

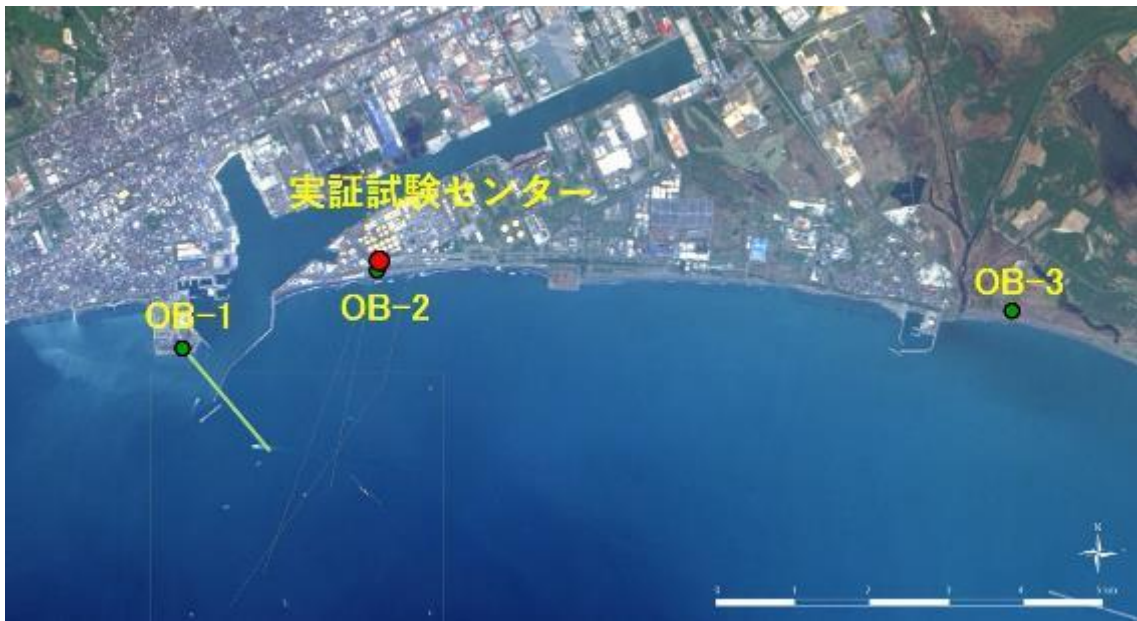
目次

第4章 貯留したCO ₂ のモニタリング	4-1
4.1 観測井を利用したモニタリング	4-1
4.1.1 観測システム	4-3
4.1.2 観測システムの保守管理	4-29
4.1.3 観測システムによるモニタリング	4-38
4.2 常設型OBCによるモニタリング	4-49
4.2.1 常設型OBC観測システム	4-49
4.2.2 常設型OBC観測システムの保守管理	4-58
4.2.3 常設型OBCの埋設状況の確認	4-62
4.3 総合モニタリングシステムの運用	4-75
4.3.1 総合モニタリングシステムの主な機能	4-78
4.3.2 総合モニタリングシステムの動作状況の監視と保守点検	4-99
4.4 微小振動・自然地震モニタリング	4-109
4.4.1 モニタリング実施状況	4-109
4.4.2 モニタリング結果	4-111
4.4.3 2023年度モニタリング結果のまとめ	4-126
4.5 繰り返し弾性波探査	4-127
4.5.1 統合ベースライン調査記録の更新	4-128
4.5.2 トレース内挿処理の適用	4-129
4.5.3 まとめ	4-130
4.6 モニタリングデータ公開システム	4-133
4.6.1 情報公開システム	4-133
4.6.2 データ公開システム	4-156
4.7 圧入井を利用したモニタリング	4-159
4.7.1 萌別層圧入井(IW-2)における坑内圧力・温度の観測	4-160
4.7.2 滝ノ上層圧入井(IW-1)における坑内圧力・温度の観測	4-161
4.8 圧入井・観測井の維持管理	4-163
4.8.1 圧入井の維持管理	4-163
4.8.2 観測井の維持管理	4-171
4.9 まとめと課題	4-177

第4章 貯留したCO₂のモニタリング

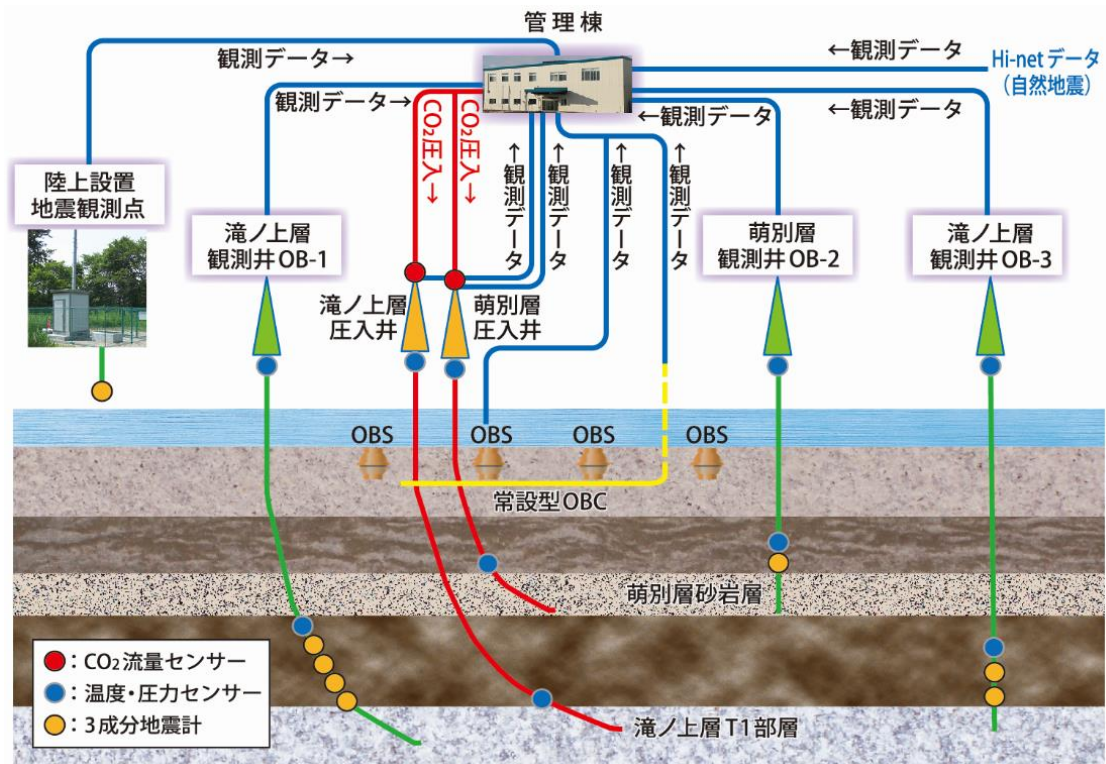
4.1 観測井を利用したモニタリング

3本の観測井(OB-1、OB-2およびOB-3)に設置した坑内地震計、温度計および圧力計によるモニタリングを実施した。観測井の位置および観測ネットワークを図4.1-1(1)~(2)に示す。観測井に係る情報を表4.1-1に示す。ここで、OB-1は苫小牧CCS-1(調査井、2010年度に掘削)に対して滝ノ上層を対象とする観測井として改修し名称変更した坑井、OB-2は萌別層を対象とする観測井(2012年度に掘削)、およびOB-3は滝ノ上層を対象とする観測井(2013年度に掘削)である。



注) 出典: 「LC81070302016141LGN00, courtesy of the U.S. Geological Survey」を加工

図 4.1-1 (1) 観測井位置図



注) OBS と陸上設置地震観測点は 2021 年度に撤去済

図 4.1-1 (2) 観測ネットワーク図

表 4.1-1 観測井に係る情報

項目		OB-1	OB-2	OB-3
坑口位置 ^{注1)}	X (m)	-152,965.378	-151,993.007	-152,637.485
	Y (m)	-52,024.99	-49,471.59	-41,231.55
標高 (m ASL ^{注2)})		7.035	9.15	2.16
坑底までの掘削深度 (m)		3,700	1,200	2,800
ケーシングの設置深度 (m)	20 inch	200	N/A	N/A
	13-3/8 inch	1,408	53	24
	9-5/8 inch	2,747	479	1,304
	7 inch	2,639~3,700 <small>注4)</small>	957	1,192.38~2,199
4-1/2 inch Slit CSG の設置深度(m)		N/A	926.78~1,200	2,165.18~2,800
Lubricator valve ^{注3)}		493.18	N/A	492.52
坑内流体性状		NaBr brine	NaCl brine	NaCl/NaBr brine

注1) 坑口位置は、世界測地系 第12系平面直交座標により示す。

注2) ASL : above sea level

注3) 坑内に設置されたチュービングの中のバルブ

注4) 7inch ケーシング区間に適宜パーフォレーションを実施し地層との導通を確保している。

4.1.1 観測システム

坑内には、坑口に近い方から FBG (Fiber Bragg Grating) センサーとシリコン半導体圧力センサー (以下、「シリコン圧力センサー」と称する。) を内部に組み込んだケーブルヘッド、地震計 (DS-150)、CCL^{*1)} (Casing Collar Locator)、最下部にシンカーバー (重錘) を ITC^{*2)} (Interconnect Tool Cable) で接続した多連編成で設置している。地表付近のノイズ状況を把握するため、2016年度に各観測井の近傍の地表付近 (埋設深度 50 cm 程度) に地震計 (以下、「リファレンス地震計」と称する。) を設置したところ、OB-2 の No.1 地震計と OB-3 の No.4 地震計に出現するノイズ^{*3)}は地表ノイズ (リファレンス地震計に出現するノイズ) と連動していることが判明した。ノイズの原因が地震計の幾何学的な配置 (鉛直井の最下部、すなわち、シンカーバーの直上) にある可能性を検証するため、2017年9

*1) CCL : コイルと永久磁石で構成され、前後より肉厚なケーシングジョイント部を通過すると CCL コイル内の磁場が変化し、コイルに電流が発生する。この信号を利用してツールストリングスの降下状況を確認する (外径 : 41.3 mm、長さ : 432 mm)。

*2) ITC : メタル線 8 芯のアーマードケーブル (φ 12 mm)。

*3) OB-2 の No.1 地震計と OB-3 の No.4 地震計の観測データには、ベースライン観測開始時から一過性のノイズが散見される状態が続いていた。

～10月の坑内機器回収点検時にOB-2のNo.1地震計とシンカーバーの間にNo.2地震計を、OB-3のNo.4地震計とシンカーバーとの間にNo.5地震計を追加設置した。

OB-2で観測される圧力が圧入に伴う変動を検知した可能性があることから、2020年10月に、シリコン圧力センサーを電圧制御型の従来品から電流制御型の新規品に交換（OB-3は2020年2月に実施）するとともに、シンカーバーの上方に、温度圧力の測定精度が高いSOS素子を用いたPPS26センサーを設置した（3坑井とも2020年10月に実施）。表4.1-2に坑内機器の設置深度を示す。

坑内に設置した各観測機器で取得したデータは、ITCケーブルおよびケーブルヘッドに接続されたアーマードケーブルを経て観測ハウス内に設置されているデータ収録装置に伝送される。また、観測井の坑口には坑口圧力観測機器が設置されており、別系統でデータ収録装置に接続されている。観測ハウス、苫小牧CCS実証試験センター（以下、「当センター」と称する。）および遠隔監視拠点間には電話回線（光またはADSL）を用いたVPN^{*4}を構築しており、所定の時間間隔で観測ハウス内のデータ収録装置からVPN経由で当センターに設置したデータ保管ストレージに観測データが送信される。図4.1-2に観測システムの概念図を示す。図4.1-3(1)～(3)に交換設置後のOB-1、OB-2およびOB-3の坑内観測機器の編成図を各々示す。

*4) VPN (Virtual Private Network) は、通信事業者の公衆回線を経由して構築された仮想的な組織内ネットワークである。企業内ネットワークの拠点間接続等に使用され、あたかも自社ネットワーク内部の通信のように遠隔地の拠点との通信が可能である。本観測システムでは、暗号技術を用いてIPパケット単位で改竄検知や秘匿機能を提供するIPsec (Security Architecture for Internet Protocol) 方式を採用しており、暗号化をサポートしていないトランスポート層やアプリケーションを用いた通信路の途中での通信内容の覗き見や改竄も防止することができる。

表 4.1-2 坑内観測機器設置深度

(単位 ; m)

観測井		OB-1	OB-2	OB-3
DTS		0.0~2,294.6	0.0~901.9	0.0~1,745.8
FBG-P/T センサー		2,294.6	901.9	1,745.8
Silicon-P センサー		2,294.6	901.9	1,745.8
坑内地震計	No.1	2,302.8	910.1	1,754.0
	No.2	2,402.8	920.1	1,854.0
	No.3	2,502.8	—	1,954.0
	No.4	2,602.8	—	2,054.0
	No.5	—	—	2,144.0
PPS26 ; SOS-P/T センサー		2,611.4	928.7	2152.6

注) DTS : Distributed Temperature Sensor (連続式光ファイバ温度センサー)。
 FBG-P/T センサー : Fiber Bragg Grating (光ファイバ回折格子) 温度圧力センサー。
 Silicon-P センサー : Silicon on Silicon 素子圧力センサー (電圧制御型から電流制御型に交換)。
 PPS26 ; SOS-P/T センサー : Silicon on Saphia 素子温度圧力センサー。
 OB-1 は傾斜井であるため, 設置深度は坑口からの距離を示す。

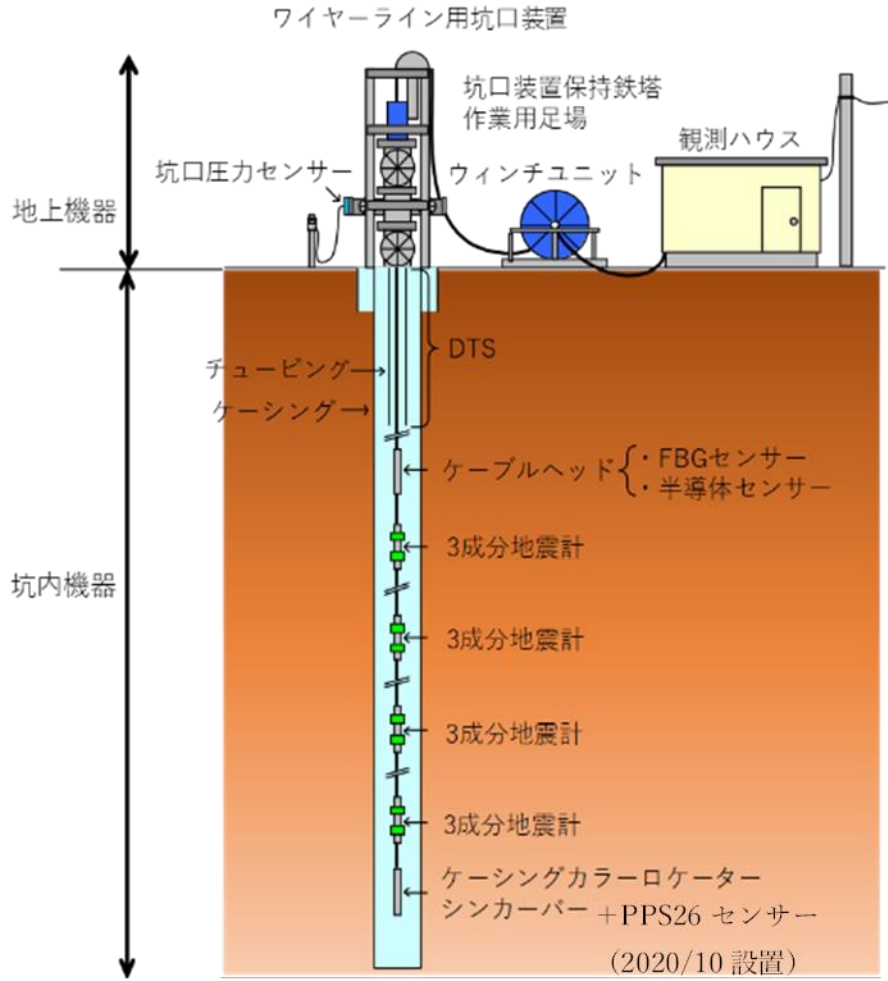


図 4.1-2 観測システム概念図

Weight

- DS-150, CCL: 2.5kg x5
- ITC (7.7m): 6.8kg x2
- ITC (100m): 64.8kg x3
- Sinker : 36.0kg x3

Total: 354.5kg

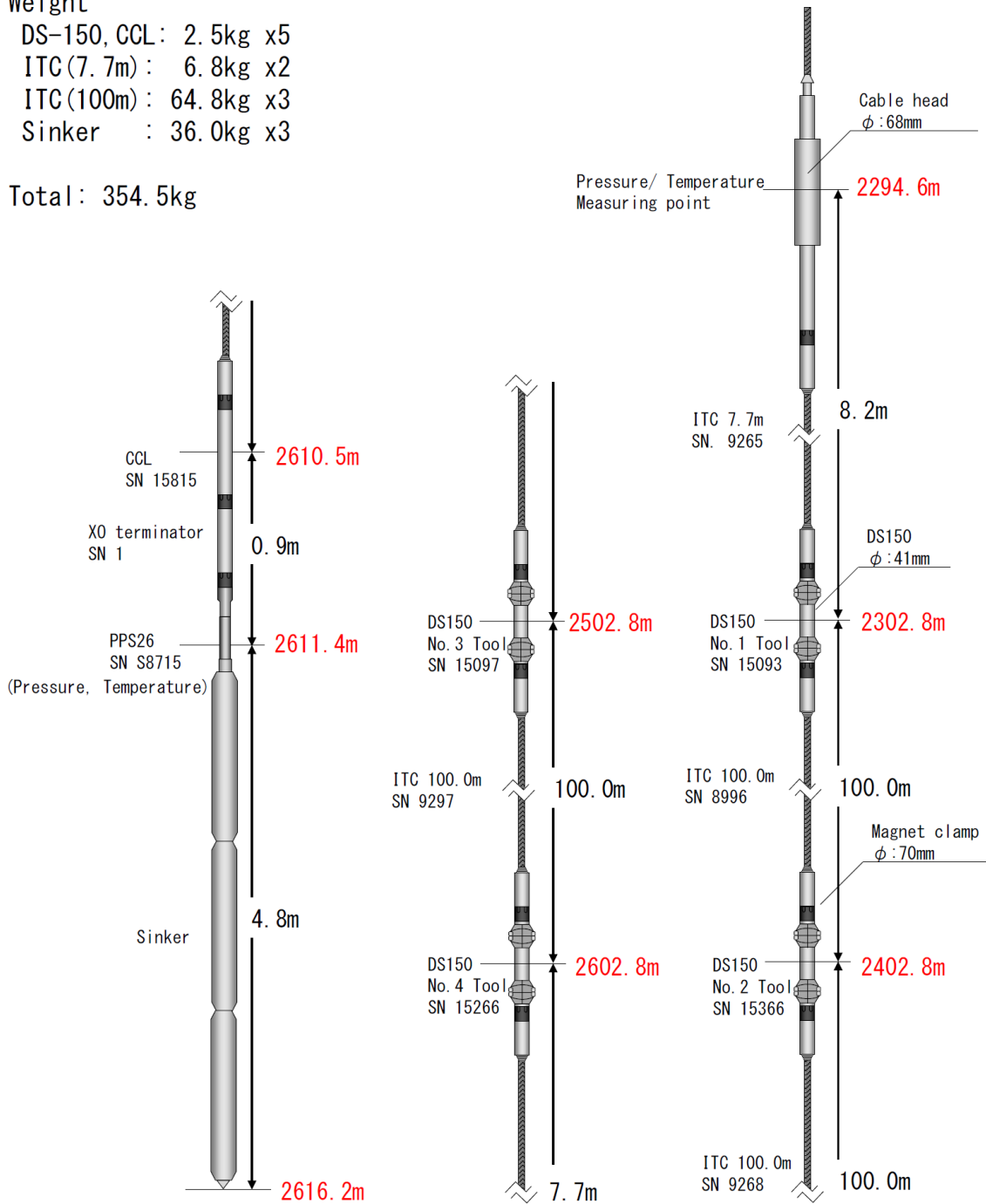


図 4.1-3 (1) PPS26 センサー設置後の坑内観測機器編成図 (OB-1)

Weight

- DS-150, CCL: 2.5kg x3
- ITC(7.7m): 6.8kg x2
- ITC(10m): 8.8kg x1
- Sinker : 36.0kg x1

Total: 65.9kg

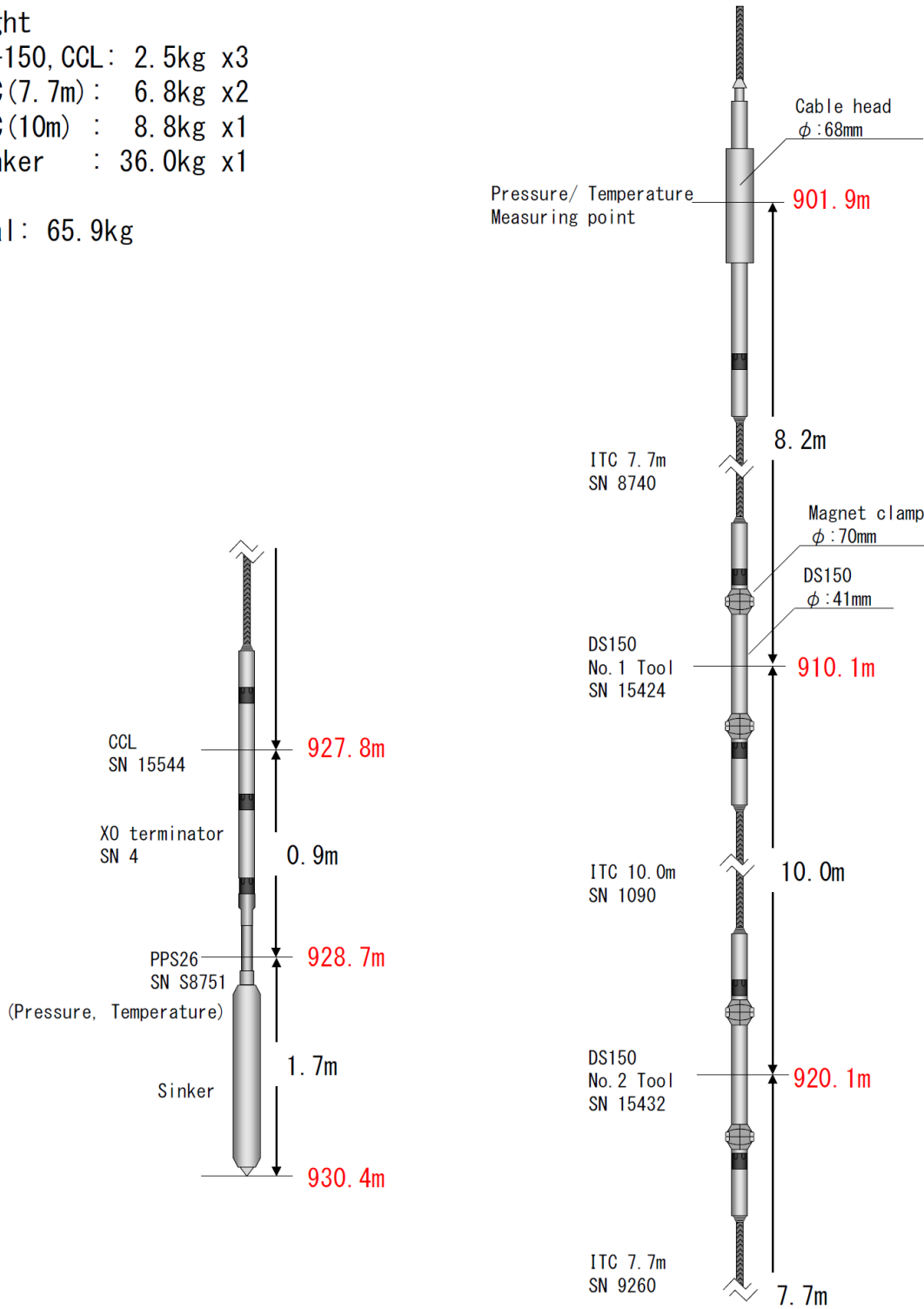


図 4.1-3 (2) PPS26 センサー設置後の坑内観測機器編成図 (OB-2)

Weight

- DS-150, CCL: 2.5kg x6
- ITC(7.7m): 6.8kg x2
- ITC(100m): 64.8kg x3
- ITC(90m): 58.3kg x1
- Sinker : 36.0kg x4

Total: 425.3kg

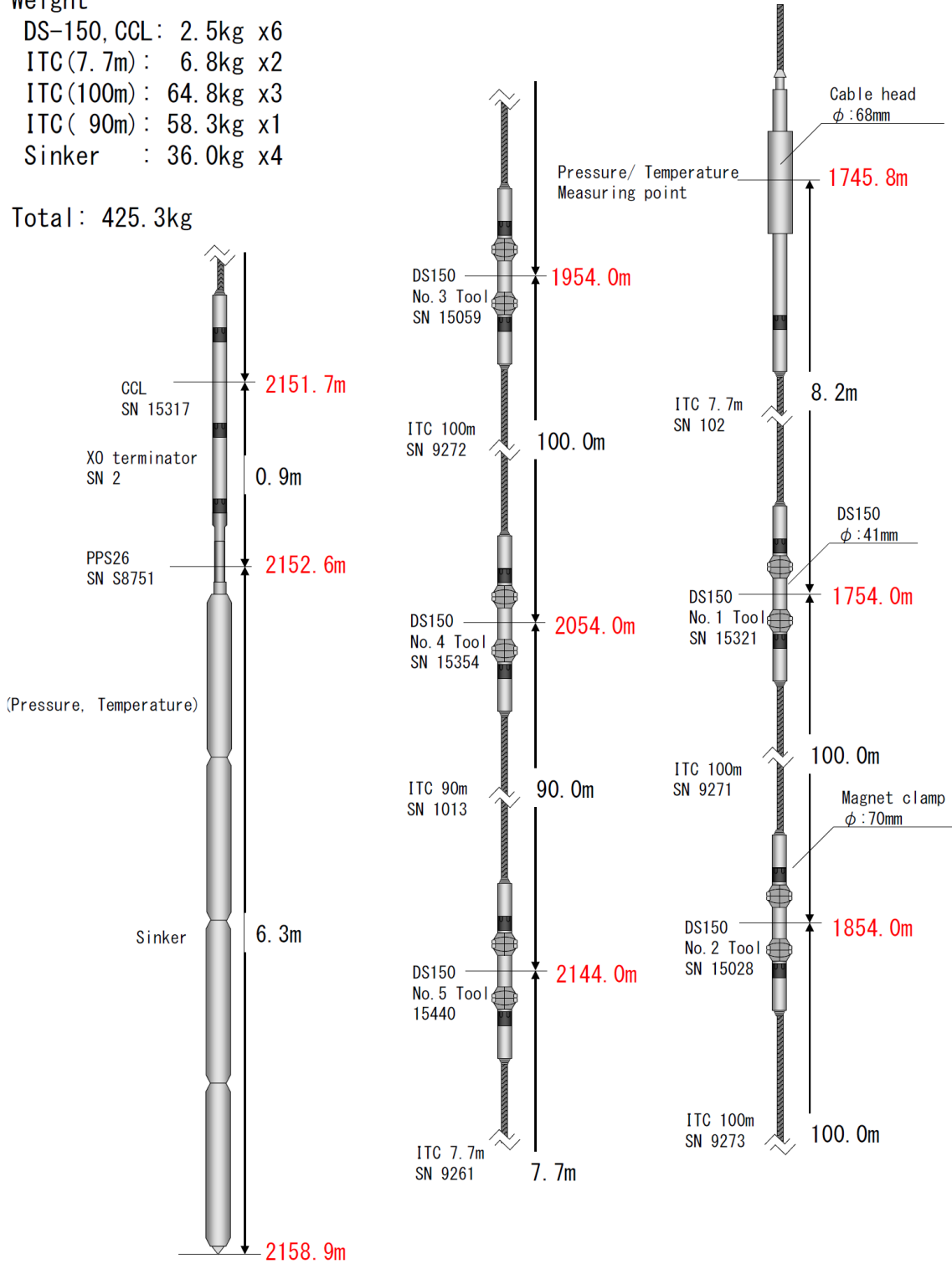


図 4.1-3 (3) PPS26 センサー設置後の坑内観測機器編成図 (OB-3)

(1) 坑内地震計

坑内に設置した地震計、データ収録機およびデータ転送用 PC の仕様を表 4.1-3 に示す。地震計 (DS-150) の外観を図 4.1-4 に示す。地震計の上部および下部にはマグネットクランプが装着されており、磁力により地震計をケーシング管内壁に圧着する。地震計には A/D 変換器が内蔵されており、データは、坑内でデジタル化され、ITC およびアーマードケーブル内のメタル線を介して地上まで伝送される。

表 4.1-3 地震計、データ収録機およびデータ転送用 PC の仕様一覧

機器 (設置場所)	型式	仕様
地震計 (坑内)	DS-150	外径 : 1.63inch (41.3mm) 長さ/重量 : 406mm/2.3kg 耐熱/耐圧 : 150°C/20,000psi (138MPa) センサー : OMNI-2400 (固有周波数 15Hz 3 成分) A/D : 24bit Delta-Sigma Pre-Amp Gain : 0~36dB クランプ : マグネットクランプ
データ収録機 (観測ハウス)	GeoRes Imagine HC-W Recorder	OS : Windows 7 Software : GeoRes Image ハードディスク : 500GB SATA 収録モード : Shot/連続 記録フォーマット : SEG-D Rev2、SEG-2 サンプリング : 1/4、1/2、1、24msec GPS 同期
データ転送用 PC (観測ハウス)	(株)スミス/ BBC-RM2100- S5ND-W7-6	OS : Windows7 Pro 64bit CPU : Intel Core i 3.1GHz メモリ : 8GB HDD : 3.5 in SATA 500GB

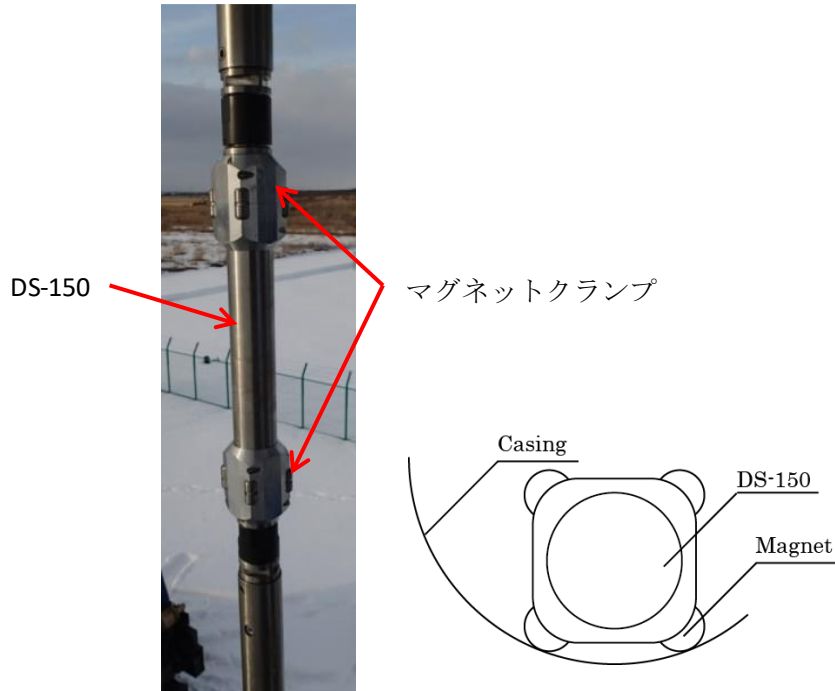


図 4.1-4 坑内に設置した地震計 (DS-150)

(2) FBG センサー

FBG (Fiber Bragg Grating ; 光ファイバ回折格子) では、図 4.1-5 に示すようにシングルモード光ファイバ線内に刻まれた複数の回折格子 (グレーティング) に地上機から発したレーザー光を入射し、特定の波長 (ブラッグ波長) を持ったレーザー反射光を地上で観測する。温度、圧力が変化すると回折格子の間隔が伸縮して反射光の波長が変化する。このため、センサー部において、波長の変化量から温度、圧力の変化を計測する。FBG センサーは光ファイバ線と圧力変換部から構成され、電子回路が存在しないため、電磁波や落雷等の影響を受けにくく故障率が低い。表 4.1-4 に本観測で使用している FBG センサーと FBG 地上機の仕様を示す。FBG センサーと FBG 地上機の外観を図 4.1-6 に示す。

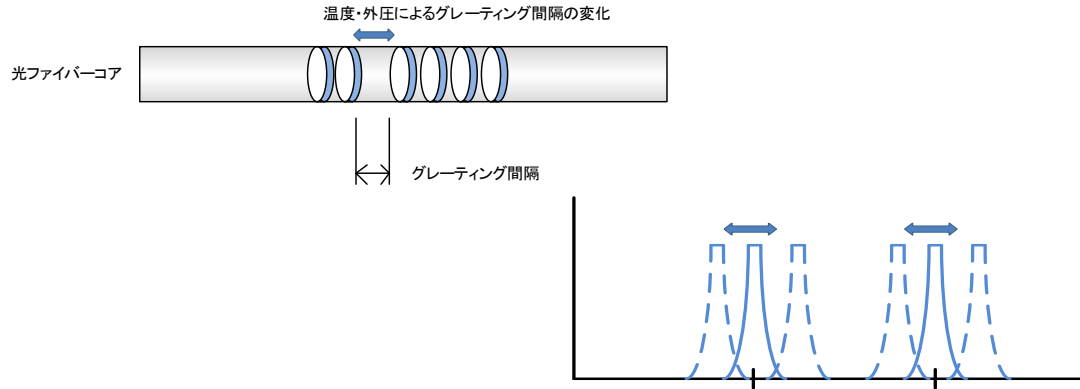


図 4.1-5 FBG の測定原理

表 4.1-4 FBG センサーの仕様

機器	型式	仕様	設置場所
センサー	Smart Fibres 社/ TSPPT	動作圧力レンジ：100 MPa 動作温度レンジ：-20～200℃ 測定精度：±0.5%以下 (±0.5MPa、±1℃) 分解能：0.005MPa, 0.01℃ 使用チャンネル：2ch (SMF2 線式)	坑内
新地上機 OB-1	共和電業社 EFOX-1000B- 4EV	収録チャンネル：AMF 入力 2ch 使用波長レンジ：1460～1620 nm (周波数：10 Hz、精度：±1 pm 以内) (ダイナミックレンジ：45 dB 以上) インターフェイス：イーサネット(UDP-IP)	観測ハウス
従来地上機 OB-2 OB-3	Smart Fibres 社/ SmartScope 02 FBG Interrogator	収録チャンネル：AMF 入力 2ch (1ch あたり 16FBG まで設定可能) 使用波長レンジ：40 nm(1528～1568 nm) インターフェイス：イーサネット(UDP-IP)	観測ハウス
データ収録 用 PC	(株)スミス/ BBC-RM2100- S5ND-W7-6	OS：Windows7 Pro 64bit CPU：Intel Core i 3.1GHz メモリ：8 GB HDD：3.5 in SATA 500GB	観測ハウス
FBG 時刻補 正用 PC	(株)コンテック/ BX-955SD- DC6312	OS：Windows Embedded Standard7 CPU：Intel Atom Processor N2600 メモリ：2 GB ストレージカード：CFast カード 8GB	観測ハウス

注) TSPPT：Terminal SmartPort Pressure and Temperature



図 4.1-6 FBG センサー（左上）と FBG 地上機（右上：従来機、下：新機種）

(3) シリコン半導体圧力センサー

シリコン圧力センサーは、温度ドリフト特性やセンサー稼働電源を考慮し、耐圧性に優れ、小型でケーブルヘッド内に組み込みやすいピエゾ抵抗型を使用した。なお、当初は信号伝送方式が電圧電送型のセンサーを使用していたが、観測値の安定性が悪いため、2020年9月に外来ノイズに強い電流電送型センサーに交換した。新旧ともに、米国Kulite社製のSilicon on Silicon 圧力センサーである。表 4.1-5 に本観測システムで使用しているシリコン圧力センサーの仕様を示す。図 4.1-7 にシリコン圧力センサーの外観を示す。シリコン圧力センサーは、温度変化による圧力変動をキャンセルするために、坑内圧力計測用とケーブルヘッド内圧計測用の特性が近似したセンサー2個をケーブルヘッド内に組み込んでおり、図 4.1-8 に示すように坑内圧力値とヘッド内圧値の差分を地上収録機のソフトウェアによって計算し、温度ドリフトが補正された圧力値を地上収録機に出力する。

表 4.1-5 シリコン半導体圧力センサー仕様

機器	型式	仕様	設置場所
センサー (交換前： 電圧伝送型)	Kulite社製/ HEM-375 SG M10	動作圧力レンジ：100 MPa 動作温度レンジ：-55～232℃ 入力電圧：10 VDC 抵抗 (R in/R out)：1,000 Ω 出力フルスケール：100 mV 使用チャンネル：2チャンネル (SMF2線式)	坑内
センサー (交換後： 電流伝送型)	Kulite社製/ ETQ-13-375M	動作圧力レンジ：103 MPa (15,000psi) 動作温度レンジ：-55～120℃ 入力電圧：9 VDC 出力：4～20 mA 精度：±0.5%FS (0.5 MPa) 分解能：無限小 ドリフト：<0.1 MPa/年 絶縁抵抗：100 MΩ(min)@50 VDC	坑内
データ収録用 PC	(株)コンテック/ BX-955SD- DC6312	OS：Windows Embedded Standard7 CPU：Intel Atom Processor N2600 メモリ：2 GB ストレージカード：CFast カード 8GB	観測ハウス

注) 新センサーは、OB-3で2020年2月に先行交換し、その稼働状況(安定性の向上)を確認した後、2020年10月にOB-1とOB-2で交換した。

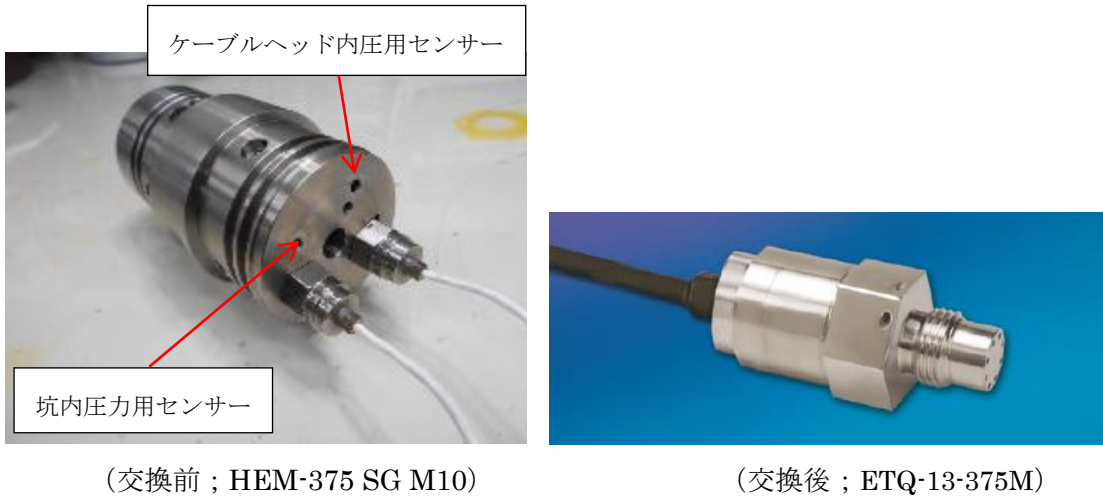
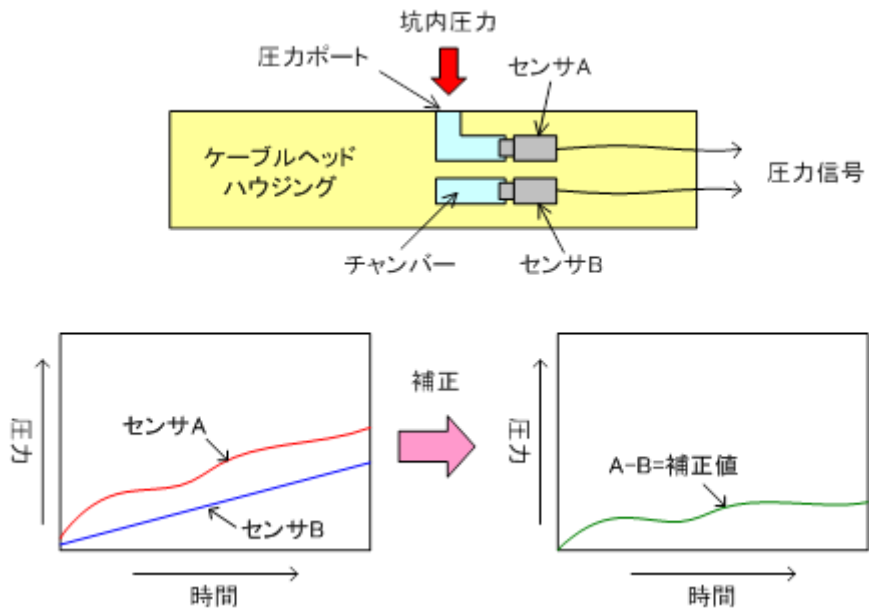


図 4.1-7 シリコン半導体圧力センサー



注) 半導体圧力センサーを用いた圧力測定では、センサーが温度圧力の両方に応答するため、計測対象の圧力を受けるセンサーAと受けないセンサーBの二つをセットで使い、ともに受ける温度の変化を両者の差分をもって補正して、圧力の測定値とする。

図 4.1-8 シリコン半導体圧力センサー温度ドリフト補正概念図

(4) PPS26 温度・圧力センサー

PPS26 センサーは、カナダの Pioneer Petrotech Services Inc.社製の Silicon on Sapphire 素子（サファイア（ Al_2O_3 単結晶）の基板上にシリコン薄膜をエピタキシャル結晶成長させてシリコン半導体に加工した歪みゲージでゲージと基板が原子レベルで結合している素子）を用いたデータ電送型の温度・圧力計である。物理的・電氣的に極めて安定しているため、測定精度が高く、耐圧に優れ、ケーブルで坑内に吊るすことができ、近年、坑内長期モニタリングでの使用実績も増えてきたものである。その仕様を表 4.1-6 に示す。また、外観を図 4.1-9 に示す。

表 4.1-6 PPS26 温度・圧力センサー仕様

項目		仕様 (100 MPa-type)
圧力	耐圧	103 MPa (15,000 psi)
	精度	$\pm 0.03\%FS$ (0.03 MPa)
	分解能	$0.0003\%FS$ (0.0003 MPa)
	ドリフト	<5 psi/年
温度	耐熱	150°C
	精度	$\pm 0.5^\circ C$
	分解能	0.01°C
本体	外形	36 mm
	全長	209 mm
	材質	インコネル 718



図 4.1-9 PPS26 温度・圧力センサー

(5) ケーブルヘッド

ケーブルヘッドには専用のポートを設け、図 4.1-10 に示すように FBG センサー ((2)参照) と半導体圧力センサー ((3)参照) を内部に組み込んでいる。ケーブルヘッドは、アー

マードケーブルとの接続点となるため、内部でFBGセンサー、地震計およびCCLから得られるデータ信号を光信号に変換する光ファイバの末端処理を行う。表 4.1-7 にケーブルヘッドの仕様を示す。

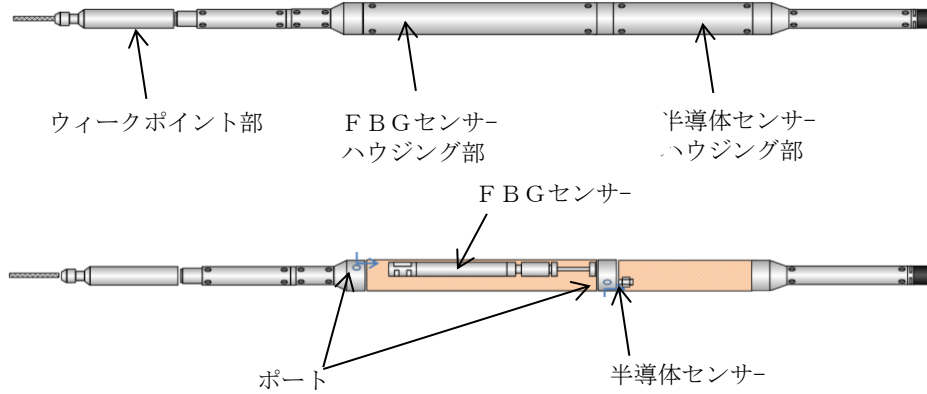


図 4.1-10 ケーブルヘッドの外観と内部構造

表 4.1-7 ケーブルヘッド仕様

項目	仕様
耐熱	150°C
耐圧	20,000 psi (138 MPa)
全長	1,822 mm
最大外径	68 mm
材質	チタン (ウィークポイント部は SUS316)

(6) アーマードケーブル

地上機器とケーブルヘッドを繋ぐケーブルには、メタル線 6 本と光ファイバ線 6 本の芯線を持つ複合アーマードケーブル (OB-1 : 4,000 m 長、OB-2 および OB-3 : 3,000 m 長) を使用している。図 4.1-11 にアーマードケーブルの配列図を示す。表 4.1-8 にアーマードケーブルの仕様を示す。

メタル線は、坑内に設置している地震計と半導体圧力センサーへの電力供給と同センサーによる圧力信号の伝送に用いる。光ファイバ線は、2 本のシングルモード光ファイバ線と 4 本のマルチモード光ファイバ線の 2 種類のファイバ線により構成される。シングルモー

ド光ファイバ線は、地上からFBGセンサーへのパルス光の伝達、FBGセンサーからの圧力、温度情報を含んだ計測結果の地上への伝達に用いられる。マルチモード光ファイバ線は、地震計観測データの地上への伝達およびDTS(Distributed Temperature Sensor)による坑内温度分布測定に用いられる。

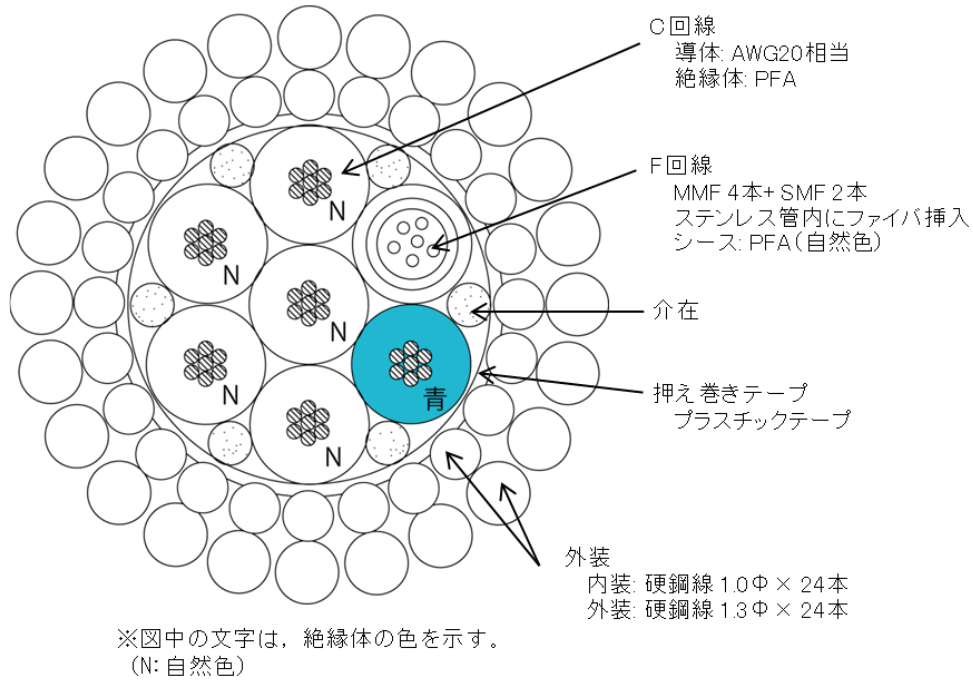


図 4.1-11 アーマードケーブル配列図(断面図)

表 4.1-8 アーマードケーブル仕様

構造					
項目			仕様	備考	
C 回線×6	導体 (スズめっき軟銅 撚り線)	構成	7 本/0.32 mm	AWG20 相当 公称断面積 : 0.6 mm ²	
		外形	約 0.96 mm		
	絶縁体 (PFA)	厚さ	約 0.72 mm	色 : 青,N 色 特性 : 耐熱温度項参照	
		外径	2.4 mm		
MP 回線× 1	光ファイ バ心線	MMF (GI) 4 心	コア径	50 μm	石英ガラス+カーボン コート ポリイミド被覆(N 色)
			クラッド径	1250 μm	
			ファイバ外径	155 μm	
		SMF (GI) 2 心	コア径	8.4 μm(typical)	石英ガラス+カーボン コート ポリイミド被覆(N 色)
			クラッド径	125 μm	
			ファイバ外径	155 μm	
	ステンレス管 (SUS 管)	厚さ	約 0.2 mm	材質 : SUS316L	
		外径	1.8 mm		
シース	外径	2.4 mm	材質 : PFA (N 色)		
複合集合		中心層	1C		
		第 1 層	5C+1 MP		
押え巻き (プラスチックテープ)		構成	重ね巻き	特性 : 耐熱温度項参照	
外装	内装 (硬鋼線)	素線径	約 1.0 mm		
		本数	24 本		
	外装 (硬鋼線)	素線径	約 1.3 mm		
		本数	24 本		
仕上外径		標準	12.0 mm		
		最大	12.5 mm		
概算質量		空中	約 535 kg/km		
		水中	約 440 kg/km		
電気特性					
項目		仕様		単位	
導体抵抗 (20℃)		35.9		Ω/km 以下	
耐電圧 (AC1 分間耐えること)		1,000		V	
絶縁抵抗 (20℃)		1,000		MΩ・km 以上	
機械特性					
項目		特性		備考	
破断張力		78.4 kN (8.0 tonf)			
許容張力		15.8 kN (1.61 tonf)			
許容曲げ半径		最小 360 mm		固定時、布設時	
光特性					
ファイバ種類	項目	特性		備考	
伝送損失	MMF	4.0 dB/km 以下		波長 λ = 1.31 μm	
		2.1 dB/km 以下		波長 λ = 0.85 μm	
	SMF	0.7 dB/km 以下		波長 λ = 1.31 μm	
耐熱温度					
回線名		耐熱温度		備考	
C 回線		MAX250℃		絶縁材料 (PFA) に依存	
光ファイバ心線 (MMF,SMF)		MAX300℃			
押え巻き (プラスチックテープ)		MAX150℃		湿度の影響有りのとき	

(7) DTS

アーマードケーブル((6)参照)を構成するマルチモード光ファイバ線は、地震計観測データの地上への伝達のほか、DTS(Distributed Temperature Sensor)による坑内温度分布測定に用いられる。

一般に、光ファイバ線の一端から入射したレーザーパルス光は、光ファイバ線内の各点で微弱な散乱光を生成しながら透過し、散乱光の一部は後方散乱光として入射端に戻るため、後方散乱光を反射時間ごとに時系列で信号処理することによりファイバ線上の位置を計測することができる。DTSでは、2種類のラマン散乱光(ストークス光と反ストークス光)を利用し、図4.1-12に示すように、温度感受性の強い反ストークス光と温度感受性の弱いストークス光の後方散乱光強度の比から光ファイバ線上に沿った温度分布を求める。表4.1-9に観測で使用しているDTS(DTSX200/横河電機(株)製)の仕様を示す。DTSによる温度計測は、非常に微弱な信号を処理することから、短時間の測定では温度誤差が大きくなるため、10分間の計測値の平均値を測定結果として出力している。測定深度間隔は1.0mである。

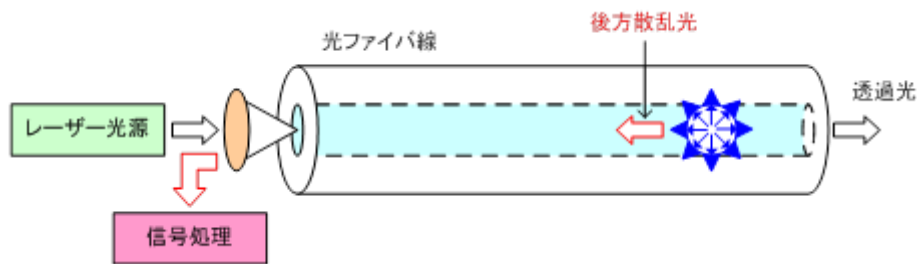


図 4.1-12 DTS の測定原理

表 4.1-9 DTSによる温度測定の様

項目		仕様
距離	測定距離レンジ	1~6 km
	サンプル分解能	10 cm~1 m
	空中分解能	1 m
温度	測定温度範囲	-200~800°C (光ファイバに依存)
	温度分解能	1 km 0.07°C Typical 3 km 0.15°C Typical 6 km 0.5°C Typical (1σ、サンプリング分解能 1 m、 DTSX200 にセンサー用ファイバを接続し た条件にて)
	精度	約±1°C
光	コネクタ、ファイバ	E2000/APC、50/125GI 光ファイバ
インターフェイス	Modbus	Serial, Modbus/TCP
	LAN	10BASE-T または 100BASE-T
地上機	動作温度範囲	-40~-65°C
	電源電圧	用途に合わせた電源が選択可能
	消費電力	10 W(全温度範囲) 2 W(パワーセーブ時)
	レーザー安全	IEC60825-1 Class 1M PDA 21CFR Part 1040.10

(8) 坑口圧力計

坑口圧力の計測 (OB-1 : 内圧、外圧、外々圧、OB-2 : 内圧、OB-3 : 内圧、外圧) には、国内の石油・ガス井で計測実績のあるダイアフラムシール付圧力伝送器 (EJA438J : 横河電機(株)製) を使用している。ダイアフラムシール付圧力伝送器は、圧力変化に伴いダイアフラムが変形し、ダイアフラム上に設置された振動子の共振周波数が変化する現象を利用する。表 4.1-10 にダイアフラムシール付圧力伝送器 (EJA438J) の主な仕様を示す。図 4.1-13 にダイアフラムシール付圧力伝送器 (EJA438J) の外観を示す。

表 4.1-10 ダイアフラムシール付圧力伝送器 (EJA438J) の主な仕様

項目	仕様
受圧機構	ダイアフラムシール
測定スパン	0.46~16 MPa
測定範囲	0.1~16 MPa
出力信号	4~20 mA DC
精度	±0.2%



図 4.1-13 ダイアフラムシール付圧力伝送器 (EJA438J)

(9) 坑口装置等

坑口装置の上位に設置するワイヤーライン用坑口装置には、次の役割が期待される。

- 1) モニタリング中の坑内流体漏洩を防止すること
- 2) 坑口圧力が加わった状態において安全に坑内測定、および坑内機器回収等のワイヤーライン作業ができること
- 3) モニタリング中の坑内機器とアーマードケーブルの荷重を保持すること

表 4.1-11 にワイヤーライン用坑口装置を構成する機材の機能と用途を示す。図 4.1-14 にワイヤーライン用坑口装置の模式図を示す。強風や地震等によるワイヤーライン用坑口装置の損傷や倒壊を防止するため、各坑井元には図 4.1-15 に示すような保持鉄塔と作業時の足場を設置している。

表 4.1-11 ワイヤーライン用坑口装置を構成する機材の機能および用途

構成機材	機能および用途
ケーブルクランプ	坑内観測機器を吊り下げた状態のアーマードケーブルをワイヤーライン用坑口装置の最上部で固定する。
圧力遮断装置	アーマードケーブルの外径よりわずかに広い内径のチューブ内にアーマードケーブルを通し、チューブ内面とアーマードケーブル外装の隙間にエポキシ樹脂*5)を充填することにより、坑井内からの流体漏洩を防止する。
パッキン・オフ	アーマードケーブルをゴム製のパッキンで包み、油圧によりパッキンを圧縮することでアーマードケーブルとパッキン間の隙間をシールする。
コントロールヘッド	コントロールヘッド内にグリスを循環することにより、アーマードケーブルの外装とコントロールヘッドの隙間をシールし、坑内流体の漏洩を防止する。坑内圧力が上昇している坑井でワイヤーライン作業を実施する場合に圧力遮断装置の役割を果たす。 ※OB-2では坑内圧力の上昇が限定的であるため設置しない。
リューブリケータ (ライザーパイプ)	坑内機器回収時に一時的に坑内ツールを収納する格納スペースの役割を果たす。 ※OB-2には設置しない。
ツール・トラップ	坑内より引き上げられる坑内機器が通過したことを知らせ、アーマードケーブルを過剰に巻き上げることによるケーブルの切断事故を防ぐ。 ※OB-2には設置しない。
ワイヤーライン用 BOP (Blow Out Preventer)	坑内にアーマードケーブルが挿入されている状態で一時的に坑内圧力を遮断する。 インナーシールにマルチライン・ラム・シールを用いることにより、坑内圧力を遮断した状態でケーブルを移動させることができる。 ※OB-1とOB-3では3連式、OB-2では2連式を使用

