

## 目次

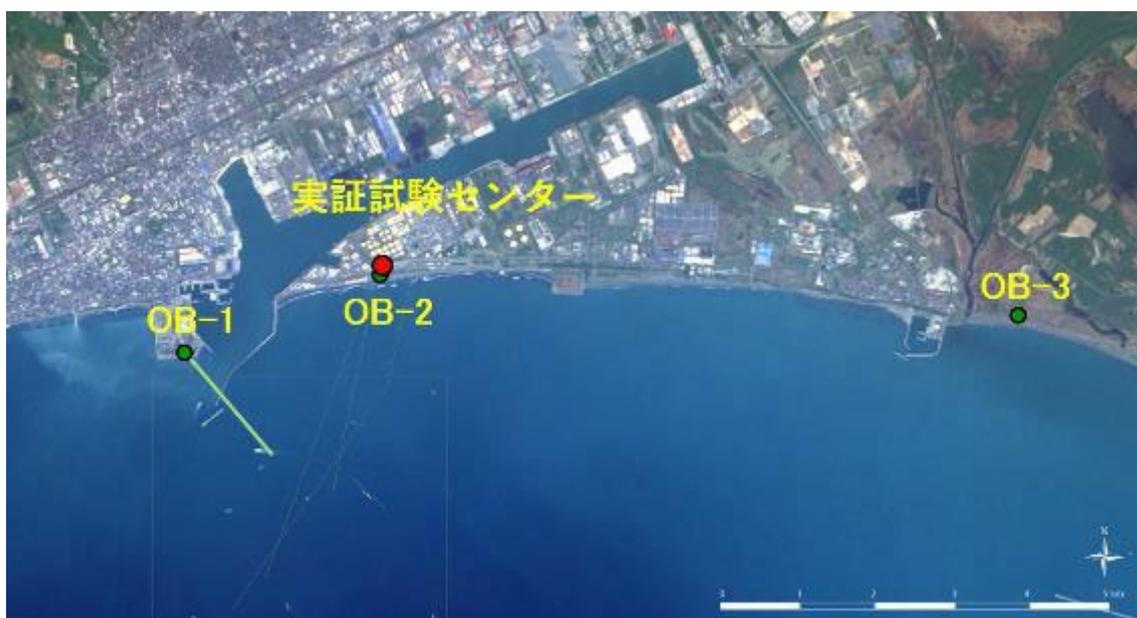
第4章 貯留したCO <sub>2</sub> のモニタリング	1
4.1 観測井を利用したモニタリング	1
4.1.1 観測システム	2
4.1.2 観測システムの保守管理	28
4.1.3 観測システムによるモニタリング	46
4.2 陸上設置地震計によるモニタリング	58
4.2.1 陸上設置地震計観測システム	60
4.2.2 陸上設置地震計観測システムの監視および保守管理	69
4.2.3 陸上設置地震計観測システムの撤去	72
4.2.4 陸上設置地震計観測のまとめ	88
4.3 常設型 OBC によるモニタリング	89
4.3.1 常設型 OBC 観測システム	89
4.3.2 常設型 OBC 観測システムの保守管理	99
4.3.3 OBC 観測システムによる観測結果	108
4.3.4 常設型 OBC の埋設状況の確認	114
4.4 OBS によるモニタリング	133
4.4.1 OBS 観測システム	135
4.4.2 OBS による観測	141
4.4.3 OBS 設置容器等の撤去	151
4.4.4 海底地形測量結果	154
4.5 総合モニタリングシステムの運用	158
4.5.1 総合モニタリングシステムの主な機能	161
4.5.2 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	182
4.5.3 圧入井温度・圧力データについて	195
4.5.4 地震観測システムの最適化	197
4.6 微小振動・自然地震モニタリング	205
4.6.1 モニタリング実施状況	205
4.6.2 モニタリング結果	207
4.6.3 独立型 OBS 記録を加えた振源・震源再推定	223
4.6.4 2021 年度モニタリング結果のまとめ	223
4.7 繰り返し弾性波探査	225

4.7.1	調査範囲の検討	225
4.7.2	検討結果	226
4.8	モニタリングデータ公開システム	235
4.8.1	情報公開システム	235
4.8.2	データ公開システム	261
4.9	圧入井を利用したモニタリング	264
4.9.1	萌別層圧入井（IW-2）における坑底温度・圧力の観測	265
4.9.2	滝ノ上層圧入井（IW-1）における坑内温度・圧力の観測	266
4.10	圧入井・観測井の維持管理	268
4.10.1	圧入井の維持管理	268
4.10.2	観測井の維持管理	277
4.10.3	その他	278

## 第4章 貯留したCO<sub>2</sub>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。各観測井の位置と図4.1-1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）を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）、並びに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 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 <sup>注1)</sup>	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 <sup>注2)</sup> )		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 in	200	N/A	N/A
	13-3/8 in	1,408	53	24
	9-5/8 in	2,747	479	1,304
	7 in	2,639~3,700	957	1,192.38~2,199
4-1/2 in Slit CSG		N/A	926.78~1,200	2,165.18~2,800
Lubricator valve <sup>注3)</sup>		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

#### 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」もしくは「Silicon 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<sup>\*1)</sup> (Casing Collar Locator)、最下部にシンカーバー（重錘）を ITC<sup>\*2)</sup> (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<sup>\*3)</sup>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、即ち、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の間に No.2 地震計を、OB-3 の No.4 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（φ 12 mm）。

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

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した。なお、2020 年 2 月に OB-3 の同センサーを先行して交換を実施し、その安定性の向上を確認した後に OB-1 と OB-2 の交換を実施した。さらに、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 2020 年 10 月に設置した（3 坑井とともに同時期）。表 4.1-2 に坑内機器の設置深度を示す。

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。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、当センター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

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。

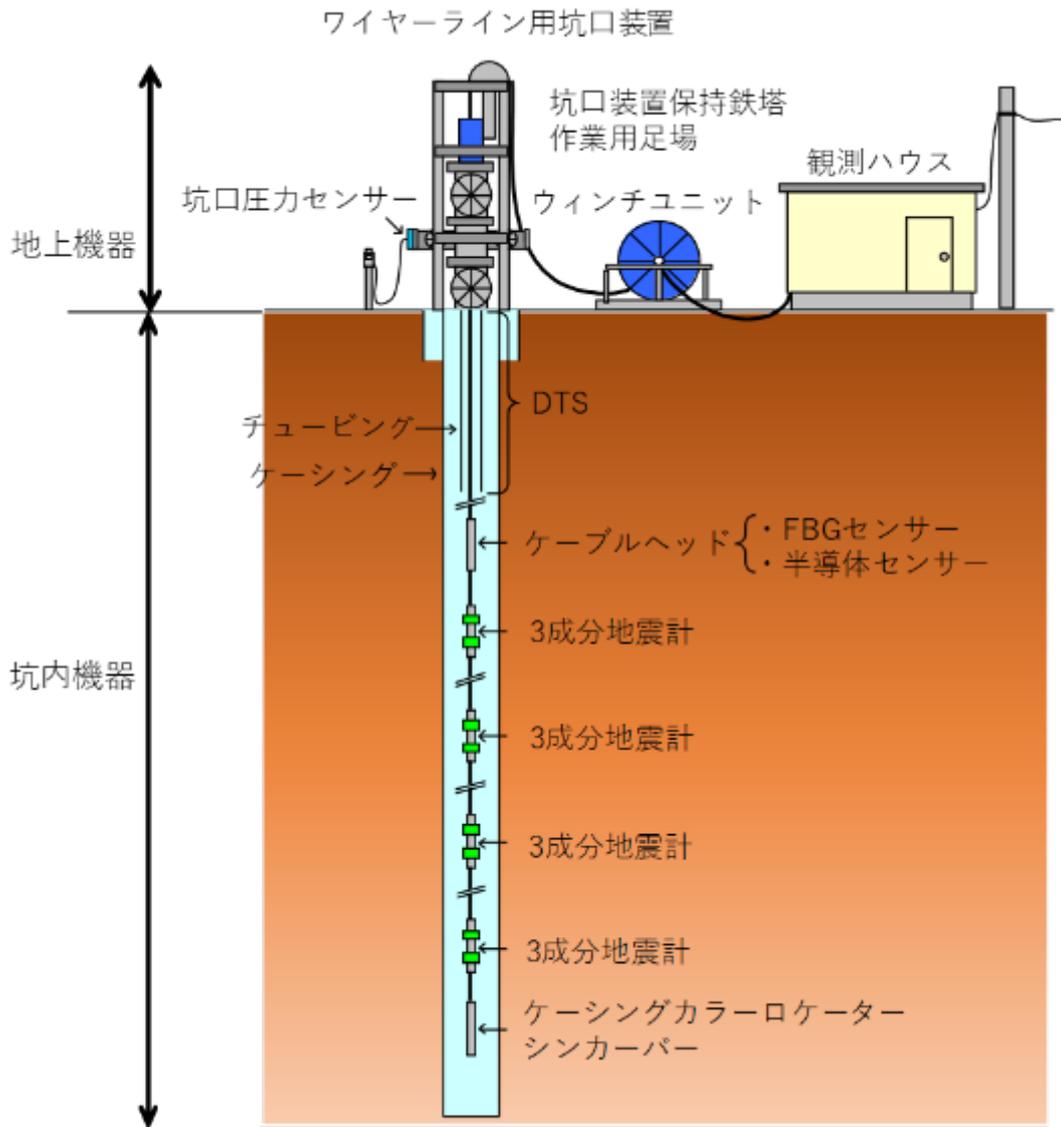


図 4.1-2 観測井システム概念図

Weight

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

Total: 354.5kg

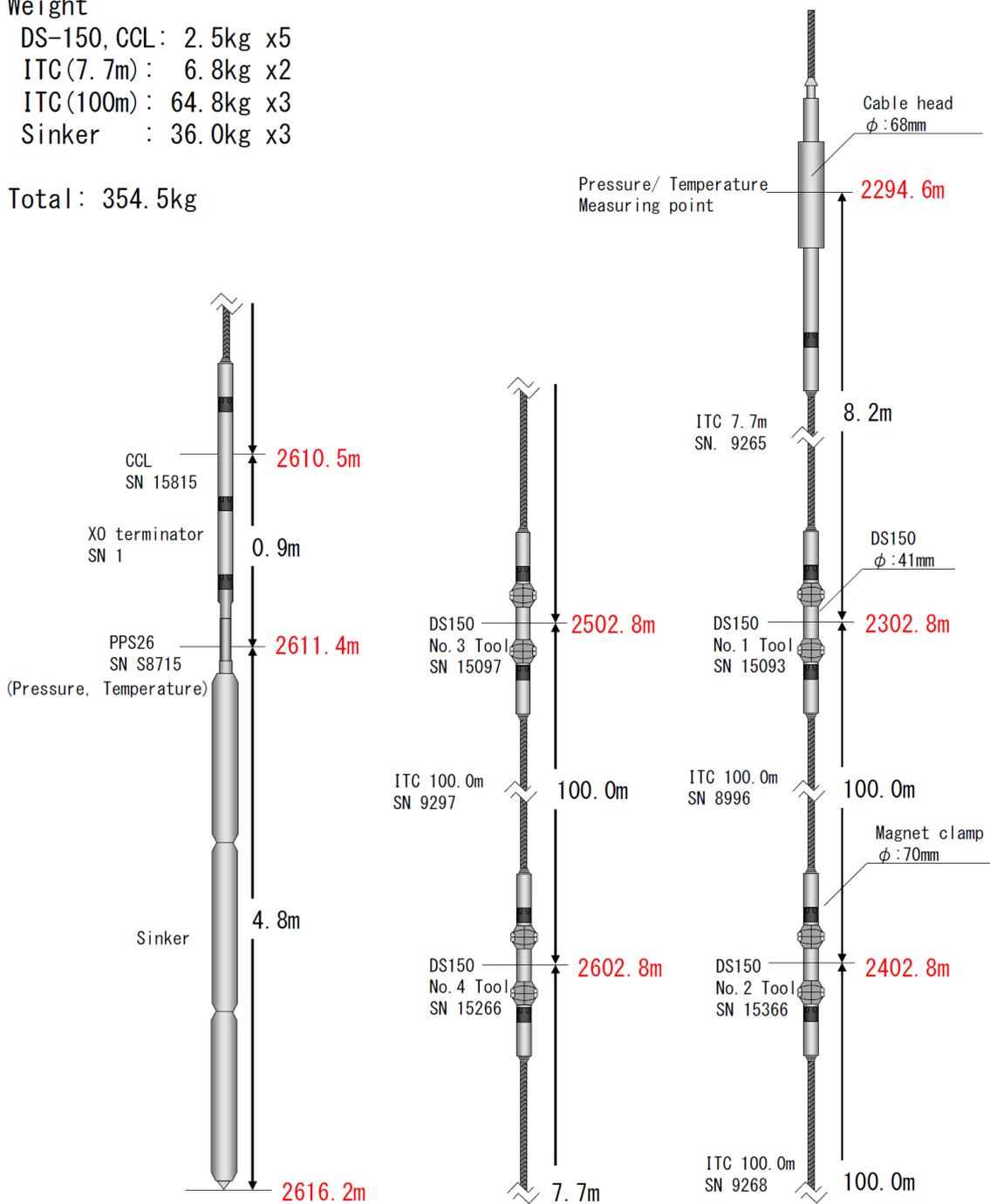


図 4.1-3(1) PPS26 センサー設置後の坑内観測機器編成図 (OB-1)

Weight

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

Total: 65.9kg

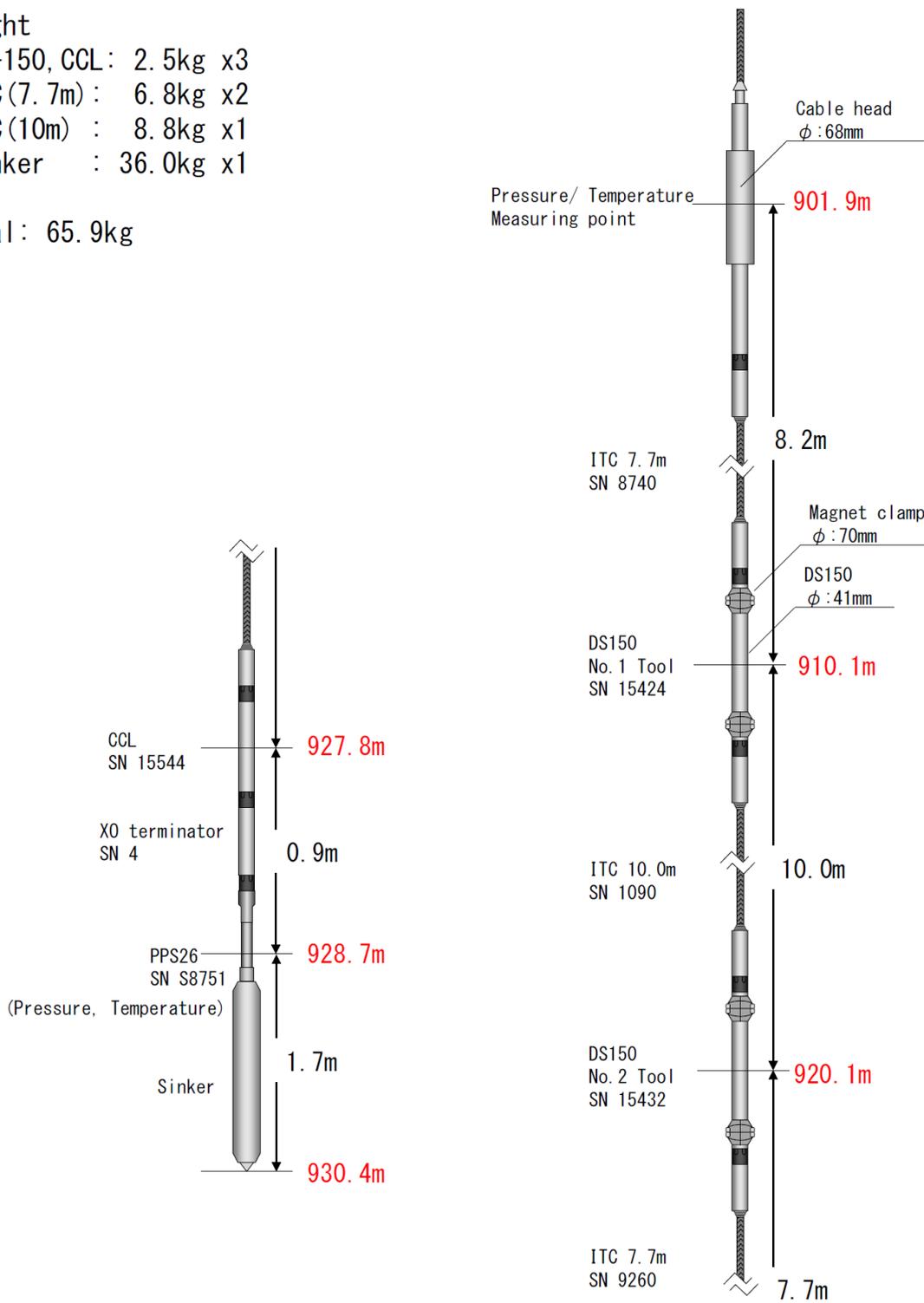


図 4.1-3(2) PPS26 センサー設置後の坑内観測機器編成図 (OB-2)

Weight

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

Total: 425.3kg

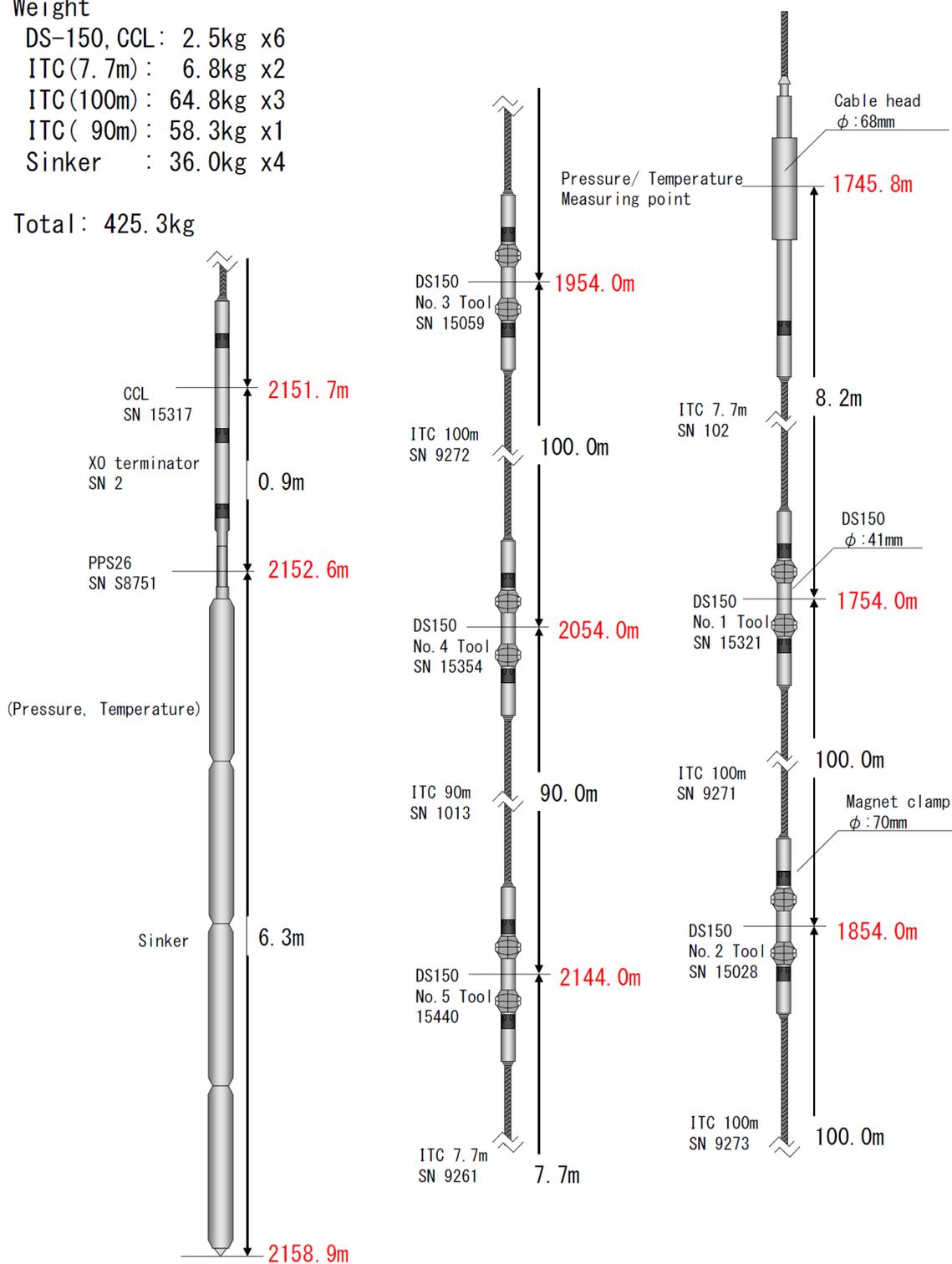


図 4.1-3(3) PPS26 センサー設置後の坑内観測機器編成図 (OB-3)

(1) 坑内地震計

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

表 4.1-3 地震計、データ収録機およびデータ転送用 PC の仕様一覧

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

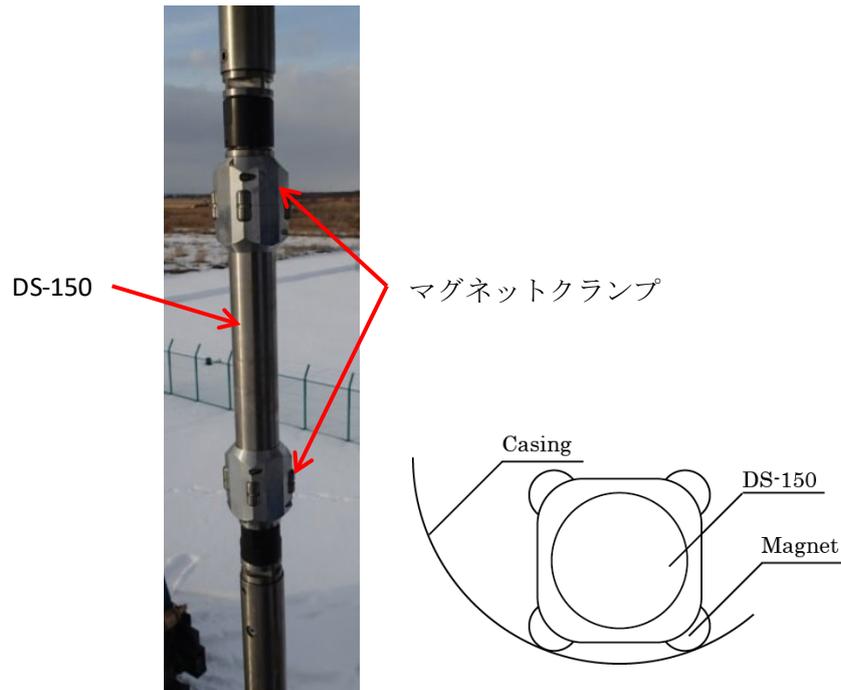


図 4.1-4 坑内に設置した地震計 (DS-150)

## (2) FBG センサー

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

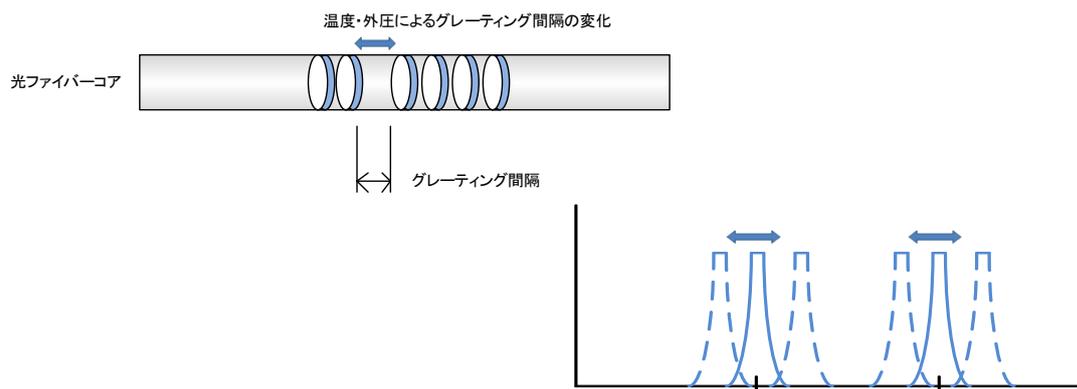


図 4.1-5 FBG の測定原理

表 4.1-4 FBG センサーの仕様

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

注) TSPPT：Terminal SmartPort Pressure and Temperature



図 4.1-6 FBG センサー（左上）と FBG 地上機（左上：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。新旧共に、米国 Kulite 社製の Silicon on Silicon 圧力センサーである。表 4.1-5 に本観測システムで使用しているシリコン圧力センサーの仕様を示す。図 4.1-7 にシリコン圧力センサーの外観を示す。シリコン圧力センサーは、温度変化による圧力変動をキャンセルするために、坑内圧力計測用とケーブルヘッド内圧計測用の特性が近似したセンサー2個をケーブルヘッド内に組み込んでおり、図 4.1-8 に示すように坑内圧力値とヘッド内圧値の差分を地上収録機のソフトウェアによって計算し、温度ドリフトが補正された圧力値を地上収録機に出力する。

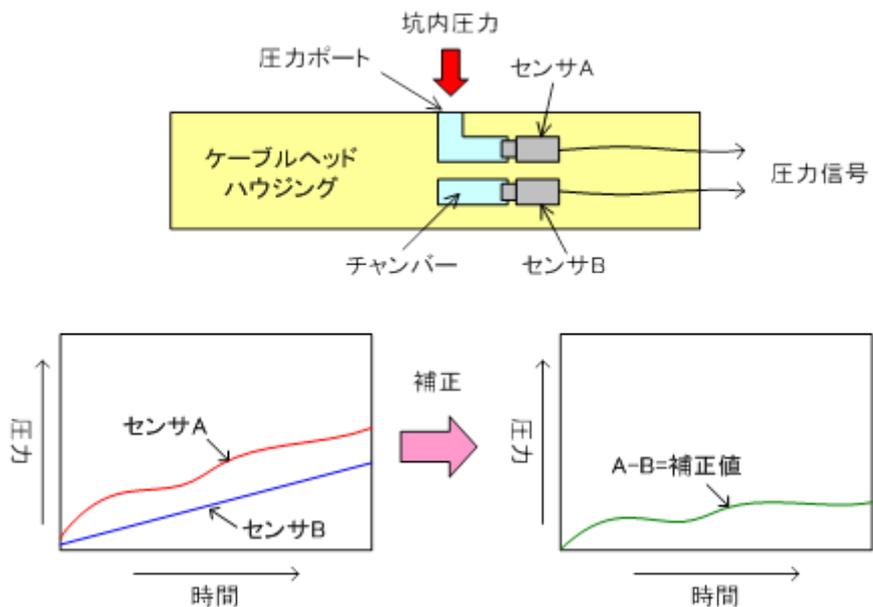
表 4.1-5 シリコン半導体圧力センサー仕様

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

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



図 4.1-7 シリコン半導体圧力センサー



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

図 4.1-8 シリコン半導体圧力センサー温度ドリフト補正概念図

#### (4) PPS26 温度・圧力センサー

PPS26 センサーは、カナダの Pioneer Petrotech Services Inc.社製の Silicon on Sapphire 素子（サファイア； $Al_2O_3$  単結晶の基板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。

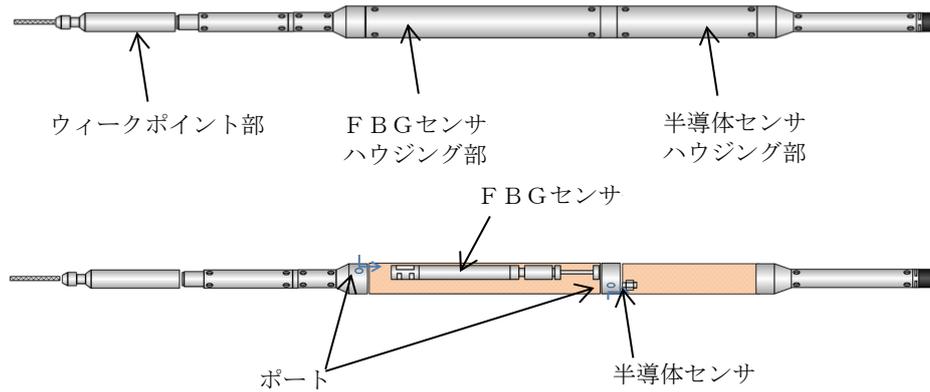


図 4.1-10 ケーブルヘッドの外観と内部構造

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。

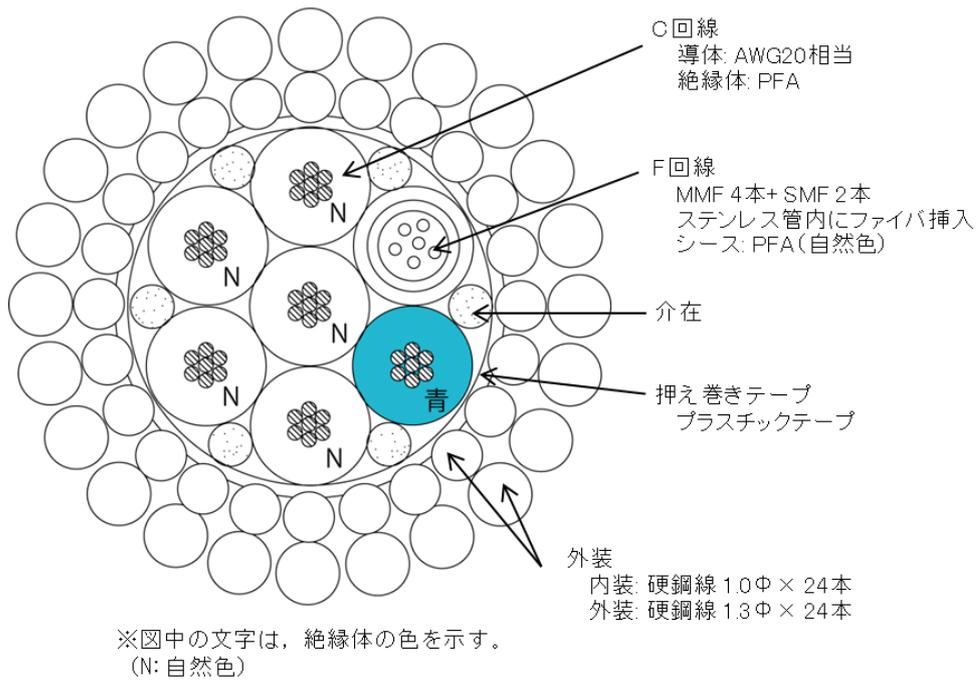


図 4.1-11 アーマードケーブル配列図(断面図)

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/0.32mm	AWG20相当 公称断面積：0.6mm <sup>2</sup>	
		外形	約0.96mm		
	絶縁体（PFA）	厚さ	約0.72mm	色：青,N色 特性：耐熱温度項参照	
		外径	2.4mm		
MP 回線×1	光ファイバ心線	MMF (GI) 4心	コア径	50μm	石英ガラス+カーボンコート
			クラッド径	1250μm	
		SMF (GI) 2心	ファイバ外径	155μm	ポリイミド被覆(N色)
			コア径	8.4μm(typical)	石英ガラス+カーボンコート
	クラッド径	125μm	ポリイミド被覆(N色)		
	ファイバ外径	155μm			
	ステンレス管（SUS管）	厚さ	約0.2mm	材質：SUS316L	
		外径	1.8mm		
シース	外径	2.4mm	材質：PFA（N色）		
複合集合		中心層	1C		
		第1層	5C+1MP		
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1.0mm		
		本数	24本		
	外装（硬鋼線）	素線径	約1.3mm		
		本数	24本		
仕上外径		標準	12.0mm		
		最大	12.5mm		
概算質量		空中	約535kg/km		
		水中	約440kg/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		78.4kN（8.0tonf）			
許容張力		15.8kN（1.61tonf）			
許容曲げ半径		最小360mm		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	4.0dB/km以下		波長λ=1.31μm	
		2.1dB/km以下		波長λ=0.85μm	
	SMF	0.7dB/km以下		波長λ=1.31μm	
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（(5)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。

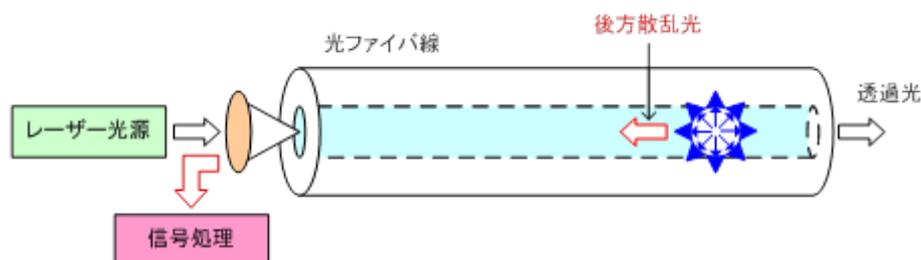


図 4.1-12 DTS の測定原理

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
一般仕様	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

坑内と地上の境界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

坑井と坑口装置はフランジにより接続される。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。

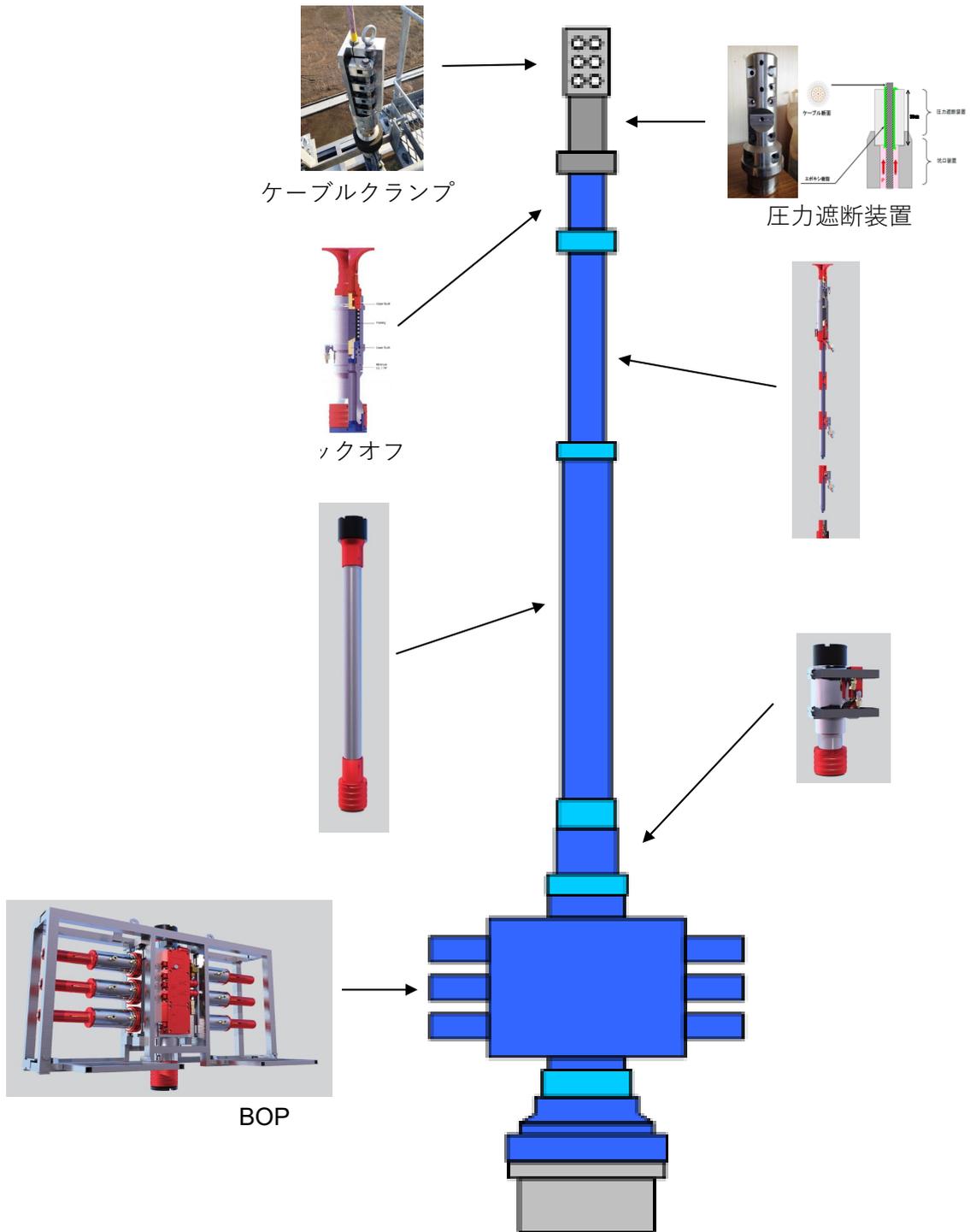


図 4.1-14 ワイヤーライン用坑口装置の模式図と構成機材の写真



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。

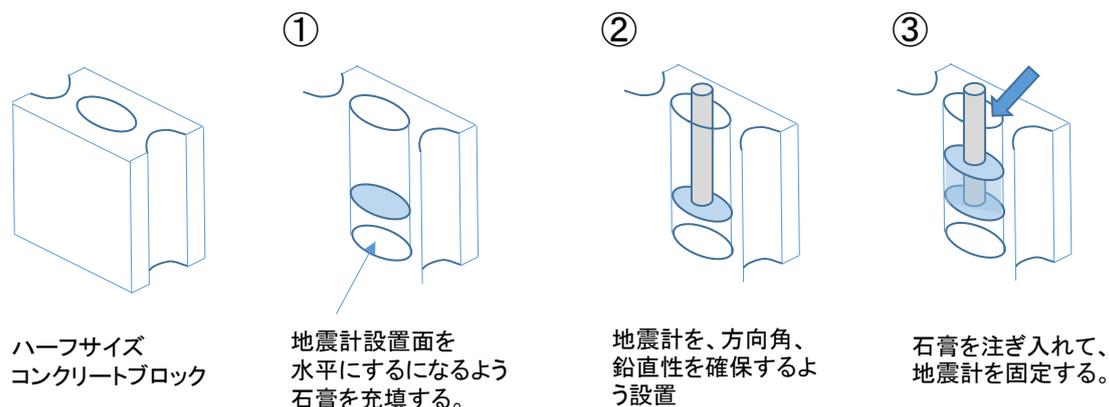


図 4.1-16 コンクリートブロックの穴へのリファレンス地震計固定手順

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)～6)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) 地震計データ収録用ソフトウェアの再起動（遠隔）
- 4) 定期点検（現地）
- 5) 坑内機器回収・点検（現地）
- 6) その他点検

##### (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。

##### (3) 地震計データ収録用ソフトウェアの再起動

地震計データ収録用ソフトウェアの動作が不安定になるのを防ぐため、遠隔操作による再起動\*8)を原則毎月 1 回実施した。

\*8) 観測システム導入時に地震計データ収録用ソフトウェアの動作が不安定だったことから 2015 年 6 月より実施しており、ソフトウェアのバージョンは導入時よりアップしているが、念のため 2021 年度も継続実施した。1 回の再起動により地震計観測データには 4～10 分の欠測が生じた。

添付資料①

**4** 2018年  
平成30年  
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」

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

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				
坑内圧力	半導体				
	FBG				
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

(4) 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を目視点検、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
2021 年 06 月	14 日	15 日	14 日	15 日
2021 年 08 月	4 日	3 日	4 日	5 日
2021 年 10 月	14 日	14 日	14 日	13 日
2021 年 12 月	21 日	22 日	21 日	21 日
2022 年 1 月	26 日	26 日	27 日	27 日
2022 年 3 月	16 日	17 日	16 日	17 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	
電線	鍵は正常に動作するか	
	室内に雨漏りの形跡がないか	
	室内の温度・湿度は適度か	
	電線・通信線引込柱に異常はないか	
GPSアンテナの写真口	電線・通信線に損傷はないか	
	電線・通信線引込部に異常はないか	
	信号線に損傷はないか	
	信号線引込部に異常はないか	
エアコン	設置状態は正常か	
	がたつきはないか	
	コネクタの接続は適切か	
敷地周辺の写真口	正常に動作しているか	
	設定は適切か	
	ゴミなどは散乱していないか	
監視カメラの写真口	雑音は察知していないか	
	正常に動作しているか	
血圧計の写真口	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(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	
圧口圧力計測器(写真口)	NASIに異常はないか	
	計測器に異常はないか	
	セラーの防水量は問題ないか	
	正常に動作しているか	
圧力遮断装置(写真口)	設置状態は正常か	
	設置状態は正常か	
	ケーブルクランプに異常はないか	
	圧力遮断装置に異常はないか	
圧力遮断装置(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	
	固定用フェーンに異常はないか	
ドラムBOX(写真口)	雨水の浸入はないか	
	その他異常はないか	
	設置状態は正常か	
	固定用フェーンに異常はないか	
データ回収	ストレージ容量は充分か	
	観測データを回収したか	
戸締り加錠	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	

図 4.1-21 定期点検チェックシート

(5) 坑内機器回収・点検

2021年度の観測システム全体のメンテナンス作業は、OB-3に設置された地震計の通信不具合が発生したことにより追加でメンテナンス作業を実施したため、合計2回実施した。1回目は全観測井を対象として2021年4月7日～4月30日にかけて、2回目はOB-3を対象として2021年11月12日～11月21日にかけて実施した。

チェックショット発振作業は2回実施する計画であった。しかし、2回目のチェックショット発振作業直前に上記OB-3地震計の不具合が発生したため、2回目のチェックショット発振作業はOB-1およびOB-2を対象とした。OB-3の追加メンテナンス作業が終了した後、OB-3を対象としたチェックショット発振作業を実施した。

表 4.1-15 坑内機器回収・点検等の日程

観測井	坑口装置保守点検	坑口圧力計校正	坑内機器回収・点検	チェックショット
OB-1	4月7～29日	4月16～17日	4月8～13日	4月29日 10月27日
OB-2	4月7～29日	4月16～17日	4月23～26日	4月28日 10月26日
OB-3	4月7～29日	4月16～17日	4月15～21日 11月13～18日	4月27～28日 11月20～21日

① 坑内機器の回収と再設置

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4.1-23～25にそれぞれ示す。

- 1) 坑内機器を回収するために必要なウインチユニットおよび発電機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。

OB-1のPPS26に不具合が発生しており、回収後その原因を追究した。その結果、PPS26直上に接続していたクロスオーバーサブのポート部から微量の坑内水が入り、回路がショートしたものと推察された。PPS26単体の動作を確認後、ポート部のOリングに損傷が判明し（図4.1-26）、同Oリングの硬度を70から90へ交換し、坑内水の侵入を防止するよう対策を講じた。

ケーブルヘッド内部に組み込まれているFBGセンサーや半導体圧力センサーは、較正器による出力値の確認を行った。その他、不具合が見られた地震計等は予備に交換し、全観測井の坑口装置の整備も実施した。

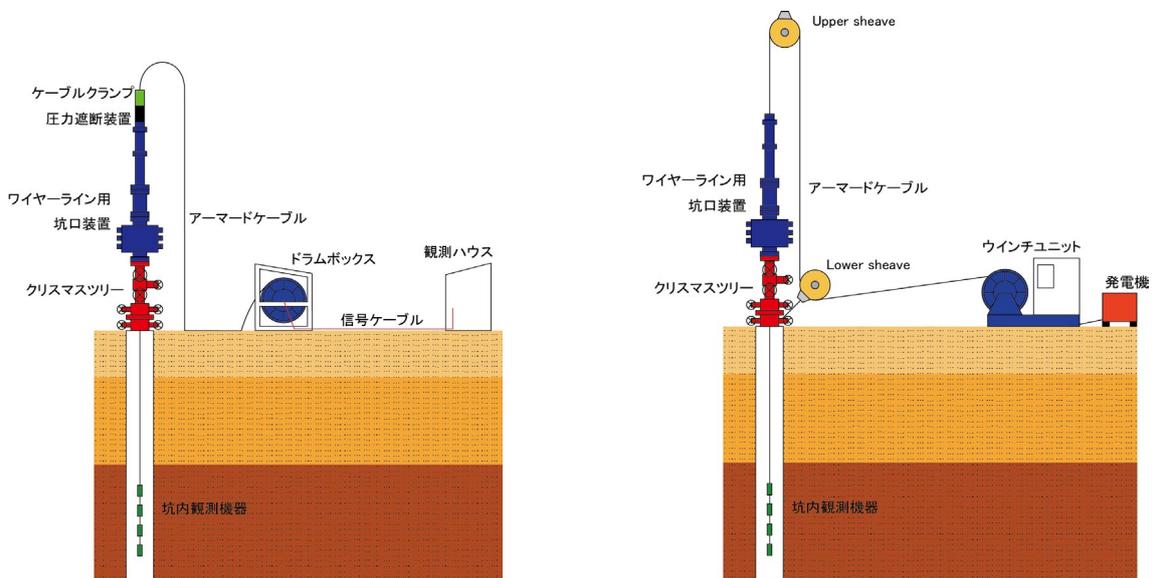


図 4.1-22 坑内機器の回収作業概念図（左：観測時、右：回収時）

観測井モニタリング保守・管理チェックシート(ケーブルヘッド)					
業務名	「平成29年度二酸化炭素削減技術実証試験事業」のうち「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					
実施日時	平成	年	月	日	
実施者					
項目		確認	備考		
①	ケーブルヘッド回収前の動作状態確認		各センサのシグナルレベルの現状把握		
②	ケーブルヘッド回収後の状態確認		表面の腐食、ねじの脱落等はないか		
③	Oリングの交換、コネクタ部の清掃				
④	圧力ポート、オイルの交換 内部基板部、結露防止用ガスの交換				
③	半導体センサ、FBGセンサの再校正		下記表を参照		
④	メンテナンス後の最終確認		ねじ締め、グリスアップ等		
⑤	リセット後のシステム動作の確認				
<b>FBGおよび半導体圧力センサ校正記録</b>					
校正機器	テスター	732-03 No.2(横河)			
	圧力キャリブレータ	717-5000G(Fluke)			
項目	FBG		半導体		備考
圧力キャリブレータ加圧値	0MPa	10MPa	0MPa	10MPa	
収録機圧力表示値					
注意事項					
① 校正作業はケーブルヘッド組立て後、坑内観測機器の再設置前に行う。					
② 校正範囲は0-10Mpaの2点とする。必要に応じて再調整を行う。					
圧力キャリブレータでの加圧値と、観測ハウス内収録機での表示値とを照合し記録する。					
※半導体センサの圧力表示値確認の方法は、ウンチドラム脇の端子台の電圧値を確認し、電圧・圧力換算表を利用して、その圧力値を記録する。					

図 4.1-23 坑内機器点検チェックシート（ケーブルヘッド）

観測井モニタリング保守・管理チェックシート(微小振動観測センサ)							
業務名		: 「平成29年度二酸化炭素削減技術実証試験事業」のうち「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		:					
実施日時		平成	年	月	日		
実施者		:					
S/N	O-ring & Facial Seal	O-ring (Inner)	Cleaning	S/N	O-ring & Facial Seal	O-ring (Inner)	Cleaning
Remarks:							

図 4.1-24 坑内機器点検チェックシート (地震計)





図 4.1-26 窒素ガス注入プラグ O リングの損傷

## ② 坑口圧力センサーの点検・較正作業

OB-3では、坑口圧力が発生している状況下にある（約7MPa）。そのため、坑口圧力センサーの点検・較正作業を実施するためには、事前に坑内圧力の脱圧が必要である。同様に、坑内観測機器を回収する前にも安全かつ効率的に作業を実施するためにも、坑内圧力を脱圧することが望ましい。OB-3における脱圧後の坑内圧力の回復状況を考慮し、全観測井に設置している坑口圧力センサーの点検・較正作業は、2020年度と同様に坑内観測機器の回収・点検・再設置作業に合わせて実施することとした。坑口圧力センサーの点検・較正作業は、2021年4月16日～17日にかけて全観測井で実施した。その結果、各センサーに異常は確認されなかった。

## ③ OB-3 排出流体注入作業

OB-3はこれまで坑内流体払いにより、坑口圧力が約7MPaから大気圧まで減圧すると、坑内観測機器の再設置後に元の坑口圧力に回復するまで半年近く、あるいはそれ以上を要していた。そのため、この圧力回復期間は安定時の貯留層圧力を測定できないと考えられることから、2020年度と同様坑内観測機器の再設置後に排出された流体を坑内に注入して坑口圧力のイコライジングを実施し、その期間を短縮化することを試みた。

坑内流体払い前の坑口圧力（約6.8MPa）まで約100Lの排出流体を注入したところ、注入後、5日間かけて坑口圧力が約5.5MPaまで減少した。これは、坑内圧力よりも地層圧力のほうが低く、坑内から地層への流出が起こったことによる現象である。その後、地層圧力のほうが坑内圧力を上回り、地層から坑内への流入が発生し、通常観測される坑内圧力の緩やかな上昇が発生した。安定した貯留層圧力に達するまでには、さらに時間がかかるため、2021年度末現在で安定状態の圧力観測はできなかった。しかし、安定圧

力へ達する時間短縮には確かに効果があるので、次回もこうした作業を継続することとする。安定圧力の測定は今後の課題として引き続き検討していく。

#### ④ OB-3 メンテナンス追加作業（2021年11月実施）

OB-3 地震計の通信不良と PPS26 の不具合が発生していたため、2021年11月12日～11月21日にかけてOB-3 坑内観測機器のメンテナンス作業を実施した。その後、観測機器を回収前と同様の深度に再設置した。再設置後、チェックショット発振作業により地震計の方位を決定した。また、4月のメンテナンス作業時と同様に坑内観測機器再設置後に排出された流体を坑内に注入して坑口圧力のイコライジングを実施した。

坑内機器回収後、ケーブルヘッド内の整備・点検を実施したところ、微量な坑内水が浸入し、地震計と PPS26 用の基板に腐食があることを確認した。基板の腐食が原因で、地震計および PPS26 と通信ができない状態になっていた。ケーブルヘッド内への坑内水の侵入原因は、半導体圧力センサーに取り付けられた O リングの損傷によるものと推察されたため、今後のメンテナンス時には、当該箇所も点検することとした。なお、当該箇所は、これまでのメンテナンス時には通常点検の対象となっていなかった。なお、地震計および PPS26 単体に不具合は確認されなかった。

ケーブルヘッド内部に組み込まれている FBG センサーや半導体圧力センサーは、較正器による出力値の確認を行った。また、全観測井の坑口装置の整備も実施した。

上記作業後、排出流体注入作業を実施した。メンテナンス前の坑口圧力（約 6.95MPa）まで注入を試みたが、途中でポンプに不具合が発生したため、坑口圧力が約 6.65MPa（注入開始前の坑口圧力は約 1.26MPa）で注入を中止した。注入量は、約 240L であった。なお、ポンプ不具合については、小容量ポンプによることが原因と考えられたため、次回は大容量ポンプを準備することとした。

#### ⑤ 坑内地震計の設置方位の推定

各坑井内に設置した地震計の方位を推定するためのチェックショットを、下記のとおり各観測井で計 2 回ずつ実施した。

- ・ 1 回目：2021年4月27～29日（OB-1、OB-2、OB-3）

- ・ 2 回目：2021年10月26～27日（OB-1、OB-2）、11月20～21日（OB-3）

発振作業では、大型油圧インパクト（JMI-400）と発振制御装置（IO SSS Encoder）を用いた。図 4.1-27 に大型油圧インパクト（JMI-400）を示す。図 4.1-28 にチェックショットの発振点を示す。表 4.1-16(1)および(2)にチェックショット発振点の座標を示す。OB-1 は傾斜井であるため、地震計に内蔵されている加速度計のデータと坑跡から地

震計設置時の体勢（方位等）を推定した。

坑内での地震計の設置状態は、方位角（Azimuth）、伏角（Inclination）および軸回り回転角（Relative bearing）により規定される。図 4.1-29 に方位角、伏角および回転角の定義を示す。

ローカル座標系の方位角を $\theta$ 、伏角を $\phi$ 、軸周り回転角を $\psi$ とし、地震計の成分方向を基準とするツール基準座標系 z 軸（East 軸）、および x 軸（Up 軸）を軸とした反時計回りの回転をそれぞれ $\alpha$ 、 $\beta$ とし、ローカル座標系の z 軸（up 軸）回りの回転 $R_z(\alpha)$ と x 軸（east 軸）回りの回転 $R_x(\beta)$ をそれぞれ式 1、式 2 とすると、ツール基準座標系からローカル座標系への変換は式 3、ローカル座標系からツール基準座標系への変換は式 4 と現すことができる。

$$R_z(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots \text{(式 1)}$$

$$R_x(\beta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & -\sin \beta \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta \end{pmatrix} \dots \text{(式 2)}$$

$$R_{t \rightarrow l}(\theta, \phi, \psi) = R_z^{-1}(\theta)R_x^{-1}(\phi)R_z^{-1}(\psi) \dots \text{(式 3)}$$

$$R_{l \rightarrow t}(\theta, \phi, \psi) = R_{t \rightarrow l}^{-1}(\theta, \phi, \psi) = R_z(\psi)R_x(\phi)R_z(\theta) \dots \text{(式 4)}$$

上記の定義に基づき、複数の地点から発振したチェックショットの記録を解析して回転角を決定した。なお、回転角の決定においては、ツールの方位角と伏角がツール設置点の坑跡に一致しているものと仮定し、真の信号到来方位と観測した信号到来方位が合致する（両者の単位ベクトル内積値が 1 となる）角度を回転角とした。表 4.1-17(1)および(2)にチェックショットによる各坑井内に設置した地震計の回転角の推定結果を示す。OB-1 は傾斜井であるため、OB-1 内に設置した地震計の回転角は地震計が内蔵する加速度計のデータから推定した。表 4.1-18(1)および(2)に上記結果をまとめた坑内地震計設置位置の座標と設置方位を示す。



図 4.1-27 大型油圧インパクト（JMI-400）



注) 出典：国土地理院地図を加工

図 4.1-28 チェックショット発振点位置

表 4.1-16(1) チェックショット発振点の座標と発振回数（1回目）

発振点	発振回数	東西座標 (m)	南北座標 (m)	標高 (m)
OB-1-SP-1	400	-49502.545	-151982.733	7.70
OB-2-SP-1	50	-49723.640	-151709.387	8.00
OB-2-SP-2	100	-49207.306	-151894.192	7.70

OB-2-SP-3	100	-49565.423	-151887.014	7.60
OB-2-SP-4	100	-48504.544	-151880.627	7.40
OB-2-SP-5	150	-48261.353	-151868.437	7.40
OB-3-SP-1	300	-44255.692	-152116.994	2.90
OB-3-SP-2	300	-43952.729	-152056.592	3.30
OB-3-SP-3	100	-42404.55	-151761.684	0.70
OB-3-SP-4	150	-39763.747	-152995.790	2.60
OB-3-SP-5	100	-39359.184	-152377.292	3.40

注) 発振点座標（世界測地系 第12系平面直交座標）。  
標高は国土地理院/GSI Mapsを参照。

表 4.1-16(2) チェックショット発振点の座標と発振回数（2回目）

発振点	発振回数	東西座標 (m)	南北座標 (m)	標高 (m)
OB-1-SP-1	400	-49497.752	-151982.533	7.70
OB-2-SP-1	100	-49713.592	-151706.065	8.10
OB-2-SP-2	100	-49201.814	-151890.836	7.70
OB-2-SP-3	100	-49584.661	-151868.98	7.60
OB-2-SP-4	150	-48475.801	-151875.582	8.10
OB-2-SP-5	150	-48259.315	-151870.303	7.40
OB-3-SP-1	300	-44253.49	-152129.041	2.70
OB-3-SP-2	200	-43951.366	-152057.217	3.30
OB-3-SP-3	100	-42402.43	-151750.281	0.80
OB-3-SP-4	100	-39757.539	-152985.952	2.80
OB-3-SP-5	100	-39357.347	-152374.834	3.50

注) 発振点座標（世界測地系 UTM 座標ゾーン 54）。  
標高は国土地理院/GSI Mapsを参照。

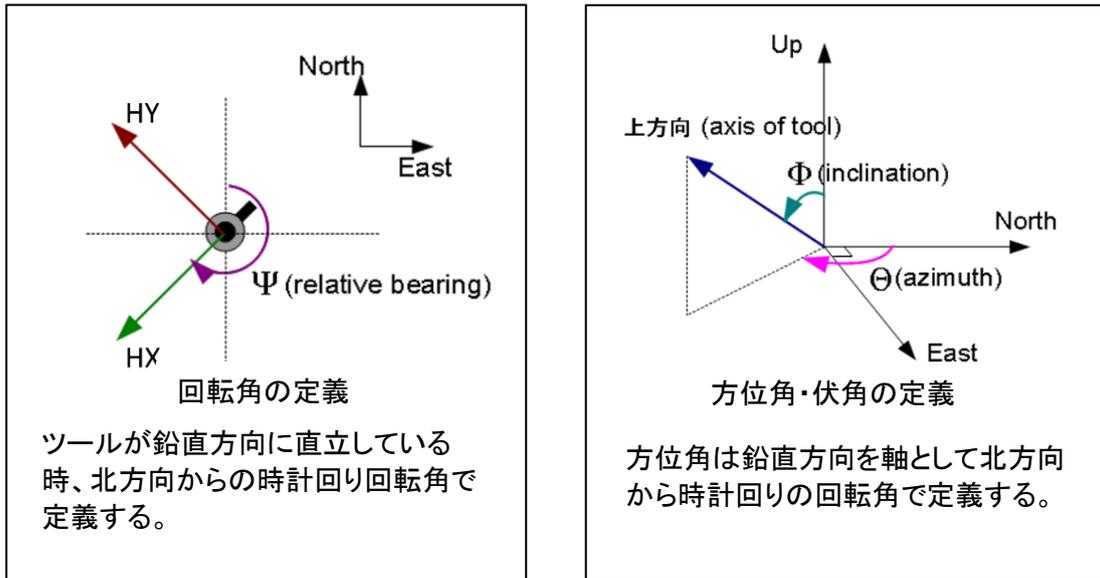


図 4.1-29 方位角、伏角および回転角の定義

表 4.1-17(1) 坑内地震計回転角推定結果（1回目）

発振 No	Length	OB-1 No.1	OB-1 No.2	OB-1 No.3	OB-1 No.4	
OB-1-SP-1	32ms	64.9	233.245	317.845	305.96	
平均値	[deg]	64.9	233.245	317.845	305.96	
発振 No	Length	OB-2 No.1	OB-2 No.2			
OB-2-SP-1	32ms	94.52	53.635			
OB-2-SP-2	32ms	85.43	53.22			
OB-2-SP-3	32ms	98.84	59.665			
OB-2-SP-4	32ms	86.105	55.19			
OB-2-SP-5	32ms	86.42	51.84			
平均値	32ms	90.263	54.710			
標準偏差	[deg]	5.424	2.698			
発振 No	Length	OB-3 No.1	OB-3 No.2	OB-3 No.3	OB-3 No.4	OB-3 No.5
OB-3-SP-1	32ms	94.98	79.13	170.09	203.445	289.11
OB-3-SP-2	32ms	82.55	74.265	167.24	196.91	284.29
OB-3-SP-3	32ms	86.905	91.16	169.205	197.64	290.1
OB-3-SP-4	32ms	87	77.31	162.625	198.855	279.09
OB-3-SP-5	32ms	86.555	86.46	168.71	200.405	283.035
平均値	[deg]	87.598	81.665	167.574	199.451	285.125
標準偏差	[deg]	4.047	6.218	2.641	2.322	4.053

注) 単位は (deg)。

表 4.1-17(2) 坑内地震計回転角推定結果（2回目）

発振 No	Length	OB-1 No.1	OB-1 No.2	OB-1 No.3	OB-1 No.4	
OB-1-SP-1	32ms	36.36	273.705	4.855	340.705	
平均値	[deg]	36.36	273.705	4.855	340.705	
発振 No	Length	OB-2 No.1	OB-2 No.2			
OB-2-SP-1	32ms	98.025	57.145			
OB-2-SP-2	32ms	85.62	53.085			
OB-2-SP-3	32ms	97.795	60.505			
OB-2-SP-4	32ms	79.91	48.47			
OB-2-SP-5	32ms	88.46	48.09			
平均値	32ms	89.962	53.459			
標準偏差	[deg]	7.050	4.839			
発振 No	Length	OB-3 No.1	OB-3 No.2	OB-3 No.3	OB-3 No.4	OB-3 No.5
OB-3-SP-1	32ms	10.91	352.91	346.815	294.835	12.225
OB-3-SP-2	32ms	13.635	341.78	343.275	299.845	6.495
OB-3-SP-3	32ms	13.825	334.745	345].07	302.315	347.42
OB-3-SP-4	32ms	3.72	329.91	336.915	291.205	0.17
OB-3-SP-5	32msec	13.26	325.75	342.66	293.94	356.525
平均値	[deg]	11.070	327.83	342.947	296.428	0.567
標準偏差	[deg]	3.821	2.080	3.348	4.058	8.490

注) 単位は (deg)。表中の灰色で示した推定値は、発振ホドグラムの直線性が低いため平均に加えない。

表 4.1-18(1) 坑内地震計設置座標および設置方位（1回目）

観測井	地震計	EW (m)	NS (m)	UD (m)	Azimuth (deg)	Inclination (deg)	Relative bearing(deg)
OB-1	No.1	-51,503.22	-153,587.05	-2,008.74	320.37	42.46	64.900
	No.2	-51,460.44	-153,638.47	-2,083.08	319.99	41.98	233.245
	No.3	-51,417.34	-153,689.77	-2,157.30	319.81	42.16	317.845
	No.4	-51,374.14	-153,741.19	-2,231.40	320.12	42.19	305.96
OB-2	No.1	-49,471.59	-151,993.01	-900.95	0.00	0.00	90.263
	No.2	-49,471.59	-151,993.01	-910.95	0.00	0.00	54.71
OB-3	No.1	-41,216.32	-152,643.45	-1,751.27	144.78	1.07	87.598
	No.2	-41,217.88	-152,642.16	-1,851.24	119.72	1.40	81.665
	No.3	-41,220.68	-152,641.19	-1,951.20	100.68	2.04	167.574
	No.4	-41,224.86	-152,640.66	-2,051.11	95.96	2.93	199.451
	No.5	-41,229.95	-152,640.09	-2,140.95	98.13	3.57	285.125

注1) 表中のUD(m)は平均海水面を基準とする垂直深度(True Vertical Depth)。

注2) Relative bearing は、観測点および軸周り回転角推定値。

注3) OB-2 は垂直井であるとみなしてAzimuthおよびInclinationを0°に仮定して推定した。

表 4.1-18(2) 坑内地震計設置座標および設置方位（2回目）

観測井	地震計	EW (m)	NS (m)	UD (m)	Azimuth (deg)	Inclination (deg)	Relative bearing(deg)
OB-1	No.1	-51,503.22	-153,587.05	-2,008.74	320.37	42.46	36.36
	No.2	-51,460.44	-153,638.47	-2,083.08	319.99	41.98	273.705
	No.3	-51,417.34	-153,689.77	-2,157.30	319.81	42.16	4.885
	No.4	-51,374.14	-153,741.19	-2,231.40	320.12	42.19	340.705
OB-2	No.1	-49,471.59	-151,993.01	-900.95	0.00	0.00	89.962
	No.2	-49,471.59	-151,993.01	-910.95	0.00	0.00	53.459
OB-3	No.1	-41,216.32	-152,643.45	-1,751.27	144.78	1.07	11.070
	No.2	-41,217.88	-152,642.16	-1,851.24	119.72	1.40	327.830
	No.3	-41,220.68	-152,641.19	-1,951.20	100.68	2.04	342.947
	No.4	-41,224.86	-152,640.66	-2,051.11	95.96	2.93	296.428
	No.5	-41,229.95	-152,640.09	-2,140.95	98.13	3.57	0.567

注1) 表中のUD(m)は平均海水面を基準とする垂直深度(True Vertical Depth)。

注2) Relative bearing は、観測点および軸周り回転角推定値。

注3) OB-2 は垂直井であるとみなしてAzimuthおよびInclinationを0°に仮定して推定した。

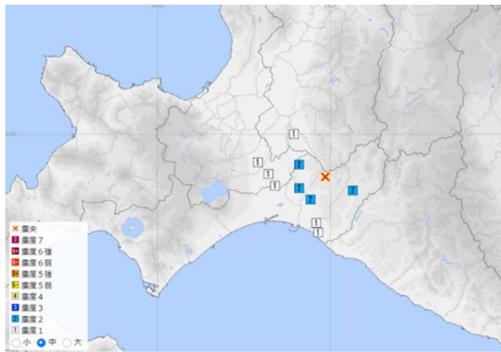
### 4.1.3 観測システムによるモニタリング

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2021年度の各観測井におけるモニタリングの結果を示す。

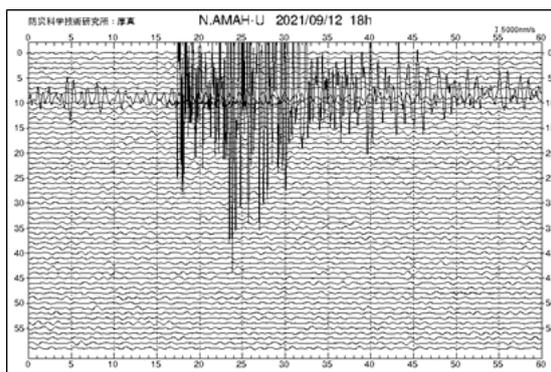
#### (1) 地震計によるモニタリング

##### ① 地震計によるモニタリング事例

2021年9月12日18:08:13に北海道胆振地方中東部を震源としたマグニチュード3.5の地震が発生した。その震央と（国研）防災科学技術研究所 Hi-net 高感度地震観測網「厚真」で観測された地震波形および観測井での観測波形を図4.1-30に示す。観測井の波形（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）は、各観測井の最下部にあるツールのZ成分のものを示した。Hi-netで観測された波形データとの良好な整合性が確認できた。



2020年4月26日17:48:44発生  
震源；北海道苫小牧沖 M=2.9  
出典：気象庁HP



Hi-net「厚真」受振波形  
出典：防災科学技術研究所HP

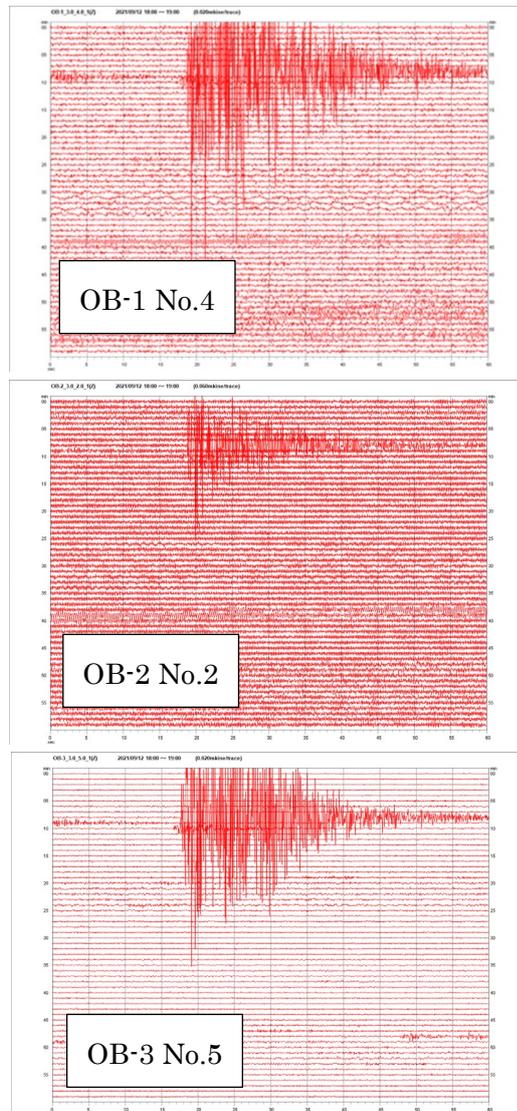


図4.1-30 例示地震の観測波形

## ② 微小振動・自然地震観測ツール加速度センサー値の確認

これまでのモニタリング業務の中で、微小振動・自然地震観測ツールの軸周り回転角が坑井内へ設置後に変化する事例があった。そのため、2021年度は4月のメンテナンス作業時のチェックショット発振作業の他に10月にも追加のチェックショット発振作業を行い、微小振動・自然地震観測ツールの回転角が変化しているか確認した（表4.1-19）。

OB-1での、10月のチェックショット結果は、4月の結果よりNo.1ツールを除いて約+40°の変化が認められたものの、後述のクロスチェックによる確認から、4月に実施した結果の方が正確であるとした。

OB-2では、4月と10月のチェックショット結果の差異が1°前後と小さいため、微小振動・自然地震観測ツールの姿勢変化はないと判断された。

OB-3では10月中旬に浸水によるケーブルヘッドの不具合がチェックショット発振作業前に発生し、坑内ツールとの通信が途絶えたためチェックショット発振による計測を実施できなかった。そのため微小振動・自然地震観測ツールの軸周り回転角の比較はできなかった。11月の観測結果については、上記不具合に対応するため坑内ツールを回収・再設置後の計測結果であるため、4月の結果と大きく異なる値になっている。

表4.1-19 微小振動・自然地震観測ツールの軸周り回転角の算出結果

OB-1	No.1	No.2	No.3	No.4
2021/4/29	64.9	233.2	317.8	306.0
2021/10/27	36.4	273.7	4.9	340.7

OB-2	No.1	No.2
2021/4/28	90.3	54.7
2021/10/26	90.0	53.5

OB-3	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
2021/4/28	144.8	119.7	100.7	96.0	98.1
※ケーブルヘッド不具合のため回収・再設置をはさむ					
2021/11/21	11.1	327.8	342.9	296.4	0.6

OB-1は傾斜井であることから、微小振動・自然地震観測ツールの傾斜センサーにより軸周り回転角が算出できるものの、一方でチェックショットの発振場所に適した場所が1

点しか確保できないことから、両方の値を使ってクロスチェックを実施した。OB-1の2021年1月から12月までの微小振動・自然地震観測ツールの傾斜センサーおよびチェックショット発振から算出される軸周り回転角について図4.1-31に示す。微小振動・自然地震観測ツールの姿勢は安定しており、2021年度は微小振動・自然地震観測ツールが坑内再設置後に回転するような事象は観測されなかった。チェックショット発振から算出される軸周り回転角は、4月と10月でNo.2からNo.4の微小振動・自然地震観測ツールで約 $+40^\circ$ の変化が認められたが、前述の通り、微小振動・自然地震観測ツール内の傾斜計に軸周り回転角の変化を示すような変化がないこと、No.2からNo.4のほぼすべての微小振動・自然地震観測ツールで同じ変化をしていること、直近の地震の震央方向を4月の結果を用いることで正確に推定できることから、10月のチェックショット時に何らかの理由で推定方位がずれたものと考えられる。

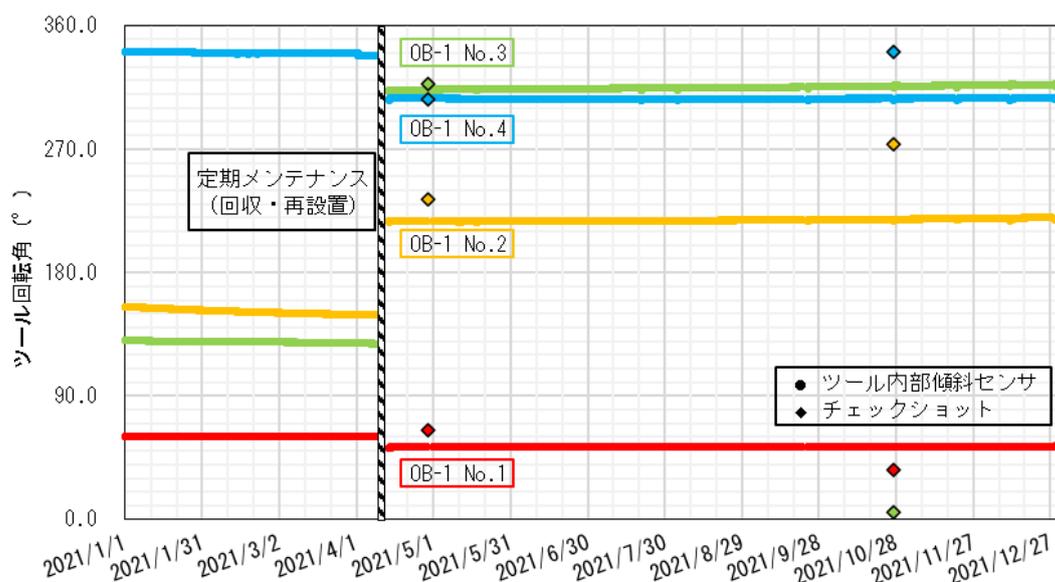


図 4.1-31 OB-1 微小振動・自然地震観測ツール回転角

## (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4.1-32～図4.1-35に示す。各観測井のモニタリング状況は、以下のとおりである。

### ① OB-1

FBG 圧力および温度については、2021年4月の坑内観測機器回収点検作業後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

