

目次

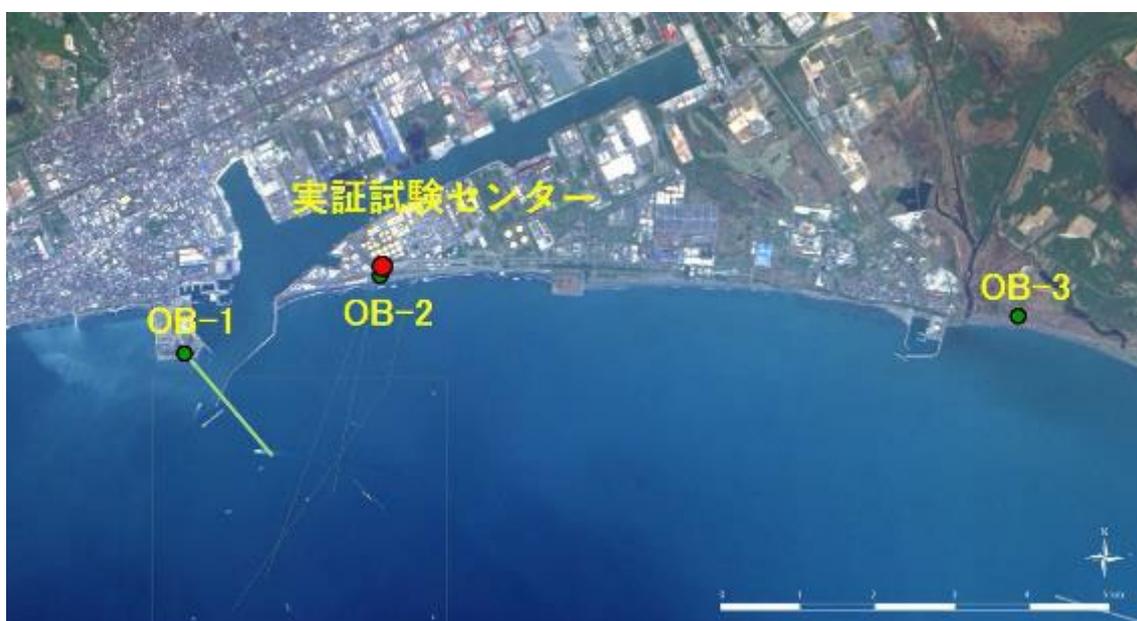
第4章 貯留したCO ₂ のモニタリング	1
4.1 観測井を利用したモニタリング	1
4.1.1 観測システム	3
4.1.2 観測システムの保守管理	29
4.1.3 観測システムによるモニタリング	38
4.2 常設型OBCによるモニタリング	50
4.2.1 常設型OBC観測システム	50
4.2.2 常設型OBC観測システムの保守管理	50
4.2.3 OBC観測システムによる観測結果	50
4.2.4 常設型OBCの埋設状況の確認	50
4.3 総合モニタリングシステムの運用	81
4.3.1 総合モニタリングシステムの主な機能	1
4.3.2 総合モニタリングシステムの動作状況の監視と保守点検	1
4.4 微小振動・自然地震モニタリング	116
4.4.1 モニタリング実施状況	116
4.4.2 モニタリング結果	116
4.4.3 微小振動・自然地震モニタリングの観測点最適化のための検討	116
4.4.4 光ファイバーを用いた振動計測	116
4.4.5 2022年度モニタリング結果のまとめ	116
4.5 繰り返し弾性波探査（第6回モニター調査）	145
4.5.1 調査概要および調査測線	145
4.5.2 作業実施内容	145
4.5.3 データ取得結果	145
4.5.4 差分抽出処理	145
4.5.5 考察	145
4.6 モニタリングデータ公開システム	161
4.6.1 情報公開システム	161
4.6.2 データ公開システム	1
4.7 圧入井を利用したモニタリング	189
4.7.1 萌別層圧入井（IW-2）における坑内圧力・温度の観測	189
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	189

4.8	まとめと課題.....	194
-----	-------------	-----

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。各観測井の位置を図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）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）、ならびに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) 出展：「LC81070302016141LGN00, courtesy of the U.S. Geological Survey」を加工

図 4.1-1(1) 観測井位置図

表 4.1-1 観測井に係る情報

項目		OB-1	OB-2	OB-3
坑口位置 ^{注1)}	X (m)	-152,965.378	-151,993.007	-152,637.485
	Y (m)	-52,024.99	-49,471.59	-41,231.55
標高 (m ASL ^{注2)})		7.035	9.15	2.16
坑底までの掘削深度 (m)		3,700	1,200	2,800
ケーシングの設置深度 (m)	20 inch	200	N/A	N/A
	13-3/8 inch	1,408	53	24
	9-5/8 inch	2,747	479	1,304
	7 inch	2,639~3,700 ^{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 ケーシング区間に適宜パーフォレーションを実施し地層との導通を確保している。

4.1.1 観測システム

坑内には、坑口に近い方から FBG (Fiber Bragg Grating) センサーとシリコン半導体圧力センサー（以下、「シリコン圧力センサー」と称する。）を内部に組み込んだケーブルヘッド、地震計 (DS-150)、CCL*1) (Casing Collar Locater)、最下部にシンカーバー（重錘）を ITC*2) (Interconnect Tool Cable) で接続した多連編成で設置している。地表付近のノイズ状況を把握するため、2016年度に各観測井の近傍の地表付近（埋設深度 50 cm 程度）に地震計（以下、「リファレンス地震計」と称する。）を設置したところ、OB-2 の No.1 地震計と OB-3 の No.4 地震計に出現するノイズ*3)は地表ノイズ（リファレンス地震計に出現するノイズ）と連動していることが判明した。ノイズの原因が地震計の幾何学的な配置（鉛直井の最下部、すなわち、シンカーバーの直上）にある可能性を検証するため、2017年9~10月の坑内機器回収点検時に OB-2 の No.1 地震計とシンカーバー

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

*2) ITC : メタル線 8 芯のアーマードケーブル（φ12 mm）。

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

の中間に No.2 地震計を、OB-3 の No.4 地震計とシンカーバーとの間に No.5 地震計を追加設置した。

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

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

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

表 4.1-2 坑内観測機器設置深度

（単位；m）

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

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

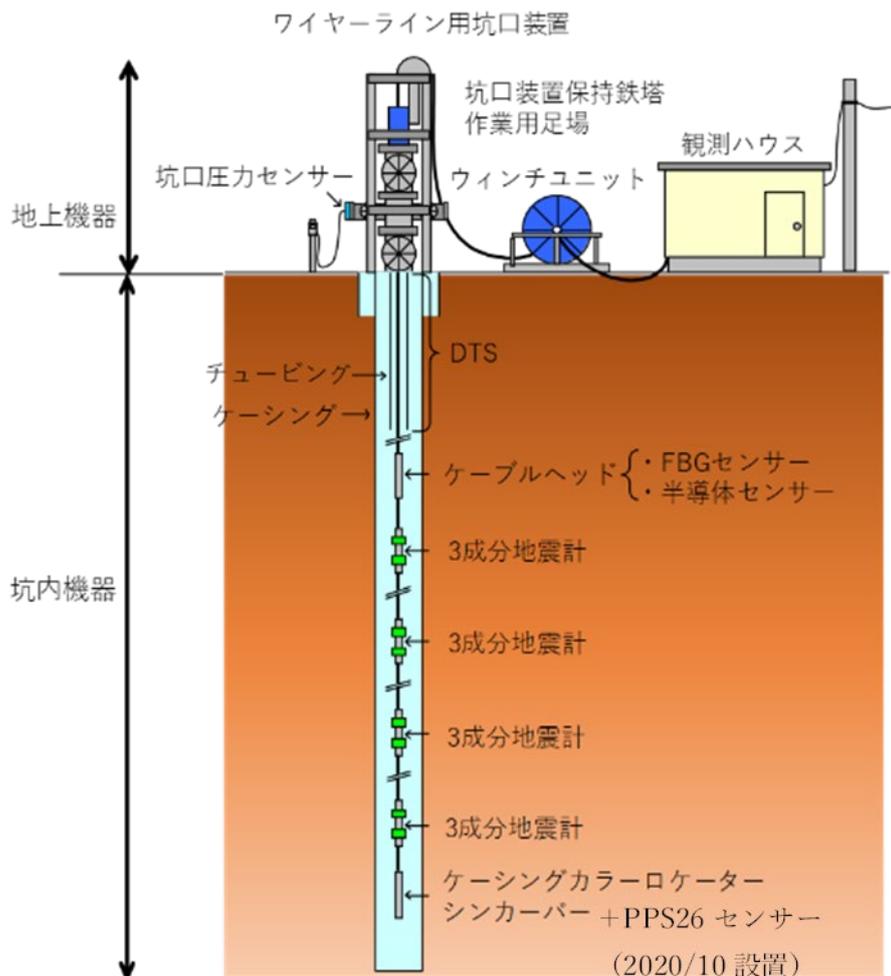


図 4.1-2 観測システム概念図

Weight

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

Total: 354.5kg

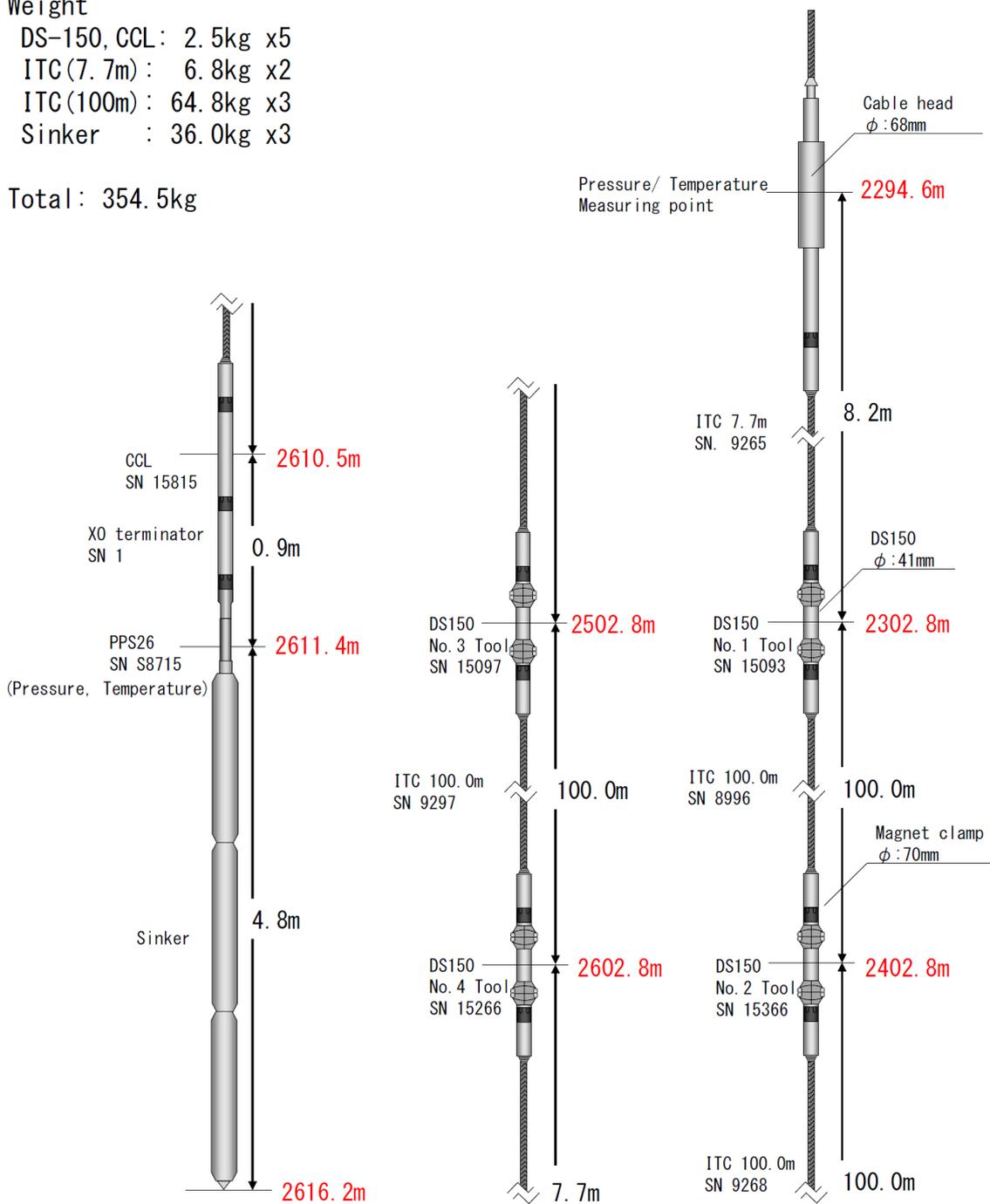


図 4.1-3(1) PPS26 センサー設置後の坑内観測機器編成図 (OB-1)

Weight

DS-150, CCL: 2.5kg x3

ITC(7.7m): 6.8kg x2

ITC(10m): 8.8kg x1

Sinker : 36.0kg x1

Total: 65.9kg

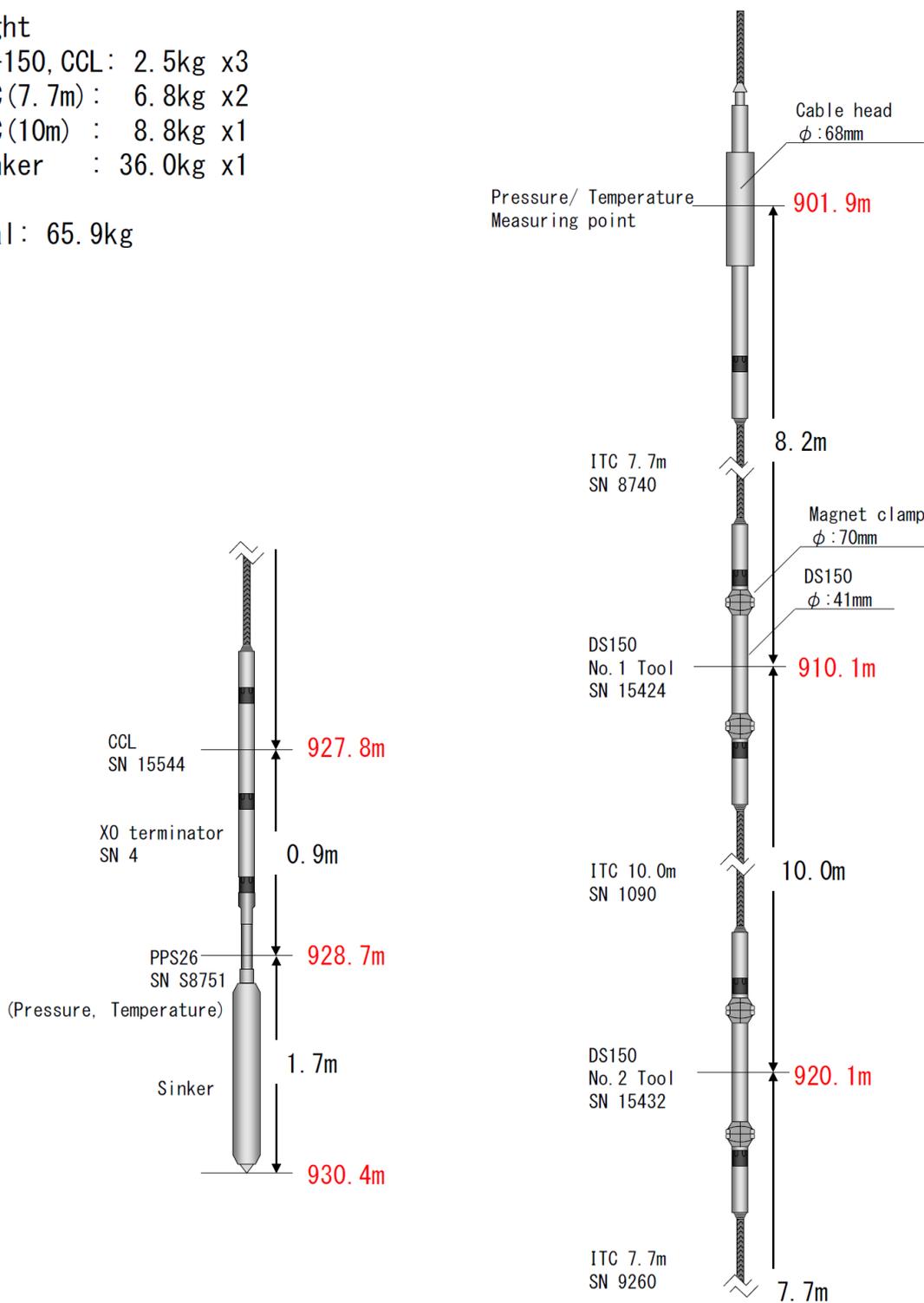


図 4.1-3(2) PPS26 センサー設置後の坑内観測機器編成図 (OB-2)

Weight

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

Total: 425.3kg

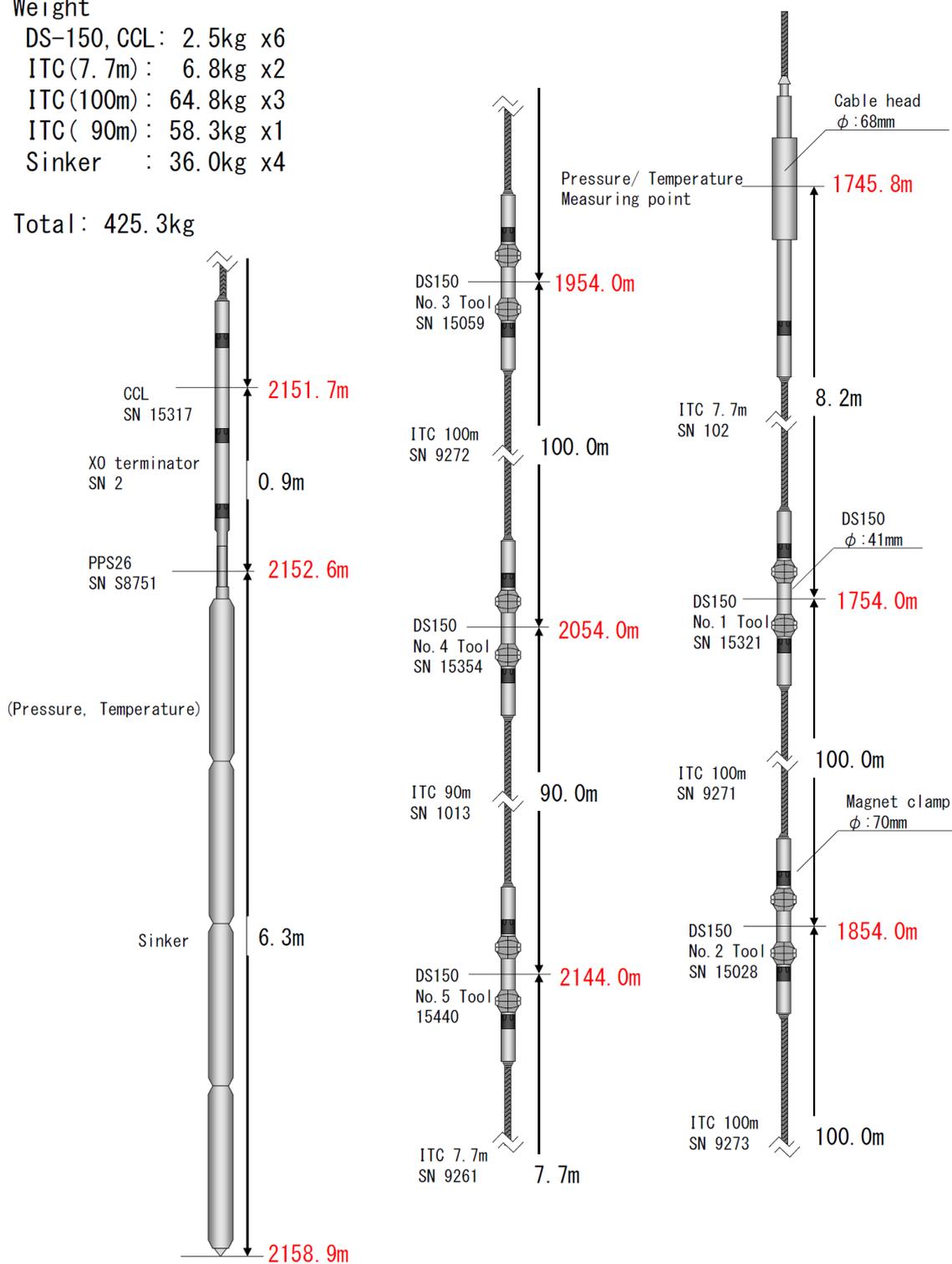


図 4.1-3(3) PPS26 センサー設置後の坑内観測機器編成図 (OB-3)

(1) 坑内地震計

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

表 4.1-3 地震計、データ収録機およびデータ転送用PCの仕様一覧

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

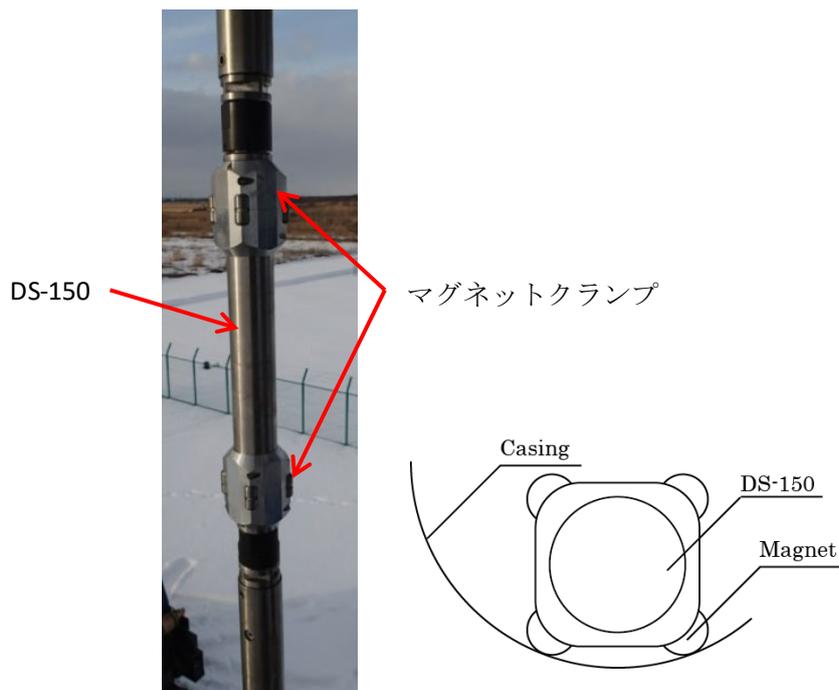


図 4.1-4 坑内に設置した地震計（DS-150）

(2) FBG センサー

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

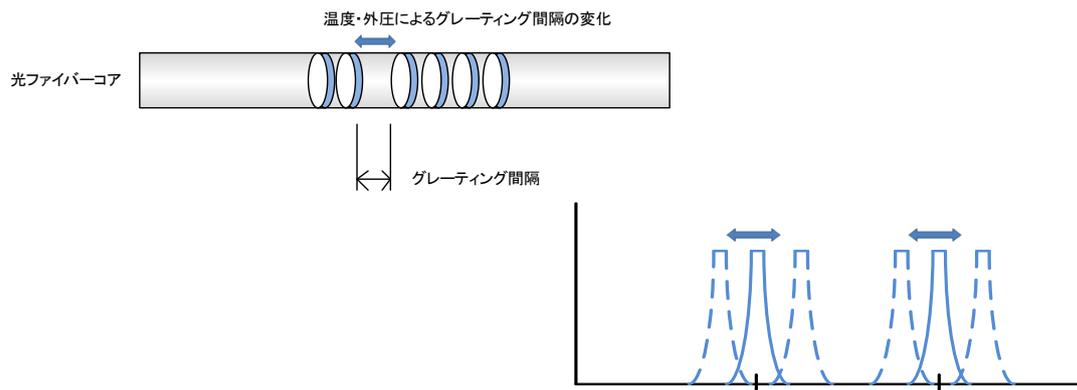


図 4.1-5 FBG の測定原理

表 4.1-4 FBG センサーの仕様

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

注) TSPPT：Terminal SmartPort Pressure and Temperature



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

(3) シリコン半導体圧力センサー

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

表 4.1-5 シリコン半導体圧力センサー仕様

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

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

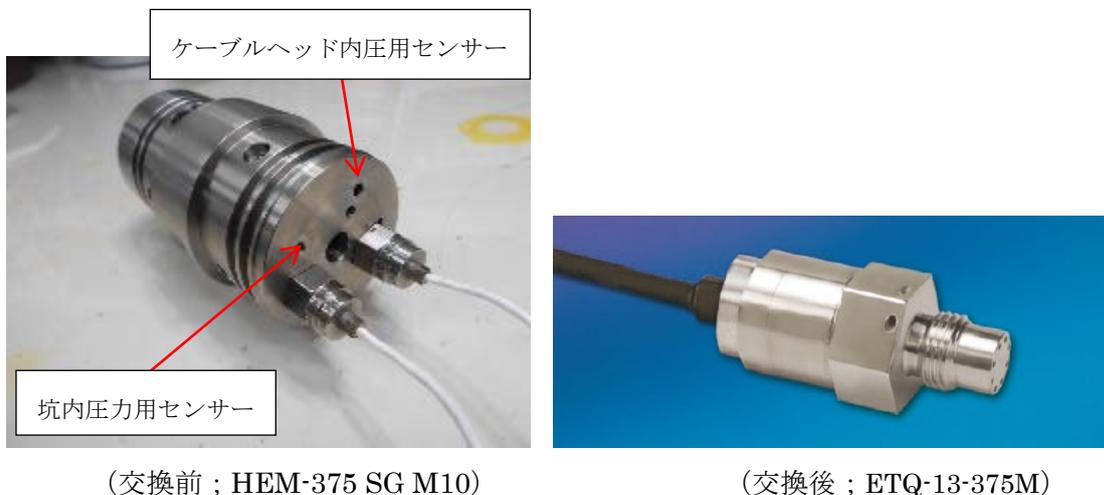
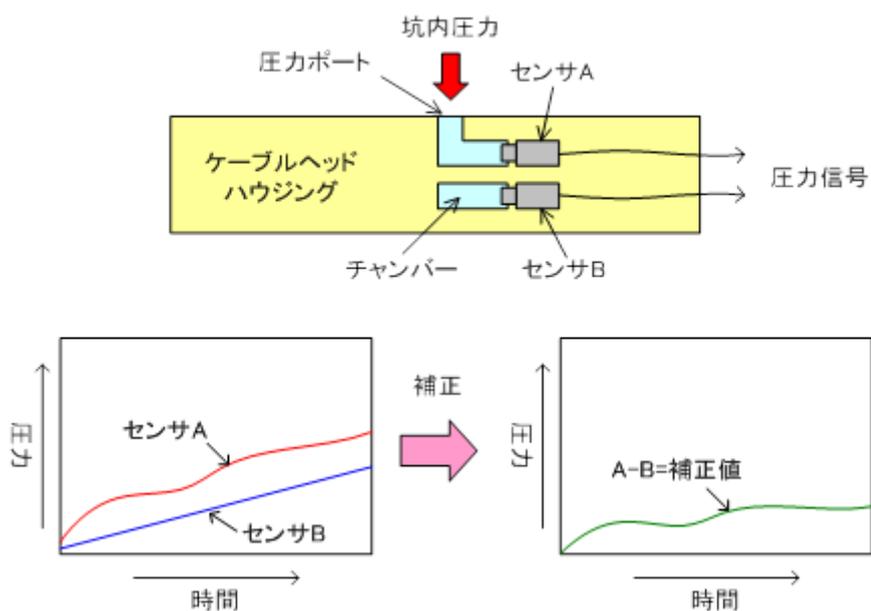


図 4.1-7 シリコン半導体圧力センサー



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

図 4.1-8 シリコン半導体圧力センサー温度ドリフト補正概念図

(4) PPS26 温度・圧力センサー

PPS26 センサーは、カナダの Pioneer Petrotech Services Inc.社製の Silicon on Sapphire 素子（サファイア（ Al_2O_3 単結晶）の基板の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°C
	精度	±0.5°C
	分解能	0.01°C
本体	外形	36 mm
	全長	209 mm
	材質	インコネル 718



図 4.1-9 PPS26 温度・圧力センサー

(5) ケーブルヘッド

ケーブルヘッドには専用のポートを設け、図 4.1-10 に示すように FBG センサー ((2)参照) と半導体圧力センサー ((3)参照) を内部に組み込んでいる。ケーブルヘッドは、アーマードケーブルとの接続点となるため、内部で FBG センサー、地震計および CCL から得られるデータ信号を光信号に変換する光ファイバの末端処理を行う。表 4.1-7 にケーブルヘッドの仕様を示す。

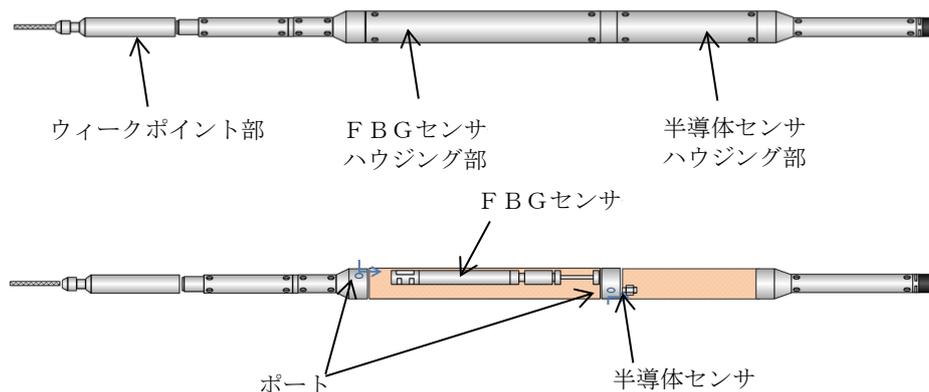


図 4.1-10 ケーブルヘッドの外観と内部構造

表 4.1-7 ケーブルヘッド仕様

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

(6) アーマードケーブル

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

メタル線は、坑内に設置している地震計と半導体圧力センサーへの電力供給と同センサーによる圧力信号の伝送に用いる。光ファイバ線は、2 本のシングルモード光ファイバ線と 4 本のマルチモード光ファイバ線の 2 種類のファイバ線により構成される。シングルモード光ファイバ線は、地上から FBG センサーへのパルス光の伝達、FBG センサーからの圧力、温度情報を含んだ計測結果の地上への伝達に用いられる。マルチモード光ファイバ線は、地震計観測データの地上への伝達および DTS（Distributed Temperature Sensor）による坑内温度分布測定に用いられる。

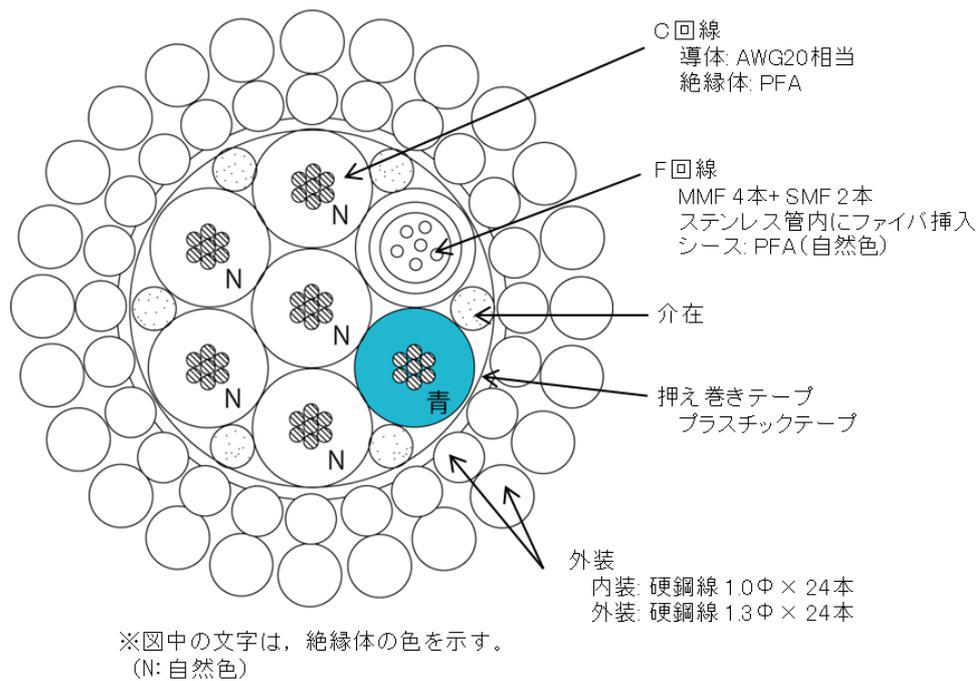


図 4.1-11 アーマードケーブル配列図（断面図）

表 4.1-8 アーマードケーブル仕様

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

(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。

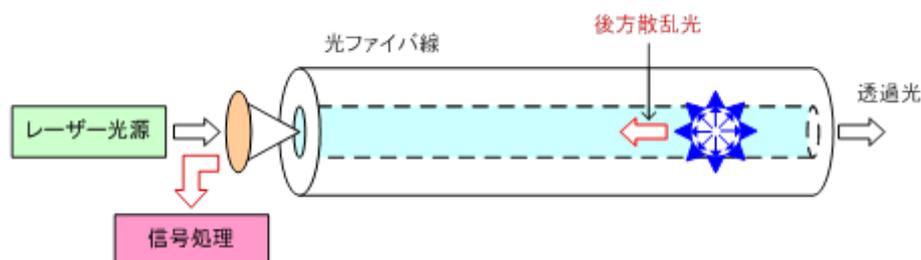


図 4.1-12 DTS の測定原理

表 4.1-9 DTSによる温度測定の様

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ヤ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。ダイヤフラムシール付圧力伝送器は、圧力変化に伴いダイヤフラムが変形し、ダイヤ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 にダイヤ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 にダイヤフラムシール付圧力伝送器（EJA438J）の外観を示す。

表 4.1-10 ダイヤ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	ダイヤフラムシール
測定スパン	0.46～16 MPa
測定範囲	0.1～16 MPa
出力信号	4～20 mA DC
精度	±0.2%



図 4.1-13 ダイアフラムシール付圧力伝送器（EJA438J）

(9) 坑口装置等

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

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

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

表 4.1-11 ワイヤーライン用坑口装置を構成する機材の機能および用途

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

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

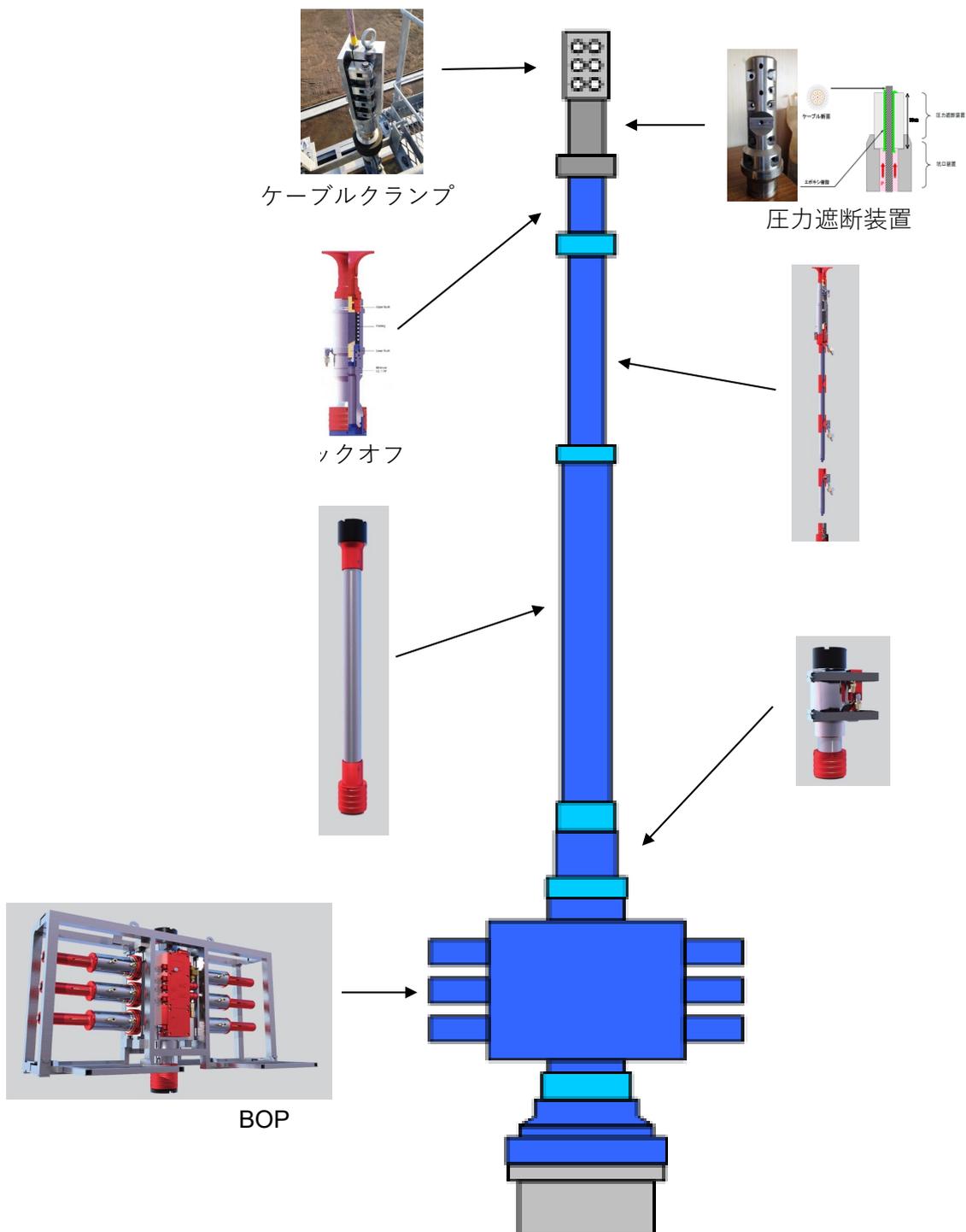


図 4.1-14 ワイヤーライン用坑口装置の模式図と構成機材の写真



図 4.1-15 OB-1 に設置した坑口装置保持鉄塔および作業用足場

(10) リファレンス地震計

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

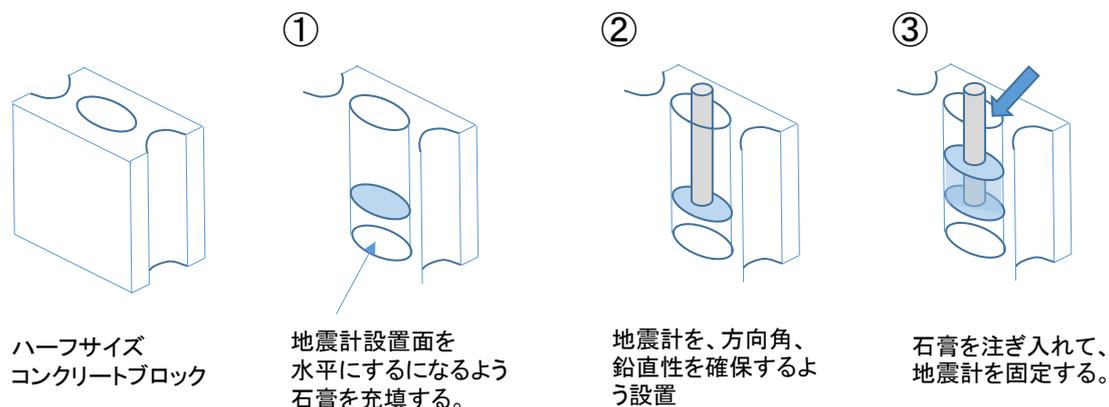


図 4.1-16 コンクリートブロックの穴へのリファレンス地震計固定手順

表 4.1-12 設置したリファレンス地震計の仕様

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

(11) 風速計

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

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



図 4.1-17 坑口装置保持鉄塔に設置した風速計

表 4.1-13 設置した風速計の仕様

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

(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。

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

*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。

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電話回線（光またはADSL）を用いたIPSec方式*7のVPNを構築しており、観測データは、観測ハウス内の地上収録装置からVPN経由で、所定の時間間隔でデータを当センターに設置したデータ保管ストレージに送信する。

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



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

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



図 4.1-19 オフドラムシステム

4.1.2 観測システムの保守管理

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

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

(1) 常時監視

専用回線を利用して観測システムの動作状況をプログラムにより常時監視した。

(2) 日常点検

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

2022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
27	28	29	30	31	1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

チェック項目表

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

表 4.1-14 定期点検実施日

実施月	当センター	OB-1	OB-2	OB-3
2022 年 04 月	13 日	13 日	16 日	16 日
2022 年 06 月	22 日	22 日	22 日	22 日
2022 年 09 月	21 日	21 日	22 日	22 日
2022 年 10 月	17 日	17 日	17 日	17 日
2022 年 12 月	21 日	22 日	21 日	22 日
2022 年 2 月	16 日	16 日	16 日	16 日

添付資料③

観測井モニタリング保守・管理チェックシート(定期点検①)

業務名 : 苫小牧地区で実施する「観測井モニタリングシステム」による観測データの提供
 観測井名 : OB-1
 実施日時 : 平成 年 月 日
 実施者 :

※写真を撮ったら(写真口)にチェックを入れる

項目	良否	否の場合の対応
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	
観測ハウスの写真口	外観に異常はないか	
	総板の設置状態は正常か	
	総板に破損・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	
電線	室内に雨漏りの形跡がないか	
	室内の温度・湿度は適度か	
	電線・通信線引込柱に異常はないか	
	電線・通信線に損傷はないか	
GPSアンテナの写真口	電線・通信線引込部に異常はないか	
	電線・通信線に損傷はないか	
	信号線に損傷はないか	
	信号線引込部に異常はないか	
エアコン	設置状態は正常か	
	がたつきはないか	
敷地面辺の写真口	コネクタの接続は適切か	
	正常に動作しているか	
路地カメラの写真口	設定は適切か	
	ゴミなどは散乱していないか	
血透計の写真口	雑音は察知していないか	
	正常に動作しているか	
設置状態は正常か	設置状態は正常か	
	正常に動作しているか	

観測井モニタリング保守・管理チェックシート(定期点検②)

業務名 : 苫小牧地区で実施する「観測井モニタリングシステム」による観測データの提供
 観測井名 : OB-1
 実施日時 : 平成 年 月 日
 実施者 :

※写真を撮ったら(写真口)にチェックを入れる

項目	良否	否の場合の対応
地上計測機器の写真口	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	
	UPSのバッテリーは正常か	
圧力計の写真口	NASIに異常はないか	
	計測器に異常はないか	
	セラーの貯水量は問題ないか	
	正常に動作しているか	
圧力センサーの写真口	設置状態は正常か	
	設置状態は正常か	
	ケーブルクラブに異常はないか	
	圧力遮断装置に異常はないか	
圧力センサーの写真口	BOPに異常はないか	
	その他異常はないか	
	設置状態は正常か	
	その他異常はないか	
ドラムBOXの写真口	固定用チェーンに異常はないか	
	雨水の浸入はないか	
データ回収	その他異常はないか	
	ストレージ容量は充分か	
戸締り加錠	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	フェンスの扉を閉め、施錠をしたか	

図 4.1-21 定期点検チェックシート

(4) 坑内機器回収・点検

2022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-3では、観測値に異常が示唆されたため、メンテナンス期間を利用して、坑内検層を実施し、観測値とのクロスチェックを実施した。また、OB-1のFBG温度圧力値は、2020年度の4月メンテナンス以降から異常値が観測されたため、4月のメンテナンス時を利用して機器更新を実施した。これらの結果については、後述する。

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8日	4月9～13日	4月14日	4月15～18日 9月20日
OB-2	9月7日	9月8～9日	9月10日	9月21日
OB-3	9月12日	9月13～18日	9月19日	9月21～22日

坑内機器の回収と再設置の手順について下記する。

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

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

- 1) 坑内機器を回収するために必要なウインチユニットおよび発電機等を坑井元に設置する。
- 2) ドラムボックスに固定されているドラム脇から観測ハウス内の地上装置に接続されている信号ケーブルを取り外す。
- 3) ドラムボックスからウインチユニットへドラムを載せ替える（オンドラム）。
- 4) 下側の滑車(Lower Sheave)をクリスマスツリーに、上側の滑車(Upper Sheave)をクレーン車のフックに取り付け、吊り上げる。

- 5) ウインチユニットによりケーブルを引っ張り、テンションがかかった状態にする。
- 6) アーマードケーブルを保持していたケーブルクランプを解除する。
- 7) 圧力遮断装置を解除する。
- 8) ウインチユニットを使用してアーマードケーブルを回収する。
- 9) ケーブルヘッドが地上まで回収された後、クレーン車を利用して全坑内機器を回収する。

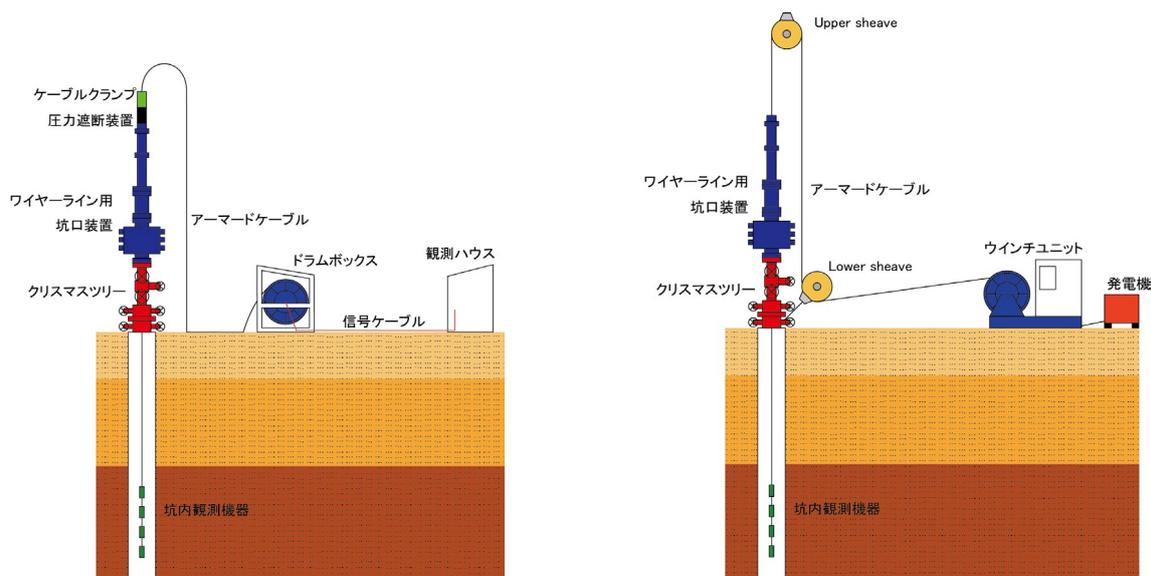


図 4.1-22 坑内機器の回収作業概念図（左：観測時、右：回収時）

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 2022 年度の各観測井におけるモニタリングの結果、ならびに課題検討対応を示す。

