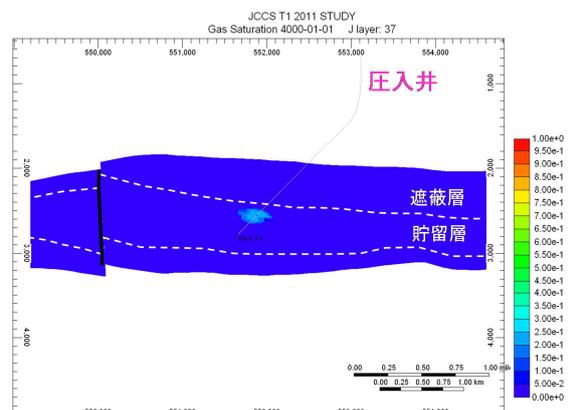
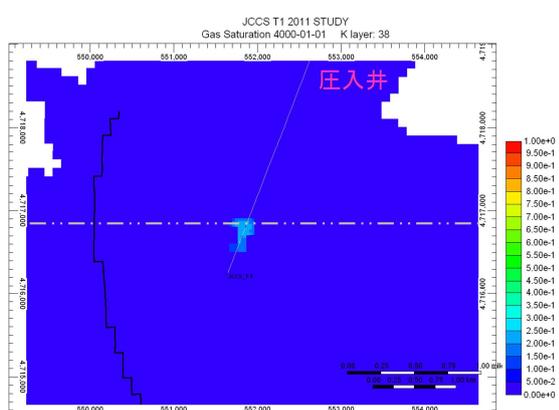
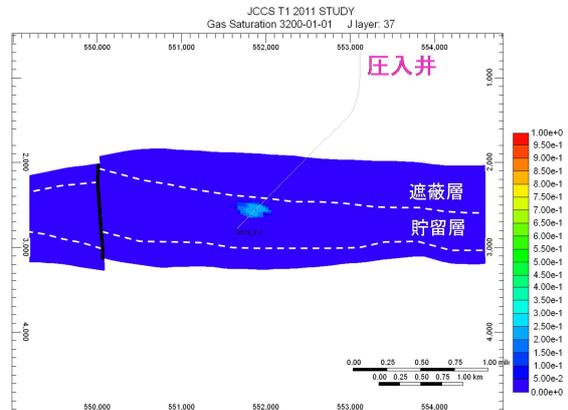
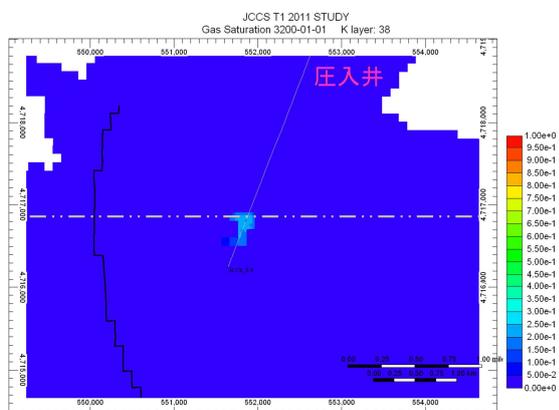
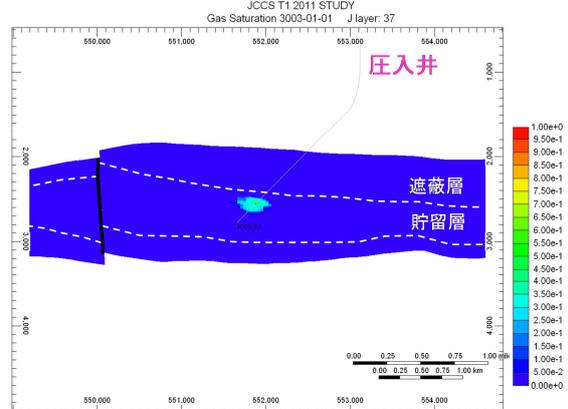
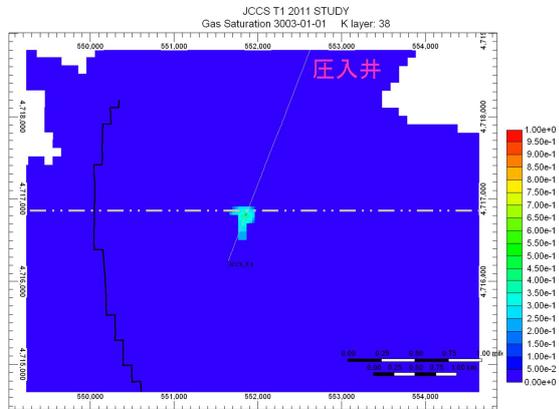