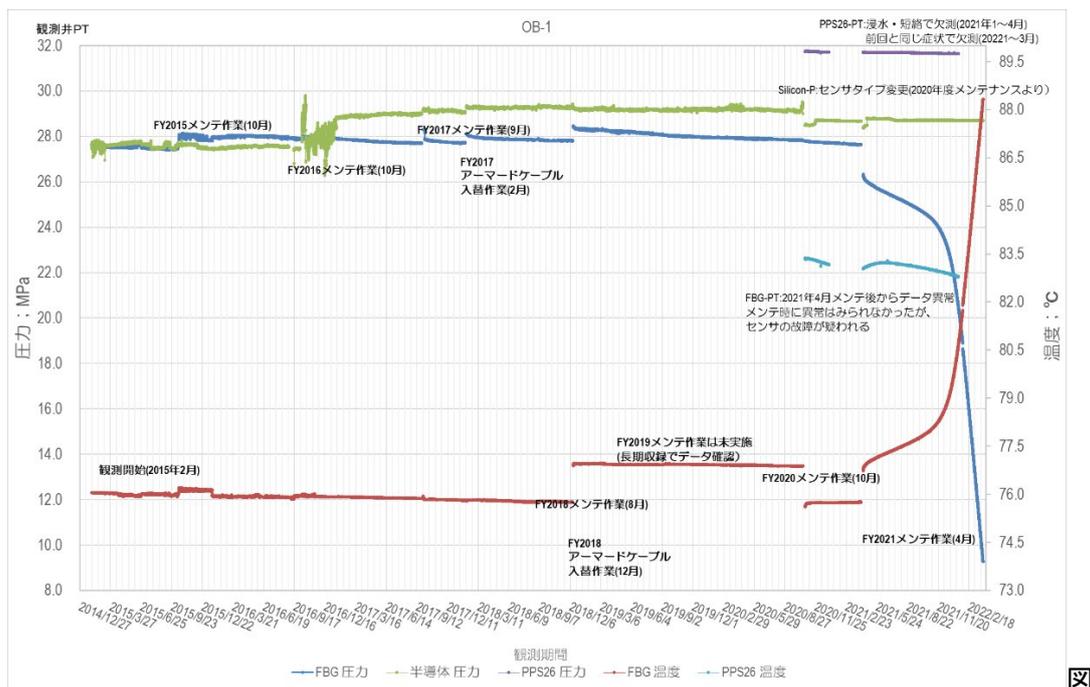
常の程度はより顕著となる。2022年度にセンサーの検査が必要である。温度については、光ファイバによるDTSにより浅部から深部までの連続観測のデータからは、年間を通して一定であることを確認している（図4.1-32および図4.1-35）。圧力については、半導体圧力値およびPPS26圧力値は、安定しており、貯留層は安定していると推定される。なお、PPS26圧力については、1月以降データ欠測が発生している。一方、PPS26温度はやや低下傾向が認められ、何らかのセンサー異常が発生していると考えられる。

## 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（図4.1-33）。

## ③ OB-3

FBG圧力・温度、PPS26圧力・温度、および半導体圧力は、それぞれ異常はなく良好なデータ取得ができています。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、測定再開の際に毎度圧力上昇が発生する。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では十分安定した状態の圧力には戻っていない可能性がある。なお、ほぼ同一深度に設置しているFBG圧力と半導体圧力は、経年的に絶対値の差が発生しており、その差が経年的に大きくなる傾向が認められる（図4.1-34）。



4.1-32 OB-1 温度・圧力モニタリング結果

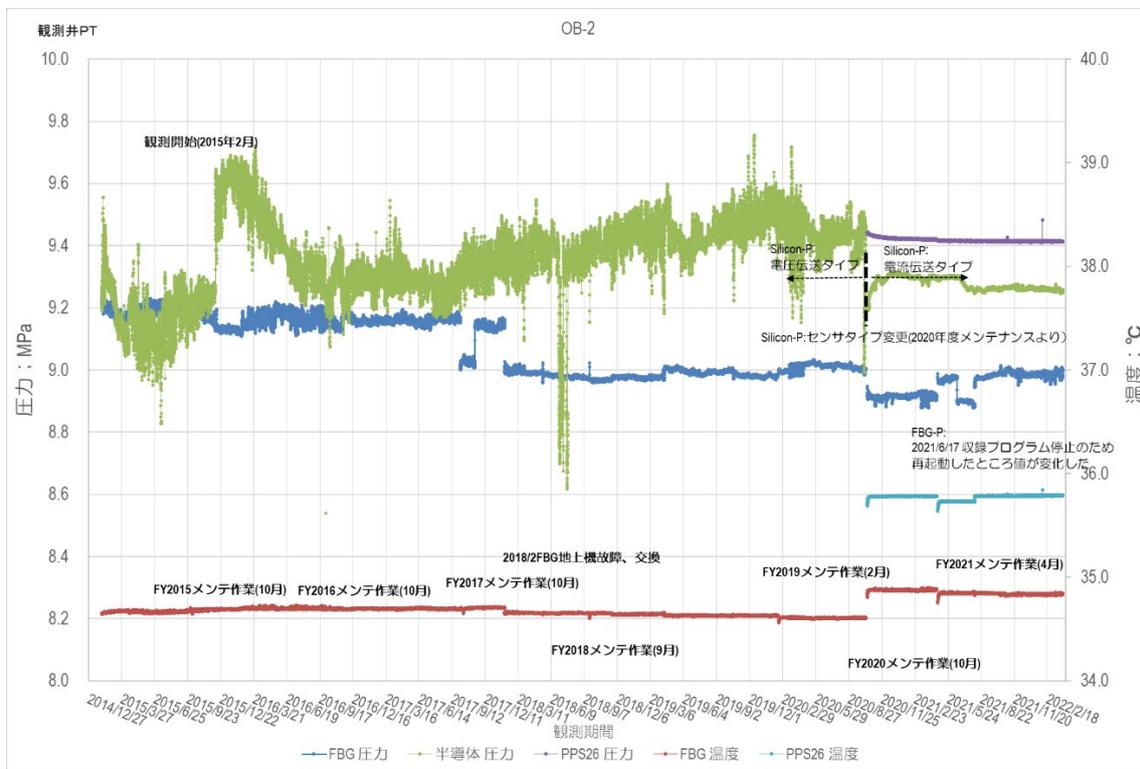
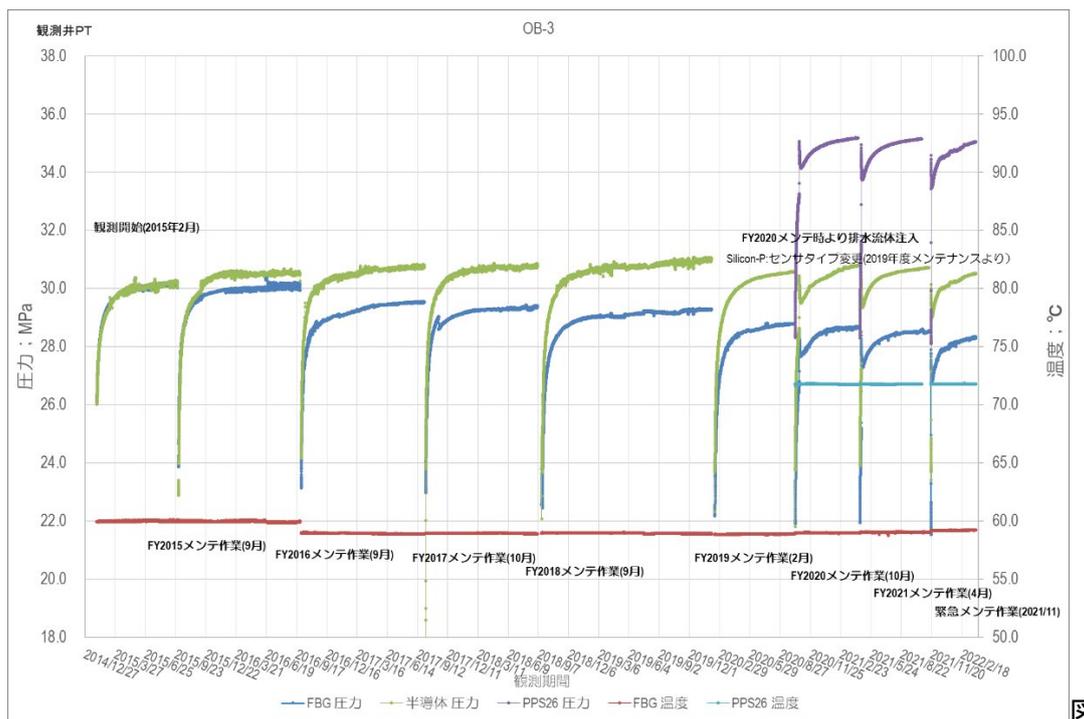


図 4.1-33 OB-2 温度・圧力モニタリング結果



4.1-34 OB-3 温度圧力モニタリング結果

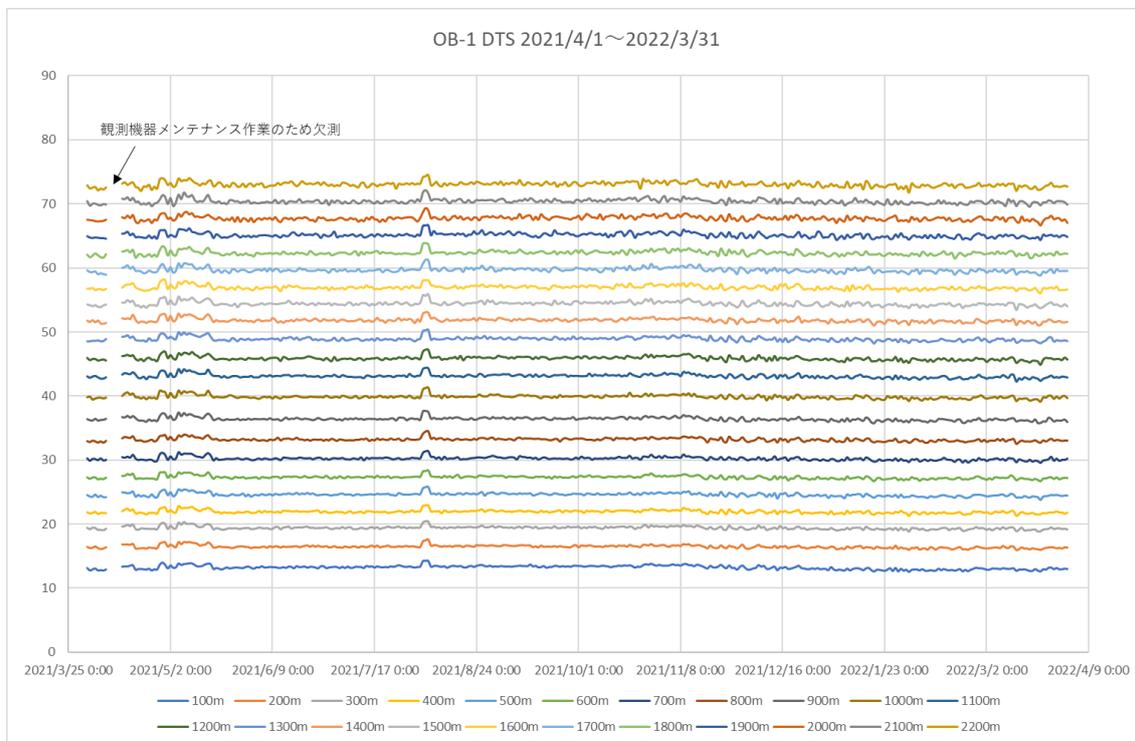
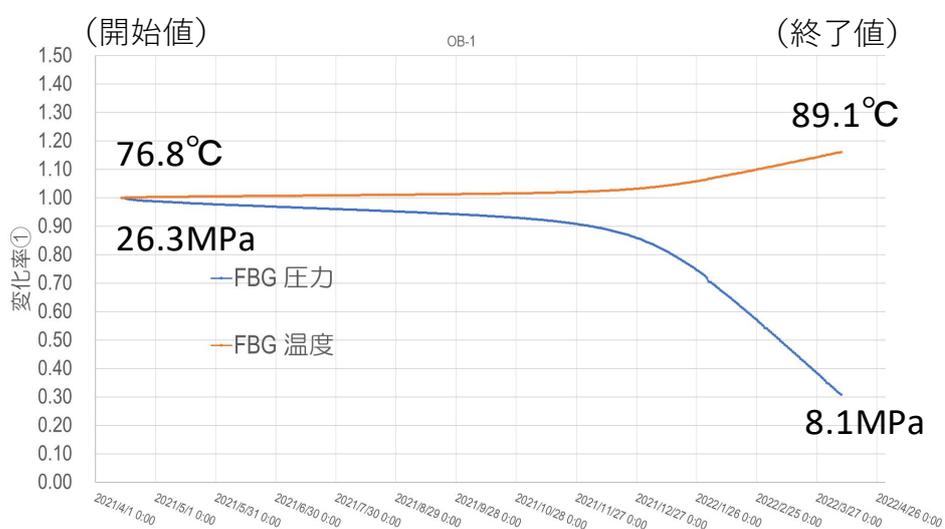


図 4.1-35 OB-1 における DTS 温度モニタリング結果

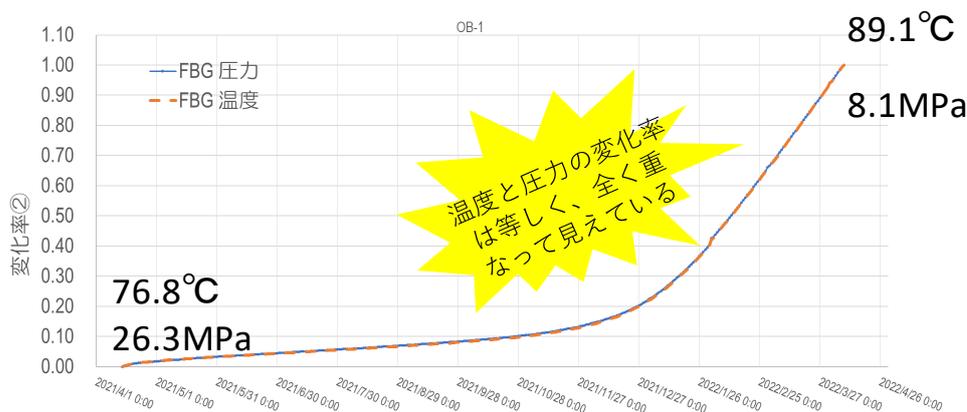
(3) トラブル事例・懸念事項

① OB-1 のFBG センサー異常について

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（図 4.1-36(1)）。ここで、それらの変化の程度が似ていることから詳細に調べた。その結果、変化率を変化幅（開始値と終了値）で規格化したところ（図 4.1-36(2)）、温度と圧力は全く同じトレンドを持つことが判明した。同センサーでは、温度も圧力もともに回折格子で反射される反射波の波長を測定し、温度および圧力に変換していることから、それぞれ同様の原因による異常の可能性が高いので、原因究明の基礎資料とする。



(1) 変化率① (= (測定値 - 開始値) / 開始値)



(2) 変化率② (= (測定値 - 開始値) / (終了値 - 開始値))

図 4.1-36 OB-1 のFBG センサーのデータ異常解析

## ② OB-1 微小振動・自然地震観測ツールのデータ異常について

OB-1 に設置してある No.1 微小振動・自然地震観測ツールのデータが計測中に異常値（一定データ）を示し、No.2～4 微小振動・自然地震観測ツールの Y 成分データにスパイクノイズが混入する現象が度々発生している（図 4.1-37 および図 4.1-38）。状況改善のため、遠隔操作にて微小振動・自然地震観測ツールの電源を一度遮断して再投入すると、微小振動・自然地震観測ツールと通信不能状態になる。その後、断続的に遠隔操作で再起動や電源切断を繰り返すことで、微小振動・自然地震観測ツールと通信可能になり計測を再開させることができる。

この異常は 2021 年 7 月を始めに、その後も継続して発生しており、いずれも同様の症状、復帰手順で計測を再開している。表 4.1-19 にその状況についてまとめた。原因に関しては OB-1 の No.1 微小振動・自然地震観測ツールの不具合の可能性が高く、地上装置を用いた内部テストで No.1 微小振動・自然地震観測ツールにエラーが発生すること、継続して No.1 Y 成分に常にスパイクノイズがのるといった症状が発生している。

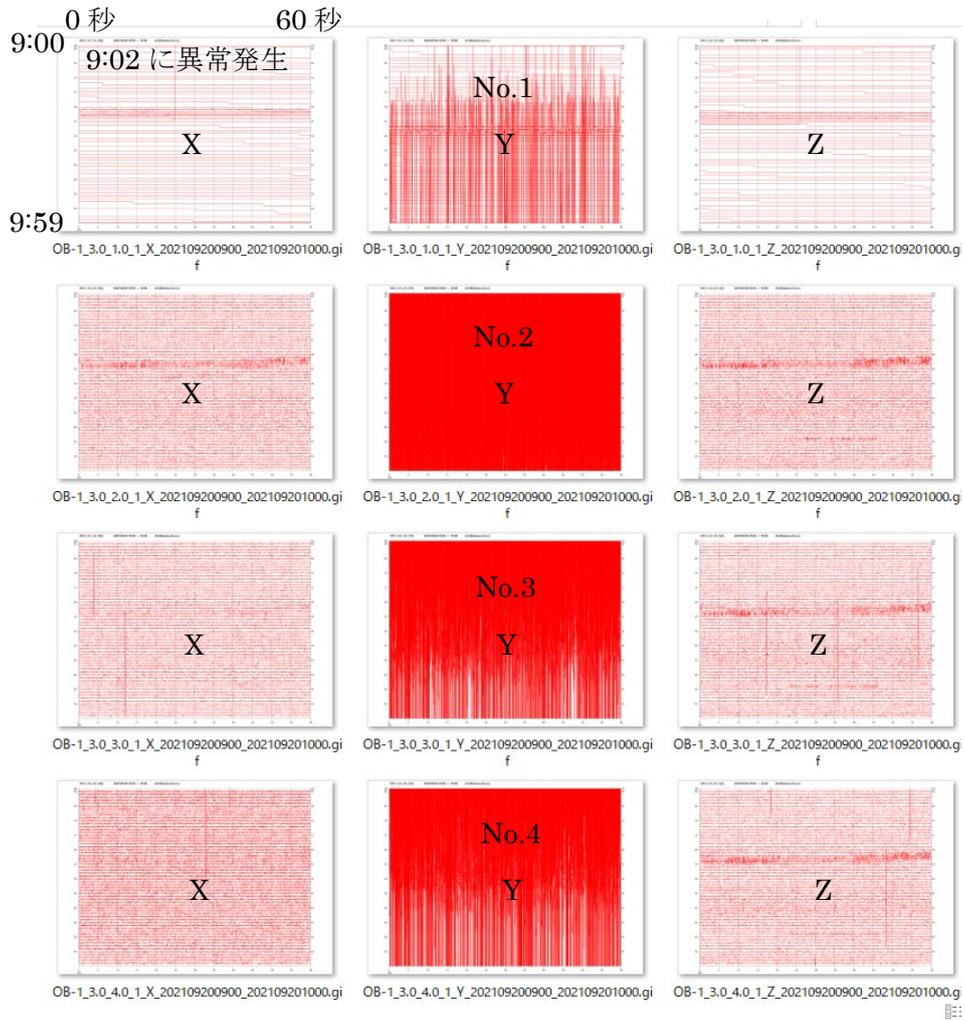


図 4.1-37 データ異常発生時の例（OB-1 2021 年 9 月 20 日 9 時台のデータ）  
（1 つの画像が 1 成分 1 時間分の振動データ）

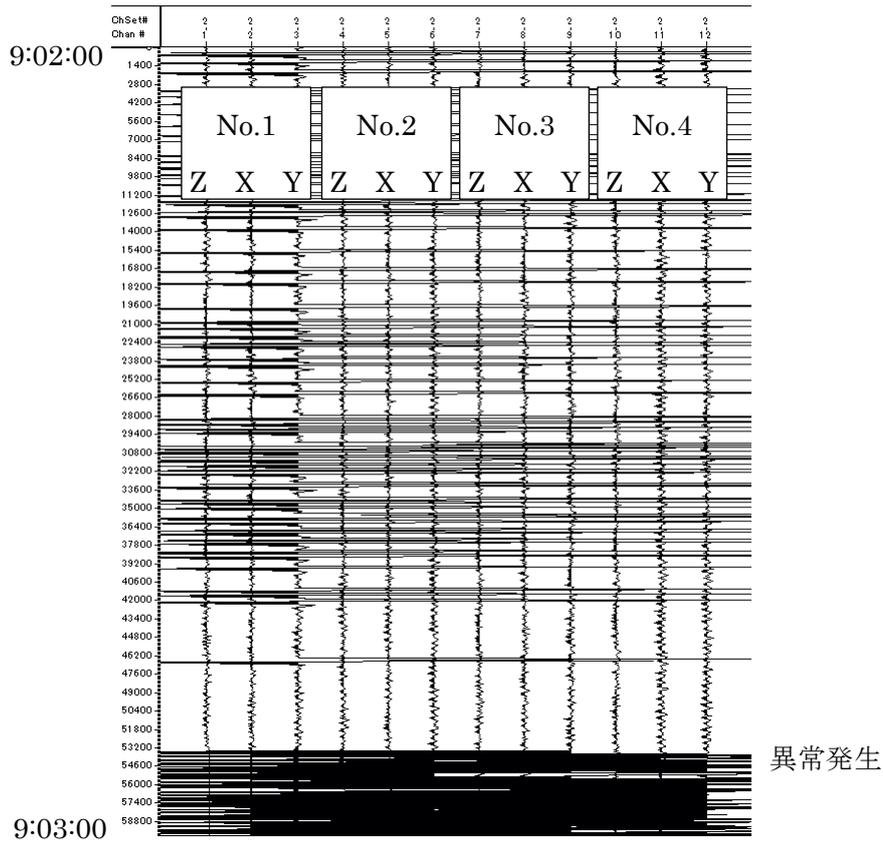


図 4.1-38 データ異常発生時の例（2021年9月20日 9:02の振動データ）

表 4.1-20 OB-1 微小振動・自然地震観測ツール不具合発生日時一覧

	データ異常・欠測発生期間	測定ファイル	内容	再発の日数
1	2021/7/16 18:04 ~ 2021/7/20 10:53	あり	No.1 データー定値、No.2-4 X, Y 成分スパイクノイズ発生	
	2021/7/20 10:53 ~ 2021/7/20 18:12	なし	復帰後 No.1 Y 成分にスパイクノイズ発生（以降継続）	
2	2021/9/20 9:02 ~ 2021/9/21 9:55	あり	No.1 データー定値、No.2-4 Y 成分スパイクノイズ発生	62
	2021/9/21 9:55 ~ 2021/9/23 12:24	なし		
3	2021/10/24 22:32 ~ 2021/10/25 18:09	あり	No.1 データー定値、No.2-4 Y 成分スパイクノイズ発生	31
	2021/10/25 18:09 ~ 2021/10/26 19:20	なし		
4	2021/11/18 2:30 ~ 2021/11/19 6:32	あり	No.1 データー定値、No.2-4 Y 成分スパイクノイズ発生	22
	2021/11/19 6:32 ~ 2021/11/20 14:44	なし		
5	2021/12/10 8:33 ~ 2021/12/10 9:41	あり	No.1 データー定値、No.2-4 Y 成分スパイクノイズ発生	20

	2021/12/10 9:41	～	2021/12/11 9:58	なし		
6	2021/12/26 23:36	～	2021/12/27 0:38	あり	No.1 データー定値、No.2-4 Y成分スパイクノイズ発生	16
	2021/12/27 0:38	～	2021/12/27 9:53	あり	No.1 データー定値、No.2-4 復帰	
	2021/12/27 9:53	～	2021/12/28 15:39	なし		
7	2022/1/14 2:25	～	2022/1/14 2:32	あり	No.1 データー定値、No.2-4 Y成分スパイクノイズ発生	16
	2022/1/14 2:32	～	2022/1/14 9:12	あり	No.1 データー定値、No.2-4 復帰	
	2022/1/14 9:12	～	2022/1/15 17:11	なし		
8	2022/1/31 7:00	～	2022/1/31 10:26	あり	No.1 データー定値、No.2-4 Y成分スパイクノイズ発生	16
	2022/1/31 10:26	～	2022/2/1 23:07	なし		
9	2022/2/16 7:31	～	2022/2/16 9:29	あり	No.1 データー定値、No.2-4 Y成分スパイクノイズ発生	14
	2022/2/16 9:29	～	2022/2/18 4:33	なし		

### ③ OB-3 坑内観測機器（PPS26、微小振動・自然地震観測ツール）の不具合

OB-3の坑内に設置されているPPS26（温度・圧力センサー）および微小振動・自然地震観測ツールが2021年10月末に地上装置と通信不能になる不具合が発生した。地上システム部（地上配線や地上機）の調査では不具合箇所が特定できなかったため、原因は、地上側ではなく坑内側にあると判断し、坑内観測機器を回収して臨時のメンテナンスを実施した。なお、この不具合により発生した欠測期間は以下のとおりであった。

PPS26 温度・圧力 : 2021年10月21日 19:22～11月18日 14:43

微小振動・自然地震 : 2021年10月23日 3:58～11月18日 15:09

回収された坑内観測機器を調査したところ、ケーブルヘッド内に少量の坑内流体と考えられる液体が侵入しており、電子基板の腐食が認められた。したがって、不具合の原因は、ケーブルヘッド内へ坑内水が侵入し、内部の電子基板が腐食したため、坑内観測機器と地上装置の通信が不通になったと結論付けられた。ケーブルヘッドは上部からFBG温度・圧力センサー部、半導体圧力センサー部、電子基板（微小振動・自然地震観測ツールおよびPPS26用）で構成されている。回収したケーブルヘッドを分解し、内部を確認したところ少量の坑内水の侵入が認められた。流体の侵入箇所は、半導体圧力センサーのOリング部分と考えられ、Oリングの損傷と金属部分の腐食が確認された。侵入した坑内水

は、ケーブルヘッド内の下部へと伝って電子基板へと付着し、腐食させた。そのため、地上装置から坑内観測機器への通信が不能となった（図 4.1-39）

このケーブルヘッドは、2020年2月から約1年半使用していた。今回、漏洩が確認された箇所のOリングは、ケーブルヘッドの内部にあり、坑内観測機器メンテナンス時の確認事項には含まれていなかったため、今後の坑内観測機器メンテナンスの際は、ケーブルヘッドを分解して当該Oリング部分を確認することとした。なお、使用しているOリングは、フッ素ゴムを原料としており、耐薬品、耐油性、使用温度範囲（-10～230℃）で十分な性能を有している。

再発防止策としては、メンテナンス時にOリングの状態を確認すること、取り付け後に一度外してOリング状態を確認し、問題がなければOリングを交換して再度取り付けることなどが挙げられる。

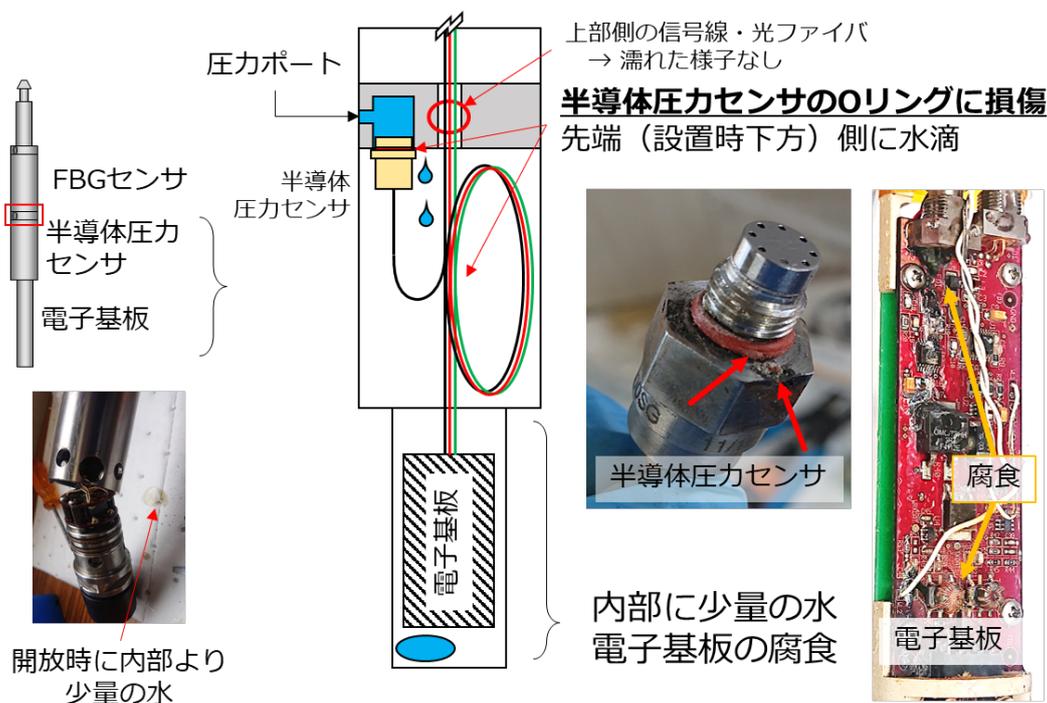


図 4.1-39 OB-3 のケーブルヘッドで確認された不具合状況の例

## 4.2 陸上設置地震計によるモニタリング

苫小牧市の緑ヶ丘公園（苫小牧市清水町3丁目地内）内に掘削した深度約200mの観測孔の孔底に地震計を設置し、運用を停止するまで、近傍に設置した観測建屋にデータ収録装置および周辺機器を格納していた（以下、観測孔、地震計、データ収録装置等および観測建屋全体を「現地観測施設」と称する。）。一方、実証試験センターには、データ収録サーバーと周辺機器を設置していた。地震計による観測データは、現地観測施設のデータ収録装置においてAD変換された後、毎0秒を開始時刻とした1分間単位のWIN形式のデータファイル（以下、「WINファイル」と称する。）が作成<sup>\*1</sup>され、公衆回線を利用したVPN経由で実証試験センターのデータ収録サーバーに伝送されていた。現地観測施設、実証試験センターに設置された機器およびVPN全体を「陸上設置地震計観測システム」と称する。図4.2-1に撤去前の現地観測施設と実証試験センターの位置を示す。図4.2-2に現地観測施設の外観を示す。図4.2-3に陸上設置地震計観測システムの構成図を示す。

なお、2020年度までは、観測井坑内地震計、陸上設置地震計、OBS、常設型OBCにより微小振動・自然地震モニタリングを実施してきたが、観測網の最適化（4.5.4）に伴い、2021年度に陸上設置地震計およびOBSの運用を停止することとした。

---

\*1) WINファイル作成の前段階として、毎正分開始の1分間単位の波形データファイル（Mini Seed形式のファイル）が中間ファイルとして作成される。



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

図 4.2-1 現地観測施設と実証試験センターの位置図



注) 左側の箱内に観測孔が位置し、右側の観測建屋にデータ収録機器等を格納していた

図 4.2-2 現地観測施設の外観

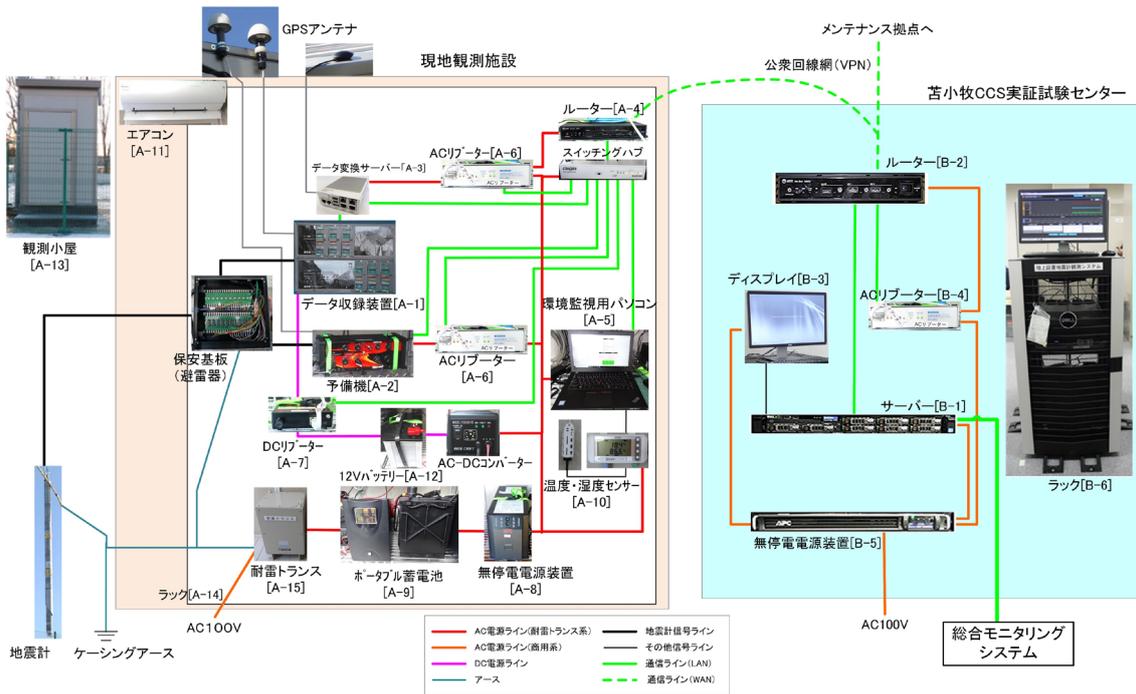


図 4.2-3 陸上設置地震計観測システムの構成図

#### 4.2.1 陸上設置地震計観測システム

陸上設置地震計観測システムを構成する地震計、観測建屋に設置していた機器等および実証試験センターに設置していたデータ収録サーバー等の詳細を以下に示す。

##### (1) 地震計等

図 4.2-4 に観測孔に設置していた地震計の外観写真と模式図を示す。また、表 4.2-1 に孔内地震計、データ伝送ケーブルおよび設置用ワイヤー等の仕様を示す。

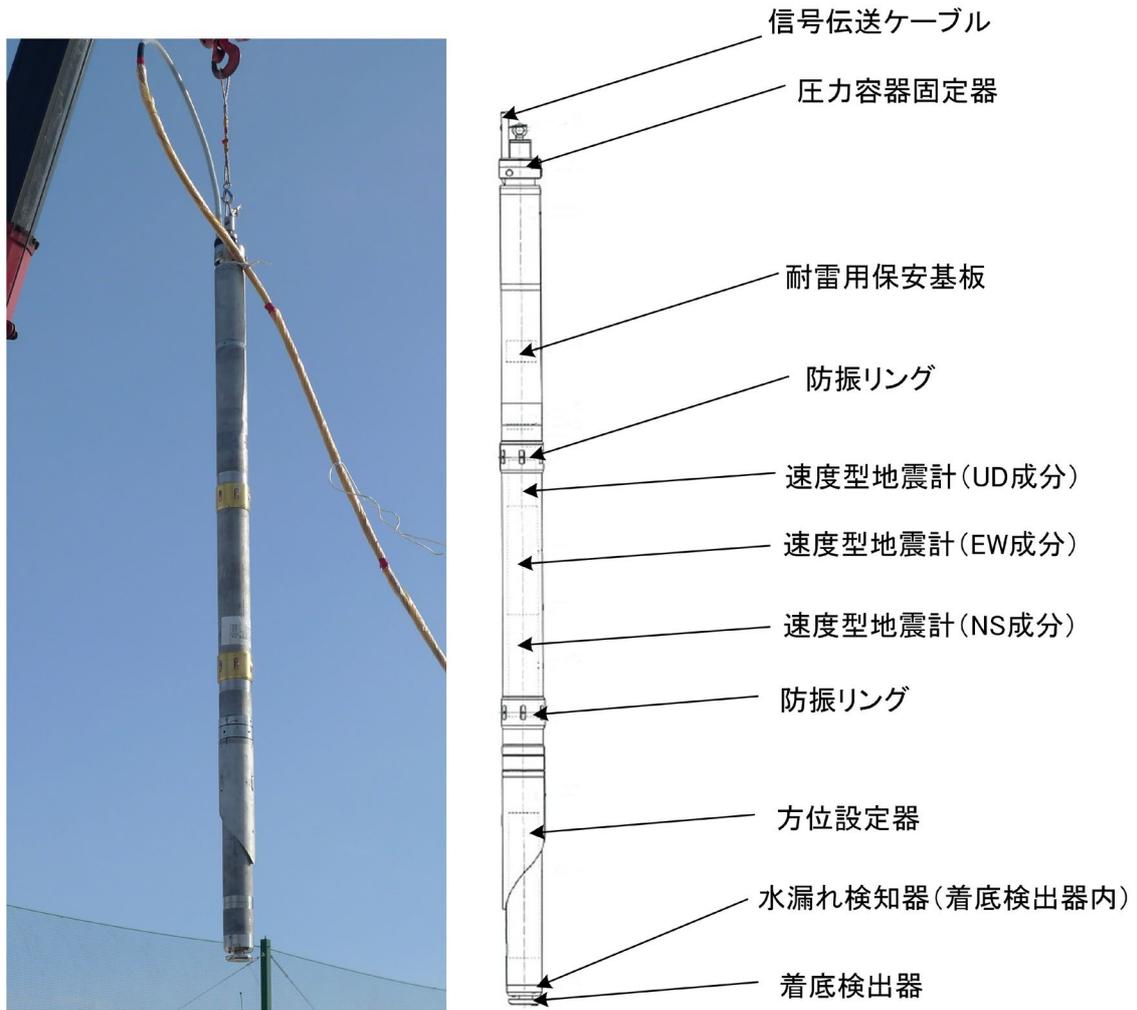


図 4.2-4 孔内地震計の外観（写真・模式図）

表 4.2-1 地震計等の仕様

項目	詳細項目	仕様
孔内地震計	名称	浅層用検出器 Hi-net タイプ
	外形	L=2837 mm×φ114.3 mm
	センサー型式	動コイル型地震計
	チャンネル数	水平2 (NS,EW)、上下1 (UD)
	固有周波数	1 Hz ±10%
	出力感度	1.7 V/kine 設計は0.7
	減衰定数	0.7
	振子ストローク	2 mm pp
	動作保障温度	0~60℃ 設計は-20~70℃
	許容傾斜	±3° (傾斜補正装置内蔵)
	耐圧	2 MPa 以上
	浸水検知	浸水検知センサー内蔵
	設置方法	設置ケースに電動アームで固定
方位決定	設置ケースに取り付けられたキーに合わせて、地震計の向きを任意に設置可。	
データ伝送ケーブル	芯数	38 芯 (うち 8 対はシールド編組)
	遮蔽	信号用, 制御用芯線は, 一括遮蔽する
	延長	220 m
	絶縁体	ポリエチレン
	導体抵抗	70 Ω/km 以下 (20℃)
	外形	21.0 mm
	比重	1.3~1.5 程度
設置用ワイヤー	直径	φ6.3 mm
	材質	SUS304
	延長	220 m
	破断強度	約 1 t

(2) 観測建屋に設置していた機器

観測建屋に設置していた機器を図 4.2-5 に、仕様を表 4.2-2 に示す。陸上設置地震計観測システムのうち、観測建屋内に設置していた環境監視用 PC [A-5]、無停電電源装置 [A-8]、ポータブル蓄電池 [A-9]、温度・湿度センサー [A-10] および 12 V バッテリ [A-12] を、運用期間 4 年目を迎えた 2018 年度に後継機器と入れ替えた。2014 年度の陸上設置地震計観測システムの運用開始時には、データ収録装置として Basalt [A-2] を導入したが、自動シャットダウンと自動再起動（以下、「自動再起動」と称する。）を繰り返し、自動再起動が完了するまでの間の波形データファイルが作成されない事態が断続的に発生していたため、2016 年に Basalt の上位機種である Granite [A-1] を導入し、以降、Granite を正のデータ収録装置、Basalt を予備のデータ収録装置として併用していた。



図 4.2-5 観測建屋に設置していたデータ収録関連機器

表 4.2-2(1) 観測建屋に設置されている機器の仕様

機器	仕様
[A-1] データ収録装置（Granite） 応用地震計測機 （Kinometrics）	入力：アナログ信号、差動入力 最大入力範囲：±40 V 入力チャンネル数：24ch AD変換： $\Delta\Sigma$ 型 分解能：24 bit サンプリングレート：200,100,50,20,10,1 Hz 実効分解能：130 dB 以上 動作温度範囲：-20℃～70℃ 時刻補正：GPS 通信機能：UDP/TCP
[A-2] データ収録装置（Basalt） 応用地震計測機 （Kinometrics）	入力：アナログ信号、差動入力 最大入力範囲：±40 V 入力チャンネル数：4ch AD変換： $\Delta\Sigma$ 型 分解能：24 bit サンプリングレート：200,100,50,20,10,1 Hz 実効分解能：130 dB 以上 動作温度範囲：-20℃～70℃ 時刻補正：GPS 通信機能：UDP/TCP
[A-3] データ変換サーバー Open Block AX3 ぶらっとホーム機	CPU：ARMADA XP（MV78260）（Dual-Core 1.33 GHz） Flash ROM：128 MB ストレージ：SSD16 GB OS：Debian GNU/Linux 外部インターフェイス：10/100/1000GASE-T×2,eSATA×1, USB(2.0)×2,RS-232C(RJ-45)×2 寸法(mm)：101(W)×142.1(D)×41(H) 電源：90～264 V, 50/60 Hz 消費電力：アイドル時 9 W(15.0 VA), 高負荷時 12.0 W（19.5 VA）
[A-4] データ通信用ルーター NVR-500 東日本電信電話機 （YAMAHA）	対応回線：FTTH,ADSL,CATV,ISDN,IP-VAN 網, フレッツサービス,IPv6 PPPoE/IPoe,データコネク LANポート：4ポートスイッチングハブ 10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T WANポート：1ポート 10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T ファイアウォール機能：IPv4/IPv6 動的・静的フィルタリング 電源：AC100 V 最大消費電力 20 W
[A-5]（更新後） 環境監視用パソコン ThinkPad X280 Lenovo	CPU：Core i5-8250U（1.60 GHz、6 MB） OS：Windows10 Home 64bit メモリー：8GB DDR4 2400MHz ストレージ 128GB SSD ディスプレイ：14.0 型 HD 液晶

表 4.2-2(2) 観測建屋に設置されている機器の仕様

機器	仕様
[A-6] AC電源用リピータ WATCH BOOT nino PRC-M2C 株明京電機製	通信プロトコル：ARP,TCP,UDP,IP,SMTP,POP3,APOP,BOOTP, DHCP,TELNET,HTTP,NTP,SNMP,PPPoE,WOL インターフェイス：RJ-45×1,10BASE-T/100BASE-TX アウトレット：2個 電源出力：最大 1000 W 消費電力：最大 3.9 W
[A-7] DC電源用リピータ SS-LAN-RLSW-DC5AK システムサコム工業株	通信プロトコル：TCP/IP,UDP/IP,HTTP,DHCP,AutoIP,TFTP,ACMP, ARP,SNM,Pmtelnet インターフェイス：RJ-45,10BASE-T/100BASE-TX(DHCP 対応) 制御電圧：DC8 V～30 V 5 A 入力電圧：DC8 V～30 V
[A-8]（バッテリー部のみ交換） 無停電電源装置 Smart UPS 1500 APC	入力電圧：100 V 50/60 Hz 最大出力：980 W/1200 VA 出力電圧：100 V 50/60 Hz バッテリー：メンテナンスフリー鉛バッテリー 充電時間：3 時間 動作時間：100W-約 170 分,500W-約 23 分,900W-約 7 分 重量：25kg
[A-9]（更新後） ポータブル蓄電池 PB1500 株サンライズコーポレーション	出力電圧：AC100 V 50/60 Hz 充電電圧：AC100 V バッテリー：デープサイクルバッテリー G' cle27CP (G&Yu 製) RC 160 分 CCA 550 A 定格容量：1,500 VA 連続出力：1000 W
[A-10]（更新後） 温度・湿度センサー ZN-THS-11-S（センサー部） ZN-THX-21-S（データロガー部） 株オムロン	電源：DC24V（ACアダプタ AC100-240V） 【センサー部】 測定範囲：温度-25～+60℃ 湿度 0～99% 分解能：温度 0.1℃ 湿度 0.1% 精度：温度±0.3℃ 湿度±2.5% 【収録部（データロガー部）】 インターフェイス：イーサネット 10BASE-T 100BASE-TX 通信プロトコル：TCP
[A-11] エアコン 室内機:F28PTDXP-W 室外機：R28PDXP/ ダイキン工業株	電源：単相 200 V 能力：暖房 4.0 kW(0.6～9.2 kW),冷房 2.8 kW(0.6～4.0 kW) 消費電力：暖房 755 W(90～2,810 W),冷房 520 W(100～860 W) 年間消費電力量：850 kWh 通年エネルギー消費効率：6.6
[A-12]（更新前後で同製品） 12V バッテリー カオス N-145D31L パナソニック株	普通充電電流：9.0 A 5 時間率容量：77 Ah 寸法：225(H)×173(W)×305mm(L) 重量：21.8 kg

表 4.2-2(3) 観測建屋に設置されている機器の仕様

機器	仕様
[A-13] 観測建屋 ヨド蔵 MD DZBU-1515HW 豪雪型 株淀川製鋼所	W1,533×L1,533×H2,473 mm 床素材：スチール床 重量：278 kg, 耐重量：600 kg 窓および樋なし、結露低減材付屋根
[A-14] ラック MR-1046T アイリスオーヤマ(株)	W1,000×D460×H1,500 mm,4 段
[A-15] 耐雷トランス 1STC 1-10211S 株サンコーシャ製	入出力：AC100 V 単相 3 線，容量：1 kVA 耐電圧：入出力間・入力接地間：AC10 kV 出力接地間：AC3 kV 絶縁種別：B 種，サージ移行率：1/1,000 以下

### (3) 実証試験センターに設置していた機器

実証試験センターに設置していた機器の仕様を表 4.2-3 に示す。実証試験センターに設置していた機器のうち、データ収録サーバー [B-1]、データ確認用ディスプレイ [B-3] およびデータ収録サーバー用 UPS（無停電電源装置） [B-5] を、運用期間 4 年目を迎えた 2018 年度に後継機と入れ替えた。入れ替えの際、データ収録サーバーの OS は

「Microsoft Windows Server 2008 R2 64bit SP1 Standard Edition（日本語版）」から

「Microsoft Windows Server 2016 64bit SP1」に変更したが、データ処理・監視ソフトを常時稼働させるため Windows server 上の仮想化サーバーとして導入していた Linux

「Red Hat Enterprise Linux Server Standard」\*2)は変更しなかった。

運用停止の時点で、データ収録サーバーにインストールされていた観測データの処理、各機器の動作状況の監視のためのソフトウェアを表 4.2-4 に示す。電源管理ソフトウェアが Windows OS 上で稼働する他は、いずれも Linux 上で稼働する。ラックに組み込まれた状態で実証試験センターに設置していたデータ収録サーバー等を図 4.2-6 に示す。データ処理・監視ソフトウェアによるモニタリング画面を図 4.2-7 に示す。

\*2) OS としては、Windows Server より安定性と信頼性が高い。

表 4.2-3 実証試験センターに設置していた機器の仕様

機器	仕様
[B-1]（更新後） データ収録サーバー PowerEdge R330 （株）DELL	CPU：Intel Xeon プロセッサE53-1220（動作周波数 3.1 GHz） メモリー：32 GB ディスク：3 TB OS：Windows Server2016 Standard 64bit Red Hat Enterprise Linux Server Standard
[B-2] データ通信用ルーター NVR-500 NTT 東日本（株）（YAMAHA）	対応回線：FTTH,ADSL,CATV,ISDN,IP-VAN 網, フレッツサービス、IPv6 PPPoE/IPoe、データコネク LAN ポート：4 ポートスイッチングハブ 10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T WAN ポート：1 ポート 10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T ファイアウォール機能：IPv4/IPv6 動的・静的フィルタリング 電源：AC100 V、最大消費電力 20 W
[B-3]（更新後） データ確認用ディスプレイ P2417H/（株）DELL 製	24 型液晶ワイドモニター 解像度 1,920×1,080 接続：DP×1、HDMI×1、VGA×1
[B-4] AC 電源用リブータ WATCH BOOT nino PRC-M2C （株）明電機製	通信プロトコル：ARP,TCP,UDP,IP,SMTP,POP3,APOP,BOOTP DHCP,TELNET,HTTP,NTP,SNMP,PPPoE,WOL インターフェイス：RJ-45×1,10BASE-T/100BASE-TX アウトレット：2 個 電源出力：最大 1,000 W 消費電力：最大 3.9 W
[B-5]（更新後） データ収録サーバー用 UPS APC Smart-UPS1200VA LCD RM 1U 100V シュナイダーエレクトリック（株）	入力電圧：100 V(50/60 Hz) 出力電力容量：1.0 kW/1.2 kVA 定格出力電圧：100 V 運転方式：ラインインタラクティブ 波形タイプ：正弦波 定格入力電圧：100V バッテリータイプ：小型シール鉛蓄電池 バッテリー寿命：4.5 年 動作時間：負荷 500W 時 約 12 分 出力コンセント：4 個 ラックマウントタイプ
[B-6] ラック PowerEdge データ収録サーバー ラックエンクロージャ DELL201506/（株）DELL	W1,202×D605×H1,071mm

表 4.2-4 データ収録サーバーにインストールしているソフトウェアの機能・仕様一覧

項目	機能・仕様
電源管理ソフト (Windows OS 上で稼働)	APC Power Chute Business Edition <ul style="list-style-type: none"> <li>・UPS の一元管理、電源状態の監視・制御</li> <li>・電源遮断時に自動でシステムをシャットダウン</li> </ul>
観測データのリアルタイム処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・UDP によるデータ受信機能</li> <li>・NS、EW、UD の各成分のリアルタイム波形表示機能</li> <li>・1分ごとの「1分WINデータ」保存機能</li> </ul>
観測データの自動収録	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現地観測施設に収録されている1分ごとに作成されるファイルのFTPによる接続・回収機能</li> <li>・回収したデータのWIN形式での保存機能</li> <li>・UDPデータとFTPデータの比較・補完による欠損データの補完機能</li> </ul>
総合モニタリングシステムへのデータ伝送	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LAN接続によるデータ収録サーバーから総合モニタリングサーバーへのデータ伝送機能</li> </ul>
観測機器の監視	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現地観測施設の機器の接続状況、データ収録状況、保存データファイルの監視。プログラムの動作状況の監視機能</li> <li>・動作状況の一覧表示機能</li> <li>・死活状況のログファイル出力機能</li> </ul>
現地観測施設的环境監視	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現地観測施設的环境監視用PCに保存されている温度・湿度データの取得および表示機能</li> </ul>
トラブル対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メンテナンス回線を通じたデータ収録サーバーのリポート機能</li> <li>・メンテナンス回線を通じた現地観測施設のルーター、データ収録装置、環境監視用PCのリポート機能</li> </ul>



図 4.2-6 実証試験センターに設置されたデータ収録サーバー等



図 4.2-7 データ処理・監視ソフトウェアによるモニタリング画面

#### 4.2.2 陸上設置地震計観測システムの監視および保守管理

2021年度は、運用を停止するまでの4月～6月中、週1回（計12回）のVPN利用による遠隔地からの陸上設置地震計観測システムの監視（以下、「遠隔監視」と称する。）と月1回（計3回）の現地における保守点検（以下、「現地保守点検」と称する。）を実施した。

遠隔監視では、VPNを利用して現地観測施設と実証試験センターに設置した機器にログインし、図4.2-8に示す「専用回線を利用したチェックリスト」を用いて各機器の稼働状況、通信状況およびファイル・記録等の取得状況を点検した。

現地保守点検では、図4.2-9に示す「現地保守点検チェックリスト」を用いて現地観測施設のフェンス、エフレックス管内、観測孔の口元ハンドホール、観測建屋の外観の目視確認、観測建屋内の計測機器類の目視確認、観測建屋内の空調管理および周辺の整備（掃除、除雪等）と実証試験センター内のデータ収録サーバー等の機器の点検・保守を実施した。表4.2-5に遠隔監視および現地保守点検の実施実績を示す。

保守・点検時に実施したデータ収録装置の再起動等によりリアルタイムでの観測データファイルの作成に一部欠落（表4.2-6参照）が生じたが、バックアップ用のデータ収録装置Basaltで収録した観測データファイルにより全て補完しており、実質的な欠測は生じなかった。

専用回線を利用した点検チェックリスト（ 年 月 日 ）						
点検項目	年月日	対象	点検内容		良否	否の場合の対応
現地 観測施設		ルーター	通信	専用回線を通じてアクセス・ログインが可能か		
			稼働状況	正常に稼働しているか		
	データ 収録装置	通信	通信	専用回線を通じてアクセス・ログインが可能か		
				通信状態に異常はないか		
			稼働状況	正常に稼働しているか		
		本体	GPS	GPSの状態は正常か		
				ストレージ占有率に異常はないか		
				バッテリー状態に異常はないか		
	データ変換 サーバー	通信	通信	専用回線を通じてアクセス・ログインが可能か		
				通信状態に異常はないか		
		本体	稼働状況	正常に稼働しているか		
			GPS	GPSの状態は正常か		
	リブーター	AC リブーター	通信	専用回線を通じてアクセス・ログインが可能か		
				正常に稼働しているか		
		DC リブーター	通信	専用回線を通じてアクセス・ログインが可能か		
				正常に稼働しているか		
	環境監視PC	通信	通信	専用回線を通じてアクセス・ログインが可能か		
				正常に稼働しているか		
		本体	稼働状況	温・湿度記録ログを採取したか		
				温・湿度記録状況に異常はないか		
苫小牧CCS 実証試験 センター  (データ収録 システム)	ルーター	通信	専用回線を通じてルーターへのアクセス・ログインが可能か			
		稼働状況	正常に稼働しているか			
	システム	通信	通信	専用回線を通じて基地内システムへのアクセス・ログインが可能か		
				システムは正常に稼働しているか		
				データ収録装置死活監視状況に異常はないか		
				ACリブーター死活監視状況に異常はないか		
		本体	DCリブーター死活監視状況に異常はないか			
			稼働状況	ストレージ占有率に異常はないか		
	システム	通信	電源・バッテリー状態に異常はないか			
				動作ログを採取したか		
本体		各観測機器の死活監視ログを採取したか				
			収録データを採取・整理し、欠測データを確認したか			

※良否： 良 = ✓  
否 = ×

図 4.2-8 専用回線を利用した点検チェックリスト

現地保守点検チェックリスト（ 年 月）								
点検箇所	点検項目	月 日	対象	点検内容	良否	否の場合の対応		
現地 観測施設	外観		フェンス	フェンス本体	外観に異常がないか 破損、がたつきはないか			
				フェンス扉	外観に異常がないか 破損、がたつきはないか 正常に動作するか			
			看板	施設説明看板	看板の設置状態は正常か 破損、がたつきはないか			
				ハンド ホール	ハンドホール本体	外観に異常はないか		
			ハンドホール蓋		蓋は取り外せるか			
			ハンドホール内部		ケーブルの固定状況に異常はないか ワイヤーの固定状況に異常はないか その他異常はないか			
			観測小屋	小屋本体	外観に異常がないか			
				電線・通信線引込部	外観に異常がないか			
				扉		外観に異常がないか 破損、がたつきはないか 正常に動作するか		
					小屋内部	雨漏り等の痕跡はないか		
				冷暖房設備	正常に動作しているか 破損、がたつきはないか			
				センサーライト	外観に異常はないか 正常に動作するか			
			目視 確認	計測機器	データ収録装置	設置状態は正常か		
						各インジケータは正常に点灯しているか		
						稼働状況は正常か 再起動の有無を確認したか がたつきはないか コネクタ・電源ケーブルの接続は正常か		
		ルーター			設置状態は正常か がたつきはないか コネクタ等の接続は正常か			
					ACリポーター	設置状態は正常か がたつきはないか コネクタ等の接続は正常か		
		DCリポーター			設置状態は正常か がたつきはないか コネクタ等の接続は正常か			
		環境監視PC			設置状態は正常か がたつきはないか コネクタ・電源ケーブルの接続は正常か 再起動は実施したか			
					GPSアンテナ	設置状態は正常か がたつきはないか コネクタ等の接続は正常か		
		電源			温湿度計	温度・湿度の表示は正常か		
					温湿度センサー	温度・湿度の表示は正常か		
				バッテリー	電圧は正常か（ V） 比重は正常範囲内か			
		周辺の 整備		フェンス内	無停電電源装置	蓄電状況は正常か		
					ボータブル蓄電池	蓄電状況は正常か		
				フェンス外占有部	100V、200V商用電源	電源供給状況は正常か		
		戸締り 施錠		観測小屋	避雷器	動作表示LEDは点灯しているか		
			フェンス	フェンス内	ゴミ等は散乱していないか 雑草は繁茂していないか			
	実証 試験 苫小 牧 CCS セン ター	目視 確認	ルーター	フェンス外占有部	ゴミ等は散乱していないか 雑草は繁茂していないか			
				ACリポーター	戸締り、施錠をしたか	設置状態は正常か コネクタ等の接続は正常か ルーターへのログインは可能か		
フェンス					設置状態は正常か コネクタ等の接続は正常か ACリポーターへのログインは可能か			
サーバー			画面は正常に表示されているか 過去データは正常に読み込み・表示されるか データは正常に収録・保存されているか 総合モニタリングサーバーにデータが正常に伝送されているか					
			データ収録装置へのログインは可能か					
			現地観測施設ACリポーターへのログインは可能か 現地観測施設DCリポーターへのログインは可能か					

※良否： 良 = ✓  
否 = ×

図 4.2-9 現地保守点検チェックリスト

表 4.2-5 遠隔監視および現地保守点検実施実績（2021年4～6月）

実施月	実施内容
4月	【遠隔監視】5、12、19、26日 【現地保守点検】22日（現地観測施設）、23日（実証試験センター）
5月	【遠隔監視】6、10、17、24、31日 【現地保守点検】20日（現地観測施設）、21日（実証試験センター）
6月	【遠隔監視】1、8、15、22、29日 【現地保守点検】24日（現地観測施設）、25日（実証試験センター）

表 4.2-6 2021年度に発生した地震計観測データファイルの欠落

ファイル欠落期間	欠落理由
2021年04月13日08:27~08:32(6)	データ収録装置の自動再起動
2021年04月23日08:22~08:23(1)	データ収録装置の変換漏れ
2021年06月10日08:46~08:52(7)	データ収録装置の自動再起動

注) 欠落したファイルは、全て Basalt に収録したファイルで補完しており実質的な欠測は無い。

#### 4.2.3 陸上設置地震計観測システムの撤去

地震観測システムの最適化に伴い、陸上設置地震計観測システムは2021年7月8日で運用を停止し、撤去した。撤去の手順等の詳細を以下に示す

##### (1) 撤去作業の手順

撤去作業の手順を図 4.2-10 に示す。

##### (2) 撤去作業の内容

###### ① 許認可申請手続き

苫小牧市が管理する緑地公園内で作業を行う際は、所定の許認可申請手続きが必要となる。また、作業時に使用する水を苫小牧市から提供を受ける際は、水利使用許可申請が必要である。その他、電気供給および通信の解約手続きが必要である。撤去作業に必要とされた許認可申請および手続きを表 4.2-7 に示す。



図 4.2-10 撤去作業の手順

表 4.2-7 撤去作業に必要とされた許認可申請および手続き

作業内容	許認可申請書名	提出先	申請者
緑ヶ丘公園内 撤去作業全般	公園内行為許可申請書	苫小牧市	応用地質(株)
	公園使用料免除申請書	都市建設部	
	公園占用許可申請書	緑地公園課	
観測孔閉塞	水利使用許可申請書	苫小牧市 都市建設部 道路維持課	応用地質(株)
電気工事	電気のお引越し FAX 申請書（ご契約廃止専用）	北海道電力(株) 苫小牧営業所	日本 CCS 調査(株) (申請代行：(株)電友社)

## ② 仮設作業

現地観測施設の撤去作業位置を図 4.2-11 に示す。作業敷地面積は約 400 m<sup>2</sup>であり、一般市民との接触や立ち入りを防止するために歩道側およびラグビー場側に仮設フェンス（図 4.2-12）を設置し、作業エリア入口付近には工事用看板（図 4.2-12）を設置した。搬入路にはプラスチック敷板（図 4.2-13）を設置して養生を行い、また、作業エリア内に資機材の保管・作業員の休憩所を兼ねた作業ハウスと作業員用トイレ（図 4.2-13）を仮設した。また、廃材コンテナと泥水タンク（図 4.2-14）を設置して公園内の美化・衛生に努めた。使用した仮設資材を表 4.2-8 に示す。

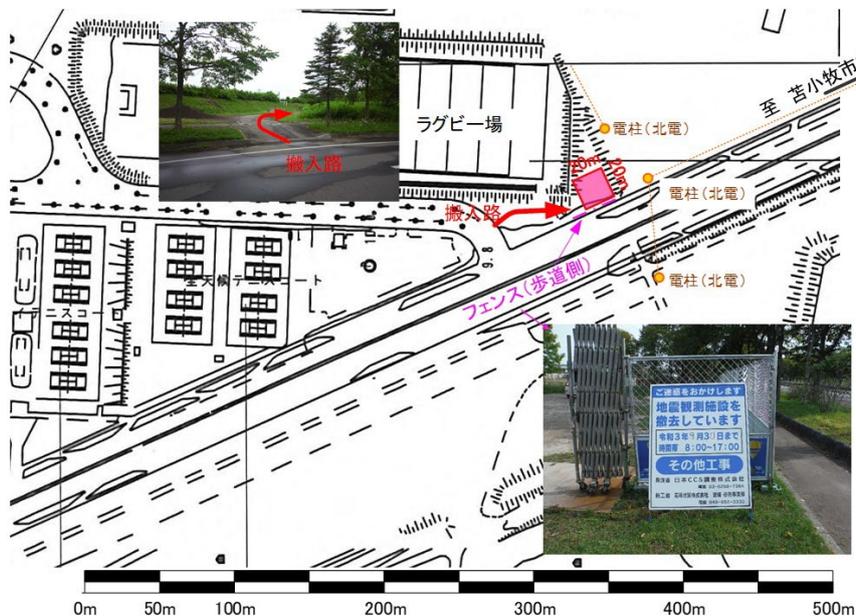


図 4.2-11 現地観測施設の撤去作業位置



図 4.2-12 仮設フェンスおよび工事用看板



図 4.2-13 搬入路のプラスチックおよび作業ハウス



図 4.2-14 廃材コンテナおよび泥水タンク

表 4.2-8 仮設資材一覧

番号	資材名	数量	仕様
①	ガードフェンス	26 枚	サイズ (1800 mm×1800 mm)
②	作業ハウス	1 棟	全長 (4630 mm)、全幅 (2340 mm)、 全高 (2455 mm)、質量 (900 kg)
③	カラーコーン	10 個	カラー (オレンジ白)
④	コーンバー	9 本	サイズ (200 mm)
⑤	プラスチック敷板	26 枚	サイズ (2440 mm×1220 mm)
⑥	仮設トイレ	1 台	全長 (1590 mm)、全幅 (850 mm)、 全高 (2590 mm)、質量 (102 kg)
⑦	廃材コンテナ	1 台	全長 (1800 mm)、全幅 (1800 mm)、 全高 (1200 mm)
⑧	泥水タンク	1 台	サイズ (5 m <sup>3</sup> )

### ③ 観測機器の撤去

観測機器の撤去は、現地観測施設および実証試験センターの 2 箇所で行った。撤去対象となる物品を表 4.2-9 に示す。撤去対象物は、廃棄までは作業ハウス内に一時保管した。PC を含む機器類に保存されているデータ類は、バックアップを記録した後、その記録媒体から削除した。撤去対象物の例を図 4.2-15～図 4.2-16 に、撤去時の現地観測施設および実証試験センターの様子を図 4.2-17 に示す。

表 4.2-9 撤去対象物（上：現地観測施設、下：実証試験センター）

NO	機器
1	孔内地震計
2	データ収録装置(BASALT)
3	データ通信用ルーター(YAMAHA NVR-500)
4	環境監視用パソコン(ThinkPad X280)
5	AC電源用リブーター(明京電機 WATCH BOOT nino)
6	AC-DCコンバーター(AUTO CRAFT ProTec P2020EVⅢ)
7	DC電源用リブーター(SS-LAN-RLSW-DC5AK)
8	無停電電源装置(Smart UPS 1500専用交換バッテリーキット RP7CL (シュナイダーエレクトリック製))
9	12Vバッテリー(panasonic 105D31R)
10	家庭用ポータブル蓄電池(パワーバンクPB1500 (サンライスコホレーション製))
11	観測小屋(ヨド物置 ヨド蔵MD/DZBU-1511HW 豪雪型 幅153×奥行118×高241cm)
12	温度・湿度センサー(AN-THX-21S(オムロン製))
13	エアコン(ダイキン10畳用/S28PTDXP-W(-C))

NO	機器
1	Dell PowerEdge Rack 2420
2	サーバー(Dell PowerEdge R330)
3	HUB(Dell PowerConnect 2808)
4	ルーター(Yamaha RTX1200)
5	無停電電源装置 (APC Smart-UPS 1200 RM 1U LCD 100V)
6	Dell P2417H ディスプレイ(24インチ)



図 4.2-15 データ収録装置および環境監視用 PC



図 4.2-16 無停電電源装置および 12V バッテリー



図 4.2-17 撤去時の様子（左：現地観測施設、右：実証試験センター）

#### ④ 孔内地震計の回収

観測機器の撤去後、以下に示す手順で孔内地震計の回収作業を行った。

- ・荷重計および信号ケーブルを結線し、孔内地震計に内蔵されている固定用アームが閉じていることを確認した。小型クレーン車、回収用ウインチ、空ドラムを所定の場所に配置した（図 4.2-18）。
- ・孔内地震計のワイヤーケーブルを滑車に通し、小型クレーン車にて観測孔直上に吊るした。滑車を吊るす高さは孔内地震計の長さを考慮して、地表から 5 m 程度とした。
- ・ワイヤーをウインチ、信号ケーブルを空ドラムへ巻き付けた。
- ・ウインチでワイヤーケーブルを少しずつ巻いてテンションを掛け、孔内地震計が動くことを確認した後、ワイヤーケーブルを巻き上げて孔内地震計を回収した。ワイヤーケーブルの巻き上げに合わせて信号ケーブルも引き上げた。ワイヤーケーブルと信号ケーブルが絡まないように配慮して、巻き上げ作業を行った（図 4.2-19）。
- ・観測孔から完全に孔内地震計が出たことを確認し、ワイヤーケーブルを緩めながら地表へ下ろした（図 4.2-20）。
- ・回収した孔内地震計、信号ケーブル、ワイヤーケーブルは、作業場に一時保管した（図 4.2-21）。



図 4.2-18 孔内地震計回収準備



図 4.2-19 孔内地震計回収作業



図 4.2-20 孔内地震計引き下ろし作業



図 4.2-21 一時保管中の孔内地震計およびケーブル類

### ⑤ 電気設備の撤去

孔内地震計の回収後、以下に示す手順で電気設備の撤去作業を行った。

- ・ 現地観測施設への電気の供給を停止した。
- ・ 引込柱および架空線の撤去作業を行った。引込柱および架空線撤去作業時には、建柱車、高所作業者、小型移動式クレーン車を使用した（図 4.2-22）。
- ・ 引込柱撤去後、良質土で埋め戻し、転圧機で整地した（図 4.2-23）。
- ・ 引込柱および架空線の撤去後、観測小屋内の電気設備について撤去作業を行った。



図 4.2-22 引込柱および架空線の撤去作業



図 4.2-23 埋め戻しおよび整地作業

## ⑥ 観測施設の撤去

電気設備の撤去後、以下に示す手順で観測施設の撤去作業を行った。

- ・ 観測施設周りのフェンスおよびフェンス基礎を取り外した。
- ・ 中に資機材がないことを確認した後、観測小屋の解体作業を行った（図 4.2-24）。
- ・ 観測小屋解体後、重機にて観測小屋基礎の周囲を掘り起こし、基礎を撤去した。その際に孔内地震計の信号ケーブルを通すために埋設したエフレックス管も撤去した。
- ・ 観測小屋基礎（コンクリート）は重機で細かく破碎した（図 4.2-25）。
- ・ 撤去した廃材は、産業廃棄物として、回収・処分した。



図 4.2-24 観測小屋およびフェンスの撤去作業



図 4.2-25 埋め戻しおよび整地作業

## ⑦ 観測孔の閉塞

観測施設の撤去後、以下に示す手順で観測孔の閉塞作業を行った。閉塞の仕様は、地上利用に支障がないよう、ケーシング内にセメントミルクを充填した上で、深さ2 m程度で切断して埋設することで、苫小牧市緑地公園課の承認を得ている。

- ・観測孔付近に攪拌機、発電機および注入ポンプを設置し、ドラム缶にセメント、ベントナイトおよび水を入れ、セメントミルクを製作した（図4.2-26）。
- ・移動式クレーンによって孔底付近まで注入管を挿入した。注入管先端の設置深度は孔口に設置しているフランジ面から200.05 mとした。注入管の中空部からセメントミルクを注入し、観測孔内をセメントミルクで充填した。一回目の充填作業は2021年8月26日に行い、翌朝に確認したところ深度18 mまでセメントミルクが降下していたため、追加でセメントミルクを注入した（図4.2-27）。
- ・セメントミルクを注入することによって孔内水が地表に上がってくるため、一時的にハンドホールに溜めてポンプにて泥水タンクへ汲み上げておき、作業終了後にバキューム車にて回収した。
- ・観測孔の閉塞作業完了後、重機にてハンドホールおよびマンホールを掘り起こし、重機で粉碎した。ハンドホールを撤去した後、観測孔周囲を深度2.3 m×横2.0 m×奥行2.3 mの範囲を掘削し、深度2.2 mでケーシングを切断した（図4.2-28）。なお、掘削壁面の崩壊を防ぐために、土留め対策を講じた上で作業を行った。

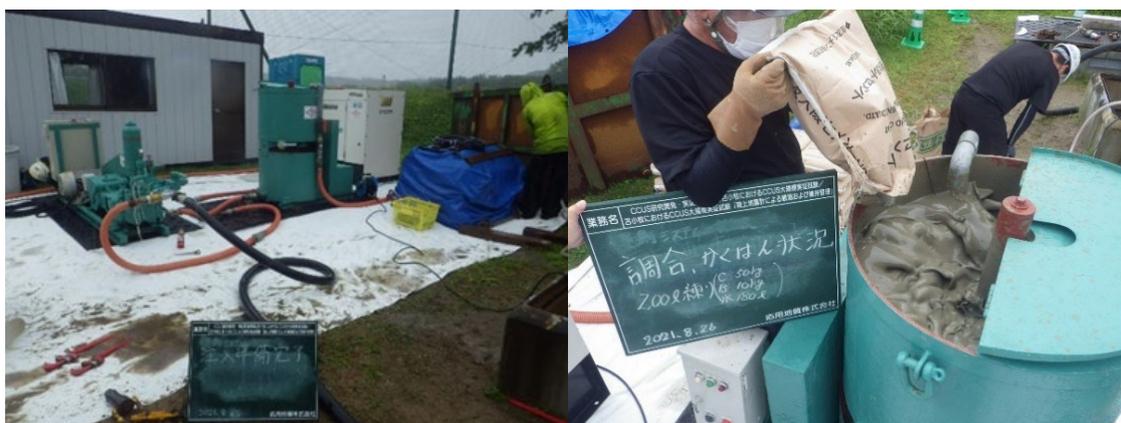


図 4.2-26 観測孔機材の設置およびセメントミルクの製作



図 4.2-27 セメントミルク充填作業



図 4.2-28 ケーシング切断作業

⑧ 観測機器の処分

観測機器類には、廃棄物処理法における産業廃棄物のみならず、例えばエアコンは家電リサイクル法の対象となるので取り外しを依頼した電気業者に処理を委託するなど、種類に応じて適正に処分した。適用した観測機器類の処分方法を表 4.2-10 に示す。うち、一般産業廃棄物については、表 4.2-11 にまとめた。観測ハウスおよび廃材コンテナに一時保管していたものを、処分業者へ依頼し、回収・処分を行った（図 4.2-29 および図 4.2-30）。