(1) 地震計によるモニタリング

地震計によるモニタリング事例を以下にまとめる。

2023 年 1 月 12 日 15:47 頃に北海道苫小牧沖を震源としたマグニチュード 3.5 の地震が発生した。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とあわせて、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(1)～(2)に示す（各画像について、1 トレースが 1 分間のデータ、横軸：0～59 秒）。これらの波形は、各観測井に設置された地震計のうち最も最下部にある地震計の Z 成分のものである。これより、Hi-net で観測された波形データと良い整合性が確認できる。

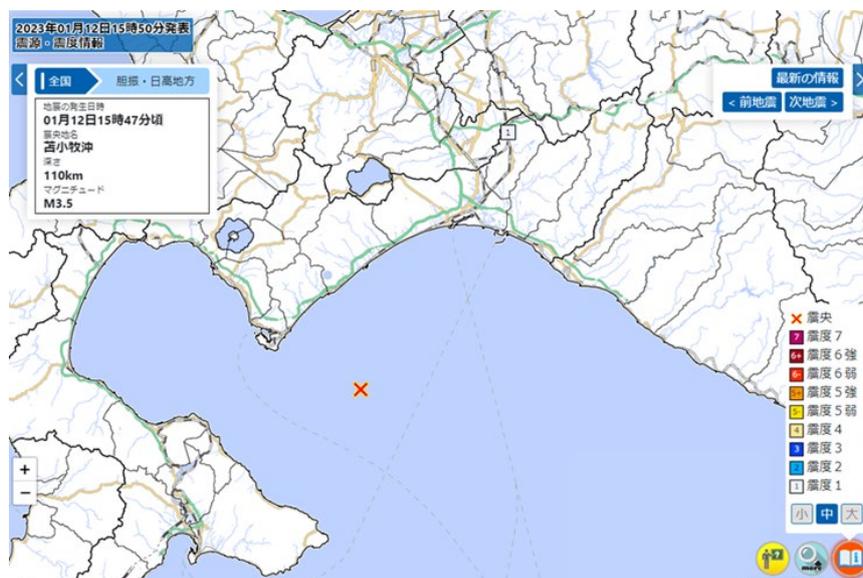
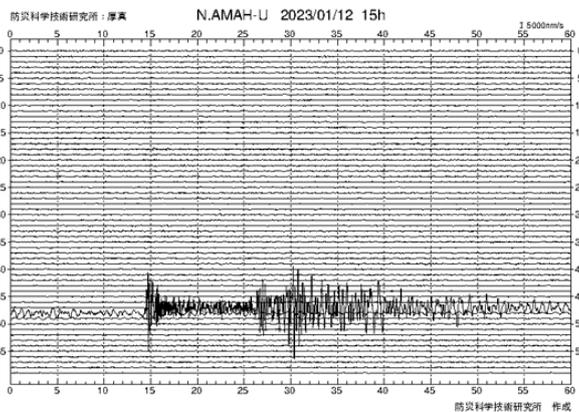


図 4.1.26(1) 微小振動・自然地震観測事例

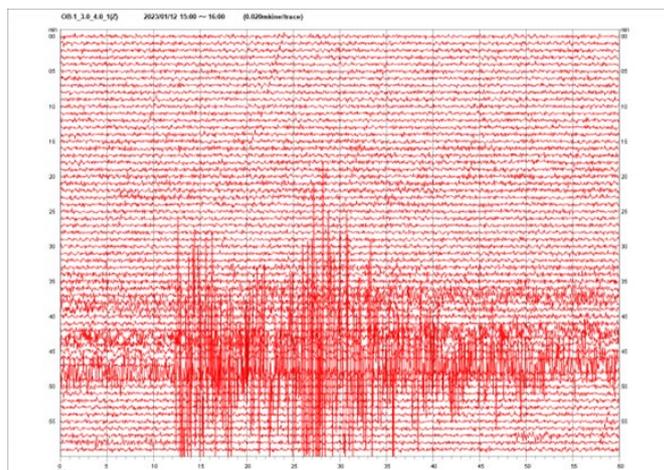
2023 年 1 月 12 日 15:47 発生
震源；北海道苫小牧沖 M=3.5（出典：気象庁 HP）



Hi-net「厚真」受振波形

(2023年1月12日15:00:00~15:59:59)

出典：防災科学技術研究所 HP

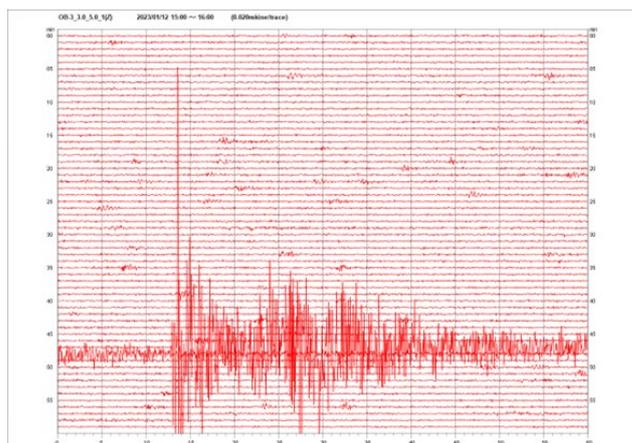


OB-1 No.4 地震計 Z 成分受信波形

(2023年1月12日15:00:00~15:59:59)

OB-2 No.2 地震計 Z 成分受信波形

(2023年1月12日15:00:00~15:59:59)



OB-3 No.5 地震計 Z 成分受信波形

(2023 年 1 月 12 日 15:00:00～15:59:59)

図 4.1-26(2) 微小振動・自然地震観測事例

(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

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

② OB-2

FBG 温度および PPS26 温度はともに安定しており、良好なデータ取得ができています。PPS26 圧力は安定しており、良好なデータ取得ができています一方、半導体圧力および FBG 圧力は、相対値としてはほぼ安定しているが、点検など調整の度に、その前後で絶対値に変化が生じているという課題がある。半導体圧力センサーと FBG センサーは同一深度に

設置されているので、正常であればそれぞれの圧力は同じ値を示すことになるが、両者には、0.2MPa以上の乖離があるので、2023年度以降対応する予定である。

③ OB-3

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

また、OB-2と同様に半導体圧力とFBG圧力に乖離が発生していることや、FBG-PPS温度とDTS温度にも若干の差異が確認されている。どのセンサーが正常か異常かを調べるために、温度圧力検層を実施した。その結果については、(3) ③に後述するが、異常を示す機器については2022年9月のメンテナンス時にそれぞれ調整を実施したため、メンテナンス以降では、正常な観測が実施されている。

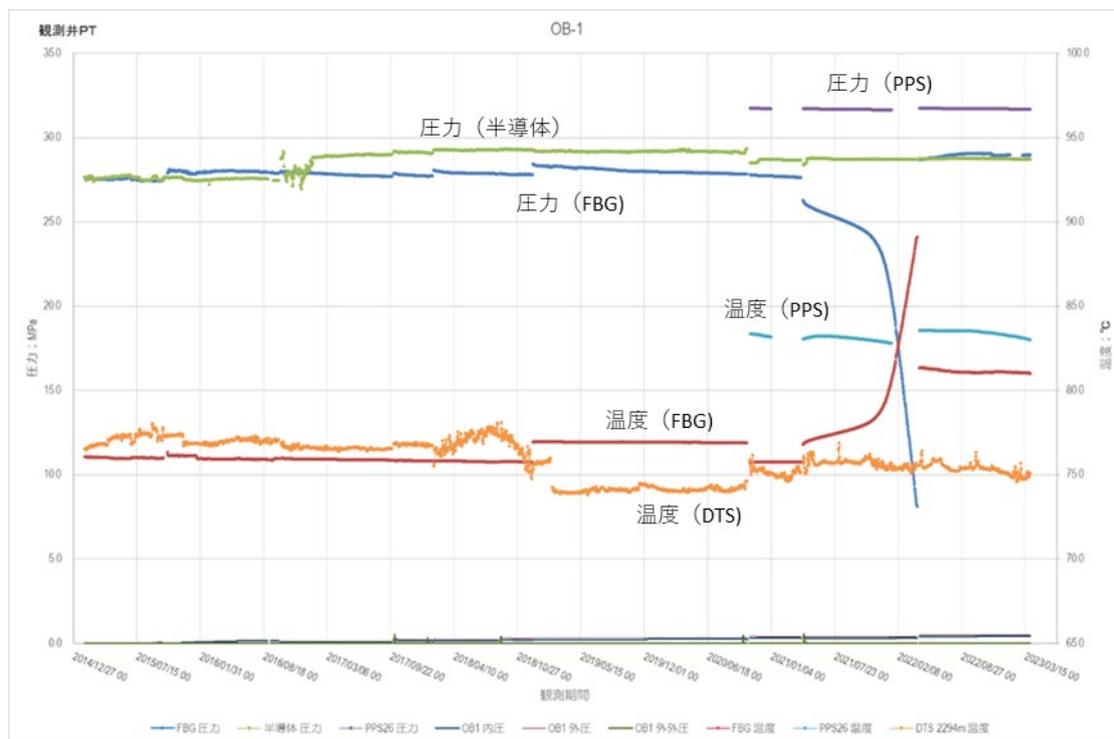


図 4.1-27 OB-1 温度・圧力モニタリング結果

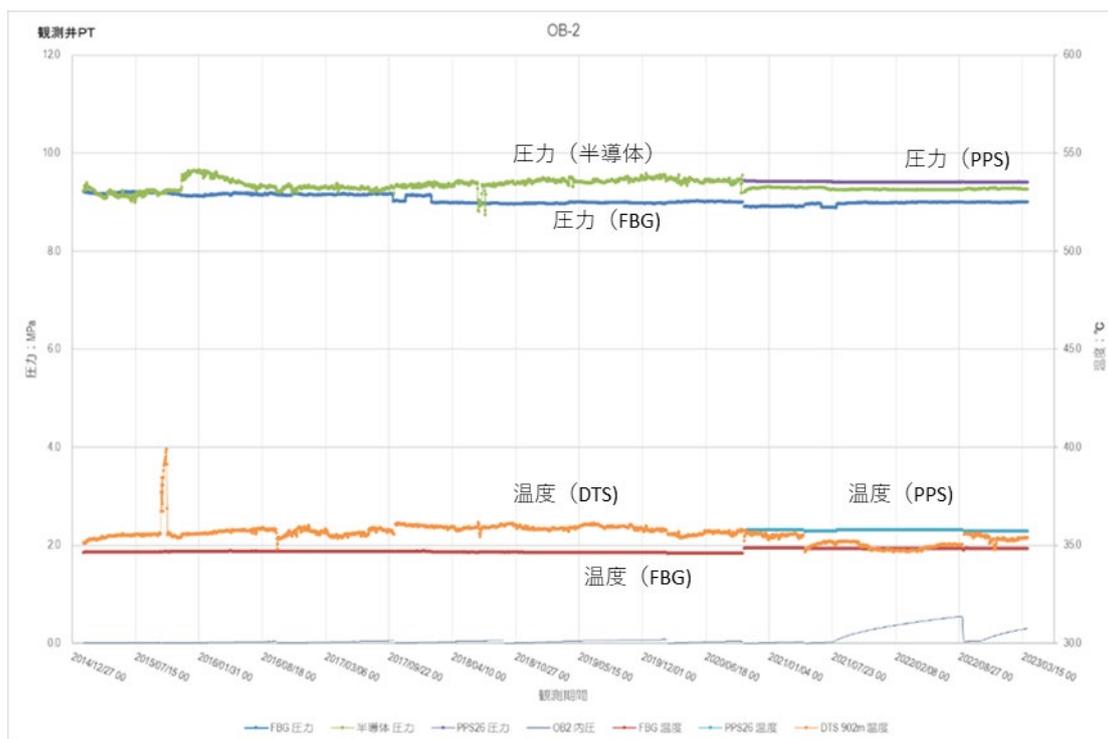


図 4.1-28 OB-2 温度・圧力モニタリング結果

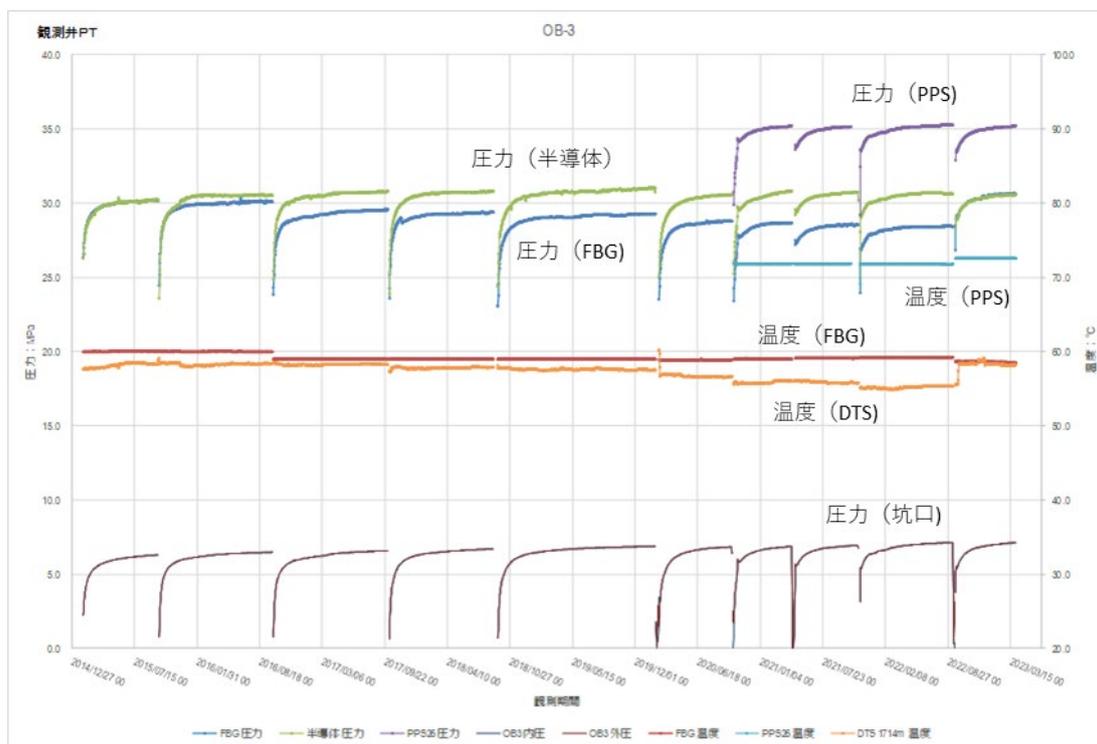


図 4.1-29 OB-3 温度圧力モニタリング結果

(3) モニタリングにおける検討課題とその対応状況

① OB-1のFBGセンサー異常の対応について

FBGセンサーにおいて、前述のとおり、温度の増加に対して、圧力の低下の傾向がそれぞれ示された。それらの変化の程度が似ていることから、変化率の解析を実施したところ、変化のパターンについて温度と圧力は全く同じトレンドを持つことが判明した。メーカー調査を実施したところ、以下のことが判明した。

FBGセンサーは、温度と圧力についてそれぞれのセンサーからなるが、温度センサーについて、筐体から剥離したことにより異常値が出力されていたと判断された。一方、圧力センサーの異常は確認されなかった。圧力値の出力は、内部で温度補正が行われており、温度値が異常を示し、その値で補正をするために、圧力値にも影響が出たことになる（図4.1-30参照）。

上記の不具合に至った経緯については、年1回のメンテナンス時にセンサーは地上に回収されるため（使用期間は5年）、センサー部には圧力の負荷・開放が複数年度のメンテナンス時に繰り返されることで、FBGを固定しているボンドの接着が弱まり、FBGが剥離したものと推察された。

今後の対策については、FBGセンサーは、現地でのメンテナンスでは分解できないため、その内部を確認することは困難である。今回の不具合は、経年劣化と考えられるため、メンテナンス時に必要に応じてFBGセンサーを新品に交換することがあげられる。

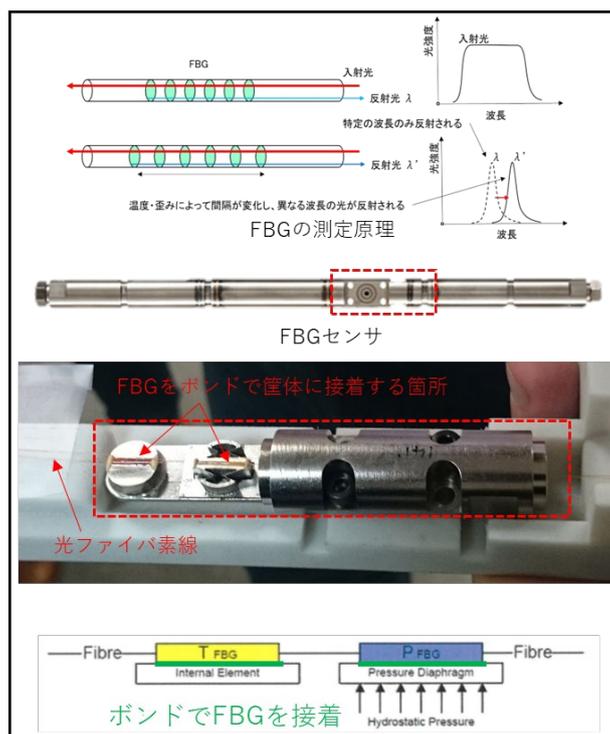


図 4.1-30 OB-1 の FBG センサーのメーカー調査結果

② 観測井の観測機器更新履歴の整理

2015年2月から観測井でのベースライン調査が開始され、現在までの観測結果から各機器の不具合更新記録を観測井ごとに整理した。これより、観測システムの最適化を目指しそれぞれの観測機器の評価を実施した。その結果を表 4.1-16 に示す。

同評価の結果、温度・圧力センサーについては、DTS、半導体圧力センサーおよび PPS26 センサーについては、本観測には適した機器であるが、FBG センサーについては不向きであることが判明した。一方、地震計については、近年トラブルが増えており、代替機器の検討が必要となり、DAS の検討を 2022 年度から着手しており、今後、微小振動・自然地震観測の代替機器の可能性について検討していく。地震計から DAS への代替は、観測システムの単純化とともに維持管理費用の削減になるので大いに期待される。

表 4.1-16 観測井における坑内機器の不具合発生状況のまとめ

	測定値	故障状況	総合評価	
FBG	OB-1では経年的なドリフトやセンサー不具合による異常値が発生した。その他の井戸では上記問題は発生していない。	地上機および坑内センサーの不具合が発生する頻度が最も高い。	今後継続して使用するのは困難と評価される。	×
半導体圧力	機器仕様を電圧伝送型から電流伝送型に切り替えたことで、測定値は安定することを確認した。	地上機および坑内センサーの不具合は発生しなかった。	圧力については、最も信頼性の高いセンサーと評価される。	○
DTS	測定感度は最も悪いのでデータのばらつきが発生する。また、経年的なドリフトやメンテ前後での乖離がしばしば発生する。	地上部の光ファイバー線に潰れが確認され、データも安定性を欠いたため交換した経緯あり。	ばらつきについては、日平均の平滑化処理をすることで解決できることを確認した。検層データとクロスチェックすることで、観測値の正常・異常の診断が可能なので、異常な場合にはオフセット調整などで対応可能。	△
PPS26	測定精度は最も高く、測定値は安定している。	センサー自身の故障は発生していないが、他ツールとの接続の問題（絶縁不良）が発生し、欠測となった。	センサー自身は不具合はなく、観測感度は最も高いので、継続使用する上で問題ないと評価される。坑内機器アセンブルを簡略化することで、絶縁不良の問題に対応可能。	○
地震計	地上観測や海底下観測よりもノイズは低い。ただし、一部の地震計は異常値を示し、イベント検出には利用できても震源決定の解析には利用できないデータがある。	メンテナンス毎にセンサーの交換頻度が高く、課題となる。地震計をつなぐITCの長さに制約があり、対象深度を広げるためには地震計の数を増やすしかなく、また各地震計データは一つの信号線となっており、同信号線に不具合が生じるとすべてのデータが欠測するという難点がある。データ異常の多発し、メンテの負荷が高くなる。	メンテナンスの頻度や負荷が低いシステムへの代替が必要である。	×
アーマードケーブル	-	地上部では塩害による外面腐食が発生する。このため、定期的な交換が必要となる。	地上部のケーブルの塩害対策については、被覆などを検討し、耐用年数延命化を検討する。	○
特記事項	-	-	機器故障の程度は、OB-2<OB-3<OB-1の順に高くなり、井戸毎に異なる。OB-1は深度が深いことや温度が高いこと、地震計の数が比較的多く、観測システムとして複雑となる。これが同故障の要因か否かは現時点では不明。但し、同システムが単純な方が、トラブルは少なく、メンテナンスの負荷は軽減されることは確かである。	-

③ OB-3 温度圧力検層結果

前述のとおり、OB-3のFBGセンサーの圧力と半導体圧力に乖離が観測されたが、他のデータもやや懐疑的な観測値も認められたことから、各観測井のセンサーに対して正常・異常の評価を実施した。その結果、OB-3が最も懐疑的なセンサーが多かったため、当初計画になかったが2022年度に温度圧力検層を実施した。

検層の目的は、以下のとおりである。

- 1) モニタリングで使用中のセンサー・データとのクロスチェック
- 2) 既存データに基づき構築された坑内状況の仮説の検証
- 3) 海洋汚染防止法・監視計画報告事項となるデータ正常/異常診断ルール化の策定に資する高精度のデータ取得

2021年度までの観測状況（図4.1-29）から、以下の懸念事項が抽出された。

FBG圧力と半導体圧力は、観測当初はほぼ同じ値であったが、経年的にその差が大きくなっていった。坑口圧力は経年的に上昇傾向にあり、そのセンスと半導体圧力は整合する。このため、FBG圧力が懐疑的という仮説を立てた。

また、FBG温度とPPS26温度による温度勾配とDTSの温度勾配が若干異なっており、どちらが正しいか判断がつかない。

検層の結果を図4.1-31および図4.1-32に示す。温度については、FBG温度とPPS26温度が正常であり、DTSが異常と判断された。圧力については、検層中に検層ツールおよびケーブルの坑内挿入により、圧力上昇が発生することや、メンテナンス・インターバル中に圧力上昇が発生するので、観測値と検層値とを比較する上で、それらの圧力補正が必要となることが判明した。その圧力補正を行った上で、比較検討した結果、仮説のとおり半導体圧力が正常であり、FBG圧力が異常と判断された。また、それぞれ異常となったセンサーについて、メンテナンス作業中に調整（更新あるいはオフセット調整）を実施した。

観測井での検層は、観測開始から初めての試みとなったが、精度の高いモニタリングを実施する上で、使用中のセンサーのクロスチェックは有意義であり、他2坑井についても2023年度の実施を検討する。特に、圧力については、ポイント測定のための、データの信憑性の判断が困難であり、必要に応じて実施することが重要と考えられる。

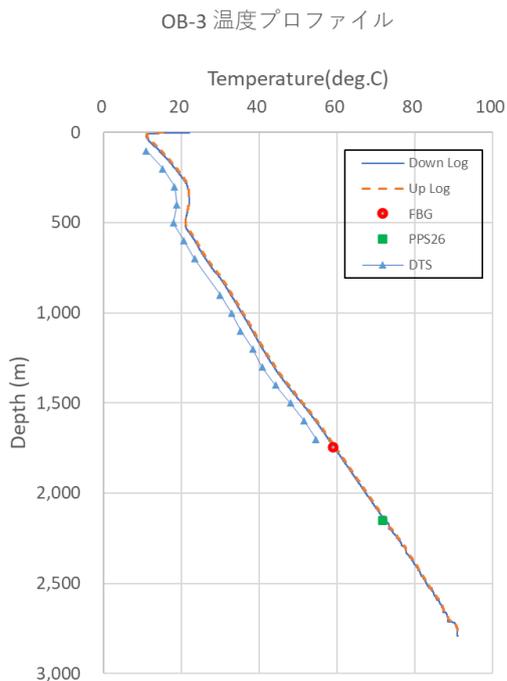


図 4.1-31 OB-3 温度検層結果と観測値の比較

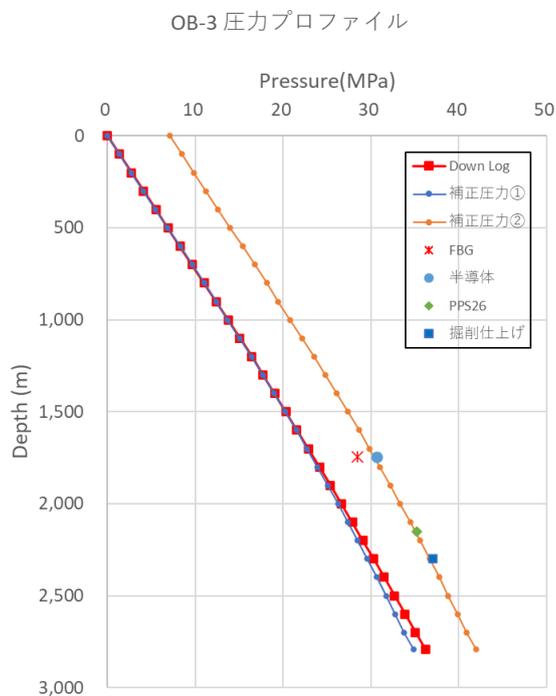


図 4.1-32 OB-3 圧力検層結果と観測値の比較

④ インターネット回線変更（OB-1 および OB-3）

これまでOB-1 および OB-3 のデータ伝送に使用していた通信回線は、ひとつの観測井につきNTT 東日本フレッツ ADSL2 回線を使用していた。しかし、NTT 東日本フレッツ ADSLは、2023年1月末にサービスが停止される。そのため、2021年度には、回線変更の確認テストを行った。その結果、NTT ドコモ回線を利用したBIGLOBE 社による上り高速通信回線サービスとした（図 4.1-33）。

回線の変更作業は、機器の手配および開通手続きが終了した後、2022年6月22日に現地にて実施した。回線変更後、データ伝送等の通信状況に不具合はなかったが、2023年1月22日にOB-1にてデータ伝送ができなくなるという現象が発生し、インターネット経由で観測システムにアクセスすることが不可能となった。NTT ドコモ社およびBIGLOBE社に問い合わせたところ通信障害は発生しておらず、通信機器の不具合が想定された。1月27日に現地に向かいVPNルーターを再起動したところ、通信回線が復旧した。その期間中の観測データは、観測ハウス内のストレージに問題なく記録されていることもあわせて確認した。

1月22日に発生したようなVPNルーターの不具合に備え、リブーターを追加設置し、別のインターネット回線からVPNルーターを再起動できるようにした。また、OB-3にも別のインターネット回線を準備し、不具合に備えることとした。

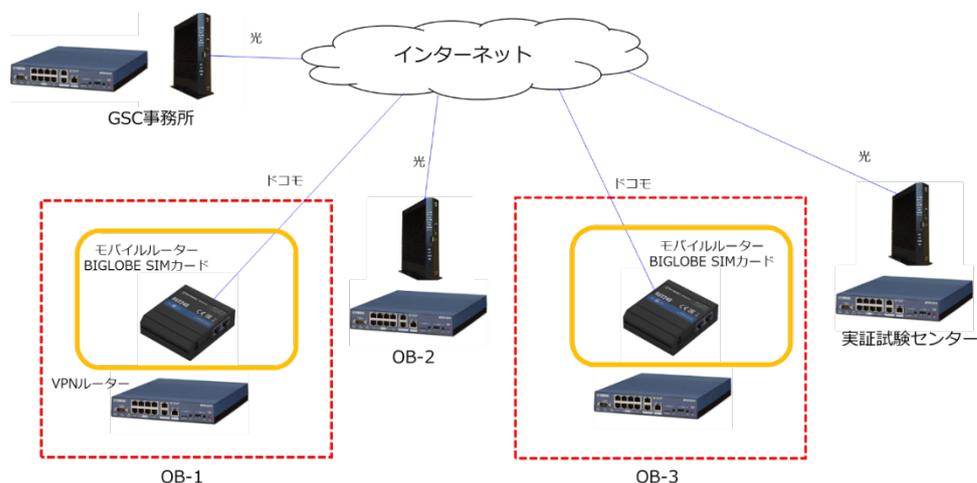


図 4.1-33 新規の観測設備通信回線

⑤ 観測ハウスのエアコン更新

各観測井（OB-1、OB-2、OB-3）の敷地内に設置している観測ハウスのエアコン室外機の放熱部が塩害により腐食していることが確認された。エアコンは2022年7月時点では正常に動作していたが、今後、該当箇所の腐食進行によりエアコンの運転が停止する可能性があり、その場合、観測ハウス内の温度が上昇あるいは低下し、室内の観測機器に影響を及ぼすことが懸念されるため、各観測ハウスに設置されているエアコンを新しい機器に交換した。

更新用エアコンは、従来使用中のものと同等の性能を有する機器として下記を選定した。

ダイキン工業製 ルームエアコン 2.8kW 機種番号 F28ZTES-W

エアコンの交換作業は、2022年9月23日～24日にかけて実施した。交換後のエアコンの写真を図4.1-34および図4.1-35に示す。古いエアコン等の廃棄物は適切に処理し、工事業者より廃棄証明書を発行させた。また、工事後にモニタリング機器が正常に作動していることを確認した。



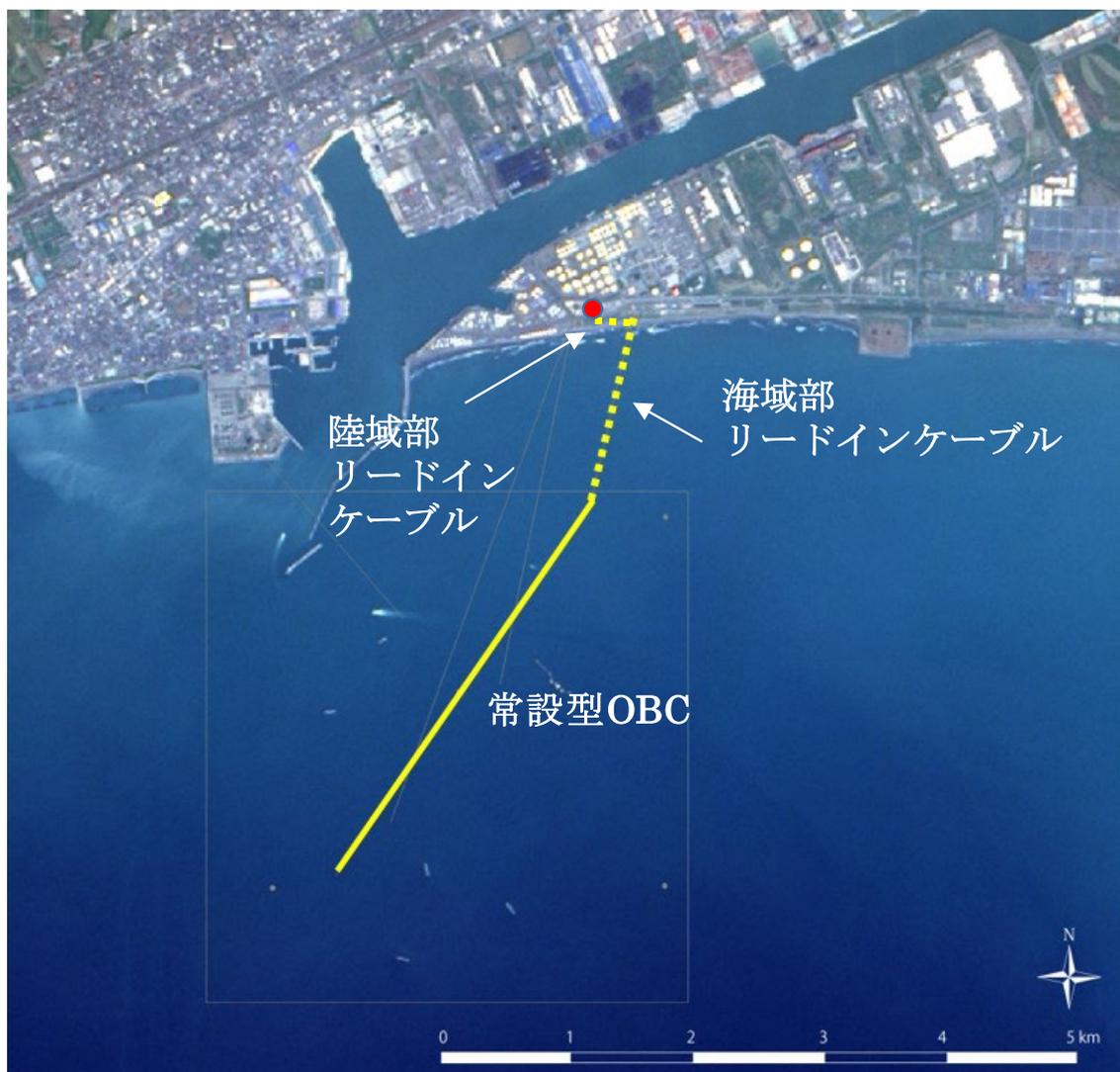
図 4.1-34 エアコン室内機（更新後）



図 4.1-35 エアコン室外機（更新後）

4.2 常設型 OBC によるモニタリング

2022 年度を通して、常設型 OBC (Ocean Bottom Cable) 観測システムによるデータ取得を継続実施した。図 4.2-1 に海底面下に敷設されている常設型 OBC (実線) とデータ伝送ケーブル (破線) の設置を示す。



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

図 4.2-1 常設型 OBC 設置位置

4.2.1 常設型 OBC 観測システム

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

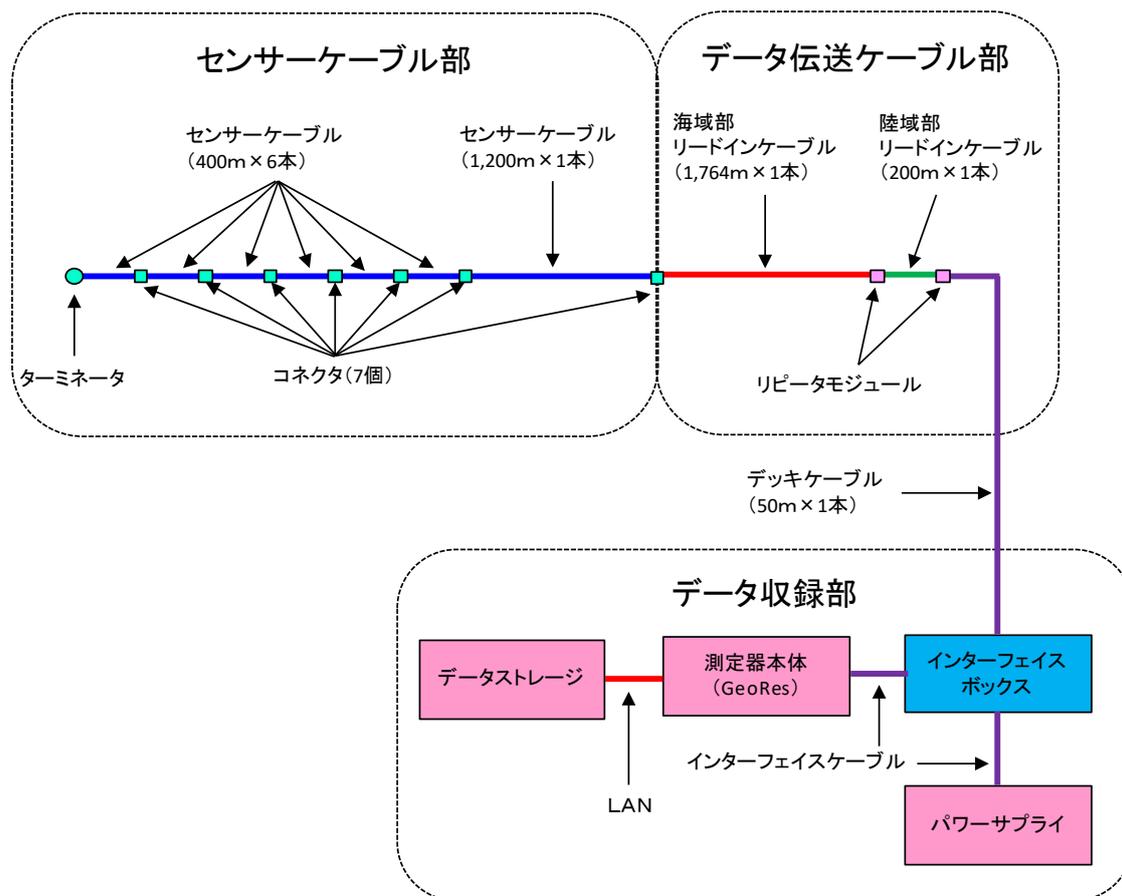


図 4.2-2 常設型 OBC 観測システム構成の概念図

(1) センサーケーブル部

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

図 4.2-3 にモジュールの詳細を示す。

*1) 外径：22.6 mm（モジュール部を除く）。

*2) 2014 年 12 月 16 日より、センサーケーブルの中央付近から沖側のモジュール 17 個（39 番～71 番の奇数番）のデータ受信が不可となっているが、2015 年 3 月に実施した二次元解析により、震源・振源解析には、大きな支障がないことを確認している。

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

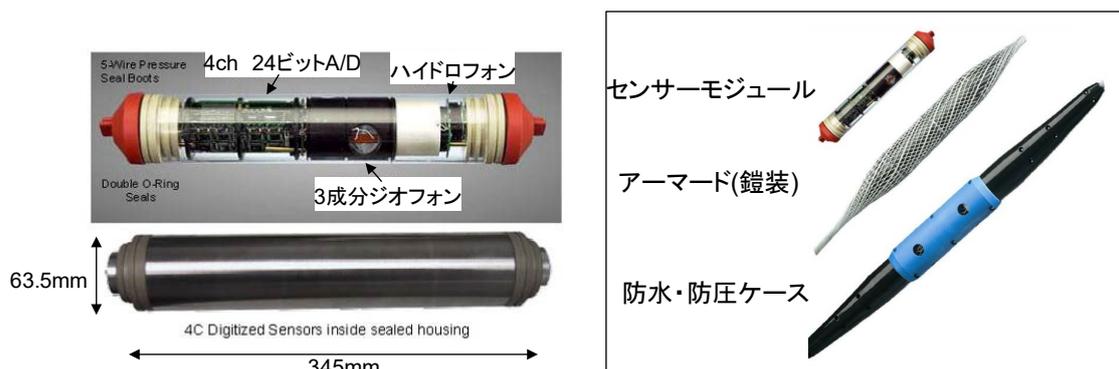


図 4.2-3 モジュールの詳細

(2) データ伝送ケーブル部

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

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

(3) データ収録部

データ収録部は、4成分×72センサーユニットに対応可能な測定器*4)（GeoRes HC-E：Geospace社製）（以下、「GeoRes」と称する。）、インターフェイスボックス

（Geospace INTERFACE：Geospace社製）、センサーケーブル部の各モジュールに電源を供給するパワーサプライ*5)（Sorensen DCS600-1.7E：Geospace社製）およびデータストレージをはじめとする周辺機器により構成されている。

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

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

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

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

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4.2-4にGeoResを更新した2022年2月以降のデータ収録部のシステム構成図を示す。図4.2-5に2式の19インチラック*10)(SSR-19U60A0V2B: 摂津金属工業(株)製)に収納したデータ収録部等の写真を示す。

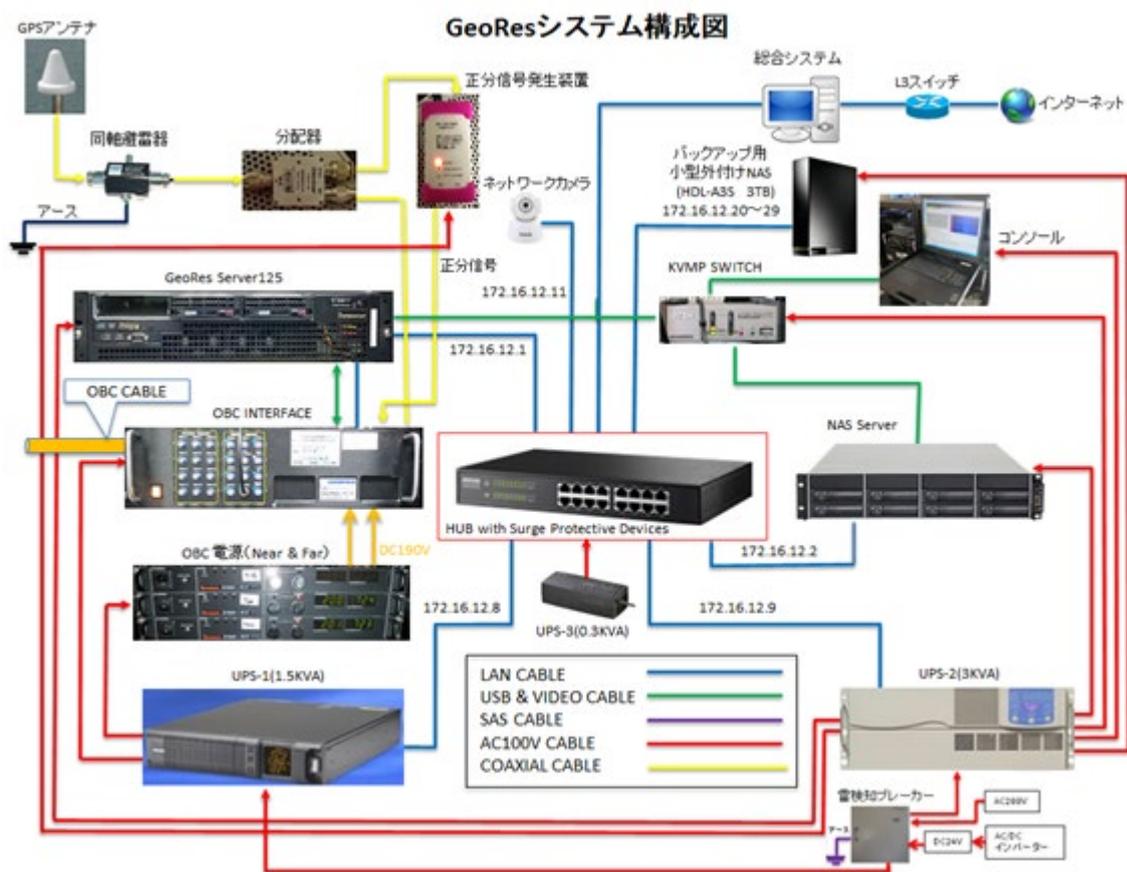


図 4.2-4 データ収録部のシステム構成図 (2022年2月16日以降)

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

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

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

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

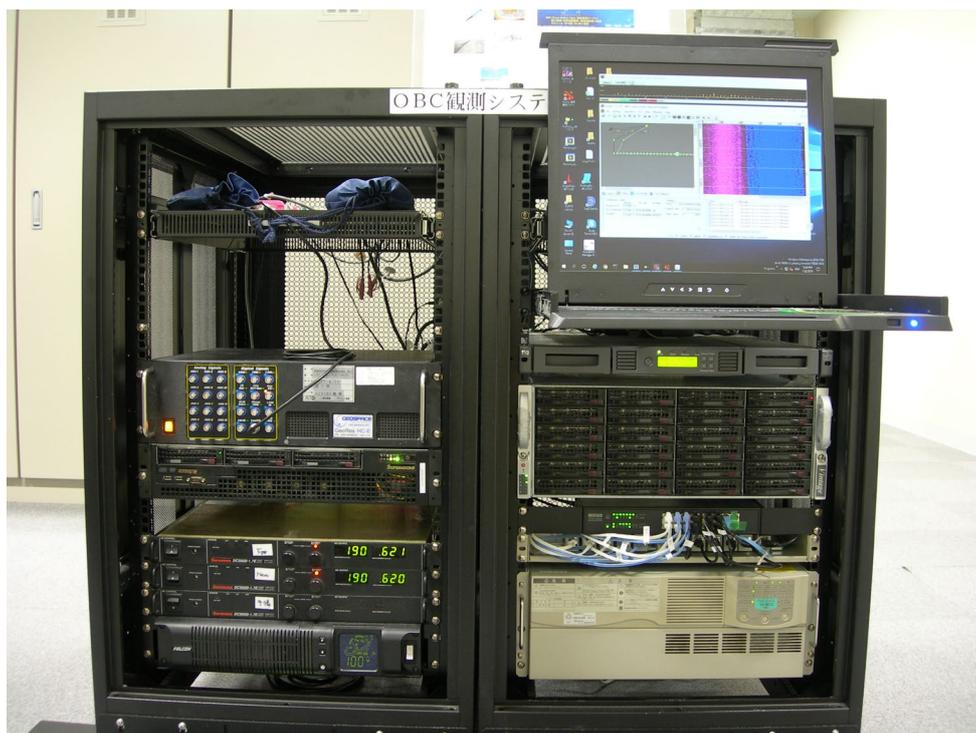


図 4.2-5 データ収録部

① GeoRes

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

② データストレージ

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

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

③ データバックアップ装置

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

④ バックアップ用外付けNASドライブ

バックアップ装置として、NASサーバーにデータファイルを保存すると同時に外付けNASのHDD^{*17)}にもバックアップを作成している。具体的には、Geospace社がGeoRes用に提供しているソフトウェア群に含まれるファイルコピーソフトウェア(FileRelay:Geospace社製)を使用し、GeoResが稼働するWindows10上で指定したNASサーバーのフォルダを監視し、フォルダ内に新たに作成されたデータファイルをリアルタイムで外付けNASドライブの指定フォルダにコピーする。外付けNASには複数のドライブ(現状は5台)をハブに接続しており、遠隔操作で切り替えて使用している。