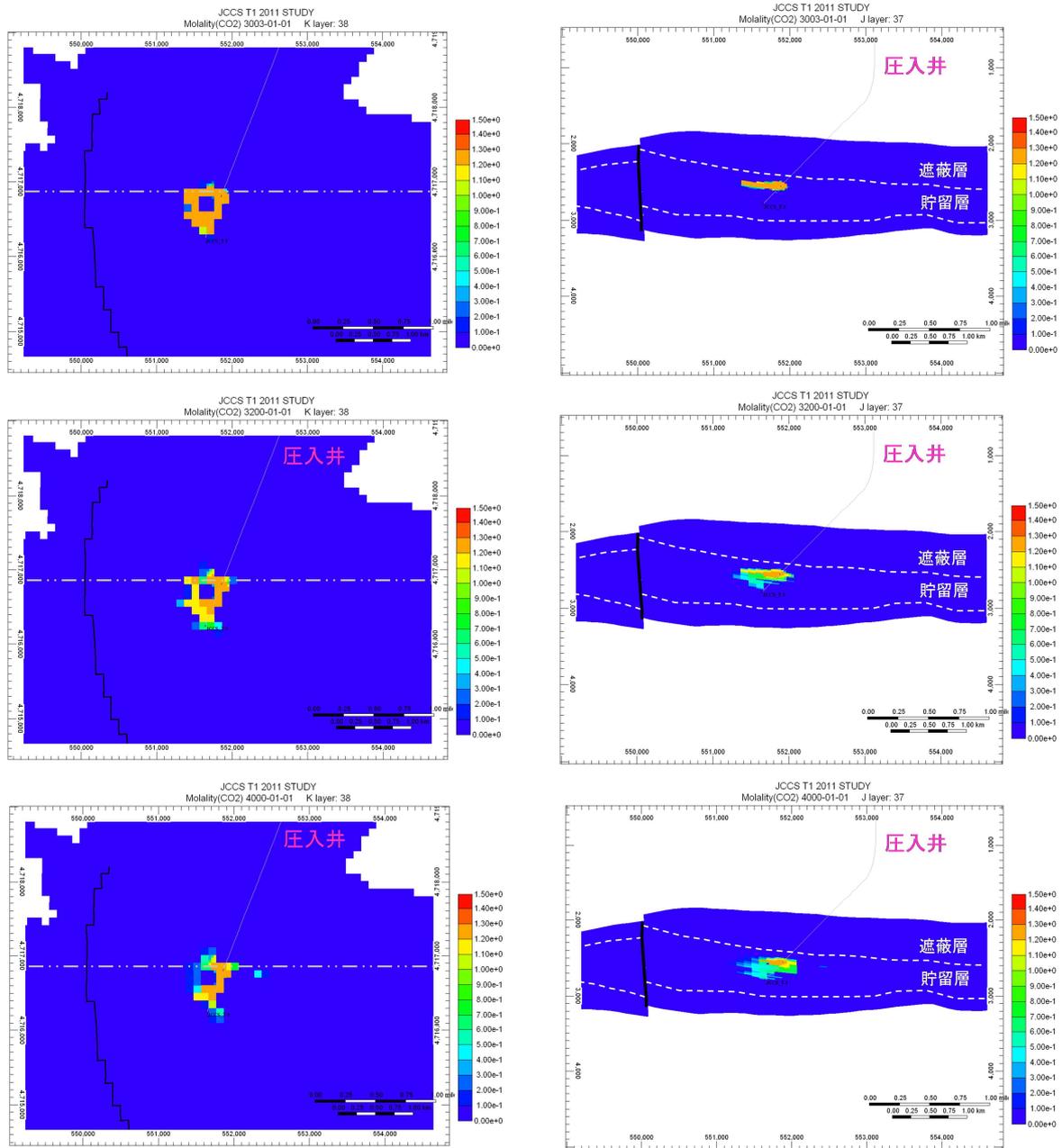
注：上段：圧入終了時（3年後），中段：200年後，下段：1,000年後。上段：平面分布（k方向セル38），下段：東西断面（位置は平面分布の点線の位置）。

