

目次

第4章 貯留したCO ₂ のモニタリング	4-1
4.1 観測井を利用したモニタリング	4-6
4.1.1 観測システム	4-7
4.1.2 観測システムの保守管理	4-35
4.1.3 観測システムによるモニタリング	4-51
4.2 陸上設置地震計によるモニタリング	4-68
4.2.1 陸上設置地震計観測システム	4-71
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	4-81
4.2.3 観測結果	4-89
4.3 常設型OBCによるモニタリング	4-93
4.3.1 常設型OBC観測システム	4-94
4.3.2 常設型OBC観測システムの保守管理	4-103
4.3.3 OBC観測システムによる観測結果	4-120
4.3.4 常設型OBCの埋設状況の確認	4-127
4.4 OBSによるモニタリング	4-140
4.4.1 OBS観測システム	4-141
4.4.2 OBSによる観測	4-148
4.4.3 海底地形測量結果	4-174
4.5 総合モニタリングシステムの運用	4-179
4.5.1 総合モニタリングシステムの主な機能	4-182
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	4-203
4.5.3 圧入井データロガー等の保守	4-222
4.6 微小振動・自然地震モニタリング	4-224
4.6.1 モニタリング実施状況	4-224
4.6.2 モニタリング結果	4-226
4.6.3 独立型OBS記録を加えた振源・震源再推定	4-242
4.6.4 2020年度モニタリング結果のまとめ	4-243
4.7 繰り返し弾性波探査(第5回モニター調査)	4-244
4.7.1 調査概要および調査測線	4-244
4.7.2 作業実施内容	4-248
4.7.3 データ取得結果	4-257

4.7.4 差分抽出処理	4-261
4.8 モニタリングデータ公開システム	4-272
4.8.1 情報公開システム	4-272
4.8.2 データ公開システム	4-296
4.9 圧入井を利用したモニタリング	4-299
4.9.1 萌別層圧入井(IW-2)における坑内温度・圧力の観測	4-300
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	4-301
4.10 圧入井・観測井の維持管理	4-303
4.10.1 圧入井の維持管理	4-303
4.10.2 観測井の維持管理	4-308

第4章 貯留したCO₂のモニタリング

本実証試験においては、地震観測システムおよび弾性波探査を用い、微小振動と自然地震の発生状況および地下の状態変化を把握する。

2015年度までに3本の観測井（OB-1^{*1}）、OB-2^{*2}およびOB-3^{*3}）内に設置した地震計、FBG^{*4}センサ（温度・圧力を計測）、半導体圧力センサ、DTS^{*5}、萌別層砂岩層と滝ノ上層T1部層の圧入地点の直上を横切る海底に敷設した受振測線長3.6kmの常設型OBC（Ocean Bottom Cable）、萌別層圧入地点直上とその近傍の海底に設置した4台のOBS^{*6}（Ocean Bottom Seismometer）、CO₂の圧入地点の北西の陸域（緑ヶ丘公園内：苫小牧市清水町3丁目）に設置した地震計（以下、「陸上設置地震計」と称する。）および圧入井IW-1^{*7}とIW-2^{*8}に設置した温度・圧力計から成る観測システムを構築した。表4-1にモニタリングに使用した観測機器を示す。図4-1に各モニタリングの実施位置を示す。図4-2に観測システムの全体構成を示す。

2015年度以降、上記の観測システムによるモニタリングを継続^{*9}し、各観測システムで取得したデータを苫小牧CCS実証試験センター（以下、「実証試験センター」と称する。）に設置した総合モニタリングシステム（4.5参照）において集約・一元管理している。

なお、2020年度には、各観測井の半導体圧力センサを新機種に交換するとともに、地震計の下方に、近年実用化が進んできたSOS温度・圧力センサ^{*10}を追加した。

また、総合モニタリングシステムの諸機能を利用し、CO₂圧入地点近傍（CO₂圧入地点を中心とする東西6km×南北6kmの範囲）における微小振動の発生状況^{*11}と本実証試験の周辺地域（CO₂圧入地点を中心とする東西50km×南北38kmの範囲）での自然地震の

*1) OB-1：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、名称変更。

*2) OB-2：萌別層を対象とする観測井（2012年度に掘削）。

*3) OB-3：滝ノ上層を対象とする観測井（2013年度に掘削）。

*4) FBG（Fiber Bragg Grating）：光ファイバのコア部に周期的な屈折率変化を形成した光ファイバ型デバイス。屈折率変化は回折格子（グレーティング）として働き、回折格子の周期が作るブラッグ反射条件を満たす波長の光のみを反射させるため、ブラッグ波長を観測することによりFBGに加えられた歪みから圧力と温度を観測することができる。詳細は「4.1 観測井を利用したモニタリング」を参照のこと。

*5) DTS（Distributed Temperature Sensor）：光ファイバを用いた温度センサ。温度分布を深度方向に連続的に計測できる。詳細は「4.1 観測井を利用したモニタリング」を参照のこと。

*6) 耐圧ガラス球内に組み込まれた地震計、原子時計、レコーダおよび電源装置等の関連機器一式をOBSと称する。

*7) IW-1：滝ノ上層へのCO₂圧入井（2015年度に掘削）。

*8) IW-2：萌別層へのCO₂圧入井（2015年度に掘削）。

*9) 2015年度は、CO₂圧入前のベースライン観測として実施

*10) SOS（Silicon On Sapphire）：サファイア基盤にシリコン薄膜を組み合わせた高周波性能・低消費電力型素子を用いた温度・圧力計。

*11) 3本の観測井に設置した地震計、常設型OBCおよびOBSの観測データから振源を推定している。

発生状況*12)を把握した。

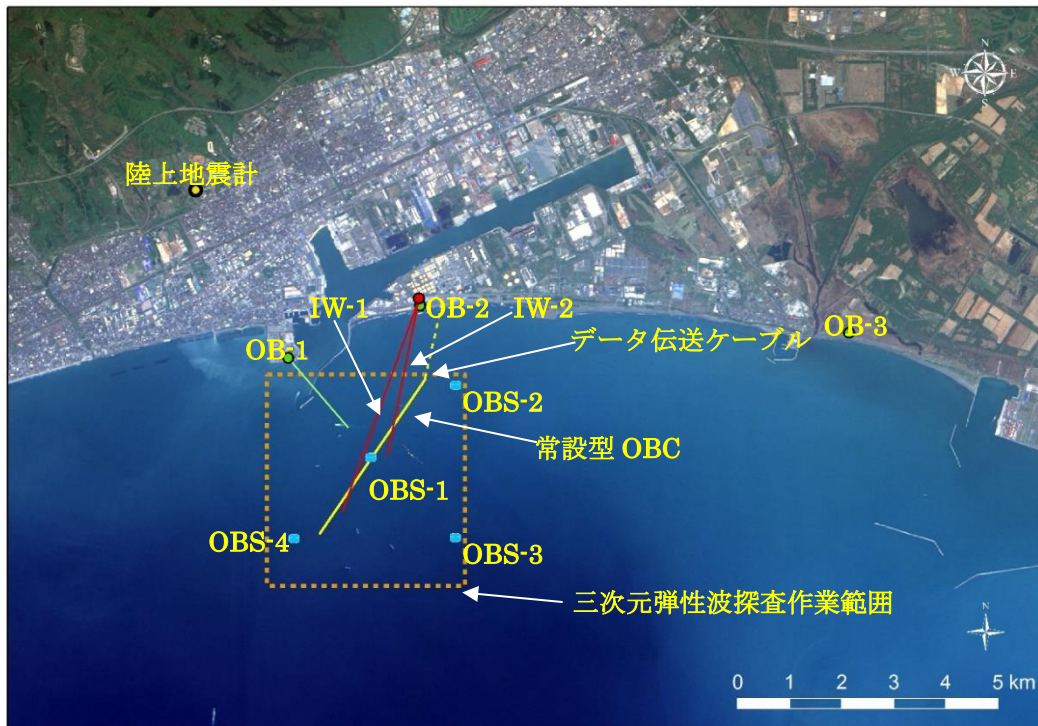
表 4-1 モニタリングに使用した観測機器

観測システム	設置場所	観測機器
観測井モニタリング	OB-1	地震計（4台）、 FBG 温度圧力センサ（1台） 半導体圧力センサ（1台）、DTS（1式） SOS 温度圧力センサ（1台、2020年度以降）
	OB-2	地震計（1台、2017年10月12日以降2台） FBG 温度圧力センサ（1台）、 半導体圧力センサ（1台）、DTS（1式） SOS 温度圧力センサ（1台、2020年度以降）
	OB-3	地震計（4台、2017年10月7日以降5台） FBG 温度圧力センサ（1台）、 半導体圧力センサ（1台）、DTS（1式） SOS 温度圧力センサ（1台、2020年度以降）
常設型 OBC	苫小牧沿岸海底	OBC（3.6km）
OBS	苫小牧沿岸海底	有線型（1台）、独立型（3台）
陸上設置地震計	陸域（苫小牧市内）	地震計（1台）
圧入井モニタリング	IW-1	温度・圧力計 （萌別層砂岩層に近い深度に2台）
	IW-2	温度・圧力計 （滝ノ上層 T1 層に近い深度に2台）

注）半導体圧力センサは、2019年度のOB-3先行導入結果を踏まえ、2020年度に全機種変更した。

*12) 陸上設置地震計の観測データに加え、(国研)防災科学技術研究所(NIED)から本実証試験地域周辺にあるHi-net(High Sensitivity Seismograph Network Japan)の10観測点(大滝、室蘭、白老、千歳、追分、厚真、西平取、門別西、門別東、静内)のデータの提供を受け、独自に自然地震の震源解析を実施している。

なお、Hi-netは、日本各地、地域毎の地震の特徴を詳しく把握するために約20km間隔で設置された無人で微弱な揺れの感知が可能な24時間連続稼働の高感度地震観測網であり、1996年に観測が開始され、2011年時点で日本全国に約800箇所の観測点が配置されている。観測データは常時、中央局(データセンター)に送られ、気象庁による緊急地震速報や地震発生後の震源決定、地震調査委員会による地震活動の現状把握、高精度即時震源パラメータ解析システム(AQUA)など様々に利用されている。



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

図 4-1 モニタリング実施位置図

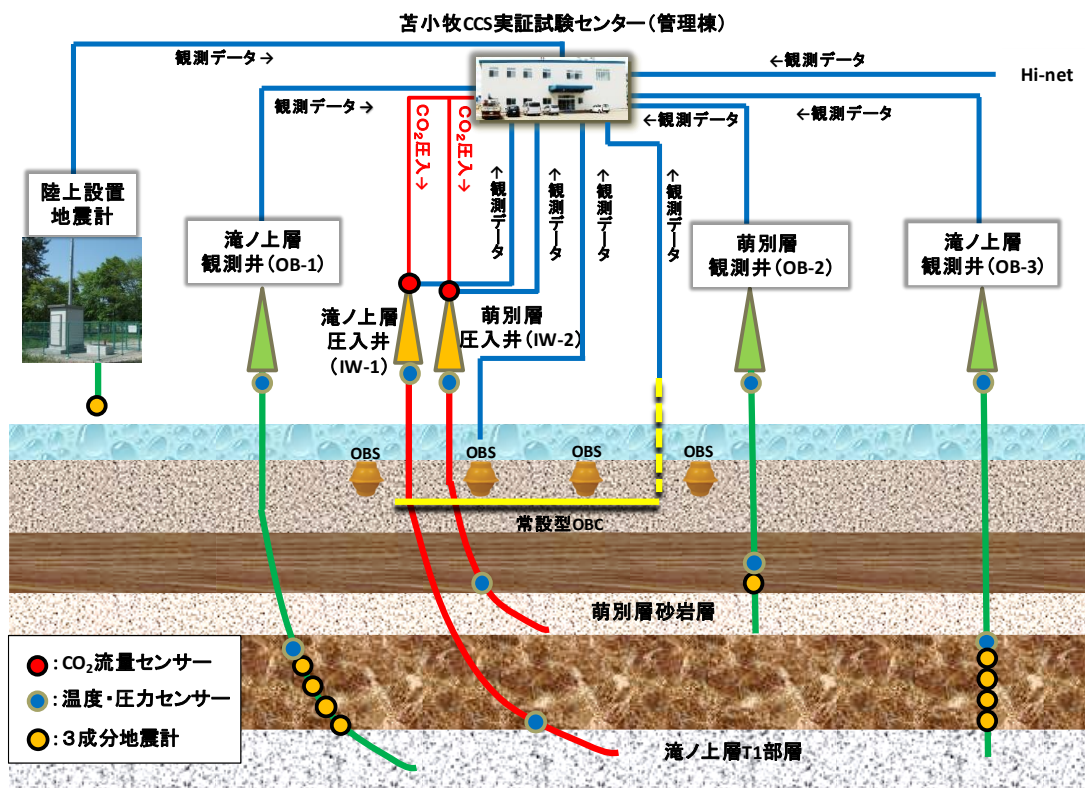


図 4-2 観測システムの全体構成（運用当初）

観測システムによるモニタリングに加え、CO₂圧入開始前の弾性波探査の結果と圧入後の弾性波探査の結果を比較することにより地下の状態の変化を把握するため、弾性波探査のベースライン調査とモニター調査を表4-2の通り実施している。2020年度は、第5回モニター調査（三次元弾性波探査および二次元弾性波探査）を実施した。2020年度に実施した弾性波探査の発振および受振測線の配置を図4-3に示す。

各観測井の温度・圧力等のモニタリング結果、微小振動・自然地震の発生状況および海洋環境調査結果等は、情報公開システム（4.9参照）を利用して発信した。

表 4-2 繰り返し弾性波探査の実施実績

年度	調査	実施時期
2009年度	三次元弾性波探査ベースライン調査	2009年10～11月
2010年度	三次元弾性波探査追加ベースライン調査	2010年7～9月
2013年度	二次元弾性波探査ベースライン調査	2013年8月
2016年度	第1回モニター調査（二次元弾性波探査）	2017年1月
2017年度	第2回モニター調査（三次元弾性波探査）	2017年7～8月
2018年度	第3回モニター調査（二次元弾性波探査） 圧入地点北側ベースライン調査（小規模三次元弾性波探査）	2018年9～10月
2019年度	第4回モニター調査（小規模三次元弾性波探査および二次元弾性波探査）	2020年1～2月
2020年度	第5回モニター調査（三次元弾性波探査および二次元弾性波探査）	2020年7～8月

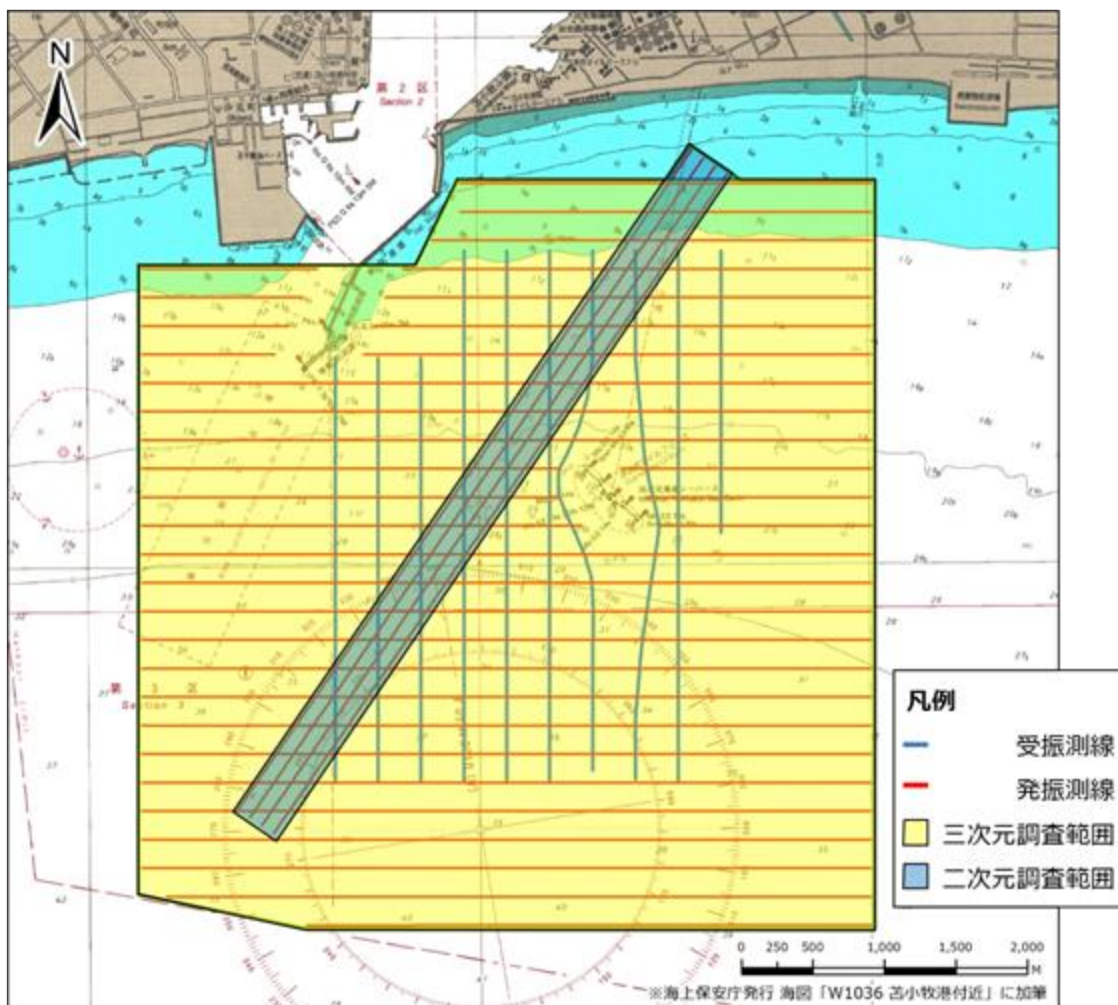
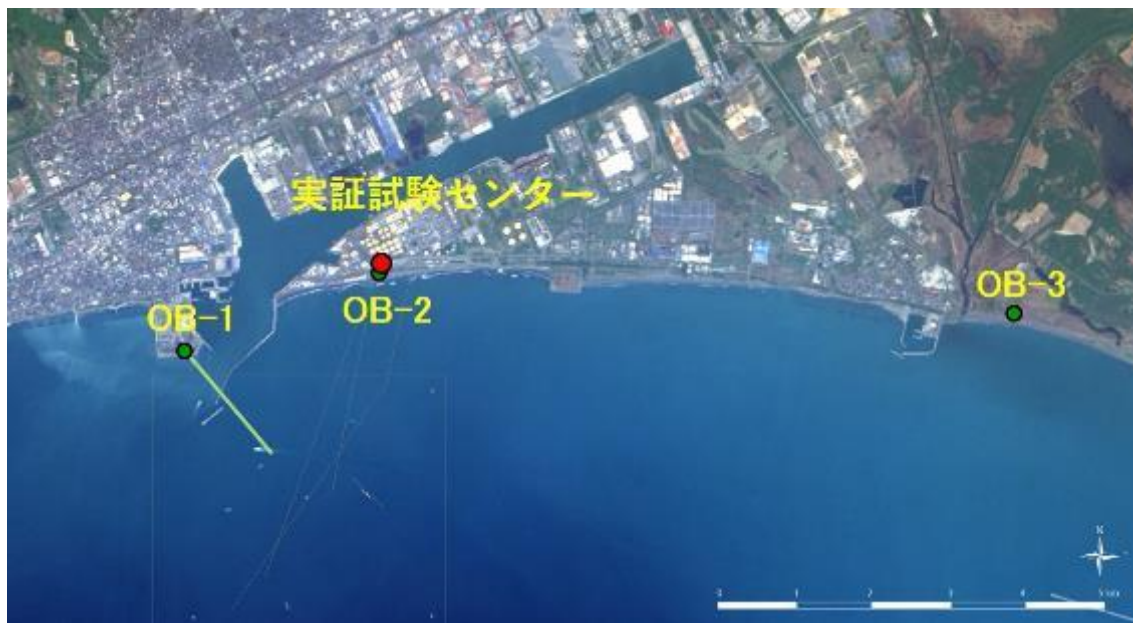


図 4-3 2020 年度に実施した第 5 回モニター調査（弾性波探査）の受振および発振測線

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。



注) 出典：「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	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 aMSL)		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		493.18	N/A	492.52
坑内流体		NaBr brine	NaCl brine	NaCl/NaBr brine

注) 坑口位置は、世界測地系 第 12 系平面直交座標により示す。

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) センサとシリコン半導体圧力センサ (以下、「シリコン圧力センサ」もしくは「Silicon センサ」と称する。) を内部に組み込んだケーブルヘッド、地震計 (DS-150)、CCL^{*1)} (Casing Collar Locator)、最下部にシンカーバー (重錘) を ITC^{*2)} (Interconnect Tool Cable) で接続した多連編成で設置している。地表付近のノイズ状況を把握するため、2016 年度に各観測井の近傍の地表付近 (埋設深度 50 cm 程度) に地震計 (以下、「リファレンス地震計」と称する。) を設置したところ、OB-2 の No.1 地震計と OB-3 の No.4 地震計に出現するノイズ^{*3)} は地表ノイズ (リファレンス地震計に出現するノイズ) と連動していることが判明した。ノイズの原因が地震計の幾何学的な配置 (鉛直井の最下部、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との間に No.5 地震計を追加設置した。

*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。

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、実証試験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経由で実証試験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)～(6)に交換設置前後の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。

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		2,294.6	901.9	1,745.8
Silicon-P センサ		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		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)。

FBG-P/T センサ : Fiber Bragg Grating (光ファイバ回折格子) 温度圧力センサ。

Silicon-P センサ : Silicon on Silicon 素子圧力センサ (電圧制御型から電流制御型に交換)。

PPS26 ; SOS-P/T センサ : Silicon on Sapphire 素子温度圧力センサ。

OB-1は斜坑であるため、設置深度は坑口からの距離を示す。

*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。

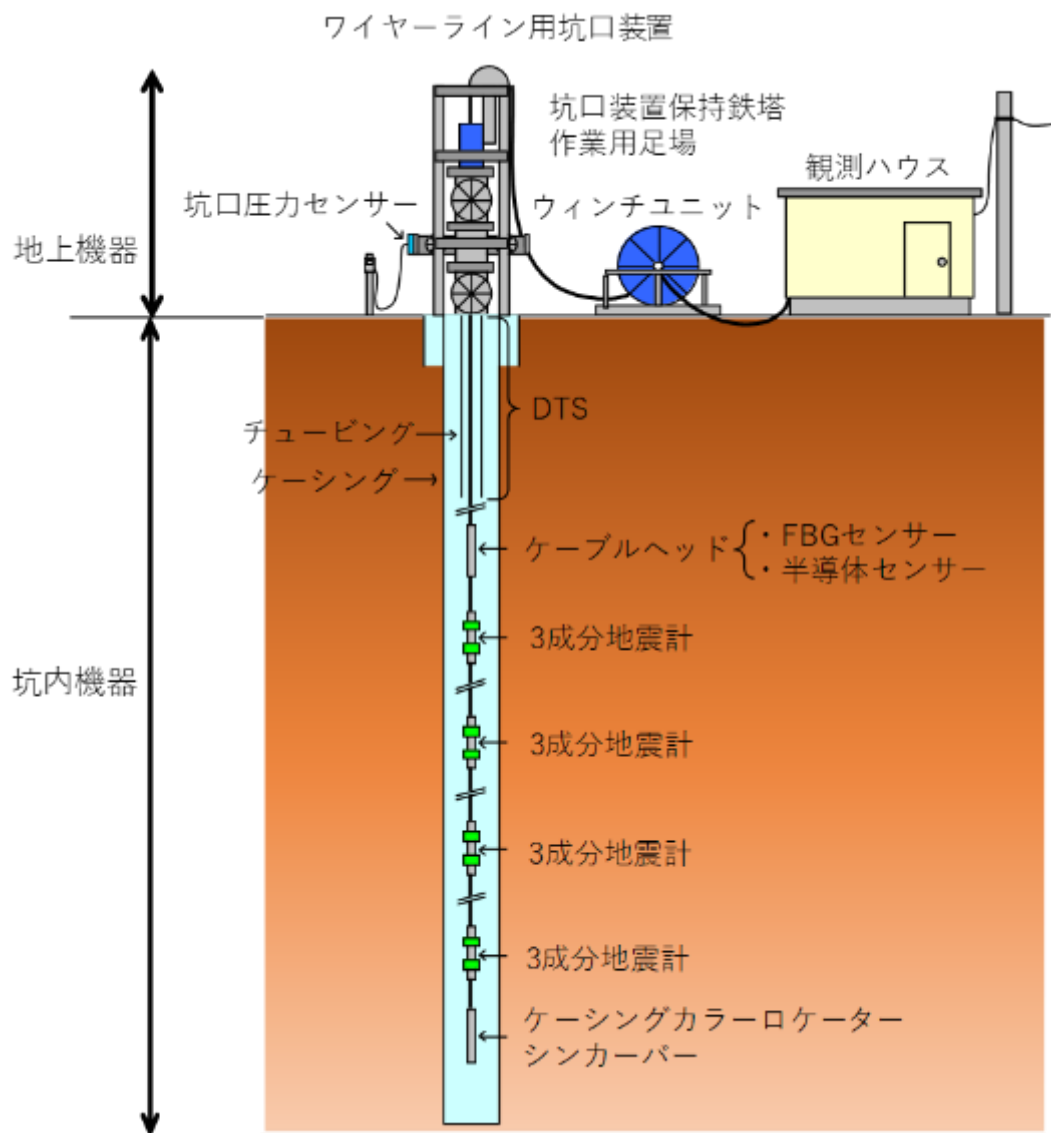


図 4.1-2 観測井システム概念図

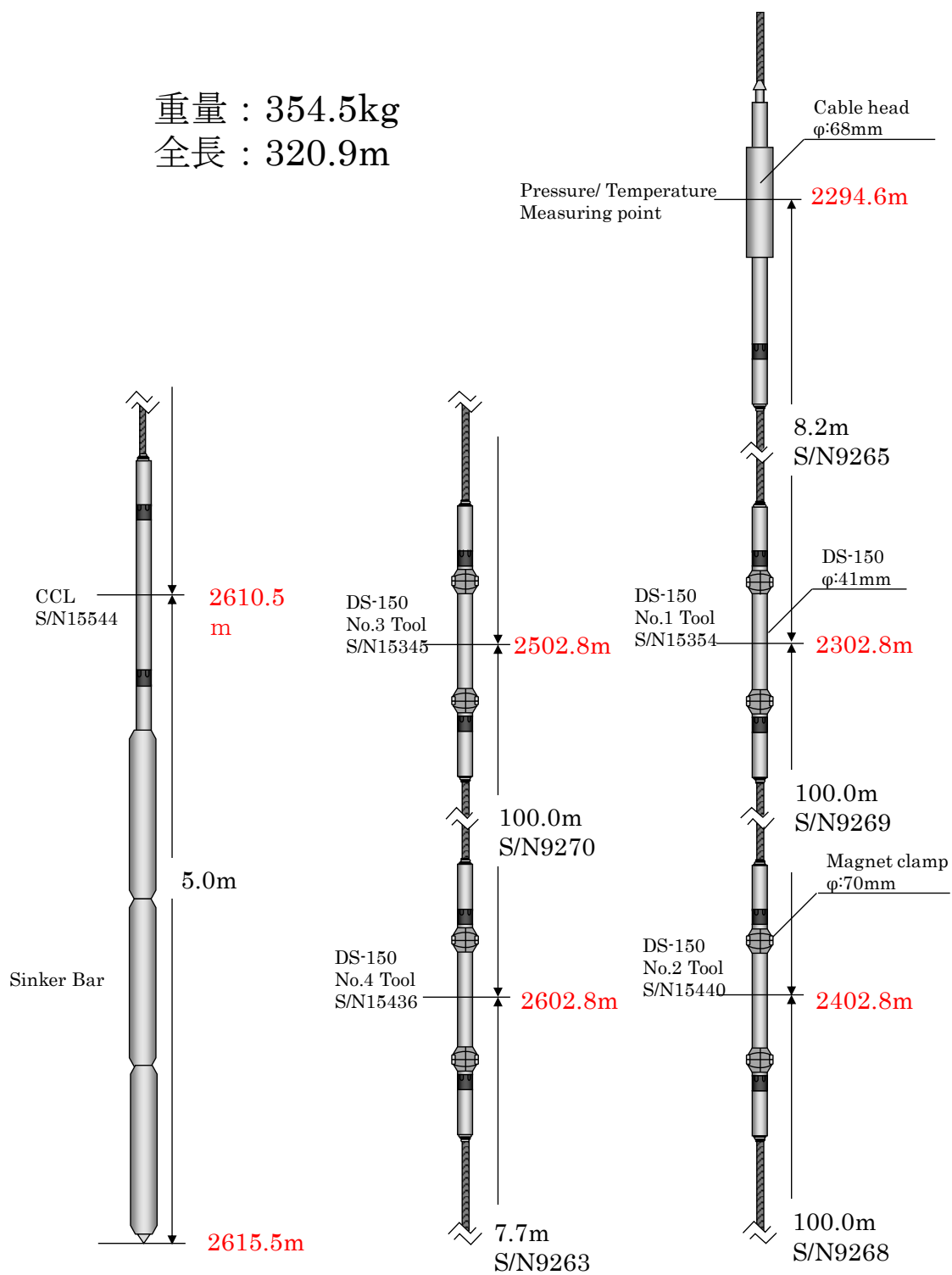


図 4.1-3(1) PPS26 センサ設置前の坑内観測機器編成図 (OB-1)

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

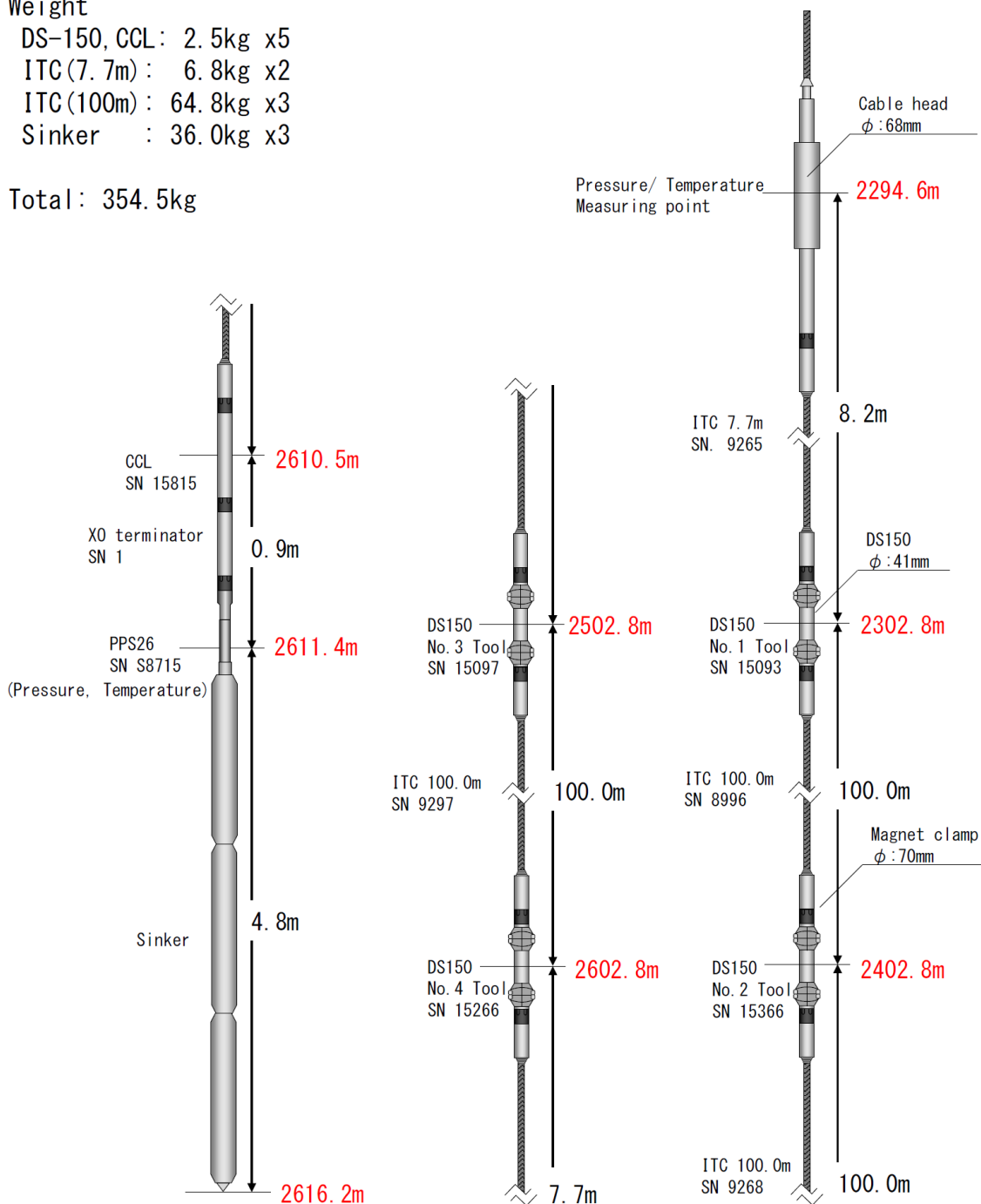


図 4.1-3(2) PPS26 センサ設置後の坑内観測機器編成図 (OB-1)

重量：72.5kg
全長：27.9m

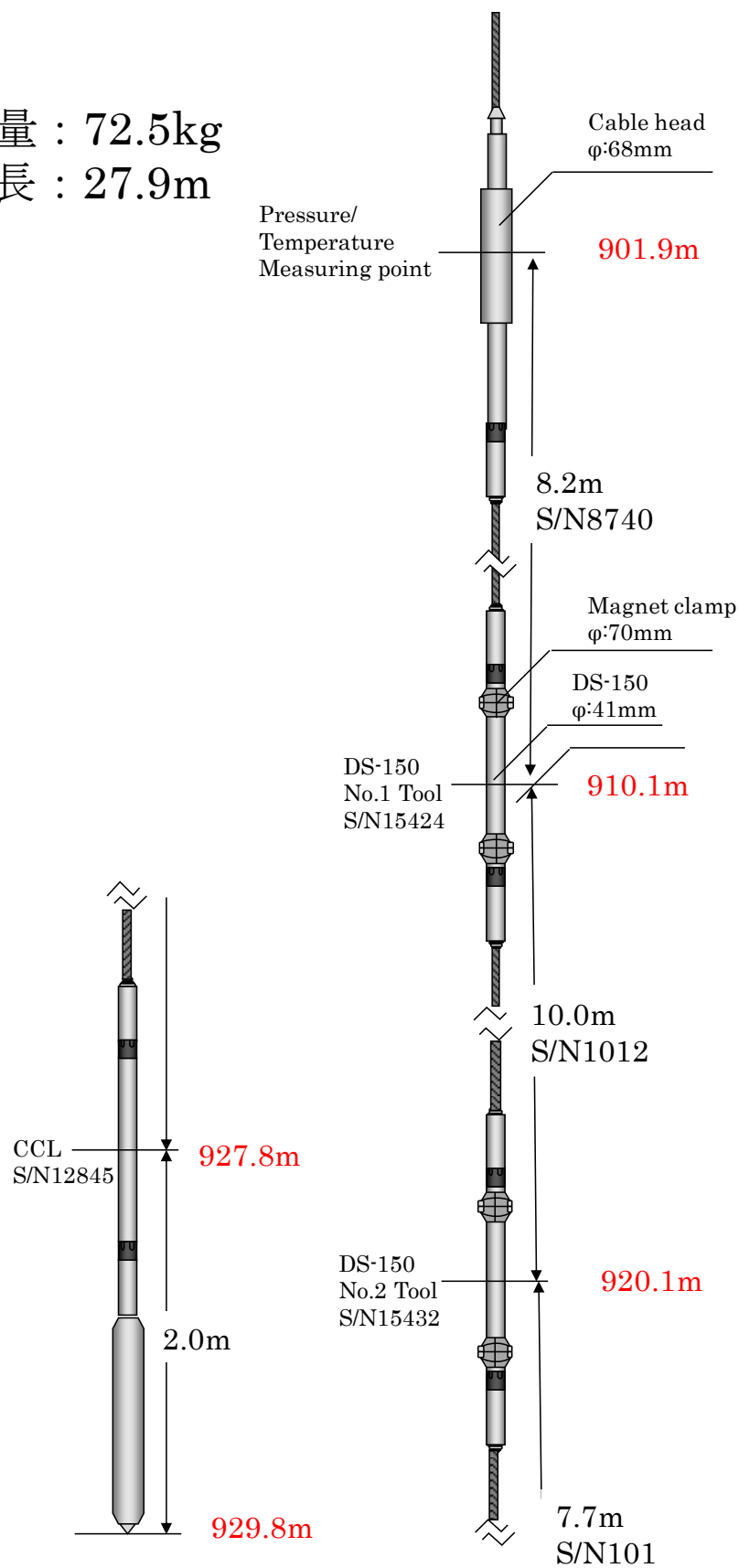


図 4.1-3(3) PPS26 センサ設置前の坑内観測機器編成図 (OB-2)

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

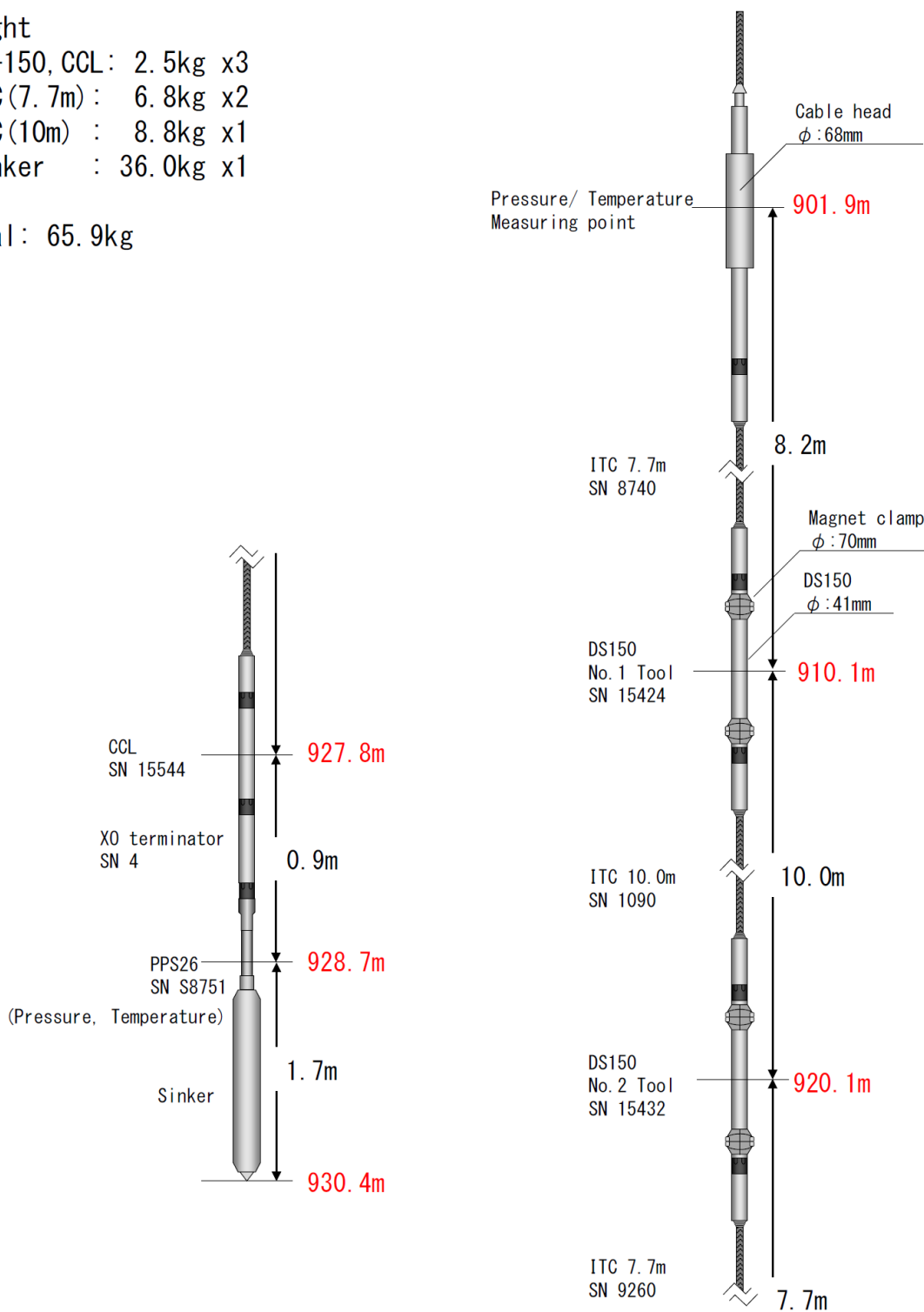


図 4.1-3(4) PPS26 センサ設置後の坑内観測機器編成図 (OB-2)

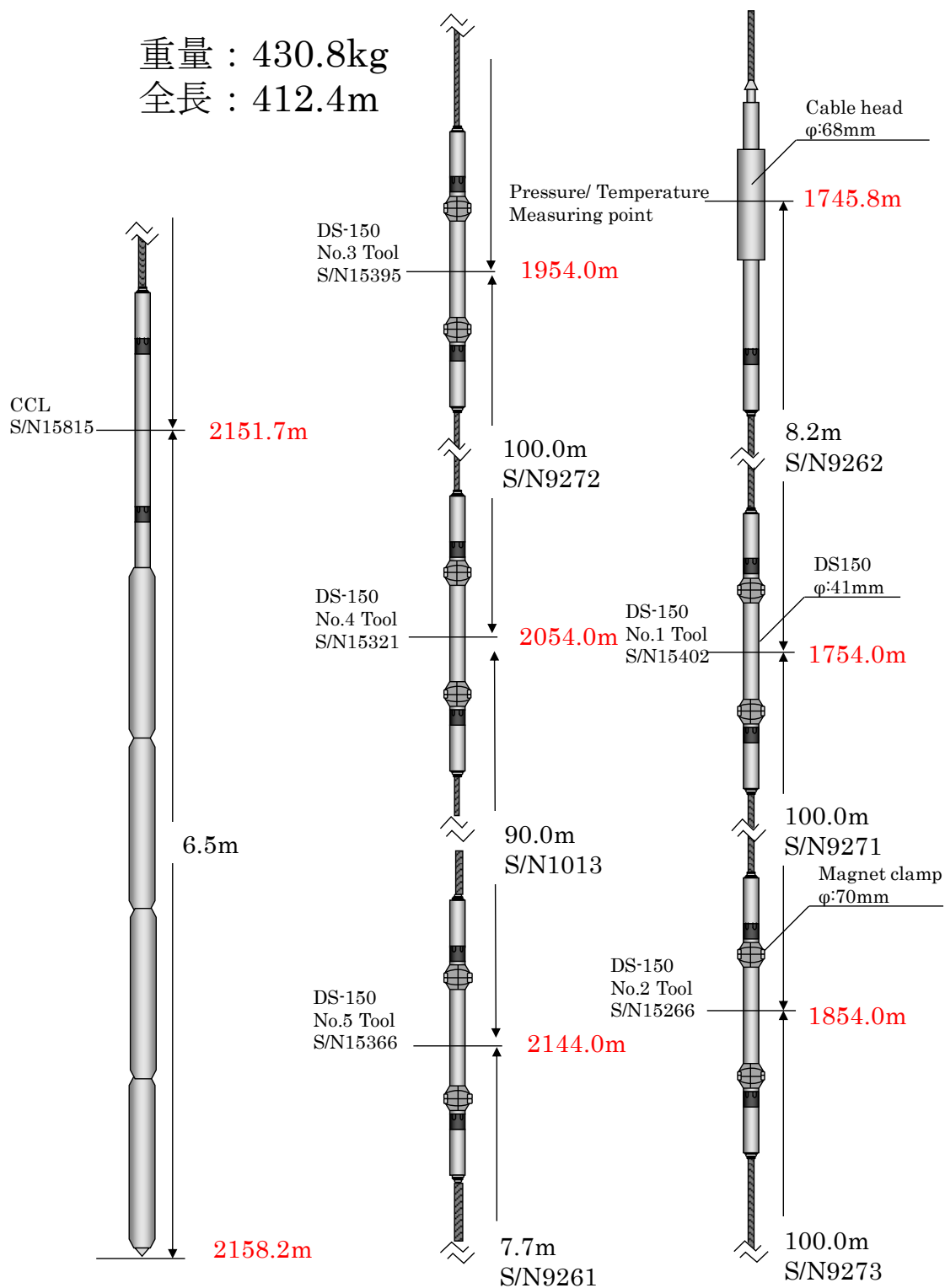


図 4.1-3(5) PPS26 センサ設置前の坑内観測機器編成図 (OB-3)

