令和4年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務

報告書

令和5年3月

日本CCS調査株式会社

令和4年度二酸化炭素貯留適地調查事業委託業務 報告書

<u>目 次</u>

英語サマリー

第1章	事業の背景と目的
第2章	事業の概要
2.1	二酸化炭素貯留適地調査に係る弾性波探査の実施
2.2	二酸化炭素貯留適地調査に係る調査・解析・検討の実施
2.3	2022 年度までの調査実績 ····································
2.4	社会的受容性の醸成活動
2.5	有識者委員会の開催、報告書の作成等
第3章	二酸化炭素貯留適地調査に係る弾性波探査の実施
3.1	概要
3.2	本荘沖
3.2.1	3D 探査の実施
(1)	探查位置
(2)	探查期間
(3)	探查工程
(4)	探査詳細
(5)	データ取得結果
(6)	3D データ管理と反射点分布結果
3.2.2	3D 探査データの処理
(1)	データ処理の概要
(2)	データ処理の基本仕様
(3)	データ処理のフローチャート
(4)	データ処理の詳細
(5)	考察
3.3	弾性波探査データの整理状況と再処理成果の移管状況3-101
3.3.1	貯留適地調査事業の 2D/3D 探査データ
3.3.2	基礎物理探査の 2D/3D 探査データ(再処理)

第4章	二酸化炭素貯留適地調査に係る調査・解析・検討の実施	·····4-1
4.1	概要	······4-1
4.1.1	地質解析と貯留適地評価	·····4-1
4.1.2	その他の業務	······4-1
4.2	海底地形判読および海底地質情報コンパイル(能代沖)	·····4-3
4.2.1	作業概要	·····4-3
4.2.2	海底地形および海底地質情報に係るデータの収集	·····4-4
4.2.3	海底地形モデルの作成	4-7
4.2.4	海底地形判読	·····4-10
(1)	海底地形の特徴・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	·····4-10
(2)	海底地形の特徴と浅部地下構造の関係の把握	·····4-11
4.2.5	海底地形情報と海底地質情報のコンパイル	4-12
4.3	海底地形判読および海底地質情報コンパイル(隠岐沖)	4-15
4.3.1	作業概要	4-15
4.3.2	海底地形および海底地質情報に係るデータの収集	·····4-16
4.3.3	海底地形モデルの作成	4-19
4.3.4	海底地形判読	······4 - 21
(1)	海底地形の特徴・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	······4 - 21
(2)	海底地形の特徴と浅部地下構造の関係の把握	·····4 - 23
4.3.5	海底地形情報と海底地質情報のコンパイル	4-24
4.4	貯留層シミュレーションによる貯留可能性検討(佐渡南方沖)	4-28
4.4.1	概要	4-28
(1)	調査範囲	4-30
(2)	使用データ	4-31
4.4.2	地質モデルの作成	·····4-31
(1)	構造モデルの作成	·····4-31
(2)	グリッドモデルの作成	·····4-33
(3)	ファシス設定	·····4-34
4.4.3	貯留層・遮蔽層にかかる物性値	4-35
(1)	孔隙率	·····4-36
(2)	浸透率	4-37
(3)	Kv/Kh ·····	4-37
(4)	N/G 比	4-37
(5)	貯留層温度	4-37
(6)	塩分濃度	4-37

(7)	貯留層圧力	4-37
(8)	岩石圧縮率	4-37
(9)	毛細管圧力・相対浸透率	4-38
(10)) スレッショルド圧	4-42
4.4.4	シミュレーションに係る制約条件	4-43
(1)	貯留エリアと圧入井の設定	4-43
(2)	压入制限条件	4-43
(3)	圧入条件の検討	4-44
4.4.5	医入井設定エリアの抽出	4-46
(1)	シナリオ I	4-47
(2)	シナリオⅡ	4-57
(3)	シナリオⅢ	4-57
(4)	ベストケースの結果	4-60
4.4.6	最大圧入 ートおよび最大圧入量の検討	4-69
(1)	最大圧入レートの検討	4-70
(2)	最大圧入量の検討	4-72
4.4.7	/ 感度分析	4-72
(1)	感度分析ケース設定	4-72
(2)	地層圧を変化させたケースの CO2 圧入挙動の比較	4-73
(3)	浸透率を変化させたケースの CO2 圧入挙動の比較	
(4)	Kv/Kh を変化させたケース	4-90
(5)	感度分析のまとめ	
4.4.8	; まとめ	
4.5	貯留適地調査事業を活用した堆積システムの検討	
4.5.1	堆積システムの整理	
(1)	層序・年代、構造発達に関する整理	
(2)	ファシス区分および標記名に関する整理	
(3)	貯留層・遮蔽層に関する整理	
(4)	地層安定性に関する整理	
4.5.2	堆積システムモデルの検討	
(1)	前弧側	
(2)	背弧側東北日本	
(3)	背弧側西南日本	
4.5.3	各地域の代表的な堆積システムモデル	
(1)	前弧側の代表的なシステムモデル	
(2)	背弧側東北日本の代表的なシステムモデル	

(3)	背弧側西南日本の代表的なシステムモデル	
4.5.4	貯留層・遮蔽層として考えられる堆積システム・堆積時期の考察	······ 4 - 129
(1)	前弧側	
(2)	背弧側東北日本	······ 4 - 130
(3)	背弧側西南日本	······ 4-130
4.6	地層の破壊に関する基本的事項の整理	······ 4-133
4.6.1	業務目的	······4 - 133
4.6.2	基本的な地層の破壊メカニズム・・・・・	······4-133
(1)	基本的な岩石の破壊メカニズム	······ 4-133
(2)	坑井掘削・仕上げにおける破壊	······ 4-142
(3)	CO2圧入によって起こりうる地層の破壊	······4-148
4.6.3	ジオメカニクス特性評価のための一般的なプロセス	
(1)	ジオメカニカルモデルの構築	4-151
(2)	破壞評価	$\dots 4.159$
4.6.4	ジオメカニクス特性評価事例	······ 4 - 161
(1)	CarbonNet プロジェクト(オーストラリア)	······ 4-162
(2)	South West Hub プロジェクト(オーストラリア)	······4-164
(3)	Troll ガス田(ノルウェー)	······4-166
(4)	苫小牧 CCS 大規模実証試験(日本)	
4.6.5	まとめ	
4.7	貯留層シミュレーションによる貯留可能性検討(高傾斜井)	
4.7.1	概要	······4-172
(1)	目的	······4-172
(2)	調查対象区域	······ 4-172
(3)	結果概要	······4-174
(4)	使用データ	4-175
4.7.2	セクターモデルの作成	4-175
(1)	対象範囲の切り抜き	4-176
(2)	ボリュームマルチプライヤーの計算	······ 4-177
(3)	グリッドの細分化	4-178
(4)	R3 日高沖シミュレーションとの比較	4-178
(5)	坑井(坑跡)の再配置	······ 4-183
4.7.3	圧入能力の比較	······ 4-183
(1)	垂直井(5本)ケース	4-190
(2)	垂直井(10 本)ケース	······4-193
(3)	高傾斜井(5本)ケース	4-196

(4)	水平井(5本)ケース	• 4-200
4.7.4	感度解析	· 4 - 203
(1)	浸透率	· 4 - 204
(2)	孔隙率	· 4 - 213
(3)	Kv/Kh ·····	· 4 - 216
(4)	閉境界	• 4-219
4.7.5	まとめ	• 4-222
4.8	貯留適地候補地点における経済性に関する調査	• 4-229
4.8.1	作業概要	· 4-229
(1)	CCS 試算ケースの基本設計条件	· 4 - 229
4.8.2	排出源調査	· 4 - 230
(1)	大規模排出源の調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	· 4 - 230
(2)	対象地域の設定と調査	·· 4 - 233
(3)	排出源エリア別分析	· 4 - 235
(4)	CO ₂ 回収コスト調査	· 4 - 243
4.8.3	輸送技術調査	· 4-248
(1)	海外プロジェクトの事例	• 4-248
(2)	国内の CO2 輸送コスト試算事例	· 4 - 260
4.8.4	貯留技術	· 4 - 268
(1)	我が国における CO2 地中貯留事業のイメージ	· 4 - 268
(2)	洋上設備の主な要件	• 4-270
(3)	坑井掘削	· 4 - 271
(4)	貯留コスト	· 4 - 271
4.8.5	モニタリング技術調査	• 4-272
(1)	Quest プロジェクト	• 4-272
(2)	Peterhead プロジェクト	. 4-278
(3)	苫小牧実証事業	• 4-283
4.8.6	調査結果の整理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	· 4 - 284
4.9	貯留適地候補地点における社会的受容性に関する文献調査および聞き取り調査…	• 4-289
4.9.1	文献調査概要	· 4 - 289
4.9.2	対象地域の選定	• 4-289
4.9.3	各県の基礎的な情報	· 4 - 290
4.9.4	各県個別の概況	· 4 - 300
(1)	人口動態、主な産業、主な CO2 排出源(近隣県含む)	· 4-300
(2)	漁業の実態(漁獲高、魚種、漁法、漁協、漁業者数等)	· 4 - 314
(3)	海域を利用した事業(石油鉱業を含む)	· 4-320

(4)	航路、港湾設備利用状況 ······4·324
(5)	過去の地震および今後想定される地震4-335
(6)	県のカーボ ニュートラル戦略4-343
4.9.5	貯留適地調査事業における探査の地元調整時の自治体および漁業関係者コメント
(1)	自治体からの主なコメント4-361
(2)	漁業関係者からの主なコメント4-362
4.9.6	聞き取り調査概要
第5章	2023 年度以降の調査候補地点の選定および調査計画(案)の作成
5.1	貯留適地調査の経緯と調査候補地点の見直し
5.2	調査候補地点の選定(総合評価)
5.2.1	調査地点の評価方法(技術要素)
5.2.2	調査地点の評価方法(外的要素と総合評価)
(1)	総合評価 SA の調査地点
(2)	総合評価 AD の調査地点
(3)	総合評価 S の調査地点
(4)	総合評価 A の調査地点
(5)	その他の調査地点 ······5-10
5.2.3	総合評価結果(2022 年度末)
5.3	2023 年度以降の調査計画(案)の作成
5.3.1	基本方針
5.3.2	貯留適地調査の現況と今後の指針
5.3.3	2023 年度以降の調査計画(案)
第6章	社会的受容性の醸成活動6-1
6.1	概要
6.2	展示会への出展
6.2.1	展示会の概要
6.2.2	みやざき環境パネル展 2022
(1)	出展目的および取組方針
(2)	出展実績
(3)	今後の対応方針
6.2.3	環境フェアつるおか 2022
(1)	出展目的および取組方針

出展実績	6-8
今後の対応方針・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	6-8
第 20 回 あきたエコ&リサイクルフェスティバル	·····6-10
出展目的および取組方針	6-10
出展実績	·····6-10
今後の対応方針・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	·····6-11
第 15 回三種町町民祭	6-15
出展目的および取組方針	·····6 - 15
出展実績	·····6-16
今後の対応方針・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	·····6-16
のしろ産業フェア 2022	·····6-19
出展目的および取組方針	·····6-19
出展実績	·····6-19
今後の対応方針・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	·····6-19
にいがた環境フェスティバル 2022	6-20
出展目的および取組方針	6-20
出展実績	6-20
今後の対応方針	·····6-21
講演の実施	6-24
実施目的	6-24
実施実績	6-24
今後の取組方針	·····6-24
まとめ	6-24
有識者委員会の運営	7-1
有識者委員会の目的と設置	·····7-1
委員構成および基本的な運営方針・・・・・	·····7-1
開催実績	7-2
第1回有識者委員会	7-2
第2回有識者委員会	7-3
第3回有識者委員会	·····7-3
各有識者委員会の概要	7-4
第1回有識者委員会	
CCS 長期ロードマップ検討会の概要説明	
事業計画変更の背景・趣旨	
	出展実績 今後の対応方針 第 20 回 あきたエコ&リサイクルフェスティバル 出展目的および取組方針 出展支績 今後の対応方針 第 15 回三種町町民祭 出展目的および取組方針 出展実績 今後の対応方針 のしろ産業フェア 2022 出展目的および取組方針 出展実績 今後の対応方針 にいがた環境フェスティバル 2022 出展目的および取組方針 出展実績 今後の対応方針 実績 今後の対応方針 まとめ 有識者委員会の目的と設置 委員構成および基本的な運営方針 開催実績 第 1 回有識者委員会 第 3 回有識者委員会 CCS 長期ロードマップ検討会の概要説明

(3)	貯留適地調査事業の変遷と今後の事業計画	-4
(4)	令和4年度二酸化炭素貯留適地調查事業委託業務報告	-4
7.4.2	第2回有識者委員会	-7
(1)	令和4年度二酸化炭素貯留適地調查事業委託業務報告	-7
7.4.3	第3回有識者委員会 ····································	11
(1)	令和4年度二酸化炭素貯留適地調查事業委託業務報告	11
(2)	2023 年度以降の貯留適地調査計画(案)	14
第8章	まとめと課題	-1
8.1	本業務の成果	-1
8.1.1	2D/3D 探査の実施	-1
8.1.2	二酸化炭素貯留適地調査に係る調査・解析・検討の実施8	-1
(1)	海底地形判読および海底地質情報コンパイル	-1
(2)	調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュレーショ による貯留可能性検討8	-1
(3)	貯留適地調査事業データを活用した堆積システムの検討8	-2
(4)	地層の破壊に関する基本的事項の整理	-2
(5)	報告書 ⋯⋯⋯⋯	-3
8.1.3	2023 年度以降の調査候補地点の選定および調査計画(案)の作成8	-3
(1)	貯留適地調査地点の総合評価	-3
(2)	貯留適地調査の 2023 年度の予定	-4
8.1.4	その他	-4
(1)	社会的受容性の醸成活動	-4
(2)	有識者委員会の運営	-4
8.2	課題8	-5
8.2.1	事業の進捗状況	-5
8.2.2	社会的受容性の醸成	-5

附属書1 用語集

英語サマリー

Summary of Fiscal 2022 Works

The "Investigation of Potential Sites for CO_2 Storage in Japan" is being conducted as a project commissioned by the Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) and the Ministry of the Environment (MOE). The fiscal 2022 works comprised a new seismic survey in the waters offshore Honjo in Akita prefecture, and the investigation of four potential CO_2 storage sites offshore Japan, and other works.

The purpose of the new 3D seismic survey was to obtain data for further geological analysis and evaluation of prospective storage resources in the "Honjo-oki" study area, where the existence of thick sedimentary layers was expected based on the existing old 2D seismic data re-processed in 2015 and 2019. The 3D survey area is approximately 200 km².

The interpretation of seafloor topography and compilation of seafloor geological information were carried out in the "Noshiro-oki" and "Oki-oki" study areas. Publicly available data on the topography and geology of the seafloor for each of the two sites were collected and sorted out.

Simulation studies were conducted in the prospective areas of "Hidaka-oki" and "Sado nanpo-oki", for predicting the behavior of injected CO_2 prior to drilling an exploratory well (pre-drilling simulation), as their CO_2 storage capacities were estimated to be over 100 million tonnes based on previous geological analysis results. Reservoir models were constructed with homogeneous reservoir properties and 5 tentative CO_2 injection wells were assumed. In the "Hidaka-oki" area, simulations were conducted for the case assuming a high angle directional well and horizontal well in addition to a vertical well case, and the resulted were compared.

The depositional system used in the geological analysis that has been conducted so far in the project of "Investigation of Potential Sites for CO₂ Storage in Japan" was reviewed and the depositional system model in back-arc basin and fore-arc basin in Japan was examined.

It is expected that geomechanical characterization to evaluate the stability of the geological formations for CO_2 injection and storage will be conducted based on data obtained from an exploratory well that will be drilled at the site. In order

to contribute to the formulation of exploratory well specifications, the basic items related to the evaluation of geomechanical characteristics were organized.

As a preliminary survey on the economic feasibility of candidate sites for suitable storage sites, we collected and sorted out publicly available CCS-related cost information and information on CO₂ emission sources throughout Japan.

As a survey on the social acceptance of candidate sites for suitable storage sites, basic public information related to social acceptance was collected for several representative prefectures based on the experience of the project of "Investigation of Potential Sites for CO_2 Storage in Japan". In addition to this information, we organized the knowledge obtained through coordination with local stakeholders for seismic surveys conducted so far.

第1章

事業の背景と目的

第1章 事業の背景と目的

二酸化炭素回収・貯留(Carbon dioxide Capture and Storage、以下、「CCS」と称する。)は大量の CO₂を大気中に排出せずに地下に隔離する技術として世界的に広く注目され、2022 年までに公表された IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change:国 連気候変動に関する政府間パネル)第6次評価報告書においても、産業革命前と比較して 世界の平均気温上昇を 2℃未満に抑えるための有効な手段として CCS があげられている。

地球温暖化問題は、世界各国が速やかに取り組む必要のある重要課題としての認識がま すます高まり、2015年12月にフランスのパリで開催された国連気候変動枠組条約第21 回締約国会議(COP21)では196箇国が一堂に会して「パリ協定」が採択され、わが国も 2016年11月8日に批准した。2020年10月に、日本は「2050年カーボンニュートラル」 を目指すことを宣言し、2021年4月22日には、地球温暖化対策推進本部の決定を踏まえ、 米国主催気候サミット(オンライン開催)において、2050年カーボンニュートラルと整合 的で野心的な目標として、2030年度に温室効果ガスを2013年度から46%削減すること を目指すこと、さらに50%の高みに向け挑戦を続けることを表明した。その後、2021年 10月22日に地球温暖化対策推進本部において新たな削減目標を反映したNDC(国が設 定する貢献)を決定し、国連へ提出している。

このような環境の中で、日本CCS調査(株)(以下、「当社」または「JCCS」と称する。) は、2012年度に経済産業省委託事業「平成24年度二酸化炭素削減技術実証試験事業」を 受託し、2016年3月までの4年間において、苫小牧での年間10万t規模のCO2の大規模 貯留に向けた実証試験設備を完成させた。2016年4月6日に萌別層へのCO2圧入を開始 し、2019年11月22日に累計圧入量30万tを達成しCO2圧入を停止した。

一方で、火力発電所の新設やリプ ースに関わる環境アセスメント手続きの過程では、 環境大臣の意見書において、講じるべき措置として将来の CCS の導入に向けて所要の検 討を行うことが示されている。この方針については、2021 年 10 月に閣議決定された「第 6 次エネルギー基本計画」に継承され、火力発電の脱炭素化に向けて CCS 等による脱炭素 化を図ること、CCS の技術的確立およびコスト低減、適地開発や事業化に向けた環境整備 を長期のロードマップを策定し関係者と共有した上で進めていくことなど、今後の CCS の活用に向けた対応が大きく盛り込まれた。

このような一連の流れの中で、CCS 導入の前提となる二酸化炭素貯留適地調査(以下、 「貯留適地調査」と称する。)についても早期に取り組むこととなり、経済産業省は2013 年度に「平成25年度中小企業等環境問題対策調査等委託費(全国二酸化炭素貯留層基礎 調査)」(以下、「平成25年度経済産業省委託事業」と称する。)を実施した。この事

1-1

業では、既存の調査・検討結果に基づいた調査候補地点の抽出と、各地点の技術評価によ る優先調査地点の選定と調査計画(案)の作成が行われた。優先調査地点および調査計画 (案)は、経済産業省「平成25年度中小企業等環境問題対策調査等委託費(全国二酸化 炭素貯留層基礎調査)に係る委員会」(以下、「平成25年度経済産業省委員会」と称す る。)において確認された。

環境省は、同じ2013年度に「平成25年度シャトルシップによる CCS を活用した二国 間クレジット制度実現可能性調査委託業務」(以下、「平成25年度環境省委託事業」と 称する。)を実施し、水深200m以深の海域において、既存調査と検討結果に基づいた技 術評価により優先調査地点を選定し、その結果は「平成25年度我が国周辺水域二酸化炭 素貯留適地検討会」(以下、「平成25年度環境省検討会」と称する。)で確認された。

経済産業省と環境省は、翌2014年度に、共同事業「平成26年度二酸化炭素貯留適地 調査事業」(以下、「平成26年度委託事業」と称する。)を開始した。貯留適地とはCO2 を長期にわたって地中貯留できる場所のことであり、貯留層とそれを覆う遮蔽層が広く分 布すること、貯留層が1,000~3,000 m 程度の深度に位置していること、活断層に近接せ ず安定した地質構造形態が形成され、貯留した CO2が漏洩する明らかな経路がないこと等 の地質的条件を備えていることが求められる。当初の共同事業の目的は、2020年頃の CCS 技術の実用化に向け、1億 t 以上の CO2を貯留可能な複数の大規模貯留適地を選定するこ とであった。平成26年度委託事業では、前述の平成25年度経済産業省委員会および平 成25年度環境省検討会において確認された優先調査地点から3地点を調査対象候補地点 として選定し、既存の探査データを活用しながら、二次元弾性波探査(以下、「2D 探査」 と称する。)を新たに実施し、候補地点の貯留適地調査を実施した。

両省による共同事業は翌2015年度以降も継続され、「平成27年度二酸化炭素貯留適 地調査事業」(以下、「平成27年度委託事業」と称する。)、「平成28年度二酸化炭 素貯留適地調査事業」(以下、「平成28年度委託事業」と称する。)、「平成29年度 二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」(以下、「平成29年度委託事業」と称する。)、 「平成30年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」(以下、「平成30年度委託事業」 と称する。)、「平成31年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」(以下、「平成3 1年度委託事業」と称する。)、「令和2年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」(以 下、「令和2年度委託事業」と称する。)、「令和3年度二酸化炭素貯留適地調査事業委 託業務」(以下、「令和3年度委託事業」と称する。)、「令和4年度二酸化炭素貯留適 地調査事業委託業務」(以下、「本業務」と称する。)が実施された。これらの業務では、 下記の既存探査データおよび既存坑井データを活用するとともに、新たに弾性波探査を実

1-2

施した。

1) 基礎物理探査および基礎試錐

経済産業省(旧通商産業省)の委託事業である国内石油天然ガス基礎調査事業(以 下、「基礎調査事業」と称する。)において、(独)エネルギー・金属鉱物資源機構 (旧石油開発公団、旧石油公団および旧(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構、 Japan Organization for Metals and Energy Security、以下、「JOGMEC」と 称する。)が実施した基礎物理探査の 2D 探査および三次元弾性波探査(以下、 「3D 探査」と称する。)のデータならびに基礎試錐の坑井データ

2) 公的機関が実施した調査

大学、(国研)海洋研究開発機構(旧海洋科学技術センター、Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology、以下「JAMSTEC」と称する。)等の 公的機関が実施した 2D/3D 探査データおよび坑井データ

3) 民間会社が実施した探査データ

石油会社等の民間会社が実施した 2D/3D 探査データおよび坑井データ

2019年度までは調査井を掘削して貯留層総合評価を行う計画であったが、当初の計画年 限であった 2021年度末までに調査井掘削を期間および予算の両面で終了できないことか ら、2020年度からは、全国に広がるより多くの候補地点の調査を進める方針に変更された。

本業務では、1地点にて新規 3D 探査を実施するとともに、既存探査データを活用した 全国複数地点での貯留適地調査を行い、貯留可能量を評価した。なお、本業務に引き続き、 2023 年度以降の貯留適地調査事業を円滑に進めるための準備業務として、調査候補地点の 選定および調査計画(案)の作成を行った。

第2章

事業の概要

第2章 事業の概要

2.1 二酸化炭素貯留適地調査に係る弾性波探査の実施

本業務では、令和3年度委託事業に係る有識者委員会において検討された調査候補地点 をベースに委託者と協議して、調査対象地点として本荘沖の1地点を選定した。本荘沖で 新規3D探査を計画し、2022年7月~8月に3D探査を実施し、2023年2月にデータ処理 作業を完了した。

貯留適地調査事業で取得した 2D/3D 探査データについては、将来的に公的機関に移管することを想定してすべてのデータを一元的に管理する体制を構築しており、当 3D 探査データも同様に保管した。

2.2 二酸化炭素貯留適地調査に係る調査・解析・検討の実施

本業務では、令和3年度委託事業および本業務に係る有識者委員会において確認された 地点にて以下の業務を実施した。なお、経済産業省が進める CCS 長期ロードマップ検討会 の中間とりまとめ(2022年5月発表)において、調査井掘削は掘削地点選定を含めて事業 者主導により実施されることとなった。それを踏まえて本業務において、調査井掘削候補地 の選定のための検討、およびそれに付随する経済性に関する調査は実施されないことと なったため、5)、6)については、方針変更を反映して必要な調査・検討・整理を行った。

- 海底地形判読および海底地質情報コンパイル 能代沖、隠岐沖の2地点において実施した。
 2地点それぞれについて海底地形および海底地質に関する資料を収集し、能代沖 については平成28年度委託事業で取得した3D探査データも用い、海底地形お よび海底地質に関する情報を整理した。
- 2) 調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュ ーション 佐渡南方沖の1地点において、調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュ ーションによる CO2 貯留可能性検討を実施した。また、日高沖の実例を用いて、高傾斜井適用時の CO2 挙動予測シミュ ーションによる CO2 貯留可能性の検討を実施した。
- 3) 適地調査事業データを活用した堆積システムの検討 これまでに堆積相解析を実施した地点のうち、詳細な検討を行うための 3D 探査 データが利用可能な地点を対象として、これまでの適地調査事業で実施してきた 地質解析データを用いた堆積システムの整理、および日本周辺海域における堆積 システムモデルの検討を行った。
- 4) 地層の破壊に関する基本的事項の整理

CO2の圧入・貯留の対象となる地層の安定性を評価するためのジオメカニクス特 性評価は、当該サイトでの調査井掘削により得られるデータを基に実施すること が想定されている。このため、調査井の仕様策定に資する目的で、ジオメカニク ス特性評価に関わる基本的事項の整理を実施した。

- 5) 貯留適地候補地点における経済性に関する調査 公開されている CCS 関連コスト情報および日本全国の CO2 排出源情報について まとめた。
- 6) 貯留適地候補地点における社会的受容性に関する調査

これまでの貯留適地調査事業での経験に基づき、複数の県を対象に CCS 事業の 実施に対する社会的受容性に関連する基礎的な公開情報を収集・整理するととも に、探査のための地元調整などで得られた知見を整理した。また、貯留適地候補 地点として有望な1 県において、貯留適地調査事業に係るこれまでの調査結果、 苫小牧 CCS 実証試験等について説明し、CCS 事業に関する関心、懸念等の情報 収集、意見交換を実施した。

2.3 2022 年度までの調査実績

令和3年度委託事業および本業務に係る有識者委員会において確認された地点にて以下 の業務を実施し、2022年度末時点での調査候補地点の選定(総合評価)を更新した。

1) 調査候補地点の見直し

令和3年度委託事業までの調査候補地点の見直しを実施した。

2) 調査候補地点の選定(総合評価)

調査候補地点の選定(総合評価)を再検討し、評価を見直した。

2.4 社会的受容性の醸成活動

貯留適地調査事業に関連して、更なる CCS への理解促進と信頼獲得のため、毎年度の事業において複数箇所の展示会に出展し、社会的受容性の醸成活動を実施してきた。本業務では、コロナ禍の行動制限の緩和による展示会の再開等を受けて、これまで継続的に出展してきた4箇所および初出展2箇所の計6箇所の展示会への出展を行った。

また、学会や業界団体から貯留適地調査事業に関する講演の依頼を受け、2 件の講演を 行った。

2.5 有識者委員会の開催、報告書の作成等

貯留適地調査事業を的確に推進するために、第三者の有識者により構成される委員会を

環境省・経済産業省連携事業 令和4年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務 報告書

設置し、当社は委員会事務局として円滑な委員会の運営に努めるとともに、委員から指導および助言を受けて本業務に反映した。

第3章

二酸化炭素貯留適地調査に係る

弾性波探査の実施

第3章 二酸化炭素貯留適地調査に係る弾性波探査の実施

3.1 概要

本業務では、令和3年度委託事業に係る有識者委員会において検討された調査候補地点 をベースとして、既存探査データの有無を確認したうえで、地元との調整および経済的な観 点から妥当と考える地点について委託者と協議し、調査対象地点として本荘沖を選定し、 3D 探査を実施した。

貯留適地調査事業で取得した 2D/3D 探査データの一元管理体制を構築するとともに、基礎物理探査データの再処理成果については借用元の JOGMEC への移管を実施している(3.3 節)。

調査対象とした地点の調査実施結果を以下に示す。

1) 本荘沖

これまで 3D 探査が実施されていなかった本地点東部の浅海域を対象に、振源に エアガン、受振に曳航型受振ケーブル(以下、「ストリーマーケーブル」と称する。) を用いた小型の探査船による 3D 探査を実施し、本地点における地質解析と貯留 適地評価に資するデータを得た(3.2 節)。

本荘沖は、秋田沖と酒田沖とに挟まれた海域である。その東部においては、これ まで水深の制約等により 3D 探査が実施されておらず、取得年代の古い 2D デー タを用いて地質解析と貯留適地評価が実施されている。今回、浅海域で 3D 探査 データを取得したことにより、秋田沖・本荘沖の既往 3D 探査データが利用可能 な海域と同様の地質構造解析や堆積相解析を含む地質解析と貯留適地評価が可 能となり、秋田沖・本荘沖を包括した範囲での、より精度の高い評価が可能とな ることが期待される。

3.2 本荘沖

本荘沖では、3D 探査が沖合海域で実施されているが、浅海域では3D 探査が実施されて おらず品質の劣る2D 探査データしか取得されていない。このため、令和3年度委託事業に 係る有識者委員会において、本荘沖を新たな探査地点として選定し、浅海域での3D 探査を 実施した。その目的は、比較的水深の浅い(最浅部30m程度)海域でデータ品質の高い3D 探査を実施することによって、陸域に近いエリアにおける地質解析の精度向上を図ること である。2022年7月末より8月末までの約1箇月間で3D 探査データ取得を実施し、その 後、取得データを用いてデータ処理を行った。

3.2.1 3D 探査の実施

本地点において、振源にエアガン(左右交互発振)、受振にストリーマーケーブル2本を 用いた小規模の3D探査を実施した。

(1) 探査位置

図 3.2・1 に探査エリア図、図 3.2・2 に探査位置図(実績)を示す。探査海域は、秋田県由 利本荘市からにかほ市にわたる共同漁業権設定エリアの沖合である。探査海域を、沖側エリ ア(30 km×5 km のエリア)と、水深が浅い岸側エリア(20 km×2.5 km のエリア)に分 け、南南西から北北東の方角を測線方向(インライン方向)と定め、測線間隔を 100 m と して、沖側エリア 51 本、岸側エリア 25 本の合計 76 本の測線(総面積約 200 km²)を設定 した。



図 3.2-1 探査エリア図



図 3.2-2 探査位置図(実績)

(2) 探査期間

本探査の作業期間は、作業計画では 2022 年 7 月 30 日~8 月 25 日の 27 日間を予定して いたが、2022 年 7 月 30 日~8 月 31 日までの 33 日間となった。荒天待機および観測船で の新型コロナウイルス感染症の感染者発生への対応により作業中断が発生したため、地元 関係漁業協同組合から同意が得られた作業期間の最終日8月31日まで、作業期間を6日間 延長した。

本探査の作業開始前の 2022 年 7 月 21 日~7 月 26 日に観測船の艤装作業を、データ取得 作業終了後の 2022 年 9 月 3 日~9 月 9 日に解装作業を、福岡県北九州港で実施した。

(3) 探査工程

本探査を開始するにあたり、事前に地元自治体、関係公的機関、漁業関係者等への作業説 明や必要とされる許認可申請を行った。なお、探査海域に関係する主な漁業協同組合は表 3.2-1 のとおりであった。

本探査に使用した観測船は、福岡県北九州港での艤装作業終了後、秋田県秋田港まで回航 された。探査員は、2022年7月28日~29日に秋田港に集合し、30日に着岸中の観測船内 にて新型コロナウイルス感染症対策を含むHSEミーティングおよび本探査に係る最終的な 打ち合わせを実施した。同日午後、傭船した警戒船とともに探査海域である本荘市~にかほ 市の沖合に向けて出港した。

探査海域到着後、警戒船は、該当海域周辺に漁具等の残置がないことを予察により確認した。探査海域に障害物のないことを確認した後、観測船はストリーマーケーブルおよびエア ガン(以下、両者をまとめて「曳航物」と称する。)の投入を開始した。曳航物投入後、機 器動作テストの実施によって、使用機器の正常動作およびデータ取得パラメータを確認した。

データ取得作業は、沖側 30 km×5 km エリアを西側(計画測線番号 HO-22-01~HO-22-26 の 26 測線)と東側(計画測線番号 HO-22-27~HO-22-51 の 25 測線)に分け、7 月 31 日に HO-22-27 測線から開始した。以後、基本的に HO-22-27 ⇒ HO-22-01、HO-22-28 ⇒ HO-22-02、HO-22-29 ⇒ HO-22-03 等の順序で ーストラック状の航路をとり、効率的に 観測を行った。測線間隔が 100 m であるので、海流等により測線を横切る方向に 50m ずれ た場合、予定していた反射点が隣の測線の反射点になりデータ処理に支障となるような空 間的なデータ欠損が生じる。それが多くなった場合は、それを埋めるためのインフィル測線 を追加しながら観測を進めた。また、機器トラブル等により欠測が生じた場合は、適宜デー タ補完のためのデータ取得を実施した。

前述の新型コロナウイルス感染症の感染者対応により、沖側エリアの観測が当初の計画 より大幅に遅延したことから、岸側 20 km×2.5 km エリアの観測開始日が 8 月 29 日とな り、作業可能な 8 月 31 日までにこの岸側エリアに設定した全測線のデータ取得が困難な状

3-5

況となった。対応を検討した結果、今後実施する地質解析のためには、測線間隔を粗くして も、岸側エリアを可能な限り広くカバーするデータの取得を優先することとした。その結果、 岸側エリアでは、西端測線(計画測線番号 HO-22-52)から 200 m 間隔でデータを取得し た。ただし、東端付近にある既往坑井近傍の測線は 100 m 間隔でデータ取得を行った。測 線間隔を粗くしたために生じた空間的なデータ欠損については、データ処理時にデータ補 間(トレース正規化処理)を行う方針とした。

また、探査エリアの周辺海域(計画エリアの岸側に隣接する共同漁業権設定エリア)では 同時期に、洋上風力発電事業者による各種海洋調査が行われていたが、お互いの探査予定等 の情報共有により、取得データへの干渉や作業の遅延等は発生しなかった。期間中、8月16 日に秋田港にて調査員の交代を行い、8月31日のHO-22-73 測線でデータ取得作業を終了 した。

探査の同意を得た地元の関係漁業協同組合(本所、南部支所、象潟地区、平沢地区、本荘 西目地区)には、3日後までの予定を毎日午前中に FAX 連絡することで協力を得た。

観測船は、曳航物揚収後の9月1日に秋田県秋田港に入港し、探査員復員を行った。探 査員の下船後、観測船は、北九州港へ回航して解装作業を実施した。探査工程一覧を表 3.2-2 に示す。

また、8月5日~6日に行った流木撤去作業を図 3.2-3(1)および(2)に示す。

名称		住所 TEL		
秋田県漁業協同組合 総務企画課		〒011-0945 秋田市土崎港西1丁目5番11号 ☎ 018-845-1311		
〃 南部支所		〒018-0311 にかほ市金浦字塩焚浜番外地 〇 0184-38-2210		

表 3.2-1 関係漁業協同組合

表 3.2-2 探查工程一覧

作業日	作業内容	測線番号	備考
	観測船入港		秋田港
7月28日	探査員動員		
	(艤装担当者)		
	観測船艤装作業		エアガン関連の追加工事
7月29日	探査員動員		

作業日	作業内容	測線番号	備考
	探査員乗船		
	HSE ミーティング		
7 8 20 8	作業打合せ		
7 7 30 8	観測船出港		
	予察		探査海域到着(探査開始)
	曳航物投入作業		
	曳航物投入作業		
7 8 31 8	機器動作テスト		
ГЛОГЦ	観測作業	HO-22-27-P1-01	観測作業開始
		HO-22-01-P1-02	
	観測作業	HO-22-01-P1-02	
		HO-22-28-P1-03	
8月1日		HO-22-02-P1-04	一部データ欠損(機器トラブル)
		HO-22-29-P1-05	
		HO-22-03-P1-06	
	観測作業	HO-22-03-P1-06	
		HO-22-30-P1-07	
8月2日		HO-22-04-P1-08	
0//21		HO-22-31-P1-09	
	曳航物揚収作業		低気圧による荒天、探査海域離
			脱
	観測船入港		酒田港
8月3日	荒天待機		入港中、新型コロナ感染者1名
			発生・下船
	交代者動員・乗船		
	荒天待機		乗船者全員の新型コロナ抗原検
			査により、さらに 1 名の感染者
8月4日			判明・ト船
	父代右動員・兼船		
	観測船出港		
	_ 曳肌物投入作美		探 宜 海域到着
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	HO-22-05-P1-10	
8月5日	由 ete the 노 니 :本 + the	HU-22-32-P1-11	
	皮肌初より流不加		NAVIEX 机打言報(沿田港四円
			四一八道坷用四、多数の不材漂
	法士物土作業		//// 新刊コロナ蔵洗老っ夕発生
8月6日	加不服工作未		利宝→→ノ窓未伯∠右光土
	又加1勿物以TF未 相測約1法		环旦/伊생離/加 利田浩 新刑っ口十咸沈老下剑
8870			利王コロノ日工 附触1付成
			利主コリノ日工阀触行版
			利注 - ビノ 日工 物触付 (成) – 転刊 - ロナ 白ナ 恒敏 生態
одад	TF未中町	1	刺空コロノ日土쪰離付饿

作業日	作業内容	測線番号	備考
8月10日	作業中断		新型コロナ自主隔離待機
	機器保守		
	交代者動員・乗船		
8月11日	観測船出港		
	曳航物投入		探査海域到着
	観測作業	HO-22-06-P1-12	
	観測作業	HO-22-06-P1-12	
		HO-22-33-P1-13	一部データ欠損(エア漏れ)
8 8 12 8		HO-22-07-P1-14	
одігц		HO-22-34-P1-15	一部データ欠損(機器トラブル)
		HO-22-34-P2-16	P15 欠損データ補完 (2 回目の測
		HO-22-08-P1-17	定)
	観測作業	HO-22-08-P1-17	
	曳航物揚収作業		新型コロナ感染者1名発生、
8月13日			探査海域離脱
	観測船入港		秋田港
			新型コロナ自主隔離待機
8月14日	作業中断		新型コロナ自主隔離待機
• 77 11 1			新型コロナ感染者下船
8月15日	作業中断		新型コロナ自主隔離待機
	後半探査員動員		
	前半探査員復員		探査員交代
8月16日	後半探査員乗船		
	HSE ミーティング		
	観測船出港		
8月17日	曳航物投入作 業		探査海域到着
	観測作業	HO-22-09-P1-18	
		HO-22-35-P1-19	
	観測作業	HO-22-35-P1-19	
		HO-22-10-P1-20	
8月18日		HO-22-36-P1-21	
		HO-22-11-P1-22	
		HO-22-36-11-23	クロスフィン万向のナータ補完
		HO-22-12-P1-24	
	観測作業	HO-22-12-P1-24	
		HO-22-37-P1-25	
8 Л 19 Н		HU-22-13-P1-26	
		HU-22-38-P1-27	
	毎週ルナ業	HU-22-13-11-28	<u>クロスフィンカ</u> 回のナーダ補完
	齯 測作美	HO-22-13-11-28	
		HO-22-39-P1-29	
8月20日		HO-22-14-P1-30	
		HO-22-40-P1-31	
		HO-22-14-I1-32	<u>_ クロスライン万向のデー</u> タ補完

作業日	作業内容	測線番号	備考
		HO-22-41-P1-33	
			新型コロナ感染者1名発生
	観測作業	HO-22-41-P1-33	
8月21日	曳航物揚収作業		探査海域離脱
	観測船入港		秋田港
			新型コロナ抗原検査にて、さら
			に1名の感染者判明 > 濃厚接
			触が疑われる 3 名を含み 5 名下
			船
8月22日	交代者動員・乗船		
	観測船出港		
	曳航物投入作業		探查海域到着
	観測作業	HO-22-33-P2-34	2回目の測定
		HO-22-15-P1-35	
	制創作業	HO-22-42-P1-36	
		HO-22-16-P1-37	
8月23日		HO-22-43-P1-38	
		HO-22-17-P1-39	
		HO-22-43-I1-40	クロスライン方向のデータ補完
8月24日	観測作業	HO-22-43-I1-40	
		HO-22-17-I1-41	クロスライン方向のテータ補完
		HO-22-44-P1-42	
		HO-22-18-P1-43	
		HO-22-45-P1-44	
	毎測佐業	HO-22-19-P1-45	
8月25日	1 町川TF未	HO-22-19-P1-45	
		HO-22-21-F1-49	
		HO-22-48-P1-50	
8月26日	戴 _供]]F木	HO-22-40-P1-50	
		HO-22-48-11-52	クロスライン方向のデータ補完
		HO-22-22-11-53	クロスライン方向のデータ補完
		HO-22-49-P1-54	
8月27日	観測作業	HO-22-49-P1-54	
		HO-22-23-P1-55	
		HO-22-50-P1-56	
		HO-22-24-P1-57	
		HO-22-51-P1-58	
		HO-22-08-I1-59	クロスライン方向のデータ補完
	観測作業	HO-22-08-I1-59	
8月28日		HO-22-06-I1-60	クロスライン方向のデータ補完

作業日	作業内容	測線番号	備考
		HO-22-26-P1-61	
		HO-22-25-P1-62	
		HO-22-51-I1-63	クロスライン方向のデータ補完
		HO-22-26-I1-64	クロスライン方向のデータ補完
		HO-22-02-P2-65	P2 欠損データの補完(2 回目の
			測定)
8月29日	観測作業	HO-22-52-P1-66	
		HO-22-54-P1-67	
		HO-22-56-P1-68	
		HO-22-58-P1-69	
		HO-22-60-P1-70	データ無効(エア漏れ)
		HO-22-60-P2-71	2回目の測定
	観測作業	HO-22-62-P1-72	
8月30日		HO-22-64-P1-73	
		HO-22-66-P1-74	
		HO-22-68-P1-75	
		HO-22-70-P1-76	
		HO-22-72-P1-77	
8月31日	観測作業	HO-22-72-P1-77	
		HO-22-74-P1-78	
		HO-22-76-P1-79	
		HO-22-71-P1-80	
		HO-22-73-P1-81	
	曳航物揚収作業		
	全海上作業終了		探査海域離脱(探査終了)
9月1日	観測船入港		秋田港
	探査員復員		
	観測船出港		北九州港へ回航

注1) 測線番号=測線名+作業タイプ+作業順序番号

注 2) 測線名:HO(探査地点識別の略称)-22(2022 年度)-線番号

注 3) 作業タイプ: P=Prime、I=Infill、R=Reshot の後に測定回数番号

注 4) 順序番号:観測作業開始から終了または中断を一つの作業単位としたシーケンス番号

注5)表中では、新型コロナウイルスを新型コロナと略記した。


図 3.2-3(1) 流木撤去作業-1 (エアガンフロートへ絡まった流木)



図 3.2-3(2) 流木撤去作業-2(右舷 Paravane)

(4) 探査詳細

① 探査内容

観測作業模式図を図 3.2-4 に示す。観測船が曳航するストリーマーケーブルの長さは船尾 からテールブイまでおよそ 2,800 m、幅はおよそ 220 m (Paravane^{*1)}の標準的な展開幅) で、エアガンとストリーマーケーブルの曳航深度はそれぞれ 6 m、8 m とした。データ取得 中の平均的な船速(対地速度)は4 ノット程度であった。

データ取得の基本となる作業は、観測船にて曳航する左右 2 式のエアガンより、海中で 交互に音波を発出し、海底面や地下の堆積層等の地層境界面にて反射する音波を、同じ観測 船で曳航する 2 本のストリーマーケーブルにより受振し、デジタル変換後の信号を観測船 に伝送して探鉱機にて収録するものである。その際には、発振時刻(GPS 時刻)や曳航物 の位置情報なども記録した。

本探査で使用した船舶は、ストリーマーケーブルおよびエアガンを曳航する観測船、計画 した測線上の漁具監視および航行船舶を監視・誘導する警戒船2隻である。調査時には、観 測船の前方ならびに曳航ケーブル側方または後方に警戒船を配置し、航行船舶や漁具の状 況を正確に把握することに努めた。接近する船舶に対しては、回避を要請する連絡を行い、 観測船のデータ取得に影響を及ぼさないように対応した。観測作業は、24時間連続で実施 した。探査船舶一覧を表 3.2-3 に示す。

^{*1)} 底引き網漁(トロール漁)でいうオッターボード(水の抵抗を利用して曳航物を進行方向に対して左 右に展張する装置)。"Deflector"とも言う。



図 3.2-4 観測作業模式図

	観測船	警戒船1	警戒船 2
船名	かいり	第八英祥丸	第八 <mark>阿</mark> 蘇丸
全 長(m)	63.0	35.4	40.5
総トン数 (t)	1,951	167	253
最大喫水 (m)	5.5	3.3	4.0
航行最大速度(kn)	13	10	11
定員(人)	42(船員 29)	14(船員 6)	14(船員7)

表 3.2-3 探查船舶一覧

② 使用した主要機器およびデータ取得仕様

本探査において使用した主要機器一覧を表 3.2-4 に、データ取得仕様一覧を表 3.2-5 に、 測地諸元を表 3.2-6 に示す。

本探査では、受振機器として、ソリッドタイプのストリーマーケーブル2本、振源には2 式のエアガン・アレイを用いて交互発振(Flip-Flop発振)を行った。

ストリーマーケーブルの曳航深度制御には、ION 社の Compass Bird を使用し、水平位 置制御用のステアリング装置や、音響測位装置を装着し、航法システム ORCA および高精 度な GNSS 受信機を用いて、ストリーマーケーブルの深度や水平位置の監視および計画す る曳航航跡の制御、振源の発振タイミング制御、曳航機器の測位を行った。

観測船の測位は、プライマリーシステムとして、Trimble 社が提供する「Centre Point RTX 補正データサービス」(水平精度:約10 cm)を利用し、セカンダリーシステムとし て、準天頂衛星「みちびき」が提供する「センチメータ級測位補強サービス(CLAS)」(水 平精度:約15 cm)を利用した。

振源部の測位は、振源のフロートブイに Relative Global Positioning System (以下、 「RGPS」と称する。)の Source Module を設置し、船上に設置した Master Module との 相対位置を基に算出した。ストリーマーケーブルの測位については、一定間隔でストリーマ ーケーブルに Compass Bird および音響測位システム CMX を装着し、さらにテールブイに RGPS の Tailbuoy Module、テールブイおよび振源フロートブイに音響測位システム CTX を装着し、これらのシステムからの情報を航法システム ORCA に入力して算出した。

RGPS システムは、船上に設置した Master Module と各部に設置した Source Module、 あるいは Tailbuoy Module の測位位置(GNSS による)からそれぞれの距離と方位を算出 して相対測位を行うものである。音響測位システムは、各振源フロートブイおよびテールブ イに設置した CTX やストリーマーケーブルに一定間隔で装着した CMX の間で音響通信を 行い、その到達時間を測定するものである。なお、ストリーマーケーブルに装着した г

Compass Bird は 10 式/本であり、CMX 装置は 8 式/本である。海水音速は、海域の要 所で投下式塩分水温深度計 XCTD (eXpended Conductivity, Temperature and Depth の略 (大文字部分))を用いて実測した。またストリーマーケーブルに Speed Log を 1 式取り 付け潮流や海流情報をリアルタイムに把握した。

表 3.2-4 本探査において使用した主要機器一覧

発振に関する主要機器			
機器項目	機器名称およ	び機器仕様等	
	名称	:Bolt 社製 1500LL Long Life Airgun	
エマガン	アレイ方式	:Tri-Gun Array 2 式	
	エアガン容量	: 1,050 cu.in.(Array : 350 cu.in.×3)	
	エアガン圧力	ı:2,000 psi (約 140 kgf/cm²)	
振源制御装置	名称	:Seamap 社製 GunLink 2000	
¬ 、プレッ++	名称	:Hamworthy 社製 425E(吐出量 400SCFM)	
177099-	名称	: NCA 社製 NCA-14-172-DSD-C(吐出量 500SCFM)	
受振に関する主要	機器		
機器項目	機器名称およ	び機器仕様等	
	名称	: Sercel 社製 Sentinel RD および SD	
	受振器	: Sercel 社製 10 Hz Hydrophone Vinci NH 95-200	
		8 Hydrophones/ch (ch spacing : 12.5 m)	
-510	ケーブル長	: 2,550 m(204ch)	
	ケーブル本数	【:2本	
ストリーマーケ	名称	:ION 社製 Compass Bird Model 5011(深度制御)	
ーブル制御装置	名称	:ION 社製 Steering Unit DigiFIN(水平位置制御)	
データ収録に関す	る主要機器		
機器項目	機器名称およ	び機器仕様等	
	名称	: Sercel 社製 Seal 428	
データ収録装置	A/D 変換	: 24 bit Delta-Sigma	
	記録形式	: SEG-D 8058 rev.1	
測量・航法に関す	る主要機器		
機器項目	機器名称およ	び機器仕様等	
航法システム	名称	: ION Concept 社製 ORCA ver. 17.1	
音 <mark>響測</mark> 位装置	名称 : ION 社製 DigiRANGE II (CTX、CMX)		
	名称	: Trimble 社製 Alloy GNSS	
	名称	: Septentrio 社製 AsteRx-UC GNSS	
RGPS システム	名称	: Seamap 社製 Buoylink 4DX RGPS	
ジャイロコンパ ス	名称	: Sperry 社製 Navigat X MK1	

*DGPS=Differential Global Positioning System の略

発振に関する仕様				
仕様項目	仕様等			
エアガン深度	6 m			
発振点間隔	12.5 m(左右交互発振)			
受振に関	する仕様			
仕様項目	仕様等			
ストリーマーケーブル深度	8 m			
受振点間隔	12.5 m			
チャンネル数	204 ch × 2			
ケーブル間隔	100 m			
最小オフセット	87.8 m			
データ収録に関する仕様				
仕様項目	仕様等			
サンプリング間隔	2 ms			
插树	Compression			
	= Negative Number			
記録長	5.2 s			
低域遮断周波数	3 Hz (6 dB/OCT)			
高域遮断周波数	200 Hz (370 dB/OCT)			
プリアンプゲイン	0 dB			

表 3.2-5 データ取得仕様一覧

表 3.2-6 本探査において使用した測地諸元

準拠楕円体	WGS84
長半径	6,378,137.0000000 m
短半径	6,356,752.31424500 m
投影法	Universal Transverse Mercator(UTM 図法)
ゾーン	54
座標原点 緯度	00° 00′ 00.000″ N
座標原点 経度	141°00′00.000″E
縮尺係数	0.999600
北方加数	0.000 m
東方加数	500,000.000 m

③ データ取得作業実績

データ取得作業の時系列実績を測線実績一覧として表 3.2-7 に示す。前述したとおり、新型コロナウイルス感染症の感染者対応による中断期間が影響し、計画時のデータ取得面積 203.1 km²に対して、実績は 182.9 km² (90%)となった。なお、観測の中断時間は、機器 トラブルによる中断(ダウンタイム):6h08min(約1/4日)、荒天待機:60h35min (約2.5日)、新型コロナウイルス感染症の感染者対応による中断:258h50min(約11 日、感染者10名)であった。表 3.2-8に新型コロナウイルス感染症の感染状況と対応を示 した。

測線番号	測線 Type	測定 番号	FSP 番号	開始日時	LSP 番号	終了日時	測線 長 km	観測 方向	結果
HO-22-27	P1	001	1001	7/31 14:31	3503	7/31 19:11	30.0	N-S	完了
HO-22-01	P1	002	3401	7/31 20:05	899	8/1 00:08	30.0	S-N	完了
HO-22-28	P1	003	1001	8/1 01:08	3503	8/1 05:46	30.0	N-S	完了
HO-22-02	P1	004	3401	8/1 10:25	899	8/1 14:34	28.7	S-N	欠損
HO-22-29	P1	005	1001	8/1 15:30	3503	8/1 19:54	30.0	N-S	完了
HO-22-03	P1	006	3401	8/1 21:06	899	8/2 00:56	30.0	S-N	完了
HO-22-30	P1	007	1001	8/2 01:56	3503	8/2 06:08	30.0	N-S	完了
HO-22-04	P1	008	3401	8/2 07:26	899	8/2 11:28	30.0	S-N	完了
HO-22-31	P1	009	1001	8/2 12:31	3503	8/2 16:52	30.0	N-S	完了
HO-22-05	P1	010	3401	8/5 08:12	899	8/5 12:07	30.0	S-N	完了
HO-22-32	P1	011	1001	8/5 16:03	3503	8/5 21:34	30.0	N-S	完了
HO-22-06	P1	012	3401	8/11 00:56	899	8/12 00:56	30.0	S-N	完了
HO-22-33	P1	013	1001	8/12 01:58	3290	8/12 05:35	28.6	N-S	中断
HO-22-07	P1	014	3401	8/12 10:47	899	8/12 14:45	30.0	S-N	完了
HO-22-34	P1	015	1010	8/12 15:44	2053	8/12 17:27	13.0	N-S	中断
HO-22-34	P2	016	2044	8/12 20:03	3503	8/12 22:25	16.9	N-S	完了
HO-22-08	P1	017	3401	8/12 23:41	899	8/13 03:40	30.0	S-N	完了
HO-22-09	P1	018	3401	8/17 16:59	899	8/17 21:01	30.0	S-N	完了
HO-22-35	P1	019	1001	8/17 22:01	3503	8/18 02:01	30.0	N-S	完了
HO-22-10	P1	020	3401	8/18 03:16	899	8/18 07:16	30.0	S-N	完了
HO-22-36	P1	021	1001	8/18 08:01	3503	8/18 12:01	30.0	N-S	完了
HO-22-11	P1	022	3401	8/18 13:10	899	8/18 17:11	30.0	S-N	完了
HO-22-36	1	023	1001	8/18 18:09	3503	8/18 22:13	30.0	N-S	完了
HO-22-12	P1	024	3401	8/18 23:29	899	8/19 03:27	30.0	S-N	完了
HO-22-37	P1	025	1001	8/19 04:27	3503	8/19 08:24	30.0	N-S	完了
HO-22-13	P1	026	3401	8/19 11:26	899	8/19 15:25	30.0	S-N	完了
HO-22-38	P1	027	1001	8/19 16:24	3503	8/19 20:21	30.0	N-S	完了
HO-22-13	1	028	3401	8/19 21:32	899	8/20 01:28	30.0	S-N	完了
HO-22-39	P1	029	1001	8/20 02:27	3503	8/20 06:30	30.0	N-S	完了
HO-22-14	P1	030	3401	8/20 07:44	899	8/20 11:51	30.0	S-N	完了
HO-22-40	P1	031	1001	8/20 12:53	3503	8/20 17:00	30.0	N-S	完了
HO-22-14	1	032	3401	8/20 18:17	899	8/20 22:20	30.0	S-N	完了
HO-22-41	P1	033	1001	8/20 23:20	3503	8/21 03:23	30.0	N-S	完了
HO-22-33	P2	034	2801	8/22 17:33	3503	8/22 18:42	7.5	N-S	完了
HO-22-15	P1	035	3401	8/22 19:46	899	8/22 23:51	30.0	S-N	完了
HO-22-42	P1	036	1001	8/23 00:47	3503	8/23 04:41	30.0	N-S	完了
HO-22-16	P1	037	3401	8/23 05:53	899	8/23 09:46	30.0	S-N	完了
HO-22-43	P1	038	1001	8/23 10:43	3503	8/23 14:41	30.0	N-S	完了
HO-22-17	P1	039	3401	8/23 15:52	899	8/23 19:45	30.0	S-N	完了
HO-22-43	1	040	1001	8/23 20:42	3503	8/24 00:35	30.0	N-S	完了
HO-22-17	1	041	3401	8/24 01:48	899	8/24 05:45	30.0	S-N	完了

表 3.2-7 測線実績一覧

測線番号	測線 Type	測定 番号	FSP 番号	開始日時	LSP 番号	終了日時	測線 長 km	観測 方向	結果
HO-22-44	P1	042	1001	8/24 06:42	3503	8/24 10:35	30.0	N-S	完了
HO-22-18	P1	043	3401	8/24 11:47	899	8/24 15:47	30.0	S-N	完了
HO-22-45	P1	044	1001	8/24 16:52	3503	8/24 20:44	30.0	N-S	完了
HO-22-19	P1	045	3401	8/24 21:56	899	8/25 01:51	30.0	S-N	完了
HO-22-46	P1	046	1001	8/25 02:55	3503	8/25 06:47	30.0	N-S	完了
HO-22-20	P1	047	3401	8/25 07:59	899	8/25 11:52	30.0	S-N	完了
HO-22-47	P1	048	1001	8/25 12:50	3503	8/25 16:43	30.0	N-S	完了
HO-22-21	P1	049	3401	8/25 17:55	899	8/25 21:48	30.0	S-N	完了
HO-22-48	P1	050	1001	8/25 22:59	3503	8/26 02:52	30.0	N-S	完了
HO-22-22	P1	051	3401	8/26 04:04	899	8/26 07:56	30.0	S-N	完了
HO-22-48	1	052	1001	8/26 11:19	3503	8/26 15:13	30.0	N-S	完了
HO-22-22	1	053	3401	8/26 16:26	899	8/26 20:23	30.0	S-N	完了
HO-22-49	P1	054	1001	8/26 21:29	3503	8/27 01:25	30.0	N-S	完了
HO-22-23	P1	055	3401	8/27 02:38	899	8/27 06:35	30.0	S-N	完了
HO-22-50	P1	056	1001	8/27 07:33	3503	8/27 11:30	30.0	N-S	完了
HO-22-24	P1	057	3401	8/27 12:43	899	8/27 16:39	30.0	S-N	完了
HO-22-51	P1	058	1001	8/27 18:03	3503	8/27 22:00	30.0	N-S	完了
HO-22-08	1	059	3001	8/27 23:21	2201	8/28 00:37	8.7	S-N	完了
HO-22-06	l1	060	1901	8/28 01:05	899	8/28 02:39	11.0	S-N	完了
HO-22-26	P1	061	1001	8/28 03:42	3503	8/28 07:38	30.0	N-S	完了
HO-22-25	P1	062	3401	8/28 09:00	899	8/28 12:57	30.0	S-N	完了
HO-22-51	l1	063	1001	8/28 14:01	3503	8/28 17:58	30.0	N-S	完了
HO-22-26	1	064	3401	8/28 18:56	2551	8/28 20:17	9.4	S-N	完了
HO-22-02	P1	065	1841	8/28 21:33	1739	8/28 21:42	1.3	S-N	完了
HO-22-52	P1	066	1001	8/29 00:16	2703	8/29 03:56	20.0	N-S	完了
HO-22-54	P1	067	2601	8/29 04:26	899	8/29 07:06	20.0	S-N	完了
HO-22-56	P1	068	1001	8/29 08:31	2703	8/29 11:12	20.0	N-S	完了
HO-22-58	P1	069	2601	8/29 12:43	899	8/29 15:23	20.0	S-N	完了
HO-22-60	P1	070	1001	8/29 16:46	1052	8/29 16:51	0.0	N-S	無効
HO-22-60	P2	071	1001	8/29 19:58	2703	8/29 22:39	20.0	N-S	完了
HO-22-62	P1	072	2601	8/30 00:34	899	8/30 03:14	20.0	S-N	完了
HO-22-64	P1	073	1001	8/30 04:38	2703	8/30 07:18	20.0	N-S	完了
HO-22-66	P1	074	2601	8/30 08:49	899	8/30 11:31	20.0	S-N	完了
HO-22-68	P1	075	1001	8/30 12:54	2703	8/30 15:36	20.0	N-S	完了
HO-22-70	P1	076	2601	8/30 17:15	899	8/30 19:56	20.0	S-N	完了
HO-22-72	P1	077	1001	8/30 21:29	2703	8/31 00:12	20.0	N-S	完了
HO-22-74	P1	078	2560	8/31 01:53	899	8/31 04:28	19.5	S-N	欠損
HO-22-76	P1	079	1001	8/31 06:07	2703	8/31 08:54	20.0	N-S	完了
HO-22-71	P1	080	2601	8/31 10:42	899	8/31 13:21	20.0	S-N	完了
HO-22-73	P1	081	1001	8/31 14:44	2703	8/31 17:27	20.0	N-S	完了

注 1) FSP : First Shot Point(最初の発振点番号)の略称

注 2)LSP : Last Shot Point(最後の発振点番号)の略称

注3) 測線番号 HO-22-60-P1-070 は、観測開始直後のエアガン・エア漏れによって無効データとした。

表 3.2-8	新型コロナウイルス感染症の感染状況と対応

感染者	発症日	症状	対処	備考	
感染者①	8月2日深夜	8/2深夜 38℃の発熱、喉痛 抗原検査は陰性	船室に隔離 8/3: 酒田港入港05:00 8/3午前: 相談センターに連絡、感染者①下船・離場 8/3午前: 保健所指定医療機関の検査で感染を確認 =>保健所指定の療養施設で隔離	乗船直前のPCR検査で陰性確認 乗船前2週間体調異常なし 8/12まで療養施設で隔離 体調回復し業務復帰	
感染者②	8月3日夜	自覚症状なし 抗原検査で陽性確認	船室に隔離 8/4午前: 相談センターに連絡 8/4午後: 感染者②下船・離場 保健所指定医療機関の検査で感染を確認 =>保健所指定の療養施設で隔離	乗船直前のPCR検査で陰性確認 乗船前2週間体調異常なし 8/13まで療養施設で隔離 終始自覚症状なく体調に問題なし	
8/4:専門	業者による船内	消毒を実施、感染者①②以外の	乗船者全員に抗原検査を実施し陰性を確認、代員2名乗船後(PCR検	査で陰性確認)19:00 酒田港出港	
感染者③	8月5日夜	8/5夜 37.5℃の発熱、喉痛 抗原検査は陰性 8/6早朝に39℃の発熱、喉痛 再度の抗原検査で陽性確認	船室に隔離 8/6:秋田港入港09:15 8/6午前:相談センターに連絡、感染者③下船・離場 8/6午前:保健所指定医療機関の検査で感染を確認 =>保健所指定の療養施設で隔離	乗船直前のPCR検査で陰性確認 乗船前2週間体調異常なし 8/15まで療養施設で隔離 体調回復し業務復帰	
感染者④	8月6日午前	8/6午前 喉痛 抗原検査で陽性確認	船室に隔離 8/6午前:相談センターに連絡 8/6午後:感染者④下船・離場 保健所指定医療機関の検査で感染を確認 =>保健所指定の療養施設で隔離	乗船直前のPCR検査で陰性確認 乗船前2週間体調異常なし 8/14まで療養施設で隔離 体調回復し業務復帰	
8/6:感染 8/7:専門 8/11午前:	者③④以外の乗 業者による船内 : 乗船者全員に打	船者全員に抗原検査を実施し陰 消毒を実施 亢原検査を実施陰性を確認後、代	性を確認後、8/6~8/10の5日間 乗船調査員全員はホテルで自主隊 :員2名乗船後(PCR検査で陰性確認) 12:40 秋田港出港	鬲裔推	
感染者⑤	8月12日深夜	8/12深夜 38℃の発熱、喉痛 抗原検査で陽性確認	船室に隔離 8/13:秋田港入港12:00、相談センターに連絡 8/14午後:感染者⑤下船・離場 保健所指定医療機関の検査で感染を確認 =>保健所指定の療養施設で隔離	乗船直前のPCR検査で陰性確認 乗船前2週間体調異常なし 8/22まで療養施設で隔離 体調回復し業務復帰	
8/13:感染 引 8/14:専門	8/13:感染者⑤以外の乗船者全員に抗原検査を実施陰性を確認後、一部調査員下船・離場 引き続き乗船する一部調査員は8/13~8/15の3日間 ホテルで自主隔離 8/14:専門業者による船内消毒を実施				
感染者⑥	8月14日午前	8/14午前 37.7℃の発熱 抗原検査は陰性 (自主隔離中のホテルにて)	ホテルで隔離 8/14午前:相談センターに連絡するも日曜日で対応不可 8/15午前:再度の抗原検査で陰性確認し離場 8/16:PCR検査実施で陽性確認	乗船直前のPCR検査で陰性確認 乗船前2週間体調異常なし 8/23まで自宅隔離 体調回復し業務復帰	
感染者⑦	8月14日午前	8/14午前 38.2℃の発熱 抗原検査は陰性 (自主隔離中のホテルにて)	ホテルに隔離 8/14午前:相談センターに連絡するも日曜日で対応不可 8/15午前:再度抗原検査を実施し陽性確認 8/15午前:相談センターに連絡 8/15午後:感染者⑦下船・離場 保健所指定医療機関の検査で感染を確認 =>保健所指定の療養施設で隔離	乗船直前のPCR検査で陰性確認 乗船前2週間体調異常なし 8/24まで療養施設で隔離 体調回復し業務復帰	
感染者⑧	8月14日夕方	8/14夕方 38℃の発熱 (離場後の自宅にて)	8/14夕方:相談センターに連絡し、自宅隔離 8/16 :病院受診でコロナ感染を確認=>引き続き自宅隔離	乗船直前のPCR検査で陰性確認 乗船前2週間体調異常なし 8/23まで自宅隔離 体調回復し業務復帰	
8/15:後半 8/16:後半 8/17:秋田	調査員入場(全 調査員乗船(乗]港出港08:00	員PCR検査で陰性確認) 船直前に乗船者全員、抗原検査	を実施し陰性を確認)、引継ぎ・打合せ、HSE船上会議(警戒船2隻を	· -含む)	
感染者⑨	8月20日深夜	8/20深夜 37.2℃の発熱 抗原検査で陽性確認	船室に隔離 8/21午前:相談センターに連絡 8/21午後:感染者⑨下船・離場 保健所指定医療機関の検査で感染を確認 =>保健所指定の療養施設で隔離	乗船直前のPCR検査で陰性確認 乗船前2週間体調異常なし 8/31まで療養施設で隔離 体調回復し業務復帰	
感染者⑩	8月21日午前	自覚症状なし 抗原検査で陽性確認	船室に隔離 8/21午前: 相談センターに連絡 8/21午後: 感染者⑩下船・離場 保健所指定医療機関の検査で感染を確認 =>保健所指定の療養施設で隔離	乗船直前のPCR検査で陰性確認 乗船前2週間体調異常なし 8/30まで療養施設で隔離 体調回復し業務復帰	
8/22午前:専門業者による船内消毒を実施、感染者③⑩以外の乗船者全員、抗原検査を実施し陰性を確認 感染者③⑩と接触の多かった場員3名下船、代員5名乗船(PCR検査で陰性確認) 8/22:秋田港出港12:00					

(5) データ取得結果

観測作業開始に先立ち、7月31日に機器動作テストを実施し、取得データ品質を確認した。図3.2-5に、テスト発振記録および周波数振幅スペクトラムを示す。この発振記録は、HO-22-27測線の北端部で取得されたものである。テスト観測におけるデータ取得パラメー

タは、2017年に実施した「秋田沖 3D」 探査に倣いエアガン深度 6 m、ストリーマーケーブ ル深度 8 m に設定した。

同図は連続する3発振点における発振記録を示しており、奇数番記録(TEST01, TEST03) は右舷側のエアガンによる発振記録、偶数番記録(TEST02)は左舷側のエアガンによる発 振記録である。各発振記録において、直達波・海底面反射波等が明瞭に捉えられており、振 源および発振点の違いによる記録品質に差がないことを確認した。以上より、テスト観測で 設定したデータ取得パラメータを適用することとした。



本探査で取得した記録のうち、代表的な3例(探査エリアの西端、中央、東端)の発振記 録、チャンネル記録(ch1と ch205の Single trace plot)およびノイズ振幅記録(反射波等 が微小となる時間域 4,000~5,000 msの RMS 振幅、縦軸:チャンネル番号,横軸:データ 取得位置)を図 3.2-6(1)~(9)に示す。調査期間の一部を除き海況による影響はほとんどな く、発振記録においては顕著な波浪ノイズ(低周波数のランダムノイズ)は認められなかっ た。しかしながら、全測線に共通して、バブル波形(後続波形)、海底面多重反射波、タグ (曳航)ノイズおよび(ケーブル振動による)ストラムノイズ等のコヒーレントノイズが認 められた。

① HO-22-01-P1-02 測線の取得記録例

探査海域西端測線の例として、当該測線の弾性波探査記録例を示す。図 3.2-6(1)に発振記 録、図 3.2-6(2)にチャンネル記録、図 3.2-6(3)にノイズ振幅記録を示す。発振記録上では、 特にニアオフセット区間において、バブル(後続波)の混入が顕著であり、ケーブル前方か らのストラムノイズ(線形ノイズ)も認められる。チャンネル記録上では海底面多重反射波 が全般に認められる。ノイズ振幅記録では観測開始直後のターン(船舶回頭)ノイズを除い て顕著なノイズは認められなかった。



図 3.2-6(1) HO-22-01-P1-02 測線の発振記録



図 3.2-6(2) HO-22-01-P1-02 測線のチャンネル記録(ch 1, 205)



図 3.2-6(3) HO-22-01-P1-02 測線のノイズ振幅記録

② HO-22-40-P1-31 測線の取得記録例

探査海域中央測線の例として、当該測線の弾性波探査記録例を示す。図 3.2-6(4)に発振記 録、図 3.2-6(5)にチャンネル記録、図 3.2-6(6)にノイズ振幅記録を示す。発振記録上では、 特にニアオフセット区間において、バブル(後続波)の混入が顕著であり、ケーブル前方か らのストラムノイズ(線形ノイズ)およびタグノイズ(線形ノイズ)も認められる。チャン ネル記録上では海底面多重反射波が全般に認められる。ノイズ振幅記録ではタグノイズに 起因したニアオフセット区間の強振幅(緑色)以外に顕著なノイズは認められない。



図 3.2-6(4) HO-22-40-P1-31 測線の発振記録



図 3.2-6(5) HO-22-40-P1-31 測線のチャンネル記録(ch 1, 205)



図 3.2-6(6) HO-22-40-P1-31 測線のノイズ振幅記録

③ HO-22-76-P1-79 測線の取得記録例

探査海域東端測線の例として、当該測線の弾性波探査記録例を示す。図 3.2-6(7)に発振記 録、図 3.2-6(8)にチャンネル記録、図 3.2-6(9)にノイズ振幅記録を示す。発振記録上では、 ケーブル前方からのストラムノイズ(線形ノイズ)に加えて、ニアオフセット区間において 低速度の線形ノイズが認められる。本測線では不良発振が複数点確認されており、当該発振 記録はデータ処理では使用しないため、チャンネル記録およびノイズ振幅記録では白抜け 表示としている。本測線における FFID1570 (SP2552)付近から観測船航行針路を西へ設 定したため、当該発振点以降の区間においてはターンノイズが顕著にとなり、ノイズ振幅記 録では同ターンノイズが強振幅(赤色)で示されている。



図 3.2-6(7) HO-22-76-P1-79 測線の発振記録



図 3.2-6(8) HO-22-76-P1-79 測線のチャンネル記録(ch 1, 205)



図 3.2-6(9) HO-22-76-P1-79 測線のノイズ振幅記録

(6) 3D データ管理と反射点分布結果

観測作業中にストリーマーケーブルやエアガンが潮流や風の影響を受けて Fethering Angle (フェザリングアングル*2))が発生すると、空間的にデータ欠損が生じる恐れがある ため、航法システム ORCA により観測エリアにおける反射点分布を準リアルタイムに監視 し、設計値に対する観測値の割合(%)を指標として、空間的なデータ欠損の発生状況の品 質管理を行った。

図 3.2-7 に、反射点分布の計算に用いるパラメータを示す。ここでは全受振器を用いた 「全オフセット」、振源から比較的近い位置にある受振器を用いた「Nears」、中間付近に 位置する受振器を用いた「Mids」、遠方の受振器を用いた「Fars」の4種類の反射点分布 図を用いた品質管理を行った。品質の指標として標準的な閾値を設定した。具体的には観測 環境(潮流や風等)の影響を受けにくい「Nears」および「全オフセット」は80%、最も影 響を受けやすい「Fars」は60%、中間の「Mids」は70%を目安とした。隣接する測線間隔 が150 mを超え、それが長距離続いた場合には、インフィル測線を実施した。

図 3.2-8(1)~(4)に、全観測作業終了後のそれぞれの反射点分布図を示す。沖側 30 km×5 km のエリアについては、必要最小限のインフィル測線の追加により、「全オフセ ット」および「Nears」、「Mids」は顕著な空間的なデータ欠損もなく、3D データ処理に 必要となる品質のデータを取得できた。岸側 20 km×2.5 km については、前述のように観 測期間の制約に対応して、測線間隔を粗くしてエリア全体をカバーするようにデータ取得 を行った。

*2) 船尾から曳航するストリーマーケーブルは、潮流により左右に流される。船とテールブイを結ぶ直線 が測線方向と交わる角度のこと。(下図参考:出典 JOGMEC 用語辞典)







図 3.2-7 ORCA 反射点分布図およびパラメータ設定







図 3.2-8(2) 反射点分布図 (Nears)







図 3.2-8(4) 反射点分布図(Fars)

3.2.2 3D 探査データの処理

本調査区域において新規に取得した 3D 探査データに対し、取得データに含まれる反射波 を対象とした反射法データ処理を行った。

(1) データ処理の概要

貯留層、遮蔽層の解釈に資する反射波記録を得ることを目的として、各種ノイズ抑制処理、 多重反射波抑制処理等による S/N 比の向上を図り、重合前時間マイグレーション(Pre-Stack Time Migration、以下、「PSTM」と称する。)を適用した処理を実施した。地層境 界における反射強度の差異を保持する相対振幅保存処理を適用した PSTM 断面に加え、反 射波の追跡に適するよう重合前に自動振幅補償(Automatic Gain Control、以下、「AGC」 と称する。)を適用した PSTM 重合記録を作成した。

本データ処理に使用した主要ソフトウェアを表 3.2-9 に示す。

処理ソフトウェア	実施した処理
『SuperX』JGI 社	データ処理全般
『Nucleus』PGS 社	合成エアガン波形作成
『iVAS』JGI 社	速度解析
『VELANAL』 Techco Geophysical Services 社	速度解析
『GeoDepth』AspenTech 社	PSTM 処理

表 3.2-9 主要ソフトウェア一覧

(2) データ処理の基本仕様

データ処理の基本仕様を以下に、測地諸元を表 3.2-10 に示す。

1)	サンプリング間隔	:2 msec(リサンプリング後は4 msec)
2)	トレース当たりのサンプル数	: 2,501(リサンプリング後は 1,251)
3) §	処理記録長	: 5.0 s
4) (CMP 間隔	: 25 m×12.5m
		(インライン間隔×クロスライン間隔)

準拠楕円体	WGS84
長半径	6,378,137.00000000 m
短半径	6,356,752.31424500 m
投影法	Universal Transverse Mercator(UTM 図法)
ゾーン	54
座標原点 緯度	00° 00′ 00.000″ N
座標原点 経度	141° 00′ 00.000″ E
縮尺係数	0.999600
北方加数	0.000 m
東方加数	500,000.000 m

表 3.2-10 データ処理で使用した測地諸元

(3) データ処理のフローチャート

図 3.2-9 に反射法データ処理フローチャートを示す。



図 3.2-9 反射法データ処理フローチャート

(4) データ処理の詳細

データ処理の詳細について、各処理ステップの内容を記述する。

- フォーマット変換 データ取得作業において磁気ディスクに収録された SEG-D フォーマットのフィ ールドデータをデータ処理ソフトウェアの内部フォーマットへ変換した。
- ジオメトリ設定
 発振点・受振点・CMPのインデックスと座標、オフセット距離等の測線情報をトースヘッダーに入力した。
- プ フィルター
 周波数成分解析の結果から確認された極低周波数の波浪ノイズを抑制するため
 に帯域通過フィルターを適用した。
- 4)不良ト ース編集 オブザーバーログに記載のある、不良発振記録および振幅異常や地震ノイズに代 表される過度なノイズを示す不良トレースを削除した。
- 5) 重合前ノイズ抑制

重合前記録の品質向上のためにノイズ抑制処理を適用した。取得されたデータ上 に混入している様々なノイズに対処するため、共通発振記録や共通チャンネル記 録において、複数の手法を組み合わせたノイズ抑制処理を実施した。以下にノイ ズの種類ごとに適用したノイズ抑制処理について記述する。

処理は以降に示す A)~E)の順で適用した。

A) パリティエラー抑制

パリティエラーに起因する突発的な強振幅ノイズを抑制する目的で以下の 手法を適用した。

F-X エディット(共通発振記録)

F-X エディット(共通チャンネル記録)

適用の際に一時的に強振幅の直達波をミュートしてパリティエラーを抽出 した。共通発振記録での F-X エディットで抑制しきれなかった残存パリティ エラーを共通チャンネル記録への F-X エディットで抑制した。図 3.2-10(1) に発振記録での本処理適用前後と差分の例を示す。

B) 波浪ノイズ抑制

波浪ノイズ(うねり等による低周波数ノイズ)を抑制する目的で以下の手法 を適用した。 F-X エディット(共通チャンネル記録)

F-X エディット(共通発振記録)

F-Kフィルター(共通発振記録)

F-K フィルター(共通チャンネル記録)

F-X 予測フィルター(共通発振記録)

波浪ノイズの顕著な低周波数領域で F-X エディットを適用した。F-X エディ ットでは抑制しきれなかった残存成分については、F-K 領域の低周波数領域 で反射波存在域外のノイズ成分を抽出しこれを減算することで、反射波の損 傷を最小限に抑えつつ波浪ノイズを抑制した。さらにバードに起因するノイ ズ、船舶の回頭に起因するランダムノイズを抑制するため共通発振記録で F-X 予測フィルターを適用した。

図 3.2-10(2)~(4)に発振記録での本処理適用前後と差分の例を示す。

C) 直達波ノイズ抑制

直達波とその繰り返しによる線形ノイズを抑制する目的で、共通発振記録に 対し線形ラドンフィルターを適用した。図 3.2-10(5)に発振記録での本処理適 用前後と差分の例を示す。

D) 線形ノイズ (タグノイズ) 抑制

発振記録上に残存するタグノイズを抑制する目的で、発振記録における F-X 速度フィルターを適用した。タグノイズとは、航行速度や潮流が変化することで、ケーブルの先端や終端に突発的に掛かる張力により発生するノイズである。

図 3.2-10(6)に発振記録での本処理適用前後と差分の例を示す。

E) 船舶ノイズ抑制

周辺を航行する船舶に起因すると考えられるノイズを抑制する目的で、共通 スローネス領域で F-X エディットを適用した。ここで共通スローネス領域を 用いたのは、発振記録において船舶航行ノイズは緩やかな双曲線をなすこと により、共通スローネス領域では発生時間付近の特定スローネスに波が収束 すると考えられるためである。図 3.2-10(7)に発振記録での本処理適用前後と 差分の例を示す。

ここまでのノイズ抑制処理全体について、発振記録での適用前後と差分の例 を図 3.2-10(8)に、セールラインでの重合記録における適用前後と差分の例を 図 3.2-10(9)~(11)に示す。 6) ゴースト抑制

海上調査では、受振器は、海底面または海底面下で反射した上方進行波を記録し 後、この反射波が受振器を超えて海水面で再度反射した下方進行波を記録する。 この下方進行波はゴーストと呼ばれる。このゴーストの影響を取り除くために 1 次元周波数領域におけるゴースト抑制を実施した (Yilmaz and Baysal, 2015 ¹⁾, Yilmaz and Baysal, 2015²⁾)。ここではゴーストに対する位相と振幅を補償す るとともに、振源ゴーストと受振ゴーストを同時に抑制した。 図 3.2-11(1)~(4)に本処理適用前後での共通受振記録例を示す。また、図 3.2-11(5)

~(10)に本処理適用前後の重合記録(注:2受振ケーブルの記録を表示する。)および周波数スペクトルの例を示す。図 3.2-11(7)と(10)に示す周波数スペクトルの 比較から、有効周波数帯域が拡張されたことが確認できる。

7) 波形変換およびバブル抑制

振源波形に相当する合成エアガン波形を用いて、波形変換(最小位相変換)を適 用した。エアガンの型式、容量、配列および深度の情報をもとに、エアガン波形 シミュ ーションソフトである Nucleus+を用いて、振源波形に相当する合成エ アガン波形を作成した。ここで作成した振源波形には、発振点および受振点での ゴーストは含まれない。

また、西側で取得された HO0001P1-027 測線のニアト ース記録において海底 面反射波形を読み取り、これを同一時間に揃えて重合することで振源波形相当の ウェーブレットを抽出した。抽出した波形からバブルの抑制オペ ータを設計し、 これを全測線に対して適用した。さらに、除去しきれなかったバブルの影響を抑 制する目的で、共通受振記録において線形ラドンフィルターを適用した。共通受 振記録に対する波形変換とバブル抑制処理の適用例を図 3.2-12(1)~(4)に、重合 記録における適用例と周波数スペクトルの比較図を図 3.2-12(5)~(10)に示す。バ ブル抑制処理により 0~20 Hz のリップルが抑制されたことが確認できる。

8) 潮位補正

発振作業時の潮位変化によって生じる走時の差異を補正するため、潮位補正を行った。各エアガンの発振時間における潮位は、気象庁が公開している1時間毎の 天文潮位(秋田)³⁾をスプライン内挿して用いた。潮位補正は、海水中のP波伝 播速度を1,535 m/s と仮定して、天文潮位による高さ変化分を走時に換算するこ とで補正した。調査期間中の潮位差から見積もられる走時差は1 msec 未満であ った。図 3.2-13(1)~(2)に本処理の適用前後のタイムスライスを示す。 9) 受振点移動補正

データ取得の際に受振点位置が移動することにより生ずる反射点位置のずれを 各発振記録において補正した。補正に必要となる船速は、測位データから各発振 点の位置と時刻を抽出し、隣り合う発振点間の直線距離と時刻差により算出した。 ただし、測位データから直接算出した船速では、測位誤差に起因する数値の揺動 が含まれるため、移動平均によりデータを平滑化した上で使用した。 図 3.2-14 に本処理適用後のタイムスライスを示す。

10) リサンプリング

データのサンプリング間隔を、データ取得時の2~4 msecにリサンプリングした。

11) 重合速度解析

定速度の NMO 補正と重合処理を用いて重合速度を走査する定速度重合法により 速度解析を実施した。速度解析ソフトウェアとして、iVAS (Interactive Velocity Analysis System)を用いた。速度解析点間隔は 1,000 m×1,000 m (インライン 方向×クロスライン方向)とした。ここで得られた速度は、ノイズ抑制処理にお ける一時的な NMO 速度として用いるほか、各処理の適用前後の結果を重合記録 上で比較・確認するために用いた。

12) 多重反射波抑制

主に海水層に起因する短周期および長周期の多重反射波、層間多重反射波等の短 周期の多重反射波を抑制するために複数の手法を組み合わせて多重反射波抑制 処理を実施した。

処理は以降に示す A)~B)の順で適用した。

- A) Shallow Water Demultiple(以下、「SWD法」と称する。) 浅海域における海底面を介在する短周期の多重反射波を抑制するためSWD 法を適用した。SWD法は波動方程式に準拠する多重反射波抑制手法であり、 海底深度から海底面反射波をモデリングし、これを用いて多重反射波を予測 する。モデリングにより予測された多重反射波データを原記録とマッチング させた後に原記録から減ずることにより、原記録に含まれる多重反射波を抑 制した。図 3.2・15(1)~(4)に本処理の適用前後の共通受振記録図を、図 3.2・15(5)~(10)に本処理適用前後の重合記録例と周波数スペクトルを示す。 陸に近い測線(HO0076P1-079)で特に短周期の多重反射波が顕著であったが、 SWD法により効果的に抑制されていることが確認できる。
- B) Surface Related Multiple Elimination (以下、「SRME 法」と称する。)

海水面を介在する中~長周期の多重反射波を抑制するために SRME 法を適 用した。SRME 法は波動方程式に準拠する多重反射波抑制手法であり、原記 録において発振記録の受振点と共通チャンネル記録の発振点の位置が一致 するト ース間のクロスコンボリューションをとり、すべてのペアを加算す ることにより多重反射波を予測する。この多重反射波モデルデータを原記録 とマッチングさせた後に原記録から減ずることにより、原記録に含まれる多 重反射波を抑制した。本エリアの浅海域では海底面反射波が正しく取得でき ない場合があること、前述の SWD 法で海底面起源の多重反射波を抑制でき たと見なせることを考慮して、多重反射波の予測に際しては海底面をミュー トすることで海底面起源の多重反射波を予測しないように設定した。テスト 処理の結果、SRME 法の適用により、深部で一次反射波が毀損する様子が確 認されたことから、適用は 2 秒より浅部のみに限定することとした。図 3.2-16(1)~(8)に本処理の適用前後の比較図を示す。

図 3.2-17(1)~(4)に一連の多重反射波抑制処理適用前後の比較図を示す。

13) ウォーターカラム静補正

ウォーターカラム静補正値とは、データ取得時期の違いから生ずる各種の走時差 のことであり、波高や海水温度、塩分濃度の違い等に起因するものと考えられる。 本処理では、セールライン単位でウォーターカラム静補正を実施した。手順は以 下の通りである。

- i) ニアトレースキューブの作成
- ii) NMO 補正(1,535 m/s 一定)の適用
- iii)海底面走時の読み取り
- iv) 海底面走時の平滑化
- v) 平滑化結果と読み取り値の差分からト ース毎の補正量を算出
- vi)各セールラインに補正量を割り振り、各セールラインで平均を取ること でセールライン単位の補正量を算出
- vii)セールライン単位に計算された補正量を適用
- 図 3.2-18(1)~(4)に本処理適用前後のニアト ースキューブ記録および重合記録 のタイムスライスを示す。
- 14) 3D ビンニング

発振記録を、反射点(発振点と受振点の中点)を共通とするト ースの集合(CMP ギャザー)に編集した。

15) NMO 補正

「11)重合速度解析」によって求められた速度関数を時間-空間方向に内外挿し、 その速度テーブルに従って NMO 補正を適用した。

16) ト ース正規化

ジオメトリの偏りによるオフセットの集中・欠損に起因して、後の PSTM でのイ メージング効果が悪化することを防ぐために、ト ース正規化を行った。正規化 処理では、一定間隔のオフセット範囲でト ースが重複する場合は重複分を削除 し、トレースが欠損する場合は同一オフセット上で内挿することで、オフセット 分布の均質化を図った。ト ース内挿手法はインライン、クロスライン、オフセ ット方向の三次元内挿を用いた。

図 3.2-19(1)~(4)にト ース正規化前後の重合記録例を、図 3.2-19(5)~(8)に重合 記録のタイムスライスを示す。また、図 3.2-19(9)と(10)にトレース正規化前後の 重合数分布図を示す。トレース正規化により、データ取得の際に測線の抜けがあ った陸側のエリアでデータが内挿されていること、およびデータの偏りが補正さ れたことにより振幅バランスが改善したことを確認できる。

17) 重合前信号強調処理

CMP ギャザーにおいて残存するノイズを抑制するため、F-X 速度フィルターを 適用した。図 3.2-20(1)~(3)に本処理の適用前後の発振記録例と重合記録例を示 す。

18) 逆 NMO 補正

後述の PSTM のために「15) NMO 補正」と同じ速度関数を用いて逆 NMO 補正 を行った。

ここまでのデータ処理が適用された結果を、相対振幅保存 CMP ギャザーとして SEG-Y ファイルに出力した。

19) PSTM 速度解析

後述の「21) PSTM」のために PSTM 速度解析を実施した。「11) 重合速度解析」 で得られた速度を用いて暫定的な PSTM を行い、得られた共通イメージ点 (Common Image Point、以下、「CIP」と称する。) ギャザーに対して同速度で 逆 NMO 補正したギャザーを基に速度解析を行った。速度解析ソフトウェアとし て iVAS を用いた。速度解析点間隔は 1,000 m×1,000 m (インライン方向×クロ スライン方向) とした。

なお、最終速度解析データはテキストファイルに出力し、最終速度解析結果(速

度プロファイル)はSEG-Yファイルに出力した。

20) ゼロ位相変換

反射面の境界がピーク/トラフとなるようにゼロ位相化を行った。位相変換オペ ータは、ニアト ース記録において海底面反射波から抽出した波形を用いて作 成した。

21) PSTM

重合前データの見かけの反射点位置を真の反射点位置に移動させるとともに、回 折波を回折点に収斂させるため、「19) PSTM 速度解析」で求めた速度を用いて PSTM を適用した。手法として、GeoDepth を用いた共通オフセット領域におけ るキルヒホッフ積分法マイグレーションを採用した。PSTM 処理の際には GeoDepth の内部で幾何発散補償による振幅補償を行った。

図 3.2-21(1)~(8)に PSTM 処理後重合記録例と、重合記録例に「19) PSTM 速度 解析」の結果を重ね合わせた図を示す。

22) PSTM 後ノイズ抑制

PSTM 後の CIP 記録に対して、各種ノイズ抑制処理を適用した。以下に、適用したノイズ抑制処理について記述する。

A) F-X 速度フィルター

PSTM 後に残存する線形ノイズや見かけ速度の遅いムーブアウト成分を抑制するために、F-X 速度フィルターを適用した。図 3.2-22(1)に発振記録での本処理適用前後と差分の記録例を示す。

B) F-X 予測フィルター

PSTM 後に残存するランダムノイズを抑制するため、F-X 予測フィルターを 適用した。図 3.2-22(2)に発振記録での本処理適用前後と差分の記録例を示す。

- C) 高分解能ラドン変換法 PSTM 後に残存するムーブアウトの大きなノイズを抑制するため、高分解能 ラドン変換法を適用した。図 3.2-22(3)に発振記録での本処理適用前後と差分 の記録例を示す。
- 図 3.2-22(4)と(5)にマイグレーション後ノイズ抑制処理適用前後の重合記録例を 示す。
- 23) Q 補償

地振波が媒質を伝搬する際に、媒質の非弾性や散乱の影響により、位相速度の分 散や振幅の減衰が生じる。この影響を補正するため、Q値(弾性波の減衰係数で
あり、大きいほど減衰が小さい)を用いた補償を行った。ここでは位相と振幅の 補償を行った。図3.2-23(1)~(4)にQ補償適用前後のCIP記録例と重合記録例を、 図3.2-23(5)に振幅スペクトルの比較図を示す。本処理により高周波成分が持ち上 がり、深部で分解能が向上したことが確認できる。

24) アウトサイドミュート

PSTM によって伸張した波形は重合効果や分解能を低下させるため、これを除去 することを目的に、アングルミュートを適用した。今回の処理対象は、水深が浅 いエリアで取得されたデータであることから、取得データの浅部かつオフセット の大きいト ース側に出現する海底面反射波を過度にミュートしないように、ア ングルミュートの開始時間を-100 msec ステップさせてミュートを実施した。 ここまでのデータ処理が適用された相対振幅保存処理の結果を、相対振幅保存 CIP ギャザーとして SEG-Y ファイルに出力した。

25) AGC

振幅バランスを整えるために AGC を適用した。

なお、本処理はAGC 適用 PSTM 処理後記録のみに適用し、相対振幅保存 PSTM 処理後記録には適用していない。

26) CIP 重合

CIP 毎にト ースの重合を行った。振幅の正規化として、重合ト ース数による 除算を行った。

- 27) 重合後信号強調処理 浅部に卓越していた線形ノイズを抑制する目的で、重合後の記録に対しファンフ ィルターを適用した。深部の反射波を傷つけないように 1,500 msec より浅部の みに適用した。適用前後の重合記録および差分を図 3.2-24(1)~(3)に示す。またラ ンダムノイズを抑制し反射波の連続性を改善するため、K フィルターと F-X 予測 フィルターを適用した。
- 28)帯域通過フィルター 反射波の周波数帯域外のノイズを抑制するために、帯域通過フィルターを適用した。
- 29)海底面ミュート 海底面より浅部にあるノイズを削除する目的で、海底面ミュートを実施した。
- 30) 基準面補正29)までの処理を適用した重合後記録に対して、浮動基準面から基準面への補正を

行った。基準面は平均海水面(Mean Sea Level: MSL)とした。相対振幅保存 PSTM 処理結果の縮小最終断面図を図 3.2-25(1)~(3)に、AGC 適用の縮小最終断 面図を図 3.2-26(1)~(3)に示す。ここまでのデータ処理が適用された結果を、最終 的な相対振幅保存 PSTM 重合記録および AGC 適用 PSTM 重合記録として SEG-Y ファイルに出力した。



図 3.2-10(1) パリティエラー補正適用例(発振記録): HO0001P1-002 測線, FFID32



: HO0001P1-002 測線, FFID32



図 3.2-10(3) 波浪ノイズ(線形ノイズ)抑制処理適用例(発振記録) : HO0001P1-002 測線, FFID32



: HO0001P1-002 測線, FFID32



図 3.2-10(5) 直達波抑制処理適用例(発振記録): HO0001P1-002 測線, FFID32



図 3.2-10(6) タグノイズ抑制処理適用例(発振記録): HO0038P1-027 測線, FFID32



図 3.2-10(7) 船舶ノイズ抑制処理適用例(発振記録): HO0038P1-027 測線, FFID32



図 3.2-10(8) ノイズ抑制処理適用例(発振記録):HO0001P1-002 測線, FFID32



図 3.2-10(9) ノイズ抑制処理適用前重合断面図例:HO0001P1-002 測線



図 3.2-10(10) ノイズ抑制処理適用後重合断面図例:HO0001P1-002 測線



図 3.2-10(11) ノイズ抑制処理適用前後差分: HO0001P1-002 測線



図 3.2-11(1) ゴースト抑制処理適用前共通受振記録例:HO0001P1-002 測線



図 3.2-11(2) ゴースト抑制処理適用後共通受振記録例: HO0001P1-002 測線



図 3.2-11(3) ゴースト抑制処理適用前共通受振記録例: HO0076P1-079 測線



図 3.2-11(4) ゴースト抑制処理適用後共通受振記録例: HO0076P1-079 測線



図 3.2-11(5) ゴースト抑制処理適用前重合記録例:HO0001P1-002 測線



図 3.2-11(6) ゴースト抑制処理適用後重合記録例:HO0001P1-002 測線



図 3.2-11(7) ゴースト抑制処理適用前後振幅スペクトル: HO0001P1-002 測線,

0~3,000 msec



図 3.2-11(8) ゴースト抑制処理適用前重合記録例:HO0076P1-079 測線



図 3.2-11(9) ゴースト抑制処理適用後重合記録例:HO0076P1-079 測線



図 3.2-11(10) ゴースト抑制処理適用前後振幅スペクトル: HO0076P1-079 測線,

0~3,000 msec



図 3.2-12(1) バブル抑制処理適用前共通受振記録例:HO0001P1-002 測線



図 3.2-12(2) バブル抑制処理適用後共通受振記録例:HO0001P1-002 測線



図 3.2-12(3) バブル抑制処理適用前共通受振記録例:HO0076P1-079 測線



図 3.2-12(4) バブル抑制処理適用後共通受振記録例:HO0076P1-079 測線



図 3.2-12(5) バブル抑制処理適用前重合記録例:HO0001P1-002 測線



図 3.2-12(6) バブル抑制処理適用後重合記録例:HO0001P1-002 測線



図 3.2-12(7) バブル抑制処理適用前後振幅スペクトル: HO0001P1-002 測線,

0~3,000 msec



図 3.2-12(8) バブル抑制処理適用前重合記録例:HO0076P1-079 測線



図 3.2-12(9) バブル抑制処理適用後重合記録例:HO0076P1-079 測線



図 3.2-12(10) バブル抑制処理適用前後振幅スペクトル: HO0076P1-079 測線,

0~3,000 msec



図 3.2-13(1) 潮位補正処理適用前タイムスライス記録例:200 msec



図 3.2-13(2) 潮位補正処理適用後タイムスライス記録例: 200 msec



図 3.2-14 受振点移動補正処理適用後タイムスライス記録例: 200 msec



図 3.2-15(1) SWD 処理適用前共通受振記録例: HO0001P1-002 測線



図 3.2-15(2) SWD 処理適用後共通受振記録例: HO0001P1-002 測線



図 3.2-15(3) SWD 処理適用前共通受振記録例: HO0076P1-079 測線



図 3.2-15(4) SWD 処理適用後共通受振記録例: HO0076P1-079 測線



図 3.2-15(5) SWD 抑制処理適用前重合記録例: HO0001P1-002 測線



図 3.2-15(6) SWD 抑制処理適用後重合記録例: HO0001P1-002 測線



図 3.2-15(7) SWD 抑制処理適用前後周波数スペクトル:HO0001P1-002 測線



図 3.2-15(8) SWD 抑制処理適用前重合記録例:HO0076P1-079 測線



図 3.2-15(9) SWD 抑制処理適用後重合記録例: HO0076P1-079 測線



図 3.2-15(10) SWD 抑制処理適用前後周波数スペクトル:HO0076P1-079 測線



図 3.2-16(1) SRME 処理適用前共通受振記録例: HO0001P1-002 測線



図 3.2-16(2) SRME 処理適用後共通受振記録例: HO0001P1-002 測線



図 3.2-16(3) SRME 処理適用前共通受振記録例: HO0076P1-079 測線

3-71



図 3.2-16(4) SRME 処理適用後共通受振記録例: HO0076P1-079 測線



図 3.2-16(5) SRME 抑制処理適用前重合記録例: HO0001P1-002 測線







図 3.2-16(7) SRME 抑制処理適用前重合記録例: HO0076P1-079 測線



図 3.2-16(8) SRME 抑制処理適用後重合記録例: HO0076P1-079 測線



:インライン 201



図 3.2-17(2) 多重反射抑制処理適用後重合ボリューム記録例

: インライン 201



: クロスライン 1201, 2001



: クロスライン 1201, 2001





図 3.2-18(2) フットプリント抑制処理適用後ニアトレースキューブ記録例

:インライン 201



図 3.2-18(3) フットプリント抑制処理適用前タイムスライス記録例: 200 msec



図 3.2-18(4) フットプリント抑制処理適用後タイムスライス記録例: 200 msec



図 3.2-19(1) トレース正規化処理適用前重合記録例:インライン 255



図 3.2-19(2) トレース正規化処理適用後重合記録例:インライン 255



図 3.2-19(3) トレース正規化処理適用前重合記録例: クロスライン 1201, 2001



図 3.2-19(4) トレース正規化処理適用後重合記録例:クロスライン 1201, 2001



図 3.2-19(5) トレース正規化処理適用前タイムスライス記録例: 200 msec



図 3.2-19(6) トレース正規化処理適用後タイムスライス記録例:200 msec



図 3.2-19(7) トレース正規化処理適用前タイムスライス記録例: 1,600 msec



図 3.2-19(8) トレース正規化処理適用後タイムスライス記録例: 1,600 msec



図 3.2-19(9) トレース正規化処理適用前重合数分布図


図 3.2-19(10) トレース正規化処理適用後重合数分布図



図 3.2-20(1) 重合前信号強調処理適用例(CIP ギャザー記録) : インライン 151、クロスライン 1200



図 3.2-20(2) 重合前信号強調処理適用前重合記録例:インライン 101



図 3.2-20(3) 重合前信号強調処理適用後重合記録例:インライン 101



図 3.2-21(1) PSTM 処理後重合記録例:インライン 101



図 3.2-21(2) PSTM 処理後重合記録例、マイグレーション速度重ね合わせ

: インライン 101



図 3.2-21(3) PSTM 処理後重合記録例:インライン 201



図 3.2-21(4) PSTM 処理後重合記録例、マイグレーション速度重ね合わせ : インライン 201



図 3.2-21(5) PSTM 処理後重合記録例:インライン 301



図 3.2-21(6) PSTM 処理後重合記録例、マイグレーション速度重ね合わせ

: インライン 301



図 3.2-21(7) PSTM 処理後重合記録例:クロスライン 1201, 2001



図 3.2-21(8) PSTM 処理後重合記録例、マイグレーション速度重ね合わせ : クロスライン 1201, 2001





: インライン 151、クロスライン 1200



図 3.2-22(2) PSTM 後ノイズ抑制処理適用例(F-X 予測フィルター) : インライン 151、クロスライン 1200





: インライン 151、クロスライン 1200



図 3.2-22(4) PSTM 後ノイズ抑制処理適用前重合記録例:インライン 101



図 3.2-22(5) PSTM 後ノイズ抑制処理適用後重合記録例:インライン 101



図 3.2-23(1) Q 補償適用前 CIP 点記録例







図 3.2-23(3) Q 補償適用前重合記録例:インライン 101



図 3.2-23(4) Q 補償適用後重合記録例:インライン 101



図 3.2-23(5) Q 補償適用前後周波数スペクトル:インライン 101



図 3.2-24(1) 重合後信号強調処理(ファンフィルター)適用前重合記録例: インライン 101



図 3.2-24(2) 重合後信号強調処理(ファンフィルター)適用後重合記録例: インライン 101



インライン 101



図 3.2-25(1) 最終重合記録例:インライン 101



図 3.2-25(2) 最終重合記録例:インライン 201



図 3.2-25(3) 最終重合記録例:インライン 301



図 3.2-26(1) 最終重合記録例(AGC 適用): インライン 101



図 3.2-26(2) 最終重合記録例(AGC 適用): インライン 201



図 3.2-26(3) 最終重合記録例(AGC 適用):インライン 301

(5) 考察

本データ処理の着目点について以下に記す。

① トレース正規化処理

本調査では東側の海域でデータ取得できなかった測線が複数あった。これをデータ処理 で内挿・補間する内挿処理方法として、重合ボリュームの反射波から推定される構造の方位 傾斜を考慮したディップト ースに沿って内挿する三次元トレース内挿法を適用した。

三次元トレース内挿を逐次的に実施することで、図 3.2-19(5)のタイムスライスに見られ た東側海域の測線の抜けを図 3.2-19(6)が示すように構造に自然な形で内挿することができ たと考える。さらに本処理により、フェザーリングによる重合分布の偏りを解消し、振幅バ ランスを改善することもできた。

② ノイズ抑制処理

本データ処理では、相対振幅の保存に留意しつつ、ノイズ特性に応じたノイズ抑制処理を 適用した。重合前ノイズ抑制処理では、主に船舶の航行に起因するノイズ、潮流や波浪に伴 うノイズ、直達波やタグノイズ等のランダムノイズを対象としたノイズ抑制処理手法の適 用により効果的にノイズが抑制できた。また、PSTM後のCIP記録におけるノイズ抑制も 実施した。これらノイズの特性に応じた適切なノイズ抑制処理を複合的に適用することが 最終的な重合記録の品質向上に寄与したと考える。

③ 複合型多重反射波抑制処理

本探査で取得したデータには海底面に起因する各種多重反射波が顕著に混入していたことから、効果的な多重反射波抑制処理の適用が重要な課題であった。

SRME 法は、海底地形が複雑な場合でも海底面に起因する長周期の多重反射波を効果的 に抑制することができるため、海水面-海底面間の多重反射波の抑制や海水面-強反射面 の多重反射波の抑制を目的として適用した。一方で、SRME 法は本調査のような浅海域の 調査では十分な抑制効果が得られないと予想されたため、SWD 法で海底面起源(海水面-海底面間)の多重反射波抑制を行い、SRME 法は主として海水面を介在する海底面起源以 外の多重反射を抑制する目的で適用した。さらに、高分解能放物線ラドン変換法による多重 反射波抑制処理も適用することで、残存する海水面-海底面間の多重反射波や海水面-強 反射面の多重反射波等の各種多重反射波を効果的に抑制した。

多重反射波の特性に応じた複合型の多重反射波抑制処理を適用することで、多重反射波 の抑制効果を高めることができ、品質の改善に寄与したと考える。

④ 重合前データ、重合後データに対する総論

相対振幅保存処理を基本とした重合前データ、重合後データの品質向上を目的として処 理を行い、以下の結果を得た。

a. 重合前データ

重合前データの段階における物性解析手法への利用などを考慮して、処理対象データの品質向上を図った。S/Nの向上については、複合型ノイズ抑制処理、複合型多重反射波抑制処理において、抑制対象の特徴に適した手法の選択、パラメータの調整を実施した。 複合型ノイズ抑制処理における F-X エディット、F-K フィルター、F-X 速度フィルター、 複合型の多重反射波抑制処理、CIP ギャザーに対する信号強調処理により、重合前データ の品質が向上した。ゴースト抑制処理によってゴーストノッチの回復が周波数スペクト ラムにおいて確認されるとともに反射波イベントの視認性の向上を図ることができた。 一連の処理を通じて、本処理の目的に資する重合前データが得られた。

b. 重合後データ

重合後データについては、以降に計画されている各種地質解析に有効なデータとなる ようにスケーリング、フィルター、振幅調整を実施した。堆積相解析に用いるデータにつ いては、AGC で振幅の平準化は実施せずに弾性波伝播に伴う地層の透過・吸収の影響を 補償することを考慮した幾何発散補償を適用した。各種地質解析の目的に資する重合後 データが得られた。

【参考文献】

- 1) Yilmaz and Baysal, 2015, An effective ghost removal method for marine broadband seismic data processing, EAGE Conference and Exhibition 2015.
- 2) Yilmaz and Baysal, 2015, A robust x-t domain deghosting method for various source/receiver configurations, SEG Annual Meeting 2015.
- 3) 気象庁 HP

(https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/suisan/suisan.php?stn=S1)

3.3 弾性波探査データの整理状況と再処理成果の移管状況

過年度事業および本業務で取得した 2D/3D 探査データを一元的に管理するため、データ 形式を揃えてリスト化した。

基礎物理探査データの再処理成果について、借用元の JOGMEC への移管状況をとりまとめた。

3.3.1 貯留適地調査事業の 2D/3D 探査データ

過年度事業で取得された探査データを一元的に管理するため、ハードディスクに調査地 点ごとのフォルダを作成し、弾性波探査の分野で一般的に扱われる SEG-Y 形式または SEG-D 形式のデータとして保管している。表 3.3-1 に、ハードディスク上で一元的に管理 している探査データの保管リストを示す。

地占么	事業在度	探杏区分	2D 探査	2D 探査	3D 探査	備去
地杰石	学术 牛皮	环直区力	測線数	総測線長	面積	Uffl 75
西津軽沖	平成 27 年度	2D 探査	5	約 250 km		海域調査
	(2015 年度)					発振測線長
	平成 28 年度				AL	海陸横断調査
	(2016 年度)	3D 探査			約 111 km ²	発振範囲
the chart				約 40 km		陸域調査
龍代泙	平成 29 年度	2D 探査	2			発振測線長
	(2017 年度)			約 41 km		海陸横断調査
		2D 探査	3			発振測線長
1	平成 29 年度					海域調査
秋田沖	(2017 年度)	3D 探査			約 158 km²	フル重合範囲
	令和4年度				約 183 km²	海域調査
本荘沖	(2022 年度)	3D 探査				データ取得範囲
	令和3年度	2D 探査			51 km	海域調査
酒田沖	(2021年度)		29	約 1,451 km		フル重合測線長
	平成 26 年度	2D 探査				海域調査
	(2014 年度)		29	約 1,197 km		発振測線長
金沢沖	平成 29 年度	3D 探査			約 296 km²	海域調査
	(2017 年度)					フル重合範囲
京都一	令和2年度					海域調査
福井沖	(2020年度)	2D 探査	19	約 1,460 km		発振測線長
	平成 26 年度	2D 探査	23	約 1,045 km		海域調査
	(2014 年度)					発振測線長
鳥取沖	平成 31 年度	2D 探査		約 895 km		海域調査
	(2019 年度)		12			発振測線長
宮崎沖		2D/3D 探査	探査 1	約 28 km	約 404 km²	海域調査
	平成 28 年度					発振測線長
	(2016 年度)					フル重合範囲
	平成 30 年度		3	約 68 km		海陸横断調査
	(2018 年度)	2D 探査				発振測線長
	平成 27 年度				$\overline{}$	海域調査
枕崎沖	(2015 年度)	2D 探査	28	約 995 km		発振測線長

表 3.3-1 ハードディスク上で一元的に管理している探査データの保管リスト

3.3.2 基礎物理探査の 2D/3D 探査データ (再処理)

JOGMEC から借用した基礎物理探査データを基に JCCS において再処理した成果については、借用元の JOGMEC に移管する方針としている。本業務においては再処理を実施していないが、過年度業務にて断続的に再処理の実施が見込まれていたために移管を保留

していた成果について、2022 年度に一括して移管した。これまでの移管実績を表 3.3-2~ 表 3.3-4 に示す。

再処理実施年度	再処理成果品の移管対象データ	移管年月日
亚式 26 年度	平成元年度基礎物理探査「山陰~北九州沖」	
平成 20 年度	「対馬海盆」 * 元民間データ。現在 JOGMEC が管理。	
	昭和 45 年度基礎物理探査「北上~阿武隈」	
	昭和 48 年度基礎物理探査「北陸」	
	昭和 49 年度基礎物理探査「東海~九州」	
	昭和 53 年度基礎物理探査	
	「東海沖~熊野灘、宮崎沖、伊豆七島海域(一	
	部)」	2017 年
亚式 27 左连	昭和 49 年度基礎物理探査「北陸~山陰」	4月13日
平成 27 年度	昭和 60 年度基礎物理探査「大和堆」	
	昭和 61 年度基礎物理探査「南三陸~鹿島沖」	
	昭和 62 年度基礎物理探査「秋田~青森浅海	
	域」	
	昭和 62 年度基礎物理探査「西津軽~新潟沖」	
	平成 5 年度基礎物理探査「常磐~鹿島浅海域」	
	平成8年度基礎物理探査「南海トラフ」	

表 3.3-2 JOGMEC に移管した再処理成果一覧 (その 1)

表 3.3-3 JOGMEC に移管した再処理成果一覧 (その 2)

再処理実施年度	再処理成果品の移管対象データ	移管年月日
	昭和 50 年度基礎物理探査「沖縄西方海域」	2017年
平成 27 年度	昭和 55 年度基礎物理探査「トカラ列島海域」	
	「トカラ」 * 元民間データ。現在 JOGMEC が管理。	12 11 11

