- (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 検討に使用した地質モデル
 - ア) 平成 23 年度地質モデルの作成
 - a. 岩相分布・性状分布の推定

三次元弾性波探査の解析から,萌別層砂岩層は,沖合に前進しながら陸棚に堆積した ファンデルタが発達していると推定される。ファンデルタは,砂岩を主体とした粗粒堆 積物が発達する。緩やかな西傾斜を示し,層厚は約100mである。北東部を中心に砂礫岩 層の発達も示唆され,堆積物は主に北東側から供給されたと推定されている。

本層陸棚上の浅い海底で堆積したものと考えられる。砂岩の分布範囲を,苫小牧 CCS-1 および三次元弾性波探査データを用いて,堆積学的検討により推定した。

萌別層砂岩層は,シーケンス層序学上,高海水準期堆積体(HST)に相当し,ファンデ ルタ,陸棚(Shelf)および斜面(Slope)の3つに分類でき(第4.5-21図),砂岩の発 達が最も期待できるのはファンデルタである。当該地域には少なくとも5つのファンデ 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できる。堆積物の供給源は北東 側と推定され,北東側程粗粒相が発達し,南西に向かって泥岩が多くなる傾向にあると 考えられる。



注: 図の上部の方角は,北。暖色系は負の高い振幅値,寒色系は負の低い振幅値を示す。正の振幅は,非表示。 第4.5-21 図 萌別層 HST 区間の堆積相解釈図

b. 構造モデルの作成

地質モデルを作成するため,三次元弾性波探査データの解釈により作成した各層準の 時間構造図を深度構造図へ変換した。 構造モデル構築には,地質構造解釈で作成されたホライゾン(上位より,鵡川層上限, 萌別層上限, 萌別層海進期堆積体(TST)上限, 萌別層高海水準期堆積体(HST)上限, 萌別層 HST デルタ上部基底, 萌別層 HST 基底, 荷菜層上部基底)を用いた。深度変換さ れた萌別層砂岩層上限(萌別層 HST上限)のモデル断面位置図を第4.5-22 図に,主要な 層準の東西モデル断面を第4.5-23 図に示す。



注: 図中の X 軸および Y 軸は,世界測地系 WGS84 の UTM54 系の座標。 第 4.5-22 図 モデル断面位置図(構造図は萌別層砂岩層(HST)上限)



各層準内に第4.5-9表のようにグリッドセルを作成した。第4.5-24図に, グリッドセルの鳥瞰図を示す。

i 方向 (東西方向) セル数	200m	40 セル
荷菜層上部:	3 レイヤーに分割	(k方向セル番号:7~9)
荷菜層下部:	5 レイヤーに分割	(k方向セル番号:10~14)
平取+軽舞層:	5 レイヤーに分割	(k 方向セル番号:15~19)
振老層:	5 レイヤーに分割	(k 方向セル番号:20~24)
滝ノ上層 T1 部層上部:	15m ごとに分割	(k 方向セル番号:25~57)
滝ノ上層 T1 部層下部:	15m ごとに分割	(k 方向セル番号:58~96)
滝ノ上層下部:	5 レイヤーに分割	(k方向セル番号:97~101)
南長沼層	5 レイヤーに分割	(k方向セル番号:102~106)

第4.5-9表 萌別層構造モデルのグリッディング



第4.5-24 図 グリッドセルの鳥瞰図

c. 属性モデルの作成

構造モデルの各セルに属性を与えた。属性は,堆積相解析で設定した堆積相区分として与えた。属性モデルに与えた堆積相区分概念を,第4.5-25図に示す。



第4.5-25 図 堆積相区分概念図

萌別層 HST は, 堆積環境により西よりスロープ(6), 陸棚(7), デルタ上部(8) およ びデルタ下部(9)の4つに区分される。また, 萌別層 TST は, 沖側(3: 泥岩層), 陸側 上部(4:砂岩層) および陸側下部(5: 泥岩層)に区分した。

1) 平成 24 年度地質モデルの作成

萌別層圧入井の圧入(廃棄)位置を選定するあたり,三次元弾性波探査データおよび苫小牧 CCS-1(調査井),苫小牧 CCS-2(調査井),坑井 A(既存民間井)のデータを解析した。 そして,当該海域の萌別層砂岩層には下位から FD1~FD5 の5枚のファンデルタシステムの 分布を認識した(第4.5-26図)。



第4.5-26図 萌別層砂岩層に認識された5枚のファンデルタシステムおよび貯留層ターゲット

Top FD5

弾性波探査データを解析した結果, FD2, FD3, FD4 には粗粒堆積物が埋積するチャネルの 発達が認識され,その重複箇所をターゲットとして萌別層圧入井の掘削位置を選定した。 萌別層砂岩層における CO₂挙動予測シミュレーション