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

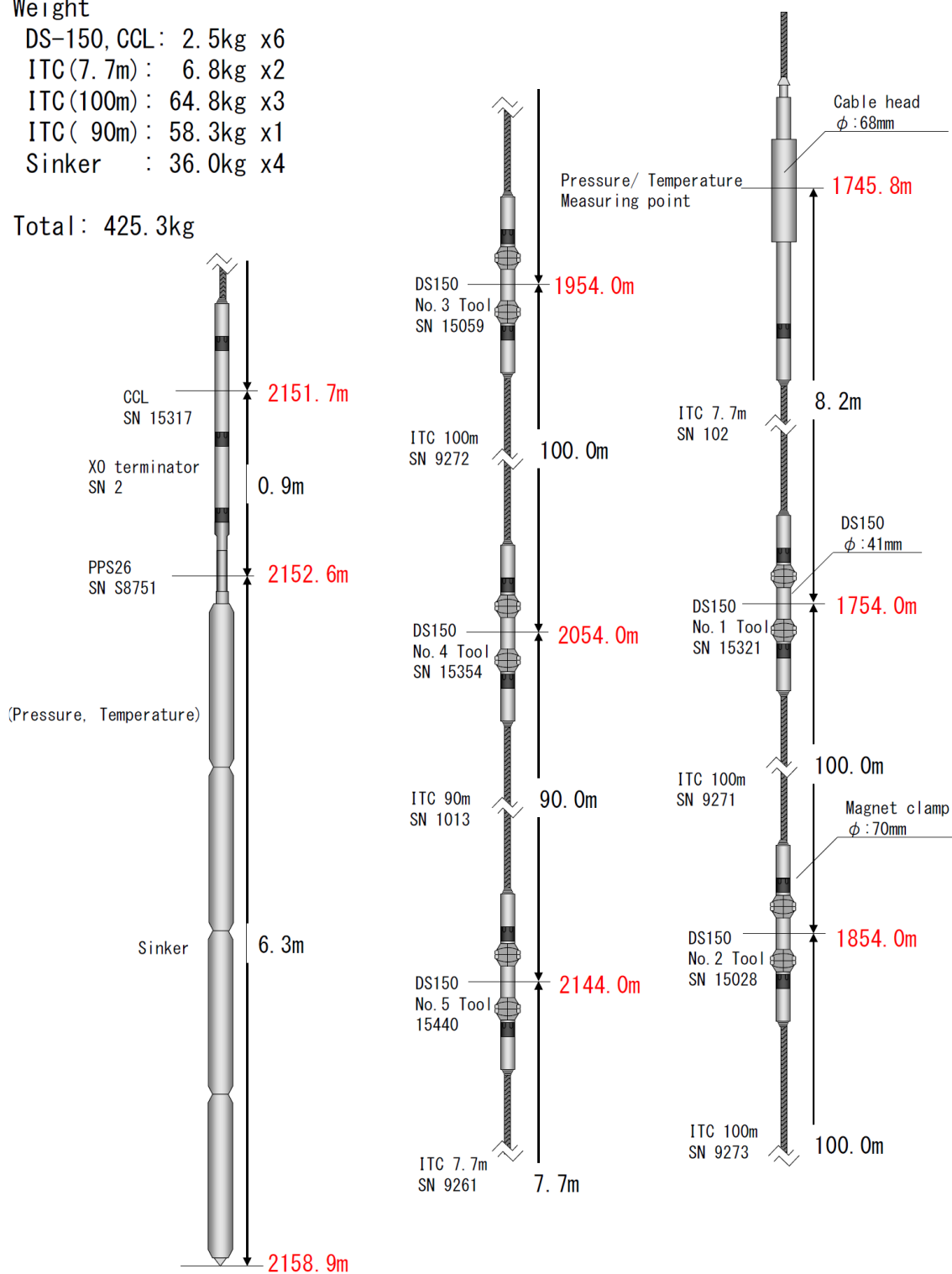


図 4.1-3(6) PPS26 センサ設置後の坑内観測機器編成図 (OB-3)

(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：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

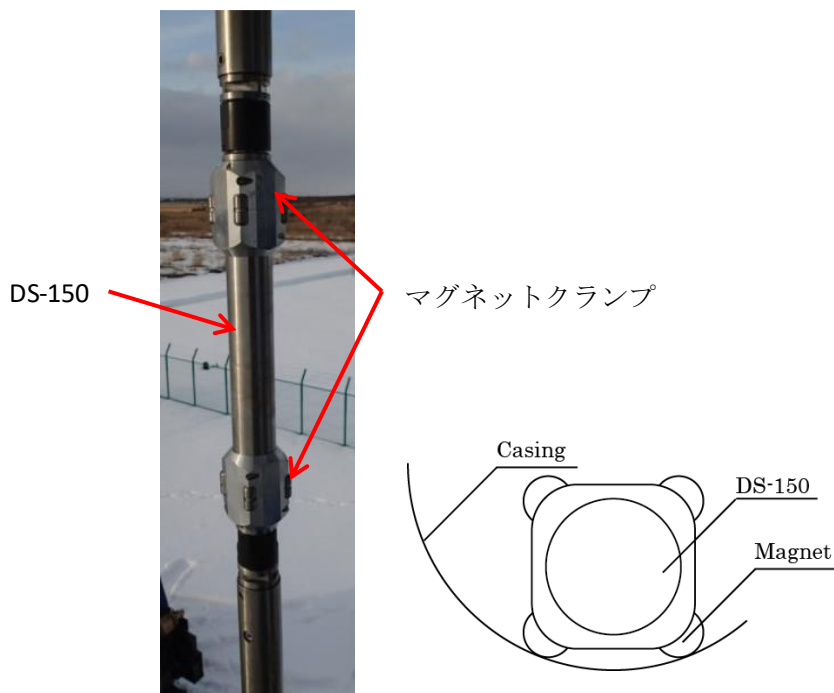


図 4.1-4 坑内に設置した地震計（DS-150）

(2) FBG センサ

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 センサと FBG 地上機の仕様を示す。FBG センサと FBG 地上機の外観を図 4.1-6 に示す。

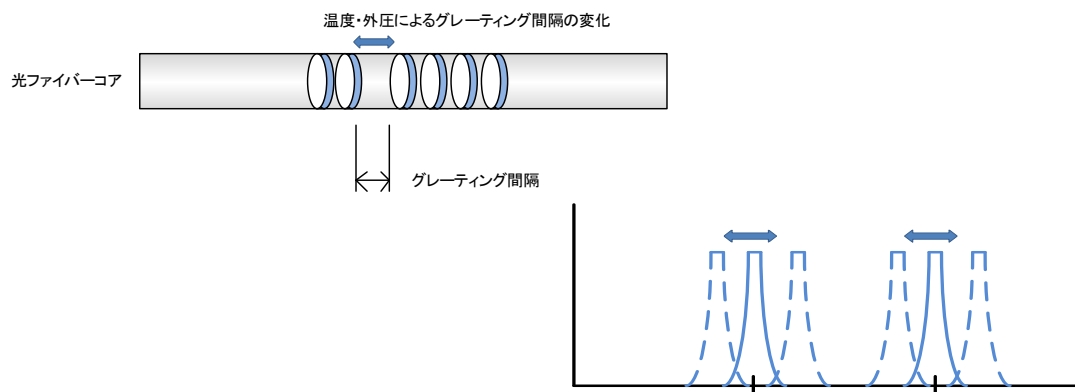


図 4.1-5 FBG の測定原理

表 4.1-4 FBG センサの仕様

機器	型式	仕様	設置場所
センサ	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 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（左上）と FBG 地上機（左上：従来機、下：新機種）

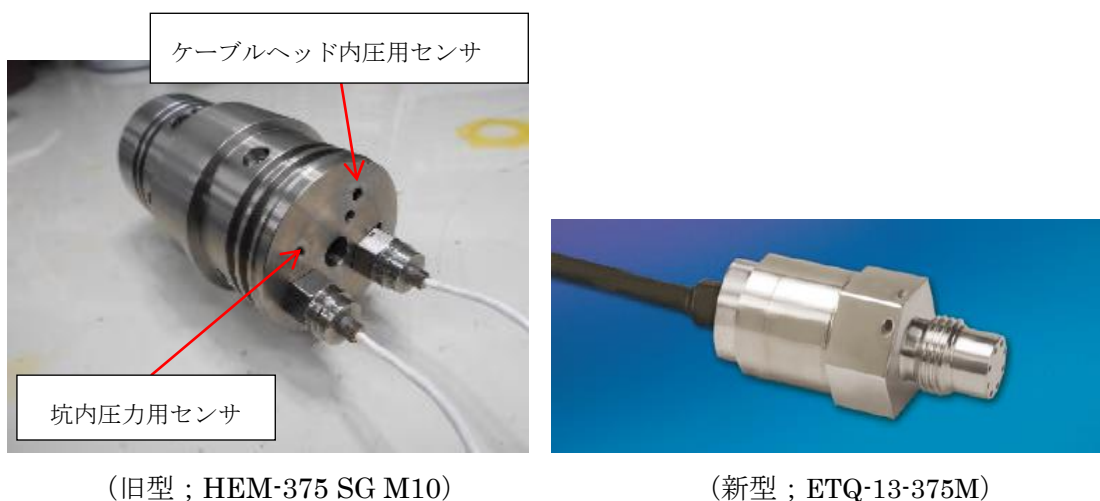
(3) シリコン半導体圧力センサ

シリコン圧力センサは、温度ドリフト特性やセンサ稼働電源を考慮し、耐圧性に優れ、小型でケーブルヘッド内に組み込み易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に交換した。新旧共に、米国 Kulite 社製の Silicon on Silicon 圧力センサである。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の仕様を示す。図 4.1-7 にシリコン圧力センサの外観を示す。シリコン圧力センサは、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 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仕様

機器	型式	仕様	設置場所
センサ (旧型)	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 (新型)	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) 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

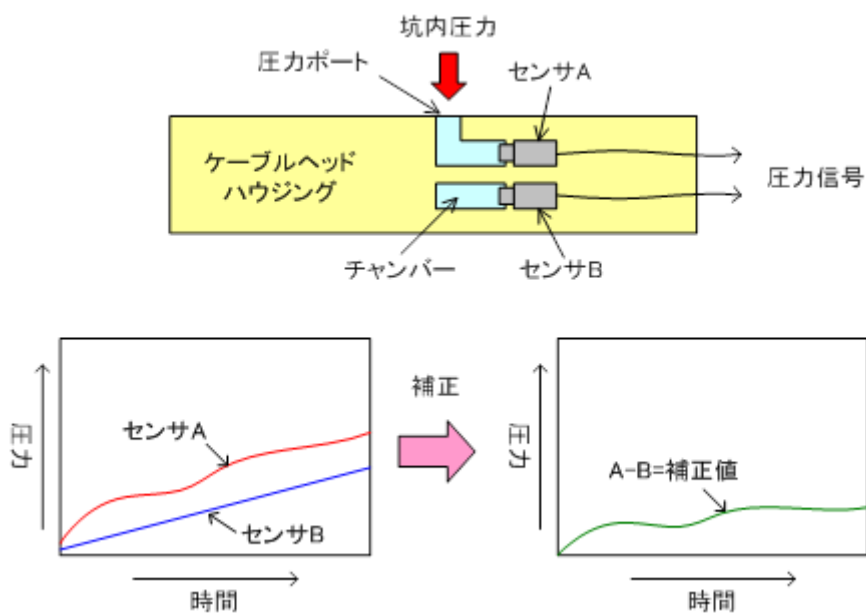
注) 新センサは、OB-3 で 2020 年 2 月に先行交換し、その稼働状況（安定性の向上）を確認した後、2020 年 9 月に OB-1 と OB-2 で交換した。



（旧型；HEM-375 SG M10）

（新型；ETQ-13-375M）

図 4.1-7 シリコン半導体圧力センサ



注) 半導体圧力センサを用いた圧力測定では、センサ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 A と受けないセンサ B の二つをセットで使い、共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温度ドリフト補正概念図

(4) PPS26 温度・圧力センサ

PPS26 センサは、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・圧力計であり、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

(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 ((2)参照) と半導体圧力センサ ((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、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。

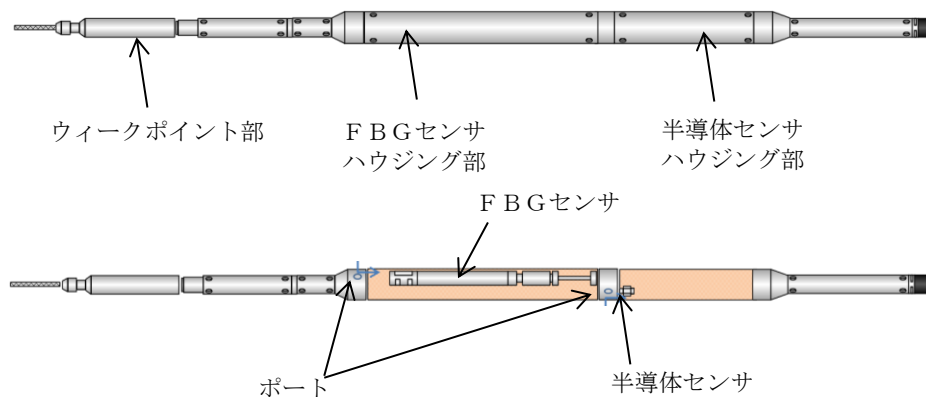


図 4.1-10 ケーブルヘッドの外観と内部構造

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

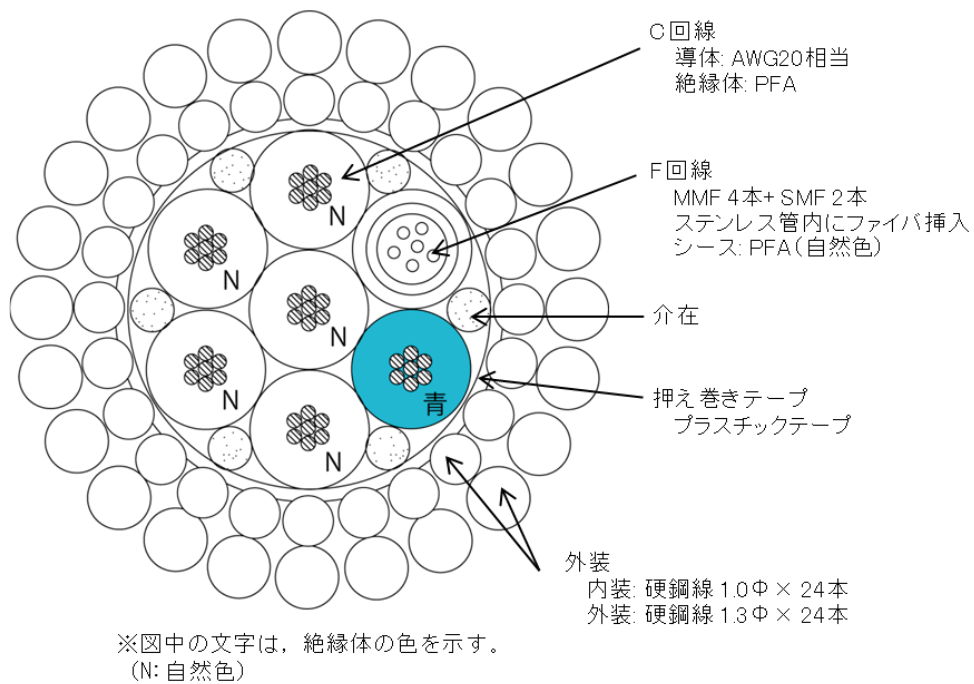


図 4.1-11 アーマードケーブル配列図（断面図）

表 4.1-8 アーマードケーブル仕様

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

(7) DTS

アーマードケーブル（(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。

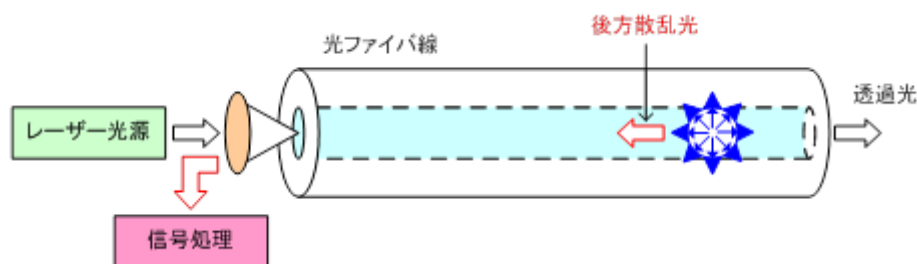


図 4.1-12 DTS の測定原理

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にセンサ用ファイバを接続した条件にて）
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) 坑口圧力が発生した場合に安全に坑内機器を回収すること
- 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 4.1-15 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）に集約し実証試験センターのデータ保管ストレージに送信する。

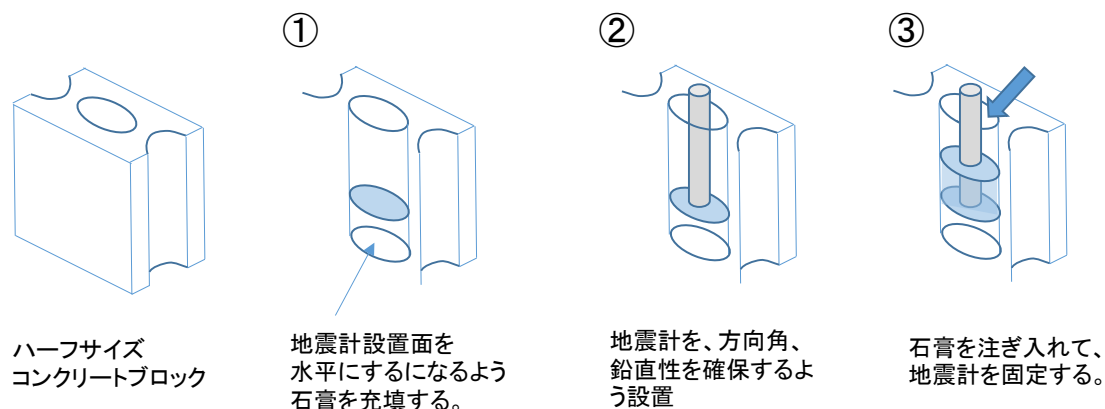


図 4.1-16 コンクリートブロックの穴へのリファレンス地震計固定手順

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	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実証試験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、実証試験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実証試験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。

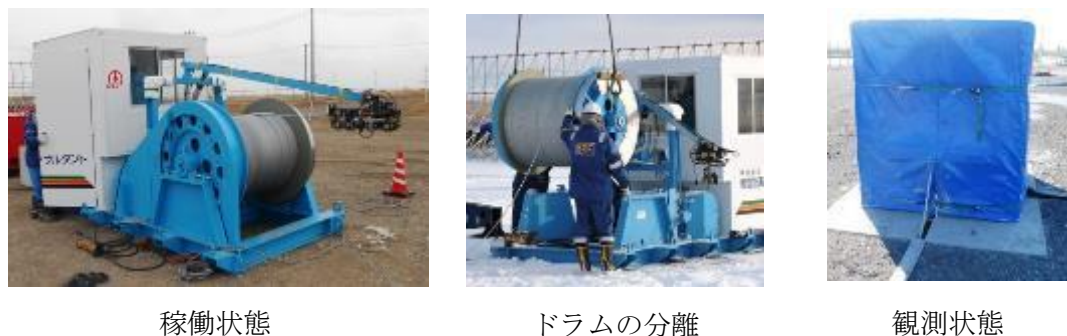


図 4.1-19 オフドラムシステム

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例を図 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 2019 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実証試験センター）に設置した観測システムの日視点検、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例を図4.1-21に示す。

表 4.1-14 定期点検実施日

実施月	実証試験センター	OB-1	OB-2	OB-3
2020年06月	11日	11日	11日	11日
2020年07月	20日	21日	21日	21日
2020年09月	3日	3日	3日	4日
2020年12月	11日	10日	11日	11日
2021年2月	10日	10日	9日	9日
2021年3月	9日	10日	9日	10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	
	統板の設置状態は正常か	
	統板に破損・がたつきはないか	
室内に雨漏りの形跡がないか	扉は正常に動作するか	
	鍵は正常に動作するか	
	室内に雨漏りの形跡がないか	
電線・通信線の写真口	室内の温度・湿度は適度か	
	電線・通信線引込柱に異常はないか	
	電線・通信線に損傷はないか	
GPSアンテナの写真口	電線・通信線引込部に異常はないか	
	信号線に損傷はないか	
	設置状態は正常か	
エアコンの写真口	がたつきはないか	
	コネクタの接続は適切か	
	正常に動作しているか	
敷地周辺の写真口	設定は適切か	
	ゴミなどは散乱していないか	
	雑草は繁茂していないか	
踏切カメラの写真口	正常に動作しているか	
	設置状態は正常か	
	正常に動作しているか	
風速計の写真口	設置状態は正常か	

観測井モニタリング保守・管理チェックシート(定期点検②)

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

※写真を撮ったら(写真口)にチェックを入れる

項目	良否	否の場合の対応
地上計測機器の写真口	設置状態は正常か	
	各インジケータは正常か	
	がたつきはないか	
圧力センサーの写真口	コネクタの接続は適切か	
	電源供給状態は正常か	
	UPSのバッテリーは正常か	
圧力センサーの写真口	NASに異常はないか	
	計測器に異常はないか	
	セラーの貯水量は問題ないか	
リファレンス地震計の写真口	正常に動作しているか	
	設置状態は正常か	
	設置状態は正常か	
ケーブルラックの写真口	ケーブルラックに異常はないか	
	圧力遮断装置に異常はないか	
	BOPに異常はないか	
圧力センサーの写真口	その他異常はないか	
	設置状態は正常か	
	その他異常はないか	
圧力センサーの写真口	固定用フェーンに異常はないか	
	雨水の侵入はないか	
	その他異常はないか	
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	
	観測ハウスの戸締り、施錠をしたか	
フェンスの写真口	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例

(5) 坑内機器回収・点検

OB-1、OB-2 および OB-3 の坑口圧力計の校正、坑口装置の保守点検、坑内機器の回収・点検および坑内地震計設置後のチェックショットを表 4.1-15 に示す日程で実施した。

OB-1 については、2018 年度の回収・点検後、比較的大きな観測値の上昇が見られたことから、観測値が安定するまでの経過を観察するために 2019 年度の回収・点検を実施していないので、2020 年度は 2 年ぶりの回収・点検となる。

各坑井において、PPS26; SOS 温度・圧力センサを新規に設置した。シリコン圧力センサは、2020 年 2 月に OB-3 で交換導入した機種を OB-1 と OB-2 にも交換導入した。

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	10 月 5～28 日	10 月 7 日	10 月 19～27 日	10 月 28～29 日
OB-2	10 月 5～28 日	10 月 6 日	10 月 12～16 日	10 月 28 日
OB-3	10 月 5～28 日	10 月 6 日	10 月 5～10 日	2 月 29～30 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。

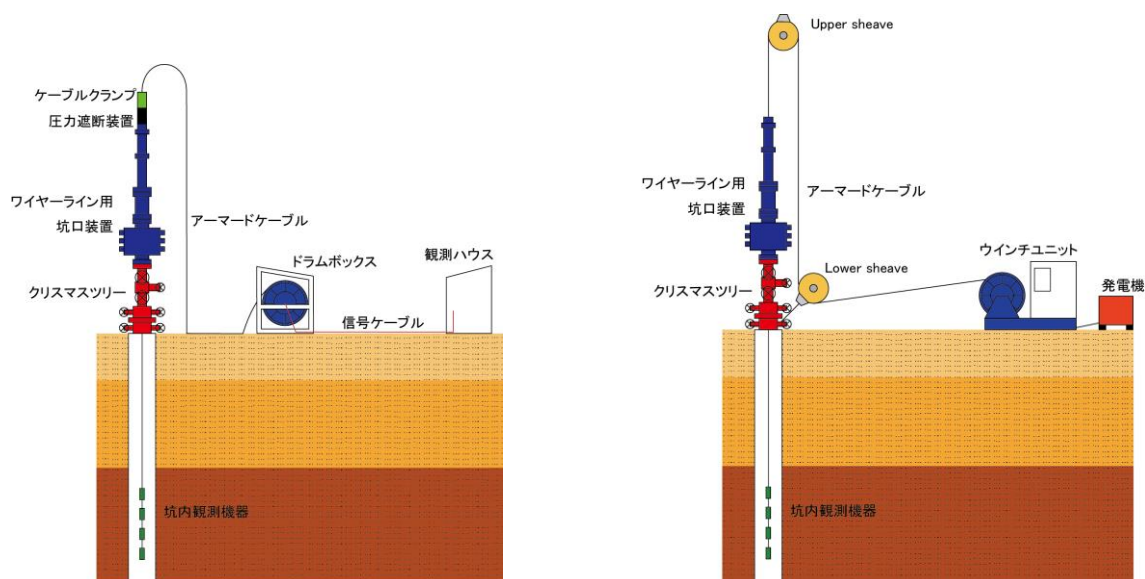


図 4.1-22 坑内機器の回収作業概念図（左：観測時、右：回収時）

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例を図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。

坑内機器回収作業に伴い回収作業開始前に坑内圧力を解放した。OB-3の坑内には圧力が発生しており、開放時の坑内排水量は2019年と同様の約250Lであった。

点検では、OB-1およびOB-3の微小振動・自然地震観測ツールとOB-3のITCに不具合

が見られたため予備品に交換した。ケーブルヘッドやその内部に組み込まれているFBGセンサーや置き換えた伝送方式の異なる半導体圧力センサは、較正器による出力値の確認を行った。

OB-1は、観測値の推移を確認するため2019年度の回収点検を実施しなかったことから、約2年間ぶりの回収点検となったため、坑口装置のうち、上部にある圧力遮断装置固定用クロスオーバーサブのねじ部の腐食が進んでおり、錆び落とし整備を実施した。加えて、巻上げ前にケーブルの状態を確認したところ、地上部分のアーマードケーブル外層に錆が顕著に認められたため、ケーブルの劣化により巻取り時にケーブルが破断する可能性がある判断した。そのため、地上部分がドラムに巻き取られるまで（約128 m）、尺取りでケーブルを巻き上げるとともに、OB-2で使用していたアーマードケーブルに入れ替えた。OB-2には、残長1750 mの予備アーマードケーブルを使用した。また、OB-2の坑口装置のうち、BOPの一部の部品に腐食が確認されたため、予備品に交換した。アーマードケーブルの交換実績を図4.1-26に示す。

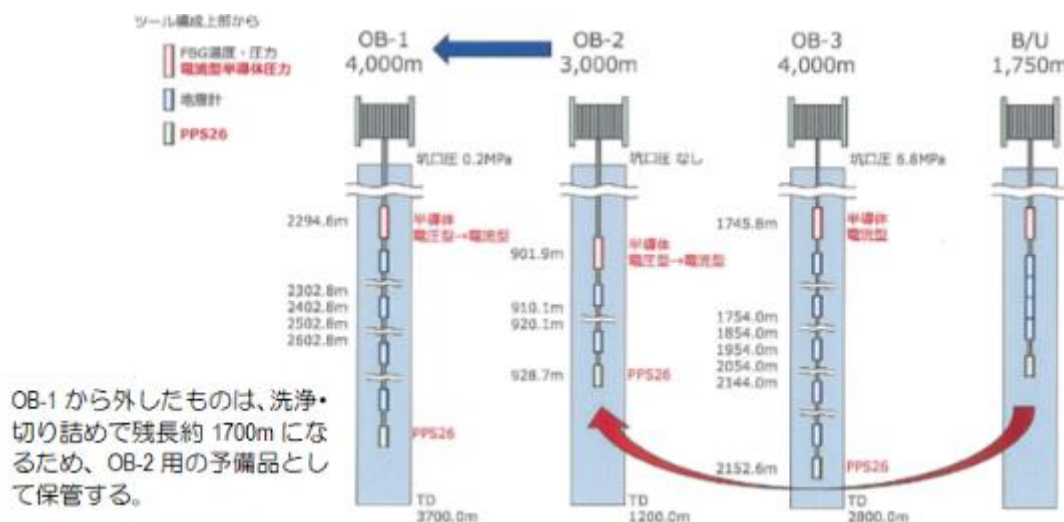


図 4.1-26 2020 年度アーマードケーブルの交換実績

② DTS のキャリブレーション

DTS で求められる温度分布は、光ファイバ線上の温度であることから、深度キャリブレーションによりケーブル長（地上側端点からの長さ）を深度に変換する必要がある。深度キャリブレーションでは、図 4.1-27 に示すように地表点でアーマードケーブルにリボンヒータを巻いて昇温させ、昇温点から地表までのケーブル長を決定し、既知である地表からケーブルヘッドまでのケーブル長から観測区間（地表～ケーブルヘッドの区間）のケーブル長と深度の関係を決める。また、地表の温度（外気温）とケーブルヘッド設置位置の温度（ケーブルヘッドに組み込まれた FBG センサで計測される温度）による温度キャリブレーションを行う。図 4.1-28 に深度・温度キャリブレーション実施時のケーブル長と温度の関係例を示す。深度キャリブレーションおよび温度キャリブレーションは、年に 1 回実施する観測システム全体の点検・整備時に実施した。



図 4.1-27 リボンヒータによる地表点のアーマードケーブルの昇温の様子

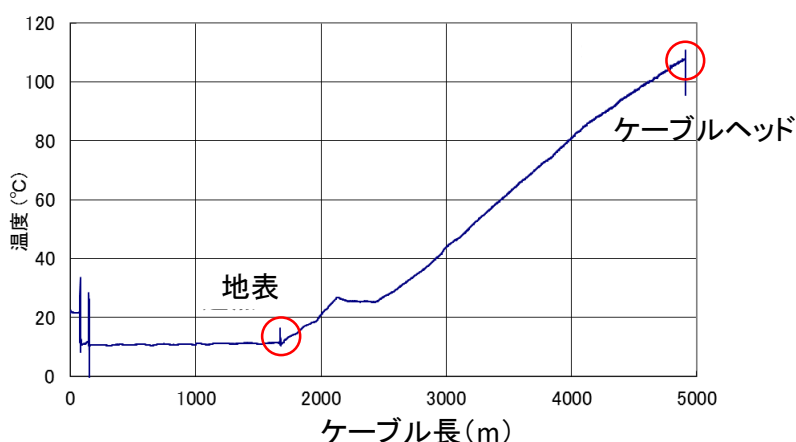


図 4.1-28 深度・温度キャリブレーション実施時のケーブル長と温度の関係例

③ 坑口圧力計の点検

2020年10月6日～7日に坑口圧力計の点検および校正作業を実施した。表 4.1-16 に実施内容を示す。各センサに異常は確認されなかった。

表 4.1-16 坑口圧力計の点検および校正内容

対象部	点検の内容
圧力伝送器	<ul style="list-style-type: none"> ・実圧力による圧力伝送器の入出力校正試験 ・ゼロ点調整 ・目視による機器取付状態の確認 ・伝送器ケース、Oリングの腐食、劣化の確認 ・ケーブル被服および端子部の損傷の有無の確認 ・ネジの締付け状況の確認および端子増し締め ・伝送器表示部にエラーが発生していないことの確認
フランジ受圧部	・フランジおよびダイアフラム（受圧部）の目視点検および清掃点検
ボルトナット	<ul style="list-style-type: none"> ・ボルトナット部の腐食状況の確認およびグリスアップ ・腐食の激しいボルトを交換
デストリビュータ	・模擬入力によるデストリビュータ単体入出力校正試験
ループテスト	・圧力伝送器～デストリビュータ出力間のループテスト

④ OB-3 回収流体注入作業

OB-3については、これまで、坑内に溜まっている被圧された流体を排出して内圧を払うことにより、約 7 MPa の坑口圧力を大気圧まで減圧してから、坑内観測機器の回収・点検を実施してきた。これに伴い、坑内観測機器の再設置後に坑底圧力が回復するまで半

年近くあるいはそれ以上の期間を要していた。

2020年度は、この圧力回復期間を短縮することを意図して、坑内観測機器の再設置後に、回収した流体を坑内に注入して坑口圧力低下を補償することを試みた。

実際には、坑内流体払い前の坑口圧力（約 6.8 MPa）に戻るまで、1時間ほどかけて、徐々に流体注入を行い、結果として、約 100 L の回収流体を注入した。坑口圧力は、注入終了後 5 日間で、約 5.8 MPa まで減少した。この回収流体の坑内注入による補償効果が現れたためか、回収前の 10 月初めにおける約 29MPa の坑底圧力が、3 月末時点で約 28.5MPa まで回復した。

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 2020 年 10 月 28～30 日に実施した。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 4.1-29 に大型油圧インパクト（JMI-400）を示す。図 4.1-30 にチェックショットの発振点を示す。表 4.1-17 にチェックショット発振点の座標を示す。OB-1 は斜坑であるため、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 4.1-31 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 θ 、伏角を ϕ 、軸周り回転角を ψ 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 α 、 β 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。

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

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

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

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

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 4.1-18 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 は斜坑であるため、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 4.1-19 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 4.1-29 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 4.1-30 チェックショット発振点位置

表 4.1-17 チェックショット発振点の座標と発振回数

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	-49711.871	-151720.271	8.00
OB-2-SP-2	50	-49201.814	-151890.836	7.70
OB-2-SP-3	100	-49567.704	-151887.306	7.60
OB-2-SP-4	150	-48489.293	-151882.585	7.30
OB-2-SP-5	150	-48258.369	-151865.373	7.30
OB-3-SP-1	300	-44237.154	-152104.153	2.90
OB-3-SP-2	300	-43949.528	-152054.761	3.20
OB-3-SP-3	100	-42403.872	-151762.614	0.70
OB-3-SP-4	100	-39770.391	-153001.923	2.60
OB-3-SP-5	200	-39365.841	-152385.894	3.50

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

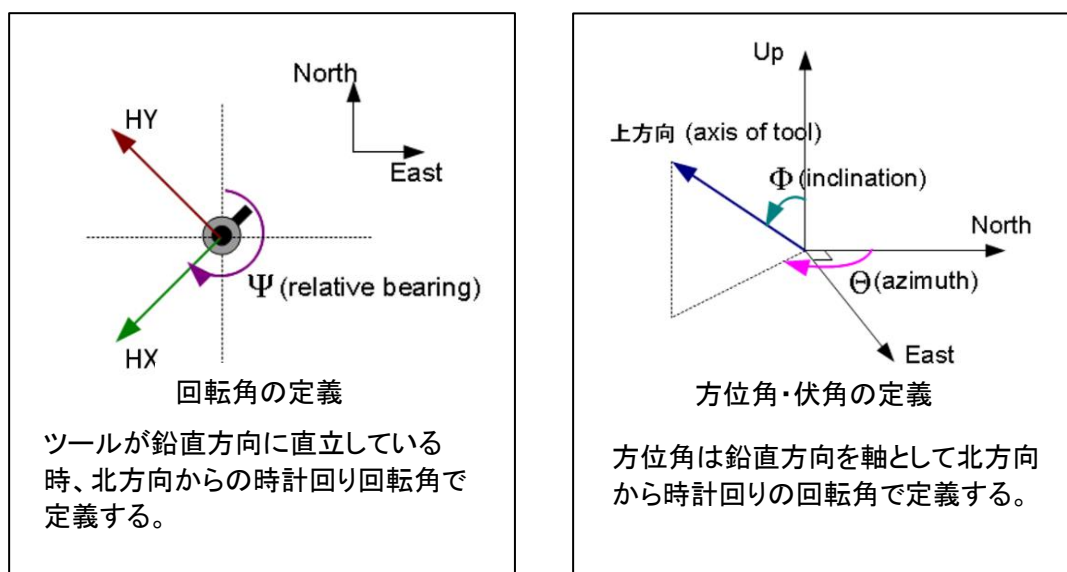


図 4.1-31 方位角、伏角および回転角の定義

表 4.1-18 坑内地震計回転角推定結果

発振 No	Length	OB-1-1	OB-1-2	OB-1-3	OB-1-4	
OB-1-SP-1	30msec	60.6	156.485	141.215	354.095	
平均値	[deg]	60.6	156.485	141.215	354.095	
発振 No	Length	OB-2-1	OB-2-2			
OB-2-SP-1	20msec	16.02	218.46			
OB-2-SP-2	20msec	339.325	211.165			
OB-2-SP-3	20msec	37.12	214.695			
OB-2-SP-4	30msec	353.075	216.33			
OB-2-SP-5	30	349.235	210.36			
平均値	30msec	2.955	214.202			
標準偏差	[deg]	20.891	3.062			
発振 No	Length	OB-3-1	OB-3-2	OB-3-3	OB-3-4	OB-3-5
OB-3-SP-1	40msec	97.28	134.815	354.64	298.42	130.525
OB-3-SP-2	40msec	90.735	137.635	358.21	301.16	131.65
OB-3-SP-3	30msec	89.955	138.885	358.89	300.455	132.69
OB-3-SP-4	20msec	83.465	134.63	349.44	290.59	123.22
OB-3-SP-5	20msec	90.51	133.615	356.02	297.29	127.3
平均値	[deg]	90.389	135.916	355.440	297.583	129.077
標準偏差	[deg]	4.376	1.997	3.363	3.761	3.442

注) 単位は (deg)。

表 4.1-19 坑内地震計設置座標および設置方位

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	60.600
	No.2	-51,460.44	-153,638.47	-2,083.08	319.99	41.98	156.485
	No.3	-51,417.34	-153,689.77	-2,157.30	319.81	42.16	141.215
	No.4	-51,374.14	-153,741.19	-2,231.40	320.12	42.19	354.095
OB-2	No.1	-49,471.59	-151,993.01	-900.95	0.00	6.00	357.956
	No.2	-49,471.59	-151,993.01	-910.95	0.00	0.00	214.202
OB-3	No.1	-41,216.32	-152,643.45	-1,751.27	144.78	1.07	90.389
	No.2	-41,217.88	-152,642.16	-1,851.24	119.72	1.40	135.916
	No.3	-41,220.68	-152,641.19	-1,951.20	100.68	2.04	355.440
	No.4	-41,224.86	-152,640.66	-2,051.11	95.96	2.93	297.583
	No.5	-41,229.95	-152,640.09	-2,140.95	98.13	3.57	129.077

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が、検討の結果、OB-2-1-No.1 は実際のツール設置状況をより正確に反映していると考えられる 6° を選定。

(6) その他点検

全観測井に設置している坑口装置保持鉄塔の点検作業を 2020 年 10 月 21 日に実施した。その結果、坑口装置保持鉄塔にボルトの緩みや変形・亀裂等の異常は確認されなかった。

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)~(4)に 2020 年度の OB-1、OB-2 および OB-3 の各観測井におけるモニタリングの結果を示す。

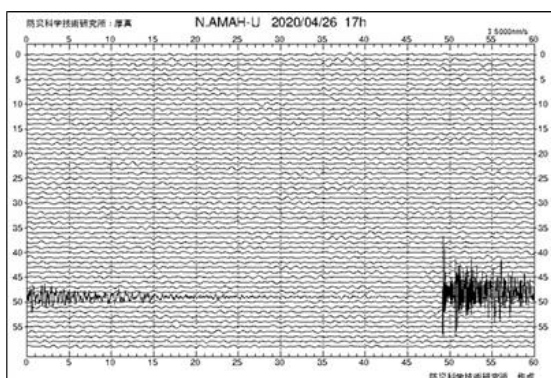
(1) 地震計によるモニタリング

① 地震計によるモニタリング事例

2020 年 4 月 26 日 17:48:44 に北海道苫小牧沖を震源としたマグニチュード 2.9 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 4.1-32 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。

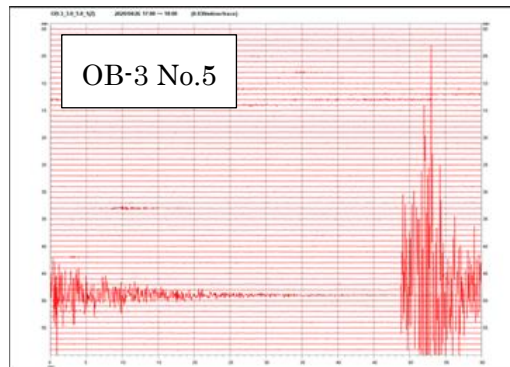
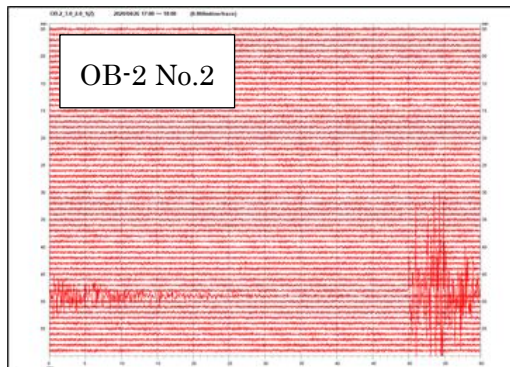
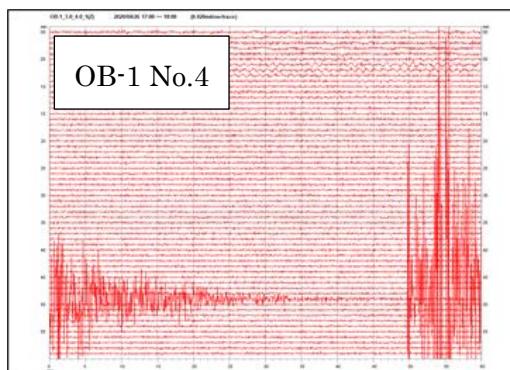


2020年4月26日 17:48:44 発生
震源；北海道苫小牧沖 M=2.9
出典：気象庁 HP



Hi-net「厚真」受振波形
出典：防災科学技術研究所 HP

図 4.1-32 例示地震の観測波形



なお、観測井では、地震計データ収録ソフトの再起動、坑内機器回収・点検および不具合対応等のため、表 4.1-20 (1)、(2)に示す期間に欠測が発生した。

表 4.1-20 (1) 地震計モニタリングの欠測期間と理由

観測井	欠測期間	欠測理由
OB-1	2020/04/01 00:00 ~ 04/01 08:51	Windows アップデートが原因で収録停止の可能性
	2020/05/07 09:30 ~ 05/07 09:50	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/06/01 09:27 ~ 06/01 11:25	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/06/30 10:14 ~ 06/30 10:19	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/07/20 17:14 ~ 07/20 17:26	RAID 構成エラーのため NAS 交換および収録 PC 再起動
	2020/07/27 09:24 ~ 07/27 12:20	No.4 ツールのデータ不調によるシステム再起動
	2020/09/03 09:30 ~ 09/03 09:42	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/10/12 10:13 ~ 10/12 16:43	No.4 ツールのデータ不調によるシステム再起動
	2020/10/19 08:31 ~ 10/25 15:26	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
	2020/10/26 08:18 ~ 10/27 14:39	No.3 微小振動・自然地震観測センサ交換
	2020/10/30 08:49 ~ 10/30 10:52	チェックショット作業の実施
	2020/11/03 14:50 ~ 11/04 09:31	ソフトウェア不調による収録停止と PC 再起動
	2020/12/02 09:26 ~ 12/02 09:31	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/12/10 14:26 ~ 12/10 14:51	ノイズ調査の実施
	2021/01/05 08:27 ~ 01/05 08:30	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2021/02/01 16:09 ~ 02/01 16:13	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2021/03/01 10:03 ~ 03/01 10:06	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
2021/03/18 00:33 ~ 03/19 11:14	CCL 通信不良による再起動	
OB-2	2020/04/01 00:00 ~ 04/01 08:48	Windows アップデートが原因で収録停止の可能性
	2020/05/07 09:59 ~ 05/07 10:02	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/06/01 18:02 ~ 06/01 18:06	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/06/30 10:22 ~ 06/30 10:26	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/08/07 09:19 ~ 08/07 09:22	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/09/03 13:50 ~ 09/03 13:54	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/10/06 15:48 ~ 10/06 08:50	GPS タイムロガーAC プラグの接続不良改善
	2020/10/12 08:45 ~ 10/16 15:49	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
	2020/10/28 09:00 ~ 10/28 13:34	チェックショット作業の実施
	2020/12/02 09:32 ~ 12/02 09:35	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/12/04 12:40 ~ 12/04 12:44	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2021/01/05 08:30 ~ 01/05 08:33	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2021/02/01 16:14 ~ 02/01 16:17	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2021/03/01 10:07 ~ 03/01 10:10	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2021/03/30 10:30 ~ 03/30 10:30	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施

表 4.1-20 (2) 地震計モニタリングの欠測期間と理由

観測井	欠測期間	欠測理由
OB-3	2020/04/01 00:00 ~ 04/01 08:55	Windows アップデートが原因で収録停止の可能性
	2020/05/07 10:04 ~ 05/07 10:27	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/06/01 18:02 ~ 06/01 18:08	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/06/30 09:57 ~ 06/30 10:12	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/08/07 09:24 ~ 08/07 09:24	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/09/04 10:37 ~ 09/04 10:41	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/10/05 08:53 ~ 10/10 15:26	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
	2020/10/12 09:40 ~ 10/12 09:41	収録ファイルから CCL データの除外
	2020/10/30 08:49 ~ 10/30 10:52	チェックショット作業の実施
	2020/11/12 06:53 ~ 11/12 07:05	ノイズ調査の実施
	2020/11/29 09:12 ~ 11/29 10:17	北海道電力による再閉路保護装置取替に伴う停電
	2021/01/05 06:53 ~ 01/05 08:37	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2021/02/01 16:16 ~ 02/01 16:23	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2021/02/16 20:07 ~ 02/17 08:44	停電
	2021/03/01 10:13 ~ 03/01 10:15	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2021/03/30 10:09 ~ 03/30 10:26	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施

② OB-1 微小振動・自然地震観測ツール加速度センサ値の確認

図 4.1-33 に 2017 年から 2020 年までの OB-1 のツール回転角を示す。加速度センサの値は安定しており、故障等により大きく値が変わるようなデータ異常は確認されなかったものの、OB-1 微小振動測定器の加速度センサから計算されるツール回転角が、2020 年 1 月 21 日の弾性波探査における海域発振によるショット波形から計算されるツール回転角と異なっていることが確認された。

これらのツールは、2020 年 10 月の坑内観測機器回収・点検・再設置作業時に回収して地上テストを実施し、加速度センサ値が正常であることを確認した。ツール回転角が海域発振によるショット波形から計算されるもの異なる原因は不明である。対策として、2020 年度からチェックショットによるツール回転角の確認を実施し、ツール設置後のツール回転角を加速度センサと合わせて確認することとした。

2020 年 10 月に実施した坑内観測機器回収・点検・再設置作業で回収した微小振動・自然地震観測ツールについて、図 4.1-34 に示す方法で、地上で回転角チェック機材を使用してツール回転角と加速度センサの値を測定した。測定したツールの回転角を表 4.1-21 に示す。異常な値は確認されず、地上試験では正常な値を示した。回収直後に地上において微