再処理実施年度	再処理成果品の移管対象データ	移管年月日	
	昭和 45 年度基礎物理探査「北上~阿武隈」		
平成 30 年度	昭和 61 年度基礎物理探査「南三陸~鹿島沖」		
	平成6年度基礎物理探査「常磐~鹿島浅海域」		
	昭和 49 年度基礎物理探査「北陸~山陰」		
亚式 21 年度	昭和 56 年度基礎物理探査「富山沖・北陸~隠		
十成31年度	岐沖・山陰沖」	2022 年	
	平成元年度基礎物理探査「秋田~青森浅海域」	2022 年	
	昭和 44 年度基礎物理探査「秋田~山形~新潟	9月2日	
今和っケー	陸棚エアガン」		
□ 和 2 年度	昭和 48 年度基礎物理探査「北陸」		
	昭和 62 年度基礎物理探査「西津軽~新潟沖」		
会知った曲	昭和 51 年度基礎物理探査「北海道西部~新潟		
市和3年度	海域」		

表 3.3-4 JOGMEC に移管した再処理成果一覧(その 3)

注) 平成 30 年度以降に複数年度にわたって再処理を実施した探査については、最後に再処理を実施した 年度を記す。

第4章

二酸化炭素貯留適地調査に係る

調査・解析・検討の実施

環境省・経済産業省連携事業 令和4年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務 報告書

第4章 二酸化炭素貯留適地調査に係る調査・解析・検討の実施

4.1 概要

本業務では、令和3年度委託事業に係る有識者委員会において 2022 年度調査対象として 確認された地点に対し、貯留適地の評価を行うことを目的として以下の業務を実施した。

4.1.1 地質解析と貯留適地評価

能代沖、隠岐沖の 2 地点において、地質解析と貯留適地評価の一助となる海底地形およ び海底地質に関する情報の整理を実施した。

- 海底地形判読および海底地質情報コンパイル(能代沖)(4.2節)
 能代沖区域を対象とし、平成28年度委託事業において取得した 3D 探査の航跡
 データに含まれる音響測深データと、公開されている海底地形および海底地質に
 関する資料を用いて、海底地形および海底地質に関する情報を整理した。
- 海底地形判読および海底地質情報コンパイル(隠岐沖)(4.3節)
 隠岐沖区域を対象とし、公開されている海底地形および海底地質に関する資料を 用いて、海底地形および海底地質に関する情報を整理した。

4.1.2 その他の業務

地質解析と貯留適地評価に加え、下記業務を実施した。

- 1) 貯留層シミュレーションによる貯留可能性検討(佐渡南方沖)(4.4節) 佐渡南方沖では、令和3年度委託事業において、最大の貯留可能域における貯留 可能量を 2.5 億 t と評価した。地質解析結果を反映した地質モデルを作成し、調 査井掘削前 CO2 挙動予測シミュレーションを実施し、貯留可能性についての検討 を行った。
- 2) 貯留適地調査事業データを活用した堆積システムの検討(4.5節)

令和3年度までの貯留適地調査事業で実施してきた地質解析データを用いた堆 積システムの再整理を行い、日本周辺海域において卓越する堆積システムがどの ように分布するか、日本海側と太平洋側等の地域的な違いが認められるか等につ いて、堆積環境を考慮した堆積システムモデルの検討を行った。これまでに堆積 相解析を実施した地点のうち、詳細な検討を行うための 3D 探査データが利用可 能な地点を対象とした。

3)地層の破壊に関する基本的事項の整理(4.6節) CO2の圧入・貯留に関連した地層の安定性を評価するためのジオメカニクス特性 評価は、当該サイトでの調査井掘削により得られるデータを基に実施されるため、 調査井掘削時の調査事項はジオメカニクス特性評価を考慮して決定する必要が ある。本業務において、調査井掘削時の調査事項の仕様策定に資するジオメカニ クス特性評価に関わる基本的な事項を整理した。

- 4) 貯留層シミュレーションによる貯留可能性検討(高傾斜井)(4.7節) 貯留適地調査事業でこれまで実施してきた調査井掘削前 CO2挙動予測シミュ ーションでは、垂直井を基本とする一定の条件下での1億t・CO2の圧入可能性 を検討した。本業務では、坑井の仕上げを高傾斜井や水平井とした場合の CO2圧 入性状の改善余地について、日高沖のフィールドを対象として検討を行った。
- 5) 貯留適地候補地点における経済性に関する調査(4.8節) 本業務で当初予定していた経済性に関する調査を円滑に実施するため、令和3年 度委託業務の中で予備調査を先行して実施し、公開されている CCS 関連コスト 情報および日本全国の CO2排出源情報の収集等を行った。その結果を本業務での 調査結果に取り込んで取りまとめることを予定していたが、本業務での調査の実 施が見送られたことから、本報告書においてその予備調査の内容を整理してまと めた。
- 6) 貯留適地候補地点における社会的受容性に関する文献調査および聞き取り調査 (4.9 節)

これまでの貯留適地調査事業で調査対象となった四つの県を対象として、社会的 受容性に関連する基礎的な公開情報を収集・整理するとともに、これまでの貯留 適地調査事業における 2D/3D 探査実施のための地元調整等で得られた知見をま とめた。また、貯留適地候補地点として有望な1県において、適地調査事業に係 るこれまでの調査結果、苫小牧 CCS 実証試験等について説明し、CCS 事業に関 する関心、懸念等の情報収集、意見交換を実施した。

4.2 海底地形判読および海底地質情報コンパイル(能代沖)

本調査区域内の基礎物理探査の 3D 探査データのうち利用可能なデータ、公開されている 海底地形および海底地質に関する資料を用いて、海底地形および海底地質に関する情報の 整理を行った。

4.2.1 作業概要

平成28年度委託事業¹⁾の3D探査航跡データに含まれる測深データ(以下、「3D測深 データ」と称する。)と、公開されている資料等を使用し、海底地形および海底地質に関す る情報の収集と整理を行った。図4.2-1に対象範囲を示す。使用した主要ソフトウェアを表 4.2-1に、測地諸元を表4.2-2に示す。



注)国土地理院「電子地形図(タイル)」に追記

図 4.2-1 対象範囲

処理ソフトウェア	実施した処理		
Simple DEM Viewer	 ・海底地形の各種および3次元モデル作成 		
Foole	・地理情報の統合		
	・浅層の地質解釈およびマッピング		

表 4.2-1 主要ソフトウェア一覧

表 4.2-2 作業で使用した測地諸元

準拠楕円体	WGS84			
長半径	6,378,137.0000000 m			
短半径	6,356,752.31424500 m			
投影法	Universal Transverse Mercator(UTM 図法)			
帯番号	54			
座標原点 緯度	00° 00′ 00.000" N			
座標原点 経度	141°00′00.000" E			
縮尺係数	0.999600			
北方加数	0.000 m			
東方加数	500,000.000 m			

4.2.2 海底地形および海底地質情報に係るデータの収集

収集または参照した海底地形、海底地質、既存音波探査に係る資料を表 4.2-3 に示す。 海底地形に係る資料として、平成28年度委託事業¹⁾、(一財)日本水路協会が発行する 海底地形デジタルデータ(以下、「水路協会データ」と称する。)である「M7010秋田沖」 ²⁾および「M7011 佐渡」³⁾、日本海洋データセンター(以下、「JODC」と称する。)が 発行する 500 m メッシュ水深データ⁴⁾を収集した。陸域は国土地理院の数値地図 50 m メッ シュ (標高)⁵⁾を使用した。

海底地質に係る資料として、平成29年度委託事業⁶⁾、平成30年度委託事業⁷⁾、(国 研)産業技術総合研究所(以下、「AIST」と称する。)地質調査総合センター発行の西津 軽海盆海底地質図(奥田ほか,1987)⁸⁾および秋田西方海底地質図(岡村ほか,1996)⁹⁾、 海上保安庁発行の沿岸の海の基本図¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾、国土交通省による日本海における大規模 地震に関する調査検討会海底断層ワーキンググループ(以下、「海底断層ワーキンググルー プ」と称する。)の報告書¹³⁾、文部科学省による日本海地震・津波調査プロジェクトの成 果報告書¹⁴⁾、福留(1993)¹⁵⁾、鈴木(1989)¹⁶⁾、岡村(2010)¹⁷⁾、岡村(2019)¹ ⁸⁾等を収集した。このほか陸域から海域に連続する地質構造の推定に資するため、新編日 本の活断層(1991)¹⁹⁾、活断層データベース²⁰⁾、活断層詳細デジタルマップ[新編](今 泉ほか、2018)²¹⁾、国土地理院発行の都市圏活断層図(宮内、2012)²²⁾、日本シーム ス地質図 V2²³⁾等を収集した。

既往探査データとして、AIST が公開している高分解能音波探査断面データベース²⁴⁾から Sub-Bottom-Profiler を用いた探査の断面画像(以下、「SBP データ」と称する。)と測線位置情報を収集し、海域地質構造データベース²⁵⁾から、エアガンを音源に用いた探査の断面画像(以下、「エアガンデータ」と称する。)と測線位置情報を収集した。

表 4.2-3 使用データー覧

	呼称	作成/発行機関	内容	形態	備考
海底地形	「平成 28 年度二酸化炭素貯留適地調 査事業」に係る新規 3D 探査データ取 得・処理業務(1) 浅海 3D 探査業務 「能代沖 3D 浅海探査データ取得作 業」報告書 ¹⁾ ならびに業務結果データ セット 注)音響測深データ	JCCS	航跡座標、 水深	Text ファイル	UTM 座標
	海底地形デジタルデータ「M7010 秋 田沖」 ²⁾ 「M7011 佐渡」 ³⁾ 500 m メッシュ水深データ ⁴⁾	(一財)日本水路協 会 日本海洋データ	等深線座標 水深測量データ	Text ファイル ODV スプレッド	経 緯 度 座 標 を UTM 座標に変換
陸上地形	数値地図 50 m メッシュ(標高) ⁵⁾	センター 国土地理院	標高データ	シート Text ファイル	
海底地質	平成 29 年度二酸化炭素貯留適地調査 事業委託業務に係る「地質解析・貯留 可能量評価業務(1)2D/3D 探査デー タの解析(能代沖)報告書 ⁶⁾	JCCS	層序、地質構造、地 質構造発達史	PDF ファイル	抜粋資料
	平成 30 年度二酸化炭素貯留適地調査 事業委託業務」に係る「地質解析・貯 留可能量評価(能代沖南部)2D 探査 データの解析 報告書 ⁷⁾	JCCS	層序、地質構造、地 質構造発達史	PDF ファイル	抜粋資料
	西津軽海盆海底地質図 ⁸⁾ 秋田西方海 底地質図 ⁹⁾	(国研)産業技術総 合研究所	岩相、地質構造、重 力異常等	PDF ファイル	
海	沿岸の海の基本図「深浦」 ¹⁰⁾ 「能代」 ¹¹⁾ 「秋田」 ¹²⁾	海上保安庁	岩相、地質構造	印刷資料	
底地質	日本海における大規模地震に関する 調査検討会 海底断層ワーキンググ ループ ¹³⁾	国土交通省	海底断層	PDF ファイル	
	日本海地震・津波調査プロジェクト ¹ ⁴⁾	文部科学省	断 層 モ デ ル の 構 築・地質学的解釈	オンライン画像	
既往探査データ	高分解能音波探査断面データペース ² ⁴⁾		航跡位置	Text ファイル	経 緯 度 座 標 を UTM 座標に変換
	海域地質構造データベース²⁵⁾	(国研)産業技術総 合研究所	プロファイル図 航跡位置	画像ファイル 画像ファイル	経 緯 度 座 標 を UTM 座標に変換
			プロファイル図	画像ファイル	
その他	新編日本の活断層 ¹⁹⁾ 活断層データベース ²⁰⁾	活断層研究会 (国研)産業技術総	活断層の分布 活断層の分布	印刷資料 オンライン画像	
	そ断異詳細デジタルフップ[新編]21)	古研究所 南古士学山塔会	時間の注意層	デジタルデータ	
	和市園活断層図 ²²⁾	国土地理院	陸域の活断層	アDF ファイル	
	日本シームレス地質図 V2 ²³⁾	(国研)産業技術総 合研究所	陸域の地質分布、 断層	オンライン画像	

4.2.3 海底地形モデルの作成

海底地形の特徴を把握し、断層等による変位地形を抽出するために、図 4.2-2 に示す海底 地形モデルを作成した。

3D 測深データ¹⁾は、海岸付近の深度が不自然に大きい点や交差部の深度が一致しない データが含まれていた。このような不連続な点を削除して、3D 測深データ範囲の 50 m グ リッドデータを無補間により作成した。

水路協会データ²⁾³⁾は、中央部から南部の水深が浅い範囲ではコンター間隔が10mと 粗いが、それ以外の範囲ではコンター間隔が1mと細かい。一方、JODCデータ⁴⁾は500m グリッドデータのためコンター間隔は一定ではなく、水路協会データと比較すると全体的 にデータ密度が低いが、水路協会データのコンター間隔が10mの範囲ではむしろ、JODC データのほうがより細かに地形を表現できている。

これらのことから、データ領域を統合して、海底地形モデルを作成した。

断層活動や地質構造を反映している可能性のある変動地形は、一般的には線状に連なる 谷、尾根および崖地形あるいは尾根や谷の屈曲等で認定される。これらの変動地形は、比高 や変位量が小さいものが多く、データ密度の粗い地形データには反映されな 可能性があ る。そのため、これらの変動地形は尾根や谷の急な屈曲や傾斜の急変で識別されることが多 く、データ点の補間やスムージング等の処理がなされた地形モデルでは、微小な変動地形が 隠されてしまうことが懸念される。海底地形データから海底地形モデルを作成し地形的特 徴を抽出するにあたっては、元データによる起伏を尊重することを優先し、線形補間して 50 m 間隔のグリッド点の水深および標高を計算した。

作成した海底地形モデルからは、おおまかに大陸棚、大陸斜面、海盆等が確認できる。この他にも多くの特徴的な海底地形が分布し、これらに付けられた名称を既往文献から抽出した。図 4.2-3 に既往文献に基づく海底地形の名称を示す。

4-7



図 4.2-2 海底地形モデル



注) 野ほか(2016)²⁶⁾に加筆

図 4.2-3 既往文献に基づく海底地形の名称

4.2.4 海底地形判読

「4.2.3 海底地形モデルの作成」にて作成した海底地形モデルと既存音波探査資料から海 底地形の特徴を把握するとともに、浅部地下構造が海底地形に与える影響を確認した。

(1) 海底地形の特徴

海底地形モデルを用いて作成した傾斜区分図および傾斜方位図と、海底地形モデルから 抽出したリニアメント、凸地形・鞍部、谷地形、崩壊地形から海底地形の特徴を確認した。

① 傾斜区分

海底地形の傾斜角度から海底地形の特徴を検討するために、傾斜区分図を作成した。傾斜 区分図において、大陸棚(能代沖大陸棚)ではおおむね1度未満である。大陸斜面(能代沖 大陸斜面)ではおおむね10度程度であり、下部は緩傾斜となる。対象範囲北部の大陸斜面 は20度を超える急傾斜である。海嶺等(久六島海山、A海嶺、B海嶺)の海山および海嶺 斜面は最大20度を超えており急傾斜である。久六島海山の頂部は緩傾斜となっている。海 盆(最上舟状海盆)では約5度未満で、不規則な傾斜変化が認められる。なお、A海嶺およ び B海嶺の呼称は、本業務において便宜的に用いるものである。

② 傾斜方位区分

海底地形の傾斜方位から海底地形の特徴を検討するために、傾斜方位区分図を作成した。 測深データの取得時の精度を考慮して、傾斜 0.5 度未満は水平として評価しなかった。傾斜 方位区分図において、大陸棚(能代沖大陸棚)は全体に水平である。大陸斜面(能代沖大陸 斜面)は全体に沖方向(西方)に傾斜する。海盆(最上舟状海盆)は全体に沖方向(西方) に傾斜する。海嶺(奥尻海嶺、A海嶺、B海嶺)は尾根を挟んだ傾斜方向の変化が明瞭であ る。

③ 海底地形区分

地形形状から対象範囲の海底地形を平坦地形(大陸棚)、斜面地形(大陸斜面)、凸地形 (海山、海嶺)および凹地形(海盆等)に区分し、能代沖大陸棚、能代沖大陸斜面1、能代 沖大陸斜面2、海嶺間凹地、久六島海山、A海嶺、B海嶺、奥尻海嶺、最上舟状海盆、西津 軽海盆の10区分とした。

④ 屈曲・凸地形・鞍部

背斜構造を反映しており、両縁に沿って断層が存在する可能性が高い。NNW-SSE 方向 が卓越している。大陸斜面部では谷地形が密に発達し、谷地形間は尾根形状をなすが、これ

4-10

らは斜面の最大傾斜方向に一致した方向性を持ち侵食地形と考えられるため、変動地形の 可能性は低いと判断し抽出していない。

⑤ 谷地形

断層が存在する場合、断層部は周囲に比べて脆弱で侵食されやすいため、直線谷や鞍部の 配列からなる凹地形が形成されることが多い。地形の最大傾斜方向に一致する谷は侵食作 用による可能性が高いが、斜交する谷は変動地形または組織地形に関係している可能性が ある。

⑥ リニアメント

凸地形、谷、鞍部および傾斜変換線(遷緩線)の位置関係と連続性から、活断層~撓曲の 可能性のある 52 本のリニアメント(主に崖~遷緩線)を抽出した。主に海嶺および大陸斜 面と海盆との境界、陸域山地と大陸棚との境界、大陸棚および大陸斜面中の小規模な凸地形、 ステップ状地形の傾斜変換(遷緩)線に位置する。抽出したリニアメント(Lで表示)は分 布場所ごとにグループに分け、線分ごとに枝番号を付けた。

(2) 海底地形の特徴と浅部地下構造の関係の把握

海底地形の特徴と浅部地下構造の関係を把握するために、SBP による音波探査断面²⁴⁾ とエアガンによる音波探査断面²⁵⁾を用いて海底地形と浅部地下構造の関係を検討した。基 本的に SBP データとエアガンデータは同時取得されているとしているが、エアガン測線の 公開資料²⁵⁾は東西測線のみとなっている。

対象範囲の SBP データを用いて、変動地形(地殻変動がそのままに近い形で表現されている地形。平坦な段丘面が、傾動・褶曲・断層のような変動により変形した場合がこれにあたる。)に関係する可能性が高い地形を抽出した。抽出作業の際、変動地形の成因を推定し形状を基に三つのタイプ 1~3 に分類した。

1) タイプ1

海嶺および大陸斜面基部の傾斜変換点(遷緩点):海嶺および大陸斜面基部と海盆 との境界には逆断層が認められる場合が多く、断層の直上の海底地形には傾斜変 換点(遷緩点)が認められる。海嶺は対称または非対称な背斜構造からなり、対 称な場合は両側に傾斜変換点(遷緩点)が認められ、断層も両側にある。一方、 非対称な場合には、傾斜変換点(遷緩点)が認められる側のみに断層が存在する。

2) タイプ2

大陸棚等緩斜面中の逆向きの傾斜地形、大陸斜面および海嶺斜面部中のステップ

4-11

状地形:地形的に下がる側が隆起する断層がある場合、大陸棚等の緩斜面中の逆 向きの傾斜地形、大陸斜面および海嶺斜面部中の逆向き傾斜地形からステップ状 地形が形成される。

3) タイプ3

大陸棚等緩斜面中の斜面傾斜方向に下がる小崖地形:地形的に下がる側が沈降す る断層がある場合、大陸棚等の緩斜面中の斜面傾斜方向に下がる小崖地形が形成 される。

対象範囲のエアガンデータを用いて、浅層部における変動地形に関係する可能性が高い 箇所を抽出した。対象範囲では、非対称な褶曲構造が全体に認められ、背斜構造翼部の急傾 斜側下の向斜ヒンジ部に背斜軸側に傾斜する逆断層を想定した。海嶺等の孤立した背斜構 造はおおむね対称的な形状を示し、両翼の向斜ヒンジ部に背斜軸側に傾斜する逆断層を想 定した。第四系基底深度については明確ではないので、すべて活構造の可能性があるものと して抽出した。

大陸棚から西方の大陸斜面部では、波長の短い(短いものは 1~2 km 程度) 褶曲構造が 全体に認められる。北部の海嶺および南西部の最上舟状海盆に認められる規模の大きい基 盤の凸地形は、長波長の単独の背斜構造部であり、これらの領域における逆断層の分布密度 は短波長褶曲構造が卓越する領域と比較すると低い。最上舟状海盆の基盤の隆起部と大陸 斜面に挟まれた領域には、堆積盆が形成されている。上部に層理構造に乏しい崩壊地すべり 堆積物が認められ、海底地形も不規則に凹凸しており、崩壊~地すべり堆積物が継続して堆 積していると考えられる。

4.2.5 海底地形情報と海底地質情報のコンパイル

「4.2.4 海底地形判読」にて得たリニアメントおよび変位地形の可能性のある海底地形、 海底地質に関する既存資料から得た海底地質および断層等の情報を整理・集約した。

「4.2.4 海底地形判読」にて判読したリニアメントは、リニアメント判定とその確実度を評価するために4種類の既往文献(AIST 海底地質図⁸⁾⁹⁾に示される断層および活撓曲、物理探査文献⁶⁾⁷⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹⁴⁾²⁷⁾²⁸⁾に示される断層、地形判読文献¹⁹⁾²⁹⁾³⁰⁾に示される断層、海底断層ワーキンググループ¹³⁾に示される断層)および「4.2.4海底地形判読」にて得た変位地形の可能性のある海底地形との対応関係を検討し、対応する情報の数等に応じてリニアメントを三つに分類した。

活構造分布の特徴について、対象範囲の陸側の活構造は主に東側隆起を示し、出羽帯¹⁵⁾ と呼ばれる隆起帯で、西縁には能代断層等の東側隆起の逆断層が分布している。出羽帯の西
側には奥尻帯¹⁵⁾と呼ばれる隆起帯が並走して分布する。奥尻帯は男鹿半島、奥尻海嶺、A 海嶺等の隆起部からなり、西側隆起の逆断層が卓越している。大陸棚および西方の大陸斜面 部では、短波長の非対称な褶曲構造が広く認められ、向斜部のヒンジ部に逆断層が発達して いる。北部の A 海嶺、男鹿半島および南西部の最上舟状海盆地下に認められる規模の大き い基盤の隆起部は、長波長の単独の背斜構造部であり、これらの領域では、逆断層の分布密 度は短波長褶曲構造が卓越する大陸棚および大陸斜面部の領域と比較すると低い。

【参考文献】

- 1) JCCS 調查(株)、"「平成28年度二酸化炭素貯留適地調查事業」成果報告書"(2016)
- 2) (一財)日本水路協会、"海底地形デジタルデータ M7000 シリーズ「M7010 秋田沖」"
- 3) (一財)日本水路協会、"海底地形デジタルデータ M7000 シリーズ「M7011 佐渡」"
- 4) 日本海洋データセンター、"500 m メッシュ水深データ"、

https://jdoss1.jodc.go.jp/vpage/depth500_file_j.html

- 5) 国土地理院、"数値地図 50 m メッシュ (標高)"、https://geolib.gsi.go.jp/node/2487
- 6) JCCS 調查(株)、"「平成29年度二酸化炭素貯留適地調查事業」成果報告書"(2017)
- 7) JCCS 調查(株)、"「平成30年度二酸化炭素貯留適地調查事業」成果報告書"(2019)
- 8)奥田義久、盛谷智之、細野武男、"西津軽海盆海底地質図 1:200,000"、地質調査所(1987)
- 9) 岡村行信、森尻理恵、佐藤幹夫、山崎俊嗣、上嶋正人、木川栄一、石原丈実、宮崎純
 一、"秋田西方海底地質図 1:200,000"、地質調査所(1996)
- 10) 海上保安庁水路部、"沿岸の海の基本図(海底地質構造図)「深浦」"(1997)
- 11) 海上保安庁水路部、"沿岸の海の基本図(海底地質構造図)「能代」"(1995)
- 12) 海上保安庁水路部、"沿岸の海の基本図(海底地質構造図)「秋田」"(1983)
- 13)日本海における大規模地震に関する調査検討会、"海底断層ワーキンググループ報告書"、国土交通省、平成26年8月(2014)
- 14) 文部科学省研究開発局、(国研)海洋研究開発機構、"海域における断層情報総合評価 プロジェクト 令和元年度成果報告書"(2020)
- 15) 福留高明、"秋田県沿岸部における直下型地震と活断層"、秋田大学鉱山学部鉱業博物 館報、第25号、p.26-52(1993)
- 16) 鈴木宇耕、"日本海東部新第三系堆積盆地の地質"、地質学論集、第 32 号、
 p.143-183(1989)
- 17) 岡村行信、"日本海東縁の地質構造と震源断層との関係"、地質学雑誌、第 116 巻(11 号)、p.582-591(2010)

- 18) 岡村行信、"日本海における活断層の分布と今後の課題"、地震、第2輯、第71巻、
 p.185-199(2019)
- 19) 活断層研究会、"新編日本の活断層-分布図と資料"(1991)
- 20) (国研)産業技術総合研究所地質調査総合センター、"活断層データベース"、 https://gbank.gsj.jp/activefault/
- 21) 今泉俊文、宮内崇裕、堤浩之、中田高、"活断層詳細デジタルマップ[新編]"、東京大学 出版会、Vol.E6(2018)
- 22) 宮内崇裕、"1:25,000都市圏活断層図 能代断層帯とその周辺「能代」「森岳」解説書"、国土地理院(2012)
- 23) (国研)産業技術総合研究所地質調査総合センター、"20 万分の1 日本シーム ス地質
 図 V2"、https://gbank.gsj.jp/seamless/
- 24) (国研)産業技術総合研究所地質調査総合センター、"高分解能音波探査断面データベース"、https://gbank.gsj.jp/sbp_db/pages/cover.html
- 25) (国研)産業技術総合研究所地質調査総合センター、"海域地質構造データベース"、
 https://gbank.gsj.jp/marineseisdb/index.html
- 26) 野徹雄、平松孝晋、佐藤壮、三浦誠一、千葉達朗、上山沙恵子、壱岐信二、小平秀一、
 "日本海及びその周辺の地形データの統合と赤色立体地図"、JAMSTEC Report of Research and Development、22 巻、p.13-29(2016)
- 27) 岡村行信、"日本海の地形・地質調査から分かる活断層"、地震予知連会会報、90巻(12 号)、p.530-536(2013)
- 28) 徳山英一、本座栄一、木村政昭、倉本真一、芦寿一郎、岡村行信、荒戸裕之、伊藤康 人、徐垣、日野亮太、野原壯、阿部寛信、坂井眞一、向山建二郎、"日本周辺海域中新 世最末期以降の構造発達史"、海洋調査技術、13巻(1号)、p.27-53(2001)
- 29)泉紀明、西澤あずさ、堀内大嗣、木戸ゆかり、中田高、後藤秀昭、渡辺満久、鈴木康 弘、"3 秒グリッド DEM から作成した日本海東縁部の 3D 海底地形"、海洋情報部研 究報告、第 51 号、p.127-139,141,143(2014)
- 30) 森木ひかる、隈元崇、中田高、後藤秀昭、和泉紀明、西澤あずさ、"アナグリフ画像に よる日本周辺の海底地すべりの判読と分布特性の検討"、海洋情報部研究報告、第54 号、p.1-16(2017)

4.3 海底地形判読および海底地質情報コンパイル(隠岐沖)

本調査区域内の公開されている海底地形および海底地質に関する資料を用いて、海底地形および海底地質に関する情報の整理を行った。

4.3.1 作業概要

公開されている資料等を使用し、海底地形および海底地質に関する情報の収集と整理を 行った。図 4.3-1 に対象範囲を示す。使用した主要ソフトウェアを表 4.3-1 に、測地諸元を 表 4.3-2 に示す。



注)国土地理院「電子地形図(タイル)」に追記

図 4.3-1 対象範囲

表 4.3-1 主要ソフトウェア一覧

処理ソフトウェア	実施した処理
『Simple DEM Viewer』	 ・海底地形の各種および3次元モデル作成
Focis	・地理情報の統合
	・浅層の地質解釈およびマッピング

準拠楕円体	WGS84
長半径	6,378,137.0000000 m
短半径	6,356,752.31414000 m
投影法	Universal Transverse Mercator(UTM 図法)
帯番号	53
座標原点 緯度	00°00′00.000″ N
座標原点 経度	135°00′00.000″ E
縮尺係数	0.9996
北方加数	0.000 m
東方加数	500,000.000 m

表 4.3-2 作業で使用した測地諸元

4.3.2 海底地形および海底地質情報に係るデータの収集

収集または参照した海底地形、海底地質、既存音波探査に係る資料を表 4.3-3 に示す。 海底地形に係る資料として、水路協会データ¹⁾を収集した。水路協会データの等深線間 隔は、一部範囲において間隔が粗いため、このような範囲に関しては、JODC が発行する 500 m メッシュ水深データ²⁾を収集し、使用した。

海底地質に係る資料として、平成 26 年度委託事業³⁾のデータ解釈報告書、AIST 発行の 海底地質図(日本海南部および対馬海峡周辺広域海底地質図⁴⁾、日本海中部海域広域海底 地質図⁵⁾、隠岐海峡海底地質図⁶⁾)、海上保安庁発行の沿岸海の基本図(日御碕⁷⁾、美保 関⁸⁾、大社⁹⁾、赤崎¹⁰⁾、隠岐南部¹¹⁾、隠岐北部¹²⁾、江津¹³⁾)、海底断層ワーキング グループ"の報告書(2014)¹⁴⁾、文部科学省および JAMSTEC による海域における断層 情報総合評価プロジェクト 平成 27 年度報告書(2016)¹⁵⁾、岡村(2013)¹⁶⁾、岡村(2019) ¹⁷⁾、登崎ほか(1978)¹⁸⁾、海上保安庁海洋情報部(2005)¹⁹⁾、徳山ほか(2001)²⁰⁾、 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2022)²¹⁾、島根原子力発電所 2 号炉審査資料(中 国電力(株)、2021)²²⁾、新編日本の活断層(活断層研究会、1991)²³⁾を収集した。

既存音波探査資料として、AIST が公開している高分解能音波探査断面データベース²⁴⁾ および海域地質構造データベース²⁵⁾から、SBP およびエアガンデータを収集した。また、 これらの他に利用可能な既存音波探査断面データとして、平成 26 年度委託事業³⁾、登崎ほ か(1978)¹⁸⁾も収集した。

この他、陸域から海域に連続する地質構造の推定のため、新編日本の活断層(活断層研究

4-16

会、1991)²³⁾、活断層データベース²⁶⁾、活断層詳細デジタルマップ[新編](今泉ほか、 2018)²⁷⁾、都市圏活断層図(2012)²⁸⁾、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2016) ²⁹⁾³⁰⁾、高田ほか(2003)³¹⁾を収集した。収集した資料一覧を表 4.3-3 に示す。

	呼 称	作成/発行機関	内容	形 態	備考
海底	海底地形デジタルデータ 「M7013 隠岐」	(一財)日本水路 協会	等深線座標	Text ファイル	経緯度座標
地形	500m メッシュ水深デー タ	日本海洋データ センター	水 深 測 量 データ	ODV ス プ レッドシート	
	「平成26年度二酸化炭 素貯留適地調査事業」成果 報告書	日本 CCS 調査 (株)		PDF ファイル	抜粋資料
	日本海南部および対馬海 峡周辺広域海底地質図、日 本海中部海域広域海底地 質図、隠岐海峡海底地質図	(国研)産業技術 総合研究所		PDF ファイル	
海域	沿岸の海の基本図 「日御碕」「美保関」「大 社」「赤碕」「隠岐南部」 「隠岐北部」「江津」	海上保安庁		印刷資料	
断層分布	日本海における大規模地 震に関する調査検討会 海底断層ワーキンググ ループ報告書	国土交通省		PDF ファイル	
	海域における断層情報総 合評価 プロジェクトの H27 年度報告書	文部科学省・ (国研)海洋研究 開発機構		PDF ファイル	
	日本海の地形・地質調査か らわかる活断層	岡村行信		PDF ファイル	
	日本海における活断層分 布の分布と今後の課題				

表 4.3-3 使用データー覧(1)

	呼 称	作成/発行機関	内容	形態	備考
	山陰沖の海底地質 海上 保安庁水路部研究報告	登崎ほか		PDF ファイル	
	島根沖の海底地形・地質構 造、重力異常	海上保安庁 海洋情報部		PDF ファイル	
海域断層	日本周辺海域中新世最末 期以降の構造発達史	徳山ほか		PDF ファイル	
分布	日本海南西部の海域活断 層の長期評価	地震調査委員会		PDF ファイル	
	島根原子力発電所 2 号炉 審査資料	中国電力(株)		PDF ファイル	
	新編日本の活断層	活断層研究会		印刷資料	
	高分解能音波探査断面	(国研)産業技術	<mark>航跡位置</mark>	Text ファイル	経緯度座標
	データベース	総合研究所	断面図	画像ファイル	
既往音波	海域地質構造データベー ス		航跡位置	画像ファイル	経緯度座標
探			断面図	画像ファイル	
データ	「平成26年度二酸化炭 素貯留適地調査事業」成果	日本 CCS 調査 (株)	航跡位置• 断面図	PDF ファイル	
-	報告書				
	山陰沖の海底地質 海上 保安庁水路部研究報告	登崎ほか	航跡位置・ 断面図	PDF ファイル	

表 4.3-4 使用データー覧(2)

	呼 称	作成/発行機関	内容	形態	備考
	新編日本の活断層	活断層研究会		印刷資料	
	活断層データベース	(国研)産業技術 総合研究所		オンライン画 像	
味	活断層詳細デジタルマッ プ [新編]	東京大学出版会		デジタルデー タ	
座域断層	都市圈活断層図	国土地理院		PDF ファイル	
分布	宍道 (鹿島) 断層の長期評 価	地震調査委員会		PDF ファイル	
	中国地域の活断層の長期 評価				
	震源断層となりうる活断 層とリニアメントの検討	高田ほか		PDF ファイル	

表 4.3-5 使用データー覧(3)

4.3.3 海底地形モデルの作成

海底地形の特徴を把握し、断層等による変位地形を抽出するために、図 4.3-2 に示す海底 地形モデルを作成した。海底地形モデルの作成には、既往水深データとして、水路協会デー タ¹⁾と、JODC データを用いた。

水路協会データ¹⁾は、北部の水深 550 m 以深の範囲では、等深線間隔が 50 m 以上で粗 いが、それ以外の水深 550m 以浅の範囲では等深線間隔が 1 m から 10 m と細かい。一方 で JODC データ²⁾は 500 m グリッドデータのため、水路協会データ¹⁾と比較すると全体 的にデータ密度は低いが、水路協会データ¹⁾の等深線間隔が粗い北部の水深 550 m 以深の 範囲においては、JODC データ²⁾のほうがより細かに地形を表現できている。このため、 双方のデータのうち地形をより細かに表現できているデータ領域を統合して、海底地形モ デルを作成した。



図 4.3-2 海底地形モデル

断層活動や地質構造を反映している可能性のある変動地形は、一般的には線状に連なる 谷、尾根および崖地形あるいは尾根や谷の屈曲等で認定されるが、これらの変動地形は、比 高や変位量が小さいものが多く、データ密度の粗い地形データには反映されない可能性が ある。また、これらの変動地形は尾根や谷の急な屈曲や傾斜の急変で識別することが多い。 データ点の補間やスムージング等の処理がなされた海底地形モデルでは、微小な変動地形 が隠されてしまうことが懸念されるため、海底地形データから海底地形モデルを作成する にあたっては、線形補間のみとし、元データの起伏を尊重した。線形補完したデータは、後 の解析で使いやすいよう、50 m 間隔のグリッド点データとした。

作成した海底地形モデルからは、おおまかに大陸棚、大陸斜面、海盆等が確認できる。この他にも多くの特徴的な海底地形が分布し、これらに付けられた名称を既往文献から抽出した。図 4.3-3 に示す。



図 4.3-3 既往文献に基づく海底地形の名称

4.3.4 海底地形判読

(1) 海底地形の特徴

「4.3.3 海底地形モデルの作成」にて作成した海底地形モデルから海底地形の特徴を確認

した。海底地形モデルを用いて作成した統合地形モデル、傾斜区分図、傾斜方位図、海底地 形区分等から、尾根、鞍部、崩落崖、遷緩線、谷地形、リニアメント等の構造地形を判読し た。

① 傾斜区分

海底地形の傾斜角度から海底地形の特徴を検討するために、傾斜区分図を作成した。 対象範囲はおおむね傾斜 1 度未満の領域が卓越している。北西部は傾斜を増し、最大 傾斜 10 度程度の斜面が連続している。

2 傾斜方位区分

海底地形の傾斜方位から海底地形の特徴を検討するために、傾斜方位区分図を作成した。 測深データの取得時の精度を考慮して、傾斜 0.5 度未満は水平として無着色とした。尾根・ 谷の分布および方向が表現されている。

③ 海底地形区分

地形形状から対象範囲の海底地形を平坦地形(大陸棚および縁辺台地)、斜面地形(大陸 斜面)および凹地形(海盆)に区分した。海岸線と大陸斜面間の平坦部を一般に大陸棚と呼 ぶが、海岸線付近は斜面地形が認められるため、対象範囲では沿岸斜面部とした。

区分した海底地形は、沿岸斜面部、山陰沖大陸棚、山陰沖縁辺台地、山陰沖大陸斜面、対 馬海盆の5区分である。

④ 尾根

短い小尾根地形が並走して複数認められ、長軸方向は、東一西から北東一南西方向である。 沿岸の海の基本図海底地質構造図「日御碕」⁷⁾によれば、日御碕北方約 20 km 地点付近等 に分布する並走する尾根地形は、海底に露出した基盤岩に形成されたケスタ地形(組織地形) であり、砂岩泥岩互層等の岩石の侵食抵抗の差を反映し凹凸が形成されたものと考えられ ている。基盤の隆起部および基盤岩を構成する地層の走向を示すと考えられる。なお、日御 碕北方約 3 km の凸地形は堆積性(海底砂洲等)とされている。沿岸の海の基本図海底地質 構造図「隠岐南部」¹¹⁾によれば、北西·南東方向の尾根で幅約 200 m 程度、高さ 10 m を 超えるものもあるとし、サンドウェーブ地形としている。

⑤ 大陸棚の遷緩線

大陸棚西部に不明瞭な階段状地形が認められる。おおむね北東-南西方向の平行な傾斜変 換線(遷緩線)を抽出した。これらは周辺の等深線の形状と調和的で、弧状の形状を示し、

4-22

海水準の変動により海面位置が変動し、海面付近の侵食・堆積作用で形成された可能性が高 く、周辺の海底地形を直線的に切断する特徴は認められないことから、活構造に起因した段 差地形とは考えにくい。水深約 120 m 付近の傾斜変換線(遷緩線)は、水深約 100 m から 120 m 間が周辺と比べやや傾斜し、大陸棚(最深部の水深約 150 m)を上下に二分してい る。沿岸斜面部にも周辺と比べて平坦な部分(海底段丘)が数段認められ、それらは水深 20 m から 35 m、65 m、76 m、82 m から 100 m である。

6 崩壊崖

大陸斜面北東部の上部に円弧状形状の崖地形が認められる。形状は、大陸斜面についてより詳細な等深線図が示されている海上保安庁(2005)¹⁹⁾の等深線図を用いてトレースした。

⑦ 谷および鞍部

鞍部および谷の直線的配列は断層の存在を示唆する地形である。海底地形の最大傾斜方 向と斜交する谷に関しては、特に組織地形または変動地形の可能性が高い。

⑧ リニアメント

変動地形の可能性のある直線的な地形をリニアメントとして抽出した。東-西から東北 東-西南西方向が卓越し、北東-南西方向を伴っている。全体的な地形傾斜方向(おおむね 北西方向)に下がる崖から傾斜変換線は、直線性や連続性が高い場合はリニアメントとして 抽出している。一方、地形傾斜方向と逆向きの崖から傾斜変換や凹地は直線性、連続性がや や低い場合も変動地形の可能性があると考え、リニアメントとして抽出している。陸域リニ アメントの延長部については、短い場合も判読している。判読した L-1 から L-16 リニアメ ントについては、方向、長さ、変位についても確認した。L-8 および L-15 リニアメントに ついては、凹地を伴い、横ずれ変位が推定される。ただし、横ずれの向きを示す尾根・谷の 屈曲は認識できない。

(2) 海底地形の特徴と浅部地下構造の関係の把握

海底地形の特徴と浅部地下構造の関係を把握するために、SBP による音波探査断面²⁴⁾ とエアガンによる音波探査断面²⁵⁾を用いて海底地形と浅部地下構造の関係を検討した。 SBP データとエアガンデータはおおむね同時取得されているが、エアガン測線は、南北測 線かつ対象範囲の西側のみが公開されていたため、エアガン測線の解釈においては同時に SBP データを参照した。また、抽出に用いるデータが対象範囲の西側に少ないことから、 その他既往音波探査断面^{3)、18)}からも構造を抽出して追加した。抽出に際しては、断層が 海底面にまで変位を及ぼしている場合は,近隣測線も用いて連続性についても確認した。断 層のほか、幅をもって分布する海底地すべりや断層〜亀裂が密集した範囲についても抽出 を行った。

① 断層構造

向斜構造のヒンジ部を断層構造として抽出し、隆起方向については、断層極近傍にお いて認識できる方向を読み取った。第四系基底深度については、反射記録だけでは特定 できないので、すべての断層が活構造の可能性があるものとして抽出した。抽出した断 層には、幅の狭い凹地または凸部を形成する場合が認められることが多く、横ずれ変位 によって形成されるフラワー構造に類似した特徴であるため、横ずれ変位を持つ断層 が卓越すると考えられる。

海底地すべり範囲

池原ほか(1990)³²⁾は、鳥取沖の大陸斜面において SBP による高解像度探査デー タの反射パターンによる層相の推定から、海底地すべり構造の抽出を行っている。海底 地すべりに特徴的な層相は四つからなり、層相5(正断層群によるブロック化)、層相 6(双曲線状大:スランプ褶曲)、層相7(双曲線状小:水中土石流堆積物)および層 相8(不透明層:水中土石流堆積物)に区分されている。これらの層相は、地すべり体 の上部に層相5、中部に層相6、下部に層相7および層相8が分布するとしている。対 象範囲の大陸斜面においても同様な反射パターンが認められ、これらの反射パターン の組み合わせが認められる範囲を海底地すべり範囲として抽出した。

③ 亀裂密集範囲

対象範囲北西部の緩やかな北東-南西方向の凸地形付近に、断層および亀裂が間隔1km 未満で分布する。変位センスが明確でない場合も多く、亀裂に向かって両側から堆積物が落 ち込む場合、亀裂が深部で消失する場合も見られる。変位センスが明瞭な断層については、 隣接する測線間での連続方向が判断できる場合があり、その方向は凸地形と同様に北東-南西方向であった。探査断面のいくつかでは、海底面近くの亀裂密集域の深部に累積変位が 認められる背斜構造を確認した。このため、亀裂群は背斜構造頂部に形成された伸張亀裂の 可能性がある。海底地形に明瞭な変形があることから比較的新しい活動であることが示唆 される。

4.3.5 海底地形情報と海底地質情報のコンパイル

断層構造は、画像精度の低い対象範囲東部を除いて全体的に認められるが、海底地すべり 範囲および亀裂密集範囲は、対象範囲北部の大陸斜面に集中して認められ、西側に亀裂密集

4-24

範囲、そのすぐ東側に海底地すべり範囲が隣接して分布する。断層構造は、海底地すべり範囲および対象範囲中央南西側では抽出数が少ない。抽出した断層構造のうち、海底面にまで変位を及ぼしている断層構造の分布は、対象範囲北西部および南西部におおむね集中する。 北西部では亀裂密集範囲の分布と調和的であり、海底面まで変位している規模の大きな断層は、おおよそ北東-南西方向に連続する。エアガンデータから、この海域では深部に背斜構造が同方向に伸びていることや、亀裂密集範囲が東西測線においてよく認められることから、海底面にまで変位を及ぼしている断層構造は、背斜の隆起に伴い背斜頂部に生じた断層や亀裂であると考えられる。

これらとは異なる東西走向を示す L-12 リニアメントは、海底面まで変位を及ぼす断層と は成因が異なると考えられる。一方、対象範囲南西部の海底面に変位のある断層は、南北測 線で多く抽出していることから、おおよそ東西走向の断層であると推定した。これらは東西 走向のリニアメント分布(L-1、L-5、L-6、L-7、L-9)とおおむね調和する。リニアメント と近傍の断層構造の対応については、以下の基準により A、B、C の確実度をランク分けし た。

- A ランク :活構造である可能性が高い。リニアメント直下にリニアメント変位セン スと同じセンスの断層構造が認められる。
- B ランク :活構造であるかどうか不明である。リニアメントを横断する探査測線が ない、または不明瞭なため断層構造との関係が不明である。
- C ランク :活構造である可能性が低い。リニアメント直下にリニアメント変位セン スと同じセンスの断層構造が認められない。

なお、C ランクの場合は、リニアメントの成因が活構造ではなく、侵食地形や組織地形の 可能性がある。

活構造の可能性が高いと判断した A ランクのリニアメントの多くは、南西部の沿岸に分 布する(L-1、L-5、L-6、L-7、L-9、L-13、L-14)。一部は、隠岐の島の北西に分布する(L-15、L-16)。B ランクのリニアメントは、南東部の沿岸に多く分布する(L-2、L-3、L-4、 L-8、L-10、L-11)。いずれもエアガン測線が少ないため、活構造であるかどうか不明であ る。C ランクのリニアメントは北西部の山陰沖大陸斜面と対馬海盆の境界部に位置する L-12 であり、海底地すべり範囲、亀裂密集範囲とは対応するが、断層構造との対応は確認さ れなかった。

【参考文献】

1) (一財)日本水路協会、"海底地形デジタルデータ M7000 シリーズ「M7013 隠岐」"

- 日本海洋データセンター、"500 m メッシュ水深データ"、 https://jdoss1.jodc.go.jp/vpage/depth500_file_j.html
- 3) JCCS"「平成26年度二酸化炭素貯留適地調查事業」成果報告書"(2014)
- 4)本座栄一、玉木賢策、湯浅真人、村上文敏、上嶋正人、"日本海南部および対馬海峡周辺広域海底地質図 1:1,000,000"、地質調査所(1979)
- 5) 玉木賢策、本座栄一、湯浅真人、西村清和、村上文敏、"日本海中部海域広域海底地質
 図 1:1,000,000"、地質調査所(1981)
- 6) 玉木賢策、湯浅真人、村上文敏、上嶋正人、"隠岐海峡海底地質図 1:200,000"、地質 調査所(1982)
- 7)海上保安庁水路部(編集)、沿岸の海の基本図(5万分の1海底地質構造図)「日御碕」(1991)
- 8)海上保安庁水路部(編集)、沿岸の海の基本図(5万分の1海底地質構造図)「美保関」(1992)
- 9)海上保安庁水路部(編集)、沿岸の海の基本図(5万分の1海底地質構造図)「大社」 (1993)
- 10)海上保安庁水路部(編集)、沿岸の海の基本図(5万分の1海底地質構造図)「赤碕」(1991)
- 11)海上保安庁水路部(編集)、沿岸の海の基本図(5万分の1海底地質構造図)「隠岐南部」(1990)
- 12)海上保安庁水路部(編集)、沿岸の海の基本図(5万分の1海底地質構造図)「隠岐北部」(1987)
- 13)海上保安庁水路部(編集)、沿岸の海の基本図(5万分の1海底地質構造図)「江津」(1995)
- 14) 国土交通省、"海底断層ワーキンググループ報告書"、日本海における大規模地震に関 する調査検討会 海底断層ワーキンググループ、p.1-24 (2014)
- 15) 文部科学省・国立研究開発法人 海洋研究開発機構、海域における断層情報総合評価プロジェクト(平成25年度~令和元年度)のうち平成27年度報告書、p.145(2016)
- 16) 岡村行信、"日本海の地形・地質調査から分かる活断層"、地震予知連絡会会報 90 巻
 12 号、p.530-536 (2013)
- 17) 岡村行信、"日本海における活断層の分布と今後の課題"、地震 第2輯 第71巻、
 p.185-199 (2019)
- 18) 登崎隆志、加藤茂、北原祥二、"山陰沖の海底地質"、水路部研究報告 13 号、p.1-36

(1978)

- 19) 海上保安庁海洋情報部、"島根沖の海底地形・地質構造,重力異常"、地震予知連絡会
 会報 73 巻、p.581-585 (2005)
- 20)徳山英一、本座栄一、木村政昭、倉本真一、芦寿一朗、岡村行信、荒戸裕之、伊藤康 人、徐垣、日野亮太、野原壯、阿部寛信、坂井眞一、向山建二郎、"日本周辺海域中新 世最末期以降の構造発達史"、海洋調査技術、13巻1号(2001)
- 21) 地震調査研究推進本部地震調査委員会、"日本海南西部の海域活断層の長期評価(第一版) —九州地域・中国地域北方沖—"(2022)
- 22)中国電力株式会社、"島根原子力発電所 地盤(敷地周辺海域の地質・地質構造)令和 3年4月30日"、島根原子力発電所2号炉審査資料(2021)
- 23) 活断層研究会、新編日本の活断層-分布図と資料(1991)
- 24) 国立研究開発法人産業技術総合研究所、"高分解能音波探査断面データベース"、 https://gbank.gsj.jp/sbp_db/pages/cover.html
- 25) 産業技術総合研究所地質調査総合センター、"海域地質構造データベース"、
 https://gbank.gsj.jp/marineseisdb/index.html
- 26) 産業技術総合研究所 地質調査総合センター、"活断層データベース"、 https://gbank.gsj.jp/activefault/
- 27) 今泉俊文、宮内崇裕、堤浩之、中田高(いずれも編集)、"活断層詳細デジタルマップ [新編]"東京大学出版会、Vol.E6 (2018)
- 28)中田高、今泉俊文、岡田篤正、千田昇、金田平太郎、佐藤高行、高沢信司、国土地理院(編集)、1:25,000都市圏活断層図「松江第2版」、D1-No.502 (2008)
- 29) 地震調査研究推進本部地震調査委員会、"宍道(鹿島)断層の長期評価"(2016)
- 30) 地震調査研究推進本部地震調査委員会、"中国地域の活断層の長期評価(第一版)"(2016)
- 31)高田圭太、中田高、野原壯、原口強、池田安隆、伊藤潔、今泉俊文、大槻憲四郎、鷺谷威、堤浩之、"震源断層となりうる活断層とリニアメントの検討ー中国地方を事例としてー"、活断層研究 2003巻23号、p.77-91 (2003)
- 32) 池原研、佐藤幹夫、山本博文、"高分解能音波探査記録からみた隠岐トラフの堆積作用" 地質学雑誌 第96巻 第1号、p.37-49(1990)

4.4 貯留層シミュレーションによる貯留可能性検討(佐渡南方沖)

佐渡南方沖では、基礎物理探査 3D 探査データ・基礎試錐データを用いて地質解析を実施 し、貯留適地候補地点として超臨界状態の CO₂を約 3.35 億 t 圧入できる可能性(容積法評 価)を令和3年度委託事業の成果報告書¹⁾(以下、「R3 成果報告書」と称する。)で報告 した。2022 年度は地質解析結果を反映した地質モデルを構築し、調査井掘削前 CO₂挙動予 測シミュ ーション(以下、「シミュ ーション」と称する。)を実施して貯留可能性につ いての検討を行った。

4.4.1 概要

R3 成果報告書に基づく佐渡南方沖の地質評価は以下のとおりである。

- 貯留可能域は4区域あり、合計で3.35億t-CO2の貯留可能量を見込んでいる。4
 区域の内1区域は2.51億t-CO2の貯留可能量であり、残りの3区域は合わせて 1億t-CO2未満の貯留可能量と想定している。
- 2) 堆積相解析により、貯留層の層序については椎谷層から西山層下部にかけて深海 チャネルシステムが発達することが認められ、特にチャネルの発達が顕著な区間 を抽出した。貯留可能域の平均的な孔隙率は25.6~27.6%と評価した。
- 3) 堆積相解析より、遮蔽層の層序については西山層中部から灰爪層では海底扇状地 システムへと変化することが認められ、西山層中部では佐渡海盆全域でチャネル やローブがほとんど認められない泥質な区間を抽出した。
- 4) R3 成果報告書では図 4.4-1 に示すとおり、隣接する新潟北西沖地点と一括して地 質解析を実施し、五つの異なるファシスを区分したが、本調査領域ではファシス CH-S は確認されなかったため、これを除く四つのファシスとしている。

	ファシス	断面例	特徴	堆積環境解釈	推定岩相
Lシステム	CH-D	K	・側方へせん滅 ・下に凸の形状 ・蛇行する ・幅数百m以上	深海チャネル充填堆積物	礫岩、砂岩、 砂岩泥岩互層
144壬寅法	CH-S	1	・側方へせん滅 ・下に凸の形状 ・直線的 ・幅級十m程度(スタック して数百mとなることもあ る)	深海成重力流堆積物の チャネル部	砂岩、砂岩泥 岩互層
FA %	LB		・連続性良い ・強振幅 ・側方へせん滅	深海成重力流堆積物の ローブ部(シート状) もしくは深海チャネル 溢れ出しのレヴィー部	砂岩優勢互層、 礫岩、砂岩
國洪地シス	MTD		・弱い連続性 ・小逆断層	斜面〜堆積盆底に発達する 海底地すべり堆積物	不連続な礫岩、 砂岩、砂岩泥 岩互層、シル ト岩、泥岩
通	SL-BF	Sector of	・混沌〜弱い連続性 ・連続性悪い ・弱振幅	斜面~堆積盆底	泥岩、 泥岩優勢互層

注)CH-D:深部チャネル、CH-S:浅部チャネル、LB:ローブ、 MTD:地すべり堆積物(Mass Transport Deposit)、SL-BF:堆積盆地、陸棚斜面

図 4.4-1 サイスミックファシス区分

本検討でのシミュレーション方針は従来の方針を踏襲し、以下のとおりとした。

- 1) モデルは、地質解析結果を用いて深度方向に不均質な貯留層とする。
- 2) 垂直井を5坑井配置し、フィールド全体で250万t/年(各坑井は約50万t/年レート)を上限レートとして40年間圧入し、1億tのCO2圧入が可能な貯留エリアと坑井配置を検討する。
- 3) 圧入レートを変えた(上限レートを除いた)場合の最大圧入レートと最大圧入量 を確認する。
- 4) 振れ幅のあるパラメータ(浸透率等)を変えてリスク評価としての感度分析を行う。
- シミュレーション結果は以下のとおりである。
 - E入レートの上限を250万t/年とした一定レート圧入ケース(以下、「一定レート圧入ケース」と称する。)では0.96億t-CO2、レート制限を除いたケース(以下、「レート制限なしケース」と称する。)では1億t-CO2の圧入が可能であった。
 - 2) 感度が高いパラメータは圧入圧力に大きな影響を与える浸透率、貯留層圧力で あった。

なお、本検討で使用したデータは限られているため、特に貯留層の浸透率、遮蔽層の強度・

スレッショルド圧について、調査井掘削時の計画的な検層データ、およびコアデータの収集、 試験、分析を行い、更なる精度向上が望ましいと考える。

(1) 調査範囲

R3 成果報告書 4.5 節で示した地質解析範囲を含む鮮新世の遮蔽層および貯留層を対象に シミュレーションを実施した。(図 4.4-2)



図 4.4-2 シミュレーション実施範囲

なお、南東側については地質解析範囲外へ実施範囲を拡張して圧力挙動の評価を行うこ ととしたが、この拡張範囲はデータの制約により地質解析が実施されておらず地質モデル は不確かなため、CO₂がこの範囲には到達しないよう坑井配置を設定した。

(2) 使用データ

シミュ ーションによる貯留可能量の検討に使用した主なデータを表 4.4-1 に示す。R3 成果報告書 4.5 節に示す坑井データ、地質解析・貯留可能量評価業務結果、苫小牧 CCS 坑 井分析データ、その他公開されている地質情報に関する資料等を使用した。

表 4.4-1 シミュレーションによる貯留可能量の検討に使用したデーター覧

[1] 基礎試錐データ
石油公団 昭和62年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「柏崎沖」
石油公団 昭和63年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「佐渡沖」
[2] 基礎物探データ
独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物支援機構 平成30年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「新潟沖3D」
独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物支援機構 平成30年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「佐渡海盆3D」
[3] 地質解析・貯留可能表評価業務データ
「二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」に係る地質解析・貯留可能量評価(新潟北西沖・佐渡南方沖)3D探査データの解析
[4] その他公開されている地質情報に関するデータ
本業務を実行するにあたって必要となるその他の地質情報データ

4.4.2 地質モデルの作成

(1) 構造モデルの作成

図 4.4-3 に層序、貯留層・遮蔽層およびホライズンの対応関係を示す。R3 成果報告書 4.5 節に示す地質解析により作成した深度構造図および断層解析結果を使用し、ホライズンモ デルでは海底面を上限、GT_top を下限とする区間において D1_top、Ny_SR_top、 Ny_R2_top、Sy_top、Sy_R1_btm をそれぞれ使用した 7 ホライズンからなる 6 区間を構造 モデルとして作成した。モデル作成範囲のうち、Ny_SR_top~Ny_R2_top の区間が遮蔽層、 Ny_R2_top~Sy_top 区間が上部貯留層(西山層貯留層)、Sy_top~Sy_R1_btm 区間が下部 貯留層(椎谷層貯留層)に相当する。

1) SF:海底面

- 2) D1_top (灰爪層): 圧力シールと想定されるホライズン
- 3) Ny_SR_top (西山層): 遮蔽層上限
- 4) Ny_R2_top(西山層): 遮蔽層下限、西山層貯留層上限
- 5) Sy_top(椎谷層): 西山層貯留層下限、椎谷層貯留層上限
- 6) Sy_R1_btm(椎谷層):椎谷層貯留層下限
- 7) GT_top (グリーンタフ): グリーンタフ上限

ホライズンの範囲について、各ホライズンは R3 成果報告書における地質解析範囲と、各 ホライズンを東方に仮定で拡張した範囲(以下、「拡張範囲」と称する。)を併せた範囲を 前述のとおりシミュレーションの範囲として作成した。

ホライズンモデル作成範囲の中で遮蔽層層準を切る断層については確認した 7 条の断層 についてモデル化した。貯留可能域の評価基準の一つに、遮蔽層層準を切る断層から 2.5 km 以上離れた場所を貯留可能域として扱うことと定めている。R3 成果報告書では地質解析範 囲端部の確度が低い断層や変位の小さい断層を貯留可能域評価に含めていない。本検討で は、より安全サイドを重視し、断層の大きさや確度によらずすべての遮蔽層を切る断層を反 映したモデルを作成し、断層離隔距離を設定して貯留可能域を再度設定し、貯留エリア A と 貯留エリア B を定義した(図 4.4-4)。貯留エリア A には R3 成果報告書における貯留可能 域1と4が含まれ、貯留エリア B には貯留可能域 2、3 が含まれる。

地質 時代	層序	佐渡 海盆	解析ホライズン
完新世/ 更新世	魚沼層群/灰爪層		一海底面
更新世	灰爪層		D2_top D2.6 D1_top
魚	西山層	遮蔽層 貯留層	- Ny_SR_top
新 世	椎谷層	貯留層	- Sy_top - Sy_R1_btm
	上部寺泊層		L-Td top
中新	下部寺泊層		Nt top
世	七谷層		
	グリーンタフ		_ G1_top

図 4.4-3 層序、貯留層・遮蔽層およびホライズンの対応関係



図 4.4-4 貯留エリア

(2) グリッドモデルの作成

本調査では、長軸方向である北東・南西方向(I)が294 セル、短軸方向である北西・南東 方向(J)が119 セル、深度方向(K)が107 セルの合計3,743,502 グリッドからなるグリッ ドモデルを構築した。表4.4-2 に層序と イヤー数および平均層厚の対応関係を示し、図 4.4-5 に作成したグリッドモデルを示す。

グリッドサイズは、平面方向のサイズは 200 m×200 m とし、垂直方向のグリッドサイ ズは貯留可能域内の平均層厚が 20 m 程度となるように各地質ユニットの平均層厚から分 割数を決定した。遮蔽層は貯留可能域での平均層厚が約 20 m 程度となるように設定した。 遮蔽層上位の地質ユニットは、遮蔽層の圧力上昇の挙動を考慮し四つに分割した。貯留層下 位の地質ユニットは、極端に大きいグリッドの生成を避けるために、平均層厚が約 50 m、 約 100 m、約 260 m で 3 または 5 イヤーを設定し分割した。

構造モデルのレイヤリングとグリッディングは、SF~GT_top 間のレイヤリングでは各地

質ユニット (ゾーン) 内を任意の枚数に均等分割する手法であるプロポーショナルレイヤリ ング (proportional layering) により分割し、グリッディングでは断層面で階段状のグリッ ドを作成するステアステップグリッディング (stair-step gridding) を用いて作成した。

展度	7	レンセンサ	平均層厚		
) 借伊	曽戸 ユニット		モデル領域	貯留可能域	
灰爪層~西山層上部	モデル上限~遮蔽層上限	4	371.04 m	366.77 m	
西山層中部	遮蔽層	14	19.26 m	19.99 m	
西山層下部	上部貯留層	14	18.75 m	23.16 m	
椎谷層上部	下部貯留層	10	20.00 m	25.43 m	
椎谷層下部~七谷層	貯留層下限~モデル下限	11	上位より、約50 m (3レイヤー)、約	(3レイヤー)、約100 m 260 m(5レイヤー)	

表 4.4-2 層序、グリッドモデルのレイヤー数、平均層厚の対応関係



図 4.4-5 グリッドモデル

(3) ファシス設定

地質モデルのファシスは、R3 成果報告書 4.5 節に示す堆積相解析の結果にもとづき、前述の図 4.4-1 に示すようにファシス LB およびファシス CH-D を砂質岩ファシス、ファシス SL-BF を泥質岩ファシス、ファシス MTD を砂質岩と泥質岩が混在するファシスと区分し て物性値の検討を行った。図 4.4-6 に遮蔽層と貯留層におけるファシス分布を示す。本検討

では、R3 成果報告書 4.5 節における分布範囲と拡張範囲までファシスを東方に仮定で延長 して分布させた範囲をファシスの分布範囲とし、ファシス拡張範囲はシミュレーションに おいて陸側への影響を推定するために作成した。

シミュレーションでの坑井配置候補エリアとしては、図 4.4-4 に示すようにモデル範囲南 西部の貯留エリア A の砂質岩ファシス(R3 成果報告書における貯留可能域 1)が最も有望 とした。



4.4.3 貯留層・遮蔽層にかかる物性値

圧密曲線、有効孔隙率、浸透率、Kv/Kh、N/G 比についてはファシスごとに一括した物性 値を設定した。表 4.4-3 にこれら物性値の設定をまとめる。

表 4.4-3 物性値の設定(圧密曲線、有効孔隙率-浸透率相関、Kv/Kh、N/G 比)

圧密	曲線	ファシス						
層序	遮蔽層/ 貯留層	CH-D	LB	MTD	SL-BF			
西山層中部	遮蔽層	PHIT=0.433577×	PHIT=0.433577×	PHIT=0.433577 × e ^{-0.000193×depth}	PHIT=0.42858×			
西山層下部	貯留層	e ^{-0.000193×depth}	e ^{-0.000193×depth}	—	e ^{-0.000225×depth}			
椎谷層上部	貯留層			_				
PHIE/	PHIT		ファ	シス	F			
層序	遮蔽層/ 貯留層	CH-D	LB	MTD	SL-BF			
西山層中部	遮蔽層			0.601				
西山層下部	貯留層	0.800	0.601		0.273			
椎谷層上部	貯留層							
ø -k	相関		ファ	シス				
層序	遮蔽層/ 貯留層	CH-D	LB	MTD	SL-BF			
西山層中部	遮蔽層	k=300000×	k=140973×	k=140973× \$\$\phi^{6.4472}\$\$	k=1900×			
西山層下部	貯留層	$\phi^{6.4472}$	$\phi^{6.4472}$	_	$\phi^{4.7592}$			
椎谷層上部	貯留層			—				
Kv/	′Kh		ファ	シス				
層序	遮蔽層/ 貯留層	CH-D	LB	MTD	SL-BF			
西山層中部	遮蔽層			0.1				
西山層下部	貯留層	0.1	0.1	_	1			
椎谷層上部	貯留層			—				
ネットク	ブロス比		ファ	シス				
層序	遮蔽層/ 貯留層	CH-D	LB	MTD	SL-BF			
西山層中部	遮蔽層			0.436				
西山層下部	貯留層	0.600	0.436		0.130			
椎谷層上部	貯留層			_				

注) CH-D: 深部チャネル、LB: ローブ、MTD: 地すべり堆積物(Mass Transport Deposit)、 SL-BF: 陸棚斜面、堆積盆底

(1) 孔隙率

孔隙率は、まず基礎試錐の検層データを基に解析した絶対孔隙率(以下、「PHIT」と称 する。)と海底面からの深度との相関に基づいて圧密曲線を基礎試錐井ごとに検討し、その 結果を基に基礎試錐井の位置を考慮してファシスごとに海底面からの深度と PHIT の相関 を設定した。次に、有効孔隙率(以下、「PHIE」と称する。)について、PHIE/PHIT の 平均を求め、圧密曲線から計算される PHIT に掛けて各深度における PHIE とした。

(2) 浸透率

ファシスごとに有効孔隙率と浸透率の相関関係式を作成し、有効孔隙率から浸透率を求 めた。有効孔隙率と浸透率の相関関係式は遮蔽層と貯留層でファシスを区別できるだけの データが得られなかったため、貯留層および遮蔽層で同じファシスに対しては同一のもの を使用した。

(3) Kv/Kh

Kv/Kh については、R3 成果報告書にも基礎試錐報告書にも記載はなく、裏付けとなる データもなかったため、一般的な値で代用することとし、粗粒ファシス(CH-D, LB, MTD) では Kv/Kh=0.1、細粒ファシス(SL-BF)では Kv/Kh=1 とした。

(4) N/G比

N/G 比については、R3 成果報告書の 4.5 節に記載されている N/G 比の算出結果を参考 にして、各ファシスを代表する N/G 比を設定した。

(5) 貯留層温度

貯留層温度は基礎試錐「佐渡沖」調査報告書²⁾の温度データより、海水面下 1,189 m において 31.1℃、海水面下 2,954 m において 90.0℃となるよう地温勾配を 3.3℃/100m とした。

(6) 塩分濃度

塩分濃度(NaCl濃度)は基礎試錐「佐渡沖」調査報告書²⁾より、モデル対象となる深度の試験分析の結果から計算した値の平均値である 32,667 ppm を採用し、一定値の設定とした。

(7) 貯留層圧力

貯留層圧力は、基礎試錐「佐渡沖」調査報告書²⁾の掘削中の泥水比重データ(海水面下 2,475 mの平均値、1.185 g/cm³)から海水面下 2,475 m において 28.76 MPa となるよう設 定した。また、この結果は地表からの静水圧プロット(比重 1.04 と仮定)より高圧であっ たため、深度 1,500 m 付近の D1_Top ホライズンに圧力シールを設定し整合性を取った。 シミュレーションモデルの設定では、この圧力シールの上下のトランスミシビリティを 0 と 仮定している。

(8) 岩石圧縮率

岩石圧縮率は孔隙圧力の変化に対する孔隙率の変化率を表し下式で定義される。

$$C = -\frac{\partial V_p}{V_p \partial p}$$

本検討では、基礎試錐「佐渡沖」調査報告書²⁾より海水面下 2,475 m の有効応力を 28.09 MPa と推定し、周辺の類似フィールドでの有効応力 28.09 MPa に近い試験データを 参照し、3.256×10⁻⁶ /kPa を採用した。

(9) 毛細管圧力·相対浸透率

毛細管圧力曲線および相対浸透率曲線については、表 4.4-4 に示すとおり層序(西山層中部、西山層下部、椎谷層上部)とファシスを組み合わせて 10 種類設定した。

届它	遮蔽層/	ファシス			
/首/]/	貯留層	CH-D	LB	MTD	SL-BF
西山層中部	遮蔽層	1	4	7	8
西山層下部	貯留層	2	5	-	9
椎谷層上部	貯留層	3	6		10

表 4.4-4 毛細管圧力曲線・相対浸透率曲線の設定区分

なお、本検討では、以下のとおり、粗粒ファシス(CH-D, LB, MTD)と細粒ファシス(SL-BF)で作成方法を変えている。

① 粗粒ファシスの毛細管圧力

粗粒ファシスは、深部チャネル (CH-D)、ローブ (LB)、地すべり堆積物 (MTD: Mass Transport Deposit)の三つのファシスが定義されている。粗粒ファシスの毛細管圧力は周 辺フィールドのJ関数 (Pc(Sw)=J(Sw)· $\sqrt{\phi/K}$)を利用し、各岩石タイプの代表深度にお ける有効孔隙率、浸透率、不動水飽和率から作成した。なお、不動水飽和率は以下に示す Coates (1989)³⁾の式を使用して計算した。

Swir=
$$\frac{70{\varphi_{e}}^{2}}{k^{1/2}+70{\varphi_{e}}^{2}}$$

また、圧密曲線からファシスごとに代表的な有効孔隙率および浸透率を計算するために は代表深度を決める必要があるが、地質モデルにおけるファシスの分布より決定した。決定 した代表深度と不動水飽和率の計算結果を表 4.4-5、作成した毛細管圧力曲線を図 4.4-7 に 示す。

虚 虚 蔽 層		平均深度(海底面下m)			不動	水飽和率((%)
眉厅	貯留層	CH-D	LB	MTD	CH-D	LB	MTD
西山層中部	遮蔽層	1012.08	590.16	1502.15	37.2	52.6	57.9
西山層下部	貯留層	1903.66	1731.63	-	42.3	59.3	-
椎谷層上部	貯留層	2104.21	1881.9	-	43.4	60.1	-

表 4.4-5 各ファシスの代表深度と不動水飽和率(%)



注) 左: 貯留層での設定、右: 遮蔽層での設定

図 4.4-7 粗粒ファシスの毛細管圧力

② 粗粒ファシスの相対浸透率

粗粒ファシスの相対浸透率曲線はファシスごとに、苫小牧 CCS 調査井における萌別層砂 岩の実測値、および Bennion and Bachu(2005)⁴⁾の砂岩の実測値を参考に、以下の経験式 において係数 $n_1 \ge n_2$ を変化させてフィッティングし、各ファシスの相対浸透率曲線を作成 した(表 4.4-6)。

$$\mathbf{k}_{\mathrm{rw}} = \mathbf{K}_{\mathrm{rw}} \left(\frac{\mathbf{S}_{\mathrm{w}} - \mathbf{S}_{\mathrm{wir}}}{1 - \mathbf{S}_{\mathrm{wir}}} \right)^{n_{1}}, \ \mathbf{k}_{\mathrm{rg}} = \mathbf{K}_{\mathrm{rg}} \left(\frac{1 - \mathbf{S}_{\mathrm{w}} - \mathbf{S}_{\mathrm{gcr}}}{1 - \mathbf{S}_{\mathrm{wir}} - \mathbf{S}_{\mathrm{gcr}}} \right)^{n_{2}}$$

届文	遮蔽層/	係数n ₁			係数n ₂		
/目/]/	貯留層	CH-D	LB	MTD	CH-D	LB	MTD
西山層中部	遮蔽層	4	3.2	3	3.5	4.2	4.5
西山層下部	貯留層	3.8	2.8	-	4	5	-
椎谷層上部	貯留層	4	3	-	4	5	-

表 4.4-6 各ファシスの係数

なお、同時にエンドポイントである不動水飽和率におけるガス相対浸透率についても変 化させて実測値とフィッティングし、得られた値(0.35)を各ファシスの曲線に用いること とした。臨界ガス飽和率(Sgc)は5%とし、湿潤過程における最大残留ガス飽和率(Sgrmax) は、本検討エリアにおける実測データがないため、シミュレーターの自動計算(Sgrmax = Sgc+0.5×(1-Swir-Sgc))を使用した。水相対浸透率曲線については、実測値を参考に水 飽和率 100%における水相対浸透率は1 とし、湿潤過程は排水過程と同一の曲線を用いる こととした。作成した相対浸透率曲線を図 4.4-8 に示す。



注) 左: 貯留層、右: 遮蔽層、点線は湿潤過程 図 4.4-8 粗粒ファシスの相対浸透率曲線

③ 細粒ファシスの毛細管圧力

周辺の類似フィールドの検討結果を参照したところ、泥岩で測定された毛細管圧力曲線 における不動水飽和率の平均的な値は約75%であった。貯留層粗粒ファシスで最も不動水 飽和率が高かった椎谷層上部LBの値(60%)との整合性を考慮し、細粒ファシスにおける 不動水飽和率を75%とした。

スレッショルド圧は後述のとおり、遮蔽層である西山層中部と貯留層である西山層下部 においては 0.064 MPa、貯留層である椎谷層上部においては 1.875 MPa とし、臨界ガス飽 和率 (Sgc、5%) でスレッショルド圧となるように、下記 van Genuchten の式からパラメー タ a 、n をフィッティングさせて、毛細管圧力曲率を作成した。フィッティングパラメー タを表 4.4-7 に、作成した毛細管圧曲線を図 4.4-9 に示す。

$$P_{c} = \frac{1}{\alpha} \left(S_{w}^{* \frac{n}{1 \cdot n}} \cdot 1 \right)^{\frac{1}{n}}$$

表 4.4-7 毛細管圧曲線作成に用いた各ファシスのパラメータ

層序	遮蔽層/ 貯留層	а	n	スレッショルド圧(kPa)
西山層中部	遮蔽層	0.11722	1.9666	64
西山層下部	貯留層	0.11722	1.9666	64
椎谷層上部	貯留層	0.000413	4.24386	1875



注) 左:西山層中部/下部、右:椎谷層上部

図 4.4-9 細粒ファシスの毛細管圧力

④ 細粒ファシスの相対浸透率

細粒ファシスの相対浸透率については、van-Genuchten の相対浸透率に毛細管圧力で決めたフィッティングパラメータn(表 4.4-7)を各層に適用した。

$$\begin{split} \mathbf{K}_{\rm rw} &= \left(\mathbf{S}_{\rm w}^{*}\right)^{2} \left\{ 1 \cdot \left[1 \cdot \left(\mathbf{S}_{\rm w}^{*}\right)^{n/n \cdot 1}\right]^{n \cdot 1/n} \right\} \\ \mathbf{k}_{\rm rCO_{2}} &= \left(1 \cdot \widehat{\mathbf{S}}_{\rm w}\right)^{2} \left[1 \cdot \widehat{\mathbf{S}}_{\rm w}^{-n/n \cdot 1}\right]^{n \cdot 1/n} \\ \widehat{\mathbf{S}}_{\rm w} &= (1 \cdot \mathbf{S}_{\rm w} \cdot \mathbf{S}_{\rm gcr}) / (1 \cdot \mathbf{S}_{\rm wir} \cdot \mathbf{S}_{\rm gcr}) \end{split}$$

作成した相対浸透率曲線を図 4.4-10 に示す。ここでは、ガス相対浸透率のヒステリシス

は考慮しておらず、水飽和率100%における水相対浸透率は1、臨界ガス飽和率は0.05、不動水飽和率0.75におけるガス相対浸透率は1とした。



注) 左:西山層中部/下部、右:椎谷層上部

図 4.4-10 細粒ファシスの相対浸透率曲線

(10) スレッショルド圧

スレッショルド圧は、基礎試錐「佐渡沖」調査報告書²⁾の特殊コア試験で測定されてお り、本検討範囲でのデータは表 4.4-8 に示すとおりである。いずれも遮蔽層(西山層中部) に位置し貯留層部分は尖滅しているが、深度の深いほうが貯留層に近いと考え、水-CO₂系 に換算した 64 kPa を遮蔽層(西山層中部)、および貯留層(西山層下部)細粒ファシスの スレッショルド圧とした。なお、スレッショルド圧は水-空気系で測定されており、それぞ れの測定値を以下の式から水-CO₂系に換算した。

 $Pc_{(W/CO_{2})} = Pc_{(w/A)} \frac{\sigma_{W/CO_{2}} \times \cos \theta_{W/CO_{2}}}{\sigma_{W/A} \times \cos \theta_{W/A}}$ $\theta_{CO_{2}} = 0^{\circ}$

 $\theta_{Air-Water} = 0^{\circ}$ $\sigma_{CO_2-Water} = 27 \times 10^{-3} (N/m)$

$\sigma_{\text{Air-Water}} = 72 \times 10^{-3} (\text{N/m})$

また、貯留層(椎谷層上部)のスレッショルド圧は周辺フィールドのデータの最大値、最 小値の平均をとって 1,875 kPa と設定した(表 4.4-9)。

~~	水·空気系	水 - CO ₂ 系	
	kgf/cm^2	kPa	kPa
2402.1~2402.	1.05(0.7~1.4の平均値)	102.97	38.61
2528.05~2528.3	1.75(1.4~2.1の平均値)	171.62	64.36

表 4.4-8 スレッショルド圧(西山層)

表 4.4-9 スレッショルド圧(椎谷層)

測定流体	周辺フィールドデータ(最小値) 椎谷層D1(kPa)	周辺フィールドデータ(最大値) 椎谷層D1(kPa)	
水-CO ₂ 系	1,250	2,500	

4.4.4 シミュレーションに係る制約条件

(1) 貯留エリアと圧入井の設定

図 4.4-4 に示すように南部の貯留エリア(A)と北部の貯留エリア(B)に大きく分け、 良好なファシスの広がりが大きい貯留エリア(A)のみに配置するケースと貯留エリア(A)、

(B) に配置するケースで検討を行った。また、主要な貯留層の層序は西山層と椎谷層となるが比較的貯留層性状の良い西山層への坑井配置を基本とした。圧入井は 5 坑フィールドの圧入レートが 250 万 t-CO₂/年になるようにし、40 年間の継続圧入で累計 1 億 t-CO₂ 圧入が可能か確認した。

(2) 圧入制限条件

圧入井の設定条件を表 4.4-10 に、シミュレーションが満たすべき制約条件を表 4.4-11 に それぞれ示す。

項目	設定			
坑井	垂直井			
坑井長	海底面下3,000 m以浅、もしくは貯留層下限までの浅い方			
圧入井数	5坑			
坑井間隔	試行錯誤			
圧入井設定位置	試行錯誤			
仕上げ区間	試行錯誤(最大で貯留層区間)			

表 4.4-10 圧入井の設定条件

表 4.4-11 シミュレーション結果が満たすべき制約条件

圧入中~圧入停止後1,000年間			
・遮蔽層下端圧力でスレッショルド圧力を超えない。			
または、遮蔽層への浸透量が1%未満で、遮蔽層上部へ到達しない。			
・溶解CO2量の分布範囲			
1)遮蔽層を切る断層から2.5 kmの範囲に到達しない			
2)既存の廃坑井に達しない			
3)超臨界条件(7.38MPa、31.1℃)から外れる深度(浅部)に到達しない			
4)地質解析範囲外に到達しない			
圧入中			
・各坑井の圧入量の制御はBHP ^{※1} 制御とする。また、BHPの上限は周辺の坑井データを			
参考に地層破壊圧を推定し、その90%をBHPの上限値とする。			
・圧入中の流速が、TBG(4-1/2")のエロージョナルベロシティ ^{※2} に到達しない。			

注) ※1: Bottom Hole Pressure ※2; API RECOMMENDED PRACTICE(RP 14E)FIFTH EDITION,OCTOBER 1991

(3) 圧入条件の検討

① 貯留層における遮蔽層下端のスレッショルド圧力

遮蔽層のスレッショルド圧は前述のとおり 64 kPa で、遮蔽層下端の イヤーにおける圧 力の初期圧からの圧力差が 64 kPa より小さい値になれば制約条件が満たされるが、一般的 なデータと比較すると非常に小さいスレッショルド圧であり CO₂ の遮蔽層への浸透が想定 されたため、浸透量が 1%未満で遮蔽層上部へ到達しない場合も制約条件を満たすものとし た。

溶存 CO2 量の分布許容範囲

溶存 $CO_2 \oplus 0$ 濃度 3×10^{-5} mol/kg でカットオフし、1 億 t- CO_2 を圧入した際にこの濃度 以上の領域が遮蔽層を切る断層から 2.5 km 以内や貯留層モデルの境界部に到達していない ことを目視確認した。また超臨界条件(7.38 MPa、31.1[°]C)を満たす範囲に溶存 CO_2 が留 まる条件、および既存の基礎試錐井に到達しない条件も考慮した。

① 圧入時の坑底圧の最大値

基礎試錐「佐渡沖」報告書²⁾におけるリークオフテストの結果を基に坑底圧の最大値を 算出した。表 4.4-12 に佐渡沖におけるリークオフテストの結果を示す。本調査では、CO₂ 圧入対象である西山層に属する 2,484 mTVDSS におけるリークオフテスト結果(破壊圧 38.73 MPa)を基に、圧入井設定位置における深度に応じて最大坑底圧を設定した。

垂直深度 mTVDSS	EMW ^{%1} g/cm ³	破壊圧 MPa	破壊圧×90% MPa
928	1.2	10.92	9.83
1,004	1.24	12.21	10.99
	1.28	12.60	11.34
2,484	1.59	38.73	34.86
3,507	1.78	61.22	55.10

表 4.4-12 佐渡沖におけるリークオフテスト結果と最大坑底圧

注) ※1: Equivalent Mud Weight: 等価泥水比重

④ エロージョン速度

貯留エリアの抽出に際し、圧入井の流速がエロージョン速度を超えない制限を圧入井に 課すため、エロージョン速度の計算を行った。エロージョン速度V_e (m/s)は以下の式から計 算される。

$$V_e = 1.21C/\sqrt{\rho}$$

C は経験定数 (empirical constant) ($\sqrt{lb/(ft s^2)}$)、1.21 は C を SI 単位にするための常数、 ρ は坑底における CO₂密度 kg/m³となる。ここでは C の値は C=200 とした。

本検討においてエロージョン速度を満たす最大圧入レートについて検討したところ、図 4.4-11 に示すように、1 坑井当たり 125 万 t-CO₂/年ではエロージョン速度の制限条件を十 分満たすことを確認した。





図 4.4-11 圧入レートとエロージョン速度を超える領域(緑)

4.4.5 圧入井設定エリアの抽出

図 4.4・4 に示す貯留エリア(A) および(B) について以下のシナリオを検討した。

1) シナリオ I

貯留エリア(A)かつ地質解析範囲内に5本の圧入井を配置し、圧入停止1,000 年後の溶存 CO₂分布が地質解析範囲内に収まるようにする。

2) シナリオⅡ

貯留エリア(A)かつ地質解析範囲内に 5本の圧入井を配置し、圧入停止 1,000 年後の溶存 CO₂分布が地質解析範囲を超えることを許容する。

3) シナリオ田

シナリオ I をベースに貯留エリア(B)に1本の圧入井を配置する(計6本)。

CO2分布が地質解析範囲を超えることを許容する。

圧入した CO₂ が地質解析範囲の外側に到達しないことを基本とし、まずはシナリオ I で 圧入停止 1,000 年後の溶存 CO₂分布を地質解析範囲内に収める条件で、貯留エリア(A) に 5本の圧入井で累計 1億 t-CO₂の圧入を試みた。しかしながら、シナリオ I では 1億 t-CO₂ の圧入は達成されなかったため、参考として圧入量を増加させるシナリオ II とシナリオ III を検討した。シナリオ II は 1,000 年後の溶存 CO₂分布を地質解析範囲内に収めるという条 件を除外した。貯留層性状が良好で大きい圧入量を確保できる地質解析範囲境界付近に圧入井を配置し、1億t-CO2の達成を試みるとともにCO2の南東方向への広がりを確認した。 シナリオⅢはシナリオIをベースに貯留エリア(B)に1本の圧入井を追加し、坑井数6本 で圧入量1億t-CO2の達成を試みた。

(1) シナリオ I

平面図での坑井位置の決定

まず、表 4.4-10、表 4.4-11 の条件を満たすように注意して、CO₂ 圧入量を最大化するような貯留層性状の良好な場所にて数パターンの坑井配置を試し、坑井の位置を決定した。ここでは、仕上げ区間のトップの位置は遮蔽層から距離をとり、その下の貯留層である西山層の下半分の領域を仕上げるケース(以下、「ケース 1」と称する。)にて検討を行った。なお仕上げ区間のトップ深度については次項で深度を変えたケースを検討し、最終的な坑井の設定とした。

図 4.4-12 および図 4.4-13 に西山層下部および椎谷層上部の浸透率・ファシス分布および 決定した坑井位置を示す。表 4.4-13 にモデルの坑井設定を示す。最大坑底圧力は仕上げ区 間のトップを基準深度とし、破壊圧の 90%(深度の関数)に設定した。

西山層下部では椎谷層上部に比べて粗粒ファシスが発達しており、西山層下部の貯留可 能エリアは北と南に浸透率の最も高い CH-D がチャネル状に分布し、その次に浸透率の高 い LB がその間に分布する。椎谷層上部では北側に CH-D が分布し、その他は細粒ファシ スである SL-BF が占める。

西山層下部では、浸透率が CH-D は約 25 mD、LB は約 1.8 mD と 10 倍以上の差があり、 LB の圧入性は大幅に落ちるため、坑井は西山層下部の CH-D が存在する位置とし、北側と 南側の CH-D にそれぞれ 2本 (I1,I2) と 3本 (I3,I4,I5) 配置した。北側の 2本は西山層下 部と椎谷層上部の CH-D が重なる位置を選んで、両層を仕上げることにより効率的に両方 の貯留層に圧入されるようにした。また、坑井位置が浸透率の低いファシスとの境界に近い と、圧入された CO₂ の水平方向への広がりが抑制されてその分上方に広がり遮蔽層への浸 透が大きくなる傾向があるため、この境界から一定の距離を空けるようにした。坑井間隔は、 坑井干渉を最小限にするため 2,500 m 以上とるのが理想であるが、ファシス分布の制約に より最終的な坑井位置では 2,000 m 程度となっている。図 4.4-14 に西山層下部トップの深 度を示す。貯留可能エリアの構造は南に向けて浅くなるように傾斜している。



図 4.4-12 西山層下部の浸透率・ファシス分布およびシナリオ I の坑井位置



図 4.4-13 椎谷層上部の浸透率・ファシス分布およびシナリオ I の坑井位置
圧入井	最大坑底圧力の基準深度 (m)	最大坑底圧力 (kPa)
11	2,689	37,732
12	2,633	36,946
13	2,446	34,325
14	2,528	35,476
15	2,497	35,046

表 4.4-13 モデルの坑井設定(シナリオ I ケース 1)



図 4.4-14 西山層下部トップの深度およびシナリオ I の坑井位置

図 4.4-15 および図 4.4-16 に圧入レートおよび坑底圧力の推移を示す。I4 が最も早い段階 で最大坑底圧力に達し、 ートが減退し始める。その後、各坑井が順次最大坑底圧力に達し、 17 年後に最後の I2 が最大坑底圧力に達するとフィールドの目標圧入 ートが維持できな くなりフィールド全体の圧入レートが減退し始める。40 年間の累計圧入量は 93.275 百万 t-CO₂ である。



図 4.4-15 CO₂ 圧入レート (シナリオ I ケース 1)



図 4.4-16 坑底圧力 (シナリオ I ケース 1)

図 4.4-17 に圧入停止 1,000 年後の溶存 CO₂ 分布を示す。溶存 CO₂ 量の分布範囲は 3× 10⁻⁵ mol/kg 以上としており、図 4.4-17 より遮蔽層への溶存 CO₂ の浸透は遮蔽層区間の中 間まで達している。また、I3 から圧入された CO₂ が南方向の断層エリアの境界付近まで、 I5 から圧入された CO₂が南東方向の地質解析範囲の境界付近まで到達しているが、両者と も条件の範囲内に収まっている。図 4.4-18 に示す圧入停止 1,000 年後の CO₂ 飽和率におい ても同様の傾向が確認できる。



図 4.4-17 圧入停止 1,000 年後の溶存 CO2分布 (シナリオ I ケース 1)



図 4.4-18 圧入停止 1,000 年後の CO2 飽和率 (シナリオ I ケース 1)

図 4.4-19 に各坑井位置における遮蔽層最下端の圧力の変化を示す。圧力変化は圧入期間 において上昇し続け圧入停止時に最大となり(3,000~4,200 kPa 程度)、その後は減少す る。全体的にスレッショルド圧の 64 kPa を超える結果となっている。図 4.4-20 に圧入停 止時の圧力変化の分布を示す。左上の平面図は遮蔽層最下端のレイヤーの圧力変化を示し ている。断面図を見ると、遮蔽層のトップでも圧力変化は 2,000~3,000 kPa 程度と大きく なっている。圧力変化が大きくなる原因としてはこのエリアでは遮蔽層の浸透率は 0.01 mD 程度となっており、遮蔽層としては浸透率が高めであるためと考えられる。また、 南側の坑井(I3,I4,I5)に比べ北側の坑井(I1,I2)で圧力変化が大きくなる傾向があるが、 これは最大坑底圧力の設定が高いことと CH-D ファシスの分布が比較的狭いため圧力変化 が大きくなりやすくなっているためである。表 4.4-14 にシナリオ I ケース 1 の結果をまと めた。



図 4.4-19 坑井位置における遮蔽層最下端の圧力変化(シナリオ I ケース 1)



図 4.4-20 圧入停止後の圧力変化 (シナリオ I ケース 1)

ケース	累計圧入量	圧入停止1,000年後における遮蔽層へのCO ₂ の浸透量(全体)				遮蔽層圧	
		溶存	ガス	合計	合計	浸透/圧入 ^{*1}	力変化 ^{*2}
	百万t		十億mol		百万t	%	k Pa
シナリオ I ケース1	93.275	5.691	4.907	10.598	0.467	0.50	4,165

表 4.4-14 結果の要約(シナリオ I ケース 1)

*1 圧入量に対する遮蔽層に浸透した割合

*2 遮蔽層最下端の圧力変化の最大値

② 仕上げ区間の影響

前述の貯留層である西山層の仕上げ区間を下部 50%としたケース1をベースとして、下 部 80%としたケース(以下、「ケース 2」と称する。)、100%としたケース(以下、「ケー ス 3」と称する。)の影響を調べた。表 4.4-15 にケース 2 とケース 3 のモデルの坑井設定 を示す。仕上げ区間のトップを基準深度にしており、最大坑底圧力を破壊圧の 90%(深度 の関数)に設定している。すなわち、仕上げ区間のトップを上げると最大坑底圧力は減少す ることになる。

図 4.4・21 に各ケースの仕上げ区間の圧入挙動への影響を示す。ケース 2 はケース 1 に比 べて目標圧入 ートで圧入される期間が延長され、累計圧入量は 93 百万 t・CO₂から 96 百 万 t・CO₂に増加している。一方、ケース 3 は累計圧入量が 95 百万 t・CO₂となり、ケース 2 より圧入量が減少する。仕上げ区間のトップを上げると、圧入区間が長くなることで圧入性 が改善するプラスの効果と最大坑底圧力が減少して圧入時にかけられる差圧が小さくなる マイナスの効果があり、ケース 1 からケース 2 では圧入性の改善効果が差圧減少の効果よ り大きくなるため圧入量が増加するが、ケース 2 からケース 3 では圧入性の改善効果がそ れほど伸びず、差圧減少の効果のほうが大きくなるため圧入量が減少に転じている。圧入量 に関しては、ケース 2 で最大化されるということになる。

ケース	圧入井	最大坑底圧力の基準深度 (m)	最大坑底圧力 (kPa)
	11	2,599	36,473
	12	2,557	35,883
ケース2	13	2,349	32,964
	14	2,430	34,101
	15	2,403	33,722
	11	2,510	35,224
	12	2,480	34,803
ケース3	13	2,252	31,603
	14	2,331	32,712
	15	2,309	32,403

表 4.4-15 モデルの坑井設定(シナリオ I ケース 2、ケース 3)



図 4.4-21 仕上げ区間の圧入挙動への影響

図 4.4-22 に各ケースの I2 が通る断面 (図 4.4-20 の C-C'の断面) における圧入停止 1,000 年後の溶存 CO₂の分布を示す。仕上げ区間のトップを上げると遮蔽層への溶存 CO₂ 量の浸 透が大きくなっている。



注) 左から右に図 4.4-20 の C'から C として表示

図 4.4-22 仕上げ区間を変えたときの圧入停止 1,000 年後の溶存 CO2分布

表 4.4-16 に仕上げ区間の影響の要約を示す。圧入量に対する遮蔽層への浸透量の割合は ケース1とケース2では0.5%、0.92%と1%未満となっているが、ケース3では1.38%と 1%を超えている。遮蔽層最下端の圧力変化は仕上げ区間トップを上げるほど、仕上げ区間 が遮蔽層に近づくため大きくなっている。

	累計圧入量	圧入停止1,000年後における遮蔽層へのCO2の浸透量(全体)					遮蔽層圧
ケース		溶存	ガス	合計	合計	浸透/圧入*1	力変化 ^{*2}
	百万t	十億mol			百万t	%	k Pa
ケース1	93.275	5.691	4.907	10.598	0.467	0.50	4,165
ケース2	96.041	10.230	9.793	20.023	0.882	0.92	4,721
ケース3	94.934	14.750	15.030	29.780	1.312	1.38	4,977

表 4.4-16 仕上げ区間の影響の要約

*1 圧入量に対する遮蔽層に浸透した割合

*2 遮蔽層最下端の圧力変化の最大値

(2) シナリオ II

シナリオ I では 1 億 t-CO₂の圧入が達成されなかったため、シナリオ I から 1,000 年後 の溶存 CO₂分布を地質解析範囲内に収めるという条件を除外した参考用のシナリオ II を作 成した。図 4.4-23 に西山層下部の浸透率・ファシス分布および坑井位置を示す。このシナ リオでは、浸透率が高い CH-D が広がっている地質解析範囲境界付近に 2 本の坑井を配置 し、40 年間でほぼ 1 億 t-CO₂ 圧入が達成できたことを確認した。表 4.4-17 にシナリオ II の 結果をまとめる。



図 4.4-23 西山層下部の浸透率・ファシス分布およびシナリオ I の坑井位置

	ケース	累計圧入量	圧入停止1,000年後における遮蔽層へのCO2の浸透量(全体)				遮蔽層圧	
			溶存	ガス	合計	合計	浸透/圧入 ^{*1}	力変化 ^{*2}
		百万t		十億mol		百万t	%	k Pa
	シナリオ I	99.680	5.755	4.940	10.695	0.471	0.47	3,672

表 4.4-17 結果の要約(シナリオⅡ)

*1 圧入量に対する遮蔽層に浸透した割合

*2 遮蔽層最下端の圧力変化の最大値

(3) シナリオ皿

シナリオⅢは参考ケースとして、1億 t-CO2 の圧入を達成するため、シナリオ I をベースとしてエリア B に1本の坑井を追加した。坑井数はエリア A に 5本、エリア B に1本で

合計 6 本となる。図 4.4-24 および図 4.4-25 にエリア B における西山層下部および椎谷層 上部の浸透率・ファシス分布と坑井位置を示す。図 4.4-26 に西山層下部トップの深度構造 を示す。エリア A の 5 本の坑井位置および仕上げ区間はシナリオ I のケース 1 と同じであ る。I6 の位置はいくつかの候補位置について試行錯誤し、圧入量が最も多くなる位置を選 んだ。この位置は東側に比べると浸透率が低くなっているものの、深度が深く圧入圧力を大 きくしているため高い圧入量が得られるものと考える。また、西山層下部では CH-D の領 域の幅も広くなっていることも高い圧入量に貢献している。さらに、I6 を東側の西山層下 部の CH-D の幅が狭いエリアに配置すると、圧入 CO₂の水平方向の広がりが抑制されて遮 蔽層への CO₂の浸透が大きくなる。一方、最終的に選定した位置は遮蔽層への CO₂の浸透 も抑えられる。

表 4.4-18 にシナリオⅢの結果をまとめる。このシナリオにおいても 40 年間でほぼ 1 億 t-CO2 圧入が達成できたことを確認した。



図 4.4-24 西山層下部の浸透率・ファシス分布およびシナリオIIIの坑井位置(エリア B)



図 4.4-25 椎谷層上部の浸透率・ファシス分布およびシナリオIIIの坑井位置(エリア B)



図 4.4-26 西山層下部トップの深度およびシナリオ田の坑井位置(エリア B)

表 4.4-18 結果の要約(シナリオ皿)

ケース	用라다기를	圧入停止1,000年後における遮蔽層へのCO ₂ の浸透量(全体)					遮蔽層圧
	米訂江八里	溶存	ガス	合計	合計	浸透/圧入*1	力変化 ^{*2}
	百万t		十億mol		百万t	%	k Pa
シナリオⅢ	99.343	6.630	5.494	12.124	0.534	0.54	4,918

*1 圧入量に対する遮蔽層に浸透した割合

*2 遮蔽層最下端の圧力変化の最大値

(4) ベストケースの結果

圧入井の設定条件(表 4.4-10)およびシミュ ーションが満たすべき制約条件(表 4.4-11) を満たすシナリオ I ではいずれのケースも 1 億 t-CO₂ の圧入が未達成であったので、制約 条件を満たす範囲で累計圧入量が最大となったシナリオ I のケース 2 をベストケースとし た。

図 4.4-27 に圧入期間中の坑底圧と坑口圧の推移、図 4.4-28 に圧入 ートおよび累積圧入 量の推移を示す。図 4.4-29 に各坑井位置における遮蔽層下端の圧力変化、図 4.4-30 に CO₂ 貯留形態の経時変化を示す。圧入停止時、圧入停止 2 年後、100 年後、1,000 年後の西山層 下部のトップの平面図について、図 4.4-31 に CO₂ 飽和率、図 4.4-32 に溶存 CO₂ 量、図 4.4-33 に圧力変化(初期圧からの差)の分布を示す。CO₂ 飽和率、溶存 CO₂ 量、圧力分布の断 面図については、代表的な I1 を通る断面について断面線位置図および圧入停止時、圧入停 止 2 年後、100 年後、200 年後、1,000 年後の断面図を図 4.4.34~36 に示す。各断面線位置 図には、遮蔽層を切る断層とその断層から 2,500 m の範囲も示した。断面図における深度 の単位は mTVDSS である。

各坑井の圧入レートは、前半は深度が深く高い最大坑底圧力を設定している北側の I1 お よび I2 で圧入 ートが若干高くなっているのに対し、後半は I5 の圧入レートが高くなっ ているが、I5 は南東の開境界と繋がりが良くなっているためその影響と考える。25 年後に すべての坑井で最大坑底圧力に達し(図 4.4-27)、フィールドの圧入レートが減退し始め る。40 年の累積圧入量は 96.030 百万 t-CO₂ となる。坑口圧力は坑井によって異なり 12~ 15 MPa 程度で推移する。

図 4.4・29 に示すように各坑井位置における遮蔽層下端の圧力変化は圧入期間において上 昇し続け、圧入停止時に最大となり(3,500~4,700 kPa 程度)、その後は減少する。南側 の坑井(I3,I4,I5)に比べ、北側の坑井(I1,I2)の圧力変化が大きくなる。期間全体にわた りスレッショルド圧の 64 kPa を超える結果となる。図 4.4・33 の圧入停止時の平面図を見 ると、粗粒ファシスの分布領域おいて圧力変化が大きくなることが確認でき、浸透率の低い 細粒ファシスに囲まれて圧力変化が大きくなりやすくなるものと考える。また、北側の坑井

(I1,I2)付近で特に圧力変化が大きくなる。このエリアは深度が深いため最大坑底圧力の 設定が高くなり、また CH-D の範囲が比較的狭いため圧力変化が大きくなりやすくなるた めである。また、I5 は南東の開境界と連続的に接続し、比較的圧力変化が大きくなりにく くなる。圧入停止時の断面図(図 4.4-36)を見ると、遮蔽層における圧力の低下は見られ ず、垂直方向に全区間にわたり圧力が伝播する。遮蔽層の圧力が大きくなる原因としては、 このエリアでは遮蔽層の浸透率は 0.01 mD 程度となり、遮蔽層としては浸透率が高めであ

4-60

るためと考える。

図 4.4-30 に示すように、超臨界 CO₂の割合は圧入停止時においては 83%であり、圧入停 止後、水相に溶解することにより徐々に減少し圧入停止 1,000 年後には 76%となる。溶存 CO₂の割合はこの逆となり圧入停止時の 17%から圧入停止 1,000 年後には 24%に増加す る。残留 CO₂の割合は圧入停止時に 15%であり、圧入停止後に増加し、1,000 年後には 54% となり、超臨界 CO₂の 7 割が残留 CO₂として固定されていることになる。圧入した CO₂が 浮力により上昇し、構造の傾斜に沿って移動したためと考える。

図 4.4·31 の西山層下部トップにおける CO₂ 飽和率の平面図からは、圧入停止時の CO₂ 飽 和率の分布は坑井を中心とする狭い範囲に限定されるが、時間の経過に伴い浮力により下 部から上がってきた超臨界 CO₂ 相が遮蔽層に遮断され、水平方向に広がっていく様子がわ かる。また、I3 は西側に、I4 は南西側に、I5 は南側に向けて構造が浅くなり、超臨界 CO₂ が浮力により地層の傾斜に沿って浅い方向に広がる様子が見られる。垂直方向の CO₂ 飽和 率の変化に関しては、例えば図 4.4·34 の I1 の断面図では、圧入停止時において仕上げ区間 を中心に CO₂ 飽和率が高くなるが、時間が経過すると CO₂ 飽和率の高い部分は浮力により 上方に移動する。超臨界 CO₂ は遮蔽層で遮断されて水平方向に広がるが、水平方向への広 がりはそれほど大きくない。貯留層下部の CO₂ 飽和率は超臨界 CO₂の上方への移動により 30%程度まで減少し、残留 CO₂ として固定される。1,000 年後の分布では遮蔽層に CO₂ 飽 和率 6~8%程度の超臨界 CO₂相が遮蔽層区間の中間付近まで浸入しており、遮蔽層への浸 透量が大きくなる。

図 4.4-32 の溶存 CO₂ 量平面図を見ると、図 4.4-31 の超臨界 CO₂分布域を取り囲むよう に溶存 CO₂が広がっていることがわかる。CO₂プルームの外周において溶存 CO₂は低濃度 となっており、新しく CO₂が溶解可能な水相と接し、CO₂を溶解しながら CO₂プルームが 広がっている。1,000 年後の溶存 CO₂ 量平面図では、I3 の南側で溶存 CO₂分布が断層エリ ア付近まで広がっているが、その他は断層エリアから離れて分布している。断面図(図 4.4-35)においても、平面図と同様に図 4.4-34 の超臨界 CO₂分布域を取り囲むように溶存 CO₂ が分布している。各坑井とも遮蔽層区間の中間程度まで溶存 CO₂ が達しており、遮蔽層へ の浸透量が大きくなっている。

遮蔽層へ浸透した CO₂は 2.02×10¹⁰ mol (そのうち溶存 CO₂は 1.03×10¹⁰ mol) と計算され、これは 0.00889 億 t-CO₂ (圧入 CO₂の 0.93%) に相当する。



図 4.4-27 坑底圧力と坑口圧力(ベストケース)



図 4.4-28 圧入レートおよび累積圧入量(ベストケース)



図 4.4-29 各坑井位置における遮蔽層最下端の圧力変化 (ベストケース)



図 4.4-30 CO2 貯留形態の推移 (ベストケース)



図 4.4-31 CO2 飽和率分布平面図



図 4.4-32 溶存 CO2 量分布平面図



図 4.4-33 圧力変化平面図































図 4.4-36 圧力変化断面図 I1(A-A')

4.4.6 最大圧入レートおよび最大圧入量の検討

前項で得られたベストケース(以下、「ベースケース」と称する。)の設定において圧入 ートの上限を 250 万 t-CO₂/年とせず、1 億 t-CO₂ を圧入するために最短で圧入可能な圧 入レート(経時変化含む)および制限条件を満たした状態で圧入可能な最大圧入量について 調査した。

(1) 最大圧入レートの検討

前述したようにエロージョン速度は1坑井当たり125万t-CO₂/年までの圧入 ートなら 条件が満たされる。ここでは坑井制御において、1坑井当たりの最大圧入レートを125万 t-CO₂/年、最大坑底圧を表4.4-15のケース2の設定としたうえで、可能な限り大きな ー トで圧入させる設定とした。その結果、圧入開始から39年後に1億t-CO₂の圧入が達成で きた。図4.4-37に坑底圧力、図4.4-38に各坑井の圧入レート、図4.4-39にフィールドの圧 入レートおよび累計圧入量をベースケースと比較して示す。なお、各坑井位置における遮蔽 層下端の圧力変化、CO₂貯留形態の経時変化、CO₂飽和率分布図、溶存CO₂量分布図、圧 力変化分布図についてはベースケースとほぼ同じであったため、省略する。

図 4.4·37、図 4.4·38 に示すように、各坑井の圧入は全期間にわたり最大坑底圧力の条件 により制限され、フィールドの圧入 ートは 3 年後にピークの 3.5 百万 t-CO₂/年となり、 その後は減少する。坑井別に見ると、圧入 ートが最も高いのは I2 で、ピーク ートは 79 万 t-CO₂/年となり、これは 1 坑井当たり 125 万 t-CO₂/年までとするエロージョン速度の条 件を満たすものである。圧入開始から 39 年後に 1 億 t-CO₂ の圧入が完了する。坑口圧力は 坑井によって異なり 13~15 MPa 程度で推移する。

遮蔽層レイヤーへ浸透した全 CO_2 量は 2.19×10^{10} mol (そのうち溶存 CO_2 量 1.11×10^{10} mol) と計算され、これは 0.00963 億 t- CO_2 (圧入 CO_2 の 0.96%) に相当する。ベースケースより若干増加しているものの、おおむねベースケースと同等の浸透量である。



図 4.4-37 坑底圧力 (最大圧入レートケース vs. ベースケース)



図 4.4-38 各坑井の圧入レート(最大圧入レートケース vs. ベースケース)



図 4.4-39 総圧入レートと累積圧入量(最大圧入レートケース vs. ベースケース)

(2) 最大圧入量の検討

最大圧入レートと同様の設定において、圧入を継続させて計算を行い、最大圧入可能量に ついて検討した。最大圧入 ートケースを最小単位として 1 年間延長したところ、圧入停 止 1,000 年後の溶存 CO₂の分布が地質解析範囲の境界の外側に達し、条件を満たさなかっ たため最大圧入量ケースは最大圧入 ートケースとした。

4.4.7 感度分析

(1) 感度分析ケース設定

表 4.4-19 に示すようにベースケースに対して、地層圧、浸透率、Kv/Kh の各パラメータ を変化させた感度分析を行った。

表 4.4-19 感度分析ケース設定

パラメーター	小	ベースケース	大
	(圧力勾配-15%,		(圧力勾配+15%,
地層圧	1.00725g/cc)	(1.185g/cc)	1.36275g/cc)
	24.45 MPa(@2475m)	28.76 MPa(@2475m)	33.08 MPa(@2475m)
浸透率	0.5倍	深度の関数	2倍
Kv/Kh	0.5倍	表4.4-3の通り	3倍

(2) 地層圧を変化させたケースの CO₂ 圧入挙動の比較

地層圧を変化させたケースとベースケースの各坑井の坑底圧の比較を図 4.4-40 に、各坑井の圧入 ートを図 4.4-41 に、総圧入 ートと累積圧入量を図 4.4-42 に示す。地層圧(大)ケースの坑底圧は各坑井とも圧入期間を通して最大値で推移し、圧入 ートは I1、I2 で比較的高くなり(10~16 万 t-CO₂/年/坑程度)、I3 で最も低く(5 万 t-CO₂/年/坑程度)、累積圧入量は 0.21 億 t-CO₂ となった。地層圧(小)ケースでは、坑底圧、坑口圧はベースケースより低く推移し、各坑井とも 40 年間の圧入期間で減退は認められず 50 万 t-CO₂/年/坑での圧入が可能であり、累積圧入量がベースケースより増加し、1 億 t-CO₂ を達成した。一方で、図 4.4-43 に示すように、圧入停止 1,000 年後の地層圧(小)ケースの溶存 CO₂ は地質解析範囲を超えた。以下に、各ケースのシミュレーション結果の詳細を記載する。







図 4.4-41 各坑井の圧入レートの推移





注) 左: 貯留層トップの平面図と地質解析延長範囲、右: 地質解析範囲の陸域側の断面図 図 4.4-43 圧入停止 1,000 年後の地層圧(小)ケースの溶存 CO₂分布

① 地層圧(大)ケース

地層圧(大)ケースの計算結果について、図 4.4-44 に各坑井の遮蔽層下端圧力挙動(初 期圧からの差)を、図 4.4-45 に CO₂ 貯留形態の経時変化を示す。圧入停止時、圧入停止 2 年後、100 年後、1,000 年後の西山層下部のトップの平面図について、図 4.4-46 に CO₂ 飽 和率、図 4.4-47 に溶存 CO2 量、図 4.4-48 に圧力変化(初期圧からの差)のそれぞれの分布 図を示す。

図 4.4・44 に示すように各坑井における遮蔽層下端圧力の変化は、各坑井でベースケース より低く推移した。各坑井の圧力変化平面図および断面図からも圧力分布がベースケース より低いことを確認した。本ケースでは地層圧はベースケースより高い設定だが、坑底圧最 大値の制御条件は変更しておらず、ベースケースより高い圧入圧力でも初期圧からの差圧 としては低いためと考えられる。

図 4.4・45 からは、溶存 CO₂割合がベースケースより明らかに増加していることがわかる。 前述したように地層圧(大)ケースは低圧入 ートのため、ゆっくりと多くの CO₂ が水に溶 解できる状態(飽和状態にすぐに達しないので溶け残りが少ない状態)となるためと考えら れる。また、ヘンリーの法則から高圧だと CO₂ が水に溶解しやすくなることも一因になっ ている。

