

目次

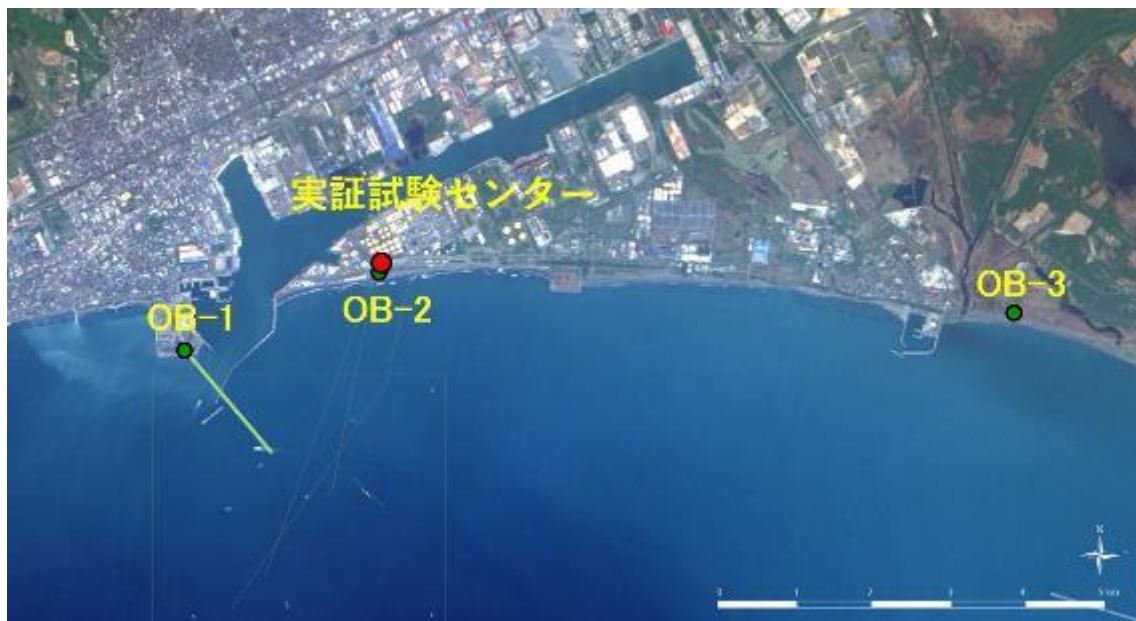
第4章 貯留したCO ₂ のモニタリング	1
4.1 観測井を利用したモニタリング	1
4.1.1 観測システム	3
4.1.2 観測システムの保守管理	29
4.1.3 観測システムによるモニタリング	38
4.2 常設型OBCによるモニタリング	71
4.2.1 常設型OBC観測システム	71
4.2.2 常設型OBC観測システムの保守管理	79
4.2.3 常設型OBCの埋設状況の確認	85
4.2.4 常設型OBC撤去に関連した振源決定への影響評価	99
4.2.5 常設型OBC観測システムの運用停止、撤去作業検討および準備	113
4.3 総合モニタリングシステムの運用	130
4.3.1 総合モニタリングシステムの主な機能	133
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	154
4.4 微小振動・自然地震モニタリング	167
4.4.1 モニタリング実施状況	167
4.4.2 モニタリング結果	169
4.4.3 2024年度モニタリング結果のまとめ	183
4.5 繰り返し弾性波探査（第7回モニター調査）	185
4.5.1 調査概要および調査測線	186
4.5.2 作業実施内容	187
4.5.3 データ取得結果	194
4.5.4 差分抽出処理	197
4.5.5 考察	201
4.6 モニタリングデータ公開システム	202
4.6.1 情報公開システム	202
4.6.2 データ公開システム	215
4.7 圧入井を利用したモニタリング	218
4.7.1 萌別層圧入井（IW-2）における坑内圧力・温度の観測	220
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	221

4.8 圧入井・観測井の維持管理.....	222
4.8.1 圧入井の維持管理	222
4.8.2 観測井の維持管理	241
4.9 まとめと課題	247

第4章 貯留したCO₂のモニタリング

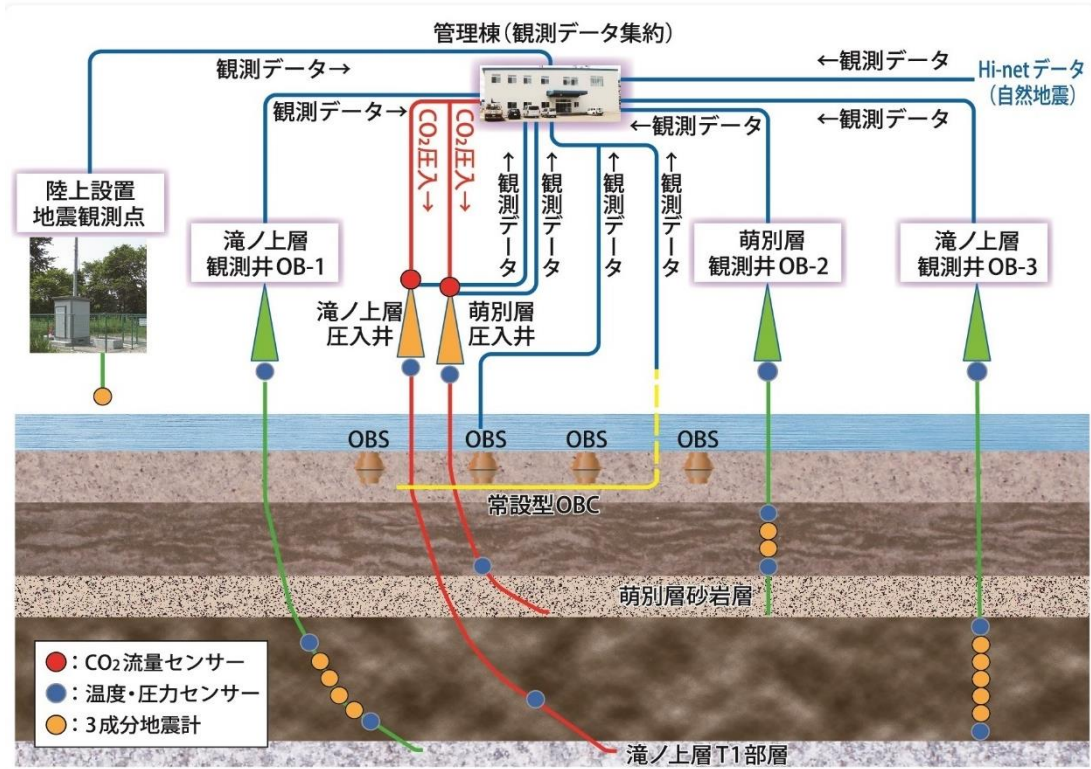
4.1 観測井を利用したモニタリング

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1) OBS と陸上設備地震観測点は2021年度に運用終了・撤去

注 2) 常設型 OBC は 2025 年度に運用停止・撤去予定

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 (CSG) 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 注4)	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 CSG 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)、温度・圧力センサー (PPS26^{*2)})、最下部にシンカーバー (重錘) を ITC^{*3)} (Interconnect Tool Cable) で接続した多連編成で設置している。また、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。) を設置している。表 4.1-2 に坑内機器の設置深度を示す。なお、OB-2 については 2024 年 9 月 15 日に実施した坑内機器回収作業中にアーマードケーブル破断し、圧力・温度・微小振動計測機器が坑内へ落下するトラブルが発生し、その後の坑内調査による結果を踏まえて、2025 年 1 月 26 日に坑内機器を再設置した深度、

*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) PPS26 : 温度圧力の測定精度が高い Silicon on Sapphire 素子を用いた温度・圧力計 (外径 : 36 mm、長さ : 209 mm)。

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

およびトラブル発生前の深度を示す。

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光回線または無線通信を用いた 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われ、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	0.0~451.5 (0.0~901.9)	0.0~1,745.8
FBG-P/T センサー		2,294.6	451.5 (901.9)	1,745.8
Silicon-P センサー		2,294.6	451.5 (901.9)	1,745.8
坑内地震計	No.1	2,302.8	459.7 (910.1)	1,754.0
	No.2	2,402.8	469.7 (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	478.3 (928.7)	2152.6

注 1) 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 Sapphire 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。

注 2) カッコ内の数値については、2024 年 9 月 15 日以前の坑内観測機器設置深度を示す。

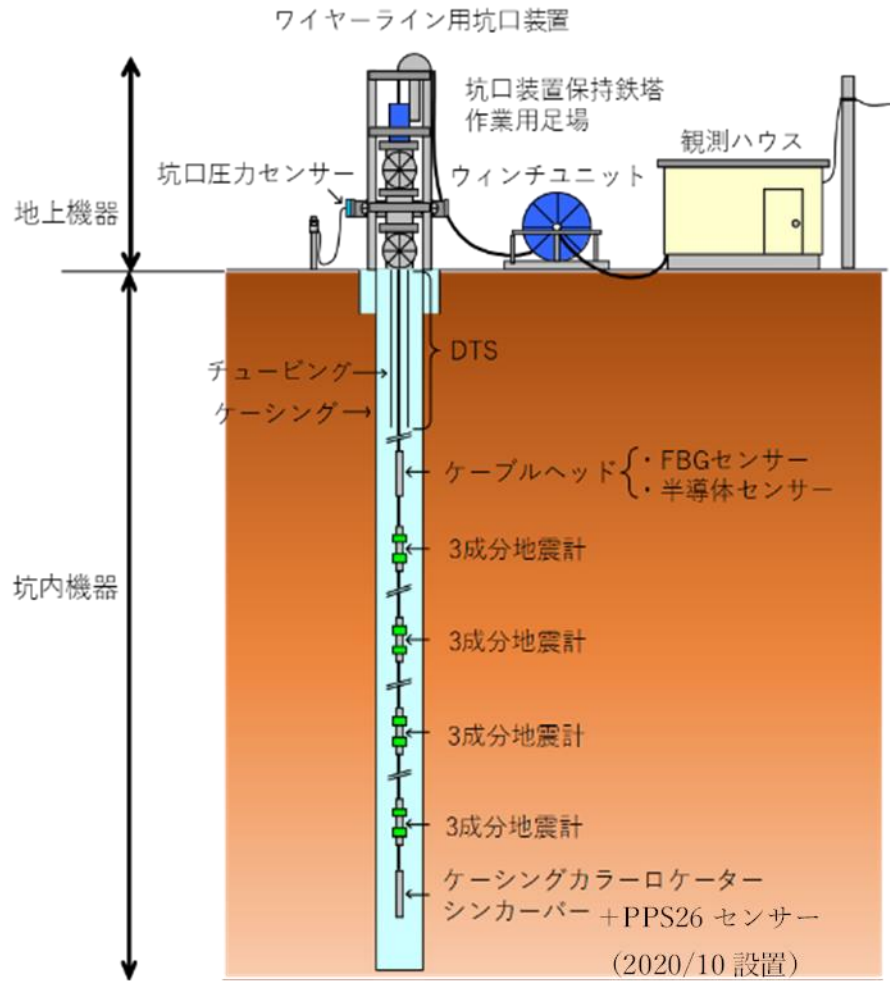


図 4.1-2 観測システム概念図

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

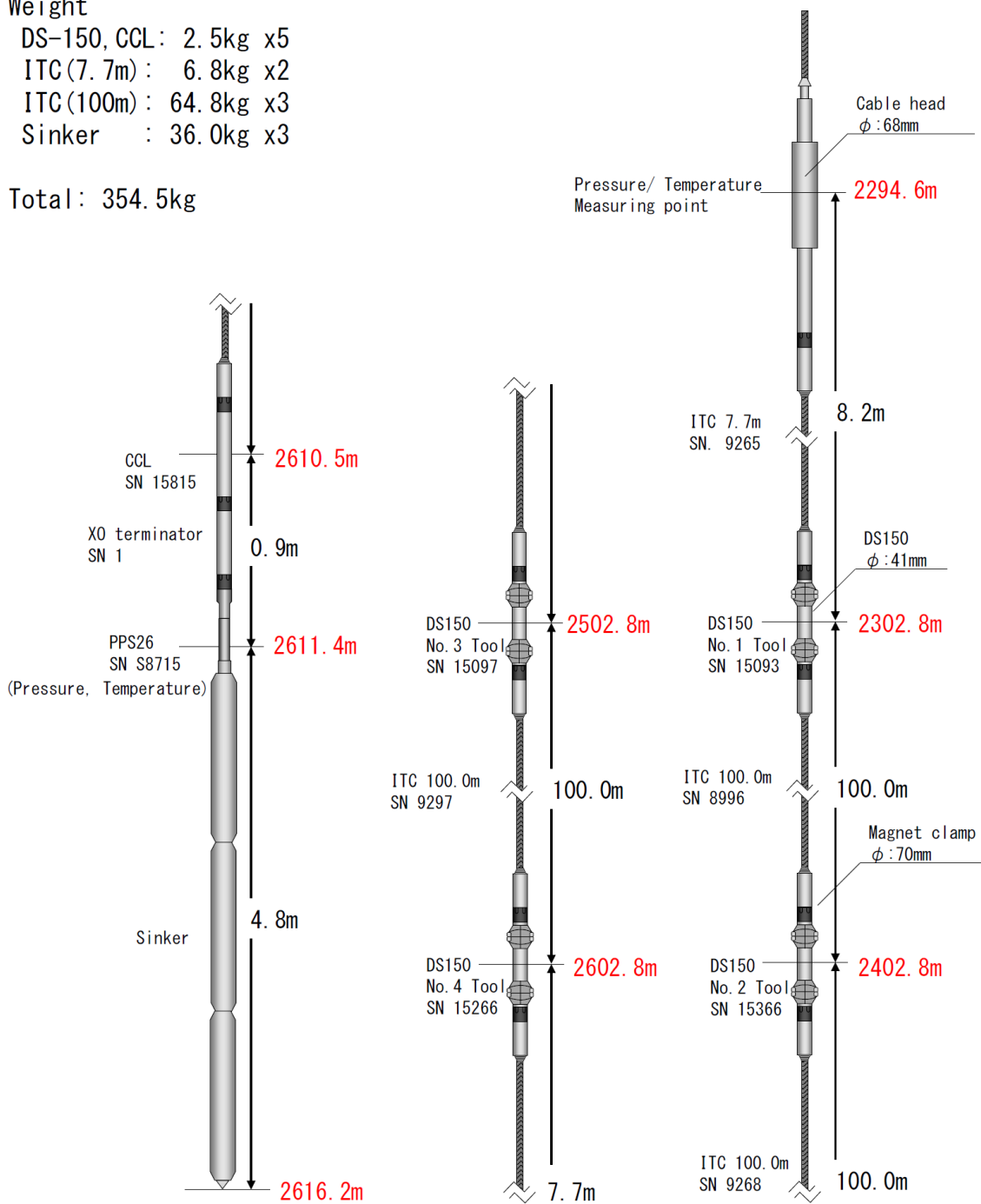


図 4.1-3 (1) PPS26 センサー設置後の坑内観測機器編成図 (OB-1)

Weight

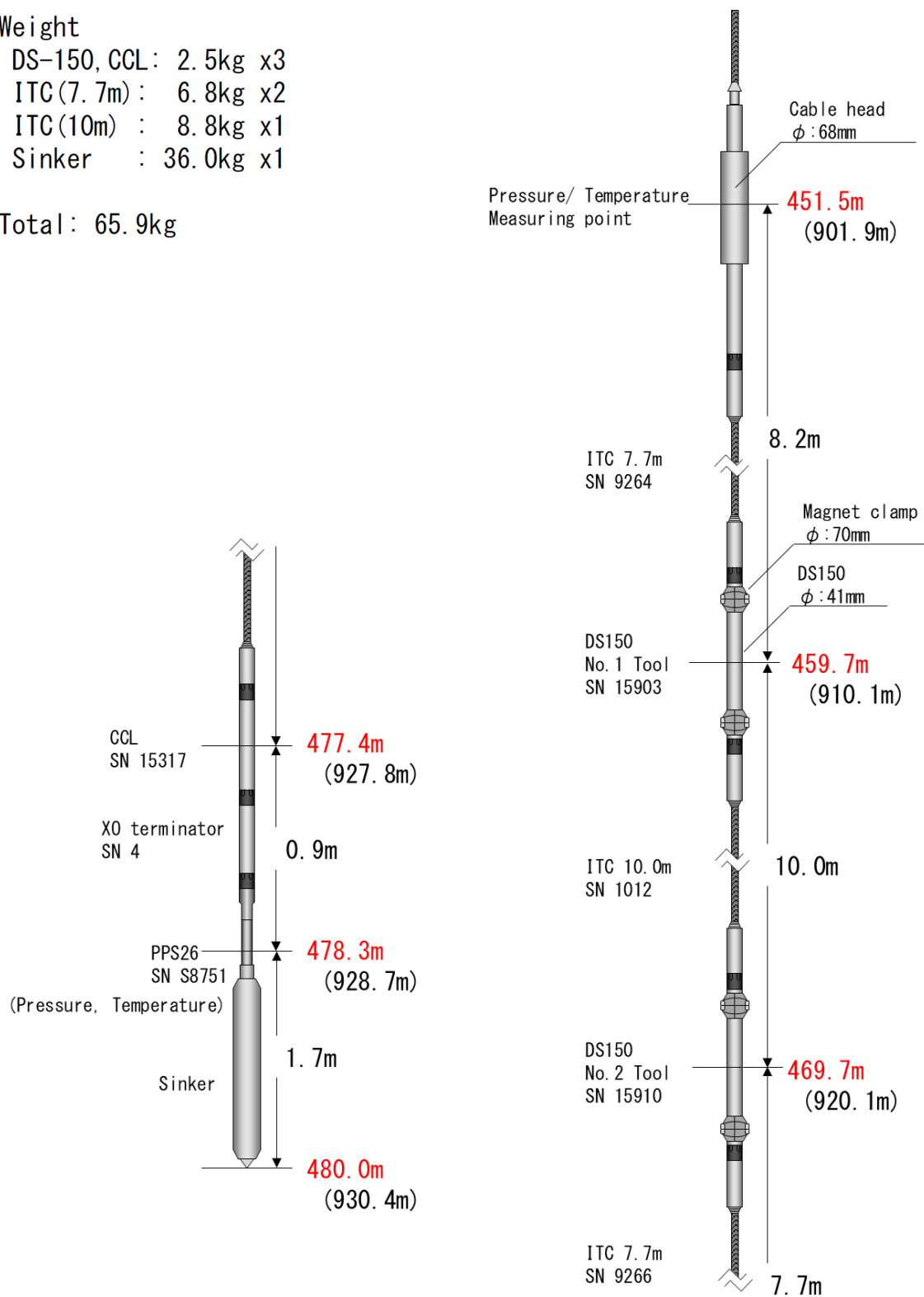
DS-150, CCL: 2.5kg x3

ITC(7.7m): 6.8kg x2

ITC(10m): 8.8kg x1

Sinker: 36.0kg x1

Total: 65.9kg



注) 設置深度について、赤字: 2025年1月26日以降、黒字: 2024年9月15日以前を示す。

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

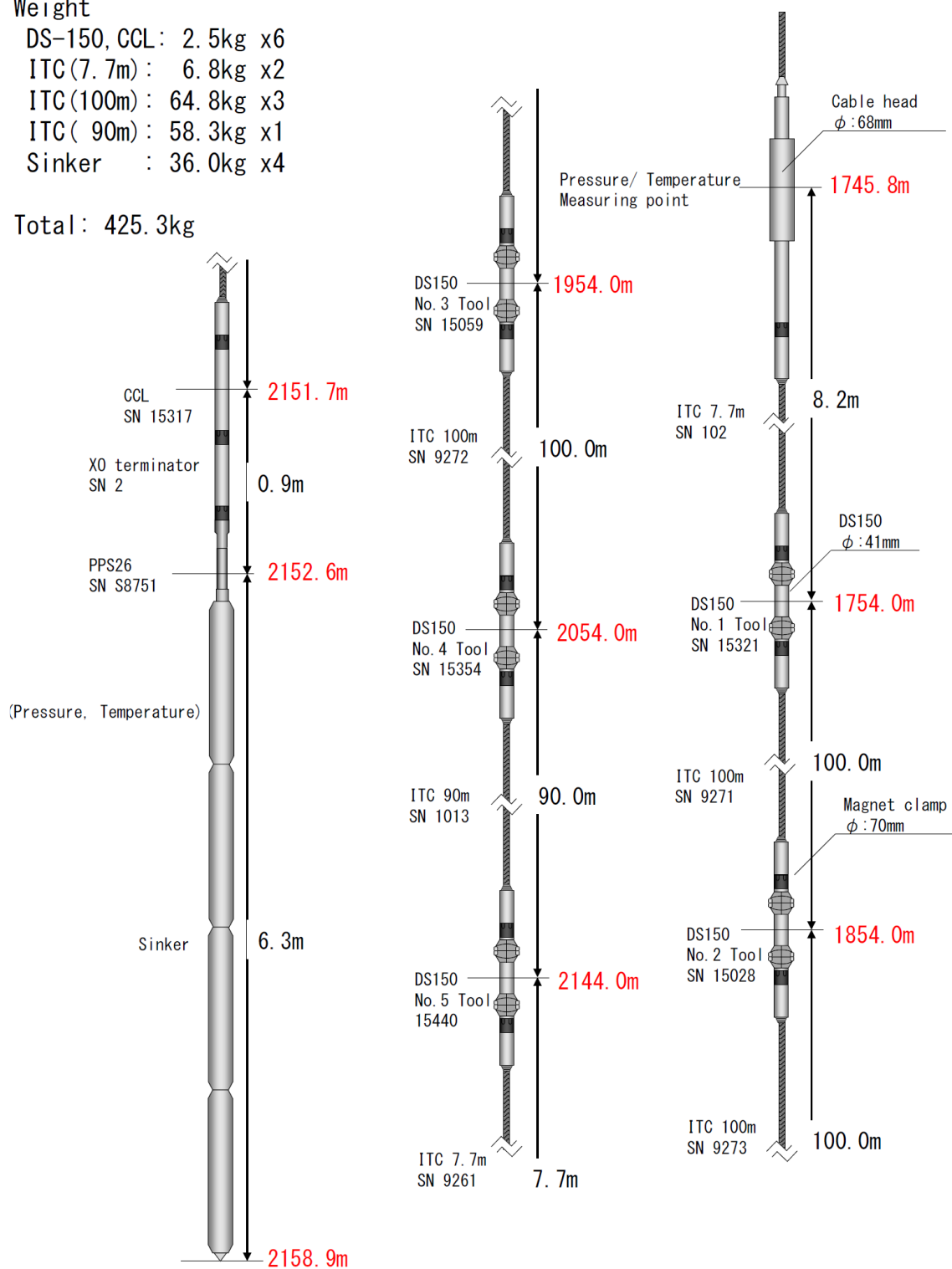


図 4.1-3 (3) PPS26 センサー設置後の坑内観測機器編成図 (OB-3)

(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ツクラン

ブが装着されており、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（41.3 mm） 長さ/重量：406 mm/2.3kg 耐熱/耐圧：150℃/20,000psi（138 MPa） 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 10 Enterprise Software：GeoRes Image SSD：500GB 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、2、4msec GPS 同期
データ転送用 PC （観測ハウス）	（株）ZEUS/ ZEUS 2U RACKMOUNT	OS：Windows11 Pro 64bit CPU：intel Xeon Bronze 3408U 1.80-1.90 GHz メモリ：32GB SSD：500GB

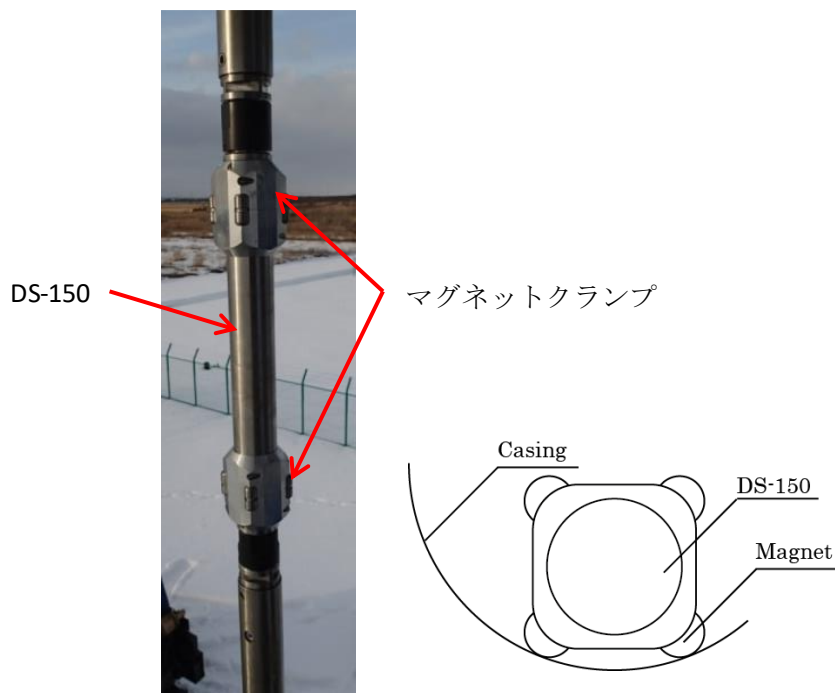


図 4.1-4 坑内に設置した地震計 (DS-150)

(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。

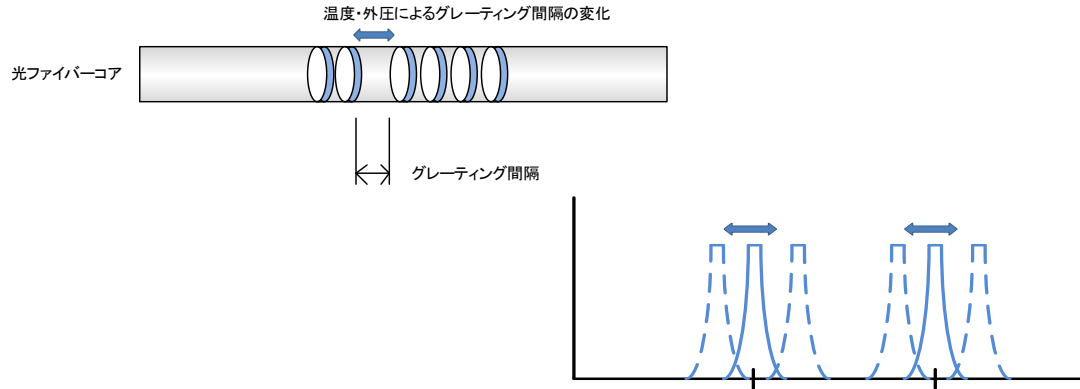


図 4.1-5 FBG の測定原理

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 (±0.5 MPa、±1℃) 分解能：0.005 MPa, 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)ZEUS/ ZEUS 2U RACKMOUNT	OS：Windows11 Pro 64bit CPU：Intel Xeon Bronze 3408U メモリ：32 GB SSD：500GB	観測ハウス
FBG 時刻補 正用 PC	Intel/ NUC5I3RYH	OS：Windows 10 Pro CPU：Intel i3-5010 2.1GHz メモリ：8 GB SSD：500GB	観測ハウス

注) TSPPT：Terminal SmartPort Pressure and Temperature



図 4.1-6 FBG センサー（左）と FBG 地上機（右）

(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、観測値にノイズが多く含まれるため、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)	坑内

		分解能：無限小 ドリフト：＜0.1 MPa/年 絶縁抵抗：100 MΩ(min)@50 VDC	
データ収録 用 PC	(株)コンテック/ BX-T1020	OS：Windows 10 IoT CPU：Intel Celeron Processor 3965U メモリ：8 GB ストレージカード：SSD 256GB	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。

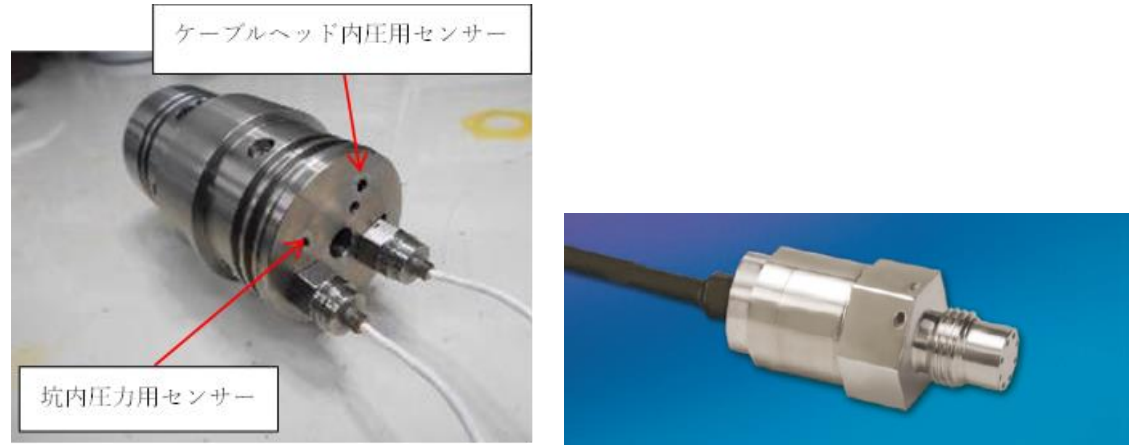
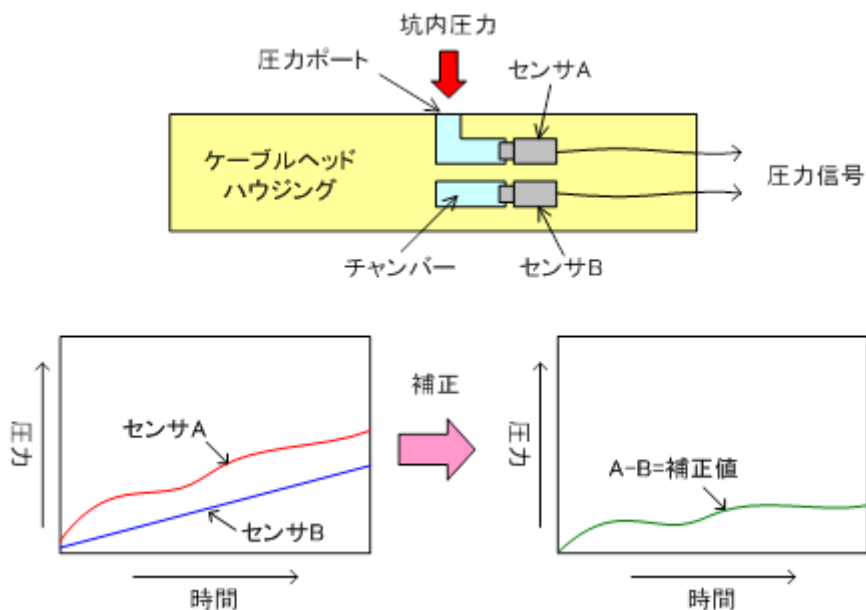


図 4.1-7 シリコン半導体圧力センサー



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	±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℃
	精度	±0.5℃
	分解能	0.01℃
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。

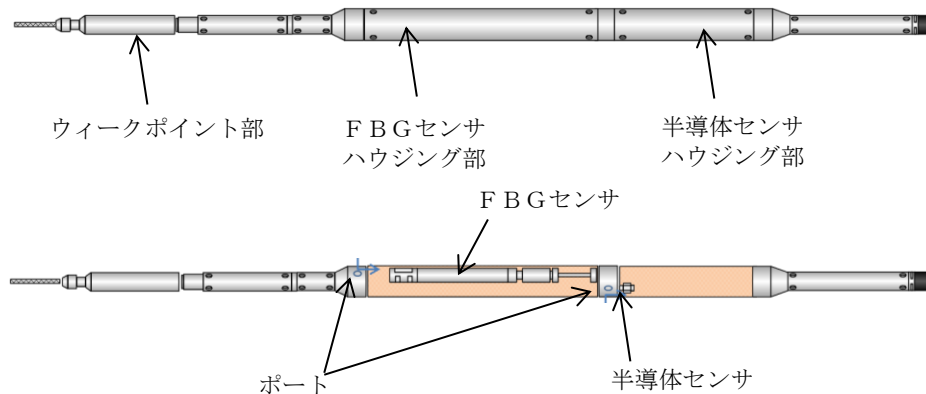


図 4.1-10 ケーブルヘッドの外観と内部構造

表 4.1-7 ケーブルヘッド仕様

項目	仕様
耐熱	150℃
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、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。

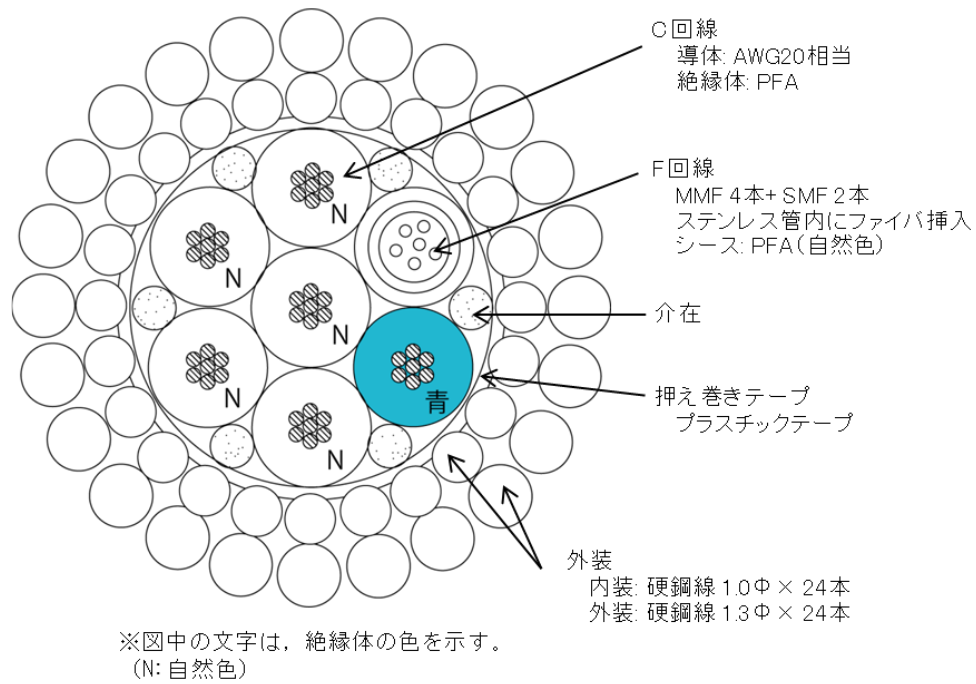


図 4.1-11 アーマードケーブル配列図 (断面図)

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
			外形	約 0.96 mm	公称断面積：0.6 mm ²
	絶縁体（PFA）		厚さ	約 0.72 mm	色：青,N 色
			外径	2.4 mm	特性：耐熱温度項参照
MP 回線×1	光ファイバ心線	MMF (GI) 4 心	コア径	50 μ m	石英ガラス＋カーボンコート
			クラッド径	1250 μ m	
			ファイバ外径	155 μ m	ポリイミド被覆(N 色)
		SMF (GI) 2 心	コア径	8.4 μ m(typical)	石英ガラス＋カーボンコート
			クラッド径	125 μ m	
			ファイバ外径	155 μ m	ポリイミド被覆(N 色)
	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 μ m
			2.1 dB/km 以下		波長 λ = 0.85 μ m
		SMF	0.7 dB/km 以下		波長 λ = 1.31 μ m
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1.0 mである。

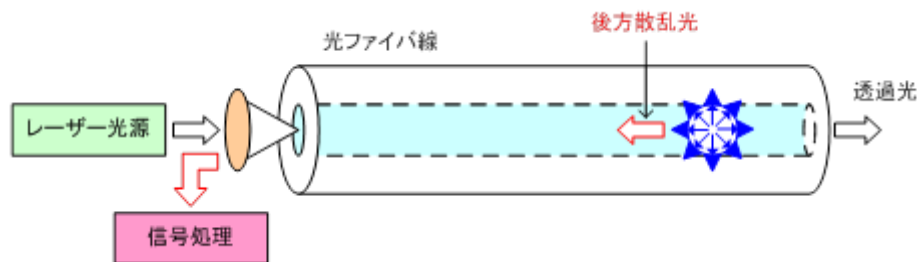


図 4.1-12 DTS の測定原理

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℃（光ファイバに依存）
	温度分解能	1 km 0.07℃ Typical 3 km 0.15℃ Typical 6 km 0.5℃ 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℃
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℃
	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。強風や地震など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。
パック・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。
リューブリケーター (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。

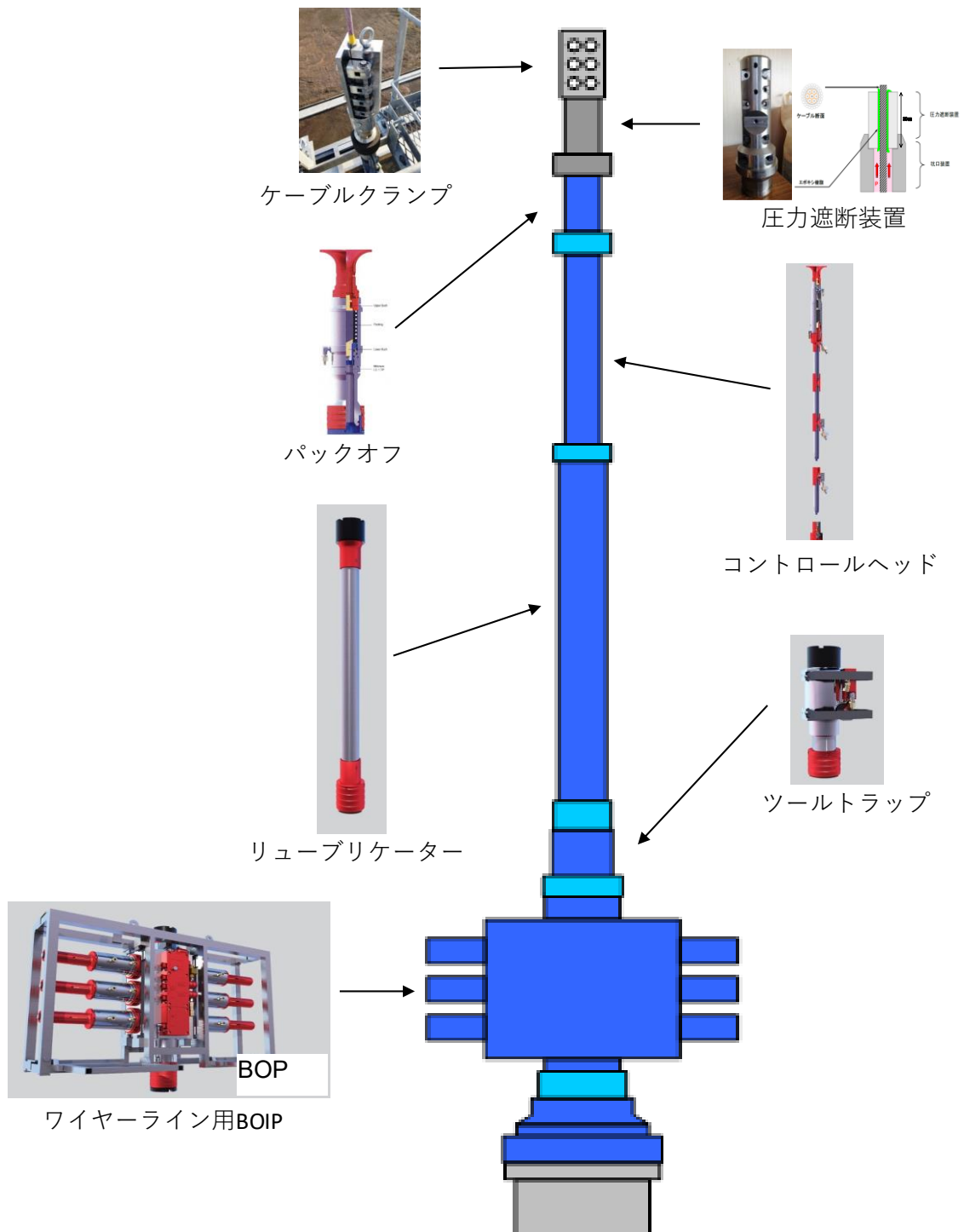


図 4.1-14 ワイヤーライン用坑口装置の模式図と構成機材の写真



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。

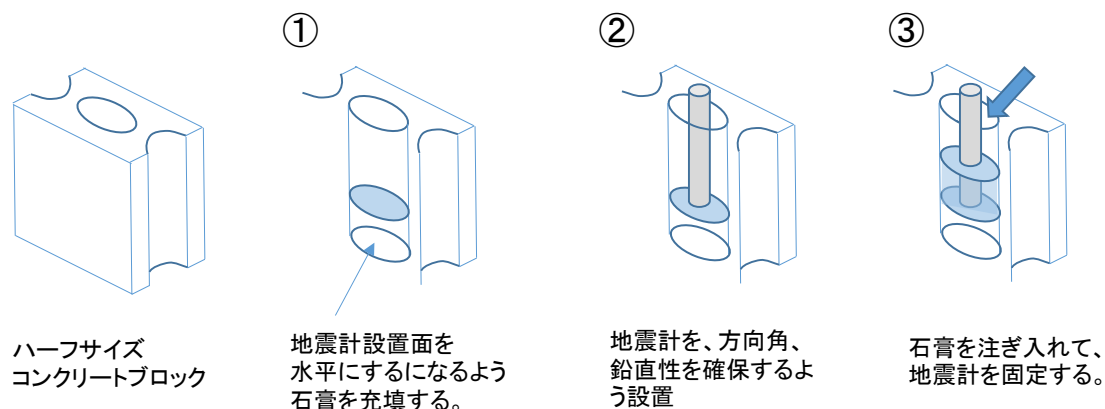


図 4.1-16 コンクリートブロックの穴へのリファレンス地震計固定手順

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 : $\pm 5\%$ 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℃

(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(1,000 VA)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光回線または無線通信を用いた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。

2024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
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

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などを実施した。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 2024 年度年間予定および実績表

場所	内容		2024年度											
			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
OB-1 OB-2 OB-3	計測		モニタリング観測											
	日常点検		インターネットまたは配信メールにより、システム稼働状況とデータ取得状況を確認(2回/日)											
	定期点検	予定												
		実績												
	坑内機器 メンテナンス 作業	予定	OB-1 					OB-2,3 				OB-2再設置 		
		実績	OB-1 					OB-2,3  ・OB-4ケーブル破断事故		OB-2坑内カメラ調査		PT検層, BHTV検層 		
	発振作業 (チェックショット)	予定												
		実績												
	坑口圧力 センサ 校正作業	予定	OB-1 					OB-2,3 						
		実績	OB-1 					OB-2,3 						
実証試験 センター	日常点検		インターネットまたは配信メールにより、システム稼働状況とデータ取得状況を確認(2回/日)											
	定期点検													
	定期点検													

添付資料②

業務名

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)

観測井名

実施日時

実施者

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
地上 計測機器 (写真 口)	設置状態は正常か	
	各インジケータは正常か	
	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	
坑口圧力 計測器 (写真 口)	UPSのバッテリーは正常か	
	NASに異常はないか	
	計測値に異常はないか	
	セラの貯水量は問題ないか	
	正常に動作しているか	
坑口装置 (写真 口)	設置状態は正常か	
	ケーブルクランプに異常はないか	
	圧力遮断装置に異常はないか	
	BOPIに異常はないか	
	その他異常はないか	
坑口装置 保持機構 (写真 口)	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	
データ 回収	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

業務名

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)

観測井名

実施日時

実施者

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
フェンス	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	
	鉛板の設置状態は正常か	
観測 ハウス (写真 口)	鉛板に破損・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 信号線 (写真 口)	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	
GPS アンテナ (写真 口)	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	
エアコン (写真 口)	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	
風速計 (写真 口)	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

2024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-2では、9月の坑内機器回収時にアーマードケーブル破断による坑内ツールの遺留事故が発生し、1月の観測再開まで133日間の欠測期間があった。

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10日	4月11～13日	4月15日	4月16日 9月24日
OB-2	9月15日※1	11月26日※2 1月21～25日※2	1月26日※3	4月16日
OB-3	9月7日 9月19日※4	9月8～11日 9月20日※4	9月12日 9月21日※4	4月17日 9月24～25日

※1：アーマードケーブルが破断し、点検、再設置を中断

※2：坑内調査（坑内カメラ調査、残留アーマー除去、BHTV 検層、PT 検層）を実施

※3：坑内調査より 500 m 以浅での坑内観測が可能であると判断出来たことから観測を再開

※4：OB-3 WL BOP のリークのため再度坑内機器回収設置作業を実施

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、油脂など）の交換などを行った。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 4.1-23～25 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など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。

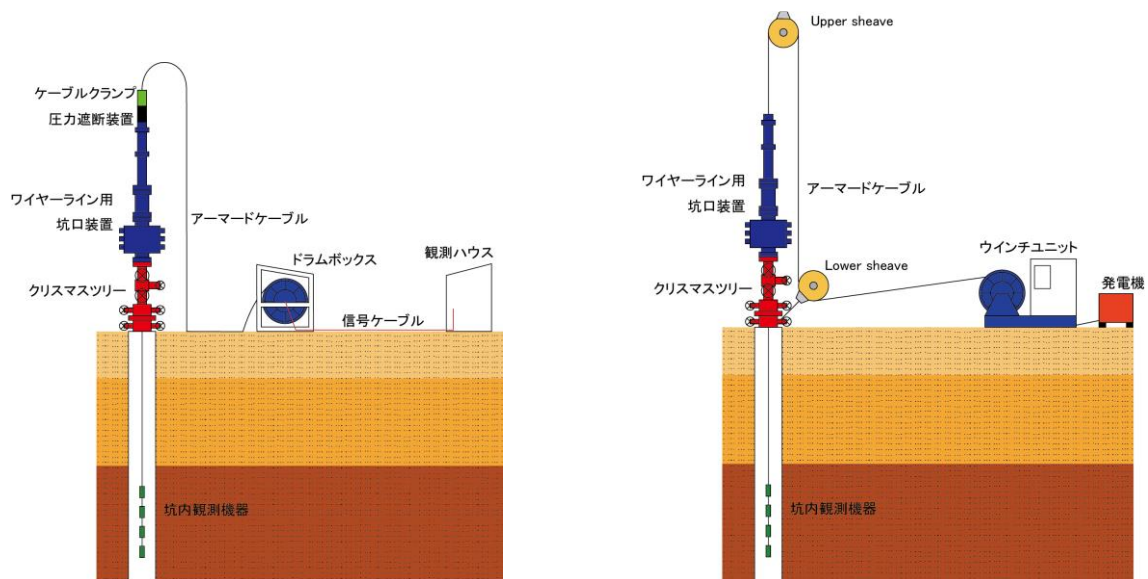


図 4.1-22 坑内機器の回収作業概念図（左：観測時、右：回収時）

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-1
実施日時	: 2024 年 4 月 11 日 ~ 13 日
実施者	: 近藤浩一、小林拓巳,Paolo Martizzi森達太郎

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	直線型圧力計 PD73

圧力校正器加圧値[MPa] PD73	PPS26[MPa] S/N:S8787	半導体圧力センサ[MPa] S/N:8007-1-156	Smartport[MPa] S/N:143800
0	0.107	0.007	0.430
1			1.420
3			3.333
5	5.107	4.925	5.312
8			8.340
10	10.106	9.904	
15	15.106	14.860	
20	20.106	19.860	
25	25.103	24.850	
30	30.102	29.820	

・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-1

実施日時
 : 2024 年 4 月 11 日 ~ 4 月 13 日

実施者
 : 下山雄己、森達太郎、Paolo Martuzzi

S/N	O-ring & Facial Seal	O-ring (Inner)	Cleaning	備 考
15801 (No.1 tool)	✓	✓	✓	
15321 (No.2 tool)	✓	✓	✓	
15322 ⇒ 15902 (No.3 tool)	✓	✓	✓	再設置時にNo.4ツール(SN15901)に異常がでたため、ツールが原因か判別するため実績のあるNo.3ツールをNo.4に移動した⇒SN15902に交換
15395 ⇒ 15322 (No.4 tool)	✓	✓	✓	モニタリング時に異常データがもたらしたため発生⇒SN15901に交換 SN15901を坑内設置時にステータスエラーが発生、データ不良を記録
15032 ⇒ 15815 (OCL)	✓	✓	✓	モニタリング時にシステムテストでエラーが発生⇒SN15806に交換 再設置時に通信不能となる⇒SN15815に交換

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-3

実施日時

: 2024 年 4 月 11 日 ~ 4 月 13 日

実施者

: 下山雄己、石塚翔

S/N	O-ring & Facial Seal	Cable Head	Grease up	絶縁 Leakage	導通 Continuity	極性 Polarity	容量 Capacitance
9265 (7.7m)	✓	✓	✓	✓	✓		
306 (100m)	✓	✓	✓	✓	✓		
8996 (100m)	✓	✓	✓	✓	✓		
9270 ⇒ 9267 (100m)	✓	✓	✓	✓	✓		
9263 (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:
 ※地震計No.4ツールはシステムテストはクリアしていたものの、時折データが0になる不具合が一年間続いていたため交換としたが、それ以外にも
 No.3-No.4間のITCが原因であることも考えられるためITCも交換とした (SN9270 ⇒ SN9267)

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

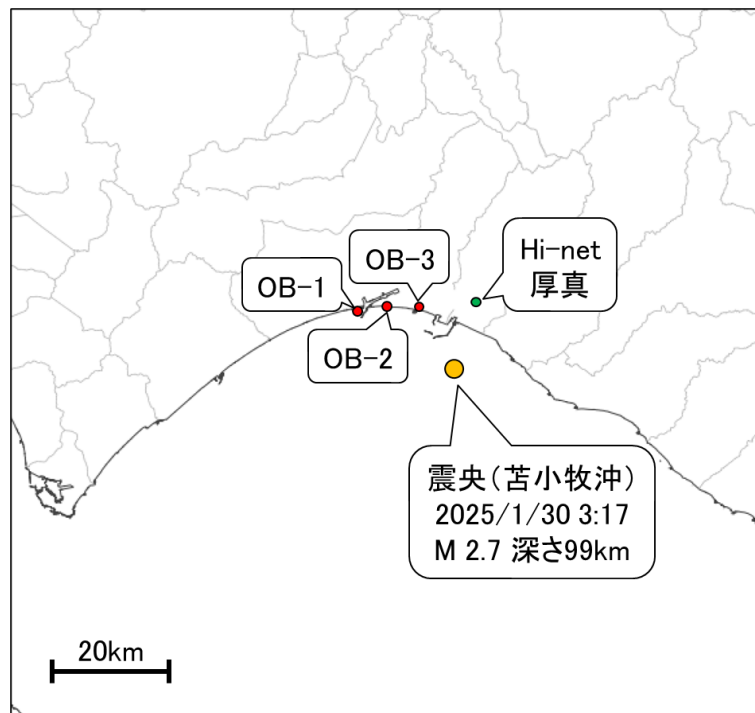
4.1.1 に示した観測システムを用いて、坑内地震計、温度計および圧力計等によるモニタリングを実施した。(1)～(3)に 2024 年度の各観測井におけるモニタリングの結果、および検討課題とその対応状況を示す。

(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。

2025 年 1 月 30 日 3:17 頃に北海道苫小牧沖を震源としたマグニチュード 2.7 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。

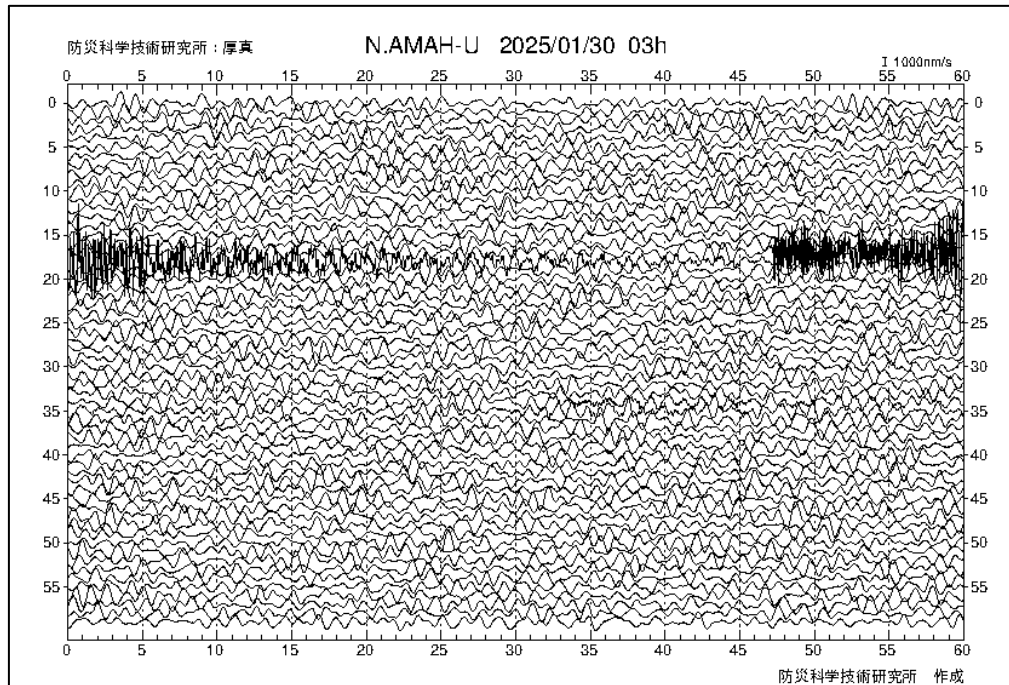
同時時間帯に全観測井で取得された微小振動・自然地震観測データの一例を図 4.1-26 (3)に示す(各画像について、1 トレースが 1 分間のデータ、横軸: 0～59 秒)。これらの波形は、各観測井に設置された地震計のうち最も最下部にある地震計の Z 成分のものである。これより、Hi-net で観測された波形データと良い整合性が確認できる。



2025 年 1 月 30 日 3:17 発生

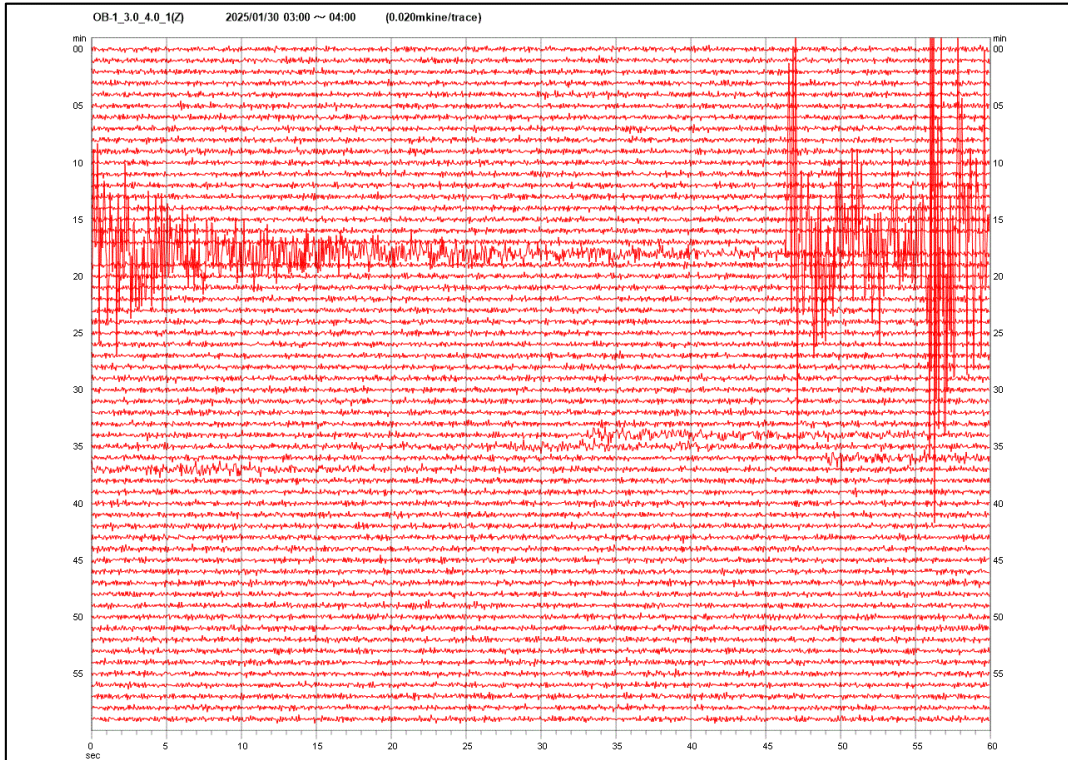
震源; 北海道苫小牧沖 M=2.7 (出典: 国土地理院地図、気象庁震源リスト)

図 4.1.26 (1) 微小振動・自然地震観測事例

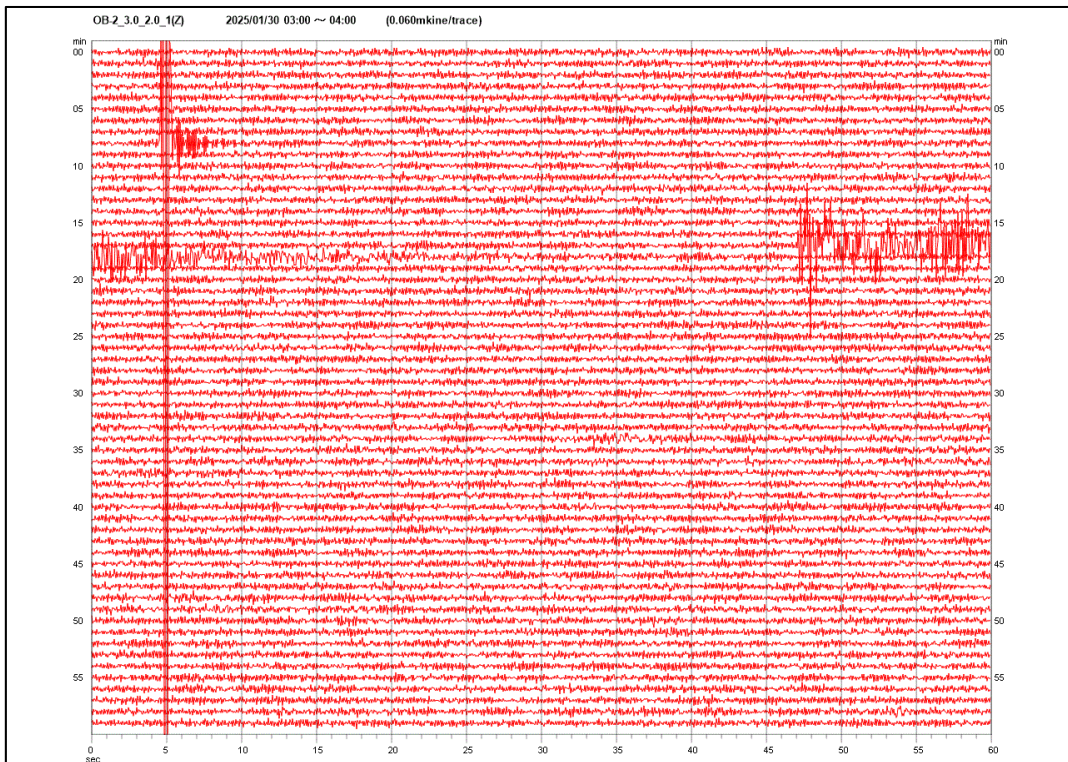


Hi-net「厚真」受振波形
(2025年1月30日3:00:00~3:59:59)
出典: 防災科学技術研究所 HP

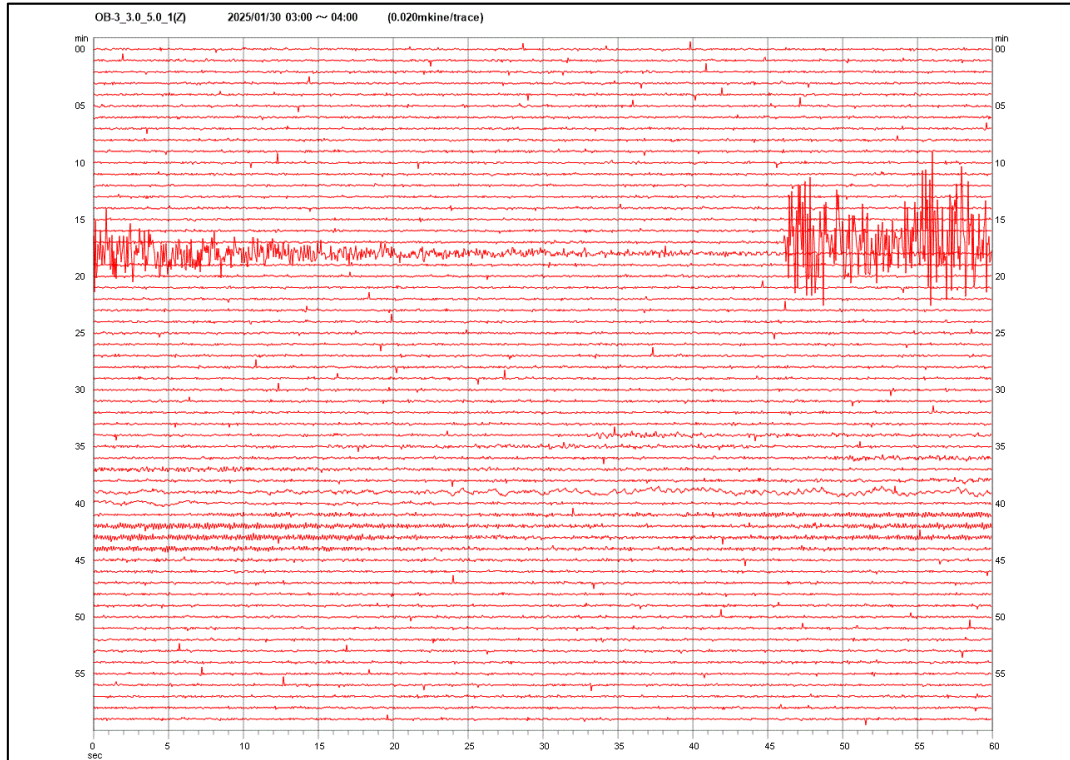
図 4.1-26 (2) 微小振動・自然地震観測事例「厚真」で観測された地震波形



OB-1 No.4 地震計 Z 成分受信波形
(2025 年 1 月 30 日 3:00:00~3:59:59)



OB-2 No.2 地震計 Z 成分受信波形
(2025 年 1 月 30 日 3:00:00~3:59:59)



OB-3 No.5 地震計 Z 成分受信波形
(2025 年 1 月 30 日 3:00:00～3:59:59)

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、2024 年 4 月の坑内観測機器回収点検作業後の観測再開以降、温度は緩やかな上昇傾向を、圧力は緩やかな減少傾向を示していたが、10 月以降には異常の程度が顕著となっている。この現象は、2021 年 4 月以降の異常な結果と酷似していることから 2025 年度の坑内観測機器回収点検作業には FBG センサーの検査が必要である。他のセンサーではこうした変化がなく年間を通して温度、圧力は一定であることを確認している。

② OB-2

2024 年 9 月の坑内機器回収時にアーマードケーブル破断し、圧力・温度・微小振動計測機器が坑内へ落下するトラブルが発生し、2025 年 1 月の観測再開までの期間で欠測が

生じていた。

2024年9月以前はFBG温度・圧力、PPS26温度・圧力およびシリコン半導体圧力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。2025年1月の観測再開以降は、坑内観測機器を二重管内(9 5/8" CSG 設置深度 479.00 m)に収まるように設置し、PPS26センサーを478.3 mに、FBGセンサー、シリコン半導体センサーを451.5 mの設置深度で温度・圧力の観測を実施した。PPS26温度・圧力、シリコン半導体圧力はともに安定したデータ取得ができています。FBG圧力はシリコン半導体センサーと同じ設置深度であることからシリコン半導体圧力とほぼ同じ値になるものであるが、2025年3月31日時点ではFBG圧力4.48 MPaに対しシリコン半導体圧力は4.66 MPaとなっており、差分は約0.17 MPaであった。この差分は測定機器の種別の違いと個体差による計測値の誤差と考えられる。実際の異常検知は各測定値の通常トレンドからのズレで判断していることから、測定継続には影響しないものと判断している。

FBG温度・圧力、PPS26温度・圧力およびシリコン半導体圧力のデータはモニタリングの継続性を考え、圧力・温度状況を把握するための圧力温度検層(PT検層)を実施した。PT検層の結果は(3)項⑧で述べる。2025年1月に実施したPT検層(深度500 mまで)と2023年4月のPT検層のトレンドが一致しており、深度500 m以深の圧力、温度のいずれも外挿にて推定可能であると判断された。当面は浅部の観測結果を用いて深部の圧力、温度を推定し、地層および地質の状況把握を継続することとした。

③ OB-3

2024年9月の坑内機器回収点検作業以前ではFBG温度・圧力、PPS26温度・圧力およびシリコン半導体圧力はともに安定しており、良好なデータ取得が来ている。坑内機器回収点検作業後も同様の傾向は変わらないが、FBG温度でDTS温度より高い値に、FBG圧力でシリコン半導体圧力より低い値となっているが安定的なデータとなっており、地層やセンサーに異常が発生しているものではなく、点検作業前後での機器計測誤差であると判断している。

他方、FBG圧力、PPS26圧力、およびシリコン半導体圧力における回収点検作業直後に見られる、一時的な点検作業以前より高い圧力値は、観測対象である同坑井の滝ノ上層の特性(透水性が低く、他の観測井よりも貯留層圧力が高い)を踏まえた対応によるものである。従来、坑内機器の回収作業時には坑口の圧力を開放する必要があり、その際に失われた貯留層圧力の回復には時間がかかっていた。より早期に本来の貯留層圧力を反映した圧力観測を行うために、圧力解放時に出てきた流体を作業終了後に再圧入し、圧力の回復