表 4.2-10 観測機器の処分方法

廃棄種別	機器	廃棄回収方法	備考
コンピュータ関係	環境監視パソコン	一般社団法人パソコン 3R 推進協会へ回収を依頼	北海道苫小牧市新明町 3-4-13 山九苫小牧物流センター (PC リサイクル担当) (一般社団法人パソコン 3R 推進協会)
	サーバー		
	UPS (サーバー用)		
	ディスプレイ		
一般産業廃棄物	観測機器	産業廃棄物処分業者へ依頼	現地観測施設に仮設した廃棄コンテナに一時保管
	観測施設		
	観測資材		
通信機器	ONU	NTT へ返却	
バッテリー	UPS 内部 バッテリー	専門業者（シュナイダーエレクトロニクス）へ回収を依頼	栃木県宇都宮市平出工業団地 34-25 (株) ダイセキ MCR 内 シュナイダーエレクトロニクス株式会社サービスセンター 使用済みバッテリー受付係
	ポータブル蓄電池	イエローハット苫小牧店へ持ち込み、処分を依頼	北海道苫小牧市明野新町 1 丁目 2-23
	12V バッテリー		

表 4.2-11 産業廃棄物処分一覧表

処分日	処分品	処分業者
2021/9/13	観測施設（観測小屋、フェンス、マンホール）	苫小牧解体建設
2021/9/14	観測施設（ハンドホール、観測小屋基礎、ケーシング）	苫小牧解体建設
2021/9/15	観測機器（孔内地震計、データ収録装置等）	山本浄化興業
2021/9/17	観測資材（ラック、そのほか資材）	苫小牧解体建設



図 4.2-29 観測施設の搬出作業



図 4.2-30 観測機器および観測資材の搬出作業

### ⑨ 整地および現状復旧

全ての撤去作業完了後、更地になった状態で全体を確認し、地表部で窪んでいるところには良質土を入れ、転圧器で均して整地し原状復旧を行った。2021年9月14日に良質土の搬入・転圧を行い、3日後（9月17日）に2回目の良質土搬入・転圧を行った（図4.2-31）。整地作業終了後、仮設資材を搬出した（図4.2-32）。



図 4.2-31 良質土による埋め戻し作業



図 4.2-32 仮設資材搬出作業および作業完了後

#### 4.2.4 陸上設置地震計観測のまとめ

陸上設置地震計による地震観測は、苫小牧市街地で検知される有感地震を主な対象として、2014年4月以降、連続観測を実施し、2015年2月より2021年6月末までベースライン観測を実施した。ベースライン観測開始以降2021年6月30日までに本観測システムで観測された地震の総数は2289個である。年度別観測地震数を図4.2-33に示す。年間250～300個前後の地震が観測されており、概ね年度ごとの発生頻度としては類似した傾向を示している。2018年度は平成30年北海道胆振東部地震が発生した年で、本地震に伴う余震が多く発生したことにより、他の年度よりも観測地震数が多い。

期間を通してシステム全体が停止するような事態は発生せず、正常に地震観測を続けた。観測機器の不具合として、2021年度に新たに発生した現象はなかった。不具合としては、データ収録装置の自動再起動によるデータ欠測、データ収録サーバーによる伝送失敗が挙げられるが、いずれもその後の対応で最終的な欠測データは発生しなかった。

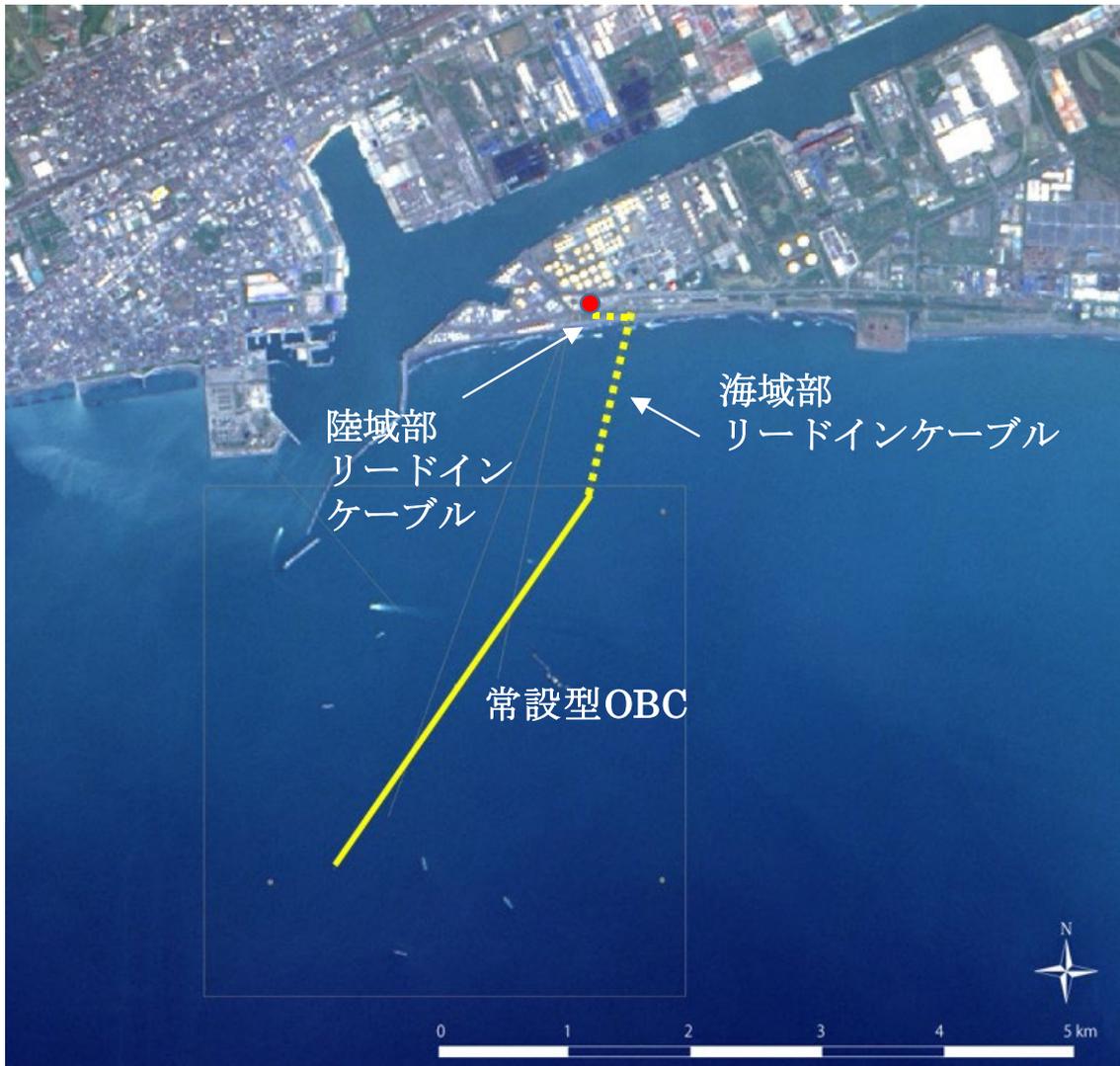
システム運用停止後の撤去作業では、廃棄物を適切に回収・処分し、苫小牧市からの借地を原状復旧した。



図 4.2-33 本観測システムで観測された年度ごとの地震数

#### 4.3 常設型OBCによるモニタリング

2021年度を通して、常設型OBC（Observational Bottom Cable）観測システムによるデータ取得を継続実施した。図4.3-1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 4.3-1 常設型 OBC 設置位置

##### 4.3.1 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 4.3-2 に常設型 OBC 観測システムの構成を示す。

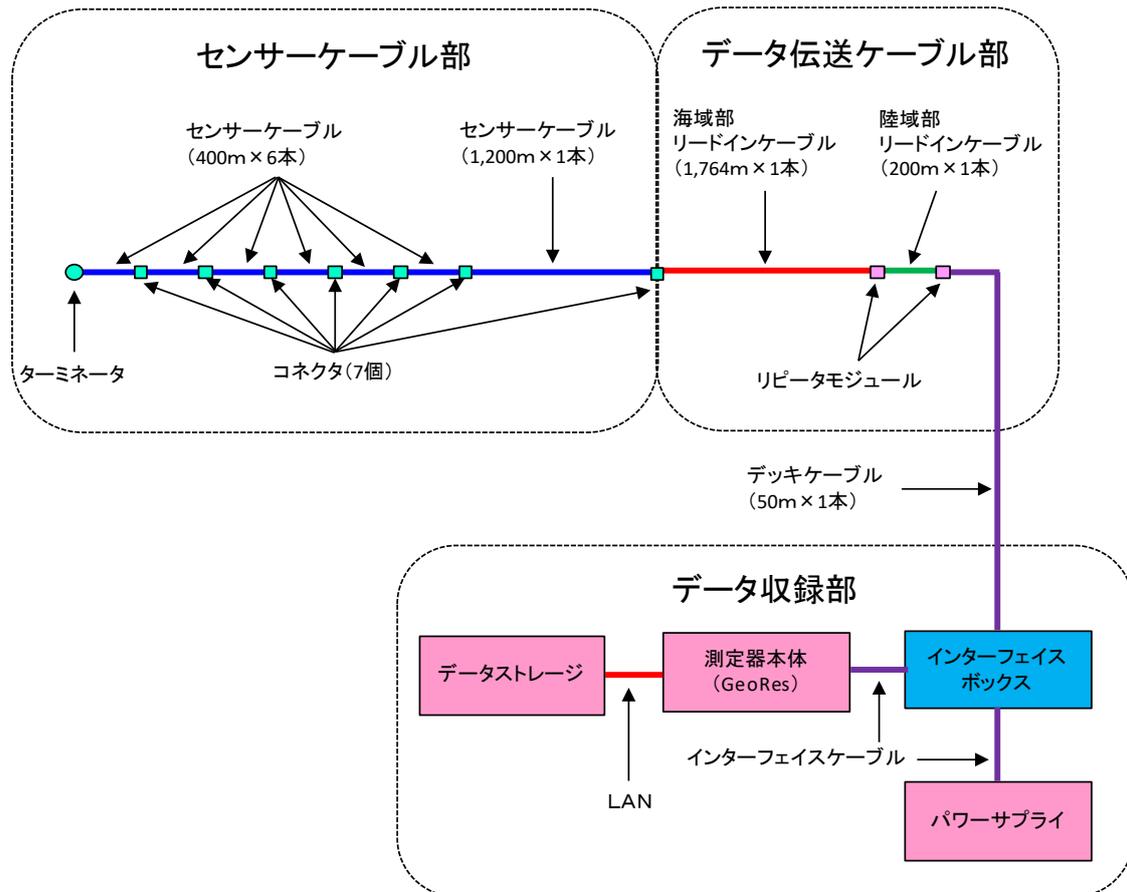


図 4.3-2 常設型 OBC 観測システム構成の概念図

### (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 4.3-3 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。

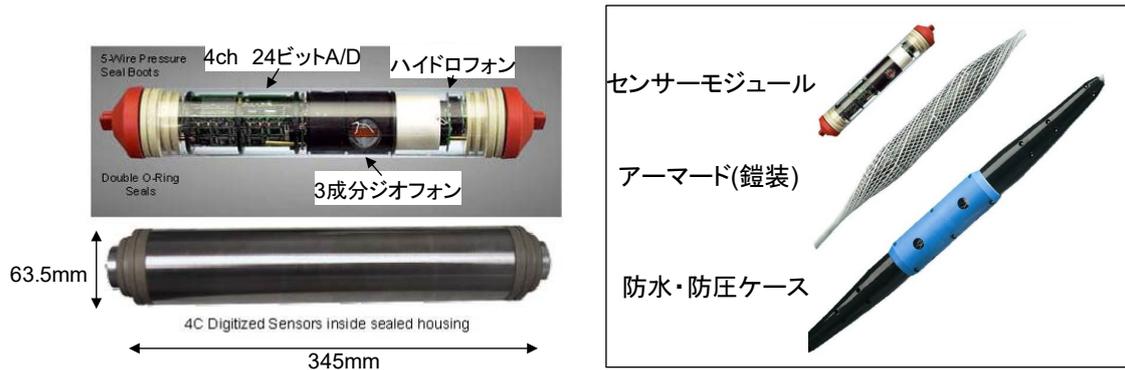


図 4.3-3 モジュールの詳細

## (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 4.3-4 に GeoRes を更新した 2021 年 2 月以降のデータ収録部のシステム構成図を示す。図 4.3-5 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。

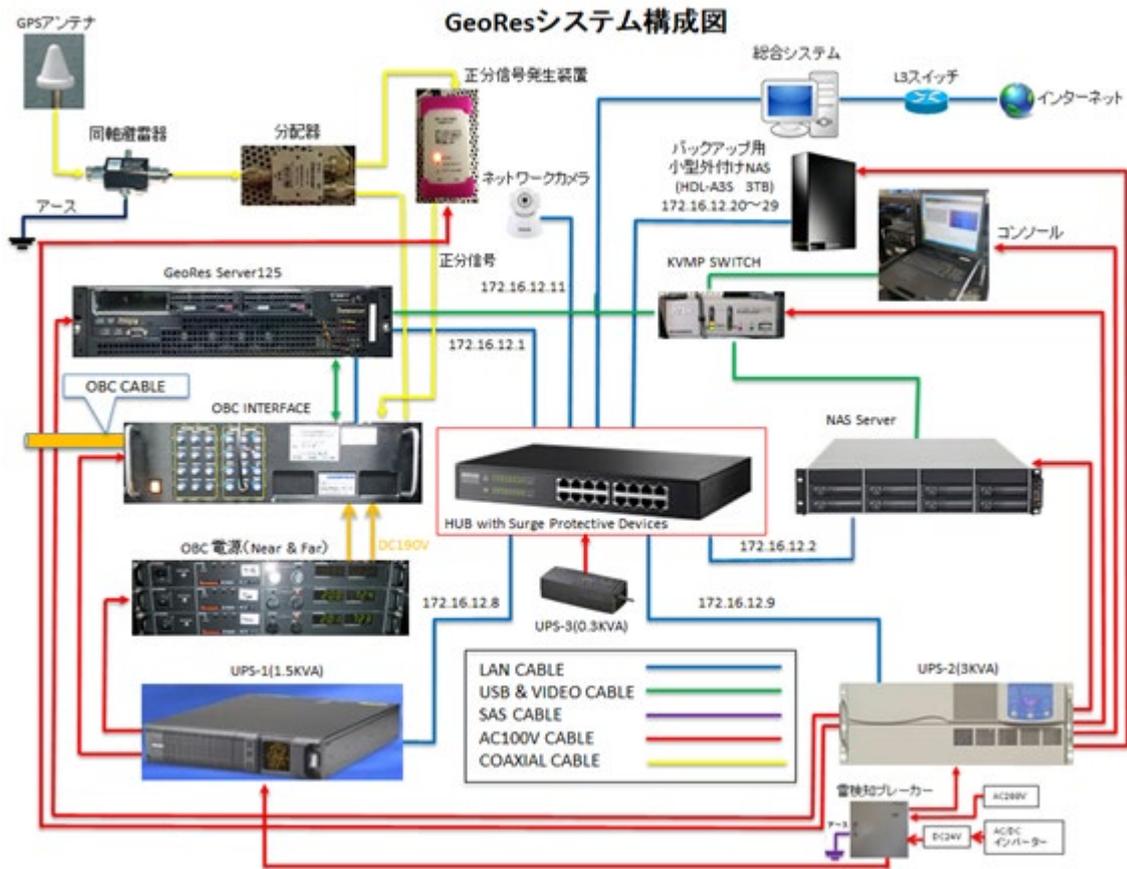


図 4.3-4 データ収録部のシステム構成図（2021年2月16日以降）

\*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。

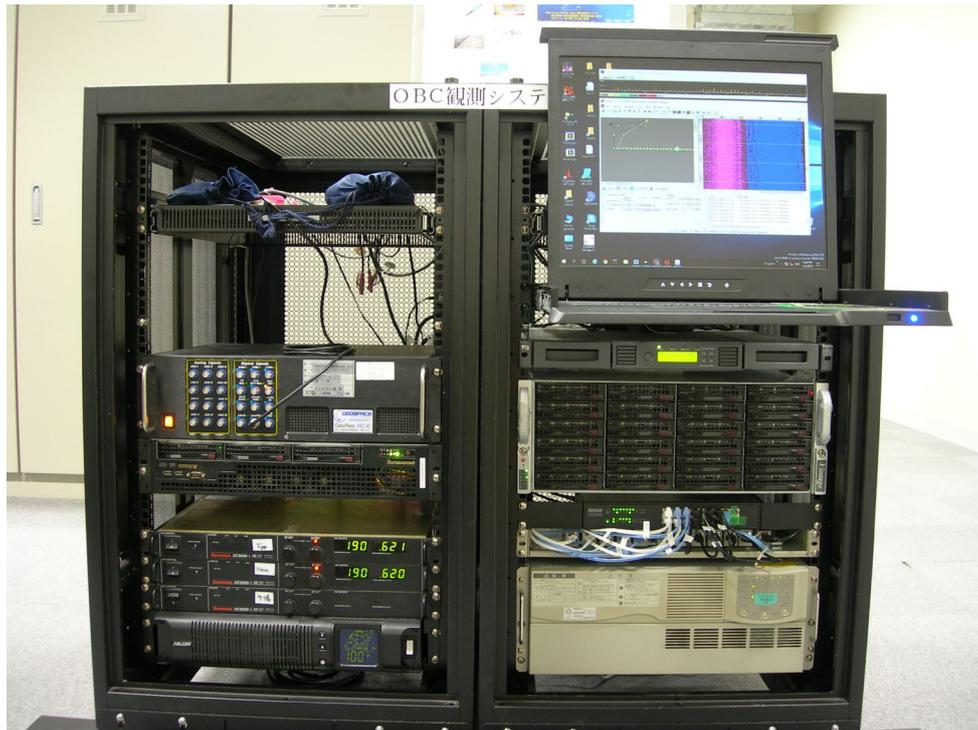


図 4.3-5 データ収録部

#### ① GeoRes

常設型 OBC による観測では、正分信号発生装置が GPS<sup>\*11</sup>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<sup>\*12</sup>。

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 4.3-1 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

\*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。

3) JGI Scripts フォルダ：UWSC スクリプト、バッチファイルを格納

GeoRes の OS（Windows10）では、GeoResGui.exe が管理者権限での動作<sup>\*13</sup>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<sup>\*14</sup>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。

表 4.3-1 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	概要
VBBSS	セキュリティソフト
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
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

\*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。

	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 ( <a href="http://www.uwsc">http://www.uwsc</a> )。
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<sup>\*15)</sup>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<sup>\*16)</sup>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。

しかしながら、2013年4月に導入してから9年余り経過しており、2019年末より、以下のとおり、HDDへの書き込みエラーが頻発していることから、NASサーバー自体が損壊してデータの回収が不可能になる前にNASサーバー自体を同等品に交換することとし、その交換を2021年2月15～18日に実施した。

- 1) 2019年11/6にアラーム；スロット0のHDDに異常→11/13交換
- 2) 2020年9～10月に書き込みエラー；スロット5のHDDにエラー頻発→10/19交換
- 3) 2020年11/28アラーム；スロット9のHDDに異常→12/14交換
- 4) 2020年12/15現地点検；スロット23のHDDにエラー頻発→12/15交換
- 5) 2021年2/15現地点検；スロット20のHDDに異常→2/15交換

この交換以降、NASサーバーの不具合は発生していない。

## 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、2021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。

\*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によって仮想的な1台のハードディスクとして運用し冗長性を向上させる技術であり、RAID6では2種のパリティを異なるディスクに配置すること（ダブルパリティ）により、同一RAIDグループ内の2台のディスク故障までを救済できる。

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

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

#### 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<sup>\*18</sup>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を使用することにより GeoRes のシャットダウンが可能<sup>\*19</sup>であるのに対し、FalconUPS には Windows10 用のネットワークソフト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<sup>\*20</sup>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がある 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

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

\*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。

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（HW-PR-101AJPB-NBF：（有）平川製作所製）を導入している。ブレーカは、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、実証試験センター内は避雷針等の他の雷対策が十分であると判断されることから2016年2月以降は運用を停止している。

#### ⑧ ネットワークカメラ

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

#### 4.3.2 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 4.3-2 に示す。

表 4.3-2 常設型 OBC 観測システムの保守管理作業内容（2021 年 4 年 1 日～2022 年 3 月 31 日）

作業項目	作業内容	実施場所	計画頻度	実績回数
遠隔監視	観測システムの動作状況の確認およびメンテナンス	遠隔地	1 回/週	152 回 (内定期 52 回)
現地保守点検	観測システムの動作状況の確認およびメンテナンス	現地	1 回/2 か月	6 回 臨時 1 回
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	1 回/2 か月	6 回 (内現地 6 回)
	NAS 接続外付け HDD の交換	現地	適宜	6 回
システムテスト	データ収録装置(GeoRes)のシステムテスト機能によるセンサーの健全性の確認	遠隔地	2 回/年	2 回 (6/18,12/3)
ウイルス対策	ウイルス対策ソフトのライセンス更新	遠隔地 or 現地	1 回/年	1 回 (VBBSS の更新を 5 月に実施)
	アップデート	遠隔地 or 現地	適宜	

##### (2) 遠隔監視

OBC 観測システムの動作状況を、公衆回線を利用した遠隔監視により原則週 1 回の頻度で確認した。図 4.3-6 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。

2021 年 4 月～2022 年 3 月末までの間、週 1 回を基本とする通常の遠隔監視を 52 回、通常の遠隔監視以外の遠隔監視（以下、「非定期的遠隔監視」と称する）を 100 回、合計 152 回実施した。表 4.3-3 に定期的な遠隔監視と非定期的遠隔監視の実施日、および回数の実績を示す。非定期的遠隔監視は、2014 年 12 月 16 日の不具合発生以来、頻繁に実施

しているものである。

### 遠隔監視チェックリスト

実施日： (定期) 実施時間： ~ 作業者： \_\_\_\_\_

点検対象	点検項目	点検内容	結果	
通信機能	通信状況	正常ログイン		
データ取得機能 (GeoRes)	稼働状況	正常動作		
	TB時刻	正分発生		
	GPS時計	正常動作		
	各種設定	設定パラメータ値など (S/R：2ms、Rec長：60s)		
	チャンネル数	既定のチャンネル数 (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 4.3-6 遠隔監視時に使用したチェックリスト例

表 4.3-3 遠隔監視による OBC 観測システムの動作状況の確認実績

（2021年4月～2022年3月）

実施年月	合計 回数	通常監視実施日 (原則1回/週)	通常監視以外の遠隔監視実施日
2021年4月	12回	7,14,21,28 (4回)	2,5,9,12,16,23,26,30 (8回)
5月	12回	6,12,19,26 (4回)	7,10,14,17,21,24,28,31 (8回)
6月	14回	2,9,16,23,30 (5回)	1,4,7,11,14,15,18,25,28 (9回)
7月	12回	7,14,21,28 (4回)	5,9,12,16,19,23,26,30 (8回)
8月	12回	4,11,18,25 (4回)	2,6,9,13,16,20,27,30 (8回)
9月	13回	1,8,15,22,29 (5回)	3,5,10,13,17,24,25,27 (8回)
10月	13回	6,13,20,27 (4回)	1,4,8,11,15,18,22,26,29 (9回)
11月	13回	4,10,17,24 (4回)	1,5,8,12,15,19,22,26,29 (9回)
12月	12回	1,8,15,22,28 (5回)	3,7,10,13,17,24,27 (7回)
2022年1月	14回	5,12,19,26 (4回)	4,7,11,14,17,21,24,27,28,31 (10回)
2月	12回	2,9,16,24 (4回)	1,4,7,10,18,21,25,28 (8回)
3月	13回	2,9,16,23,30 (5回)	4,7,11,14,18,22,25,28 (8回)
合計	152回	52回	100回

注) 遠隔監視は、週1回の実施が原則であるが、2014年12月16日の不具合発生以降、それ以外にも適宜実施している。

### (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。これらの実施項目と確認内容を表4.3-4と表4.3-5に示す。

2021年度は、4月19～20日、6月21～22日、8月23～24日、10月25～26日、12月20～21日および2022年2月14～15日の計6回実施した。図4.3-7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。

上記の通常保守点検に加えて、2022年2月4日に実施したGeoResの不調対応作業(Ethernetケーブル交換)を実施した。

表 4.3-4 現地保守点検時の作業内容

作業内容	4/19-20	6/21-22	8/23-24	10/25-26	12/20-21	2/14-15
1)観測状態の確認	○	○	○	○	○	○
2)NAS 外付け HDD の交換	○	○	○	○	○	○
3)セキュリティソフトのアップデート	適時					
4)GeoRes の不具合対応	○					
5)シャットダウン/再起動テスト				○		
6)GeoRes の不調対応	2/4 に臨時保守点検を実施					

表 4.3-5 現地保守点検における確認内容

点検対象		点検内容
データ収録部	GeoRes	観測状況を示すログにより、異常が発生することなく正常にデータ収録が行われていること
	NAS サーバー	データファイルが正常に書き込まれていること
	外付 NAS	HDD にデータファイルが正常に書き込まれていること
	テープドライブ	正常に動作しており、テープ残量が十分であること
供給電力	モジュール電源	各モジュールへの電力供給パワーサプライ;Sorensen DCS600-1.7E が電圧 190V、電流 0.6A 程度であること
UPS	サンケン UPS	入力電圧、出力電圧がほぼ 100V、負荷が約 30%、機器温度が 25℃前後であること
	FalconUPS	入力電圧、出力電圧がほぼ 100V、負荷が約 40%、機器温度が 25℃前後であること
その他		アース線、雷検知器、Web カメラ、正分信号発生装置、GPS 分配器、GPS 用同軸避雷器の状態確認

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		
内蔵HDD	Cドライブ容量（残量）			
	Dドライブ容量（残量）			
	Eドライブ容量（残量）			
データ収録機能	NASサーバー	正常動作		
		データ収録		
		Cドライブ容量（残量）		
		Dドライブ容量（残量）		
	バックアップ用HDD	使用中HDD_No.		
		ドライブ容量（残量）		
	バックアップ用HDD切替	正常切替		
		切替HDD_No.		
	バックアップ用HDD交換	正常交換		
		交換HDD_No. 発送HDD_No.		
モジュール電源	Near（奇数番）	電圧値： 電流値：		
	Far（偶数番）	電圧値： 電流値：		
UPS	Falcon（OBC供給電源他）	入力電圧： 出力電圧： 周波数： 負荷： 温度：		
	サンケン（NAS、GeoRes他）	入力電圧： 出力電圧： 周波数： 負荷： 温度：		
アース線	コネクター接続	正常接続		
	アース線外観	キズの有無		
雷検知器	動作状況			
	カウンター回数			
	DC電源			
	充電器	正常動作		
webカメラ	モニター機能	正常動作		
正分信号発生装置	外観	異常の有無		
	動作	正常動作		
GPS分配器	外観	異常の有無		
GPS用同軸避雷器	外観	異常の有無		
その他				

図 4.3-7 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。

- ◇ GeoRes の正常データ収録
- ◇ モジュール供給電力（電圧、電流）の確認
- ◇ UPS の正常動作の確認
- ◇ NAS サーバーへの正常書き込みの確認
- ◇ 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 ヶ月に 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。

表 4.3-6 にバックアップ HDD の切替え・交換作業実績を示す。

表 4.3-6 HDD の切替え・交換作業実績（2021 年 4 月～2022 年 3 月）

実施日	実施内容	備考
2021 年		
4 月 19 日	・ No.21-6 から No.22-6 へ切り替え ・ No.21-6 を取り外し、NO.26-6 へ交換	現地保守点検時 同上
6 月 21 日	・ No.22-6 から No.23-6 へ切り替え ・ No.22-6 を取り外し、NO.27-6 へ交換	同上 同上
8 月 23 日	・ No.23-6 から No.24-6 へ切り替え ・ No.23-6 を取り外し、NO.20-7 へ交換	同上 同上
10 月 25 日	・ No.24-6 から No.25-6 へ切り替え ・ No.24-6 を取り外し、NO.21-7 へ交換	同上 同上
12 月 20 日	・ No.25-6 から No.26-6 へ切り替え ・ No.25-6 を取り外し、NO.22-7 へ交換	同上 同上
2022 年		
2 月 14 日	・ No.26-6 から No.27-6 へ切り替え ・ No.26-6 を取り外し、NO.23-7 へ交換	同上 同上

### ③ セキュリティソフトのアップデート

適時、セキュリティソフトおよび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、現在のOSはWindows 10、セキュリティソフト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、2021年5月にライセンス更新を実施し、2022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 GeoResの不具合対応

GeoResの不具合対応のため、下記において現地作業を行った。

◇ 4/9に観測波形の振幅を表示するモニターが表示していないことを確認した。

4/19にGeoResを停止/再開することで復帰した。

◇ 4/20の現地保守点検作業時に、ジオフォンのch101、156の波形にノイズが乗っていたので、一旦、観測を停止し、モジュール供給電源のリセット（OFF/ON）を行ったが、変化はなかった。確認したところ、以前からノイズが乗っていたことが判明した（少なくとも2/5のデータで確認）。

### ⑤ シャットダウン／再起動テスト

10/29に実証試験センターに設置してあるモニタリング装置の電源工事に伴う停電に先立ち、10/25の現地保守点検時に自動シャットダウン／再起動の確認を行った。

1) 10/25の14:46に停電を想定し元電源ボックスの200Vブレーカを手動で切断

2) 14:49にシャットダウンプロセス開始、FalconUPS停止、14:51にNASシャットダウン完了、14:55にGeoResシャットダウン完了、15:04サンケンUPS停止

3) 15:05に200Vブレーカを手動で立上げ、15:15データ収録開始。

4) 自動シャットダウン、再起動とも異常なく行えたことを確認した。

なお、10/29の停電時には、自動シャットダウン、再起動を支障なく行った。

### ⑥ GeoResの不調対応

2022年1月4日以降、データ収録装置GeoResにGLMボードの異常およびGPS同期

に関係したエラーによるものと考えられる停止、欠測が頻発した。メーカーからのアドバイスにより GeoRes サーバーと OBC インターフェース間を接続しているイーサネットケーブルを 2022 年 2 月 4 日に新しいものに交換し、そのケーブルの接続には今までと異なる GeoRes サーバー側のポートを使う作業を行った。ケーブル交換、ポート変更状況を 図 4.3-8 に示す。その結果、エラー発生は収まった。



図 4.3-8 イーサネットケーブル交換およびポート変更

（左：ケーブル交換前、右：ケーブル交換およびポート変更後）

#### (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、2021 年 6 月 18 日（第 1 回）と 2021 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。

##### ① 第1回（2021年6月18日）

下記 2 個のハイドロフォンで、インピーダンスが低い値であった。（20 nF±35%の、13.0 nF～27.0 nF の間の値であれば正常）。

- 1) SN9411（48 番目のモジュール）のハイドロフォン：9.3589nF
- 2) SN9598（66 番目のモジュール）のハイドロフォン：8.4804nF

##### ② 第2回（2021年12月3日）

下記 2 個のハイドロフォンで、インピーダンスが低い値であった（20 nF±35%の、13.0 nF～27.0 nF の間の値であれば正常）。

- 1) SN9411（48 番目のモジュール）のハイドロフォン：9.5269nF
- 2) SN9598（66 番目のモジュール）のハイドロフォン：8.4981nF

これらの 2 個のハイドロフォン（SN9411、9598）のインピーダンス低下は、以前にも

見られたものである（表 4.3-7）。ハイドロフォンのインピーダンス値の低下は、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。

表 4.3-7 システムテスト時にインピーダンス低下がみられたハイドロフォン

検査実施日	モジュール SN(陸側からの番号)	備考
2013 年度に異常が見られたもの	9411(48 番目)、9598(66 番目)、7812(41 番目)、10339(71 番目)、10399(51 番目)、10426(72 番目)	2013 年度実施した 5 回の検査のいずれかで見られた
2014 年度に異常が見られたもの	9411(48 番目)、9598(66 番目)、10339(71 番目)	2014 年度実施した 2 回の検査のいずれかで見られた
2015 年度 第 1 回(2015.7.1) 第 2 回(2016.1.27)	9411(48 番目)、9598(66 番目)	
2016 年度 第 1 回(2016.6.29) 第 2 回(2016.12.9)	9411(48 番目)、9598(66 番目)	
2017 年度		
第 1 回(2017.9.19)	9411(48 番目)、9598(66 番目)	
第 2 回(2018.1.12)	9598(66 番目)	9411 は数値上、異常なし
2018 年度		
第 1 回(2018.6.13)	9411(48 番目)、9598(66 番目)	
第 2 回(2018.12.17)	9411(48 番目)	9598 は数値上、異常なし
2019 年度		
第 1 回(2019.6.18)	9411(48 番目)	9598 はやや低い異常なし
第 2 回(2019.12.13)	9598(66 番目)	9411 は数値上、異常なし
2020 年度		
第 1 回(2020.6.15)	9598(66 番目)	9411 は数値上、異常なし
第 2 回(2020.12.10)	9411(48 番目)、9598(66 番目)	
2021 年度		
第 1 回(2021.6.18)	9411(48 番目)、9598(66 番目)	
第 2 回(2021.12.3)	9411(48 番目)、9598(66 番目)	

備考：2013 年度は、敷設前・敷設中の検査として、5 回の検査を実施した

2014 年度は、連続観測中のシステムテストとして、2 回の検査を実施した

#### 4.3.3 OBC観測システムによる観測結果

2021年度は、GeoResのシステムテスト、現地保守点検および不具合対応等により表4.3-8に示す欠測が生じた。常設型OBCによる連続観測において観測された自然地震から表4.3-9に示す7個の地震記録例について示す。また、これらの地震の震央を図4.3-9に、波形記録例を図4.3-10(1)～(7)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4.3-10(1)は、胆振地方中東部で発生したマグニチュード（以下、「Mjma」と称する。）=1.1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、05:27台にMjma=0.7の地震が記録されている。

図4.3-10(2)は、苫小牧沖で発生したMjma=2.1の地震である。平面的には圧入地点から近いが深さ133km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4.3-10(3)は、苫小牧沖で発生したMjma=1.0の地震である。深さ0kmと浅いところで発生した地震である。OBCでは、生波形では波の識別が困難であったが、10-30Hzのバンドパスフィルターをかけることで識別が可能となったものであるが、P波かS波かの判別は困難となっている。Hi-netとの到達時間の比較から、S波の可能性が考えられる。

図4.3-10(4)は、胆振地方中東部で発生したMjma=3.5の地震である。OBC、Hi-net厚真ともにP波は明瞭であるが、OBCではS波の到達時間は不明瞭なものの識別は可能である。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、18:10台にMjma=1.7の地震が記録されている。

図4.3-10(5)は、苫小牧沖で発生したMjma=4.5の地震である。OBC、Hi-net厚真ともに振幅が大きく、P波、S波の識別が容易にできる。

図4.3-10(6)は、青森県東方沖で発生したMjma=5.4の地震である。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。Hi-net厚真ではS波

の識別も容易であるが、OBCではS波は識別が困難である。

図4.3-10(7)は、苫小牧沖で発生したMjma=0.9の地震である。深さ4kmと浅いところで発生した地震である。OBCの生波形では波の識別が困難であり、10-30Hzのバンドパスフィルターをかけることで識別が可能となったものの、P波かS波かの判別は困難である。Hi-netとの到達時間の比較から、S波の可能性があると考えられる。

表 4.3-8 2021年度の欠測の状況（2021年4月～2022年3月）

欠測日時（ファイル数）	原因
2021	
4/19-20 (6)	現地点検作業に伴う観測一時停止
5/29 (3326)	落雷が原因と考えられるGeoResの停止および自動再起動の失敗
6/14 (8)	遠隔監視作業でのログイン時に発生した停止
6/15 (123)	落雷が原因と考えられるGeoResの停止および自動再起動の失敗
6/18 (29)	リモートによるシステムテスト作業に伴う観測一時停止
9/25 (2)	連続記録日数が96日を越えた場合に発生するGeoResの自動観測停止
10/25 (26)	シャットダウン/再起動テスト作業に伴う観測一時停止
10/26 (26)	落雷が原因と考えられるGeoResの停止および自動再起動の失敗
10/29 (114)	実証試験センターの電源工事に伴う観測一時停止
12/3 (32)	リモートによるシステムテスト作業に伴う観測一時停止
2022	
1/4 (1123)、1/17 (207)、 1/19 (379)、1/25 (675)、 1/26 (195)、1/28 (6)、1/30 (10)	GLMの異常、GPS同期に関係した停止
2/1 (6)	GLMの異常、GPS同期に関係した停止
2/4 (14)	GeoResサーバーとOBCインターフェース間のイーサネットケーブル交換、GeoResサーバー側のポート変更による観測一時停止

表 4.3-9 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	マグニチュード	震源の深さ	震央位置
(1)	2021年05月26日05:46:09.6s	Mjma1.1	14km	胆振地方中東部
(2)	2021年06月01日03:29:04.2s	Mjma2.1	133km	苫小牧沖
(3)	2021年07月20日02:05:11.1s	Mjma1.0	0km	苫小牧沖
(4)	2021年09月12日18:08:13.2s	Mjma3.5	10km	胆振地方中東部
(5)	2021年10月09日11:47:33.3s	Mjma4.5	97km	苫小牧沖
(6)	2021年10月19日21:36:39.5s	Mjma5.4	38km	青森県東方沖
(7)	2021年12月12日05:09:49.6s	Mjma0.9	41km	苫小牧沖

注) Mjma：気象庁マグニチュード

### 胆振・日高地方の地震活動図

2021年1月1日～2021年12月31日

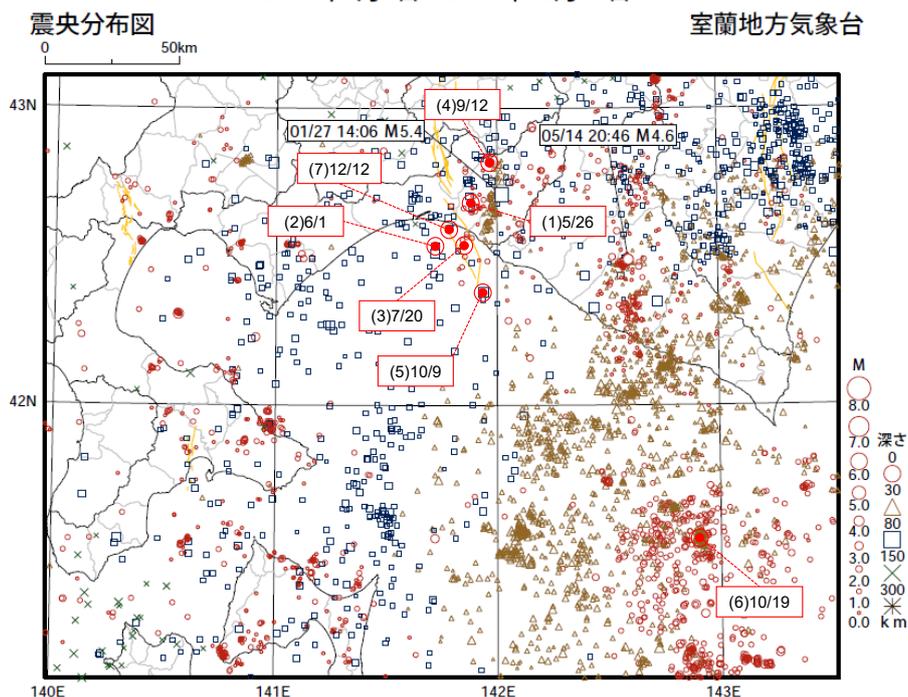


図 4.3-9 表 4.3-9 に示した自然地震の震央位置

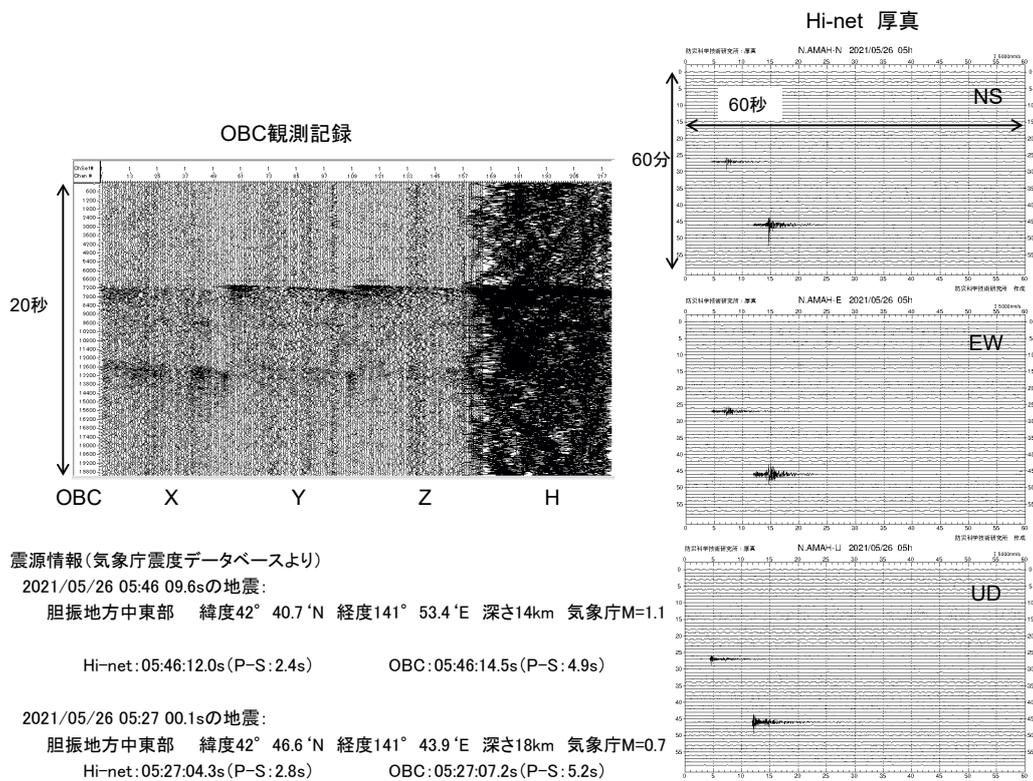


図 4.3-10(1) 波形記録例（2021年5月26日5時46分、Mjma1.1、胆振地方中東部）

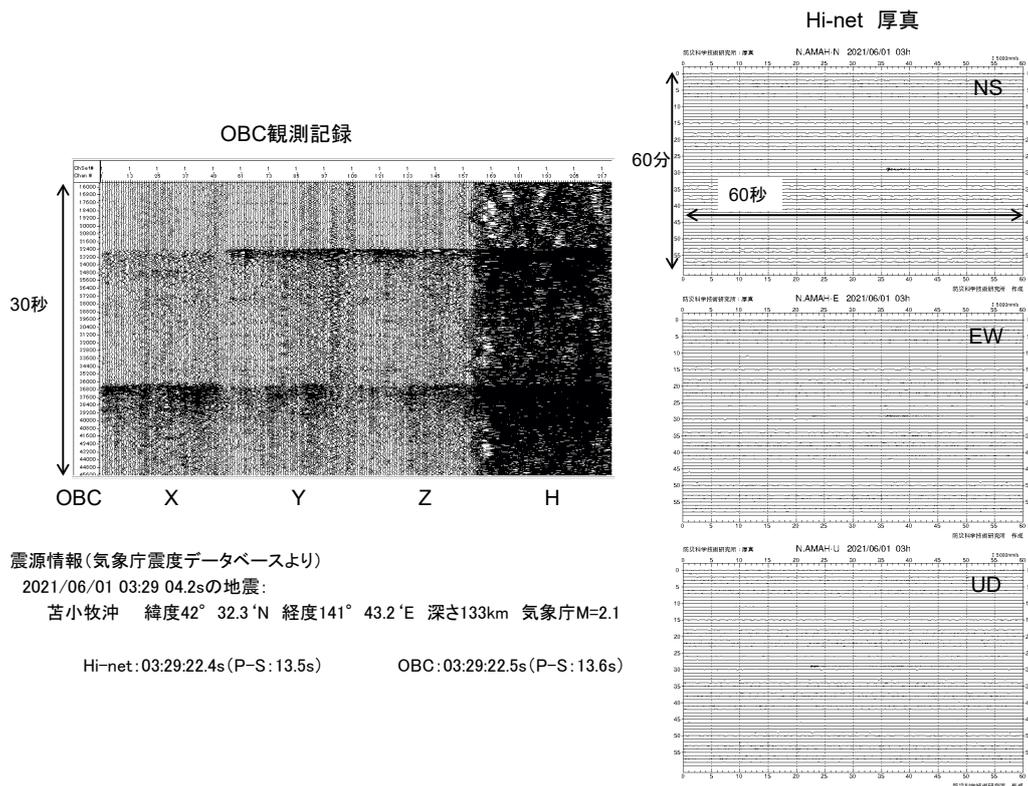


図 4.3-10 (2) 波形記録例（2021年6月1日3時29分、Mjma2.1、苫小牧沖）

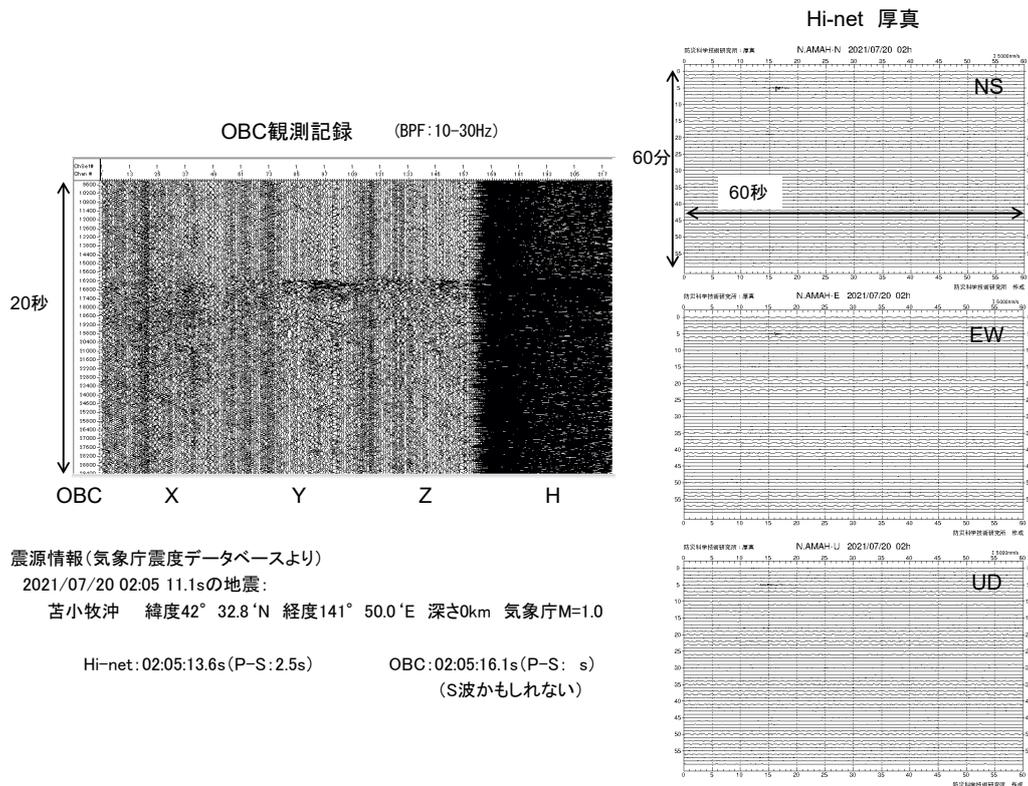


図 4.3-10 (3) 波形記録例（2021年7月20日2時5分、Mjma1.0、苫小牧沖）

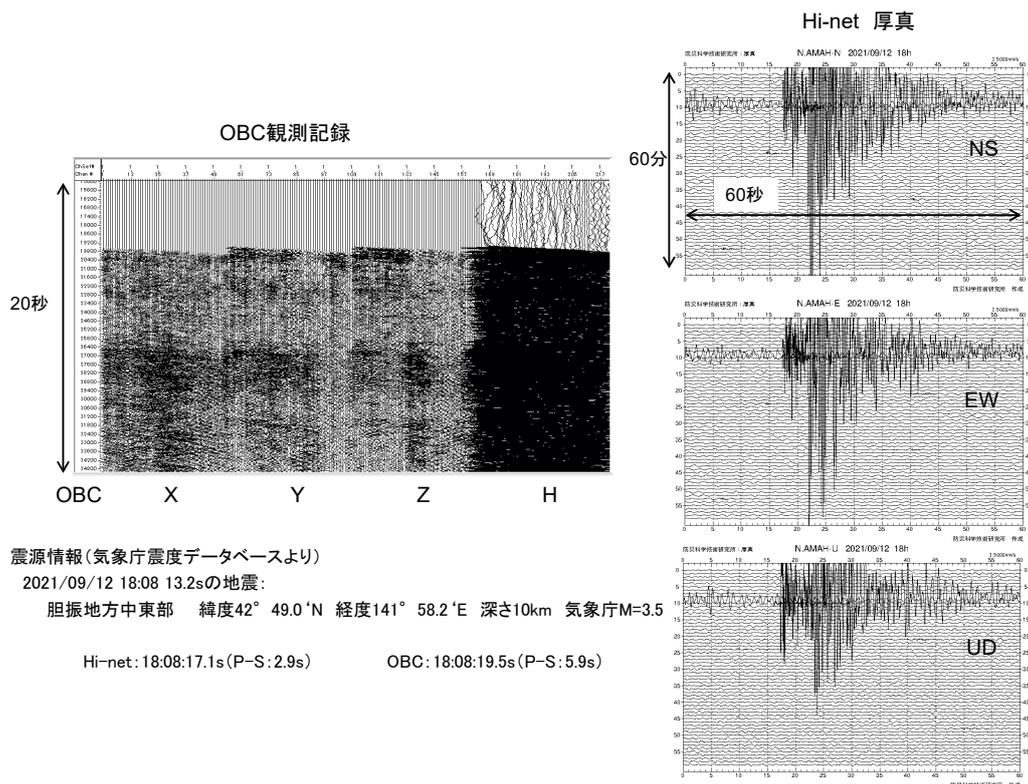


図 4.3-10 (4) 波形記録例（2021年9月12日18時8分、Mjma3.5、胆振地方中東部）

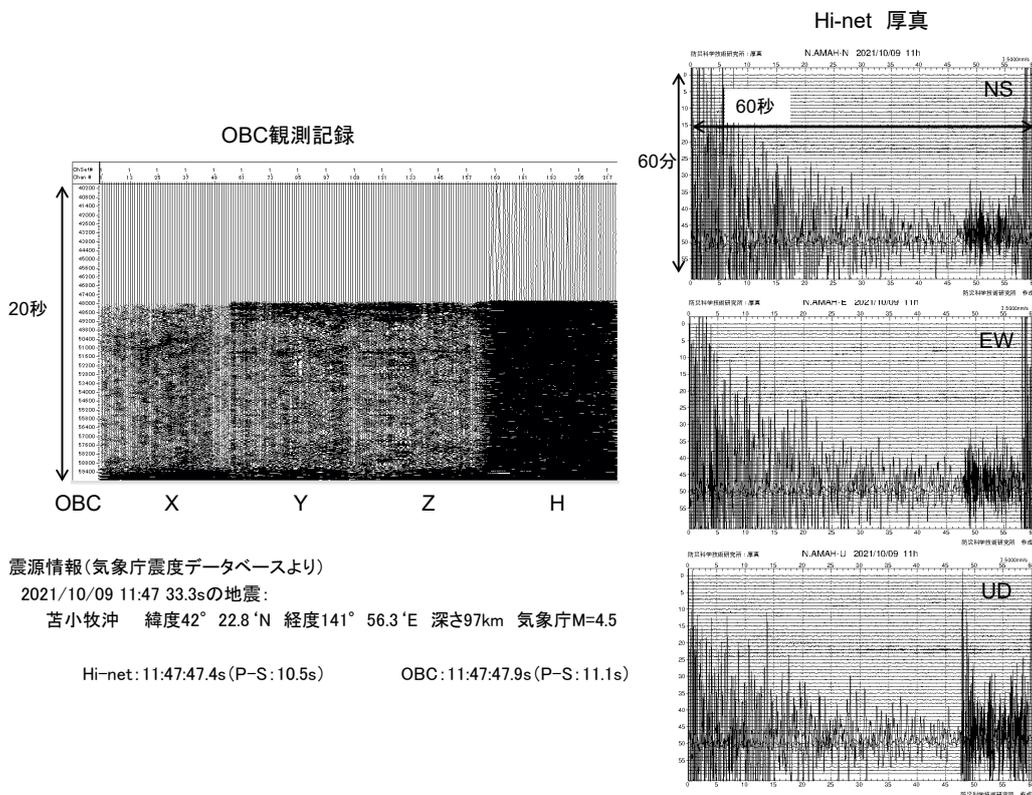


図 4.3-10 (5) 波形記録例（2021年10月9日11時47分、Mjma4.5、苫小牧沖）

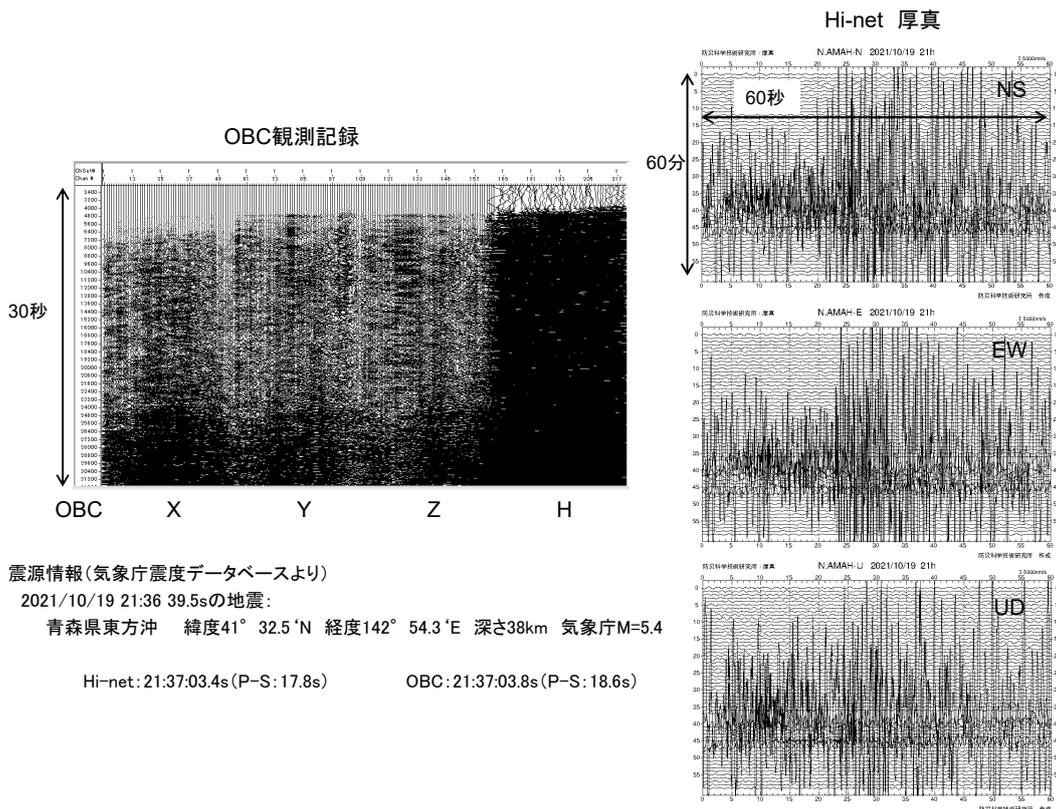


図 4.3-10 (6) 波形記録例（2021年10月19日21時36分、Mjma5.4、青森県東方沖）

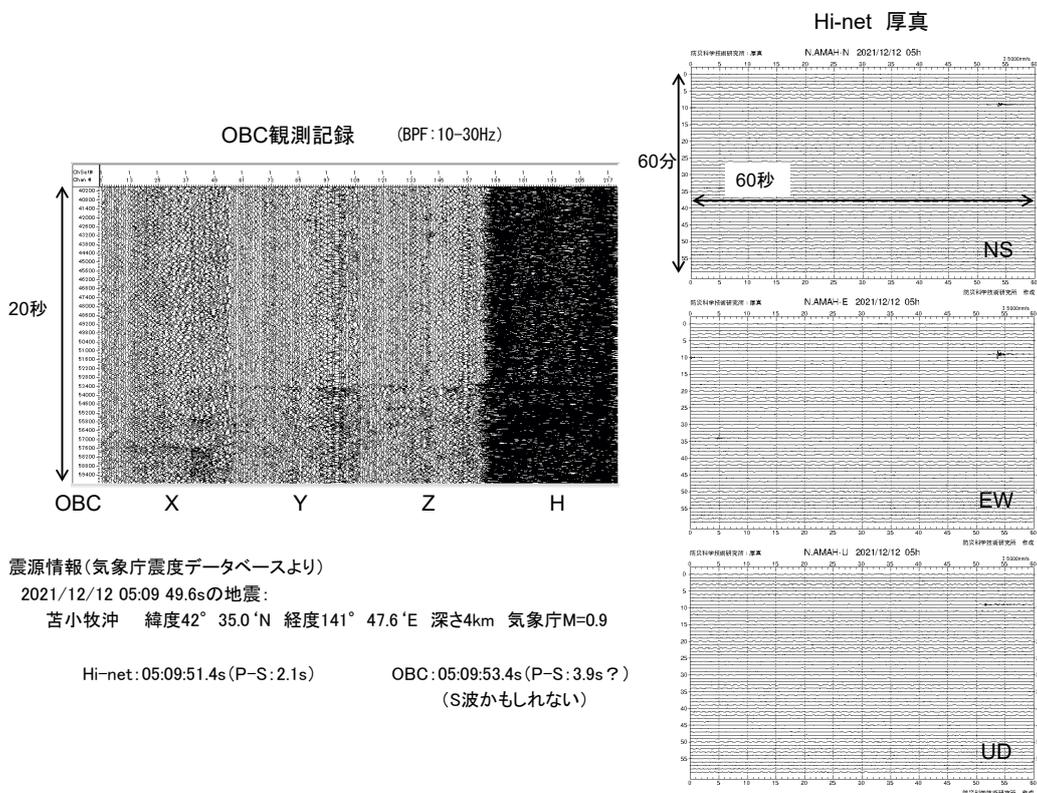


図 4.3-10 (7) 波形記録例（2021年12月12日5時9分、Mjma0.9、苫小牧沖）

#### 4.3.4 常設型OBCの埋設状況の確認

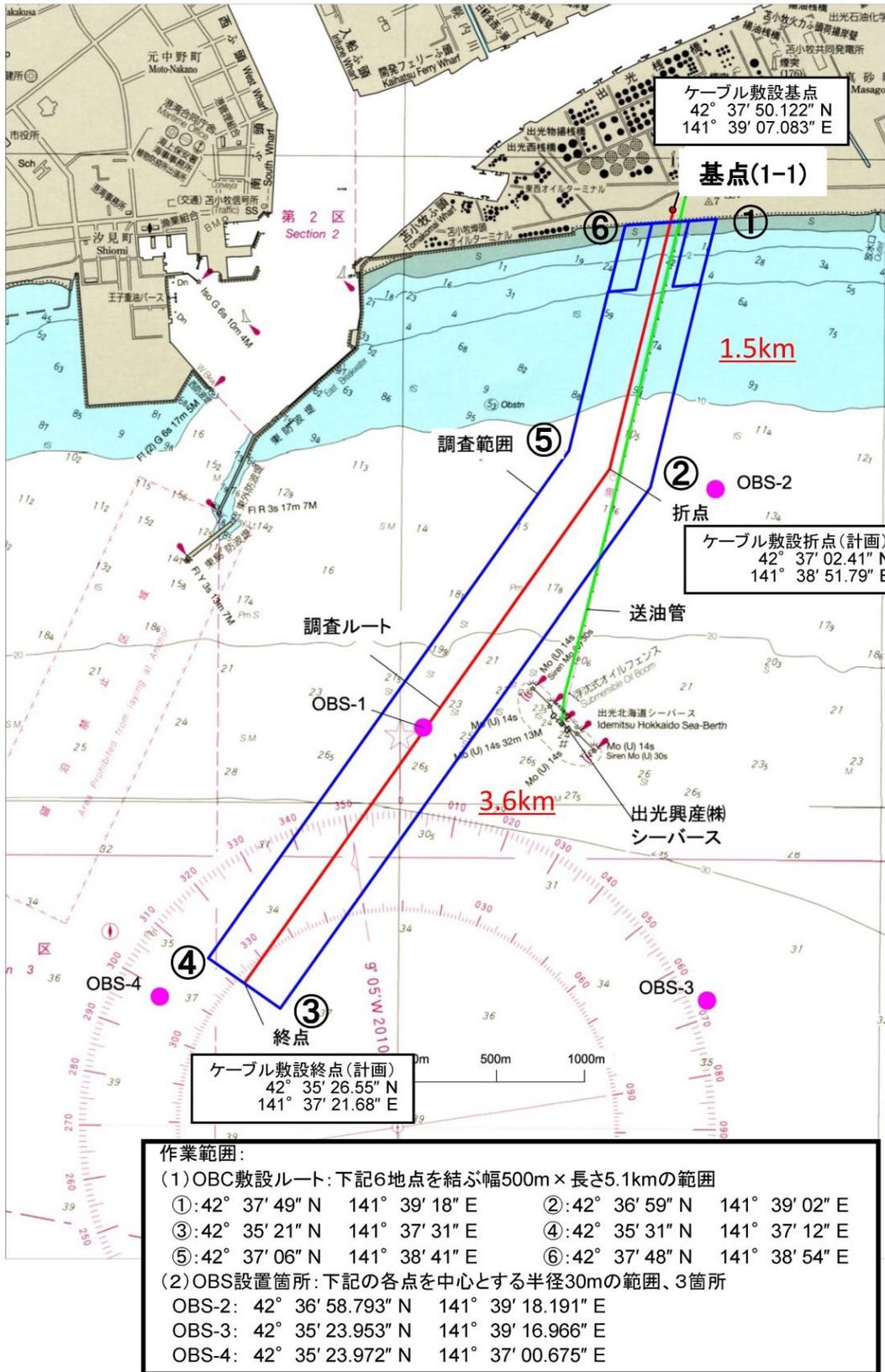
常設型 OBC と海域部データ伝送ケーブルの埋設状況の確認を目的として、2013 年度、2016 年度から 2020 年度に続いて、2021 年度も、常設型 OBC と海域部データ伝送ケーブルの埋設ルート（以下、「センターライン」と称する。）を中心とする長さ 5.1 km×幅 500 m（片側各 250 m）の海域<sup>\*21</sup>を対象（以下、「OBC 測量範囲」と称する。）として海底地形測量を実施した。同測量範囲を示す各点（①～⑥）とセンターラインの基点（陸側）、折点および終点（沖側）の位置（緯度経度と座標）を表 4.3-10 に示す。基点から折点間は 1.5 km、折点から終点間は 3.6 km である。図 4.3-11 に OBC 測量範囲図を示す。OBC 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 4.3-10 センターラインの基点、折点および終点の位置

	地点	緯度	経度
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″
測量範囲	①	N42° 37′ 49″	E141° 39′ 18″
	②	N42° 36′ 59″	E141° 39′ 02″
	③	N42° 35′ 21″	E141° 37′ 31″
	④	N42° 35′ 31″	E141° 37′ 12″
	⑤	N42° 37′ 06″	E141° 38′ 41″
	⑥	N42° 37′ 48″	E141° 38′ 54″

注) 座標系は平面直角座標 12 系、測地系は世界測地系(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 4.3-11 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 4.3-11 に示す。現地作業は、8月6日～8月31日に実施<sup>\*22)</sup>した。

表 4.3-11 海域作業の工程

実施内容	2021年8月											
	6	7		23	24	25	26	27	28	29	30	31
艀装	●		一時 中 断	●								
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<sup>\*23)</sup>（以下、「RTK-GNSS」と称する。）により行った。RTK-GNSSでは、従来の RTK 測位で必要となる固定局観測データの代わりに移動局（測量地点）近傍の任意の地点に仮想基準点を設定し、全国に約 20 km 間隔で設置されている国土地理院の電子基準点の観測データから算出する仮想基準点の補正情報等と同時刻に移動局（測量地点）において受信した GNSS 衛星からの信号とを併せて解析し、移動局（測量地点）の位置をリアルタイムに求めることができる。図 4.3-12 に RTK-GNSS の概念図を示す。

測量船には、図 4.3-13 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<sup>\*24)</sup>（測量船の姿勢、動揺の把握用）2 個を搭載しており、POS/MV により動揺センサーから得られる船の施姿勢（回転<sup>\*25)</sup>および上下動（Heave））の情報と

\*22) 実施に先立ち、6月13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（2021年7月1日付）を受領。また、6月13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（2021年6月26日付）を受領。

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

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

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

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。

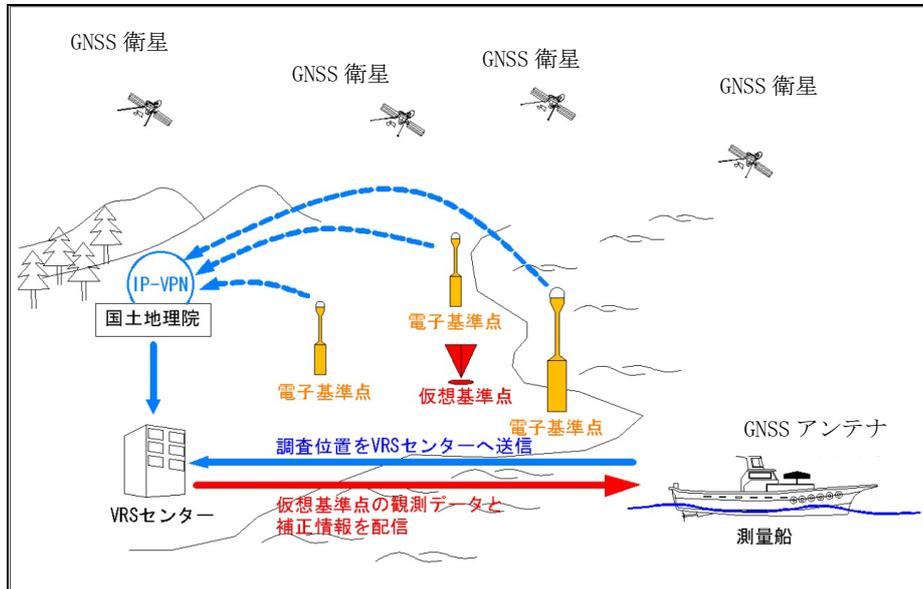


図 4.3-12 VRS 方式による RTK-GNSS（ネットワーク型 RTK 法）の概念図

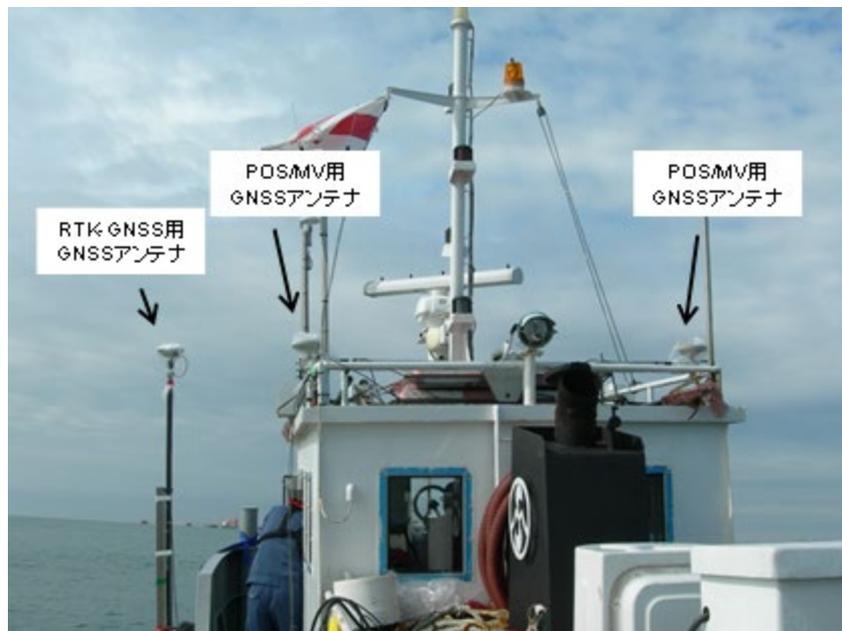


図 4.3-13 調査船に艦装した RTK-GNSS 用と POS/MV 用の GNSS アンテナ

## ② 測深方法

測深データの取得には、水深 5 m 以深の海域ではマルチビーム測深機（海底面にむけて

扇状の音波を発振し、幅広い範囲を面的に高密度で測深データを取得することができる。）を使用し、水深5 m以浅の海域ではシングルビーム測深機\*26（直下の測深データのみ取得できる。）を用いた。図4.3-14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4.3-12に示す。

測深データの取得においては、測量船の舷側に測深機の送受波器を艀装し、約4ノット（約10 km/h）の一定速度で航行した。測量時の航跡は、OBC方向に10～70 m間隔で深くなるほど広くして、効率的に測深データが取得できるようにし、水深精度確認のため、適宜、OBCを横切る方向（横断方向）に測定を行った。図4.3-15にOBC敷設範囲の測量実施時の航跡図を示す。

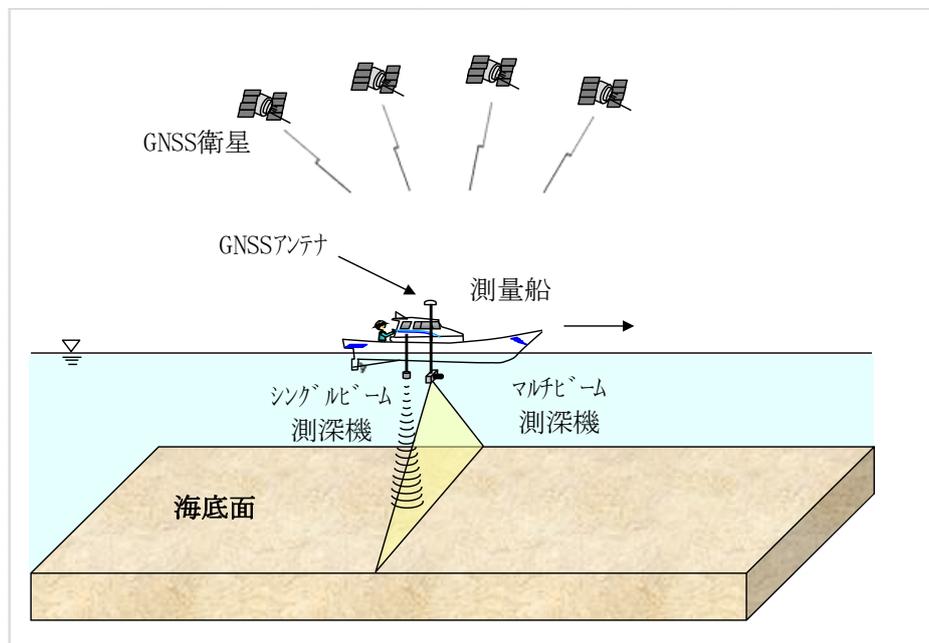
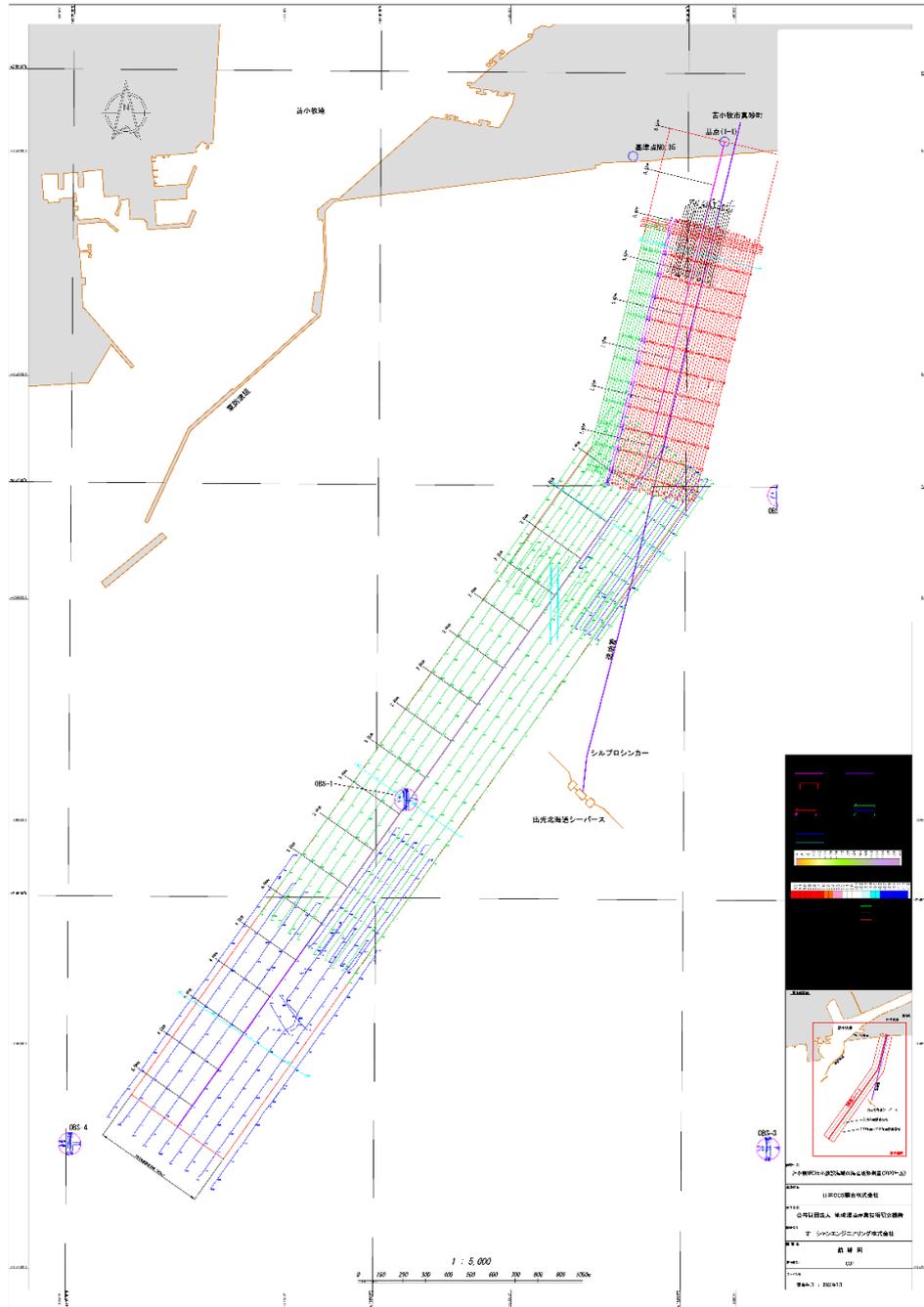