図 4.4-46 の CO₂ 飽和率および図 4.4-47 の溶存 CO₂ 量の平面図より、ベースケースより CO₂ プルームが明らかに小さくなっていることが確認できる。ベースケースより圧入 ー トが低く累計圧入量も少なかったためである。

遮蔽層 イヤーへ浸透した全 CO₂ 量は 6.44×10⁸ mol (そのうち溶存 CO₂ 量 4.16× 10⁸ mol) と計算され、これは 28,372 t-CO₂ (圧入 CO₂の 0.13%) に相当する。



図 4.4-44 各圧入井における遮蔽層下端の圧力挙動(初期圧からの差)



図 4.4-45 CO2 貯留形態の経時変化



図 4.4-46 CO2 飽和率分布平面図(感度分析:地層圧(大)ケース)



図 4.4-47 溶存 CO2 量分布平面図(感度分析:地層圧(大)ケース)



図 4.4-48 圧力変化平面図(感度分析:地層圧(大)ケース)

② 地層圧(小)ケース

地層圧(小)ケースの計算結果について、図 4.4-49 に各坑井の遮蔽層下端圧力挙動(初 期圧からの差)を、図 4.4-50 に CO₂ 貯留形態の経時変化を示す。図 4.4-49 に示すように、 各坑井における遮蔽層下端圧力は各坑井でベースケースよりわずかに高くなっている。本 ケースでは地層圧はベースケースより低く設定したが、坑底圧最大値の制御条件は変更し ていないため、ベースケースより低い圧入圧力でも初期圧からの差圧としては高くなった と考えられる。ベースケースでは圧入途中で坑底圧最大値となるが、ベースケースより低い 圧力で圧入可能な本ケースでは坑底圧が上昇し続ける。したがって坑井周辺のグリッドセ ルでは初期圧との差を取ると若干高くなる傾向が表れる。

図 4.4-50 に示すように溶存 CO₂割合、残留 CO₂割合はベースケースとほぼ同じ結果で あった。累積圧入量についてもベースケースとほぼ同じ結果であり、CO₂飽和率、溶存 CO₂ 量、および圧力分布の平面図、断面図についてもベースケースとほぼ同じ結果であったこと を確認したため、ここでは省略する。

遮蔽層へ浸透した CO₂は 3.52×10¹⁰ mol (そのうち溶存 CO₂は 1.72×10¹⁰ mol) と計算さ

4-80

れ、これは 1,551,184 t-CO2 (圧入 CO2 の 1.55%) に相当する。



図 4.4-49 各圧入井における遮蔽層下端の圧力挙動(初期圧からの差)





(3) 浸透率を変化させたケースの CO2 圧入挙動の比較

浸透率を変化させたケースとベースケースの各坑井の坑底圧の比較を図 4.4-51 に、各坑井の圧入 ートを図 4.4-52 に、総圧入 ートと累積圧入量を図 4.4-53 に示す。浸透率(小)ケースの坑底圧は各坑井とも圧入期間初期から最大値で推移し、圧入 ートは 25~40 万 t-CO₂/年/坑、総圧入 ートで 130~180 万 t-CO₂/年程度で、累積圧入量は 0.6 億 t-CO₂ となった。一方、浸透率(大)ケースでは全圧入井で坑底圧の最大値に達することなく圧入レート 50 万 t-CO₂/年/坑を維持し、累積圧入量はベースケースより増加して 1 億 t-CO₂ を達成した。なお地層圧(小)ケースと同様に、圧入停止 1,000 年後の浸透率(大)ケースの溶存 CO₂ は地質解析範囲を超えた(図 4.4-54)。以下に、各ケースのシミュ ーション結果の詳細を記載する。



図 4.4-51 圧入期間中の坑底圧力の推移



図 4.4-52 各坑井の圧入レートの推移





注) 左: 貯留層トップの平面図と地質解析延長範囲、右: 地質解析範囲の陸域側の断面図 図 4.4-54 圧入停止 1,000 年後の浸透率(大)ケースの溶存 CO₂分布

浸透率(大)ケース

浸透率(大)ケースの計算結果について、図 4.4-55 に各坑井の遮蔽層下端圧力挙動(初 期圧からの差)を、図 4.4-56 に CO₂ 貯留形態の経時変化を示す。図 4.4-55 に示すように、 各坑井における遮蔽層下端圧力の変化は、各坑井でベースケースより低く推移する。これは ベースケースより低い圧入圧力であったためと考えられる。

図 4.4-56 に示すように溶存 CO₂割合、残留 CO₂割合ともほぼベースケースと同じであ るが、若干残留 CO₂割合は高くなっている。超臨界 CO₂が垂直方向の分布も含めて全体的 により広範囲に分布したためと考えられる。

累積圧入量についてもベースケースとほぼ同じ結果であり、CO2 飽和率、溶存 CO2 量、 および圧力分布の平面図、断面図についてもベースケースとほぼ同じ結果であったことを 確認したため、ここでは省略する。

遮蔽層へ浸透した CO₂は 1.68×10¹⁰ mol (そのうち溶存 CO₂は 8.85×10⁹ mol) と計算され、これは 739,581t-CO₂ (圧入 CO₂の 0.74%) に相当する。


図 4.4-55 各圧入井における遮蔽層下端の圧力挙動(初期圧からの差)



図 4.4-56 CO2 貯留形態の経時変化

浸透率(小)ケース

浸透率(小)ケースの計算結果について、図 4.4-57 に各坑井の遮蔽層下端圧力挙動(初 期圧からの差)を、図 4.4-58 に CO₂ 貯留形態の経時変化を示す。圧入停止時、圧入停止 2 年後、100 年後、1,000 年後の西山層下部のトップの平面図について、図 4.4-59 に CO₂ 飽 和率、図 4.4-60 に溶存 CO₂ 量、図 4.4-61 に圧力変化(初期圧からの差)のそれぞれの分布 図を示す。

図 4.4-57 に示すように、各坑井における遮蔽層下端圧力は、ベースケースとほぼ同じか 若干低めに推移している。ベースケースと同じか高い圧力で圧入しているが、圧入量が少な いうえに浸透率が低いため圧力の伝播が遅くなったと考える。

図 4.4-59 の CO₂ 飽和率、図 4.4-60 の溶存 CO₂ 量の平面図からは、ベースケースよりも 各坑井を取り囲む CO₂ プルームが小さめになっていることが確認できる。各坑井ともベー スケースより圧入量が減ったことと、浸透率が低いため CO₂ の移動が抑えられたことが原 因にあげられる。

図 4.4・58 に示すように、溶存 CO₂割合、残留 CO₂割合はほぼベースケースと同じだが、 溶存 CO₂割合は若干高く、残留 CO₂割合は若干低く推移している。前述したように浸透率 (小)ケースでは低圧入レートのため、ゆっくりと多くの CO₂が水に溶存できる状態(飽和状 態にすぐに達しないので溶け残りが少ない状態)となるためと考えられる。また、超臨界 CO₂分布の広がりが垂直方向の分布も含めて全体的に狭い範囲となったため、残留 CO₂の 固定された量が減少したと考えられる。

遮蔽層へ浸透した CO₂は 1.12×10¹⁰ mol (そのうち溶存 CO₂は 5.88×10⁹ mol) と計算され、これは 493,489t-CO₂ (圧入 CO₂の 0.82%) に相当する。



図 4.4-57 各圧入井における遮蔽層下端の圧力挙動(初期圧からの差)







図 4.4-59 CO₂ 飽和率分布平面図(感度分析:浸透率(小)ケース)



図 4.4-60 溶存 CO2 量分布平面図(感度分析:浸透率(小)ケース)



図 4.4-61 圧力変化平面図(感度分析:浸透率(小)ケース)

(4) Kv/Kh を変化させたケース

Kv/Kh を変化させたケースとベースケースの各坑井の坑底圧を図 4.4・62 に、各坑井の圧 入レートを図 4.4・63 に、総圧入レートと累積圧入量を図 4.4・64 に示す。両ケースともベー スケースとほぼ同じ挙動を示すが、坑底圧は Kv/Kh (小) ケースでは各坑井とも高く、Kv/Kh (大) ケースでは低く推移する。総圧入 ートは両ケースとも圧入初期から 250 万 t・CO₂/ 年であるが、Kv/Kh (小) ケースでは減退が早く、Kv/Kh (大) ケースではより長くこの圧 入レートが継続した。累計圧入量は Kv/Kh (小) ケースで 0.94 億 t・CO₂、Kv/Kh (大) ケー スで 0.99 億 t・CO₂ であった。また図 4.4・65、図 4.4・66 に示すように、両ケースとも溶存 CO₂分布が地質解析範囲をわずかに超えた。以下に、各ケースのシミュ ーション結果の詳 細を記載する。







図 4.4-63 各坑井の圧入レートの推移



図 4.4-64 総圧入レートと累積圧入量の推移



注) 左: 貯留層トップの平面図と地質解析延長範囲、右: 地質解析範囲の陸域側の断面図 図 4.4-65 圧入停止 1,000 年後の Kv/Kh(大) ケースの溶存 CO₂分布



注) 左: 貯留層トップの平面図と地質解析延長範囲、右: 地質解析範囲の陸域側の断面図 図 4.4-66 圧入停止 1,000 年後の Kv/Kh (小) ケースの溶存 CO₂分布

Kv/Kh (大) ケース

Kv/Kh(大)ケースの計算結果について、図 4.4-67 に各坑井の遮蔽層下端圧力挙動(初 期圧からの差)を、図 4.4-68 に CO₂ 貯留形態の経時変化を示す。ここでは、ベースケース に対し顕著に違いの表れた CO₂ 飽和率、溶存 CO₂ 量、圧力分布について、圧入停止時、圧 入停止 2 年後、100 年後、200 年後、1,000 年後の I1 を通る断面図をその断面線位置図と ともに図 4.4-69~71 に示す。各断面線位置図には、遮蔽層を切る断層とその断層から 2,500 m の範囲も示した。また、断面図の深度の単位は mTVDSS である。

図 4.4-67 に示すように、各坑井における遮蔽層下端の圧力は各坑井でベースケースとほ ぼ同じかわずかに高い。坑底圧はベースケースよりやや低めに推移したが、Kv/Kh が大き くなったことで垂直方向の浸透率が高くなり、圧力が垂直方向に伝播しやすくなった影響 が出たためと考える。

CO₂飽和率の断面図から、超臨界 CO₂の広がりはベースケースより広く、また坑井位置 周辺に高飽和率の超臨界 CO₂が分布していることが確認できる。垂直方向浸透率が高いた め、超臨界 CO₂が上部へ移動しやすくなったといえる。この傾向は平面図でも確認した。 断面図では、ベースケースより早い時期から超臨界 CO₂が上部へ移動し、地層の傾斜に沿っ て広がるとともに、遮蔽層上部まで超臨界 CO₂が広く浸入している様子が見て取れる。さ らに溶存 CO₂分布の断面図からは、圧入停止 1,000 年後には溶存 CO₂は遮蔽層より上の層 まで到達していることがわかる(図 4.4-69~71)。

図 4.4-68 に示すように溶存 CO₂割合はベースケースとほぼ同じだが、残留 CO₂割合は ベースケースより低くなっている。垂直方向へ超臨界 CO₂が動きやすくなったため、貯留

4-93

層最上部レイヤーが高飽和率となる代わりに下部レイヤーの水平方向の広がりが抑制され たため、超臨界 CO₂分布範囲が全体的に狭くなったためと考えられる。

遮蔽層へ浸透した CO₂は 7.04×10¹⁰ mol (そのうち溶存 CO₂は 3.51×10¹⁰ mol) と計算され、これは 3,102,344t-CO₂ (圧入 CO₂の 3.15%) に相当する。



図 4.4-67 各圧入井における遮蔽層下端の圧力挙動(初期圧からの差)



図 4.4-68 CO2 貯留形態の経時変化



















図 4.4-70 溶存 CO2 量断面図 I1(A-A')











Kv/Kh (小) ケース

Kv/Kh(小)ケースの計算結果について、図 4.4-72 に各坑井の遮蔽層下端圧力挙動(初 期圧からの差)を、図 4.4-73 に CO₂ 貯留形態の経時変化を示す。ここでは、ベースケース に対し顕著に違いの表れた CO₂ 飽和率、溶存 CO₂ 量、圧力分布について、圧入停止時、圧 入停止 2 年後、100 年後、200 年後、1,000 年後の I1 を通る断面図をその断面線位置図と ともに図 4.4-74~76 に示す。各断面線位置図には、遮蔽層を切る断層とその断層から 2,500 m の範囲も示した。また、断面図の深度の単位は mTVDSS である。

図 4.4-72 に示すように、各坑井における遮蔽層下端の圧力は各坑井でベースケースとほ ぼ同じかわずかに低い。坑底圧はベースケースよりやや高めに推移したが、Kv/Kh が小さ くなったことで垂直方向の浸透率が低くなり、垂直方向の圧力が伝播しにくくなった影響 が出たためと考えられる。各坑井の圧力変化の断面図(図 4.4-76)からも、坑井位置の上部 の圧力が低めになっていることから確認できる。

CO₂飽和率の断面図(図 4.4-74)から、超臨界 CO₂の広がりはベースケースより狭く、 坑井周辺の超臨界 CO₂ 飽和率はベースケースより低めになっていることが確認できる。こ の傾向は平面図でも確認した。垂直方向浸透率が小さくなったことで上部へ移動しにくく なり、遮蔽層への超臨界 CO₂ の浸入が抑えられている様子が確認できる。以上のことは溶 存 CO₂分布(図 4.4-75)からも確認できる。

図 4.4-73 に示すように溶存 CO₂割合、残留 CO₂割合はベースケースとほぼ同じだが、若 干残留 CO₂割合が高くなった。垂直方向へ超臨界 CO₂が動きにくくなったため、水平方向 に均等に広がった結果、超臨界 CO₂分布範囲が全体的に広くなったためと考えられる。

遮蔽層へ浸透した CO₂は 7.92×10⁹ mol (そのうち溶存 CO₂は 4.42×10⁹ mol) と計算され、これは 349,108t-CO₂ (圧入 CO₂の 0.37%) に相当する。



図 4.4-72 各圧入井における遮蔽層下端の圧力挙動(初期圧からの差)























図 4.4-75 溶存 CO2 量断面図 I1(A-A')









図 4.4-76 圧力変化断面図 I1(A-A')

(5) 感度分析のまとめ

地層圧(大)ケース、浸透率(小)ケースでは最大坑底圧制御により、累積圧入量がそれ ぞれ 0.21 億 t-CO₂、0.6 億 t-CO₂ と大きく減少した。これらのケースでは溶存 CO₂割合が 多くなる傾向がみられた。ベースケースより低圧入 ートであることから、ゆっくりと多く の CO₂ が水に溶解できる状態(飽和状態にすぐに達しないので溶け残りが少ない状態)と なったためと考えられる。

地層圧(小)ケース、浸透率(大)ケースでは、ベースケースより圧入量が増加し累積圧 入量で1億 t-CO₂を達成したが、溶存 CO₂分布が地質解析範囲をわずかに超える結果と なった。また、地層圧(小)ケースでは地層圧が低いため浮力の影響が目立ち、CO₂プルー ムが遮蔽層の上部方向へより広範囲に広がった。

Kv/Kh を変化させたケースでは、いずれも累積圧入量で1億t-CO₂を達成できなかった が、Kv/Kh(大)ケースではベースケースより圧入量が増加した(0.99億t-CO₂)。また、 Kv/Kh(大)ケースでは、CO₂が上方に早く移動するため、貯留層上部で CO₂飽和率が高 くなっている様子が確認でき、また溶存 CO₂は圧入停止 1,000 年後には遮蔽層より上の層 まで浸入する結果となった。Kv/Kh(小)ケースでは CO₂の上部への移動が抑えられ、よ り均等に水平方向に CO₂が移動している様子が確認できた。また、両ケースとも溶存 CO₂ 分布が地質解析範囲をわずかに超える結果となった。

遮蔽層へ浸透した CO₂ は Kv/Kh (大) ケース (圧入 CO₂ 量の 3.15%) と地層圧 (小) ケース (圧入 CO₂ 量の 1.55%) において圧入 CO₂ 量の 1%を超えた。本検討では遮蔽層の スレッショルド圧が低く、遮蔽効果があまり期待できない。水平方向の移動としては、地質 解析範囲を CO₂ プルームが超えたケースではいずれも陸域側方向に 1 グリッド分(200 m) の超過に留まっている。しかしながら、遮蔽層を超えて浅部へ CO₂ プルームが移動してし まう可能性 (Kv/Kh (大) ケース) がある。本検討では、前述のとおり圧力勾配が高くなる ため D1_top ホライズン付近に圧力シールがあり流体の導通性がないと想定し、これより浅 い部分は計算領域に含めていない。今後のシミュレーションの精度向上には、同ホライズン 付近に圧力シール等の遮蔽効果のある境界の存在についても調査・解析を行い、その結果を 取り込むことが望ましい。

4.4.8 まとめ

本検討では、まず地質解釈結果(ホライズンデータ、断層データ、ファシスポリゴン等の 電子データ)および地質解釈報告書に基づき、三次元地質モデルを構築した。

グリッドモデルの作成では、24 km×59 km のシミュレーション範囲をモデル平面領域 とし、グリッドの平面方向のサイズは 200 m×200 m とした。鉛直方向については、ホラ イズンデータおよび断層データを用いて遮蔽層・貯留層からなる地質ユニットを作成した 後、各地質ユニット内をレイヤリングすることにより鉛直方向のグリッドサイズを決定し た。鉛直方向のグリッドサイズは、遮蔽層、貯留層ともに約 20 m 程度に設定した。

作成したグリッドモデルに対して、各ユニットでのファシス分布を考慮して貯留層モデ

ルを構築した。南東側に拡張した領域のファシスについては、既存の解釈結果の大局的な分 布トレンドを考慮し延長した。有効孔隙率については圧密曲線、浸透率については φ·k 相 関に基づき、Kv/Kh は一般的な値を想定し、N/G 比については検層解析データを検討して、 各物性値をファシスごとに一括して設定した。圧密曲線の設定では基礎試錐「佐渡沖」の データから算出した全孔隙率を有効孔隙率に変換した。φ·k 相関の設定ではファシス SL-BF については基礎試錐「佐渡沖」のデータから、ファシス MTD、LB、CH-D については基礎 試錐「柏崎沖」のデータからそれぞれ推定した。これらのファシスの内、特にファシス MTD、 CH-D の場合には限られたデータに基づいている。また、基礎試錐「柏崎沖」は調査範囲外 に位置しており、基礎試錐「佐渡沖」では貯留層区間の堆積物が分布しない。このようにあ る程度限られたデータで貯留層物性を設定し、貯留層モデル内の空間的不均質性を推定し ていることから、貯留層・遮蔽層ともに不確実性が高いと考える。今後、新たな掘削データ が得られた際には、これらの詳細評価を考慮した地質モデルのアップデートが期待される。

貯留層モデルは地質解析範囲から南東方向に約 8,000 m 拡張されているが、この領域は 同モデルの不確実性が高いため、シミュ ーションでは坑井位置および 1,000 年後の溶存 CO₂ 分布ともに地質解析範囲内に収めることを基本とした。フィールドの最大圧入レート を 250 万 t·CO₂/年とすると、5 本の圧入井では 40 年間の累計圧入量は 9,604 万 t·CO₂(シ ナリオ I ケース 2)となり 1 億 t·CO₂ を達成できなかったが、フィールドの最大圧入 ート を除外すると(最大圧入レートケース)、39 年間で 1 億 t⁻CO₂ の圧入が達成されたため、 このケースをベストケースとした。

貯留層は西山層下部と椎谷層上部であり、西山層下部のほうが粗粒ファシスが広範囲に 発達している。圧入ターゲットは西山層下部を中心とし、西山層下部と椎谷層上部の粗粒 ファシスが重なるエリアに両方の層に仕上げる坑井を設置することにより、両貯留層の貯 留能力を最大限に活用するようにした。ベストケースのシミュレーション結果の特記事項 としては、遮蔽層の圧力変化が大きくなっており、遮蔽層の最下端で最大 4,700 kPa の圧 力変化が確認された。これはスレッショルド圧の 64 kPa を大幅に上回るものである。現時 点では遮蔽層としてはスレッショルド圧の値が過小評価されている可能性があるため遮蔽 層への CO₂ の浸透量が1%未満であれば貯留条件を満たすものとしている。ベストケース での圧入停止 1,000 年後では、遮蔽層に浸透した CO₂ の量が圧入 CO₂ の 0.93%と比較的高 くなっている。遮蔽層の厚さが 300 m 程度あるため CO₂ が貫通することはないが、遮蔽層 区間の中間を超えて上昇する結果となった。

地層圧、浸透率、Kv/Kh につ てパラメータを変化させ、上記のベストケースをベース ケースとして感度分析をおこなった。地層圧(小)ケース、浸透率(大)ケースでは、ベー

4-105

スケースより圧入量が増加し累積圧入量で1億 t-CO₂を達成した。Kv/Kh(大)ケースでは ベースケースより圧入量が増加したが、0.99億 t-CO₂にとどまった。これらのケースでは CO₂プルームが地質解析範囲を超えたが1グリッド分(200 m)の超過に留まっている。し かしながら、Kv/Kh(大)ケースでは遮蔽層を超えて浅部に CO₂ プルームが移動した。ま た、遮蔽層へ浸透した CO₂は Kv/Kh(大)ケース(圧入 CO₂量の 3.15%)と地層圧(小) ケース(圧入 CO₂量の 1.55%)において圧入 CO₂量の 1%を超えた。本検討では遮蔽層の スレッショルド圧が低く設定されているため、遮蔽効果があまり期待できない。

なお、本検討で使用したデータは限られており、調査や参照できないデータについては仮 定をおいているため、調査井掘削時の計画的な検層データ、およびコアデータの収集、試験、 分析を行い、更なる精度向上が望ましい。特に確認が必要な事項については以下のとおりで ある。

- ・貯留層の浸透率
- ・遮蔽層の強度、地層破壊圧
- ・遮蔽層のスレッショルド圧
- ・D1 歩ホライズン付近の圧力シール等の存在

【参考文献】

- 日本CCS調査(株)、"令和3年度「二酸化炭素貯留適地調査事業」成果報告書 第4 章 4.5 節"(2022)
- 2) 石油公団 昭和 63 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「佐渡沖」調査報告 書(1990)
- 3) Schlumberger, Log Interpretation Principles/Applications(1989)
- 4) Bennion, B. and Bachu, A., "Relative Permeability Characteristics for supercritical CO2 Displacing Water in a Variety of Potential Sequestration Zones in the Western Canada Sedimentary Basin", Paper SPEoy 95547, presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, TX, USA, October 9-12, 2005(2005)

4.5 貯留適地調査事業を活用した堆積システムの検討

貯留適地調査事業では、2014 年度~2021 年度に実施した地質解析において堆積相解析 を実施し、その結果から貯留可能候補域を抽出してきた。これらの堆積相解析結果データを 用いて堆積システムの整理を行い、日本周辺海域においてどのような堆積システムが卓越 しどのように分布するか、日本海側(背弧側堆積盆地)と太平洋側(前弧側堆積盆地)等の 地域的な堆積システムの違いが認められるか、どのような堆積システムの組み合わせによ る場合がより貯留に適しているか等、日本の堆積環境を考慮した堆積システムモデルの検 討を行った。検討する堆積システムモデルとは、特定の範囲における個々の堆積環境を特徴 化したものである。図 4.5-1 に貯留適地調査事業において地質解析を実施した範囲を示す。



図 4.5-1 貯留適地調査事業において実施した地質解析範囲

4.5.1 堆積システムの整理

図 4.5-1 に赤枠で示した地点で実施した堆積相解析の利用データ・情報およびその結果から、層序・年代、構造発達、ファシス区分、貯留層・遮蔽層、地層安定性の観点から整理を行った。この時、日本海側(背弧側堆積盆地)を背弧側東北日本と背弧側西南日本、太平洋側(前弧側堆積盆地)を前弧側と称して整理を進めた。

(1) 層序・年代、構造発達に関する整理

層序・年代および構造発達に関する情報を、各地点の貯留適地調査事業成果報告書から抽 出し整理した。層序・年代やテクトニックイベントの時期等については、おおむね同成果報 告書を参照したが、一部追加情報や解釈を加味して若干の変更を加えた。各地域の特徴を以 下に記す。

① 前弧側

日高沖は常磐沖からサハリン中部にかけて広がるユーラシア大陸東縁の前弧堆積盆地に 位置し、白亜紀から古第三紀始新世ころに浅海から河川成層が堆積した。その後、漸新世以 降の東北日本弧と千島弧の接合によって広域な不整合が形成され、北海道日高衝突帯南縁 部に形成された前縁盆地に上部漸新統から第四系が堆積した。

茨城沖北部を含む常磐沖堆積盆地は、日高沖と同様に、白亜紀以降の前弧堆積盆地の南端 に位置し、西側を阿武隈山塊に、北西および東側を先第三系の隆起帯(東側は阿武隈リッジ) によって限られる。日本海拡大に伴う中新世以降の伸長応力場において、横ずれ断層が活動 し、全域的には沈降が維持されたが、後期中新世以降は圧縮応力場となり、一部で隆起が起 きた。

宮崎沖を含む西南日本弧の前面では、前期白亜紀から前期中新世にかけて、プートの沈 み込みによる付加体コンプレックス(四万十累層群)が形成された。西日本の前弧域は 10 Ma(1 Maは 100 万年前を意味する)ころには広域的な沈降または海溝側への傾動に転 じており、前弧沈降域での堆積が再開された。宮崎沖堆積盆地は、西南日本弧と琉球弧の会 合部で生じた大規模な左横ずれテクトニクスに支配された前弧堆積盆地であり、6 Maころ にプルアパート堆積盆地の形成が始まった。それに伴い、後期中新世末に急激な基盤の沈降 と海進が起こり、沈降域に海底扇状地堆積物や泥質堆積物が厚く発達した。2 Maころにな るとフィリピン海プレートの沈み込みの方向は西北西に変化し、その影響で、宮崎沖堆積盆 地西縁の陸域では、急激な隆起による浸食・削剥がおき、大量の砕屑物が供給された。層序 対比の結果を、図 4.5-2 に示す。抽出されている貯留層は、中新世から更新世までと、比較 的長い期間の地層が対象とされている。

2 背弧側東北日本

主に中部中新統から第四系が発達する。構造発達は、日本海の拡大に関連した前期中新世 以降のリフト期およびその後のポストリフト期における正断層の発達と緩やかな沈降によ る堆積盆地の拡大、後期中新世後期以降と後期鮮新世以降の強い東西圧縮におけるイン バージョンテクトニクスによって逆断層や褶曲変形で特徴づけられる。層序対比の結果を 図 4.5-3 と図 4.5-4 に示す。抽出されている貯留層の多くは、鮮新世から更新世の比較的新 しい地層が対象となっている。

③ 背弧側西南日本

背弧側東北日本と同様に、日本海拡大とその後のインバージョンテクトニクスによる構 造形成が行われたが、東北日本に比べてやや早く始まる。中期中新世後期以降の南北圧縮と 鮮新世以降の東西圧縮が、それぞれ構造形成に影響を与えており、広域に傾斜不整合を形成 し、一部地域では上部中新統から鮮新統が欠如する。この不整合をもたらした圧縮応力は中 期鮮新世ころには弱まり、隆起は沈静化したが、北陸沖堆積盆地では後期鮮新世まで続いた。 また中新世中期までは火成活動が活発で、各地で火山体や火山砕屑物が認められる。層序対 比の結果を、図 4.5-5 に示す。抽出されている貯留層の多くは、中期中新世から後期中新世 の比較的古い地層が対象となっている。





図 4.5-3 層序・年代、構造発達に関する整理(背弧側東北日本: 1/2)



図 4.5-4 層序・年代、構造発達に関する整理(背弧側東北日本: 2/2)



図 4.5-5 層序・年代、構造発達に関する整理(背弧側西南日本)

これまで抽出してきた貯留層は、背弧側東北日本では鮮新世以降の比較的新しい地層が、 背弧側西南日本では中新世以前の比較的古い地層が多いことが整理された。各地域におけ る構造発達に関しては、後述する堆積システムの変遷を検討する際に使用した。

(2) ファシス区分および標記名に関する整理

これまでの貯留適地調査事業の堆積相解析の中で区分されたファシスについて、卓越す るファシスや堆積システムを地点間および時代で比較するため、ファシス区分の最適化と 標記名の統一を行った。平面的なファシス分布が解釈可能な 3D 探査データが利用可能な地 点で検討を行い、2D 探査データのみ利用可能な地点については、3D 探査データを用 て 検討したファシス区分を適用した。

新しいファシス区分は、チャネルを C (Channel) 、スプレイを S (Spray) 、デルタプ レインを DP (Delta Plain)、プロデルタを PD (Pro Delta)、デルタフロントを DF (Delta Front) 、海盆底を BF (Basin Floor) 、斜面を SL (Slope) 、マストランスポート堆積物 を MTD (Mas Transport Deposit) 、火山岩を V (Volcanics) とした。

Cは、複数並列する場合には Cd(distributary)、直線的な場合には Cs(straight)、蛇 行する場合には Cm(meandering)とし、Cm のうち泥質(muddy)なものは Cm-m と細 分した。またガリーを Cg(gully)、海底谷を Cy(canyon)とした。

S は、フロンタルスプレイを Sf (frontal spray)、クレバススプレイを Sc (crevasse splay) とし、アトリビュートマップ (平面図) や断面での特徴で供給源からの距離を言及している 場合には、例えば Sf のうち近接している (proximal) ものは Sf-p とし、離れている (distal) ものは Sf-d とした。

DP は、岩質によって区分し、礫質 (gravel) の場合は DPg、砂質 (sandy) の場合は DPs、 泥質 (muddy) の場合は DPm と、DP の後に小文字を付した。弾性波探査データにお て デルタプレインとデルタフロントの区分が困難な場合は、DP-DF (Delta Plain~Delta Front) あるいは DP-DFg (Delta Plain~礫質な Delta Front) とした。

MTD は、その形態に応じて、デブライトを MTDde (debrite)、スランプを MTDsp (slump)、 スライドを MTDsl (slide) と細分した。デルタ成のものについては (PD) を付した。ガス の存在に関連する震探相は、Gas として区分した。

Vは、溶岩(lava)をVI、火山砕屑岩(volcanic clastics)をVcとした。

各地点のファシス区分を更新した後、ファシスごとにいくつかの地点で認められる特徴、 岩相、弾性波探査の断面例、平面例とあわせて表 4.5-1 に陸~浅海環境を、表 4.5-2~表 4.5-4 に深海環境を、表 4.5-5 にその他環境についてのファシス区分一覧を示す。

ファシス	断面における特徴	平面における特徴	堆積構成要素解釈	推定岩相 * : 坑井で確認
DP-DFg	連続的で上下の反射面に平行な強い振幅 の反射波列からなる。 周波数がやや低い。	強振幅が広く面的に分布する。 (幅11-14km× 長5-7km)	粗粒砕屑物(礫含む)が発達する デルタプレイン	礫岩主体互層 *
DPs	比較的連続的で上下の反射面に平行な中 程度の振幅の反射波列の中に凹状の形状	全体的に振幅は弱く、 マップ上では明瞭な形状が見られない。 断面におけるサイスミック形態の特徴 は同じだが、 比較的振幅が強いエリア (DPs)、 比較的振幅が弱いエリア (DPm) がある。	分流チャネルが発達する デルタプレイン (砂質)	砂岩優勢 砂岩泥岩互層
DPm	(弱~中程度の振幅、 幅~2 km程度)が 所々に分布する 。		分流チャネルが発達する デルタプレイン (泥質)	(泥岩優勢) 砂岩泥岩互層
Cs (PD)	凹状の形状を示す形態(弱い振幅) 側方に比較的連続的な中程度の振幅の反 射波列を伴うものもある。	全体的に振幅が弱い中で、わずかに強 い振幅の範囲がリボン状に分布する。 [サイズ測定結果] 幅:約150~500 m,屈曲度:1.0~1.5	プロデルタの チャネル (比較的直線的)	(泥岩優勢) 砂岩泥岩互層
Cd (PD)	垂直・水平に不連続、中程度~強振幅、 凹状の形状、あるいは中~強振幅の短い 直線的な形状を含む。凹状の幅は小さめ (<500 m)	強い振幅域の拡がり一部筋状にみえる。	プロデルタの チャネル (複数並列)	砂岩優勢 砂岩泥岩互層
Sf (PD)	連続的で上下の反射面に平行な比較的強 い振幅の反射波列。 周波数がやや低い。	強振幅が丸みを帯びた形で分布 (幅14 km× 長12 km以上)	プロデルタの フロンタルスプレイ	砂岩優勢 砂岩泥岩互層
Sf-p (PD)	水平に連続~不連続、レンズ状~マウン ド状、中程度~強振幅	比較的強い振幅域の拡がり丸みを帯び た形状。	プロデルタの フロンタルスプレイ (proximal)	砂岩・砂岩優勢 砂岩泥岩互層
Sf-d (PD)	連続・平行、中程度〜弱振幅 高周波数	ファシスSf-p (PD)に伴う。 その周辺に中程度の振幅域の拡がり	プロデルタの フロンタルスプレイ (distal)	泥岩優勢互層*

表 4.5-1 新ファシス区分一覧:陸域~浅海環境

表 4.5-2 新ファシス区分一覧:深海環境 (1/3)

ファシス	断面における特徴	平面における特徴	堆積構成 要素解釈	推定岩相
Cm	・凹状あるいはレンズ状の形 (幅1~3 km)。中程度〜強い振幅。 ・傾斜する連続的な中〜強振幅の 反射波列を伴う場合あり。	 ・振幅は中程度〜強く、蛇行する形状。 ・側方および下流方向への移動がみられる。 [サイズ測定結果] 幅:100~1200 m,屈曲度:~1.9 	チャネル (蛇行)	砂岩優勢 砂岩泥岩互層 *
Cm-m	凹状の形状(弱い振幅)。 側方に比較的連続的な弱い振幅の反 射波列を伴う。	振幅が弱く、 蛇行する形状を示す。 (振幅が弱い周囲のBFとの境界が不 明瞭だが矢印て示したところ。)	泥質なチャネル (蛇行)	泥岩優勢 砂岩泥岩互層
Cs	凹状の形状(弱〜強振幅)が 側方に比較的連続的な中程度の振 幅の反射波列を伴う。	全体的に振幅が弱い中で、わずかに強い 振幅の範囲がリボン状に分布する。 [サイズ測定結果] 幅:100-1000 m, 屈曲度:~1.6	チャネル (比較的直線的)	砂岩泥岩互層 *
Cd	垂直・水平に不連続で、 複数の凹の形状を含む。 中程度〜強振幅。	中程度~強い振幅域。 やや伸びて拡がる。 ファシスCs、Sf と連続する。 直線的な形状含む。幅 <200m程度。	チャネル (複数並列)	砂岩泥岩互層 *
Cg	幅 <1㎞ (数100m)程度の 中程度~強い振幅の凹状あるいは短 い直線状の形が分布する。	複数の直線的な筋状の形状を示す。	ガリー群	泥岩、泥岩優勢 砂岩泥岩互層
Су	内部に小さな凹状の反射波列の形態 (中~強振幅)がスタックする大規模 な谷状の形状を示す。	強い振幅のエリアが比較的直線的に 並列して分布する。 (幅3~5 km× 長さ 25 km+)	海底谷	礫岩、砂岩、 泥岩含む互層

ファシス	断面における特徴	平面における特徴	堆積構成 要素解釈	推定岩相
Sf	連続的で上下の反射面に平行な 中程度〜強い振幅の反射波列が分布 する。 側方のダウンラップを伴う。	ファシスCs,Cdと関連して 比較的強い振幅が楕円形に広く分布する。 [サイズ測定結果] 幅:3~9 km,長さ:6~12 km 縦横比:1.4~2.5 ※癒着して広く広がって見えるところ (幅30 km+×長7 km+)もある。	フロンタル スプレイ	砂岩優勢 砂岩泥岩互層 *
Sf-p	連続的で上下の反射面に平行な 中程度~強い振幅の反射波列が分布 する。 比較的低周波数。 側方へのダウンラップを伴う。	上記と同様	フロンタル スプレイ (proximal)	砂岩優勢 砂岩泥岩互層 *
Sf-d	連続的で上下の反射面に平行な 中程度の振幅の反射波列が分布する。 比較的高周波数。 側方へのダウンラップを伴う。	ファシスSf-pに伴う。 その周辺の中程度の振幅域の拡がり。	フロンタル スプレイ (distal)	泥岩優勢 砂岩泥岩互層 *ログのみ
Sc	・上下の反射面に平行な連続的 ・比較的強い振幅 ・側方へ振幅が弱くなり、 ダウンラップする。	ファシスCmの屈曲部の先に延びる。 ・ファシスCmの主に片側に広がる。 [サイズ測定結果] 幅:5.9km, 長さ:8.3km	クレバス スプレイ	砂岩優勢 砂岩泥岩互層

表 4.5-3 新ファシス区分一覧:深海環境 (2/3)

表 4.5-4 新ファシス区分一覧:深海環境 (3/3)

ファシス	断面における特徴	平面における特徴	堆積構成要素解釈	推定岩相
MTD -sl	・内部は連続的だが 端は途切れている。 ・元の堆積物により弱〜強振幅。	 ・均質な振幅の領域がブロック状に分布。 ・端は明瞭で直線、多角形的。 	マストランスポート堆積物 (スライド)	礫岩、砂岩、泥岩 の混合堆積物
MTD -sp	 ・やや連続的で波打った形状や 部分的に不連続な形状を示す。 ・元の堆積物により弱〜強振幅。 	・皺状の圧縮リッジが見える。 振幅がやや強い 細かく分かれた反射が観察される。	マストランスポート堆積物 (スランプ)	礫岩、砂岩、泥岩 の混合堆積物
MTD -de	 ・不連続で混沌としているか、 もしくはスラスト状になっている。 ・振幅は弱く、透明な傾向。 	・皺状の圧縮リッジが見える。 振幅は弱いが周囲のSL/BFに比べると やや強い。	マストランスポート堆積物 (デブリフロー堆積物)	礫岩、砂岩、泥岩 の混合堆積物
SL BF	やや連続的~不連続で カオティックな弱い振幅を示す。	振幅が弱いエリアが広く分布する。 層厚は比較的薄いエリアで、 MTDやCsが主に分布する。(SL) 層厚の厚いエリアで、 MTD未端やSf, Cmが主に分布する(BF)	斜面 海盆底	泥岩, 泥岩優勢 砂岩泥岩互層 *

表 4.5-5 新ファシス区分一覧:その他環境

ファシス	堆積構成要素解釈
VI	火山岩体の崩壊堆積物
Vc	火山岩体の崩壊堆積物 (再堆積)
Gas	(ガスを胚胎する層)

(3) 貯留層・遮蔽層に関する整理

貯留層・遮蔽層と解析されているファシスを、表 4.5-1~表 4.5-5 に示したファシス区分 に基づき整理した。

貯留層とされている岩相は、主に礫岩、砂岩や砂岩優勢砂岩泥岩互層である。これらを含む貯留層とされているファシスは、Cd、Cd(PD)、Cs、Cs(PD)、Cm、Cy、Sf、Sf、Sf(PD)、Sf・p、Sf・p(PD)、Sc、DP-DFg、DPs、Vcである。Cs(PD)およびCsについては、弾性波探査データにおける振幅強弱や、砂岩を含む場合や泥岩が優勢な場合等、地域によって特徴が異なる。Cmについては、一般には蛇行するチャネルは泥質と考えられるが、佐渡西方沖あるいは茨城沖北部では、坑井において砂岩優勢砂岩泥岩互層が確認されていることから貯留層となり得るファシスと判断されている。

遮蔽層とされるファシスは、Cm-m、Sf-d、Sf-d (PD)、PD、PD+Cs (PD)、BF、SL/BF、 DPm である。Cg や MTD については、一般的には泥質であるが、粗粒堆積物を含む場合も あり、不均質であることから、貯留層・遮蔽層の区分は行っていない。

表 4.5-6 に貯留層に区分されるファシスを、表 4.5-7 に遮蔽層に区分されるファシスを示す。

貯留層層準とされている堆積時期は、鮮新世が最も多く、次に更新世、中新世で、遮蔽層 層準については、更新世が最も多く、次に鮮新世、中新世となっている。

表 4.5-6 貯留層に区分されるファシス

=	貯留層	坑井データ	堆積時期	11.55.677.11. 는	
記亏	遮蔽層	の有無	(年代)	地貨解析地点	分佈或
Cd	貯留層	有	前期鮮新世	能代沖	背弧側東北日本
Sf-p	貯留層	有	前期鮮新世	能代沖	背弧側東北日本
Sf-p	貯留層	有	前期鮮新世	能代沖	背弧側東北日本
Sf-p	貯留層	有	前期鮮新世	能代沖	背弧側東北日本
Sf-p	貯留層	有	前期鮮新世	能代沖	背弧側東北日本
Sf-p	貯留層	無	後期中新世~鮮新世~更新世	西津軽沖	背弧側東北日本
Cd	貯留層	無	後期中新世~鮮新世~更新世	西津軽沖	背弧側東北日本
Cd(PD)	貯留層	有	後期更新世	秋田沖-本荘沖	背弧側東北日本
Cd	貯留層	無	鮮新世~前期更新世	秋田沖-本荘沖	背弧側東北日本
Sf-p(PD)	貯留層	無	後期更新世	秋田沖-本荘沖	背弧側東北日本
Sf-p	貯留層	有	鮮新世~前期更新世	秋田沖-本荘沖	背弧側東北日本
DP~DF	貯留層	無	後期更新世	秋田沖-本荘沖	背弧側東北日本
Cs		無	鲜新世~前期更新世	秋田沖-本荘沖	背弧側東北日本
Cm		有		佐渡西方沖	背弧側東北日本
Cm		有		佐渡西方沖	背弧側車北日本
Sf-n		有		佐渡西方沖	背弧側車北日本
Sf-n		毎		佐渡西方沖	背弧侧東北日本
Cm		<u>無</u>	鲜新世~ 更新世初期	新潟北西油・佐渡南方油	背弧侧東北日本
Cs		無	百新世	新潟北西沖・佐渡南方沖	背弧侧束北日本
Cd		価		新潟北西州・佐渡南方沖	背弧側東北日本
Sf	10000000000000000000000000000000000000	「「」	鲜新世~ 再新世初期	新潟北西沖 佐波南方沖	背瓜原来北日本
Sc	10000000000000000000000000000000000000	毎	新生业 新生业 新生业	新潟北西沖 佐波南方沖	背瓜原来北日本
	10000000000000000000000000000000000000	「「」		新泡油	背瓜原来北日本
	5 国信	一行		新泡油	青弧例果北日本
	50000000000000000000000000000000000000	**	鲜新卅~更新卅初期	新海冲	青弧関東北日本
Cd	り田宿	有方	鮮新世。 史新世初期	新海冲	自弧関東北日本
Cu Sf p	50000000000000000000000000000000000000	行	鮮新臣 · 史新臣彻朔 鮮新冊。. 再新冊初期	新海冲	青弧関東北日本
31-p	り田宿	有	新和臣"。 史和臣仍知	利 <i>向</i> /中 	自弧関東北日本
Sf	5 国信	<u>無</u>		道山/F 洒田汕	青弧例果北日本
Ct Ct	50000000000000000000000000000000000000	<u>無</u>		道山/T 海田油	青弧関東北日本
- Si	り田宿	無		道山冲 ————————————————————————————————————	自弧関東北日本
	り田僧	無		· / 百山/平 - · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	自弧関東北日本
DP~DF	町面層	無		//////////////////////////////////////	月弧側東北口本
51-p	町 宙 暦	無			月弧[]]四百日本 北亚[]]王吉日士
US Vie	町留暦	無	古後期古玄世	金沢冲	月弧側四角日本 北亚側五古日十
VC	町留厝:	無	中後期中新世		月弧 側 四 円 日 平
Ca	町留暦	無	中		月弧 側 四 南 日 本
St-p	50000000000000000000000000000000000000	何	中俊期中新世、史新世	馬取冲 息 取 油	育弧側四角日本
MIDde	50000000000000000000000000000000000000	無	史新世	馬取冲	育弧側四角日本
VC	5日日月 1日日日 1日日日 1日日日 1日日日 1日日日 1日日日 1日日日	無		京都 一 備 开 冲	育弧側西南日本
St-p	15日月 15日月 15日月 15日月 15日月 15日月 15日月 15日月	無		京都三倫开冲	育弧側西南日本
Cs	15日日 15日 15日 15日 15日 15日 15日 15日 15日 15日	有		日局冲	 前弧側
St		有		日局沖	前弧側
DPg	1 11日間	有	前期中新世	茨城沖北部	前弧側
DPs		有	前期中新世	茨城沖北部	前弧側
Sf(PD)		有	前期中新世	茨城沖北部	前弧側
Sf	貯留層	有	前期中新世末~後期中新世	茨城沖北部	前弧側
Sf		無	鮮新世	茨城沖北部	前弧側
Cs(PD)	貯留層	無	前期中新世	茨城沖北部	前弧側
Cs	貯留層	無	前期中新世末~後期中新世	茨城沖北部	前弧側
Cm	貯留層	有	鮮新世	茨城沖北部	前弧側
Су	貯留層	無	鮮新世	茨城沖北部	前弧側
Cs	貯留層	無	鮮新世後期	宮崎沖	前弧側
Sf	貯留層	無	鮮新世後期	宮崎沖	前弧側
Sf	貯留層	無	鮮新世後期	宮崎沖	前弧側

=7 🖸	貯留層	坑井データ	堆積時期	地質解析地点	分布域
記方	遮蔽層	の有無	(年代)		
Sf-d(PD)	遮蔽層	有	後期更新世	秋田沖-本荘沖	背弧側東北日本
Sf-d	遮蔽層	無	鮮新世~前期更新世	秋田沖-本荘沖	背弧側東北日本
PD	遮蔽層	無	後期更新世	秋田沖-本荘沖	背弧側東北日本
SL/BF	遮蔽層	有	鮮新世~前期更新世	秋田沖-本荘沖	背弧側東北日本
PD+Cs(PD)	遮蔽層	無	後期更新世	秋田沖-本荘沖	背弧側東北日本
Sf-d	遮蔽層	有		佐渡西方沖	背弧側東北日本
Cm-m	遮蔽層	無		佐渡西方沖	背弧側東北日本
BF	遮蔽層	有		佐渡西方沖	背弧側東北日本
BF	遮蔽層	有	鮮新世~更新世	佐渡西方沖	背弧側東北日本
PD	遮蔽層	有		新潟沖	背弧側東北日本
Sf-d	遮蔽層	無	鮮新世~更新世初期	新潟沖	背弧側東北日本
BF	遮蔽層	無	鮮新世~更新世初期	新潟沖	背弧側東北日本
Sf-d(PD)	遮蔽層	無		酒田沖	背弧側東北日本
Sf-d	遮蔽層	無		酒田沖	背弧側東北日本
PD	遮蔽層	無		酒田沖	背弧側東北日本
SL/BF	遮蔽層	無		酒田沖	背弧側東北日本
Cs(PD)	遮蔽層	無		酒田沖	背弧側東北日本
Sf-d	遮蔽層	無		京都・福井沖	背弧側西南日本
SL/BF	遮蔽層	無		京都-福井沖	背弧側西南日本
Cs	遮蔽層	無		京都-福井沖	背弧側西南日本
BF	遮蔽層	有	前期鮮新世	能代沖	背弧側西南日本
Sf-d	遮蔽層	無		西津軽沖	背弧側西南日本
SL/BF	遮蔽層	無		西津軽沖	背弧側西南日本
Sf-d	遮蔽層	無		金沢沖	背弧側西南日本
SL/BF	遮蔽層	無		金沢沖	背弧側西南日本
Sf-d	遮蔽層	無	中後期中新世、更新世	鳥取沖	背弧側西南日本
MTDde	遮蔽層	無	後期更新世、鮮新世	鳥取沖	背弧側西南日本
SL/BF	遮蔽層	有	中後期中新世~更新世	鳥取沖	背弧側西南日本
SL/BF	遮蔽層	有		日高沖	前弧側
DPm	遮蔽層	無	前期中新世	茨城沖北部	前弧側
SL/BF	遮蔽層	有	前期中新世末~更新世	茨城沖北部	前弧側
SL/BF	遮蔽層	無	鮮新世後期	宮崎沖	前弧側

表 4.5-7 遮蔽層に区分されるファシス

(4) 地層安定性に関する整理

各地点における地層の安定性に関する情報の整理を目的に、地震の発生や活断層の分布 状況、貯留適地調査事業において解析された断層の特徴等について整理した。

① 前弧側

前弧側の北部、日高沖周辺では、日高衝突帯の衝上断層が発達し、数多くの活断層が認め られる。日高沖では、北東部の一部が衝上断層帯に位置し、3条の活構造が認められるが、 海底面からその直下にかけて、海底地すべり堆積物が広く分布することから、変形が保存さ れていない。周辺の大規模な地震として、1968年の「十勝沖地震」(M7.5)が知られる。 地質解析範囲内には、北東-南西方向の東落ち正断層が多く認められ、その多くは海底面 直下から漸新世の不整合面または基盤まで変位が認められる。漸新世の不整合面からジュ ラ紀最上部付近では、南北および東西方向の正断層が発達し、これらは断層面の角度が 60 度以上と急傾斜であることから、高野ほか(2012)¹⁾等の右横ずれ運動に伴うプルアパー ト堆積盆地群形成に関連する断層と解釈されている。なお、この正断層群は、漸新世の不整 合面より上位では認められない。その他、基礎試錐「日高トラフ」周辺の背斜軸上の第四系 では、西北西-東南東方向の正断層が多数発達する。

茨城沖北部を含む前弧側の東北日本は、太平洋プ ートの沈み込みに伴い、ほぼ東西方向 の圧縮場となっておいる。太平洋プ ートの沈み込み面に沿ったプ ート境界地震が多発 し、震源の深さは東から西へしだいに深くなる。地質解析範囲周辺で発生する地震の発震機 構は逆断層が多いが、正断層も少なからず認められる。周辺陸域には活断層と考えられる断 層が認識されており、北西・南東走向が卓越する。解析された断層は、東西性のアンチセ ティック正断層、北東-南西方向に延びる逆断層、隆起部に発達する正断層、北西-南東方 向の正断層、北東-南西方向の正断層の五つに分類される。東西性のアンチセティック正断 層は、中期中新世から後期中新世の間の短期間に伸張応力場で形成され、その後は活動停止 していたものの、第四紀になって再活動したものと推定される。北東-南西方向に延びる逆 断層は、後期中新世から鮮新世の間に活動し鮮新世以降は活動を停止したと推定される。隆 起部に発達する正断層は、隆起に伴って、頂部に生じた伸張性の局所的応力による断層と推 定される。北西-南東方向の正断層は、後期中新世から鮮新世の間に活発であり、北西延長 部は棚倉構造線の南端部にあたる等、陸域の断層との関連が示唆される。北東-南西方向の 正断層は、第四紀における重力性の断層と推定される。

前弧側の南部に位置する宮崎沖を含む日向灘周辺で発生した地震の多くは震源深度 20km 以深で逆断層センスを持つプレート境界型地震である。地質解析範囲の大部分にお いては、明瞭な活断層は認められないが、解析範囲外の南東部の沖合や陸域には複数の活断 層の存在が示唆される。また解析範囲南端部には北北西-南南東方向で西落ちの直線状の 崖が認められ、海底地形を切る活断層と推定される。宮崎層群中に認められる断層について は、そのほとんどが北東-南西系の正断層であり、最下部では一部逆断層が認められ、宮崎 層群堆積直後もしくは中期から後期鮮新世の伸張場で形成されたとされる。

2 背弧側東北日本

東北日本の日本海東縁では、比較的規模の大きい断層が集中する断層帯として、佐渡海嶺のほぼ全域を含む「佐渡海嶺断層帯」、粟島から飛島、男鹿半島を経て能代沖に達する「粟島・男鹿断層帯」が分布する。「佐渡海嶺断層帯」の断層の大部分は、日本海拡大時に形成

された正断層が鮮新世後期以降に逆断層として再活動したもので、現在の断層走向や形態 は前期中新世の正断層の形態に大きく規制されている。これらの逆断層においてこれまで 大きな地震の発生は認められていないが、佐渡海嶺東縁の逆断層は一部で海底に変位が認 められ、現在も活動的である。「粟島-男鹿断層帯」には、粟島隆起帯、酒田沖隆起帯およ び飛島-船川隆起帯が断続的に分布する。飛島-船川隆起帯は飛島から男鹿半島の西方ま で断続的に分布する隆起帯である。飛島-船川隆起帯の東側の飛島海盆および秋田沖大陸 棚には、南北から北北東-南南西走向の逆断層や褶曲が複数形成されているが、これらの逆 断層の大部分は完新世以降に活動した可能性は低く、また地震活動も比較的低調とされる。 一方、粟島隆起帯と酒田沖隆起帯は東翼が急傾斜で西傾斜の高角度逆断層によって切られ る背斜構造群からなる。それらの逆断層は第四系を変位させており、現在も活動的である可 能性が高い。特に粟島隆起帯は、1964 年に発生した新潟地震の震源域にほぼ一致し、これ らの高角度逆断層は過去 200 万年から 300 万年の間に 1,500 m 以上の変位を生じさせてい る。東北日本の日本海東縁部で発生した大規模な地震は、1833年の「庄内沖地震」(M7.7)、 1939年の「男鹿地震」(M6.8)、1964年の「男鹿半島沖地震」(M6.9)、1964年の「新 潟地震」(M7.5)、1983 年の「日本海中部地震」(M7.7)および 2007 年の「新潟県中越 沖地震」(M6.8)等が知られる。一方で、日本海中部地震と庄内沖地震の震源域の間に挟 まれた海域や新潟沖大陸棚南東部から佐渡海盆北東部付近では、過去に大きな地震の発生 は確認されておらず、活構造の分布密度が相対的に低い。

背弧側東北日本で解析された断層は、リフト期に発達した正断層、その後の圧縮応力場に おけるインバージョンテクトニクスによる逆断層、構造頂部付近に発達する小規模な正断 層の大きく三つのタイプに分けられる。リフト期の正断層の多くは、その後の鮮新世以降の インバージョンテクトニクスで逆断層として再活動するが、一部は反転せず正断層として 残っている。これらの断層は北東-南西もしくは北北東-南南西方向に延び、多くが西方向 に傾斜する。一部の逆断層は海底面付近に達し、変形が海底面に及んでおり、活断層として 認識されている。また背斜構造の頂部から翼部にかけて発達する小規模な正断層は、イン バージョンテクトニクスに伴う局所的な引張応力で発達したと考えられる。

③ 背弧側西南日本

西南日本の日本海側では、1963年の「越前岬沖地震」(M6.9)、2004年の「鳥取県西部 地震」(M7.3)、2007年の「能登半島地震」(M6.9)等の大規模な地震の発生が知られて いる。陸域や沿岸域にはいくつかの活断層が知られ、後期更新世以降の活動および変位を否 定できない断層も多い。過去 100 年間に発生した地震の多くも陸域浅部を震源とする。京

4 - 119

都府の沖合でも地震の頻発帯が見られるが、震源の深さは 300~700 km である。

背弧側西南日本で発達する断層は、主に中新世に活動した北東・南西および東西方向に延 びる逆断層と、鮮新世以降に特徴的な正断層に区分できる。逆断層は変位量が大きく、背斜 構造を形成し、鮮新世以降の地層の形成や分布範囲に影響を与える。正断層は、変位量は少 ないが、背斜直上や堆積盆地の中心部等で多く発達する。鮮新世以降の正断層群は、杉山ほ か(2013)²⁾によれば、横ずれ断層とされている。

4.5.2 堆積システムモデルの検討

上述の整理結果を踏まえ、前弧側、背弧側東北日本、および背弧側西南日本における堆積 システムモデルを作成するにあたり、代表的な堆積環境を有すると考えられる、茨城沖北部、 秋田沖・本荘沖、および鳥取沖の3地点を堆積システムモデルの詳細検討地点として選定 した。選定理由を以下に示し、(1)~(3)に各地点における堆積システムモデルの検討結果を 示す。

1) 前弧侧(茨城沖北部)

3D 探査データが取得されていることに加え、海水準変動や構造運動の影響を受け堆積環境の変遷が著しく、多くのファシスが認定されていることから、前弧側 (太平洋側)における堆積システムの一例として茨城沖北部を選定した。

2) 背弧側東北日本(秋田沖·本荘沖)

貯留適地調査事業において多くの検討がなされており、3D 探査データも多く存在し、解析範囲が広い。東北日本背弧堆積盆地の堆積システムを広域にとらえることが可能と考え、背弧側東北日本(東北日本の日本海側)における堆積システムを代表する地点として秋田沖・本荘沖を選定した。

3) 背弧側西南日本(鳥取沖)

鳥取沖から金沢沖にかけては、東北日本の日本海側と比べ構造変形が激しく、火 成活動の影響も大きい地域である。鳥取沖では、3D 探査データを用いた解析に よって火成活動の影響等が明らかになっていることから、背弧側西南日本(西南 日本の日本海側)における堆積システムの一例として鳥取沖を選定した。

(1) 前弧側

茨城沖北部の周辺の陸域については、安藤(2011)³⁾、柳沢・安藤(2020)⁴⁾により堆 積環境が明らかにされている。図 4.5-6 に示すように、M1 から M4 ユニットは前期中新世 の地層(陸域の湯長谷層群)に、M5 から M6 ユニットは中期中新世の地層(多賀層群)に、 PL1 から PL4 ユニットは中期中新世末期から鮮新世の地層(日立層群)から更新世の地層
に、それぞれがおおむね相当する。

M1 から M4 ユニットは前期中新世という以外に詳細な年代が明らかにされていないた め、陸域の湯長谷層群のどの層と対比できるかは明瞭ではないが、沖合に位置する調査地点 のほうが相対的に深い環境であったと考えると、陸上環境のファシス DP が分布する M1、 M2 ユニットは河川環境が示されている椚平層に、浅海環境のファシス Cs(PD)、Sf-p(PD)、 PD が分布する M3 ユニットは、外浜環境が示されている五安層に対比される。また深海環 境である M4 ユニットは上部斜面以深の環境が示されている水野谷層以降に対比される。 M4 ユニットの上限は多賀層群の基底までか、多賀層群の最下部に含まれる高久層の上限ま でかについては対比が明瞭ではないが、深海環境を示す M4 ユニット堆積後にハーフグラー ベンの形成があり東方の中央隆起帯等の高まりでは顕著に削剥があることから、陸域で不 整合があったとされている多賀層群の基底が M4 ユニットの上限にあたると推定した。各 ユニットの堆積システムの検討には、これらの陸域での堆積環境も考慮した。M5 ユニット から M6 ユニットにかけては、M4 ユニット堆積後の時期に形成されたハーフグラーベンの ベーズンの埋積が進む。このため構造形成が活発ではない休止期にあったと推定した。

茨城沖北部における堆積システムの変遷として、M1 ユニットから M4 ユニットへ深海化 しデルタシステムから海底ランプシステムへと変遷するのは、伸張期のグラーベンの沈降、 および同時期に示される 20 Ma から 16 Ma へかけての長いサイクルでの海水準の上昇の 両方の影響がある。各ユニットの各システムにおける貯留層の発達を促進するデルタの前 進はより短い数十万年サイクルの汎世界的海水準変動の海水準低下期に相当する。

PL2 ユニットから PL4 ユニットは圧縮期の構造形成が顕著で、海底扇状地システムに変化し、砕屑物の供給が増加したのは構造運動の影響がより強いためと考えられる。その中で、 各ユニットの貯留層ファシスの発達と、PL4 ユニット下部の遮蔽層の発達、PL4 ユニット 上部以降は再び砕屑物の供給が増えて蛇行チャネルが発達する点については、それぞれ海 水準変動の海退期および海進期に影響されている。

4-121



図 4.5-6 茨城沖北部 堆積システムの変遷

(2) 背弧側東北日本

秋田沖・本荘沖の地質解析においては、2D 探査データの範囲も含めて広くファシス分布 が解釈されている。これは 3D 探査データに基づくファシス区分を、2D 探査データ範囲に 適用した結果である。秋田沖・本荘沖の堆積システムモデルの検討では、詳細なファシスの 分布を解析できる 3D 探査データの範囲に絞って詳細検討をった。周辺地域では、桂根相の 岩相分布等については掃部ほか(1992)⁵⁾が、陸上の堆積環境については佐藤ほか(2012) ⁶⁾ が検討を行っており、これらを参考とした。

図 4.5-7 に秋田沖・本荘沖の堆積システムの変遷を示す。堆積システムは桂根相区間から 上部天徳寺層まで、スロープエプロンシステムと考えられ、背弧側東北日本の圧縮期におい て構造運動が活発になるのとほぼ同時期に開始した桂根相の貯留層ファシス Sf-p の堆積が、 構造運動が一時的に弱まったと考えられる下部天徳寺層から上部天徳寺層区間にかけて 徐々に減少し、再び強圧縮期に入り構造運動が再活動し始めた笹岡層下部の区間にデルタ からプロデルタシステムとなり貯留層ファシス Sf-p(PD)の堆積が促進されたと推定される。 このため、数十万年から 100 万年以上の長い期間で、堆積システムの変化や砕屑物の供給 量等の貯留層の分布の変化に影響を与えているのは主に構造運動である。一方で、ユニット 内における変動は、より短い期間であり、汎世界的海水準の変動の影響と考えられる。特に、 更新世に入ってから徐々に活発化した 10 万年周期の海水準変動は、下位区間に比べてより 短い時間サイクルで貯留層、遮蔽層のセットを形成する。



図 4.5-7 秋田沖・本荘沖 堆積システムの変遷

(3) 背弧側西南日本

鳥取沖は、公表文献等において対象となる時代の陸域、海域の堆積環境の情報がない。こ のため、3D 探査範囲内の解釈と地域の構造に関する文献に基づき検討を行った。これまで の堆積相解析では、貯留層となり得るファシスとしては弾性波探査の強振幅範囲を対象に 抽出していたが、鳥取沖は褶曲および不整合で弾性波探査の振幅が弱まる部分があり、振幅 だけに着目したファシスの分布推定は難しいため、堆積システムの構成要素において想定 される分布形態も考慮してファシス分布を推測することとした。

図 4.5・8 に示すように、鳥取沖は各ホライズンの年代は定かではないが、圧縮期の開始時 期よりやや先行する時期に貯留層ファシスである Sfp が火山岩とともに分布し、圧縮期に 入ってから鮮新世初期の褶曲、不整合が形成される前までは、引き続きスロープエプロンシ ステムでファシス Sf が分布した。年代が定かではないため汎世界的海水準変動との関係は 不明瞭だが、海退期のデルタの発達に伴い海域の Sfp が発達した。中新世後期に入ると、 MTD が分布し構造運動が活発になる。鮮新世に入ってからは、南部の陸に近い範囲では顕 著に隆起しながらのプログラデーションおよびスカーが観察されることから、南北圧縮の 構造運動に伴った MTD が発達した。遮蔽層は、汎世界的海水準の上昇の影響が大きいと解 釈できる海進期に形成されたと考えられる。更新世に入り、南部の陸に近い範囲でのプログ ラデーションは、上方に累層するアグラデーショナルな傾向も伴い、陸棚へのデルタの前進 に伴うデルタフロント DF が保存されるようになった。南部の陸に近い範囲で推測されて いる DF の砂は、北に向かって深度を増すため、沖合の範囲の貯留層として期待されてい る。



図 4.5-8 鳥取沖 堆積システムの変遷

4.5.3 各地域の代表的な堆積システムモデル

前弧側、背弧側東北日本、背弧側西南日本の代表として茨城沖北部、秋田沖・本荘沖、鳥 取沖を選定して詳細検討を行った。この結果を受けて、各地点における特徴をもとに、各地 域の代表的な堆積システムモデルを検討した。いずれの地域においても、おおむね地質時代 ごとに大きな堆積環境の変化があり、その中で海進期、海退期による違いを区分した。

(1) 前弧側の代表的なシステムモデル

図 4.5-9 の上段に、前弧側の古第三紀から中新世初期にみられる代表的なデルタから浅海 システムのシステムモデルを示す。海退期はデルタおよびデルタ成のフロンタルスプレイ が前進し、分布範囲を拡げる。一方、海進期はデルタおよびデルタ成のフロンタルスプレイ が後退し、また砕屑物の供給の減少に伴い貯留層ファシスの分布も小さくなる傾向にある。 図 4.5-9 の下段に、前弧側の中新世以降にみられる代表的な海底ランプシステムのシステム モデルを示す。海退期はデルタおよびフロンタルスプレイが前進し、分布範囲を拡げる。一 方、海進期はデルタおよびフロンタルスプレイが後退し、また砕屑物の供給の減少に伴い貯 留層ファシスの分布も小さくなる傾向にある。



図 4.5-9 前弧側 デルタ~プロデルタシステムのシステムモデル

(2) 背弧側東北日本の代表的なシステムモデル

図 4.5-10 に背弧側東北日本の代表的なデルタからスロープエプロンシステムのシステム モデルを示す。通時的におおむね同じ位置の複数のチャネル系からの供給があり、海退期は デルタおよびフロンタルスプレイが前進し、分布範囲を拡げる。一方、海進期はデルタおよ びフロンタルスプレイが後退し、また砕屑物の供給の減少に伴い貯留層ファシスの分布も 小さくなる傾向にある。



図 4.5-10 背弧側東北日本 デルタ~スロープエプロンシステム

(3) 背弧側西南日本の代表的なシステムモデル

図 4.5-11 に背弧側西南日本地域にみられる代表的なデルタからスロープエプロンシステ ムモデルを示す。背弧側東北日本と同様に、通時的におおむね同じ位置の複数のチャネル系 から供給があり、海退期はデルタおよびフロンタルスプレイが前進し、分布範囲を拡げる。 一方、海進期はデルタおよびフロンタルスプレイが後退し、また砕屑物の供給の減少に伴い 貯留層ファシスの分布も小さくなる傾向にある。背弧側東北日本と貯留層の発達時期が異 なるため、火山岩を伴う。



図 4.5-11 背弧側西南日本 デルタ~スロープエプロンシステム

4.5.4 貯留層・遮蔽層として考えられる堆積システム・堆積時期の考察

各地点の貯留層、構造イベントおよび海水準変動カーブを示した図 4.5-6〜図 4.5-8 に基づき、時間、空間的な堆積システムおよび貯留層、遮蔽層の発達を考察する。

(1) 前弧側

前弧側全域となると範囲が広いため貯留層の発達時期等は必ずしも同じでない。ここで は代表とした茨城沖北部を主に用いて考察する。中新世初期から中期にかけて横ずれの伸 張場で形成された海盆地域で、陸域のデルタシステムから海域の海底ランプシステムまで、 海盆の沈降と海水準の上昇のおそらく両方に伴い深化していき、その中で各ユニット内で はより短い数十万年サイクルでの汎世界的海水準変動の海退期に、デルタの前進により貯 留層ファシスの発達が促進されたと推定される。遮蔽層が発達している時期は、汎世界的海 水準変動はあまり顕著に高い時期ではなく、構造運動が穏やかな時期に砕屑物の供給が減 少して BF の泥質堆積物で埋積されたと推定される。鮮新世以降は、圧縮期に入り、堆積シ ステムが海底扇状地システムに変化する。海底谷の発達、活発な砕屑物の供給と供に、構造 運動によって沈降する海盆を、東から西に Sf-p によって埋積している。Takano(2017)⁷⁾ で は、日本列島東側の各前弧堆積盆地についてレビューを行っている。それによると三陸沖前 弧堆積盆地は漸新世不整合後の漸新世まで、常磐沖堆積盆地(茨城沖北部はこの最南端に含 まれる)では漸新世不整合および中新世不整合後の前期中新世まで、デルタ/浅海システム が発達し、漸新世不整合後のトレンチ方向への前弧領域の全体的な傾動による沈降で徐々 に深い海洋スロープシステムへ移行することが示されている。このため、不整合の頻度や深 海化するタイミングは地域により違いはあるが、三陸沖前弧堆積盆地は茨城沖北部と比較 的似たデルタシステム、海底ランプシステムの貯留層を含んでいる。一方、房総、東海沖-

熊野灘、四国沖、宮崎沖前弧堆積盆地は、古第三紀までの付加体プリズムを伴い、前期中新 世以降海底扇状地システムが発達しており、茨城沖北部とは異なる構造発達史を示す。

(2) 背弧側東北日本

秋田沖・本荘沖をはじめとして、東北日本背弧堆積盆に位置する地域では鮮新世初期(圧 縮期) からのインバージョンテクトニクスに伴った貯留層区間が分布している。 構造運動開 始に伴う複数河川系の供給源からのスロープエプロンシステムによる砕屑物供給の増加に より、貯留層ファシスである Sf-p が発達したことが示唆される。例外として、西津軽沖に ついては他地点に先駆けて少し早い伸張期から貯留層ファシスが発達する。佐渡西方沖に ついては、西南日本背弧堆積盆との境界付近であり、圧縮がより早く開始したことがわかっ ており、このため貯留層ファシスの発達も早くなっていると考えられる。東北日本背弧堆積 盆では、遮蔽層はおおむね鮮新世後期から更新世初期に分布している。秋田沖・本荘沖では、 この時期に一時的に構造形成が弱まった。汎世界的海水準変動による海水準上昇期に砕屑 物供給が減少し、広く SL/BF が拡がり遮蔽層を形成した。更新世に入って、秋田沖・本荘 沖の笹岡層、新潟沖の灰爪層ともに、デルタからプロデルタシステムの貯留層の堆積が開始 しており、強圧縮期に入ってからの砕屑物供給の増加に起因している。一方で貯留層と遮蔽 層の形成サイクルは鮮新世までの期間よりも短くなっている。これは更新世に入って活発 になった 10 万年周期の海水準変動による海退期から海進期の影響である。東北日本背弧堆 積盆については、圧縮期に入ったあとの鮮新世、強圧縮期に入る更新世初期以降の海退期に 貯留層が発達する。また、構造運動は地点により一様ではないが、秋田沖・本荘沖や新潟沖 の例のように構造運動が弱まる鮮新世後期から更新世初期の海進期や、更新世初期以降の 汎世界的海水準変動の海進期において砕屑物の供給が弱まり遮蔽層が発達している。

(3) 背弧側西南日本

構造運動に関して地域差が比較的あることが知られており、貯留層の形成時期について 一般化はできないが、鳥取沖を代表として考察する。西南日本背弧堆積盆は、東北日本背弧 堆積盆よりも圧縮が早く始まる傾向にあり、鳥取沖でも中期中新世に圧縮が開始される。鳥 取沖の貯留層区間は、圧縮期に入る前の伸張場の時期に火山岩を伴って貯留層堆積が開始 しており、圧縮期に入ってからも火山岩の発達は弱まるが貯留層の堆積は継続する。京都一 福井沖も同様である。中期中新世から後期更新世にかけての鳥取沖では、おそらく同じ河川 系(複数)から供給されるスローエプロンシステムにおいて Sf-p が発達したと考えられ、 その発達の促進はデルタが前進するような海退期と推測される。金沢沖および京都一福井 沖についても、中期中新世に Sf-p が発達しており、また後期中新世は後期中新世末の褶曲 形成、不整合による削剥を受けており、構造発達とそれに影響される堆積システムは比較的 似たシステムである。広域の褶曲形成、不整合で知られる後期中新世末/鮮新世境界以降は 圧縮が強化され、鳥取沖では 3D 探査データ範囲のプログラデーションと陸棚縁の崩壊であ るスカーが示すように陸域の隆起に伴い、陸棚から斜面が不安定になり MTD の堆積が主体 となったと考えられる。更新世に入ってから、圧縮の向きは南北から北西・南東方向に向き を変え、鳥取沖では鮮新世までの削剥を伴うプログラデーションではなく上方に累重しな がら前進する傾向に変化しており、陸棚に前進してきたデルタが保存されるようになった ため、デルタフロント DF が貯留層ファシスとして期待される。一般化は難しいが、西南日 本背弧堆積盆については、中期中新世から後期中新世の伸張場から南北圧縮場での構造と、 汎世界的海水準変動の両方に影響を受ける海退期に貯留層の発達が見込まれる。遮蔽層の 発達時期はおのおの異なり、構造運動の休止期や汎世界的海水準変動の海水準上昇期等の 海進期に遮蔽層の発達が見込まれる。鮮新世以降では、圧縮が強まる過程で海退が進むが、 堆積空間が確保されている場合にはデルタシステムに関連した Sp(PD) や DF が貯留層と して分布する。

【参考文献】

- 高野修,伊藤康人,楠本成寿,2012,三陸沖~道央~道北古第三系前弧~横ずれ堆積 盆群の形成プロセス・形態変遷と堆積システム(要旨).日本地質学会第119年学術大 会講演 要旨, p.24.
- 2) 杉山雄一、山本博文、村上文敏、宇佐美琢哉、畑山一人、島崎裕行、"柳ケ瀬・関ケ原 断層帯主部北方延長域(坂井市沖〜福井市沖)における活断層の分布と活動性"、活断 層・古地震研究報告、13、p.145-185 (2013)
- 3)安藤寿男、柳沢幸夫、小松原純子、"常磐地域の白亜系から新第三系と前弧盆堆積作用"、 地質学雑誌、第 117 巻、p 49-67 (2011)
- 4) 柳沢幸夫、安藤寿男、"茨城県北茨城・高萩地域の新第三系多賀層群と日立層群:岩相 層序と珪藻化石層序から復元した陸棚及び陸棚斜面堆積物・海底谷埋積物・海底地す べり痕埋積物の複合体"、地質調査研究報告、第71巻、第3号、p85-199(2020)
- 5) 掃部満、加藤進、生路幸生、"桂根相の堆積環境"、地質学論集、第 37 号、p 239-248 (1992)
- 6) 佐藤時幸、佐藤伸明、山崎誠、小川由梨子、金子光好、"石灰質ナンノ化石からみた秋田地域の新第三紀末~第四紀古環境変動"、地質学雑誌、第118巻、第2号、 p 62-73 (2012)

7) Osamu Takano,Intermittent formation, sedimentation and deformation history of Cenozoic forearc basins along the northwestern Pacific margins as an indicator of tectonic scenarios," Dynamics of Arc Migration and Amalgamation: Architectural Examples from the NW Pacific Margin", Yasuto Ito, Intechopen, Chapter1, p1-24

4.6 地層の破壊に関する基本的事項の整理

4.6.1 業務目的

CO2の圧入・貯留に関連した地層の安定性を評価するためのジオメカニクス特性評価は、 当該サイトでの調査井掘削により得られるデータを基に実施することが想定されている。 このため、調査井掘削時の調査事項はこのジオメカニクス特性評価を考慮して決定する必 要がある。本業務において、調査井の仕様策定に資するジオメカニクス特性評価に関わる基 本的な事項を整理した。

4.6.2 基本的な地層の破壊メカニズム

岩石の破壊に関する 3 種類のメカニズムを(1)に、坑井の掘削や仕上げに伴う地層破壊を (2)に、CO₂ 圧入によって起こりうる地層の破壊との関係を(3)に記載する。

(1) 基本的な岩石の破壊メカニズム

応力と間隙圧力

地下の地層を形成する岩石には、あらゆる方向から応力が作用する。それらは、垂直応力、 最大水平応力、最小水平応力の三つの主成分によって表現することができる(図 4.6-1)。 垂直応力は主に、地表から対象深度までのすべての地層の重量を累積した荷重(以降、上載 荷重とよぶ)を起源とする。上載荷重により垂直方向に力を受けた岩石は水平方向に広がろ うとする(図 4.6-3 左)。この水平方向に広がろうとする力が水平応力の起源である。さら に、地球表面を覆うプ ートの移動すなわちプ ートテクトニクスに伴う力も水平応力の 一部となる。水平応力が方位によって異なる時、これが最大となる方向の水平応力が最大水 平応力、最小となる方向の水平応力が最小水平応力である。三つの主応力によって形成され る応力場は、主応力間の大小関係が定める断層の型によって体系化される。これを応力場 (stress regime)ともよぶ。垂直応力に着目して、それが最大主応力となる応力場を正断層 型、中間主応力となる応力場を横ずれ断層型、最小主応力となる応力場を逆断層型とよぶ (図 4.6-2)。また、岩石に作用する応力の大きさと、その結果としての歪(ひずみ)の関 係から、岩石の変形に関する重要な特徴量(変形係数)が定義される(図 4.6-3)。

岩石は、いろいろな種類の鉱物と、それらの隙間(間隙、孔隙)から構成される多孔質媒体である(図 4.6-4)。間隙内は通常、水や油・ガス等の流体で満たされる。岩石は、間隙内から流体の圧力を受けることとなる。この間隙圧力は流体の自重を起源とするが、浸透性の低い岩石(非排水条件)の場合は流体も上載荷重の一部を支えることとなり、間隙圧力は流体自身の重量(静水圧)以上に上昇することがある。このことを異常高圧とよぶ。

岩石に作用する応力は、鉱物粒子と間隙流体によって支えられるが、このうちの鉱物粒子

が支える応力を有効応力という。有効応力と区別するため、岩石に作用する応力を全応力と よぶことがある。有効応力と全応力の関係は次式で表される。間隙圧力は、応力と反対の方 向に作用する。

$$\sigma'_{\rm v} = \sigma_{\rm v} - P_{\rm p} \tag{3.1}$$

$$\sigma'_{\rm H_{max}} = \sigma_{\rm H_{max}} - P_{\rm p} \tag{3.2}$$

$$\sigma'_{h_{\min}} = \sigma_{h_{\min}} - P_p \tag{3.3}$$

- σ'_v : 垂直有効応力
- *σ*_v : 垂直(全)応力

*P*_p : 間隙圧力

 $\sigma'_{H_{max}}$:最大水平有効応力

 $\sigma_{H_{max}}$:最大水平(全)応力

- $\sigma'_{h_{min}}$:最小水平有効応力
- $\sigma_{h_{min}}$:最小水平(全)応力



図 4.6-1 岩石に作用する主応力の概念図







図 4.6-3 岩石の変形の概念図



図 4.6-4 多孔質な岩石における間隙圧力の概念図

応力下での岩石の破壊

岩石が支えることのできる最大の応力を強度とよぶ。強度を超える応力が作用した時、岩石は破壊する。すなわち、岩石の破壊の有無は、応力と強度の大小関係によって決まることとなる。本項では、岩石の破壊に関する三つの様式、すなわち引張破壊、せん断破壊、圧密について記述する。図 4.6-5 にこれらの破壊様式の概念図を示す。なお、これらの概念図は 垂直応力が最大主応力となる正断層型応力場を想定して描いたものである。



図 4.6-5 岩石の破壊様式の概念図

a. 引張破壊

地下の応力は基本的に圧縮の方向に働くが、人為的な流体圧入によって間隙圧力を上 昇させた時等、一時的に間隙圧力が全応力を上回って有効応力が負となる場合がある。こ の時、岩石には見かけ上の引っ張る力が働く。引張応力が岩石の強度(引張強度)を超え ると引張破壊が発生する。(3.1)~(3.3)式が示すとおり、間隙圧力はすべての方位に等方的 に作用するため、まず初めに最小主応力が引張応力場となる。引張亀裂の亀裂面は最小主 応力に直交する(図 4.6-5(a))。

深度数千 m にある岩石に作用する応力の大きさに比して、岩石の引張強度は十分に小

さいため、実用上はこれを無視して、有効応力が負になる時に引張破壊が発生すると考える場合が多い。

b. せん断破壊

岩石に作用する応力を考える際に、ある一方向からの応力が掛かっている場合、その応 力と同一線上で180°反対方向から別の応力が掛かった場合は、岩石には圧縮の応力がか かる。一方で、ある一方向からの応力に対して、別の応力が反対方向から同一直線上から 外れた位置でかかった場合には、内部には岩石を捻じろうとする応力が発生する。これを せん断応力という。せん断応力が岩石のせん断強度を超えた時にせん断破壊が発生する。

岩石のせん断強度は、斜面を滑り落ちようとする物質を支える摩擦力に例えることが できる。斜面に置かれた物質に作用する重力は、斜面に垂直な成分(法線成分)と平行な 成分(接線成分)に分けることができる(図 4.6-6)。この法線成分に斜面固有の摩擦係 数を乗じたものが摩擦力であり、物質が滑り落ちることを妨げる力である。一方、接線成 分は物質を滑らせようとする力である。滑らせようとする力が摩擦力を越えた時、物質は 斜面を滑り落ちる。これがせん断破壊に相当する。

せん断破壊が発生するとき、その破壊面に作用する応力は法線応力(σ_n)とせん断応力 (τ)に分けられる(図 4.6-7)。破壊面の摩擦係数(coefficient of internal friction)を μ とした時、次式の条件でせん断破壊が発生する。

$$\tau > \mu \sigma_{\rm n} + C \tag{3.4}$$

ただし、Cは法線応力が0の時のせん断強度であり、粘着力(cohesion)と呼ばれる。 また、摩擦係数の逆正接が内部摩擦角であり、角度の単位を持つ。摩擦係数または内部摩 擦角および粘着力を強度定数と呼び、岩石試験等によって推定される。最大主応力を σ_1 、 最小主応力を σ_3 とした時、法線応力 σ_n およびせん断応力 τ は、それぞれ次式のとおり記述 される。

$$\sigma_n = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2} + \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2} \cos 2\theta \tag{3.5}$$

$$\tau = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2} \sin 2\theta \tag{3.6}$$

θ :最大主応力の方向と法線の為す角度

間隙圧力が働く場合には、上式の応力は有効応力を用いることとなる。その場合、法線 応力が低下してせん断強度(摩擦力)が下がるため、せん断破壊が起こりやすくなる。



図 4.6-6 斜面に置かれた物質に作用するカ



図 4.6-7 破壊面に作用する力と角度の定義

c. 圧密

岩石は鉱物と孔隙によって構成される多孔質媒体である。岩石に作用する応力が限界 を超えて増加した時、岩石の内部の弱部すなわち間隙が崩壊し、鉱物粒子の再配置が起こ る。このことによって間隙体積が減少し、岩石全体の体積も小さくなる。これを圧密とよ ぶ。圧密は塑性変形を含む不可逆な変形である。したがって、圧密を引き起こした応力が 取り除かれても、岩石は完全には元の状態に戻らない。

図 4.6-8 は岩石試料に作用する応力(封圧)を増加させながら孔隙率を測定する試験に おいて、圧密が生じた時に得られるデータを模式的に示したものである。封圧の上昇(載 荷)とともに試料が圧縮されて孔隙率は線形的に低下するが、図中の P 点に達すると孔 隙率変化の傾きが大きくなる。封圧が P 点までの変形は弾性変形であり、P 点より高い 封圧では弾性変形と塑性変形が同時に起こる。その後、封圧を下げる(除荷)と弾性変形 による歪(ひずみ)は回復するが、塑性変形による歪は回復せず、孔隙率は初期状態より も小さい値を示すこととなる。P 点の位置は岩石試料が過去に経験した最大の封圧によっ て決まる。

石油や天然ガス等の貯留層の減退に伴い、間隙圧力の低下/有効応力の増加によって 圧密が起きる可能性がある。圧密は不可逆な変形であるため、間隙圧力を再び初期圧力ま で上昇させたとしても、貯留層は完全には元の形状に戻らないと考えられる(弾性変形分 のみが回復する)。特に重要なこととして、地下の岩石の形状が変化すると貯留層および その周辺の応力場も変化し、上述の引張破壊やせん断破壊を誘発する可能性もある。



図 4.6-8 圧密が起こった時の孔隙率の推移

③ モール円による表現

(3.4)式が示すせん断破壊の発生条件は、横軸を法線応力、縦軸をせん断応力とする平面に おいて、図 4.6-9 に示す直線より上方の領域に相当する。せん断破壊の基準となるこの直線 を「クーロンの破壊線」と呼び、その傾きが摩擦係数、切片が粘着力である。摩擦係数µの 逆正接が内部摩擦角φである。

(3.5)式および(3.6)式に示したとおり、せん断すべり面に作用する法線応力σ_nおよびせん 断応力τは最大主応力とすべり面の垂線がなす角度θの関数となる。任意の角度θに対応する 法線応力およびせん断応力を描くと、図 4.6-10 のように最大主応力と最小主応力を両端と する円となる。これを「モールの応力円」と呼ぶ。モールの応力円を利用すると、図 4.6-9 のように主応力が定められた時に岩石内部のすべり面(角度θ)に作用する法線応力および せん断応力は、モール円上の対応する点からそれぞれ横軸および縦軸に投影された値とし て得ることができる。

モールの応力円とクーロンの破壊線を利用すれば、岩石内部のすべり面におけるせん断 破壊の有無を判定することができる。図 4.6-11 のように、横軸を主応力(有効主応力)、 縦軸をせん断応力とする領域にモールの応力円とクーロンの破壊線を重ねて表示した時、 両者が接する場合にせん断破壊が発生すると判定される。これをモール・クーロンの破壊規 準と呼ぶ。

モール・クーロンの破壊規準を利用すると、岩石の力学的な特性を理解しやすい。まず、 最小水平応力の3が 0 すなわちモール円の左端が原点に触れた状態においてせん断破壊をお こす時の最大主応力(モール円の右端)は一軸圧縮強度(unconfined compressive strength) を表す。一軸圧縮強度は UCS とも記述され、岩石の強度を表す指標としてしばしば利用さ れる。クーロンの破壊線の切片が粘着力を表すことはすでに述べたが、図 4.6-9 から粘着力 と UCS の間には密接な関係があることを理解することができる。両者の関係は次式で表現 される。

$$C = \frac{\text{UCS}\left(1 - \sin\phi\right)}{2\cos\phi} \tag{3.7}$$

C : 粘着力

UCS :一軸圧縮強度

また、ここでは圧縮応力を正としており、応力が負となる領域は引張応力に対応する。 クーロンの破壊線が横軸と接する位置(せん断強度が 0 となる位置)は岩石の引張強度を 表す。間隙圧力が上昇する等、有効な最小主応力が引張強度に達した時、引張破壊が発生す ると判定される。



図 4.6-9 クーロンの破壊線



図 4.6-10 モールの応力円



図 4.6-11 モール・クーロンの破壊規準

(2) 坑井掘削・仕上げにおける破壊

① 坑壁破壊

坑井の掘削に伴い、ブレークアウト (breakout) や DITF (drilling induced tensile failure) と呼ばれる坑壁破壊が起こり得る。ブレークアウトとは、後述する坑壁面での応力集中の結 果、せん断応力が岩石強度を超えて起こるせん断破壊である。DITF とは坑内の圧力が最小 主応力を超えて(引張応力場となって)発生する引張破壊である。これらの破壊は坑壁画像 データ上で観察され (Zoback(2010)¹⁾参照)。ブレークアウトの方位は最小水平応力、DITF の方位は最大水平応力の方位を示すことが知られており、応力評価のための貴重な情報と なる。

坑井が掘削されるとその周辺に応力集中が起こる。坑壁周辺に作用する応力を図 4.6-12 に示す。それらの応力の大きさは、垂直井の場合、次式で記述される。

$$\sigma_{\theta\theta} = \sigma_{h_{min}} + \sigma_{H_{max}} - 2(\sigma_{H_{max}} - \sigma_{h_{min}})\cos 2\theta - 2P_0 - \Delta P - \sigma^{\Delta T}$$
(3.8)

$$\sigma_{rr} = \Delta P \tag{3.9}$$

$$\sigma_{zz} = \sigma_v - 2\nu (\sigma_{H_{max}} - \sigma_{h_{min}}) \cos 2\theta - P_0 - \sigma^{\Delta T}$$
(3.10)

 $\sigma_{\theta\theta}$:接線応力 (hoop stress)

- σ_{rr} : 半径応力 (radial stress)
- σ_{zz} : 軸応力 (axial stress)
- θ :最大水平応力の方位
- ΔP : 間隙圧力と坑内圧力の差

σ^{ΔT} : 熱応力

上式からわかるとおり、接線応力と軸応力は方位に依存する。方位による応力の大きさの 変化を示すと図 4.6-13 の例のようになる。ただし、ここでは最大水平応力の方向は 0° お よび 180°である。この場合は、0°および 180°の方向で接線応力が最小となり、この方 向の接線応力を間隙圧力が超えた時、引張破壊として DITF が発生する。一方、90° およ び 270°の方向では接線応力が最大となり、最小主応力となる半径応力との差、すなわちせ ん断応力が最大となる。つまり、せん断応力が岩石のせん断強度を最初に超えるのは 90° および 270°の方向であり、この方向からせん断破壊としてブ ークアウトが発生する。







図 4.6-13 各応力の方位依存

2 熱による亀裂

(3.8)式および(3.10)式に示したとおり、坑壁に沿う接線応力および軸応力には坑内流体の 温度と地層温度の違いに起因する熱応力 $\sigma^{\Delta T}$ が付加される。この熱応力は圧縮にも引張にも なり得るが、多くの場合、坑内流体の温度は地層温度よりも低く引張応力として作用し、接 線応力および軸応力を全方位において一様に低下させる。この結果として DITF を発生し やすくするが、通常の石油井においては、その影響はわずかである。一方、地熱井のように きわめて大きい温度差が想定される場合には、顕著な影響を与える可能性もある。熱応力は 熱移動に伴って時間変化するが、定常状態に達した後の(接線応力に付加される)熱応力は 次式で与えられる。

$$\sigma_{\theta\theta}{}^{\Delta T} = \frac{\alpha_t E \Delta T}{1 - \nu} \tag{3.11}$$

α_t : 岩石の熱膨張係数

E : ヤング率

ν :ポアソン比

ΔT : 温度変化

熱膨張係数は、石英で約10⁻⁵℃、その他の多くの鉱物では約10⁻⁶℃である。したがって、 (3.11)式に与える熱膨張係数は、石英の含有量に応じて、10⁻⁶~10⁻⁵℃の間の値を取ること となる。

③ 水圧破砕

水圧破砕は、浸透性の低い地層に流体の流路となる亀裂を形成し、浸透性の改善と生産性 の向上を図るための技術であり、シェールガス・シェールオイルの開発やフラクチャー型貯 留層の開発に利用される。パッカーを用いて坑井の一部を他の区間から隔離し、そこに流体 を圧入することで間隙圧力を上昇させる。やがて間隙圧力が主応力を超えると引張応力場 となり、岩石の引張強度を超えたところで引張破壊が発生する。岩石の引張強度は、数千 m の深度における主応力の大きさに比べて無視できるほど小さいため、引張亀裂が発生した 時の圧力は主応力の大きさに等しいとみなすことができる。このことを利用して、水圧破砕 技術は最小主応力の推定にも用いられる。

間隙圧力は等方的に増加するため、引張破壊の発生は最初に引張応力場に転じることと なる最小主応力によって決定される。坑井から離れて 4.6.2 項(2)①に記述した応力集中の 影響が及ばない位置では、最小主応力に直交する方向の亀裂が形成される。一方、坑井周辺 では 4.6.2 項(2)①に記載した応力集中が起こり、(3.8)式に示す接線応力が最小となる方向 に DITF が発生する。水圧破砕による亀裂の発生と DITF の発生は同じ機構で起こるが、 DITF は地層破壊圧すなわち最小主応力より低い圧力でも発生する。

応力測定を目的とする水圧破砕では、流体を定流量で圧入し、亀裂形成を確認後に圧入を

4 - 144

停止して坑井を閉鎖するまでの坑内圧力を連続的に計測する。この時の圧力の模式的な変化については山本(2007)²⁾を参照した。亀裂の形成・伸展・閉合に関連する圧力について以下に記す。

- 1) 亀裂形成圧力(leak-off pressure): 亀裂の形成が始まる圧力。圧入開始後、圧入 量の増加とともに圧力は直線的に上昇するが、この傾きが変化する点として観測 される。
- ブ ークダウン圧力(formation break-down pressure)
 上昇した圧力によって亀裂が一気に伸展し、ポンプ圧入量よりも多い流体が亀裂
 に流れ込むと圧力は低下する。圧力曲線のピーク値として観察される圧力である。
- 2) 亀裂伸展圧力(fracture propagation pressure)
 亀裂が安定的に伸展する時の圧力。ポンプ圧入量と亀裂の伸展が釣り合っている ため、圧入を継続してもほぼ一定の測定値として観測される。
- 4) 密閉圧力(instantaneous shut-in pressure)
 坑井の閉鎖(シャットイン)直後の圧力。亀裂内の流体流動が止まり、坑内の圧力と亀裂が閉じようとする圧力が静的に釣り合った状態にあると考えられる。
- 5) 亀裂閉合圧力(fracture closure pressure) 亀裂が閉合した瞬間の圧力。坑井の閉鎖後の圧力低下を表す曲線の勾配が変化す る点として観察される。亀裂が開口したことによる地層の弾性的な変形によって 生じた応力の増加分が消滅して、初期の遠方応力すなわち最小主応力を表すと考 えられる。
- 6) 亀裂再開口圧力 (fracture reopening pressure)

一度開口した後に閉合した亀裂を再度開口するための圧力である。

亀裂形成圧力、亀裂伸展圧力、亀裂再開口圧力が最小主応力の近似値として利用される ことがある。亀裂の開口や伸展を維持するための亀裂内の圧力は最小主応力と等しい必要 がある。しかし、亀裂先端部の開口に対する抵抗や坑内を流動する流体の摩擦抵抗等のため、 坑内で計測するこれらの圧力は最小主応力よりも必ず大きい値を取る。

④ リークオフテストと地層強度試験

リークオフテスト(leak-off test; LOT)や地層強度試験(formation integrity test; FIT) は、坑井の掘削において必要となる泥水比重または地層破壊圧を決定するために実施され る。試験の手順は基本的に水圧破砕と同様であるが、パッカーを使わず、ケーシングシュー の下の裸坑区間を全坑加圧して、引張破壊による亀裂を発生させようとする。また、リーク オフテストでは亀裂形成圧力を確認して直ちに圧入を停止し、地層強度試験では予定した 最大圧力までの加圧に留め、必ずしも亀裂形成圧力まで圧力を上昇させない。これに対し、 ブレークダウン圧力を確認するまで圧入を継続し、坑井閉鎖後の圧力を監視するまでの過 程を繰り返す拡張リークオフテスト(extended leak-off test; ELOT)では、実質的に水圧 破砕と同様のデータを取得することができる。ただし、圧入流体には掘削泥水を用 るため、 流体の流動に伴う摩擦抵抗の影響は大きくなる。また、圧力変動に伴って坑井を含めた系全 体の体積が大きく増減するため、亀裂形成圧力や亀裂再開口圧力を求めることが困難な場 合が多い。

⑤ 出砂

出砂の概念を図 4.6-14 に示す。坑壁近傍の応力集中については 4.6.3 項(2)①に記載した が、パーフォ ーション孔近傍でも同様に応力集中が起こる。例えば油ガス田では、生産に 伴う間隙圧力の低下やドローダウンの増加は接線応力と半径応力の間の差応力を大きくし、 これによってせん断応力が上昇する。やがてせん断応力が岩石の強度を超えるとせん断破 壊を生じる。破壊された岩石の破片(砂)が流体の生産とともに坑内に流れ出し、坑内を埋 めて生産を阻害したり、地表に噴き出して配管等を損傷させたりすることがある。この一連 の現象が出砂であるが、坑内への砂の流出を評価する技術は確立されていないため、せん断 破壊発生の有無の評価を出砂評価とする場合が多い。将来想定される間隙圧力と坑内圧力 のいくつもの組み合わせに対してせん断破壊評価を実施し、その結果をまとめたものが出 砂チャートである。出砂チャートを用いることで、出砂管理の現場において迅速な出砂予測 が可能になる。CCS事業においては、圧入停止時のフローバックで出砂がありうる。



図 4.6-14 出砂の概念

⑥ 貯留層圧密

例えば油ガス層の場合には、油ガスの生産に伴って貯留層内の間隙圧力が低下すると、岩 石粒子間に働く応力すなわち有効応力が増加し、これが岩石の強度を超えると圧密が起こ る。したがって圧密は岩石強度の低い未固結の岩石等が形成する貯留層で起こりやすい。圧 密による孔隙率および浸透率の低下は油ガスの生産の障害となる可能性がある一方で、間 隙体積が減少することで間隙圧力が維持され、油ガスの排出機構(コンパクションドライブ) として機能する場合もある。圧密による地層変形は、ケーシングの破壊を起こしたり、地表 での地盤沈下に繋がったりする可能性もある¹⁾。

圧密は、貯留層の内外において応力場を変化させる。多孔質弾性体である岩石で形成され る貯留層の内部で間隙圧力が低下した時、上載荷重を起源とする垂直全応力は変化しない が、水平方向の全応力は次式で近似されるとおり、間隙圧力の低下に比例して減少する。

$$\Delta \sigma_{\rm hor} = \alpha \frac{(1-2\nu)}{(1-\nu)} \Delta P_{\rm p}$$

*σ*hor :水平応力

- α :ビオ係数
- ν :ポアソン比

ここでの水平応力は、最大水平応力と最小水平応力の両方を意味する。またビオ係数は、 間隙圧力の変化に伴う孔隙体積の変化と岩石全体の体積の変化の比を表すパラメータであ る。岩石試験等から求められるが、貯留岩を構成する多くの岩石は硬質鉱物から主に構成さ れ、その体積変化は孔隙体積の変化に対して極めて小さく無視できることから、孔隙体積の 変化が岩石全体の体積変化に等しいとみなし1を用いて差し支えない。正断層型の応力場 では、最大主応力σ₁が変わらないまま、最小主応力σ₃が減少するため、せん断応力が増加す る(モール円が大きくなる)。これによって断層が刺激されたり、せん断亀裂が形成された りする可能性がある。また、貯留層周辺でも応力場が変化して、貯留層の上方および下方で は逆断層型の応力場に向かう方向、貯留層の側方では正断層型の応力場に向かう方向に、応 力場が変化する(Zoback(2010)¹⁾参照)。このことによる断層刺激の事例も報告されてい る。

(3) CO2 圧入によって起こりうる地層の破壊

CO₂の圧入に伴うジオメカニクスの概要はRutqvist(2012)³⁾を参照した。圧入されたCO₂ の広がりよりも広い範囲まで圧力は伝播するが、応力変動は圧力伝播の領域よりもさらに 広範囲まで伝わる。こうした圧力変動や応力変動によってさまざまな破壊の可能性がある。

圧力上昇に伴う破壊

CO₂の圧入によって貯留層内の間隙圧力が上昇すると、すべての方向の有効応力が一様 に低下するため、せん断応力は維持されたまま法線応力が低下(すべり面の摩擦力が低下) し、せん断破壊が起こりやすい応力状態となる。このことは、モール円が左方向に平行移動 することで説明することができる(図 4.6-15)。さらに圧力が上昇して最小主応力(地層破 壊圧)を超えると引張破壊が起こる(岩石の引張強度は無視している)。こうした破壊は圧 力が伝播する貯留層の中で起こり、その規模は通常小さいが、貯留層内を貫く断層に圧力が 伝播するような場合には、その断層の応力状態によってはせん断破壊を引き起こし、有感地 震となる可能性がある。



図 4.6-15 圧力上昇によって起こるせん断破壊

応力変動に伴う破壊

貯留層内の圧力が上昇すると、その貯留層は多少とも膨張しようとする。その上位および 下位に位置する地層では、その膨張を抑えようとする力が働き、圧縮応力が上昇する。その 上昇量は、水平応力よりも垂直応力のほうが相対的に大きいと考えられるため、垂直応力が 最大主応力となる正断層型応力場においてはせん断応力が増加して、せん断破壊が起こり やすい応力状態となる。このことは、図 4.6-16 のようにモール円の半径が大きくなること で説明することができる。

応力変動が引き起こすせん断破壊は、浸透性が十分に低くて圧力が伝播しない遮蔽層で も起こる可能性がある。また、貯留層の膨張を抑えようとする力は硬い(弾性率が高い)地 層のほうが大きいため、応力の上昇量も弾性率の高い地層のほうが大きい。一般に、深度が 大きくなるほど岩石の固結が進んで弾性率は高くなることから、貯留層よりも下位の地層 に応力は伝わりやすいと考えることができる。反対に、貯留層よりも上位の地層では、とり わけ深度が浅い場合には、地層の弾性率が低いことにくわえて、地表が自由端であるため、 変形が容易である。このため、応力変動の量は小さいと考えられる。その反面、地層変形に 伴ってケーシングやセメントに損傷を与える可能性がある¹⁾。



図 4.6-16 応力変動に伴う破壊

③ 冷却に伴う破壊

圧入流体の温度が地層温度よりも低い場合は引張応力が発生して引張破壊を起こす可能 性があることは 4.6.2 項(3)で述べた。 CO_2 の圧入においても同様である。 CO_2 による温度 変化の要因は主に次の四つとされる⁴⁾。

- 1) CO2の移動による熱移流
- 2) Joule-Thomson 冷却効果

CO2が坑内から地層に流入する際に急激に体積膨張することによる温度降下

- 3) 地層水の蒸発 地層水が含水量の低い CO₂ に触れて気化する際に周囲の熱を奪うことによる温 度降下
- 4) CO₂の水への溶解

CO2が地層水に溶解する際に発生する溶解熱による温度上昇

圧入した CO₂の温度が地層温度と異なったとしても、すぐに温められて両者の温度は一 致するであろうことから、冷却に伴う破壊が起こる可能性のある領域は坑井近傍に限定さ れると考えられる。圧入性の改善に貢献する可能性も指摘されている³⁾。

4 CO₂に特有の破壊

CO₂ との地化学反応による鉱物の溶解や析出は岩石の力学的な強度を変化させる可能性 がある。特に炭酸塩岩貯留層への CO₂ の圧入において、炭酸塩岩の溶解による力学強度の 低下や遮蔽層における粘土鉱物が CO₂ と接触して乾燥収縮し、遮蔽層の流動および力学に 関する特性が変化して、破壊を発生するなどの学術的議論がなされている。また、CO2は水 等よりも粘性が低いため、微細な孔隙や亀裂に浸入してこれを刺激しやすい特徴を有する という研究事例もある。

4.6.3 ジオメカニクス特性評価のための一般的なプロセス

ジオメカニクスの関与する諸現象の評価に際しては、ジオメカニカルモデルに基づく評価プロセスの枠組みが確立されてきた。その概念的な手順を図 4.6-17 に示す。岩石の破壊評価も、この手順で実施されることとなる。本項では、ジオメカニカルモデルの構築の手順を整理したのち(4.6.3 項(1))、これに基づく破壊評価の手順について説明する。



図 4.6-17 ジオメカニカルモデルに基づく評価およびジオメカニカルモデル構築の手順

(1) ジオメカニカルモデルの構築

ジオメカニカルモデルとは、地下の応力や間隙圧力、岩石の力学的な特徴量の空間分布を 表現する数値モデルである。ジオメカニカルモデルの構築は通常、坑跡に沿った一次元ジオ メカニカルモデルから始まる。一次元ジオメカニカルモデル構築の一般的な手順を図 4.6-17 右に示す。弾性波速度データおよび地層密度データを中心に連続的に取得されたデータ(例 えば検層データ)と、離散的ながら応力、間隙圧力、岩石の力学的特徴量等を直接的に測定 したキャリブ ーションデータ(例えば、リークオフテストデータ、圧力試験データ、コア 試験データ等)を主に使用する。さらに、坑径データや掘削中の観測事実(逸泥や抑留等)、 操業中のモニタリングデータ等のあらゆるデータ・情報と整合することも重要である。本項 では、一次元ジオメカニカルモデル構築の具体的な手順を説明する。

① 岩石特性の推定

a. 変形係数

岩石の変形係数(ヤング率、ポアソン比等)の推定には、まず密度検層データ、速度検 層データ、岩相情報(例えばガンマ線検層データ)を使用する(図 4.6-17)。ヤング率(*E*) およびポアソン比(*v*)は、次式のとおり密度(*p*)、P波速度(*V*_p)、S波速度(*V*_s)と の関係が理論的に求められており、これらのデータから算出することができる。

$$E = \frac{\rho V_{\rm s}^{\,2} \left(3V_{\rm p}^{\,2} - 4V_{\rm s}^{\,2}\right)}{V_{\rm p}^{\,2} - V_{\rm s}^{\,2}} \tag{4.1}$$

$$\nu = \frac{V_{\rm p}^2 - 2V_{\rm s}^2}{2(V_{\rm p}^2 - V_{\rm s}^2)} \tag{4.2}$$

ただし、密度、P 波速度、S 波速度のデータが揃って取得されていない場合がある。と りわけ S 波速度データは取得されていないことが多い。このような場合、P 波速度と密 度の関係⁵⁾、P 波速度と S 波速度の関係⁶⁾等の経験式を用いて推定する。

ここで求まる変形係数は、いわゆる動的係数であり、微小変形(弾性波の伝播に伴う変 形)に対応する弾性率である。大変形を扱うジオメカニクスでは静的係数の推定が必要で ある。対象地域の岩石試料から動的係数(弾性波速度試験等で測定)と静的係数(圧縮試 験等で測定)が得られている場合、それらの比を用いて、上記の動的係数を静的係数に変 換またはキャリブレーションを行う。そうしたデータが取得されていない場合は、文献等 で紹介される経験式を利用することが一般的である。

b. 強度定数

強度定数(内部摩擦角、粘着力、一軸圧縮強度)の推定においても、密度検層データ、 速度検層データ、岩相情報を使用する(図 4.6-17)。ただし、弾性波速度や地層密度の データからの理論的な変換はできない。文献等で提案された経験式を用いて変換するこ とが一般的である。よく利用される一軸圧縮強度(UCS)と物理検層データの経験的な関 係式(砂岩・頁岩・炭酸塩岩)および内部摩擦角と物理検層データの経験的な関係式は Zoback(2010)¹⁾に掲載されている。強度定数と弾性波速度や密度との関係は岩相に依存 するため、上記経験式は岩相ごとに整理されている。岩相の情報は妥当な経験式の選択の ために必要となる。経験式に基づく変換では、とりわけ絶対値に不確実性が残るため、岩 石試験データ等に基づくキャリブーションが重要である。

間隙圧力の推定

間隙圧力の推定はトレンドライン法に基づいて実施される。トレンドライン法では、深度 の増加とともに垂直応力が増加し、これによって孔隙率が単調に減少することを前提とす る。深度の増加に伴う孔隙率の低下は、物理検層においては弾性波速度の上昇の傾向を示す。 そこで、弾性波速度検層データからト ンドラインすなわち正常圧密曲線(normal compaction trend)を解釈する。検層データがト ンドライン上にある間は、間隙圧力は静 水圧と考える。間隙圧力が上昇すると、有効応力が下がって弾性波速度も低下し、トレンド ラインから外れることとなる。反対に間隙圧力が低下すると、有効応力が上昇して弾性波速 度も増加し、先と逆の方向にトレンドラインから外れる。すなわち、トレンドラインから外 れた区間では、異常高圧や圧力減退が起こっていると考えることができる。トレンドライン を解釈する際に注意すべきことは、泥岩区間のデータに限定することである。砂岩や炭酸塩 岩の区間では、鉱物粒子間の摩擦が有効応力の増加に伴う孔隙の単調な減少を妨げたり、地 化学反応等による鉱物の溶解や析出といった続成作用による孔隙の増減が起こったりして、 孔隙率の変化の要因が複雑となり¹⁾、トレンドラインの解釈が困難となるためである。ま た、実際には弾性波速度検層データのみで解釈したト ンドラインを確信することは難し い場合が多いため、密度検層や比抵抗検層のデータも参照することが望ましい。深度の増加 に伴う孔隙率の低下によって地層密度は増加し、比抵抗は低下する傾向を示す。

解釈したトレンドラインから間隙圧力を求める手法として、Eaton 法、equivalent depth 法、ratio 法、や弾性波速度データから有効応力を直接推定する Bowers 法等が提案されて いるが、もっとも広く用いられているのは Eaton 法と思われる。これらの手法について、 それぞれ以下に説明する。

Eaton 法は、間隙圧力の推定においてもっとも広く利用されている手法と思われる。有効 応力の概念に基づく手法であり、観測データから推定した有効応力を垂直全応力から除し て間隙圧力を求める。Eaton 法では、弾性波速度(V_p)または比抵抗(*R*)のデータを用いて有 効応力を推定する。間隙圧力の推定式は以下となる。

$$P_{\rm p} = \sigma_{\rm v} - (\sigma_{\rm v} - P_{\rm n}) \left(\frac{V_{\rm P}}{V_{\rm P_{\rm n}}}\right)^3 \tag{4.3}$$

$$P_{\rm p} = \sigma_{\rm v} - (\sigma_{\rm v} - P_{\rm n}) \left(\frac{R}{R_{\rm n}}\right)^{1.2} \tag{4.4}$$

 V_{P_n} :トレンドライン上の弾性波速度

 R_n : トレンドライン上の比抵抗

(4.3)式の形は密度検層データからの間隙圧力の推定にも用いることができる。いずれの

場合も、式中の指数は地域に応じて変化するため、理想的には対象地域に適した指数の選択 が必要である。

equivalent depth 法ではトレンドラインから外れた深度 z とトレンドライン上の深度 a で同じ測定値が得られるとして次式で間隙圧力を推定する。

$$P_{\rm p}(z) = P_{\rm p}(a) + \left(\sigma_{\rm v}(z) - \sigma_{\rm v}(a)\right) \tag{4.5}$$

σ_v(z) : 深度 z での垂直応力

σ_v(a) : 深度 a での垂直応力

本手法は有効応力と深度が線形関係にあることを前提とする。

ratio 法ではトレンドラインから外れた深度 z での測定値 m とトレンドライン上の測定 値 m の比を用いて次式のとおり間隙圧力を推定する。

$$P_{\rm p}(z) = P_{\rm n}(z) \cdot \frac{m_{\rm n}(z)}{m(z)} \tag{4.6}$$

P_n(z) : 深度 z での静水圧

図 4.6-18 に equivalent depth 法と ratio 法の概念図を示す。

Bowers 法は、Eaton 法と同様に有効応力の概念に基づいた手法であるが、トレンドラインの解釈を経由せず、弾性波速度データから有効応力を直接推定する。異常高圧が起こるまでの区間の弾性波速度を(4.7)式で近似し、異常高圧発生以降の弾性波速度を(4.8)式および(4.9)式によって表現する。こうして有効応力と弾性波速度を関連付け、弾性波速度から有効応力を推定して、これを垂直全応力から除することで間隙圧力を求めることができる。

$$V = V_0 + A\sigma^B \tag{4.7}$$

$$V = V_0 + A \left[\sigma_{max} \left(\frac{\sigma}{\sigma_{max}} \right)^{\left(\frac{1}{U} \right)} \right]^B$$
(4.8)

$$\sigma_{max} = \left(\frac{V_{max} - V_0}{A}\right)^{\frac{1}{B}}$$
(4.9)