第 2.2-37 図 P50 モデルにおける CO₂ 飽和度の推移（平成 23 年度シミュレーション結果）



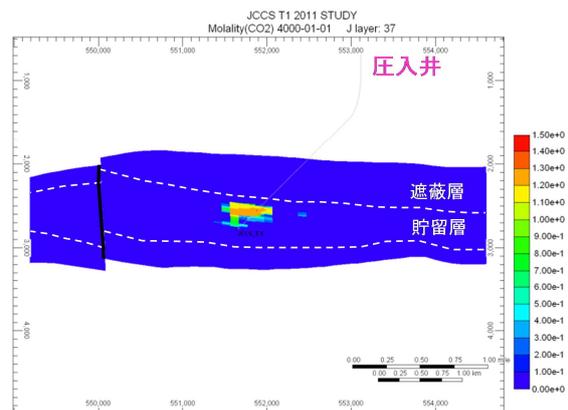
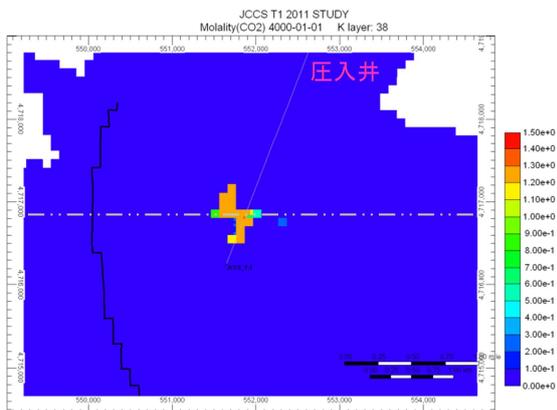
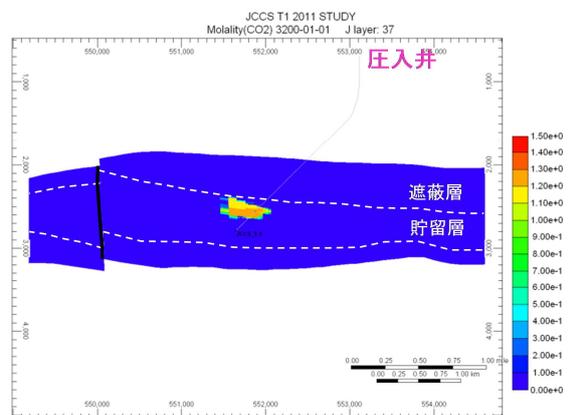
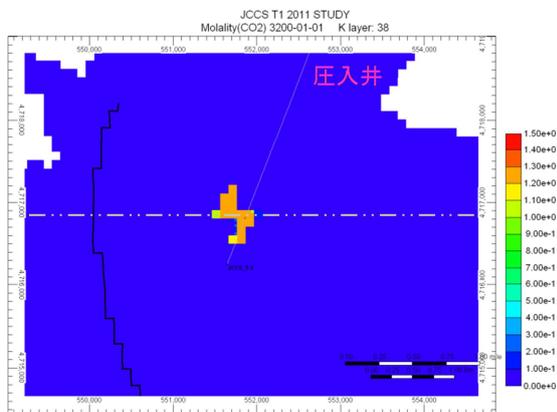
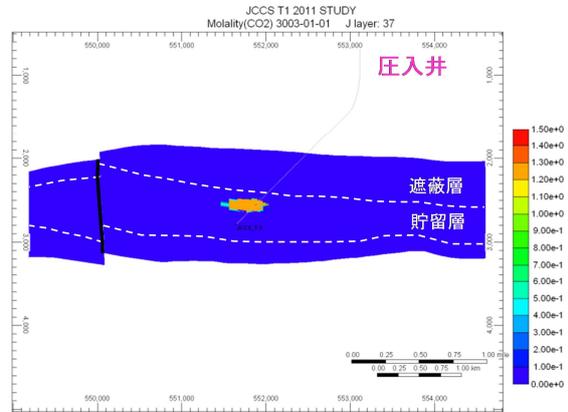
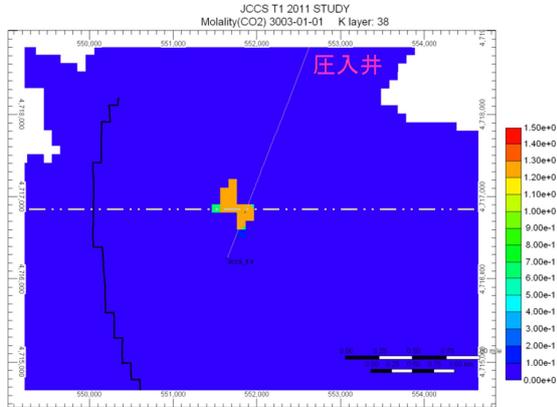
注：上段：圧入終了時（3年後），中段：200年後，下段：1,000年後。上段：平面分布（k方向セル38），下段：東西断面（位置は平面分布の点線的位置）。