*5) エポキシ樹脂は、耐食性、耐熱性、機械的強度および接着性に優れ、長期にわたり安定した特性を示す。

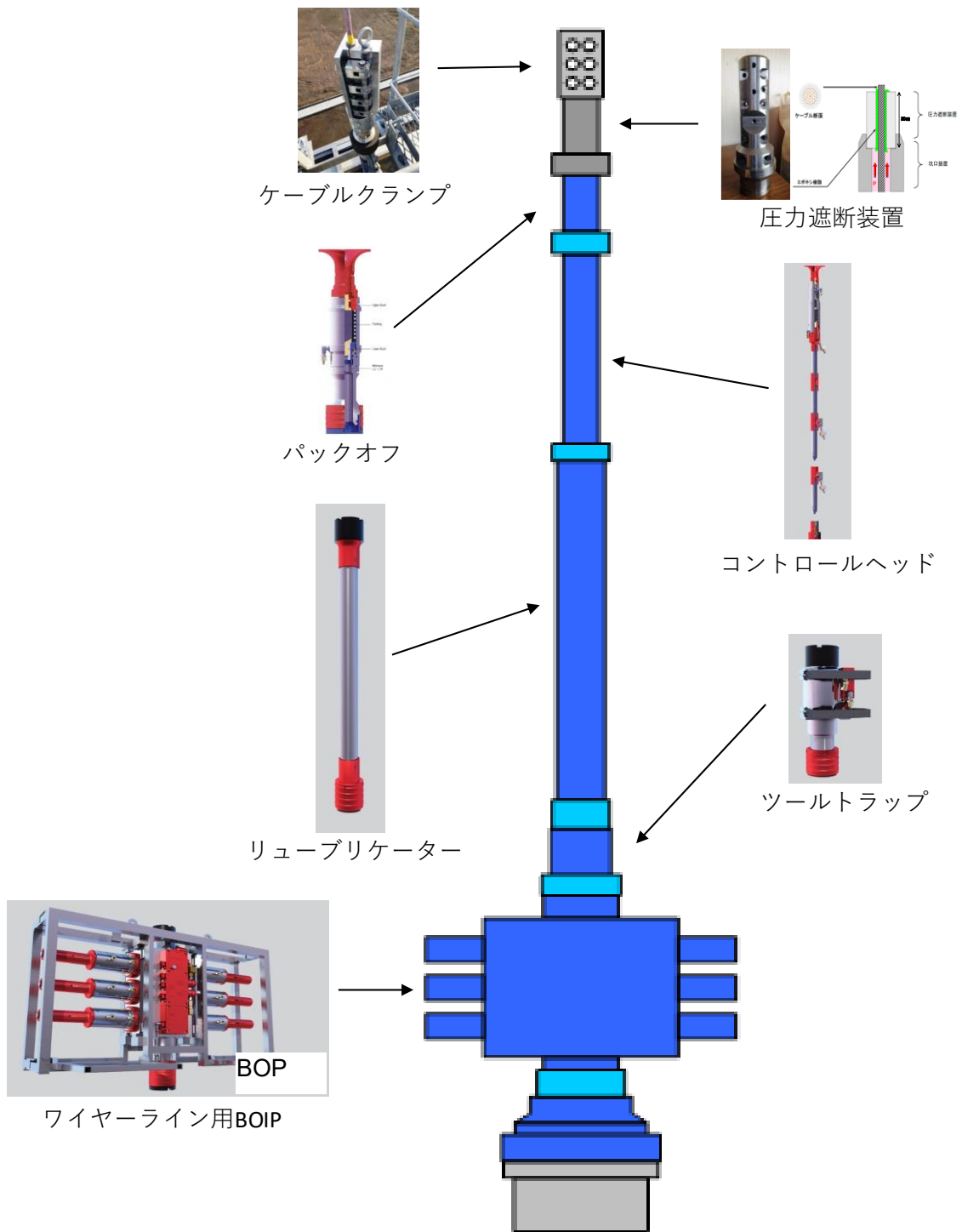


図 4.1-14 ワイヤーライン用坑口装置の模式図と構成機材の写真



図 4.1-15 OB-1 に設置した坑口装置保持鉄塔および作業用足場

(10) リファレンス地震計

リファレンス地震計は、小石を敷いた深さ 50 cm 程度の設置孔の上にハーフサイズのコンクリートブロックを置き、図 4.1-16 に示すように、水平、方向角・鉛直を確認した上でブロックの穴の中に石膏で固定されている。表 4.1-12 にリファレンス地震計の仕様を示す。リファレンス地震計の観測データは、坑内地震計と同じ形式で観測ハウス内に設置されているデータ収録装置 (GeoRes) に集約し当センターのデータ保管ストレージに送信する。

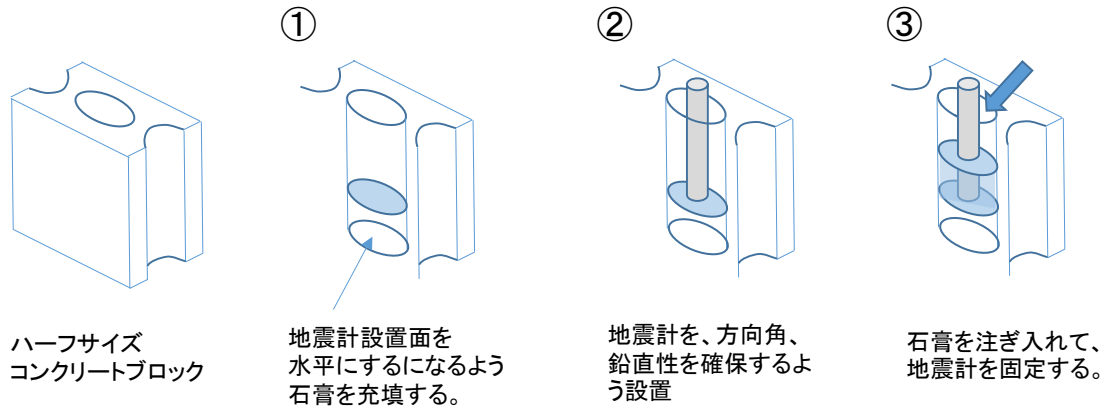


図 4.1-16 コンクリートブロックの穴へのリファレンス地震計固定手順

表 4.1-12 設置したリファレンス地震計の仕様

項目		仕様
型式		SM-4 (ION 社)
形状・重量	1 個のセンサー	外径 : 25.4 mm 長さ : 32 mm 重量 : 74 g
	3 成分地震計全体	外径 : 45 mm 長さ : 185 mm 重量 : 600 g
感度		28.8 V/m/sec (375-Ω coil)
固有周波数		10 Hz、速度型
耐圧		10 気圧
動作温度範囲		-40~100°C

(11) 風速計

風による坑口装置保持鉄塔の振動が地震計観測データに与える影響を把握することを目的として、2016年6月に、各坑口装置保持鉄塔に風速計を設置した。図 4.1-17 に坑口装置保持鉄塔に設置した風速計の様子を示す。表 4.1-13 に風速計の仕様を示す。

風速計の観測データは、温度・圧力データと同じ形式で観測ハウス内に設置されているデータ収録装置において集約し当センターのデータ保管ストレージに送信する。



図 4.1-17 坑口装置保持鉄塔に設置した風速計

表 4.1-13 設置した風速計の仕様

項目	仕様
型式	23-SP-420 (Field Pro 社)
測定範囲	0.5~60 m/s
精度	6 m/s 以下 : ±0.3 m/s 6 m/s 超 : ±5%以内
耐風速	80 m/s
出力	4~20 mA (0~60 m/s)
動作温度範囲	-20~40°C

(12) データ収録装置

坑内および坑口で測定されたデータは、アーマードケーブルまたは信号ケーブルを介して、観測井の近傍に設置した観測ハウス内に設置されている坑内観測機器の制御機器、データ収録機器およびデータ伝送機器（以下、まとめて「地上収録装置」と称する。）に連続収録される。図 4.1-18 に観測ハウスの外観を示す。観測ハウスは、長期間（6年以上）の使用となること、設置場所の気象環境（冬季の気温、積雪対応）および海岸に近いこと等を考慮し、ALC（Autoclaved Lightweight Concrete）製^{*6}とした。また、年間を通じ屋外温度の影響を排除し機器動作環境を保つため空調を設置している。

*6) ALC 製の観測ハウスは断熱性、耐火性および遮音性に優れており、各種観測局の精密計測機器運用施設として多くの実績を持つ。

地上収録装置のうち測定データ収録のためのNAS(Network Attached Storage)は、最低6箇月分のデータを収録できる記憶容量を持ち、RAID(Redundant Arrays of Inexpensive Disk)機能を有する。また、地上収録装置は、停電時に10分以上観測可能な容量(1,000VA)を持つUPS(無停電電源装置)を装備しており、停電発生時にはデータを安全に保存したうえで適切にPCが自動シャットダウンし、復電時には自動的に機器が起動して、測定状態に復帰する。さらに、PCとNASにはリブーターを取り付けており、遠隔地からの再起動も可能である。

地上収録装置は、観測ハウス内に設置した2基のラックに配置した。観測ハウス、当センターおよびメンテナンス拠点間には電話回線(光またはADSL)を用いたIPSec方式*7のVPNを構築しており、観測データは、観測ハウス内の地上収録装置からVPN経由で、所定の時間間隔でデータを当センターに設置したデータ保管ストレージに送信する。

なお、アーマードケーブル余長分は、地上に設置したドラムに巻取り保管するが、本観測システムでは、ドラムとドラムを駆動するウインチを容易に分離できるオフドラムシステムを使用しており、観測時は坑井元にドラムを単体で設置する。図4.1-19にオフドラムシステムを示す。



図 4.1-18 観測ハウス (外寸：幅 4.2 m×奥行 2.1 m×高さ 2.75 m)

*7) IPSec (Security Architecture for Internet Protocol) は、暗号技術により IP パケット単位で改竄検知や秘匿機能を提供するプロトコル。これにより、暗号化をサポートしていないトランスポート層やアプリケーションを用いても通信路の途中における通信内容の覗き見や改竄を防止できる。



図 4.1-19 オフドラムシステム

4.1.2 観測システムの保守管理

観測システムによるデータ取得を継続するため、次の 1)～4)の保守点検を実施した。

- 1) 常時監視 (遠隔)
- 2) 日常点検 (遠隔)
- 3) 定期点検 (現地)
- 4) 坑内機器回収・点検 (現地)

(1) 常時監視

専用回線を利用して観測システムの動作状況をプログラムにより常時監視した。

(2) 日常点検

毎日(休業日を除く)2回、専用回線を利用して観測システムの稼働状況と観測データの取得状況を確認し、結果を日常点検チェックシートに記録した。日常点検で用いたチェックシートを図 4.1-20 に示す。

添付資料①

2023年
4 Apr

観測井モニタリング保守・管理チェックシート(日常点検)

業務名 : 苫小牧におけるCCUS大規模実証試験「観測井による観測および維持管理」

日	月	火	水	木	金	土
26	27	28	29	30	31	1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	1	2	3	4	5	6

チェック項目表

項目	OB-1	OB-2	OB-3	センター	備考
システム稼働状況					
坑口圧力	内圧				
	外圧				
	外外圧				
温度	DTS				
	FBG				
	PPS26				
坑内圧力	半導体				
	FBG				
	PPS26				
微小振動	No.1				
	No.2				
	No.3				
	No.4				
	No.5				
地上リファレンス用					
風速計	風速				

図 4.1-20 日常点検チェックシート例

(3) 定期点検

原則2ヶ月に1回、現地（OB-1、OB-2、OB-3の各観測施設および当センター）に設置した観測システムの目視点検、データ収録装置に保管されている観測データのバックアップの作成等を実施した。定期点検の実施日を表4.1-14に示す。定期点検で用いたチェックシートを図4.1-21に示す。

表 4.1-14 定期点検実施日

実施月	当センター	OB-1	OB-2	OB-3
2023年04月	24日	23日	25日	23日
2023年06月	8日	7日	8日	8日
2023年08月	28日	29日	28日	29日
2023年10月	26日	25日	26日	24日
2023年11月	28日	28日	28日	28日
2024年1月	31日	31日	31日	31日

添付資料②
観測井モニタリング保守・管理チェックシート(定期点検①)
 業務名 : 苫小牧におけるCCUS大規模実証試験「観測井による観測および維持管理」
 観測井名 :
 実施日時 :
 実施者 :

※写真を取ったら(写真 口)にチェックを入れる

項目	良否	備考
設置状態は正常か		
各インジェクターは正常か		
がたつきはないか		
コネクタの接続は適切か		
電源供給状態は正常か		
UPSのバッテリーは正常か		
NASIに異常はないか		
計測器に異常はないか		
セラの貯水量は問題ないか		
正常に動作しているか		
設置状態は正常か		
設置状態は正常か		
ケーブルラックに異常はないか		
圧力遮断装置に異常はないか		
BOPに異常はないか		
その他異常はないか		
設置状態は正常か		
固定用チェーンに異常はないか		
雨水の侵入はないか		
その他異常はないか		
ストレージ容量は充分か		
観測データを回収したか		
観測ハウスの戸締り、施錠をしたか		
フェンスの扉を閉め、施錠をしたか		

添付資料②
観測井モニタリング保守・管理チェックシート(定期点検②)
 業務名 : 苫小牧におけるCCUS大規模実証試験「観測井による観測および維持管理」
 観測井名 :
 実施日時 :
 実施者 :

※写真を取ったら(写真 口)にチェックを入れる

項目	良否	備考
外観に異常はないか		
扉は正常に動作するか		
鍵は正常に動作するか		
外観に異常はないか		
銘板の設置状態は正常か		
銘板に破損・がたつきはないか		
扉は正常に動作するか		
鍵は正常に動作するか		
室内に雨漏りの形跡がないか		
室内の温度・湿度は適度か		
電線・通信線引込柱に異常はないか		
電線・通信線に損傷はないか		
電線・通信線引込部に異常はないか		
信号線に損傷はないか		
信号線引込部に異常はないか		
設置状態は正常か		
がたつきはないか		
コネクタの接続は適切か		
正常に動作しているか		
設定は適切か		
ゴミなどは散乱していないか		
雑草は繁殖していないか		
正常に動作しているか		
設置状態は正常か		
正常に動作しているか		
設置状態は正常か		

図 4.1-21 定期点検チェックシート例

(4) 坑内機器回収・点検

2023年度の観測システム全体のメンテナンス作業は、通年どおり各観測井1回ずつ実施した。各観測井のメンテナンススケジュールの実績を表4.1-15に示す。

なお、OB-1、OB-2では、観測値に異常が示唆されたため、メンテナンス期間を利用して、坑内検層を実施し、観測値とのクロスチェックを実施した。

表 4.1-15 坑内機器回収・点検等の日程

観測井	坑内機器回収	坑内・地上機器 の点検	坑内機器再設置	チェックショット
OB-1	4月6日	4月7~12日	4月13日	4月24日
OB-2	4月16日	4月17~20日	4月21日	4月25日 10月26日
OB-3	10月18日	10月19~22日	10月23日	4月25~27日 10月24~25日

坑内機器の回収と再設置の手順について下記する。

坑内機器は、次の1)~9)の手順に従って回収し、点検後、逆の手順で再設置した。図4.1-22に観測時と坑内機器回収(再設置)時の機器配置の概念図を示す。

坑内観測機器の点検では、回収前後の動作状況の確認、クリーニング、絶縁・導通の確認、必要に応じて消耗品(Oリング、油脂、等)の交換等を行った。ケーブルヘッド、地震計およびCCLの点検時に使用したチェックシートを図4.1-22~25にそれぞれ示す。

- 1) 坑内機器を回収するために必要なウインチユニットおよび発電機等を坑井元に設置する。
- 2) ドラムボックスに固定されているドラム脇から観測ハウス内の地上装置に接続されている信号ケーブルを取り外す。
- 3) ドラムボックスからウインチユニットへドラムを載せ替える(オンドラム)。
- 4) 下側の滑車(Lower Sheave)をクリスマスツリーに、上側の滑車(Upper Sheave)をクレーン車のフックに取り付け、吊り上げる。
- 5) ウインチユニットによりケーブルを引っ張り、テンションがかかった状態にする。
- 6) アーマードケーブルを保持していたケーブルクランプを解除する。

- 7) 圧力遮断装置を解除する。
- 8) ウインチユニットを使用してアーマードケーブルを回収する。
- 9) ケーブルヘッドが地上まで回収された後、クレーン車を利用して全坑内機器を回収する。

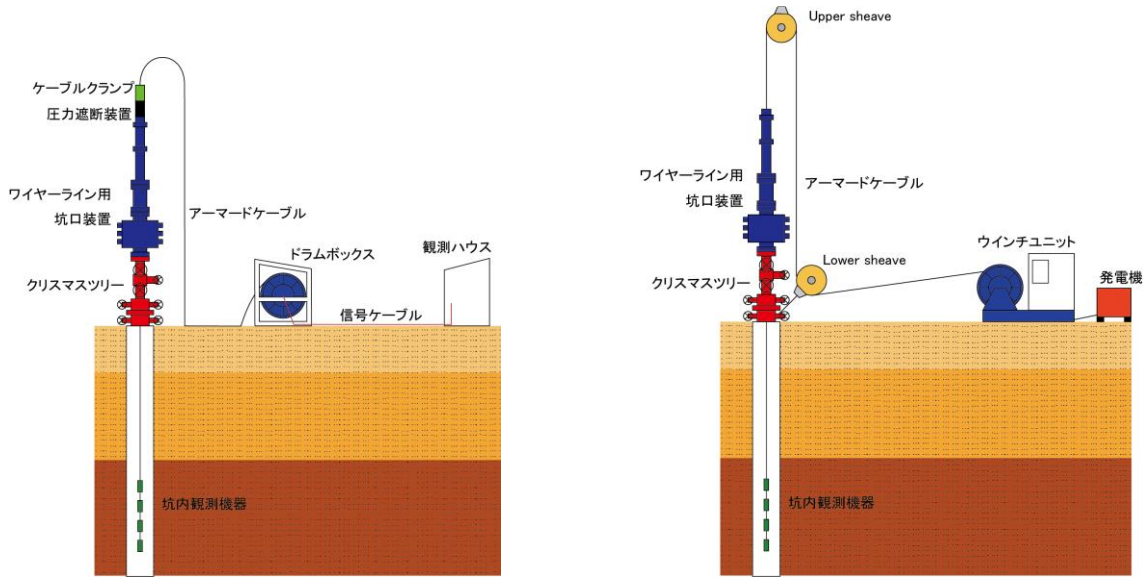


図 4.1-22 坑内機器の回収作業概念図（左：観測時、右：回収時）

観測井モニタリング保守・管理チェックシート(FBG・半導体圧力・PPS26)

業務名	: 苫小牧CCUS大規模実証試験「観測井による観測および維持管理」
観測井名	: OB-2
実施日時	: 2023年4月18日～20日
実施者	: 近藤浩一、小林拓巳

項目	確認	備考
① ケーブルヘッド回収前の動作状態確認	✓	各センサのシグナルレベルの現状把握
② ケーブルヘッド回収後の状態確認	✓	表面の腐食、ねじの脱落等はないか
③ Oリングの交換、コネクタ部の清掃、オイル交換、窒素ガス充填	✓	
④ 半導体センサ、FBGセンサ、PPS26の加圧・指示値確認	✓	下記表を参照
⑤ メンテナンス後の最終確認	✓	ねじ締め、グリスアップ等
⑥ 再セット後のシステム動作の確認	✓	

FBG、半導体圧力センサ、PPS26圧力確認記録

校正機器	電圧計	732-03No.2(YOKOGAWA)
	圧力校正器	重錘型圧力計 PD73

圧力校正器加圧値[MPa] PD73	PPS26[MPa] S/N:S8750	半導体圧力センサ[MPa] S/N:8007-1-150	Smartport[MPa] S/N:139303
0	0.100	0.000	0.180
1			1.190
3			3.070
5	5.070	5.100	5.020
8			7.970
10	10.064	10.130	
15	15.067	15.160	
20	20.065	20.180	
25	25.070	25.210	
30	30.070	30.230	

・圧力指示値確認の手順
 ①確認作業はケーブルヘッドメンテナンス/組立て後、坑内観測機器の再設置前に行う。
 ②圧力指示値の確認レンジは上記表のとおり実施する。
 ③加圧値と指示値を上記表に記録する。

図 4.1-23 坑内機器点検チェックシート (FBG・半導体圧力・PPS26)

観測井モニタリング保守・管理チェックシート(微小振動・自然地震観測ツール)

業務名 : 苫小牧CCUS大規模実証試験「観測井による観測および維持管理」
 観測井名 : OB-2
 実施日時 : 2023年4月19日～4月20日
 実施者 : 永田丈也

S/N	O-ring & Facial Seal	O-ring (Inner)	Cleaning	備考
15345 (No.1 tool)	✓	✓	✓	
15383 (No.2 tool)	✓	✓	✓	
15544 (CCL)	✓	✓	✓	

Note:

図 4.1-24 坑内機器点検チェックシート (地震計)

観測井モニタリング保守・管理チェックシート(Interconnect Tool Cable)

業務名 : 苫小牧CCUS大規模実証試験「観測井による観測および維持管理」

観測井名 : OB-2

実施日時 : 2023 年 4 月 18 日 ~ 4 月 20 日

実施者 : 永田丈也、下山雄己

S/N	O-ring & Facial Seal	Cable Head	Grease up	絶縁 Leakage	導通 Continuity	極性 Polarity	容量 Capacitance
9260 (7.7m)	✓	✓	✓	✓	✓		
1090 (10m)	✓	✓	✓	✓	✓		
8740 (7.7m)	✓	✓	✓	✓	✓		

注意1: 絶縁測定時は、Test Terminatorは接続しない！BOX側はLeakageに切り替えること。
 注意2: 導通測定時は、Test TerminatorのスイッチをContinuity側に切り替えて使用する。
 注意3: 極性測定時は、Test TerminatorのスイッチをPolarity側に切り替え、BOX側はContinuityに切り替える。
 注意4: 容量測定時は、Test Terminatorは接続しない。BOX側はCapacitanceに切り替え、1と2、3と4、5と6、7と8のボタンを押し測定する。
 注意5: 絶縁はmega testerの500Vを使用。

Remarks:

図 4.1-25 坑内機器点検チェックシート (ITC ケーブル)

4.1.3 観測システムによるモニタリング

4.1.1 に示した観測システムを用いて、坑内地震計、温度計および圧力計等によるモニタリングを実施した。(1)~(3)に 2023 年度の各観測井におけるモニタリングの結果、および課題検討対応を示す。

(1) 地震計によるモニタリング

地震計によるモニタリング事例を以下にまとめる。

2024 年 2 月 3 日 18:28 頃に北海道浦河沖を震源としたマグニチュード 3.2 の地震が発生した(図 4.1-26 (1) 参照)。国立研究開発法人防災科学技術研究所 Hi-net 高感度地震観測網(以下、Hi-net と称する。)
「厚真」で観測された地震波形を図 4.1-26 (2)に示す。

同時時間帯に全観測井で取得された微小振動・自然地震観測データの一例を図 4.1-26 (3)に示す(各画像について、1 トレースが 1 分間のデータ、横軸: 0~59 秒)。これらの波形は、各観測井に設置された地震計のうち最も最下部にある地震計の Z 成分のものである。これより、Hi-net で観測された波形データと良い整合性が確認できる。

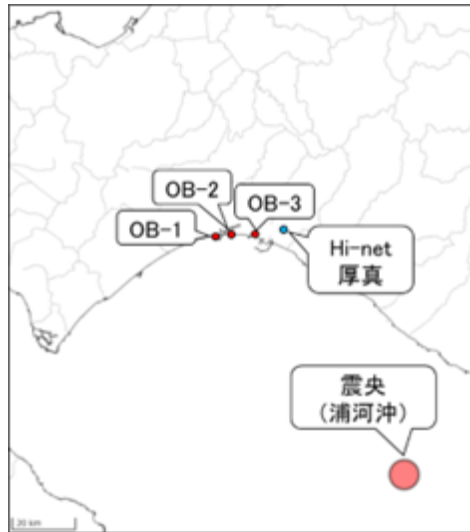
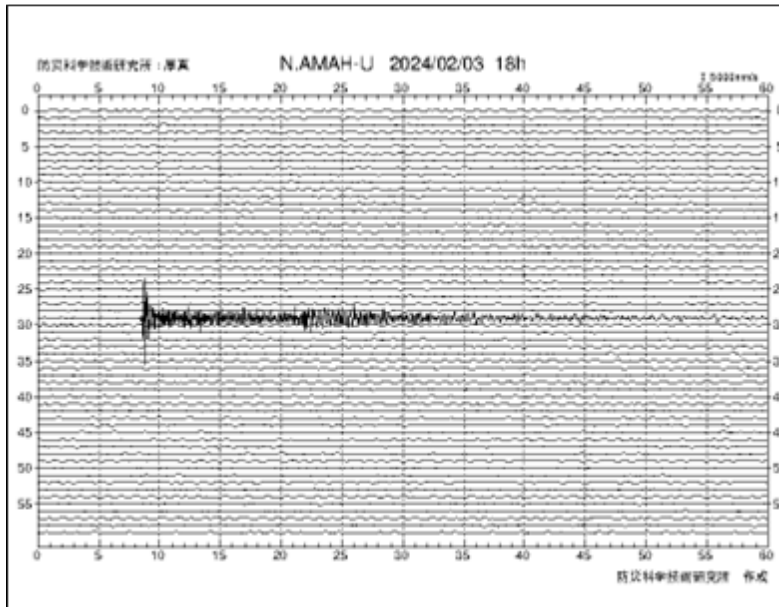


図 4.1.26 (1) 微小振動・自然地震観測事例

2024 年 2 月 3 日 18:28 発生
震源; 北海道浦河沖 M=3.2 (出典: 国土地理院地図、気象庁震源リスト)

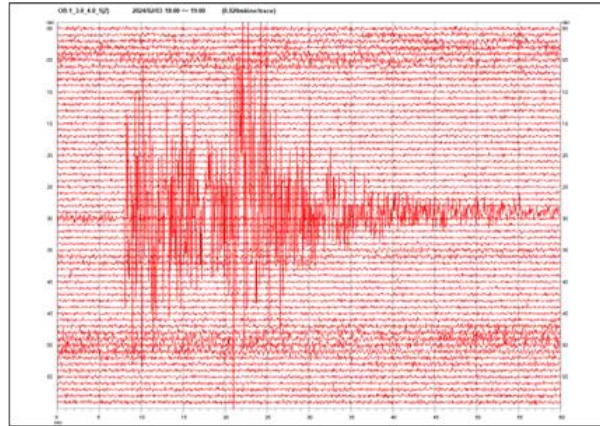


Hi-net 「厚真」受振波形

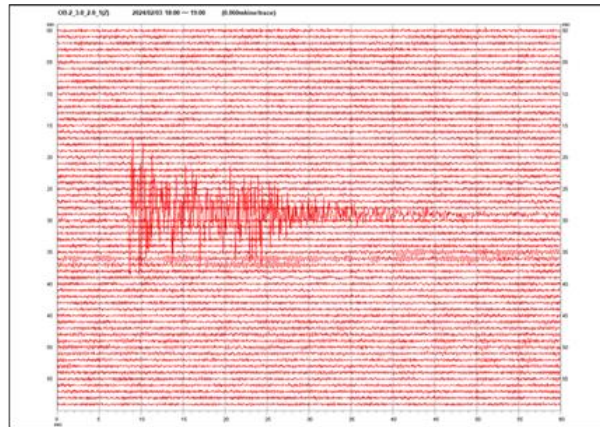
(2024年2月3日 18:00:00~18:59:59)

出典：防災科学技術研究所 HP

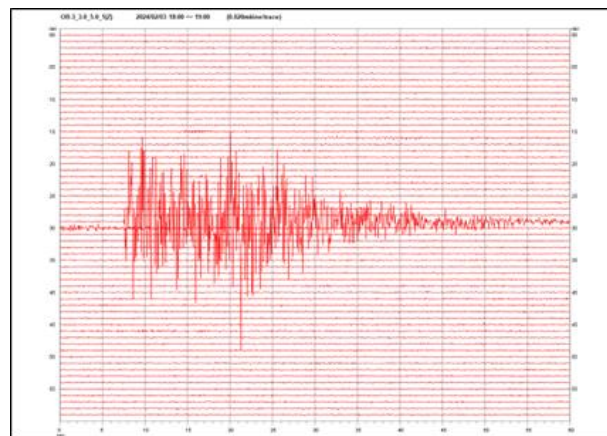
図 4.1-26 (2) 微小振動・自然地震観測事例「厚真」で観測された地震波形



OB-1 No.4 地震計 Z 成分受信波形
(2024年2月3日 18:00:00~18:59:59)



OB-2 No.2 地震計 Z 成分受信波形
(2024年2月3日 18:00:00~18:59:59)



OB-3 No.5 地震計 Z 成分受信波形
(2024年2月3日 18:00:00~18:59:59)

図 4.1-26 (3) 微小振動・自然地震観測事例 全観測井で取得された微小振動・自然地震観測データの一部

(2) 温度・圧力モニタリング

各観測井で計測された坑井内温度・圧力のモニタリング結果を観測井別に図 4.1-27～図 4.1-29 に示す。各観測井のモニタリング状況は、以下のとおりである。

① OB-1

FBG 圧力および温度については、2021 年 4 月の坑内観測機器回収点検作業後の観測再開以降に異常が発生している。温度は上昇傾向を示し、圧力は減少傾向が明確にみられ、12 月以降には異常の程度はより顕著となった。他のセンサーではこうした変化がないため、同 FBG センサー異常と判断し、2022 年度のメンテナンス時に機器更新を実施した。同更新以降、圧力については、半導体圧力とほぼ同じ値を示し、正常に観測されていることを確認した。一方、温度については、異常が発覚する以前のデータより、約 4℃高い値を示しており、更新後も正常な値を示していないことが示唆されたため、2023 年度のメンテナンス時に予備品に交換をして、2023 年 4 月に実施した検層結果に合うように補正を行った。

② OB-2

FBG 温度および PPS26 温度はともに安定しており、良好なデータ取得ができています。PPS26 圧力は安定しており、良好なデータ取得ができています一方、半導体圧力および FBG 圧力は、相対値としてはほぼ安定しているが、点検など調整の度に、その前後で絶対値に変化が生じているという課題がある。半導体圧力センサーと FBG センサーは同一深度に設置されているので、正常であればそれぞれの圧力は同じ値を示すが、両者には 0.2MPa 以上の乖離があるので、2023 年 4 月に検層を実施して、検層結果に合うように補正を行った。

③ OB-3

同坑井の観測対象となる滝ノ上層は、透水性が低く、かつ、貯留層圧力が他の観測井より高いという特性により、圧力については、坑内機器の回収の際、坑口圧力払いの作業があり、機器の点検調整を行い坑内に再設置し測定再開以降、毎度圧力上昇が発生する。これは、貯留層圧力の回復に時間を要するためであり、現在のメンテナンス・インターバルの観測期間（メンテナンス後の測定再開から次のメンテナンスまで）では十分安定した圧力状態には戻っていない可能性がある。こうした圧力変動のデータから貯留層パラメータ（孔隙率や浸透率等）を推定する解析が可能であり、(3) ②に後述のとおり、同解析を実施した。

2023 年 10 月に実施した坑内観測機器メンテナンス作業にて、回収した坑内観測機器を再設置する際に、設置予定深度より 39.9 m 浅い深度に設置したため、これまでの観測値と

異なる観測値となった。原因としては、今回は坑内機器再設置時にアーマードケーブルを新しいものに交換しており、その際に深度の確認が不十分であったためである。今後は、従来の深度確認方法に加えて、DTS計測(光ファイバ計測)による深度確認と、チェックショット時の初動走時の確認を徹底して再発防止に努める。なお、観測値に関しては、2022年9月に実施した温度・圧力検層データを参考に、従来の設置深度相当の観測値への補正を行った。

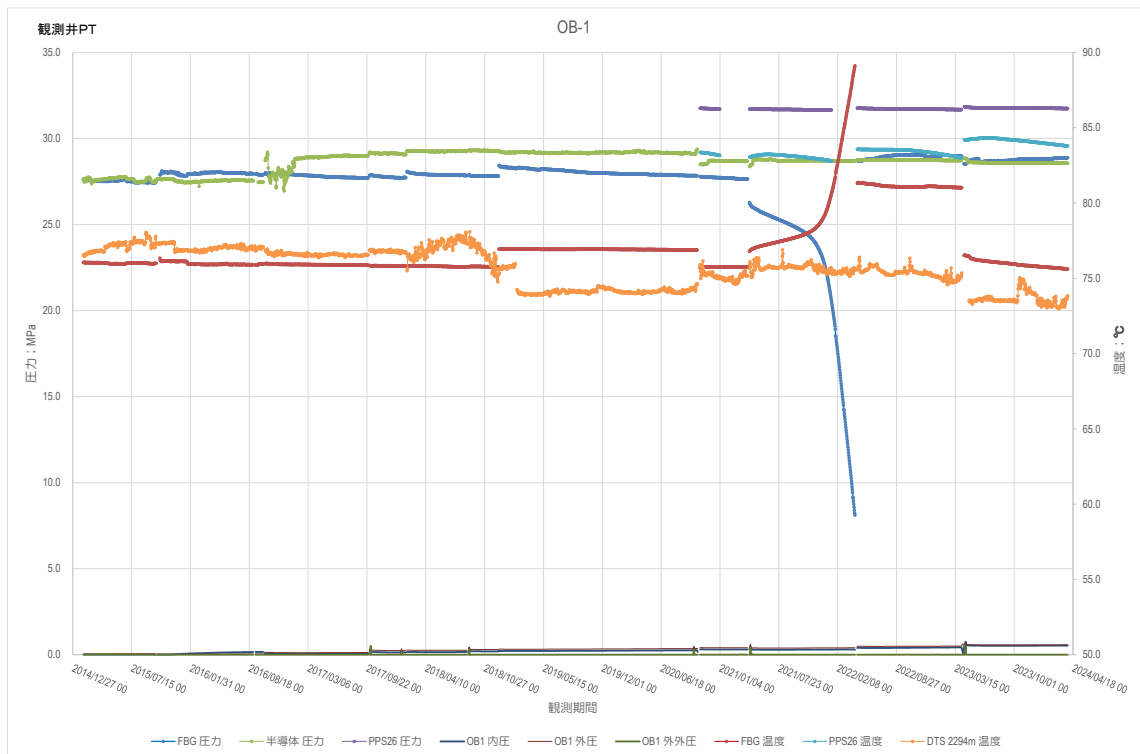


図 4.1-27 OB-1 温度・圧力モニタリング結果

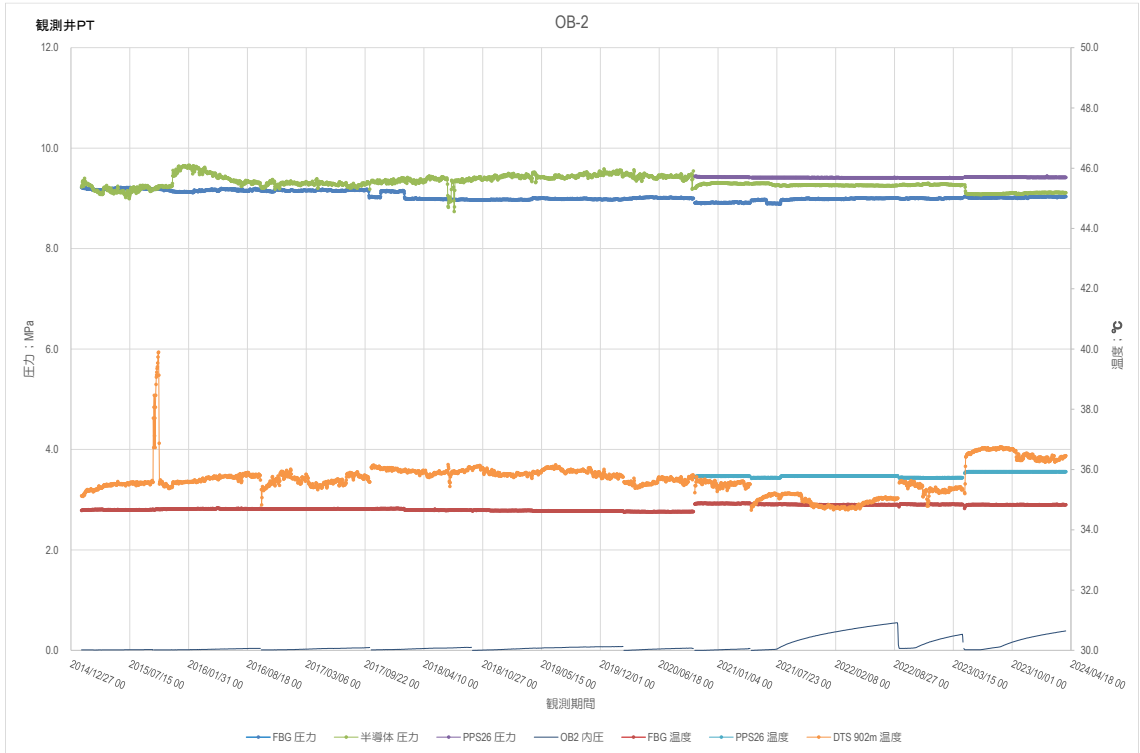


図 4.1-28 OB-2 温度・圧力モニタリング結果

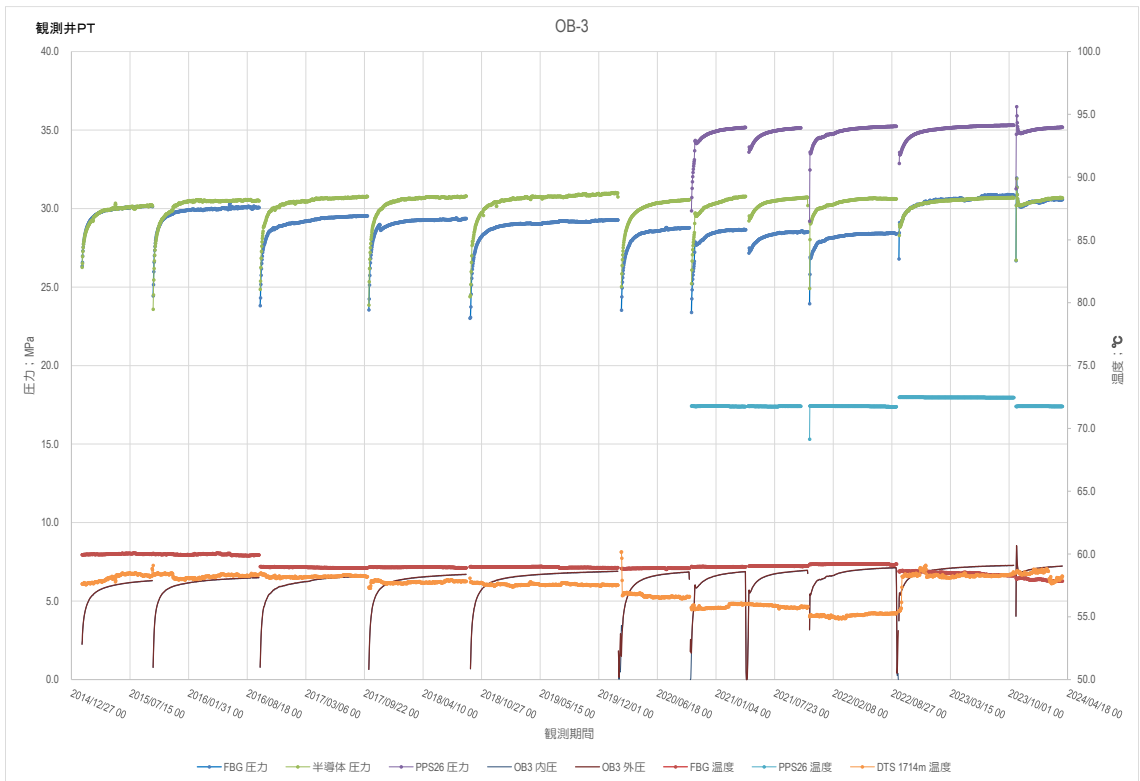


図 4.1-29 OB-3 温度圧力モニタリング結果

(3) モニタリングにおける検討課題とその対応状況

① OB-1,OB-2 温度圧力検層

2023年4月5日～28日 OB-1、OB-2 の点検・整備作業時に、観測井においてダミー検層と温度・圧力検層を実施した。

OB-1 のダミー検層および坑内温度・圧力検層は、2023年4月7日～8日に実施した。温度・圧力検層を実施する前にダミー検層を実施し、坑内状況を確認した。ダミー検層の結果、深度 3,697.1m までツールを降下し、異常荷重等も確認されなかった。温度・圧力検層は、深度 3,689.1m までセンサーを降下し、深度 3,689.0m で坑内最高温度 112.9℃、最高圧力 42.36MPa であった。また、センサー巻上時には、深度 3,680m でストップチェックを行った。測定時間は、およそ 5 分間とした。

OB-2 のダミー検層および坑内温度・圧力検層は、2023年4月17日に実施した。OB-1 と同様に温度・圧力検層を実施する前にダミー検層を実施し、坑内状況を確認した。ダミー検層の結果、深度 1,070.8m までツールを降下し、異常荷重等も確認されなかった。温度・圧力検層は、深度 1,070.6m までセンサーを降下し、深度 1,070.5m で坑内最高温度 40.5℃、最高圧力 10.77MPa であった。また、センサー巻上時には、深度 1,060.0m でストップチェックを行った。測定時間は、およそ 15 分間とした。

ダミー検層および温度・圧力検層の結果を表 4.1-16 に示す。

表 4.1-16 ダミー検層および温度・圧力検層の結果

		OB-1	OB-2
実施日	ダミー検層	2023年4月7日	2023年4月17日
	温度検層	2023年4月8日	
坑底深度		3,700.0m	1,200m
降下深度	ダミー検層	3697.1m	1,070.8m
	温度検層	3689.1m	1,070.6m
最高温度		112.9℃@3689.0m	40.5℃@1,070.5m
最高圧力		42.36MPa@3689.0m	10.77MPa@1,070.5m
ストップチェック	測定深度	3680.0m	1,060.0m
	測定時間	5分間	15分間

温度検層、圧力検層の結果、OB-1については、FBG 温度、圧力、DTS 温度、半導体圧力、OB-2については、半導体圧力、DTS 温度について、観測データの補正を実施した。OB-1 および OB-2 観測データの補正結果を表 4.1-17 に示す。

表 4.1-17 OB-1 および OB-2 観測データの補正結果

日付	対象井	項目	補正值	データ補正基準日
2023年4月13日	OB-1	FBG 温度	-4.4℃	2023年4月13日 16:15
		FBG 圧力	-0.198MPa	
		DTS 温度	-1.9℃	2023年4月13日 16:20
2023年4月24日	OB-1	FBG 圧力	+0.100MPa	2023年4月13日 16:15
		半導体 圧力	-0.2MPa	2023年4月13日 17:00
	OB-2	半導体 圧力	-0.16MPa	2023年4月21日 14:00
		DTS 温度	+0.3℃	2023年4月21日 16:00

② OB-3 圧力変動解析

OB-3 の坑井地質は、遮蔽層として振老層（深度 1,884～2,653m）、貯留層として滝ノ上層（深度 2,653～2,800m）が孔明管部に確認されている。本観測井は坑内観測機器のメンテナンス時に坑口を開放すると、湧水とともに圧力が低下し、坑口を閉め切ると再び圧力が上昇する現象が認められている。2022 年 9 月に実施された坑口開放と閉め切りによる圧力変化に加え、注水によるフォールオフ試験時の圧力変化を用いて、本坑井周辺の透水性を評価した。

本坑井は、静水状態で坑内への流入があると考えられ、坑口を閉め切った状態では圧力上昇が確認されている。坑口を開放すると坑口からの湧水とともに、圧力低下が認められている。本坑井で 2022 年 9 月に注水後の圧力変化を確認するフォールオフ試験が実施されたが、注水停止後の坑内圧力は一旦低下したものの上昇傾向に転じており、2022 年 11 月の観測終了までの間上昇傾向を継続した。

今回の解析では、開放状態から閉め切ることによって生じる圧力上昇を、ビルドアップ試験と見立てて解析を実施した。フォールオフの解析については、地層からの流入による圧力上昇がない状態を簡易的に仮定した上で解析を実施した。2022 年 9 月～11 月までの観測中の圧力変化及び坑口解放による湧水、注水のタイミングを図 4.1-29 に示す。

既存のコア試験や周辺坑井で実施された坑井試験の結果から滝ノ上層の浸透率は 0.001

～1.0mD と推定されている。今回の観測された圧力変化を解析した結果、浸透率は 0.008～0.054mD という結果が得られ、上述の実測値と解析結果の浸透率の概ね整合する結果が確認されて

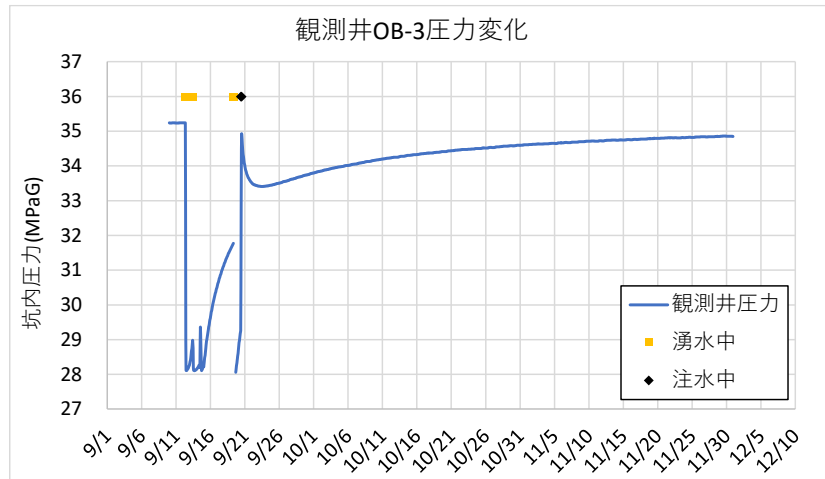


図 4.1-29 OB-3 圧力検層結果と観測値の比較

③ 観測井による観測および維持管理に係る圧入影響解析

フィールドを模擬した萌別層貯留層特性を有する 2 次元断面モデルを作成し、TOUGH2 シミュレーターを用いて CO₂ 圧入シミュレーションを実施した。シミュレーションにおいて複数のデータ出力点を設定し、浅部層、遮断層、貯留層、深部層における圧入位置からの距離に応じた、圧力、温度、CO₂ 飽和率、CO₂ 濃度の時間変化を予測した。更に、貯留層の浸透率、圧入深度の違いによる圧入可能総流量、および貯留層挙動の違いを解析した。

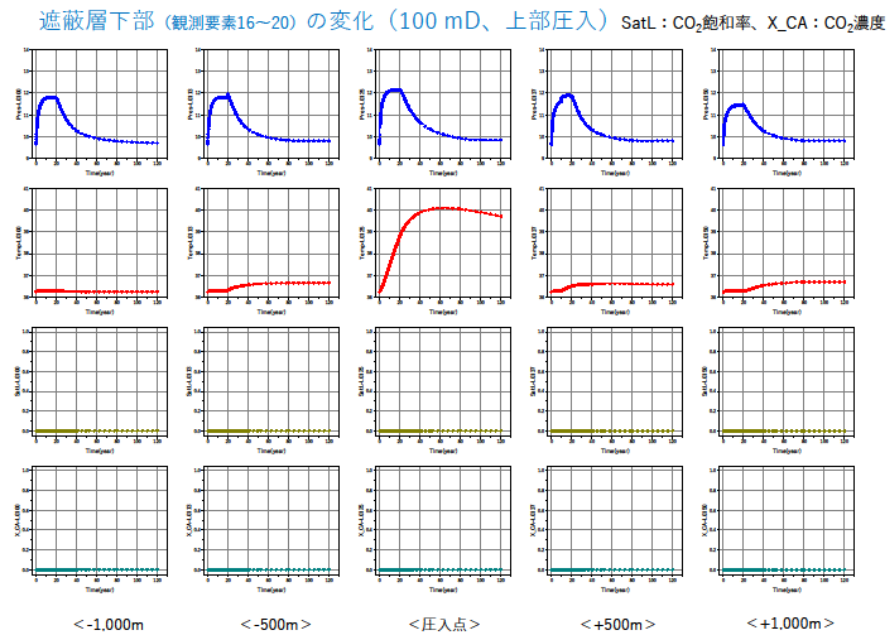
透水性 100mD のケースにおける貯留層上部とその上の遮断層の深度毎の、圧力、温度、CO₂ 飽和率の予測結果を図 4.1-30 (1)、(2)に示す。

遮断層の浸透率は非常に低いため、CO₂ の移流は確認されない。圧力は、貯留層上部の影響を受け、貯留層上部の圧力挙動と同様の変化を示し、タイムラグはない。温度については、熱伝導による影響を受け、貯留層上部の温度上昇が発生してからタイムラグが生じ、遮断層下部への温度上昇が開始される。一方、貯留層上部での圧入の影響については、圧力応答は温度や CO₂ 飽和率に比べて最も感度が高く、圧入点から 1,000m 離れた地点でほぼ同様の挙動が確認された。一方、温度と CO₂ 飽和率は同様の挙動を示し、温度は CO₂ の移流により伝播すると思われる。

課題として、数値モデルにおいて、貯留層浸透率を高く見積もった場合 (例えば 1000 mD) および要素サイズを小さく見積もった場合 (例えば 20 m) に、シミュレーションが収束し

なかった点が挙げられる。これは、TOUGH2 シミュレーターの機能的な限界である可能性が高いが、パラメーターの調整で問題が解決するか調査する必要がある。また、相対浸透率、毛細管圧力の設定に関して、フィールドデータを正確に表現できる TOUGH2 内部の計算式がなく、更なる検討が必要である。その一方で、TOUGH2 内部には、CO₂ の超臨界状態、亜臨界状態を別の式で表現できる相対浸透率式があり、その応用も検討課題である。

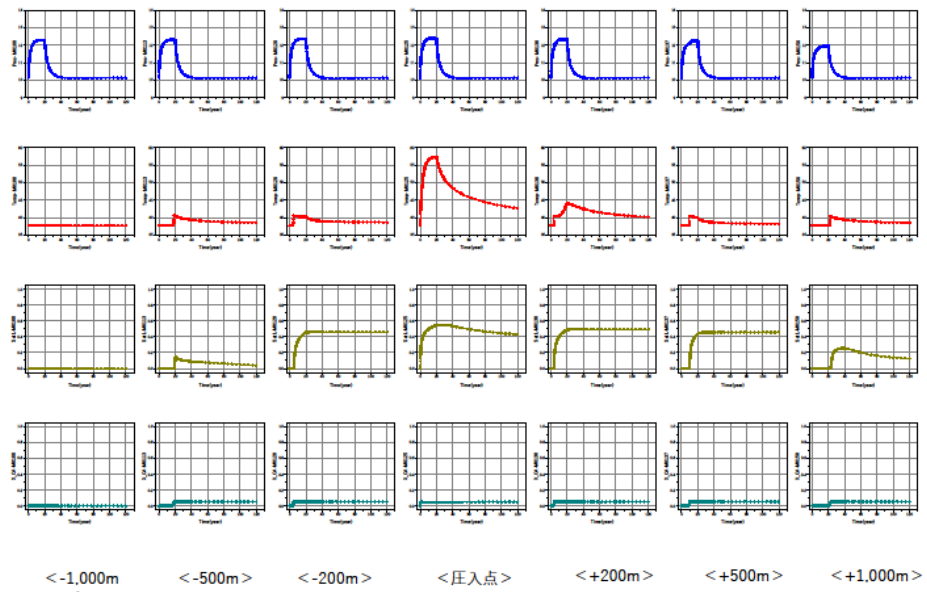
今回の解析は 2 次元モデルのため、現実的な圧入可能 CO₂ 総量の評価は困難である。奥行方向のサイズの設定次第で圧入可能総量が決まり、例えば奥行方向サイズを 10 倍とすると圧入可能総量は 10 倍となる。このため、現実的な圧入可能総量の評価にはモデルの 3 次元化が必要である。



1

図 4.1-30 (1) 遮蔽層下部の深度毎の、圧力、温度、CO₂ 飽和率の予測結果

貯留層上部(観測要素21~27)の変化(100 mD、上部圧入) SatL: CO₂飽和率、X_CA: CO₂濃度

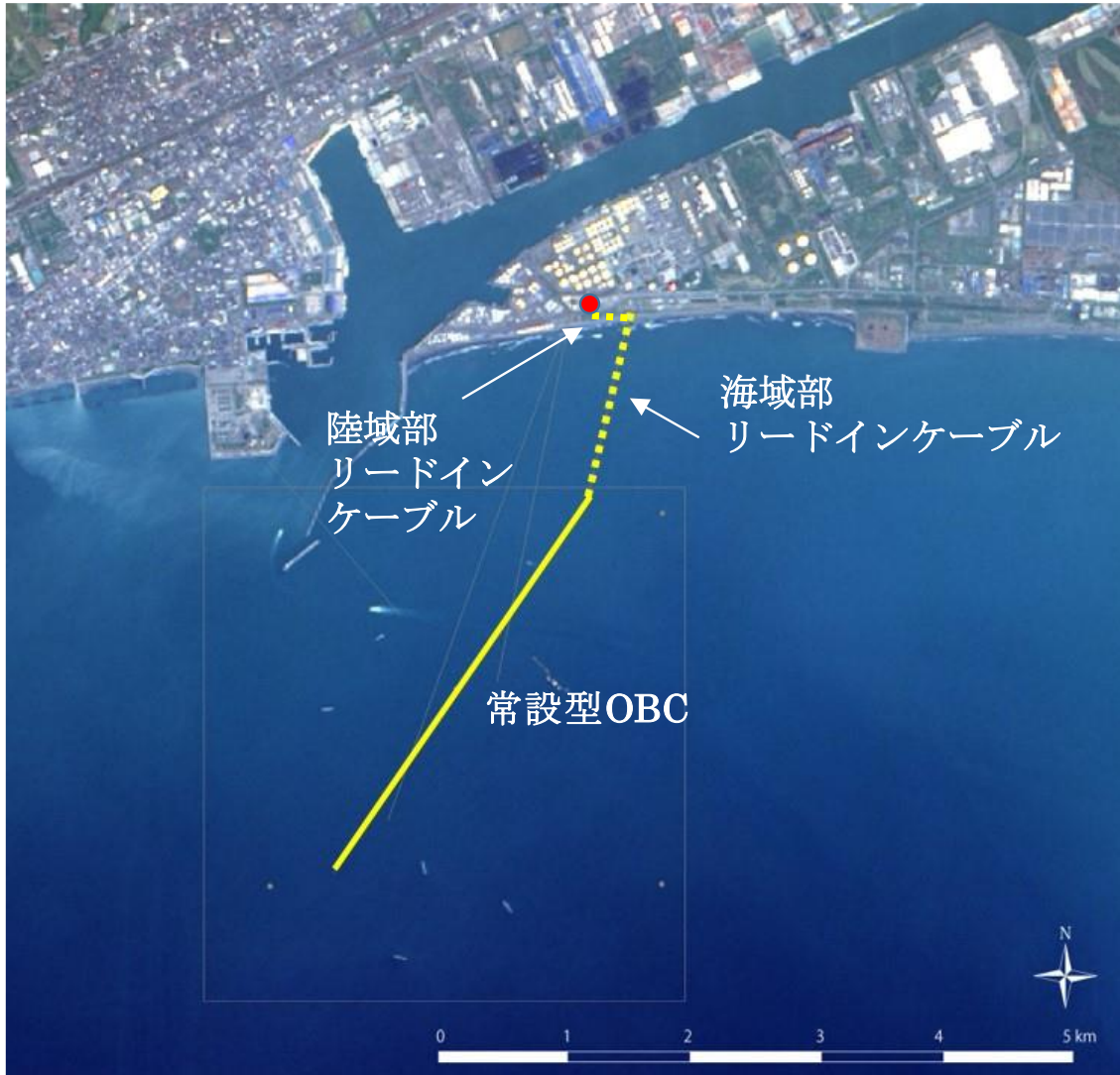


1

図 4.1-30 (2) 貯留層上部の深度毎の、圧力、温度、CO₂ 飽和率の予測結果

4.2 常設型 OBC によるモニタリング

2023 年度を通して、常設型 OBC (Ocean Bottom Cable) 観測システムによるデータ取得を継続実施した。図 4.2-1 に海底面下に敷設されている常設型 OBC (実線) とデータ伝送ケーブル (破線) の設置を示す。