V₀:弾性波速度の初期値(例えば水の速度)

Vmax : 弾性波速度の最大値(異常高圧が始まる深度の弾性波速度)

- A : パラメータ
- B : パラメータ

U : 塑性変形指数

トレンドライン法では、異常高圧の原因として正常圧密以下の圧密を仮定するが、さまざ まな要因(粘土鉱物の脱水、炭化水素の熟成、鉱物の変質や沈殿、地化学反応、流体の熱膨 張、側方からの圧力伝達等)による間隙流体の膨張もまた異常高圧の原因となり得る。こう した圧密以外の要因を考慮した間隙圧力推定の手法として Bowers 法は提案された。

トレンドライン法の課題は、間隙圧力の推定結果がトレンドラインの解釈に強く依存す ることである。間隙圧力を直接測定する圧力テストの結果等を用いたキャリブレーション が重要である。これに対して Bowers 法は、トレンドラインの解釈が不要であるため、各パ ラメータに経験的な値を与えることで迅速に間隙圧力の推定を得ることができるが、パラ メータの妥当性については考察が必要である。





(a) Equivalent depth method

(b) Ratio method

図 4.6-18 トレンドライン法に基づく間隙圧力推定の概念図

③ 応力場の推定

応力場は、主応力(垂直応力、最大水平応力、最小水平応力)の大きさと、それぞれの方 位によって定義される。これらの要素の推定について記述する。

a. 垂直応力の方位と大きさ

垂直応力の方位は鉛直方向を前提とする。三次元的な地質構造を示す場合等、局所的に は必ずしも鉛直方向とならない場合もあるが、これについては数値シミュレーション等 による補正が可能である。

垂直応力の大きさについては、(4.10)式のとおり、密度検層で得られた地層密度データ の値に重力加速度をかけ、深度に沿って積分することで得ることができる。

$$\sigma_{v} = \int_{0}^{z} \rho(z_{i}) g dz \tag{4.10}$$

 $\rho(z_i)$: 深度 z_i における地層密度

g : 重力加速度

ただし、密度検層データは貯留層区間しか取得されていないことが多い。このような場合、圧密を考慮した関数を用いて地層密度を近似し、密度検層データが取得されていない 区間については近似関数が与える地層密度を用いて、基準深度(例えば地表面)からの積 分を行う(図 4.6-19)。近似関数として、例えば次式がよく使用される。

$$\rho(z) = \rho_m - (\rho_m - \rho_0)e^{-c \cdot z}$$
(4.11)

- ρ_m :地層密度の最大値
- ρ₀ : 基準深度での地層密度
- *c* : 圧密係数


図 4.6-19 密度検層データからの垂直応力の推定

b. 水平応力の方位

水平応力の方位に関しては、坑壁画像データ上に観察される坑壁の破壊の様子から推定することができる。4.6.2 項に記載したとおり、ブ ークアウトは最小水平応力の方位、 DITF は最大水平応力の方位に観察される。坑壁画像データからこれらの破壊を観察する ことで水平応力の方位を推定することができる。または、孔径検層データにおいて方位の 違いによる孔径の差が有意に認められる場合、ブ ークアウトが発生している可能性が ある。孔径の長軸方向がブ ークアウト、すなわち最小水平応力の方位を表す可能性がある。

S波速度検層の解析結果からS波速度の方位依存性(S波分離)が認められる場合、S 波速度の大きい方位が最大水平応力の方位を示す可能性がある。最大水平応力の方向に 有効応力が増加するため、この方向に振動するS波の速度が、これと直交する方向に振 動するS波の速度よりも大きくなるためである。ただし、弾性波速度の方位依存は別の 原因でも起こり得るため注意が必要である。例えば、亀裂の発達した地層でもS波分離 が起こり得る。亀裂に平行な方向に振動するS波は速度が大きく、直交する方向に振動 するS波は速度が小さい。

こうしたデータが取得されていない時には、世界応力地図(world stress map)⁷⁾が参 考になる場合がある。世界応力地図とは、世界中の地殻応力に関する情報を集約したデー タベースであり、その整備はスタンフォード大学の Mary-Lou Zoback が主導する産学協 同プロジェクトとして 1986 年に始まった。2009 年以降はドイツの GFZ 研究所が維持管 理を行っている。ただし、評価対象地域の近傍のデータが存在するとは限らず、また利用 に際しては精度にも注意が必要である。

c. 水平応力の大きさ

水平応力の大きさは、基本的に垂直応力との有効応力比(effective stress ratio: ESR) を用いて推定される。その推定式の基本的な形は(4.12)式で記述される。

$$\sigma_{\rm h} = K \cdot \left(\sigma_{\rm v} - P_{\rm p}\right) + P_{\rm p} \tag{4.12}$$

σ_hは最小水平応力または最大水平応力である。有効応力比Kには、岩石の種類に応じた 経験的な値やポアソン比から推定される値が用いられる。ただし、(4.12)式に基づく手法 はいずれも水平応力の起源が垂直応力のみにあることを前提とする。これに対し、テクト ニクスによる水平応力の成分を考慮する次式が提案されている。

$$\sigma_{\rm h_{min}} = \frac{\nu}{1-\nu} \left(\sigma_{\rm v} - \alpha P_{\rm p} \right) + \frac{E}{1-\nu^2} \varepsilon_{\rm h_{min}} + \frac{E\nu}{1-\nu^2} \varepsilon_{\rm H_{max}} + \alpha P_{\rm p}$$
(4.13)

$$\sigma_{\rm H_{max}} = \frac{\nu}{1-\nu} \left(\sigma_{\rm v} - \alpha P_{\rm p} \right) + \frac{E}{1-\nu^2} \varepsilon_{\rm H_{max}} + \frac{E\nu}{1-\nu^2} \varepsilon_{\rm h_{min}} + \alpha P_{\rm p}$$
(4.14)

ν :ポアソン比

ε_{hmin}:最小水平応力方向のひずみ

ε_{Hmax} :最大水平応力方向のひずみ

α :ビオ定数

実用に際しては有効応力比*K、*あるいは歪ε_{hmin}およびε_{Hmax}の値をいかに決めるのかが 問題となる。特定の深度において応力値を直接測定または推定したデータ(キャリブレー ションデータ)が得られていれば、これを用いてキャリブ ーションを行う。最小水平応 力のキャリブレーションデータとしては、4.6.2 項(2)③および 4.6.2 項(2)④に記載した水 圧破砕やリークオフテストのデータがよく利用される。最大水平応力のキャリブレー ションデータとしては、岩石の強度や弾性率が一様かつ既知として、ブ ークアウトの幅 から推定する方法や、コアの取得後の応力開放過程における非弾性歪の回復量から推定 する方法がある。いずれにしても、最大水平応力の大きさを直接推定することはできない ため、さまざまな仮定と複数のデータの組み合わせから推定することとなるが、それゆえ に不確実性は残る。

(2) 破壊評価

岩石の基本的な破壊のメカニズムについて 4.6.2 項で述べたが、CO₂ 圧入・貯留において もっとも考慮すべきはせん断破壊であると考えられる。せん断破壊は引張破壊よりも低い 圧力上昇で発生する可能性があり、さらに破壊によって解放されるエネルギーは引張破壊 よりも遥かに大きいためである。以下ではせん断破壊の評価に焦点を当てることとする。

① 滑り傾向係数

せん断破壊の発生の有無は、(3.4)式に示したとおり、せん断応力と摩擦力の大小関係に よって決まると考えることができる。そこで、両者の比を取ってせん断破壊の起こりやすさ の指標とする滑り傾向係数 (slip tendency) が提案されている。滑り傾向係数は次式で与え られる。

$$T = \frac{\tau}{C + \mu(\sigma_n - P_p)} \tag{4.15}$$

T:滑り傾向係数

- τ : せん断応力
- *C* : 粘着力
- *μ* : 摩擦係数
- *σ_n* :法線応力
- *Pp* : 間隙圧力

また、滑り傾向係数とモール・クーロンの破壊規準との関係は図 4.6-20 のとおりである。 滑り傾向係数は、モール円と破壊規準線がどの程度離れているのかを表す指標であり、その 値が小さいほどせん断破壊は起こりにくいと解釈することができる。滑り傾向係数が1の 時、モール円と破壊規準線は接する。

ただし、これは最大主応力σ₁と最小主応力σ₃によって定められる応力場においてもっとも 滑りやすい角度を持ったすべり面に対応する滑り傾向係数である。既存断層の断層面等、必 ずしも現在の応力場においてもっとも滑りやすい角度であるとは限らない。任意の角度を 持ったすべり面に対応する滑り傾向係数を求める場合は、次式に示すベクトル変換を行う。

$$\begin{pmatrix} \sigma_n \\ \tau_d \\ \tau_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_n & y_n & z_n \\ x_d & y_d & z_d \\ x_s & y_s & z_s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \end{pmatrix}$$
(4.16)

$$\tau = \sqrt{\tau_d^2 + \tau_s^2} \tag{4.17}$$

 (x_n, y_n, z_n) : すべり面の法線ベクトル

 (x_d, y_d, z_d) : すべり面の傾斜ベクトル

 (x_s, y_s, z_s) : すべり面の走向ベクトル

σ_x: YZ 平面に働く法線応力

σ_v : XZ 平面に働く法線応力

- *σ*_z : XY 平面に働く法線応力
- *τ_{xy}*: XY 平面に働くせん断応力
- *τ_{yz}*: YZ 平面に働くせん断応力
- *τ_{zx}*: XX 平面に働くせん断応力

滑り傾向係数を実際に推定しようとした時、粘着力および摩擦係数の推定に困る場合が 多い。特に断層を評価の対象とする場合には、断層面の粘着力や摩擦係数が必要となるが、 これらを室内実験等で求めることも困難である。しかしながら、粘着力に関しては 0 とす る場合が多い。これは引張強度を無視することと同義であり、また断層安定性評価等への適 用においては安全側の評価を与えることから、妥当な仮定と捉えることができる。一方、摩 擦角に関しては 0.6~0.85 の値を取る場合が多いが、断層面が粘土質な岩石を含む場合等、 これよりも低い値となることもある。不確実性の高いパラメータでありながら評価への影 響が大きいことから、これを感度パラメータとする感度解析の実施が推奨される。

滑り傾向係数の出力例として、解釈された断層面上に表示された滑り傾向係数の例は Streit and Hillis(2004)⁸⁾を参照した。この文献中には滑り傾向係数の値に応じて色の濃淡 により視覚的にせん断破壊が起こりやすい場所の事例が記載されている。同じ断層におい て滑り傾向係数の大小があるのは、推定した応力場に対して滑りやすい角度を向いた部分 と、滑りにくい角度を向いた部分があるためである。

4-160



図 4.6-20 滑り傾向係数とモール・クーロンの破壊規準

② 力学シミュレーションによる評価

CO₂等の流体の圧入に伴って貯留層内の間隙圧力が上昇するが、多孔質弾性体である岩 石によって構成される貯留層およびその周辺では同時に応力場も変化する。こうした圧力 変化に伴う応力変化と、これによる流動への影響を評価する手段として、流体流動と力学変 動の連成解析技術があげられる。この技術では数値シミュレーションによって圧力変化、応 力変化、地層変形の経時変化を予測する。例えば Cappa et al. (2009)⁹⁾では、CO₂ 漏洩に 関するナチュラルアナログ研究(自然界で起こった現象の類推から未来予測を行う研究手 法)の対象として注目された松代群発地震について、観測された震源分布の時空間進展、地 表変動挙動、地表に湧き出た CO₂ 含有水の量を、流動 - 力学連成解析によって再現した。 地下深部から松代断層への定流量での流体流入を仮定した流動解析モデルの各要素・各時 間において推定される間隙圧力および応力の値を参照し、モール・クーロンの破壊規準に基 づいてせん断破壊の発生を評価することで、破壊領域すなわち震源位置の時間的および空 間的な進展の様子を示している。せん断破壊の発生の有無だけでなく、破壊の進展やメカニ ズムの理解の促進に貢献している。

4.6.4 ジオメカニクス特性評価事例

CO₂の圧入および貯留に関連したジオメカニクス特性評価の事例として、情報が公開さ れているプロジェクトの中から一般的にどのようなプロセスで評価をなされているか、無 作為に以下の四つのプロジェクトについて文献調査を実施した。文献調査結果を以下に記 載する。

1) CarbonNet プロジェクト (オーストラリア) ¹⁰⁾

- 2) South West Hub プロジェクト (オーストラリア) ¹¹⁾
- 3) Troll ガス田 (ノルウェー)¹²⁾
- 4) 苫小牧 CCS 大規模実証試験(日本)^{13)、14)}

(1) CarbonNet プロジェクト (オーストラリア)

CarbonNet プロジェクトは、オーストラリアのビクトリア沖に位置する Gippsland 盆地 の浅海域にて実施されている CCS プロジェクトである。本プロジェクトでは、世界中の CCS およびその他の産業における複数の流体圧入プロジェクトを参照し、CCS 圧入操業に 関するジオメカニクス検討のためのベストプラクティス (Best Practice Geomechanics) を 提案した。提案されたベストプラクティスは、データアベイラビリティ(data availability)、 サイトキャラクタライゼーション(Site Characterization)、オペレーティングプラクティス

(操業上の慣行)の三つの主要分野で構成され、九つの原則からなる。以下に、九つの原則 とこれらの原則に照らし合わせた CarbonNet プロジェクトサイトでの検証結果を示す。5) ~9)は、オペ ーション上、慣習的に行われている事項として論じられている。

1) データアベイラビリティ

データが公開されており、サイトの特徴が十分に理解されている場所で CCS 事 業を実施する。データの可用性に優れたサイトで CCS 事業を行うことで、地下 の不確実性を最小限に抑えることができる。CarbonNet プロジェクトサイト周辺 のデータは豊富であり、1,500 を超える探査井や生産井および広範な 3D 探査な らびに 2D 探査のデータの利用が可能であった。

2) サイトキャラクタライゼーション

追加のデータ取得を含む適切な特性評価を実施する。

データが豊富なサイトであっても、利用できるデータは既存の石油・天然ガス事 業で取得されたデータであることが多いため、CCSのための特性評価に必要な データは不十分であることが多い(特に、ジオメカニクスに関するデータが該当 する)。そのため、必要に応じて不足するデータを取得し、サイトの特性評価を実 施する必要がある。CarbonNet プロジェクトでは、構造発達史、広域地質構造、 過去および最近の地震活動、応力状態を評価した。

3)サイト周辺の状況に基づいて、圧入ゾーンを設定する。 圧入ゾーンは、長期的な圧入性と安定性に基づいて、選択する必要がある。圧入 に対する中期および長期的応答の詳細な貯留層モデリング、CO2圧入による圧力

上昇、断層との位置関係、遮蔽層の有無(複数の遮蔽層のほうが単一の遮蔽層よ

りも遮蔽能力が優れている)を考慮し、圧入ゾーンを設定する必要がある。 CarbonNet プロジェクトでは、圧入ゾーンの圧力ヒストリーを評価した。

- 4) バックグラウンドデータに基づく確たる裏付けのなされたジオメカニカルモデ ルが利用可能であることを確認する。 モニタリングによって観測されるデータが予測範囲内のものであるか、予期しな い異常値であるかを判断するためには、当該サイトにおけるジオメカニクスの理 解と、応力・岩石強度・間隙圧力の詳細な情報およびそれらのデータに整合する 合理的なジオメカニカルモデルが不可欠である。CarbonNet プロジェクトでは、 リークオフテストデータの再解析および評価、スト スポリゴン解析、貯留層シ ミュレーションによる間隙圧力変化の評価を実施した。
- 5) モール・クーロンの破壊規準を超えないオペレーションを行う。 CO2 圧入による既存の亀裂や断層の再活動を回避するためには、モール・クーロ ンの破壊規準を超えない条件で操業することが重要である。CarbonNet プロジェ クトでは、リークオフテストの55%または深部塩水層の圧力の110%を大幅に下 回る圧力で操業する計画である。これは粘着力を0と仮定したモール・クーロン 破壊規準よりさらに1~4 MPa 低い値となる。
- 6)明確なオペ ーション計画とモニタリングシステムを整備する。 モニタリングで観測されるデータが予期しない異常値である場合は、直ちに報告 し、その影響を評価する必要がある。CarbonNet プロジェクトでは、坑口と坑底 の両方の圧力と温度の観測、圧入した流体の相挙動を把握するために坑口流量計 による観測を実施する。
- 7)他の潜在的な破壊メカニズムおよび地層のウィークポイントを事前に検討する。 可能性のある潜在的な破壊および脆弱化メカニズムについて検討しておく必要 がある。熱応力、地層水の凍結による引張破壊、地化学的な変質による貯留層お よび遮蔽層の力学的強度の変化等の検討があげられる。CarbonNet プロジェクト では、熱応力による影響と地化学反応による力学強度の評価を実施する。
- 8) 圧力を正確かつ継続的に管理する。

坑井付近と遠方の圧力を正確に測定/予測し、圧入モデルと比較できるように、 坑底圧力と温度を継続的に測定する必要がある。また、坑口から貯留層まで連続 的に CO₂の相挙動を完全に把握することができるように、坑口の圧力と温度、圧 入 ートを同時に測定することも重要である。CarbonNet プロジェクトでは、坑 口と坑底の両方の圧力と温度の測定、坑口流量計によって相挙動を継続的に管理 する。

9) 微小地震の可能性をモニタリングし、積極的に対応する。

サイト周辺の微小地震活動をモニタリングし、CO₂圧入による望ましくない結果 が起こっていないことを検証する必要がある。そのためには、圧入前の微小地震 活動の特性評価と圧入前・圧入中・圧入後しばらくの間(圧入終了後しばらく経っ てから微小地震活動が発生する事例もある)における一連の継続的な微小地震モ ニタリングが必要である。CarbonNet プロジェクトでは、積極的な(圧入前・圧 入中・圧入後)モニタリングと圧入前のベースラインデータとの比較が計画され ている。

CarbonNet プロジェクトにおける上記検討から、CCS プロジェクトは前述のベストプラ クティスを理解し、これに従うことが重要であると結論付けられている。

South West Hub プロジェクトは、西オーストラリアの Harvy 地域においてオーストラ リア鉱山産業規制安全局(Department of Mines, Industry Regulation and Safety; DMRS) が主導して実施する CCS 貯留の実現可能性試験のための段階的な学際的プロジェクトであ る。本プロジェクトでは、地表 3D 探査および VSP(Vertical Seismic Profiling)を用いた 層序学的調査ならびに地質学的調査、応力場推定、異方性の特性評価、CO2 プルームおよび 断層相互作用の定量解析による断層再活性化の可能性評価が実施されている。CO2 プルー ムおよび断層相互作用の定量解析による断層再活性化の可能性評価では、貯留層シミュ

ーションによる最大間隙圧力上昇量の評価を含めた、滑り傾向係数ならびにモール・クー ロンの破壊規準を用いた亀裂面の安定性または破壊リスクの評価が実施されている。

本プロジェクトでは、滑り傾向係数を(5.1)式のとおり有効応力とせん断応力の比から求め、せん断応力が岩石表面の摩擦力よりも大きくなるとせん断破壊が発生すると評価する。

$$T = \frac{\tau}{\sigma_n} \ge \mu \tag{5.1}$$

T : 滑り傾向係数

τ : せん断応力

σ_n :法線応力

摩擦係数の範囲を 0.6~1.0 とすると、粘着力を考えない時の岩石表面では、滑り傾向係 数が最小の場合で 0.6 に達するとせん断破壊が発生すると評価される。応力状態が類似した 環境では、滑り傾向係数の大小がせん断滑りの可能性の大小を表す。一方、応力状態が異な る環境では、滑り傾向係数の大小とせん断滑りの可能性の大小は一致しないことがある。こ のような場合、(5.2)式に示す臨界間隙圧力(ある断層面でせん断破壊が起こるために必要な 間隙圧力)を用いて断層安定性を評価することができる。

$$P_c = \sigma_n - \frac{\tau}{\mu} \tag{5.2}$$

Urosevic et al.(2009)¹¹⁾には Yalgorup 層遮蔽層の深度 1,300 mにおける滑り傾向係数 と臨界間隙圧力が示されている。応力データより、この地域は横ずれ断層型の応力場である ことが想定されている。滑り傾向係数評価をみると図中 SHmax で示す最大水平応力方向 から反時計回りにみて、60°方向が最も滑り傾向係数(Slip Tendency)が高く暖色系を示 す。北から 48°および 168°方向の走向を持った傾斜角 65~90°の高傾斜な断層が間隙圧 力の上昇によって再活動する可能性が最も高いと推定される。滑り傾向係数の最大の値は 0.35 であり、粘着力を考えない場合(以降、滑り傾向係数の値(0.6)を下回る。このこと は、Yalgorup 層遮蔽層における断層の再活動リスクが低いことを示唆している。臨界間隙 圧力を用いた破壊安定性解析からは、再活動する可能性がもっとも高い断層(走向 48° お よび 168°の断層)においても、せん断破壊が起こるためには 5.5 MPa を超える間隙圧力 の上昇が必要であることが示されている。

Urosevic et al.(2009)¹¹⁾には Wonnerup 層貯留層の深度 1,700 m における滑り傾向係数 と臨界間隙圧力を用いた破壊安定性解析結果も示されている。滑り傾向係数評価の図にお いては滑り傾向係数の解析から、間隙圧力の上昇によって再活動する可能性がもっとも高 い断層(走向 48° および 168° の断層)においても、せん断破壊の可能性を示す最小の滑 り傾向係数は黄色~オレンジの領域にあり、滑り傾向係数評価の図で示す粘着力をゼロと して考えた破壊規準線に応力円は接していないことが読み取れる。このことから、 Wonnerup 層貯留層における断層の再活動リスクは低いと考えられる。臨界間隙圧力を用 いた破壊安定性解析の結果は、再活動の可能性がもっとも高い断層(走向 48° および 168° の断層)でも、破壊が起こるためには 4.5 MPa を超える間隙圧力の上昇が必要であること を示す。

Urosevic et al.(2009)¹¹⁾ では 3D 探査から解釈した断層セグメントに対する滑り傾向係 数の評価結果の記載もある。Wonnerup 層貯留層の深度構造図に重ねて表示されており、滑 り傾向係数の値が 0.35 を超える断層セグメントには着色がされ、そのうちオレンジ色の断 層セグメントは、もしも臨界間隙圧力に達した場合、最初にせん断破壊される断層セグメン

4 - 165

トとして例示されている。滑り傾向係数の評価結果から、北西方向の高傾斜(65~90°)の 断層が、高い間隙圧力の下で再活動する可能性がもっとも高いと解釈されている。滑り傾向 係数は最大でも、せん断破壊を起こす可能性を示す滑り傾向係数の最小値(0.6)を下回っ ているため、断層の再活動のリスクは低いと考えられる。

CO₂ 圧入に伴う最大の間隙圧力上昇を理解するために、流体(水) 圧入を模擬する貯留層 シミュ ーションが実施された。9本の圧入井から Wonnerup 層貯留層(深度 2,771~ 3,749 m)に年間 80万tの水を 20年間圧入した場合のシミュ ーション結果も同文献に示 されている。圧入深度における坑井近傍での間隙圧力の上昇は 100 mD×年間 80万tの想 定で 0.026 MPa であることがわかる。Wonnerup 層貯留層の浸透率および圧入 ートを変 えて、それぞれ最大間隙圧力の上昇を確認した結果、圧入深度における間隙圧力の上昇は 50 mD×年間 1,000万tの想定で最大でも 0.54 MPa であることが確認された。これは臨界 間隙圧力による破壊安定性解析から推定された臨界間隙圧力の値 4.5 MPa よりも 1 桁低い 値であるため、想定される CO₂ 圧入 ートでは、断層が再活動する可能性は低いと考えら れる。

(3) Troll ガス田 (ノルウェー)

ノルウェー沖約 60 km に位置する Troll ガス田は、東から西に向かってアップディップ する構造となっており、東傾斜の三つの大規模な断層ブロックで構成される。沿岸の Mongstad 製油所および新規の複合型発電所から年間約 220 万 t の CO₂が排出されると予 想され、本格的な CCS プロジェクトが求められている。

CO2 貯留において、以下の断層挙動の評価が重要とされている。

- 断層が CO₂の水平方向への移動に対するバリアとして機能し、貯留層内に CO₂ を固定しているか。もしそうであれば、断層から漏洩することなく支えることの できる CO₂カラム高はどれくらいか。
- 2) CO₂カラムによって引き起こされる圧力の増加は、断層の不安定性や再活動を引き起こし、断層を通じた CO₂の上方移動による漏洩の潜在的なリスクにつながるか。

これらを評価するために、断層を隔てた層序の繋がり、つまり遮蔽層と貯留層の併置 (juxtaposition)および貯留層中で計算した頁岩ガウジ比(Shale Gouge Ratio: SGR)、 滑り傾向係数および CO₂カラム高を用いた破壊安定性の評価が行われた。SGR は、断層ガ ウジ内に分布する砂岩と頁岩の比率を推定する手法として提案されている(Bretan et al.(2011)¹²⁾)。母岩中の砂岩と頁岩がすべった区間の母岩中に出現する比率と同じ比率で 断層ガウジ内に分布する。

調査エリア内のすべての断層を対象に推定した滑り傾向係数の空間分布について示され ている(Bretan et al.(2011)¹²⁾)。調査領域において、正断層型応力場と横ずれ断層型応 力場が想定され、両方の応力場の可能性を想定して滑り傾向係数が推定された。正断層型応 力場を想定して推定された滑り傾向係数では、粘着力を考えない場合に岩石表面を滑らせ る最小の滑り傾向係数(0.6)を下回っていることが示されている。一方、横ずれ断層型応 力場を想定して推定された滑り傾向係数では、一部の東西走向を持つ断層で高い値が示さ れている。

同文献において、調査エリア内のすべての断層を対象とする破壊安定性評価として、せん 断破壊が起こるために必要な CO₂ カラム高を推定した結果についても示されている。文献 図中に表示された CO₂ カラム高を超えると、断層のせん断破壊を誘発し、貯留層のアップ ディップに位置する断層からの漏洩を引き起こす可能性があるが、ほとんどの断層では、破 壊を誘発するために 1,000 m を超える CO₂ カラム高が必要になることが示されている。横 ずれ断層型応力場で推定された滑り傾向係数の値が大きい一部の東西走向の断層において も、せん断破壊が起こるまでには 300 m を超える CO₂ カラム高が必要であることが示され ている。これらのことから断層上で CO₂ 漏洩が発生する可能性はほとんどないと評価され ている。

(4) 苫小牧 CCS 大規模実証試験(日本)

北海道苫小牧市の沿岸において、CCS 実証プロジェクトが実施されている。二つの異な る貯留層に合計 30 万 t の CO₂が圧入された。一つ目の貯留層は、深度が浅く(深度約 1,000 ~1,200 m)、緩やかに傾斜する比較的均質な砂岩層から構成される萌別層である。二つ目 の貯留層は、深度が深く(深度約 2,400~3,000 m)、傾斜が急で、圧力が高い不均質な凝 灰岩と溶岩で構成される滝ノ上 T1 層である。CO₂ 圧入による影響は、これら二つの貯留層 で異なることが予想される。

苫小牧 CCS 大規模実証試験における圧入圧力は、遮蔽層の地層破壊圧力を超えない圧力 に設定されている。しかし、地層破壊圧力よりも小さな圧力変化によってせん断破壊が引き 起こされる可能性がある。このように、フィールドスケールでの断層安定性解析は、CCSの 安定性評価の重要な要素である。

同プロジェクトを受託している JCCS が実施した貯留層シミュ ーションによって推定 された間隙圧力変化を使用し、滑り傾向係数に基づく断層安定性評価^{13)、14)}が実施され た。これらの解析で使用する岩石のせん断強度特性である摩擦係数と粘着力は、苫小牧サイ トにて採取したコアを用いた多段階のせん断試験から求められた。原位置応力の推定には、 拡張リークオフテスト(ELOT)データが使用され、横ずれ断層型応力場が推定された。こ れは、横ずれ型断層を伴う東西圧縮であると報告されている当該地域で推定される広域応 力場と一致している。本解析では、任意の角度の断層がサイト内に偏在すると仮定したため、 断層面内の最小主応力と最大主応力、間隙圧力がそれぞれのタイミングと場所で、滑り傾向 係数を最大とするように断層角度を調整して、滑り傾向係数が推定された。

Kano et al.(2014)¹⁴⁾には萌別層および滝ノ上層における自然状態と年間 25 万 t で 3 年 間の圧入終了後の滑り傾向係数の推定値分布が示されている。ここでの滑り傾向係数の定 義では、値が 1 を超えるとせん断すべりが発生するか、断層がすべりやすい状態になる可 能性として表記されている。萌別層では圧入地点付近で滑り傾向係数がもっとも高くなる が、「すべりやすい状態」とはほど遠いことが示されている。一方、滝ノ上層は過圧状態の ため、自然状態でも滑り傾向係数が比較的高い値を示す。圧入による圧力上昇は、構造的上 位に伝播するため、圧入点から約 2 km 離れた貯留層上部で滑り傾向係数がもっとも大きく なる。これらの結果から、断層安定性に対する計画的な圧入の影響は比較的限定的であるが、 CO₂ モニタリングのための観測網は圧入された CO₂ プルームの想定範囲よりも広 範囲を カバーすることが望ましいと考えられる。

4.6.5 まとめ

CO₂の地下への圧入・貯留に際して地層の安定性は重要な評価項目となる。その評価を実施する際に必要となるデータを得るための、調査井の仕様策定に資することを目的として、ジオメカニクス特性評価に関わる基本的な事項を整理した。

地層の破壊に関する基本的なメカニズムの整理においては、岩石に作用する応力・間隙圧 カについて説明した後、三つの破壊機構、すなわち引張破壊、せん断破壊、圧密を解説した。 破壊の発生の有無を予測するための有効なツールがモール円およびモール・クーロン破壊 規準である。それらのツールの使い方についても説明を加えた。続けて、石油開発分野での 坑井の掘削や仕上げにおいて取り扱うこととなる坑壁破壊や水圧破砕等の破壊現象につい て、前述の破壊機構と関連付けて解説した。さらに、CO2地中貯留の分野で想定される破壊 現象について整理した。

4.6.3 項では、ジオメカニクス特性評価に関する一般的なプロセスについて記述した。近 年のジオメカニクスに関する検討において、中心的な役割を果たしているのがジオメカニ カルモデルである。ジオメカニカルモデルの重要な要素となる、岩石強度モデル、間隙圧力 モデル、応力モデルの構築について、具体的な手法の紹介とともに手順を詳説した。ジオメ カニカルモデルを構築するために必要となる主要なデータについても記述した。続けて、ジ オメカニカルモデルに基づく破壊評価の手法として、滑り傾向係数による評価と数値シ ミュ ーションによる評価を紹介した。滑り傾向係数については、次項の事例の中でも多く 利用されているとおり、現状における断層安定性評価の主要な手段となっている。

4.6.4 項では、実際の CCS プロジェクトにおけるジオメカニクス特性評価の具体的な事 例として、CarbonNet プロジェクト、South West Hub プロジェクト、Troll ガス田、苫小 牧 CCS 大規模実証試験において採用された評価方法を紹介した。四つのプロジェクトのい ずれにおいても 4.6.2 項で解説したせん断破壊に言及していることに注目すべきである。ま た、具体的な評価手法として、4.6.3 項で説明した滑り傾向係数が多くの場合に採用されて いる。ただし、いずれのプロジェクトでも単眼的な評価には留まらず、地下空間の不確実性 を考慮した対応、すなわちモニタリングの併用、複数シナリオによる評価、推定値に幅を持 たせた評価、評価の時空間的な相対変化等に言及していることに留意されたい。

それらの事例を参考にしつつも、今後のジオメカニクス特性評価においては、ジオメカニ カルモデルの更なる精度向上のための努力が求められることになると考えられる。これま ではジオメカニクスの検討に足る十分なデータを取得されていない場面が多かったことか ら、まずはデータの取得が必要である。取得すべきデータの種類は、岩石の力学特性の推定 に資するデータと、応力場の推定に資するデータに大別される。

応力場に関しては、最大水平応力の推定に関する技術開発にも注目が集まると考えられ る。それによってジオメカニカルモデルの不確実性の低減に大きく貢献することが期待さ れる。さらに、坑井から離れた場所での応力場の推定や応力挙動に関する検討、あるいはそ れらの精度向上に関する検討が重要になると思われる。物理探査技術やシミュ ーション 技術の活用が期待される分野であると考えられ、今後の適用例の経験や情報が蓄積・共有さ れていく中で議論を継続する必要があると考える。

CO₂ 圧入・貯留に関わる調査井掘削時および掘削後に推奨される事項をまとめると以下の諸点があげられる。

- 1) 可能な限りのデータ取得を行う。
 - コアサンプル・カッティングスサンプル
 - ・検層(密度、速度、画像、温度)
 - ・水圧テストによる主要応力値の推定
 - ・断層の有無把握
- 2) 主応力の方向を知るために、岩石コアのサンプルを取得する。
- 3) 貯留層区間のみならず、遮蔽層区間やその他区間のコアサンプルを取得する。

- 調査井掘削時に、DITF やブ ークアウトを検知する検層データ等を取得することで、各深度、各区間における最大水平応力の方位を推定する。
- 5) コアサンプル・カッティングスサンプルを用いて、石英等の熱膨張係数の高い岩 石成分の含有量を確認し、熱影響を調査する。
- 6)調査井掘削中、複数深度・複数区間でリークオフテストあるいは地層強度試験を 実施する。リークオフテストにおいては亀裂形成圧力を把握し最小主応力の推定 をする。
- 7) 圧入による応力影響が与える範囲で、断層の有無の確認をする。
- 8) 断層が存在する場合には、その滑り傾向を推定し、せん断破壊の可能性を推定する。
- 9) CO₂と地化学反応するような鉱物の有無の確認をする。
- 10) 調査井(複数本が望ましい)を掘削することにより、貯留対象地の断層深度・断層位置把握・構造把握をする。

【参考文献】

- 1) Zoback, M. D., "Reservoir Geomechanics", Cambridge University Press(2010)
- 山本晃司、"坑井取得データによる応力計測の実際-総合的検討の一部として-"、物理探査、60(2)、113-129(2007)
- Rutqvist, J., "The Geomechanics of CO₂ Storage in Deep sedimentary Formations", Geotechical and Geological Engineering, 30(3), 525-551(2012)
- Vilarrasa, V., Rutqvist, J., "Thermal effects on geologic carbon storage", Earth Science Revews, 165, 245-256(2014)
- 5) Gardner, G. H. F., Gardner, L. W., Gregory, A. R., "Formation velocity and density – the diagnostic basics for stratigraphic traps", Geophysics, 39(6), 770-780(1974)
- Greenberg, M. L., Castagna, J. P., "Shear-wave velocity estimation in porpus rocks: theoretical formulation, preliminary verification and application", Geophysical Prospecting, 40, 195-209(1992)
- https://www.gfz-potsdam.de/en/section/seismic-hazard-and-riskdynamics/projects/wsm-world-stress-map
- Streit, J. E., Hillis, R. R., "Estimating fault stability and sustainable fluidpressures for underground sorage of CO₂ in porous rock", Energy, 29, 1445-1456(2004)
- 9) Cappa, F., Rutqvist, J., amamoto,K., "Modelingcrustal deformation and rupture

processes related to upwelling of deep CO₂-rich fluids during the 1965-1967 Matsushiro earthquake swarm in Japan", Journal of geophysical research, 114, B10304, doi:10.1029/2009JB006398(2009)

- Global CCS Institute, "Principles for Best Practice Geomechanics for CCS Injection Operations and its Application to the CarbonNet Project", The CarbonNet Project(2017)
- Urosevic, M., Langhi, L., Ricard, L., Strand, J., Yavuz, S., Ziramov, S., Tertyshnikov, K., Pevzner, R., Bona, A., Lebedev, M., Shulakova, V., Pervukhina, M., Kiewiet, M. C. D. N., Sarmadivaleh, M., Salemi, H., "Potential for preferential flow through faults and fractures", Milestone 5 – Final Report, ANLEC R&D Project 7-1215-0261(2019)
- Bretan, P., Yielding, G., Mathiassen, O. M., Thorsnes, T., "Fault-seal analysis for CO₂ storage: an example from the Troll area, Norwegian Continental Shelf", Petroleum Geoscience, 17, 181-192(2011)
- 13) Kano, Y., Funatsu, T., Nakao, S., Kusunose, K., Ishido, T., Lei, X., Tosha, T., "Fault stability analysis related to CO₂ injection at Tomakomai, Hokkaido, Japan", Energy Procedia, 37, 4946-4953(2013)
- 14) Kano, Y., Funatsu, T., Nakao, S., Kusunose, K., Ishido, T., Lei, X., Tosha, T.,
 "Analysis of changes in stress state and fault stability related to planned CO₂ injection at the Tomakomai offshore site", Energy Procedia, 63, 2870-2878(2014)

4.7 貯留層シミュレーションによる貯留可能性検討(高傾斜井)

4.7.1 概要

貯留適地調査事業に係るこれまでの「調査井掘削前 CO₂挙動予測シミュ ーション」で は、地質解析・貯留可能量評価業務にて貯留適地候補地点と評価した区域について、垂直井 5 坑井によりフィールド全体の CO₂ 圧入レートを 250 万 t/年の一定レートとして 40 年間 の圧入を試み、1 億 t の圧入の可能性を流動シミュ ーションにて検討している。2021 年 度に実施した「調査井掘削前 CO₂挙動予測シミュ ーション(北海道日高沖)」¹⁾(以下、

「R3 日高沖シミュ ーション」と称す。)では、容積法で約 25 億 t の CO₂ 貯留可能量を 見込んでいたにも関わらず、流動シミュ ーションでは垂直井 5 坑井にて 40 年間の CO₂ 圧 入を行い、1 区域で 1 億 t を圧入できる貯留可能域を見出すことができなかった。理由のひ とつとして、坑井の圧入性が不足していることがあげられたが、これは坑井の仕上げを高傾 斜井や水平井とし、仕上げ長を長くすることで改善することが可能であるため、この北海道 日高沖のフィールドを題材に圧入井を高傾斜井、水平井として坑井の圧入性を改善した場 合、1 億 t の CO₂ 圧入が可能か検討した。また、坑井の圧入性はその地域の貯留層性状に依 存するため、振れ幅のある主な貯留層パラメータについて感度解析も実施した。

(1) 目的

調査対象区域において 40 年間で累計 1 億 t の CO₂を地下貯留することを想定した際に、 垂直井と高傾斜井、水平井での坑跡と仕上げ区間長の違いによる圧入性の違いが CO₂ の圧 入挙動等にどのように影響するか、流動シミュ ーションにて比較する。また、振れ幅のあ る主な貯留層パラメータについて感度解析を行い、垂直井、高傾斜井、水平井での圧入挙動 等に対する影響度を評価する。

(2) 調査対象区域

本調査の対象区域位置図および層序を、図 4.7-1 および図 4.7-2 に示す。

図 4.7-1 中の緑枠で示される北海道太平洋沿岸中部沖合 60 km に東西方向 100 km、南北 方向 60 km 広がる範囲は『「二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」に関わる地質解析・ 貯留可能量評価(北海道日高沖) 3D 探査データの解析』²⁾(以下、「R2 日高沖地質評価」 と称す。)において地質解析と容積法による貯留可能量評価が行われている。R3 日高沖シ ミュ ーション評価では図 4.7-1 中の黒枠で示される範囲に焦点をあててシミュ ーショ ンによる貯留可能量評価が行われており、本調査業務でもこの範囲についてフィールドモ デルから部分を切り出したセクターモデルを作成し、作業を行った。



図 4.7-1 調查対象区域位置図



注)図中の黒矢印範囲が、シミュレーション範囲(貯留層および遮蔽層)である。

図 4.7-2 調査対象区域層序

(3) 結果概要

R3日高沖シミュレーション評価の検討結果にもとづきセクターモデルを作成し、垂直井 と高傾斜井、水平井での坑跡と仕上げ区間長の違いによる圧入能力と圧入挙動の違いにつ いて比較を行ない、感度分析により貯留層の不確実性の影響を確認した。

まずセクターモデルの作成では図 4.7-1 中の黒枠で示される範囲を R3 日高沖シミュレー ション評価で用いられたフィールドモデルから切り抜き、フィールドモデルとセクターモ デルの孔隙容積が同じようになるように調整し、グリッドサイズを 500 m 角から 100 m 角 にして R3 日高沖シミュ ーション評価で用いられた計算条件で両モデルの計算結果の比 較を行った。両モデルの圧入レートの規模感や CO₂ の広がり方は大局的には同じような傾 向であったが、セクターモデルではフィールドモデルで確認されなかった遮蔽層区間の砂 岩卓越部を CO₂ がブレイクスルーする挙動等、細部の挙動に違いが見られた。この挙動の 違いを回避するため、本調査では、垂直井、高傾斜井、水平井等の坑井タイプ(以下、「坑 井タイプ」と称する。) での比較に支障が出ない範囲で、坑井位置を調整し、最終的には R3 日高沖シミュ ーション評価の坑井位置から南東方向に 500 m ずらしたもので検討した。

次に、圧入能力の比較では垂直井(5本)ケース、垂直井(10本)ケース、高傾斜井(5本)ケース、水平井(5本)ケースの4ケースについて、目標圧入レートを250万t-CO₂/ 年として40年間圧入することで坑底圧力や圧入 ート、CO₂の分布状況の推移を作成した セクターモデルでのシミュ ーションにより比較した。

いずれのケースも圧入停止 1,000 年後の時点で、圧入した CO₂の 99%は貯留層区間に分 布しており、坑井数や坑井タイプの違いに影響はあるが、40 年間の圧入で 7 千万 t 弱から 1 億 t の CO₂を貯留できる可能性を確認した。また、水平井のケースでは仕上げ位置を調 整することで、より高いレートでの圧入や、貯留層上端における CO₂の平面的な広がりや 遮蔽層に対する CO₂の浸透の抑制を両立できる可能性があることを確認した。くわえて、 垂直井 (10本) ケースと水平井 (5本) ケースの比較では、貯留層圧力の上昇が圧入 ート を制限するようなフィールドでは坑井配置自体も圧入 ートや総圧入量に対する影響が大 きく、貯留範囲の岩相等の連続性を考慮し圧力伝播の範囲を想定したうえで坑井タイプと 仕上げ位置の最適化を検討することの重要性を確認した。

感度解析の実施では、垂直井(5本)ケース、高傾斜井(5本)ケース、水平井(5本) ケースの3ケースについて、浸透率、孔隙率、Kv/Kh、境界条件に不確実性を想定して個別 に設定を変更してシミュレーションを行った。本調査において CO₂ 圧入を長期的かつ安定 的に行っていくには、圧入性を確保するという点で砂体の浸透性や地層破壊圧が非常に重 要となること、レートを維持していくには圧入を行う砂体の連続性やその外側の領域の流 動特性、力学特性、遮蔽能力を把握しておくことが重要であることを確認した。また、垂直 方向の浸透性が良い場合等は砂体の下部 80%仕上げの垂直井や高傾斜井では圧入停止後 1,000 年経過までに遮蔽層上端まで CO₂が浸透するリスクの高い場合があり、CCS 事業と して圧入井を掘削する前にはサイトの地質イメージをより詳細なものとしたうえで CO₂の 流動挙動予測シミュレーションを行ない、坑跡や坑井タイプの最適化を進めていくことが CO₂の分布範囲のコントロールにも繋がり、重要であることを確認した。

(4) 使用データ

本業務で使用した主なデータを表 4.7-1 に示す。

○ 平成29年度~令和元年度 基礎試錐 「日高トラフ」
・調査報告書
・関連資料などのデジタルデーター式
〇「二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」に係る地質解析・貯留可能量評価(北海道日高沖)3D探査データの解析」
・業務報告書
・業務結果デジタルデータ
〇「二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」に係る「地表調査・採取試料及び分析業務(北海道日高周辺)」
・業務報告書
・業務結果デジタルデータ
〇 平成22年度「二酸化炭素削減技術実証試験」のうち「苫小牧CCS-1試料分析/地層流体分析」
・報告書
〇 平成22年度「二酸化炭素削減技術実証試験」のうち「苫小牧CCS-2試料分析 /地層流体分析」
・報告書
〇 平成22年度「二酸化炭素削減技術実証試験委託費」のうち苫小牧萌別層調査ボーリング(苫小牧CCS-2)コアフラッド試験分析
・成果報告書
・業務結果デジタルデータ
〇「二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務」に係る「調査井掘削前CO2挙動予測シミュレーション(北海道日高沖)」
・業務報告書
・業務結果デジタルデータ

表 4.7-1 本業務で使用した主なデーター覧

4.7.2 セクターモデルの作成

セクターモデルの作成は以下の順に行った。詳細は各項で述べる。

- 1) 対象範囲の切り抜き
- 2) ボリュームマルチプライヤーの計算
- 3) グリッドの細分化
- 4) R3 日高沖シミュ ーションとの比較
- 5) 坑井(坑跡)の再配置

(1) 対象範囲の切り抜き

図 4.7-3 に示す R3 日高沖シミュレーションの貯留層モデルについて、黒枠で示される範囲を切り抜き、図 4.7-4 に示すセクターモデルを作成した。なお、セクターモデルでは北西から南東を I 方向、北東から南西を J 方向、深度を K 方向としている。岩相区分やモデル内のゾーニングについては R3 日高沖シミュ ーションと同じものを用いた。



注) 貯留可能域1、貯留可能域3の範囲については標高-800mの深度でポリゴンを表示

図 4.7-3 貯留層モデル (フィールドモデル)の概要



図 4.7-4 貯留層モデル (セクターモデル)の概要

(2) ボリュームマルチプライヤーの計算

セクターモデルのうち外部境界に接するセル(フィールドモデルにおける I=103 や I=137、 J=24 や J=57、K=27 や K=122 に対応するセル)の孔隙容積を基準に、フィールドモデル の孔隙容積を再現できるようなボリュームマルチプライヤーを計算した(図 4.7-5)。



図 4.7-5 ボリュームマルチプライヤーの分布

(3) グリッドの細分化

フィールドモデルから切り抜いた NI×NJ×NK=114,240 セルのグリッドモデルについ て、IJ 方向に 5×5 で細分化したモデルを作成した。フィールドモデルは XY 方向の幅がお およそ 500 m なので、5×5 で細分化したモデルの XY 方向の幅はおおよそ 100 m である。

(4) R3 日高沖シミュレーションとの比較

貯留層シミュレーションの前提条件となる物性値の設定(岩相分布や孔隙率、浸透率、 ネットグロス、相対浸透率、毛細管圧力、貯留層温度、貯留層圧力、塩分濃度、岩石圧縮率、 地層破壊圧力)については R3 日高沖シミュ ーションと同じものを用いた。

圧入井の設定は R3 日高沖シミュレーションの貯留エリアの選定において用いられた坑 井数5本ケース(坑口位置:3,7,9,11,13)、仕上げ区間は貯留層区間中の砂体下部80% 仕上げるものとし、目標圧入レートは250万t-CO2/年で56年間を圧入期間とした。なお、 この56年間の圧入期間はR3日高沖シミュレーションにおいて10本ケース(坑口位置:1, 2,3,4,7,9,10,11,12,13)で1億tの貯留を達成している期間を参考にしている。坑井数 5本ケースでの貯留可能域と圧入井の配置を図4.7-6に示す。



図 4.7-6 貯留可能域と圧入井の配置

フィールドモデルとセクターモデルでは XY 方向のグリッドサイズが 500 m と 100 m と いう違いがあり、セクターモデルはフィールドモデルより 25 倍細かい空間スケールで CO₂ の流動状況を予測しており種々の挙動に違いが見られた。特に違いの大きかった CO₂ の圧 入レートの推移、CO₂の累計圧入量、CO₂ 飽和率分布、総圧入量に対する CO₂の分布割合 について示し、最後にまとめを示す。

CO₂の圧入レートの推移

正入レート推移を図 4.7-7 に示す。なお、坑底圧力については全圧入期間において仕上げ
区間上端の坑底圧力地層破壊圧力の 9 割(坑底圧力の上限値)で維持しつつ圧入されてい
ることを確認している。

フィールドモデルの圧入 ート推移では 250 万 t-CO₂/年の ートで圧入を開始後、暫く は坑井周りの貯留層圧力の上昇が優位で ートを下げていくが、15 年程度経過してくると CO₂ プルームの広がりが優位になっていき、圧入 ートは 100 万 t-CO₂/年からわずかに増 加していく傾向であった。一方、セクターモデルでは圧入 ートを抑えながら圧入を開始す る必要があり、時間とともに坑井周辺の飽和率が上昇し圧入性は良くなっていくものの、20 年程度経過してくると坑井周辺の貯留層圧力上昇の影響が優位になり、185 万 t-CO₂/年の 圧入 ートから徐々に低下していく傾向が示された。





図 4.7-7 圧入レート推移

CO₂の累計圧入量

CO₂の累計圧入量はフィールドモデルでは 0.64 億 t、セクターモデルでは 1.01 億 t で あった。表 4.7-2 に各坑井での圧入量と合計量を示す。

坑井	フィールドモデル	セクターモデル
3	0. 14	0. 23
7	0. 14	0. 21
9	9 0.11 0.17	
11	0. 11	0. 18
13	0. 14	0. 22
合計	0.64	1.01

表 4.7-2 各坑井の圧入量(56年間圧入)

③ CO2 飽和率分布

CO₂は地層水よりも密度が小さいため、圧入中および圧入停止中は、浮力によって貯留層 上部の地層傾斜に沿って浅い方に向かって移動することを確認した。

④ 総圧入量に対する CO₂ の分布割合

表 4.7-3 に総圧入量に対する CO₂の分布割合を示す。圧入された CO₂については、フィー ルドモデルでは貯留可能域 1 の範囲外や遮蔽層内への浸透は認められたものの、ともに浸 透量は総圧入量の 0.2%程度であり遮蔽層上端には達しておらず、調査対象区域内に安定し て貯留されていることを確認した。一方、セクターモデルでは貯留可能域 1 の範囲外や遮 蔽層内への浸透は認められたものの、浸透量は 1.1%と 0.5%ほどあり、わずかであるが遮 蔽層以浅にブ イクスルーしているのを確認した。そのため、後述のとおり、圧入井位置を 調整することとした。 フィールドモデル

層準	貯留可能域 (砂体1)内	貯留可能域 (砂体1)外	層準別合計
海底面~遮蔽層	~遮蔽層 0.0% 0.0%		0.0%
遮蔽層 0.2%		0.0%	0.2%
貯留層	99.7%	0.2%	99.8%
領域別合計 99.8%		0.0%	100.0%

セクターモデル

	貯留可能域	貯留可能域		
唐华 [1] 唐华	(砂体1)内	(砂体1)外	層準別合計	
海底面~遮蔽層	0.0%	0.0%	0.0%	
遮蔽層	1.0%	0.1%	1.1%	
貯留層	98.4%	0.5%	98.9%	
領域別合計 99.4%		0.6%	100.0%	

⑤ まとめ

表 4.7-4 に、フィールドモデルとセクターモデルの挙動の違いをまとめる。

表 4.7-4	フィールドモデ	レとセクター	-モデルの挙動の違い
---------	---------	--------	------------

項目	フィールドモデル	セクターモデル	摘要	
CO2累計圧入量 億トン	0.64	1.01		
坑底圧力および圧入レート	 250万t/年を2-3年実現 100-125万t/年で推移 (下に凸) 	 250万t/年は実現できず 150-185万t/年で推移 (上に凸) 	坑底圧力を上限で維持しながら 圧入する必要があり坑井周辺の 圧力、飽和率の状況によりレー トは変化する	
 1,000年後のC0₂の広がり 1) 坑井を中心とした半径 (貯留層上面) 2) 遮蔽層区間への浸透状況 	1)1500m程度 2)坑井直上の泥岩が優位な領域 を中心に浸透するが、総量は累 計圧入量の1%未満。遮蔽層以浅 に対するブレイクスルーも発生 せず。	1)1500mから2000m程度 2)坑井13の北西側の砂岩が優位 な領域で浸透が進み、遮蔽層以 浅に対するブレイクスルーが発 生	セクターモデルでは坑井を中心 に、より局所的で連続的なCO ₂ の 流動状況が再現される様子が確 認された	
1,000年後のCO ₂ 分布億トン (総圧入量に対する割合)	 ・浅部の区間 :0.000 (0.0%) ・遮蔽層区間 :0.001 (0.2%) ・貯留層区間 :0.642 (99.7%) 	 ・浅部の区間 : 0.000 (0.0%) ・遮蔽層区間 : 0.011 (1.1%) ・貯留層区間 : 1.000 (98.9%) 		

(5) 坑井(坑跡)の再配置

前項でまとめたとおり、前項までの坑井配置では 1,000 年間のモニタリング期間のうち に CO₂ が遮蔽層区間の砂岩が優位な領域をブ イクスルーする可能性がある。CO₂ を長期 に渡って安定して貯留するためには、「地層破壊圧を超えないこと」のほかに、「溶存 CO₂ 量の分布範囲が遮蔽層上端まで到達しない、あるいは遮蔽層に浸透する CO₂ が総圧入量の 1%を超えないこと」や「溶存 CO₂ 量の分布範囲が超臨界条件を外れる深度に到達しないこ と」を考慮する必要があり、坑口位置を南東方向に 500 m 程度ずつずらした坑井配置でセ クターモデルの貯留シミュ ーションを行うこととした。

前項と同じように CO₂の圧入 ートの推移、CO₂の累計圧入量、CO₂飽和率分布、総圧 入量に対する CO₂の分布割合等を確認した結果、遮蔽層区間の砂岩が優位な領域への CO₂ ブレイクスルーが生じないことを確認したため、この坑井配置を採用した。CO₂圧入挙動や 貯留層内の CO₂の流動挙動についての詳細は次項で示す。

4.7.3 圧入能力の比較

調査対象区域において 40 年間で累計 1 億 t の CO₂を地下貯留することを想定し、垂直井 (5本)ケース、垂直井(10本)ケース、高傾斜井(5本)ケース、水平井(5本)ケース、 の4ケースについて、表 4.7-5 と表 4.7-6 の設定と条件で CO₂圧入開始から圧入停止 1,000 年後までの CO₂の挙動予測シミュレーションを行なった。実際に CO₂を圧入する際には表 4.7-7 のような制限条件を設けて実施するが、ケースの違いによってこれらの基準に対して どのような影響があるか考慮し、CO₂の累計圧入量、坑底圧力や圧入 ートの推移、CO₂飽 和率分布、溶存 CO₂量分布、総圧入量に対する CO₂の分布割合、CO₂の貯留形態、遮蔽層 下端圧力変化の順に、予測結果を確認した。

圧入井の設定				
坑井	垂直井	垂直井	高傾斜井(60°)	水平井
圧入井数	5 坑	10 坑	5 坑	5 坑
	1,500 m	1,000 m	1,500 m	1,500 m
正八开位直 "	スペーシング	スペーシング	スペーシング	スペーシング
圧入井坑跡	-		南東方向 ²⁾	南東方向 ³⁾
ᄮᄂᆄᇢᄜ	貯留可能域 1 の砂の厚い部分の		垂直井の2倍	垂直井の3倍
江工り区間	下部 80%区間		の仕上げ区間長	の仕上げ区間長

表 4.7-5 圧入井の設定

注1) R3日高沖シミュレーションの坑口配置において「再配置後」で示される位置

注2)高傾斜井は垂直井の仕上げ区間上端から、水平井は垂直井の仕上げ区間中央から南東に向いた坑跡

表 4.7-6 圧入条件

圧入条件			
目標圧入レート	250 万 t-CO₂/年		
圧入制御	圧力制御(坑底圧)		
圧入期間	40 年		

	制限条件
(1)	遮蔽層下端圧力がモデル全体でスレッショルド圧力を超えない。
(2)	溶存 CO2 量の分布範囲(表示下限 3×10 ⁻⁵ mol/kg)
a)	遮蔽層を切る断層から 2.5 km の範囲に到達しない。
b)	既存の基礎試錐井に達しない。
c)	シミュレーションモデルの端に到達しない。
d)	超臨界条件(7.38 MPa、31.1 ℃)から外れる深度(浅部)に到達しない。
	(超臨界条件は提示する温度圧力情報から推定)
e)	遮蔽層上端まで CO2 が浸透しない、かつ、遮蔽層内に浸透する CO2 が総圧入量の
	1%を超えないこと
(3)	各坑井の圧入量の制御は BHP 制御 ¹⁾ とする。
(4)	圧入中の流速が TBG(4-1/2")のエロージョン速度 ^{注2)} に到達しない。

表 4.7-7 制限条件

(C値=200として算出する。)

注1) BHP 制御は地層破壊圧の予測値の 90 %を超えない設定とする。

注 2) American Petroleum Institute, "Recommended Practice for Design and Installation of Offshore Production Platform Piping Systems", API RECOMMENDED PRACTICE (RP 14E) FIFTH EDITION, OCTOBER 1991

各ケースのシミュレーション結果を述べる前に、坑井配置や仕上げ区間の違いの概念、坑 跡違いの概念、圧入性の違いについて表 4.7-8、図 4.7-8、図 4.7-9、図 4.7-10 示す。

坑井数	圧入井番号
5本	3/7/9/11/13
10 本	1/2/3/4/7/9/11/12/13/14

表 4.7-8 坑井数と圧入井



注1) 可読性を優先して 500 m 角グリッドのセクターモデル上でイメージを示す。

注 2) 2021 年の検討で用いられた坑口位置を白抜きの円で示す。

注3)本業務で用いた坑口位置(白抜きの円を南東方向におおよそ 500 m 移動させたもの)を青色の円、 橙色の円で示す(青色:垂直井5本ケース、橙色:垂直井10本ケースの追加5本分)。

図 4.7-8 各坑井の坑口位置

なお、R3 日高沖シミュレーションでは図 4.7-8 中の白抜きの円で示された坑口位置に垂 直井を配置し検討を行ったが、4.7-2(5)で述べたとおり、本検討では青色の円の坑口位置に 垂直井、高傾斜井、水平井を配置し検討を行った(橙色の円は垂直井 10 本の場合の追加分)。 以降では、特に注記しない限り坑井の坑口位置は緑字で表記した坑井のものを意味し、あえ て C03 と表記した際には白抜き円の坑口位置における垂直井、C03D は白抜き円の位置の 高傾斜井(60°)、C03H は白抜き円の位置の水平井、E03 は青色の円(緑色文字)の位置 の垂直井、E03D は青色の円(緑色文字)の位置の高傾斜井(60°)、E03H は青色の円(緑 色文字)の位置の水平井を意味するものとする。



図 4.7-9 坑口位置ごとの仕上げ区間の違いの概念図



図 4.7-10 E入井の坑跡概念図

図 4.7-9 は、セクターモデルの範囲は貯留可能域1の中でも岩相LBが厚く分布している エリアを選定しているが、それでも位置によって砂の厚さが異なるというサイトの特徴を 示している。図 4.7-8 や図 4.7-10 で示されているように貯留可能域1 も東側では岩相LB に挟まれる形で岩相 SL_BF が出現しており、垂直井の坑跡に対して高傾斜井や水平井は 1:2:3 の仕上げ区間長の比になるように坑跡を設定しているが、サイトの岩相分布の特徴の 影響が大きく、圧入井の圧入能力は単純に 1:2:3 にはならない。各坑跡から計算できる仕上 げ区間長と、水平浸透率・ネットグロス・仕上げ区間長の積和、Well Index (CMG のシミュ

ーター(GEM)上で坑跡と物性値分布を入力すると物性値分布と坑井データから計算される圧入性を表す指標)について、確認した結果を表 4.7-9 および図 4.7-11 に示す。

Well	dMD	Kh*NTG*dMD	WI	Well	dMD	Kh*NTG*dMD	WI
WOII	m	mD*m	m3/d/kPa	WOII	m	mD*m	m3/d/kPa
C03	538	6415	7499	E03	511	6293	7359
C07	556	5526	6454	E07	538	5531	6464
C09	556	3864	4489	E09	545	3820	4439
C11	381	3462	4048	E11	398	3790	4431
C13	572	4371	5078	E13	559	4380	5096
小計	2602	23638	27568	小計	2550	23813	27789
C03D	1076	11762	9997	E03D	1022	8124	6947
C07D	1111	10397	8850	E07D	1076	8724	7496
C09D	1112	7362	6195	E09D	1090	7086	6037
C11D	762	6462	5495	E11D	795	7660	6546
C13D	1144	8505	7141	E13D	1117	6570	5534
小計	5206	44488	37679	小計	5101	38164	32560
C03H	1615	18721	12833	E03H	1533	18417	12629
C07H	1667	16249	11136	E07H	1614	16178	11104
C09H	1668	14865	10167	E09H	1635	14772	10105
C11H	1143	10315	7108	E11H	1193	11325	7750
C13H	1716	12834	8774	E13H	1676	12950	8865
小計	7809	72984	50017	小計	7652	73642	50452
C01	310	4407	5122	E01	462	5617	6533
C02	577	6722	7838	E02	527	6249	7291
C03	538	6415	7499	E03	511	6293	7359
C04	558	5140	5982	E04	521	4645	5395
C07	556	5526	6454	E07	538	5531	6464
C09	556	3864	4489	E09	545	3820	4439
C11	381	3462	4048	E11	398	3790	4431
C12	382	3373	3944	E12	563	4516	5241
C13	572	4371	5078	E13	559	4380	5096
C14	576	3259	3797	E14	572	3191	3715
小計	5005	46539	54252	小計	5195	48032	55964

表 4.7-9 坑井タイプから推定される圧入能力の違い





注)上図:R3日高沖シミュレーションの坑井配置、下図:本調査の坑井配置 について示す。

図 4.7-11 坑井ごとの仕上げ長(dMD) および Well Index

表 4.7-9 の E で始まる坑井の設定で垂直井(5本)、垂直井(10本)、高傾斜井(5本)、 水平井(5本)の4ケースのシミュレーション結果を次項に述べる。

- (1) 垂直井(5本)ケース
- CO₂の累計圧入量

各坑井の累計圧入量を表 4.7-10 に示す。CO2の総圧入量は 0.69 億 t であった。

坑井	総圧入量(億 t-CO ₂)
3	0.15
7	0.15
9	0.12
11	0.14
13	0.15
合計	0.69

表 4.7-10 各坑井の圧入量(垂直井 5 坑)

② 坑底圧力および圧入レート推移

全圧入期間において仕上げ区間上端の坑底圧力を地層破壊圧力の 9 割で維持しつつ圧入 されていることを確認の上、各坑井の圧入 ートの推移を確認した。坑底圧力推移を図 4.7-12、圧入 ート推移を図 4.7-13 に示す。



注)点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力、色は実線が表す圧入井に対応する。

図 4.7-12 圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移



図 4.7-13 圧入レート推移

圧入レートは、初期は約 125 万 t-CO₂/年 ートで、坑井周りの飽和率上昇とともに圧入 性は改善されていくが、坑井周りの圧力上昇が進むと地層破壊圧に対して許容できる差圧 幅の減少によって圧入 ートは徐々に制限されていき、175 万 t-CO₂/年程度の ートで推 移していく。

③ CO2 飽和率分布

CO₂ は地層水よりも密度が小さいため浮力によって浅い方に移動する。平面図にて貯留 層頂部の地層傾斜に沿って CO₂ が各坑井の若干南東方向へ広がっていく傾向を確認したが、 CO₂の顕著な移動はみられず、圧入井から 1,000 m 強の範囲内に収まることを確認した。

④ 溶存 CO₂ 量分布

基本的な挙動として、前述の CO₂ 飽和率分布と同様であり、若干南東方向に広がる傾向 を確認した。

⑤ 総圧入量に対する CO₂ の分布割合

圧入停止 1,000 年後の総圧入量に対する CO₂の分布割合を表 4.7-11 示す。CO₂は総圧入 量の 0.4%程度は遮蔽層内へ浸透しているものの、残りは貯留層内に分布していることが確 認された。

層準	貯留可能域	貯留可能域	層準別合計
	(砂体 1)内	(砂体 1)外	
海底面~遮蔽層	0.0%	0.0%	0.0%
遮蔽層	0.4%	0.0%	0.4%
貯留層	99.6%	0.0%	99.6%
領域別合計	100.0%	0.0%	100.0%

表 4.7-11 総圧入量に対する CO₂の分布割合

⑥ 遮蔽層下端圧力変化

圧入停止 1,000 年後の遮蔽層下端における初期状態からの圧力上昇値について、各坑井 における遮蔽層下端の初期状態からの圧力変化推移を図 4.7-14 に示す。

遮蔽層下端における初期圧からの圧力上昇分が最も大きくなるのは圧入停止するタイミングであるが、圧入停止時の圧力上昇値は 1,800 kPa 程度で、スレッショルド圧力 610 kPa を超過しており遮蔽層への浸透も生じている。スレッショルド圧力以下まで低下するのは 圧入停止後 250 年経過後で、圧入停止 1,000 年後も初期圧力までは戻っていなかった。



図 4.7-14 遮蔽層下端における圧力変化(上昇値)の推移

⑦ まとめ

調査対象区域において垂直井5本、目標圧入 ート250万 t-CO2/年で40年間圧入を行
う条件で流動シミュレーションを行なった。

CO₂の総圧入量は 40 年間で 0.69 億 t であり、圧入停止後 1,000 年経過した時点で圧入 した CO₂の 0.4%程度は遮蔽層へ浸透しているものの残りは貯留層内に分布しており、移 動可能な超臨界状態の CO₂の割合も総圧入量の 1%以下となっていることも踏まえて、安 定して貯留できていることを確認した。

また、圧入 ートは、初期は 125 万 t-CO₂/年程度であったが坑井周辺の飽和率上昇とと もに圧入性は改善していき、圧入開始から 5 年を過ぎてくると貯留層内の圧力上昇の影響 も受けて ート上昇の余地は相殺されていき、175 万 t-CO₂/年程度で安定していくことが 確認された。

(2) 垂直井(10本)ケース

CO₂の累計圧入量

各坑井の累計圧入量を表 4.7-12 に示す。CO2の総圧入量は 1.0 億 t であった。

坑井	総圧入量(億 t-CO ₂)
1	0.12
2	0.12
3	0.11
4	0.10
7	0.11
9	0.08
11	0.09
12	0.10
13	0.10
14	0.07
合計	1.00

表 4.7-12 各坑井の圧入量(垂直井 10 坑)

② 坑底圧力および圧入レート推移

全圧入期間において仕上げ区間上端の坑底圧力を地層破壊圧力の 9 割で維持しつつ圧入 されていることを確認の上、各坑井の圧入レート推移を比較した。坑底圧力推移を図 4.7-15、 圧入 ート推移を図 4.7-16 に示す。



注)点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力、色は実線が表す圧入井に対応する。



図 4.7-15 圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移

図 4.7-16 圧入レート推移 (垂直井 10本)

圧入レートの推移をみると、最初の1年程度250万t-CO₂/年の ートを達成できていないものの、残りの期間は垂直井5本ケースとは異なり合計250万t-CO₂/年の圧入レートを維持できている。坑底圧力の推移をみると圧入井7や圧入井9では坑底圧力が地層破壊圧

環境省・経済産業省連携事業 令和4年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務 報告書

の 9 割未満の水準で推移しており、わずかではあるが圧入レートアップの可能性も示唆される。

③ CO2 飽和率分布

前項の垂直井5本のケースと同様に、平面図において貯留層頂部の地層傾斜に沿ってCO2 が各坑井の若干南東方へ広がっていく傾向を確認したが、CO2の顕著な移動はみられず、圧 入井から 1,000 m 強の範囲に収まることを確認した。

④ 溶存 CO₂ 量分布

基本的な挙動として、前述の CO₂ 飽和率分布と同様であり、若干南東方向に広がる傾向 を確認した。

5 総圧入量に対する CO₂ の分布割合

圧入停止 1,000 年後の総圧入量に対する CO₂の分布割合を表 4.7-13 に示す。CO₂は総圧 入量の 0.3%程度は遮蔽層内に浸透しているものの、残りはすべて貯留層内に分布している ことを確認した。

層準	貯留可能域 (砂体 1)内	貯留可能域 (砂体 1)外	層準別合計
海底面~遮蔽層	0.0%	0.0%	0.0%
遮蔽層	0.3%	0.0%	0.3%
貯留層	99.7%	0.0%	99.7%
領域別合計	100.0%	0.0%	100.0%

表 4.7-13 総圧入量に対する CO₂ の分布割合

⑥ 遮蔽層下端圧力変化

圧入停止 1,000 年後の遮蔽層下端における初期状態からの圧力上昇値について、各坑井 における遮蔽層下端の初期状態からの圧力変化推移を図 4.7-17 に示す。

遮蔽層下端における初期圧からの圧力上昇分が最も大きくなるのは圧入停止するタイミ ングであるが、圧入停止時の圧力上昇値は 2,300 kPa 程度で、スレッショルド圧力 610 kPa を超過しており遮蔽層への浸透も生じている。スレッショルド圧力以下まで低下するのは 圧入停止後 250 年経過後で、一部の圧入井については圧入停止 1,000 年後も初期圧力まで は戻っていなかった。



⑦ まとめ

調査対象区域において垂直井 10本、目標圧入 ート 250 万 t-CO₂/年で 40 年間圧入を行 う条件で流動シミュレーションを行なった。

CO₂の総圧入量は 40 年間で 1.00 億 t であり、圧入停止後 1,000 年経過した時点で圧入 した CO₂の 0.3%程度は遮蔽層へ浸透しているものの遮蔽層上端には到達しておらず、残 りは貯留層内に分布しており、移動可能な超臨界状態の CO₂の割合も総圧入量の 1%以下 となっていることも踏まえて、安定して貯留できていることを確認した。

また、圧入 ートは安定するまでに若干時間がかかるものの 250 万 t-CO₂/年で 40 年間 圧入できることが確認された。

- (3) 高傾斜井(5本)ケース
- CO₂の累計圧入量

各坑井の累計圧入量を表 4.7-14 に示す。CO2の総圧入量は 0.78 億 t であった。

坑井	総圧入量(億 t-CO ₂)
3	0.14
7	0.16
9	0.15
11	0.19
13	0.15
合計	0.78

表 4.7-14 各坑井の圧入量(高傾斜井 5 坑)

② 坑底圧力および圧入レート推移

全圧入期間において仕上げ区間上端の坑底圧力を地層破壊圧力の 9 割で維持しつつ圧入 されていることを確認の上、各坑井の圧入 ートの推移を確認した。坑底圧力推移を図 4.7-18、圧入 ート推移を図 4.7-19 に示す。



注)点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力、色は実線が表す圧入井に対応する。

図 4.7-18 圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移 (高傾斜井5本)



図 4.7-19 圧入レート推移 (高傾斜井5本)

坑底圧力、圧入 ートの特徴は垂直井 5 本のケースと同様で、仕上げ区間長が垂直井よ りも長く圧入性が高いため、150万t-CO₂/年程度から圧入を始めることができ、坑井周辺の CO₂飽和率の上昇とともに圧入性が改善されていく。圧入開始から 5 年を過ぎたころから は坑井周辺の貯留層圧力上昇の影響も受けて圧入 ートの上昇余地は徐々に減っていき、 最終的に 200万t-CO₂/年の ートで推移していくことが確認された。

③ CO2 飽和率分布

前節の垂直井 5 本のケースと同様で、平面図では貯留層頂部の地層傾斜に沿って CO₂が 各坑井の若干南東方向へ広がっていく傾向を確認したが、CO₂の顕著な移動はみられず、圧 入井から 1,000 m 強の範囲に収まることを確認した。

④ 溶存 CO₂ 量分布

基本的な挙動として、前述の CO₂ 飽和率分布と同様であり、若干南東方向に広がる傾向 を確認した。

⑤ 総圧入量に対する CO₂の分布割合

総圧入量に対する CO₂の分布割合を表 4.7-15 に示す。CO₂は総圧入量の 0.4%程度は遮蔽層内に浸透しているものの、残りはすべて貯留層内に分布している。

層準	貯留可能域	貯留可能域	国准则へ計
	(砂体 1)内	(砂体 1)外	眉牛加口前
海底面~遮蔽層	0.0%	0.0%	0.0%
遮蔽層	0.4%	0.0%	0.4%
貯留層	99.6%	0.0%	99.6%
領域別合計	100.0%	0.0%	100.0%

表 4.7-15 総圧入量に対する CO₂の分布割合

⑥ 遮蔽層下端圧力変化

圧入停止 1,000 年後の遮蔽層下端における初期状態からの圧力上昇値について、各坑井 における遮蔽層下端の初期状態からの圧力変化推移を図 4.7-20 に示す。

遮蔽層下端における初期圧からの圧力上昇分が最も大きくなるのは圧入停止するタイミ ングであるが、圧入停止時の圧力上昇値は 1,800 kPa 程度で、スレッショルド圧力 610 kPa を超過しており遮蔽層への浸透も生じている。スレッショルド圧力以下まで低下するのは 圧入停止後 250 年経過後で、圧入停止 1,000 年後も初期圧力までは戻っていなかった。



図 4.7-20 遮蔽層下端圧力推移(高傾斜井 5 本)

⑦ まとめ

調査対象区域において高傾斜井5本、目標圧入レート250万t-CO2/年で40年間圧入を

行う条件で流動シミュ ーションを行なった。

CO₂の総圧入量は 40 年間で 0.78 億 t であり、圧入停止後 1,000 年経過した時点で圧入 した CO₂の 0.4%程度は遮蔽層へ浸透しているものの遮蔽層上端には到達しておらず、残 りは貯留層内に分布しており、移動可能な超臨界状態の CO₂の割合も総圧入量の 1%以下 となっていることも踏まえて、安定して貯留できていることを確認した。

また、圧入レートについては、仕上げ区間長が垂直井よりも長く圧入性が高いため 150 万 t-CO₂/年程度から圧入を始めることができ、坑井周辺の CO₂ 飽和率の上昇とともに圧入性 が改善されていく様子や、圧入開始から 5 年を過ぎたころからは坑井周辺の貯留層圧力上 昇の影響も受けて圧入 ートの上昇余地は減っていき、最終的に 200 万 t-CO₂/年の ート で推移していくことが確認された。

(4) 水平井(5本)ケース

CO₂の累計圧入量

各坑井の累計圧入量を表 4.7-16 に示す。CO2の総圧入量は 0.92 億 t であった。

坑井	総圧入量(億 t-CO ₂)
3	0.19
7	0.20
9	0.16
11	0.20
13	0.17
合計	0.92

表 4.7-16 各坑井の圧入量(水平井 5 坑)

② 坑底圧力および圧入レート推移

全圧入期間において仕上げ区間上端の坑底圧力を地層破壊圧力の 9 割で維持しつつ圧入 されていることを確認の上、各坑井の圧入レート推移を比較した。坑底圧力推移を図 4.7-21 圧入 ート推移を図 4.7-22 に示す。



注)点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力、色は実線が表す圧入井に対応



図 4.7-21 圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移(水平井5本)

図 4.7-22 圧入レート推移 (水平井5本)

圧入レートは前項の垂直井5本ケースや高傾斜井5本ケースとは異なる推移がみられた。 具体的には、初めの2年間程度は250万t-CO₂/年一定での圧入が行えているが、それ以降 は圧入とともに坑井周辺の地層圧力が上昇するため、坑底圧力を地層破壊圧力の9割以下 で維持しつつ圧入を継続するためには、坑井当たりの圧入レートが減少傾向であることを 示している。

③ CO2 飽和率分布

CO₂ 飽和率分布では、水平井の仕上げ区間深度は垂直井の仕上げ区間中央深度としているため、CO₂の広がりは垂直井や高傾斜井の時と異なり、貯留層上端(K=43)と貯留層中部(K=59)の平面的な CO₂ 飽和率分布で違いが確認された。

これは貯留可能域 1 の東側では B2.5 の層準では岩相 SL_BF が出現しているのに対し、 水平井は SL_BF より深い位置に仕上げる想定(図 4.7-10 に示されるような概念)になる ためであり、調査範囲の岩相分布の概念の特徴が強く表れているともいえる。水平井の坑跡 に対して CO₂ は 1,500 m 弱の範囲に収まっているという点は他の坑井のケースと共通する 特徴であった。

④ 溶存 CO₂ 量分布

基本的な挙動として、前述の CO₂ 飽和率分布と同様であり、若干南東方向に広がる傾向 を確認した。

⑤ 総圧入量に対する CO₂ の分布割合

圧入停止 1,000 年後の総圧入量に対する CO₂の分布割合を表 4.7-17 に示す。CO₂は総圧 入量の 0.1%程度は遮蔽層内へ浸透しているものの、残りは貯留層内に分布していることが 確認された。

層準	貯留可能域	貯留可能域	層準別合計
	(砂体1)内	(砂体 1) 外	
海底面~遮蔽層	0.0%	0.0%	0.0%
遮蔽層	0.1%	0.0%	0.1%
貯留層	99.8%	0.1%	99.9%
領域別合計	99.9%	0.1%	100.0%

表 4.7-17 総圧入量に対する CO₂の分布割合

⑥ 遮蔽層下端圧力変化

圧入停止 1,000 年後の遮蔽層下端における初期状態からの圧力上昇値について、各坑井 における遮蔽層下端の初期状態からの圧力変化推移を図 4.7-23 に示す。

遮蔽層下端における初期圧からの圧力上昇分が最も大きくなるのは圧入停止するタイミングであるが、圧入停止時の圧力上昇値は 1,500 kPa 程度で、スレッショルド圧力 610 kPa

を超過しており遮蔽層への浸透も生じている。スレッショルド圧力以下まで低下するのは 圧入停止後10年経過後であり、圧入停止1,000年後にはおおむね初期圧力まで戻っている。



図 4.7-23 遮蔽層下端圧力推移(水平井5本)

⑦ まとめ

調査対象区域において高傾斜井 5本、目標圧入レート 250 万 t-CO₂/年で 40 年間圧入を 行う条件で流動シミュ ーションを行なった。

CO₂の総圧入量は 40 年間で 0.92 億 t であり、圧入停止後 1,000 年経過した時点で圧入 した CO₂の 0.1%程度は遮蔽層へ浸透しているものの遮蔽層上端には到達しておらず、超 臨界状態 CO₂ と残留 CO₂の差は 2%以下であるが、他のケースと比べても大部分は貯留層 内に留まっている状況であり、安全に貯留できていることを確認した。

また、圧入レートについては、仕上げ区間長が垂直井よりも長く圧入性が高いため 250 万 t-CO₂/年程度から圧入を始めることができるものの、坑井によっては水平井の仕上げ区間の 上に低浸透性の岩相が出現するため、坑井周辺の圧力上昇の影響が優位になり、最終的に 220 万 t-CO₂/年程度まで ートが減少していくことが確認された。

4.7.4 感度解析

前項で比較した垂直井、高傾斜井、水平井のケースについて、「浸透率」「孔隙率」、 「Kv/Kh」、「境界条件」の不確実性を想定して、坑井数5本、目標圧入 ート250万t-CO₂/ 年で40年間圧入した際に圧入レートやCO₂の広がり方等の流動挙動にどのような違いが あるのかシミュレーションを行ない、前項と同じように予測結果を確認した。

(1) 浸透率

浸透率の不確実性を想定し、ベースケースの 2.0 倍あるいは 0.5 倍であった場合の挙動の 違いについてシミュレーションによる確認を行った。

① 垂直(5本)ケース

各坑井の累計圧入量を表 4.7-18 に示す。坑底圧力推移を図 4.7-24、圧入 ート推移を図 4.7-25 に示す。以下に、CO₂ 飽和率分布、溶存 CO₂ 量分布、総圧入量に対する CO₂ の分布 割合、遮蔽層下端圧力変化等から確認したことを合わせてまとめる。

CO₂の総圧入量は 40 年間で、浸透率 2.0 倍のケースでは 1.0 億 t、浸透率 0.5 倍のケー スでは 0.34 億 t であり、浸透率 2.0 倍のケースのほうが浸透率 0.5 倍のケースより約 2.9 倍大きい。これは、浸透率 2.0 倍ケースでは貯留可能域 1 の砂の厚いエリアだけでなくその 周辺の浸透率も高くなった結果、圧入性が良くなっただけでなく坑井周りの圧力も上昇し にくくなったことで目標レートの 250 万 t-CO₂/年を維持できるからと考えられる。浸透率 0.5 倍のケースでは、初期は 50 万 t-CO₂/年程度であるが、坑井周辺の飽和率上昇とともに 圧入性は改善していき、貯留層内の圧力上昇とともに圧入 ートの上昇余地は減っていき、 最終的に 100 万 t-CO₂/年弱の水準で安定して圧入されることが確認された。

圧入した CO₂は、圧入停止後 1,000 年経過した時点で、浸透率 2.0 倍のケースと浸透率 0.5 倍のケースではそれぞれ、総圧入量の 0.3%、0.2%程度は遮蔽層に浸透しているものの 遮蔽層上端には達しておらず残りは貯留層内に分布しており、どちらのケースも超臨界状 態の CO₂ と残留ガスの固定された CO₂ の割合の差は 1%以下で、長期に渡って安定して貯 留できることを確認した。

坑井	総圧入量(億 t-CO ₂)		
	浸透率(2.0倍)	浸透率(0.5倍)	
3	0.20	0.07	
7	0.20	0.07	
9	0.19	0.06	
11	0.20	0.06	
13	0.20	0.07	
合計	1.00	0.34	

表 4.7-18 各坑井の圧入量(浸透率:垂直井 5 坑)



注) 点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力、色は実線が表す圧入井に対応する。 上図:浸透率:2.0倍ケース、下図:浸透率:0.5倍ケースを示す。

図 4.7-24 圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移



注)上図:浸透率2.0倍ケース、下図:浸透率0.5倍ケースを示す。

2 高傾斜井(5本)ケース

各坑井の累計圧入量を表 4.7-19 に示す。坑底圧力推移を図 4.7-26、圧入 ート推移を図 4.7-27 に示す。以下に、CO₂ 飽和率分布、溶存 CO₂ 量分布、総圧入量に対する CO₂ の分布 割合、遮蔽層下端圧力変化等から確認したことを合わせてまとめる。

CO₂の総圧入量は 40 年間で、浸透率 2.0 倍のケースでは 1.0 億 t、浸透率 0.5 倍のケー スでは 0.39 億 t であり、浸透率 2.0 倍のケースのほうが浸透率 0.5 倍のケースより約 2.6 倍大きい。これは、浸透率 2.0 倍のケースでは、貯留可能域 1 の砂層の厚いエリアだけでな

図 4.7-25 圧入レート推移 (垂直井)

くその周辺の浸透率も高いことで、坑井の圧入性が良いのに加えて坑井周辺の圧力上昇が 抑えられることで目標 ートの 250 万 t-CO₂/年を維持できるからと考えられる。浸透率 0.5 倍のケースでは、初期は 60 万 t-CO₂/年程度であるが、坑井周辺の飽和率上昇とともに圧入 性は改善していき、圧入開始から 5 年を過ぎてくると貯留層内の圧力上昇の影響もあり、 圧入 ートの上昇余地は相殺され、100 万 t-CO₂/年弱で安定していく様子が確認された。

圧入した CO₂は、圧入停止後 1,000 年経過した時点で、浸透率 2.0 倍のケースと浸透率 0.5 倍のケースではそれぞれ、総圧入量の 0.5%、0.2%程度は遮蔽層に浸透しているものの 残りは貯留層内に分布しており、どちらのケースも超臨界状態の CO₂ と残留ガスの固定さ れた CO₂の割合の差は 1%以下であり、長期に渡って安定して貯留できることを確認した。

坑井 -	総圧入量(億 t-CO ₂)		
	浸透率(2.0倍)	浸透率(0.5倍)	
3	0.20	0.07	
7	0.20	0.08	
9	0.20	0.07	
11	0.20	0.09	
13	0.19	0.07	
合計	1.01	0.39	

表 4.7-19 各坑井の圧入量(浸透率:高傾斜井 5 坑)



注) 点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力、色は実線が表す圧入井に対応する。 上図:浸透率:2.0倍ケース、下図:浸透率:0.5倍ケースを示す。

図 4.7-26 圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移(高傾斜井)



注) 上図:浸透率 2.0 倍ケース、下図:浸透率 0.5 倍ケースを示す。

図 4.7-27 圧入レート推移(高傾斜井)

③ 水平井(5本)ケース

各坑井の累計圧入量を図 4.7-20 に示す。坑底圧力推移を図 4.7-28、圧入 ート推移を図 4.7-29 に示す。以下に、CO2 飽和率分布、溶存 CO2 量分布、総圧入量に対する CO2 の分布 割合、遮蔽層下端圧力変化等から確認したことを合わせてまとめる。

CO₂の総圧入量は 40 年間で、浸透率 2.0 倍のケースでは 1.0 億 t、浸透率 0.5 倍のケースでは 0.49 億 t であり、浸透率 2.0 倍のケースのほうが 0.5 倍のケースより約 2 倍大きい。

これは、浸透率 2.0 倍のケースでは、貯留可能域 1 の砂層の厚いエリアだけでなくその周辺 の浸透率も高いことにより、坑井の圧入性が良いことに加えて坑井周辺の圧力上昇が抑え られることで目標 ートの 250 万 t-CO₂/年を維持できるからと考えられる。浸透率 0.5 倍 のケースでは、初期は 125 万 t-CO₂/年程度であり、坑井周辺の飽和率上昇とともに圧入性 は改善していくものの、圧入開始から 2 年を過ぎてくると貯留層内の圧力上昇の影響も受 けて ート上昇の余地は相殺されていき、再び 125 万 t-CO₂/年程度で安定していく様子が 確認された。

圧入した CO₂は、圧入停止後 1,000 年経過した時点で、浸透率 2.0 倍のケースと浸透率 0.5 倍のケースではそれぞれ、総圧入量の 0.1%、0.0%程度は遮蔽層内と貯留可能域 1 の範 囲外に浸透しているものの残りは貯留層内に分布している。超臨界状態の CO₂ と残留ガス の固定された CO₂ の割合の差は浸透率 2.0 倍のケースで 0.6%、浸透率 0.5 倍のケースで 2.0%程度であったが、長期間に渡って貯留層内に分布しており、安定して貯留できること を確認した。

+ + ++	総圧入量(億 t-CO ₂)		
-91 .71	浸透率(2.0倍)	浸透率(0.5倍)	
3	0.20	0.10	
7	0.20	0.10	
9	0.20	0.08	
11	0.19	0.12	
13	0.20	0.09	
合計	1.00	0.49	

表 4.7-20 各坑井の圧入量(浸透率:水平井 5 坑)



注) 点線は各圧入井仕上げ区間上端深度の地層破壊圧力、色は実線が表す圧入井に対応する。 上図:浸透率:2.0倍ケース、下図:浸透率:0.5倍ケースを示す。

図 4.7-28 圧入井仕上げ区間上端深度の坑底圧力推移 (水平井)



注) 上図:浸透率 2.0 倍ケース、下図:浸透率 0.5 倍ケースを示す。

図 4.7-29 圧入レート推移 (水平井)

(2) 孔隙率

孔隙率の不確実性を想定し、ベースケースの 1.25 倍あるいは 0.75 倍であった場合の挙動 の違いについてシミュ ーションによる確認を行った。

① 垂直井(5本)ケース

各坑井の累計圧入量を表 4.7-21 に示す。坑底圧力推移と圧入 ート推移はベースケース

とほぼ同様であったため、ここでは省略する。以下に、CO2飽和率分布、溶存 CO2量分布、 総圧入量に対する CO2の分布割合、遮蔽層下端圧力変化等から確認したことを合わせてま とめる。

CO₂の総圧入量は 40 年間で、孔隙率 1.25 倍のケースでは 0.69 億 t、孔隙率 0.75 倍の ケースでは 0.70 億 t であり、総圧入量に顕著な違いはみられなかった。これは、孔隙率を 変化させたことで孔隙容積が増減したものの、浸透率は変えていないためと考えられる。圧 入した CO₂は、圧入停止後 1,000 年経過した時点で、孔隙率 1.25 倍のケースと孔隙率 0.75 倍のケースではそれぞれ、総圧入量の 0.3%、0.6%程度は遮蔽層と貯留可能域 1 の範囲外 に浸透しているものの残りは貯留層内に分布していた。超臨界状態の CO₂ と残留ガスの固 定された CO₂の割合の差は 1%以下であり長期間に渡っておおむね安定して貯留できてい ると考えられるが、孔隙率 0.75 倍のケースでは遮蔽層上端まで溶存 CO₂ が到達しており、 注意が必要である。

また、初期の圧入レートは、孔隙率 1.25 倍のケースと 0.75 倍のケースでそれぞれ 125 万 t-CO₂/年弱、125 万 t-CO₂/年強程度の差しかなかった。坑井周辺の飽和率上昇とともに圧入 性は改善してき、圧入開始から 2 年過ぎてくると貯留層内の圧力上昇の影響も受けてレー ト上昇の余地は相殺されていき、両ケースともに 175 万 t-CO₂/年前後で安定していくこと が確認された。

坑井	総圧入量(億 t-CO ₂)		
	孔隙率(1.25 倍)	孔隙率(0. 75 倍)	
3	0.15	0.15	
7	0.15	0.15	
9	0.12	0.12	
11	0.13	0.14	
13	0.14	0.15	
合計	0.69	0.70	

表 4.7-21 各坑井の圧入量(孔隙率:垂直井 5 坑)

② 高傾斜井(5本)ケース

各坑井の累計圧入量を表 4.7-22 に示す。坑底圧力推移と圧入 ート推移はベースケース

とほぼ同様であったため、ここでは省略する。以下に、CO2飽和率分布、溶存 CO2量分布、 総圧入量に対する CO2の分布割合、遮蔽層下端圧力変化等から確認したことを合わせてま とめる。

 CO_2 の総圧入量は 40 年間で、孔隙率 1.25 倍のケースでは 0.78 億 t、孔隙率 0.75 倍の ケースでは 0.79 億 t であり、総圧入量に顕著な違いはみられなかった。これは、孔隙率が 異なることで孔隙容積が増減したものの、浸透性は変えていないためと考えられる。圧入し た CO_2 は、圧入停止後 1,000 年経過した時点で孔隙率 1.25 倍のケースで 0.3%、孔隙率 0.75 倍のケースでは 0.6%程度が遮蔽層内と貯留可能域 1 の範囲外に浸透している。超臨界 状態の CO_2 と残留ガスの固定された CO_2 の割合の差は 1%以下であり長期間に渡っておお むね安定して貯留できていると考えられるが、孔隙率 0.75 倍のケースでは遮蔽層上端まで 溶存 CO_2 が到達しており、注意が必要である。

また圧入レートは、孔隙率 1.25 倍のケースと孔隙率 0.75 倍のケースでは、それぞれ 125 万 t-CO₂/年弱、125 万 t-CO₂/年強という違いはあるが差はわずかであり、坑井周辺の飽和 率上昇とともに圧入性は改善されるが、圧入開始から 5 年過ぎてくると貯留層内の圧力上 昇の影響も受けて ート上昇の余地が相殺されていき、175 万 t-CO₂/年前後で安定してい くことが確認された。

坑井	総圧入量(億 t-CO ₂)		
	孔隙率(1.25 倍)	孔隙率(0. 75 倍)	
3	0.14	0.14	
7	0.16	0.16	
9	0.15	0.15	
11	0.19	0.19	
13	0.15	0.15	
合計	0.78	0.79	

表 4.7-22 各坑井の圧入量(孔隙率:高傾斜井5坑)

③ 水平井(5本)ケース

各坑井の累計圧入量を表 4.7-23 に示す。坑底圧力推移と圧入 ート推移はベースケース とほぼ同様であったため、ここでは省略する。以下に、CO2 飽和率分布、溶存 CO2 量分布、 総圧入量に対する CO₂ の分布割合、遮蔽層下端圧力変化等から確認したことを合わせてま とめる。

CO₂の総圧入量は 40 年間で、孔隙率 1.25 倍のケースでは 0.93 億 t、孔隙率 0.75 倍の ケースでは 0.90 億 t であり、総圧入量に顕著な違いはみられなかった。これは、孔隙率の 違いにより孔隙容積は増減するものの、浸透率は変えていないためと考えられる。圧入した CO₂は、圧入停止後 1,000 年経過した時点で、孔隙率 1.25 倍のケースではほぼ 100%、孔 隙率 0.75 倍のケースでは 99.9%程度は貯留可能域の範囲内に貯留されていることを確認し た。超臨界状態の CO₂ と残留ガスの固定された CO₂の割合の差は孔隙率 1.25 倍のケース で 1.8%、孔隙率 0.75 倍のケースで 1.4%程度であったが、長期間に渡って貯留層内に分布 しており、安定して貯留できることを確認した。

また圧入レートの初期は、両ケースともに 250 万 t-CO₂/年であるが、貯留層内の圧力上 昇の影響も受けて圧入 ートが減少傾向となり、220 万 t-CO₂/年程度で安定していくこと が確認された。

坑井	総圧入量(億 t-CO ₂)		
	孔隙率(1. 25 倍)	孔隙率(0. 75 倍)	
3	0.20	0.19	
7	0.20	0.19	
9	0.16	0.15	
11	0.20	0.20	
13	0.17	0.16	
合計	0.93	0.90	

表 4.7-23 各坑井の圧入量(孔隙率:水平井 5 坑)

(3) Kv/Kh

Kv/Kh(垂直方向の絶対浸透率と水平方向の絶対浸透率の比)の不確実性を想定し、Kv/Kh が 0.5 あるいは 0.05 であった場合の挙動の違いについてシミュ ーションによる確認を 行った。

① 垂直井(5本)ケース

各坑井の累計圧入量を表 4.7-24 に示す。坑底圧力推移と圧入 ート推移はベースケース

4-216

とほぼ同様であったため、ここでは省略する。以下に、CO2飽和率分布、溶存 CO2量分布、 総圧入量に対する CO2の分布割合、遮蔽層下端圧力変化等から確認したことを合わせてま とめる。

CO₂の総圧入量は 40 年間で、Kv/Kh=0.5 のケースでは 0.76 億 t、Kv/Kh=0.05 のケース では 0.67 億 t であり、Kv/Kh=0.5 のケースのほうが約 1.1 倍大きい。これは、Kv/Kh が高 い場合は垂直方向の浸透率が良く、圧入性がベースケースよりも良い状況にあるためと考 えられる。圧入した CO₂は、圧入停止後 1,000 年経過した時点で、Kv/Kh=0.5 のケースと 0.05 としたケースではそれぞれ、総圧入量の 1.0%、0.3%程度は遮蔽層に浸透しているも のの残りは貯留層内に分布している。超臨界状態 CO₂ と残留 CO₂の差は Kv/Kh=0.5 のケー スで 1.0%、Kv/Kh=0.05 のケースで 0.2%程度となっており、長期に渡っておおむね安定 して貯留できていると考えられるが、Kv/Kh=0.5 のケースでは遮蔽層上端まで溶存 CO₂が 到達しており、注意が必要である。

また圧入レートの初期は、Kv/Kh=0.5 のケースと Kv/Kh=0.05 のケースでは、それぞれ 150 万 t-CO₂/年弱、125 万 t-CO₂年強である。圧入とともに坑井周辺の飽和率は上昇してい き圧入性は改善していくが、圧入開始から 5 年過ぎてくると貯留層内の圧力上昇の影響も 受けてレート上昇の余地が相殺されていき、それぞれ 200 万 t-CO₂/年弱、175 万 t-CO₂/年 弱で安定していくことが確認された。

++ ++	総圧入量(億 t-CO ₂)						
카 가	Kv/Kh=0. 5	Kv/Kh=0. 05					
3	0.16	0.14					
7	0.16	0.14					
9	0.13	0.12					
11	0.15	0.13					
13	0.16	0.14					
合計	0.76	0.67					

表 4.7-24 各坑井の圧入量(Kv/Kh:垂直井 5 坑)

② 高傾斜井(5本)ケース

各坑井の累計圧入量を表 4.7-25 に示す。坑底圧力推移と圧入 ート推移はベースケース

とほぼ同様であったため、ここでは省略する。以下に、CO2飽和率分布、溶存 CO2量分布、 総圧入量に対する CO2の分布割合、遮蔽層下端圧力変化等から確認したことを合わせてま とめる。

CO₂の総圧入量は 40 年間で、Kv/Kh=0.5 のケースでは 0.99 億 t、Kv/Kh=0.05 のケース では 0.71 億 t であり、Kv/Kh=0.5 のケースのほうが約 1.4 倍大きい。これは、Kv/Kh が高 い場合は垂直方向の浸透率が良く、圧入性がベースケースよりも良い状況にあるためと考 えられる。圧入した CO₂は、圧入停止後 1,000 年経過した時点で、Kv/Kh=0.5 のケースで は、総圧入量の 1.0%程度は遮蔽層に浸透しており、遮蔽層上端に到達していることを確認 した。また Kv/Kh=0.05 のケースでは、総圧入量の 0.2%程度は遮蔽層に浸透しているもの の遮蔽層上端には到達しておらず、残りは貯留層内に分布している。超臨界状態 CO₂ と残 留 CO₂の差は総圧入量の 0.2%程度であり、Kv/Kh=0.05 のケースにおいては長期に渡って 安定して貯留できていることを確認した。

圧入レートについては、Kv/Kh=0.5 のケースでは初期は 250 万 t-CO₂/年程度であるが、 圧入を開始して 20 年以降は貯留層内の圧力上昇の影響により圧入レートは 250 万 t-CO₂/ 年をわずかに達成できない程度で推移していく様子が確認された。一方 Kv/Kh=0.05 のケー スでは、125 万 t-CO₂/年程度から圧入を開始し、坑井周辺の飽和率上昇とともに圧入性は改 善し、圧入レートは上昇していくが、圧入開始から 5 年を過ぎてくると貯留層内の圧力上 昇の影響によりレート上昇の余地が相殺されていき、175 万 t-CO₂/年強で安定していくこ とが確認された。

坑井	総圧入量(億 t-CO₂)						
	Kv/Kh=0. 5	Kv/Kh=0. 05					
3	0.19	0.13					
7	0.20	0.15					
9	0.19	0.13					
11	0.20	0.17					
13	0.20	0.14					
合計	0.99	0.71					

表 4.7-25 各坑井の圧入量(浸透率:高傾斜井5坑)

③ 水平井(5本)ケース

各坑井の累計圧入量を表 4.7-26 に示す。坑底圧力推移と圧入 ート推移はベースケース とほぼ同様であったため、ここでは省略する。以下に、CO2 飽和率分布、溶存 CO2 量分布、 総圧入量に対する CO2 の分布割合、遮蔽層下端圧力変化等から確認したことを合わせてま とめる。

CO₂の総圧入量は 40 年間で、Kv/Kh=0.5 のケースでは 1.01 億 t、Kv/Kh=0.05 のケース では 0.77 億 t であり、Kv/Kh=0.5 のケースのほうが約 1.3 倍大きかった。これは、Kv/Kh が高い場合は垂直方向の浸透率が良く、圧入性がベースケースよりも良い状況にあるため と考えられる。圧入した CO₂ は、圧入停止後 1,000 年経過した時点で、Kv/Kh=0.5 のケー スで 0.2%、Kv/Kh=0.05 のケースで 0.1%未満が遮蔽層と貯留可能域 1 の範囲外に浸透し ている。超臨界状態 CO₂ と残留 CO₂ の差は両ケースとも 2%弱であるが、1,000 年後も総 圧入量の 99.8%以上は貯留層区間に分布していることを踏まえると、長期に渡って安定し て貯留できていることを確認した。

圧入レートは、Kv/Kh=0.5のケースでは、圧入期間を通じて 250 万 t-CO₂/年のレートを 維持できている様子が確認された。一方で、Kv/Kh=0.05のケースでは、初期は 200 万 t-CO₂/ 年程度であったが、貯留層内の圧力上昇の影響も受けてレートが減少傾向となり、175 万 t-CO₂/年強程度で推移していくことが確認された。

++ ++	総圧入量(億 t-CO ₂)						
-91 91	Kv/Kh=0. 5	Kv/Kh=0. 05					
3	0.20	0.16					
7	0.20	0.16					
9	0.20	0.13					
11	0.19	0.18					
13	0.20	0.13					
合計	1.01	0.77					

表 4.7-26 各坑井の圧入量(Kv/Kh:水平井 5 坑)

(4) 閉境界

境界条件の不確実性を想定し、調査範囲が密閉系(閉境界)であった場合の挙動の違いに

ついてシミュ ーションによる確認を行った。

① 垂直井(5本)ケース

各坑井の累計圧入量を表 4.7-27 に示す。坑底圧力推移と圧入 ート推移はベースケース とほぼ同様であったため、ここでは省略する。以下に、CO2 飽和率分布、溶存 CO2 量分布、 総圧入量に対する CO2 の分布割合、遮蔽層下端圧力変化等から確認したことを合わせてま とめる。

CO₂の総圧入量は 40 年間で 0.63 億 t であり、圧入停止 1,000 年経過した時点で圧入した CO₂の 0.3%程度は遮蔽層に浸透しているものの、残りは貯留層内に分布しており、超臨界状態 CO₂ と残留 CO₂の差は総圧入量の 1%以下であり、長期に渡って安定して貯留できていることを確認した。

正入レートは、初期は 125 万 t-CO₂/年程度で坑井周辺の飽和率上昇とともに圧入性は改善し ートも上昇していくが、圧入開始から 5 年を過ぎてくると貯留層内の圧力上昇の影響も受けて圧入レートが減少傾向となり、最終的に 150 万 t-CO₂/年程度で推移していくことが確認された。

坑井	総圧入量(億 t-CO ₂)
3	0.13
7	0.13
9	0.11
11	0.12
13	0.13
合計	0.63

表 4.7-27 各坑井の圧入量(垂直井 5 坑)

② 高傾斜井(5本)ケース

各坑井の累計圧入量を表 4.7-28 に示す。坑底圧力推移と圧入 ート推移はベースケース とほぼ同様であったため、ここでは省略する。以下に、CO2 飽和率分布、溶存 CO2 量分布、 総圧入量に対する CO2 の分布割合、遮蔽層下端圧力変化等から確認したことを合わせてま とめる。

CO2の総圧入量は 40 年間で 0.70 億 t であり、圧入停止 1,000 年経過した時点で圧入し

た CO₂の 0.3%程度は遮蔽層に浸透しているものの、残りは貯留層内に分布しており、超臨 界状態 CO₂ と残留 CO₂の差は総圧入量の 1%以下であり、長期に渡って安定して貯留でき ていることを確認した。

圧入レートについては、初期は 150 万 t-CO₂/年程度で坑井周辺の飽和率上昇とともに圧 入性は改善していくが、圧入開始から 5 年を過ぎてくると貯留層内の圧力上昇の影響も受 けて圧入 ートは減少傾向となり、最終的に再び 150 万 t-CO₂/年程度で推移していくこと が確認された。

坑井	総圧入量(億 t-CO ₂)
3	0.12
7	0.14
9	0.13
11	0.17
13	0.14
合計	0.70

表 4.7-28 各坑井の圧入量(高傾斜井 5 坑)

③ 水平井 (5本)ケース

各坑井の累計圧入量を表 4.7-29 に示す。坑底圧力推移と圧入レート推移はベースケース とほぼ同様であったため、ここでは省略する。以下に、CO2 飽和率分布、溶存 CO2 量分布、 総圧入量に対する CO2 の分布割合、遮蔽層下端圧力変化等から確認したことを合わせてま とめる。

CO2の総圧入量は 40 年間で 0.84 億 t であり、圧入停止 1,000 年経過した時点で圧入した CO2の 0.1%程度は遮蔽層に浸透しているものの、残りは貯留層内に分布しており、超臨界状態で流動しうる CO2 割合も総圧入量の 2%程度あることを踏まえて、安定して貯留できていることを確認した。

また圧入レートの初期は、250万t-CO2/年程度であるが、貯留層内の圧力上昇の影響も受けて圧入 ートが減少傾向となることが確認された。

坑井	総圧入量(億 t-CO ₂)
3	0.17
7	0.18
9	0.14
11	0.20
13	0.15
合計	0.84

表 4.7-29 各坑井の圧入量(水平井 5 坑)

4.7.5 まとめ

R3 日高沖シミュレーションにもとづきフィールドモデルからセクターモデルを作成し、 垂直井・高傾斜井・水平井の違い(坑跡と仕上げ区間長の違い)による圧入能力と圧入挙動 の違いの比較と、感度解析による貯留層性状の不確実性の影響の確認についてセクターモ デルでシミュ ーションを行った。

まずセクターモデルの作成では R3 日高沖シミュ ーションで用いられた 500 m 角のグ リッドサイズのフィールドモデルからセクターモデルの範囲を切り出し、モデルの孔隙容 積がフィールドモデルと等しくなるように調節したうえで、調査範囲内の流動挙動を十分 な精度で予測できるような 100 m 角のグリッドサイズのモデルにすることで本業務に用い るセクターモデルを作成し、R3 日高沖シミュ ーションで用いられた、垂直井 5 本に対し て目標圧入レート 250 万 t-CO₂/年で 56 年間圧入するケースで両モデルの計算結果の比較 を行った。

フィールドモデルでは 250 万 t-CO₂/年の ートで圧入を開始し、数年間 ートを維持で きるものの、圧入とともに坑井周辺の貯留層圧力は上昇していく中で、坑底圧力が地層破壊 圧の 90%を超えないように圧入を継続するには 100 万 t-CO₂/年程度まで ートを下げてい く必要があり、坑井周りで CO₂ 飽和率が上昇していくと坑井の圧入能力は改善していくが、 最終的には圧力上昇の影響と相殺しあって 125 万 t-CO₂/年程度の圧入 ートで推移してい く状況が予測された。また、平面図の CO₂ の広がりからは 500 m 角のグリッドサイズの粗 さが読み取れる状況であった。

セクターモデルではセルサイズがフィールドモデルの 1/25 になったことで、坑底圧力が 地層破壊圧の 90%を超えないように、150 万 t-CO₂/年程度から圧入を開始する必要があり、 坑井周りの CO₂ 飽和率上昇と貯留層圧力上昇の影響が相殺されていくと最終的に 175 万 t-CO₂/年程度の圧入 ートで推移していく状況が予測された。CO₂が連続的に広がる様子は 平面図において目視で確認できる水準であり大局的な挙動はフィールドモデルと同様で あったが、フィールドモデルでは予測されなかった遮蔽層上端までの CO₂の浸透等、細部 の流動状況については違いが見られた。

遮蔽層上端まで CO₂ が浸透するような坑井配置や坑井タイプで CCS の事業計画が推進 されることは考えられないことから、本業務では R3 日高沖シミュ ーションの検討で用い た坑井位置から南東方向に 500 m 程度ずらした、CO₂ の遮蔽層への浸透状況が低減される ような坑井配置で圧入能力の比較と感度解析の実施を行うこととした。

次に圧入能力の比較では垂直井 (5本)ケース、垂直井 (10本)ケース、高傾斜井 (5本) ケース、水平井 (5本)ケースの4ケースについて、目標圧入レートを250万t-CO2/年と して40年間圧入することで坑底圧力や圧入 ート、CO2の分布状況の推移をセクターモデ ルシミュ ーションにより比較した。簡単にまとめた結果を表4.7-30に示す。

比較項目			垂直井 (5本)	垂直井 (10本)	高傾斜井 (5本)	水平井 (5本)
CO ₂ 圧入量 億トン	1)	累計量	0.69	1	0. 78	0. 92
圧入レート*1	2)	初期	125	225	150	250
万t-CO ₂ /年	3)	圧入停止前	175	250	200	225
1 000左後の00 の古杉川	4)	半径 ^{※2}	1000m強	1000m強	1500m弱	1500m強
1,000年後の602の広かり 		浸透状況 ^{※3}	Δ	Δ	Δ	0
	6)	浅部の区間	0.000 (0.0%)	0.000 (0.0%)	0.000 (0.0%)	0.000 (0.0%)
1,000年後のCO ₂ 分布 億トン (総圧入量に対する割合)	7)	遮蔽層区間	0.003 (0.4%)	0.001 (0.3%)	0.003 (0.4%)	0. 001 (0. 1%)
		貯留層区間	0.689 (99.6%)	0.999 (99.7%)	0.780 (99.6%)	0.916 (99.9%)

表 4.7-30 ケースごとの挙動の違い

※1: 圧入レートは25万 t/年刻みの規模感を示す。

※2: 坑井に沿った円筒状の CO₂の広がりについて、CO₂が最も広がった面積の半径を 500 m 刻みの規模 感で示す。

※3:遮蔽層区間の浸透状況について、遮蔽層の中間までは到達しないものを○、遮蔽層の中間を越える が上端までは到達しないものを△、上端まで到達するものを×として示す。

いずれのケースも圧入停止 1,000 年後の時点で、圧入した CO₂の 99%以上は貯留層区間 に分布しており、坑井数や坑井タイプの違いの影響はあるが、40 年間の圧入で 7 千万 t 弱 から 1 億 t の CO₂を貯留できる能力がある可能性が確認された。また、水平井のケースで は坑井タイプの最適化を行なうことで、より高い ートでの圧入や、貯留層上端における CO2の平面的な広がりや遮蔽層に対する CO2の浸透の抑制を両立できる可能性があることを確認した。さらに、単純な仕上げ区間の長さだけで比較すると垂直井(10本)ケースのほうがホ平井(5本)ケースよりも短いのにも関わらず垂直井(10本)ケースのほうが高ートで圧入を維持できたことは、貯留範囲の地質的な特徴によって坑井タイプの最適解は異なることを示している。本業務の調査範囲は貯留可能域1の砂岩が厚いエリアではあるものの、東側では泥岩が優位な層準が砂体中に出現しており、水平井で砂体の下部を仕上げると砂体の上部を貯留空間として有効利用しにくく、250万 t-CO2/年の圧入 ートを維持できなくなっているため、地質コンセプトとして貯留空間の連続性を把握しておくことの重要性が確認された。

