4.4 海底下廃棄をする海域及びその周辺に設置された特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の用に供 する設備の場所

海底下廃棄をする海域及びその周辺に設置された特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の用に 供する設備の場所は,第4.2-1 図に示されるとおりである。

また, CO<sub>2</sub>分離・回収・圧入基地(D1-2・D0基地)の詳細は, 次のとおりである。

名称:日本CCS調査株式会社 苫小牧CCS実証試験センター

場所:苫小牧市真砂町 12 番地(出光興産株式会社北海道製油所隣接南用地)

なお,滝ノ上層圧入井および萌別層圧入井は,CO2圧入基地(DO基地)より南西方向に掘削 した。

4.5 海底下廃棄をされた特定二酸化炭素ガスが広がる範囲

海底下廃棄をされた特定二酸化炭素ガスが広がる範囲を把握するために,第4.5-1 図に示 す対象海域において取得された三次元弾性波探査記録および既存坑井のデータを解析した。 そして,CO2を海底に圧入・廃棄した際の分布範囲をシミュレーションにより推定した。



第4.5-1 図 対象地域における三次元弾性波探査記録の取得範囲および既存坑井の位置

滝ノ上層圧入井および萌別層圧入井における特定二酸化炭素ガスが広がる範囲について, 以下に記す。 (1) 滝ノ上層 T1 部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

滝ノ上層圧入井の圧入(廃棄)位置を選定するあたり,CO₂挙動予測シミュレーションを 実施するための地質モデルを作成した。なお,以下のア)で示す地質モデルは,平成23年度 地質モデルである。イ)で示すモデルは,滝ノ上層圧入井の掘削結果を考慮し,ア)を修正し たモデルである。

- ア) 滝ノ上層 T1 部層用の地質モデルの作成(圧入井掘削前)
  - a. 岩相分布・性状分布の推定
    - ・滝ノ上層は、火山岩起源であり不均質性が高いため三次元弾性波探査データを活用した岩相分布・性状分布を推定した不均質モデルを作成した。
    - ・スケルトン・アトリビュート解析にて弾性波形の特徴を強調
    - ・SOM (Self-organizing Maps:自己組織化マップ)解析による波形分類を行い,
    - ・クラスター解析(K-means法)により各分類の境界を決定
    - ・坑井 A(既存民間井)における溶岩~凝灰角礫岩(良好な貯留岩)との比較により, この岩相を示す弾性波形を決定し,三次元弾性波探査データ上で溶岩~凝灰角礫岩 の分布領域を推定。
    - ・コア試料と物理検層データの解析から,溶岩~凝灰角礫岩については,AI(Acoustic Impedance:音響インピーダンス:密度×弾性波速度)と孔隙率とが逆相関関係にあることを確認した。

例として,第4.5-2 図に滝ノ上層 T1 部層下部の岩相分布(K-means Index)を,第4.5-3 図に三次元弾性波探査データから取得した滝ノ上層 T1 部層下部の音響インピーダンスを示す。



注:オレンジの部分が,良好な貯留層性状が期待される岩相(溶岩~凝灰角礫岩相)。苫小牧 CCS-1(調査井)は,貯留層性状 が良好ではない場所に掘削された。





注: 青色の部分が,低AIで高孔隙率と考えられる箇所。高浸透率である可能性も高い。滝ノ上層圧入井は,低AI域に掘削した。

第4.5-3 図 滝ノ上層 T1 部層下部の音響インピーダンス

## b. 構造モデルの作成

構造地質解釈で作成した時間構造図を深度変換により深度構造図とし,構造モデルを 作成した。深度変換された滝ノ上層 T1 部層上限のモデル断面位置を第4.5-4 図に,主要 な層準の東西断面(地質モデル断面)を第4.5-5 図に,作成した構造モデルのグリッデ ィング情報を第4.5-1 表に示す。



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4.5-4 図 モデル断面位置(構造図は滝ノ上層 T1 部層上限)