注) 出典: 「LC81070302016141LGN00, courtesy of the U.S. Geological Survey」を加工

図 4.2-1 常設型 OBC 設置位置

4.2.1 常設型 OBC 観測システム

常設型 OBC 観測システム (米国 Geospace 社製) は、センサーケーブル部、データ収録部およびセンサーケーブル部とデータ収録部を繋ぐデータ伝送ケーブル部により構成される。図 4.2-2 に常設型 OBC 観測システムの構成を示す。

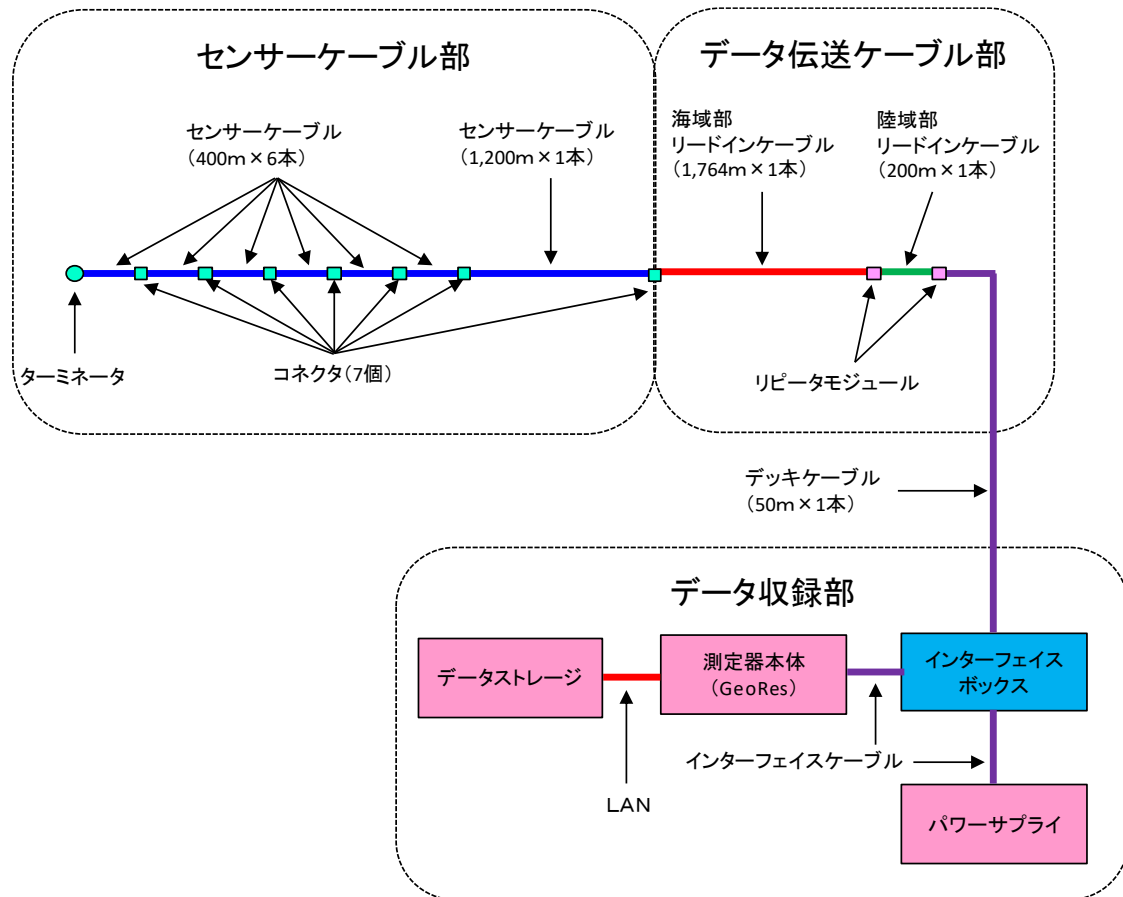


図 4.2-2 常設型 OBC 観測システム構成の概念図

(1) センサーケーブル部

センサーケーブル部（全長 3.6 km）は、コネクタで接続された 1,200 m×1 本（陸側に配置）と 400 m×6 本のセンサーケーブル（すべて鎧装）*1)により構成され、センサーケーブルには 50 m 間隔で計 72 個*2)のモジュール*3)が配置されている。モジュールには 3 成分ジオフォンとハイドロフォン 1 成分の計 4 成分のセンサーが内蔵されており、各センサーの出力信号（アナログ信号）は、モジュールでデジタル信号に変換して伝送される。図 4.2-3 にモジュールの詳細を示す。

*1) 外径：22.6 mm（モジュール部を除く）。

*2) 2014 年 12 月 16 日より、センサーケーブルの中央付近から沖側のモジュール 17 個（39 番～71 番の奇数番）のデータ受信が不可となっている。

*3) 外径：115 mm、長さ：1.37 m、空中重量：12.6 kg、水中重量：7.7 kg。

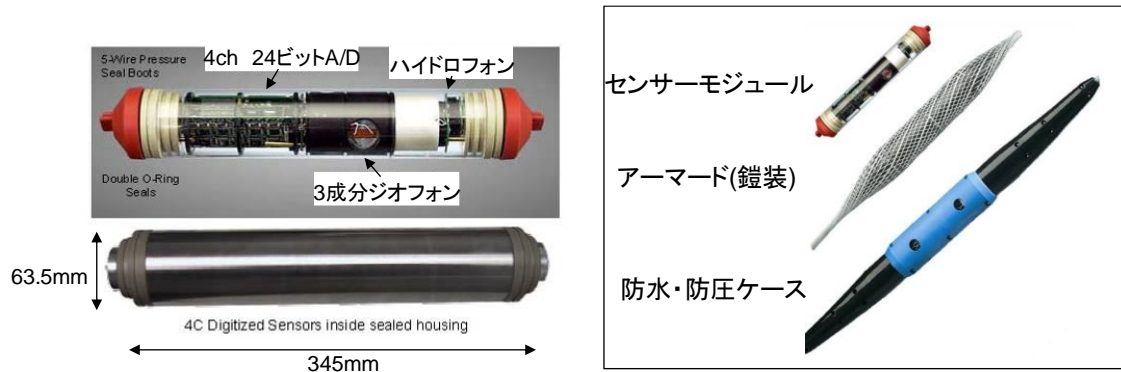


図 4.2-3 モジュールの詳細

(2) データ伝送ケーブル部

データ伝送ケーブル部は、海域部リードインケーブル（1,764 m：鎧装）、陸域部リードインケーブル（200 m：非鎧装）およびデッキケーブル（50 m：非鎧装）により構成されており、海域部リードインケーブルは 1,200 m のセンサーケーブルと、デッキケーブルはデータ収録部（インターフェイスボックス）と接続されている。

海域部リードインケーブルのデータ伝送線には、データ伝送距離を考慮して光ファイバーケーブルを使用しており、ケーブルの両端で電気／光、光／電気の信号変換を行う。陸域部リードインケーブルとデッキケーブルは、メタル線であり電気信号を伝送するため、陸域リードインケーブルの両端にはメタルケーブル間の信号強度の劣化を避けるためリピータモジュールを挿入している。

(3) データ収録部

データ収録部は、4成分×72センサーユニットに対応可能な測定器^{*4}（GeoRes HC-E：Geospace社製）（以下、「GeoRes」と称する。）、インターフェイスボックス（Geospace INTERFACE：Geospace社製）、センサーケーブル部の各モジュールに電源を供給するパワーサプライ^{*5}（Sorensen DCS600-1.7E：Geospace社製）およびデータストレージをはじめとする周辺機器により構成されている。

周辺機器には、データバックアップ装置、バックアップ用外付NASドライブ^{*6}、KVMス

*4) 2017年4月10日に2013年の観測システム構築以降使用していたWindowsXP対応のGeoRes Imagine ST-DをWindows10対応のGeoRes HC-Eに更新した。

*5) パワーサプライは、センサーケーブル部の奇数番目モジュールにより構成される系統と偶数番目モジュールにより構成される系統の2系統に電源を供給するため2台使用。さらに、予備機として1台保有。

*6) NAS (Network Attached Storage) ドライブは、ネットワーク (LAN) 上に接続することができるハードディスクドライブのこと。

イチチ*7)、UPS*8)および電源解放装置*9)等がある。

データ収録部とデータ伝送ケーブル部は、インターフェイスボックスを介して接続されており、インターフェイスボックスとGeoRes、インターフェイスボックスとパワーサプライの間はインターフェイスケーブルにより接続されている。図4.2-4にGeoResを更新した2022年2月以降のデータ収録部のシステム構成図を示す。図4.2-5に2式の19インチラック*10)(SSR-19U60A0V2B:摂津金属工業(株)製)に収納したデータ収録部等の写真を示す。

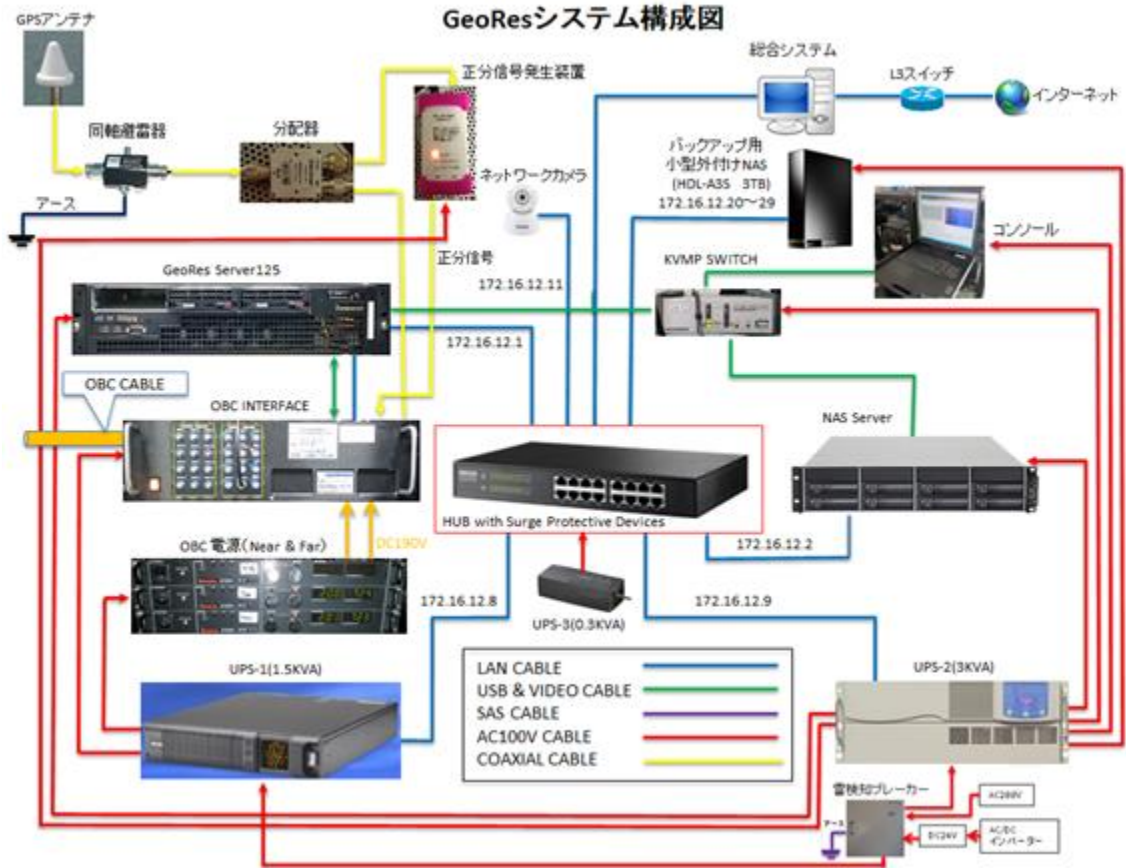


図 4.2-4 データ収録部のシステム構成図 (2022年2月16日以降)

*7) KVM (Keyboard, Video/Visual unit, Mouse) スイッチは、ユーザーが複数のコンピュータを1組のキーボード、ディスプレイ、マウスから操作するためのハードウェアのこと。

*8) UPS (Uninterruptible Power Supply) は、無停電電源装置であり、バッテリーを内蔵し、入力電源異常時(停電等)に、コンピュータ等に電力を供給するための装置のこと。

*9) 電源解放装置は、雷探知システム-SPD (サージ防護デバイス; Surge protective device) - 給電遮断器を組み合わせ雷対策機器のこと。

*10) W:600mm×D:1,000mm×H:1,000mm、スライドレール、キャスター、転倒防止板、連結板付。



図 4.2-5 データ収録部

① GeoRes

常設型 OBC による観測では、正分信号発生装置が GPS^{*11}クロックから時間情報を読み取り発生させる毎正分 (xx 時 xx 分 00.000000 秒) の信号に基づき、GeoRes が観測データのサンプリングを開始する。GeoRes は、一旦サンプリングを開始すると GPS が発生する 1 秒間隔のパルス信号 (1PPS : 1 Pulse-Per-Second) に同期して 500 Hz サンプリングにより連続的にデータを生成し、1 分間単位の SEG-D フォーマットのファイル (以下、「データファイル」と称する。) を出力する。データファイルは、逐次、LAN 経由で NAS サーバーに送信されると同時に総合モニタリングシステムによるデータ変換のためのフォルダ (フォルダ名 : spool) に一時的に保存される^{*12}。

2017 年 4 月に更新した GeoRes には、更新前の GeoRes から次の 3 個のフォルダをコピーし、表 4.2-1 に示すアプリケーションソフトウェアをインストールしている。

- 1) NAS Server Backup フォルダ : NAS サーバーの OS 等のバックアップを格納
- 2) Nas.inf および NAS Info フォルダ : 外付 NAS の情報ファイルを格納
- 3) JGI Scripts フォルダ : UWSC スクリプト、バッチファイルを格納

*11) 2017 年度の GeoRes 更新時に 2.5~24 V の範囲の出力が可能な GPS アンテナに交換。

*12) 当初は NAS サーバーに保存されたデータファイルを直接、総合モニタリングシステムのデータ変換サーバーに伝送する設計であったが、総合モニタリングシステム側の保存容量とデータ伝送によるネットワークへの負荷の増大を考慮した結果、NAS サーバー側に一時的な保存領域を設定している。

GeoRes の OS (Windows10) では、GeoResGui.exe が管理者権限での動作^{*13)}となったことから、GeoRes を外部から操作するための UWSC スクリプトがユーザー権限では動作せず、旧 GeoRes では起動スクリプト内でマウントしていたネットワークドライブ (W:, Z:) がファイルエクスプローラや他のソフトウェアのファイルオープンダイアログで認識されないため、起動時に手動でマウントしている。

2018年4月時点で GeoRes ソフトウェアを最新版バージョン (V 3.1.1.30) に更新することは可能^{*14)}であったが、稼働中のバージョン (3.1.1.23) により正常にデータが収録されていることから、予期せぬ不具合の発生や正常に作動している諸スクリプトの修正が必要となる懸念もあり、更新を保留している。また、GeoResGui.exe の管理者権限を外すことも可能であるが、外した状態で GeoRes を再起動した場合、新たな問題が発生する可能性もあるため、これも保留している。

*13) exe ファイルの Properties→Compatibility の"Run this program as an administrator" がチェックされている状態。

*14) 最新版ソフトウェアのインストーラは、GeoRes Server の「Downloads」フォルダ内に更新手順のドキュメントとともに保存されている。

表 4.2-1 GeoRes にインストールしたアプリケーションソフトウェア

アプリケーションソフトウェア	摘要
VBBSS	セキュリティソフトウェア
Rename_Dir、Rename_Sel	データファイル名リネームソフトウェア GeoRes 上に常駐し、1 日の観測が終了した後、GeoRes が作成した 1 日分全部のファイルのオリジナルファイル名に日付と時刻情報を付加し、“オリジナルファイル名_YYYYMMDD-HHMM” と変更した上で、データ保管用のファイル作成日 (YYYYMMDD) を名称とするフォルダに移動する。
Chrome	ブラウザ
Cristal Disk Info	HDD の状態を診断・監視するフリーソフトウェア
WakeOnLan.exe	Wake-On-LAN 実行ファイル
SegDSeeMp	SEG-D トレースディスプレイソフトウェア
Skype	通話ソフトウェア
UWSC	Windows スクリプト環境 バッチファイルでは不可能な実行制御やウィンドウ内のメニューの実行、マウスクリック等の Windows 上のユーザー操作をスクリプティングすることを可能とするフリーソフトウェア (http://www.uwsc)。
Full Back Manager Pro for Network (Windows10 用)	サンケン UPS 用自動シャットダウンソフトウェア 停電発生時に GeoRes が作動する Windows 10 と NAS サーバーの WSS を安全に自動シャットダウンさせる。
GeoRes 制御スクリプト (JGI Script フォルダ内)	システム起動時に、上記のファイルリネームソフトウェア、NAS サーバーマウントスクリプトおよび外付 NAS 起動マウントを実行した上で、GeoRes によるデータ収録を自動的に開始する。また、システム停止時に GeoRes によるデータ収録を停止する。
NAS サーバーマウントスクリプト (JGI Script フォルダ内)	GeoRes が稼働する Window 10 上に Z ドライブとして NAS サーバーをネットワークマウントする。
外付 NAS 起動マウントスクリプト (JGI Script フォルダ内)	外付 NAS を WOL (Wakeup On LAN) で起動させた上で、GeoRes が稼働する Window 10 上に W ドライブとして外付 NAS をマウントする。
外付 NAS 制御スクリプト (JGI Script フォルダ内)	システム停止時に外付 NAS をブラウザからシャットダウンさせる UWSC スクリプト。

② データストレージ

GeoRes から出力されたデータファイルを保存するデータストレージは、1日の観測で取得するデータを約 50 GB と見込み、24 台の HDD スロットに装着された各 3 TB の HDD を RAID6^{*15)}の構成として約 60 TB の容量(3年間以上の連続データの保存が可能)を確保した大容量の NAS サーバー (NP5S-4U : JCS 製) (以下、「NAS サーバー」と称する。)を用いてきた。NAS サーバーの OS は、WSS (Windows Storage Server) 2008 R2 であり、必要なソフトウェアを追加し、バックアップや UPS 連動シャットダウン等を可能としている。さらに、IPMI^{*16)}機能を有し、遠隔からのハードウェア監視や KVM (Keyboard/Video/Mouse) アクセス (⑤参照) が可能である。

NAS サーバーは、2013 年 4 月に導入後、9 年近く経過したことから、2021 年度に同等品への機器更新を実施した。

③ データバックアップ装置

従来、データバックアップ装置として、オートローダ付き 8 スロットの LTO (Linear Tape-Open) -5 テープドライブ (BL536-B : HP 製) を使用していた。しかし、2022 年 2 月に新規更新された NAS サーバーが、現状のテープドライブ用インターフェースボードおよびソフトウェアが適合していないこと等の理由から、NAS サーバーの新規交換に伴い、2021 年 2 月 15 日をもって運用を終了し、ラックから取り外して保管している。

④ バックアップ用外付け NAS ドライブ

バックアップ装置として、NAS サーバーにデータファイルを保存すると同時に外付け NAS の HDD^{*17)}にもバックアップを作成している。具体的には、Geospace 社が GeoRes 用に提供しているソフトウェア群に含まれるファイルコピーソフトウェア (FileRelay : Geospace 社製) を使用し、GeoRes が稼働する Windows 10 上で指定した NAS サーバーのフォルダを監視し、フォルダ内に新たに作成されたデータファイルをリアルタイムで外付け NAS ドライブの指定フォルダにコピーする。外付け NAS には複数のドライブ (現状は 5 台) をハブに接続しており、遠隔操作で切り替えて使用している。

*15) Redundant Arrays of Inexpensive Disks 6 : RAID は複数台のハードディスクを組み合わせることで仮想的な 1 台のハードディスクとして運用し冗長性を向上させる技術であり、RAID6 では 2 種のパリティを異なるディスクに配置すること (ダブルパリティ) により、同一 RAID グループ内の 2 台のディスク故障までを救済できる。

*16) Intelligent Platform Management Interface : 外部からのコンピュータシステム管理やそれらに対する操作の監視のためにシステム管理者によって使用される標準コンピュータシステムインターフェイス。

*17) 当初は 2 TB (約 40 日間分のデータの保存が可能) の HDD を利用していたが、HDD 価格が低下したため、2017 年 2 月 2 日以降のデータ収録 (2016 年 9 月 26 日取り付け) から 3 TB の HDD を使用。

⑤ コンソールとKVMスイッチ

GeoRes と NAS サーバーには、それぞれコンソール（キーボード、マウス、モニタ）が必要であるが、連続稼働時に同時に必要となる機会が少ないことから、コンソールは1式のみとし、KVM スイッチ（CS1782A：ATEN 製）により切替えて操作^{*18)}する。コンソールには、ラック収容可能等ロワ型コンソール（CyberView RKP119：AUSTIN HUGHES 製）を使用している。

⑥ 無停電電源装置（UPS）

停電等によって電力供給が断たれた場合に備え、ネットワーク対応可能な3KVAのサンケン電気(株)製UPS（SMU-DA302-R-100+FNA-03A）（以下、「サンケンUPS」と称する。）とネットワークボードを追加した1.5KVAのFalcon社製UPS（SSG1.5KRM）（以下、「FalconUPS」と称する。）を各2台（各1台は予備機）導入している。サンケンUPSは提供されているWindows10対応のネットワークソフトウェアを使用することによりGeoResのシャットダウンが可能^{*19)}であるのに対し、FalconUPSにはWindows10用のネットワークソフトウェアが提供されておらず、停電時にGeoResを自動シャットダウンできない^{*20)}ため、2017年度のGeoResの更新後、停電時に確実にシャットダウンする必要のあるGeoRes、インターフェイスボックス、NASサーバー、外付NAS、テープドライブ、ネットワークハブ、共用キーボード/ディスプレイおよび正分信号発生装置をサンケンUPSに接続し、優先度の低いパワーサプライとキーボード/ディスプレイ切換器をFalconUPSに接続するよう変更した。その結果、変更後のサンケンUPSとFalconUPSの負荷は共に30%前後となり、両UPSの負荷のバランスも改善された。2020年度のシステム更新後も同様の接続方法を継続している。

⑦ 電源開放装置

雷雲が近づいた際に発生するAC電源ラインのサージノイズを高感度で検知し、接続している装置全体を自動的にAC電源から切り離すことにより、雷サージから機器を保護する雷検知器「ポポフサンダー」内蔵の対雷自動ブレーカー（HW-PR-101AJPB-NBF：(有)平川製作所製）を導入している。ブレーカーは、設定時間（ユーザーにより設定可能）経過後に自動で再接続する。ただし、2013～2015年度の観測において自動再接続中の電源開放が原因とも考えられるGeoResのトラブルが頻発したこと、当センター内は避雷針等の他

*18) KVM スイッチの切換えは、スイッチ本体のボタン操作とキーボード入力により行う。

*19) UPS のコンセントを抜いて模擬停電テストを実施し、正常動作を確認した。

*20) 当時最新の Windows7 用のネットワークソフトウェアでも試みたがシャットダウンできなかった。

の雷対策が十分であると判断されることから2016年2月以降は運用を停止している。

⑧ ネットワークカメラ

遠隔監視用に遠隔操作によるパン・チルトの他、赤外線による暗視機能、動体検知メール通知機能を持つネットワークカメラを設置し、ネットワーク経由でデータ収録部の稼働状況を監視している。

4.2.2 常設型 OBC 観測システムの保守管理

(1) 連続観測における保守管理内容

常設型 OBC 観測システムの連続観測を継続するために、必要な保守管理作業を行った。作業項目、作業内容、計画頻度等を、表 4.2-2 に示す。

表 4.2-2 常設型 OBC 観測システムの保守管理作業内容

作業項目	作業内容	実施場所	計画頻度
遠隔監視	観測システムの動作状況の確認およびメンテナンス	遠隔地	1回/週
現地保守点検	観測システムの動作状況の確認およびメンテナンス	現地	6回/年
データバックアップ	NAS 接続外付け HDD の切替	遠隔地 or 現地	6回/年
	NAS 接続外付け HDD の交換	現地	適宜
システムテスト	データ収録装置(GeoRes)のシステムテスト機能によるセンサーの健全性の確認	遠隔地	2回/年
ウイルス対策	ウイルス対策ソフトウェアのライセンス更新	遠隔地 or 現地	1回/年
	アップデート	遠隔地 or 現地	適宜

(2) 遠隔監視

OBC 観測システムの動作状況を、公衆回線を利用した遠隔監視により原則週 1 回の頻度で確認した。図 4.2-6 に示すチェックリストに沿って、動作状況の確認、異常時の対応等を行った。データバックアップ用 NAS 接続外付け HDD の切換えは、現地保守点検時に行った。OBC 観測システムの停止または欠測等の異常が見られた場合には、状況の確認および復旧対応等を行った。

2023 年 4 月～2024 年 3 月末までの間、週 1 回を基本とする通常の遠隔監視および通常の遠隔監視以外の遠隔監視（以下、「非定期の遠隔監視」と称する。）を実施した。非定期の遠隔監視は、2014 年 12 月 16 日の不具合発生以来、頻繁に実施している。

遠隔監視チェックリスト

実施日： (定期) 実施時間： ~ 作業者： _____

点検対象	点検項目	点検内容	結果	
通信機能	通信状況	正常ログイン		
データ取得機能 (GeoRes)	稼働状況	正常動作		
	TB時刻	正分発生		
	GPS時計	正常動作		
	各種設定	設定パラメータ値など (S/R: 2ms、Rec長: 60s)		
	チャンネル数	既定のチャンネル数 (55MHzチャンネル×4ch=220ch)		
	データ状況	観測波形の異常の有無		
	動作ログ	エラーメッセージ等の有無		
		異常停止などの有無		
欠測ファイルの有無				
内臓HDD	Cドライブ容量(残量)			
	Dドライブ容量(残量)			
	Eドライブ容量(残量)			
データ収録機能	NASサーバー	正常動作		
		データ収録		
		Cドライブ容量(残量)		
		Dドライブ容量(残量)		
	バックアップ用HDD	使用中HDD_No.		
		ドライブ容量(残量)		
	バックアップ用HDD切換	正常切換		
		切換HDD_No.		
その他/備考				

図 4.2-6 遠隔監視時に使用したチェックリスト例

(3) 現地保守点検

現地保守点検における確認内容は、観測状況の確認、NAS外付けHDDの交換等である。2023年度は、2023年4月24～25日、6月19～20日、8月21～22日、10月23～24日、12月19～20日および2024年3月11～12日の計6回実施した。図4.2-7に現地保守点検時に使用したチェックリストの例を示す。

現地保守点検チェックリスト

実施日：
実施時間：

～

作業者：

点検対象	点検項目	点検内容	結果	
通信機能	通信状況	正常ログイン		
データ取得機能 (GeoRes)	稼働状況	正常動作		
	TB時刻	正分発生		
	GPS時計	正常動作		
	各種設定	設定パラメータ値など (S/R: 2ms、Rec長: 60s)		
	チャンネル数	既定のチャンネル数 (55MHz×4ch=220ch)		
	データ状況	観測波形の異常の有無		
動作ログ	エラーメッセージ等の有無			
	異常停止などの有無			
	欠測ファイルの有無			
内臓HDD	Cドライブ容量(残量)			
	Dドライブ容量(残量)			
	Eドライブ容量(残量)			
データ収録機能	NASサーバー	正常動作		
		データ収録		
		Cドライブ容量(残量)		
		Dドライブ容量(残量)		
	バックアップ用HDD	使用中HDD_No.		
		ドライブ容量(残量)		
	バックアップ用HDD切換	正常切換		
		切換HDD_No.		
	バックアップ用HDD交換	正常交換		
		交換HDD_No.		
発送HDD_No.				
モジュール電源	Near(奇数番)	電圧値: 電流値:		
	Far(偶数番)	電圧値: 電流値:		
UPS	Falcon(OBC供給電源他) 入力電圧: 出力電圧: 周波数: 負荷: 温度:			
	サンケン(NAS、GeoRes他) 入力電圧: 出力電圧: 周波数: 負荷: 温度:			
アース線	コネクター接続	正常接続		
	アース線外観	キズの有無		
雷検知器	動作状況			
	カウンター回数			
	DC電源			
	充電器	正常動作		
webカメラ	モニター機能	正常動作		
正分信号発生装置	外観	異常の有無		
	動作	正常動作		
GPS分配器	外観	異常の有無		
GPS用同軸避雷器	外観	異常の有無		
その他				

図 4.2-7 現地保守点検時に使用したチェックリスト例

① 観測状態の確認

前述のチェックリストに沿って以下の内容を確認し、常設型 OBC システムが支障なく連続観測を継続していることを確認した。

- 1) GeoRes の正常データ収録
- 2) モジュール供給電力（電圧、電流）の確認
- 3) UPS の正常動作の確認
- 4) NAS サーバーへの正常書き込みの確認
- 5) データバックアップ用 NAS 接続外付け HDD への正常書き込みの確認

② NAS 接続外付け HDD の切替え・交換

常設型 OBC 観測システムの観測データは、NAS サーバーに保存されるほか、LAN 接続のバックアップ用 HDD にバックアップが作成される。使用している HDD は、IO-DATA 社の HDL-A3.0S（容量：3TB）である。

LAN 接続のデータバックアップ用 HDD は常時 5 台接続しており、そのうちの 1 台だけが起動されていて、「FileRelay」ユーティリティ (GeoRes が NAS サーバーに作成したファイルをリアルタイムでバックアップ用 HDD にコピーするもの) によるバックアップに使用される。バックアップ用 HDD の書き込み容量が一杯になる前に別の新しい HDD に切替えることにより、長期間の連続バックアップが可能となる。原則として約 2 箇月に 1 回の頻度でドライブの切替えを行う。データ書き込みの対象となるバックアップ用 HDD を遠隔操作または現地保守点検で切替え、現地保守点検時に書き込みが終了した HDD を交換した。

③ セキュリティソフトウェアのアップデート

適時、セキュリティソフトウェアおよび OS のアップデートを実施した。

常設型 OBC 観測システムのデータ収録装置である GeoRes は 2017 年 4 月に更新し、2023 年 3 月末現在の OS は Windows 10、セキュリティソフトウェアはトレンドマイクロ社のウイルスバスタービジネスセキュリティサービス (VBBSS) である。ライセンス期間は 1 年契約で、2023 年 5 月にライセンス更新を実施し、2024 年 5 月 31 日まで有効である。

4.2.3 常設型 OBC の埋設状況の確認

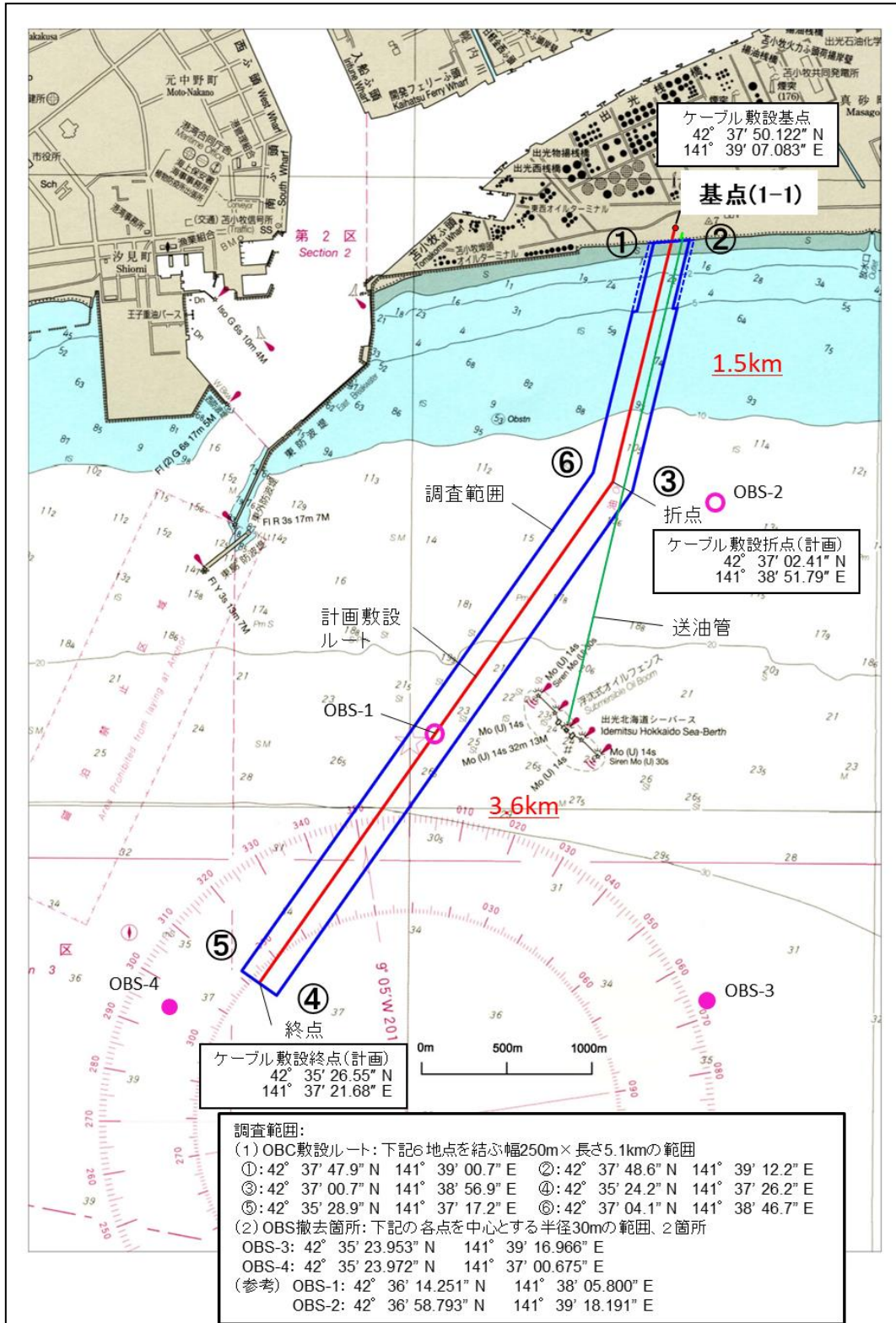
常設型 OBC と海域部データ伝送ケーブルの埋設状況の確認を目的として、2013 年度、2016 年度から 2022 年度に続いて、2023 年度も、常設型 OBC と海域部データ伝送ケーブルの埋設ルート(以下、「センターライン」と称する。)を中心とする長さ 5.1 km×幅 250 m (片側各 125 m) の海域*21) (以下、「OBC 測量範囲」と称する。)および、2021 年度に撤去した OBS の撤去跡を中心とする 20 m×20 m の海域(以下、「OBS 測量範囲」と称する。)を対象として海底地形測量を実施した。それぞれの測量範囲の緯度経度を表 4.2-4 に示す。基点から折点間は 1.5 km、折点から終点間は 3.6 km である。図 4.2-8 に海底地形測量範囲図を示す。測量範囲図には、センターラインを赤線で、測量範囲を青枠で示す。なお、OBS 測量範囲のうち OBS-1 と OBS-2 の 2 箇所については、2022 年度の時点で撤去跡が完全に埋没していることを確認したため、2023 年度は OBS-3 と OBS-4 の 2 箇所のみについて測量を実施した。

表 4.2-4 OBC 測量範囲および OBS 測量範囲の位置

	地点	緯度	経度
OBC 測量範囲 (センターライン)	基点	N42° 37' 50.122"	E141° 39' 07.083"
	折点	N42° 37' 02.410"	E141° 38' 51.790"
	終点	N42° 35' 26.550"	E141° 37' 21.680"
OBS 測量範囲	OBS-1	N42° 36' 14.251"	E141° 38' 05.800"
	OBS-2	N42° 36' 58.793"	E141° 39' 18.191"
	OBS-3	N42° 35' 23.953"	E141° 39' 16.966"
	OBS-4	N42° 35' 23.972"	E141° 37' 00.675"

注) 緯度経度は世界測地系(GRS80)。

*21) 2013 年度、2016 年度、2023 年度測量の対象海域は、同じセンターラインに対して幅 250m (片側各 125m) ×延長 5.1km。2017 年度から 2022 年度測量の対象海域は、同じセンターラインに対して幅 500m (片側各 250m) ×延長 5.1km。



注) 出典: 海上保安庁 2010年6月3日刊行 「海図 W1033A 苫小牧港西部」に加筆

図 4.2-8 センターラインと海底地形測量範囲図

(1) 海底地形測量

海域作業の工程を表 4.2-5 に示す。現地作業は7月3日～7月6日に実施^{*22)}した。

表 4.2-5 海域作業の工程

実施内容	2023年7月			
	3	4	5	6
艀装	●			
GNSS 精度確認	●			
シングルビーム測深 (OBC ルート)		●		
マルチビーム測深 (OBC ルート)		●	●	
マルチビーム測深 (OBS 地点周辺)			●	
解装				●
荒天待機				

注) 実施日を●で示す。

① 測位方法

海上での測位は、仮想基準点 (VRS : Virtual Reference Station) 方式による RTK-GNSS^{*23)} (以下、「RTK-GNSS」と称する。) により行った。RTK-GNSS では、従来の RTK 測位で必要となる固定局観測データの代わりに移動局 (測量地点) 近傍の任意の地点に仮想基準点を設定し、全国に約 20 km 間隔で設置されている国土地理院の電子基準点の観測データから算出する仮想基準点の補正情報等と同時刻に移動局 (測量地点) において受信した GNSS 衛星からの信号とを併せて解析し、移動局 (測量地点) の位置をリアルタイムに求めることができる。図 4.2-9 に RTK-GNSS の概念図を示す。

測量船には、図 4.2-10 に示すように、RTK-GNSS 用 GPS アンテナ (位置情報用) と POS/MV 用のアンテナ^{*24)} (測量船の姿勢、動揺の把握用) 2 個を搭載しており、POS/MV により動揺センサーから得られる船の施姿勢 (回転^{*25)}および上下動 (Heave)) の情報と 2

*22) 実施に先立ち、2023年5月22日に第一管区海上保安本部にOBC埋設ルート他の海底地形測量に係る水路測量許可申請書を提出(メール)し、水路測量許可書(2023年6月5日付)を受領。また、2023年5月22日に苫小牧港長宛にOBC埋設ルート他の海底地形測量に係る作業許可申請を提出(郵送)し、苫小牧海上保安署より作業許可書(2023年6月19日付)を受領。

*23) RTK (Real Time Kinematic) は、2 台の受信機 (固定基準局と移動局) を使用し、受信機から衛星までの距離を搬送波の波数と位相差から求める干渉測位方式。GNSS (Global Navigation Satellite System) は、全地球航法衛星システム (多数の衛星測位システムの総称)。

*24) POS/MV (Position and Orientation System for Marine Vessel) : GPS と慣性センサーの組み合わせにより高精度な測位・姿勢・方位データの計測を行う船位測定システム。

*25) Yaw (Yawing) : 水平面内で上下を軸とする回転すること。Pitch (Pitching) : 左右を軸にした回転、Roll (Rolling) : 前後を軸にした回転。

個のGNSSアンテナにより得られる船首方向(Heading)をそれぞれ把握し、RTK-GNSSによる測量船の位置情報と併せて、数cm程度の測位精度が得られる。

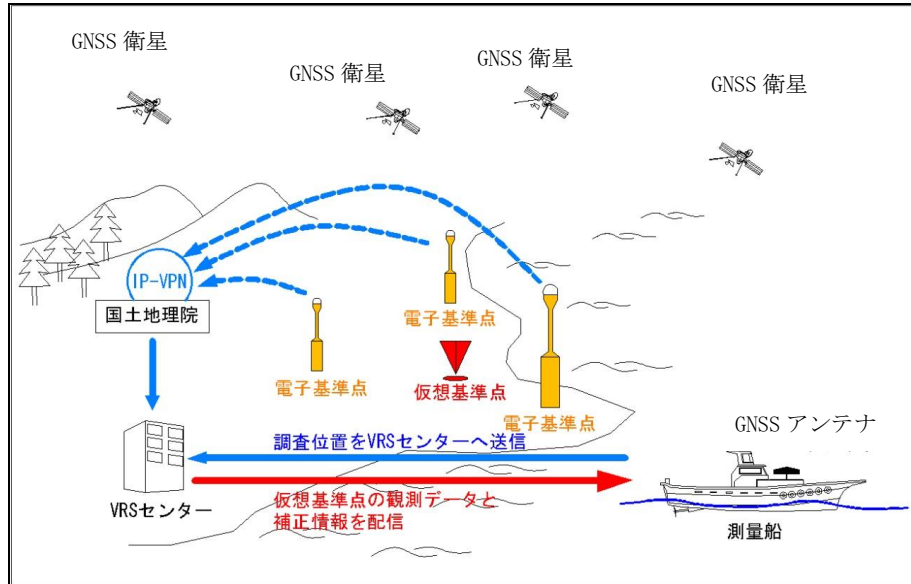


図 4.2-9 VRS 方式による RTK-GNSS (ネットワーク型 RTK 法) の概念図

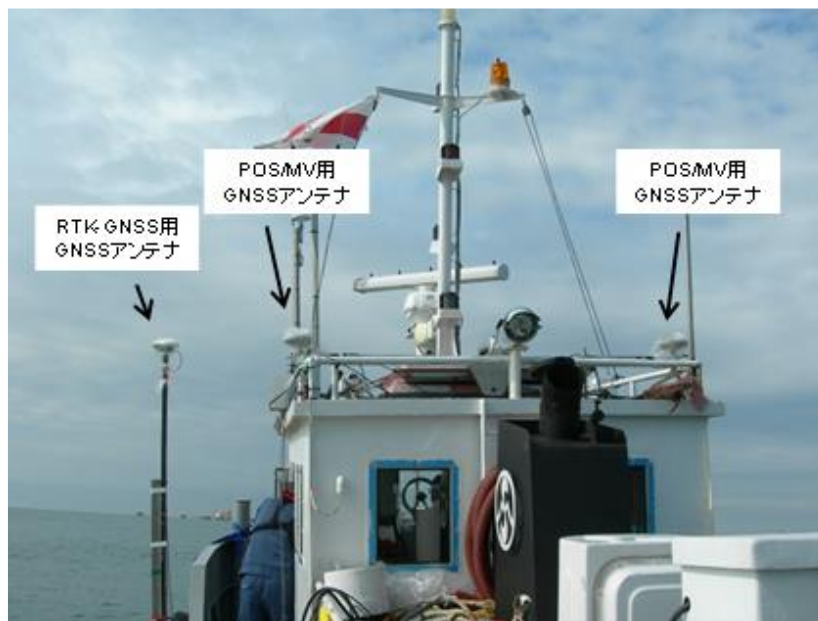


図 4.2-10 調査船に艙装した RTK-GNSS 用と POS/MV 用の GNSS アンテナ

② 測深方法

測深データの取得には、水深 5 m 以深の海域ではマルチビーム測深機(海底面にむけて扇状の音波を発振し、幅広い範囲を面的に高密度で測深データを取得することができる。)

を使用し、水深5 m以浅の海域ではシングルビーム測深機^{*26)}(直下の測深データのみ取得できる。)を用いた。図4.2-11にマルチビーム測深機とシングルビーム測深機による音響測深の概念図を示す。使用機器を表4.2-6に示す。

測深データの取得においては、測量船の舷側に測深機の送受波器を艀装し、約4ノット(約10 km/h)の一定速度で航行した。測量時の航跡は、OBC方向に10~70 m間隔で深くなるほど広くして、効率的に測深データが取得できるようにし、水深精度確認のため、適宜、OBCを横切る方向(横断方向)に測定を行った。図4.2-12にOBC測量範囲の測量実施時の航跡図を示す。

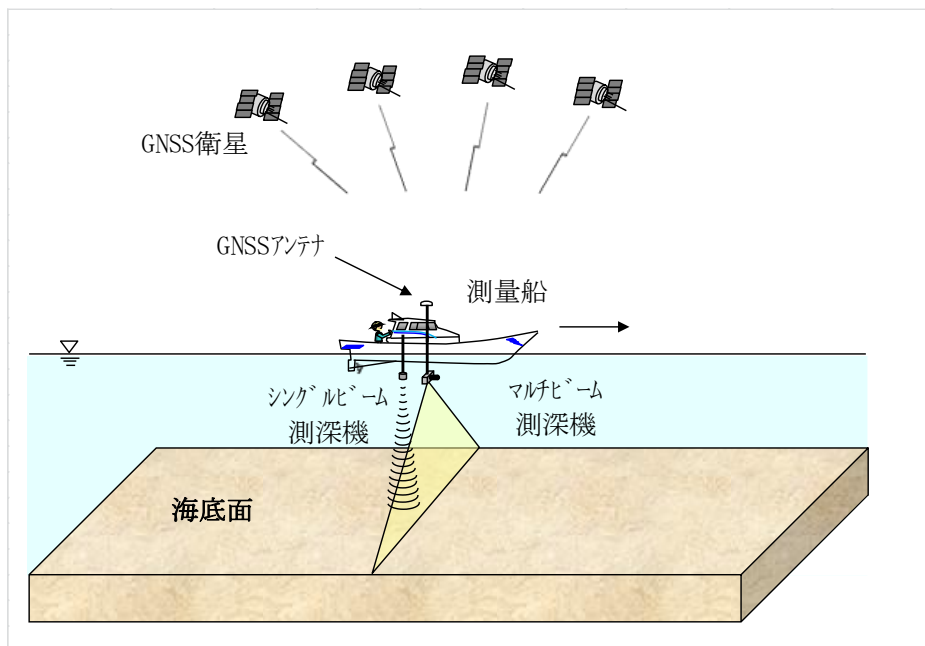


図4.2-11 マルチビームとシングルビームによる測深概念図

^{*26)} 海底に送受波器が干渉する(当たる)危険性を考慮し、浅海部では喫水値(海面から送受波器底面までの長さ)の比較的小さいシングルビーム測深機のみを利用した。一般的に今回の調査で使用したクラスの船舶では喫水値が、マルチビーム測深機は1.0~1.5 m程度、シングルビーム測深機では0.6~0.8 m程度となり、今回の調査におけるマルチビーム測深機の喫水値は1.17 mであった。

表 4.2-6 使用機器一覧

機器名・型式	性能・諸元	製造元	摘要
シングルビーム 測深機 PDR1300 型	周波数：200 kHz ビーム幅：半減全角 6°	千本電機	シングル ビーム測深
ナローマルチ ビーム測深機 Sonic2024 型	周波数：200/400 kHz (10 kHz ステップ 可変) ビーム数：256 本 スワッス幅：10~160° フットプリント：左右 0.5° × 前後 1.0° 測深分解能：12.5 mm	R2SONIC 社	ナローマル チビーム測 深
動揺センサー、 方位センサー POS / MV (Position & Orientation System for Marine Vessel)	ロール・ピッチ：0.005° ヒープ：3.5 cm(3.5%) 真方位：0.025°	Applanix 社	動揺 (ロール・ピッ チ・ヒープ) 船首方向 (真方位)
RTK-GNSS NetR9 型	水平：8 mm+0.5 ppm RMS 垂直：15 mm+0.5 ppm RMS 初期化時間：通常 10 秒以下 初期化信頼性：通常 99.9%以上	Trimble 社	GNSS 測位
水中音速度セ ンサー SVPS センサー	仕様：音速、圧力測定 耐圧：500 m	AML Oceanographic 社	水中音速度 測定
作業船	全長：11.70 m 総トン数：8.5 t	—	作業全般
解析ソフトウェ ア	Hypack2017a POSPAC MMS	HYPACK 社 Applanix 社	データ解析

③ 海底地形図の作成

測深機による測深データ(センサーから海底面までの距離)は、センサーからの発信～海底面での反射～受信までの時間と水中での音波の速度から求めるが、水中音速度は深度方向にも変化するため、ノイズ除去後、毎日の実測によって得た深度方向の水中音速度プロファイルを用いて補正した。さらに、喫水、船の姿勢、上下の動揺、船首方向およびソナーヘッドの取り付け角等を補正し、得られた測深データに測定時刻と潮位データを関連付け、CDL^{*27)}(最低水面)からの水深のメッシュデータを作成した。図4.2-13に補正の対象とした船の姿勢、上下の動揺、船首方向の概念図を示す。図4.2-14に測深データの処理フローを示す。

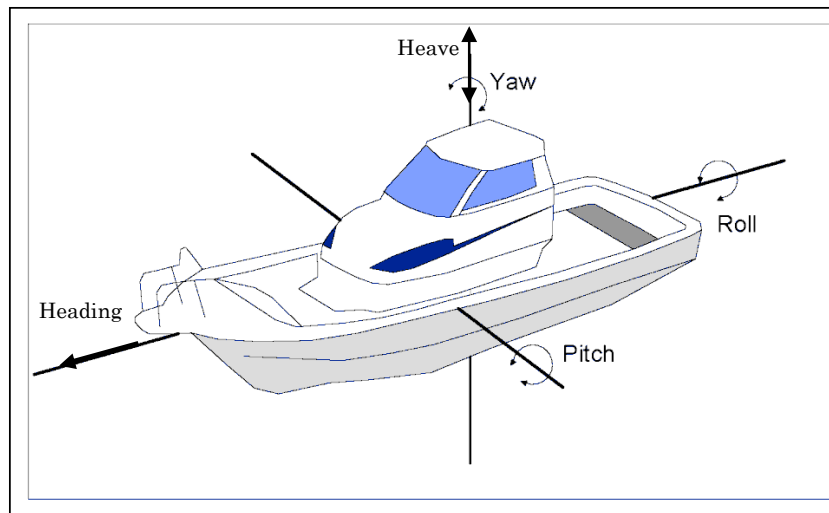


図 4.2-13 船の姿勢、上下の動揺、船首方向の概念図

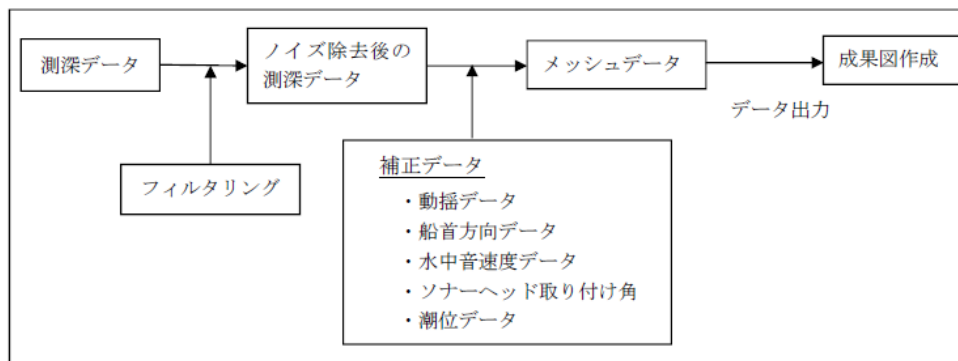


図 4.2-14 測深データの処理フロー

*27) CDL (Chart Datum Level) : 最低水面、苫小牧では TP (Tokyo Peil : 東京湾平均海面) より 0.96 m 下に定められている。

(2) 測量結果

① OBC 測量範囲の海底地形の水深変化

2023年度の海底地形測量により得られた水深のメッシュデータから作成した海底地形の陰影図を図4.2-15に示す。測量海域全体は、海岸平野部に属しており、沖合に向けてなだらかな緩斜面が続いている。測量の解析結果からは、2022年度の地形特徴と比べ全体的には大きな変化は確認されなかった。

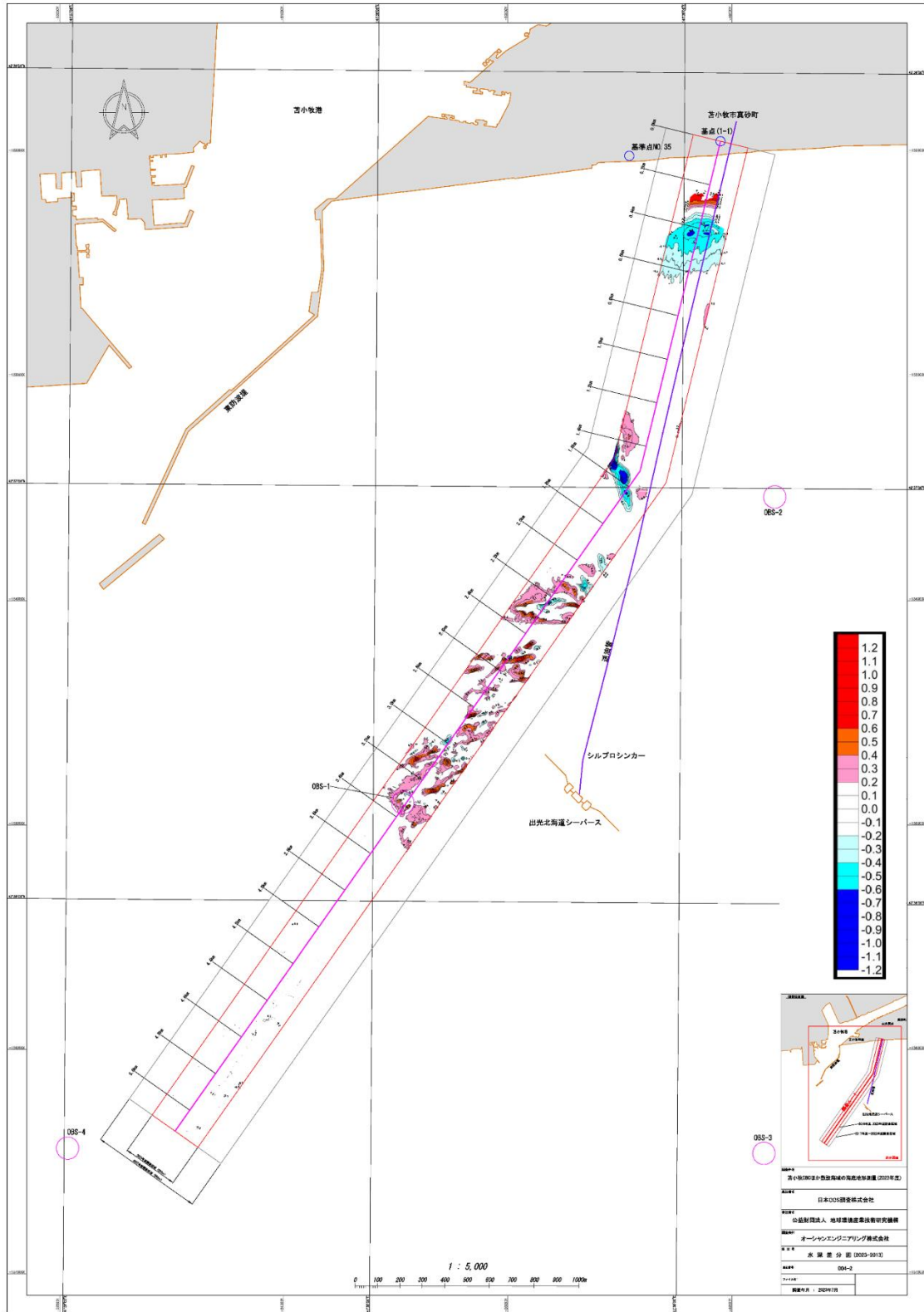
2023年度に取得した水深データと、2013年度および2022年度の水深データとの比較を図4.2-16および図4.2-17にそれぞれ示す。過去の調査時の水深より浅くなった場合（堆積した場合）をプラスとして赤色系で表示し、深くなった場合（侵食した場合）をマイナスとして青色系で表示した。

今回の測量により得られた水深データと過年度の水深データの差分において、海底面が堆積傾向または変化がない部分は安全側の変化（OBC埋設深度が増加または変化なし）であるが、逆に侵食された部分はOBCの埋設深度が浅くなった部分であり、今後変化を注意して監視する必要がある。