小振動・自然地震観測ツールを横倒した状態で加速度センサの値とツール回転角を比較したが、今回の測定値と大きく異なる値ではなかった。

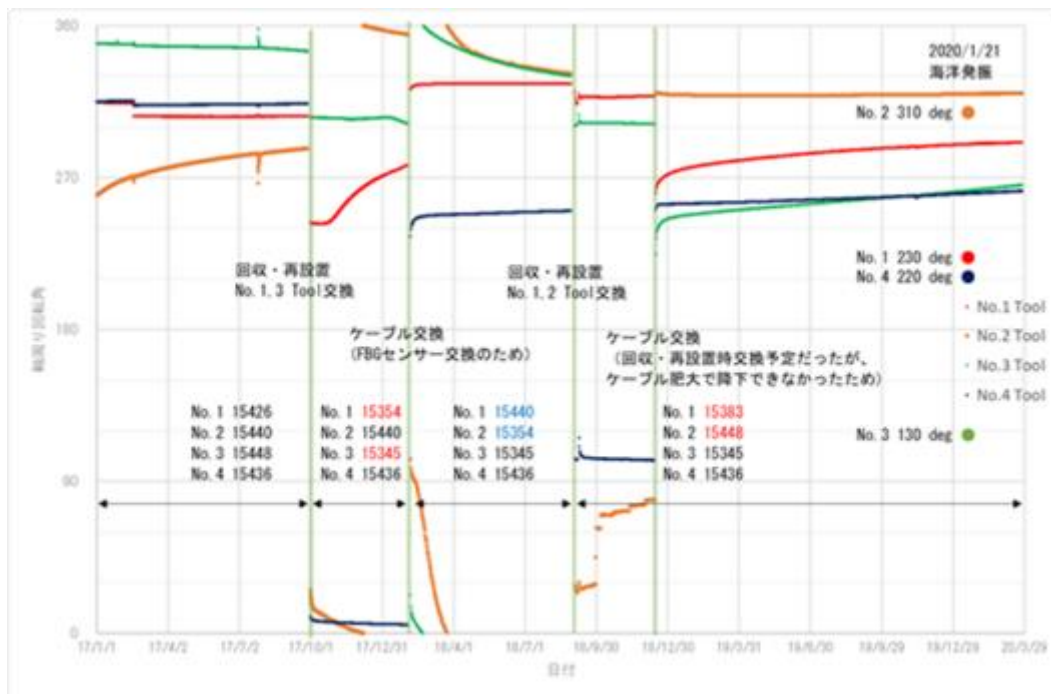


図 4.1-33 OB-1 微小振動・自然地震観測ツール回転角




図 4.1-34 ツール回転角確認作業模式図と回転角チェック機材

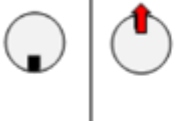
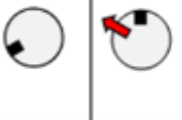
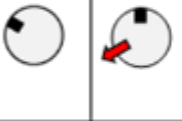
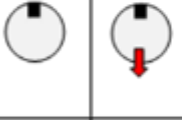

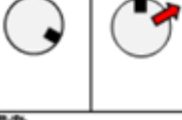
表 4.1-21 加速度センサチェック表（ツール回収後）

実施日: 2020/10/22

地上装置: GeoRes 16

作業者:



		角度		15383	15448	15345	15436
	0	V	0.816	0.8404	0.8239	0.8181	
		X	-0.573	-0.5414	-0.5664	-0.5721	
		Y	-0.068	0.0212	-0.0161	-0.0582	
		回転	-6.8	2.2	-1.6	-5.8	
	60	V	0.804	0.8302	0.7865	0.8115	
		X	-0.288	-0.3094	-0.2818	-0.2886	
		Y	0.520	0.4636	0.5495	0.5079	
		回転	61.1	56.3	62.8	60.4	
	120	V	0.723	0.7929	0.7274	0.7531	
		X	0.381	0.3225	0.4402	0.3343	
		Y	0.576	0.5168	0.5262	0.5666	
		回転	123.5	122.0	129.9	120.5	
	180	V	0.786	0.7531	0.7415	0.7405	
		X	0.611	0.6577	0.6707	0.6715	
		Y	-0.098	0.0123	-0.0172	0.0265	
		回転	-170.9	178.9	-178.5	177.7	
	-120	V	0.773	0.7386	0.7414	0.7355	
		X	0.392	0.3965	0.4236	0.3879	
		Y	-0.499	-0.5452	-0.5204	-0.5555	
		回転	-128.2	-126.0	-129.1	-124.9	
	-60	V	0.792	0.7006	0.788	0.7298	
		X	-0.197	-0.2584	-0.1814	-0.3258	
		Y	-0.578	-0.665	-0.5882	-0.601	
		回転	-71.2	-68.8	-72.9	-61.5	
備考: 2020年度ツールメンテナンス時に回収したツール。							

2020年10月の坑内観測機器再設置前に、回収した機器と同様の地上試験を実施した。試験結果を表4.1-22に示す。OB-1とチェックショット発振場所の位置を図4.1-35に、再設置後の坑内ツールの回転角とインパクトによるチェックショット結果を図4.1-36に示す。センサ値およびチェックショット記録からの計算値に大きな差はないことが確認され

た。

表 4.1-22 加速度センサチェック表（ツール再設置前）














実施日: 2020/10/22							
地上装置: GeoRes 16							
作業者:							
		角度		15093	15366	15097	15266
		0	V	0.699	0.7982	0.8032	0.8532
			X	-0.715	-0.6022	-0.5957	-0.5215
			Y	0.019	-0.0096	0.0011	-0.0011
			回転	1.5	-0.9	0.1	-0.1
		60	V	0.726	0.7556	0.8175	0.8179
			X	-0.344	-0.289	-0.3166	-0.3189
			Y	0.596	0.5877	0.481	0.4788
			回転	60.0	63.8	56.6	56.3
		120	V	0.673	0.7307	0.8014	0.6659
			X	0.361	0.3176	0.2962	0.3795
			Y	0.646	0.6043	0.5196	0.6422
			回転	119.2	117.7	119.7	120.6
		180	V	0.660	0.7752	0.7662	0.646
			X	0.752	0.6309	0.6405	0.7608
			Y	-0.008	0.0315	-0.0513	0.062
			回転	-179.4	177.1	-175.4	175.3
		-120	V	0.657	0.8065	0.7491	0.715
			X	0.368	0.2623	0.333	0.3478
			Y	-0.658	-0.5298	-0.5726	-0.6064
			回転	-119.2	-116.3	-120.2	-119.8
		-60	V	0.688	0.8018	0.8102	0.8067
			X	-0.357	-0.3308	-0.316	-0.2988
			Y	-0.632	-0.4975	-0.4935	-0.5098
			回転	-60.6	-56.4	-57.4	-59.6
備考: 2020年度ツールメンテナンス後に設置するツール。							



図 4.1-35 OB-1 とチェックショット発振場所位置

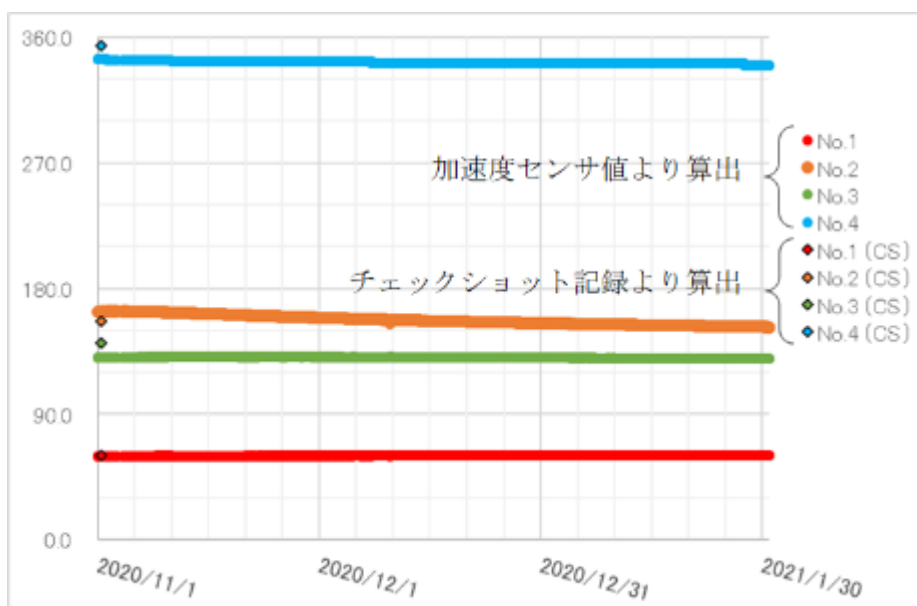


図 4.1-36 加速度センサ値とチェックショットから計算したツール回転角の比較

(2) 圧力モニタリング

各観測井ではFBGセンサ、シリコン圧力センサ、PPS26センサおよび坑口圧力センサによる圧力モニタリングを実施した。2020年度の観測において、OB-1、OB-2およびOB-3における圧力の観測は順調に実施できたが、表 4.1-23 (1)~(3)に示す欠測が生じた。

表 4.1-23 (1) OB-1 の圧力データの欠測期間と欠測理由

機器	欠測期間	欠測理由
FBG センサ	2020/07/20 13:31 ~ 07/21 13:30	地上器入替および調整
	2020/10/19 08:32 ~ 10/25 17:27	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
	2020/10/26 09:31 ~ 10/27 14:44	No.3 微小振動・自然地震観測センサ交換
Silicon センサ	2020/06/01 09:33 ~ 06/01 11:04	微小振動・自然地震収録システム再起動
	2020/07/27 09:29 ~ 07/27 12:20	微小振動・自然地震収録システム再起動
	2020/10/12 10:13 ~ 10/12 16:43	微小振動・自然地震収録システム再起動
	2020/10/19 08:34 ~ 10/25 16:23	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
	2020/10/26 10:42 ~ 10/27 16:00	No.3 微小振動・自然地震観測センサ交換
PPS26 センサ	2020/10/25 16:23 ~	坑内観測機器回収・点検・再設置作業で新設
	2020/10/26 10:42 ~ 10/27 14:23	No.3 微小振動・自然地震観測センサ交換
	2020/12/10 13:30 ~ 12/10 14:45	微小振動・自然地震観測データへのノイズ調査
	2021/01/04 01:53 ~ 03/31 24:00	ツールとの通信不能（地上器等の再起動でも再開不能）
坑口 センサ	2020/10/19 08:34 ~ 10/25 16:23	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
	2020/10/26 10:42 ~ 10/27 14:23	No.3 微小振動・自然地震観測センサ交換

表 4.1-23 (2) OB-2 の圧力データの欠測期間と欠測理由

機器	欠測期間	欠測理由
FBG センサ	2020/04/01 00:00 ~ 04/01 08:48	Windows アップデートが原因で収録停止の可能性
	2020/05/07 09:59 ~ 05/07 10:02	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/06/01 18:02 ~ 06/01 18:06	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/06/30 10:22 ~ 06/30 10:26	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/08/07 09:19 ~ 08/07 09:22	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/09/03 13:50 ~ 09/03 13:54	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
	2020/10/06 15:48 ~ 10/06 18:50	GPS タイムロガーAC プラグの接続不良改善
	2020/10/12 08:45 ~ 10/16 15:49	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
	2020/10/28 09:00 ~ 10/28 13:34	チェックショット作業の実施
	2020/12/02 09:32 ~ 12/02 09:35	システム再起動時の自動測定再開確認及び調整
	2021/01/05 08:30 ~ 01/05 08:33	システム再起動時の自動測定再開確認及び調整
Silicon センサ	2020/10/12 08:44 ~ 10/16 15:36	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
PPS26 センサ	2020/10/16 15:32 ~	坑内観測機器回収・点検・再設置作業で新設
坑口 センサ	2020/10/12 08:44 ~ 10/16 15:36	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施

表 4.1-23 (3) OB-3 の圧力データの欠測期間と欠測理由

機器	欠測期間	欠測理由
FBG センサ	2020/10/05 08:43 ~ 10/10 16:36	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
	2020/10/18 01:43 ~ 10/18 02:52	収録ソフトの停止
	2020/08/16 17:22 ~ 08/17 08:55	システム再起動時の自動測定再開確認及び調整
	2021/02/16 20:05 ~ 02/17 02:00	停電
	2021/03/30 10:09 ~ 03/30 10:26	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施
Silicon センサ	2020/ 10/05 08:49 ~ 10/10 17:02	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
PPS26 センサ	2020/10/10 15:18 ~	坑内観測機器回収・点検・再設置作業で新設
坑口 センサ	2020/10/05 08:49 ~ 10/10 15:20	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
	2021/02/16 19:57 ~ 02/17 01:55	停電

圧力モニタリングにおける特記事項を①～③に示す。

① OB-1 における坑内圧力値

OB-1 における FBG センサの圧力値は、年 1 回の頻度で実施する坑内観測機器回収・点検・再設置作業の度に、時間とともに下降傾向にあることが確認されていた。このため、ケーブルヘッド内に組み込まれた FBG センサやアーマードケーブルを交換したが、坑内観測機器の再設置後は、FBG センサ圧力値は同様に下降傾向を示した。

最初に導入した FBG 地上機は頻繁に故障が発生していたこともあり、長期間安定した観測を実施するために、2018 年度に FBG 地上機を共和電業(株)製の EFOX-1000B-4EV と予備 FBG センサに交換し、2018 年 12 月より運用を開始した。図 4.1-37 に 2018 年 2 月 1 日～2020 年 1 月 31 日までの OB-1 の坑口圧力および坑内圧力値を示す。2018 年 12 月に実施した FBG 地上機代替機導入以降も FBG センサ圧力値の低下が確認されている。

このため、2020 年度には、OB-1 と OB-2 においても、ノイズが大きかったシリコン圧力センサを、2019 年度に OB-3 に交換導入した新型のシリコン圧力センサに交換するとともに、FBG センサより精度が高い PPS26 センサを各観測井の地震計の下方に新規に導入した。

OB-2 に導入した PPS26 センサによる観測圧力を図 4.1-38 に示す。苫小牧港の潮位を圧力換算した値を併記したが、PPS26 センサは、静水圧を示す OB-2 では、潮汐変化を捉えていることが分かる。このような高精度の圧力計がアーマードケーブルを用いたワイヤーラインで設置可能になったことは、今後の観測機器の選択肢を広げるものと言える。

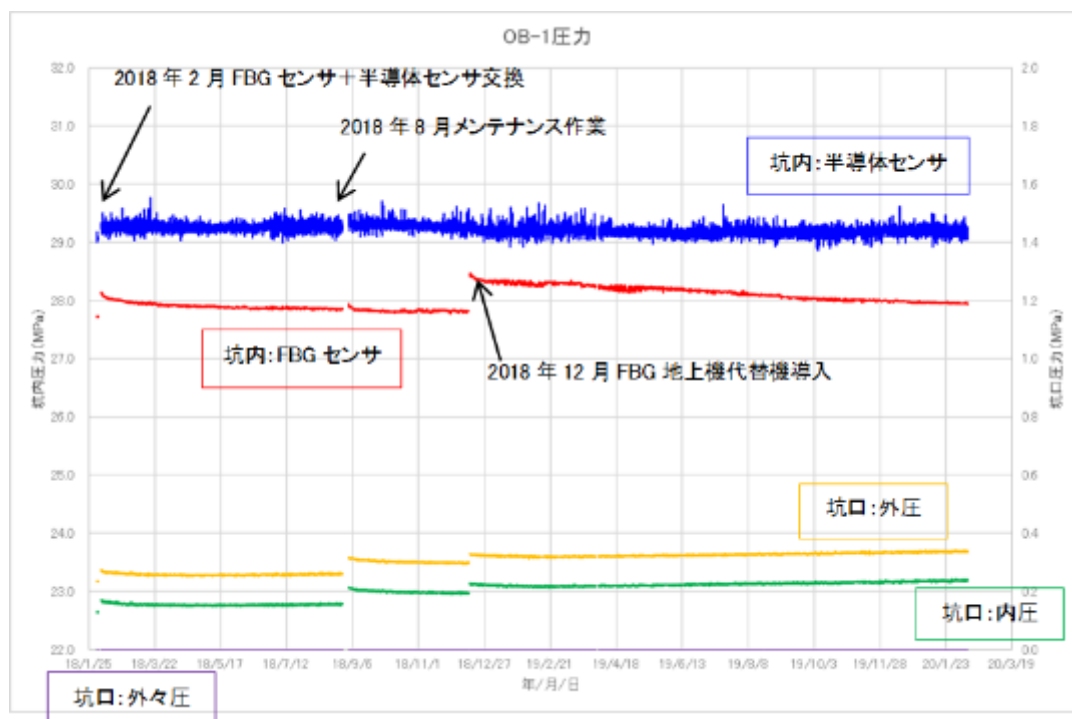


図 4.1-37 OB-1 坑内および坑口圧力値（2018年2月1日～2019年1月31日）

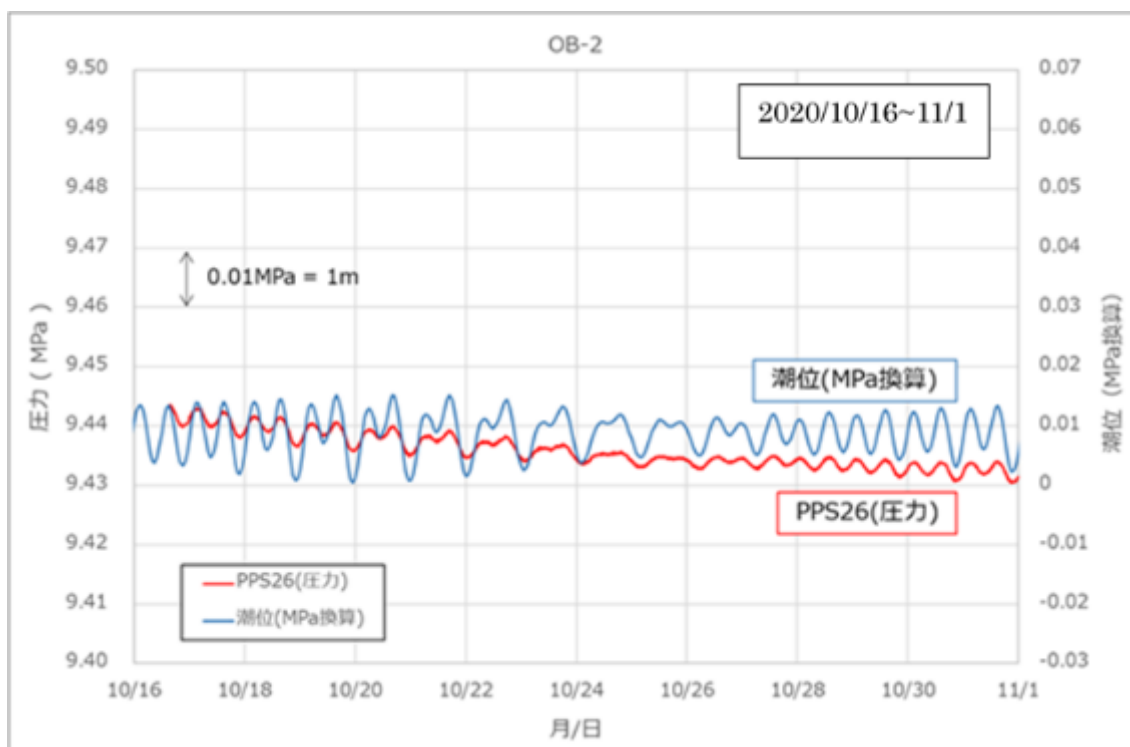


図 4.1-38 OB-2 の PPS26 センサの圧力値と苫小牧港潮位の圧力換算値

② 微小振動・自然地震観測データのパルスノイズ

全観測井で取得されている微小振動・自然地震観測データに、図 4.1-39 に示す約 2 秒間隔のパルスノイズが発生していることが確認された。この原因は、下記に示すことから、2020 年度に新規導入した PPS26 センサからの信号と考えられる。

- 1) 全観測井で発生している。
- 2) 2020 年度の坑内観測機器回収・点検・再設置作業前には確認されなかった。
- 3) PPS26 センサの電源を切るとパルスノイズが消失する。
- 4) PPS26 センサと地上装置間は約 2 秒に 1 回通信している。

対策として、地上装置のアース処理の見直しや PPS26 センサと地上装置の通信速度を下げる（PPS26 センサの電源入切を一定時間で繰り返す）こと等を試したが、効果は認められなかった。また、PPS26 センサの電源を入れた際にパルスノイズ以上のノイズが発生することと、PPS26 センサから取得される坑内温度・圧力データが安定するまで時間を要することから、総合モニタリングシステム側でパルスノイズをフィルター処理にて低減化する対策によって微小振動・自然地震観測データ解析へのパルスノイズの影響を排除することとした。

今後、パルスノイズの発生を抑制できる対策を引き続き検討して、可能であれば、2021 年度以降の坑内観測機器回収・点検・再設置作業時に対応する。

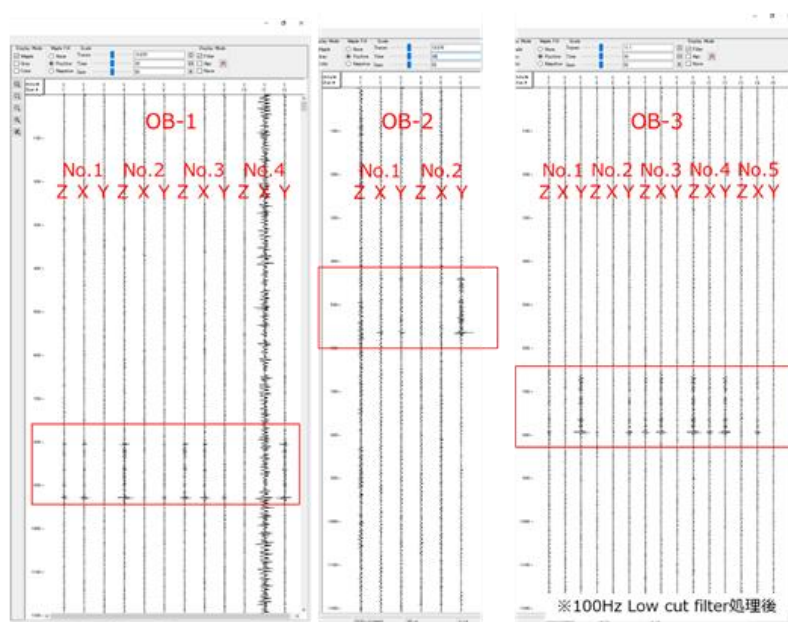


図 4.1-39 PPS26 センサにより微小振動・自然地震観測データに発生したパルスノイズ

③ OB-1 における PPS26 センサの作動停止

2021年1月4日1:50頃から、図4.1-40に示すように、OB-1のPPS26センサからの温度・圧力データがゼロになった。遠隔操作にて地上装置を再起動したが、状況は改善されなかった。

2021年2月9日～10日の現地での定期点検時に予備のPPS26センサと地上装置を用いて動作テストを実施したところ、坑内に設置しているPPS26センサに不具合があることが確認された。また、PPS26センサへの供給電流は通常11mAであるが、104mAを示していたため、坑内でショート（電圧24V / 電流104mA = 230Ω）している可能性が認められた。2021年度の坑内の坑内観測機器回収・点検・再設置作業時に予備機に交換するとともに、原因を究明する。

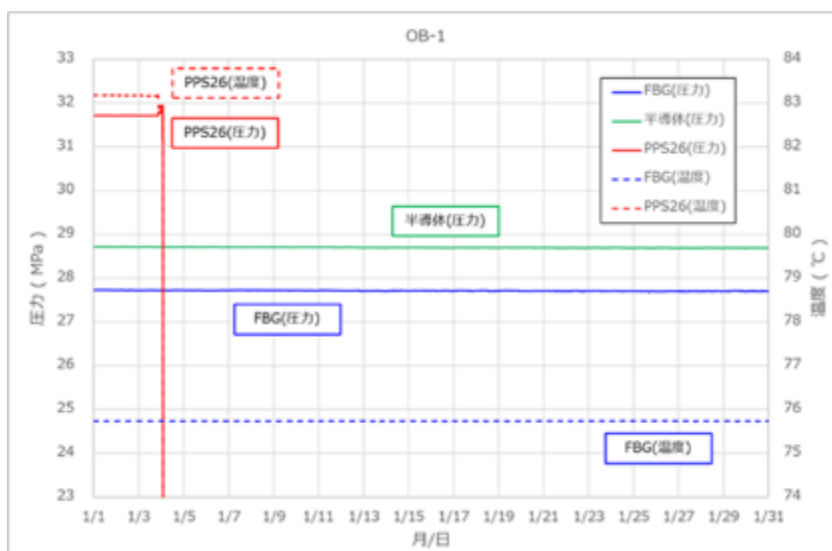


図 4.1-40 OB-1 坑内圧力・温度データ（2021年1月1日～31日）

(3) 温度モニタリング

温度データは、FBG センサと DTS センサにより取得してきた。2020年10月の回収・点検以降は PPS26 センサでも取得している。

各観測井で取得した温度データの例として、図4.1-41にOB-1のFBGセンサ（深度2,294.6m）、DTS（深度2,200m、1,900m、1,700m、1,500m、1,300m、1,100m、900m、700m、500m、300mおよび100m）およびPPS26センサ（深度2,294.6m）の温度データ、図4.1-42にOB-2のFBGセンサ（深度901.9m）、DTS（深度900m、700m、500m、300mおよび100m）およびPPS26センサ（深度2,294.6m）の温度データおよび図4.1-43にOB-3のFBGセンサ（深度1,745.8m）、DTS（深度1,700m、

1,500 m、1,300 m、1,100 m、900 m、700 m、500 m、300 m および 100 m) および PPS26 センサ（深度 2,294.6 m）の温度データの 2020 年 11 月の推移を示す。

FBG 温度センサの欠測期間と欠測理由を表 4.1-24 に示す。

PPS26 センサの欠測期間と欠測理由を表 4.1-25 に示す。

DTS の欠測期間と欠測理由を表 4.1-26 に示す。

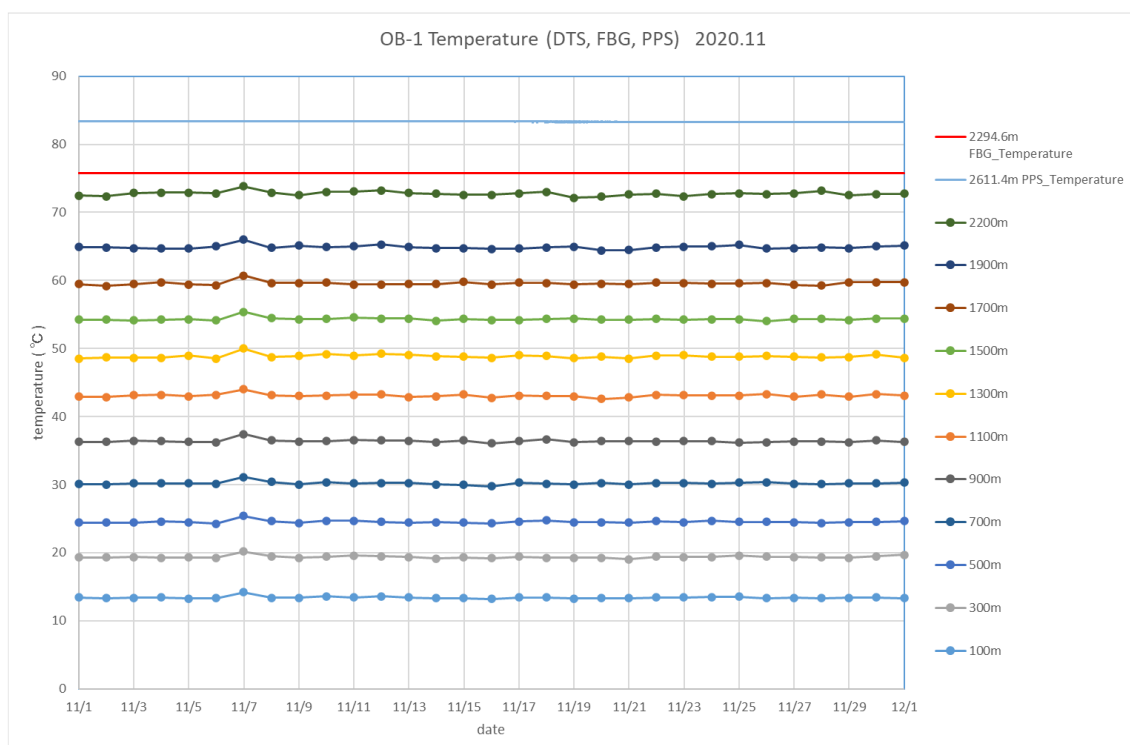


図 4.1-41 OB-1 で観測された温度データの例（2020 年 11 月）

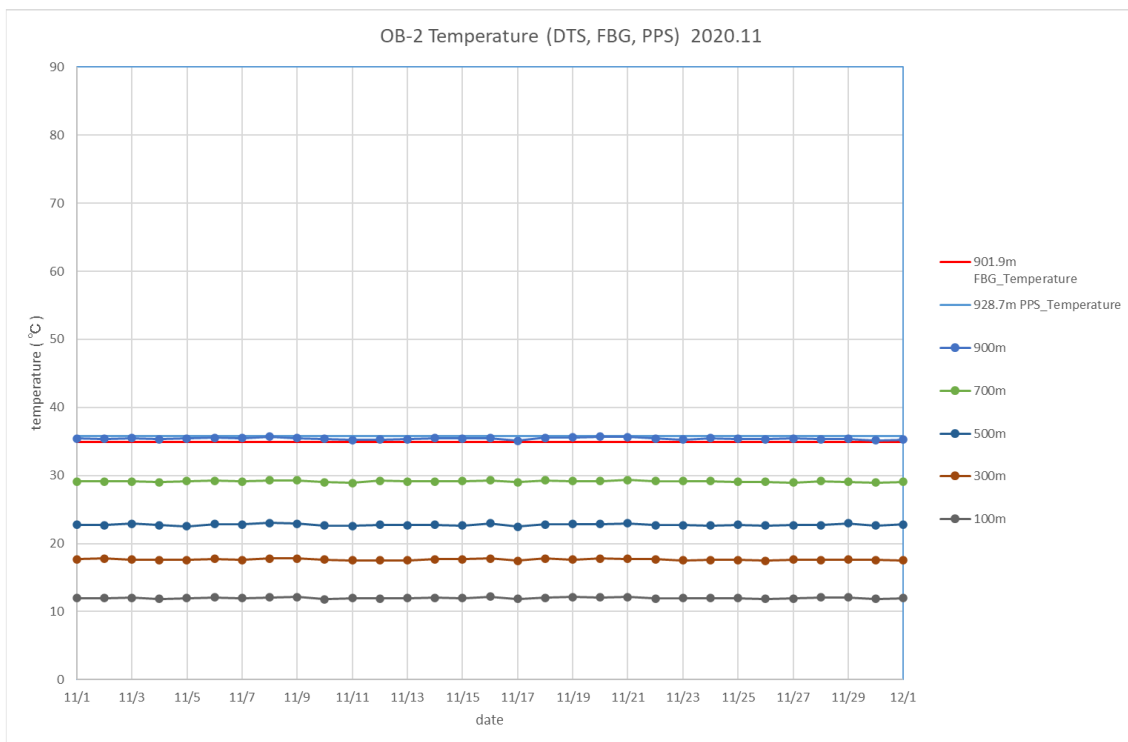


図 4.1-42 OB-2 において観測された温度データの例（2020 年 11 月）

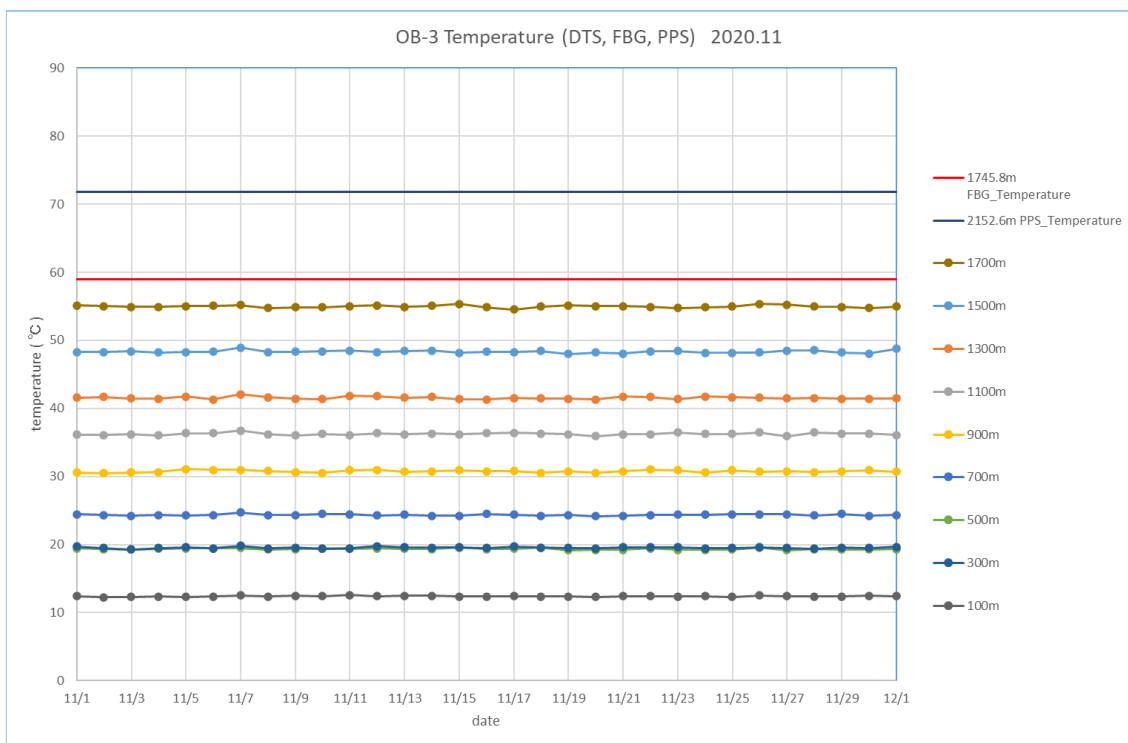


図 4.1-43 OB-3 において観測された温度データの例（2020 年 11 月）

表 4.1-24 FBG の欠測期間と欠測理由

観測井	欠測期間	欠測理由
OB-1	2020/07/20 13:31 ~ 07/21 13:30	地上器入替および調整
	2020/10/19 08:32 ~ 10/25 17:27	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
	2020/10/26 09:31 ~ 10/27 14:44	微小振動地震計 No.3 センサ交換
OB-2	2020/05/07 11:03 ~ 05/07 11:11	収録 PC の OS アップデート
	2020/05/27 16:27 ~ 05/27 17:39	収録 PC の電源部交換
	2020/10/12 08:42 ~ 10/16 16:36	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
OB-3	2020/10/05 08:43 ~ 10/10 16:36	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
	2020/10/18 01:43 ~ 10/18 02:52	収録ソフトの停止
	2020/12/02 09:36 ~ 12/02 09:39	システムメンテナンス（収録ソフトの再起動）の実施

表 4.1-25 PPS26 センサの欠測期間と欠測理由

観測井	欠測期間	欠測理由
OB-1	2020/10/25 16:23 ~	坑内観測機器回収・点検・再設置作業で新設
	2020/10/26 10:42 ~ 10/27 14:23	微小振動地震計 No.3 センサ交換
	2020/12/10 13:30 ~ 12/10 14:45	微小振動・自然地震観測データへのノイズ調査
	2021/01/04 01:53 ~ 03/31 24:00	ツールとの通信不能（地上器等の再起動でも再開不能）
OB-2	2020/10/16 15:32 ~	坑内観測機器回収・点検・再設置作業で新設
OB-3	2020/10/10 15:18 ~	坑内観測機器回収・点検・再設置作業で新設

表 4.1-26 DTS の欠測期間と欠測理由

観測井	欠測期間	欠測理由
OB-1	2020/10/19 08:20 ~ 10/25 18:00	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
	2020/10/26 09:30 ~ 10/27 14:00	微小振動地震計 No.3 センサ交換
	2021/01/04 01:53 ~ 03/31 24:00	ツールとの通信不能（地上器等の再起動でも再開不能）
OB-2	2020/10/12 08:40 ~ 10/16 18:10	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
OB-3	2020/10/05 08:50 ~ 10/10 17:20	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施

(4) 風速モニタリング

強風によりアーマードケーブルや坑口装置保持鉄塔が動く等により、坑内地震計のノイズとなっている可能性が考えられたため、2016年度に各観測井の坑口装置保持鉄塔に取り付けた風速計による観測を継続した。強風によるノイズの発生は特定できなかったが、風速計による観測は継続する。

風速計の欠測期間と欠測理由を表 4.1-27 に示す。

表 4.1-27 風速計の欠測期間と欠測理由

観測井	欠測期間	欠測理由
OB-1	2020/10/19 8:34 ~ 10/25 16:23	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
	2020/10/26 10:42 ~ 10/27 16:00	微小振動地震計 No.3 センサ交換
OB-2	2020/10/12 08:44 ~ 10/16 15:36	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施
OB-3	2020/10/5 8:49 - 10/10 15:20	坑内観測機器回収・点検・再設置作業の実施

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の観測坑の坑底に地震計を設置し、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る（以下、観測坑、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、データ収録サーバと周辺機器を設置している。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^{*1}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に伝送される。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。

*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

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、観測建屋に設置されている機器等および実証試験センターに設置したデータ収録サーバ等の詳細を以下に示す。

(1) 地震計等

図 4.2-4 に観測坑の坑底に設置した坑内地震計の外観写真と模式図を示す。また、表 4.2-1 に坑内地震計、データ伝送ケーブルおよび設置用ワイヤ等の仕様を示す。

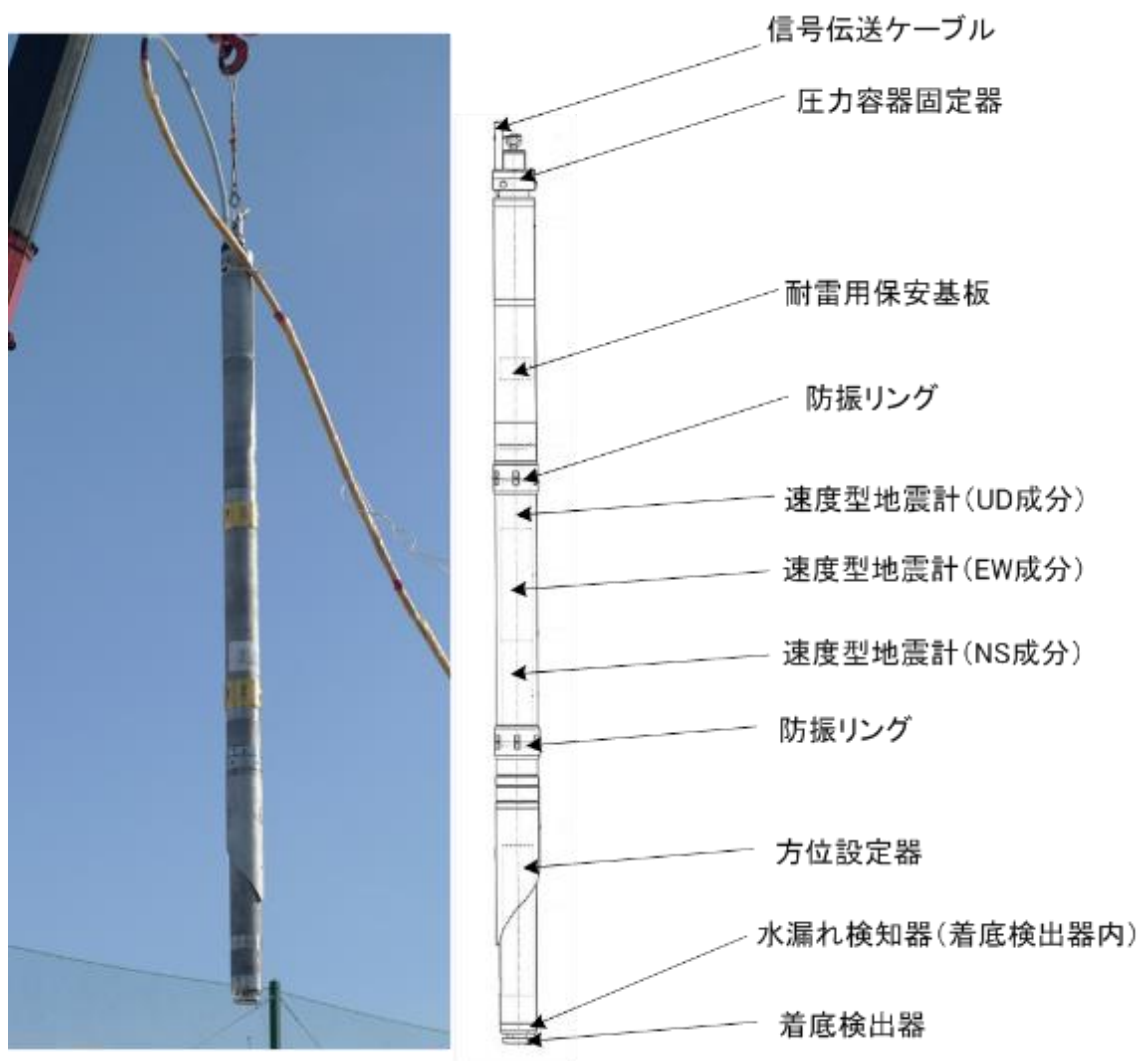


図 4.2-4 坑内地震計の外観（写真・模式図）

表 4.2-1 地震計等の仕様

項目	詳細項目	仕様
坑内地震計	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	浸水検知センサ内蔵
	設置方法	設置ケースに電動アームで固着
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	直径	φ6.3 mm
	材質	SUS304
	延長	220 m
	破断強度	約 1 t

(2) 観測建屋に設置されている機器

表 4.2-2 に、観測建屋に設置している機器の仕様を示す。陸上設置地震計観測システムは、2018年4月に運用期間が4年を迎えたことから、観測建屋内に設置されている環境監視用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 [A-10] および12Vバッテリー [A-12] を後継機（表 4.2-2 に黄色で表示）と入れ替え、ポータブル蓄電池以外の後継機器が正常に動作することを確認した。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。）を繰り返す、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る。観測建屋に設置している入れ替え後の機器の様子を図 4.2-5 に示す。



図 4.2-5 観測建屋に収納されたデータ収録関連機器

表 4.2-2 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°C～70°C 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°C～70°C 時刻補正：GPS 通信機能：UDP/TCP
[A-3] データ変換サーバ 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 GMU/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 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]（更新前） 環境監視用パソコン ThinkPad X1 Carbon Lenovo	CPU：CoreI5-4200U（1.60 GHz、3 MB） OS：Windows8.1 64 bit メモリー：4GB PC3-DDR3L（オンボード） ストレージ 128GB SSD ディスプレイ：14.0 型 HD 液晶

<p>[A5]（更新後） 環境監視用パソコン ThinkPad X280 Lenovo</p>	<p>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</p>
<p>[A-6] AC電源用リブータ WATCH BOOT nino PRC-M2C 株明京電機製</p>	<p>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</p>
<p>[A-7] DC電源用リブータ SS-LAN-RLSW-DC5AK システムサコム工業株</p>	<p>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</p>
<p>[A-8]（バッテリー部のみ交換） 無停電電源装置 Smart UPS 1500 APC</p>	<p>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</p>
<p>[A-9]（更新前） ポータブル蓄電池 M-PAC01B 日立マクセル株</p>	<p>出力電圧：AC100 V 50/60 Hz 充電電圧：100 V バッテリー：リチウムイオン電池 225 Wh 充電時間：約 9時間 動作時間：225W-60分 900W-13分 重量：12 kg</p>
<p>[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</p>	<p>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</p>
<p>[A-10]（更新前） 温度・湿度センサ MicroLite2RH 佐藤商事株</p>	<p>測定範囲：温度-40～+80℃ 湿度 5～95% 分解能：温度 0.01℃ 湿度 0.05% 精度：温度±0.3℃ 湿度±2% インターフェイス：USB2.0</p>
<p>[A-10]（更新後） 温度・湿度センサ ZN-THS-11-S（センサ部） ZN-THX-21-S（データロガー部） 株オムロン</p>	<p>電源：DC24V（ACアダプタ AC100-240V） 【センサ部】 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</p>

<p>[A-11] エアコン 室内機:F28PTDXP-W 室外機：R28PDXP/ ダイキン工業(株)</p>	<p>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</p>
<p>[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)</p>	<p>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</p>
<p>[A-13] 観測建屋 ヨド蔵 MD DZBU-1515HW 豪雪型 (株)淀川製鋼所</p>	<p>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</p>
<p>[A-14] ラック MR-1046T アイリスオーヤマ(株)</p>	<p>W1,000×D460×H1,500 mm,4 段</p>
<p>[A-15] 耐雷トランス 1STC 1-10211S (株)サンコーシャ製</p>	<p>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</p>

(3) 実証試験センターに設置されている機器

実証試験センターに設置されている機器の仕様を表 4.2-3 に示す。実証試験センターに設置されている機器も 2018 年 4 月に運用期間が 4 年を迎えたことから、データ収録サーバ [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用無停電電源装置 (UPS) [B-5] を後継機 (表 4.2-3 に黄色で表示) と入れ替え、データ収録サーバが正常に動作すること、遠隔 (メンテナンス拠点) から正常に再起動できること、および電源遮断により正常にシャットダウンすることを確認した。また、データ収録サーバから総合モニタリングシステムのサーバへのデータ伝送に関する設定を行い、WIN ファイルが総合モニタリングシステムに正常に伝送されることを確認した。データ収録サーバの 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。

2020 年度の時点で、データ収録サーバにインストールされている観測データの処理、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されたデータ収録サーバ等を図 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た機器の仕様

機器	仕様
[B-1]（更新前） データ収録サーバ PowerEdge R320 （株）DELL	CPU：Xeon E5-2430（2.2 GHz） メモリー：32 GB ストレージ：3 TB OS：Windows Server2008 64bit SP1 Red Hat Enterprise Linux Server Standard
[B-1]（更新後） データ収録サーバ 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 NVR-500 NTT 東日本（株）（YAMAHA）	対応回線：FTTH,ADSL,CATV,ISDN,IP-VAN 網, フレックスサービス、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]（更新前） データ確認用ディスプレイ P2412H/（株）DELL 製	24 型液晶ワイドモニター 解像度：1,920×1,080 接続：DV1-4×1、VGA×1
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 1,000 W 消費電力：最大 3.9 W
[B-5]（更新前） データ収録サーバ用 UPS APC Smart UPS 1200RM シュナイダーエレクトリック（株）	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：100 V バッテリータイプ：小型シール鉛蓄電池 バッテリー寿命：4～6 年 動作時間：負荷 100 W 時 約 40 分
[B-5]（更新後） データ収録サーバ用 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 バッテリタイプ：小型シール鉛蓄電池 バッテリ寿命：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 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 ・UPS の一元管理、電源状態の監視・制御 ・電源遮断時に自動でシステムをシャットダウン
観測データのリアルタイム処理	・UDP によるデータ受信機能 ・NS、EW、UD の各成分のリアルタイム波形表示機能 ・1分ごとの「1分WINデータ」保存機能
観測データの自動収録	・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 ・回収したデータのWIN形式での保存機能 ・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
総合モニタリングシステムへのデータ伝送	・LAN接続によるデータ収録サーバから総合モニタリングサーバへのデータ伝送機能
観測機器の監視	・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 ・動作状況の一覧表示機能 ・死活状況のログファイル出力機能
現地観測施設の環境監視	・現地観測施設の環境監視用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
トラブル対策	・メンテナンス回線を通じたデータ収録サーバのリポート機能 ・メンテナンス回線を通じた現地観測施設のルータ、データ収録装置、環境監視用PCのリポート機能