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

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

*17) 当初は2TB(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3TBのHDDを使用。

⑤ コンソールと KVM スイッチ

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

⑥ 無停電電源装置（UPS）

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

⑦ 電源開放装置

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

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

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

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

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動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。作業内容、計画頻度、および実績回数などを、表 4.2-2 に示す。

表 4.2-2 常設型 OBC 観測システムの保守管理作業内容

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

2022年4月～2023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。

(2) 遠隔監視

OBC 観測システムの動作状況を、公衆回線を利用した遠隔監視により原則週1回の頻度で確認した。図 4.2-6 に示すチェックリストに沿って、動作状況の確認、異常時の対応などを行った。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などの異常が見られた場合には、状況の確認および復旧対応などを行った。

遠隔監視チェックリスト

実施日：

実施時間：

～

(定期)

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 (55モジュール×4ch=220ch)		
	データ状況	観測波形の異常の有無		
	動作ログ	エラーメッセージ等の有無		
		異常停止などの有無		
欠測ファイルの有無				
内臓HDD	Cドライブ容量(残量)			
	Dドライブ容量(残量)			
	Eドライブ容量(残量)			
データ収録機能	NASサーバー	正常動作		
		データ収録		
		Cドライブ容量(残量)		
		Dドライブ容量(残量)		
	バックアップ用HDD	使用中HDD_No.		
		ドライブ容量(残量)		
	バックアップ用HDD切換	正常切換		
		切換HDD_No.		
その他/備考				

図 4.2-6 遠隔監視時に使用したチェックリスト例

(3) 現地保守点検

現地保守点検における確認内容は、観測状況の確認、NAS外付けHDDの交換等である。2022年度は、2022年4月18～19日、6月20～21日、8月22～23日、10月17～18日、12月19～20日および2023年3月6～7日の計6回実施した。図4.2-7に現地保守点検時に使用したチェックリストの例を示す。

現地保守点検チェックリスト

実施日： ~

実施時間：

作業者：

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

図 4.2-7 現地保守点検時に使用したチェックリスト例

① 観測状態の確認

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

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

② NAS 接続外付け HDD の切替え・交換

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

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

現地保守点検時に HDD を交換する際には、HDD 本体に記載されている MAC(Media Access Control)アドレスを控えて、GeoRes のデスクトップ画面上にある NASINF フォルダ内の対応するディスク番号に新しい MAC アドレスを入力し上書き保存する。この操作を行うことにより、遠隔操作で NAS を切替えることが可能となる。

③ セキュリティソフトウェアのアップデート

適時、セキュリティソフトウェアおよび OS のアップデートを実施した。

常設型 OBC 観測システムのデータ収録装置である GeoRes は 2017 年 4 月に更新し、2022 年 3 月末現在の OS は Windows 10、セキュリティソフトウェアはトレンドマイクロ社のウイルスバスタービジネスセキュリティサービス（VBBSS）である。ライセンス期間は 1 年契約で、2022 年 5 月にライセンス更新を実施し、2023 年 5 月 31 日まで有効である。

NAS サーバーは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ウェアとして、Windows Defenderが付属している。ライセンス期間はOSの延長サポート期限である2029年1月9日まで有効である。

(4) システムテスト

遠隔操作によるデータ収録装置(GeoRes)のシステムテスト機能を用いて、2022年6月18日(第1回)と2022年12月3日(第2回)に、常設型OBC観測システムのテストを実施し、センサー、ケーブルおよびデータ収録装置の健全性について検査した。

過年度と同様に、2個のハイドロフォン(SN9411、9598)のインピーダンス低下が確認された。これらは、円筒形のエレメントに入った小さな亀裂によるものであり、この小さい亀裂が時折、密着したり離れたりするため、値が不安定になっていると考えられる。この小亀裂は自然に直ることはないため、テストの度に両方またはいずれかのハイドロフォンのインピーダンスが小さな値となる。なお、インピーダンス値が小さいハイドロフォンの観測データの振幅は他のハイドロフォンより小さくなるが、波形処理や波形表示の際には振幅補償が可能であることから、解析には大きな影響はないものと考えられる。

4.2.3 OBC観測システムによる観測結果

常設型OBCによる連続観測において観測された自然地震の中から表4.2-3に示した7個の地震について、その震央を図4.2-8に、その波形記録例を図4.2-9(1)~(5)に示す。

各波形記録例は、OBC観測システムにより取得された自然地震観測波形記録と、(国研)防災科学技術研究所が公開しているHi-netの厚真観測点(北海道勇払郡厚真町字富野75-2厚南中学校敷地内)の波形記録を対比して示した。各図中で、左側に示す常設型OBCの波形記録は左からX(ケーブル敷設方向)、Y、Z(ケーブル直交方向)、H(ハイドロフォン)の順であり、各々左(陸側)から右(沖側)に各成分のデータが並び、上から下に時間経過を示す。右側に示すHi-netの波形記録の縦軸は上から下へ0~59分、横軸は左から右に0~60秒を示す。震源情報は気象庁発表の情報である。

図4.2-9(1)は、青森県東方沖で発生した気象庁マグニチュード5.6の地震である。圧入地点からの震央距離が約200kmで離れているが、規模が大きいためOBC、Hi-net厚真ともにP波の識別は容易である。いずれもP波の振幅が大きいため、その影響を受けてS波は識別しづらくなっている。Hi-net厚真の観測記録では、11:14台に気象庁マグニチュード3.4の地震も記録されている。

図 4.2-9 (2)は、苫小牧沖で発生した気象庁マグニチュード 1.4 の地震である。圧入地点からの震央距離が約 10km で比較的近いところの深さ 22km で発生した地震である。OBC、Hi-net 厚真ともに明瞭な波形であり、P 波、S 波の識別が容易にできる。OBC では各チャンネルで到達時間がほぼ一様となっている。

図 4.2-9 (3)は、胆振地方中東部で発生した気象庁マグニチュード-0.1 の非常に小さい地震である。OBC、Hi-net 厚真ともに明瞭な波形であり、P 波、S 波の識別が容易にできる。OBC では陸側から沖側に向かうに連れて到達時間が遅くなっているのがわかる。

図 4.2-9 (4)は、苫小牧沖で発生した気象庁マグニチュード 2.9 の地震である。平面的には圧入地点からの震央距離数 km で非常に近いが深さ 123km と深いところで発生した地震である。OBC、Hi-net 厚真ともに明瞭な波形であり、P 波、S 波の識別が容易にできる。OBC では各チャンネルで到達時間がほぼ一様となっている。

図 4.2-9 (5)は、胆振地方中東部で発生した気象庁マグニチュード 3.2 の地震である。OBC、Hi-net 厚真ともに明瞭な波形であり、P 波、S 波の識別が容易にできる。OBC では陸側から沖側に向かうに連れて到達時間が遅くなっているのがわかる。Hi-net 厚真の観測記録では、10:29 台に気象庁マグニチュード 1.5 の地震が記録されている。

表 4.2-3 常設型 OBC により観測された自然地震の記録例

番号	発生時刻	気象庁マグニチュード	震源の深さ	震央位置
(1)	2022 年 05 月 23 日 11:01:05.8s	5.6	24km	青森県東方沖
(2)	2022 年 06 月 13 日 00:26:15.2s	1.4	22km	苫小牧沖
(3)	2022 年 07 月 19 日 04:02:28.3s	-0.1	19km	胆振地方中東部
(4)	2022 年 09 月 26 日 04:01:09.2s	2.9	123km	苫小牧沖
(5)	2022 年 09 月 30 日 10:16:17.4s	3.2	33km	胆振地方中東部

胆振・日高地方の地震活動図

2022年1月1日～2022年12月31日

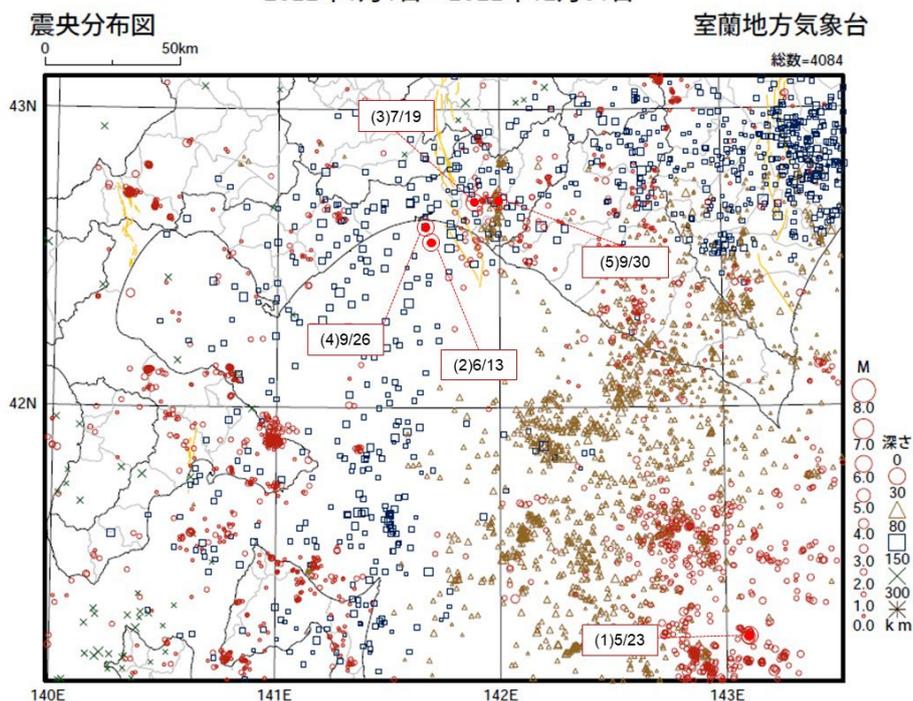


図 4.2-8 表 4.2-3 に示した自然地震の震央位置

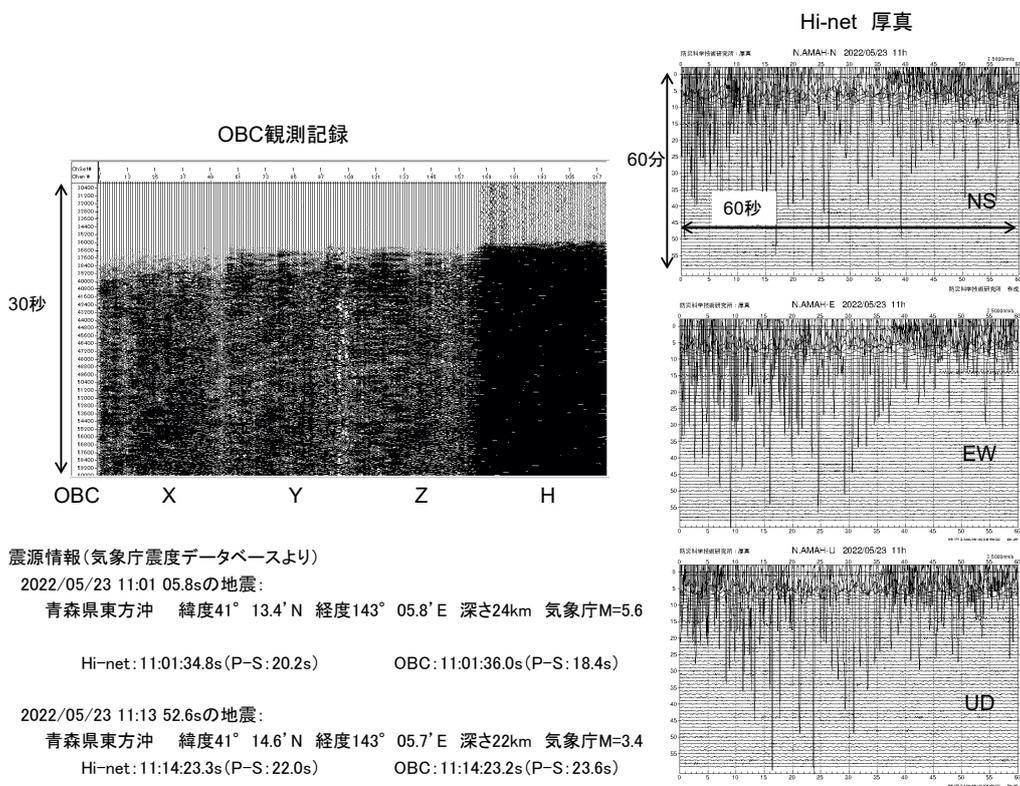


図 4.2-9(1) 波形記録例 (2022年5月23日、気象庁マグニチュード5.6、深さ24km)

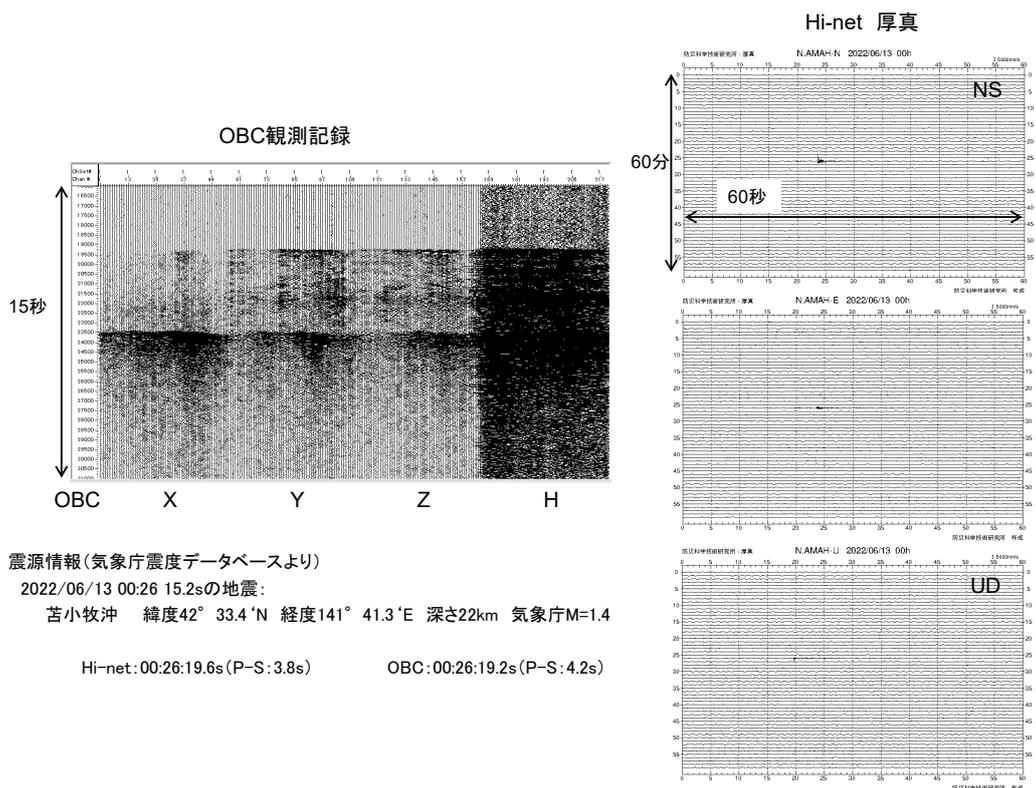


図 4.2-9(2) 波形記録例 (2022年6月13日、気象庁マグニチュード1.4、深さ22km)

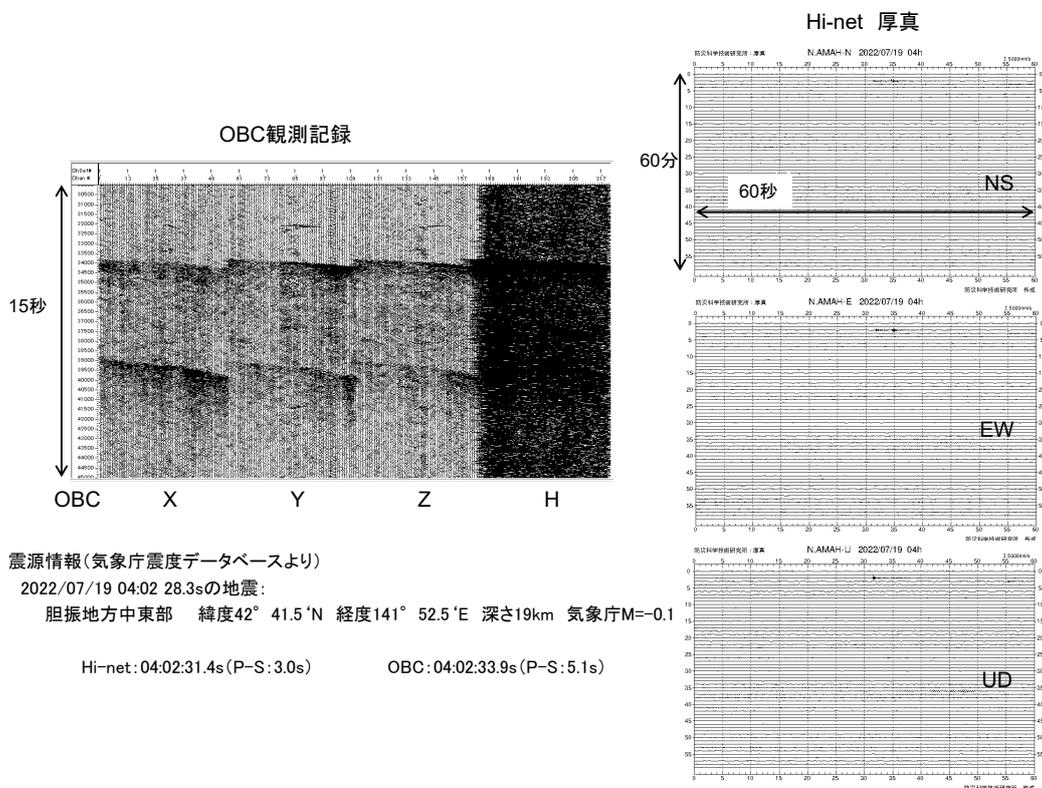


図 4.2-9(3) 波形記録例 (2022年7月19日、気象庁マグニチュード-0.1、深さ19km)

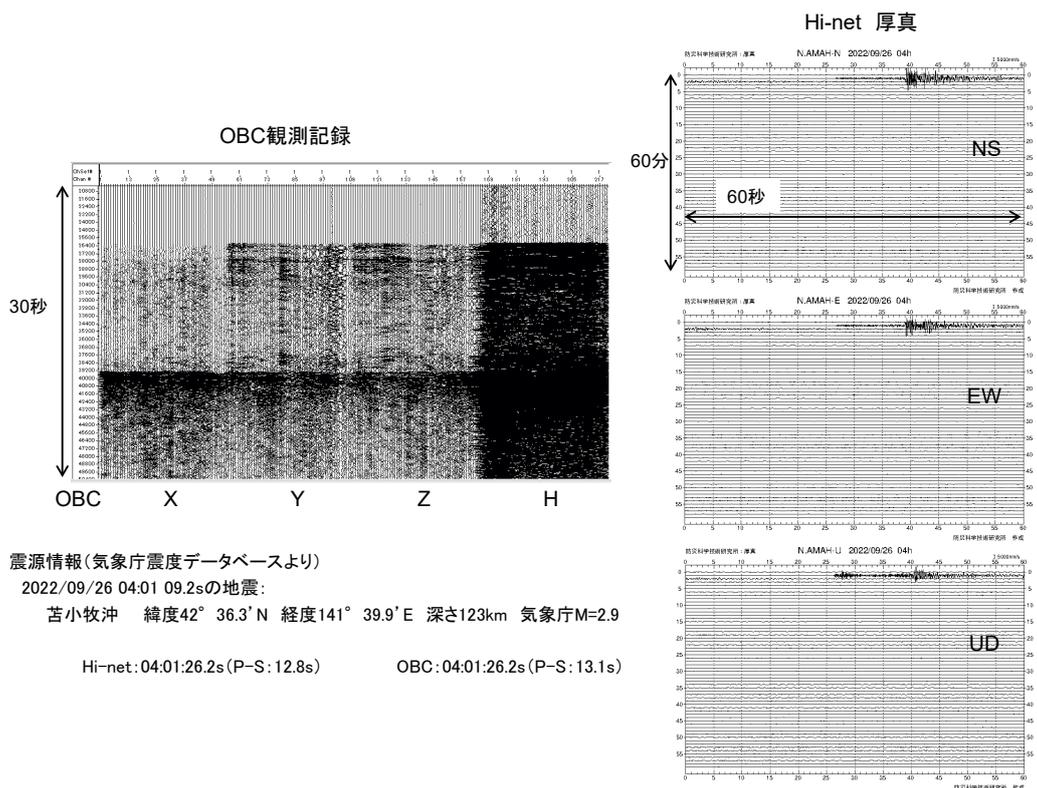


図 4.2-9(4) 波形記録例 (2022年9月26日、気象庁マグニチュード2.9、深さ123km)

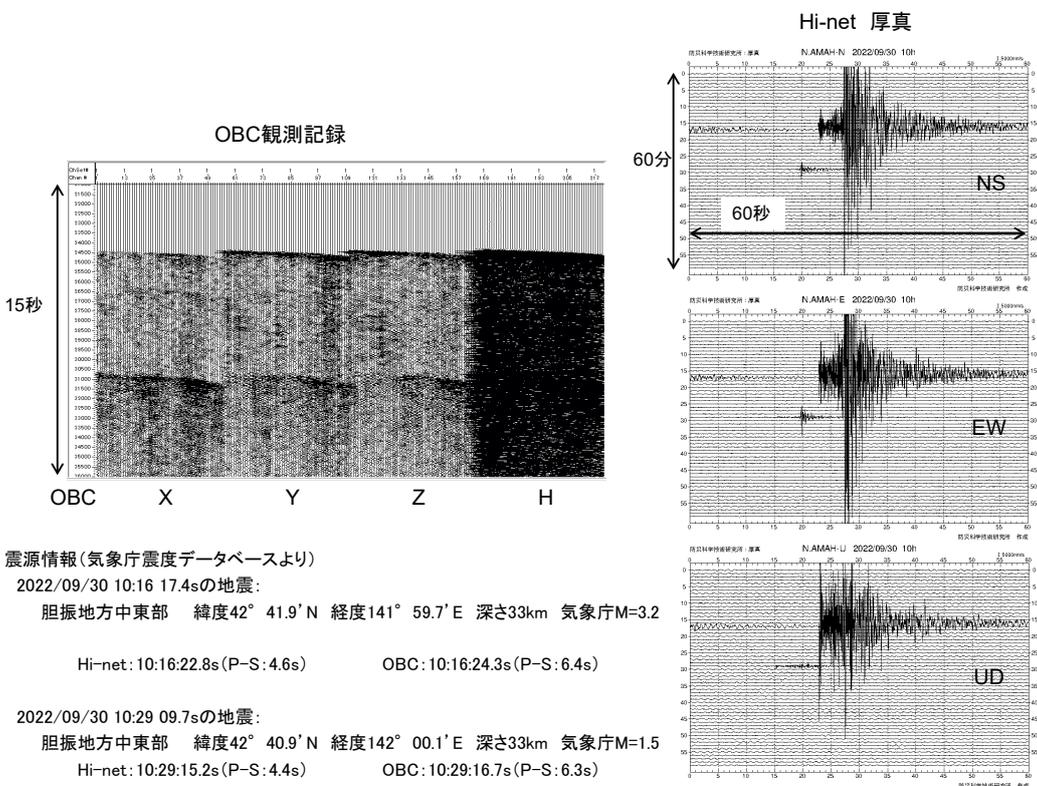


図 4.2-9(5) 波形記録例 (2022年9月30日、気象庁マグニチュード3.2、深さ33km)

4.2.4 常設型 OBC の埋設状況の確認

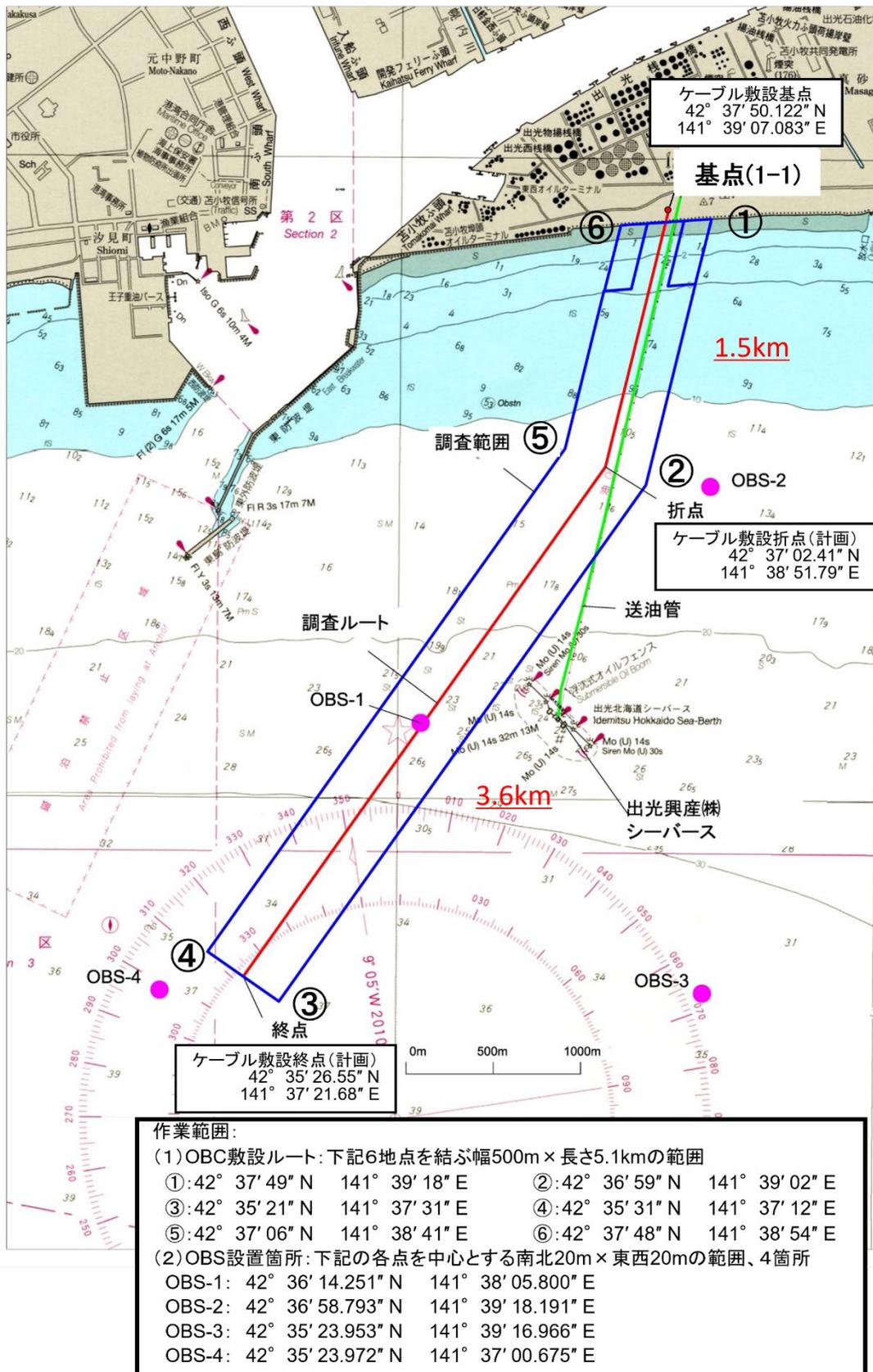
常設型 OBC と海域部データ伝送ケーブルの埋設状況の確認を目的として、2013 年度、2016 年度から 2021 年度に続いて、2022 年度も、常設型 OBC と海域部データ伝送ケーブルの埋設ルート（以下、「センターライン」と称する。）を中心とする長さ 5.1 km×幅 500 m（片側各 250 m）の海域*21）（以下、「OBC 測量範囲」と称する。）および、2021 年度に撤去した OBS の撤去跡を中心とする 20 m×20 m の海域（以下、「OBS 測量範囲」）を対象として海底地形測量を実施した。それぞれの測量範囲の緯度経度を表 4.2-4 に示す。基点から折点間は 1.5 km、折点から終点間は 3.6 km である。図 4.2-10 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。

表 4.2-4 OBC 測量範囲および OBS 測量範囲の位置

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

注) 緯度経度は世界測地系(GRS80)。

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



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 4.2-10 センターラインと海底地形測量範囲図

(1) 海底地形測量

海域作業の工程を表 4.2-5 に示す。現地作業は、一時中断も含め 8 月 1 日～8 月 22 日に実施^{*22)}した。

表 4.2-5 海域作業の工程

実施内容	2022 年 8 月											
	1	2	3	4	5			18	19	20	21	22
艀装	●							●				
GNSS 精度確認	●							●				
シングルビーム測深 (OBC ルート)										●		
マルチビーム測深 (OBC ルート)		●		●					●	●	●	●
マルチビーム測深 (OBS 地点周辺)												●
解装					●							●
荒天待機			●		●							

注) 実施日を●で示す。

① 測位方法

海上での測位は、仮想基準点 (VRS : Virtual Reference Station) 方式による RTK-GNSS^{*23)} (以下、「RTK-GNSS」と称する。) により行った。RTK-GNSS では、従来の RTK 測位で必要となる固定局観測データの代わりに移動局 (測量地点) 近傍の任意の地点に仮想基準点を設定し、全国に約 20 km 間隔で設置されている国土地理院の電子基準点の観測データから算出する仮想基準点の補正情報等と同時に移動局 (測量地点) において受信した GNSS 衛星からの信号とを併せて解析し、移動局 (測量地点) の位置をリアルタイムに求めることができる。図 4.2-11 に RTK-GNSS の概念図を示す。

測量船には、図 4.2-12 に示すように、RTK-GNSS 用 GPS アンテナ (位置情報用) と POS/MV 用のアンテナ^{*24)} (測量船の姿勢、動揺の把握用) 2 個を搭載しており、POS/MV

*22) 実施に先立ち、2022 年 6 月 15 日に第一管区海上保安本部に OBC 埋設ルート他の海底地形測量に係る水路測量許可申請書を提出 (メール) し、水路測量許可書 (2022 年 7 月 1 日付) を受領。また、2022 年 6 月 15 日に苫小牧港長宛に OBC 埋設ルート他の海底地形測量に係る作業許可申請を提出 (郵送) し、苫小牧海上保安署より作業許可書 (2022 年 7 月 6 日付) を受領。

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

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

により動揺センサーから得られる船の姿勢（回転*25）および上下動（Heave））の情報と2個のGNSSアンテナにより得られる船首方向（Heading）をそれぞれ把握し、RTK-GNSSによる測量船の位置情報と併せて、数cm程度の測位精度が得られる。

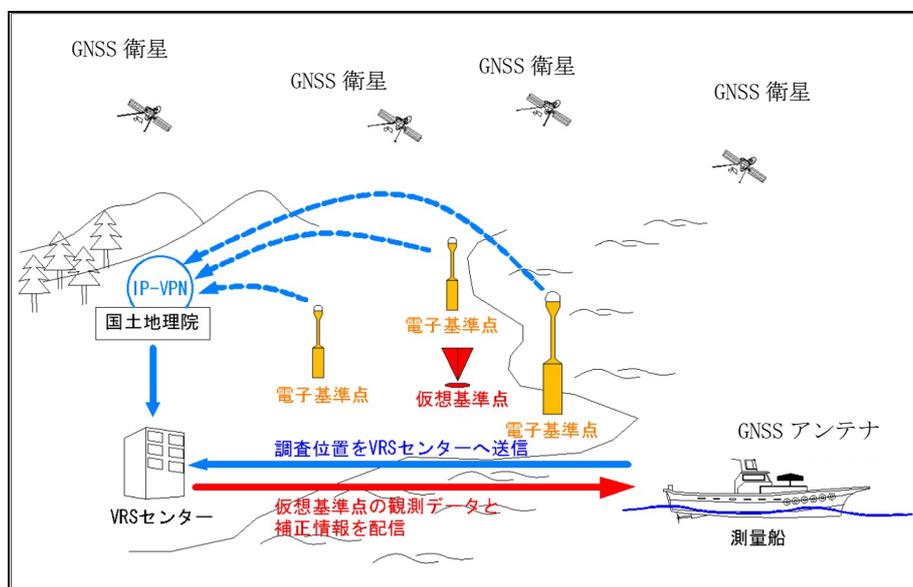


図 4.2-11 VRS 方式による RTK-GNSS（ネットワーク型 RTK 法）の概念図



図 4.2-12 調査船に艦装した RTK-GNSS 用と POS/MV 用の GNSS アンテナ

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

② 測深方法

測深データの取得には、水深5m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5m以浅の海域ではシングルビーム測深機*26（直下の測深データのみ取得できる。）を用いた。図4.2-13にマルチビーム測深機とシングルビーム測深機による音響測深の概念図を示す。使用機器を表4.2-6に示す。

測深データの取得においては、測量船の舷側に測深機の送受波器を艀装し、約4ノット（約10km/h）の一定速度で航行した。測量時の航跡は、OBC方向に10～70m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4.2-14にOBC測量範囲の測量実施時の航跡図を示す。

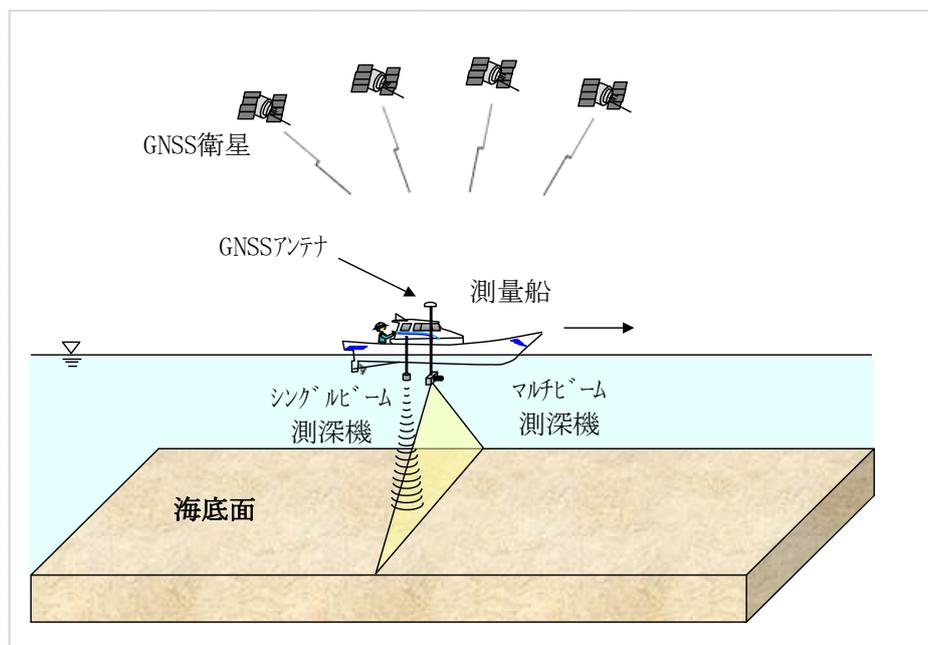
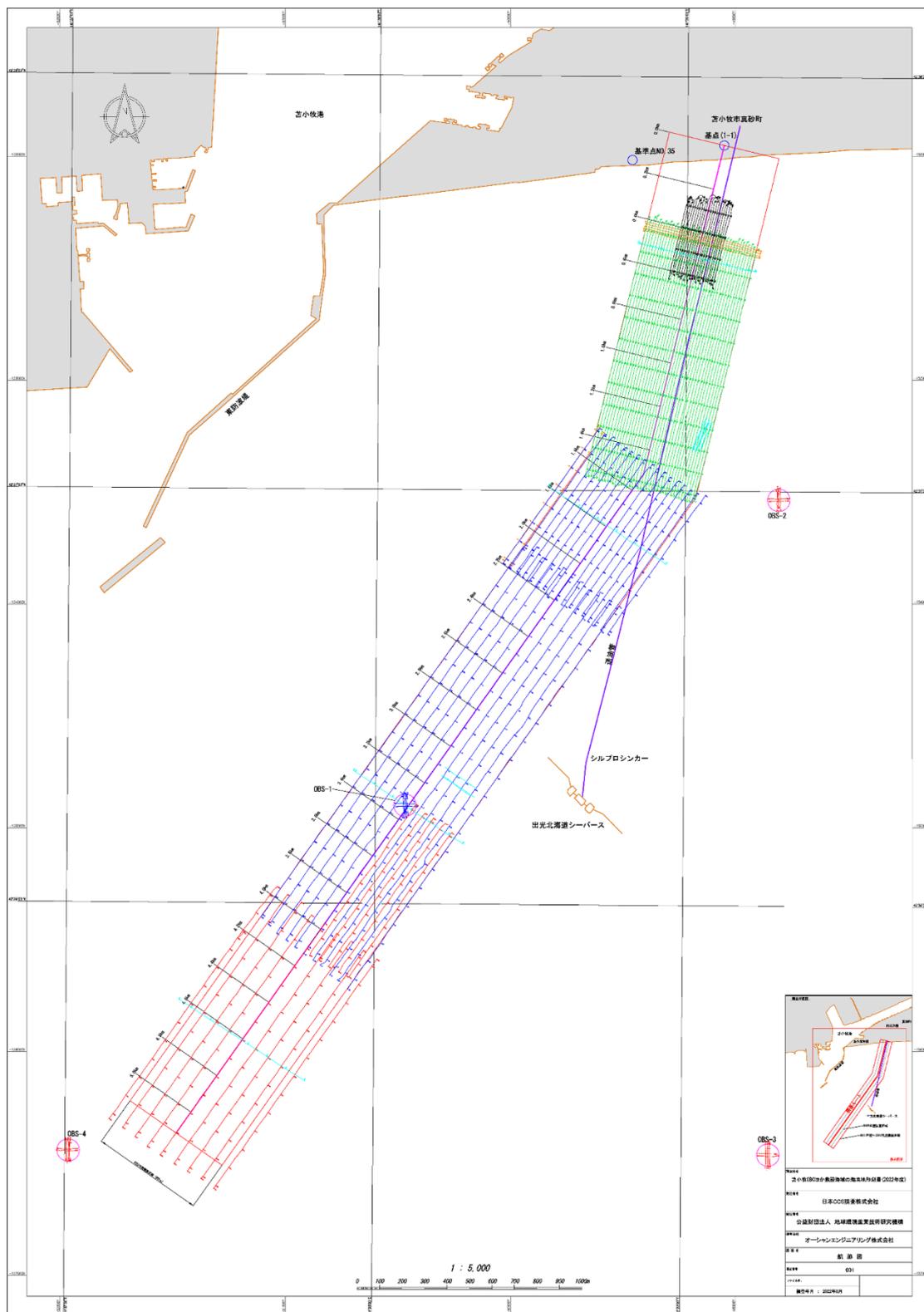


図4.2-13 マルチビームとシングルビームによる測深概念図

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

表 4.2-6 使用機器一覧

機器名・型式	性能・諸元	製造元	摘要
シングルビーム 測深機 PDR1300 型	周波数：200 kHz ビーム幅：半減全角 6°	千本電機	シングル ビーム測深
ナローマルチ ビーム測深機 Sonic2024 型	周波数：200/400 kHz (10 kHz ステップ 可変) ビーム数：256 本 スワッス幅：10~160° フットプリント：左右 0.5° × 前後 1.0° 測深分解能：12.5 mm	R2SONIC 社	ナローマルチ ビーム測 深
動揺センサー、 方位センサー POS / MV (Position & Orientation System for Marine Vessel)	ロール・ピッチ：0.005° ヒープ：3.5 cm(3.5%) 真方位：0.025°	Applanix 社	動揺 (ロール・ピッ チ・ヒープ) 船首方向 (真方位)
RTK-GNSS NetR9 型	水平：8 mm+0.5 ppm RMS 垂直：15 mm+0.5 ppm RMS 初期化時間：通常 10 秒以下 初期化信頼性：通常 99.9%以上	Trimble 社	GNSS 測位
水中音速度セ ンサー SVPS センサー	仕様：音速、圧力測定 耐圧：500 m	AML Oceanographic 社	水中音速度 測定
作業船 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
解析ソフトウェ ア	Hypack2017a 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 4.2-14 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^{*27)}(最低水面)からの水深のメッシュデータを作成した。図4.2-15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。

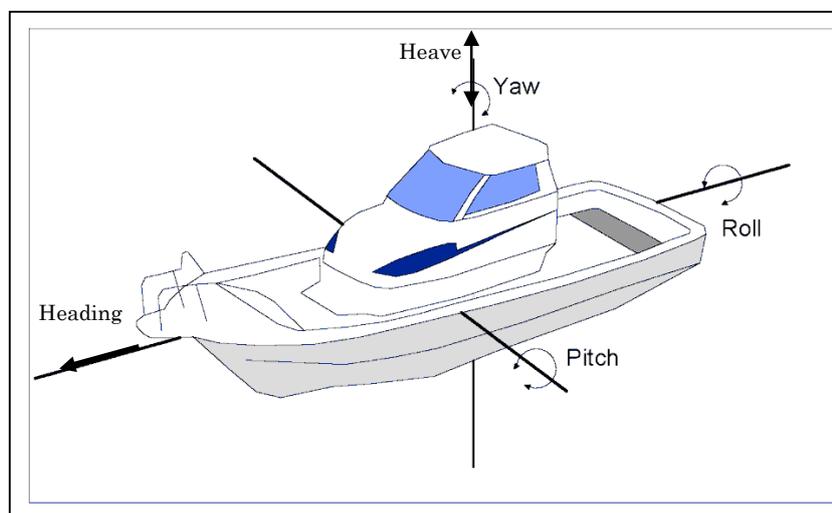


図 4.2-15 船の姿勢、上下の動揺、船首方向の概念図

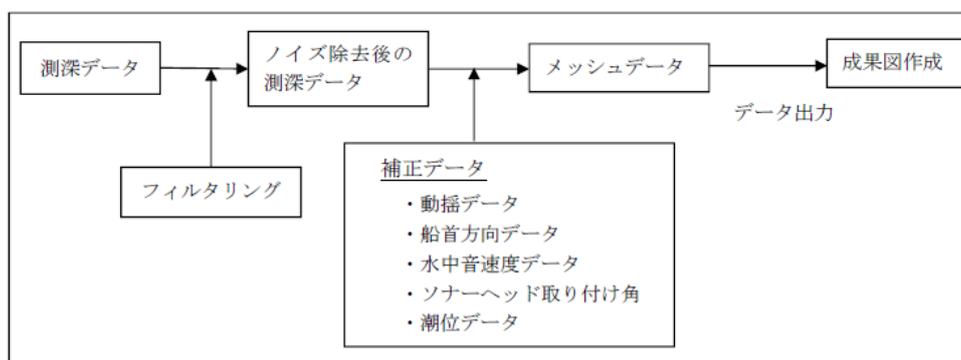


図 4.2-16 測深データの処理フロー

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

(2) 測量結果

① OBC 測量範囲の海底地形の水深変化

2022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、2021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。

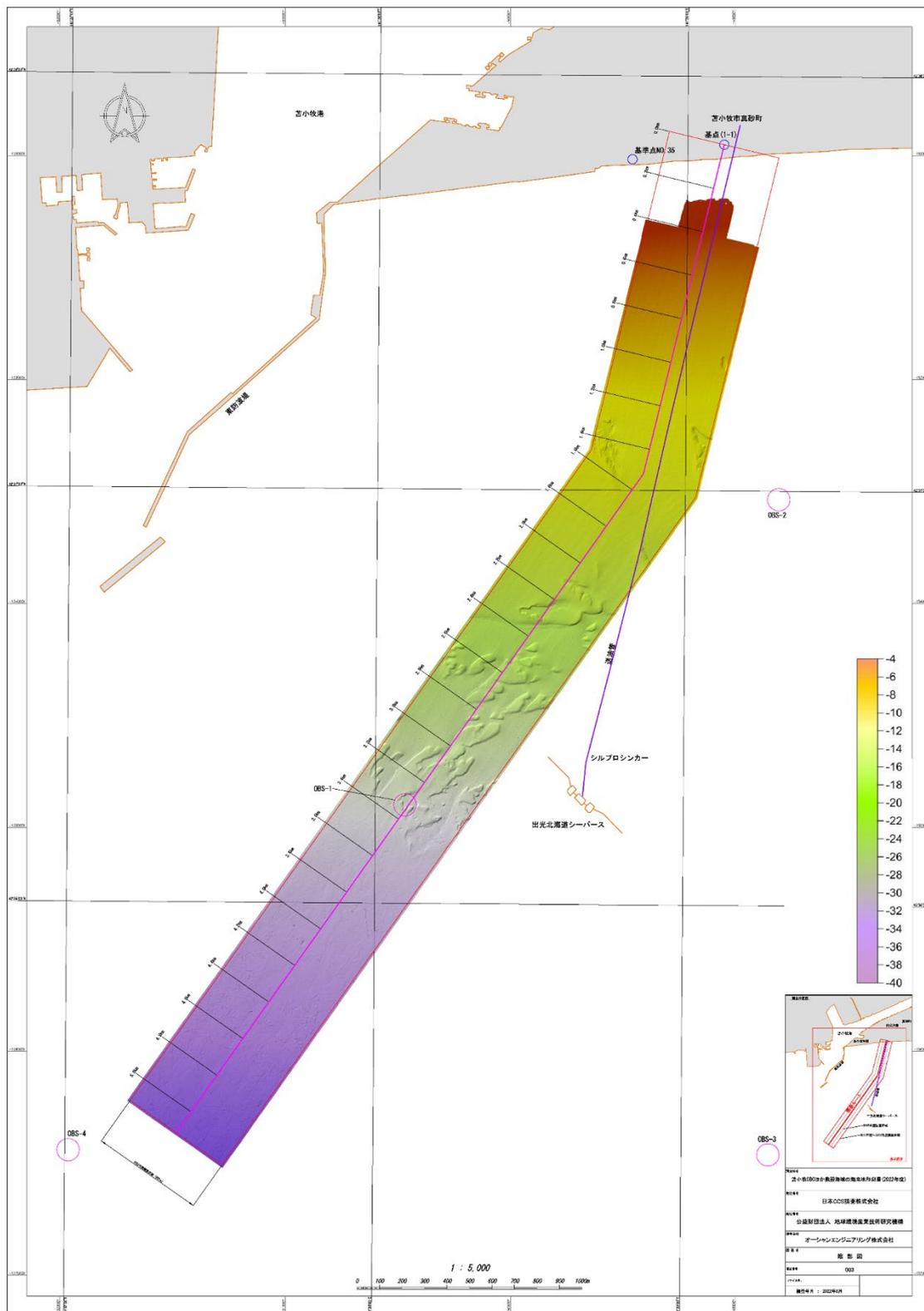
2022年度に取得した水深データと、2013年度および2021年度の水深データとの比較を図4.2-18および図4.2-19にそれぞれ示す。過去の調査時の水深より浅くなった場合（堆積した場合）をプラスとして赤色系で表示し、深くなった場合（侵食した場合）をマイナスとして青色系で表示した。