注: 苫小牧 CCS-1 は,投影表示。

第4.5-5 図 地質モデル断面

i 方向(東西方向)セル数	100m	80 セル
j 方向 ( 南北方向 ) セル数	100m	120 セル
k 方向(垂直)セル数		
鵡川層:	3 レイヤーに分割	(k方向セル番号:1~3)
萌別層:	3 レイヤーに分割	(k方向セル番号:4~6)
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4.5-1 表 滝ノ上層構造モデルのグリッディング

構造モデルの鳥瞰図を,第4.5-6 図に示す。滝ノ上層 T1 部層は CO<sub>2</sub> 圧入対象層準であ り,シミュレーションを詳細に行うため上下の地層よりも小さめの垂直方向サイズとな るようにした。



第4.5-6 図 三次元地質モデル鳥瞰図

## c. 属性モデルの作成

作成した構造モデルの各セルに属性(岩相,孔隙率および浸透率)を与え,CO2挙動予 測シミュレーションのための地質モデルを作成した。

まず, CO<sub>2</sub> 圧入対象層である滝ノ上層 T1 部層における属性値分布は,三次元弾性波探 査データ,苫小牧 CCS-1(調査井)および坑井A(既存民間井)のデータより,地球統計 学的手法を用いて,岩相,孔隙率および浸透率の分布が確率的に 50 種類となる具現モデ ルを作成した。参考例として,50 個の内から4つの具現モデルにおける孔隙率分布を, 第4.5-7 図に示す。



注: 図中右下の矢印は,北を示す。

第4.5-7 図 50 個の内4 個の具現モデルの参考例: 滝ノ上層 T1 部層の孔隙率分布(平成23 年度 地質モデル)

他の層準における属性値は, 苫小牧 CCS-1 の振老層から採取されたコアの分析値を一様に分布させた。

- イ) 滝ノ上層 T1 部層用の地質モデルの作成(圧入井掘削結果を踏まえた更新モデル)
  - a. 滝ノ上層圧入井掘削結果

特定二酸化炭素ガスの圧入を実施する滝ノ上層圧入井は、深度5,800m(垂直深度2,753m)の傾斜井として掘削した。確認層序を,第4.5-2表に示す。

地層名	掘肖 (垂直	」深度 ፤深度	mMD mVD)	岩相
第四系	0	-	458	未固結砂礫 , シルト等。
鵡川層	458	-	880	砂礫岩およびシルト岩等。
萌別層泥岩	880	-	970	シルト岩~泥岩主体とし,砂岩,礫岩等を伴う。
萌別層砂岩	970	-	1,179	砂岩,礫岩を主体とし,砂質シルト岩,凝灰岩を伴
			(1, 171)	つ。
荷菜層	1,179	-	1,870	砂岩、シルト岩を主体とし、細礫岩、凝灰岩を伴う。
	(1,171)		(1,539)	
亚亚和南	1,870	_	3,581	シルト岩を主体とし, 泥岩, 砂岩を伴う。稀に凝灰
〒-収〒キ±9年/首	(1,539)	-	(2,067)	質シルト岩~砂岩,マールを伴う。
垢耂扇	3,581		4,624	泥岩を主体とし、シルト岩を伴う。稀に凝灰質シル
加仑眉	(2,067)	-	(2,390)	ト岩,砂岩,マールを伴う。
滝ノ上層	4,624		5,800	凝灰岩の再堆積相を主体とし、凝灰角礫岩を伴う。
T1 部層	(2,390)	-	(2,753)	稀に泥岩を伴う。