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

2020年度は、原則、週1回（計52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12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、観測坑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等の機器の点検・保守を実施した。表4.2-5(1)～(3)に遠隔監視および現地保守点検の実施実績を示す。ただし、特記事項がある場合を除き、現地観測施設の保守点検時に実施している次の作業に関する記載は省略している。

- 1) Graniteの再起動^{*3)}
- 2) データ収録装置の一時ファイル保管フォルダ内の不要ファイルの削除^{*4)}
- 3) 環境監視用PCの再起動^{*5)}

現地観測施設の全景を図4.2-10に、ハンドホール内の状態を図4.2-11に示す。観測建屋内の空調管理の効果を図4.2-12に示す。

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。

データ収録装置の再起動によるデータの欠落について(1)に、データ変換サーバによる変換漏れおよび伝送漏れについて(2)に示す。

-
- *3) 2016年11月以降、データ収録装置の自動再起動を未然に回避するため、Graniteの稼働状況にかかわらず、現地保守点検時にハードウェアと制御ソフトウェアの手動再起動（手動でシャットダウンした後、再起動する）を実施している。
- *4) 2017年5月23日の現地保守点検において、Graniteの手動再起動を実施した際に、データ収録装置の制御プログラムは起動するものの送信用データファイル（1分毎のデータファイル）の作成プログラムが起動しない現象が発生した。原因はデータ収録装置の一時ファイル保管フォルダに多数のファイルが保存されたことによるメモリの圧迫と推定されるため、2017年7月以降、現地保守点検時にデータ収録装置の一時保管フォルダ内の不要なファイルを削除している。
- *5) 環境監視用PCは、長期間の継続稼働によりフリーズが発生することが確認されていることから、2016年9月以降、現地保守点検時に再起動を実施している。

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	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		
				GPS	GPSの状態は正常か	
		本体	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			
	動作ログを採取したか					
	データ変換 サーバー		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			
			GPS	GPSの状態は正常か		
	リポーター		AC リポーター	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 リポーター	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	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						
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				
本体	ストレージ占有率に異常はないか					
	電源、バッテリー状態に異常はないか					
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 死活監視状況に異常はないか		
	システム	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リポーター死活監視状況に異常はないか			
		稼働状況	DCリポーター死活監視状況に異常はないか			
			本体	ストレージ占有率に異常はないか		
	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					
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	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 その他異常がないか		
			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	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	バッテリー	電圧は正常か（ V） 比重は正常範囲内か		
				無停電電源装置	蓄電状況は正常か		
ポータブル蓄電池				蓄電状況は正常か			
100V、200V商用電源				電源供給状況は正常か			
避雷器				動作表示LEDは点灯しているか			
周辺の 整備	フェンス内	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				
		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				
	戸締り 施設	観測小屋	戸締り、施錠をしたか				
実証 苫小 牧セ ンタ ー	目視確認	フェンス	フェンス	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			
			ルーター	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			
			ACリポーター	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	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 = x

図 4.2-9 現地保守点検チェックリスト



図 4.2-10 現地観測施設の全景（左；近景、右；アンカーマンホール含む）

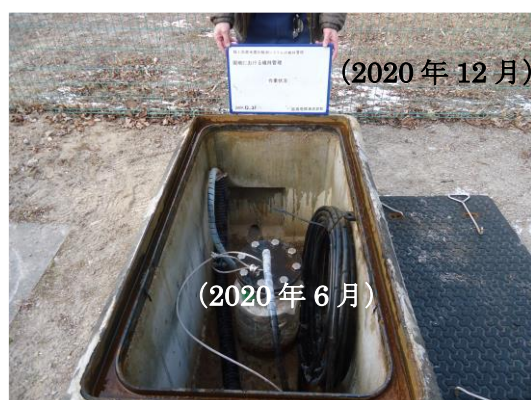


図 4.2-11 ハンドホール内の状態

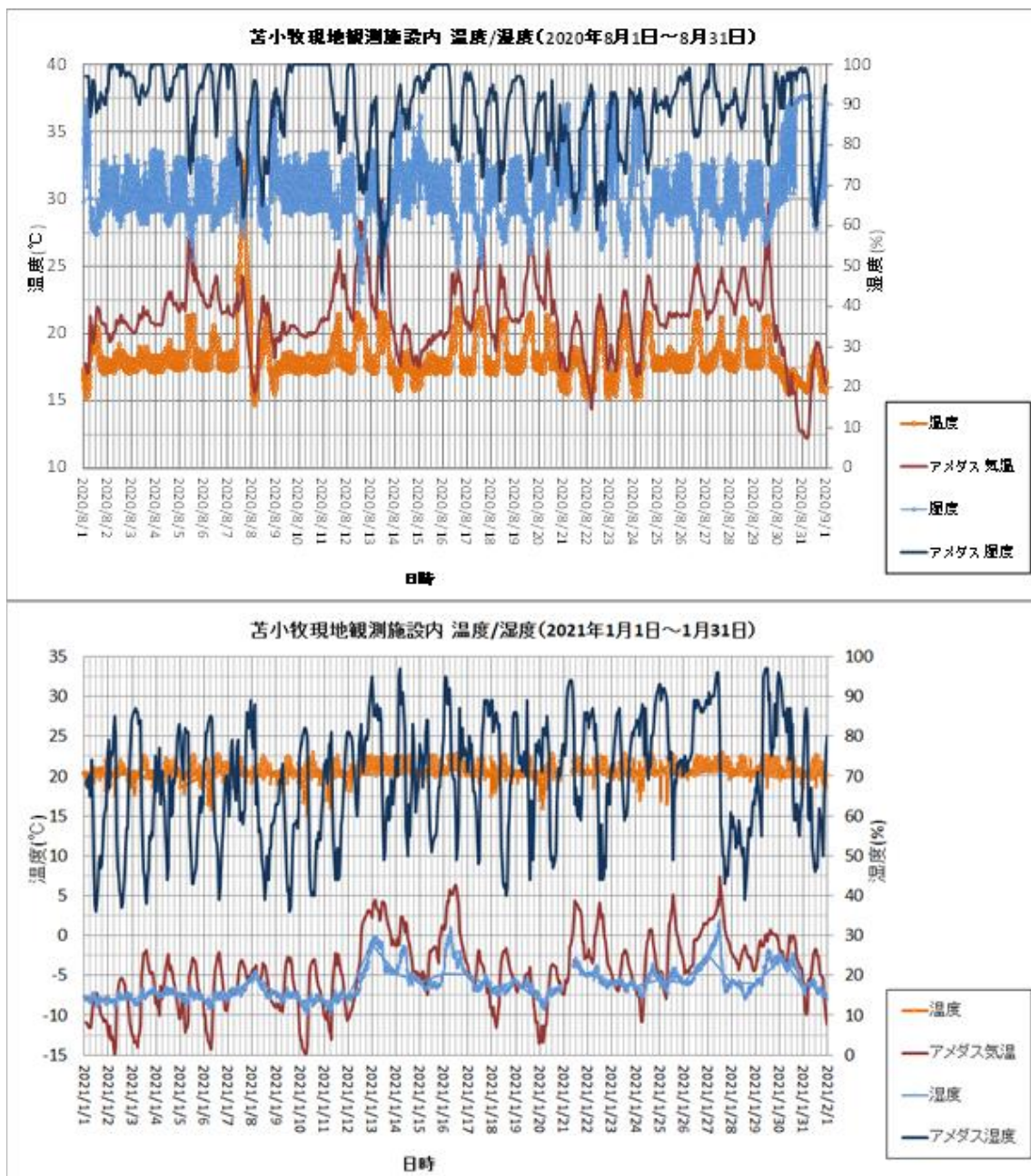


図 4.2-12 観測建屋内の温度・湿度（8月と1月の例）

表 4.2-5 (1) 遠隔監視および現地保守点検実施実績（2020年4～11月）

実施月	実施内容
4月	<p>【遠隔監視】6、13、20、27日</p> <p>・温度湿度センサ制御ソフトの停止により、4月11日19時41分～4月13日11時11分まで温度・湿度データに欠測が発生。</p> <p>【現地保守点検】COVID-19感染拡大に伴う政府の緊急事態宣言を受け、延期。</p>
5月	<p>【遠隔監視】7、11、18、25日</p> <p>・温度湿度センサ制御ソフトの停止により、5月14日00時00分～5月15日09時39分まで温度・湿度データに欠測が発生。</p> <p>【現地保守点検】COVID-19感染拡大に伴う政府の緊急事態宣言を受け、延期。</p>
6月	<p>【遠隔監視】1、8、15、22、29日</p> <p>・特記事項なし。</p> <p>【現地保守点検】5日（現地観測施設）、6日（実証試験センター）</p> <p>・特記事項なし。</p> <p>【現地保守点検】22日（現地観測施設）、23日（実証試験センター）</p> <p>・22日に、現地観測施設周辺の除草作業を実施。観測施設内設置の空調機（エアコン）の設定を暖房20℃から除湿冷房18℃に変更。</p>
7月	<p>【遠隔監視】6、13、20、27日</p> <p>・特記事項なし。</p> <p>【現地保守点検】20日（現地観測施設）、21日（実証試験センター）</p> <p>・特記事項なし。</p>
8月	<p>【遠隔監視】3、13、17、24、31日</p> <p>・特記事項なし。</p> <p>【現地保守点検】20日（現地観測施設）、21日（実証試験センター）</p> <p>・DCバッテリー液の減少を確認（次回点検時に補充とする）。</p>
9月	<p>【遠隔監視】7、15、23、24、28日</p> <p>・特記事項なし。</p> <p>【現地保守点検】10日（現地観測施設）、11日（実証試験センター）</p> <p>・DCバッテリー液補充。</p> <p>【現地保守点検】29日（現地観測施設）、30日（実証試験センター）</p>
10月	<p>【遠隔監視】5、13、20、26日</p> <p>・特記事項なし。</p> <p>【現地保守点検】26日（現地観測施設）、27日（実証試験センター）</p> <p>・特記事項なし。</p>
11月	<p>【遠隔監視】2、9、16、24、31日</p> <p>・特記事項なし。</p> <p>【現地保守点検】19日（現地観測施設）、20日（実証試験センター）</p> <p>・特記事項なし。</p>

表 4.2-5 (2) 遠隔監視および現地保守点検実施実績（2020年12月～2021年3月）

実施月	実施内容
12月	<p>【遠隔監視】7、14、21、28日</p> <ul style="list-style-type: none"> ・特記事項なし。 <p>【現地保守点検】20日（現地観測施設）、21日（実証試験センター）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・特記事項なし。
1月	<p>【遠隔監視】4、12、18、25日</p> <ul style="list-style-type: none"> ・特記事項なし。 <p>【現地保守点検】 COVID-19感染拡大に伴う政府の緊急事態宣言を受け、延期。</p>
2月	<p>【遠隔監視】1、8、15、22日</p> <ul style="list-style-type: none"> ・特記事項なし。 <p>【現地保守点検】15日（現地観測施設）、16日（実証試験センター）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・特記事項なし。 ・除雪作業を実施。
3月	<p>【遠隔監視】1、8、15、22、29日</p> <ul style="list-style-type: none"> ・特記事項なし。 <p>【現地保守点検】8日（現地観測施設）、9日（実証試験センター）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・特記事項なし。 <p>【現地保守点検】25日（現地観測施設）、26日（実証試験センター）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・特記事項なし。

表 4.2-6 2019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
2020年04月04日14:41~14:46(5)	データ収録装置の変換漏れ
2020年04月12日21:42~21:46(4)	データ収録装置の変換漏れ
2020年04月12日23:15~21:16(1)	データ収録装置の変換漏れ
2020年04月13日10:35~10:36(1)	データ収録装置の変換漏れ
2020年04月13日13:37~13:18(1)	データ収録装置の変換漏れ
2020年04月13日14:11~14:19(8)	データ収録装置の自動再起動
2020年05月13日18:46~ 14日11:27(1001)	データ収録装置の変換漏れ
2020年06月10日14:23~14:29(7)	データ収録装置の自動再起動
2020年07月17日09:08~09:21(15)	データ収録装置の自動再起動
2020年08月26日14:48~14:55(7)	データ収録装置の自動再起動
2020年10月23日15:58~16:07(10)	データ収録装置の自動再起動
2020年12月20日15:40~15:45(6)	データ収録装置の手動再起動
2021年02月14日10:40~10:56(17)	データ収録装置の手動再起動

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。

(1) データ収録装置の再起動（自動）によるデータの欠落

現地観測施設に設定しているデータ収録装置は、何らかの要因で不安定状態と認識すると自動的に再起動を行うため、実証試験センター内サーバへ伝送される波形データの欠落が繰り返し発生してきた。2014年4月の観測開始以降、データ収録装置が自動で再起動する現象について、その都度原因調査およびデータ欠落防止のために以下の対応を実施してきた。

- 1) データ収録装置のエラーログファイルや動作ログファイルの回収とメーカーによる分析、対策の検討
- 2) メーカー技術者によるデータ収録装置の点検、修理
- 3) 制御ソフトウェアおよびOSのバージョンアップ
- 4) データ収録装置予備機（Basalt）との2台並列収録
- 5) データ収録装置の上位機種（Granite）への交換
- 6) データ変換サーバ設置によるデータ収録装置における処理の軽減（当初、miniseedからWinファイルへの変換はデータ収録装置内で処理してきたが、データ変換サーバでの処理に変更）

2020年度も、データ収録装置の自動再起動は、下記の通り定期的に発生した。

- ①2020年4月13日（前回から58日後）
- ②2020年6月10日（前回から58日後）
- ③2020年7月17日（前回から37日後）
- ④2020年8月26日（前回から40日後）
- ⑤2020年10月23日（前回から58日後）
- ⑥2020年12月20日（前回から58日後）
- ⑦2021年2月14日（前回から56日後）

自動再起動が発生してから次の自動再起動まで40日前後あるいは56、58日後であり、発生頻度は2ヶ月以内に1度である。ただし、データ収録装置の再起動に伴う欠測ファイルは全てデータ収録装置予備機で収録されたデータで補完できるため、最終的な欠測データはない。

(2) データ変換サーバによる変換漏れおよび伝送漏れ

地震計で観測された電圧データは、データ収録装置によってAD変換してminiseedフォーマットのファイルとし、外部のデータ変換サーバによって自動でWinフォーマットの波形データへ変換して、実証試験センター内サーバにデータ伝送している。

この際に、変換漏れあるいは不完全な状態の Win ファイルが生成される現象が発生した。これらの不具合対応として、手動で miniseed から Win ファイルへ変換し、実証試験センター内サーバにデータ伝送した。また、データ収録装置による AD 変換処理は、通常 1 分以内に実施されるが、稀に処理時間が遅延することが判明したため、2019 年度に遅延時間も考慮して変換プログラムを修正した。これらの対応により、2019 年に比べて 2020 年度の変換漏れの頻度は減少した。ただし、完全には解決していない。

2020 年 4 月～7 月にかけて実証試験センター内サーバへのデータ伝送漏れが発生したので、調査したところ、下記の 2 点の要因が判明し、各々、下記の通り対処した。

① データ変換サーバの変換処理機能が停止する現象

データ変換サーバの空き容量が不足するとデータ収録装置から miniseed ファイルを取得できなくなり、変換処理が停止してデータ伝送漏れが生じていたことが判明した。データ変換サーバ内の空き容量を増やしたところ、miniseed ファイルを取得できるようになり、変換処理が開始されるようになった。そのため、データ変換サーバ内は 1 箇月程度のデータのみ残り、古いファイルを削除するようにした。これらの対応を行った結果、それ以降は変換処理が停止する現象は発生していない。

② 実証試験センター内サーバによるデータ取得の失敗

サーバによるデータ取得の失敗によるデータ伝送漏れは、タスクの処理時間やそれに伴う遅延、通信速度が関係しているものと考えられ、複数の処理が重合した場合に発生するものと考えられた。ただし、サーバによるデータ取得の失敗は不定期に生じるため、伝送漏れが発生した際には、手動で該当ファイルを実証試験センター内サーバへコピーすることとした。

4.2.3 観測結果

陸上設置地震計観測システムによる 2020 年度の観測では、計 280 個の自然地震の観測データファイルを得た。捕捉した月毎の自然地震*6)の数を表 4.2-9 に示す。

陸上設置地震計観測システムで検知される自然バックグラウンドノイズ（常時微動）の例を図 4.2-13 に示す。

陸上設置地震計観測システムにより観測した地震波形の例として、2020 年 4 月 18 日 17 時 25 分の小笠原諸島西方沖地震、2020 年 8 月 22 日 10 時 00 分の石狩地方南部地震、

*6) 気象庁が HP で公開している苫小牧の震度 1 以上の地震について、本観測システムで観測されているかを確認し、地震波形が目視で読み取れるものをイベントとして抽出している。

2020年12月22日2時23分の青森県東方沖地震および2020年4月26日17時48分の苫小牧沖地震の4例を図4.2-14(1)～(4)に示す。このうち、図4.2-14(1)には、最大震源距離（1,770 km）を示した小笠原諸島西方沖地震（M6.8）を記載している。

表 4.2-9 陸上設置地震計観測システムで観測した自然地震

年	2020年										2021年			計
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
回数	29	26	24	17	18	29	16	16	21	26	32	26	280	

注) 回数欄の下段は、胆振東部地震の余震とみられる地震。上段の内数。

<現地観測施設のバックグラウンドノイズ（常時微動）>

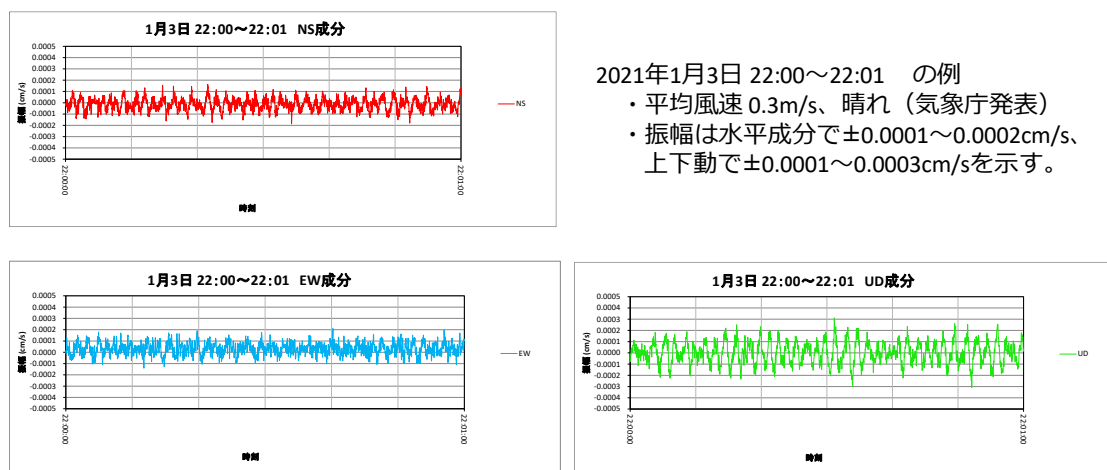


図 4.2-13 観測システムのバックグラウンドノイズの例

＜最大マグニチュードおよび最大震源距離＞
 2020年4月18日 17:25 小笠原諸島西方沖
 (M=6.8、震源深さ477km、震源距離 約1770km)

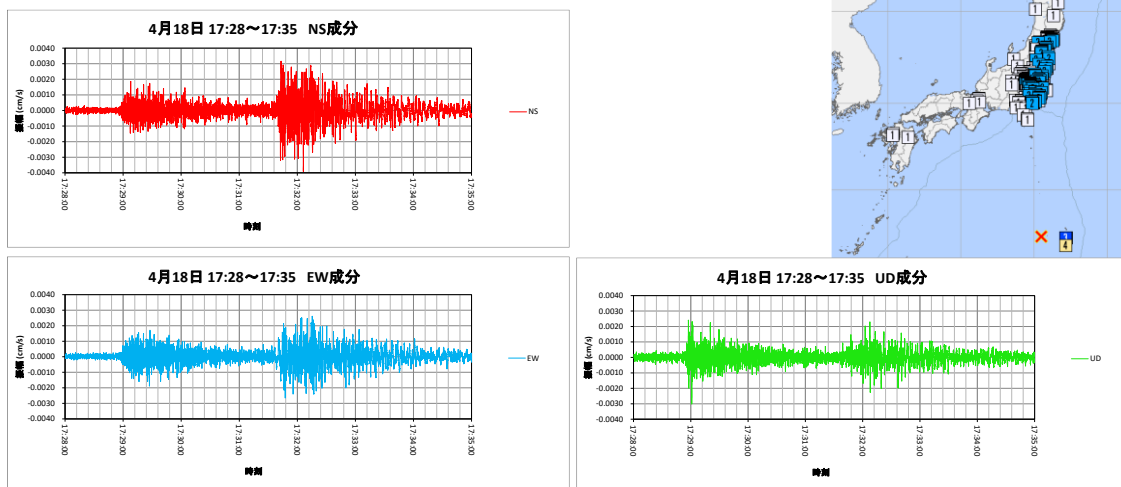


図 4.2-14 (1) 2020年4月18日に観測システムにより取得した波形データの例

＜最小マグニチュードおよび最小震源距離＞
 2020年8月22日 10:00 石狩地方南部
 (M=1.5、震源深さ11km、震源距離 約22.5km)

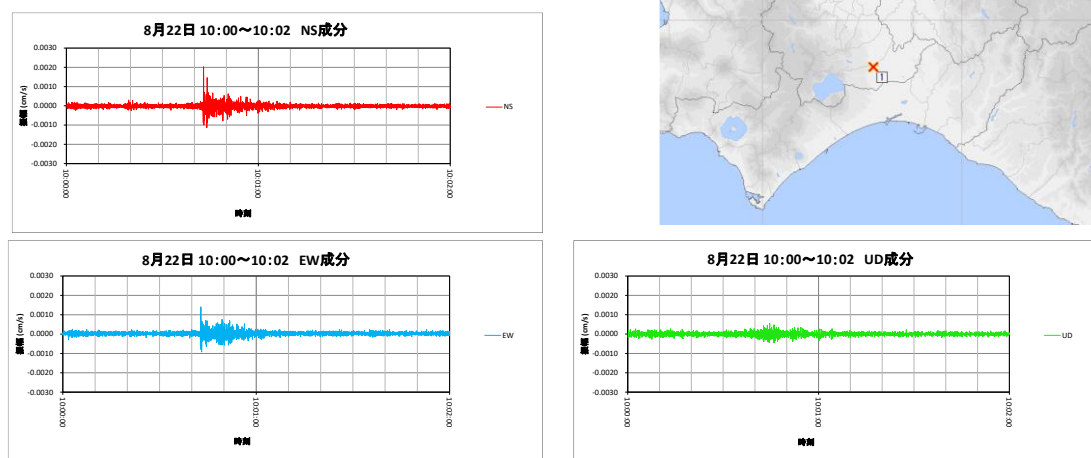


図 4.2-14 (2) 2020年8月22日に観測システムにより取得した波形データの例

<最大振幅（水平動）>

2020年12月22日 2:23 青森県東方沖
 (M=6.5、震源深さ43km、震源距離 約230km、)
 苫小牧 震度2、最大振幅（NS成分） 0.397cm/s

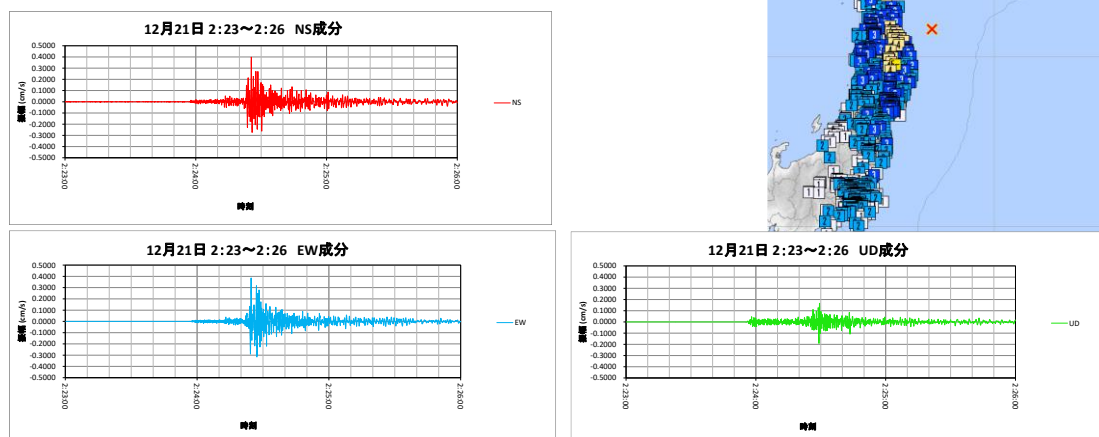


図 4.2-14 (3) 2020年12月22日に観測システムにより取得した波形データの例

<苫小牧周辺>

2020年4月26日 17:48 苫小牧沖、苫小牧 震度1
 (M=2.9、震源深さ27km、震源距離 約39 km)

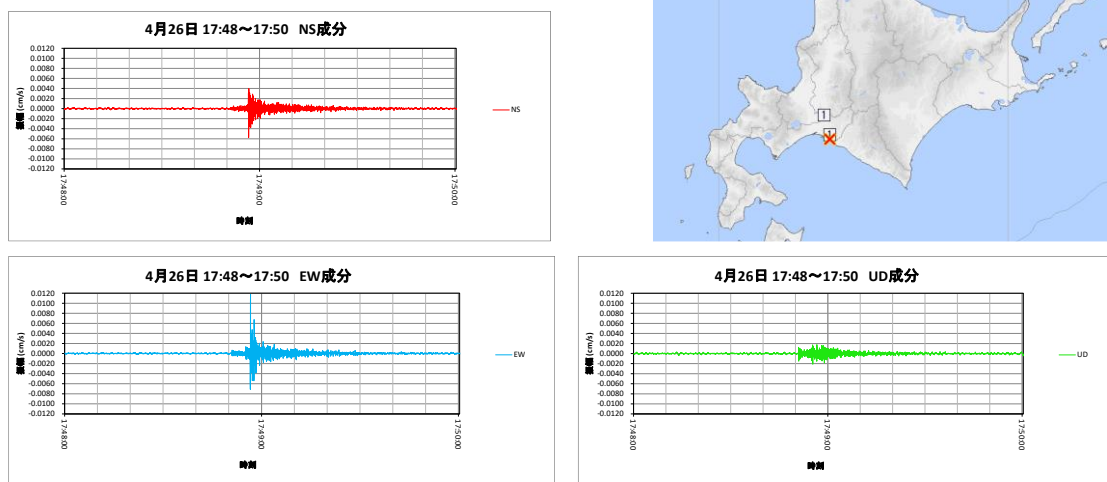


図 4.2-14 (4) 2020年4月26日に観測システムにより取得した波形データの例

4.3 常設型OBCによるモニタリング

2020年度を通して、常設型OBC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。

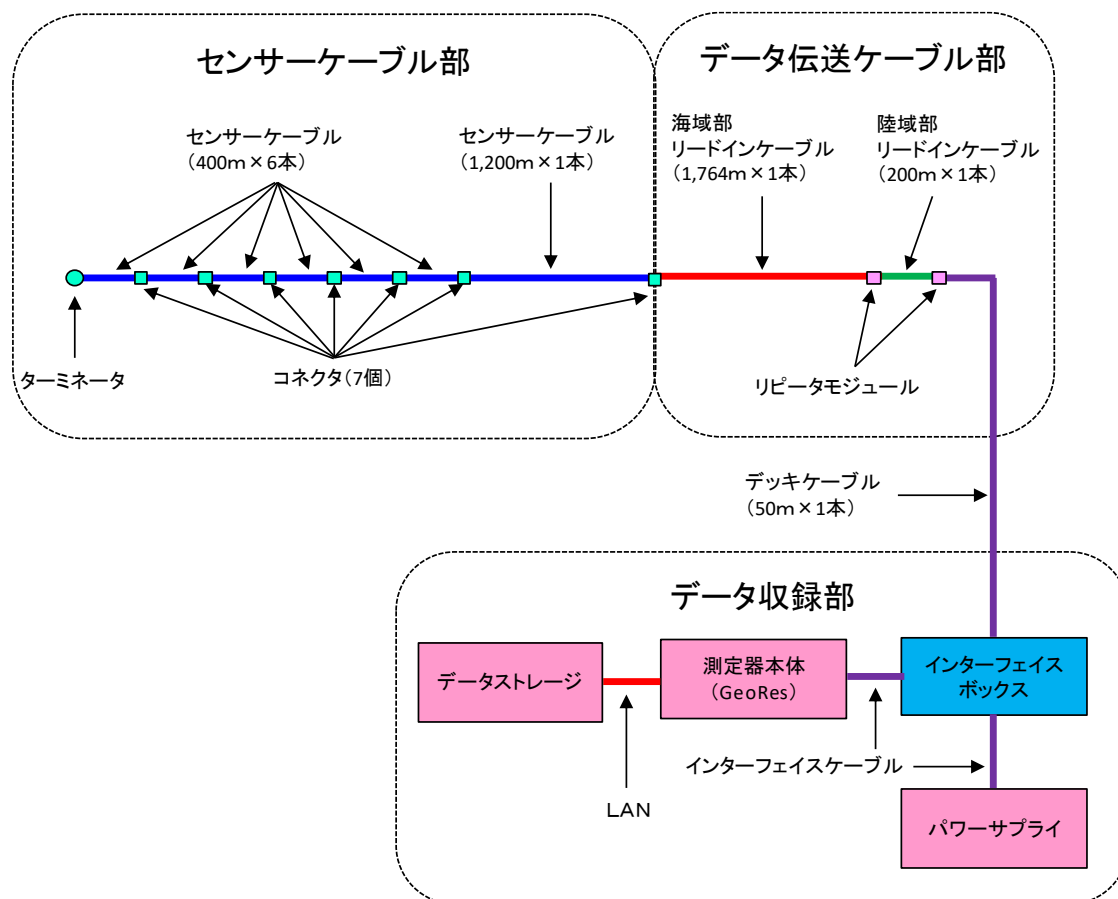


図 4.3-2 常設型 OBC 観測システム構成の概念図

(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 個のモジュール*2)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) 外径：115 mm、長さ：1.37 m、空中重量：12.6 kg、水中重量：7.7 kg。

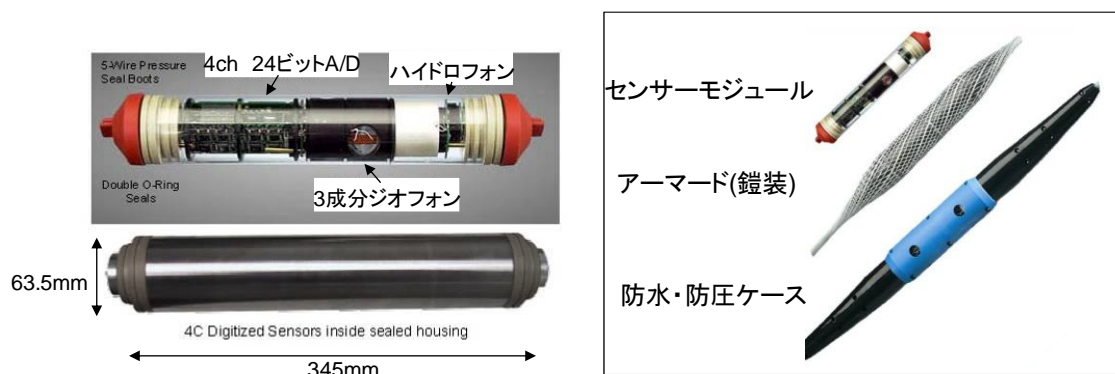


図 4.3-3 モジュールの詳細

(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^{*3)}（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^{*4)}（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^{*5)}、KVM

*3) 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。

*4) 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。

*5) NAS（ナス；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*6)、UPS*7)および電源解放装置*8)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2017年4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*9)（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。

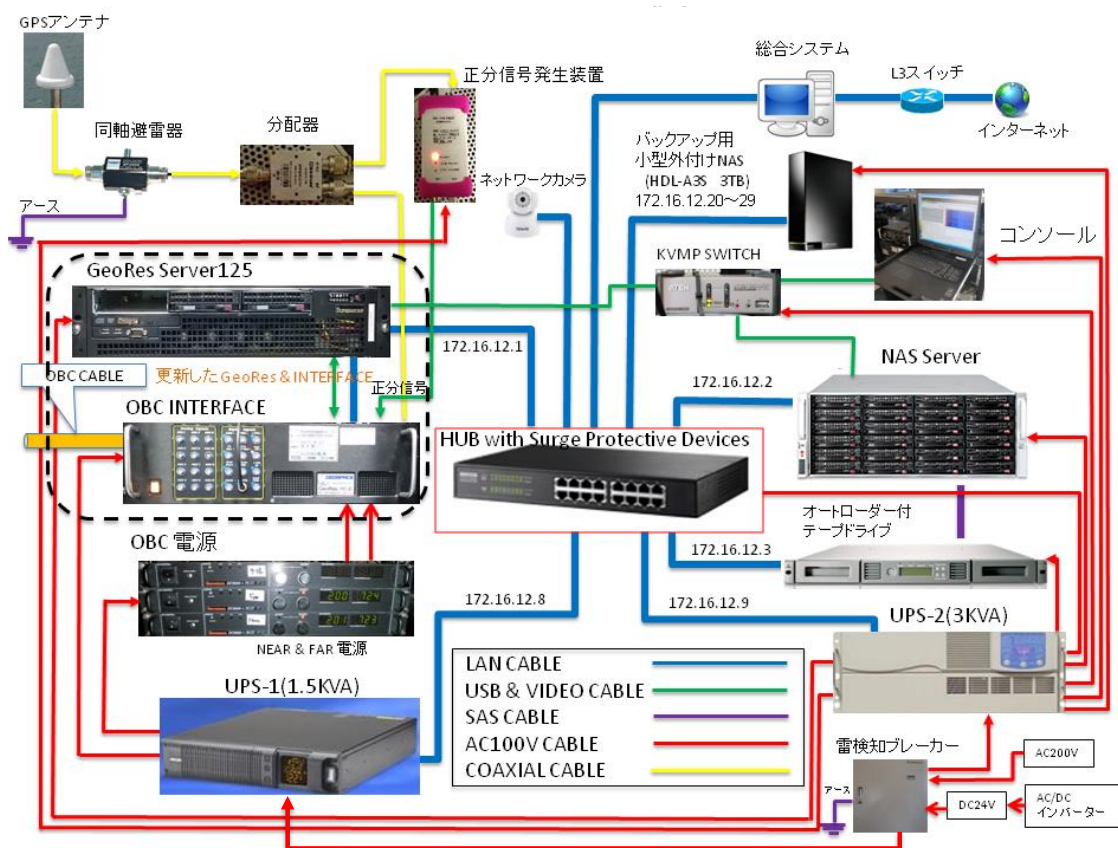


図 4.3-4(1) データ収録部のシステム構成図（2017年4月以降 2021年2月16日まで）

- *6) 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。
- *7) 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。
- *8) 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。
- *9) 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。

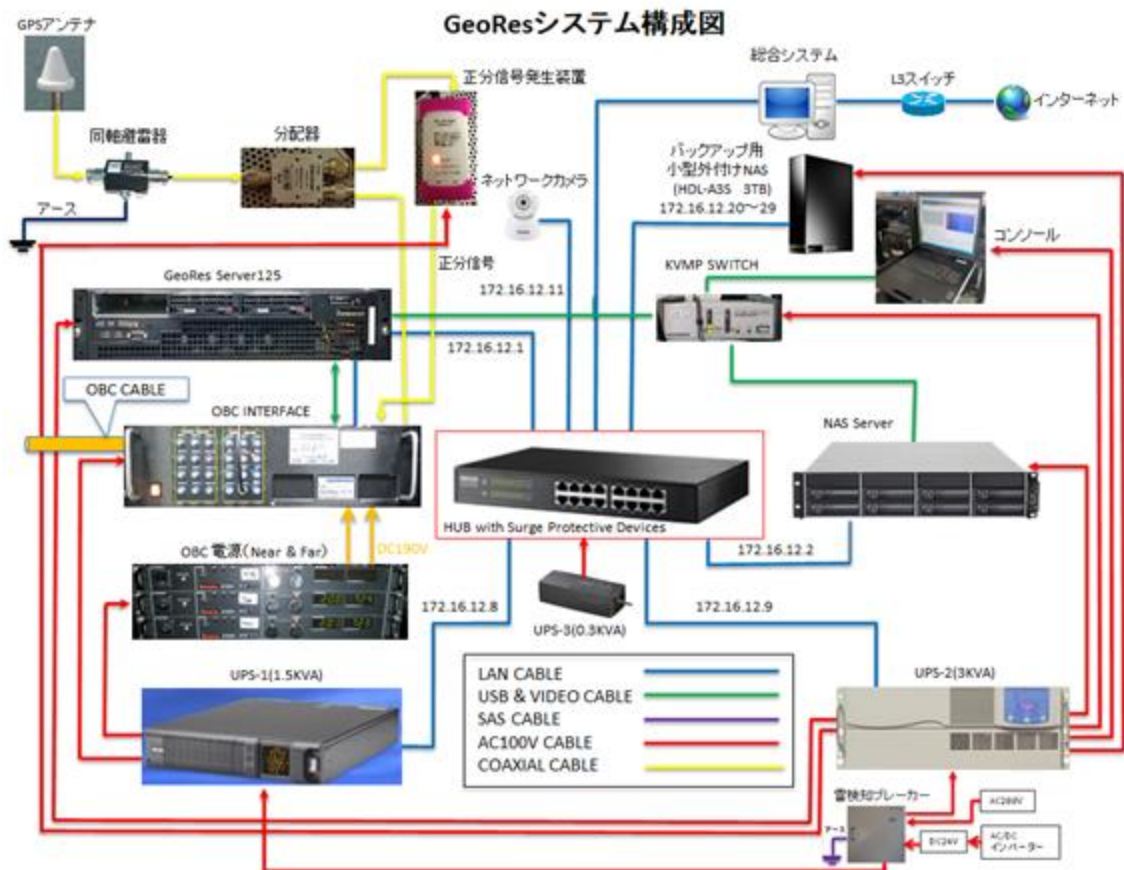


図 4.3-4(2) データ収録部のシステム構成図（2021年2月16日以降）

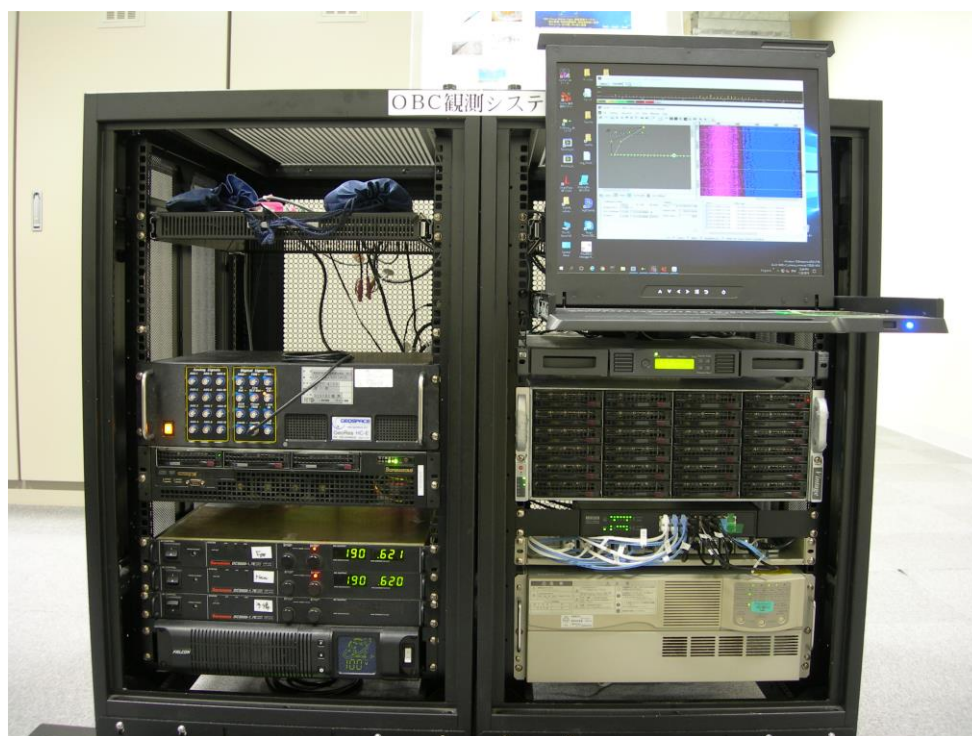


図 4.3-5 データ収録部

① GeoRes

常設型 OBC による観測では、正分信号発生装置が GPS^{*10}クロックから時間情報を読み取り発生させる毎正分（xx 時 xx 分 00.000000 秒）の信号に基づき、GeoRes が観測データのサンプリングを開始する。GeoRes は、一旦サンプリングを開始すると GPS が発生する 1 秒間隔のパルス信号（1PPS：1 Pulse-Per-Second）に同期して 500 Hz サンプリングにより連続的にデータを生成し、1 分間単位の SEG-D フォーマットのファイル（以下、「データファイル」と称する。）を出力する。データファイルは、逐次、LAN 経由で NAS サーバに送信されると同時に総合モニタリングシステムによるデータ変換のためのフォルダ（フォルダ名：spool）に一時的に保存される^{*11}。

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

GeoRes の OS（Windows10）では、GeoResGui.exe が管理者権限での動作^{*12}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、現状、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^{*13}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現在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。

*10) 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。

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

*12) 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。

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

表 4.3-1 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	摘要
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 上のユーザー操作をスクリプティングすることを可能とするフリーソフトウェア (http://www.uwsc)。
Full Back Manager Pro for Network (Windows10 用)	サンケン UPS 用自動シャットダウンソフトウェア 停電発生時に GeoRes が作動する Windows 10 と NAS サーバの 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	システム起動時に、上記のファイルリネームソフトウェア、NAS サーバマウントスクリプトおよび外付 NAS 起動マウントを実行した上で、GeoRes によるデータ収録を自動的に開始する。また、システム停止時に GeoRes によるデータ収録を停止する。
NAS サーバマウントスクリプト	GeoRes が稼働する Window 10 上に Z ドライブとして NAS サーバをネットワークマウントする。
外付 NAS 起動マウントスクリプト	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	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^{*14}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^{*15}サーバ（NP5S-4U：JCS製）（以下、「NASサーバ」と称する。）を用いてきた。NASサーバのOSは、WSS（Windows Storage Server）2008 R2であり、必要なソフトウェアを追加し、バックアップやUPS連動シャットダウン等を可能としている。さらに、IPMI^{*16}機能を有し、遠隔からのハードウェア監視やKVM（Keyboard/Video/Mouse）アクセス（⑤参照）が可能である。

しかしながら、2013年4月に導入してから7年余り経過しており、2019年末より、

- 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

と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。

③ データバックアップ装置

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）を使用している。LTO-5のテープ容量は、圧縮時3TB／非圧縮時1.5TBであり、非圧縮でテープ1巻あたり約1箇月分のデータを保存可能である。NASサーバのバックアップソフトウェア（ARCserve Backup：CA technologies社製）がNASのOSであるWSS上で稼働し、NASサーバに保存したデータファイルを定期的にテープライブラリのLTOテープにバックアップ（NASサーバに保

*14) 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。

*15) NAS：Network Attached Storage。

*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。

存されたデータファイルの増分を毎日テープへコピー）する。

このLTO-5テープドライブによるデータバックアップ装置は、

- 1) 常設型OBCの観測データは、NASサーバ（②参照）と外付けHDD（④参照）に収録され、さらに総合モニタリングシステムに収録されていること
- 2) テープドライブが2013年4月導入から7年余り経過しており経年劣化しつつあること
- 3) 新規更新するNASサーバが、現状のテープドライブ用インターフェースボードおよびソフトウェアが適合していないこと

から、NASサーバの新規交換に伴い、2021年2月15日をもって運用を終了し、ラックから取り外して保管している。

④ バックアップ用外付けNASドライブ

バックアップ装置の特徴として、NASサーバ（②参照）は、RAIDによる冗長性はあるものの障害全般に対してデータ保全を保証できず、テープによるバックアップ（③参照）は、長期保存には適するもののリアルタイム性がなく、保存データへのアクセスが簡便とは言えないことから、両者の中間的性質を持つNASドライブ（HDL-A2.0S：IODATA製）（以下、「外付NAS」と称する。）をテープライブラリとは別に導入し、NASサーバにデータファイルを保存すると同時に外付NASのHDD^{*17)}にもバックアップを作成している。具体的には、Geospace社がGeoRes用に提供しているソフトウェア群に含まれるファイルコピーソフトウェア（FileRelay：Geospace社製）を使用し、GeoResが稼働するWindows 10上で指定したNASサーバ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サーバには、それぞれコンソール（キーボード、マウス、モニタ）が必要であるが、連続稼働時に同時に必要となる機会が少ないことから、コンソールは1式のみとし、KVMスイッチ（CS1782A：ATEN製）により切替えて操作^{*18)}する。コンソールには、ラック収容可能等ロワ型コンソール（CyberView RKP119：AUSTIN HUGHES

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

*18) KVMスイッチの切替えは、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。

製）を使用している。

⑥ 無停電電源装置（UPS）

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

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働状況を監視している。

*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) 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。

4.3.2 常設型OBC観測システムの保守管理

常設型 OBC 観測システムによるデータ取得を継続実施するため、公衆回線を利用した遠隔監視（原則週 1 回）、現地保守点検（1 回/2 箇月）、メーカーエンジニアによる現地点検 1 回/年）およびモジュール内のジオフォンおよびハイドロフォンのテスト（2 回）を実施した。