第 2.2-38 図 P90 モデルにおける CO₂ 飽和度の推移（平成 23 年度シミュレーション結果）



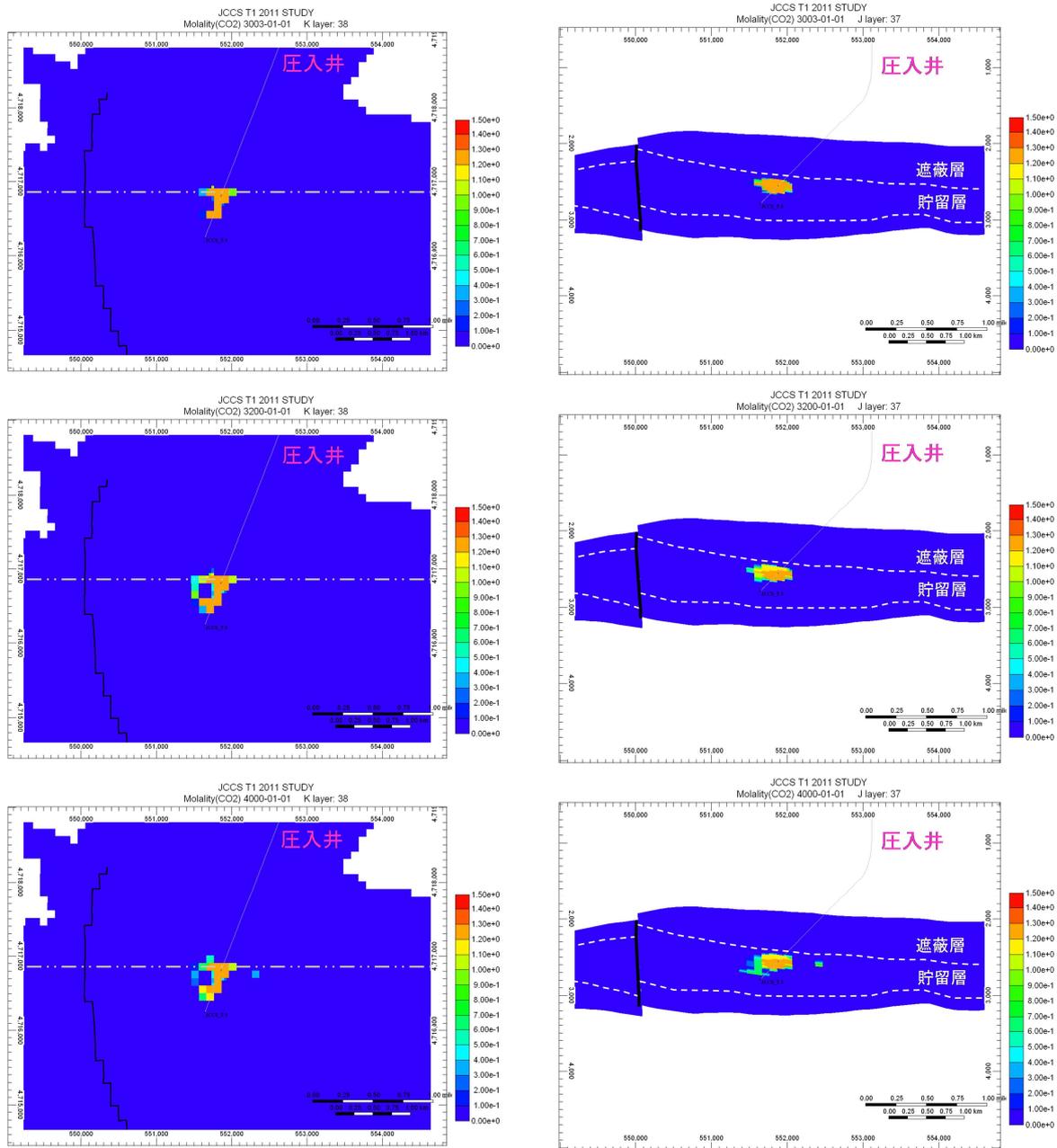
注：上段：圧入終了時（3年後），中段：200年後，下段：1,000年後。上段：平面分布（k方向セル38），下段：東西断面（位置は平面分布の点線の位置）。単位は，mol/kg。

第 2.2-39 図 P10 モデルにおける溶解 CO₂ 量の推移（平成 23 年度シミュレーション結果）



注：上段：圧入終了時（3年後），中段：200年後，下段：1,000年後。上段：平面分布（k方向セル38），下段：東西断面（位置は平面分布の点線の位置）。単位は，mol/kg。

第 2.2-40 図 P50 モデルにおける溶解 CO₂ 量の推移（平成 23 年度シミュレーション結果）



注：上段：圧入終了時（3年後），中段：200年後，下段：1,000年後。上段：平面分布（k方向セル38），下段：東西断面（位置は平面分布の点線の位置）。単位は，mol/kg。

第 2.2-41 図 P90 モデルにおける溶解 CO₂ 量の推移（平成 23 年度シミュレーション結果）

a) P10 モデル

CO₂は、高浸透率な滝ノ上層 T1 部層上部に選択的に圧入される。圧入された CO₂は西方向に伸長して広がり、圧入終了時点で気相 CO₂^{注1}は滝ノ上層圧入井から水平的に約 600m 先まで、溶解 CO₂は約 800m 先まで広がる。圧入終了後は、気相 CO₂はほとんど移動せず溶解により CO₂飽和度が減少する。溶解 CO₂は、CO₂の溶解により地層水の密度が増加するため、やや下方へ移動する。