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

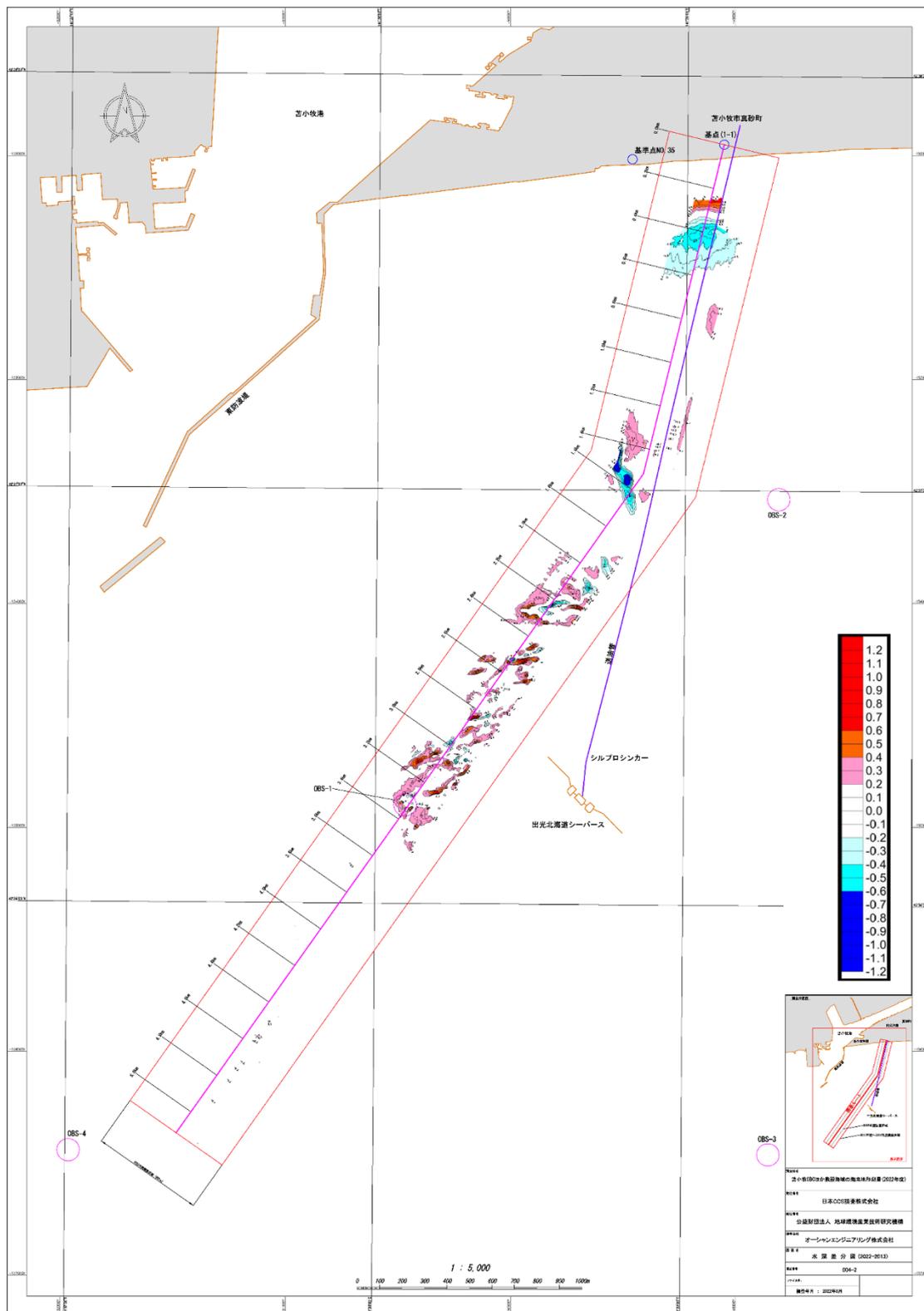
OBC設置ルート沿いについて2013年度（OBC設置前の測量結果）との差分を見ると、堆積箇所は海岸から約0.2km（KP0.25km）付近で最大0.6m堆積、KP2.83km付近で最大0.7m堆積しており、変化の小さい箇所はKP0.6～1.3km（水深7～12m）とKP3.4～5.1km（水深26m以深）である。これらの箇所は当面、問題ないと言える。一方で、侵食箇所は、海岸から約0.3～0.5km（KP0.35～0.55km）付近の最大0.5m程度の侵食と、KP1.62km、KP2.22km付近の最大0.6mの侵食である。これらの箇所は侵食の推移を監視するために定期的に測量を継続する必要があると考えられる。

② OBS 測量範囲の海底地形の水深変化

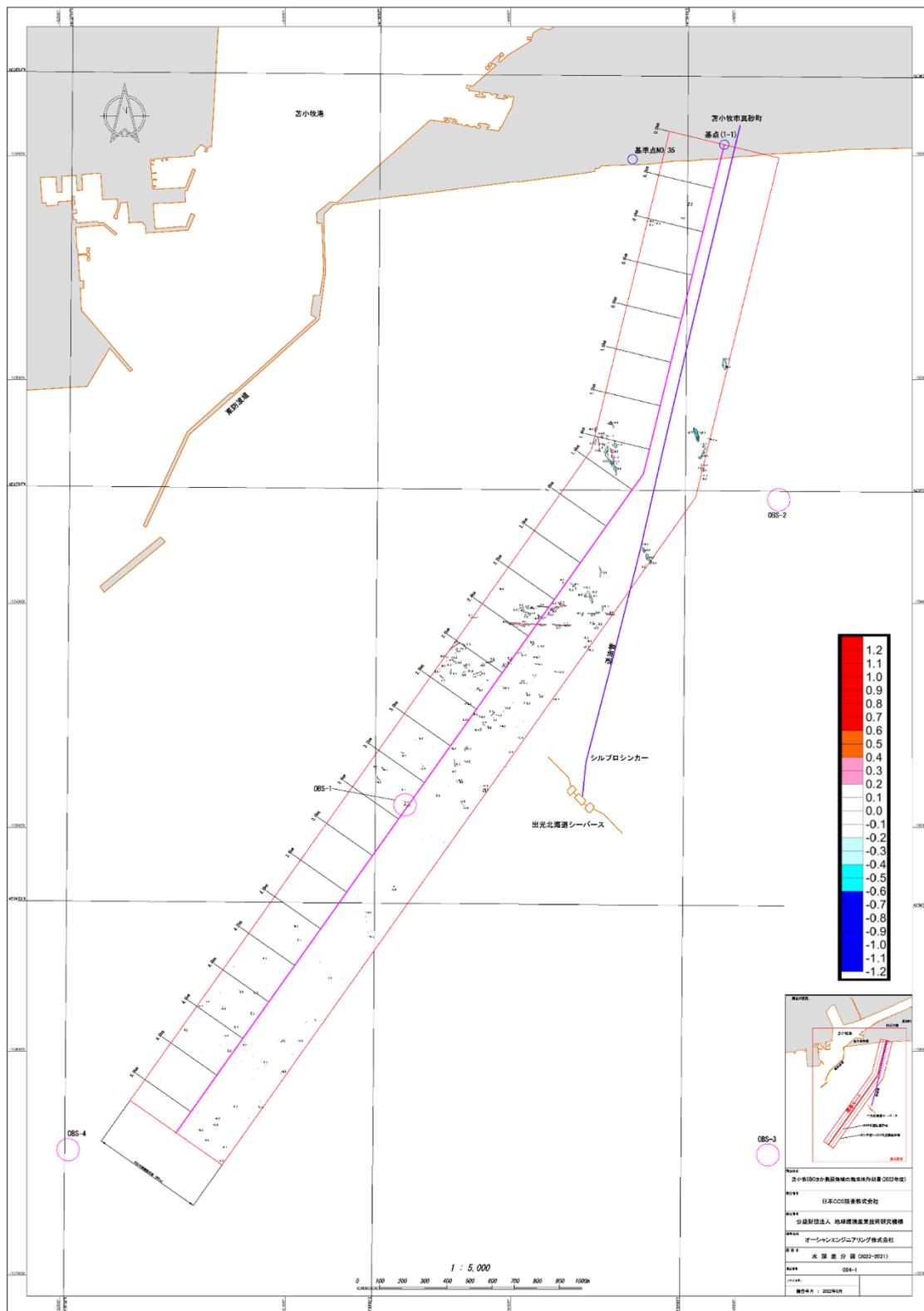
4箇所の撤去跡について、撤去前の2020年度、撤去直後の2021年度および撤去後約1年後の2022年度の海底地形測量により得られた水深のメッシュデータから作成した海底地形の陰影図を図4.2-20(1)～(4)に示す。OBS撤去から約1年で4箇所のうちOBS-1とOBS-2の2箇所で撤去跡が完全に埋没していた。撤去跡が残っている2箇所についても、今後、徐々に埋没していくものと思われるが、その推移を把握するために定期的に測量を継続する必要があると考える。



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 (2022年度測量結果-2013年度測量結果)



注) 出典: 海上保安庁 2010年6月3日刊行 「海図 W1033A 苫小牧港西部」を加工して作成
 図 4.2-19 水深差分図 (2022年度測量結果-2021年度測量結果)

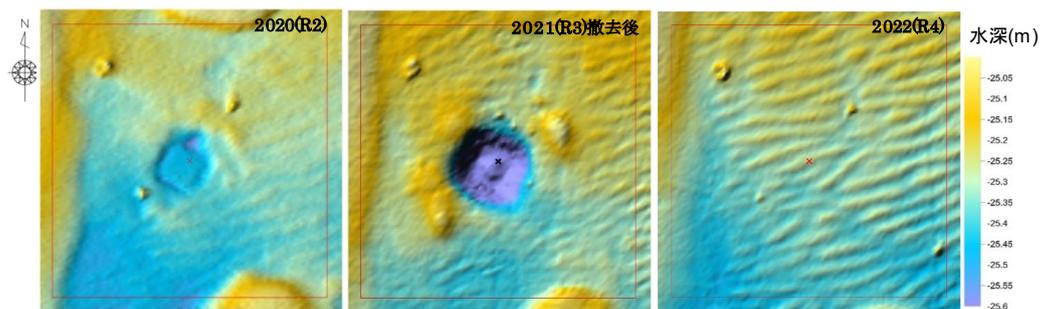


図 4.2-20(1) 2020～2022 年度の OBS-1 周辺の海底地形図

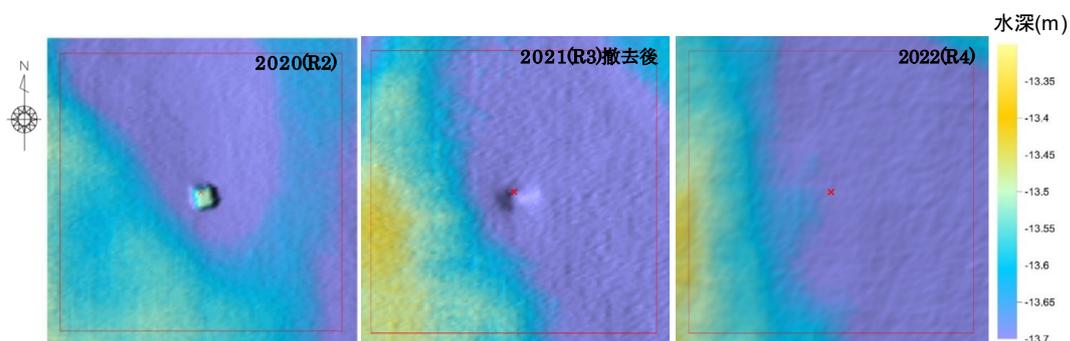


図 4.2-20(2) 2020～2022 年度の OBS-2 周辺の海底地形図

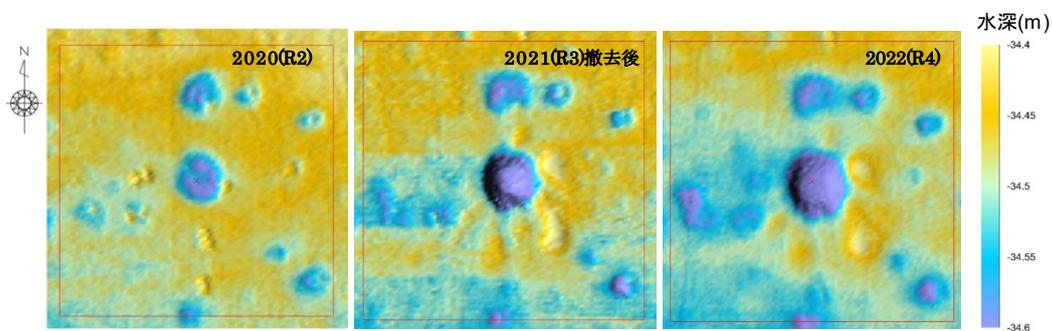


図 4.2-20(3) 2020～2022 年度の OBS-3 周辺の海底地形図

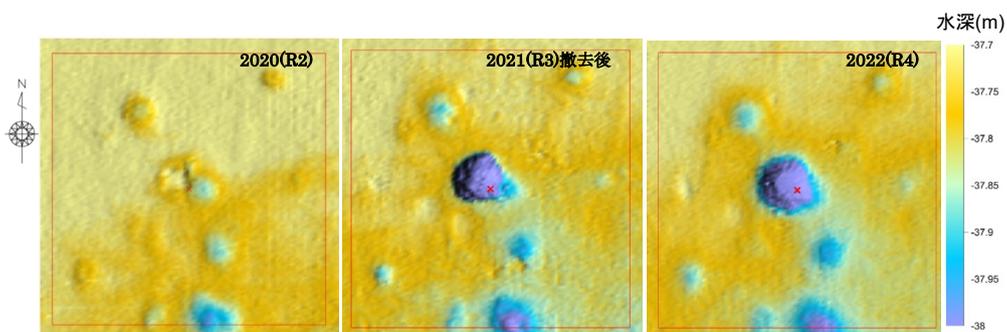


図 4.2-20(4) 2020～2022 年度の OBS-4 周辺の海底地形図

4.3 総合モニタリングシステムの運用

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

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

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

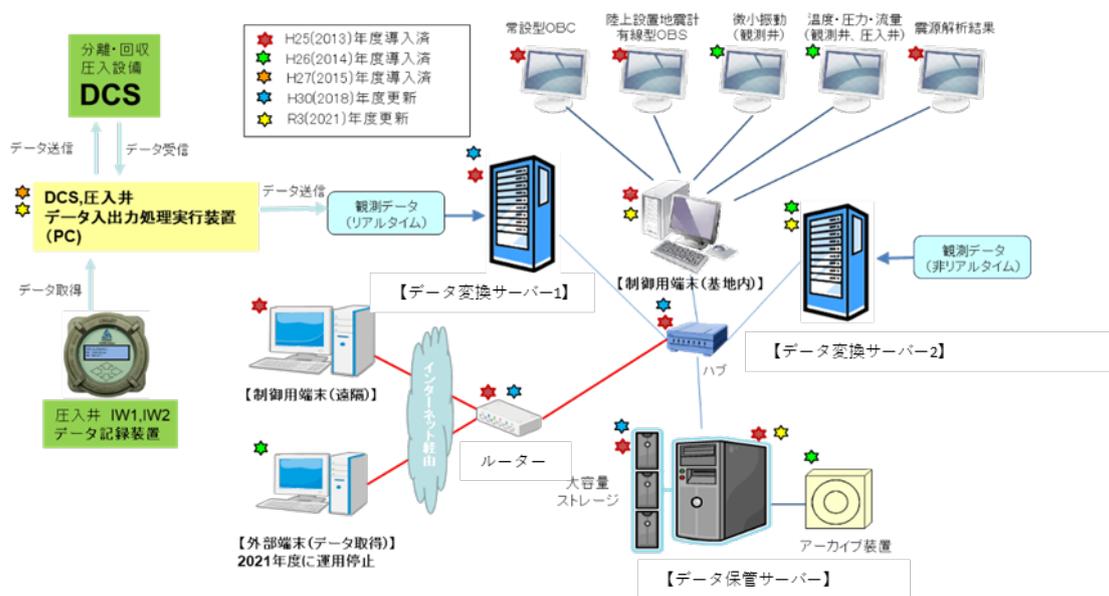


図 4.3-1 総合モニタリングシステムのハードウェア構成図

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

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

表 4.3-1 総合モニタリングシステムを構成するハードウェアの主な機能

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

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

*2) Redundant Arrays of Inexpensive Disks 1

表 4.3-2 総合モニタリングシステムを構成するハードウェアの主な仕様

①	PowerEdge R730 (Dell) ※2018 年度更新	CPU : Xeon E5-2667 v4 3.2GHz x2 メモリ : 16GB RDIMM x2 HDD : 1TB SATA, 2.5", 7.2K RPM x8 RAID6 ネットワーク : 1GBASE-T x4、10GBASE-T x1 ラック高さ : 2U、最大消費電力 : 750 W OS : Windows Server Standard 2012R2
②	NF5280M5 (INSPUR) ※2021 年度更新	CPU : Xeon 4210R 2.4GHz×2 RAM : 16 GB HDD : 2 TB×12
③	NF3120M5 (INSPUR) ※2021 年度更新	CPU : Xeon 2224R 3.4GHz RAM : 16 GB HDD : 4 TB×4
④	SnapServer XSR120 (Bell Data)	HDD : Enterprise SATA 8TB ×12 台 フォーマット後使用可能容量 : 65.2 TB メモリ : 32 GB ネットワーク : 1GbE×2 ポート、10GbE×2 ポート フォームファクタ : 2U 電源 : 100-240 VAC、50-60 Hz、280 W (最大)
⑤	NEO200S KTO6HH (OverLand)	LTO6 テープドライブ 容量 : 2.5 TB 転送レート : 最大 160 MB/s 24Slot/1 ドライブ
⑥	NP5570M5 (INSPUR) ※2021 年度更新	CPU : Xeon 3260R 1.9GHz RAM : 16GB HDD : 1 TB Graphic : NVIDIA Quadro NVS510
⑦	W1202U30140JP (Dell)	WQXGA (2500×1600)
⑧	N4032 (Dell)	ネットワーク : 10GBASE-T x24 VLAN ルーティングインターフェイス数 : 128 ラック高さ : 1U、最大消費電力 : 240 W
⑨	SonicWALL TZ400W (SonicWALL 製)	プロセッサ : 4 x 800 MHz メモリ : 1 GB ネットワーク : 1 GBASE-T x5 スループットインスペクション ファイアウォール : 1.3 Gbps アプリケーション : 900 Mbps IPSec VPN : 900 Mbps VLAN インターフェイス : 50 サイト間トンネル数 : 20 最大消費電力 : 12 W
⑩	PC Smart-UPS 1500 LCD 100V (シュナイダー)	小型シール鉛蓄電池 (長寿命) 12V×17Ah×2 個×4 台
⑪	Endeavor ST190 (EPSON) ※2021 年度更新	CPU : Intel Core™ i3 8100 3.6GHz RAM : 8GB HDD : 256GB
⑫	PowerEdge T110 (Dell)	CPU : Xeon E3-1220v2 Memory : 4GB、HDD : 500GB OS : Windows Server 2012 Foundation

4.3.1 総合モニタリングシステムの主な機能

総合モニタリングシステムが有する主な機能は次のとおりである。

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

(1) データ管理機能

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

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

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

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

*5) 各観測システムの独自のフォーマットで作成されたファイル。

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

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

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

圧入井の坑底に設置された温度・圧力センサーで取得される圧入井モニタリングデータ(以下、「圧入井データ」と称する。)は、いったん、データロガー(当センター内に設置)に収録される。同時に、DCS・圧入井データ入出力処理用PC(図4.3-1および表4.3-1の⑪参照)(以下、「入出力処理PC」と称する。)でデータ形式を処理され、DCSおよび総合モニタリングシステムに送信される。何らかの理由で一定時間*9)を超えてデータロガーから圧入井データを取得できない場合、圧入井の温度・圧力値をDead Value(=-999.25)とする設定となっている。

表 4.3-3 統一フォーマットファイルの命名規則

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

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

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

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

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

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

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

表 4.3-4 統一フォーマットファイル保存領域の構成

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

(2) データの時系列表示機能

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

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

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

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

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

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^{*15})の観測データを時系列表示^{*16}する。

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

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

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

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

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

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

*18 帯域処理フィルター(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。

*19 ジオフォン 3 成分とハイドロフォン 1 成分

*20 基準値は、ベースラインデータ観測の結果に基づき設定した。

めて示す。



図 4.3-2 常設型 OBC 観測データのリアルタイム表示例

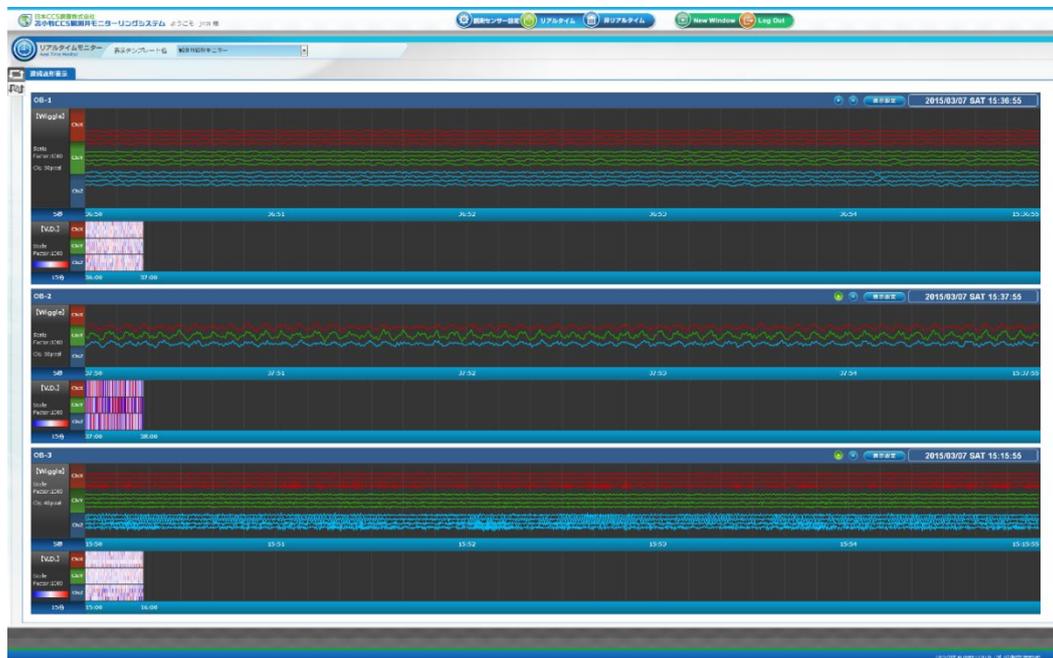


図 4.3-3 観測井坑内地震計観測データの時系列表示例

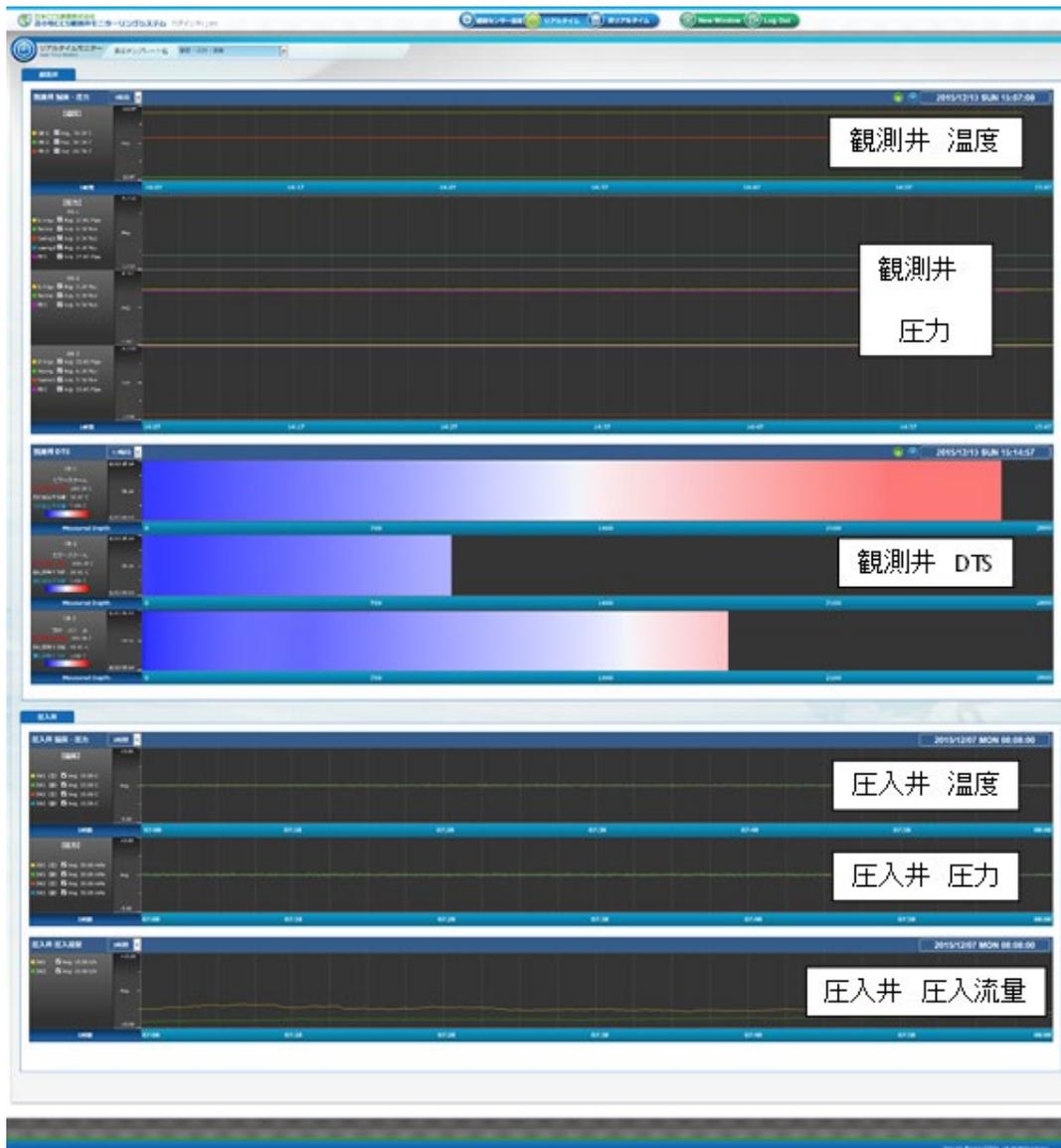


図 4.3-5 リアルタイムでの観測井の温度と圧力データの時系列表示例

(3) 異常の検出機能

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

観測データの上下限值による判定では、上限値（ β_0 ）～下限値（ β_1 ）の範囲内を観測値が最初に逸脱した時刻を暫定異常開始時刻、異常開始後に観測値が平常値の範囲に戻った時刻を暫定異常終了時刻とし、暫定異常継続時間が別途設定された最小継続時間

（ T_{min} ）を超えた場合を異常とする。短時間に値が大きく変化する可能性のある温度・圧力データの異常検出には観測データの上下限值による判定を適用している。表 4.3-6 に各観測井の温度・圧力データに対して設定した上下限值による異常検出用パラメータのデフォルト値を示す。

表 4.3-6 上下限值による異常検出用設定パラメータ一覧

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

(4) 振源・震源決定機能

異常検出機能((3)参照)により検出された異常をグループ化し、異常開始時刻と同一の時刻帯の複数の観測点の観測データから微小振動と自然地震のイベントに相当する異常を自動的に抽出する。抽出されたイベントに対して、グループ化した各観測点の観測データから地震波到達時刻(P波到達時刻とS波到達時刻)を検出し、P波到達時刻、S波到達時刻およびデータベースに登録されている速度構造データ(P波速度とS波速度:ユーザーが選択・指定)から発生時刻(JST)、振源・震源(緯度、経度および深度)およびマグニチュードを決定する。また、振源・震源決定時に検出される地震波の到来方向と押し波/引き波の情報から震源メカニズムの要素(P軸(主圧力軸)の方位角、傾斜角、T軸(主張力軸)の方位角、傾斜角、断層面1の走向、傾斜角およびすべり角、断層面2の走向、傾斜角およびすべり角)を出力する。

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

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

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

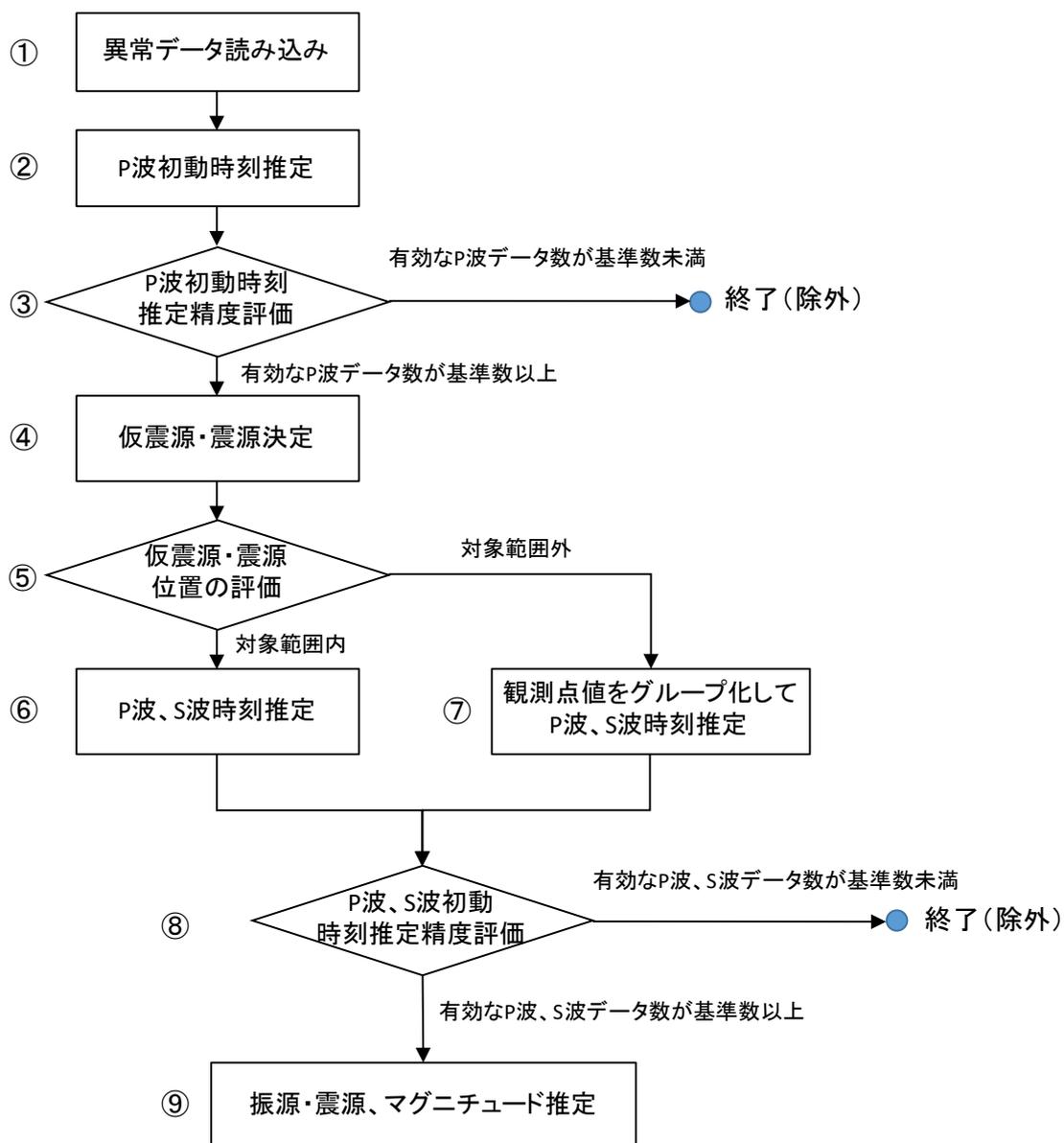


図 4.3-6 振源・震源決定の処理フロー

表 4.3-7 振源・震源決定フローにおける各ステップの実施内容

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

(5) 速度モデル管理機能

振源・震源決定に用いた一次元速度構造モデルは、速度構造データベースで管理する。現在データベースに登録している深度 3,000 m までの P 波速度は、OB-1 の VSP

(Vertical Seismic Profile) 調査によって得られた時間-深度関係図 (図 4.3-8 参照) から読み取った地質境界の深度における走時から算出した。また、S 波速度は、同じく OB-1 における PS (P and S Wave Velocity Log) 検層より推定した各層準の V_p/V_s (図 4.3-9 参照) を求めた上で、各層準の平均値と前述の P 波速度から算出した。深度 3,000 m から 8,000 m までの速度構造は、NIED の地震ハザードステーション*23)に公開されている深部地盤構造から萌別層圧入位置に相当する位置の速度構造図 (メッシュコード 63417520) を取得し、速度境界部分の深度と速度を読み取った。図 4.3-10 に萌別層圧入地点に相当する位置の速度構造を示す。また、深度 8,000 m から 50 km までの速度構造

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

は、日本列島三次元地震波速度構造表示ソフトウェア^{*24)}を参照して、萌別層圧入地点のP波速度構造とS波速度構造を作成した。図4.3-11にデータベースに登録した一次元速度構造モデルを示す。

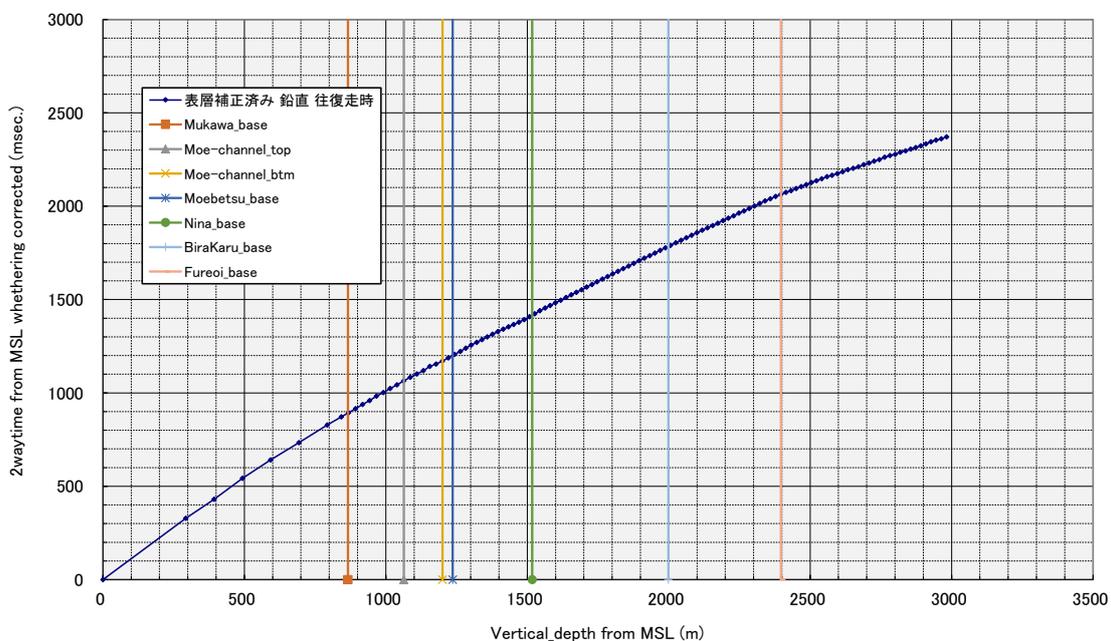


図 4.3-8 OB-1 における VSP 調査によって得られた時間-深度関係図

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

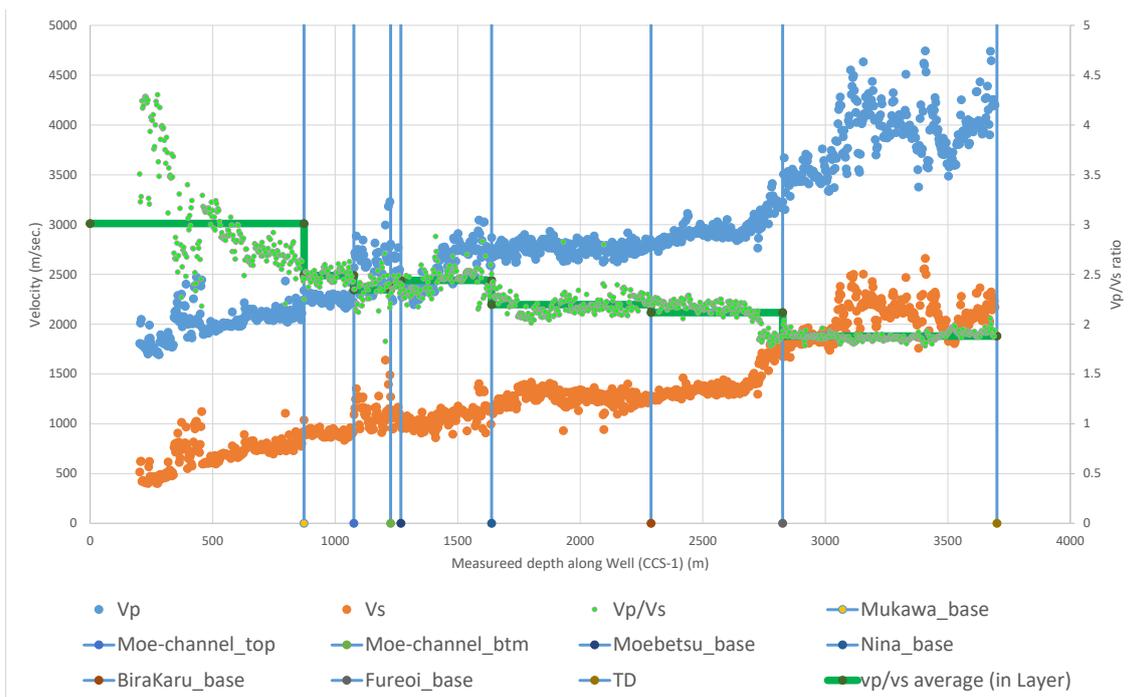


図 4.3-9 OB-1 における PS 検層より推定した各層準の Vp/Vs

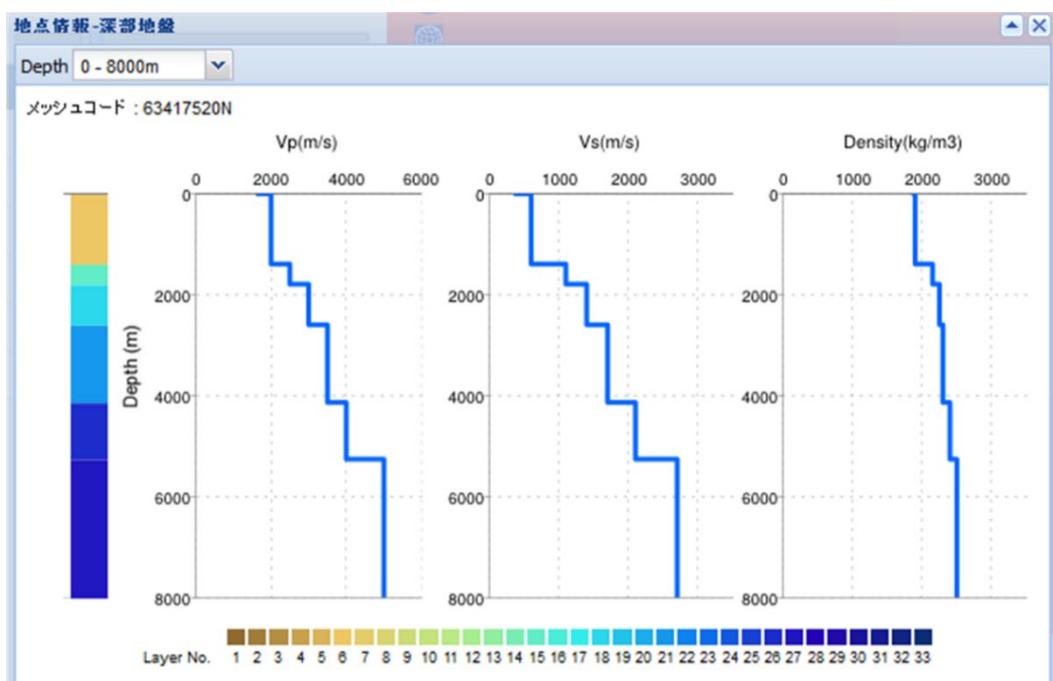


図 4.3-10 萌別層圧入地点に相当する位置の速度構造

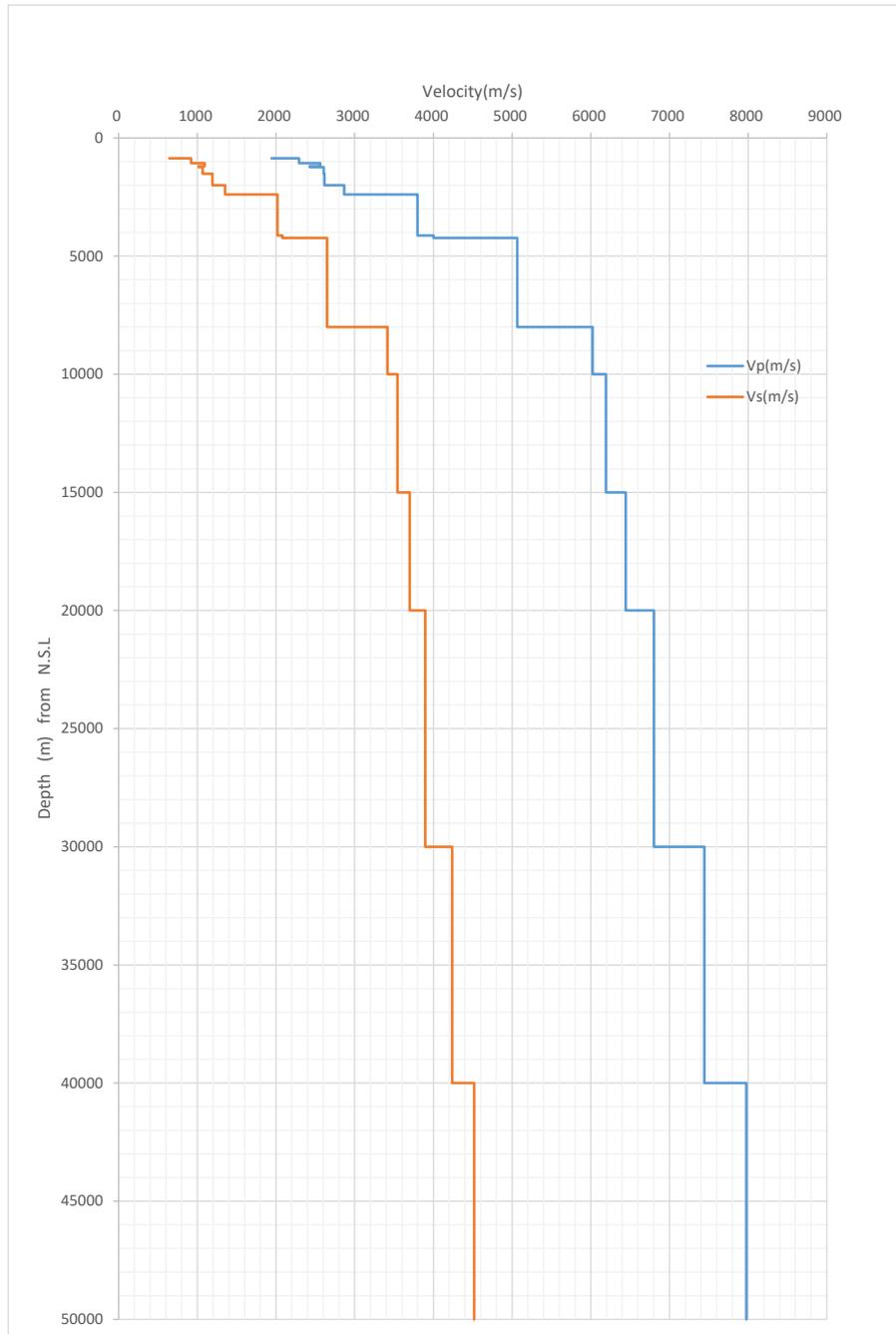
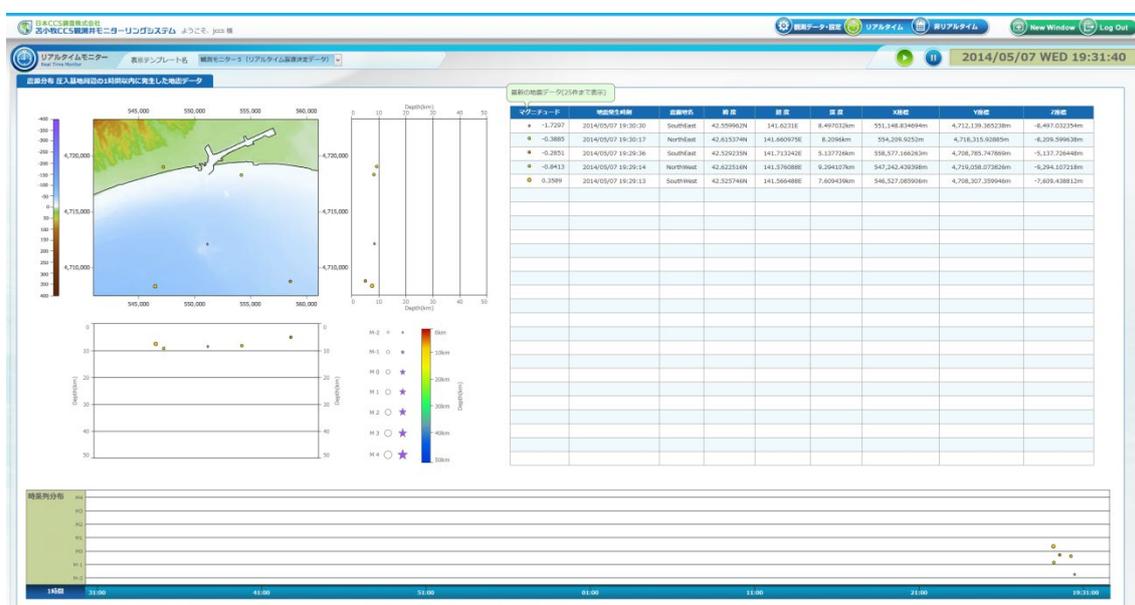