(1) 遠隔監視

原則週 1 回公衆回線を利用した遠隔監視を実施した。遠隔監視では、チェックリストを利用してデータ取得状況、データ収録状況およびデータのバックアップに用いている外付 NAS の HDD と LTO のカートリッジテープの切換え状況等を確認した。図 4.3-6 にチェックリストの例を示す。遠隔監視の実施実績を表 4.3-2 に示す。また、異常が見られた場合には状況確認や必要に応じてシステムを再起動する等の措置をとった（①～⑫参照）。表 4.3-3 に遠隔監視によるバックアップ関連作業の実績を示す。

実施日： 2019 年 10 月 28日(月) 実施時間： 11時20分 ~ 11時50分
 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	OK
データ取得機能 (GeoRes)	稼働状況	正常動作	OK
	TB時刻	正分発生	OK
	GPS時計	正常動作	OK
	各種設定	設定パラメータ値など (S/R:2ms、Rec長:60s)	OK
	チャンネル数	既定のチャンネル数 (55モジュール×4ch=220ch)	OK
	データ状況	観測波形の異常の有無	無
	動作ログ	エラーメッセージ等の有無	無
		異常停止などの有無	無
		欠測ファイルの有無	無
	内臓HDD	Cドライブ容量(残量)	402GB / 465GB
Dドライブ容量(残量)		3.47TB / 3.63TB	
Eドライブ容量(残量)		3.60TB / 3.63TB	
データ収録機能	NASサーバー	正常動作	OK
		データ収録	OK
		Cドライブ容量(残量)	33.0GB / 99.8GB
		Dドライブ容量(残量)	21.7TB / 57.2TB
	バックアップ用HDD	使用中HDD No.	24-5
		ドライブ容量(残量)	2.58TB/2.72TB
	バックアップ用HDD切換	正常切換	-
		切換HDD No.	-
	バックアップ用テープ	バックアップは正常終了か	OK
		使用中テープ番号	TCB680L5
ブランクテープ数		4	
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 4.3-2 遠隔監視実施日（2020年4月～2021年3月）

実施月	遠隔監視（丸数字は定期実施日）	回数
4月	①、3、6、⑧、10、13、⑮、17、20、24、⑳	12
5月	5、⑦、8、11、⑬、15、18、⑳、22、25、㉑、29	12
6月	1、③、5、8、⑩、12、16、⑰、19、22、26、㉒	12
7月	①、3、6、⑧、9、10、13、⑮、17、20、㉓、27、㉔、31	14
8月	3、⑤、7、11、⑫、14、17、⑰、㉕、27、31	11
9月	①、4、7、⑨、10、14、⑯、18、㉖、25、28、⑳	12
10月	2、5、⑦、9、12、13、⑭、15、16、17、㉗、23、26、㉘、30	15
11月	2、④、6、9、⑪、13、16、⑱、20、24、㉙、26、27、29、30	15
12月	②、3、7、⑨、10、11、⑯、18、21、㉚、25、28	12
1月	4、⑥、8、12、⑬、15、18、⑳、22、25、㉑、29	12
2月	1、④、5、8、⑩、22、㉒、26	8
3月	1、③、5、8、⑩、12、15、⑰、19、22、㉒、26、29、⑳	14

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。

表 4.3-3 観測データバックアップ関連作業実績（2020年4月～2021年3月）

実施日	実施内容
4月27日	<ul style="list-style-type: none"> ・外付NASのHDD：disk26-5からdisk27-5に切換 ・外付NASのHDD：disk26-5からdisk21-6に交換（現地） ・LTOカートリッジテープ：TCB678~684をTCB685~691に交換（現地）
7月6日	<ul style="list-style-type: none"> ・外付NASのHDD：disk27-5からdisk28-5に切換
8月24日	<ul style="list-style-type: none"> ・外付NASのHDD：disk27-5からdisk22-6に交換（現地）
9月16日	<ul style="list-style-type: none"> ・外付NASのHDD：disk28-5からdisk29-5に切換
10月3日	<ul style="list-style-type: none"> ・LTOカートリッジテープ：TCB688L5をTCB689L5に切換
10月19日	<ul style="list-style-type: none"> ・外付NASのHDD：disk28-5からdisk23-6に交換（現地）
11月26日	<ul style="list-style-type: none"> ・外付NASのHDD：disk29-5からdisk20-6に切換
12月14日	<ul style="list-style-type: none"> ・外付NASのHDD：disk29-5からdisk24-6に交換（現地） ・LTOカートリッジテープ：TCB685~690をTCB692~697に交換（現地）
12月14日	<ul style="list-style-type: none"> ・LTOカートリッジテープ：TCB689L5からTCB690L5に切換 ・LTOカートリッジテープ：TCB690L5からTCB691L5に切換
2月5日	<ul style="list-style-type: none"> ・外付NASのHDD：disk20-6からdisk21-6に切換
2月15日	<ul style="list-style-type: none"> ・外付NASのHDD：disk20-6からdisk25-6に交換（現地） ・LTOカートリッジテープ：2月14日分まででテープバックアップ終了 テープドライブの取り外し（現地）

① NASサーバ停止への対応

NASサーバから小型NAS-HDDにファイルをコピーするプログラム（FileRelay）の停止が、2020年4月16日、8月14日、9月8日、9月12日、9月18日、9月20日、9月23日、10月1日、10月2日、10月5日、10月6日、10月10日、10月13日、10月15日、10月17日、10月18日、11月22日、11月28日に発生し、その都度、FileRelayの再起動、観測データの手動コピーを行った。現地保守点検作業時に、エラーが多発しているNASサーバのHDDを交換した後は、FileRelayが停止することはなくなったため、NASサーバのHDDの異常が原因と考えられる。

また、NASサーバへの書き込みエラーが、2020年5月5日、9月8日、9月14日、9月18日、9月20日、9月23日、10月1日、10月2日、10月6日、10月8日、10月10日、10月12日、10月13日、10月15日、10月16日、10月17日、10月18日、10月19日、11月22日に発生し、その都度、電源をリセットし、GeoResサーバおよびNASサーバの起動とGeoResアプリケーションを再起動させた。このデータ書き込みエラーの原因として、NASサーバのHDD劣化の可能性が考えられた。

これらのNASサーバ停止により、GeoRes連続観測が停止し、欠測が生じた。

対策として、2020年度内にNASサーバを新機種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。

② 落雷の影響と考えられるGeoResサーバ停止への対応

落雷が原因と考えられるGeoResサーバの停止が2020年5月25日の01:14と02:18に生じた。監視スクリプトによる再起動が行われたが、観測再開に失敗したためと考えられる。

今回のエラーは、2019年11月に発生したエラーと似ており、モジュールが正しく信号を受信できなかったことを示しているが、その原因は不明である。ただし、エラーコードが40007000の関連コードであり、この時間帯に苫小牧近辺に落雷が多数発生していることから、落雷が原因の可能性が考えられる。手動で再開を行うまでの欠測は以下の379ファイルである。

20200525-0114.sgd～20200525-0136.sgd：23ファイル欠測

20200525-0218.sgd～20200525-0813.sgd：356ファイル欠測

(株)フランクリンジャパンの雷観測ネットワークで検出された落雷の発生状況によれば、5/25の0:00～6:00に苫小牧近辺で落雷が多数発生していた。

③ リピータ内のモジュールに関するエラー発生との対応

2018年度の夏と2019年の夏に発生したものと同様の、陸上にあるOBCケーブルのリピータモジュール内の温度変化（高温）が関係している可能性が考えられるエラーが、2020年8月6日、8月12～30日、9月3～14日、9月16日～10月5日に発生した。このエラーは外気温が高い夏季期間中に発生する傾向があり、ほとんどのエラーコードが（80000025）であるが、（00000020, 80000005, 80000020）の発生も確認され、これらのエラーが複合して、リピータ内のモジュールにおけるデジタルデータ伝送に関するテレメトリー（データ伝送）エラー（80000025）を示していると考えられる。

ただし、観測データに異常はないため、経過を観察する。

なお、このエラー発生の際に、2019年度と同様に、データにパルス波形が見られるケースがあった。例えば、9/4の11:08に初めのパルスノイズを確認し、その後発生頻度が徐々に高くなり、9/8-10にかけて最も頻発し、その後次第に減少して9/13の06:35を最後に終息した。このパルスノイズの発生するチャンネルおよびタイミングはランダムであった。また、このパルスノイズは、システムの**Pre-Amp Overflow Error**として警告を発生しないため、ある程度頻繁に発生しないと発見するのが難しく、原因は不明である。

パルスノイズの詳細を図4.3-7に示すが、上段の通常表示画面では黒点のみが視認できる。これを、中段のように時間軸を広げて拡大表示するとパルス状の波形（パルスが鋭く巾が狭いため、表示ドットの欠落部分が発生）が視認でき、一つのパルスノイズに着目して更に拡大すると下段のようにマイナス側（白抜き部分）に大きく振れているパルス形状が確認できる。

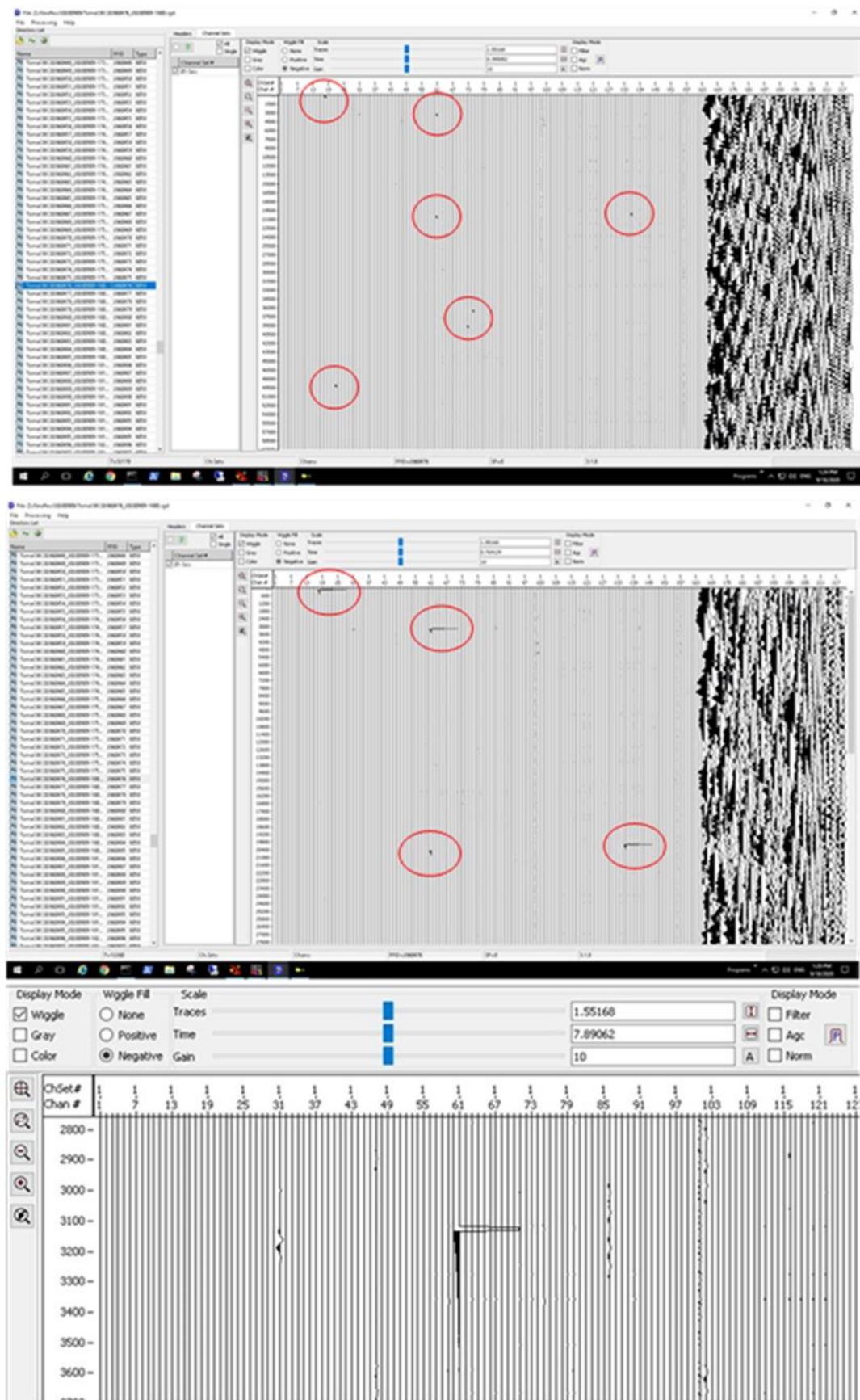


図 4.3-7 デジタルデータ伝送に係るパルス状ノイズ

④ PreAMPオーバーフローのワーニングメッセージ

連続観測中、2020年6月17～29日、7月3～20日、9月14日、9月25～26日、10月8日、10月11日、10月15日、10月17日、10月28～29日、11月8～9日、12月12日、2021年1月26～30日、2月11日、3月14～15日、3月20日、弾性波探査の発振作業による2020年7月13日～8月6日に、GeoResの観測ログに下記のワーニングメッセージが表示されたが、連続観測が停止することはなかった。

Module Status Warning Errors (00020000)

このワーニングメッセージは、PREAMP_OVR_ERRORというものであり、選択されたプリアンプゲインを信号に適用した結果、信号の振幅が大きくてA/Dコンバータの入力限界を越えたことを意味する。例えば、センサー直上を船舶が通過した場合や、自然地震または弾性波探査の発振等が原因で大振幅となる場合に生じる。

ハイドロフォンch208（72個のモジュールのうち66番目のモジュール；SN9598）に発生したパルス状ノイズによるものは、本年6月および過去のシステムテストにおいてインピーダンスの低下が確認されており、おそらくハイドロフォンのコンデンサーに微小なひびが入り、これが閉じたり開いたりする際にパルス状のノイズが発生するものと推察される。

⑤ モニターに観測波形振幅が表示されない状況への対応

観測波形振幅を表示するモニターにノイズモニターのwindowは表示されるが、ノイズバーが表示されない状況が、2020年4月13日、8月12日、10月13日、12月8日、2021年2月4日に生じた。観測データは正常であるものの、この現象は、長期間（約50日間）連続して観測を継続した場合に発生するもので、観測ソフトのバグと思われる。

ノイズバーを表示するためには観測プログラムの停止/再開が必要であり、現地保守点検作業時に観測を停止/再開したため、各々、下記の欠測が生じた。

20200505-1400.sgd～20200505-1438.sgd：39 ファイル欠測

20200505-1445.sgd：1 ファイル欠測

20200505-1500.sgd～20200505-1547.sgd：48 ファイル欠測

20200824-1603～20200824-1611：9 ファイル欠測

20201019-1511～20201019-1512：2 ファイル欠測

⑥ テープバックアップの停止と対応

バックアップテープドライブのSCSIポートエラー（E6300）が、2020年6月24日、7月18日、8月29日、9月1～30日、10月1～31日、11月1～30日、12月1～31日、

2021年1月1～6日、2月3～15日に生じたことが確認され、テープドライブのバックアップソフト「CA ARCServe Backup」のテープエンジンサービスの停止/再開や arcserver backup サービスを再起動させることにより復旧させた。

しかしながら、2020年11月18～26日、2021年1月7～12日には、「使用可能なスロットがありません（E8015）」というエラーが発生し、テープへの書込みが失敗したが、エラーの発生原因は不明である。

これらのエラーを踏まえ、データバックアップ体制が冗長性を有していることから、テープバックアップ自体の運用を終了することとした。

⑦ ファイルリネームの不具合への対応

2021年2月18日に、サーバ更新作業終了後の観測データを確認したところ、GeoRes から NAS サーバへの書込み、小型外付け NAS-HDD へのファイルリレーは正常に行われていたが、ファイル名に年月日時分を付けるリネームが2分おきまたは4分おきにしか行われていないことが判明した。

このため、存在しているデータファイルを手動でリネームして所定フォルダにコピーするとともに、GeoRes システムにインストールされているファイルリネーム用のソフトウェア（Rename_Dir）を修正し、正常にファイルリネームされることを確認した。これまではソフトウェアの開発環境が提供するファイルの移動モジュールを使用していたが、この修正以降は Windows のシステムコマンド（MOVE）を使用することとした。

(2) 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、バックアップ用カートリッジテープの交換等である。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。

2020年度は、4月27～28日、6月23～24日、8月24～25日、10月19～20日、12月14～15日および2021年2月15～18日の計6回実施した。図 4.3-8 に現地保守点検時に使用したチェックリストの例を示す。

上記の通常保守点検に加えて、2月15～18日に実施した NAS サーバの交換を含め、①～③の作業を実施した。

表 4.3-4 現地保守点検における実施内容

作業内容	4/27-28	6/23-24	8/24-25	10/19-20	12/14-15	2/15-18
1)観測状態の確認	○	○	○	○	○	○
2)NAS 接続 HDD の交換	○		○	○	○	○
3)カートリッジテープの交換	○				○	
4)セキュリティソフトのアップデート	適時					
5)GeoRes の不具合対応			○	○		
6)GeoRes の HDD コピー他						○
7)NAS サーバの HDD 交換				○	○	○
8)雷防護装置の位置変更		○				
9)NAS サーバの更新						○

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	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

実施日：2019年10月24日 ~ 2019年10月25日
 実施時間：13時00分 ~ 11時00分

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	OK
データ取得機能 (GeoRes)	稼働状況	正常動作	OK
	TB時刻	正分発生	OK
	GPS時計	正常動作	OK
	各種設定	設定パラメータ値など (S/R:2ms、Rec長:60s)	OK
	チャンネル数	既定のチャンネル数 (55モジュール×4ch=220ch)	OK
	データ状況	観測波形の異常の有無	無
	動作ログ	エラーメッセージ等の有無	無
		異常停止などの有無	無
	内臓HDD	欠測ファイルの有無	有 *
		Cドライブ容量(残量)	406GB / 465GB
Dドライブ容量(残量)		3.47TB / 3.63TB	
データ収録機能	NASサーバー	正常動作	OK
		データ収録	OK
		Cドライブ容量(残量)	33.1GB / 99.8GB
		Dドライブ容量(残量)	21.8TB / 57.2TB
	バックアップ用HDD	使用中HDD No.	24-5
		ドライブ容量(残量)	2.72TB/2.72TB
	バックアップ用HDD切換	正常切換 切換HDD No.	OK 23-5 → 24-5
	バックアップ用HDD交換	正常交換	OK
		交換HDD No. 発送HDD No.	23-5 取外し 28-5 取付け 23-5はRITE担当者へ
	バックアップ用テープ	バックアップは正常終了	OK
使用中テープ番号		TCB680L5	
ブランクテープ数		4	
テープ交換	交換テープNo.	-	
モジュール電源	Near(奇数番)	電圧値: 191 V 電流値: 0.622 A	
	Far(偶数番)	電圧値: 191 V 電流値: 0.620 A	
UPS	Falcon(OBC供給電源他)	入力電圧: 101.4 V 出力電圧: 100.0 V 周波数: 49.9 Hz 負荷: 36 % 温度: 24.6 °C	
	サンケン(NAS、GeoRes他)	入力電圧: 99.5 V 出力電圧: 98.5 V 周波数: 49.9 Hz 負荷: 27.6 % 温度: 26.1 °C	
アース線	コネクタ接続	正常接続	OK
	アース線外観	キズの有無	無
雷検知器	動作状況		停止 正常 無効
	カウンター回数		1199 回
	DC電源		27.1 V
	充電器	正常動作	OK
webカメラ	モニター機能	正常動作	OK
正分信号発生装置	外観	異常の有無	無
	動作	正常動作	OK
GPS分配器	外観	異常の有無	無
GPS用同軸避雷器	外観	異常の有無	無
その他	小型NAS交換 23-5(～TomaOBC02403221)→24-5(TomaOBC02403222～) 28-5:取付け 29-5:設定済み(予備保管中) 小型NAS実装状況 24-5(使用中)、実装NAS:25-5、26-5、27-5、28-5 バックアップテープ実装状況 TCB680L5(使用中) 実装:TCB681L5、TCB682L5、TCB683L5、TCB684L5 (TCB685L5～TCB689L5 5巻は保管中) *10/24 リアルタイムモニター復旧の為に再起動により1ファイル欠測 欠測時間:15時14分		

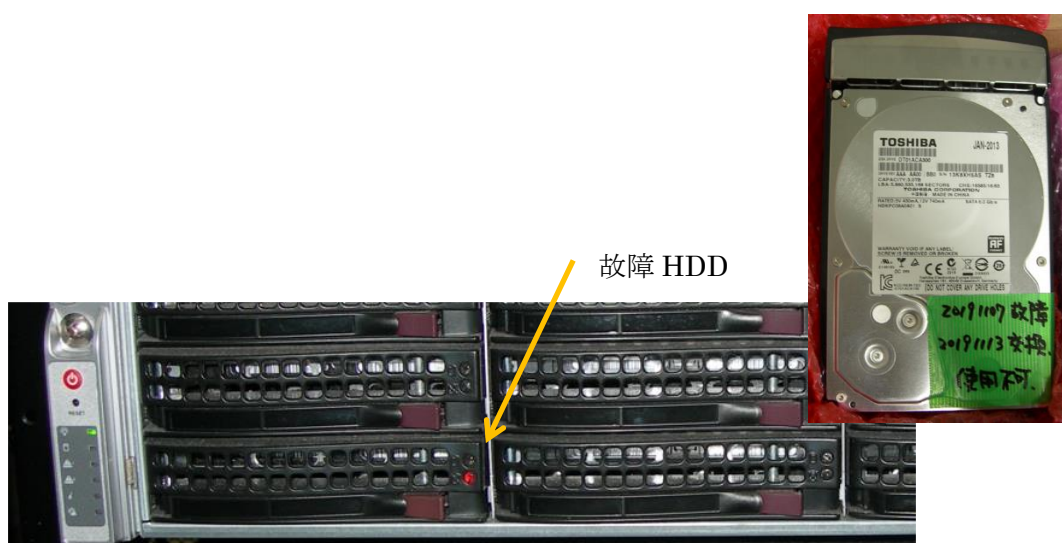
図 4.3-8 現地保守点検時に使用したチェックリスト（例）

① NASサーバのHDDの故障への対応

NASサーバは、24台のHDDを用いてRAID6を構成しているが、2013年4月に導入してから7年余り経過していた。2020年度は、図4.3-9に示すように、このHDDの故障が頻繁に生じたため、都度、欠測は伴わないが予備HDDと交換した。メーカーによると、NASサーバによるRAIDリビルド前に他のHDDでもエラーが出ている場合はRAID自体が危険な状態とのことである。ログを見る限りエラー発生は故障したHDDのみであるため、当面問題はないと考えられたが、故障HDDの放置はRAIDの構築に支障が出るため、早期に交換することとし、複数のHDDが故障してNASサーバ自体が損壊する前に、同等品への交換を2021年2月15～18日に実施した。

以下に2020年度のHDD故障履歴を記す。

- 1) 5月5日、14:04より、度々NASサーバへの書き込みエラーが発生し、NASサーバの電源リセットを実施し、15:48にレコーディングを再開。
- 2) 9月、書き込みエラー発生。スロット5のHDDにエラー頻発。HDD交換。
- 3) 10月、Disk File Write Errorの発生とファイルコピーのFile_Relayの停止が頻発するため、HDDの状態をチェック。スロット5のHDDで頻繁にエラーが発生しており、10/19に当該HDDを交換。
- 4) 11月、NASサーバのデータ書き込みエラーが発生。スロット0およびスロット9のHDDで頻繁にエラーが発生し、自動RAID再構築。HDD交換。
- 5) 12月、スロット23のスペアHDDにエラー発生。HDD交換。
- 6) 2月、スロット20のHDDにエラー発生。HDD交換。



左下角のHDDの故障を示す赤ランプ点灯状況

上) 故障したHDD

図4.3-9 NASサーバの故障HDD例

交換に当たっては、観測データ収録に係る見直しを行い、現行システムの冗長性を考慮して、テープへのバックアップ保存を終了することとした。これを踏まえ、データ収録装置 NAS の選定を行ったが、単なる「大容量 NAS」の市場販売種は少なく、一般的に流通しているサーバタイプから選定した。

必要とする NAS サーバは、電源が冗長化されていること（リダンダント電源）、HDD のホットスワップ機能（稼働状態のまま交換可能）、ホットスペア機能（予備 HDD を用意し、障害時に自動的に予備 HDD で RAID を再構築する機能）を有し、RAID6 が可能であること等が要件となる。通常の NAS サーバはこれら要件を満たしているため、2 年分程度の観測データが収録できる容量（36 TB）とコストパフォーマンスを考え、HDD の数（ベイ数）が 12 または 16 ベイの製品を対象に、装置およびメーカーともに信頼性のある下記 3 機種を選択肢として選んだ。

Buffalo ; TS51210RH4812

NETGEAR ; ReadyNAS3312 RR331200-20000S(ディスクレスモデル)

SYSTEM WORKS ; POWER MASTER Server S5522

比較の結果、各機種とも機能面では大差がなく、故障時の対応面から、国内で修理対応が容易で、使用している HDD（Western Digital 製）の耐久性に定評があることから、SYSTEM WORKS 社の POWER MASTER Server S5522 を選定した。

NAS サーバの更新は、2021 年 2 月 15～18 日に、下記要領で実施した。

- 1) 15 日、バックアップ用テープドライブ（HP 社 LTO-5 オートローダ BL536B）の使用停止とラックからの取外し（テープドライブは資材置き場に保管）。
- 2) 新規の NAS サーバ（SYSTEM WORKS 社の POWER MASTER Server S5522）をラックに取付け、GeoRes の観測を停止し、これまで使用していた NAS サーバ（JCS 社 NP5S-4U）をシャットダウンした後、新規 NAS サーバを起動しネットワーク IP アドレス他の設定（元の NAS サーバはラックに取付けたまま）。
- 3) GeoRes で取得した観測データが、新規の NAS に支障なく保存されることを確認した後、一旦観測を停止し、新規の NAS サーバの OS（Windows Server IoT 2019 for Storage Standard）と GeoRes の OS（Windows 10）のアップデート。
- 4) 停電時動作確認として、観測状態で強制的に電源を落とし（ブレーカ off）、システムシャットダウンの正常実施と電源 on による自動起動を確認。
- 5) 17 日夕方から連続観測状態に移行し、翌 18 日に観測データを確認。

作業状況他の写真を、図 4.3-10～図 4.3-13 に示す。更新した新規 NAS サーバの仕様を表 4.3-6 に示す。



図 4.3-10 NAS サーバ取付状況(前面/中段)



図 4.3-11 NAS サーバ取付状況(背面)



図 4.3-12 NAS サーバ取付状況(前面/上段)



図 4.3-13 OBC 観測システム(前面)

表 4.3-6 新規 NAS サーバ仕様

メーカー	SYSTEM WORKS
型番	POWER MASTER Server S5522
CPU	Intel Xeon E-2234 (4-Core/3.6GHz/8MB/71W)
メモリー	16GB DDR4-2666 ECC (8GB×2)
メインボード	Supermicro X11SCL-F
システムドライブ	WD Black SN750 NVME SSD 250GB (M.2/PCIe/NVMe)
HDD	WD/HGST HUS726T4TALE6L4 (4TB/256MB/SATA6G/SV)×12
ベイ数	12 ベイ
搭載 OS	Windows Server IoT 2019 for Storage Standard (16core)
インターフェース	1000BASE-T ポート×2 ポート, USB3.1×2、USB2.0×2
電源、消費電力	AcBel 650W リダンダント電源
ホットスペア等	ホットスペア機能、ホットスワップ機能
RAID コントローラ	MegaRAID SAS 9361-16i (12G/内 16 ポート/PCIe3.0/Single)、RAID6 設定中

② ウィルス対策ソフトのライセンス更新およびアップデート

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。また、NAS サーバの OS は WSS（Windows Storage Server）2008 であり、マイクロソフトによる延長サポート期限は 2020 年 1 月 14 日に終了しており、延長サポート期限以降はセキュリティ面で脆弱となるため、仮想パッチで脆弱性を保護するセキュリティソフト（トレンドマイクロ社 Deep Security as a Service）を 2019 年 12 月 23 日に導入した。

各々のライセンス更新は下記の通りである。

1) ライセンス更新（契約更新手続き）：

Windows 10 用 VBBSS：2020 年 6 月 11 日（GeoRes 用）

WSS 2008 用 Cloud One Workload Security：2020 年 10 月末日

（NAS サーバ用；Deep Security as a Service の後継ソフト）

2) ライセンス期間：1 年契約（1 年間有効）

Windows 10 用 VBBSS：～2021 年 5 月 31 日

WSS 2008 用 Cloud One Workload Security：～2021 年 11 月 30 日

現地保守点検時に、適時、各セキュリティソフトおよび NAS サーバの OS のアップデートを実施した。

NAS サーバの更新を 2021 年 2 月 16 日に行った。新規の NAS サーバの OS は Windows Server IoT 2019 for Storage Standard である。

1) 新規 NAS サーバのセキュリティソフト（OS 付属のもの）：

Windows Defender：OS の延長サポート期限である 2029 年 1 月 9 日まで有効

(3) モジュール内のジオフォンおよびハイドロフォンのテスト

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、2020 年 6 月 15 日（第 1 回）と 2020 年 12 月 10 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。

GeoRes 本体は比較的安定しているため、2020 年度は、2019 年度まで実施していた「メーカー技術者による検査」は実施していない。

インピーダンス値が不良となっているハイドロフォンを表 4.3-7 に示す。

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 AGC（Automatic Gain Control：

自動利得調整）や最大振幅による正規化等を行うことにより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と考えられる。

① 第1回（2020年6月15日）

SN9598（66番目のモジュール）のハイドロフォンのインピーダンスが8.4799 nFと低い値であった（20 nF±35%の、13.0 nF～27.0 nFの間の値であれば正常）。

SN9411、SN9598の2個のハイドロフォンのインピーダンス低下は、これまでも見られたものであるが、今回はSN9411（48番目のモジュール）のハイドロフォンのインピーダンス値は13.974 nFと正常範囲内であった。

② 第2回（2020年12月10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）。

SN9411（48番目のモジュール）のハイドロフォン：9.5326 nF

SN9598（66番目のモジュール）のハイドロフォン：8.4966 nF

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。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。

表 4.3-7 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)	平成25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)	平成26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)	

備考：平成25年度実施した5回の検査：敷設前・敷設中の検査で、H25.2/7-13、4/22-26、6/28-30、7/12-19、8/12-14に実施平成26年度実施した2回の検査：連続観測中のシステムテストで、H26.6/17、H27.2/6に実施

(3) GeoResの不具合対応とHDDコピー等

2020年度にGeoResに発生した不具合は、現地保守点検時に対応し、解消を図った。
また、GeoResのHDDコピーを、NASサーバ更新に併せて、実施した。

① 2020年8月24-25日の現地保守点検

テープへのバックアップは正常に行われている状況であったが、6月24日からバックアップテープドライブのSCSIポートエラーが発生していたため、バックアップソフトのarcserver backupサービスを再起動することで、正常稼働に復帰させた。

原因不明のエラーが8月6日から断続的に発生していたため、GeoResを停止させ、モ

ジュール電源、インタフェース電源のOFF/ON後、GeoResを起動させたものの、エラーの減少には至らなかった。

観測波形の振幅を表示するモニターが8月12日から機能しなくなり、観測を停止/再開することによって、正常稼働に復帰させた。

② 2020年10月19-20日の現地保守点検

NASサーバのHDD（スロット5）の交換を行った。これにより、9月より発生していたDisk File Write Error、8月からしばしば発生していたFileRelayの停止は発生しなくなった。

FileRelayが10月18日の01:13に停止していたため、再起動させ、コピーされなかったファイルを手動でコピーした。

観測波形の振幅を表示するモニターが10月13日から機能しなくなり、観測を停止/再開することによって、正常稼働に復帰させた。

テープバックアップは正常に行われているものの、バックアップソフトのarcserverにエラー（SCSIエラー）が発生していた。テープバックアップの運用終了も視野に入れていたことから、状況を見ることとした。

③ 2021年2月15-18日の現地保守点検

定期メンテナンスおよびNASサーバ更新を実施した。

2月15日に、従来NASサーバのスロット20のHDDにエラーが発生していたため交換したところ、RAIDの再構築が行われ、2月16日の05:43に再構築が終了した。

2月16日に、新規NASサーバの設定を行い、正常動作を確認した。

2月17日に、新規NASサーバからGeoResのHDDにコピーを作成し、起動を確認後、元のHDDに戻した。また、GeoResのHDDから保管中の2台のHDDにコピーを作成し、コピーした1台のHDDでの起動を確認した後に、そのHDDを使用することとした。

GeoRes更新以降、これまでの各HDDのバックアップ作成履歴を表4.3-8に示す。

表 4.3-8 GeoRes の HDD のコピー履歴

	①元々GeoRes取付け (SN:WMAYP4589908) Original Master 黒ラベル WD RE4 SATA/64MB Cache WD5003ABYX	②Geospace供給の予備 (SN:WMAYP4640355) 黒ラベル WD RE4 SATA/64MB Cache WD5003ABYX	③日本で用意した予備 (SN:WMAYP0P6TMHW) 黄ラベル WD Re SATA/64MB Cache WD5003ABYZ
2017年			
4/9-14 GeoRes交換時	設定後使用(4/14~)	保管(win10+GeoResプログラム)	未使用
5/17-19 メンテナンス	継続使用	同上	5/18①からコピー作成、保管
7/18-19 メンテナンス	7/17不具合発生 点検依頼	同上	7/18交換、設定 7/19~使用
7/26作業	点検中、HDD異常なしの情報	7/26③からコピー作成、使用	7/26②にコピー、保管
9/21-22 メンテナンス	9/21③からコピー、保管	継続使用	9/21①にコピー、保管
9/26-27 不具合対応	9/26②からコピー、③にコピー、 保管	9/23に不具合発生 HDD異常なし 9/26に設定、①にコピー、使用	9/26①からコピー、保管
2018年			
4/23-25 システムテスト	4/23③からコピー、保管	4/23にWindows10のupdate実施、 ③にコピー、使用	4/23②からコピー、①にコピー、 保管
2019年			
4/22-25 システムテスト メンテナンス	4/22②からコピー、保管	4/22のGeoResGUI.exeインストール の前に、①にコピー GeoResGUI.exeインストール、設 定、スクリプト設定後、4/25に③に コピー、使用	4/25②からコピー、保管
2021年			
2/15-18 メンテナンス NASサーバ更新	2/18②からコピー、保管	2/17③にコピー 2/18①にコピー、保管	2/17②からコピー、GeoRes起動確 認後、使用

注) 網掛けは GeoRes 本体に取り付けて観測に使用していることを示す。

(4) 雷防護装置の位置変更

2020年6月23日の現地保守点検作業で、モニター室内の雷防護装置（SPD）の挿入位置を変更した。

変更前；GeoRes/インターフェースー50 m デッキケーブルー[SPD]ー200 m 陸域リードインケーブル

変更後；GeoRes/インターフェースー[SPD]ー50 m デッキケーブルー200 m 陸域リードインケーブル

これにより、GeoRes/インターフェース部分の雷防護がより確実になるものと考えられる。

4.3.3 OBC観測システムによる観測結果

2020年度を通して常設型OBCによる観測（55モジュール^{*21}）×4ch=220ch）を実施した。

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6個の地震を選び、波形記録を例示する。これらの地震の震央を図4.3-14に示す。

表 4.3-9 常設型 OBC により観測された自然地震の波形記録例

番号	発生時刻	マグニチュード	震源の深さ	震央位置
(1)	2020年04月10日19:22:56.0s	Mjma4.4	72km	浦河沖
(2)	2020年05月31日03:13:49.2s	Mjma5.6	94km	十勝沖
(3)	2020年06月21日12:09:08.7s	Mjma-0.2	39km	胆振地方中東部
(4)	2020年07月28日05:43:07.5s	Mjma2.8	39km	胆振地方中東部
(5)	2020年09月29日12:45:24.5s	Mjma2.6	137km	苫小牧沖
(6)	2020年10月01日00:22:15.1s	Mjma0.6	27km	胆振地方中東部

*21) 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。

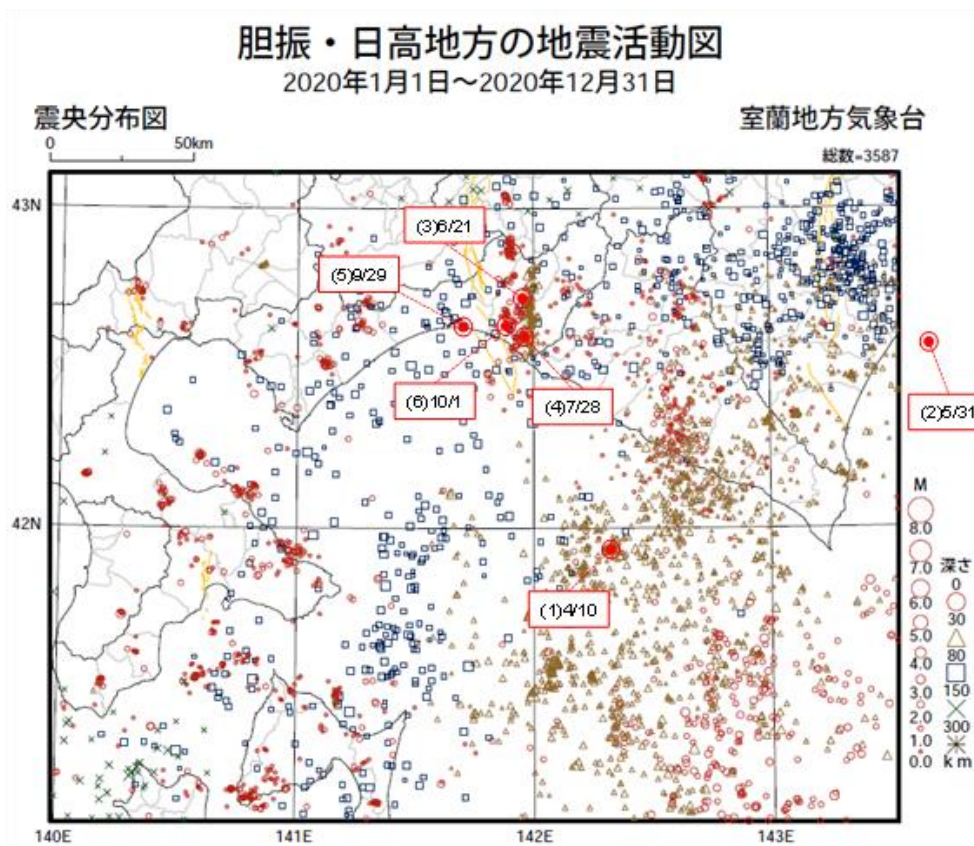


図 4.3-14 波形記録例で示した地震の震央位置

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の例を、（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）の波形記録と対比して、図 4.3-15 に示す。

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 4.3-15 (1)は、浦河沖で発生した $M_{jma}=4.4$ 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。

図 4.3-15 (2)は、十勝沖で発生した $M_{jma}=5.6$ の地震の観測記録である。この地震は本年度 4 月から 12 月までに近くで発生した最大のマグニチュードの地震である。振幅が非常に大きく、P 波、S 波の識別が容易にできる。

図 4.3-15 (3)は、胆振地方中東部で発生した $M_{jma}=0.2$ の地震の観測記録であり、2018 年 9 月 6 日に発生した平成 30 年北海道胆振東部地震の震源域に位置する。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。非常に規模の小さい地震であり Hi-net 厚真では振幅が極めて小さいが、OBC ではセンサーが直線状に並んでいるため、波形記録の連続性からイベントを識別することが可能である。

図 4.3-15 (4)は、胆振地方中東部で発生した $Mjma=2.8$ の地震の観測記録であり、2018年9月6日に発生した平成30年北海道胆振東部地震の震源域に位置する。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。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。Hi-net 厚真の観測記録では、この地震の他にも小さな地震が記録されている。Hi-net 厚真の観測記録には、この地震の他に青森県東方沖の $Mjma=3.4$ の地震も記録されている。

図 4.3-15 (5)は、苫小牧沖で発生した $Mjma=2.6$ の地震の観測記録である。平面的には CO_2 圧入範囲の近くに位置するが、深さが 137km と非常に深い。OBC、Hi-net 厚真ともに P波、S波の識別が可能である。

図 4.3-15 (6)は、胆振地方中東部で発生した $Mjma=0.6$ の地震の観測記録であり、2018年9月6日に発生した平成30年北海道胆振東部地震の震源域または石狩低地東縁断層帯南部に位置する。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。OBC、Hi-net 厚真ともに P波、S波の識別が可能である。

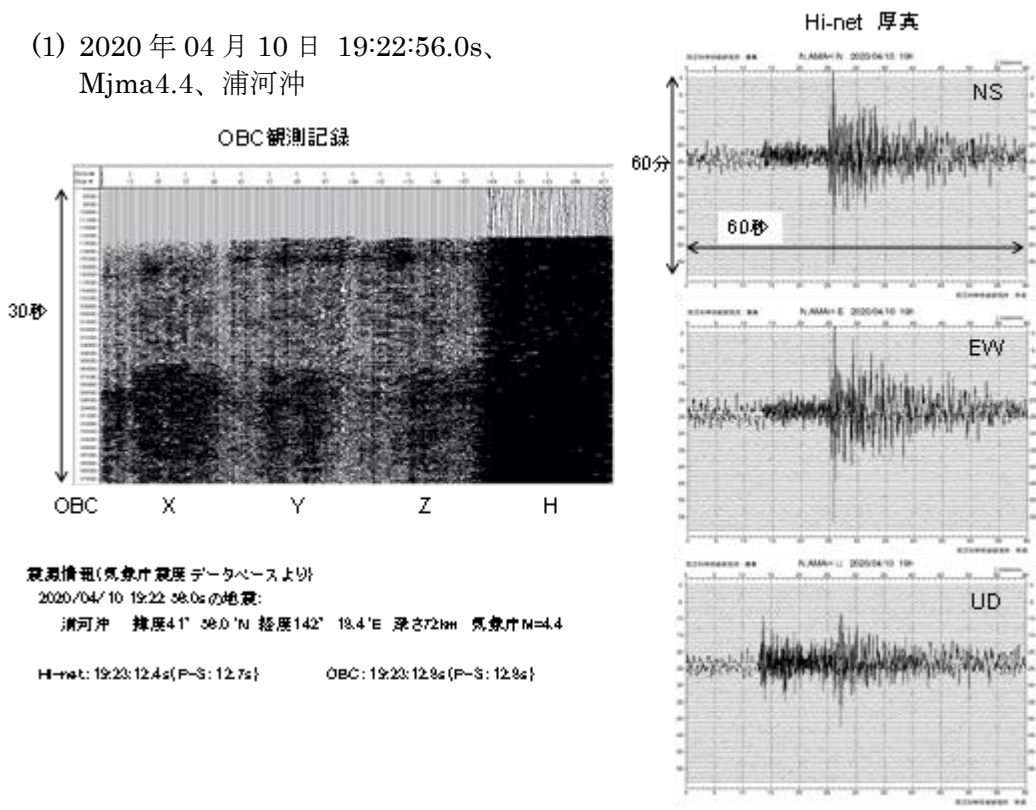
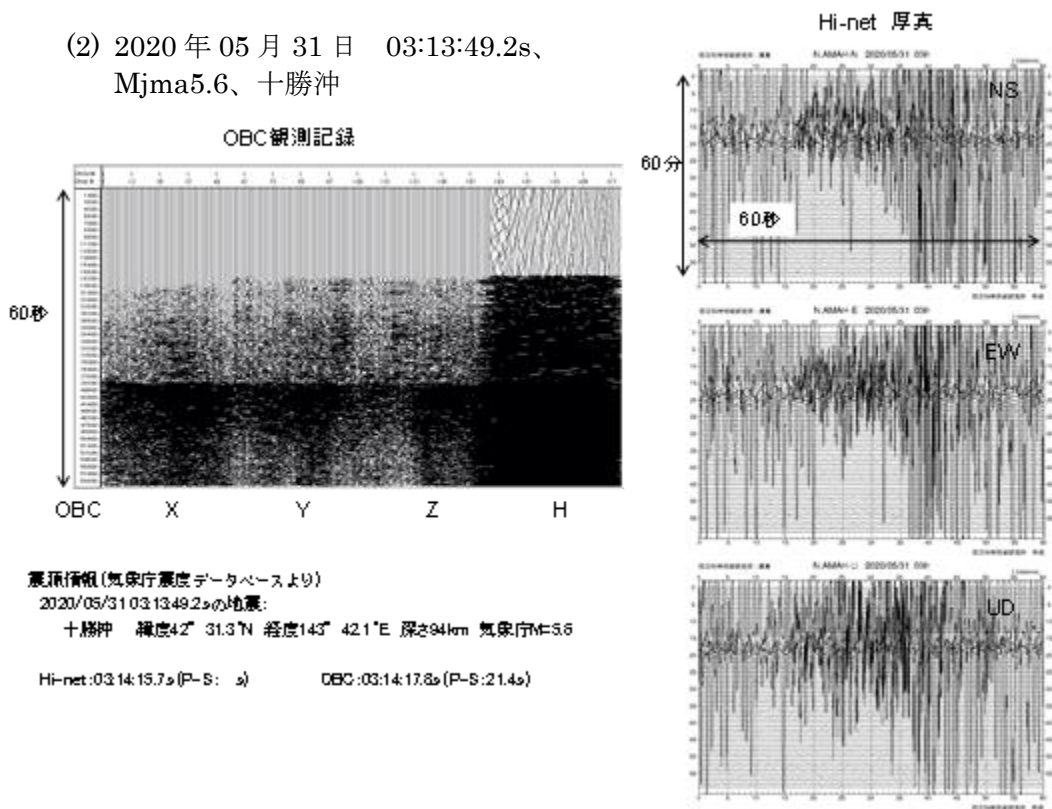