を促進し、より正確な圧力観測となるようにしている。

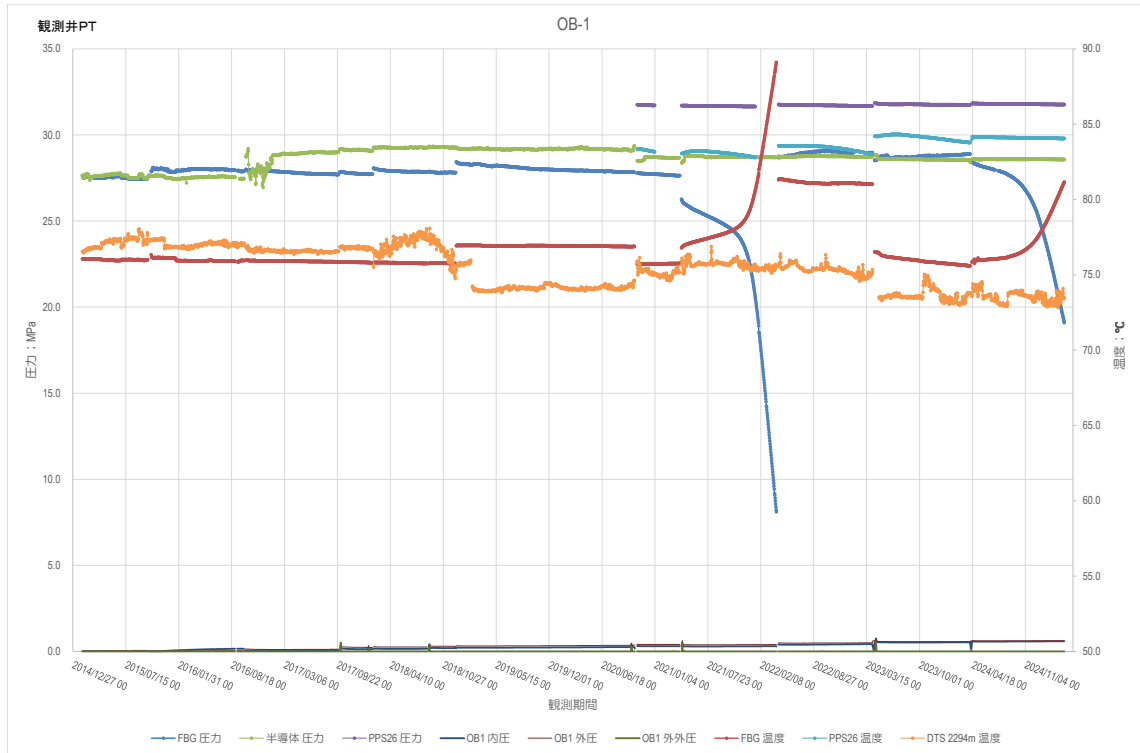


図 4.1-27 OB-1 温度・圧力モニタリング結果

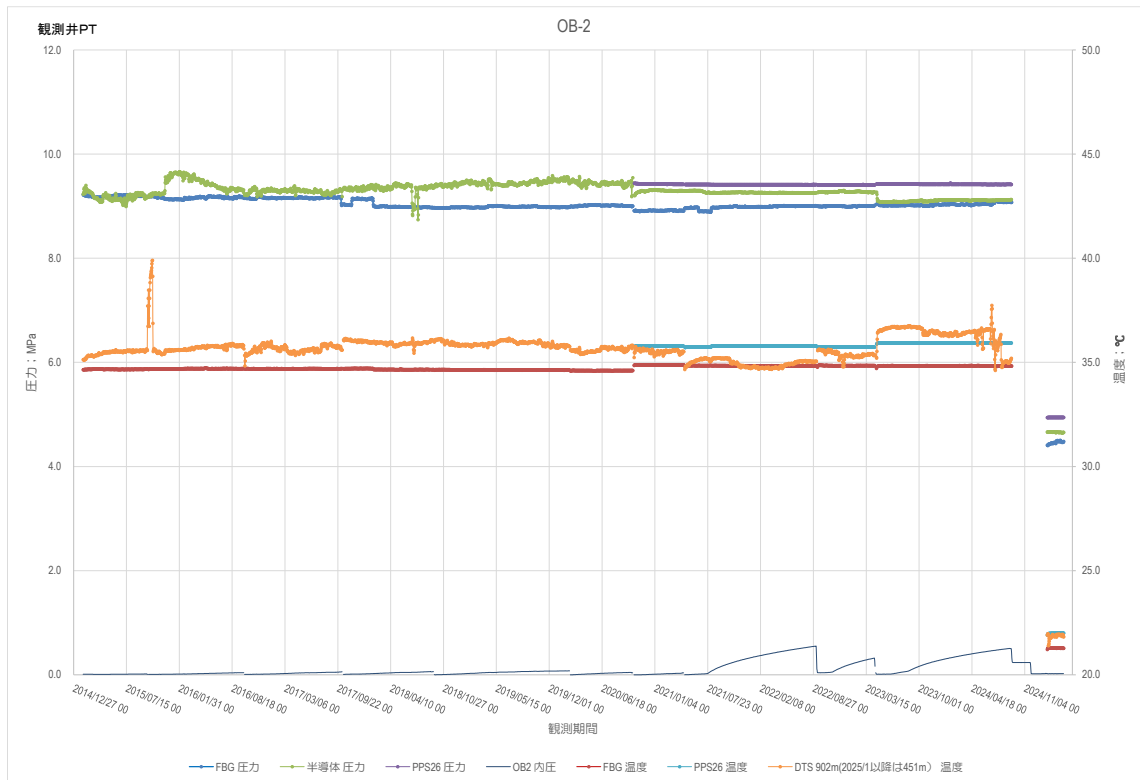


図 4.1-28 OB-2 温度・圧力モニタリング結果

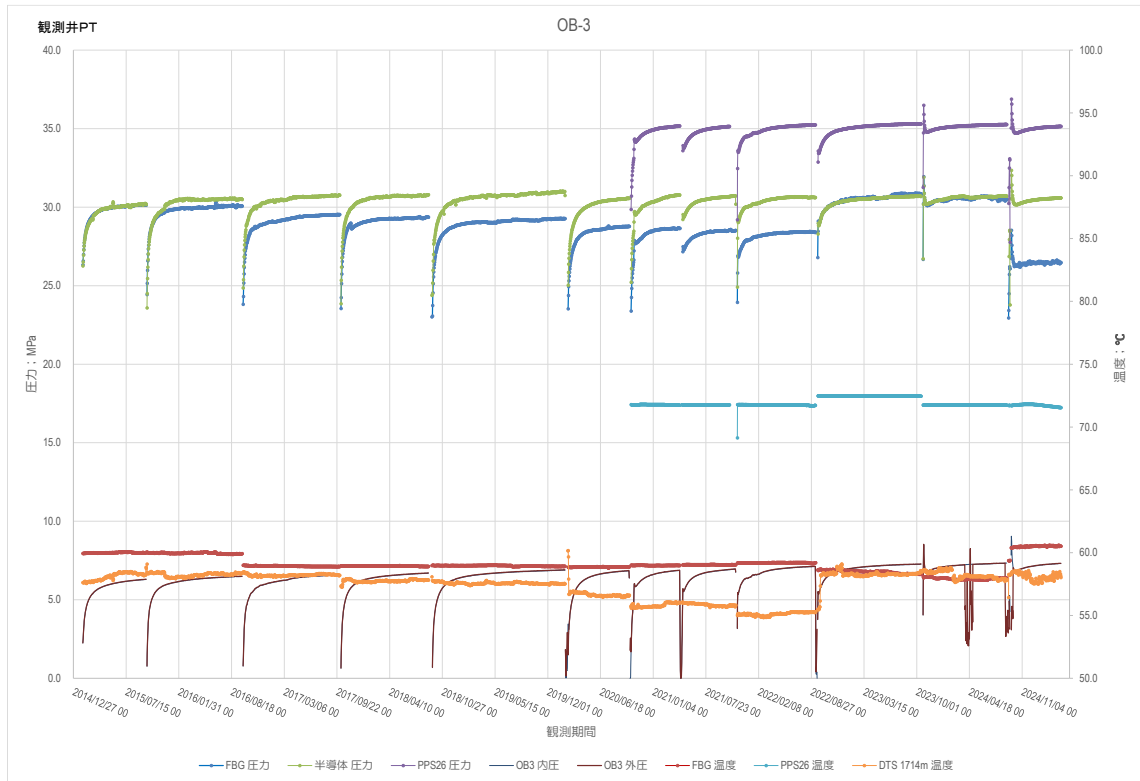


図 4.1-29 OB-3 温度圧力モニタリング結果

(3) モニタリングにおける検討課題とその対応状況

① OB-3 ケーブルヘッド内基板の故障による微小振動・自然地震計欠測

OB-3 の微小振動・自然地震計について、2024 年 7 月 4 日 3:34 頃より採取データの異常が発生した。遠隔操作にて状況確認をしたところ、坑内ツールとの通信が取れなくなっており、再起動などを繰り返しても復旧しなかった。2024 年 9 月のメンテナンス作業で回収したケーブルヘッド内にある電子基板（図 4.1-30 参照）を交換したところ、坑内ツールとの通信が可能となった。また、テストケーブルを使用してケーブルヘッドを介さずに坑内ツールと通信したところ、坑内ツールは問題なく動作していた。そのため、坑内ツールとの通信不良の原因はこの電子基板であると判定した。ケーブルヘッドには外傷は見られなかったことから電子基板の経年劣化による故障と推定し、電子基板の交換で対応した。その後、ケーブルヘッドと坑内ツールを接続しての動作試験を行い、動作に問題がないことを確認した。この不具合による微小振動・自然地震の欠測期間は 71 日であった。

苫小牧0B-3 坑井内モニタリングツール編成図

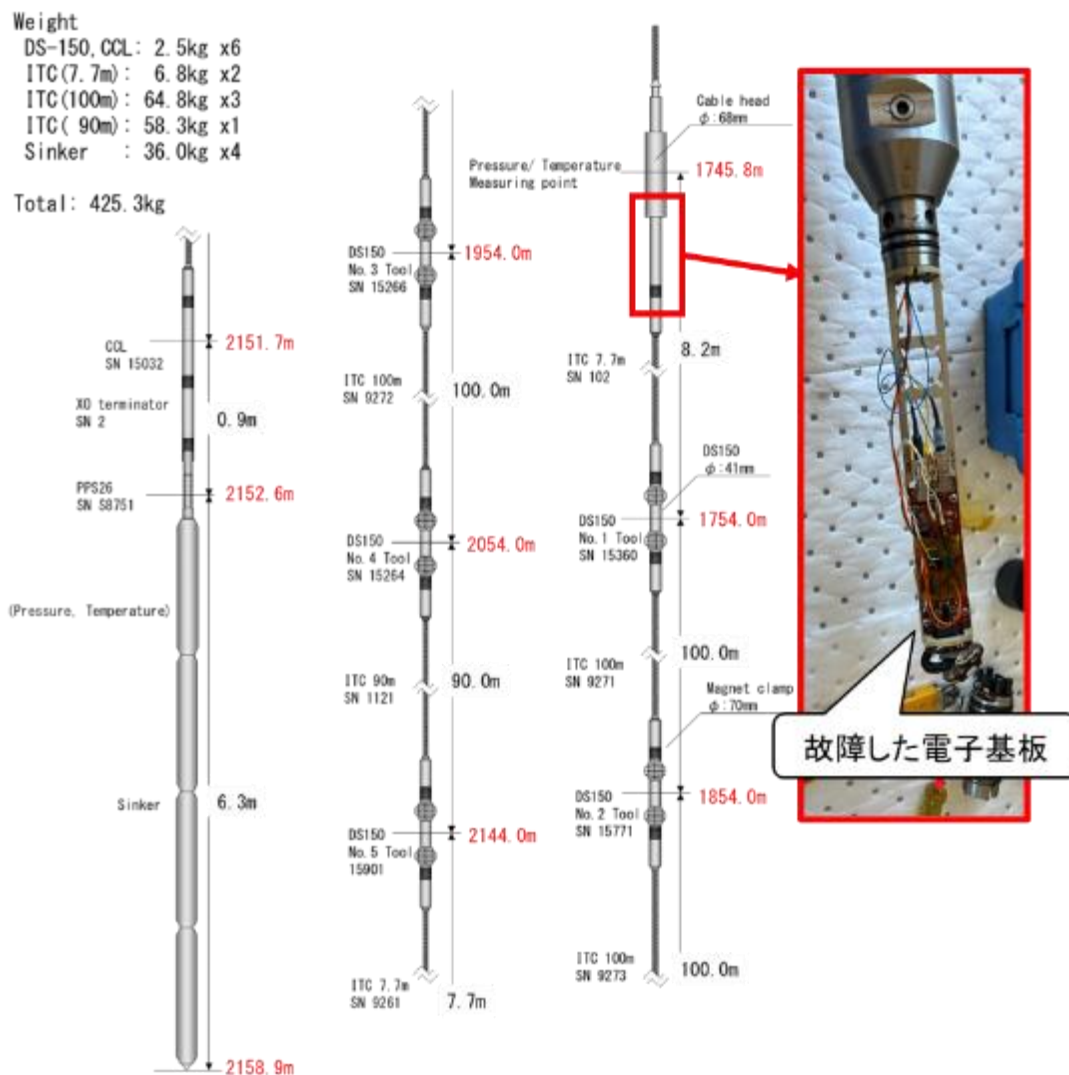


図 4. 1-30 OB-3 坑内観測機器編成図と故障した電子基板の位置

② 観測井による観測および維持管理に係る圧入影響解析

2023年度は二次元の仮想的な貯留層モデルを用いてCO₂圧入シミュレーションを実施し、解析はポアスな二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り、評価にはモデルのさらなる工夫が必要である旨の結果に至っている。

昨年度の結果を踏まえ、本年度、当初は昨年度と同様なシミュレーションを Multiple Interacting Continua モデル（以下、「MINC モデル」と称する。）も追加して、二次元に奥行きを入れた 2.5 次元で実施し、フィールド測定データを用いたマッチングシミュレーションを実施し、実際の CO₂ の広がり を反映するモデルについて考察した。

数値モデルのグリッドイメージを図 4.1-31 に示す。圧入流量は各ケースで岩盤の破壊閾値を超えない最大の流量とし、CO₂飽和率分布の評価により、簡易的なマッチングを行った。ポラスモデルのマッチングシミュレーションは、貯留層浸透率 300 mD を用い、奥行サイズを初期値の 1,000 m から徐々に小さくしていった圧入圧力の結果を図 4.1-32 に示す。圧入圧力が目標としている 11 MPa に近いのは 600 m のケースであり、この時の CO₂飽和率の広がりを図 4.1-33 に示す。図 4.1-33 に示すとおりポラスモデルの広がりには 200 m 程度しかなく、図 4.1-34 の観測データに比べ小さい結果となった。MINC モデルのマッチングシミュレーションは、以下の最終モデルのパラメーターとした圧入圧力の結果を図 4.1-35～図 4.1-37 に示す。圧入圧力が 11 MPa に近いパターンでの CO₂飽和率分布図を図 4.1-38～図 4.1-40 に示す。

- 1) フラクチャー部割合：10%、20%、30%

10%、20%、30%のモデルを、それぞれ MINC モデル 1、2、3 とした。

- 2) フラクチャー部空隙率：60%

- 3) マトリクス部空隙率：27%

- 4) フラクチャースペーシング：100 m

ポラスモデル、MINC モデル 1、MINC モデル 2、MINC モデル 3 の CO₂飽和率分布を並べて比較したものを図 4.1-41 に示す。MINC モデルにおけるマトリクス部の CO₂飽和率分布を図 4.1-42 に示す。

二次元モデルの利用や簡略化した圧入履歴（連続圧入）など、現実の現象を定量的に評価するには高精度とはいえないが、以下のような知見が得られた。

- 1) 観測値の圧入流量および圧入圧力を再現するためには、貯留層浸透率 100 mD では小さすぎ、300 mD 程度が必要であることが分かった。
- 2) 貯留層浸透率が 300 mD でも、昨年度モデルの設定（特に空隙率 27%）では、30 万 t 圧入しても CO₂の広がり観測データほど大きくならない。
- 3) MINC モデルを用いることにより、CO₂の広がりをより観測データに近づける事ができた。ただし、MINC パラメーターの違いによる影響は小さい。
- 4) より現実的なマッチングのためには三次元モデル、または二次元軸対称モデル（円柱モデル）を用いる必要があると考えられる。

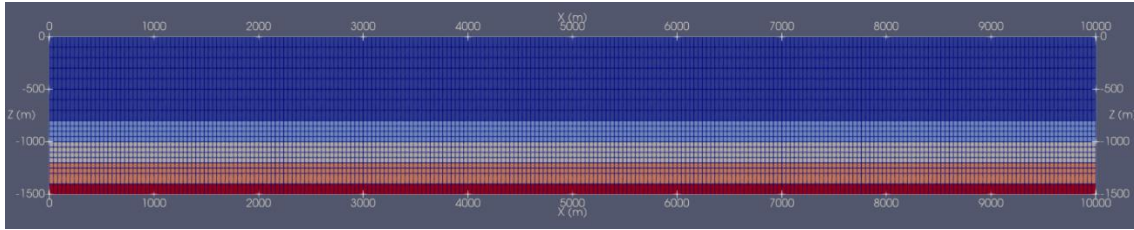
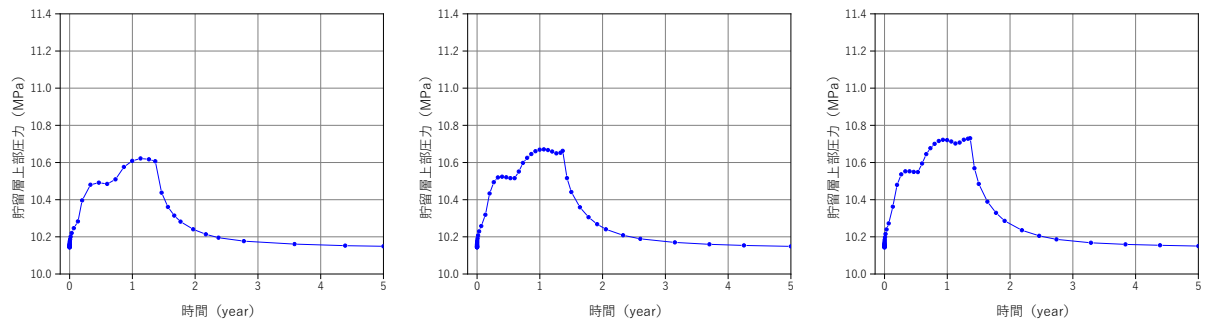
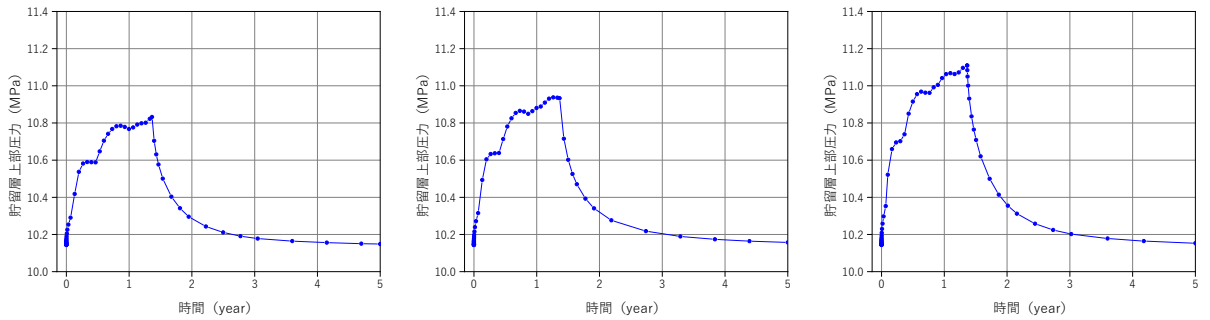


図 4.1-31 数値モデルのグリッドイメージ



(左から、モデル奥行サイズ 1,000 m, 900 m, 800 m)



(左から、モデル奥行サイズ 700 m, 600 m, 500 m)

図 4.1-32 貯留層浸透率 300 mD の圧入シミュレーションにおける圧入圧力変化

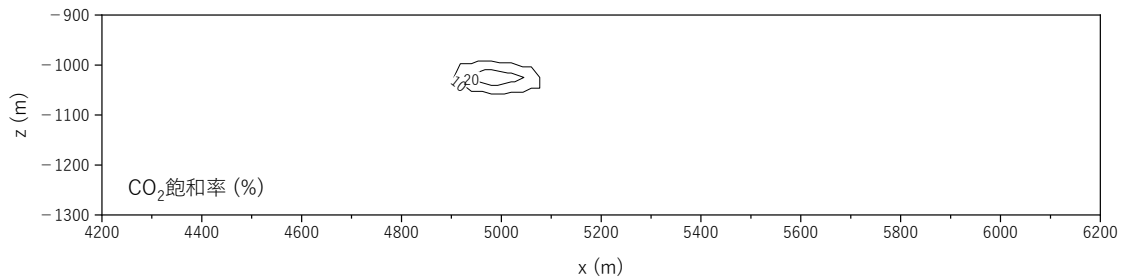
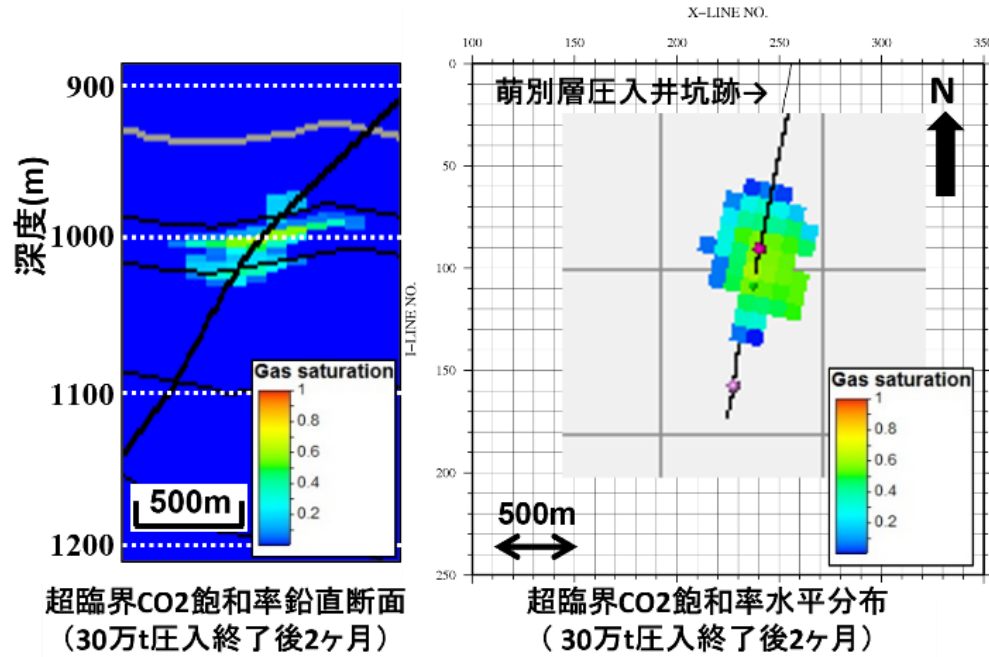
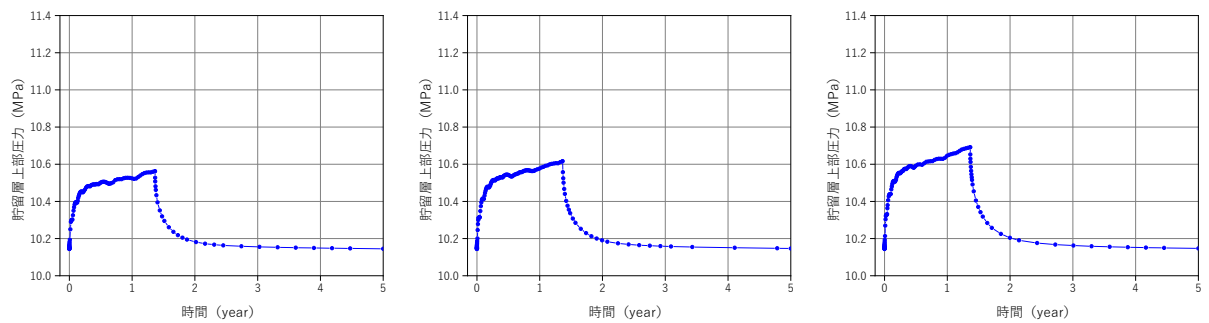


図 4.1-33 貯留層浸透率 300 mD の圧入シミュレーションにおける CO₂ 飽和率分布

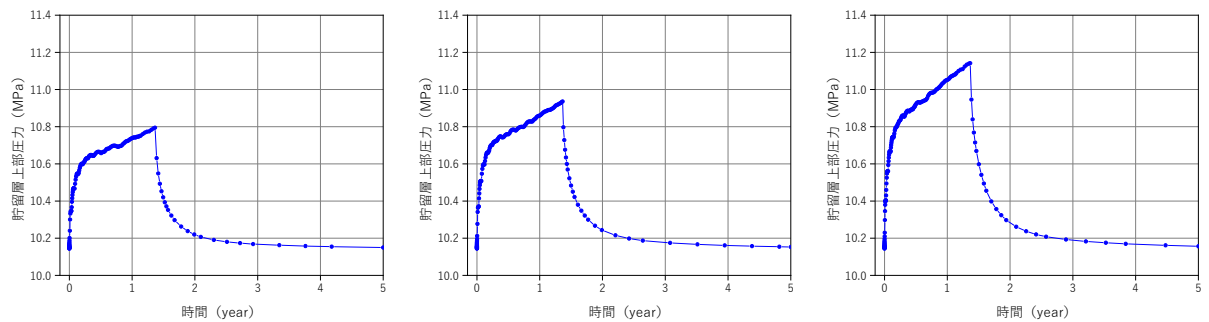


苫小牧 CCS 実証試験に係る第 20 回課題検討会資料より

図 4.1-34 観測データ (タイムプラス処理結果)

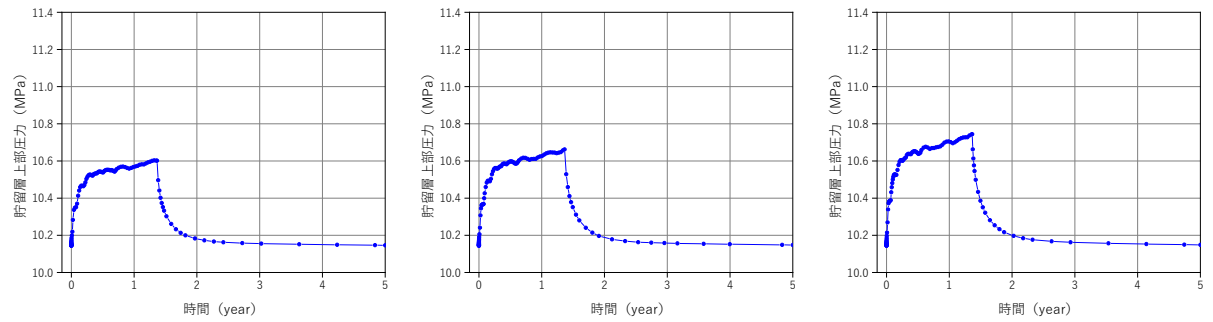


(左から、モデル奥行サイズ 900 m, 800 m, 700 m)

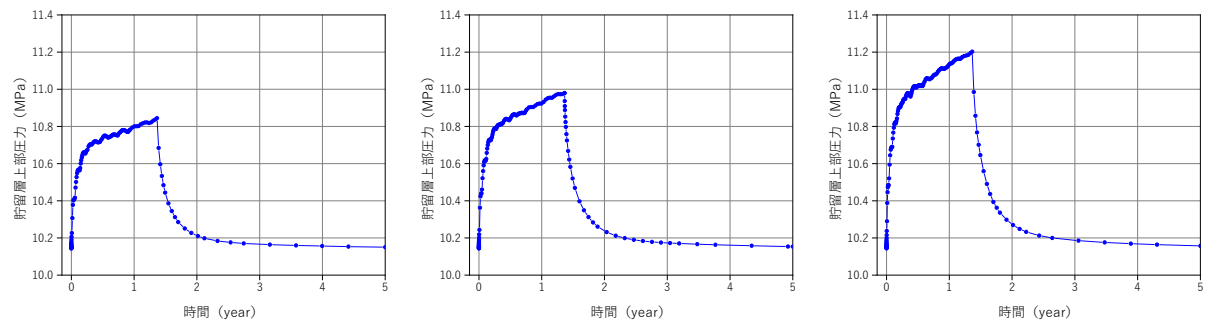


(左から、モデル奥行サイズ 600 m, 500 m, 400 m)

図 4.1-35 MINC モデル 1 を用いた圧入シミュレーションにおける圧入圧力変化

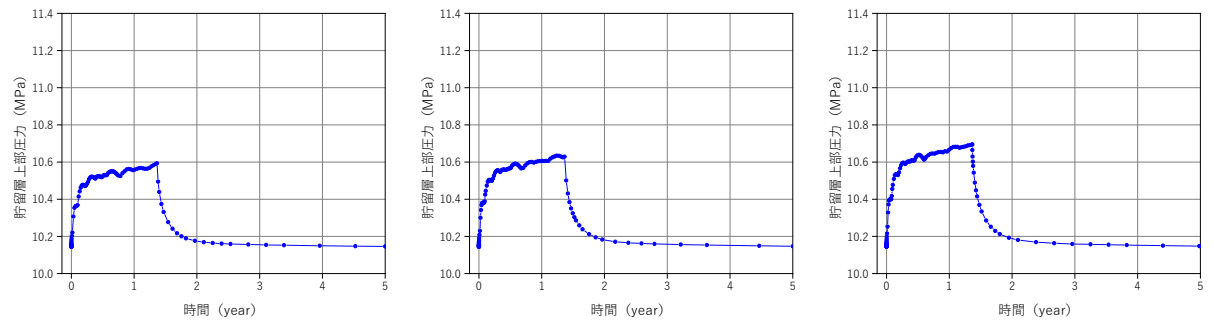


(左から、モデル奥行サイズ 900 m, 800 m, 700 m)

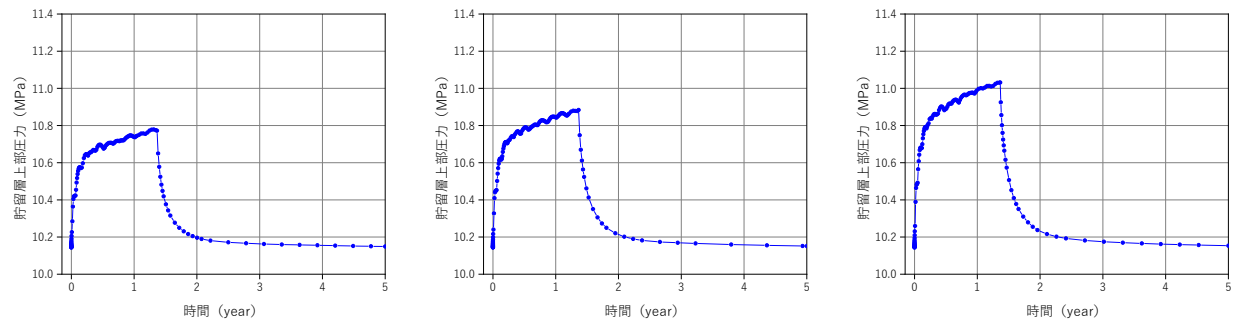


(左から、モデル奥行サイズ 900 m, 800 m, 700 m)

図 4.1-36 MINC モデル 2 を用いた圧入シミュレーションにおける圧入圧力変化



(左から、モデル奥行サイズ 1,000 m, 900 m, 800 m)



(左から、モデル奥行サイズ 700 m, 600 m, 500 m)

図 4.1-37 MINC モデル 3 を用いた圧入シミュレーションにおける圧入圧力変化

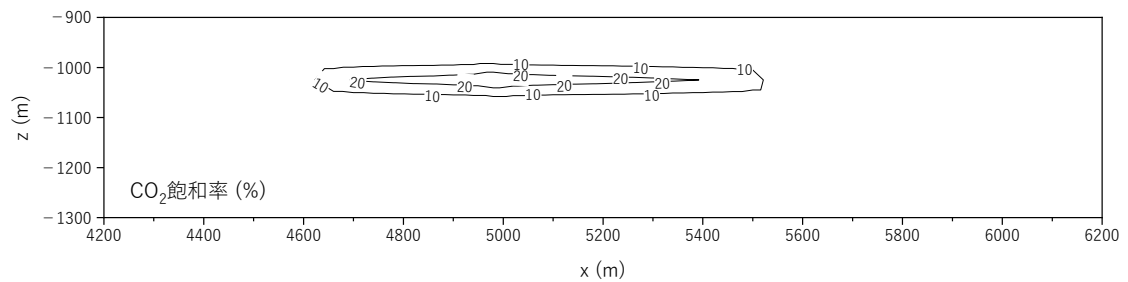


図 4.1-38 MINC モデル 1 を用いた圧入シミュレーションにおける CO₂ 飽和率分布

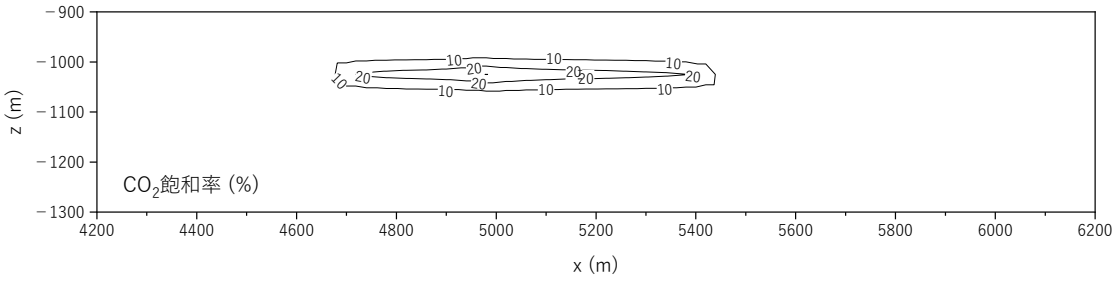


図 4.1-39 MINC モデル 2 を用いた圧入シミュレーションにおける CO₂ 飽和率分布

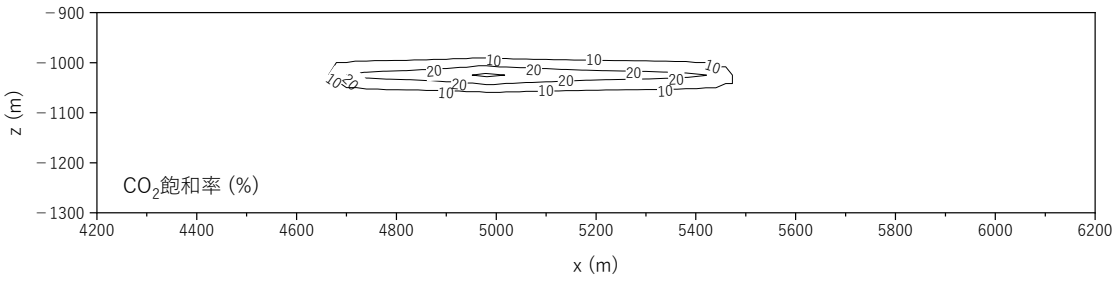
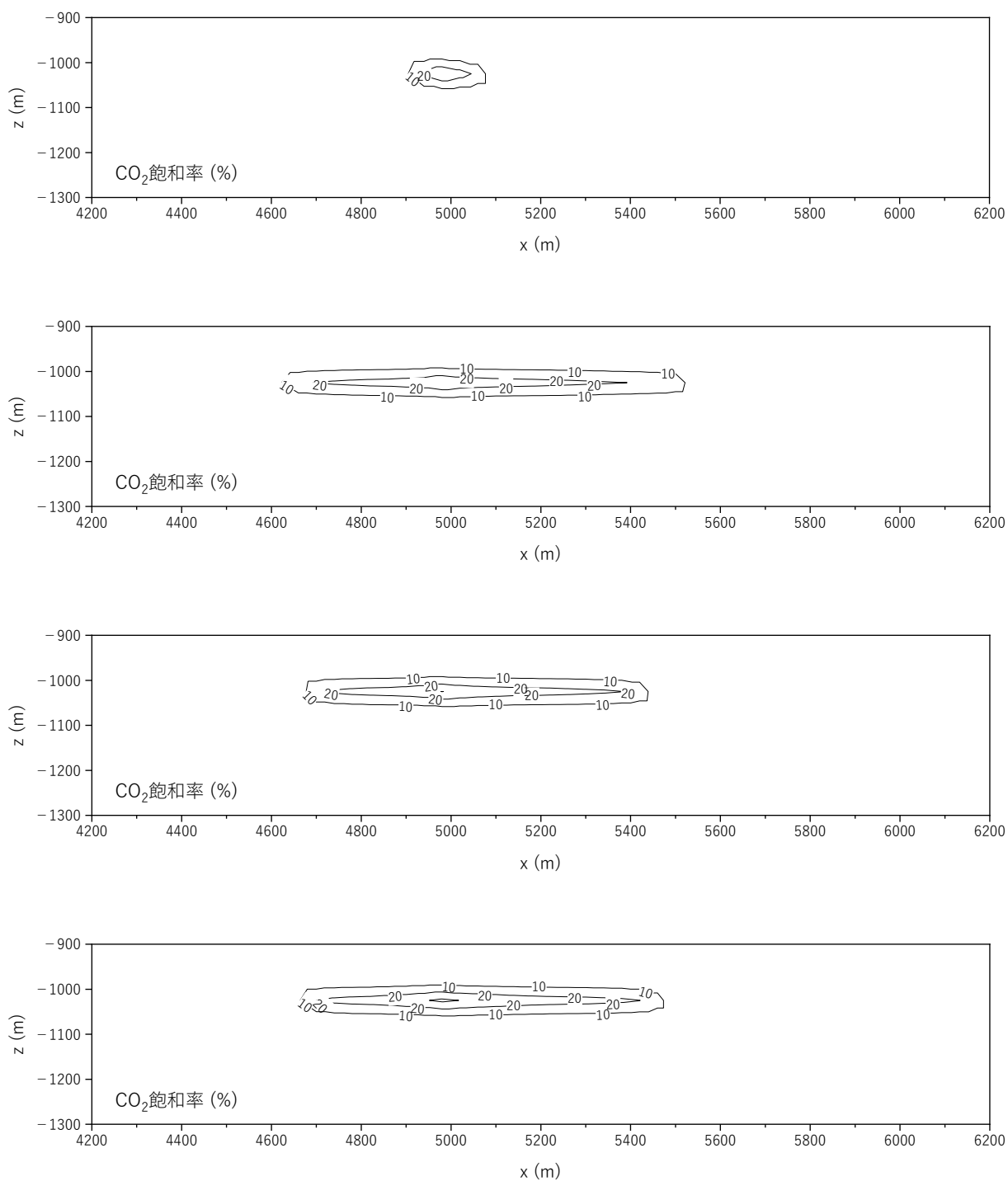
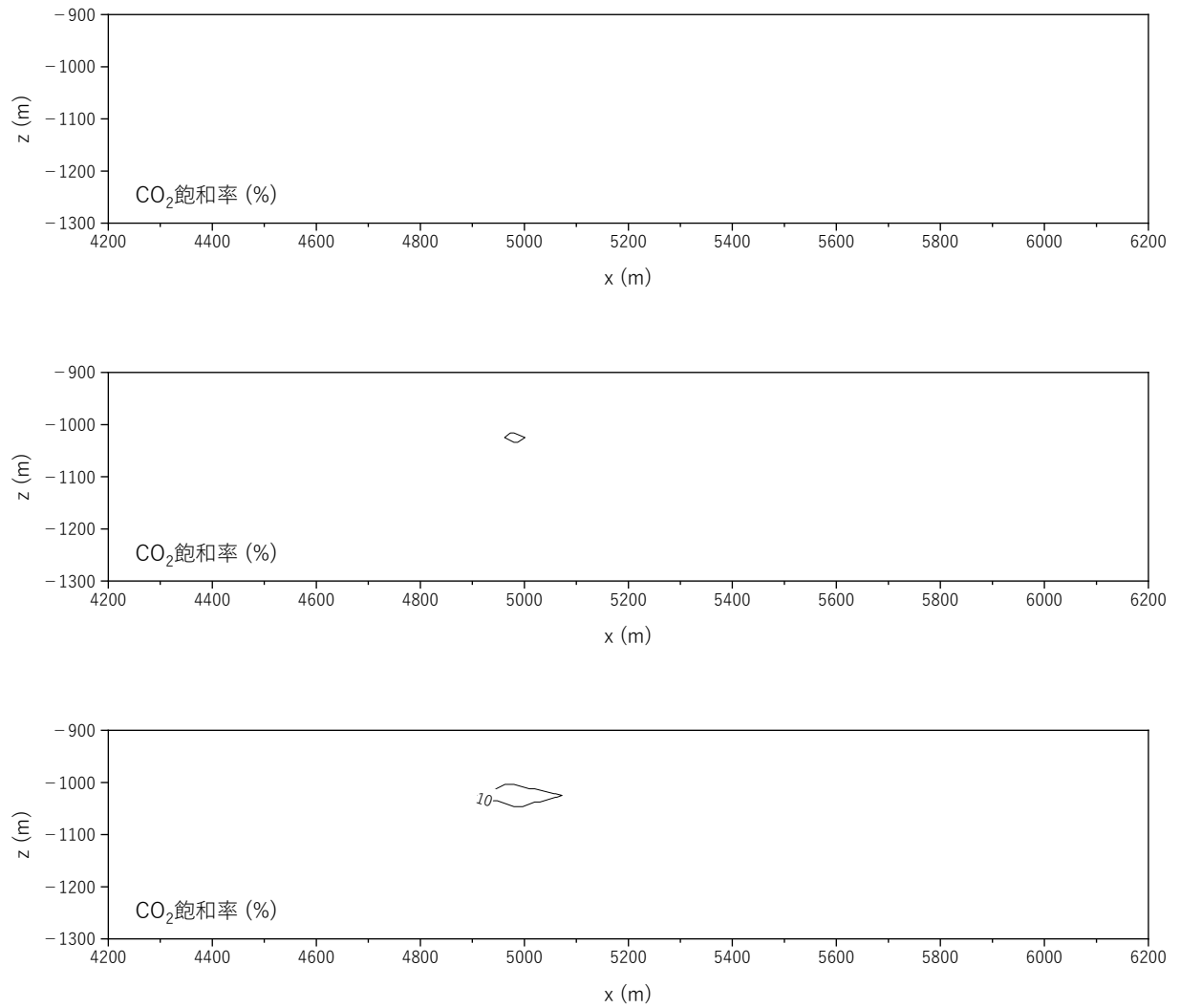


図 4.1-40 MINC モデル 3 を用いた圧入シミュレーションにおける CO₂ 飽和率分布



(上から、ポーラスモデル、MINC モデル 1、2、3)

図 4.1-41 ポーラスモデルと MINC モデルでの CO₂ 飽和率分布の違い



(上から、MINC モデル 1、MINC モデル 2、MINC モデル 3、MINC モデル 1 は 10%以上無し)

図 4.1-42 MINC モデルを用いた圧入シミュレーションにおけるマトリックス部の
CO₂ 飽和率分布

③ OB-2 のケーブル損傷と坑内ツール遺留トラブル

OB-2 の坑内観測機器メンテナンスのため、坑内からのツール回収作業を実施していた際に CCL 深度約 400 m の箇所にてアーマードケーブルが破断し、坑内ツール編成 (28.5 m) とアーマードケーブル約 370 m が坑内へと脱落した。

破断に至る経緯について、以下に時系列で記載する。

2024 年 6 月 27 日 0 時頃より深度 531 m 付近の DTS データが不良となっており、同付

近のアーマードケーブルには何らかの異常があると推定された。そのため、9月の機器回収時には、アーマードケーブルの異常が予想される部分が地上に出てくるCCL深度約400mの回収時は特に注意して作業していたところ、アーマードケーブル外装のワイヤー部の損傷を発見した。外装のワイヤー部はラインワイパー下部およびワイヤーラインバルブ下部で「※鳥かご(図4.1-43参照)」になっていたため、ラインワイパーおよびワイヤーラインバルブを取り外す作業中にワイヤーラインバルブの1.8m下部で破断し(振動などの影響と考えられる)、ケーブルおよび坑内ツールが脱落した。



※鳥かご：ワイヤーの破断した素線が集合し鳥の巣状になった状態のことを「鳥かご・Bird cage」という

図 4.1-43 アーマードケーブルの損傷箇所とラインワイパー直下の鳥かご状のワイヤー

ケーブル破断箇所の観測時の坑内深度と破断後の坑内状況について図4.1-44に示す。遺留した坑内ツールの回収については、OB-2の坑口設備内径が4"程度(4-1/16"(103.2mm))に対し遺留ツールが7"CSG内にあるため、4"を通過するツールで7"CSG内の遺留ツールを回収するツールがないことや、調査に使用するツールが遺留ツールに絡まって、より回収が困難になるリスクが高いこと、坑内から排水される坑内流体の処理が困難であるため、検討の結果、すぐに遺留ツールの回収を行わず浅部に坑内観測機器を設置し観測再開することとした。

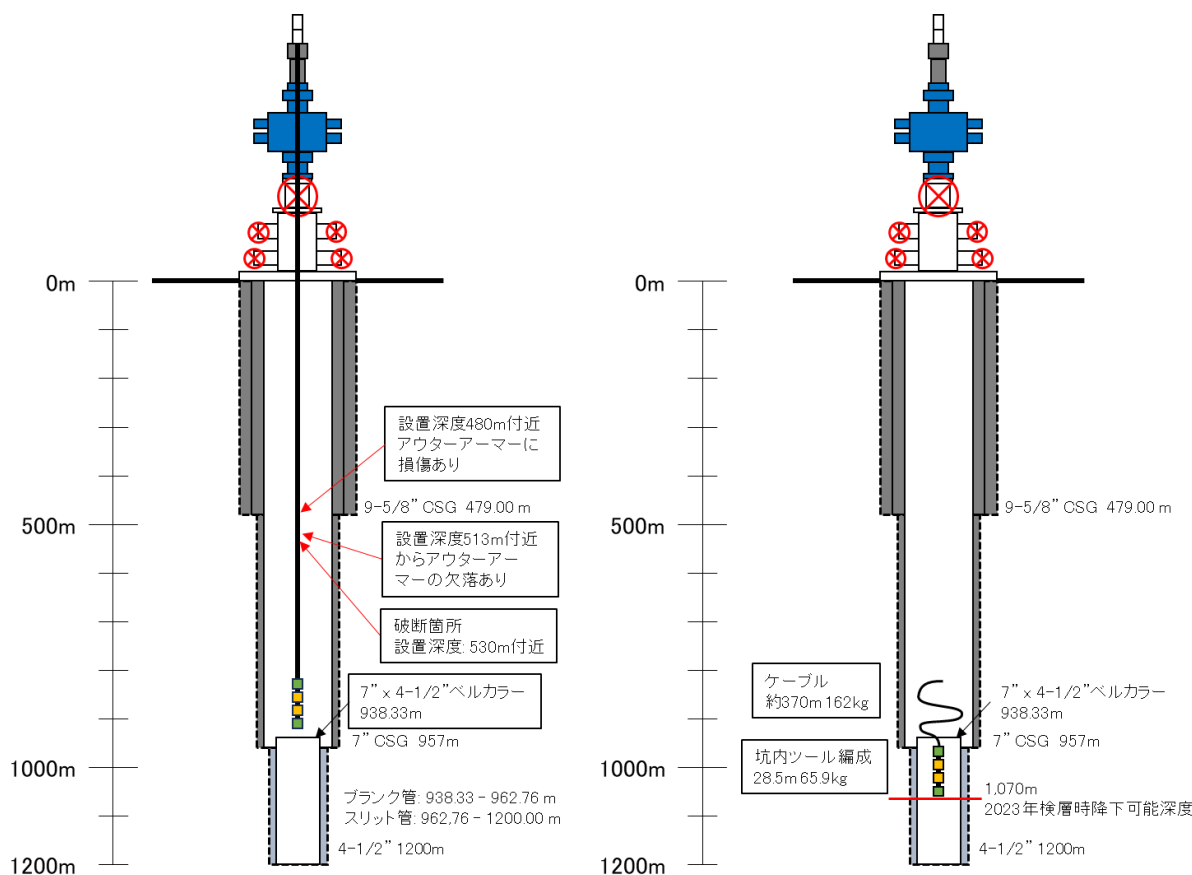


図 4.1-44 OB-2 のケーブル破断箇所の状況と坑内ツール遺留後の坑内予想図

④ OB-2 の坑内観測機器再設置および再設置のための坑内調査

OB-2 での観測再開のため坑内に安全に坑内観測機器を設置可能か確認するための坑内調査を行い、その結果深度 500 m 以浅での坑内観測が可能であると判断したため、坑内ツール先端深度 480.0 m に坑内ツールを設置し、観測を再開させた。

調査内容としては、光学カメラを使用して遺留ツールの有無を調査する坑内カメラ調査、超音波を使用して CSG の管壁を調査する超音波型坑壁画像検層、OB-2 坑井内の圧力と温度状況を把握するための圧力・温度検層を実施した。

⑤ 坑内カメラ調査

OB-2に遺留したツールは、これまでの坑内ツールの回収・再設置作業でOB-2坑井内に異常荷重がかかる場所がないことから、坑底付近まで降下していると予想された。しかし、CSG 接続部などの凹凸への引っ掛かりにより途中の浅い深度に留まっている可能性もあるため、坑内カメラを使用して遺留した坑内ツールが浅部に存在しないか調査することとした。作業模式図を図 4.1-45 に示す。

坑内調査は、ケーブル破断箇所の観測時の深度より浅い深度までとし、その区間内にケーブルなどの遺留物がないか調査した。その結果、深度 500 m までの坑内に観測機器の設置に妨げになるような遺留物はないことが確認できた。ただし、坑口のマスターバルブ周辺にケーブルの素線が切れたものであるワイヤー片が残留（図 4.1-46 参照）していたため、観測再開前にこれらの残留物を取り除くこととした。

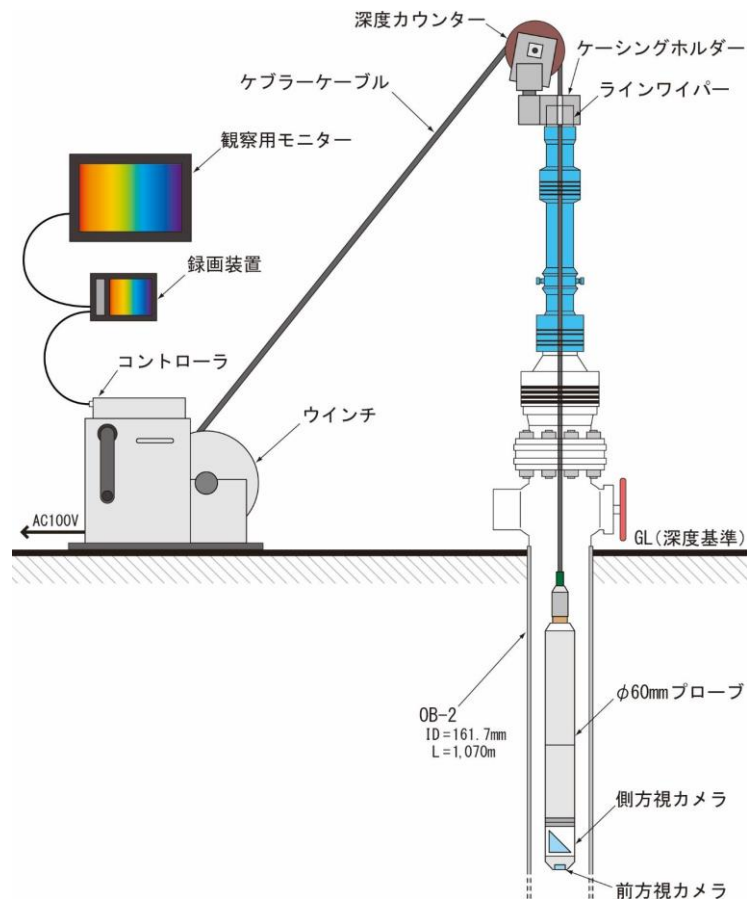


図 4.1-45 坑内カメラ調査作業模式図

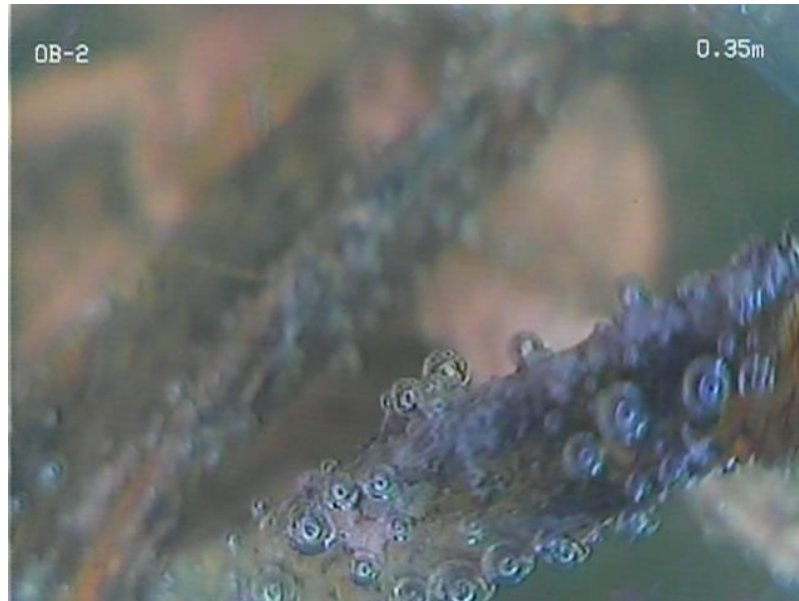


図 4.1-46 坑口のマスターバルブ周辺に確認されたワイヤー断片の残留物

⑥ 残留ワイヤー片除去作業

坑内カメラ調査によりマスターバルブ周辺にワイヤー片が残留していることがわかったため、除去作業を行うこととした。残留物の除去には微小振動・自然地震計を CSG に張り付けるためのマグネットがついたマグネットクランプと CCL を使用した。作業模式図を図 4.1-47 に回収したケーブルの素線のワイヤー断片を図 4.1-48 に示す。

作業はマグネットに残留物が付着しなくなるまで繰り返し行い、最終的に 6 回の上げ下ろしで残留物を除去することができた。作業後に水中カメラを使用してワイヤー片が残っていないことを確認した。

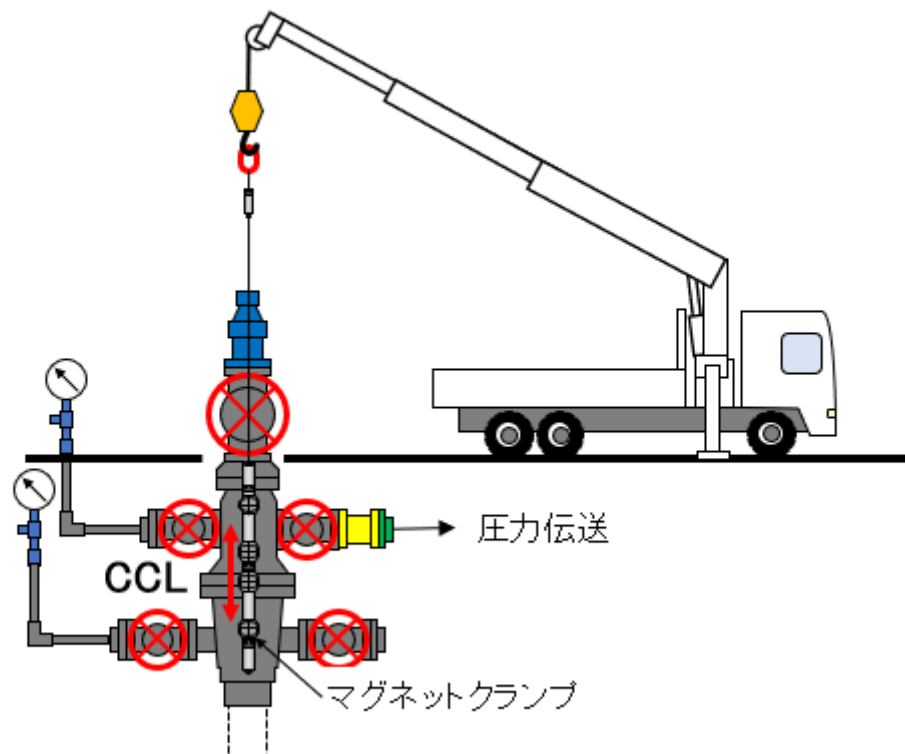


図 4.1-47 残留ワイヤー片除去作業模式図



図 4.1-48 回収したケーブル素線

⑦ 超音波型坑壁画像検層

坑内の状況把握のための超音波型坑壁画像検層（BHTV 検層）を実施した。調査区間は坑内カメラ作業を行った深度 500 m 以浅とした。表 4.1-16 に作業工程表を示す。BHTV 検層に関して、2 度の計測トラブル（2025 年 1 月 22 日は、検層車のウインチによるノイズ混入、2025 年 1 月 24 日は坑内ツールの不具合）があったものの、2025 年 1 月 25 日にバックアップの坑内ツールを用いて、深度 500 m から深度 0 m までの計測を実施した。

a. 測定原理

BHTV は、流体で満たされた坑井の坑壁を音波で走査することにより、坑壁の状態を画像として表す測定器である。BHTV ツールは、音波の送受信を行うことによって坑壁の状態を調べる圧電形トランスデューサーと、地磁気及び重力加速度を検出することによってツールの方位・傾斜を調べる 3 軸加速度・地磁気センサーにより構成される。受信した坑壁からの反射波はツールの内蔵エレクトロニクスにより波形処理した後、地上装置に伝送され画像化される。ツール内のミラーは毎秒 1~10 回転の速度で高回転しながら、トランスデューサーから発振した音波エネルギーを非常に細いビーム状に収束して坑壁に向けて発射する。そして、音波エネルギーの一部が坑壁から反射し、ミラーを経由してトランスデューサーに受信される。

坑壁から反射される音波エネルギーの大きさは、坑壁の表面の物理的性質によって

左右され、滑らかな表面は粗い表面よりもよく反射し、硬い表面は柔らかい表面よりもよく反射する。更にトランスデューサーに対して反射面が斜めの場合は、反射エネルギーは著しく減少する。一般に表面のどのような不規則さも、反射信号の振幅を減少させる(図 4.1-49 参照)。

波形処理した反射波は、アンプリチュード(反射波強度)とトラベルタイム(反射波到達時間)に分けられ、トラベルタイムはゾンデから坑壁までの距離に変換され、坑径(キャリパー)が算出される(図 4.1-50 参照)。

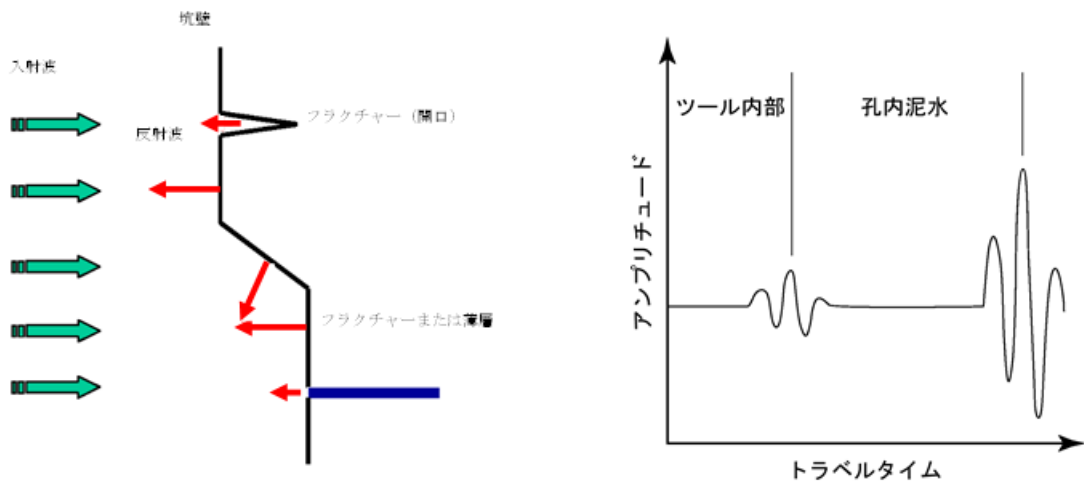
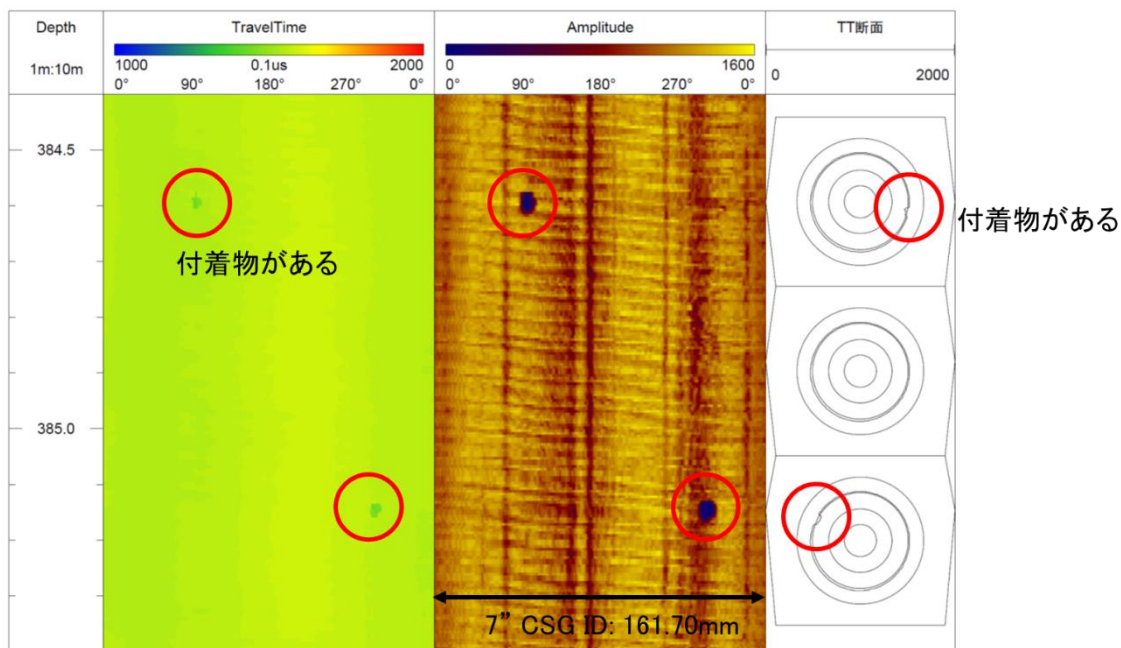


図 4.1-49 坑壁における反射波の概念図 図 4.1-50 反射波のアンプリチュードとトラベルタイム

b. 測定結果

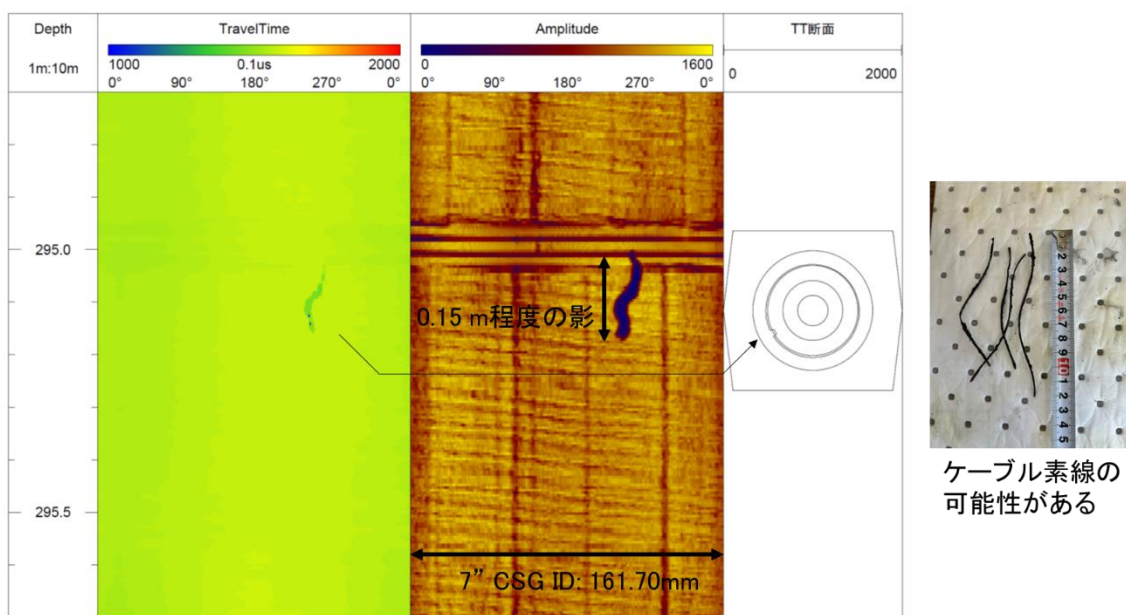
OB-2 の管内調査の結果、小さな付着物や落下したケーブルの素線片と考えられるものが観察されたものの、遺留ツール・ケーブル素線片の浅部での残留、ケーシングそのものの腐食や開孔などの異常などは認められなかった。

図 4.1-51 に付着物の観察例と図 4.1-52 に残留したケーブル素線の観察例を示す。図にはトラベルタイムから算出した断面図も示す。付着物があると考えられる箇所については、トラベルタイムが早く(管壁までの距離が近い)、アンプリチュードの値が低下していることから、ケーシングの表面に何らかの物質が付着していると判断した。ケーブル素線については、曲がりのついた 0.15 m 程度の影が BHTV でとらえられており、地上で回収したケーブル素線片に類似していることから、ケーブル破断の際に落下したケーブルの素線片が坑内に落下し、ケーシングカラー(継ぎ目)付近に引っかかっていると推測される。



分解能: 深度5 mm, 円周方向288分割 (= 0.56 mm)

図 4.1-51 ケーシング付着物の計測例



分解能: 深度5 mm, 円周方向288分割 (= 0.56 mm)

図 4.1.52 ケーブル素線の観察例

⑧ 圧力温度検層

a. 測定結果

浅部に坑内観測機器を設置するにあたり、OB-2の圧力・温度状況を把握するための圧

力温度検層（PT 検層）を実施した。検層結果を図 4.1-53 に示す。また、2023 年 4 月に実施した PT 検層結果と、後述の観測再開後の各センサーの計測値も記載する。

圧力値に関しては、2023 年から大きな変化をしておらず、坑内の圧力勾配に変化がないと見なせる。温度値に関しても、温度曲線の形状が 2023 年と 2025 年でほぼ一致しており、圧力勾配に変化がない状況と合わせて、坑内状況に変化がないと考えられる。

ただし、温度値に関しては深度 100 m 以深で 2023 年の計測値より 0.2～0.4℃の温度低下が認められた。これは 2025 年の作業で、PT 検層前に坑口周辺の金属片の除去作業時の排出された坑内流体（約 1,470L）とそれを戻すための坑内水圧入（約 1,110L）作業や、坑内状況を把握するための BHTV 検層を実施しており、それら検層以前の作業が、温度値に影響を与えた可能性がある。

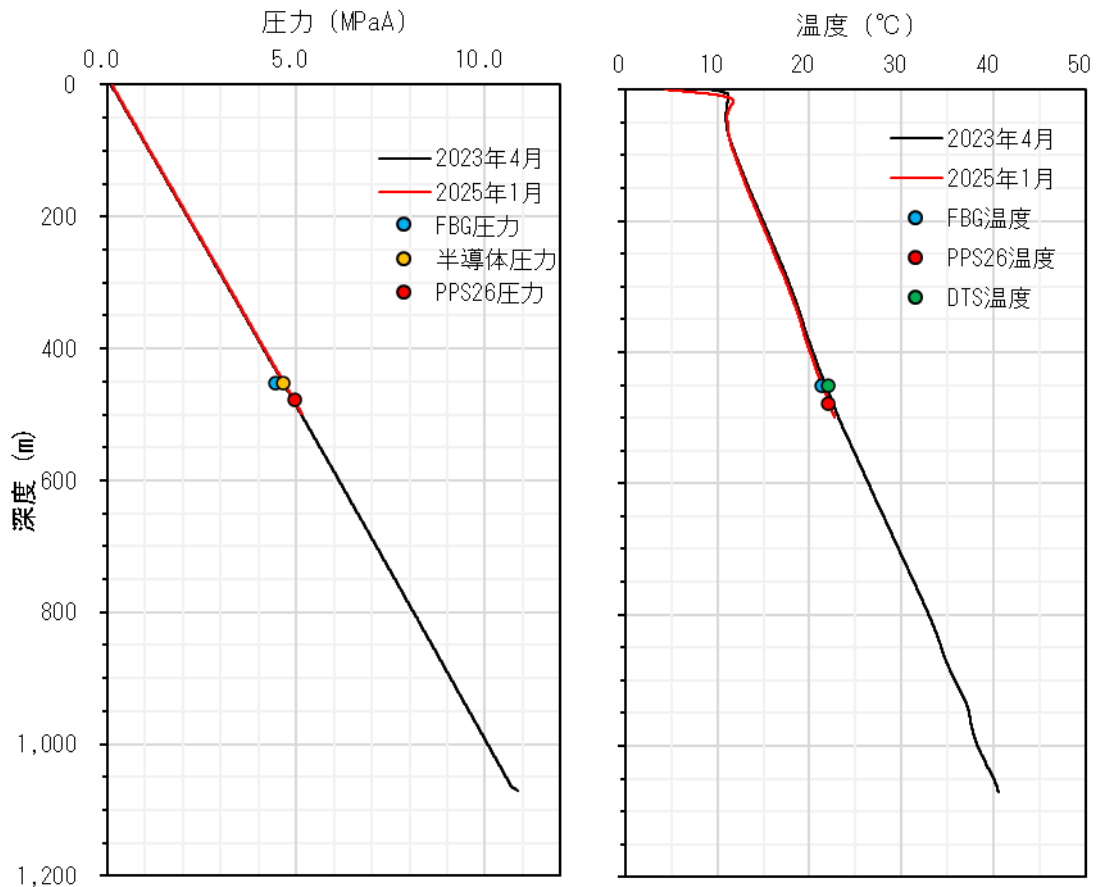


図 4.1-53 OB-2 PT 検層結果

b. 圧力・温度の設置深度相当値

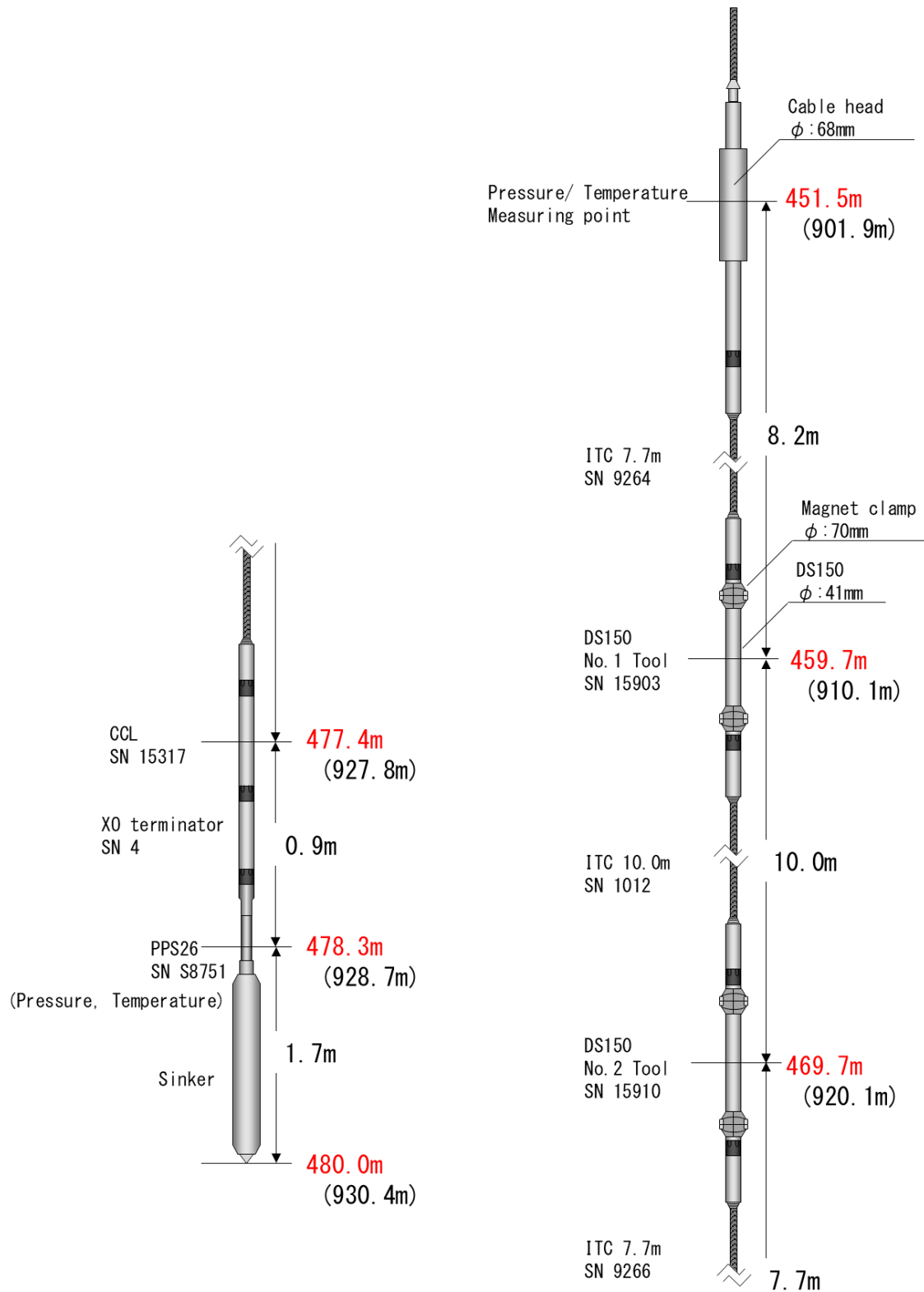
浅部に坑内観測機器を設置する場合、その値が補正により従来の設置深度相当値になることを確認する必要がある。2025 年 1 月の PT 検層結果から、2023 年 4 月から 2025