図 4.3-11 振源・震源決定用一次元速度構造モデル

(6) 振源・震源分布表示機能

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

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



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

図 4.3-12 リアルタイム振源・震源分布表示画面例

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

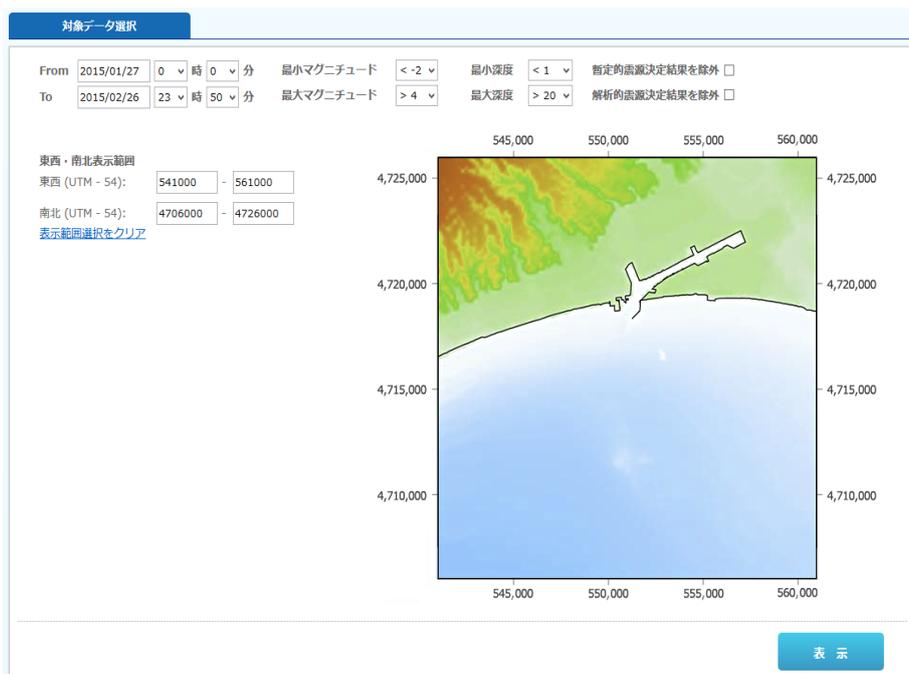
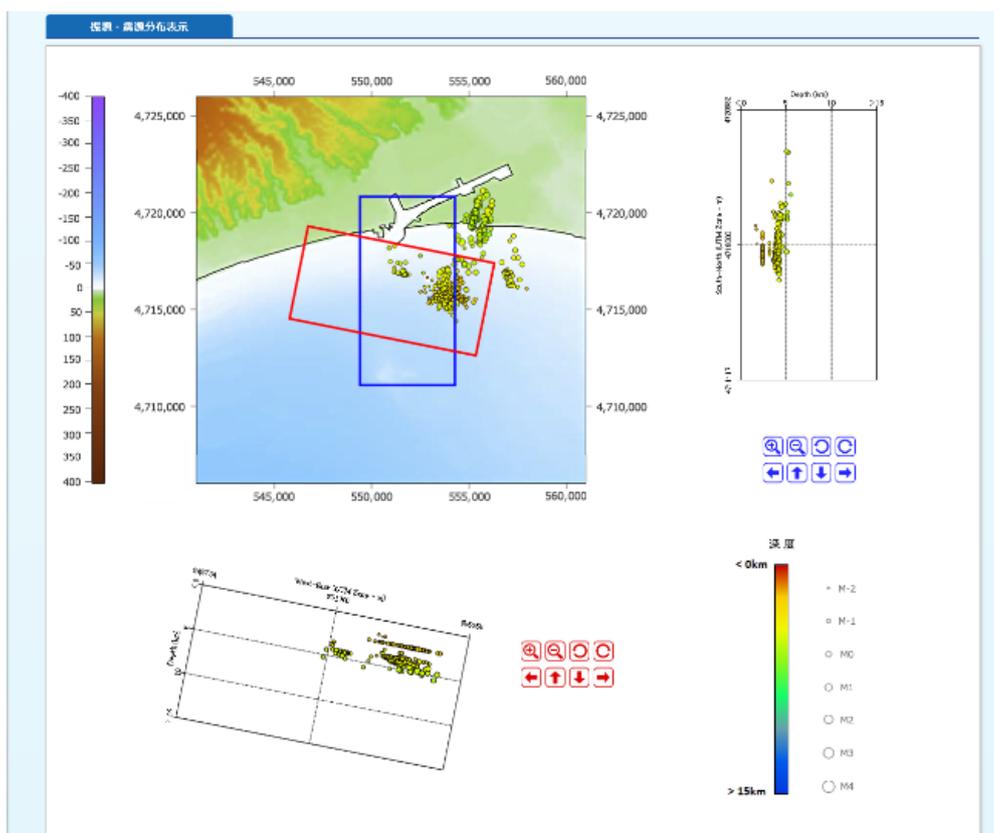


図 4.3-13 振源・震源検索条件設定画面



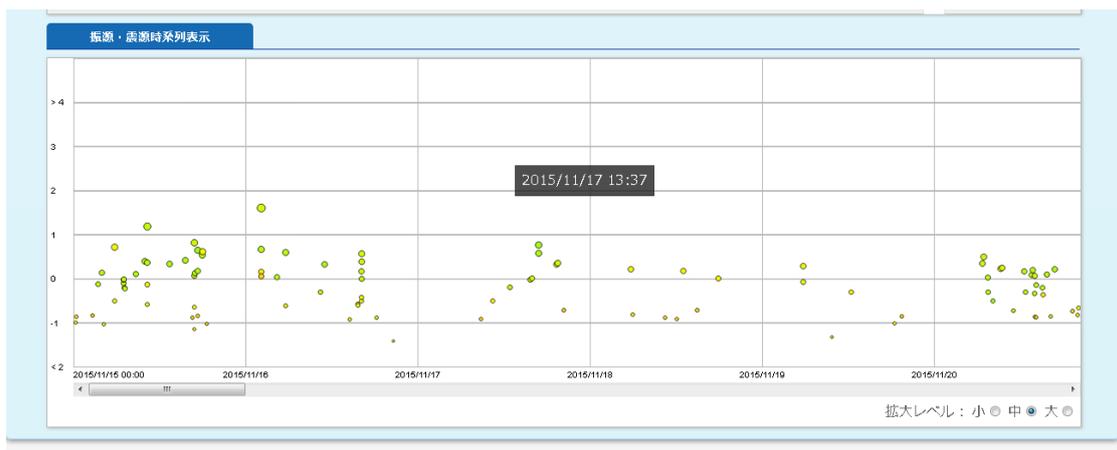
注) 平面図上の赤の矩形範囲の断面図を平面図の下に、青の矩形範囲の断面図を平面図の右に表示する。各断面図には、それぞれに矩形の範囲に存在する振源・震源データを表示する。矩形は拡大、縮小、回転、移動が可能である。

図 4.3-14 振源・震源二次元分布図

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

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

図 4.3-15 振源・震源情報一覧



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

図 4.3-16 時系列振源・震源分布図

(7) 振源・震源決定結果を用いた解析機能

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

表 4.3-8 振源・震源決定結果を用いた各種表示機能

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

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

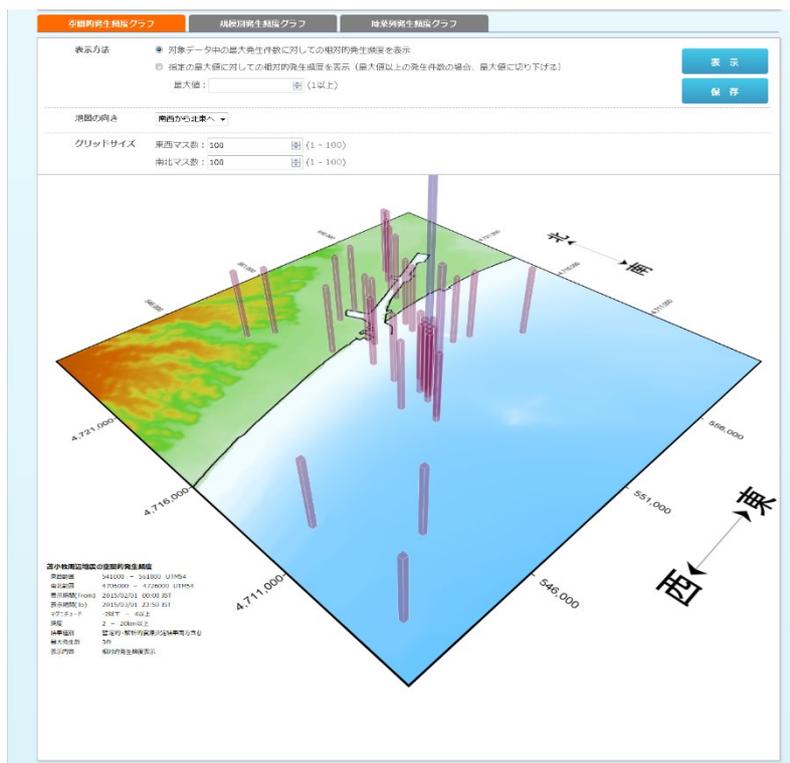


図 4.3-17 空間的発生頻度分布の表示例(仮データを使用)

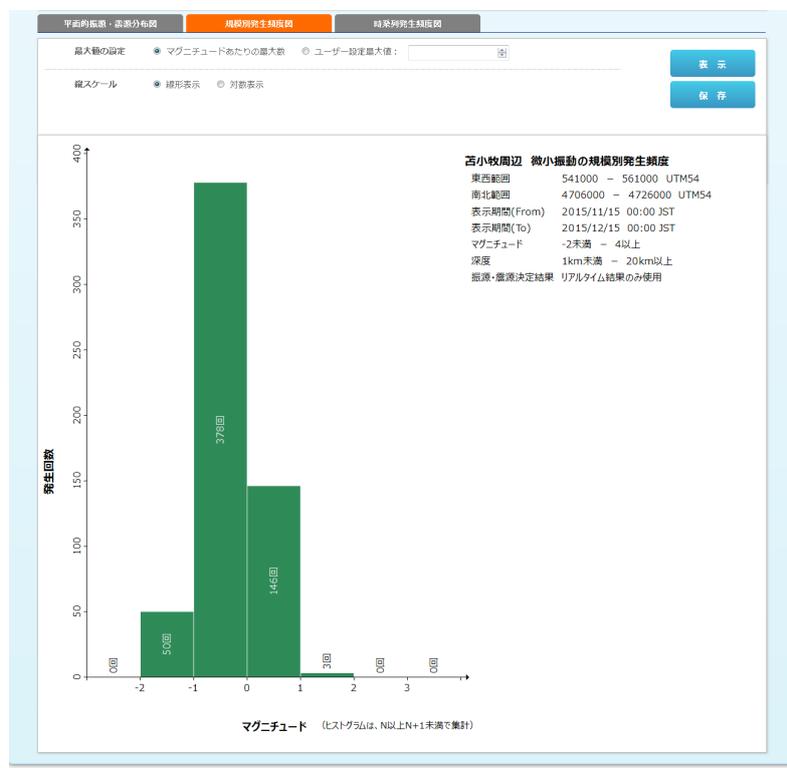


図 4.3-18 規模別発生頻度分布の表示例(仮データを使用)

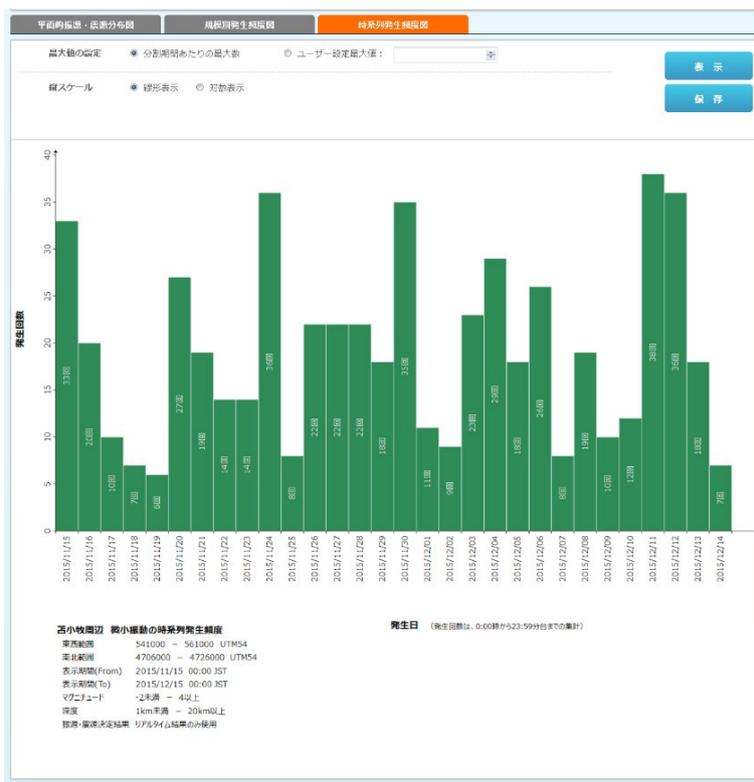


図 4.3-19 時系列発生頻度分析結果図 (仮データを使用)

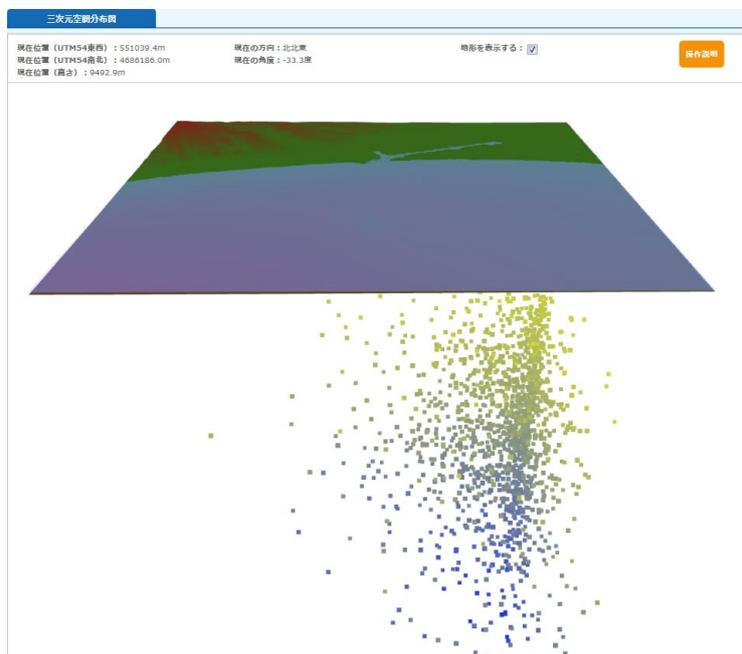


図 4.3-20 振源・震源の三次元分布の表示例 (仮データを使用)

4.3.2 総合モニタリングシステムの動作状況の監視と保守点検

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

(1) 遠隔監視

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

表 4.3-9 遠隔監視実施実績（2022 年 4 月～2023 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	4 日、11 日、18 日、25 日	10 月	3 日、11 日、18 日、24 日、31 日
5 月	9 日、16 日、23 日、30 日	11 月	7 日、14 日、21 日、28 日
6 月	5 日、13 日、20 日、27 日	12 月	6 日、12 日、19 日、26 日
7 月	4 日、12 日、19 日、25 日	1 月	4 日、10 日、16 日、23 日、30 日
8 月	8 日、15 日、22 日、29 日	2 月	6 日、13 日、20 日、27 日
9 月	5 日、12 日、20 日、26 日	3 月	6 日、13 日、20 日、27 日

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 2023年2月6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
2/6	データ変換 サーバ1	通信	OK	
		OS	OK	
		ソフトウェア	OK	
2/6	データ変換 サーバ2	通信	OK	
		OS	OK	
		ソフトウェア	OK	
2/6	データ保管 サーバ	通信	OK	
		OS	OK	
		ソフトウェア	OK	
2/6	大容量 ストレージ	HDD	OK	
2/6	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
2/6	稼働確認1	リアルタイム データ取得	2/9に観測井地震計に伝送漏れがあったため、2/10に物理計測コンサルタントに再送を依頼した。	
2/6	稼働確認2	非リアルタイム データ取得 (Hi-net)	OK	
	稼働確認3	データ取得欠 損状況把握	添付の総合モニタリング・システム出力の週報を参照	

図 4.3-21 遠隔監視時に使用したチェックリストの例

(2) 現地保守点検

現地点検は、1箇月に1回程度の頻度で計画し、2022年4月25~26日、5月16日、6月16~17日、7月21~22日、9月6日、10月12~14日、11月16~17日、12月13~14日、2022年1月12~13日、1月25~26日、2月20~22日の計11回実施した。現地

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

総合モニタリング・システム 保守作業チェックリスト [更新 2023年2月20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
2/20	データ変換 サーバ1	外観	OK		済
2/20	データ変換 サーバ2	外観	OK		済
2/20	データ保管 サーバ	外観	OK		済
2/20	大容量 ストレージ	外観	OK		済
2/20	基地内 制御用端末	OS	OK		済
		外観	OK		済
2/20	外部モニター	表示	OK		済
2/20	DCS、 圧入井データ 入出力装置	OS	OK	Windows Update 実 施	済
		外観	OK		済
2/20	ケーブル類	外観/破損	OK		済
2/20	ラック スイッチング ハブ ルーター	外観	OK		済

図 4.3-22 現地保守点検時に使用するチェックリストの例

(3) アーカイブテープの作成

アーカイブテープの作成においては、図 4.3-23 に示すアーカイブテープ作成作業チェックリストにより、アーカイブテープの対象データ、対象期間、テープ管理番号およびテー

バーコードラベル番号を照合した。なお、対象データは、常設型 OBC のデータサイズが大きいため、常設型 OBC とそれ以外（観測井地震計、観測井温度計・圧力計（FBG）、観測井圧力計（半導体）、観測井温度計・圧力計（PPS26）、観測井 DTS、圧入井温度計・圧力計、Hi-net の各観測データ）の 2 種類としている。表 4.3-10 にアーカイブテープの作成実績を示す。

総合モニタリング・システム 保守作業チェックリスト [更新 2023年2月15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
観測井地震計、 観測井温度計・ 圧力計(FBG)、観 測井温度計(半導 体)、観測井 DTS、観測井 PPS、圧入井温度 計・圧力計、Hi- net	2022/09/01-2022/10/31	#010105	#000123

作業チェックリスト

年月日	作業項目	実施確認	備考
2/14	アーカイブ対象ファイル抽出	OK	
	テープメディア ラベル添付		次回現地点検時に実施予定
2/14	テープ書き込み	OK	
2/15	アーカイブ済 データファイル DB登録	OK	
	アーカイブテープ回収・送付		データ公開システム登録確認後に実施。

図 4.3-23 アーカイブテープ作成作業チェックリストの例

表 4.3-10 アーカイブテープ作成実績

データ	対象期間	テープバーコード ラベル番号	作業日
OBC	2022年1月1日～2022年2月28日	#000114	2022年5月13日
	2022年3月1日～2022年4月30日	#000116	2021年7月5日
	2022年5月1日～2022年6月31日	#000118	2022年9月7日
	2022年7月1日～2022年8月31日	#000120	2022年11月10日
	2022年9月1日～2022年10月31日	#000122	2023年1月20日
	2022年11月1日～2022年12月31日	#000124	2023年3月31日
観測井地震計、観測井温度・圧力、圧入井温度・圧力、Hi-net	2021年11月1日～2021年12月31日	#000113	2022年4月11日
	2022年1月1日～2022年2月28日	#000115	2022年6月8日
	2022年3月1日～2022年4月30日	#000117	2022年8月4日
	2022年5月1日～2022年6月30日	#000119	2022年10月11日
	2022年7月1日～2022年8月31日	#000121	2022年12月8日
	2022年9月1日～2022年10月31日	#000123	2023年2月15日

(4) 週報の作成

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

表 4.3-11 週報記載事項

週報記載項目	記載内容
対象期間	ユーザーが指定した期間
観測状況	各観測機器の状況(正常/欠測あり/停止等)
発地震サマリ	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 2023年 3月1日 - 3月7日

観測状況

観測機器	観測状況	
常設型OBC	欠測あり (06日に計1件発生)	
OB-1	地震観測	欠測あり (01日に計1件発生)
	FBG(温度・圧力5)	正常観測
	圧力1-4	正常観測
	DTS	正常観測
OB-2	地震観測	欠測あり (01日に計1件発生)
	FBG(温度・圧力5)	正常観測
	圧力1-4	正常観測
	DTS	正常観測
OB-3	地震観測	欠測あり (01日に計1件発生)
	FBG(温度・圧力5)	正常観測
	圧力1-4	正常観測
	DTS	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	
圧入井圧入操業情報	正常観測	

その他、特記事項

微小振動、自然地震観測状況は、別途提出の振源決定レポートを参照

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

欠測状況

期間 2023年 3月1日 - 3月7日

観測機器		開始	終了
常設型OBC	-	2023/03/06 14:11	2023/03/06 14:34
OB-1	地震観測	2023/03/01 16:21	2023/03/01 16:25
OB-2	地震観測	2023/03/01 16:26	2023/03/01 16:31
OB-3	地震観測	2023/03/01 16:33	2023/03/01 19:24

図 4.3-24(2) 欠測状況の表示例

(5) 月報

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

表 4.3-12 月報記載事項

月報記載内容	記載内容
対象期間	ユーザーが指定した期間
対象マグニチュード	ユーザーが指定したマグニチュードの範囲
暫定的震源解析結果	ユーザー指定(使用/不使用)
観測状況	観測井温度・圧力測定結果(不具合欠測等の報告)
	圧入井温度・圧力測定結果(不具合欠測等の報告)
対象期間内に苫小牧周辺で発生した微小振動と自然地震に関する報告	振源・震源分布(平面図、東西および南北断面図)
	震央頻度分布(X-Y平面での頻度を三次元的に表示)
	規模別発生頻度分布(横軸:マグニチュード、縦軸:発生数)
	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	2023年	03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	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計 23 分間	
陸上設置地震計	2021/07/09 観測停止	
OBS	アナログ	2021/07/15 観測停止
	デジタル	2021/07/15 観測停止
OB-1	地震観測	欠測発生日数：2、欠測件数：2、欠測時間：計 13 分間
	FBG (温度・圧力 5)	正常観測
	圧力 1-4	正常観測
	DTS	正常観測
OB-2	地震観測	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計 5 分間
	FBG (温度・圧力 5)	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 5 分間
	DTS	正常観測
OB-3	地震観測	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計 171 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：3、欠測時間：計 26 分間
	DTS	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 1219 分間	
圧入井圧入量	欠測発生日数：1、欠測件数：4、欠測時間：計 1219 分間	
圧入井圧入操業情報	欠測発生日数：1、欠測件数：4、欠測時間：計 1219 分間	

図 4.3-25(1) 月報の表紙 (対象期間および観測状況を記載) の例

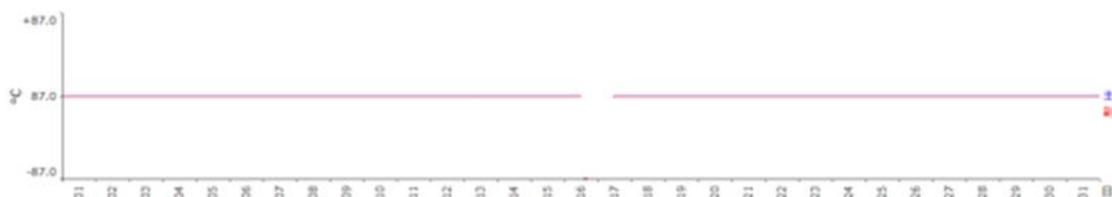
■ 圧入井 1 温度・圧力観測結果、圧入量

期間 2023年 03月

■ 圧入井 I W- 1 温度観測 (主、副)

主: 平均: 87.155°C、標準偏差: 5.556°C

副: 平均: 86.872°C、標準偏差: 5.537°C



■ 圧入井 I W- 1 圧力観測 (主、副)

主: 平均: 33.228MPa、標準偏差: 2.078MPa

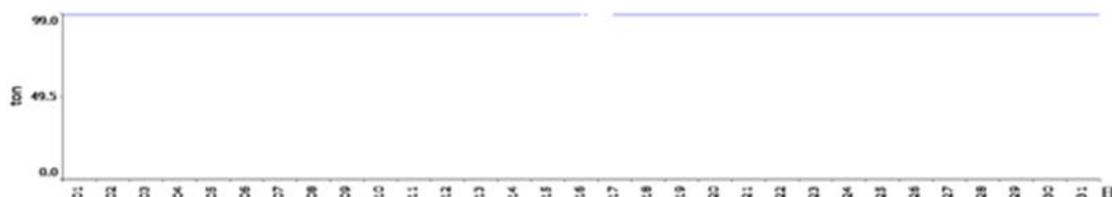
副: 平均: 33.287MPa、標準偏差: 2.082MPa



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



■ 圧入井 I W- 1 累積圧入量



2023年 03月

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

(6) その他

① 総合モニタリングシステムで発生した障害

2022年度に総合モニタリングシステムで発生した障害を表 4.3-14 に示す。なお、ここで示した障害に伴うデータの欠測は発生していない。

表 4.3-14 総合モニタリングシステムで発生した障害

発生日時	障害内容	原因・対応
2022/4/8	データ変換サーバー2で アラーム鳴動	原因は不明。 4/15の現地検時にデータ変換サーバー2を再起動し、内蔵 RAID 再構築終了後にアラームが停止した。
2022/9/19	OB-3 地震計データの総合 モニタリングシステムへ の取込不具合	原因は観測井側での計測ソフトウェアのバージョン変更に伴い、SEG-D ヘッダー内の Receiver Point Index の値が変わったため。総合モニタリング側でデータ取込パラメータを管理しているデータベースで Receiver Point Index の値を変更して対応した(対応日 9/25)。
2022/10/18	OB-3 半導体圧力計の総合 モニタリングシステムへ の取込不具合	観測井から送信されたデータの中に 00 秒から始まる 1 分間のデータになってなく、1 分未満のファイル、1 分を超えるファイルなどがあり、手動で 00 秒から始まる 1 分間のファイルに編集して、総合モニタリングシステムに取り込んだ。(対応日 10/20)
2022/12/16	PPS データの総合モニタ リングシステムへの取込 不具合	総合モニタリングシステムのデータ変換サーバー1側から協力会社管理の NAS が認識できなくなったのが原因。 圧入井データ入出力 PC で PPS データを同協力会社側 NAS から総合モニタリングシステムのデータ取込フォルダにコピーするプロセス動かすことで対応した(対応日 12/17)。

② リアルタイムモニター表示機能の調整

地震計データにおいて、一部チャンネルに不具合があって、異常波形が表示されていても、これまでは不具合のあるチャンネルを非表示にすることができず、地震計波形を確認する際に視認性が悪くなっていた。

このため、地震計波形の確認時の視認性を向上させるため、リアルタイムモニター機能において、表示対象チャンネルを選択できるよう機能調整を行った。

図 4.3-26 の例では、不具合のあった OB-1 のセンサー位置 1 番目の Y チャンネルの当該トレースを非表示にすると地震計波形が見やすくなった。



表示チャンネル設定前

表示チャンネル設定後

各成分とも一番上のセンサーの表示が省略されている。

図 4.3-26 リアルタイムモニターの修正前後の画面例

4.4 微小振動・自然地震モニタリング

2021年度に引き続き、圧入停止後の微小振動・自然地震モニタリングを実施した。対象データは、2022年4月1日～2023年3月31日の期間中に観測されたモニタリングデータおよびモニタリング対象領域周辺のHi-netデータである。対象領域は図4.4-1に示す微小振動モニタリング範囲、および図4.4-2に示す自然地震モニタリング範囲とした。震源推定には4.3節の総合モニタリングシステムを用いて、対象領域内かつマグニチュード-0.5以上、深度50km以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

2021年度と同様、基本となる作業期間を1週間として、期間中に自動検知したイベント候補(振幅異常)について、ノイズイベントの除外、各波形の初動時刻読み取り値の確認および調整を経て、振源・震源位置を推定した。推定した振源・震源情報は総合モニタリングシステムのデータベースに逐次登録した。

これらの結果を1箇月単位で集約して月報形式で取りまとめた。月ごとに集計されたイベントのうち、予め設定した以下の条件を満たす振源・震源情報を、苫小牧市役所2階の市民ギャラリー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



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

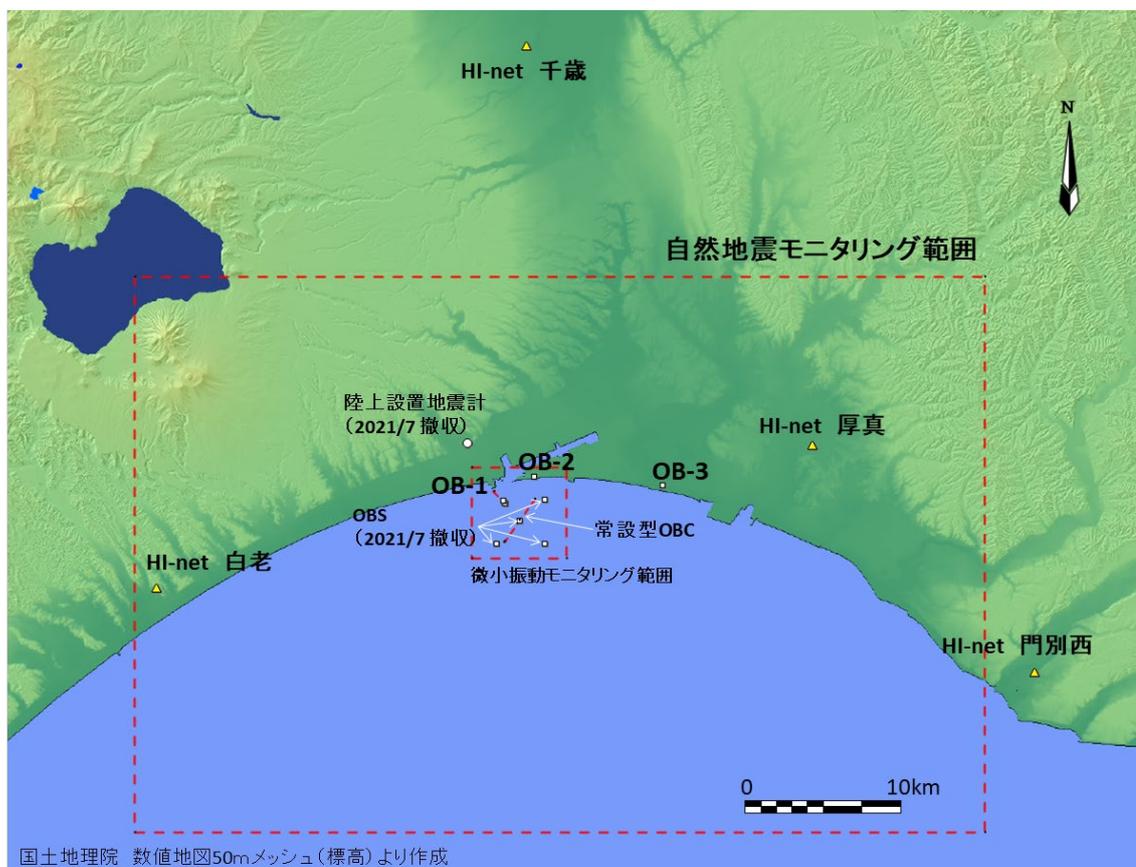


図 4.4-2 自然地震モニタリング対象範囲 (南北約 37km × 東西約 55km)

4.4.2 モニタリング結果

(1) 週次集計

表 4.4-1 に各週のモニタリング結果を示した。

(2) 月次集計

上記(1)のモニタリング結果を1箇月ごとに集計し、振源・震源分布図に特記事項を付して月報形式で取りまとめた。図 4.4-3(1)~(12)に2022年4月~2023年3月の各月の月報(月次集計)を示した。

月報に記載の振源・震源のうち、あらかじめ設定した条件(マグニチュード-0.5以上、深度50km以浅)を満たし、かつ微小振動モニタリング範囲内で検知したものについては、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)。

表 4.4-1(1) 2022年4月1日～2023年3月31日のモニタリング結果(1/3)

期間	微小振動モニタリング範囲内イベント	自然地震モニタリング範囲内イベント	備考
4/1～4/2	0	1	
4/3～4/9	0	19	観測井 OB-1 メンテナンス作業
4/10～4/16	0	9	観測井 OB-1 メンテナンス作業 観測井 OB-1 チェックショット作業 観測井 OB-3 チェックショット作業
4/17～4/23	0	9	観測井 OB-2 チェックショット作業
4/24～4/30	0	17	
5/1～5/7	0	6	
5/8～5/14	0	23	
5/15～5/21	0	17	
5/22～5/28	0	22	
5/29～6/4	0	19	
6/5～6/11	0	21	
6/12～6/18	0	10	
6/19～6/25	0	20	観測井 OB-1 データ通信回線変更 観測井 OB-3 データ通信回線変更
6/26～7/2	0	6	観測井 OB-1 不具合による欠測
7/3～7/9	0	16	
7/10～7/16	0	16	繰り返し弾性波探査実施
7/17～7/23	0	27	繰り返し弾性波探査実施
7/24～7/30	0	49	

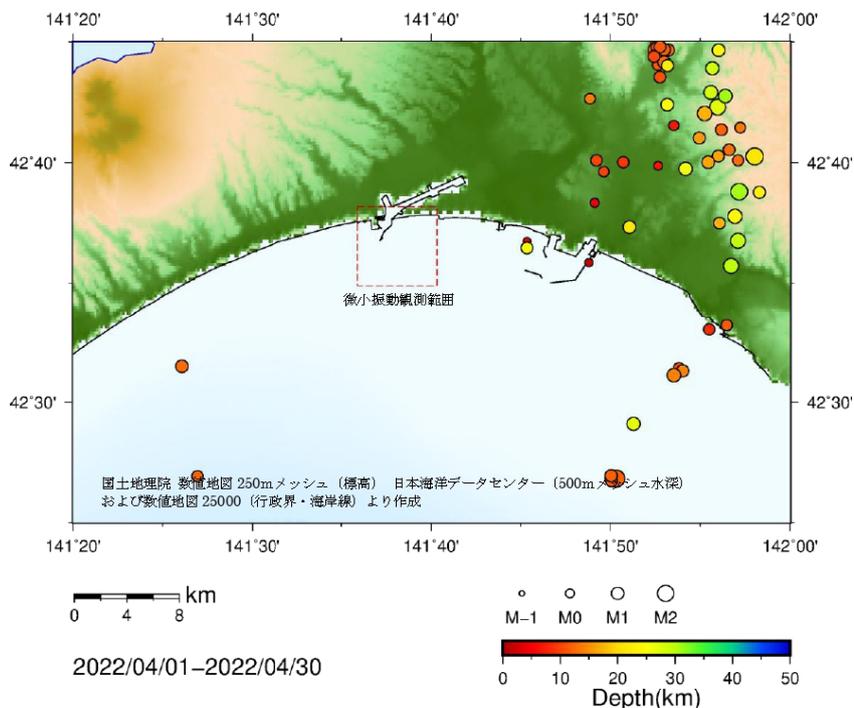
表 4.4-1(2) 2022年4月1日～2023年3月31日のモニタリング結果(2/3)

期間	微小振動モニタリング範囲内イベント	自然地震モニタリング範囲内イベント	備考
7/31～8/6	0	23	
8/7～8/13	0	2	観測井 OB-3 不具合による欠測
8/14～8/20	0	2	観測井 OB-3 不具合による欠測
8/21～8/27	0	3	観測井 OB-3 不具合による欠測
8/28～9/3	0	10	観測井 OB-2 不具合による欠測 観測井 OB-3 不具合による欠測
9/4～9/10	0	3	観測井 OB-2 メンテナンス作業 観測井 OB-3 不具合による欠測
9/11～9/17	0	3	観測井 OB-3 メンテナンス作業
9/18～9/24	1	3	観測井 OB-3 メンテナンス作業 観測井 OB-1 チェックショット作業 観測井 OB-2 チェックショット作業 観測井 OB-3 チェックショット作業 9/18 14:04 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 4.35km、M0.12)
9/25～10/1	0	10	
10/2～10/8	0	5	
10/9～10/15	0	6	
10/16～10/22	0	40	
10/23～10/29	0	12	
10/30～11/5	0	4	
11/6～11/12	0	11	
11/13～11/19	0	2	
11/20～11/26	0	5	
11/27～12/3	0	5	

表 4.4-1(3) 2022年4月1日~2023年3月31日のモニタリング結果(3/3)

期間	微小振動モニタリング範囲内イベント	自然地震モニタリング範囲内イベント	備考
12/4~12/10	0	6	
12/11~12/17	0	5	
12/18~12/24	0	4	観測井 OB-2 不具合による欠測
12/25~12/31	0	5	
1/1~1/7	0	9	観測井 OB-2 不具合による欠測 観測井 OB-3 不具合による欠測
1/8~1/14	0	19	観測井 OB-3 不具合による欠測
1/15~1/21	0	22	
1/22~1/28	0	24	
1/29~2/4	0	10	
2/5~2/11	0	23	観測井 OB-1 DAS-VSP 実施
2/12~2/18	0	5	観測井 OB-1 DAS-VSP 実施
2/19~2/25	0	25	
2/26~3/4	0	7	
3/5~3/11	0	4	
3/12~3/18	0	24	
3/19~3/25	1	22	3/22 10:26 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 8.37km、M0.43)
3/26~3/31	0	9	

苫小牧地点におけるCCS大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2022年4月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2022年4月1日~4月30日、深度 50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

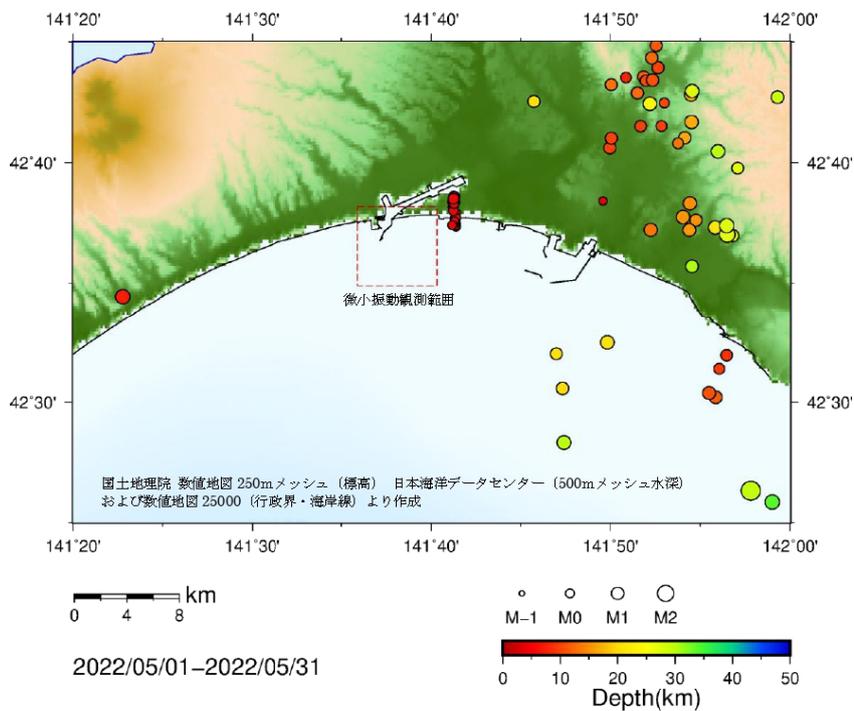
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	55	
範囲外	275	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 当月はマグニチュード0.5 未満の検知イベントを検知しなかった。

図 4.4-3(1) モニタリング結果月報 (2022 年 4 月)

苫小牧地点におけるCCS大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2022年5月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード0.5以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2022年5月1日~5月31日、深度 50km 以浅、マグニチュード0.5以上)

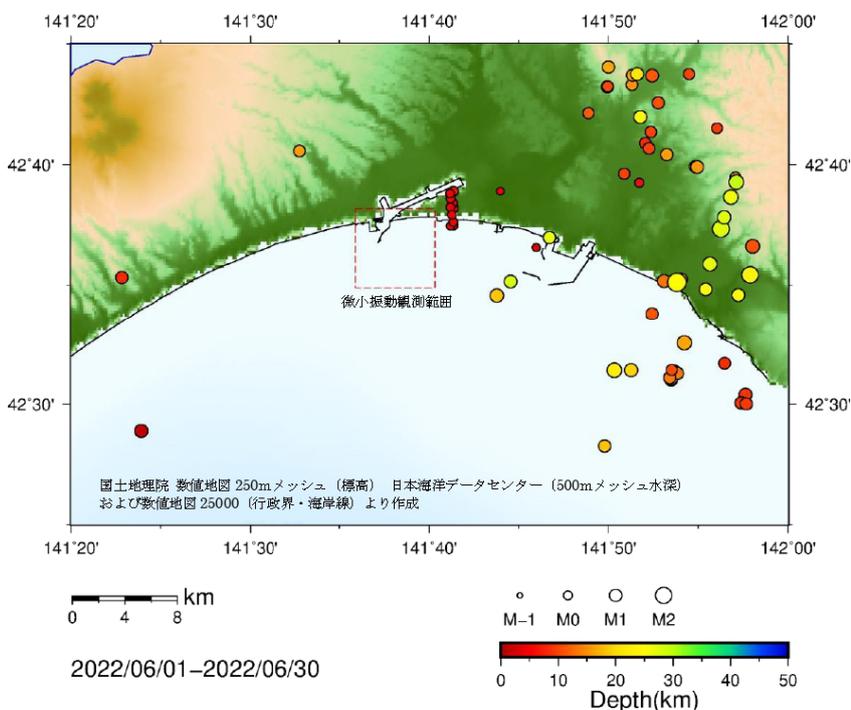
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	71	
範囲外	273	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 5/12頃から勇払付近の浅部に振源推定されるイベントが増加。

図 4.4-3(2) モニタリング結果月報 (2022年5月)

苫小牧地点におけるCCS大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2022年6月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2022年6月1日~6月30日、深度 50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

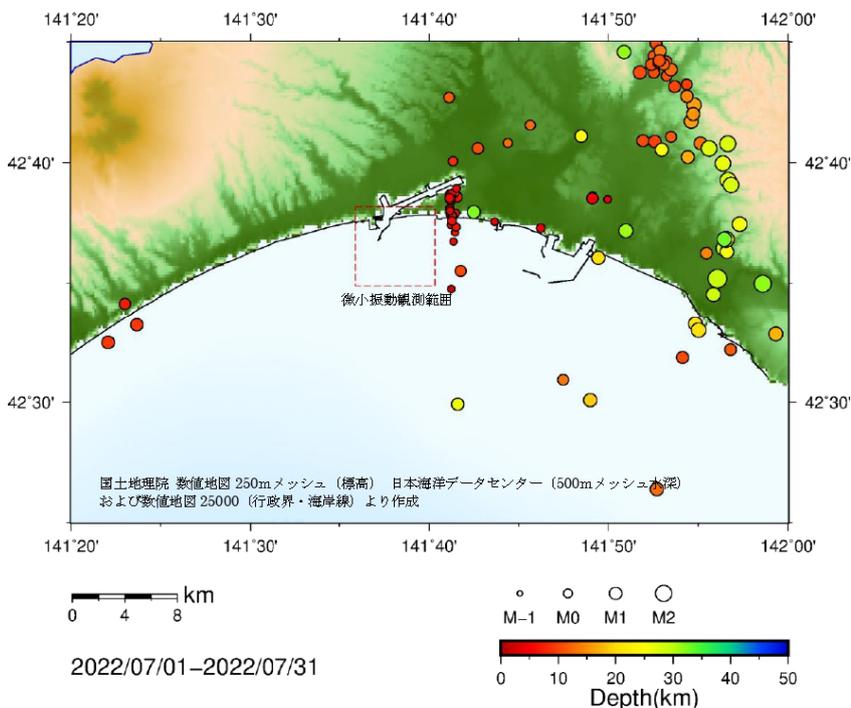
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	67	
範囲外	259	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 5/12 頃から 6/5 まで、勇払付近の浅部に振源推定されるイベントが増加。

図 4.4-3(3) モニタリング結果月報 (2022 年 6 月)

苫小牧地点におけるCCS大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2022年7月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2022年7月1日~7月31日、深度 50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