- ア) 平成 23 年度シミュレーション
- 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4.5-25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 CO₂の広がりが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(CO₂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^{注1}。

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,物理検層測定値など)および文献値から設定した(第4.5-10 表)。

^{注1} 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/cm²)であった。これは等価泥水比重で 1.50g/cm³ 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/cm²)、その 90%の値 (136.65kg/cm²=13,410kPa)をシミュレーション上の地層破壊圧と仮定した。

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 (1,046.835mVD)			
基準圧力	10,669.4kPa(1,046.835mVD)			
CO₂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)	$49 \times 10^{9} \text{Rm}^{3}$			
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 ⁻¹	1.532×10 ⁻⁶ (測定值)			
塩分濃度:ppm(NaCI)	18,000 (Cl ⁻ = 10,350mg/L)			
相対浸透率	砂岩	泥岩		
気相 相対浸透率 Krg	測定値	Corey (1954) ^[1]		
液相 相対浸透率 Krw	測定値	van Genuchten (1980) ^[2]		
臨界ガス飽和率 Sgc	0.05	0.05		
不動水飾和落 Swir	0.49	0.638		
	測定値	Bennion (2007) ^[3]		
島大砖四ガフ 御和家 Sarmay	0.275	_		
受けるとして、 して、 ので、 ので、 ので、 ので、 ので、 ので、 ので、 ので	Holtz(2002) ^[4]			
	砂岩	泥岩		
	van Genuchten (1980) ^[2]			
Pc:kPa	4.04	750		

第4.5-10 表 シミュレーションパラメータ一覧(平成 23 年度地質モデル)

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4.5-11表に示す。

^[1] Corey, A.T. 1954. The Interrelation between gas and oil relative permeabilities. Producers Monthly, November, pp.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, pp.892-898

^[3] Bennion, D.B. 2007. Permeability and Relative Permeability Measurements at Reservoir Conditions for CO₂-Water Systems in Ultra Low Permeability Confining Caprocks. paper SPE 106995-MS, p.5

^[4] 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

第 4.5-11 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)

	砂岩層		泥岩層				深部		
ケース名	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)	スレショ ルド圧力 (MPa)	堆積相	塩水層 容積 (Rm ³)
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 ⁹
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 ⁹
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 ⁹
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 ⁹
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 ⁹
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 ⁹
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 ⁹

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 kw = 17mD 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(kv/kh = 0.1)とした。

- (低浸透率ケース 砂岩層の浸透率を,kh = 9mDとして設定した。垂直浸透率は,水平浸透率の1/10とした。
- 高浸透率ケース 砂岩層の浸透率を,kh = 25mD 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(kv/kh = 0.675:kv = 11.475mD)。
- 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,スレショ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4.5-25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。 イ) 平成 24 年度シミュレーション

平成 24 年度の萌別層砂岩層での CO₂ 圧入長期挙動予測シミュレーションでは,FD2,FD3, FD4 に発達するチャネル堆積物の物性値を基準に,ベースケース,高浸透率ケース,低浸透 率ケースによるシミュレーションを実施した(第 4.5-12 表)。ケース区分の基準は,苫小 牧 CCS-1 および苫小牧 CCS-2 の萌別層砂岩層の解析結果に基づいている(第 4.5-27 図)。

なお,萌別層砂岩層における圧入圧力挙動および萌別層砂岩層への圧入による貯留層内 圧力変化に関するシミュレーション結果は,それぞれ第 5.2-7 図および第 5.3-2 図~第 5.3-4 図に示した。

第4.5-12表 萌別層砂岩層で実施した CO2 圧入長期挙動予測シミュレーションのケース分け

シミュレーション	孔隙率	浸透率:mD	根拠
ベースケース	0.281	17	CCS-1 および CCS-2の Unit2の平均値
高浸透率ケース	0.3	27.7	CCS-1およびCCS-2のUnit1の平均値
低浸透率ケース	0.3	10.2	CCS-1およびCCS-2のUnit3の平均値



FD2, FD3, FD4のチャネル堆積物の 重複部が,ターゲット。

FD2, FD3, FD4 のチャネル堆積物の 物性値を変えてシミュレーション



シミュレーション結果)

圧入した CO2の平面的な分布範囲

作成した3つのケースモデルについて, CO₂を20万トン/年のレートで3年間圧入するシ ミュレーションを実施し, 圧入から3年後(圧入終了時)および圧入開始から1,000年後 の貯留層中でのCO₂の分布状況を検討した。それぞれのケースごとに,圧入開始から1,000 年後までのCO₂飽和度および溶解CO₂量の分布範囲を平面図に投影することにより,圧入し たCO₂の平面的な分布範囲を推定した(第4.5-28図および第4.5-29図)。その推定結果を, 第4.5-13表に示す。