年1月で坑内状況に変化がないと見なせるため、2023年4月の検層データを使用して圧力・温度値の補正を行うこととした。具体的な補正值や補正值の算出方法などについては⑨項bで述べる。

⑨ OB-2 坑内観測機器再設置

a. OB-2 坑内観測機器の設置深度

OB-2に再設置した坑内観測機器の編成図とその設置深度を図4.1-54に示す。前述の坑内調査によって深度500m以浅で遺留物の存在が無く、ケーシングなどに損傷も認められなかったことから、坑内観測機器をOB-2坑内に設置し観測再開することとした。設置深度は、複数の圧力温度センサーの計測条件をそろえるため、二重管内(9 5/8" CSG 設置深度 479.00 m)に収まるようにした。したがって、坑内ツール先端深度は深度480.0 mとした。



※設置深度について、赤字：2025年1月以降、黒字：2024年9月以前

図 4.1-54 OB-2 坑内観測機器編成図と設置深度

b. 圧力・温度値の補正

図 4.1-53 の検層結果の比較から、2023 年 4 月から 2025 年 1 月で坑内状況に変化がないと見なせるため、2023 年 4 月の検層データを使用して圧力・温度値の補正を行うこととした。補正手法は、2023 年 4 月に実施した検層データの勾配値を用いている。以下のように、2023 年 4 月の検層データの勾配値を用い、新深度（451.5 m、478.3 m）と旧深度（901.9 m、928.7 m）の設置位置間の補正值を決め、それに基づいた外挿を実施する。各センサー補正值は表 4.1-17 に示すように決定した。

表 4.1-17 坑内ツール設置深度と PT 検層値、深度補正值

種目	設置深度 (m)	2023 年検層値	深度補正值	勾配値
半導体圧力	451.5	4.653 MPa	+4.455 MPa	0.00989 MPa/m
FBG 圧力	901.9	9.108 MPa		
FBG 温度	451.4	21.80 °C	+14.08 °C	0.03126 °C/m
DTS 先端	901.9	35.88 °C		
PPS26 圧力	478.3	4.920 MPa	+4.448 MPa	0.00988 MPa/m
	928.7	9.368 MPa		
PPS26 温度	478.3	22.55 °C	+14.25 °C	0.03164 °C/m
	928.7	36.80 °C		

補正したデータを使用した欠測期間前後の計測値のグラフを図 4.1-55 に示す。また、補正前後のデータの比較を表 4.1-18 に示す。

PPS26、半導体圧力値については観測再開前後で観測値のずれが発生しておらず、圧力の補正值が妥当な値であることがわかる。FBG 圧力については図 4.1-53 から検層データと 0.2 MPa 程度の差が発生しているが、機器毎に発生する計測値の誤差の問題であると考えられる。温度値に関しても、概ね観測中断前の値とほぼ同等の値となっており、温度の補正值も妥当な値であることがわかる。また、シフト値に基づく勾配値は、2023 年 4 月の検層データから想定される勾配の範囲内（表 4.1-19）にあることから、今回の補正は妥当であると判断している。

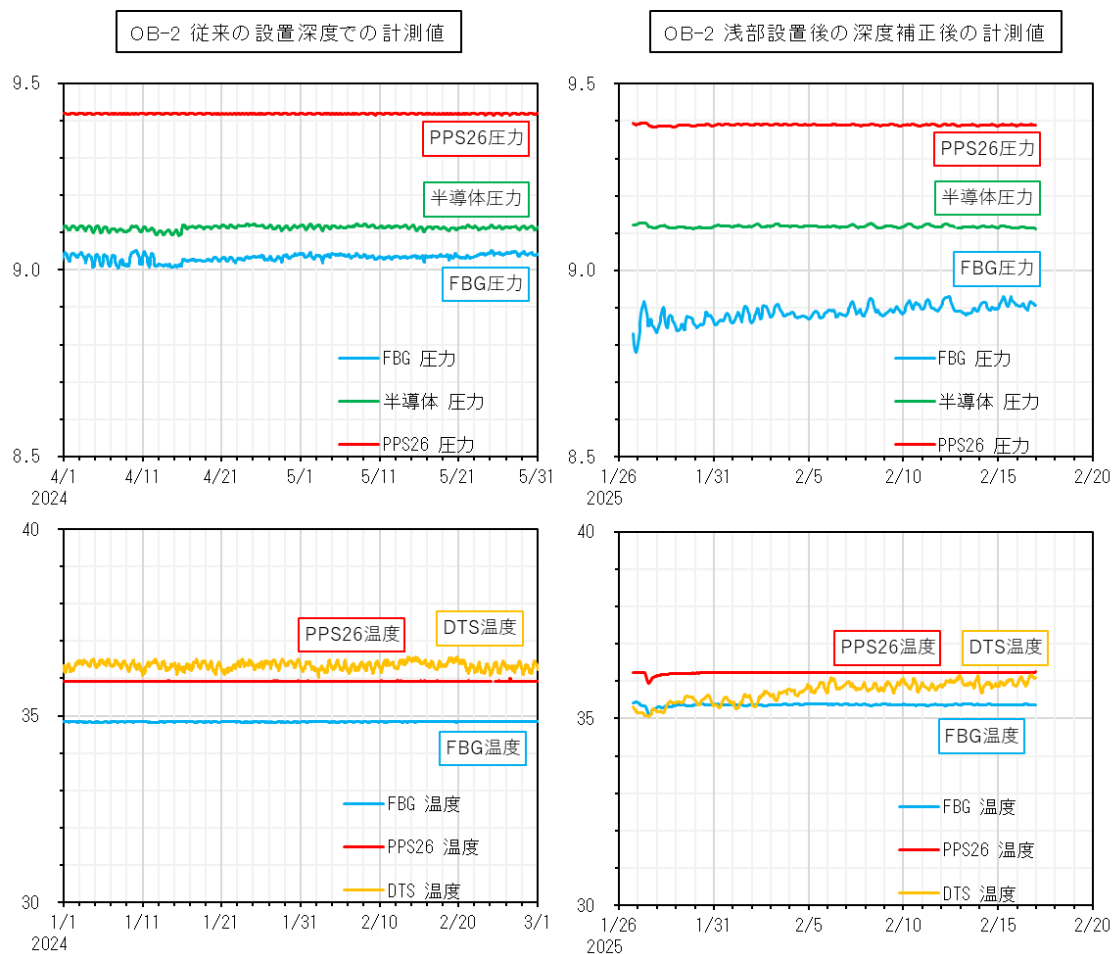


図 4.1-55 OB-2 従来深度の観測値と浅部観測再開後の深度補正した観測値の比較

表 4.1-18 OB-2 観測停止前後の圧力・温度値と補正值

OB-2	FBG圧力 901.9m (MPaA)	FBG温度 901.9m (°C)	半導体圧力 901.9m (MPaA)	PPS26圧力 928.7m (MPaA)	PPS26温度 928.7m (°C)	DTS 901.5m (°C)
① メンテナンス前 (2024/9/15 7:00)	9.073	34.82	9.127	9.416	35.93	35.21
② メンテナンス後 (2025/1/31 7:00) メンテ前より-450.4m	4.408	21.29	4.665	4.943	21.97	21.18
③ 深度補正值	4.456	14.08	4.456	4.448	14.25	14.08
④ メンテ後補正結果(②+③)	8.864	35.38	9.120	9.391	36.22	35.26
⑤ 検層結果(2023/04/17)	9.108	35.88	9.108	9.368	36.80	35.88
⑥ メンテナンス前後差(④-①)	-0.209	0.55	-0.007	-0.025	0.29	0.04
⑦ 検層結果とメンテ後補正データ差(④-⑤)	-0.244	-0.50	0.012	0.024	-0.58	-0.62

表 4.1-19 2023 年 PT 検層データから算出した各深度の圧力・温度勾配一覧

深度区間	圧力勾配 (MPa/m)	温度勾配 (°C/m)
100m ～1,000m	0.00995	0.02985
100m ～ 200m	0.01010	0.02964
200m ～ 300m	0.01007	0.02988
300m ～ 400m	0.01006	0.02390
400m ～ 500m	0.01001	0.02818
500m ～ 600m	0.00997	0.03264
600m ～ 700m	0.00992	0.03292
700m ～ 800m	0.00983	0.03273
800m ～ 900m	0.00980	0.02721
900m ～1,000m	0.00978	0.02235

⑩ 破断したケーブルの状態調査

破断したケーブルの現状を明らかにするために、破断したケーブルをサンプルとして引張試験、表面・断面観察、ケーブル素線の成分分析を実施した。

a. ケーブル素線引張試験

地上に回収したケーブルの状態について、破断箇所から約 50 m 上部付近まではアウターアーマーに損傷が認められたが、破断箇所から約 100 m の箇所ではケーブルの状態は良好であった（図 4.1-56）。これらについて引張試験を実施し、その状態の確認を行った。試験結果を表 4.1-20 に示す。引張試験については新潟県工業技術研究所と物理計測コンサルタント長岡支店で実施したものでやや値が異なるため、新品と比較した破断強度をパーセンテージで表現した。2020 年に OB-2 へ設置前に計測した際の破断強度は新品の約 84%でアウターアーマーのみで 5.6 t の破断荷重があった。一方、回収後の測定では、破断面から約 100 m 上部では、新品の約 79%の強度があったが、50 m 上部では、アウターアーマーは劣化により測定不能であった。

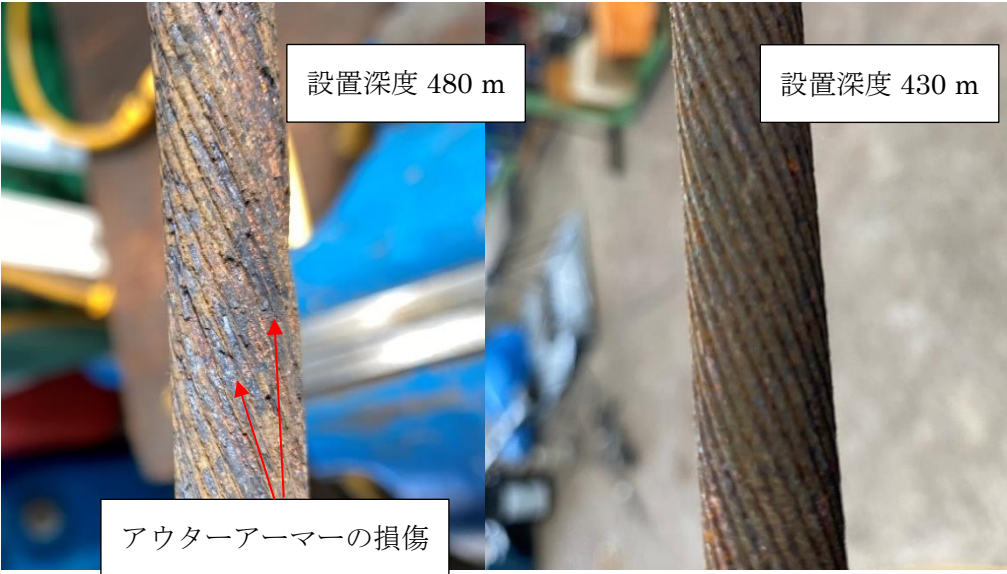


図 4.1-56 回収したケーブルの状態比較（左：設置深度約 480 m、右：設置深度約 430 m）

表 4.1-20 ケーブル素線引張試験結果

実施日	実施場所	状態	破断荷重 1 本 / 全体 (24 本)	新品との比較	備考
2014/12/5	新潟県工業 技術研究所	新品（アウター）	280 / 6,739 kgf	100 %	入荷時試験
2020/3/5		中古（アウター）	234 / 5,604 kgf	84 %	0B-2 使用前
2024/10/1	物理計測コ ンサルタン ト 長岡支店	新品（アウター）	229 / 5,496 kgf	100 %	破断したものと同 性能のもの
		破断から 100m 上部 （アウター）	181 / 4,344 kgf	79 %	
		破断から 50m 上部 （インナー）	140 / 3,360 kgf	N/A	アウターは劣化し ていて試験できず

※設備の違いにより結果に差が出ていると考えられる。

b. 破断したケーブルの観察および成分分析

破断したケーブルの表面や断面について、素線などの状況を、顕微鏡を使用して観察し、表面の成分分析を行った。

調査箇所はケーブル破断部の直上と、破断部から 35.5 m 浅い部分のケーブルを切り出して調査した。ケーブル破断箇所では外装のワイヤー素線の腐食幅が大きく、場所によっては大きく損傷しているワイヤー素線が存在していた。図 4.1-57 に内装の比較的状态の良いワイヤー素線の断面と大きく腐食したワイヤー素線の断面を、光学顕微鏡を用いて観察した図を示す。健全なワイヤー素線と比較して腐食したワイヤー素線はその断面を大きく減少させていること確認された。

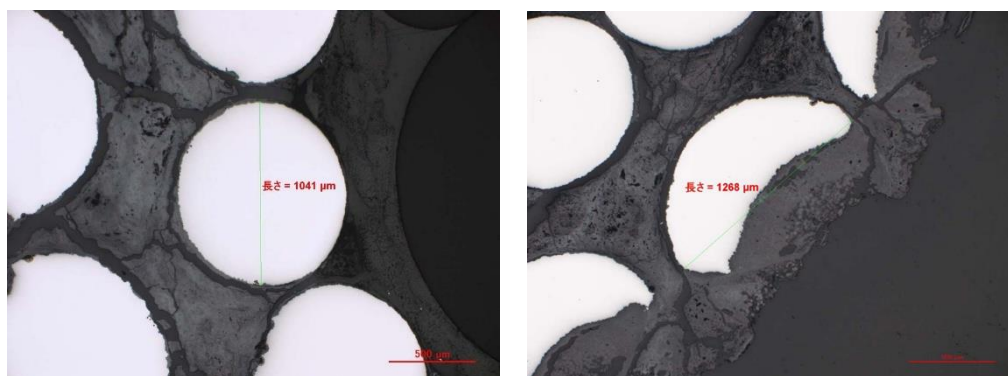


図 4.1-57 ワイヤー素線断面観察結果：状態の良い内装（左）と腐食した外装（右）

⑪ 坑内の比重分析、ガス・流体分析

観測井は最下部で貯留層と導通しているため、坑内状況を把握するために、これまで比重分析を実施してきたが、2024年度は、6月のDTS温度データの異常および、OB-2内圧（図4.1-28下部参照）の上昇から、ガス・流体分析を追加で実施した。結果を表4.1-21、表4.1-22に示す。比重分析の結果は1.031と、2022年9月の比重（1.029～1.031）、2023年4月の比重（1.028）と大きな差はなかった。ガスはメタンが主体で、以前と大きく変わるものではなかった。流体の一般分析の結果によれば、やや塩基性にシフトしたこと、 Br^+ や NH_4^+ などの変化が見られた。しかしながら、今回の分析結果と今回のケーブル破断との関係等についてはさらなる検討が必要である。来年度も引き続き、坑内状況を把握する調査として続けていく予定である。

表 4.1-21 観測井 OB-2 坑内ガス分析結果

表1. ガス分析結果
坑井名: 苦小牧OB-2

試料名	ガス 組 成 分 析 値 (vol.%)											ウエットネス (%)	C ₁ / (C ₂ +C ₃)	i-C ₄ / n-C ₄	δ ¹³ C(‰)						気体比重	計算熱量 (MJ/m ³)
	O ₂	N ₂	C ₁	C ₂	C ₃	i-C ₄	n-C ₄	i-C ₅	n-C ₅	n-C ₆	CO ₂				C ₁	C ₂	C ₃	i-C ₄	n-C ₄	CO ₂		
坑内流体(ガス)	0.22	1.48	98.265	0.015	0.008	0.001	0.005	0.001	0.002	0.001	0.00	0.03	4178.51	0.21	-56.0	-25.3	-24.5		-25.0		0.56	39.3
Sep.下流ビット(計量三角マス) 2013.2.20.11h15	0.63	30.27	68.452	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.63	0.01	10929.86		-70.7	-22.9			-22.9		0.69	6517.7

ウエットネス=(C₂+C₃+i-C₄+n-C₄)/(C₁+C₂+C₃+i-C₄+n-C₄)×100

表 4.1-22 観測井 OB-2 坑内流体分析結果

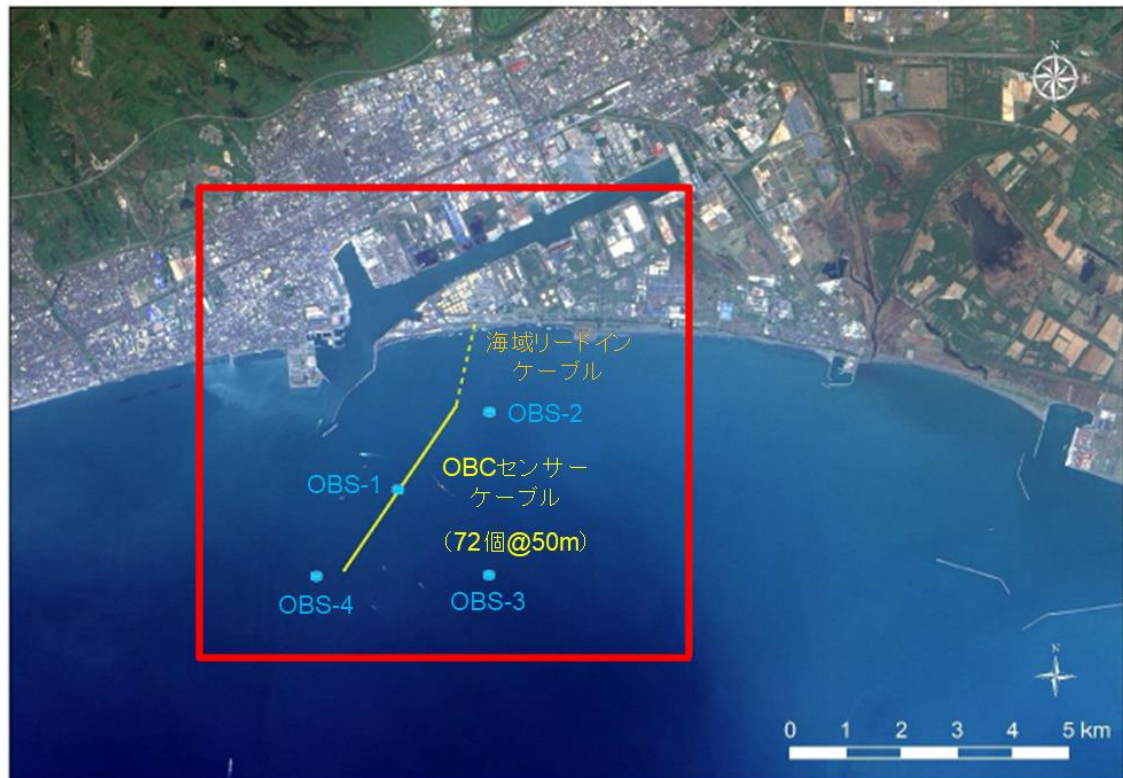
表 1 主要項目分析結果

坑井名・試料名	採取日時	採取箇所	pH	EC				各成分濃度(mg/L)													
				temp.	(mS/cm)	temp.		Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻		
※ 苦小牧OB-2	2013/2/19 17:30	Sep下流ビット	8.34	19.1	6.24	19.5		0.07	1370	26.7	13.8	78.8	2.7	1950	7.4	0.95	9.2	729	5		
※ 苦小牧OB-2	2013/2/20 17:35	Sep下流ビット	8.34	19.0	6.14	19.3		0.07	1300	25.2	11.8	74	2.8	1860	7.2	0.91	3.4	713	5		
※ 苦小牧OB-2	2013/2/22	サンプラーにより深度930mより採取	8.39	20.7	2.72	21		0.04	670	16.2	2.3	6	1	421	1.6	0.2	5	1040	10		
苦小牧OB-2	2024/9/15	物コンによる採取	9.76	22.2	50.2	21.6		0.2	15500	35.8	<0.1	1	23	22000	3350	<0.5	46	656	152		

※:「二酸化炭素削減技術実証試験事業」のうち「苦小牧OB-2試料分析/地層流体分析」報告書(2014/3/10)より抜粋

4.2 常設型 OBC によるモニタリング

2024 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 に海底面下に敷設した常設型 OBC (実線)、OBS (Ocean Bottom Seismometer) とデータ伝送ケーブル (海域リードインケーブル：破線) の位置を示す。



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

図 4.2-1 常設型 OBC と OBS の設置位置（青字の OBS は 2021 年度に撤去済み）

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。

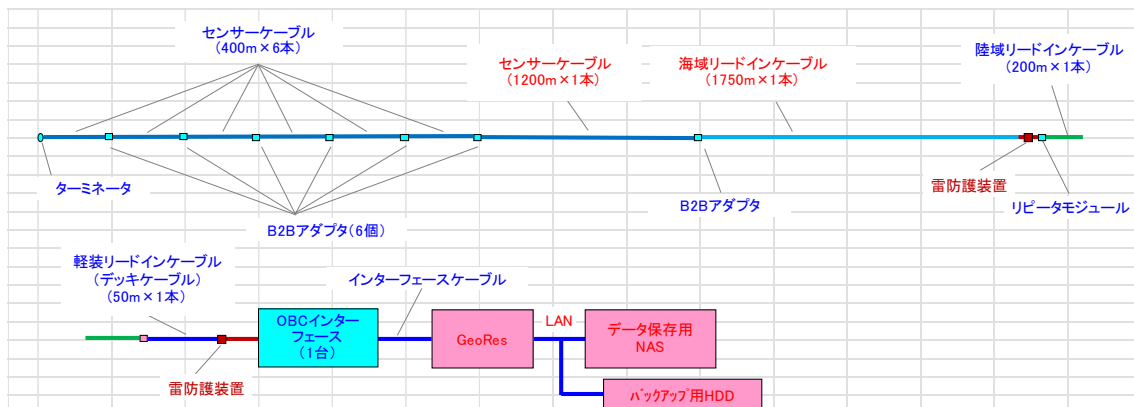


図 4.2-2 常設型 OBC 観測システム構成の概念図

(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。

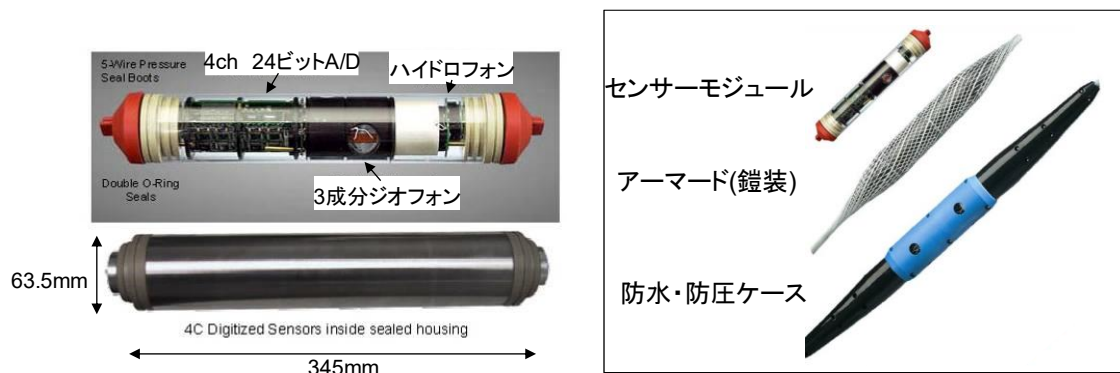


図 4.2-3 モジュールの詳細

他方、2014 年 12 月以降、複数のセンサーユニットが認識できなくなっている（図 4.2-

*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。さらに 2023 年 5 月 5 日に 55 個のセンサーユニットのうち 8 個が認識できなくなり、5 月 8 日 16:50 からは 47 個のセンサーユニットによる観測となっている。

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

4)。2014年12月には、72個のセンサーユニットのうち17個のセンサーユニットが認識できなくなり(白丸)、2023年5月8日16:50以降はさらに8個のユニットが認識できなくなった(赤丸)。現在は47個のセンサーユニットによる観測となっている(青丸)。2023年に認識できなくなったセンサーユニットは、最も沖側の8個に対応する。したがって認識できないセンサーユニットの総数は、中央付近から沖側の17個(39番～71番の奇数側)に加えて58番～72番の偶数側の8個で、計25個となっている。センサーは奇数系列と偶数系列に分かれているが、それぞれは直列的である。したがって、故障したセンサーユニットがあった場合、そこから先(沖側)がすべて見えなくなってしまう。つまり、このOBCの場合、39番と58番のOBCセンサーユニットの故障が、複数のセンサーユニットを認識できなくなった原因であると考えている。

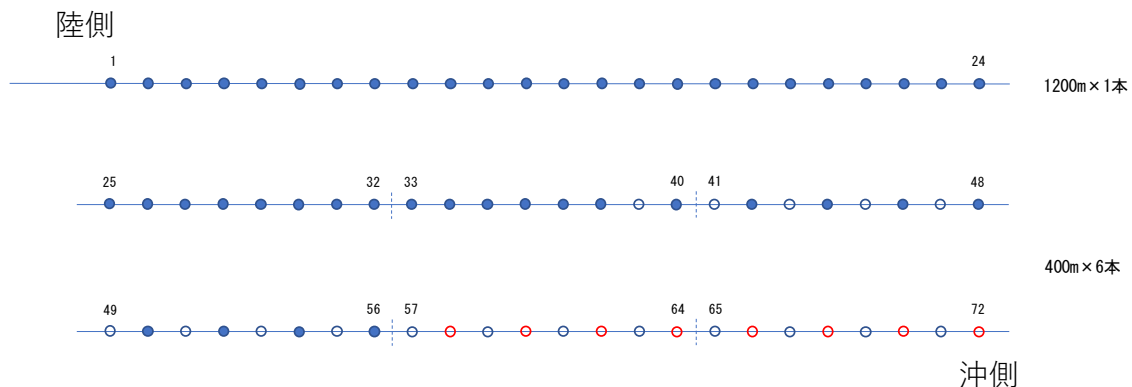


図 4.2-4 センサーユニットの状況 (2023 年 5 月以降)

(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スイッチ^{*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4.2-5にGeoResを更新した2023年8月以降のデータ収録部のシステム構成図を示す。図4.2-6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。

*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 STD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。

*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。2023年8月にサンケン社製UPSをGSユアサ製UPSに交換した(図4.2-4中のUPS-2)。

*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)一給電遮断器を組み合わせた雷対策機器のこと。

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

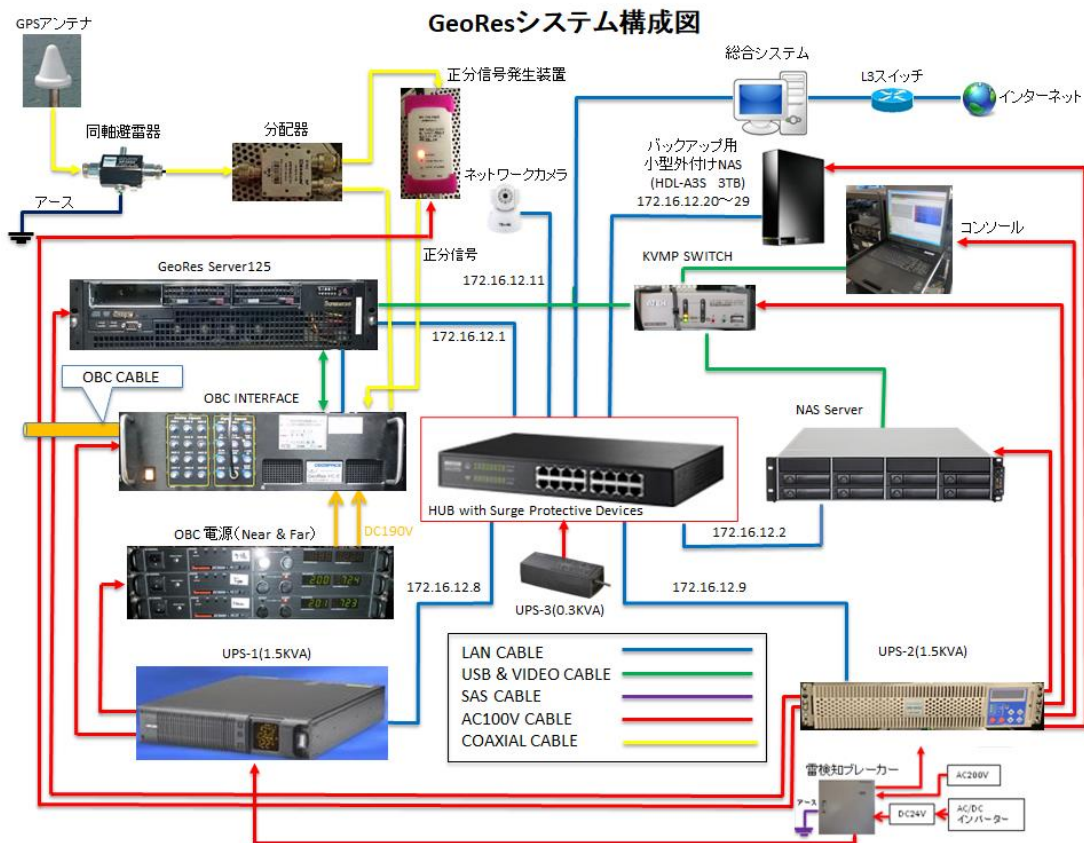


図 4.2-5 データ収録部のシステム構成図 (2023 年 8 月 21 日以降)



図 4.2-6 データ収録部 (測定器 GeoRes システムのレコーダ部分)

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)}。ファイル容量の目安について、現在、データ収録は地震計 47 個×4 成分であり、21.5MB/ファイル、30.2GB/日、907GB/30 日である。2023 年 5/8 以前は、55 個×4 成分であり、25.2MB/ファイル、35.4GB/日、1063GB/30 日であり、2014 年 12/16 以前は、72 個×4 成分であり、33MB/ファイル、46.4GB/日、1392GB/30 日であった。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

観測仕様については、以下に記述する。

- | | |
|----------------|---|
| (a) レコード長 | : 60 秒 / ファイル |
| (b) サンプリングレート | : 500 Hz |
| (c) プリアンプゲイン | : 19 dB |
| (d) チャンネル数 | : 元々は 288 ch (72×4 成分)、現在 188ch (47×4 成分) |
| (e) 補助チャンネル | : 1 ch (外部 1PPS、PPS : pulse-per-second) |
| (f) レコードモード | : 連続・GPS 同期サンプリング |
| (g) レコードフォーマット | : SEG-D (Rev 2) |

*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 サーバ側に一時的な保存領域を設定している。

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)。
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、当初、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^{*13)}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 (NP5S-4U : JCS 製) (以下、「NAS サーバ」と称する。) を用いてきた。現在は、1 日の観測で取得するデータが約 30 GB 見込まれることとなったため、2021 年 2 月以降は、12 台の HDD スロットに装着された各 4 TB の HDD を RAID6 の構成として約 44 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 (S5522) に更新した。NAS サーバの OS は、Windows Server IoT 2019 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^{*14)}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。

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 サーバにデータファイルを保存すると同時に外付 NAS の HDD^{*15)}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 NAS ドライブの指定フォルダにコピーする。外付 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。

*13) 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。

*14) 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ース。

*15) 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^{*16)}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、1.5 KVA の Falcon 社製 UPS（SSG1.5KRM）ならびに 1.5 KVS の GS ユアサ社製 UPS（SMU-HG152 AA11-R）を各 2 台（各 1 台は予備機）導入している。

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。

*16) 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。

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	実績回数
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	144 回 (内定期 50 回)
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	1 回／2 か月	6 回
データ バックアップ	NAS 接続外付け HDD の切替	現地	1 回／2 か月	6 回 (内現地 6 回)
	NAS 接続外付け HDD の交換	現地	適宜	6 回
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およびケーブルの健全性の確認	遠隔地	2 回／年	2 回 (6/14,12/13)
ウイルス対策	ウイルス対策ソフト(VBBSS)のライセンス更新および Windows Defender の動作確認	遠隔地 or 現地	1 回／年	1 回 (VBBSS の更新を 5 月に実施) (Windows Defender の動作確認を 12/23 に実施)
	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 4.2-7 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： 実施日付 実施時間： 開始時刻 ～ 終了時刻
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		
		(47モジュール×4ch=188ch)		
	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		
	内蔵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 4.2-7 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 の切り替えおよび交換等である。2024 年度は、2024 年 4 月 25～26 日、6 月 17～18 日、8 月 26～27 日、10 月 21～22 日、12 月 16～17 日および 2025 年 3 月 13～14 日の計 6 回実施した。
図 4.2-8 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： 実施日付
 実施時間： 開始時刻 ～ 終了時刻
 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	
		(47モジュール×4ch=188ch)	
	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	
	内蔵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： V 電流値： A	
	Far(偶数番)	電圧値： V 電流値： A	
UPS	Falcon(OBC供給電源他) 入力電圧： V 出力電圧： V 周波数： Hz 負荷： % 温度： °C		
	GSユアサ(NAS、GeoRes他) 入力電圧： V 出力電圧： V 周波数： Hz 負荷： % 温度： °C		
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		正常 無効
	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 4.2-8 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 はこれまで遠隔での切り替えも行っていたが、現地保守点検時に切替えることとし、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

現地保守点検時に適時、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。NAS サーバは 2021 年 2 月 16 日に更新を行い、現在の機種は SYSTEM WORKS 社の POWER MASTER Server S5522（HDD 容量：4TB×12 台 = 48TB、RAID6 構成により約 33TB 使用可能）、OS は Windows Server IoT 2019 for Storage Standard である。この OS にはセキュリティソフトとして、Windows Defender が付属している。

4.2.3 常設型 OBC の埋設状況の確認

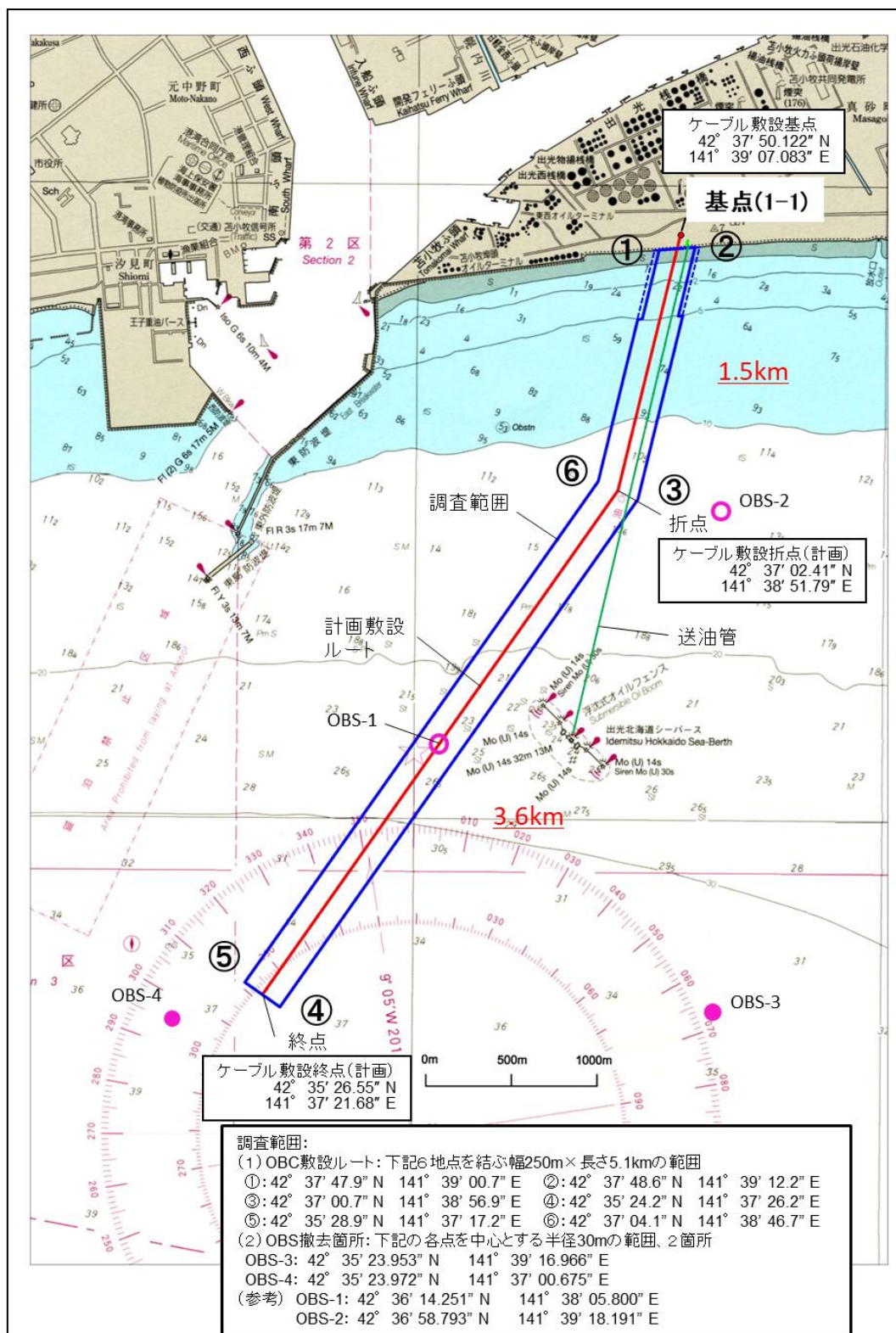
常設型 OBC と海域部データ伝送ケーブルの埋設状況の確認を目的として、2013 年度、2016 年度から 2022 年度に続いて、2023 年度も、常設型 OBC と海域部データ伝送ケーブルの埋設ルート（以下、「センターライン」と称する。）を中心とする長さ 5.1 km×幅 250 m（片側各 125 m）の海域^{*17}（以下、「OBC 測量範囲」と称する。）および、2021 年度に撤去した OBS の撤去跡を中心とする 20 m×20 m の海域（以下、「OBS 測量範囲」と称する。）を対象として海底地形測量を実施した。それぞれの測量範囲の緯度経度を表 4.2-3 に示す。基点から折点間は 1.5 km、折点から終点間は 3.6 km である。図 4.2-9 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、2024 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 4.2-3 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-1,2 は 2022 年度 で測量終了)	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)

^{*17} 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 250 m（片側各 125 m）×延長 5.1 km。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 500 m（片側各 250 m）×延長 5.1 km。



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 4.2-9 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 4.2-4 に示す。現地作業は 7 月 1 日～7 月 4 日に実施^{*18)}した。比較的海象が良好であったため、当初予定通り海域作業を終了した。

表 4.2-4 海域作業の工程

調査項目	5/13-6/29				6/30		7/1		7/2		7/3		7/4		7/5	
	事前準備				現地調査											
打合せ																
海保申請、備船手配等																
調査員移動、機材輸送																
機装、GNSS精度確認、 解装																
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撤去箇所)																

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^{*19)}（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あわせて解析し、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 4.2-10 に RTK-GNSS の概念図を示す。

測量船には、図 4.2-11 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^{*20)}（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姿勢（回転^{*21)}および上下動（Heave））の情報と 2

*18) 実施に先立ち、2024 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し、水路測量許可書（2024 年 6 月 4 日付）を受領。また、2024 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（2024 年 5 月 27 日付、作業変更分は 2024 年 6 月 6 日付）を受領。

*19) 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）。

*20) 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。

*21) 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あわせて、数 cm 程度の測位精度が得られる。

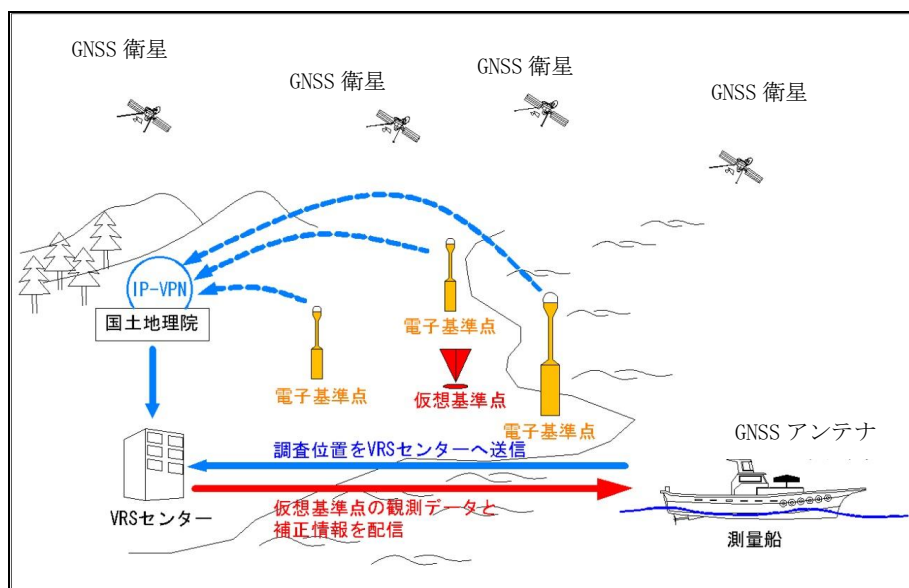


図 4.2-10 VRS 方式による RTK-GNSS (ネットワーク型 RTK 法) の概念図

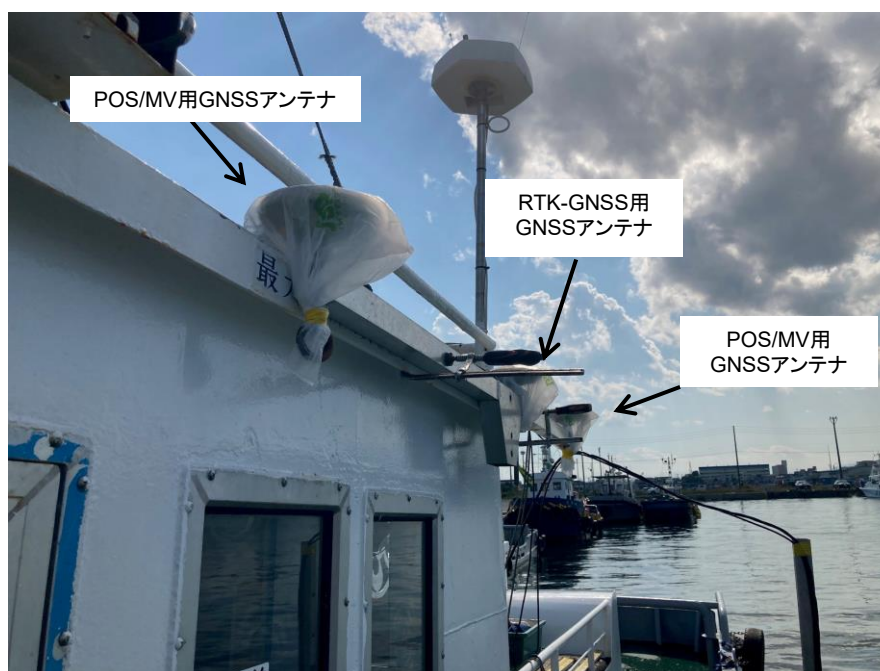


図 4.2-11 調査船に艦装した RTK-GNSS 用と POS/MV 用の GNSS アンテナ

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^{*22)} (直下の測深データのみ取得可能) を用いた。図 4.2-12 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 4.2-5 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 4.2-13 に OBC 測量範囲の測量実施時の航跡図を示す。

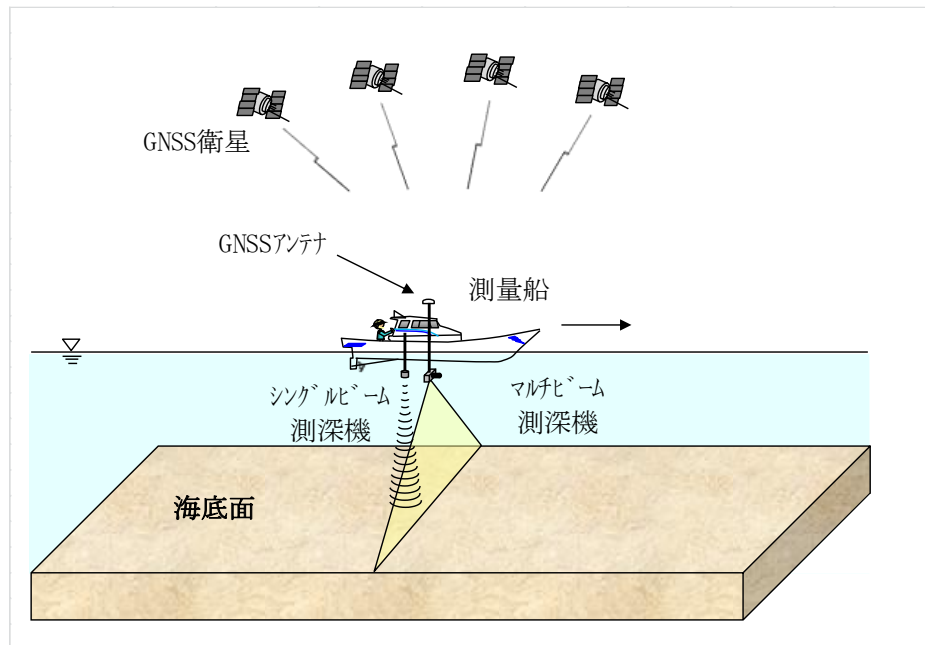
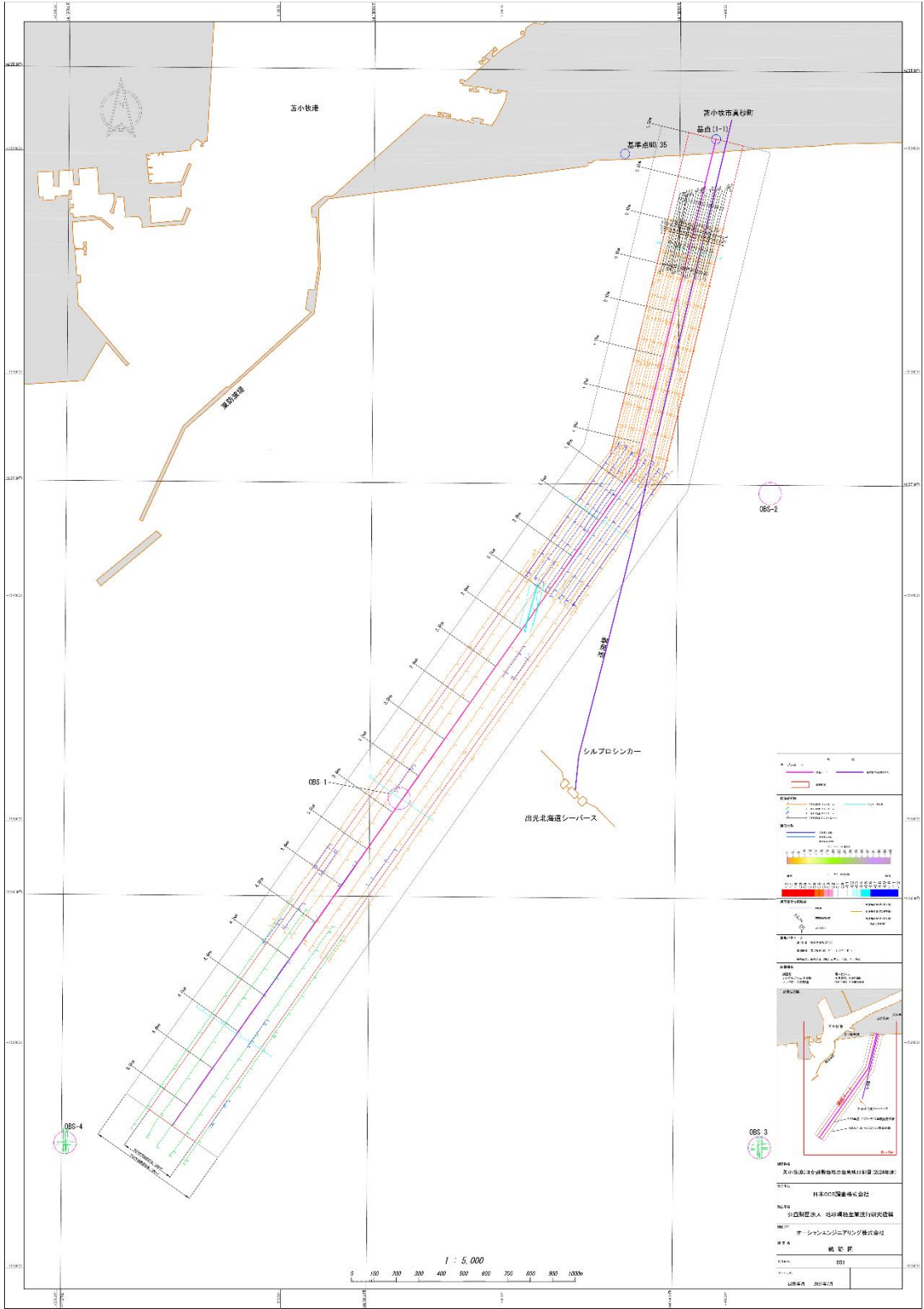


図 4.2-12 マルチビームとシングルビームによる測深概念図

^{*22)} 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利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 4.2-5 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 (10kHz 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° ヒール：3.5 cm(3.5%) 真方位：0.025°	Applanix 社	動揺 (ロール・ピッチ・ ヒール) 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 第八松栄丸	全長：11.70 m 総トン数：8.5 t	松栄船舶	作業全般
解析ソフト	Hypack2021 POSPAC MMS	HYPACK 社 Applanix 社	データ解析



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 4.2-13 OBC 測量範囲内の測量時の航跡図

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^{*23)}（最低水面）からの水深のメッシュデータを作成した。潮位の関係図を図 4.2-14、図 4.2-15 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 4.2-16 に測深データの処理フローを示す。

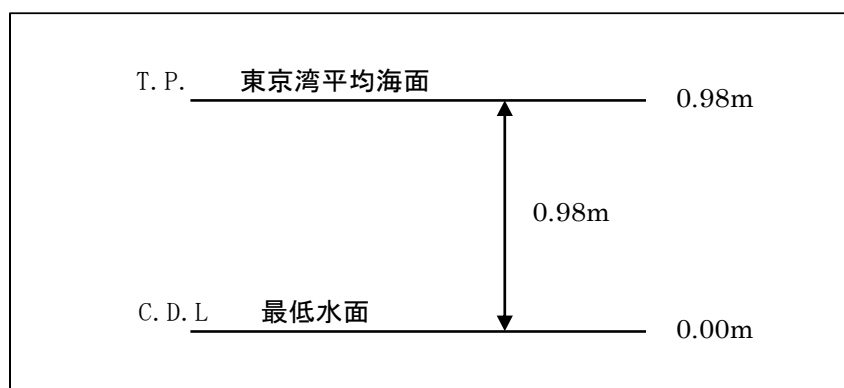


図 4.2-14 潮位関係図

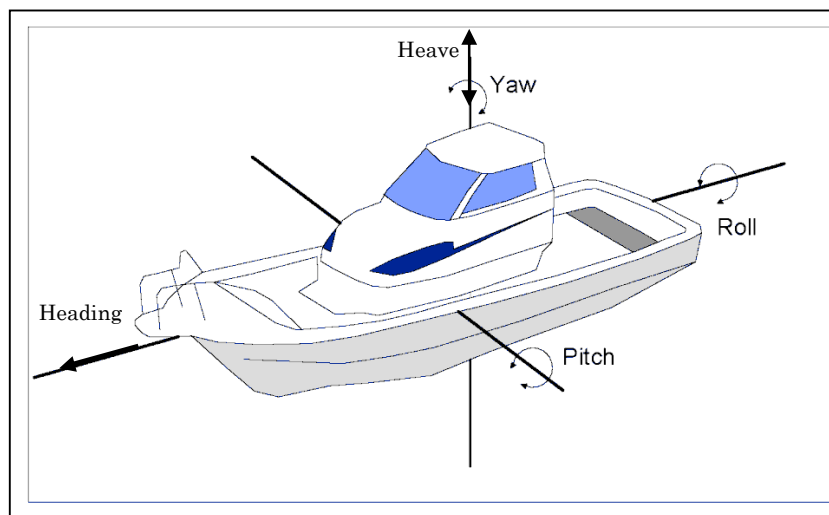


図 4.2-15 船の姿勢、上下の動揺、船首方向の概念図

*23) 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 0.98 m 下に定められている。

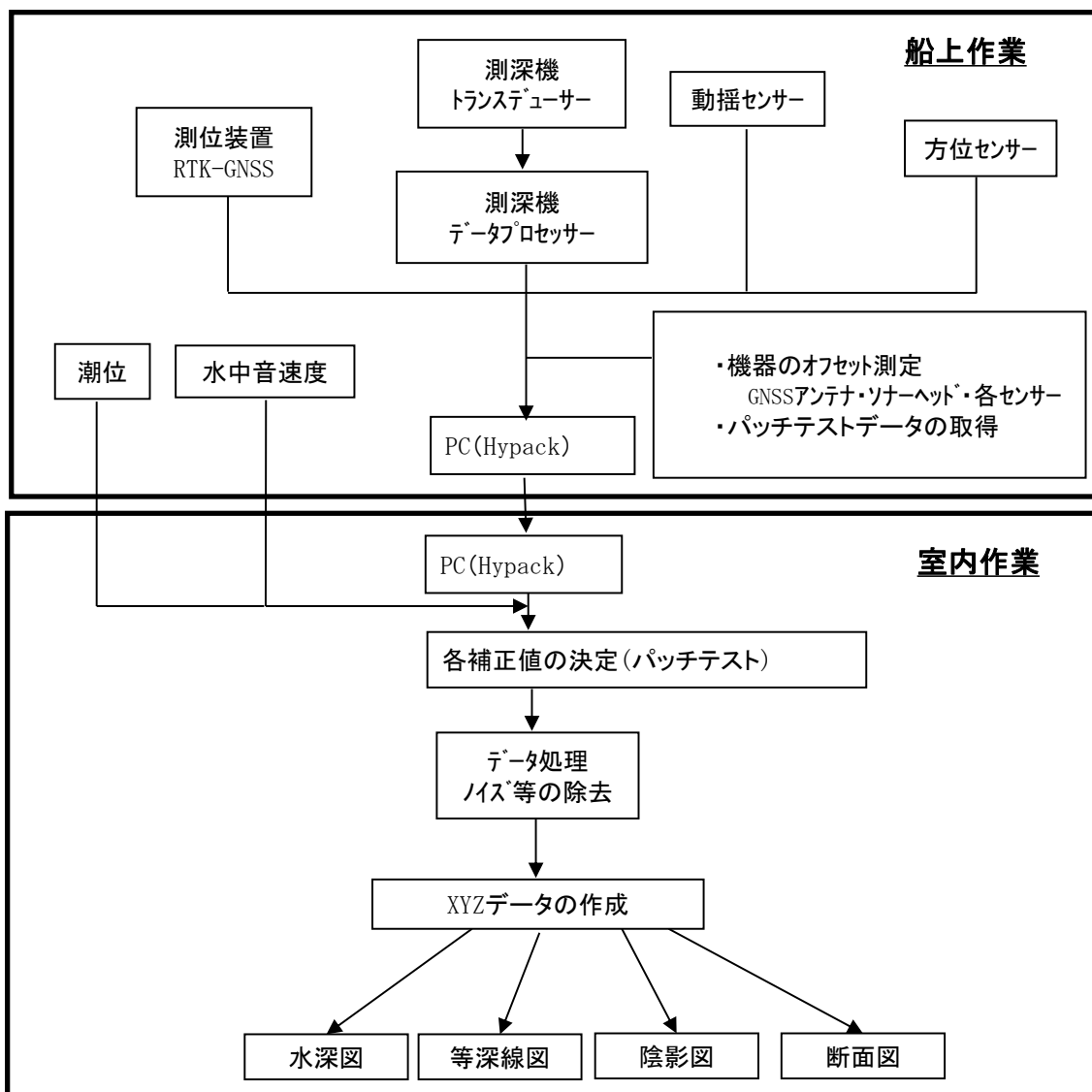


図 4.2-16 測深データの処理フロー

(2) 測量結果

① OBC 測量範囲の海底地形の水深変化

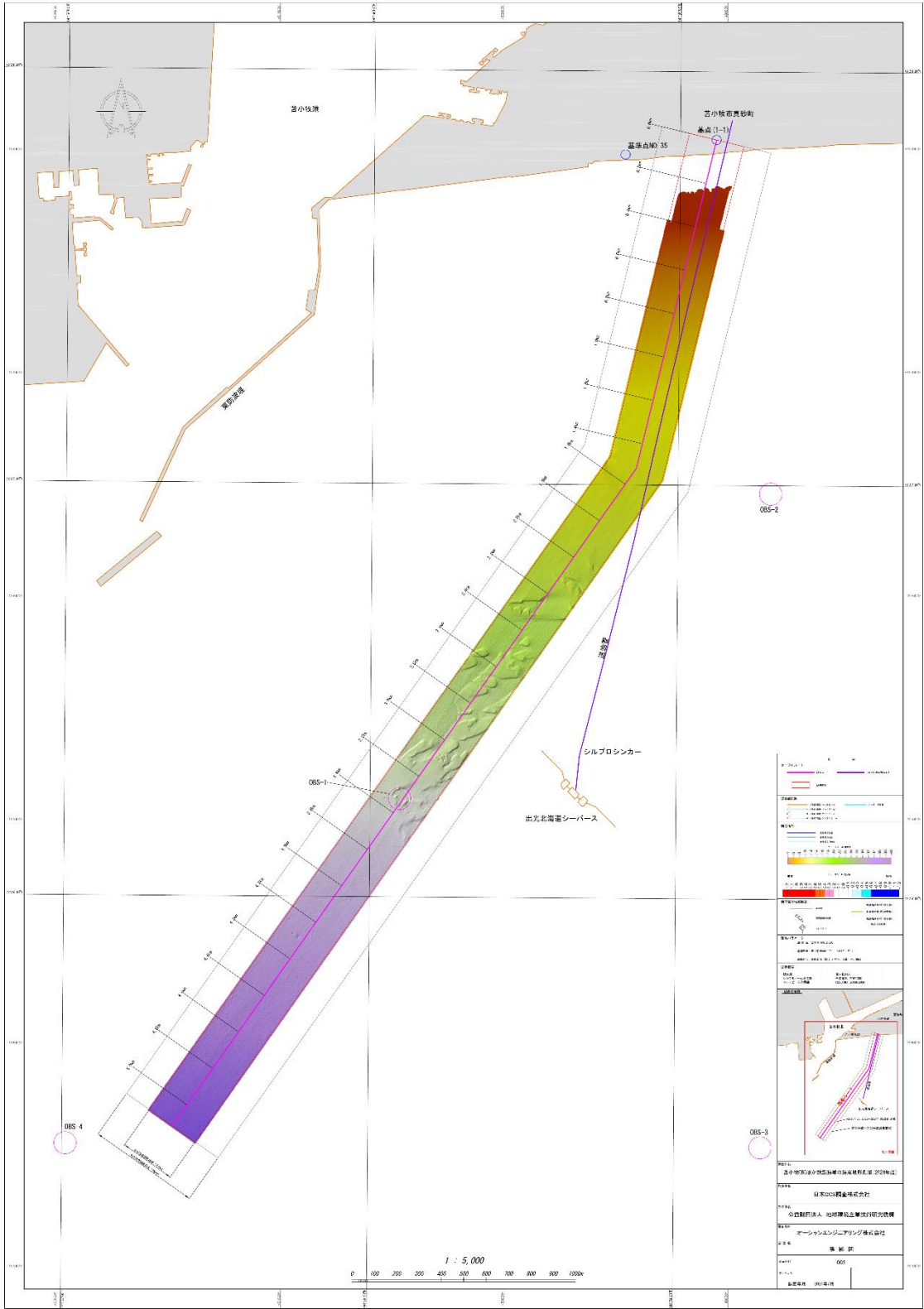
2024 年度の海底地形測量により得られた水深のメッシュデータから作成した海底地形の陰影図を図 4.2-17 に示す。測量海域全体は、海岸平野部に属しており、沖合に向けてなだらかな緩斜面が続いている。測量の解析結果からは、2023 年度の地形特徴と比べ全体的には大きな変化は確認されなかった。2024 年度に取得した水深データと、2023 年度および 2013 年度の水深データとの比較を図 4.2-18 および図 4.2-19 にそれぞれ示す。過去の調査時の水深より浅くなった場合（堆積した場合）をプラスとして赤色系で表示し、深くなった場合（侵食した場合）をマイナスとして青色系で表示した。年次毎の調査では顕著な海底地形変化はみられていないが、2013 年との比較では経年変化を見ることができる。具体的に、

海岸付近を起点とした距離(KP:キロメートル・ポイント)で示すと、KP2.0～3.4付近までは海流の影響により地形が変化する海域に相当する。また、KP0.4～0.6では最大0.6m、KP1.6付近では最大1.0m程度の侵食が見られた。

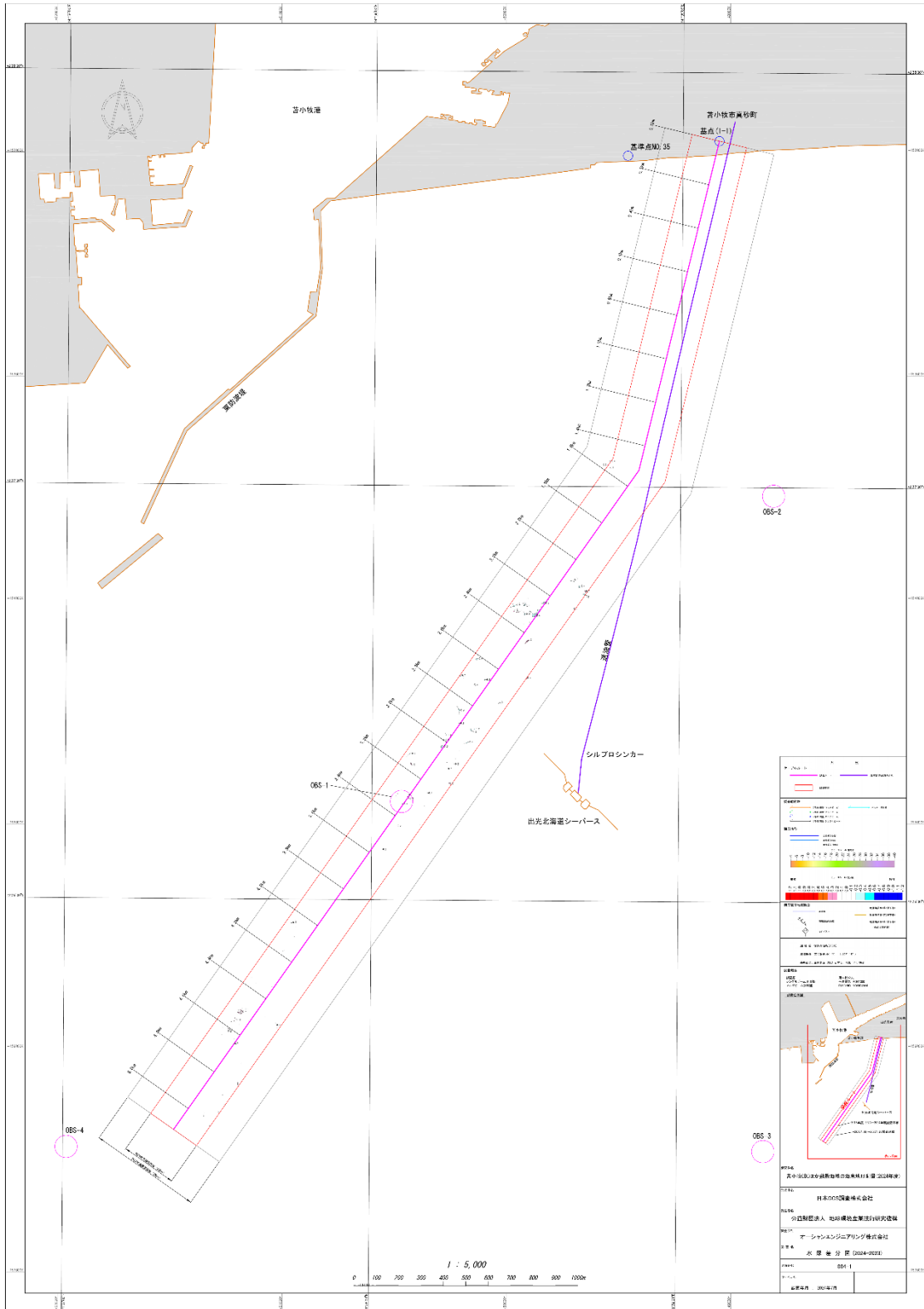
今回の測量により得られた水深データと過年度の水深データの差分において、海底面が堆積傾向または変化がない部分は安全側の変化(OBC埋設深度が増加または変化なし)であるが、逆に侵食された部分はOBCの埋設深度が浅くなった部分である。OBCは海底下2mに埋設されており、これら侵食の影響を受けることはないが、浅海域での地形変化が10年で1m程度出てくることを実証できた。

② OBS 測量範囲の海底地形の水深変化

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2024年度時点でも未だ撤去跡が残っている。OBS-3およびOBS-4周辺の海底地形について、撤去直後の2021年度から撤去後約3年後の2024年度の海底地形の陰影図と、2021年度以降の海底地形の東西断面図をそれぞれ図4.2-20、図4.2-21に示す。このうち、OBS-3についてはこの1年間の埋没量が大きく、ほぼ埋没したように見えるが、OBS-4については依然として撤去跡が残っている。両者共に、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。

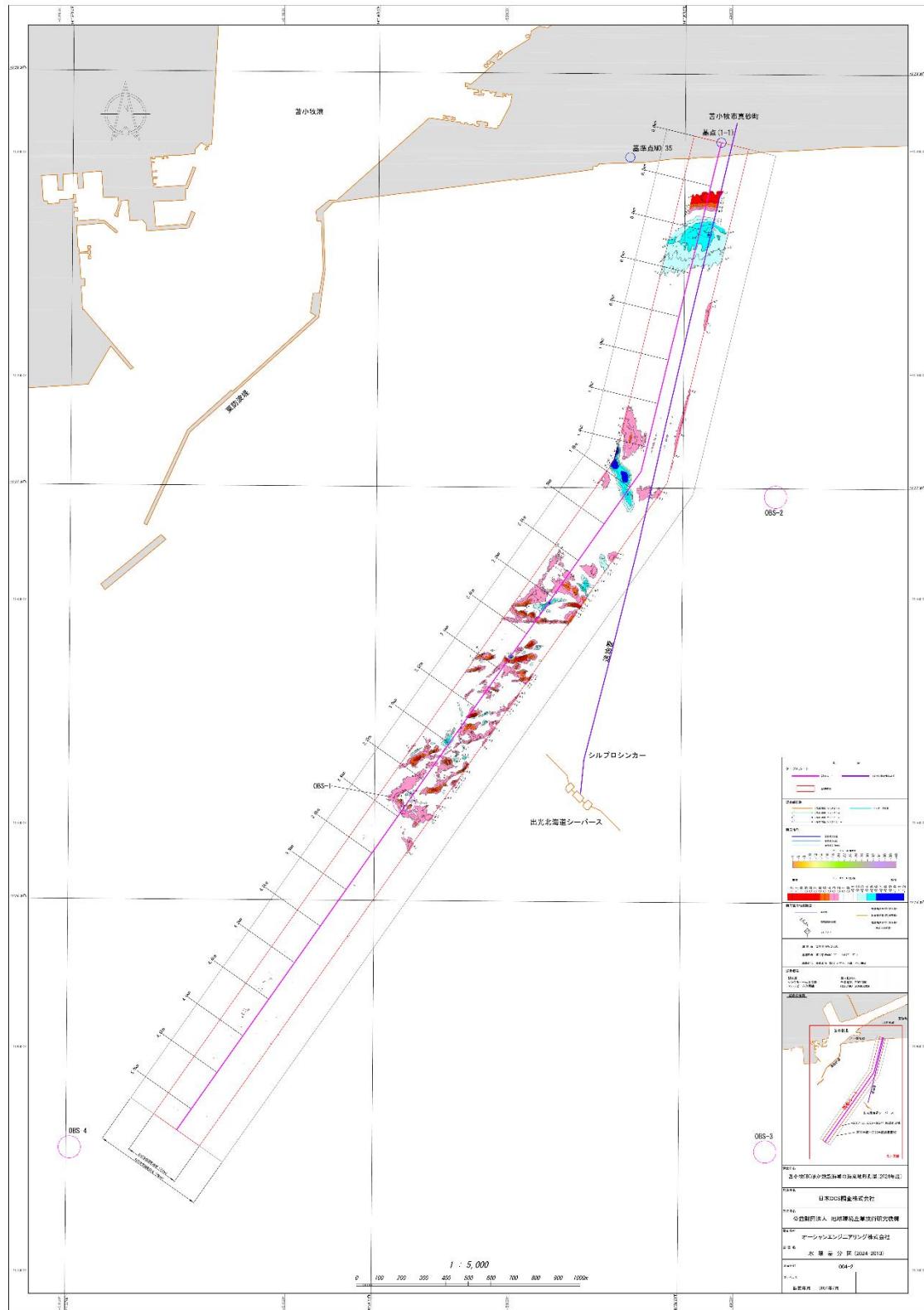


注) 出典：海上保安庁 2010 年 6 月 3 日刊行 「海図 W1033A 苫小牧港西部」を加工して作成
図 4.2-17 海底地形図(陰影図)



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 4.2-18 水深差分図（2024 年度測量結果－2023 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 4.2-19 水深差分図（2023 年度測量結果－2013 年度測量結果）