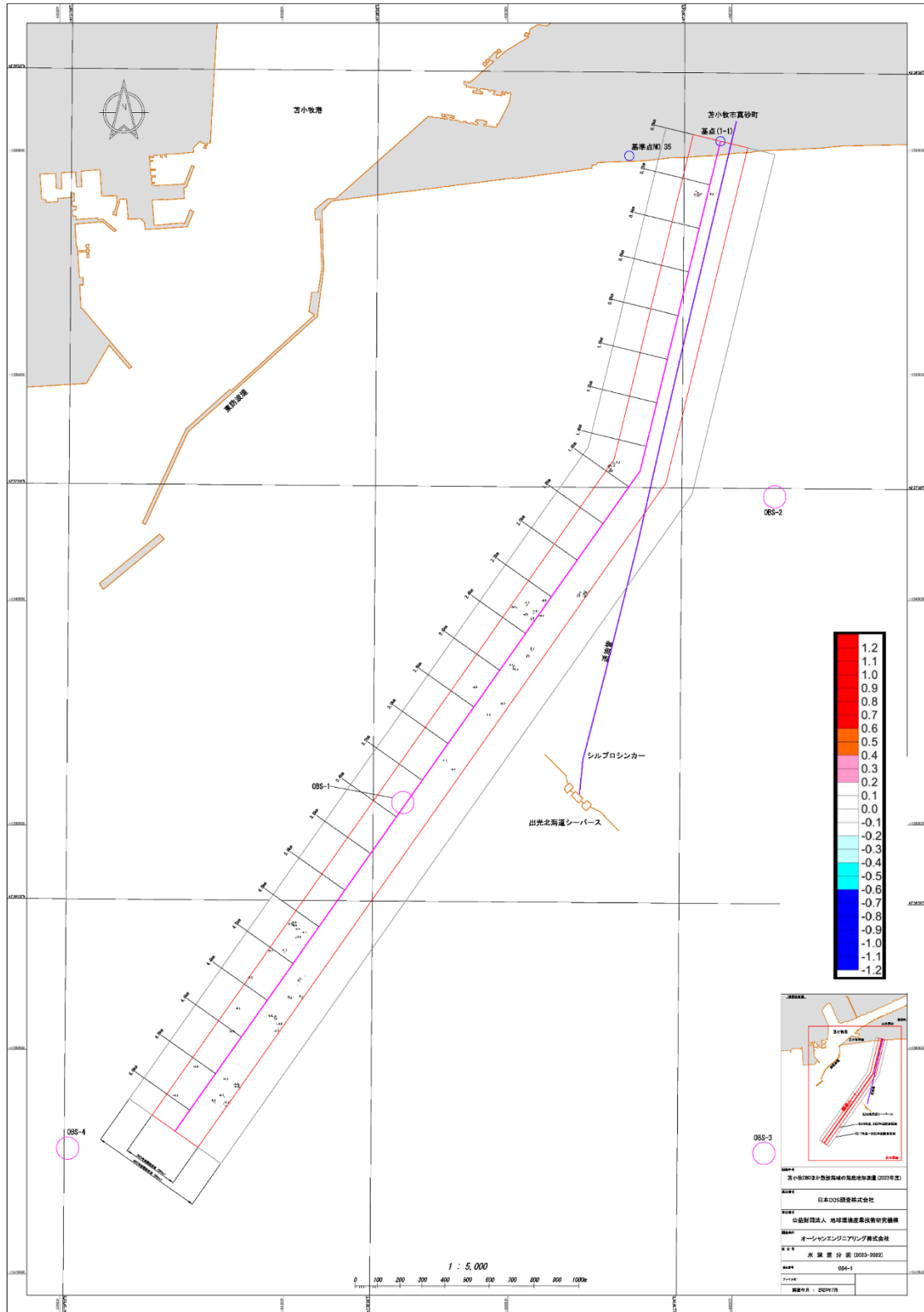
② OBS 測量範囲の海底地形の水深変化

OBS-3およびOBS-4の2箇所の撤去跡について、撤去直後の2021年度から撤去後約2年後の2023年度の海底地形測量の結果の比較として、2021年度と2023年度の海底地形の陰影図と、2021年度から2023年度の海底地形の東西断面図を図4.2-18(1)~(2)に示す。

OBS-1とOBS-2の2箇所については2022年度時点で撤去跡が完全に埋没したが、OBS-3とOBS-4の2箇所については2023年度時点でも未だ撤去跡が残っている。徐々に埋没する傾向にあるものの、その推移を把握するために定期的に測量を継続する必要があると考える。



注) 出典: 海上保安庁 2010年6月3日刊行 「海図 W1033A 苫小牧港西部」を加工して作成
 図 4.2-16 水深差分図(2023年度測量結果-2013年度測量結果)



注) 出典: 海上保安庁 2010年6月3日刊行 「海図 W1033A 苫小牧港西部」を加工して作成
 図 4.2-17 水深差分図 (2023年度測量結果 - 2022年度測量結果)

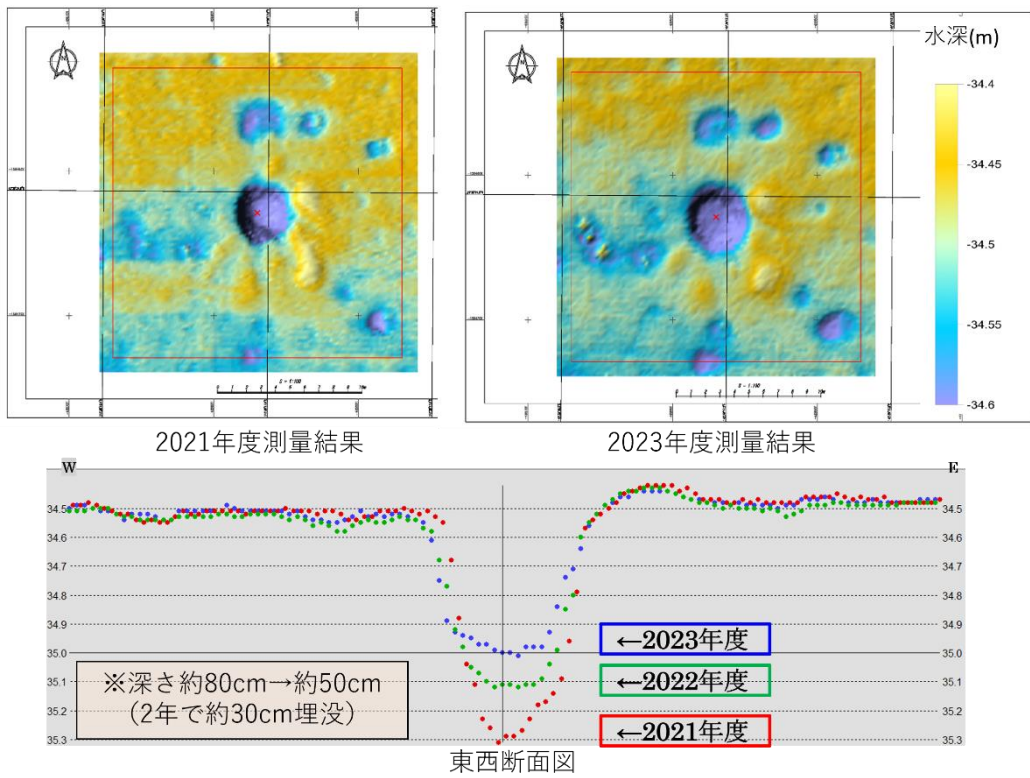


図 4.2-18 (1) 2021~2022 年度の OBS-1 周辺の海底地形図

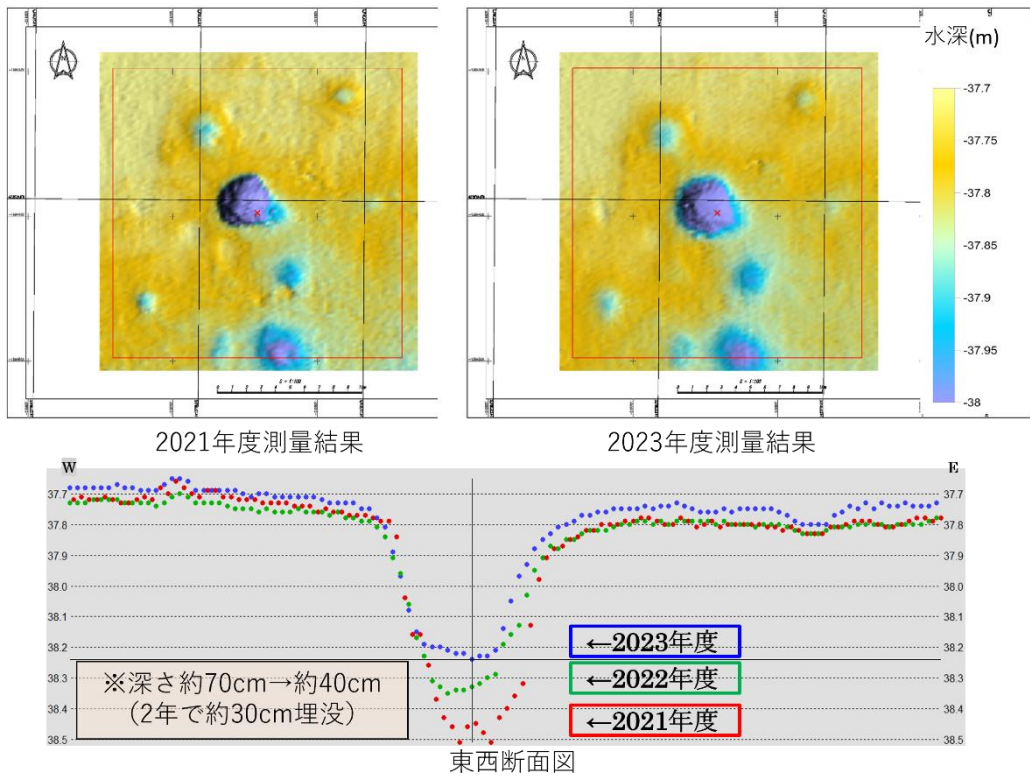


図 4.2-18 (2) 2020~2022 年度の OBS-2 周辺の海底地形図

4.3 総合モニタリングシステムの運用

総合モニタリングシステムは、すべての観測データの一元的管理、観測データの表示と異常の監視および各種解析機能を備えたシステムである。図 4.3-1 に総合モニタリングシステムのハードウェア構成図を示す。表 4.3-1 に総合モニタリングシステムを構成するハードウェアの主な機能を示す。表 4.3-2 にハードウェアの主な仕様等を示す。

総合モニタリングシステムは、2015年1月のベースライン観測開始以降運用を継続しており、2018年度にデータ変換サーバー1、大容量ストレージ、ネットワークスイッチ(ハブ)およびVPNルーターを、2021年度にデータ変換サーバー2、データ保管サーバー、制御用端末、圧入井データ入出力PCを、2022年に大容量ストレージ、2023年にアーカイブ装置を更新^{*1)}した。

総合モニタリングシステムの稼動状況については、日常のデータ取得状況確認作業において、総合モニタリングシステムへのログインと総合モニタリングシステムを構成するサーバーにリモートデスクトップでログインしており、その際に動作状況を確認している。

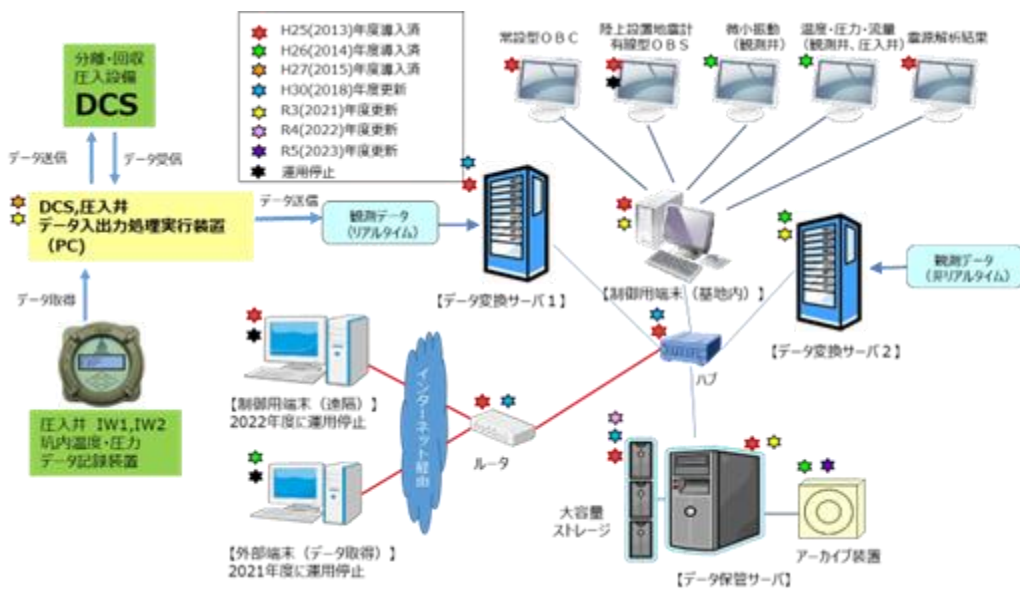


図 4.3-1 総合モニタリングシステムのハードウェア構成図

注) 陸上設置地震計、有線型 OBS および独立型 OBS は、2021 年度に運用を停止した

*1) 更新の対象としたハードウェアは、耐用年数およびメーカー等の保守期間を考慮して選定した。

表 4.3-1 総合モニタリングシステムを構成するハードウェアの主な機能

番号	ハードウェア	機能
①	データ変換サーバー1	<ul style="list-style-type: none"> リアルタイムで取得される観測データ（圧入井データを含む）および DCS データを集約し、統一フォーマットファイルの作成、時系列表示用データの作成、震源解析等をリアルタイムで実行。 リアルタイム処理を遅滞なく実施するルーター、多数のコアプロセッサによる並列処理が可能な CPU と大容量のメモリを搭載する機種を選定。 データ変換サーバー内に直近 2 箇月分の統一フォーマットファイルを保持することを想定し、900 GB の HDD10 台を装備。
②	データ変換サーバー2	<ul style="list-style-type: none"> 主に非リアルタイムでの観測データの処理に使用。 データ変換サーバー1 のバックアップを兼ねる。
③	データ保管サーバー	<ul style="list-style-type: none"> 大容量ストレージとアーカイブ装置を管理。
④	大容量ストレージ	<ul style="list-style-type: none"> 統一フォーマットファイル、振源・震源決定結果、振源・震源分布解析結果および各種パラメータや速度構造データ等を保存する。 RAID1^{*2)}方式として冗長性を確保。
⑤	アーカイブ装置 外部媒体用ドライブ	<ul style="list-style-type: none"> データのバックアップ作成用 大容量のデータを保存可能な LTO (Linear Tape-Open) 6 テープドライブ オートローダを有し、自動マウントによる外部からのコントロールが可能
⑥	制御用端末	<ul style="list-style-type: none"> 当センター内に設置し、各モニターへの出力を制御 ビデオメモリとしての使用も可能となる程度の比較的メモリ容量の大きな機種を選定
⑦	高解像度モニター (5 台)	<ul style="list-style-type: none"> 常設型 OBC、陸上設置地震計と有線型 OBS (2021 年度に運用を停止)、観測井坑内地震計、観測井と圧入井データの温度・圧力および圧入流量、震源解析結果等を表示
⑧	ネットワークスイッチ	<ul style="list-style-type: none"> 当センター内の通信を制御
⑨	VPN ルーター	<ul style="list-style-type: none"> インターネット経由での外部との接続を制御
⑩	無停電電源装置	<ul style="list-style-type: none"> 停電時対応
⑪	DCS・圧入井データ入出力処理 PC	<ul style="list-style-type: none"> 圧入井データ（温度・圧力）のデータロガーからの吸い上げ 圧入井データ（温度・圧力）の総合モニタリングシステムと DCS への送信 DCS からの運転データの受信、総合モニタリングシステムへの送信
⑫	外部端末 (2 台)	<ul style="list-style-type: none"> インターネット経由で当センターの各サーバー、端末等を制御

注) 停電時用にネットワーク電源 (WATCH-BOOT L-ZERO (明京電気(株))、遠隔監視用 Web カメラ (BB-HCM581 (パナソニック(株)) 2 式を保有。

*2) Redundant Arrays of Inexpensive Disks 1

表 4.3-2 総合モニタリングシステムを構成するハードウェアの主な仕様

①	PowerEdge R730 (Dell) ※2018年度更新	CPU : Xeon E5-2667 v4 3.2GHz x2 メモリ : 16GB RDIMM x2 HDD : 1TB SATA, 2.5", 7.2K RPM x8 RAID6 ネットワーク : 1GBASE-T x4, 10GBASE-T x1 ラック高さ : 2U、最大消費電力 : 750 W OS : Windows Server Standard 2012R2
②	NF5280M5 (INSPUR) ※2021年度更新	CPU : Xeon 4210R 2.4GHz×2 RAM : 16 GB HDD : 2 TB×12
③	NF3120M5 (INSPUR) ※2021年度更新	CPU : Xeon 2224R 3.4GHz RAM : 16 GB HDD : 4 TB×4
④	SnapServer XSR120 (Bell Data)	HDD : Enterprise SATA 8TB ×12 台 フォーマット後使用可能容量 : 65.2 TB メモリ : 32 GB ネットワーク : 1GbE×2ポート、10GbE×2ポート フォームファクタ : 2U 電源 : 100-240 VAC、50-60 Hz、280 W (最大)
⑤	TS2900 (IBM) ※2023年度更新	テープ・オートローダー (LTO8 HH SAS ドライブ搭載) 6171S8R 容量 : 最大 108TB (2.5:1 圧縮時は 270TB) ホストインターフェイス : 6Gbps SAS 転送速度 : 最大 300MBps カートリッジ スロット数 : 9
⑥	NP5570M5 (INSPUR) ※2021年度更新	CPU : Xeon 3260R 1.9GHz RAM : 16GB HDD : 1 TB Graphic : NVIDIA Quadro NVS510
⑦	W1202U30140JP (Dell)	WQXGA (2500×1600)
⑧	N4032 (Dell)	ネットワーク : 10GBASE-T x24 VLAN ルーティングインターフェイス数 : 128 ラック高さ : 1U、最大消費電力 : 240 W
⑨	SonicWALL TZ400W (SonicWALL 製)	プロセッサ : 4 x 800 MHz メモリ : 1 GB ネットワーク : 1 GBASE-T x5 スループットインスペクション ファイアウォール : 1.3 Gbps アプリケーション : 900 Mbps IPSec VPN : 900 Mbps VLAN インターフェイス : 50 サイト間トンネル数 : 20 最大消費電力 : 12 W
⑩	PC Smart-UPS 1500 LCD 100V (シュナイダー)	小型シール鉛蓄電池 (長寿命) 12V×17Ah×2 個×4 台
⑪	Endeavor ST190 (EPSON) ※2021年度更新	CPU : Intel Core™ i3 8100 3.6GHz RAM : 8GB HDD : 256GB
⑫	PowerEdge T110 (Dell)	CPU : Xeon E3-1220v2 Memory : 4GB、HDD : 500GB OS : Windows Server 2012 Foundation

4.3.1 総合モニタリングシステムの主な機能

総合モニタリングシステムが有する主な機能は次のとおりである。

- 1) データ管理機能
- 2) データの時系列表示機能
- 3) 異常検出機能
- 4) 振源・震源*3)決定機能
- 5) 振源・震源分布等表示機能

(1) データ管理機能

総合モニタリングシステムは、各観測システムで取得される観測データ、CO₂分離・回収／圧入設備のDCS*4)から受け取る操業データおよび国立研究開発法人防災科学技術研究所(以下、「NIED」と称する。)から取り込んだHi-netデータを一元管理する。各観測システムから総合モニタリングシステムへの観測データの受け渡しは観測データのファイル*5)をデータ変換サーバーの指定領域(フォルダ)に書き込むことにより行う。総合モニタリングシステムは、指定領域を監視し、書き込まれた観測データファイルを取り込み、統一フォーマットファイルを順次作成する。

常設型OBC、OBS*6)、陸上設置地震計、観測井坑内地震計およびHi-netデータの地震計観測データの統一フォーマットファイルは、世界的な普及度、フォーマット自体の設定の柔軟性と拡張性の大きさからSEG-D*7)(Rev.3)とした。DTSを除く観測井の温度・圧力、圧入井の温度・圧力データおよび操業データは、データ量が大きくないことからCSVファイルを統一フォーマットとした。また、DTSによる温度データは、10分間隔で取得されており、現時点で他のデータと合わせて利用する可能性が小さいため、観測システムから受け取ったままのLAS*8)ファイルを統一フォーマットとした。表4.3-3に統一フォーマットファイルの命名規則を示す。

*3) 本実証試験の観測データを用いて決定した微小振動の振源と自然地震の震源を併せて「振源・震源」と称する。

*4) DCS (Distributed Control System : 分散制御システム)

*5) 各観測システムの独自のフォーマットで作成されたファイル。

*6) 2021年度に運用を停止したOBS観測データは独自のフォーマットで記録されるが、データ収録装置においてWINフォーマットのファイルに変換して、総合モニタリングシステムに提供されている。

*7) SEG-Dは、米国物理探査学会(SEG)が提供する地震観測データのフォーマットで、1975年に発表されて以来Rev.3まで公開されている。国内では、東京大学地震研究所が提供する多チャンネル地震観測データ処理システム(WINシステム)で用いられるWINフォーマットも標準的に用いられる。

*8) LAS (Log ASCII Standard)の初版(Version 1.2)は、1989年Canadian Well Logging Societyにより、デジタルの検層データを標準化するために導入された。LASはASCIIで書かれたファイルにより構成される。1992年秋にいくつかの矛盾点を対応するversion 2.0が続き、さらに1999年に融通性の大きいversion LAS 3.0がリリースされた。

圧入井の坑底に設置された温度・圧力センサーで取得される圧入井モニタリングデータ(以下、「圧入井データ」と称する。)は、いったん、データロガー(当センター内に設置)に収録される。同時に、DCS・圧入井データ入出力処理用PC(図4.3-1および表4.3-1の⑩参照)(以下、「入出力処理PC」と称する。)でデータ形式を処理され、DCSおよび総合モニタリングシステムに送信される。何らかの理由で一定時間^{*9)}を超えてデータロガーから圧入井データを取得できない場合、圧入井の温度・圧力値をDead Value(=-999.25)とする設定となっている。

表 4.3-3 統一フォーマットファイルの命名規則

桁	適用	
1-12	観測開始時刻	西暦(4桁)+月(2桁)+日(2桁)+時(2桁)+分(2桁)
13-15	観測種別	OBC: 常設型 OBC OBS: 有線型 OBS と独立型 OBS SST: 陸上設置地震計 WLS: 観測井坑井内地震計 HNT: Hi-net WLF: 観測井 FBG センサー (温度・圧力) WLP: 観測井半導体圧力センサー (圧力) DTS: 観測井 DTS PPS: 観測井 PPS26 センサー (温度・圧力) IWL: 圧入井温度と圧入井圧力 IWD: 圧入流量、累積圧入量 IWC: 圧入温度、圧入圧力、低圧フラッシュ塔の塔頂 CO ₂ 濃度
16-18	観測点番号	整数 (3桁)
19-22	拡張子	.sgd: SEG-D (rev.3) フォーマット .csv: CSV フォーマット .las: LAS フォーマット

注) 陸上設置地震計、有線型 OBS および独立型 OBS は、2021 年度に運用を停止した

統一フォーマットファイルに収納するデータの時間長は、DTS を除き、観測データの出力時間単位とは別の値に任意設定可能^{*10)}であるが、毎正秒開始の1分間として運用している。また、統一フォーマットファイルの時間サンプリング間隔は、観測データの時間サンプリング間隔と同じ(リサンプリングしない)としている。一方、観測に関する情報(観測点名、観測地点名、緯度、経度および観測点の座標(X,Y,Z)、方位角(Azimuth)、傾斜(Inclination)ならびに相対方位(Relative Bearing)等)は、別途データベースにおいて

*9) 2016 年度に入出力処理 PC が、圧入井の温度・圧力値として Dead Value を出力するまでの時間を任意に設定できるよう入出力処理プログラムを修正した。

*10) 観測データの出力時間単位が統一フォーマットファイルの作成時間単位より短い場合には、自動的に観測データファイルを結合し、統一フォーマットファイルの作成時間単位に合わせて作成する。その場合、統一フォーマットファイルのヘッダー情報は、最も早い観測データのヘッダー情報となる。

管理*11)しており、統一フォーマットファイル作成時に観測点情報をヘッダーに書き込む。統一フォーマットファイル作成時に発生したエラーは、エラーログとして変換サーバーに記録・保存する。

統一フォーマットファイル*12)は、データ保管サーバーに接続している大容量ストレージにファイル単位で保管し、その属性情報(センサー名、データの種別、観測日時、ファイルに係る情報、サンプルレート、観測点番号の種類、観測日時、記録時間、記録長、観測点番号、統一フォーマットファイルの保管場所等)をデータ保管サーバー内の「統一フォーマットファイル管理データベース」において管理する。表 4.3-4 に統一フォーマットファイル保存領域の構成を示す。

表 4.3-4 統一フォーマットファイル保存領域の構成

階層	フォルダ名
1	Wave (統一フォーマットファイル全体の保存領域)
2	観測種別 (命名規則と同じ3文字)
3	観測年 (YYYY: 西暦4桁)
4	月 (MM: 2桁)
5	日 (DD: 2桁)
6	時分 (HHMM: 4桁)

(2) データの時系列表示機能

総合モニタリングシステムでは、統一フォーマットファイルのデータをリアルタイム*13)と非リアルタイムで時系列表示(横軸:時刻、縦軸:振幅)することが可能である。リアルタイム表示では、順次統一フォーマットファイルに変換されるリアルタイムデータから単位時間(デフォルト値は1分間)ごとの表示用画像データ*14)を作成し、順次モニターに表

*11) 計画変更やメンテナンス等により観測点情報に変更があった場合には、総合モニタリングシステムが有している観測点情報の変更機能を利用して、データベースに登録されている観測点情報を変更する。

*12) データ変換サーバーにおいて作成された統一フォーマットファイルは、データ保管サーバーに転送される。一方、データ変換サーバー内の統一フォーマットファイルは、一定期間保持した後に消去される。

*13) 観測機器から当センターまでのデータの伝送、統一フォーマットへの変換、表示画像の作成に時間を要するため、厳密な意味ではリアルタイムとは言えない。

*14) PNG (Portable Network Graphics) フォーマット: コンピュータでビットマップ画像を扱うファイルフォーマット。GIF (Graphics Interchange Format) に代わる新しい誰でも無料で自由に使えるフォーマットとして開発された。拡張子は「.png」

示する。非リアルタイム表示では、指定した期間(表示開始時刻と表示時間幅^{*15})の観測データを時系列表示^{*16}する。

常設型 OBC、有線型 OBS、陸上設置地震計および観測井坑内地震計の観測データ(以下、「地震計観測データ」と称する。)の表示には、比較的短い時間範囲を対象とする波形表示(Wiggle)と比較的長い時間範囲を対象として振幅の強弱をカラーで現す濃淡表示(Variable Density)を併用している。小さな振幅も大きな振幅も一律に表示したときに小さな振幅の波形が見づらくなるのを緩和するためのパラメータ(スケールファクター:Scale Factor)と画面に表示する振幅の範囲を制限する CLIP 値を導入し、画面表示する波形が見やすくなるような設定を可能としている^{*17}。パラメータの設定は常時可能であり、変更は直ちに表示用画像ファイル作成に反映される。地震計観測データの表示用画像データの作成では、観測値の長周期成分の除去や帯域通過フィルターによる波浪ノイズの低減処理^{*18}を行っている。

常設型 OBC 観測データの表示では、選択した成分^{*19}のデータを全センサー分一括表示する。図 4.3-2 に常設型 OBC 観測データを時系列表示した例を示す。観測井に設置されている地震計データは、観測井ごとに深度順に全成分(南北、東西および上下)を表示する。図 4.3-3 に観測井坑内地震計の観測データを時系列表示した例を示す。さらに、図 4.3-4 に 10 観測点分の Hi-net データをまとめて時系列表示した例を示す。

観測井の温度と圧力は、深度に依存するものの、経時変化は小さいと考えられることから、観測値ではなく各センサーに設定した基準値^{*20}との差を表示する。DTS データは深度方向のデータ数が多いため、縦軸を時間(上方が過去)、横軸を深度(左が坑口)とし、深度(横軸)方向には観測データを内挿して色により表示することとした。温度・圧力観測データおよび DTS の表示時間幅は変更が可能である。温度・圧力データは、選択した最大 5 個の観測データを同一画面に表示可能である。図 4.3-5 に観測井の温度・圧力、DTS による温度分布、圧入井温度・圧力および操業データを時系列表示した例をまとめて示す。

*15 地震計観測データは 1~60 分の間で設定、圧力と DTS 以外の温度データは 1 時間/6 時間/12 時間/24 時間から選択、DTS データは 12 時間/24 時間のいずれかを選択

*16 リアルタイムデータの時系列と同様、単位時間ごとの表示用画像データ(PNG フォーマット)を指定期間分作成し、編集した後に一括してモニター側に送信する表示する。

*17 画面の表示幅を極端に大きな振幅までカバーできるように設定すると大部分の時間帯を占める相対的に小さい振幅の変化を確認することが困難になるため、一定の振幅値以上の観測値は最大振幅値として表示する。本システムでは、最大表示振幅=CLIP 値× σ (RMS 振幅)により設定している。

*18 帯域処理フィルター(ルーター(LC(Low Cut)、LP(Low Pass)、HP(High Pass)および HC(High Cut))の閾値となる周波数を指定可能である。海域では波浪、特にうねりに起因する 4 Hz 以下のノイズが顕著であることが経験的に知られていることから、常設型 OBC 観測データの表示では 5 Hz 以下を遮断するフィルター(ルーター)を適用している。

*19 ジオフォン 3 成分とハイドロフォン 1 成分

*20 基準値は、ベースラインデータ観測の結果に基づき設定した。

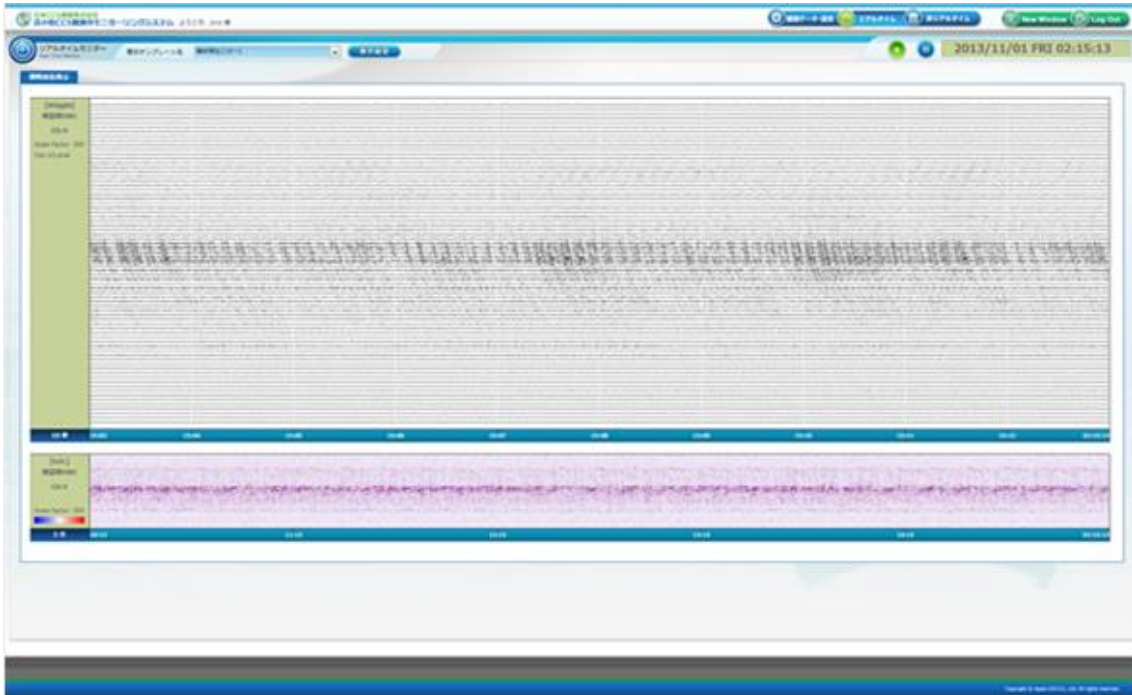


図 4.3-2 常設型 OBC 観測データのリアルタイム表示例

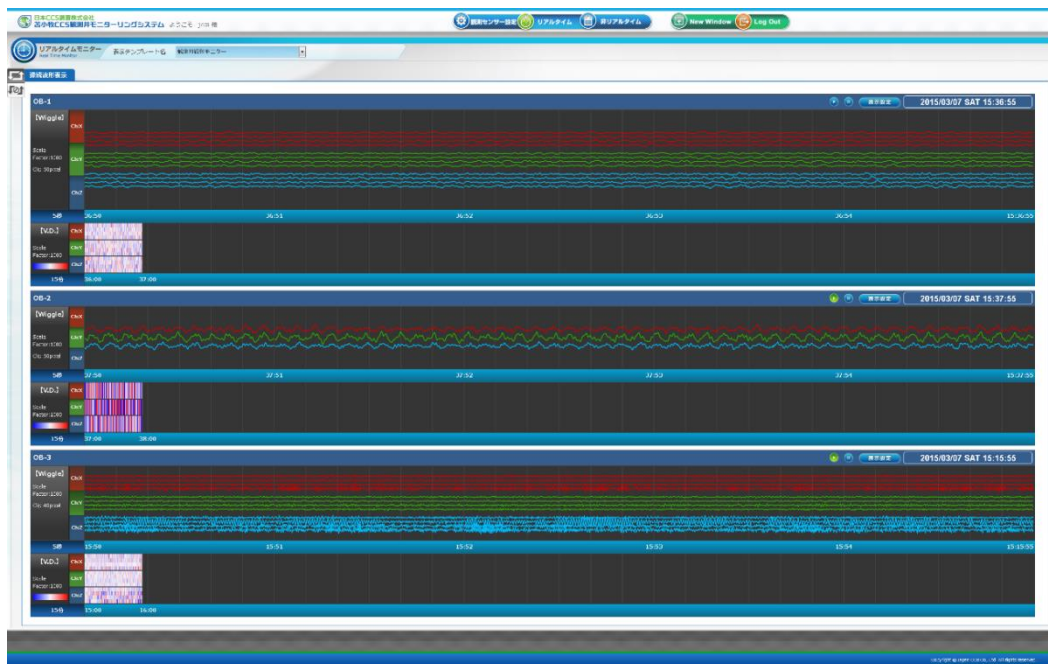


図 4.3-3 観測井坑内地震計観測データの時系列表示例

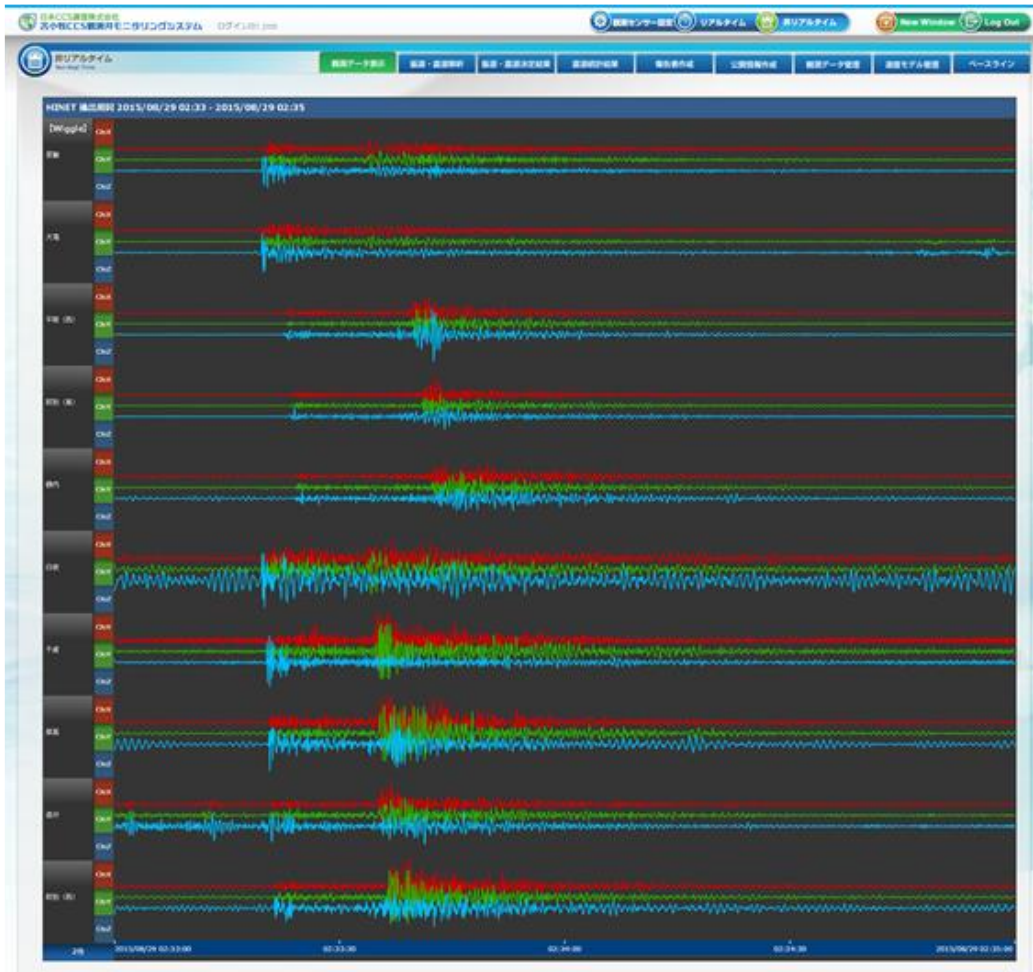


図 4.3-4 Hi-net データ表示例 (10 観測点分)

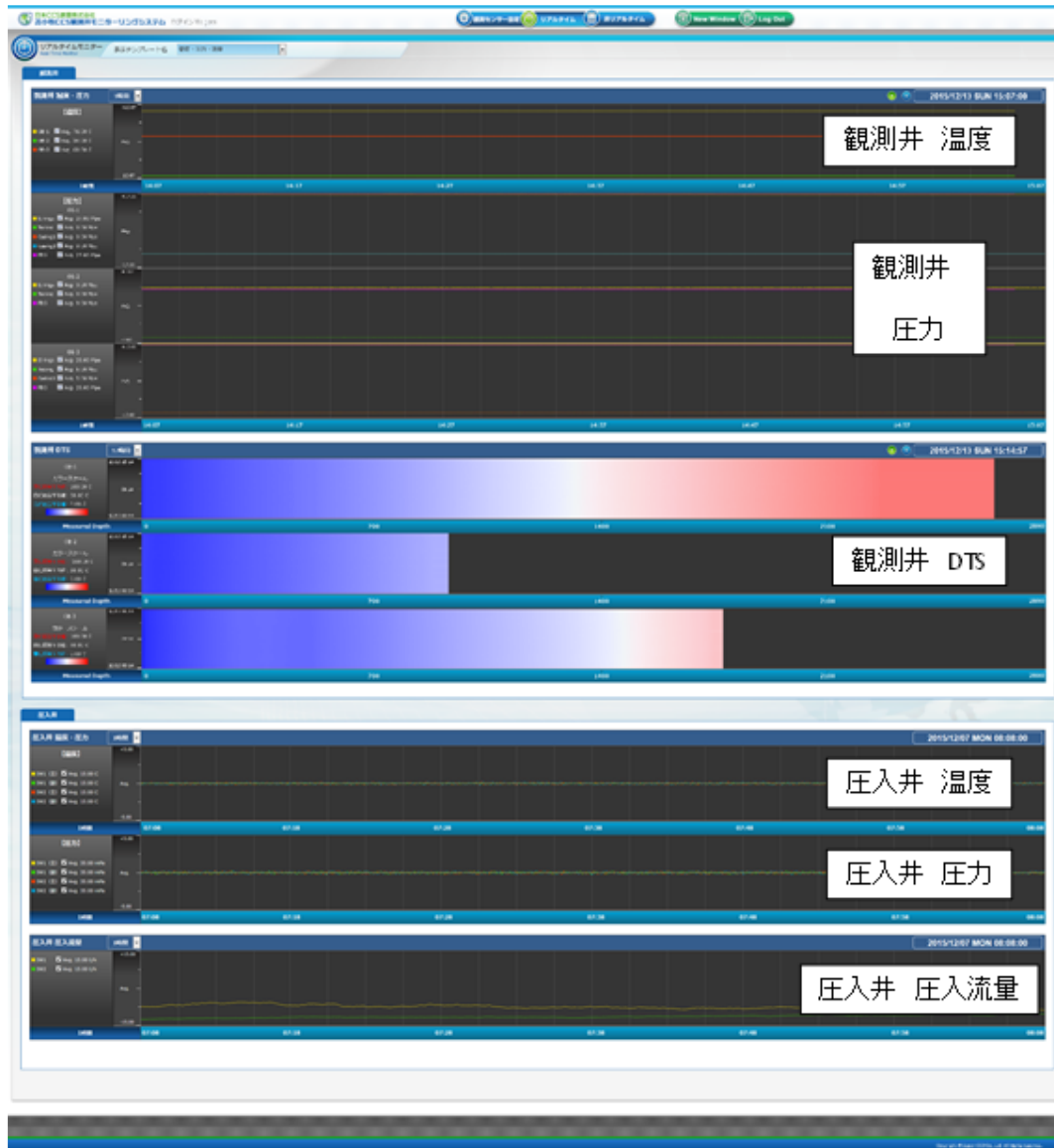


図 4.3-5 リアルタイムでの観測井の温度と圧力データの時系列表示例

(3) 異常の検出機能

本システムにおける観測データからの異常の検出には、STA・LTA アルゴリズムによる判定と観測データの上下限值による判定の二つの方法が適用可能である。リアルタイムの観測データから異常を検出した場合には、異常に関する情報*21)をモニターに表示する。

STA・LTA アルゴリズムでは、連続取得されている観測データを $x(t)$ とした場合、短期間(時間長 T_s) の平均値 ; STA (Short Term Average) と長期間(時間長 T_L) の平均値 ; LTA (Long Term Average) の比 α (式 1 参照) により異常を判定する。具体的には、 α が異常開始の閾値 α_0 を上回った時刻を暫定の異常開始時刻、異常開始後に α が異常の終了閾値 α_1 を下回った時刻を暫定の異常終了時刻とし、暫定異常開始時刻から暫定異常終了時刻までの時間(以下、「暫定異常継続時間」と称する。)が別途設定された最小継続時間(T_{min}) を超えた場合を異常とする。

$$\alpha = \frac{1}{T_s} \int_{T_s} |x(t)| dt \bigg/ \frac{1}{T_L} \int_{T_L} |x(t)| dt \dots \text{(式 1)}$$

地震計の波形データからの異常の検出には、ある期間の平均的な変化を評価することが必要となるため、バックグラウンドノイズも考慮した上で、STA・LTA アルゴリズムによる判定を適用している。表 4.3-5 に各地震計観測データの異常検出用パラメータのデフォルト値を示す。

表 4.3-5 STA・LTA アルゴリズムによる異常検出用設定パラメーター一覧

観測機器	T_s	T_L	α_0	α_1	T_{min}
常設型 OBC	60 msec	1,000 msec	3.0	1.6	360 msec
陸上設置地震計	60 msec	1,000 msec	3.0	1.6	360 msec
有線型 OBS	60 msec	1,000 msec	3.0	1.6	360 msec
観測井坑内地震計	12 msec	500 msec	2.5	1.6	100 msec

注) 陸上設置地震計、有線型 OBS および独立型 OBS は、2021 年度に運用を停止した

海域に設置した常設型 OBC と OBS に関しては、船舶の航行ノイズを除去する必要があることから、LC (Low Cut フィルター) ・ LP (Low Pass フィルター) ・ HC (High Cut フィルター) ・ HP (High Pass フィルター) と適用するサンプル数の設定も可能である。

*21) モニターに表示する異常に関する情報は、観測項目(振動/圧力/温度)、異常の発生時刻(分単位)、異常を検出したセンサー、異常を検出したチャンネル、1 分間に検出した異常の件数、検出方法 (STA・LTA アルゴリズムにより検出した場合は STA/LTA 値、上限下限により異常判定した場合は観測値を記載)

観測井に対しては、突発的な値の抽出が可能となるよう、比較的短い時間ウィンドウ（平均値を算出するための時間）を設定している。

観測データの上下限值による判定では、上限値（ β_0 ）～下限値（ β_1 ）の範囲内を観測値が最初に逸脱した時刻を暫定異常開始時刻、異常開始後に観測値が平常値の範囲に戻った時刻を暫定異常終了時刻とし、暫定異常継続時間が別途設定された最小継続時間（ T_{min} ）を超えた場合を異常とする。短時間に値が大きく変化する可能性のある温度・圧力データの異常検出には観測データの上下限值による判定を適用している。表 4.3-6 に各観測井の温度・圧力データに対して設定した上下限值による異常検出用パラメータのデフォルト値を示す。

表 4.3-6 上下限值による異常検出用設定パラメータ一覧

観測井	観測機器	β_0	β_1	T_{min}
OB-1	FBG センサー (温度)	78°C	74°C	5 s
	FBG センサー (圧力)	29.5 MPa	25.5 MPa	5 s
	半導体圧力センサー	標準値+2MPa 【標準値】 ・坑底圧：27.5 MPa ・坑口圧：0.0 MPa ・外圧：0.0 MPa ・外外圧：0.0 MPa	標準値-2MPa 【標準値】 ・坑底圧：27.5 MPa ・坑口圧：0.0 MPa ・外圧：0.0 MPa ・外外圧：0.0 MPa	5 s
	PPS26 センサー (温度)	°C	°C	5 s
	PPS26 センサー (圧力)	MPa	MPa	5 s
	DTS (温度)	100°C	-5°C	10 min
	OB-2	FBG センサー (温度)	36°C	32°C
FBG センサー (圧力)		11.0 MPa	7.0 MPa	5 s
半導体圧力センサー		標準値+2MPa 【標準値】 ・坑底圧：9.0 MPa ・坑口圧：0.0 MPa	標準値-2MPa 【標準値】 ・坑底圧：9.0 MPa ・坑口圧：0.0 MPa	5 s
PPS26 センサー (温度)		運用実績を考慮して設定の予定		
PPS26 センサー (圧力)		運用実績を考慮して設定の予定		
DTS (温度)		100°C	-5°C	10 min
OB-3		FBG センサー (温度)	62°C	58°C
	FBG センサー (圧力)	32.0 MPa	28.0 MPa	5 s
	半導体圧力センサー	標準値+2 MPa 【標準値】 ・坑底圧：29.0 MPa ・坑口圧：6.0 MPa ・外圧：6.0 MPa	標準値-2 MPa 【標準値】 ・坑底圧：29.0 MPa ・坑口圧：6.0 MPa ・外圧：6.0 MPa	5 s
	PPS26 センサー (温度)	運用実績を考慮して設定の予定		
	PPS26 センサー (圧力)	運用実績を考慮して設定の予定		
	DTS (温度)	100°C	-5°C	10 min

(4) 振源・震源決定機能

異常検出機能((3)参照)により検出された異常をグループ化し、異常開始時刻と同一の時刻帯の複数の観測点の観測データから微小振動と自然地震のイベントに相当する異常を自動的に抽出する。抽出されたイベントに対して、グループ化した各観測点の観測データから地震波到達時刻(P波到達時刻とS波到達時刻)を検出し、P波到達時刻、S波到達時刻およびデータベースに登録されている速度構造データ(P波速度とS波速度:ユーザーが選択・指定)から発生時刻(JST)、振源・震源(緯度、経度および深度)およびマグニチュードを決定する。

リアルタイムでの振源・震源決定は、リアルタイム観測データ(常設型OBCおよび各観測井に設置された地震計データ)を用いて常時実施する。非リアルタイムでは、使用する観測データ*22)を指定し、対象期間内に発生したすべての振源・震源を再計算することが可能である。振源・震源の再計算に用いるデータ処理フローは、リアルタイムにおける振源・震源決定フローを使用する。

決定された振源・震源位置は、マグニチュードおよび属性情報(解析実施日時、振源・震源決定に使用した観測点情報、使用した速度構造モデル等)とともに、データ保管サーバーに構築した「振源・震源決定結果データベース」において管理する。振源・震源は発生時刻をキーとして管理しており、条件を変えて再計算した場合には、発生時刻キーに対するバージョンの一つとして扱う。図4.3-6に本システムの振源・震源決定処理フローを示す。また、表4.3-7にフローの各ステップでの実施内容を示す。

*22) 回収された独立型OBSの観測データやHi-netデータも指定可能である。

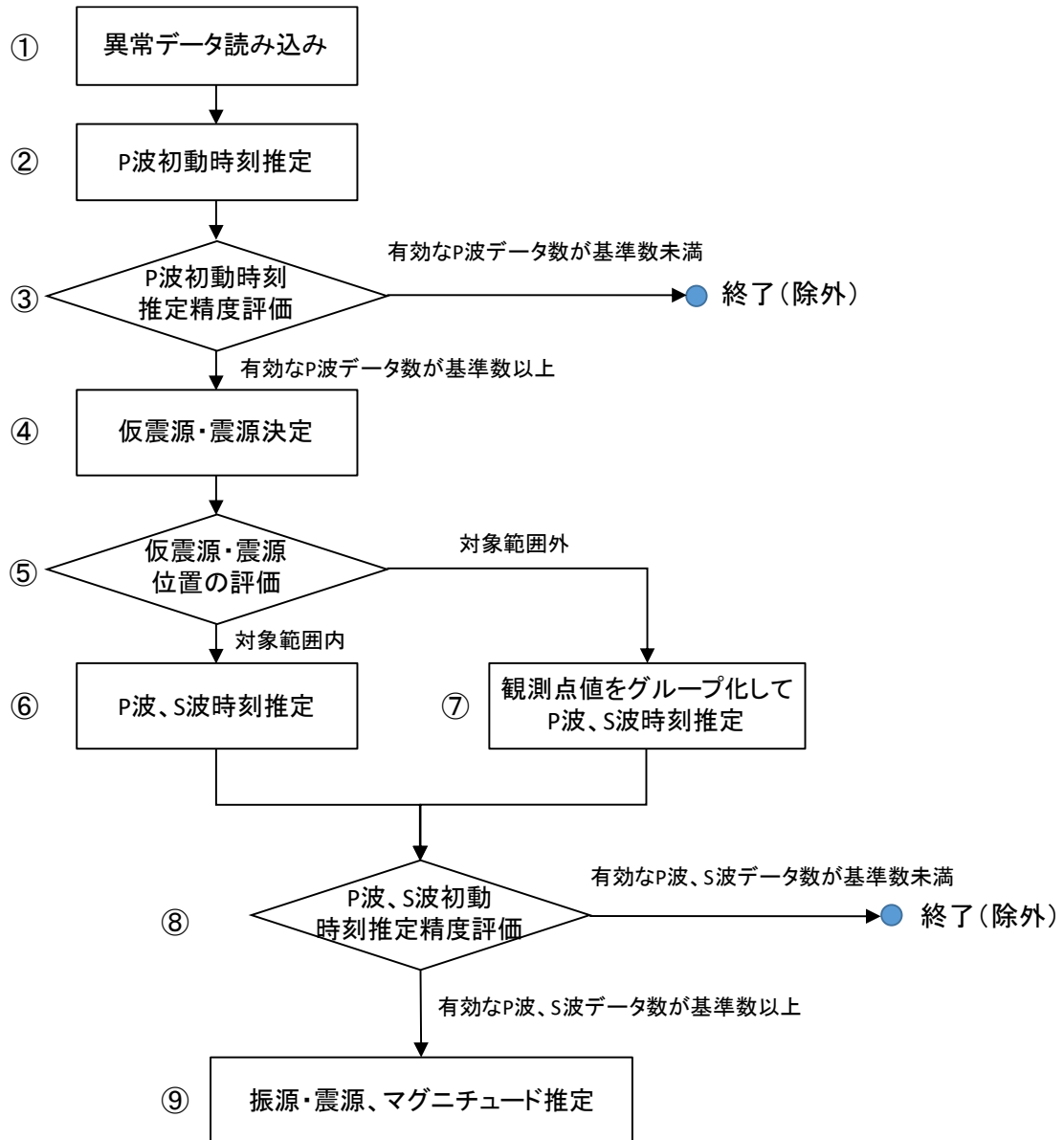


図 4.3-6 振源・震源決定の処理フロー

表 4.3-7 振源・震源決定フローにおける各ステップの実施内容

手順	実施内容
①	STA・LTA アルゴリズムにより検出された異常の発生時刻を取得する。
②	観測井 (OB-1、OB-2 および OB-3) に設置した地震計の波形データを用いて P 波初動時刻を決定する。
③	②の初動決定時に算出される統計量を評価し、有効と判定された P 波の数 (N1) が基準個数 (デフォルト値=5) 未満の場合は、検出した異常は地震ではないとして除外する。
④	③の評価で有効と判定された P 波の数 (N1) が基準個数以上の場合には、②で決定した P 波初動時刻を用いて仮振源・震源位置を決定する。
⑤	④で決定した仮振源・震源位置を評価し、仮震源の位置が対象範囲 (別途設定) 内か範囲外かを評価する。
⑥	観測井 (OB-1、OB-2 および OB-3) 坑内地震計、常設型 OBC の P 波、S 波初動時刻を再度推定する。
⑦	観測井 (OB-1、OB-2 および OB-3) 坑内地震計、常設型 OBC の P 波、S 波初動時刻を再度推定し、OB-1 内の地震計 4 台と OB-3 内の地震計 4 台は、それぞれグループ化して一つの観測点とみなして処理する。
⑧	⑥あるいは⑦の初動決定時に算出される統計量を評価し、有効と判定された P 波と S 波の数の合計 (N2) が基準個数 (デフォルト値=5) 未満の場合は、検出した異常は地震ではないとして除外する。

(5) 速度モデル管理機能

振源・震源決定に用いた一次元速度構造モデルは、速度構造データベースで管理する。現在データベースに登録している深度 3,000 m までの P 波速度は、OB-1 の VSP (Vertical Seismic Profile) 調査によって得られた時間-深度関係図 (図 4.3-8 参照) から読み取った地質境界の深度における走時から算出した。また、S 波速度は、同じく OB-1 における PS (P and S Wave Velocity Log) 検層より推定した各層準の V_p/V_s (図 4.3-9 参照) を求めた上で、各層準の平均値と前述の P 波速度から算出した。深度 3,000 m から 8,000 m までの速度構造は、NIED の地震ハザードステーション^{*23)}に公開されている深部地盤構造から萌別層圧入位置に相当する位置の速度構造図 (メッシュコード 63417520) を取得し、速度境界部分の深度と速度を読み取った。図 4.3-10 に萌別層圧入地点に相当する位置の速度構造を示す。また、深度 8,000 m から 50 km までの速度構造は、日本列島三次元地震波速度