図 4.3-14 マルチビームとシングルビームによる測深概念図

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

表 4.3-12 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 第十六松栄丸	全長：11.70 m 総トン数：8.5 t 全長：9.80 m 総トン数：5 t 未満 ※エンジン不調のため、8/27 に変更	松栄船舶	作業全般
解析ソフト	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 4.3-15 OBC 敷設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に関連付け、CDL<sup>\*27</sup>（最低水面）からの水深のメッシュデータを作成した。図 4.3-16 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 4.3-17 に測深データの処理フローを示す。

求めた深度の誤差は 0.1 m 程度と考えられるが、2019 年度までと比較して 2020 年度および 2021 年度の平均水深値に差異が生じていたため、水深を一律に 7 cm 深くする深度補正を行った。

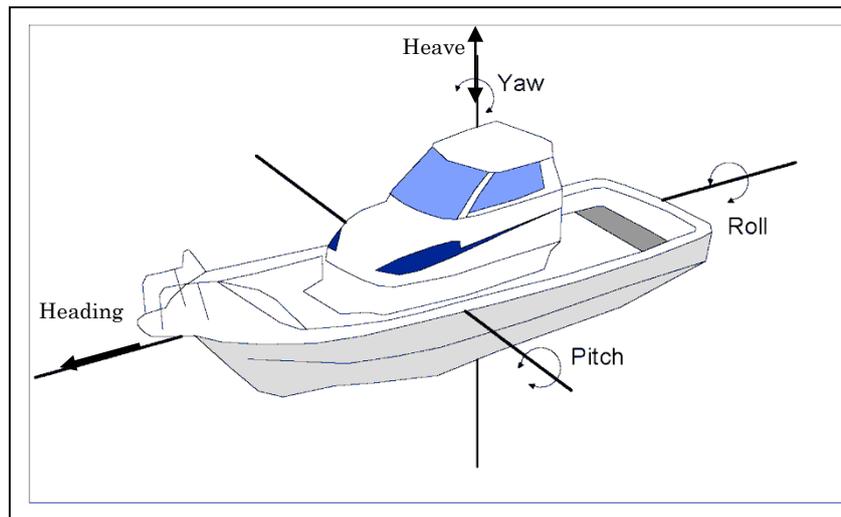


図 4.3-16 船の姿勢、上下の動揺、船首方向の概念図

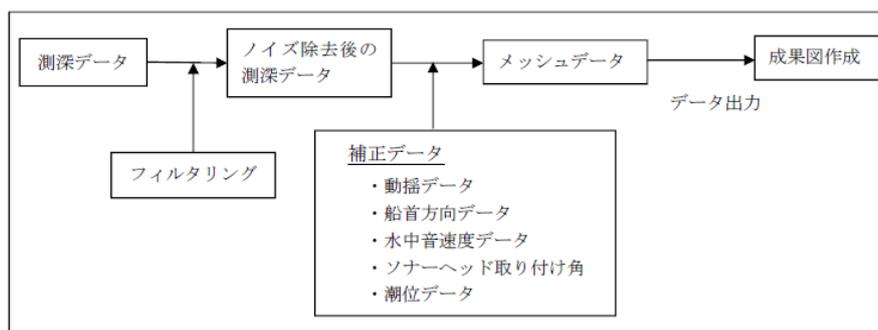


図 4.3-17 測深データの処理フロー

\*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 海底地形の陰影図

2021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 4.3-18 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、2020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。以下に、海底地形について述べる。

#### 1) KP0.4 付近（図 4.3-19）

東西方向に横断する形で局所的な凹地が点在していることが確認された。いずれも 0.1～0.2m 程度の小さな起伏である。

#### 2) KP0.7 付近の東側（図 4.3-20）

2020年度確認された東西方向に約 85m の曳き跡は確認されない。

#### 3) KP0.9 付近の東側（図 4.3-20）

2019年度に確認された凹凸地形は、2020年度に引き続き見られない。

#### 4) KP1.3～3.4(水深 12～26m の範囲)（図 4.3-21 および図 4.3-22）

地形変化に富んでおり堆積物の凹凸が広く分布している。2013年5月の調査結果では、細砂～粗砂の分布が確認され、過年度との水深変化が顕著な箇所はこの範囲に多く見られるが、ケーブルの露出等は確認されなかった。

KP1.3 付近の東側および KP1.4 付近の西側では、2020年度と比べて全体的な形状に大きな変化は見られないが、やや侵食傾向にある。

KP3.4km 周辺は、漁具のような規則的な凹凸地形が 2021年度もこれまでと同様に見受けられる。OBS-1 地点では、コンクリート容器撤去跡の凹地と南北の数箇所に 2020年度には見られなかった線状の地形変化部が確認された。

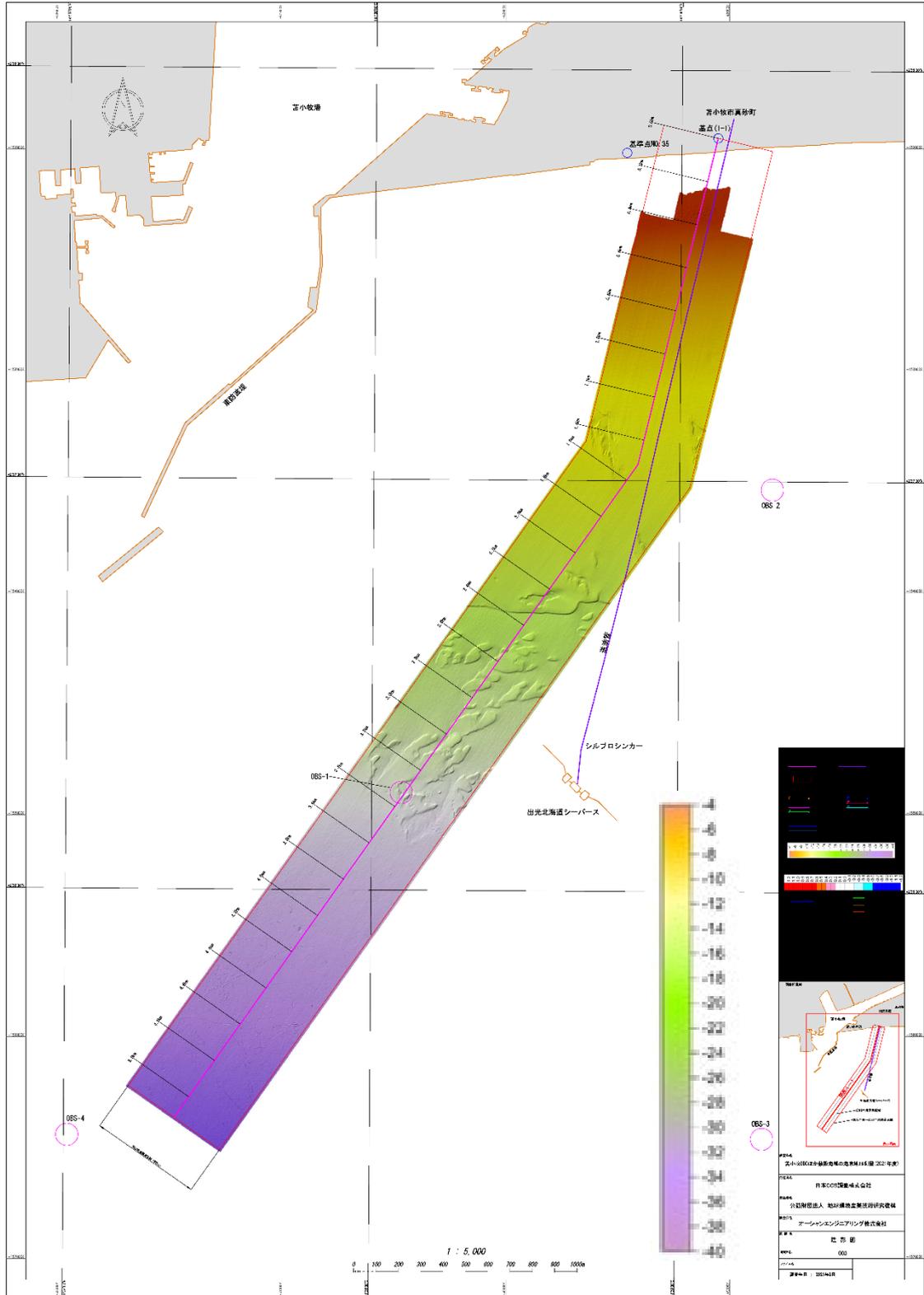
#### 5) KP3.4～5.1(水深 26m 以深の範囲)（図 4.3-22 および図 4.3-23）

底質はシルトであり、比較的平坦な地形である。

船舶のアンカー等による曳き跡が数多く見られ、2020年度にはなかった曳き跡も確認される。

2020年度に見られた曳き跡は、やや埋没して不明瞭となっている。

曳き跡の溝は、深さ 20cm 程度、長さは 100m～200m くらいのもが多い。また、2019年度より確認されている KP4.4km 付近を南北方向に走る 670m 程度の曳き跡は、不明瞭になっているが 2021年度も確認された。



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 4.3-18 海底地形図（陰影図）

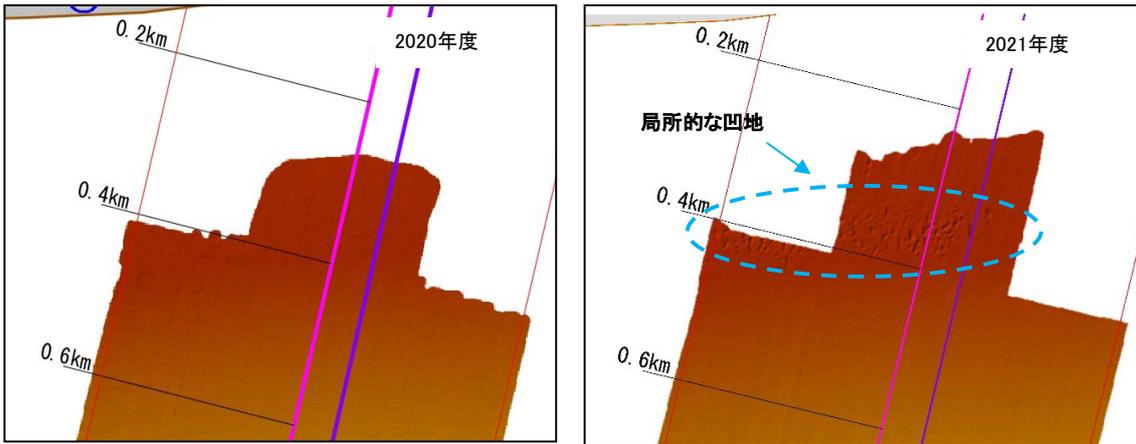


図 4.3-19 KP0.4km 付近の凹地形部

（左：2020年7月調査、右：2021年8月調査）

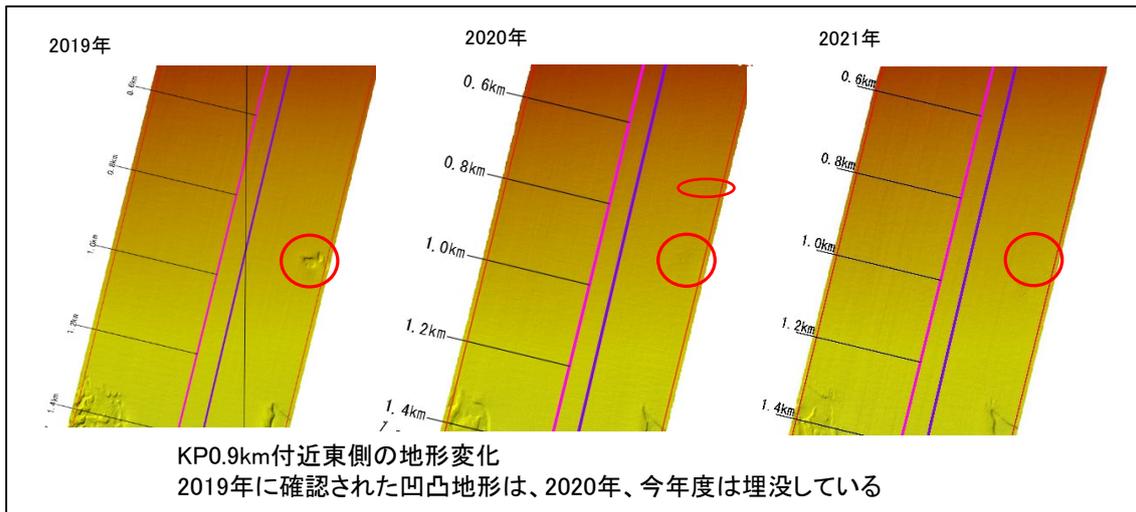


図 4.3-20 KP0.9km 付近東側の凹凸地形の変化

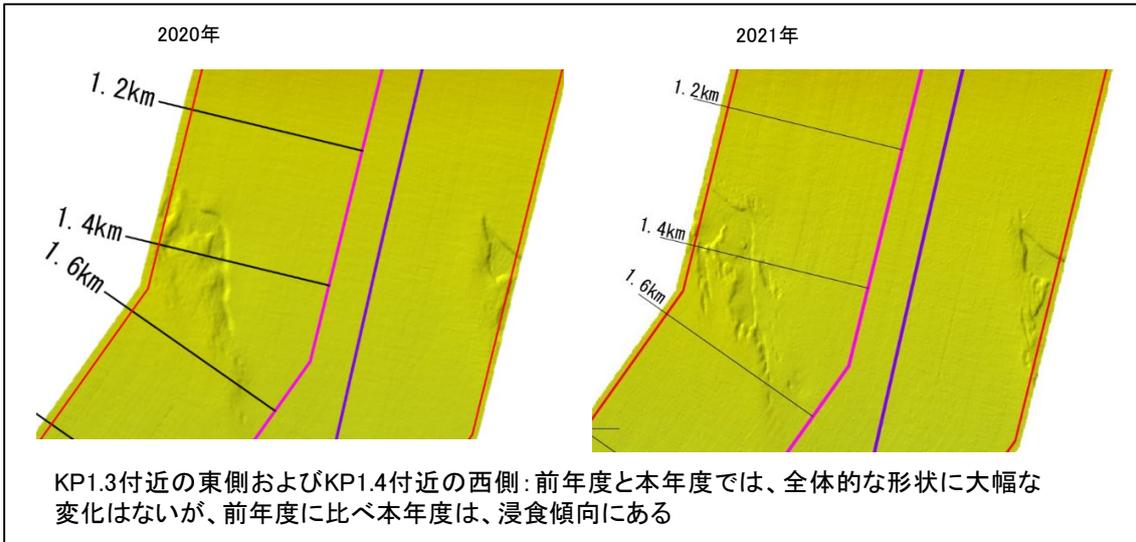


図 4.3-21 KP1.3km 付近東側および KP1.4km 付近西側の凹凸地形の変化

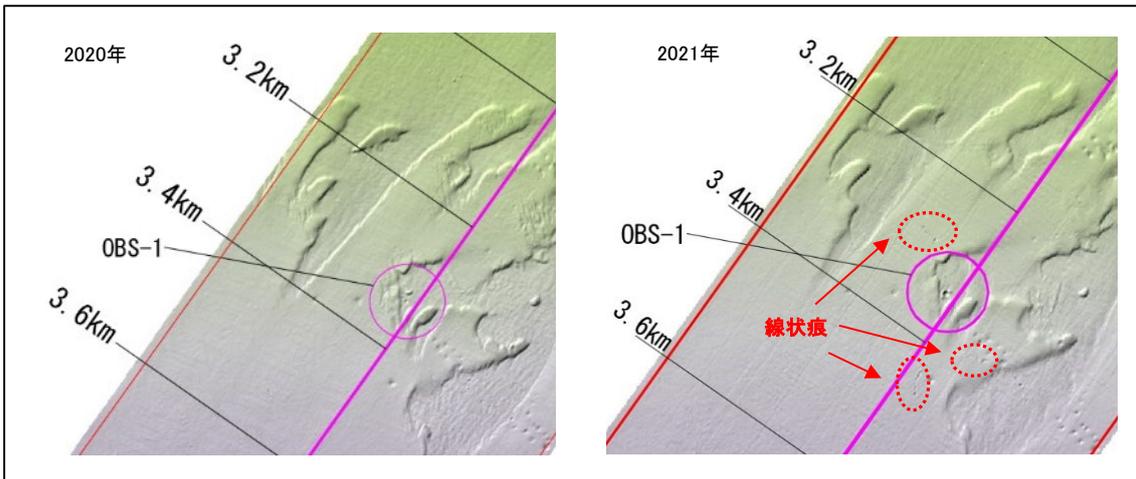


図 4.3-22 KP3.2km～KP3.6km の OBS-1 周辺状況

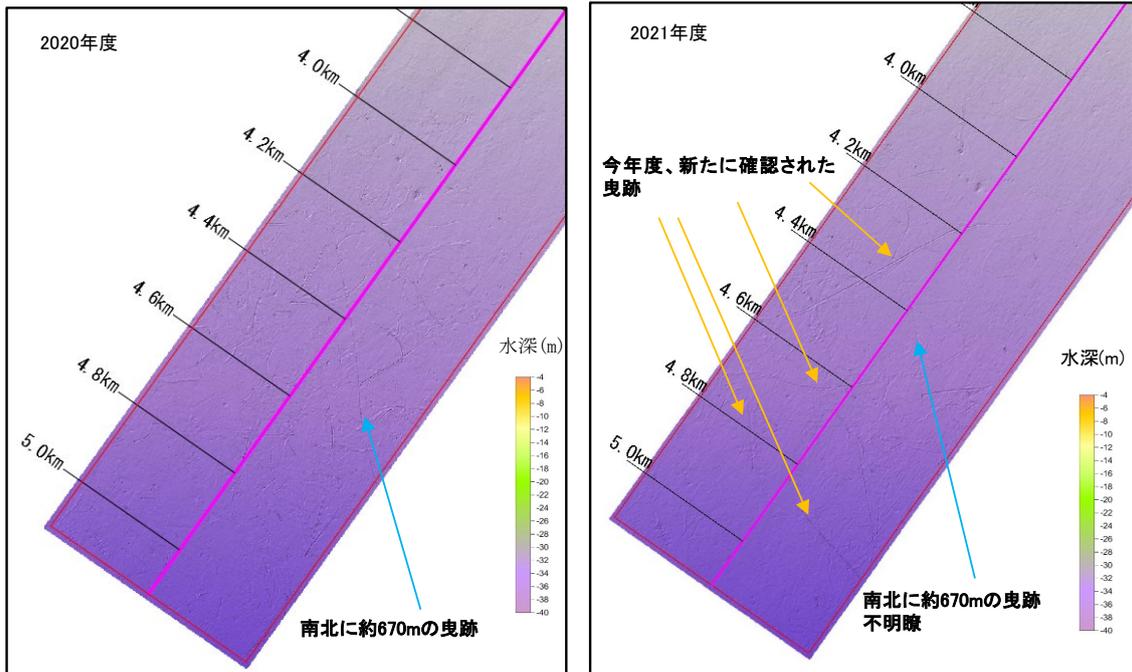


図 4.3-23 2020 年度との海底地形陰影図の比較  
 (左：2020 年 7 月調査、右：2021 年 8 月調査)

## ② 海底地形の水深変化

2021 年度に取得した水深データと、2013 年度および 2020 年度の水深データとの比較を図 4.3-24 および図 4.3-25 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。

測量海域の海底は、河川および海浜堆積物（沖積層）が広く分布している（海上保安庁発行：第 6374 号 5-S 苫小牧東部海底地質構造図より）。以下に水深変化について述べる。

### 1) KP0.6 付近より陸側(図 4.3-26)

KP0.3km 付近（水深 3m 付近）を境界に陸側で堆積、沖側で侵食となっている。2013 年度との比較では、海岸から約 0.2km（KP0.25）付近で最大 0.6m 程度の堆積、海岸から約 0.3km（KP0.4km）付近で最大 0.4m 程度の侵食となった。2020 年度との比較では、最浅部（KP0.3km）付近で 0.2m 程度の堆積、KP0.4km 付近で 0.2m 程度の侵食となった

### 2) KP1.3～1.4km 東側および KP1.4km 付近西側(図 4.3-27)

複雑な凹凸地形が確認されている箇所である。2020 年度との比較では、東側で最

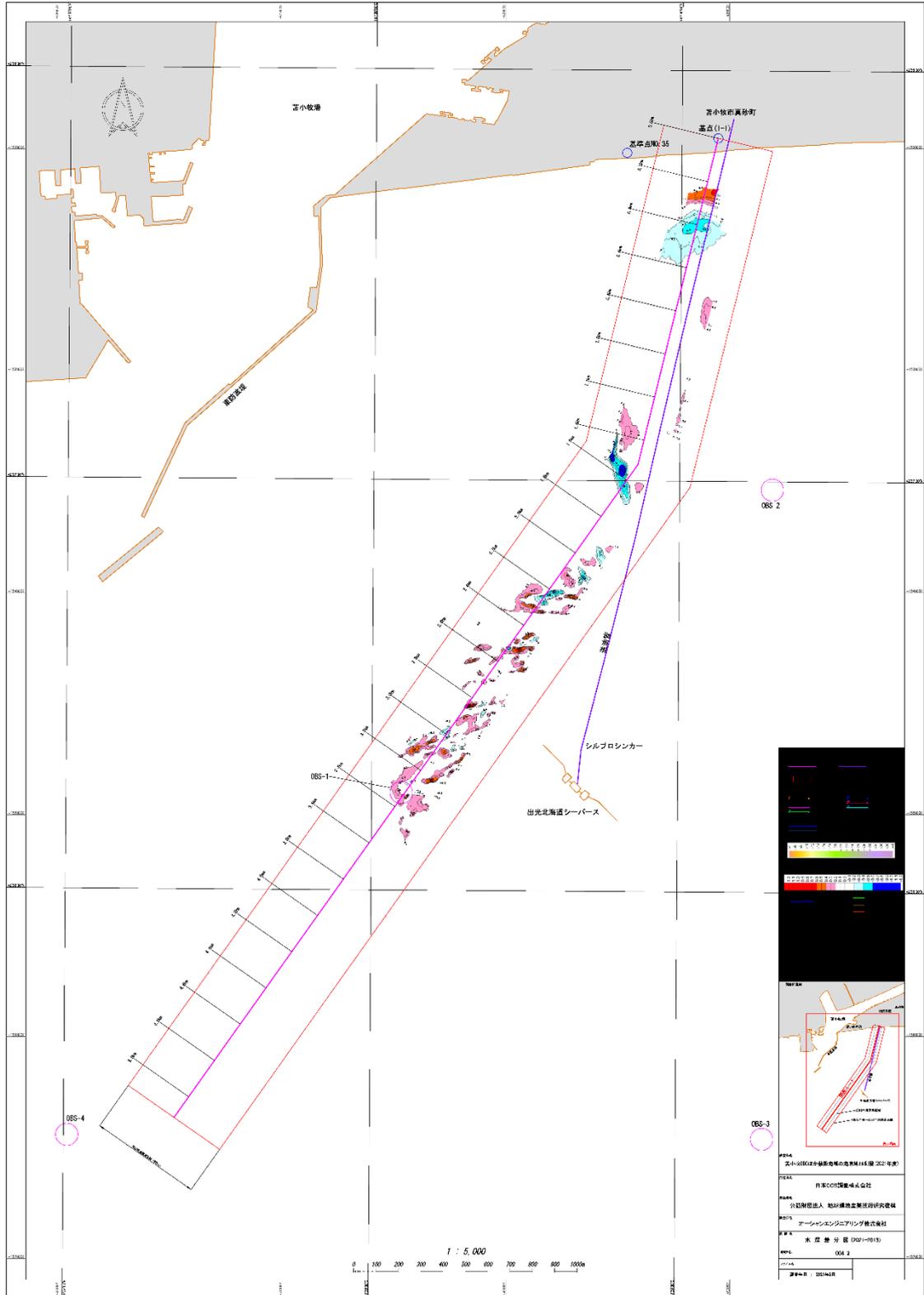
大0.4mの堆積、最大0.4mの侵食であった。また、西側では最大0.4mの堆積、最大0.3mの侵食であった

3) OBC敷設ルート折れ点付近(KP1.3~1.7km付近、水深12.0~13.5m)(図4.3-28 および図4.3-29)

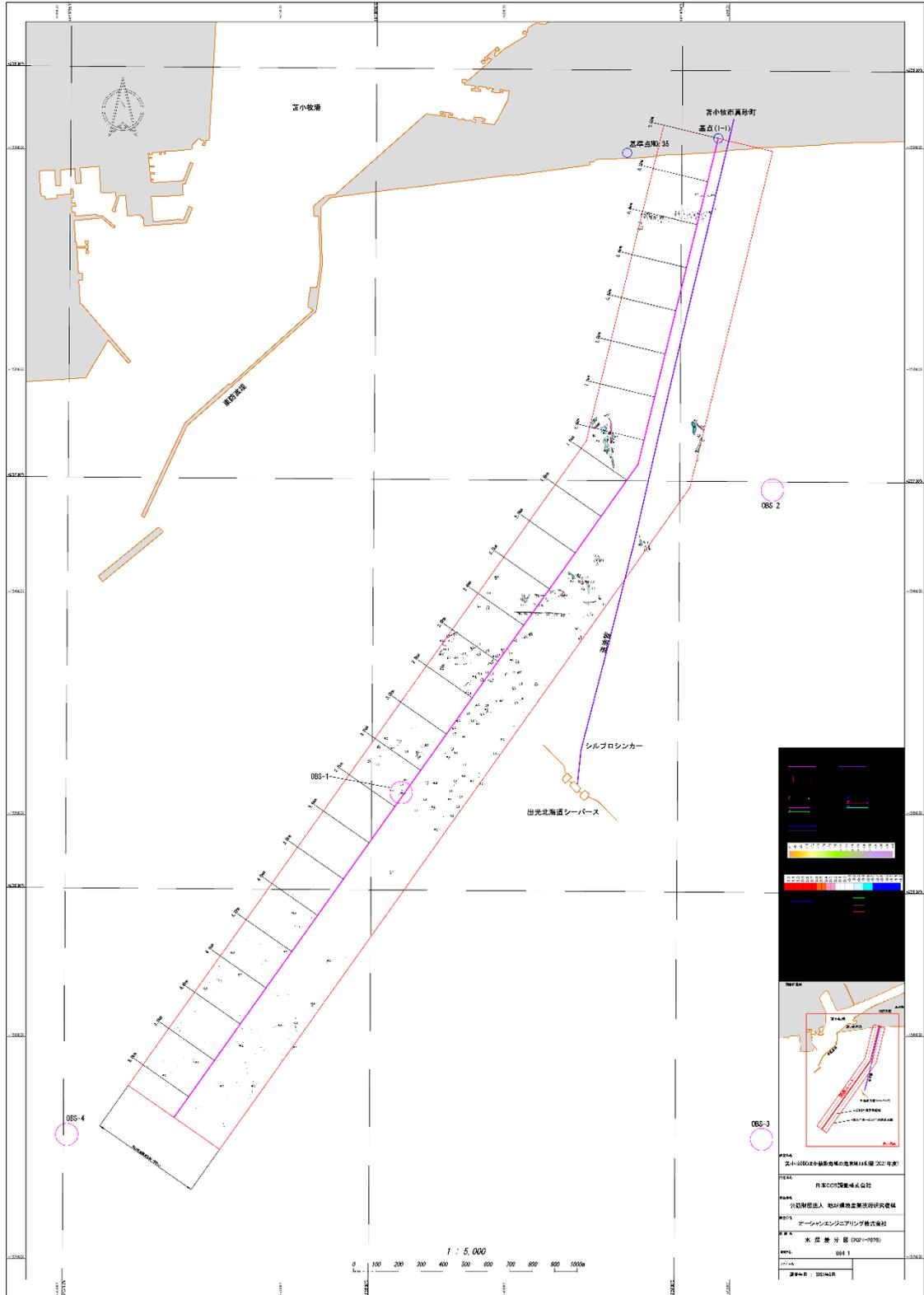
ケーブル西側の侵食状況がやや顕著である。2013年度と比較するとケーブルを挟むように南北方向の侵食(最大0.8m程度)が見られる。ただし、顕著な侵食箇所はOBC敷設ルート中心から離れており、ルート縦断図では、2013年度に見られたKP1.6km過ぎの海底地形の高まりが平滑化された傾向にある。

4) KP1.8~3.4(水深16~26mの範囲)(図4.3-28 および図4.3-29)

全般に侵食堆積傾向が見られる。KP2.2~3.4km(水深17~26m)は、2013年度調査でも西南西~東北東方向のリップルマーク(漣痕)が見られ、海流の影響により季節的に地形が変化する海域と推察されていた箇所である。2013年度との比較では堆積傾向にある。2020年度との比較では、全体的に変化が小さい。



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 4.3-24 水深差分図（2021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 4.3-25 水深差分図（2021年度測量結果－2020年度測量結果）

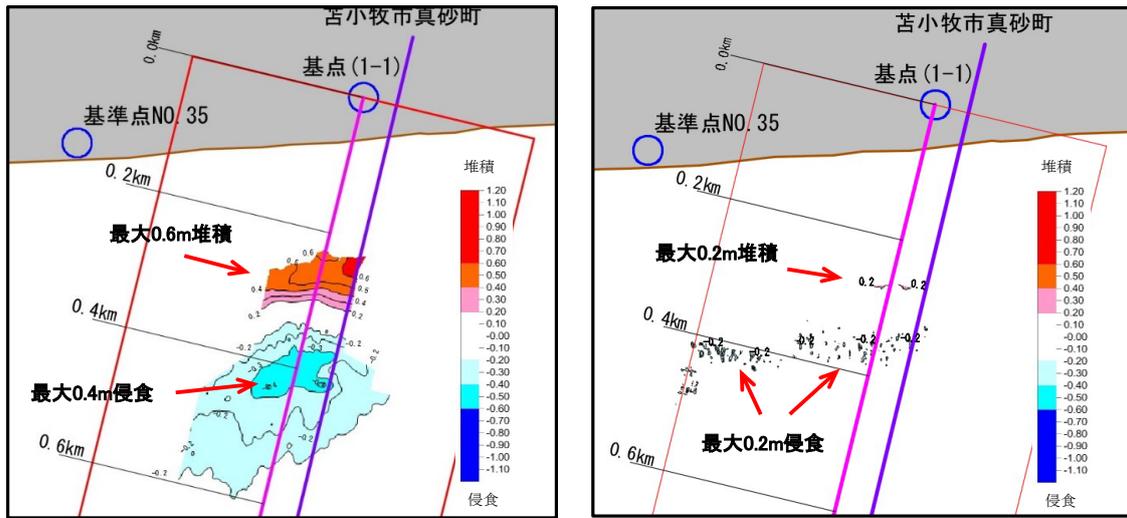


図 4.3-26 KP0.2～0.6km（水深 7m 以浅）の水深差分図

（左：2013 年度との比較、右：2020 年度との比較）

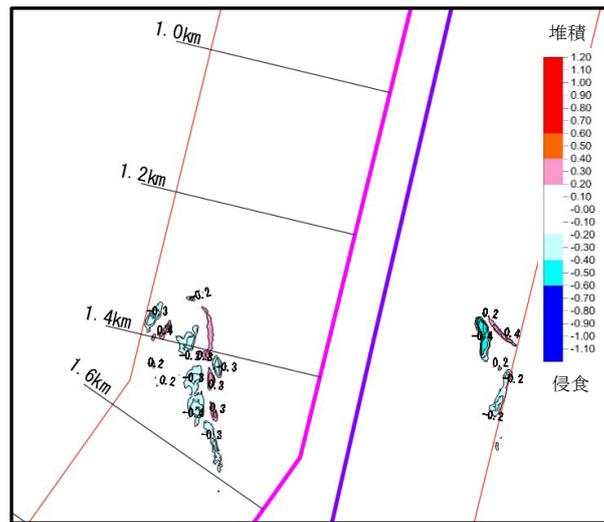


図 4.3-27 KP1.3～1.4km 東側と KP1.4km 付近西側の水深差分図

（2020 年度との比較）

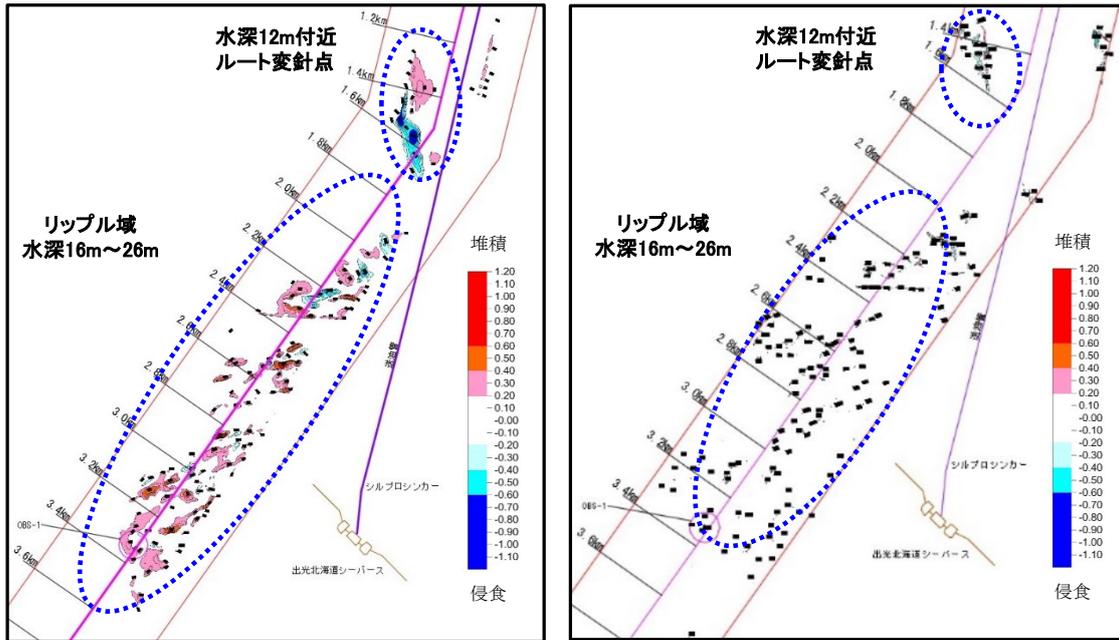


図 4.3-28 KP1.3~3.4km（水深 12m~26m 部分）の水深差分図  
 （左：2013 年度との比較、右：2020 年度との比較）

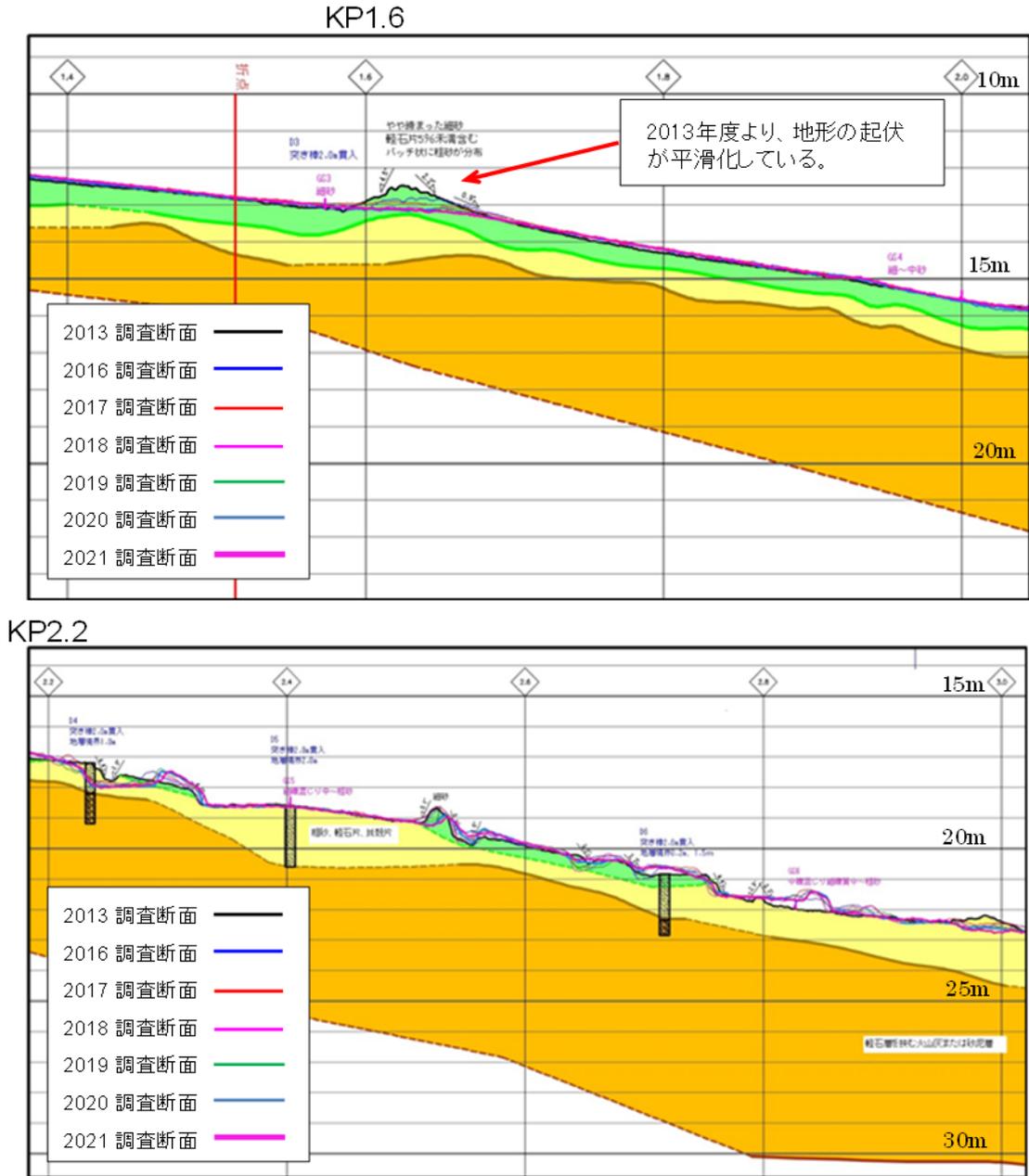


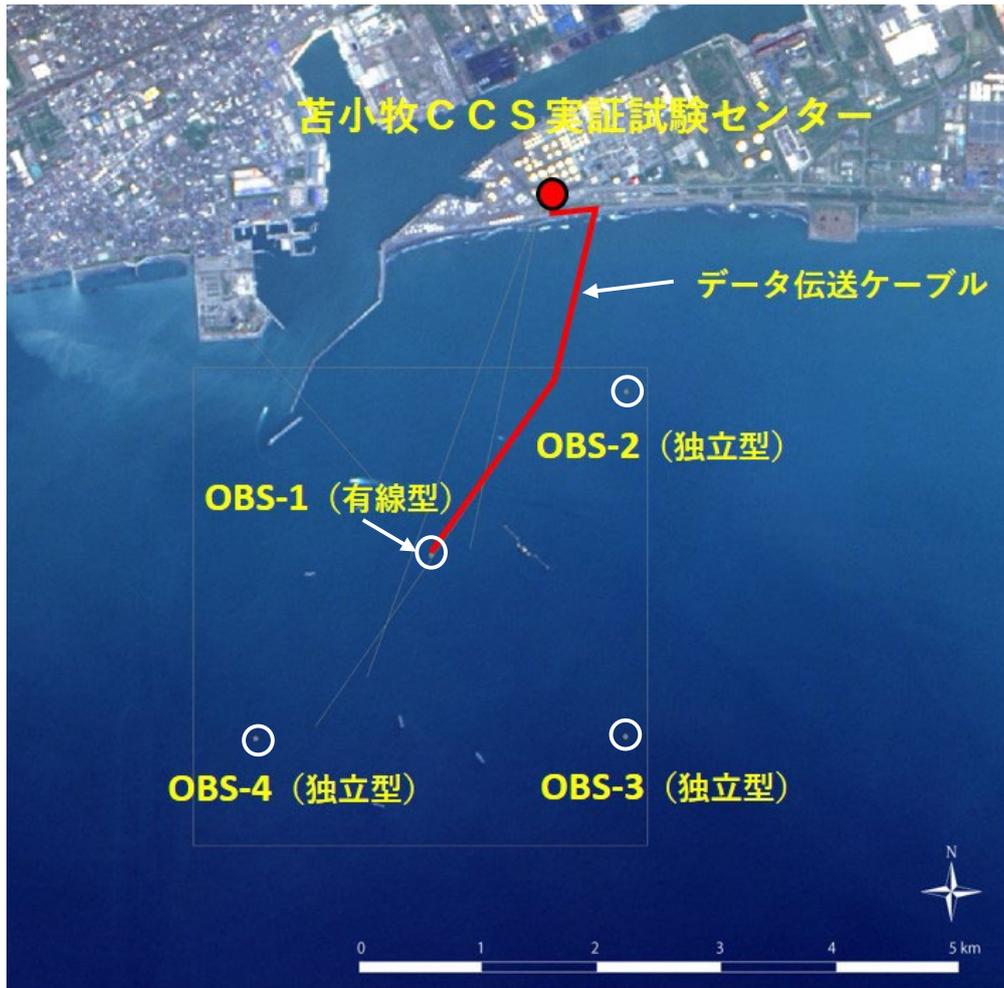
図 4.3-29 KP1.4～3.0km の縦断面図

#### 4.4 OBSによるモニタリング

本事業では、苫小牧沖に設置した4台のOBS（Ocean Bottom Seismometer、以下、各々、「OBS-1」「OBS-2」「OBS-3」および「OBS-4」と称する。）から構成されるOBS観測システムによるモニタリングを、運用停止するまで実施していた。

一般的にOBSは海底に単独で設置され、観測期間中に取得した波形記録はA/D変換した後内部の記録媒体（SSD）に連続収録される。OBS-2、OBS-3およびOBS-4は、一般的な使用方法のOBS（以下、「独立型OBS」と称する。）を用いた。OBS-1は、デジタル信号送出回路、アナログ信号増幅回路および同送出回路を装備したOBS（以下、「有線型OBS」と称する。）を用い、データ伝送ケーブル（2013年度に敷設）を介して実証試験センター内に設置されているデータ処理システムにリアルタイムで観測データを伝送していた。図4.4-1に撤去前の実証試験センター、OBS設置位置およびデータ伝送ケーブルの敷設位置を示す。また、表4.4-1に各OBSの設置地点の情報を示す。

なお、2020年度までは、観測井坑内地震計、陸上設置地震計、OBS、常設型OBCにより微小振動・自然地震モニタリングを実施してきたが、観測網の最適化（4.5.4）に伴い、2021年度に陸上設置地震計およびOBSの運用を停止することとした。



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

図 4.4-1 実証試験センター、OBS 設置位置およびデータ伝送ケーブル位置図

表 4.4-1 OBS 設置位置情報

観測位置		OBS-1	OBS-2	OBS-3	OBS-4
種別		有線型	独立型	独立型	独立型
位置	緯度	42° 36′ 14″	42° 36′ 59″	42° 35′ 24″	42° 35′ 24″
	経度	141° 38′ 06″	141° 39′ 18″	141° 39′ 17″	141° 37′ 01″
	X (m)	-154,899	-153,537	-156,463	-156,440
	Y (m)	-50,468	-48,808	-48,857	-51,964
水深		26.5m	13.5m	35.6m	37.9m

注) 測地系は世界測地系(GRS80)、座標系は平面直角座標 12 系。

#### 4.4.1 OBS 観測システム

OBS モニタリングで使用する OBS、データ伝送ケーブルおよびデータ処理システムについて以下に示す。

##### (1) OBS

OBS の主な仕様を表 4.4-2 に示す。有線型 OBS は、取得した波形記録の A/D 変換機能とデータを収録するための記録媒体（SSD）に加え、デジタル信号送回路、アナログ信号増幅回路および同送回路を装備していた。図 4.4-2 に OBS を示す。耐圧ガラス内に地震計、原子時計、レコーダ、電源装置等の関連機器が組み込まれていた。OBS を海底に据え付けるに当たっては、図 4.4-3 に示すように合成樹脂のハードハット（黄色のカバー）で覆い、重錘を取付けた鉄製フレームに固定した状態でコンクリート製の海底設置容器\*1) 内に設置した。図 4.4-4 に蓋を取った状態の海底設置容器内に設置された OBS を示す。図 4.4-5 に海底に設置された設置容器の上蓋固定状況を示す。

表 4.4-2 OBS の主な仕様

項目	仕様
受振器	3成分速度型地震計（固有周波数 4.5 Hz）
A/D 変換	24bit $\Delta \Sigma$ 型
デシメーションフィルタ	最小位相型
サンプリングレート	50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 400 Hz
プリアンプゲイン	0 dB, 20 dB, 40 dB, 60 dB
最大入力電圧	2.048 V（プリアンプゲイン 0 dB 設定時）
ダイナミックレンジ	120 dB（サンプリングレート 100 Hz 設定時）
LSB（量子化単位）	0.00000048828125 V
内部記憶媒体	SSD（容量 128 GB）
通信ポート	シリアルポート 0：パラメータ設定、時刻較正に使用 シリアルポート 1：データ伝送に使用
駆動電圧	DC6 V～12 V
消費電流	0.3 mA（電源オフ時）/12 mA（スタンバイ時）/100 mA（観測時）/200 mA（SSD 動作時）
クロック発生装置	セシウム原子時計（刻時精度： $1.0 \times 10^{-9}$ ）
ケース	耐圧ガラス球（内径 40 cm）

\*1) 海底設置容器は、上面（蓋）が海底面と同じ高さになるように埋設設置されており、有線型の設置容器は 2,300 mm×2,300 mm×(H)1,300mm、独立型の設置容器は 1,300 mm×1,300 mm×(H)1,000 mm のいずれも正方形の筒型。OBS によるベースライン観測開始に先立ち 2014 年度に設置された。



図 4.4-2 耐圧ガラス内部の様子



図 4.4-3 鉄製のフレームに固定した状態の OBS

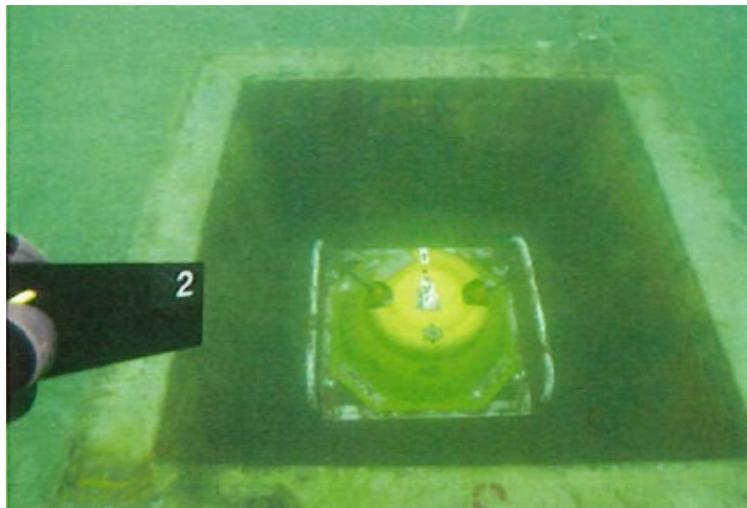


図 4.4-4 海底に設置された設置容器（蓋を取った状態）とその内部に設置された OBS

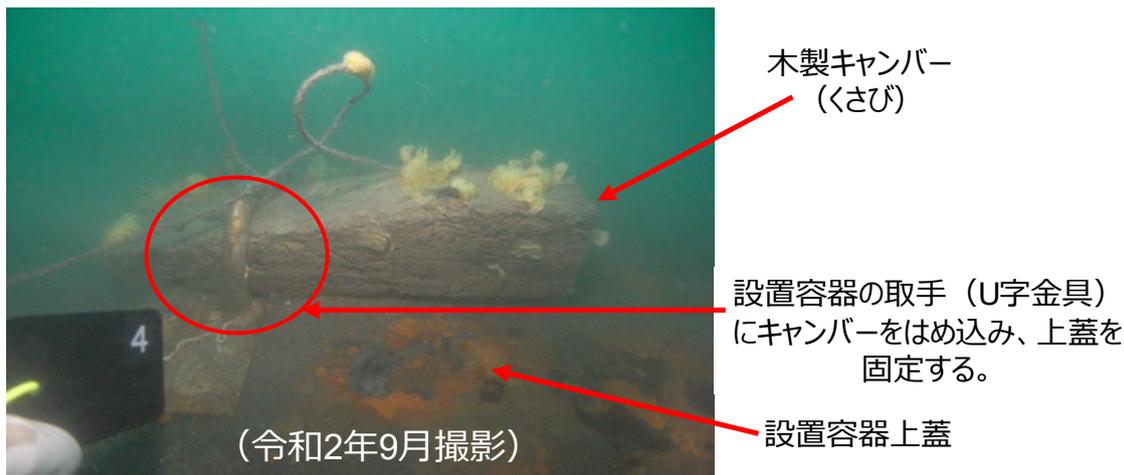
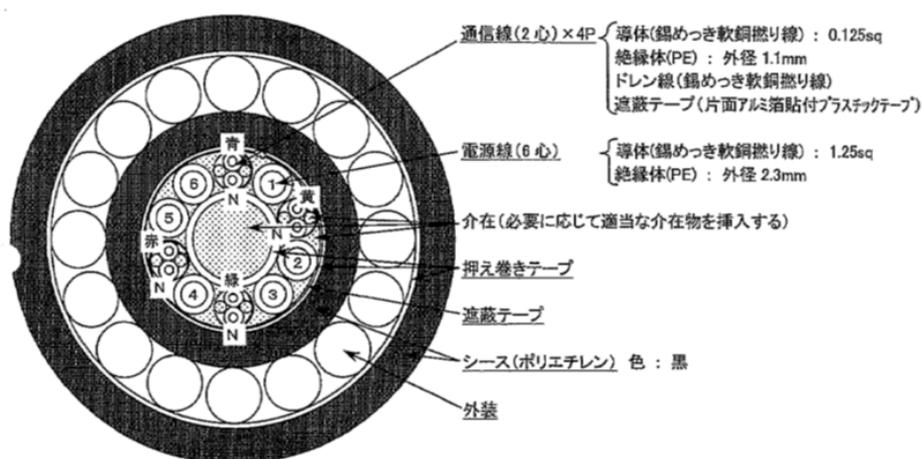


図 4.4-5 海底に設置された設置容器上蓋の固定状況

(2) データ伝送ケーブル

有線型の OBS-1 で使用するデータ伝送ケーブルは、強度を確保するため、鉄線で外装されたアーマードケーブルを使用し、OBC あるいは OBC データ伝送ケーブルと束ね、浅海部を除き、原則的には海底下 2 m に埋設されていた。OBC 分岐点から OBS-1 までは海底下 60 cm に埋設されていた。海域で使用するデータ伝送ケーブルと陸域で使用するデータ伝送ケーブル（ビーチマンホールから実証試験センターまで）は、陸揚げ地点近くの海岸に設置されたビーチマンホール内で結合されていた。図 4.4-6 に海域部データ伝送ケーブルの断面模式図を示す。図 4.4-7 にビーチマンホールの中の様子を示す。



※図中の文字はC1回線の絶縁体色を示す。  
※図中の数字はC2回線のナンバリングを示す。  
※Nは白又は自然色を示す。

図 4.4-6 海域部データ伝送ケーブルの断面構造図



図 4.4-7 ビーチマンホールの中の様子

### (3) データ処理システム

実証試験センターに設置したデータ処理システムの構成図を図 4.4-8 に示す。有線型の OBS-1 からの信号は、データ処理システムの分岐ボックスによりアナログ波形記録の信号とデジタル波形記録の信号に分配されていた。アナログ波形記録の信号は、アナログ受信機において A/D 変換され、アナログ伝送による波形記録 (時刻情報は実証試験センターに設置した GPS による) としてデータ収録用 PC\*2) に送出されていた。表 4.4-3 にアナログ受信機的主要仕様を示す。デジタル波形記録の信号は、RTD 復調器において復調され、デジタル伝送による波形記録 (時刻情報は OBS-1 内の原子時計による) としてデータ収録用 PC に送出されていた。データ伝送ケーブルを介した高速通信を実現するため、OBS 側では高電流 (最大 0.2 A 程度) の電流ループを形成し、送信データによって高速でスイッチングを行い、RTD 復調器側では、その電流から高速のフォトカプラにより復調信号を検出していた。高電流で駆動することにより耐ノイズ性能が向上する。図 4.4-9 に RTD 復調器のシステム図を示す。

データ収録用 PC では、アナログ伝送による波形記録とデジタル伝送による波形記録を保存し、後者の波形記録から毎正分開始の WIN 形式フォーマットのデータファイルを作成し、実証試験センター内のネットワークを介して総合モニタリングシステムに転送していた。データ収録用 PC では、波形記録の表示や FFT 解析等が可能である。データ収録用 PC には専用の UPS (無停電電源装置、型式: BX50F、オムロン株式会社)、データ収録用 PC 以外の観測機器には UPS (型式: THA1000R、株式会社 GS ユアサ) 経由で電源を

\*2) データ収録用 PC は、障害の発生に備え、正副 2 台が同じ処理を並行して実施している。

供給し、各機器は停電時に自動でシャットダウンし、復電後に自動で観測状態に復帰するよう設定していた。

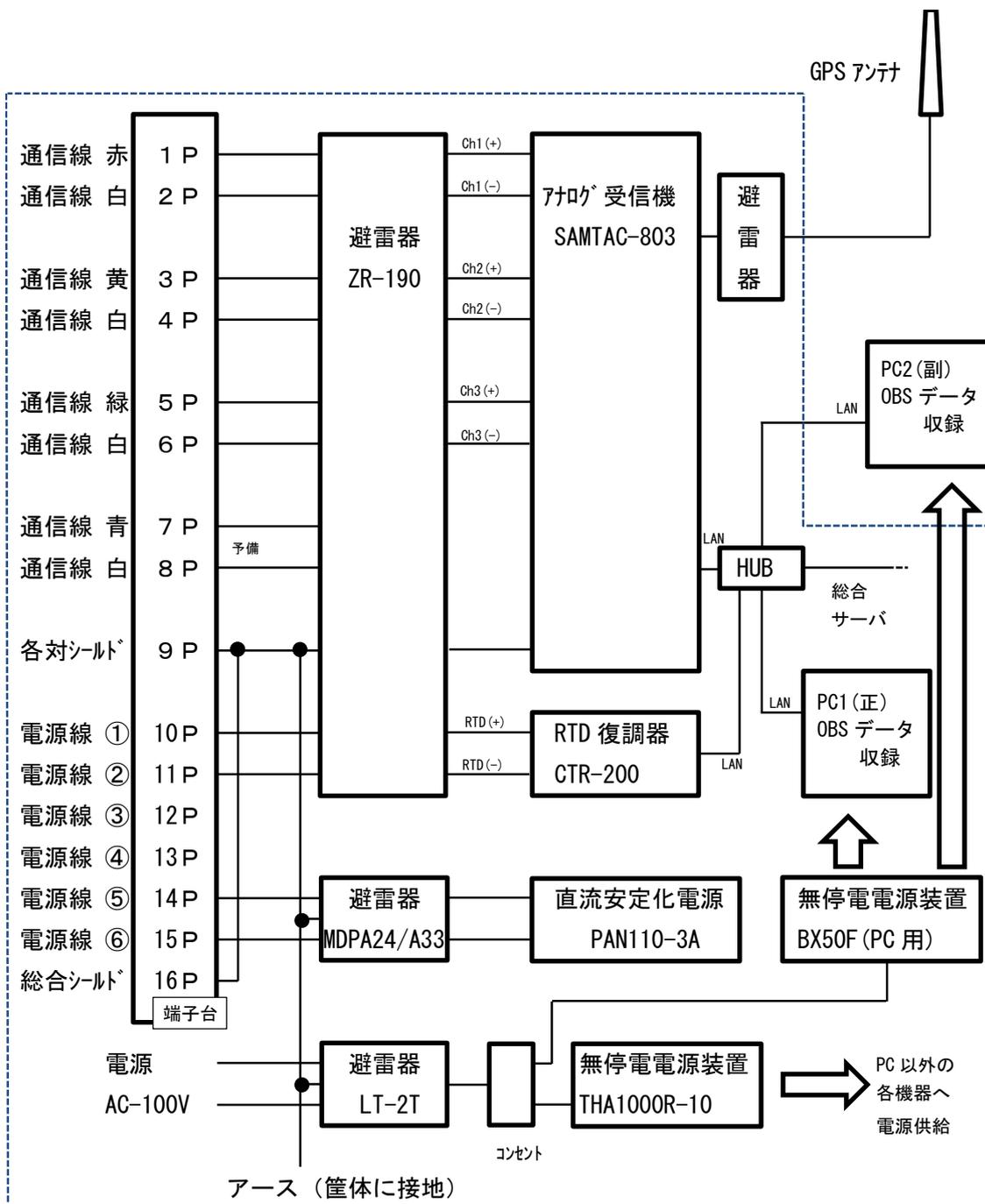


図 4.4-8 データ処理システム構成図

表 4.4-3 アナログ受信機的主要仕様

項目	仕様
入力チャンネル数	3チャンネル
入力形式	差動入力
入力インピーダンス	100 k $\Omega$
アンプゲイン	0、20、40、60 dB
入力範囲	$\pm 10.24$ V at 0 dB
ドリフト	0.06 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C
ノイズ	4 $\mu$ V/RMS
入力フィルタ	fc=230 Hz、12 dB/oct.
A/D 変換	24bit $\Delta \Sigma$ 型
ダイナミックレンジ	最大 130 dB
サンプリングレート	100、200、400 Hz
フルスケールエラー	1%
デジタルフィルタ	FIR フィルタ（最小位相型）
データ記録媒体	SSD
時刻校正	GPS の 1 秒パルスで内部水晶発振器を同期制御

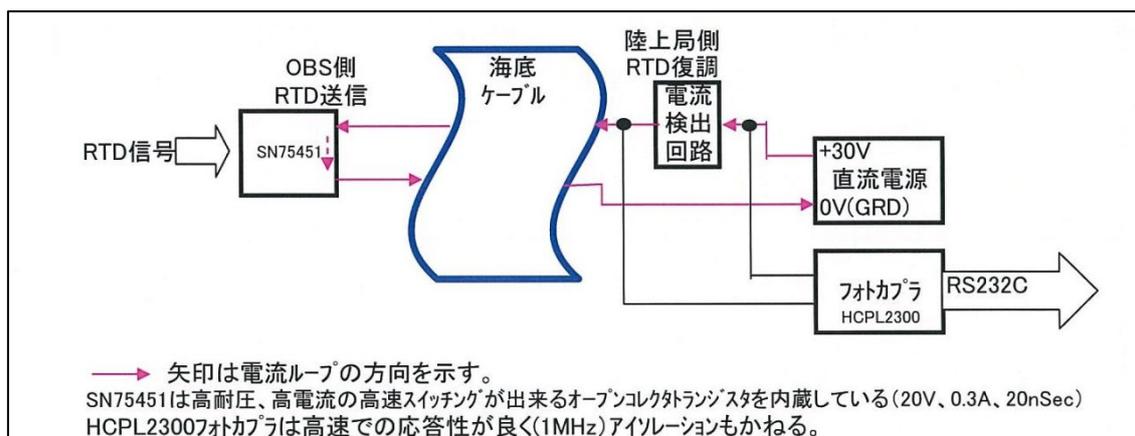


図 4.4-9 RTD 復調器のシステム図

#### 4.4.2 OBSによる観測

有線型のOBS-1ではリアルタイムでのデータ収録を実施した。また、有線型OBSを含む4つの観測点（OBS-1、OBS-2、OBS-3およびOBS-4）に設置したOBSを4箇月ごとに交換し、データ回収と次の交換に備えた整備を実施した。

##### (1) 有線型OBSの維持管理

有線型OBS観測システムによるデータ収録状況を、毎週1回、仮想専用線（VPN）を介して遠隔監視するとともにデータのバックアップを作成した。また、原則毎月1回、現地においてデータ収録システム、データ伝送ケーブル、ビーチマンホール等を点検した。表4.4-4に2021年度に実施した遠隔監視と現地保守点検の実績を示す。有線型OBS観測システムの遠隔監視、現地保守点検およびビーチマンホールの点検では、次のチェックシートを使用した。

- 1) 有線型OBS観測システムの遠隔監視用チェックシート（図4.4-10）
- 2) 有線型OBS観測システムの現地保守点検用チェックシート（図4.4-11(1),(2)）
- 3) ビーチマンホールの保守点検用チェックシート（図4.4-12）

表 4.4-4 2021年度の有線型OBSの遠隔監視と現地保守点検実績

実施年月	実施日
2021年4月	9、15、22、28
2021年5月	7、14、21、 <u>27</u> 、28
2021年6月	4、11、17、25
2021年7月	2、6

注) 丸数字は、現地保守点検実施日を示す。

OBS観測システムの保守（VPN接続によるリモート点検） -1/1			
作業完了日		作業担当者	
平成	年	月	日（ ）
		株式会社 東京測振	
項目	作業内容		確認
集録PC	集録PCとVPN接続ができること。	正PC	
		副PC	
	集録PCの内部時計がインターネット時刻で修正できていること。	正PC	
		副PC	
ソフトウェア (データ処理システム)	プログラムが正常動作し、直近の記録リストが最新のデータであること。	正PC	
		副PC	
	デジタル、アナログのwin変換データが総合サーバへ転送できること。 (総合サーバ転送の設定は正パソコンのみ)	デジタル	
		アナログ	
	外付けハードディスク(Gドライブ)にwinデータの圧縮ファイルが1日毎に生成されていること。	正PC	
		副PC	
ソフトウェア (RTD受信ソフトウェア)	デジタルRTDデータが1秒毎にリアルタイムで転送できること。	正PC	
		副PC	
	アナログRTDデータが1秒毎にリアルタイムで転送できること。	正PC	
		副PC	
	デジタルRTDデータ保存先フォルダにデータが記録されていること。	正PC	
		副PC	
	アナログRTDデータ保存先フォルダにデータが記録されていること。	正PC	
		副PC	
	デジタルRTDプログラムの動作ログを確認し、波形データの1秒欠測がないこと。	正PC	
		副PC	
	アナログRTDプログラムの動作ログを確認し、波形データの1秒欠測がないこと。	正PC	
		副PC	
記録データ	アナログ、デジタルの地震記録または常時微動波形を比較し、異常がないこと。 (波形データを別紙にて添付)		
前回点検時以降に記録されたデータを全てコピーする。(バックアップデータ)			
保守完了時確認事項	集録PCのRTDソフトのレンジ表示が0.02cm/sec、時間表示が30秒になっていること。		
【特記事項】			

図 4.4-10 有線型 OBS 観測システムの遠隔監視用チェックシート

OBS観測システムの保守（現地による点検） -1/2				
作業完了日		作業担当者		
平成 年 月 日 ( )				
駆除				
項目	作業内容			確認
アナログ受信機 (SAMTAC-803)	アナログRTDがパソコンへリアルタイム転送できること。			
	パソコンの表示波形に異常が無いこと。(ノイズ、ドリフト等)			
	液晶モニタ表示部に異常がないこと。			
	GPSが受信できていること。内部時刻にずれがないこと。			
	GPSアンテナに損傷等のないこと。			
RTD復調器 (CTR-200)	デジタルRTDがパソコンへリアルタイム転送できること。			
	パソコンの表示波形に異常が無いこと。(ノイズ、ドリフト等)			
LANコンバータ	本体の各種ランプを目視し、点灯または点滅していること。			
スイッチングHUB	パソコン、LANコンバータと正常にLANケーブルが接続されていること。			
	総合モニタリングサーバと正常にLANケーブルが接続されていること。			
直流安定化電源	出力電圧、電流値に問題がないこと。(下記に出力値を記入)			
	項目	出力値	判定基準	確認
	出力電圧	V	115V±5%以内であること。	
	消費電力	A	0.04A～0.07Aの範囲であること。	
無停電電源装置 (観測システム用)	正面LED表示部が正常動作表示であること。			
	ブレーカを断にして停電状態にした時、各機器が動作できること。			
無停電電源装置 (PC用)	正面LED表示部が正常動作表示であること。			
	ブレーカを断にして停電状態にした時、パソコンが自動シャットダウンできること。			
	電源復帰後、パソコンが自動起動し、プログラムが自動的に動作すること。			
観測ラック	外観に破損等のないこと。			
	各機器の接続コネクタに抜けや緩み等ないこと。			
	各機器の電源コンセントに抜けや緩み等ないこと。			
	転倒防止用ステンレスワイヤーに損傷等がないこと。			
	陸域部データ伝送ケーブル端子台に緩み、芯線の断線等がないこと。			
【特記事項】				

図 4.4-11(1) 有線型 OBS 観測システムの現地保守点検用チェックシート（1/2）

OBS観測システムの保守(現地による点検) -2/2			
作業完了日		作業担当者	
平成 年 月 日 ( )			
項目	作業内容		確認
集録PC	集録PCの内部時計がインターネット時刻で修正できていること。	正PC	
		副PC	
ソフトウェア (データ処理システム)	プログラムが正常動作し、直近の記録リストが最新のデータであること。	正PC	
		副PC	
	デジタル、アナログのwin変換データが総合サーバへ転送できること。 (正パソコンのみ)	デジタル	
		アナログ	
外付けハードディスク(Gドライブ)にwinデータの圧縮ファイルが1日毎に生成されていること。	正PC		
	副PC		
ソフトウェア (RTD受信ソフトウェア)	デジタルRTDデータが1秒毎にリアルタイムで転送できること。	正PC	
		副PC	
	アナログRTDデータが1秒毎にリアルタイムで転送できること。	正PC	
		副PC	
	デジタルRTDデータ保存先フォルダにデータが記録されていること。	正PC	
		副PC	
	アナログRTDデータ保存先フォルダにデータが記録されていること。	正PC	
		副PC	
デジタルRTDプログラムの動作ログを確認し、波形データの1秒欠測がないこと。	正PC		
	副PC		
アナログRTDプログラムの動作ログを確認し、波形データの1秒欠測がないこと。	正PC		
	副PC		
記録データ	アナログ、デジタルの地震データを比較し、異常がないこと。 前回点検時以降に記録されたデータを全てコピーする。(アナログ受信機のSSD内記録およびパソコンのバックアップデータ)		
保守完了時確認事項	集録PCのRTDソフトのレンジ表示が0.02cm/sec、時間表示が30秒になっていること。		
	集録PCの液晶モニタの電源が断になっていること。		
	観測ラックの前扉が施錠されていること。		
【特記事項】			

図 4.4-11(2) 有線型 OBS 観測システムの現地保守点検用チェックシート (2/2)

ビーチマンホール保守 -1/1		
作業完了日	天候	作業担当者
平成 年 月 日 ( )		
項目	作業内容	確認
マンホール外観	マンホールの蓋にヒビ割れやキズ等の損傷がないこと。	
	マンホールの蓋に雪、土等が被っている場合は除去する。	
	マンホール蓋の受枠内を確認し、砂や土等が溜まっていないこと。溜まっている場合は除去する。	
	マンホール蓋の受枠内リングに損傷がないこと。	
マンホール内部	水が大量に溜まってないこと。溜まっている場合は水抜きする。	
	水抜き穴に詰りがなく、詰りがいないこと。	
	小動物等の侵入した形跡がないこと。	
	海域部データ伝送ケーブルに損傷がないこと。	
	陸域部データ伝送ケーブルに損傷がないこと。	
接続ボックス外観	接続ボックス外観にキズやへコミ等の異常がないこと。水滴や砂等が付着している場合は清掃する。	
	接続ボックスのネジ止めに緩みがないこと。ネジ穴に水滴や砂等の付着がある場合は清掃する。	
	開口部周縁に異物、水滴、砂等が付着していないこと。付着している場合は清掃する。	
	取付治具に緩みや破損がなく、しっかりと固定されていること。	
接続ボックス内部、端子台	端子の劣化、緩み、抜けがないこと。	
	芯線の断線がないこと。	
	接続ボックス内部に異物がないこと。水滴や砂等がないこと。	
【特記事項】		

図 4.4-12 ビーチマンホールの保守点検用チェックシート

(2) OBS の交換

有線型を含めた4地点のOBSの交換と観測データの回収を2021年7月実施した。

海底でのOBSの交換作業は、図4.4-13の概念図に示すように潜水士が実施した。OBSの設置容器は、設置時（2014年7月）には、図4.4-14に示すように上面（蓋）が海底面と同じになるよう全体を海底面下に埋設したが、海底堆積物の移動による上面への堆積あるいは設置容器の一部露出が見られたため、OBS交換時に設置容器の外観および設置容器周辺の堆積物の状況等を確認（写真撮影を含む）し、設置容器の蓋の堆積物の厚さ、設置容器内の土砂堆積量および設置容器の海底面からのはみ出し量を測定していたが、2021年度は回収後撤去することから測定は行わなかった。

表4.4-5に海底に設置されているOBSの交換作業の手順を示す。OBS交換作業時には、次のチェックシートを使用した。

- 1) 有線型 OBS 回収時確認（現地作業）チェックシート（図4.4-15）
- 2) 独立型 OBS 回収時確認（現地作業）チェックシート（図4.4-16）

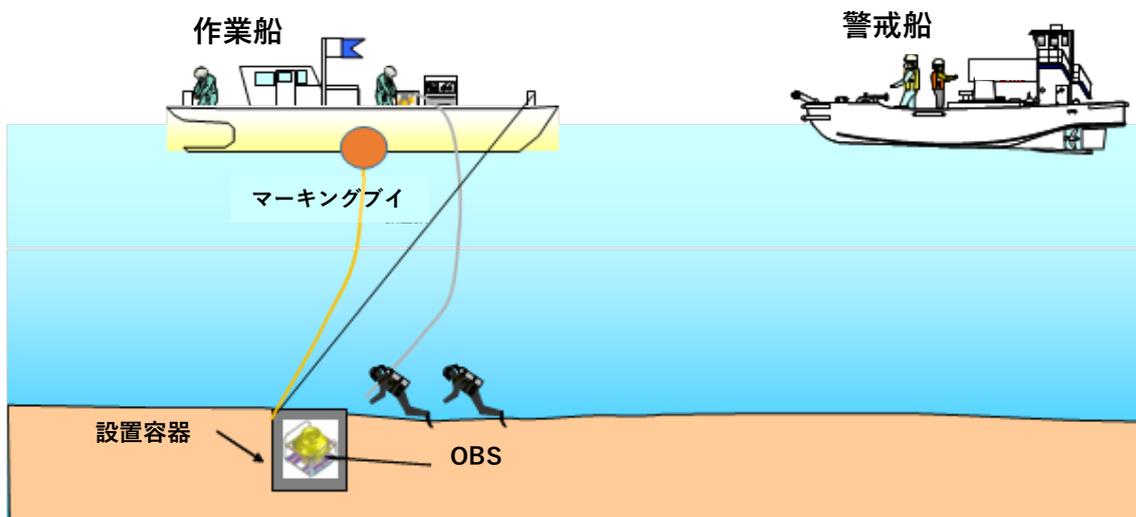


図 4.4-13 OBS 交換作業概念図

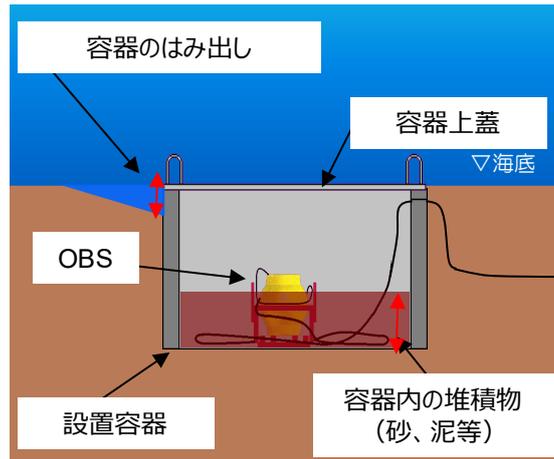


図 4.4-14 OBS（有線型の場合）の設置概念図

表 4.4-5 OBS 交換作業手順

手順	作業内容	摘要
1	出港直前に OBS の動作チェック、データ取得に関する開始・終了スケジュールの設定、原子時計と GPS 時刻の合わせ込みを実施	
2	作業船および警戒船出港	
3	作業船の位置決めおよび係留	
4	OBS 設置容器の状況の外観等の確認（写真撮影を含む）	
5	設置容器の蓋の移動、既設 OBS の回収 ※設置容器内の堆積物の状況に応じてジェットポンプを使用	
6	海底ケーブルの切断	有線型 OBS
7	設置容器内の写真撮影、容器の蓋閉め、設置容器の外観の写真撮影	
8	作業船の係留解除後、帰港	
9	原子時計の動作状況および $\Delta t$ を確認	
10	OBS の洗浄、データ回収	