b) P50 モデル

CO₂は、比較的高浸透率な滝ノ上層 T1 部層上部に大部分が圧入されるものの、滝ノ上層 T1 部層下部にもある程度は圧入される。P10 モデル同様、圧入された CO₂は西方向に伸長して広がり、圧入終了時点で気相 CO₂は圧入井から水平的に約 450m 先まで、溶解 CO₂は約 700m 先まで広がる。圧入終了後は、気相 CO₂は殆ど移動せず、溶解により CO₂飽和度が減少する。溶解 CO₂は、CO₂の溶解により地層水の密度が増加するため、やや下方へ移動する。

c) P90 モデル

CO₂は、貯留層の比較的高浸透率な滝ノ上層 T1 部層上部に大部分が圧入されるものの、滝ノ上層 T1 部層下部にもある程度は圧入される。P10 モデル、P50 モデル同様、圧入された CO₂は坑井を中心として広がり、圧入終了時点で気相 CO₂は圧入井から水平的に約 400m 先まで、溶解 CO₂は約 500m 先まで広がる。圧入終了後は、気相 CO₂はほとんど移動せず、溶解により CO₂飽和度が減少する。溶解 CO₂は、CO₂の溶解により地層水の密度が増加するため、やや下方へ移動する。

1) 滝ノ上層 T1 部層における CO₂挙動予測 (圧入井掘削結果を踏まえた予測)

a. 概要

Computer Modelling Group Ltd.社の GEM (ver2014.10) を使用し、シミュレーションで考慮した貯留メカニズムは、以下の3種類である

- ・ 泥岩の毛細管圧力と低浸透性による物理的トラッピング
- ・ 残留ガス飽和率とガス相対浸透率のヒステリシスによる残留 CO₂トラッピング
- ・ CO₂の地層水への溶解による溶解トラッピング

圧入井における滝ノ上層の仕上げ全区間に対して CO₂を圧入する設定とした。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、滝ノ上層圧入井の振老層下部泥岩 (遮蔽層) で実施したエクステンデットリークオフテストで取得したリークオフ圧力を地層の破壊圧と仮定し、その 90% (38,000kPa@PT センサー深度) と設定した。

^{注1} CO₂は、温度圧力条件により液体と気体の性状を合わせ持った状態となるが、シミュレータの中では「気相」として取り扱われるため、ここでは「気相」と称する。

b. パラメータ

シミュレーションパラメータは、滝ノ上層圧入井のデータ(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, 第 2.2-13 表に示す値を用いた。

滝ノ上層の貯留岩性状が予想以上に低かったため, 地質モデルの一部分を切出した 2km × 2km のセクターモデルを作成した。さらにより正確なシミュレーションを実施するために, 100m × 100m のセクターモデルとし, 滝ノ上層圧入井が通過するグリッドを 5m × 5m のグリッドに細分の上, シミュレーションを実施した(第 2.2-42 図)。

第 2.2-13 表 シミュレーションパラメーター一覧(平成 27 年度地質モデル)