*23) <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>を参照

構造表示ソフトウェア*24)を参照して、萌別層圧入地点のP波速度構造とS波速度構造を作成した。図4.3-11にデータベースに登録した一次元速度構造モデルを示す。

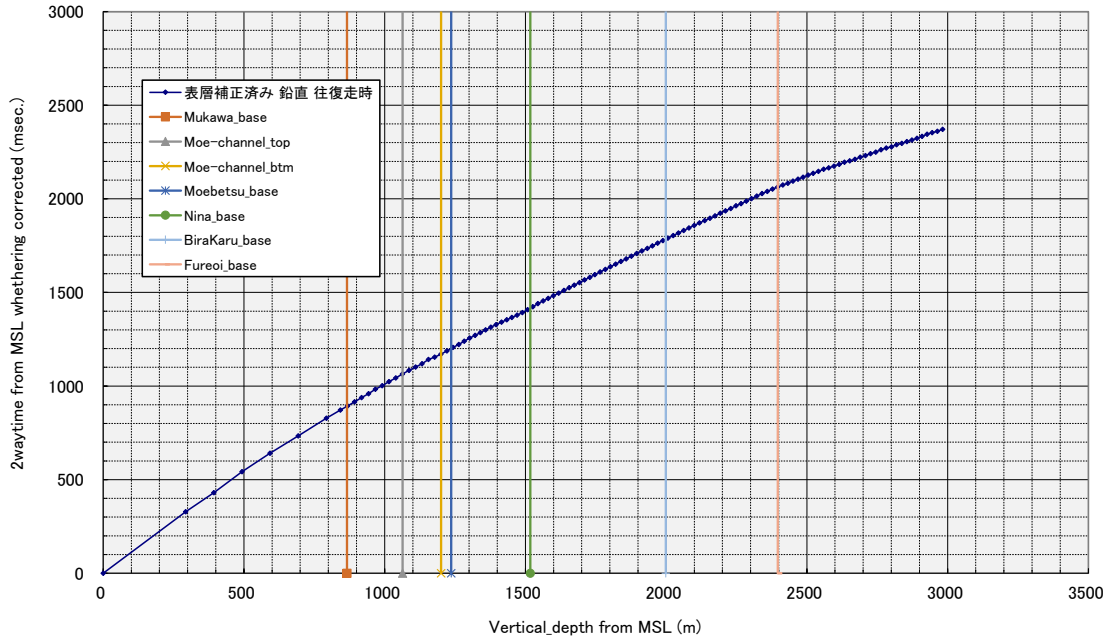


図 4.3-8 OB-1 における VSP 調査によって得られた時間-深度関係図

*24) http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozo/を参照

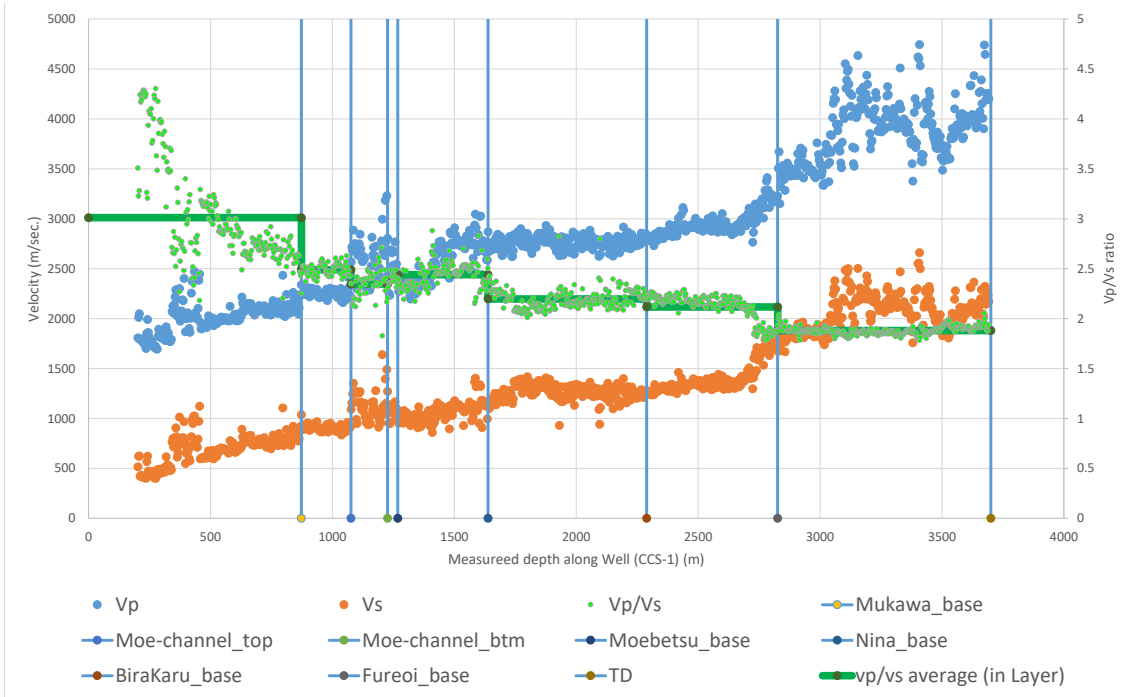


図 4.3-9 OB-1 における PS 検層より推定した各層準の Vp/Vs

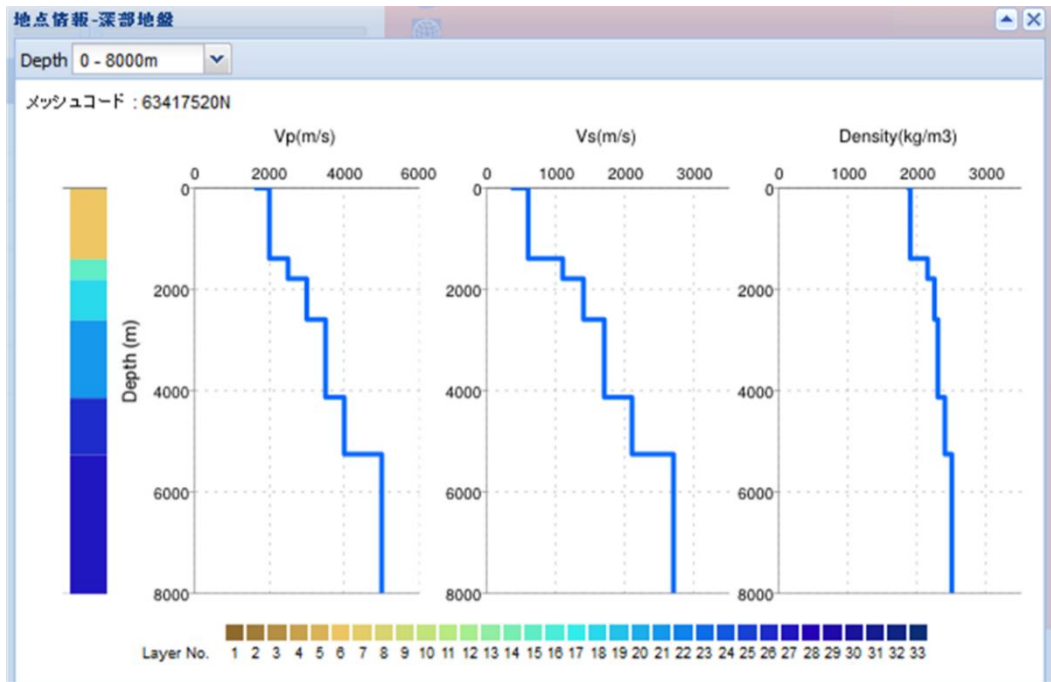


図 4.3-10 萌別層圧入地点に相当する位置の速度構造

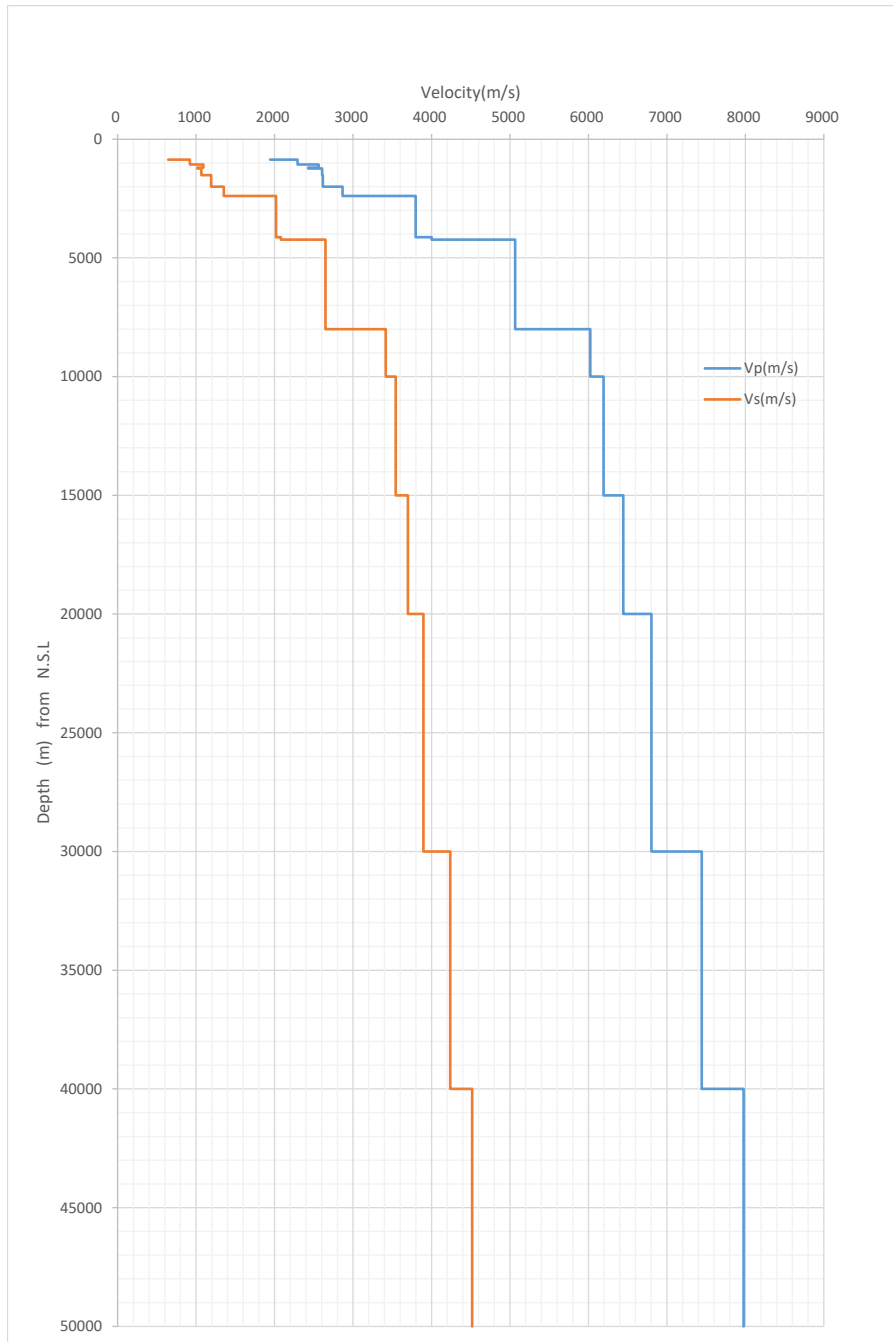
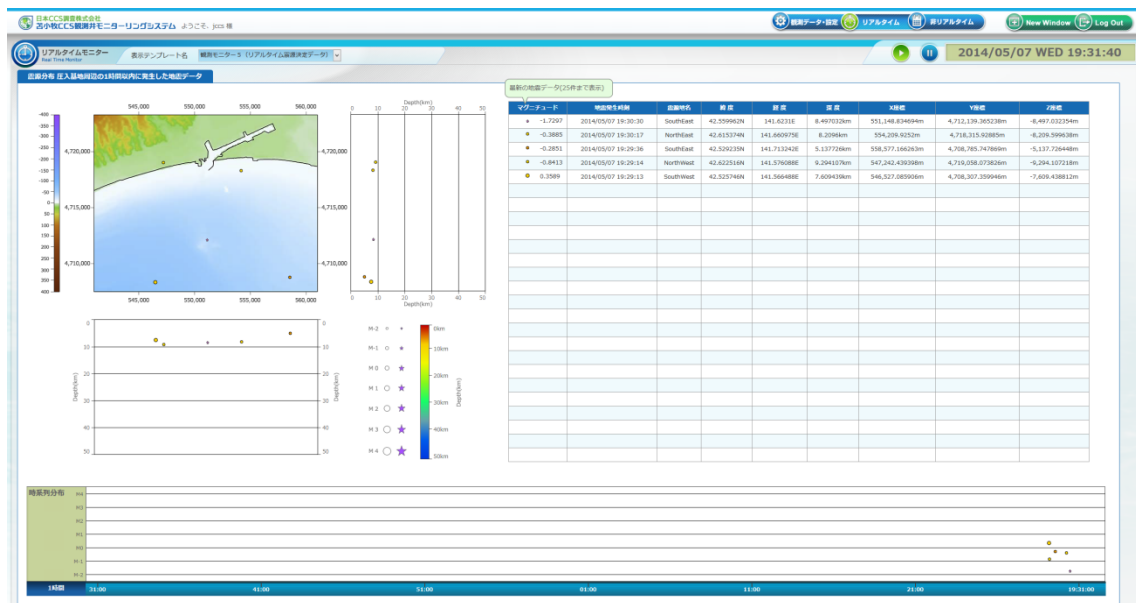


図 4.3-11 振源・震源決定用一次元速度構造モデル

(6) 振源・震源分布表示機能

常設型 OBC および観測井 (OB-1、OB-2、OB-3) 坑内地震計による観測データを用いてリアルタイムに決定された振源・震源は、図 4.3-12 に示すリアルタイムの振源・震源分布表示画面*25)に一定期間 (別途設定する) 表示できる。

一方、総合モニタリングシステムにより決定されたすべての振源・震源を対象に、検索条件設定画面 (図 4.3-13 参照) において、期間やマグニチュード等を設定して「振源・震源決定結果データベース」から振源・震源を検索・抽出した上で、二次元分布表示 (図 4.3-14 参照)、振源・震源情報一覧表示 (図 4.3-15 参照) および横軸を発生時刻とし縦軸をマグニチュードとする時系列振源・震源分布図 (図 4.3-16 参照) を表示することが可能である。



注) 振源・震源の平面と断面分布を画面左上に、暫定振源・震源解析結果リストを画面右上に、時系列振源・震源分布図を画面下部に表示する。振源・震源は円で表示し、円の大きさが微小振動・地震の規模を、円の色が振源・震源の深さを示す。最新の微小振動・地震の振源・震源を点滅表示する。時系列表示の縦軸はマグニチュードを示す。

図 4.3-12 リアルタイム振源・震源分布表示画面例

*25) 画面に表示する平面図は、陸域部を国土地理院の数値地図 250 m メッシュ (標高)、海域部を日本海洋データセンターの日本周辺 500 m メッシュ海底地形データ (J-EGG500) を使用して作成。

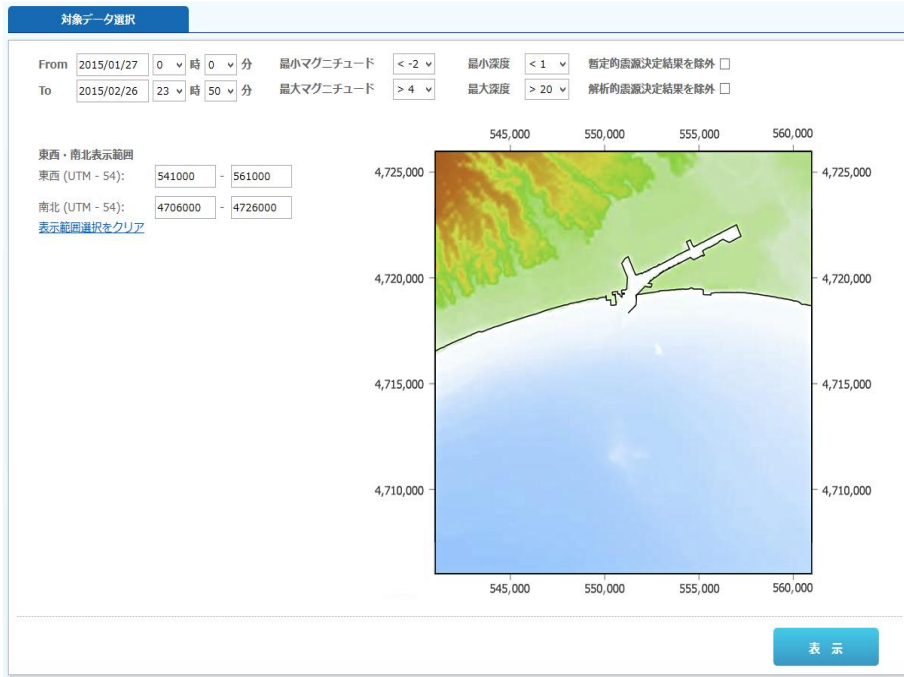
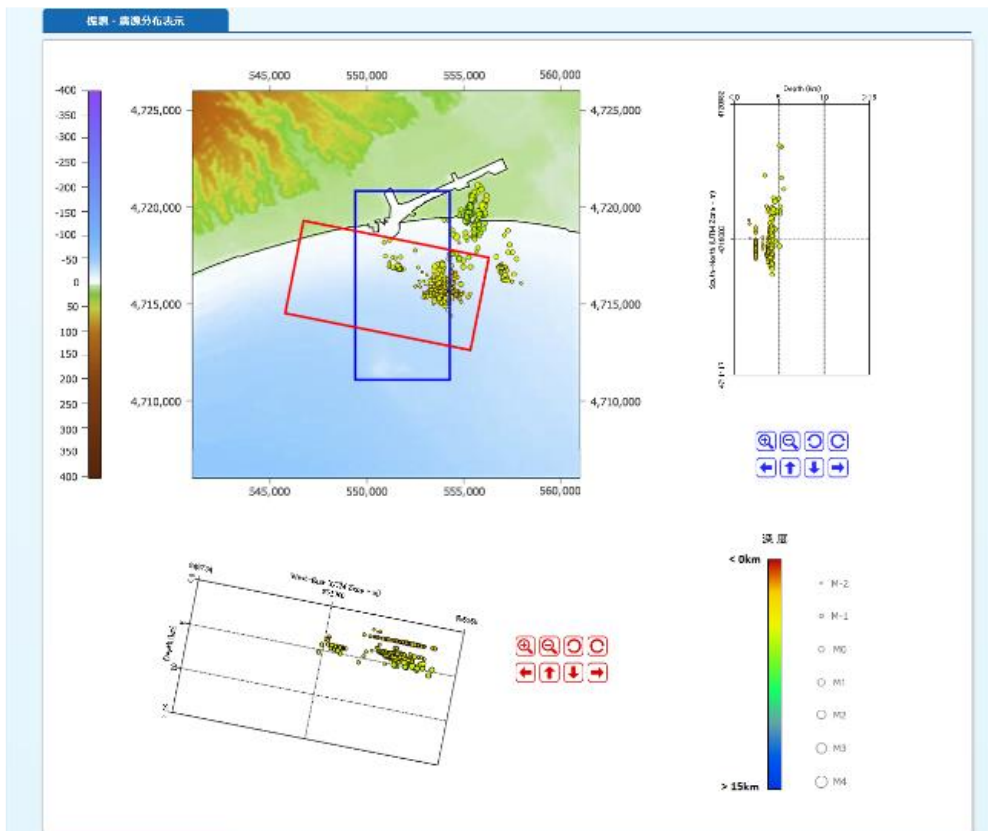


図 4.3-13 振源・震源検索条件設定画面



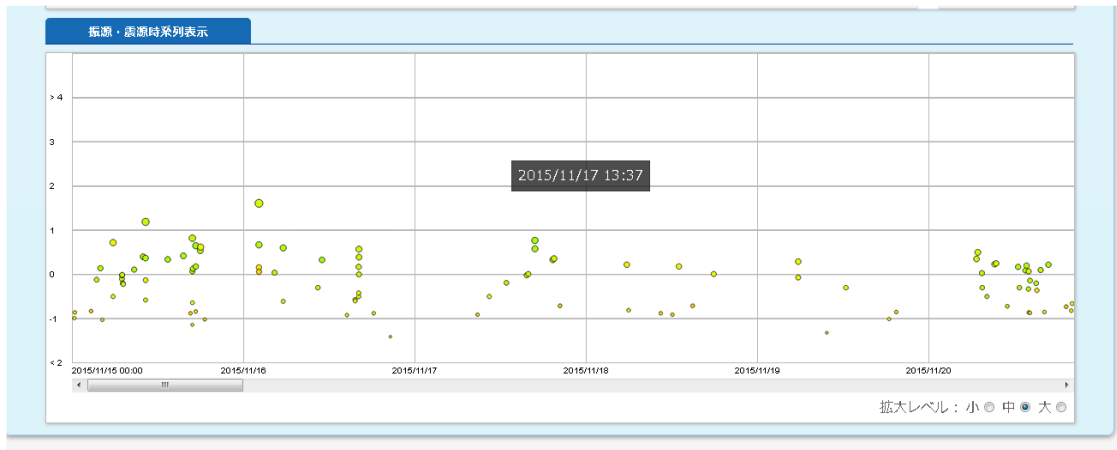
注) 平面図上の赤の矩形範囲の断面図を平面図の下に、青の矩形範囲の断面図を平面図の右に表示する。各断面図には、それぞれに矩形の範囲に存在する振源・震源データを表示する。矩形は拡大、縮小、回転、移動が可能である。

図 4.3-14 振源・震源二次元分布図

震源データ						
地震発生時刻	震源地名	経度	緯度	深度	X	Y
2015/1/27 0:00:16	NorthEast	141.703066	42.67942	9.184606	557602.912984	4725455.5151
2015/1/27 0:06:44	NorthEast	141.705093	42.675112	11.488954	557772.957355	4724978.5351
2015/1/27 0:13:00	NorthEast	141.743608	42.670799	7.45114	560932.974824	4724526.6291
2015/1/27 0:14:08	NorthEast	141.729271	42.64974	22.240186	559778.299922	4722177.9891
2015/1/27 0:18:43	NorthEast	141.722943	42.641259	17.245046	559267.684201	4721231.7701
2015/1/27 0:19:20	NorthEast	141.687241	42.683866	28.280997	556302.28905	4725938.5511
2015/1/27 0:23:32	NorthEast	141.681407	42.681801	19.974203	555826.206097	4725705.3751
2015/1/27 0:29:37	NorthEast	141.713204	42.64774	20.024574	558463.171741	4721944.6901
2015/1/27 0:33:14	NorthEast	141.739127	42.674445	18.6437	560562.228983	4724928.2741
2015/1/27 0:33:44	NorthEast	141.730056	42.681373	12.640611	559812.319438	4725691.0921
2015/1/27 0:36:32	NorthEast	141.71645	42.662956	14.752468	558714.926226	4723636.5701
2015/1/27 0:39:22	NorthEast	141.644904	42.672823	18.478344	552843.173205	4724684.9551
2015/1/27 0:40:51	NorthEast	141.742221	42.657476	23.309015	560832.323404	4723046.2241
2015/1/27 0:41:44	NorthEast	141.666988	42.679098	9.205702	554647.265375	4725395.8401
2015/1/27 0:45:39	NorthEast	141.722473	42.632679	23.034972	559237.297992	4720278.6541
2015/1/27 0:47:04	NorthEast	141.705213	42.683648	19.388055	557774.907763	4725926.5231
2015/1/27 0:52:36	NorthEast	141.708334	42.668374	18.245684	558044.821314	4724232.491
2015/1/27 0:52:59	NorthWest	141.61286	42.648933	10.268282	550236.761076	4722012.6021
2015/1/27 0:53:46	NorthWest	141.620974	42.684615	13.669604	550872.736367	4725979.7541

1577件検索結果中、1-1000件を表示しています。 << 前 1 / 2 次 >>

図 4.3-15 振源・震源情報一覧



注) 検索・抽出した地震を時系列で表示する。縦軸はマグニチュード。横軸のスケールは、大、中、小の選択が可能

図 4.3-16 時系列振源・震源分布図

(7) 振源・震源決定結果を用いた解析機能

振源・震源検索画面(図 4.3-13 参照)において検索条件を指定することにより「振源・震源決定結果データベース」から条件に該当する振源・震源を検索・抽出し、表 4.3-8 に示す 4 種類の表示が可能である。図 4.3-17~図 4.3-20 に各表示機能による表示例を示す。表示結果は Microsoft Word ファイルとして出力可能であり、文書ファイル(PDF、Microsoft office ファイル等)として、属性情報(作成者、種別、タイトルおよび説明)とともにデータ保管サーバーのデータベース*26)での管理、属性情報による検索が可能である。

表 4.3-8 振源・震源決定結果を用いた各種表示機能

表示機能	内容
空間的発生頻度分布	微小振動、自然地震の発生回数(度数)をグリッドごとに棒グラフとして鳥瞰的に表示 <ul style="list-style-type: none"> ・分割グリッドの数は東西・南北ともに 1~100 の間で設定可能 ・表示視点(鳥瞰視点)は、南西/南東/北東/北西の 4 種から選択が可能 ・表示最大度数は、自動設定と任意設定の選択が可能 自動設定:表示最大度数は、最も大きな度数のグリッドの度数 任意設定:表示最大度数は、設定された度数(表示最大度数を超えるグリッドの度数は表示最大度数として表示)
規模別発生頻度分布	横軸をマグニチュード、縦軸に地震の発生数を表示 <ul style="list-style-type: none"> ・横軸(マグニチュード)の表示範囲は検索条件として設定された最小マグニチュードから最大マグニチュード ・横軸の表示幅の単位は 1 (例:表示 1 は、1 以上 2 未満を示す) ・縦軸にはリニアスケールと対数スケールの選択が可能 ・縦軸の表示最大度数は、自動設定と任意設定の選択が可能 自動設定:表示最大度数は、最も大きな度数の表示幅の度数 任意設定:表示最大度数は、設定された度数(表示最大度数を超える表示幅の度数は表示最大度数として表示)
時系列発生頻度分布	横軸を時間(日単位)、縦軸に地震の発生数を表示 <ul style="list-style-type: none"> ・横軸の表示範囲は設定された期間 ・横軸の表示幅の単位は 1 日 ・縦軸にはリニアスケールと対数スケールの選択が可能 ・縦軸の表示最大度数は、自動設定と任意設定の選択が可能 自動設定:表示最大度数は、最も大きな度数の表示幅の度数 任意設定:表示最大度数は、設定された度数(表示最大度数を超える表示幅の度数は表示最大度数として表示)
振源・震源の三次元分布	検索・抽出された振源・震源を圧入地点(萌別層圧入地点と滝ノ上層圧入地点の X-Y 平面上の中心)を中心とする東西 10 km×南北 10 km と深さ 10 km の範囲で三次元表示する。 <ul style="list-style-type: none"> ・表示範囲内の拡大、縮小、回転が可能(表示範囲は固定) ・震源位置と地表面との位置関係を明確にするため地形面の選択表示が可能。

*26) 文書管理データベースでは、震源分布検討結果に限らず、画面のキャプチャーや一般的なレポート等の文書ファイルも管理できる。

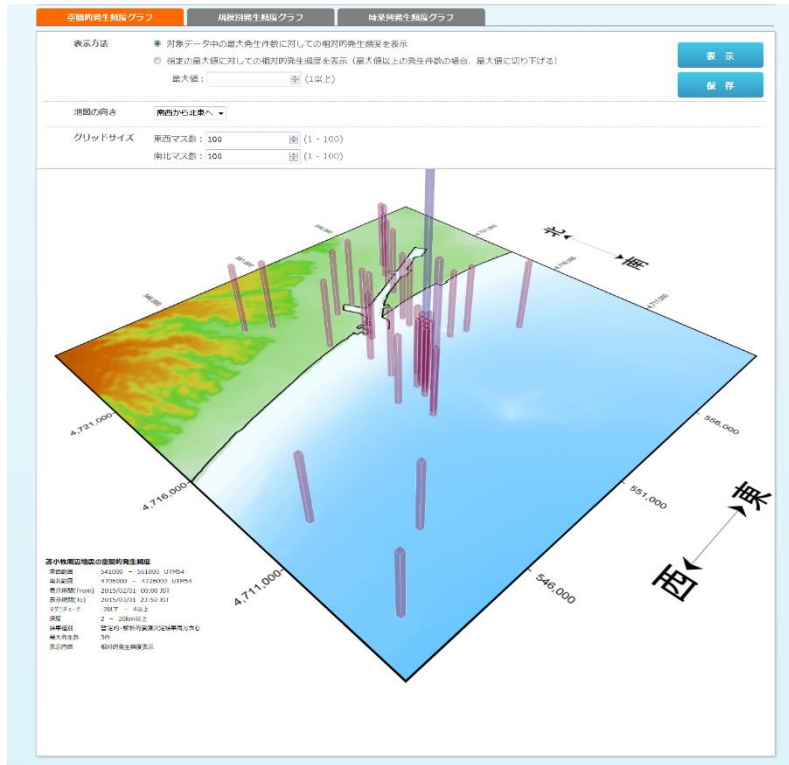


図 4.3-17 空間的発生頻度分布の表示例 (仮データを使用)

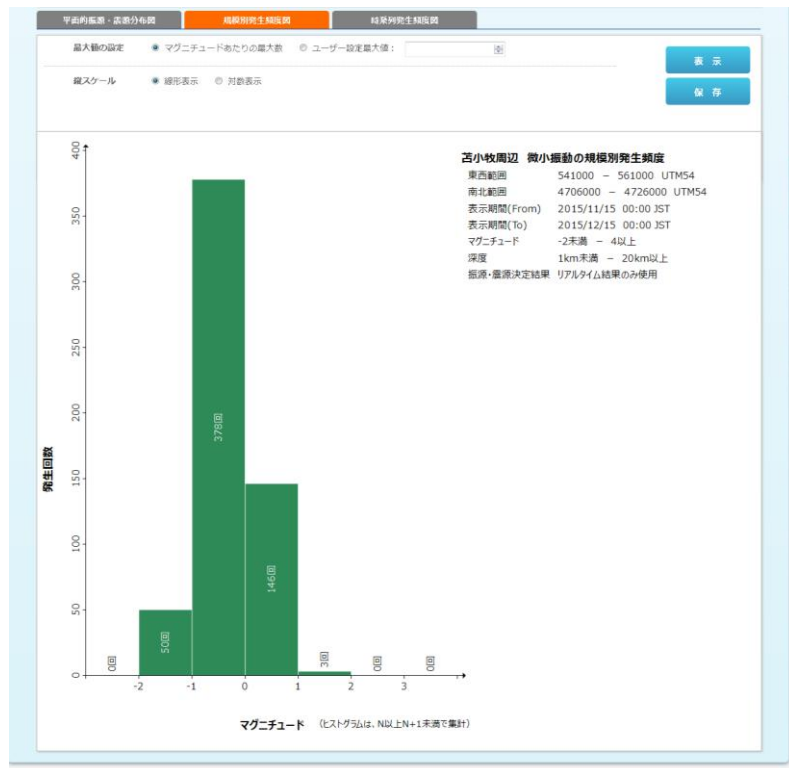


図 4.3-18 規模別発生頻度分布の表示例 (仮データを使用)

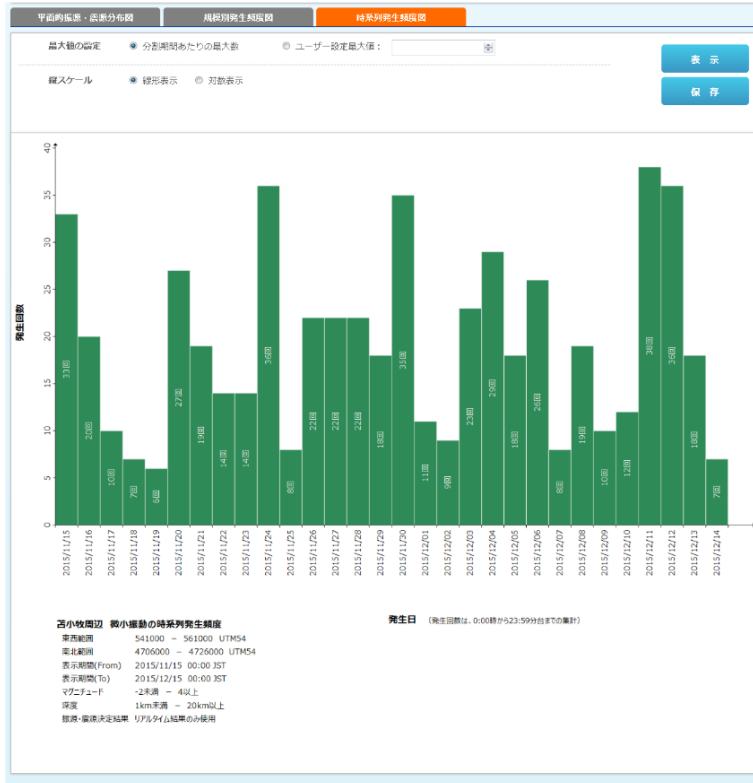


図 4.3-19 時系列発生頻度分析結果図 (仮データを使用)

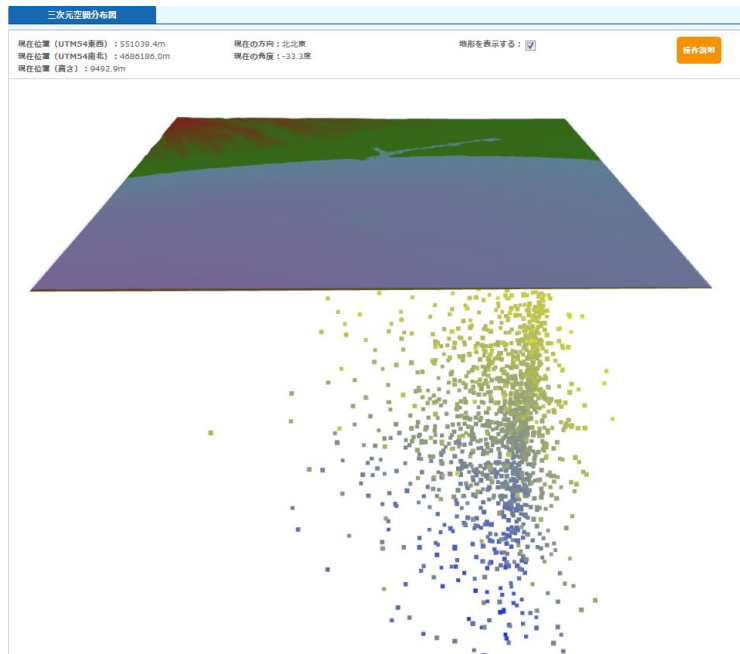


図 4.3-20 振源・震源の三次元分布の表示例 (仮データを使用)

4.3.2 総合モニタリングシステムの動作状況の監視と保守点検

総合モニタリングシステムの円滑な運用のため、定期的に専用回線を利用した遠隔監視と現地保守点検を実施した。また、総合モニタリングシステムが有する週報作成機能と月報作成機能を利用して各観測データの取得状況を週単位と月単位で出力した。さらに、適宜、バックアップの作成作業を実施した。

(1) 遠隔監視

専用回線を利用した遠隔監視を、実施実績を表 4.3-9 に示すように、週 1 回実施した。遠隔監視では、図 4.3-21 に示すチェックリストを用いて、総合モニタリングシステムを構成するハードウェアの通信状況、OS および搭載しているソフトウェアの稼働状況、リアルタイム観測（常設型 OBC、観測井モニタリングおよび圧入井モニタリング）のデータ取得・欠測状況および Hi-net データの取得状況（定期的にアクセスしてデータをダウンロードする）を確認した。

表 4.3-9 遠隔監視実施実績（2023 年 4 月～2024 年 3 月）

実施月	遠隔監視実施日	実施月	遠隔監視実施日
4 月	3 日、10 日、17 日、24 日	10 月	2 日、10 日、16 日、23 日、30 日
5 月	2 日、8 日、15 日、22 日、30 日	11 月	6 日、13 日、20 日、27 日
6 月	5 日、12 日、19 日、26 日	12 月	4 日、11 日、18 日、25 日
7 月	3 日、10 日、18 日、24 日	1 月	5 日、9 日、15 日、22 日、29 日
8 月	7 日、14 日、21 日、28 日	2 月	5 日、13 日、19 日、26 日
9 月	4 日、11 日、19 日、25 日	3 月	4 日、11 日、18 日、25 日

苫小牧CCS実証試験
総合モニタリング・システム保守チェックリスト

日本CCS調査株式会社

総合モニタリング・システム 保守作業チェックリスト [更新 2024年3月4日]
遠隔保守作業(ハードウェア、ソフトウェア稼働確認)

年月日	点検対象装置	点検項目	点検結果と対応	備考
3/4	データ変換 サーバ1	通信	OK	
		OS	OK	
		ソフトウェア	OK	
3/4	データ変換 サーバ2	通信	OK	
		OS	OK	
		ソフトウェア	OK	
3/4	データ保管 サーバ	通信	OK	
		OS	OK	
		ソフトウェア	OK	
3/4	大容量 ストレージ	HDD	OK	
3/4	基地内 制御用端末	通信	OK	
		OS	OK	

遠隔保守作業(データ取得状況確認)

年月日	点検対象装置	点検項目	点検結果と対応	備考
3/4	稼働確認1	リアルタイム データ取得	OK	
3/4	稼働確認2	非リアルタイム データ取得 (Hi-net)	OK	
	稼働確認3	データ取得欠 損状況把握	添付の総合モニタリング・システ ム出力の週報を参照	

図 4.3-21 遠隔監視時に使用したチェックリストの例

(2) 現地保守点検

現地点検は、1箇月に1回程度の頻度で計画し、2023年5月29日、6月26日～27日、7月24日～25日、8月21日～22日、9月20日～21日、10月25日～26日、11月22日、12月18日～19日、2024年1月31日、2月5日、3月18日の計11回実施した。現地保

守点検では、図 4.3-22 に示すチェックリストを用いて、当センターに設置されている各種サーバー、大容量ストレージをはじめとする周辺機器等について、目視による異常の有無の確認、ケーブル接続状況の確認、アーカイブテープの作成、圧入井データロガーの状況確認、各機器の清掃等の現地点検を実施した。

総合モニタリング・システム 保守作業チェックリスト [更新 2024年3月18日]
 現地保守作業

年月日	点検対象装置	点検項目	点検結果と対応	備考	清掃
3/18	データ変換 サーバ1	外観	OK		済
3/18	データ変換 サーバ2	外観	OK		済
3/18	データ保管 サーバ	外観	OK		済
3/18	大容量 ストレージ	外観	OK		済
3/18	基地内 制御用端末	OS	OK		済
		外観	OK		済
3/18	外部モニター	表示	OK		済
3/18	DCS、 圧入井データ 入出力装置	OS	OK		済
		外観	OK		済
3/18	ケーブル類	外観/破損	OK		済
3/18	ラック スイッチング ハブ ルーター	外観	OK		済

年月日	点検対象装置	点検項目	点検結果と対応	備考	清掃
3/18	圧入井ロガー	外観	OK	<ul style="list-style-type: none"> ・ロガー点検のため、データ取込プロセスを一時停止 ・圧入井ロガーのバッテリーを予備機と交換 	済

図 4.3-22 現地保守点検時に使用するチェックリストの例

(3) アーカイブテープの作成

アーカイブテープの作成においては、図 4.3-23 に示すアーカイブテープ作成作業チェックリストにより、アーカイブテープの対象データ、対象期間、テープ管理番号およびテープバーコードラベル番号を照合した。なお、対象データは、常設型 OBC のデータサイズが大きいため、常設型 OBC とそれ以外（観測井地震計、観測井温度計・圧力計（FBG）、観測井圧力計（半導体）、観測井温度計・圧力計（PPS26）、観測井 DTS、圧入井温度計・圧力計、Hi-net の各観測データ）の 2 種類としている。表 4.3-10 にアーカイブテープの作成実績を示す。

総合モニタリング・システム 保守作業チェックリスト [更新 2024 年 3 月 14 日]
 ト アーカイブテープ作成作業チェックリスト

テープ情報

対象データ	対象期間	テープ 管理番号	テープ バーコードラベル番号
全データ	2024/01/01-2024/01/31	#010112	#001130

作業チェックリスト

年月日	作業項目	実施確認	備考
3/14	アーカイブ対象ファイル抽出	OK	
	テープメディア ラベル添付		
3/14	テープ書き込み	OK	
3/14	アーカイブ済 データファイル DB 登録	OK	
	アーカイブテープ回収・送付		データ公開システム登録確認後に実施。

図 4.3-23 アーカイブテープ作成作業チェックリストの例

表 4.3-10 アーカイブテープ作成実績

バーコードラベル	期間	作成日	アーカイブ内容										備考		
			OB-C	陸上構築計	OB-S(有線型)	OB-S(独立型)	OB-1	OB-2	OB-3	IW-1	IW-2	Hi-net		その他	
#001128	2023/03/01-2023/06/30	20231026	○				○	○	○	○	○	○	○		
#001128	2023/03/01-2023/06/30	20231227	○				○	○	○	○	○	○	○		データ不足のため再作成
#001129	2023/07/01-2023/10/30	20231227	○				○	○	○	○	○	○	○		
#001130	2023/11/01-2023/11/30	20231227	○				○	○	○	○	○	○	○		2023年12月以降分を追記予定
#001130	2023/12/01-2023/12/31	20240201	○				○	○	○	○	○	○	○		
#001130	2024/01/01-2024/01/31	20240314	○				○	○	○	○	○	○	○		

(4) 週報の作成

総合モニタリングシステムが有する週報作成機能を利用して週報を作成(出力)した。表 4.3-11 に週報記載事項を示す。図 4.3-24 (1)に週報の表紙(対象期間、観測状況および特記事項を記載)の例を示す。また、図 4.3-24 (2)に週報に記載される欠測状況の例を示す。

表 4.3-11 週報記載事項

週報記載項目	記載内容
対象期間	ユーザーが指定した期間
観測状況	各観測機器の状況(正常/欠測あり/停止等)
発生地震サマリ	ユーザーが指定したマグニチュード
	暫定的振源・震源解析結果の使用/不使用
	期間中に発生した指定規模以上の地震の発生日、地震数と最大地震規模
特記事項	ユーザーが入力した特記事項
振源・震源分布一覧	<ul style="list-style-type: none"> 対象期間 表示規模 振源・震源分布図と断面図(東西と南北)
微小振動と自然地震観測リスト	<ul style="list-style-type: none"> 対象期間 表示規模 期間中に発生した微小振動と自然地震のリスト(発生時刻、マグニチュード、振源・震源)
欠測状況	<ul style="list-style-type: none"> 対象期間 期間中の欠測状況(観測種別、欠測期間)

苫小牧 CCS実証試験 モニタリング測定状況 週報

期間 2024年 3月25日 - 3月31日

観測状況

観測機器		観測状況
常設型OBC		正常観測
OB-1	地震観測	正常観測
	FBG(温度・圧力5)	正常観測
	圧力1-4	正常観測
	DTS	正常観測
OB-2	地震観測	正常観測
	FBG(温度・圧力5)	正常観測
	圧力1-4	正常観測
	DTS	正常観測
OB-3	地震観測	正常観測
	FBG(温度・圧力5)	正常観測
	圧力1-4	正常観測
	DTS	欠測あり (29日に計1件発生)
圧入井温度・圧力		正常観測
圧入井圧入量情報		正常観測
圧入井圧入操業情報		正常観測

微小振動、自然地震観測状況

内容 リアルタイム振源・震源解析結果 使用しない

日	発生回数	最大マグニチュード
2024/03/25	0	-
2024/03/26	0	-
2024/03/27	0	-
2024/03/28	0	-
2024/03/29	0	-
2024/03/30	0	-
2024/03/31	0	-

その他、特記事項

図 4.3-24 (1) 週報の表紙(対象期間、観測状況および特記事項を記載)の例

欠測状況

期間 2024年 3月4日 - 3月10日

観測機器		開始	終了
OB-1	地震観測	2024/03/10 19:39	2024/03/10 19:44
OB-2	温度・圧力5	2024/03/04 13:39	2024/03/04 13:43
OB-2	温度・圧力5	2024/03/05 10:03	2024/03/05 10:12

図 4.3-24 (2) 欠測状況の表示例

(5) 月報

総合モニタリングシステムが有する月報作成機能を利用して月報を作成(出力)した。月報の記載内容を表 4.3-12 に示す。図 4.3-25 (1)に月報の表紙(対象期間および観測状況を記載)の例を示す。また、図 4.3-25 (2)に月報に記載される1箇月間のIW-1(滝ノ上層圧入井)の坑底圧力、温度、1日あたりの圧入量および累積圧入量の経時グラフの例を示す。

表 4.3-12 月報記載事項

月報記載内容	記載内容
対象期間	ユーザーが指定した期間
対象マグニチュード	ユーザーが指定したマグニチュードの範囲
暫定的震源解析結果	ユーザー指定(使用/不使用)
観測状況	観測井温度・圧力測定結果(不具合欠測等の報告)
	圧入井温度・圧力測定結果(不具合欠測等の報告)
対象期間内に苫小牧周辺で発生した微小振動と自然地震に関する報告	振源・震源分布(平面図、東西および南北断面図)
	震央頻度分布(X-Y平面での頻度を三次元的に表示)
	規模別発生頻度分布(横軸:マグニチュード、縦軸:発生数)
経時グラフ	時系列分布(横軸:時間、縦軸:発生数)
	FBG測定温度(OB-1、OB-2およびOB-3)
	OB-1圧力(FBG測定、坑内、坑口、坑口(外圧)、坑口(外外圧))
	OB-2圧力(FBG測定、坑内、坑口)
	OB-3圧力(FBG測定、坑内、坑口、坑口(外圧))
IW-1(温度・圧力、圧入流量、累積圧入量)	
IW-2(温度・圧力、圧入流量、累積圧入量)	

注) 苫小牧周辺とは、GRS80 楕円体を用いた UTM54 座標系において Easting (541,000-561,000 m)、Northing (4,706,000-4,726,000 m) の 20 km×20 km を対象としている。

苫小牧 CCS 実証試験 微小震動観測状況 月報

期間 2024年 03月

対象期間内の振源・震源抽出条件

最低マグニチュード	-
最大マグニチュード	-
リアルタイム振源・震源決定結果	使用しない

観測状況

観測機器	観測状況	
常設型 OBC	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計4分間	
陸上設置地震計	2021/07/09 観測停止	
OBS	アナログ	2021/07/15 観測停止
	デジタル	2021/07/15 観測停止
OB-1	地震観測	欠測発生日数：3、欠測件数：3、欠測時間：計15分間
	FBG(温度・圧力5)	正常観測
	圧力1-4	正常観測
	DTS	正常観測
OB-2	地震観測	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計5分間
	FBG(温度・圧力5)	欠測発生日数：2、欠測件数：2、欠測時間：計13分間
	圧力1-4	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計4分間
	DTS	正常観測
OB-3	地震観測	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計5分間
	FBG(温度・圧力5)	正常観測
	圧力1-4	正常観測
	DTS	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計9分間
圧入井温度・圧力	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計116分間	
圧入井圧入量	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計116分間	
圧入井圧入操業情報	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計116分間	

図 4.3-25 (1) 月報の表紙(対象期間および観測状況を記載)の例

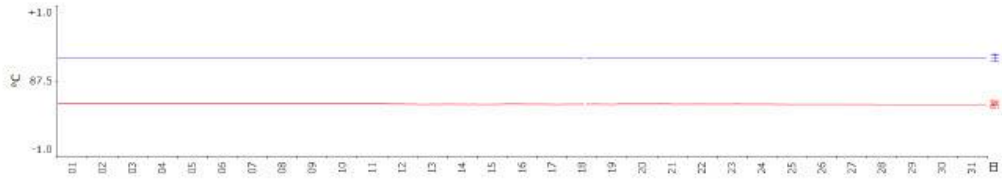
圧入井1 温度・圧力観測結果、圧入量

期間 2024年 03月

圧入井1W-1 温度観測(主、副)

主: 平均: 87.779°C、標準偏差: 0.001°C

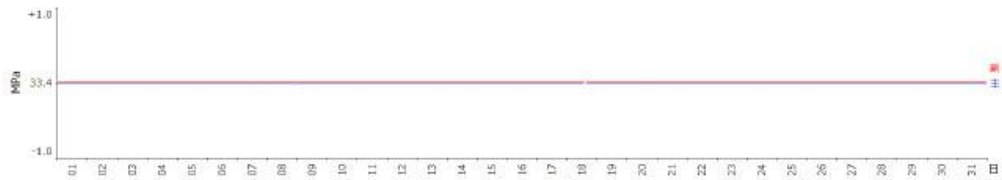
副: 平均: 87.168°C、標準偏差: 0.004°C



圧入井1W-1 圧力観測(主、副)

主: 平均: 33.403MPa、標準偏差: 0.001MPa

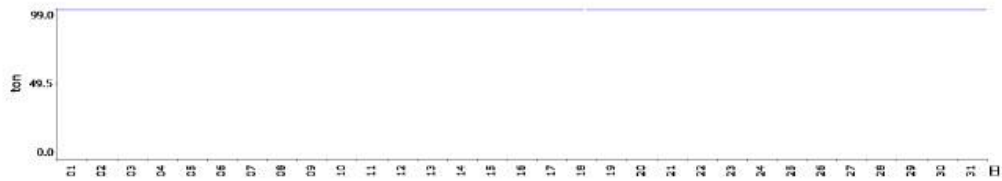
副: 平均: 33.431MPa、標準偏差: 0.001MPa



圧入井1W-1 日あたり圧入量 (平均: 0.000ton、標準偏差: 0.000ton)



圧入井1W-1 累積圧入量



2024年03月

図 4.3-25 (2) 坑底温度・圧力、日あたりの圧入量および累積圧入量の経時グラフの例

(6) その他

① 総合モニタリングシステムで発生した障害

2023年度総合モニタリングシステムに関連する障害、およびこれに起因する観測データの欠損等は発生しなかった。

4.4 微小振動・自然地震モニタリング

2022年度に引き続き、圧入停止後の微小振動・自然地震モニタリングを実施した。対象データは、2023年4月1日～2024年3月31日の期間中に観測されたモニタリングデータおよびモニタリング対象領域周辺のHi-netデータである。対象領域は図4.4-1に示す微小振動モニタリング範囲、および図4.4-2に示す自然地震モニタリング範囲とした。震源推定には4.3節の総合モニタリングシステムを用いて、対象領域内かつマグニチュード-0.5以上、深度50km以下と推定されたイベントを最終的なモニタリング対象とした。

4.4.1 モニタリング実施状況

2022年度と同様、基本となる作業期間を1週間として、期間中に自動検知したイベント候補(振幅異常)について、ノイズイベントの除外、各波形の初動時刻読み取り値の確認および調整を経て、振源・震源位置を推定した。推定した振源・震源情報は総合モニタリングシステムのデータベースに逐次登録した。

これらの結果を1箇月単位で集約して月報形式で取りまとめた。月ごとに集計されたイベントのうち、予め設定した以下の条件を満たす振源・震源情報を、苫小牧市役所に設置したモニターおよび当社Webサイトで公開した(詳細は4.6節に記載)。

- 1) 振源・震源位置が微小振動モニタリング範囲内かつ深度50km以下
- 2) マグニチュード-0.5以上



図 4.4-1 微小振動モニタリング対象範囲 (南北約 6km × 東西約 6km)

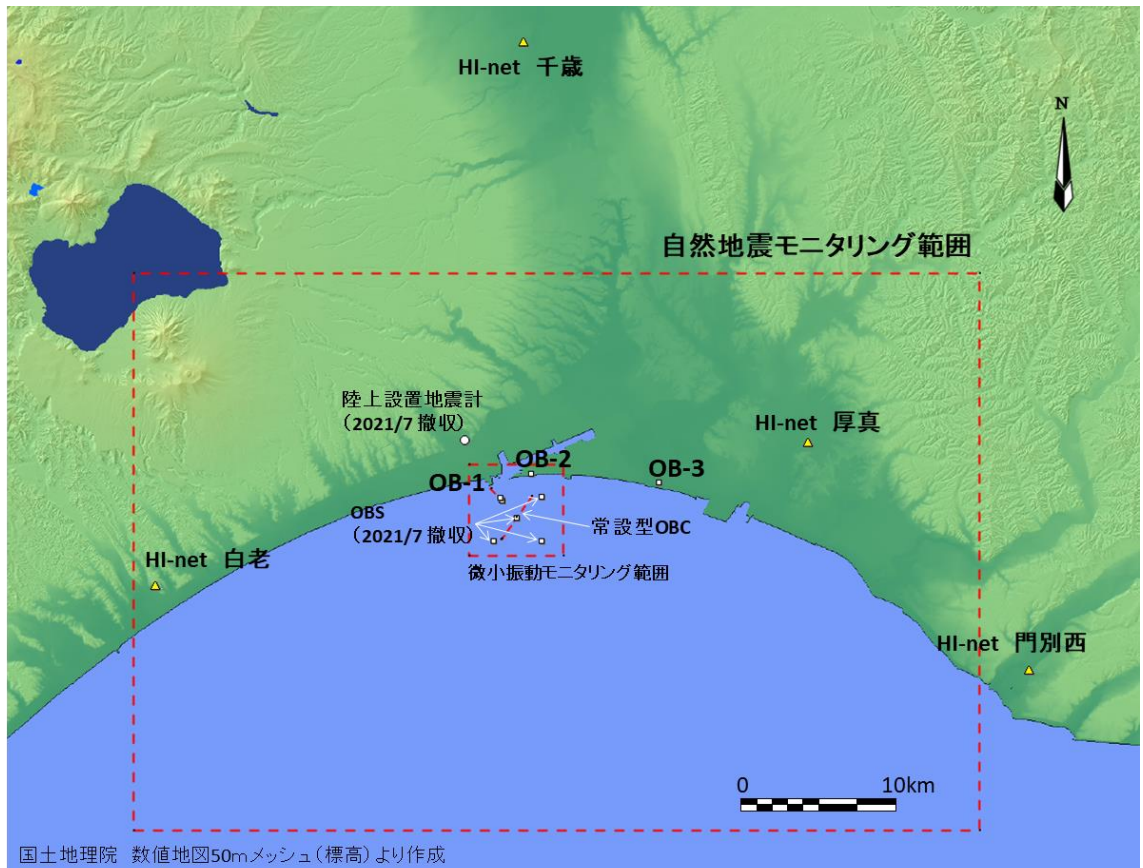


図 4.4-2 自然地震モニタリング対象範囲 (南北約 37km × 東西約 55km)

4.4.2 モニタリング結果

(1) 週次集計

表 4.4-1 (1)~(3)に各週のモニタリング結果を示した。

(2) 月次集計

上記(1)のモニタリング結果を1箇月ごとに集計し、振源・震源分布図に特記事項を付して月報形式で取りまとめた。図 4.4-3 (1)~(12)に2023年4月~2024年3月の各月の月報(月次集計)を示した。

表 4.4-1 (1) 2023年4月1日~2024年3月31日のモニタリング結果 (1/3)

期間	微小振動モニタリング範囲内イベント	自然地震モニタリング範囲内イベント	備考
4/1~4/1	0	0	
4/2~4/8	0	10	観測井 OB-1 メンテナンス作業
4/9~4/15	0	11	観測井 OB-1 メンテナンス作業
4/16~4/22	0	20	観測井 OB-2 メンテナンス作業
4/23~4/29	0	5	観測井 OB-1 チェックショット作業 観測井 OB-2 チェックショット作業 観測井 OB-3 チェックショット作業
4/30~5/6	0	6	常設型 OBC 不具合による欠測
5/7~5/13	0	9	常設型 OBC 不具合による欠測
5/14~5/20	0	18	
5/21~5/27	0	7	
5/28~6/3	0	9	観測井 OB-2 不具合による欠測
6/4~6/10	0	12	
6/11~6/17	0	10	
6/18~6/24	0	12	
6/25~7/1	0	8	

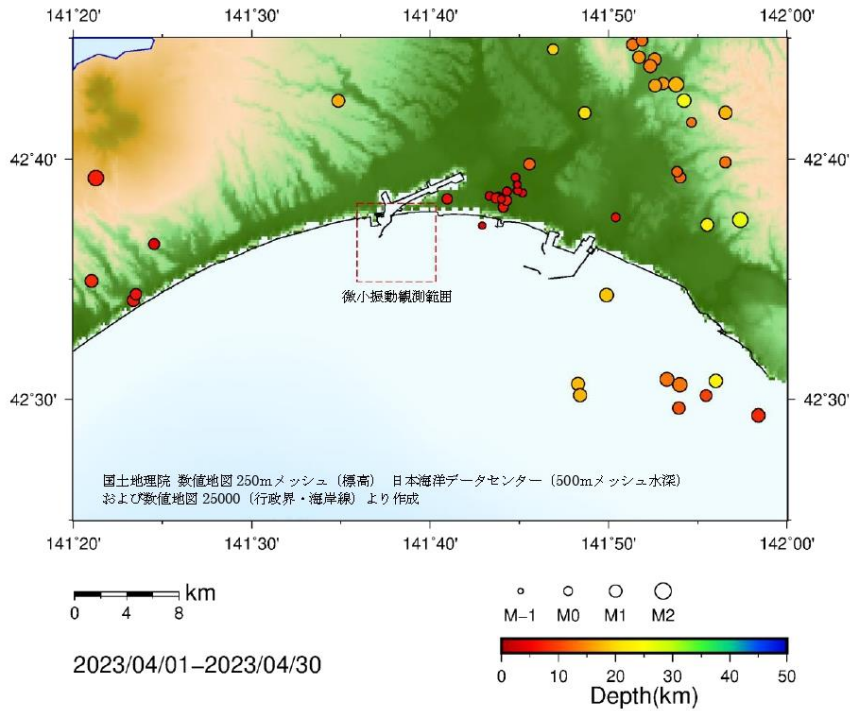
表 4.4-1 (2) 2023年4月1日~2024年3月31日のモニタリング結果 (2/3)