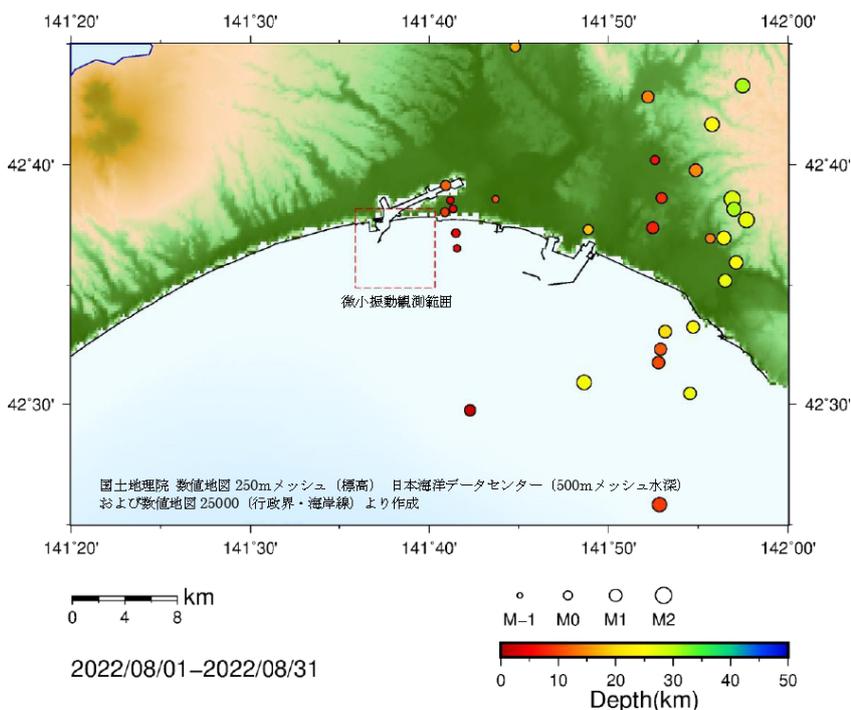
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	96	
範囲外	275	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 勇払付近の浅部に振源推定されるイベントが 7/3, 25, 26 に 1 件ずつ観測され、7/27 以降増加している。

図 4.4-3(4) モニタリング結果月報 (2022 年 7 月)

苫小牧地点におけるCCS大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2022年8月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード0.5以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2022年8月1日~8月31日、深度 50km 以浅、マグニチュード0.5以上)

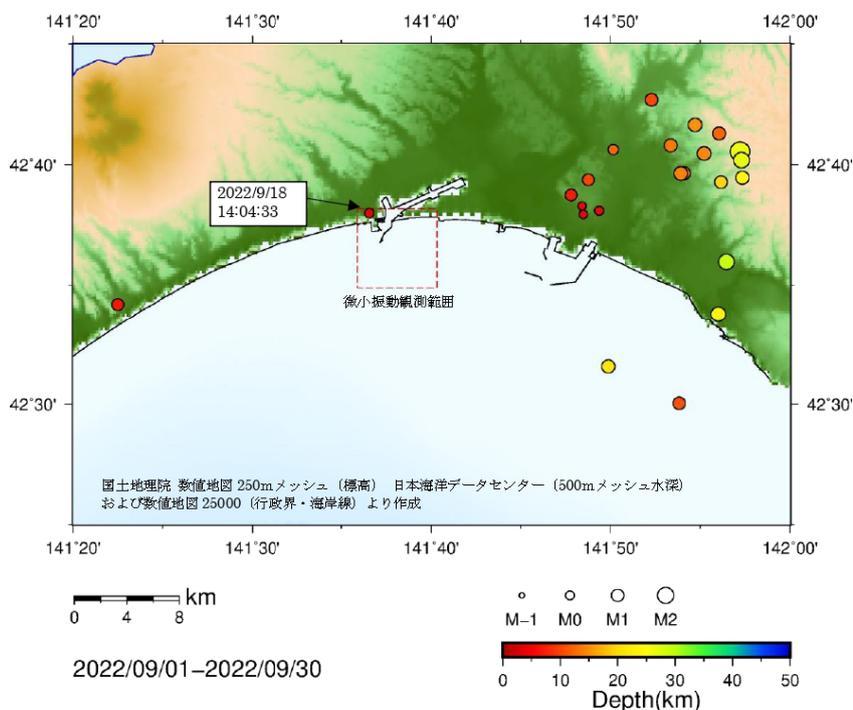
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	31	
範囲外	128	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 勇払付近の浅部に振源推定されるイベントが8/1~8/5にかけて観測された。

図 4.4-3(5) モニタリング結果月報 (2022年8月)

苫小牧地点におけるCCS大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2022年9月



振源・震源分布 (深度50km以浅、マグニチュード0.5以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2022年9月1日~9月30日、深度50km以浅、マグニチュード0.5以上)

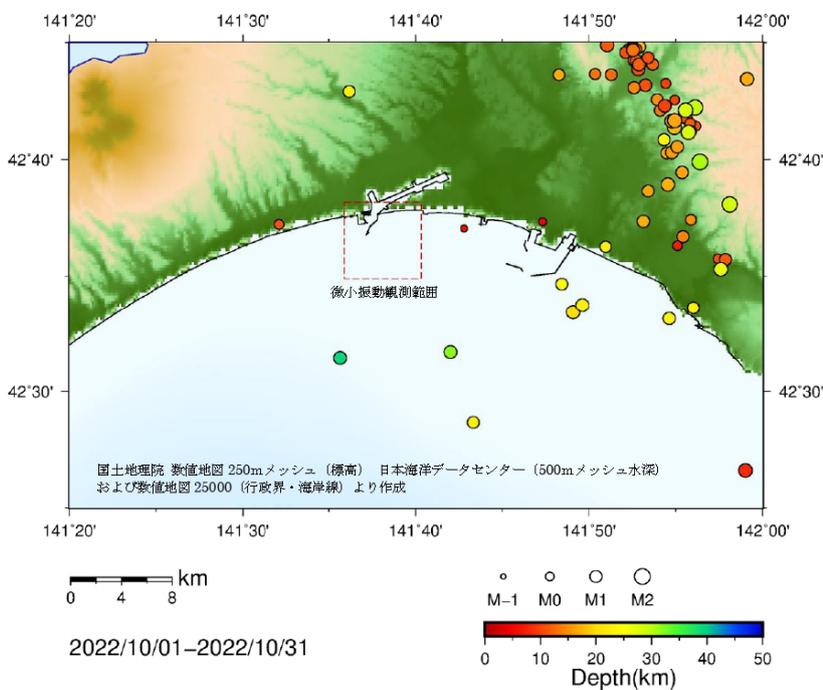
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	1	
自然地震観測範囲内	22	
範囲外	152	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 9/18 14:04に微小振動観測範囲内で1件のイベントを検知した。震源深度は約4.35km、マグニチュードは0.12と推定された。
- 当月はマグニチュード0.5未満の検知イベントを検知しなかった。

図 4.4-3(6) モニタリング結果月報 (2022年9月)

苫小牧地点におけるCCS大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2022年10月



振源・震源分布 (深度50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2022年10月1日~10月31日、深度50km 以浅、マグニチュード0.5 以上)

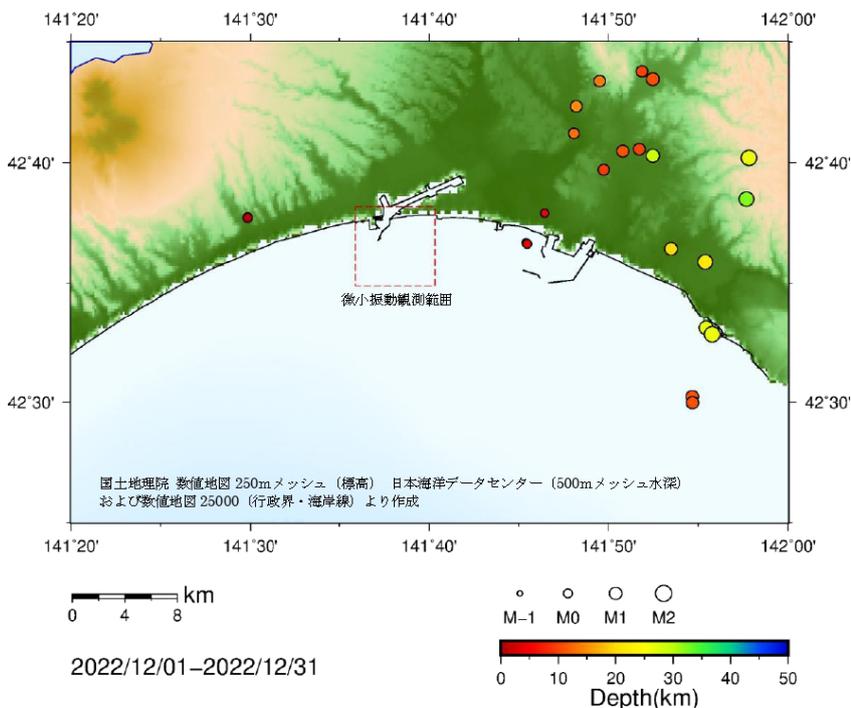
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	67	
範囲外	257	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 当月はマグニチュード0.5 未満の検知イベントを検知しなかった。

図 4.4-3(7) モニタリング結果月報 (2022年10月)

苫小牧地点におけるCCS大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2022年12月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード-0.5 以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2022年12月1日~12月31日、深度50km以浅、マグニチュード-0.5以上)

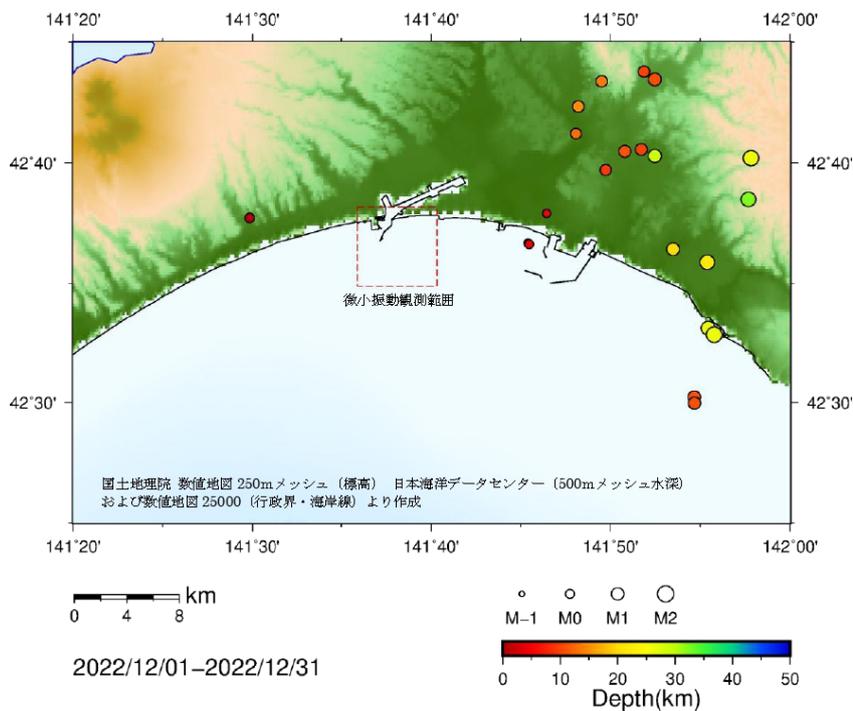
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	21	
範囲外	175	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 当月はマグニチュード-0.5未満の検知イベントを検知しなかった。

図 4.4-3(8) モニタリング結果月報 (2022年11月)

苫小牧地点におけるCCS大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2022年12月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード-0.5 以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2022年12月1日~12月31日、深度 50km 以浅、マグニチュード-0.5 以上)

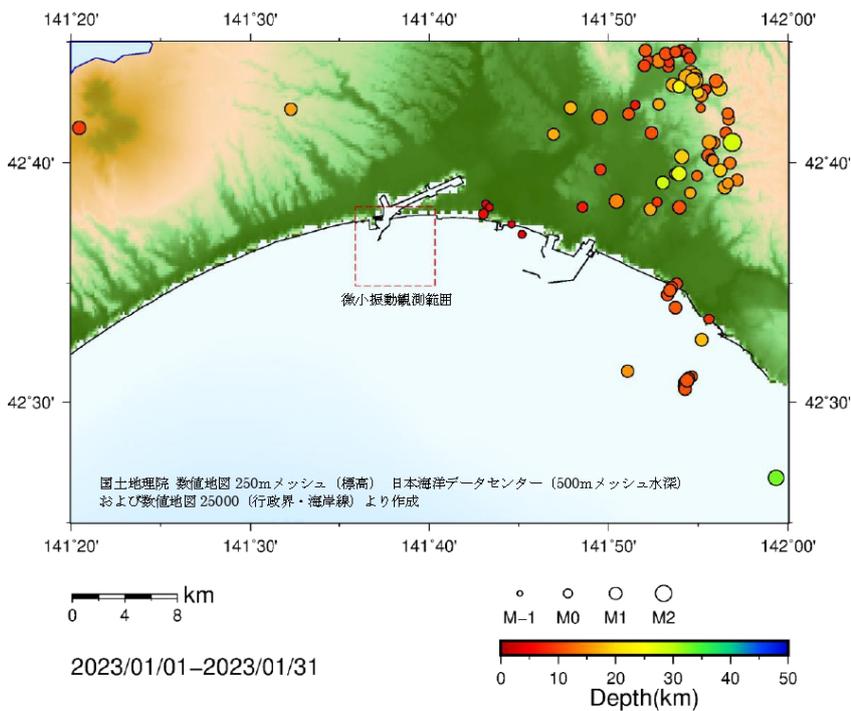
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	21	
範囲外	175	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 当月はマグニチュード-0.5 未満の検知イベントを検知しなかった。

図 4.4-3(9) モニタリング結果月報 (2022年12月)

苫小牧地点におけるCCS大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2023年1月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード0.5以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

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

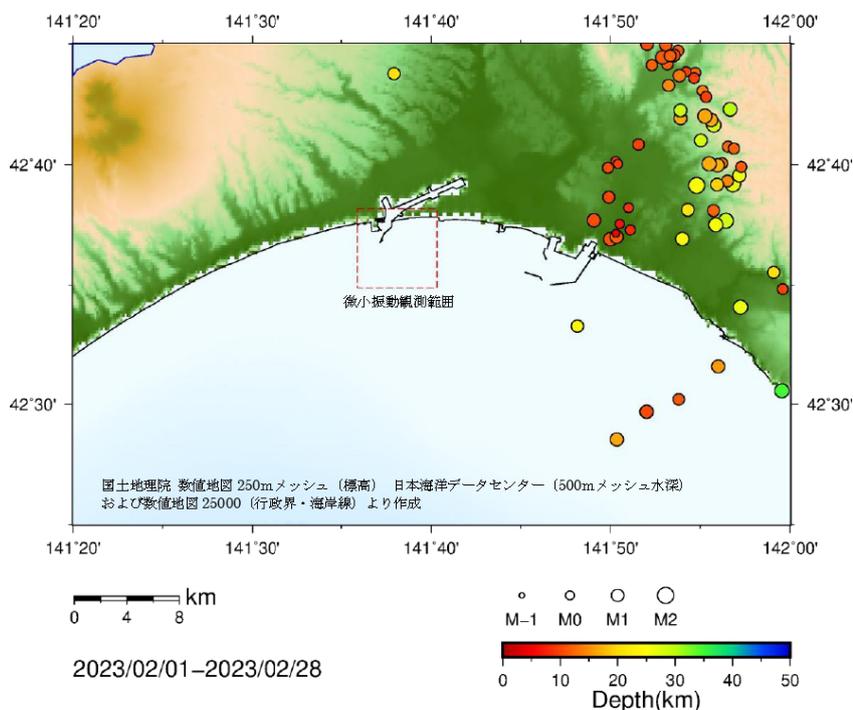
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	80	
範囲外	152	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 当月はマグニチュード0.5未満の検知イベントを検知しなかった。

図 4.4-3(10) モニタリング結果月報 (2023年1月)

苫小牧地点におけるCCS大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2023年2月



振源・震源分布 (深度 50km 以浅、マグニチュード0.5以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2023年2月1日~2月28日、深度 50km 以浅、マグニチュード0.5以上)

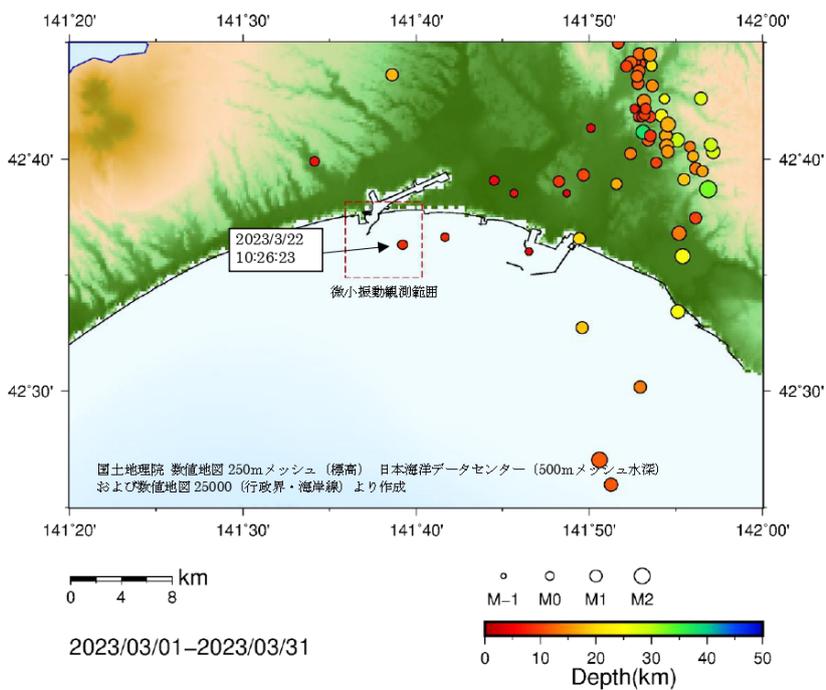
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	60	
範囲外	182	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。また 2/6~2/9 にかけて苫小牧東港付近でやや多くのイベントを検出した。
- 当月はマグニチュード0.5未満の検知イベントを検知しなかった。

図 4.4-3(11) モニタリング結果月報 (2023年2月)

苫小牧地点におけるCCS大規模実証試験
微小振動・自然地震モニタリング 月報 2023年3月



振源・震源分布 (深度50km以浅、マグニチュード0.5以上)

図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

(2023年3月1日~3月31日、深度50km以浅、マグニチュード0.5以上)

分類	数	備考
微小振動観測範囲内	1	
自然地震観測範囲内	61	
範囲外	220	

特記事項

- 自然地震モニタリング範囲内東部のイベントが多く発生している。
- 3/22 10:26に微小振動観測範囲内で1件のイベントを検知した。震源深度は約8.37km、マグニチュードは0.43と推定された。

図 4.4-3(12) モニタリング結果月報 (2023年3月)

4.4.3 微小振動・自然地震モニタリングの観測点最適化のための検討

2021年度に陸上設置地震計およびOBSを運用停止して以降、本事業では観測井坑内地震計、常設型OBCおよび苫小牧周辺のHi-netによってモニタリングを継続している。

高精度なイベント検出および震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合理的でなく、十分なイベント検出能力、震源推定精度が保たれる範囲内で、適切に観測点配置を設定することが求められる。以上の点から、限定的な観測点配置における震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。

そこで本検討では、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、解析に用いる観測点を制限した場合の震源推定結果を比較検証した。

(1) 微小振動モニタリング範囲内

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16件に対し、初動時刻の読み取り観測点を制限した場合の震源推定結果を比較した。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解析を実施し、推定結果を比較した。

- 1) OB-1、OB-2、OB-3、OBC (以下、「全観測点」)
- 2) OB-1、OB-2、OB-3 (以下、「OBC以外」)
- 3) OB-1、OB-3 (以下、「OB-1・OB-3」)

※Hi-netでは検出されていない

図4.4-4(1)~(3)に、それぞれの推定結果を示す。震源推定に用いる観測点を制限することにより、推定結果が若干変化する。“全観測点”と比較すると、“OBC以外”では推定位置がやや南側に偏り、“OB-1・OB-3”では推定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両ケースにおいても、震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。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。これら3ケースでは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。以上より微小振動モニタリング範囲内イベントの震源推定に際してはOB-1およびOB-3の寄与が大きく、観測井坑内地震計により震源推定可能であることが示唆される。

(2) 自然地震モニタリング範囲内

2021年7月中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、初動時刻の読み取り観測点を制限した場合の震源推定結果を比較した。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震源推定を実施し、推定結果を比較した。

- 1) OB-1、OB-2、OB-3、OBC、Hi-net (以下、「全観測点」)
- 2) OB-1、OB-2、OB-3、OBC (以下、「Hi-net 以外」)
- 3) OB-1、OB-2、OB-3、Hi-net (以下、「OBC 以外」)

図4.4-5(1)~(3)に、それぞれの推定結果を示す。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は2018年に発生した胆振東部地震の余震域に推定される。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いくつかある。“Hi-net 以外”では、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。また一部推定震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。このような結果を示す原因としては、Hi-net を震源推定に用いない場合には観測点配置の広がり方が苫小牧周辺に限定されることで、観測点配置から離れたイベントに対しては誤差が大きくなることが考えられる。さらに、“全観測点”からOBCを除外した“OBC 以外”では、“全観測点”と比較して震源推定結果の傾向に大きな変化は見られなかった。これは、胆振東部地震余震域のような苫小牧観測網の外側かつ離れたイベントに対しては、多数の観測点を配置しても空間的に網羅することができず、各観測点から得られるデータの寄与が小さくなるためであると考えられる。以上より自然地震モニタリング範囲内イベントの震源推定に際してはHi-net の寄与が大きく、観測井坑内地震計およびHi-net により震源推定可能であることが示唆される。

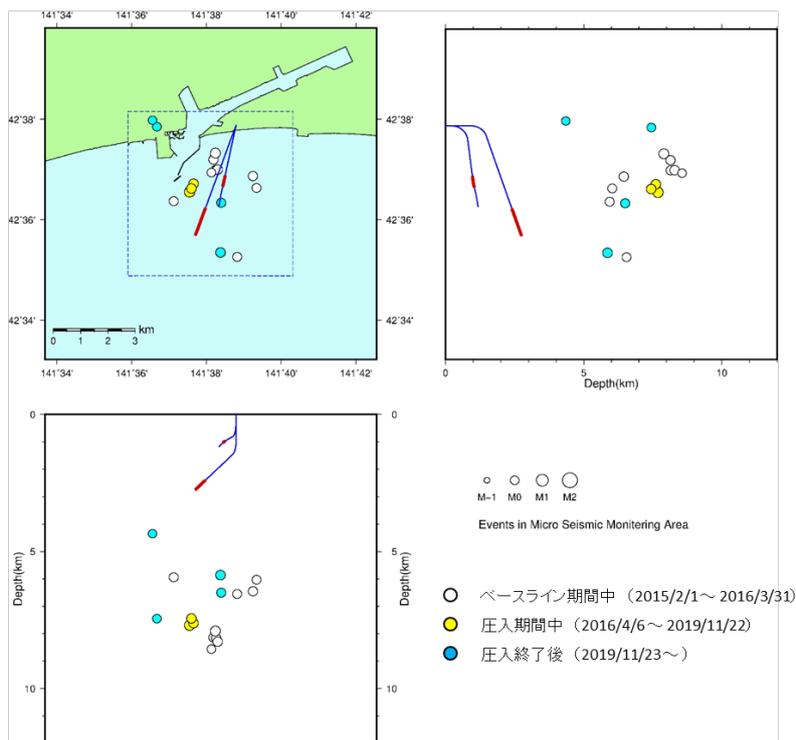


図 4.4-4(1) 微小振動モニタリング範囲内イベント震源推定結果 (“全観測点”)

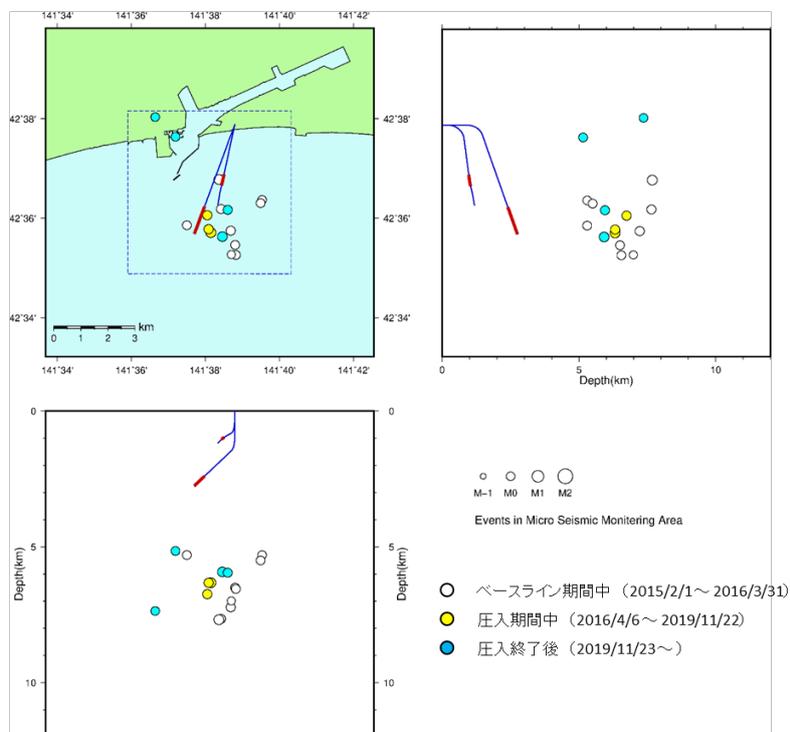


図 4.4-4(2) 微小振動モニタリング範囲内イベント震源推定結果 (“OBC 以外”)

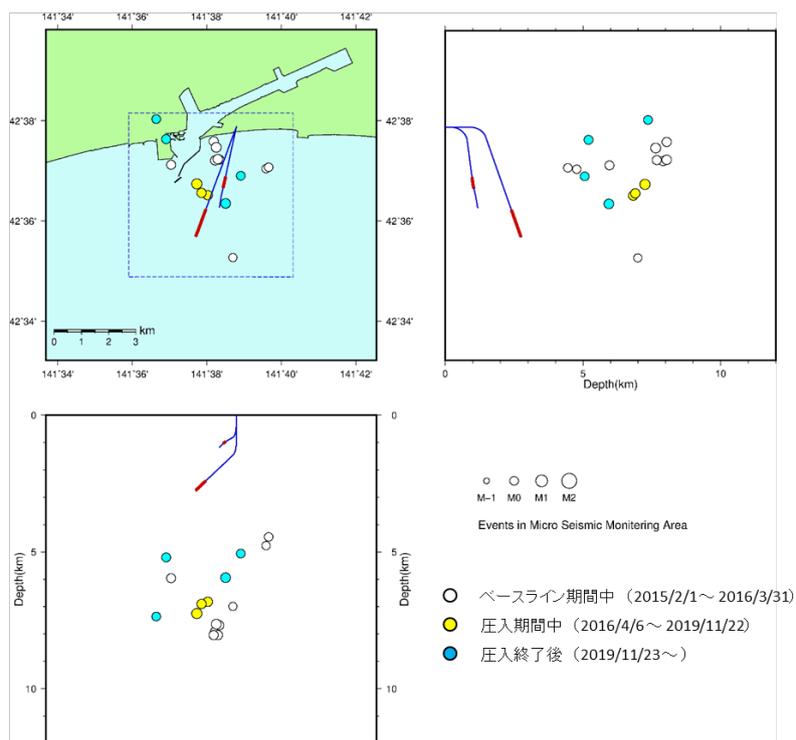


図 4.4-4(3) 微小振動モニタリング範囲内イベント震源推定結果 (“OB-1・OB-3”)

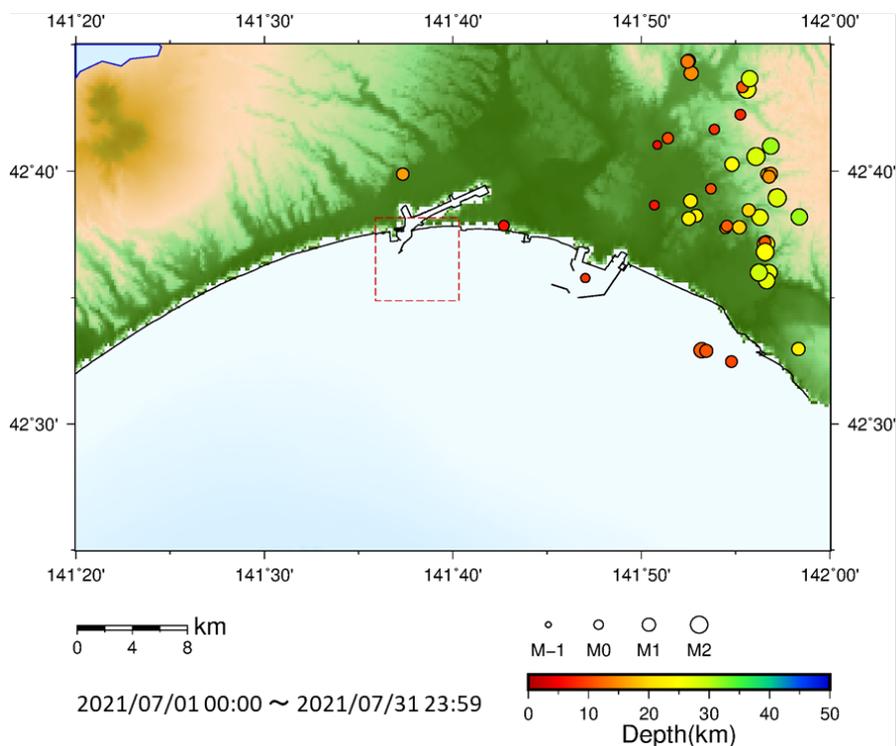


図 4.4-5(1) 自然地震モニタリング範囲内イベント震源推定結果 (“全観測点”)

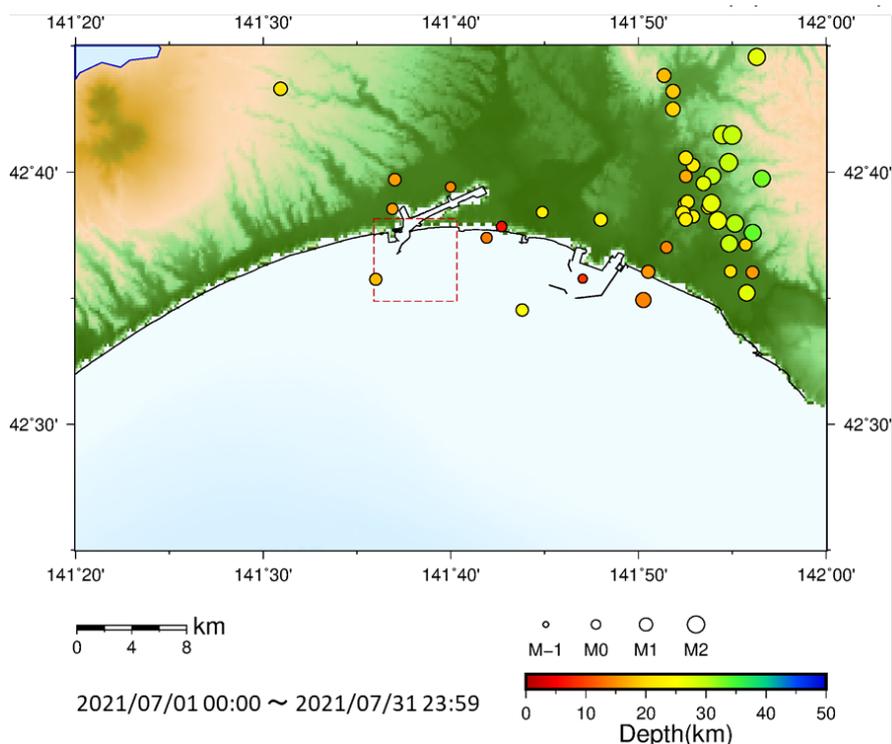


図 4.4-5(2) 自然地震モニタリング範囲内イベント震源推定結果 (“Hi-net 以外”)

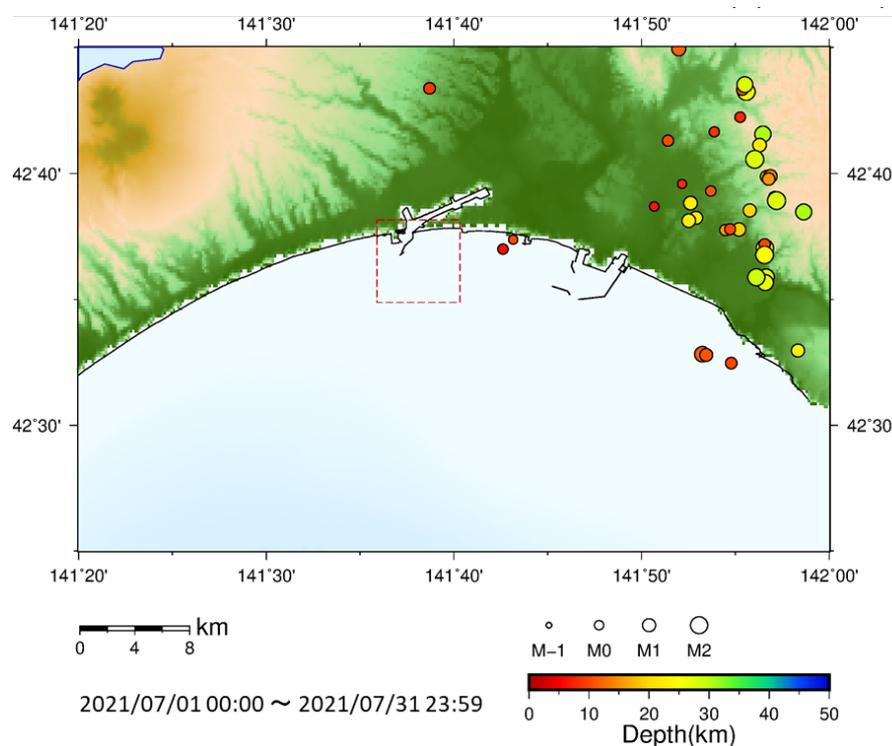


図 4.4-5(3) 自然地震モニタリング範囲内イベント震源推定結果 (“OBC 以外”)

4.4.4 光ファイバーを用いた振動計測

本事業では、観測井（OB-1、OB-2 および OB-3）坑内に設置した観測機器（地震計、温度計および圧力計）による微小振動・自然地震および温度・圧力モニタリングを継続実施しているが、経年劣化に伴う不具合等により欠測が発生しており、観測井坑内機器の最適化を検討している。

このうち、微小振動・自然地震モニタリングについては、既存のジオフォン地震計の不具合が多いことから、代替する手法として DAS（Distributed Acoustic Sensing）を候補としている。DAS は既存の通信用光ファイバーを用いて測点範囲が広く空間的に連続した観測が可能であり、ジオフォン地震計では観測できない深度も対象とできる。

現在使用しているアーマードケーブル内の既存光ファイバーを使用することで、坑井の改修等の追加作業をせず地上機を設置するだけで計測が可能である。一方で、ケーシングの内側に吊り下げた状態で取得した DAS データがモニタリングに資する震源推定精度を有するかについては評価ができていないため、実際にテストデータを取得・解析して、微小振動・自然地震モニタリングへの適用性を検討する必要がある。

2022 年度は、観測井 OB-1 の温度圧力モニタリングで使用中の光ファイバーを用いて、DAS のテストデータの取得作業を行った。2023 年度には、取得したデータの解析を実施予定である。

(1) データ取得作業

観測井 OB-1 坑内の既設光ファイバーを用いて DAS 連続観測を実施した。また、これを受振器として、苫小牧港西港周辺でバイブレータを振源とする発振を行い、DAS-VSP 記録を取得した。図 4.4-6 に観測井 OB-1 の坑跡のうち DAS による受振区間と VSP 発振測線の位置図を示す。同図に示すように、VSP 発振作業は OB-1 坑口位置を通る土砂処分場内の測線（測線 1）と苫小牧港西港出入口航路を挟んだ対岸の道道 781 号線上の測線（測線 2）の計 2 区間で実施した。

データ取得作業は 2023 年 1 月 27 日から同年 2023 年 3 月 5 までの 38 日間に実施した。データ取得作業期間中は、OB-1 で実施している温度圧力観測のうち、FBG 圧力観測を一時停止し、同観測に用いている光ファイバーケーブルを用いて DAS 連続観測および DAS-VSP 観測を実施し、これらの観測終了後に FBG 圧力観測を再開した。

DAS による計測区間は坑口から坑内ツール編成の最上部（ケーブルヘッド）の手前までの約 2290m 区間とし、受振間隔は 2m とした。図 4.4-7 に DAS 計測区間の配置模式図を示す。同図には OB-1 の坑跡を含む鉛直断面内の坑跡、坑内ジオフォンの設置位置を示し

た。

(2) 連続観測結果

連続観測は2023年1月27日16:23から2023年3月5日8:42まで実施した。期間中、VSP観測のための中断のほかに、収録装置の異常停止により数時間の欠測が生じたものの、計831時間8分の連続観測記録を得た。観測データは、2023年度にDASによる微小振動・自然地震モニタリングの有効性検討のための震源推定等に用いられる。図4.4-8に、連続観測期間中に得られた自然地震記録例を示す。DAS受振区間全域で初動の到達を確認することができるものの、ジオフォン地震計による観測記録と比較してノイズレベルが大きく、トレース単位ではジオフォン記録はDAS記録よりも品質が良い。

(3) DAS-VSP 観測結果

DAS-VSP観測は2023年2月10日から2023年2月15日まで実施した。期間中、発振作業を行わない時間帯は連続観測を実施した。観測データは、2023年度にDAS-VSP解析を適用し、既存VSP結果との比較等を通じたDASの品質評価に用いられる。図4.4-9に、連続観測期間中に得られた発振記録例を示す。ジオフォン記録は、いずれの発振に対しても初動を確認することができ、DAS記録よりも品質が良い。特に測線2の発振記録にみられるように、DAS記録では初動の識別が困難なものであっても、ジオフォン記録では明瞭な初動が捉えられていることがわかる。



図 4.4-6 観測井 OB-1 坑跡および VSP 発振測線位置図

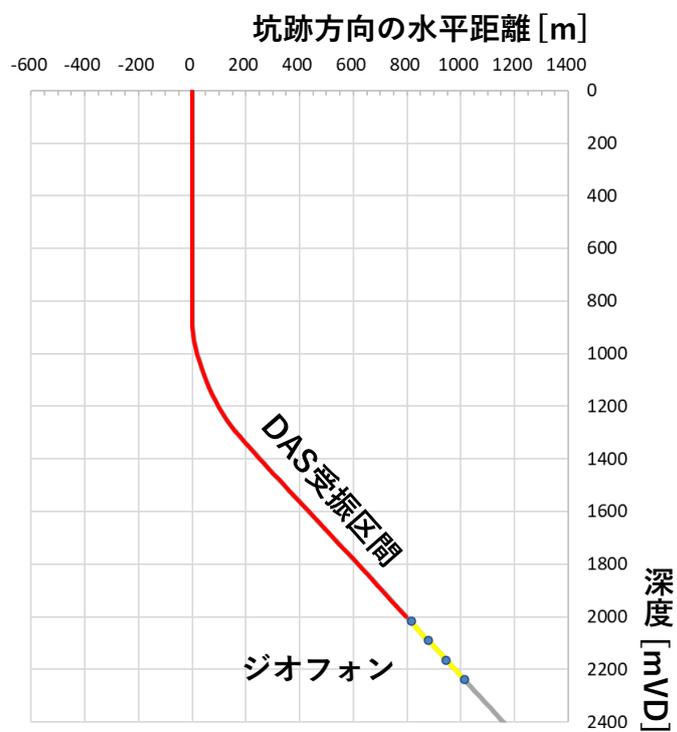


図 4.4-7 DAS 観測配置模式図

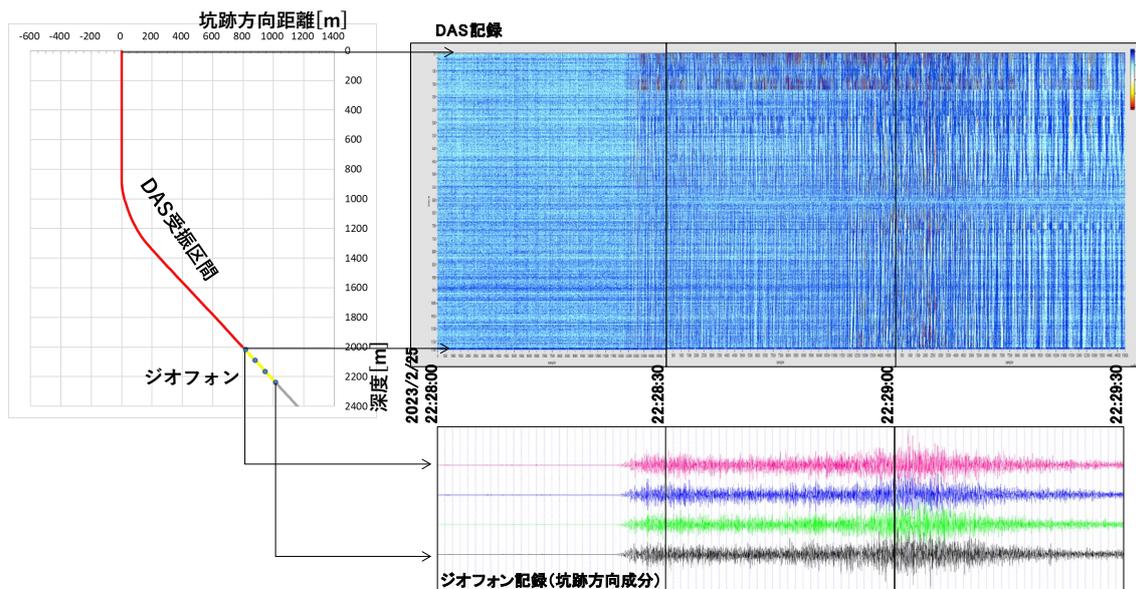


図 4.4-8 自然地震記録例 (2023年2月25日、M6.1、深さ60km、釧路沖)

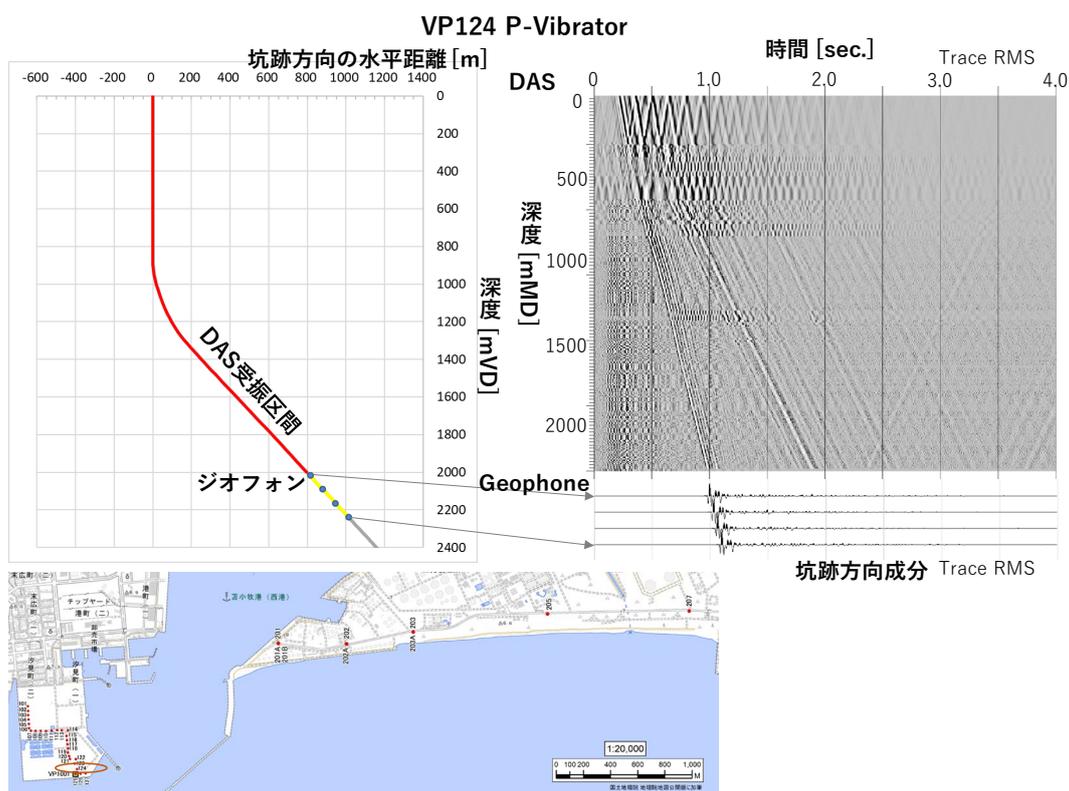


図 4.4-9(1) VSP 発振記録例 (測線 1 VP124)

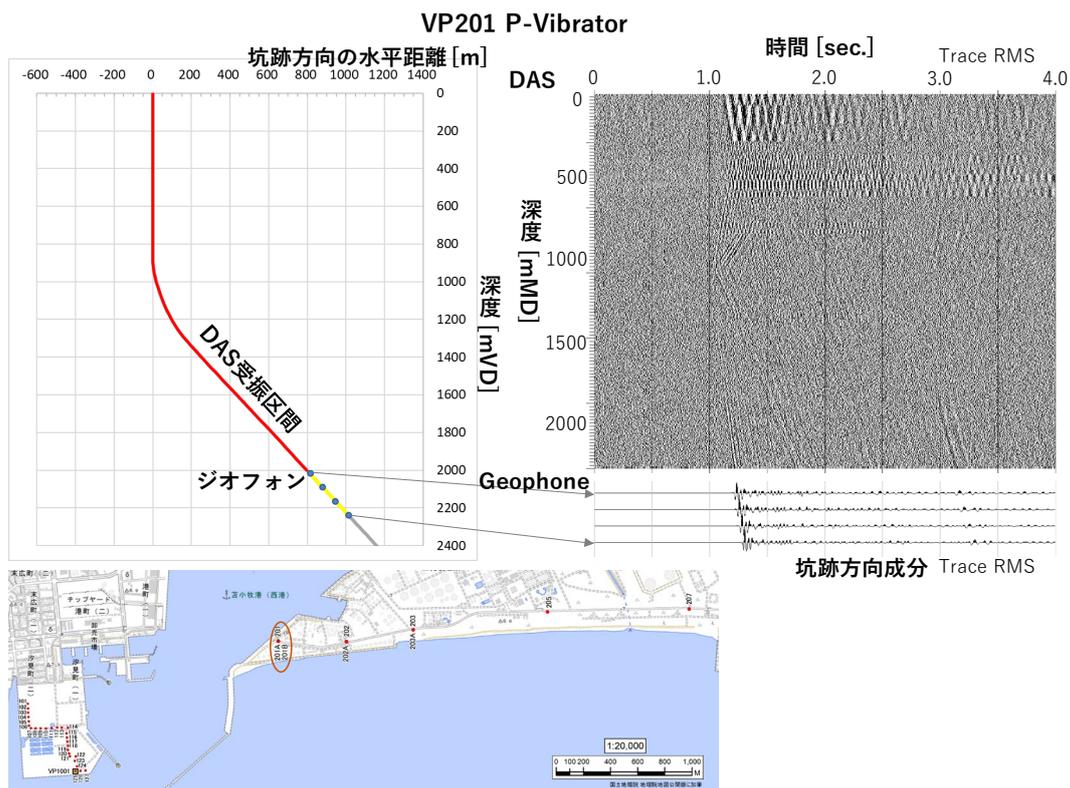


図 4.4-9(2) VSP 発振記録例 (測線 2 VP201)