有線型OBS 回収時確認 (現地作業) -1/1			
OBS測点番号	OBS ID番号	レコーダ ID番号	原子時計 ID番号
OBS-1			
作業完了日		作業担当者	
平成 年 月 日 ( )			
項目	作業内容		確認
回収前設置状況 目視確認 (船上/海中作業)	OBS設置容器蓋、設置容器の外観に異常がないこと。		
	OBS設置容器内部の砂の侵入状況を確認する。		
	OBS設置容器のはみ出しを確認する。		
	北側：    cm/南側：    cm/東側：    cm/西側：    cm		
	【備考】		
内部時計確認 (陸上作業)	パラメータ設定器よりOBSレコーダのIDが読み取れること。		レコーダ ID
	標準時刻発生器(TMC-8200)を接続し、 $\Delta t$ を3回測定する。内部時計とGPS時計の時刻差が測定できること。		
	項目	確認日時	$\Delta t$ 値
	$\Delta t-1$		
	$\Delta t-2$		
	$\Delta t-3$		
原子時計の精度を計算し、精度誤差が許容範囲内 ( $\pm 1E-09$ 以内) であること。		原子時計精度	
記録状況確認 (陸上作業)	パラメータ設定器より、レコーディングモードを解除する。レコーダLEDランプが5秒毎に点滅すること。		
	パラメータ設定器より、SSDの記録数及びSSDの空き容量を確認する。		記録数    空き容量
	パソコンとOBSを専用通信ケーブルで接続してSSDへアクセスし、データのコピーができること。		
	パラメータ設定器より、OBSの電源を遮断する。レコーダ本体のLEDランプが消灯し、電源が断になっていること。		
データのコピー (モニタリング室)	パソコンへコピーしたデータを $\Delta t$ 補正してwin形式に変換し、総合モニタリングサーバへコピーできること。		
【特記事項】			

図 4.4-15 有線型 OBS 回収時確認 (現地作業) チェックシート

独立型OBS 回収時確認（現地作業）-1/1			
OBS測点番号	OBS ID番号	レコーダ ID番号	原子時計 ID番号
OBS-			
作業完了日		作業担当者	
平成 年 月 日 ( )			
項目	作業内容		確認
回収前設置状況 目視確認 (船上/海中作業)	OBS設置容器蓋、設置容器の外観に異常がないこと。		
	OBS設置容器内部の砂の侵入状況を確認する。		
	OBS設置容器のはみ出しを確認する。		
	北側： cm/南側： cm/東側： cm/西側： cm		
	【備考】		
内部時計確認 (陸上作業)	パラメータ設定器よりOBSレコーダのIDが読み取れること。		レコーダ ID
	標準時刻発生器(TMC-8200)を接続し、 $\Delta t$ を3回測定する。内部時計とGPS時計の時刻差が測定できること。		
	項目	確認日時	$\Delta t$ 値
	$\Delta t$ -1		
	$\Delta t$ -2		
	$\Delta t$ -3		
原子時計の精度を計算し、精度誤差が許容範囲内（ $\pm 1E-09$ 以内）であること。		原子時計精度	
記録状況確認 (陸上作業)	パラメータ設定器より、レコーディングモードを解除する。レコーダLEDランプが5秒毎に点滅すること。		
	パラメータ設定器より、SSDの記録数およびSSDの空き容量を確認する。		記録数 空き容量
	パソコンとOBSを専用通信ケーブルで接続してSSDへアクセスし、データのコピーができること。		
	パラメータ設定器より、OBSの電源を遮断する。レコーダ本体のLEDランプが消灯し、電源が断になっていること。		
データのコピー (モニタリング室)	パソコンへコピーしたデータを $\Delta t$ 補正してwin形式に変換し、総合モニタリングサーバへコピーできること。		
【特記事項】			

図 4.4-16 独立型 OBS 回収時確認（現地作業）チェックシート

### (3) データの回収およびOBSの搬出

帰港後は、OBSを洗浄した後に開封し、ガラス球内部の整備、動作試験、記録確認等を行い、レコーダに組み込んだメモリに保存されている観測データを回収した。

回収したOBSの観測終了時の原子時計とGPSの時刻差（ $\Delta t$ ）を観測期間（原子時計の設定時の時刻\*3～データ取得終了時の原子の時刻）に対し配分する補正を実施した上で、改めてWIN形式による毎0秒から1分間ごとのデータファイルを作成し、総合モニタリングシステムのデータ変換サーバに転送した。3回の交換時に確認した原子時計の時計設定時刻、観測時間、 $\Delta t$ および精度（ $\Delta t$ /観測時間）を表4.4-6に示す。

また、回収後したOBSは仮封止し、搬出した。

表 4.4-6 交換時に確認した原子時計の精度

観測点	原子時計ID	設定時刻	データ取得終了	観測時間(s)	$\Delta t$ (ms)	精度
OBS-1	17308	2021/2/15 07:19	2021/7/17 13:13	13,154,040	+1.31	-1.0E-10
OBS-2	64676	2021/2/27 06:52	2021/7/21 12:39	12,462,420	-3.13	-2.5E-10
OBS-3	24837	2021/2/22 07:05	2021/7/14 11:31	12,284,760	+0.92	+7.5E-11
OBS-4	24062	2021/2/26 06:39	2021/7/11 11:07	11,680,080	-2.74	-2.3E-10

### (4) OBSによる観測

2021年度は運用を停止した7月まで、OBS-1、OBS-2、OBS-3およびOBS-4の4箇所に設置したOBSによるデータ取得を実施した。有線型OBSによる観測では、定期の現地保守点検に伴う短時間の欠測が生じた。欠測を表4.4-7に示す。

表 4.4-7 有線型OBSに生じた欠測（2021年4月～2021年7月）

欠測データ	欠測期間（2021年度）	欠測理由
デジタルデータ	5月27日 10:15~10:18	定期点検においてUPSのシャットダウン確認
	7月15日 14:36以降	撤去に伴う観測システム停止
アナログデータ	5月27日 10:15~10:18	定期点検においてUPSのシャットダウン確認
	7月15日 14:55以降	撤去に伴う観測システム停止

\*3) 原子時計とGPSの同期を取った時刻

#### 4.4.3 OBS 設置容器等の撤去

OBS を用いた観測を終了したことから、OBS を設置していた鉄筋コンクリート製容器を海底から揚収して撤去した。有線型 OBS である OBS-1 の伝送ケーブルは切断し、海底面下約 0.6m に残置した。撤去後の設置容器や OBS ケーブルは産業廃棄物として適正に処理した。以下、OBS 設置容器等の撤去に関して記載する。

##### (1) OBS 設置容器の撤去

OBS を収納していた鉄筋コンクリート製の設置容器は、独立型 OBS 設置容器で約 4 トンと重量物であることから、起重機船を用いて吊り上げた。計画では、OBS 回収が完了した 7 月 23 日から引き続いて撤去作業を行う予定であったが、荒天（時化、濃霧）が続いたため、実際の設置容器揚収は 8 月 1 日と 20 日となった。また、8 月 27 日に撤去後の海底写真撮影を実施した。計画より約 1 か月遅れたが、無事故無災害で完了した。

OBS 設置容器の撤去手順を表 4.4-8 に、起重機船による設置容器の吊り上げ作業の状況を図 4.4-17 示す。

表 4.4-8 OBS 設置容器の揚収手順

手順	実施事項	
1	KY 実施	
2	出港	
3	位置決めおよび係留	
4	ダイバー作業	設置容器の確認
5		作業前の状況の写真撮影
6		吊り上げワイヤーの取付け
7		クレーンフックにワイヤーを取付け
8	起重機船作業	コンクリート設置容器の吊り上げ
9		船上に設置容器を揚収
10	ダイバー作業	撤去後の海底状況確認、海底面の均し
11		撤去後の写真撮影
12	係留解除	
13	帰港	



図 4.4-17 起重機船による OBS 設置容器吊り上げ作業

(2) 有線型 OBS 伝送ケーブルの撤去

有線型 OBS の海域部伝送ケーブルの切断作業を OBS 回収後の 7 月 17 日に行なった。図 4.4-18 に示すように、ケーブルは陸上部より OBC ケーブルと並行して海底面から約 2 m の深さで埋設されており、OBS-1 観測点付近で分岐して配線されている。設置容器内引込み位置より埋設されているケーブルを設置容器から約 12 m の位置まで掘り起こして切断した。ケーブル先端を水中硬化型エポキシパテにて養生し、約 60 cm の深さに埋設した。残置したケーブルは OBC ケーブル撤去時に合わせて撤去する。

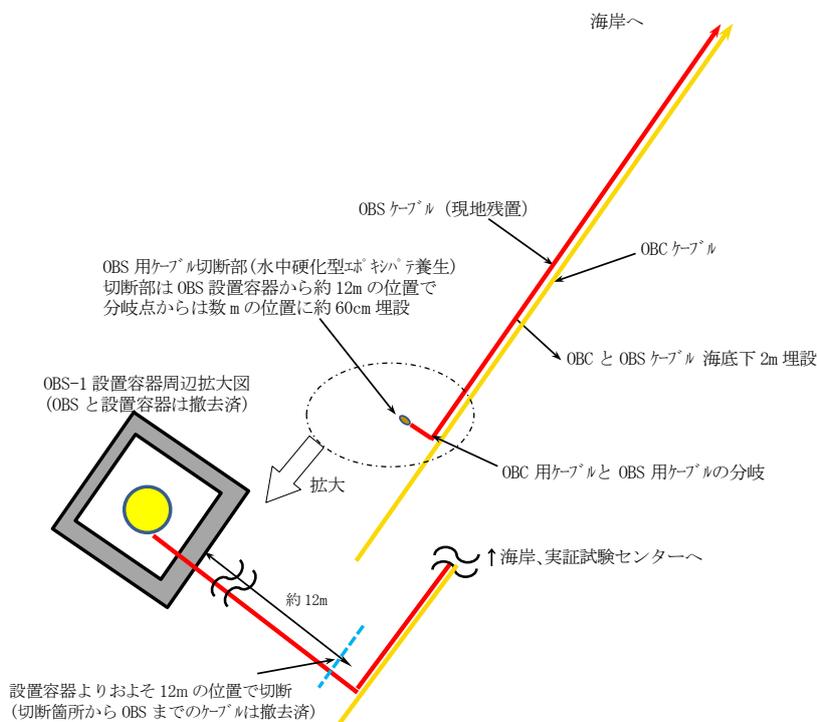


図 4.4-18 有線型 OBS 伝送ケーブルの切断位置図

### (3) 陸域観測装置の撤去

苫小牧実証試験センターに設置されているOBS観測システムは、有線型OBS回収前に各機器の電源断、ケーブル切り離し作業を行ない、OBS回収後の7月23日に各機器の取外しおよび撤去を行なった。OBSケーブルと同様、ビーチマンホール、GPSアンテナ/ケーブルはOBC用ケーブルと一緒に抱き合わせで通線、敷設されており、これだけ分離して取り外すことが不可能なため、OBCケーブル撤去時に合わせて撤去する。陸域観測装置の位置図を図4.4-19に、残置物の状況を図4.4-20にそれぞれ示す。



図 4.4-19 陸域観測装置の位置図



図 4.4-20 残置物（左：ビーチマンホールの内部、右：GPS アンテナ）

#### (4) 撤去後の海底の状況確認

設置容器撤去後の海底の状況を図 4.4-21 に示す。

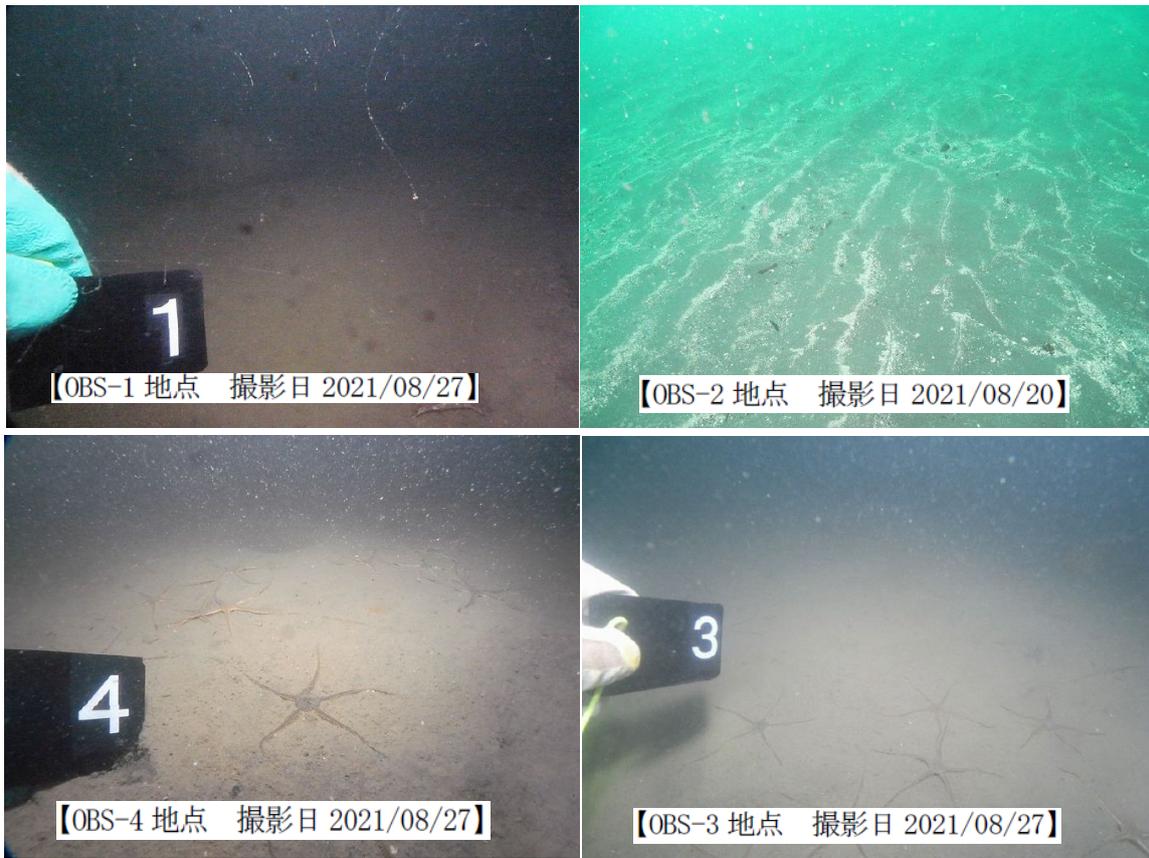


図 4.4-21 OBS 設置容器揚収後の海底

#### 4.4.4 海底地形測量結果

2016 年度から 2020 年度に続き、OBC 埋設ルート周辺の海底地形測量実施時（2021 年 8 月 30 日および 31 日）に各 OBS 設置地点（4 地点）を中心とする 20 m×20 m の正方形の範囲（以下、それぞれ「OBS-1 範囲」「OBS-2 範囲」「OBS-3 範囲」および「OBS-4 範囲」と称する。）に対し、マルチビームによる海底地形測量（測量方法およびデータ処理方法等は 4.3.4 を参照）を実施した。各範囲の過年度と 2021 年度の測量結果から海底地形図（陰影図）と水深差分図<sup>\*4)</sup>を組み合わせて海底地形変化図<sup>\*5)</sup>として示す。

##### (1) OBS-1 範囲

OBS-1 範囲について、図 4.4-22 に海底地形変化図を示す。

\*4) グリッド化された 2018 年度の測量結果（水深）－2017 年度の測量結果（水深）により作成する。

\*5) 上段に 2016 年度、2017 年度および 2018 年度の測量による海底地形図（陰影図）、下段に 2017 年度と 2018 年度水深差分図を並べて海底地形変化図とした。

撤去箇所を除いた調査範囲の測量水深は、2016年度では25.0～25.6 m、2017年度では24.8～25.4 m、2018年度では24.8～25.4 m、2019年度では25.0～25.3 m、2020年度では24.9～25.5 m、2021年度では24.9～25.5 mとほとんど変化はみられない。

撤去箇所では、海底面で6 m 四方、設置底面で3 m 四方、深さ0.9 m程度の設置容器（2 m 四方）の撤去跡が残っている。

## (2) OBS-2 範囲

OBS-2 範囲について、図 4.4-23 に海底地形変化図を示す。

撤去箇所を除いた調査範囲の測量水深は、2016年度では13.3～13.7 m、2017年度では13.4～13.7 m、2018年度では13.4～13.8 m、2019年度では13.5～13.8 m、2020年度では13.5～13.9 m、2021年度では13.5～13.8 mとほぼ同じ幅で推移している。

撤去箇所では、海底面で3 m 四方、設置底面で0.6 m 四方、深さ0.3 m程度の設置容器（1 m 四方）撤去跡が残っている。

## (3) OBS-3 範囲

OBS-3 範囲について、図 4.4-24 に海底地形変化図を示す。

撤去箇所を除いた調査範囲の測量水深は、2016年度では34.4～34.6 m、2017年度では34.4～34.5 m、2018年度では34.4～34.6 m、2019年度では34.4～34.6 m、2020年度では34.4～34.6 m、2021年度では34.4～34.6 mと極めて小さな幅で推移している。

撤去箇所では、海底面で4 m 四方、設置底面で1.1 m 四方、深さ0.8m程度の設置容器（1 m 四方）撤去跡が残っている。

## (4) OBS-4 範囲

OBS-4 範囲について、図 4.4-25 に海底地形変化図を示す。

撤去箇所を除いた調査範囲の測量水深は、2016年度では37.7～38.0 m、2017年度では37.6～37.9 m、2018年度では37.7～38.0 m、2019年度では37.7～38.0 m、2020年度では37.7～37.9 m、2021年度では37.7～37.9 mと大きな変動は認められなかった。

撤去箇所では、海底面で4 m 四方、設置底面で1.3 m 四方、深さ0.7 m程度の設置容器（1 m 四方）撤去跡が残っている。

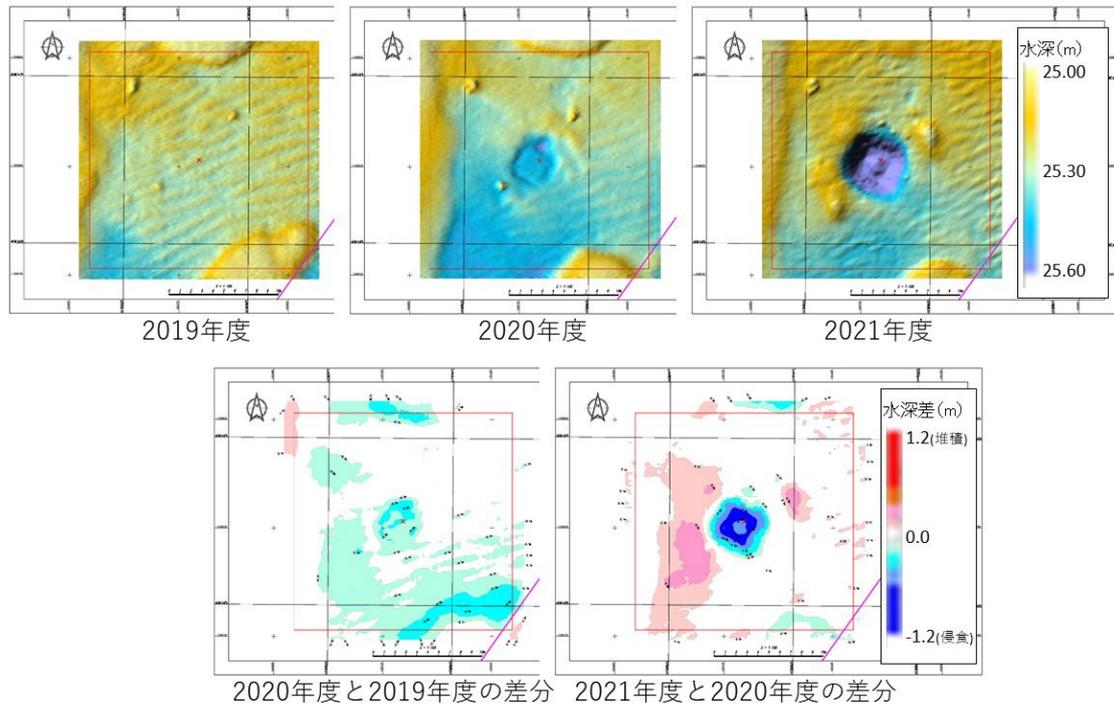


図 4.4-22 OBS-1 周辺の海底地形変化図（2021 年度測量結果）

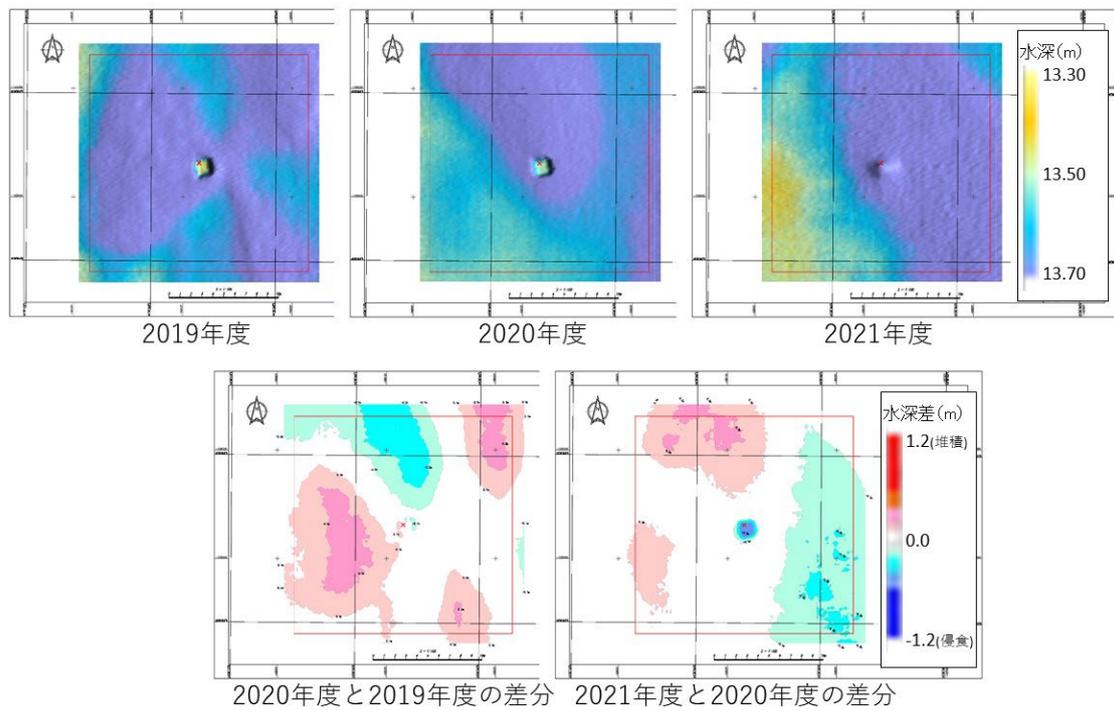


図 4.4-23 OBS-2 周辺の海底地形変化図（2021 年度測量結果）

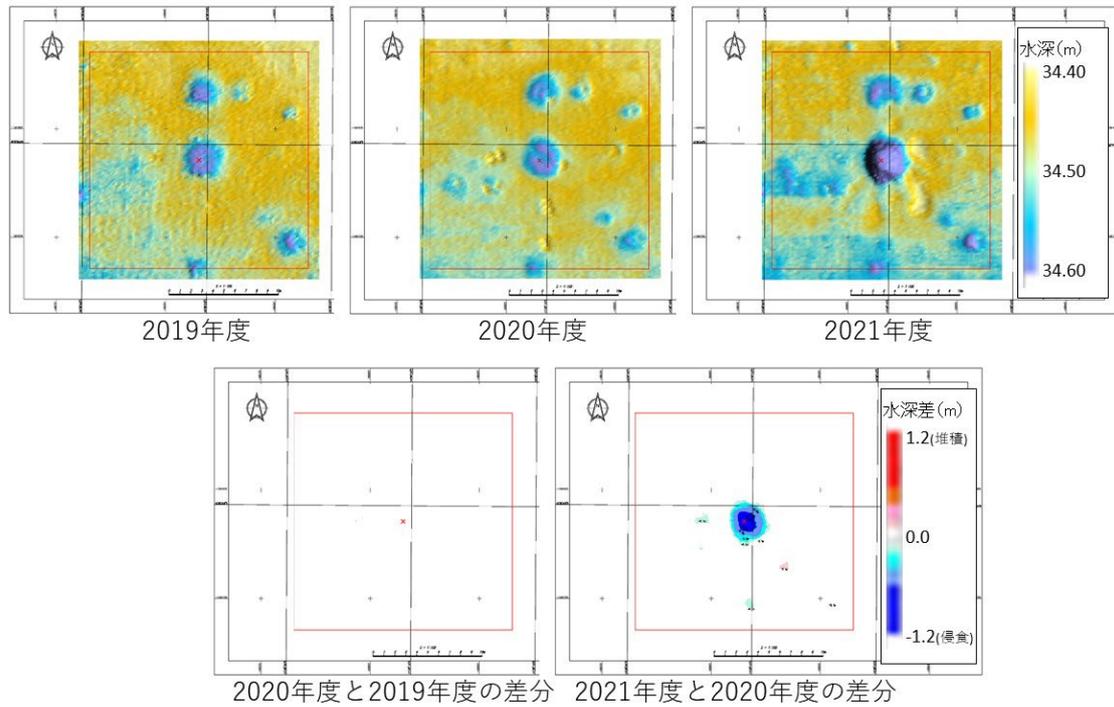


図 4.4-24 OBS-3 周辺の海底地形変化図（2021 年度測量結果）

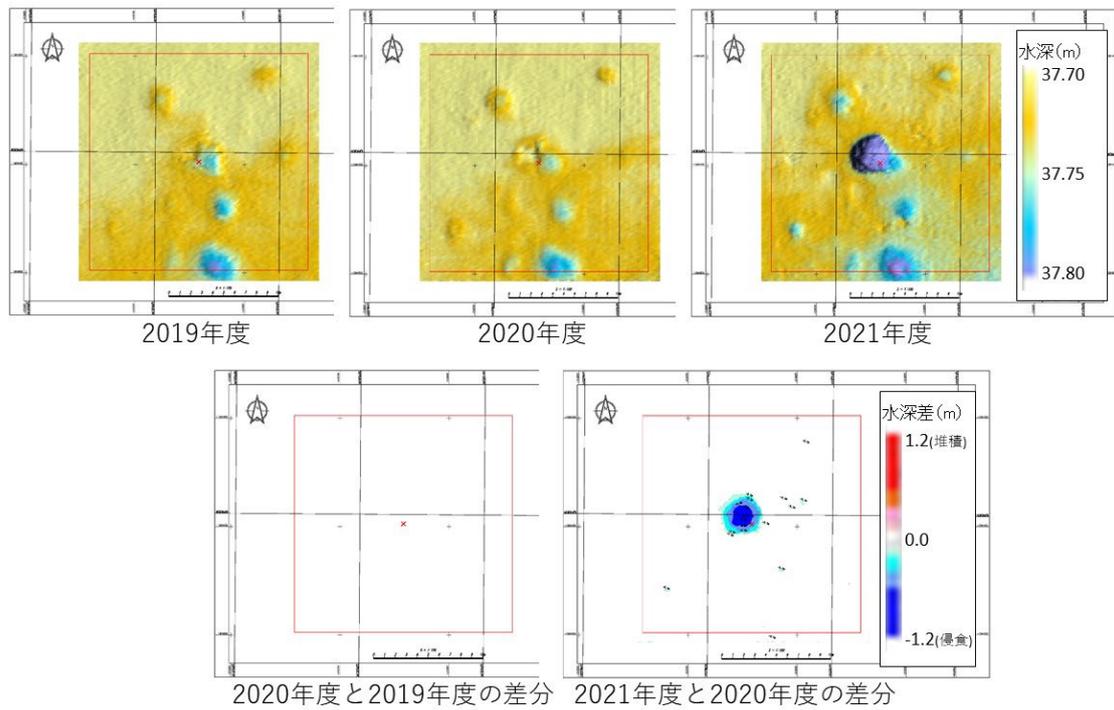


図 4.4-25 OBS-4 周辺の海底地形変化図（2021 年度測量結果）

#### 4.5 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 4.5-1 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 4.5-1 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 4.5-2 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ルータを、2021年度にデータ変換サーバ2、データ保管サーバ、制御用端末、圧入井データ入出力PCを更新<sup>\*1</sup>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。

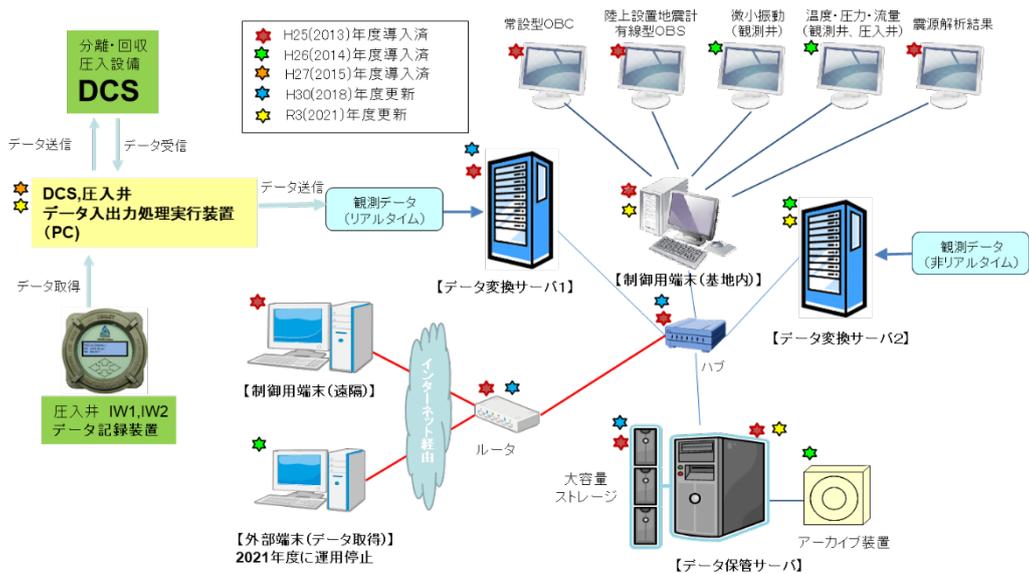


図 4.5-1 総合モニタリングシステムのハードウェア構成図

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

表 4.5-1 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 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>データ変換サーバ内に直近 2 箇月分の統一フォーマットファイルを保持することを想定し、900 GB の HDD10 台を装備。</li> </ul>
②	データ変換サーバ 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>主に非リアルタイムでの観測データの処理に使用。</li> <li>データ変換サーバ 1 のバックアップを兼ねる。</li> </ul>
③	データ保管サーバ	<ul style="list-style-type: none"> <li>大容量ストレージとアーカイブ装置を管理。</li> </ul>
④	大容量ストレージ	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>RAID1<sup>*2)</sup>方式として冗長性を確保。</li> </ul>
⑤	アーカイブ装置 外部媒体用ドライブ	<ul style="list-style-type: none"> <li>データのバックアップ作成用</li> <li>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</li> <li>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</li> </ul>
⑥	制御用端末	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証試験センター内に設置し、各モニターへの出力を制御</li> <li>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</li> </ul>
⑦	高解像度モニター （5 台）	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
⑧	ネットワークスイッチ	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証試験センター内の通信を制御</li> </ul>
⑨	VPN ルータ	<ul style="list-style-type: none"> <li>インターネット経由での外部との接続を制御</li> </ul>
⑩	無停電電源装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>停電時対応</li> </ul>
⑪	DCS・圧入井データ入出力処理 PC	<ul style="list-style-type: none"> <li>圧入井データ（温度・圧力）のデータロガーからの吸い上げ</li> <li>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</li> <li>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</li> </ul>
⑫	外部端末（2 台）	<ul style="list-style-type: none"> <li>インターネット経由で実証試験センターの各サーバ、端末等を制御</li> </ul>

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 4.5-2 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

#### 4.5.1 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、CO<sub>2</sub>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4.5-3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、一旦、データロガー（実証試験センター内に設置）に収録される。同時に、DCS・圧入井データ入出力処理用PC（図4.5-1および表4.5-1の⑩参照）（以下、「入出力処理PC」と称する。）でデータ形式を処理され、DCSおよび総合モニタリングシステムに送信される。何らかの理由で一定時間\*9)を超えてデータロガーから圧入井データを取得できない場合、圧入井の温度・圧力値をDead Value (= -999.25) とする設定となっている。

表 4.5-3 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、低压フラッシュ塔の塔頂 CO <sub>2</sub> 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<sup>\*11)</sup>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に記録・保存する。

統一フォーマットファイル<sup>\*12)</sup>は、データ保管サーバ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 4.5-4 に統一フォーマットファイル保存領域の構成を示す。

表 4.5-4 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<sup>\*13)</sup>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<sup>\*14)</sup>を作成し、順次モニターに表示する。非リアルタイム表示では、指定した期間（表示開始時刻と表示時間幅<sup>\*15)</sup>の観

\*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、データ保管サーバに転送される。一方、データ変換サーバ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) 観測機器から実証試験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」

\*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

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 4.5-2 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 4.5-3 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 4.5-4 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 4.5-5 に観測井の温度・圧力、DTS による温度分布、圧入井温度・圧力および操業データを時系列表示した例をまとめて示す。

\*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× $\sigma$ （RMS 振幅）により設定している。

\*18) 帯域処理フィルタ（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を適用している。

\*19) ジオフォン 3 成分と hidroフォン 1 成分

\*20) 基準値は、ベースラインデータ観測の結果に基づき設定した。

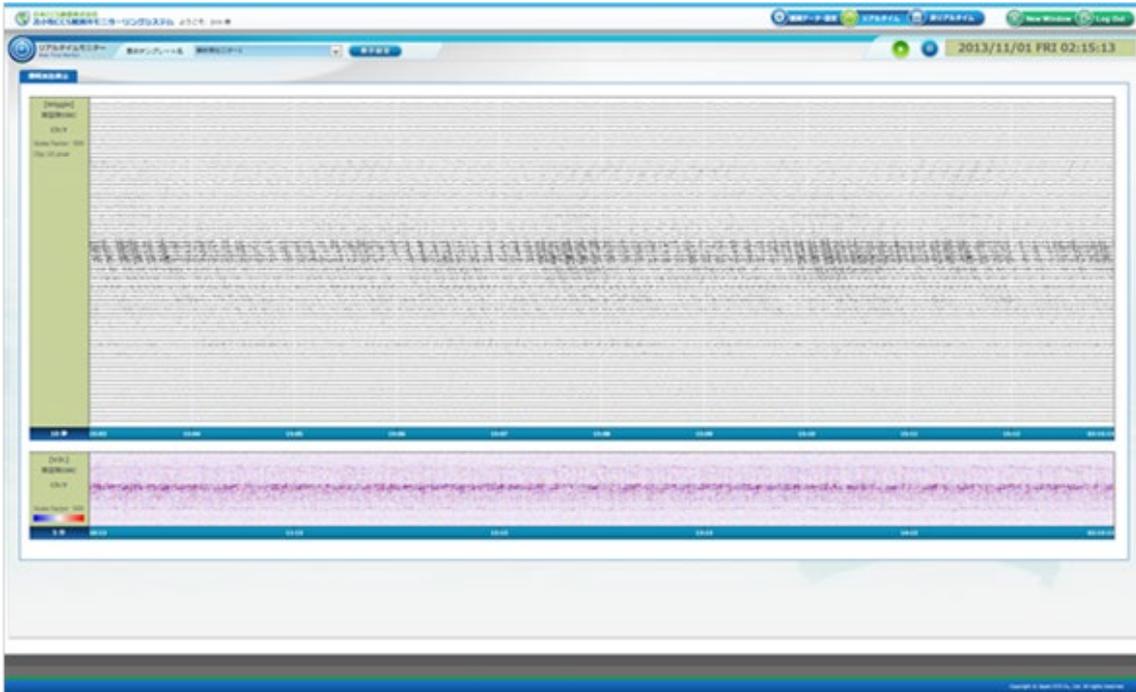


図 4.5-2 常設型 OBC 観測データのリアルタイム表示例

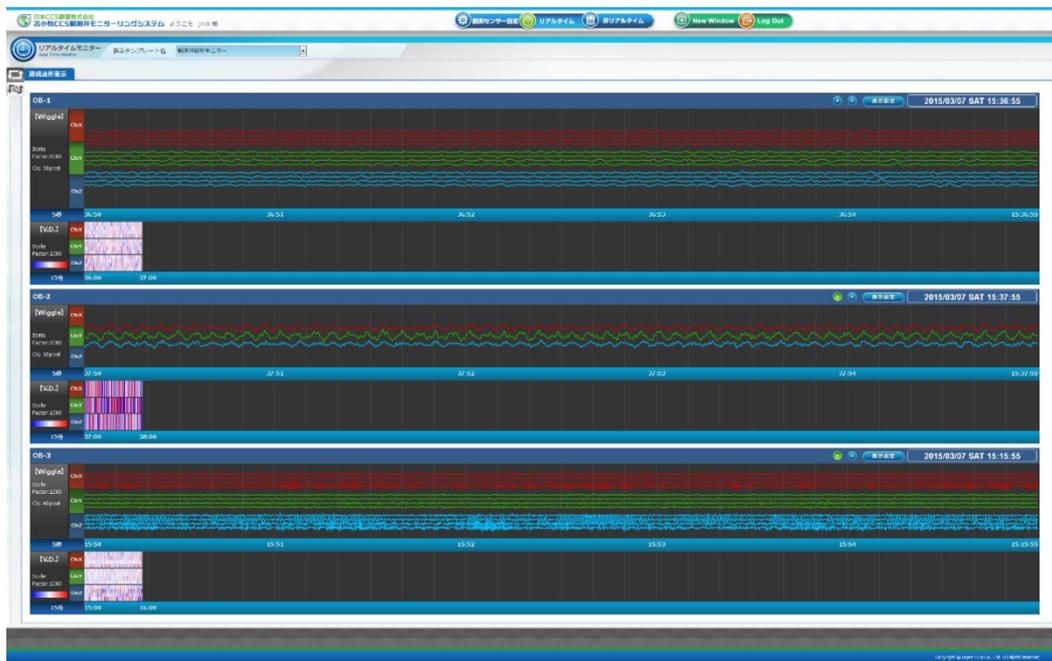


図 4.5-3 観測井坑内地震計観測データの時系列表示例

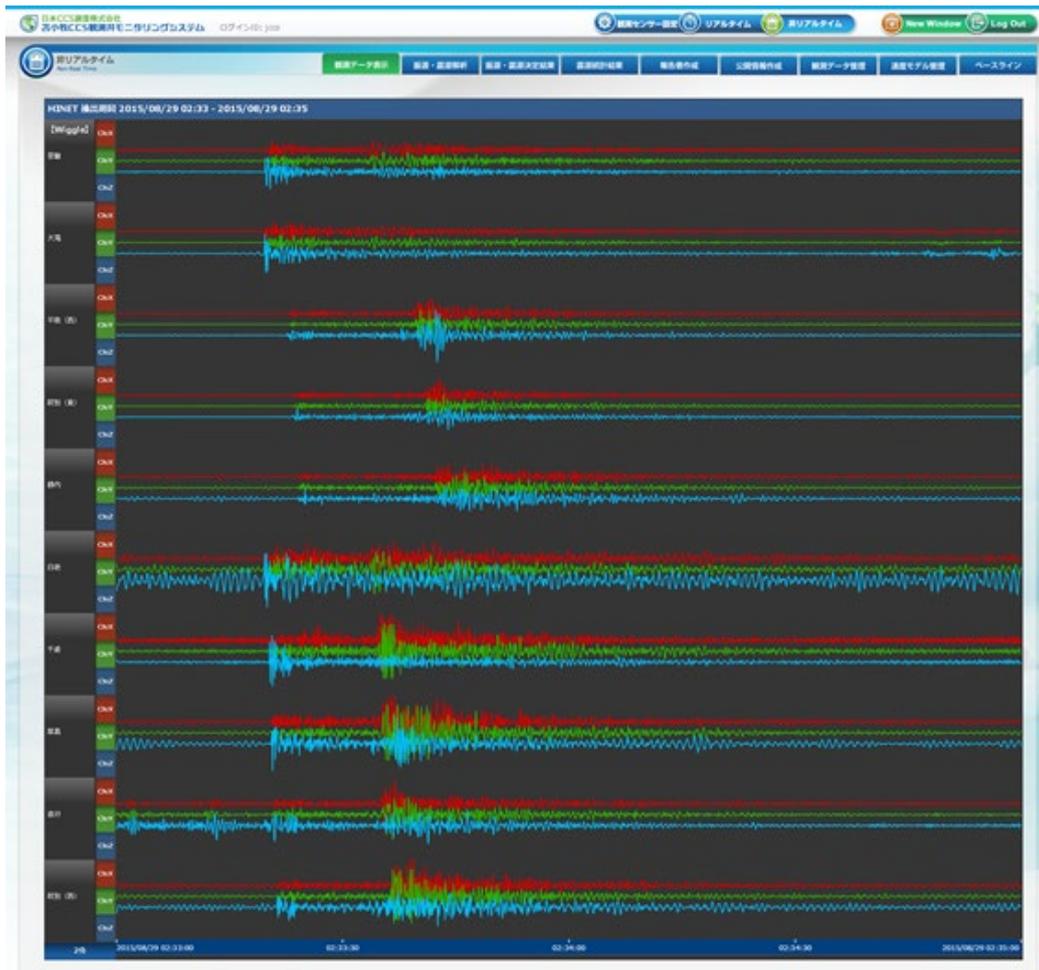


図 4.5-4 Hi-net データ表示例（10 観測点分）

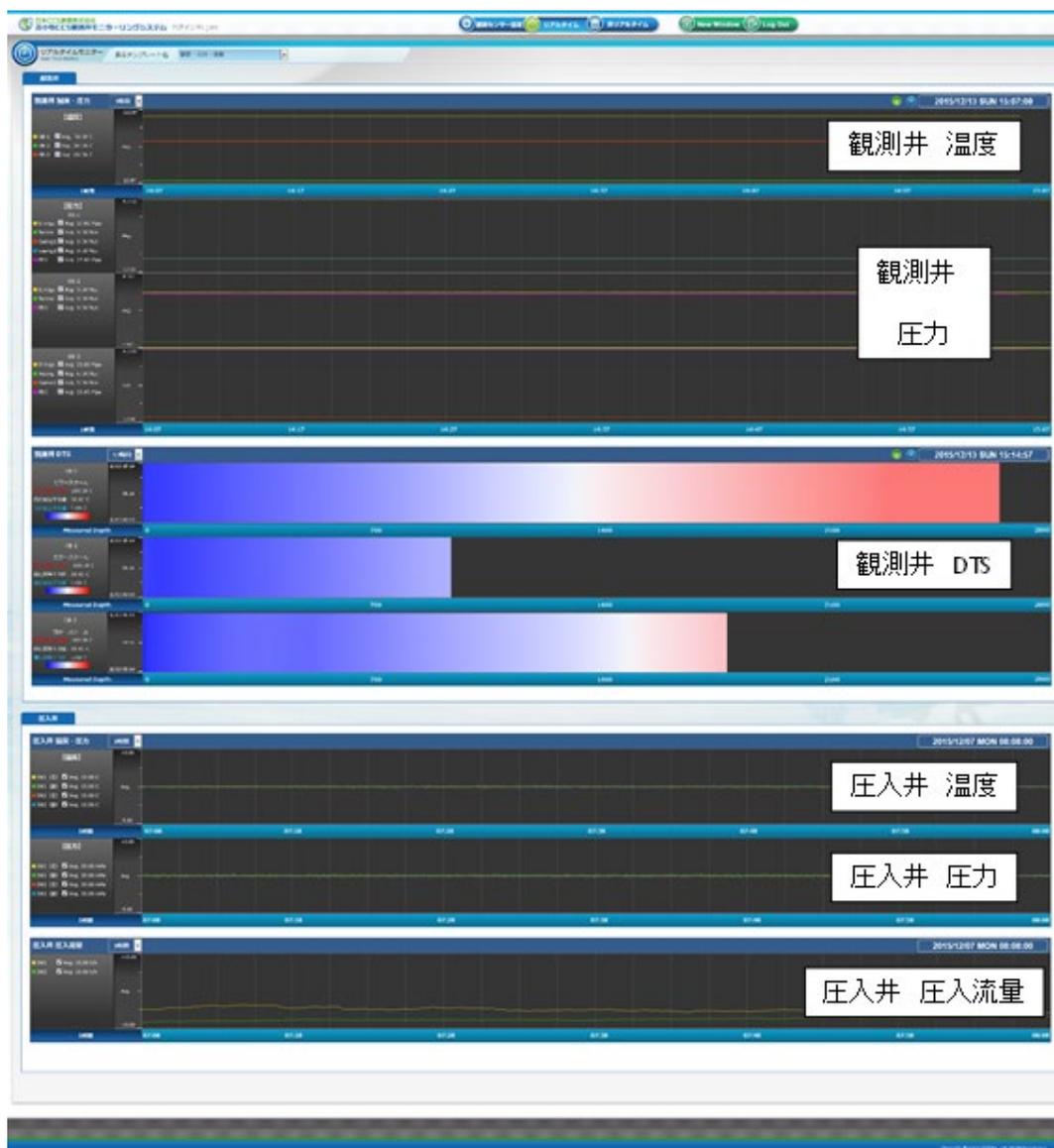


図 4.5-5 リアルタイムでの観測井の温度と圧力データの時系列表示例

### (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 $\alpha$ （式1参照）により異常を判定する。具体的には、 $\alpha$ が異常開始の閾値 $\alpha_0$ を上回った時刻を暫定の異常開始時刻、異常開始後に $\alpha$ が異常の終了閾値 $\alpha_1$ 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4.5-5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 4.5-5 STA・LTAアルゴリズムによる異常検出用設定パラメータ一覧

観測機器	$T_s$	$T_L$	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$T_{min}$
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）・LP（Low Pass フィルタ）・HC（High Cut  
フィルタ）・HP（High Pass フィルタ）と適用するサンプル数の設定も可能である。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

\*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）

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（ $\beta_0$ ）～下限値（ $\beta_1$ ）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 4.5-6 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 4.5-6 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	$\beta_0$	$\beta_1$	$T_{min}$
OB-1	FBG センサー（温度）	78℃	74℃	5 s
	FBG センサー（圧力）	29.5 MPa	25.5 MPa	5 s
	半導体圧力センサー	標準値+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）	℃	℃	5 s
	PPS26 センサー（圧力）	MPa	MPa	5 s
	DTS（温度）	100℃	-5℃	10 min
	OB-2	FBG センサー（温度）	36℃	32℃
FBG センサー（圧力）		11.0 MPa	7.0 MPa	5 s
半導体圧力センサー		標準値+2MPa 【標準値】 ・坑底圧：9.0 MPa ・坑口圧：0.0 MPa	標準値-2MPa 【標準値】 ・坑底圧：9.0 MPa ・坑口圧：0.0 MPa	5 s
PPS26 センサー（温度）		運用実績を考慮して設定の予定		
PPS26 センサー（圧力）		運用実績を考慮して設定の予定		
DTS（温度）		100℃	-5℃	10 min
OB-3	FBG センサー（温度）	62℃	58℃	5 s
	FBG センサー（圧力）	32.0 MPa	28.0 MPa	5 s
	半導体圧力センサー	標準値+2 MPa 【標準値】 ・坑底圧：29.0 MPa ・坑口圧：6.0 MPa ・外圧：6.0 MPa	標準値-2 MPa 【標準値】 ・坑底圧：29.0 MPa ・坑口圧：6.0 MPa ・外圧：6.0 MPa	5 s
	PPS26 センサー（温度）	運用実績を考慮して設定の予定		
	PPS26 センサー（圧力）	運用実績を考慮して設定の予定		
	DTS（温度）	100℃	-5℃	10 min

#### (4) 振源・震源決定機能

異常検出機能（(3)参照）により検出された異常をグループ化し、異常開始時刻と同一の時刻帯の複数の観測点の観測データから微小振動と自然地震のイベントに相当する異常を自動的に抽出する。抽出されたイベントに対して、グループ化した各観測点の観測データから地震波到達時刻（P波到達時刻とS波到達時刻）を検出し、P波到達時刻、S波到達時刻およびデータベースに登録されている速度構造データ（P波速度とS波速度：ユーザが選択・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、有線型OBS、陸上設置地震計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4.5-6に本システムの振源・震源決定処理フローを示す。また、表4.5-7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。

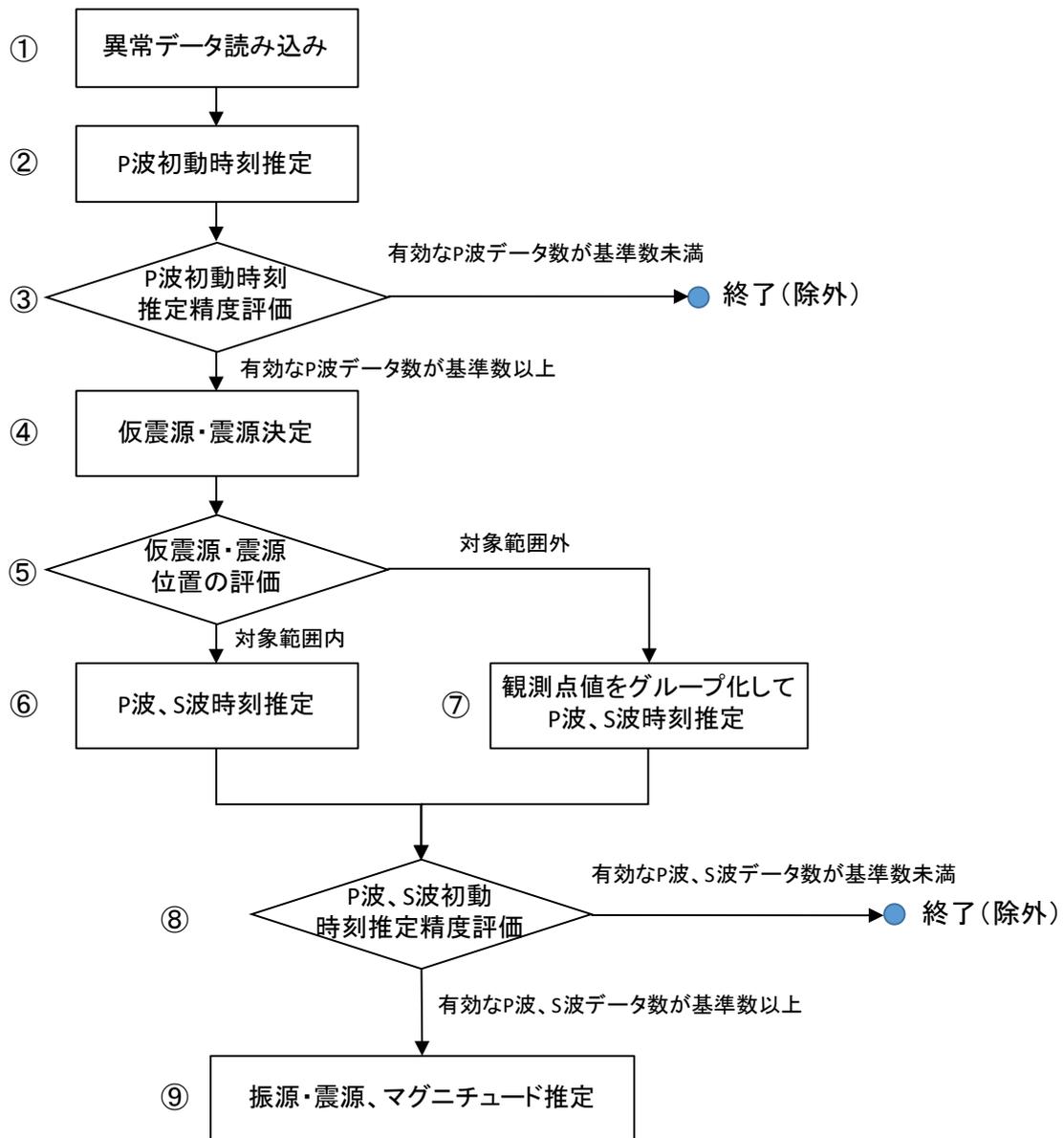


図 4.5-6 振源・震源決定の処理フロー

表 4.5-7 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、陸上設置地震計、有線型 OBS および独立型 OBS 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、陸上設置地震計、有線型 OBS および独立型 OBS 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。
⑨	⑧の評価で有効と判定された P 波と S 波の数の合計が基準個数以上の場合、本フローにおける振源・震源位置とマグニチュードを決定する。

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

#### (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 4.5-8 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 4.5-9 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

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

63417520) を取得し、速度境界部分の深度と速度を読み取った。図 4.5-10 に萌別層圧入地点に相当する位置の速度構造を示す。また、深度 8,000 m から 50 km までの速度構造は、日本列島三次元地震波速度構造表示ソフトウェア<sup>\*24)</sup>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 4.5-11 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。

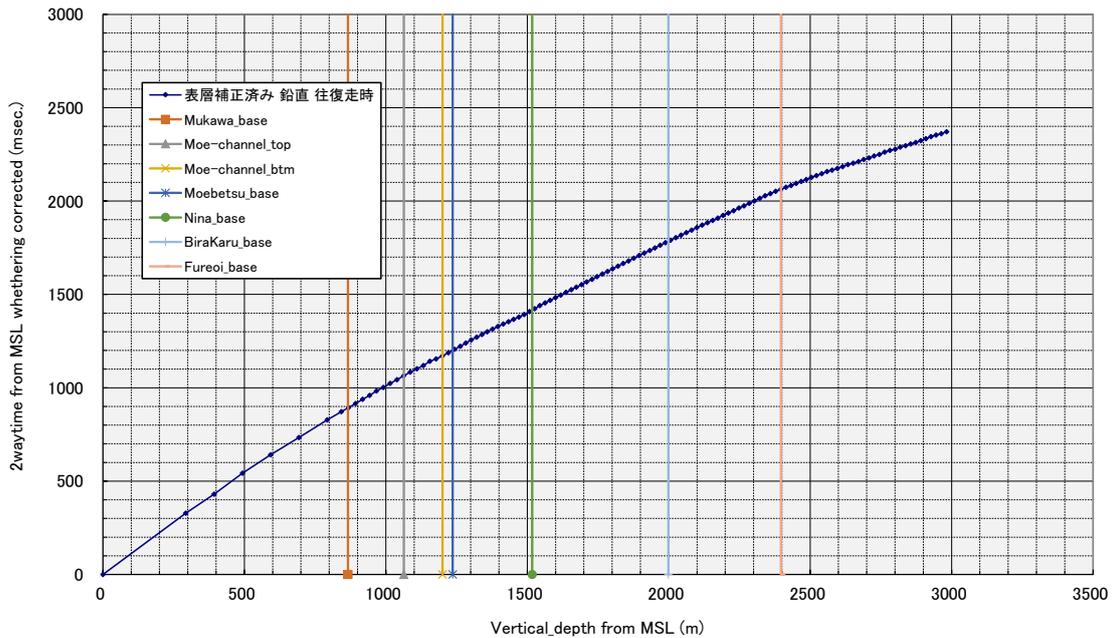


図 4.5-8 OB-1 における VSP 調査によって得られた時間-深度関係図

\*24) [http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo\\_kozo/](http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozo/)を参照

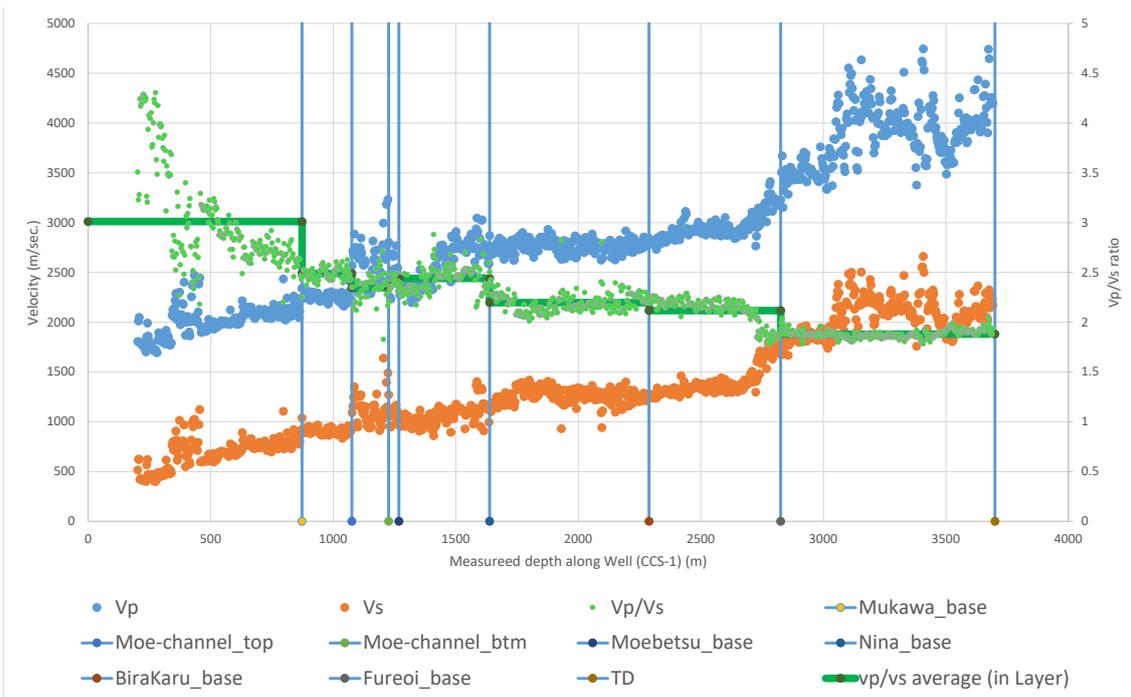


図 4.5-9 OB-1 における PS 検層より推定した各層準の Vp/Vs

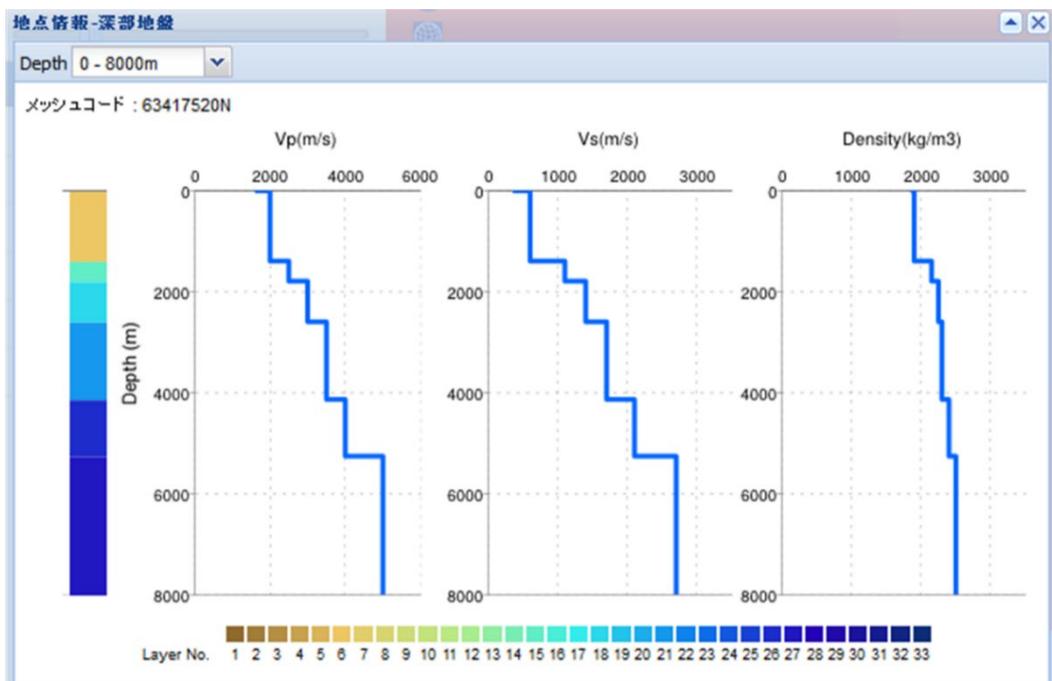


図 4.5-10 萌別層圧入地点に相当する位置の速度構造

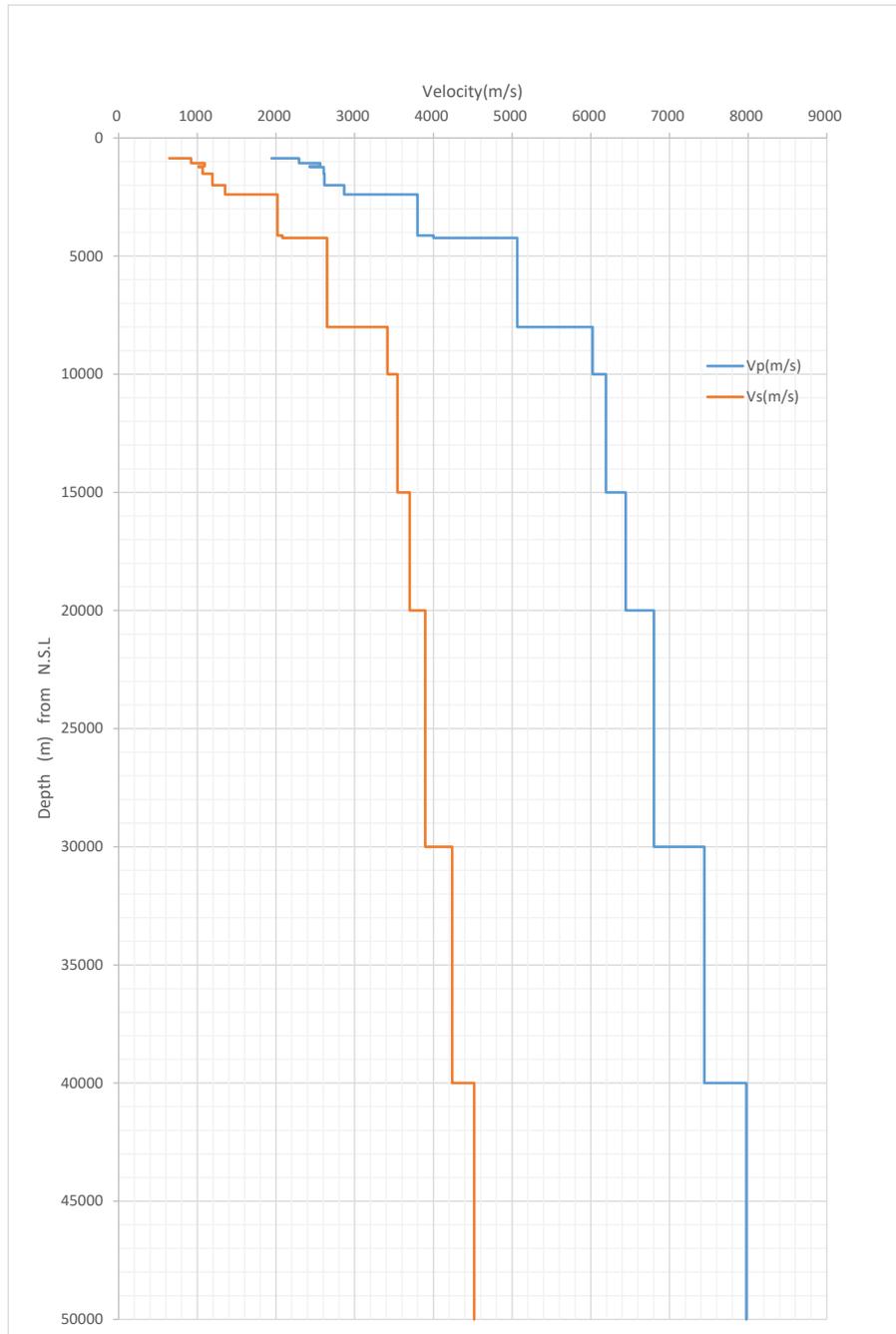
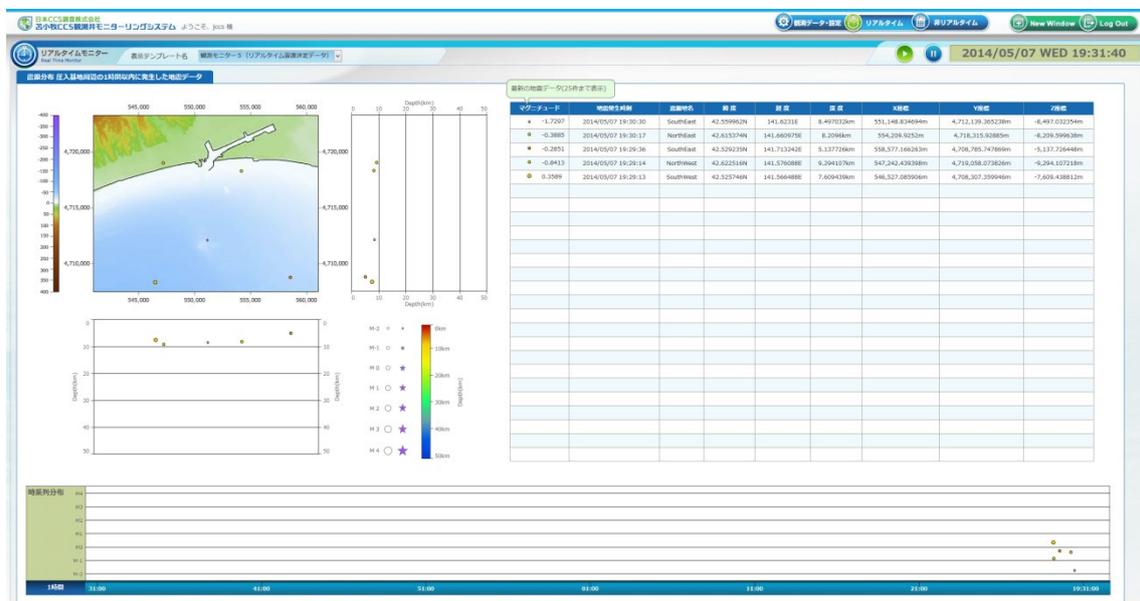


図 4.5-11 振源・震源決定用一次元速度構造モデル

(6) 振源・震源分布表示機能

常設型 OBC、有線型 OBS、陸上設置地震計および観測井（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 4.5-12 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 4.5-13 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 4.5-14 参照）、振源・震源情報一覧表示（図 4.5-15 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 4.5-16 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 4.5-12 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。

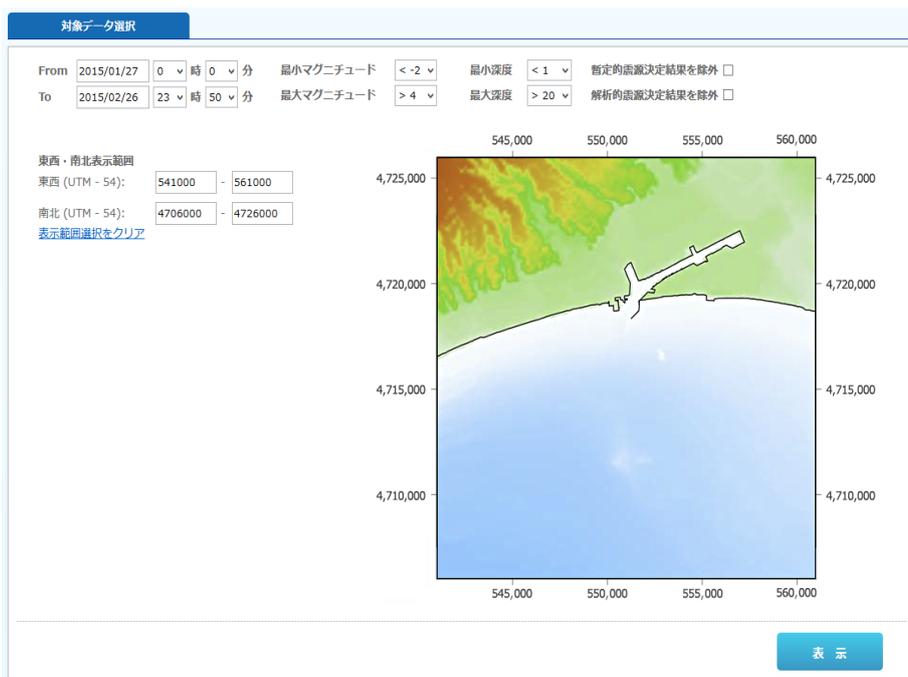
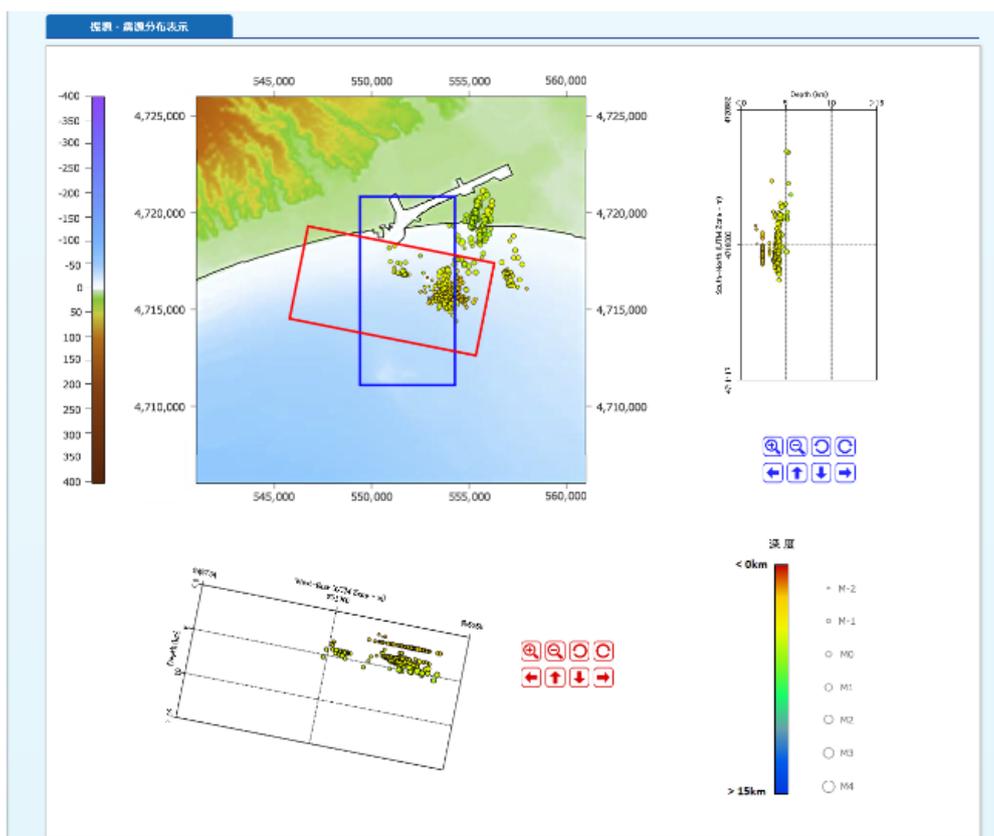