期間	微小振動モニタリング範囲内イベント	自然地震モニタリング範囲内イベント	備考
7/2~7/8	0	12	
7/9~7/15	0	7	
7/16~7/22	0	10	
7/23~7/29	0	4	
7/30~8/5	0	5	
8/6~8/12	0	4	
8/13~8/19	0	16	
8/20~8/26	0	14	
8/27~9/2	0	8	
9/3~9/9	0	14	
9/10~9/16	0	17	
9/17~9/23	0	20	
9/24~9/30	0	9	
10/1~10/7	0	10	
10/8~10/14	0	12	
10/15~10/21	0	20	観測井 OB-3 メンテナンス作業
10/22~10/28	0	28	観測井 OB-3 メンテナンス作業 観測井 OB-1 チェックショット作業 観測井 OB-2 チェックショット作業 観測井 OB-3 チェックショット作業
10/29~11/4	0	9	

表 4.4-1 (3) 2023年4月1日~2024年3月31日のモニタリング結果 (3/3)

期間	微小振動モニタリング範囲内イベント	自然地震モニタリング範囲内イベント	備考
11/5~11/11	0	13	
11/12~11/18	0	24	
11/19~11/25	0	16	
11/26~12/2	0	2	
12/3~12/9	0	8	
12/10~12/16	0	11	
12/17~12/23	0	6	観測井 OB-3 不具合による欠測
12/24~12/30	0	4	
12/31~1/6	0	11	
1/7~1/13	0	8	
1/14~1/20	0	16	
1/21~1/27	0	6	
1/28~2/3	0	6	
2/4~2/10	0	5	
2/11~2/17	0	7	
2/18~2/24	0	10	
2/25~3/2	0	8	
3/3~3/9	0	6	
3/10~3/16	0	17	
3/17~3/23	1	13	3/20 22:43 頃、微小振動モニタリング範囲内で1件のイベントを検知(推定深度 5.15km、M0.59)
3/24~3/30	0	10	
3/31~3/31	0	0	

苫小牧地点における CCS 大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2023年4月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード-0.5 以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2023年4月1日~4月30日、深度 50km 以浅、マグニチュード-0.5 以上)

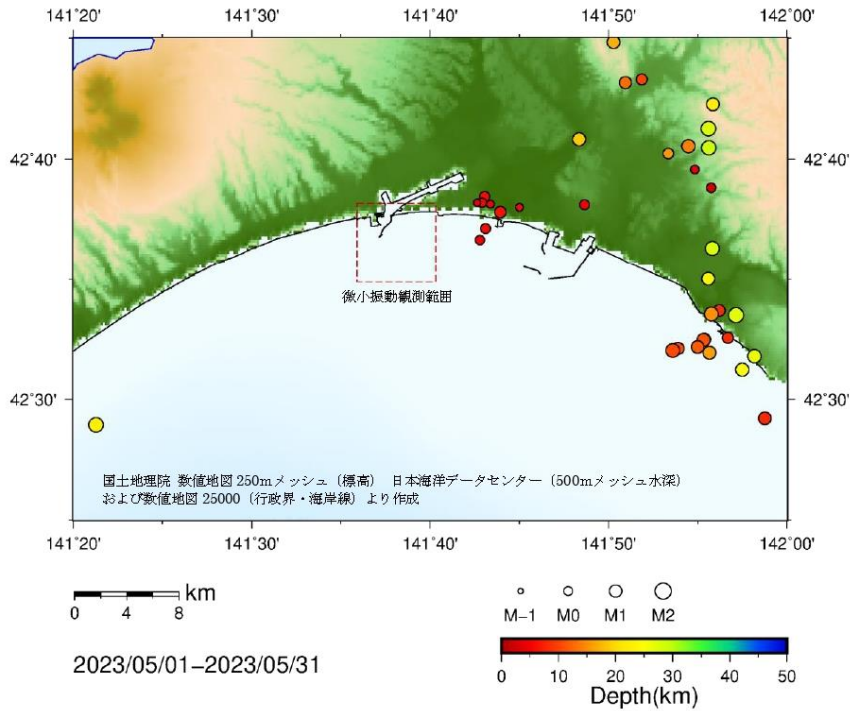
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	48	
範囲外	188	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 4/15 4:35 に微小振動観測範囲付近 (勇払付近) で 1 件のイベントを検知した。震源深度は約 5.95km、マグニチュードは 0.38 と推定された。また OB-3 付近のイベントを多く検知した。

図 4.4-3 (1) モニタリング結果月報 (2023 年 4 月)

苫小牧地点におけるCCS大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2023年5月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2023年5月1日~5月31日、深度 50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

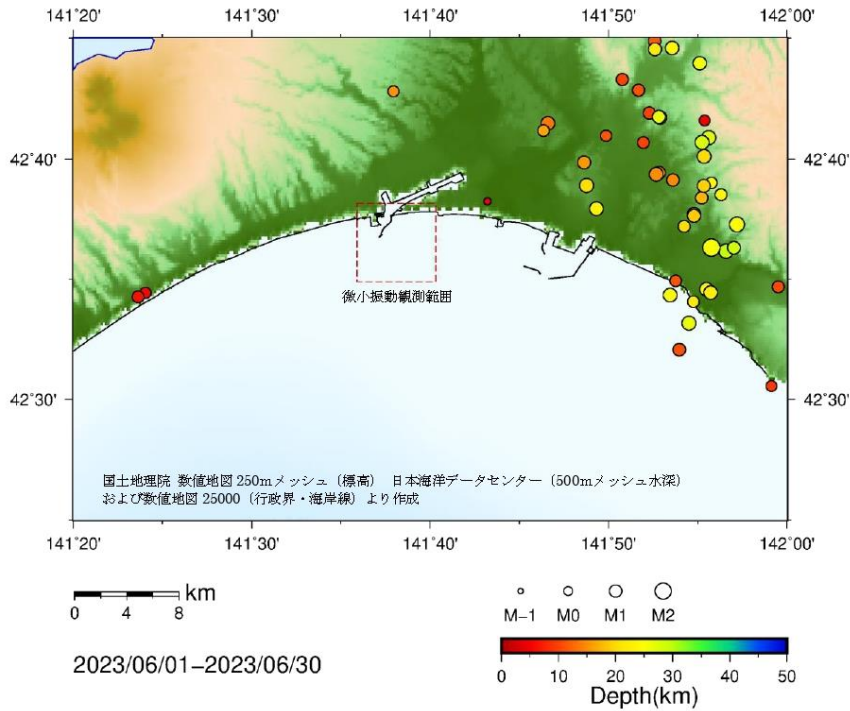
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0 (*)	(*) マグニチュード0.5 未満の微小振動観測
自然地震観測範囲内	37	範囲内イベント(M=0.83)を1件検知
範囲外	287	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 5/29 8:05 に微小振動観測範囲内で1件のイベントを検知した。震源深度は約 4.06km、マグニチュードは0.83 と推定された (末尾のマグニチュード0.5 未満参考イベントに掲載)。

図 4.4-3 (2) モニタリング結果月報 (2023年5月)

苫小牧地点における CCS 大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2023年6月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード・0.5 以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2023年6月1日~6月30日、深度 50km 以浅、マグニチュード・0.5 以上)

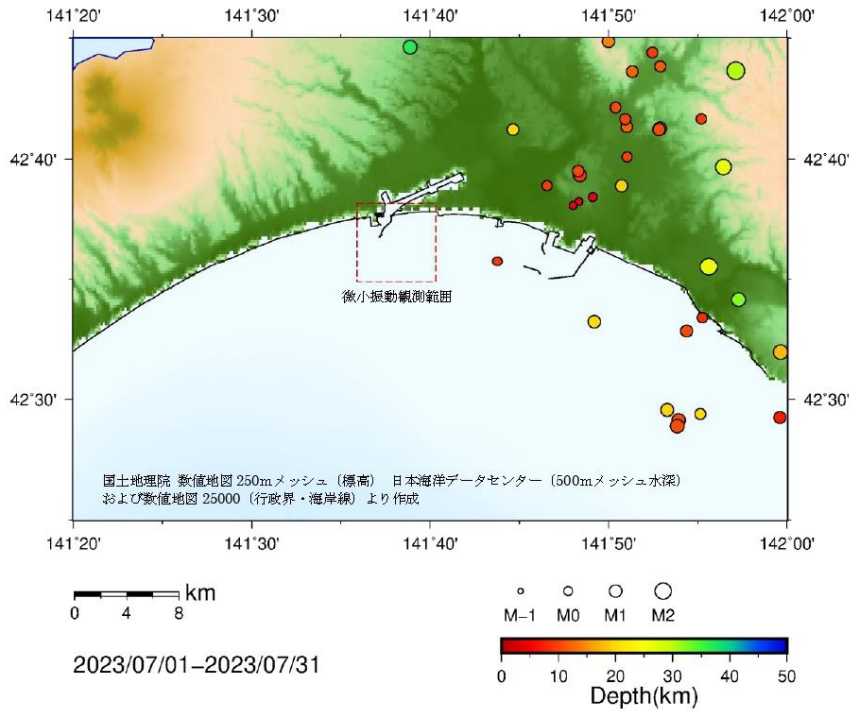
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0 (*)	(*) マグニチュード・0.5 未満の微小振動観測
自然地震観測範囲内	47	範囲内イベントを 2 件検知
範囲外	310	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 6/3 15:32 に微小振動観測範囲内で 1 件のイベントを検知した。震源深度は約 4.06km、マグニチュードは-0.65 と推定された (末尾のマグニチュード・0.5 未満参考イベントに掲載)。
- 6/6 3:52 に微小振動観測範囲内で 1 件のイベントを検知した。震源深度は約 4.43km、マグニチュードは-0.62 と推定された (末尾のマグニチュード・0.5 未満参考イベントに掲載)。

図 4.4-3 (3) モニタリング結果月報 (2023 年 6 月)

苫小牧地点における CCS 大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2023年7月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2023年7月1日~7月31日、深度 50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

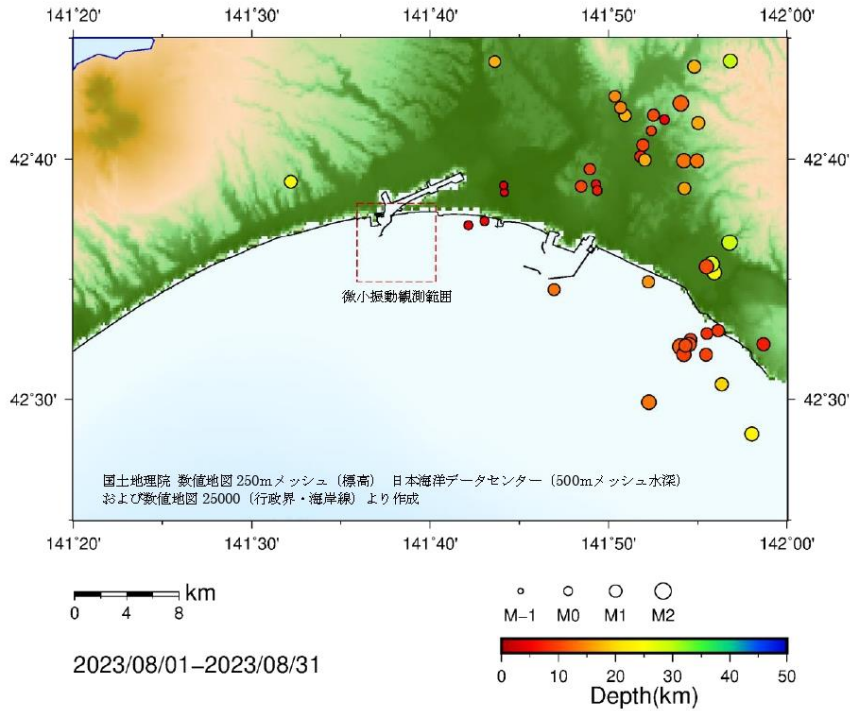
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0 (*)	(*) マグニチュード0.5 未満の微小振動観測
自然地震観測範囲内	34	範囲内イベント(M0.75)を1件検知
範囲外	260	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 7/25 23:52 に微小振動観測範囲内で1件のイベントを検知した。震源深度は約4.22km、マグニチュードは0.75と推定された(末尾のマグニチュード0.5未満参考イベントに掲載)。

図 4.4-3 (4) モニタリング結果月報 (2023年7月)

苫小牧地点における CCS 大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2023年8月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード-0.5 以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2023年8月1日~8月31日、深度 50km 以浅、マグニチュード-0.5 以上)

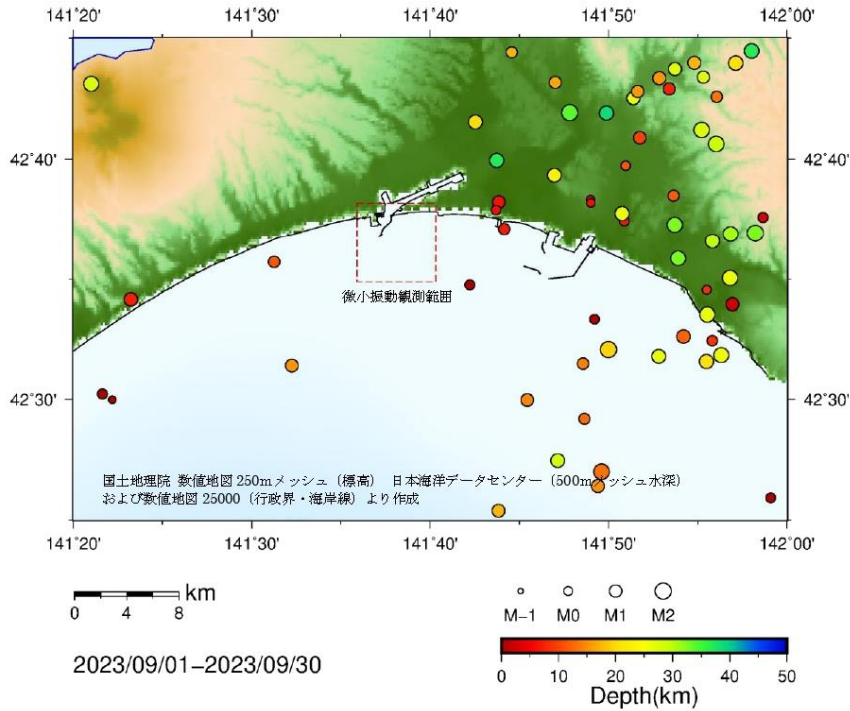
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	44	
範囲外	148	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。

図 4.4-3 (5) モニタリング結果月報 (2023年8月)

苫小牧地点における CCS 大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2023年9月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード-0.5 以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2023年9月1日~9月30日、深度 50km 以浅、マグニチュード-0.5 以上)

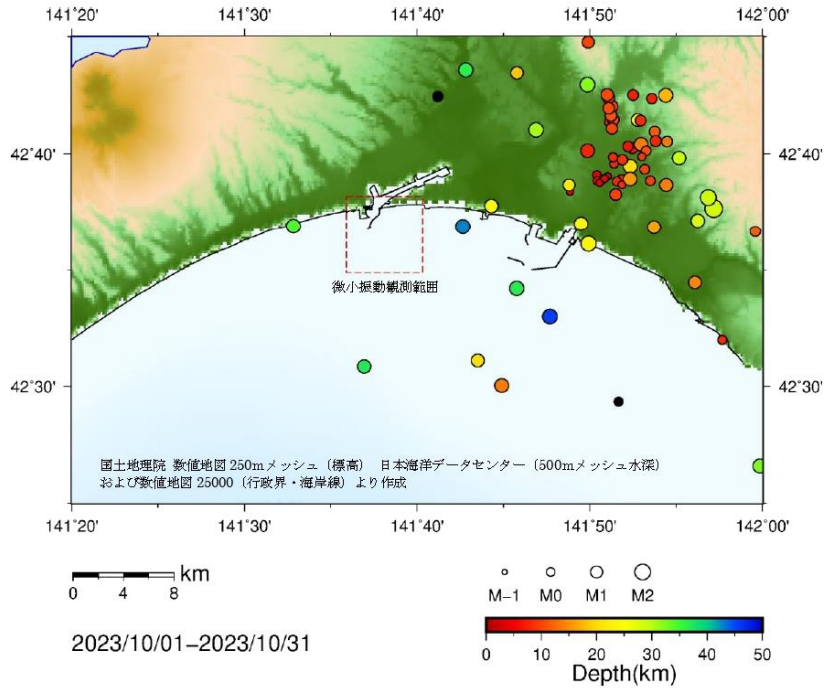
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	61	
範囲外	188	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。

図 4.4-3 (6) モニタリング結果月報 (2023年9月)

苫小牧地点における CCS 大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2023年10月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2023年10月1日~10月31日、深度 50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

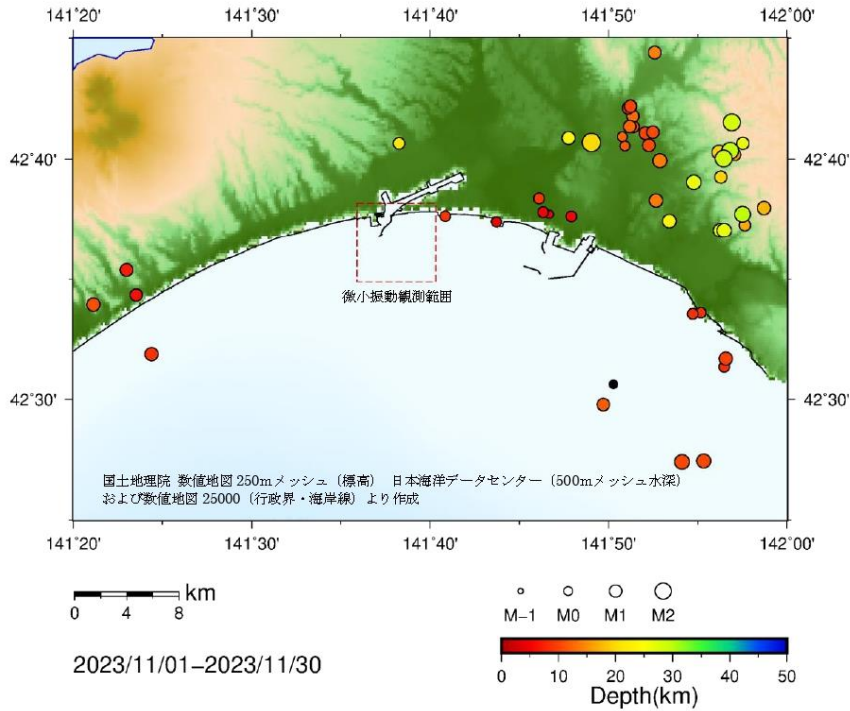
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	左記の他に、自然地震観測範囲内でマグニチュード0.5 未満のイベントを 5 件検知した。
自然地震観測範囲内	70	
範囲外	182	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 気象庁による推定 (一元化震源リスト) で微小振動モニタリング範囲の近く (苫小牧港西港日の出ふ頭付近) とされた 10/18 5:24 (M1.0) の地震は、これより東方の石狩低地東縁断層帯付近に推定された。

図 4.4-3 (7) モニタリング結果月報 (2023 年 10 月)

苫小牧地点における CCS 大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2023年11月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード・0.5 以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2023年11月1日~11月30日、深度 50km 以浅、マグニチュード・0.5 以上)

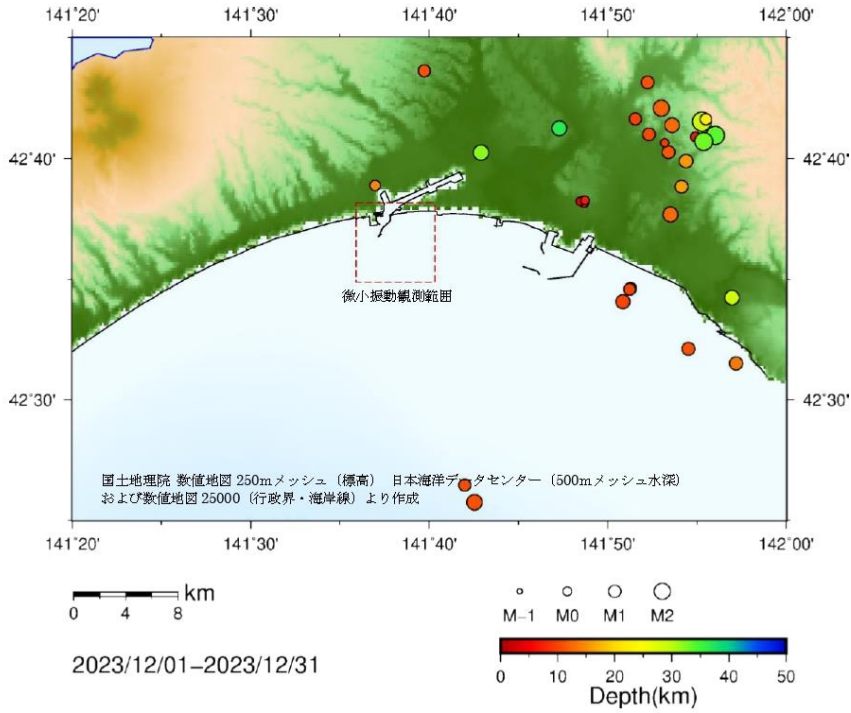
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	左記の他に、自然地震観測範囲内でマグニチュード・0.5 未満のイベントを 8 件検知した。
自然地震観測範囲内	49	
範囲外	171	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 11/2 に微小振動モニタリング範囲外東側の極近傍でイベント (マグニチュード 0.46、深度 8.94km) を検知した。

図 4.4-3 (8) モニタリング結果月報 (2023 年 11 月)

苫小牧地点におけるCCS大規模実証試験
 微小振動・自然地震モニタリング 月報 2023年12月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード-0.5 以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2023年12月1日~12月31日、深度50km以浅、マグニチュード-0.5以上)

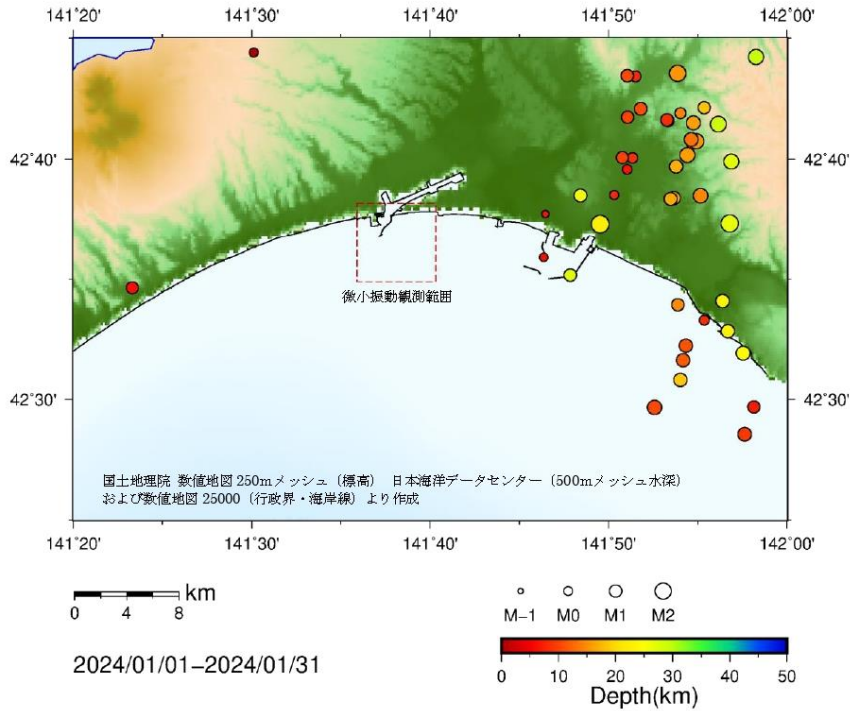
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	32	
範囲外	186	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 12/19に微小振動モニタリング範囲外北側の極近傍でイベント(マグニチュード0.44、深度14.54km)を検知した。

図 4.4-3 (9) モニタリング結果月報 (2023年12月)

苫小牧地点における CCS 大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2024年1月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード-0.5 以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2024年1月1日~1月31日、深度 50km 以浅、マグニチュード-0.5 以上)

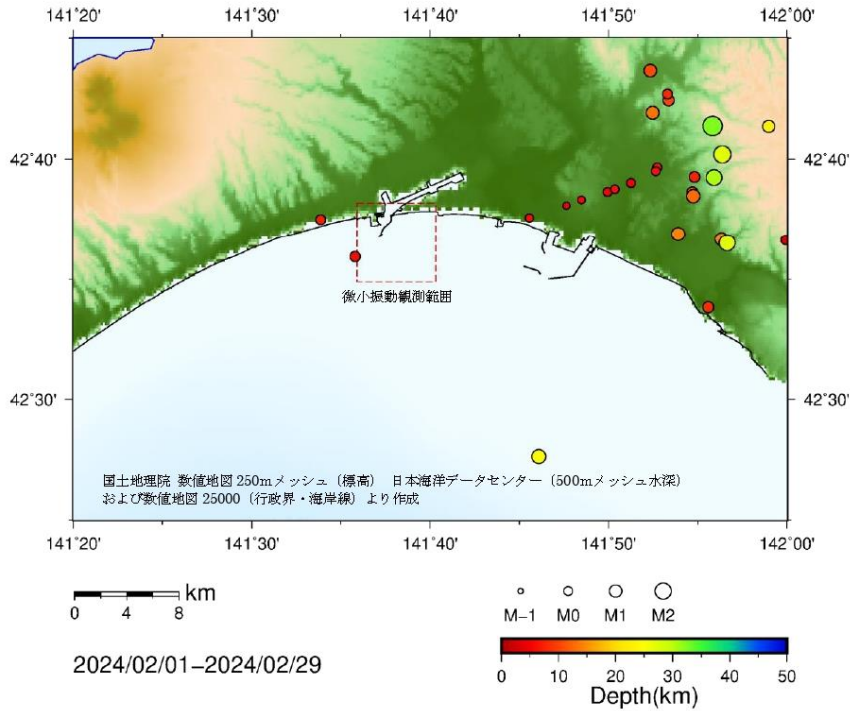
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	44	
範囲外	187	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。

図 4.4-3 (10) モニタリング結果月報 (2024年1月)

苫小牧地点における CCS 大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2024年2月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2024年2月1日~2月29日、深度 50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

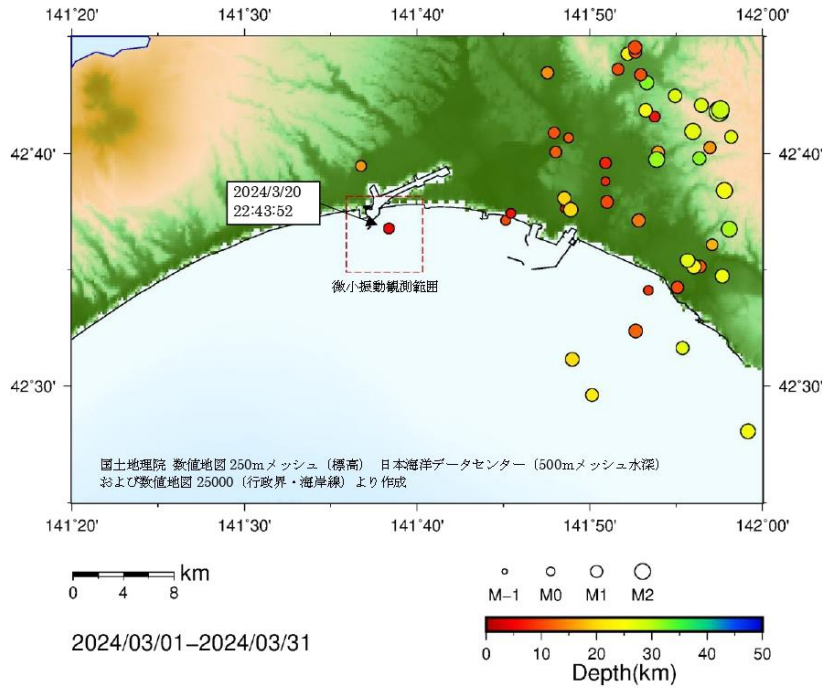
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	左記の他に、自然地震観測範囲内でマグニチュード0.5未満のイベントを1件検知した。
自然地震観測範囲内	27	
範囲外	158	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 2/16に微小振動モニタリング範囲外西側の極近傍で2件のイベントを検知した。
 - ・ 7:45:54、マグニチュード 0.38、深度 6.06km
 - ・ 8:53:22、マグニチュード 0.3、深度 7.31km

図 4.4-3 (11) モニタリング結果月報 (2024年2月)

苫小牧地点におけるCCS大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2024年3月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

图中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2024年3月1日~3月31日、深度 50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

分類	数	備考
微小振動観測範囲内	1 (*)	(*) 左記の他に、微小振動観測範囲内でマグニチュード0.5 未満のイベントを 1 件検知。また自然振動観測範囲内でマグニチュード0.5 未満のイベントを 1 件検知。
自然地震観測範囲内	47 (*)	
範囲外	200	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 微小振動モニタリング範囲内で 2 件のイベント (うち 1 件はマグニチュード0.5 未満) を検知した。
 - ・ 2024/03/20 22:43:52 : マグニチュード 0.59、深度 5.15km
 - ・ 2024/03/25 02:17:01 : マグニチュード 0.65、深度 4.43km

図 4.4-3 (12) モニタリング結果月報 (2024 年 3 月)

4.4.3 2023年度モニタリング結果のまとめ

図 4.4-4 に、2023 年度中に検知したマグニチュード-0.5 以上のイベントのうち、自然地震モニタリング範囲内の深度 50 km 以浅に震源が推定されたイベントの震源分布図を示す。また、2023 年度の微小振動・自然地震モニタリング結果を次のようにまとめた。

- 1) 気象庁 96 件に対して実証試験では 446 件のイベントを検知した。
- 2) 微小振動モニタリング範囲内において 1 件のイベント (2024 年 3 月 20 日) を検知した。震源深度は 4.22 km と圧入地点よりも深い位置に推定されており、圧入とは無関係の極微小地震を検知したものと考えられる。

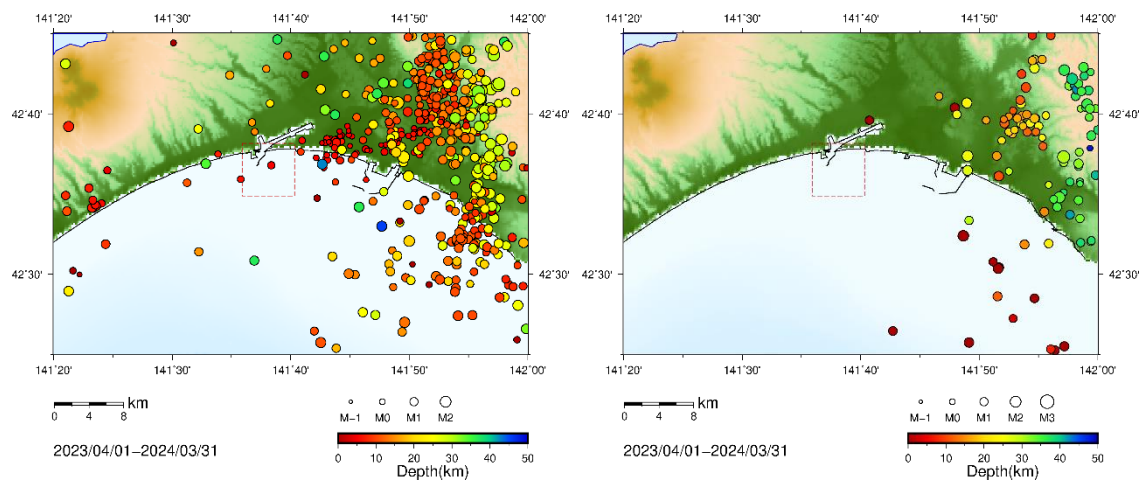


図 4.4-4 2023 年度期間中に自然地震モニタリング範囲内で検知した振源・震源分布
(左：本事業モニタリング結果、右：気象庁一元震源リスト)

4.5 繰り返し弾性波探査

圧入した二酸化炭素の挙動や分布状況を把握することを目的に、繰り返し弾性波探査を実施している。2022年度には、第6回モニター調査を実施し、2024年度には、第7回モニター調査として、小規模三次元調査の実施を予定している。

これまでの繰り返し弾性波探査の実施状況を表4.5-1に示す。圧入に先立つベースライン調査として、2009年度に三次元弾性波探査ベースライン調査（以下、「三次元ベースライン調査」と称する。）、2013年度に二次元弾性波探査ベースライン調査を実施している。圧入期間中と30万t圧入終了後、それぞれの期間で3回ずつのモニター調査を実施している。第2回および第5回モニター調査で実施した三次元調査は、萌別層砂岩層および滝ノ上層火山岩層の2層の貯留層を対象としている。第3回、第4回および第6回モニター調査で実施した小規模三次元調査は、主な貯留層である萌別層砂岩層のみを対象としており、三次元ベースライン調査範囲の北縁部およびそれを北側に拡張した範囲にて実施している。二次元調査は、萌別層砂岩層と滝ノ上層火山岩層のそれぞれの圧入地点直上付近を通る受振測線と、それと平行に複数の発振測線を構成して実施した。二次元調査では、調査の都度設置する通常のOBCに加えて、微小振動・自然地震モニタリングで使用中の常設型OBCも併せて使用した。三次元調査を実施する年度は、常設型OBCのみを使用した（表4.5-1に「常設型二次元調査」と記載）。

モニター調査は圧入停止後も定期的の実施する必要がある、ノイズを抑え二酸化炭素貯留分布を適切に推定することが重要である一方、コスト低減および地元漁業者に対する負荷軽減の観点からは調査範囲は最小限にすることが望ましい。2021年度には、2022年度以降のモニター調査では萌別層のみを対象とすることを前提に、データ取得仕様を最適化した。2022年度には、2021年度に最適化した調査仕様にてモニター調査を実施し、萌別層圧入領域の地点中心部において、プルーム内で二酸化炭素の分布が均一になるように移動する様子を反映したものと考えられる振幅変化を確認した。

2023年度は、データ処理の最適化として、ベースライン記録の更新およびトレース内挿処理の適用による処理結果の品質改善について検討を行った。

表 4.5-1 繰り返し弾性波探査実施状況

開始年月(調査日数)	調査	圧入量
2009年10月(43日間)	ベースライン調査(三次元調査)	圧入開始前
2013年8月(11日間)	ベースライン調査(二次元調査)	圧入開始前
2017年1月(19日間)	第1回モニター調査(二次元調査)	約7千t圧入時
2017年7月(45日間)	第2回モニター調査(三次元調査&常設型二次元調査)	約6.5万t圧入時
2018年9月(27日間)	第3回モニター調査(小規模三次元調査&二次元調査)	約20.7万t圧入時
2020年1月(26日間)	第4回モニター調査(小規模三次元調査&二次元調査)	30万t圧入終了後2ヶ月
2020年7月(35日間)	第5回モニター調査(三次元調査&常設型二次元調査)	30万t圧入終了後8ヶ月
2022年7月(13日間)	第6回モニター調査(小規模三次元調査)	30万t圧入終了後2年8ヶ月

4.5.1 統合ベースライン調査記録の更新

差分抽出処理では、三次元ベースライン調査範囲の外側も評価するために、調査範囲拡張等によりベースラインデータが不足する箇所については第2回モニター調査(2017年度)および第3回モニター調査(2018年度)のうち圧入の影響が及んでいないと考えられるデータを統合して補完することで、新たなベースライン調査(以下、「統合ベースライン調査」と称する。)を構築し、各モニター調査記録との比較を行っている。従来の統合ベースライン調査記録を用いた場合、特に調査範囲拡張部分においてトレース数のギャップが生じており、処理結果も若干ノイズになっており、圧入による変化と4Dノイズとの判断が難しい場合があった。そこで本検討では、トレース数のギャップを埋めるために統合ベースライン調査記録を更新し、従来の統合ベースライン調査記録に第2回モニター調査および第3回モニター調査の調査領域東部の発振記録を追加した。

更新前後の統合ベースライン調査記録それぞれと、各モニター調査記録による差分抽出処理結果の比較として、差分記録のRMS水平分布の比較を図4.5-1に示す。統合ベースライン調査記録の更新により記録の構成を変更した領域に限らず全体的に再現性が向上しており、記録を追加した領域では特に向上の度合いが大きいことがわかる。特に、インライン70、クロスライン290付近に現れていたアノマリーが、いずれの年度との組み合わせにおいても消えており、低重合数に起因する偽像であったことがわかった。

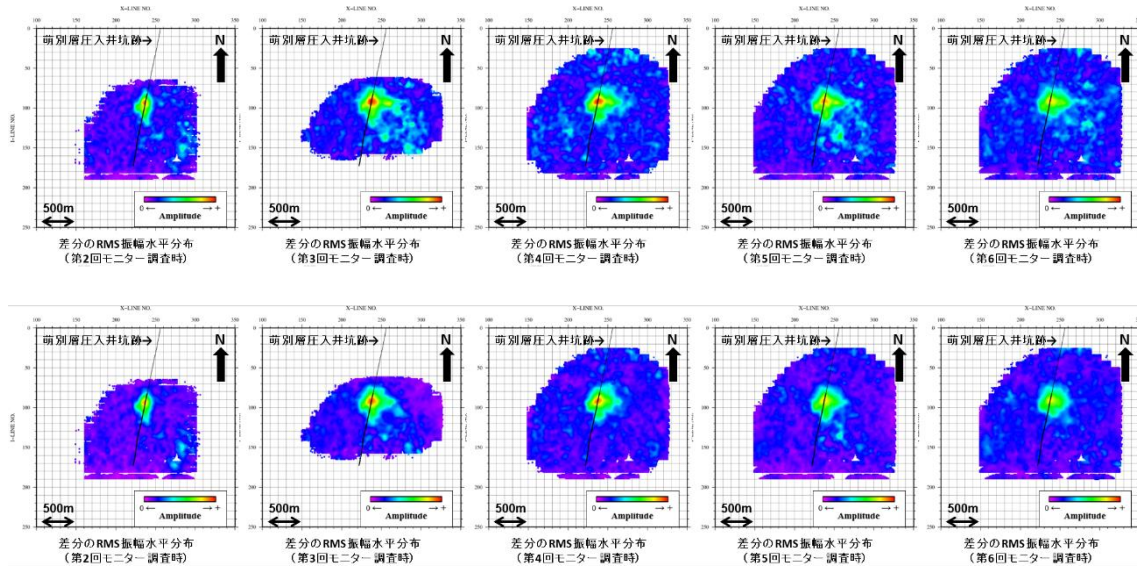


図 4.5-1 統合ベースライン調査記録更新前後の差分抽出処理結果の比較

(上：更新前、下：更新後)

4.5.2 トレース内挿処理の適用

差分抽出処理では、各 CMP ギャザーに対して、ベースライン調査記録とモニター調査記録の双方で共通して存在するトレースのみを残すことにより、各調査間における受振点発振点ジオメトリの違いによる 4D ノイズを除去し、異なる記録間における再現性を向上させている。調査範囲は、圧入領域を包括するように設定しているため、ベースライン調査範囲においては問題ないが、小規模三次元調査範囲への拡張部分など、もともとトレース数が少ない領域においては、トレース数が大きく減少する場合があります、かえって正しく再現性を評価できない場合がある。そこで、本検討では、5D 内挿と呼ばれるトレース内挿処理によりベースライン調査記録とモニター調査記録で共通して存在するトレースを補完した上で差分抽出処理を実施した。

トレース内挿処理適用前後の各モニター調査記録による差分抽出処理結果の比較として、差分記録の RMS 水平分布の比較を図 4.5-2 に示す。調査範囲の西側（インライン 100、クロスライン 170 付近）や南東側（インライン 150、クロスライン 290）においては、アンマリーがやや強調されているものの、統合ベースライン調査における北側拡張部分（インライン 50 全体）や東側拡張部分（クロスライン 290 全体）において、再現性が向上する様子が確認できる。

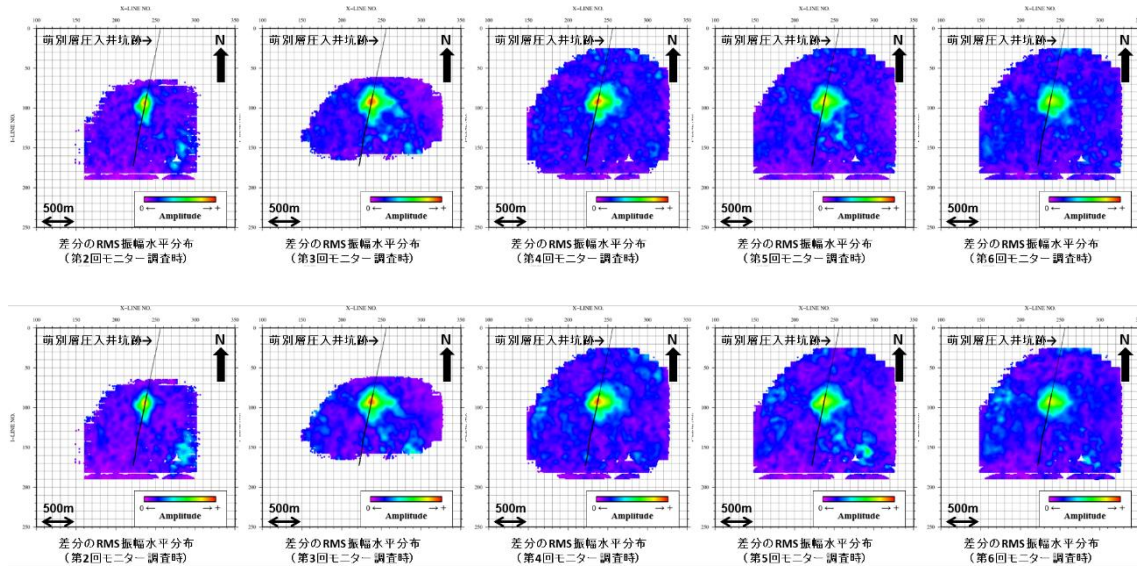


図 4.5-2 統合ベースライン調査記録更新前後の差分抽出処理結果の比較
(上：更新前、下：更新後)

4.5.3 まとめ

2023年度は、データ処理の最適化として、統合ベースライン調査記録の更新と、トレーズ内挿処理の適用を実施した。2022年度処理結果を図 4.5-3 に、2023年度処理結果を図 4.5-4 に示す。統合ベースライン調査記録におけるトレーズ数のギャップが埋まり、特に圧入領域の東側において4Dノイズがより効果的に抑制され、二酸化炭素圧入による変化がより明瞭に確認できるようになった。

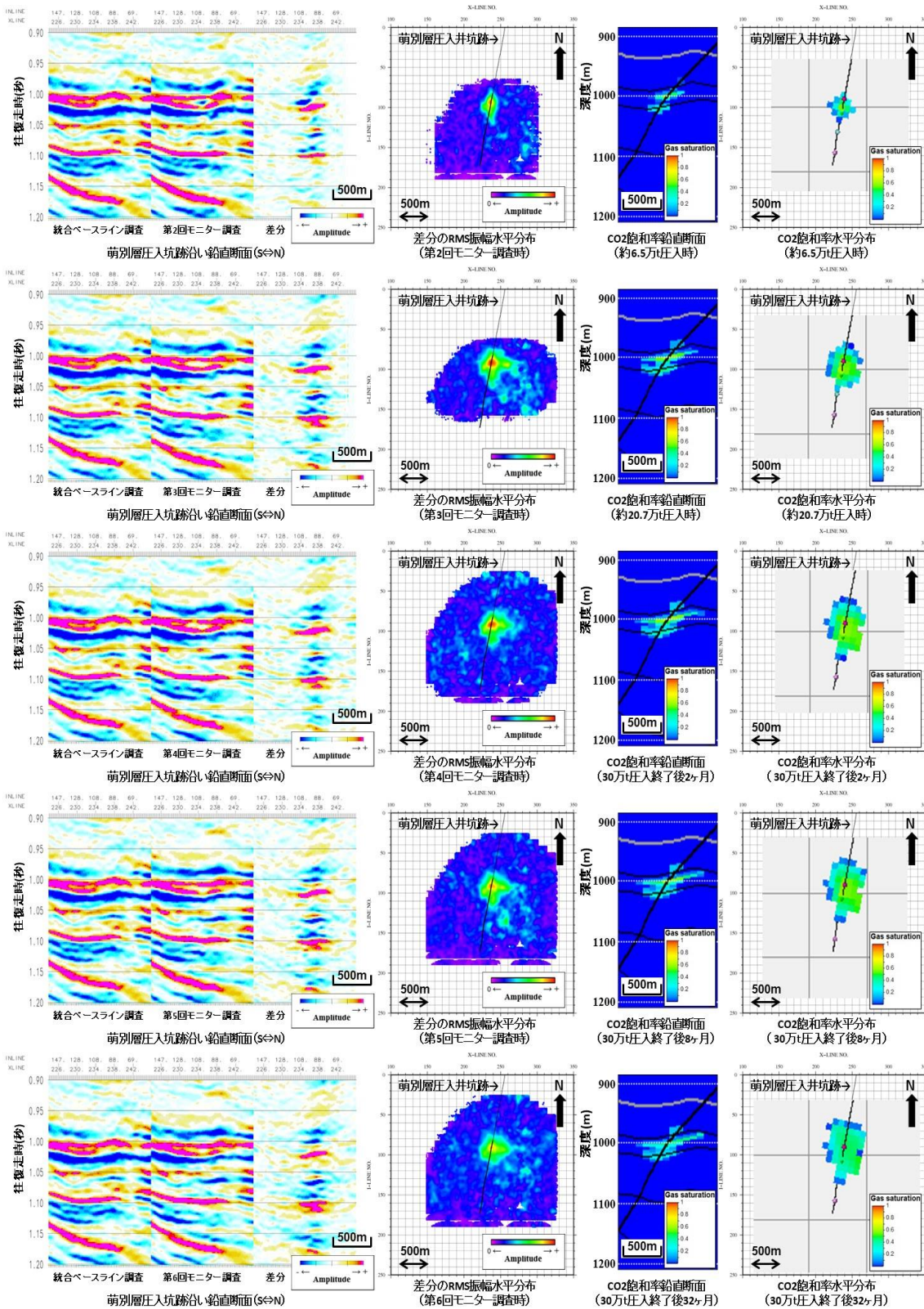


図 4.5-3 2022 年度処理結果 (差分抽出処理結果と貯留層シミュレーション結果の比較)

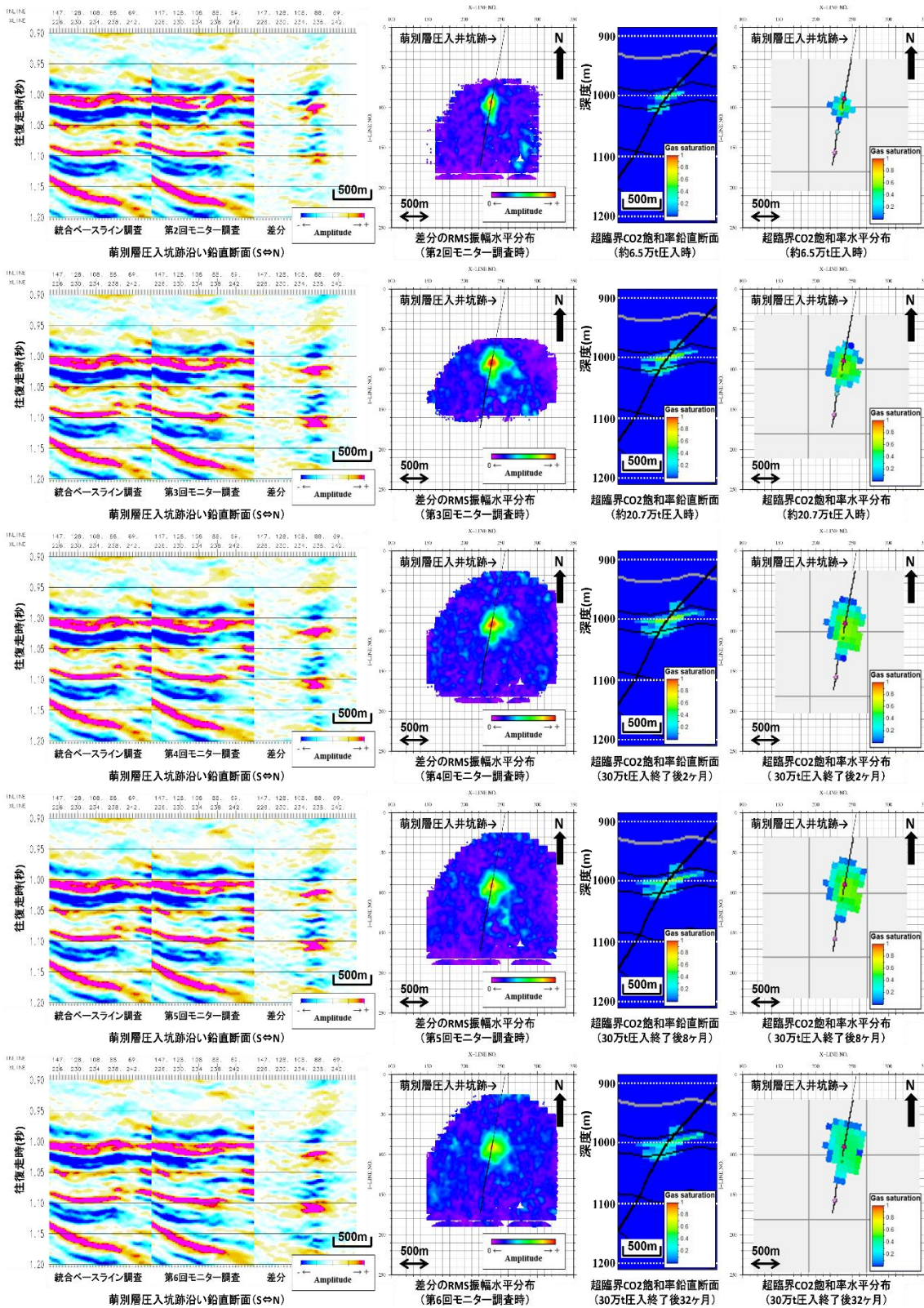


図 4.5-4 2023 年度処理結果 (差分抽出処理結果と貯留層シミュレーション結果の比較)

4.6 モニタリングデータ公開システム

モニタリングデータ公開システムは、情報公開システムとデータ公開システムから成る。情報公開システムは、本事業の進捗状況およびモニタリングの結果を発信することを目的として2016年4月6日に運用開始しており、2023年度も運用を継続した。データ公開システムは、モニタリングにより各観測システムで取得した観測データを提供することを目的としており、2023年度は運用開始に備え、公開用の観測データの整備を実施した。

4.6.1 情報公開システム

情報公開システムでは、モニタリングデータを管理する当センター(総合モニタリングシステム)、情報公開用画面((1)参照)を作成・管理するクラウド内の情報表示用Webサーバー(CMS*1)運用サーバーを兼ねる)およびCMS操作端末の設置場所の3拠点間にVPNを構築しており、インターネット経由で当社のホームページから情報を提供するほか、モバイル回線を利用して2式の情報公開用端末に配信・表示*2)する。図4.6-1に情報公開システムのシステム構成概念図を示す。

情報公開用端末は、制御用PC、モニター、モバイル通信機等により構成されており、大型モニターを含む公開用端末一式と小型モニターを含む公開用端末一式を苫小牧市役所内に設置している。表4.6-1に情報公開用端末の主な仕様を示す。

*1) CMS (content management system) : テキストや画像などのデジタルコンテンツを統合・体系的に管理し、配信など必要な処理を行うコンテンツ管理システム

*2) 当社ホームページと情報公開用モニターで情報公開用画面集を繰り返し表示する。公開用コンテンツを構成する画面の表示時間は、画面毎に設定可能である。

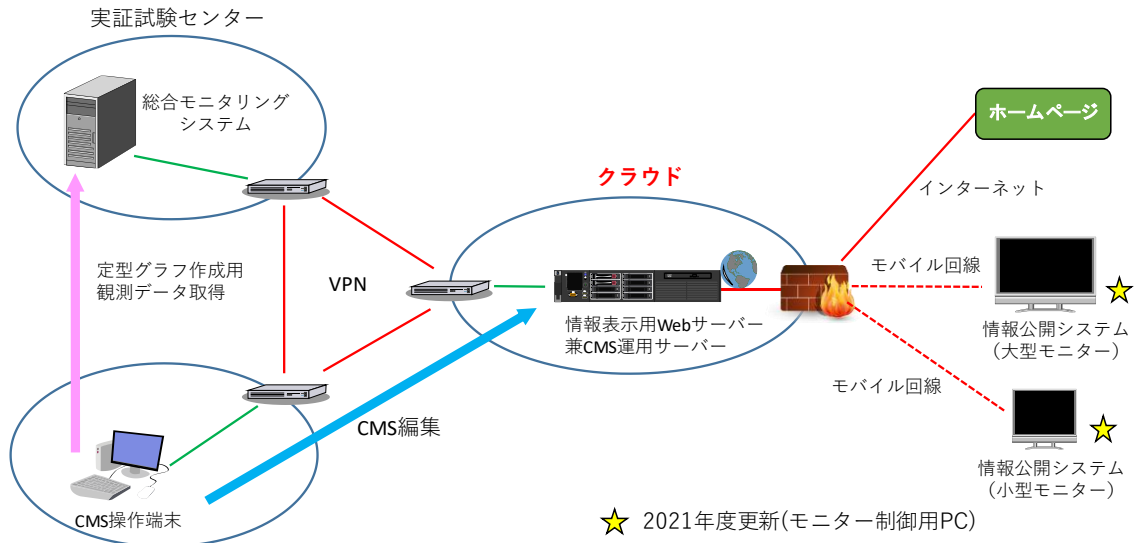


図 4.6-1 情報公開システムのシステム構成概念図

表 4.6-1 情報公開用機器の仕様

セット名	機器	機種 (メーカー)	仕様
大型モニター セット	PC	Endeavor ST190 (EPSON)	Windows 10 Pro Core™ i3-3100T (3.1 GHz) RAM : 4 GB HDD : 500 GB
	モニター	REAL LCD-40ML7 (三菱電機)	40 インチ Full HD (1920 px×1080 px)
	ディスプレイ スタンド	DSS-M32V3 (エス・ディ・エス)	W:600 mm×H:1317 mm×D:630 mm
小型モニター セット	PC	Endeavor ST190 (EPSON)	Windows 10 Pro Core™ i3-3100T (3.1 GHz) RAM : 4 GB HDD : 500 GB
	モニター	LCD-MF211XB (アイ・オー・データ機器)	20.7 インチ Full HD (1920 px×1080 px)

(1) 情報公開用画面

情報公開用画面は表 4.6-2 に示す 19 画面により構成され、画面 1～12 に事業概要の説明（パワーポイントをベースに作成）、画面 13～19 にモニタリング結果（総合モニタリングシステムで管理するモニタリングの結果をもとに CMS を利用して作成した定型のグラフあるいは分布図等）を表示する。画面 12 を除く各画面の右上隅に前日の圧入量と前日までの累積圧入量を表示（毎日更新）するが、2023 年度は圧入を終了しているため、30 万 t 達成したことを表示している。図 4.6-2 (1)～(3)に 2023 年 4 月次の情報公開用画面を示す。

表 4.6-2 情報公開用画面の表示内容

画面番号	表示内容
画面 1	What's New (日本CCS調査(株)からのお知らせ)
画面 2	地球温暖化と将来の気候
画面 3	CCUS の CO ₂ 削減ポテンシャル
画面 4	CCS とは
画面 5	二酸化炭素 (CO ₂) を貯留するには
画面 6	苫小牧実証試験：全体概要
画面 7	実証試験スケジュール
画面 8	苫小牧実証試験：地上設備の位置関係
画面 9	苫小牧実証試験：貯留層と圧入井
画面 10	苫小牧実証試験：CO ₂ 分離・回収・圧入設備の空中写真
画面 11	苫小牧実証試験：CO ₂ 分離回収装置および圧縮装置
画面 12	二酸化炭素 (CO ₂) 圧入量実績 <ul style="list-style-type: none"> 前日の CO₂ 圧入量 (圧入停止中は「圧入停止中」と前日までの累積圧入量) 前月の圧入実績と当該月の圧入計画 圧入開始から前月までの累積 CO₂ 圧入量のグラフ
画面 13	苫小牧実証試験モニタリングネットワーク
画面 14	苫小牧市で観測された直近の有感地震 <ul style="list-style-type: none"> 当該地震の震央位置図 (平面図) 本事業で取得した観測波形 地震情報 (気象庁発表)
画面 15	苫小牧市周辺の自然地震発生状況 <ul style="list-style-type: none"> 直近 1 箇月間に発生した自然地震の震源分布 2001～2010 年の 10 年間に発生した自然地震の震源分布
画面 16	圧入地点周辺で観測された微小振動 <ul style="list-style-type: none"> 圧入前 12 箇月間に観測された微小振動の平面分布 圧入中に観測された微小振動の平面分布 圧入停止後に検出された微小振動の分布平面図 2015 年 2 月 1 日以降の微小振動の検出数 (週単位) の時系列グラフ
画面 17	各坑井で観測された 1 箇月間の圧力の時系列グラフ
画面 18	各坑井で観測された 1 箇月間の温度の時系列グラフ
画面 19	圧入地点周辺の二酸化炭素 (CO ₂) 濃度 (季節観測)