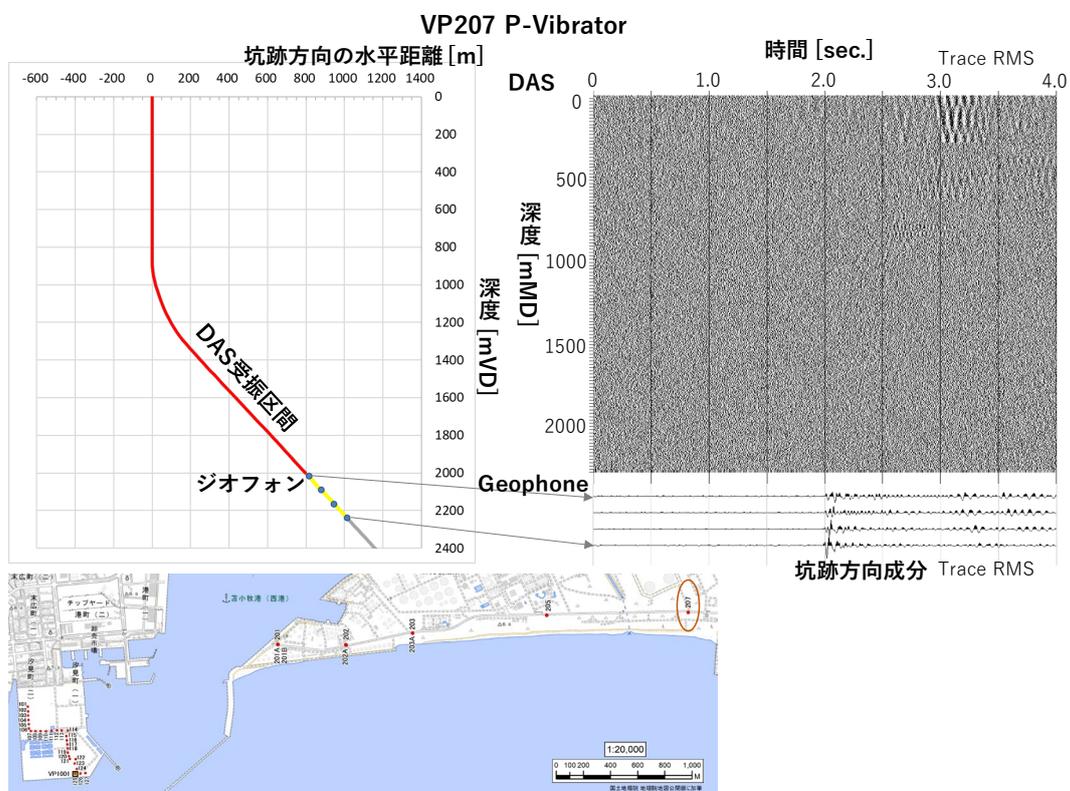


図 4.4-9(3) VSP 発振記録例 (測線 2 VP207)

4.4.5 2022年度モニタリング結果のまとめ

図 4.4-10 に、2022 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、2022 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 162 件に対して実証試験では 654 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 2 件のイベント(2022 年 9 月 18 日、2023 年 3 月 22 日)を検知した。震源は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。
- 3) 微小振動・自然地震モニタリング観測点最適化の検討結果、観測井坑内地震計および Hi-net により震源推定可能であることがわかった。特に、モニタリング範囲周辺である微小振動モニタリング範囲内における震源推定に際しては OB-1 および OB-3 の寄与が大きく、やや広域である自然地震モニタリング範囲内における震源推定に際しては Hi-net の寄与が大きいことがわかった。
- 4) 観測井 OB-1 の温度圧力モニタリングで使用中の光ファイバーを用いて DAS のテストデータ取得を実施し、ジオフォンに対して品質が劣るものの、自然地震連続観測および VSP 観測記録を得た。これらのデータの詳細解析は、2023 年度に実施する予定である。

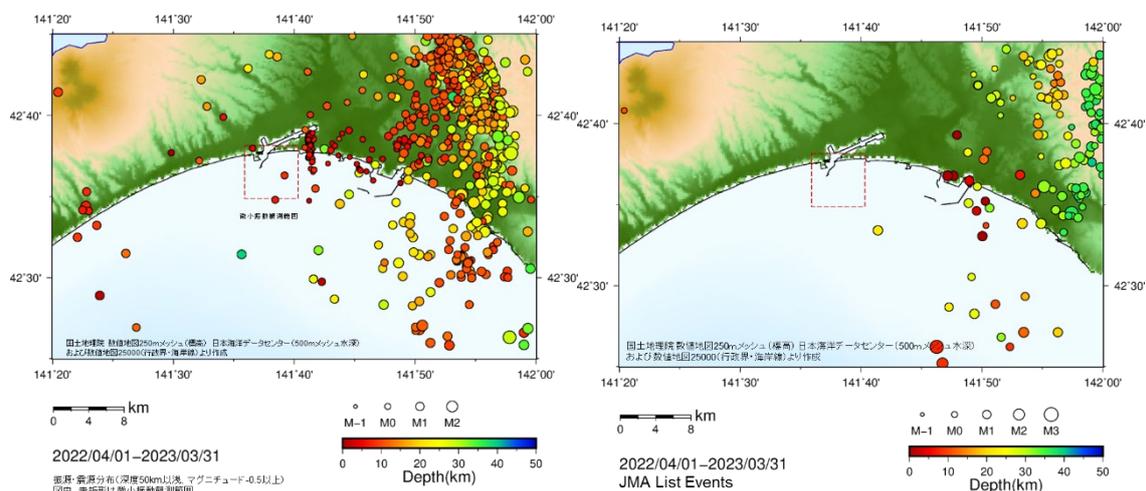


図 4.4-10 2022 年度期間中に自然地震モニタリング範囲内で検知した振源・震源分布
(左：本事業モニタリング結果、右：気象庁一元震源リスト)

4.5 繰り返し弾性波探査(第6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の第6回モニター調査(以下、「本調査」と称する。)として、三次元弾性波探査を実施した。

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回および本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いる。二次元調査は、萌別層砂岩層と滝ノ上層火山岩層のそれぞれの圧入地点直上付近を通る受振測線と、それと平行に複数の発振測線を構成して実施した。二次元調査では、調査の都度設置する通常のOBCに加えて、微小振動・自然地震モニタリングで使用中の常設型OBCも併せて使用した。三次元調査を実施する年度は、常設型OBCのみを使用した(表4.5-1に「常設型二次元調査」と記載)。

本調査のデータ取得は、2021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5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

4.5.1 調査概要および調査測線

本調査の海上作業は2022年7月10日から同年7月22日までの13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測線ずつの二区域(パッチ)に分割し、パッチ毎に西から実施した。

(1) 受振測線

三次元ベースライン調査の受振測線10本(南北方向)のうち東側6本(西からR05～R10)について各測線の北側0.75km区間を北側に0.75km延長した1.5km測線の受振測線を300m間隔で設定した。R08およびR09はシーバースとの安全距離(100m以上)を確保して、ベースライン調査時の敷設時と同位置に敷設した。R05～R07の3測線、R08～R10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本のうち北側18本(北からS01～S18)に北側に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200m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1.0km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。シーバース近傍では、50m以上の安全距離を確保した。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10m以上の海域のみで行い、水深10m未満の海域では小型発振船による発振作業を行った。

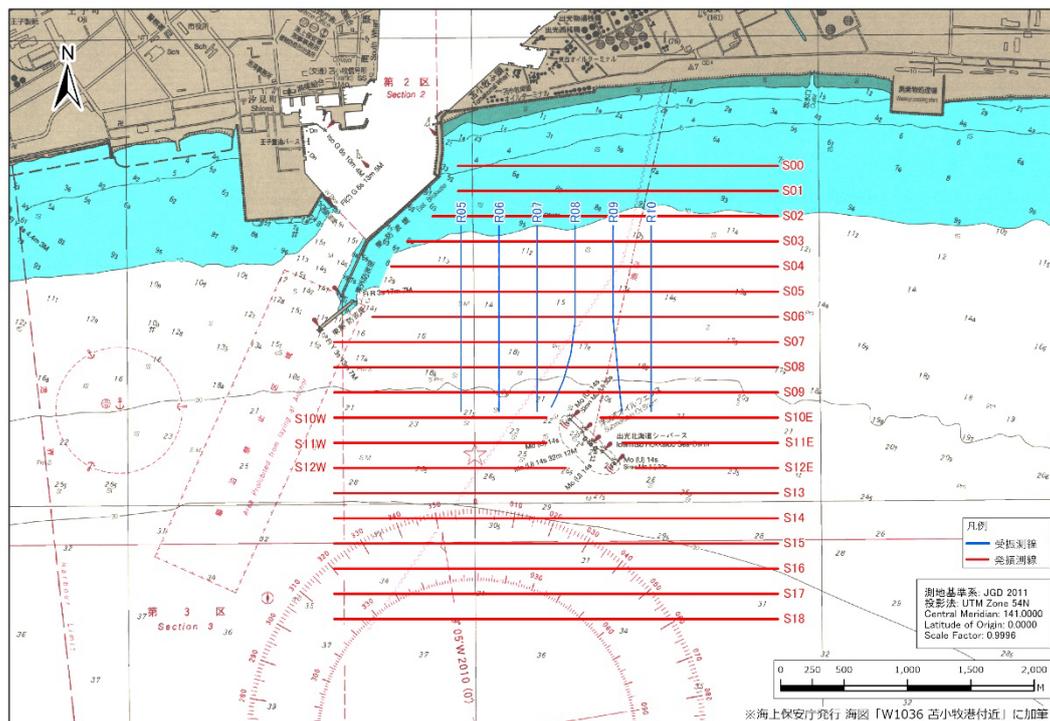


図 4.5-1 受発振測線位置図

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）備船した。

- 1) ケーブル船「第十英祥丸」（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「第八英祥丸」（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「第八阿蘇丸」（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

	作業内容	受振範囲	備考
7/4	動員、作業場開設		
7/5	機材搬入 ケーブル船艙装		ケーブル船、大型発振船、小型発振船がそれぞれ 苫小牧港に入港
7/6	ケーブル船艙装 大型発振船艙装		
7/7	OBC 積込 大型発振船艙装		
7/8	OBC 積込 大型発振船艙装 小型発振船艙装		観測船が苫小牧港に入港
7/9	小型発振船艙装 調査海域予察		
7/10	観測船艙装 R05、R06、R07 敷設 R05、R06、R07 音響測位		海上作業開始 大型発振船洋上泊(夜間監視)
7/11	発振作業	パッチ1	ケーブル船洋上泊(夜間監視)
7/12	発振作業	パッチ1	ケーブル船洋上泊(夜間監視)
7/13	発振作業 R05、R07 音響測位	パッチ1	ケーブル船洋上泊(夜間監視)
7/14	発振作業	パッチ1	大型発振船洋上泊(夜間監視)
7/15	荒天待機(終日)		
7/16	荒天待機(終日)		
7/17	R06 音響測位 R05、R06、R07 揚収		
7/18	R08、R09、R10 敷設 R08、R09、R10 音響測位 発振作業	パッチ2	大型発振船洋上泊(夜間監視) ケーブル船洋上泊(夜間監視)
7/19	発振作業	パッチ2	ケーブル船洋上泊(夜間監視)
7/20	発振作業	パッチ2	ケーブル船洋上泊(夜間監視)
7/21	発振作業 R08、R09、R10 音響測位	パッチ2	大型発振船洋上泊(夜間監視)
7/22	R08、R09、R10 揚収 大型発振船艙装解除		海上作業完了
7/23	大型発振船艙装解除 小型発振船艙装解除 観測船艙装解除 OBC 陸揚げ		
7/24	ケーブル船艙装解除 機材整理		
7/25	機材搬出、作業場閉鎖、復員		

(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DGPS(Differential GPS、相対測位方式)により行った。海上保安庁が運用するDGPS局の信号を毎秒受信し、DGPS補正データを取得した。本調査では尻屋崎(青森県)のDGPS局の信号を用いた。

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、GPS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、発振時のGPS測位位置(GPS受信アンテナ位置)およびジャイロコンパスの方位データを用いて算出した。

受振器位置は、OBC敷設後に音響測位により決定した。音響測位は、OBCに一定間隔で取り付けられた音響受信装置(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OBC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

- ・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)

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

- ・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

④ 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 1900LLX Air Gun (1,520 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 4S200A (175 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 海上測量機器

- ・DGPS 受信機 : ニコン・トリンプル SPS855、SPS751MAX
- ・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
- ・GPS ジャイロ : Hemisphere Vector V113 GPS Compass

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。

(2) 取得データの品質

図 4.5-2(1)~(4)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。

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	32
R07:60 点/1,500 m	S03	105	S09	141	S15	141	S02	40
	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 189 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	32
R10:60 点/1,500 m	S03	105	S09	141	S15	141	S02	40
	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 189 点	

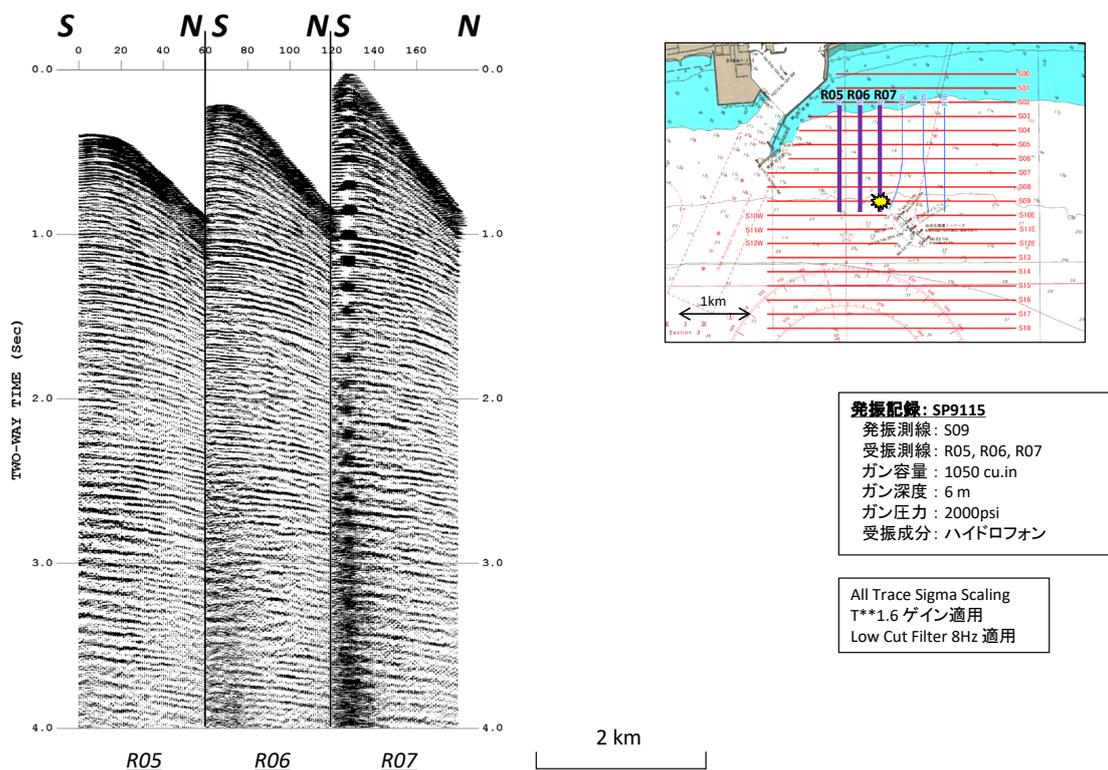


図 4.5-2(1) 発振記録例 S09 SP9115 大型エアガン ハイドロフォン

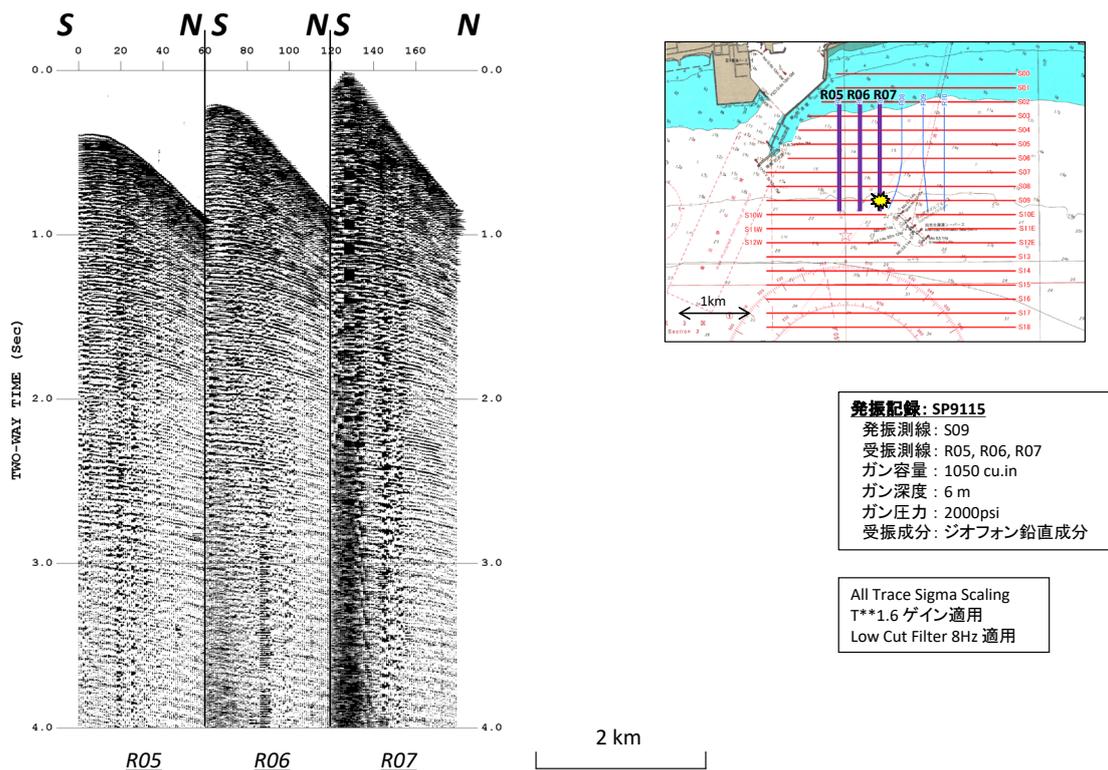


図 4.5-2(2) 発振記録例 S09 SP9115 大型エアガン ジオフォン鉛直成分

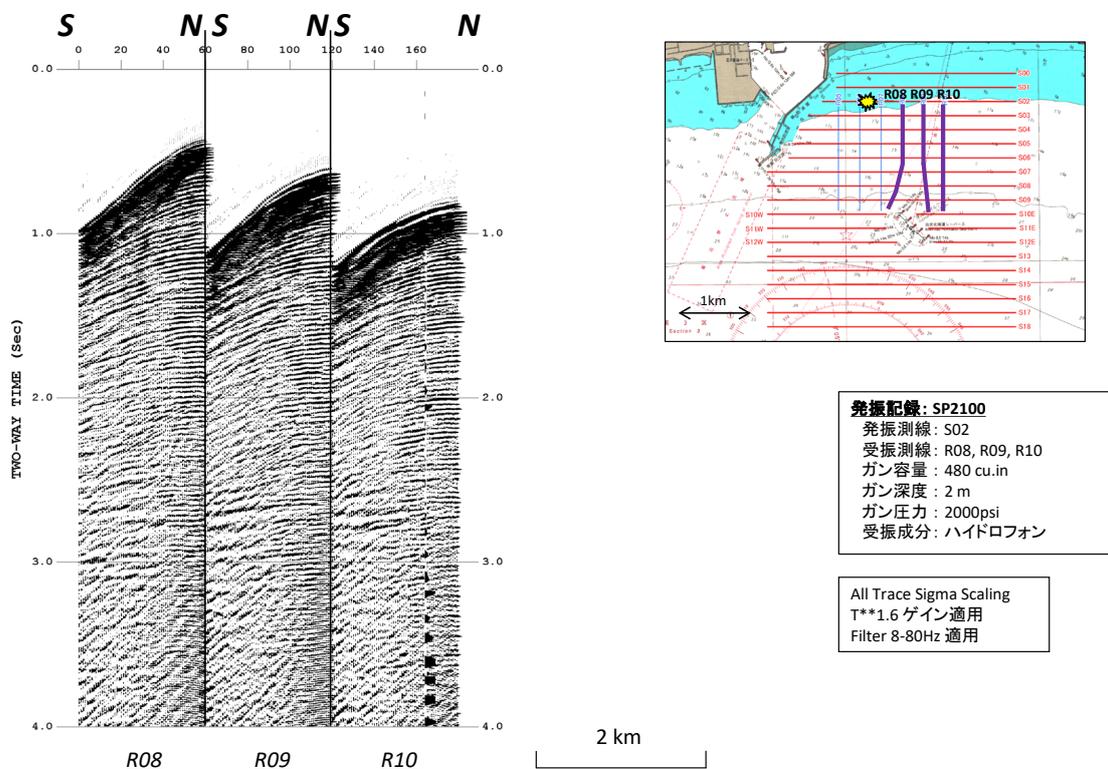


図 4.5-2(3) 発振記録例 S02 SP2100 小型エアガン ハイドロフォン

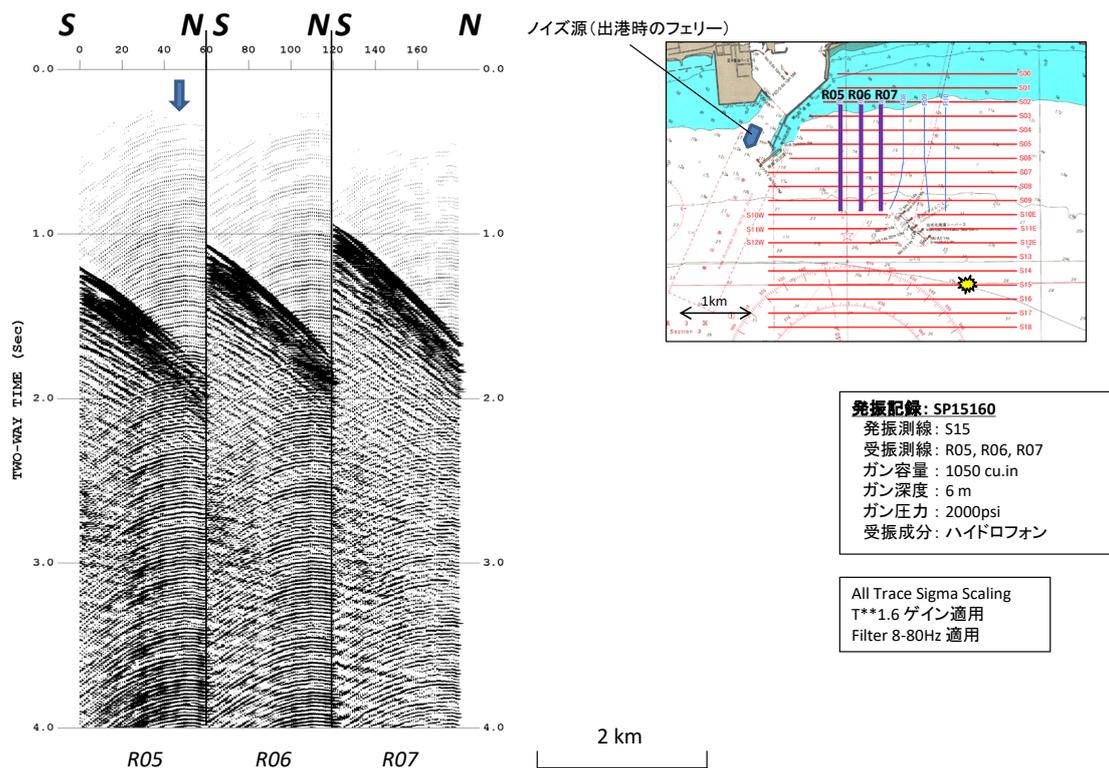


図 4.5-2(4) 発振記録例 S15 SP15160 ハイドロフォン (船舶ノイズ混入例)

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。図 4.5-4 にデータ処理に用いた重合測線位置を示す。

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と本調査記録を比較すると、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）に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 4.5-6 に、第 2 回から第 5 回モニター調査（2017～2020 年度）と本調査（2022 年度）の差分抽出処理結果と貯留層シミュレーションによる二酸化炭素飽和率の解析結果の

比較を示す。左側2図面は差分抽出処理結果(鉛直断面および水平分布)、右側2図面はシミュレーション結果(鉛直断面および水平分布)を示している。左側の弾性波探査の鉛直断面は萌別層圧入井の坑跡に沿う断面であり、左から順に統合ベースライン調査記録、モニター調査記録、および両者の差分記録を示し、時間軸は貯留層シミュレーション結果の深度軸と貯留層相当深度において概ね対応するように表示した。

差分記録と二酸化炭素飽和率分布を比較すると、往復走時約0.97秒から同1.05秒において整合的であることから、二酸化炭素は萌別層砂岩層最上部(往復走時約1.0秒から同1.05秒)、およびその直上の萌別層泥岩層最下部に狭在する砂岩層(往復走時約0.97秒から同1.0秒)に貯留されていると判断した。これよりも下部に認められる往復走時約1.06秒や同1.1秒の振幅異常は、二酸化炭素貯留領域による透過減衰と、当該領域の地震波速度が低下し下位の反射面の時間が遅れることにより生じた偽像と考えられる。

タイムラプス処理結果の水平分布は、鉛直断面上で顕著な変化が生じている範囲から偽像部分を除外した往復走時0.97秒から同1.05秒までの時間ウィンドウに対して、トレース毎に差分記録のRMS振幅を計算し、平面表示したものである。この平面上では、圧入井の坑跡の周りに暖色系のRMS振幅の大きい領域が分布しており、圧入地点付近においてRMS振幅は最大値を示す。RMS振幅の最大値は、差分記録の鉛直断面上ではインライン番号90、往復走時約1.0秒の青い振幅異常に対応すると考えられ、圧入井の深度にして約980~1000mであり、これは圧入仕上げ区間の上部区間に相当する。以上より、タイムラプス処理結果の水平分布は、圧入した二酸化炭素が仕上げ区間の上部から貯留層内に浸透している様子を示しているものと考えられる。

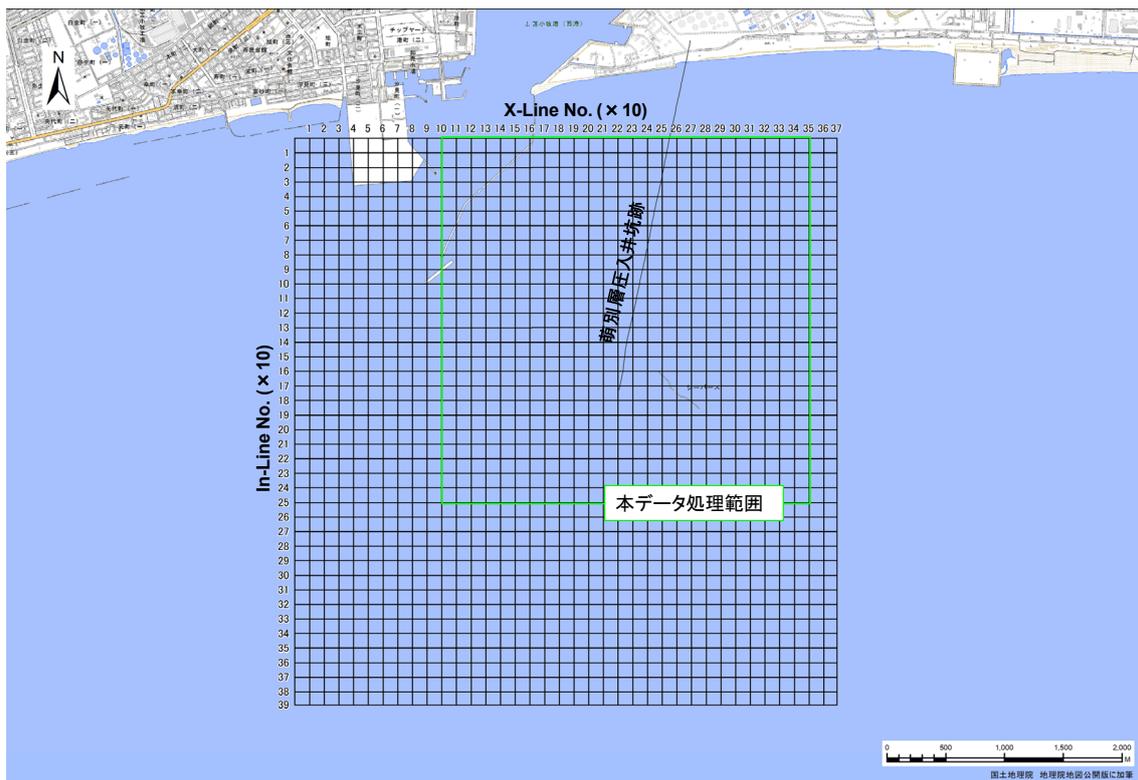


図 4.5-4 重合測線図

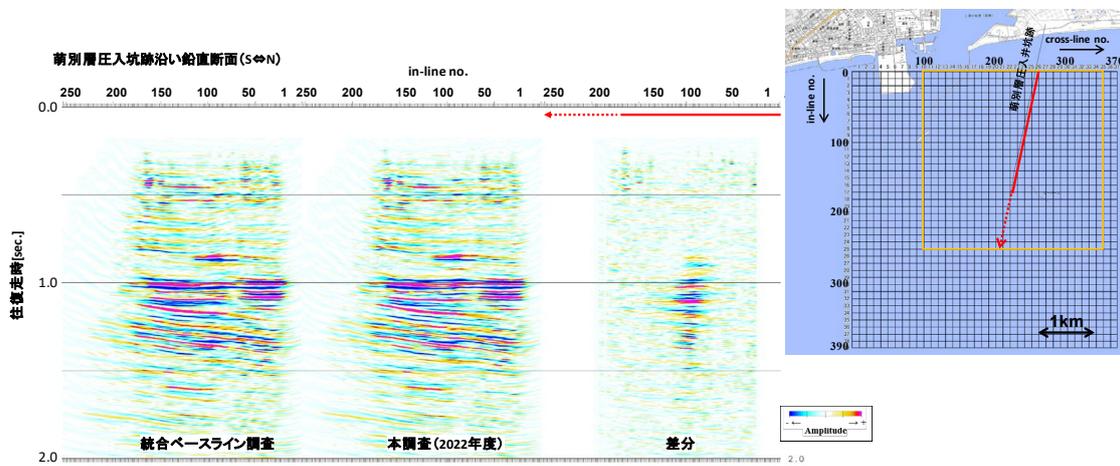


図 4.5-5 三次元データ処理結果(鉛直断面)

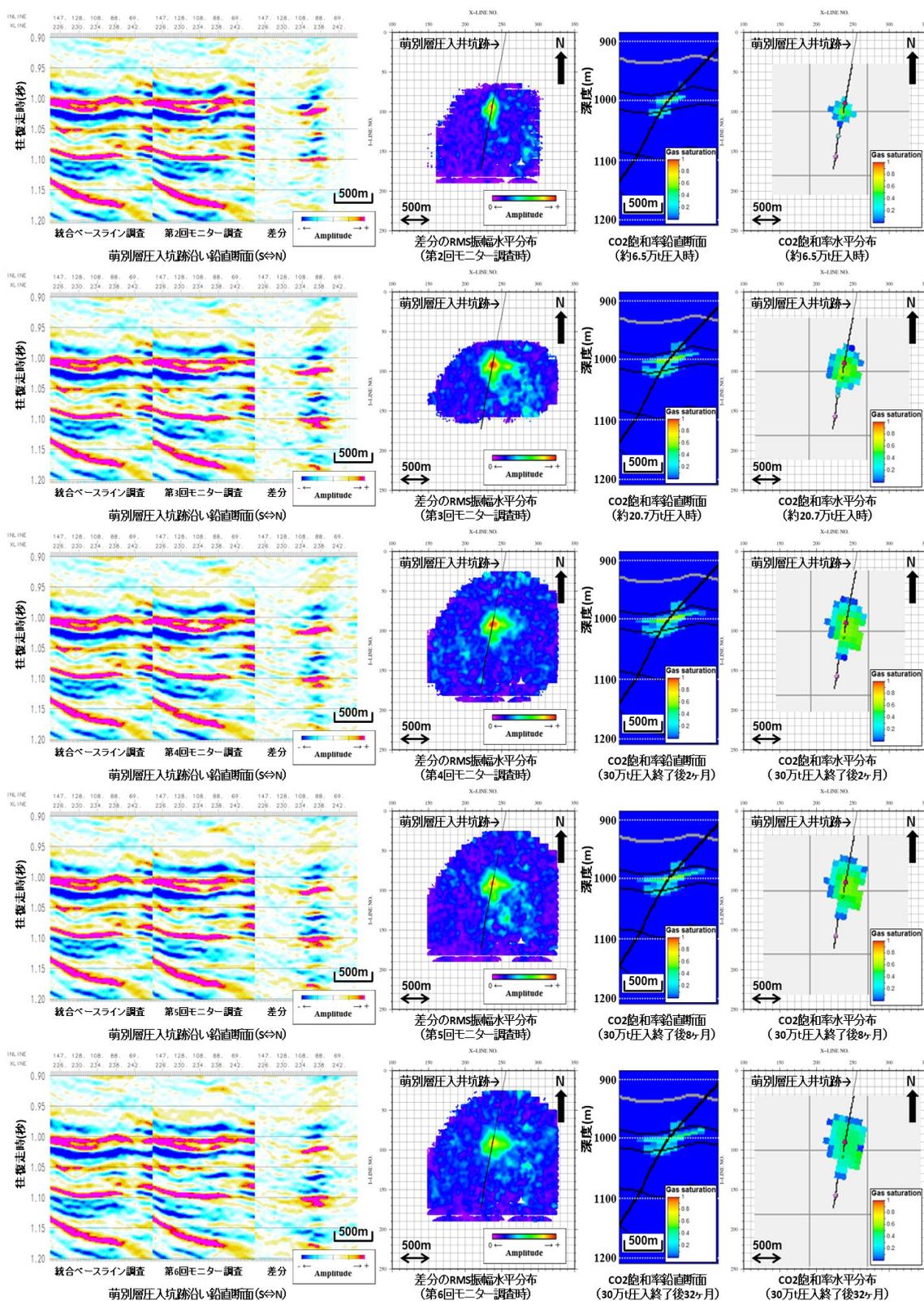


図 4.5-6 差分抽出処理結果と貯留層シミュレーション結果の比較

4.5.5 考察

圧入期間中では、第2回モニター調査(約6.5万t圧入時点)と第3回モニター調査(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る。一方で、第3回モニター調査(約20.7万t圧入時点)と第4回モニター調査(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と比べて小さく、かつ周囲に広がった二酸化炭素の多くが水に溶解したために、弾性波探査では検出できなかったことが原因としてあげられる。他方、現状のタイムラプス処理では検出が難しい微小な変化が貯留層内で生じている可能性も考えられる。これらの変化については、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。

30万t圧入終了後では、第4回以降のモニター調査の処理結果の差異は小さいが、中心部に着目すると差分のRMS振幅は少しずつ小さくなっており、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。これらの変化は、プルーム内で二酸化炭素の分布が均一になるように移動する様子を反映したものと考えられる。

また鉛直断面上で、貯留層よりも上位に振幅異常が見られないことから、少なくとも浅部への二酸化炭素の移動はなく、新たな亀裂等による漏洩経路の存在は確認されていないことから貯留層区間外への漏出等は生じていないと考えられる。

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、2022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、2022年度は運用継続に備え、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苫小牧CCS実証試験センター(総合モニタリングシステム)、情報公開用画面((1)参照)を作成・管理するクラウド内の情報表示用Webサーバー(CMS*1)運用サーバーを兼ねる)およびCMS操作端末の設置場所の3拠点間にVPNを構築しており、インターネット経由で当社のホームページから情報を提供するほか、モバイル回線を利用して2式の情報公開用端末に配信・表示*2)する。図4.6-1に情報公開システムのシステム構成概念図を示す。

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

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

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

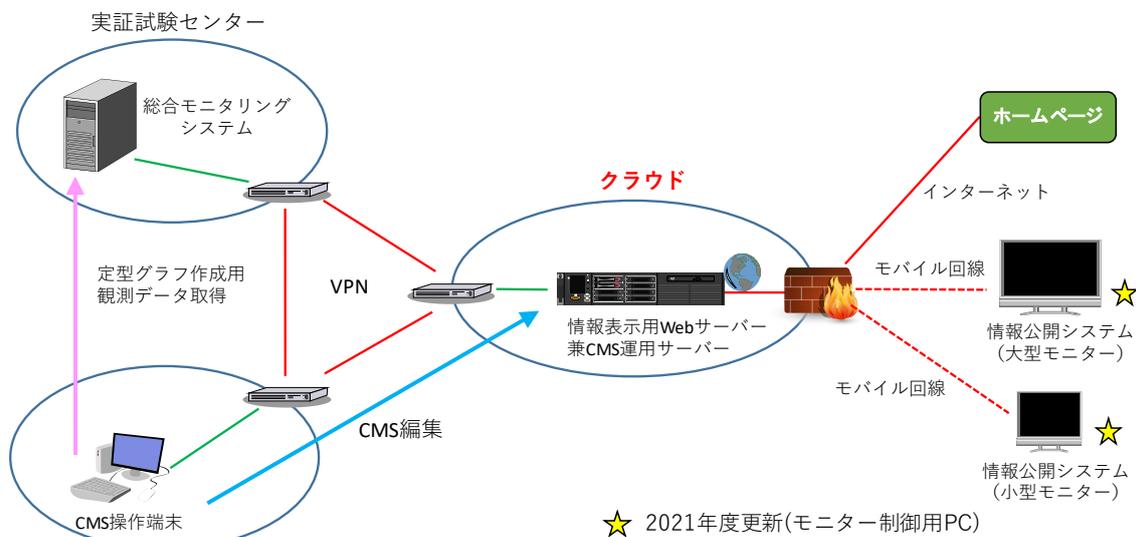


図 4.6-1 情報公開システムのシステム構成概念図

表 4.6-1 情報公開用機器の仕様

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

(1) 情報公開用画面

情報公開用画面は表 4.6-2 に示す 19 画面により構成され、画面 1~12 に事業概要の説明（パワーポイントをベースに作成）、画面 13~19 にモニタリング結果（総合モニタリングシステムで管理するモニタリングの結果をもとに CMS を利用して作成した定型のグラフあるいは分布図等）を表示する。画面 12 を除く各画面の右上隅に前日の圧入量と前日までの累積圧入量を表示（毎日更新）するが、2022 年度は圧入を終了しているため、30 万 t 達成したことを表示している。図 4.6-2(1)~(3)に情報公開用画面の例を示す。

表 4.6-2 情報公開用画面の表示内容

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



画面 1



画面 2



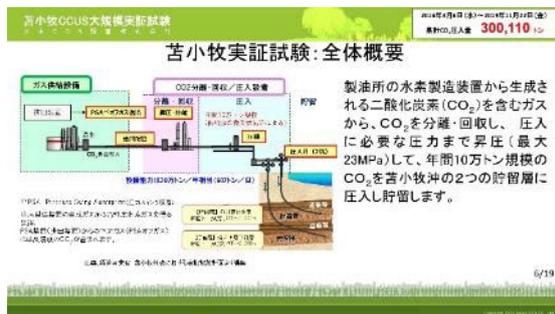
画面 3



画面 4



画面 5



画面 6

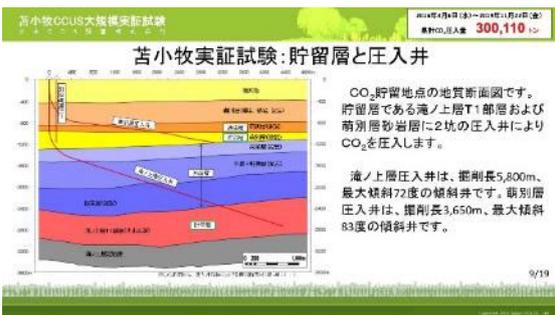


画面 7



画面 8

図 4.6-2(1) 情報公開用画面 (画面 1~8)



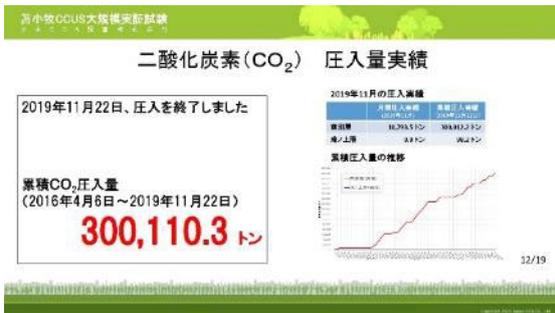
画面 9



画面 10



画面 11



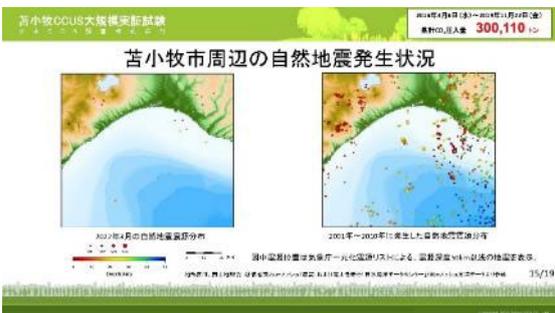
画面 12



画面 13



画面 14

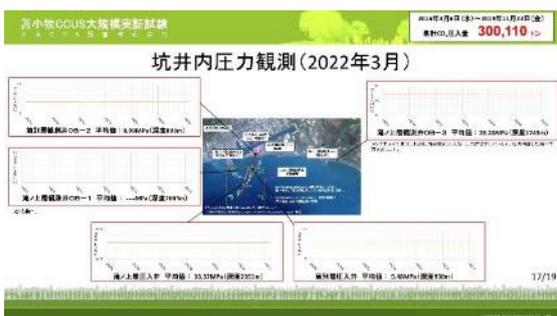


画面 15



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 2022 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	必要に応じて適宜更新
画面 2～11 および画面 13	必要に応じて適宜更新
画面 12	2020 年 1 月以降（圧入停止後）、更新停止
画面 14	苫小牧市で有感地震を観測後速やかに更新
画面 15～18	原則毎月 1 回
画面 19	調査結果がまとまった時点

① 画面 1 の更新

画面 1 には What's New として日本CCS調査(株)からのお知らせを表示しており、必要に応じて表示内容を順次更新した。掲載した画面を図 4.6-3(1)および(2)に示す。



2022 年 7 月 15 日更新①

2022 年 7 月 15 日更新②

図 4.6-3(1) 画面 1 更新履歴

2022年7月15日更新③

2022年10月25日更新①

2022年10月25日更新②

2022年12月9日更新①

2022年12月9日更新②

2023年3月27日更新

図 4.6-3(2) 画面 1 更新履歴

② 画面2および画面3の更新

画面2には地球温暖化と将来の気候について、画面3にはCCUSの二酸化炭素(CO₂)削減ポテンシャルについてそれぞれ表示しており、2022年7月に更新した。更新画面を図4.6-4に示す。

③ 画面4から画面6の更新

2022年度は更新していない。

④ 画面7の更新

画面7には実証試験のスケジュールを表示しており、2022年7月に更新した。更新画面を図4.6-5に示す。

⑤ 画面8から画面13の更新

2022年度は更新していない。



2022年7月15日更新(画面2)

2022年7月15日更新(画面3)

図4.6-4 画面2および画面3更新履歴



2022年7月15日更新

図4.6-5 画面7更新履歴

⑥ 画面14の更新

画面14には苫小牧市で観測された直近の有感地震(震度1以上を記録した地震)の震央位置図、観測井坑内地震計観測システム(本事業で設置)で取得した観測波形および気象庁発表の地震情報を表示している。新たな有感地震が観測されたときには速やかに地震情報を更新するという方針の下、苫小牧市で観測された有感地震について、画面14を更新した。更新画面を図4.6-6(1)~(3)に示す。