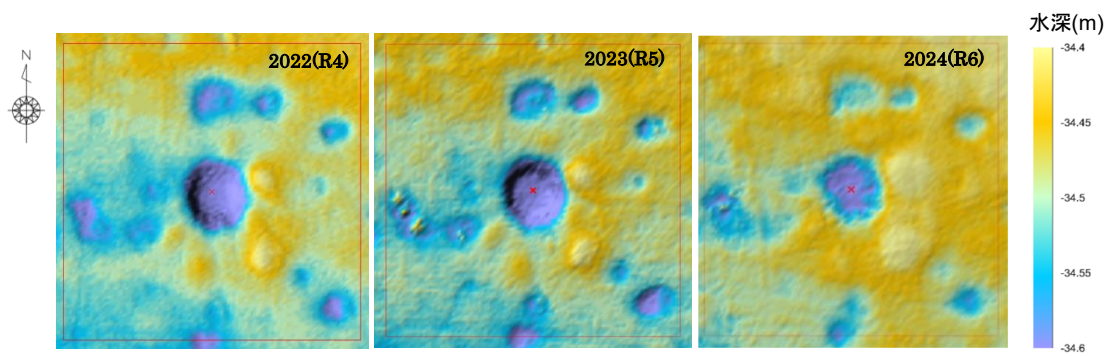


図 4.2-20 (1) 2022～2024 年度の OBS-3 周辺の海底地形図

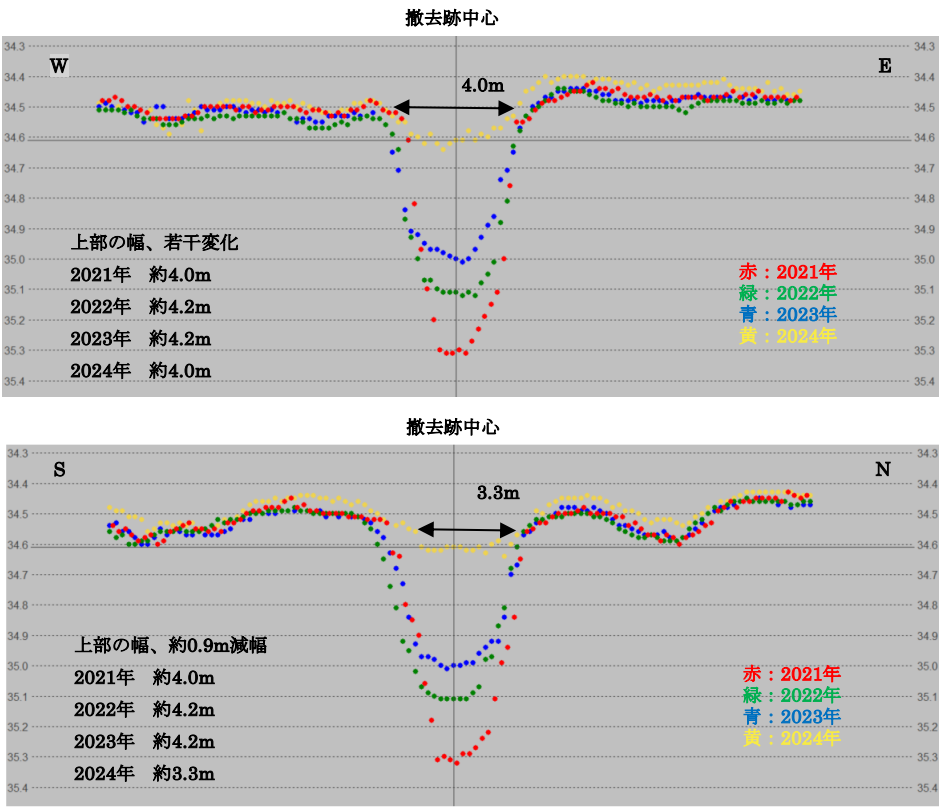


図 4.2-20 (2) 2021～2024 年度の OBS-3 周辺の断面図

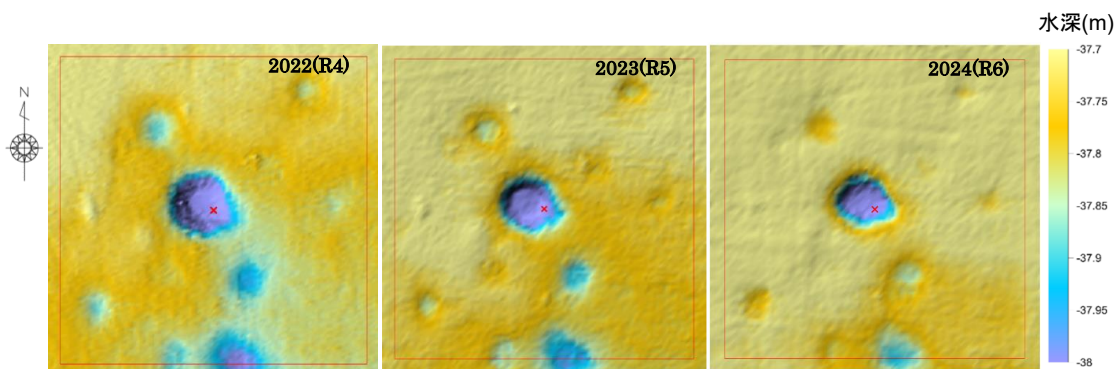


図 4.2-21 (1) 2022～2024 年度の OBS-4 周辺の海底地形図

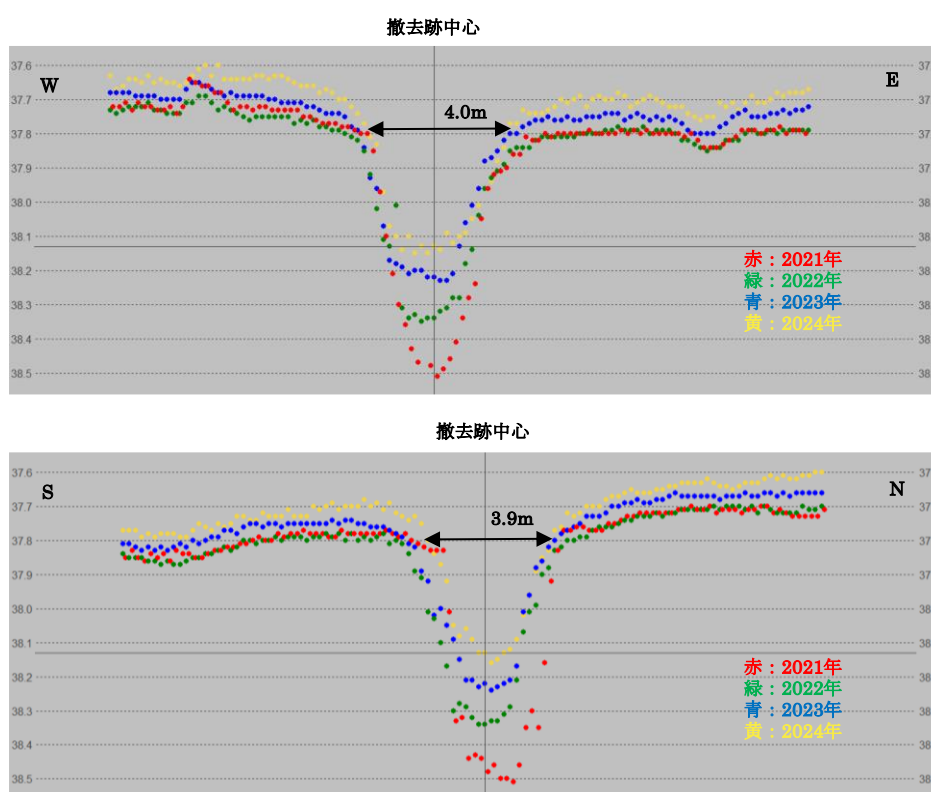


図 4.2-21 (2) 2021～2024 年度の OBS-4 周辺の断面図

4.2.4 常設型 OBC 撤去に関連した振源決定への影響評価

苫小牧における地震動モニタリングは、現時点で坑井内（OB-1, OB-2, OB-3）、および海底に敷設された常設型 OBC により実施している。また、より広域の自然地震検知を目的として、苫小牧周辺の Hi-net 観測点を用いた振源推定を実施している（4.4 節参照）。高精度なイベント検出および振源推定を実施するためには、対象とするモニタリング領域を空間的に網羅するような、可能な限り多数の観測点を配置することが望ましいとされる。ただし、実際には種々の制約により観測点の配置などは制限される。また、コストの点からは不

必要に多数の観測点を配置することは望ましくなく、十分なイベント検知能力、振源推定精度が保たれる範囲で、必要最小限の観測点配置を追求することが求められる。以上の観点より、限定的な観測点配置における振源推定精度を検証することは今後の同様なモニタリングを実施する際に重要な知見となると考えられる。

2022年度までに微小振動モニタリング範囲内に推定されたイベント計16件、および2021年7月に検知された自然地震モニタリング範囲内イベント42件を対象に、振源推定に用いる観測点を制限した場合の振源推定結果を比較、検証した。本検討は、2022年度に実施した検討を基に、2024年度に検討結果を再評価したものである。



図 4.2-22 OBS とその他微小振動観測点の位置図（日本 CCS 調査 Web ページより）

(1) 微小振動モニタリング範囲内イベントに対する検証

2022年度までに微小振動モニタリング範囲内に推定されたイベントに対し、読み取り観測点を制限した場合の振源推定結果を比較した。イベントの内訳は下記の通りである。

- 1) ベースライン期間中 (2015/2/1 ~ 2016/3/31) : 9 件
- 2) 圧入期間中 (2016/4/6 ~ 2019/11/22) : 3 件

3) 圧入終了後(2019/11/23～) : 4件

また、使用する読み取り観測点の組み合わせを下記の通りとして振源推定を実施し、推定結果を比較した。

- 1) 情報公開バージョン^{*24)}(全観測点: OB-1, OB-2, OB-3, OBC)
- 2) OBC 以外バージョン (OB-1, OB-2, OB-3)
- 3) OB-1、OB-3 のみバージョン (OB-1, OB-3)

また、特に記載のない限り、振源推定に用いた OBC 観測点は図 4.2-4 に記載された、陸側(1 番)、中央部(37 番)、沖側(72 番)の 3 点とする。図 4.2-23、図 4.2-24 に Hi-net 各観測井(坑内)地震計、OBS、OBC、陸上地震計のノイズレベル(RMS 振幅が小さく、下側に分布するほど静か)を示す。図 4.2-25～図 4.2-26 に、それぞれの推定結果を示す。

振源推定に用いる観測点を制限することにより、観測点の配置が変化するため、振源の位置推定精度と、振源そのものの検知精度(どのくらい小さな振源を見つけられるか)が変化することが想定される。まず、振源位置推定については観測点の配置が陸側に限定されてしまうため、沖合の振源ほど精度が低下する傾向になる。次に、振源の検知精度は各観測点のノイズレベル(静かであるかどうか)の大小で決まる。図 4.2-23、24 によれば、OBC は観測井(坑内)地震計よりノイズレベルが高い。実際、OBC 以外バージョンにおいても振源の数は減少していない。これらより、OBC を撤去したとしても、引き続き観測井で微小振動をとらえているため、振源の検知精度は低下しないと考えられる。

以下に具体的な比較の結果について記述する。全観測点を使用した図 4.2-25(情報公開バージョン)と比較すると、図 4.2-26(OBC 以外バージョン)では推定振源位置がやや南側に偏り、図 4.2-27(OB-1、OB-3 のみ)では推定振源位置がやや北側に偏る傾向がみられた。ただし、観測点を制限した図 4.2-26、図 4.2-27 いずれのケースにおいても、振源クラウド(分布)の広がり程度は図 4.2-25 のケースと比較してほぼ変化しなかった。また、推定深度も全てのケースで 5～8km 前後の範囲に収まっており、観測点を制限したことによる傾向の大きな変化はみられなかった。今回のように振源推定に使用する観測点を制限したケースで、振源推定位置が微小振動モニタリング範囲外に移動したイベントはなかった。

図 4.2-25～図 4.2-27 のケースでは振源位置の推定結果に若干の相違があるものの、推定結果全体の傾向として大きな変化はみられない。このことから微小振動モニタリング範囲内イベントに限れば、OBC もしくは OB-2 を振源推定に使用しないケースであっても確か

^{*24)} 日本 CCS 調査 Web ページにて公開されている振源決定成果
(<https://www.jccs-tomakomai-monitoring.com/JCCS/index.php/slideshow/slide16/>)

らしく振源を検知し、振源位置推定が可能であると考えられる。同時に振源推定に際してはOB-1、およびOB-3の寄与が大きいことが示唆される。

苫小牧実証試験における微小振動観測では、観測された振源位置がいずれも深度5km以深(OBCを含めた観測井、とりわけOB-1とOB-2の水平分布より深度方向に大きい)に分布しており、各地震計の配置を勘案すると、水平方向の位置決定精度は1~2km程度と想定されている。このような観測条件では、上記の検討のようにOBCを限定的な観測点配置であったとしても、振源位置推定精度はあまり変わらず、振源位置の移動や偏りもその精度の範囲内に留まっており、引き続き十分な検知精度と位置決定精度を維持していると考えられる。

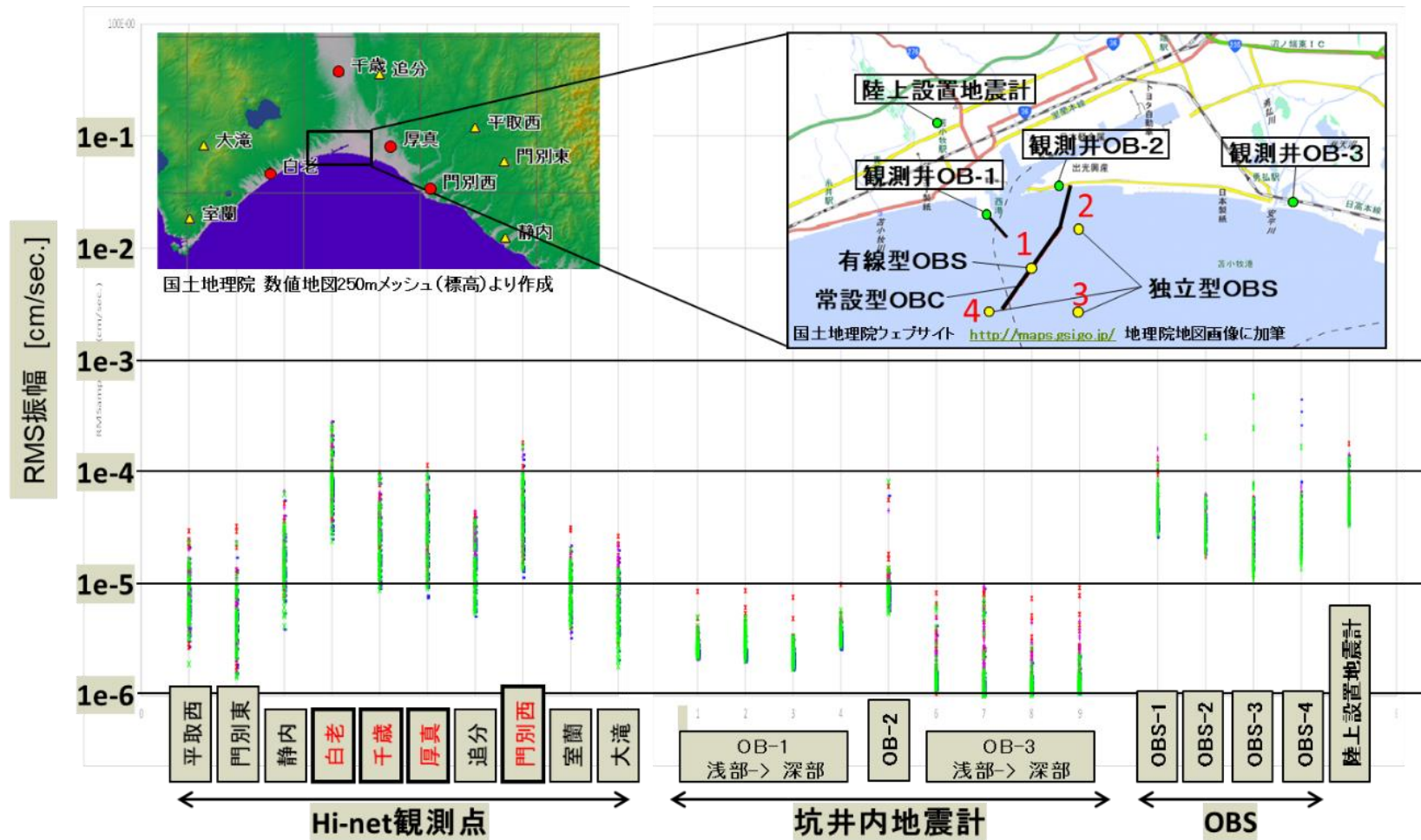


図 4.2-23 各観測点のノイズレベル①

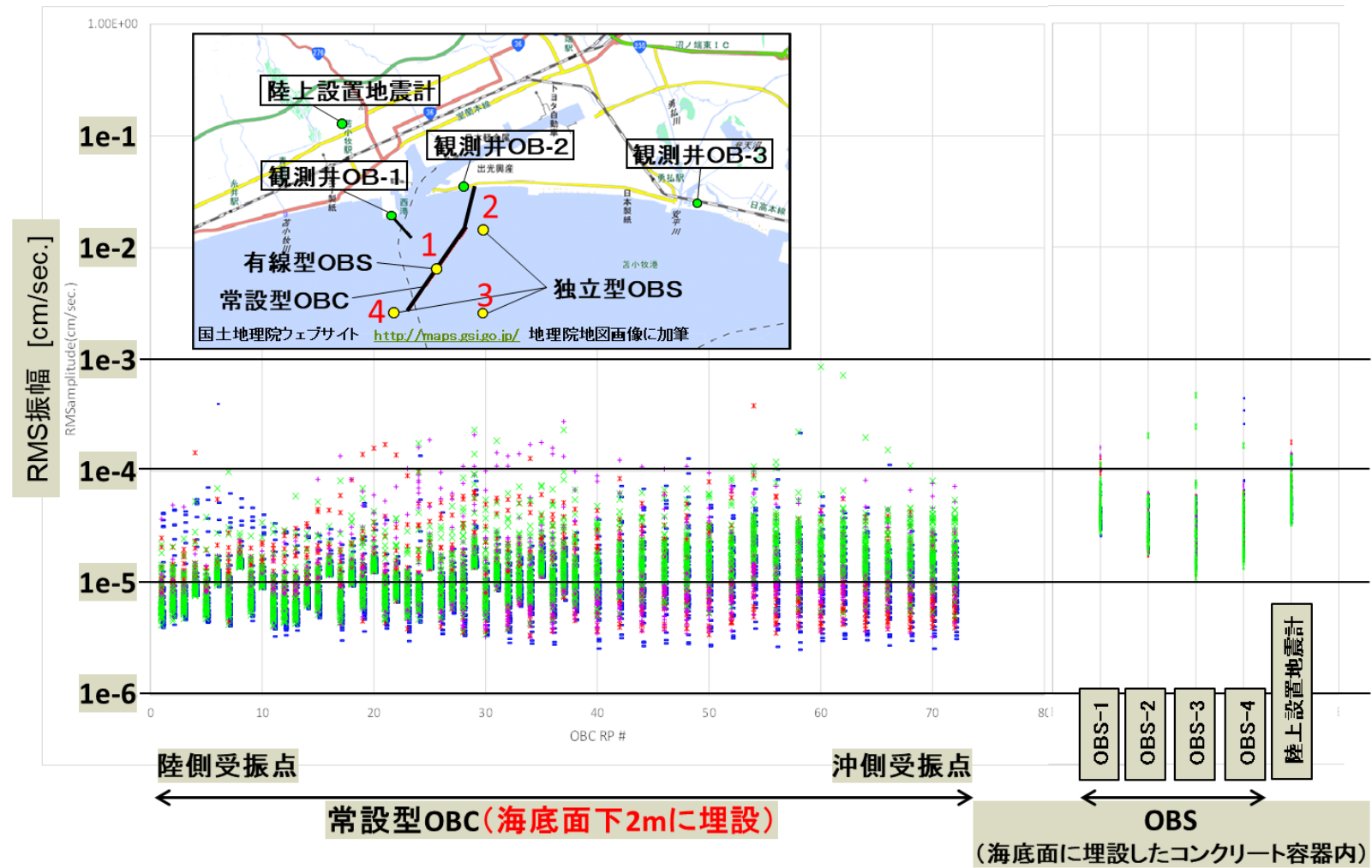
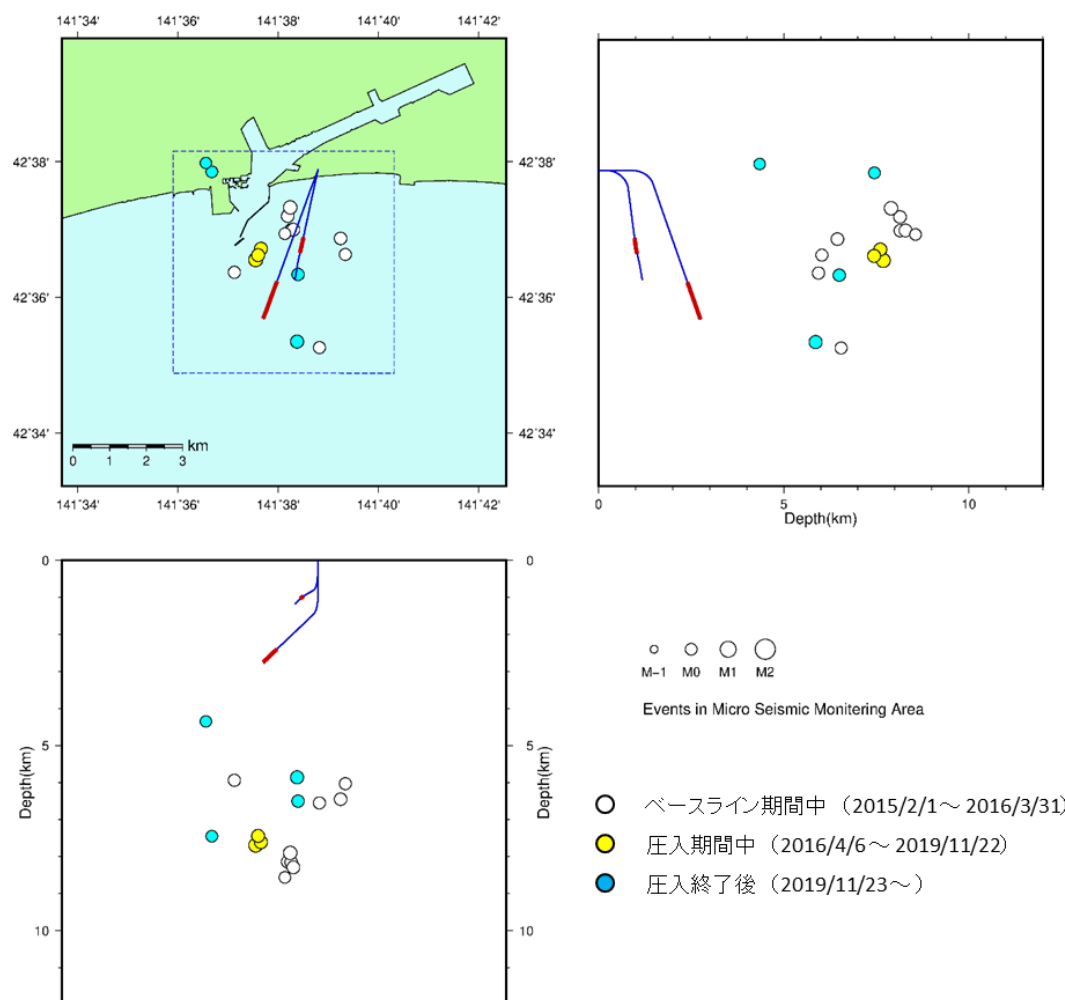


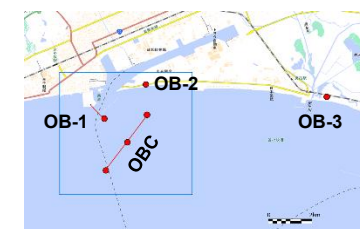
図 4.2-24 各観測点のノイズレベル②

微小振動モニタリング範囲内イベント震源分布図 (情報公開バージョン)



使用観測点

OB-1	○
OB-2	○
OB-3	○
OBC	○

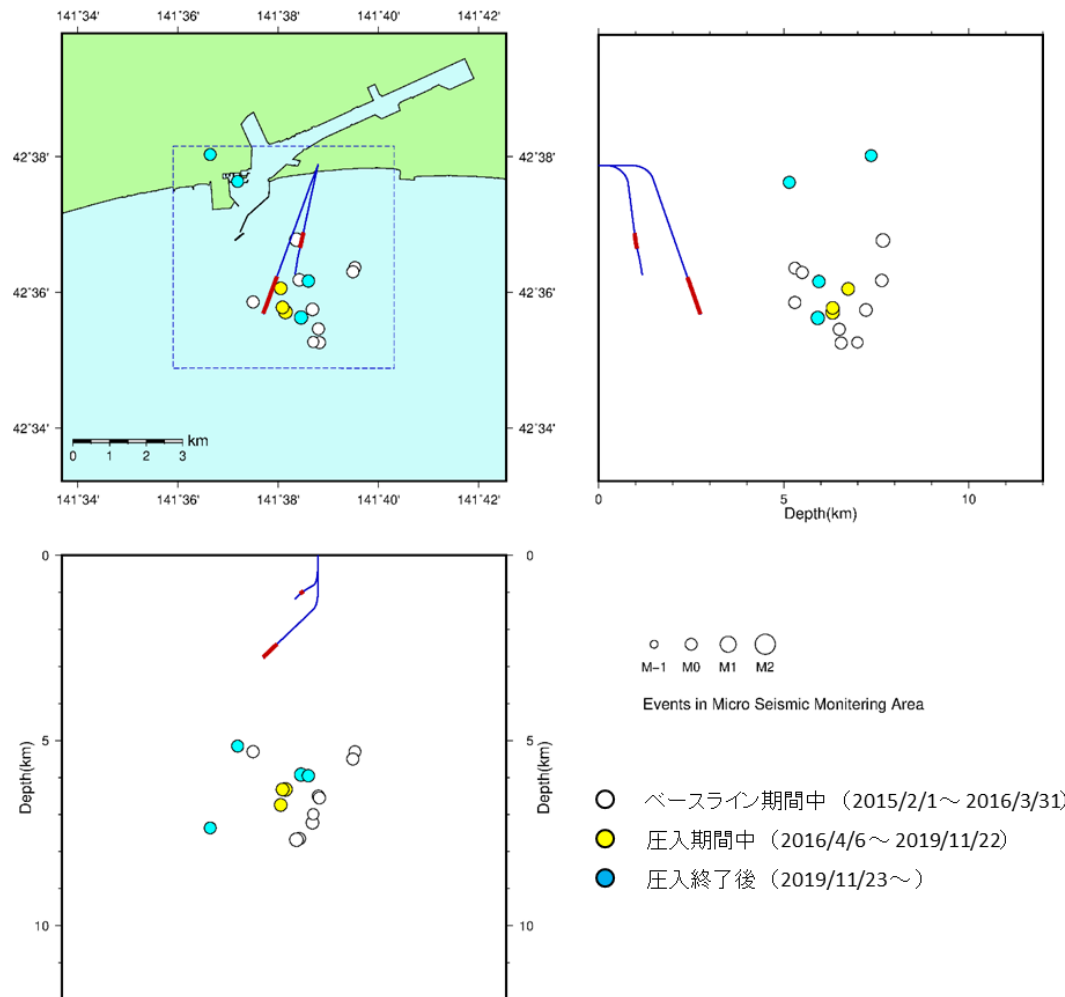


国土地理院 電子地図に加筆

推定結果			
発生日時	Lat	Lon	Dep
2015/04/09 15:03:19	42.610567	141.65567	6.03
2015/04/13 14:00:21	42.606175	141.61876	5.94
2015/04/17 07:06:03	42.619983	141.63649	8.14
2015/04/17 07:09:42	42.616617	141.63764	8.15
2015/04/17 07:13:24	42.616656	141.63837	8.29
2015/04/17 07:18:08	42.587691	141.64704	6.55
2015/05/10 08:27:03	42.615679	141.63556	8.56
2015/08/10 19:08:02	42.614527	141.65407	6.45
2015/08/20 23:20:27	42.622126	141.63731	7.9
2017/08/02 13:35:18	42.609253	141.62585	7.69
2017/08/02 13:36:23	42.611986	141.6276	7.61
2017/08/02 13:55:38	42.610401	141.62665	7.44
2020/09/24 11:53:15	42.589153	141.63961	5.86
2021/04/01 04:23:56	42.630867	141.61124	7.45
2021/08/24 16:03:02	42.605655	141.63992	6.5
2022/09/18 14:04:33	42.633042	141.60927	4.35

図 4.2-25 微小振動モニタリング範囲内イベント震源分布図 (情報公開バージョン)

微小振動モニタリング範囲内イベント震源分布図 (OBC以外バージョン)



使用観測点

OB-1	○
OB-2	○
OB-3	○
OBC	



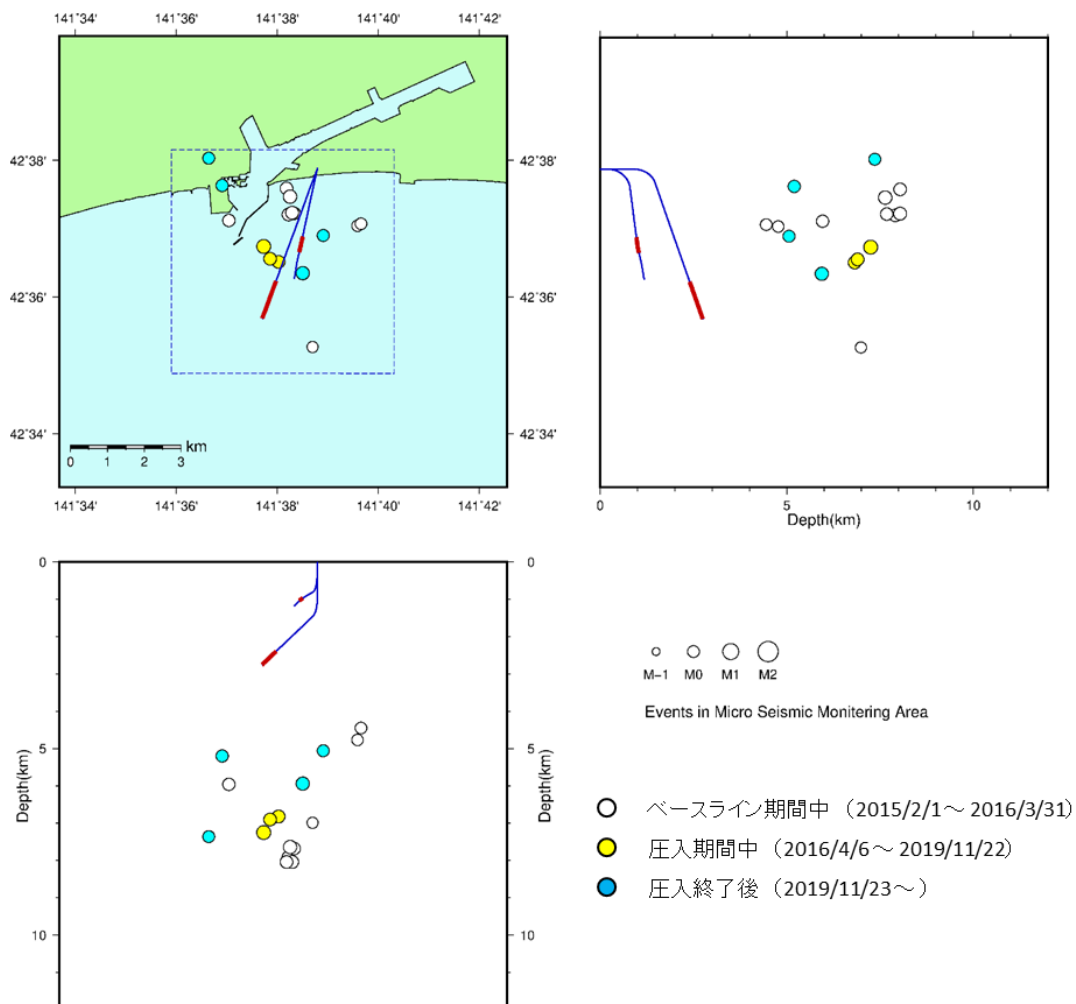
国土地理院 電子地図に加筆

推定結果

発生日時	Lat	Lon	Dep
2015/04/09 15:03:19	42.60615	141.65885	5.3
2015/04/13 14:00:21	42.597675	141.62496	5.3
2015/04/17 07:06:03	42.603097	141.64034	7.65
2015/04/17 07:09:42	42.591065	141.64671	6.5
2015/04/17 07:13:24	42.595832	141.64472	7.22
2015/04/17 07:18:08	42.587691	141.64704	6.55
2015/05/10 08:27:03	42.58784	141.64498	6.99
2015/08/10 19:08:02	42.605075	141.65818	5.5
2015/08/20 23:20:27	42.61297	141.63939	7.68
2017/08/02 13:35:18	42.595227	141.63576	6.32
2017/08/02 13:36:24	42.60102	141.63417	6.74
2017/08/02 13:55:38	42.596351	141.63477	6.32
2020/09/24 11:53:15	42.593857	141.64095	5.92
2021/04/01 04:23:56	42.633877	141.61072	7.36
2021/08/24 16:03:03	42.60284	141.64336	5.95
2022/09/18 14:04:33	42.627279	141.61984	5.15

図 4.2-26 微小振動モニタリング範囲内イベント震源分布図 (OBC 以外バージョン)

微小振動モニタリング範囲内イベント震源分布図 (OB-1、OB-3のみ)



使用観測点

OB-1	○
OB-2	
OB-3	○
OBC	



国土地理院 電子地図に加筆

推定結果

発生日時	Lat	Lon	Dep
2015/04/09 15:03:19	42.617411	141.65982	4.77
2015/04/13 14:00:21	42.618704	141.61735	5.96
2015/04/17 07:06:03	42.620139	141.63703	7.91
2015/04/17 07:09:42	42.620458	141.6389	7.68
2015/04/17 07:13:24	42.620568	141.63823	8.04
2015/04/17 07:18:08	42.626509	141.63639	8.04
2015/05/10 08:27:03	42.58784	141.64498	6.99
2015/08/10 19:08:03	42.617884	141.66097	4.45
2015/08/20 23:20:27	42.624507	141.63757	7.64
2017/08/02 13:35:18	42.61237	141.62886	7.25
2017/08/02 13:36:24	42.608595	141.63378	6.82
2017/08/02 13:55:38	42.609366	141.63095	6.9
2020/09/24 11:53:15	42.605856	141.64173	5.94
2021/04/01 04:23:56	42.633877	141.61072	7.36
2021/08/24 16:03:03	42.615036	141.6485	5.06
2022/09/18 14:04:33	42.627223	141.61513	5.2

図 4.2-27 微小振動モニタリング範囲内イベント震源分布図 (OB-1、OB-3 のみ)

(2) 2021年7月に観測された自然地震モニタリング範囲内イベントに対する検証

次に、2021/7/1 ～ 2021/7/31 の期間に自然地震モニタリング範囲内に推定されたイベント 42 件に対し、読み取り観測点を制限した場合の振源推定結果を比較した。振源推定に使用する読み取り観測点の組み合わせは下記の通りである。

- 1) 情報公開バージョン（全観測点：OB-1, OB-2, OB-3, OBC, Hi-net）
- 2) Hi-net 不使用バージョン（OB-1, OB-2, OB-3, OBC）
- 3) OBC 以外バージョン（OB-1, OB-2, OB-3, Hi-net）

図 4.2-28～図 4.2-30 に、それぞれの推定結果を示す。なお、2021 年 7 月はデータ欠測等により OB-1 地震計データが使用できない期間（2021/07/16 18:04 ～ 2021/07/20 18:12）があった。イベント数集計においてはデータ正常期間、および OB-1 データ利用不可期間の 2 期間に分けて個数を集計した。

図 4.2-28 の全観測点を振源推定に用いたケースでは、自然地震モニタリング範囲内に推定されたイベントの多くが 2018 年に発生した胆振東部地震の余震域に位置している。それ以外にはむかわ沖、苫小牧東港付近、OB-3 付近、苫小牧市街方面に推定されたイベントが幾つかある。

図 4.2-29 は Hi-net 観測点のみ振源推定に用いないケースである。図 4.2-28 の全観測点を振源推定に用いたケースと比較すると、胆振東部地震余震域に推定されているイベントが全体的に苫小牧観測網寄りに近づいて推定される傾向がみられた。また、一部推定振源位置が大きく変化するイベントがあり、Hi-net を除いたことで微小振動モニタリング範囲内に入ってくるイベントもあった。苫小牧観測網の観測点（OB-1, OB-2, OB-3, OBC）は全て使用しているものの、胆振東部地震余震域イベントなどの観測網から離れたイベントに対しては観測点配置の広がり限定され、複数点観測の効果が小さくなることにより、図 4.2-28 のケースと比較して振源位置推定の結果が大きく変化することが確認できる。上記の結果から、苫小牧観測網から外側に離れたイベントの振源位置推定に関しては、苫小牧観測網の OB-1, OB-2, OB-3, OBC よりも、周辺の Hi-net 観測点のほうが重要であることがわかる。

以上を踏まえ図 4.2-30 のように OBC 観測点のみを用いないケースで振源推定を実施したところ、全観測点を用いた図 4.2-28 のケースと比較して振源位置推定結果の傾向に大きな変化はみられなかった。この結果から、胆振東部地震余震域のような苫小牧観測網から離れたイベントに対しては OBC 有無の寄与は小さいと考えられる。その理由としては、2021/7/1 ～ 2021/7/31 の全 42 イベントのうち、OBC の読み取りが可能な 24 イベントに

については全てOB-1(42イベント中18イベントで読み取り可)またはOB-3(全42イベントで読み取り可)での読み取りが可能であり、振源位置推定においてOBC観測点が結果的にOB-1, OB-3の補助的な情報を与えるにとどまることが挙げられる。

なお、OBC観測点を外したことにより自然地震モニタリング範囲外に振源位置が推定されたイベントが3件あったが、いずれも自然地震モニタリング範囲の北端にごく近い位置であり、振源分布の傾向には影響を与えておらず、大局的な振源分布の把握には十分な機能を維持していると考えられる。

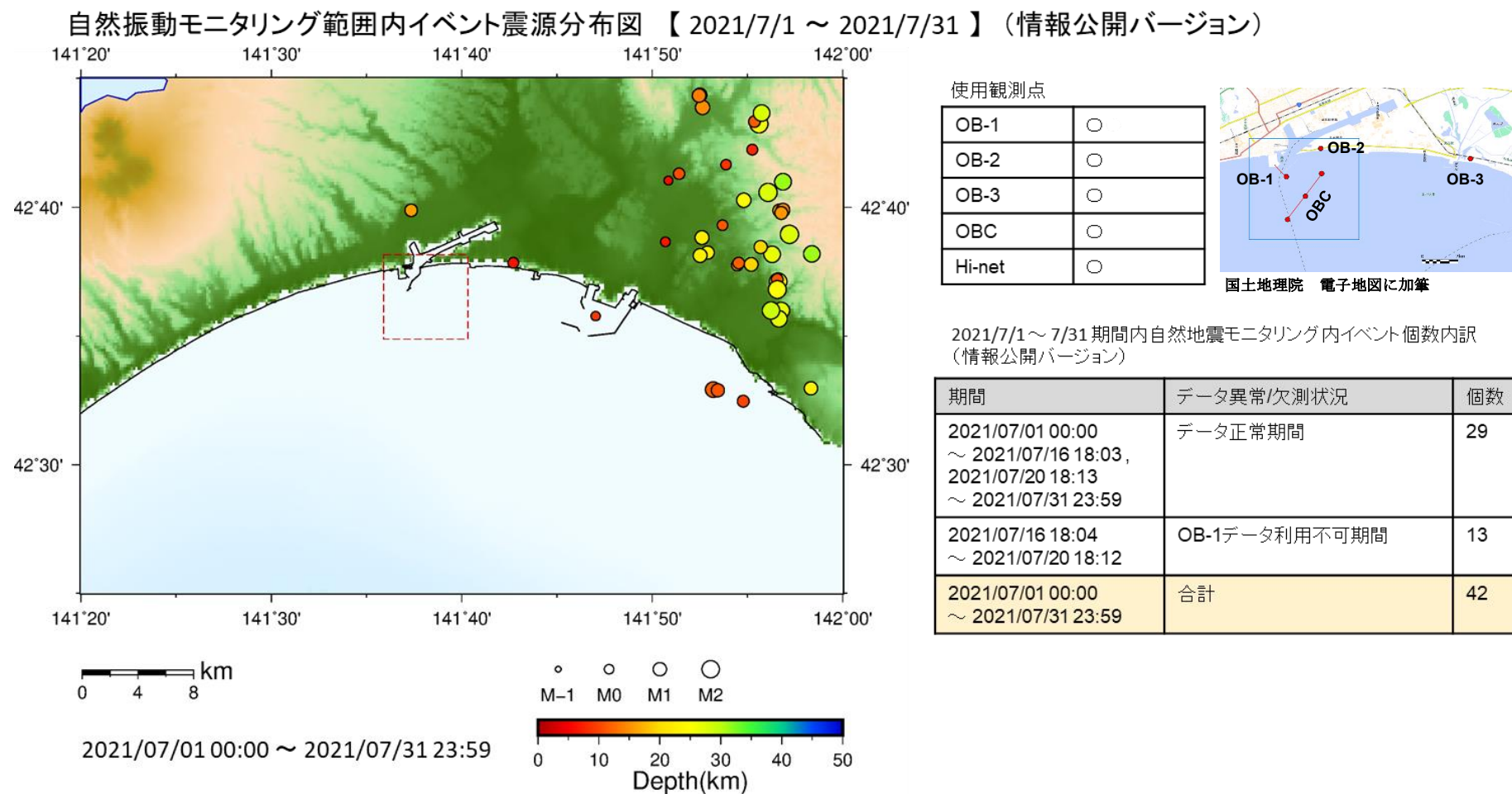


図 4.2-28 自然振動モニタリング範囲内イベント震源分布図【2021/7/1～2021/7/31】(情報公開バージョン)

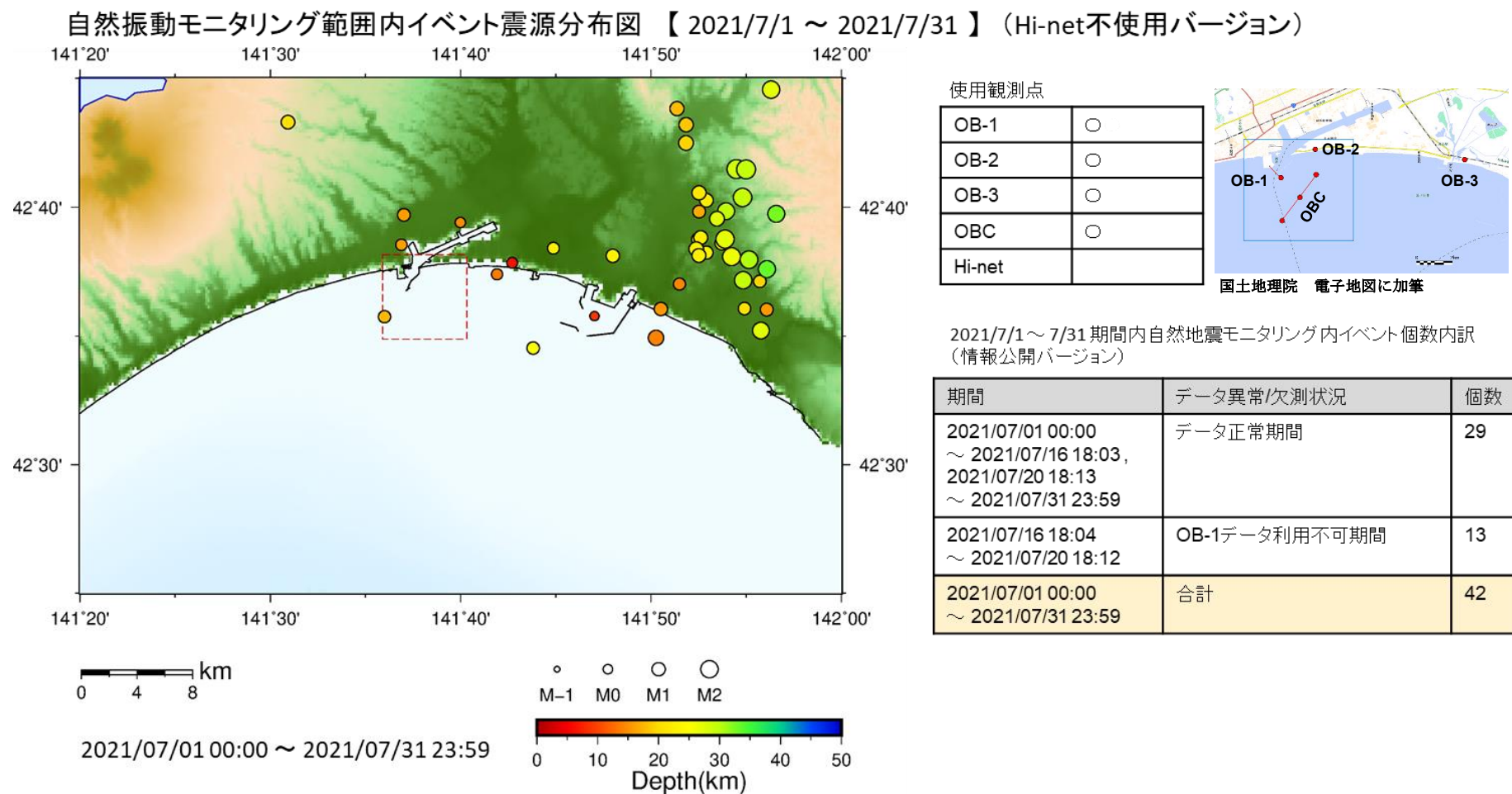


図 4.2-29 自然振動モニタリング範囲内イベント震源分布図 【2021/7/1～2021/7/31】(Hi-net 不使用バージョン)

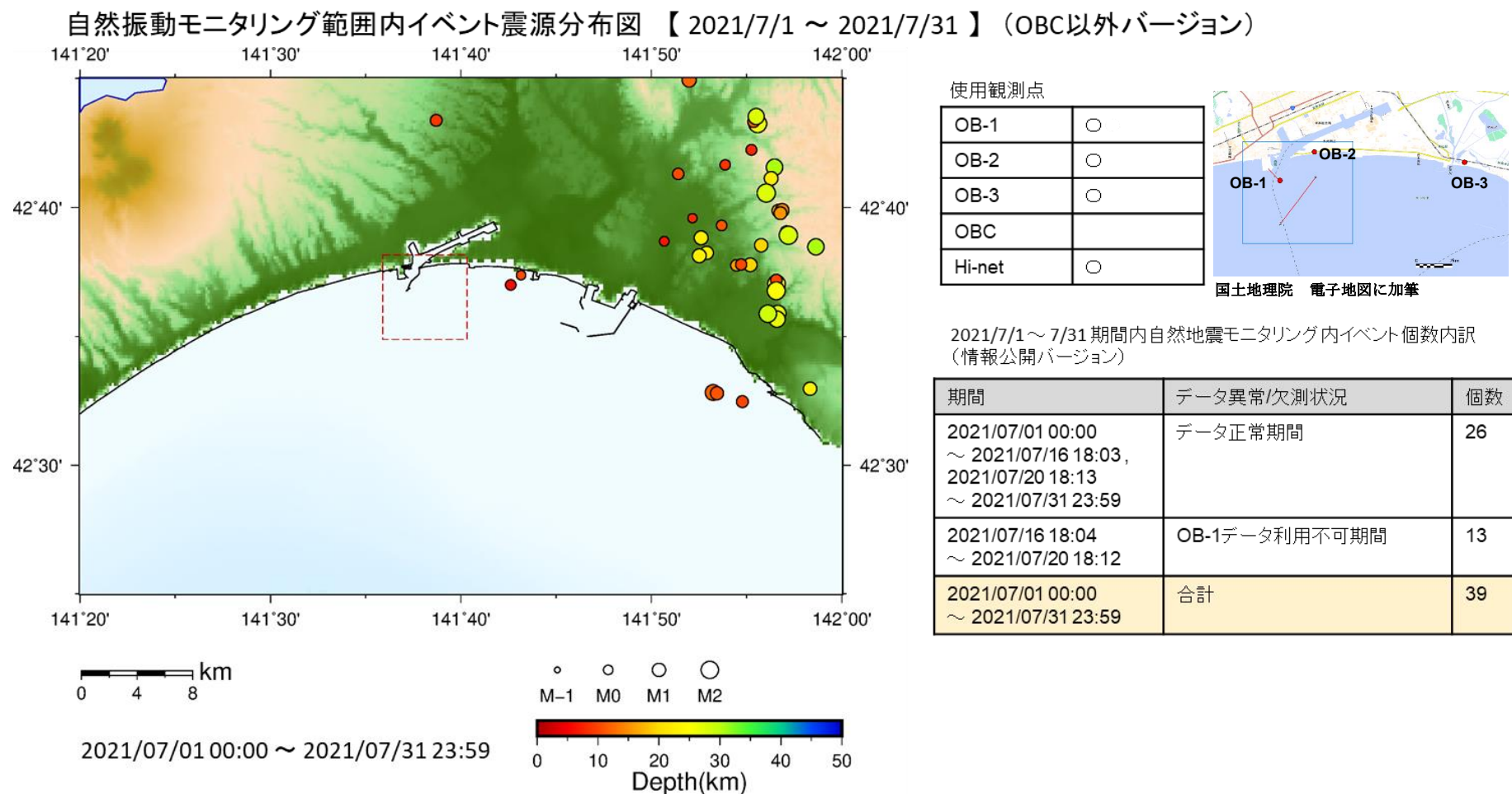


図 4.2-30 自然振動モニタリング範囲内イベント震源分布図 【2021/7/1～2021/7/31】(OBC以外バージョン)

4.2.5 常設型 OBC 観測システムの運用停止、撤去作業検討および準備

常設型 OBC 観測システムによる観測は、2025 年度に観測システムの運用停止、回収・現状復旧作業が予定されている。前項(4.2.4)では、OBC を撤去した場合の微小振動観測に与える影響について評価し、OBC を撤去したとしても振源推定へ与える影響は軽微で、残りの観測点(観測井)で十分機能が果たせることを確認した。本項では、これら検討結果を踏まえて、OBC 観測システムの回収・現状復旧作業の検討、および実施可能な準備を行う。具体的には、以下の内容を行った。

- 1) 回収対象となる機器、物品の整理とリストアップ
- 2) 回収・現状復旧作業の内容、方法について検討
- 3) 作業を実施するにあたって必要となる許認可や周知を整理し、現時点で可能なものは実施する
- 4) 回収・現状復旧作業に係る日数、実施時期、経費について検討する

OBC ケーブルおよび OBS ケーブルの設置状況を、図 4.2-31～4.2-33 に示す。出光興産の敷地内に位置する JCCS 苫小牧 CCS 実証試験センターのモニタリング室から苫小牧沖に、図のように OBC ケーブル(黄色線)が埋設設置されている。ケーブルは道道を空中線で横断後、海岸線に並行して、約 200 m 区間、深度約 1.3 m で埋設設置されている。海域では、全長が約 5.1 km、埋設深度は海底面から約 2 m に埋設設置されている。OBC ケーブルには 50 m 間隔で振動計が付けられており、微小振動の観測に利用されている。

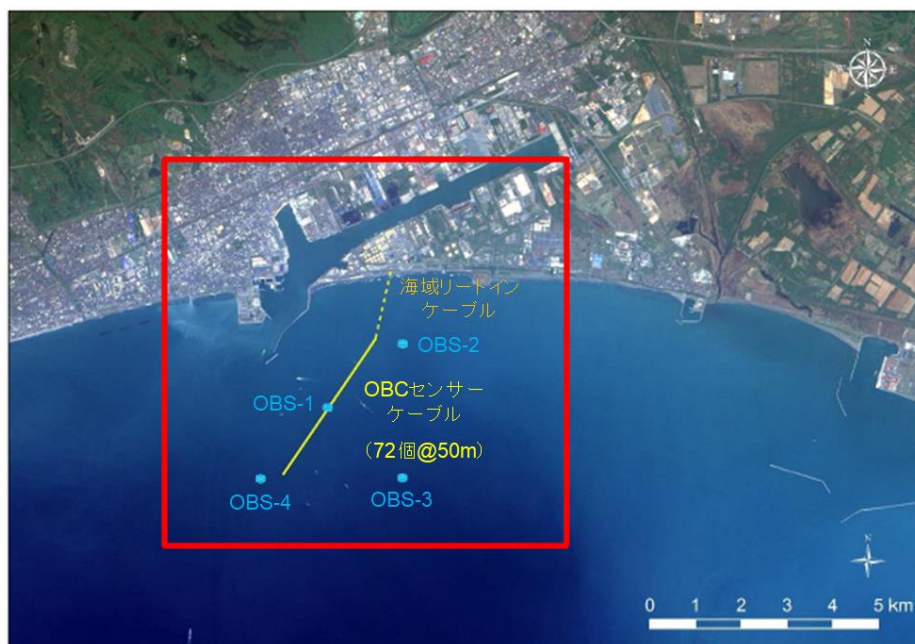


図 4.2-31 OBC ケーブル設置位置

海岸部のOBCケーブル設置状況

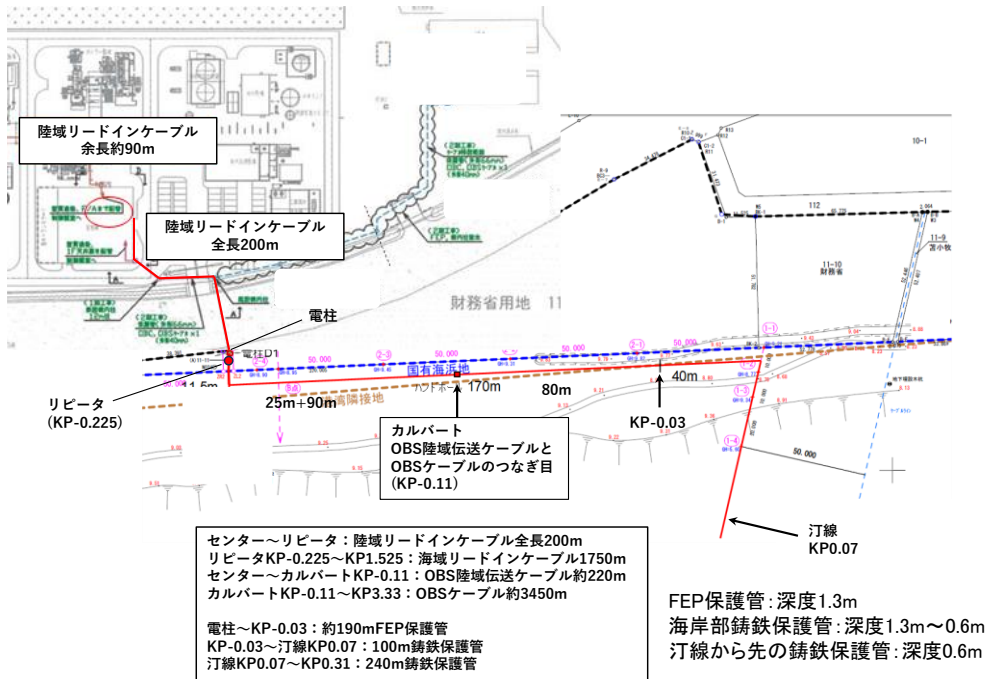


図 4.2-32 海岸部のケーブル（赤線）設置状況（図中の KP はキロポストの略）

常設型OBC設置状況（海域部）

汙線KP0.07～KP0.31：
240m区間：鑄鉄保護管
OBCの海域リードインケーブルおよび
OBSケーブル
埋設深度0.6m

KP0.31～KP1.525：1215m区間
OBCの海域リードインケーブルおよび
OBSケーブル
埋設深度2m

KP1. 525～KP3. 33 : 1805m区間
 OBCケーブルおよびOBSケーブル
 埋設深度2m

KP3.33～KP5.1：1770m区間
 OBCケーブル
 埋設深度2m

KP1.525～KP5.1：3575m区間
OBCケーブル
埋設深度2m

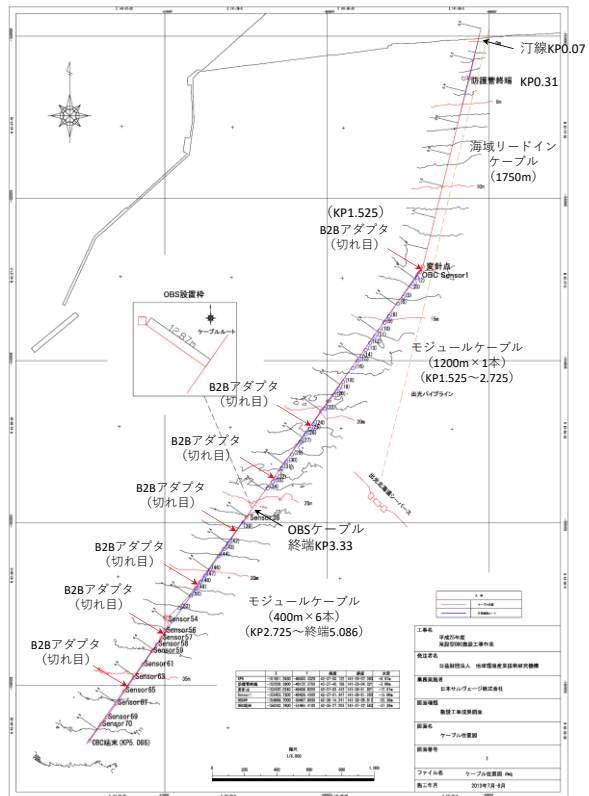


図 4.2-33 海域部のケーブル設置状況（図中の KP はキロポストの略）

(1) 回収対象物の整理

常設型OBC観測システムについて、回収対象となる各機器、物品のリストアップを行い、観測終了後または回収後の処理の仕方について整理した。回収対象物は、図 4.2-34 に示すように、大きく分けて下記の3種類がある。

- 1) 観測室内設置の機器、物品
- 2) 管理棟内から汀線の陸域部（海岸部）設置の機器、物品
- 3) 海域部設置の機器、物品

各々について整理した。以下、文中に出てくる KP はキロポスト（設置位置の基準）を示す。

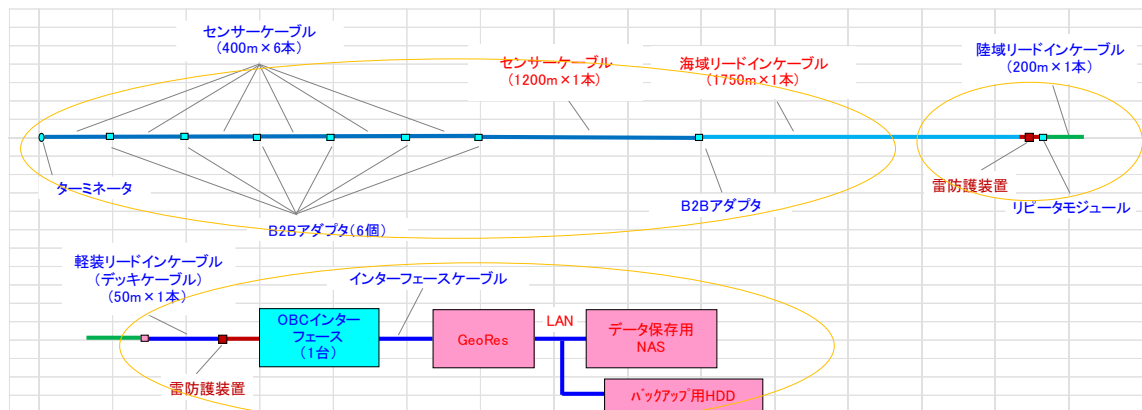


図 4.2-34 回収対象物の範囲

① 観測室内設置の機器、物品

管理棟内：観測装置（ラック搭載他）、配電盤、雷防護装置、GPS アンテナおよびケーブル（OBC 用および OBS 用の 2 式）、OBC 陸域リードインケーブル（全長 200 m）の余長約 90 m

② 管理棟内から汀線の陸域部（海岸部）設置の機器、物品

- ・OBC 陸域リードインケーブル 200 m（上記の余長 90 m 含む）：管理棟～海岸部リピータ KP-0.225（200 m）
- ・OBC 海域リードインケーブル 1750 m のうち：リピータ KP-0.225～汀線 KP0.07（295 m）
- ・OBS 陸域伝送ケーブル 220 m：管理棟～カルバート KP-0.11（220 m）
- ・OBS ケーブル 3,450 m のうち：カルバート KP-0.11～汀線 KP0.07（180 m）
- ・FEP 保護管 190 m：海岸部電柱～KP-0.03、深度 1.3 m（190 m）

- ・ 鋳鉄保護管(陸域部) 100 m : KP-0.03～汀線 KP0.07、深度 1.3 m～0.6 m (100 m)
- ・ 海岸部電柱 1 本 (JCCS 構内の電柱 2 本は残置)
- ・ コンクリート U 字溝 5 組 : KP-0.225 のリピータ部
- ・ 鋼管長さ 5.5 m×2 本 : KP-0.18 付近 (ケーブル保護のため)
- ・ カルバート 1.4 m×1.4 m×高さ 1.5 m : KP-0.11 付近

③ 海域部(汀線から先)の機器、物品

- ・ OBC 海域リードインケーブル 1,750 m のうち : 汀線 KP0.07～KP1.525 (1,455 m)
- ・ OBC センサーケーブル 3,600 m : KP1.525～KP5.086 (3,600 m)
- ・ OBS ケーブル 3,450 m のうち : 汀線 KP0.07～KP3.33 (10 m 屈曲) (3,270 m)
- ・ 鋳鉄保護管(海域部) 240 m : 汀線 KP0.07～KP0.31、深度 0.6 m (240 m)

以下に主な機材の写真を示す(図 4.2-35～38)。観測の測定部分の本体である GeoRes およびデータ収録装置は、2013 年に設置されて以降、GeoRes は 2017 年 4 月に、NAS サーバは 2021 年 2 月に、入れ替えを行い、サンケン製 UPS は 2023 年 8 月にユアサ GS 製 UPS に入れ替えている。



左上：旧GeoResインターフェース
左2段目：旧GeoRes本体
左3段目：パワーユニット
左4段目：FalconUPS

右上：モニター、キーボード
右2段目：テープドライブ
右3段目：旧NASサーバ
右4段目：LAN用サージプロテクション
右5段目：サンケンUPS



左上：GeoResインターフェース
左2段目：GeoRes本体
左3段目：パワーユニット
左4段目：FalconUPS

右上：モニター、キーボード
右2段目：NASサーバ
右3段目：旧NASサーバ
右3段目：LAN用サージプロテクション
右4段目：GSユアサUPS

左：2016 年 1 月苫小牧センターに移設された当時、右：2023 年 8 月以降

図 4.2-35 観測装置本体部 (GeoRes およびデータ収録装置)



GPSアンテナ、ケーブル



陸域リードインケーブル



陸域リードインケーブル(空中架線部)

図 4.2-36 主要観測機器（管理棟内とその周辺）



海岸部のリピータ、U型側溝



OBS用カルバート



FEP保護管

図 4-2-37 主要観測機器（陸域海岸部）



鋳鉄製保護管



OBCモジュールケーブル



OBC海域リードインケーブル(1750m)

図 4.2-38 主要観測機器（陸域海浜部と海域部）

(2) 回収・現状復旧作業内容の検討

常設型OBC観測システムの回収・現状復旧方法について、具体的に作業内容を検討した。検討においては、より確実で安全な方法を基本方針とした。

① 苫小牧 CCS センターから道道横断部の回収方法

苫小牧 CCS センター内に設置されている観測装置については、各機器を取外し、ラックを分解する。その他の管理棟内の装置については以下の通りである。

- 1) 配電盤/雷防護装置:管理棟観測室の壁に設置してある配電盤/雷防護装置を外し、廃棄処分とする。電源供給線を撤去、処分する。電源供給は苫小牧 CCS センター担当者に停止依頼する。
- 2) GPS アンテナおよびケーブル:管理棟の外壁に設置してある GPS アンテナおよびケーブル (OBC 用および OBS 用の 2 式) を撤去、廃棄処分する。
- 3) OBC 陸域リードインケーブル (全長 200 m) の余長約 90 m : OBC リードインケーブルは管理棟観測室の床下に余長約 90 m が保管されている。管理棟観測室内で切断し、撤去、廃棄処分する。
- 4) 苫小牧 CCS センターから道道横断部のケーブル: ケーブルは苫小牧 CCS センターから電柱を用いて空中架線で道道を横断し、地上に降下してある。設置時と同様に、図 4.2-39 の設置時の作業状況写真に示すように高所作業車 2 台を用いて、道道横断部分およびその他の空中架線部分を取外して回収する。



図 4.2-39 高所作業車を用いた作業状況 (設置時)

- 5) OBC 陸域リードインケーブル、OBS 陸域伝送ケーブル: 管理棟外壁のケーブル挿入口から取り出し、JCCS 構内および道路横断部の空中線を撤去する。空中線は OBC、OBS のケーブルが束ねられ、保護管が被せられている。

- 6) 道路横断した海岸部の電柱 1 本の撤去：海岸部の電柱 1 本を撤去、廃棄処分する。JCCS 構内に設置されている 2 本の電柱は残置。
- 7) 海岸部のコンクリート U 字溝 5 組：撤去、廃棄処分する。

② 陸域海岸部の回収方法

ケーブルは海岸部においては、重機（バックホウ）で掘削し上面深度 1.3 m に埋設設置してある。回収の際も、同様に重機で掘削しケーブルを回収する（図 4.2-40）。



図 4.2-40 重機（バックホウ）による掘削状況（設置時）

その際に、ケーブルは FEP 保護管および铸铁保護管で保護されているので、これらも回収する。OBS ケーブルについては、陸域リードインケーブルと海域リードインケーブルがボックスカルバート内で接続されているので、このボックスも回収する（図 4.2-41）。



（左：FEP 保護管、中：铸铁保護管、右：OBS 用ボックスカルバート）

図 4.2-41 ケーブル保護管および OBS 用ボックスカルバート

上記の作業条件としては、以下を想定する。

- 1) 作業に必要な許認可関係は、道路横断部：室蘭建設管理部苫小牧出張所、苫小牧

警察署、北海道電力の了解、海岸部：苫小牧港管理組合の許可など。

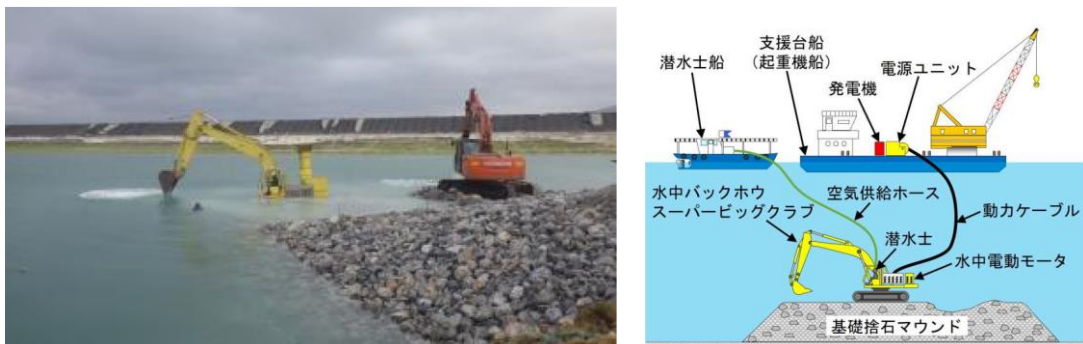
- 2) 管理棟の電力線の電源供給は、事前に苫小牧センター担当者に停止の依頼をする。
- 3) 海岸部のケーブル埋設箇所については、事前に測量を行い、目印を設置する。
- 4) 重機による掘削に先立ち、必要な伐採を行う。(幅 5 m 程度、長さ 225 m 区間)
- 5) ケーブル、保護管、カルバートなど、撤去物は原則として撤去後に廃棄処分する。

③ 海域部の回収方法

a. 海域部の回収方法の検討

海域部の回収においては、OBC ケーブルが海底下約 2 m (汀線に近い部分は約 0.6 m) に埋設設置されているので、掘削してケーブルを引き上げる必要がある。掘削方法としては、以下のものが考えられる。

- 1) 水陸両用または水中バックホウ (図 4.2-42)
- 2) サンドポンプ、エアリフト (図 4.2-43)
- 3) グラブ浚渫 (図 4.2-44)
- 4) ウォータージェット式の掘削機 (図 4.2-45)



左：水陸両用バックホウ 右：水中バックホウ（あおみ建設 HP より）

図 4.2-42 水陸両用/水中バックホウ

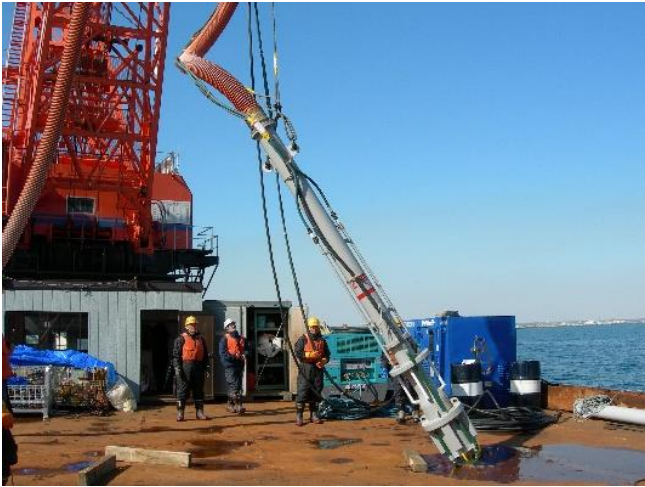
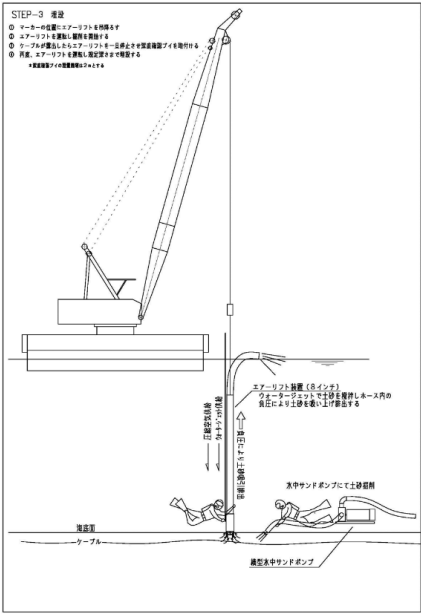
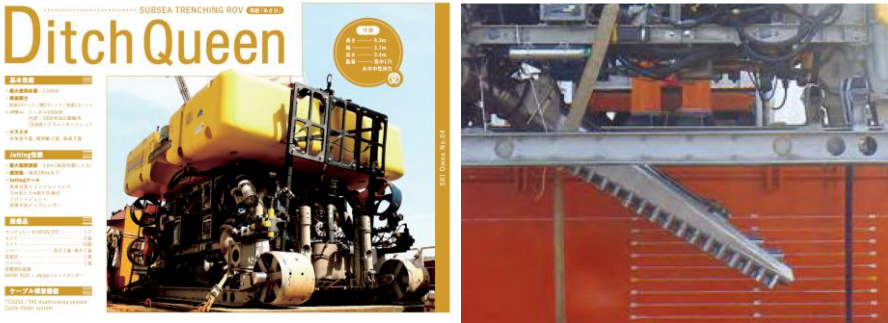