苫小牧CCUS大規模実証試験
2016年4月6日(水)～2016年11月22日(金)
累計CO₂圧入量 300,110 トン

What's New

4月30日(日)
「ゼロカーボン×ゼロゴミ大作戦！」
イベントに出展します！
皆さまのお越しをお待ちしております。

【場所】苫小牧市総合体育館(苫小牧市広町3丁目2-16)
【日時】4月30日(日)9:00～15:00

【内容】
・とまこまい環境EXPOブース(企業・団体による環境PRや体験など)
・エンジョイブース(ワークショップの開催やエコグッズの紹介・販売)
・ハンドメイドブース(ハンドメイド雑貨の販売)
・苫小牧市役所ブース
・スターサインイベント
・キッズカーい出店、次世代自動車展示

※後丹内館入場の場合、上記またはスリッパを履き替える必要があり、会場では使い捨てスリッパの無料販売も行っています。

3/19

画面 1

苫小牧CCUS大規模実証試験
2016年4月6日(水)～2016年11月22日(金)
累計CO₂圧入量 300,110 トン

地球温暖化と将来の気候

IPCC(気候変動に関する政府間パネル)は、第6次報告書の中で「人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない」との結論を出しました。

温暖化を1.5℃で止めるには、今世紀半ばにCO₂排出量を実質ゼロにすることが必要と指摘されています。

3/19

画面 2

苫小牧CCUS大規模実証試験
2016年4月6日(水)～2016年11月22日(金)
累計CO₂圧入量 300,110 トン

CCUSのCO₂削減ポテンシャル

■ 2020年を基準としたCO₂削減量(年平均)の対訳

国際エネルギー機関(IEA)はCCUSによるCO₂削減量を、2030年までに全世界で年間16億トン(1.6Gt)、2050年にはその約5倍の年間76億トン(7.6Gt)にまで増やすことを見込んでいます。

3/19

画面 3

苫小牧CCUS大規模実証試験
2016年4月6日(水)～2016年11月22日(金)
累計CO₂圧入量 300,110 トン

CCSとは

CCSとは、工場や発電所から排出されるガスから二酸化炭素(CO₂)を分離・回収し、地中に貯留することによって、大気中のCO₂放出を抑制する革新的な地球温暖化対策技術です。

4/19

画面 4

苫小牧CCUS大規模実証試験
2016年4月6日(水)～2016年11月22日(金)
累計CO₂圧入量 300,110 トン

二酸化炭素(CO₂)を貯留するには

CO₂を海底下の地中に封じ込めるためには、貯留層とその上部に遮へい層が存在する地質構造が必要です。遮へい層は、貯留層に圧入したCO₂が貯留層から漏れないよう遮へいしています。

5/19

画面 5

苫小牧CCUS大規模実証試験
2016年4月6日(水)～2016年11月22日(金)
累計CO₂圧入量 300,110 トン

苫小牧実証試験:全体概要

製油所の水素製造装置から生成される二酸化炭素(CO₂)を含むガスから、CO₂を分離・回収し、圧入に必要な圧力まで昇圧(最大23MPa)して、年間10万トン規模のCO₂を苫小牧沖の2つの貯留層に圧入貯留します。

6/19

画面 6

苫小牧CCUS大規模実証試験
2016年4月6日(水)～2016年11月22日(金)
累計CO₂圧入量 300,110 トン

実証試験スケジュール(2012年度～)

実証試験期間:2012～2023年度

- 2012～2016年度:準備期間
- 設備の設計・建設、圧入の開始、実証運転の準備等を実施
- 2016年4月～2016年11月:CO₂圧入(2016年11月22日、30万トン達成・停止)
- 2016年度～モニタリング中、継続中
- 2019年11月～設備の保全、稼働改善等
- 2021年度～CCSとCO₂の連携運用の検討・準備等

7/19

画面 7

苫小牧CCUS大規模実証試験
2016年4月6日(水)～2016年11月22日(金)
累計CO₂圧入量 300,110 トン

苫小牧実証試験:地上設備の位置関係

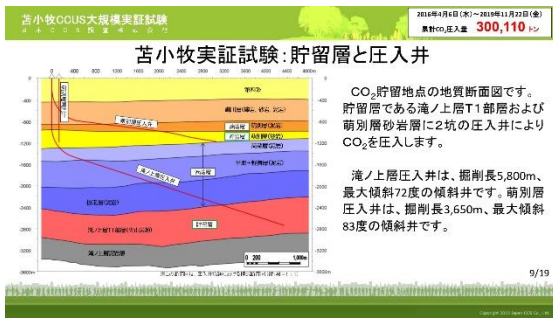
「ガス供給設備」は製油所の水素製造過程で生成されるPSAオフガス(CO₂含有ガス)を、延長1.4kmのパイプラインで「分離・回収・圧入設備」に送るための設備です。

「分離・回収・圧入設備」では、パイプラインで送られてきたCO₂含有ガスから純度99%以上のCO₂を分離・回収し、圧縮機により圧力を高めて、2つの圧入井から海底下の貯留層へ圧入貯留します。

8/19

画面 8

図 4.6-2 (1) 情報公開用画面(画面1～8)



画面 9



画面 10



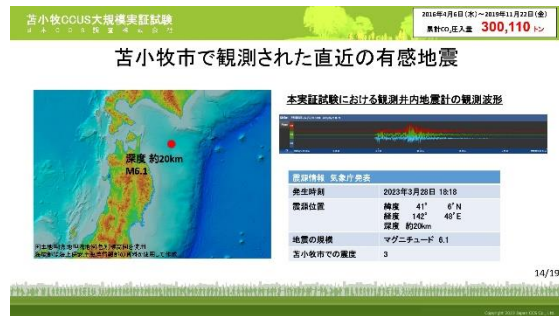
画面 11



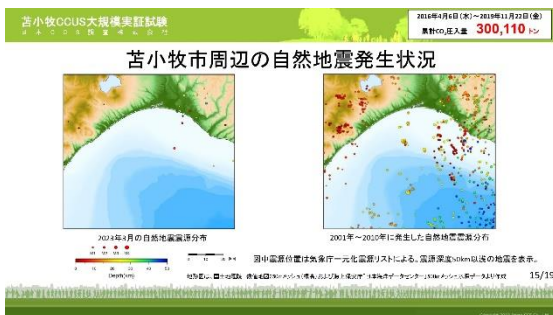
画面 12



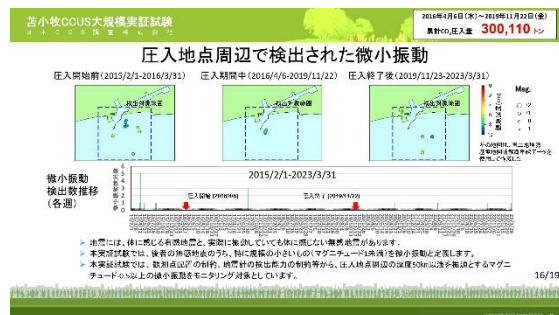
画面 13



画面 14

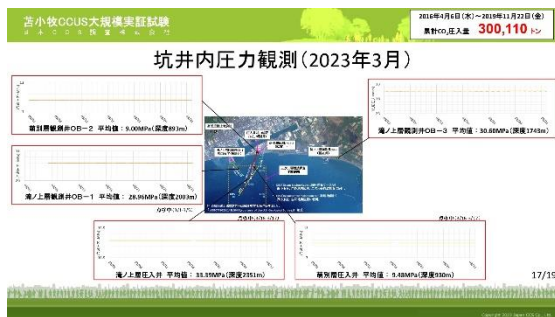


画面 15

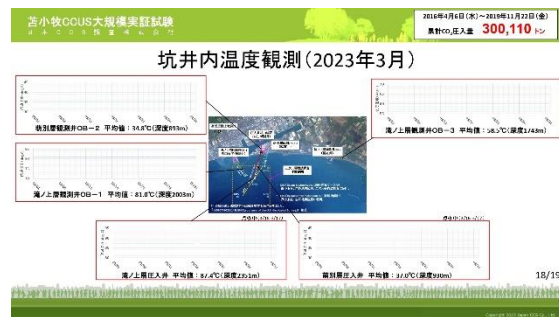


画面 16

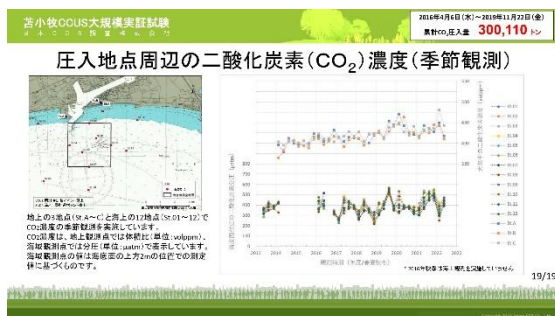
図 4.6-2 (2) 情報公開用画面(画面 9～16)



画面 17



画面 18



画面 19

図 4.6-2 (3) 情報公開用画面 (画面 17~19)

(2) 情報公開用画面の更新

情報公開用画面の各画面更新を表 4.6-3 の方針に従って更新した。各画面の 2023 年度の更新の実績を以下に示す。

表 4.6-3 情報公開用画面の更新方針

画面番号	更新の方針
画面 1~11 および画面 13	必要に応じて適宜更新
画面 12	2020 年 1 月以降 (圧入停止後)、更新停止
画面 14	苫小牧市で有感地震を観測後速やかに更新
画面 15~18	原則毎月 1 回
画面 19	調査結果がまとまった時点

① 画面 1 の更新

画面 1 には What's New として日本CCS調査(株)からのお知らせを表示しており、必要に応じて表示内容を順次更新した。掲載した画面を図 4.6-3 (1)~(3)に示す。



2023 年 4 月 18 日更新



2023 年 5 月 15 日更新①



2023 年 5 月 15 日更新②



2023 年 6 月 28 日更新

図 4.6-3 (1) 画面 1 更新履歴



2023年7月4日更新



2023年8月4日更新



2023年8月15日更新



2023年8月18日更新



2023年10月10日更新



2023年10月17日更新



2023年11月17日更新①



2023年11月17日更新②

図 4.6-3 (2) 画面 1 更新履歴



2023年12月19日更新



2024年2月8日更新



2024年3月25日更新

図 4.6-3 (3) 画面 1 更新履歴

② 画面 2 から画面 13 の更新

2023 年度は更新していない。

③ 画面14の更新

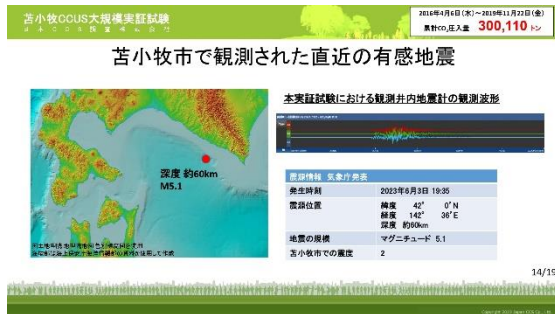
画面14には苫小牧市で観測された直近の有感地震(震度1以上を記録した地震)の震央位置図、観測井坑内地震計観測システム(本事業で設置)で取得した観測波形および気象庁発表の地震情報を表示している。新たな有感地震が観測されたときには速やかに地震情報を更新するという方針の下、苫小牧市で観測された有感地震について、画面14を更新した。更新画面を図4.6-4(1)~(2)に示す。



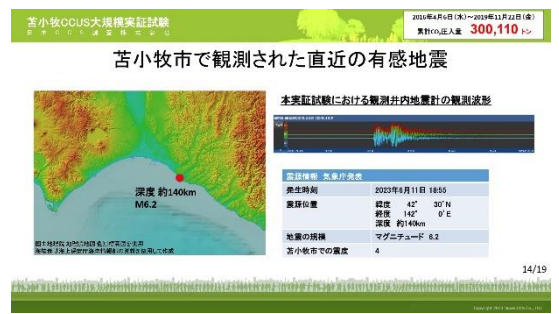
2023年5月8日更新



2023年5月12日更新



2023年6月9日更新



2023年6月12日更新

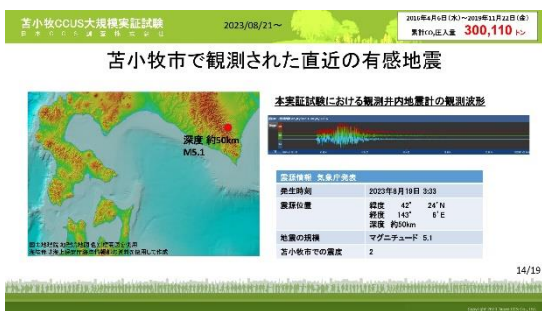


2023年6月19日更新

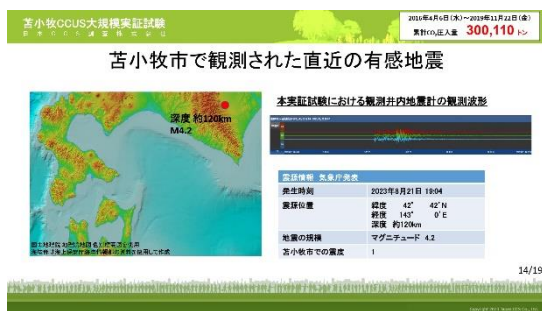


2023年8月14日更新

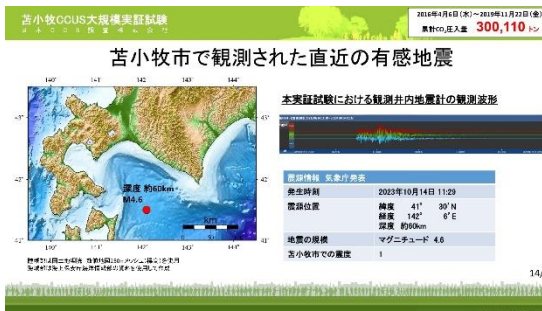
図 4.6-4 (1) 画面14 更新履歴



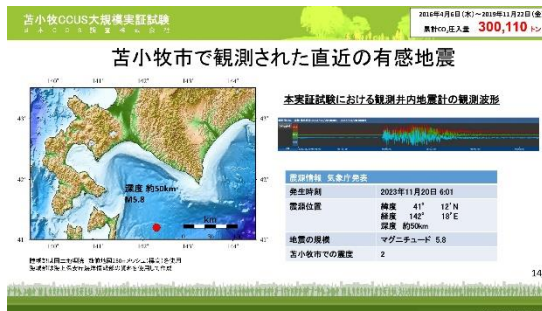
2023年8月21日更新



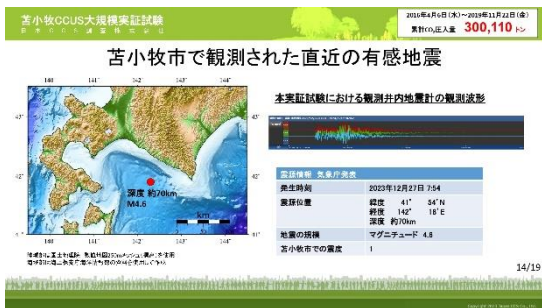
2023年8月22日更新



2023年10月16日更新



2023年11月21日更新



2023年12月27日更新



2024年2月29日更新



2024年3月11日更新

図 4.6-4 (2) 画面 14 更新履歴

④ 画面15の更新

画面15には前月に苫小牧市周辺(CO₂圧入地点を中心とする東西50km×南北38kmの範囲)で発生した自然地震分布を表示しており、翌月の初めに更新した。2023年4月～2024年3月の結果を図4.6-5(1)～(2)に示す。

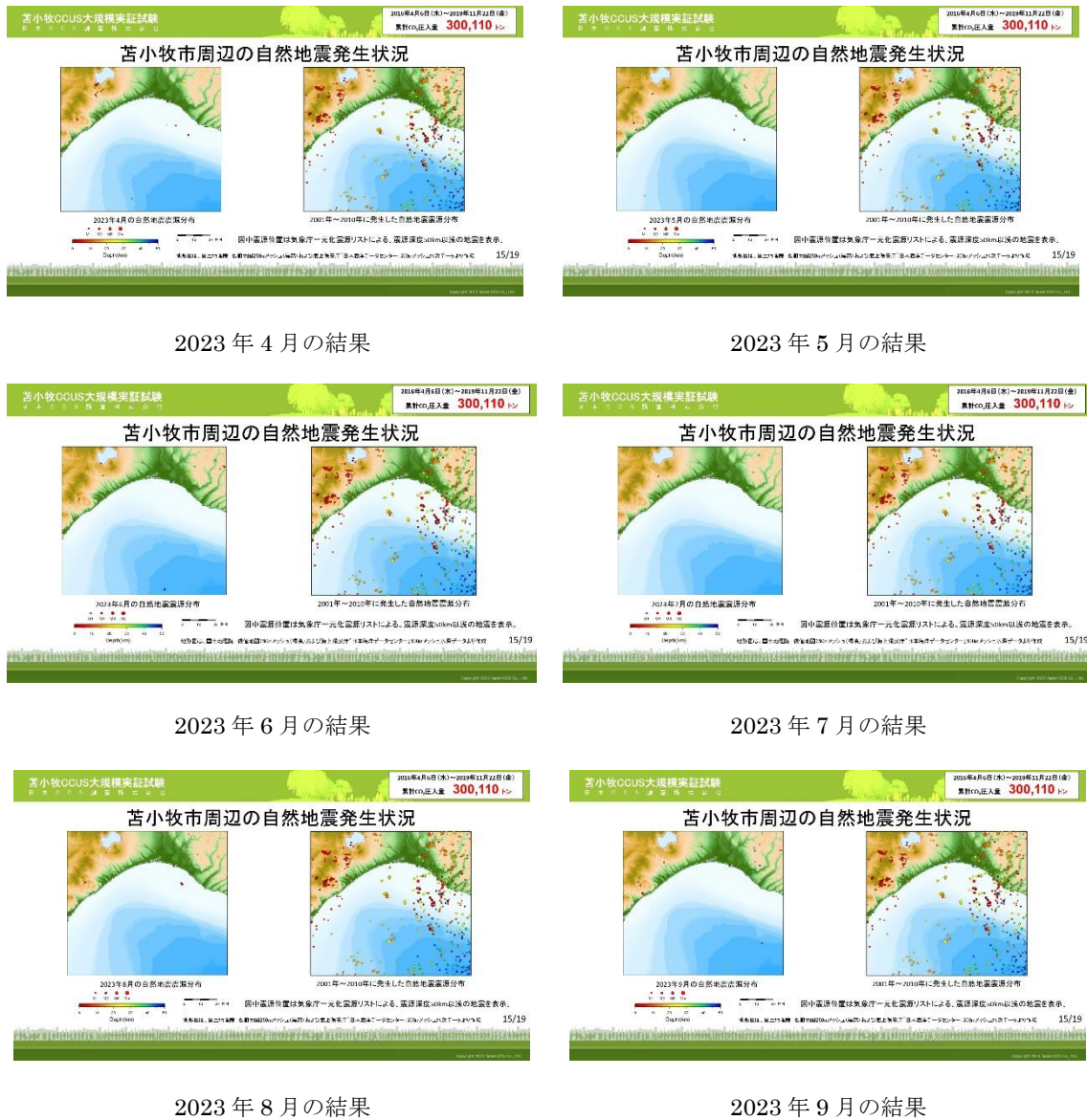
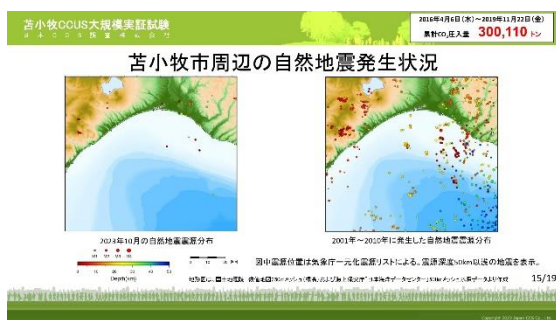
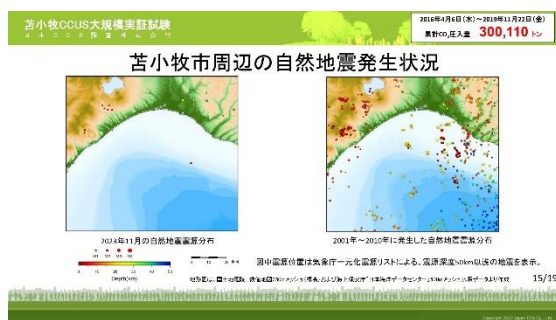


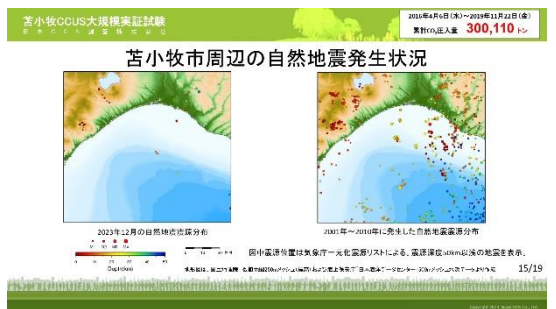
図 4.6-5 (1) 画面15 更新履歴



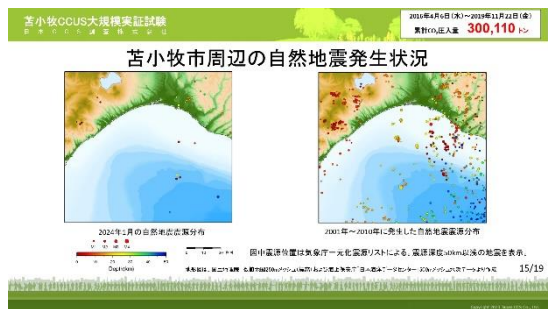
2023年10月の結果



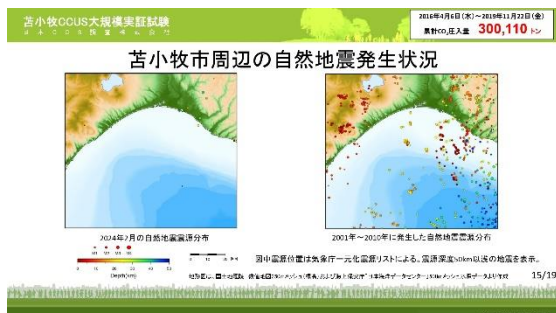
2023年11月の結果



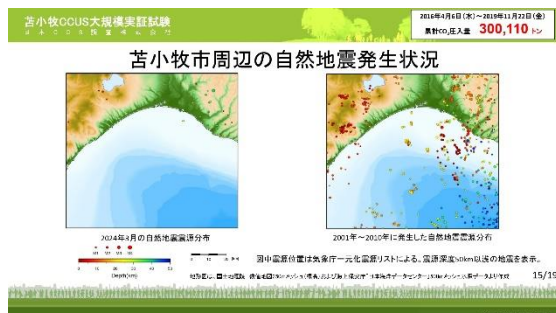
2023年12月の結果



2024年1月の結果



2024年2月の結果

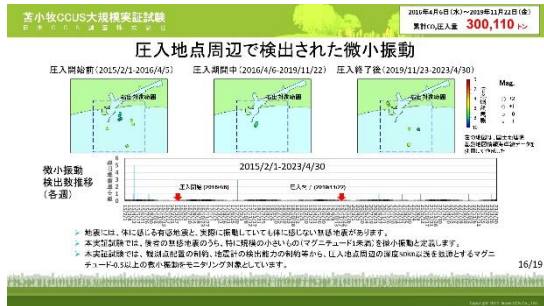


2024年3月の結果

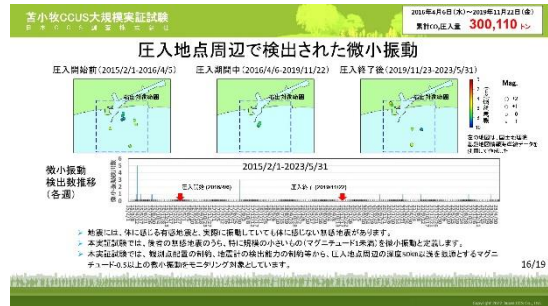
図 4.6-5 (2) 画面 15 更新履歴

⑤ 画面16の更新

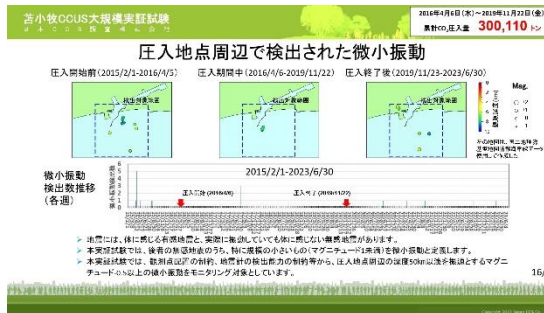
画面16には圧入地点周辺(CO₂圧入地点を中心とする東西6km×南北6kmの範囲)で検出された微小振動の分布を月ごとにまとめて表示しており、翌月の初めに更新している。2023年4月~2024年3月の更新画面を図4.6-6(1)~(2)に示す。



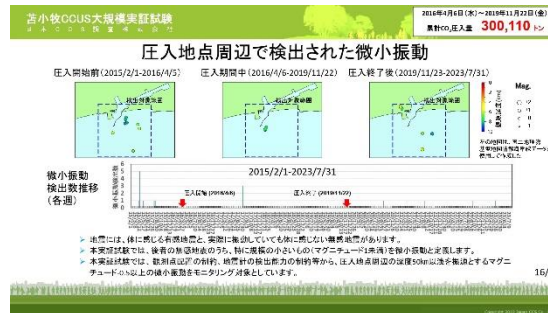
2023年4月末までの結果



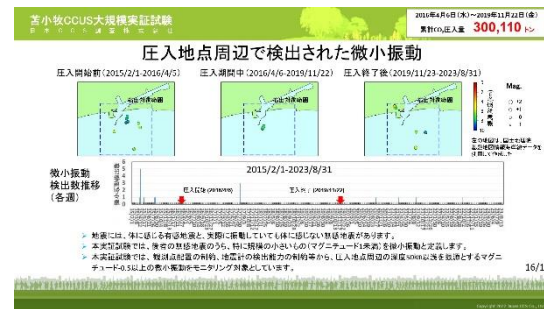
2023年5月末までの結果



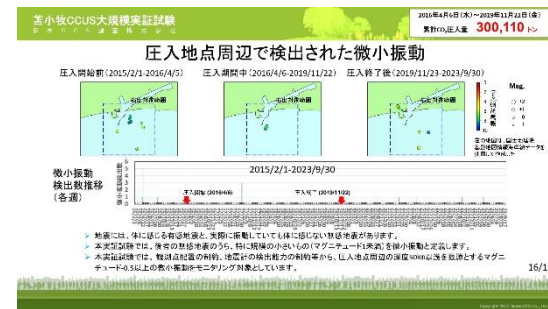
2023年6月末までの結果



2023年7月末までの結果

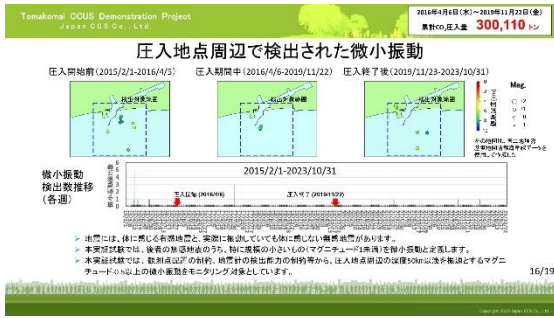


2023年8月末までの結果

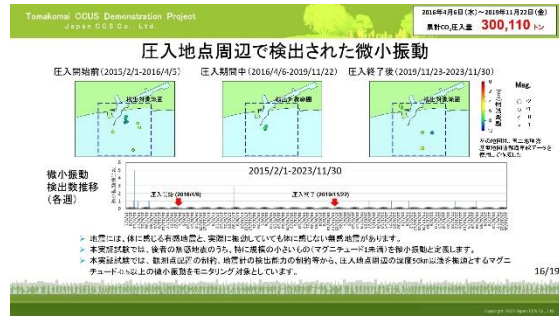


2023年9月末までの結果

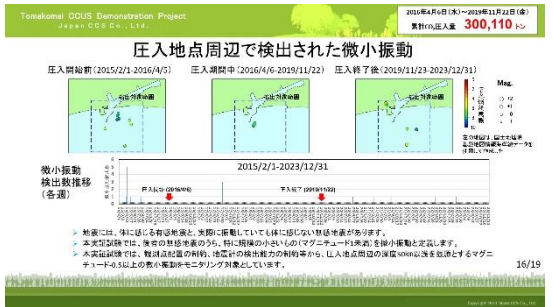
図4.6-6(1) 画面16更新履歴



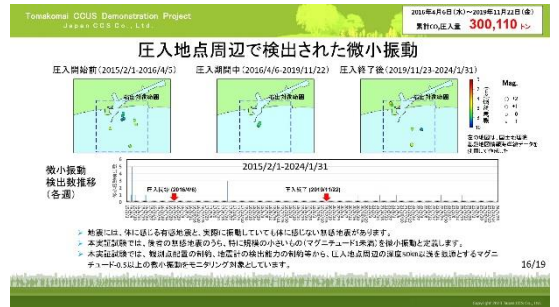
2023年10月末までの結果



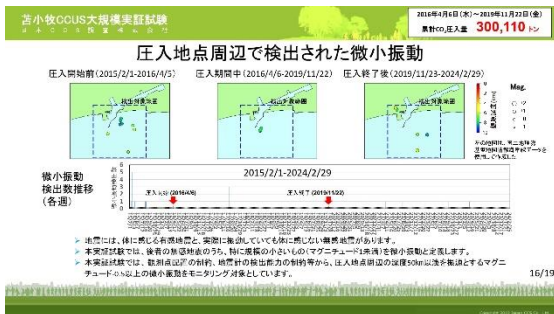
2023年11月末までの結果



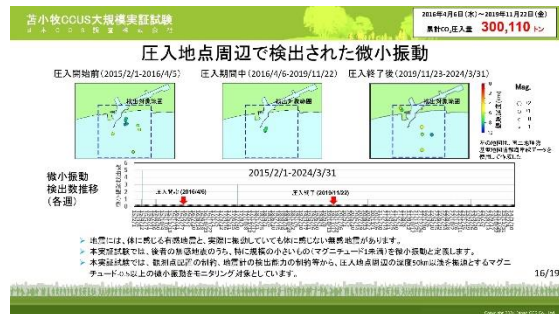
2023年12月末までの結果



2024年1月末までの結果



2024年2月末までの結果

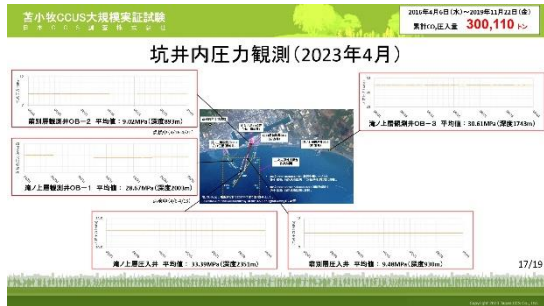


2024年3月末までの結果

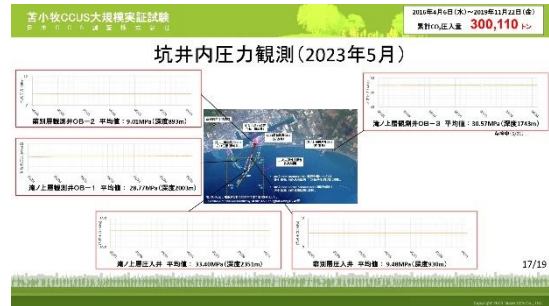
図 4.6-6 (2) 画面 16 更新履歴

⑥ 画面17の更新

画面17には観測井(OB-1、OB-2およびOB-3)と圧入井(IW-1およびIW-2)で観測された圧力値をそれぞれ月ごとにまとめて表示しており、翌月の初めに更新している。2023年4月～2024年3月の更新画面を図4.6-7(1)～(2)に示す。



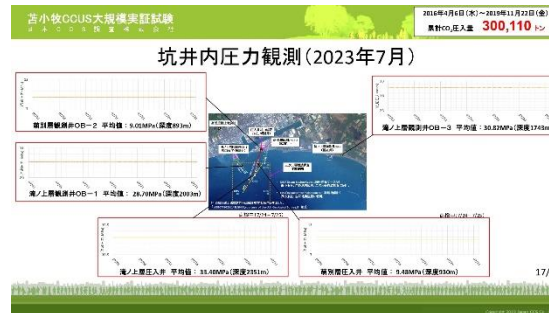
2023年4月の結果



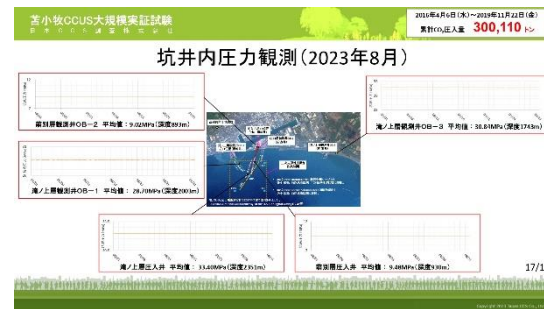
2023年5月の結果



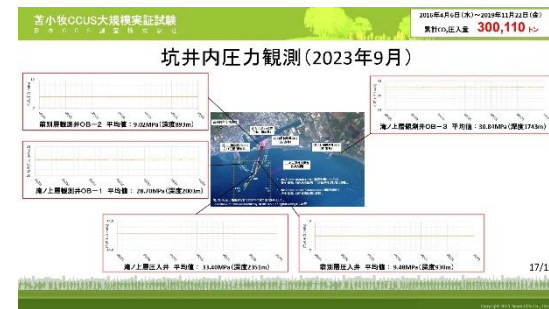
2023年6月の結果



2023年7月の結果

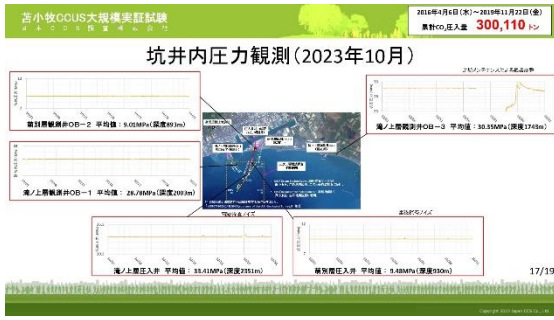


2023年8月の結果



2023年9月の結果

図 4.6-7 (1) 画面17 更新履歴



2023年10月の結果



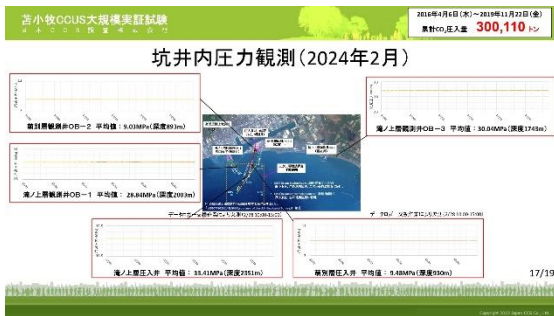
2023年11月の結果



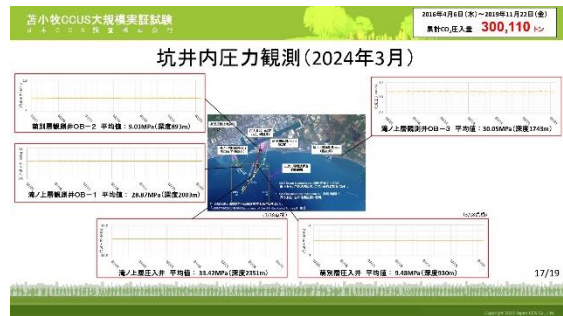
2023年12月の結果



2024年1月の結果



2024年2月の結果

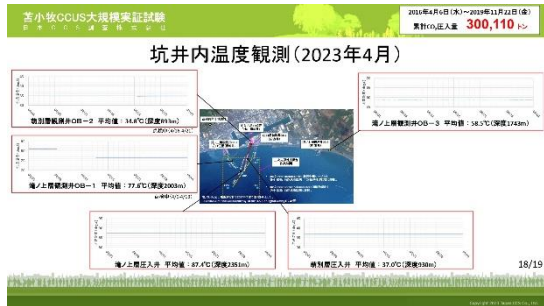


2024年3月の結果

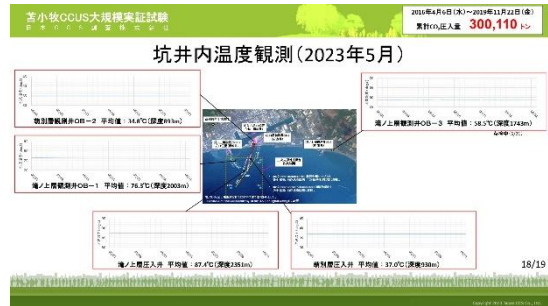
図 4.6-7 (2) 画面 17 更新履歴

⑦ 画面18の更新

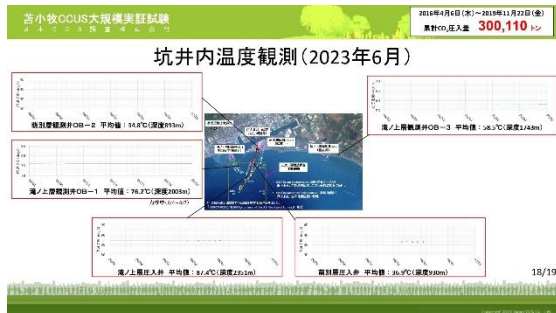
画面18には観測井(OB-1、OB-2およびOB-3)と圧入井(IW-1およびIW-2)で観測された温度値をそれぞれ月ごとにまとめて表示しており、翌月の初めに更新している。2023年4月～2024年3月の更新画面を図4.6-8(1)～(2)に示す。



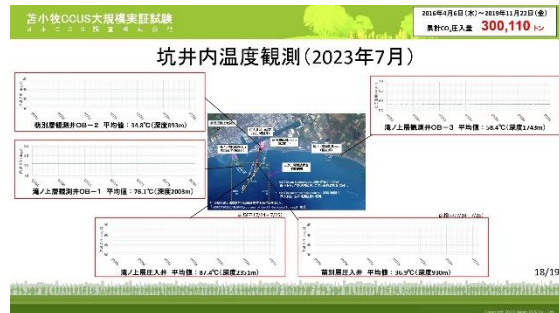
2023年4月の結果



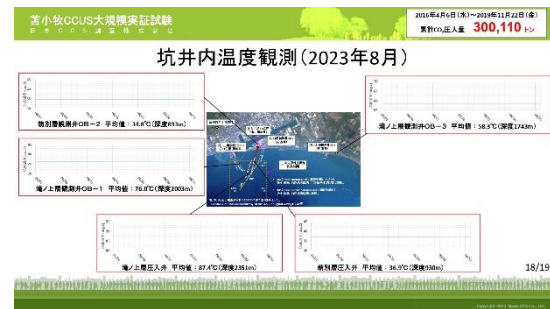
2023年5月の結果



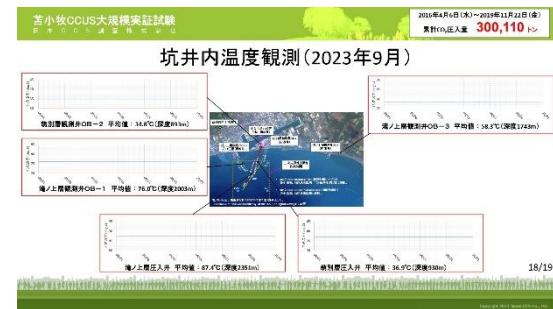
2023年6月の結果



2023年7月の結果

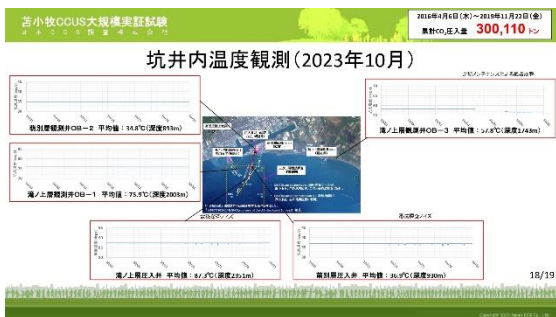


2023年8月の結果

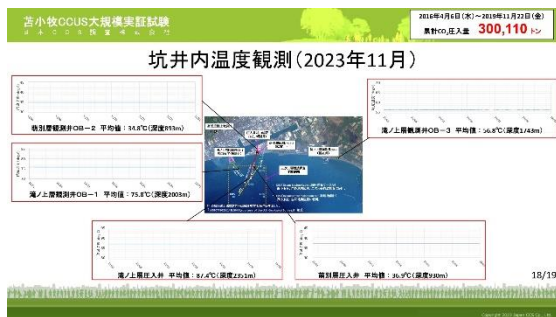


2023年9月の結果

図4.6-8(1) 画面18更新履歴



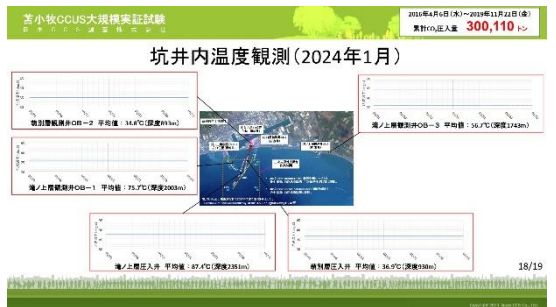
2023年10月の結果



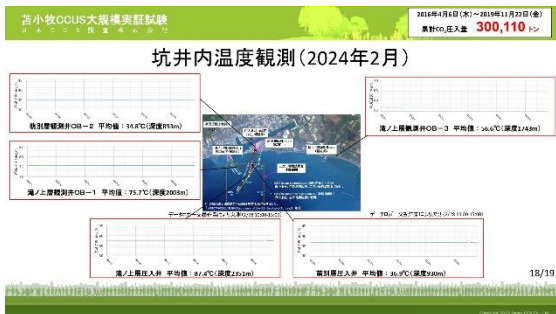
2023年11月の結果



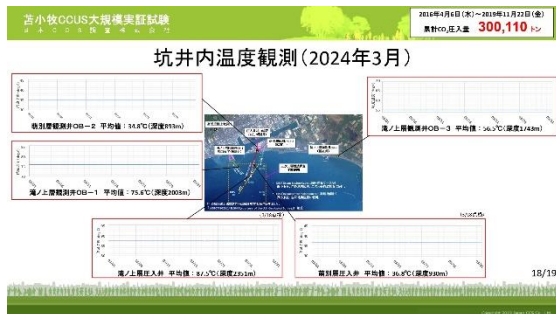
2023年12月の結果



2024年1月の結果



2024年2月の結果

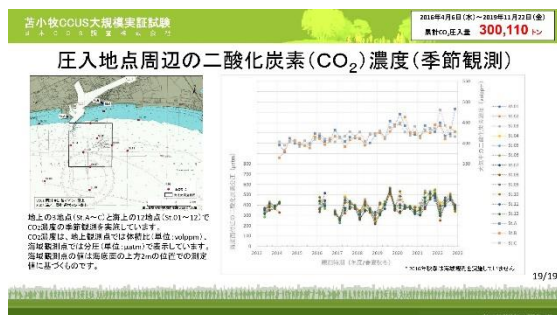


2024年3月の結果

図 4.6-8 (2) 画面 18 更新履歴

⑧ 画面 19 の更新

画面 19 には圧入地点周辺の二酸化炭素 (CO₂) 濃度の観測値を表示している。2023 年 7 月に更新した。更新画面を図 4.6-9 に示す。



2023 年 7 月 11 日更新

図 4.6-9 画面 19 の更新履歴

(3) 英語版による情報公開

2018年5月31日よりホームページ上での英語版の情報公開画面の運用を開始した。画面の構成および表示内容は日本語版と同じである。図4.6-10(1)~(3)に情報公開用画面の例を示す。

What's New
Japan CCS will exhibit on April 15 (Sat), 16 (Sun) at "Kankyo Hiroba Hokkaido 2023" - commemorative event of G7 Sapporo Minister's Meeting on Climate, Energy and Environment

The annual "Kankyo Hiroba Sapporo" will be scaled up to commemorate the G7 Sapporo Minister's Meeting on Climate, Energy and Environment.

We are looking forward to seeing you all.

Venue: Sapporo Dome, 1, Hitsujigaoka, Toyohira-ku, Sapporo-shi
 JCCS Booth: Kankyo SDGs ZONE KA98

3/19

画面 1

Global warming and future climate

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) concluded in the 6th Assessment Report that "it is unequivocal that human influence has warmed the atmosphere, ocean and land."

It has been pointed out that in order to limit global warming to 1.5°C, CO₂ emissions must be reduced to net zero by the middle of this century.

3/19

画面 2

Potential of CO₂ reduction by CCUS

Average annual CO₂ reductions from 2020 in the NZE

The International Energy Agency (IEA) projects that CO₂ capture by CCUS will increase to 1.6Gt per year by 2030, and to 7.6Gt (~5 times 2030 levels) by 2050.

3/19

画面 3

What is CCS?

Carbon dioxide Capture and Storage

CCS is a technology to prevent carbon dioxide (CO₂) released into the atmosphere emitted by facilities such as power plants and factories. The technology involves capturing the CO₂, injecting it into underground geological formations and storing it permanently. Along with energy efficiency and renewable energy, CCS helps to tackle global warming.

4/19

画面 4

How to store CO₂

In order to store CO₂ in the subsurface under the seabed, a geological structure where a reservoir is overlain by a cap rock is required. The cap rock blocks the leakage of injected CO₂ from the reservoir.

5/19

画面 5

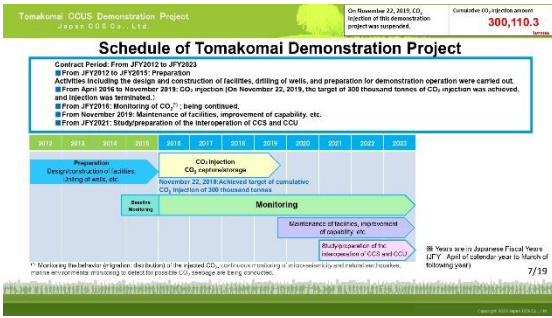
Flow Scheme of Tomakomai Demonstration Project

CO₂ is captured from the offgas containing CO₂ generated by a hydrogen production unit of a refinery, pressurized (up to 23 MPa) to the pressure required for injection, injected at a scale of about 100,000 tonnes of CO₂ per year and stored in two sub-seabed reservoirs offshore Tomakomai.

6/19

画面 6

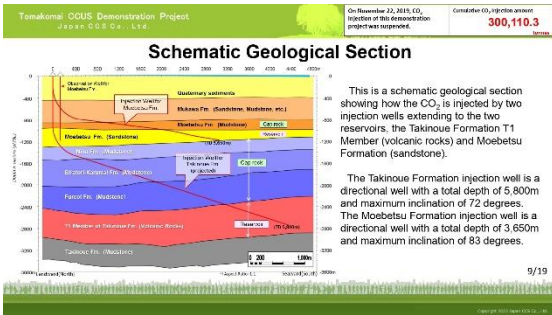
図 4.6-10 (1) 英語版の情報公開用画面例 (画面 1~6)



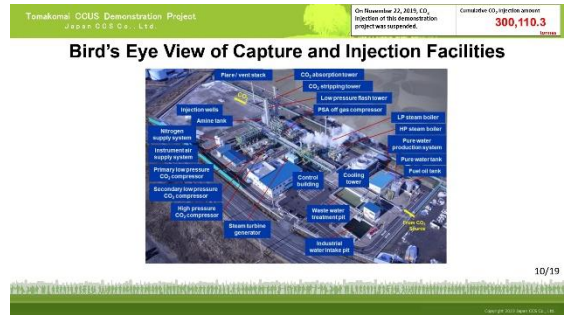
画面 7



画面 8



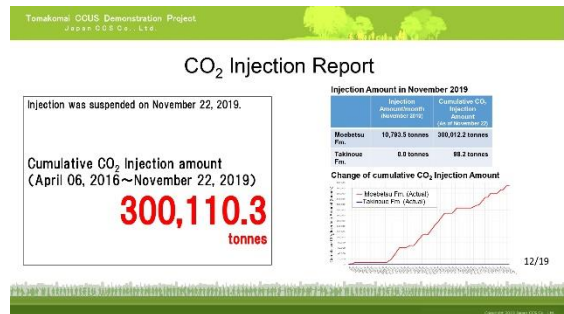
画面 9



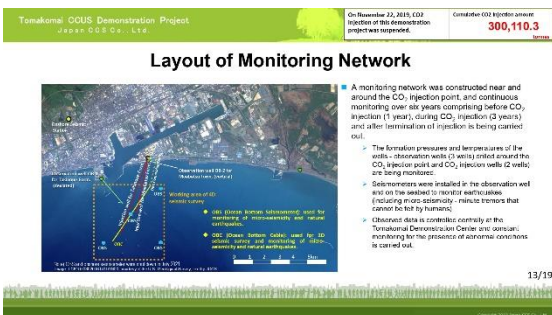
画面 10



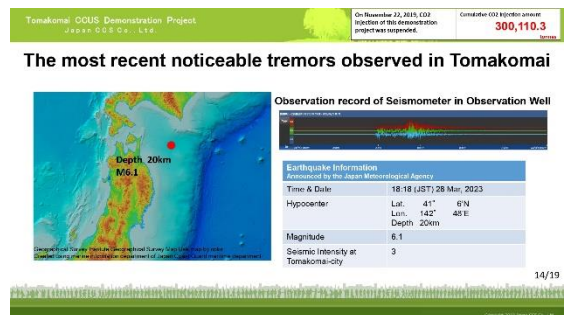
画面 11



画面 12

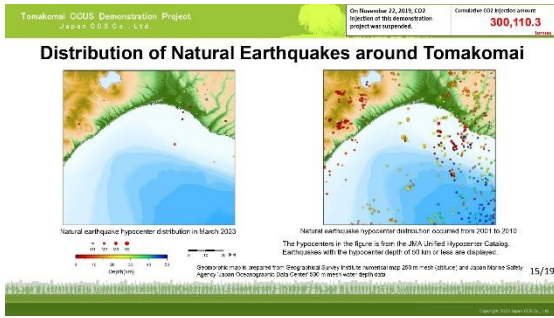


画面 13

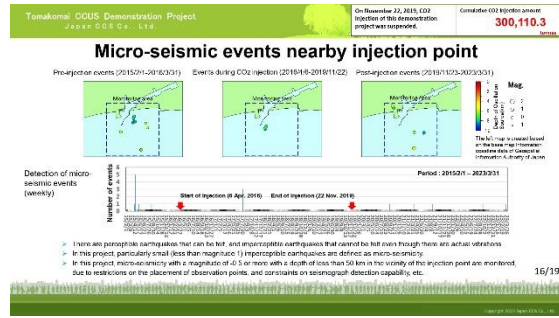


画面 14

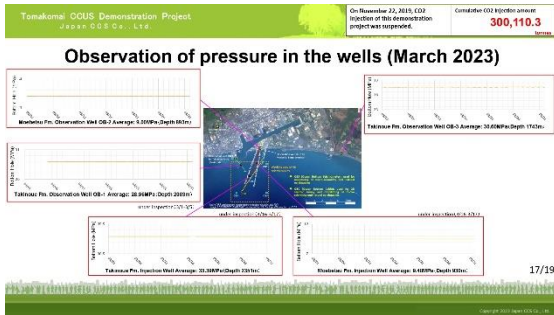
図 4.6-10 (2) 英語版の情報公開用画面例 (画面 7~14)



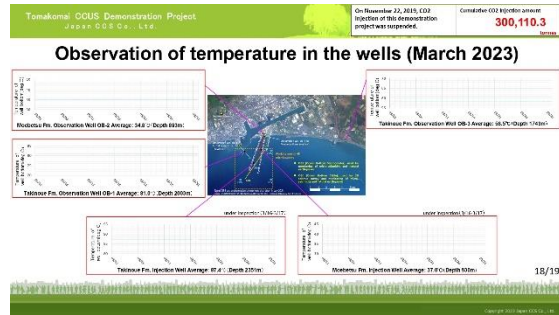
画面 15



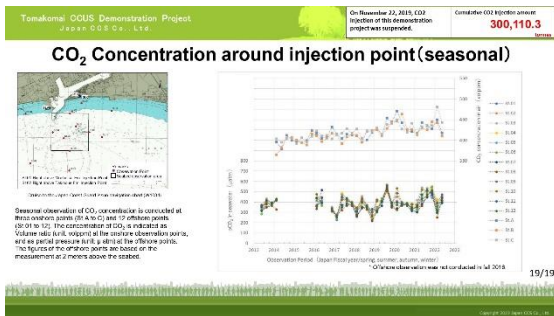
画面 16



画面 17



画面 18



画面 19

図 4.6-10 (3) 英語版の情報公開用画面例 (画面 15~19)

(4) バックナンバーの管理

毎月の画面セットから自動画面切替およびテロップ機能をはずした静的コンテンツ(PDF形式)をバックナンバーとして管理しており、当社ホームページのバックナンバーダウンロード画面^{*3)}に表示される年と月で階層化されたバックナンバーリストからダウンロードすることができる。

4.6.2 データ公開システム

データ公開システムでは、本実証試験で取得した常設型OBC、有線型・独立型OBS、陸上設置地震計、観測井(坑内地震計、圧力計、温度計、DTS)および圧入井(圧力計、温度計)による観測データおよびCO₂圧入量等の操業データ(坑井ごとの圧入流量、圧入圧力、圧入温度とCO₂濃度)を一般的なWebブラウザを利用して公開することを目的としており、2023年度は運用継続のため、引き続き公開用の観測データの整備を実施した。

(1) 公開用データの整備

公開用データは、総合モニタリングシステムにおいて1分間単位で管理している統一フォーマットファイルを結合して作成するデータファイル(以下、「公開用ファイル」と称する。)を単位としている。Webブラウザを利用して公開用ファイルをダウンロードする際の通信速度を16Mbps(2MB/s)、1回のダウンロード時間を10分程度と想定すると公開用ファイルの大きさの上限の目安は2GB程度となる。一方、地震計観測データの中でチャンネル数が最も多い常設型OBCの単位時間当たりのデータ量が約1.5GBであることから地震計観測データの公開用ファイルの単位を1時間とした。温度・圧力データと操業データは、取得間隔が1秒ではあるが1件あたりの容量が小さく、1日分のデータ(86,400件=60(秒)×60(分)×24(時間))が2GBを超えることはないため公開用ファイルの単位を1日とした。表4.6-4に公開用ファイルのフォーマット、ダウンロード単位等を示す。なお、OBSと陸上地震計については、2021年7月で運用を停止しているため、公開用ファイルも2021年7月までとなる。

*3) <http://www.jccs-tomakomai-monitoring.com/JCCS/index.php/top/>

表 4.6-4 公開用ファイルの概要

データ	フォーマット	単位	備考
常設型 OBC	SEG-D	1 時間	72 チャンネル×4 成分
OBS (2021 年 7 月まで)	SEG-D	1 時間	地点ごと (4 地点)
陸上設置地震計 (2021 年 7 月まで)	SEG-D	1 時間	1 地点
観測井坑内地震計	SEG-D	1 時間	観測井ごと (3 観測井)
観測井圧力・温度 (FBG センサー)	CSV	1 日	観測井ごと
観測井圧力 (半導体センサー)	CSV	1 日	観測井ごと
観測井圧力・温度 (PPS26 センサー)	CSV	1 日	観測井ごと
観測井 DTS 温度	LAS	1 日	観測井ごと
圧入井温度・圧力	CSV	1 日	IW-1 と IW-2 まとめて
圧入井圧力	CSV	1 日	観測井ごと
操業データ	CSV	1 日	IW-1 と IW-2 まとめて

注 1) Hi-net データは公開の対象外

注 2) OBS と陸上設置地震計は 2021 年 7 月で運用停止した

注 3) 圧入井温度・圧力データは、各坑井ごとの温度、圧力 (各 2 チャンネル)