図 4.5-13 振源・震源検索条件設定画面



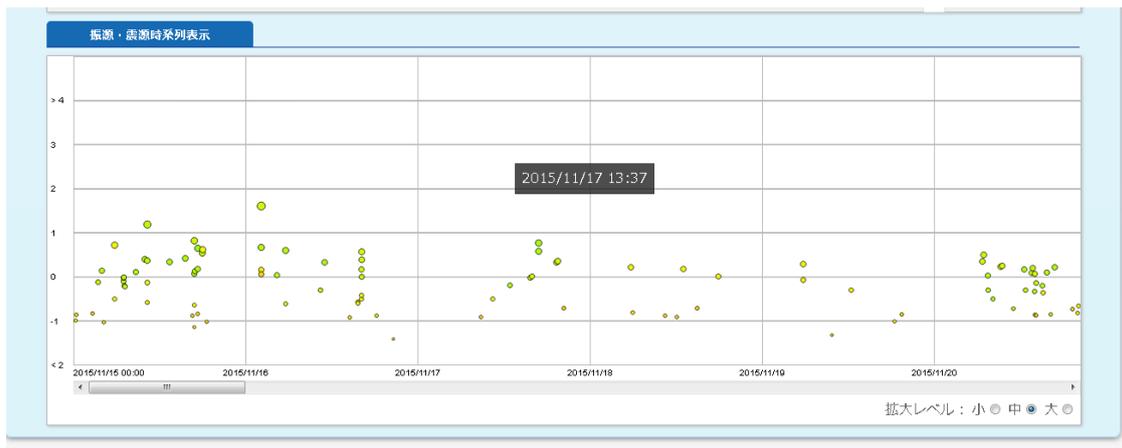
注) 平面図上の赤の矩形範囲の断面図を平面図の下に、青の矩形範囲の断面図を平面図の右に表示する。各断面図には、それぞれに矩形の範囲に存在する振源・震源データを表示する。矩形は拡大、縮小、回転、移動が可能である。

図 4.5-14 振源・震源二次元分布図

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

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

図 4.5-15 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 4.5-16 時系列振動・地震分布図

(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 4.5-13 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 4.5-8 に示す 4 種類の表示が可能である。図 4.5-17～図 4.5-20 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 4.5-8 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"> <li>・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</li> <li>・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</li> <li>・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）</li> </ul>
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"> <li>・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</li> <li>・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）</li> <li>・縦軸にはリニアスケールと対数スケールの選択が可能</li> <li>・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）</li> </ul>
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"> <li>・横軸の表示範囲は設定された期間</li> <li>・横軸の表示幅の単位は 1 日</li> <li>・縦軸にはリニアスケールと対数スケールの選択が可能</li> <li>・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）</li> </ul>
振源・震源の三次元分布	検索・抽出された振源・震源を圧入地点（萌別層圧入地点と滝ノ上層圧入地点の X-Y 平面上の中心）を中心とする東西 10 km×南北 10 km と深さ 10 km の範囲で三次元表示する。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・表示範囲内の拡大、縮小、回転が可能（表示範囲は固定）</li> <li>・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。</li> </ul>

\*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。

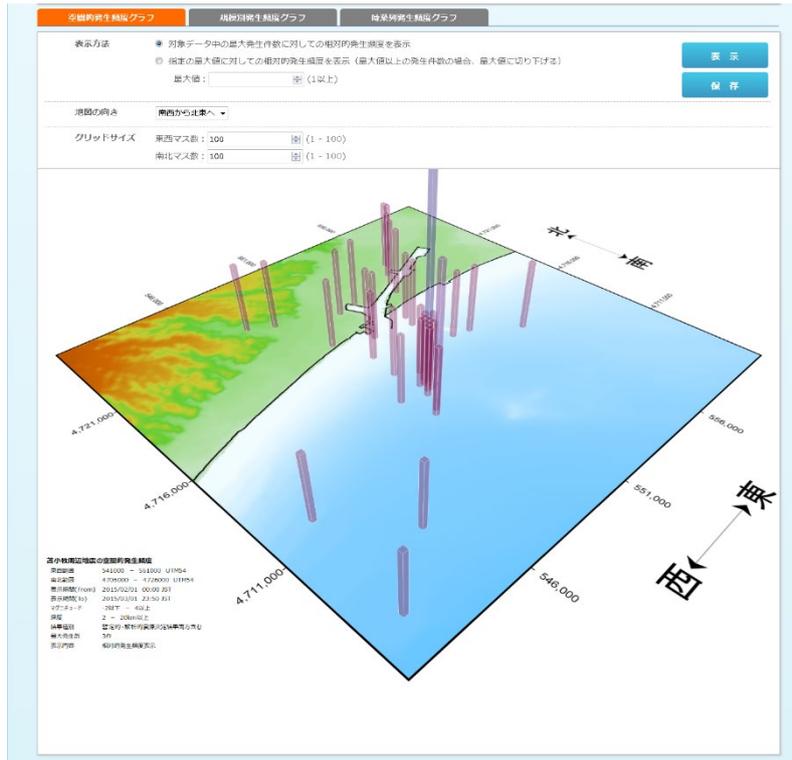


図 4.5-17 空間的発生頻度分布の表示例（仮データを使用）

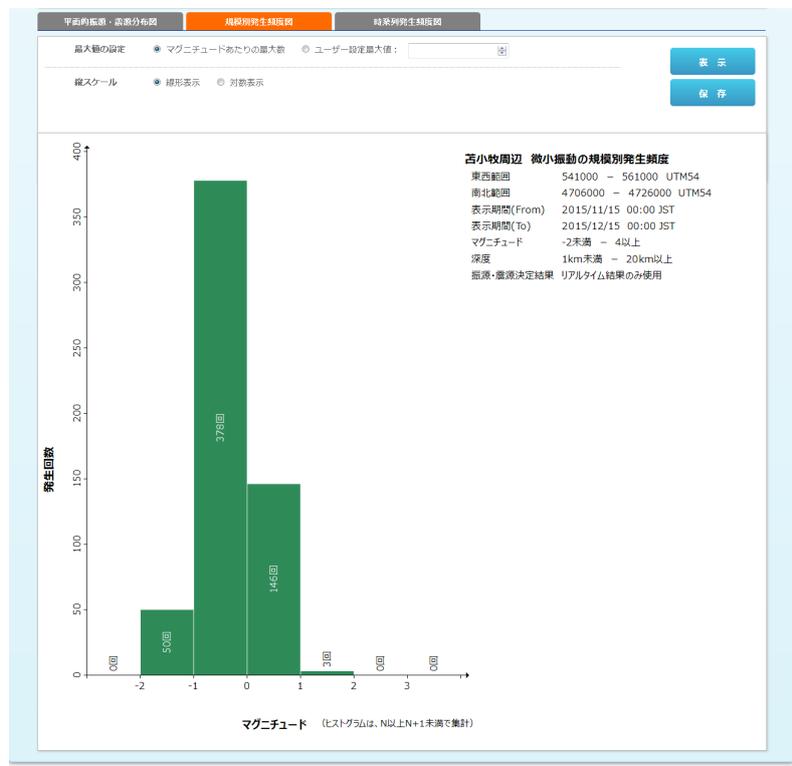


図 4.5-18 規模別発生頻度分布の表示例（仮データを使用）

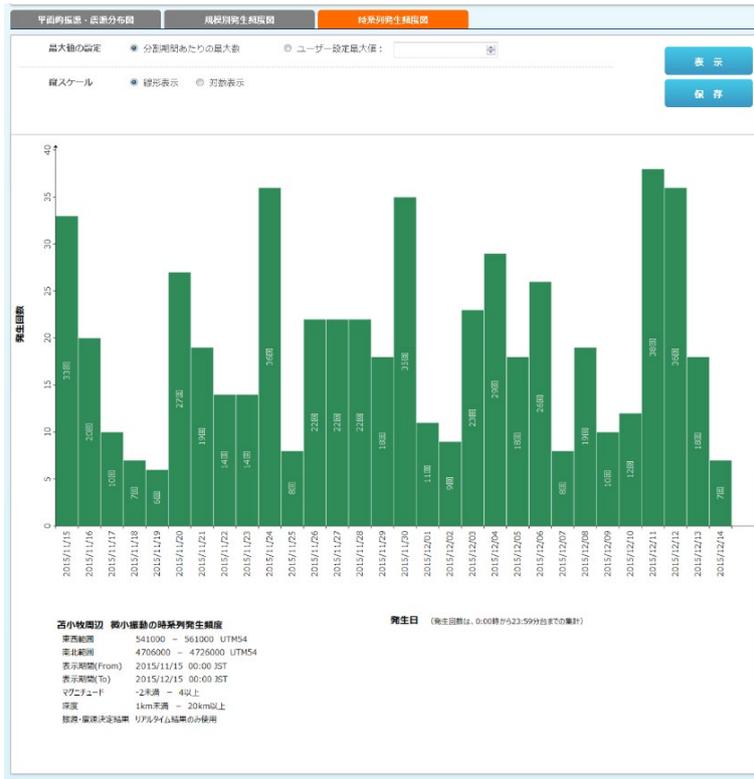


図 4.5-19 時系列発生頻度分析結果図（仮データを使用）

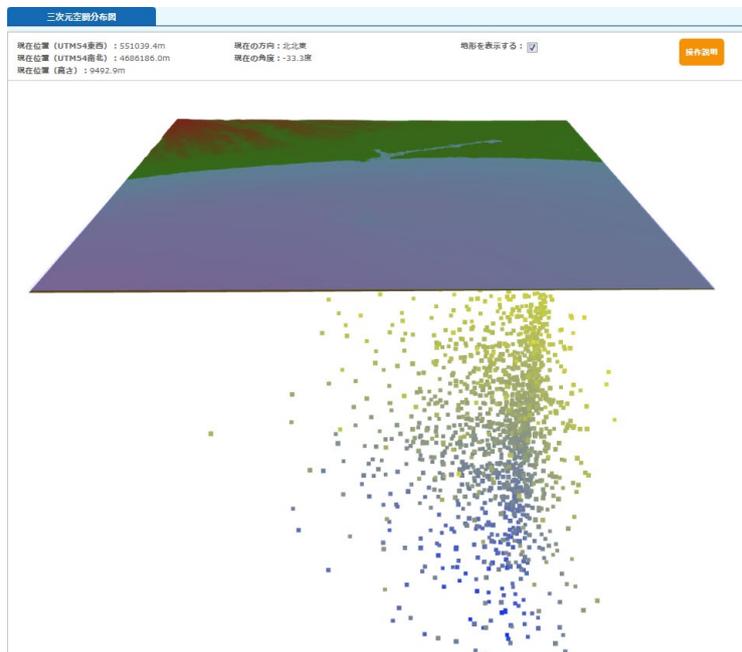


図 4.5-20 振源・震源の三次元分布の表示例（仮データを使用）

#### 4.5.2 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。

加えて、回収型OBSデータ等の非リアルタイム観測データの登録を実施した。

##### (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4.5-9に示すように、週1回実施した。遠隔監視では、図4.5-21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、有線型OBS、陸上設置地震計、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 4.5-9 遠隔監視実施実績（2021年4月～2022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	5日、12日、19日、26日	10月	4日、11日、18日、25日
5月	10日、17日、24日、31日	11月	2日、8日、15日、22日、29日
6月	7日、14日、21日、28日	12月	6日、13日、20日、27日
7月	5日、12日、19日、26日	1月	4日、11日、17日、24日、31日
8月	2日、11日、16日、23日、30日	2月	7日、14日、21日、28日
9月	6日、13日、21日、27日	3月	7日、14日、22日、28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 2019年10月7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
10/7	データ変換 サーバ1	通信	OK	
		OS	OK	
		ソフトウェア	OK	
10/7	データ変換 サーバ2	通信	OK	
		OS	OK	
		ソフトウェア	OK	
10/7	データ保管 サーバ	通信	OK	
		OS	OK	
		ソフトウェア	OK	
10/7	大容量 ストレージ	HDD	OK	
10/7	基地内 制御用端末	通信	OK	
		OS	OK	
10/7	遠隔制御用 端末	OS	OK	JGIに設置
	データ取得 用端末	OS		2016/8/25 JCCSに搬入
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
10/7	稼働確認1	リアルタイム データ取得	OK	
10/7	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 4.5-21 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回の頻度で計画し、2021年4月30日、5月25日、6月29日、7月12日、8月2～3日、9月27～28日、10月28～29日、11月25～26日、12月20～21日、2022年1月20～21日、2月24～25日、3月18日の計12回実施した。現地保守点検では、図 4.5-22 に示すチェックリストを用いて、実証試験センターに設置されてい

る各種サーバ、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 2019年10月1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
9/30	データ変換 サーバ1	外観	OK		済
9/30	データ変換 サーバ2	外観	OK		済
9/30	データ保管 サーバ	外観	OK		済
9/30	大容量 ストレージ	外観	OK		済
9/30	基地内 制御用端末	OS	OK	Windows update を 実施	済
		外観	OK		済
9/30	外部モニター	表示	OK		済
9/30	DCS、 圧入井データ 入出力装置	OS	OK		済
		外観	OK		済
9/30	ケーブル類	外観/破損	OK		済
9/30	ラック スイッチング ハブ ルーター	外観	OK		済
年月日	点検対象装置	点検項目	点検結果と対応	備考	清掃
9/30	圧入井ロガー	外観	OK		済

図 4.5-22 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 4.5-23 に示すアーカイブテープ作成作業チェックリストにより、アーカイブテープの対象データ、対象期間、テープ管理番号およびテープバーコードラベル番号を照合した。なお、対象データは、常設型 OBC のデータサイズが大きいため、常設型 OBC とそれ以外（陸上設置地震計、観測井地震計、OBS、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 4.5-10 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 2019年11月13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
陸上地震計、観測井地震計、OBS、観測井温度計・圧力計（FBG）、観測井温度計（半導体）、観測井 DTS、圧入井温度計・圧力計、Hi-net	2019/07/01-2019/08/31	#010067	#000085
作業チェックリスト			
年月日	作業項目	実施確認	備考
11/12	アーカイブ対象ファイル抽出	OK	
	テープメディアラベル添付		次回現地地点検時に実施予定
11/12	テープ書き込み	OK	
11/12	アーカイブ済データファイルDB登録	OK	
	アーカイブテープ回収・送付		データ公開システム登録確認後に実施。

図 4.5-23 アーカイブテープ作成作業チェックリストの例

表 4.5-10 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	2021年3月1日～2021年4月30日	#000103	2021年6月15日
	2021年5月1日～2021年6月30日	#000104	2021年7月8日
	2021年7月1日～2021年8月31日	#000108	2021年12月8日
	2021年9月1日～2021年10月31日	#000110	2022年1月11日
	2021年11月1日～2021年12月31日	#000112	2022年3月3日
陸上設置地震計、OBS、観測井地震計、観測井温度・圧力、圧入井温度・圧力、Hi-net	2020年9月1日～2020年10月31日	#000101	2021年4月5日
	2020年11月1日～2020年12月31日	#000102	2021年5月18日
	2021年1月1日～2021年2月28日	#000105	2021年8月11日
	2021年3月1日～2021年4月30日	#000106	2021年9月8日
	2021年5月1日～2021年6月30日	#000107	2021年10月13日
	2021年7月1日～2021年8月31日	#000109	2021年12月21日
	2021年9月1日～2021年10月31日	#000111	2022年2月9日

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

#### (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 4.5-11 に週報記載事項を示す。図 4.5-24(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 4.5-24(2)に週報に記載される欠測状況の例を示す。

表 4.5-11 週報記載事項

週報記載項目	記載内容
対象期間	ユーザが指定した期間
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	ユーザが入力した特記事項
振源・震源分布一覧	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象期間</li> <li>表示規模</li> <li>振源・震源分布図と断面図（東西と南北）</li> </ul>
微小振動と自然地震観測リスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象期間</li> <li>表示規模</li> <li>期間中に発生した微小振動と自然地震のリスト（発生日時刻、マグニチュード、振源・震源）</li> </ul>
欠測状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象期間</li> <li>期間中の欠測状況（観測種別、欠測期間）</li> </ul>

苫小牧 CCS実証試験 モニタリング測定状況 週報

期間 2021年 4月4日 - 4月10日

観測状況

観測機器		観測状況
常設型OBC		正常観測
陸上設置地震計		正常観測
OBS	アナログ	正常観測
	デジタル	正常観測
OB-1	地震観測	欠測あり (08日に計1件発生)
	FBG(温度・圧力5)	欠測あり (08日に計1件発生)
	圧力1-4	欠測あり (05、08日に計5件発生)
	DTS	欠測あり (08日に計1件発生)
OB-2	地震観測	正常観測
	FBG(温度・圧力5)	正常観測
	圧力1-4	欠測あり (09、10日に計2件発生)
	DTS	正常観測
OB-3	地震観測	正常観測
	FBG(温度・圧力5)	正常観測
	圧力1-4	正常観測
	DTS	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 4.5-24(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 2021年 4月4日 - 4月10日

観測機器		開始	終了
OB-1	地震観測	2021/04/08 07:54	2021/04/11 00:00
OB-1	温度・圧力5	2021/04/08 07:54	2021/04/11 00:00
OB-1	圧力1-4	2021/04/05 15:10	2021/04/05 15:11
OB-1	圧力1-4	2021/04/08 07:57	2021/04/08 09:41
OB-1	圧力1-4	2021/04/08 10:12	2021/04/08 11:10
OB-1	圧力1-4	2021/04/08 15:35	2021/04/08 15:38
OB-1	圧力1-4	2021/04/08 15:55	2021/04/11 00:00
OB-1	DTS	2021/04/08 07:55	2021/04/11 00:00
OB-2	圧力1-4	2021/04/09 22:59	2021/04/09 23:00
OB-2	圧力1-4	2021/04/10 13:04	2021/04/10 13:05

図 4.5-24(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 4.5-12 に示す。図 4.5-25(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 4.5-25(2)に月報に記載される 1 箇月間の IW-2（萌別層圧入井）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 4.5-12 月報記載事項

月報記載内容	記載内容
対象期間	ユーザが指定した期間
対象マグニチュード	ユーザ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 2021年 04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：2、欠測件数：3、欠測時間：計 5 分間
陸上設置地震計		正常観測
OBS	アナログ	正常観測
	デジタル	正常観測
OB-1	地震観測	欠測発生日数：2、欠測件数：2、欠測時間：計 7786 分間
	FBG（温度・圧力 5）	欠測発生日数：5、欠測件数：7、欠測時間：計 7727 分間
	圧力 1-4	欠測発生日数：10、欠測件数：36、欠測時間：計 6870 分間
	DTS	欠測発生日数：7、欠測件数：11、欠測時間：計 7813 分間
OB-2	地震観測	欠測発生日数：2、欠測件数：2、欠測時間：計 4653 分間
	FBG（温度・圧力 5）	欠測発生日数：3、欠測件数：3、欠測時間：計 4476 分間
	圧力 1-4	欠測発生日数：12、欠測件数：13、欠測時間：計 4239 分間
	DTS	欠測発生日数：3、欠測件数：3、欠測時間：計 4519 分間
OB-3	地震観測	欠測発生日数：3、欠測件数：3、欠測時間：計 9305 分間
	FBG（温度・圧力 5）	欠測発生日数：2、欠測件数：2、欠測時間：計 9147 分間
	圧力 1-4	欠測発生日数：6、欠測件数：8、欠測時間：計 586 分間
	DTS	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計 9088 分間
圧入井温度・圧力		欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計 326 分間
圧入井圧入量		欠測発生日数：2、欠測件数：13、欠測時間：計 1177 分間
圧入井圧入操業情報		欠測発生日数：2、欠測件数：13、欠測時間：計 1177 分間

図 4.5-25(1) 月報の表紙（対象期間および観測状況を記載）の例

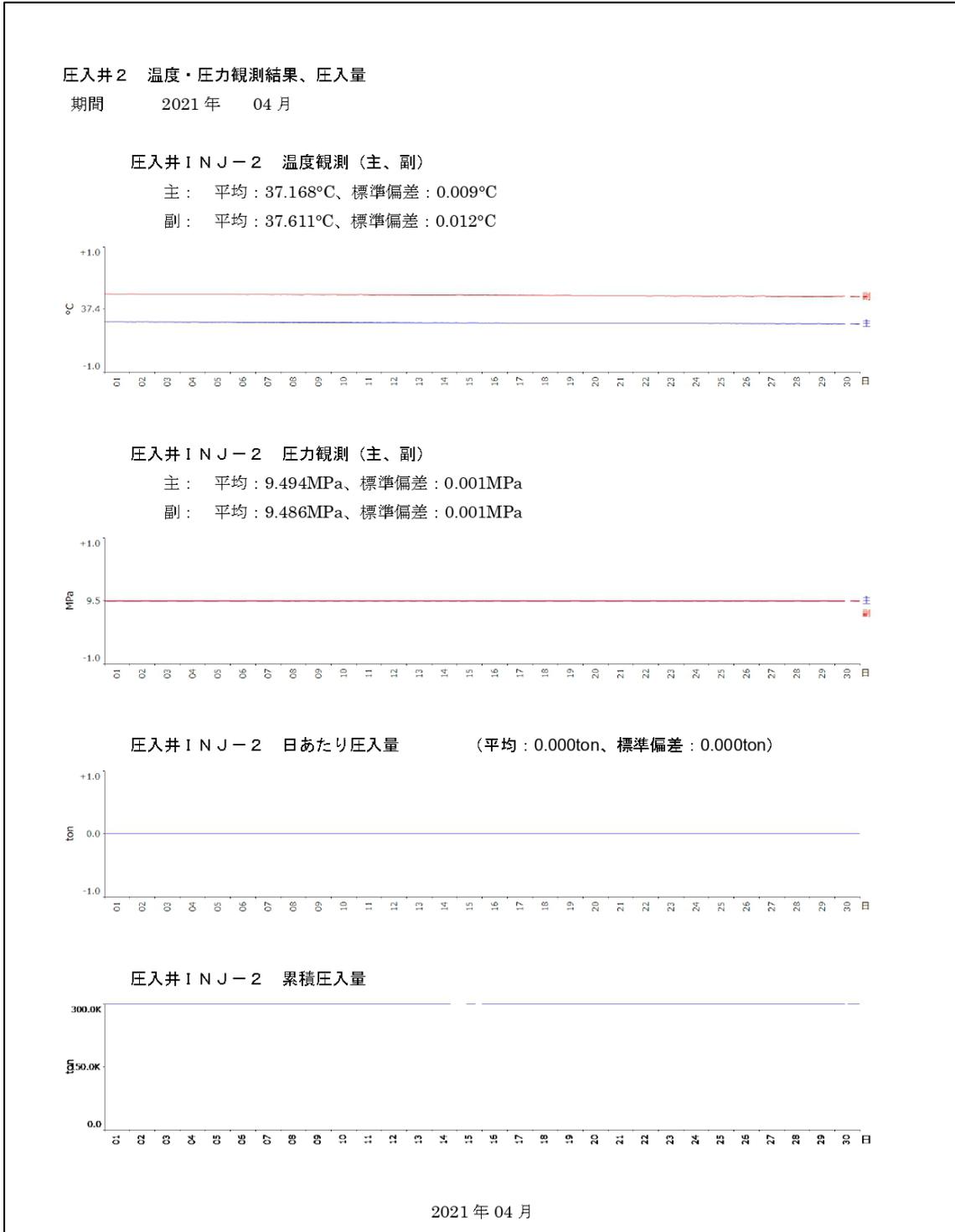


図 4.5-25(2) 坑底温度・圧力、日あたりの圧入量および累積圧入量の経時グラフの例

(6) OBS データの登録

2021年度は、7月にすべてのOBSの運用を停止したため、その際に実施したOBS撤去作業により回収された各地点のOBSデータを表4.5-13に示す通り総合モニタリングシステムに登録した。

表 4.5-13 総合モニタリングシステムへのOBS回収データの登録実績

交換回	地点	登録データ	登録日
第1回	OBS-1	2020年2月15日10:53～2021年7月17日13:10	2021年7月26日
	OBS-2	2020年2月27日10:42～2021年7月21日12:35	2021年7月26日
	OBS-3	2020年2月22日10:29～2021年7月14日10:49	2021年7月26日
	OBS-4	2020年2月26日09:19～2021年7月11日11:04	2021年7月27日

(7) その他

① 総合モニタリングシステムで発生した障害

2021年度に総合モニタリングシステムで発生した障害を表4.5-14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 4.5-14 総合モニタリングシステムで発生した障害

期間	発生事象	原因と対応
2022/2/3 18:25頃 ～2/4 9:45頃	総合モニタリングシステムでのデータ取込処理停止	サーバのネットワークインターフェイスの設定が何らかの理由で変更され、通信ができなくなったもの。リモートでサーバが持っているサブのネットワークインターフェイスからログインし、メインのネットワークインターフェイスの再起動を実施した。

② 観測井地震計データのフォーマット変更対応

2021年11月に実施されたOB-3の坑内ツールメンテナンス後、OB-3地震計データの総合モニタリングシステムへの送信が再開されたが、総合モニタリングシステムでフォーマットエラーとしてデータの取り込みが行われない現象が発生した。2021年11月のOB-3坑内ツールメンテナンス前後の地震計データを比較したところ、SEG-DファイルのヘッダーのReceiver Point Indexが0から1に変更されていることが判明した。

総合モニタリングシステム側でデータ取り込み処理を確認したところ、総合モニタリングシステムのデータベース内の読み込みSEGDデータフォーマットを管理するテーブルの

GeoresSegdConversionParameters テーブル内に Receiver Point Index の設定項目があり、これを 0 から 1 に変更して 2021 年 11 月の坑内ツールメンテナンス後データの取り込みを手動で実施したところ、総合モニタリングシステムへの取り込み処理が正常に行われることを確認したため、OB-3 地震計データに係る Receiver Point Index を 1 に変更することを決定した。

観測井の地震計の保守を担当している外注先によると、この Receiver Point Index が変更された理由は地上装置のメンテナンス時にアプリケーションのバージョンが更新されたためとのことであった。今後、OB-1、OB-2 の地上装置のアップデートが実施され、同様に Receiver Point Index が変更された場合には、今回と同様に総合モニタリングシステム側で対応することとする。

### ③ 運用停止機器対応

2021 年度では、陸上設置地震計、有線型 OBS および独立型 OBS が 7 月で運用停止となった。これに伴い総合モニタリングシステムの修正を実施した。修正箇所は、リアルタイムモニターでのデータ表示、週報作成機能の出力書式、月報作成機能での出力書式である。

リアルタイムモニターでのデータ表示では、陸上設置地震計、OBS が含まれるテンプレートを選択した際に、「表示期間が終了しています。」と黄色の文字で表示するようにした。修正前と修正後の画面の例を図 4.5-26 に示す。

週報作成機能は、指定された 1 週間における各観測機器の観測状況、微小振動イベントの検知状況などを PDF 形式で出力する機能であり、1 ページ目に観測状況を示す表が含まれている。修正後の本機能では、出力期間対象期間内に観測機器の運用停止日が含まれる場合、「YYYY/MM/DD 観測終了」と表示するようにした（図 4.5-27）。また、観測機器の運用停止後の期間を指定した場合、運用停止となっている機器についての観測状況を表示させないようにした。

月報作成機能は、指定された 1 箇月における各観測機器の観測状況、微小振動イベントの検知状況および集計、温度計・圧力計、圧入量の 1 箇月間のグラフなどを Word 形式で出力する機能である。1 ページ目に観測状況の要約を示す表が含まれている。出力期間内に運用停止日が含まれている場合は、「正常観測」または、欠測発生日数に続けて

「YYYY/MM/DD 観測停止」と表示するようにした（図 4.5-28）。出力期間として、ある機器の運用停止後の期間を指定した場合、運用停止となっている機器については、表の観測状況の列に「YYYY/MM/DD 観測停止」と表示することとした。



修正前

修正後

図 4.5-26 リアルタイムモニターの修正前後の画面例

苫小牧 CCS実証試験 モニタリング測定状況 週報	
期間	2021年 6月14日 - 6月20日
観測状況	
観測機器	観測状況
常設型OBS	欠測あり (14、15、18日に計3件発生)
地上設置地質計	正常観測
OBS	アナログ 正常観測
	デジタル 正常観測
OB-1	地質観測 正常観測
	FBG(温度・圧力5) 正常観測
	圧力1-4 欠測あり (15、16、18、19日に計4件発生)
	DTS 欠測あり (14、15、16日に計3件発生)
OB-2	地質観測 正常観測
	FBG(温度・圧力5) 正常観測
	圧力1-4 正常観測
	DTS 正常観測
OB-3	地質観測 正常観測
	FBG(温度・圧力5) 欠測あり (14日に計1件発生)
	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

苫小牧 CCS実証試験 モニタリング測定状況 週報	
期間	2021年 7月11日 - 7月17日
観測状況	
観測機器	観測状況
常設型OBS	正常観測
OBS	アナログ 正常観測 【2021/07/15 観測終了】
	デジタル 正常観測 【2021/07/15 観測終了】
OB-1	地質観測 正常観測
	FBG(温度・圧力5) 正常観測
	圧力1-4 正常観測
	DTS 正常観測
OB-2	地質観測 正常観測
	FBG(温度・圧力5) 正常観測
	圧力1-4 正常観測
	DTS 正常観測
OB-3	地質観測 正常観測
	FBG(温度・圧力5) 正常観測
	圧力1-4 正常観測
	DTS 正常観測
	圧入井温度・圧力 正常観測
	圧入井圧入量情報 欠測あり (12日に計6件発生)
	圧入井圧入操業情報 欠測あり (12日に計6件発生)

図 4.5-27 週報の修正前後の画面例

図 4.5-28 月報の修正前後の画面例

### 4.5.3 圧入井温度・圧力データについて

#### (1) 温度・圧力データの伝送

圧入井内に設置されている圧入井温度・圧力センサーで取得された温度・圧力データは、図 4.5-32 に示すように温度・圧力センサー～井戸元までのデータ伝送ケーブルと井戸元～管理棟までのデータ伝送ケーブルを経由して管理棟内に設置されているデータロガーに伝送され、DCS・圧入井データ入出力処理 PC を経由して総合モニタリングシステムに伝送されている。各データ伝送ケーブルは圧入井の井戸元で接続されている。2018 年 12 月に停電対策としてメンテナンスフリーバッテリーとフロート充電器を導入している。

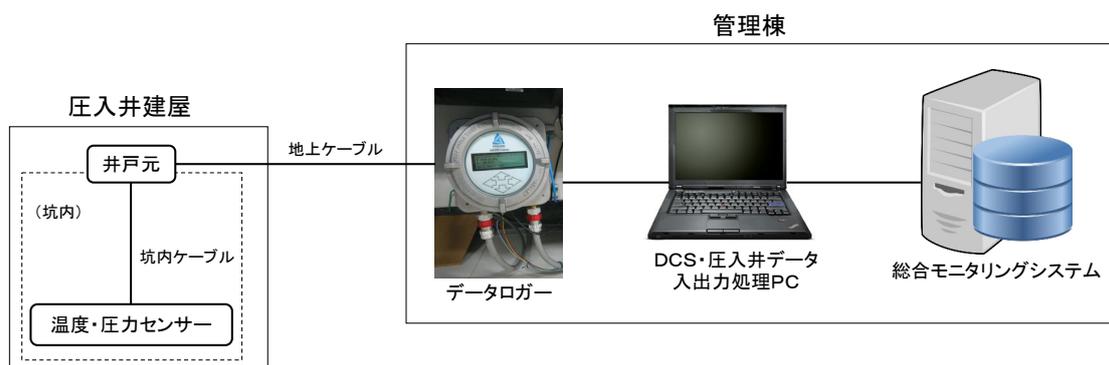


図 4.5-32 圧入井温度・圧力データの伝送概念

#### (2) 圧入井データロガーのトラブル

2021 年 10 月 5 日 14:38～10 月 7 日 19:59 の間、総合モニタリングシステムに保存され

ている圧入井温度・圧力データのファイル内の値が全く変化しなくなった（図 4.5-33）。

総合モニタリングシステムに保存されているデータファイルには Dead 値が記録されていないことから、圧入井データ入出力 PC と圧入井データロガーとの間の通信は行われていると思われたが、10月29日の現地点検時に圧入井データロガーからデータを回収したところ、10月5日14:38～10月7日19:59のデータが圧入井データロガーのメモリに記録されていないことが判明した。気象庁の雷監視システムによる観測結果を確認したが、北海道に落雷は記録されていなかった。また、圧入井データ入出力ソフトのログも確認したが、原因を突き止めることはできなかった。今後、同様のトラブルが発生した際には、データロガーの液晶パネルに表示されている情報を見ることにより動作状態を確認できると考えられるために、2022年度にネットワークカメラを設置する計画とした。

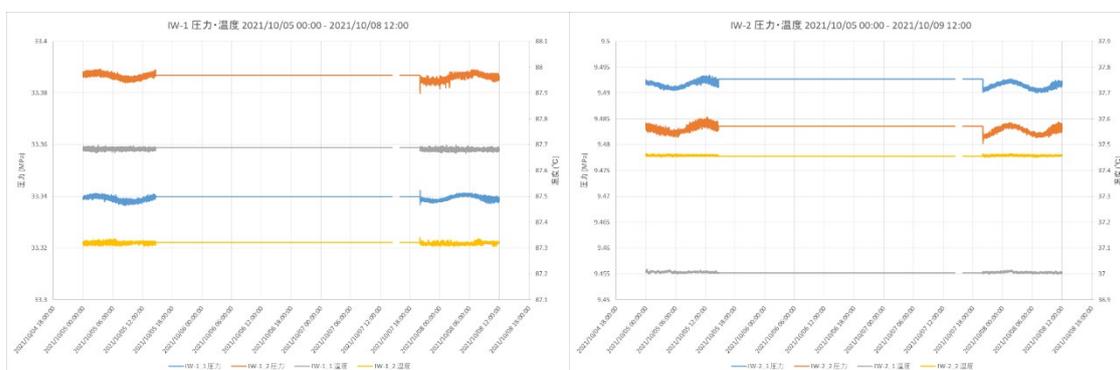


図 4.5-33 データロガートラブル期間中の温度・圧力（左：IW-1、右：IW-2）

### (3) 圧入井温度・圧力データ内のノイズ

2021年度では、圧入井坑底温度圧力データにスパイク状のノイズが散見された。そのうち、例として、2021年9月12日と2021年10月26日の2件について述べる。

2021年9月12日のスパイクノイズ混入は、14:33, 14:43, 14:47にあり、いずれもIW-2のデータに認められた（図 4.5-34）。北海道電力ネットワークの停電情報を確認したところ、スパイクノイズの混入した時間帯に苫小牧市北部で雷の影響による停電が発生しており、本件のノイズは、雷の影響と考えられた。

2021年10月26日のスパイクノイズ混入は、14:45にIW-2の圧力データに認められた（図 4.5-34）。本件についても北海道電力ネットワークの落雷情報を確認したところ、スパイクノイズ混入とほぼ同時刻の14:46に苫小牧市北部で停電が発生している。この情報は自動的に復旧した停電の情報であるため、停電の原因は不明であるが、気象庁の雷監視システムによる観測結果を見ると、苫小牧周辺で12:00～18:00の時間帯に落雷があった

ことが示されており、本件のスパイクノイズは、雷の影響と考えられた。

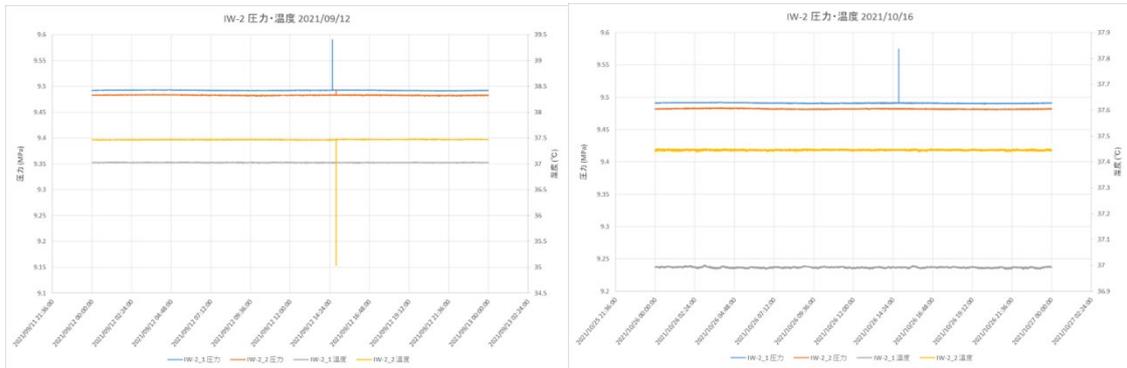


図 4.5-34 ノイズ期間中の IW-2 温度・圧力（左：2021/9/12、右：2021/10/26）

#### 4.5.4 地震観測システムの最適化

本事業では、圧入した CO<sub>2</sub> と自然地震発生が無関係であることを示すために、微小振動および自然地震の常時モニタリングを実施している。モニタリングシステムとして、海域には萌別層貯留層と滝ノ上層貯留層の圧入地点直上を横切る海底に常設型 OBC を、その周辺に定期的にデータ回収が可能な OBS を、陸域には、CO<sub>2</sub> の圧入地点の周辺に Hi-net に準じた陸上設置地震計および、観測井（計 3 坑）に地震計を設置してきたが、圧入終了後モニタリングを最適化することを目的として、微小振動モニタリング範囲内でこれまでに観測されたイベントを対象として、観測点のデシメーションテストを実施した。

##### (1) 各観測システムの品質評価

微小振動、自然地震観測記録のデータ品質を把握するため、各地震観測点（観測井坑内地震計、OBS、陸上設置地震計、常設型 OBC）および、周辺の Hi-net 観測点による観測記録の品質を、2015 年度に評価済みである。ここでは、季節変化、時間変化を考慮して、以下の期間、時間帯について、各点の上下動成分の 1 分間の RMS 振幅値を計算し、ノイズレベルを評価した。

- ・ 2015 年 2 月～9 月の各月の 1、6、11、16、21、26 日
- ・ 上記各日の 3：30、9：30、15：30、21：30

##### ① Hi-net 観測点

図 4.5-35(1)に、苫小牧周辺の Hi-net 観測点 10 点のノイズレベルを示す。場所により 10 倍程度の差が認められ、苫小牧実証試験サイトを囲む近傍の各点（白老、厚真、門別西）は、これらの 10 点の中ではノイズレベルの高い集団に属する。

Hi-net は日本全国でマグニチュード1クラスの地震を確実に観測することを目指して整備されており、各観測点の設置位置、掘削深度等は周辺のノイズ環境も考慮した設計がなされているが、実際のノイズレベルには設置場所により比較的大きな差異が認められる。

## ② 観測井坑内地震計

図 4.5-35(2)に、各観測井（OB-1、OB-2、OB-3）の坑内地震計のノイズレベルを示す。OB-2 のノイズレベルは OB-1 と比較して3倍程度、OB-3 と比較して10倍程度高い値を示している。OB-2 が OB-1 および OB-3 と比較して高いノイズレベルを示す要因として、受振器の設置深度が約900m と他の2坑井（いずれも2000m前後）と比較して浅いこと、坑口付近の地表ノイズレベルが高いことが挙げられる。ただし OB-2 の受振器設置深度は、標準的な Hi-net 観測点の深度（100～300m）に対して十分に深く、実証試験サイト近傍の3点（白老、厚真、門別西）と比較すると1/5程度であり、地震観測点のノイズ環境としては良好である。

## ③ OBS および陸上設置地震計

図 4.5-35(3)に、OBS および陸上設置地震計のノイズレベルを示す。OBS の各点は周辺の Hi-net 観測点の平均的なノイズレベルと同等である。陸上設置地震計は OBS と比較するとノイズレベルがやや高いが、実証試験サイト近傍の3点（白老、厚真、門別西）の Hi-net 観測点とほぼ同等である。いずれも観測井坑内地震計と比較するとノイズレベルは高いものの、地震観測点のノイズ環境としては標準的であると考えられる。

当海域は苫小牧港西港区沖に位置しているため航行船舶が多く、各 OBS 観測点の記録には、波浪ノイズに加えて船舶による一過性ノイズが多く含まれる。図 4.5-35(3)に示されるように、OBS 観測点ではノイズレベル分布主要部とは別に高レベル側にも分布がみられ、これらは船舶ノイズによる間欠的なノイズレベル上昇によるものと推定される。

## ④ 常設型 OBC

図 4.5-35(4)に、常設型 OBC の各受振器のノイズレベルを示す。各受振器のノイズレベルは OBS の1/3程度である。周辺の Hi-net 観測点と比較すると、常設型 OBC のノイズレベルは平取西や門別西などの観測点と同等であり、地震観測点のノイズ環境としては良好である。なお、OBS と比べてノイズレベルが低いのは、受振器埋設によるノイズ低減効果によるものと考えられる。

OBS 観測点と同様に、常設型 OBC の記録には、波浪ノイズに加えて船舶による一過性ノイズが多く含まれる。図 4.5-35(4)に示されるように、北側の OBC 観測点ではノイズレ

ベル分布主要部とは別に高レベル側にも分布がみられ、南側の OBC 観測点ではノイズレベル分布の主要部が 10 倍以上の幅を示している。これらは船舶ノイズによる間欠的あるいは継続的なノイズレベル上昇によるものと推定される。

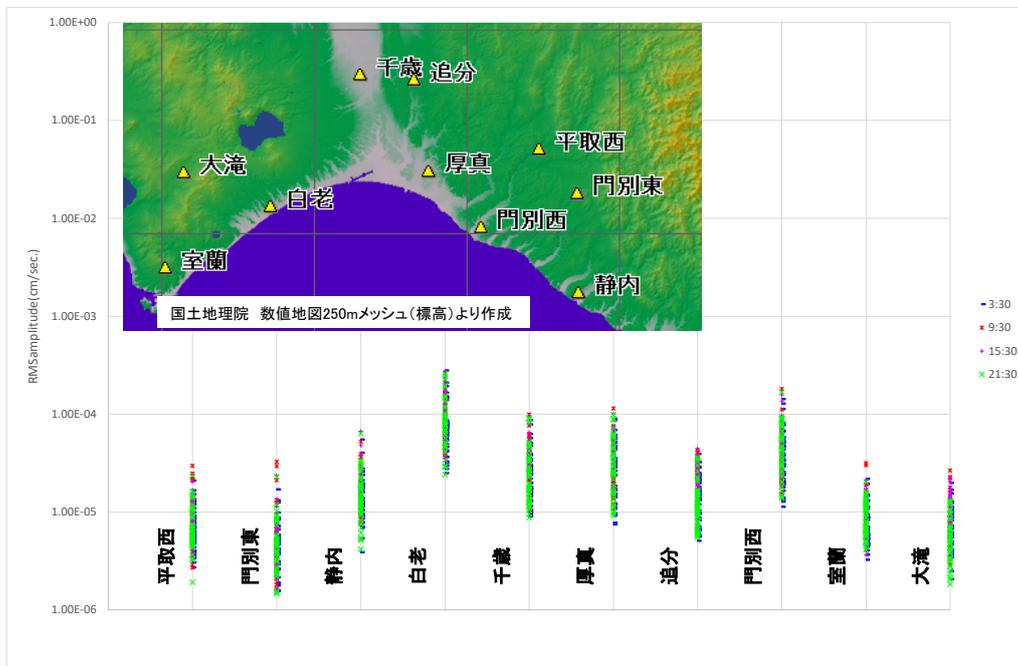


図 4.5-35(1) 苫小牧周辺 Hi-net 観測点のノイズレベル

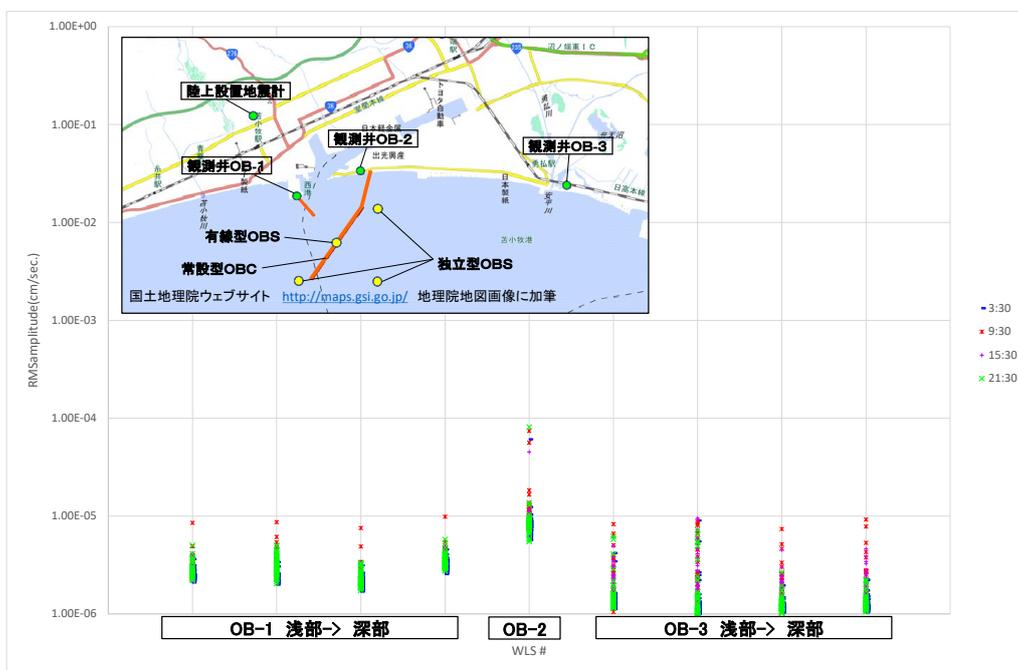


図 4.5-35(2) 観測井坑内地震計のノイズレベル

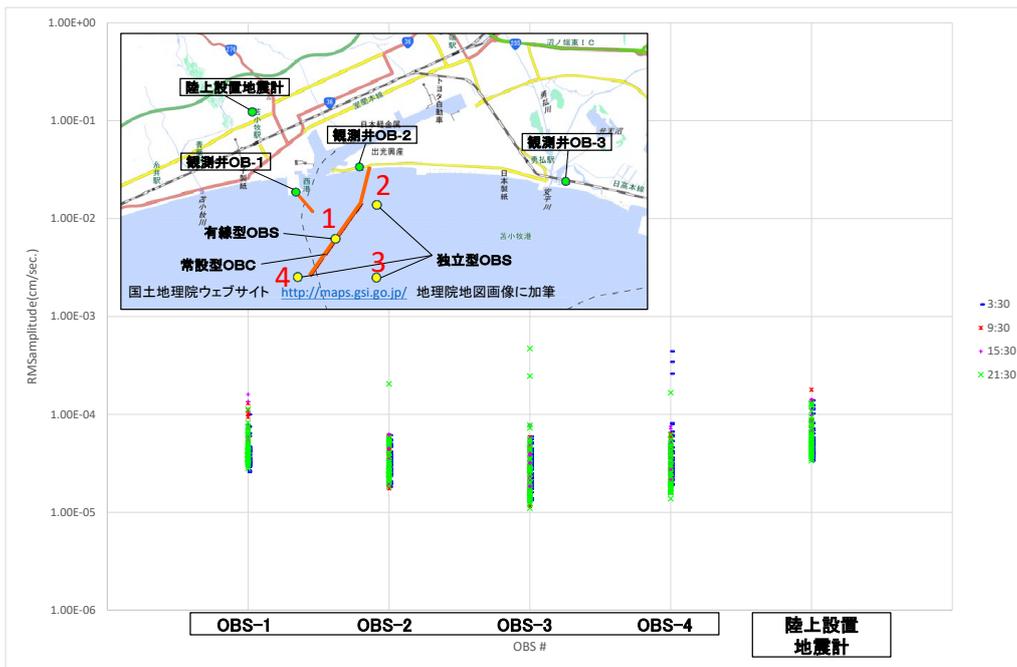


図 4.5-35(3) OBS および陸上設置地震計のノイズレベル

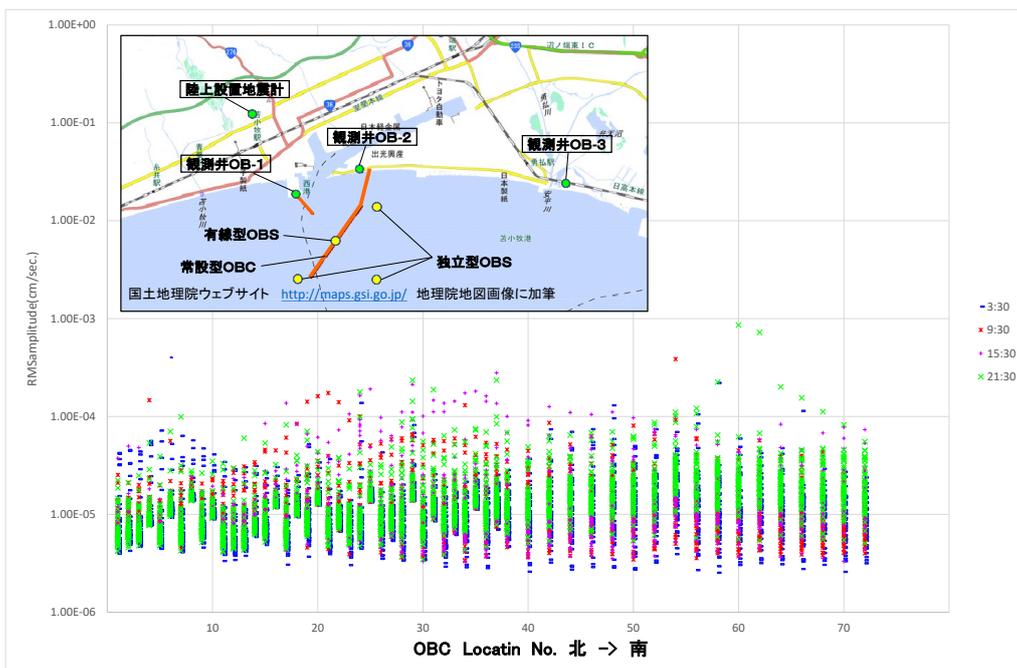


図 4.5-35(4) 常設型 OBS のノイズレベル

(2) 各観測システムの震源推定への寄与

① 観測毎の検知状況

表 4.5-15 に、2021 年度までに、貯留地点近傍に推定された 12 イベントについて、観測システム毎の検知状況を示す。観測井坑内地震計は、12 イベント全てを検知している。

OBS および常設型 OBC は、航行船舶等による一過性ノイズに被覆された一部のイベントにおいて検知できていない。陸上設置地震計は、これらのイベントを一つも検知することはできなかった。

## ② 観測点のデシメーションテスト

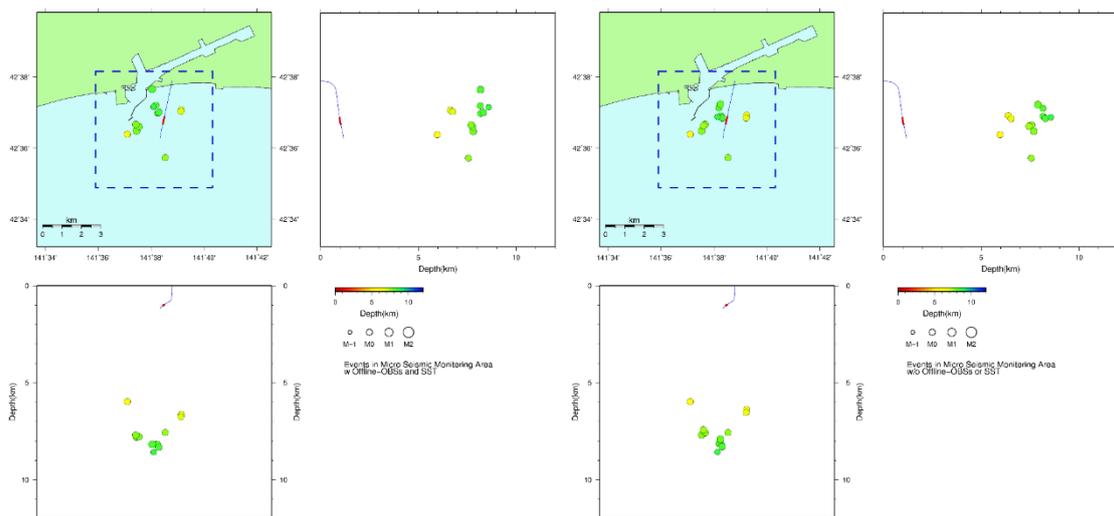
観測システムを最適化することを目的として、微小振動モニタリング範囲内でこれまでに観測されたイベントを対象として、観測点のデシメーションテストを実施した。テストの対象は、陸上設置地震計および OBS とした。陸上設置地震計は、市街地に設置されたため、微小振動の検出能力が低い。OBS は、常設型 OBC と同程度の検出能力を有することを確認できたが、埋設していないためノイズレベルが高いこと、常設型 OBC（55 点）に比べて地震計の数が少ない（4 点）こと、メンテナンスのために潜水土が設置回収するため費用が高額になることを理由とした。図 4.5-36 に、圧入開始前および圧入期間中に、貯留地点近傍に推定された 12 イベントについて、現状の観測点配置から陸上設置地震計および OBS を除外した場合の震源推定結果の比較図を示す。また、図 4.5-37 に、2017 年度に、やや広域の範囲に推定された 66 イベントについて、現状の観測点配置から陸上設置地震計および OBS を除外した場合の震源推定結果の比較図を示す。

両図の結果によると、震源位置の水平分布は多少の変動があるものの、圧入との関連を評価する上で重要となる深度方向の変動は少なく、これらの観測点は必ずしも必要ではないと考えられる。

表 4.5-15 貯留地点近傍に推定された微小振動の観測システム毎の検知状況

イベント発生日時	検知可否			
	観測井坑内地震計	OBS	陸上設置地震計	常設型OBC
2015/4/9 15:03	○	○	×	○
2015/4/13 14:00	○	×	×	○
2015/4/17 7:06	○	○	×	○
2015/4/17 7:09	○	○	×	○
2015/4/17 7:13	○	○	×	○
2015/4/17 7:18	○	×	×	×
2015/5/10 8:27	○	○	×	○
2015/8/10 19:08	○	○	×	○
2015/8/20 23:20	○	○	×	○
2017/8/2 13:35	○	○	×	○
2017/8/2 13:36	○	○	×	○
2017/8/2 13:55	○	○	×	○
2020/9/24 11:53	○	×	×	○
2021/4/1 4:23	○	×	×	○
2021/8/24 16:03	○	×	×	○

注) これらの微小振動イベントは、Hi-netでは検知されていない。



注) これらの微小振動イベントは、陸上設置地震計では検知されていない。

図 4.5-36 貯留地点近傍における震源推定結果の比較（左：全観測点、右：OBSを除いた観測点）

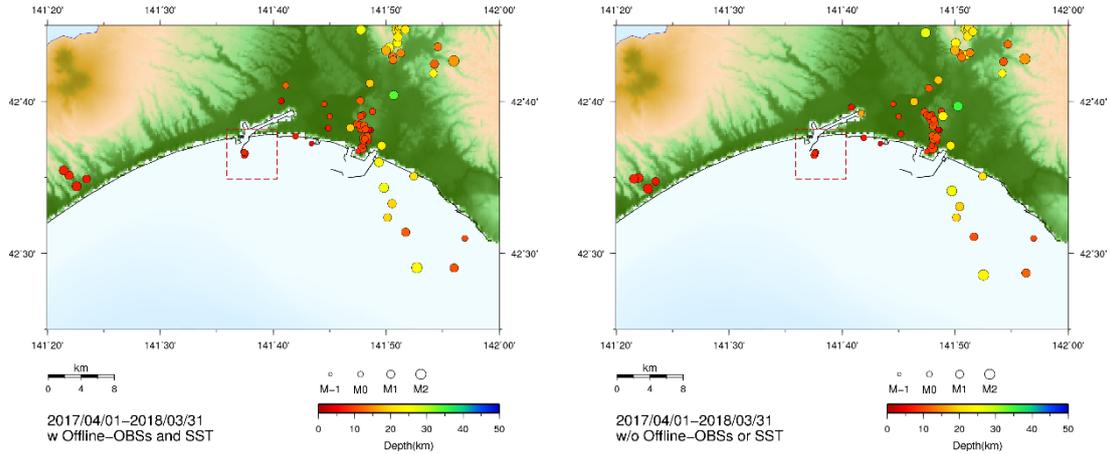


図 4.5-37 やや広域な範囲における震源推定結果の比較 (左: 全観測点、右: 陸上設置地震計および OBS を除いた観測点)

### (3) 各観測システムの最適化

観測井坑内地震計、OBC および周辺の Hi-net 記録で十分な監視ができ、陸上地震計および OBS を使用しない場合でも、貯留地点周辺の自然地震および貯留地点近傍における圧入関連イベントの検知能力は低下しないことが確認でき、それらの震源位置も適切に推定可能と判断されたことから、陸上地震計と OBS は 2021 年度 7 月に運用停止することとした。運用停止する 2 システムについて、以下に整理した。

#### ① OBS

OBS は軟弱な海底面に据え置きであることから、常設型 OBC に比べてバックグラウンドノイズが大きく、地震の検知能力が劣っているものと判断した。また、OBS は電池の消耗と原子時計の較正が必要のため、半年に 1 回程度は回収・点検作業が必要であり、潜水士作業の観点から設置深度が 50m 以浅に制約される。OBS を運用停止することにより、地震観測システム関連予算額全体で 15% 程度のコスト削減効果が期待される。OBS を適用する際には、設置地盤を強固なものにすることでよりイベント検知能力が上がるものと考えられる。

#### ② 陸上設置地震計

陸上設置地震計は市街地の地下 200m に設置であり近隣通行車両の影響を受けることから、観測井坑内地震計に比べてバックグラウンドノイズが大きく、地震の検知能力が劣っているものと判断した。陸上設置地震計を運用停止することにより、地震観測システム関連予算額全体で 4% 程度のコスト削減効果が期待される。市街地における陸上地震計につ

いては、PAには有効であるため、地盤や交通車両など環境面で設置個所を選定すればノイズが低減できる可能性がある。

#### 4.6 微小振動・自然地震モニタリング

2020年度に引き続き、圧入後の微小振動・自然地震モニタリングを実施した。対象データは、2021年4月1日～2022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4.6-1に示す微小振動モニタリング範囲、および図4.6-2に示す自然地震モニタリング範囲とした。振源・震源推定には4.5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。

##### 4.6.1 モニタリング実施状況

2020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4.8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

さらに、2021年7月に運用を停止した独立型OBSの交換およびデータ回収にあわせて、同データを加えた振源・震源再推定を行い、再推定前後の振源・震源分布を比較した。



図 4.6-1 微小振動モニタリング対象範囲

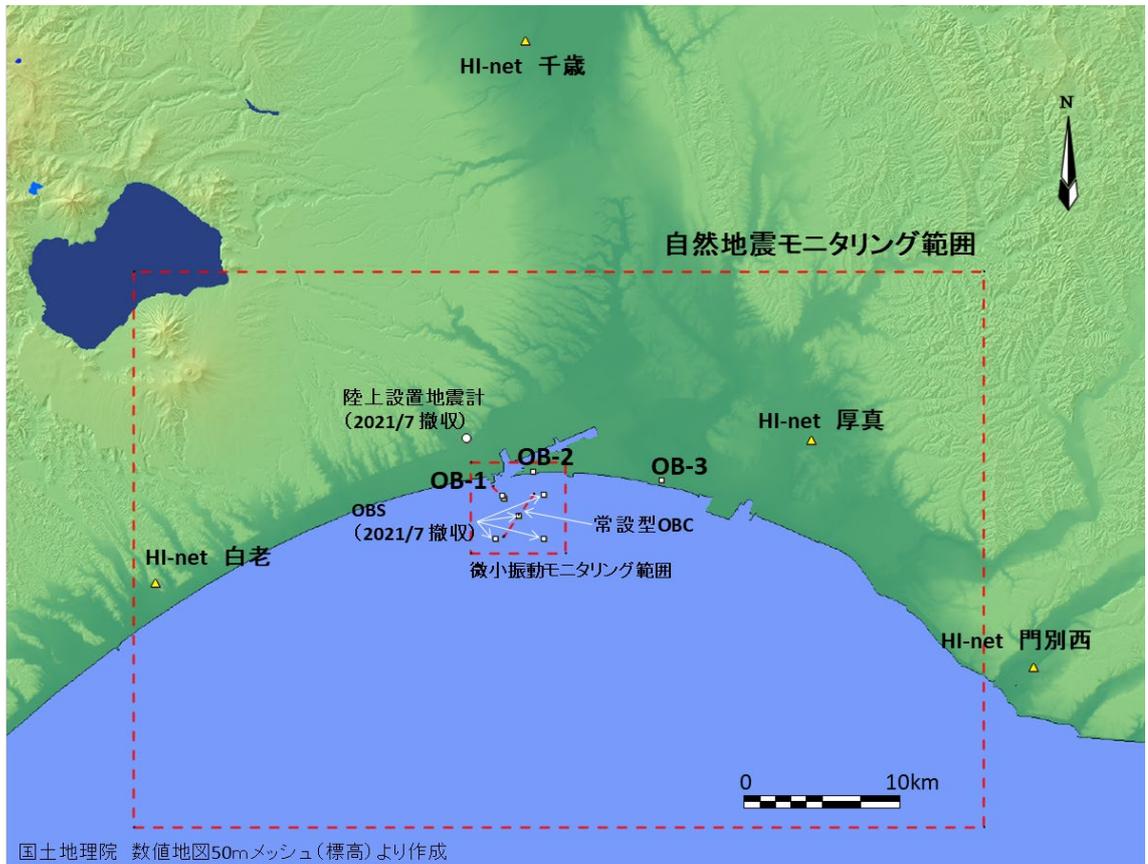


図 4.6-2 自然地震モニタリング対象範囲

## 4.6.2 モニタリング結果

### (1) 週次集計

表 4.6-1 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 4.6-3(1)~(12)に2021年4月~2022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4.8節に記載)。

表 4.6-1(1) 2021年4月1日～2022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
4/1～4/3	1	4	4/1 4:23:56 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7.45km、M0.23）
4/4～4/10	0	9	観測井 OB-1 メンテナンス作業
4/11～4/17	0	7	観測井 OB-1 メンテナンス作業 観測井 OB-3 メンテナンス作業
4/18～4/24	0	10	観測井 OB-3 メンテナンス作業 観測井 OB-2 メンテナンス作業
4/25～5/1	0	9	観測井 OB-2 メンテナンス作業
5/2～5/8	0	10	
5/9～5/15	0	6	観測井 OB-1 データ異常による欠測
5/16～5/22	0	11	観測井 OB-1 データ異常による欠測
5/23～5/29	0	16	OBC システムエラーによる欠測
5/30～6/5	0	9	OBC システムエラーによる欠測
6/6～6/12	0	3	
6/13～6/19	0	6	
6/20～6/26	0	6	
6/27～7/3	0	21	
7/4～7/10	0	6	陸上設置地震計、有線型 OBS の運用停止
7/11～7/18	0	11	観測井 OB-1 データ異常による欠測 独立型 OBS（OBS-3、OBS-4）の運用停止
7/18～7/24	0	5	観測井 OB-1 データ異常による欠測 独立型 OBS（OBS-2）の運用停止
7/25～7/31	0	6	

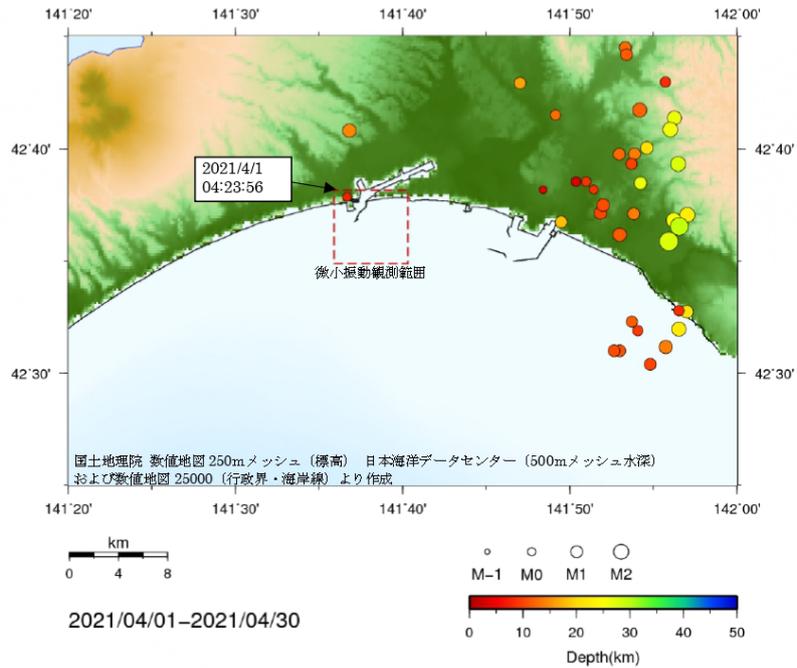
表 4.6-1(2) 2021年4月1日～2022年3月31日のモニタリング結果（2/3）

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
8/1～8/7	0	5	
8/8～8/14	0	12	
8/15～8/21	0	12	
8/22～8/28	1	6	8/24 16:03:02 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 6.50km、M0.13）
8/29～9/4	0	5	
9/5～9/11	0	7	
9/12～9/18	0	4	
9/19～9/25	0	5	観測井 OB-1 データ異常による欠測
9/26～10/2	0	7	
10/3～10/9	0	5	
10/10～10/16	0	9	
10/17～10/23	0	6	観測井 OB-3 データ異常による欠測
10/24～10/30	0	4	観測井 OB-3 データ異常による欠測 観測井 OB-1 データ異常による欠測
10/31～11/6	0	3	観測井 OB-3 データ異常による欠測
11/7～11/13	0	0	観測井 OB-3 データ異常による欠測
11/14～11/20	0	4	観測井 OB-3 追加メンテナンス作業 観測井 OB-1 データ異常による欠測
11/21～11/27	0	12	
11/28～12/4	0	8	

表 4.6-1(3) 2021年4月1日~2022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
12/5~12/11	0	6	観測井 OB-1 データ異常による欠測
12/12~12/18	0	25	
12/19~12/25	0	17	
12/26~1/1	0	26	観測井 OB-1 データ異常による欠測
1/2~1/8	0	25	
1/9~1/15	0	4	観測井 OB-1 データ異常による欠測
1/16~1/22	0	16	OBC システムエラーによる欠測
1/23~1/29	0	19	OBC システムエラーによる欠測
1/30~2/5	0	7	観測井 OB-1 データ異常による欠測
2/6~2/12	0	15	
2/13~2/19	0	19	観測井 OB-1 データ異常による欠測
2/20~2/26	0	11	
2/27~3/5	0	10	観測井 OB-1 データ異常による欠測
3/6~3/12	0	12	観測井 OB-1 データ異常による欠測
3/13~3/19	0	7	
3/20~3/26	0	10	観測井 OB-1 データ異常による欠測
3/27~3/31	0	4	

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 2021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

（2021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）

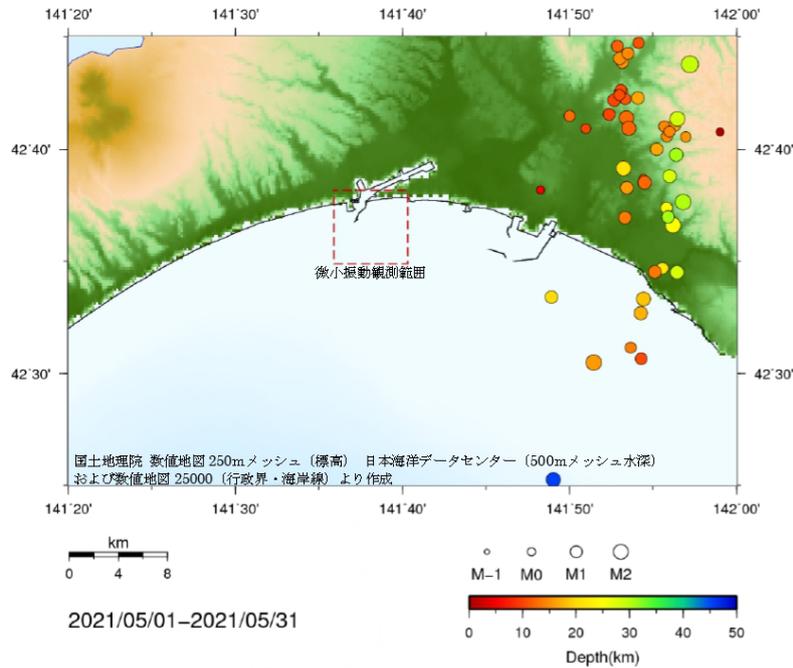
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	1	
自然地震観測範囲内	37	
範囲外	112	

特記事項

- 平成30年胆振東部地震（H30 9/6）の余震が多く発生している。
- 4/1 4:23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7.45km、マグニチュードは0.23と推定された。

図 4.6-3(1) モニタリング結果月報（2021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 2021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  
 （2021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）

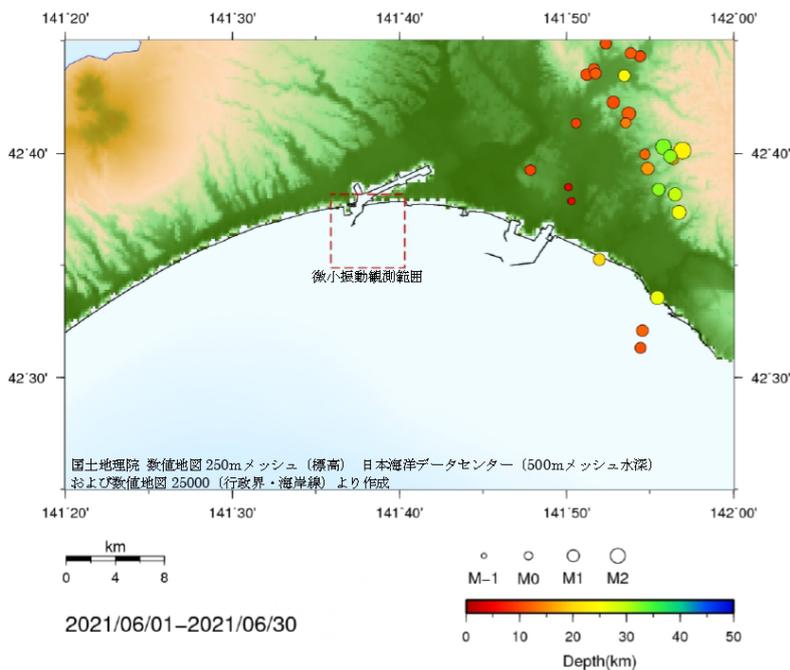
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	48	
範囲外	170	

特記事項

- 平成30年胆振東部地震（H30 9/6）の余震が多く発生している。

図 4.6-3(2) モニタリング結果月報（2021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 2021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

（2021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）

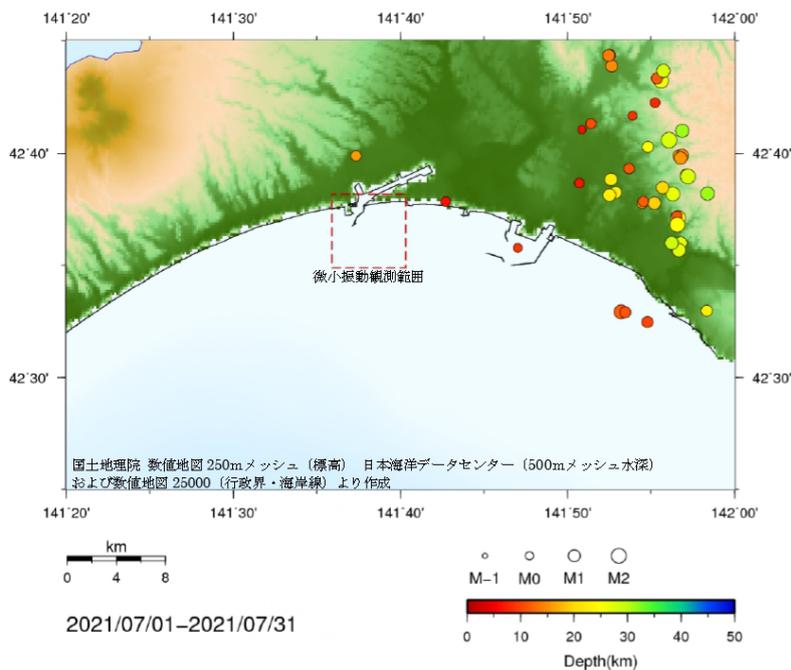
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	27	
範囲外	119	

特記事項

- 平成30年胆振東部地震（H30 9/6）の余震が多く発生している。

図 4.6-3(3) モニタリング結果月報（2021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 2021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

（2021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）

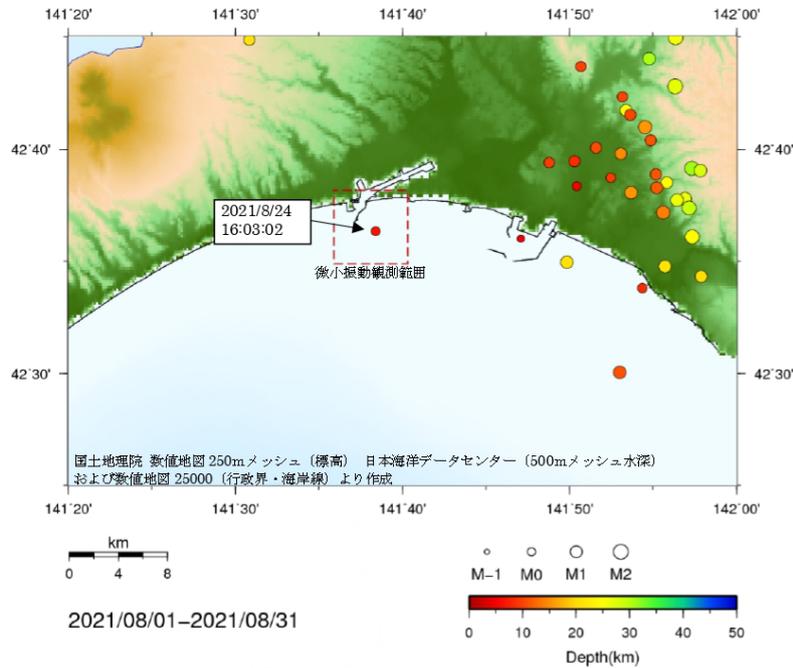
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	42	
範囲外	123	

