第3.2-1図 IPCC特別報告書<sup>[1]</sup>による潜在的な漏洩経路

苫小牧地点における貯留層総合評価の検討結果<sup>[2]</sup>により、貯留後のCO<sub>2</sub>が貯留対象層から漏出する要因の可能性として、以下の漏出経路が想定される。

- 1) 遮蔽層の毛細管圧を超えて移動
- 2) 断層を通じた移動
- 3) 廃坑井を通じた移動
- 4) 圧入井等の設置予定の構造物に沿った移動

1)については、CO<sub>2</sub>挙動予測シミュレーションにより漏出経路とはならないとする結果を得ている。

<sup>[1]</sup> Benson, S., Cook, P., Anderson, J., Bachu, S., Nimir, H. B., Basu, B., Bradshaw, J., Deguchi, G., Gale, J., von Goerne, G., Heidug, W., Holloway, S., Kamal, R., Keith, D., Lloyd, P., Rocha, P., Senior, B., Thomson, J., Torp, T., Wildenborg, T., Wilson, M., Zarlenga, F., and Zhou, D. 2005. Underground geological storage. In: Metz, B. et al. (Eds), IPCC Special Report on carbon dioxide capture and storage. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp.195-276

<sup>[2]</sup> 経済産業省. 2011. CCS実証試験実施に向けた専門検討会-とりまとめ, 苫小牧地点における貯留層総合評価, 平成23年10月26日, pp. 第3章 59-60  
([http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/sangi/ccs/report\\_001\\_s01.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/sangi/ccs/report_001_s01.pdf), 2015/1/28 アクセス)