第4.5-2表 滝ノ上層圧入井における確認層序と岩相

- ・掘進中に物理検層を実施(LWD 検層)し,岩相や物性を評価するための基礎データを取得した。主な種目は,比抵抗,ガンマ線,音波速度,比抵抗画像,NMR である。第4.5-8 図に,物理検層結果の事例を示す。
- ・カッティングス試料を地表から滝ノ上層 T1 部層までの深度 5,800m の間,分析項目により 10m~50mVD ごとに採取した。
- ・コア試料(直径約10cm)を,滝ノ上層T1部層で2回(合計18.8m)採取した。
- ・これらの試料に関し,微化石分析(有孔虫分析),岩石鉱物分析(X線分析および薄片鑑定) および岩石物性分析(孔隙率,浸透率,孔口半径分析など)を実施した。
- ・有孔虫化石分析により各地層の堆積時代を推定するとともに,周辺にある既存坑井と対比 することで地層名を確認した。有孔虫化石分析により堆積環境を推定し,振老層は中部半 深海(古水深 500~1,000m),荷菜層および平取+軽舞層は中部~上部半深海(古水深 200 ~1,000m),萌別層は中部半深海上部から上部半深海(古水深 200~500m)との結論を得た。
- ・深度4,607~4,612m(垂直深度2,384~2,485m)の振老層下部において,エクステンディッド・リークオフテストを実施した。
- ・滝ノ上層 T1 部層を一括して仕上げ、ブラインによる圧入テストを実施した。ブラインによる圧入テストの前には、坑内洗浄を主な目的として排泥を実施し、その後貯留層圧力の回復状況を解析するビルドアップテストを実施した。また、ブラインによる圧入テストの後に、上昇した貯留層圧力の回復状況を解析するフォールオフテストを実施した。これらの結果から、貯留層の浸透率を推定した。なお、この浸透率については、垂直方向/水平方向の区別はない。



注:貯留層区間以外では,比抵抗イメージ検層,音波検層,NMR検層は実施していない。 第4.5-8図 滝ノ上層圧入井の物理検層結果事例

- b. 掘削時のブラインによる圧入テスト等の貯留層に係るテスト結果とその見直し
  - ) 掘削時の貯留層に係るテスト

滝ノ上層圧入井掘削時に予定掘削深度に到達後,1週間程度の排泥を実施し,低 下した貯留層圧力の回復(上昇)の度合いから貯留層性状を解析するビルドアップ テストを実施した。その結果,貯留層の浸透率は,5.25×10<sup>-5</sup>mDと解析された(第

	解析結果	単位
kh(浸透率 x 貯留層厚)	0.030	mD•m
k(浸透率)	5.25 × 10⁻⁵	mD
スキンファクター	-1.72	-
ri(探査半径)	1	m

第4.5-3 表 滝ノ上層圧入井におけるビルドアップテストの解析結果

注:貯留層層厚(h)は,570mと仮定した。

その後,ブラインによる圧入テストを実施し,24時間で7kLのブラインを圧入した。なお,圧入時の貯留層上限の圧力は,遮蔽層の破壊圧の90%を上限とした。 ブラインによる圧入テストの実施後,上昇した貯留層圧力の低下の度合いの解析から貯留層性状を解析するフォールオフテストを12時間の密閉時間により実施した。その結果,貯留層の浸透率は,1.48×10<sup>-4</sup>mDと解析された。

) 貯留層に係るテスト結果の見直し

地質モデルの修正にかかり,貯留層の浸透性を評価するために圧入井のテスト結 果を見直した。フォールオフテストよりもビルドアップテストの方が解析に係る貯 留層への圧力変化を与えた要因の時間(ビルドアップテスト:1週間の排泥,フォ ールオフテスト:24時間の圧入)が長いため,貯留層の性状をより正確に表現して いると考え,ビルドアップテストの結果を見直すこととした。

現場での解析では顕著な割れ目の寄与が認められない状況下においてスキンフ ァクターをマイナスと解析していたが,スキンファクターを0として再解析した結 果,第4.5-4表のような解析結果を得た。

	解析結果	単位
kh(浸透率×貯留層厚)	0.28	mD•m
k(浸透率)	7.7 × 10 <sup>-4</sup>	mD
スキンファクター	0	-
ri (探査半径)	2	m