図 4.2-43 大型エアリフト



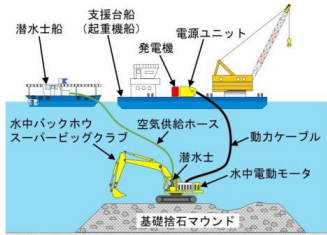
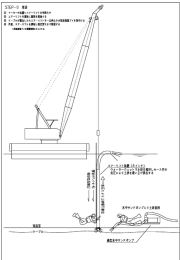
図 4.2-44 グラブ浚渫作業の例



左：ROV 本体 右：ジェットレグ（ウォータージェット噴出部）（関海事工業所資料）

図 4.2-45 ウォータージェット式の掘削機（ROV）

表 4.2-6 海域部回収方法（掘削方法）の比較

名称	水陸両用または水中バックホウ	サンドポンプ、エアリフト	グラブ浚渫	ウォータージェット式の掘削機
写真・図など				
概要	・比較的浅部(水深2m程度)まではディーゼルエンジンの水陸両用で掘削。 ・水深約2m以深では電動油圧変換の水中専用としダイバーが操作して掘削。陸から離れた場合、支援台船使用。 ・ケーブルはダイバーが補助しながらクレーンフックで吊上げる。	・ケーブルに沿って装置をダイバーが操作して掘削を行い、併せてケーブルをクレーンフックで吊上げる。	・グラブで海底の土砂を除去した後、クレーンフックでケーブルを吊上げる。	・ROV（ウォータージェット掘削機）をケーブルの直上に置き、海底面を強力な水流で掘削し、併せてケーブルをウインチまたはクレーンフックで吊上げる。
作業可能な水深	水陸両用：陸上～水深2m程度まで 水中専用：水深2m以深～仕様上50mまで	台船の喫水以深（安全を見て水深3m程度）～ダイバーが作業可能な深度（作業効率、安全を考えると水深20m程度）	浚渫船の喫水以深（安全を考えると水深3.5m程度）～グラブウインチが届く深度（約20m）	台船の喫水以深（喫水は5mであるが安全を見て水深8m程度）～仕様上は水深2500m
作業性	10～15m/日	100～150m/日	－	600～700m/日
特徴	・水陸両用では汀線付近から浅部(水深2m程度)まで、水中専用ではそれ以深から水深50mまで作業可能である。 ・幅1m程度のバケットを使用し掘削の周囲に土砂を置くので、環境に与える影響（海底面の乱し）が比較的小さい。	・ダイバーがサンドポンプまたはエアリフトを操作するので、細かな作業が可能である。 ・水深が深くなるほどダイバーに制約がかかるため、作業性が低下する。	・グラブが大きく（一般に、クレーン式グラブバケット：3m³以上、バックホウ式グラブバケット：1m³以上）、台船上からの操作になるので、ケーブル掘削のような細かな作業には適用が難しい。	・ROV（ウォータージェット掘削機）による作業であるので、作業性が良好で水深の影響を受けにくい。 ・幅40cm程度の溝状の掘削が可能であるため、環境に与える影響（海底面の乱し）が小さい。

工法の規模、掘削地点周辺に及ぼす影響を考慮すると、浚渫は必要以上に広い幅を掘削することになり、本対象箇所には適さないものと考えられる。浚渫を除いた各工法の掘進、回収作業の速さは、以下のようになる。

- 1) ROV (600～700 m/日)
- 2) サンドポンプおよびエアリフト (100～150 m/日)
- 3) 水陸両用および水中バックホウ (10～15 m/日)

b. 水深を考慮した回収方法について

OBCの敷設は海岸から沖まで連続しており、水深は0 mから40 m弱である。水深の影響を比較的受けにくい工法としては『ウォータージェット式掘削機(ROV)』による方法が挙げられるが、この工法も使用する台船の侵入可能な水深以深においてのみ適用が可能となる。ROVの母船はDPS(ダイナミックポジショニングシステム:自動船位保持機構)を備えており、スラスターが装備されている関係から、喫水は5.5 mであるが海底の砂の巻き上げなどを考慮すると最小侵入可能深度は8 mまでである。

水深の最も浅いところから作業が可能な工法は、『水陸両用または水中バックホウ』である。水陸両用バックホウであれば汀線部分から作業が可能であり、動力がディーゼルであるので排気口が水上(空中)に十分に出ている範囲として、波浪の影響を考慮すると水深1.5 m程度まで適用が可能である。それより深い場合は、ケーブルで動力を供給する電動油圧方式の水中バックホウが適用できる。作業可能な水深としては、潜水士がバックホウの操縦および補助作業を行うため、作業性を考慮すると水深約5 m以浅が現実的と考えられる。なお、水中バックホウは動力をケーブルで供給するため、動力源を台船などに設置する必要がある。この台船の喫水は通常は、3～4 m程度である。動力を供給するケーブルは長さ200 mまでであるので、ケーブルが十分に届きかつ喫水以深の範囲に台船を係留する必要がある。

水中バックホウの作業可能な水深からROVが作業可能な最小水深の間(水深5～8 mの範囲)は、他の工法となるが、サンドポンプまたはエアリフトによる掘削が想定される。この工法では台船上に動力源とポンプを設置する必要がある。

以上を踏まえて、各工法の作業可能な水深に基づいて工法を検討した結果、範囲、水深、工法について、下記のように設定した。

7. 浅部海域：

- ・ KP0.07（汀線）～KP0.16（水深 1.5 m）（90 m 区間）：
水陸両用バックホウ+ダイバー
- ・ KP0.16（水深 1.5 m）～KP0.31+50 m（水深 3.5 m）（200 m 区間）：
水中バックホウ+旋回クレーン台船+ダイバー

イ. 中深度海域：

- ・ KP0.31+50 m（水深 3.5 m）～KP1.48+50 m（水深 12.8 m）（1,170 m 区間）：
旋回クレーン台船+サンドポンプ、エアリフト+ダイバー

ウ. 大深度海域：

- ・ KP1.48+50 m（水深 12.8 m）～KP5.086（水深 37.5 m）（3,605 m 区間）：
ROV 母船+ROV 掘削機+ダイバー

KP0.16（水深 1.5 m）～KP0.31+50 m（水深 3.5 m）の範囲は、当初海岸に動力源を設置しそこから動力ケーブルを延長することを検討していたが、波浪の影響、資機材動員の理由から旋回クレーン台船に動力源を載せて掘削、OBC 回収を行う方法に変更した。

ROV の最小の作業可能な水深は 8 m 程度であるが、漁業活動との関係から年内にできる限り深いところまで作業を進めて欲しいとの要望があったことから、旋回クレーン台船+サンドポンプ、エアリフトの範囲を水深 12.8 m（KP1.48+50 m）までと設定した。したがって旋回クレーン台船の移動範囲は、水中バックホウの場合を含めると『KP0.3（水深 3 m）から KP1.48+50 m（水深 12.8 m）付近』となる。

④ 回収物の処分

a. 観測装置類

観測装置類は、基本的に産業廃棄物処理業者に持ち込んで処分を行う。その際には GeoRes の内蔵 HDD のデータ、バックアップ用に使用した外付け小型 NAS-HDD の収録データとともに消去した上で、装置の処分を行う。処理業者としてはリース会社（芙蓉総合リース）からリース物品の廃棄業者として紹介された処理業者に依頼する予定である。

なお、RITE 所有物品（NAS サーバ、UPS など）については、上述したように現地において処分する予定であるが、再利用の可能性があれば RITE で保管する可能性もある。

b. ケーブル類

OBC ケーブル等は全てリース物品である。リース物品については、リース会社（芙蓉総合リース）から現地において廃棄処分にするように指示を受けており、リース会社から指定された千歳市内の産業廃棄物処理業者の指示する場所に運搬する。その後の処分は処理業者に一任する。

(3) 作業に必要な許認可、周知の整理および実施

各作業の実施において、必要と考えられる許認可手続き、管轄機関、申請時期、そのほか事前の周知や了解が必要となる機関について整理し、可能なところから事前の相談を進めた。

① 法令関係

回収工事の下記の各作業において、関係すると考えられる法令をあげる。

- 1) 港湾法：第 37 条（港湾区域内の工事等の許可）
- 2) 海岸法：第 8 条（海岸保全区域における行為の制限）
- 3) 港則法：第 31 条（工事等の許可及び進水等の届出）
- 4) 海洋水産資源開発促進法：第 9 条（開発区域における行為の届出等）
- 5) 道路法：第 32 条（道路の占用の許可）
- 6) 道路交通法：第 77 条（道路の使用の許可）
- 7) 有線電気通信法施行規則：第 5 条（設備の廃止の届出）

② 必要と考えられる許認可

作業範囲ごとに現状必要と考えられる許認可の項目を、以下に列挙する。

a. 作業全般

- 1) 苫小牧港管理組合：作業内容の説明、必要な許認可手続きの確認、用地借用の変更
- 2) 苫小牧漁業協同組合：作業内容、実施時期について相談し、了解を得る

b. 陸域部作業

道道をケーブルが横断している箇所の作業について、次の機関に許認可について相談する。

- 1) 北海道胆振総合振興局室蘭建設管理部苫小牧出張所施設保全室：作業の許可申請
＝道路占用許可申請（変更）

- 2) 苫小牧警察署：道路における工事の許可申請
- 3) 北海道電力、NTT：作業内容の説明、作業が先方に対し支障ないことの確認

c. 海岸部作業

- 1) 苫小牧港管理組合、苫小牧市都市建設部：海岸部に埋設設置してあるケーブルの回収作業、道道からの進入路の確認、作業期間中のハウス設置の了解（水中バックホウ作業時）
- 2) 財務省北海道財務局：ケーブル埋設箇所の用地借用の終了

d. 海域部作業

- 1) 苫小牧港管理組合：許可関係、台船の岸壁使用の相談、回収物の荷降ろし
- 2) 苫小牧海上保安署：海上作業の許可申請（港長）、第一管区への許可申請の確認
- 3) 国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部苫小牧港湾事務所：許可申請の確認

e. その他

- 1) ケーブル回収作業：北海道総合通信局：有線電気通信設備の撤去届
- 2) 北海道、苫小牧市、出光興産：作業内容説明（先方が関係する対象範囲の確認）
- 3) 港湾関係者への説明：苫小牧港管理組合のバース会議を通じた周知のみで良いか
- 4) 工事に関係して労働基準監督署への届け出、労災保険の加入

③ 許可申請書類等

各許可申請の要点を以下に記す。許可申請等の基本的な流れは、下記ようになる。

a. 海岸部および海域部

漁協への作業内容の説明、了解を得る → 苫小牧海上保安署から作業の安全に関して指導を受ける（海上作業許可申請） → 苫小牧港管理組合に必要な申請、バース会議での周知

b. 道道横断部

道道管理者（胆振総合振興局苫小牧出張所）に道路占用許可申請書提出 → 許可が出た時点で許可書を添付して苫小牧警察署に道路使用許可申請書を提出

(4) 回収・現状復旧作業に係る実施時期、日数、経費の検討

常設型 OBC 観測システムの回収・現状復旧作業に係る実施時期、日数、経費について検討した。

① 作業実施時期について

作業実施時期については、漁業の操業との調整が最優先であり、そのためには苫小牧地域の漁業および漁業従事者を統括している苫小牧漁業協同組合と相談し検討を進める必要がある。その上で、苫小牧港を管理している苫小牧港管理組合、OBC設置箇所に近接しているシーバースの管理、運用を行っている出光興産などの関係機関の了解を得ることになる。

苫小牧漁業協同組合とは、2023年度から撤去作業の方法、期間、時期について相談してきた。これまでに打ち合わせたのは、下記の4回である。

- 1) 2023年7月20日：作業内容、日数、時期などについて漁協に相談し意見を伺う。
- 2) 2023年8月22日：上記7/20の打合せを受け、実施時期の提案、大筋で了解を得た。
- 3) 2024年4月15日：作業内容の一部変更と時期の変更を相談、助言をいただく。
- 4) 2024年10月30日：上記4/15の変更について、改めて確認した。

以上の調整の結果、下記の実施時期が望ましいものと考えられた。

1) 陸域部（道道横断部）、海岸部

観測装置の撤去：8月以前

海岸部のOBC埋設箇所位置出し測量：8月中旬（8/18～20頃）

陸域部（道道横断部）、海岸部の作業：盆明け～9月中旬（8/18～9/12頃）

2) 海域部

浅部海域（水陸両用バックホウ）（90 m）：9/16～9/30

浅部海域（水中バックホウ＋旋回クレーン台船）（150 m）：10/8～11/7

中深度海域（旋回クレーン台船＋サンドポンプ、エアリフト）（1,170 m）：11/18～12/8

大深度海域（ROV台船＋ROV掘削機）（3,655 m）：2026年1/19～1/29

② 作業時間帯について

作業時間帯としては、基本的に「開始は（警戒船の関係で）漁の終了時間を考えて7時位から、終了は日没までであるが目安としては16時位まで」となるが、一方で苫小牧港管制信号の出入港時間の制約から旋回クレーン台船が苫小牧港内の岸壁に着岸する場合には、出港可能な時間が04:30-05:20、入港可能な時間が15:00-16:00となることから、最大で07:00-15:00となるものと考えられる。

旋回クレーン台船が港内の岸壁に着岸せず作業海域で錨泊する場合、ROV母船が苫小牧港内に着岸せず作業海域に錨泊する場合には、管制信号の制約を受けないので最大07:00-

16:00 となるものと考えられる。

③ 作業に係る日数の検討

OBC 回収作業であるが、下記の項目が挙げられる。

- 1) 許可申請、周知、準備
- 2) 管理棟観測（モニター）室内の装置（GeoRes 他）の回収
- 3) 陸域部回収作業：管理棟観測（モニター）室内、道道横断部、海岸部
- 4) 海域部回収作業：水中バックホウ（掘削長 90 m）、水中バックホウ＋旋回クレーン船（掘削長 200 m）、旋回クレーン船（掘削長 1,170 m）、ROV（掘削長 3,605 m）
- 5) 回収物の産廃処理業者への運搬

各作業の実施時期、日数の概略を図 4.2-46 に示すとともに、以下に記す。なお、回収物の運搬については、各回収作業の区切りで行うことになるので図には示していない。

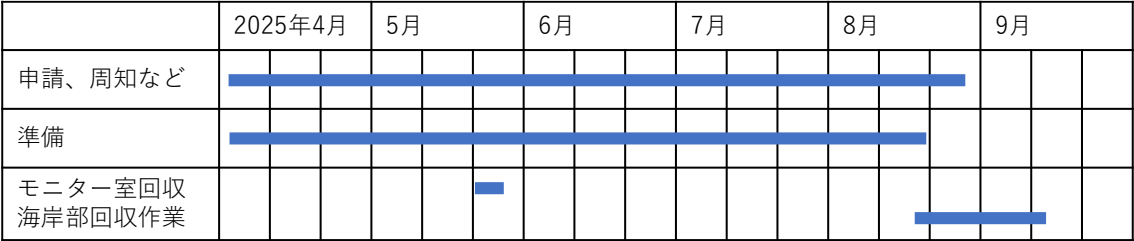


図 4.2-46 (1) 各作業の実施時期、日数の概略(2025 年 9 月まで)

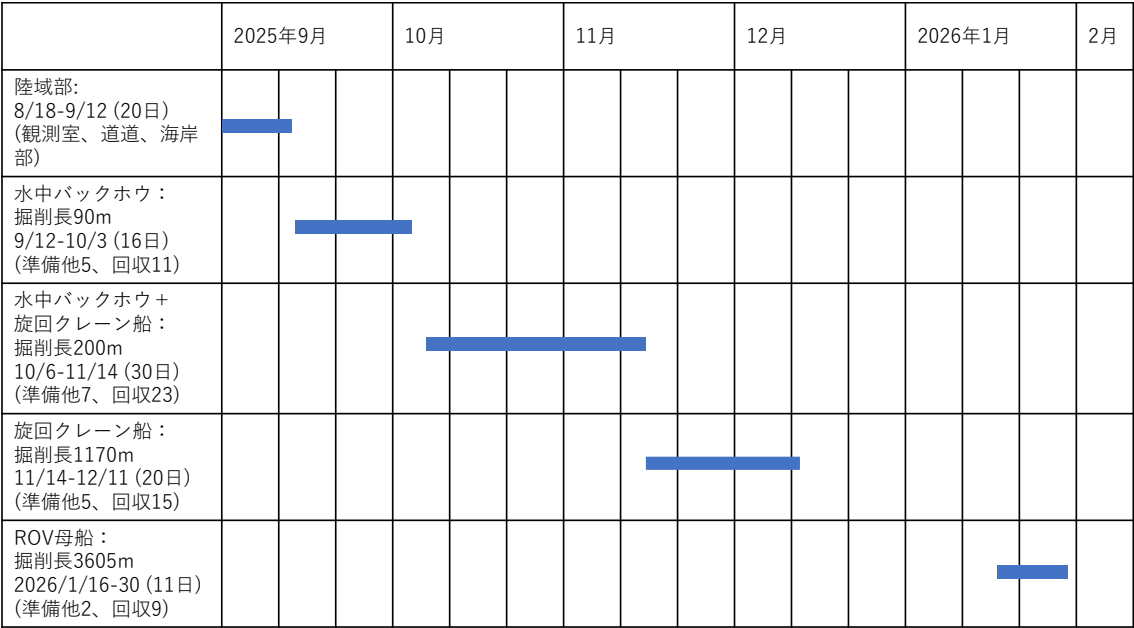


図 4.2-46 (2) 各作業の実施時期、日数の概略（2025 年 9 月以降）

④ 回収作業に係る費用の検討

回収作業に係る費用について、作業者の人件費、材料費、作業外注費、国内旅費、印刷製本通信費、損害保険、および一般管理費について検討した。作業外注費、損害保険については対応可能な会社に相談し費用の検討を依頼した。

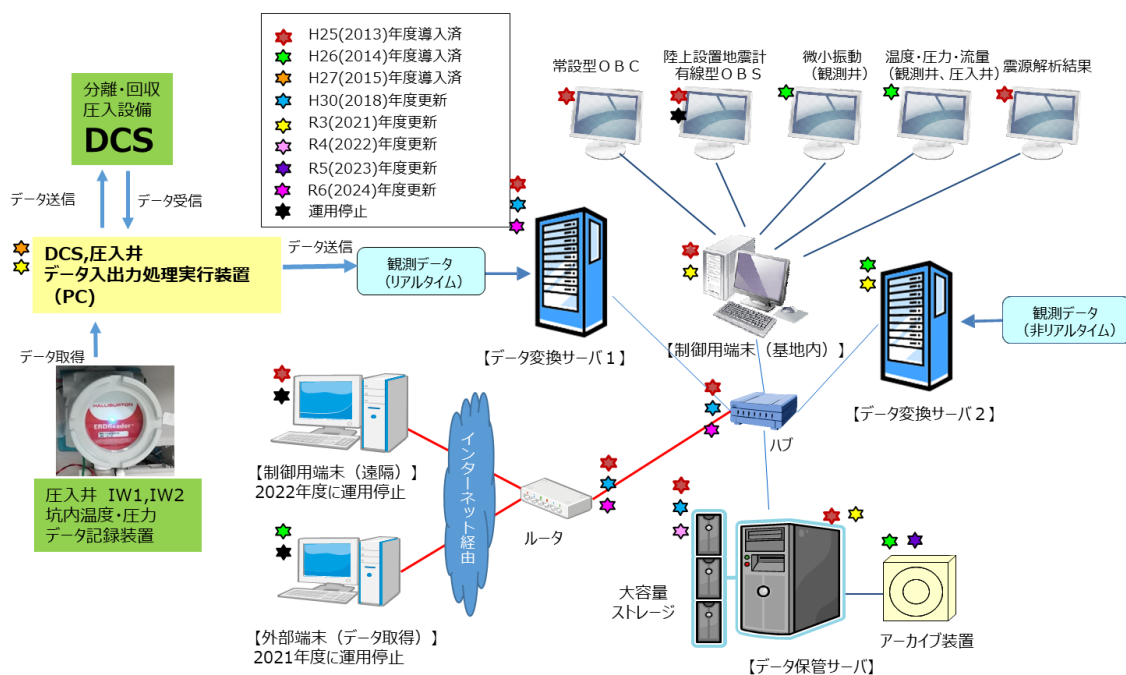
また、波浪が高い、強風などの荒天時や海上保安署からの指示など、その他、不可抗力により作業実施が困難な場合には作業待機となる。その場合の費用についても検討した。

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、2024 年にデータ変換サーバー1、ネットワークスイッチ、ファイアウォールルータを更新^{*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。



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。

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

*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	- 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、1.2TB の HDD8 台を装備
②	データ変換サーバー2	- 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	- 大容量ストレージとアーカイブ装置を管理 - 総合モニタリングシステムのデータベース、Web サーバー機能を兼ねる。
④	大容量ストレージ	- 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 - RAID6*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	- 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）8 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	- 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)	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	総合モニタリングシステムの通信を制御
⑨	VPN ルーター	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	停電時対応
⑪	DCS・圧入井データ入出力処理 PC	- 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

注) 停電時用にネットワーク電源 (WATCH-BOOT L-ZERO (明電機(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	DL380 Gen11 (HPE) ※2024 年度更新	CPU : Xeon Gold 5415+ 2.9GHz x2 メモリ : 32GB RDIMM x2 HDD : 1.2TB SAS 10Krpm SFF BC HDD x8 RAID6 ネットワーク : 1GBASE-T x4、10GBASE-T x2 ラック高さ : 2U、最大消費電力 : 800 W OS : Windows Server Standard 2022
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	TS-1264U-RP (QNAP)	HDD : 12TB SATA 7200rpm x 12RAID6 フォーマット後使用可能容量 : 97.1TB メモリ : 16 GB ネットワーク : 2.5GbE×2 ポート 10GbEx1 (増設) フォームファクタ : 2U 電源 : 100-240 VAC、50-60 Hz、300 W (x2)
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	JL689A HPE 5710 24XGT 6QSFP+/2QSFP28 Switch (HPE) ※2024 年度更新	ネットワーク : 10GBASE-T x24、QSFP x6 VLAN ルーティングインターフェイス数 : 1000 ラック高さ : 1U、最大消費電力 : 450 W
⑨	SonicWALL TZ470W (SonicWALL 製) ※2024 年度更新	インターフェイス : 1GbE x8、2.5G SFP+ x2、USB 3.0 x2、コンソール x1 スループットインスペクション ファイアウォール : 3.5 Gbps アプリケーション : 2 Gbps IPSec VPN : 1.5 Mbps VLAN インターフェイス : 128 サイト間トンネル数 : 150 最大消費電力 : 21.98 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

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^{*3)}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^{*4)}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、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^{*5)}（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^{*6)}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。

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

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

*4) 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。

*5) 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。

*6) 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。

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*7)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*8)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管理*9)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

*7) 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。

*8) 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。

*9) 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。

録・保存する。

統一フォーマットファイル^{*10)}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^{*11)}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^{*12)}を作成し、順次モニターに表示する。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^{*13)}）の観測データを時系列表示^{*14)}する。

常設型 OBC 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

*10) 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。

*11) 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。

*12) 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」

*13) 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

*14) 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。

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*15)。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*16)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*17)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*18)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) 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 $\times\sigma$ (RMS 振幅)により設定している。

*16) 帯域処理フィルター(ローパス(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を適用している。

*17) ジオフォン 3 成分とハイドロフォン 1 成分

*18) 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。

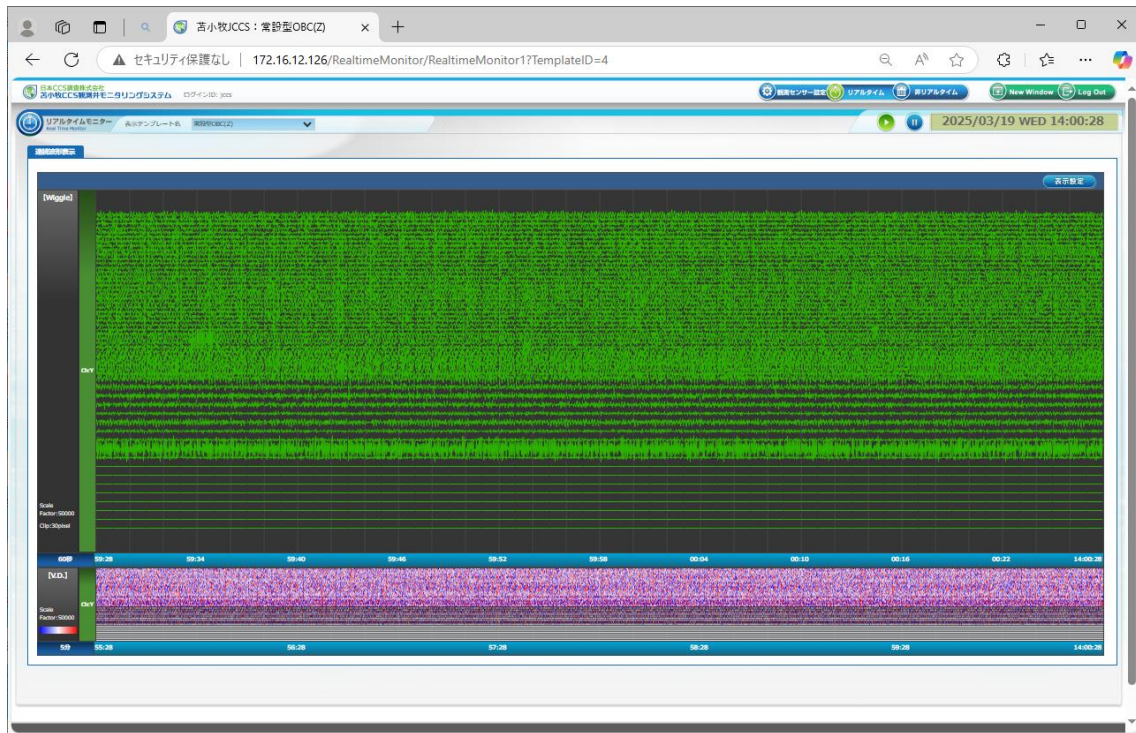


図 4.3-2 常設型 OBC 観測データのリアルタイム表示例

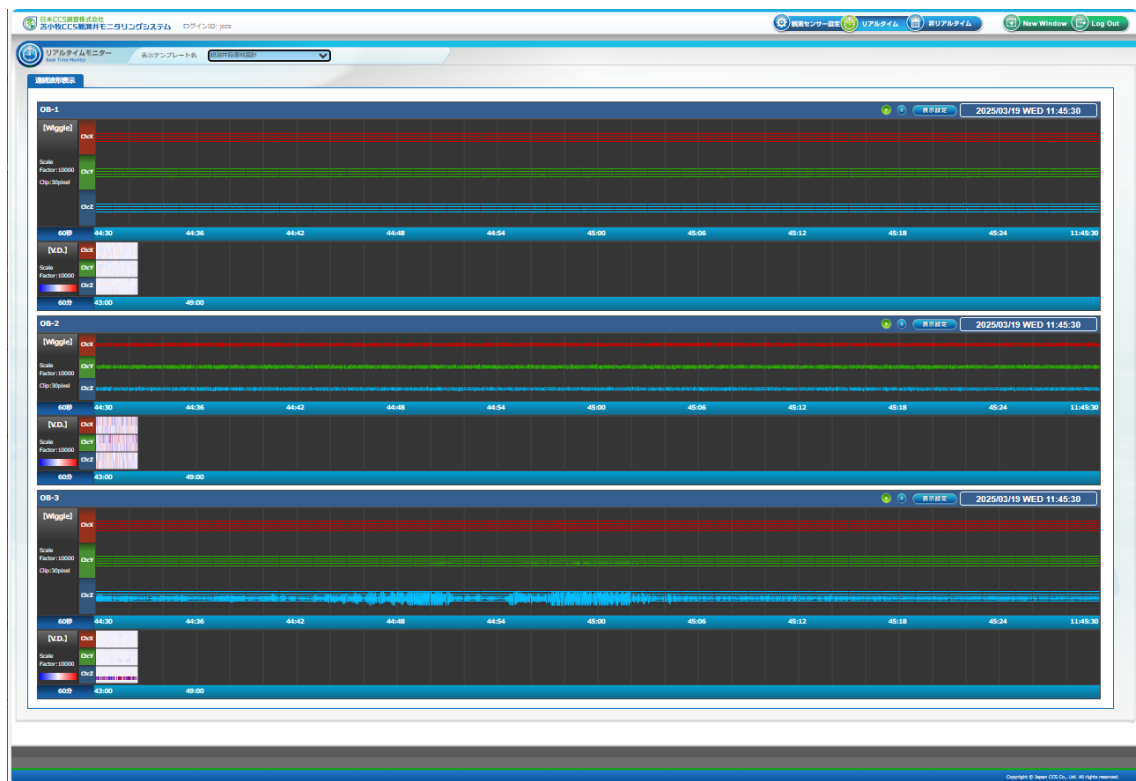


図 4.3-3 観測井坑内地震計観測データの時系列表示例

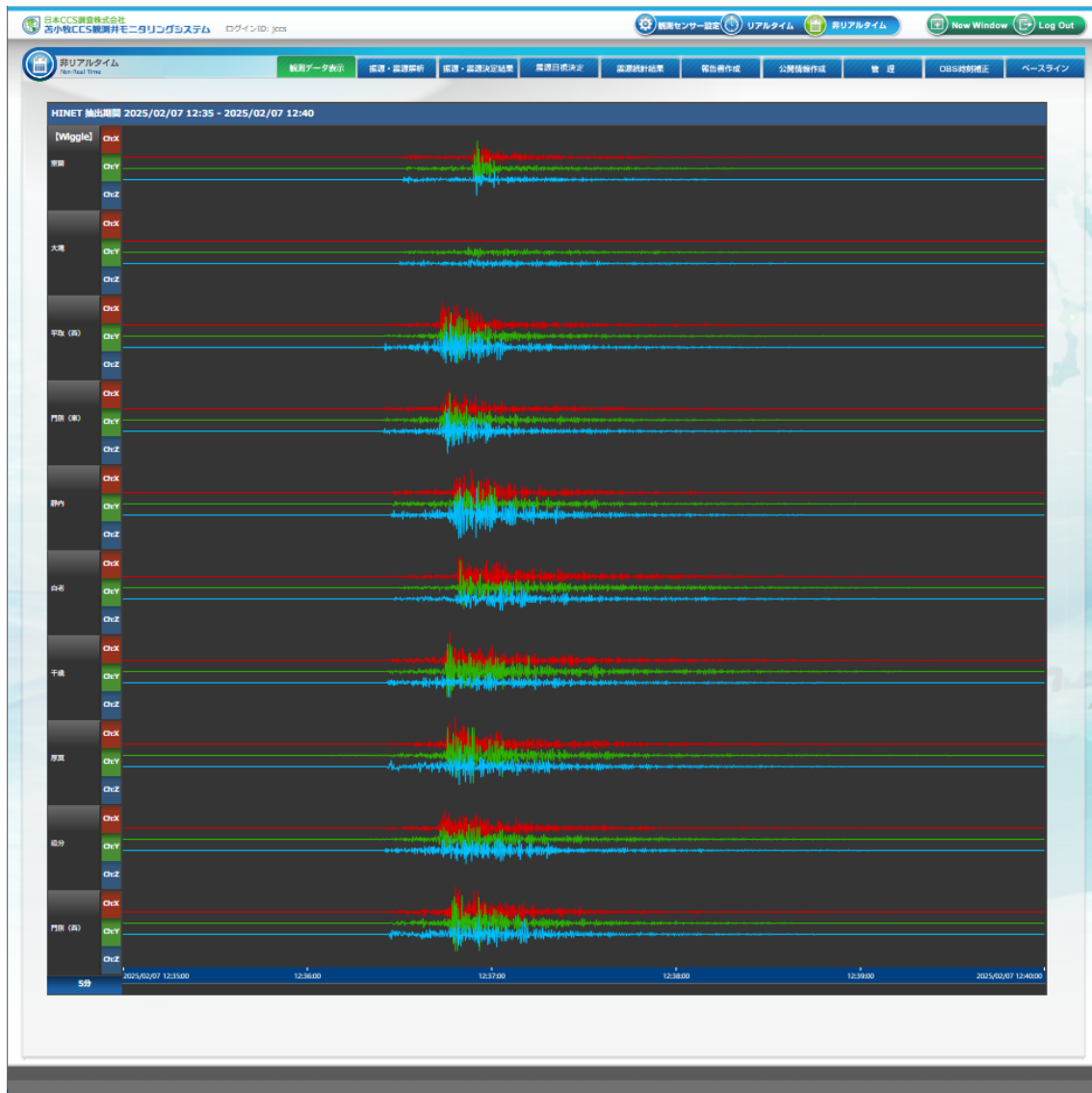


図 4.3-4 Hi-net データ表示例 (10 観測点分)

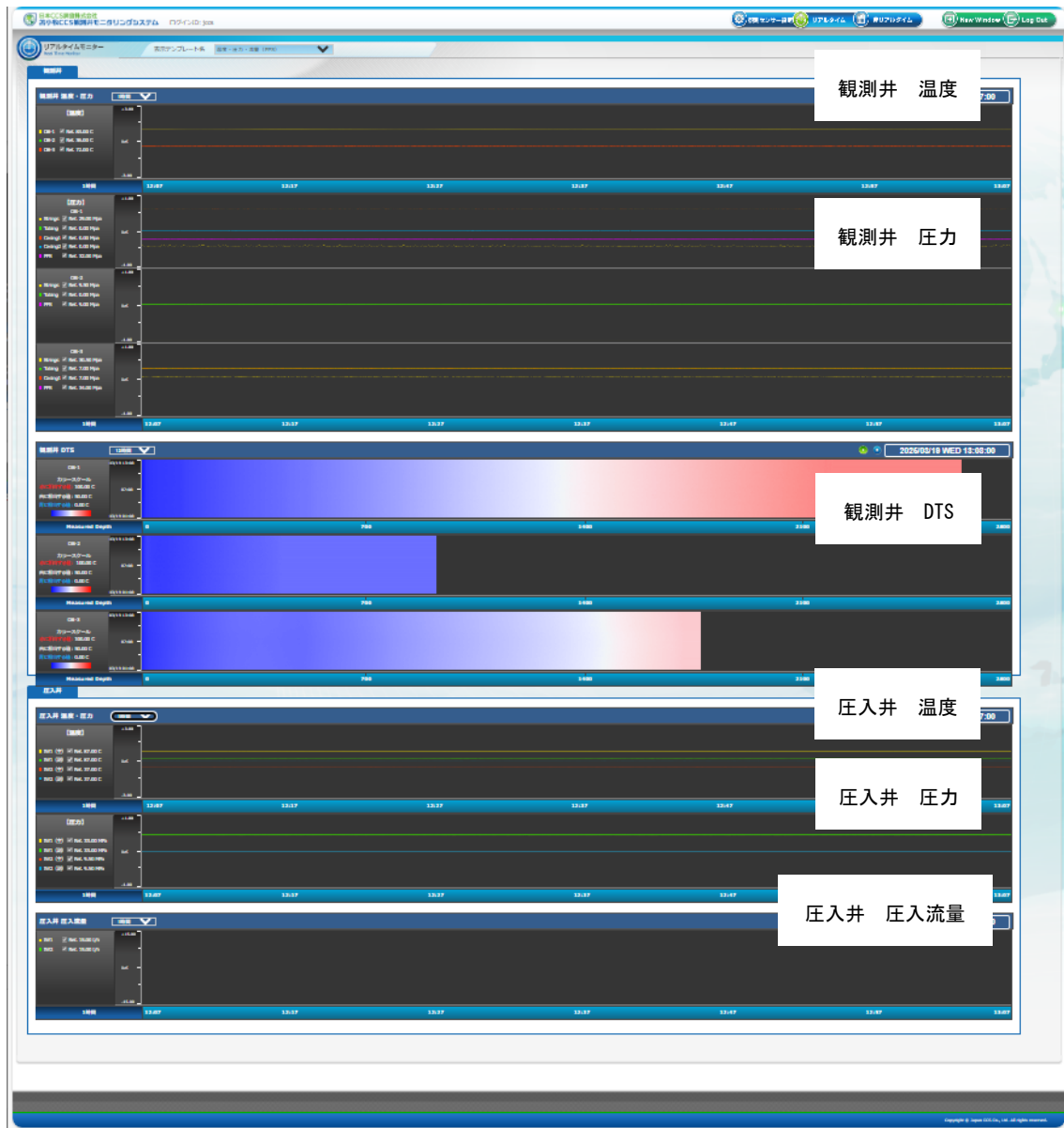


図 4.3-5 リアルタイムでの観測井の温度と圧力データの時系列表示例

(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^{*19)}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。

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

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。

^{*19)} 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℃	74℃	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+2 MPa 【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-2 MPa 【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）	℃	℃	5 s
	PPS26 センサー（圧力）	MPa	MPa	5 s
	DTS（温度）	100℃	-5℃	10 min
OB-2	FBG センサー（温度）	36℃	32℃	5 s
	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℃	-5℃	10 min
OB-3	FBG センサー（温度）	62℃	58℃	5 s
	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℃	-5℃	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^{*20}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。

^{*20} 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。

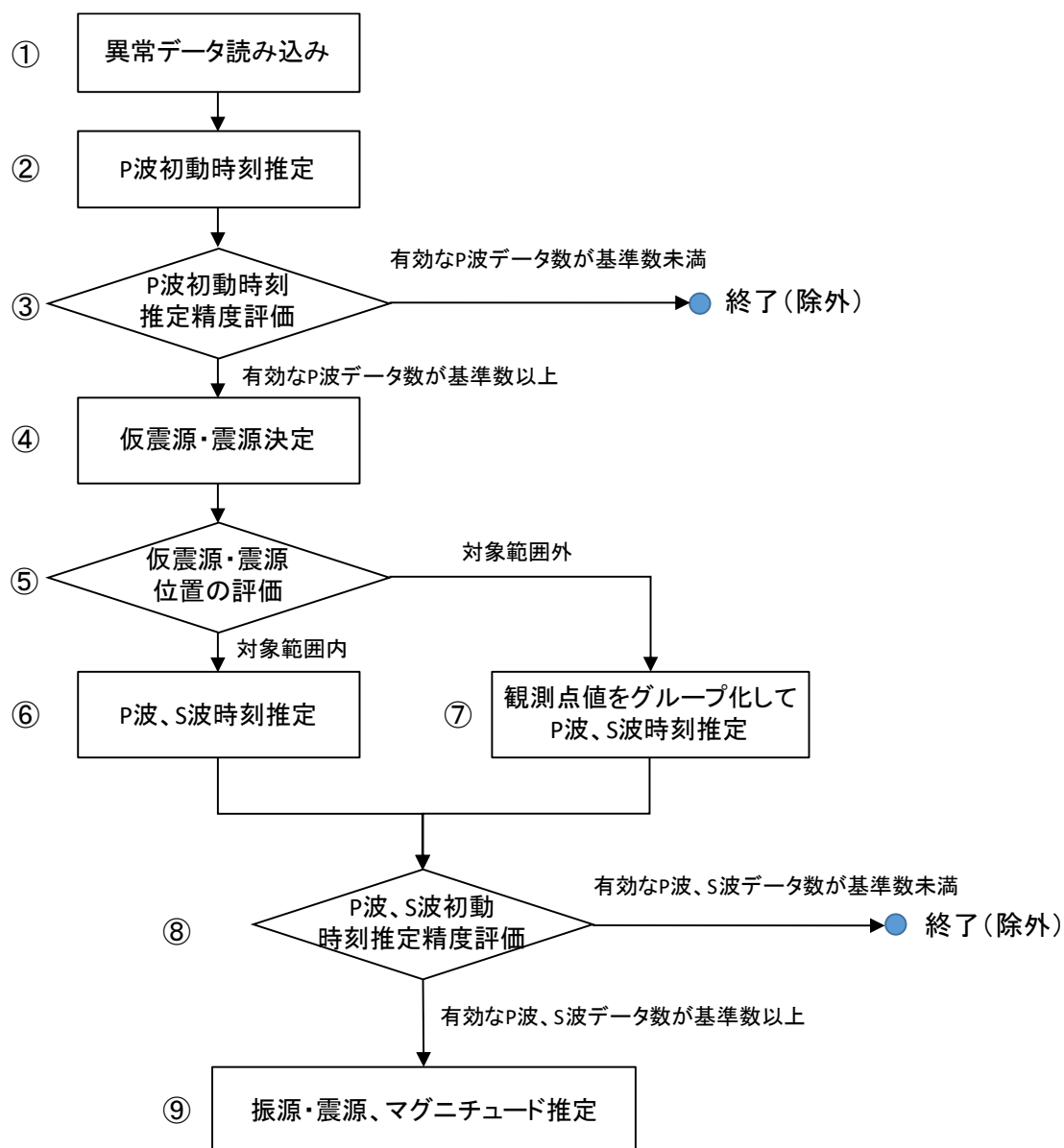


図 4.3-6 振源・震源決定の処理フロー

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 4.3-7 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 4.3-8 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^{*21)}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 4.3-9 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構

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

造表示ソフトウェア*22)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 4.3-10 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。

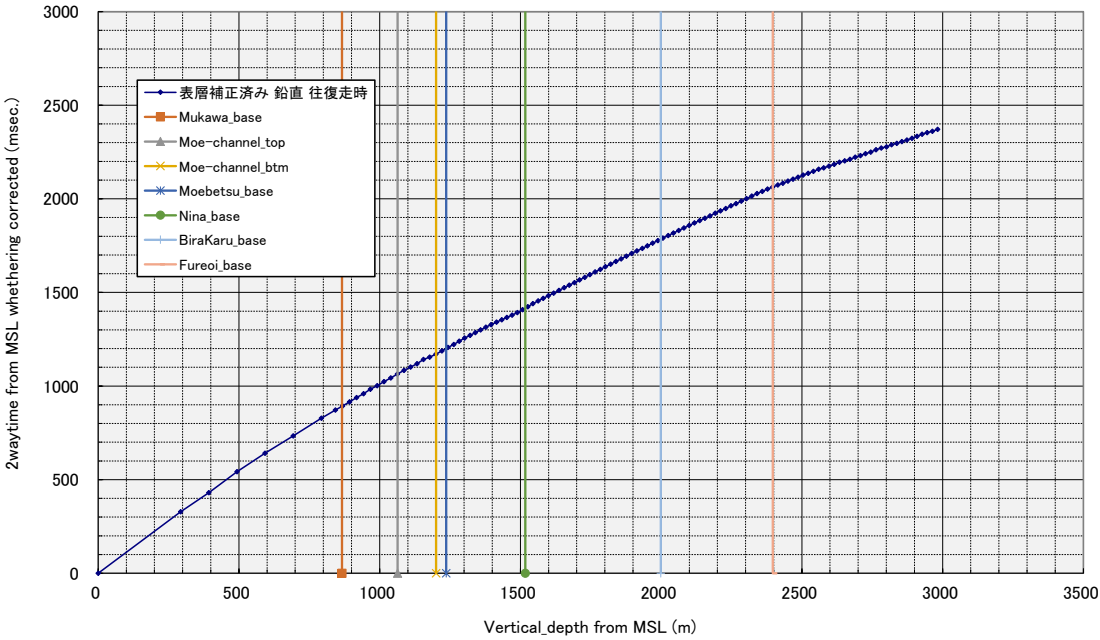


図 4.3-7 OB-1 における VSP 調査によって得られた時間-深度関係図

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

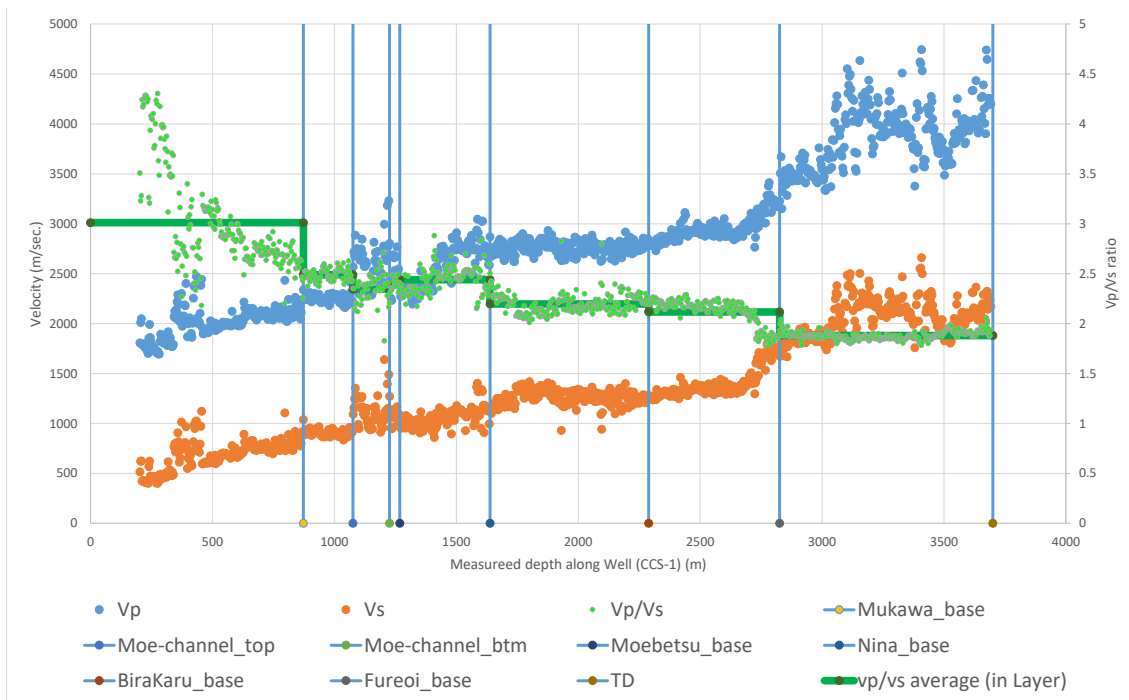


図 4.3-8 OB-1 における PS 検層より推定した各層準の Vp/Vs

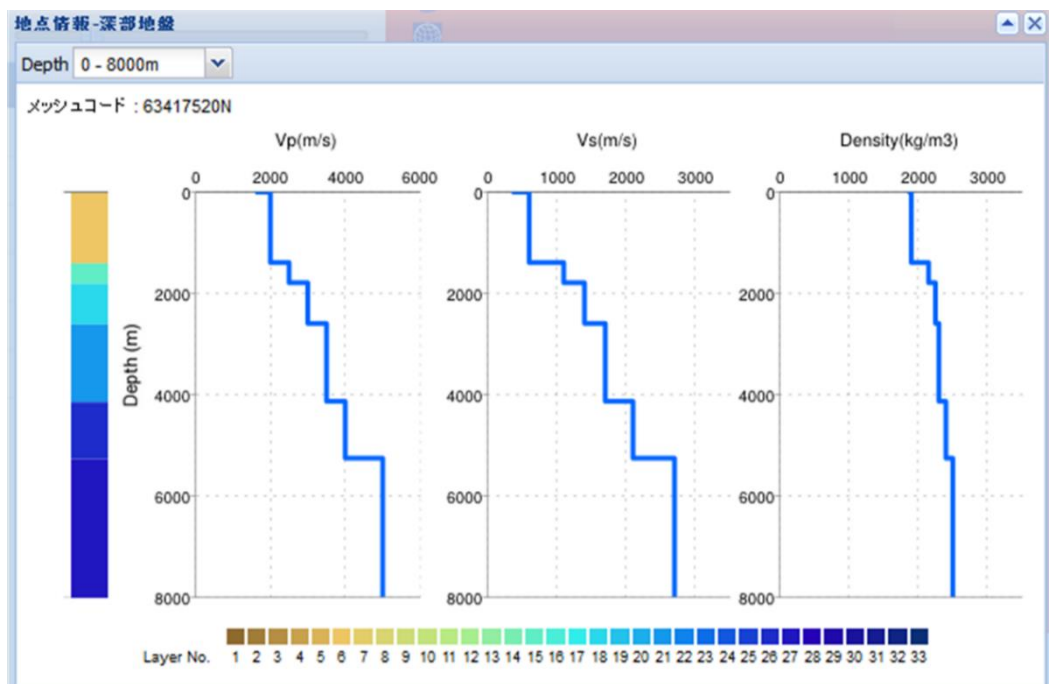


図 4.3-9 萌別層圧入地点に相当する位置の速度構造

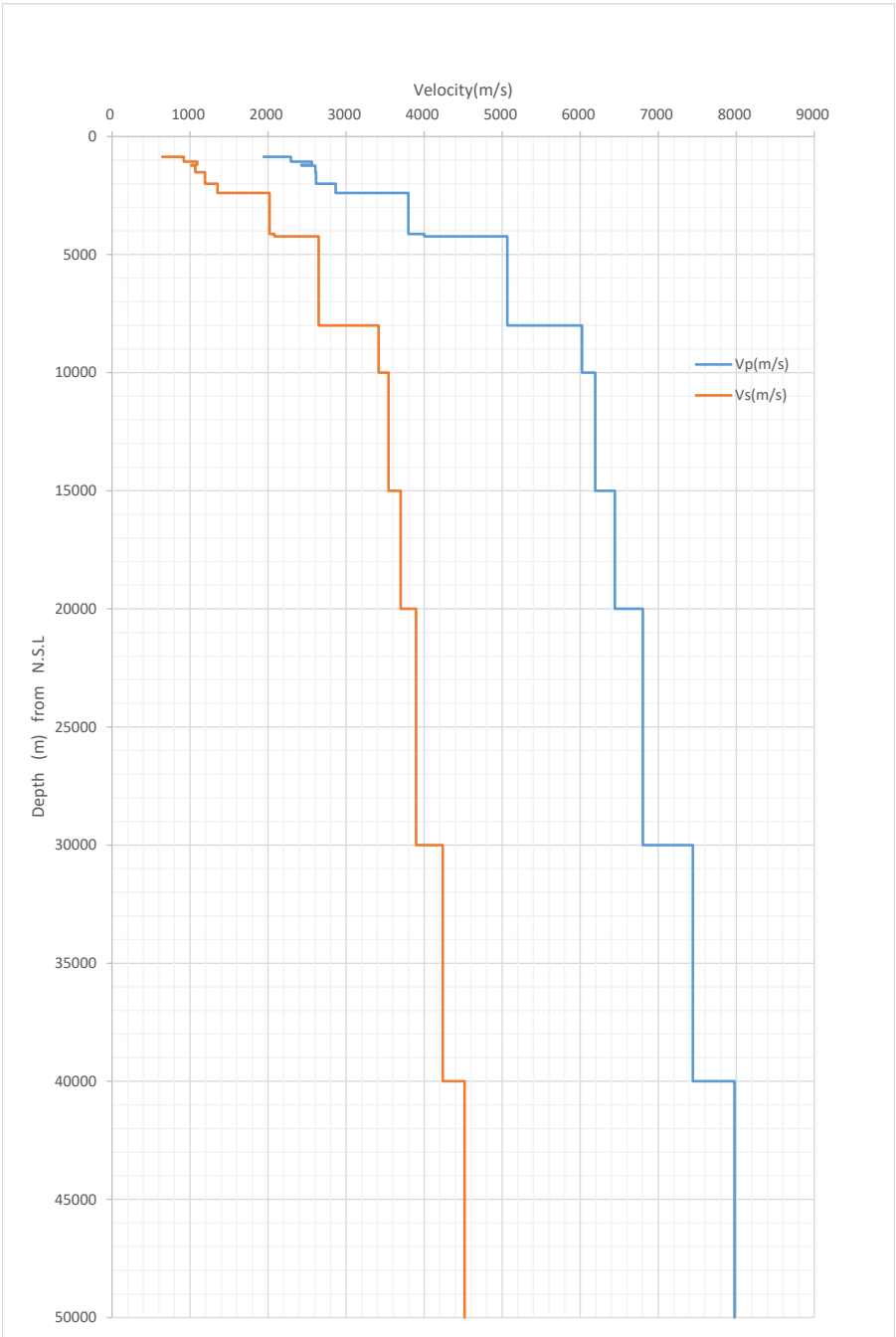
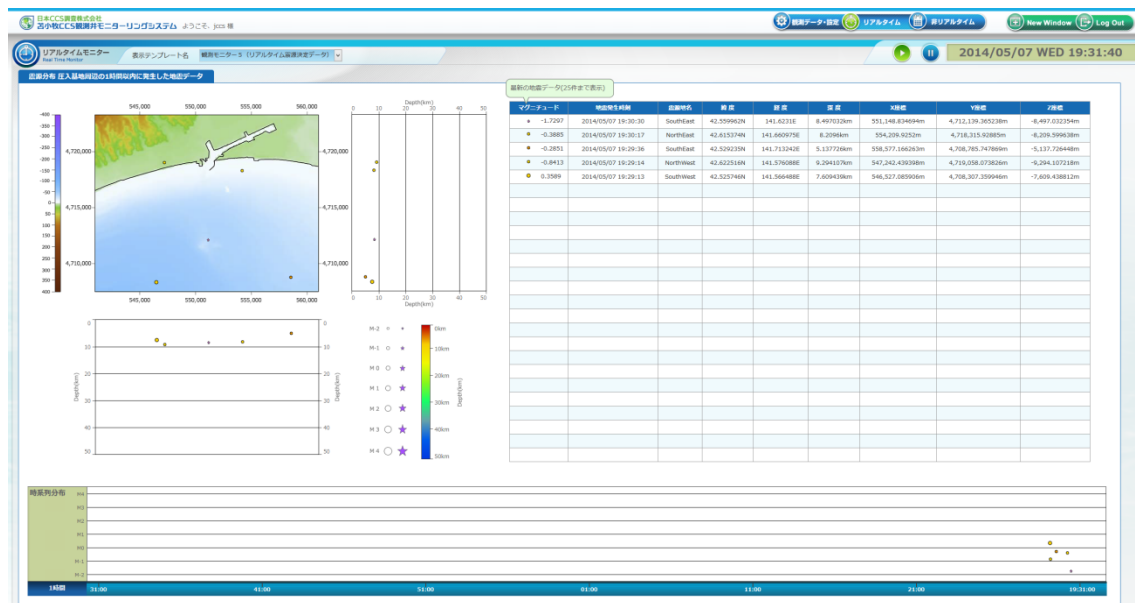


図 4.3-10 振源・震源決定用一次元速度構造モデル

(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 4.3-11 に示すリアルタイムの振源・震源分布表示画面*23)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 4.3-12 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 4.3-13 参照)、振源・震源情報一覧表示 (図 4.3-14 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 4.3-15 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 4.3-11 リアルタイム振源・震源分布表示画面例

*23) 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。

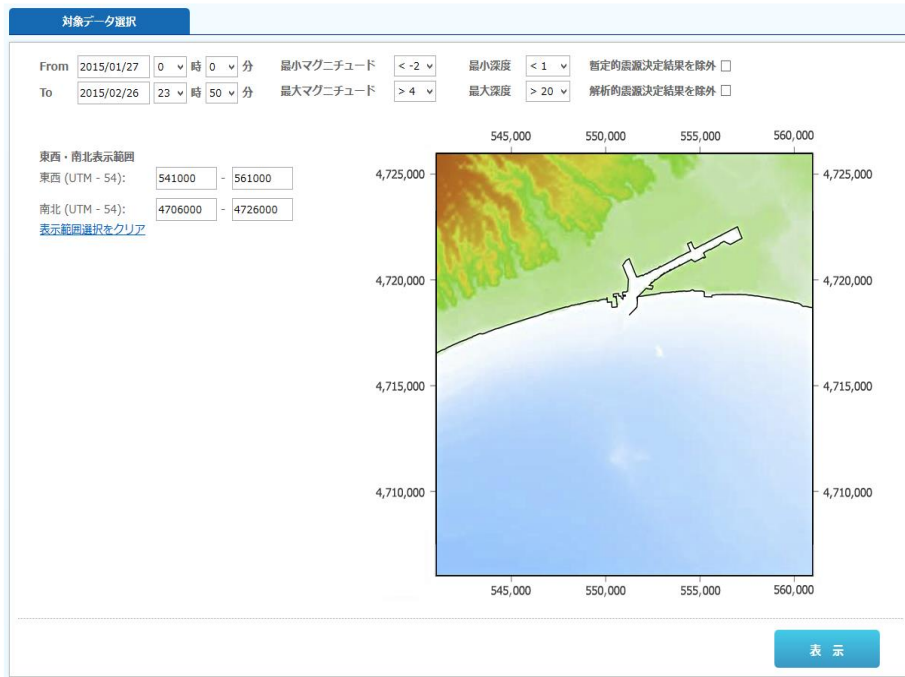
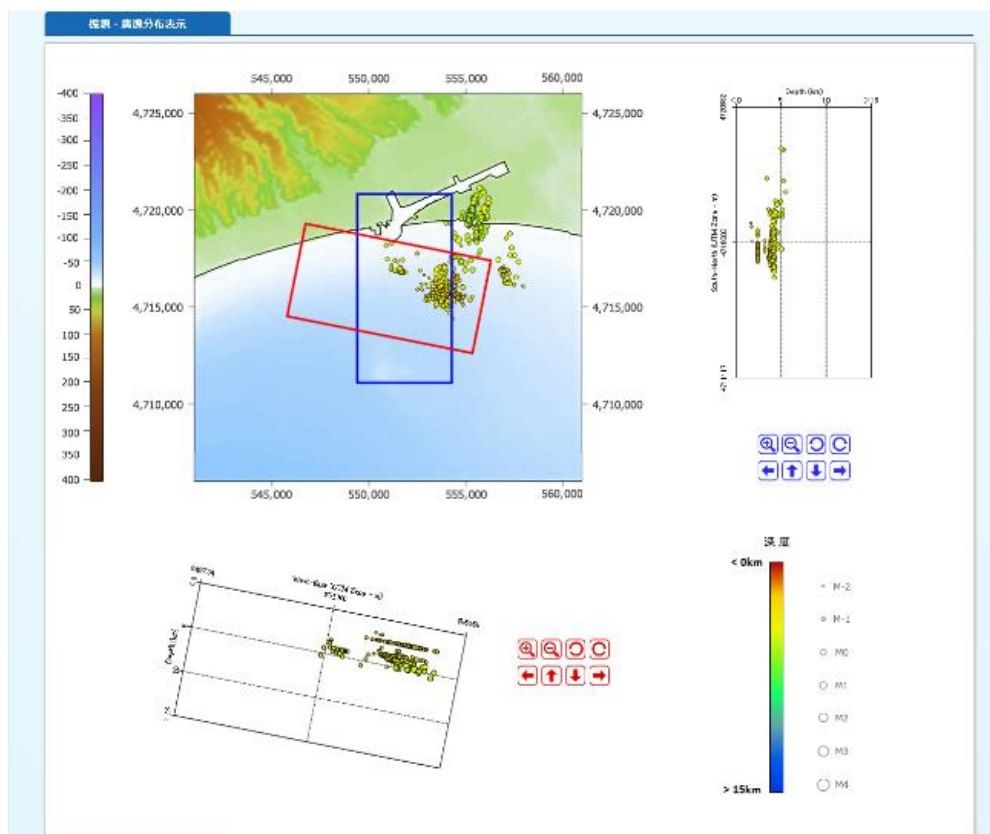


図 4.3-12 振源・震源検索条件設定画面



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。

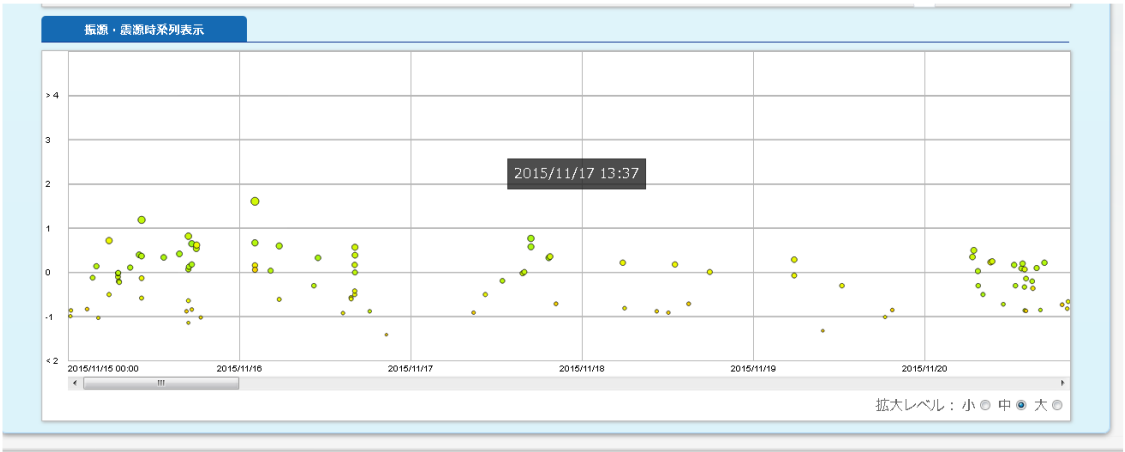
図 4.3-13 振源・震源二次元分布図

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	4724232.4911
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 4.3-14
 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 4.3-15
 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 4.3-12 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 4.3-16～図 4.3-19 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*24)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 ・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 ・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 ・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 midpoint）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。 ・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。

*24) 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。

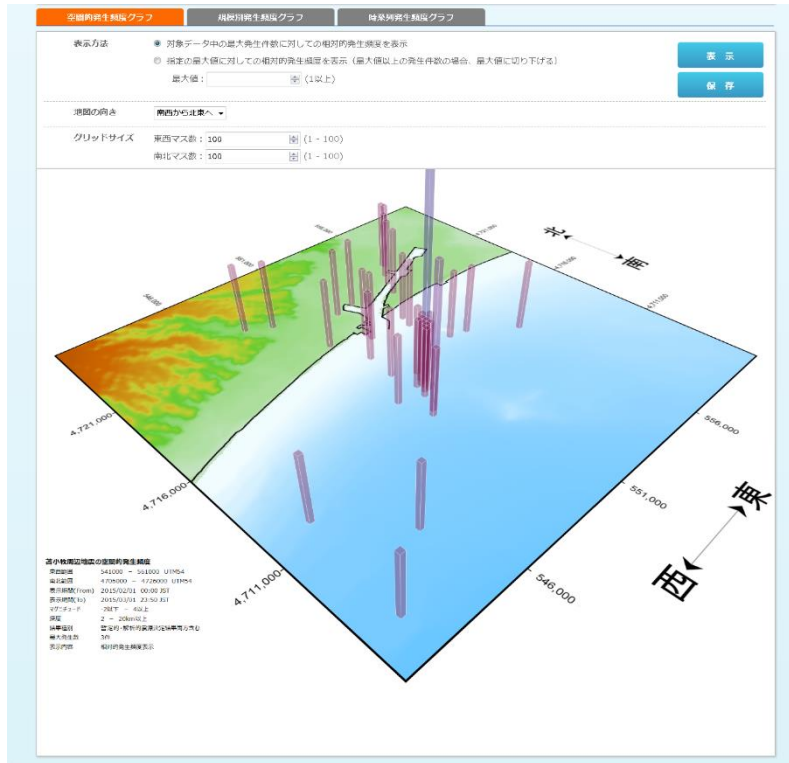


図 4.3-16 空間的発生頻度分布の表示例（仮データを使用）

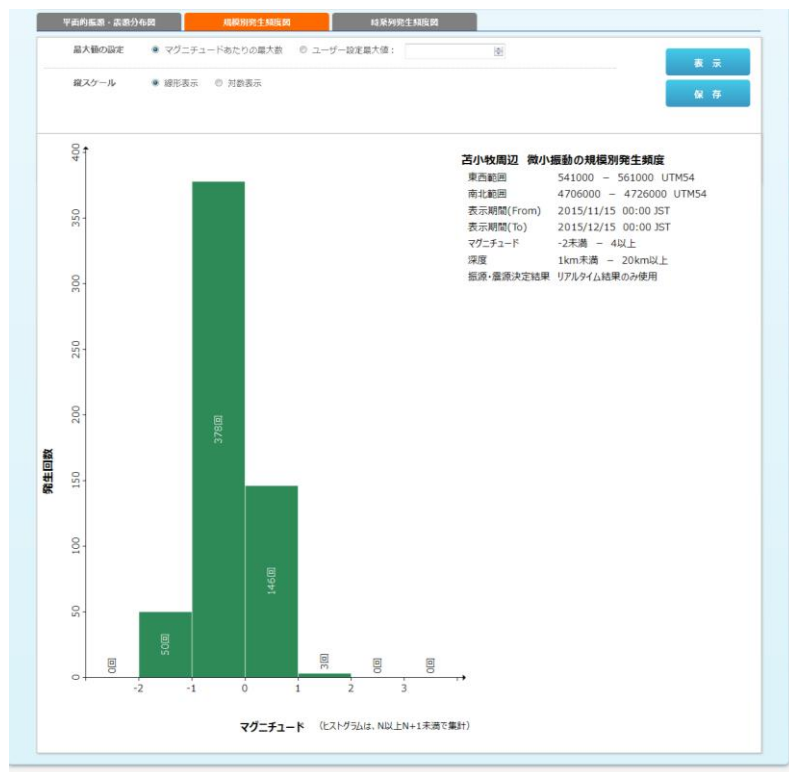


図 4.3-17 規模別発生頻度分布の表示例（仮データを使用）

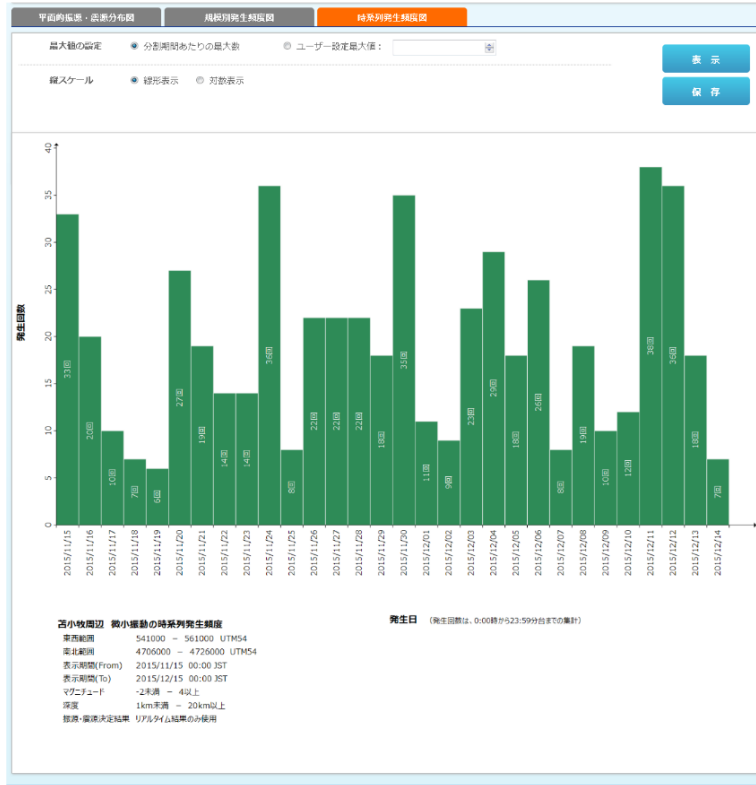


図 4.3-18 時系列発生頻度分析結果図（仮データを使用）

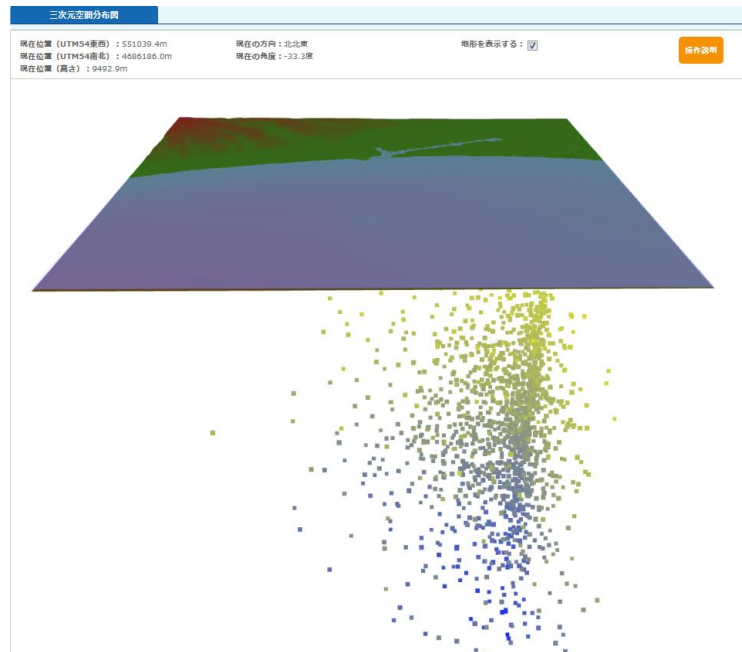


図 4.3-19 振源・震源の三次元分布の表示例（仮データを使用）

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、表 4.3-9 に示すように、週 1 回実施した。遠隔監視では、図 4.3-20 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（2024 年 4 月～2025 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	1 日、8 日、15 日、22 日、30 日	10 月	7 日、15 日、21 日、28 日
5 月	8 日、14 日、20 日、27 日	11 月	5 日、11 日、19 日、25 日
6 月	3 日、10 日、17 日、24 日	12 月	3 日、9 日、16 日、25 日
7 月	1 日、8 日、16 日、22 日、29 日	1 月	7 日、14 日、20 日、27 日
8 月	5 日、13 日、19 日、26 日	2 月	3 日、10 日、17 日、25 日
9 月	2 日、9 日、17 日、24 日、30 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3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
3/3	データ変換 サーバ1	通信	OK	
		OS	OK	
		ソフトウェア	OK	
3/3	データ変換 サーバ2	通信	OK	
		OS	OK	
		ソフトウェア	OK	
3/3	データ保管 サーバ	通信	OK	
		OS	OK	
		ソフトウェア	OK	
3/3	大容量 ストレージ	HDD	OK	
3/3	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
3/3	稼働確認1	リアルタイム データ取得	2月分の観測井伝送漏れデータにつき、物理計測コンサルタントに再送を依頼した。	
3/3	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 4.3-20 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、2024年4月16日、5月31日、6月20日、7月10日～11日、8月1日、9月20日、10月10日、11月7日、12月12日、2025年1月23日、2月6日、3月18日の計13回実施した。現地保守点検では、図4.3-21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。