感度解析の実施では垂直井(5本)ケース、高傾斜井(5本)ケース、水平井(5本)ケー スの三つのベースケースについて、不確実性のある要因として浸透率、孔隙率、Kv/Kh、境 界条件を想定して個別に設定を変更し、目標圧入 ートを 250 万 t-CO₂/年として 40 年間 圧入する時の坑底圧力や圧入レート、CO₂の分布状況の推移をセクターモデルシミュ ー ションにより比較した。簡単にまとめた結果を表 4.7-31~34 に示す。

ᄔᅕᄚᄝ			垂直井(5本)		高傾斜井(5本)		水平井(5本)	
L 牧坝日		2.0倍	0.5倍	2.0倍	0.5倍	2.0倍	0.5倍	
CO2圧入量 億トン	1)	累計量	1	0.34	1	0.39	1	0.49
圧入レート ^{※1}	2)	初期	250	50	250	50	250	125
万t-CO ₂ /年	3)	圧入停止前	250	100	250	100	250	125
	4)	半径 ^{※2}	1500m強	500m強	1500m弱	500m強	1500m強	1000m弱
1,000年後の60 ₂ の広かり	5)	浸透状況 ^{※3}	Δ	Δ	Δ	Δ	0	0
	6)	浅部の区間	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1,000年後のCO ₂ 分布 億トン (総圧入量に対する割合)	7)	遮蔽層区間	0.005 (0.5%)	0.001 (0.2%)	0.005 (0.5%)	0. 001 (0. 2%)	0. 001 (0. 1%)	0.000 (0.0%)
	8)	貯留層区間	0.995 (99.5%)	0.339 (99.8%)	0.995 (99.5%)	0.389 (99.8%)	0.999 (99.9%)	0.49 (100%)

表 4.7-31 ケースごとの挙動の違い(浸透率の感度解析)

※1: 圧入レートは25万t/年刻みの規模感を示す。

※2: 坑井に沿った円筒状の CO₂の広がりについて、CO₂が最も広がった面積の半径を 500m 刻みの規模 感で示す。

※3:遮蔽層区間の浸透状況について、遮蔽層の中間までは到達しないものを○、遮蔽層の中間を越える が上端までは到達しないものを△、上端まで到達するものを×として示す。

比較項目		垂直井	垂直井(5本)		高傾斜井(5本)		(5本)
		1.25倍	0.75倍	1.25倍	0.75倍	1.25倍	0.75倍
CO ₂ 圧入量 億トン	1) 累計量	0.69	0.7	0. 78	0.79	0.93	0.9
圧入レート ^{※1}	2) 初期	125	125	150	150	250	250
万t-CO ₂ /年	3) 圧入停止前	175	175	200	200	225	225
	4)半径 ^{※2}	1000m弱	1500m弱	1000m強	1500m強	1000m強	1500m強
1,000年後の60 ₂ の広かり	5)浸透状況 ^{※3}	Δ	×		×	0	0
	6) 浅部の区間	0.000	0.000	0.000	0.000 (0.0%)	0.000 (0.0%)	0.000
1,000年後のCO ₂ 分布 億トン (総圧入量に対する割合)	, 7) 遮蔽層区間	0.002	0.004 (0.6%)	0.003 (0.3%)	0.005	0.000	0.001 (0.1%)
	8) 貯留層区間	0.688 (99.7%)	0.696 (99.4%)	0.777 (99.7%)	0.785 (99.4%)	0.93 (100%)	0.889 (99.9%)

表 4.7-32 ケースごとの挙動の違い(孔隙率の感度解析)

※1: 圧入レートは25万 t/年刻みの規模感を示す。

※2: 坑井に沿った円筒状の CO₂の広がりについて、CO₂が最も広がった面積の半径を 500m 刻みの規模 感で示す。

比較項目		垂直井(5本)		高傾斜井(5本)		水平井(5本)		
		0.5	0.05	0.5	0.05	0.5	0.05	
CO ₂ 圧入量 億トン	1)	累計量	0.76	0.67	0.99	0.71	1	0. 77
圧入レート ^{※1}	2)	初期	150	125	250	125	250	200
万t-CO ₂ /年	3)	圧入停止前	200	175	250	175	250	175
	4)	半径 ^{※2}	1500m弱	1000m強	1500m強	1000m弱	1000m強	1000m強
1,000年後の602の広かり	5)	浸透状況 ^{※3}	×	Δ	×	Δ	Δ	0
	6)	浅部の区間	0.000 (0.0%)	0.000 (0.0%)	0.000 (0.0%)	0.000 (0.0%)	0.000 (0.0%)	0.000 (0.0%)
1,000年後のCO₂分布 億トン (総圧入量に対する割合)	7)	遮蔽層区間	0.008	0.002 (0.3%)	0.011 (1.1%)	0.002 (0.2%)	0.002 (0.2%)	0.000 (0.0%)
	8)	貯留層区間	0.752 (99.0%)	0.668 (99.7%)	0.979 (98.9%)	0.708 (99.8%)	0.998 (99.8%)	0.770 (100%)

表 4.7-33 ケースごとの挙動の違い(Kv/Kh の感度解析)

※1: 圧入レートは 25 万 t/年刻みの規模感を示す。

※2: 坑井に沿った円筒状の CO₂の広がりについて、CO₂が最も広がった面積の半径を 500 m 刻みの規模 感で示す。

※3:遮蔽層区間の浸透状況について、遮蔽層の中間までは到達しないものを○、遮蔽層の中間を越える が上端までは到達しないものを△、上端まで到達するものを×として示す。

^{※3:}遮蔽層区間の浸透状況について、遮蔽層の中間までは到達しないものを○、遮蔽層の中間を越える が上端までは到達しないものを△、上端まで到達するものを×として示す。

나늆西묘		垂直井(5本)	高傾斜井(5本)	水平井(5本)	
L 111111111111111111111111111111111111		閉境界	閉境界	閉境界	
CO ₂ 圧入量 億トン	1) 累計量	0.63	0. 7	0.84	
圧入レート ^{※1}	2) 初期	125	150	250	
万t-CO ₂ /年	3) 圧入停止前	150	150	175	
1 000左後の00 の亡がり	4)半径 ^{※2}	1000m強	1000m強	1000m強	
1,000年後の002の広かり	5)浸透状況 ^{※3}	0	Δ	0	
	6) 浅部の区間	0.000 (0.0%)	0.000 (0.0%)	0.000 (0.0%)	
1,000年後のCO ₂ 分布 億トン (総圧入量に対する割合)	7)遮蔽層区間	0.002 (0.3%)	0.002 (0.3%)	0.000 (0.1%)	
	8)貯留層区間	0.628 (99.7%)	0.698 (99.7%)	0.840 (99.9%)	

表 4.7-34 ケースごとの挙動の違い(境界条件)

※1: 圧入レートは 25 万 t/年刻みの規模感を示す。

※2: 坑井に沿った円筒状の CO₂の広がりについて、CO₂が最も広がった面積の半径を 500 m 刻みの規模 感で示す。

※3:遮蔽層区間の浸透状況について、遮蔽層の中間までは到達しないものを○、遮蔽層の中間を越える が上端までは到達しないものを△、上端まで到達するものを×として示す。

R3日高沖シミュレーションでも着目されているとおり、本業務の調査範囲で1億t規模の CO₂を 40 年程度の期間で貯留する場合、圧入レートは貯留層の浸透性と地層破壊圧に 大きく影響される。

浸透率が 2.0 倍や 0.5 倍であった場合のセクターモデルシミュ ーションの圧入 ート の推移や累計圧入量、CO₂の分布状況は基本的には R3 日高沖シミュ ーションと同様の挙 動であり、浸透率が 2.0 倍であれば 250 万 t⁻CO₂/年で 40 年間圧入を行い、1 億 t の CO₂の 貯留がいずれの坑井タイプでも可能である。一方、浸透率が 0.5 倍である場合、100 万 t⁻CO₂/ 年を達成できるかどうかは、坑井タイプ(圧入性)次第で、40 年間で貯留可能な CO₂は 3 千万 t から 5 千万 t 程度となり、圧入 ートや累計圧入量は浸透率に左右されることをあら ためて確認した。遮蔽層内の浸透状況はベースケースと浸透率 2.0 倍と浸透率 0.5 倍で大き な差は無く、水平井は深部から圧入する影響が大きく、遮蔽層内への浸透も許容可能な水準 まで抑えられていた。

孔隙率が 1.25 倍や 0.75 倍であった場合のセクターモデルシミュレーションでは、初期 ートや終盤のレートに対する孔隙率の違いの影響は大きくなく、垂直井であれば 125 万 t・CO₂/年程度から始まり 175 万 t・CO₂/年程度で推移し 7 千万 t 弱程度、高傾斜井であれば 150 万 t・CO₂/年程度から始まり 200 万 t・CO₂/年程度で推移し 8 千万 t 弱程度、水平井であ れば 250 万 t・CO₂/年程度から始まり 225 万 t・CO₂/年程度で推移し 9 千万 t 強程度というと ころで、坑井周辺の飽和率上昇による圧入性の改善度合いと圧力上昇による差圧許容幅の 減少効果のバランスの違いが圧入レートの推移の違いとなって累計圧入量の違いに繋がっ ていることは読み取れるが、孔隙率が高いと累計圧入量が高く、孔隙率が低いと累計圧入量 も低いというような単純な関係にもなっていなかった。CO2の広がりについては、孔隙率が ベースケースの 25%程度異なっていても累計圧入量は数%程度しか違いがない状況の比較 になっており、孔隙率が小さければ坑跡に沿った円筒状の CO2の広がりの半径はより大き く、遮蔽層の CO2の浸透はより浅部まで広がる傾向であった。

Kv/Kh が 0.5 や 0.05 であった場合のセクターモデルシミュ ーションでは、0.5 の場合 は垂直方向の浸透性がベースケースの想定より 5 倍流れやすい状況で、0.05 の場合は垂直 方向の浸透性はベースケースの半分程度を想定している。垂直方向の浸透率の大小で圧入

ートや累計圧入量も単純に増減するが、Kv/Kh が 0.5 の場合は垂直井も高傾斜井も遮蔽 層の上端まで CO₂が浸透し、水平井でも遮蔽層の中間まで浸透は生じる。Kv/Kh が 0.05 で あれば垂直井も高傾斜井も遮蔽層の上端までは浸透は生じず、水平井であれば遮蔽層の中 間までも浸透は生じない状況であった。浸透率の大小は圧入 ートや累計圧入量に強い影 響があるが、遮蔽層内の浸透状況をよく確認したうえで、超臨界状態で移動する CO₂の割 合がどの程度あるか詳細に確認しないと安定した貯留ができているか判断できない事例も あることをあらためて確認した。

閉境界の場合のセクターモデルシミュ ーションでは、密閉系の挙動をふるまった時の 圧入挙動を予測した。圧入の初期 ートは垂直井、高傾斜井、水平井でベースケースと違い はなかったが、圧入停止時の圧入 ートはいずれも開境界(開放系の貯留システム)よりは 低く、累計圧入量もそれぞれ1割程度低い結果であった。これは主に、閉境界ではモデル領 域内で移動可能な地層水の容積が小さく、ベースケースと同じように CO₂ を圧入してもモ デル内の圧力上昇ペースは早く、地層破壊圧の 9 割の坑底圧力を維持していくには ート ダウンも早く行っていく必要があるということであり、貯留可能域 1 の外側で地層水がど の程度 CO₂ の圧入と連動して動くかの状況次第で貯留量は1割程度違うことが十分あるこ とを確認した。

調査範囲において、深部塩水層に対する CO₂ 圧入を長期に渡って安定的に行っていくに は、圧入性を確保するという点では砂体の浸透性や地層破壊圧が非常に重要となるが、 ー トを維持していくには圧入を行う砂体の連続性やその外側の領域の流動特性、力学特性、遮 蔽能力を把握しておくことが重要であることがあらためて確認された。また、垂直方向の浸 透性が良い場合は砂体の下部 80%仕上げの垂直井や高傾斜井でも圧入停止後 1,000 年経過 までには遮蔽層上端まで CO₂ が浸透する可能性があり、圧入井を掘削する前にはサイトの 地質的特性をより詳細に把握したうえで CO₂ の流動挙動予測シミュレーションを行い、坑 井配置や坑井タイプの最適化を進めていく取組みが重要であることが示された。

4 - 227

【参考文献】

- 日本CCS調査(株)、"令和3年度「二酸化炭素貯留適地調査事業」成果報告書 第4章
 4.7節"(2022)
- 2) 日本CCS調査(株)、"令和2年度「二酸化炭素貯留適地調査事業」成果報告書 第4章
 4.2節"(2021)
4.8 貯留適地候補地点における経済性に関する調査

本業務では当初、調査井掘削候補地を 3 地点程度選定するための検討業務に関連し、各 貯留適地候補地点の CCS 事業モデルのコスト比較検討による「貯留適地候補地点における 経済性に関する調査」の実施を予定していた。しかしながら、経済産業省が進める CCS 長 期ロードマップ検討会の中間とりまとめ(2022 年 5 月発表)において、調査井掘削は掘削 地点選定を含めて事業者主導により実施されることとなり、そのため本業務において、調査 井掘削候補地の選定のための検討、およびそれに付随する経済性に関する調査は実施され ないこととなった。

本業務で当初予定していた経済性に関する調査を円滑に実施するため、令和3年度委託 業務の中で予備調査を先行して実施し、公開されている CCS 関連コスト情報および日本全 国の CO₂ 排出源情報の収集等を行った。その結果は、本業務での調査結果に取り込んで経 済性を取りまとめることを想定していたが、本業務での調査が見送られたことから、本報告 書においてその予備調査の内容を整理してまとめた。

4.8.1 作業概要

本予備調査では、(1)で指定する CCS 事業モデルの基本設計条件に基づき、排出源、輸送 技術、貯留技術、モニタリング技術について調査した。

- (1) CCS 試算ケースの基本設計条件
- ① 操業条件

基本となる操業条件を以下に示す。

- 1) 操業年数:40年
- 2)年間圧入量(3ケース): 250万t/年、100万t/年、50万t/年
- 3) 年間圧入日数: 330日

② CO₂排出源

年間圧入量を1箇所で供給できる大規模排出源(電力、製鉄、セメント、石油、化学等) とする。

③ 輸送方法

以下の2ケースとする(距離は、既存資料に合わせて設定)。

- 1) 陸上 PL 輸送(100 km)
- 2) 船舶輸送(1,000 km)

④ 圧入井

以下の2ケースとする。

- 1) 陸上圧入井(傾斜井)
- 2) 海上圧入井(着底式プラットホームから圧入)、圧入深度は、海面から 1,000~ 3,000 m とする。

4.8.2 排出源調查

全国の大規模 CO₂ 排出源を調査し、特に沿岸域にある排出源から CO₂ 回収設備の設置スペース(100 m×200 m 等)の可能性がある事業所を特定し、火力発電所、製鉄所、化学工場等を対象に、港湾を持つ事業所においては、港湾種別・規模も合わせて調査した。

- (1) 大規模排出源の調査
- 大規模排出源の抽出と整理
 - 本大規模 CO2 排出源としては、大きく以下の二つに分けられる。
 - 1) 火力発電所
 - 2) 製鉄所、石油化学、セメント等の工場

本予備調査では、上記に該当する事業所ごとの CO₂排出量を整理した。

a. 火力発電所データの収集・整理

火力発電所の CO₂ 排出量等のデータ収集に当たっては、「火力原子力発電所設備要覧 (2017)」¹⁾より 50 MW 以上の発電所を抽出し、主な諸元を整理した。また、各発電 所の CO₂ 排出量は、燃料種別ごとの設備利用率(推計値)、燃料別の CO₂ 排出係数等か ら推計した。主な諸元を以下に示す。

- 1) 発電所·事業所名称
- 2) 会社名称
- 3) 分類:事業用、自家用
- 4) 燃料種別等
- b. 工場データの収集・整理

工場の CO₂排出量等のデータ収集に当たっては、環境省の「温室効果ガス排出量算定・ 報告・公表制度」より開示されたデータを利用した。エネルギー使用量が原油換算で 1,500 L/年以上の事業所が対象となり、主な諸元は以下のとおりである。

- 1) 事業所名称
- 2) 事業社名称

3) 事業分類

4) 間接 CO₂ 排出量等

なお、間接 CO₂排出量は、使用した電力や熱(蒸気)を発生させる際に生じる CO₂排 出が含まれているが、火力発電所のデータとの二重計上を回避するため、燃料の燃焼や工 業プロセスで発生する直接の CO₂排出に絞る必要がある。そこで、工場の事業分類ごと に直接排出量/間接排出量の値を推計し、全データについて「直接 CO₂排出量」を算出し た。

② 排出源のマッピング

二酸化炭素地中貯留技術研究組合(以下、「技術研究組合」と称する。)では、火力発電 所や工場の主な諸元データを統合し、貯留層と排出源のマッチングに役立つよう、大規模 CO₂排出源のマッピング作業を進めている。

技術研究組合の排出源データベースによる排出源位置図を図 4.8-1 に示す。このデータ ベースからは必要に応じて排出源の情報を抽出することができる。



注)出典:二酸化炭素地中貯留技術研究組合

図 4.8-1 排出源位置図

③ 排出源のマクロ的分析

技術研究組合の排出源データベースによると、排出源の大半が太平洋側~瀬戸内海沿岸 に存在する。有力な貯留層が日本海側に多いことを考えると、CCS事業化の初期段階では、 日本海側の排出源と貯留層をマッチングさせることも考えられるが、CCSの本格展開期に は、太平洋側~瀬戸内海沿岸の排出源からのCO2船舶輸送が不可欠となる。2019年におけ る国内の部門別CO2排出量は図4.8-2のとおりであり、エネルギー転換部門(発電所が主 体)と産業部門+工業プロセス(工場が主体)で日本全体の直接CO2排出量の約70%を占 めている。



図 4.8-2 部門別直接 CO2 排出量(全国地球温暖化防止活動推進センター)²⁾

- (2) 対象地域の設定と調査
- ① 貯留候補地点の選定

CO₂の貯留地点と排出源の適切なマッチングを念頭に下記の貯留候補地点をモデル地点 として選定し、周辺エリア内の排出源調査を試みた。

a-1 地点:能代沖 a-2 地点:秋田沖 a-3 地点:本荘沖 b-1 地点:佐渡南方沖 c-1 地点: 隠岐西沖

c-2 地点: 宮崎沖

② 貯留候補地点周辺エリアの設定

本予備調査では排出源調査のために三つのエリアを設定した(図 4.8-3)。

a. Aエリア

主要排出源を能代火力発電所としたエリアであり、能代沖貯留地点(a-1)とのパイプ ライン CO₂輸送が有力である。一方、本エリアは太平洋の主要排出源からは遠く、船舶 輸送には大規模受入基地が必要である。

b. Bエリア

東新潟LNG 火力発電所をハブとして、周辺の石油化学系の工場等も対象とした小規模 クラスター構成が有力なエリアである。船舶輸送を主体とするが、工場群 CO₂ 回収には パイプラインが有力である。

c. Cエリア

瀬戸内海西部の工業地帯と近傍の火力発電所を対象とした大規模ハブ&クラスターと して有力である。



注)貯留候補地点の位置は、仮の位置を示す。

(3) 排出源エリア別分析

a. Aエリア

Aエリアの拡大図を図 4.8-4 に、エリア内の主要排出源を表 4.8-1 に示す。

このエリア内では、能代石炭火力発電所が主要 CO₂ 排出源であり、CCS 事業を実施す る場合は、能代火力発電所と a-1 貯留地点(能代沖)のマッチングとなる。発電所の概要 は、以下のとおりである。

1) 東北電力(株)の石炭火力発電所

図 4.8-3 貯留候補地点別の排出源調査エリア

2) 石炭と木質バイオマスの混焼

3) 総出力は180万kW。1号機、2号機、3号機で構成(おのおの出力は60万kW)



注1)国土地理院地図(電子国土 Web)を加工して作成した。

注2) 貯留候補地点の位置は、仮の位置を示す。

図 4.8-4 A エリア拡大図

会社名称	発電所、事業所名称	CO ₂ 排出量 MtCO ₂
東北電力(株)	能代火力発電所(石炭)	9.627
日本製紙(株)	秋田工場	0.468
秋田製錬(株)	飯島製錬所	0.452
東北電力(株)	秋田火力発電所(石油)	0.290
東北電力(株)	秋田火力発電所(石油)	0.237

表 4.8-1 A エリア内の主要排出源

b. Bエリア

B エリアの拡大図を図 4.8-5 に、エリア内の主要排出源を表 4.8-2 に示す。

このエリア内には、東北電力(株)の東新潟火力発電所(LNG)と JERA の上越火力発 電所(LNG)がある。

7. 東新潟火力発電所

東新潟火力発電所の概要は、以下のとおりである。

- 1) 東北電力(株)内で最大、国内全体でも最大級の発電所
- 2)総出力は486万kW

港1号機(重油・LNG、35万kW。現在長期計画停止中) 港2号機(重油・LNG、35万kW。現在長期計画停止中)

1号機(重油・原油・天然ガス・LNG、60万kW)

2号機(重油・原油・天然ガス・LNG、60万kW)

3 号系列(LNG、CC*1方式、121 万 kW)

4 号系列(LNG、MACC*2方式、175万kW)

^{*1} CC : Combined Cycle

^{*2} MACC : More Advanced Combined Cycle



注1)国土地理院地図(電子国土 Web)を加工して作成した。

注2) 貯留候補地点の位置は、仮の位置を示す。

図 4.8-5 Bエリア拡大図

会社名称	会社名称	
東北電力(株)	東新潟火力発電所(LNG)	7.507
(株)JERA	上越火力発電所(LNG)	3.573
東北電力(株)	東新潟火力発電所	1.032
北越コーポレーション(株)	新潟工場	0.463
三菱瓦斯化学(株)	新潟工場	0.277
信越化学工業(株)	直江津工場	0.263
東北電力(株)	新潟火力発電所(天然ガス)	0.158
北越メタル(株)	長岡工場	0.133
北越紀州製紙	新潟工場	0.13
三星金属工業(株)	本社工場	0.129
(株)INPEX	越路原発電所	0.12

表 4.8-2 B エリア内の主要排出源

上越火力発電所

上越火力発電所の概要は、以下のとおりである。

- 1) JERA 所有:1号系列、2号系列(各119万kW、LNG、ACC*3方式)
- 2) 東北電力(株)所有:1号機(2023年度運開予定、LNG 60万kW、CC 方式)
- c. Cエリア

Cエリアの拡大図を図 4.8-6 に、Cエリア内の主要排出源(排出量上位 30)を表 4.8-3 に示す。

大分県には、年間 CO₂ 排出量が 1,000 万 t を超える製鉄所や、発電所等の大規模な CO₂ 排出源が集中している。大規模 CO₂ 排出源群の拡大図を図 4.8-7 に示す。

西瀬戸内には年間 CO₂ 排出量が 100 万 t を超える製鉄所、発電所等、大規模で多様な 排出源が点在している。西瀬戸内排出源群の宇部沿岸域コンビナートの拡大図を図 4.8-8 に示す。

^{*3} ACC : Advanced Combined Cycle



図 4.8-6 Cエリア拡大図

全社名称	登雷昕 事業所名称	CO2排出量	
	元电历、争未历石标	MtCO ₂	
日本製鉄(株)	九州製鉄所大分地区(高炉)	15.800	
日本製鉄(株)	九州製鉄所大分地区(自家発)	14.67	
電源開発(株)	竹原火力発電所(石炭)	7.066	
(株)トクヤマ	徳山製造所	6.573	
日新製鋼(株)	呉製鉄所	5.866	
東ソー(株)	南陽事業所	5.693	
中国電力(株)	三隈火力発電所(石炭)	5.056	
中国電力(株)	新小野田火力発電所	5.056	
東ソー(株)	南陽事業所第二発電所	4.67	
太平洋セメント(株)	大分工場	3.814	
日本製鉄(株)	呉製鉄所	3.77	
宇部興産(株)	伊佐セメント工場	3.262	
九州電力(株)	新大分発電所(LNG)	3.256	
(株)トクヤマ	恵山製造所中央発電所	2.66	
中国電力(株)	柳井火力発電所	2.523	
架崎井同動力(株)	鶴崎事業所 (石油コークス等に	2.36	
鶴啊天问勤刀(怀)	よる火力発電所)	2.30	
出光興産(株)	徳山事業所	2.061	
字部興産(株)	宇部興産発電所	1.8	
九州電力(株)	苅田火力発電所	1.741	
宇部興産(株)	宇部藤曲工場	1.615	
大分共同火力株式会社	大分共同発電所(高炉ガス等)	1.514	
字郭明帝(姓)	建設資材カンパニー生産・技術	1 296	
了叩英 <u>佐</u> (杯)	本部宇部セメント工場	1.560	
宇部興産(株)	苅田セメント工場	1.374	
日本製紙(株)	岩国工場	1.25	
JXTGエネルギー(株)	大分製油所	1.096	
昭和電工(株)	大分コンビナート	1.085	
太陽石油(株)	四国事業所	1.085	
中国電力(株)	下関火力発電所	1.034	
JXTGエネルギー(株)	麻里布製油所	0.992	
宇部マテリアルズ(株)	美祢工場	0.962	

表 4.8-3 Cエリア内の主要排出源

注)青色の行は大分排出源群、黄色の行は三隅火力発電所、白色の行は西瀬戸内排出源群を示す。



日本製鉄(株)九州製鉄所大分地区

九州電力(株)新大分火力発電所

注)国土地理院地図(電子国土 Web)を加工して作成した。





注)国土地理院地図(電子国土 Web)を加工して作成した。

図 4.8-8 西瀬戸内排出源群 宇部沿岸域コンビナート拡大図

7. 三隅発電所

三隅発電所の概要は、以下のとおりである。

1) 中国電力(株)の石炭火力発電所

2) 1 号機: 100 万 kW、2 号機: 100 万 kW (2022 年 11 月運転開始予定)

イ. 新大分発電所

新大分火力発電所には船舶用のバースがあり、CO₂回収設備等のスペースもあると思われる。新大分火力発電所は、九州電力(株)所有のLNG火力発電所であり、総出力282.5万kWであり、以下の系列で構成される。

- 1号系列 CC 方式: 69 万 kW
- 2 号系列 ACC 方式: 92 万 kW
- 3-1 号系列 ACC 方式: 73.5 万 kW
- 3-2 号系列 ACC 方式: 48 万 kW
- (4) CO2回収コスト調査

CO₂回収、輸送、貯留、モニタリングからなる CCS 全体コストの概要を図 4.8-9 に示す。 本予備調査では、CO₂回収の基本モデルとして、経済産業省発電コスト検証ワーキンググ ループ(以下、「発電コスト WG」と称する。)の CCS コストモデル³⁾を参照した(船舶 輸送を除く)。主な理由として、調査時点における発電コスト WG での CCS 付き発電コス トの試算は、経済産業省が公開している最新のコスト試算であり、専門家によってデータの 妥当性が確認されていることがあげられる。

発電コスト WG における CO₂回収コスト試算対象の設備概要を図 4.8-10 に示す。 石炭火力、LNG 火力の順に CO₂回収コスト試算過程を以下に概説する。



図 4.8-9 CCS 全体のコスト構造



図 4.8-10 CO₂回収コスト試算対象の設備概要

① 石炭火力発電所の CO₂ 回収コスト

a. 回収設備費(年経費)

発電コスト WG のエクセルシートでは、下記のとおり記載されており、CO₂分離・回 収型石炭火力発電所建設単価の増額分 6.9 万円/kW が CO₂回収設備費となる。

1) CO2分離·回収型石炭火力発電所建設単価: 31.3 万円/kW

2) 石炭火力発電所建設単価: 24.4 万円/kW

対象の発電所の定格が 70 万 kW であるため、CO₂回収設備費は 484 億円である。操業 期間 40 年、割引率 3%とした場合の資本回収率は 4.33% であるため年間の設備コストは、 21.0 億円となる。

なお、年間 CO₂排出量については、石炭火力発電において、表 4.8-4 の諸条件(発電コ スト WG のエクセルシートに記載)下で算出したものである。なお、CO₂回収率は 90% と設定している。

項目		単位	項目		単位	項目		単位
基準年度	2030	年	運転時間	6,132	時間/年	人件費	4.4	億円/年
為替ルート	107	円/ドル	建設費単価	24.4	万円/kW	修繕費	2.4	%
割引率(金利)	3	%	燃料発熱量	26.08	MJ/kg	諸費	2.2	:建設費における
定格出力	70	万kW	発電端熱効率	43.5	%	業務分担費(一般管理費)	12.2	10+
設備利用率	70	%	所内率	5.5	%	固定費	8,127	百万円/年
稼働年数	40	年	送電端熱効率	41.1	%	変動費 (燃料費)	17,389	百万円/年
			送電電力量	4,056,318	MWh/年	変動費(その他)	9,309	百万円/年
			燃料使用量	136.2	万トン/年	発電コスト	8.6	円/kWh
			CO2排出係数	89.06	gCO2/MJ	排出源単位	0.780	tCO2/MWh
			年間CO2排出量	3,164	千tCO2/年			

表 4.8-4 CO2 回収コストモデルの算出条件

b. 回収設備運用費(年経費)

運用(諸費)と運用(修繕費)の年経費を以下の仮定をもとに試算している。

1) 運用(諸費:年経費) →設備費の 2.2% → 484 億円×0.022 =10.6 億円

2)運用(修繕費:年経費)→設備費の2.4% → 484億円×0.024 =11.6億円

c. 蒸気・動力費

回収設備を稼働させるには、熱(蒸気)と補機動力(電力)が必要である。そのエネル ギーは当該石炭火力の発電電力と抽気蒸気を利用するものとする。そのエネルギー使用 量は、

石炭火力電力量送電端 4.056.318 MWh/年

-CO₂分離・回収型石炭火力電力量送電端 3,574,820 MWh/年 = 481,498 MWh/年 となる。

発電コストは、発電コスト WG のエクセルシートより 8.6 円/kWh (= 資本費 2.0 円 /kWh + 運転維持費 2.3 円/kWh + 燃料費 4.3 円/kWh) であることから、蒸気・動力費を 試算すると、

481,498 MWh/年×8.6 円/kWh = 41.4 億円/年

となる。

CO₂回収量は、CO₂排出量 3,164 千 t/年の 90%を想定し、2,847 千 t/年であることから、石炭火力発電所の CO₂回収コストは、

(回収設備費 21.0 億円/年+回収設備運用費 22.2 億円/年

+蒸気・動力費 41.4 億円/年)÷CO₂回収量 2,847 千 t/年 = 2,972 円/tCO₂ となる。

② LNG 火力発電所の CO₂ 回収コスト

a. 回収設備費(年経費)

発電コスト WG のエクセルシートでは、下記のとおり記載されており、CO₂分離・回 収型 LNG 火力発電所建設単価の増額分 5.34 万円/kW が CO₂回収設備費となる。

1) CO₂分離・回収型 LNG 火力発電所建設単価: 21.64 万円/kW

2) LNG 火力発電所建設単価: 16.3 万円/kW

分析対象とする発電所の定格が 85 万 kW であるため、CO₂ 回収設備費は 454 億円で ある。操業期間 40 年、割引率 3%とした場合の資本回収率は 4.33%であるため年間の設 備コストは、19.7 億円となる。 なお、年間 CO₂排出量については、LNG 火力発電において、表 4.8-5 の諸条件(発電 コスト WG のエクセルシートに記載)下で算出したものである。なお、CO₂回収率は 90% と設定している。

項目		単位	項目		単位	項目		単位
基準年度	2030	年	運転時間	6,132	時間/年	人件費	6.2	億円/年
為替ルート	107	円/ドル	建設費単価	16.3	万円/kW	修繕費	2.4	%
割引率(金利)	3	%	燃料発熱量	54.70	MJ/kg	諸費	1.1	:建設費における
定格出力	85	万kW	発電端熱効率	57.0	%	業務分担費(一般管理費)	12.0	10+
設備利用率	70	%	所内率	2.3	%	固定費	6,592	百万円/年
稼働年数	40	年	送電端熱効率	55.7	%	変動費 (燃料費)	30,566	百万円/年
			送電電力量	5,092,319	MWh/年	変動費(その他)	6,126	百万円/年
			燃料使用量	60.18	万トン/年	発電コスト	8.5	円/kWh
		CO2排出係数	50.86	gCO2/MJ	排出源単位	0.329	tCO2/MWh	
			年間CO2排出量	1,674	千tCO2/年			

表 4.8-5 年間 CO2 排出量およびその算出条件

b. 回収設備運用費(年経費)

運用(諸費)と運用(修繕費)の年経費を以下の仮定をもとに試算されている。

- 1) 運用(諸費:年経費) →設備費の1.1% → 454億円×0.011 = 5.0億円
- 2) 運用(修繕費:年経費)→設備費の2.4% → 454億円×0.024 = 10.9億円

c. 蒸気・動力費

回収設備を稼働させるには、熱(蒸気)と補機動力(電力)が必要である。そのエネル ギーは当該 LNG 火力の発電電力と抽気蒸気を利用するものとする。そのエネルギー使用 量は、

LNG 火力電力量送電端 5,092,319 MWh/年

- CO₂分離・回収型 LNG 火力電力量送電端 4,554,216 MWh/年 = 538,103 MWh/年

となる。

発電コストは、発電コスト WG のエクセルシートより 8.5 円/kWh (=資本費 1.3 円/kWh + 運転維持費 6.0 円/kWh + 燃料費 1.2 円/kWh) であることから、蒸気・動力費を試算 すると、

538,103 MWh/年×8.5 円/kWh = 45.7 億円/年

となる。

CO₂回収量は、CO₂排出量 3,164 千 t/年の 90%を想定し、2,847 千 t/年であることから、LNG 火力発電所の CO₂回収コストは、

(回収設備費19.7億円/年+回収設備運用費15.9億円/年

+蒸気・動力費 45.7 億円/年)÷CO₂回収量 1,507 千 t/年 = 5,395 円/tCO₂ となる。

石炭火力、LNG火力のCO2回収コストを表 4.8-6 にまとめた。

項目		CO2分離回収型 石炭火力(2030年)	CO2分離回収型 LNG火力(2030年)	
回収設備(年経費)(D	21.0 億円/年	19.5 億円/年	
運用(年経費)②	諸費	10.6 億円/年	5.0 億円/年	
	修繕費	11.6 億円/年	10.8 億円/年	
蒸気·動力(年経費)③		41.4 億円/年	45.7 億円/年	
CO2回収量(年間)④		2,847 千tCO2/年	1,507千tCO2/年	
CCS付きCCSコスト (Capture) ((①+②+③) /④)		2,972円/tCO2	5,395 円/tCO2	

表 4.8-6 CO2回収コスト

③ 工場の CO2 回収コスト

高炉による製鉄、セメント、石油精製の上位3業種に関するCO₂排出濃度、CO₂回収時 コストについてはいくつかの文献で報告されている。

例えば、Ho et al. (2011)⁴⁾ は製鉄、セメント、石油精製の3業種について統一の条件 を用いて、CO₂回収コストに関する分析を実施しており、その結果を表 4.8-7 に示す。高炉 排ガスとセメントの CO₂回収コストはほぼ等価であるが、石油精製におけるコストが高く なっている。

工場の条件によって、CO2が発生するプロセスが異なるため、今後 CO2 回収条件別に回 収設備構成や回収コストを分析する必要がある。

	製鉄	カイント	石油精製			
	Blast furnace gas	ビケンド	Process heater			
溶媒	MEA	MEA	MEA			
CO2回収コスト	69	69	07			
US\$/t-CO2 avoided	00	00	87			
括弧内は A\$表記	(74)	(76)	(102)			

表 4.8-7 上位 3 業種における CO2 回収コスト(2008 年)の比較

注)Ho et al.(2011)⁴⁾ を参考に作成

4.8.3 輸送技術調査

(1) 海外プロジェクトの事例

船舶輸送と海底下貯留の事例として、ノルウェーの Longship プロジェクトを調査した。 また、陸域のパイプライン輸送と貯留については、カナダの Quest プロジェクトを調査し た。以下では、この二つのプロジェクトの概要をまとめるとともに、国内モデルとあわせて コスト比較を行った。

a. Longship プロジェクト

Longship プロジェクトは、ノルウェーの商業 CCS 一貫プロジェクトである。排出源 はセメント製造工場(Norcem 社)と廃棄物発電所(FOV 社)の 2 箇所であり、各排出 源から年間 40 万 t、計年間 80 万 t の CO₂ を回収する。それぞれ近隣のふ頭に CO₂ を一 時的に集積し、Øygarden にある Naturgassparken へ船舶輸送し、沿岸部から海底パイ プラインにより Aurora サイトへ送り、海底下 3,000 m に貯留する(図 4.8-11)。輸送 と貯留を合わせた事業を、Northern Lights プロジェクトと称す。



図 4.8-11 Longship プロジェクトの概要(ノルウェー石油エネルギー省, 2020)⁵⁾

2020年にノルウェー政府による投資が決定され、2024年の圧入開始を計画している。 現状、CO₂回収量は合計 80万 t/年であるが、扱う CO₂量を 150万 t/年、500万 t/年へと 増やす計画であり、関連設備は CO₂取扱量の増加に対応できるように設計されている(図 4.8-12)。貯留側の一時貯蔵設備は、現状では 40 万 t/年×2 箇所=80 万 t/年規模で十分 であるが、今後、他の回収設備からの CO₂の受け入れを見越して、150 万 t/年規模で設 計されている。

一方、貯留層は 500 万 t/年規模での CO₂ 圧入を受け入れる容量があり、海底パイプラ インは現状 80 万 t の圧入に対し、約 6 倍の 500 万 t/年の輸送が可能となるように設計さ れている。設備の規模を整理すると、以下のとおりである。

- 1) 回収設備および輸送船:40万t/年規模
- 2) 貯留側一時貯蔵および圧入井:150万t/年規模
- 3) 海底パイプラインおよび貯留層: 500 万 t/年規模



図 4.8-12 CCS 事業区分と CO2 取扱量 (DNV GL & Gassnova, 2020)⁶⁾

本事業の区分および主な設備の構成は以下のとおりである(図 4.8-13)。

- 1) 回収:回収設備、液化設備、一時貯蔵設備を含む港湾設備
- 2) 輸送:船舶のみ
- 3) 貯留:一時貯留設備を含む港湾設備、圧入ポンプ、海底設備(パイプライン、圧入井1本)



図 4.8-13 CCS 事業区分と主な付帯設備(Gassnova, 2020)⁷⁾

Gassnova 社が 2020 年に作成した報告書「Developing Longship – Key Lessons Learned」⁷⁾では、回収は2箇所に分けて記載され、輸送と貯留は一体化されている。また、コストは資本費 (CAPEX) と運用費 (OPEX) に分けられている (表 4.8-8)。CAPEX 総額は約 145 億 NOK (ノルウェークローネ) であり、1 ノルウェークローネを 15 円と すると、2,175 億円である。また、OPEX の年額は 105 億円である。

表 4.8-8 Longs	hip プロジェクト	のコスト
事業単位	CAPEX	OPEX
(年間 CO₂ 取扱量)	2020 年基準	2020 年基準
	(億 NOK)	(億 NOK/年)
回収 Norcem 社 (0.4 Mt)	31.03	1.17
回収 FOV 社 (0.4 Mt)	40.90	2.24
輸送・貯留 (0.8 Mt)	73.00	3.64
合計 (0.8 Mt)	144.93	7.05

注)回収 2 箇所、船舶 2 隻、600 km 輸送、圧入井 1 本(含む海底パイプライン 100 km)、年間 80 万 t 貯留

CAPEX と OPEX からトン当たりのコストを見積もるにあたり、簡易的な算出を試みた(表 4.8-9)。CAPEX の年間コストは、割引率を考慮せず、単純に事業期間で割ることで概算した(事業期間は 25 年)。回収については、Norcem 社と FOV 社それぞれの回収コストを加重平均した。トン当たりの回収コストと輸送・回収コストとはほぼ 1:1 であり、日本円では 24,090 円/t となった。

. .			
事業単位	CAPEX	OPEX	トン当たりのコスト
	(円/t)	(円/t)	(円/t)
回収	5,395	6,395	11,790
輸送・貯留	5,475	6,825	12,300
合計	10,870	13,220	24,090

表 4.8-9 Longship プロジェクトのトン当たりのコスト(1NOK=15 円として)

注 1) 回収 2 箇所、船舶 2 隻、600km 輸送、圧入井 1 本(含む海底パイプライン 100 km)、年間 80 万 t 貯留

注 2) 事業期間を 25 年とし、割引率を考慮せず CAPEX を年割りした場合の価格

具体的な費用内訳は公開されていないが、CAPEX内訳は円グラフのとおりである(図 4.8-14)。このグラフをもとに年間コストを振り分け、トン当たりのコストを概算したものを表 4.8-10 に示す。



図 4.8-14 CAPEX 内訳

大分類	内訳	(%)	概算	全体に
		()	コスト	占める
			(円/t)	割合 (%)
回収		100	5,395	49
	回収、排ガス前処理、回収液再生を含む	26	1,403	13
	圧縮、液化	16	863	8
	回収側一時貯蔵地への輸送	5	270	2
	回収側一時貯蔵	17	917	8
	回収側港湾設備	2	108	1
	回収関連環境整備	34	1,834	17
輸送・貯留		100	5,475	51
	船舶(2 隻)	15	821	8
	貯留側港湾設備、一時貯蔵	35	1,916	18
	海底パイプライン、圧入口	33	1,807	17
	掘削、圧入井(1 本)	15	821	8
	海底下モニタリング(400 km ²)	2	110	1
合計			10,870	100

表 4.8-10 Longship プロジェクト CAPEX 内訳の概算(1NOK=15 円として)

b. Quest プロジェクト

Quest プロジェクトはカナダの CCS 一貫プロジェクトである(図 4.8-15)。アサバス カオイルサンドのオイルサンド改質による合成原油製造所 Scotford Upgrader にある水 素製造装置から CO₂ をアミン回収する。回収量は製油所で排出する CO₂の約 1/3、年間 約 100 万 t である。回収された CO2 は陸上パイプライン(65 km)により貯留サイトへ 輸送され、3本の圧入井から地下約2 km の塩水性帯水層に圧入される。



注) 左: 概要、右: パイプラインルート(オレンジ) と圧入井(緑)

図 4.8-15 Quest プロジェクトの位置(O'Brien, 2017)⁸⁾

本事業の区分および主な設備の構成は、以下のとおりである(図 4.8-16)。

- 1) 回収:回収設備、圧縮設備
- 2) 輸送:パイプラインのみ
- 3) 貯留: 圧入ポンプ、圧入井(3本、それぞれ深部と浅部の観測井が1本ずつ付帯)



図 4.8-16 Quest プロジェクトの事業概要(Shell International B.V., 2015)⁹⁾

アルバータ州エネルギー省のウェブサイトで公開されている「年次報告書 2019 年版 (Shell Canada Energy, 2020)」¹⁰⁾には、CAPEX と OPEX の実費が記載されている (表 4.8-11)。CAPEX 総額は約 9.30 億 CAD (カナダドル)であり、1 CAD を 85 円と すると、790 億円である。CAPEX のその他には、Shell 社の直接人件費や試運転、それ ぞれの事業単位をつなぐ連結費用(Tie-in)が含まれる。OPEX については、2015 年 10 月~2019 年 12 月までの 4 年間の平均は 0.30 億 CAD (25.5 億円)である。

CAPEX と OPEX の内訳は、表 4.8-12 と表 4.8-13 にそれぞれ日本円で示した。CAPEX の年間コストは、割引率を考慮せず、単純に事業期間で割ることで概算した。事業期間は 25 年であり、年間コストを CO₂年間回収量の 100 万 t で割ることにより、トン当たりの コストを算出した。日本円に換算した CCS コストを表 4.8-14 にまとめた。

- AC 1.0 11		1 0 000 1111
事業単位	CAPEX	OPEX
	(百万 CAD)	2015~2019 年平均
		(百万 CAD/年)
回収	490.1	24.2
輸送	131.5	0.2
貯留	103.4	5.5
その <mark>他</mark>	204.2	0.2
合計	929.2	30.0

表 4.8-11 Quest プロジェクトの CCS コスト

注)回収1箇所、パイプライン輸送65km、圧入井3本、年間100万t貯留

表 4.8-12	CAPEX	の項目	と内訳	(1 CAD = 85)	円とり	して)
----------	-------	-----	-----	--------------	-----	-----

大項目	小項目	コスト(円/t)
回収(圧縮を含む)		1,666
	FEED	179
	設計	295
	建設管理	131
	資材	365
	人件費	155
	外注	31
	配管工賃	356
	間接経費	154
輸送(パイプライン)		447
	FEED	14
	設計	30
	資材	106
	施工	297
貯留		352
	FEED	215
	圧入井	84
	観測井	7
	水井戸	5
	モニタリング	41
その他		694
	FEED	66
	事業費(人件費等)	502
	事業の連結-回収	122
	事業の連結-パイプライン	4
合計		3,159

注)事業期間を25年とし、割引率を考慮せずCAPEXを年割りした場合の価格

大項目	小項目	コスト(円/t)
回収(圧縮を含む)		2,054
	電力	528
	蒸気	616
	圧縮空気	5
	冷却水	35
	直接人件費	598
	運転・修繕	98
	固定資産税	165
	吸収液	8
輸送(パイプライン)		17
貯留		469
	圧入	294
	モニタリング	93
	サイト閉鎖後用積立金	22
	その他坑井費	25
	地下保有費	35
その他	その他経費	13
	合計	2,553

表 4.8-13 OPEX の項目と内訳(1 CAD=85 円として)

表 4.8-14 Quest プロジェクトのトン当たりのコスト

	CAPEX (円/t)	OPEX (円/t)	計 (円/t)
回収	1,978	2,058	4,036
輸送	640	21	66 1
貯留	541	473	1,014
合計	3,159	2,553	5,712

注)表 4.8-12 および表 4.8-13 のその他の費用を、回収、輸送、貯留に割り振った。

海外 CCS 事例と国内 CCS モデル(4.8.2 節~4.8.4 節に記載した石炭火力発電所での 分離・回収、陸上パイプラインおよび船舶での輸送、陸域からの大偏距掘削による海底下 地中貯留のモデル)のコストの比較を行い、表 4.8-15 に整理した。Quest プロジェクト と国内モデルを比較すると、CAPEX コストはほぼ同規模である。一方、Longship プロ ジェクトと国内モデルのコストを比較すると、船舶を除き、Longship プロジェクトが 2 ~3 倍のコストとなっている。この主な要因は以下のとおりと考えられる。

- 1) Longship プロジェクトの設備費は土木工事費を含んでいる。
- 2) 一部の設備が、80万 t/年規模から、150万 t/年、500万 t/年規模への拡張を見越 した設計となっている。

また、OPEX 全体のコストは、国内モデルとほぼ同規模である。ただし、費目ごとでみると大きなばらつきがあり、その要因分析は今後の課題である。例えば、Longship プロジェクトの船舶 OPEX コストは、国内モデルと比べて7倍となっている。この差は何に依存するのか等、さらに詳細な調査が必要である。

プロジェクト名		Longship	Quest	国内モデル
年間 CO ₂ 圧入量		0.8 Mt/年	1 Mt/年	1.54~3.39 Mt/年
圧入期間		25 年	25 年	
事業形態		回収2箇所	回収1箇所	回収1箇所(石炭
				火力発電所)
			陸上パイプライン	陸上パイプライン
			65 km	100 km
		船舶 2 隻 600 km		船舶輸送 1000 km
		圧入井1本	圧入井3本	圧入井7本
		海底下貯留	陸域貯留	海底下貯留(陸域
				から掘削)
回収	CAPEX	1,402	1,978	738
	OPEX	6,394	2,058	2,234
昇圧	CAPEX	貯留に含む	回収に含む	197
	OPEX	貯留に含む	回収に含む	846
パイプライン	CAPEX	1,807	640	485
	OPEX	貯留に含む	21	337
液化・一時貯蔵	CAPEX	3,804	_	1,015
	OPEX	回収/貯留に含む	_	2,581
船舶	CAPEX	821	_	1,462
	OPEX	1,575 ¹⁾	—	229
貯留	CAPEX	931	541	556 ²⁾
	OPEX	約 3,130	473	2,208 ²⁾

表 4.8-15 CCS コストー覧(円/t)

注 1) DNV GL & Gassnova(2020)The Norwegian full-scale CCS demonstration project ${}^{6)}$ より

注 2) 陸域からの大偏距掘削による海底下地中貯留を想定。RITE(2021) 我が国における CCS 事業化に 向けた制度設計や事業環境整備に関する調査事業¹³⁾より 輸送コストを大きく左右する要因の一つは、輸送する CO₂の液化方法にある。CO₂は 温度・圧力によって容易にガス、液、超臨界に相が変わる(図 4.8-17)。気液混合相の輸 送では、体積変化やそれに伴う温度変化が起こりやすく、扱いが複雑となるため、液相で の輸送が好まれる。CO₂を液化するには、低温にする方法と高圧にする方法がある。 Longship と Quest の輸送方法を表 4.8-16 にまとめた。

Longship では、2 MPa 以下で液化する輸送が計画されている。これは陸上で CO₂ を 液化して貯蔵するタンクが一般に 2 MPa、20℃で運用されていることに起因する。また、 船舶に搭載するタンクの壁厚を薄くするために、0.6 MPa、-55℃程度の低圧低温での輸 送船の設計も進められている。このように液化 CO₂の輸送には、前処理装置として冷却・ 圧縮装置、脱水装置および冷凍装置が必要となる。また、液化 CO₂ を一次保存する貯槽 も必要である。冷却・圧縮装置~貯槽までの CAPEX は、回収設備に匹敵している。

一方、Quest では陸域パイプライン輸送のみであり、10 MPa での高圧輸送が行われて いる。この場合、付帯設備は脱水装置と圧縮装置のみと簡素になり、低温輸送に比べ総合 的にコストが安くなる。これに対して、船舶輸送では受払いのため 2 箇所に港湾設備を 設け、一時貯蔵所を 2 箇所設置する必要があるため、必然的に輸送コストが高くなる。



図 4.8-17 Quest と Longship プロジェクトにおける CO2 輸送条件

	Longship 劇 的 曲	Longship 海底パイプライン	Quest 陸上パイプライン
輸送コスト (円/t)	約 2,400	<u>海底パインライン</u> 約 2,000	<u>産工パイラリイン</u> 約 700
輸送条件	低温	低温~常温/高圧	高圧
設備概要	・全長 130 m ・7500 m ³ 輸送船×2 隻 ・1 隻につき、3750 m ² ×2 タンク	・パイプ外径 12"3/4 ・肉厚 17.5 mm (沿岸付近) ・肉厚 15.9 mm (圧入井付近) ・内容量 6,050 t@4.5 MPa	・パイプ径 12" ・肉厚 12.1 mm ・6 区画に分割管理
輸送距離	約 600 km (往復 4 日)	約 100 km	65 km
輸送条件	・1.5 MPa、一26℃ ・0.6 MPa、一55℃	・陸上 >4.5MPa ・海底チョーク 10MPa	・10 MPa ・130℃(圧縮機) ・43℃(パイプライン 入り口) ・気温(坑口)
付帯設備 (輸送コス トに含まれ ていない)	 ・一時貯槽 ・冷却装置 ・脱水装置 ・圧縮装置 	・昇圧ポンプ ・気化装置 ・加熱装置	・脱水装置 ・圧縮装置

表 4.8-16 輸送方法のまとめ

(2) 国内の CO₂ 輸送コスト試算事例

国内の輸送コスト調査については、発電コストWG、「革新的ゼロエミッション石炭ガス 化発電プロジェクト:発電から CO₂ 貯留までのトータルシステムのフィジビリティー・ス タディー(以下、「革新的ゼロエミ」と称する。)」¹¹⁾および「平成29年度:地球温暖 化・資源循環対策等に資する調査委託費(CCSの経済性評価事業)調査報告書」¹²⁾を参照 した。

とくに革新的ゼロエミでは、CO₂排出源から貯留までの一貫システムでの FS であり、輸 送ケースもパイプライン、液化船舶輸送を扱っている。

パイプライン輸送の概要を図 4.8-18 に示す。

以下ではパイプライン輸送コスト試算過程について述べる。



図 4.8-18 CO2パイプライン輸送設備の概要

① 圧縮機の設備費

発電コスト WG の試算では、圧縮機の設備費は 129 億円となっている。また、表 4.8-17 に示したとおり、年経費は 5.6 億円となる。

(2) 圧縮機の運用費

圧縮機の運用費は以下のとおり試算されている。

1) 運用(修繕費)

設備費の3%/年とする。

したがって、129億円×0.03/年 = 3.9億円/年

2) 電気代

外部電源単価 10 円/kWh、消費電力 2.01740 億 kWh

したがって、電気代は 20.2 億円/年

③ パイプラインの設備費

発電コスト WG の試算では、100 km の陸上パイプラインの設備費は 319.4 億円となっている。

④ パイプラインの運用費

パイプラインの運用費は以下のとおり試算されている。

運用(修繕費)→設備費の3%/年

したがって、319.4 億円×0.03/年 = 9.6 億円/年

⑤ CO2パイプライン輸送コスト

以上より、石炭火力発電所のパイプライン輸送コスト(Captured)は、 (圧縮機設備費 5.6 億円/年+圧縮機運用費 24.1 億円/年+ パイプライン設備費 13.8 億円/年+パイプライン運用 9.6 億円/年)

÷ CO_2 輸送量 2,847 千 t/年 = 1,865 円/t CO_2

となる。

石炭火力から回収した CO₂(年間約 285 万 t)、100 km のパイプラインで輸送する場合 のコスト試算結果を表 4.8-17 にまとめた。

表 4.8-17 CO2パイプライン輸送コストの試算結果

		輸送量	項目		
項目 内訳 283.6万tCO2/年		283.6万tCO2/年 (割引率	3.00%	※発
		(+III)达江/JTOIWITU/	資本回収率(40年)	4.33%	
注納機 (設備貨) (1)	上 舶 慨 (5.6 1息円/年	資本回収率(20年)	6.72%	
広な機(清田弗) の	圧縮機(修繕費)	3.9 億円/年			
江和城 (建用貝) ②	圧縮機動力 (電気)	20.2 億円/年	資本回収率 = <u>割引率 × (1 + 割引率) *</u> (1 + 割引率) **		
パイプライン(設備費)③	パイプライン(100km)	13.8 億円/年	(1, 11)+)		
パイプライン(運用費)④	パイプライン(修繕費)	9.6 億円/年	圧縮機 年価(操業期間40年) = 129 億円×4.33%= 5.6 億円/年		
小計		53.1 億円/年			
CO2輸送量(年間)⑤		2,847 千tCO2/年			
CO2輸送⊐スト(Capture) ((①+②+③+④)/⑤)		1,865 円/tCO2	パイプライン年価(操業期間40年) =319.4億円×4.33%=13.8億円/4		

⑥ 船舶輸送コスト

船舶輸送コストについては、「平成29年度地球温暖化・資源循環対策等に資する調査委 託費(CCSの経済性評価)調査報告書」¹²⁾を調査した。CO2受け渡し港~CO2搬出の港・ 港間の CO2輸送コストを中心に、その内容を記載する。

a. 船舶の規模・運行ルート・稼働率

船舶の規模としては、以下を想定している。

- 1) 実証船(内航) 3,200 t 型
- 2) 商用船(内航) 21,000 t 型
- 3) 商用船(外航) 50,000 t 型

内航船の場合は、国内の排出源と貯留サイトを結ぶものとし、輸送距離は約1,000 km としている。また、外航船の場合は、国内の排出源と東南アジアの貯留層間の輸送を想定 し、距離は約5,600 kmを想定している。稼働率は、内航船を85%、外航船を90%と設 定している。

以上により算定した船舶経費を表 4.8-18(1)~(2)に示す。

		ᄥᄮ	実証船(内航)	商用船(内航)	商用船(外航)
	頃 日	₽1⊻	3,200 t 型	21,000 t 型	50,000 t 型
	貨物タンク方式	-	単胴式	双胴式	球形式
	タンク容積(100%)	m ³	約 3,180	約 20,530	約 48,780
	貨物積載量	t	約 3,270	約 21,090	約 50,100
	乗組員数	人	16	18	24
	稼動日数	B	310	310	328
	稼働率	%	85	85	90
基	航海距離	海里	580	580	3,000
「姫」	平均船速	ノット	13.5	13.5	15.0
Ê	平均航海時間	時間	43	43	200
	年間航海回数	D	51	51	15
	航海日数(往復)	B	6	6	21
	建造船価	百万円	3,000	6,300	9,500
	乗出費用		90	190	290
	取得価格		3,090	6,490	9,790
	法定耐用年数	年	15	15	15
	船員費		256,000	288,000	384,000
	修繕費		60,000	126,000	190,000
	船用品費	千円	15,000	31,500	47,500
	潤滑油費		3,200	20,500	48,800
	保険料		12,400	26,000	39,200
船	(償却年央簿価)	百万円	(1,790)	(3,760)	(5,680)
船	固定資産税		12,500	26,300	39,800
費	雑 費		15,500	32,500	49,000
	減価償却費	千円	185,400	389,400	587,400
	設備資金金利		26,900	56,400	85,200
	船主店費		58,700	99,700	147,100
	年間船舶経費合計	千円	645,600	1,096,300	1,618,000
	月間船舶経費	千円	63,300	107,600	150,000

表 4.8-18(1) 船舶経費(その1)

		<u>ж</u> /т	実証船(内航)	商用船(内航)	商用船(外航)
項日		甲亚	3,200 t 型	21,000 t 型	50,000 t 型
	主機燃料消費量	t/日	約 9.8	約 19.9	約 42.6
燃	主機年間燃料使用量	t/年	1,790	3,630	10,650
料	主機年間燃料費	千円	77,000	156,000	456,000
貫	発電機年間燃料費	千円	7,700	15,600	45,600
	年間総燃料費	千円	84,700	171,600	501,600
8	主機排出量	t/h	1.30	2.65	5.66
排出	発電機排出量	t/h	0.13	0.26	0.57
量	年間排出量	t/年	6,300	12,800	37,400
輸送単位	年間船舶経費	۲E	730,300	1 267 000	0.440.000
	+年間燃料費	ΤĦ		1,267,900	2,119,600
	年間輸送量 ¹⁾	+/左	120,000	750,000	750,000
		V+	(166,000)	(1,075,000)	(751,000)
ш	* 4`*	III /4	6,100	1,700	2,830
	割达甲価 1		(4,400)	(1,180)	(2,820)

表 4.8-18(2) 船舶経費(その2)

注1)上段は革新的ゼロエミで設定された輸送量(CO₂排出量)、下段()内の数値は毎航海を満載で 輸送した場合の輸送量

注 2) 上段は革新的ゼロエミで設定された輸送量での輸送単価、下段は毎航海を満載で輸送した場合の輸送量での輸送単価

⑦ 船舶以外の陸上設備の設備費・運用費

革新的ゼロエミの「第4章 フィジビリティー・スタディーのトータルシステム評価」¹ ¹⁾を基に調査した。以下、その内容を記載する。

a. 評価対象モデルと CO2 回収量

評価対象モデルは 282.5 MW (送電端)石炭ガス化発電システム (商用機) であり、CO₂ 回収率は 90%、CO₂の年間回収量は 154 万 t である。

b. 液化・払出貯蔵・受入基地・受入貯蔵の設備コスト(商用機)

液化・払出貯蔵・受入基地・受入貯蔵の設備費は以下のとおり試算されている。

- 1) 液化設備:107億円
- 2) 払出貯蔵設備:142億円
- 3) 受入基地·貯蔵設備

受入基地:153億円、受入貯蔵設備:112億円
洋上浮体方式:214億円(受入基地:117億円、受入貯蔵設備:97億円)
受入貯蔵設備:112億円
各設備は 40 年間運用するとし、表 4.8-17 に示した資本回収率 4.33%を適用すると年 間の設備コストは以下のようになる。

- 1) 液化設備: 4.63 億円
- 2) 払出貯蔵設備: 6.15 億円
- 3) 受入基地·貯蔵設備
 - 洋上着底方式:11.47 億円
 - 洋上浮体方式: 9.27 億円
 - 受入貯蔵設備: 4.85 億円
- c. 液化設備運用コスト(修繕費)

各設備の年間修繕費は、設備費の3%であると仮定すると、修繕費は以下のようになる。

- 1) 液化設備: 3.21 億円
- 2) 払出貯蔵設備: 4.26 億円
- 3) 受入基地·貯蔵設備

洋上着底方式: 7.95 億円

洋上浮体方式:6.42 億円

受入貯蔵設備: 3.36 億円

d. 設備運用コスト(電気代等)

7. 液化設備

液化設備の使用電力等とそれぞれの単価を以下のよう設定している。

電力	: 36,900 kW	10 円/kWh
冷却水	: 5,000 m³/h	6 円/m³
蒸気	: 2,500 kg/h	1.5 円/kg
計装用空気	ર્સ: 800 N m³/h	5 円/m³

また、年間の設備利用率を 80% (7008 h/年:(1)の評価対象システムで CO₂ 回収量/d と CO₂ 回収量/年の比より計算)とすれば、上記合計のコストは、

 $(36,900 \times 10 + 5,000 \times 6 + 2,500 \times 1.5 + 800 \times 5) \times 7008h/年 = 28.5 億円/年 となる。$

イ. 払出貯蔵設備

払出貯蔵設備の電力は 140 kW と設定されており、①と同条件で年間コストを試算すると 0.09 億円となる。

ウ. 受入基地・貯蔵設備(各方式共通)

払出貯蔵設備の電力は 540 kW と設定されており、①と同条件で年間コストを試算す ると 0.33 億円となる。

e. CO₂トン当たりのコスト

以上のa.~d.から、各設備のCO2トン当たりのコストを試算すると以下のようになる。

1) 液化設備

(4.63 億円/年+3.21 億円/年+28.5 億円/年)/154 万t = 2,360 円/年t

2) 払出貯蔵設備

(6.15 億円/年+4.26 億円/年+0.09 億円/年)/154 万 t = 682 円/年 t

受入基地・貯蔵設備

洋上着底方式:11.47 億円

(11.47 億円/年+7.95 億円/年+0.33 億円/年)/154 万 t = 1,282 円/年 t 洋上浮体方式:9.27 億円

(9.27 億円/年+6.42 億円/年+0.33 億円/年)/154 万 t = 1,036 円/年 t 受入貯蔵設備: 4.85 億円

(4.85 億円/年+3.36 億円/年+0.33 億円/年) /154 万 t = 554 円/年 t

f. まとめ

本予備調査の回収・輸送(パイプライン、船舶)の結果を以下にまとめる。なお、回収に ついては石炭火力の事例を、船舶輸送については、商用船(内航)+陸上受入基地の事例 を選定・整理する。回収コストを表 4.8-19 に、パイプライン輸送コストを表 4.8-20 に、 船舶輸送コスト(船舶本体:港・港間)を表 4.8-21 に、船舶輸送コスト(液化・払出、 受入基地)を表 4.8-22 に示す。

表4.8-19 回収コスト

CAPEX/OPEX	項目	年コスト(円/トン)
CAPEX	回収設備費	738円
OPEX	回収設備:諸費	372円
	回収設備:修繕費	407円
	蒸気・動力費	1,454円
	合計	2,972円

表 4.8-20 パイプライン輸送コスト

CAPEX/OPEX	項目	年コスト(円/トン)
CAPEX	圧縮機費 (昇圧)	197円
	パイプライン(100km)	485円
OPEX	圧縮機:修繕費	137円
	圧縮機動力 (電気)	709円
	パイプライン(修繕費)	337円
	合計	1,865円

表 4.8-21 船舶輸送コスト(船舶本体:港・港間)

CAPEX/OPEX	項目	年コスト(円/トン)
CAPEX	船舶費	1,462円
OPEX	船舶燃料費	229円
	合計	1,691円

CAPEX/OPEX	項目	年コスト(円/トン)
CAPEX	液化設備費	301円
	払出設備費	399円
	受入基地(陸上)	315円
OPEX	液化設備:修繕費	208円
	〃 :運用費	1,851円
	払出設備:修繕費	277円
	〃 :運用費	6円
	受入基地:修繕費	218円
	〃 :運用費	21円
	合計	3,596円

表 4.8-22 船舶輸送コスト (液化・払出、受入基地)

4.8.4 貯留技術

(1) 我が国における CO2 地中貯留事業のイメージ

国内の大規模 CO₂排出源と貯留適地の分布状況から、我が国における CO₂地中貯留事業 のイメージを図 4.8-19 に示した。ケース1は陸上パイプライン輸送型の陸域貯留、ケース 2 は陸上パイプライン輸送型の沿岸域貯留(苫小牧実証事業方式)、ケース3は船舶輸送型 の海底着座式(固定式)海域貯留、ケース4は船舶輸送型の浮体式海域貯留となっている。 ノルウェーではパイプライン輸送型の海底坑口式海域貯留(Snøhvit プロジェクト)が行わ れている。また、現在計画中の Northern Lights プロジェクトでも、パイプライン輸送型の 海底坑口式が採用されており、その詳細は今後の調査課題となる。



図 4.8-19 国内の地中貯留事業イメージと主な設備構成

海底下地中貯留では、離岸距離や水深等を考慮し、設備構成を決定するが、その考えは、以下のとおりである。

1) 圧入坑口の位置

- ・離岸距離3km以内:陸上坑口、大偏距掘削(海域設備なし)
- ・離岸距離3km以上:海上または海底坑口、着底または浮体圧入基地の設置
- 2) 洋上圧入設備の設置目安
 - 水深 150 m 以浅:着底式
 - 水深 150 m 以深: 浮体式

コスト試算では、1)CO₂受入条件(回収設備から海底または陸上パイプラインを通じて、 海洋プラットホームまたは陸上設備に液体の状態で供給)、2)圧入条件(CO₂圧入に必要な 坑底圧力および坑口圧力)、3)CO₂圧入井配置およびCO₂分布範囲(圧入井の本数や配置、 地中のCO₂広がり)、4)設備全般の条件(設計年数、稼働日数、設備に関わる間接費割合、 操業費等)、5)バッファタンクや圧入ポンプ、6)ユーティリティ設備が含まれるほか、洋 上圧入設備も対象となる。

(2) 洋上設備の主な要件

- ① 固定式海洋プラットホームの例
 - 1) 使用するプラットホーム

適用できる水深の関係から、使用するプラットホームはジャケットタイプとなる。 2) 形状

ジャケットの脚の数は発電設備なし(離岸距離 10 km)の場合は 4 脚、発電設備 あり(離岸距離 30 km)の場合は 8 脚を想定する。

3) 製作場所

上部搭載物、下部構造物とも国産品か海外輸入品かのいずれかを想定する。製作 場所から設置場所までの移動距離がポイントなる。

4) 上部搭載物

上部搭載物は、各設備をモジュール化し洋上にてすでに設置された下部構造物に クレーンを用いて据え付ける。

5) 下部構造物

下部構造物は、上部搭載物との接合部分をトラス式とし上部搭載物を支える。下 部構造物は上部搭載物に先立ち台船で輸送され、パイルを打ったのち設置される。

- ② 浮体式海洋プラットホームの例
 - 使用するプラットホーム
 適用できる水深の関係から、使用するプラットホームはセミサブマージブル(セ ミサブ)タイプとなる。

2) 製作場所

上部搭載物、下部構造物とも国産品か海外輸入品かのいずれかを想定する。また、 製作場所から設置場所までの移動距離もポイントとなる。

3) 上部搭載物

上部搭載物はモジュール化し、製作ヤードにて、洋上を輸送してきた下部浮体構造の接合部分に嵌め込む。

4) 下部構造物

下部構造物は、上部搭載物が嵌め込めるような接合部分を持たせる。また下部構造物は、洋上に設置するに先立ち上部搭載物の製作ヤードまで曳航され上部搭載物を接合したのち、設置場所まで曳航される。

5) 固定方式

セミサブはパイルにより海底に固定された鋼鉄製チェーンにより固定される。

(3) 坑井掘削

坑井掘削では傾斜掘削計画案においては、水深 200 m、100 m および 50 m、陸上の掘削 位置から水平距離 3 km 先にある垂直深度 1,000 m、2,000 m および 3,000 m の目的貯留層 位置まで傾斜掘削するケースが考えられる。セミサブ使用時の海洋掘削では事前に海底に テンプレートが設置されており、リグはその直上にてアンカーでポジショニングしながら、 複数の坑井を順次掘削していくことが想定される。また、ジャッキアップリグ使用時の海洋 掘削では事前に掘削プラットホームが設置されているとし、リグはスキッディングで移動 し順次掘削を行う。

(4) 貯留コスト

貯留コストについては、「令和2年度地球温暖化・資源循環対策等に資する調査委託費(我が国における CCS 事業化に向けた制度設計や事業環境整備に関する調査事業)調査報告書」 (RITE, 2021)¹³⁾を参照した。表 4.8-23の貯留条件(仮定条件)の下で、コスト試算が 実施された例を表 4.8-24 に示す。

点条件

項目	単位	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
貯留層 (垂直深度)	m	2,000	2,000	2,000	2,000
圧入レート	千 t-CO ₂ /年・井	500	500	500	500
離岸距離	km	0	3	5	15
水深	m	0	15	20	150
圧入地点		陸域	海域 (陸から圧入)	海域 (着底式)	海域 (浮体式)

表4.8-24 コスト試算結果(円/t)

区分		ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
CAPEX	設備	458	458	1,089	2,123
	事前探査	76	76	103	61
OPEX	修繕	97	97	461	1,800
	ポンプ電気代	79	79	79	106
事業計		9,457	9,457	13,860	15,533
と フ1、陸上長日	、陆村时网 (頃かせ)				

ケース1:陸上坑口->陸域貯留(傾斜井)

ケース2:陸上坑口->海域貯留(大偏距掘削)

ケース3:海上坑口->海域貯留(着底式、水深20m)

ケース4:海上坑口 >海域貯留(浮体式、水深150m)

ケース2、3、4のコスト差の主要因は設備費と修繕費である。また、ケース3、4はケース2と比較して、設備費がそれぞれ約2倍、約4倍となっているが、その主要因は海洋設備費の有無によるものである。さらに、ケース3、4については、上部積載物は共通して必要であるが、一時貯留タンクや昇圧・昇温設備が必要となり、その分がコストアップ要因となる。また、下部構造物については、ケース3の場合はジャケットが必要であり、ケース4については、さらに高額なセミサブとなる。さらに、海底圧入関連設備が必要となり、海底坑口のコストが割高となる。

4.8.5 モニタリング技術調査

(1) Quest プロジェクト

Quest プロジェクトでは、3本の圧入井からの CO₂ 圧入を行っており、その位置関係を 図 4.8-20 に示す。圧入井は図の中央付近の 7-11, 8-19, 5-35 の 3本の坑井である。一方、南 側にある 11-32 坑井と 3-4 坑井は FEED 時に掘削された調査井であるが、このうち 3-4 坑 井は、圧入対象層を貫く観測井として転用されている。 圧入・深部観測井、および水観測井での観測システム概要を図 4.8-21 に示す。圧入井か ら約 40 m 離れた深部観測井では、圧入対象層よりも上位の地層において、温度・圧力を連 続観測している。また、8-19 坑井の深部観測井では、8 連のジオフォンを用いた微小振動観 測も行っている。



図 4.8-20 Quest サイトの坑井位置(Shell Canada, 2013)¹⁴⁾



図 4.8-21 Quest サイトの各坑井地点での坑井配置(Shell Canada, 2011)¹⁵⁾

Quest サイトのモニタリングの特徴は、空気圏、生物圏、水圏、地圏、深部観測井、圧入 井に対して、それぞれ実施項目を設定していることである。圧入開始前のモニタリングプラ ンを図 4.8-22 に示す。アルバータ州の規制当局との協議により、3 年ごとにモニタリング プランを更新することになっている。更新された 2017 年のモニタリングプランを図 4.8-23 に示す。圧入前の計画と比較すると、生物圏の項目がなくなっている。生物圏のモニタリン グ(土壌ガス組成分析)において、自然変動のほうが大きく、モニタリング項目として適当 ではないと判断されたためである。その他の変更点として、3D 探査が先送りされている。 これは圧入量が少ない時点では VSP によるモニタリングとして十分であると判断されたと 考えられる。

更新された 2020 年のモニタリングプランを図 4.8-24 に示す。ここでさらに水の組成分 析の項目が削除されているのは、漏洩検知のモニタリング手法として、予期せぬ変動が大き いと判断されたためである。また、3D 探査の実施時期が不明となっているが、これも VSP によるモニタリングで実施する必要がないと判断されたと考えられる。

最後に各実施項目の詳細内容を表 4.8-25 に記す。



図 4.8-22 圧入開始前の Quest サイトのモニタリングプラン (Shell Canada, 2014)¹⁶⁾



図 4.8-23 2017 年の Quest サイトのモニタリングプラン (Shell Canada, 2017)¹⁷⁾



図 4.8-24 2020 年の Quest サイトのモニタリングプラン (Shell Canada, 2020) ¹⁸⁾

11 <i>4</i>	mg = 7	hun - 프		ter ch
	略記		••••••••••••••••••••••••••••••••••••••	
空気圏	LightSource	圧入井周辺の CO₂ 濃度	圧入 Pad 内	連続
生物圈	SoilGas	土壌ガス分析	6km 範囲内	年2回
	GasFlux	CO₂ フラックス	圧入施設内	年2回
水圏	WPHEC	浅坑井での pH,EC 測定	全9地点	連続
	Chem	水質分析	9 地点+α	年4回
地圏	圧入レート	圧入レート	圧入井	連続
	AnPress	アニュラス圧力	圧入井	連続
	DHPT	深部圧力・温度	圧入・深観測井	連続
	WDHPT	遠観測井での圧力・温度	遠観測井	連続
	IWMech	圧入井健全性評価	圧入井	年1回
	Log	中性子検層	圧入井	年1回
	MSeis	微小振動観測	8-19	連続
	DTS	分布式温度測定	圧入井	連続
	DAS-VSP	DAS による VSP	坑井ごと 8 測線	数年に1回
	Seis2D	二次元弾性波探査	坑井ごと 8 測線	数年に1回
	Seis3D	三次元弹性波探査	初期評価範囲	10年に1回
	InSAR	合成開ロレーダー	初期評価範囲	毎月
	SCVF	ベント気体分析	圧入井	毎年

表 4.8-25 Quest サイトのモニタリング項目と頻度

Quest プロジェクトでは、圧入前の測定・監視・検証(Measurement, Monitoring and Verification、以下、「MMV」と称する。)に関する費用は CAPEX に、圧入開始後の MMV 費用は OPEX に分類されている。ただし、詳細項目に関する費用については公開されておらず、年度ごとの費用のみ明らかにされている。

正入開始前の MMV 費用を表 4.8-26 に示す。これより坑井掘削、観測機器および設置費

用として 40,251,000 CAD(約 34 億円)、また FEED 時から含めると 103,426,000 CAD
(約 88 億円)となっている。一方、圧入開始後の MMV 費用を表 4.8-27 に示す。これと実

施内容を合わせると、DAS-VSP(Distributed Acoustic Sensing - Vertical Seismic Profile、

分散型音響センシングによる垂直方向弾性波プロファイル)に 1,000,000~1,200,000 CAD (約 0.9~1.1 億円)、検層に 200,000~300,000 CAD(約 0.18~0.27 億円)、常時観測に近 い項目に 120,000 CAD(約 0.11 億円)と考えられる。

表 4.8-26 (Quest サイ	トの MM	V 用 CAPEX	費用と年次毎支出額	(x1000 CAD))
------------	----------	-------	-----------	-----------	------------	----

	FEED		CAPITAL / CONSTRUCTION					
	2009 - 2011	FISCAL 2011	FISCAL 2012	FISCAL 2013	FISCAL 2014	FISCAL 2015/16	Total Capex to	
	Jan 1, 2009 - Dec 31, 2011	Jan 1, 2012 - Mar 31, 2012	Apr 1, 2012 - Mar 31, 2013	Apr 1, 2013 - Mar 31, 2014	Apr 1, 2014 - Mar 31, 2015	Apr 1, 2015 - Mar 31, 2017	reach Commercial Operation	
SUBSURFACE - Wells*	63,175							
Injection Wells		1,090	17,970	3,641	167	1,776	24,643	
Monitor Wells		0	1,311	54	-20	571	1,916	
Water Wells		0	1,620	-53	1	0	1,569	
Other MMV		0	1,657	3,309	5,295	1,862	12,123	
Sub Total	63,175	1,090	22,558	6,951	5,443	4,209	40,251	

(Shell Canada, 2021) ¹⁹⁾

Cost Category	Oct 1, 2015 - Dec 31, 2016	2017 Jan 1 - Dec 31	2018 Jan 1 - Dec 31	2019 Jan 1 - Dec 31	2020 Jan1 - Dec 31
Power	3,717.70	4,513.96	7,562.80	9,056.83	6,985.35
Steam	8,414.46	8,834.50	5,464.59	6,284.98	7,355.33
Compressed Air	67.67	62.59	50.19	54.05	66.04
Cooling Water	427.95	389.81	379.14	446.29	474.71
Direct Labour and Personnel Costs	7,829.42	5,787.86	7,383.90	7,129.00	8,355.62
Maintenance Materials and Technical Services	969.42	942.63	1,435.98	1,286.74	2,252.79
Property Tax	2,003.72	2,000.28	1,842.73	1,916.60	1,959.60
Sequestration Opex ¹	7,052.85	6,797.59	0.00	0.00	0.00
MMV after Operations	1,690.41	1,655.74	625.64	381.34	1,335.51
Post Closure Stewardship Fund	272.07	264.28	243.33	250.48	225.34
Other Well Costs	431.49	442.12	102.74	214.11	1,104.13
Subsurface Tenure Costs	362.50	420.00	400.10	454.20	410.20
Pipeline - Inspection and Pigging	145.78	340.49	175.36	139.47	259.69
Amine ²	340.67	0.00	0.00	0.00	0.00
Chemicals	20.35	97.92	150.69	157.71	134.41
Vendor rebates	-122.32	-100.36	0.00	0.00	0.00
Corporate and Other Costs	119.24	205.95	133.08	302.39	508.98
Sustaining Capital ³	0.00	54.89	0.00	432.41	63.30
Total	33,743.37	32,710.26	25,950.27	28,506.61	31,491.01

表 4.8-27 Quest サイトの OPEX 費用と年次毎支出額(x1000 CAD)

(Shell Canada, 2021) 1 9)

(2) Peterhead プロジェクト

Peterhead プロジェクトは、陸上のガス火力発電所で発生する CO₂を回収し、海域の枯 渇ガス田 Goldeneye に 15 年間 CO₂を圧入することを計画していた(Shell, 2016a)。その 概要を図 4.8-25 に示す。Goldeneye のプラットホームと陸上間には既存パイプラインが敷 設されていて、それらを CCS に再利用する予定であった。発電所からは既存のパイプライ ンにつなげるような掘削・パイプラインの敷設も計画していた。しかし、FEED 段階でのプ ロジェクト評価の結果、特に既存施設の改修や、CO₂回収時の費用が大きかったため、英国 政府からの補助が得られなくなり、プロジェクトは中止となった。

FEED 段階の計画や費用評価の資料は閲覧できることから、国内の海域貯留事業の参考 となる。以下ではモニタリングの項目と、その費用を中心に調査結果をまとめた。



図 4.8-25 Peterhead プロジェクトの概要(Shell, 2016)²⁰⁾

Peterhead サイトのモニタリング計画の概要(項目と実施時期)を図 4.8-26 および図 4.8-27 に示す。モニタリングは、浅層、地下、圧入井、観測井に分かれていることが特徴で、 それぞれ圧入前・圧入中・圧入終了後の期間に実施する項目が定められている。その詳細は 表 4.8-28 に示しているが、特に圧入終了後のモニタリング項目は限られている。

漏出 CO₂の気泡検知は基本的にプラットホームから確認し、必要に応じて ROV 等によ る確認を行うことになっている。また、弾性波探査は圧入前に1回、圧入中に1回、圧入終 了後1年以内に1回、権利委譲直前に1回としている。この計画の策定時には DAS-VSP は、まだ R&D の項目として実施を計画していた。

4-279



図 4.8-26 Peterhead プロジェクトでのモニタリング概要(Shell, 2015)²¹⁾

: : : : : : : : : : : : : : : : : : :	Pre-Injection	Injection	Post-Injection
Seabed and Shallow Layers	CO ₂ flux baseline monitoring		
	ROV gas leak (bubb Seabed surveys (MBES/SSS)	(e) detection under the platform	MBES/SSS
	Seabed samples GPS on platform		Seabed samples
Geosphere	4D seismic/VSP	4D seismic/VSP	4D seismic/VSP
Monitoring Wells	Cement bond/casing integrity	Annular pressure and DTS+DAS	
	Sigma/Neutron	Sigma/Neutron Downhole sample	1 <mark>8</mark>
	PDG/Long term gauge		
Injection Wells	Cement bond/casing integrity	Annular pressure and DTS+DAS	
	Sigma/Neutron	Tubing integrity	
· · ·	Sta	rt of injection Mid-injection	1 Year post-injection

図 4.8-27 Peterhead プロジェクトでのモニタリング項目(Dean, 2015)²²⁾

表 4.8-28 Peterhead プロジェクトの詳細モニタリング項目と

項目		回数・方法等					
	圧入前	圧入中	圧入後				
海底・浅層							
海底地形	1 回	3Dと同時期	3D と同時期				
水圧	1 年間ベースライン	連続					
気泡検知	プラットホーム管理の	つ一部とし ――					
	て実施						
海底土壌サンプリング	1 回		1回				
プラットホーム(GPS)	連続						
地下							
弾性波探査(3D/VSP)	Streamer/OBN1	OBN で 1 回	OBN で終了時と委				
			譲前に1回				
坑井							
DTS (DAS)		連続					
坑井・チュービング健全性	1 回	3,7,11 年次					
中性子検層	1回	7,9, 11, 13 年次					
圧力測定	連続	連続	圧入後 1~2 年連続				
圧入レート		連続					

方法・回数(Shell, 2016)^{2 3)}

Peterhead プロジェクトでの FEED 時の OPEX 評価結果を表 4.8-29 に示す。これより、 圧入期間 15 年のうち、MMV での費用割合は、全体のうち 1%程度と評価されていること がわかる。

Cost Element	Sub Element		Cost (£ k)
Power Plant OP	EX	: :	2,900,500
	Base Plant		366,800
	Fuel Gas		2,336,800
	Carbon Cost	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	196,900
Carbon Capture,	, Transport and Storage C	PEX	768,200
	Pre Start-Up Costs	:	
	CCCC Plant Power Impor	rt	235,100
	CCCC Plant Operations		387,500
	Transport		89,700
	Storage		1,800
	Monitoring (during and po	ost operations)	
TOTAL			3,668,700

表 4.8-29 Peterhead プロジェクトの OPEX コストの内訳評価 (Shell, 2016)²³⁾

CCSの費用の年ごとのコスト評価結果を図 4.8-28 に示す。図中の黄色い部分が MM28V に関わる費用を示す。黄色い部分が大きい年が弾性波探査を実施する時期と考えられる。

各モニタリング項目に対する費用までは記されていないものの、これらより年平均のコ ストと、弾性波探査実施時のコストの概算が求められる。図 4.8-28 より、年平均(通常操 業時)のモニタリングコストは約£350,000(約 0.55 億円)、弾性波探査には約£6,000,000 ~8,400,000(約 9.4 億~13 億)程度見込んでいたことがわかる。



図 4.8-28 Peterhead プロジェクトでの年次ごとの CCS の OPEX 費用 (Shell, 2016)²³⁾

CCS サイトでのモニタリング事例として、陸上の Quest プロジェクトと海域の Peterhead プロジェクトにおけるモニタリングのメニューとコストの調査を行った。どち らのサイトにおいてもモニタリングのコストは、CCS プロジェクトの OPEX の中で占める 割合は大きくない。本予備調査内容から、Quest サイトのように、モニタリングの効果を考 え実施項目を柔軟に変更できるように、プロジェクトの計画段階から規制当局とのすり合 わせをしておくことが好ましい。また、DAS-VSP によるモニタリングでは、弾性波探査の コストを大幅に削減できる可能性がある。

(3) 苫小牧実証事業

苫小牧実証事業では、貯留層モニタリング(圧入井、観測井)、自然地震および微小振動 観測(観測井、海底ケーブル、海底地震計)、弾性波探査および海洋環境調査が実施された。 苫小牧実証事業の実績を基に、JCCSにより20万t/年と100万t/年の実用化事業モデルの コストが試算されている(表 4.8-30)。海外の大規模海域貯留プロジェクトのモニタリング 項目やコスト等を詳しく調査し、国内の海域貯留プロジェクトのコスト試算に活用するこ とが望まれる。

苫/	ト牧実証事業 モニタリング関連コスト		実用化モデル	実用化モデル
			20 万 t/年	100 万 t/年
CAPEX	観測井掘削(掘削費、機材、物品)	百万円	390	780
	モニタリングシステム	百万円	600	1,200
	・観測井モニタリングシステム、ベースラ			
	イン観測			
	・OBS 微小振動観測システム、ベースライ			
	ン観測			
	・貯留層総合評価 等			
	法規制・安全(海洋環境調査ベースライン	古方田	260	520
	等)	1,11,1	200	520
	CAPEX 合計	百万円	1,250	2,500
	CAPEX/t	円/t	250	100
OPEX	モニタリング	百万円	250	470
	・観測井モニタリングシステムによる観測			
	データ提供			
	・OBS 観測データ提供			
	・貯留層等総合評価			
	・微小振動・自然地震総合解析 等			
	弾性波探査	百万円	340	340
	海洋環境調査	百万円	310	310
	OPEX 合計	百万円	900	1,120
	OPEX/t	円/t	4,500	1,120
	(CAPEX+OPEX)/t	円/t	4,750	1,220

表 4.8-30 国内の CCS 実用化モデルとコストの概要

METI, NEDO, JCCS (2020)²⁴⁾に加筆

4.8.6 調査結果の整理

本予備調査では、モデル貯留候補地点周辺エリアにおける CO₂ 排出源の公開情報および CCS 関連コストの公開情報の収集・整理等を行った。

CO₂ 排出源に関しては、技術研究組合が整備している全国排出源データベースを活用す ることにより、適地候補サイトと周辺の排出源とのマッチングが可能であることが判明し た。候補サイトの貯留可能量を念頭に、貯留規模(坑井本数、圧入レート)、排出源からの 輸送手段を仮定し、経済性向上に資するケーススタディが実施できる。排出源に回収設備等 を設置するスペースがあるかどうかは、現地調査等が必要となる。

CCS 関連コストの内、CO2分離・回収コストに関しては、石炭火力発電所および LNG 火力発電所のみ入手可能であるが、これらの情報も 2005~2007 年度に行われた「二酸化炭素 固定化・有効利用技術等対策事業『二酸化炭素地中貯留技術研究開発』」の成果報告書および 2008~2012 年度に行われた革新的ゼロエミの全体システム評価の成果報告書をベース としており、報告書作成時から 10 年以上経過していることから情報の更新が待たれる。また、製鉄所、セメント工場等の他排出源におけるコスト検討が待たれる。

輸送手段に関してはパイプラインか船舶のいずれかになるが、国内実施例がないため、海 外事業の公開情報を参考にコスト試算することになる。パイプライン輸送ルートや船舶輸 送時のバース等に関しては、現地調査等が必要となる。

貯留技術に関しては、陸からの海底下貯留として、苫小牧大規模実証事業が手本となる。 洋上に圧入設備を設置する場合は、Peterhead 事業計画が参照できるが、海底坑口仕上げに 関してはノルウェーの海域貯留事業の情報収集が必要となる。

モニタリング技術に関しては、陸上ではあるがQuestプロジェクトが大いに参考になる。 プロジェクト当初のモニタリング計画を3年ごとに見直すように監督機関と合意を得てお り、その合意に基づき、圧入開始後は不要な項目を除外したり、実施頻度を下げたりするこ とにより、効果的・経済的なモニタリングが可能となっている。苫小牧大規模実証事業は、 海外事業に比べて綿密なモニタリング計画となっており、モニタリング項目を検証し、事業 化に適したモニタリング計画を作成することが望ましい。

CCS 国内モデル(石炭火力発電所での分離・回収、陸上パイプラインおよび船舶での輸送、陸域からの大偏距掘削による海底下地中貯留のモデル)のコスト情報(表 4.8-15)の内 訳、前提、参考文献等を表 4.8-31 に一括して整理した。さらなる内訳、前提等については、 各参考文献を参照頂きたい。

误番号	項目	補足、内訳等	CAPEX/OPEX	前提、コスト等	コスト(億円/年)等	コスト(円/f)		
4.8.2	CO2回収コスト	総合資源エネルギー調査会発電	DWYXE	資料(2021.9.8)		表4.8-1	5 "国内モデル"に掲載されたコスト	
	評価対象モデル CO2回収量	C02分離回収型石炭火力発電所	(設備容量)	0.万kW,設備利用率70%,稼痍 2.847 百万+/年	年数40年,CO2回収率90%)]		
	回収後CO2圧力/温度			0.1Mpa/ 46°C	(平成 20-24 年度革新的ゼ	ロエミ 全体システム	評価成果報告書 Post Combustion)	
	CO2分離回収型石炭火力発電所建設単価①	(2030年時点)		31.3 万円/kW				
	石炭火力発電所建設単価② CO2回収設備費①-②	(2030年時点)		24.4 万円/kW 6.9 万円/kW			割引率 0.0300	
	発電所定格出力③			70 万kW			操業期間 40 年	
	CO2回収設備費((1)-2)×3		CAPEX	483.0 億円	21.0 億円/年	737 B/A	■ 「「「」 ■ 10033 ■	
	諸賓(設備費の2.2%) 修繕巻(設備養の2.4%)		OPEX		10.6 億円/年	3/3 H/t 407 H/t	設備費 484億円 年間設備コスト 21億円	
	茶気・動力費		OPEX		41.4 億円/年	1,454 円/t		
0	COZ回収コスト単価 国内CO2餘洋コスト	■数 今季間−デョイ・東京家 夕涼		藤秋1(2021 G B)	84.0 1億円/ 平	1/11 2/8/2		
0.0	国内の2011年111	怒口見ぶナインナー 割重方 方言		Art (2021.3.0) 2.847 百万t/年				
	パイプライン長			100 km				
	輪送用圧縮機出口圧力/温度 圧縮維	創作職	CAPFX	10MPa/5-25°C 129.5 倚田	5.6 億円/年	107 田小		
	2004 Huk 177	鉄IF頁 修繕費(CAPEXの3%)	OPEX	Light Creat	3.9億円/年	136 B/t		
		消費電力(電源単価: 10円/kWh) 建む機	OPEX	2.0174 衡kWh	20.2 億円/年	709 円/t		
	124 / 24 / TOOKIII) 座政費 修繕費 (CAPEXの3%)	OPEX	21 A.4 遍口	13.0 億円/年 9.6 億円/年	337 B/t		
	陸上輸送コスト単価		5		53.1 億円/年	1,864 円/t		
8.3	船舶輸送コスト	RITE(2018): H29 地球温暖化・	資源循環対策	等に資する調査委託費(Co	Sの経済性評価)調査報告書,	革新的ゼロエミ報告	離 船員数 288,000 千円	
	輸送距離			1,000 km			修補費 126,000 千円	
	年間輸送量 翰倫家			0.75 百万t/年 0.85			船用品費 31,500 千円 御後治参 20,500 千日	
	⁽¹⁾ 。 貨物積載量			21,090 t			保険料 26,000 千円	
	圧力/温度			0.7MPa/ -46°C			固定資産税 26,300 千円	
	船舶取得価格 车間総約舶経費		CAPEX	6,490 百万円	10.963 億円/年	1.467 円/t	羅費 32,500 千円 減価資料券 389,400 千円	
	年間総燃料費		OPEX		1.716 億円/年	229 B/t	winner41 303-400 FT3 設備資金金利 56,400 FT3	
	船舶輸送コスト単価					1,691 円/t	船主店費 99,700 千円 年間約4028巻合計 1 0.65 300 千円	
8.3	陸上設備コスト	エネルギー総合工学研究所、産	美技術総合研	究所(2013): 革新的ゼロエミ	(石炭ガス化発電PJ(発電から)	「留までのトータルシ	4年1月11日1日1日1日1日1日1日1日1日1日1日1日1日1日1日1日1日1日	
	評価対象モデル	石炭ガス化発電システム(設備	容量282.5M	W, CO2回收率90%)				
	年間回収量 液化設備	圧力/温度		1.54 自万t/年 0.1MPa/61°C> 0.7MPa	/ -46°C			
		液化設備	CAPEX	107億円	4.63 億円/年	301 円/t		
		修繕費(CAPEXの3%) 第七	OPEX	0.03 36 000 kW	3.21 億円/年 10 円/twh	208 円/t		
		米田子	OPEX	5,000 m3/h	6 円/m3			
		蒸気	OPEX	2,500 kg/h	2 円/kg			
		ft 委用至X. 年間設備利用率	OPEX	600 Nm3/n	SEL/LL C			
		OPEX合計(修繕費除く)	OPEX		28.5 億円/年	1,851 円/t		
	払出貯蔵設備	圧力/温度 47.4.10 000t × 2堆	CAPEX	0.7Mpa/ -46°C 142 /確臣	614 倍円/年	300 日 /+		
		が、12,000 ~ 5mm 修繕費(CAPEXの3%)	OPEX	[] [24-T	0.14 1m17 4 4.26 億円/年	277 B/t		
		電力 ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	OPEX	140 kW	10 PJ/kWh			
		年间欧洲们用年 OPEX合計(修繕費除く)	OPEX	0.0	0.10 億円/年	6 B/t		
	受入基地·貯蔵設備(陸上)	圧力/温度		0.7Mpa/ -46°C				
		\$75 12,000t × 2基 体线器(CADEVの362)	CAPEX	112 億円	4.85 億円/年 2.36 億円/年	315 円/t		
		廖相其(ONFEA03%) 電力	OPEX	470 kW	10 FJ/kWh	1/(1) 017		
		年間設備利用率	OPEX	0.8		1		
	受入基地,貯蔵設備(洋上着底式)	OPEX台計(修稿實除く)	OPEX	265億円	0.33 億円/年 11.46 億円/年	21 H/t 744 H/t		
	「「「」「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、	修繕費(CAPEXの3%)	OPEX	100 M	7.95 億円/年	516 円/t		
	党人墨地• 时咸訍猜(沣上浮体式)	修繕費(CAPEXの3%)	OPEX	214 億円	9.26 億円/年 6.42 億円/年	601 H/t 417 H/t		
	陸上設備コスト単価					3,596 円/t		
8.4	貯留コスト 軽価対象モデル	RITE(2021):R2年度地球温暖(、資源循環	対策等に資する調査委託費	(我が国におけるCCS事業化に	向けた制度設計や事	業環境整備に関する調査事業)	
	年間回収量			3.388 百万t/年			100 月日 100 MHR/GEY MHR/GEY 100 MHR/GEY	
	貯留層(垂直深度)			ケース1 ケーフ 2,000 2,01	2 ケーズ3 ケーズ4 00 2,000 2,000	E		
	圧入レート			200	00 500 500	千t/年・井		
	離市距離 大凝			0 0	3 5 15 15 20 150	E E		
	圧入地点			陸域 (111)	「「二」 (1-1-1-1) (1-1-1-1-1) (1-1-1-1-1) (1-1-1-1-1) (1-1-1-1-1) (1-1-1-1-1) (1-1-1-1-1) (1-1-1-1	「「」、「」	V 11日本 - 2000 スコード 単低 100 年 10月 日日 10日 日日 10日 日日 10日 10日 10日 10日 10日 10	
	圧力/温度			(座がら庄人 10.1MPa/15℃) (有些式) (汗体式) 10.6MPa/ 15°C	(座から比人)	1910 1910 1910 1910 1910 1910 1910 1910	
	節留	設備①	CAPEX	458 4	58 1,089 2,123	458 B/t	mm(0.000000000000000000000000000000000	
		俸繕 (S) ポンプ電気代 (3)	OPEX	97	37 461 1,800 79 79 106	97 円/t 79 円/t	5ス3:総部論法 (400 lm, 筆室式 ・漢城(法)への圧入	
		事前探査 ④	CAPEX	76	76 103 61	76 B/t	(194) (1946)	
	モニタリング(運転中)	設備(年配分)⑤ 修繕 ⑥	CAPEX	22	22 60 88 9 24 35	22 円/t 9 円/t		
	エークロング(満井谷)	調査(年配分)① 調本(午配公)③	OPEX	1,112 1,1	1,112 723	1,112 円/t		
	モーメリンノ (連転夜) 廃坑	調査(年配分)③ 調査(年配分)③	OPEX	116	31 155 194	31 B/t	(200) ×1300~(第)首前・注前前、9000(前前指書) ×1000	_
	貯留コスト単価(CAPEX) 貯留コスト単価(OPEX)	((<u>0+</u> (<u>0</u>)/(<u>0</u>)(<u>0</u>)		556 51 2,207 2,21	56 1,252 2,272 37 2,587 3,089	556 円/t 2,207 円/t		
	貯留コスト単価)		2,763 2,7	53 3,839 5,360	2,763 H/t		
					哈	12,885 H/t		

表 4.8-31 CCS コストー覧(表 4.8-15の"国内モデル"のコスト情報内訳、参考文献等)

【参考文献】

- 1) 火力原子力発電技術協会、"火力原子力発電所設備要覧(平成 29 年改訂版)"(2017)
- 2) 全国地球温暖化防止活動推進センター、"日本の部門別二酸化炭素排出量の割合-各部 門の直接排出量"、https://www.jccca.org/download/13335 (2022 年 3 月アクセス)
- 経済産業省、発電コスト検証ワーキンググループ、
 https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/index
 .html#cost_wg (2022年3月アクセス)
- 4) Ho, M.T., Allinson, G.W., Wiley, D.E., "Comparison of MEA capture cost for low CO₂ emissions sources in Australia", IJGGC, 5(1), p.40-60 (2011)
- Norwegian Ministry of Petroleum and Energy, "Meld. St. 33 (2019–2020) Report to the Storing (white paper), Longship – Carbon capture and storage" (2020)
- 6) DNV GL & Gassnova, "The Norwegian full-scale CCS demonstration project. Potential for reduced costs for carbon capture, transport and storage value chains (CCS)" (2020)
- 7) Gassnova, "Developing Longship Key Lessons and Learned" (2020)
- 8) O'Brien, S., "Quest CCS Project, Learnings from the First Year of Operations", CCS テクニカルワークショップ 2016 (2017)

https://www.rite.or.jp/news/events/pdf/4_OBrien_CCSWS2016.pdf

- 9) Shell International B.V., "The QUEST for less CO2, Learning from CCS implementation in Canada. A Case Study on Shell's Quest CCS Project" (2015)
- Shell Canada Energy, "Quest Carbon Capture and Storage Project, Annual Summary Report - Alberta Department of Energy 2019" (2020)
- 11) エネルギー総合工学研究所、産業技術総合研究所、"革新的ゼロエミッション石炭ガス 化発電プロジェクト 発電から CO2 貯留までのトータルシステムのフィジビリ ティー・スタディー全体システム評価(発電から CO2 貯留に至るトータルシステム の評価)成果報告書"(2013)
- 12) RITE、"平成29年度地球温暖化・資源循環対策等に資する調査委託費(CCSの経済 性評価事業)調査報告書"(2018)
- 13) RITE、"令和2年度地球温暖化・資源循環対策等に資する調査委託費(我が国におけるCCS事業化に向けた制度設計や事業環境整備に関する調査事業)調査報告書"
 (2021)
- 14) Shell Canada, "QUEST Project, Annual Summary Report" (2013)

- 15) Shell Canada, "QUEST Project, Storage Development Plan" (2011)
- 16) Shell Canada, "QUEST Project, Project Execution Plan" (2014)
- 17) Shell Canada, "Shell Quest Carbon Capture and Storage Project, Measurement, Monitoring and Verification Plan, February 2017 Version" (2017)
- Shell Canada, "Shell Quest Carbon Capture and Storage Project, Measurement, Monitoring and Verification Plan, November 2020 Update" (2020)
- 19) Shell Canada, "Quest Carbon Capture and Storage Project, Annual Summary Report - Alberta Department of Energy 2020" (2021)
- 20) Shell, "Peterhead CCS Project, Basic Design and Engineering Package" (2016)
- 21) Shell, "Peterhead CCS Project, Storage Development Plan" (2015)
- 22) Dean, M, "The Goldeneye MMV Plan for the Peterhead CCS Project. Risk based monitoring for a demonstration project", 10th CO2GeoNet Open Forum (2015)
- 23) Shell, "Peterhead CCS Project, Cost Estimate Report" (2016)
- 24) METI、NEDO、JCCS、"苫小牧におけるCCS大規模実証試験 30万トン圧入時点報告書(「総括報告書」)"(2020)

4.9 貯留適地候補地点における社会的受容性に関する文献調査および聞き取り調査

4.9.1 文献調査概要

貯留適地候補地点における社会的受容性調査(文献調査)として、これまでの貯留適地調 査事業の経験に基づき代表的な複数の都道府県を選定したうえで、CCS事業者が今後、同 種の調査を実施する際の参考となるような基礎的情報を収集・整理するとともに、これまで の貯留適地調査事業における探査のための地元調整等で得られた知見を整理した。

文献調査の調査項目は、海域での CCS 事業を前提に、これと密接に関係すると考えられる以下の7項目とした。なお、1)の CO2排出源については、参考のために当該都道府県に加えて隣接する都道府県の主な排出源も含めた。

- 1) 人口動態、主な産業、主な CO2 排出源(隣接県含む)
- 2) 海域における漁業の実態
- 3) 海域を利用した事業(石油鉱業含む)や過去の紛争等
- 4) 航路および港湾の利用状況
- 5) 過去の地震および今後想定される地震
- 6) 都道府県のカーボンニュートラル戦略
- 7) 貯留適地調査事業における探査の地元調整時の自治体および漁業関係者コメン ト等

調査手法は、上記の7)を除いて原則として国や各都道府県、関連組織等が公開している 情報に基づき、可能な限り各都道府県の間で統一的な記載内容とした。上記の7)について は、過去の貯留適地調査事業における探査のために現地訪問時の経験に基づくものであり、 現状とは異なる可能性がある。

4.9.2 対象地域の選定

調査対象地域は、これまでの貯留適地調査事業での調査の進捗や評価結果、想定される貯 留ポテンシャル等に地域的なバランスも含めて総合的に勘案した結果、北から順に、秋田県、 新潟県、島根県、宮崎県の4県とした。ただし、この選定結果は、貯留適地候補としての優 劣や優先度を示すものではない。参考までに、環境省が2022年4月および2022年11月 にそれぞれ選定した脱炭素先行地域の第1回および第2回選定地域として、これらの4県 内およびその隣接地域からは以下のとおり選定されている(カッコ内は共同提案者)¹⁾。

- 1) 秋田県(秋田市)、秋田県大潟村
- 2) 新潟県佐渡市(新潟県)、新潟県関川村
- 3) 鳥取県米子市 (境港市)、島根県邑南町

4) 宮崎県延岡市

4.9.3 項においては、選定された 4 県の全国的な統計の中での位置付けを概観し、4.9.4 項 において各県個別の状況について詳述する。

【参考文献】

 環境省ホームページ、脱炭素地域づくり支援サイト "脱炭素先行地域選定結果"、 https://policies.env.go.jp/policy/roadmap/preceding-region/#regions

4.9.3 各県の基礎的な情報

各省庁から公表されている統計資料を基に作成した、「都道府県別年齢 3 区分別人口」 ¹⁾、「都道府県別年齢 3 区分別人口比率」¹⁾、「都道府県別の産業 3 部門 15 歳以上就業 者割合」²⁾、「都道府県別農業産出額」³⁾、「都道府県別海面漁業・養殖業産出額」⁴⁾、 「都道府県別 CO₂ 排出量」⁵⁾、「都道府県別人口当たり CO₂ 排出量」^{5)、6)}、「都道府県 別発電タイプ別最大発電量」⁷⁾のグラフを図 4.9·1~図 4.9·8 に示す。

4.9.2 項で選定した 4 県の人口はいずれも全国平均以下であるが、新潟県は 4 県の中では 最も多く全国的にも中位以上である(図 4.9-1)。また、図 4.9-2 は全国の都道府県を図 4.9-1 と同じく総人口の多い順に並べて年齢3区分比率を示したものであり、おおむね総人口が 少なくなるほど 65 歳以上人口の比率が高くなる傾向にある。秋田県は人口に比してもこの 比率が高く全国最多である。また、新潟県は総人口では全国平均に近いが、65歳以上人口 比率では全国平均より有意に高い。第一次産業に従事する人口の割合は全国平均3.2%に比 べて 4 県とも高く、特に宮崎県は 9.8%と最も高い(図 4.9-3)。また、農業産出額につい てみると、宮崎県と新潟県は全国平均より高く、秋田県は全国平均とほぼ同程度であるのに 対し、島根県は全国平均に比べて非常に少ない(図 4.9-4)。一方で、海面漁業・養殖業産 出額については、宮崎県は(海のない都道府県を除いた)39 都道府県平均額と同程度であ るが、それ以外の3県はいずれも平均額に比べて低い(図4.9-5)。すなわち、4県とも全 国的にみた場合には海面漁業・養殖業産出額が特に高いわけではない。しかしながら、この 金額の多寡に関わらず、海域で作業を行ううえで漁業関係者が最大のステークホルダーの 一つである。各県の人口動態や主な産業は 4.9.4 項において詳述するが、4 県に共通する傾 向として、人口減少率が高く、若者の定着・回帰、移住促進のための雇用の創出等、産業・ 経済の活性化が重要課題とされている。

CO₂排出量はおおむね人口と同様の傾向であり、新潟県は全国平均程度であるのに対し、 それ以外の3県はいずれも全国平均の半分以下と少ないが(図4.9-6)、人口当たり排出量

4-290

では4県とも中程度である(図4.9-7)。また、CO2排出量に大きな影響を与える発電量(最大出力量)を発電タイプ別にみると、絶対値としては新潟県の火力が大きく、割合としては新潟県と島根県は原子力と火力、宮崎県は水力、秋田県は火力の比率がそれぞれ高い(図4.9-8)。

海域における事業として、今後の展開が想定される洋上風力発電に関する全国的な区域の指定・整理状況⁸⁾を図 4.9-9 に示す。ここで上げられている区域の多くは日本海側に位置し、調査対象 4 県の中では特に秋田県に多い。4.9.4 項(4)①で後述するように、港湾の利用 状況等に関しては留意が必要と考えられる。



都道府県別年齢3区分別人口(2020年、単位:100万人)

■0~14歳 ■15~64歳 ■65歳以上

注1) 全国総人口:126,146千人

注2)赤枠は秋田県、新潟県、島根県、宮崎県を、青枠は全国平均を示す。

図 4.9-1 都道府県別 年齢 3 区分別人口(2020 年)¹⁾

0	%	20%	40%	60%	80%	100				
東京都	11.2%		63.7%		22.1%					
奈川県	11.8%		60 9%		25.0%					
大阪府	11.6%		58.8%		26.7%					
愛知県	12.9%		59.7%		24.7%					
埼玉県	11.7%		59.0%							
千葉県	11.7%		59.1%		27.1%					
兵庫県	12.1%		56 3%		28 3%					
北海道	10.6%		56.4%		31.8%					
福岡県	12.9%		56.7%		27.2%					
静岡県	12.1%		57.0%		29.8%					
茨城県	11.6%		57.1%		29.3%					
広島県	12.6%		56.4%		29.0%					
国平均	11.9%		57.8%		28 0%					
京都府	11.4%		56.9%		28.5%					
宮城県	11.6%		58.5%		27.8%					
新潟県	11 2%		55.0%		32.5%					
長野県	11.9%		54.6%		31.6%					
岐阜県	12 2%		55.8%		30.0%					
群馬県	11.6%		56.5%		29.8%					
栃木県	11.8%		57.7%		28.7%					
岡山県	12.1%		54.7%		29.6%					
福島県	11.2%		55.6%		31.3%					
三重県	11.9%		56.3%		29.5%					
熊本県	13.1%		54.3%		31.1%					
児島県	12.9%		52.4%		31.9%					
沖縄県	16.6%		59.4%		22.2%					
滋賀県	13.5%		58.3%		25.8%					
山口県	11.5%		52.9%		34.3%					
愛媛県	11 5%		53.3%		32.5%					
奈良県	11.6%		55.7%		31.3%					
長崎県	12.5%		53.8%		32 8%					
青森県	10.4%		54.6%		33.4%					
岩手県	10.9%		54.4%		33.4%					
石川県	12.1%		56.6%		29.5%					
大分県	12.0%		53.1%		32.8%					
宮崎県	13.1%		53.1%		32.2%					
山形県	11 2%		54.2%		33.7%					
富山県	11.1%		54.9%		32.2%					
秋田県	9.7%		52.2%		37.3%					
杳川県	12.0%		54.5%		31 3%					
歌山県	11.4%		54.6%		33.2%					
佐賀県	13 3%		54.7%		30.3%					
山梨県	11.4%		56 0%		30.4%					
福井県	12.5%		55.8%		30.4%					
徳島県	10.7%		52 2%		33.1%					
高知県	10.8%		52.3%		35.0%					
島根県	12.2%		52.6%		34.0%					
鳥取県	12.3%		54 2%		32 0%					