特記事項

- 平成 30 年胆振東部地震（H30 9/6）の余震が多く発生している。
- 陸上地震計、有線型 OBS の運用停止に伴い、2021/7/4 より当該観測点のデータを解析対象から除外した。

図 4.6-3(4) モニタリング結果月報（2021 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 2021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

（2021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）

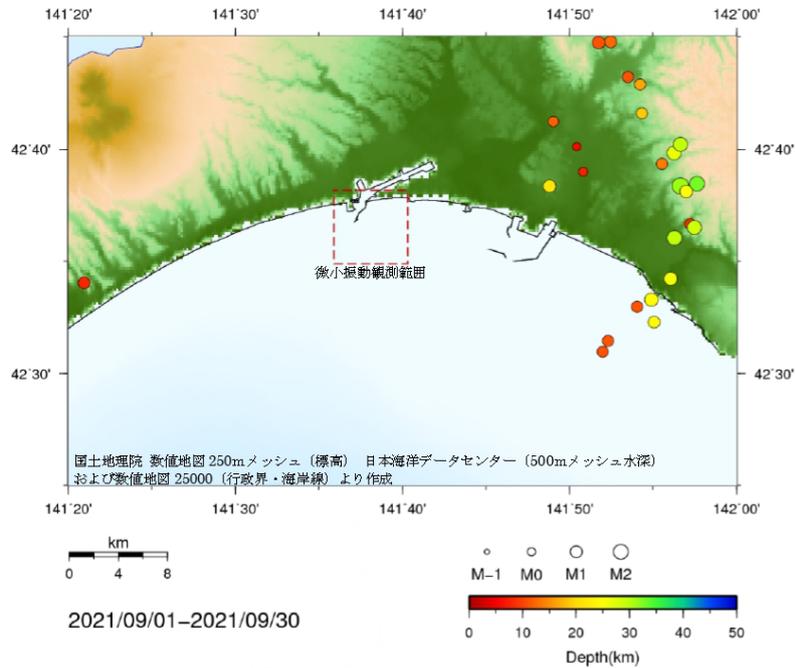
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	1	
自然地震観測範囲内	33	
範囲外	117	

特記事項

- 平成30年胆振東部地震（H30 9/6）の余震が多く発生している。
- 8/24 16:03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6.5km、マグニチュードは0.13と推定された。

図 4.6-3(5) モニタリング結果月報（2021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 2021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  
 （2021年9月1日～9月30日、深度50km以浅、マグニチュード0.5以上）

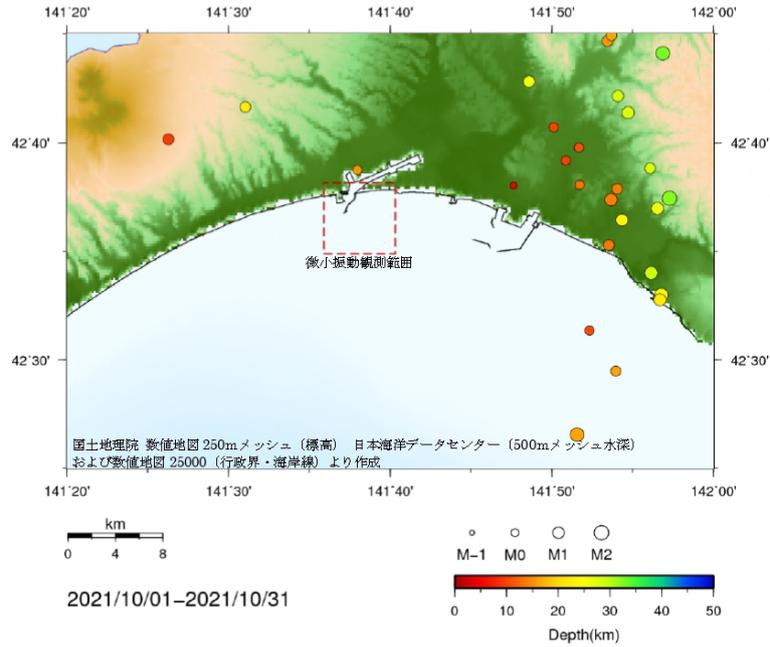
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	25	
範囲外	133	

特記事項

- 平成30年胆振東部地震（H30 9/6）の余震が多く発生している。

図 4.6-3(6) モニタリング結果月報（2021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 2021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

（2021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）

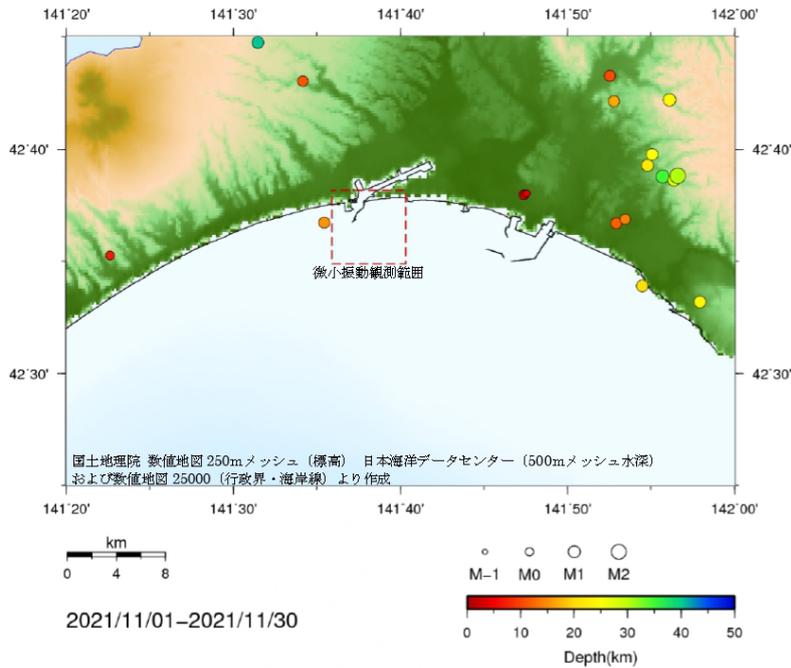
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	27	
範囲外	214	

特記事項

- 平成30年胆振東部地震（H30/9/6）の余震が多く発生している。

図 4.6-3(7) モニタリング結果月報（2021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 2021年11月



振源・震源分布（深度50km以浅、マグニチュード0.5以上）  
図中 赤矩形は微小振動観測範囲

微小振動・自然地震 検知件数

（2021年11月1日～11月30日、深度50km以浅、マグニチュード0.5以上）

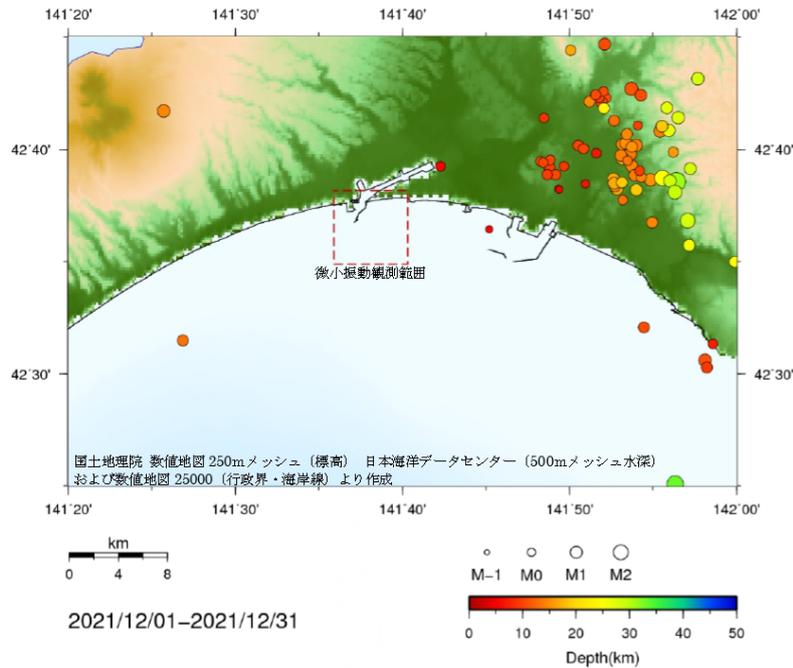
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	19	
範囲外	175	

特記事項

- 平成30年胆振東部地震（H30 9/6）の余震が多く発生している。

図 4.6-3(8) モニタリング結果月報（2021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 2021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

（2021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）

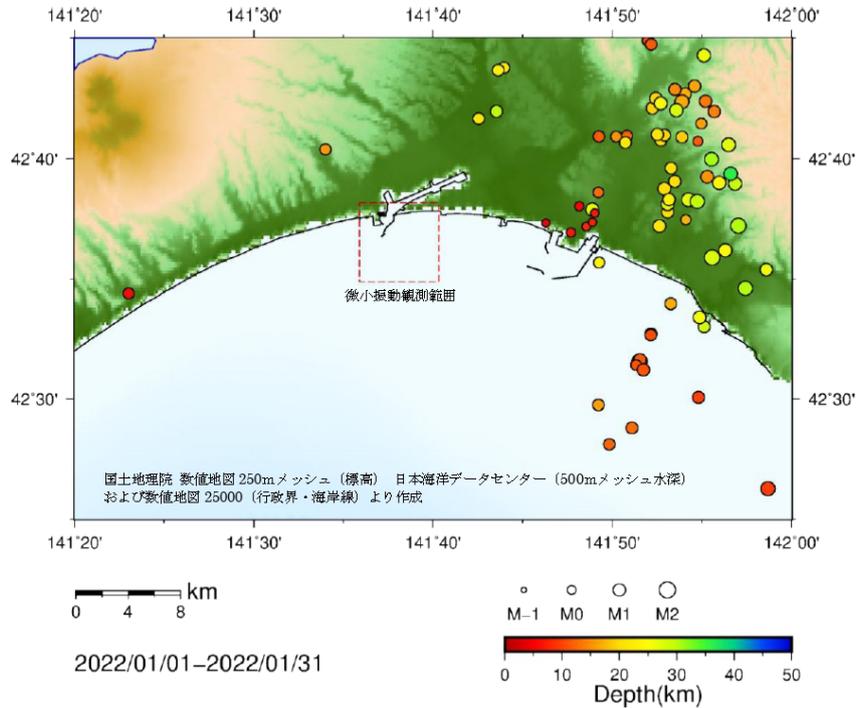
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	73	
範囲外	215	

特記事項

- 平成30年胆振東部地震（H30 9/6）の余震が多く発生している。

図 4.6-3(9) モニタリング結果月報（2021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 2022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

(2022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)

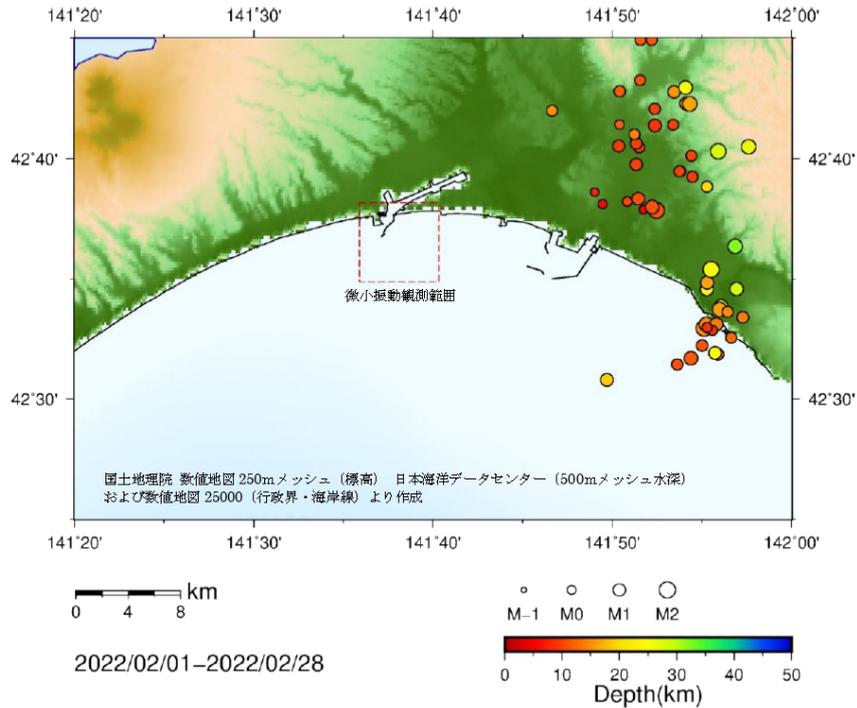
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	73	
範囲外	225	

特記事項

- 平成30年胆振東部地震 (H30 9/6) の余震が多く発生している。

図 4.6-3(10) モニタリング結果月報 (2022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 2022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

（2022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	53	
範囲外	212	

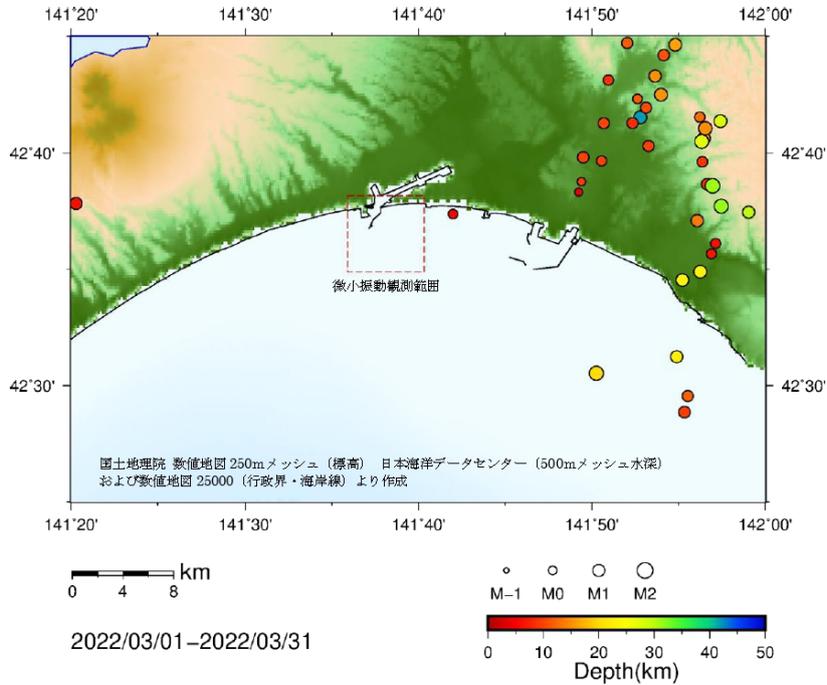
特記事項

- 平成30年胆振東部地震（H30 9/6）の余震が多く発生している。

図 4.6-3(11) モニタリング結果月報（2022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 2022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

（2022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	0	
自然地震観測範囲内	37	
範囲外	264	

特記事項

- 平成30年胆振東部地震（H30/9/6）の余震が多く発生している。

図 4.6-3(12) モニタリング結果月報（2022年3月）

#### 4.6.3 独立型 OBS 記録を加えた振源・震源再推定

本事業で使用しているデータのうち独立型 OBS 観測点 3 地点のデータは、4 箇月ごとの定期交換作業にあわせて回収するため、リアルタイムデータ処理に用いることができない。本事業では 2020 年度と同様に、日常のモニタリングではリアルタイムで利用可能なデータのみを用いることとし、定期的に回収する独立型 OBS のデータは事後検証用のデータとして使用した。

2021 年度は 7 月に OBS を運用停止しており（詳細は 4.4 節に記載）、回収された独立型 OBS のデータを加えて、4.6.2 で取りまとめた振源および震源を再推定した。

図 4.6-4 に独立型 OBS の記録を追加して求めた振源・震源分布と、追加前の分布との比較図を示す。同図では 2020 年度の第 3 回交換作業から 2021 年度 7 月の運用停止までの約 3 箇月（2021 年 2 月 22 日から 2021 年 7 月 21 日まで）のデータを用いた。同図に示されるとおり、独立型 OBS のデータを追加したことによる振源・震源分布の顕著な変化は認められなかった。観測されたイベントの多くは、モニタリング範囲から離れた位置に震源が推定されている。遠地であればあるほど、狭い範囲にある各観測点に対してほぼ同じ方向から到来することになり、また独立型 OBS だけで検知されることは少なくなるため、震源位置の推定に対する独立型 OBS の寄与は相対的に小さくなると思われる。

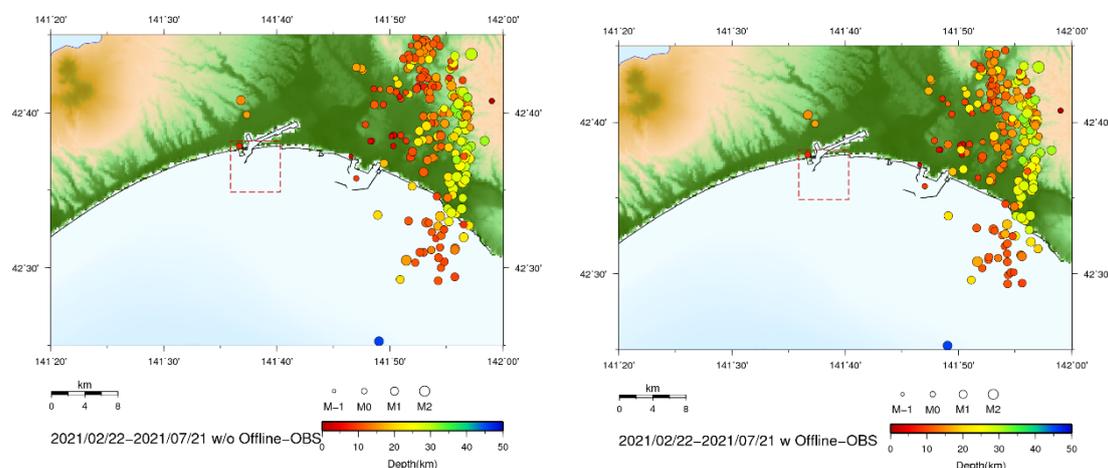


図 4.6-4 独立型 OBS データを用いた再推定結果

（2021 年 2 月 22 日から 2021 年 7 月 21 日まで）

（左図：独立型 OBS データ追加前、右図：独立型 OBS データ追加後）

#### 4.6.4 2021 年度モニタリング結果のまとめ

図 4.6-6 に、本事業期間中（2021 年 4 月 1 日～2022 年 3 月 31 日に検知したマグニ

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50km以浅に震源が推定されたイベントの震源分布図を示し、次のようにまとめた。

- 1) 気象庁138件に対して実証試験では496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（2021年4月1日、2021年8月24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) 観測井OB-1において、データ異常による欠測が多く生じた。
- 4) 2018年9月6日の平成30年北海道胆振東部地震の余震が多く観測されており、自然地震観測範囲の東縁からやや西側にかけて余震の推定振源が南北に分布していることを確認した。
- 5) 本事業により推定された平成30年北海道胆振東部地震の余震震源は、気象庁一元化震源リスト記載の震源分布に比して西寄りで、またやや浅く推定される傾向を確認した。これらの系統的な違いは、解析に用いる観測点および速度モデルが異なることによると考えられる。
- 6) OB-3の周辺において、気象庁一元化震源リストにはほぼ記載がない小規模イベントを推定した。OB-1およびOB-3ではノイズレベルが低い大深度にて地震観測を行っているため、イベントの検知能力が高く、深度方向の震源推定精度を高める上で有用である。貯留地点近傍では、観測点密度も高く、震源推定結果の信頼性は高いと考えられる。

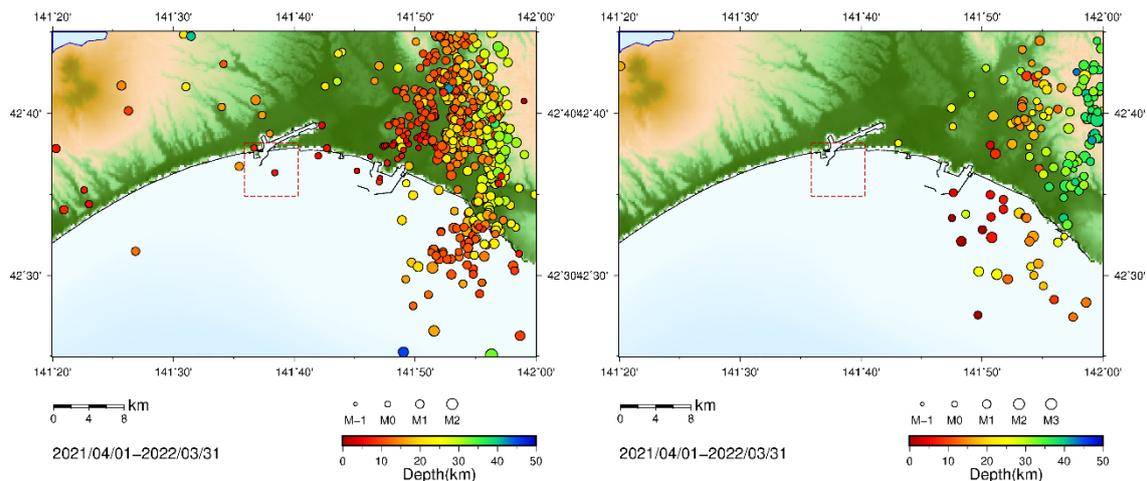


図 4.6-6 2022 年度期間中に自然地震モニタリング範囲内で検知した振源・震源分布  
 (左：本事業モニタリング結果、右：気象庁一元震源リスト)

## 4.7 繰り返し弾性波探査

### 4.7.1 調査範囲の検討

2022年度に、第6回目の繰り返し三次元弾性波探査モニター調査（以下、「モニター調査」と称する。）の実施を予定している。モニター調査は圧入停止後も定期的に実施する必要がある。ノイズを抑え二酸化炭素貯留分布を適切に推定することが重要である一方、コスト低減および地元漁業者に対する負荷軽減の観点からは調査範囲は最小限にすることが望ましい。2009年に実施した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。）や、2020年度に実施した第5回モニター調査では、滝ノ上層も対象としたが、圧入量が少ないために、経時的な変化を確認することができていないため、2022年度実施予定の第6回モニター調査では萌別層のみを対象とすることとし、最適なデータを取得するための受発振ジオメトリを設定するための受振測線長および発振測線数のデシメーションテストを2021年度に実施した。

デシメーションテストには、第5回モニター調査の記録を用いた。表4.7-1に示すパターンについて独立したデータセットを作成し、三次元ベースライン調査との差分抽出処理を実施した。各パターンの受発振範囲の比較を図4.7-1に示す。

パターン2は、2018年度に実施した第3回モニター調査と同じ取得条件である。第3回モニター調査は、圧入領域よりも南東側において品質が低下している領域が見られた。

パターン1は、2019年度に実施した第4回モニター調査と同じ取得条件である。パターン2の品質低下を改善するため、南側に受振測線長と発振測線数を拡張している。

パターン3からパターン5は、パターン2の品質低下を改善するため、発振測線数だけを拡張している。なお、パターン3はパターン1の発振測線数と同じである。これらパターン2からパターン5は、2020年度の第5回モニター調査（パターン0）に比べて受振測線長が短いことにより、シーバースを囲むような受振測線配置が避けられることと、使用する機材数を減らすことができるため、受振ケーブルに係るトラブルによるダウンタイムの発生減およびコスト削減効果が期待できる。

表 4.7-1 デシメーションテストにおける受発振パターン

	受振測線長	発振測線数	備考
パターン0	3.0 km 以上×9 測線 2.0 km×1 測線	27 測線	2020 年度と同じ取得条件
パターン1	2.0 km×6 測線	16 測線	2019 年度と同じ取得条件
パターン2	1.5 km×6 測線	13 測線	2018 年度と同じ取得条件
パターン3	1.5 km×6 測線	16 測線	
パターン4	1.5 km×6 測線	19 測線	検討の結果、2022 年度範囲として採用
パターン5	1.5 km×6 測線	22 測線	

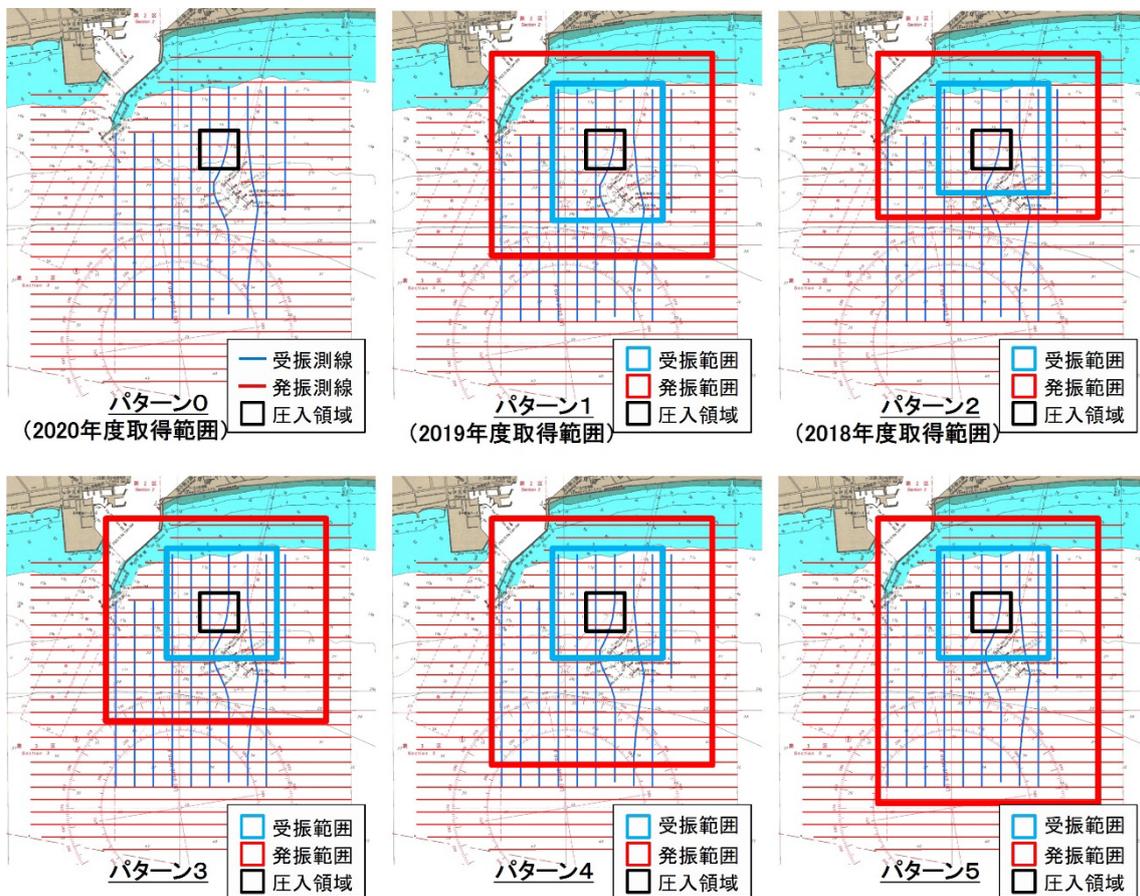


図 4.7-1 各パターンの受発振範囲

#### 4.7.2 検討結果

##### (1) 重合数の比較

萌別層貯留層に相当する深度における各パターンの重合数分布を図 4.7-2 に示す。いずれのパターンにおいても、圧入領域近傍ではほとんど違いがなく、受発振点のデシメー

シヨンの影響を強く受けるのは調査領域の端部付近であることがわかる。パターン1から受振範囲の南側を500 m 短くしたパターン3では、パターン1に比べ、圧入領域より南側で重合数の低下が確認できる。また、パターン2からパターン5へと発振測線を増加させても、重合数10以上の領域はそれほど大きく変化していない。これは増加させている発振測線が受振測線の南端より南側に位置するために、ファーオフセットのトレースだけが増加しているからである。追加する発振測線が一定以上離れると、萌別貯留層のイメージングに寄与する部分がなくなってしまうためと考えられる。特に、パターン4とパターン5を比較すると萌別貯留層深度相当の重合数はほぼ変化していない。

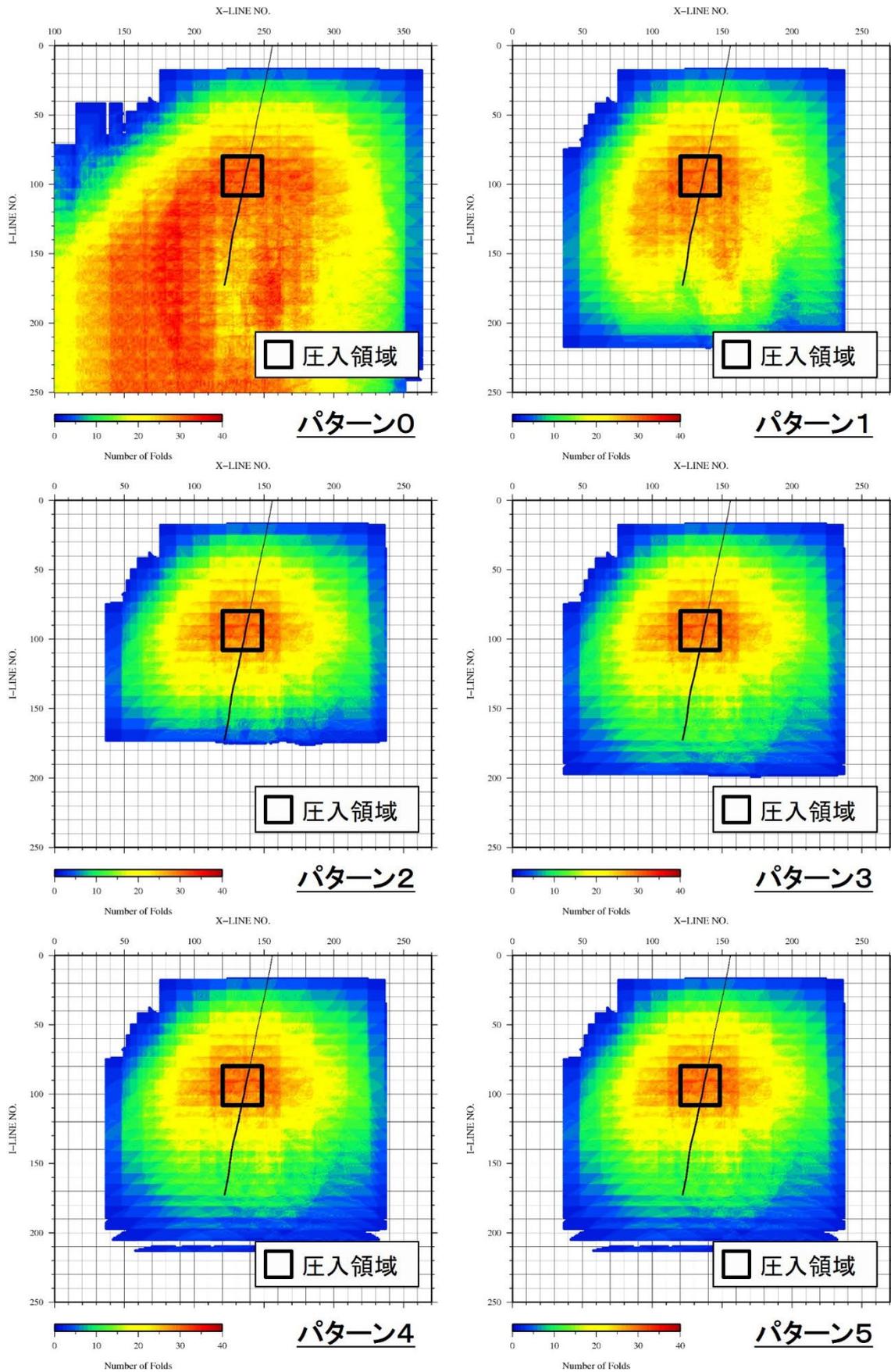


図 4.7-2 各パターンの重合数分布

## (2) 差分RMSおよび再現性指標の比較

差分記録のRMS振幅分布図を図4.7-3に、再現性指標NRMS分布を図4.7-4に示す。受発振範囲を制限しないパターン0から2019年度の範囲にデシメーションしたパターン1およびパターン1からさらに受振範囲の南側を500m短くしたパターン2では、重合数の減少によってノイズ抑制効果も低下した結果、圧入領域以外の範囲において差分RMSとNRMSが増加する様子が見られた。

パターン2からパターン5の発振測線を南側に3本ずつ増加させていったパターンを比較すると、圧入領域付近では重合数の変化はないため、重合効果によるノイズ抑制は見込めないものの、重合前のノイズ抑制処理段階でのトレース数の増加に伴うノイズ抑制効果向上が期待できる。例えば、圧入領域から西側の黄色で囲んだ範囲では、ノイズが抑制されて差分記録のRMS振幅が小さくなる傾向が見える。一方、品質が低下した領域も認められる。これは発振測線を増やすことで付加される記録そのものの品質によると考えられる。例えば、圧入領域から南東の赤色で囲んだ範囲では、受振測線長や発振測線数を増やしたパターンにおいて必ずしも品質が良くなっているわけではない。当該箇所には、シーバースが位置しており、重合処理に追加する記録自体の位置精度や品質が最終的な処理結果に与える影響が、重合トレース数の増加によるノイズ抑制効果よりも大きい可能性のほか、サーフェスコンシステント型の処理や残差静補正などのデータセット全体を基にオペレータや補正量が計算されるような処理ステップの影響がデータセットごとの最終的な差分記録の品質に影響しているものと考えられる。

図4.7-4中、黒枠で囲んだ範囲A（インライン：80-110、クロスライン：120-150）、黄枠で囲んだ範囲B（インライン：130-160、クロスライン：120-150）および赤枠で囲んだ範囲C（インライン：130-160、クロスライン：170-200）の重合数とNRMS値の各平均値、受振測線長および発振測線数を表4.7-2に示した。パターン0とパターン1を比較することで、重合数によるノイズ抑制効果がわかる。また、パターン1とパターン3による受振測線長の比較、およびパターン2からパターン5による発振測線数の比較が可能である。同表を見ると、範囲Aではいずれのパターンにおいてもほぼ同じ重合数を示すが、NRMS値は受振測線長が長く、発振測線長が多いほど小さく（再現性が相対的に良い）、重合前のデータ処理効果が高くなっていることがわかる。範囲Bにおいても、受振測線長が長く、発振測線長が多いほどNRMS値が小さくなっている。また、パターン1とパターン3を比較すると、受振測線長が短くなる影響で重合数が減り、再現性が悪くなることがわかる。

一方、範囲Cでは、パターン3とパターン4を比べると発振測線長が長くなり重合前の

データ処理効果が高くなり再現性が良くなるが、さらに増やすパターン5では逆に再現性が悪くなる結果となった。沖側は航行船舶などの影響で一過性のノイズが入る可能性が高い。これらのノイズが、ノイズ抑制処理で抑制しきれず、データセット全体を基にオペレータや補正量が計算されるような処理ステップに影響し、再現性を低下させたものと考えられる。さらにパターン1とパターン3比べると、受振測線長が短いパターン3の方が再現性が良い結果が得られた。当該範囲は、シーバースにより受振測線を曲げる必要がある部分であり、特に2020年度は工事のため曲がりが大きくなる必要があった箇所である。当該範囲については、ベースラインと比べて受振点の位置精度が悪かった影響により再現性が低下したものと考えられる。

表 4.7-2 各パターンの NRMS および重合数平均値

		パターン0	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	パターン5
範囲 A (黒枠)	NRMS	61.36	68.16	71.73	70.31	69.94	67.03
	重合数	29.98	29.00	28.39	28.39	28.39	28.39
範囲 B (黄枠)	NRMS	18.98	21.72	28.02	33.22	31.91	33.20
	重合数	26.24	23.82	13.74	14.87	14.87	14.87
範囲 C (赤枠)	NRMS	28.67	37.00	35.20	35.75	32.74	35.49
	重合数	25.14	18.06	10.44	11.44	11.44	11.44
受振測線長		3km 以上	2km	1.5km	1.5km	1.5km	1.5km
発振測線数		27	16	13	16	19	22

注) NRMS は小さいほど再現性が良く、変化が小さいことを示す。

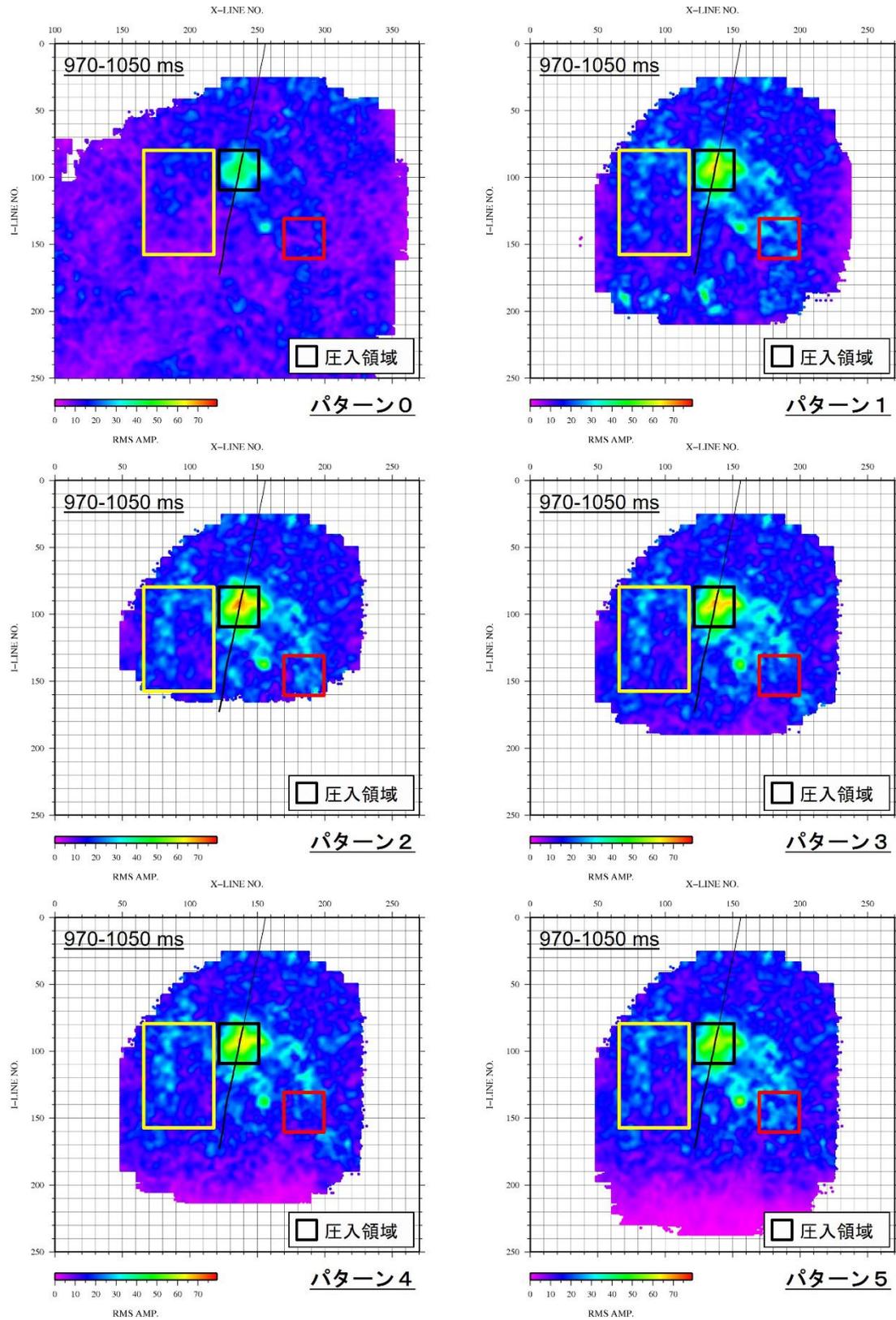
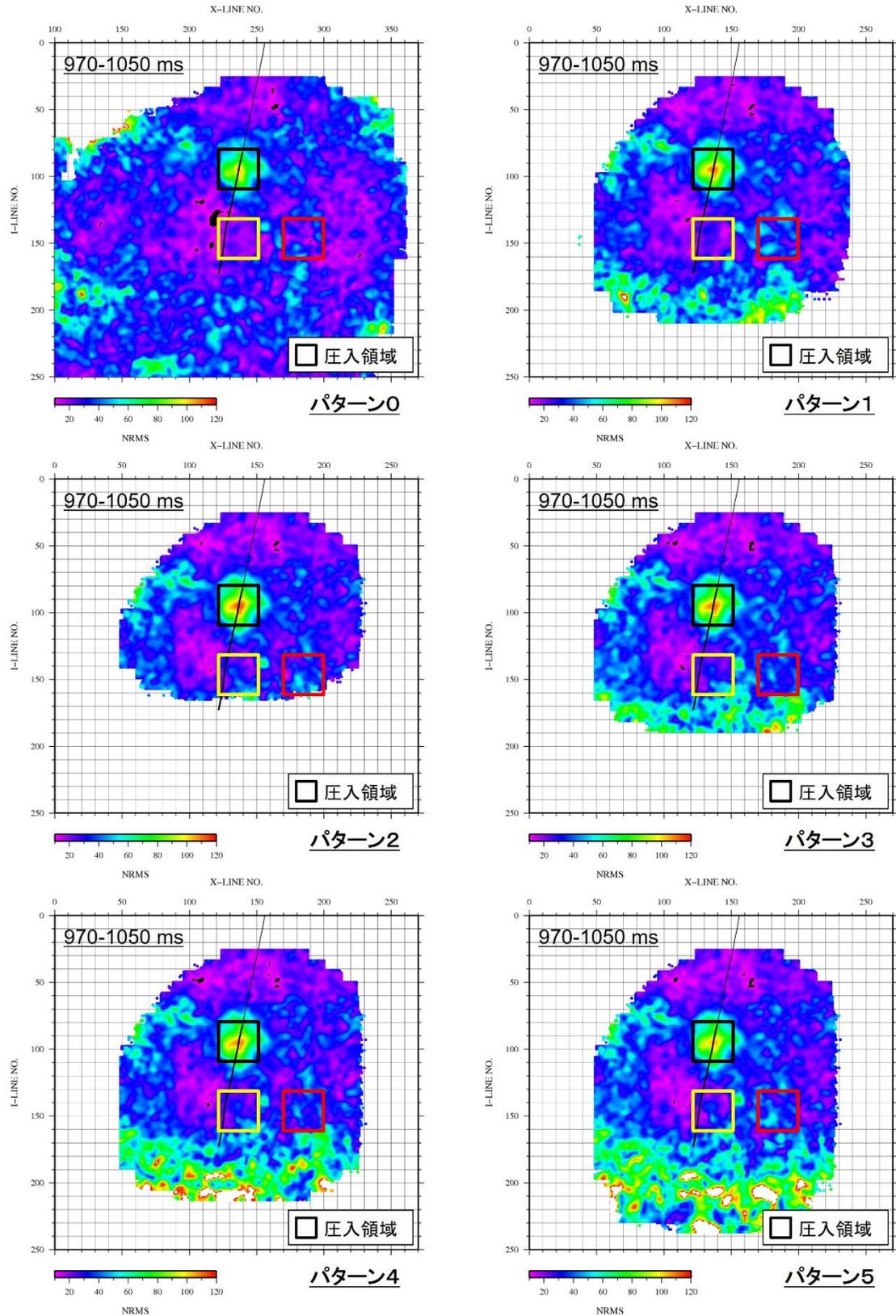


図 4.7-3 各パターンの差分記録の RMS 振幅分布



注) NRMS は小さい（図では寒色系）ほど再現性が良く、変化が小さいことを示す。

図 4.7-4 各パターンの NRMS 分布

### (3) 第6回モニター調査の調査範囲

表 4.7-2 から以下のことがわかる。パターン1 から受振測線を短くしたパターン3 では範囲A と範囲B とともにNRMS が大きくなるが、シーバースの影響で位置精度が低下する範囲C においてはNRMS が小さくなる。パターン3 の受振測線を維持しつつ発振測線数を増やしたパターン4 のNRMS は、シーバースの影響を受けない範囲A と範囲B では、パターン1 ほどではないが、発振測線が短いパターン3 よりも小さい。パターン4 よりもさらに発振測線数を増やしたパターン5 では、圧入領域である範囲A のNRMS は小さくなるものの、圧入領域よりも南側である範囲B および範囲C のNRMS はパターン4 よりも大きくなった。以上より、データ品質の再現性の観点からは、パターン1、パターン4 あるいはパターン5 が良いと考えられる。

表 4.7-3 は、各パターンについて、探査期間、受振器費用、受振トラブル発生リスクおよび発生した際の復旧にかかる作業時間についてまとめたものである。受振測線長は、250 m 短くするごとに使用する受振ケーブルを1 本減らすことができるため、同機器に係るコストの削減効果が期待できる。また、受振ケーブルに機材トラブルが発生すると、測線全てを揚収して交換、再敷設の対応が必要となることがあるため、使用する受振ケーブルが少ないほどトラブル発生リスクや対応時間が少なくなることが想定できる。受振測線長の短縮化に向けては、発振測線数を増やすことでデータの品質の確保を試みるが、受振測線長に比べてその影響は小さいものの、発振測線数の増加はコストと探査期間の増加につながる。以上を踏まえると、パターン2、パターン3 あるいはパターン4 が好ましいと考えられる。

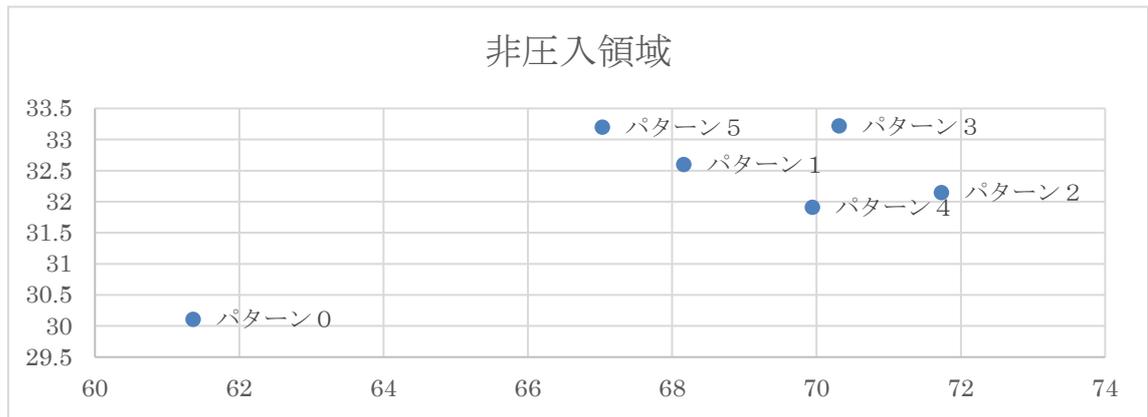
以上、表 4.7-2 および表 4.7-3 に基づく検討結果から、受振ケーブル長を短くすることでコスト削減や作業時間の短縮を試みる一方で、代わりに発振測線数を増やすことで品質を確保する調査方法として、2022 年度の調査はパターン4 を採用することとした。

表 4.7-3 各パターンの探査期間、コスト等の比較

	パターン0	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	パターン5
探査期間	+14 日	-	-1 日	-0.5 日	±0 日	+0.5 日
受振器費用	2.25 倍	-	0.75 倍	0.75 倍	0.75 倍	0.75 倍
受振トラブル発生リスク	1.5 倍	-	0.75 倍	0.75 倍	0.75 倍	0.75 倍
復旧作業時間	9 時間	4 時間	3 時間	3 時間	3 時間	3 時間

注) 各割合は、パターン1 を基準とした。

注) あくまで受振器費用であり、探査全体の費用ではない。



## 4.8 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、2021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、2021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。

### 4.8.1 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（CMS運用サーバを兼ねる）およびCMS\*1)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4.8-1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。2021年度には、市役所に設置している制御用PCを更新した。表4.8-1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。

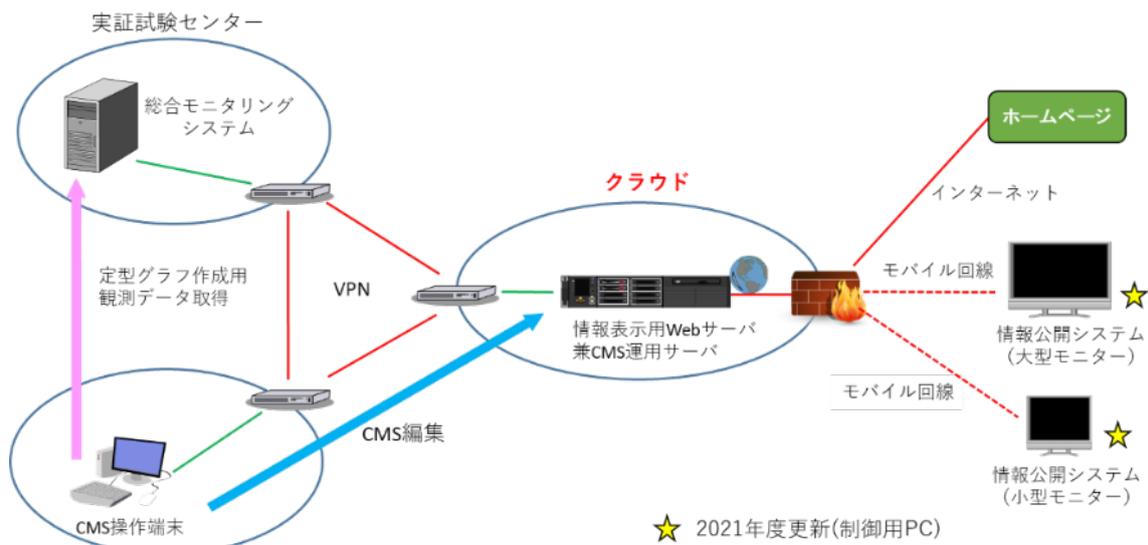


図 4.8-1 情報公開システムのシステム構成概念図

表 4.8-1 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 4.8-2 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、2021 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 4.8-2(1)～(3)に情報公開用画面の例を示す。

表 4.8-2 情報公開用画面の表示内容

画面番号	表示内容
画面 1	日本CCS調査(株)からのお知らせ (What's New)
画面 2	地球温暖化が進んでいる
画面 3	温室効果ガスを削減するには
画面 4	CCS とは
画面 5	二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> ) を貯留するには
画面 6	CCS 大規模実証試験：全体概要
画面 7	CCS 大規模実証試験：スケジュール
画面 8	CCS 大規模実証試験：地上設備の位置関係
画面 9	CCS 大規模実証試験：貯留層と圧入井
画面 10	CCS 大規模実証試験：CO <sub>2</sub> 分離・回収・圧入設備の空中写真
画面 11	CCS 大規模実証試験：CO <sub>2</sub> 分離回収装置および圧縮装置
画面 12	二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> ) 圧入実績 <ul style="list-style-type: none"> <li>前日の CO<sub>2</sub> 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</li> <li>前月の圧入実績と当該月の圧入計画</li> <li>圧入開始から前月までの累積 CO<sub>2</sub> 圧入量のグラフ</li> </ul>
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"> <li>当該地震の震央位置図（平面図）</li> <li>本事業で取得した観測波形</li> <li>地震情報（気象庁発表）</li> </ul>
画面 15	苫小牧市周辺の自然地震発生状況 <ul style="list-style-type: none"> <li>直近 1 箇月間に発生した自然地震の震源分布</li> <li>2001～2010 年の 10 年間に発生した自然地震の震源分布</li> </ul>
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"> <li>圧入停止後に検出された微小振動の分布平面図</li> <li>圧入中に観測された微小振動の平面分布</li> <li>圧入前 12 箇月間に観測された微小振動の平面分布</li> <li>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</li> </ul>
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 <sub>2</sub> ) 濃度（季節観測）

苫小牧CCS大規模実証試験  
2021年4月1日（水）～2021年11月1日（金）  
累計CO<sub>2</sub>注入量 300,110 t

### What's New アクセスサッポロで行われたビジネスEXPOに出展しました！

**開催日**  
2020年11月5日～11月6日

第34回を期えた、北海道最大級のビジネスイベント。

今年はコロナ禍の中、「新北海道スタイル」広用のリアルとWEBが融合した新しいカタチで開催されました。

展示会場に、パネルやパンフレットを配置させていただきました。たくさんの方にCCSについて紹介することができました！



1/19

画面 1

苫小牧CCS大規模実証試験  
2021年4月1日（水）～2021年11月1日（金）  
累計CO<sub>2</sub>注入量 300,110 t

### 地球温暖化の現状



地球温暖化の原因は大気中の温室効果ガス濃度の増加にあり、特に二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の影響が大きいとされています。

世界のCO<sub>2</sub>排出量は産業革命以降増加しており、それに伴って大気中のCO<sub>2</sub>濃度が上昇し、地球の年平均気温も上昇しています。

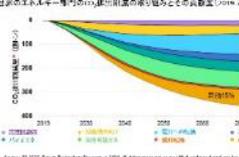
日本でも大雨の日数や猛暑日が増加傾向を示すなど、地球温暖化が影響している可能性があります。

2/19

画面 2

苫小牧CCS大規模実証試験  
2021年4月1日（水）～2021年11月1日（金）  
累計CO<sub>2</sub>注入量 300,110 t

### 温室効果ガスを削減するには



「気候変動シナリオ(Sustained Policy Scenario)」と呼ばれる研究レポート(Carbon dioxide capture and storage)が気候変動を抑制するために必要な世界のエネルギー需要の15%削減に貢献するものと試算されています。

気候変動問題に関する国際的な枠組み「パリ協定」が、2020年から運用開始となりました。温室効果ガスの削減目標を達成するためには、これまでにない技術革新が必要で、そのひとつとして注目されているのが、CO<sub>2</sub>を回収し貯留する技術である「CCS」と、さらにCO<sub>2</sub>を利用する「CCUS」です。

国際エネルギー機関(IEA)のレポートでは、2019年から2070年までのCO<sub>2</sub>の追加の累積削減量の15%はCCUSによるとされています。

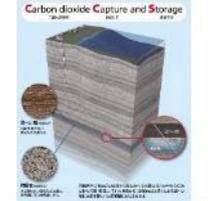
⑧CCUSは「Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage」の略で、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を分離・回収し、有効利用、または地中へ貯留する技術。

3/19

画面 3

苫小牧CCS大規模実証試験  
2021年4月1日（水）～2021年11月1日（金）  
累計CO<sub>2</sub>注入量 300,110 t

### CCSとは



CCSとは、工場や発電所から排出されるガスから二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を分離・回収し、地中に貯留することによって、大気中へのCO<sub>2</sub>放出を抑制する革新的な地球温暖化対策技術です。

4/19

画面 4

苫小牧CCS大規模実証試験  
2021年4月1日（水）～2021年11月1日（金）  
累計CO<sub>2</sub>注入量 300,110 t

### 二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を貯留するには



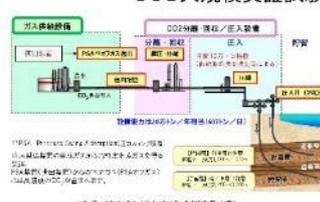
CO<sub>2</sub>を海底下の地中に封じ込めるためには、貯留層とその上部に遮へい層が存在する地質構造が必要です。遮へい層は、貯留層に圧入したCO<sub>2</sub>が貯留層から漏れないよう遮へいしています。

5/19

画面 5

苫小牧CCS大規模実証試験  
2021年4月1日（水）～2021年11月1日（金）  
累計CO<sub>2</sub>注入量 300,110 t

### CCS大規模実証試験：全体概要



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

6/19

画面 6

苫小牧CCS大規模実証試験  
2021年4月1日（水）～2021年11月1日（金）  
累計CO<sub>2</sub>注入量 300,110 t

### CCS大規模実証試験：スケジュール

■2012年度から2015年度  
設備の設計・建設、圧入井(CO<sub>2</sub>を地下に圧入する井戸)の掘削、実証運転の準備などを実施しました。

■2016年度から2020年度  
2016年4月1日、当社は、経済産業省より「平成28年度二酸化炭素削減技術実証試験事業」を受託し、同年4月8日より、分離回収したCO<sub>2</sub>の圧入を開始しました。

2019年11月22日に実証試験の目標である累計30万トンのCO<sub>2</sub>の圧入を達成しました。また、圧入終了後も、実証試験期間中は継続して監視(モニタリング)を実施します。



7/19

画面 7

苫小牧CCS大規模実証試験  
2021年4月1日（水）～2021年11月1日（金）  
累計CO<sub>2</sub>注入量 300,110 t

### CCS大規模実証試験：地上設備の位置関係



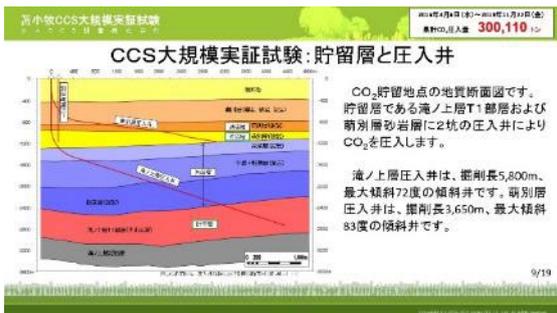
「ガス供給設備」は製造所の水素製造過程で生成されるPSAオフガス(CO<sub>2</sub>含有ガス)を、延長1.4kmのパイプラインで「分離・回収・圧入設備」に送るための設備です。

「分離・回収・圧入設備」では、パイプラインで送られてきたCO<sub>2</sub>含有ガスから純度99%以上のCO<sub>2</sub>を分離・回収し、圧地層により圧力を蓄めて、2坑の圧入井から海底下の貯留層へ圧入し貯留します。

8/19

画面 8

図 4.8-2(1) 情報公開用画面（画面 1～8）



画面 9



画面 10



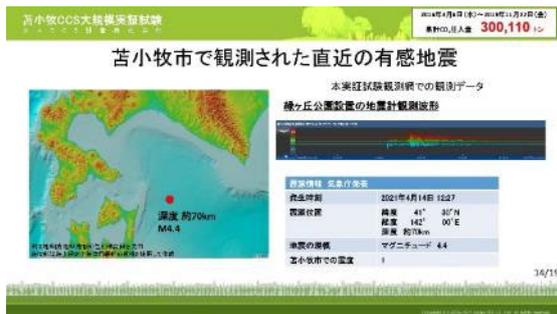
画面 11



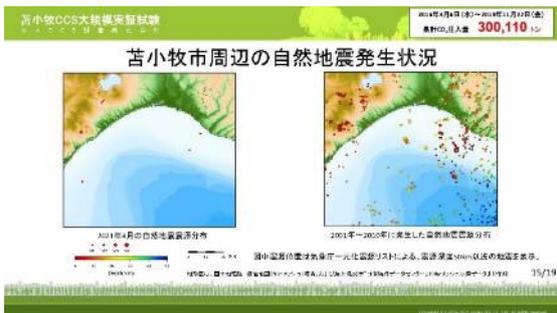
画面 12



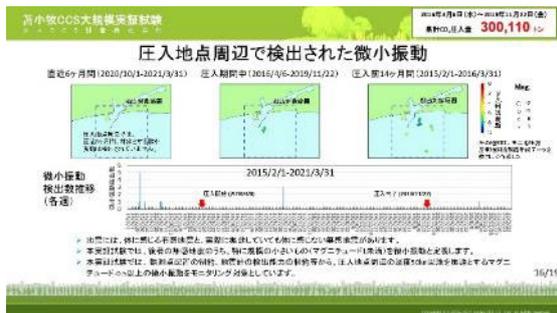
画面 13



画面 14

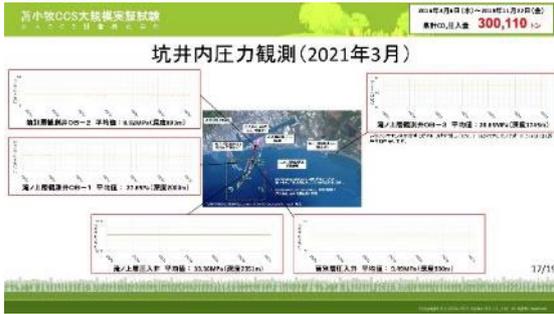


画面 15

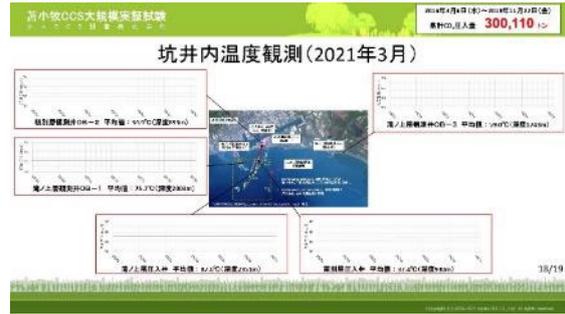


画面 16

図 4.8-2(2) 情報公開用画面（画面 9～16）



画面 17



画面 18



画面 19

図 4.8-2(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 4.8-3 の方針に従って更新した。各画面の 2021 年度の更新の実績を以下に示す。

表 4.8-3 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次のように順次更新（1）～12）した。掲載した画面を図 4.8-3(1) および(2)に示す。

- 1) ～地域と環境に寄り添う企業を目指して～同じゴールを目指す二つの企業の  
トップ対談（2021 年 5 月 11 日更新）
- 2) 苫小牧市内企業の皆さんと一緒にゴミ拾いに参加しました！（2021 年 5 月 14 日  
更新）
- 3) パンフレットスタンドを設置しています！（2021 年 5 月 14 日更新）
- 4) 北海道庁でパネル展を開催しました！（2021 年 6 月 1 日更新）
- 5) トヨタカローラ苫小牧 とまこまい店にてパネル展を開催しています！（2021 年  
6 月 14 日更新）
- 6) 第 1 回苫小牧都市再生講演会でパネル展を開催しました！（2021 年 7 月 16 日更  
新）
- 7) 苫小牧西港フェリーターミナルで CCS パネル展を開催中！（2021 年 8 月 27 日  
更新）
- 8) 「地域で学ぼう SDG s! 夏休み 1 日自由研究」の中で、CCS を紹介（2021 年 8  
月 27 日更新）

- 9) 苫小牧西港フェリーターミナルで CCS パネル展を開催しました！（2021年9月17日更新）
- 10) 公式チャンネルを開設しました！（2021年10月21日更新）
- 11) アクセスサッポロで開催された第35回「ビジネス EXPO」に出展しました！（2021年11月29日更新）
- 12) 萩生田経済産業大臣が苫小牧CCS実証試験センターを視察されました。（2022年2月8日更新）



1) 2021年5月11日更新



2) 2021年5月14日更新



3) 2021年5月14日更新



4) 2021年6月1日更新



5) 2021年6月14日更新

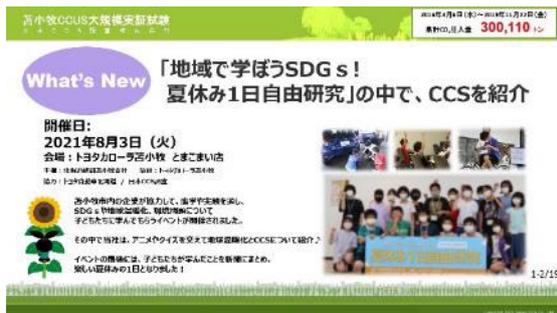


6) 2021年7月16日更新

図 4.8-3(1) 画面1更新履歴



7) 2021年8月27日更新



8) 2021年8月27日更新



9) 2021年9月17日更新



10) 2021年10月21日更新



11) 2021年11月29日更新



12) 2022年2月8日更新

図 4.8-3(2) 画面 1 更新履歴

② 画面 2 から画面 6 の更新

2021 年度は更新していない。

③ 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、2021 年 6 月および 2021 年 9 月に更新し、2023 年度までのスケジュールに拡張した。更新画面を図 4.8-4 に示す。

④ 画面 8 から画面 12 の更新

2021 年度は更新していない。

⑤ 画面 13 の更新

画面 13 にはモニタリング計画を表示しており、モニタリング計画を最適化して陸上設置地震計と OBS の運用を 2021 年 7 月に終了したことから、2021 年 7 月より掲載画面にその旨の注記を追記した。更新画面を図 4.8-5 に示す。



1) 2021 年 6 月 14 日更新

2) 2021 年 9 月 17 日更新

図 4.8-4 画面 7 更新履歴



1) 2021 年 7 月 1 日更新

図 4.8-5 画面 13 更新履歴

⑥ 画面 14 の更新

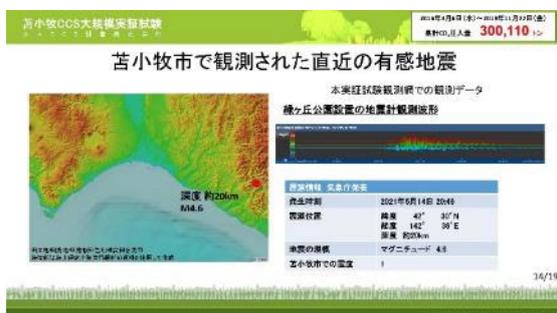
画面 14 には苫小牧市で観測された直近の有感地震（震度 1 以上を記録した地震）の震央位置図、陸上設置地震計観測システム（本事業で設置）で取得した観測波形および気象庁発表の地震情報を表示している。新たな有感地震が観測されたときには速やかに地震情報を更新するという方針の下、苫小牧市で観測された有感地震について、画面 14 を更新した。モニタリング計画を最適化して陸上設置地震計の運用を 2021 年 7 月に終了したことから、2021 年 7 月以降の掲載画面には観測井で検知された地震波形を掲載した。更新画面を図 4.8-6(1)～(3)に示す。



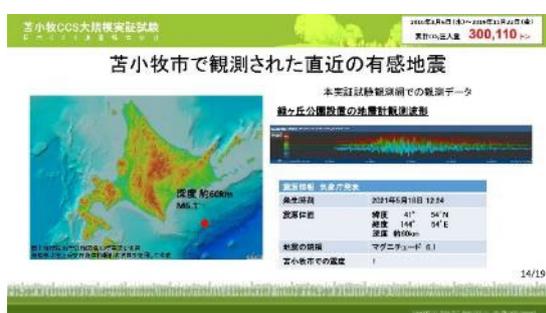
1) 2021 年 4 月 21 日更新



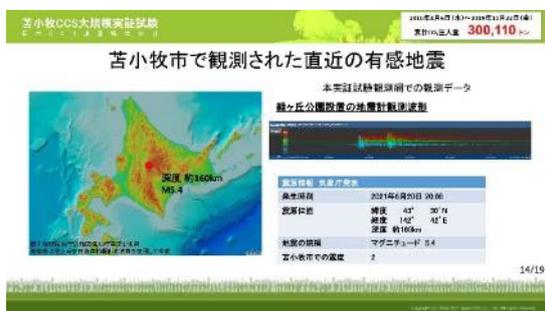
2) 2021 年 5 月 14 日更新



3) 2021 年 5 月 16 日更新



4) 2021 年 5 月 17 日更新



5) 2021 年 6 月 21 日更新



6) 2021 年 7 月 1 日更新

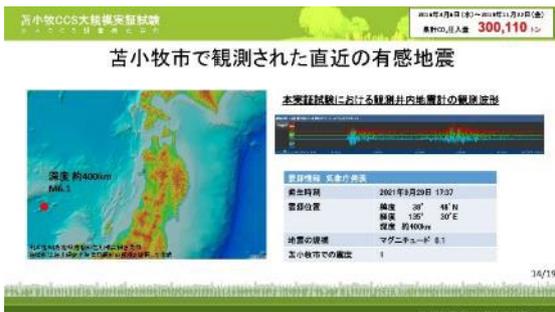
図 4.8-6(1) 画面 14 更新履歴



7) 2021年7月26日更新



8) 2021年8月3日更新



9) 2021年9月30日更新



10) 2021年10月6日更新



11) 2021年10月11日更新



12) 2021年10月21日更新



13) 2021年12月16日更新



14) 2021年12月22日更新

図 4.8-6(2) 画面 14 更新履歴



15) 2022年2月17日更新



16) 2022年3月17日更新

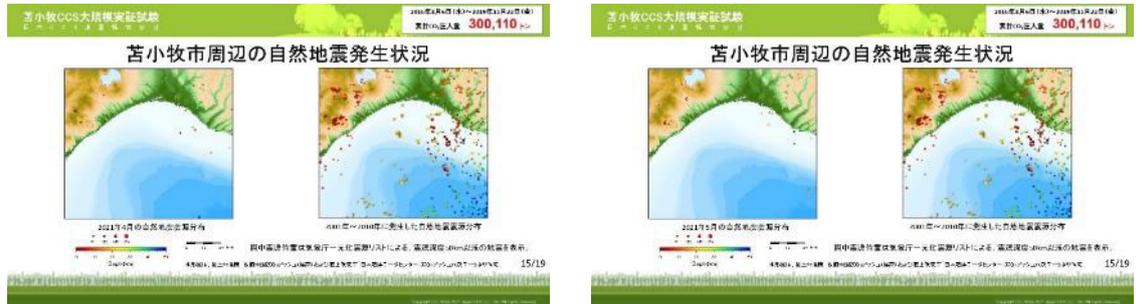


17) 2022年3月28日更新

図 4.8-6(3) 画面 14 更新履歴

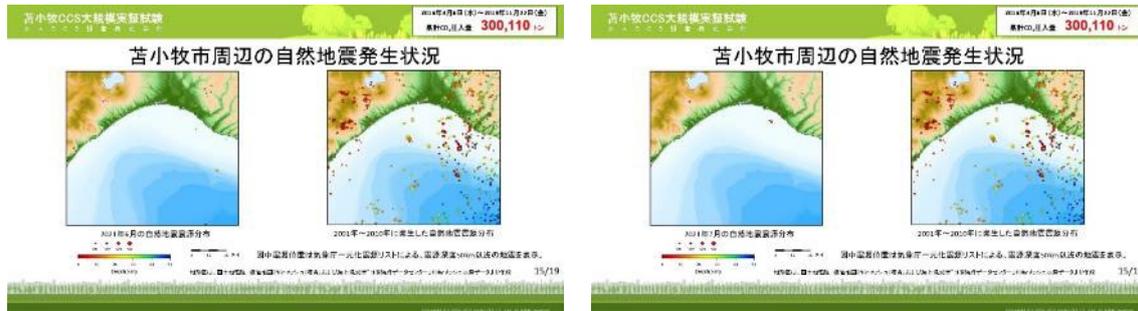
⑦ 画面15の更新

画面15には前月に苫小牧市周辺（CO<sub>2</sub>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。2021年4月～2022年3月の結果を図4.8-7(1)～(2)に示す。