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 2025 年 3 月 6 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
3/6	データ変換 サーバ1	外観	OK		済
3/6	データ変換 サーバ2	外観	OK		済
3/6	データ保管 サーバ	外観	OK		済
3/6	大容量 ストレージ	外観	OK		済
3/6	基地内 制御用端末	OS	OK		済
		外観	OK		済
3/6	外部モニター	表示	OK		済
3/6	DCS、 圧入井データ 入出力装置	OS	OK		済
		外観	OK		済
3/6	ケーブル類	外観/破損	OK		済
3/6	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
3/6	圧入井ロガー	外観	OK	3/5～3/6 に圧入井ロ ガー保守点検を実施	済

図 4.3-21 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 4.3-22 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。

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 2025 年 3 月 12 日]
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	2025/01/01-2025/01/31	#010115	#001133

作業チェックリスト

年月日	作業項目	実施確認	備考
3/12	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		
3/12	テープ書き込み	OK	
3/12	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 4.3-22 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
			OBC	陸上地震計	OBS(有線型)	OBS(独立型)	OB-1	OB-2	OB-3	IW-1	IW-2	Hi-net	その他	
#001131	2024/03/01-2024/03/31	20240522	○				○	○	○	○	○	○		
#001131	2024/04/01-2024/04/30	20240613	○				○	○	○	○	○	○		
#001131	2024/05/01-2024/05/31	20240708	○				○	○	○	○	○	○		
#001131	2024/06/01-2024/06/30	20240808	○				○	○	○	○	○	○		
#001132	2024/07/01-2024/07/31	20240911	○				○	○	○	○	○	○		
#001132	2024/08/01-2024/08/31	20241018	○				○	○	○	○	○	○		
#001132	2024/09/01-2024/09/30	20241114	○				○	○	○	○	○	○		
#001132	2024/10/01-2024/10/31	20241218	○				○	○	○	○	○	○		
#001133	2024/11/01-2024/11/30	20250122	○				○	○	○	○	○	○		
#001133	2024/12/01-2024/12/31	20250219	○				○	○	○	○	○	○		

(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 4.3-23 (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 4.3-23 (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	・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	・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	・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 2025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
	PPS	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
	PPS	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	正常観測
	PPS	正常観測
圧入井温度・圧力		正常観測
圧入井圧入量情報		正常観測
圧入井圧入操作情報		正常観測

その他、特記事項

図 4.3-23 (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 2025年 3月18日 - 3月24日

観測機器		開始	終了
OB-3	地震観測	2025/03/19 01:02	2025/03/19 05:49

図 4.3-23 (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 4.3-24 (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 4.3-24 (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）
	時系列分布（横軸：時間、縦軸：発生数）
経時グラフ	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

2025 年 01 月

微小地震観測については、別途提出の振源決定レポートを参照

観測状況

観測機器		観測状況
常設型 OBC		正常観測
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：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	正常観測
	PPS	正常観測
OB-2	地震観測	欠測発生日数：3、欠測件数：5、欠測時間：計 37487 分間
	FBG (温度・圧力 5)	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計 36904 分間
	圧力 1-4	欠測発生日数：3、欠測件数：3、欠測時間：計 7 分間
	DTS	欠測発生日数：3、欠測件数：5、欠測時間：計 36568 分間
	PPS	欠測発生日数：3、欠測件数：4、欠測時間：計 33986 分間
OB-3	地震観測	欠測発生日数：2、欠測件数：2、欠測時間：計 131 分間
	FBG (温度・圧力 5)	正常観測
	圧力 1-4	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計 512 分間
	DTS	正常観測
	PPS	正常観測
圧入井温度・圧力		欠測発生日数：1、欠測件数：4、欠測時間：計 72 分間
圧入井圧入量		欠測発生日数：1、欠測件数：5、欠測時間：計 66 分間
圧入井圧入操作情報		欠測発生日数：1、欠測件数：5、欠測時間：計 66 分間

図 4.3-24 (1) 月報の表紙（対象期間および観測状況を記載）の例

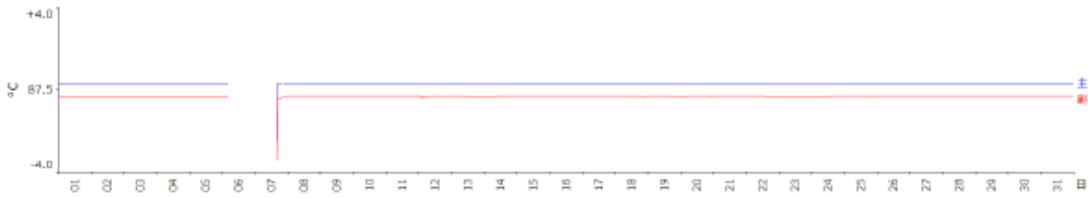
圧入井1 温度・圧力観測結果、圧入量

期間 2025年 01月

圧入井INJ-1 温度観測(主、副)

主: 平均: 87.792°C、標準偏差: 0.075°C

副: 平均: 87.163°C、標準偏差: 0.083°C



圧入井INJ-1 圧力観測(主、副)

主: 平均: 33.418MPa、標準偏差: 0.039MPa

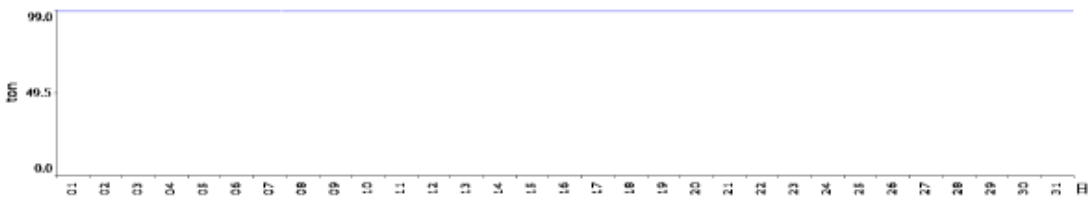
副: 平均: 33.442MPa、標準偏差: 0.039MPa



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



圧入井INJ-1 累積圧入量



2025年01月

図 4.3-24 (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

2024年度の総合モニタリングシステムに関連する障害、あるいは関連が疑われる障害が以下のとおり発生した。なお、総合モニタリングシステムの障害を原因とするデータ欠測は生じていない。

1) データ変換サーバー2のHDD故障

2024年11月19日にデータ変換サーバー2のHDDのうち1個が故障していることを確認した。当該サーバーのHDDはRAID構成であるため、システム稼働にただちに影響を及ぼす状況ではなく、翌月の定期点検の際に当該HDDを交換した(2024年12月12日)。

2) リアルタイムモニタリングシステム停止

2024年12月23日19時半頃にリアルタイムモニタリングシステムが停止した。停止の原因は、存在しないファイルへのアクセスエラーによると思われるログファイルが大量に生成されたことでHDDの特定領域の空き容量がゼロになったことによる。ログファイルを削除し、システムを再起動することで正常稼働を再開した。

3) 圧入井データロガー停止

2025年1月6日4時25分以降、圧入井データロガーから取得している坑内温度圧力観測値が総合モニタリングシステムに収録されなくなった。総合モニタリングシステムの稼働状況に異常は無く、データロガーの電源供給元のバッテリーおよび充電器の状態は正常であったことから、ロガー本体の障害によるものと考えられる。ロガーを再起動することにより収録を再開した。これに伴い、以下の期間で圧入井坑内温度圧力観測の欠測が生じた(2025年1月6日4時26分～2025年1月7日16時11分)。

4) 圧入井坑内温度圧力観測記録へのノイズ混入

上記(3)の収録再開後、圧入井坑内温度圧力計の観測記録にノイズが混入し、品質が低下した。滝ノ上層圧入井(IW-1)では主副二つのセンサーのうちの副センサーに2025年1月13日10時頃まで、萌別層圧入井(IW-2)では同様に主副二つのセンサーのうちの副センサーに2025年1月8日5時頃までノイズが混入した。図4.3-25に記録例を示す。上記時刻以降は両圧入井ともにノイズの混入はなく、品質は回復した。ノイズ混入の原因は不明であるが、その直前に発生したデータロガーの障害との関連が疑われる。



図 4.3-25 萌別層圧入井坑内温度圧力記録のノイズ混入例（上：温度、下：圧力）

4.4 微小振動・自然地震モニタリング

圧入前のベースライン観測から、2024年度も引き続き、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、2024年4月1日～2025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。振源・震源推定^{*1)}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以浅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

これまでと同様、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以浅
- 2) マグニチュード-0.5以上

^{*1)} 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。



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

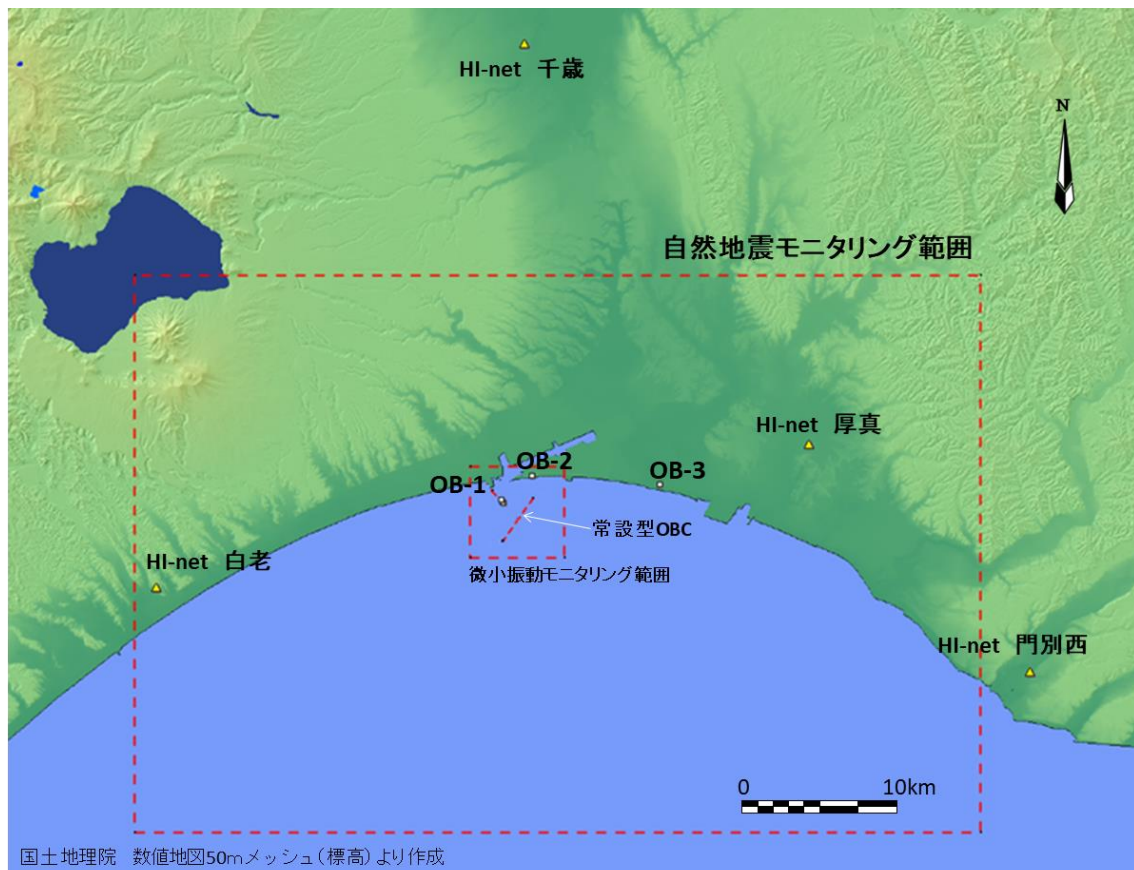


図 4.4-2 自然地震モニタリング対象範囲（南北約 37 km × 東西約 55 km）

4.4.2 モニタリング結果

(1) 週次集計

表 4.4-1 (1)、(2)に月ごとのモニタリング結果を示した。

モニタリング結果には、微小振動モニタリング範囲内および自然地震モニタリング範囲内の検知イベント数と欠測事象などの特記事項（備考）を記載した。

(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 2024 年 4 月～2025 年 3 月の各月の月報（月次集計）を示した。

表 4.4-1 (1) 2024 年 4 月 1 日～2025 年 3 月 31 日のモニタリング結果 (1/2)

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
4/1～4/30	0	41	4/9-4/15 OB-1 ツールメンテナンス作業 4/16 OB-1,2 チェックショット作業 4/17 OB-3 チェックショット作業
5/1～5/31	1	75	5/8 OB-3 停電による欠測 5/27 23:41 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 5.73 km、M-0.35)
6/1～6/30	0	74	6/27 OB-3Geores 地上機入れ替え作業 6/29 OB-3 収録 PC の自動再起動による欠測
7/1～7/31	0	37	7/10-7/31 OB-3 坑井内機器側の不具合による欠測
8/1～8/31	0	35	8/23,8/31 OBC 落雷により欠測 8/1-8/31 OB-3 坑井内機器側の不具合による欠測
9/1～9/30	0	30	9/24 OB-1 チェックショット作業 9/24,9/25 OB-3 チェックショット作業 9/15-9/30 OB-2 ケーブル破断により観測停止
10/1～10/31	2	71	10/1-10/31 OB-2 観測停止 10/11 OB-3 地上機の自動再起動による欠測 10/15 7:25 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 5.02 km、M-0.05) 10/24 17:20 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 15.83 km、M0.56)

表 4.4-1 (2) 2024 年 4 月 1 日～2025 年 3 月 31 日のモニタリング結果 (2/2)

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
11/1～11/30	1	64	11/1-11/30 OB-2 観測停止 11/13-11/14 OB-3 収録機の自動再起動による欠測 11/4 2:05 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 9.55 km、M0.62)
12/1～12/31	0	38	12/1-12/31 OB-2 観測停止 12/11 OB-3 収録機の自動再起動による欠測
1/1～1/31	0	62	1/1-1/26 OB-2 観測停止 1/27-1/28 OB-2 測定器不調による欠測 1/16 OB-3 収録用 PC 自動再起動による欠測
2/1～2/28	1	46	2/12 OB-2 アプリケーション不具合による欠測 2/19 OB-1 アプリケーション不具合による欠測 2/6 OB-3 停電による欠測 2/12 12:00 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 8.72 km、M0.56)
3/1～3/31	0	68	3/13 OB-2 Windows の Update に伴う再起動による欠測 3/19 OB-3 Windows の Update に伴う再起動による欠測

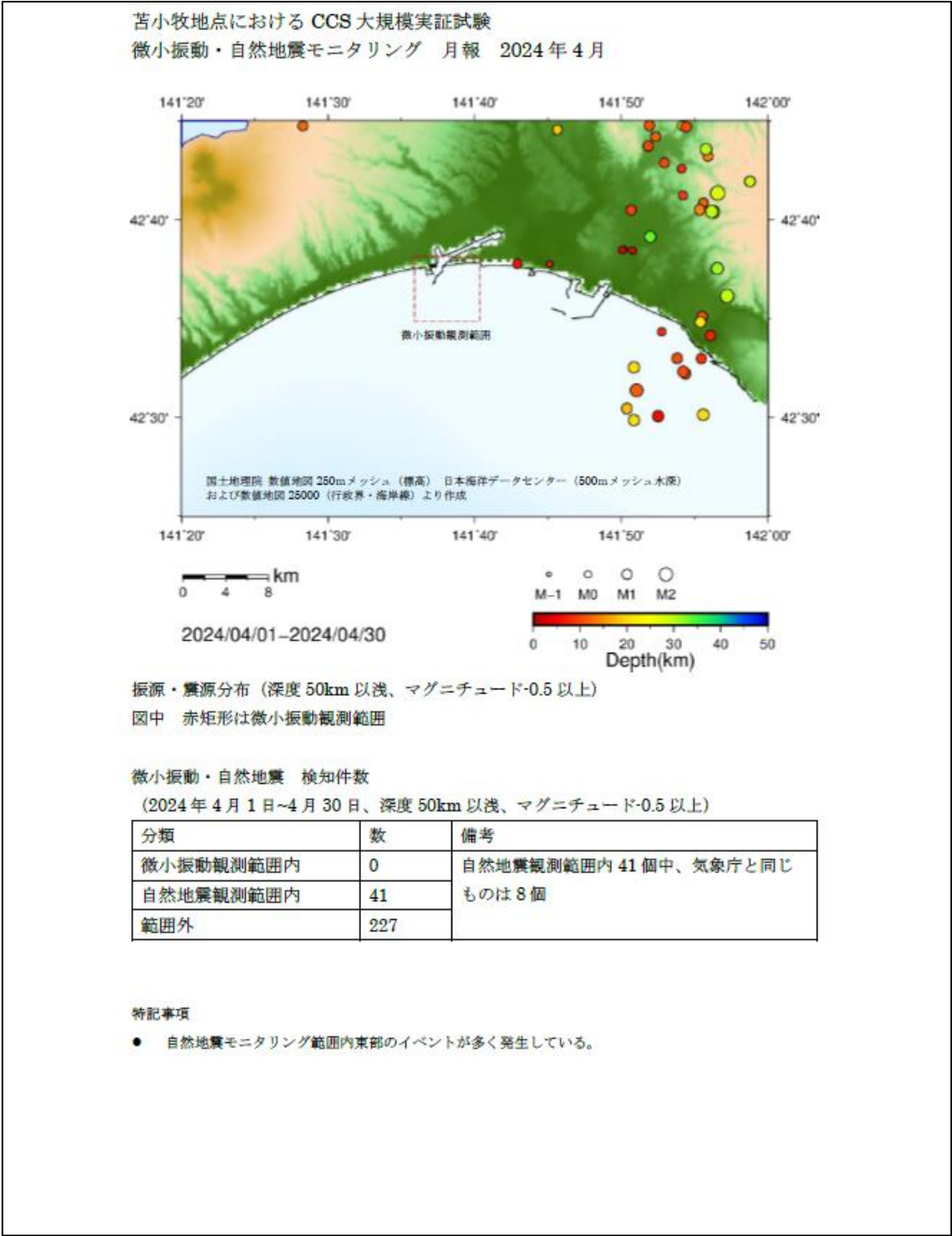


図 4.4-3 (1) モニタリング結果月報 (2024 年 4 月)

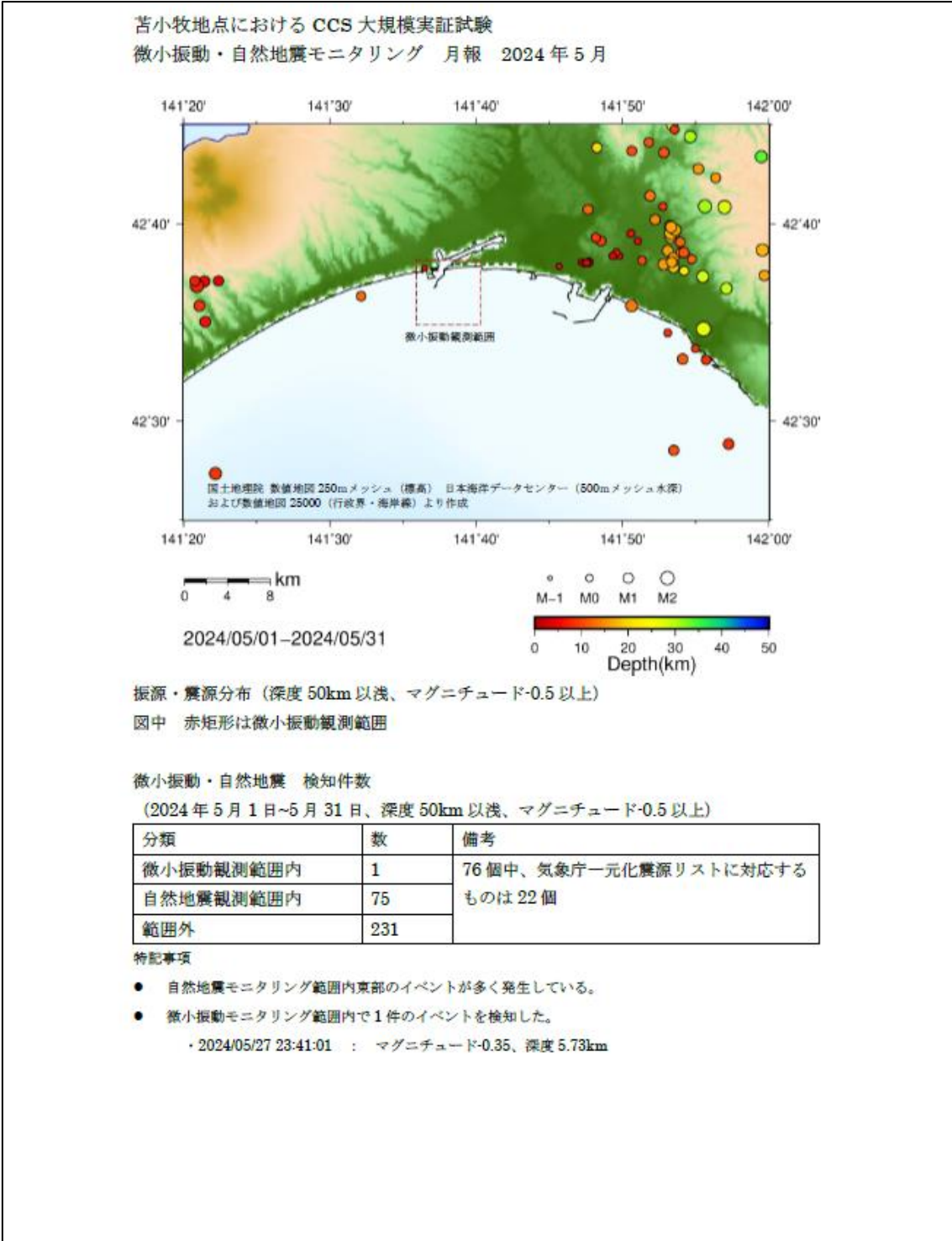


図 4.4-3 (2) モニタリング結果月報 (2024 年 5 月)

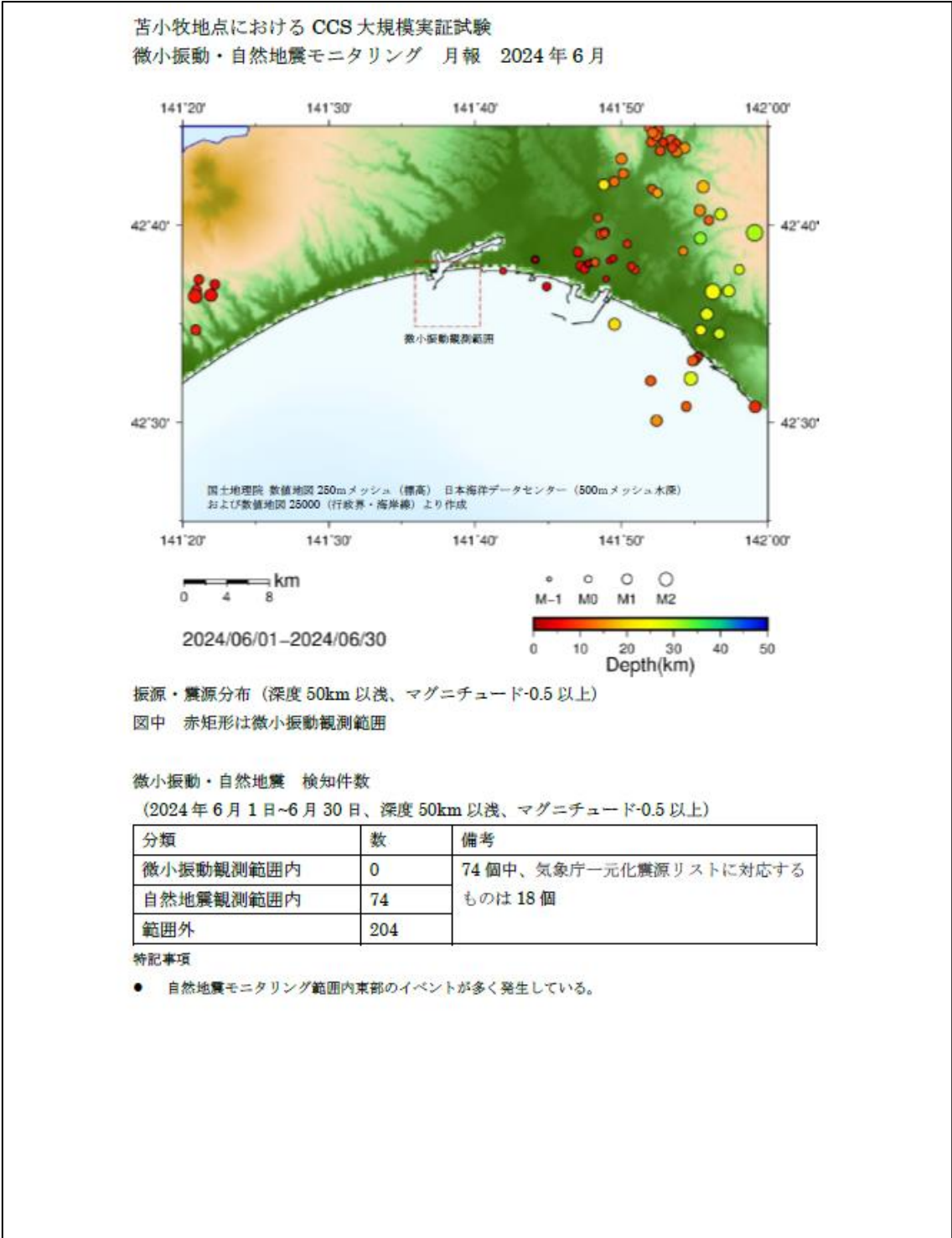


図 4.4-3 (3) モニタリング結果月報 (2024 年 6 月)

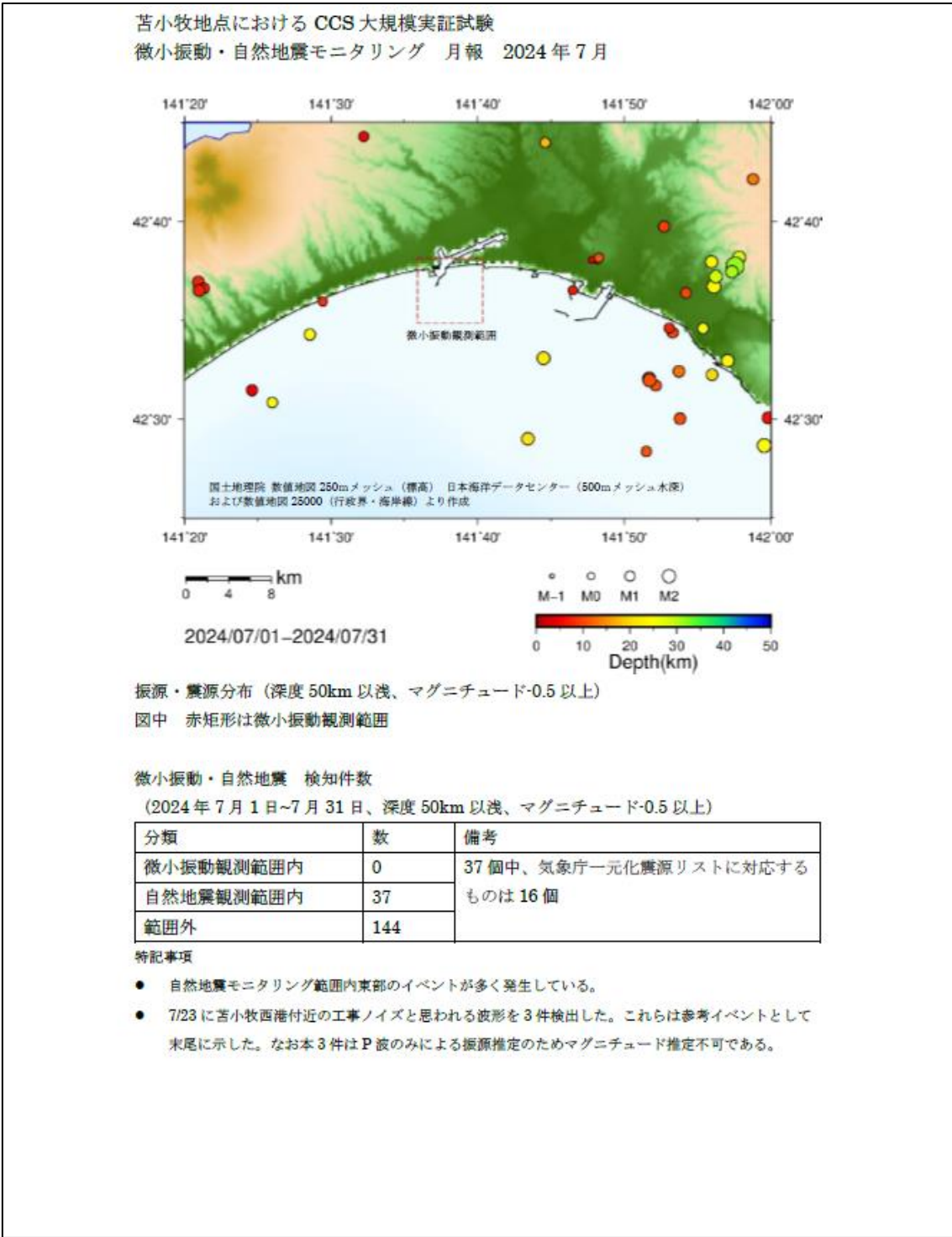


図 4.4-3 (4) モニタリング結果月報 (2024 年 7 月)

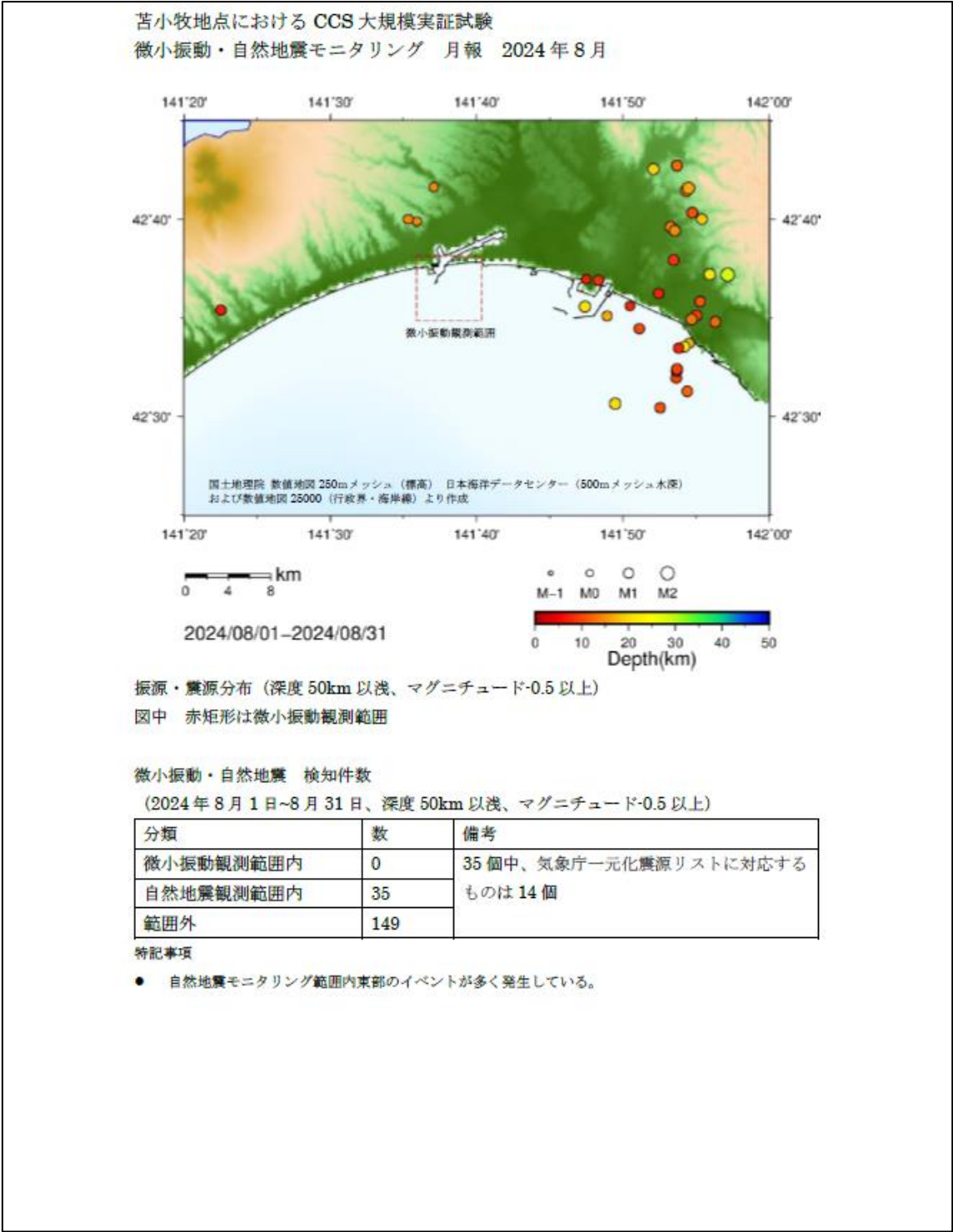


図 4.4-3 (5) モニタリング結果月報 (2024 年 8 月)

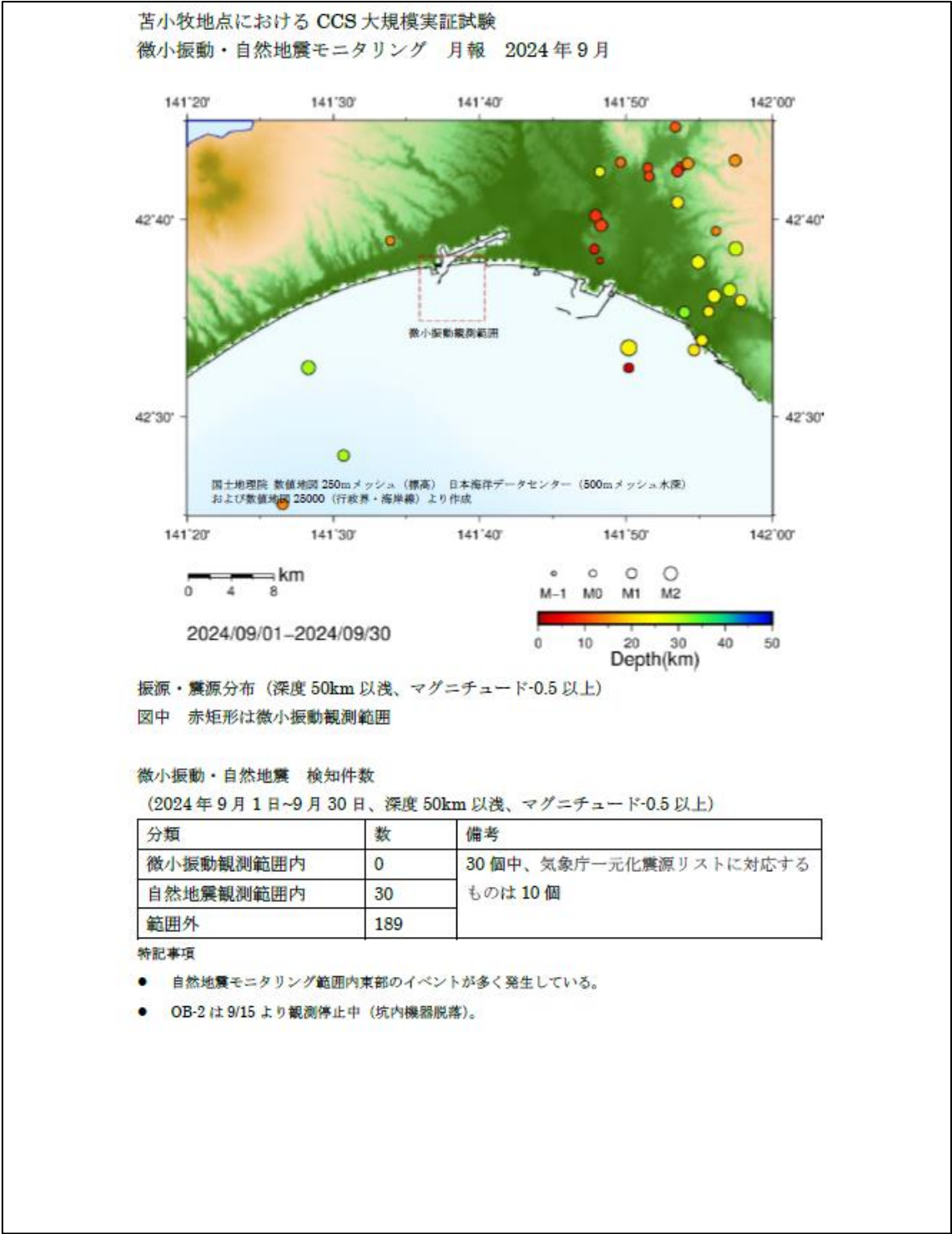


図 4.4-3 (6) モニタリング結果月報 (2024 年 9 月)

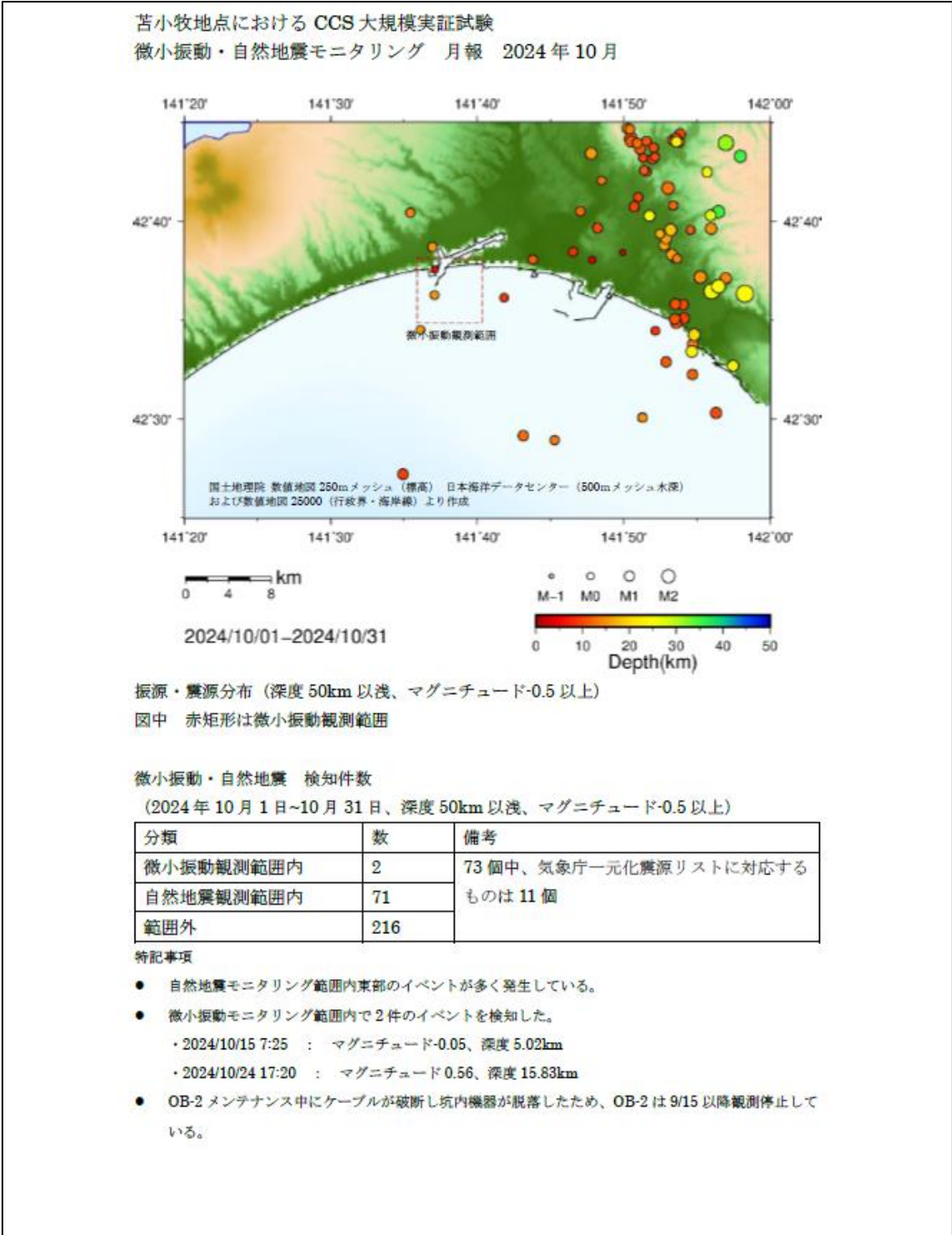


図 4.4-3 (7) モニタリング結果月報 (2024 年 10 月)

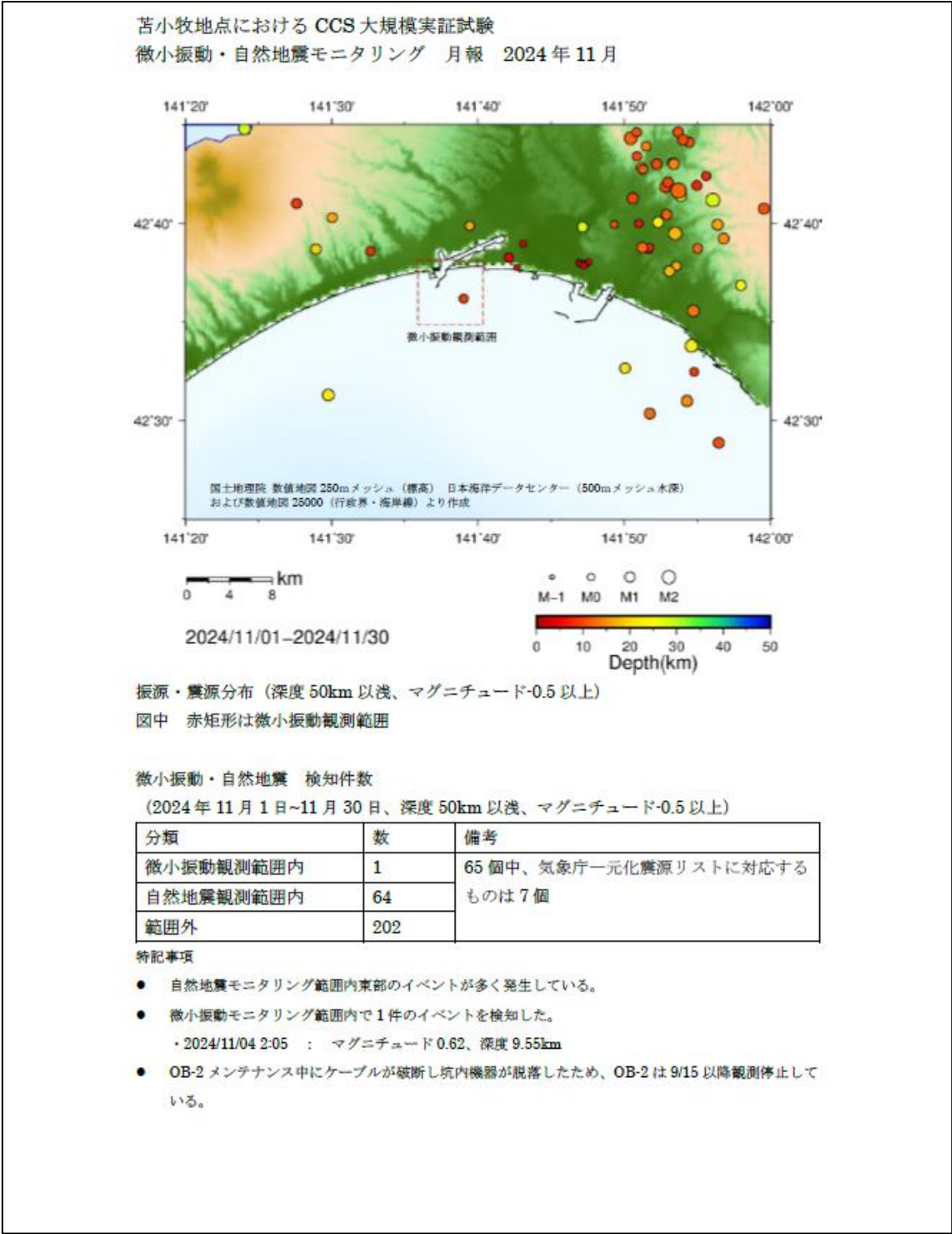


図 4.4-3 (8) モニタリング結果月報（2024 年 11 月）

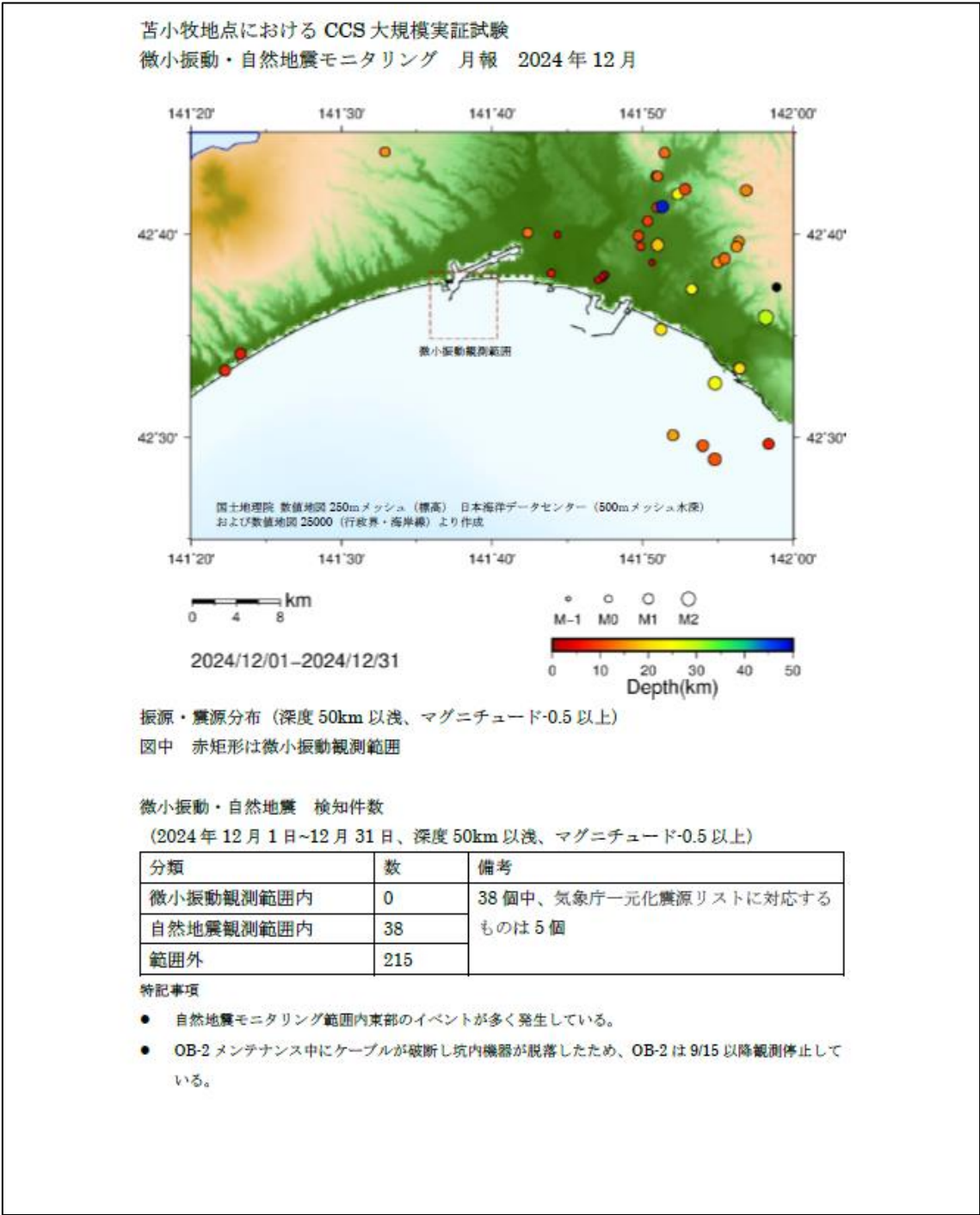


図 4.4-3 (9) モニタリング結果月報 (2024 年 12 月)

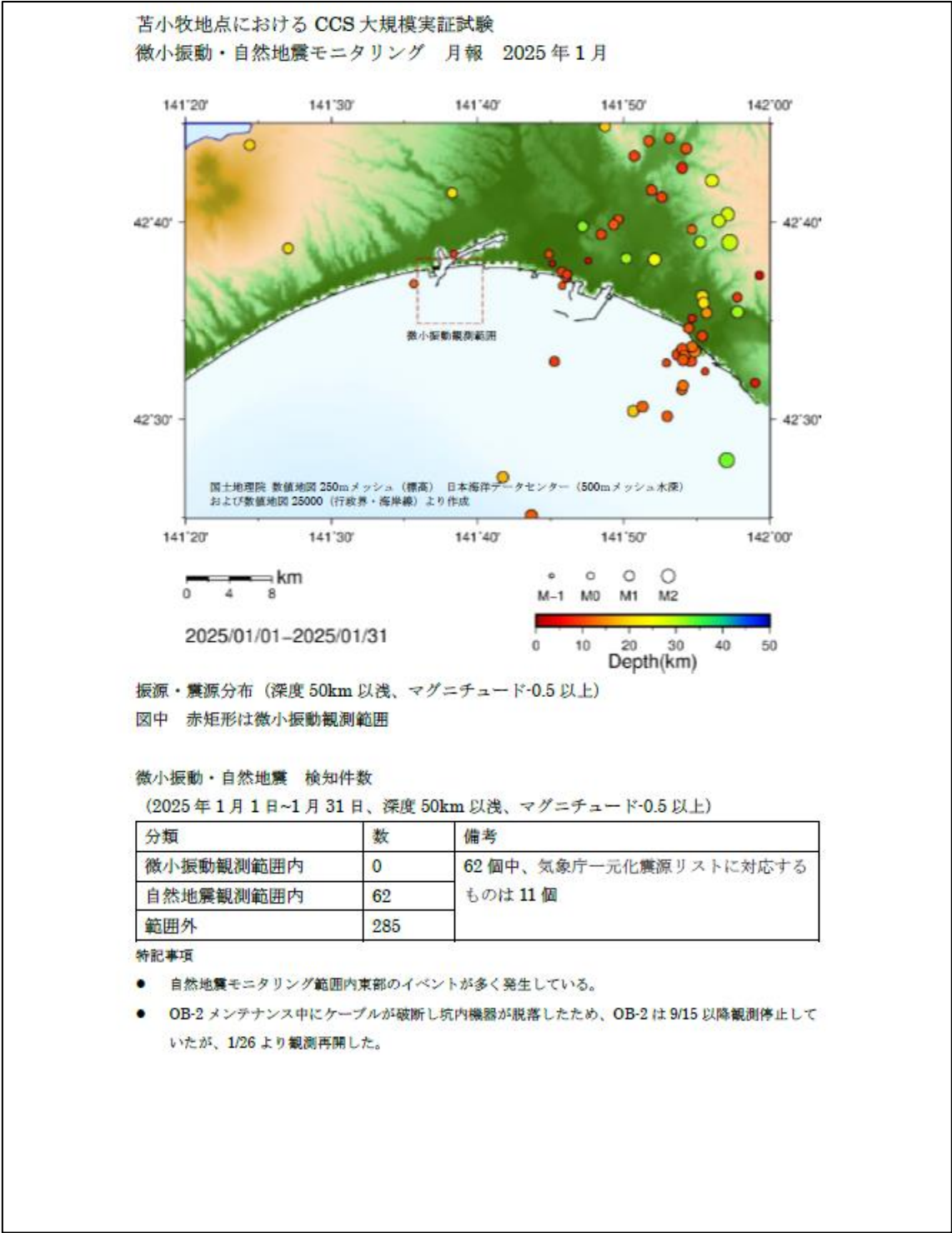


図 4.4-3 (10) モニタリング結果月報 (2025 年 1 月)

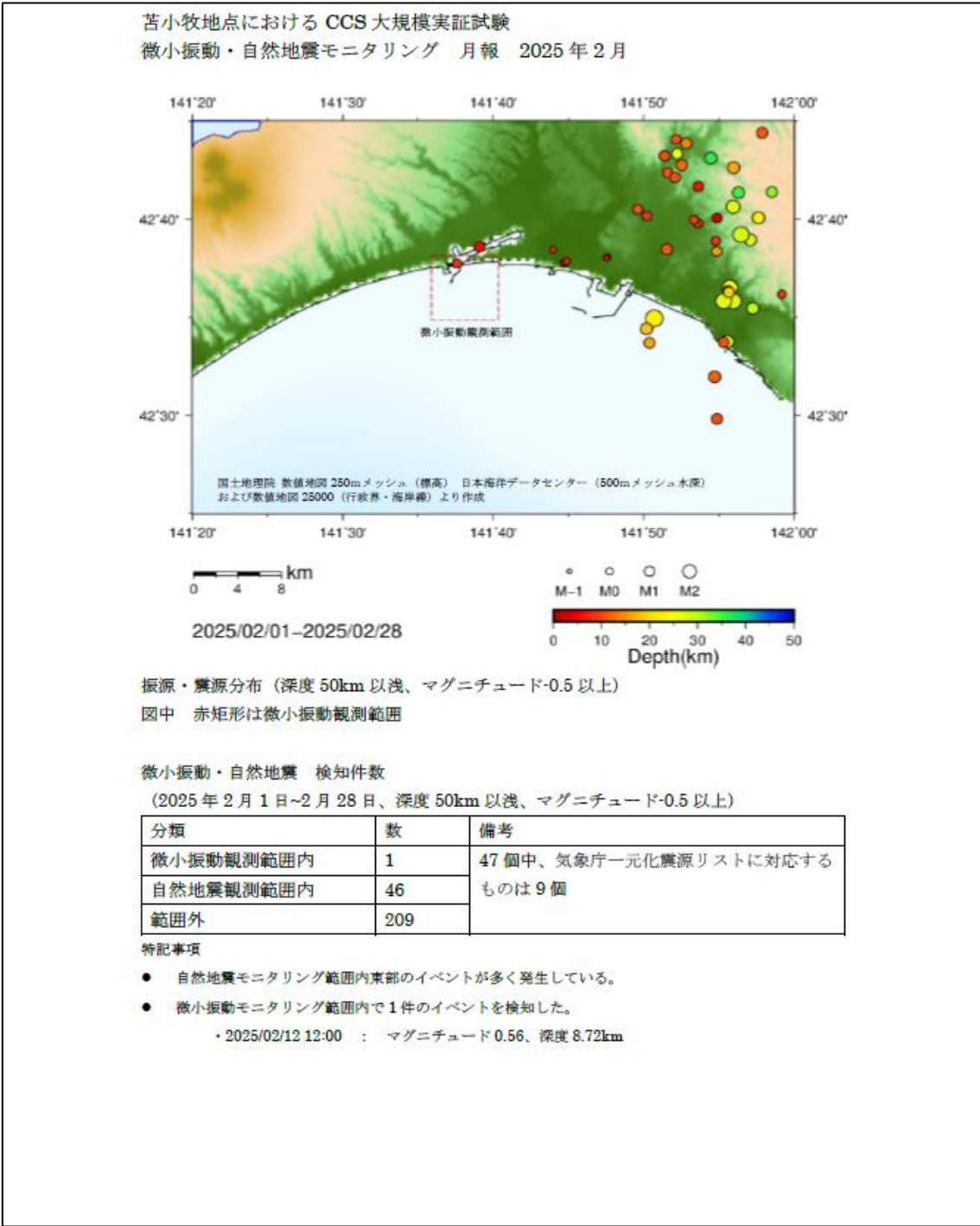


図 4.4-3 (11) モニタリング結果月報 (2025 年 2 月)

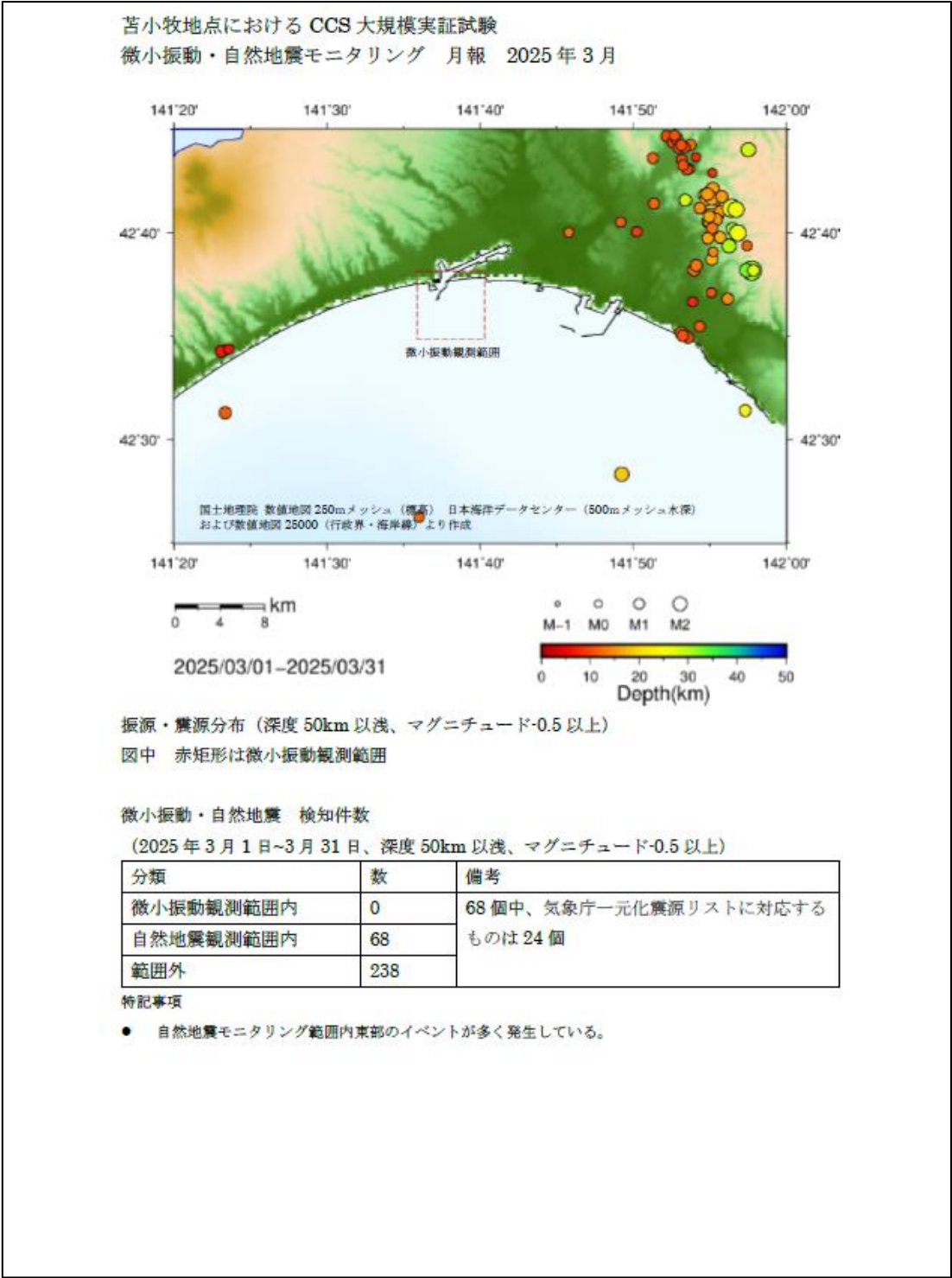


図 4.4-3 (12) モニタリング結果月報 (2025 年 3 月)

4.4.3 2024 年度モニタリング結果のまとめ

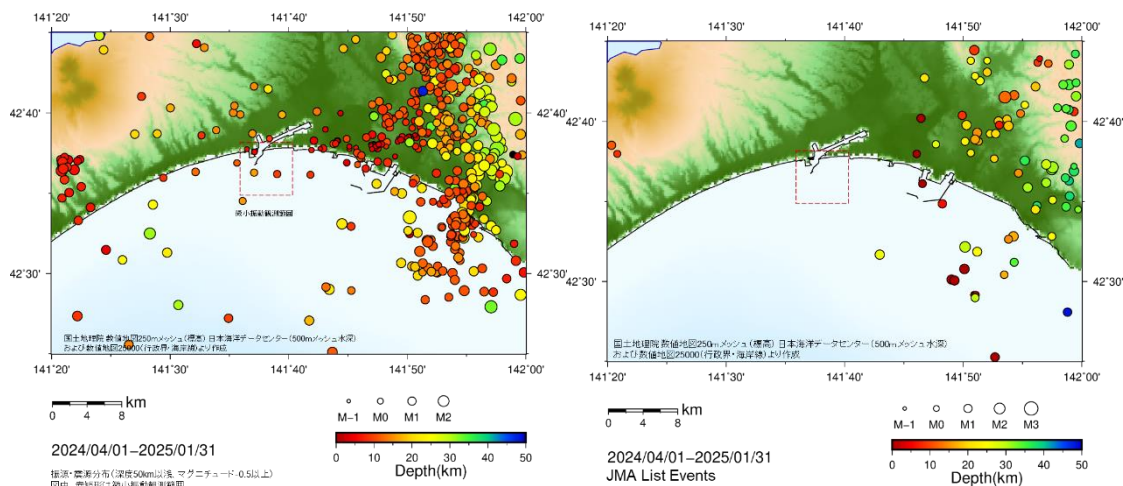
図 4.4-4 に、2024 年度中に検知したマグニチュード-0.5 以上のイベントのうち、自然地震モニタリング範囲内の深度 50 km 以浅に震源が推定されたイベントの震源分布図を示す。

また、2024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 131 件に対して実証試験では 531 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 5 件のイベントを検知した。

- ・ 2024/05/27 深度 5.73 km
- ・ 2024/10/15 深度 5.02 km
- ・ 2024/10/24 深度 15.83 km
- ・ 2024/11/04 深度 9.55 km
- ・ 2025/02/12 深度 8.72 km

いずれの振源深度も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。



(左：本事業モニタリング結果、右：気象庁一元震源リスト)

図 4.4-4 2024 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

4.5 繰り返し弾性波探査（第7回モニター調査）

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。2024年度には、第7回モニター調査を実施した。

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もあわせて使用した。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年度の検討から、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ている。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。

2024年度のデータ取得は、2023年度に最適化した調査仕様にて実施した。取得したデータに対して標準的な反射法データ処理を行い、マイグレーション時間ボリュームを作成した。また、本調査で取得した記録に加えて、三次元ベースライン調査および第1回から第6回までのモニター調査で取得した記録を併用し、二酸化炭素貯留分布域推定を目的とした差分抽出処理を実施した。

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
2024 年 7 月(9 日間)	第 7 回モニター調査(小規模三次元調査)	30 万 t 圧入終了後 4 年 8 ヶ月

4.5.1 調査概要および調査測線

2024 年度の海上作業は 2024 年 7 月 14 日から同年 7 月 21 日までの 9 日間に実施した。図 4.5-1 に受発振測線位置図を示す。本調査では、南北方向 6 本の受振測線および東西方向 19 本の発振測線を設定した。萌別層貯留層の想定二酸化炭素分布域周辺を十分に含めるよう、三次元ベースライン調査の一部を拡張した領域で実施した。データ取得は、受振測線を 3 測線ずつの東西二区域（パッチ）に分割し、東側のパッチから実施した。

(1) 受振測線

三次元ベースライン調査の受振測線 10 本（西から R01～R10 とし、南北方向）のうち東側 6 本（西から R05～R10）について各測線を北側に 0.75 km 延長した 1.5 km 測線の受振測線を 300 m 間隔で設定した。R08 および R09 はシーバースとの安全な距離を確保しつつ、ベースライン調査時の敷設時と同位置に敷設した。今回は東側のパッチから調査を行うこととし、R08～R10 の 3 測線、R05～R07 の 3 測線を、それぞれパッチ 1、パッチ 2 とした。

(2) 発振測線

三次元ベースライン調査の発振測線 26 本（北から S01～S26 とし、東西方向）のうち北側 18 本（北から S01～S18）に北側（陸地側）に 1 本の測線（S00）を追加し全 19 測線とした。発振測線の間隔は 200 m である。発振範囲は、受振測線範囲に対して東西方向のオフセット約 1.0 km を確保する範囲である。S10～S12 の 3 測線は、間にシーバースを挟むため、東西（S10E～S12E と S10W～S12W）に区別する。各エアガン深度の制限から、大型発振船による発作業は水深 10 m 以上の海域のみで行い、水深 10 m 未満の海域では小型発振船による発振作業を行った。

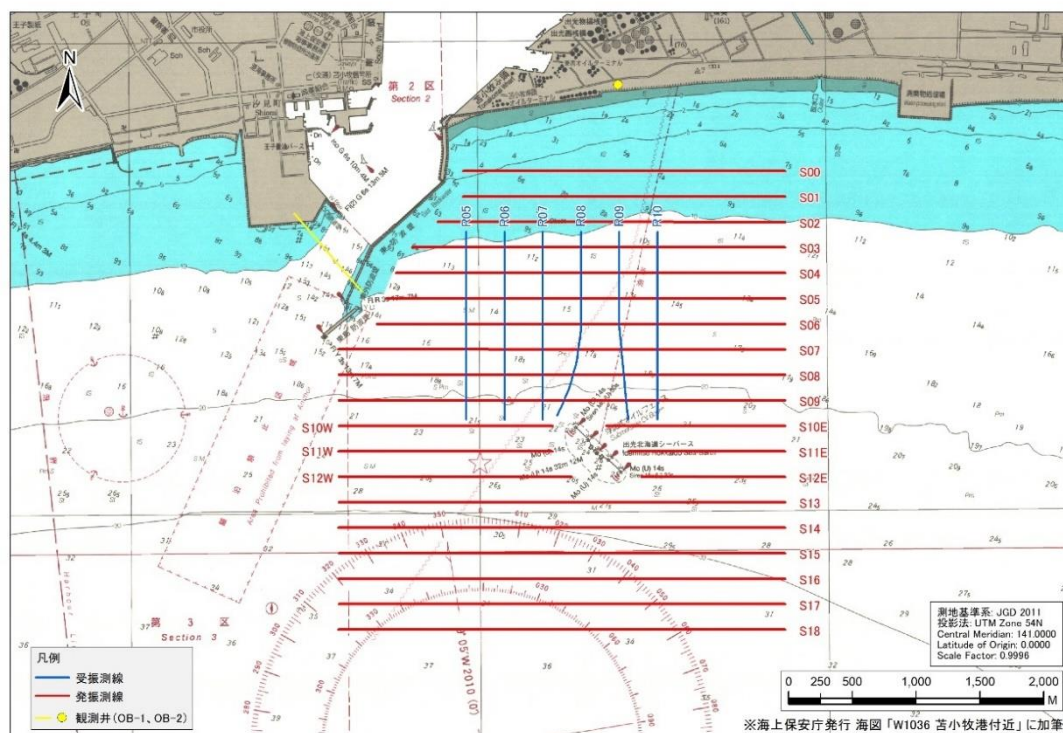


図 4.5-1 受発振測線位置図

4.5.2 作業実施内容

(1) 作業工程

作業工程を表 4.5-2 に示す。本調査では、作業船として以下 4 隻の船舶を使用した。各作業船は、必要に応じて警戒業務を行った。あわせて地元漁業協同組合より監視船を 2 隻/日(午前 1 隻・午後 1 隻) 傭船した。

1) ケーブル船「つしま」(以下、「ケーブル船」と称する。)

OBC の敷設、揚収作業を行った。

2) 観測船「ひろかい」(以下、「観測船」と称する。)

OBC 敷設後、船内の探鉱機と OBC を接続し観測作業を行った。観測作業中は前後のアンカーにて船舶の方向を固定し洋上停泊した。観測作業中、担当作業員(計測係、品質管理係)は観測船に継続して乗船した。

3) 大型発振船「いぶき」(以下、「大型発振船」と称する。)

水深 10 m 以深において、発振作業を行った。

4) 小型発振船「ゆめとび」(以下、「小型発振船」と称する。)

水深 10 m 以浅の浅海域において、発振作業を行った。

OBC の音響測位を行った。

表 4.5-2 作業工程 (1/2)

日付	作業内容	受振範囲	備考
7/9			大型発振船・小型発振船 苫小牧港入港
7/10	作業場開設、機材受領 ケーブル船・大型発振船艀装		場員入場 ケーブル船苫小牧港入港
7/11	ケーブル船・大型発振船・小型発振船艀装 OBC 積み込み作業		観測船苫小牧港入港
7/12	HSE ミーティング ケーブル船・大型発振船・小型発振船・観測船艀装 OBC 積み込み作業 調査海域予察 DAS 計測機設置		DAS 計測機は OB-1 および OB-2 坑井に設置
7/13	大型発振船・観測船艀装 R10、R09、R08 敷設 R10、R09、R08 音響測位 OB-1、OB-2 DAS 連続観測開始		海上作業開始 大型発振船洋上泊（夜間監視） 観測船洋上泊（アンカー固定）
7/14	発振作業	パッチ 1	大型発振船洋上泊（夜間監視） 観測船洋上泊（アンカー固定）
7/15	パッチ 1 観測作業	パッチ 1	大型発振船洋上泊（夜間監視） 観測船洋上泊（アンカー固定）
7/16	発振作業 R08、R09、R10 音響測位(2 回目)	パッチ 1	大型発振船洋上泊（夜間監視） 観測船洋上泊（アンカー解除）