(2) システム構成

データ公開システムのシステム構成概念図を図 4.6-11 に示す。データ公開システムは、苫小牧 CCS 実証試験センターの総合モニタリングシステムとクラウド内のデータ受信サーバー、データストレージおよびデータ公開用 Web サーバーにより構成され、苫小牧 CCS 実証試験センターとクラウド間には VPN が構築されている。総合モニタリングシステムにおいて作成された公開用ファイルは、属性情報とともに VPN を経由してクラウド内のデータ受信サーバーに送られ、属性情報はデータ受信サーバーのデータベースにおいて管理される一方、公開用ファイルそのものはデータ受信サーバー経由でデータストレージにおいて保管される。ユーザーは、ブラウザを利用してダウンロード条件 (観測機器、地点および期間) を指定することができる。指定された条件はデータ公開用 Web サーバー経由でデータ受信サーバーに送られ、データ受信サーバーは管理している属性情報のデータベースに基づき、データストレージを検索し、ユーザーの要求 (ダウンロード条件) に合致する公開用ファイルを抽出し、データ公開用 Web サーバー経由でダウンロード可能とする。

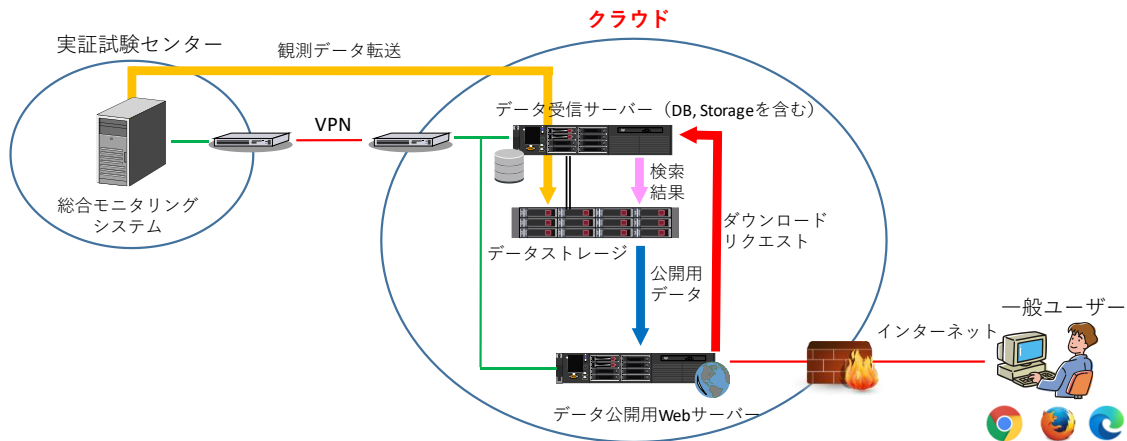


図 4.6-11 データ公開システムのシステム構成概念図

(3) データ公開システムの利用

本システムの利用には、ユーザー登録により発行されるユーザーID とパスワードが必要である。ユーザー登録には、「所属機関」、「国名」および「使用目的」の3項目と画像認証文字*4)の入力を条件*5)としており、要求する情報が正しく入力された場合には、ユーザーID とパスワード*6)を自動発行する。利用者の情報は、ユーザ ID をキーとして、パスワード、ユーザー情報(所属期間、国名および使用項目)、有効期間およびステータス(有効/無効)をデータベースにおいて管理する。ユーザーID の有効期間は発行から1年間とし、有効期間を過ぎたユーザーID は自動的に無効化するほか、システム管理者が強制的に無効化することも可能である。その他、ユーザー管理者用機能として、ユーザー情報の一覧表示、データベースによるデータのダウンロード実行者(ユーザーID)、ダウンロード実行日時、ダウンロードされたファイル情報(センサー名および観測日時)の管理、ダウンロード実行日、ユーザーID およびセンサー名を条件とするダウンロード情報を検索とダウンロード情報のCSV出力が可能である。

*4) 悪意のある機械的な大量の登録を防止するための措置として登録を義務付けている。

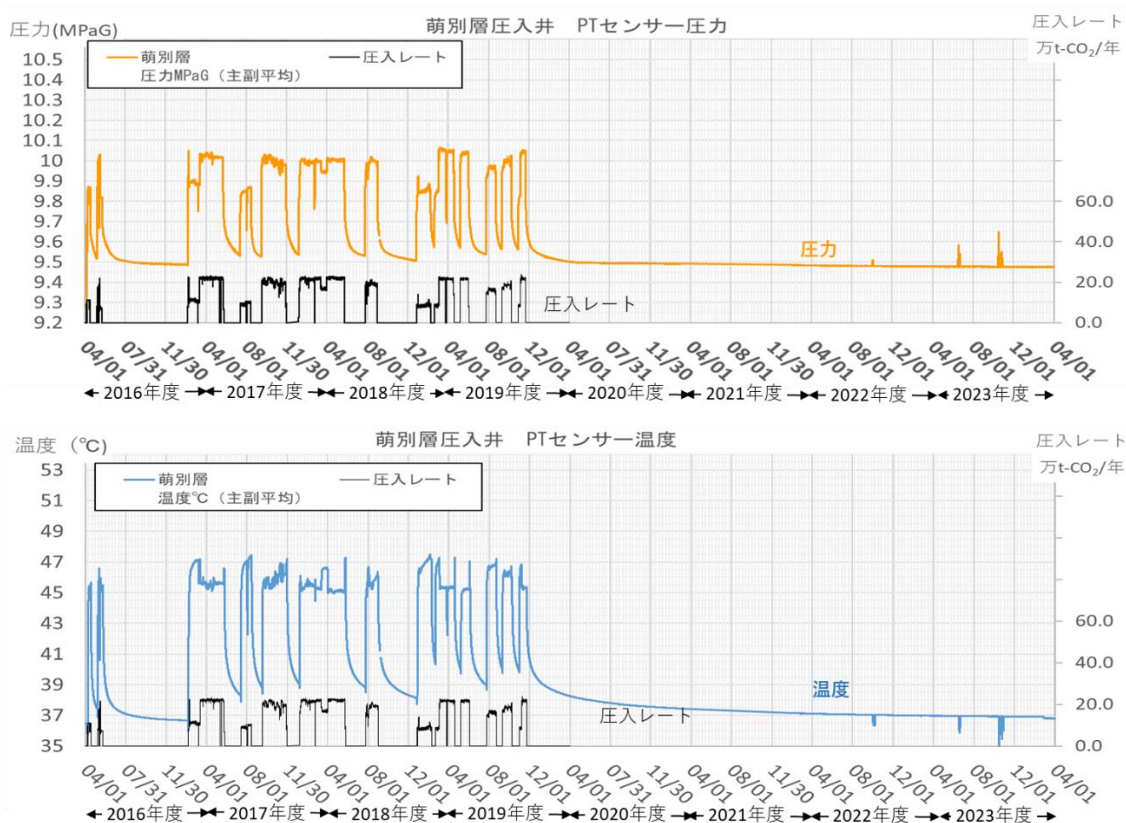
*5) メールアドレスを含む個人情報の入力をユーザーID 発行の条件としていない。

*6) ユーザーID とパスワードには、誤認されやすい数字の「1」、「0」、アルファベットの「I」、「L」、「O」は使用しない。

4.7 圧入井を利用したモニタリング

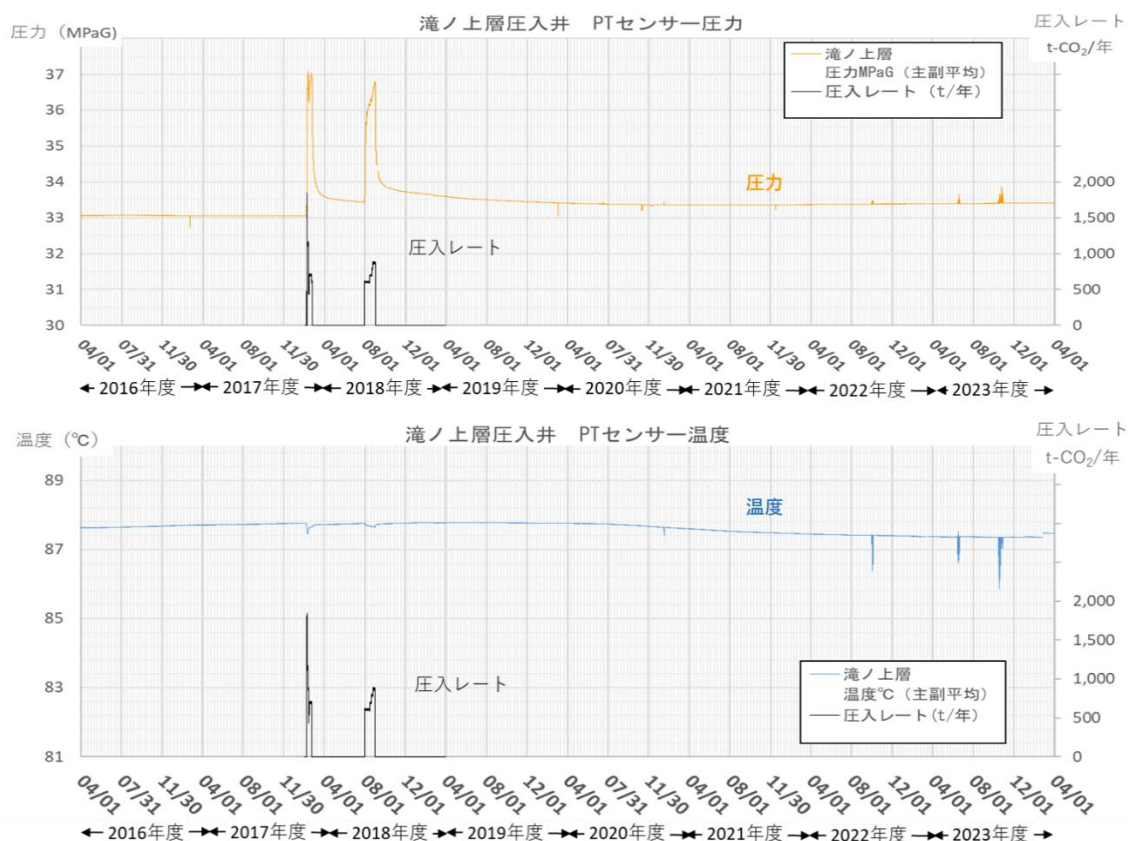
萌別層圧入井 (IW-2) および滝ノ上層圧入井 (IW-1) の地下に設置した圧力・温度センサー (以下、「PTセンサー」と称する。) による圧力と温度のモニタリングの実績を図 4.7-1 および図 4.7-2 に示す。

PTセンサー設置以降、圧入停止後も圧入井の圧力・温度を継続的に測定している。



- 注 1) 同一深度に 2 基の PT センサー (主副) を設置している。グラフは主副平均値を示している。
- 注 2) 1 年は 365 日として圧入レートを算出。
- 注 3) 萌別層に圧入を実施した 2016 年 4 月から 2019 年 11 月を含む、2016 年 4 月から 2024 年 3 月末までの圧力と圧入レート (上図)、温度と圧入レート (下図) を示している。

図 4.7-1 IW-2 の坑内に設置した PT センサーの圧力・温度データ



注 1) 同一深度に設置した 2 基の PT センサーの指示値を平均した値を示している。
 注 2) 滝ノ上層に圧入を実施した 2018 年 2 月から 9 月を含む、2016 年 4 月から 2024 年 3 月末までの圧力と圧入レート (上図)、温度と圧入レート (下図) を示している。

図 4.7-2 IW-1 の坑内に設置した PT センサーの圧力・温度データ

4.7.1 萌別層圧入井 (IW-2) における坑内圧力・温度の観測

圧入井の圧力・温度を連続的に計測するために、坑内に圧力と温度を測定する PT センサーを設置している (図 4.7-3)。PT センサーは、パッカーよりも上位の 3-1/2 in チューブリングに設置しており、仕上げ区間の上端よりも掘削深度で 432 m、垂直深度で 52 m ほど浅い位置に設置している。

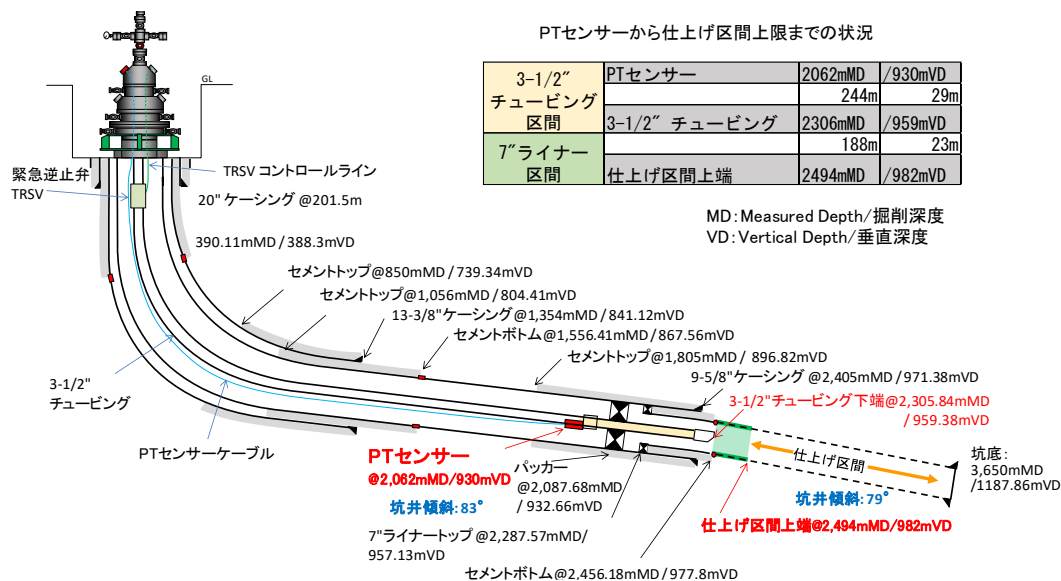


図 4.7-3 IW-2 の坑内に設置した PT センサーの位置

図 4.7-1 に示すように圧力・温度ともに、圧入中に上昇し、圧入を停止後は徐々にもとの状態に戻る状況が示されている。遮蔽層の破壊を避けるために設定した上限圧力は 12.63 MPaG であるが、十分余裕をもった圧力で圧入が実施できており、一定レート圧入時における急激な温度や圧力の変動は認められない。また 2019 年 11 月 22 日の圧入停止以降、坑底圧力および坑底温度の低下傾向が継続している。2024 年 3 月 31 日時点での坑底圧力は 9.48 MPaG であり、圧入開始前の初期圧力 9.47 MPaG に近づいている。したがって、一部に機器の不具合*1) や他作業の影響*2) と考えられるノイズ等が見られるものの、坑底圧力・温度の観測からは貯留層の異常を示す事象は観測されていない。

4.7.2 滝ノ上層圧入井 (IW-1) における坑内圧力・温度の観測

圧入井の圧力・温度を連続的に計測するために、坑内に PT センサーを設置している (図 4.7-4)。PT センサーは、パッカーよりも上位の 3-1/2" チュービングに設置しており、仕上げ区間の上端よりも掘削深度で 142 m、垂直深度で 44 m ほど浅い位置となる。

*1) 2/28、3/18: 原因不明データ欠測。データロガーの再起動により復帰。

*2) 6/15~6/25、10/15~10/26,10/29: 近傍で実施された電磁波探査の影響と思われるノイズ発生。

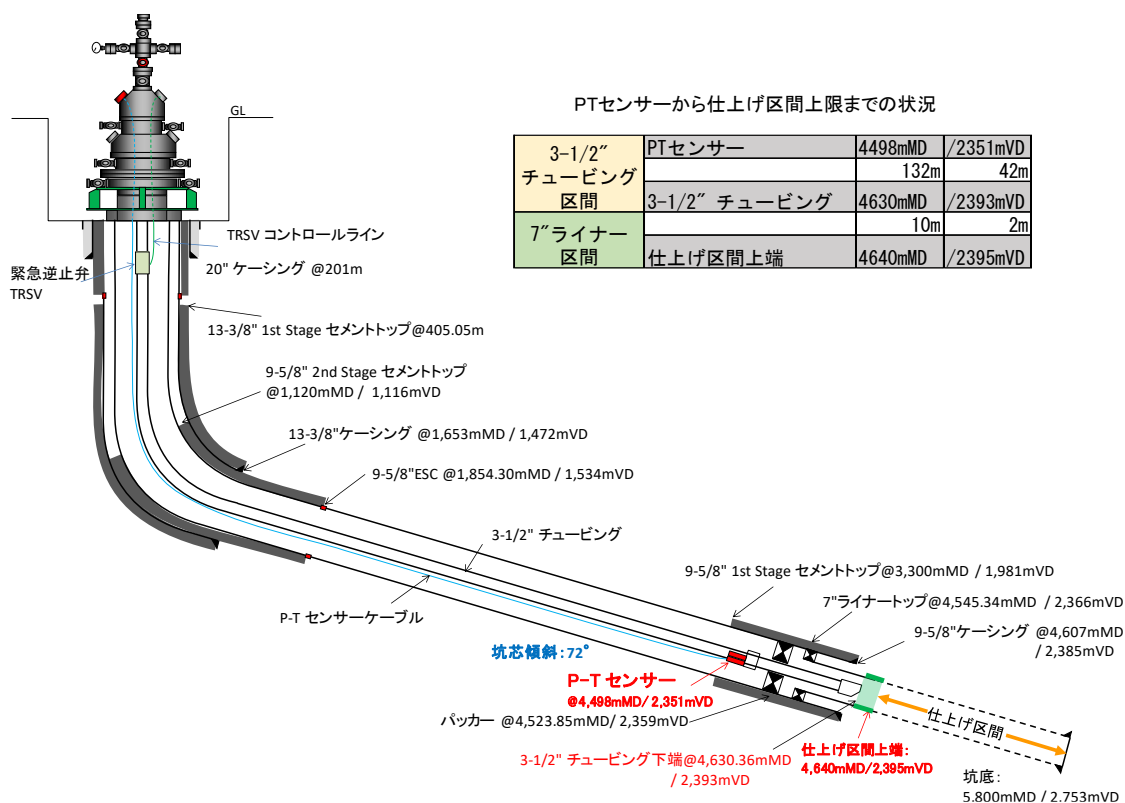


図 4.7-4 IW-1 の坑内に設置した PT センサーの位置

圧力・温度データの観測結果を図 4.7-2 に示す。滝ノ上層への圧入は、2018 年 2 月 6 日～2 月 23 日（高圧 CO₂ 圧縮機周りのトラブルにより圧入を緊急停止）および同年 7 月 31 日～9 月 1 日（PSA オフガス供給元の都合により圧入を停止）の期間で実施した。圧入上限圧力の設定については、坑内のブラインを CO₂ で置換するまでは 37 MPaG、置換後には 37.5 MPaG とした。温度は圧入中に低下し、圧入停止後は徐々にもとの状態に戻り、圧力は圧入中に上昇し、圧入停止後は徐々に元の状態に戻る状況が示されている。圧入レートをコントロールすることにより、上限圧力を超過せずに実施できており、圧入時における急激な温度や圧力の変動は認められない。また 2024 年 3 月 31 日時点で、坑底圧力は 33.42 MPaG、坑底温度は 87.5°C となっており、一部に機器の不具合^{*3)}や他作業の影響^{*4)}と考えられるノイズ等が見られるものの、1 年間で貯留層の異常を示す事象は観測されていない。

*3) 2/28、3/18：原因不明データ欠測。データロガーの再起動により復帰。

*4) 6/15～6/25、10/15～10/26,10/29：近傍で実施された電磁波探査の影響と思われるノイズ発生。

4.8 圧入井・観測井の維持管理

萌別層圧入井 (IW-2)、滝ノ上層圧入井 (IW-1)、観測井 OB-1、観測井 OB-2、観測井 OB-3 の健全性と安全確保のために実施した 2023 年 4 月～2024 年 3 月の間の作業を表 4.8-1 に示す。

表 4.8-1 年間作業リスト

実施日		作業内容 (圧入井)
自	至	
2023/5/11	2023/5/12	IW-2 TRSVおよびマスターバルブの健全性確認
2023/5/17	2023/5/18	IW-2 SSV設置作業
2023/5/18	2023/5/19	IW-1およびIW-2坑口装置の点検・整備
2023/12/26	2023/12/26	IW-1,IW-2敷地巡回業務 (各バルブフィッティングの状況確認)
2024/1/29	2024/1/29	坑口装置点検・メンテナンス作業 (坑口リーク箇所の特定)

実施日		作業内容 (観測井) ※「観測井」を略
自	至	
2023/4/3	2023/4/3	OB-1およびOB-2セラー内排水
2023/4/12	2023/4/12	OB-1坑口装置に対する定期点検・整備作業
2023/4/19	2023/4/19	OB-2坑口装置に対する定期点検・整備作業
2023/6/19	2023/6/19	OB-1,OB-2,OB-3の各敷地巡回
2023/7/12	2023/7/13	OB-1補修小工事 不安全箇所への対応
2023/8/22	2023/8/25	OB-1,OB-2,OB-3作業領域の整備、南京錠交換
2023/10/10	2023/10/16	OB-1セラー補修工事
2023/10/16	2023/10/16	OB-3セラー内の排水作業
2023/10/19	2023/10/19	OB-3坑口装置に対する定期点検・整備作業
2023/11/14	2023/11/14	OB-1セラー内排水

4.8.1 圧入井の維持管理

継続的なモニタリングの実施および圧入井の健全性と安全確保のために実施した各作業を記載する。

(1) IW-2 SSV 取付作業 および IW-1・IW-2 坑口装置バルブ点検

① 作業概要

2022 年 10 月 25 日から圧入井の維持管理のための保全として IW-2 用 SSV^{*1)} (Surface Safety Valve) の整備点検・組立を実施しており、整備完了した SSV を 2023 年 5 月に設置する作業を実施した。作業の保安の観点からミドルバルブを取り外す際に、マスターバルブ

*1) 坑口装置のマスターバルブ上部に設置され、異常時に自動もしくは遠隔操作にて瞬時に遮断することができるバルブ。

ブ*2)より上部が一時的に開放状態になることを鑑み、事前に TRSV*3)およびマスターバルブのシール性の確認を行って保安の確保を行った。窒素ビンを用いて、マスターバルブの下方(坑内側)からの圧力 5.0MPa が掛かる状態で 24 時間リークが無いことを確認した。既存のクリスマスツリーの取外し・吊り上げ、SSV の代替として取付けしてあったミドルバルブの取外し・搬出を行った後、整備後の SSV の設置を実施した。その後 SSV の遠隔作動テストを実施し支障なく作動することを確認した。各接続部のリーク確認をおこない、リークが無いことを確認した。SSV のバルブシートを 10.9MPa で 15 分間確認しリークが無いことを確認した。もっともコンサバティブに考えた場合、坑内に CO₂ の気体コラムが立ち上がった場合でも坑口圧力は 9.6MPa までしか上昇しないと考えられ、安全を考慮して 9.6MPa×1.1 倍=10.56MPa が SSV のバルブシートに対する加圧圧力として必要と考えた。「右袖バルブ」よりも上流側は高圧ガス保安法上で常用圧力 10.9MPa で届出していることから、常用圧力の範囲に収まる値として、10.9MPa を加圧圧力に設定した。マスターバルブの下方(坑内側)からの圧力 5.0MPa、上部 3.0MPa の 2.0MPa の差圧状態でリークが無いことを確認した。坑口装置内を 6.0MPa まで窒素蓄圧を実施したところ、約 15 時間後(@翌日 8 時)に 5.0MPa まで圧力が低下していたことから、再度 SSV のシート性能の確認のため、SSV に対して上下間差圧 3.0MPa で 30 分間圧力を保持することを確認した。SSV 上部圧力を再度 6.0MPa まで加圧し 2 時間 30 分圧力保持することを確認した。一連の作業の中で以下項目もあわせて確認した。

- 1) 作業中接続を外したフランジ部のリングジョイントガスケット挿入用の溝は一部腐食して黒ずんでいる箇所があったが、シール性に問題ない範囲と判断した。
- 2) SSV の開閉動作させるエア供給は誤作動による開動作防止のため、エアの元から供給を停止して管理することとした。
- 3) 気密テストでの窒素の使用量は以下の通りである。
 - ・ 14.7MPa 窒素ビンの残量 4.0MPa×1 本、6.0MPa×1 本
 - ・ 19.6MPa 窒素ビンの残量 9.0MPa×1 本
- 4) 取外ししたリングジョイントガスケットは腐食等の問題は無かったが、再使用は推奨されないことから、再使用不可能と判断し廃棄した。
- 5) 取り外したボルト・ナットは再使用可能と判断し消耗品として JCCS が善管義務をもって保管管理をすることとした。再使用の場合には洗浄、探傷、曲がり等が無いことの確認を推奨する。

*2) 坑井を密閉するための主弁。

*3) 坑内 TBG に設置されたバルブ。

IW-1 および IW-2 のチュービングスプール以下の坑口装置のバルブ点検および整備を実施した。実施した項目は以下のとおりである。点検および整備の結果、異常は見つかっていない。

- 1) プラスチックパッキングスクリュートルクの初期トルクの確認
- 2) プラスチックパッキングの増し入れ
- 3) スクリュートルクを 14.0N・m (メーカー推奨) まで締付確認
- 4) ベアリンググリスの注入
- 5) バルブの開閉確認
- 6) バルブシーラントの注入 (S-3S)
- 7) 各外圧バルブの保温カバーの取付

② 成果

事前にマスターバルブの健全性を確認しておくことで開放状態での作業の安全を確保することができた。従前は TRSV まで加圧を行うため、窒素ビンを多数準備して加圧作業を実施していたが、今回はマスターバルブのシール性が事前に確認されていることから、マスターバルブを閉止し、坑口装置に限定した加圧テスト作業としたことで、窒素ビン準備量の軽減をはかることができた。また、SSV 整備時の工場試験において問題の無かった SSV の補修部位 (ステムシール) に対して、現場設置した状態 (バルブを縦にセットした状態) においてもステムシールの窒素加圧による健全性確認ができた。

③ 課題事項

石油業界の油ガス井等で良く用いられる API 規定等のバルブに対する気密試験は窒素を用いたテストを行っている。

一方で、坑口装置を構成するバルブ等の構成部品にはシール性を確保するためのエラストマーシール等のゴム弾性を持つ素材・材料を使用している場合がある。エラストマーシール等の場合、CO₂ の浸透現象による耐 CO₂ 性能の優劣があることが知られていることから、CO₂ 圧入時に接触する可能性のある機器・部位に関しては CO₂ 耐性品を選定することが望まれる。今回整備の際に浮き彫りとなった課題として、国内バルブメーカーにおいて、使用する CO₂ 実流体 (気体 CO₂ あるいは超臨界 CO₂) を用いたシール耐性試験設備の導入がなされていない点である。エラストマーシール等のシール材に関して、CO₂ の浸透性・浸食性、長期的な浸透性・浸食性に関してテストすることが求められる場合においては、対応できる試験設備の導入や実施方法の検討等が将来的に望まれる可能性がある。

(2) IW-1、IW-2 坑口パッキングフィッティングの確認

① 作業概要

2023年12月25日 定例巡視の際にバルブのプラスチックパッキングと思われる液状パッキングが保温カバーの上に滴下している状況が確認された。以下、各坑井の対応について整理する。IW-1は閉止しているミドルバルブ上部の坑口装置内圧力0.0MPaの状態、各バルブの状態はマスターバルブ開、ミドルバルブ閉止、トップバルブ閉止、右袖(CO₂供給側)閉止、左袖(圧力計側)閉止の状態にて点検をおこなった。点検結果を表4.8-2に示す。IW-2は閉止しているSSV上部の坑口装置内の窒素蓄圧圧力1.9MPaの状態、各バルブの状態はマスターバルブ開、ミドルバルブ閉止、トップバルブ閉止、右袖(CO₂供給側)閉止、左袖(圧力計側)閉止の状態にて点検をおこなった。点検結果を表4.8-3に示す。

表 4.8-2 IW-1 プラスチックパッキングフィッティング スクリュートルク点検

点検箇所	初期スクリュートルク値 (N-m)	調整後スクリュートルク値 (N-m)	備考
マスターバルブ	16.5	13.9	スクリューを緩めて、13.9N-mまで締付
ミドルバルブ	—	—	トルクレンチがカバーに干渉し、測定不可(課題事項)
トップバルブ	14.0	調整せず	
右袖バルブ(CO ₂ 供給側)	3.0	12.1	追加プラスチックパッキングなし、スクリューの締め込みで調整。
左袖バルブ(L型ゲージバルブ側)	20.4	14.4	
TRSVコントロールライン圧力	0psi		TRSV閉止状態で作業

作業環境：天候曇り、気温-2°C、風速1m/sec @10:00

表 4.8-3 IW-2 プラスチックパッキングフィッティング スクリュートルク点検

点検箇所	初期スクリュートルク値 (N-m)	調整後スクリュートルク値 (N-m)	備考
マスターバルブ	14.1	調整せず	
SSV	—	—	
トップバルブ	16.5	14.0	スクリューを緩めて、14.0まで締付
右袖バルブ(CO ₂ 供給側)	9.3	14.0	追加プラスチックパッキングなし、スクリューの締め込みで調整。
左袖バルブ(L型ゲージバルブ側)	13.3	調整せず	
TRSVコントロールライン圧力	680psi		TRSV閉止状態で作業

作業環境：天候曇り、気温-2°C、風速1m/s @10:00

(3) IW-2 坑口装置点検のうちリーク箇所調査

① 作業概要

2024年1月引き続き継続監視を行っていたがIW-2の坑口装置SSV閉止上部の窒素蓄圧状態が低下する状況が継続していた。表4.8-4にIW-2坑口装置圧力状況を記載する。リーク箇所を特定するために2024年1月29日、窒素加圧によるリーク箇所の特定作業を実施した。作業の概要は以下の通りである。

- 1) 内圧(SSV上部)圧力0.02MPaであることを確認。
- 2) 坑口装置内の窒素残圧をトップバルブから0.0MPaまで払う。
- 3) 左袖ゲートバルブの保護カバーの取外し。
- 4) 窒素蓄圧ホースをトップバルブ上流に取り付け。
- 5) 窒素でSSV上流から坑口装置内を4.9MPaまで蓄圧後左袖ゲートバルブを閉止。
- 6) 左袖ゲートバルブからL型ゲージバルブ・圧力計間をソープテストしリークが無いことを確認。
- 7) トップバルブシステムのソープテストを実施し、若干のリーク兆候を確認。
- 8) 左袖ゲートバルブの下流圧力(L型ゲージバルブ上の圧力)の降下確認 4.9→4.8MPa
- 9) 左袖ゲートバルブの下流圧力(L型ゲージバルブ上の圧力)4.7MPa
- 10) 左袖ゲートバルブを開けて坑口装置内を5.0MPaまで再加圧。
- 11) 5.0MPaの状態での30分間圧力監視を実施。
- 12) トップバルブを閉止して圧力監視5.0MPa×5.5時間圧力保持を確認。
- 13) 左袖ゲートバルブからL型ゲージバルブ・圧力計間をソープテストし再度のリークが無いことを確認。
- 14) 作業翌日(2024年1月30日)の再点検の結果、トップバルブシステムからの若干のリークを確認。

② 作業結果からの推定

- 1) 左袖ゲートバルブ下流のL型ゲージバルブ・アダプター・圧力計間にリークは無いと推定。
- 2) SSV上流坑口装置内を5.0MPaまで昇圧・圧力監視したところ圧力の降下はなく、2023年5月設置したSSVからのリークは無いと判断される。
- 3) トップバルブシステム部のリークが推定される。

表 4.8-4 IW-2 坑口装置圧力状況

	IW-2 (萌別層圧入井)			
	内圧 ※ (MPaG)	外圧 (MPaG)	外2圧 (MPaG)	外3圧 (MPaG)
2023 12/1 8:45	5.0	0.0	0.0	0.0
2023 12/4 8:45	4.6	0.0	0.0	0.0
2023 12/5 9:30	4.6	0.0	0.0	0.0
2023 12/6 9:40	4.7	0.0	0.0	0.0
2023 12/7 8:50	4.7	0.0	0.0	0.0
2023 12/8 8:50	4.6	0.0	0.0	0.0
2023 12/11 8:30	4.6	0.0	0.0	0.0
2023 12/12 8:30	4.5	0.0	0.0	0.0
2023 12/13 8:40	4.3	0.0	0.0	0.0
2023 12/14 8:40	4.1	0.0	0.0	0.0
2023 12/15 8:30	3.9	0.0	0.0	0.0
2023 12/18 8:50	3.4	0.0	0.0	0.0
2023 12/19 8:20	2.9	0.0	0.0	0.0
2023 12/20 8:45	2.6	0.0	0.0	0.0
2023 12/21 8:45	2.3	0.0	0.0	0.0
2023 12/22 8:45	2.3	0.0	0.0	0.0
2023 12/25 8:45	1.9	0.0	0.0	0.0
2023 12/26 8:40	1.8	0.0	0.0	0.0
2023 12/27 8:45	1.8	0.0	0.0	0.0
2023 12/28 8:40	1.8	0.0	0.0	0.0

	IW-2 (萌別層圧入井)			
	内圧 ※ (MPaG)	外圧 (MPaG)	外2圧 (MPaG)	外3圧 (MPaG)
2024 1/4 8:50	1.1	0.0	0.0	0.0
2024 1/5 8:40	0.9	0.0	0.0	0.0
2024 1/9 9:15	0.5	0.0	0.0	0.0
2024 1/10 8:40	0.2	0.0	0.0	0.0
2024 1/11 8:40	0.2	0.0	0.0	0.0
2024 1/12 8:45	0.2	0.0	0.0	0.0
2024 1/15 8:45	0.2	0.0	0.0	0.0
2024 1/16 9:30	0.2	0.0	0.0	0.0
2024 1/17 9:40	0.2	0.0	0.0	0.0
2024 1/18 8:45	0.2	0.0	0.0	0.0
2024 1/19 8:45	0.2	0.0	0.0	0.0
2024 1/22 8:45	0.2	0.0	0.0	0.0
2024 1/23 8:45	0.1	0.0	0.0	0.0
2024 1/24 8:50	0.1	0.0	0.0	0.0

※ 内圧はSSV閉止上部の窒素蓄圧状態を示す。

③ 成果

圧入井の坑口装置メンテナンスについては、極力低コストを目指してメンテナンス頻度を抑えるべく志向してきた。実績から得られる知見・課題事項を成果として記載する。IW-2の坑口装置は、2015年6月に設置して約8年6か月経過した2024年1月にトップバルブのステムシールからのリークが確認された。圧力計の交換タイミングと同時期を契機としていたことから、当初圧力計付近のゲージバルブ等の接続部のリークを疑ったが、詳細調査の結果、トップバルブのステムシールからのリークであることが判明した。ステムパッキンの材質はバルブステムの周辺を GLASS FILLED TEFLON パッキングセットで上下を挟み、その中間部にメーカー指定のプラスチックパッキンを挿入した仕様となっている。通常の油ガス井で用いられているものと同様であり、バルブメーカーによると、パッキングセットの耐用年数は使用環境（温度、圧力、接触流体）に依存するとのことから正確な耐用年数については本報告では言及できない。2024年1月のトップバルブのステムシールのリークは経年劣化によるものか、耐用年数にCO₂環境が影響した可能性があるかは現時点においては判断しがたい。

2024年度の作業においては、プラスチックパッキンの「入れ替え」作業を実施すること

によって、プラスチックパッキンの劣化によるものか、それともパッキングセットの劣化によるものかの推測を行う予定である。これによりパッキンセットの劣化が判断される場合には、少なくとも同仕様・同環境で使用されるパッキンセットは圧入期間・モニタリング期間を含めて、8年6か月より早い段階で交換・補修することが推奨事項になると言える。観測井の坑口装置メンテナンス作業については、これまでプラスチックパッキンの一部を交換するプラスチックパッキンの増し入れ作業(以下、「増しパッキン作業」と称す。)を2020年以降は1年に1回実施しており、観測井の坑口装置のステムシールからのリークは2024年4月現在確認されていない。2024年度作業状況によっては、圧入井に関しても同様に1年に1回程度の「増しパッキン作業」もしくは「プラスチックパッキンの入れ替え作業」が推奨事項となる可能性がある。

長期的なモニタリング期間におけるメンテナンスの頻度低減と、坑口圧力の長期的な観測を実行するためにも、圧入井の坑口装置に求められる機能としては以下の4点が挙げられる。

- 1) CO₂ 圧入の際に、CO₂ が接触する可能性のある部位(金属材質のみならず、エラストマー等シール材も含む)は耐CO₂の材質の物が推奨される。特に圧入が終了してからモニタリングに移行する際に坑口装置を入れ替える作業が想定されない場合にはこの点に留意が必要である。少しでもコスト低減を考慮するのであれば、少なくともプライマリーシール(最初にCO₂接触する可能性のある部位)については、耐CO₂材質かつできるだけ長期にシール性を保持する性能を持つ物が推奨される。
- 2) プラスチックパッキンを用いる仕様のバルブの場合、経年劣化等を考慮してリークが発生しないよう、現時点におけるメンテナンス頻度は少なくとも8年6か月以内に1度はプラスチックパッキンの入れ替えを行えるような体制を整えるのが望ましい。また継続監視の意味合いからは、即時取替可能である代替のバルブ類を常時備えておくことも推奨事項として挙げられ、代替バルブも使用されていなくとも経年的な劣化を考慮して、定期的なメンテナンスを推奨する。
- 3) CO₂ が GLASS FILLED TEFLON パッキングあるいは、プラスチックパッキンに影響を与えたかどうかは現時点において判定はできないが、油ガス井と異なり CCS 事業においては高濃度 CO₂ を取り扱う必要があることから、高濃度の CO₂ が耐用年数に関する影響・記録等は実績を基に記録・保管してメンテナンス頻度の適正化に役立てることが推奨される。
- 4) 坑口装置全体のデザインについて可能であればリークパスが極力少ない構造が推

奨される。理由として、リークパスが少なくなることにより、リークのリスクが低減するほか、坑口圧力を適切に監視する際に漏洩する箇所への懸念が減少するからである。2024年1月のIW-2のリーク箇所調査においても、複数箇所のリークパスがあったことからリーク箇所の特定に時間を要した。スリックライン作業・ワイヤーライン作業等、長期的な坑内のメンテナンスを実施するために作業性も考慮する必要があるが、事前に詳細設計を行った上で接続部を極力少なくした一体構造にする工夫も場合によっては必要である。

例えば、IW-1、IW-2の坑口装置の場合、正面から向かって左袖バルブから先は、左袖フランジ×L型ゲージバルブ×アダプター×圧力ゲージという構成になっている。

この構成の場合、以下4箇所のリークパスが存在する。

- 1) フランジ×L型ゲージバルブねじ込み部分
- 2) L型ゲージバルブのステムシール部分
- 3) L型ゲージバルブのアダプター接続部分
- 4) アダプター×圧力計ねじ込み部分

圧力モニタリングの期間で圧力監視する坑口装置構成を、フランジから先端まで一体物として製作することができれば、圧力計の接続部と左袖フランジ部のみがリークパスとなり、2箇所のリークパスに軽減することが可能である(図4.8-1参照)。圧力計交換・校正の際には左袖ゲートバルブを閉止した状態で交換を実施することは可能と考えられ、またフランジ～圧力計までの閉塞等の確認においても、左袖ゲートバルブ閉止状態で対応することは可能と推測される。近年では金型がなくとも、参考となる部材のCTスキャン・3Dプリント技術等を用いて金属部品を製造できるメーカーがいくつか存在することから、坑口装置の製作に着手する設計段階から、そういった企業を巻き込んで詳細な設計を行い、リークパスを極力減らすような工夫も必要である。

左図：現行イメージ、右図：改善イメージ

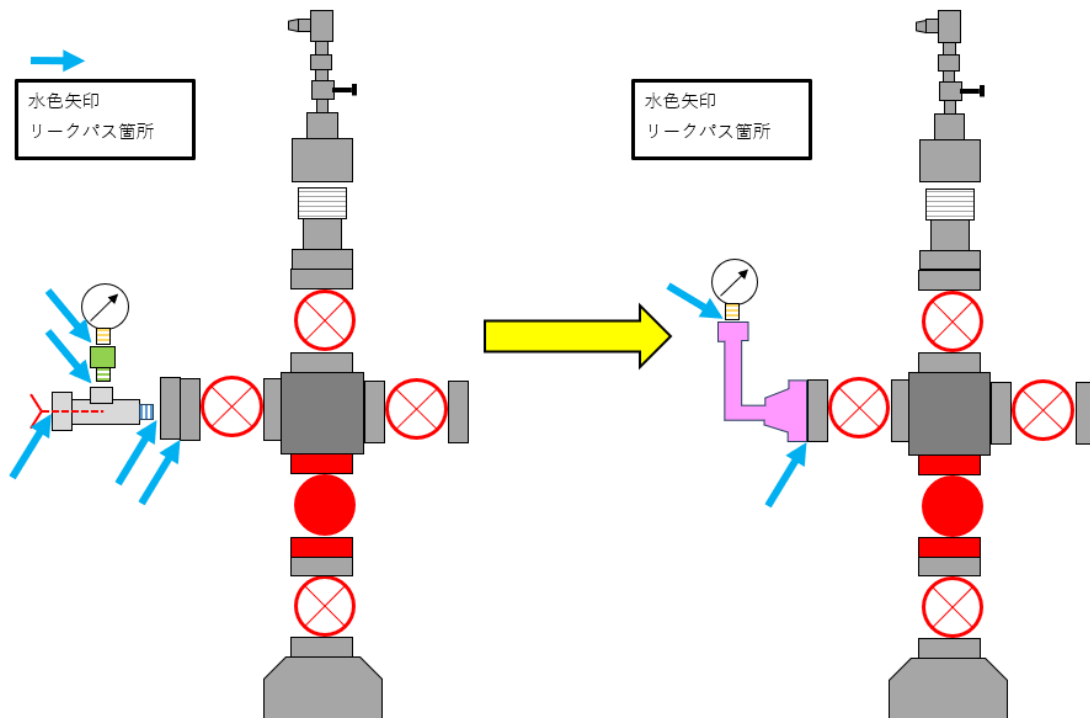


図 4.8-1 リークパスの軽減イメージ

4.8.2 観測井の維持管理

(1) セラー内排水作業

① 作業概要

坑口装置の定期点検作業のためと、冬季の凍結防止のために、OB-1、OB-2 および OB-3 のセラー内の排水作業を実施した。例年実施をしているが特段異常は見られていない。過去に圧入井の坑口保護設備設計および設置工事を行っているが、設備設計には約 35 万円、設備設置には約 374 万円（合計 409 万円）のコストを要している。セラー内の排水作業自体は、1 回当たり約 18 万円の費用を要している。これらから、2024 年 4 月現時点における人件費単価等を基に、物価上昇想定 0.714%/年、人件費上昇想定 0.366%/年を加味した上で経過年数によるコスト比較を行なった結果を図 4.8-2 に示す。図をみると明らかで経過年数が 24 年以内であれば、毎年セラーの排水作業を実施することが安価なコストで維持管理ができることが分かる。2024 年 4 月現時点においては従来のセラー内排水で対応できていることから、今後も同様の対応を継続する予定である。

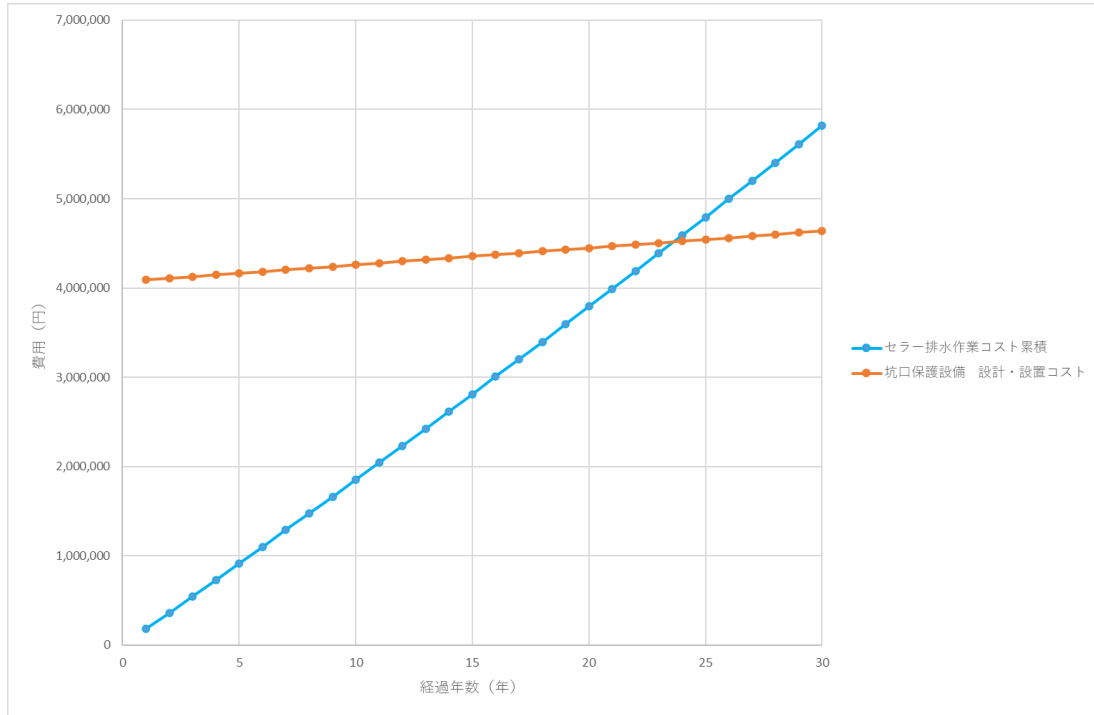


図 4.8-2 坑口保護設備（設計・設置）コスト vs セラー内排水作業コスト

(2) 観測井 OB-1 および OB-2 坑口装置の定期点検・整備作業概要

① 作業概要

2023年4月にOB-1およびOB-2坑口装置の定期点検・整備作業を実施した。

各坑井に対して以下の作業を実施した。

- 1) 各バルブ現況確認
- 2) パッキングフィッティングスクリュー初期トルクの確認
- 3) プラスチックパッキングの増し入れ作業
- 4) ボディーシーラントの注入
- 5) ベアリンググリス注入
- 6) バルブの開閉確認
- 7) パッキングフィッティングスクリュートルクの再確認
- 8) バルブ、フランジ、ボルトの腐食、傷、弛み、変形の有無
- 9) フランジ面、バルブグランド面、ネジ部の漏洩の有無
- 10) 防食テープの被覆状態
- 11) 圧力確認

OB-1: 作業前の坑内圧力(伝送器表示値)は0.43MPaあり坑口装置の耐圧および蓄圧状況からして坑口装置には問題は見られない。一度内圧払い作業を実施した後、坑内の計測器を回収作業中にLV4を閉止し再度内圧をゼロまで払い坑内の計測器を回収した。回収2日後坑内圧力が0.09MPaになったもののLV-4のシール性には問題ないと判断している。

バルブボディ、フランジおよびボルトの外観状態は前回点検時と同様で異常は見当たらなかった。

OB-2: 作業前坑内圧力(伝送器表示値)は0.06MPaあり坑口装置の耐圧および蓄圧状況からして坑口装置には問題は見られない。一度内圧払い作業を実施した後、坑内の計測器を回収した。回収2日後坑内圧力が0.14MPaになったものの袖バルブ(TBGスプール袖バルブ)から払い作業を継続しつつマスターバルブの開閉確認作業を実施しており、現状作業の対応は可能な状況にある。

バルブボディ、フランジおよびボルトの外観状態は2022年度点検時と同様で異常は見当たらなかった。バルブメーカーから今後もバルブの健全性を保つ為に、定期的にステムシーリング部の整備及びベアリンググリスとボディーシーラント注入することの推奨があった。

OB-3: 作業前坑内圧力(伝送器表示値)は7.4MPaあり坑口装置の耐圧および蓄圧状況からして坑口装置には問題は見られない。一度内圧払い作業を実施した後、坑内の計測器を回収作業中に、LV4を閉止し再度内圧をゼロまで払い坑内の計測器を回収した。メンテナンス作業直前の坑内圧力は0.0MPaであることからLV4のシール性能は効いていることを確認した。外圧は圧力回復により1.0MPaまで上昇していたことから、バルブメンテナンス作業直前にも脱圧作業を実施しており、外圧部の健全性にも問題は無い。

② 成果

OB-3については、ケーシングスプール左袖バルブ側から脱圧を行ったものの、ケーシングハウジング右袖バルブからセンサー(伝送器)間の約1.0MPaの脱圧が確認できなかったことから、ケーシングハウジング～右袖バルブ～センサー(伝送器)間の一部閉塞が疑われる。2024年度以降のメンテナンス作業時に状況の再確認および解消作業の実施検討をする。袖バルブの圧力測定はフランジ接続型のダイヤフラムセンサーを使用していることから、センサーメンテナンス業者がダイヤフラムセンサーを取り外した際に内部確認をすることが推奨される。

3坑の観測井について、耐圧および蓄圧状況からして緊急的に対処しなければならない状

況にはない。

観測井の圧力上昇については、坑内流体の置換、坑内・地層内からの（化学反応含む）気体産出による影響と考えられるが、それを説明するデータを得るには現行の観測井仕上げ方法（定点観測）では難しい。それらを判断するには、別途圧力勾配を深度毎に測定する追加検層作業、坑内比重測定の実施作業、深度毎に圧力温度変化が分かるような追加設備導入が必要となる点が現状の課題である。

現行の観測井デザインでは、地震計の点検に伴い坑内センサーの定期メンテナンスが必要で、メンテナンスの都度脱圧作業を要することから、脱圧による坑内流体への影響の可能性もあることも課題であり、坑口装置のデザイン・降下するWL ツールに関しても検討の余地がある。観測井を用いた観測期間の長短、観測項目、観測頻度、観測精度、メンテナンス頻度、トータルコスト等を考慮して、メンテナンス頻度の少ない半永久的な方式を用いるか、定期的にツールを巻き上げて点検する方式を用いるかの選択も併せて、坑口装置のデザインとともに課題となる。

(3) 観測井 OB-1、OB-2 および OB-3 の敷地巡回・不安全箇所への対応

① 作業概要

観測井および観測井敷地内の危険個所の状態確認のため、敷地巡回を実施した。結果、保安上小補修を要する事項が抽出されたため、2023年7月に対処を行った。主な実施事項を以下に列記する。

- 1) (旧) 排水口塩ビパイプ周辺・給水井側の側溝部に対するカラーコーン設置作業
- 2) OB-1 敷地入口部チェーン交換・クランプ交換・単管交換・クランプ取外し
- 3) OB-1 敷地道路入口スロープ付近のポール修復、既存鉄筋撤去
- 4) OB-1 敷地道路面中央部チェーンの交換作業・単管パイプの交換作業
- 5) 給水井圧力計の交換・不凍液封入確認(METI 資産に対する善管義務にもとづく)
- 6) 敷地内残機材の金属売却対応
- 7) 観測井 OB-3 南京錠の交換

② 成果

潮風・暴風等により長年風雨にさらされている影響もあり、敷地内の鉄製部材の腐食やそれに伴う破損が酷くなってきていることから、2023年度に必要な最小限度の補修を行った。従前使用していた南京錠はステンレス製ではなかったことから、錆・腐食・固着の状態が著しく酷く今後の長期的な維持管理を考慮して、本体はクロムメッキ仕上げでサビに強く、弦は強度の高いステンレス製の南京錠を取付けした。各観測井敷地は海上から極めて近いこ

ともあり、今後同仕様の南京錠で何年間維持管理できるか実績確認が必要となる。少なくとも2024年4月現在、交換から約8か月稼働は良好の状況にある。4桁ダイヤル式の南京錠をもちいており、監視カメラも併用していること、フェンスの破損等もないこと、1箇月に1回の定期巡視の頻度であるが、部外者の侵入等も現時点においては見受けられず、現状必要最小限のコストで維持管理はできていると判断できる。観測井OB-1の敷地は簡易的な柵を設けて管理を行っているが、2024年4月現時点において野生のシカ等のフンは敷地内に見当たらず、少なくとも陸生生物の敷地内侵入の様子は確認されていない。給水井の圧力計については、METI資産を善管義務のもとで管理している。定期巡視の際に圧力計の故障が疑われたことから給水井の圧力計の更新を行ない、地上部の凍結防止のため不凍液の注入を実施した。この結果、給水井の圧力計は2024年4月現時点において問題はない。また、積雪等の影響により破損したために2022年12月に既存泥だめ部で補修した落下・進入防止用ネットについても2024年4月現時点においては問題が無く、安全ネット選定仕様(結節方法:蛙又結節網、素材:ポリエステル、網地太さ:(280T(250D))/162本、網目の色:白、網地の大きさ:100mm、網糸の強さ:120kgf以上、網吊ロープの太さ:ポリエステル9Φ、縁ロープの強さ:1,500kgf以上)についても妥当であると評価できる。

(4) 観測井OB-1 セラー補修工事

① 作業概要

観測井OB-1敷地内のセラーの周囲の表層部に施工しているコンクリートについて、強度不足と地盤面の沈下に伴い割れおよび傾斜が生じていたことから補修を行った。既存の表層コンクリートそのものが低強度であることも割れの原因の一つとして考えられる。セラー周囲の立壁部の亀裂部からセラー内への敷地内雨水が流入する支障等がありえ、段差が最大6cmの高さにもおよぶ箇所があることから、作業員の躓き・転倒・セラーへの転落等の災害の原因となりえた。地盤面の沈下が継続し、表層コンクリートの割れが更に酷くなり、坑井方向に沈み込むような形となって傾斜が拡大する可能性がある。今後も継続して維持管理作業を実施する必要があるが、傾斜がさらに拡大した場合にはトラッククレーンのアウトリガーを水平に保つことが困難となり、転倒事故を発生させる懸念がある。保安上の観点からこれを解消するため、また将来的に坑井の健全な維持管理を継続するために、セラー周辺のコンクリートの補修を行った。

② 成果

補修完了後の2024年4月観測井OB-1作業時にはトラッククレーン設置・進入等支障なく作業を完遂している。またセラー内雨水の溜まり状況については以下のとおり軽減されている。このことから、セラー周囲の立壁部の亀裂部補修、および立壁部～地盤面との取り付け部のシール性が回復したことからセラー内への敷地内雨水の侵入が軽減されたものと判断される。

2023年4月5日：セラー内雨水・底面より50cm

2024年4月4日：セラー内雨水・底面より30cm

4.9 まとめと課題

(1) 本年度のモニタリング結果のまとめと課題

圧入井および観測井を利用した圧力・温度モニタリングでは、ベースライン測定時から圧入中そして圧入停止以降、連続観測を継続した。圧入井においては、IW-1 および IW-2 の坑底圧力・温度の観測において、一部に機器の不具合や他作業の影響と考えられるスパイク等が見られるものの、貯留層の異常を示す事象は観察されていない。貯留層の状況については圧力・温度が圧入開始前の状況に近づいており、漏洩・漏出のリスクは低下する傾向にあると考える。観測井においても、圧入井と同様に貯留層の異常を示す事象は観測されなかった。2024年度も継続して圧力・温度測定を実施し、貯留層状況を監視する。

微小振動・自然地震モニタリングでは、坑井内、海底下 OBC という通常の地震観測と比較してノイズレベルの低い環境における微小な振動の計測を継続している。2023年度は、自然地震モニタリング範囲内において気象庁 96 件に対して実証試験では 446 件のイベントを検出した。2024年度も引き続き微小振動・自然地震観測を実施し、本事業周辺地域での自然地震の発生状況を把握する。合わせて、常設型 OBC については運用停止および撤去について検討を実施する予定である。

繰り返し弾性波探査では、統合ベースライン調査記録の最適化およびトレース内挿処理の適用が、解析結果の品質向上に有効であることを確認した。2024年度に第7回モニター調査を実施し、圧入した CO₂ の挙動や分布状況を確認する予定である。

(2) モニタリング機器の維持管理（検層等）

観測データの信頼性を確認するため、2022年度に実施した OB-3 の検層に引き続き、2023年度は OB-1 および OB-2 においても検層を実施して、圧力・温度観測値と比較・校正するとともに、今後の観測井における圧力・温度観測の維持管理に有効であることを確認した。2024年度も引き続き検層による圧力・温度観測値の比較・校正を実施する予定である。

(3) 設備の経年対応（バルブ等）

圧入井の維持管理においては、IW-2 に整備した SSV を設置しリークがないことを確認した。IW-2 についてはトップバルブシステムシールのリークが推定されることから、2024年度以降プラスチックパッキンの入れ替えを実施する予定である。

観測井の維持管理においては、定期点検・整備を行った。OB-3 のケーシングハウジング袖バルブの閉塞が疑われることから 2024年度以降に対応を検討する。敷地巡視を適宜実施して、潮風等による影響を引き続き確認しつつ、2024年度以降も必要な補修を継続する。