第4.5-4 表 滝ノ上層圧入井におけるビルドアップテストの解析結果の見直し

注:貯留層層厚(h)は,圧入井の仕上げ深度区間(垂直深度)である 363m と仮定した。

## c. 岩相分布・性状分布推定の更新

滝ノ上層圧入井の掘削により確認した滝ノ上層の岩相は,凝灰岩主体(凝灰岩:溶岩・ 凝灰角礫岩 = 96:4)であった。したがって,地質モデルの岩相は凝灰岩として地質モデ ルを更新した。 上記ア)において地質モデルを作成する際に,調査井や周辺坑井から得られた孔隙率と 三次元弾性波探査データから,坑井における AI 値(Acoustic Impedance:音響インピー ダンス:密度×弾性波速度)を解析し,坑井での孔隙率との関係をクロスプロットで作成 した。滝ノ上層圧入井において NMR 検層により測定した孔隙率と,検層データから求めた AI 値との対応関係をオーバーレイした(第4.5-9 図)。



注:1. 赤は貯留岩として期待した溶岩・凝灰角礫岩,青は凝灰岩の AI 値と孔隙率の関係を示す。緑は,滝ノ上層圧入井により解析した AI 値とその深度に対応する NMR 孔隙率のプロットを示す。

2. 修正モデルにおける AI 値と孔隙率の関係は、「孔隙率=0.0303×AI 値+0.3879」を用いた。

第4.5-9図 AI 値と孔隙率の関係

凝灰岩主体であった滝ノ上層圧入井の結果と、掘削前に想定した凝灰岩の回帰線の傾き はほぼ一致するものの切片が異なるので、滝ノ上層圧入井の結果を用いて地質モデルの修 正を行うこととした。

滝ノ上層圧入井掘削前には、調査井および周辺坑井のコアデータを参照し孔隙率と浸透率の相関を考察した。滝ノ上層圧入井で採取したコアサンプルの分析結果および NMR 検層の結果解析された孔隙率と浸透率の関係を同一の図にプロットした(第4.5-10図)。



注:1. 苫小牧周辺坑井とは,民間会社が掘削した坑井 A。守秘義務があるため岩相の区分は公表できないが,回帰線を作成す る際には使用した。K\_NMR は,滝ノ上層圧入井で取得した NMR 検層の結果から解析された浸透率と孔隙率のプロットで あるが,浸透率が滝ノ上層圧入井のコア実測値よりも概して高い値を示す。これは,火山岩で NMR 検層結果から浸透率 を算出する適切な式がないことが原因と考えられる。

2. 修正モデルにおける孔隙率と浸透率の関係は、「浸透率=0.000028952×e<sup>32.1823×孔隙率</sup>」を用いた。

第4.5-10 図 孔隙率と浸透率の関係

滝ノ上層圧入井の貯留層は掘削前に期待した溶岩・凝灰角礫岩がほとんどなく,96%が 凝灰岩であったため,孔隙率と浸透率の相関は凝灰岩の相関式(青実線)に類似するもの と仮定した。圧入井掘削前の推定では,凝灰岩の平均浸透率は,平均孔隙率12.7%に対し 7.2×10<sup>-3</sup>mD 程度と考えていたが,滝ノ上層圧入井のビルドアップテストの結果から,凝 灰岩からなる滝ノ上層の浸透率は7.7×10<sup>-4</sup>mD と解析された。滝ノ上層圧入井で採取した コアの分析結果から得られた浸透率と孔隙率の関係を考慮し,圧入井掘削前に想定した凝 灰岩の回帰線を下方にシフトさせ,滝ノ上層の凝灰岩における孔隙率と浸透率の相関式と した。

ここで求めた孔隙率と浸透率の関係と第4.5-9 図で求めた AI 値と孔隙率の関係から, 地質モデルを修正した(第4.5-11 図)。なお,相対浸透率曲線および毛細管圧曲線につい ては,修正前と同様のものを使用した(第4.5-12 図)。三次元弾性波探査データから解析 された AI 値に対応した形で,地質モデル中で細分された各セルにこれらの属性値を入力 した。