図 4.9-2 都道府県別 年齢 3 区分別人口比率(2020 年)¹⁾

0	.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50 0	60.0	70 0	80.0	90.0	10
全国	3.2	23	.4				73.4				
上海道	6.3	16	.9				76.8				
森県	11.3		20.0				6	3.7			
手県	9.6		24.8					65.5			
「城県	4.0	22	2.3				73.7				
川田県	8.6		23.9					7.5			
形県	8.7		28.6					62.8			
富島県	6.2		29.6					64.2			
反城県	5.2		29.0		_			65.8			
「木県	5.2		31.3					63.5			
手馬県	4.5		31.4					64.1			
前玉県 :	1.5	23.0			_	_	75.5	_			
- 葉県	2.4	19.1					78.5				
	.4 15	20.2					84.6				
	50	20.3	28.4				79.0	66 A			
「洞県	3.0		20.4					63.9			
山県	2.6		27.0				60	6			
い泉	3.2		31.6				05	.0			
利日	6.7		27.9					65.3			
1末元	8.5		28.7					62.8			
宇星	2.8		32.7					64.4			
「「「「」」	3.5		32.7					63.8			
的泉	1.9		32.4					65.7			
重県	3.2		32.0					64.8			
皆県	2.4		33.0					64.6			
和府	1.9	22.4					75.7				
、阪府 0	.5	22.5					77.0				
庫県	1.8	24.	8				73.4				
E 良県	2.4	22.1					75.5				
如県	8.1		22.3				69	.6			
取県	7.8		21.7				70.	5			
根県	6.6		23.5				69	.9			
汕県	4.2		27.0				68	3.9			
島県	2.7	2	6.1				71.	2			
口県	4.1		26.4				69	.5			
島県	7.6		23.5				68	3.9			
別県	4.8		25.1				70	.0			
を破県	6.7		23.8				69	.5			
动泉	10.1	10.5	16.9				73.0				
i 阿県 - 贺県	7.4	19.9	24.0								
[貝県	67		10.2				74.0	5.5			
マ阿県	8.6		21.1				74.0	2			
₩ 中 日	6.0		23.2				70	7			
川県	0.1		20.7				/0.	5			
同宗目	8.3		19.2				72 5				
	0.0										

注)赤枠は秋田県、新潟県、島根県、宮崎県を、青枠は全国平均を示す。

図 4.9-3 都道府県の産業 3 部門 15 歳以上就業者割合(2020 年)²⁾



注1) 全国農業産出額合計: 89,557億円

注2)赤枠は秋田県、新潟県、島根県、宮崎県を、青枠は全国平均を示す。

図 4.9-4 都道府県別農業産出額(2020 年)³⁾



注1)全国海面漁業・養殖業産出額合計:12,103億円 注2)赤枠は秋田県、新潟県、島根県、宮崎県を、青枠は全国平均を示す。

図 4.9-5 都道府県別海面漁業·養殖業産出額(2020 年)⁴⁾







都道府県別人口当たりCO2排出量(2019年時点、単位:t-CO2/人)

図 4.9-7 都道府県別人口当たり CO2 排出量(2019 年)^{5)、6)}



都道府県別発電タイプ別最大出力量(2022年7月、単位:百万kW)

注)赤枠は秋田県、新潟県、島根県、宮崎県を示す。

図 4.9-8(1) 都道府県別発電タイプ別最大出力量(2022 年 7 月) 7)



都道府県別発電タイプ別最大出力割合(2022年7月)

図 4.9-8(2) 都道府県別発電タイプ別最大出力量割合(2022 年 7 月) 7)

注)赤枠は秋田県、新潟県、島根県、宮崎県を、青枠は全国平均を示す。

状況(2021年9月13日)>	國北海道檜山沖	函北海道岩宇·南後志地区冲	⑮青森県陸奥湾	區北海道島牧沖	一定の の北海道松前沖	階に進 國北海道石狩市沖	区域 の当手県久慈市沖(浮体)	処福井県あわら市沖	回福岡県職業	<u> </u>		 ○1.4.9.1 ● (1.4.4.2.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.	● 有量な区礁 ● 一正の準備段階に進んでいる区域 ※下て約1-2013 在幕なた」に追加1 た反禄	
指定·整理	万kW	1.7	41.5	73	19,37	36	30	60	30	21	45	35,70	41	
く促進区域、有望な区域等の		①長崎県五島市沖	②秋田県能代市·三種町·男鹿市沖	③秋田県由利本荘市沖(北側·南側)	④干葉県銚子市沖	⑤秋田県八峰町・能代市沖	⑥長崎県西海市江島沖	③青森県沖日本海(南側)	⑧青森県沖日本海(北側)	<u> ③秋田県男鹿市・潟上市・秋田市沖</u>	⑩山形県遊佐町沖	⑪新潟県村上市・胎内市沖	迎千葉県いすみ市沖	
Joseph .	区域名			包減					有印	1 2 2 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1	N N			
の北海道は北京の中国の市地区が中国の市地区の中国の市地区の中国地区である。	のとして、「大三螺模典学の	And	◎■離業語注日本語(H18回) ③■購読語泊日本語(謝慮)	⑤秋田県八峰町・能代市社 60青茶県陸奥湖	②秋田県能代市・三種町・男鹿市社 ⑤参町国星里商市 · 道 1-市 · 参町市省	③秋田県由利本荘市沖(北側・南側)	宮山忠顕凝砕町革	①新潟県村上市・胎内市沖	の福井県あむの市単		の発露朦朧都市で、していていたいで、「「「「「茶」」」で、「「「「茶」」」、「「「茶」」、「「「茶」」、「「「「茶」」、「「「」」、「「「茶」」、「「「」」、「「」」、「「」」、「「」」、「「」」、「」、「」、「」、「」	東北市大学の大学であるので、「「「「「「」」」の「「「」」」の「「「」」」の「「」」」の「「」」」の「「」」」の「「」」」の「「」」」の「「」」」の「」」」の「」」」の「」」の「」」の「」」の「」」の「」		

図 4.9-9 洋上風力促進区域、有望な区域等の指定・整理状況(2021 年 10 月)⁸⁾

【参考文献】

- 1)総務省統計局ホームページ、都道府県,年齢3区分別人口、 https://www.stat.go.jp/data/nihon/zuhyou/n220200600.xlsx
- 2) 政府統計の総合案内 e-Stat、国勢調査、都道府県・市区町村別の主な結果、 https://www.e-stat.go.jp/stat-search/filedownload?statInfId=000032143614&fileKind=0
- 3) 政府統計の総合案内 e-Stat、生産農業所得統計、都道府県別農業産出額及び生産農業 所得、

https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-

download?statInfId=000032183929&fileKind=0

 政府統計の総合案内 e-Stat、漁業産出額、海面漁業・養殖業産出額、主要魚種別海面 漁業産出額、

https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-

 $download?statInfId{=}000032187645\&fileKind{=}0$

5) 環境省ホームページ、部門別 CO2 排出量の現況推計、

https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/tools/suikei.html

- 6)総務省統計局ホームページ、人口推計(2019年(令和元年)10月1日現在)、
 https://www.stat.go.jp/data/jinsui/2019np/index.html
- 7) 経済産業省資源エネルギー庁ホームページ、2022 年度 統計表一覧、都道府県別電力 需要実績

https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/electric_power/ep002/results.html

- 8) 経済産業省資源エネルギー庁ホームページ、再生可能エネルギー大量導入・次世代電 カネットワーク小委員会中間整理資料(2021年10月)
 https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/20211022_report.html
- 4.9.4 各県個別の概況
- (1) 人口動態、主な産業、主な CO₂ 排出源(近隣県含む)
- 秋田県

秋田県の人口動態について、国勢調査(1920~2020年)の人口推移によれば、1956年の約135万人をピークに減少に転じ、1974年から1981年にかけて一時持ち直したものの、 その後は再び減少に転じている¹⁾。2020年人口は959,502人で、前回2015年調査と比べ
て 63,617 人減少しており、減少率は 6.2%となった。減少となるのは 1980 年から 8 期連 続で、減少数および減少率はともに過去最大となっている¹⁾。また、減少率は 5 期連続で 全国最大となっている。国立社会保障・人口問題研究所が行った「日本の地域別将来推計人 口(平成 30 年 3 月推計)」によれば、2045 年の本県人口は約 60 万 2 千人となっている。 年齢別人口では、2020 年国勢調査での 15 歳未満人口は 92,855 人(総人口の 9.7%)、15 ~64 歳人口は 506,960 人(同 52.8%)、65 歳以上人口は 359,687 人(同 37.5%)であり、 15 歳未満人口および 15~64 歳人口の割合はいずれも調査開始以来最低となった一方、65 歳以上人口の割合は、調査開始以来最高で全国最大となっている¹⁾。

秋田県の主な産業について、2020年国勢調査の就業者割合の推移によれば、秋田県の労 働力人口は503,006人であり、第1次産業の割合が8.6%(全国3.2%)、第2次産業の割 合が23.9%(全国23.4%)、第3次産業の割合が67.5%(全国73.4%)である。このうち、 第1次産業の割合8.6%は全国で7番目に高い²⁾。各産業の概要を列記する。

1) 農業

県内の農業従事者は 33,720人(2022 年)、農家戸数は 37,116 戸(2020 年)であ る。主要な農産物は米(収穫量全国 3 位)、ホップ、えだまめ、ねぎ、主要な畜産 物は比内地鶏である³⁾。

2) 林業

県内の森林面積は約83万ha(約8,300 km²)で県面積の72%を占める。スギ丸 太の素材生産量は全国2位、生しいたけの生産は全国5位である³⁾。

3) 水産業

県内の漁業・養殖業の経営体は 632 (2020 年)、漁船隻数は 888 隻 (2020 年)、 生産量は 6,064 t (2020 年)、産出額は 26 億円 (2020 年) で全国 38 位である³⁾。

4) 工業

県内の事業所数は1,648 (2020年)、出荷額は1兆2,862 億円 (2020年)であり、 事業所数を産業中分類別にみると、食料品は302事業所(構成比18.3%)、繊維 は243事業所(同14.7%)、金属製品は139事業所(同8.4%)である。製造品 出荷額等を産業中分類別にみると、電子部品は3,734 億円(構成比29.0%)、食

料品は 1,118 億円(同 8.7%)、生産用機械は 1,004 億円(同 7.8%)である⁴⁾。

秋田県と隣県の山形県の主な CO₂ 排出源について、排出源となりえる火力発電所、主要 な工場を表 4.9·1~表 4.9·3 に示す^{5)、6)}。

表 4.9-1 秋田県と山形県の主要な排出源

発電所、事業所名称	所在地(*秋田県)	運転開始	出力(kW)	備考
東北電力能代火力発電所1号	能代市*	1993年5月	60万	SC方式
東北電力能代火力発電所2号	能代市*	1994年12月	60万	USC方式
東北電力能代火力発電所3号	能代市*	2020年3月	60万	USC方式
酒田共同火力1号	酒田市	1997年10月	35万	SUB-C方式
酒田共同火力1号	酒田市	1978年10月	35万	SUB-C方式
市北電力秋田小力 務電話4号	利田吉平	1000年7日	60万	使用燃料重油·原油
米北电力秋山入力光电力45	* 1111	1960年7月	0073	2024年7月廃止予定
日本製紙株式会社秋田工場	秋田市*			
秋田製錬株式会社	秋田市*			
TDKエレクトロニクスファクトリーズ	由利本荘市*、にかほ市*			

注1) 4.8 節および各社ホームページを参照した。

注 2) SC:超臨界圧、USC:超超臨界圧、SUB-C:亜臨界圧

表 4.9-2 北海道・東北地方の石炭火力発電所(既設)⁵⁾

会社	発電所	号機	方式	出力(万kW)	運転開始年月	都道府県	市町村
王子マテリア	名寄火力	1号 タービン	その他 (蒸気圧14MPa以下)	0.9	1966 年 5 月	北海道	名寄市
王子マテリア	名寄火力	2号 タービン	その他 (蒸気圧14MPa以下)	0.367	1987 年 7 月	北海道	名寄市
日本製鉄	室蘭製鉄所中央	5	SUB-C	14.5	2001年7 月	北海道	室蘭市
北海道電力	苫東厚真	1	SUB-C	35	1980年10月	北海道	厚真町
北海道電力	苫東厚真	2	SC	60	1985年10月	北海道	厚真町
北海道電力	苫東厚真	4	USC	70	2002年6月	北海道	厚真町
北海道電力	砂川	3	SUB-C	12.5	1977 年 6 月	北海道	砂川市
北海道電力	砂川	4	SUB-C	12.5	1982年5月	北海道	砂川市
北海道電力	奈井江	1	SUB-C	17.5	1968年5月	北海道	奈井江町
北海道電力	奈井江	2	SUB-C	17.5	1970年2月	北海道	奈井江町
日本製鉄	釜石製鉄所釜石火力	1	SUB-C	14.9	2000年7月	岩手県	釜石市
仙台パワー ステーション	仙台		SUB-C	11.2	2017年10月	宮城県	仙台市
東北電力	能代	1	SC	60	1993年5月	秋田県	能代市
東北電力	能代	2	USC	60	1994年12月	秋田県	能代市
東北電力	能代	3	USC	60	2020年3月	秋田県	能代市
酒田共同火力	酒田共同	1	SUB-C	35	1977 年 10 月	山形県	酒田市
酒田共同火力	酒田共同	2	SUB-C	35	1978年10月	山形県	酒田市

石炭火力発電所一覧(既設)

表 4.9-3 東北地方の製紙工場所在地

八戸工場	青森県八戸市大字河原木字青森谷地
北上ハイテクペーパー	岩手県北上市相去町笹長根35
秋田工場	秋田県秋田市向浜2-1-1
岩沼工場	宮城県岩沼市大昭和1-1
石巻工場	宮城県石巻市南光町2-2-1
勿来工場	福島県いわき市勿来町窪田十条1
いわき大王製紙	福島県いわき市南台4-3-6
白河事業所	福島県西白河郡西郷村字前山西3
工場	福島県南相馬市原町区青葉町1-12-1
	八戸工場 北上ハイテクペーパー 秋田工場 岩沼工場 石巻工場 の来工場 いわき大王製紙 白河事業所 工場

注)日本製紙連合会ホームページ「製紙工場所在地一覧」⁶⁾を基に編集

3 2 新潟県

2020年10月1日現在の新潟県の人口は2,201,272人で、前回調査の2015年に比べて、 102,992人、4.5%の減少となった。男女別にみると、男性が1,068,670人で、46,743人、 4.2%の減少、女性が1,132,602人で56,249人、4.7%の減少となっている。国勢調査人口 は、1995年の2,488,364人をピークに、2000年調査から5回連続の減少となり、戦後最少 となった2015年の2,304,264人を下回った。減少数102,992人は前回の70,186人を上回 り過去最多、減少率4.5%は、前回の3.0%を上回り、過去最大となった。日本の総人口は、 126,146,099人で、新潟県は15位となった。⁷⁾

県人口を年齢3区分別にみると、15歳未満人口(年少人口)は247,924人、県人口に占める割合は11.3%で、調査開始以来最も低い割合となった。15~64歳人口(生産年齢人口)は1,232,070人、県人口に占める割合は56.0%で、1970年の67.7%をピークに減少している。65歳以上人口(老年人口)は721,278人、県人口に占める割合は32.8%で調査開始以来最も高くなっている。⁷⁾

新潟県が2018年に公表した「にいがた未来創造プラン」の「第5章 人口減少問題への 対応」において、県の最重要課題としてさまざまな問題と関連し、分野横断的な対策を必要 とする人口減少問題への対応と地方創生の推進に向けて、現状分析と政策展開の基本方向 を以下の項目のように示している。⁸⁾

- ・県内大学等の魅力向上
- ・若者の県内企業への就職促進
- ・U・Iターン関心者の掘り起こしと、受入れ体制の充実
- ・若者や県外居住者にも選ばれる企業の育成・創出
- ・ヒト・モノ・情報が活発に行き交うことによる暮らしやすさや魅力の創出
- ・結婚を希望する人がその願いをかなえるような支援
- ・妊娠・出産、子育て、教育環境の充実
- ・所得水準の向上
- ・結婚・子育てと仕事を両立しやすくなるような取組

新潟県の主な産業について、2020年国勢調査の就業者割合の推移によれば、新潟県の労働力人口は1,136,258人であり、第1次産業の割合が5.2%(全国3.2%)、第2次産業の割合が28.4%(全国23.4%)、第3次産業の割合が66.4%(全国73.4%)である。各産業の概要を列記する。

1) 農業

県内の農業従事者は46,085人(2022年)、総農家数は62,556戸(2022年)であ る。主要な農産物はコメ、もやし、えだまめ、だいこん、すいか、かき、里芋、 大豆で畜産物は乳用牛、肉用牛、豚、鶏卵、である⁹⁾。農業産出額2,526億円う ちコメの生産額は1,503億円と全国1位である。すべての生産農業生産額は3,933 億円である。

2) 林業

県内の森林面積は約85.5万ha(約8,565km²)で県面積の68.1%を占る。林業 産出額4,693千万円のうち、栽培きのこ類生産が4,555千万円を占める⁹⁾。

3) 水産業

県内の漁業・養殖業の経営体は 1,338 (2018 年)、漁船隻数は 3,711 隻 (2019 年)、 生産量は 28,792 t (2019 年)、産出額は約 120 億円 (2019 年) である¹⁰⁾。

4) 工業

県内の事業所数は 5,053 (2020 年、製造品出荷額は 4 兆 9,589 億円であり、事業 所数を産業中分類別にみると、金属製品は 1,086 事業所(構成比 21.5%)、食料 品は 648 事業所(構成比 12.8%)、生産用機械は 623 事業所(同 12.3%)、繊維 は 325 事業所(同 6.4%)、プラスチック製品は 213 事業所(同 4.2%)である。 製造品出荷額等を産業中分類別にみると、食料品は 8,139 億円(構成比 16.4%)、 化学が 6,392 億円(同 12.9%)、金属製品は 5,619 億円(同 11.3%)、生産用機械 は4,200億円(同8.5%)である¹¹⁾

新潟県、富山県および山形県の主な CO2 排出源について、排出源となりえる火力発電所、 新潟県の主要な工場を表 4.9-4 に示す。

発電所、事業所名称	所在地(*新潟県)	運転開始	出力(kW)	備考
糸魚川発電	糸魚川市 *	2001年7月	14.9万	SUB-C方式
北陸電力富山新港石炭1	富山県射水市	1971年1月	25万	SUB-C方式
北陸電力富山新港石炭 2	富山県射水市	1972年6月	25万	SUB-C方式
北陸電力七尾大田1	富山県七尾市	1995年3月	50万	USC方式
北陸電力七尾大田 2	富山県七尾市	1998年7月	70万	USC方式
東北電力酒田共同1	山形県酒田市	1977年10月	35万	SUB-C方式
東北電力酒田共同 2	山形県酒田市	1978年10月	35万	SUB-C方式
市北委力新潟小力發雲 話5 号	新潟中 *	2011年7日	5.45万×2	使用燃料LNG
来北电力和两人力并电力55	和1/29113 平	2011年7月	J.4J/J^2	コンバインドサイクル方式
東北電力新潟火力港1号	聖籠町 *	1972年11月	35万	使用燃料LNG·重油/2021休止
東北電力新潟火力港 2号	聖籠町 *	1975年11月	35万	使用燃料LNG·重油/2021休止
東北電力東新潟火力1号	聖籠町 *	1977年4月	60万	使用燃料LNG、天然ガス、重油
東北電力東新潟火力 2 号	聖籠町 *	1983年6月	60万	使用燃料LNG、天然ガス、重油
南北雲力南新潟小力 2 号	聖籠町 *	1985年10月	121万	使用燃料LNG
来北电刀朱机构入力35				コンバインドサイクル方式
南北索力南新潟小力 4 号	聖籠町 *	2006年12日	175万	使用燃料LNG
来北电刀朱机构入力 4 5	王龍町↑	2000年12月	1/3/]	コンバインドサイクル方式
1504 노채(小力1 모 继	上越市*	2012年1日	220万	使用燃料LNG
JERALWANISK		2013-175	230/ 5	コンバインドサイクル方式
	上城市业	2022年12日	57.2万	使用燃料LNG
朱北电力上越入力15版	上版门	2022年12月	57.2/5	コンバインドサイクル方式
電気化学工業㈱青梅工場	上越市*			年間生産能力240万トン
明星セメント(㈱)糸魚川工場	糸魚川市 *			年間生産能力150万トン
北越コーポレーション(料)新潟工場	新潟中本		排出景約0.463Mt	A2A3コート紙、段ボール紙製造
北越コーハレーンヨン(特)和海上場	和1/四日1 个		所田重約0.40000	バイオマスボイラー/電力の70%
二売ガフ化学供新潟工具	新潟中 *		排出昌約0.277Mt	メタノールとアンモニアの誘導品
二	利為印*		所山里町0.277円	MXナイロン、バイオ関連製品製造
信邦化学工業側店江津工場	上城市。		排出景約0.263MH	セルロース誘導体、シリコーン、
16越10子工耒㈱恒江洋土场	▲ 山 歩		J7F山里小JU.20JML	合成石英、か性ソーダほか製造

表 4.9-4 新潟県、富山県および山形県の主要な排出源

注1) 4.8 節および各社ホームページを参照した。

注 2) SUB-C: 亜臨界圧、USC: 超超臨界圧

③ 島根県

島根県の人口は、隣県の鳥取県に次いで日本で2番目に少ない。1960年には88.9万人を 記録したが、2045年には52.9万人になると推計されている。総務省統計局「人口推計」 (2019年10月1日)によれば、2018年は社会増加があったが、2019年は社会減少に転 じ、人口増減率-0.84%であった。年齢3区分別(年少、生産年齢、老年人口)人口の割合 を見ると、15歳未満は12.3%で全国平均を上回っているが、65歳以上は34.3%、うち75 歳以上は18.6%で、全国3位となっている¹²⁾。

経済成長期の大規模な人口流出は昭和 50 年代(1975 年~)には一端収束したものの、都 市部の景気動向に応じて転出者が転入者を上回る「社会減」が進行している。1992 年から は出生者が死亡者を下回る「自然減」が進み、「社会減」と「自然減」による人口減少が進 行している。また、平均初婚年齢や生涯未婚率が全国と同様に上昇しており、未婚・晩婚化 も進んでいる。県人口は、2010年代に入って、平均して自然減約4千人と社会減約1千人 で年間約5千人の減少が続いていたが、2020年は6,950人減少した。自然動態については、 出生は減少傾向、死亡は横ばいで、5,116人の自然減となった。社会動態については、転入 者が大幅に減少(対前年1,873人減)し、1,834人の社会減となった。社会動態を年齢別に みると、0~14歳は社会増、15~64歳および65歳以上では社会減となっている。2020年 は、15~64歳の社会減が拡大(対前年1,009人減)している。これは、15歳~24歳で社 会減が拡大したことに加え、25~39歳でも社会増から社会減に転じる等、他の年齢層にお いても前年に比べ減少していることが大きく影響している。15~64歳における社会減はい ずれも「就職」による減少が主な要因となっている¹³⁾。

島根県の主な産業(出荷額ベース)^{14)、15)}をみると、情報通信機械、鉄鋼業、電子部 品・デバイスとなっている(図 4.9-10)。

島根県には、金属加工、樹脂加工、電気電子等の製造業が集積しており、世界的に有名な 特殊鋼ブランド「YSS ヤスキハガネ」の開発・生産・加工の拠点となっている。特殊鋼と は、鉄に炭素以外のさまざまな元素を加えた硬度、強度等に優れた合金鋼のことで、製品の 性能や安全性を左右する重要な部品や金型等に使用されている。

鋳造関連産業も盛んで、日本でもトップクラスの生産量を誇り、技術レベルの高い鋳造関 連企業が集積している。

出荷額からみた全国順位が高い品目【2008 年、全事業所(カッコ内は全国順位)】は、 以下のとおりである。

- (1位):溶解パルプ、工具鋼、純綿糸(落綿糸を含む)
- (2 位): 冷凍装置、釉薬かわら&塩焼かわら 、特殊鋼磨帯鋼 (幅 600 mm 未満でコ イル状のもの)
- (3位):普通合板、釉薬、パーソナルコンピュータ、機械用銑鉄鋳物、固定コンデンサ、鋼製貨客船の新造(20総t以上の動力船)、動力耕運機&歩行用トラクタ(エンジンなしのものおよびガーデントラクタを含む)、木材の素材(製材工場)
- (4位):田植機、工業用ミシン、コンバイン、その他のサービス用機械器具、特殊鋼 磨棒鋼(ドリルロッドを含む)、 ーヨン・アセテート長繊維糸・短繊維

(5位):その他の鉄鋼品



^{※(}控除)帰属利子寺:「金融楽」の生産額には、「他産業」から支払われた利子が含まれているため、その利子分が二重計算と ならないように、一括して控除している。

各産業の概要を列記する。

1) 農業

全国の中で農地に占める水田の割合が高く(水田率 81%)、長年米づくりを農業 の主体してきた。農業就業人口は 1995 年の 57,084 人から 2015 年は 24,801 人 と、20 年間で 32,283 人減少した。品目別産出額では、米(204 億円、33.3%) が最も高く、以下、肉用牛(83 億円)、生乳(74 億円)等の畜産品目が上位を占 める。園芸では、ブドウ(25 億円)、トマト(11 億円)、ネギ(10 億円)の 3 品 目が 10 億円を超える¹⁷⁾。

2) 林業

島根県の森林面積は 52 万 ha で総面積の 78%を占めており、森林率は全国の都 道府県の中で第4位となっている。人工林はスギ・ヒノキを中心に利用期を迎え ており、近年、主伐による原木生産を推進してきた結果、原木生産量は増加し、 それに伴い林業就業者数も増加傾向にある。今後も原木を安定的に増産していく ためには、林業の生産現場における低コスト化や製材用原木の需要拡大により、 森林経営の収益力を強化するとともに、原木生産・増産を支える林業就業者を確 保する必要がある。2030 年に原木生産量 80 万 m³を目指している(基準:62.8 万 m³@2018 年)¹⁸⁾。

3) 水産業

2018年の島根県の海面漁業の漁獲量は約113千tで全国8位、河川や湖沼で営

出典:島根県「島根県の姿」¹⁶⁾

図 4.9-10 総生産額の構成比

まれる内水面漁業の漁獲量は約4,300 t で全国2位となっている。企業的漁業で は産出額の減少が続いていたが、2001年以降は170億円前後で安定して推移し ている。2018年の統計では、このうち、まき網漁業が83億円を占め、次いで底 引き網漁業、定置漁業の順になっている。沿岸自営漁業は産出額の減少に歯止め がかからず、2018年の産出額は約27億円となっている。このうち、釣り漁業が 約30%を占め、次いでいか釣り漁業、採介藻漁業の順になっている¹⁹⁾。

4) 工業

前述のとおり、情報通信機械、鉄鋼業、電子部品・デバイスの生産が盛んである。 島根県と近隣県の主な CO₂ 排出源について、排出源となり得る火力発電所、主要な工場 等を表 4.9-5 に示す。

会社名、事業所名	所在地	稼働開始	出力/主製品	備考
中国電力(株)	島根県浜田市	1998年6月	100 万 kW	1 号機:石炭
三隅発電所		2022 年 11 月	100 万 kW	2号機:石炭,バイオマス
日本製紙(株)	島根県 江津市	1937 年	溶解パルプ	1937 年:新日本レーヨン
江津工場	-			2002 年:日本製紙ケミカル
				2017 年:現社名
王子製紙(株)	鳥取県 米子市	1952 年 11 月	塗工紙	1952 年:日本パルプ
米子工場				1979 年:現社名
電源開発(株)	広島県 竹原市	2020年6月	60 万 kW	新1号機:石炭
竹原火力発電所		1983年3月	70 万 kW	3号機:石炭
(株)トクヤマ	山口県周南市	1918 年	セメント建材、	
徳山製造所			化学品、等	
日本製鉄(株)	広島県 呉市	1951 年		2023年9月閉鎖予定
瀬戸内製鉄所呉地区				旧:日鉄日新製鋼呉製鉄所
東ソー(株)	山口県周南市	1935 年	苛性ソーダ、ウ	1935 年:東洋曹達工業
南陽事業所			レタン、ポリ	1966 年:日本ポリケミカル
			マー、セメン	1987 年:現社名
			ト、等	
中国電力(株)	山口県	1986年4月	50 万 kW	1 号機:石炭
新小野田発電所	山陽小野田市	1987 年 1 月	50 万 kW	2 号機:石炭
東ソー(株)	山口県周南市	1963 年~	6基	石炭
南陽事業所第二発電所			80 万 kW	2026 年バイオマス転換 1 基
宇部興産(株)	山口県美弥市	1948 年		1948 年:採石所
伊佐セメント工場				1955 年:セメント
(株)トクヤマ	山口県 周南市	1963 年	4 基	石炭
恵山製造所中央発電所			517MW	
中国電力(株)	山口県柳井市	1992 年 12 月	153.9 万 kW	LNG
柳井発電所		1996年1月		
出光興産(株)	山口県 周南市	1957 年	製油	
徳山事業所				
宇部興産(株)	山口県 宇部市	1969 年	アンモニア	
宇部藤曲工場		-		
宇部興産(株)	山口県 宇部市	1925 年	セメント	
宇部セメント工場				
日本製紙(株)	山口県 岩国市	1939 年	塗工紙、情報用	
中国電力(株)	山口県 卜関市	1967年3月	17.5 万 kW	1 号機: 石灰
		19/7年9月	40 万 kW	
ENEOS(株)	山口県 坎坷郡	1943 年 12 月	製油	1943 年:興史石油
麻里布製油所	和木町			
				2010 年:JX 日鉱日石 E
				2016 年:JX エネルキー
				2017 年:JXIG エネルキー 2020 年: 現社名
白如っこしつしづ(せ)				2020 平:現杠名
士	山口宗 美阶巾		土 白 火 、 消 元 広 笠	
夫弥上场			1	
于	山口県・千部市		小酸化マクイ	

表 4.9-5 島根県と近隣県の主要な排出源

注) 4.8 節および各社ホームページを参照した

名 宮崎県

宮崎県の人口動態について、国勢調査(1920年~2020年)の人口推移によれば、1920年から1955年にかけて651千人から1,139千人と増加し、1970年にかけて1,051千人と減少するが1985年にかけて1,176千人と増加した。その後は2020年にかけて1,070千人と緩やかに減少している²⁰⁾。2020年人口は1,069,576人で、前回2015年調査と比べて

34,493 人減少しており、減少率は 3.1%となった。減少となるのは 1995 年から 5 期連続で ある²⁰⁾。年齢別人口では、2020 年国勢調査での 15 歳未満人口は 140,291 人(総人口の 13.1%)、15~64 歳人口は 580,412 人(同 54.3%)、65 歳以上人口は 348,873 人(同 32.6%) であり、15 歳未満人口および 15~64 歳人口の割合は、調査開始以来最低となった一方、 65 歳以上人口の割合は、調査開始以来最高となっている²⁰⁾。

宮崎県の主な産業について、2020年国勢調査の就業者割合の推移によれば、宮崎県の労働力人口は555,731人であり、第1次産業の割合が9.8%(全国3.2%)、第2次産業の割合が20.4%(全国23.4%)、第3次産業の割合が69.5%(全国73.4%)である。このうち第1次産業の割合が9.8%で全国では3番目に高い²¹⁾。各産業の概要を列記する。

1) 農業

県内の農業従事者は 31,570人(2022年)、農家戸数は 30,940 戸(2020年)であ る。主要な農産物はきゅうり、キンカン、日向夏、ピーマン、主要な畜産物は豚、 ブロイラー、肉用牛である²²⁾。

2) 林業

県内の森林面積は約 59 万 ha(約 5,900 km²)で県面積の 76%を占める。スギ丸 太の素材生産量は全国 1 位、乾しいたけの生産は全国 2 位である^{2 2)}。

3) 水産業

県内の漁業・養殖業の経営体は 950 (2018 年)、漁船隻数は 1,438 隻 (2020 年)、 生産量は 132,286 t (2020 年)、産出額は 323 億円 (2019 年) である^{2 2)}。

4) 工業

県内の事業所数は1,337 (2020年)、出荷額は1兆6,917億円(2018年)であり、 事業所数を産業中分類別にみると、食料品は358事業所(構成比26.8%)、木材 は126事業所(同9.4%)、窯業・土石は103事業所(同7.7%)、金属は100事 業所(同7.5%)である。製造品出荷額等を産業中分類別にみると、食料品は3,252 億円(構成比19.9%)、飲料・たばこは2,071億円(同12.7%)、電子部品は1,742 億円(同10.7%)、化学は1,521億円(同9.3%)である²³⁾

宮崎県と隣県の大分県の主な CO₂ 排出源について、排出源となりえる火力発電所、主要 な工場および製油所を表 4.9-6~表 4.9-10、図 4.9-11 に示す^{5)、6)、24)、25)、26)、27)、 ²⁸⁾。}

登雷所 事業所名称	所在地(★ 宮崎県)	運転開始	出力 (kW)	備老
	び岡市*	2006年7月	5万	SUB-C方式
	延岡市 *	2018年8月	6.024万	SUB-C方式
王子マテリア大分工場1号タービン	大分市	2004年5月	2.5万	
王子マテリア大分工場3号タービン	大分市	2000年7月	1.78万	
日本製鉄大分製鉄	大分市	2002年4月	33万	SUB-C方式
九州電力新大分発電所1号	大分市	1991年6月	12万	使用燃料LNG
九州電力新大分発電所2号	大分市	1998年7月・ 2016年6月	23万 kW/基×4	使用燃料LNG
九州電力新大分発電所3号	大分市	1998年7月・ 2016年6月	24万5千 kW/基×3・ 50万 kW/基×1	使用燃料LNG
旭化成株式会社第3石炭火力発電所	延岡市*	2022年予定	3.4万	使用燃料LNG、天然ガス火力発電 所へ更新
大分共同火力	大分市	1972年4月・ 1973年4月・ 2015年2月	25.5万kW/基×2・ 14.7万kW/基×1	
太平洋セメント(株)大分工場	津久見市			年間採掘量1,100万トン
日本製鉄(株)九州製鉄所大分地区	大分市	1971年		年間鉄生産量1,000万トン
王子製紙株式会社日南工場	日南市*			
王子マテリア株式会社大分工場	大分市			
ENEOS大分製油所	大分市	1964年4月		原油処理能力13万6千バレル/日 (2022年3月末)
昭和電工大分コンビナート	大分市	1969年		合成樹脂や合成ゴム、化成品等の 原料として供給

表 4.9-6 宮崎県と大分県の主要な排出源

注) SUB-C: 亜臨界圧

表 4.9-7 石炭火力発電所(既設)⁵⁾

石炭火力発電所一覧(既設)

会社	発電所	号機	方式	出力(万kW)	運転開始年月	都道府県	市町村
三池火力発電所	三池	2	SUB-C	17.5	1975年6月	福岡県	大牟田市
三菱マテリアル	九州工場	2	SUB-C	4	-	福岡県	苅田町
三菱マテリアル	九州工場	3	SUB-C	7.49	-	福岡県	苅田町
九州電力	松浦	1	SC	70	1989年6月	長崎県	松浦市
九州電力	松浦	2	USC	100	2019年12月	長崎県	松浦市
電源開発	松島	1	SC	50	1981年1月	長崎県	西海市
電源開発	松島	2	SC	50	1981年6月	長崎県	西海市
電源開発	松浦	1	SC	100	1990年6月	長崎県	松浦市
電源開発	松浦	2	USC	100	1997年7月	長崎県	松浦市
九州電力	苓北	1	SC	70	1995年12月	熊本県	苓北町
九州電力	苓北	2	USC	70	2003年6月	熊本県	苓北町
王子マテリア	大分工場	1号 ターヒ [*] ン	その他 (蒸気圧14MPa以下)	2.5	2004年5月	大分県	大分市
王子マテリア	大分工場	3 号 ターヒ [*] ン	その他 (蒸気圧14MPa以下)	1.78	2000年7月	大分県	大分市
日本製鉄	大分製鉄	9	SUB-C	33	2002年4月	大分県	大分市
旭化成エヌエス エネルギー	延岡発電所	1	SUB-C	5	2006年7月	宮崎県	延岡市
旭化成エヌエス エネルギー	延岡発電所	2	SUB-C	6.024	2018年8月	宮崎県	延岡市

注) SUB-C: 亜臨界圧、SC: 超臨界、USC: 超超臨界

表 4.9-8 九州電力(株)新大分発電所⁶⁾

	1号系列	2号系列	3 号系列			
発電方式	コンバインドサイクル発電 (複合発電)	コンバインドサイクル発電 (複合発電)	コンバインドサイクル発電 (複合発電)			
運転開始	1991年6月	1・2軸 1994年2月 3・4軸 1995年2月	1~3軸 1998年7月 4軸 2016年6月			
燃料	LNG					
出力	120,000kW/基×6	230,000kW/基×4	245,000kW/基×3 500,000kW/基×1			

表 4.9-9 九州のセメント工場⁸⁾

社名	工場名	所在地
日鉄高炉セメント(株)	<u>本社工場</u>	北九州市小倉北区西港町16
三菱マテリアル(株)	<u>九州</u>	福岡県京都郡苅田町松原町12
宇部興産(株)	苅田	福岡県京都郡苅田町長浜町7
苅田セメント(株)	苅田	福岡県京都郡苅田町長浜町10
麻生セメント(株)	囲川	福岡県田川市大字弓削田2877
太平洋セメント(株)	大分	大分県津久見市合ノ元町2-1

表 4.9-10 九州の製紙工場所在地¹⁰⁾

佐賀県		
王子マテリア株式会社	佐賀工場	佐賀県佐賀市久保田町大字久保田1
大分県		
王子マテリア株式会社	大分工場	大分県大分市大字小中島字江ノ道872-1
熊本県		
日本製紙株式会社	八代工場	熊本県八代市十条町1-1
宮崎県		
王子製紙株式会社	日南工場	宮崎県日南市大字戸高1850
鹿児島県		
中越バルブ工業株式会社	川内工場	鹿児島県薩摩川内市宮内町1-26





- (2) 漁業の実態(漁獲高、魚種、漁法、漁協、漁業者数等)
- ① 秋田県

秋田県の漁業の実態について以下に列挙する。

- 1) 海面業·養殖業漁獲量²⁹⁾:6千t・85t(2020年)
- 2) 海面業·養殖業生産額³⁰⁾: 25.7 億円・0.4 億円(2019 年)
- 3) 主な魚種³¹⁾:マダイ、ハタハタ、トラフグ、マダラ、ウスメバル、イワガキ等
- 4) 漁法³²⁾:小型定置網、沖合底引き網、小型底引き網等
- 5) 漁業経営体数²⁹⁾:632 (2020年)
- 6) 漁業就業者数²⁹⁾:773人(2020年)
- 7) 漁船数²⁹⁾:888 隻(2020年)
- 8) 漁港数³³⁾:22 (2022年)
- 9)水產団体³²⁾:秋田県漁業協同組合(北部支所、中央支所、南部支所)³⁴⁾、八峰 町峰浜漁協、能代市浅内漁協、三種町八竜漁協

秋田県³⁵⁾によれば、経営体数の減少や就業者数の減少・高齢化が続いているため、担い 手の確保育成を図るため、あきた漁業スクールを設置し、基礎的研修、技術研修や技術習得 後のフォローアップ等の取組を行っている。

秋田県沿岸には秋田市沿岸の一部を除き、全域に漁業権が設定されている(図 4.9-12)。 沿岸域の一部には国定公園が設定されており、男鹿半島周辺に男鹿国定公園、秋田県にかほ 市から山形県遊佐町にかけて鳥海国定公園、また秋田県と青森県の県境に位置する須郷崎 より北側の青森県側に津軽国定公園が設定されている(図 4.9-12)³⁶⁾。



注1)海上保安庁「海しる」³⁶⁾より作図、編集した。

- 注2) 共同漁業権:各地区の漁業協同組合の組合員が一定の水域を共同に利用して漁業を営む権利、定置 漁業権:水深27m以上の海に定置網を長期間、一定の場所に設置して行う漁業を営む権利、区画漁 業権:区画漁業権(=養殖業)を営む権利
- 注3) 左:県北部、右:県南部

図 4.9-12 秋田県沿岸の漁業権範囲と国定公園範囲

新潟県

新潟県の漁業の実態について以下に列挙する。

- 1) 海面業·養殖業漁獲量^{37)、38)}:約2万7千t·1.3千t(2022年3月)、
- 2) 海面業·養殖業生産額³⁸⁾:120億円(2022年3月)
- 3) 主な魚種¹¹⁾: マグロ、カツオ、マアジ、ブリ、マダラ、カレイ類、マイワシ、 サバ、ヒラメ (2020 年)
- 4)漁法³⁹⁾: 大型定置網(12.1%)、小型底引き網(8.9%)、さし網等(5.2%)小型
 定置網(4.1%)、船びき網(2.1%)(2020年)
 ※沖合底引き網、かつおマグロの漁獲は不明。
- 5) 漁業経営体数³⁷⁾: 1,338 (2021 年)
- 6) 漁業就業者数³⁷⁾: 1,954 人(2022 年)
- 7) 漁船数³⁷⁾: 1,896 隻(2022 年)
- 8) 漁港数37):64 (2020年)
- 9) 水産団体³⁷⁾:新潟県漁業組合連合会所属の沿海漁協14(新潟漁業協同組合(11

漁協3支所)³⁷⁾、佐渡漁業協同組合(6漁協11支所)、青海町漁業協同組合、上 越漁業協同組合、上越市漁業協同組合、寺泊漁業協同組合、聖籠町漁業協同組合、 粟島浦漁業協同組合、水津漁業協同組合、羽吉浜漁業協同組合、内浦漁業協同組

新潟県³⁹⁾によれば、沿海漁協の漁業生産量や生産額は、漁業者(組合員)の減少や高齢 化、魚価の低迷により年々減少傾向にある。資源管理等の取り組みにより漁業資源は回復傾 向にあり、これらを有効にするためには中核的漁業経営団体の確保、育成による生産力の向 上が必要である。県漁業協同組合連合会等の系統団体が中心となって地域連携による事業 の合理化等の機能・基盤強化の取組を行っている。

合、内海府漁業協同組合、加茂湖漁業協同組合、姫津漁業協同組合))

新潟県沿岸域は佐渡島や粟島を含み、全域に漁業権が設定されている(図 4.9-13)。沿岸域の佐渡島外海府海岸、弥彦山周辺および米山地域を合わせて佐渡弥彦米山国定公園として制定されている。(図 4.9-13)。



注1)海上保安庁「海しる」³⁶⁾より作図、編集した。

注2) 共同漁業権:各地区の漁業協同組合の組合員が一定の水域を共同に利用して漁業を営む権利、定置 漁業権:水深27m以上の海に定置網を長期間、一定の場所に設置して行う漁業を営む権利、区画漁 業権:区画漁業権(=養殖業)を営む権利 注3) 左:南西部、右:北東部

図 4.9-13 新潟県沿岸の漁業権範囲と国定公園

③ 島根県

島根県⁴⁰⁾は、沖合に対馬暖流が流れ、陸棚等の複雑な海底地形と相俟って多種多様な魚 介類が生息する豊かな漁場が広がり、また、宍道湖等の汽水湖や多様な資源を育む河川が数 多く存在する全国屈指の水産業の盛んな県となっており、沖合域、沿岸域、河川・湖沼にお いてさまざまな漁業が営まれている。

なかでも釣り・採介藻等を個人で行う沿岸自営漁業は沿岸漁業集落を支える重要な漁業 であるが、高齢化が著しく進み、就業者数・漁獲量ともに年々減少している。

将来ビジョンとしては、2039 年の沿岸自営漁業の産出額 54 億円を目指している。(基 準:27 億円(2018 年))

漁業協同組合は、2006年1月にJFしまね(正組合員:2,651名、准組合員:5,592名@ 2017年3月)に事業統合。支所は11箇所(鳥取県の境港にも鳥取県漁協とは別の支所を 設ける)あり、漁獲は図4.9-14のとおりである。



出典:トビウオ通信 R4 第2号 島根県水産技術センター41)

図 4.9-14 島根県の漁獲

なお、隣接する境港(鳥取県)の水揚げ量は、全国的にも上位にランクされている。2021 年全国主要漁港水揚げ高(出典:みなと新聞 2022.01.05)によれば、水揚げ数量 93,729t(6 位)、金額は 17,560,9591,000 円(7位)である。

沿岸には、全域に漁業権が設定されており(図 4.9-15)、一部沿岸域は国立公園(大山隠 岐国立公園)が設定されている(図 4.9-16)。



注)海上保安庁「海しる」³⁶⁾より作図、編集した。

図 4.9-15 島根県沿岸の漁業権



図 4.9-16 島根県の国立公園と国定公園(出典:島根県42))

名 宮崎県

宮崎県の漁業の実態について以下に列挙する。

- 海面漁業・養殖業の漁獲量^{22)、43)}:11万3千t・1万3千t(2020年)、
 10万t・1万3千t(2019年)
- 2) 海面漁業・養殖業の生産額⁴³⁾: 229 億円・93 億8千万円(2019年)
- 3) 主な魚種⁴⁴⁾:マグロ、養殖ブリ、カツオ、サバ、イワシ、アジ、養殖マダイ、カジキ、ブリ、エビ(2019年)
- 4) 漁法⁴⁴⁾:まき網(45.7%)、カツオー本釣(18.8%)、はえ縄(11.5%)、定置網(3.6%)、船引き網(1.9%)(2019年)
- 5) 漁業経営体数²²⁾:950 (2018年)
- 6) 漁業就業者数²²⁾: 2,202 人(2018 年)
- 7) 漁船数⁴³⁾: 2,171 隻(2020 年)
- 8) 漁港数44):23 (2021年)
- 9) 水産団体⁴³⁾:沿海漁協 20(宮崎県漁業協同組合(19 漁協)⁴⁵⁾、新富町漁業協同組合)

宮崎県43)によれば、沿海漁協については厳しい経営環境の中、漁業生産額や漁業者(組

合員)等の減少が続いているため、漁業・漁村の中核組織としての役割を果たせるよう、県 漁業協同組合連合会等の系統団体が中心となって地域連携による事業の合理化等の機能・ 基盤強化の取組を行っている。

宮崎県沿岸には宮崎市沿岸の一部を除き、全域に漁業権が設定されている(図 4.9-17)。 沿岸域は国定公園が設定されてり、大分県佐賀関半島沿岸から日向市沿岸にかけて日豊海 岸国定公園が設定されており、宮崎市沿岸から日南市沿岸、鹿児島県都井岬沿岸にかけて日 南海岸国定公園が設定されている(図 4.9-17)。



注1)海上保安庁「海しる」³⁶⁾より作図、編集した。

注2) 共同漁業権:各地区の漁業協同組合の組合員が一定の水域を共同に利用して漁業を営む権利、定置 漁業権:水深27m以上の海に定置網を長期間、一定の場所に設置して行う漁業を営む権利、区画漁 業権:区画漁業権(=養殖業)を営む権利

(3) 海域を利用した事業(石油鉱業を含む)

秋田県

秋田県内においては、古くから石油鉱床の存在が知られている。近代以降においても八橋 油田、申川油田、由利原油ガス田等、国内有数の油ガス田が開発されるとともに、陸上・海 上ともに多くの試掘井が掘削される等⁴⁶⁾、日本国内において最も石油・天然ガス鉱業の盛 んな地域の一つであるといえる。また、同県において特筆すべき点としては、国の基礎調査 事業や民間企業の探鉱作業のみならず、県が民間企業に対する補助事業や共同探鉱事業を

図 4.9-17 宮崎県沿岸の漁業権範囲と国定公園範囲

環境省·経済産業省連携事業 令和4年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務 報告書

通じて、積極的に石油・天然ガスの探鉱・開発に関与していたことがあげられる。

海域においては、石油資源開発(株)が日本最初の海底油田である土崎沖油田を秋田市沖 合で発見し、1959~1964年に掛けて21坑の試掘・探掘・採掘井を掘削する等、開発・生 産を行ったが、約16万klの生産に留まった⁴⁷⁾。海域における探鉱作業として、これまで 基礎試錐6坑および多数の民間試掘井の掘削、ならびに弾性波探査が実施されている。し かしながら、上述の土崎沖油田以降、海域で油ガス田は発見されておらず、現在のところ、 海域における油ガス田の開発・生産は行われていない。なお、申川油田やそれに隣接する橋 本油田・美野ガス田等は、いずれも陸上において開発・生産されたが、陸域から海域に掛け て伸びる地下構造に対して陸上から傾斜掘りによって掘削された坑井を用いて開発・生産 が行われたものである。すなわち、広義に捉えればこれらの油ガス田においても海底下の石 油・天然ガス鉱床を開発しているといえる。このうち、申川油田は現在も稼働中である。

海域における主な探鉱作業として、以下の基礎物理探査や貯留適地調査事業における弾 性波探査が実施されており^{48)、49)、50)}、他に民間会社による探査も多く実施されている。

- 1)昭和62年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「秋田~青森浅海域」
- 2) 昭和 62 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査 「西津軽〜新潟沖」
- 3) 平成元年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「秋田~青森浅海域」
- 4) 平成 25 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査 「秋田沖 3D」
- 5) 平成 26 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「秋田~山形沖 3D」
- 6) 平成 28 年度 JCCS 能代沖 3D
- 7) 平成 29 年度 JCCS 秋田沖 3D
- 8) 平成 30 年度 JCCS 能代沖南部 2D (陸~海域)
- 9) 令和 4 年度 JCCS 本 注 → 3D

海洋掘削について、下記の基礎試錐が掘削されており、他に民間会社による試掘井等も多 く掘削されている⁴⁶⁾。

- 1) 昭和 42 年度 天然ガス基礎調査 基礎試錐「西目沖」
- 2) 昭和 43 年度 天然ガス基礎調査 基礎試錐「野石沖」
- 3) 昭和 43 年度 天然ガス基礎調査 基礎試錐「沢目沖」
- 4) 平成4年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「由利沖中部」
- 5) 平成5年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「本荘沖」
- 6) 平成7年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「子吉川沖」

また、秋田県内においては、近年、洋上風力発電事業が進行中である。このうち、「能代 市・三種町・男鹿市沖」、「由利本荘市沖(北側)」、「由利本荘市沖(南側)」について は 2020 年 7 月に、「八峰町および能代市沖」については 2021 年 9 月に、「男鹿市、潟上市および秋田市沖」については 2022 年 9 月に、それぞれ促進区域の指定を受けている⁵¹⁾。

2 新潟県

新潟県内では、海域、陸域を問わず多くの石油・天然ガス鉱業が盛んに実施されている。 海域において、「阿賀沖油・ガス田」、「阿賀沖北油・ガス田」および「岩船沖油・ガス 田」が開発され石油・天然ガスの事業が実施されていた⁵²⁾(図4.9-18)。現在は「岩船沖 油・ガス田」のみが事業を継続している。基礎調査の反射法地震探査は1976年~2021年 の間に三次元探査、二次元探査が合わせて10回以上実施された。また、海域の基礎試錐は 1981年~2011年の間に5坑井が掘削された。そのほか民間事業者が多くの反射法地震探 査や坑井の掘削を実施している。

海域には、現在操業中の油・ガス田を含めて多くの坑井や廃坑井、生産終了後に残置され たパイプラインが存在していることから、今後の海域利用の際は十分な調査が必要となる。

その他海域を利用した事業として洋上風力発電事業が注目されている。

水深 50 m 以浅で実施される着床式の洋上風力発電のほかに浮体式(水深 50 m 以上 200 m 以下)での有望海域にも着目されている⁵³⁾(図 4.9-19)。



図 4.9-18 石油開発図:新潟港周辺⁵²⁾



図 4.9-19 洋上風力発電の導入促進計画(案) 53)

③ 島根県

島根県沖合の石油・天然ガスに関する事業については、1970年代に新西日本石油開発(株)、 1989年にJNOC(旧石油公団)「山陰〜北九州沖」、2011年にJOGMEC「山口沖 3D」 海上物理探査が実施されている。調査の結果、新西日本石油開発(株)により島根〜山口県 沖で5坑井が掘削された。また、島根〜山口県境の沖合(日韓暫定水域近辺)では、JOGMEC (基礎試錐:2015年5月〜8月)およびINPEX(試掘:2022年5月〜8月)による掘削

も行われた実績がある。

また、隠岐周辺海域では、BSR(海底疑似反射面:Bottom Simulating Reflector)の分 布が確認されているため、今後、メタンハイド ートの研究開発が進められる可能性もある が、沖合であるため CCS 事業への影響は微小と推察される。

宮崎県

宮崎県内の石油・天然ガス鉱業について、加藤ほか(2011)⁵⁴⁾によれば、宮崎県には日南 ガス田、宮崎ガス田および佐土原ガス田の三つの水溶性ガス田がある。

1) 佐土原ガス田⁵⁴⁾

伊勢化学工業(株)が 1972 年から佐土原町で 4 坑試掘し宮崎層群佐土原層・瓜生 野層でガス層を確認し、1974 年から開発移行し生産井 32 坑井を掘削した。1981 年1月時点で稼働坑数 38 坑井、ガス日産量 10,610 m³、付随水日産量 7,890 kl である。2008 年度の年間ガス生産量約 320 万 m³(生産坑井 34 坑)、累計生産量約 1.3 億 m³である。佐土原ガス田はガス鉱床であると同時にヨウ素鉱床でもある。

2) 宮崎ガス田⁵⁴⁾

宮崎市周辺において 1955~1960 年に住友石炭鉱業(株)が 5 坑、麻生産業(株)が 2 坑、帝国石油(株)が 4 坑、九州電力(株)が 3 坑の試掘を行い、住友 R1、住友 R-2-1、麻生木花 1 で宮崎層群田野層と基盤から日産量約 2,000 m³のガスを確認した。 生目(いきめ)地区(位置図内の B1)で住友石炭鉱業(株)が 4 坑試掘し R2 井から 産出した(生目ガス田)。1980 年に宮崎天然ガス開発(株)がガス事業を引き継ぎ、 1991 年に有限会社ミンガスに名称を変更し、2008 年度は R4 井と R2 井から年 間生産量約 38 万 m³のガスを生産している。

3) 日南ガス田⁵⁴⁾

貝島炭砿(株)が 1955~1961 年に 9 坑試掘し、うち 7 坑において宮崎層群双石(ぼ ろいし)層でガス (CO₂含む)・付随水を確認したが開発には至らなかった。1977 年度に北郷町が試掘井・北郷 R1 を掘削、日産約 2,400 m³ のガスと付随水約 1,100 kl を確認し、北郷温泉源泉として活用している。

海域における探鉱作業として、以下の弾性波探査が実施されている48)、50)。

- 1) 昭和 49 年度 大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「東海~九州」
- 昭和53年度 大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「東海沖〜熊野灘、 宮崎沖、伊豆七島海域」
- 3) 平成 24 年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「宮崎沖西部 3D」
- 4) 平成 28 年度 JCCS 宮崎沖 2D
- 5) 平成 30 年度 JCCS 宮崎沖 3D

海洋掘削について、1975年に日南市鵜戸沖約20kmにおいて、民間坑井が掘削された⁴

(4) 航路、港湾設備利用状況

① 秋田県

秋田県の港湾は、重要港湾3港、地方港湾2港の計5港から構成されている⁵⁵⁾。このう ち重要港湾は、能代港、船川港および秋田港である⁵⁵⁾。また、隣接する山形県には、重要 港湾である酒田港⁵⁶⁾が存在する。図4.9-20に秋田県の港湾位置図⁵⁵⁾を示す。

1) 能代港(能代市)

陸地面積 : 276.0 ha

重要港湾指定⁵⁵⁾:1981年(2006年にリサイクルポート、2020年に洋上風力発 電設備の設置および維持管理の基地港湾に指定⁵⁷⁾) 貨物取扱量⁵⁷⁾:5.047千t(2020年)

2) 船川港(男鹿市)
 重要港湾指定⁵⁵⁾:1951年
 貨物取扱量⁵⁷⁾:299千t(2020年)

3) 秋田港(秋田市)

陸地面積:662.5 ha

重要港湾指定⁵⁵⁾:1951年(2020年に洋上風力発電設備の設置および維持管理の 基地港湾に指定⁵⁷⁾)

貨物取扱量⁵⁷⁾:6,217千t(2020年)

コンテナ数⁵⁷⁾: 45,359 TEU (2020 年)

4)酒田港(山形県酒田市)
 重要港湾指定⁵⁶⁾:1951年1月(2003年にリサイクルポートに指定)
 貨物取扱量⁵⁶⁾:3,233千t(2021年)

秋田県の航路については、フェリー航路が秋田港にあり、船川港には国家石油備蓄基地が ある。また、上記のように能代港および秋田港は洋上風力発電設備の設置および維持管理の 基地港湾に指定されていることから、洋上風力関係の資機材積み出しでひっ迫しており、こ の状況はしばらく続くものと考えられる。

通航量について、秋田県沿岸沖の通航量の図を図 4.9-21 に示す³⁶⁾。秋田県沿岸沖は通 航量が中程度で、月当たり 6~30 隻を占めるが、秋田港および船川港から北海道方面にか けては、月当たり 31~150 隻を占めることがある(図 4.9-21)。また、秋田港の一部にお いては、月当たり 151~300 隻を占めることがある(図 4.9-21)。



注)国土交通省東北地方整備局港湾空港部サイト⁵⁵⁾より。





通航量:2019年12月

注)海上保安庁「海しる」³⁶⁾より作図、編集した。

図 4.9-21 秋田県沖の通航量(2019 年 12 月)

新潟県

新潟県の港湾は、国際拠点港1港、重要港湾3港、地方港湾6港の計10港から構成されている⁵⁸⁾。国際拠点港湾は新潟港、重要港湾は直江津港、両津港および小木港である⁵⁸⁾。 図 4.9-22 に新潟県の港湾位置⁵⁸⁾を示す。



図 4.9-22 新潟県の港湾位置

1) 新潟港(新潟市)

港湾面積⁵⁹⁾: 8,560 ha 国際拠点港湾指定⁵⁹⁾: 1996年3月 貨物取扱量⁵⁸⁾: 2,851万t(2020年) コンテナ数⁵⁸⁾: 172,310 TEU(2021年) 旅客数⁵⁸⁾: 141万人(2019年)

2) 直江津港(上越市)

陸地面積^{5 9)}:32.6 ha

重要港湾指定⁵⁹⁾:1973年6月

貨物取扱量⁵⁸⁾:261,369t(2020年)

コンテナ数⁵⁸⁾: 27,631 TEU (2021 年)

旅客数⁵⁸⁾:34,000人(2020年)

新潟港の国内航路は佐渡島と結ぶ両津航路、小樽と結ぶ小樽航路がある。国際航路は、韓 国やロシアおよび中国を結ぶ航路がある。

直江津港の国内航路は佐渡島小木港と結ぶ小木航路がある。国際航路は、直江津と韓国の 釜山を結ぶ複数の商船会社の運航がある。 通航量について、新潟県沿岸沖の通航量の図を図 4.9-23 に示す³⁶⁾。新潟県沿岸沖は通 航量が多く、月当たり 31~150 隻を占める。



注)海上保安庁「海しる」³⁶⁾より作図、編集した。 図 4.9-23 新潟県沖合の通航量(2019 年 10 月)

③ 島根県

島根県の海岸は、島根沿岸 562,249 m、隠岐沿岸 464,657 m で総延長は 1,026 km に及 ぶ。これらの海岸のほとんどは岩礁地帯であるが、出雲部(出雲市西部)は主に砂で形成さ れている。また、県西部(江津市~益田市)は砂浜と岩礁地帯が交互になっている。

重要港湾は、島根県管理の浜田港、三隅港、西郷港の3港に加えて島根・鳥取両県管理の 境港がある。その他に地方港湾77港(県管理15、市町村管理62)、56条港湾(港湾地区 の定めがなく、港湾法第56条に基づき都道府県知事が公告した水域)9港を有している。

県西部の浜田港、三隅港、県東部の河下港(地方港湾)および隠岐諸島にある西郷港にそ れぞれ臨海工業団地を造成している^{60)、61)}。

図 4.9-24 に島根県の重要港湾位置図を示す。

1) 浜田港

島根県の西部石見地方のほぼ中央にある中心都市浜田市に位置し、古くから国内 のみならず海外との交易も盛んで、1899年に開港場となり、日本海を行き交う定 期船および大陸貿易の寄港地として栄えていた。戦後は、大陸貿易が中止となっ たため一時その繁栄は衰退したが、港湾法の制定とともに重要港湾の指定も受け、 現在は、島根県最大の物流基地として発展している。さらに、今後は環日本海時 代の玄関口としての国際貿易港としてその役割は益々重要となっている。クルー ズ船寄港の実績(2017年3回、2018年3回、2019年2回)あり。(港湾区域面 積:911.6 ha、臨港地区:52.7 ha)

2) 三隅港

島根県の西部石見地方にある浜田市三隅町に位置している。この港湾は、国の電 源開発計画に基づき、石炭火力発電所が立地し、エネルギー港湾として、1982年 にそれまであった三隅町管理の地方港湾を包含して新たに島根県管理港湾とし て設立した若い港湾である。現在、石炭火力発電所が1基稼働しており、中国地 方の電力供給の重要な一翼を担っている。また、新しい産業を地元振興に役立て ようと公共埠頭を供用している。(港湾区域面積:920 ha、臨港地区:72.0 ha)

3) 西郷港

日本海に浮かぶ隠岐諸島最大の島である島後に位置し、古くから天然の良港とし て日本海航路の帆船寄港地として、また付近に好漁場があることから沿岸漁業の 拠点基地として発展してきた。一方、本土と結ぶ離島航路が1943年に開設され、 現在もその基地港として隠岐諸島の玄関口となっており、隠岐圏の物流の拠点と して経済・文化の中心を担う港湾として重要な役割を持つ港湾である。(港湾区域 面積:213 ha、臨港地区:15.0 ha)

4) 境港

全国で唯一、港湾区域が2県にまたがる港湾であり、製材業、製紙業、金属機械 製造業、リサイクル関連産業等、多様な産業が立地している。1896年10月に開 港(神戸税関管内で神戸港についで2番目)され、当時は中国の大連、朝鮮民主 主義人民共和国の清津・元山、韓国の釜山との定期航路が開設されていた。 1951年には重要港湾に指定、1958年には鳥取・島根両県協定による境港管理組 合(港湾管理者)が発足、2011年には日本海側拠点港に選定される等、今日に至

るまで発展を続けてきた。

ロシア極東から中国沿岸部に至る北東アジア諸地域とのゲートウェイとして、ま

た環日本海地域における西日本の交流拠点にふさわしい地理的特性を生かして、 バラ積み船、コンテナ船、フェリー、RORO船(roll-on/roll-off ship、貨物を積 んだトラックやシャーシ(荷台)ごと輸送する貨物船)、クルーズ船等多様な船舶 の定期航路化や寄港促進を図り、産業振興や賑わいづくり等、山陰地域の更なる 発展に貢献する港を目指している。主な港湾施設としては、

- ・外港昭和南地区(野積場 13.9 ha、うち国際コンテナターミナル 7.6 ha)(主要取扱:コンテナ貨物、木材チップ、原木、大型クルーズ船)
- ・外港中野地区国際物流ターミナル(野積場 3.7 ha)(主要取扱:原木、大型 クルーズ船)
- ・外港竹内南地区貨客船ターミナル(主要設備:旅客ターミナル、貨物ヤード、 駐車場)(主要取扱:大型クルーズ船、RORO船)

がある。工業団地としては、外港竹内工業団地、西工業団地がある。クルーズ船 寄港実績(2017年61回、2018年37回、2019年53回)。管理者:鳥取県知事、

副管理者:島根県知事。(港湾区域面積:1,776 ha、臨港地区:328 ha)

航路については、境港~九州方面の航行船が多い(図 4.9-25)。



出典) 国交省(令和3年6月 交通政策審議会 資料) 62)





注)海上保安庁「海しる」³⁶⁾より

図 4.9-25 島根県沖の通航量(2019 年 12 月)

客崎県

宮崎県の港湾は、重要港湾 3 港、地方港湾 12 港、56 条港湾(港湾区域の定めのない港 湾)1 港の計 16 港から構成されている⁶³⁾。このうち重要港湾は、細島港、宮崎港および 油津港である⁶³⁾。図 4.9-26 に宮崎県の港湾位置図⁶³⁾を示す。

1) 細島港(日向市)

陸地面積⁶⁴⁾: 1,289 ha 重要港湾指定⁶⁴⁾: 1951 年 1 月 貨物取扱量⁶³⁾: 3,463 千フレート・トン(2021 年速報値) コンテナ数⁶³⁾: 28,141 TEU(2021 年速報値) 入港隻数⁶³⁾: 3,991(2021 年速報値)

2) 宮崎港(宮崎市)

- 陸地面積⁶⁴⁾: 1,983 ha 重要港湾指定⁶⁴⁾: 1973 年 6 月 貨物取扱量⁶³⁾: 6,489 千フレート・トン (2021 年速報値) 入港隻数⁶³⁾: 3,230 (2021 年速報値)
- 3) 油津港(日南市)

陸地面積⁶⁴⁾: 271 ha 重要港湾指定⁶⁴⁾: 1952 年 3 月 貨物取扱量⁶³⁾: 1,214 千フレート・トン(2021 年速報値) コンテナ数⁶³⁾: 4,075 TEU(2021 年速報値) 入港隻数⁶³⁾: 2,087(2021 年速報値)

宮崎県の航路について、RORO 船航路が細島港、宮崎港および油津港にあり、コンテナ 航路が細島港と油津港にある(図 4.9-26)。フェリー航路が宮崎港にある(図 4.9-26)。

通航量について、宮崎県沿岸沖の通航量の図を図 4.9-27 に示す³⁶⁾。宮崎県沿岸沖は通 航量が多く、月当たり 31~150 隻を占める(図 4.9-27)。細島港と油津港の一部では、月 当たり 151~300 隻を占めることがある(図 4.9-27)。



注) 宮崎県「みやざきの港 2022」⁶³⁾ より抜粋した。





通航量:2019年12月

注)海上保安庁「海しる」³⁶⁾より作図、編集した。

図 4.9-27 宮崎県沖の通航量(2019 年 12 月)

(5) 過去の地震および今後想定される地震

① 秋田県

秋田県に被害を及ぼす地震は、主に男鹿半島を含む日本海東縁部の海域で発生する地震 と、陸域や沿岸部の浅い場所に存在する活断層で発生する地震である⁶⁵⁾(図 4.9-28、表 4.9-11)。日本海東縁部の海域では、秋田県北部から青森県に掛けての沖合を震源とする 1983年の「日本海中部地震」(M7.7)、その震源域付近で1964年に発生した男鹿半島沖 の地震(M6.9)や、秋田県南部から山形県に掛けての沖合を震源とする1833年の庄内沖の 地震(M7.5)等により、秋田県西部で津波や地震の揺れ、地盤の液状化現象等による被害 が発生した。一方、陸域や沿岸部の主な活断層としては、日本海沿岸北部に能代断層帯、日 本海南部に北由利断層、また隣接する山形県の北部に庄内平野東縁断層帯の存在が知られ ている。

秋田県沿岸の能代沖や秋田沖~本荘沖は、上記の日本海東縁部の被害地震の震源域から は遠い。また、能代断層帯や北由利断層、庄内平野東縁断層帯(北部)等の主要活断層の今 後 30 年以内の地震発生確率は 2%以下と評価されている⁶⁵⁾。



注) 地震本部⁶⁵⁾より抜粋、編集した。

図 4.9-28 秋田県とその周辺の主な被害地震
西暦(和暦)	地域(名称)	м	主な被害
830年2月3日	出羽	7.0~	秋田の城郭や家屋の倒壊により、圧死者15人、負傷者100人以
(天長7)		7.5	上。
1644年10月18日	出羽	6.5	本荘の城郭の大破や建物の倒壊による死者あり。
(正保1)	(羽後本荘地震とも呼ばれる)		
1694年6月19日	能代付近	7	米代川下流で被害。(秋田・弘前を含め全体では、死者394人、負
(元禄7)			傷者198人、家屋倒壊1,273棟、家屋焼失859棟。)
1704年5月27日	出羽・陸奥	7	(死者58人、住家倒壊435棟、住家焼失758棟。)
(宝永1)			
1804年7月10日	(象潟地震)	7	(死者300人以上、倒壊家屋5,000棟以上)
(文化1)			
1810年9月25日	出羽	6.5	男鹿半島の東半分を中心に被害。死者57人、住家全壊1,003
(文化7)			棟。
1833年12月7日	出羽・越後・佐渡	7 1/2	(死者100人、家屋全壊475棟、津波被害大。)
(天保4)			
1894年10月22日	(庄内地震)	7	由利郡で家屋破損1,548棟。
(明治27)			
1896年8月31日	(陸羽地震)	7.2	死者205人、負傷者736人、家屋全壊5,682棟、同焼失32
(明治29)			棟。
1914年3月15日	(秋田仙北地震、強首地震	7.1	死者94人、負傷者324人、住家全壊640棟。
(大正3)	とも呼ばれる。)		
1914年3月28日	秋田県平鹿郡	6.1	沼館町に被害。家屋全壊数戸。
(大正3)			
1939年5月1日	(男鹿地震)	6.8	男鹿半島の頸部に被害。死者27人、負傷者52人、住家全壊479
(昭和14)			棟。
1964年5月7日	男鹿半島沖	6.9	住家全壊3棟。八郎潟の干拓堤防に被害。
(昭和39)			
1983年5月26日	(昭和58年(1983年)	7.7	津波と強い揺れによる被害。死者83人、負傷者107人、建物全壊
(昭和58)	日本海中部地震)		757棟、同流失52棟。
1996年8月11日	秋田・宮城県境	5.9	雄勝町で住家の一部破損9棟、農地及び農業用施設3箇所、国道の法
(平成8)			面崩落・路肩陥没29箇所などの被害。
2019年6月18日	山形県沖	6.7	負傷者28人、住家半壊11棟(令和元年12月10日現在、消防庁
(令和元)			調べ)。

表 4.9-11 秋田県とその周辺の主な被害地震

注) 地震本部⁶⁵⁾より抜粋、編集した。

新潟県

新潟県に被害を及ぼす地震は、主に陸域の浅い場所で発生する地震と日本海東縁部で発 生する地震である。中越地方で「2004年新潟県中越地震」(M6.8)とそれに伴う M6.0を 超える規模の余震が本震直後に立て続けに発生し、死者 68 人等の被害が生じたほか、電力 等のライフラインへの被害や新幹線の脱線、道路の崩壊等の交通機関の大きな被害等も生 じた。

「2007 年新潟県中越沖地震(M6.8)では、柏崎市や刈羽村、長岡市で震度 6 弱を観測し、 死者 11 名等の被害や、柏崎刈羽原子力発電所での変圧器の火災等の被害も生じた。

新潟県内の主要な活断層は、北部に櫛形山断層帯とその延長上に月岡断層帯、中部に海域 から続く長岡平野西縁断層帯とその延長上に十日町断層帯、長野盆地西縁断層帯(信濃川断 層帯)、魚沼市から南魚沼市を経て南魚沼郡湯沢町にかけて六日町断層帯、西部に高田平野 断層帯がある。 新潟県内に被害を及ぼす可能性のある海溝型地震には、山形沖、新潟県北部沖、佐渡島北 方沖の領域で発生する地震がある(図 4.9-29)。



注)地震本部⁶⁶⁾より抜粋、編集した。

図 4.9-29 新潟県の活断層と主な被害地震

③ 島根県

島根県の陸域または沿岸域の浅い場所で発生する地震については、大きな被害を伴った 顕著な地震として、1872年の浜田地震(M7.0~7.2)があげられる。 また、880年には出雲で M7.0 程度の地震が発生している。この地震は、最近の研究に よって、宍道(鹿島)断層の活動である可能性が指摘されている。

県西部の石見地方では、1676年に M6.3、1778年に M6.0程度、1859年1月に M6.5、 同年 10月に M6.4の地震が発生し、局地的に被害が生じた。

一方、東部の鳥取県境近くと三瓶山付近から広島県にかけての地域では、M5~6 クラスの地震が発生しており、2018 年の M6.1(島根県西部地震、震源の深さ 12 km)の地震では負傷者 9 人の被害があった(図 4.9-30)。

県外で発生した被害地震としては、1943年の鳥取地震(M7.2)や2000年鳥取県西部地震(M7.3、震源の深さ9km)がある。

海溝型地震については、南海トラフ沿いで発生する大地震の中で四国沖から紀伊半島沖 が震源となった場合には、県内でたびたび被害を受けてきた。このうち、1946年の昭和南 海地震(M8.0、震源の深さ24km)では死者9人や住家全壊71棟の被害があった。また、 安芸灘~伊予灘~豊後水道のプ ート内地震によっても被害を受けたことがあり、2001年 芸予地震(M6.7、震源の深さ46km)では負傷者3人等の被害が生じた。

中国・四国地方以外を震源とする地震では、1964年の新潟地震(M7.5、震源の深さ34km)、 1983年日本海中部地震(M7.7、震源の深さ14km)あるいは1993年北海道南西沖地震

(M7.8、震源の深さ 35 km)のように、日本海東縁部で発生した大地震に伴う津波により、 沿岸域で被害を受けたことがある。

2021年3月26日に政府の地震調査委員会は、今後30年以内に震度6弱以上の激しい揺 れに襲われる確率を示した地図を公表した(図4.9·31)。最も高い確率を示すのは赤紫色 で、これらの地域では今後30年以内に26%以上、100年に1回程度以上の頻度で震度6弱 以上の揺れに見舞われることを示している。



注) 地震本部⁶⁷⁾より

図 4.9-30 島根県とその周辺の主な被害地震



出所:地震本部 地震調査研究推進本部地震調査委員会

注) 地震本部⁶⁷⁾より

図 4.9-31 島根県とその周辺の地震予測

(4) 宮崎県

宮崎県に被害を及ぼす地震は、主に日向灘等の県東方の海域で発生する地震と、陸域や沿岸部の浅い場所で発生する地震と、南海トラフ沿いの巨大地震である⁶⁸⁾(図 4.9-32、表 4.9-12)。宮崎県東方沖の日向灘ではほぼ十数年から数十年に一度の割合で M7 クラスの地震が発生している。南海トラフ地震は、おおむね 100~150 年間隔で繰り返し発生しており、前回の南海トラフ地震である昭和東南海地震(1944 年)と昭和南海地震(1946 年)が発生してから 70 年以上が経過した現在では、次の南海トラフ地震発生の切迫性が高まっている ⁶⁹⁾。

宮崎県全域は、南海トラフの地震で著しい地震災害が生じるおそれがあり(M8~9 クラ ス、地震発生確率 30 年以内 70~80%)、「南海トラフ地震防災対策推進地域」に指定さ れ、延岡市をはじめ日向灘沿岸部の 10 市町はすべて「南海トラフ地震津波避難対策特別強 化地域」に指定されている⁶⁸⁾。



注) 地震本部⁶⁸⁾より抜粋、編集した。



西暦(和暦)	地域(名称)	м	主な被害(括弧は全国での被害)
1662年10月31日 (寛文2)	日向・大隅	7.6	日向灘沿岸に被害。家屋の損壊多く、 死者あり。
1707年10月28日 (宝永4)	(宝永地震)	8.6	(死者20,000人、家屋全壊6 0,000棟、同流失20,000 棟。)延岡で家 屋倒壊9棟、流失16 棟、田に浸水80町など。
1769年8月29日 (明和6)	日向・豊後・肥後	7 3/4	延岡城で破損大。家屋全壊多数。津波 あり。
1854年12月24日 (安政元)	(安政南海地震)	8.4	(安政東海地震の32時間後に発生、 二つの地震の被害や、津波被害と区別 困難。)延岡と宮崎で家屋倒壊30棟 など。
1909年11月10日 (明治42)	宮崎県西部	7.6	宮崎市などで被害。東臼杵郡で家屋全 壊 2 棟。
1931年11月2日 (昭和6)	日向灘	7. 1	宮崎・都城・佐土原・生目などで被害 大。死者1人、負傷者29人、家屋全 壊4棟。
1968年2月21日 (昭和43)	(えびの地震)	6. 1	負傷者32人、住家全壊333棟。
1968年4月1日 (昭和43)	(1968年日向灘地震)	7.5	負傷者7人。
2016年4月14日~ (平成28)	(平成28年(2016年)熊本地震) 【地震本部の評価】	 5 (4月14日) 3 (4月16日) 	負傷者8人、住家半壊2棟(平成31 年4月12日、消防庁調べ)。

表 4.9-12 宮崎県とその周辺の主な被害地震

注) 地震本部⁶⁸⁾より抜粋、編集した。

(6) 県のカーボンニュートラル戦略

① 秋田県

秋田県は、2022年3月に、カーボンニュートラルへの挑戦を盛り込んだ「~大変革の時 代~新秋田元気創造プラン(2022~2025)」および「第2次秋田県地球温暖化対策推進計 画(2022~2030)」を策定し、2050年カーボンニュートラルの実現に向けた取組を推進中 である^{70)、71)}(図 4.9-33、図 4.9-34)。概要は以下に記すとおりであり、CCS について の言及は見当たらない。

1) プロジェクトのねらい

カーボンニュートラルの実現に向けた世界的な潮流を、再生可能エネルギーや森 林資源の宝庫である本県にとっての大きな追い風として捉え、本県のポテンシャ ルを最大限に生かした脱炭素化への取組を推進する。

2) プロジェクトの方向性

脱炭素社会に対応した産業の構築として、電力部門の脱炭素化や非電力部門の電 化等、脱炭素社会の実現に向けて成長が期待される産業における"経済効果の最 大化"を図る。

3) 2030 年度温室効果ガス削減目標

2013年度比 54%削減する。

上記のとおり「第2次秋田県地球温暖化対策推進計画(2022~2030)」においては、基 準年度である 2013 年度の温室効果ガス排出量である 11,287 千 t-CO₂に対して、2030 年度 にはこれより 6,078 千 t-CO₂(54%)を削減し、5,209 千 t-CO₂とすることを目標として掲 げる。その内訳は、

- 1) 現状趨勢で 1,324 千 t-CO₂ (12%)
- 2) 各分野の対策で 1,268 千 t-CO₂ (11%)
- 3) 電力の脱炭素化で 1,586 千 t-CO₂ (14%)
- 4) 森林吸収で 1,900 千 t-CO₂ (17%)

とされている。さらに、2050年までに温室効果ガス排出量実質ゼロを目指すことを表明した⁷¹⁾(図 4.9-34)。

秋田県の CO₂ 排出状況について、2018 年度の CO₂ 排出量は 9,043 千 t-CO₂ で、基準年 である 2013 年度の排出量 10,302 千 t-CO₂ と比較すると 12.2%減少した⁷¹⁾(図 4.9-35)。



注)秋田県⁷⁰⁾より抜粋、編集した。

図 4.9-33 秋田県「~大変革の時代~ 新秋田元気創造プラン(2022~2025)」



注)秋田県⁷¹⁾より抜粋、編集した。





新潟県

1997 年、「新潟県生活環境の保全等に関する条例」に基づき「新潟県地球温暖化対策地 域推進計画」を策定し、CO2の排出削減対策を推進してきた。

2009年に地球温暖化対策推進法に基づき策定した「新潟県地球温暖化対策地域推進計画」 では、2008年度から2012年度の5年間の平均の温室効果ガス排出量を、基準年(1990年) 比で6%削減することを目標に、温室効果ガスの排出削減を推進した。

特に、温室効果ガス排出量の伸びが著しい、家庭やオフィス、自家用車等、地域と密接に 関わる部門の排出削減に向け、重点的に取り組む施策を「リーディングプロジェクト」と位 置付け推進した結果、森林吸収量等を加味して基準年比 7.6%の温室効果ガス削減となり、 目標を達成した。

2013 年度から 2016 年度には、4 年間の平均の温室効果ガス排出量を、基準年(1990 年) 比で 6%削減する目標を設定し、リーディングプロジェクトを重点的に推進し、これを牽引 力に県民・事業者の取組を拡大させて民生業務・民生家庭部門の削減を進めた。

結果としては、東日本大震災の影響に伴う火力発電量の増加等もあり、森林吸収量等を加 味しても基準年比 2.1%の温室効果ガス削減にとどまった。

2017年に策定した本計画では、国の「地球温暖化対策計画」を踏まえ、2030年度における温室効果ガス排出量を2013年度比で26.0%削減とする目標を設定し、県が重点的に取り組むリーディングプロジェクトを牽引力として県民・事業者の実践行動を拡大させて県全体に取組を波及させることを図り、温室効果ガス排出量の削減を進めてきた。

一方で、前節に記載したように、地球全体の平均気温は上昇が続いており、将来、県内で も猛暑や豪雨等、極端な気象現象が増加するおそれがある。そこで、2020年9月、県内の 気候変動の影響は非常事態であることを宣言し、2050年までに温室効果ガス排出量の実質 ゼロを目指すことを表明するとともに、2021年3月に本計画を改定してこのことを明記し た⁷²⁾(図 4.9-36~図 4.9-38)。

さらに、2050年までの温室効果ガス排出量実質ゼロの実現に向け、2021年度に本県の特 性や課題を踏まえた「新潟県 2050年カーボンゼロの実現に向けた戦略」⁷²⁾を検討・策定 し、2030年度における温室効果ガス排出量の新たな削減目標として「2013年度比 46%削 減を目指し、さらなる高みを視野に入れる」ことを掲げ、再エネ・脱炭素燃料等の『創出』 や『活用』、省エネ・省資源等による CO₂排出の『削減』、CO₂の『吸収・貯留』を四つの 柱とする取組を、あらゆる主体が連携して進めることを打ち出した。

なお、県自らの事務事業に伴う温室効果ガス排出量の削減対策については、温対法第21 条第1項に基づく「地方公共団体実行計画(事務事業編)」として「環境にやさしい新潟県

4 - 347

の率先行動計画」を位置づけ、県のすべての機関で、省エネ・省資源、廃棄物の発生抑制・ リサイクル等に取り組んでいる。

また、新潟港を拠点とする「新潟エリアにおける CCUS ハブ&クラスター拠点開発構想」 (図 4.9-39) や直江津港を拠点とする「上越エリアにおける CCUS ハブ&クラスター拠点 開発構想」(図 4.9-40)を基に拠点の将来イメージの推進を行う計画である⁷³⁾。



図 4.9-36 脱炭素社会実現に向け、あらゆる主体が「四つの柱(4C)」に取り組む⁷²⁾

重点対策のロードマップ(概要)



図 4.9-37 重点施策の 2050 年に向けたロードマップ(概要) 72)

				2010	進持見込:削減量は	必要な削減		
				2019	2030 特筆なければ2019年度比	皇等の目安	20	50
※一部囲・亭萊有等の計画・ロードマ	エネルギー供給	 国の技術開発:実証事業誘致や業種間 連携の促進(新潟CN協議会)主要 港湾における次世代エネルギー受入環境 の整備 再Iネ・脱炭素燃料導入促進(洋上風 力・水力・バイオマス・太陽光発電等導入促進、市町村と連携した脱炭素先行 地域づくり、再工なの地産地消 の枠組構築、CO割減効果の評価・ 有効活用検討等) 		内 東延 技術目発 計画 H,194, 南総正,194/27 788 南 南 上 C-1-中成(n)(周武語))毎 基盤 公園、アセス- 私社 「住宅用PV 大協振(日本))毎 「住宅用PV 大協振(日本))毎 「日宅用PV 大協振(日本))毎 「日宅用PV 大協振(日本))毎 「日舎の」202 大田(日本))4 「日舎の」202 大阪市(日本))4 「日舎の)203 大阪市(日本)4 「日舎の)203 大阪市(日本)4 「日舎の)203 大阪市(日本)4 「日舎の)203 大阪市(日本)4 「日舎の)203 大阪市(日本)4 「日本)3 日本)3	H・NH由未の発電 (活用)が発電量の1% メ 400~700MW導入 1.5~26MW導入 九二次の説演帯に連邦 力由未の説演帯に連邦 ▲ ▲332万江電力のCM化 ▲ 19万1 燃料のCN化 ▲	^自 加再エネ 導入 約1,700 MW	アフリン 本株専用 他港小の原則 - 人名思フジンズ単軸送荷 運転開始・環次他地点で適用開始 軍上記力導入等 洋上記力導入等 ドジノ明レ (協力への反及) 導入広大	
기기 폭탄 引用	産業	 ・大規模排出事業所のCO 削減促進 ・上記以外の事業所の省I不等促進再I ・ ・ ・	大規模排出事業所 上記以外の事業所 自家消費型再工ネ CN農業	田田芝 小規模要証 小規模要証 和田田 一 和田 一 和 田 和 田 和 田 和 田 和田 一 和田 一 和 和 田	▲107万t ※大規模排出事業所の排出量▲40% (2013年度比) ▲11万t ※各単展所が年1%の家工考考 【▲130万t 電力のCN化 【▲19万t 燃 科 のCN化	▲267 万t エネ転・ 非エネ部 門を含む	中間径 商業運用回給 股正業工作が4-1素材帯の 利用推進 導入拡大 取出の拡大	
	業務	 公共施設の省エネ化(ZEB等)推進 民間業務施設の省エネ化(ZEB等)促進再エ ネ・脱炭素電力等の利用促進 事業活動での省エネ・省資源の促進 	民間業務施設等 県施設・設備	普及察急、導入支援、脱炭素先行地域プ ラッドフォーム、モデル非来 計画的導入	▲31万t ※公共施設の約2巻、民間 施設の約1巻(CPV設置 ▲14万t ※年1%の省エネ等 ▲ 98万t 電力のCN化	▲143 万t	次做代PV搭載ZEB类延等 導入拡大	1、22、22、22、22、22、22、22、22、22、22、22、22、22
	家庭	 住宅の省エネ化(雪国型ZEH等)促進再 エネ・脱炭素電力等の利用促進 省エ ネ・省資源等に関する普及啓発、カーボンニュートラル教育の推進 	ZEH 住宅用太陽光 カーボンゼロチャレンジ	読及等為、率入支法、紀 読具先行地域 営及歴会、導入支法、紀 営及歴会、導入支法、紀 営及活会、導入支法、紀 営及活会、導入支法、紀 営及活会、導入支法、紀 営及活会、導入支法、紀 営及活会、 営及活会、 営及活会、 学校学校・ 営及活会 学校 学校会 </td <td> ▲12万t ※毎年新祭1.1万戸の2割が25H化 ▲6万t ※徹底した気工や説炭素型ライフス タイルの推進 ▲104万t 電力のCN化 </td> <td>▲122 万t</td> <td>次間代PV/損数ZEH実証等 次間代PV実証等 PV基入侵違の制度整備 脱正素型ライフスタイル修道意 現反素型ライフスタイル修道意 現反素し行動変音の拡大</td> <td>1 単 600 万t</td>	 ▲12万t ※毎年新祭1.1万戸の2割が25H化 ▲6万t ※徹底した気工や説炭素型ライフス タイルの推進 ▲104万t 電力のCN化 	▲122 万t	次間代PV/損数ZEH実証等 次間代PV実証等 PV基入侵違の制度整備 脱正素型ライフスタイル修道意 現反素型ライフスタイル修道意 現反素し行動変音の拡大	1 単 600 万t
※ 目標の速成は温の	運輸	 次世代自動車(EV、FCV等)の普及 促進等 港湾オペレーションの脱炭素化 	 乗用自動車 貨物・乗合自動車 港湾オペレーション 		▲58万t ※次世代目標単の営及 (全目数単の50%) ※EV-PHV16%、FCV1%等 ▲70万t 然 費 改 蕃 (HVを含む)	▲128 万t	 普及拡大 普及拡大 普及拡大 大型船・大型タンクの建造パンカリング(実装等) 	
、今後の技術開売等が必要・施策だけでは困難であり、	吸収源対策	 循環型林薬の推進、広葉樹林の整備森 林におるCQ.吸収等により生み出されるカ ボンクレジットの有効活用促進CCUS及 びBECCS等の技術開発/基盤整備/事業化に向けた支援 	循環型林業 広業樹林 カーボン・オフセット 藻場回復・ ブルーカーボン CCUS	夏及夏者で	晶林級収置の確保 金額プロジェクトの年 1 件地加 CCS実装による展開	▲150 万t 吸収・ 貯留量 として	(周辺芝村来の街道、広王校林の造備 ケーボプライソンプとし ての満井 トーンデーベクガス トーンデーベクガス (水型像) も企業	貯吸 留収 量・ ▲600 万t

図 4.9-38 重点施策のロードマップ(詳細) ^{7 2)}



上越エリアにおけるCCUSハブ&クラスター拠点開発構想 上越エリアにおけるCCUSハブ&クラスター拠点の将来像イメージ





図 4.9-40 上越エリアにおける CCUS ハブ&クラスター拠点開発構想73)

③ 島根県

島根県では、2020 年 11 月 18 日の島根県議会において、「2050 年温室効果ガス排出実

環境省·経済産業省連携事業 令和4年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務 報告書

質ゼロ」を長期的な目標に掲げ、今後追加される国の施策を活用しながら取組を進めること を、知事が表明した。

2021年3月に「島根県環境総合計画」を策定。

対象とする環境は、

1) 大気、水、騒音・振動、廃棄物等の「生活環境」

2) 生物、森林、水辺地等の「自然環境」

3) 地球的規模での気候変動や大気の組成等の「地球環境」

4) 自然とのふれあいや景観の形成等の「快適な環境」

取組みの概要は、下図のとおりであり、CCS についての言及は見当たらない(図 4.9-41、 4.9-42)。

カーボンニュートラル(脱炭 取組について	素社会)の実現に向けた島根県				
1. カーボンニュートラル社会に向けた取組	2. 再生可能エネルギーの推進に向けた取組				
(1) 2050年二酸化炭素排出実質ゼロ表明 (命和2年11月)	(1) 再生可能エネルギーの推進に関する条例 (平成27年制定)				
 ○島根県環境総合計画策定(令和3年3月策定) ・脱炭素・循環型社会の総合的な推進 	○島根県再生可能エネルギー及び省エネルギーの推進に 関する基本計画策定 (令和3年3月改定)				
	(2) 大規模風力発電所の県内の立地状況				
人と自然との 共生の確保 ① 生物多様性の保全 ② 自然とのふれあいの推進 ③ ホ・豆・川・海の保全と活用 ② 北京環境等の保全と対策 ③ 水・豆・川・海の保全と活用	 ○島根県内の風力発電施設の状況 (出力20kW以上のもの) 稼働施設 10ヵ所 風力発電事業 (2,000kW以上)の状況 (中国地方最多) 				
	計画施設 5ヵ所 総出力 24万キロワット (環境アセス手続き中のもの) ^{RM} ● Rm中 ☆立地は県西部に偏りあり				
	■ 手続き中				
其大理会 豊かな環境の保全と活用により、	(3) 風力発電所における課題				
笑顔で暮らせる島根を目指す	○大規模事業の計画は県西部(西中国山地)に集中○地域住民からの不安の声も大きくなっている				
	○地域住氏等の埋解を得ないまま事業が進むことを懸念				

注) 島根県⁷⁴⁾より

図 4.9-41 カーボンニュートラル(脱炭素社会)の実現に向けた取組について-1



図 4.9-42 カーボンニュートラル(脱炭素社会)の実現に向けた取組について-2

客崎県

宮崎県は、環境行政の基本方針として 2011 年に計画期間を 10 年とする「宮崎県環境計 画」を策定し、環境問題に対処するための施策を計画的に推進してきた。2016 年に改定を 行ったが、2020 年度に終期を迎えることから、環境を取り巻く情勢の変化を反映した新た な計画として、「第四次宮崎県環境基本計画」(2021 年度から 2030 年度までの 10 年)を 策定した⁷⁵⁾(図 4.9-43)。概要は以下に記すとおりであり、CCS についての言及は見当 たらない。

1) 温室効果ガス削減目標

2013年度比26%削減。

2) 課題

・省エネルギーの推進や再生可能エネルギーの導入拡大を通じた脱炭素型社会
 への転換

- ・地域の持続可能性を意識した環境、経済、社会の調和と向上
- 3) 分野別の施策の展開

脱炭素社会の構築、循環型社会の形成、地球環境、大気・水環境等の保全、生物

多様性の保全、環境保全のために行動する人づくり、環境と調和した地域・社会 づくり

- 4) 重点プロジェクト
 - ・「2050年ゼロカーボン社会づくり」プロジェクト 省エネルギー・省資源の推進、再生可能エネルギーの導入拡大、森林吸収量 の維持、環境保全を支える人材づくり 2050年の温室効果ガス排出量実質ゼロ
 - 「みやざき地域循環共生圏づくり」プロジェクト
 安全で快適な生活環境づくり、地域に根ざした環境にやさしい産業づくり、
 地域間の交流が活発な社会づくり

「第四次宮崎県環境基本計画」の重要プロジェクトとして「2050 年ゼロカーボン社会づ くり」プロジェクトを掲げ、2050 年までに温室効果ガス排出量実質ゼロを目指すことを表 明した⁷⁶⁾(図 4.9-44)。これは、省エネルギーの取組みと再生可能エネルギーの導入によ り排出量をできるだけ削減し、森林等の CO₂ 吸収量により相殺する(排出量と吸収量とを 均衡させる)ことで「実質ゼロ」を達成するプロジェクトである⁷⁶⁾。

宮崎県の CO₂ 排出状況について、2018 年度の CO₂ 排出量は 8,268 千 t-CO₂ で、基準年 である 2013 年度の排出量 11,134 千 t-CO₂ と比較すると 25.7%減少した⁷⁷⁾。2019 年の CO₂ 排出量は、7,910 千 t-CO₂ である(図 4.9-6)。



注) 宮崎県75) より抜粋、編集した。

図 4.9-43 第四次宮崎県環境基本計画の概要

	宮崎県は「2050年ゼロカーボン社会づくり」に達成に向けて取 り組んでいます	
	図画課は、今祖3年3月に国ました部国政国政課題基本評画の重点プログェクトに「2066年ゼロカーボン社会プヘリ」を掲げ、2066年またに国家数果ガス導由重要置が口を目指すことを表明しました。	県民の皆さまに御協力いただきたいこと(家庭・事業所でできること)
	ゼロカーボンとは?	🛞 地球に優しいライフスタイルへの転換
	林康たえ、「ガロセーがソ」=「遠洋必味が又祥荘重訳賞ガロ」ハつ、「セーボソロヨートルル」反び「紫荻桃」も回来つつたてます。	 レムパンダキレム組みり、織り崩し軟パゆ製品の使用 ヨロドレムンの実満
	他日本の影響が由日本の時人により講道曲をわせゆがに包括し、標準時のCODの設備により高級をゆ(講員備との感覚機を含む場合する)にすれ、「影響力は」を読成します。	% 家電製品などの買い換え時は・・・
<i></i>	取組内容〜県が掲げる4つの柱〜	 着日米住船の高下家職販店の選択 ガンリン単かも次世六自動車行ンレド
		% 住宅・事業所を新築・改築する際は・・・
	The state of the s	- 咸居地氏・南松田小トロネッル、道慶県や田原 - 大福光光晴々でき国日ネの部人つれ、彼い論試を由家光備 - 兼領治が職款回動車の形奴領設備を導入つれ、作る方職員和他並派用
	豢 1.省エネルギー・省資源の推進	
	 ●採油に加すゆ、道術珍妮比は単甘香島早間網を図る中小カハナー除行オの採茸園部属の協業 ●成品におするし、レアリカ派用して非単単の名形派の形成に働め資産 4Rの普通なり行えよい解除型の影判外部等もつ、彼当体行オの採茸曲を記載 	
	🛷 2.再生可能エネルギーの導入拡大	
	 戦闘水由変観道に関係っちは用し割日ポッド」の導いが消 戦略第の反対していい、対面目の物が確実にもしみがめな力のメンシャカ居当つ、映岡、事実形、眼球な力たの 部へ現代 状論つち触じの名前者派行れめ、日ポッドーロ活体100%くの設備 	
	🦑 3.森林吸収軍の維持	
	 部間名称、道口な婆娑整備を指当つ、口酸石炭素成長、国計量的も低つ姿容の道成 「我もれ、彼もれ、中へ並べも、前辺痛道型系球を指力し、素琴感点便を指導 本球の首都長限もにらば、成板も早く中年数を用うートシジーの着数を消消すもいろにべゆ、紫茶も沿し一級 分別米国际額部の添合。 	
	🕐 4 環境保全を支える人材づくり	
	 ドーイムージー(中本)が400歳回)、職能審集もソター、職能保仕レアニンカー(以)名職団銀行花井派地帯消遣 も活用して職能被約約を定ち認識にする)、詳丑団属に他もの成当 体本職能被拒拠は者領も採用して考定行配100時期を800円 	

図 4.9-44 宮崎県「2050 年ゼロカーボン」プロジェクト

【参考文献】

 秋田県企画振興部調査統計課(2021)、"令和2年国勢調査人口等基本集計秋田県の 要約"、https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/61425

- 2) 政府統計の総合案内 e-Stat、国勢調査、都道府県・市区町村別の主な結果、 https://www.e-stat.go.jp/stat-search/filedownload?statInfId=000032143614&fileKind=0
- 3) 農林水産省ホームページ、都道府県の農林水産業の概要(令和4年版)、秋田県、 https://www.maff.go.jp/j/kanbo/tiho/attach/pdf/todouhuken_gaiyou2022-05.pdf
- 4) 秋田県企画振興部調査統計課、2020 年秋田県の工業(2020 年工業統計調査結果)、 https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/60823
- 5) 経済産業省ホームページ、第26回総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会電力・ガス基本政策小委員会、石炭火力発電所一覧、
 https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/pdf/026_s01
 _00.pdf
- 6) 日本製紙連合会ホームページ、製紙工場所在地一覧、 https://www.jpa.gr.jp/about/member/factory/index.html
- 7) 新潟県総務管理部統計課(2021)、"令和2年国勢調査人口等基本集計結果の概要" https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/296106.pdf
- 8) 新潟県人口減少問題への対応

https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/life/124926_1103648_misc.pdf

- 9) 農林水産省ホームページ、都道府県の農林水産業の概要(令和4年版)、新潟県 https://www.maff.go.jp/j/kanbo/tiho/attach/pdf/todouhuken_gaiyou2022-15.pdf
- 10) 新潟県水産概況_生産額(R3)https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/283818.pdf
- 11) 新潟県総務部統計課(2021)、"2020 年工業統計調査結果(2021 年 6 月 1 日現在)" https://www.pref.niigata.lg.jp/site/tokei/2020kougyou.html
- 12) 事業構想 2021 年 6 月号
 https://www.projectdesign.jp/202106/area-shimane/009450.php
- 13) 島根県の現状と課題

https://www.pref.shimane.lg.jp/admin/region/chiiki/tokutei_chiiki/kaso.data/dai2s you.pdf

- 14) 情報通信機械、鉄鋼業等が盛んな島根県: https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/wagakuni/2011/pdf/ken32.pdf
- 15) 日本国島根県の工業製品のご紹介 https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/enterprise/shien/kaigai/products/

16) 島根県の姿:

https://www.pref.shimane.lg.jp/admin/seisaku/keikaku/hatten/index.data/shimane ken_no_sugata.pdf

17)島根県の農業:現状と課題

https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/norin/info/kihonkeikaku/nogyonoshinko.d ata/nogyo-genkyo_kadai.pdf?site=sp

- 18) 林業の振興<農林水産基本計画(令和2年度~令和6年度)> https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/norin/info/kihonkeikaku/ringyonoshinko. html
- 19) 島根県の水産業:現状と課題 https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/norin/info/kihonkeikaku/suisangyonoshin ko.data/suisan-genkyo_kadai.pdf
- 20) 宮崎県総合政策部統計調査課(2021)、"令和2年国勢調査人口等基本集計結果の概要"
 https://www.pref.miyazaki.lg.jp/documents/65330/65330_20211202145947-1.pdf
- 21) 宮崎県総合政策部統計調査課(2021)、"令和2年国勢調査就業状態等基本集計結果の概要"

https://www.pref.miyazaki.lg.jp/documents/69689/69689_20220607194812-1.pdf

- 22) 農林水産省ホームページ、都道府県の農林水産業の概要(令和4年版)、宮崎県、 https://www.maff.go.jp/j/kanbo/tiho/attach/pdf/todouhuken_gaiyou2022-45.pdf
- 23) 宮崎県ホームページ、宮崎県の工業(2020年工業統計調査結果)、
 https://www.pref.miyazaki.lg.jp/documents/67553/67553_20220323141605-1.pdf
- 24) 九州電力ホームページ、火力発電所紹介、https://www.kyuden.co.jp/effort_thirmal_k_hatsuden_index.html
- 25) 旭化成(株)ホームページ、プ スリ ース、 https://www.asahi-kasei.co.jp/asahi/jp/news/2018/ch180912.html
- 26) (一財)セメント協会ホームページ、セメント産業の概要、
 https://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/jc.html
- 27) 日本製鉄(株)ホームページ、大分地区案内、https://www.nipponsteel.com/works/kyushu/oita/about/index.html
- 28) 石油連盟ホームページ、製油所の所在地と原油処理能力(2022年3月末現在)、
 https://www.paj.gr.jp/sites/default/files/2022-08/paj 8%E7%B2%BE%E8%A3%BD%E8%83%BD%E5%8A%9B%E4%B8%80%E8%A6%

A7202204.pdf

- 29) 農林水産省ホームページ、"都道府県の農林水産業の概要(令和4年版) 秋田県" https://www.maff.go.jp/j/kanbo/tiho/attach/pdf/todouhuken_gaiyou2022-05.pdf
- 30)秋田県農林水産部農林政策課、"秋田県農林水産業累年統計表" https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/64274
- 31) 秋田県農林水産部水産漁港課、"秋田の地魚一覧"より抜粋 https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/48299
- 32) 秋田県漁業協同組合ホームページ、"秋田の漁業"、 https://akita-gyokyo.or.jp/fishery
- 33) 秋田県農林水産部水産漁港課、"秋田県の漁港について" https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/4000
- 34) 秋田県漁業協同組合ホームページ https://akita-gyokyo.or.jp/intro

35)秋田県農林水産部農林政策課、"秋田県農林水産業の現状と課題"
https://www.pref.akita.lg.jp/uploads/workspace/archive_0000059480_00/user_2914
/%E3%80%90%E5%8F%82%E8%80%83%E9%85%8D%E4%BB%98%E3%80%91%
E7%A7%8B%E7%94%B0%E7%9C%8C%E8%BE%B2%E6%9E%97%E6%B0%B4%

E7%94%A3%E6%A5%AD%E3%81%AE%E7%8F%BE%E7%8A%B6%E3%81%A8 %E8%AA%B2%E9%A1%8C_.pdf

- 36) 海上保安庁海洋状況表示システムホームページ "海しる"、 https://www.msil.go.jp/msil/htm/main.html?Lang=0
- 37) 農林水産省ホームページ、"都道府県の農林水産業の概要(令和4年版) 新潟県" https://www.maff.go.jp/j/kanbo/tiho/attach/pdf/todouhuken_gaiyou2022-15.pdf
- 38) 新潟県ホームページ、"新潟県の港湾" https://www.pref.niigata.lg.jp/site/kowanseibi/
- 39) 新潟県ホームページ、"新潟県水産振興戦略"

 $https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/life/484524_1230533_misc.pdf$

- 40) 水産業の振興<農林水産基本計画(令和2年度~令和6年度)>
 https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/norin/info/kihonkeikaku/suisangyonoshin ko.html
- 41) トビウオ通信(R4 第2号)

https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/suisan/shinkou/umi_sakana/tobiuo/index.

data/2022no2_.pdf

42) しまねの自然公園

https://www.pref.shimane.lg.jp/infra/nature/shizen/shimane/shimane_kouen/koku ritu_kokutei/

43) 宮崎県ホームページ、"令和2年度宮崎県水産白書"

https://www.pref.miyazaki.lg.jp/documents/63968/63968_20210915102415-1.pdf

- 44) 九州農政局ホームページ、"九州漁業の概要 九州農政局統計部 令和3年8月" https://www.maff.go.jp/kyusyu/toukei/hensyu/attach/pdf/kyusyu_gyogyou-65.pdf
- 45) 宮崎県漁業協同組合ホームページ、宮崎県漁業協同組合の紹介、 http://www.mzgyoren.jf-net.ne.jp/fishery/gyokyo/index.html
- 46) 天然ガス鉱業会、大陸棚石油開発協会、"改訂版日本の石油・天然ガス資源"(1992)
- 47) 西沢量平、"土崎沖油田について"(1971)https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=201602020439230973
- 48) 日本 CCS 調查(株)、"「平成28年度二酸化炭素貯留適地調查事業委託業務」成果報告
 書"(2017)
- 49) 日本 CCS 調查(株)、"「平成29年度二酸化炭素貯留適地調查事業委託業務」成果報告
 書"(2018)
- 50) 日本 CCS 調查(株)、"「平成30年度二酸化炭素貯留適地調查事業委託業務」成果報告書"(2020)
- 51) 秋田県ホームページ、"洋上風力発電について(再エネ海域利用法)"(2022 年 9 月更新)

https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/52046

- 52) 新潟県ホームページ 天然ガスと石油開発の現状 https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/270246.pdf
- 53) 新潟県ホームページ 新潟県の課題 R3 年 6 月 / page 60 https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/life/406528_939100_misc.pdf
- 54)加藤進、早稲田周、岩野裕継、"宮崎県の水溶性天然ガス田における地球化学"、石油 技術協会誌、Vol.76(No.3)、p. 244-253(2011)
- 55) 国土交通省東北地方整備局港湾空港部ホームページ、"秋田県の港湾と空港"、
 https://www.pa.thr.mlit.go.jp/s002/020/040/20200101113000.html
- 56) 国土交通省東北地方整備局酒田港事務所ホームページ、"酒田港の紹介"、 https://www.pa.thr.mlit.go.jp/sakata/020/index.html

57) 秋田県港湾統計年報、

https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/1483

58) 新潟県の港湾

https://www.pref.niigata.lg.jp/site/kowanseibi/

- 59) 新潟県内港の外貨コンテナ取扱量 https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/life/465134_1157639_misc.pdf
- 60) 海岸の概況と海岸保全基本計画について、 https://www.pref.shimane.lg.jp/kasen/gaiyou/
- 61) しまねのみなと、

https://www.pref.shimane.lg.jp/infra/port/harbor/development/

- 62) 境港 港湾計画改定、https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001411338.pdf
- 63) 宮崎県ホームページ、港に関するパンフレット、"みやざきの港 2022"、
 https://www.pref.miyazaki.lg.jp/documents/4526/4526_20220623161715-1.pdf
- 64) 宮崎県ホームページ、宮崎県ポートセールス協議会、細島港、宮崎港、油津港、 https://www.pref.miyazaki.lg.jp/kowan/kurashi/shakaikiban/mport/pamphlet/index.html
- 65) 地震本部ホームページ、秋田県の地震活動の特徴、https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_tohoku/p05_akita/
- 66) 地震本部ホームページ、新潟県の地震活動の特徴、https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_chubu/p15_niigata/
- 67) 地震本部ホームページ、島根県の地震活動の特徴、 https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_chugoku-shikoku/p32_shimane/
- 68) 地震本部ホームページ、宮崎県の地震活動の特徴、
 https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_kyushu-okinawa/p45_miyazaki/
- 69) 地震本部ホームページ、"南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)について(平成25年5月24日)"、

https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/nankai_2.pdf

- 70) 秋田県ホームページ、「~大変革の時代~新秋田元気創造プラン」 https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/63261
- 71) 秋田県ホームページ、「第2次秋田県地球温暖化対策推進計画」、https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/5571

72) 新潟県 2050 年ゼロカーボンの実現に向けた戦略

https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/315181.pdf

- 73) 新潟カーボンニュートラル拠点化・水素利活用推進協議会 新潟 CCUS ハブ&クラスター拠点開発構想
 https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/life/479084_1214650_misc.pdf
- 74) 中国 5 県資料「カーボンニュートラル(脱炭素社会)の実現に向けた取組について」 https://www.pref.shimane.lg.jp/admin/seisaku/tijikai/cyuugoku/R3hattensuishink aigi02.data/01_kabon_.pdf
- 75) 宮崎県ホームページ、第四次宮崎県環境基本計画の策定について、"第四次宮崎県環境 基本計画"

https://www.pref.miyazaki.lg.jp/documents/59353/59353_20210325144111-1.pdf

- 76) 宮崎県ホームページ、宮崎県「2050 年ゼロカーボン社会づくり」プロジェクト、
 https://www.pref.miyazaki.lg.jp/kankyoshinrin/zerocarbon/20211004190949.html
- 77) 宮崎県ホームページ、"平成 30 (2018) 年度宮崎県の温室効果ガス排出状況について (環境森林課)"、

https://www.pref.miyazaki.lg.jp/documents/38692/38692_20211119101422-1.pdf

4.9.5 貯留適地調査事業における探査の地元調整時の自治体および漁業関係者コメント

JCCS がこれまで実施した貯留適地調査事業に関わる探査の地元調整に際して、自治体担当者および漁業関係者から得たコメントをそれぞれ以下の(1)および(2)に記す。併せて、 JCCS がこれまでに実施した弾性波探査の一覧を表 4.9-13(1)~(2)に示す。

(1) 自治体からの主なコメント

- ① 探査について
 - ・ 地元の漁業関係者の理解を得る必要があり、漁業関係者が了承すれば、反対しない。
 - ・ 漁業関係者と丁寧に調整協議を行い、齟齬のないようにしてほしい。
 - 特に異論なく、探査の実施については承認する。
 - 漁業関係者に支障がないように探査を実施すれば了承する。
 - ・ 漁業関係者の理解を得たうえで探査実施ならば了承する。
 - 今後、探査を行う場合、県がまとめ役となり、説明会を実施する時には、関係する自治体への連絡を行いたい。
 - ・ 関係する市が探査の実施を了承したので、県としても了承する。

- ・ 漁業関係者が探査の実施を了承したので、市としても了承する。
- 市長宛ての「探査実施の通知文書」を提出することで探査の実施を了承する。
- 関係する市が探査の実施を了承しなかったので、県としても了承できない。
- ・ 特にコメントはなく、探査の実施については承認した。