図 4.3-15(1) 地震波到達時の波形記録例



4.3-15 (2) 地震波到達時の波形記録例

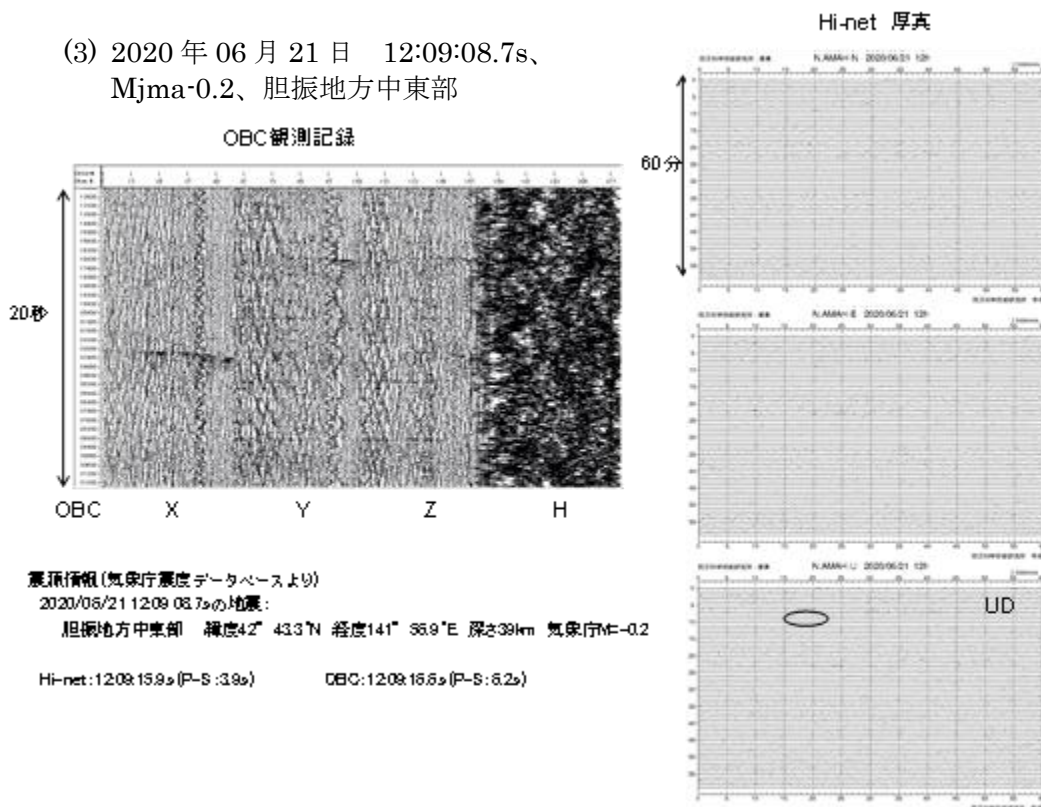


図 4.3-15 (3) 地震波到達時の波形記録例

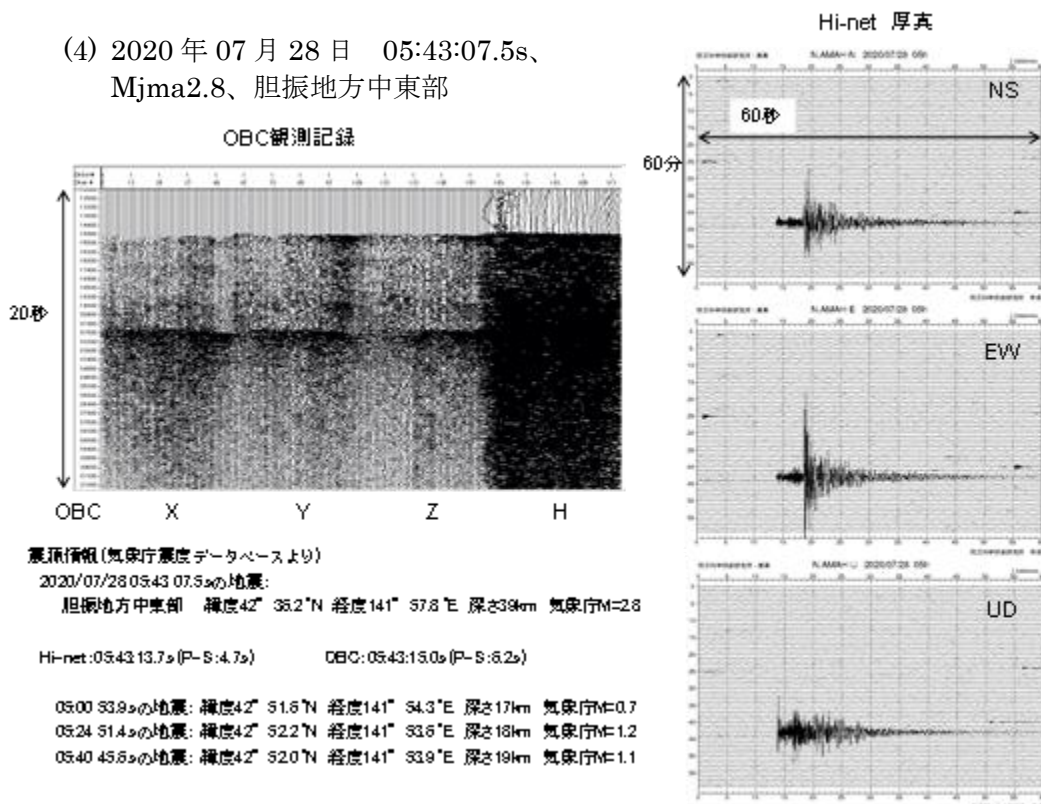


図 4.3-15 (4) 地震波到達時の波形記録例

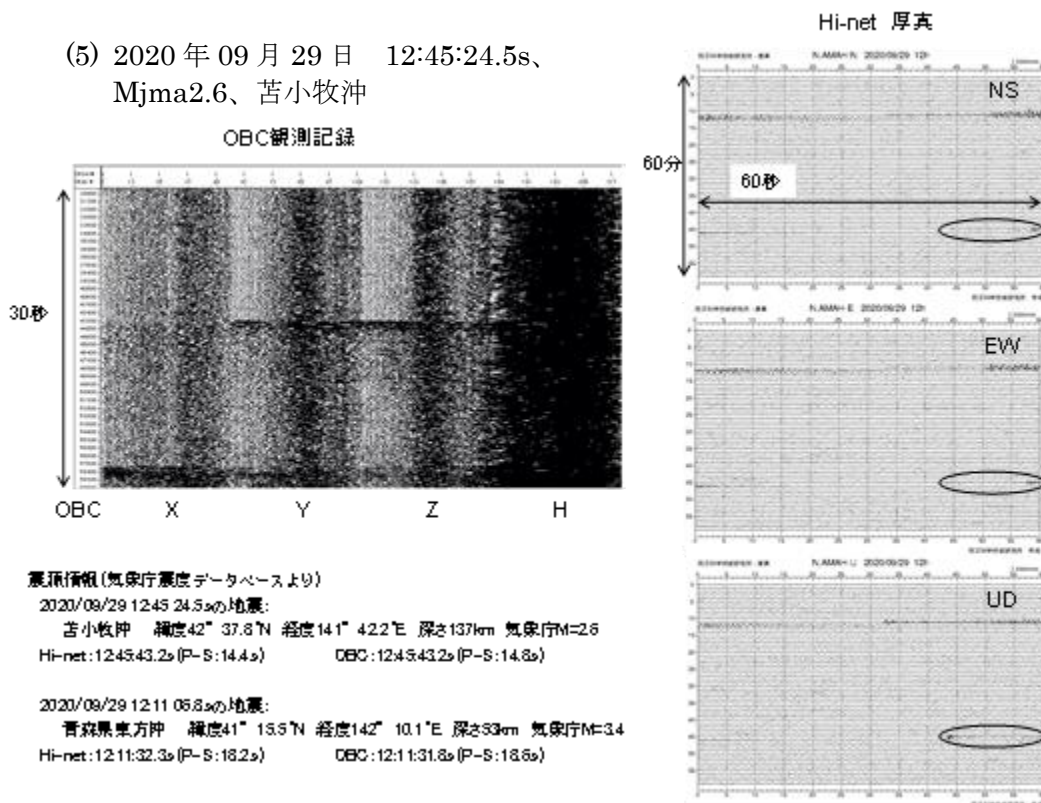


図 4.3-15 (5) 地震波到達時の波形記録例

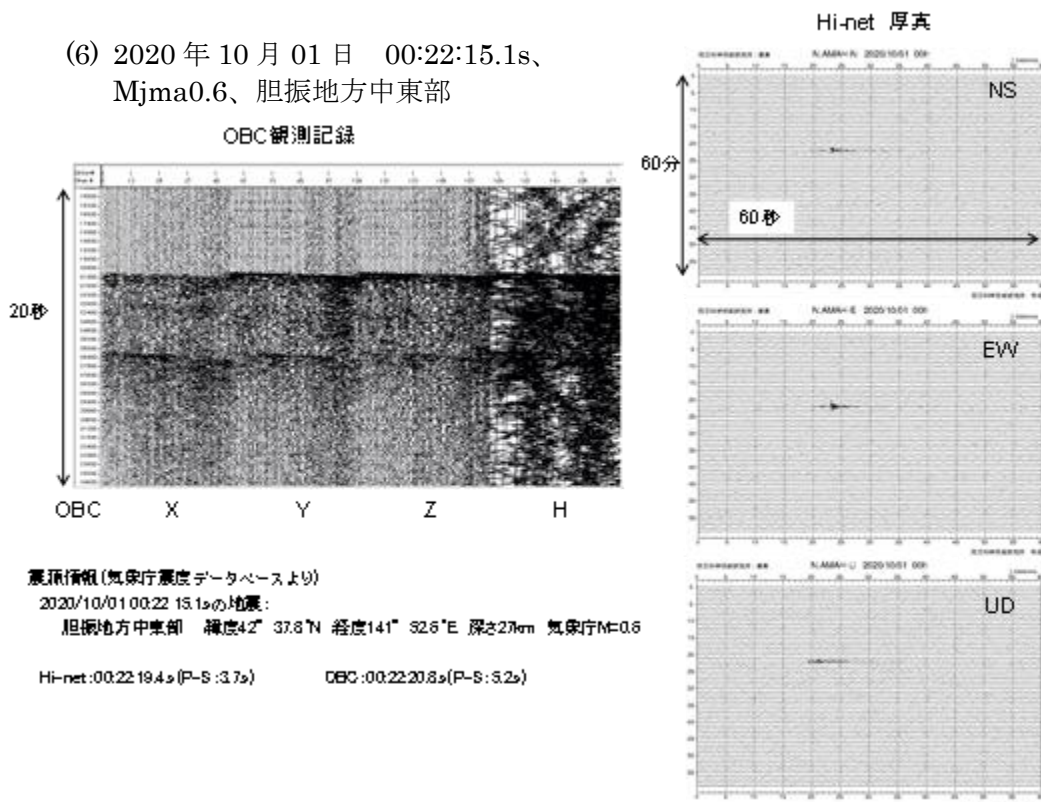


図 4.3-15 (6) 地震波到達時の波形記録例

なお、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 4.3-10 に示す欠測が生じた。

表 4.3-10 2020 年度の欠測等の状況（2020 年 4 月～2021 年 3 月）

欠測ファイル（ファイル数）	参照項目
2020/05/05 14:00:00～2020/05/05 14:38:00 (39) 2020/05/05 14:45:00 (1) 2020/05/05 15:00:00～2020/05/05 15:47:00 (48) NAS サーバへの書き込みエラー・システム再起動による欠測	4.3.2(1)①
2020/05/25 01:14:00～2020/05/25 01:36:00 (23) 2020/05/25 02:18:00～2020/05/25 08:13:00 (356) 落雷が原因と考えられる欠測	4.3.2(1)②
2020/06/15 11:01:00～2020/06/15 11:32:00 (32) 2020/06/22 14:44:00～2020/06/22 14:51:00 (8) システムテスト実施のためのデータ取得一時停止による欠測	4.3.2(3)
2020/06/23 13:18:00～2020/06/23 13:51:00 (34) 現地メンテナンス（避雷器取付位置交換）実施のためのデータ取得一時停止による欠測	4.3.2(1)②
2020/08/24 16:03:00～2020/08/24 16:11:00 (9) 現地保守作業による欠測	4.3.2(3)①
2020/10/08 00:16:00 (1) 2020/10/08 00:19:00 (1) 2020/10/17 01:43:00 (1) NAS サーバ停止による欠測	4.3.2(1)①
2020/10/19 15:11:00 (1) 2020/10/19 15:12:00 (1) 現地保守作業時、リアルタイムモニター復旧のための GeoRes の再起動による欠測	4.3.2(1)③
2020/11/22 01:09:00 (1) NAS サーバ停止による欠測	4.3.2(1)①
2020/12/10 10:32:00～2020/12/10 11:29:00 (58) システムテスト実施のためのデータ取得一時停止による欠測	4.3.2(3)
2020/12/14 14:19:00～2020/12/14 14:28:00 (10) 現地保守作業による欠測	4.3.2(2)
2021/2/16 09:46:00～2021/2/16 10:07:00 (22) 2021/2/16 11:25:00～2021/2/16 11:42:00 (18) 2021/2/16 13:51:00～2021/2/16 14:25:00 (35) 2021/2/16 14:40:00～2021/2/16 15:06:00 (27) 2021/2/17 09:00:00～2021/2/17 09:46:00 (47) 2021/2/17 09:53:00～2021/2/17 10:07:00 (15) 2021/2/17 10:30:00～2021/2/17 11:44:00 (75) 2021/2/17 11:47:00～2021/2/17 11:51:00 (5) 2021/2/17 15:15:00～2021/2/17 16:58:00 (104) 現地保守作業および NAS サーバ交換による欠測	4.3.2(2)①

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、2020 年度は、2013 年度、2016 年度、2017 年度、2018 年度および 2019 年度に続いて、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*22)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。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 4.3-11 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 4.3-16 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 4.3-11 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)。

*22) 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。

(1) 海底地形測量

海域作業の工程を表 4.3-12 に示す。海底地形測量は 6 月 28～7 月 6 日に実施^{*23)}した。

表 4.3-12 海域作業の工程

実施内容	2020年6月			2020年7月					
	28日	29日	30日	1日	2日	3日	4日	5日	6日
艀装	●	●							
GNSS 精度確認		●							
シングルビーム測深（OBC ルート）				●					
マルチビーム測深（OBC ルート）				●	●	●		●	
マルチビーム測深（OBS 設置点周辺）								●	
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^{*24)}（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 4.3-17 に RTK-GNSS の概念図を示す。

測量船には、図 4.3-18 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^{*25)}（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^{*26)}および上下動（Heave））の情報と

*23) 実施に先立ち、5 月 15 日に第一管区海上保安本部に OBC 埋設ルート他の海底地形測量に係る水路測量許可申請書を提出（メール）し、水路測量許可書（令和 2 年 5 月 26 日付）を受領。また、5 月 15 日に苫小牧港長宛に OBC 埋設ルート他の海底地形測量に係る作業許可申請を提出（郵送）し、苫小牧海上保安署より作業許可申請（令和 2 年 5 月 29 日付）を受領。

*24) 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）。

*25) 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。

*26) 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。

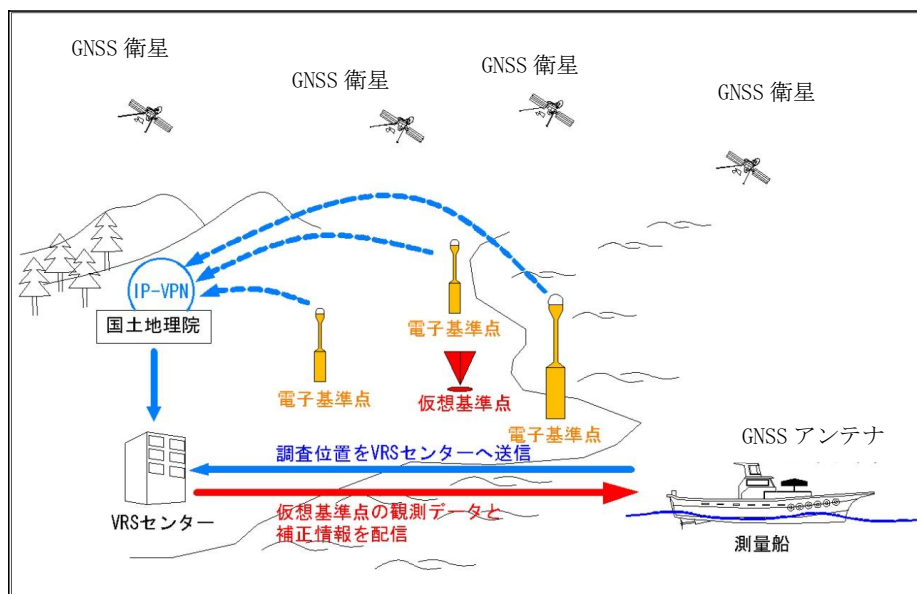


図 4.3-17 VRS 方式による RTK-GNSS（ネットワーク型 RTK 法）の概念図



図 4.3-18 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（。）を使用し、水深5m以浅の海域ではシングルビーム測深機*27（直下の測深データのみ取得できる。）を用いた。図4.3-19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4.3-13に示す。

測深データの取得においては、測量船の舷側に測深機の送受波器を艀装し、約4ノット（約10km/h）の一定速度で航行した。測量時の航跡は、OBC方向に10~70m間隔で深くなるほど広くして、効率的に測深データが取得できるようにし、水深精度確認のため、適宜、OBCを横切る方向（横断方向）に測定を行った。図4.3-20にOBC範囲の測量実施時の航跡図を示す。

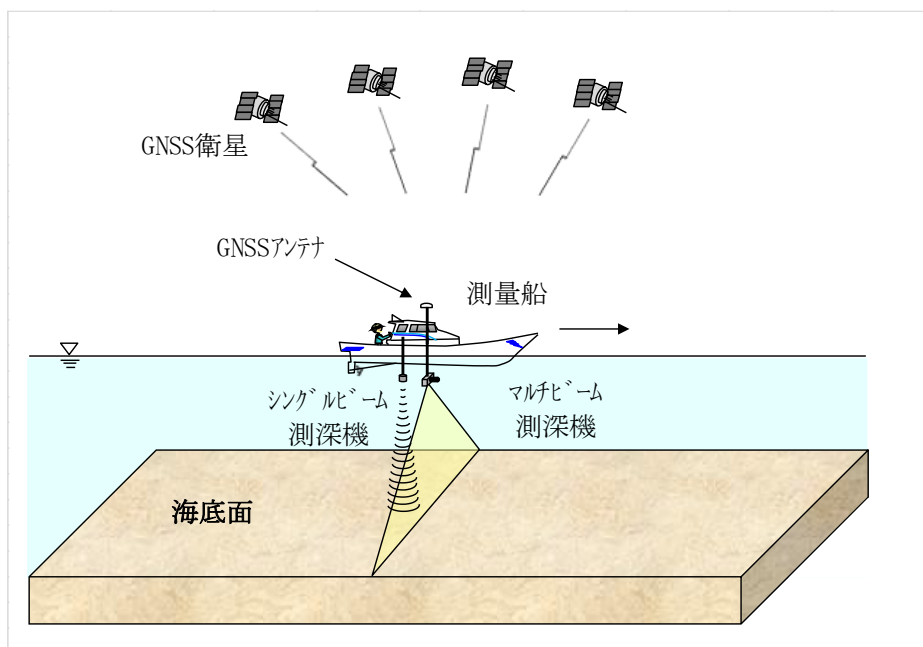
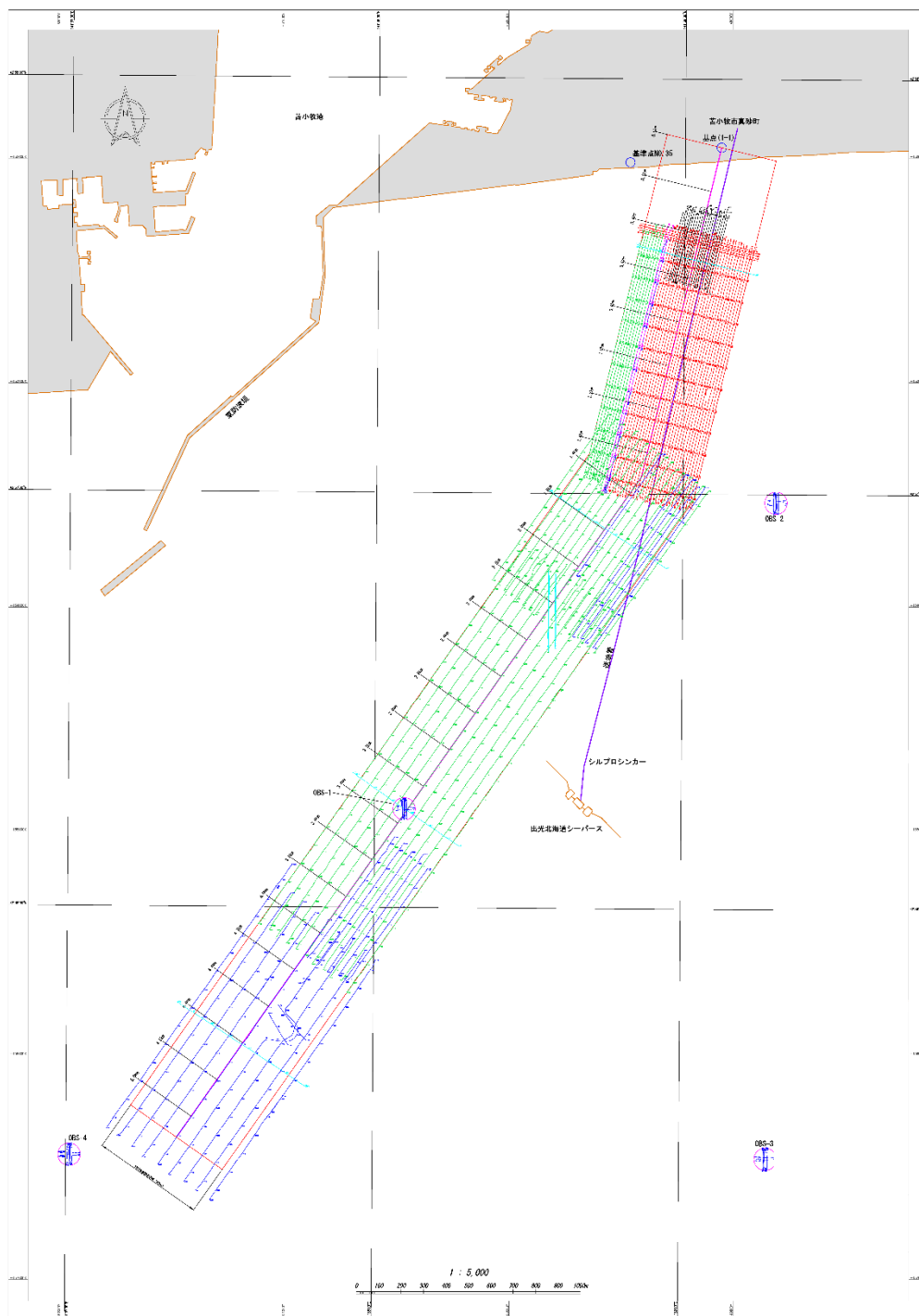


図 4.3-19 マルチビームとシングルビームによる測深概念図

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

表 4.3-13 使用機器一覧

機器名・型式	性能・諸元	製造元	摘要
シングルビーム 測深機 PDR1300 型	周波数：200 kHz ビーム幅：半減全角 6°	千本電機	シングル ビーム測深
ナローマルチ ビーム測深機 Sonic2024 型	周波数：200/400 kHz (10 kHz ステップ 可変) ビーム数：256 本 スワッス幅：10～160° フットプリント：左右 0.5° × 前後 1.0° 測深分解能：12.5 mm	R2SONIC 社	ナローマルチ ビーム測深
動揺センサー、 方位センサー POS / MV (Position & Orientation System for Marine Vessel)	ロール・ピッチ：0.005° ヒープ：3.5 cm(3.5%) 真方位：0.025°	Applanix 社	動揺 (ロール・ピッチ・ ヒープ) 船首方向 (真 方位)
RTK-GNSS NetR9 型	水平：8 mm+0.5 ppm RMS 垂直：15 mm+0.5 ppm RMS 初期化時間：通常 10 秒以下 初期化信頼性：通常 99.9%以上	Trimble 社	GNSS 測位
水中音速度セ ンサー SVPS センサー	仕様：音速、圧力測定 耐圧：500 m	AML Oceanographic 社	水中音速度 測定
作業船 第八松栄丸	全長：11.70 m 総トン数：8.5 t	松栄船舶	作業全般
解析ソフト	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 4.3-20 OBC 範囲測量時の航跡図

③ 海底地形図の作成

測深機による測深データ（センサーから海底面までの距離）は、センサーからの発信～海底面での反射～受信までの時間と水中での音波の速度から求めるが、水中音速度は深度

方向にも変化するため、ノイズ除去後、毎日の実測によって得た深度方向の水中音速度プロファイルを用いて補正した。さらに、喫水、船の姿勢、上下の動揺、船首方向およびソナーヘッドの取り付け角等を補正し、得られた測深データに測定時刻と潮位データを関連付け、CDL^{*28)}（最低水面）からの水深のメッシュデータを作成した。図 4.3-21 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 4.3-22 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 年度と比較して 2020 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。

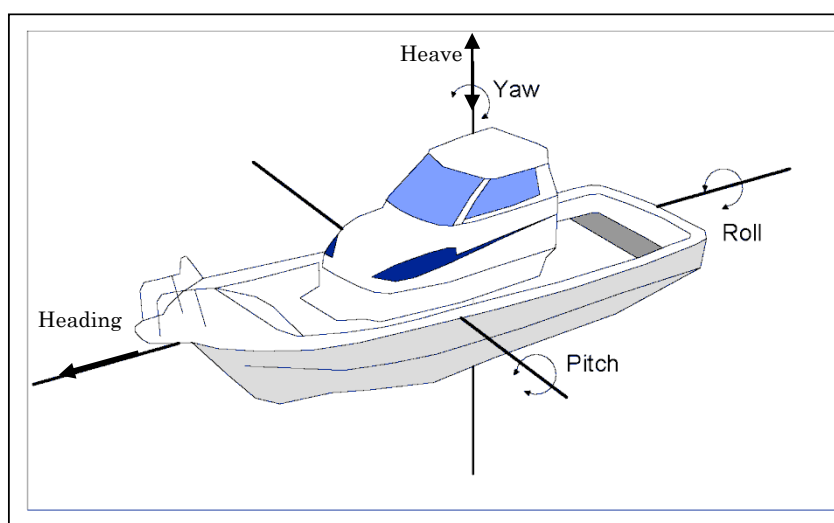


図 4.3-21 船の姿勢、上下の動揺、船首方向の概念図

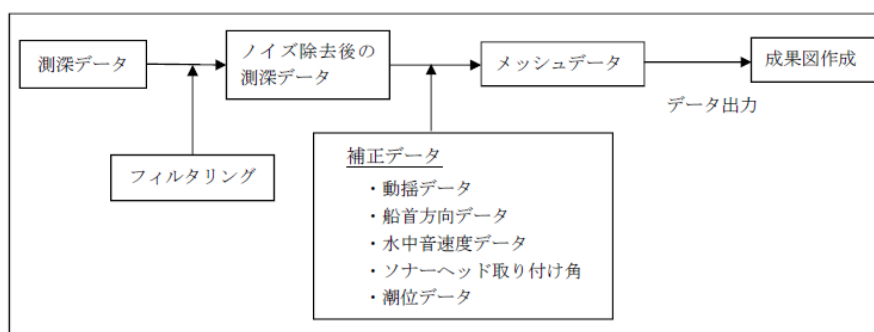


図 4.3-22 測深データの処理フロー

*28) 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

2020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4.3-23に示す。同図より、対象海域の地形は全体が沖合に向けて非常になだらかな緩斜面となっている。

その中であって、注1として示すKP1.4～1.7付近（水深12.5～13.5 m）とKP1.8～3.4付近（水深14～26 m）では、全体に比較的变化に富む地形が見られ、特に、KP1.8～3.4付近では、海底の堆積物が海水の動きの影響を受けたと見られる西南西～東北東方向に堆積物の凹凸が広く分布するリップル域となっている。この海域は、2013年の底質調査により細砂～粗砂の分布が確認されており、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。

注2として示す水深26 m以深（KP3.4～5.1）は、2013年の底質調査によりシルトの分布が確認されており、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、2019年度に見られた曳き跡はやや埋没して不明瞭であり、それとは別の新しい曳き跡が見られる。曳き跡の溝は、深さ15～25 cm程度、長さは50 m～130 mくらいのもので多数を占めるが、2019年度に確認されたKP4.4 km付近を南北方向に走る長さ670 m程度の曳き跡は、若干不明瞭になっているが2020年度も確認された。

注3として示す水深10 m以浅の東側（KP0.7）付近には、2019年度はなかった、形状はやや不明瞭であるが、東西方向に約85 mの曳き跡が確認された。

注4として示す水深10～12 m（KP0.9、KP1.3、KP1.4）付近は、2019年度に凹凸が確認されたが、2020年度は埋没して起伏が単純化しているようである。

② 海底地形の水深差分図

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（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）しており、2019年度と2020年度の測量結果から求めた水深の差分図（以下、「2020-2019差分図」と称する。）を図4.3-24に示す。2019年度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、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ている。

その中であって、注1として示す水深7 m以浅（KP0.2～0.6）では、水深3～3.5 m付近を境界に陸側で堆積、沖側で侵食となっている。2019年度との比較では、最浅部付近で0.2 m程度の侵食となっており、過去の2013年度との比較では、海岸から約0.2 km付近で最大40 cm程度の堆積、海岸から約0.3～0.5 km付近で最大40 cm程度の侵食となっ

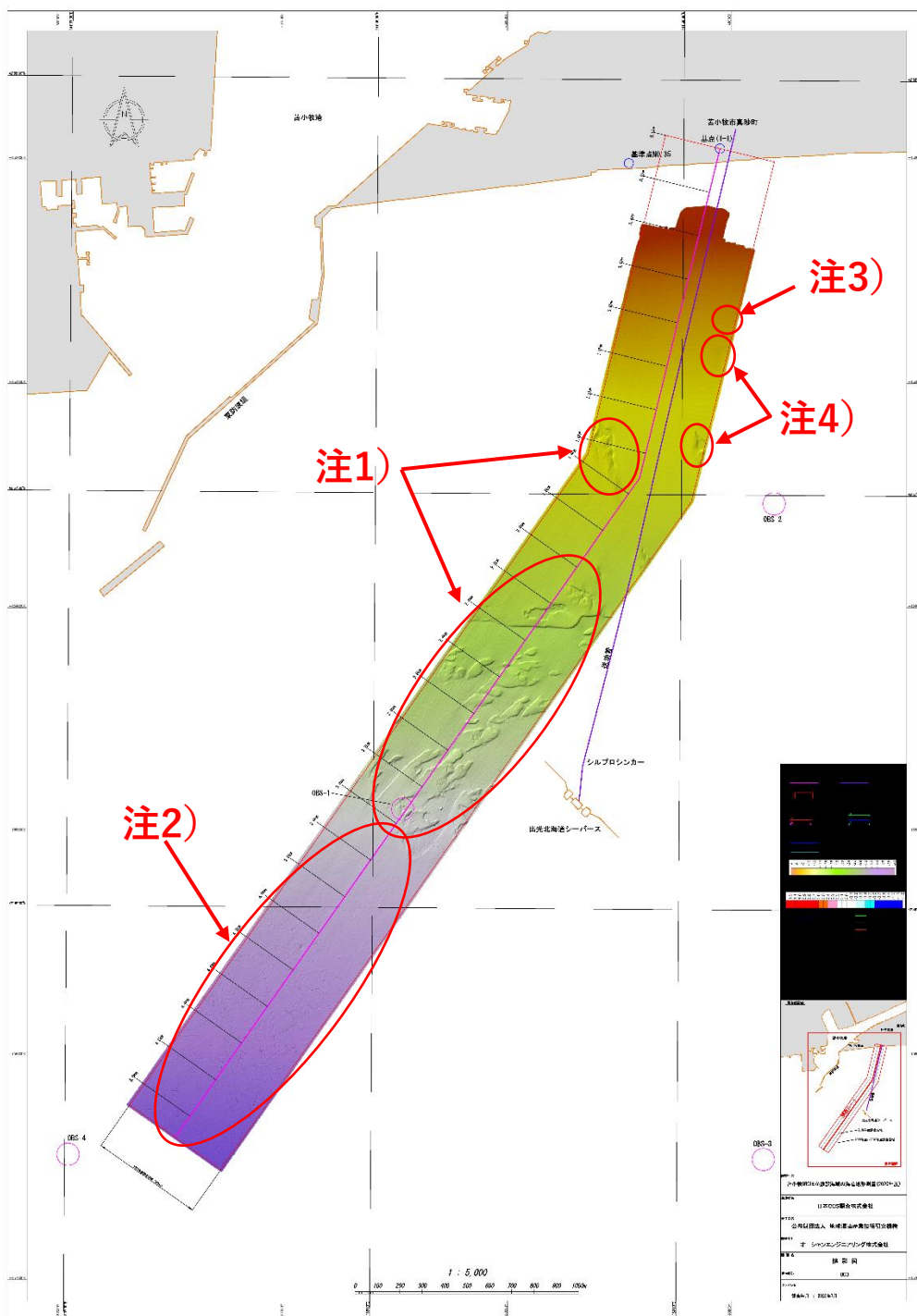
ている。

注2として示す水深13mのルート折れ点（KP1.4～1.6）の西側付近は、2019年度に複雑な凹凸地形が確認された堆積と侵食を繰り返す地点でケーブル西側の侵食状況（洗堀）がやや顕著あるが、2020年度は、堆積の最大は40cm、侵食（洗堀）の最大は60cmとなっており、地形が単純化されている。顕著な侵食箇所はOBC敷設ルート中心から離れているが、ルート縦断面では、図4.3-25に示すように、2013年度に見られたKP1.6過ぎの海底地形の高まりが平滑化された傾向にある。

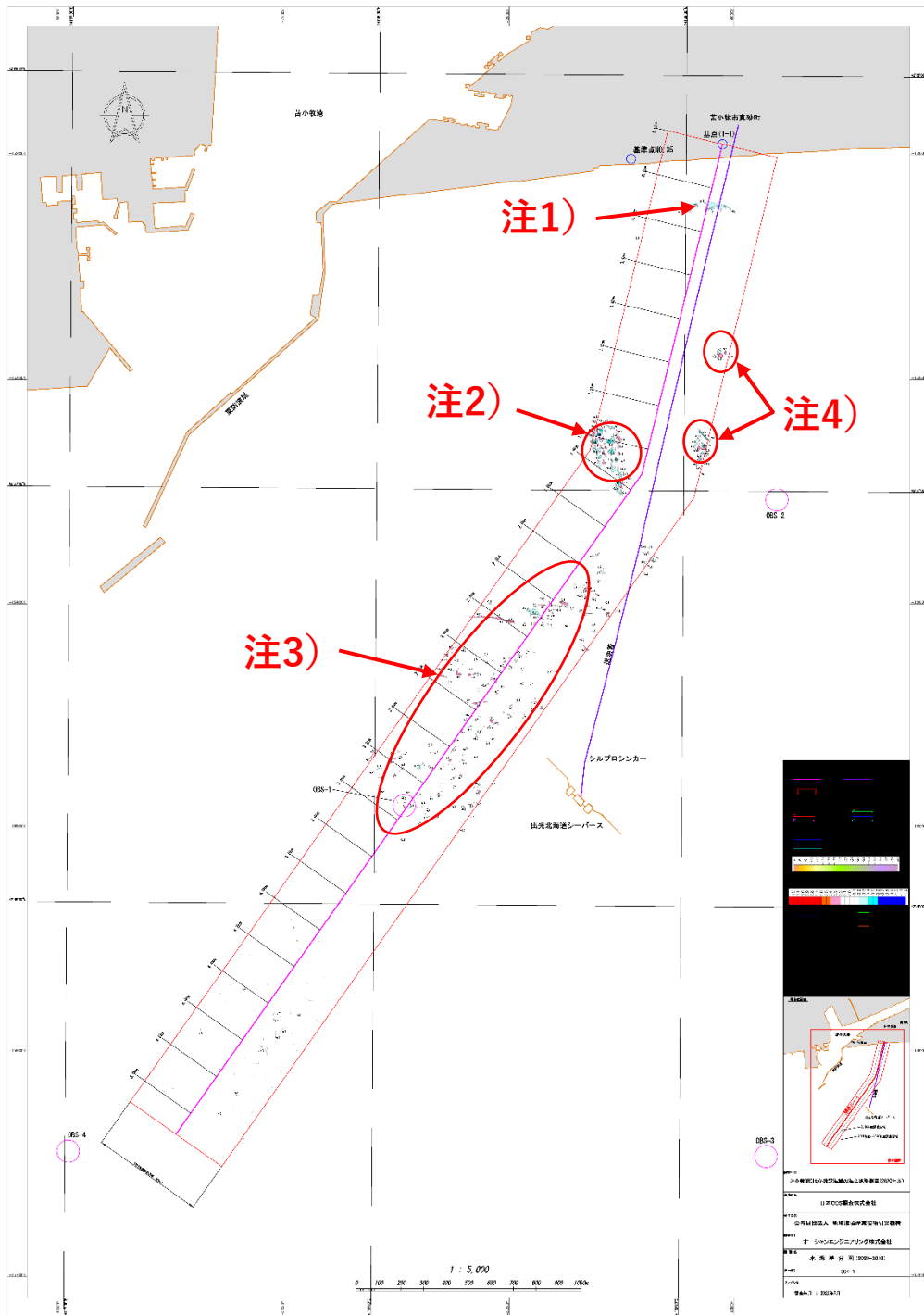
注3として示す水深16～26m（KP1.8～3.4）は、全般には地形形状に沿った侵食堆積傾向が見られる。水深17～26m（KP2.2～3.4）は、2013年度調査から、西南西～東北東方向のリプルマーク（漣痕）が見られ、海流の影響により季節的に地形が変化する海域と推察される。2019年度と比較すると、全体的には変化が小さいものの、局所的に最大40cmの堆積、最大40cmの侵食が見られ、洗堀深度が増加傾向にあることから留意が必要である。

上記の沖合部に確認された2013年度にOBCを追加埋設したためと考えられる溝は、2016年度には深さ50cm程度、2017年度には深さ20cm程度と浅くなり、2018～2019年度および2020年度の調査では確認できなくなっており、土砂が堆積したものと考えられる。

注4として示す水深10～12m（KP0.9とKP1.4）付近は、各々、最大40cmの堆積と最大20cmの侵食および最大40cmの堆積と最大60cmの侵食が見られるが、概ね堆積傾向にある。



注) 出典：海上保安庁 平成 22 年 6 月 3 日刊行 「海図 W1033A 苫小牧港西部」を加工して作成
 図 4.3-23 海底地形図（陰影図）



注) 出典：海上保安庁 平成 22 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（2019 年度測量結果－2020 年度測量結果）

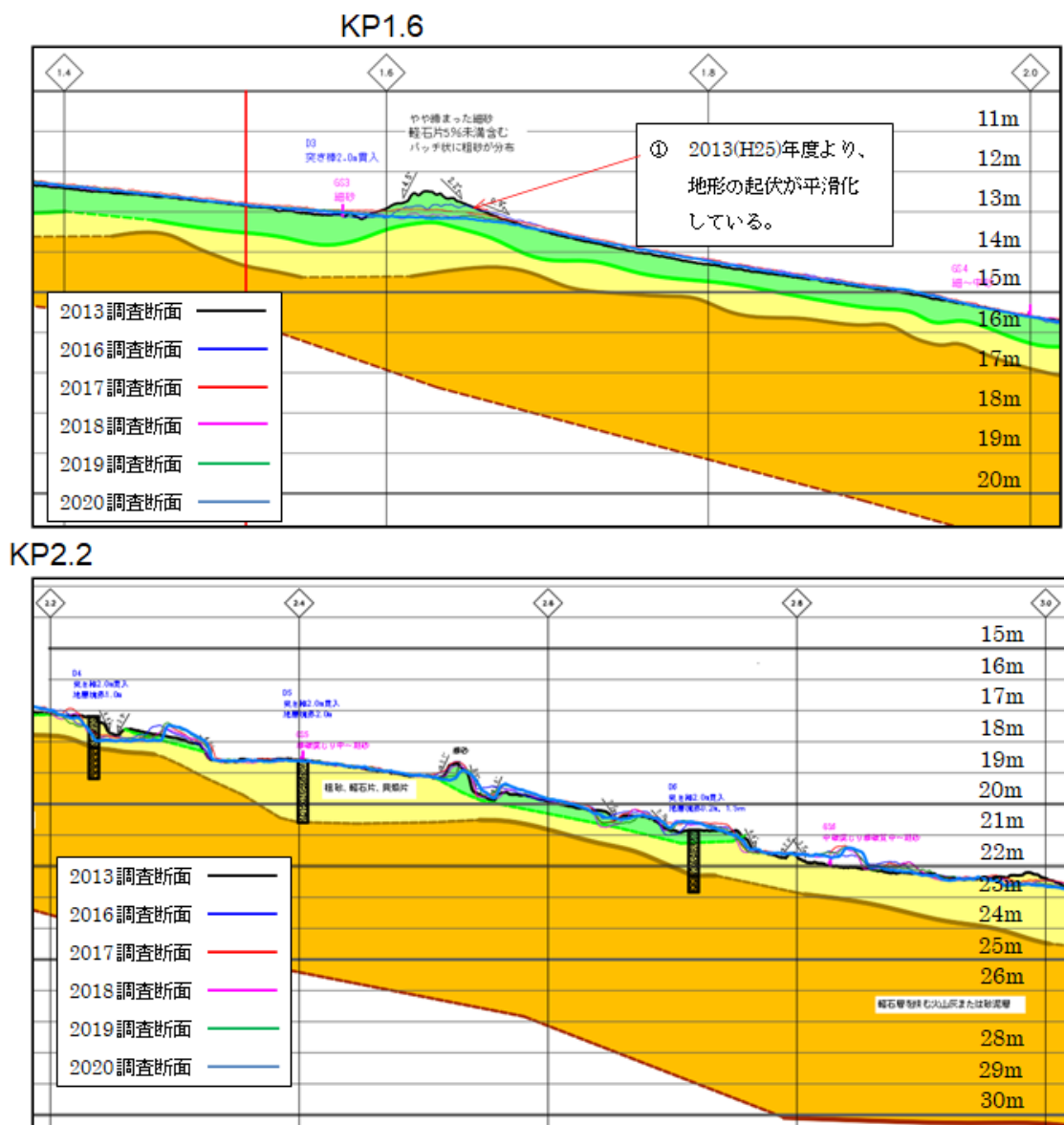
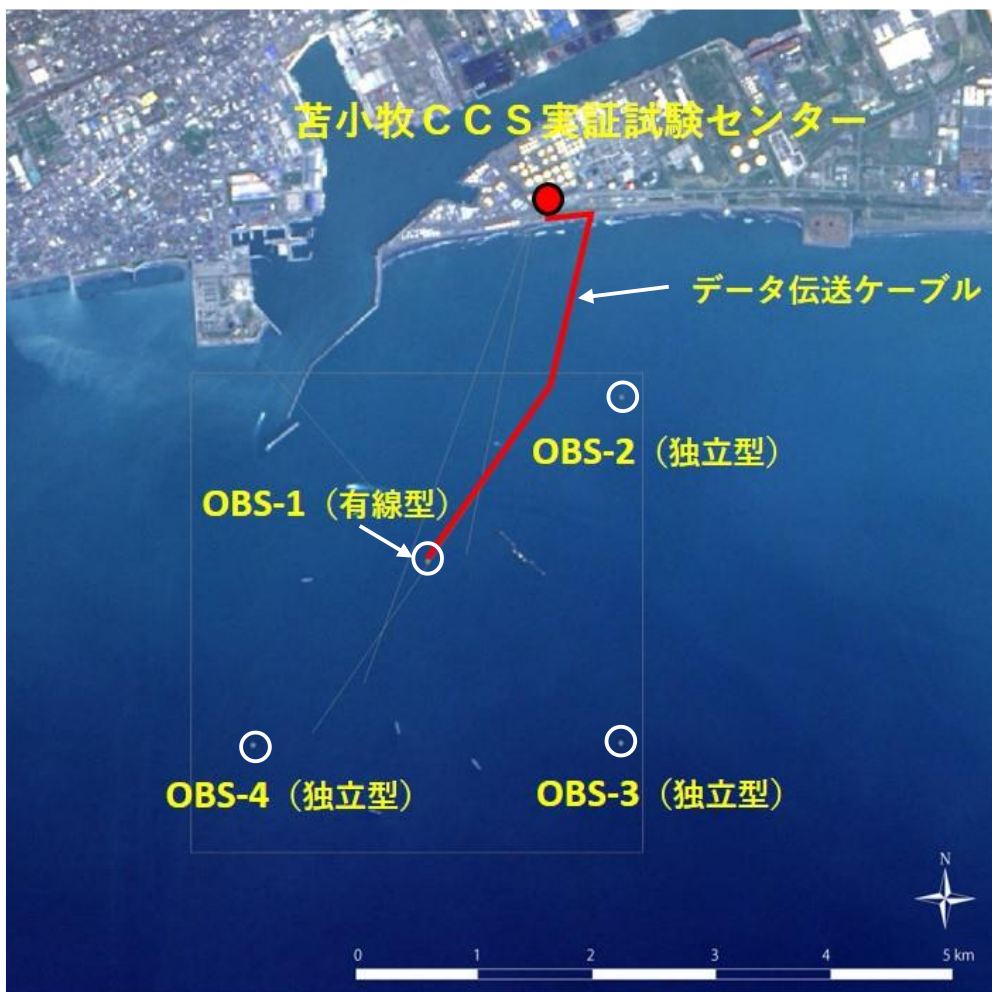


図 4.3-25 KP1.4～3.0 の縦断面変化

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（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実施している。

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る。図4.4-1に実証試験センター、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。



注) 出典：「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ている。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る。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)内に設置することとした。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： 1.0×10^{-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