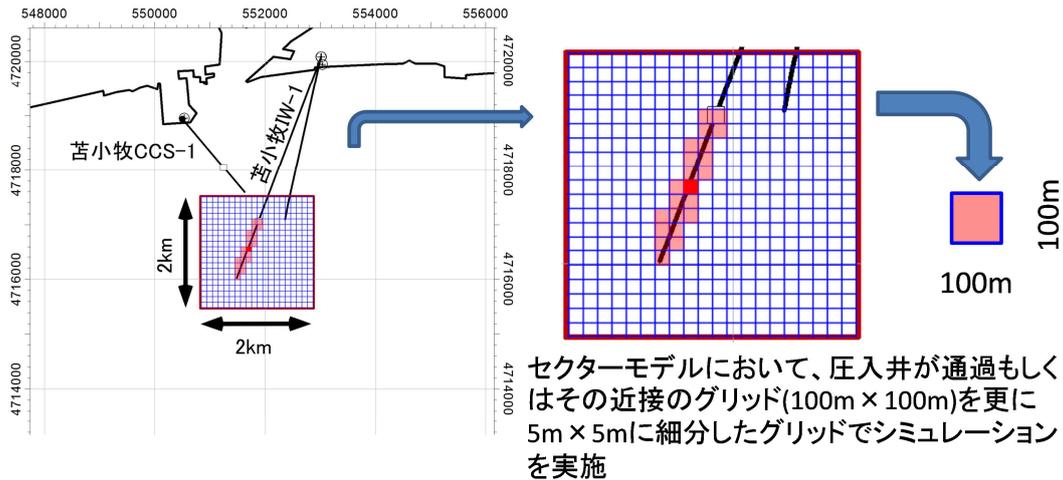
モデル	滝ノ上層 T1 部層 2015 モデル	
サイズ	8km × 12km × 4km 2km × 2km × 1km (セクターモデル)	
グリッド	80 × 120 × 106 グリッド 20 × 20 × 62 (セクターモデル)	
アクティブ・ブロック数	24,800 (セクターモデル)	
基準温度	88.3 (2,340m/PT センサー深度)	
基準圧力	32,600kPa (2,340m/PT センサー深度)	
CO ₂ 圧入レート, 圧入期間	200,000 トン/年 × 3 年 (設定最大レート)	
圧入圧力上限	38,000kPa (PT センサー深度)	
岩石性状	凝灰岩 (貯留層)	泥岩 (遮蔽層)
平均孔隙率	滝ノ上層圧入井 AI 分布から推定	0.15
平均浸透率: mD	滝ノ上層圧入井ビルドアップテスト結果等から推定	0.000035
圧縮率: kPa ⁻¹	8.073 × 10 ⁻⁷ (測定値)	
塩分濃度: ppm (NaCl)	35,100 (Cl ⁻ = 21,300ppm)	
相対浸透率	凝灰岩 (貯留層)	泥岩 (遮蔽層)
気相 相対浸透率 Krg	Bennion (2005) ^[1]	Corey (1954) ^[2]
液相 相対浸透率 Krw		van Genuchten (1980) ^[3]
臨界ガス飽和率 Sgc	0.04 Bennion (2005) ^[1]	0.05
不動水飽和率 Swir	0.558 Bennion (2005) ^[1]	0.8
最大残留ガス飽和率 Sgrmax	0.241 from default value of GEM	-
毛細管圧力曲線	凝灰岩 (貯留層) Bennion (2006) ^[4] , van Genuchten (1980) ^[3]	泥岩 (遮蔽層) 測定値

^[1] Bennion, B. 2005. Relative permeability characteristics for supercritical CO₂ displacing water in a variety of potential sequestration zones in the Western Canada Sedimentary Basin. paper SPE 95547, pp.7-9, p.12

^[2] Corey, A.T. 1954. The Interrelation between gas and oil relative permeabilities. Producers Monthly, November, pp.38-41

^[3] 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

^[4] Bennion, B. 2006. The impact of interfacial tension and pore-size distribution / capillary pressure character on CO₂ relative permeability at reservoir condition in CO₂-Brine systems. paper SPE 99325, p.9



注：全域で作成した地質モデルからセクターモデル（2km×2km）を切出し、その中を 100m×100m に分割した。
 そのうちの圧入井が通過するグリッドをさらに 5m×5m に分割してシミュレーションを実施した。