表 4.5-2 作業工程 (2/2)

日付	作業内容	受振範囲	備考
7/17	R10、R09 揚収 R06、R05 敷設 R06 音響測位		大型発振船洋上泊（夜間監視）
7/18	R08 揚収 R07 敷設 R05、R07 音響測位 発振作業	パッチ 2	大型発振船洋上泊（夜間監視） 観測船洋上泊（アンカー固定）
7/19	発振作業	パッチ 2	大型発振船およびケーブル船入港 ※天候不良になったため作業中止
7/20	観測船修理、残置アンカー回収 発振作業	パッチ 2	大型発振船洋上泊（夜間監視） 観測船洋上泊（アンカー固定）
7/21	発振作業 R05、R06、R07 音響測位(2 回目) R07、R06 揚収	パッチ 2	大型発振船洋上泊（夜間監視）
7/22	R05 揚収（岸⇒沖） 大型発振船・観測船解装 OBC 陸揚げ作業 OB-1、OB-2 DAS 連続観測停止		観測船苫小牧港出港
7/23	大型発振船・小型発振船解装 OBC 陸揚げ作業		
7/24	ケーブル船解装 OBC およびエアガン機材発送 レンタカー返却 作業場閉鎖		場員離場 ※海況不良により観測船以外の 3 隻は翌日出港
7/25			ケーブル船・大型発振船・小型発振船苫小牧港出港

(2) 作業内容

① OBC 敷設作業

OBC の敷設に先立ち、予定海域の測深および予察を行い、漁具等の障害物の有無を確認した。OBC の敷設作業では、航法装置により誘導されるケーブル船が計画測線上を航行し、船尾から OBC を海中に投下することにより、予定位置に OBC を敷設した。

繰り返し弾性波探査では観測位置の再現性が差分抽出精度に大きく影響することから、受振点位置の設置精度に関して以下 1)~2)の基準を設定し、これを目安として OBC 敷設作業を行った。

1) 測線方向

測線両端の受振点位置が予定位置に対して ± 10 m の範囲にあること

2) 測線直交方向

各受振点位置が予定位置に対して ± 25 m の範囲にあること

OBC 敷設作業は 1 測線ごとに行い、OBC 敷設後直ちに音響測位（後述③）を実施し、各受振点位置を計測するとともに予定位置からの偏倚を求めた。受振点位置の偏倚が上記基準を満たさない場合は、原則として OBC を一旦揚収し、再敷設することとしていたが、本調査においては全測線とも基準を満たしたため、やり直しはなかった。

② 発振作業

航法装置により誘導される発振船が計画測線上を航行し、発振作業を行った。受振点位置と同様に、発振位置精度に関して下記 1)~2)の基準を設定し、これを目安として発振作業を行った。

1) 測線方向

各発振点位置が予定位置に対して ± 10 m の範囲にあること

2) 測線直交方向

各発振点位置が予定位置に対して ± 25 m の範囲にあること

③ 海上測量作業

海上測量作業は GNSS (Global Navigation Satellite System : 全球測位衛星システム) 測位により行った。GNSS 補正データは、静止衛星型衛星航法補強システム (SBAS, satellite-based augmentation system) を利用し取得した。OBC の敷設および発振船の誘導には、小型航法システム CHiPS2 を用いた。同システムでは、GNSS 受信機による位置データ、ジャイロコンパスの方位データ、測深器の水深データ等を毎秒取り込み、船舶と測

線の位置関係を表示する。作業船の操船係はこの表示を見ながら操船し、作業船を計画測線に誘導した。

発振位置は、発振予定位置にエアガン本体が到達したときに発振するため、ジャイロコンパスの方位データを用いて GNSS 測位位置(GNSS 受信アンテナ位置)から曳航しているエアガン位置を算出し、常にオフセット計算された振源位置での発振制御を行った。

海域の受振器(OBC)の位置は、敷設後に音響測位により決定した。音響測位は、音響受信装置(トランスポンダ)と小型発振船に取り付けた音響発信機(トランスデューサー)の間で音波による距離測定を行い、各トランスポンダの位置を測定するものである。なお、測位作業は敷設直後と敷設期間中の2回実施した。

(3) データ取得仕様

受振仕様、発振仕様、記録仕様および測地諸元を以下に示す。

① 受振仕様

(OBC)

- ・ケーブル長 : 1,500 m/測線
- ・受振測線数 : 6 測線
- ・受振測線間隔 : 300 m 間隔
- ・受振点間隔 : 25 m
- ・成分 : 4 成分 (3 成分加速度型ジオフォンおよびハイドロフォン)
- ・受振器数/点 : 1 個
- ・受振周波数 : 0~400 Hz (ジオフォン)
: 3~1,600 Hz (ハイドロフォン)
- ・受振点数 : 60 点/測線
- ・チャンネル数 : 1,440 ch. (4 成分×60 点×6 測線)

(DAS : Distributed Acoustic Sensing、光ファイバー型受振器)

- ・受振測線数 : 2 測線 (観測井 OB-1、OB-2 の坑内)
- ・ケーブル長 : 2,480.91 m (OB-1)、1043.41 m (OB-2)
- ・受振点間隔 : 2.04 m
- ・受振点数 : 1216 点 (OB-1)、512 点 (OB-2)
- ・データ収録装置 : Silixa 社製 iDAS

- ・ケーブル種別 : シングルモードファイバー
- ・サンプリング間隔 : 2 ms
- ・記録長 : 連続観測

② 発振仕様

- ・振源 : エアガン (大型および小型)
- ・容量 : 1,050 cu.in. (大型エアガン)、480 cu.in. (小型エアガン)
- ・圧力 : 2,000 psi
- ・発振深度 : 6 m (大型エアガン)、2 m (小型エアガン)
- ・発振測線長 : 2,600～3,500 m
- ・発振測線数 : 19 測線
- ・発振測線間隔 : 200 m
- ・発振点間隔 : 25 m

③ 記録仕様

(OBC)

- ・データ収録装置 : デジタルテレメトリシステム (SeaRay)
- ・展開方法 : 全受振点による固定展開
- ・記録チャンネル数 : 1,440 ch.
- ・サンプリング間隔 : 2 ms
- ・記録長 : 6 s
- ・低域遮断周波数 : Out
- ・高域遮断周波数 : 200 Hz
- ・プリアンプゲイン (ハイドロフォンのみ) : 12 dB
- ・デシメーションフィルタ : Minimum Phase
- ・記録形式 : SEG-D

測地諸元

- ・準拠楕円体 : WGS84
- ・長半径 : 6,378,137.000 m
- ・短半径 : 6,356,752.314 m
- ・投影法 : Universal Transverse Mercator (UTM 図法)
- ・系番号 : 54
- ・座標原点 緯度 : 00°00'00.000" N

- ・座標原点 経度 : 141°00'00.000" E
- ・縮尺係数 : 0.9996
- ・北方加数 : 0.0 m
- ・東方加数 : 500,000.0 m

(4) 主要機材

① 海上探査用機器

- ・データ収録装置 : Sercel SeaRay-OBC
- ・受振器 : 3Hz Hydrophone SH-001
: 0~400Hz DSU-428 (3成分加速度計)
- ・エアガン制御装置 : RTS Hot Shot ガンコントローラー
- ・エアガン : BOLT 1500LLX Clustet Gun (1,050 cu.in.)
: BOLT 2800LLX Two-Cluster Air Gun (480 cu.in.)
- ・エアコンプレッサー : NCA-14-172-DSD (500 SCFM)
: 三和鉄工所 4S50A-15M-P45 (70 SCFM)
: 加地テック WH-3A-ZZE (35 SCFM)
- ・無線制御装置 : INOVA SHOT PRO II
- ・無線機 : VHF (169.09 MHz, 149.49 MHz) 10W、5W、1W

② DAS 計測機器

- ・DGPS 受信機 : 光ファイバー入り 6 芯硬鋼線アーマードケーブル
: 外径 12.0 mm
: 耐熱 150℃
: 光ファイバー SM2 本、MM4 本
- ・弾性波測定機 : 光ファイバー分布型音響センシング装置 (iDAS)
: サンプルング周波数 1kHz~100kHz
: 周波数レンジ 0.01Hz~50kHz
: 最大測定範囲 40 km
: 空間分解能 1 m
: ゲージ長 10 m
: 光ファイバー SM、MM

③ 海上測量機器

- ・ GNSS 受信機 : ニコン・トリンブル SPS855、SPS751MAX
- ・ GNSS ジャイロ : Hemisphere Vector V113 GPS Compass
- ・ 測深器 : KONGSBERG EA600 EchoSounder
- ・ 小型航法システム : JGI CHiPS2
- ・ 音響測位システム : SonarDyne Acoustic Positioning System
- ・ エアガン測位装置 : SeaMap 製 BuoyLink 4DX
- ・ 精密時刻発生器 : JGI 製 GPS-TL
- ・ トリガーインターフェース : JGI 製

4.5.3 データ取得結果

(1) 作業実績

本調査の各調査測線の作業実績を表 4.5-3 に示す。

表 4.5-3 三次元調査エアガン発振作業実績

受振測線 受振点数/測線長	発振測線/発振点数							
	大型エアガン						小型エアガン	
R05:60 点/1,500 m	S01	82	S07	141	S13	141	S00	102
R06:60 点/1,500 m	S02	95	S08	141	S14	141	S01	22
R07:60 点/1,500 m	S03	105	S09	141	S15	141	S02	17
	S04	123	S10	125	S16	141	S03	15
	S05	126	S11	118	S17	141		
	S06	129	S12	120	S18	141		
	合計 2,292 点						合計 156 点	
R08:60 点/1,500 m	S01	82	S07	141	S13	141	S00	102
R09:60 点/1,500 m	S02	95	S08	141	S14	141	S01	22
R10:60 点/1,500 m	S03	105	S09	141	S15	141	S02	17
	S04	123	S10	125	S16	141	S03	15
	S05	126	S11	118	S17	141		
	S06	129	S12	120	S18	141		
	合計 2,292 点						合計 156 点	

(2) 取得データの品質

図 4.5-2 (1)～(5)に、本調査で取得した発振記録例を示す。時折、自然地震や大型船舶による一過性ノイズの混入が認められるものの、おおむね良好な品質の記録が得られた。DAS で取得された記録は、坑井傾斜部を除きノイズの多い記録であった。

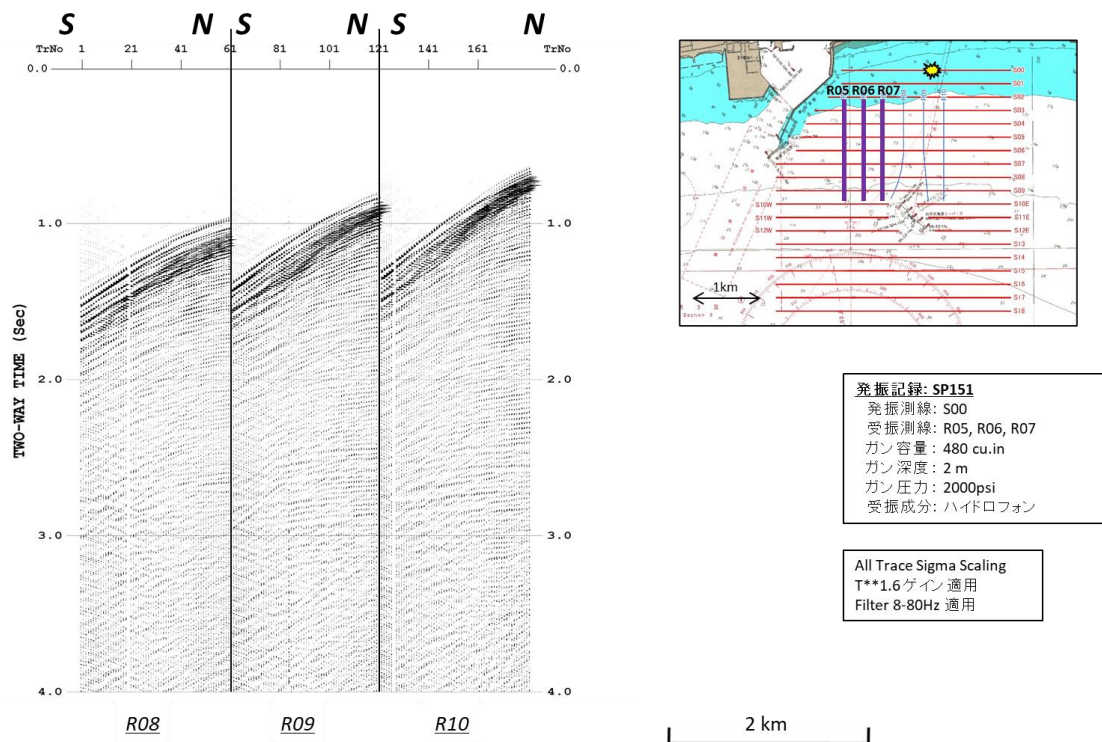


図 4.5-2 (1) 発振記録例 S00 SP0151 小型エアガン ハイドロフォン

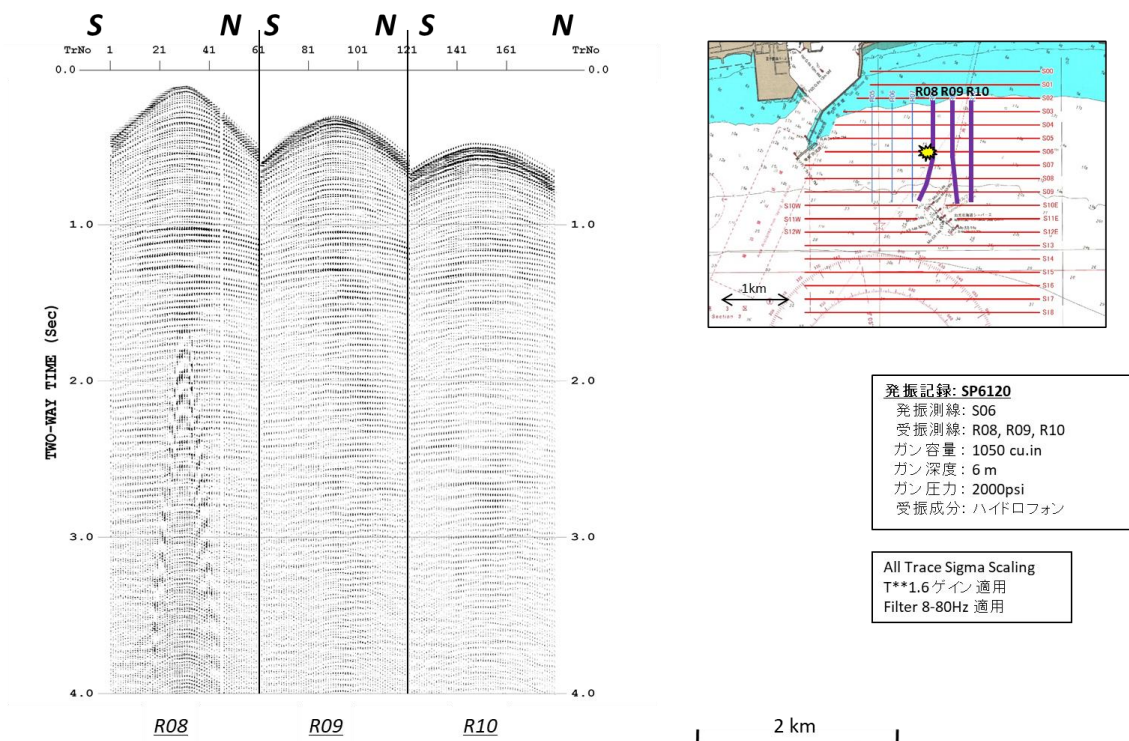


図 4.5-2 (2) 発振記録例 S06 SP6120 大型エアガン ハイドロフォン

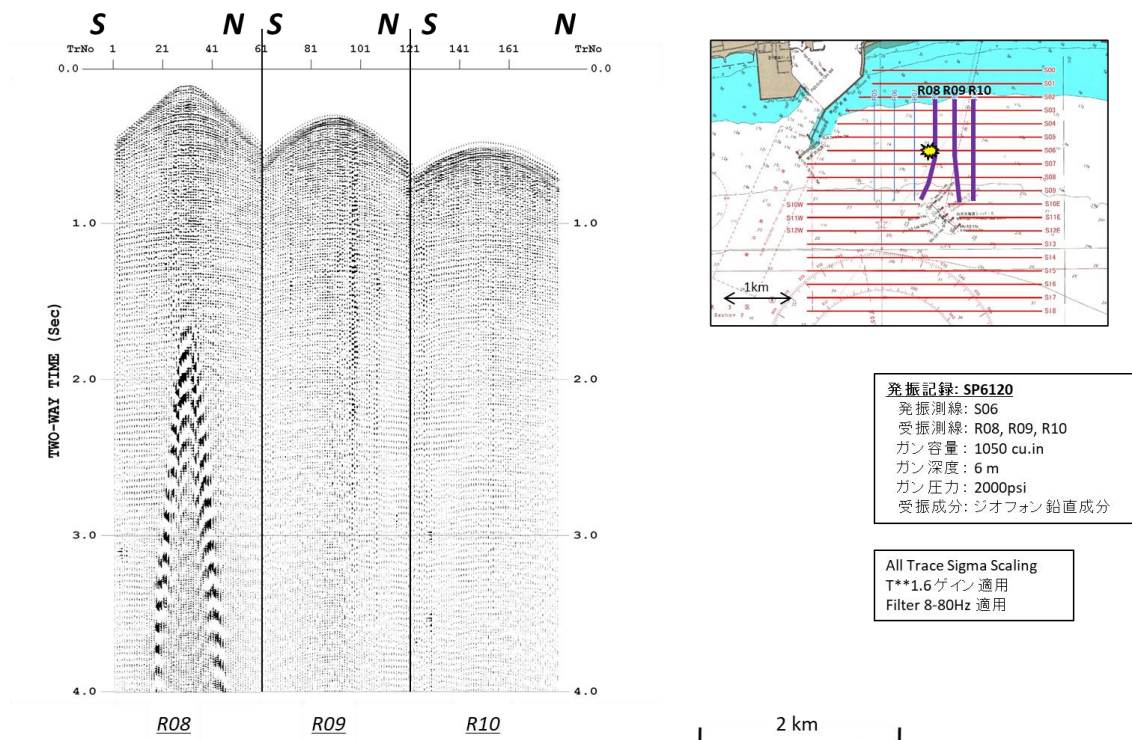


図 4.5-2 (3) 発振記録例 S06 SP6120 大型エアガン ジオフォン鉛直成分

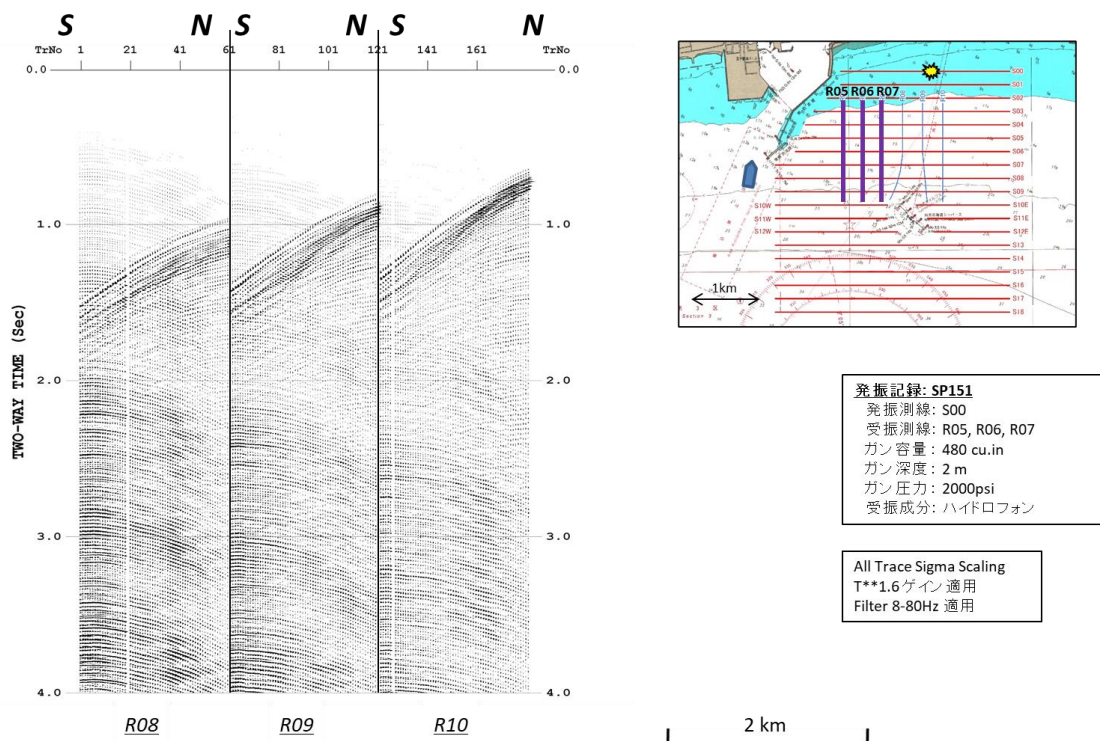


図 4.5-2 (4) 発振記録例 S00 SP0151 小型エアガン (船舶ノイズ入り)

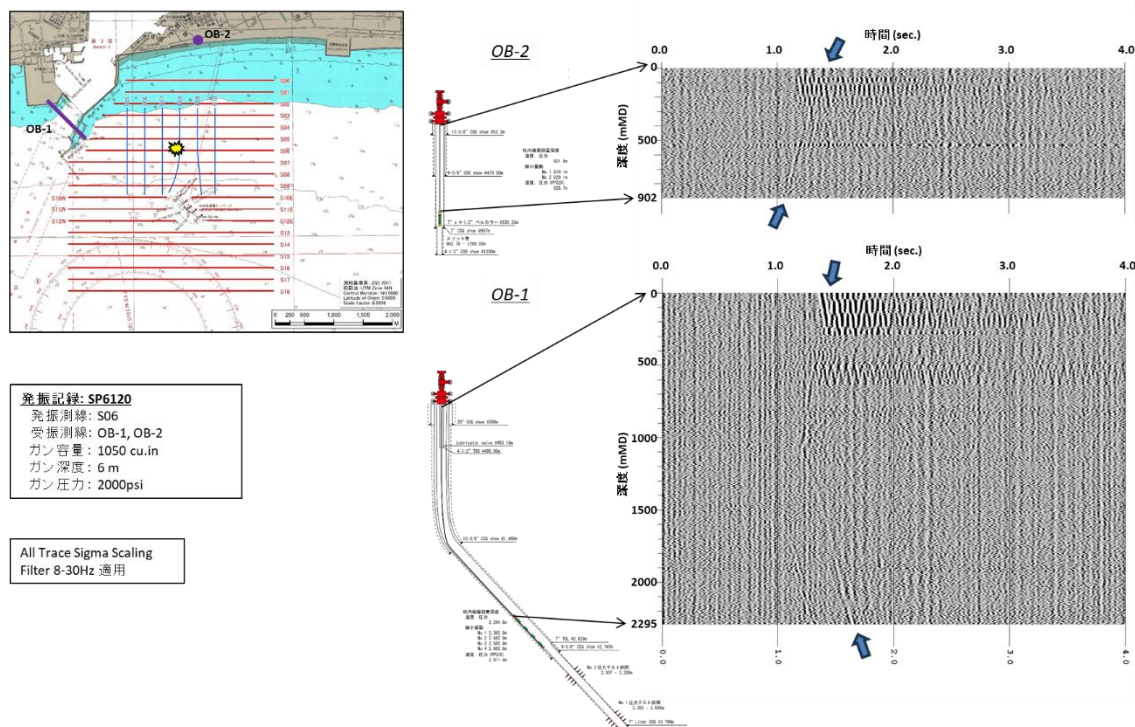


図 4.5-2 (5) 発振記録例 S06 SP6120 大型エアガン DAS

4.5.4 差分抽出処理

図 4.5-3 に示すフローに従って、三次元反射法データ処理を実施した。2023 年度解析結果を踏まえ、内挿処理を追加した。図 4.5-4 にデータ処理に用いた重合エリアを示す。

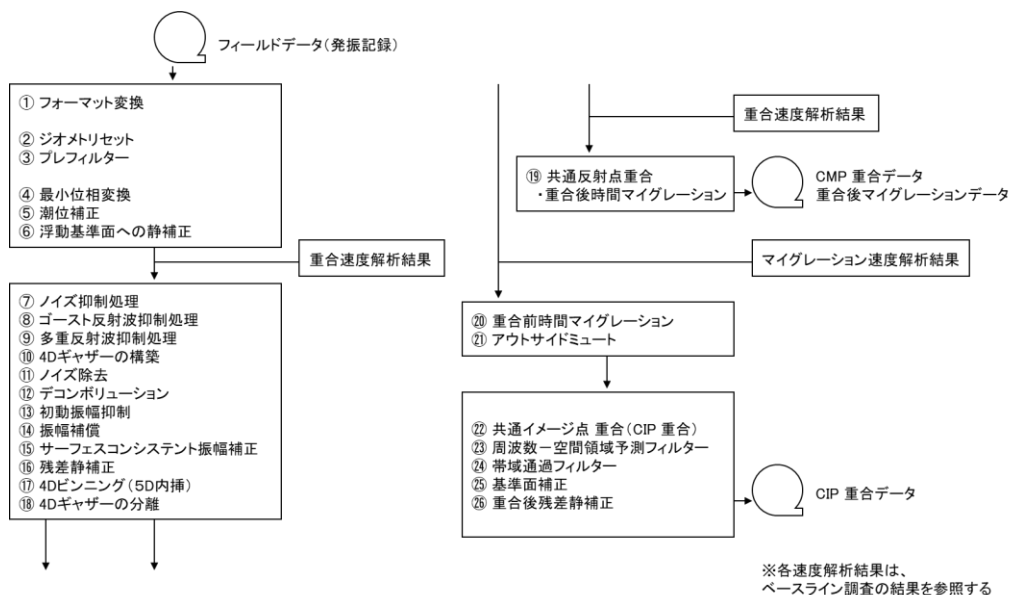


図 4.5-3 三次元反射法データ処理フロー

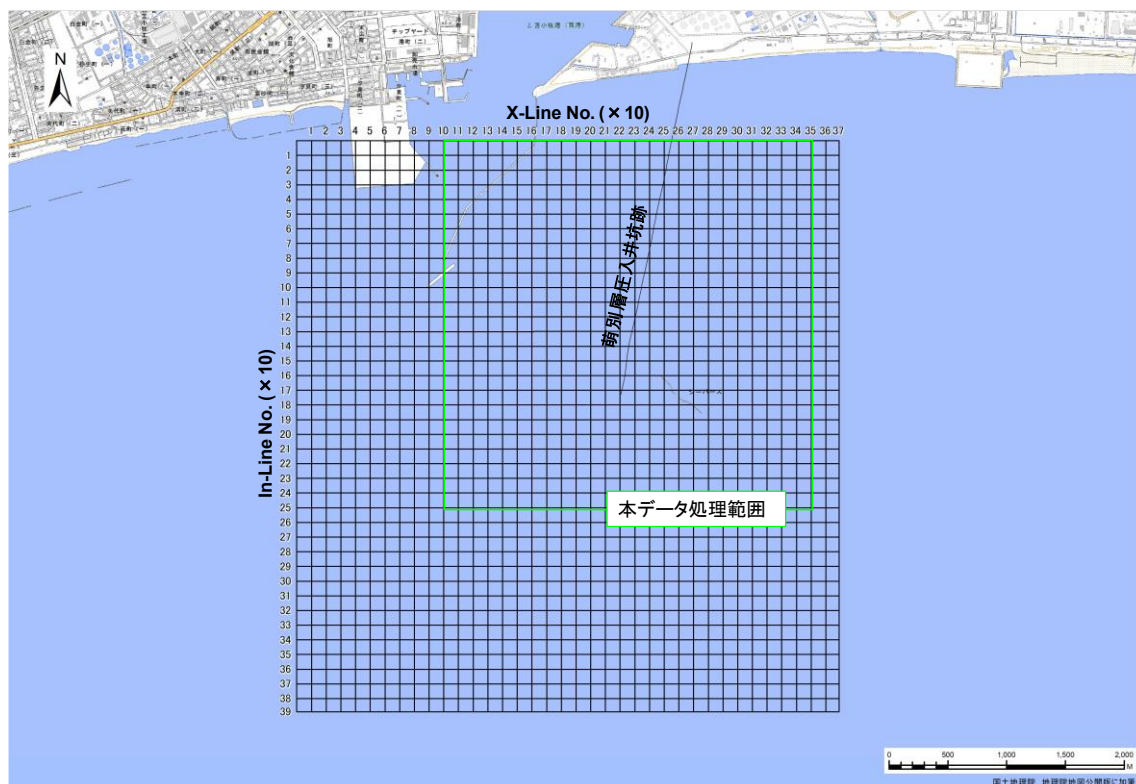


図 4.5-4 三次元反射法データ処理エリア

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 回モニター調査および第 3 回モニター調査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、「三次元統合ベースライン調査」と称する。）として、各モニター調査記録との差分記録の反射法ボリュームを作成した。

図 4.5-5 に、三次元統合ベースライン調査記録、本調査記録、および差分記録の例として、反射法ボリュームのうち、萌別層圧入井の坑跡に沿った鉛直断面図を示す。三次元統合ベースライン調査記録（BASE）と本調査記録（2024）を比較すると、どちらも同程度の品質を有しており、また、差分記録（DIFF）上では、萌別層砂岩層上面深度付近（往復走時約 1 s に対応、断面中に黒矢印、平面図に白矢印で示した部分）に引き続き明瞭な振幅異常が認められ、二酸化炭素の圧入に伴い地下の物性が変化したことを示している。

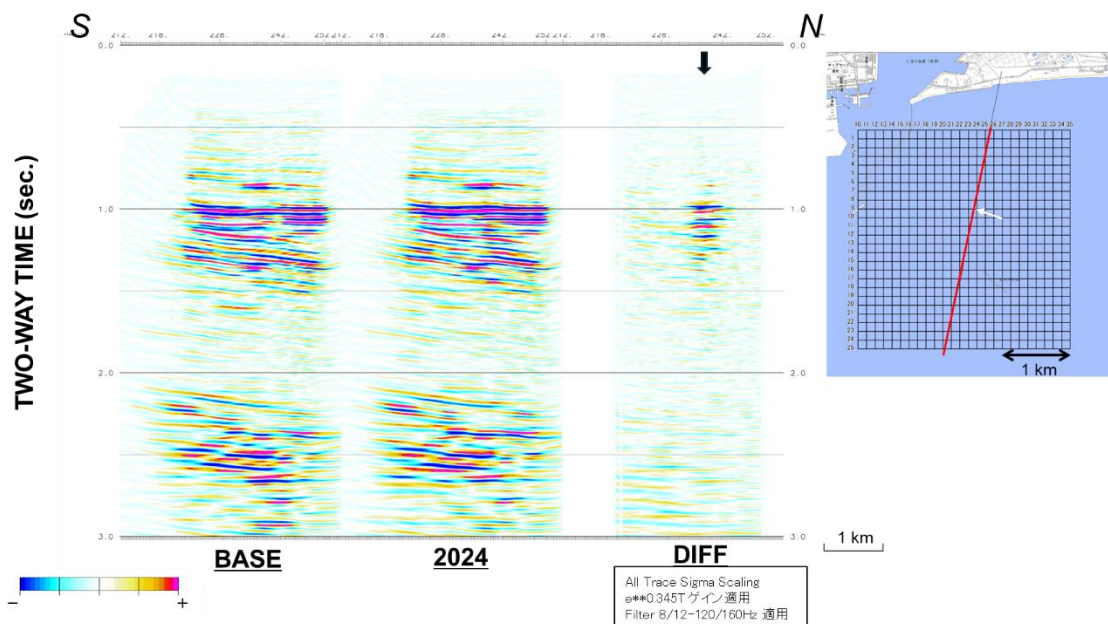


図 4.5-5 三次元反射法データ処理結果（坑跡に沿った鉛直断面）

図 4.5-6 (1)、(2)に、第 2 回から第 6 回モニター調査（2017～2022 年度）と本調査（2024 年度）の差分抽出処理結果を示す。上段が主に圧入中から圧入後 2 ヶ月にかけてのベースラインと各年度に取得されたデータ（2017、2018、2021 年度）、下段が圧入後 8 ヶ月経過後以降に取得されたデータ（2020、2022、2024 年度）の遮蔽層相当深度、ならびに貯留層相当深度における水平分布における差分を、NRMS（Normalized Root Mean Square）値として示している。NRMS 値で示されている振幅異常は、圧入中には拡大していたが、圧入終了後は、2024 年度の調査の結果においても顕著な変化は見られない。

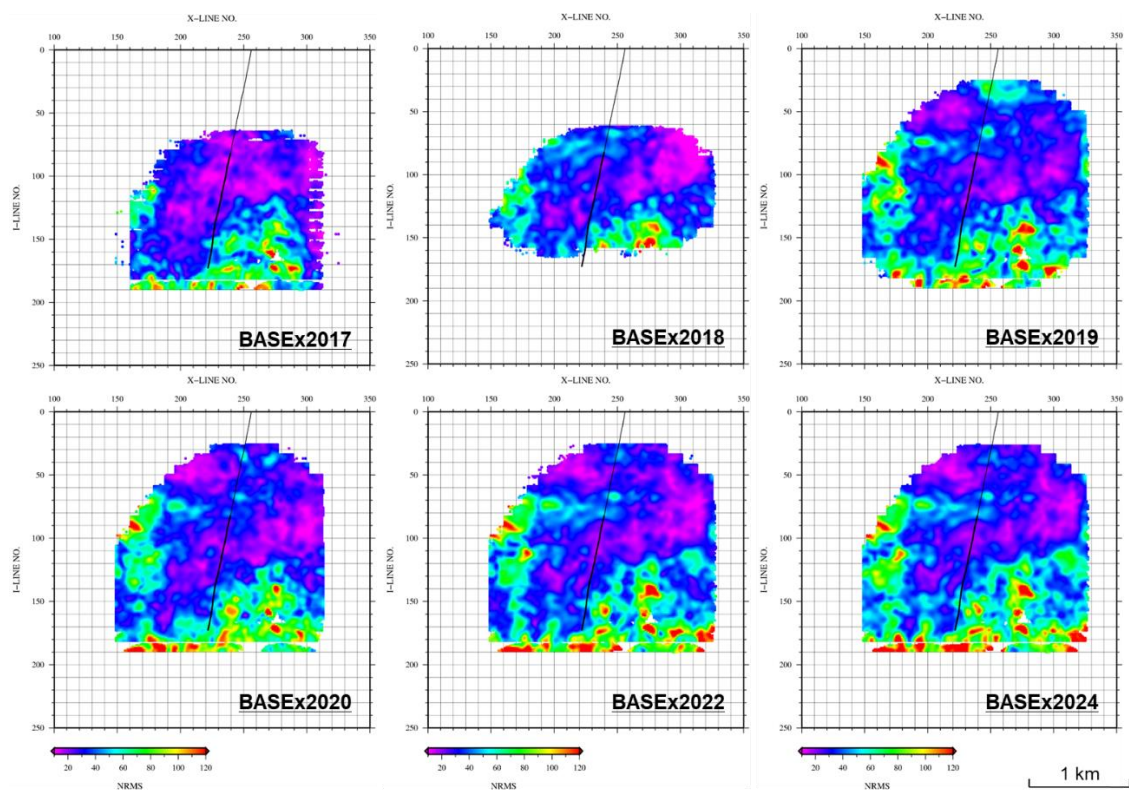


図 4.5-6 (1) 三次元反射法データ差分抽出結果（遮蔽層区間:810-890 ms）

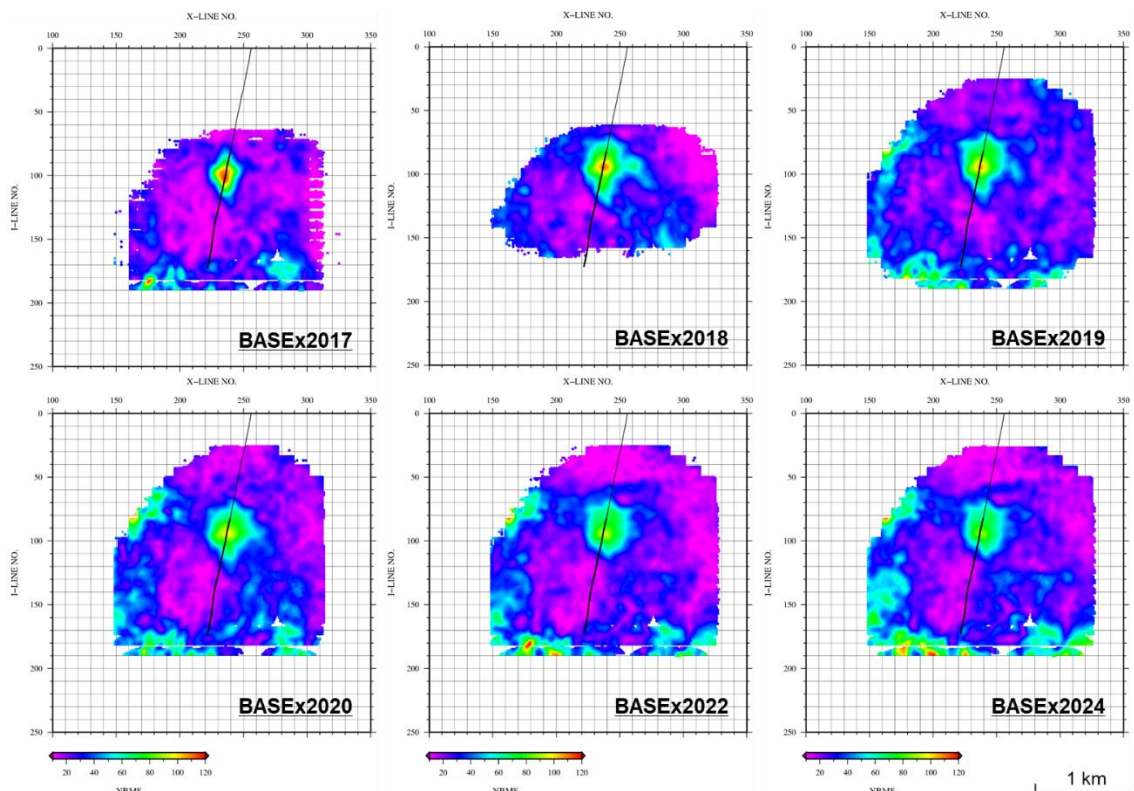


図 4.5-6 (2) 三次元反射法データ差分抽出結果（貯留層区間: 970-1050 ms）

4.5.5 考察

圧入期間中では、2017年(約6.5万t圧入時点)と2018年(約20.7万t圧入時点)の差分記録の比較により、圧入の進展に伴い変化領域が広がる様子が確認できている。一方で、2018年(約20.7万t圧入時点)と2019年(30万t圧入時点)では、明確な変化は確認できない。これは20.7万tから30万tにおけるプルームの体積変化が、6.5万tから20.7万tと比べて小さいために、弾性波探査では検出できなかったことが想定される。他方、現状のタイムラプス処理では検出が難しい微小な物性変化が貯留層内で生じていたことも考えられる。これら変化の原因については、タイムラプス処理の分解能や品質向上により検出できる可能性があるため、引き続き解析手法の検討を続けたいと考えている。

30万t圧入終了後について、2020年以降のモニター調査の処理結果(差分抽出結果)におけるプルームの直径の差異は小さく、圧入終了後における二酸化炭素の貯留層内での移動も引き続き発生していないと考えられる。後述する貯留層シミュレーションによる二酸化炭素飽和率分布も同様の傾向を示している。

また、遮蔽層区間の差分抽出結果(図4.5-6(1))からは、貯留層よりも上位の振幅異常について、変化はほとんど見られていないことから、少なくとも貯留層より浅部の遮蔽層区間への二酸化炭素の上下方向の移動がないと考えられる。すなわち、2024年の調査時点においても、これまでの調査結果と同様に、新たな亀裂等による漏洩経路は遮蔽層に発生しておらず、貯留層区間外への漏出等は生じていないと考えている。

以上の結果より、圧入した二酸化炭素が想定通りに貯留層内に存在していると考えられる。

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、2024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、2024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。

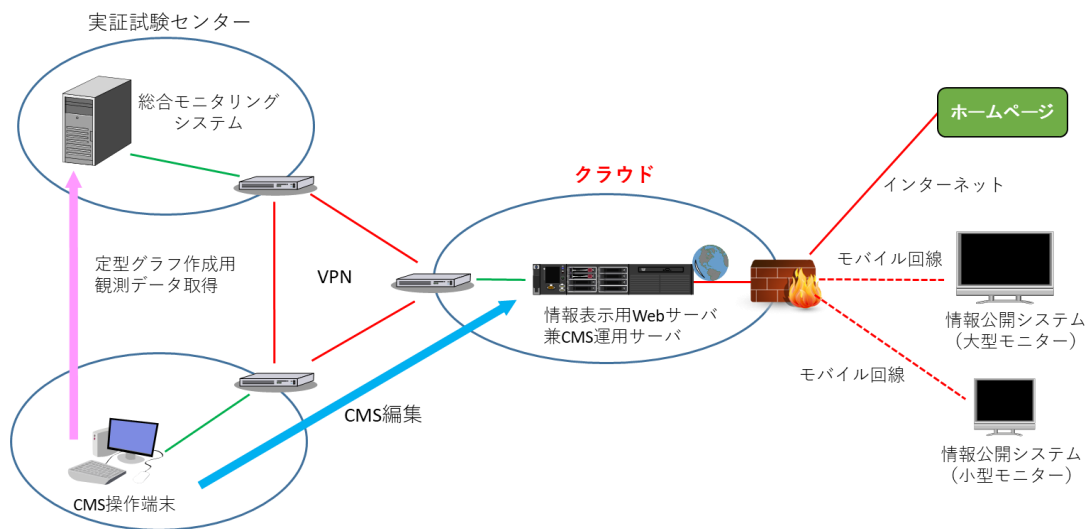


図 4.6-1 情報公開システムのシステム構成概念図

*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。

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^{*3)}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、2020 年 1 月以降は圧入を停止しているため、30 万 t 達成したことを表示している。図 4.6-2 (1)～(3)に 2024 年 4 月次の情報公開用画面を示す。

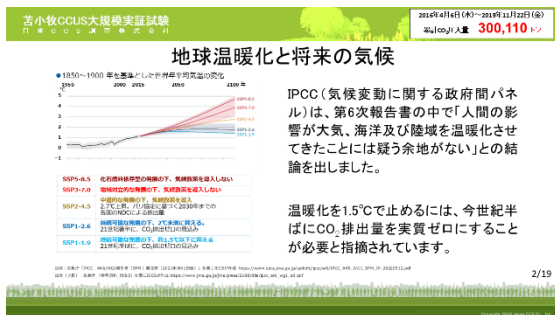
表 4.6-2 情報公開用画面の表示内容

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 ・前日の CO ₂ 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 CO ₂ 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 ・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 ・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 ・圧入前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）

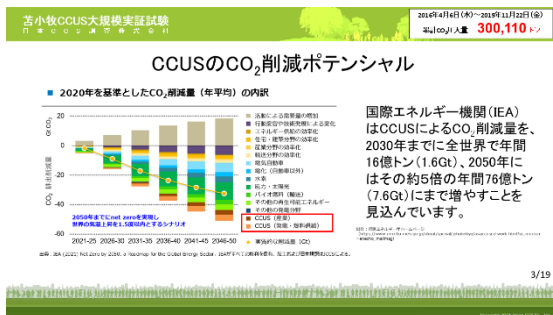
^{*3)} 情報公開用画面は以下の URL より最新版、バックナンバーが確認できる。
<https://www.jccs-tomakomai-monitoring.com/JCCS/index.php/top/>



画面 1



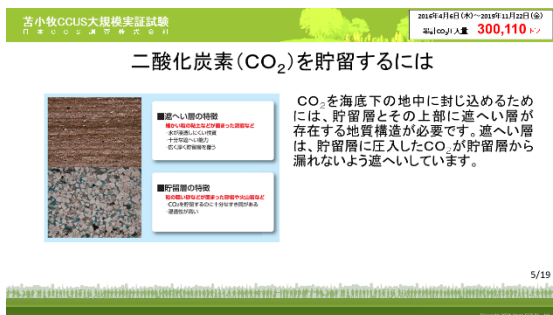
画面 2



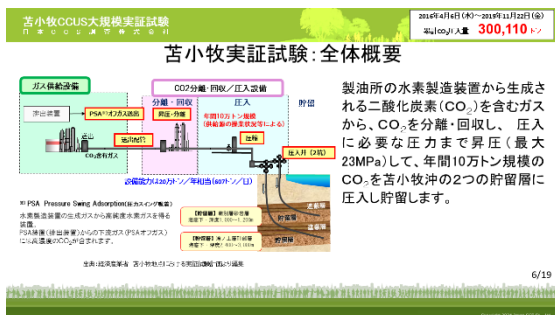
画面 3



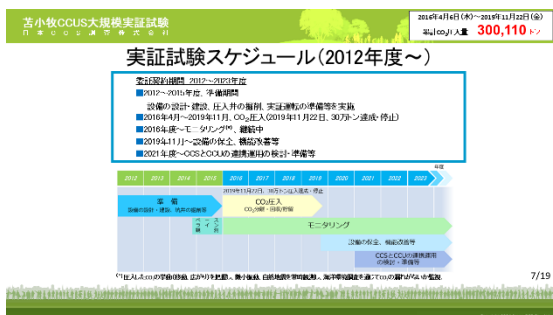
画面 4



画面 5



画面 6

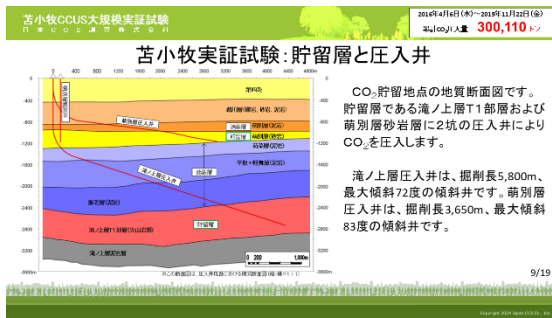


画面 7



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



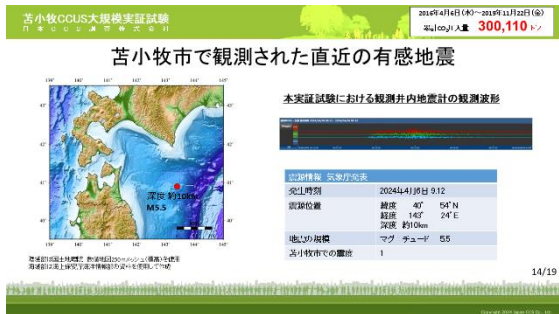
画面 11



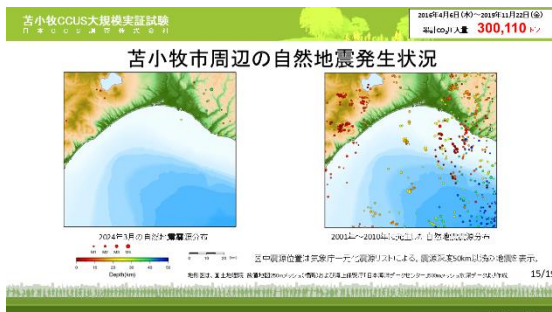
画面 12



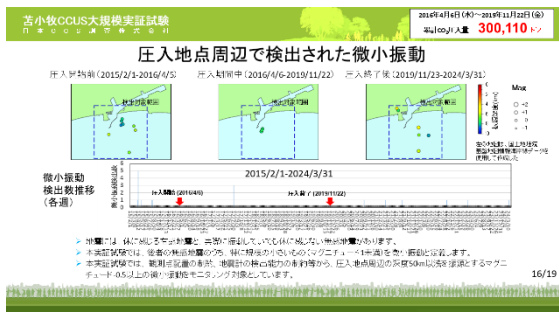
画面 13



画面 14

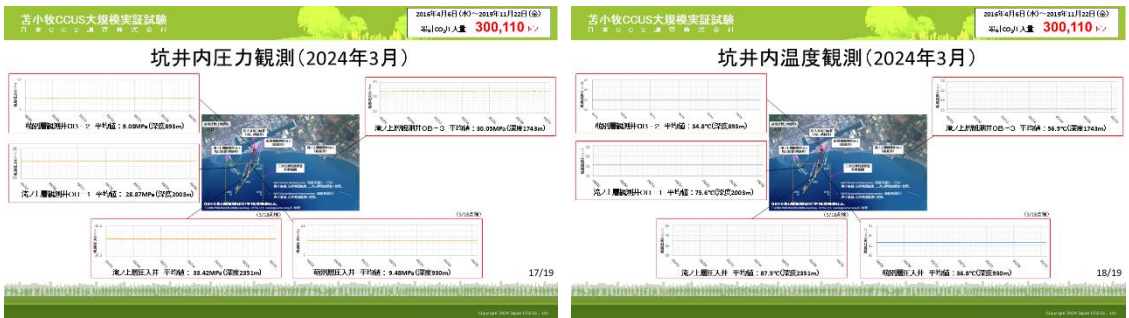


画面 15

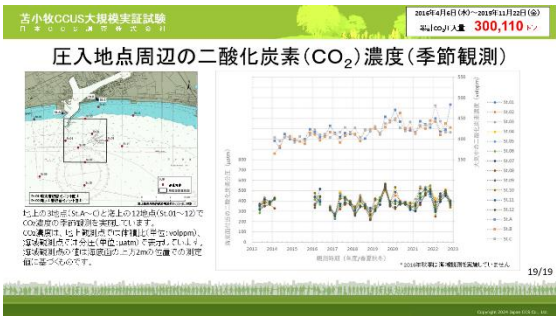


画面 16

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 2024 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。掲載した更新画面の 1 例を図 4.6-3 に示す。



図 4.6-3 画面 1 更新 (2024 年 8 月掲載)

② 画面 2 から画面 13 の更新

2024 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。掲載した更新画面の 1 例を図 4.6-4 に示す。

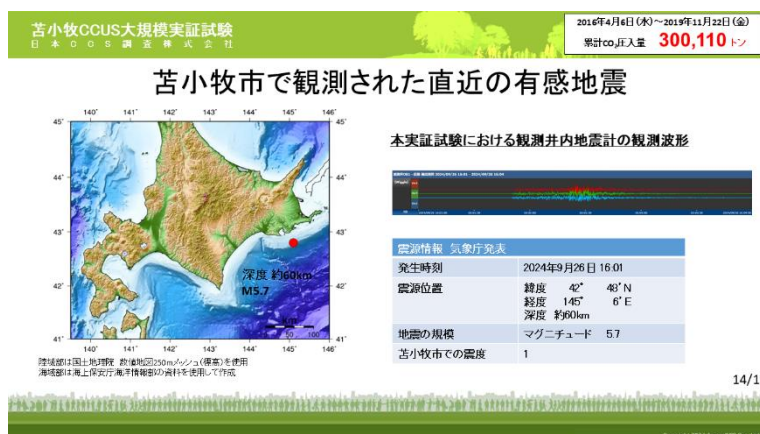


図 4.6-4 画面 14 更新 (2024 年 9 月掲載)

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 50 km×南北 38 km

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ている。1例として2024年9月掲載の結果を図4.6-5に示す。

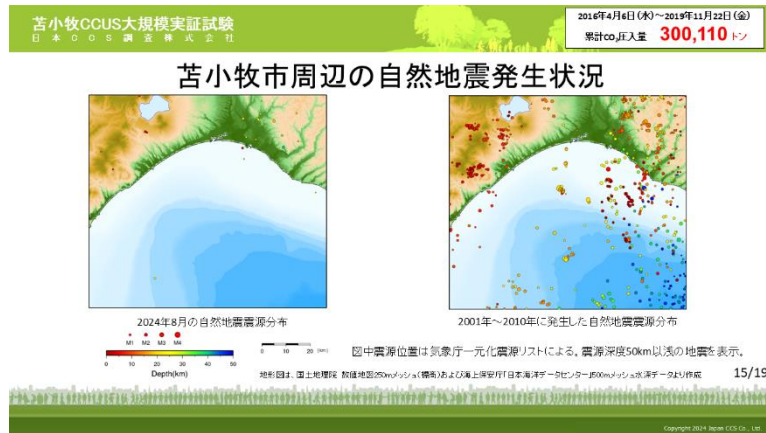


図 4.6-5 画面 15 更新 (2024 年 9 月掲載)

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 6 km×南北 6 km 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。1例として2024年9月の更新画面を図4.6-6に示す。

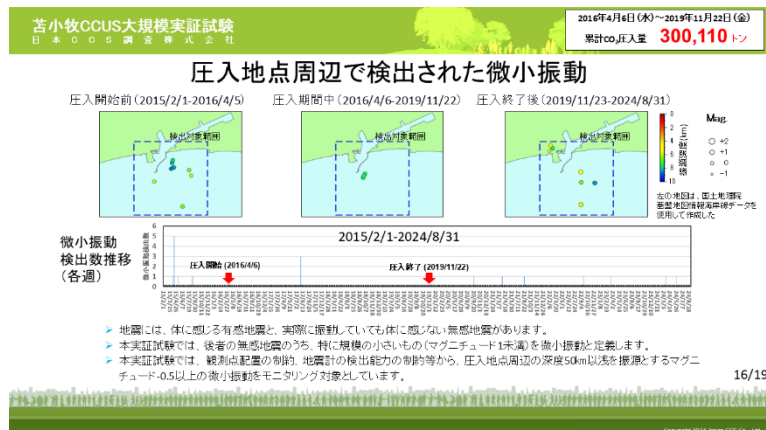


図 4.6-6 画面 16 更新 (2024 年 9 月掲載)

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。1例として2024年9月の更新画面を図4.6-7に示す。

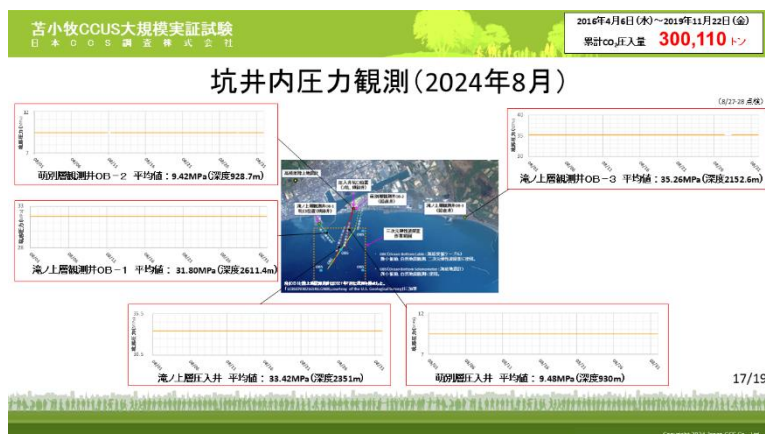


図 4.6-7 画面 17 更新 (2024 年 9 月掲載)

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。1 例として 2024 年 9 月の更新画面を図 4.6-8 に示す。

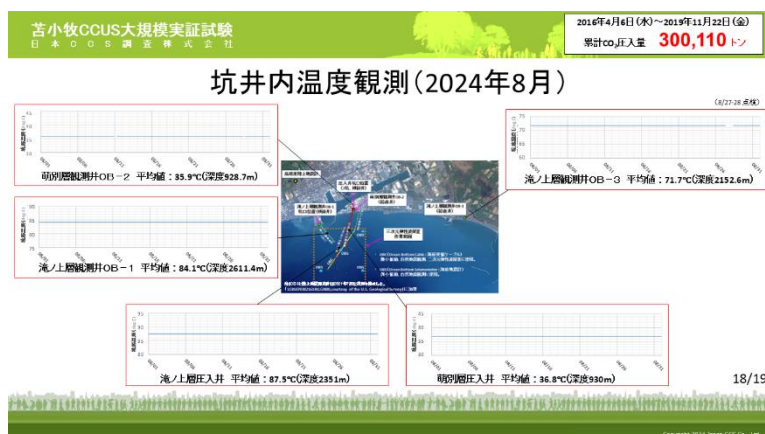


図 4.6-8 画面 18 更新 (2024 年 9 月掲載)

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。1 例として 2025 年 1 月の更新画面を図 4.6-9 に示す。

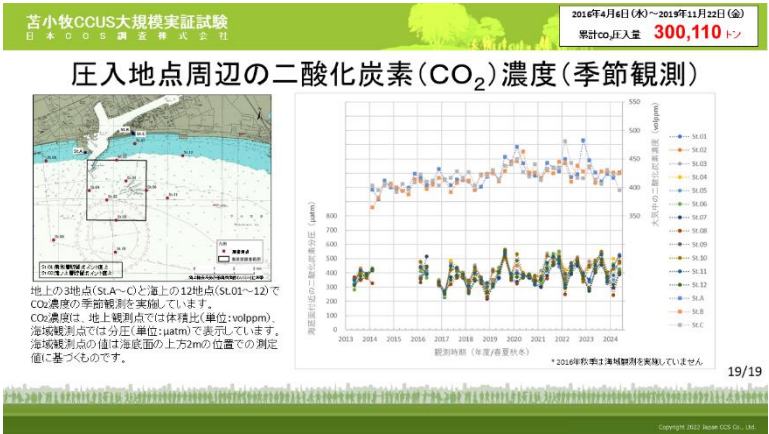


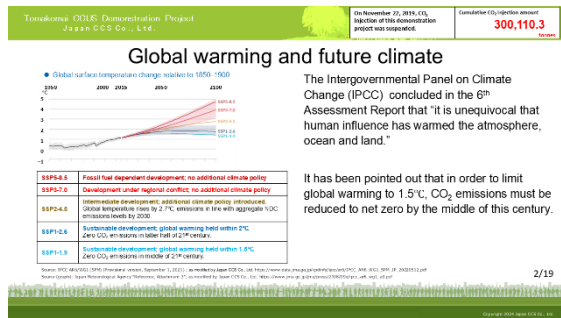
図 4.6-9 画面 19 の更新 (2025 年 1 月掲載)

(3) 英語版による情報公開

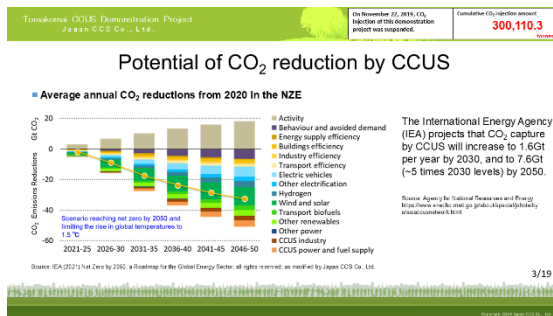
2018年5月31日からホームページ上での英語版の情報公開画面の運用を開始した。画面の構成および表示内容は日本語版と同じである。図4.6-10(1)~(3)に情報公開用画面の例を示す。



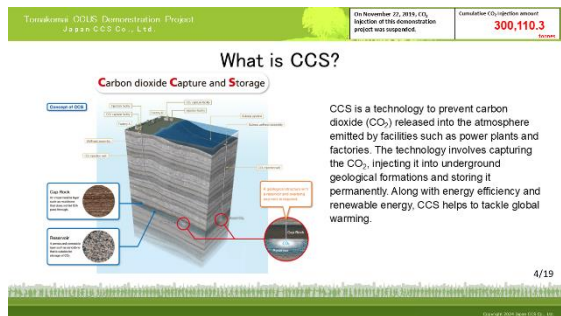
画面 1



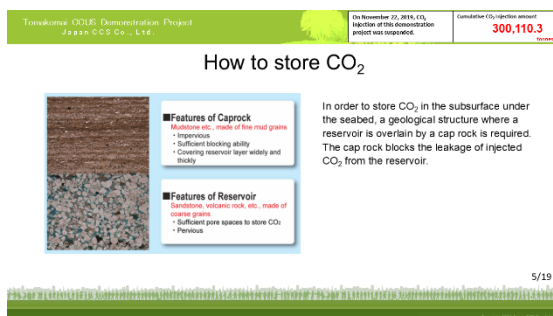
画面 2



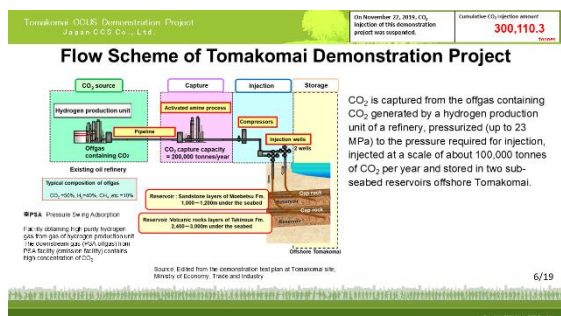
画面 3



画面 4

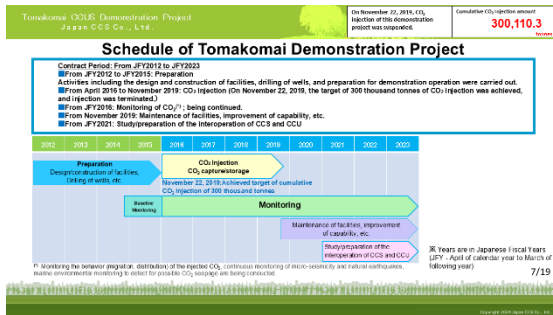


画面 5



画面 6

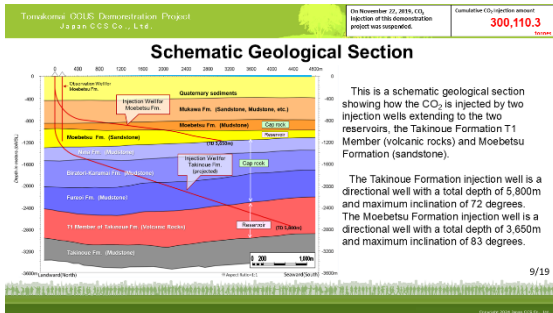
図 4.6-10 (1) 英語版の情報公開用画面例 (画面 1~6)



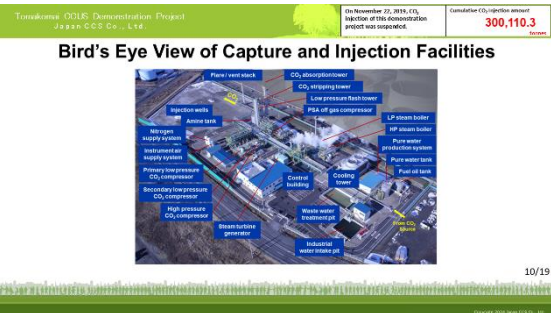
画面 7



画面 8



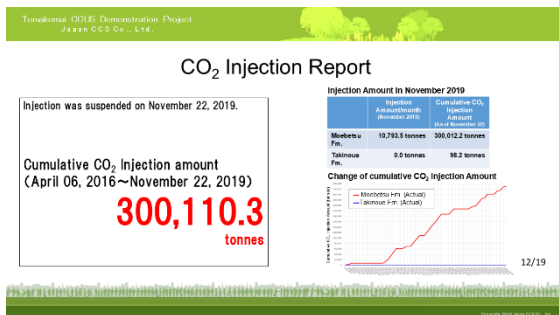
画面 9



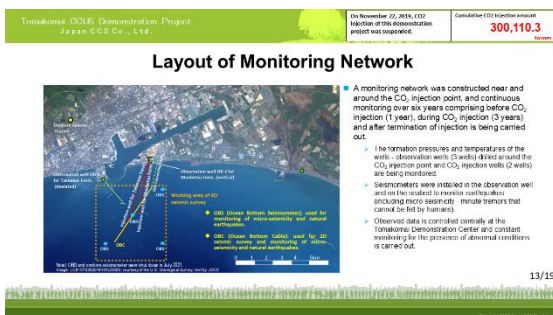
画面 10



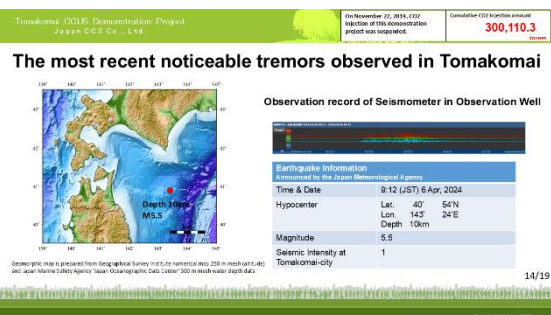
画面 11



画面 12

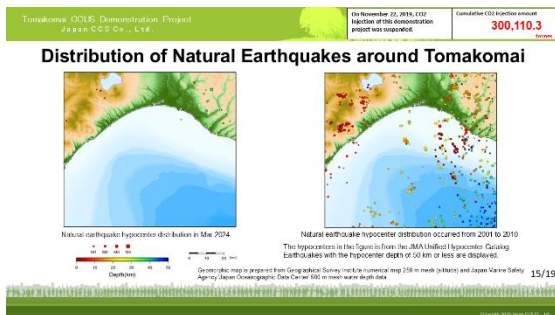


画面 13

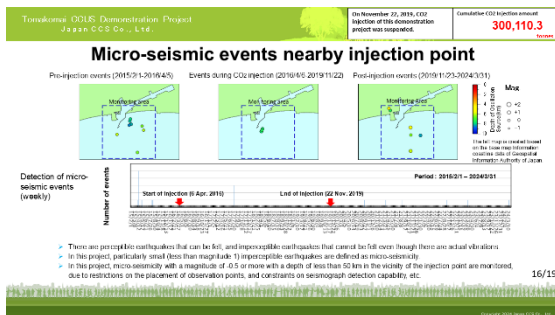


画面 14

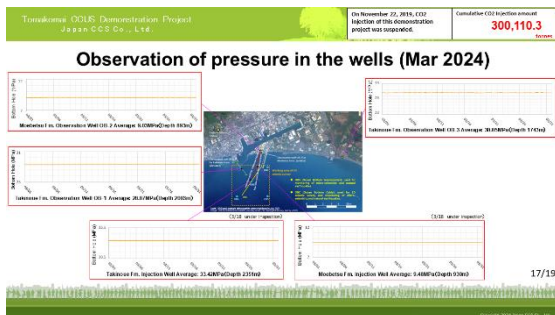
図 4.6-10 (2) 英語版の情報公開用画面例 (画面 7~14)



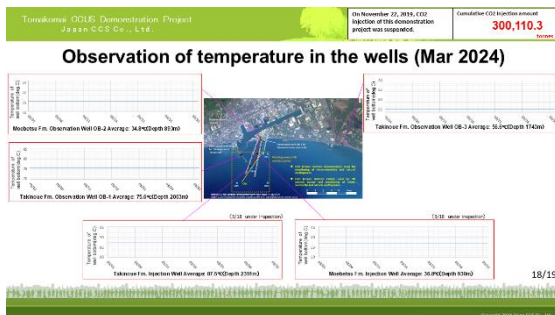
画面 15



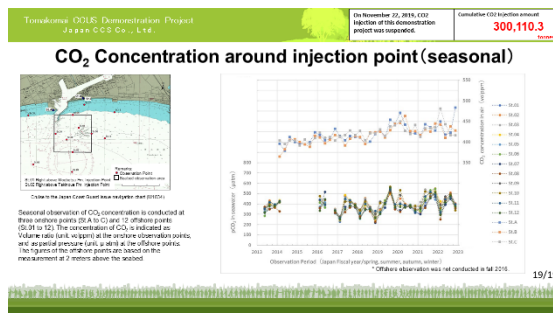
画面 16



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換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*4)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、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いる。現状では、データ公開システムは運用されていないが、2024年度も運用体制の継続のために、2023年度に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。

*4) <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
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。

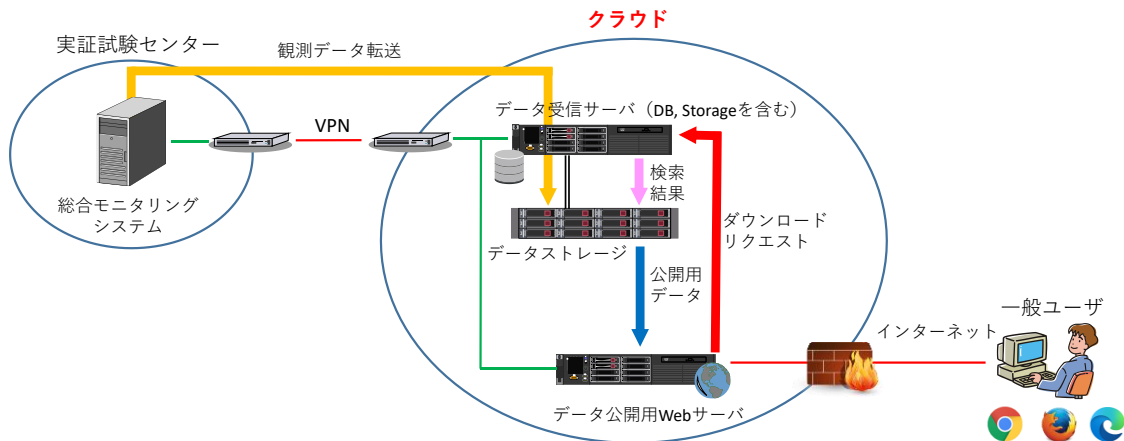


図 4.6-11 データ公開システムのシステム構成概念図

(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^{*5)}の入力を条件^{*6)}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^{*7)}を自動発行する。利用者の情報は、ユーザー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。