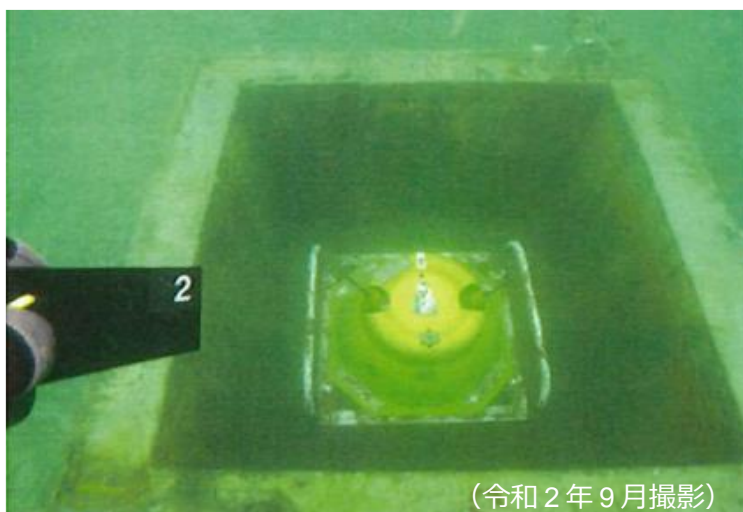


図 4.4-4 海底に設置された設置容器（蓋を取った状態）とその内部に設置された OBS

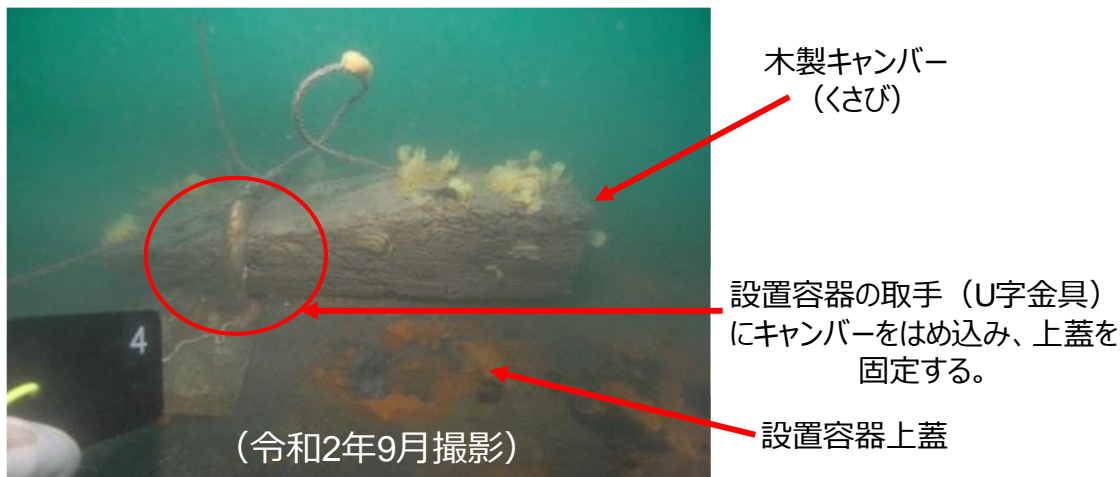
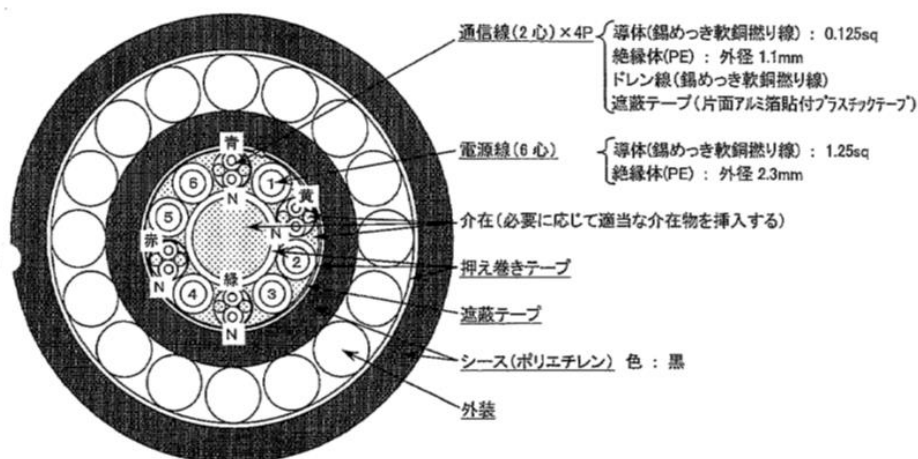


図 4.4-5 海底に設置された設置容器上蓋の固定状況

(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 に埋設されている。OBC 分岐点から OBS-1 までは海底下 60 cm に埋設されている。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る。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る。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)}に送出される。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 に送出される。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する。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する。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 には専用の無停電電源装置（UPS、型式：BX50F）、データ収録用 PC 以外の観測機器には無停電電源装置（UPS、型式：THA1000R）経由で電源を供給しており、各機器は

*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。

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。

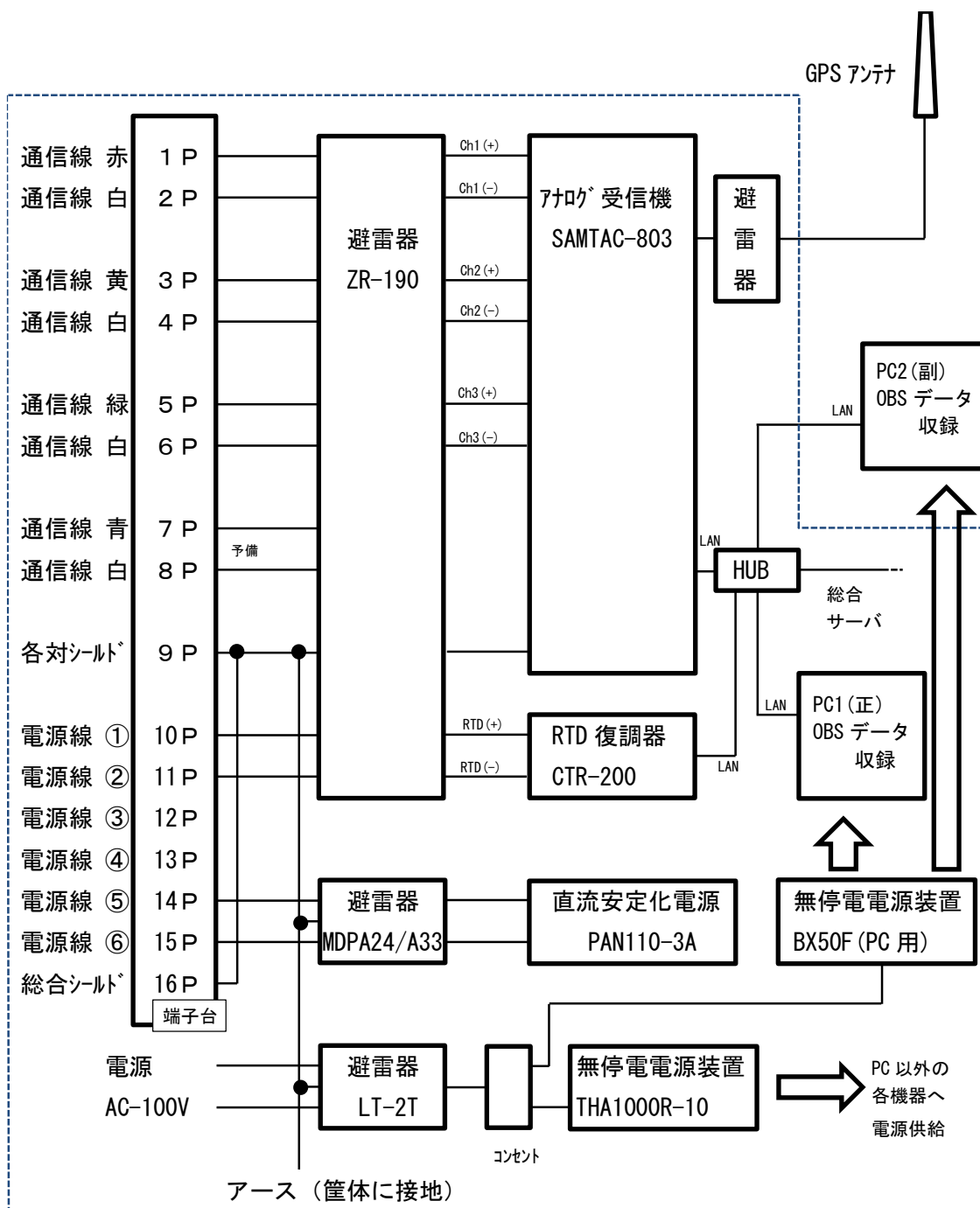


図 4.4-8 データ処理システム構成図

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 Ω
アンプゲイン	0、20、40、60 dB
入力範囲	± 10.24 V at 0 dB
ドリフト	0.06 μ V/ $^{\circ}$ C
ノイズ	4 μ 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

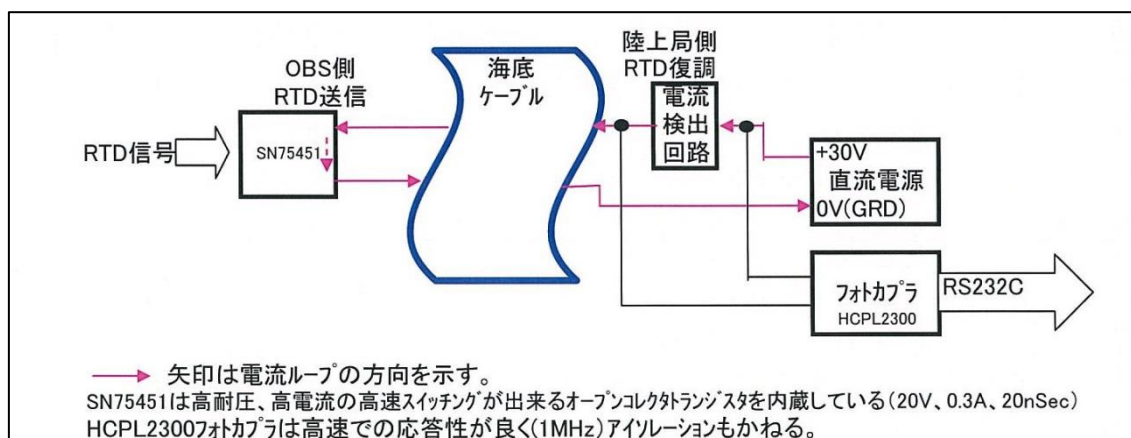


図 4.4-9 RTD 復調器のシステム図

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2020年度に実施した遠隔監視と現地保守点検の実績を示す。図4.4-10に点検時のビーチマンホール内の様子を示す。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4.4-11）
- 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（図4.4-12(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4.4-13）

表 4.4-4 2020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	実施年月	実施日
2020年4月	3、10、16、24、30	2020年10月	2、9、16、23、28
2020年5月	8、15、22、29	2020年11月	6、11、19、 <u>20</u> 、26
2020年6月	5、12、19、 <u>27</u> 、 <u>28</u> 、29	2020年12月	3、11、18、22、28
2020年7月	9、16、21、30、 <u>31</u>	2021年1月	8、15、22、29
2020年8月	6、17、21、28	2021年2月	4、10、19、25、 <u>27</u>
2020年9月	4、10、 <u>24</u> 、 <u>25</u> 、25、29	2021年3月	2、9、18、25、 <u>30</u> 、31

注) 丸数字は、現地保守点検実施日を示す。



図 4.4-10 ビーチマンホール点検時の様子（2021年2月）

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 4.4-11 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。			
	ブレーカを断り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。			
	ブレーカを断り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 4.4-12 (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 4.4-12 (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)

(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2020年6月、2019年9月および2021年2月の3回実施した。表4.4-5に3回の交換時に各観測点に設置した地震計、原子時計およびレコーダを示す。

なお、2020年6月と2021年2月の交換は、新型コロナウイルス感染防止対策緊急事態宣言が発令されたため、約1箇月延期して実施したものである。

表 4.4-5 交換時に各観測点に設置した地震計、原子時計およびレコーダ

観測点	構成機器 ID	第1回	第2回	第3回
OBS-1	設置日	2020年6月25日	2020年9月22日	2021年2月15日
	地震計 ID	140224	140223	140224
	原子時計 ID	17308	24689	17308
	レコーダ ID	0102	0104	0102
OBS-2	設置日	2020年6月26日	2020年9月20日	2021年2月27日
	地震計 ID	140221	140222	140220(現地交換)
	原子時計 ID	24062(現地交換)	78099	64676(現地交換)
	レコーダ ID	0101(現地交換)	0107	0103(現地交換)
OBS-3	設置日	2020年6月24日	2020年9月24日	2021年2月22日
	地震計 ID	140218	140219	140218
	原子時計 ID	24837	17330(現地交換)	24837
	レコーダ ID	0100	0106(現地交換)	0100
OBS-4	回収日	2020年6月23日	2020年9月21日	2021年2月26日
	地震計 ID	140217	140220	140221
	原子時計 ID	17330	64676	24062
	レコーダ ID	0106	0103	0101

OBS 交換作業の詳細を以下に示す。

① 事前整備

交換用 OBS に組み込む地震計、原子時計、レコーダ等は、現地に搬送する前に個別に整備し、耐圧ガラス球内に組み込んだ形で搬送した。現地では交換直前に交換用 OBS の電源投入、応答確認、時刻設定、記録条件の設定および OBS 外観の目視確認等を実施した。現地搬送前および現地での整備には、次のチェックシートを使用した。

- 1) 有線型 OBS 設置前整備（現地搬送前作業）チェックシート（図 4.4-14 (1),(2)）

- 2) 独立型 OBS 設置前整備（現地搬送前作業）チェックシート（図 4.4-15 (1),(2)）
- 3) 有線型 OBS 設置前作業（現地作業）チェックシート（図 4.4-16）
- 4) 独立型 OBS 設置前作業（現地作業）チェックシート（図 4.4-17）

なお、レコーダ ID ; 0103 に組み込まれている原子時計 ID ; 78572 の時計誤差が大きく、十分な精度が得られないことから、OBS-4 から回収した OBS に組み込まれていた原子時計の Δt が小さい OBS（本体 ID ; 140220、原子時計 ID ; 64676、レコーダ ID ; 0103）を現地で整備して、OBS-2 に組み込んだ。

有線型OBS 設置前整備 (現地搬送前作業) -1/2				
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 平成 年 月 日 ()		作業担当者		
項目	作業内容		確認	
外観検査 (目視確認)	ハードハットの外観に異常がないこと。			
	シリアル番号貼付シール、方向表示シールに劣化がないこと。			
	架台、錘の外観に異常がないこと。			
	ガラス球外観に異常がないこと。			
	ガラス球接合部(エッジ)に破損等がないこと。			
	ガラス球コネクタ部に異常がないこと。(リング状態の確認を含む)		12°コネクタ	
			16°コネクタ	
	レコーダ、ジオフォン等のコネクタ、ケーブルに損傷等がないこと。			
	コネクタの緩み、抜けがないこと。			
	ガラス球内部に異物がないこと。			
	取付けネジの緩みがないこと。			
	ガラス球の方向表示シールとジオフォンの方向が一致していること。			
	レコーダの電源スイッチがON側になっていること。			
気圧計が正しく取り付けられていること。				
電池組込	リチウム電池をガラス球に組み込む。数量は10組(20本)であること。		電池数量	
	搭載したリチウム電池の電圧が、全てDC 7V以上であること。			
	リチウム電池とレコーダを接続する。全ての電池のコネクタが正しく接続されていること。		電池接続実施日	
組立 ガラス球抜気 (封止)	ガラス球接合部洗浄後、異物(テープ糊、ブチルゴム剥がし跡等)がないこと。			
	上ガラス球と下ガラス球のシリアル番号が一致していること。		シリアルNo.	
	ガラス球とのコネクタ類の接続をする。接続し忘れないこと。			
	真空ポンプで抜気し、気圧計表示が860~890hPaになるように調整すること。		気圧計表示	室内温度
	抜気後、10時間経過しても気圧漏れがないこと。(温度変化による気圧変化も考慮すること)		気圧計表示	室内温度
組立 OBS組立	ガラス球固定ステンレスバンドが正しく取り付けられていること。			
	ガラス保護用網に破れ等がないこと。			
	ハードハットの方向表示とガラス球の方向表示が一致していること。			
	OBS内部の水準器を確認し、ガラス球が水平であること。			
	ガラス球の水中コネクタを洗浄し、グリスアップしていること。			
	ハードハット固定用M10ボルトナットに緩み、締め忘れないこと。			
	コネクタキャップの締め忘れないこと。			

図 4.4-14 (1) 有線型 OBS 設置前整備 (現地搬送前作業) チェックシート (1/2)

有線型OBS 設置前整備 (東京測振社内作業) -2/2			
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
動作試験 内部時刻確認	パラメータ設定器よりOBSの電源を投入し、OBSレコーダのIDが読み取れること。		レコーダ ID
	パソコンとOBSを接続して原子時計ステータスを確認し、正常であること。		
	標準時刻発生器(TMC-8200)を接続し内部時刻を校正(T-SET)する。Δtを3回測定し、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	Δt値
	T-SET		
	Δt-1		
	Δt-2		
動作試験 レコーダ記録試験	パソコンと有線型OBSを接続し、パラメータ設定器より記録状態に移行した時にデジタル及びアナログデータがリアルタイムで転送されること。		デジタル アナログ
	OBSに打撃振動を与え、ジオフォンの反応があること。		
	記録波形を確認し、波形に異常がないこと。(ジオフォンの打撃波形も確認)		
	パソコンと有線型OBSを専用通信ケーブルで接続してOBS内部SSDの記録データを読み取り、パソコンに記録したリアルタイムデータと一致すること。		
	正常確認後、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。		
	目視確認	ハードハットに割れや欠けがないこと。	
ハードハット固定ボルト・ナットに緩みがないこと。			
架台に破損等ないこと。			
錘に破損等ないこと。また、固定ボルト・ナットに緩みがないこと。			
シリアル番号貼付シール、方向表示シールに異常がないこと。			
レコーダの電源が断になっていること。			
気圧計表示値で気圧漏れがないことを確認する。			表示値
【特記事項】			

図 4.4-14 (2) 有線型 OBS 設置前整備（現地搬送前作業）チェックシート（2/2）

独立型OBS 設置前整備（現地搬送前作業）-1/2				
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	
外観検査 （目視確認）	ハードハットの外観に異常がないこと。			
	シリアル番号貼付シール、方向表示シールに劣化がないこと。			
	架台、錘の外観に異常がないこと。			
	ガラス球外観に異常がないこと。			
	ガラス球接合部(エッジ)に破損等ないこと。			
	ガラス球コネクタ部に異常がないこと。(リング状態の確認を含む)		12°コネクタ	
			16°コネクタ	
	レコーダ、ジオフォン等のコネクタ、ケーブルに損傷等がないこと。			
	コネクタの緩み、抜けがないこと。			
	ガラス球内部に異物がないこと。			
	取付けネジの緩みがないこと。			
	ガラス球の方向表示シールとジオフォンの方向が一致していること。			
	レコーダの電源スイッチがON側になっていること。			
気圧計が正しく取り付けられていること。				
電池組込	リチウム電池をガラス球に組み込む。数量は10組(20本)であること。		電池数量	
	搭載したリチウム電池の電圧が、全てDC 7V以上であること。			
	リチウム電池とレコーダを接続する。全ての電池のコネクタが正しく接続されていること。		電池接続実施日	
組立 ガラス球抜気（封止）	ガラス球接合部の洗浄後、異物（テープ糊、ブチルゴム剥がし跡等）がないこと。			
	上ガラス球と下ガラス球のシリアル番号が一致していること。		シリアルNo.	
	ガラス球とのコネクタ類の接続をする。接続し忘れがないこと。			
	真空ポンプで抜気し、気圧計表示が860～890hPaになるように調整すること。		気圧計表示	室内温度
	抜気後、10時間経過しても気圧漏れがないこと。 (温度変化による気圧変化も考慮すること)		気圧計表示	室内温度
組立 OBS組立	ガラス球固定ステンレスバンドが正しく取り付けられてること。			
	ガラス保護用網に破れ等がないこと。			
	ハードハットの方向表示とガラス球の方向表示が一致していること。			
	OBS内部の水準器を確認し、ガラス球が水平であること。			
	ガラス球の水中コネクタを洗浄し、グリスアップしていること。			
	ハードハット固定用M10ボルトナットに緩み、締め忘れがないこと。			
	コネクタキャップの締め忘れがないこと。			

図 4.4-15 (1) 独立型 OBS 設置前整備（現地搬送前作業）チェックシート（1/2）

独立型OBS 設置前整備（現地搬送前作業）-2/2			
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
動作試験 内部時刻確認	パラメータ設定器よりOBSの電源を投入し、OBSレコーダのIDが読み取れること。		レコーダ ID
	パソコンとOBSを接続して原子時計ステータスを確認し、正常であること。		
	標準時刻発生器(TMC-8200)を接続し、内部時刻を校正(T-SET)する。Δtを3回測定し、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	Δt値
	T-SET		
	Δt-1		
	Δt-2		
Δt-3			
動作試験 レコーダ記録試験	パラメータ設定器より記録スケジュールを設定し、レコーディングモード(記録待機状態)に移行できること。(レコーダLEDランプが1秒毎に点滅する)		
	スケジュール設定した時間に記録開始になること。(レコーダLEDランプが消灯する) 記録時、ジオフォンの反応も確認するため、OBSに打撃振動を与えること。		
	記録完了後、パソコンとOBSを専用通信ケーブルで接続して記録したデータを読み取り、波形表示ができること。		
	記録波形を確認し、波形に異常がないこと。(ジオフォンの打撃波形も確認)		
	正常確認後、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。		
目視確認	ハードハットに割れや欠けがないこと。		
	ハードハット固定ボルト・ナットに緩みがないこと。		
	架台に破損等ないこと。		
	錘に破損等ないこと。また、固定ボルト・ナットに緩みがないこと。		
	シリアル番号貼付シール、方向表示シールに異常がないこと。		
	レコーダの電源が断になっていること。		
	気圧計表示値で気圧漏れがないことを確認する。		表示値
【特記事項】			

図 4.4-15 (2) 独立型 OBS 設置前整備（現地搬送前作業）チェックシート（2/2）

有線型OBS 設置前作業（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		
年 月 日 ()				
項目	作業内容		確認	
記録試験 (現地搬入直後作業)	OBSを記録状態にし、UD、NS、EW各成分ともに振動波形が記録されること。			
電源投入、時刻設定 (陸上作業)	パラメータ設定器よりOBSの電源を投入し、OBSレコーダのIDが読み取れること。	レコーダ ID		
	パソコンとOBSを接続して原子時計ステータスを確認し、正常であること。			
	標準時刻発生器(TMC-8200)を接続し、内部時刻を校正(T-SET)する。 Δt を3回測定し、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	Δt 値	確認
	T-SET			
	Δt -1			
	Δt -2			
記録条件設定 (陸上作業)	パラメータ設定器より、下記の通り記録設定を行う。設定値に間違いがないこと。			
	設定項目	設定内容	確認	
	Input ch	3		
	Sampling Rate	200		
	D-Filter select	DF = Minimum , HPF = ON		
	Data Buffer Size	8Mbyte (8,388,608byte)		
	Preamp Gain set	ch1 = 0dB , ch2 = 0dB , ch3 = 0dB		
	Rec Time Window	disable		
パラメータ設定器よりOBSへ記録設定を送信し、OBSを記録状態にする。(レコーダLEDランプが消灯すること)				
目視確認 (船上作業)	ハードハットの外觀に異常がないこと。			
	ガラス球の水中コネクタを綿棒を使用してIPAにて洗浄し、グリスアップしていること。			
	コネクタの緩み、ぐらつきがないこと。			
	コネクタキャップが取り付けられていること（12pinコネクタ）。			
	架台、錘に破損等ないこと。また、固定ボルト・ナットに緩みがないこと。			
海域部データ伝送ケーブル 導通確認 (船上作業)	海域作業開始前に、供給電源が陸上側のシステムより断となっていること。			
	海域部データ伝送ケーブル各線間の抵抗値を測定し、断線がないこと。(制御盤室との対向試験)			
	海域部データ伝送ケーブル各線間の絶縁抵抗を測定し、絶縁低下がないこと。			
	新設する有線型OBSに、海域部データ伝送ケーブルを接続する。コネクタに緩み等ないこと。			
海域作業完了後、陸上側の観測システムより有線型OBSを電源投入したときに、制御盤室にてデータがリアルタイムで転送できること。				

図 4.4-16 有線型 OBS 設置前整備（現地作業）チェックシート

独立型OBS 設置前作業 (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	
年 月 日 ()			
項目	作業内容		確認
記録試験 (現地搬入直後作業)	OBSを記録状態にし、UD、NS、EW各成分ともに振動波形が記録されること。		
電源投入、応答確認、 時刻設定 (陸上作業)	パラメータ設定器よりOBSの電源を投入し、OBSレコーダのIDが読み取れること。	レコーダ ID	
	パソコンとOBSを接続して原子時計ステータスを確認し、正常であること。		
	標準時刻発生器(TMC-8200)を接続し、内部時刻を校正(T-SET)する。Δtを3回測定し、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	Δt値
	T-SET		
	Δt-1		
Δt-2			
Δt-3			
記録条件設定 (陸上作業)	パラメータ設定器より、下記の通り記録設定を行う。設定値に間違いがないこと。		
	設定項目	設定内容	確認
	Input ch	3	
	Sampling Rate	200	
	D-Filter select	DF = Minimum , HPF = ON	
	Data Buffer Size	8Mbyte (8,388,608byte)	
	Preamp Gain set	ch1 = 0dB , ch2 = 0dB , ch3 = 0dB	
	Rec Time Window	enable [01] yymmddhhmm to yymmddhhmm (/ / : ~ / / :)	
パラメータ設定器よりOBSへ記録設定を送信し、OBSを記録待機状態にする。レコーダLEDランプが1秒毎に点滅すること。			
目視確認 (船上作業)	ハードハットの外観に異常がないこと。		
	ガラス球の水中コネクタを綿棒を使用してIPAにて洗浄し、グリスアップしていること。		
	コネクタの緩み、ぐらつきがないこと。		
	コネクタキャップが取り付けられていること。		
架台、錘に破損等ないこと。また、固定ボルト・ナットに緩みがないこと。			
【特記事項】			

図 4.4-17 独立型 OBS 設置前作業（現地作業）チェックシート

② OBS 交換作業

海底でのOBSの交換作業は、図4.4-18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4.4-19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た。表4.4-6に海底に設置されているOBSの交換作業の手順を示す。表4.4-7に各交換時の各観測点での蓋上の堆積物、設置容器内の堆積物の厚さを示す。表4.4-8に交換時の設置容器のはみ出し量の測定結果を示す。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4.4-20）
- 2) 独立型OBS回収時確認（現地作業）チェックシート（図4.4-21）

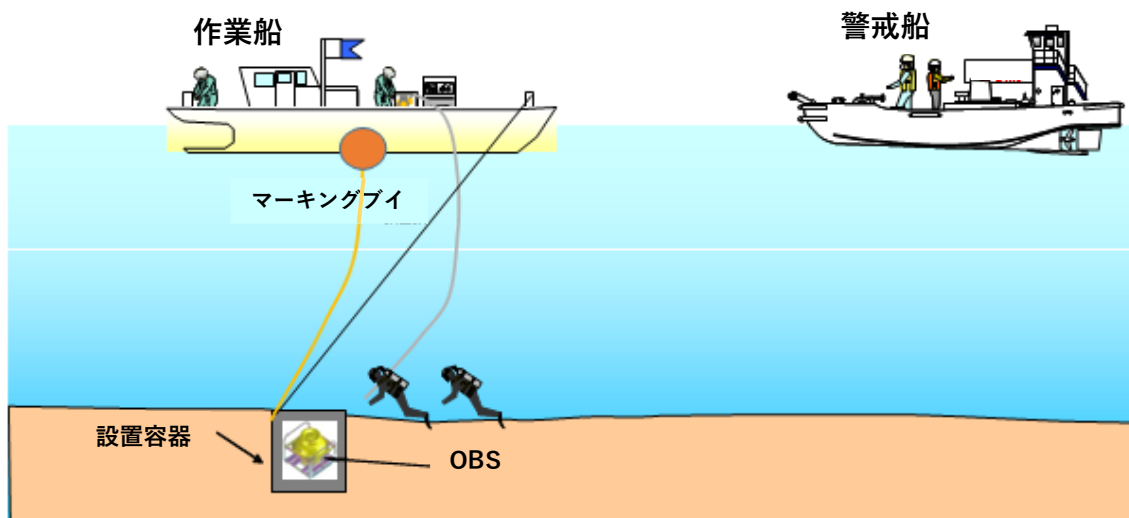


図 4.4-18 OBS 交換作業概念図

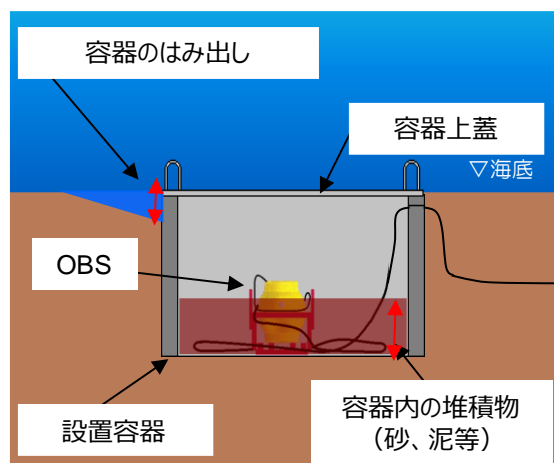


図 4.4-19 OBS（有線型の場合）の設置概念図

表 4.4-6 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	交換用 OBS を投入し、海底に仮置き	独立型 OBS
5	OBS 設置容器の状況の外観および設置容器周辺の堆積物の状況等の確認（写真撮影を含む） <ul style="list-style-type: none"> ・ 設置容器の蓋の堆積物の厚さ測定 ・ 設置容器の海底面からのみ出し量の測定 ・ 設置容器内の土砂堆積状況 	
6	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	
7	船上において原子時計の動作状況および Δt を確認	
8	OBS への電源供給の停止	有線型 OBS
9	交換用 OBS にデータ伝送ケーブルの繋ぎ替え	有線型 OBS
10	データ伝送ケーブルの導通確認（船上と陸上観測室との対向試験）	有線型 OBS
11	OBS への電源供給の再開	有線型 OBS
12	交換用 OBS から実証試験センターへのデータ転送状況の確認	有線型 OBS
13	交換用 OBS を投入	有線型 OBS
14	交換用 OBS の設置（方位合わせ、水平の確保、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）	
15	作業船の係留解除後、帰港	

表 4.4-7 OBS 交換時の堆積物の測定結果

観測点	測定	蓋上 (cm)	設置容器内の堆積物 (cm)			
			北面	東面	南面	西面
OBS-1	第1回交換時	7.0	59 (29)	56 (30)	70 (37)	78 (30)
	第2回交換時	0	33 (29)	34 (30)	35 (34)	30 (29)
	第3回交換時	10	28 (20)	23 (13)	26 (13)	22 (9)
OBS-2	第1回交換時	0	22 (19)	24 (20)	22 (19)	24 (22)
	第2回交換時	0	20 (15)	25 (18)	24 (16)	21 (17)
	第3回交換時	0	26 (19)	27 (19)	27 (18)	25 (21)
OBS-3	第1回交換時	0	47 (5)	70 (1)	53 (8)	84 (4)
	第2回交換時	0	15 (9)	217 (7)	22 (9)	15 (6)
	第3回交換時	2	16 (8)	22 (8)	16 (7)	18 (5)
OBS-4	第1回交換時	0	23 (13)	25 (15)	20 (16)	19 (18)
	第2回交換時	0	19 (17)	21 (18)	25 (16)	22 (22)
	第3回交換時	0	16 (18)	21 (17)	24 (16)	21 (19)

注1) 蓋の堆積物は、中央部での測定値。

注2) 設置容器内の堆積物は、堆積面上部から設置容器上面までの高さから推定。カッコ内は堆積物除去作業後における堆積物の厚さ。

表 4.4-8 OBS 交換時のはみ出し量測定結果

観測点	測定	設置容器のはみ出し量 (cm)			
		北面	東面	南面	西面
OBS-1	第1回交換時	-12	-15	-9	-5
	第2回交換時	10	10	9	6
	第3回交換時	4	3	4	2
OBS-2	第1回交換時	30	33	20	25
	第2回交換時	25	26	19	25
	第3回交換時	20	24	11	30
OBS-3	第1回交換時	5	3	5	4
	第2回交換時	10	7	8.5	8
	第3回交換時	11	10	8	9
OBS-4	第1回交換時	10	15	15	15
	第2回交換時	27	12	15	17
	第3回交換時	16	18	14	14

注) 設置容器のはみ出し量：設置容器の北、東、南および西の各面（辺）で、それぞれ露出量が最も大きい箇所での測定値。マイナス値は、設置容器が埋没している厚さを表す。

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、 Δt 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	Δt 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 Δt 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 4.4-20 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、 Δt 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	Δt 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 Δt 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 4.4-21 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（ Δt ）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、 Δt および精度（ Δt /観測時間）を表4.4-9に示す。

また、回収後したOBSは仮封止し、搬出した。回収後の整備には、次のチェックシートを使用した。

- 1) 有線型OBS回収後整備（搬出後作業）チェックシート（図4.4-22）
- 2) 独立型OBS回収後整備（搬出後作業）チェックシート（図4.4-23）

表 4.4-9 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)	Δt (ms)	精度
OBS-1	24689	2020/01/10 06:09	2020/06/26 12:34	14,538,300	+0.96	-6.6E-11
	17308	2020/06/27 07:03	2020/09/20 11:19	7,3618,560	+0.25	+3.3E-11
	24689	2020/09/22 07:03	2021/02/15 11:19	12,629,760	-1.32	-1.0E-10
OBS-2	78099	2020/01/11 11:16	2020/06/27 09:18	14,508,120	-14.13	-9.7E-10
	24062	2020/06/27 07:02	2020/09/20 12:11	7,362,540	-0.68	+9.3E-11
	78099	2020/09/20 07:09	2021/02/27 10:40	13,836,660	-1.32	-1.0E-10
OBS-3	64676	2020/01/08 07:05	2020/06/24 13:14	14,537,340	+0.71	+4.9E-11
	24837	2020/06/24 07:05	2020/09/24 11:12	7,963,620	-0.58	-7.3E-11
	17330	2020/09/24 06:59	2021/02/21 10:25	12,972,360	+0.16	+1.3E-11
OBS-4	24062	2020/01/07 07:13	2020/06/23 11:55	14,532,120	-5.34	-3.7E-10
	17330	2020/06/23 07:00	2020/09/21 11:12	7,791,120	-1.88	-2.4E-10
	64676	2020/09/21 07:05	2021/02/26 09:16	13,659,060	+0.96	+7.1E-11

*3) 原子時計とGPSの同期を取った時刻

有線型OBS 回収後整備(東京社内作業) -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	
年 月 日 ()		(株)東京測振	
項目	作業内容		確認
洗浄、外観確認	OBS本体及び架台・錘を水洗いし、海水を洗い流す。		
	ハードハットの外観に異常がないこと。		
	架台・錘の外観に異常がないこと。		
	気圧計表示値で気圧漏れがないことを確認する。	表示値	
開封、 ガラス球内部整備	ハードハットの固定ボルト・ナットを外し、ハードハットのボルト穴にひび割れ等ないこと。		
	ハードハット固定用M10ボルト・ナットを洗浄し、グリスアップする。		
	ガラス球外観に傷、剥離等ないこと。		
	ガラス球を開封し、ガラス内部に浸水のないこと。		
	ガラス球接合部(エッジ)に破損等ないこと。		
	ガラス球コネクタ部に異常がないこと。(Oリング状態の確認を含む)	12°コネクタ	
		16°コネクタ	
	レコーダからリチウム電池の配線を外し、電池を全て取り外す。 ジオフォン容器、ステンレス板、レコーダ外観等に異常がないこと。		
動作試験	パソコンと有線型OBSを接続し、パラメータ設定器より記録状態に移行した時にリアルタイムで波形データが転送されること。		
	OBSに打撃振動を与え、ジオフォンの反応があること。		
	記録波形を確認し、波形に異常がないこと。(ジオフォンの打撃波形も確認)		
	パソコンと有線型OBSを専用通信ケーブルで接続してOBS内部SSDの記録データを読み取り、パソコンに記録したリアルタイムデータと一致すること。		
	正常確認後、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。		
記録確認、SSD初期化	レコーダのSSD内データを全て回収できていることを確認し、SSDのフォーマットを実施。FAT32形式でフォーマットされていること。		
仮封止、保管	ガラス球を上下合わせてビニールテープで封止する。		
	ハードハットにガラス球を収納し、ボルト・ナットで固定する。		
【特記事項】			

図 4.4-22 有線型 OBS 回収後整備（搬出後作業）チェックシート

独立型OBS 回収後整備(東京社内作業) -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	
年 月 日 ()		(株)東京測振	
項目	作業内容		確認
洗浄、外観確認	OBS本体及び架台・錘を水洗いし、海水を洗い流す。		
	ハードハットの外観に異常がないこと。		
	架台・錘の外観に異常がないこと。		
	気圧計表示値で気圧漏れがないことを確認する。	表示値	
開封、 ガラス球内部整備	ハードハットの固定ボルト・ナットを外し、ハードハットのボルト穴にひび割れ等がないこと。		
	ハードハット固定用M10ボルト・ナットを洗浄し、グリスアップする。		
	ガラス球外観に傷、剥離等がないこと。		
	ガラス球を開封し、ガラス内部に浸水のないこと。		
	ガラス球接合部(エッジ)に破損等がないこと。		
	ガラス球コネクタ部に異常がないこと。(リング状態の確認を含む)	12℃コネクタ	
		16℃コネクタ	
動作試験	レコーダからリチウム電池の配線を外し、電池を全て取り外す。		
	ジオフォン容器、ステンレス板、レコーダ外観等に異常がないこと。		
	パラメータ設定器より記録スケジュールを設定し、レコーディングモード(記録待機状態)に移行できること。(レコーダLEDランプが1秒毎に点滅する)		
	スケジュール設定した時間に記録開始になること。(レコーダLEDランプが消灯する)		
	記録時、ジオフォンの反応も確認するため、OBSに打撃振動を与えること。		
	記録完了後、パソコンとOBSを専用通信ケーブルで接続して記録したデータを読み取り、波形表示ができること。		
記録確認、SSD初期化	記録波形を確認し、波形に異常がないこと。(ジオフォンの打撃波形も確認)		
	正常確認後、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。		
仮封止、保管	レコーダのSSD内データを全て回収できていることを確認し、SSDのフォーマットを実施。FAT32形式でフォーマットされていること。		
	ガラス球を上下合わせてビニールテープで封止する。		
	ハードハットにガラス球を収納し、ボルト・ナットで固定する。		
【特記事項】			

図 4.4-23 独立型 OBS 回収後整備（搬出後作業）チェックシート

(3) OBSによる観測

2020年度を通して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。各観測地点に設置したOBSにより取得した波形データ*4)の例を図4.4-24に示す。

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の他、2020年4月30日頃から有線型OBSのアナログデータに発現した電源ノイズ対応（①参照）と有線型OBSに生じた欠測を表4.4-10に示す。

独立型OBSは、観測データを内蔵SSDに収録するため、交換のための作業時間を除き欠測は生じにくい。OBS-3地点のOBS（2019年5月設置、9月回収）のレコーダとセンサを接続するコネクタの接続不良のために欠測が発生した（②参照）。

地震発生日：2020年5月31日 03時13分49秒
 震源地：十勝沖
 北緯42.52度 東経143.70度
 震源の深さ：約94km マグニチュード：5.6
 最大震度の地域：釧路市、根室市、他 震度4
 苫小牧市内の震度：震度2

各OBSの最大速度

単位=cm/sec(kine)

OBS番号		UD成分	NS成分	EW成分
OBS-1	デジタル	0.0540	0.1459	0.2147
	アナログ	0.0455	0.1238	0.1806
OBS-2		0.0181	0.0601	0.1181
OBS-3		0.0192	0.1015	0.1133
OBS-4		0.0156	0.0614	0.0472

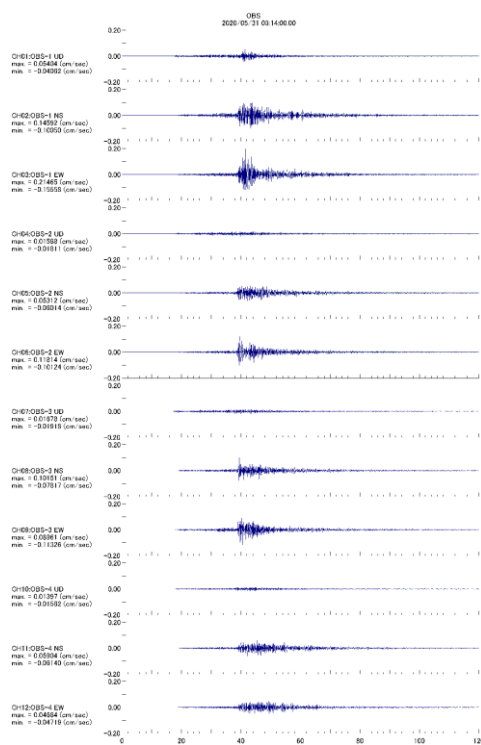


図 4.4-24 OBSによる波形記録例（2020年5月31日3時14分）

*4) CH01-03はOBS-1のデジタルデータ、CH04-06はOBS-1のアナログデータ、CH07-09、CH10-12およびCH13-15はそれぞれOBS-2、OBS-3およびOBS-4のデジタルデータによる波形

表 4.4-10 有線型 OBS に生じた欠測（2019年4月～2020年3月）

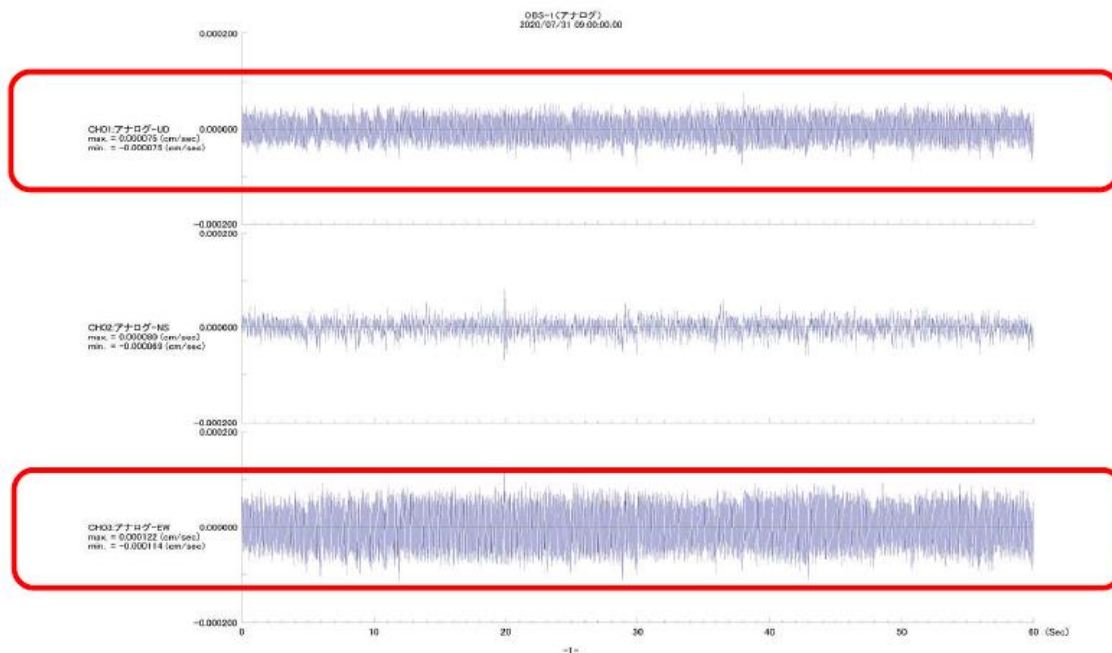
欠測データ	欠測期間（2019年度）	欠測理由
デジタルデータ	5月14日 08:20~12:00	有線型 OBS 交換のため
	7月19日 09:50~09:52	定期点検において UPS のシャットダウン確認
	9月11日	有線型 OBS 交換のため
	1月10日 07:05~10:45	有線型 OBS 交換のため
	1月10日 13:39~13:41	定期点検において UPS のシャットダウン確認
	3月31日 11:07~11:10	定期点検において UPS のシャットダウン確認
アナログデータ	5月14日 08:20~12:00	有線型 OBS 交換のため
	7月19日 09:50~09:52	定期点検において UPS のシャットダウン確認
	9月11日	有線型 OBS 交換のため
	1月10日 07:05~10:45	有線型 OBS 交換のため
	1月10日 13:39~13:41	定期点検において UPS のシャットダウン確認
	3月31日 11:07~11:10	定期点検において UPS のシャットダウン確認

① アナログデータに発現したノイズ対応

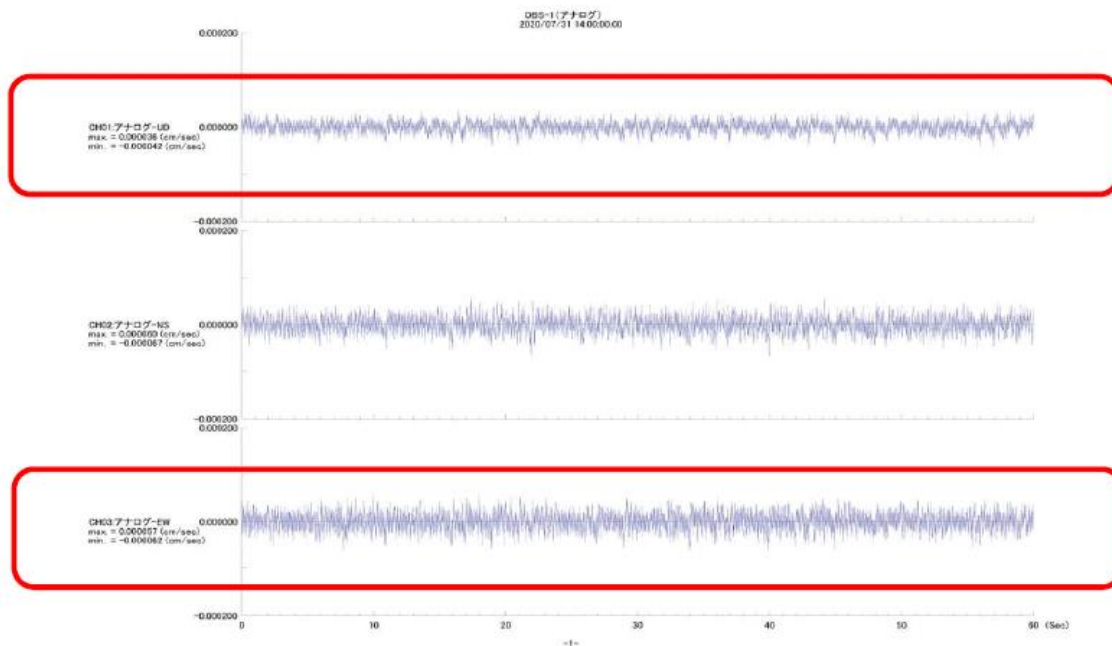
2020年に有線型 OBS のアナログデータに見られたノイズへの対応履歴を表 4.4-11 に示す。発生原因は不明であり、図 4.4-25 に示すようなノイズの発生が見られ、アナログ受信機のフィルタ回路を調整して、ノイズを軽減した。