CCS 事業について

- ・ 県としては CCS 事業誘致に対して非常に前向きである。
- ・ CO2 削減に取り組んでいる街として貯留適地調査事業に協力する。
- ・県庁職員、住民に、ある CCS 実証試験による CCS ア ルギーはあるが、CCS、
 CCUS 事業を産業振興に繋げたい。
- ・ CCS 事業については、異論なく了承する。
- ・ CCS 事業に関しても他県の海域であれば、特段反対はしない。
- ・ CCS 事業誘致のための CCS 誘致協議会を設立し、CCS 誘致に向けた看板を製作し、市内 3 箇所に設置した自治体があった。
- ・ CCS 誘致に向けた地元要望を国へ伝えるため、自治体のトップが経済産業省、環 境省への要望活動を実施した自治体があった。
- ・ CCS のことは知っているが、県庁内全般としての認知度はほぼゼロである。
- 月刊誌に記載されたある CCS 実証試験と地震の関係の記事、以前大反対があったことで県庁職員、住民に CCS 事業に対しアレルギーがある。また、カーボンリサイクルで使いきれなかった CO2 を地下に貯留することは国への貢献になると思うが、他県の CO2 を受け入れることはハードルが高い。
- ・民間企業が行っているメタネーションについては、石油・天然ガス産業の維持の 面からも興味、関心がある。個人的には、カーボンニュートラル化に向けて CCS、 CCUS 事業は意義あるものと考えるが、政治的な考えもあり、県庁関係者にも十 分な説明が必要と思われる。
- CCSを事業化する場合は海底下に工事を施すことになるが、県にとっては刺激的であり、不安に感じる。
- ・ CCS 事業に関しては、地元関係者とは未調整のため、賛否に関しては不明である。
- (2) 漁業関係者からの主なコメント
- ① 探査について
 - ・ 特に異論なく、探査実施について了承する。
 - ・ ある期間、漁業操業時間以外、漁具位置を避けること、事故がないように細かく

取り決めること、漁船が操業をしている場合は探査船が避けること、探査範囲で 漁場が形成された場合は漁場を避けて探査すること等を条件に探査実施につい て了承する。

- 地球温暖化が進んで、魚が少なくなり、海底の環境も変わってきている。温暖化 対策の一つとして CCS を進めなければならないことを行政に訴え、行政と漁協 が一緒になって取り組むようにしていかなければいけないと思う。
- 探査海域は魚道となっており、数多くの漁種を対象に周年で活発な漁業活動を 行っており、漁への影響を回避するため、影響をおよぼす時期については、探査 を避ける必要がある。また、盛漁期には、漁業活動に支障を及ぼさないで探査を 実施することは困難である。
- 過去の探査後、魚が獲れなくなった経験があり、周辺の漁場の魚への影響を懸念 し探査自体に反対の立場である。一年を通して操業し、また固定漁具も多いため、 探査時期や測線計画については、更なる調整が必要である。また、探査による漁 獲高への影響に強い懸念がある。
- CO₂が漏洩した場合、漁業にどのような影響があるか分からない、探査を了承すると後になって事業化を断ることが難しい。よって、探査実施を認めない。
- ・日本国内で CCS の技術は、苫小牧で実証中であり、2020 年に結果が出るまでは 安全性を信用できない、2020 年に結果が出てから再度調整すること。
- ある組織からは探査実施の賛否の回答がないため、2016 年 9 月以降十数回にわたり、文書による面談お願いをしているがいまだに回答がない。

CCS 事業について

- ・ 今後も CCS 事業に対して協力する。
- ・ CCS 事業については反対ではない。
- ・ CCS 事業について二酸化炭素を廃棄するイメージを拭えないため、漁業関係者に とっては良い事業と思っていない。
- ・ 漁業関係者は CCS 事業となると将来的な観点から反対すると思う。
- 探査実施については了承するが、探査予定範囲は好漁場であり、ここに試掘井を 掘削することは迷惑である。また、CCSの施設が建設される場合には、漁業の障 害となることが危惧される。
- 探査実施については了承するが、当該区域が貯留適地と判断され事業化が検討される段階となれば、漁連だけでは対応しきれない。今回、探査だけということで

あれば、各漁協に説明することができる。

- ・ 時期によっては、24 時間作業による探査実施を了承するが、試錐や CCS 事業化 について了承したものではない。
- ・ CCS 事業に関しては、地元関係者とは未調整のため、賛否に関しては不明である。

表 4.9-13(1) JCCS が実施した弾性波探査一覧

2D 探査

-0 17 L					
海域名	地点名	事業年度	測線数	測線長 km	備考
渡島半島-津軽沖	西津軽沖	平成 27 年度(2015 年度)	5	250	海域調査 発振測線長
		平成 29 年度(2017 年度)	2	40	陸域調査 登振測線長
秋田一庄内沖	能代沖	平成 29 年度(2017 年度)	3	41	海陸横断調査
	酒田沖	令和3年度(2021年度)	29	1451	海域調査
	金沢沖	平成 26 年度(2014 年度)	29	1197	海域調査
	京都一 福井沖	令和2年度(2020年度)	19	1460	海域調査
北陸一隠岐沖		平成 26 年度(2014 年度)	23	1045	海域調査
	鳥取沖	平成 31 年度(2019 年度)	12	895	海域調査
宮崎沖	宮崎沖	平成 28 年度(2016 年度)	1	28	海域調査(3D 探査時に取得) 発振測線長
	— 301	平成 30 年度(2018 年度)	3	68	海陸横断調査 発振測線長
天草一五島沖	枕崎沖	平成 27 年度(2015 年度)	28	995	海域調査 発振測線長
地点数	8		測線長	7,470	km

3D 探査

海域名	地点名	事業年度	探査面積 km ²	備考
	能代沖	平成 28 年度(2016 年度)	111	海陸横断調査 発振範囲(フル重合範
				囲:約22.8 km²)
秋田一庄内沖	動田油	亚成 20 年度(2017 年度)	159	海域調査
	75日/千	十成 29 年度(2017 年度)	150	フル重合範囲
	大井油 会和4年度 (2022年度)		200	海域調査
	やたけ	卫和华牛皮(2022 牛皮)	200	フル重合範囲
北陆网站	会识达	亚式 20 左连(2017 左连)	206	海域調査
北座一隐叹冲	並バ冲	金沢沖 平成 29 年度(2017 年度)		フル重合範囲
宣峙油	宣峙沛	亚成 29 年度 (2016 年度)	404	海域調査
舌啊冲	宮崎冲 半成 28 年度(2016 年度)		404	フル重合範囲
地点数	5	探査面積	1,169	km ²

4.9.6 聞き取り調査概要

貯留適地候補地点における社会的受容性調査(聞き取り調査)として、貯留適地候補地点 として有望な1県において、貯留適地調査事業に係るこれまでの調査結果、苫小牧 CCS 実 証試験等について説明し、CCS事業に関する関心、懸念等の情報収集、意見交換を実施し た。

調査結果の概要を以下に記載する。

- 1) 苫小牧実証試験および CCS 事業に関する多数の質問が出され、CCS 事業への関 心の高さが伺えた。
- 2) CCS 事業およびカーボンリサイクル事業により、県の産業振興に繋がることが期 待されていることが伺われた。
- 3) CCS 事業に対する懸念等の否定的な意見は特になかった。
- 4)洋上風力発電事業に関して実施しているような協議会設置については、CCS事業 において法律で設置が義務付けられない場合は、事業者およびその事業計画次第 で設置を検討することが示された。

第5章

2023 年度以降の調査候補地点の選定

および調査計画(案)の作成

第5章 2023 年度以降の調査候補地点の選定および調査計画(案)の作成

貯留適地調査事業は、当初、2020年度末までに1億t以上のCO₂を貯留可能な複数の大 規模貯留適地を選定することを目的として2014年度に開始された。当社は、これまで貯留 適地調査事業を毎年度受託して実施してきており、調査の進行により貯留適地候補地点と して有望と判断した地点において調査井を掘削したうえで貯留適地としての総合評価を行 うことを予定していた。しかし、その後、経済産業省が2022年5月に公表した「CCS長 期ロードマップ検討会の中間取りまとめ」において、貯留適地調査事業における調査井の掘 削が見送られ、CCS事業者による調査井掘削位置の提案を含む先進的CCS事業に対して国 が支援を行うとの方針が示されている。それとともに、今後の貯留適地調査事業の進め方と して、貯留適地と見込まれるエリアのうち、未だ調査が実施されていない地点について、引 き続き調査を実施する方針が示されている。また、本業務に係る有識者委員会において、調 査井掘削に資する評価項目の整理を実施する方針が確認された。これらを踏まえて2023年 度の貯留適地調査を計画した。

本業務では、令和3年度委託事業に係る有識者委員会において 2022 年度調査対象として 確認された地点に対して貯留適地としての評価を行うことを目的として、以下の業務を実施した。

- 調査候補地点の見直し(5.1節)
 令和3年度委託事業までの調査候補区域地点の見直しを実施した。
- 2) 調査候補地点の選定(総合評価)(5.2節) 本業務および令和3年度委託事業で実施した各調査地点の調査結果を用いて、調 査候補地点の選定(総合評価)を再検討し、評価を見直した。
- 3) 2023年度以降の調査計画(案)の作成(5.3節)
 上記評価に基づき、令和3年度委託事業で作成した2022年度以降の調査計画(案)
 を見直し、2023年度の調査計画(案)を作成した。

5.1 貯留適地調査の経緯と調査候補地点の見直し

令和3年度委託事業報告書で述べたとおり、調査地点の見直しと整理を実施した結果、 2021年度末時点の調査候補地点数は、表 5.1-1に示す 25 区域 41 地点となった。本業務に おいてもこの見直し方針を踏襲し、新たな調査候補地点は追加していないため、2022年度 末の調査候補地点は 2021年度末と同じである。

表 5.1-1 2022 年度末の調査候補地点

海域 番号	海域名	区域 番号	区域名	地点 番号	地点名	地点の範囲
1	工物 刘安迪海域	1	石狩-礼文沖	1-1	石狩-礼文沖	石狩-礼文沖海域の石狩湾を除いた範囲
1	石灯一私又冲海域	2	石狩湾	1-2	石狩湾	石狩-礼文沖海域の石狩湾内
2	オナーツク海域	2	オナニック海	2-1	北見大和堆	オホーツク海域の北見大和亜堆
2	オホーフク海域	5	オホーノシ海	2-2	紋別沖	オホーツク海域の紋別沖堆積盆地
			内浦湾 海域	3-1	内浦湾	北海道南部-久慈沖海域の内浦湾内
3	北海道南部一久慈沖海域	4	日高沖	3-2	日高沖	北海道南部-久慈沖海域の日高沖地点
			渡島半島東方沖	3-3	渡島半島東方沖	北海道南部-久慈沖海域の渡島半島東方沖の堆積盆地
4	十勝一釧路沖海域		十勝-釧路沖	4-1	十勝沖	十勝-釧路沖海域の十勝沖堆積盆地
5	渡島半島ー津軽沖海域	5	渡島半島一津軽沖	5-1	西津軽沖	渡島半島-津軽沖海域の西津軽沖堆積盆地
		6	能代沖	6-1	能代沖	秋田-庄内沖海域の能代沖堆積盆地
c		7	<u>دار س ک</u>	6-2	秋田沖	秋田-庄内沖海域の由利沖北部構造とその周辺海域
6	秋田一庄内冲海或	1	秋田冲	6-3	本荘沖	秋田-庄内沖海域の本荘沖構造とその周辺
		8	酒田沖	6-4	酒田沖	秋田-庄内沖海域の酒田沖堆積盆地
				7-1	新潟沖	新潟-富山沖海域の新潟沖堆積盆地
7	龙河 ウルホ海岸	0	如何 南北站	7-2	佐渡西方沖	新潟-富山沖海域の佐渡西方-能登東方堆積盆地
	新潟ー畠山冲海域	9	₩ 新潟→畠山沖	7-3	新潟北西沖	新潟-富山沖海域の新潟北西沖の堆積盆地
				7-4	佐渡南方沖	新潟-富山沖海域の佐渡南方の堆積盆地
				8-1	金沢沖	北陸-隠岐沖海域の金沢沖構造とその周辺
8	北陸一隠岐沖海域	10	北陸-隠岐沖	8-2	京都-福井沖	北陸-隠岐沖海域の京都-福井沖の堆積盆地
				8-3		北陸-隠岐沖海域の鳥取沖構造とその周辺、隠岐トラフ
				9-1	山口沖	山陰-北部九州海域の山口沖
				9-2	対馬西沖	山陰-北部九州海域の長崎県対馬の西方沖
		11		9-3	萩沖	山陰-北部九州海域の山口県萩沖
		11	山陰冲	9-4	 浜田沖	山陰-北部九州海域の島根県浜田沖
9	山陰-九州北部海域			9-5	隠岐西沖	山陰-北部九州海域の隠岐の島西方
				9-6	隠岐北沖	山陰-北部九州海域の隠岐の島北方
		12	北部九州小倉海域	9-7	小倉沖	山陰-北部九州海域の福岡県小倉沖
		13	北部九州松浦海域	9-8	松浦沖	山陰-北部九州海域の長崎県松浦沖
10	釜石一金華山沖海域					釜石-金華山沖海域の堆積盆地
				11-1	鹿島沖周辺福島沿岸	常磐-鹿島沖海域の福島沿岸域
				11-2	鹿島沖周辺北部	常磐-鹿島沖海域の磐城沖ガス田周辺
11	常磐一鹿島沖海域	21	常磐-鹿島沖	11-3	鹿島沖周辺中部	常磐-鹿島沖海域の福島県いわき沖
				11-4	鹿島沖周辺南部	常磐-鹿島沖海域の茨城県北茨城沖
				11-5	茨城沖北部	常磐-鹿島沖海域の茨城県日立沖
12	房総沖海域					房総沖海域の堆積盆地
13	東海一四国沖海域	20	御前崎沖	13-1	御前崎沖	東海-四国沖海域の御前崎沖
14	白はンとは	19	宮崎沖	14-1	宮崎沖	宮崎沖海域の宮崎沖
14	呂崎冲海或	15	別府湾	14-2		宮崎沖海域の別府湾内
		14	天草沖	15-1	天草沖	天草-五島沖海域の天草沖
15	天草-五島沖海域	18	天草-五島沖	15-2	甑島西方	天草沖-五島沖海域の甑島西方の堆積盆地
		22	枕崎沖	15-3	枕崎沖	天草-五島沖海域の南端部枕崎沖の堆積盆地
10	计细 吉亚科卢尔尔语	16	沖縄-南西諸島	16-1	沖縄-南西諸島	沖縄から南西諸島に掛けての堆積盆地
10	冲純一用四諸島冲海域	17	宮古島沖	16-2	宮古島沖	沖縄から宮古島に掛けての堆積盆地

2013年度1次スクリーニング時の17区域23地点である。

2014年度から2021年度末までに追加した8区域18地点、合計25区域41地点となる。

2021年度末までに、区域・地点が設定されていない。

5.2 調査候補地点の選定(総合評価)

本業務における各調査地点の評価および総合評価では、令和3年度委託事業報告書¹⁾を ベースとし、第3章および第4章に述べた各調査地点の調査結果にくわえて、5.1節で述べ た41地点について地質解析・貯留可能量評価の実施可能性を再検討し、総合評価を見直し た。

5.2.1 調査地点の評価方法(技術要素)

調査地点の評価方法としては、平成25年度経済産業省委託事業報告書²⁾で示された評価手法に則り、二酸化炭素貯留適地の条件となる各調査地点の個々の技術要素に対して、表 5.2-1の基準に従って評価点数を与えた。データがなく、評価できなかった項目については NAとし、中間点数0.5を与えた。

次に、各技術要素の点数をすべて掛け合わせ、技術評点(図 5.2-1 の B)を算出した。さらに、この技術評点に各地点の貯留可能量(図 5.2-1 の A)を掛け合わせ、リスク付き貯留可能量(図 5.2-1 の C)を求めた。このリスク付き貯留可能量によって、調査地点の技術評価順位付け(図 5.2-1 の技術評価ランキング R)を行なった。

			技術要素								
		貯留層				貯留可能量	遮蔽層		地質構造	地質構造	
			深度	層 厚	性状(孔隙率)		規模(層厚)	遮蔽能力	構造安定度	地層傾斜	
			(m)	(m)	(%)	(百万 ton)	(m)	<mark>(環境・</mark> 岩相)	(断層など)	(deg)	
	Ø	1	800-2,000m	>=500	>=25	>=5,000	>=100	深海性·泥岩	断層なし	<=10	
	0	0.6	800-3,000m	>=200	>=20	>=1,000	>=50	半深海性 ・泥質岩	断層あるが極浅部まで 達していない	<=20	
技 術	Δ	0.3	>=2,000m	>=50	>=15	>=200	>=20	陸棚以浅 • 泥質岩	断層多いが極浅部まで 達していない	<=30	
評点	Δ-	0.1			>=5	>=100			広域地質構造の安定度が 低い		
	×	0	>=3,000m <50		<5	<100	<20	砂質シルト岩	対象区域内に活断層あり	>30	
	NA	0.5	(評価できず)			(評価できず)	(評価*	できず)	(評価できず)		

表 5.2-1 技術要素と評価点数基準

図 5.2-1 技術評点の算出方法の例

面積(km ²)	409	全ての評価点数を
水深(m)	5-400	掛け合わせる
離岸距離 (km)	5-30	_
貯留可能量(百万t) [A]	1,933	ζAζ
貯留可能量(百万t/km ²):単位面積	4.7	Ŵ
技術評点 (x 10 ⁻³⁾ [B]	21.6	{₿}
リスク付き貯留可能量 (百万t) [A] x [B] [C]	41.8	ζ č ζ
備考	既存データを利 用した解析を実 施する	W

	構造性・非構造性	構造性+非構造性		
地質構造	地層傾斜	Ø		
	構造安定度(断層等)	∆-	0.1	
巡敞唐	遮蔽能力	Ø		
冻枯属	最小層厚	Ø		
	貯留可能量	0	0.6	
	性状(孔隙率)	Ø		
貯留層	平均層厚	0	0.6	
	深度	Ο	0.6	

				_
No			7	
調査区域			ОО沖А	
区域No.	(本事業)		7	
	(H25環境省検討会)			
技術評価ランキング [R]		1	Į	
外的要素				
既存データ			民間等既存 2D利用可	
H26総合評価		[F]	S	Į ₹ F }

.

5.2.2 調査地点の評価方法(外的要素と総合評価)

調査地点には、地点ごとに考慮すべき地域・環境等の特殊性(外的要素)が存在する。本 業務での総合評価では、5.2.1 項の技術評価にくわえて、地点ごとに考慮すべき地域・環境 等の特殊性(外的要素)および既存探査データの借用とこれを活用した地質解析が実施可能 か否かを検討したうえで、次の調査ステップへ進むか否かを判断した。以下に、2022 年度 末の総合評価を示す。

表 5.2-2 に本業務での総合評価基準を示す。令和3年度委託事業の総合評価基準と同様、 S、A、B、C、NAの5段階の基準にくわえて、Sの上位にAD(Advanced)、ADの上位 に SA(Super Advanced)を加えた7段階の総合評価基準を用いて、各調査地点を総合的 に評価した。
表 5.2-2 本業務での総合評価基準

	令和4年度 貯留適地調査のための総合評価基準
SA	掘削調査結果やその他の最新知見を反映させ、地 質の不均質などを反映させたより正確な地質・物 性モデルを用いたCO ₂ 挙動予測シミュレーション 結果など多角的な視点から地質の再評価を基に、 安全かつ安定的な貯留が可能と予測できる地点
AD	2D/3D探査データや既存坑井等を基にした地質構 造解析や地質評価、地質・物性モデル構築および 調査井掘削前CO ₂ 挙動予測シミュレーションの結 果から、圧入影響範囲とその周辺の地質構造等と 照らし合わせ、安定的な貯留が可能と予測(期 待)できる地点で、かつ、外的要因も含めて掘削 調査に進む事が可能と見込まれる地点
S [2D] S [3D]	民間等の比較的豊富な既存2D/3D 探査データを利 用した地質解析が実施できる地点
A [2D] A [3D]	技術的評価が高く、2D/3D探査に進める地点 民間等の既存2Dデータを利用した地質解析が見込 めるが、必要に応じて探査を実施する地点
B [2D] B [3D]	A以外の技術的評価が高い地点 解決すべき特定の課題があり、調査保留となって いる地点 技術的評価が低い地点
NA	データが不足し技術評価が実施できない地点

(1) 総合評価 SA の調査地点

2022 年度末時点で調査井は掘削されておらず、地層の不均質性を反映させたより正確な

地質・物性モデルを用いた CO2 挙動予測シミュレーション等が行われていない。そのため、 SA と評価した地点はない。

(2) 総合評価 AD の調査地点

2021 年度末に AD と評価した能代沖、秋田沖、本荘沖および宮崎沖の 4 地点は AD 評価 を継続した。また、2022 年度末に新たに総合評価を AD とした地点はない。

1) 能代沖

本業務において、海底地形判読および海底地質情報コンパイルを実施し、貯留可 能域に影響を与えるような顕著な活断層等は確認されなかった。2019 年度末時 点で、調査井掘削前 CO₂ 挙動予測シミュレーションにより 1 億 t 以上の CO₂ の 安定的貯留を確認し、陸上から掘削する調査井の基本設計を終了しており、総合 評価を AD で継続した。

2) 秋田沖

本業務においては、本調査地点に関する調査を実施していない。令和3年度委託 事業において、本調査地点の北部の地質解析・貯留可能量評価を実施し、さらに その結果に基づいて本調査地点における調査井掘削前 CO₂ 挙動予測シミュ ー ションによる1億t以上の CO₂の安定的貯留を確認していることから、総合評価 を AD で継続した。

3) 本荘沖

本業務においては、3.2節で述べた通り、本調査地点の東部において新規 3D 探査 を実施した。この結果に基づく地質解析・貯留可能量評価の更新や、さらにそれ に基づく調査井掘削前 CO₂ 挙動予測シミュ ーションの更新は未実施であるが、 2021年度末時点までの評価において、調査井掘削前 CO₂ 挙動予測シミュ ーショ ンによる 1億 t 以上の CO₂ の安定的貯留を確認しており、総合評価を AD で継続 した。

4) 宮崎沖

本業務においては、本調査地点に関する調査を実施していない。平成31年度委 託事業の2020年度繰越業務にて調査井掘削前CO2挙動予測シミュレーションを 実施し、1億t以上のCO2の安定的貯留を確認しており、総合評価をADで継続 した。

(3) 総合評価 S の調査地点

Sと評価した地点は合計9地点である。

令和3年度委託事業で2021年度末にSと評価した9地点については、いずれも評価をS で継続し、総合評価をSから変更した地点はない。また、2022年度末に新たに総合評価を Sとした地点もない。

1) 日高沖

令和2年度委託事業において、地質解析・貯留可能量評価を実施し、26億 t 以上 の貯留可能量が見込まれた。これを踏まえて、令和3年度委託事業において調査 井掘削前 CO2 挙動予測シミュ ーションを実施したところ、1億 t 以上の CO2 の 安定的貯留を確認するには不確実性が残る結果となった。本業務において高傾斜 井を適用した調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュ ーションを実施したところ、圧 入量の向上が見られたものの、その評価を顕著に格上げすべきとまでは認められ なかったことから、総合評価をS で継続した。

2) 酒田沖

本業務においては、本調査地点に関する調査を実施していない。令和3年度委託 事業において新規 2D 探査を実施し、この新規 2D 探査データ等に基づき地質解 析・貯留可能量評価を実施したところ、4 億 t の貯留可能量が見込まれる結果と なっており、総合評価を S で継続した。

3) 新潟沖

本業務においては、本調査地点に関する調査を実施していない。新潟県から富山 県の沖合までを含めた広域を調査対象として想定していた新潟-富山沖海域の 内、平成30年度委託事業の2019年度繰越業務で新潟沖と呼称した範囲におい て、既存3D探査データの再処理データを用いた地質解析・貯留可能量評価を実 施し、13億t以上の貯留可能量が見込まれたことから、総合評価をSで継続し た。

4) 佐渡西方沖

本業務においては、本調査地点に関する調査を実施していない。令和2年度委託 事業において、地質解析・貯留可能量評価を実施し、11億t以上の貯留可能量が 見込まれた。これを踏まえて、同業務の2021年度繰越業務において調査井掘削 前 CO2挙動予測シミュレーションを実施したところ、1億t以上のCO2の安定的 貯留を確認するには不確実性が残る結果となったことから、総合評価をSで継続 した。

5)新潟北西沖 本業務においては、本調査地点に関する調査を実施していない。令和3年度委託

事業において地質解析・貯留可能量評価を実施した結果、現時点では単体で1億 t 以上の貯留可能域は抽出されなかったが、今後の弾性波探査記録の改善の余地 があることから総合評価をSで継続した。

6) 佐渡南方沖

令和3年度委託事業において、地質解析・貯留可能量評価を実施した結果、2.5億 tの貯留可能量が見込まれる結果となった。これを踏まえて、本業務において調 査井掘削前 CO2 挙動予測シミュレーションを実施し、1億 t 以上の CO2 の貯留を 確認した。ただし、その前提として地質解析範囲の外側にモデルを拡張する必要 があり、不確実性が残ることから総合評価をSで継続した。

7) 京都一福井沖

本業務においては、本調査地点に関する調査を実施していない。令和3年度委託 事業において、地質解析・貯留可能量評価を実施した結果、14億t以上の貯留可 能量が見込まれる結果となり、総合評価をSで継続した。

8) 鳥取沖

本業務においては、本調査地点に関する調査を実施していない。2020年度に実施 した 2D/3D 探査データを活用した統合地質解析・貯留可能量評価の結果、鳥取沖 全体でおよそ 16 億 t の貯留可能量が見込まれたが、調査井掘削前 CO₂ 挙動予測 シミュレーションの実施には至っていないことから、総合評価を S で継続した。 なお、本地点に隣接し一部重複する京都-福井沖地点を 2021 年度に評価した結 果、本地点で抽出されていた貯留可能域の一部を除外するのが妥当と判断し、貯 留可能量を 15 億 t に修正している。

9) 茨城沖北部

本業務においては、本調査地点に関する調査を実施していない。令和2年度委託 事業(2021年度に一部繰越)にて地質解析・貯留可能量評価を実施した結果、29 億 t 以上の貯留可能量が見込まれた。また、既に平成31年度委託事業の2020年 度繰越業務にて調査井掘削前 CO2挙動予測シミュレーションを実施し、1億 t 以 上の CO2を安定的に貯留できることを確認している。しかしながら、地震活動が まだ比較的活発であることから調査井掘削に向けた優先度を下げることとした 2021年度末時点の評価を踏襲し、総合評価をSで継続した。

(4) 総合評価 A の調査地点

A と評価した地点は、2021年度末時点と同じく、石狩-礼文沖、紋別沖、隠岐西沖およ

び隠岐北沖の4地点である。

1) 石狩一礼文沖

2019 年度に文献調査を行った結果、基礎物理探査「天北西方 3D」³⁾、基礎物理 探査「利尻・礼文トラフ 2D/3D」⁴⁾の 3D 探査データおよび 2D 探査データを活 用して評価を実施できる見込みとなったものの、現時点では評価を実施する計画 が未定のため、総合評価を A で継続した。

2) 紋別沖

2019 年度における調査候補地点の見直しで、基礎物理探査「オホーツク枝幸沖 3D」^{5)、6)} と民間坑井データを活用して地質解析・貯留可能量評価を実施できる 見込みとなったものの、現時点では評価を実施する計画が未定のため、総合評価 をAで継続した。

3) 隠岐西沖、隠岐北沖

前者は山陰沖 11f(中央)として、後者は山陰沖 11a を含めて山陰沖 11f(北部) として、平成26年度委託事業から地元調整を継続している地点である。本業務 において、両地点を含む範囲に対して海底地形判読および海底地質情報コンパイ ルを実施し、貯留可能域に影響を与えるような顕著な活断層等は確認されなかっ た。いずれも総合評価をAで継続する。

(5) その他の調査地点

その他の調査地点の総合評価は2021年度末と同様とした。

5.2.3 総合評価結果(2022年度末)

各調査地点の総合評価をまとめたものを表 5.2-3 にまとめた。調査地点のうち、AD また はSと評価された 13 地点およびAと評価された隠岐西沖と隠岐北沖の合計 15 地点を貯留 適地候補地点としている。A と評価されたものの地質解析がまだできていない石狩-礼文 沖および紋別沖は除いている。貯留適地候補地点を表 5.2-4 にまとめた。いずれも 2021 年 度末評価から変更はない。

総合評価結果は、2022 年度末時点のものである。今後、2023 年度以降の貯留適地調査事 業において、新たな地質データや解析結果が加わること、地元自治体等のヒアリング結果か ら考慮すべき要素が判明すること等、貯留適地調査の進展にともない各調査地点の総合評 価を適宜更新することが望まれる。

表 5.2-3(1) 調査地点の総	:合評価結果(2022	2 年度末)(その1)
-------------------	-------------	-------------

	海域番号		1			2		(3		4		5					6				7					
	海域名	i	5狩一礼文)	ф	才亦	ーツク		北海道南部	部一久慈沖		十勝一釧 路沖	渡.	島半島一津輔	圣沖			秋田一	·庄内沖					ž	新潟一富山沖	3		
	「域名(参考)	石狩一 礼文沖	石	狩湾	オホー	・ツク海	内浦湾 海域	a 1 ⊟	高沖	渡島半島 東方沖	十勝一釧 路沖	渡.	島半島-津輔	圣沖	能代沖		秋日	田沖		酒田沖			1	新潟-富山沖	3		
	地点番号	1-1	1	-2	2-1	2-2	3-1	3	-2	3-3	4-1		5		6-1	6	-2	6	i-3	6-4		7.	-1		7-2	7-3	7-4
	地点名	石狩一礼 文沖	石	狩湾	北見大和 堆	紋別沖	内浦湾	≣ ⊟	高沖	渡島半島 東方沖	十勝沖		西津軽沖		能代沖	秋E	田沖	本	 注沖	酒田沖		新潟	昌沖		佐渡西方 沖	新潟北西 沖	佐渡南方 沖
個	別貯留可能域		石狩湾 北西部	石狩湾 南東部				貯留可能域1	貯留可能域2- 6			西津軽 Unit C南 部	西津軽 Unit D南 部	西津軽 Unit B南 部		秋田沖 桂根相	秋田沖 笹岡層	本荘沖 笹岡層	本荘沖 桂根相		西方	西部ブ ロック(阿 賀沖)	中部ブ ロック	東部ブ ロック(沿 岸域)			
20	13年度末総合評価	B [2D]	A [2D]	A [2D]	B [2D]		NA			NA	NA	B [2D]	B [2D]	B [2D]	С	B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]	С	B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]			
20	14年度末総合評価	B [2D]	A [2D]	A [2D]	B [2D]		NA			NA	NA	A [2D]	A [2D]	A [2D]	S [2D]	S [2D]	S [2D]	S [2D]	S [2D]	С	B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]			
20	15年度末総合評価	B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]		NA			NA	NA	S [2D]	S [2D]	S [2D]	A [3D]	S [3D]	S [3D]	S [3D]	S [3D]	С	B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]			
20	16年度末総合評価	B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]		NA			NA	NA	S [2D]	S [2D]	S [2D]	A [3D]	S [3D]	S [3D]	S [3D]	S [3D]	С	B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]			
20	17年度末総合評価	B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]		NA			NA	NA	B [3D]	B [3D]	B [3D]	AD	S [3D]	S [3D]	S [3D]	S [3D]	С	B [2D]	S [3D]	S [3D]	S [3D]			
20	18年度末総合評価	B [2D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]		NA			NA	NA	B [3D]	B [3D]	B [3D]	AD	S [3D]	S [3D]	AD	AD	С	B [2D]	S [3D]	S [3D]				
20	19年度末総合評価	S [3D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]	S [3D]	NA	S [3D]	S [3D]	NA	NA	B [3D]	B [3D]	B [3D]	AD	AD	AD	AD	AD	С	B [2D]	S [3D]	S [3D]		S [3D]		
20	20年度末総合評価	A [3D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]	A [3D]	NA	S [3D]	S [3D]	NA	NA	B [3D]	B [3D]	B [3D]	AD	AD	AD	AD	AD	A [2D]	B [2D]	S [3D]	S [3D]		S [3D]	S [3D]	S [3D]
20	21年度末総合評価	A [3D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]	A [3D]	NA	S [3D]	S [3D]	NA	NA	B [3D]	B [3D]	B [3D]	AD	AD	AD	AD	AD	S [2D]		S [3D]	S [3D]		S [3D]	S [3D]	S [3D]
20	22年度末総合評価	A [3D]	B [2D]	B [2D]	B [2D]	A [3D]	NA	S [3D]	S [3D]	NA	NA	B [3D]	B [3D]	B [3D]	AD	AD	AD	AD	AD	S [2D]		S [3D]	S [3D]		S [3D]	S [3D]	S [3D]
	深度	0	0	0	0			~	0			Ø	Ø	~	0	0	0	Ø	0	0	~	0	0	~	0	0	0
貯留	平均層厚	Δ	0	0	0			0	0			0	Δ	0	0	0	0	0	0	0	NA	0	0	0	0	0	0
	性状(孔隙率)	Δ	Ø	0	0			0	0			0	0		0	0	0	0	0	O	0	0	O	0	Δ	0	0
	貯留可能量	Δ	∆-	Δ	Δ			0	Δ			Δ	×	×		Δ-	0	0	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		Δ	×	Δ
	最小層厚	0	Δ	Δ	0			O	Ø			Ø	0	O	0	0	0	0	0	0	0	O	Ø		Ø	0	0
遮蔽	■ 遮蔽能力	0	0	0	0			0	Ø			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Δ		0	0	0
	構造安定度 断層等)	Δ	0	0	Δ			0	0			0	0	0	0	Δ	Ø	0	0		0	Δ	0	NA	0	0	O
地質構	造 地層傾斜	0	Δ	Δ	0			Ø	O			Ø	O	O	0	0	0	0	0	O	0	O	O	0	Δ	Ø	0
	構造性・非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性			非構造性	非構造性			非構造性	非構造性	非構造性	構造性 +非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性	非構造性
面積((m ²)	541	8	22	596			331	297			75	35	53	42	57	123	287	13	39	398	40	30		225	30	91
水沒	ਞ (m)	100-130	0-100	0-100	150-200			1000-1100	1100-1200			1,900	1,900	1,900	10-30	60	60	100	100	0-60	50-100	50-100	50-80		1000-1100	50-250	50-520
離岸即	国龍 (km)	30	20	5	40-70			30-50	50-80			50	50	50	1-5	10	10	15	15	0-5	5	5	5		30-50	10-40	0-20
貯留可	J能量(百万t) [A]	647	115	334	950			1,105	1,524			254	31	44	251	100	1,526	3,773	443	388		691	608		1,180	72	251
貯留可 • 産店	能量(百万t/km ²) 西捷	1.2	14.9	14.9	1.6			3.3	5.1			3.4	0.9	0.8	6.0	1.8	12.4	13.1	34.1	10.0	-	17.3	20.3	-	5.2	2.4	2.8
技術部	₩1>< 県点(x 10 ⁻³) [B]	1.0	1.9	5.8	7.0			64.8	64.8			64.8	0.0	0.0	13.0	3.9	129.6	129.6	0.0	10.8	\square	32.4	32.4		9.7	0.0	108.0
リスク [A] x	付き貯留可能量(百万t) [B] [C]	0.7	0.2	1.9	6.6			71.6	98.8			16.5	0.0	0.0	3.3	0.4	197.8	489.0	0.0	4.2		22.4	19.7		11.5	0.0	27.1
	備者	2013年度 市 点の利用した 総 基礎調査の 3D弾性波環 動能。民間が困壊可 能。民間が困壊可 に 時本ため、期 は未定。 に 時 に の に の た の た 期 に の で 御 の に 数 つ で 数 つ に う の の の し 、 の の の の の の の の の の の の の	2015年度末 時点の密な 2D探査デー タを利用した 総合評価。	2015年度末 時点の密な 20探査テー 夕を利用した 総合評価。	2013年度 時点の既住文 載を評問し、 読氷の影響な 検討が必要を保 留。			2020年度末 時点の3D探 査データを利 用した総合評 価。	2020年度末 時点の3D探 査データを利 用した総合評 価。			2018年度末 時点の3D探 査テータを利 用した総合評 価。 広域地等構築 等価を保留。	2018年度保 時直テータを有用した のっり の で す の た す 定 性 に た め の の の を 和 用 し た の 3 の の 3 の の の の の の の の の の の の の の	2018年度末 時点の3DF 着データを約用 した。 広域空性に感 の変定性にため 評価を保留。	2019年度末 時点の3D探 査データを利 用した総合評 価。	2021年度末 時点の3D探 査データを利 用した総合評 価。	2021年度末 時点の3D探 査データを利 用した総合評 価。	2020年度末 時点の3D探 査データを利 用した総合評 価。	2020年度末 時点の3D探 査テータを利 用した総合評 価。	2021年度末 時点の密な 20探査デー 夕を利用した 総合評価。	2013年度 2013年度 10月10日 10月11日 10月111日 10月111日 10月111日 1	2018年度末 時点の3D探 査データを利 用した総合評 価。	2018年度末 時点の3D探 査データを利 用した総合評 価。	2018年度末 2018年度保 10月の30保 10月の 10月の 2018年 10月の 2018年 10月の 2018年	2020年度末 時点の3D探 査データを利 用した総合評 価。	2021年度末 時点の3D探 査データを利 用した総合評 価。	2021年度末 時点の3D探 査テータを利 用した総合評 価。

注) 黄色に着色した調査地点は 2022 年度末(2023 年 3 月末)時点での有望な CO2 貯留適地候補地点

表 5.2-3(2) 調査地点の総合評価結果(2022 年度末)(その2)

海域番号		8					Ş	Э				11					13 14			15			16				
海域名		北陸一隠岐河	ф				山陰一次	九州北部			1			常磐一	鹿島沖			東海一	四国沖		宮崎沖	T		天草一五島沖	Þ	沖約南西	唱— 諸島
区域名(参考)		北陸一隠岐河	ф			山陰沖 北部九州 小倉海域					北部九州 松浦海域	常磐一鹿島沖			御前崎沖 宮崎沖		崎沖	別府湾 天草		5草沖一五島沖 枕崎沖		沖縄- 南西諸島	宮古島沖				
地点番号	8-1	8-2	8-3	9-1	9-2	9-3	9-4	9-5	9-6	9-7	9-8	11-1	11-2	11-3	11-4	11	-5	13	3-1	14	4-1	14-2	15-1	15-2	15-3	16-1	16-2
地点名	金沢沖	京都-福井 沖	鳥取沖	山口沖	対馬西沖	萩沖	浜田沖	隠岐西沖	隠岐北沖	小倉沖	松浦沖	鹿島沖周 辺 福島沿岸	鹿島沖周 辺 北部	鹿島沖周 辺 中部	鹿島沖周 辺 南部	茨城洋	中北部	御前	崎沖	宮	崎沖	別府湾	天草沖	甑島西方	枕崎沖	沖縄- 南西諸島	宮古島沖
個別貯留可能域																下部	上部	御前崎沖 B	御前崎沖 A2	宮崎沖 北部	宮崎沖 南部		(下層)			沖縄- 南西諸島	宮古島沖
2013年度末総合評価	A [2D]		A [2D]	S [2D]	S [2D]	S [2D]	B [2D]	S [2D]		NA	NA											С	B [2D]			NA	С
2014年度末総合評価	A [2D]		A [2D]	B [3D]	B [3D]	С	B [2D]	A [2D]	A [2D]	NA	NA	A [2D]	A [2D]	A [2D]	A [2D]			S [2D]	S [2D]	S [3D]	S [3D]	С	A [2D]			NA	С
2015年度末総合評価	B [3D]		S [3D]	B [3D]	B [3D]	С	B [2D]	A [2D]	A [2D]	NA	NA	S [2D]	S [2D]	S [2D]	S [2D]			B [3D]	B [3D]	S [3D]	S [3D]	С	B [2D]	С	С	NA	С
2016年度末総合評価	S [3D]		A [3D]	B [3D]	B [3D]	С	B [2D]	A [2D]	A [2D]	NA	NA	B [2D]	B [2D]	S [2D]	S [2D]			С	С	S [3D]	S [3D]	С	B [2D]	С	С	NA	С
2017年度末総合評価	S [3D]		A [3D]	B [3D]	B [3D]	С	B [2D]	A [2D]	A [2D]	NA	NA	B [2D]	B [2D]	S [2D]	S [2D]			С	С	S [3D]	S [3D]	С	B [2D]	С	С	NA	С
2018年度末総合評価	С	A [2D]	S [3D]	B [3D]	B [3D]	С	B [2D]	A [2D]	A [2D]	NA	NA	B [2D]	B [2D]	B [2D]	S [2D]	S [3D]	S [3D]	С	С	S [3D]	S [3D]	С	B [2D]	С	С	NA	С
2019年度末総合評価	С	A [2D]	S [3D]	B [3D]	B [3D]	С	B [2D]	A [2D]	A [2D]	NA	NA	B [2D]	B [2D]	B [2D]	С	S [3D]	S [3D]	С	С	S [3D]	S [3D]	С	B [2D]	С	С	NA	С
2020年度末総合評価	С	S [2D]	S [3D]	B [3D]	B [3D]	С	B [2D]	A [2D]	A [2D]	NA	NA	B [2D]	B [2D]	B [2D]	С	AD	AD	С	С	AD	AD	С	B [2D]	С	С	NA	С
2021年度末総合評価	С	S [2D]	S [3D]	B [3D]	B [3D]	С	B [2D]	A [2D]	A [2D]	NA	NA	B [2D]	B [2D]	B [2D]	С	S [2D]	S [2D]	С	с	AD	AD	С	B [2D]	С	С	NA	С
2022年度末総合評価	С	S [2D]	S [3D]	B [3D]	B [3D]	С	B [2D]	A [2D]	A [2D]	NA	NA	B [2D]	B [2D]	B [2D]	С	S [2D]	S [2D]	С	С	AD	AD	С	B [2D]	С	С	NA	С
570 měr													0		0	0		0		0						0	_
		0						0								0	0			0							
			0				<u> </u>	0		∆ ∧-		0	0		0												
1237(15)家平)			0		0							0		0		0	0						0				
遮蔽層						۵ ۵	0						0	۵ ۵	۵ ۵	0	<u>ه</u>		0								
送献能力 (株法安定在 新羅笙)		0	0				0	NA A	NA A				0			0		0	0	0				NA	~	NA A	NA V
	^					Δ-			<u> </u>			0				Δ 			0								
地見而且 一」」「「」」「」「」」「」「」」「」「」」「」「」「」「」「」「」」「」「」」「」「	非描述性	構造性	構造性	非模准性	非權法性	非描述性	非堪准性	非描述性	非權法性	非權法性		非描述性	非描述性	構造性	非描述性	北楼法社	非權准性	構造性+	構造性+	非描述性	非描述性	非描述性		NA	非描述性		非描述性
	护阀应吐	+非構造性	+非構造性	카메니	9F119/2012	护阀道江	非调道任	非 相应工	护地回江	JF1時追圧		升闲道江	护地口	+非構造性	카메니티	护阀道江	카메인다	非構造性	非構造性	카메고다	카메일다	카메고다			非接应任	INA	非限起日
面積(km ²)		100	95	148	128	167	1,433	496	1,043	NA		600	170	20	120	80	581	195	239	328	77	54	240	338	\square	NA	
水深(m)		100-300	291	>180	130-180	100	150	80-200	200-1000	0-10		100-150	150-200	150-200	200-300	120-300	120-500	500-1,000	500-1,000	100-800	200-600	5-50	50-150	835	\angle	>200	>200
離岸距離 (km)		20	25	110	5-15	20-40	20	30	80-100	0-5		10-35	40	35	33	25	25	20	30	10-20	20	5-10	5-10	67	\square	NA	30
貯留可能量(百万t) [A]		1,396	1,446	905	2,022		3,546	8,127	15,344	NA		1,186	924	101		1,377	1,506			960	458		1,046			NA	
貯留可能量(百万t/km ²) :単位面積		14.0	15.2	6.1	15.8		2.5	16.4	14.7	NA		2.0	5.4	5.1		17.3	2.6			2.9	6.0		4.4			NA	
技術評点 (x 10 ⁻³⁾ [B]		19.4	19.4	9.7	32.4		3.9	32.4	9.0	0.5		11.7	23.3	1.2		3.5	19.4			11.7	19.4		2.9			NA	
リスク付き貯留可能量(百万t) [A] x [B] [C]		27.1	28.1	8.8	65.5		13.8	263.3	138.1	NA		13.8	21.5	0.1		4.8	29.3			11.2	8.9		3.0			NA	
備考	2018年度の30日 18年の30日 18年の30日 第6日 19月1日 19月2日	12/121年度末 時点の密な 20探査デー タを利用した総合評価。	ム220年度な 時点の密な 20および3D 探査テータ総 和用価。 2021年度す井田価。 2021年度す井田価。 基2021年度す井田価。 基2021年度す井田価。 第111年 11115555555555	2017年度4 時点の粗い 20探査データを利用した 総合評価。 有望区域は中 間線に近接す る。	2014年度末 時点の知い 201探査データを利用した 総合評価。 有望区域は中す る。	2014年度、 に はの知い 2017年3 2017年3 7 タを利用した 総広域地定性のため 1 第 で し で の 念が都可す。 い に は 、 は 、 に 、 は 、 に 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、	2013年度末 時点の既往文 載を利用した 総合評価。	12014年度末 時点の粗い 2D(探査デー 夕を利用した 総合評価。	12014年度末 時点の粗い 20床室デー タを利用した総合評価。	2013年度末 時点の既往文 総を利用した 総合評価。		2015年度末 時点の粗い 20探査デー 夕を利用した 総合評価。	2015年度末 時点の知い 20探査デー 夕を利用した 総合評価。	12015年度末 時点の粗い 201探査デー 夕を利用した 総合評価。	2015年度4 時点の知い シロックを利用し、 20探査データを利用し、 広切安定はの「安定なるたち」 第定せず。	2020年度東 時点の300 電データおよ び物性解析結 の物性解析 総合評価。	2020年度末 時点の30度末 査データおよ び物性解析結 を評価。	2015年度4月 時点の知り夕を 時点の日夕を 利用した総 広域地質構造 の安定を名の 影が留可能 にの 参が留可能 にため 貯 算 だせす。	2015年度 10年 10年度 10年 10年 10年 10年 10年 10年 10年 10年	2019年度末 時点の30探 電データおよ び追加20探 査データを利 用した総合評 価。	2019年度末 時点の30探 電データおよび追加20探 査データを利 用した総合評 価。	2013年度4 時点の期日した 載を利用した 総合評可価。 野田に足るデーム タに乏しせず。	12013年度末文 時点の既往文 献を利用した 総合評価。	MUE (2014)の (2014)の (20月補地 (2015年) (2015) (2015)	2016年度な 時点の密な 2D探査デー タを利用し。 広域地定性の構構で 感がある保留。	2013年度末 時点の既往文 航を利用した 総合評価。	2013年度末 時点の既往文 載を利用した 総合評価。

注) 黄色に着色した調査地点は 2022 年度末(2023 年 3 月末)時点での有望な CO2 貯留適地候補地点

調査地点名	評価	総合評価状況
日高沖	S	・総合評価をSで継続する。
能代沖	AD	・総合評価を AD で継続する。
秋田沖	AD	・総合評価を AD で継続する。
本荘沖	AD	・総合評価を AD で継続する。
酒田沖	S	・総合評価をSで継続する。
新潟沖	S	・総合評価をSで継続する。
佐渡西方沖	S	・総合評価をSで継続する。
新潟北西沖	S	・総合評価をSで継続する。
佐渡南方沖	S	・総合評価をSで継続する。
京都一福井沖	S	・総合評価をSで継続する。
鳥取沖(北部を含む)	S	・総合評価をSで継続する。
		・地元調整が難航しているため、調査を順延している。
隐咬四冲、隐咬北冲	A	・総合評価を A で継続する。
茨城沖北部	S	・総合評価をSで継続する。
宮崎沖	AD	・総合評価を AD で継続する。

表 5.2-4 貯留適地候補地点(評価を変えた地点はなし)

【参考文献】

- 1) 日本 CCS 調查、"令和 3 年度二酸化炭素貯留適地調查事業委託業務報告書"(2022)
- 2)日本 CCS 調查、"平成25年度中小企業等環境問題対策調査等委託費(全国二酸化炭素貯留層基礎調査)成果報告書"(2014)
- 3)(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構"平成22年度国内石油・天然ガス基礎調査基礎物理探査「天北西方3D」データ取得報告書、データ処理報告書、データ解釈報告書" (2012)
- 4)(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構"平成28年度国内石油・天然ガス基礎調査基礎物理探査「利尻・礼文トラフ2D/3D」データ取得報告書、データ処理報告書、データ解釈報告書"(2018)
- 5)(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構"平成23年度国内石油・天然ガス基礎調査基礎物理探査「オホーツク枝幸沖3D」データ取得報告書"(2013)
- 6)(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構"平成24年度国内石油・天然ガス基礎調査基礎物理探査「オホーツク枝幸沖3D」データ取得報告書、データ処理報告書、データ解釈報告書"(2014)

5.3 2023 年度以降の調査計画(案)の作成

2023 年度以降の貯留適地調査事業について、2022 年度末時点での調査計画(案)を記述 する。

5.3.1 基本方針

貯留適地調査事業開始当初の目標では、複数地点において調査井を掘削し、坑井データに 基づくシミュレーション等による評価を行ったうえで、貯留適地を選定するものとされて いた。しかしながら、本業務を含む貯留適地調査事業において調査井掘削には至らなかった ため、現状ではいずれの候補地点においてもその調査の進捗段階は図 5.3-1 に示した「貯留 適地調査の進め方」の青色の破線より上の段階に留まっている。

本章冒頭に述べたように、2022 年 5 月の CCS 長期ロードマップ検討会の中間取りまと めを踏まえて、今後の貯留適地調査事業の進め方が見直されている。すなわち、貯留適地調 査事業における調査井の掘削およびその位置選定作業は見送られ、今後の CCS 社会実装に 資する目的で、貯留適地と見込まれるエリアのうち未だ調査が実施されていない地点につ いて引き続き調査を実施すること、および、調査井掘削に資する評価項目の整理を実施する ことを基本方針とする。



図 5.3-1 貯留適地調査の進め方

5.3.2 貯留適地調査の現況と今後の指針

表 5.2-4 に記載した 17 地点の総合評価結果に基づき、調査進捗度が高い地点順に評価の 現況と、さらに調査を進める場合の指針について以下の 1)から 12)に記述する。

1) 本荘沖(総合評価 AD)

令和2年度委託事業の2021年度繰越業務において、本地点の南部についても調 査井掘削前CO2挙動予測シミュレーションを実施し、高い貯留ポテンシャルを確 認した。また、既に調査井の基本設計を実施済みである。一方、本地点東部には 水深の制約によりこれまで3D探査未実施の範囲があり、この範囲の貯留可能量 推定の精度向上を目的として、2022年度に浅海域に対応した仕様の新規3D探査 を実施し、データを取得した。今後は、この3D探査データを加えた地質解析・ 貯留可能量評価や、さらに調査井掘削前CO2挙動予測シミュ ーションを実施す ることにより、さらなる精度向上が期待される。

2) 能代沖(総合評価 AD)

平成30年度委託事業までに、調査井掘削前 CO2挙動予測シミュ ーションおよ び調査井の基本設計を実施済みである。2022 年度には、地質解析の精度向上を目 的として、海底地形判読および海底地質情報コンパイルを実施した。今後は、浅 海域から陸上に掛けて実施した 3D 探査は貯留可能量算定域全体をカバーしてい ないことから、貯留可能量推定の精度をさらに高めるためには、貯留可能域の北 部で新たな 3D 探査(OBC) データを取得することも考えられる。

- 3)秋田沖(総合評価 AD) 令和3年度委託事業までに、本地点北部を含めた範囲で地質解析・貯留可能量評価、ならびに調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュレーションを実施した結果、貯留可能量推定の精度を高め、高い貯留ポテンシャルを確認した。
- 4) 宮崎沖(総合評価 AD) 平成31年度委託事業までに、調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュ ーションを実施済みである。今後は、必要に応じて、追加の調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュ ーションを実施する。
- 5) 茨城沖北部(総合評価 S)

2021 年度までに、基礎物理探査の 3D 探査データを使用した物性解析結果を踏ま えた地質解析・貯留可能量評価を実施したことにより、貯留可能量推定の精度を 高め、従来評価よりさらに大きな貯留可能量が算定された。また、調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュ ーションを実施済みである。一方で、地震活動がまだ比較 的活発であることから、調査井掘削に向けた優先度を下げることとしている。

- 6) 日高沖、佐渡西方沖(総合評価 S) それぞれ、2021年度までに調査井掘削前 CO2挙動予測シミュ ーションを実施 しているが、いずれも1億t以上の CO2の安定的貯留を確認するには不確実性が 残る結果となった。一方で、本業務において日高沖を実例として高傾斜井を適用 した調査井掘削前 CO2挙動予測シミュ ーションを実施したところ、圧入量に向 上が見られた。これらの結果を踏まえて、今後の評価の優先度や進め方を検討す る。
- 7) 佐渡南方沖(総合評価S)

令和3年度委託事業において、基礎物理探査の3D探査データを活用して地質解析・貯留可能量評価を実施した。本業務において、この評価結果を踏まえて地質 解析範囲の外側にモデルを拡張した上で調査井掘削前 CO₂ 挙動予測シミュ ー ションを実施した。評価の不確実性低減のためには、このモデル拡張範囲に相当 する浅海域において3D探査データを取得することが望ましい。

8) 新潟沖(総合評価S)

既存 3D 探査データを用いた地質解析・貯留可能量評価の結果、1億 t 以上の CO₂ 貯留可能量が算定されており、今後の調査井掘削前 CO₂挙動予測シミュレーショ ンの実施可否を検討する。本地点の評価には民間企業データの活用が望ましい。

- 9) 新潟北西沖、鳥取沖(総合評価S) いずれも 2021 年度までに、基礎物理探査の 3D 探査データを活用して地質解析・ 貯留可能量評価を実施した。この評価結果を踏まえて、今後、調査井掘削前 CO₂ 挙動予測シミュレーションの実施可否を検討する。
- 10) 京都-福井沖、酒田沖(総合評価 S) いずれも 2021 年度までに、新規に取得した 2D 探査データを用いて地質解析・貯 留可能量評価を実施した。この評価結果を踏まえて、今後の新規 3D 探査および 調査井掘削前 CO₂ 挙動予測シミュ ーションの実施可否を検討する。
- 11) 石狩-礼文沖、紋別沖(総合評価A) 利用可能な基礎物理探査の 2D/3D 探査データ、基礎試錐の坑井データおよび民間坑井データが存在しているものの、地質解析・貯留可能量評価の実施を保留している。調査の優先度を勘案したうえで評価実施可否を検討する。
- 12) 隠岐西沖、隠岐北沖(総合評価 A)
 地元調整が難航しているため 2022 年度までには 2D 探査を実施できなかった。

一方で、今後の効率的な探査計画に資する目的で、本業務において、海底地形判 読および海底地質情報コンパイルを実施した。2023 年度以降の早期に探査を実 施できるように、最新の情報収集および地元調整を継続する。

上記 17 地点のほか、総合評価 B の地点のうち、上記の隠岐西沖・隠岐北沖に近接する山 ロ沖、対馬西沖、浜田沖の3地点についても、同様に2D 探査を実施できるように地元調整 を継続する。平成31年度委託事業において、貯留適地調査の追加候補地点としてあげた天 草-五島沖海域の福江沖(仮称)および茨城沖南部(仮称)は、調査実施保留とした。

5.3.3 2023 年度の調査計画(案)

5.3.1 項で述べたように、CCS 長期ロードマップ検討会での議論を踏まえ、2023 年度の 貯留適地調査事業においては、貯留適地候補地点の評価進捗状況に応じて必要な評価作業 を引き続き実施するものとする。具体的には、本荘沖地点の東部において 2022 年度に新規 取得した 3D 探査データを用いた地質解析・貯留可能量評価作業、ならびに調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュ ーション等を適宜実施する(図 5.3-2)。

また、これまでの貯留適地調査事業の成果を整理し事業者の活用に資することや、今後の 探査計画および調査井仕様などに資する検討を実施するものとする。具体的には、貯留適地 調査事業の経験を踏まえた貯留ポテンシャルの検討や、浅海域等における今後の探査余地 および探査計画の取りまとめ、岩石力学的変動評価のための調査仕様検討および各国での CCS 事業における岩石力学的変動評価に関する文献調査、調査井掘削前 CO₂ 挙動予測シ ミュ ーションの条件整理等、評価手法の改善・整理を適宜実施する。

なお、本計画(案)は2022年度末(2023年3月末)時点の暫定的なものであり、必要 に応じて計画を随時更新することとする。

								1			-
地点名	番号	評価	(H26年度) 2014年度	(H27年度) 2015年度	(H28年度) 2016年度	(H29年度) 2017年度	(H30年度) 2018年度	(H31年度/R1年度) 2019年度	(R2年度) 2020年度	(R3年度) 2021年度	(R4 202
本荘沖	6-3	AD		既存2Dデータ 処理・解析・評価	3Dデータ 解析・評価	前調査井板部	シム ←追前シム	←基本設計	 ←再処理 解析・ 評価 	←前シム	31 デ・
能代沖	6-1	AD		既存2Dデータ 処理・解析・評価	3D探査(OBC)・ データ処理	3Dデータ 解析・評価 20探査・ デー処理 前シム	^{進備} ← 南2D探査・ データ処理	←前 シム ←基本設計			海底地形
秋田沖	6-2	AD		既存2Dデータ 処理・解析・評価	3Dデータ 解析・評価 3D探討	3D探査(ST)・ 査準備 データ処理	←追加解析 3Dデータ 解析・評価	←前 シム	←再処理	2Dデータ 解析・評価 前シム	
宮崎沖	14-1	AD		既存2D/3Dデータ 解析・評価	3D探査 (ST)・ データ処理	3D探査 追加 3D (ST)・ 処理 データ データ処理 解析・評価	2D探査・ ←地質調査 データ処理 分析	CD/3D解 CD/3D解 Frime・モ デル Frime・モ デル CD/3D解 Subscript{0.555 Subscrit Subscrit Subscript{0.555	←前シム		
茨城沖北部	11-5	s		既存2Dデータ 処理・解析・評価	JOGMEC 3D探査			←再処 2-3D解·評 ◆海底地形 価 地質調査・分析	←追加処理 ←前シム	析評価	
日高沖	3-2	s						机上調査	3D解・評価 海底地形 地質調査・分析	前シム	i
新潟沖	7-1	s				阿賀沖 パイプラ イン	3Dデータ 3Dデータ 再処理 解析・評価				
新潟北西沖、 佐渡南方沖	7-3, 7-4	s								3D解析・評価 海底地形	前シム
佐渡西方沖	7-2	s							3D解·評価 海底地形	←前シム	
鳥取沖	8-3	s	2D探 査 2Dデー 9解析	2Dデータ 解析・評価	JOGMEC 3D探査	JOGMEC 3D探査		地質調査·分析	←3D解析 ←海		
								←再処 2D探査	2D解 析		
京都-福井沖	8-2	s						2D再処理	2D取得・処 2D概 理 地質調査・分析	2D解析	
酒田沖	6-4	s							2D再処理	2D探查·処 理 解析	
隠岐西沖、隠岐北沖	9-5, 9-6	Α	2D データ 処理 解析	(調査延期)							海
石狩湾	1-2	в	2D データ 処理 解析	既存2Dデータ 処理・解析・評価	(調査延期)						
西津軽沖	5-1	в		2D 探査	データ処理 データ処理 解析 ^{2D/3D} データ	3Dデータ 解析・評価					
鹿島沖周辺 (いわき沿岸〜中部)	11-1~3	в		既存2Dデータ 処理・解析・評価	(調査延期)						
天草沖	15-1	в		既存2D データ・解析	(調査延期)						
金沢沖	8-1	с	2D データ 処理 解析	←2D探査・ データ 処理 解析	データ 再評 ・評価 (社 内)	3D探査(ST)・ データ処理	3Dデータ 解析・評価				
御前崎沖	13-1	с		既存2Dデータ 処理・解析・評価	(優先順位低下)						
甑島西方	15-2	с		既存データによる 調査・地質評価	(調査延期)						
枕崎沖	15-3	с			2D探査・ データ処理 2Dデータ 解析・評価	(優先順位低下)					
			1								

注1)前シム:調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュレーションの略である。

注2) 薄灰色の地点は諸般の事情により調査を中断した地点、濃灰色の地点は技術評価により調査継続を中止した地点である。

注 3) 石狩-礼文沖、紋別沖、福江沖(仮称)、茨城沖南部(仮称)については、調査保留のため計画案に含まない。

図 5.3-2 貯留適地調査計画(案)(2023 年 3 月)

(R4年度) 2022年度	(R5年度) 2023年度
3D探査・ データ処理	3D解析評価 前シム
底地形	
前シム	
İλ	
海底地形	

第6章

社会的受容性の醸成活動

第6章 社会的受容性の醸成活動

6.1 概要

貯留適地調査事業に関する社会的受容性の醸成活動の一環として、2022 年度は 6 箇所 の貯留適地調査地点に隣接する自治体が主催する展示会へブースを出展した。また、学会・ 業界団体等から依頼を受けて、2団体に講演を実施した。

6.2 展示会への出展

6.2.1 展示会の概要

貯留適地調査事業での貯留適地調査地点の隣接地域における継続的な情報発信のため、 委託者と相談のうえ全国7箇所の自治体等が主催する展示会へブース出展を計画した。そ の結果、コロナ禍の行動制限の解除による再開を含め、これまで継続的に出展してきた4 箇所(宮崎県宮崎市、秋田県秋田市、秋田県三種町、秋田県能代市)および初出展2箇所 (山形県鶴岡市、新潟県新潟市)の計6箇所でブース出展を行った。

図 6.2-1~図 6.2-6 に、展示会での来訪者への説明に使用したパンフレット・ツール類等 およびアンケート基本フォーマットを示す。



図 6.2-1 貯留適地調査事業のパンフレット



図 6.2-2 展示用ポスター



図 6.2-3 CCS 事業説明用ツール(展示用パネル)



図 6.2-4 CCS 事業説明用ツール (パンフレット類)



図 6.2-5 説明用パワーポイントラミネート資料

展示会へご来場の皆さまへ アンケート へのご協;	りをお願いいたします。	2022 年6日6日
「二酸化炭素	貯留適地調査事業	日本CCS調査(株) を用」アンケート
本日はご: 今後の改善のため	多用中のところご来場頂き、誠にありが 、本日の展示会についてアンケートにこ	とうございました。 ご協力頂ければ幸いです。
あなたのお考えに最も近い番号	に〇をつけてください(各項目	Oは1つずつ)。
 弊社の展示ブースについて 1.満足 2.やや満足 	、全体的にいかがでしたかく どちらともいえない 4. ややる	? 下満 5. 不満
2) 弊社の展示ブースでは、下	記のどれにご興味をもたれる	もしたか?(〇はいくつでも)
 1.展示ポスター 2.パンフレット「二酸化炭素貯留適 3.パンフレット「CCS(二酸化炭素匠 4.まんが「地球の未来を支える技行 	1地調査事業の概要」 回収・貯留)について」 新」	
3) 展示内容は、分かりやすか	ったですか?	
 とても分かりやすかった 分かりにくかった 	2. 分かりやすかった 5. とても分かりにくかった	3. どちらともいえない
 CCS について、本日ご来場 1. 既によく知っていた 4. 全く知らなかった 	前は、どの程度ご存知でした 2. ある程度知っていた	こか? 3. 言葉は聞いたことがある程度
5) 弊社の展示ブースをご覧に 1. 十分理解できた 4. あまり理解できなかった	なられて、COS についてどの 2. ある程度理解できた 5. 全く理解できなかった	D程度、ご理解いただけましたか? 3. どちらともいえない
 あなたご自身について、差し 	、支えない範囲にてお答えく	ださい。
【性別】1.男性 2 【年代】1.10代以下 2 6.60.44	2.女性 3.答えたくな 2.20代 3.30代 7.70 代目 8.80 代目日	い 4.40代 5.50代 - 9.答きたくだい
0.001、 / 【ご職業】1. 会社員·役員	2. 大学·研究機関	3. 公務員 4. 農水産業
5. 自営業(農業・水) 8. パート・派遣・アル	産業以外) 6. 専業主婦 バイト 9. 無職	(夫) 7. 学生
10. その他()	
【 お住 まい】1. ●●県内(市·町·地域)	
2. ●●県外(・その他、CCS についてご意見・	都·道·府·県) ご感想・ご要望がございまし	たら、ご自由にお書きください。
		ご協力ありがとうございました。

図 6.2-6 適地用アンケート基本フォーマット

6.2.2 みやざき環境パネル展 2022

(1) 出展目的および取組方針

貯留適地調査地点「宮崎沖」に隣接する宮崎県内の一般市民に向けて、地球温暖化対策 として有効な CCS 関連技術および貯留適地調査事業についての情報発信を行った。

2022 年度も 2021 年度同様、新型コロナウイルス感染症拡大防止に配慮した主催者の方針に従い無人のポスター展示とし、下記のとおり取り組んだ。

- 1) CCS 展示用ポスターの掲示(1枚)
- 2) CCS 関連のパンフレットの配布(3種類)
- 3) 意識調査用アンケートの実施

(2) 出展実績

- [名 称] みやざき環境パネル展 2022
- [会 期] 2021 年 6 月 18 日 (土) 10 時 00 分~15 時 00 分
- [会 場] イオンモール宮崎スペースコート
- [テ ー マ]地球温暖化・省エネ・SDGs 等、楽しみながら環境のことを学んでみよう!
- [主 催] 環境みやざき促進協議会、宮崎県
- 「出展内容] 0.81 m² ポスター、パンフ ット、アンケート
- [来場者数]78名 ※来場者数は、主催者からの報告による。

[パンフレット配布数] 11部 ※ブース来訪者数は不明

(3) 今後の対応方針

ショッピングモールでの無人パネル展示となったため来場者数も少なく、来場者と対面 でコミュニケーションを図ることもできない一方通行の情報発信となった。パンフレット 類の合計配布部数は11部で、アンケートの回答者も2名(手書き用アンケート用紙への 回答者1名、webアンケート形式での回答者1名)にとどまった。

主催者は、2023 年度は説明員をつけた展示ブースとすることを目指しているとのことである。

今後の取組として、貯留適地調査地点に隣接する地元との関係強化のため、出展を継続 すべきと考える。また、有人および無人ブースにおける効果的な情報発信に必要なツール (パネル)およびアンケート回収率の向上について工夫する必要があると思われる。

表 6.2-1 にパンフレット種類別配布部数、図 6.2-7 に会場の様子、図 6.2-8 にアンケート 集計結果を示す。

表	6.2-1	パンフ	レッ	ト種類別配布部数
---	-------	-----	----	----------

種類【配布部数】
1) 貯留適地調査パンフレット【3 部】
2) CCS パンフレット【3 部】
3) まんが(続編)【5 部】
合計配布部数【11 部】



図 6.2-7 会場の様子

<u>みや</u>	ざき環境バ	ネル展アンケート集計結果 回答者数:2名	人数	構成比
Q1.	弊社の展	示ブースについて、全体的にいかがでしたか?		
	①満足		2	100%
	②やや満足	E	0	0%
	③どちらと	こもいえない	0	0%
	 ④やや不満 	齿	0	0%
	⑤不満		0	0%
Q2.	弊社の展	示ブースでは、下記のどれにご興味をもたれましたか?(〇はい	くつでも)	
	①展示ポス	スター	1	50%
	②パンフレ	ィット「二酸化炭素貯留適地調査事業の概要」	0	0%
	③パンフレ	ィット「CCS実証プロジェクト」	0	0%
	④パンフレ	ィット「CCS(二酸化炭素回収・貯留)について」	0	0%
	⑤まんが	「地球の未来を支える技術」	1	50%
Q3.	展示内容	は分かりやすかったですか?		
	①とても分	ふかりやすかった	1	50%
	②分かりや	やすかった	1	50%
1	③どちらと	ともいえない	0	0%
	④分かりに	こくかった	0	0%
	⑤とてもう	♪かりにくかった	0	0%
Q4.	CCSにつ	いて、本日ご来場前は、どの程度ご存じでしたか?	-	
	 ①既によく 	〈知っていた	0	0%
	②ある程序	度知っていた	1	50%
	 ③言葉は問 	むいたことがある程度	0	0%
	④全く知ら		1	50%
Q5.	弊社の展	示ブースをご覧になられて、CCSについてどの程度、ご理解いた	だけました	か?
	 ①十分埋角 ③ ト ユ 印 		0	0%
	②ある程度	を注解できた。 	1	50%
	③とちらる ④ た + リ I	こもいえない	1	50%
	(4)めまり ¹	生件 じさなかった / 理知ったたか。 ナ	0	0%
00	しまったく	、 理解できなかった	0	0%
Q0.		自身について、差し支えない範囲にてお答えください。 ① 甲州	0	0%
	【注力]】			100%
		$\Theta \times \Gamma$	2	100 %
	【在件】	①10代以下	1	50%
	1410	②10代 《 》 ②20代	1	0%
		(1)30代 (1)30代	1	50%
		(a) 40 (4)		0%
		⑤50代	0	0%
		⑥60代	0	0%
		⑦70代	0	0%
		⑧80代	0	0%
			0	0%
	【ご職業】	 会社員・役員 	0	0%
			0	0%
		③公務員	0	0%
		④農水産業	0	0%
		⑤自営業(農業・水産業以外)	0	0%
		⑥専業主婦(夫)	0	0%
		⑦学生	1	50%
		⑧パート・派遣・アルバイト	0	0%
		⑨無職	0	0%
		⑩その他()	1	50%
	【お住まい】	①宮崎県内(市・長・地域)	2	100%
1		②宮崎県外(都・道・府・県)	0	0%

図 6.2-8 アンケート集計結果

6.2.3 環境フェアつるおか 2022

(1) 出展目的および取組方針

貯留適地調査地点「酒田沖」に隣接する山形県庄内地域の中核都市の一つである鶴岡市 の一般市民に向けて、地球温暖化対策として有効な CCS 関連技術および貯留適地調査事 業についての情報発信を行った。同環境フェアへの出展は今回が初めてであるため、平易 な説明を心掛け、下記のとおり取り組んだ。

- 1) 開催プログラムへの広告掲載
- 2) CCS 展示用パネルの掲示(5枚)
- 3) CCS 関連のパンフレットの配布(3種類)
- 4) 説明用パワーポイントラミネート資料 (20ページ)
- 5) 意識調査用アンケートの実施

(2) 出展実績

- [名 称] 環境フェアつるおか 2022
- [会期] 2022 年 9 月 25 日(日) 9 時 30 分~14 時 30 分
- [会 場]山形県鶴岡市·小真木原総合体育館
- [テ ー マ] みんなで進めよう! SDGs 未来都市「ゼロカーボンシティつるおか」
- [出展社数] 112社
- [主 催] 環境つるおか推進協議会
- [共 催] 鶴岡市、山形県地球温暖化防止活動推進センター
- [出展内容] 1.62 m² パネル、パンフ ット、アンケート
- [来場者数] 3,800名 ※来場者数は、主催者からの報告による。

[ブース来訪者数] 47名

(3) 今後の対応方針

環境フェアつるおかは、今年度で24回目を迎える歴史のある環境展として地元に根付 いており、地元市民の関心が高いイベントである。今般、国のCCS事業への主催者の理解 が得られ、地元企業以外では唯一出展を許可された。

パワーポイントラミネート資料等を用いて説明を行ったが、CCS 認知度は極めて低かった。小さな子ども連れの家族や高齢者の来訪者が多かった。来訪者の多くには、説明を聞いていただけた一方、意識調査用のアンケートには記入いただけなかった。

今後の対応方針としては、2030年の CCS 社会実装に向けて、二酸化炭素貯留適地の確保は重要なテーマであり、有望エリアの一つである当該エリアでの情報発信活動を継続す

るとともに、集客率およびアンケート回収率の向上について工夫する必要があると思われる。

図 6.2-9 に開催プログラムへの掲載広告、表 6.2-2 にパンフレット種類別配布部数、図 6.2-10 会場の様子を示す。



(HP) https://www.japanccs.com/

図 6.2-9 開催プログラムへの広告掲載

表 6.2-2 パンフレット種類別配布部数

種類【配布部数】
1) CCS パンフレット【47 部】
2) 苫小牧実証試験パンフレット【47 部】
3) まんが(続編)【39 部】
合計配布部数【133 部】



図 6.2-10 会場の様子

6.2.4 第20回 あきたエコ&リサイクルフェスティバル

(1) 出展目的および取組方針

貯留適地調査地点「秋田沖」に隣接する秋田県秋田市の一般市民に向けて、地球温暖化 対策としての CCS 関連技術および貯留適地調査事業についての情報発信を行った。

本フェスティバルへの出展は今回が 5 回目であるが、2019 年以来 3 年ぶりの出展であ るため、あらためて平易な説明を心掛けることとし、下記のとおり取り組んだ。

- 1) 開催プログラムへの広告掲載
- 2) CCS 展示用パネルの掲示(5枚)
- 3) CCS 関連のパンフレットの配布(3種類)
- 4) 説明用パワーポイントラミネート資料 (20ページ)
- 5) 意識調査用アンケートの実施
- (2) 出展実績
 - [名 称] 第20回あきたエコ&リサイクルフェスティバル
 - [会 期] 2022年10月8日(土)10時00分~16時00分 2022年10月9日(日)10時00分~15時00分
 - [会 場] 秋田拠点センターアルヴェ 1 階きらめき広場
 - [テーマ]みて!聞いて!触れて!新しいエコスタイルを楽しく学ぼう!
 - [出展社数] 32社
 - [主 催] あきたエコ&リサイクルフェスティバル実行委員会
 - [出展内容] 6.0 m² パネル、CCS しくみ模型、パンフ ット、アンケート
 - [来場者数] 3,500名 ※来場者数は、主催者からの報告による。

[ブース来訪者数]1日目(10/8):45名

2 日目(10/9):66 名

(3) 今後の対応方針

2022 年度より本フェスティバルの会場が、一般買い物客が多く訪れる秋田駅前の屋外 広場(アゴラ広場)から秋田駅裏の屋内施設(秋田拠点センターアルヴェ1階きらめき広 場)へと変更となったこと、新型コロナウイルス感染症の感染予防対策として入場制限が 設けられたことから、前回(2019 年度)のコロナ前の出展時と比較して来場者数は減少し た。一方、環境問題に関心度の高い来場者が多く、また、主催者から市内の小学校にチラ シが配布されていたことから、子ども連れの家族で、両日とも各出展ブースは賑わった。

ブース来訪者には、地球温暖化対策として有効な CCS を理解してもらうため、パネル やパンフレットで CCS の技術や仕組み、および安全性について、また国内の実例として、 苫小牧で実施している実証試験について説明した。

当社ブースでは、風船等を用いて子ども達の興味を引き付け、同行する親世代に、パンフレット、詳細説明用パワーポイントラミネート資料を用いて説明を行うことができた。

アンケート結果では、「言葉をきいたことがある程度」、「全く知らなかった」との回 答がほとんどであった。

本フェスティバルは、地元自治体が主催者となっており、秋田県や秋田市もブースを出 展していることから、地元との関係強化も含め、今後も継続して出展することが重要と考 える。

図 6.2-11 に開催プログラムへの掲載広告、表 6.2-3 にパンフレット種類別配布部数、図 6.2-12 に会場の様子、図 6.2-13(1)~(2)にアンケート集計結果を示す。



図 6.2-11 開催プログラムへの広告掲載

括 粘	配布部数			
(里 次)	1日目(10/7)	2日目(10/8)	2日間合計	
1) 実証試験パンフレット	24	21	45	
2) CCS パンフレット	28	20	48	
3) まんが(続編)	45	66	111	

表 6.2-3 パンフレット種類別配布部数



図 6.2-12 会場の様子



















その他、CCSについてご意見・ご感想・ご要望、改善点等ございましたら、遠慮なくご記入ください。

CO2削減にとても役立つ技術だと思いました。

図 6.2-13 (2) アンケート集計結果

6.2.5 第 15 回三種町町民祭

(1) 出展目的および取組方針

貯留適地調査地点「能代沖」に隣接する秋田県三種町の一般町民に向けて、地球温暖化 対策として有効な CCS 関連技術および貯留適地調査事業についての情報発信を行った。3 年ぶりの出展となったため、あらためて平易な説明を心掛けることとし、下記のとおり取 り組んだ。

- 1) CCS 展示用パネルの掲示(2枚)
- 2) CCS 関連のパンフレットの配布(3 種類)
- 3) 説明用パワーポイントラミネート資料(20ページ)
- 4) 意識調査用アンケートの実施

(2) 出展実績

- [名 称] 第15回三種町町民祭
- [会 期] 2022年10月15日(土)9時00分~17時00分 2022年10月16日(日)9時00分~16時00分
- [会 場] 秋田県山本郡三種町·琴丘総合体育館
- [テーマ] つなごうよ 心ふれあう 三種の輪
- [出 展 社] クアオルト研究会、日赤奉仕団、白神森林組合
 - 三菱商事洋上風力株式会社、株式会社エムウインズ他
- [主 催] 三種町町民祭実行委員会
- [後 援] 秋田県山本地域振興局·秋田魁新報社·北羽新報社
- [出展内容] 6.48 m² パネル、パンフ ット、アンケート
- [来場者数] 3,800名 ※来場者数は、主催者からの報告による。

[ブース来訪者数] 30名

(3) 今後の対応方針

三種町町民際は、町民の方々がこぞって足を運ぶ地域最大のイベントで、今回で 15 回 目を迎える。JCCS は、2016 年度に三種町 CCS プラント誘致協議会が設立されてから継 続してブースを出展してきた。

今回、風船等を用いて子ども達の興味を引き付け、これに興味を持った子どもが集まり、 同行する親世代にパンフレット、詳細説明用パワーポイントラミネート資料を用いて説明 を行うことができた。会場は小さな子ども連れの家族や高齢者の来訪者が多かった。意識 調査用のアンケートの回答は3件にとどまった。アンケートの回答には及ばなかったが、 2016年度からの CCS プラント誘致活動に関して、三種町での実用化に関する質問も多く、 CCS への関心の高さを認識した。

今後の対応方針としては、当該エリアでの情報発信活動を継続するとともに、集客率の 向上およびアンケート回収率の向上について工夫する必要があると思われる。

表 6.2-4 にパンフレット種類別配布部数、図 6.2-14 に会場の様子、図 6.2-15 にアンケー

ト集計結果を示す。

表 6.2-4 パンフレット種類別配布部数

種類【配布部数】

- 1) CCS パンフレット【13 部】
- 2) 苫小牧実証試験パンフレット【17部】
- 3) まんが(続編)【30部】

合計配布部数【60部】



図 6.2-14 会場の様子

三種	町町民祭7	<u>"ンケート集計結果</u> 回答者数:3名	人数	構成比
Q1.	弊社の展	示ブースについて、全体的にいかがでしたか?		
	①満足		2	67%
	②やや満	足	1	33%
	③どちら	ともいえない	0	0%
	 ④やや不済 	# 简	0	0%
	⑤不満		0	0%
Q2.	弊社の展	示ブースでは、下記のどれにご興味をもたれましたか?(〇I	よいくつ で	も)
	①展示ポ	スター	1	33%
	②パンフ	レット「CCS(二酸化炭素回収・貯留)について」	1	33%
	③パンフ	レット「二酸化炭素貯留適地調査事業の概要」	0	0%
	④まんが	「地球の未来を支える技術」	1	33%
Q3.	展示内容	は分かりやすかったですか?		
	①とても:	分かりやすかった	2	67%
	②分かり-	やすかった	1	33%
	③どちら	ともいえない	0	0%
	④分かり	にくかった	0	0%
	⑤とても:	分かりにくかった	0	0%
Q4.	CCSにつ	いて、本日ご来場前は、どの程度ご存じでしたか?		
	①既によ	く知っていた	0	0%
	②ある程』	度知っていた	1	33%
	③言葉は	聞いたことがある程度	0	0%
	④全く知		2	67%
Q5.	弊社の展	示ブースをご覧になられて、CCSについてどの程度、ご理解し	いただけま	したか?
	(1)十分理(解できた	1	33%
	(2)ある程)	支理解できた	2	67%
	3256	ともいえない	0	0%
	④あまり ³	生解できなかった (一回の一声をかった	0	0%
00	しまった	く埋解できなかった	0	0%
Q6.	めなたこ	日身について、差し文えない範囲にてお含えくたさい。	1	220/
	作生方门。		1	33% 67%
			2	07%
	【生件】	③合えたくない ④10代以下	0	0%
	L+101	①10代以下 ②20代	0	0%
		3304	0	0%
		@30ft	0	0%
		⑤ 50 代	1	33%
		(1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)		0%
		(7)70代	2	67%
		⑧80代	0	0%
			0	0%
	【ご職業】	① 会社員·役員	0	0%
			0	0%
		③公務員	1	33%
		④農水産業	0	0%
		⑤自営業(農業・水産業以外)	0	0%
		⑥専業主婦(夫)	1	33%
		⑦学生	0	0%
		⑧パート・派遣・アルバイト	0	0%
		⑨無職	0	0%
		⑩その他()	1	33%
	【お住まい】	①秋田県内 (市·長·地域)	3	100%
		②秋田県外(都·道·府·県)	0	0%

図 6.2-15 アンケート集計結果

6.2.6 のしろ産業フェア 2022

(1) 出展目的および取組方針

貯留適地調査地点「能代沖」に隣接する秋田県能代市の一般市民に向けて、地球温暖化 対策として有効な CCS 関連技術および貯留適地調査事業についての情報発信を行った。 2019 年以来 3 年ぶりの出展となるため、あらためて平易な説明を心掛けることとし、下 記のとおり取り組んだ。

- 1) CCS 関連のパンフレットの配布(3 種類)
- 2) 説明用パワーポイントラミネート資料(20ページ)
- 風船の配布
- 4) 意識調査用アンケートの実施

(2) 出展実績

- [名 称] のしろ産業フェア 2022
- [会 期] 2022年10月22日(土)10時00分~16時00分 2022年10月23日(日)9時30分~15時00分
- [会 場] 秋田県能代市·能代市総合体育館
- [テーマ] のしろのチカラとミライ
- [出展社数] 30社(産業振興展)
- [主 催]のしろ産業フェア実行委員会
- [共 催] 能代商工会議所、二ツ井町商工会、能代木材産業連合会、他
- [出展内容] 8.0 m² パネル、パンフレット

[来場者数] 9,500名 ※来場者数は、主催者からの報告による。

[ブース来訪者数] 68名

(3) 今後の対応方針

のしろ産業フェアは市内の多様な企業が一堂に会し、事業の紹介や産品の展示・販売を 行い、来場者に能代市の産業をPRすることにより地域の産業振興と活性化を図ることを 目的としている。子ども向けの体験イベントの他、農産物やスイーツの販売もあり、来場 者が"お祭り"として楽しんでいる様子が伺えた。

環境イベントではないため CCS に関心を持ってブースを訪れる人は少なかったが、風 船の配布に興味を示した子どもをきっかけに、同行する親世代に CCS 技術について説明 することができた。パンフレットや説明用パワーポイントラミネート資料等を用いた説明 を聞いていただいた。一方、意識調査用のアンケートの回答はなかった。 今後の対応方針としては、当該エリアでの情報発信活動を継続するとともに、集客率と アンケート回収率の向上について工夫する必要があると思われる。

表 6.2-5 にパンフレット種類別配布部数、図 6.2-16 に会場の様子を示す。

表	6.2-5	パンフ	レッ	ト種類別配布部数
---	-------	-----	----	----------

種類【配布部数】		
1) CCS パンフレット【20 部】		
2) 苫小牧実証試験パンフレット【20 部】		
3) まんが(続編)【68 部】		
合計配布部数【108 部】		



図 6.2-16 会場の様子

6.2.7 にいがた環境フェスティバル 2022

(1) 出展目的および取組方針

貯留適地調査地点「新潟沖」等に隣接する新潟市の一般市民に向けて、地球温暖化対策 として有効な CCS 関連技術および貯留適地調査事業についての情報発信を行った。

同環境フスティバルへの出展は今回が初めてであり、より平易な説明を心掛けることと し、下記のとおり取り組んだ。

- 1) CCS 展示用パネルの掲示(2枚)
- 2) CCS 関連のパンフレットの配布(3種類)
- 3) 意識調査用アンケートの実施

(2) 出展実績

[名 称] にいがた環境フェスティバル 2022

[会 期] 2022年11月6日(日)10時~16時

[会場] 新潟市中央区万代島多目的広場(屋内)*他社屋外展示あり

[テ ー マ] キャッチフ ーズ 『私たちの未来、目指すはカーボンゼロ」

[出展社数] 18社

[主 催] 新潟県

[出展内容] 0.81 m² パネル、パンフ ット、アンケート

[来場者数]約1,500名 (2021年度:約1,000名) ※主催者報告による。

[当社展示への来訪者数]約100名

(3) 今後の対応方針

にいがた環境フェスティバルは、2018年から始まり、今回が5回目の開催で、新潟県環 境賞の表彰式、地元の宮浦中学校吹奏楽部の演奏、ワークショップやスタンプラリー、屋 外広場での水素自動車の展示・試乗等が実施され、多くの来場者で賑わった。

また、近隣の朱鷺メッセでは、11月5日・6日に屋内会場で世界初の「錦鯉サミット」 や「クールジャパン EXPO in NIIGATA」が開催されたため、その流れでの来場者も見受 けられた。出展は自治体がメインで、企業が出展した環境活動・取組紹介のコーナーは会 場の隅で、当社以外は無人の展示であったものの、当社ブースは多くの来訪者で賑わった。 会場は小さな子ども連れの家族や高齢者の来訪者が多かった。意識調査用のアンケートの 回答は6件であった。

来年度以降の対応方針としては、出展内容(場所・面積・説明員の配置の有無)や方法 等をよく確認し、それに合わせたブース対応とすること、アンケート回収率の向上につ て工夫する必要があると思われる。

表 6.2-6 にパンフレット種類別配布部数、図 6.2-17 に会場の様子、図 6.2-18 にアンケート集計結果を示す。

種類【配布部数】			
1)	CCS パンフレッ	ト【27 部】	
2)	苫小牧実証試験/	ペンフレット【26 部】	
3)	まんが(続編)	【30 部】	
合言	合計配布部数【83 部】		

表 6.2-6 パンフレット種類別配布部数


(左上)環境活動・取組紹介コーナー全景/(右上)当社展示コーナー (左中)ステージの風景/(右中)体験コーナーの様子

(左下)会場内の様子/(右下)屋外スペースの水素バス

図 6.2-17 会場の様子

<u>にい</u>	がた環境フ	1ェスティバルアンケート集計結5回答者数:6名	人数	構成比
Q1.	弊社の展	示ブースについて、全体的にいかがでしたか?		
	①満足		4	67%
	②やや満	E contraction of the second seco	2	33%
	③どちら	ともいえない	0	0%
	④やや不済	満	0	0%
	⑤不満		0	0%
Q2.	弊社の展	示ブースでは、下記のどれにご興味をもたれましたか?(Oはい)	くつでも)	
	 ①展示パン 	ネル	6	100%
	②パンフ	レット「二酸化炭素貯留適地調査事業の概要」	1	17%
	③パンフ	レット「CCS実証プロジェクト」	1	17%
	④パンフ	レット「CCS(二酸化炭素回収・貯留)について」	1	17%
	⑤まんが	地球の未来を支える技術」	1	17%
Q3.	展示内容	は分かりやすかったですか?		
	02(6)	かかりやすかった やまた。ま	2	33%
	②分かり²③じた、	やすかった	4	67%
	3255		0	0%
	④ 方がりい	へんりにくかった	0	0%
04	000100	かかりにてかった	0	0%
Q4.	①既によ		1	17%
	 ②ある程 	き知っていた		0%
	③ 言葉は [聞いたことがある程度	2	33%
	 ④全く知 		3	50%
Q5.	弊社の展	示ブースをご覧になられて、CCSについてどの程度、ご理解いた	だけました	か?
	①十分理解	解できた	2	33%
	②ある程度	 度理解できた	4	67%
	③どちら	ともいえない	0	0%
	④あまり ³	里解できなかった	0	0%
	⑤まった	く理解できなかった	0	0%
Q6.	あなたご	自身について、差し支えない範囲にてお答えください。		
	【性別】	①男性 	5	83%
			1	17%
	-	③答えたくない	0	0%
	【年代】	①10代以下	0	0%
		(2)20/t	2	33%
			1	17%
		(4)407, (E)E0/4	0	0%
		() () () () () () () () () () () () () (1	U%
		()704 ⁺	1	17%
		<u> </u>	1	1770 0%
			1	17%
	【ご職業】	①会社員·役員	0	0%
		②	0	0%
		③公務員	0	0%
		④農水産業	0	0%
		⑤自営業(農業・水産業以外)	0	0%
		⑥専業主婦(夫)	0	0%
		⑦学生	0	0%
		⑧パート・派遣・アルバイト	0	0%
1		9無職	0	0%
1		⑩その他()	0	0%
	【お住まい】	 ①新潟県内(新潟市・長・地域) 	4	80%
		②新潟県外(都・道・府・県)	1	20%

図 6.2-18 アンケート集計結果

6.3 講演の実施

6.3.1 実施目的

2022 年 5 月に経済産業省の CCS 長期ロードマップ検討会の中間とりまとめが公表されたことにより CCS への関心が高まっている。

二酸化炭素貯留適地調査事業の社会的受容性の醸成を目的として、学会や業界団体から の貯留適地調査事業に関する講演要請を受け対応した。

6.3.2 実施実績

講演の実績を表 6.3-1 に示す。

	日程	名称	参加者数
1	2022年6月17日(金)	日本応用地質学会 (ハイブリッド方式)	160 名
2	2022年9月 7日(水)	石油鉱業連盟 大陸棚委員会 (オンライン開催)	15 名
		合計	175 名

表 6.3-1 講演の実績

6.3.3 **今後の取組方針**

2022 年度は、5 月の政府の CCS 長期ロードマップ検討会の中間とりまとめの公表により CCS の社会実装がより現実味を帯びたことから、貯留適地調査事業についての講演依頼が寄せられ、2 件(表 6.3-1)の講演を実施した。講演では、CO2 貯留可能量の評価方法等、具体的かつ専門的な質問が多く出された。

政府が目標としている 2030 年の CCS 社会実装に向けて、貯留適地調査事業に関する講 演へのニーズが高まることが想定され、充実した対応を行う。

6.4 まとめ

コロナ禍による行動制限が緩和され、2019 年度以来 3 年ぶりに 6 箇所において自治体 等が主催する展示会にブース出展することができ、来訪者の合計は約 370 名であった。

出展地は、いずれも貯留適地調査地点であるが、CCS 技術および貯留適地調査事業への 認知度は高くないことから、CCS 技術の概要や CCS の安全性および国内における貯留適 地調査事業の概要について、継続的な社会的受容性の醸成活動が必要と思われる。

また、学会・業界団体等での講演を2箇所で実施し、聴講者の合計は175名であった。

6-24

昨今の地球温暖化への社会的な関心が高まるなか、二酸化炭素の貯留適地調査に関する講 演のニーズが増加しており、今後もこの傾向は強まると予測される。

第7章

有識者委員会の運営

第7章 有識者委員会の運営

本業務では、以下の委員会を設置した。

- 1) 令和4年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務に係る有識者委員会
- 2) 再委託契約の技術的妥当性を判断する第三者委員会

2)の第三者委員会に関しては、入札可能性調査の結果、再委託契約に伴う委託業者の技術的妥当性の判断を必要とする再委託業務の発生がなかったため、2022 年度は開催しなかった。

7.1 有識者委員会の目的と設置

第三者の有識者による助言と指導を受け、本業務を的確に推進することを目的に、本業 務に係る委員会「令和4年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務に係る有識者委員会」 (以下、「有識者委員会」と称する。)を設置した。

7.2 委員構成および基本的な運営方針

有識者委員会は、委員長1名、CCS に関わる専門的知見および地質調査・研究等の実 績を有する大学・研究機関等の学識経験者12名、計13名の委員により構成する。2022 年度は、新型コロナウイルス感染症拡大防止のため東京の会議室とWeb 会議システムを 併用したハイブリット方式により3回開催した。

有識者委員会の委員構成は、以下に示すとおりである。

〈委員長〉

- 松岡 俊文 (公財)深田地質研究所 特別研究員 専門:地球物理学、CCS 全般
- 〈委員〉 (アイウエオ順)
- 東 垣 (国研)海洋研究開発機構 革新的深海資源調査技術管理調整プロジェクトチーム 特任技術統括 専門:海洋地質学、堆積学
- 安藤 寿男 茨城大学 大学院理工学研究科 特命研究員 専門:地質(堆積学)
- 伊藤 慎 千葉大学 大学院理学研究院 地球科学研究部門 グランドフェロー 専門:地質(層序学、堆積学)

- 稲垣 史生 (国研)海洋研究開発機構 研究プラットフォーム運用開発部門
 マントル掘削プロモーション室 室長
 専門:地球生物学、生物地球科学等
- 小西 祐作 (独)エネルギー・金属鉱物資源機構 エネルギー事業本部 技術部探査技術課 課長 専門:地質学
- 佐藤 徹 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 海洋技術環境学専攻 教授 専門:CO2の海洋隔離法と海域地中貯留での環境影響評価手法の開発等
- 薛 自求 二酸化炭素地中貯留技術研究組合 技術部長
 兼 (公財)地球環境産業技術研究機構 CO2 貯留研究グループ主席研究員
 専門: CCS 全般、特にモニタリング
- 辻健東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻教授専門:海洋地質、物理探査、シミューション
- 遠田 晋次 東北大学 災害科学国際研究所 災害理学研究部門 教授 専門:活断層の地震発生履歴および地震の連鎖現象と断層間相互作用
- 中尾 信典 (国研)産業技術総合研究所 地質調査総合センター長専門:地熱貯留層工学、物理探査、CO2地中貯留に関する研究
- 長縄 成実 秋田大学 大学院国際資源学研究科 教授 専門:石油掘削技術全般
- 松島 潤 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 環境システム学専攻 教授 専門:弾性波探査、メタンハイド ート、岩石物理学
- 7.3 開催実績

7.3.1 第1回有識者委員会

開催日時:2022年7月15日(金) 15:00~18:00 開催場所:日本CCS調査(株) 1901/1902/1903 会議室 議題

- 1) CCS 長期ロードマップ検討会の概要説明
- 2) 事業計画変更の背景・趣旨
- 3) 貯留適地調査事業の変遷と今後の事業計画

- A) 貯留適地調査に係る事業目標の変遷
- B) 2022~2023 年度計画の方向性案
- C) 2022 年度委託業務の計画案
- 4) 令和4年度二酸化炭素貯留適地調查事業委託業務報告
 - A) 2021 年度第3回有識者委員会(2022.2.28) での指摘事項整理
 - B) 社会的受容性の調査の変更について
 - C) 地層の破壊に関する基本的事項の整理
 - D) 今後の探査の余地
 - E) JOGMEC へのデータ移管進捗

7.3.2 第2回有識者委員会

開催日時:2022年11月14日(月) 10:00~12:20 開催場所:日本CCS調査(株) 1901/1902/1903 会議室

議題

- 1) 令和4年度二酸化炭素貯留適地調查事業委託業務報告
 - A) 2022 年度第1回有識者委員会(2022.7.15) での指摘事項整理
 - B) 2022 年度委託業務の進捗報告
 - C) 本荘沖 3D 弾性波探査
 - D) 佐渡南方沖調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュレーション
 - E) 貯留適地調査事業データを活用した堆積システムの検討中間報告

7.3.3 第3回有識者委員会

開催日時:2023年 3月3日(金) 15:00~18:00

開催場所:日本CCS調査(株) 1901/1902/1903 会議室

議題

- 1) 令和4年度二酸化炭素貯留適地調查事業委託業務報告
 - A) 2022 年度第2回有識者委員会(2022.11.14)での指摘事項整理
 - B) 2022~2023 年度委託事業の方向性・目的
 - C) 本荘沖 3D 弾性波探査データ処理
 - D) 貯留適地調査事業データを活用した堆積システムの検討
 - E)調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュレーション(北海道日高沖、高傾斜井の 検討)
 - F)地層の破壊に関する基本事項の整理

2) 2023 年度以降の貯留適地調査計画(案)

A) 2023 年度計画概要(案)

7.4 各有識者委員会の概要

第1回~第3回の各有識者委員会の概要を以下に記載する。

7.4.1 第1回有識者委員会

(1) CCS 長期ロードマップ検討会の概要説明

経済産業省 CCS 長期ロードマップ検討会(中間とりまとめ)の概要説明を行った。

(2) 事業計画変更の背景・趣旨

経済産業省より CCS 長期ロードマップ検討会の中間とりまとめにて示された方針に基づく今後の貯留適地調査事業計画変更の背景・趣旨について説明がなされた。

これまでの貯留適地調査事業では、国が調査井掘削地域を選定する方針であったが、新 たに、民間事業者が主体となって調査井掘削地域を選定し、2030年の CCS 事業の社会実 装につなげる方針が示された。また、国が民間事業者と連携して CCS の貯留適地調査を 実施するとともに、これまでの貯留適地調査事業で得られたデータを含めて国が保有する 評価データを、JOGMEC を通して開示することが示された。

(3) 貯留適地調査事業の変遷と今後の事業計画

① 貯留適地調査に係る事業目標の変遷

貯留適地調査事業についての、2014 年度(事業開始)から 2022 年度までの目標の変遷 を時系列的に説明した。

2022~2023年度計画の方向性案

CCS 長期ロードマップ検討会の中間とりまとめで示された国の方針を受けた 2022~2023 年度の貯留適地調査事業に関する計画の方向性案について説明した。

3 2022 年度委託業務の計画案

2022年度委託業務に関しての計画案とその概要について説明した。

(4) 令和4年度二酸化炭素貯留適地調查事業委託業務報告

2021 年度第3回有識者委員会(2022.2.28)での指摘事項整理

スレッショルド圧と地層破壊圧の考え方、容積法とシミュ ーションでの貯留可能量の 関係、そしてシミュレーション結果の総括への反映についての指摘事項へ回答した。

社会的受容性の調査の変更について

調査井掘削候補地選定の方針変更を反映し、2022 年度に予定している社会的受容性調 査について報告した。

社会的受容性調査は、変更前は調査井掘削候補地選定のプロセスにおいて、貯留ポテン シャルの高い地域にて行う予定であったが、民間事業者が主体となって掘削地域を選定す ることになったため、これまでの貯留適地調査事業での成果に基づき、複数の県を対象に CCS事業の実施に対する社会的受容性に関連する文献調査等を行う。

3 地層の破壊に関する基本的事項の整理

調査井掘削サイトでの地層の破壊や安定性評価のためにジオメカニクス特性評価を行 う必要がある。2022 年度は破壊に関する基本的事項の整理、および調査井掘削時にジオメ カニクス特性評価に必要となるデータ取得のための仕様策定に資する基本的事項の整理を 行う。内容としては基本的な地層の破壊のメカニズムの説明として、坑井掘削・仕上げお よび CO2 圧入に伴う圧力や応力の変化により、どのように引っ張りおよびせん断破壊が起 こるかを整理して示す予定である。さらに、ジオメカニクス特性評価のための一般的なプ ロセスの説明および CCS におけるジオメカニクス特性評価事例の調査を行う予定である。 委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

- 質問:今回の検討では、基本的には坑井周りを評価すると考えてよいか。
 回答:坑井周りだけでなく、圧入に伴って流体圧力が上昇する範囲において、どのような破壊が起こるかを考える。遮蔽層、貯留層、その下部の地層等も対象となる。
- 2) 質問: 圧入に伴って流体圧力が上昇する範囲とは坑井からどれくらいの距離と なるのか。

回答:シミュレーションにより圧力上昇が予想される範囲を対象とする考えで ある。

3)質問:この評価は調査井掘削後に事業者が行うと理解するが、圧入井の掘削位置は、この手法で大体決められると考えて良いか。

回答:決められるかに関しても今回の検討で整理する予定である。

④ 今後の探査の余地

これまで貯留適地調査事業において貯留適地候補地を増やすべくスクリーニングを実施してきたが、今後の探査の候補地としては大きく二種類あると考えている。一つは調査が未実施の地域であり、もう一つは調査を実施した地域でさらに探査データが必要とされ

る地域である。今回の報告では調査が未実施の地域のうち、東日本の太平洋側の沿岸海域 の探査候補地の例について紹介した。具体的には、既存資料、文献等を基にして抽出した 十勝平野沖、下北東方沖、八戸・久慈沖、鹿島灘、房総東方沖を調査地点例として説明し た。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

- 質問:下北東方沖から八戸・久慈沖のエリアについての引用情報が古いと思われる。2012年に「ちきゅう」のライザー掘削により2,500mまでの科学掘削が行われ、検層(データ)も取得しているので確認し、参考にしてもらいたい。
 回答:確認する。
- 2) 質問:提案は全て太平洋側であるが、日本海側はもう十分に調査したという判断 か。

回答:今回は提案ではなく紹介という位置付けである。日本海側にも未調査、さらに探査が必要な地域がある。

- 3)質問:ここで紹介した地域は沿岸海域が多いが、今後は洋上からの圧入を対象とした地域も探査余地に含めることも検討すべきである。
 回答:検討する。
- 4)質問:房総東方沖の地域は、陸域までは南関東ガス田が水溶性ガス田として定義 されているが、海域では評価が進んでいないため海域が含まれていないと考え る。そのため、水溶性ガス田が海域にも広がっている可能性もあるのではないか。 回答:上総層群基底面の変化および断面を見ると、同層群自体は海側にも分岐し ている可能性があると理解できる。水溶性ガス田が海域まで分布しているかに 関してはコメントができないが、上総層群自体は沖合のほうにも分布している 可能性はある。
- 5) 指摘:この報告であげている地域は非常に密な航路に位置する。このような課題 は探査を行う上での困難さと同時に、その後の CCS 事業全体に係ることである と考える。地質学的にはポテンシャルがあるとしても、ロジスティック面の観点 も注意事項として考慮すべきである。

⑤ JOGMEC へのデータ移管進捗

2021 年度までに貯留適地調査事業で得られた成果(データ)は、今後実施される CCS 事業において活用されることが期待される。これらのデータの貸出し窓口となる JOGMEC へのデータ移管の進捗状況について報告した。 委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1) 質問:秋田・本荘沖について移管作業中との記載があるが、いつ頃終了する予定 か。

回答:秋田沖・本荘沖については民間データ関係の申請手続き等に時間を要して いる。

7.4.2 第2回有識者委員会

(1) 令和4年度二酸化炭素貯留適地調查事業委託業務報告

2022 年度第1回有識者委員会(2022.7.15)での指摘事項整理

JOGMEC へのデータ移管の現況・公開予定の見通し、および三陸沖における今後の探 査の余地に関する指摘事項へ回答した。

2022 年度委託業務の進捗報告

2022 年度委託業務の進捗を報告した。貯留適地候補地点における経済性調査フェーズ2 については、CCS 長期ロードマップ検討会との関連を反映し取り止めとした。その他の業務に関しては2件終了し、残り6件を実施中である。

③ 本荘沖 3D 弾性波探査

2022 年 7 月~8 月に実施した本荘沖 3D 弾性波探査のデータ取得業務について報告した。探査範囲の水深が浅いところで 20 m 程度となることから、安全かつ効率的に探査作業を進めるために、技術検討の結果、採用したデータ取得仕様を説明した。荒天や新型コロナウイルス感染症の感染者対応等のため、実観測日数が短くなったが、一部の範囲については測線間隔を粗くし、調査範囲全域のデータ取得を完遂した。取得された弾性波探査データの現場記録、暫定処理結果を紹介し、今後の処理の予定を示した。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

質問:従来よりもエアガン容量を小さくしているが、今回の振源エネルギーで対象深度まで届いているという理解でよいか。また、今回のノイズというのは、環境ノイズではなく多重反射波がノイズということか。

回答:実際の取得記録を見て、対象深度までエネルギーが届いていると考えてい る。なお、事前のテスト処理において、相対的にノイズレベルが上がった断面を 作成し、その状況でも深部の反射面をしっかり捉えることができることを確認 していた。ノイズに関しては環境ノイズ、多重反射波ノイズのどちらも含むと考 えている。断面等で一番顕著なのは海底面多重反射波ある。多重反射波ノイズの 除去についてはこれまでの経験を活かして対応を検討していきたい。

- 指摘:新型コロナウイルス感染症の感染者対応は大変だったと思うが、今回の情報は、今後の現場作業時にも貴重と思うので、ノウハウを蓄積してもらいたい。
- ④ 佐渡南方沖調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュレーション

佐渡南方沖における地質解析・貯留可能量評価にて抽出された貯留可能域へ CO₂ を圧入 した時の挙動に関し報告した。貯留適地として垂直井 5 坑井、250 万 t/年 ートの圧入で、 1 億 t-CO₂ の圧入が可能な坑井配置や圧入エリアを抽出しつつ、振れ幅のあるパラメータ を変えたときの CO₂ 貯留状況に対する影響度を評価した。その結果、圧入 ート上限を 250 万 t/年とした場合にほぼ 1 億 t -CO₂ の圧入が可能であること、貯留層のパラメータで 感度が高いのは地層圧と浸透率であることを報告した。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

質問:浸透率がかなり小さい割には圧力の上昇度合いも小さいという結果が出ているが、仕上げの区間を長く取っているからか。また、5本の圧入井を仮定してシミューションを実行しているが、その5本の井戸の位置決めにおいて一番重要な判断材料は何か。

回答:仕上げの区間を 200 m と長くとることで、圧力のビルドアップが抑えら れていると考えている。坑井配置の判断材料は、圧入された CO₂ の広がり具合 を確認し、まず圧入した CO₂ が断層に到達しないこと、また、貯留層性状の良 好な岩相分布が予測されているところで長めに仕上げ区間が取れるところを抽 出するようにしたことである。

2)質問:貯留層モデルで上下や横の境界条件はどのように設定しているか。全部閉 境界とすると、保守的な評価になり、開境界だと圧力が抜けやすく圧入しやすい 状況になると思える。

回答:現在は開境界としている。閉境界にすると、圧力が上がりやすくなる(圧 入しにくい状況になる)と考える。今回は、貯留層の厚みがあり、領域も広いた め、境界の影響は小さいのではないかと考える。現在の貯留層モデルより厚みが 小さく、領域も狭い、つまり貯留層のボリュームが小さい場合には影響が出るの かもしれないが、どの程度まで影響が出るかは、実際にシミュ ーションしてみ ないと分からない。

 3) 質問: Kv/Kh 比を変えても、その結果があまり変わらなかったというのはどう 解釈すればよいか。 回答: Kh は固定し、垂直方向の浸透率 Kv が変わる設定とした。Kv は元々大きな値ではないので、圧入量、入れ方に対してはあまり影響がなかった。

4) 指摘:Kv/Kh 比はスレッショルド圧にも関係する。スレッショルド圧が変わる と、浸透量の評価にも関係する。この問題をしっかりと取り上げて、はっきりさ せたほうがいいと思う。

回答:貯留適地調査の中での今回のシミュレーションの検討目的は、40年間で CO2が1億t圧入可能かどうかであった。坑井の位置および圧力値も、詳細に設 定すれば、浸透量が変わるが、そのような詳細な検討は次のステップになると考 える。

5)質問:岩石圧縮率の値が入っている。貯留層の変形を考えているという理解でよいか。ポアプ ッシャーが上がったときに、貯留層が膨らむというイメージとなる。そうすると、CO2の地層への入り方も違ってくるだろうから、岩石圧縮率の値についても感度を調べた方が良いのではないか。また、貯留層内の応力状態が変わると思うが、その点はどう考えるか。

回答:貯留層の変形を考慮している。貯留層のポアプレッシャーが上昇し、孔隙 率が変化すると、浸透率も変化することになる。しかし、通常1%程度とそれほ ど大きい変化ではないため、浸透率もそれほど大きく変化しないだろうと考え、 感度試験からは除いている。地層が変形する効果についても、現状の想定では 1%程度のレベルであり、大局的にみればそれほど大きな変形ではないと考えて いる。

6) 指摘:西山層で、例えば圧入停止のときには圧入井近傍にしか CO₂ は分布していない。上部にある遮蔽層で全てがコントロールされているというような考え方でいくと、貯留層の一番下部に水平井を掘って、例えば 1,000 m 仕上げて入れたほうが層全体を効率的に使える。水平坑井というものがどれぐらい効果があるのかを一度シミュ ーションして、CO₂ 圧入量 1t 当たりのコストに関する検討もしてもらいたい。

回答:他の地点において実施中の高傾斜井と水平井のスタディ結果も考慮しな がら検討したい。

⑤ 貯留適地調査事業データを活用した堆積システムの検討中間報告

堆積システムの検討の中で実施中の本事業の弾性波探査データを活用した堆積相評価 法の目安となる堆積システムモデルの検討、および堆積相の特徴整理について中間報告を 行った。代表的なモデルを作成する地域は3箇所とし、解析されたファシスの豊富さ、範囲の広さ等から、背弧側東北日本(秋田沖・本荘沖)、背弧側西南日本(鳥取沖)、前弧側(茨城沖北部)をベースとすることにした。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

- 指摘:堆積システムを海水準の変動ごとに分けるというのは非常によいと思う。
 海水準変動に分類しやすい地域では積極的に対応させられると思うが、そうでない場合には、シンプルな海進期と海退期という方が分けやすいかもしれない。
- 2)質問:RGBブレンドの表示方法を変えたら見え方が大きく改善したという点は同意する。これはRGBブレンド以外の色のブレンドの仕方でこうなったのか。 また、ファシス解析が効率的に適用できる海域とそうでない海域という区分け もできると思うが、そういう知見についても少し整理をして頂きたい。 回答:堆積相解析と弾性波探査データの属性値の可視化アプリケーションソフ トウェアを変え、その結果として表示方法も変わっている。振幅についても、プ ラスマイナスの表現が調整可能になり、特に川筋がすっきり見えるような色合 いを出せるようになった。
- 3) 指摘:タイムスライスで、ここまで詳細が分かってくるのは素晴らしい。これまで茨城沖北部では一つの盆地に見えていたが、谷があって、過去の古河川が同じところを同じように削っている。今後、そういう細かいシステムがどのぐらい積み上がっているかがもう少し見えてくると、貯留適地として、もっと絞り込みができるのではないか。一方、日本海側だと、既にここだというのが石油探査で分かっているわけだが、鳥取沖を含め日本海側の西の方や、太平洋側はあまり分かっていないところであった。よって、この堆積システムの検討結果が、これまで分かっていなかったところに一つのしきい値を与えるのではないかと思う。是非さらにこのような解析を進めることで貯留適地が見つかる可能性を高めてもらいたい。
- 4)指摘:堆積システムの整理に関しては、貯留適地調査結果のデータの移管先が JOGMECの探査部になるので、ファシス整理の結果についても引き継いで欲しい。