*5) 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。

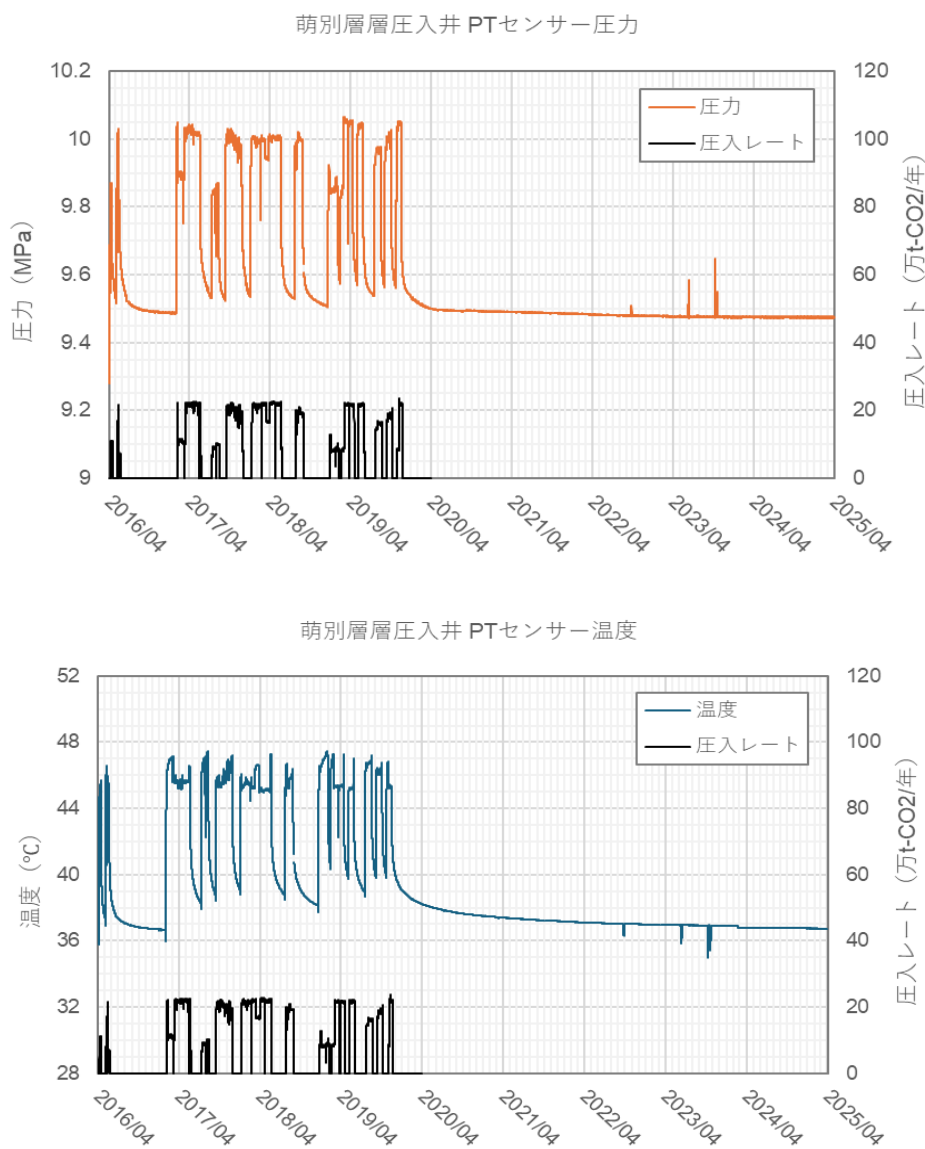
*6) メールアドレスを含む個人情報の入力をユーザーID 発行の条件としていない。

*7) 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。

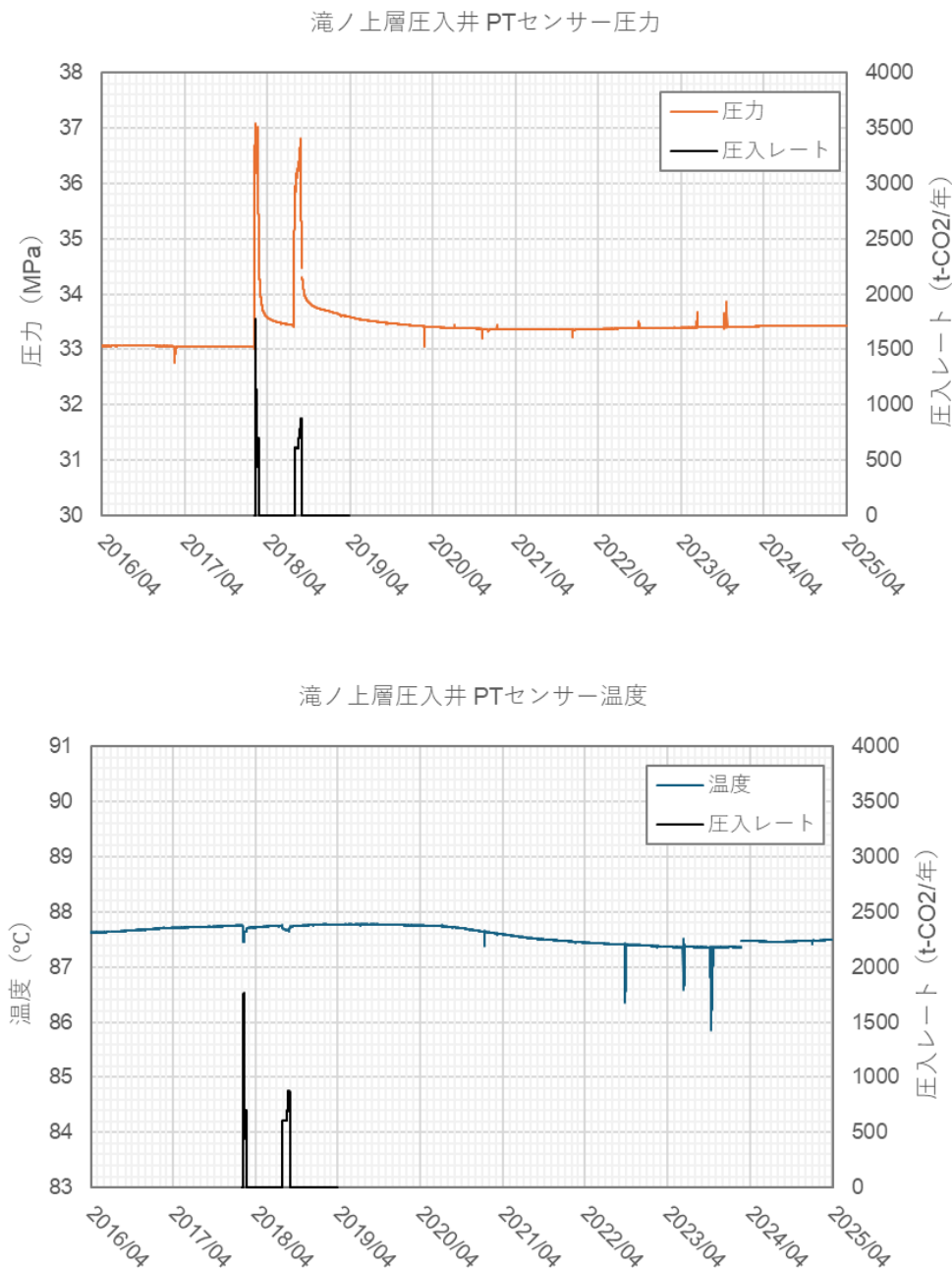


注 1) 同一深度に 2 基の PT センサー (主副) を設置している。グラフは主副平均値を示している。

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 2025 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。2022 年以降に見られるスパイク状のノイズは、機器の不具合 (2022 年) や他機関による電磁探査の影響 (2023 年) であるほか、2024 年 2 月に見られるデータのオフセットは、データロガー更新の影響であり、貯留層内の異常ではない。

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 2025 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。2019 年以降、とりわけ 2022 年以降に見られるスパイク状のノイズは、機器の不具合（2022 年）や他機関による電磁探査の影響（2023 年）であるほか、2024 年 2 月に見られるデータのオフセットは、データロガー更新の影響であり貯留層内の異常ではない。

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 432 m、垂直深度で 52 m ほど浅い位置に設置している。

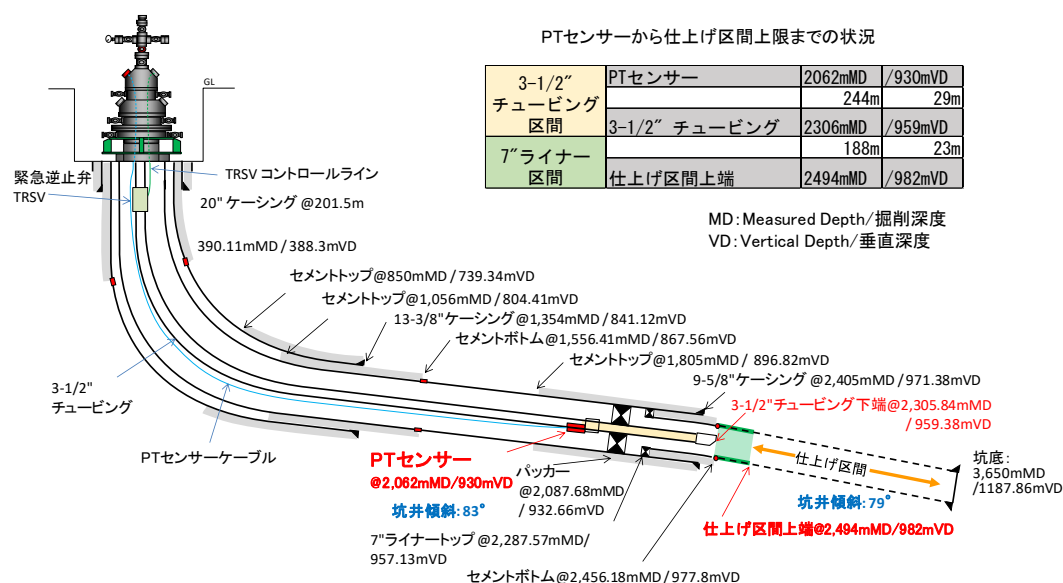


図 4.7-3 IW-2 の坑内に設置した PT センサーの位置

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。2025 年 3 月 31 日時点での PT センサー圧力は 9.47 MPaG であり、圧入開始前の初期圧力 9.47MPaG^{*1)} と同値になっている。2024 年 4 月 1 日～2025 年 3 月 31 日の 1 年間では、前年度までに発生した一部の機器不具合^{*2)} や他作業の影響^{*3)} と考えられるノイズ等はなく、貯留層の異常を示す事象は引き続き観測されていない。

*1) 圧入開始前の仕上げ区間上端における圧力を、坑内が CO₂ で満たされていると仮定して PT センサー深度へ変換した圧力。

*2) 2024/2/28、2024/3/18: 原因不明データ欠測。データロガーの再起動により復帰。

*3) 2023/6/15～6/25、2023/10/15～10/26、10/29: 圧入井近傍で実施された電磁波探査の影響と思われるノイズ。

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。

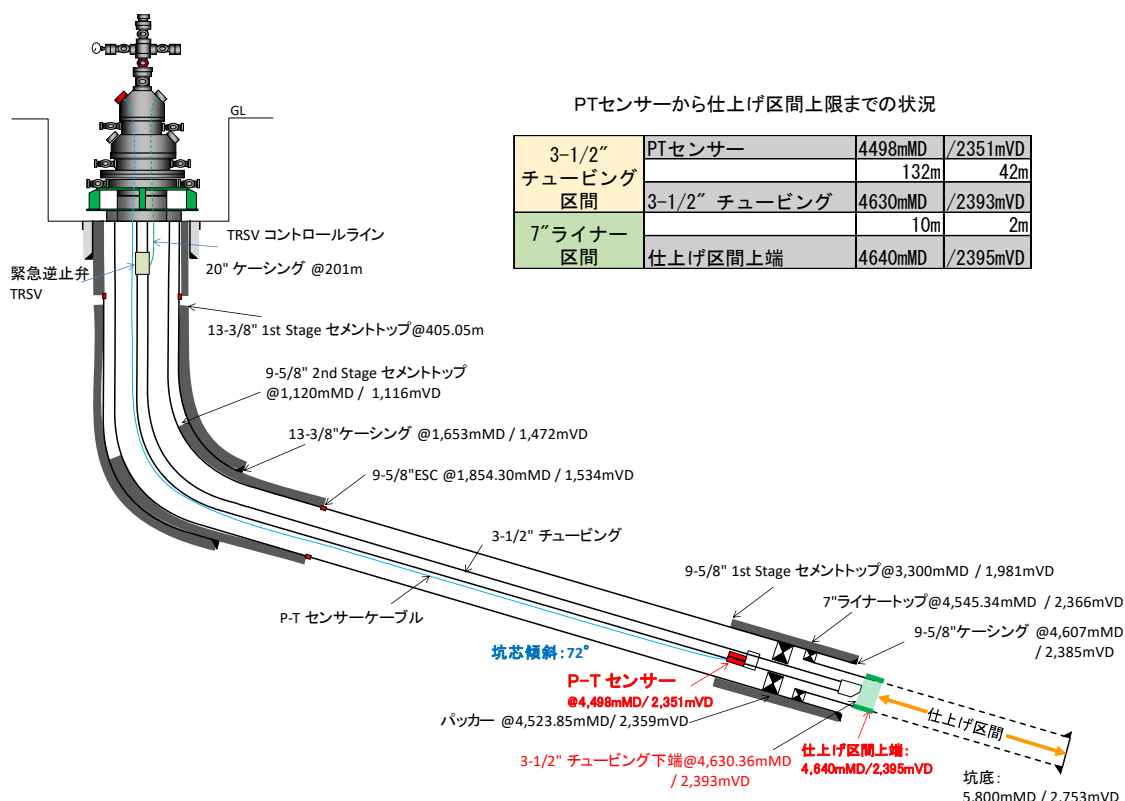


図 4.7-4 IW-1 の坑内に設置した PT センサーの位置

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。温度は圧入中にわずかに低下し、圧入停止後は徐々にもとの状態に戻った。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 2025 年 3 月 31 日時点で、坑底圧力は 33.43 MPaG、坑底温度は 87.5℃となっており、2024 年 4 月 1 日～2025 年 3 月 31 日の 1 年間で坑底圧力・温度の観測からは貯留層の異常を示す事象は引き続き観測されていない。

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2024年4月～2025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	
2024/5/21	2024/5/21	圧入井敷地内補修_安全対策
2024/5/24	2024/5/24	IW-1 外3圧力の凍結防止策実施
2024/7/24	2024/7/24	セラー内CO2濃度上昇検証
2024/9/18	2024/9/19	IW-2 坑口装置の点検
2024/8/27	2025/3/18	IW-1SSVの腐食調査 (2月現在ON GOING)
2024/4/1	2025/3/31	IW-1,IW-2敷地巡回 月例定期巡視

実施日		作業内容(観測井)
自	至	
2024/4/4	2024/4/4	OB-1セラーの排水
2024/4/12	2024/4/12	OB-1坑口装置に対する定期点検・整備作業
2024/6/10	2024/6/10	OB-3門扉修繕
2024/6/19	2024/6/19	OB-1敷地巡視および花火大会安全対応検討
2024/9/6	2024/9/6	OB-2、OB-3 セラー内の排水
2024/9/2	2024/9/5	OB-1,OB-2,OB-3作業領域の整備
2024/9/8	2024/9/18	OB-2、OB-3 坑口装置に対する定期点検・整備作業
2024/11/22	2024/11/22	OB-1セラーの排水
2024/11/26	2024/11/26	OB-2坑内カメラ調査

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) 圧入井敷地内補修安全対策

① 作業概要

2024年4月の定期巡視の結果、風雪害による不安全箇所が確認されたことから対処を実施した。圧入井敷地内の埋設物を保護するための木枠等が経年による劣化で著しく破損していることから撤去を行い、代替としてセーフティコーン、チェンスタンドなどの設置を行って、来訪者・作業者が立ち入ることの無いよう措置を行った。セーフティコーンは重量タイプ 3.5 kg の物を設置した。チェンスタンドは万が一の破損時の環境への配慮から下

部に錘として水を入れられる型式を選定し、凍結膨張による破損防止のため容量の80%まで水道水を入れて設置した。チェンスタンド同士はプラスチックチェーンを併用して連結した。設置していた侵入防止表示用のトラロープは外部環境で経年劣化が激しかったことから、反射トラロープ8打ちタイプを調達し、圧入井建屋北側約18m、南側約36mに対して設置した。

② 成果

新規設置したセーフティコーン、チェンスタンドについては、暴風等による転倒も懸念はしていたものの2024年12月現在までの実績としては転倒などの事象は発生しておらず選定した仕様は妥当であったと判断される。参考までに表4.8-2に気象庁過去の気象データ検索より抜粋した風速上表を記載している。圧入井付近の現地風速に完全に一致すると一概には言えないものの、この情報によれば今回選定した物品は瞬間風速24m/secにも耐える可能性があることが示唆される。

表 4.8-2 風速情報 苫小牧（胆振地方）^{*1)}

	平均風速 (m/sec)	最大風速 (m/sec)	最大瞬間風速 (m/sec)
2024年5月	3.1	9.6	17.5
2024年6月	2.7	9.7	14.6
2024年7月	3.1	10.4	15.9
2024年8月	3.4	10.6	15.4
2024年9月	3.4	9.9	15.2
2024年10月	3.3	12.0	17.5
2024年11月	3.0	16.6	24.7
2024年12月	2.8	12.4	20.0

③ 課題事項

CCS事業においては、圧入井・観測井いずれの敷地においても長期間管理が想定されることから、外部環境に適し、耐候性・耐久性に優れた製品を選定するなどで安全管理を実施することが望まれる。特に屋外敷地で立入禁止区域等あるいは不安全箇所の表示などを行う場合においては、経年・最大風速や最大瞬間風速・耐候性などの条件を加味した上で管理

^{*1)} 気象庁過去の気象データ検索 苫小牧（胆振地方）の情報に基づき安全対策実施後の2024年5月～2024年12月についてJCCSで抜粋整理

物品の仕様選定を行うことが重要でありかつ課題でもある。

(2) IW-1 外 3 圧力の凍結防止策実施

① 作業概要

2024 年 2 月の定期巡視の際に、IW-1 外 3 圧力^{*2)}の上昇 (1.2 MPaG) を確認した。そのため、ブルドン管式圧力計を取り外したところ、凍結による圧力計の故障により 1.2 MPaG の誤表示であることが疑われた。予備の圧力計を取付けしたところ、圧力表示値は 0.0 MPaG であることを確認した。外 3 圧はセラー内のケーシングハウジングから配管がつながっており、地上部の圧力計へ至るまでの間は 3~4 m 程度あることから、この間の水分等が凍結したことによりブルドン管式圧力計故障に至ったと推測される。2024 年 5 月に配管の凍結防止対策をいくつか検討し、地上部 (グレーチングより上部) の配管部のみを不凍液で満たし、2024 年 11 月以降の厳冬期に再度確認することとした。結果として、2024 年 5 月から 2025 年 3 月の観測期間中に最大値を示したのは、2024 年 12 月で 0.05 MPaG (−2℃) となり、以降顕著な圧力上昇は無く監視を継続している。

② 成果

圧入期間中は、圧入流体の温度やヒートトレースによって、外圧部の配管部が凍結する様な事象が起きなかったと推察される。圧入停止に伴い、圧入流体の加温効果がなくなったことに加えヒートトレースを解除したことに伴い、外 3 圧を監視する配管内部の水分が凍結して圧力計が故障したと考えられる。このことから、苫小牧のような厳冬期に零下まで気温が下がる環境においては、圧入期間中のみならず、圧入停止後のモニタリング期間においてもヒートトレース等の凍結防止策が推奨される。

③ 課題事項

2024 年 5 月の対応では、地上部 (グレーチングより上部) 配管のみを不凍液で満たしているが、坑口装置袖バルブから地上部までの配管内を不凍液等の凍結しにくい液体で置換することが出来ない点が現状の課題である。この課題への対策案はいくつか考えられるので列記する。

- 1) 圧力監視配管にもヒートトレースを実施する。
- 2) 坑口装置仕上げ後に、不凍液を安全に投入できるように、袖バルブをプライマリ・バックアップの 2 式配置し、更に配管の途中にティーズと小型のバルブを配置することで、配管内の流体払いと不凍液注入ができるような細工を施す。

^{*2)} 外 3 圧力とは 13-3/8inchCSG のアニュラス部を示す。

- 3) 坑口装置の両袖にそれぞれ2式バルブを配置するところまでは、2)と同じ設計思想とし、例えば右袖バルブ*3)から左袖バルブへ流下するラインをラインナップしたのちに、残留流体の排出と不凍液の投入を実施する。ただし、この方法では坑内(厳密にはCSGアニュラス部)に不凍液が入り込む恐れがあり、その影響が懸念される。
- 4) 圧力監視配管を極力短くする、もしくは無くして凍結可能性を低くする。
- 5) ラプチャーディスクを設けて、ある一定の圧力でラプチャーする構成として不凍液を加圧ポンプ等により注入する。(例:1MPaG等)ただし、この方法はラプチャーした際の圧力が瞬間的には監視している区間のCSGや配管内にも伝わることから、慎重に設計する必要がある、また内部に元々残留している流体の排出・置換が困難な点から、設計難易度も高いと考えられる。

(3) 圧入井セラー内CO₂濃度上昇検証

① 作業概要

2024年6月定例巡視の際に、セラー内にてバルブ開閉時のハンドル回転数の確認操作作業を実施した。その際に、セラー内に設置しているCO₂濃度検知器が警報設定値の1,000ppmを超過したことから警報装置が発報した経緯がある。CO₂濃度そのものは問題ないレベルであったが、坑口装置のバルブ開閉確認をおこなっていた当時の状況から、2024年6月の段階において検知された結果がバルブ開閉操作による影響か、あるいは作業員の呼気による影響か判断がつかなかった。そこで、2024年7月に再度同様な環境下で実証的に試験を行った。

a. 作業環境

作業を実施した環境は以下の通りである。

- 1) CO₂濃度: 700 ppm
- 2) O₂濃度: 21.0%
- 3) 建屋内各所窓: 開放状態 *4)

*3) ここで右袖バルブは坑口装置に正面から正対し右手側のバルブ、左袖バルブは左手側のバルブのことを示す。

*4) セラー内へ立入前にCO₂濃度およびO₂濃度を確認し、バルブ開閉操作をしない前提としたことから換気ブローは使用していない。

b. 再現確認方法

再現方法と結果は次の通りである。再現確認によるCO₂濃度を図4.8-1に示す。

- 1) セラー内に2名の作業員が入りスクワット運動30回実施した。その結果、ピークで1,300 ppmを検出しその後徐々に低下し800 ppmで安定した。図中1)のピークに対応。
- 2) センサー付近(顔の向きはセンサーに対し180度)で会話したところピークで900 ppmを検出した。図中2)のピークに対応。
- 3) センサー付近(顔の向きはセンサーに対し90度)で会話したところピークで1,300 ppmを検出した。図中3)のピークに対応。
- 4) センサー付近(顔の向きはセンサーに対し0度)で会話した所ピークで2,300 ppmを検出した。図中4)のピークに対応。

※ 各作業間で5～10分のインターバルをおき、CO₂濃度が下がり安定したのを確認してから実施した。O₂濃度は作業中21.0%で変化は無かった。

参考情報としてCO₂濃度の各基準値等を列記する。

- ・大気中：400 ppm (0.04%)
- ・建築物衛生管理基準：1,000 ppm (厚労省 HP 等)
<https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/>
- ・学校環境衛生基準規則：1,500 ppm
https://www.mext.go.jp/content/20240401-mxt_kenshoku-100000613_2.pdf
- ・事務所衛生基準規則：5,000 ppm
https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=74089000&dataType=0&pageNo=1
- ・呼気：4.4%
- ・燃焼炉(都市ごみ)：約8%

② 成果

今回の実証的試験によって、セラー内に設置しているCO₂センサーがセラー内で作業実施する作業員の呼気に反応することが明確となった。セラー内へ入る際には、事前のCO₂濃度の確認および酸素濃度の確認は安全のため必須事項と考えられるが、遠隔監視する場合においては、作業員等の呼気の影響をうけることにも留意することが必要である。

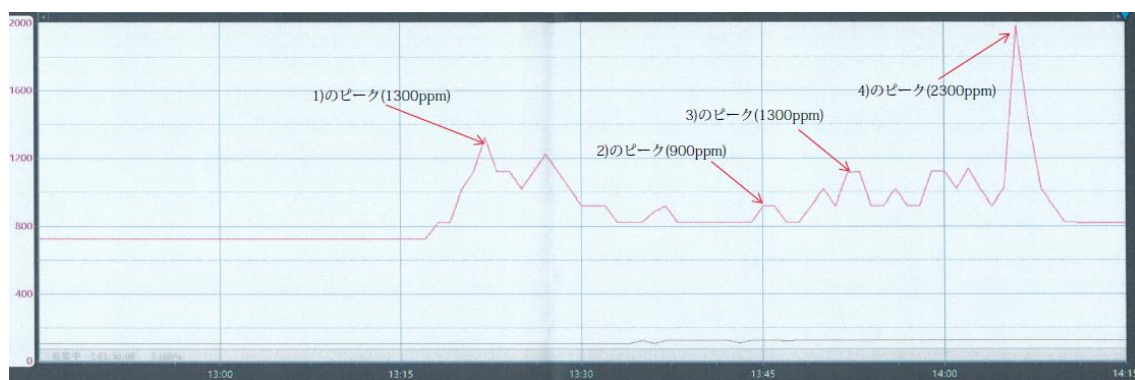


図 4.8-1 再現確認による CO₂ 濃度

③ 課題事項

作業前後を比較すると、一定程度の滞留が見られベースラインが変化していることから、新しいベースラインを捉えることや、セラー内作業後にブロー等による換気を実施し、元のベースライン以下に抑えることが推奨される。本実証においては、建築物衛生管理基準を参照として 1,000 ppm を警報設定値の参照としているが、前述の実証試験や参考情報でも分かるように CO₂ 濃度検知器は呼気、排ガスなどの外部影響を受けやすい面もあり留意が必要である。屋外環境に近い現行の圧入井のような場合においては、警報値の設定値についても入念な検討が推奨される。

地上部への漏出については、一時的な濃度上昇であるか、継続的な濃度上昇であるか確認された上で、他の観測井・圧入井の圧力温度等の事象も考慮して総合的に判断されるべき事項である。

(4) IW-2 坑口装置の点検

① 作業概要

2024 年 1 月 29 日、IW-2 トップバルブのステムパッキン部から蓄圧している窒素の微量の漏出を発見した為、2024 年 9 月 18 日および 9 月 19 日にかけて、対象バルブを含めメンテナンスを行った。対象および実施事項の一覧を表 4.8-3 に示す。

表 4.8-3 IW-2 坑口装置点検 対象および実施事項

		開閉状態	バルブメンテナンス項目					
			(1)ステムパッキン部へのプラスチックパッキン挿入	(2)バルブボディへのグリスアップ	(3)ステムベアリングへのグリスアップ	(4)パッキンフィッティングおよびパッキンブラグの交換	(5)バルブ開閉確認	(6)加圧確認
クリスマスツリー	トップバルブ	閉止	入れ替え	—	実施	新品へ交換実施	実施	実施
	左袖バルブ 注1	開	入れ替え	—	実施	新品へ交換実施	実施	実施
	右袖バルブ 注1	閉止	入れ替え	—	実施	新品へ交換実施	実施	実施
	SSV	閉止	—	—	—	—	開・閉作動確認実施	—
	マスターバルブ	開	入れ替え	—	実施	新品へ交換実施	実施	実施
グレーチングより下部	TBGスプール左袖	開	増し入れ	実施	実施	実施	実施	— 注2
	TBGスプール右袖	閉止	増し入れ	実施	実施	実施	実施	— ※2
	CSGスプール左袖	閉止	増し入れ	実施	実施	実施	実施	— ※2
	CSGスプール右袖	開	増し入れ	実施	実施	実施	実施	— ※2
	CSGハウジング左袖	閉止	増し入れ	実施	実施	実施	実施	— ※2
	CSGハウジング右袖	開	増し入れ	実施	実施	実施	実施	— ※2

作業開始前に、坑口装置内窒素蓄圧状況（SSV を閉止し、その上部を窒素蓄圧状態で管理を行っている状態）で 2.0 MPaG であること、外圧、外 2 圧、外 3 圧が共に 0.0 MPaG であることおよびバルブの開閉状態を確認した。セラー内の CO₂ 濃度をポータブル CO₂ 検知器およびセラー内の既設センサーを用い、約 400 ppm であることを測定し安全確認をした。

a. グレーチングより下部の各袖バルブ点検

TBG スプール、CSG スプール、CSG ハウジングそれぞれの袖バルブの点検を実施し特に異常は見られなかった。内容を以下に列記する。

- 1) スクリュートルクの初期トルク確認
- 2) プラスチックパッキンの増し入れ
- 3) スクリュートルクを 14.0 N・m まで締付確認
- 4) ベアリンググリス注入
- 5) バルブシーラントの注入
- 6) バルブの開閉確認実施
- 7) スクリュートルクを再度 14.0 N・m まで締付調整

b. クリスマスツリーを構成するバルブ点検

点検実施前に、クリスマスツリー内の窒素を 2.0 MPaG から 0.0 MPaG まで脱圧した。脱圧時に念のため CO₂ 検知器を用いたが CO₂ のリターンは見られなかった。内容を以下に列記する。

- 1) マスターバルブの点検
 - (ア) マスターバルブハンドルを除外し、トルクレンチにてバルブのベアリングリテーナーロックナット締付トルクの確認 72 N・m
 - (イ) マスターバルブ閉止

- (ウ) バルブボディキャビティ内圧力排除
- (エ) パッキンフィッティング、パッキンプラグ取外し
- (オ) プラスチックパッキン挿入治具取付け
- (カ) プラスチックパッキンの挿入および旧パッキンの排出
- (キ) 新しいパッキンプラグの取付け
- (ク) プラスチックパッキン挿入治具で 34 MPaG まで挿入後、5 分間保持確認
- (ケ) プラスチックパッキン挿入治具の取外し
- (コ) 新しいパッキンフィッティング取付け
- (サ) プラスチックパッキンの増し入れおよびパッキンフィッティングのトルク調整
- (シ) マスターバルブを全開操作する。
- (ス) TBG 内圧力（推定 6.0 MPaG）をマスターバルブボディキャビティへ導通させ、マスターバルブのステム部・各接続部リークが無いことを確認。
- (セ) マスターバルブを閉止。

2) トップバルブ・左袖バルブ・右袖バルブの点検

- (ア) トップバルブを中開にする。
- (イ) ボディキャビティ内圧力排除
- (ウ) パッキンフィッティング、パッキンプラグ取外し
- (エ) プラスチックパッキン挿入治具の取付け
- (オ) プラスチックパッキンの挿入および旧パッキンの排出
- (カ) 新しいパッキンプラグ取付け
- (キ) プラスチックパッキン挿入治具で 34 MPaG まで挿入後、5 分間保持確認
- (ク) プラスチックパッキン挿入治具の取外し
- (ケ) 新しいパッキンフィッティング取付け
- (コ) プラスチックパッキンの増し入れ

3) トップバルブ、右袖バルブ、左袖バルブのステムリーク確認

各バルブのステム部からのリーク確認をおこなうため、以下手順にて気密試験を実施した。

- (ア) 窒素ビン（以下窒素を N₂、窒素ビンを N₂ ビンと記載）から N₂ マニホールド
⇒トップバルブ上ニードルバルブまで、気密のためホース接続実施
- (イ) トップバルブ・右袖バルブ・左袖バルブをそれぞれ中開状態とし、SSV 閉止

を確認

- (ウ) N₂で 3.0 MPaG まで昇圧し 10 分間圧力保持を確認
- (エ) 各バルブシステムからのリークなしを確認
- (オ) 左袖バルブ閉止し、引き続き 3.0 MPaG から 6.0 MPaG まで昇圧
- (カ) 圧力の保持とバルブシステム他のリークが無いことを確認
- (キ) 6.0 MPaG 保持したまま、左袖バルブ閉止、トップバルブ閉止、ニードルバルブ閉止、ホース内圧力払いを実施
- (ク) 左袖バルブ側の圧力計(内圧計)を取外し、L 型ゲージバルブからリークチェックを 15 分間実施し、リークが認められないことを確認
- (ケ) 圧力計を取付け
- (コ) ニードルバルブを開け、トップバルブ上部を脱圧(トップバルブ上部:大気圧、下部 6.0 MPa) 状態でトップバルブのシートきみつテストを実施し 15 分間でリークが認められないことを確認。
- (サ) トップバルブ中開、左袖バルブ中開で 4.5 MPaG まで低下(バルブ操作に伴いボディキャビティへ圧力導入されることから、加圧 VOL の変化があり若干の圧力低下が生ずる)
- (シ) 坑口装置内圧力昇圧を実施 4.5 MPaG から 6.0 MPaG

4) SSV の開閉確認

SSV の開閉確認を下記手順にて実施

- (ア) マスターバルブを閉止
- (イ) SSV 操作用エア線開
- (ウ) 手動で SSV 開操作確認し異常なし 作動時間 約 3 秒
- (エ) 圧力監視 6.0 MPaG に圧力を保持
- (オ) エア圧供給部、エア配管周辺 5 分間確認し異常なし
- (カ) 遠隔での SSV 閉止操作実施し異常なし 作動時間 約 3 秒
- (キ) エア供給圧 0.4 MPaG

※ SSV の作動エア供給・脱圧操作は JCCS 実証センター係員が対応

5) 坑口装置のバルブ開閉位置復旧

下記手順にて坑口装置のバルブ開閉位置を復旧した。

- (ア) マスターバルブ 閉止
- (イ) SSV 閉止状態確認
- (ウ) トップバルブ閉止

(エ) 左袖バルブ開

(オ) 右袖バルブ閉止状態確認

(カ) 坑口装置内(SSV 上部窒素蓄圧 6.0 MPaG) 圧力保持確認

(キ) 各バルブシステム等からのリークなしを確認

6) 再蓄圧対応および経過

2024 年 9 月 19 日 「5)坑口装置のバルブ開閉位置復旧」までの作業後においては、窒素蓄圧状態は保たれていたが、翌日の 2024 年 9 月 20 日に蓄圧圧力が 5.0 MPaG まで低下した。メーカーとも協議を行い、以下の対応を実施した。

(ア) 右袖バルブから CO₂ 供給バルブ間は 3.0 MPaG の為、右袖バルブシートのリークを懸念して圧入ラインとの取り合いバルブまでの間を 6.0 MPaG に昇圧した後、右袖バルブを閉止した。

(イ) 圧力計の接続部下部のテフロンパッキンを新品に交換した。

(ウ) 坑口装置内(SSV より上部)を 6.0 MPaG まで再昇圧した。

(エ) トップバルブを閉止して、トップバルブ上部とニードルバルブ間の圧力を払ってから、ニードルバルブを閉止した。

上記の状態において、各部のリークが無いことを 2024 年 9 月 20 日に確認した。

以降継続して監視を行ったが、その後も圧力の低下傾向がみられた。

7) 温度影響の評価

6)まで実施後に、温度環境が低下していることから、温度影響について考察を実施した。図 4.8-2 に 2024 年 9 月 24 日から 2025 年 3 月 12 日までの窒素蓄圧圧力および温度の変化を図示する。2024 年 12 月 18 日以降に着目すると、温度低下傾向ではないが圧力が下がっていることから、温度影響による窒素蓄圧圧力低下ではないことが判る。

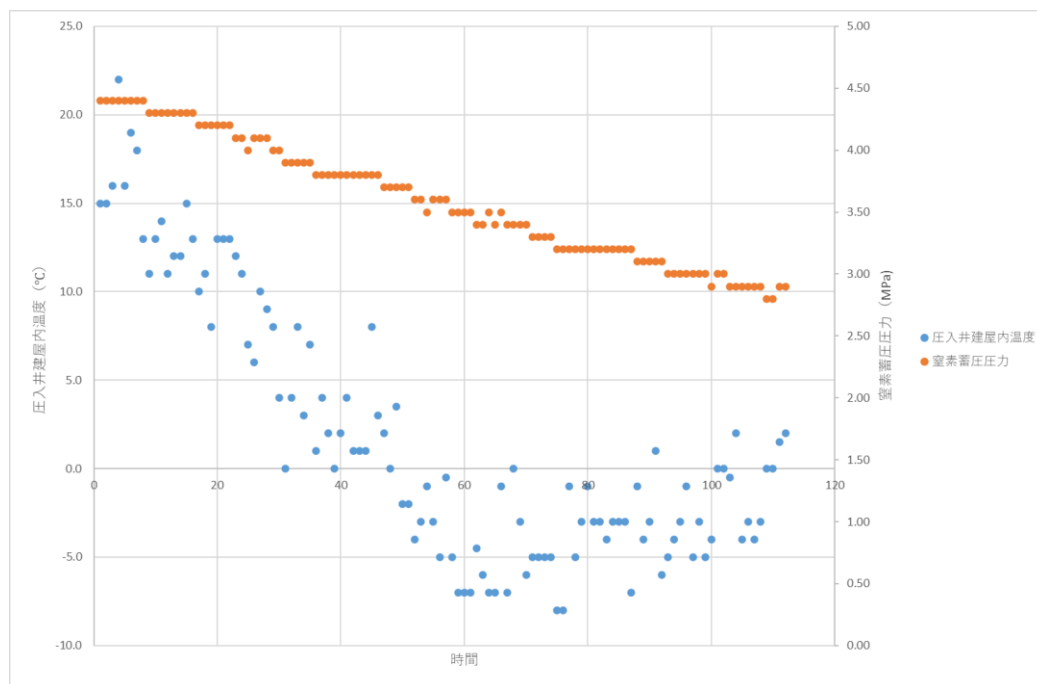


図 4.8-2 IW-2 室素蓄圧状況経過

② 成果

坑口装置を設置してから約 3,377 日（約 9.25 年）経過していたが、内部のプラスチックパッキンの入替はスムーズに行うことができた。取りはずした古いプラスチックパッキンの流動性は保たれており油分の著しい減少などはなかった。2024 年 9 月 19 日の作業後の段階においては、室素蓄圧は 6.0 MPaG を保持していたが、その後、翌日 2024 年 9 月 20 日に蓄圧状態が 5.0 MPaG まで低下した。再蓄圧等の対応は実施したが、リーク箇所の特定には至らなかった。なお、SSV 閉止状態における脱圧作業時に CO₂ が検知されていないことから SSV を含めそれ以下のバルブの健全性は保たれていると判断され、CO₂ の地上漏出は懸念されないと考えられる。

③ 課題事項

2025 年 3 月時点においては、室素のリーク箇所の同定には至っていないことから、引き続き状況の確認をおこなう必要がある。また、圧入終了後の坑口装置の管理の問題点として、現行の坑口装置構成はリーク箇所の同定が困難な配置、配管の構成であることが、今回の作業を通じて判明した。コストの観点から圧入配管を接続したまま撤去をせずに管理を行った経緯があるが、接続配管（接続容量）が増えることによってリーク検知が難しくなる、リーク検知を厳密に行うためには配管の大掛かりな移動などが必要になるなどのデメリットがある。将来実施される CCS 事業にて再圧入が行われない状況となった場合においては、

圧入配管と坑口装置は完全に切り離した状態にて継続監視する方が、バルブのシートリーク箇所と同定においては優位な可能性がある。

また、再圧入が想定される場合や一時的な圧入停止などが想定される場合などにおいては、求められる圧入圧力への耐圧と配管の伸縮性機能を共に満たすのであれば、圧入配管と坑口装置配管の間に比較的容易に動かせるフレキシブル配管を設けることによって、モニタリング期間における坑口装置メンテナンスやリーク箇所同定においてメリットが得られる。圧入圧力・脱圧環境・温度環境に耐えうる、簡単にメンテナンスができるフレキシブル配管を設計・設置するコストと、長期間にわたりメンテナンスの都度、配管を取外しする作業コストとその頻度が天秤になると考えられる。

(5) IW-1 SSV の腐食調査

① 作業概要・経緯

2021 年 12 月に使用済み・取外し済み品である圧入井 IW-1 の SSV について部分的にリーク・腐食等の形跡が確認されたことから、当該バルブを分解しその腐食原因について調査を行った。腐食・摩耗の形態の事例として、孔食、隙間腐食、粒界腐食、応力腐食割れ、全面腐食、異種金属間腐食、エロージョン、コロージョン、機械的摩耗のいずれかの状態を判別し、かつ上記の腐食形態あるいは摩耗形態の原因物質の推定を実施することを目的とした。それらを明確にすることによって、IW-1 圧入井と同程度の圧入圧力・圧入量環境・CO₂ 環境・その他の影響する環境下における坑口装置材質の適合性や表面処理方法の適格性の検討などに資するものと考えられる。

2024 年度は以下の項目の選定まで実施することとした。

- 1) 調査対象品の抽出 (表 4.8-4 参照)
- 2) 調査部位の確定 (図 4.8-4 参照)
- 3) 調査項目の選定 (表 4.8-4, 表 4.8-5, 表 4.8-6 参照)
- 4) サンプル片の切り出しイメージの作成 (図 4.8-3, ~図 4.8-6 参照)

なお、サンプル片の切り出しイメージは、2025 年 3 月現時点におけるイメージであり、測定機器仕様・調査対象の今後の検討状況によっては、サンプル片形状は変更される可能性がある。

表 4.8-4 調査対象・調査項目一覧

対象	調査項目	外観観察	SEM 破面観察 および EDX 元素分析	断面 ミクロ 観察
①ステム	ステム表面に付着している錆 状の付着物の調査・分析 および ステム表面の腐食位 置の確認	○	○	○
②ボン ネット	既加工ポート周辺および同円 周上に発生している黒色の腐 食部の調査・分析	○	○	○
③バルブ ボディフ ランジ部 (バルブ シート座 面)	バルブボディ内のバルブシー ト座面の黒色部の調査・分析	○	○	○
④バルブ ボディ内 面部	バルブボディ内のバルブシー ト座面の黒色部の調査・分析 ボディ内の流体流路内面部の 調査・分析	○	○	○
⑤バルブ シート内 面	バルブシート内の流体流路内 面部の調査・分析	○	—	○
⑥バルブ シート外 面	⑤の「バルブシート内面」と の比較の為、バルブシート外 面（腐食影響が無いと考えら れる部位）の調査・分析	○	—	○

表 4.8-5 調査概要・調査・試験目的 一覧

対象	調査概要	調査・試験目的
①ステム	付着物を調査・分析 腐食位置の確認・報告	ステム表面の錆状付着物の調査・分析を行い、腐食・摩耗の原因推定をする。IW-1のSSVのロッドシールが分解時破損していたため、ロッドシールよりも上部も坑内流体に接触していた可能性があり、ロッドシールと腐食範囲の位置関係を再度確認する。これにより、坑内流体由来による腐食の可能性を再確認する。
②ポン ネット	腐食部の調査・分析	既加工ポート周辺および同円周上に発生している黒色の腐食部の調査・分析を行い、腐食・摩耗の原因推定をする。
③バルブ ボディフ ランジ部 (バルブ シート座 面)	変色部の調査・分析	バルブボディ内のバルブシート座面の黒色部の調査・分析を行い、腐食・摩耗の原因推定をする。
④バルブ ボディ内 面部	変色部の調査・分析 内面部の調査・分析	バルブボディな部の内面部分の腐食状況調査を実施し、腐食・摩耗の原因推定をする。調査対象④と調査対象⑤の比較により、表面処理の違いによる腐食程度差異の有無を確認する。
⑤バルブ シート内 面	内面部の調査・分析	バルブシート部の内面部分の腐食状況調査を実施、腐食・摩耗の原因推定をする。調査対象④と調査対象⑤の比較により、表面処理の違いによる腐食程度差異の有無を確認する。調査対象⑤と調査対象⑥の比較により、流体接触の有無による腐食程度差異の確認を行なう。
⑥バルブ シート外 面	外面部（腐食の無い部分）の調査・分析	調査対象⑤と調査対象⑥の比較により、流体接触の有無による腐食程度差異の確認を行なう。

表 4.8-6 調査項目の解説

調査項目	調査項目の解説
外面観察	外面を目視で確認し、視認できるダメージ状況等を観察する。
SEM 破面観察	SEM は Scanning Electron Microscope（走査型電子顕微鏡）の略。これにより試料の表現状態を低倍率から高倍率まで連続的に観察する方法。断面形状の試験片を作成することによって、断面の観察をすることも可能（腐食が進んでいた場合の程度など）
EDX 元素分析	EDX ^{*5)} は Energy Dispersive X-ray Spectroscopy（エネルギー分散型 X 線分光法）の略。試料に電子線や X 線を照射し、発生する特性 X 線を検出して元素分析を行う手法。この方法で試料を構成する元素の種類や含有量を調べる。
断面ミクロ観察	光学顕微鏡あるいは走査型電子顕微鏡を用いて、微細な構造や欠陥を観察する方法。材料の破壊のメカニズムや欠陥の原因を特定するための方法
断面 EPMA 分析 ^{*6)}	Electron Probe Microanalyzer（電子プローブマイクロアナライザー）の略称。固体試料の表面に電子線を照射し、発生する特性 X 線を検出して元素分析を行う装置。この方法は、試料の微小領域（数ミクロンオーダー）での精密な化学分析が可能。

*5) 一般的に EDS,EDXS という略称もある。

*6) 今年度調査・分析では採用しないが、同様の調査方法として参考に掲載。

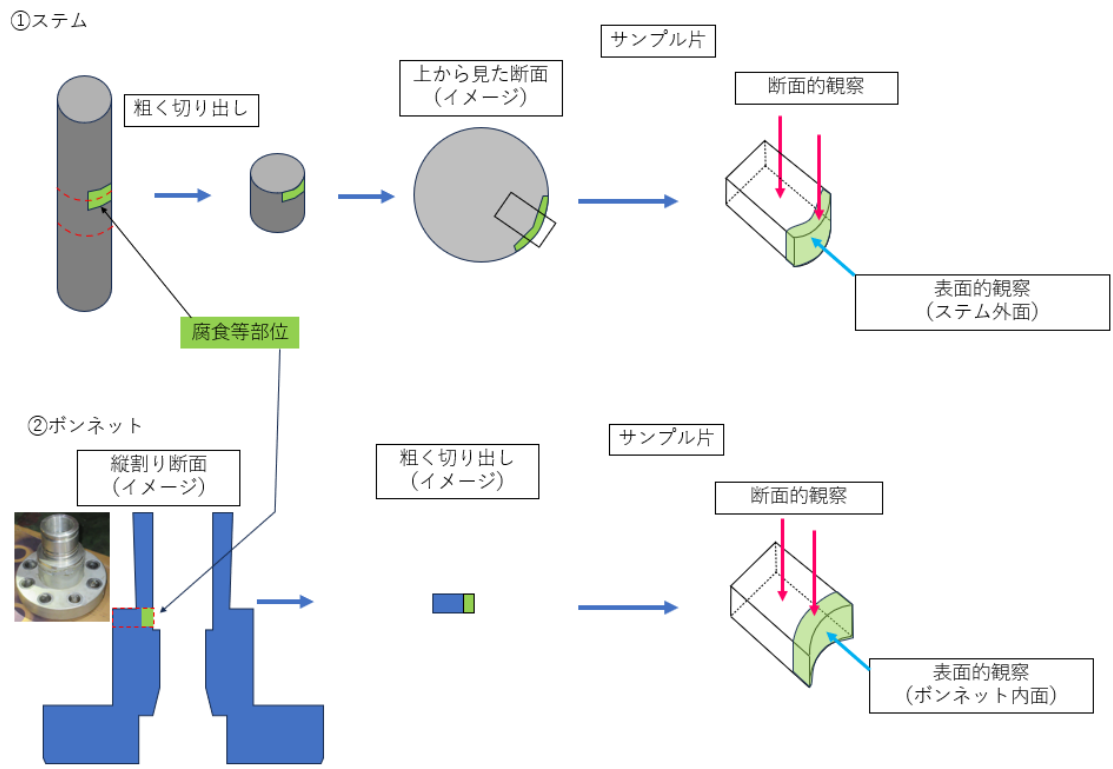


図 4.8-3 ステム・ボンネット サンプル片切り出しイメージ

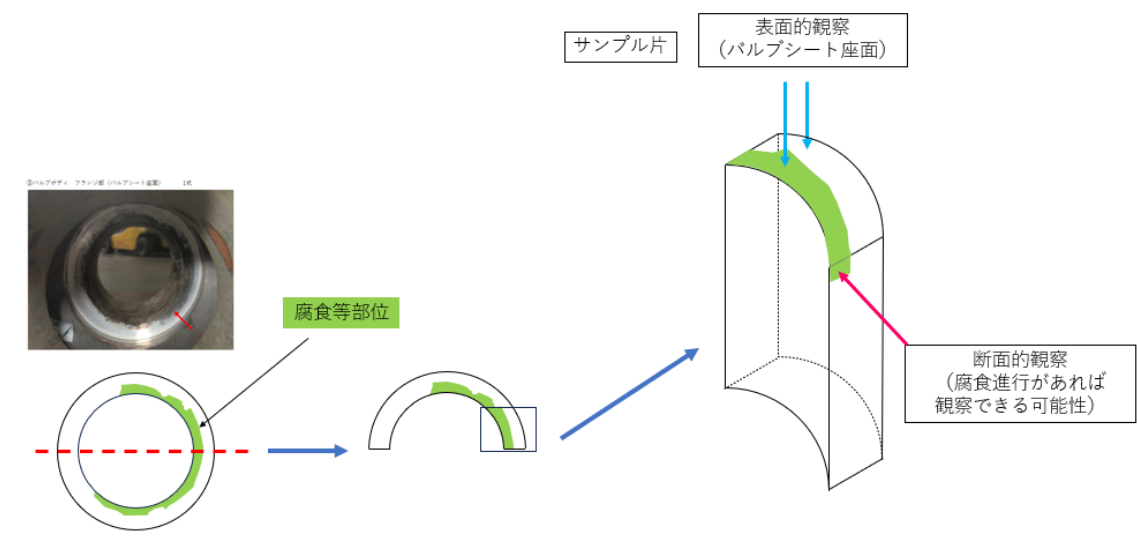


図 4.8-4 バルブシート座面 サンプル片切り出しイメージ

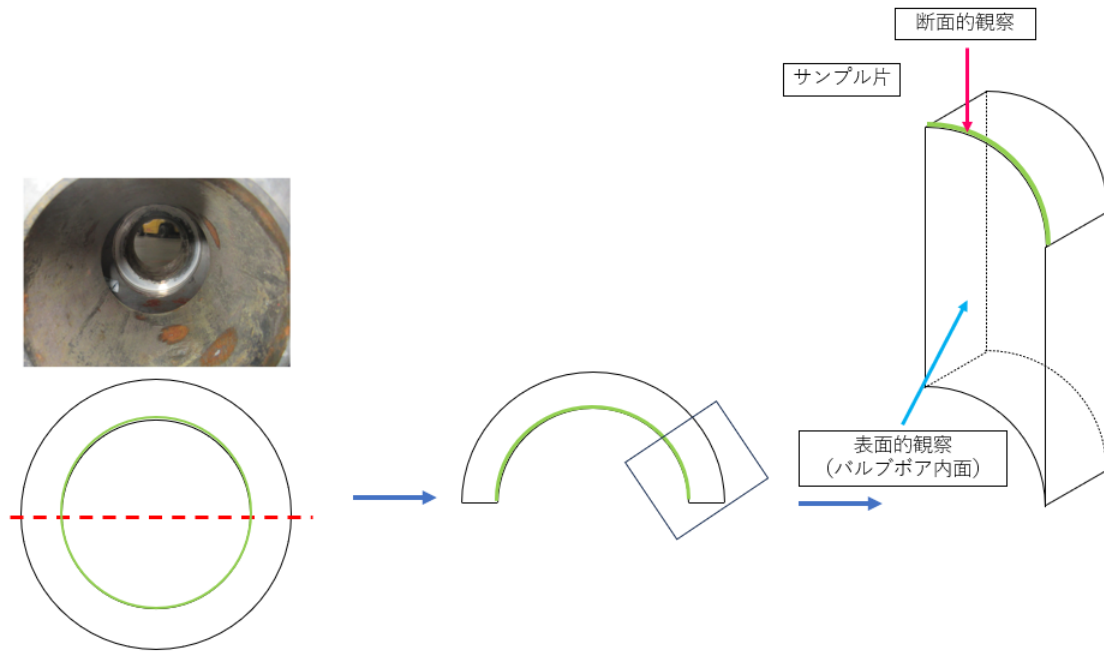


図 4.8-5 バルブボディ内面 サンプル片切り出しイメージ

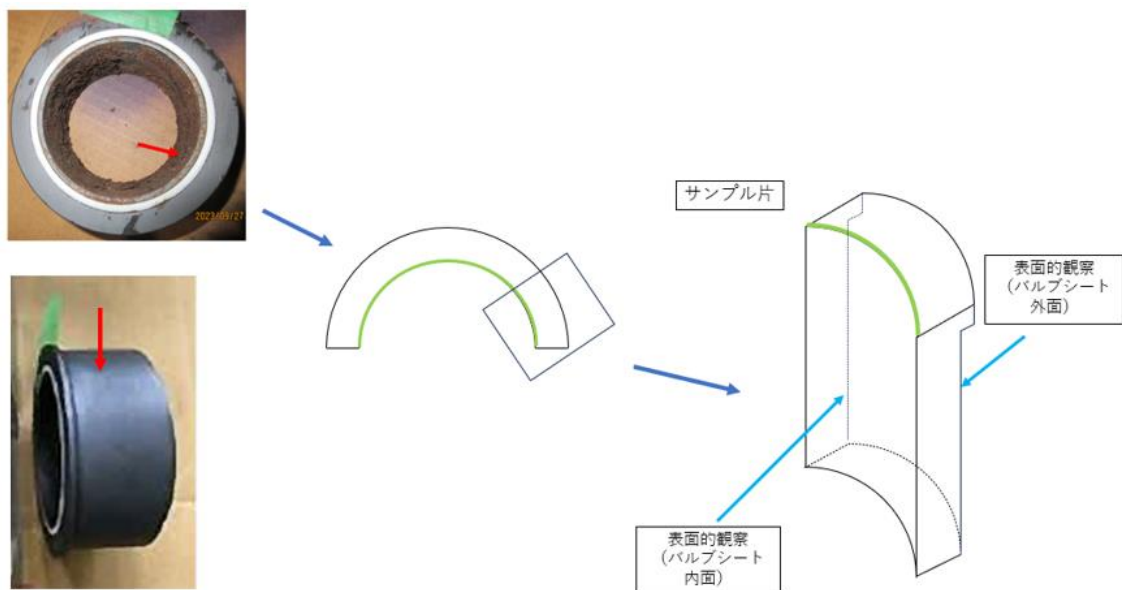


図 4.8-6 バルブシート内面・外面 サンプル片切り出しイメージ

② 成果

サンプル片の切り出し検討を行う際に切断方法の検討も実施した。腐食・摩耗の調査を行う際には機械加工用の油がその調査・分析結果に影響を与える可能性があることから、乾式切断の重要性を、これらの検討の中で認識した。

③ 課題事項

2024年度は前述の通り対象選定、実施項目の選定等にとどまっていることから、2025年度には調査・分析を行って、その結果から腐食・摩耗等の原因追究を実施する予定である。

(6) BPV リトリビングツール等の整備

圧入井の維持管理において必要となる BPV リトリビングツール等の整備を実施した。作業概要を以下に示す。

① 作業概要・経緯

2024年9月以降、以下3点を対象に整備を実施した。

1) BPV リトリビングツール 1式

(METI 資産名称：リユーブリケーターw/5.3/4”ACME フリクションレンチ)

2) ライザースプール 1式

(METI 資産名称：ライザースプール 2.2 m)

3) バルブリムーバルツール 1式

(METI 資産名称：バルブリムーバルツール)

2021年12月の坑口装置マスターバルブ交換作業で1)、2)は使用され、その後倉庫で保管されており、している。定期整備として整備を計画した。3)については納品から約6年が経過しており、一部発錆状況があることから、整備が必要と判断し整備を計画した。これらのツールは坑井の維持管理を行う上、特にマスターバルブ・袖バルブの維持管理をする上では必要なツールである。将来的にマスターバルブ・袖バルブのリーク・不具合等が発生した場合に使用することが見込まれることから、これらは、坑井を廃坑するまで今後も継続的に維持することが必要なツールである。整備対象に実施した事項は以下のとおりである。

a. BPV リトリビングツールの整備

- 1) 機器の洗浄および分解実施
- 2) 製造メーカーによる、分解後部品の損耗・再利用可否の判定
- 3) 再利用可能品については手仕上げ等による修正・洗浄
- 4) 再利用不可部品については新規調達・製作
- 5) 組立て
- 6) 水圧試験 24.2 MPaG×15 min
- 7) 立会検査

b. ライザースプールの整備

- 1) 機器の洗浄
- 2) 外観の点検 フランジ・リング溝の点検を実施し両端とも傷等は見られず。
- 3) 水圧試験 24.2 MPaG×15 min
- 4) 立会検査

c. バルブリームーバルツールの整備

- 1) 機器の洗浄および分解
- 2) 製造メーカーによる、分解後部品の損耗・再利用可否の判定 ^{*7)}

② 成果

BPV リトリビングツールについては 2021 年 12 月使用後以降稼働が無かったが、分解・整備・組立の結果、再使用可能な状況に維持された。次回整備時、16FT ロッド 1 式、プランジャー 1 式、ロッドキャップ 1 式の交換が推奨されている。ライザースプールに関しては、ボディ外観・フランジ面・配管内共に傷等なく、再使用可能である状況と判明した。これらは、傷が無い限り使用には問題なく、交換は推奨されていない。バルブリームーバルツールに関しては分解所見により部分的に大きな腐食が見られたことから、損傷部位の部品調達・部品製作を行うこととした。2025 年度に対応を予定している。

③ 課題事項

BPV リトリビングツールおよびライザースプールに関しては、顕著な腐食・損耗等は見られなかったことから、機器の維持管理の観点から特筆すべきことは見当たらない。一方で、バルブリームーバルツールの内面に関しては大きな腐食が見られた。本ツール製作以降、使用履歴が無かったことから、腐食の原因については不明である。現時点においては情報が不十分でありいずれも結論には至らないが、現状の原因考察を示す。

1) 水蒸気の凝縮水による大気腐食

保管倉庫は屋外と通じた倉庫であることから、湿度・温度管理が十分ではない。バルブリームーバルツールは、乾燥剤等を用いて除湿処置などは実施していない状況下にあった。大気中には少なくとも水蒸気が存在しており、腐食に影響した可能性がある。

^{*7)} 分解所見により当初想定していなかったシリンダ、シリンダテールピース（シリンダ側）、シリンダテールピース（テールピースキャップ側）に腐食が見られたことから部品調達・製作に納期を要することが判明した。2024 年度末においては組立て・水圧試験まで至っていない。

2) 飛来塩分の影響

苫小牧(胆振地方)の過去の相対湿度情報をみると、1991年から2020年まで平均70~88%であり、5月~9月に関しては前述の飛来塩分が影響を与える湿度のレンジ内に入る*8)。現在の機器保管倉庫は、海岸*9)から約2.75~3.00 km程度の場所に存在していることから、海水由来の影響の可能性がある。

3) 人間の汗・指紋などの付着が原因とした水蒸気の凝縮の可能性

製作時あるいは組立て時等に、人間の汗・指紋等により付着した塩分が基で腐食が進行した可能性がある。

4) 工業大気あるいは都市大気の可能性

都市大気環境に似た環境として、当該保管倉庫内においてはフォークリフトを使用していることから、排ガス由来の窒素酸化物からの硝酸生成などの可能性がある。

5) 降雨・酸性雨の影響

保管倉庫は屋根付き倉庫であることから、降雨の影響は考えられず、酸性雨等の影響は無いと考えられる。

6) 鋼材材質の影響

バルブリームーバルツールのシール面が腐食していることから異種金属間腐食あるいは隙間腐食の可能性がある。バルブリームーバルツールの各部鋼材材質を確認して検討する余地がある。

4.8.2 観測井の維持管理

(1) OB-1 敷地での花火大会安全対応検討

① 作業概要・経緯

2024年6月に、花火大会主催者から、2024年8月に初めて10号玉(尺玉)を打ち上げる旨連絡が入った。OB-1敷地が尺玉の保安距離範囲に入ることから、この対応について2024年6月19日に現地で、JCCS側・主催者側双方の関係者立会のもと協議を行った。その結果、防災シートを施工することおよび必要な箇所への散水を実施することで関係者合意し、滞り無く花火大会は開催された。現地対応した内容を列記する。

1) 花火打ち上げ時のみ坑口装置・リールに対して防災シートを施工した。

2) 遠隔カメラによる状況確認として、花火大会打ち上げ直前の2024年8月3日(土)

*8) 気象庁 過去の気象データ検索 平年値(年・月ごとの値) 苫小牧(胆振地方) 平年値(年・月ごとの値) 主要要素より抜粋

*9) 苫小牧港湾からの概ねの距離

16時現在の防災シート養生状態を確認した。

- 3) 花火大会事後に保安巡視として、翌営業日の2024年8月5日(月)に巡視を実施した。

② 成果

今回、初の事例ということもあり、地上設備損傷等の保安上の一部懸念はあったものの、地元主催者側の適切な対応により問題は発生せず花火大会は成功した。大会事後の巡視の際にも顕著な灰の降り積もりなどもなく、特段異常は無かったと判断しており、今回の対応は費用対効果を考慮しても妥当であったと言える。従前は、作業領域の整備は草木が伸びきる毎年9月の坑内ツールの定期メンテナンス作業に合わせる形で実施をしてきた。作業領域の整備を実施した直後は、少なくとも敷地内に取り除ききれない枯草が露わになり、生草が生い茂っている状況に比べて着火・延焼リスクが高まると考えられ、今回は8月の花火大会前の作業領域整備は実施しなかった。結果的には問題は発生しなかった。文献調査したところ、生葉と枯葉の発火に関して興味深い文献があったため抜粋記載する。こういった情報も屋外管理の際の参考となる。

- 1) 発火の危険性の大きい物は喬木^{*10}の葉ではなく、草木の枯葉で特にシダ類。
- 2) 発焰については、ササの枯葉がもっとも危険である。
- 3) 枯葉は生葉より発火し易く、生葉では若葉が発火しやすい。
- 4) 葉の含有水分が最も関係があると思われるが、このほか葉の形態、化学成分にも関係する。¹⁾

OB-1の敷地および周辺の喬木種、草木種の同定には至れていないものの、少なくとも枯葉類が堆積する様な環境は好ましくないと考えられ、他の観測井の敷地内も含めて、今後も定期的な整備等は必要であると判断される。

③ 課題事項

8月という生草が伸びている時期という影響もあり、防災シートを設置する作業の際に、生草が生い茂り周囲の側溝などを見落として足を踏み落とすなどの安全上のリスクは残っている。防災シートを設置する際に立ち入る箇所を限定することについては、安全上必要と判断されれば実施することの検討が必要である。また、今回に関しては花火大会当日の開始前に雨が降ったことも発火のリスクを低減させた可能性がある。2024年度の対応で十分かどうかは引き続き検討課題として残っている。

^{*10} 喬木(きょうぼく)とは一般に高さが約2m以上になる木のことを言い、高木(こうぼく)と同義。原文ママ記載。

(2) 観測井 OB-1,OB-2,OB-3 の坑口装置点検

① 作業概要

以下日程にて、各坑井の坑口装置点検を実施し、特に異常は見られなかった。

2024年04月12日：観測井 OB-1

2024年09月09日：観測井 OB-3

2024年09月18日：観測井 OB-2

a. 観測井 OB-1 実施事項

- 1) 各バルブの現況確認を実施、内圧：0.00 MPaG、外1圧：0.63 MPaG、外2圧：0.03 MPaG
- 2) パッキン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の増し入れ
- 4) キャビティ内ボディシーラントの注入
- 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、割れ、緩み、変形の有無 確認
- 9) フランジ面、バルブグランド部、ネジ部の漏洩の有無 確認
- 10) 防食テープの被覆状況確認
- 11) 作業終了後の圧力確認

b. 観測井 OB-3 実施事項

- 1) パッキンフィッティングスクリュー初期トルクの確認
- 2) プラスチックパッキンの増し入れ
- 3) キャビティ内ボディシーラントの注入
- 4) ベアリンググリス注入
- 5) バルブの開閉確認
- 6) パッキンフィッティングスクリュートルクの再確認
- 7) バルブ、フランジ、ボルトの腐食、傷、割れ、緩み、変形の有無 確認
- 8) フランジ面、バルブグランド部、ネジ部の漏洩の有無 確認
- 9) 防食テープの被覆状況確認

c. 観測井 OB-2 実施事項

- 1) パッキンフィッティングスクリュ初期トルクの確認
- 2) プラスチックパッキンの増し入れ
- 3) キャビティ内ボディシーラントの注入
- 4) ベアリンググリス注入
- 5) バルブの開閉確認
- 6) パッキンフィッティングスクリュトルクの再確認
- 7) バルブ、フランジ、ボルトの腐食、傷、割れ、緩み、変形の有無 確認
- 8) フランジ面、バルブグランド部、ネジ部の漏洩の有無 確認
- 9) 防食テープの被覆状況確認

② 成果

観測井 OB-1 に関しては、伝送器の点検整備タイミングを合わせ、坑口装置のバルブ内部の目視点検を実施したところ、注入シーラントが溜まっている状況にあった。バルブの構造上、開閉時（中開時に）キャビティ内のシーラントがバルブ内部に微量に排出されたものが溜まると推測されている。観測井 OB-3 に関しては、ケーシングハウジングから右袖バルブ伝送器間の一部閉塞の疑いがあったため、伝送器を取外した際に内部を目視確認した。その結果、シーラントの溜まりは確認したものの伝送器の圧力感知の障害にはならないと推測された。圧力伝送器がついている袖バルブ部に関しては、バルブ閉止状態でシーラントを注入中に目視で内部確認したがシーラントが漏洩するような状況にはなかった。観測井 OB-2 に関しては、伝送器の点検タイミングを合わせることが出来なかったが、特段異常はみられなかった。WL 破断事象後のバルブ整備点検を従前どおり実施し、特段異常は見られなかった。今後も、ステムシール部の整備およびベアリンググリスとボディシーラント注入などの定期整備を実施する。

③ 課題事項

坑口装置自体に大きなトラブルは生じていないと判断されるが、周囲のセラーを構成する H 鋼材やセラー内へ降りる梯子が外部環境影響を受け、腐食が激しい状況にあり、今後の坑内ツールのメンテナンスおよび坑口装置の定期的なメンテナンスに支障をきたす恐れがある。図 4.8-7 に OB-1 のセラーを構成する H 鋼材の一例を示すが、錆の進行が激しく減肉の状況も見て取れる。図 4.8-8 に OB-2 の梯子の状況を示すが、局部的な腐食の進行、横棒の損耗や縦棒の剝離・腐食進行、溶接部の外れなどが見られる。坑井の仕上げ日から起算した 2025 年 3 月末時点における概ねの経過年数は表 4.8-7 に示す状況で、付随設備の老朽

化に対して保安面も考慮した維持管理が課題事項である。H 鋼材およびセラー内へ降りる梯子については、2025 年度作業にて点検・補修等を予定している。

表 4.8-7 観測井の仕上げ時期と経過年数

坑井名	仕上げ時期	経過年数
観測井 OB-1	2011 年 2 月	約 14 年
観測井 OB-2	2013 年 2 月	約 12 年
観測井 OB-3	2014 年 4 月	約 11 年



図 4.8-7 観測井 OB-1 セラーH 鋼状況



図 4.8-8 観測井 OB-2 セラー内梯子腐食状況

【参考文献】

- 1) 日本火災学会論文集第6巻第2号（昭和32年2月）山火事の着火物について（井上）

4.9 まとめと課題

(1) 2024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年度は観測井 OB-2 において、2024年9月15日の坑内計測機器回収作業中にケーブルが破断し、圧力・温度・微小振動計測機器が坑内へ落下するトラブルがあった。関係各所と連絡を取り、カメラを用いた坑内調査、浅部への再設置を経て、2025年1月26日に測定を再開することができた。2025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とともに、観測井におけるケーブル破断の原因追及についても2024年度に引き続き行う予定である。

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。2024年度は、自然地震モニタリング範囲内において気象庁155件に対して実証試験では646件のイベントを検出した。2025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。あわせて、常設型 OBC については運用停止および撤去を実施する予定である。

繰り返し弾性波探査では、2023年度に実施した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を踏まえ、2024年7月に実施された第7回モニター調査のデータ取得、解析作業を実施し、貯留層からの漏出・漏洩が認められないことを確認した。2025年度も引き続き、圧入したCO₂の挙動や分布状況の高精度化を図るための解析手法の検討を行い、2026年度の第8回モニター調査の仕様へと反映させる予定である。

(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年度から2023年度にかけて、各観測井（OB-1、OB-2、OB-3）で圧力・温度の検層を実施した。その結果、繰り返しの検層が観測井の圧力・温度観測の維持管理や経年変化の把握に有効であることが確認された。このため、2024年度には観測井 OB-2 で機器を再設置する際にも、検層による比較・校正を行った。2025年度にはFBGによる圧力・温度計測が終了する予定であり、引き続き必要に応じて検層を用いた圧力・温度観測値の比較・校正を検討していく予定である。

(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、風雪害による不安全箇所が確認されたため、圧入井敷地内補修安全対策を実施し対応した。IW-1の外3圧力^{*1)}の凍結防止対策を実施して、継続監視を行っている。維持管理をする上での、セラー内CO₂濃度上昇の検証を行い、作業人員の呼気による影響を確認した。IW-2の坑口装置の点検を実施し、トップバルブのステム部からのリークは停止したが、その後他の箇所からのリーク疑いが懸念される状況となっている。今後、リーク箇所の同定あるいは対応の検討を予定している。IW-1SSVの腐食調査に関わる調査対象品の抽出、部位確定等を行った。引き続き調査を行なう予定である。BPVリトリービングツール等の整備を実施した。BPVリトリービングツールおよびライザースプールについては整備を完了したが、バルブリムーバルツールは腐食により2024年度内整備完了せず、引き続き整備を実施する。観測井OB-1の花火大会の対応で新たな知見を得た。観測井OB-1,2,3の坑口装置点検を実施し、特に異常は見られなかった。観測井周囲のセラーを構成するH鋼材やセラー内へ降りる梯子の腐食状況には今後点検・補修対応を実施する。2025年度以降も必要な補修を継続する。

*1) 外3圧力とは13-3/8inchCSGのアニュラス部を示す。