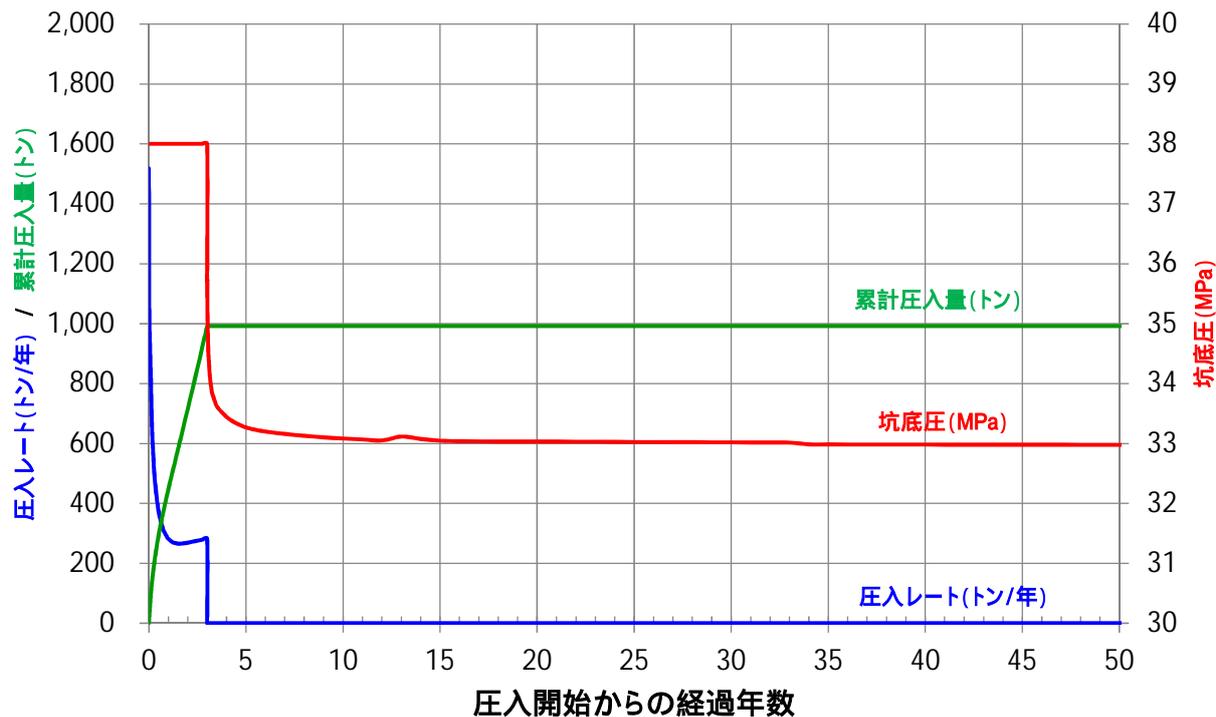
第 2.2-42 図 平成 27 年度シミュレーションに用いたセクターモデルとグリッド

c. CO₂ 圧入時の挙動

圧入中の坑底圧，圧入レート，累計圧入量および圧入開始から 50 年後までの圧入井における坑底圧変化の関係を，第 2.2-43 図に示す。

圧入は 1,500 トン/年程度の圧入レートで開始するが，シミュレーションの設定上，圧入開始直後に坑底圧の規定上限圧力（38MPa）に到達するため，圧入レートを下げる必要があり，約 1 年後には 300 トン/年程度の圧入レートとなる。圧入開始から 1.5 年程度経過したころから，圧入井近傍の CO₂ 濃度が高まるため，地層水に対する CO₂ の浸透性が増すことから，若干圧入レートが上昇するものと考えられる。

3 年間での累計圧入量は，1,000 トン程度と推定される。



第 2.2-43 図 CO₂ 圧入時の挙動 (平成 27 年度シミュレーション結果)

d. 貯留層圧力分布

CO₂ 圧入終了時からの貯留層圧力分布の推移を，第 2.2-44 図に示す。

3 年間の CO₂ 圧入により上昇した圧力は，圧入井の周辺約 50m 程度まで伝播する（第 2.2-44 図上段）。また，垂直方向には，上下 20～30m の範囲の圧力が上昇する。

その後圧力は低下し，200 年後には坑跡に沿ってわずかな影響を残す程度まで圧力は低下する。しかしながら，それ以降ほとんど圧力は下がらず，1,000 年たってもその影響はほとんど変わらない（第 2.2-44 図の中段および下段）。