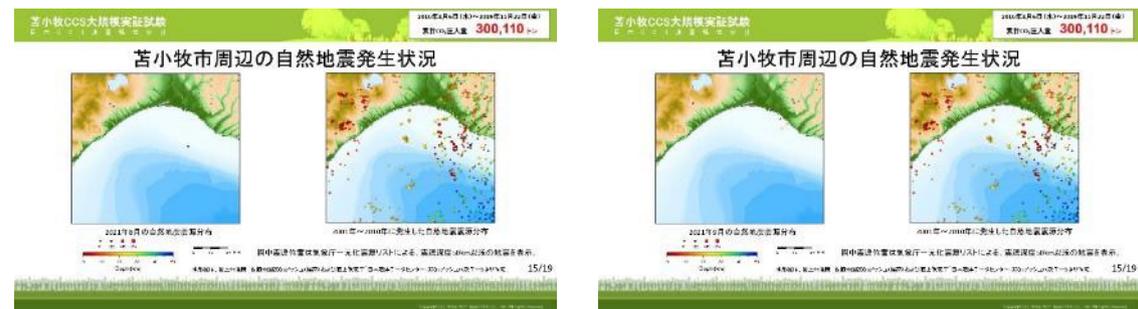
2021年4月の結果

2021年5月の結果



2021年6月の結果

2021年7月の結果



2021年8月の結果

2021年9月の結果

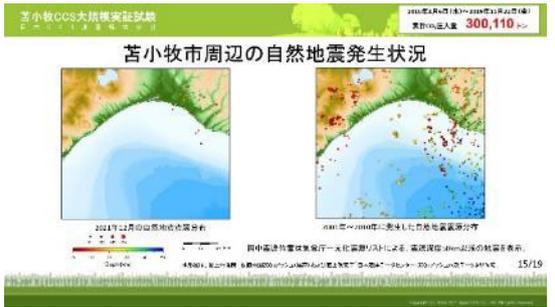
図4.8-7(1) 画面15更新履歴



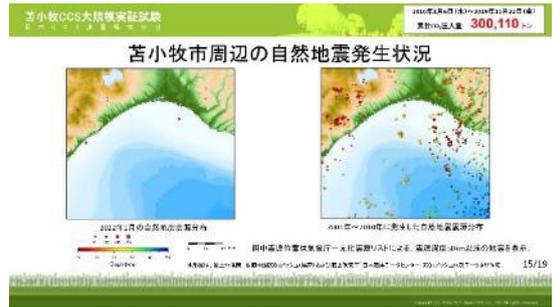
2021年10月の結果



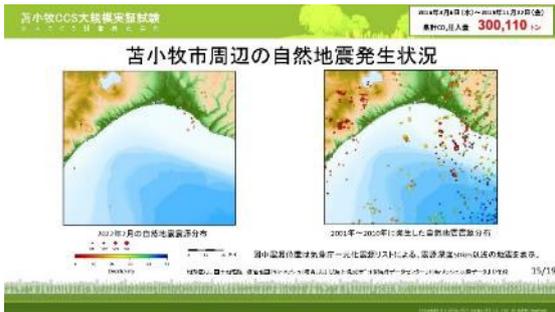
2021年11月の結果



2021年12月の結果



2022年1月の結果



2022年2月の結果

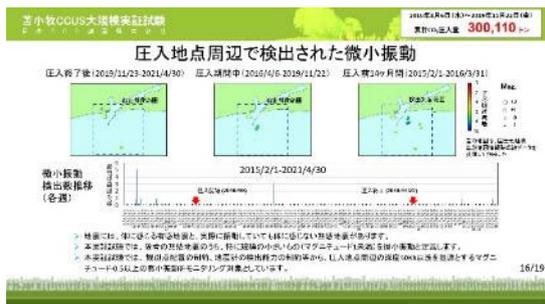


2022年3月の結果

図 4.8-7(2) 画面 15 更新履歴

⑧ 画面 16 の更新

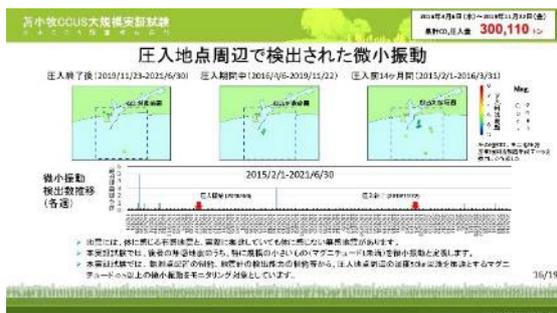
画面 16 は、圧入地点周辺（CO<sub>2</sub> 圧入地点を中心とする東西 6 km×南北 6 km の範囲）で検出された微小振動の分布を月ごとにまとめて表示しており、翌月の初めに更新している。2021 年 4 月末までの表示は、圧入前、圧入中、直近 6 ヶ月であったが、観測の継続に伴って空白期間が生じることから、2021 年 5 月末より、圧入前、圧入中、圧入後の 3 区分の表示とした。2021 年 4 月～2022 年 3 月の更新画面を図 4.8-8(1)～(2)に示す。



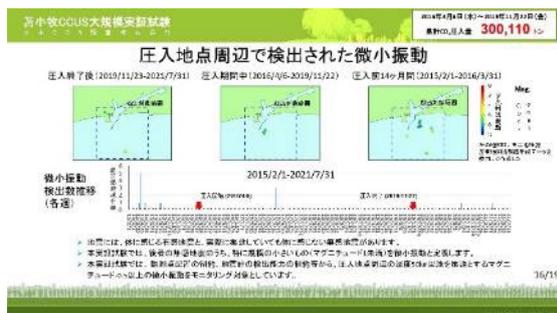
2021 年 4 月末までの結果



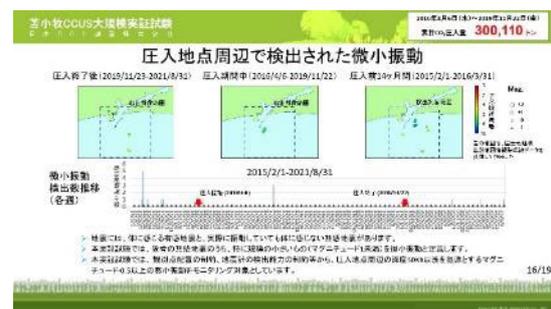
2021 年 5 月末までの結果



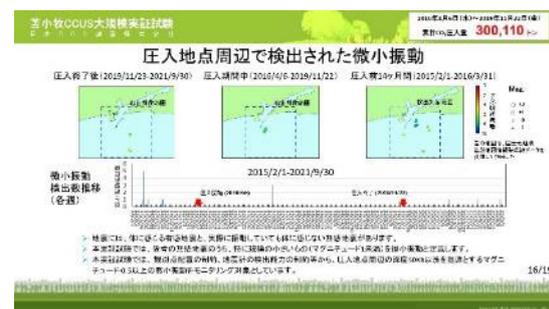
2021 年 6 月末までの結果



2021 年 7 月末までの結果

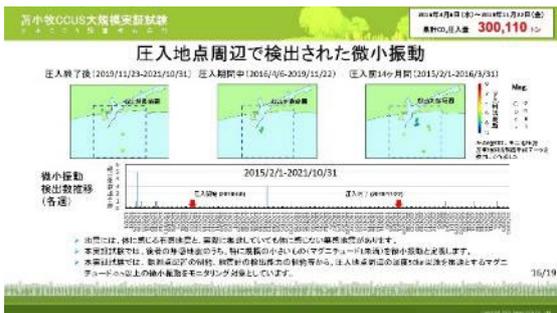


2021 年 8 月末までの結果



2021 年 9 月末までの結果

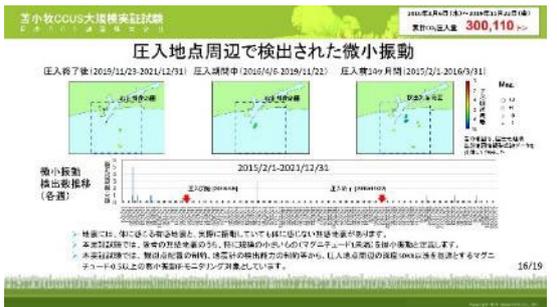
図 4.8-8(1) 画面 16 更新履歴



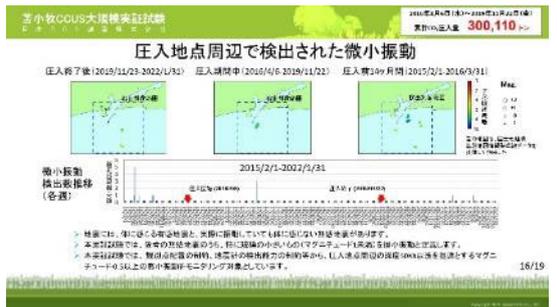
2021年10月末までの結果



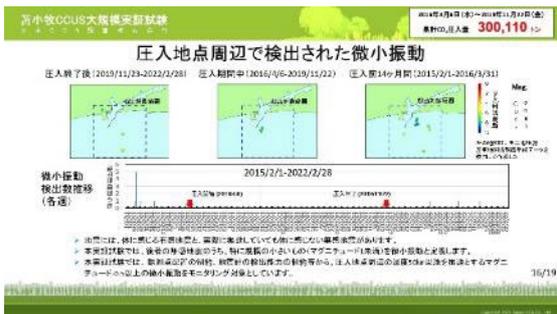
2021年11月末までの結果



2021年12月末までの結果



2022年1月末までの結果



2022年2月末までの結果



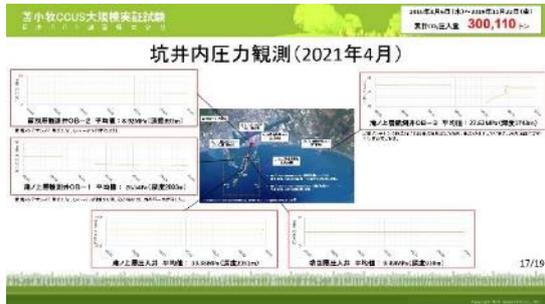
2022年3月末までの結果

図 4.8-8(2) 画面 16 更新履歴

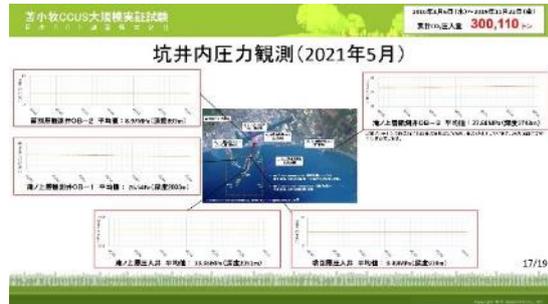
⑨ 画面 17 の更新

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。

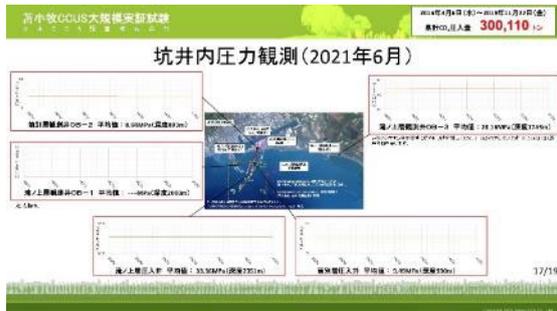
2021年4月～2022年3月の更新画面を図 4.8-9(1)～(2)に示す。



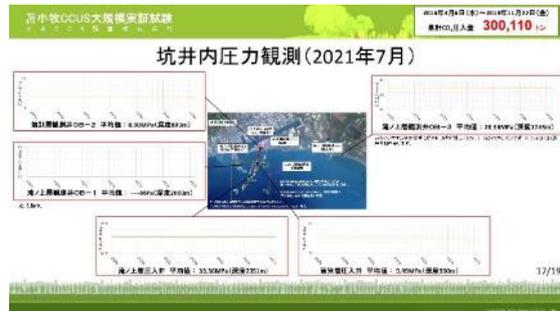
2021年4月の結果



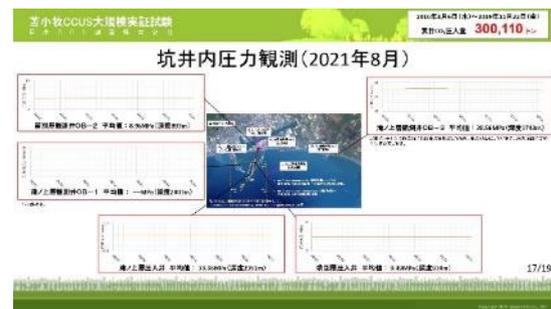
2021年5月の結果



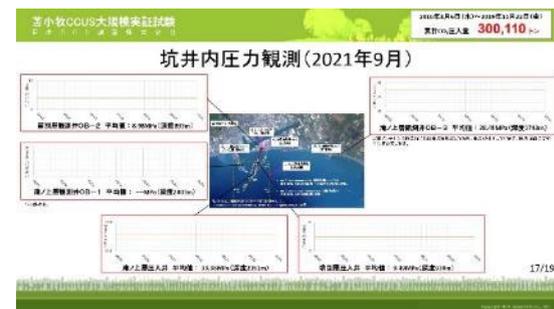
2021年6月の結果



2021年7月の結果



2021年8月の結果

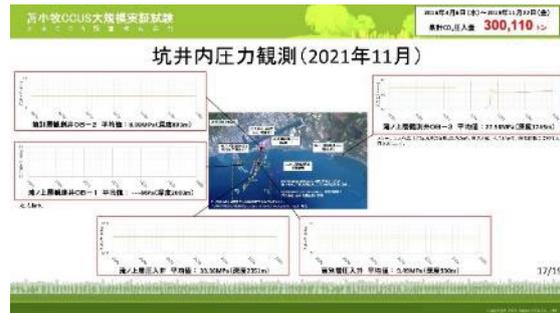


2021年9月の結果

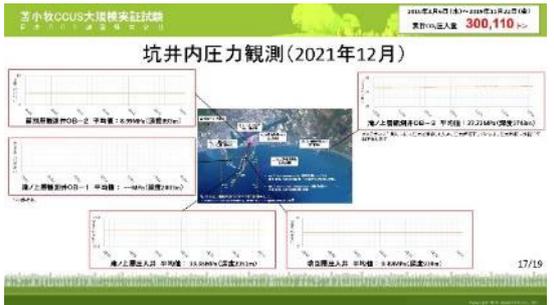
図 4.8-9(1) 画面 17 更新履歴



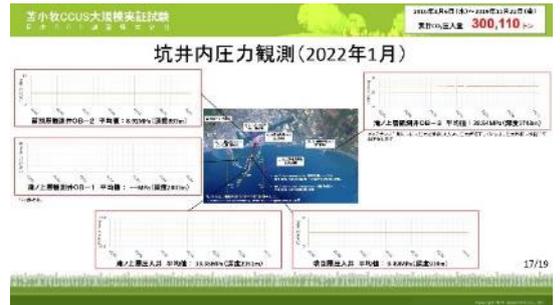
2021年10月の結果



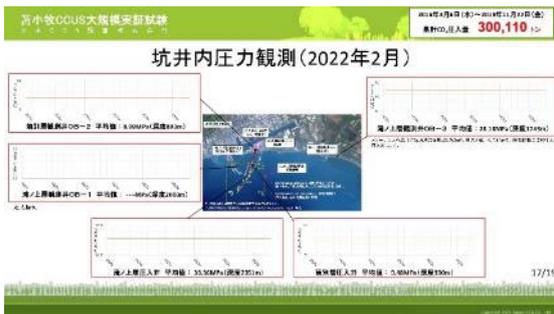
2021年11月の結果



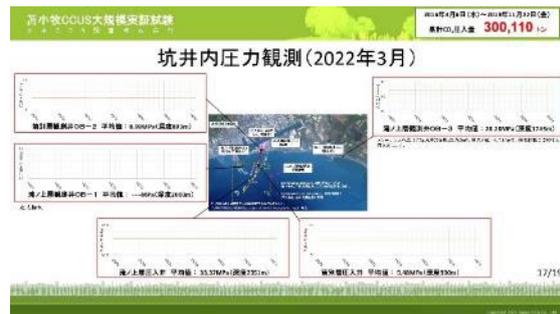
2021年12月の結果



2022年1月の結果



2022年2月の結果



2022年3月の結果

図 4.8-9(2) 画面 17 更新履歴

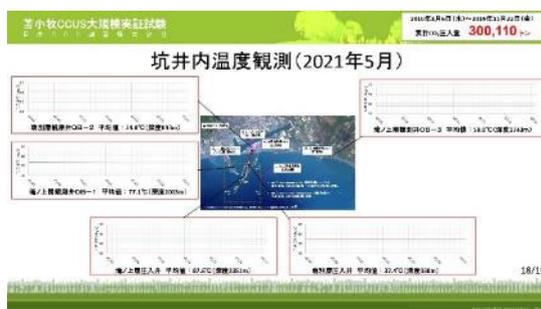
⑩ 画面 18 の更新

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。

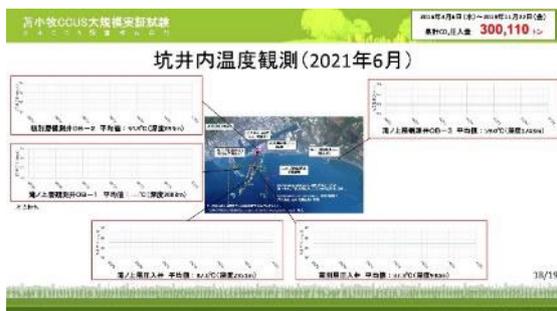
2021年3月～2022年2月の更新画面を図 4.8-10(1)～(2)に示す。



2021年4月の結果



2021年5月の結果



2021年6月の結果



2021年7月の結果

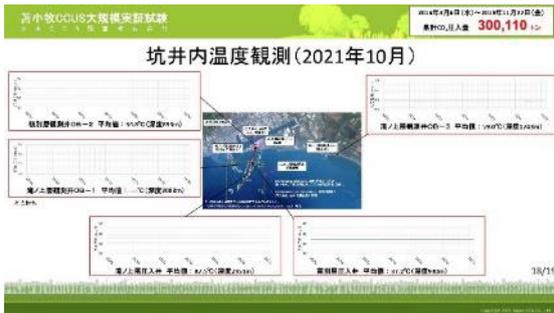


2021年8月の結果



2021年9月の結果

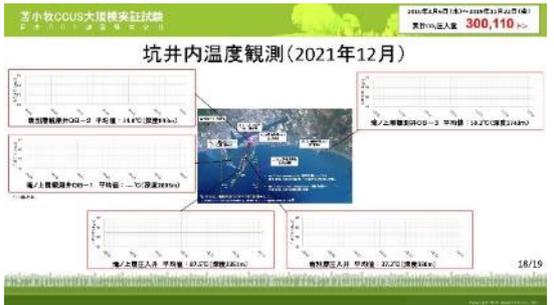
図 4.8-10(1) 画面 18 更新履歴



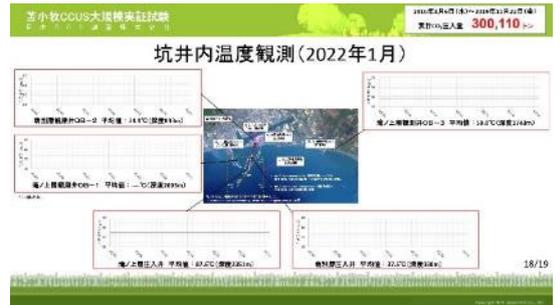
2021年10月の結果



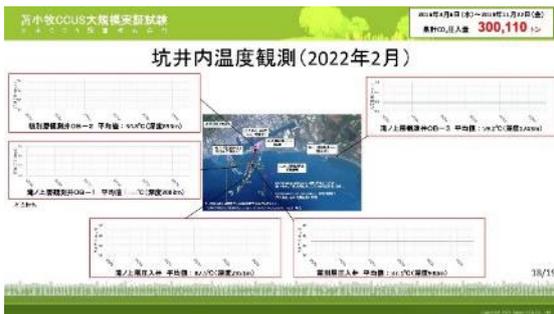
2021年11月の結果



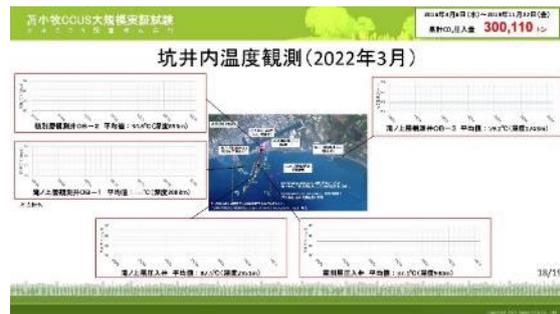
2021年12月の結果



2022年1月の結果



2022年2月の結果



2022年3月の結果

図 4.8-10(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（CO<sub>2</sub>）濃度の観測値を表示している。2021 年 6 月に更新し、2020 年度の観測結果を追記した。更新画面を図 4.8-11 に示す。



2021 年 6 月 16 日更新

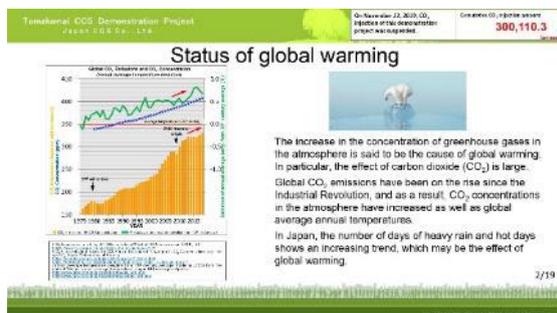
図 4.8-11 画面 19 の更新履歴

(3) 英語版による情報公開

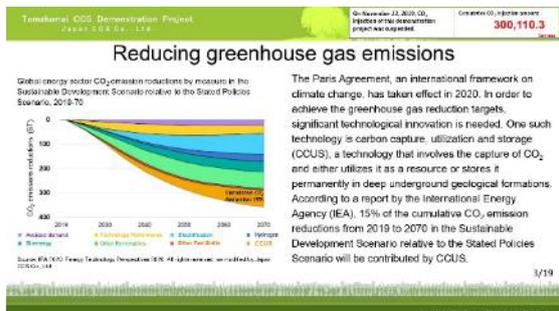
2018年5月31日よりホームページ上での英語版の情報公開画面の運用を開始した。画面の構成および表示内容は日本語版と同じである。図4.8-12(1)～(3)に情報公開用画面の例を示す。



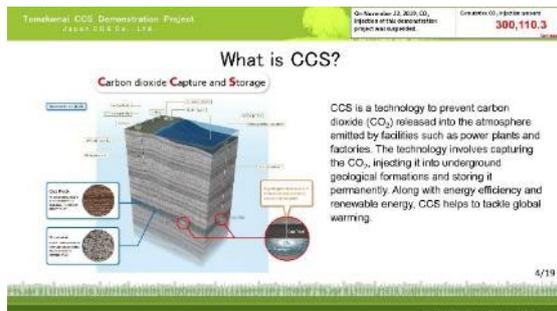
画面 1



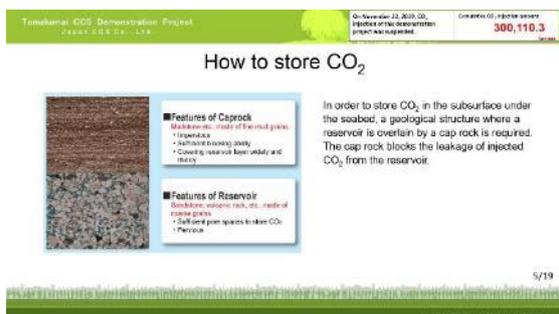
画面 2



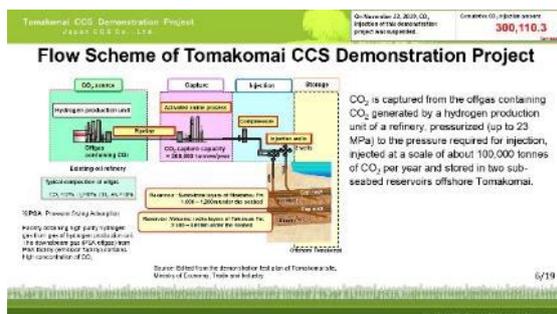
画面 3



画面 4

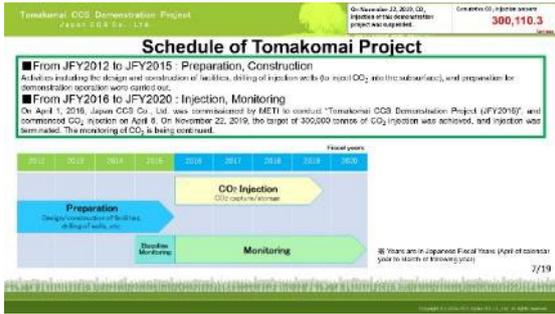


画面 5



画面 6

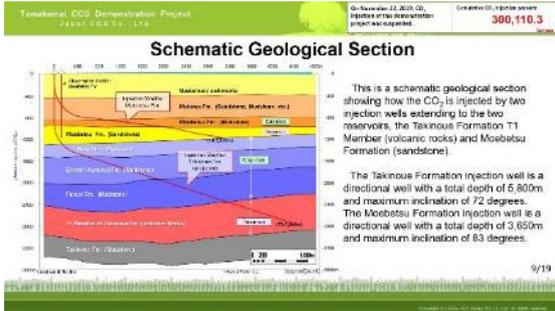
図 4.8-12(1) 英語版の情報公開用画面例（画面 1～6）



画面 7



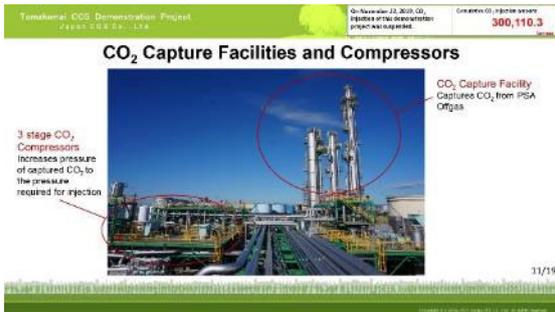
画面 8



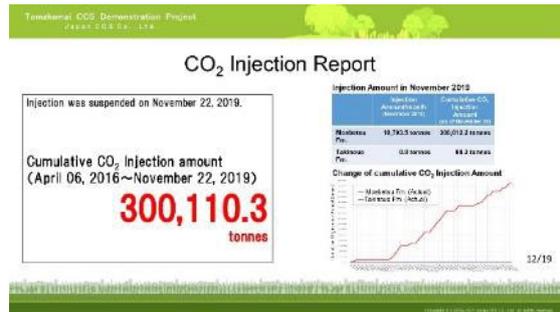
画面 9



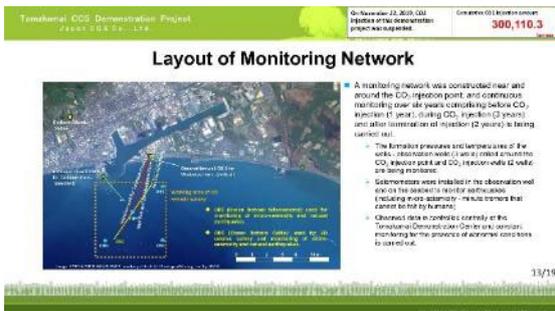
画面 10



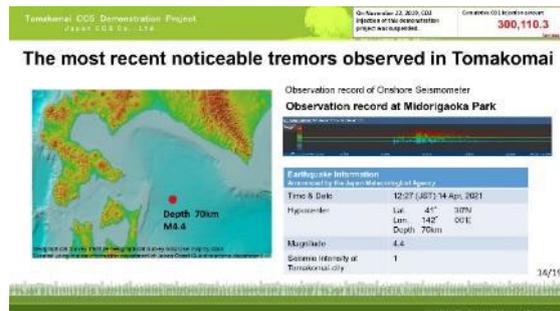
画面 11



画面 12

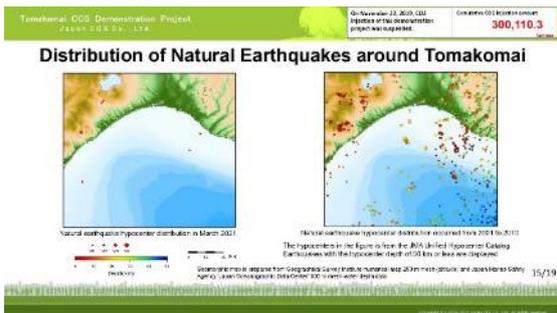


画面 13

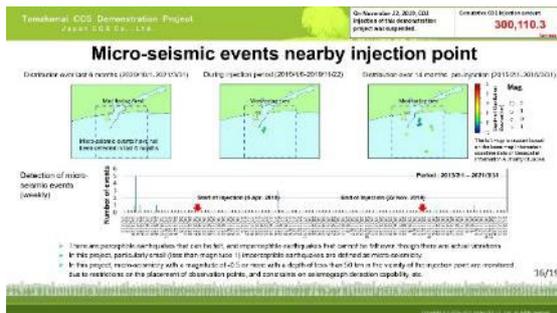


画面 14

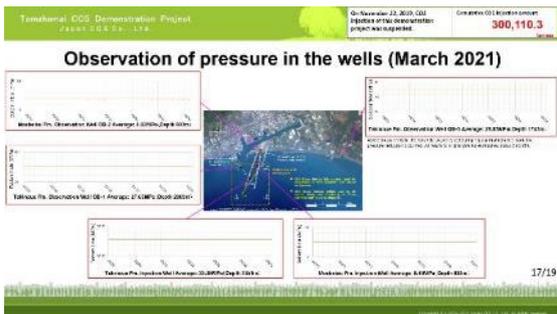
図 4.8-12(2) 英語版の情報公開用画面例（画面 7～14）



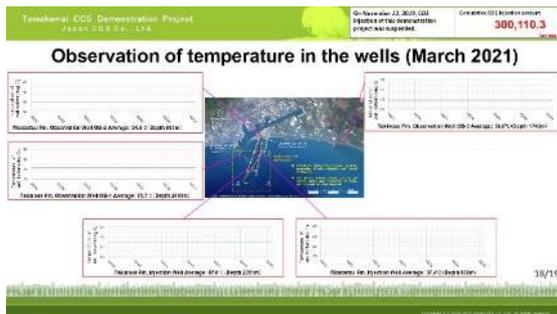
画面 15



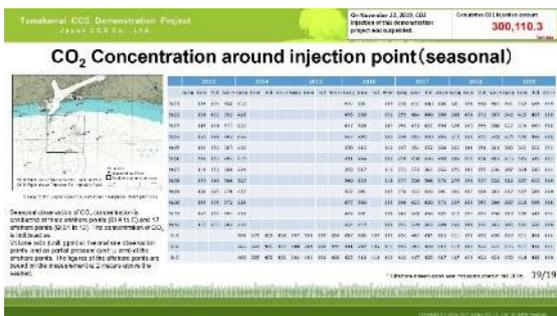
画面 16



画面 17



画面 18



画面 19

図 4.8-12(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（図 4.8-13 参照）からダウンロードすることができる。



図 4.8-13 バックナンバーリスト表示画面

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

#### 4.8.2 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 4.8-4 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 4.8-4 公開用ファイルの概要

データ	フォーマット	単位	備考
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）	CSV	1 日	観測井ごと
観測井圧力（半導体センサ）	CSV	1 日	観測井ごと
観測井圧力・温度（PPS26 センサ）	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 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 4.8-13 に示す。データ公開システムは、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、データストレージおよびデータ公開用 Web サーバにより構成され、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、属性情報と共に VPN を経由してクラウド内のデータ受信サーバに送られ、属性情報はデータ受信サーバ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経由でデータストレージにおいて保管される。ユーザは、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 サーバ経由でデータ受信サーバに送られ、データ受信サーバ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 サーバ経由でダウンロード可能とする。

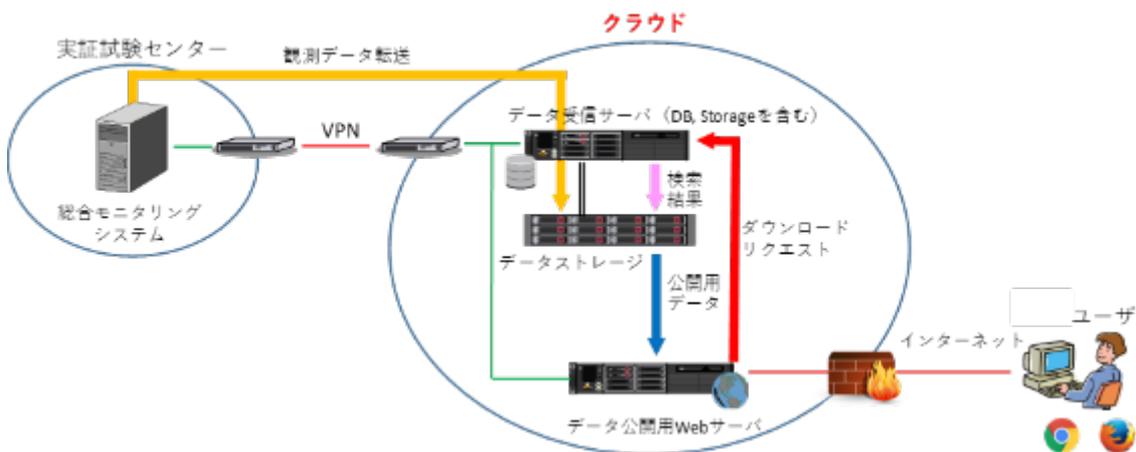


図 4.8-13 データ公開システムのシステム構成概念図

### (3) データ公開システムの利用

本システムの利用には、ユーザ登録により発行されるユーザ ID とパスワードが必要である。ユーザ登録には、「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 ID とパスワード\*6)を自動発行する。利用者の情報は、ユーザ ID をキーとして、パスワード、ユーザ情報（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 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 ID は自動的に無効化する他、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、ユーザ管理者用機能として、ユーザ情報の一覧表示、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 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。

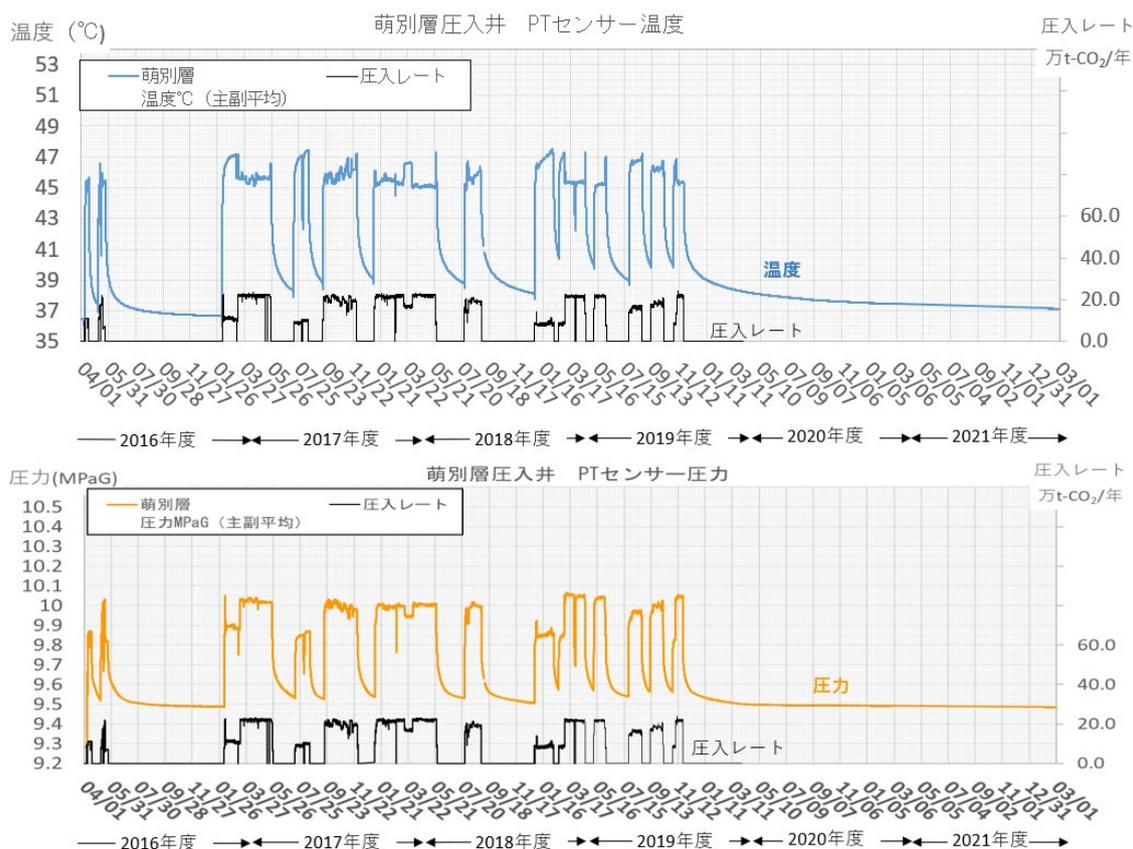
\*5) メールアドレスを含む個人情報の入力をユーザ ID 発行の条件としていない。

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

#### 4.9 圧入井を利用したモニタリング

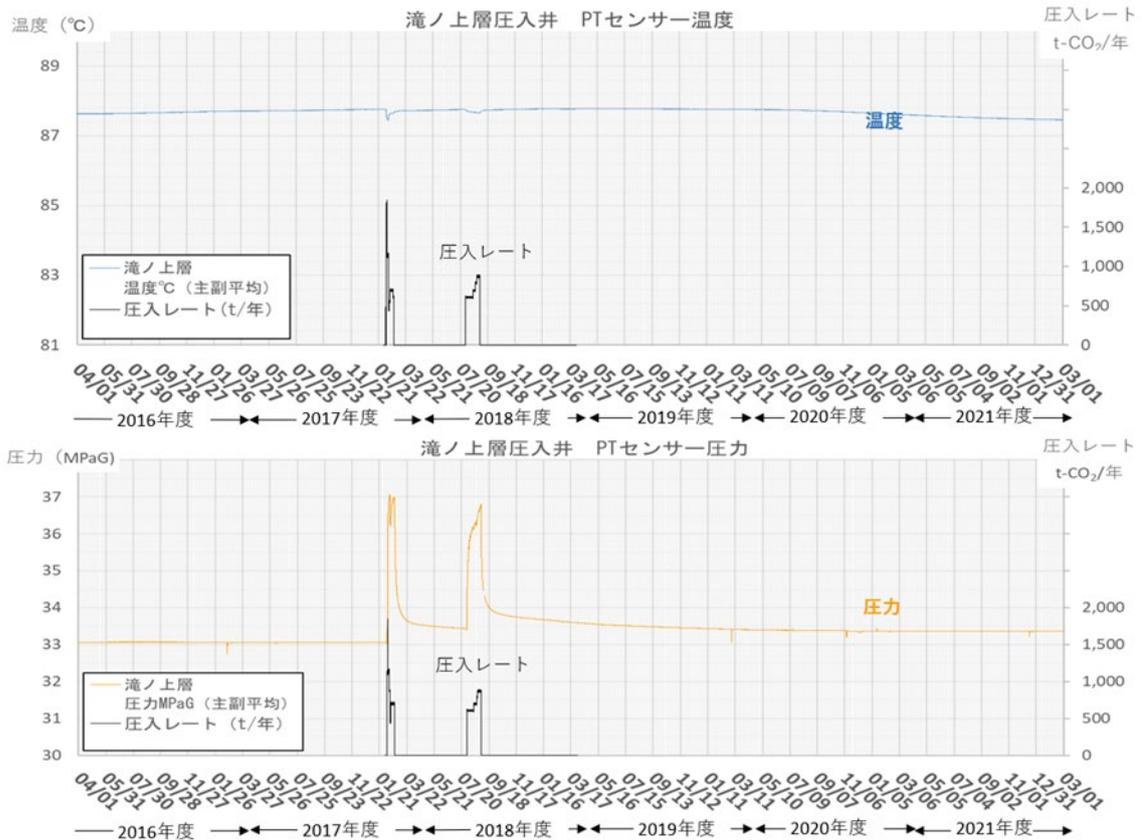
萌別層圧入井（IW-2）および滝ノ上層圧入井（IW-1）の地下に設置した温度圧力センサー（以下、「PTセンサー」と称する。）による温度と圧力のモニタリングの実績を図4.9-1及び図4.9-2に示す。

PTセンサー設置以降、圧入停止後も圧入井の圧力温度を継続的に測定している。



- 注1) 同一深度に2基のPTセンサー（主副）を設置している。グラフは主副平均値を示している。
- 注2) 1年は365日として圧入レートを算出。
- 注3) 萌別層に圧入を実施した2016年4月から2019年11月を含む、2016年4月から2022年3月末までの温度と圧入レート（上図）、圧力と圧入レート（下図）を示している。

図4.9-1 IW-2の坑内に設置したPTセンサーの圧力・温度データ



注 1) 同一深度に設置した 2 基の PT センサーの指示値を平均した値を示している。  
 注 2) 滝ノ上層に圧入を実施した 2018 年 2 月から 9 月を含む、2016 年 4 月から 2022 年 3 月末までの温度と圧入レート（上図）、圧力と圧入レート（下図）を示している。

図 4.9-2 IW-1 の坑内に設置した PT センサーの温度・圧力データ

#### 4.9.1 萌別層圧入井（IW-2）における坑底温度・圧力の観測

圧入井の温度・圧力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 4.9-3）。PT センサーは、パッカーよりも上位の 3-1/2”チューブリングに設置しており、仕上げ区間の上端よりも掘削深度で 432 m、垂直深度で 52 m ほど浅い位置に設置している。

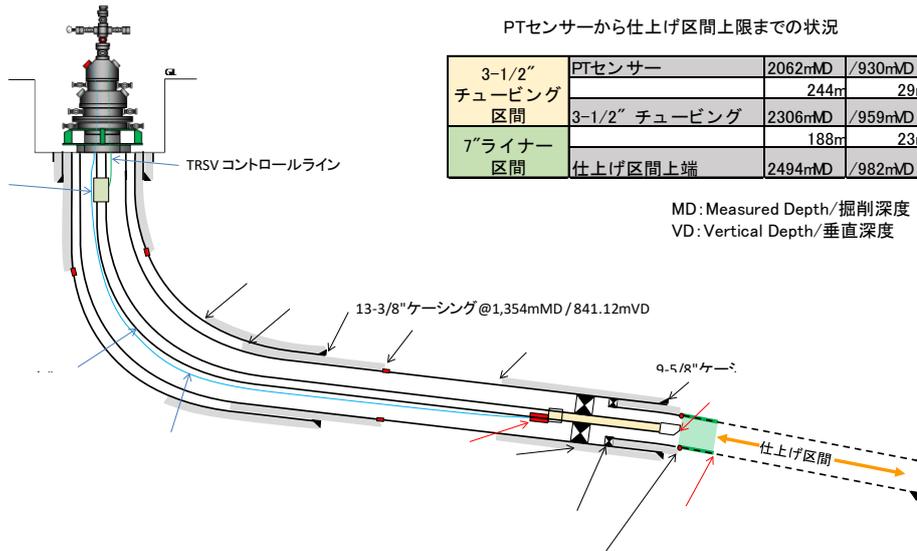


図 4.9-3 IW-2 の坑内に設置した PT センサーの位置

図 4.9-1 に示すように温度・圧力ともに、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。2022 年 2 月 28 日時点では、坑底圧力が 9.49 MPaG を下回っており、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、坑底温度・圧力の観測からは、貯留層の異常を示す事象は観察されていない。

#### 4.9.2 滝ノ上層圧入井（IW-1）における坑内温度・圧力の観測

圧入井の温度・圧力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 4.9-4）。PT センサーは、パッカーよりも上位の 3-1/2"チュービングに設置しており、仕上げ区間の上端よりも掘削深度で 142 m、垂直深度で 44 m ほど浅い位置となる。

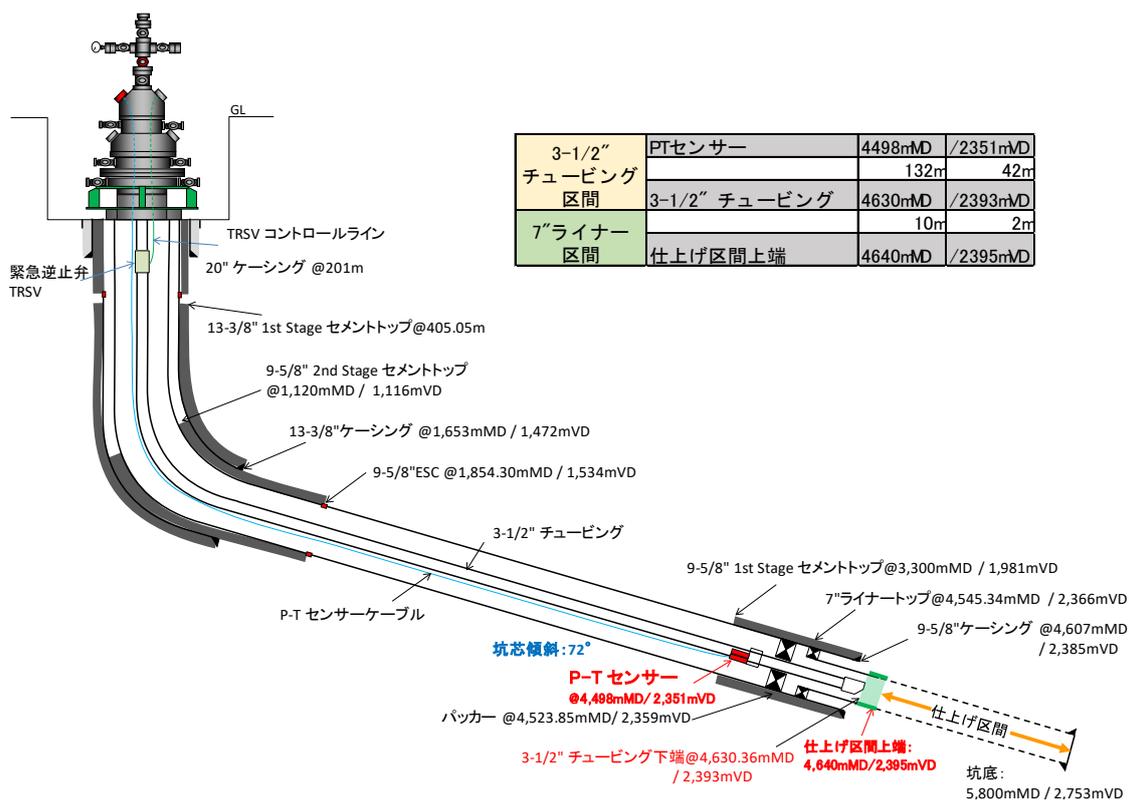


図 4.9-4 IW-1 の坑内に設置した PT センサーの位置

温度・圧力データの観測結果を図 4.9-2 に示す。滝ノ上層への圧入は、2018 年 2 月 6 日～2 月 23 日（高圧 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> で置換するまでは 37 MPaG、置換後には 37.5 MPaG とした。温度は圧入中に低下し、圧入停止後は徐々にもとの状態に戻り、圧力は圧入中に上昇し、圧入停止後は徐々に元の状態に戻る状況が示されている。圧入レートをコントロールすることにより、上限圧力を超過せずに実施できており、圧入時における急激な温度や圧力の変動は認められない。また 2022 年 2 月 28 日時点で、坑底圧力は 33.36 MPaG、坑底温度は 87.5°C となっており、1 年間で貯留層の異常を示す事象は観察されていない。

#### 4.10 圧入井・観測井の維持管理

##### 4.10.1 圧入井の維持管理

1日に1回の日常点検および月1回の月例点検において、坑井健全性に関わる異常は確認されなかった。2021年度に実施した圧入井の保全の観点からの維持管理に関わる作業概要を示す。

##### (1) 萌別層圧入井 IW-2 坑口装置マスターバルブの製作

圧入井坑口装置マスターバルブの内部シール漏洩リスク軽減のためマスターバルブの交換を行うこととし、マスターバルブ1式の製作を行った。製作したマスターバルブは、米国石油協会（以下、「API」と称する。）の6A仕様に準拠したサイズ3-1/8”、定格使用圧力34.5 MPaのエキスパンダブルタイプのゲートバルブで、弁体とシート間のシール面にソフトシールを有し、かつ、ステム部にメタルシール機能を持ち緊急時の同部分の圧力遮断が可能で、パッキンの交換が安全かつ容易にできるバックシート付のものである。これと同じ仕様のマスターバルブを滝ノ上層圧入井 IW-1 の坑口装置用として2019年度に製作しており、2021年度に製作したのは、萌別層圧入井 IW-2 の坑口装置用である。

2021年11月16日に製造者工場にてAPI 6A仕様の必要条件に基づき完成後のバルブの試験・検査を実施したところ、ステムのバックシートに対する気密試験が不合格となったが、解体、点検、再組立てを行い、2021年11月24日に実施した再試験・検査にて合格となった。

##### (2) 滝ノ上層圧入井 IW-1 および萌別層圧入井 IW-2 の保安プラグおよび坑口装置マスターバルブの交換

滝ノ上層圧入井 IW-1 および萌別層圧入井 IW-2 の坑口装置を健全な状態に維持することを目的として、坑口装置マスターバルブの交換を実施した。マスターバルブ交換作業を安全に実施するためのバリアを確保するため、事前にスリックライン作業により圧力の導通が生じていた両圧入井の保安プラグの交換を実施し、さらに、マスターバルブ下部のチュービングハンガー内に圧力遮断弁であるバックプレッシャーバルブ（Back Pressure Valve。以下、「BPV」と称する。）を設置した。マスターバルブ交換に引き続き、内部シールの微少漏洩が確認されていた萌別層圧入井 IW-2 の坑口装置にある地表安全弁であるサーフェスセフティバルブ（Surface Safety Valve。以下、「SSV」と称する。）を、ゲートをスライドさせて開閉するスラブタイプのゲートバルブと交換し、解体点検・整備するため製造者工場へ搬出した。滝ノ上層圧入井 IW-1 のSSVは、マスターバルブ交換後

の気密試験において、外部への微少漏洩が発生したためスラブタイプのゲートバルブに交換し、製造者工場にて解体点検することとした。

#### ① 準備作業

坑口装置内部に圧力がかかった状態でのBPVの設置・回収には専用のリューブリケーターを必要とする。専用のリューブリケーターは、2018年1月に購入され、CO<sub>2</sub>圧入期間中の2018年7月に実施した萌別層圧入井IW-2の坑口装置マスターバルブ交換に伴うBPV設置・回収作業にて使用されたのち倉庫に保管していた。2021年11月10日に倉庫内で窒素ポンペを用いてリューブリケーターに窒素ガスを送入して気密試験（最大圧力14.1 MPa）を実施し、前回のCO<sub>2</sub>環境下での使用による内部シール類の損傷がなく、リューブリケーターが安全に使用できる状態であることを確認した。

#### ② 保安プラグの交換

CO<sub>2</sub>圧入停止後のモニタリング期間中の圧入井の安全性確保のため、坑内安全弁であるTRSV（Tubing Retrievable Safety Valve）内部にブロングプラグタイプの保安プラグを設置していたが、両圧入井ともに保安プラグからのCO<sub>2</sub>漏洩による坑口装置内部への圧力の導通が生じていた。

滝ノ上層圧入井IW-1の保安プラグは2020年11月に設置した。保安プラグ設置前の坑口圧力は14.0 MPaであったが、保安プラグ設置後にその上部のCO<sub>2</sub>を排出して坑口圧力を0 MPaまで脱圧した。その後、2021年1月下旬より、保安プラグからのCO<sub>2</sub>漏洩によるものと考えられる坑口圧力の上昇が観測され始め、2021年2月中旬以降は14.0 MPa前後となった。

萌別層圧入井IW-2の保安プラグは2020年3月に設置した。保安プラグ設置前の坑口圧力は5.3 MPaであったが、保安プラグ設置後にその上部のCO<sub>2</sub>を排出して坑口圧力を0 MPaまで脱圧した。引き続き坑口装置マスターバルブの交換を実施し、窒素ポンペを用いて保安プラグ上部に窒素ガスを送入することにより、バルブのフランジ部に対する気密試験を行った。最終的に保安プラグ上部より坑口装置内部までを窒素ガスにより3.0 MPaの封圧がかかった状態とした。しかしながら、2020年4月上旬には坑口圧力が5.0 MPa前後まで上昇し、脱圧しても同圧力まで回復することから保安プラグからのCO<sub>2</sub>漏洩が生じたものと考えられた。

以上の状況を踏まえ、坑口装置マスターバルブ交換作業時のバリアを確実なものとするために2021年12月14日から18日にかけて両圧入井の保安プラグの交換を実施した。

保安プラグの交換にはスリックラインを使用した。坑口装置内に圧力がかかった状態で

スリックライン機器の出し入れを可能とするために坑口装置上部にはスリックライン専用のリューブリケーターが取付けられた。2020年度までのスリックライン作業では、スリックライン機器を坑内に降下する際には、スリックライン機器を格納したリューブリケーターを坑口装置上部に接続し、坑口装置上部のバルブを開にすることで、リューブリケーター内に坑内のCO<sub>2</sub>を流入させ坑口圧力と同圧にしていた。スリックライン機器を坑内から回収する際には、スリックライン機器を巻上げてリューブリケーター内に格納したのち、坑口装置上部のバルブを閉め、リューブリケーター内のCO<sub>2</sub>を排出し脱圧して、スリックライン機器の入ったリューブリケーターを取外していた。

しかしながら、両圧入井の坑口圧力および坑口付近の坑内温度よりリューブリケーター内に流入するCO<sub>2</sub>は液相と考えられ、CO<sub>2</sub>を排出する際には、液相から気相への相変化が起り排出に時間を要すること、CO<sub>2</sub>膨張に伴う温度低下により排出口にアイスプラグが生成される可能性があること、坑口装置上部キャップ部のOリング（材質VITON）のCO<sub>2</sub>による膨潤と急速ガス減圧による破損の可能性といった課題がこれまでの作業で見出されていた。そこで2021年12月の作業では、リューブリケーターを坑口装置上部に接続したのち、窒素ポンベを用いてリューブリケーター内に窒素ガスを送入し、リューブリケーター内を昇圧して坑口圧力との差を可能な限り小さくしてから坑口装置上部のバルブを開くことで、リューブリケーター内へのCO<sub>2</sub>流入量を小さくするという対策を講じた。

保安プラグの交換作業は萌別層圧入井IW-2より開始した。作業開始時の坑口圧力は4.7 MPaであった。保安プラグ交換後、保安プラグ上部のCO<sub>2</sub>を排出し圧力の回復の有無によりプラグの効きを確認するインフローテストを繰り返し実施したが、圧力の回復がみられたことから保安プラグの漏洩と判断した。滝ノ上層圧入井IW-1の保安プラグ交換後、萌別層圧入井IW-2の保安プラグの再交換を行ったが、その後のインフローテストの状況は変わらず、保安プラグの漏洩は解消しなかった。

滝ノ上層圧入井IW-1の保安プラグ交換作業開始時の坑口圧力は14.0 MPaであった。保安プラグ交換後のインフローテストでは、CO<sub>2</sub>膨張に伴う急激な坑内温度低下によりTRSV等の坑内機器の定格温度を下回らないように、CO<sub>2</sub>の排出による減圧を、時間をかけて段階的に実施した。最終的に0 MPaまで脱圧し圧力の回復がないことを確認した。

### ③ 坑口装置マスターバルブの交換およびSSVの取外し

滝ノ上層圧入井IW-1坑口装置マスターバルブは、2019年12月に実施した整備作業時に内部シールの微少漏洩が確認された。

萌別層圧入井IW-2坑口装置マスターバルブは2020年3月に内部シールの微少漏洩の

ため交換を行った。この際、旧来と同じ弁体とシート間のシールがメタル-メタルのシールを設置した。マスターバルブ交換後はバルブを閉としていたが、その上部の坑口装置内の圧力が 5.0 MPa 前後まで上昇し、脱圧しても同圧力まで回復することから保安プラグからの CO<sub>2</sub> 漏洩およびマスターバルブ内部シールの微少漏洩が発生したと考えられた。

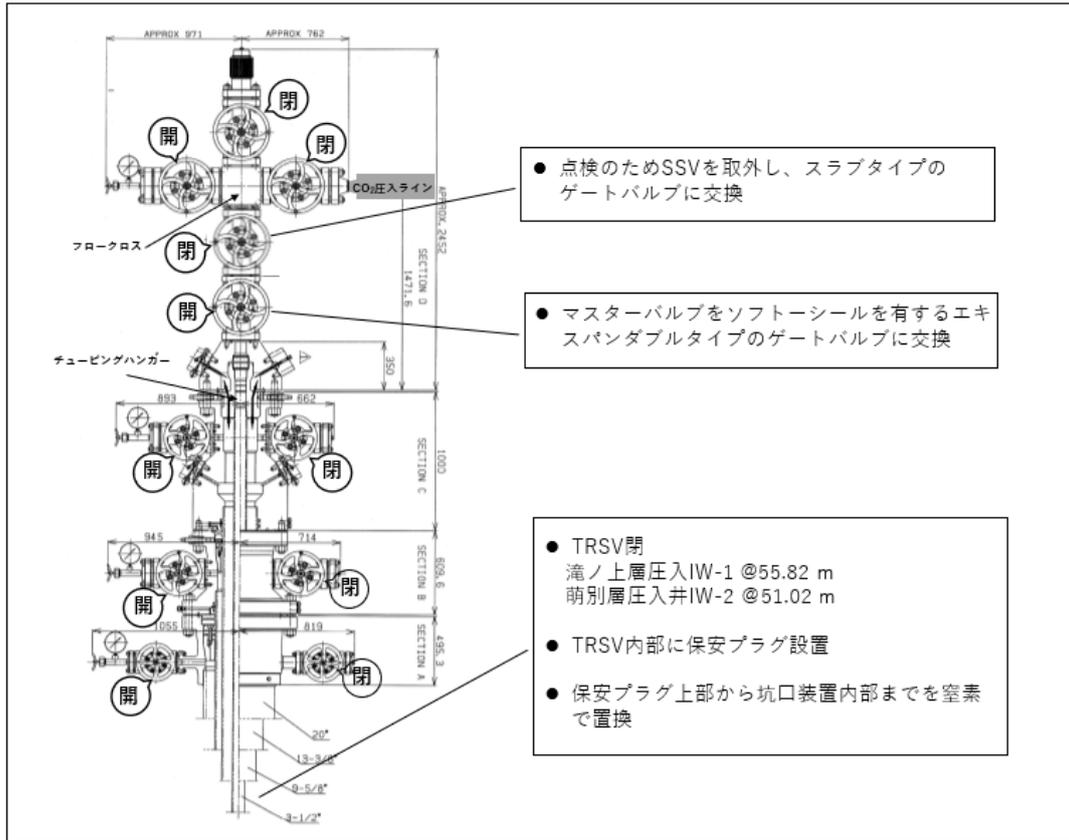
両圧入井坑口装置マスターバルブの内部シール漏洩リスクを軽減するため、弁体とシート間のシール面にソフトシールを有するエキスパンダブルタイプのゲートバルブへの交換を 2021 年 12 月 20 日から 23 日にかけて実施した。

滝ノ上層圧入井 IW-1 では、BPV 専用のリューブリケーターを坑口装置上部に接続し、保安プラグ上部からリューブリケーターまでの間に窒素ポンベを用いて窒素ガスを送入して 2.0 MPa まで昇圧したのち、両方向からの圧力を遮断可能なタイプの BPV をマスターバルブ下部のチュービングハンガー内に設置し、マスターバルブの交換時のバリアとした。リューブリケーターを取外し、BPV 上部の坑口装置内を脱圧し圧力上昇がないことを確認しマスターバルブ交換作業を開始した。マスターバルブを交換したのち、BPV 上部の坑口装置内に窒素ポンベを用いて窒素ガスを送入し 14.1 MPa まで昇圧してバルブのフランジ部に対する気密試験を実施した。この際、SSV のロッドシール部からの外部への漏洩が発生した。同 SSV は、圧入再開の計画が未確定なため製造者工場での整備を計画していなかったが、2020 年 3 月に実施した点検時にサプライエアーを排出しても閉作動しないことが確認されていたことと、外部への漏洩が発生したため取外すこととし、代わりにスラブタイプのゲートバルブを取付けた。再度気密試験を実施して外部漏洩がないことを確認したのち、リューブリケーターを坑口装置上部に接続し BPV を回収し、リューブリケーターを取外した。保安プラグ上部から坑口装置までの間に窒素ポンベを用いて窒素ガスを送入し 12.5 MPa まで昇圧し、最終的に、マスターバルブを開、SSV の代わりに取付けたバルブを閉とし、その上部の坑口装置内を脱圧した状態とした。

萌別層圧入井 IW-2 では、保安プラグ交換後も漏洩が解消しなかったが、TRSV の逆止弁を閉じることにより、その上部を窒素ガスに置換することができた（CO<sub>2</sub> を排出し 0 MPa まで脱圧したのち、窒素ガスを送入して 4.75 MPa まで昇圧）。BPV 専用のリューブリケーターを坑口装置上部に接続し、坑井深部方向からの圧力を遮断可能な BPV をマスターバルブ下部のチュービハンガー内に設置し、マスターバルブの交換時のバリアとした。リューブリケーターを取外し、BPV 上部の坑口装置内を脱圧し圧力上昇がないことを 24 時間以上確認してからマスターバルブ交換作業を開始した。マスターバルブの交換とともに、2018 年 7 月の点検時に内部シールに微少漏洩があることが確認されていた SSV も取外し、圧入再開に備え製造者工場にて点検・解体、整備を行うこととした。取外

したSSVの代わりにスラブタイプのゲートバルブを取付け、BPV上部の坑口装置内に窒素ポンベを用いて窒素ガスを送込み4.6 MPaまで昇圧してバルブのフランジ部に対する気密試験を実施した。リューブリケーターを坑口装置上部に接続しBPVを回収し、リューブリケーターを取外した。保安プラグ上部から坑口装置までの間に窒素ポンベを用いて窒素ガスを送込み8.0 MPaまで昇圧して作業のため切り離し再接続したフランジ部に対する気密試験を実施した。圧力の緩やかな降下が観測されたがソープテストでフランジ部からの漏れは認められなかったため保安プラグでの漏洩によるものと推定し気密性に問題ないと判断した。最終的に、マスターバルブを開、SSVの代わりに取付けたバルブを閉とし、その上部の坑口装置内を脱圧した状態とした。

図4.10-1に坑口装置マスターバルブ交換、SSV取外し後の滝ノ上層圧入井IW-1および萌別層圧入井IW-2の状況を示す。



坑口装置の配置は、滝ノ上層圧入井 IW-1、萌別層圧入井 IW-2 とともに同じ

図 4.10-1 坑口装置マスターバルブ交換後の圧入井の状況

(3) 定期自主点検・整備

坑口装置のバルブ交換に引き続き、2021年12月24日に両圧入井の坑口装置に対する1年1回の定期自主点検・整備を実施した。同点検・整備において異常等は認められなかった。

(4) 坑口装置圧力計の校正

坑口装置の圧力計の校正を1年に1回実施している。2021年度は11月に両圧入井の圧力計11式の校正を実施した。

(5) 製造者工場での坑口装置 SSV の解体・点検

2022年度に計画している萌別層圧入井 IW-2 坑口装置 SSV の整備仕様の策定を目的として、2021年12月に実施した圧入井坑口装置マスターバルブ交換時に取り外した SSV を製造者工場にて解体・点検し、不具合箇所の確認を行った。

滝ノ上層圧入井 IW-1 坑口装置の SSV は、ステムとパッキンリテーナーが固着してお

り、バルブ閉作動が不可能となった要因と考えられた。また、ロッドシールの損傷が大きく、2021年12月に実施したマスターバルブ交換作業後の気密試験時の外部漏洩の要因と考えられた。このほか、シートインサート表面の多数の小さな凹み、シートスカートの変形、ステム、ボンネットおよびボデー内部の腐食がみられた。

萌別層圧入井IW-2坑口装置のSSVは、シートインサート表面の多数の小さな凹みがみられ、内部シールにおける微少漏洩の要因となった可能性がある。このほか、ロッドシールの損傷、シートスカートの変形がみられた。

## (6) 特記事項

### ① 坑口装置マスターバルブ完成後の試験結果について

2021年度に製作したマスターバルブは、製造者工場における完成後の窒素ガスによるボディー気密試験（36 MPa×15 分間）では問題はなかったが、引き続き実施したステムのバックシートに対する気密試験において、断続的な発泡が目視にて確認されたため不合格とした。解体、点検の結果、ステムのバックシート面およびボンネットのシール面には異常はなく、ボディー気密試験時にステムのシール部に流入し残留した窒素ガスが少しずつ漏れ出したことにより、断続的な発泡が生じたものと推定した。ステムのシール部では、ボディーボア側とハンドホイール側のVパッキン間にプラスチックパッキンを封入し、Vパッキンを押し広げることでシールを効かせている。Vパッキンの効き具合は、プラスチックパッキンの封入圧で制御し、これはプラスチックパッキン挿入口の蓋となるパッキンフィッティングのスクリーアの締め付けトルクの管理によってなされる。ボディー気密試験時にステムのシール部に窒素ガスが流入したのは、製造者による調整が不十分で、プラスチックパッキンの封入圧が低くボディーボア側のVパッキンの効きが弱かったためと考えられ、封入圧を大きくする対策を講じることにより、再試験では発泡は確認されず合格となった。

両圧入井では圧入期間中に坑口装置マスターバルブのステムのシール部からのCO<sub>2</sub>の微少漏洩が生じており、プラスチックパッキンの入れ替えや増し入れによる対応を行ってきた経緯がある。この試験結果から、ステムのボディーボア側Vパッキンの効きが弱いと、坑内の超臨界CO<sub>2</sub>がプラスチックパッキン封入部に流入する可能性があることが明らかとなった。超臨界CO<sub>2</sub>がプラスチックパッキンに接触すると、その溶剤作用によりプラスチックパッキンが脱脂されて乾燥し、Vパッキンを押し付ける力が弱まりシール性が更に低下し漏洩に至るといったシナリオが考えられる。現状は保安プラグ上部から坑口装置までを不活性の窒素ガスに置換しているためその危険性はないが、圧入再開後は、プラス

チックパッキン封入部への超臨界CO<sub>2</sub>の侵入を許さないように、パッキンフィッティングのスクリューの締め付けトルクの監視を十分に行い、同トルクの低下が生じた場合は速やかにスクリューの増し締めやプラスチックパッキンの追加挿入により対応する必要がある。

## ② 圧入井より回収した保安プラグの状況に関して

保安プラグは図 4.10-2 に示すように、TRSV 内部にロックマンドレルによって設置されるプロンプラグとその内部に別途設置されるプロングより構成される。



図 4.10-2 保安プラグの構成

萌別層圧入井 IW-2 より最初に回収された保安プラグに関して、ロックマンドレルおよびプロングの V パッキンには漏洩につながるような明らかな損傷は見られなかった。リドレスして再設置するため、ロックマンドレルとプロングプラグ、プロングプラグのハウジングとキャップ間のネジを戻したところ、同部に設置されていた O リング（材質：フッ素ゴム）が膨張し変形していた。また、坑口装置のバルブに送入されていたシーラントが一部劣化した状態（脱脂されて固形分がパサパサになった状態）で内部に入っていた。

滝ノ上層圧入井 IW-1 より回収された保安プラグにおいてもロックマンドレルおよびプロングの V パッキンには漏洩につながるような明らかな損傷は見られなかった。プロングプラグのハウジングとキャップ間のネジを戻したところ、ハウジング O リング設置箇所下部とキャップ側のシール面に傷があるのが発見されたが、この傷は設置前の組立て時にネジを締め付ける際にできたものか、回収後の解体時にネジを戻した際にできたものか、判断がつけられないものであった。

萌別層圧入井 IW-2 の保安プラグの再交換では、未使用のプロングプラグを使用した。同ハウジングとキャップ組立中にネジが固くなり、戻したところ、ネジと O リング溝の損傷が発生していた。現場でのネジ修復は難しく、近隣の鉄工場に持ち込んでネジ修復

を行い、ボトムプラグにOリングを装着し締め付けた。

再交換のため萌別層圧入井IW-2より回収した保安プラグのロックマンドレルおよびプロングのVパッキンには漏洩につながるような明らかな損傷は見られなかった。

萌別層圧入井IW-2の再交換後の保安プラグも漏洩が生じたが、前2回坑内から回収された保安プラグには漏洩に結び付くような明らかな損傷は認められていないことから、保安プラグを設置するTRSVシールボア部の損傷や異物が漏洩の原因となっている可能性もある。

### ③ 萌別層圧入井IW-2保安プラグ交換後のインフローテストについて

萌別層圧入井IW-2では保安プラグ交換後にインフローテストを繰り返して実施したが、圧力の回復がみられたことから保安プラグの漏洩と判断した。保安プラグの再交換後のインフローテストの結果も同様であった。なお、坑内PTセンサーの圧力記録には、インフローテスト実施による圧力低下等の影響が認められなかったことから、保安プラグからのCO<sub>2</sub>漏洩は微少なものと推測した。

地温と平衡した状態の坑口付近から保安プラグの設置深度までの温度は約11.5℃（萌別層観測井OB-2のDTSより得られる深度10-50mの温度の算術平均値）と推測され、同温度におけるCO<sub>2</sub>の飽和蒸気圧は約4.7MPaとなる。このことより、地温により温度が回復した状態で、保安プラグ上部に気相と液相のCO<sub>2</sub>が混在すると、坑口での圧力は約4.7MPaとなると考えられる。この圧力は萌別層圧入井IW-2の現状の坑口圧力である4.7MPa前後とほぼ等しくなるため、液相状態にあるCO<sub>2</sub>を保安プラグ上部から完全になくさない限り圧力の回復が生じ、インフローテストによる保安プラグ漏洩の有無の判断が非常に難しいものとなることに注意が必要である。保安プラグ上部からCO<sub>2</sub>を排出する際は液相から気相への相変化が起こるため、圧力が低下して安定するには時間を要する。また、坑内温度の同相変化にともなう低下と、地温による回復も圧力に影響する。インフローテストを繰り返し実施し、CO<sub>2</sub>排出時の圧力低下や排出停止後の圧力回復レートの記録を比較検討することにより、最終的に保安プラグの漏洩と判断した。

### ④ 坑口装置マスターバルブ交換時のBPVの設置・回収手順に関して

2017年7月および2018年7月に実施した萌別層圧入井IW-2坑口装置のマスターバルブ整備作業において、BPVをバリアとしてチュービングスプール内部に設置したが、作業後回収したところ、2回ともシールリングがなくなっていることが確認された。スリックライン等による坑井作業の障害と成り得るため、坑井内への異物の落下を防止する必要がある。シールリングの損傷の要因は明らかではないが、可能性の一つとして、CO<sub>2</sub>環境下

でのシールリングの膨潤が挙げられる。これまで使用していたシールリングの材質はフルオロエラストマーであるため、これより膨潤の生じにくい材質であるHNBRを採用することにより、損傷による坑井内への逸失リスクの軽減できる可能性がある。このためHNBR製のBPVのシールリングを手配し、2021年12月の坑口装置マスターバルブ交換作業にて使用した。同作業では、シールリングを坑内に落下させず回収することに成功したが、予め保安プラグ上部を窒素に置換することでチュービングハンガー部分がCO<sub>2</sub>環境下となることを避けることができたこと、専用リューブリケーターを用いたBPVの設置・回収時に、リューブリケーター内を、窒素ガスを用いて予め加圧し、BPV上下の差圧を極力小さくしたことも落下の回避に効果があったものと考えられる。

#### ⑤ 滝ノ上層圧入井IW-1坑口装置フロックロス下部の腐食

2021年12月に実施した滝ノ上層圧入井IW-1坑口装置マスターバルブ交換作業後の気密試験にてSSVロッドシール部より外部への漏洩が発生したため、SSVを取外しスラブタイプのゲートバルブへの交換を行った。この際、坑口装置フロックロス下部とSSV上部間の接続を戻したところ、フロックロス下部のフランジ面に腐食が発生していることが確認された。腐食はリングジョイントのシール部近くまで浸食しているが、現状はSSVの代わりに取り付けられたスラブタイプのゲートバルブが閉じられていること、保安プラグ上部から坑口装置までを不活性の窒素ガスに置換しているため腐食が進み漏洩にいたる危険はないが、圧入再開を計画する場合は同フロックロスを交換する必要がある。

#### 4.10.2 観測井の維持管理

1月1回の月例点検において坑井健全性に関わる異常は確認されなかった。2021年度に実施した観測井の保全の観点からの維持管理に関わる作業概要を示す。

##### (1) 坑内モニタリング機器点検に伴う準備作業

坑内モニタリング機器の点検作業は、作業時間の確保・安全対策のため作業期間を例年の秋から春への変更依頼が維持管理の外注業者からあり、検討の結果、2021年度は4月に実施することとした。坑内モニタリング機器の点検に合わせて坑口装置に取付けられている圧力センサーの校正作業が実施されるため、その準備作業として、4月15日に滝ノ上層観測井OB-1と萌別層観測井OB-2のセラー内に溜まっていた雨水の排出を実施した。

また、2021年10月20日から21日にかけて、2022年度春以降に実施される坑内モニタリング機器点検に備えて、滝ノ上観測井OB-1および萌別層観測井OB-2敷地の点検作業範囲の整備を実施した。

## (2) 定期自主点検・整備

2021年11月17日から18日にかけて、観測井3坑井のセラー内排水を行った後、2021年11月19日に観測井3坑井の坑口装置に対する定期自主点検・整備を実施した。2021年度の定期自主点検・整備は、坑内のモニタリング機器が設置された状況での実施となったため坑口装置バルブの点検・整備は、安全に実施できる範囲とした。同点検・整備では異常等は認められなかった。

坑口装置圧力計に関して、2年に1回以上という基準を満たすために新規圧力計への交換を行った。

## (3) 滝ノ上層観測井 OB-1 敷地の冠水と対策

2021年4月19日から21日の間、2022年11月12日および14日に豪雨に伴う滝ノ上層観測井 OB-1 敷地の冠水のため、敷地巡回を実施し排水状況の確認を行った。

冠水の主な原因は敷地外周側溝の排水柵部の塩ビ排水管の入口が流れてきた草木等で塞がれ排水が滞ることであることが判明した。

豪雨時に外周側溝から流れてくる草木等による排水管入口の閉塞を防止することを目的として、2022年3月に排水柵部およびその近くの外周側溝部に設置する仕切り網や網状の上蓋等を製作した。これらの滝ノ上層観測井 OB-1 敷地への設置は、消雪後の2022年度の春期に実施することとした。

### 4.10.3 その他

#### (1) 坑口装置管理基準の改訂

CO<sub>2</sub>圧入期間中の圧入井と観測井の日常点検および定期点検は、坑口装置管理基準に基づき実施していた。2019年11月の圧入停止後は、圧入井点検要領を別途定めて圧入井の日常点検および定期点検を実施している。坑口装置管理基準に関して、圧入停止期間中に対応した見直しを行うとともに圧入井点検要領と統合し、2021年11月15日付で改訂を行った。