2022年4月25日更新



2022年4月28日更新



2022年5月18日更新



2022年5月26日更新



2022年6月1日更新



2022年6月13日更新

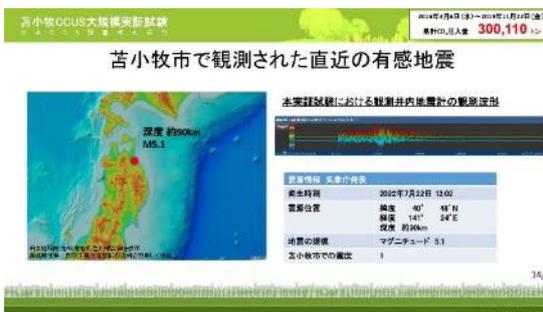
図 4.6-6(1) 画面14 更新履歴



2022年7月4日更新



2022年7月6日更新



2022年7月25日更新



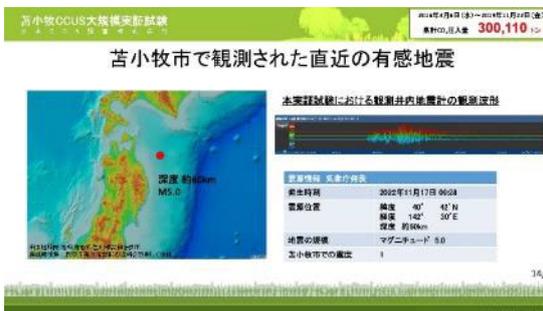
2022年8月8日更新



2022年9月11日更新



2022年9月14日更新



2022年11月18日更新

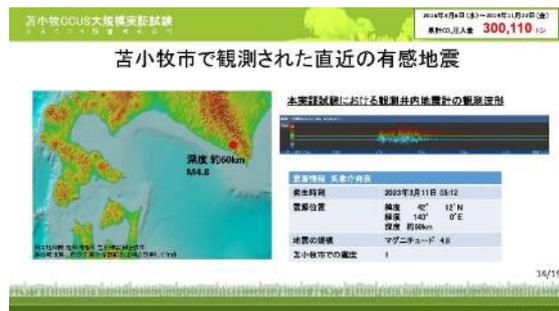


2023年2月23日更新

図 4.6-6(2) 画面 14 更新履歴



2023年2月27日更新



2023年3月14日更新

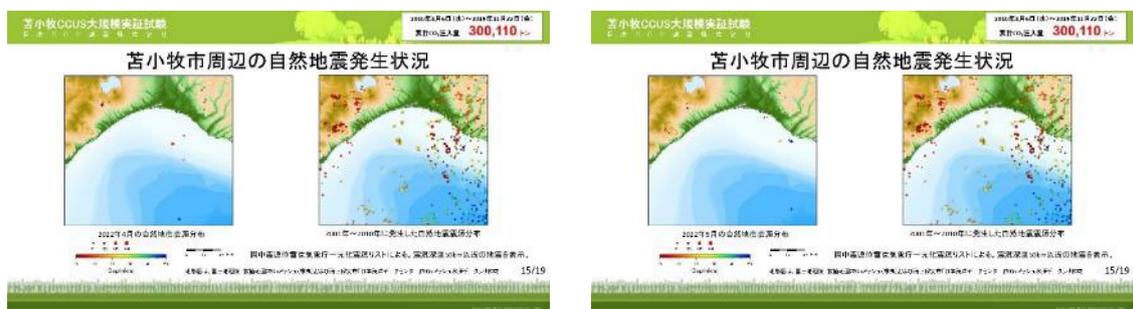


2023年3月28日更新

図 4.6-6(3) 画面 14 更新履歴

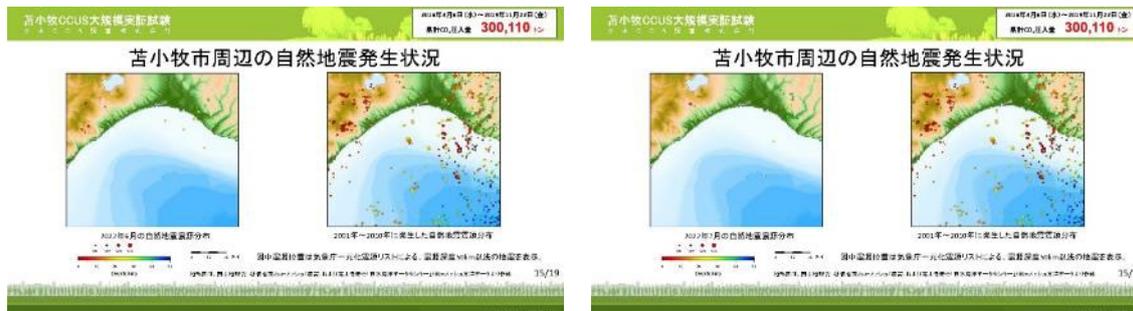
⑦ 画面15の更新

画面15には前月に苫小牧市周辺(CO₂圧入地点を中心とする東西50km×南北38kmの範囲)で発生した自然地震分布を表示しており、翌月の初めに更新した。2022年4月～2023年3月の結果を図4.6-7(1)～(2)に示す。



2022年4月の結果

2022年5月の結果



2022年6月の結果

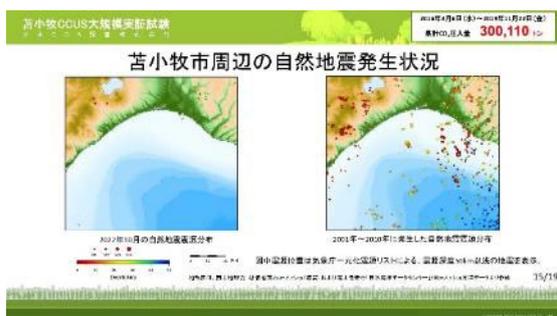
2022年7月の結果



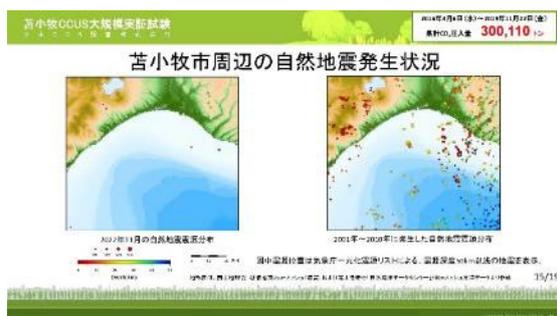
2022年8月の結果

2022年9月の結果

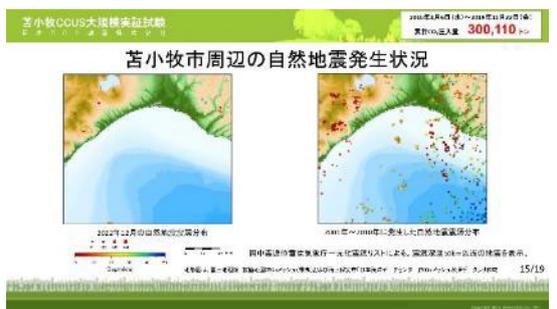
図4.6-7(1) 画面15更新履歴



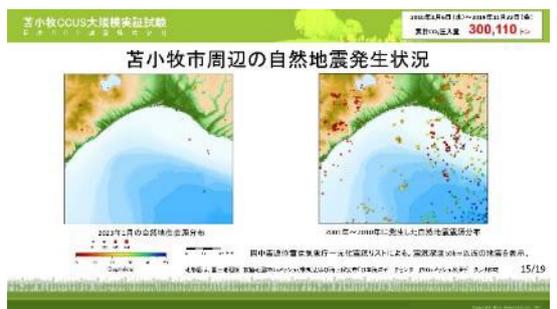
2022年10月の結果



2022年11月の結果



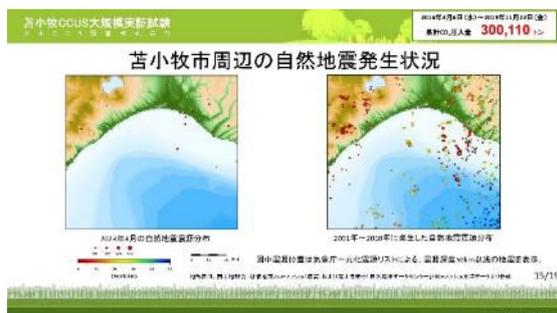
2022年12月の結果



2023年1月の結果



2023年2月の結果

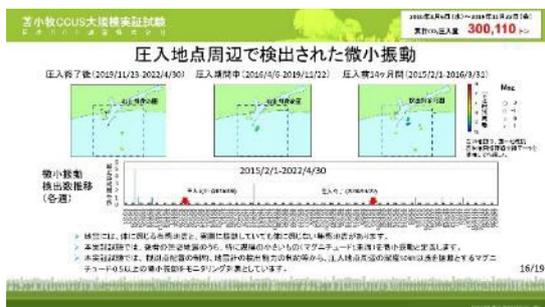


2023年3月の結果

図 4.6-7(2) 画面 15 更新履歴

⑧ 画面16の更新

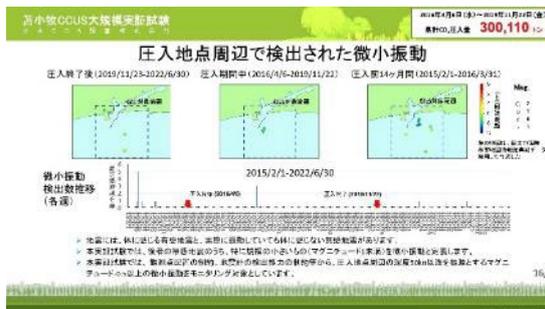
画面16には圧入地点周辺(CO₂圧入地点を中心とする東西6km×南北6kmの範囲)で検出された微小振動の分布を月ごとにまとめて表示しており、翌月の初めに更新している。2022年4月~2023年3月の更新画面を図4.6-8(1)~(2)に示す。



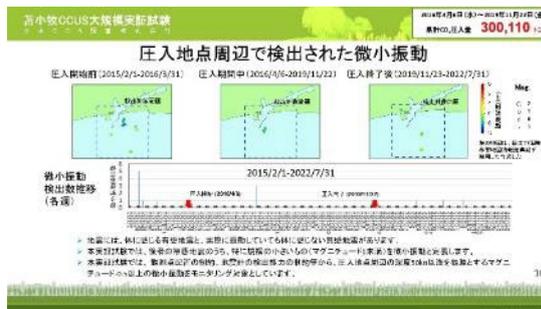
2022年4月末までの結果



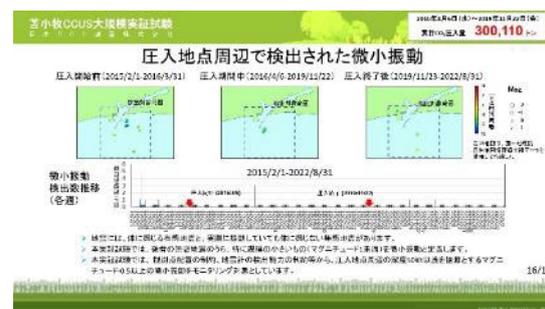
2022年5月末までの結果



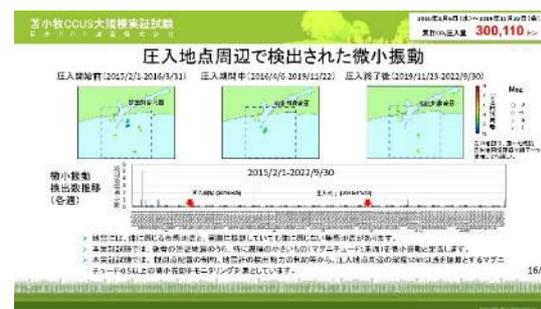
2022年6月末までの結果



2022年7月末までの結果

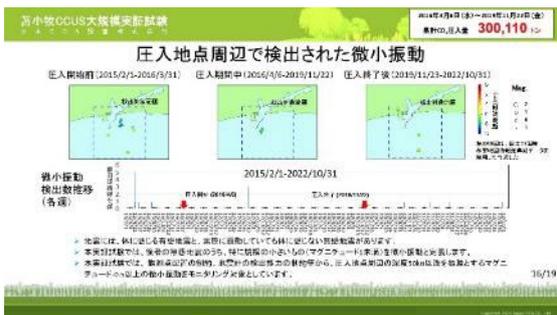


2022年8月末までの結果

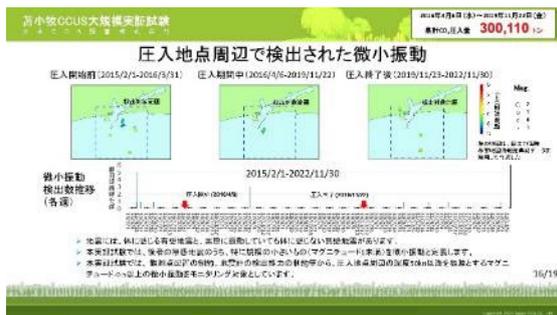


2022年9月末までの結果

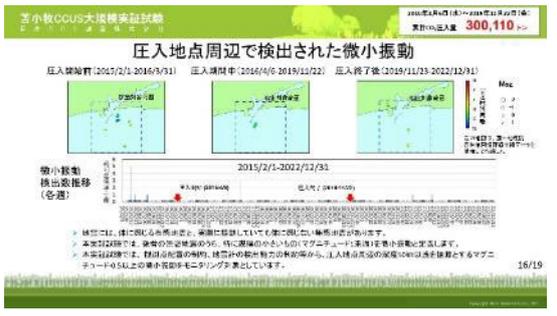
図4.6-8(1) 画面16更新履歴



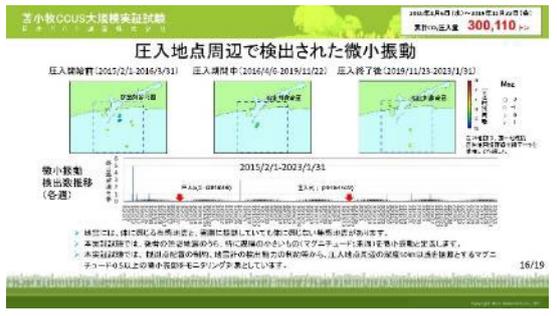
2022年10月末までの結果



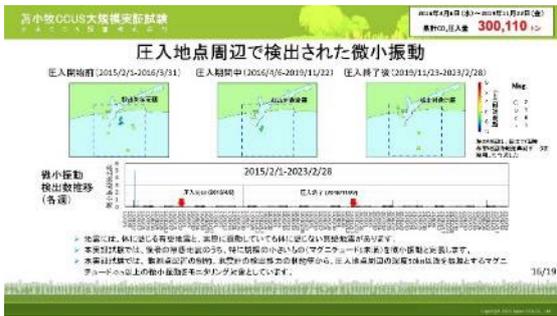
2022年11月末までの結果



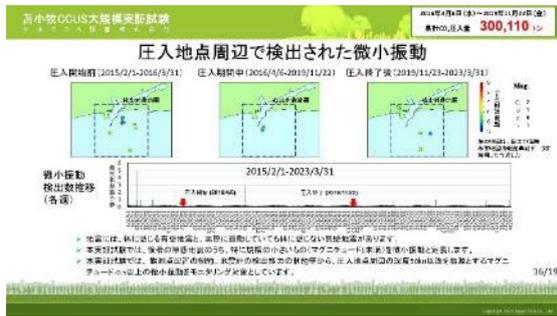
2022年12月末までの結果



2023年1月末までの結果



2023年2月末までの結果



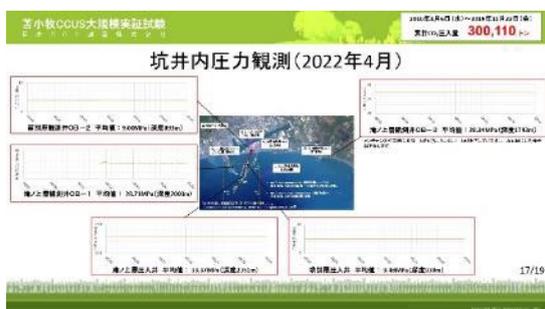
2023年3月末までの結果

図 4.6-8(2) 画面 16 更新履歴

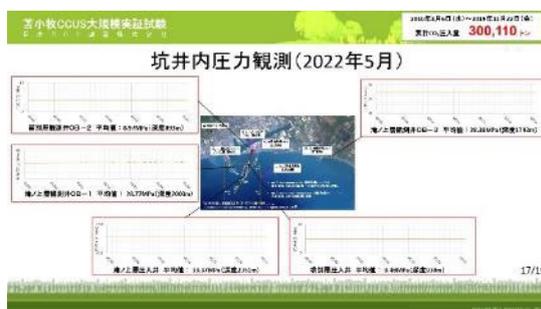
⑨ 画面17の更新

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。

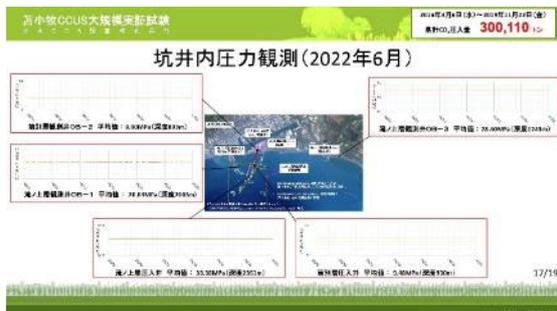
2022年4月～2023年3月の更新画面を図4.6-9(1)～(2)に示す。



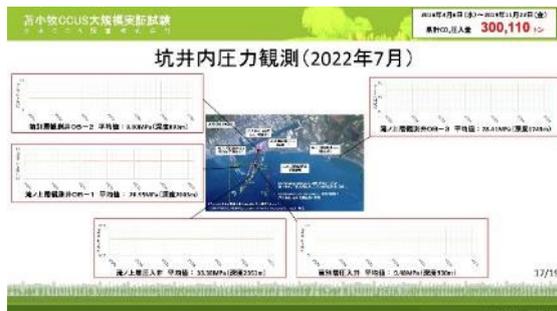
2022年4月の結果



2022年5月の結果



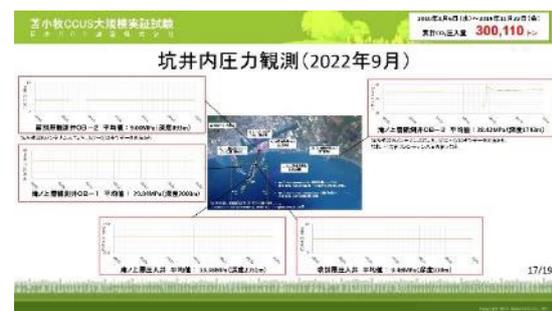
2022年6月の結果



2022年7月の結果

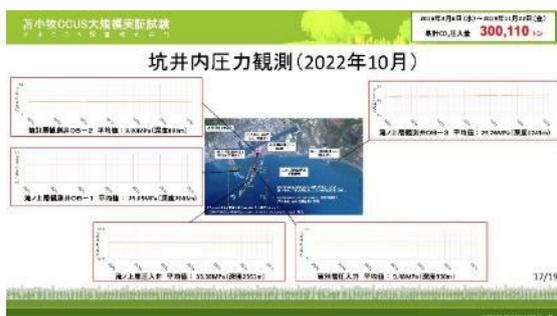


2022年8月の結果

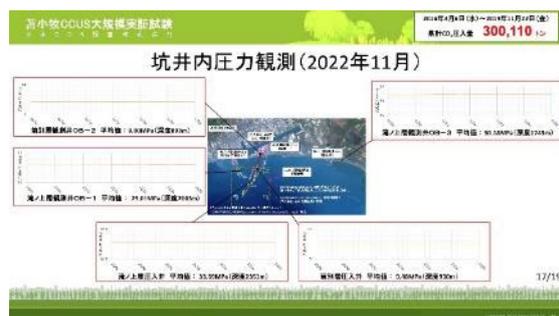


2022年9月の結果

図4.6-9(1) 画面17更新履歴



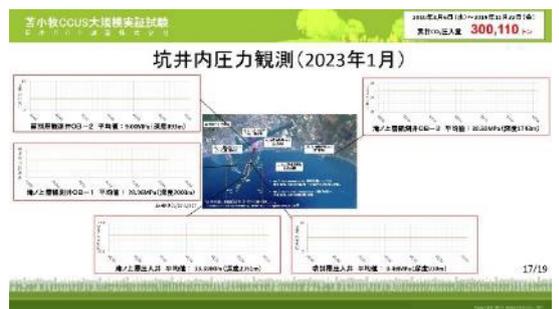
2022年10月の結果



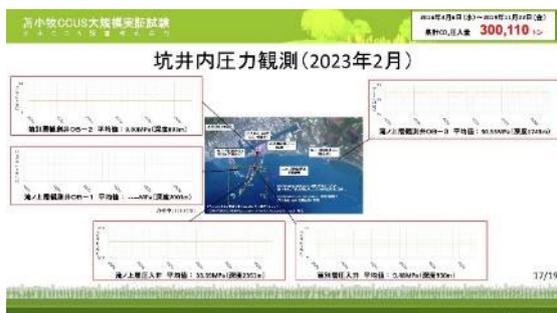
2022年11月の結果



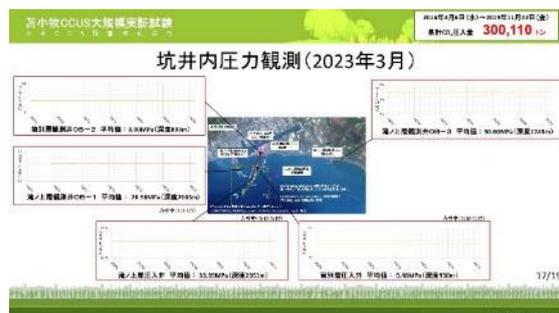
2022年12月の結果



2023年1月の結果



2023年2月の結果



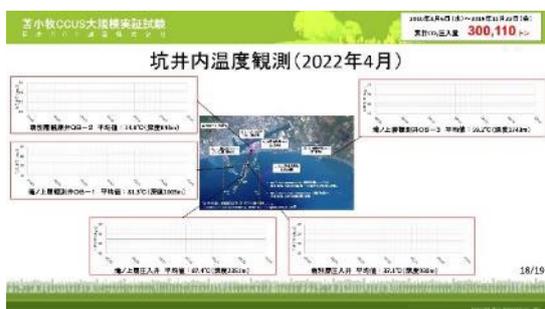
2023年3月の結果

図 4.6-9(2) 画面 17 更新履歴

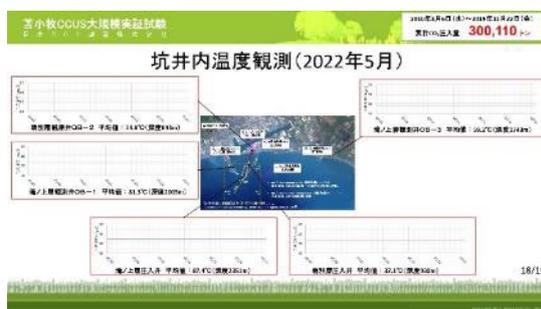
⑩ 画面18の更新

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。

2022年4月～2023年3月の更新画面を図4.6-10(1)～(2)に示す。



2022年4月の結果



2022年5月の結果



2022年6月の結果



2022年7月の結果

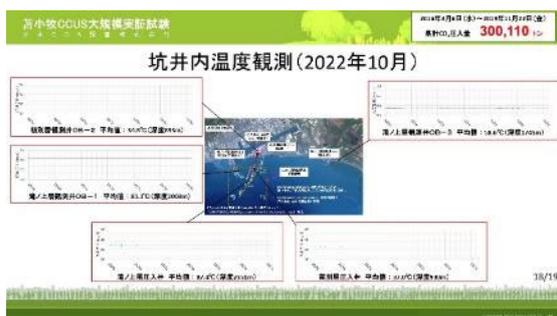


2022年8月の結果



2022年9月の結果

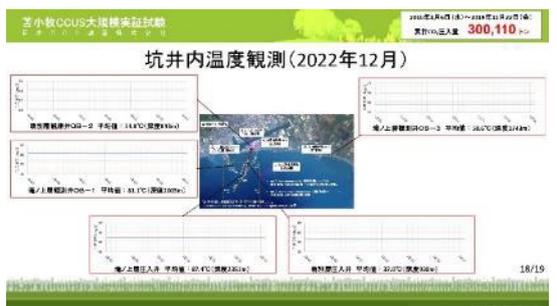
図4.6-10(1) 画面18更新履歴



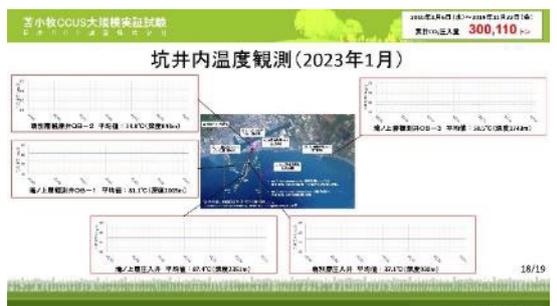
2022年10月の結果



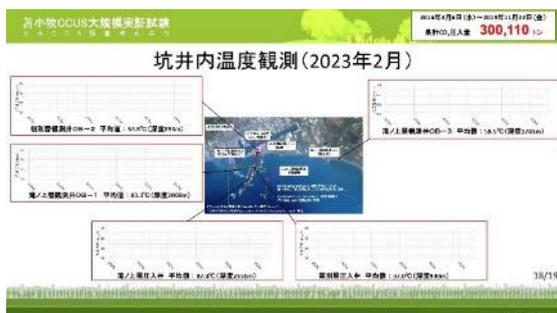
2022年11月の結果



2022年12月の結果



2023年1月の結果



2023年2月の結果

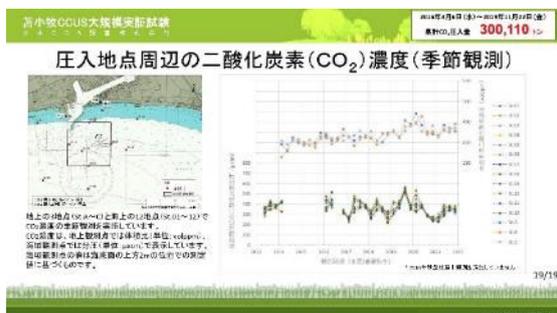


2023年3月の結果

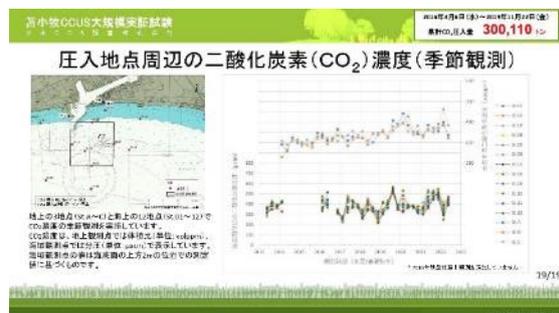
図 4.6-10(2) 画面 18 更新履歴

⑪ 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。2022年7月および2022年11月に更新した。更新画面を図4.6-11に示す。



2022年7月25日更新



2022年11月29日更新

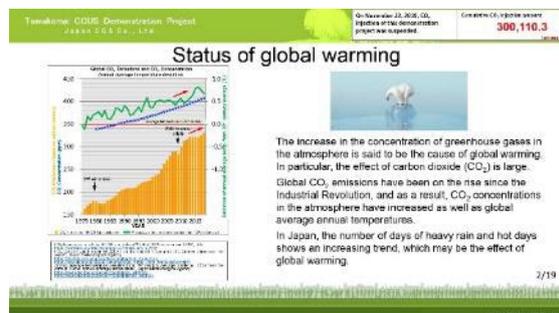
図4.6-11 画面19の更新履歴

(3) 英語版による情報公開

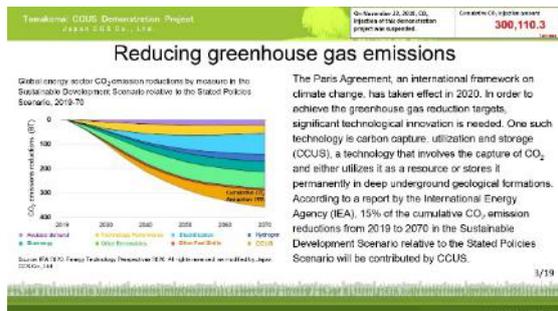
2018年5月31日よりホームページ上での英語版の情報公開画面の運用を開始した。画面の構成および表示内容は日本語版と同じである。図4.6-12(1)~(3)に情報公開用画面の例を示す。



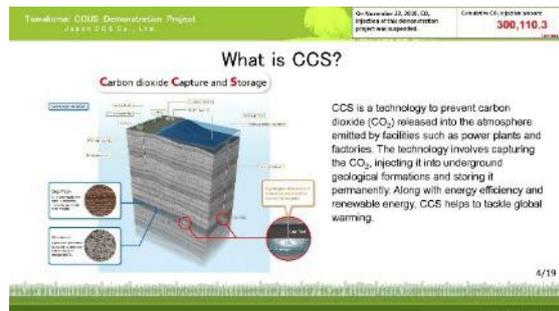
画面 1



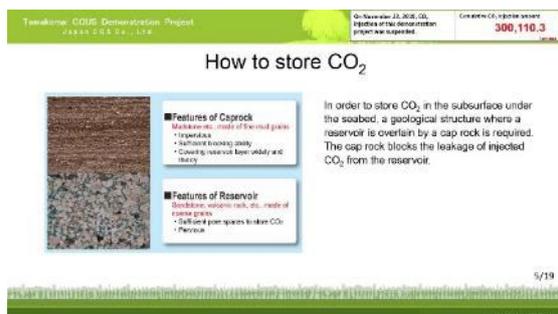
画面 2



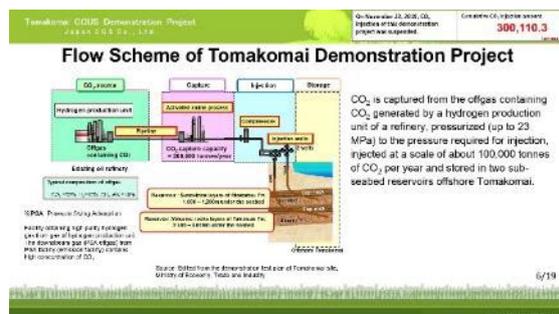
画面 3



画面 4

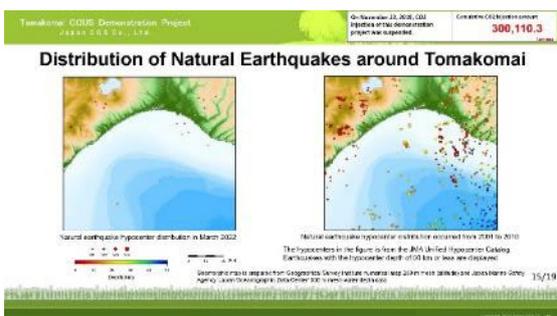


画面 5

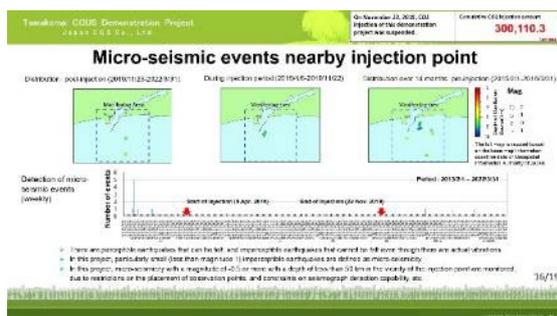


画面 6

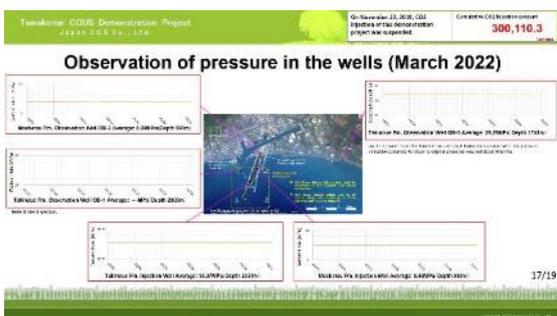
図 4.6-12(1) 英語版の情報公開用画面例 (画面 1~6)



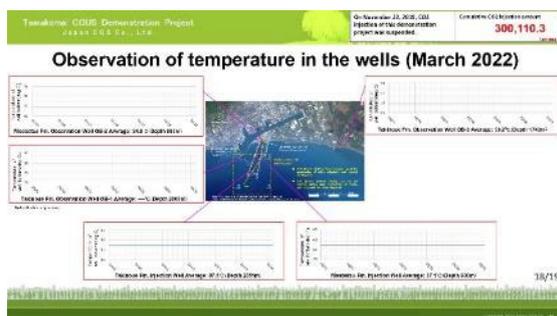
画面 15



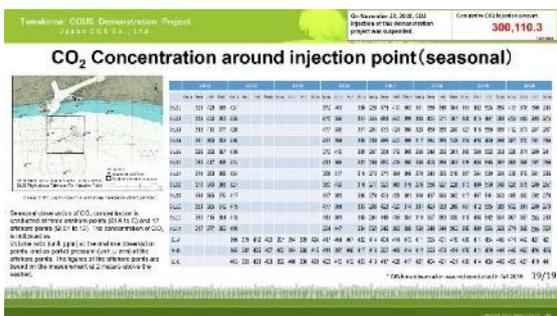
画面 16



画面 17



画面 18



画面 19

図 4.6-12(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*3)に表示される年と月で階層化されたバックナンバーリストからダウンロードすることができる。

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

4.6.2 データ公開システム

データ公開システムでは、本実証試験で取得した常設型 OBC、有線型・独立型 OBS、陸上設置地震計、観測井（坑内地震計、圧力計、温度計、DTS）および圧入井（圧力計、温度計）による観測データおよび CO₂ 圧入量等の操業データ（坑井ごとの圧入流量、圧入圧力、圧入温度と CO₂ 濃度）を一般的な Web ブラウザを利用して公開する。

(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 16 Mbps（2 MB/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 2 GB 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 1.5 GB 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 2 GB 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、ダウンロード単位など示す。

表 4.6-4 公開用ファイルの概要

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

注 1) Hi-net データは公開の対象外

注 2) OBS と陸上設置地震計は 2021 年 7 月で運用停止した

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

(2) システム構成

データ公開システムのシステム構成概念図を図 4.6-13 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。

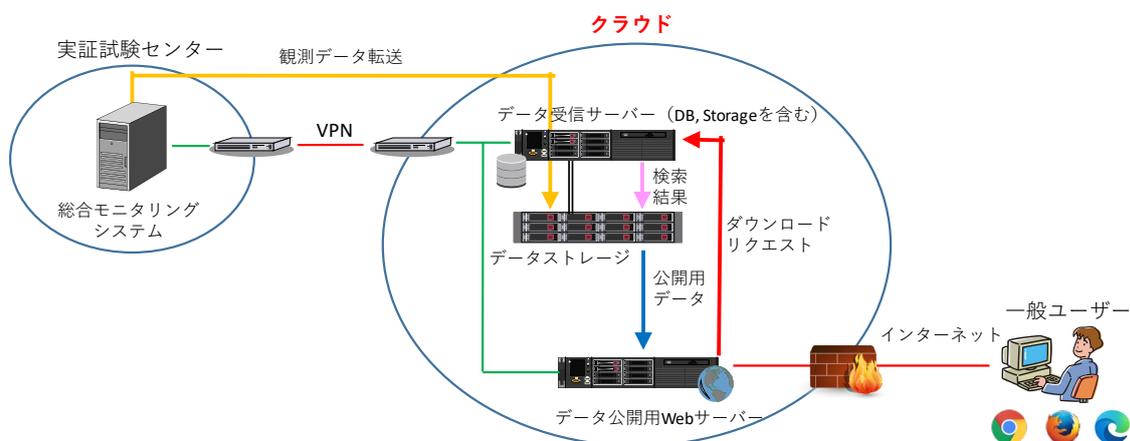


図 4.6-13 データ公開システムのシステム構成概念図

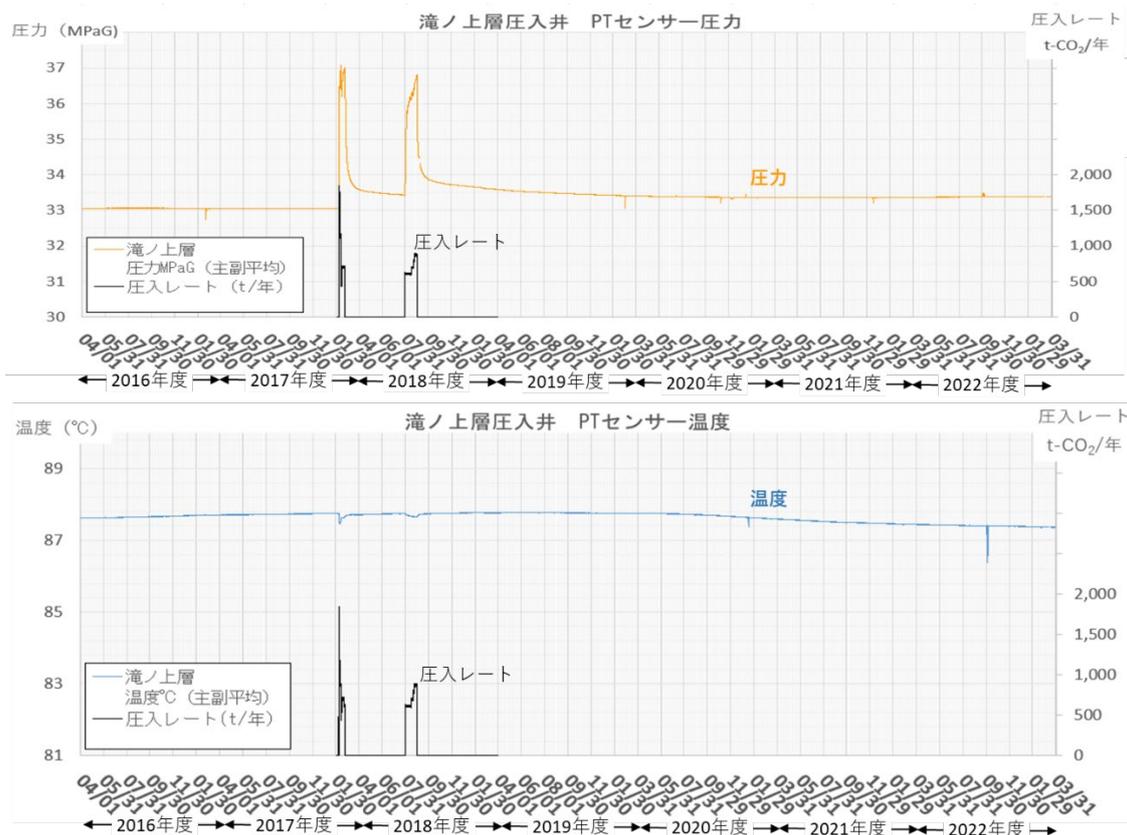
(3) データ公開システムの利用

本システムの利用には、ユーザー登録により発行されるユーザーIDとパスワードが必要である。ユーザー登録には、「所属機関」、「国名」および「使用目的」の3項目と画像認証文字*4)の入力を条件*5)としており、要求する情報が正しく入力された場合には、ユーザーIDとパスワード*6)を自動発行する。利用者の情報は、ユーザー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。

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

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

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



- 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 2023 年 3 月末までの圧力と圧入レート（上図）、温度と圧入レート（下図）を示している。

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

4.7.1 萌別層圧入井 (IW-2) における坑内圧力・温度の観測

圧入井の圧力・温度を連続的に計測するために、坑内に圧力と温度を測定する PT センサーを設置している (図 4.7-3)。PT センサーは、パッカーよりも上位の 3-1/2 in チュー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。

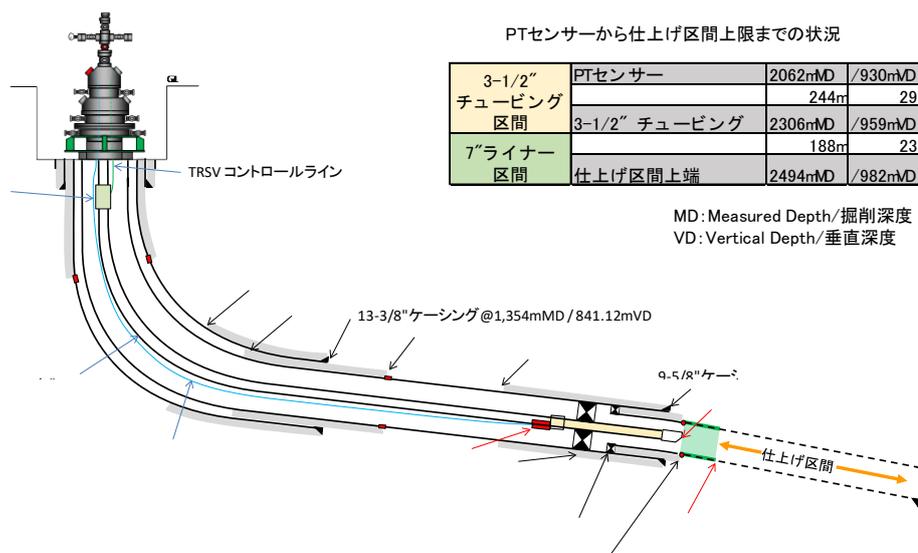


図 4.7-3 IW-2 の坑内に設置した PT センサーの位置

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。2023 年 3 月 31 日時点での坑底圧力は 9.48 MPaG であり、圧入開始前の初期圧力 9.47 MPaG に近づいている。したがって、一部に機器の不具合と考えられるスパイク等が見られるものの、坑底圧力・温度の観測からは貯留層の異常を示す事象は観察されていない。

なお、2022 年 10 月 25 日から圧入井の維持管理のための保全として IW-2 用 SSV*1) (Surface Safety Valve) の整備点検・再組立を実施した。SSV の再組立ての際、以下①～③の点において改良を行っている。①バルブ仕様は 5,000psi 仕様であるが、シートスカーットの強度不足を補うため、10,000psi 用の厚型のシートスカーットを組み入れた。②ロッドシールには、ゴム材を使用しないロッドシールを使用して CO₂ 耐性を強化した。③ロッドシールボックスにバックアップリングを 1 枚追加し、クリアランスの適正化をはかった。また、SSV は組立て完了後、エアー供給/遮断による開閉作動の確認、N₂ を用いた 34.5MPa×15 分のガスボディ試験、34.5MPa×15 分の右からのシート気密試験、

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

2.0MPa×15分の低圧シート気密試験、34.5MPa×15分の左からのシート気密試験、2.0MPa×15分の低圧シート気密試験、78.6mmゲージを用いたドリフト試験の各試験に合格をしている。2023年度組立て完了したSSVを坑井に取付実施する予定である。

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142m、垂直深度で44mほど浅い位置となる。

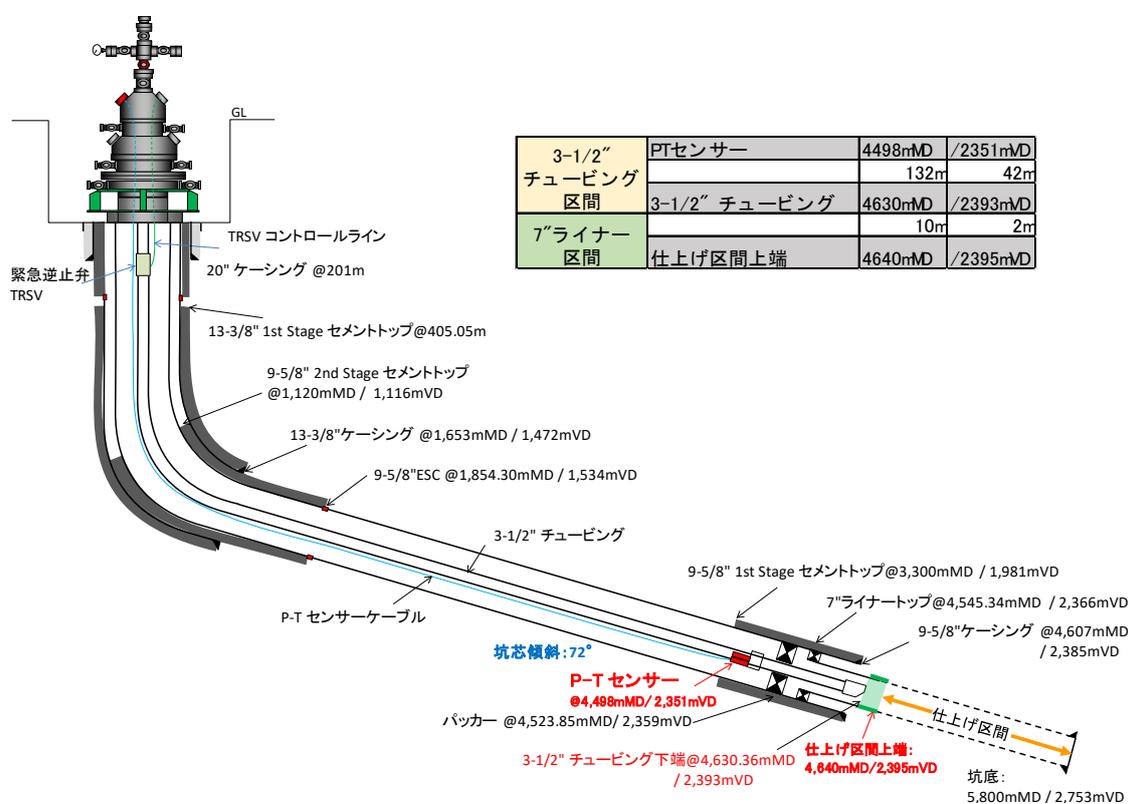


図 4.7-4 IW-1 の坑内に設置した PT センサーの位置

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)まで実施した。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37MPaG、置換後には37.5MPaGとした。温度は圧入中に低下し、圧入停止後は徐々にもとの状態に戻り、圧力は圧入中に上昇し、圧入停止後は徐々に元の状態に戻る状況が示されている。圧入レート

をコントロールすることにより、上限圧力を超過せずに実施できており、圧入時における急激な温度や圧力の変動は認められない。また2023年3月31日時点で、坑底圧力は33.39 MPaG、坑底温度は87.4℃となっており、一部に機器の不具合と考えられるスパイク等が見られるものの、1年間で貯留層の異常を示す事象は観察されていない。

4.8 まとめと課題

観測井を利用したモニタリングでは、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、観測井近傍貯留層には、圧力、温度ならびに微小振動において圧入の影響がないことを確認した。一方、2021年度に坑内センサーの一部に不具合と判断される観測値の異常が確認されたため、坑内機器の更新を行うとともに、観測データの信憑性を確認するため、OB-3では検層によるクロスチェックを実施した。今後さらに、OB-1およびOB-2においても検層によるクロスチェックを行い、観測データの正常・異常診断基準を策定していく必要がある。

微小振動・自然地震モニタリングでは、気象庁162件に対して実証試験では654件のイベントを検出した。また、観測点最適化の検討を行った結果、観測井坑内地震計およびHi-netにより振源推定が可能であることがわかった。2023年度以降、OBCについては運用停止および撤去について検討を実施する予定である。

繰り返し弾性波探査では、2021年度に最適化した調査仕様にて第6回モニター調査を実施し、漏出・漏洩が認められないことを確認した。2023年度以降は、統合ベースライン調査記録の最適化およびトレース内挿処理による品質向上および変化抽出精度の検討、受振測線間隔の変更によるさらなる調査期間短縮余地の検討を実施する予定である。

圧入井を利用したモニタリングでは、萌別層圧入井(IW-2)および滝ノ上層圧入井(IW-1)の坑底圧力・温度の観測からは、一部に機器の不具合と考えられるスパイク等が見られるものの、貯留層の異常を示す事象は観察されていない。2023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予定である。