7.4.3 第3回有識者委員会

(1) 令和4年度二酸化炭素貯留適地調查事業委託業務報告

2022 年度第2回有識者委員会(2022.11.14)での指摘事項整理

2022 年度委託業務の進捗報告および佐渡南方沖調査井掘削前 CO₂ 挙動予測シミュ ーションに関する指摘事項へ回答した。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

指摘:佐渡南方沖調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュレーションにおいて前回提示したシミュレーションパラメータで問題ないという理解で良いか。
 回答:調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュ ーションでは、1 億 t の CO2 貯留が可能かどうかを確認することを目的としており、そのためのパラメータとしては問題ないと考えている。

2022~2023 年度委託事業の方向性・目的

2023年1月の CCS 長期ロードマップ検討会の最終とりまとめ(案)で示された方針に 基づき、2022~2023 年度委託業務の方向性・目的を再整理し報告した。また、この方向 性・目的に基づいた 2023 年度業務計画(案)を報告した。

③ 本荘沖 3D 弾性波探査データ処理

2022 年度の貯留適地調査事業において取得した本荘沖 3D 弾性波探査データの処理業務を実施し、波浪、船舶、直達波等によるノイズ抑制処理、海底面多重反射波の抑制処理、および測線間隔が粗い範囲のデータ正規化処理による補完により、浅海域の 3D 弾性波探査について地質解析・貯留可能量評価に資する処理結果が得られたことを報告した。また、この結果に基づき、2023 年度の貯留適地調査事業計画(案)として本荘沖における地質解析・貯留可能量評価および調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュ ーションの実施を予定していることを報告した。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

- 指摘:弾性波探査としてのエネルギーが調査対象の地層に到達していることは 確かであると思われるが、記録の品質が十分ではないように見える。記録品質の 低下の原因についても考察してもらいたい。
 回答:記録品質の低下については、データ取得仕様やデータ処理が原因ではなく、 この地域での地質構造に起因すると考えている。
- 2)質問:2023年度の業務計画(案)として、地質解析・貯留可能量評価および調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュ ーションを予定しているということであるが、

取得データの処理は2022年度で終了という理解で良いか。

回答:そのとおりであるが、地質解析の際は、既存データと一緒に用いるため 位相の調整等の作業が必要になると考えている。

④ 貯留適地調査事業データを活用した堆積システムの検討

貯留適地調査事業における各地点の解析データを整理し、日本周辺海域におけるファシ ス、貯留層・遮蔽層の地質年代、地層の安定性等の特徴を抽出し、さらに3地点を代表地 点として選択して、堆積システムの変遷状況を確認し、これに基づき代表的な堆積モデル を検討した結果を報告した。また、これらの検討結果から各地点における貯留層・遮蔽層 を推測するための材料として、堆積システム、堆積年代、およびファシスを考察した結果 を報告した。2023 年度の貯留適地調査業務計画(案)の中に含まれる貯留ポテンシャル マップの作成では、これらの堆積システムモデルや整理結果を用いる予定である。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

- 指摘:有望構造とはどういうことか。また、このファシスの表記法は JCCS 独自の分け方であるのか。そうであれば、そのことを記載すべきである。
 回答:有望構造とは粗粒な堆積物を指している。ファシスの表記法は JCCS 独自のものであり、今後はこの表記法で統一する旨を注記したい。
- 2) 質問:地域分けした三つのモデル(前弧側、背弧側西日本と背弧側東日本)について、一般性はあるのか。
 回答:背弧の例はそれなりに一般性があると考えている。前弧の例についてはエリアが広く、背弧ほど一般性があるとは言いがたいが、いくつか特徴的なことが得られたと考えている。
- (3) 質問:地域性について、北海道は別に考えるのか。
 回答:そのように考えている。
- 4)指摘:今までの評価と違うことが茨城沖で起きていたということが分かったことが今回の検討での大きな成果である。フロンタルスプレイについては、長さ・幅を計測していたが、厚さも測ったほうがよいと思う。
- 5) 指摘: 堆積シーケンスを詳細に調べていくとこれまで以上に貯留適地が見出せ る可能性があるとの前向きなメッセージと受け取った。

⑤ 調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュレーション(北海道日高沖、高傾斜井の検討)

2021 年度の貯留適地調査事業における北海道日高沖の調査井掘削前 CO₂ 挙動予測シ ミューションでは、垂直井5本、40年間で累計1億tの CO₂ 圧入が出来なかったこと から、垂直井と高傾斜井(圧入区間2倍)、水平井(圧入区間3倍)の坑跡と仕上げ区間 長を変えることにより、圧入性にどのように影響するかを流動シミュ ーションにて比較 した結果、および振れ幅のある主な貯留層パラメータについての感度解析結果を報告した。 結果として、垂直井の場合と比較し、高傾斜井および水平井ともに圧入可能量が増加し圧 入性が改善したこと、水平井では遮蔽層への CO₂ 浸透量が減少したこと、垂直井を10坑 井とした場合、40年間の CO₂ 圧入で1億tを達成したこと、北海道日高沖において感度 解析で圧入性に大きく影響するのは浸透率であったことを報告した。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

- 1) 指摘:10本の垂直井と5本の水平井のときのCO2圧入量がほぼ同じ結果である とすると、コスト的にどちらが安いかの評価をするべきである。
- 2) 指摘: CO₂ 圧入量は仕上げ区間の長さだけではなく、遮蔽層までの距離も圧入量 に影響しているのではないか。その意味でも水平井は優位性があると言える。
- 3) 質問:遮蔽層に CO₂ が到達し浸透する場合の制限条件はスレッショルド圧力で 決めるのか、それとも遮蔽層の破壊圧力なのか。
 回答:遮蔽層への CO₂ 浸透の制限条件はスレッショルド圧力であるが、これが 低い場合どうしても遮蔽層へ CO₂ が浸透するので、浸透量が 1%以内でかつ遮蔽 層上端まで CO₂ が到達しないという条件も考慮している。
- 4)質問:シミュレーションでは、水平井も傾斜井も坑井を掘削した区間全体から CO2が入る設定になっているのか。
 回答:実際には、貯留層内において浸透率の違うファシスが分布しているので、
 CO2は浸透率の大きいファシスから入っていく。シミュ ーションではそのファシスを考慮している。
- 5)質問:垂直井5本と10本、水平井5本、傾斜井5本の4つのケースでどのケースが一番好ましいのか。
 回答:理想的には、均質に圧力が変化しているケースが好ましいが、局所的に、
 例えば、遮蔽層でも強いところと弱いところがあり一概には言えない。
- 6)質問:石油の生産井を考えると、水平井10本の場合、各圧入井から圧入された CO2の分布領域は互いに干渉していると思われるが、実際の坑井配置の時には その点を考慮して坑井位置を決めるのか。 回答:そのとおりである。
- 7) 指摘:最良なのは、安全性を確保した上で一番安く、一番多くの CO₂ を圧入で きるケースである。

他層の破壊に関する基本的事項の整理

CO₂の圧入・貯留に関連した地層の安定性を評価するためのジオメカニクス特性評価は、 当該サイトでの調査井掘削により得られるデータを基に実施することが想定されており、 調査井の仕様策定に資するジオメカニクス特性に関わる基本的事項の整理結果を報告した。 特に「滑り傾向係数」、「モール・クーロンの破壊基準」、「CO₂コラム高」等の指標が 破壊に関する安定性評価に利用できることが判った。

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

指摘:断層に関するリスク評価は、誘発地震の検討を行うということか。もしそうだとすると、地震学の専門家も入れるべきであり、ジオメカニクスの検討だけでのリスク評価は難しいのではないか。

回答:今回の調査は断層再活動の検討というより、遮蔽層の破壊圧力についての 検討が中心であった。断層の滑り傾向係数等に関しては未だ検討過程である。

- 2)指摘:今回の調査は、断層に関するリスク評価というよりは遮蔽層の破壊圧力に 関するものと理解している。その点において今回の調査結果の報告は満足した ものが得られたと思う。
- 3)指摘:今後更なる調査を予定するときは、検討すべき事項を整理し実施してもらいたい。

(2) 2023 年度以降の貯留適地調査計画(案)

① 2023 年度計画概要(案)

2023 年度貯留適地調査事業の計画概要(案)を報告した。計画(案)として予定した業務(案)は以下の8件である。

- 1) 地質解析·貯留可能量評価(本荘沖)
- 2) 調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュ ーション (本荘沖)
- 3) 貯留ポテンシャルマップ作成および貯留可能量振れ幅評価
- 4) 調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュ ーション (境界条件・最適圧入レート検討)
- 5) 岩石力学的変動評価のための調査仕様検討および文献調査
- 6) 浅海域等での探査候補地リストアップ
- 7) 貯留適地調查事業技術手引書作成
- 8) データアーカイブシステムの更新および整理

委員との主な質疑応答は以下のとおりである。

1) 指摘: 断層リスクの調査方法についてであるが、CCS による大規模な地震が発

生することは想定していないわけで、これについて明確にしておくべきである。 断層によるリスクの評価は、CO2漏洩リスクに対する評価と理解しており、地震 誘発リスクと誤解されないようにするべきである。

2)指摘:貯留適地調査事業の技術手引書作成について、現時点においては調査井掘 削のデータはないので、誤解を招かないように作成する対象を明確にしておく べきである。

第8章

まとめと課題

第8章 まとめと課題

本業務では、3D 探査、地質解析と貯留適地評価、調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュレー ション等の調査業務を実施し、調査地点の総合評価を見直した。本業務による総合評価に基 づき、2023 年度以降の貯留適地調査の予定を作成した。その他の業務として、社会的受容 性の醸成活動を実施した。

なお、貯留適地調査事業では、有識者委員会での確認を経て一連の業務を実施している。

8.1 本業務の成果

本業務の成果は以下のとおりである。

8.1.1 2D/3D 探査の実施

貯留適地調査業務では、基礎物理探査、公的機関および民間の既存 2D/3D 探査データの 有無を確認し、必要に応じて新規の 2D/3D 探査を実施している。

本業務では、本荘沖で新規 3D 探査を実施した。

令和2年度委託事業において、本荘沖ー秋田沖の笹岡層貯留層で約50億tの貯留可能量 を算出した。しかしながら、本荘沖では、貯留可能域内の陸側の水深が浅い海域においては 既存3D探査データが存在せず、既存2D探査データのみを用いて評価を行っている。当該 範囲における地質解析精度の向上を目的として、新規3D探査のデータ取得およびデータ処 理を実施した。

8.1.2 二酸化炭素貯留適地調査に係る調査・解析・検討の実施

本業務において実施した業務の成果を以下に示す。

(1) 海底地形判読および海底地質情報コンパイル

能代沖および隠岐沖の 2 地点において、海底地形および海底地質に関する情報を整理した。

(2) 調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュレーションによる貯留可能性検討

佐渡南方沖と日高沖の2地点において調査井掘削前CO2挙動予測シミュ ーションを実施した。

佐渡南方沖では、鮮新世〜更新世の西山層貯留層を対象として、坑井配置範囲 2 箇所で それぞれ 2 本および 3 本の圧入井を約 1,500 m 間隔で配置し、圧入 ート1 坑井あたり 50 万 t-CO₂/年、40 年間の圧入でほぼ 1 億 t-CO₂ の貯留が可能であることを確認した。

日高沖では、令和3年度業務で実施した調査井掘削前 CO2 挙動予測シミュレーションに

より、遮蔽層(鮮新世 萌別層)の地層破壊圧力が比較的低いこと、および貯留層(後期中 新世~鮮新世の平取・軽舞層、荷菜層、萌別層)の浸透率が比較的低いことにより、想定し た圧入レート(50万 t/坑/年)を維持することができず、5本の圧入井(垂直井)では40年 間で累計約0.5億 tの圧入可能量に留まったことが示された。そのため、本業務では、垂直 井・高傾斜井・水平井の違い(坑跡と仕上げ区間長の違い)による圧入能力と圧入挙動の違 いの比較と、感度試験による貯留層の不確実性の影響の確認のためのシミュレーションを 行い、圧入井の圧入能力改善による貯留可能量への影響について検討・評価を行った。その 結果、水平井による40年間の累計圧入量は、垂直井による累計圧入量と比較して3割程度 増加することが示され、水平井の適用により、垂直井よりも高い ートでの圧入や、貯留層 上端における CO2の平面的な広がり、遮蔽層に対する CO2の浸透の抑制を両立できる可能 性があることが確認された。

(3) 貯留適地調査事業データを活用した堆積システムの検討

2014 年度から 2021 年度にかけて実施してきた貯留適地調査事業における地質解析結果 データを用いた堆積システムの整理、および日本周辺海域における堆積システムモデルの 検討を行った。

堆積システムの整理では、調査対象 13 地点の層序・年代、構造発達、ファシス区分、貯 留層・遮蔽層、地層安定性の観点から、背弧側東北日本、背弧側西南日本、前弧側の特徴を 整理した。これまで各地点のファシス区分および標記名について、ばらつきが見られたが、 専門家による指導の下、これらの最適化、統一化を図り、貯留層や遮蔽層に適したファシス、 年代等について明らかにした。また、地層安定性に関しては、上記3地域の地震の発生や活 断層の分布状況、貯留適地調査事業において解析された断層の特徴等について整理した。 堆積システムモデルの検討では、3地域のそれぞれの代表地点における堆積システムの変遷 を整理し、3地域における海退期、海進期における堆積システムモデルの構築、およびそれ ぞれのモデルにおける貯留層、遮蔽層の発達に関する考察を行った。

(4) 地層の破壊に関する基本的事項の整理

CO2 の圧入・貯留に関連した地層の安定性評価のために実施するジオメカニクス特性評価(ジオメカニクスに基づいた力学的変動評価)は、当該サイトでの調査井掘削により得られるデータを基に実施することが想定されている。このため、調査井掘削時の調査事項はこのジオメカニクス特性評価を考慮して決定する必要がある。本業務において、調査井の仕様策定に資するジオメカニクス特性評価に関わる基本的事項を整理した。

地層の破壊に関する基本的なメカニズムの整理として三つの破壊機構、すなわち引張破

8-2

壊、せん断破壊、圧密を解説し、CO2地中貯留の分野で想定される破壊現象について整理 した。

次に、ジオメカニクス特性評価に関する一般的なプロセスについてまとめた。ジオメカ ニカルモデルの重要な要素となる岩石強度モデル、間隙圧力モデル、応力モデルの構築に ついて、具体的な手法の紹介、手順、主要なデータについて示した。また、ジオメカニカ ルモデルに基づく破壊評価の手法であり、断層安定性評価の主要な手段となっている滑り 傾向係数による評価と数値シミュレーションによる評価を紹介した。

最後に、実際の CCS プロジェクトにおけるジオメカニクス特性評価の具体的事例を四 つ紹介した。いずれのプロジェクトでも単眼的な評価に留まらず、地下空間の不確実性を 考慮した対応、すなわちモニタリングの併用、複数シナリオによる評価、推定値に幅を持 たせた評価、評価の時空間的な相対変化等に言及していることへの留意が必要であること が示された。

今後のジオメカニクス特性評価のために取得すべきデータの種類は、岩石力学特性の推 定に資するデータと、応力場の推定に資するデータに大別される。応力場に関しては、最大 水平応力の推定に関する技術開発により、ジオメカニカルモデルの不確実性の低減に大き く貢献することが期待される。さらに、応力変動に伴う破壊への関心の高まりもあり、坑井 から離れた場所での応力場の推定や応力挙動に関する検討、あるいはそれらの精度向上に 関する検討が重要となる。

(5) 報告書

JCCS は、JOGMEC から国内石油天然ガス基礎調査基礎試錐および同海上基礎物理探査 等に関する資料ならびに民間会社から坑井掘削および 2D/3D 探査に関する資料を借用し、 本業務を遂行した。借用資料には経済産業省および民間会社が公開不可としている資料が 含まれており、本報告書では公開不可資料を掲載することなく調査結果をまとめた。

8.1.3 2023 年度以降の調査候補地点の選定および調査計画(案)の作成

(1) 貯留適地調査地点の総合評価

本業務において、2022 年度の調査結果に基づき、令和3年度委託事業における 2021 年 度末の調査地点の総合評価を、表 5.2・2 に記載している総合評価基準により見直した。2022 年度末の調査地点の総合評価結果は表 5.2・3(1)~(2)に示したとおりである。同表に記載の 41 地点のうち、総合評価 AD の 4 地点(能代沖、秋田沖、本荘沖、宮崎沖)および総合評 価 S の 9 地点(日高沖、酒田沖、新潟沖、佐渡西方沖、新潟北西沖、佐渡南方沖、京都一福 井沖、鳥取沖、茨城沖北部)、ならびに総合評価 A の 4 地点の内の 2 地点(隠岐西沖、隠 岐北沖)の15地点を有望な貯留適地候補地点として評価した。

(2) 貯留適地調査の 2023 年度の予定

図 5.3-2 に示した 2023 年度の貯留適地調査計画(案)では、有望な貯留適地候補地点 15 地点で調査を継続する計画としている。

2D/3D 探査を実施する調査地域の選定

8.2.1 項に記載したように、現在のところ 2023 年度で貯留適地調査事業終了の予定であるため、2023 年度は 2D/3D 探査を実施しない。

② 2023 年度に地質解析を実施する地点の選定

2022 年度に実施した本荘沖 3D 弾性波探査のデータ取得・処理の結果を用い、既存の弾 性波探査データと合わせた地質解析と貯留適地評価および調査井掘削前 CO₂ 挙動予測シ ミュ ーションを実施する予定である。

また、これまでの貯留適地調査事業の成果を整理し事業者の活用に資することや、今後の 探査計画および調査井仕様などに資する検討を実施するものとする。具体的には、貯留適地 調査事業の経験を踏まえた貯留ポテンシャルの検討や、浅海域等における今後の探査余地 および探査計画の取りまとめ、岩石力学的変動評価のための調査仕様検討および各国での CCS 事業における岩石力学的変動評価に関する文献調査、調査井掘削前 CO₂ 挙動予測シ ミュ ーションの条件整理等、評価手法の改善・整理を適宜実施する。

8.1.4 その他

(1) 社会的受容性の醸成活動

貯留適地調査事業に関する社会的受容性の醸成を図るため、自治体や地域住民への事業 説明や各地での展示会を活用し、国内の幅広い世代への CCS に関する情報発信活動を計画 し、第6章に示したとおり6件の活動を実施した。また、各種講演会において貯留適地調査 事業の概要と現況等について講演し、貯留適地調査事業および日本の貯留ポテンシャルへ の産業界や大学関係者等の理解の促進に努めた。

さらに、貯留適地調査を実施した自治体に対し、これまでの調査結果等について説明し、 CCS事業に関する関心、懸念等の情報収集ならびに意見交換を実施した。

(2) 有識者委員会の運営

本事業を的確に推進することを目的に、第三者の有識者による助言および指導確認を受けるための委員会を設置し、3回開催した。

8.2 課題

今後の課題として、次の項目をあげる。

8.2.1 事業の進捗状況

貯留適地調査事業の当初目的は、2020 年度末の CCS 技術の実用化という目標(苫小牧 CCS 実証試験開始時の目標)を受けて、国内に3箇所程度の大規模貯留適地を提示するこ とであった。2013 年度に、RITE による既往調査結果を参照し、17 区域23 地点の候補地 (調査対象地点)を CO2 貯留可能量1億 t 以上の貯留適地候補地点として抽出した。その 後、各年度事業において地質調査および地質解析等を実施し、各地点の貯留ポテンシャルの 評価を実施してきた。2022 年度は当初、調査井掘削候補地を3 地点程度選定する予定で あったが、経済産業省が進める CCS 長期ロードマップ検討会の中間とりまとめにより、調 査井掘削は掘削地点の選定も含め、事業者主導により実施されることとなった。したがって 本事業の中で調査井掘削候補地の選定は実施されないこととなった。

貯留適地調査事業は、現在のところ 2023 年度で終了の予定であるが、CCS 長期ロード マップ検討会の中間とりまとめでは、事業者と連携して国が積極的に CCS の適地調査を実 施するとともに、本事業で得られた報告書・データ類を JOGMEC に移管し、JOGMEC か ら事業者に開示されることが示されている。貯留適地調査事業のこれまでの成果を今後の 調査に十分活かしていくことが重要である。

8.2.2 社会的受容性の醸成

今後、国が CCS の貯留適地調査事業を推進するためには、地元自治体と関係者および調 査対象海域で操業する漁業関係者に対して丁寧な事前説明を行い、調査実施時期の調整を 行うとともに、CCS の貯留適地調査事業に対する理解と協力を得ることがきわめて重要で ある。これまで貯留適地調査事業における 2D/3D 探査の実施について、地元に対し説明を 重ねてきたが、調査井掘削段階に向けて、2D/3D 探査調査と調査井掘削でわかることの違 いや調査井の必要性について丁寧かつわかりやすく説明する必要がある。調査地域住民に 対しては、CCS に関する正しい情報を発信し、CCS の社会的受容性を醸成していくことが 重要である。

8-5

令和4年度二酸化炭素貯留適地調査事業委託業務

報告書 附属書 1

令和5年3月

用語集

1. 略語一覧

【組織名】

AIST	: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology/
	国立研究開発法人産業技術総合研究所
JAMSTEC	: Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology/
	国立研究開発法人海洋研究開発機構
JOGMEC	: Japan Organization for Metals and Energy Security ⁄
	独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構
NEDO	: New Energy and Industrial Technology Development Organization ⁄
	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
RITE	: Research Institute of Innovative Technology for the Earth ⁄
	公益財団法人地球環境産業技術研究機構

【委員会・検討会】

H25経済産業省委員会	:「平成25年度中小企業等環境問題対策調査等委託
	費(全国二酸化炭素貯留層基礎調査)に係る委員会」
H25環境省検討会	:「平成25年度我が国周辺水域二酸化炭素貯留適地
	検討会」

【事業名】

- 平成25年度経済産業省委託事業 :経済産業省委託事業 「平成25年度中小企業等環 境問題対策調査等委託費(全国二酸化炭素貯留層 基礎調査)」
- 平成25年度環境省委託事業 :環境省委託事業 「平成25年度シャトルシップに よるCCSを活用した二国間クレジット制度実現 可能性調査委託業務」
- 平成26年度委託事業 :経済産業省・環境省委託事業 「平成26年度二酸 化炭素貯留適地調査事業」
- 平成27年度委託事業 :経済産業省・環境省委託事業 「平成27年度二酸 化炭素貯留適地調査事業」
- 平成28年度委託事業:経済産業省・環境省委託事業「平成28年度二酸

化炭素貯留適地調査事業」

平成29年度委託事業:環境省・経済産業省委託業務「平成29年度二酸 化炭素貯留適地調査事業委託業務」

平成30年度委託事業本業務

- :環境省・経済産業省委託業務 「平成30年度二酸 化炭素貯留適地調査事業委託業務」
- 平成31年度委託事業本業務 :環境省・経済産業省委託業務「平成31年度二酸 化炭素貯留適地調査事業委託業務」
- 令和2年度委託事業本業務: :環境省・経済産業省委託業務 「令和2年度二酸化 炭素貯留適地調査事業委託業務」
- 令和3年度委託事業本業務 :経済産業省・環境省委託業務 「令和3年度二酸化 炭素貯留適地調査事業委託業務」
- 本業務 :環境省・経済産業省委託業務 「令和4年度二酸化 炭素貯留適地調査事業委託業務」

2. 用語一覧

五十音	用語	説明
ア行	アイソクロン	特定の層準の垂直方向で同じ厚さ(往復走時)のこと。
	アウトサイドミュー	弾性波探査のデータ処理内容の一つで、大きなオフセット範囲の波形
	٢	の振幅を抑制する処理のこと。
	アグラデーション	地層の累重様式の一つ。同一の単層、単層セット、パラシーケンス
		層、堆積シーケンスなどが繰り返し上方に累重する場合をいう。一般
		に堆積空間の形成速度と堆積速度が等しい場合に生じる。
	圧縮強度	ー軸ないし三軸圧縮試験において、試料が破壊に達した時の試料への 載荷圧 カのこと
	アトリビュート解析	戦時にパッシュ。 属性解析ともいう。3D 探査によって得られた弾性波動トレースの3次
		ームデータを使用して 波動トレースが持つ各種特徴(属
		性)を抽出し可視化する技術である。
		着目する属性によりさまざまな解析の種類があり、類似性・相関性に
		着目したシミラリティアトリビュート解析、反射強度と卓越周波数に
		着目したスイートネスアトリビュート解析、3 つの周波数成分と堆積相
		の相関を基に、光の3原色(RGB)を用いて可視化する RGB ブレンデ
		ィング解析等がある。
	アニュラス	坑壁とケーシング、パイプとケーシング間等の環状の間隙のこと。
	<mark>阿武隈リッジ</mark>	宮城県南部から茨城県北部にかけての沿岸に発達する、常磐沖堆積盆
		地の東縁部に南北方向に連なる先第三系のリッジのこと。
	安山岩	火山岩の一種。斜長石・輝石の斑晶(はんしょう)を含み、また、角
		閃石(かくせんせき) や黒雲母 (くろうんも)、輝石(きせき)を含む
		こともある。日本で最も普通の火山岩で、土木・建築材や墓石などに
		使用される。
	アンチセティック正	主断層もしくは地層の一般傾斜と反対に傾斜した副断層群(逆は「シ
	断層	ンセティック断層」)。
	イートン法	弾性波探査や物理探査データから地層圧力を推定する手法の一つ。
	異常高圧	地層圧が地層水による静水圧力を超えること。
	逸泥	坑井内の泥水が地層中に失われること。
	イライト	ケイ酸塩鉱物の一種でカリウムを含む粘土鉱物のこと。砕屑性または
		高温な熱水変質鉱物として出現する。
	インターセプト・ア	AVO 解析で得られるアトリビュートの一つ。P アトリビュートともい
	トリビュート	う。P 波の反射係数を表し、音響インピーダンスの変化に反応する。
	インバージョンテク	既存の断層が、これまでとは異なった運動方向に再活動することによ
	トニクス	って新しい地質構造を形成すること。特に、堆積盆の拡大期に引張応
		カにより正断層として活動した断層が、その後の応力場の変化により
		上縮応力によって逆断層として再活動する例がある。
	インビーダンス	理性波速度と密度の積で与えられる物理量のこと。単にインビーダン
		へという場合は、ビ波(百窖)インビーダンスを指すことか多い。
	インフイン	INIINE (IL)。ニ次元反射法処埋において定義される半面の万向の一軸の こと。
	インライン CMP ビ	受振器測線方向(海上調査ではストリーマケーブル曳航方向)の CMP
	ンサイズ	ビンの大きさ。受振点間隔の 1/2 となる。受振点が 25m であれば
		12.5m となる。

表1 用語集(五十音)

五十音	用語	説明
	ウェットガス	メタンとともにエタン、プロパン、ブタン、ペンタンなどの高級炭化
		水素をある程度以上含む可燃性天然ガスのこと。
	エアガン	水中で圧縮空気を瞬間的に放出して弾性波を発生させる非爆薬振源装
		置のひとつ。海域での反射法弾性波探査では最も一般的に使用され
		ବ୍ତ
	エアガンアレイ	容量の異なるエアガンを複数組み合わせたもの。エアガンアレイによ
		り波形をパルスに近づけることができる。
	エクスパンダブルラ	上部ケーシング内からライナーケーシングを吊り下げる機器であり、
	イナーハンガー	パイプを塑性変形により拡張させ、上方ケーシング内に密着させる機
		構を有するもの。
	エチレングリコール	溶媒、不凍液、合成原料などとして広く用いられる 2価アルコールの
		ー種で、分子式は C ₂ H ₆ O ₂ である。粘土鉱物の同定に利用される。
	延性度	一軸ないし三軸圧縮試験において、試料が破壊に達した時の試料への
		歪のこと。
	往復走時	Two Way Time (TWT)。振源から伝播する弾性波が地下で反射し、受振
		点まで到達するのに要する時間。
	オングストローム	長さの単位で、 Ăと表記する。1Ă = 10⁻¹ºm = 0.0001 μ m = 0.1nm で
		ある。
	オーバーバーデン圧	それより上部にある岩石の重量によって生じる圧力。
	オーブンニコル	偏光顕微鏡の光路に偏光子のみを差し込んだ状態のこと。鉱物の形
	1 - 1	状、色、屈折率、多色性などが観察できる。
	オフセット	弾性波探査における、発振点と受振点の間の距離のこと。
	音響インヒータンス	媒質の弾性波速度と密度の積で与えられる物理量である。
	音響インヒータンス	切井において来のた音響インビータンスロクと岩相分布を対比し、砂 出屋は2月出屋の特徴を支援した。 ピンス・ブレーノルン サルナス 知
	月年 付丁	右層や泥右層の特徴を音響インビーダンスホリュームから抽出する解 析手法のこと。
	音響基盤	弾性波探査や音波探査記録断面上で、層序解析が可能な最も下位の反
		射面の総称である。音響基盤の基準は、絶対的ではなく、使用機器の
		特性や調査の目的によって異なる。
	温度勾配	地温勾配。地球内部の熱源から地表に伝播してくる熱エネルギーに起
		因して、深度の増加とともに温度(地温)が高くなる割合。100 m(も
		しくは 300 ft)当たりの温度で表すことが多い。世界の多くの堆積盆地
		では 1.5~5℃/ 100 m とされる。
	音波検層	発信機器から音波を地層に発信し、受信機にて戻った波形を記録する
		ことで、地層中の音波の走行速度を求める検層のこと。
	音波探査	水中で音を発振し、反射または屈折する音波により水底下の地質構造
		を調べる手法である。音源として、水中放電を使用するスパーカー、
		高圧空気を使用するエアガン、振動板を使用するブーマーなどがあ
		৯ .
	オンラップ	弾性波探査データの比較的水平な反射波の端が、傾斜した下位の反射
		波に斜めにぶつかる形態のこと。便宜的には陸方向へ向かって反射波
		が消滅する現象をいう。
カ行	外圧加圧式のテスタ	坑内流体の産出テスト時に、パイブに接続して坑内に降下されるバル
	ーバルブ	フであり、バイフ外側の圧力制御によりその開閉を行うもの。
	海進期堆積体	ransgressive systems tract (S) 地図は田湾た田社的海北進赤動に トスキ のトナス 畑会 「シュートンス 図
		地度成凶調を相対的海小年変動によるものと9 る概念「ンーケン人層 支管」の用語でもし、推動分面の海水進ぶと見している時期に推動した。
		アナ」の77mmにのう、単復単四の海小半がエチしている時期に堆積し た堆積体のこと。

海底擬似反射面 Bottom Simulating Reflector(BSR)。海底擬似断面ともいう。 弾性波記録版面上で 層理面とは関係なくほぼ海底面に並行	
弾性波記録版面上で、展理面とけ関係なくほぼ海底面に並行	
洋江放記跡向面上で、眉柱面とは関係なくはは海底面に並り	(往復走
時差で通常 0.5 秒以内)して現れる強振幅のイベントで海底撥	似反射面
といわれる。例としてメタンハイドレート層の下限に見られる	ことが
多い。	
海底谷 Submarine canyon。海底にある陸上の谷地形に似た細長い凹が	也。
海底受振ケーブル Ocean Bottom Cable(OBC)。	
地震計およびデータ転送装置を内蔵した、海底に設置するケー	・ブルで
ある。長期間設置用に開発されたものは、設置型 OBC とよば	れ、長期
間にわたる地震動のモニタリンクに適している。	
海底扇状地 Submarine fan。海底にみられる扇状の堆積地形。	-
海底面下深度 Meter Below Sea Floor (mBSF)。海底面をセロとした場合の済	度。
カオリナイト ケイ酸塩鉱物の一種で粘土鉱物のこと。化字組成は Al4Si4O10	OH)8、
お 船糸は 二 お 船 船 れ に ナ い や の の の の の の の の の	
火仰石 火山併滑石ともいう。	ττ.
スロ活動により放田された吸力状の回体物員を火田併用物と報 これが国結したまの	がかし、
	はされる
大田内味石 大田石のフラ、王として私住の中間に以上の大田吸用物がら構) 岩石(図2「火砕岩の分類」を参昭)のこと。	20100
火山岩 マグマが冷え固まってできた岩石のうち地上もしくは比較的浅	い地下
で固まった岩石のこと。	
火山礫凝灰岩 火砕岩のうち、主として粒径 2~64mm の火山破層物から構成	される岩
石(図2「火砕岩の分類」を参照)のこと。	
ガスチムニー 地層中の深いところから浅部に向かってメタンガスなどが抜け	た形態
のこと。	
活断層 最近の時代まで活動しており、将来も活動する可能性のある問	i層のこ
と。〈最近〉とは、一般に第四紀の後期(およそ十数万年前以	降)を
指す。	
カッティングス 坑井掘削時にビットで掘り起こした岩石片のこと。	
カットオフ値定量的検査について、検査の陽性/陰性を判別する値のこと。	
桂根相 秋田地域標準層序では天徳寺層に発達する砂泥互層を指し、利	田沖坑
井層序では船川層から下部天徳寺層中に発達する砂泥互層を排	iす。
ガラス基流晶質組織 火山岩の石基組織の名称の1つ。細かい柱〜針状の斜長石の隙	間を主
としてガラスが埋めたもののこと。	
カラスシャード マクマが急激に冷却され、非晶質のままカラス状に固化した破	行のこ
	· LL + #+
軽石カフス頁石頁・ク 基頁苫有重 13%木満の砂石のうら、僻角私士として軽石カフィ	く方を特
	0
ガンマ線検層・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
岩石圧縮率 岩石が加圧されることにより変化する体積の割合のこと。	
岩相・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
基質量 砂岩を構成する砕屑粒子のうち、直径が 20 もしくは 30 µ m 以	「下のも
0.	
基図 GIS を利用して図を作成する場合に背景図となる地図データの	こと。
基礎試錐 長期計画に基づき、国の事業として石油・天然ガスの基礎デー	タ取得
を目的として掘削された調査井のこと。	

五十音	用語	説明
	基礎物理探査	国の事業として石油・天然ガスの基礎的データ取得を目的とした調査
		の中で実施されてきた物理探査のこと。
	キック	地層流体が坑内に侵入すること。
	キックオフポイント	傾斜掘り掘削において、坑井傾斜の増角を開始する深度。
	逆断層	断層によって地層が切断され、断層に沿って上の岩(上盤)が下の岩
		(下盤)に対して乗りあがるような運動をした断層。
	凝灰角礫岩	火砕岩のうち、粒径 64mm 以上の火山破屑物と基質である火山灰より
		なる岩石(図2「火砕岩の分類」を参照)のこと。
	凝灰質石質ワッケ	基質含有量 15%未満の砂岩のうち、砕屑粒子として凝灰岩岩片を特徴
		的に多く含むもの。
	共通受振点記録	弾性波探査において、同一地点での受振によって得られる観測記録波
		形のこと。
	共通発振点記録	ショットギャザーともいう。
		弾性波探査において、同一地点での発振によって得られる観測記録波
	井仍附展	形のこと。
	共役 断僧	同一時期に同一条件下の刀の作用ででさた、すれの回さか互いに逆で たる新屋の組のこと
	振败如	のる町間の租のこと。
	(整)座印 キルマッド	自 料構垣の中 じ 相対的に 高い 部 万 をいう。
	キルマット	地間流体の切内流入を停止させるための高比里ル水。
	インク構造	和間に兄られる変形構造のひとうでめる。有り面が同所的に屈曲した 亦形帯状領域め、岩石の辟関面に見られるシャープな屈曲でテされる
		変が市状限域で、石石の另所面に見られるシャークな価面で小される
	空気浸透率	
		有の性質である。
	空気粘性	空気浸透率測定時に、対象試料内を流れる空気の粘度のこと。
	掘削深度	坑井の掘削に使用するパイプ長さより求められる坑井の深度。
	掘削船	海洋での掘削が可能となるように、掘削装置を装備し、定点保持を可
		能とした船。
	掘削装置	坑井は地上から降下されるパイプの先端にビットと称する歯を取り付
		け、これを回転させ岩石を砕くことで掘削する。パイプを吊るための
		巻き揚げ装置や、回転機構、砕いた岩石屑を地表に回収するための泥
		水循環機構など掘削に必要な設備の総称を掘削装置という。
	屈折トモグラフィー	弾性波探査により得られた地下の速度分布をセル分割し、各セルの速
		度値を求め、その結果得られた最適な速度分布から地下の構造を解析
		する方法である。
	屈折波	地中を伝わる波(弾性波)の中で、地層の境界面(速度と密度が変化
	18 - A -	する面)で屈折し、地層を伝わり、地表に帰ってくる波のこと。
	クラーベン	はは半行に発達する止断層群によって形成された狭長な地形的凹地帯
		のこと。地溝とも呼ふ。(図3「クラーヘンとハーフクラーヘン」参 四 \
	ガニディエント・ア	照。)
	シンティエンド・ノ	へいの時間で待ちれるアドリビュードの一つでのり、Gアドリビュード
	グリーンタフ	日本海側に発達する新第三紀下部緑色海灰岩層のこと。
	クレバススプレイ	氾濫原において、自然堤防もが決壊した際に形成される河川成堆積
		物。
	クロージャー	貯留層の地下構造図で、背斜構造によってコンター線が閉塞する地質
		構造形態のこと。
五十音	用語	説明
-----	-------------------------	---
	クロススプレッドギ	3D 探査では、同一地点の発振によって、2 方向(主測線方向とクロス
	ャザー	方向)の観測記録が得られる。そのうち、クロス方向(主測線に交差
		した方向)の測線で得られる観測波形のこと。
	グロス <mark>層</mark> 厚	地層ユニットの全層厚をいう。
	クロスニコル	偏光顕微鏡の光路に偏光子に加え、検光子を差し込んだ状態のこと。
		複屈折で生じる「干渉色」や、試料の色が暗く見えたり明るく見えた
		りする「消光」を観察することができる。
	クロスライン	Crossline (XL)。三次元反射法処理における平面の方向の一軸のこと。
		インラインに直交する方向のこと。
	グロスロックボリュ	Gross Rock Volume(GRV)。総岩石容積。
	-L	貯留層全体の容積(体積)であり、一般的には、石油・ガス鉱床にお
		いて端水面より上位の岩石の総量を指す。
	珪藻化石(の分帯)	堆積物中から珪藻化石を検出し、種類・化石群から堆積環境、地層の
		対比などを化石分帯により考察する方法のこと。
	ケーブル深度調整機	曳航式ケーブルに取り付ける深度調整用の機器である。調整装置には
	器	翼が付随しており、船上からの指示により角度を変化させることによ
		りケーブル深度を任意に調整できる。
	ケーブル <mark>展開用機器</mark>	OBC もしくはストリーマケーブルを船上から降下したり巻き上げる装
		置のこと。
	ゲルマッド	掘削層の坑井内からの除去を目的として使用される高粘性の泥水。
	検層解析	検層による測定結果を基にし、岩石タイプ、岩相、有効層厚、孔隙
		率、流体のタイプ、孔隙中の流体の分布、流体の飽和率、生産可能
		性、二次的孔隙率、浸透率などの性状を明らかにすること。
	玄武岩	塩基性の火山岩であり、斜長石・輝石・橄欖(かんらん)石を含み、
		暗灰色ないし黒色である。最も多く世界各地に産する火山岩である。
	コア	坑井内などから採取される円柱形の岩石試料のこと。
	コア試験	コアに対しておこなう各種試験のこと。一般コア試験により得られる
		データとしては孔隙率測定、絶対浸透率測定、飽和率測定などがあ
		る。特殊コア試験としては相対浸透率測定や毛細管圧力測定などがあ
		ବ୍ତ
	コア分析	コアの観察結果、コア試験結果などから分析をすること。
	高温型石英	二酸化ケイ素結晶の多形の一つで、1 気圧、573℃で低温型石英から転
		移する六方晶系の鉱物のこと。
	鉱山保安法	鉱山の保安等について定めた日本の法律。
	高海水準期堆積体	Highstand Systems Tract(HST)。
		地層成因論を相対的海水準変動によるものとする概念「シーケンス層
		序学」の用語。堆積盆内の海水準が高い位置で停滞している時期に堆
		積した堆積体のこと。
	高傾斜井	坑井傾斜が大きく、掘削開始地点と地下の目的地点の偏距が大きな坑
		井。
	孔径半径分布	孔径分布測定では孔隙の入り口(孔口)のサイズを測定する。したが
		って、ここでの孔径分布は孔口半径分布である。
	孔径分布	孔隙サイズの体積頻度分布のこと。
	孔隙性状	孔隙率・浸透率などの良し悪しのこと。
	孔隙率	岩石の総容積に対する孔隙容積の割合のこと。%で表すこともある。
	坑口装置	坑井頂部に位置し内部にケーシングやチュービングを懸垂する機構を
		有する装置。
	向斜構造	褶曲している地層の谷に当たる構造のこと。

五十音	用語	説明
	更新世	表 4「地質年代表」参照。
	合成地震記録	Synthetic Seismogram。
		速度検層と密度検層または速度検層のみから理論的に合成された反射
		弾性波記録のこと。一般に反射特性とウェーブレット(基本波形)の
		コンボリューションとして計算される。反射特性は速度と密度から求
		まる反射係数を使用して、平行多層構造の仮定のもとに作成される。1
		次反射だけでなく、重複反射や球面発散の効果を考慮することもあ
		る。ウェーブレットとしては振源波形や地下のフィルタ効果、観測装
		置の特性、処理過程で使用されるフィルタなどが考慮される。
	構成粒子	砂岩に含まれる砕屑粒子のこと。
	坑跡	坑井の軌跡。
	構造運動	地殻を構成する岩石や地層の形成後、それらに褶曲ないし断層などの
		構造的な変位、変形および破壊を引き起こす原因となる運動およびそ
	14114	の過程の総称である。
	構造モテル	深度構造図をもとに地質構造を再現した数値モテル。このモテルを細
		かくセルに分割後、物性値を人力し貯留層モナルを作成する。
	広帯域三次元弾性波	広帯域(Broadband) 3D 採査ともいう。 従来の 3D 標本 トリナ 田油業世球の内いず、 ちど得られ 7,3D 標本の 5
	探宜	従来の 3D 探査よりも周波致帝域の仏いナーダが侍られる 3D 探査の ⊂
	秋 361 4	
	依 育地	車損益に車損物をもたらした供給源地、つまり肖仮の座地のこと。
	到4701日	火成石でも変成石でも、その鉱物組み合わせは11字組成と生成時の温 度・圧力条件に支配される。一字の化学組成の岩石が一字の鉱物組み
		及・圧力米什に文配される。一足の化子組成の岩石が一足の弧物組み
		ロリビをエッる温度・エカの範囲を相と呼び、大阪石と変成石において てそれぞれの知に特方の岩石をたつけた相区公が提案された。それぞ
		してれてれの相に行行の右右右をつけた相区力が提案された。 てれて カル成相 変成相というが それらを一任して鉱物相という
	坊壁	1000歳代で変換化というが、これのなど、10000mmの化という。 「「「「」」「「」」「」」「」」「」」「」」「」」「」」「」」「」」「」」「」
	が呈	抗時が抗共内に押し出してくること。
	坑壁の崩壊	坑壁が崩れること。
	コヒーレントノイズ	弾性波探査において連続的に線上に出現するノイズ波群のこと。
	コンター線、コンタ	図面上である量が等しい値を結んだ線をコンター線、複数のコンター
		線が描かれた図をコンター図という。
サ行	サイスミックインバ	反射法弾性波探査データをある一定の仮定の基で、岩石の物性値(密
	ージョン	度など)を求める手法のこと。数学的な逆解析で無いので、初期モデ
		ル依存性が高く、入力データ(解釈ホライズン、坑井、弾性波デー
		タ)の質が結果に大きく影響する。
	サイスミックファシ	弾性波探査断面上で反射波群がつくる定性的・形態的特徴の違いから
	ス解析	堆積システムとその分布を推定する解析方法のこと。
	最大海氾濫面	Maximum flooding surface (MFS)
		相対的海水準の上昇速度が最も早い時期に、海岸線は最も陸側に移動
		する。このときの時間面を最大海氾濫面と呼ぶ。
	最大残留ガス飽和率	岩石の孔隙を満たす水をガスにより排除したのち、再び水を最大限押
		し込んだ際のガスの割合。ガスを押し込む前よりもガスの割合は高く
		なる。初期状態との差分が岩石に固定され移動しなくなり、これを残
		留トラップと称する。
	ザク揚げ	泥水の循環により、掘削屑を坑内から排出すること。
	三軸圧縮試験機	油圧により封圧を制御することで第2主応力と第3主応力が等しい条
		件下での圧縮試験を行うことができる圧縮試験機のこと。

五十音	用語	説明
	三次元弾性波探査	3D 探査ともいう。
		面的に発振点、受振点を配置し、測定を空間的に密に行うことで、三
		次元的な地下構造を把握することができる。
	シーケンス境界	sequence boundary (SB)
		不連続面の一種で、陸上や浅海での不整合とそれに連続する沖側の整
		合面のこと。上下の2つのシーケンス境界によって境された1つの堆
		積シーケンスは、幾つかの堆積体(低海水準期堆積体、海進期堆積
		体、高海水準期堆積体)から構成される。
	シール能力	貯留層の上部を覆っている不浸透性の岩石(遮蔽層)について、流体
		の上方への移動を阻止する能力のこと。
	時間構造図	弾性波探査時間断面図の解析ホライズンにより解析された地下構造図
		のこと。
	時間層厚図	等時間層厚図(アイソクロンマップ)ともいう。
		水平方向に厚さが変化する地層について、その厚さの変化をコンター
		図で表現したもので、厚さの単位が時間であるもの。
	軸歪	ー軸ないし三軸圧縮試験における、ピストンによる載荷方向の歪のこ
		と。
	地震探鉱機	反射法弾性波探査で使用されるデータ収録装置のこと。探鉱を目的と
		した弾性波探査で用いられ、探鉱機の能力が探鉱成果を大きく左右す
		る。
	地震探鉱機フィルタ	地震探鉱機の観測パラメータ設定で、あらかじめ特定の周波数帯域の
	—	弾性波を除去・抑制した観測を行うために適用するフィルターのこ
		と。
	紫蘇輝石普通輝石安	紫蘇輝石、普通輝石を含む安山岩のこと。
	山岩	
	シデライト	日本語で、菱鉄鉱のこと。炭酸塩鉱物の一種で化学組成は FeCO3、結
		晶系は三方晶系である。
	自動振幅補償	Automatic Gain Control(AGC)。
		入力の大小に応じ、増幅器利得を増減するもので無線機、通信機をは
		じめ各種の電子機器に幅広く利用されている。ダイナミックレンジの
		狭いアナログ弾性波探査探鉱器においても、適度に AGC を行い振幅を
		抑圧するように設計されている。
	視認孔隙率	薄片鑑定の際に、顕微鏡下で目視で定性的に算出した孔隙率のこと。
	シミラリティーアト	隣接する波動トレース間の類似性・相関の指標であり、反射波の連続
	リビュート解析	性や不連続性を強調することで、断層や亀裂等の抽出を目的とした解
		析方法のこと。
	斜交葉理	地層中に見られる、層理面に斜めな筋(粒子の配列)のこと。
	ジャッキアップリグ	移動式海洋掘削装置の一種。掘削時は昇降可能な脚を海底面に設置す
		ঠ 。
	斜プチロル沸石	沸石の一種で、ケイ酸分に富むものの一つのこと。火山ガラスが変成
		して出来るものが多い。
		化学組織は (Na,K,Ca _{0.5} ,Sr _{0.5} ,Ba _{0.5} ,Mg _{0.5})6[Al ₆ Si ₃₀ O ₇₂]・~20H ₂ O であ
		δ 。
	遮蔽層	キャップロックともいう。
		CO2などの流体を通しにくい泥岩などで構成された層のこと。
	シャローガス	地下の浅い深度に貯まった掘削障害となるようなガスのこと。
	衝上断層	断層によって地層が切断され、一方が他方の上に乗り上げた形となっ
		ている逆断層のうち、断層面の傾斜が比較的緩いもの。

五十音	用語	説明
	初成孔隙	岩石が形成された初期に持っていた孔隙のこと。続成作用や二次的に
		生じた鉱物に埋められるなどして初生孔隙は減少していくことが多
		い。
	初動屈折波	地中を伝わる波(弾性波)の中で、地層の境界面(速度と密度が変化
		する面)で屈折し、地層の境界を伝わり、地表に帰ってくる波を屈折
		波と呼ぶ。
		振源から近い受振器では直接波が初動(受振器に最も早く到達する
		波)となるが、ある桂度振源から離れた受振器では、屈折波が初動と ある。この波ち如料用だ波し感じ
	2.011日	なる。この波を初期屈折波と呼ふ。
	ンルト石	凶」「作作性唯慎初の私度」
	具空胞和	小胞和の力法のこと。九限内に全丸が残ると十方に胞和かできないこ とから、 乳酸中た真のにしてから乳酸中た水で約和する
	雪缨相	こから、九原内を具呈にしてから九原内を小で配相する。 サイスミックファシス(Seismic Facios)
	辰 抹怕	9イスミックファンス(Seisinic Facies)。 弾性波探査記録の反射波の連続性 振幅強度 形能たどにおいて類似
		件を持つ特徴(反射波断面上において類似性を持つ反射波の様相)
		あるいはその類似性をもとに分類されるユニットのこと。
	浸透率	岩石などの中を流れる流体の通りやすさを表す物性値のこと。
	深度構造図	弾性波探査データを深度でホライズン解釈し得られる地下構造の平面
		図のこと。
	深部塩水層	孔隙や割目が地下水で飽和された地層のこと。
	シンリフト期	地球のマントル上昇に伴い地殻に伸張作用が働く地質現象をリフトと
		いう。リフトが生じる時代をシンリフト期といい、シンリフト期の前
		の時代をプレリフト期、シンリフト期の後の時代をポストリフト期と
		いう。
	水系泥水	掘削泥水の内、水をベースとしたもの。
	垂直深度	傾斜掘りにおいて垂直方向の距離で表される深度。
	スイートネス解析	3D 探査データにおいて、RMS エネルギーを平均周波数(瞬時振幅を
		瞬時周波数の平方根)で割ることにより得られ、砂層の領域を示す相
		対値として使用する。不透明度調整解析により、砂層イベントが明瞭
		に表示されるスイートネス領域を予め選定し、選定したスイートネス
		の小透明度頑喫を、二次元地形図上に投影させ、海底谷や海底扇状地 に推発するい屋公在をます
	っく―プ同数	に堆積9 る砂眉万仰を衣9。 同一発作ちでのパノゴレータを作動させる回数のこと。 スノープ回数
		向一光振点でのハイフレーズを振動させる回数のこと。ハイーフ回数 が多いほど信号/雑音比が改善されるが、その分測完時間が長くたり
		作業効率に影響する。
	スイープ周波数	バイブレータの振動周波数帯域。スイープ周波数帯域が広いほど信号
		がパルスに近づく。
	スイープ長	バイブレータの振動時間長のこと。1回当たりのスイープ長が長いほど
		地中に送られる波のエネルギーが大きい。
	水和・膨潤	粘土鉱物の層間に水分子が入り込むことを水和と言い、水和により底
		面間隔が広がる現象を膨潤と言う。
	スウェルノイズ	海域での弾性波探査において影響を受ける波浪に起因したノイズ波の
		こと。
	スカー	痕跡。ここでは地滑りの痕跡を示す。
	スタンドオフ比	坑壁とケーシングの最小距離(スタンドオフ)の最大距離に対する
		比。
	増角率	坑井傾斜が増す割合。通常、増角度/30 m で表される。

五十音	用語	説明
	ストリーマーケーブ	海上の反射法弾性波探査で一般に用いられるハイドロフォンを複数内
	と	蔵したケーブルのこと。
	ストレッチミュート	弾性波探査のデータ処理の中の NMO 補正処理に伴う波形の伸長および
		Far オフセット側に残留する屈折初動部分を抑制する処理のこと。
	スピルポイント	Spill Point。
		背斜トラップなどで形成されたクロージャーは、構造形態上、流体が
		貯留しうる限界レベルがあり、それ以上は溢れ出すことになる。この
		溢れ出すレベル(点)をスピルポイント(こぼれ出し点)という。
	スプレイ	海底谷や自然堤防付き海底チャネルからこぼれた堆積物が、舌状(ロ
		ーブ状)に発達した地形。
	スペクトラルデコン	弾性波探査ボリュームを任意の周波数帯に分解し、周波数ごとの特徴
	ポジション解析	を解析する。
	スメクタイト	ケイ酸塩鉱物の一種で粘土鉱物のこと。化学組成は
		(Na,Ca) _{0.33} (Al,Mg) ₂ Si₄O ₁₀ (OH) ₂ ・nH ₂ O である。結晶系は単斜晶系であ
		る。モンモリロナイト族の総称をさす。
	スランプ	未固結堆積物が水底の斜面を重力によってすべり下ることで形成さ
		れ、この作用をスランフまたはスランビンクと呼ぶ。
	スランプ・スカー	海底地すべりにより形成された凹状の厓面のこと。
	スレッショルド圧力	非濡れ性流体が岩石サンフルに浸入を開始する最小の圧力のことを直
		換圧力といい、スレッシュホルト圧力と呼ばれることもある。
	スローフエフロンジ	カルテフ壁崩壊に田米する土石流や混濁流(ターヒタイト)による堆積シ マニノ
	人ナム	人丁ム。
		里なり合う一つの地間の堆積した年代かはは建続していること。
	上町間 て茶り如博進法	上盤か下盤に対し、相対的に99下かつに町層。 又線回転八抵にないて、鉄廠の号比を空号ルまでまたの一つ、測定計料
	石央21即惊华広	◇ 秋田折万何において、弧物の重比を定重化する十広の一つ。 測定試料
		と13月に石英100%の試料(標準試料)を測定し、その強度との比がら 鉱物の量化を質出する。
	石質アレナイト	基督会有量 15% 未満の砂岩のうち、砂屑粒子として岩片を多く会むも
		金賀日将重10%水満の時名の りって、 研病種1 として名所を少く日日 0 ののこと。
	接触角	ののここ。 固体表面で液体と気体が接しているとき、この3相が接触する境界線
		で液体面が固体面となす角度のこと。
	絶対浸透率	単一流体が流動する時の浸透率のこと。
	セミサブマージブル	移動式海洋掘削装置の一種。半潜水型海洋掘削装置と呼ばれる。
	リグ	
	セメンチング	掘削後にケーシングを降下し、その外側をセメントで固めること。
	セメント柱圧	固化前のセメントスラリー柱により発生する圧力。
	セメントプラグ	セメンチングにおいて、セメントスラリーと泥水の混合を防止するた
		めに用いられるゴムとアルミニウムから構成される栓。
	浅海 3D 探査	浅海三次元弾性波探査ともいう。浅海域および浅海域と陸域に跨るエ
		リアにて実施する 3D 探査のこと。
	浅海帯	低潮線から大陸棚外縁(水深 140m 前後)までの海底のこと。晴天時
		波浪限界(水深 30m 前後)を境に、上部と下部に区分される。
	前弧堆積盆地	島弧ー海溝間に発達する堆積盆地。
		度と裾の広がり度を示す。
	セントラライザー	セメンチング時にセメントスラリーがケーシングと坑壁の隙間に一様
		に満たすようにケーシング外側に設置される芯だし器具。

五十音	用語	説明
	層厚	地層の厚さのこと。
	層準	層序上のある特定の位置を指す。例えば、A 層と B 層が同層準にある
		とは、両者が同時期に形成されたことを意味する。
	層序	ある地域において、下位から上位に向け、どのような地層が重なって
		いるのかを示したもの。すなわち時代の古い順から新しい順にどのよ
		うな地層が重なっているかを示したもの。
	相対浸透率	孔隙内に2つの流体が存在する時の各流体の浸透率(有効浸透率)を
		単一流体での浸透率(絶対浸透率)で除したもの。
	相転移面	珪質岩の鉱物相の転移面のこと。珪藻殻は続成作用(温度上昇)によ
		りシリカ鉱物のオパール A からオパール CT、石英へ鉱物相が転移す
		る。ここではオパール A とオパール CT の境界のことを指す。
	層理面	堆積岩ないし堆積相の重なりにおいて、岩相の変化により肉眼的に区
		別される単層の表面のこと。
	続成変質	堆積物が堆積し、埋没して温度・圧力が上昇し、岩石化していく過程 で生じる変質のこと。
	(弾性波探査での)	弾性波探査において、発振点や受振点を設ける位置の連なりをいう。
	測線	発振点の連なりを発振測線、受振点の連なりを受振測線という。
	速度フィルター	弾性波探査データ処理において、特定の見かけ速度域の情報を強調し
		たり、抑制したりする操作を行うためのフィルター。
タ行	タービダイト	混濁流と呼ばれる重力流により運搬された堆積物。混濁流堆積物とも
		呼ばれる。砂岩と泥岩の互層となることが多い。級化成層が発達する
		こと、堆積の下底面に堆積時の水底が水流によって侵食された跡(ソ
		ールマーク)が見られること、などで特徴付けられる。
	ターミネーションパ	弾性波探査記録断面上で、反射面が他の反射面にぶつかる際に、反射
	ターン	波の端点が示す様々なぶつかり方の形態のこと。
	堆積環境	堆積物が堆積する場のいろいろな条件。例えば、地理的、物理的、化
		学的、生物的といった諸条件を含む。堆積物はこれらの諸条件に支配
		されて堆積しており、またこれらの諸条件を反映した特徴を示す。し
		たがって堆積物の特徴からその場の堆積境境を推定することや、ある
		いは世に堆積境項からての場に分布する堆積物の種類を推定すること ポッキュ
	## 神	かできる。
	堆預怕	地層をての総合的な 部住員(石相、鉱初相、化石相、化子相なと)に よってとらえた特徴。
	堆積相解析	Sedimentary Facies Analysis
		堆積相自身および各種の堆積相の時間的・空間的関係に基づいて、地
		層の形成過程と環境を解明すること。個々の堆積相の検討から、その
		堆積相を形成した水理学的・地質学的条件を研究する一方、普遍的な
		堆積相の組み合わせやその時間的・空間的分布から、現世の堆積環境
		における堆積相や堆積相モデルなどと比較検討して、層序区分単元の
		形成環境とその変遷を明らかにする。古地理の復元や地史の解明に重
		要である。
	堆積相分布図	地層をその総合的な諸性質(岩相、鉱物相、化石相、化学相など)に
		よってとらえた特徴を面的にあらわした図のこと。
	堆積体	相対的海水準変動に応じた、堆積システムの連なりや組み合わせによ
		って形成されたもの。
	堆積盆地	ある期間、沈降が継続し、その間に堆積物が累積した地域のこと。

五十音	用語	説明
	大偏距井	一般に、傾斜井において水平偏距と垂直深度の比が2以上の坑井。広義に
		は、技術的な難易度に応じて、この比にとらわれず大規模な水平に近い坑井
		を大偏距井と呼ぶこともある。ERDは Extended Reach Drilling の略で、大偏
		距掘削をいう。
	ダウンホールモータ ー	ビット直上に取り付けられ、循環する泥水の力でビットを回転させる機器。
		弾鉄沖煙木ニータの反射沖の端が、比較的水平なてたの反射沖売に対
	ダリンラップ	弾性液抹重ナーダの反射液の端か、比較的水平な下位の反射液面に料 めにごつかる形能 時間での性種を油刷での無性種素音味する
		のにふうかる形態。陸側での堆積と岸側での無堆積を意味する。
	シ月底里	「「アインへの周辺としいう。」 「其進占から測占1」測占1から測占2)測占2から測占3のように測占
		※半点がら別点「、別点「から別点」、別点とから別点でのように別点 を結んで測量エリアを多角形で示し、それぞれの測占間の距離と角度
		を観測して位置関係を求める方法である。
	自越	周期またけ波長に用いられる場合のかっている。
	+12	
	多重反射波	ーー。 海上弾性波探査において、地層又は海水層などで2回以上反射を繰り
		返した反射波のこと。反射断面図に現れる多重反射波は、地下構造を
		経験である上で障害となる。
	縱歪	定義は軸歪に同じ。文脈の中で、横歪と対比するかたちで縦歪が使わ
		れる。
	ダルシーの式	ヘンリー・ダルシーが発見した多孔質媒体内の単一相の流量と圧力損
		失および粘性係数との関係を表した経験式のこと。この関係の比例定
		数 K が浸透率と定義される。
	単結晶(高温型)石	二酸化ケイ素結晶の多形の一つで、1 気圧、573℃で低温型石英から転
	英	移する六方晶系の鉱物のこと。
	弾性波探査	地下を伝わる弾性波が物性(主に P 波速度、S 波速度および密度)の異な
		る境界で屈折や反射などの現象を生じることを利用して、地下構造を
		調査するための手法のこと。
	地質層準	層準を参照。
	地質層序	層序を参照。
	地質リスク	地盤・地質のさまざまな不確実性に起因して生じる不都合な事象に対
		し、地質的リスク、ジオリスク、地盤リスク、地下リスク、地山リス
		クなどいくつか類似な言葉が用いられている。地質リスク学会では、
		「地質に係わる事業リスク」を"地質リスク"と定義し、事業コスト損
		失そのものとその要因の不確実性を指すとした。
	千島弧	千島列島から北海道中央部にかけて延びる地形構造上の島弧。
	地層圧	地層の孔隙内に存在する流体の圧力。
	地層破壞圧	地層に亀裂が生じる圧力。
	チャネル	海底に形成された河川のような谷の形態を示す地形のこと。
	中央九口半径	測定されたれ口半径テータを、大きさ順に亚べたときの中央の値のこ
	エュービング	て。
	テュービング	地間流体を地工に得くための小山住のハイノ。
	単位丁仲間	同还中は丁で地宿に照初しし地宿流1本の小茶街及で訂測りることによ ↓↓ 地層のゴ階変たずめス全層のニレ 測空結用け业実店スェピ
		ッ、地宿の九陽平で不のつ使宿のこと。 冽足範未は小茶原ナエービー マイ (ADI) っこ ット なるいけち匹当で訪正された辺階変た単点 LI
		フィー ハロリーユー フロ、のるいはロバ石で私止された九陽学を半位とし て表示される ゴ階変け 岩質に影響たらけるほか ガラ属でけ目出
		くなかですいる。TLIM平は、石貝に影音でリリるはか、ハヘ盾では兄母 け上減小する。
	貯留層	いーパンフラッ CCSにおいて、CO₂を圧入し、長期間留めておく地層のこと 一般的
		に、砂岩などの浸透性の高い地層が貯留の対象層とされる。

五十音	用語	説明
	貯留層モデル	遮蔽層や貯留層を再現した数値モデルのこと。細かく分割したセルに
		物性値を入力し、CO2挙動シミュレーションで使用される。
	地理座標系	地球上の特定の位置を表すため用いる座標系の一種である。地理座標
		系は、広域に渡る範囲を一定の尺度を持った1つのデータとして管理
		できるという利点があるが、ある範囲に着目した場合には、距離・面
		積・角度のいずれも誤差が生じる。
	低海水準期堆積体	Lowstand systems tract (LST)
		地層成因論を相対的海水準変動によるものとする概念「シーケンス層
		序学」の用語のひとつである。堆積盆内の相対的海水準が低下した時
		期に堆積した堆積体のこと。
	泥火山	泥ダイアピルともいう。
		頁岩·泥岩のような塑性流動を起こしやすい地層が、上位に乗る地層の
		荷重を受けて、地層の割れ目などに沿って、上位層を押し上げて上昇
		することによってできるドーム状または背斜状の構造のこと。
	ディジタルテレメト	受振点の近くでアナロク信号をティジタル化して中央制御装置に伝送
	リ	9 句ンステムのこと。
	泥小几里	甲辺14個のにりの泥水の里重。泥水による泥水柱圧か地層圧より小さ くならないように調整する
	ディスタル	ヽならないよしに調進する。 体種物の供給酒から離れた場所に供替」た地屋の当中た代す。 おんぽ
	712910	年頃初の決和源から離れた場所に年頃した地層の石柏を相9。 海底廟
		次地堆積物では、駒扒地の元端(称2)がで堆積した地層の石榴を招 オ
	底 生 右 J 由	9。 海底付近に生自する友利中のこと
	モニカルム	海底内近に主意する有孔玉のこと。 DGPS
	GPS	という。 任音占の位置座標を GPS で求めるときに 位置座標が正確に判明して
		いる基準局で受信した GPS 信号から求めた位置座標と正確な位置座標
		の差を補正値として使用し、GPS 受信時の誤差を補正して位置座標の
		精度を高めた GPS のこと。
	データ伝送ケーブル	有線型探鉱機データ伝送装置の伝送ケーブルのこと。
	テクトニックインバ	すでに存在している断層が従来とは正反対の動きをする造構運動をい
	ージョン	う。
	デコンボリューショ	反射法弾性波探査データ処理において、振源特性、観測機器の特性、
	ン	地層特性および観測系の特性等の影響を除去して記録の分解能を高め
		るフィルターのこと。
	デタッチメント <mark>断層</mark>	断層・褶曲で変形した上盤と、変形を被っていない下盤との境界をな
		す低角度の断層のこと。
	デブライト	礫を多量に含む礫岩で、礫は角がやや丸くなっている程度で、量も極
		めて多く、基質は少ない。土石流によって運ばれたものと考えられ
		る。
	デブリフロー様堆積	砕屑粒子と水の混合物が粒子濃度の高い状態で、重力を駆動力として
	物	斜面などを流下し、堆積したもの。
	デルタ	海洋や内湾、湖沼などの水域に河川が流入することによってできた堆
	デルタプレイン	1917。 一つ200。 デルタフロントのトに推荐物が垂ることで、 ほぼ水亚で十公亚とにた
	, 10, , , , , , ,	った平坦面。
	デルタフロント	デルタ内において、海や湖沼、潟湖、内湾などの水域側とそこに流入
		する河川との相互作用が最も顕著に行われる領域。
	テレス(テラス)状	ある一方向に傾斜した地層が、部分的に平たんになっている場合に、
	構造	その平たんな部分をテレス(テラス)状構造という。

五十音	用語	説明
	出羽変動	秋田の油田構造を作った造陸・造山運動である。船川階後期における
		羽越地向斜の地域的背斜化による隆起運動に始まり、天徳寺階桂根期
		に主要造山運動があり、南北系の褶曲・断層構造を生じた。この造構
		によって、女川層・船川層および天徳寺層下部(桂根相)などの秋田
		油田における油母層が構造をうけ、それらの集油形態に石油が集積
		し、鉱床を成立させた。
	投影座標系	地球上の特定の位置を表すため用いる座標系の一種である。投影座標
		系では、用いる投影法によって、距離・面積・角度のいずれかを正確
		に表現できるが、広い範囲を同時に表現すると基準とした原点から離
		れた範囲では誤差が大きくなる。
	等価泥水比重	ある深度における圧力をそれに等価な泥水比重に換算して表したも
		の。圧力を垂直深度で割ったものの単位を圧力勾配から密度に換算し
		た値として定義される。比重は無次元量であるが、g/cm³で表した密度
		が比重とほぼ同じ値になるため、混乱のない範囲で、泥水密度と泥水
		比重は同じ意味で用いられる。
	撓曲	地下の断層が動き続けると、地表では断層の延長上の一部分に変形が
		集中し、そこだけ地層が急傾斜したり、ときには地層が逆転したりす
		る。このような構造を撓曲(撓曲構造)という。
	同時異相	同時期に堆積した地層が場所によって異なる層相を示すもの。
	等時間層厚図	時間層厚図や等時間層厚線図ともいう。
	同斜構造	地層がある程度の広範囲にわたって、おおむね同一方向に傾斜してい
		る地質構造のこと。
	等層厚線図	地層の厚さの水平的変化を表すために、厚さの等しい点を結んで示し
		た図のこと。
	淘汰度	岩石を構成する粒子の粒径分布のばらつきの度合いのこと。粒径の揃
		ったものは淘汰が良く、揃っていない(粒径がばらついている)もの
		は淘汰が悪いといえる。
	トータルステーショ	光波距離計とセオドライトを一体化した測距測角儀のこと。1 回の測定
	ン	で水平角、鉛直角、距離を同時に観測できる。
	ドーム(状)構造	地下において地層がドーム状に上に凸に盛り上がっている地質構造を
		指す。
	独立型探鉱機データ	受振器のアナログ信号を受振点近くでディジタル化し収録するシステ
	収録装置	ム。データ伝送は行わずデータは装置内部に収録される。
	トップドライブシス	地表部でドリルパイプに回転を与える装置。
	テム	
	トップラップ	弾性波探査データの反射波の端が、上位の反射波に斜めにぶつかる形
		態のこと。
	トラフ充填型タービ	トラフ状の堆積盆地を埋積したタービダイトのこと。
	ダイト	
	トランスポンダー	送信機が発出した信号に応答して自身の位置を知らせる信号を送信す
		る応答器。
	ドリルシップ	移動式海洋掘削装置の一種。船型で掘削装置を装備したもの。
	ドリルステムテスト	掘削直後に掘削装置を用いて実施される流体生産試験。
	トルク・ドラッグ	掘削作業時に使用するパイプが坑壁やケーシング内面との接触によっ
		て生じるトルクや摩擦。
	トレーサビリティ	品質マネージメントシステムにおいては、管理対象とするものの履
		歴、適用や所在等を追跡できること。

五十音	用語	説明
	トレース	弾性波探査において時間的に連続して観測された一観測点のデータ、
		あるいはこのデータの経時変化を連続する線として表示した波形のこ
		と。 Delecite
		Dolente。 半変成単の一つ 化学組成上 水山単でけ支武単が相当する 単床・単
		ー本版名の一 う。 化子植成工、 入山名 C は 幺 氏名が 伯当 うる。 名体 名 脈として産する。
	トレンド	走向ともいう。
		地層面・岩脈壁・節理面・断層面・片理面・鉱床面などが水平面と交
		わる直線の方向のこと。
ナ行	ナイキスト周波数	連続信号を等間隔で離散的にサンプリングする際のサンプリング周波
		数の 1/2 に相当する周波数のこと。
	内部摩擦角	モール円の包絡線を直線で表した場合の、その直線の傾きを角度とし
		て表したもの。
	二次元弾性波探査	2D 探査ともいう。
		直線状に発振点、受振点を配置し、測定を行い、測線に沿っ地下構造 たmedt ステレビズホス
	<u> ユットノグロフル</u>	を把握することかじざる。
	イット/ クロスル ネット / グロス	町宙宿砂石を含むめる地暦ユーットの主宿厚(クロス)に対する有効 砂岩層厚(スット)の比率を指す
	ネット孔隙率	労力消除(ホット)の比平を消す。 労力に存在する利潤のうち、流体の移動が可能な隙間をネット利潤
		といい、単位岩石中に含まれるネット孔隙の割合を指す。
	ネット層厚	地層ユニットの中での、貯留層の有効層厚のこと。
	ネットワーク型 RTK	3点以上の電子基準点のリアルタイムデータを使用して、電子基準点か
	法	ら離れた場所でも利用者のごく近傍に仮想の基準点を作り出し、精度
		良く観測できるようにしたリアルタイムキネマティック GPS 測量のこ
		と。
	熱フラックス	熱による伝導性が高められる促進効果のこと。
	粘性係数	物質のねばりの度合のこと。SI単位は Pars(パスカル秒)である。
	粘着刀	モール円の包絡線を直線で表した場合の、その直線の切片に相当する 強度のこと。
	ノーマルトレンドラ	正常圧力状態での音波検層速度もしくはモデル化された音波速度デー
	イン	タの傾向の近似線を指し、正常圧力状態からどれほど変化が発生して
		いるかで異常高圧状態を予測するもの。
ハ行	バードシステム	ストリーマーケーブルを使用した弾性波探査においてストリーマーケ
		ーブルの曳航深度を一定に保つため、ストリーマーケーブルに取り付
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	けられる調発装直のこと。
	ハーフォレーション	セメントで回められにケーシングを火架にし身れりること。
	<u> </u>	なば十日に元星する正朝着件にようて形成された法長な地形的回地帯
		帯をハーフグラーベン(半地溝)という。図3「グラーベンとハーフグ
		ラーベン」参照。
	ハイアロクラスタイ	水冷破砕された火砕岩の一種である。
	۲	
	背弧堆積盆地	成り立ちにおいて島弧や沈み込み帯と関連がある海面下の堆積盆地で
		ある。
	背斜構造	褶曲している地層の波の山に当たる構造のこと。
	廃水	使用済みとなった泥水等の不要となった水。

五十音	用語	説明
	ハイドロフォン	海上の弾性波探査において、エアガンから発射された音波が海底面下
		の地層境界で反射し、海水内で圧力変化として伝わる反射波を捉える
		受振器(圧力計)のこと。
	ハイドロリクス	泥水循環系に適用される水力工学。
	バイブレーター	ダイナマイトと並び、陸上用の主要な震源の1つ。マスと呼ばれる重
		りが付いたプレートを大地に接地し、油圧機構により、スイープ波形
		という特殊な振動を発生させることができる。
	破壞強度	固体試料が、外力の作用のもとに二つまたはそれ以上の部分に分離す
		る現象を破壊という。このときの応力(単位断面積当りの荷重)、す
		なわち破壊応力を破壊強さ、または破壊強度という。
	破壊限界線	モールの包絡線のこと。応力状態がモールの包絡線に達したところで
		岩石試料が破壊することを明示する文脈で使われる。
	発震機構	地震を起こした断層が地下でどのようになっているか(断層がどちら
		の方向に伸びているか、傾きはどうか)とその断層がどのように動い
	0	たかを示すもの。
	バッチ	3D 弾性波探査では、通常、調査エリア全体を幾つかの小エリアに分割
	A = A A	してデータ収録作業を実施する。この小エリアをバッチという。
	バライト	硫酸パリウムの微粉末。比重調整のため泥水に添加される。
	バリアンス	弾性波探査データの反射波の側方不運続性を抽出する手法の一つ。ソ
		フトウェア毎に名称やアルゴリズムが異なる(シミラリティ、コヒー
	<u></u>	
	バリティエラー	データ転送や処理中にテータが壊れた時にテジタル機器によって検出 され 5 調 U
	バルクは待	これる訳り。 目かけのは狭のこと、大体狭内には封約内の3階を会まれる
	ハルツ 体偵	兄がりの体積のこと。本体積中には試料中の九原も含まれる。
	バルク密度	試料の質量を見かけの体積で除し、単位体積当たりで表現した密度の
	0	
	パルス	弾性波探査において瞬間的に急峻な変化をする信号の総称である。
	反射波	エアカンやバイフレータなどの振源より発生した波動が水中、地中を
		伝播し、反射面で反射して受振点で観測される波のこと。
	反射波列端解析	反射波列端とは弾性波探査断面上において、ある反射波列が別の反射
		波列にふつかる終端部分を示す。反射波列端かとのような形態で終結 まるかた観察し、天津は天ら地区の展台間を、世球大中を世界で終結
		するかを観祭し、个連続面や地層の層位関係、堆積方向を推定する解 たまたのこと
	口射法巡抚冲现本	析于法のこと。
	反 射法弹性波探宜	仄別広保宜ともいう。 サーム・シーム・シーム・シーム・シーム・シーム・シーム・シーム・シーム・シーム・シ
		地衣や海中で振動を完生させ、地下の地層境外ではね返ってくる弾性 油(反射波)を計測することにとり、地下の地質構造を知るまたのこ
		版(反射版)を計測9 ることにより、地下の地員構造を知る于法のこ L
	は日	こ。
	TAT BE	斑仏の火成石にゐいて、より和枢の石基中に肉眼的に日だつて入さく 目える結晶 多くの少山岩・光空成岩などに認められる
	半港水刑海上堀割壮	元える相間。多くの大山石「十床成石などに認められる。
	千宿小空 <i>两</i> 工協則表 置	セミリンマーンフルリジ。
	比エンタルピー	単位質量あたりのエンタルピーのこと。単位は、kJ/kg(DA)である。
	歪(ひずみ)集中帯	長期的に見て、地殻変動による歪が特に集中している地域のこと。日
		本では、1990 年代以降に GPS による精密な測地が可能となったこと
		により、その存在が明らかとなった。
	歪速度	一軸ないし三軸圧縮試験において、単位時間あたりに増加する岩石試
		料の歪量のこと。

五十音	用語	説明
	歪速度制御	一軸ないし三軸圧縮試験において、歪速度を任意に設定することでピ
		ストンによる載荷速度を制御すること。
	歪度	分布が正規分布からどれだけ歪んでいるかを表す統計量で、左右対称
		性を示す指標である。
	比表面積	孔径分布測定で測定された孔隙が、真円管と仮定して求めた孔隙の表
		面積のこと。
	ビン	反射法弾性波探査のデータ解析において、面的に分布する反射点に対
		して、共通の CMP を構成するトレースを集める正方形あるいは長方形
		の範囲のこと。
	φe	Effective Porosity。
		有効孔隙率を参照。
	ファインマイグレー	岩石の基質中の粘土鉱物などの細粒物質が、水やガスの浸透に伴い移
	ション	動する現象のこと。この現象が起きると浸透率が実際の数値よりも悪
	ファシスマッフ	岩相図のこと。層位字的単位の岩石特性の地域的変化を示す地図のこ
	,,	
	ファンテルタ	海または湖に接している扇状地のこと。
	フーリエの法則	熱伝導における基本法則である。物体内に温度差があり、温度の高い
		万から低い万へと熱が流れるときに、熱の流れに垂直な面を考える
		と、この面を通過する熱の重(q)は、そこの温度勾配(dī/dX)と面積 (A) トに比例する
	<u>フェ</u> ッマムト	(A)とにに例りる。 「メノゴレーターにトス発症化業にたいて発症与の地方。たらス症動の
	フォースアウト	ハイフレーダーによる完振作業において完振母の地面へ与える振動の
		取入圧力値のこと。ハイブレーダの取入圧力値(ヒーグフォース)に 対する割合でます
	付加休っンプレック	メチンショーとなり。 海洋プレートが海港において大陸プレートの下に沈み込む際 海洋プ
	内加州コンプレップ	は一トトの推 諸物や火山岩などが 大陸地 熱側に 付加 された 地質体
	へ 付加休プリズム	し 時間斜面失端部に付け加えられた多くの道断層で積み重なった拠(プ
		リズム)状の断面をもつ堆積体。
	不整合	上下に重なる地層二つの間に堆積の不連続があり、地層形成時期にも
		大きな時間的間隙が認められる場合の両者の関係のこと。
	物性解析	反射法弾性波探査解析結果を用いて、弾性波速度、密度、ポアソン比
		等の岩石物性を推定すること。
	不動水飽和率	岩石の孔隙に占める水のうち、他の流体で孔隙を満たしても移動せず
		に無くならない水の割合のこと。
	浮遊性有孔虫	外洋の表層水中に終生浮遊生活をする有孔虫。
	ブライン	塩水のこと。一般的に地層水には塩化物が含まれることから、実験で
		は地層水相当の塩水が使われることが多い。
	フラクショナルフロ	2 つの流体の非定常流動を表す指標のこと。
	—	
	フラワー構造	横ずれ断層帯内で、上方で分岐している断層が、下方で収束していく
		配置のこと。地塁状の盛り上がりの形態を正のフラワー(ポジティブ
		フラワー)構造と、地溝状に落ち込む形態を負のフラワー(ネガティ
		ブフラワー)構造と呼ぶ。
	フランボイダル黄鉄	急激に成長した鉱物は結晶系に関わらず微細な針状結晶になる傾向が
	鉱	あり、それが放射状に集合した黄鉄鉱のこと。
	ブリッジプラグ	坑井ケーシング内に圧力遮蔽を目的として装置される栓。
	フリップフロップ発	海上 3D 探査において、2 組のエアガンアレイを交互に発振すること。
	振	

五十音	用語	説明			
	プルアパート、	横ずれ断層に付随して発生する盆地のこと。			
	プルアパート堆積盆				
	地				
	ブルーレジン	青色に染色した樹脂のこと。岩石中にブルーレジンを圧入すること			
		で、薄片鑑定の際に孔隙分布・形状などの評価を容易にできる。			
	プレッシャービルド	坑井を密閉し坑内圧力の時間的変化を測定解析すること。			
	アップ				
	プレッシャーフォー	圧入を停止し、坑内圧力時間的変化を測定解析すること。			
	ルオフ				
	フローバック	坑内にある流体を地上に排出すること。			
	フロクラデーション	海退期に海岸線が海側へ前進することに伴い、三角州が前進半衡(埋			
		め広め)作用によって沖合側へ前進、発達すること。			
	フロダクト・アトリ	AVO 解析で得られるアトリビュートの一つ。P×G アトリビュートと			
	ヒュート	もいう。インターセフト・アトリヒュート(Pアトリヒュート)とクラ			
		ティエント・アトリビュート(Gアトリビュート)の槓であり、水肥 和のトレンドからの手靴(法休用曲)キニオ			
	プロデルク	和のトレントからの北部(ボ体美吊)で示す。 デルクの北市部八のミナー池泊浸金の影響ナジはて北部トリナ湾い			
	ノロナルダ	テルダの水中部方のつら、波浪凌良の影響を受ける水沫よりも沫い (デルタフロントトリナ油側) 領域			
	プロデルタシュニノ	(ナルタフロントよりも冲側) 限攻。			
	JUTN9 9874	底直眉(しいらてう). 小床. 座側. 堆積環境. ナルダフロントの元の、 シルトたビ湾遊性物質が推測する部分			
	プロポーショナルフ	ンルドなど汗血に切負が堆積するの力。			
	フロホーンヨノルス ライス	エドホッチスンの間に、等間隔に翌日的な構造のホッチスンを追加すること。			
	フロンタルスプレイ	→ ○ こ こ。 海底公や自然県防付き海底チャネルの実端に発達する舌状 (ローブ			
		状)地形である。			
	分級度	堆積物の粒子の大きさの揃い具合のこと。粒子の大きさの分布を統計			
		的に処理し、その標準偏差の大小で表わすことが多い。			
	フロントエンド	フロントエンドとは、ネットワークサービスやアプリケーションで直			
		接ユーザーの目に触れる部分を示す。			
	分枝状チャネル	本流から分岐したチャネルで、本流と合流することなく流下する。こ			
		のチャネルは側方へ移動しやすく、運搬してきた砂質堆積物の堆積場			
		となる。			
	平均海水面下深度	Meter Mean Sea Leve (mMSL)。平均海水準をゼロとした深度。			
	平均粒径	その岩石を構成する粒子の平均の粒子径のこと。			
	平行葉理	地層中に見られる、層理面に平行な筋(粒子の配列)のこと。			
	米国石油協会	American Petroleum Insutitute (API)			
		原油比重やガンマ線検層・中性子検層の単位にもその名称が用いられ			
		ය.			
	ポアソン比	物体に弾性限界内で応力を加えたとき、応力に直角方向に発生する歪			
		と応力方向に沿って発生する歪の比のこと。 ヤング率などと同じく弾			
		性限界内では材料固有の定数と見なされる。縦歪に対する横歪の比に-1			
		を乗じたもの。(=-横歪/縦歪)			
	放物線ラドン変換法	多重反射波抑制手法のひとつ。水平に並ぶ反射波以外の反射波を抽出			
		し、これを本処理適用前のデータから除去することにより、多重反射			
		波を抑制する手法のこと。			
	防噴装置	坑井からの地層流体の噴出を防止するために坑井を密閉する装置。			
	飽和率	孔隙内に含まれる流体や流体の体積と孔隙容積との比のこと。			
	ポストリフト期	シンリフト期を参照。			

五十音	用語	説明			
	ポップアップ	もともとは断層一褶曲帯において反対の傾斜を持つスラスト間にある			
		相対的な隆起に対して用いられた。現在ではその構造的な位置は問わ			
		ない。圧縮場において背斜構造の両翼に断層が形成され、両者に挟ま			
		れた部分が上位へ持ち上げられた構造形態のこと。			
	ホライズン	層準。			
		地層を時間層序学的に解析する上で基準となるような特定の層又は層			
		理面のこと。			
	ポルトランドシステ	セメント種類の一つであるポルトランドセメントをベースとしたセメ			
	Г	ントシステム。			
マ行	マール	marl。			
		炭酸塩鉱物成分が 25~75%、粘土鉱物成分の多い不純な細粒石灰質堆			
		積物のこと。			
	マイグレーション	反射法弾性波探査のデータ処理に含まれる処理ステップのひとつであ			
		る。 反射法弾性波探査では、反射波はその到達方向によらず受振点で 分類主味 トーズコ母されて、これたてのオ主体社でのによらず受振点で			
		往復走時として記録される。これをそのまま横軸を受振位置、縦軸を			
		往復走時として表示すると、傾斜した反射面や地下回折源からの反射			
		波はその真の位置ではなく、その受振点直下に表示されることにな			
		り、またその往復走時は真の深度と対応していないため、表示される			
		記録断面は歪んだイメージとなる。例えば重合記録断面では、背斜構			
		造は見掛け上大きくなり、逆に向斜構造は見掛け上小さくなる。マイ			
		グレーションは、この様な反射波をその反射点・回折点に対応する水			
		半位直と垂直往復走時に移動する処理である。地層の起伏の形状や、			
		町暦の12直・傾科の把握をより止帷に行えるようになる。 海底地すべりに伴った堆積物 Mass Transport Deposit			
	マストフンスホート	海底地すへりに伴った堆積物。Mass Transport Deposit			
	単11170 マッドダイアピル	泥ル山(泥ダイアピル)た会昭			
	マリンカッター	ルスロ (ルノイ) この) を ジェ。 座 古時にケーシングを切断する機関			
	 	えらして、「シンツにも思い」である。			
	<u>家</u> 度焓圈	ホで風圧した紀刈及返半のこと。			
	コノレスタートタ	弾性波探査のデータ処理の中で、ストレッチミュート等の処理を適用			
	14	するスタート時間のこと。			
	毛細管圧力	互いに混ざり合わない二つの流体が固体表面で接したとき、固体表面			
	(毛管圧)	を濡らそうとする両流体性状の違いから生じる両流体間の圧力差のこ			
	モール円の包絡線	異なる封圧条件での圧縮強度と、その封圧によって描かれるモールの			
		応力円を包絡する線のこと。一般的に直線で近似されることが多い。			
	モールの応力円	横軸に垂直応力、縦軸にせん断応力を取った平面において描かれる円			
		のこと。モール円と垂直応力軸の交点が当該応力場の主応力強度を表			
		す。当該応力場に与えられるいかなる面の応力状態(垂直応力とせん			
		断応力)も、モール円の内部にプロットされることが証明されてお			
		り、当該応力場の応力状態を表す目的で、しばしば使われる。			
ヤ行	ヤング率	物質を押す(もしくは引く)際に、単位面積あたりに働く力をF、 同			
		軸方向の物質の伸びをεとすると、フックの法則 F=Εεが成り立つ。			
		この時の比例定数Eがヤング率である。軸歪に対する載荷応力の比を			
		示す。(ヤング率=載荷応力/軸歪)			
	有効孔隙率	岩石中の連続してつながっている隙間(すきま)の割合のこと。			
	有効層厚	層厚から貯留層の対象となり得ない部分を除いた層厚のこと。			
		貯留層の有効層厚=貯留層の層厚×ネット/グロス比。			

五十音	用語	説明			
	有線型探鉱機データ	受振器のアナログ信号を受振点近くでディジタル化して中央録音装置			
	伝送装置	に有線でデータを伝送するシステムのこと。送られたデータは中央録			
		音装置でディジタル記録して保存される。有線型ディジタルテレメト			
		リともいう。			
	油系泥水	掘削泥水の内、油をベースとしたもの。			
	溶岩	岩石を構成する物質が溶融状態にあったもの。マグマとほぼ同じだ			
		が、マグマは地下にあるものを、溶岩は地上に噴出したものを指す。			
		主として珪酸塩の溶融帯からなるものが多い。			
	容積係数	地表条件における単位体積の流体が地層内で占める体積の比率のこ			
		と。			
	溶脱孔隙(二次孔	岩石が形成された初期には存在せず、変質作用などで二次的に形成さ			
	隙)	れた孔隙のこと。特に岩石中の鉱物などが溶解した孔隙を溶脱孔隙と			
		言う。			
	抑留	掘削作業中に坑井内での負荷により、予期しないところでパイプが動			
		かなくなる事故のこと。回復しない場合は掘削作業の中断となる。			
	抑留時の強引	抑留後パイプを動かすために、機器やパイプ自体の強度限界を勘案し			
		て強く引張ること。			
ラ行	ライザーレス掘削	海洋掘削において、海底から海上掘削装置までの泥水循環を可能とす			
		るパイプをライザーと称する。海底からの掘削開始時等、ライザーを			
		用いないで掘削すること。			
	ライナーケーシング	その頂部が坑口装置まで伸びておらず、上部ケーシングの途中から吊			
		り下げられるケーシング。			
	ラディアルトレース	多重反射波抑制手法のひとつで、主に短周期多重反射波を抑制する手			
	デコンボリューショ	法である。反射法弾性波探査のデータにおいて空間-時間領域のデータ			
	ン	を振源からの見かけ速度が一定な直線に沿ってリサンプルし、見かけ			
		速度-時間領域に変換し、予測型デコンボリューションを適用すること			
		で周期性を持つ多重反射波を抑制することができる。			
	ランプシステム	断層の末端で傾斜する地形			
	リアルタイムキネマ	RTK-GPS。			
	ティック GPS 測量	位置が分かっている既知点(基準局)で観測したデータを、移動局に			
		無線や携帯電話を利用して伝送してその位直を求める測量方法であ			
		る。信号波の位相を用いるため数 cm 程度の精度があり、現在、陸上測			
		重の王流となっている。			
	リークオフ圧力	地層に電裂か入り始める圧力のこと。			
	リークオフテスト	功 开 掘 削 作 兼 に お い て 、 地 僧 強 度 の 把 歴 の た め 功 开 内 に 流 体 を 止 人			
		し、圧力に応した圧入重の変化を見る試験のこと。エクステンテット			
		リークオフナストは冉現性の確認のため、これを繰り返し美施するこ L			
	リガネート NC	C。 泥水活加刻の一つ			
	リクネート NC	ル小添加剤の一 J。			
	リヘトリック町間	町原画の1213(頃村町)が地衣111辺で同用でのるか、沐師になるにつ れて任角(茎)11提合け水亚)にたる新屋のニレーズ、パージョンの			
		11211日月(101513日は小干)になる町宿のこと。1 シハーションの 様式の1曲刑でもなることが指摘されている			
	リフト	17.5.2.7 元主てものうここが1日前で化ている。 Riff、引っ張り広力場によって引き烈かれた割れ日の部分で 正断層と			
		それにともなう段々に大地が落ち込んでできた大規模な地帯のこと			
	琉球弧	南九州から台湾に至る弧状列島。地質学的に西南日本外帯と連続す			
	Carran Car America	a.			

五十音	用語	説明			
	粒子支持	主に礫層で、礫と礫が互いに接して支え合うように堆積をしているも			
		の。対義語は「基質支持」。			
	粒子密度	試料の質量を孔隙を除いた体積で除し、単位体積当たりで表現した密			
		度のこと。			
	流速	気体や流体の流れる速さのこと。			
	流紋岩	酸性の火山岩。流紋岩は一般に斑状をなし、石英・アルカリ長石、少			
		量のソーダ斜長石・黒雲母の班晶を有する。			
	緑泥石	ケイ酸塩鉱物の一種で粘土鉱物のこと。化学組成は			
		(Mg、Fe、Al、Cr、Mn)12(Si、Al)8O20(OH)16である。結晶系は単斜晶系			
		または三斜晶系である。			
	臨界ガス飽和率	岩石の孔隙に占めるガスのうち水などで押しやっても 0%にならない			
		スの割合のこと。			
	燐灰石	リン酸塩鉱物に対する一般的な名称である。			
	ローブ	Lobe。海底扇状地の中部~下部扇状地表面を流れる樹枝状に分岐した			
		水路末端部がつくる小規模扇状地といえる舌状の堆積体。			
ワ行	ワイヤーライン検層	らせん状に織り込まれたケーブルをワイヤーラインと言い、このケー			
		ブルを用いて坑内に検層ツールを降下して測定をおこなうこと。			

表 2 用語集(英字)

英字	用語	説明
Α	A/D 変換	アナログ-ディジタル変換。
		アナログ量をディジタル量に変換する操作を A/D 変換という。測定量
		が電気量(電圧、電量)に変換されれば、目的に応じた電気的変換方式
		によりディジタル化することができる。
	AGC	Automatic Gain Control の略称である。
		自動振幅補償を参照。
В	BSR	Bottom Simulating Reflector の略称である。
		海底擬似反射面を参照。
	BroadSeis/BroadSou	CGG 社が実施する広帯域弾性波探査の商標名である。
	rce	
С	CaBr2 ブライン	坑井仕上げに用いられる無機塩類溶液の一つ。
	CCS	Carbon dioxide Capture and Storage の略称である。
		CO2の回収と貯留のこと。
	CDP	Common Depth Point(共通反射点)の略称である。
		CMPと同義である。
	CDP 重合	CMP 重合と同義である。
	CIP(ギャザー)	Common Image Point の略称である。反射法弾性波探査のデータ処理に
		おいて重合前時間マイグレーション処理の共通イメージポイントのトレ
		ース群のこと。
	CIP 重合	同一の CIP に属する複数のトレースを加算する処理のこと。
	CMP	Common Mid Point (共通反射点)の略称である。CDP(Common
		Depth Point)ともいう。
		同一の反射点に対応する発振点と受振点の組み合わせから構成されるト
		レース群、あるいはその反射点のこと。

英字	用語	説明				
	CMP 重合	同一の CMP に属する複数のトレースを加算する処理のこと。NMO 補				
		正後に適用される。これによりランダムな雑音が抑制され、S/N 比が向				
		上する。CDP 重合とも呼ばれる。				
	Corey	相対浸透率曲線の一般的なモデルのこと。U 字カーブを示すことが特徴 である。				
	CRS 法	Common Reflection Surface 法の略称であり、共通反射面重合法ともい				
		う。連続する複数の CMP 記録に含まれる反射イベントを近軸波線理論				
		に基づき重合する手法であり、微弱な反射イベントの強調を目的とする				
		重合処理法である。				
D	distal	堆積物の供給源から遠い範囲。				
	DMO 補正	Dip Move Out(ディップムーブアウト)補正の略称である。				
		地表で観測される反射記録は地下構造が水平層であれば、発振点と受振				
		点の中点直下で反射するが、地下構造が傾斜している場合は、反射点は				
		傾斜の上側へすれる。より正しいと考えられる反射点の位直で、トレー				
		スを足し合わせる処理を DMO 補止といい、この補止によって、より止 かわせて構体 トレル京日暦の反射は断天网が得られることにわる				
	DEDD	確な地下構造とより高品質の反射法断面図が待られることになる。				
	DSDP	Deep Sea Drilling Program の略称である。1968~1983 年に美施された 深海底掘削調査プログラムのこと。				
E	ERD	ERDは Extended Reach Drilling の略で、大偏距掘削のことをいう。 大偏距				
		掘削とは、一般に、傾斜井において水平偏距と垂直深度の比が2以上の				
		坑井の掘削である。				
F	F-K フィルター	入力する時間-空間領域(T-X)データを、周波数-波数領域(F-k)データ				
		に変換した後に、特定の傾きを持つ波列を除去し、再び時間-空間領域				
	F-X エディット	人力する時間一空間領域(T-X)のトレースを、任意の時間ゲートで分割				
		して周波数一空間領域(F-X)ナータに変換する。変換したナータの強振 転式ひについての間大白の工業が記録からはた復二した後、時間、の間				
		幅成分について空间方向の正常な記録から値を復元した後、時间一空间 領域(T-X)に戻す。				
	F-X 予測フィルター	直線的な反射波イベントは、周波数-空間(F-X)領域において、空間				
		方向に予測可能である。こうした特性を利用して、反射波イベントに対				
		応する振幅および位相スペクトルを空間方向に予測するフィルターを設				
		計し、それを適用することでランダムノイズを抑制する。				
	FWI 解析	フルウェーブインバージョン(Full Waveform Inversion)解析の略称で				
		ある。逆解析手法によって地下の速度構造を求める解析技術である。解				
		析の際、地下の初期速度モデルを仮定して理論波形を計算し、実際の弾				
		性波探査で得られた観測波形と比較し、その差分から速度モデルを更新				
		する。さらに更新した速度モデルを用いて再び理論波形計算と観測波形				
		の比較を行う。この計算過程を差分が所定の収束条件に運するまで逐次				
		線り返し、取終的な迷度モナルを解析結果として地下の迷度構道を得 ス				
		●。 FWI解析は、従来の地下速度構造を求める解析手法に比して き時デ				
		ータだけではなく、波動トレース全体の情報(周波数、位相、振幅、減				
		衰率など多くの情報)を考慮した波形フィッテングを行うことを特徴と				
		する。				
G	GIS	Geographic Information System の略称で、『ジーアイエス』または				
		『地理情報システム』と呼ばれる。地理情報という位置に関連づけられ				
		たさまざまな情報を、作成、加工、管理、分析、可視化、共有するため				
		の情報技術のこと。				

英字	用語	説明				
	GNSS 測位	Global Navigation Satellite System の略称で『全地球測位システム』と				
		呼ばれる。人工衛星を使用して地上の現在位置を計測する「衛星測位シ				
		ステム」のうち、全地球を測位対象とすることができるシステムのこ				
		と。「衛星測位システム」の代表的なシステムとしては、米国の				
		GPS、ロシアの GLONASS がある。				
	GPS 時刻	1980 年 1 月 6 日 0 時に UTC(協定世界時)に同期して開始された GPS				
		衛星の原子時計が刻む時刻のこと。				
	GRV	Gross Rock Volume の略称である。グロスロックボリューム参照。				
н	HCF	High-Cut Filter の略称である。高い周波数帯域の波を遮断するファイル				
		ターのこと。				
	HST	Highstand System Tract の略称である。高海水準期堆積体を参照。				
К	KCI ブライン	坑井仕上げに用いられる無機塩類溶液の一つ。				
	Krg	ガスの相対浸透率。超臨界状態の CO2 もガスとして表現している。				
	Krw	水の相対浸透率。				
L	LCF	Low-Cut Filter の略称である。低い周波数帯域の波を遮断するファイル				
		ターのこと。				
	LTO	Linear Tape-Open の略称である。大量のデータを長期的に保管するの				
		に適した磁気テープ記憶装置の規格の一つで、業界団体の LTO				
	=	Consortiumが仕様の策定を行っている。				
	LWD	Logging While Drilling の略称である。特殊坑内機器を用いて、掘削作業				
		を行いなから物理検層を行うこと。				
M	MTD	Mass Transport Deposit の略称である。斜面崩壊によって形成されたス				
		ライドフロック、スランフ堆積物、デフリフロー堆積物などを含めた総				
N		林のこと。混沌車積物ともいう。				
IN		功井仕上げに用いられる無機塩類溶液の一つ。				
	N/G EL	Net gross ratio の哈称である。 カットノゲロスはた会昭				
	NAC	イツトノクロ人比を参照。 Notwork Attached Storage の略称でもエーネットロータ (LANI) に支持				
	INAS	Network Attached Storage の哈孙 じめる。 ネットワーク(LAN)に 直接				
		技統して使用するファイルサーバで、コントローフとハートナイベンか				
		ち成るファイルリーヒス専用のコンヒュータでのる。ホットリーシェの 複数の PC WS からアクセスすることが出来る				
	NMO 補正 (動補	Normal Move Out correction の略称であろ				
		反射注弾性波響なのデータ処理において CMP 重合に失だって行われ				
	ш/	る処理。各 CMP トレース上の同一反射波について、オフセット距離				
		(発振点と受振点距離)による到達時間の遅れをオフセット距離0の場				
		合の時間に補正する操作のこと。				
0	OBC	Ocean Bottom Cable の略称である。				
		海底受振ケーブルを参照。				
Р	P 波インピーダンス	弾性波探査におけるインピーダンスとは、「P 波速度」 * 「密度」のこ				
		と。反射法処理を用いたインピーダンスの求め方は、使用できるデータ				
		の制限から弾性波探査データだけを使用した(instantaneous)なもの				
		から、坑井データ等を用いて初期モデルを使用したインバージョンによ				
		って求めたものまで様々なものがある。				
	PDO	Plan for Development and Operation				
	proximal 堆積物の供給源に近い範囲。					

英字	用語	説明		
	PSDM	Pre-Stack Depth Migration(重合後深度マイグレーション)の略称であ		
		る。反射波弾性波探査のデータ処理において、重合処理の前に行うマイ		
		グレーション処理。地下構造が複雑で水平多層構造とみなせない場合に		
		は、重合後マイグレーションでは精度の良い処理が困難となる。この場		
		合、重合処理の前にマイグレーション処理を行い、精度を向上させる。		
	PSTM	Pre-Stack Time Migration(重合前時間マイグレーション)の略称であ		
		る。反射波弾性波探査のデータ処理において、重合処理の前に行うマイ		
		グレーション処理。地下構造が複雑で水平多層構造とみなせない場合に		
		は、重合後マイグレーションでは精度の良い処理が困難となる。この場		
		合、重合処理の前にマイグレーション処理を行い、精度を向上させる。		
Q	QICS プロジェクト	Quantifying and Monitoring Potential Ecosystem Impacts of Geological		
		Carbon Storage の略称である。CO2 海域地中貯留の環境影響評価を目		
		的とした日英共同プロジェクト。2012 年度にスコットランドの海域で		
		CO2 放出実証実験が行われ、浅部海底堆積物の CO2 移動解析、生物地		
		球化学的・生態学的な影響評価、漏出を検出/モニタリングするツール		
		評価、CO2 拡散とその影響を予測するモデリングツール開発などを目的		
		とした。		
R	RAID	Redundant Array of Independent Disk の略称である。複数のディスクに		
		データを分散し冗長性テータを付加して格納し、ディスク障害のときに		
		ユーザデータの再生を可能とするディスクアレイである。		
	RGB ブレンディン	3D 探査データを周波数特性から三つの周波数(赤、緑、青)に選択・		
	「グ解析」	分解し、それぞれの周波数の振幅強度を光の三原色の強度で表現する解		
		析手法のこと。表現された同色の堆積相の形に看目し体積形態を同定す -		
	RMS 速度	Root Mean Square 速度の略称である。		
		各層の区間速度を一定とする多層構造において次式で定義される。		
		ここで VI は各層の区間速度、II は各層の垂直在復走時を表す。		
		水半多層構造においては、仕恵の反射面に全る速度構造を、当該反射面 キェの、/www.キロ開き席にキュー展構体エビがキューレビエキス		
	Deterry Oteenable	までの VIMS を区间速度とする一層構造で近似することかできる。		
	Tool	ハイフを回転させなから、坑跡のコントロールを可能とする掘削機器。		
	RTK-GPS	リアルタイムキネマティック GPS 測量を参照。		
S	SEG-D 形式	地球物理学的データを格納するため、米国物理探査学会(the Society of		
	SEG-Y 形式	Exploration Geophysicists:SEG)によって開発された規格。オープン		
		規格であり、SEG 技術標準委員会(非営利組織)によって管理されて		
		いる。		
	Sgc	臨界ガス飽和率参照。本報告では、水-CO2相対浸透率曲線を作成する		
		ために考慮したもので、CO2を圧入する際に CO2の相対浸透率が 0 で		
		はなくなる CO2 飽和率。		
	Sgrmax	最大残留ガス飽和率参照。本報告では、水-CO2相対浸透率曲線を作成		
		するために考慮したもので、貯留層(水飽和率=1)に圧入した CO2が		
		移動しても、水飽和率=1には戻らず CO2が残留する割合。		
	Shear Failure Gradient	せん断破壊圧力勾配		
	S/N 比	Signal to Noise Ratio の略称である。		
		信号と雑音の比のこと。		
	Spill Point	スピルポイントを参照。		
	SRME 法	Surface Related Multiple Elimination の略称である。		

英字	用語	説明			
		多重反射波抑制手法のひとつ。波動方程式に準拠する多重反射波抑制手			
		法であり、波線経路に海面での反射を含む Surface-Related 型の多重反			
		射波を予測し、抑制する手法。			
	Staging Area	陸棚縁辺部で運ばれてきた堆積物が集まっている場所のこと。			
	Swir	不動水飽和率参照。本報告では、水-CO2相対浸透率曲線を作成するた			
		めに考慮したもので、全孔隙に CO2 を圧入可能な最大の比率に相当。			
Т	TCP	Tubing Conveyed Perforation の略称である。ワイヤーラインを用い			
		ず、テストや仕上げのパイプの先端に火薬を取り付けパーフォレーショ			
		ンを実施するシステム。			
	T-D 関係	基準面(地表面、海面)から各地層の境界面までの弾性波の伝播時間と			
	(時間ー深度関係)	深度の関係。地層の弾性波速度の分布を把握する際や伝播時間から認			
		に変換する際に用いられる。T は Time(時間)、D は Depth(深度)			
		を表す。			
	Traction	流体の流れにより、土砂が滑ったり、転がったり、跳ねたりして移動す			
		ること。			
	TVDss	True ∨ertical Depth Subsea の略称である。			
		平均海水面からの垂直深度のこと。			
U	UTM 座標系	Universal Transverse Mercator (UTM)。ユニバーサル横メルカトル図法			
		を基にした座標系。			
V	Vclay	単位岩石中の泥質分の含有量。検層解析によりこの値が得られる。			
	VRS 方式	Virtual reference station の略称で、ネットワーク型 RTK-GPS 観測(ネ			
		ットワーク型 RTK 法)のうちの仮想基準点方式のこと。			
W	Wheeler ダイアグラ	不連続面(反射面)として痕跡が残る堆積休止の時代を、堆積時間の欠			
	ム解析	如として、そのまま(縦軸に時間をとった)二次元座標に表現する解析			
		手法のこと。堆積時間の欠如や不連続面の移動から、堆積体の推定を行			
		う 。			
	Wyllie 式	音波検層から孔隙率を求める式の一つである。			
		$\Phi s = (\Delta T - \Delta Tma)/(\Delta Tf - \Delta Tma)^* 1/Cp$			
		Δ T=音波検層の測定値、 Δ Tma=55.5 μ sec/ft(典型的な砂岩の場			
		合)、 Δ Tf=189 μ sec/ft(泥水の値)、Cp= Δ Tsh/100 μ sec/ft、1.0<			
		Cp<1.4(一般的な手法)。			
		Cp : Compaction Factor。			
	WGS84	World Geodetic System 1984 の略称である。			
		世界測地系のひとつ。アメリカ合衆国が構築・維持している世界測地系			
		で、GPS によるナビゲーションの位置表示の基準として使用されてい			
		<u>৯</u> .			
X	│X 線回折	X線が結晶格子を回り込んで進行する現象のこと。この現象を利用して			
		物質の結晶構造を調べることが可能となる。			
	X 線回折強度	X線回折分析において、発射した X線が測定試料に反射して返って来			
		た際にどれだけ検出されたかを示した値のこと。単位は cps(Count			
		Per Second)で示す。			

数字	用語	説明			
2	2D 探査	ニ次元弾性波探査を参照。			
	24 ビット Delta-	A/D 変換の一種でサンプリングした値の差分を積分していく方式。アナ			
	sigma 型 A/D 変換	ログ回路が少なく小型化できる。			
3	3D 探査	三次元弾性波探査を参照。			
4	4way クロージャー	構造頂部を持つ背斜構造のこと。			

表 3 用語集(数字)

3. 地質年代表

界/代	系/紀	統/世	年代/
(Era)	(Period)	(Epoch)	百万年前
	竹目 人名	完新統/世	
	第四条/紀 (Quatemary)	(Holocene) 更新統/世	0.0117
		(Pleistocene)	2 58
		鮮新統/世	2.00
	新第三系/紀	(Pliocene)	5 333
新生界/代	(Neogene)	中新統/世	0.000
(Cenozoic)		(Miocene)	22.03
		漸新統/世	23.03
		(Oligocene)	22.0
	古第三系/紀	始新統/世	33.9
	(Paleogene)	(Eocene)	50.0
		暁新統/世	0.00
		(Paleocene)	<u> </u>
	白亜系/紀	N/	66.0
	(Cretaceous)	*	445.0
中生界/代	ジュラ系/紀	*	145.0
(Mesozoic)	(Jurassic)	<u>A</u>	201.2 ± 0.2
	三畳系/紀	×	201.3±0.2
	(Triasic)		$251,002\pm0,024$
古生界/代		,	231.302 - 0.024
(Paleozoic)	>	*	

表 4 地質年代表

出典:国際年代層序表(2021年10月)から抜粋して作成。

http://www.geosociety.jp/uploads/fckeditor//name/ChronostratChart_jp.pdf
 注:「界」「系」「統」「階」は各地質時代に堆積した地層区分を表す場合に用い、
 「代」「紀」「世」「期」は地質時代を表す場合に用いる。

і. Ката Калана Кал

堆積物	勿の種類	主要	要構成	粒子の区分と境界粒径	mm	(ø数)	
	礫	巨	礫	(boulder)	050	(0)	
		大	礫	(cobble)	- 64	(-8)	
		中	礫	(pebble)	- 04	(-0)	
	岩	細	礫	(granule)	- 4	(-2)	
	砂	極粗	粒砂	(very coarse sand)	- 2	(-1)	
		粗糕	立砂	(coarse sand)	- 1/2	(1)	
		中考	立砂	(medium sand)	- 1.4	(2)	
		細業	立砂	(fine sand)	- 1/4	(2)	
	岩	極細	粒砂	(very fine sand)	1/0	(3)	
泥	シルト岩	シノ	レト	(silt)	- 1/10	(4)	
岩	粘土岩	粘	土	(clay)	- 1/256	(0)	

砕屑性堆積物の粒度 (Wentworth 1922)

図1 砕屑性堆積物の粒度(地学事典、1980年)

表 火砕岩の構成粒子の粒径による分類 (Fisher, 1966*による)



図2 火砕岩の分類(JOGMEC、石油天然ガス用語辞典)



http://www.zisin.jp/pdf/nf-vol63.pdf

図3 グラーベンとハーフグラーベン(日本地震学会広報誌、2007年)