表 4.4-11 有線型 OBS のアナログデータに発現したノイズ対応履歴

日時（2019年）	状況・対応等
4月30日	リモート点検により、アナログデータの EW 成分に電源ノイズと思われるノイズの発生を確認。デジタルデータには影響はなし。
5月29日	リモート点検により、アナログデータの EW 成分に電源ノイズと思われるノイズの発生を確認。デジタルデータには影響はなし。
6月28日	リモート点検により、アナログデータの UD 成分と EW 成分に電源ノイズと思われるノイズの発生を確認。デジタルデータには影響はなし。 OBS 交換時に調査・対策を実施するも軽減に至らず。
7月31日	アナログ受信機のフィルタ回路を調整し、アナログデータの UD 成分と EW 成分に発生しているノイズを軽減する（図 4.4-25 参照）。



参考波形 2020年7月31日9時頃の常時微動波形（ノイズ改修前）
（赤枠の波形にノイズが重畳されている）



参考波形 2020年7月31日14時頃の常時微動波形（ノイズ改修後）
（赤枠の波形のノイズが解消されたことを確認）

図 4.4-25 ノイズ発生時と低減後のアナログデータ（2020/7/312 1分間記録）

② 独立型 OBS による観測の欠測

独立型 OBS は、観測データを内蔵 SSD に収録するため、交換のための作業時間を除けば欠測は生じにくい。しかし、2020年6月に回収した独立型 OBS（2019年度第3回目の交換で設置）のうち、OBS-3の観測データが頻繁に欠測していることが判明した。動作ログを確認したところ、SSDに書き込みができずエラーとなっており、実装しているSSDに不具合があったためと判断された。

なお、2020年1月～6月までの観測期間のうち、欠測時間は計4,538分（約3.2日分）であった。

4.4.3 海底地形測量結果

2016年度から2019年度に続き、OBC埋設ルート周辺の海底地形測量実施時（2020年7月5日）に各OBS設置地点（4地点）を中心とする20m×20m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4.3.5を参照）を実施した。各範囲の過年度と2020年度の測量結果から海底地形図（陰影図）と水深差分図^{*5)}を組み合わせる海底地形変化図^{*6)}として示す。

(1) OBS-1 範囲

OBS-1範囲について、図4.4-26に、海底地形変化図を示す。

調査範囲の測量水深は、2016年度では25.0～25.6m、2017年度では24.8～25.4m、2018年度では24.8～25.4m、2019年度では25.0～25.3m、2020年度では24.9～25.5mとほとんど変化はみられない。海底地形図からOBS-1設置点近傍が周辺部より若干深くなっている（OBS設置容器埋設時の影響が残っていると推定）が、2020年度はOBS交換時の影響と考えられる設置容器を示す形状がみられた。

水深差分図にはOBS-1設置点の北西側に10cm程度の侵食域が見られるが、当該海域は2017年度測量結果では堆積域にあっており、調査範囲全体の水深の変化がおおむね±10cm以下であることを考えれば、OBS-1範囲では表面の土砂に多少の移動は見られるものの水深の変化は大きくないと考えられる。

なお、2016年度測量により確認された4箇所の特異形状^{*7)}の内、OBS-1設置点の南東側のものは2017年度から2019年度に続いて確認できなかった。

(2) OBS-2 範囲

OBS-1範囲について、図4.4-27に、海底地形変化図を示す。

調査範囲の測量水深は、2016年度では13.3～13.7m、2017年度では13.4～13.7m、2018年度では13.4～13.8m、2019年度では13.5～13.8m、2020年度では13.5～13.9mとほぼ同じ幅で推移していた。海底地形図のOBS-2設置点近傍には、図4.4-28に示すように、OBS設置容器を反映した明瞭な突出が見られた。2018年度から2020年度測量で得られたOBS-2設置点近傍の測量結果の断面図から、OBS設置容器の突出量は30cm程

*5) 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。

*6) 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。

*7) 2013年度の事前ルート調査において、潜水士より、1m程度の大きさで比高が0.1～0.3mの円筒形の漁礁と報告されている。

度と推定された。2016年度測量および2017年度測量によるOBS設置容器の突出量の推定値がそれぞれ15 cm程度、25 cm程度であったこと、2018年度から2020年度のいずれの水深差分図でもOBS-2範囲には侵食傾向がみられることから、OBS-2設置容器の周囲では少しずつ洗掘が進んでいると考えられる。

(3) OBS-3 範囲

OBS-3範囲について、図4.4-29に、海底地形変化図を示す。

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と極めて小さな幅で推移した。2016年度の測量で設置点の東側に見られた3箇所の特異地形（いずれも大きさは約1 m、高さは0.1～0.2 m程度）は、2017年度の測量以降不明瞭となっていたが、2020年度には、東西と南側に確認された。

(4) OBS-4 範囲

OBS-4範囲について、図4.4-30に、海底地形変化図を示す。

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と大きな変動は認められなかった。OBS-4設置点から南に向けて10 cm程度の窪地がみられるが、水深の変化はほとんど無いと考えられる。

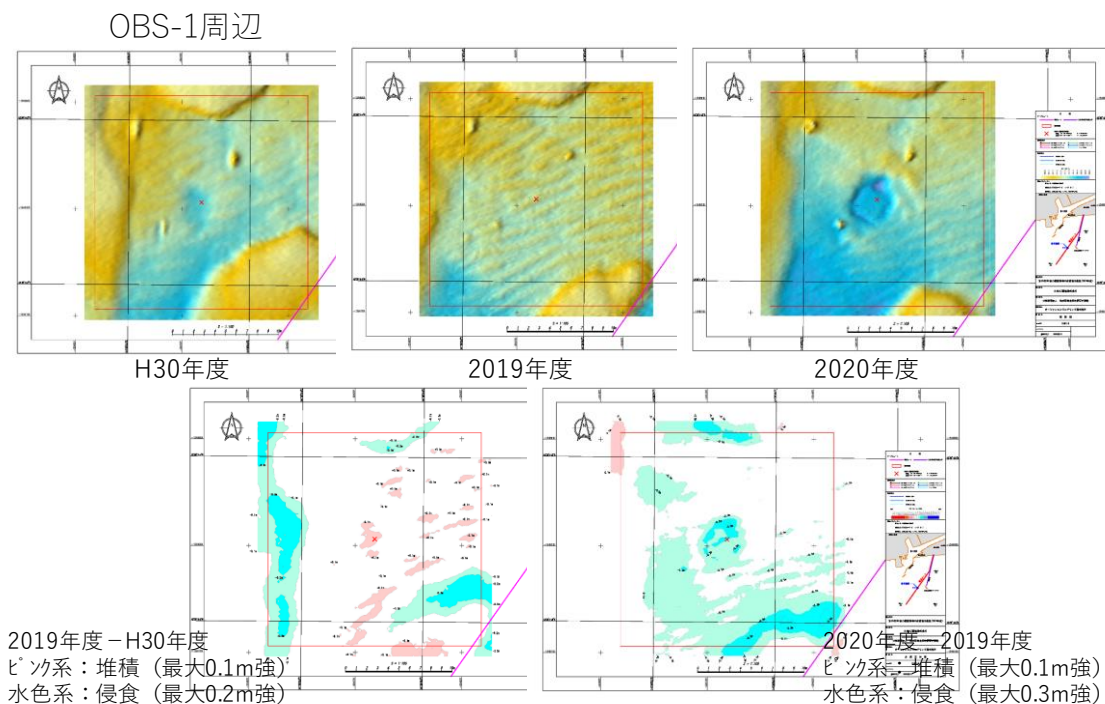


図 4.4-26 OBS-1 周辺の海底地形変化図（2020 年度測量結果）

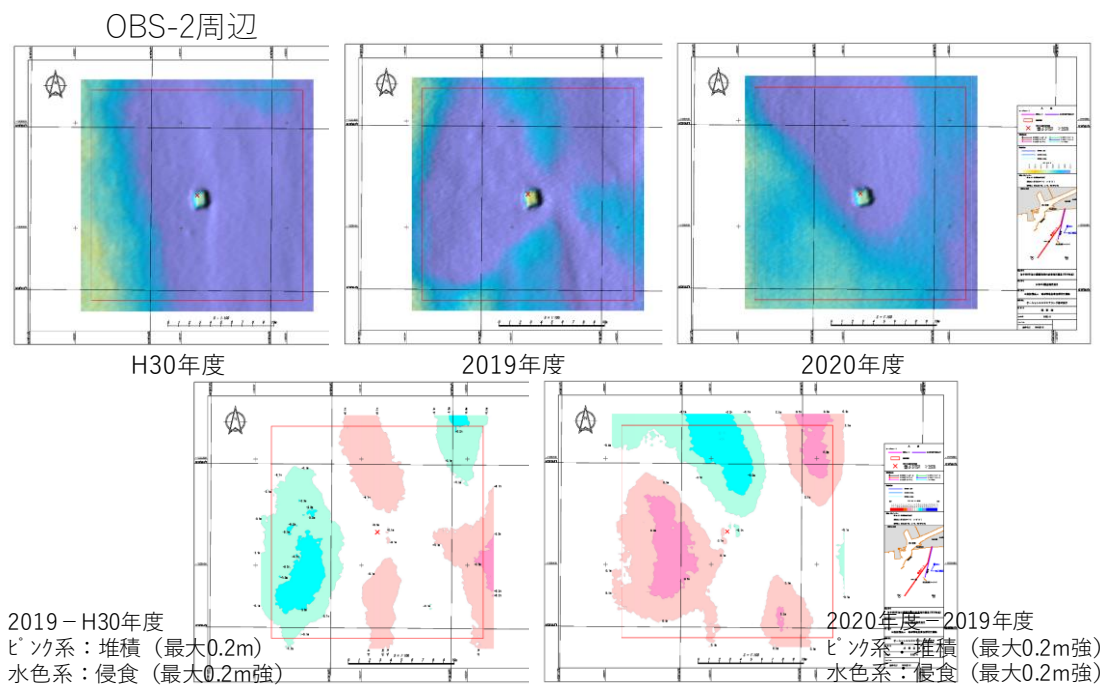


図 4.4-27 OBS-2 周辺の海底地形変化図（2020 年度測量結果）

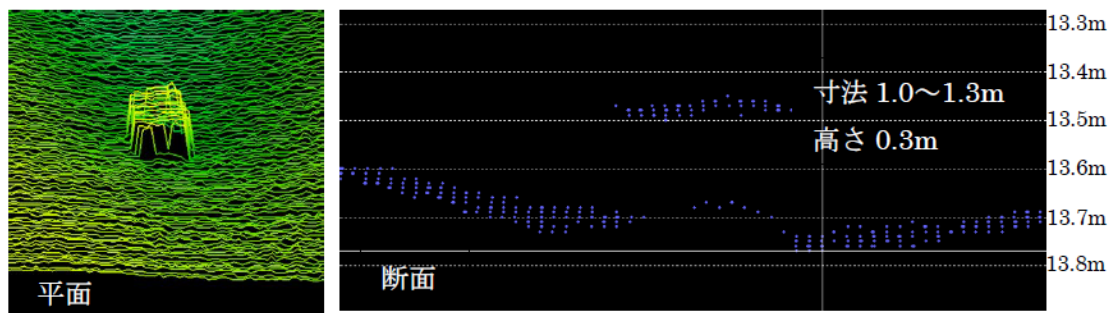


図 4.4-28 OBS-2 設置容器の解析画面（2020 年度測量結果）

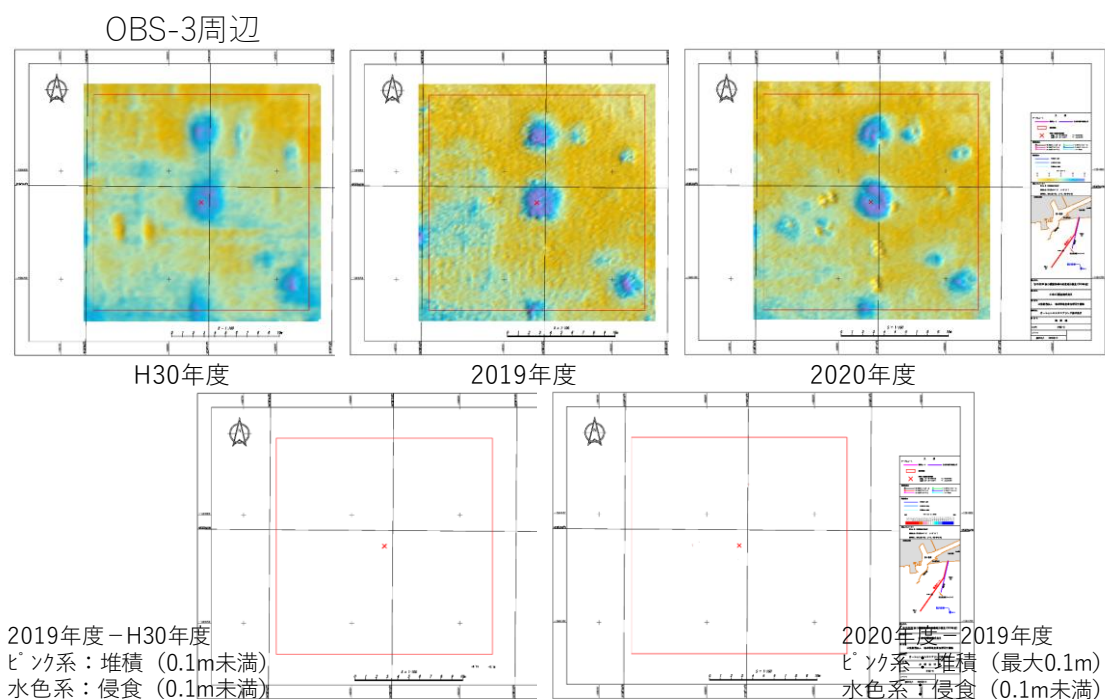


図 4.4-29 OBS-3 周辺の海底地形変化図（2020 年度測量結果）

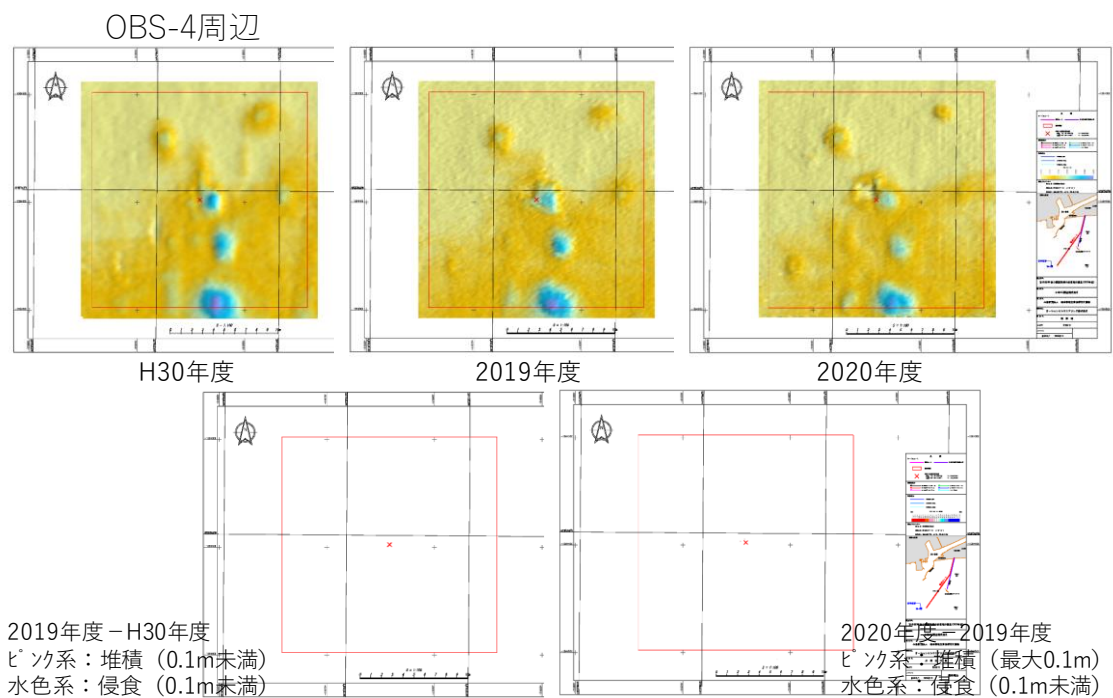


図 4.4-30 OBS-4 周辺の海底地形変化図（2020 年度測量結果）

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、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ルータを更新^{*1)}し、運用を継続している。

2020年度も、障害を起こすことなく、各観測機器から送られてくるデータを統一フォーマット形式に変換して、大容量ストレージに保存した。

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。

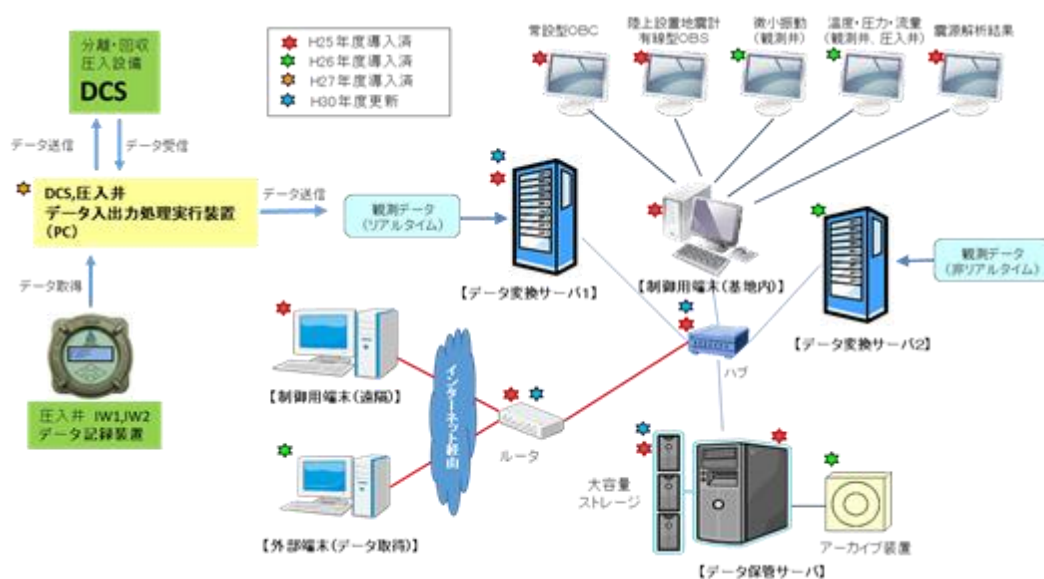


図 4.5-1 総合モニタリングシステムのハードウェア構成図

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

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

表 4.5-2 (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仕様（1/2）

番号	機器名（製造）	仕様
①	PowerEdge R820（Dell）★	CPU : Xeon E5-4650 Memory : 32 GB HDD : 900 GB×10 OS : Windows Server 2012 Standard
	PowerEdge R730（DELL）	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

注) 2018年度に更新した機種（★）に網掛している。下段が現在の使用機器。

*2) Redundant Arrays of Inexpensive Disks 1

表 4.5-2 (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（2/2）

②	PowerEdge R820 (Dell)	CPU : Xeon E5-4650 Memory : 32 GB HDD : 900 GB×10 OS : Windows Server 2012 Standard
③	PowerEdge R320 (Dell)	CPU : Xeon E5-1410 Memory : 8 GB、HDD : 1 TB×2 OS : Windows Server 2012 Standard DBMS : SQL Server 2012 Standard ユーザ数 : 5CALs
④	Snap Server DX2-4TB×12 ★	4TB×12
	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	Precision T3610 (Dell)	CPU : Xeon E5-1620 Memory : 8 GB、HDD : 500 GB OS : Windows 7 Professional Graphic : NVIDIA NVS510
⑦	W1202U30140JP (Dell)	WQXGA (2500×1600)
⑧	Power Connect 8132 (Dell) ★	10Gbit/秒対応
	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	TZ215W (Sonic Wall) ★	
	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	ST170E (45mm スリムモデル) (セイコーエプソン(株))	CPU : Intel Core™ i3 プロセッサ Memory : 4GB、HDD : 250GB OS : Windows 7 Professional 64bit SP1 適用済み
⑫	PowerEdge T110 (Dell)	CPU : Xeon E3-1220v2 Memory : 4GB、HDD : 500GB OS : Windows Server 2012 Foundation

注) 2018 年度に更新した機種 (★) に網掛している。下段が現在の使用機器。

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、CO₂分離・回収／圧入設備のDCS*4)から受け取る操業データおよび国立研究開発法人防災科学技術研究所から取り込んだ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、観測井設置地震計および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⑪参照）（以下、「入出力処理PC」と称する。）でデータ形式を処理され、DCSおよび総合モニタリングシステムに送信される。何らかの理由で一定時間*9)を超えてデータロガーから圧入井データを取得できない場合、圧入井の温度・圧力値をDead Value（=-999.25）とする設定となっている。

表 4.5-3 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：坑井内地震計 HNT：Hi-net WLF：観測井 FBG センサ（温度・圧力） WLP：観測井半導体圧力センサ（圧力） DTS：観測井 DTS PPS：観測井 PPS26 センサ（温度・圧力） IWL：圧入井温度と圧入井圧力 IWD：圧入流量、累積圧入量 IWC：圧入温度、圧入圧力、低圧フラッシュ塔の塔頂 CO ₂ 濃度
16-18	観測点番号	整数（3桁）
19-22	拡張子	.sgd：SEG-D（rev.3）フォーマット .csv：CSV フォーマット .las：LAS フォーマット

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

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

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

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

統一フォーマットファイル^{*12)}は、データ保管サーバ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^{*13)}と非リアルタイムで時系列表示（横軸：時刻、縦軸：振幅）することが可能である。リアルタイム表示では、順次統一フォーマットファイルに変換されるリアルタイムデータから単位時間（デフォルト値は1分間）ごとの表示用画像データ^{*14)}を作成し、順次モニターに表示する。非リアルタイム表示では、指定した期間（表示開始時刻と表示時間幅^{*15)}の観

*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設置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 に観測井設置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非常に多いため、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× σ （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。

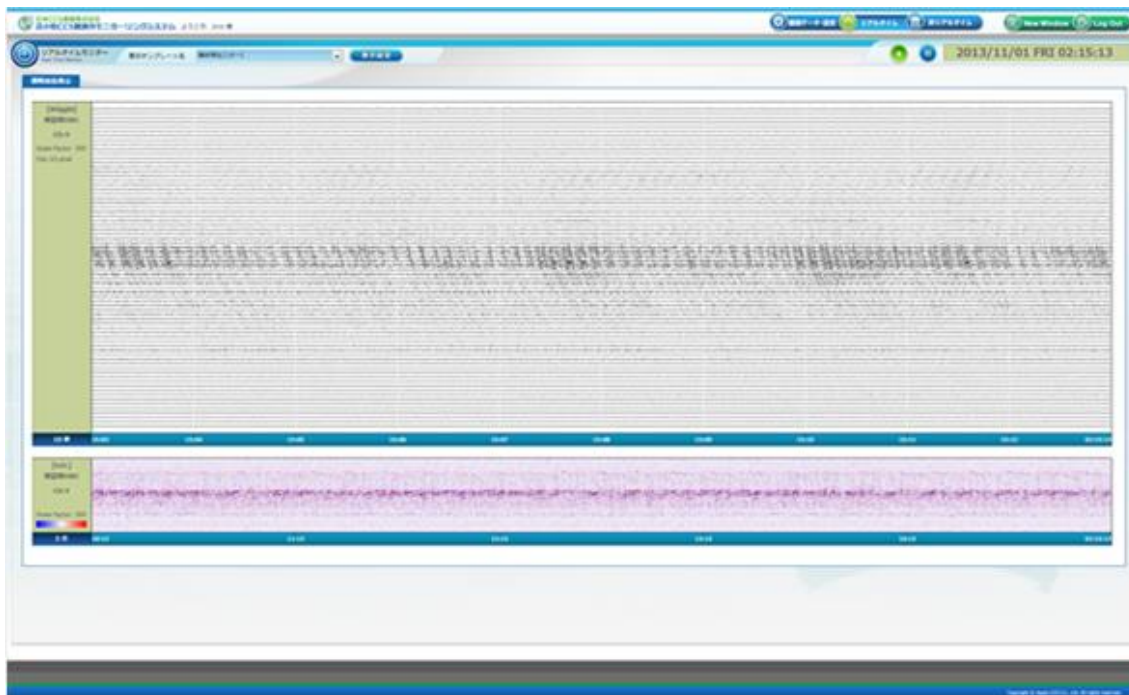


図 4.5-2 常設型 OBC 観測データのリアルタイム表示例



図 4.5-3 観測井設置地震計観測データの時系列表示例

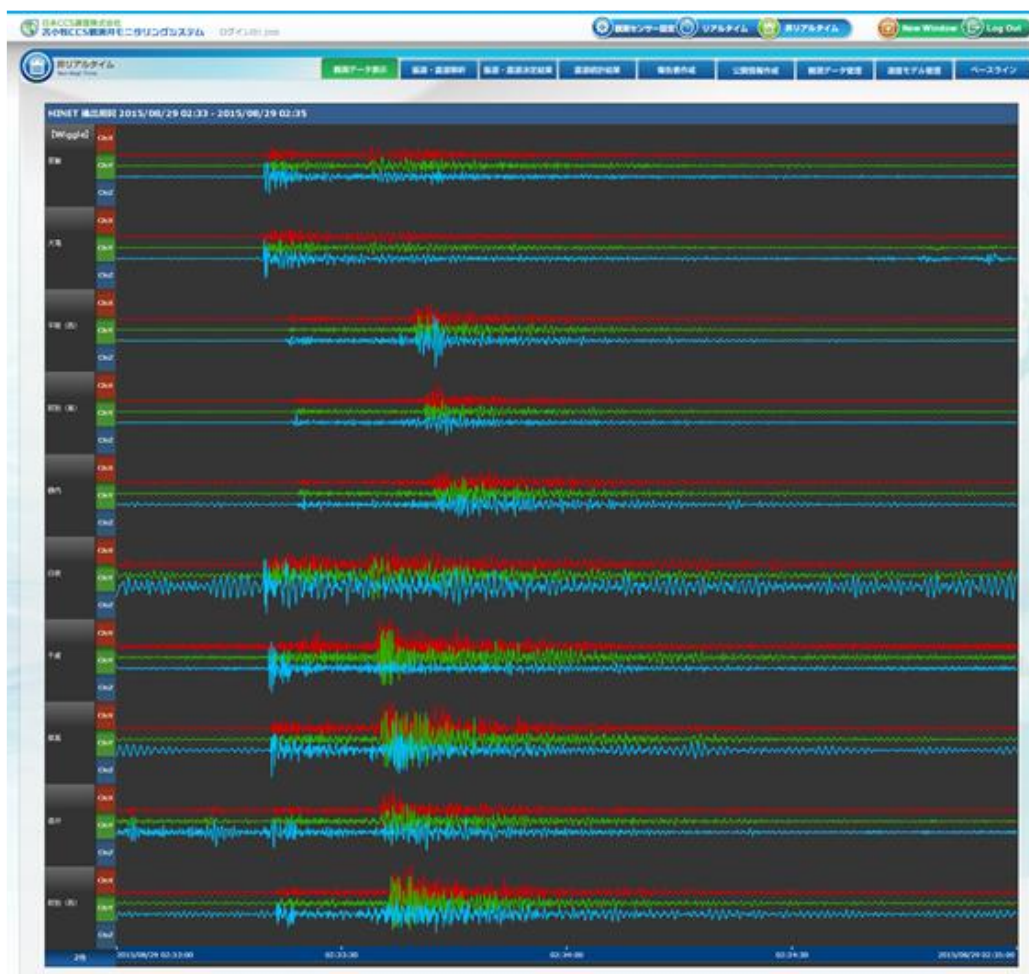


図 4.5-4 Hi-net データ表示例（10 観測点分）

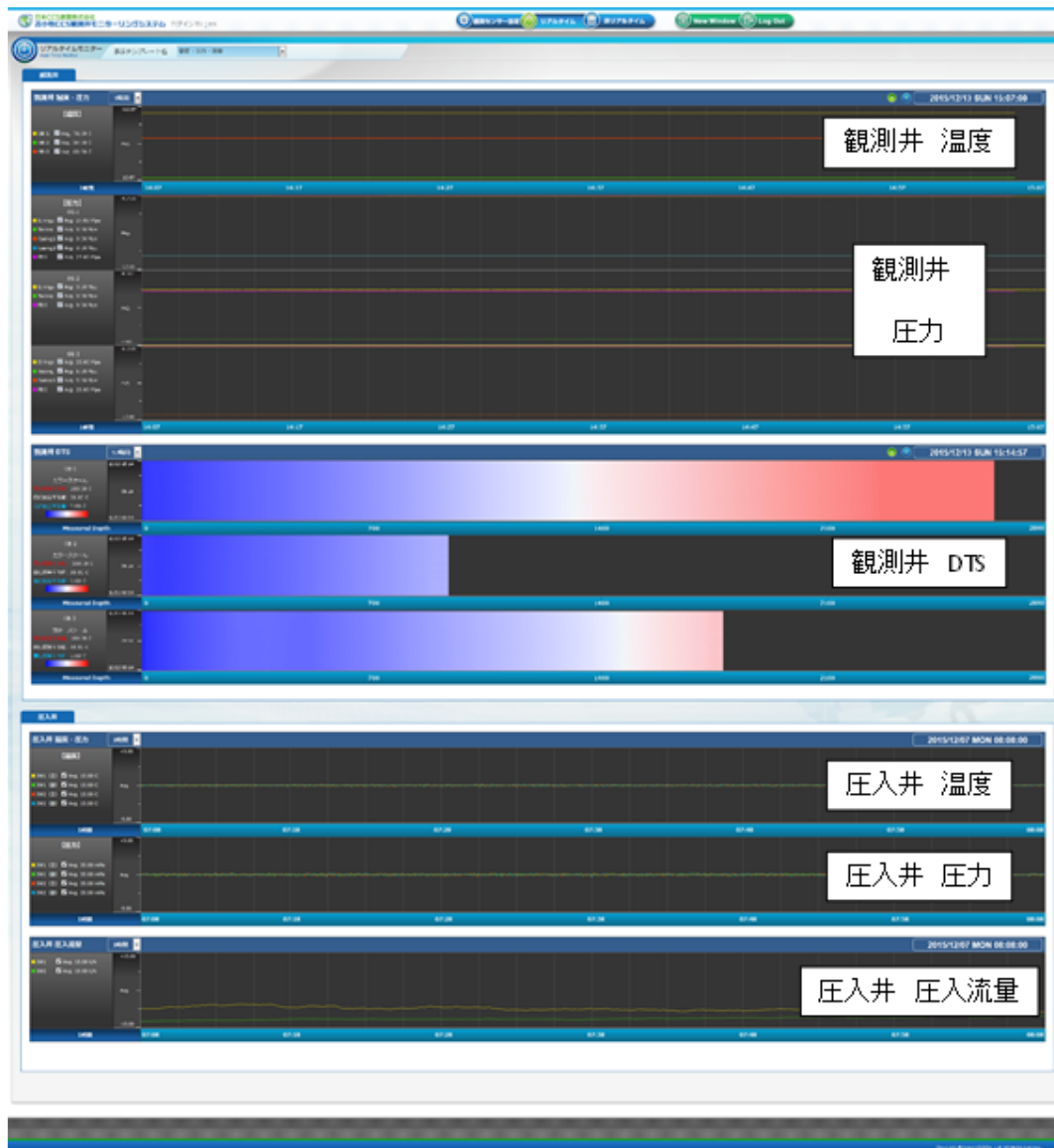


図 4.5-5 リアルタイムでの観測井の温度と圧力データの時系列表示例

(3) 異常の検出機能

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

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

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

地震計の波形データからの異常の検出には、ある期間の平均的な変化を評価することが必要となるため、バックグラウンドノイズも考慮した上で、STA・LTA アルゴリズムによる判定を適用している。表 4.5-5 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	α_0	α_1	T_{min}
常設型 OBC	60 msec	1,000 msec	3.0	1.6	360 msec
陸上設置地震計	60 msec	1,000 msec	3.0	1.6	360 msec
有線型 OBS	60 msec	1,000 msec	3.0	1.6	360 msec
観測井設置地震計	12 msec	500 msec	2.5	1.6	100 msec

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らることから、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、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（ β_0 ）～下限値（ β_1 ）の範囲内を観測値が最初に逸脱した時刻を暫定異常開始時刻、異常開始後に観測値が平常値の範囲に戻った時刻を暫定異常終了時刻とし、暫定異常継続時間が別途設定された最小継続時間（ T_{min} ）を超えた場合を異常とする。短時間に値が大きく変化する可能性のある温度・圧力データの異常検出には観測データの上下限值による判定を適用している。表 4.5-6 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	β_0	β_1	T_{min}
OB-1	FBG センサ（温度）	78℃	74℃	5 s
	FBG センサ（圧力）	29.5 MPa	25.5 MPa	5 s
	半導体圧力センサ	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（温度）	℃	℃	5 s
	PPS26 センサ（圧力）	MPa	MPa	5 s
	DTS（温度）	100℃	-5℃	10 min
	OB-2	FBG センサ（温度）	36℃	32℃
FBG センサ（圧力）		11.0 MPa	7.0 MPa	5 s
半導体圧力センサ		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（温度）		運用実績を考慮して設定の予定		
PPS26 センサ（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（温度）	62℃	58℃	5 s
	FBG センサ（圧力）	32.0 MPa	28.0 MPa	5 s
	半導体圧力センサ	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（温度）	運用実績を考慮して設定の予定		
	PPS26 センサ（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）と共に、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。

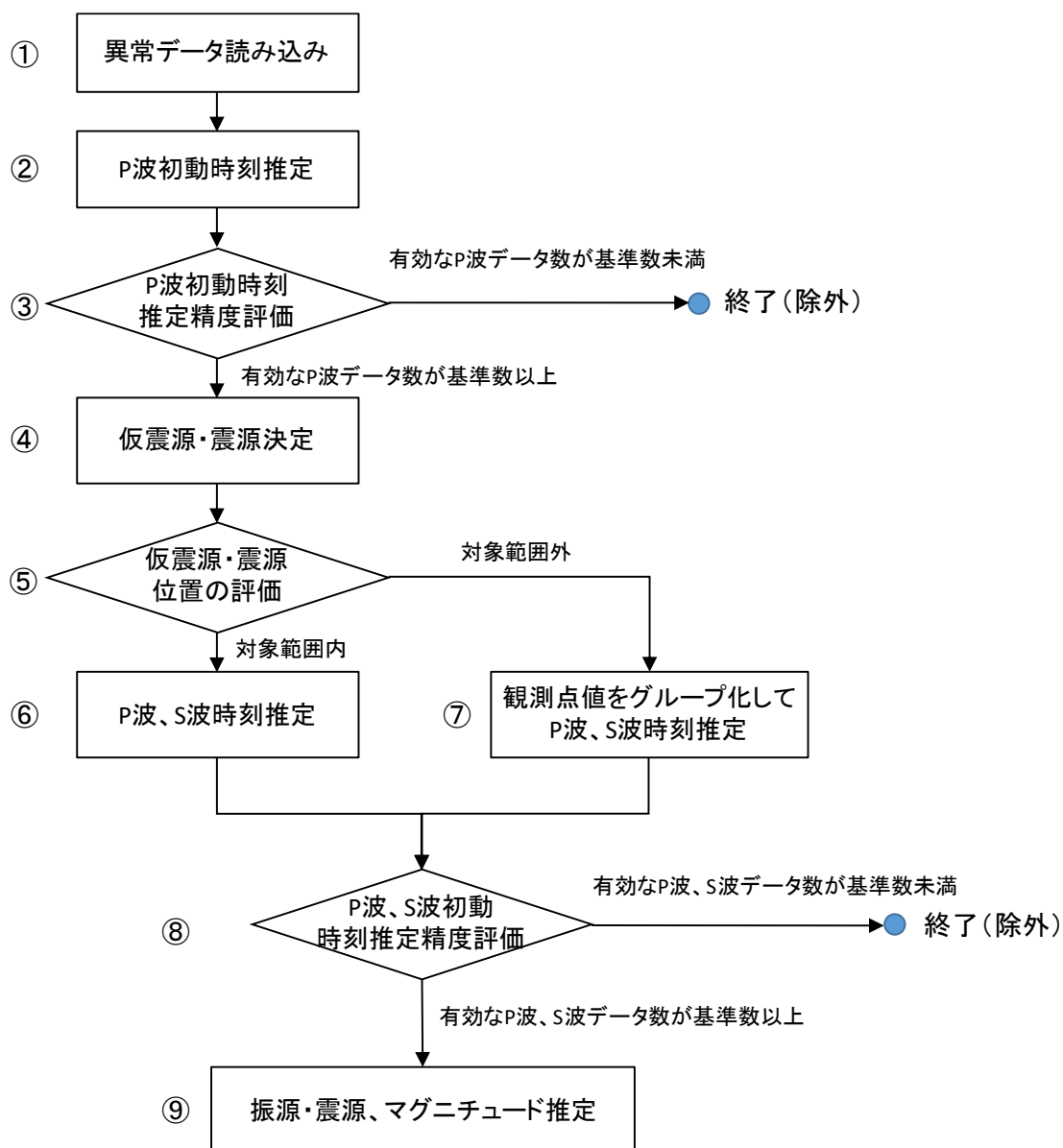


図 4.5-6 振源・震源決定の処理フロー

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）の地震計の P 波、S 波初動時刻、常設型 OBC、有線型 OBS および独立型 OBS の P 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）の地震計の P 波、S 波初動時刻、常設型 OBC、有線型 OBS および独立型 OBS の P 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。

(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 Vp/Vs（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 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*24)を参照して、萌別層圧入地点の P 波速度構造と S 波速度構造を作成した。図 4.5-11 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。

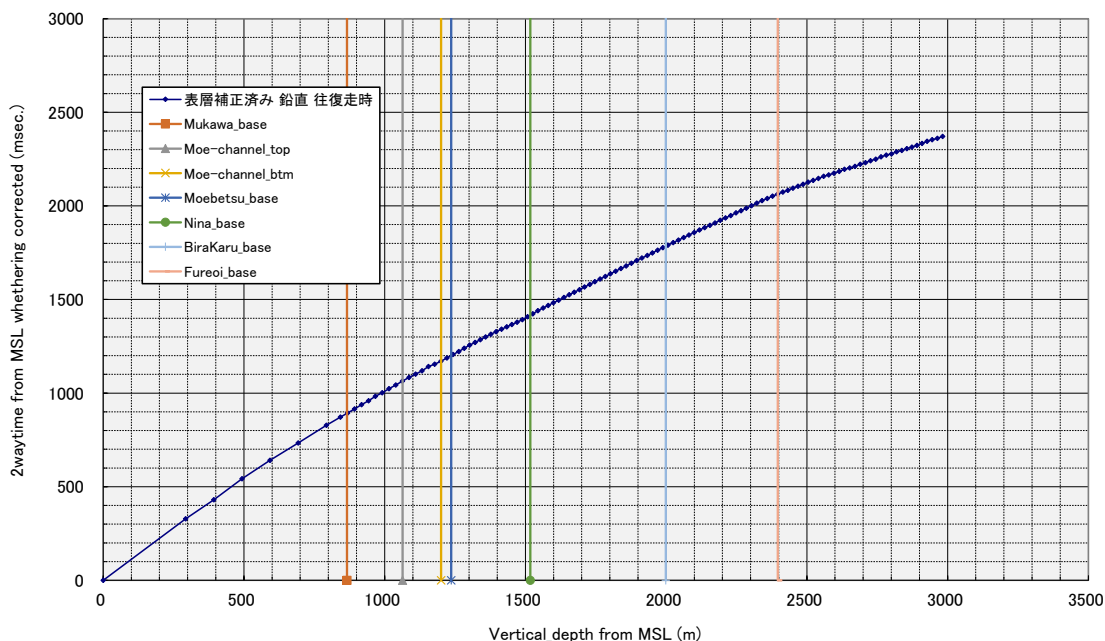


図 4.5-8 OB-1 における VSP 調査によって得られた時間-深度関係図

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

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

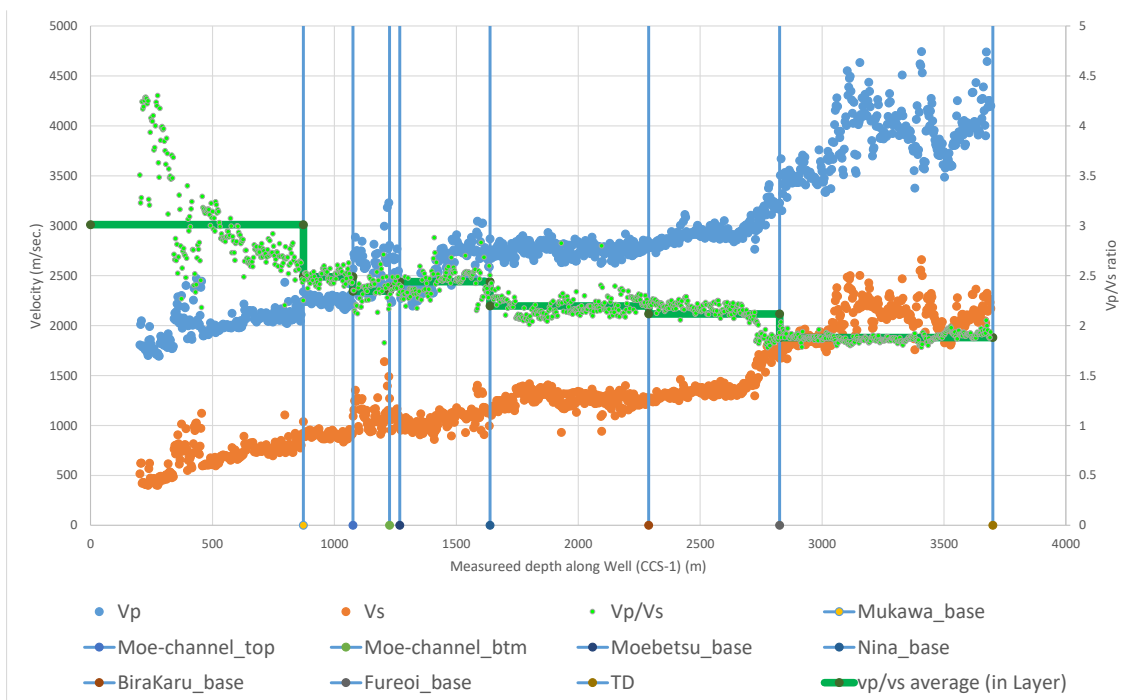


図 4.5-9 OB-1 における PS 検層より推定した各層準の Vp/Vs

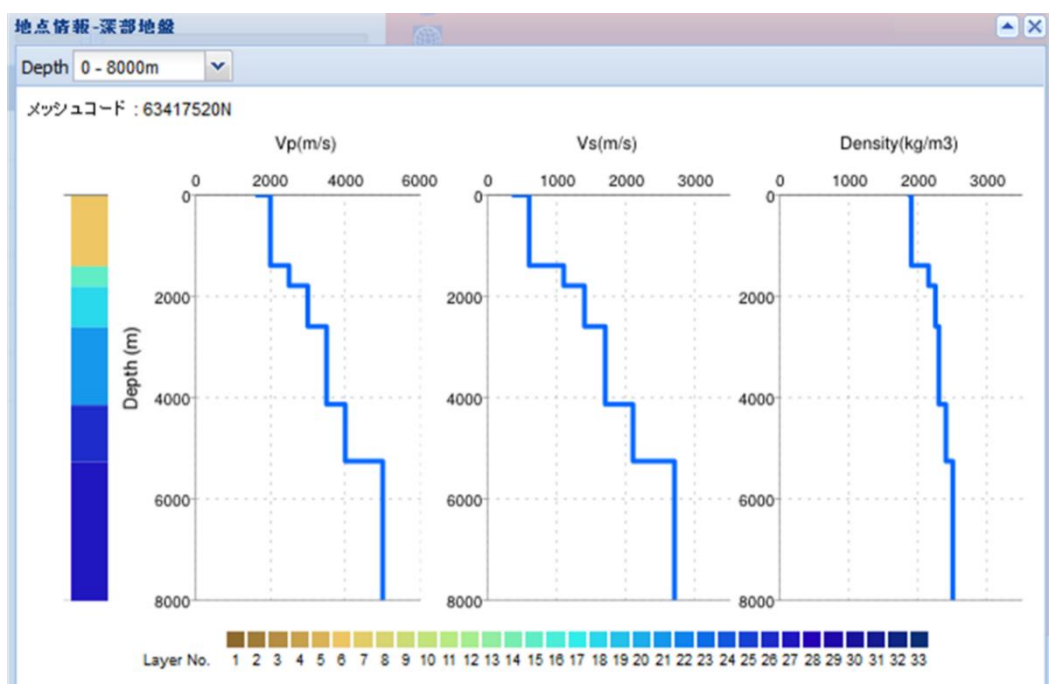


図 4.5-10 萌別層圧入地点に相当する位置の速度構造

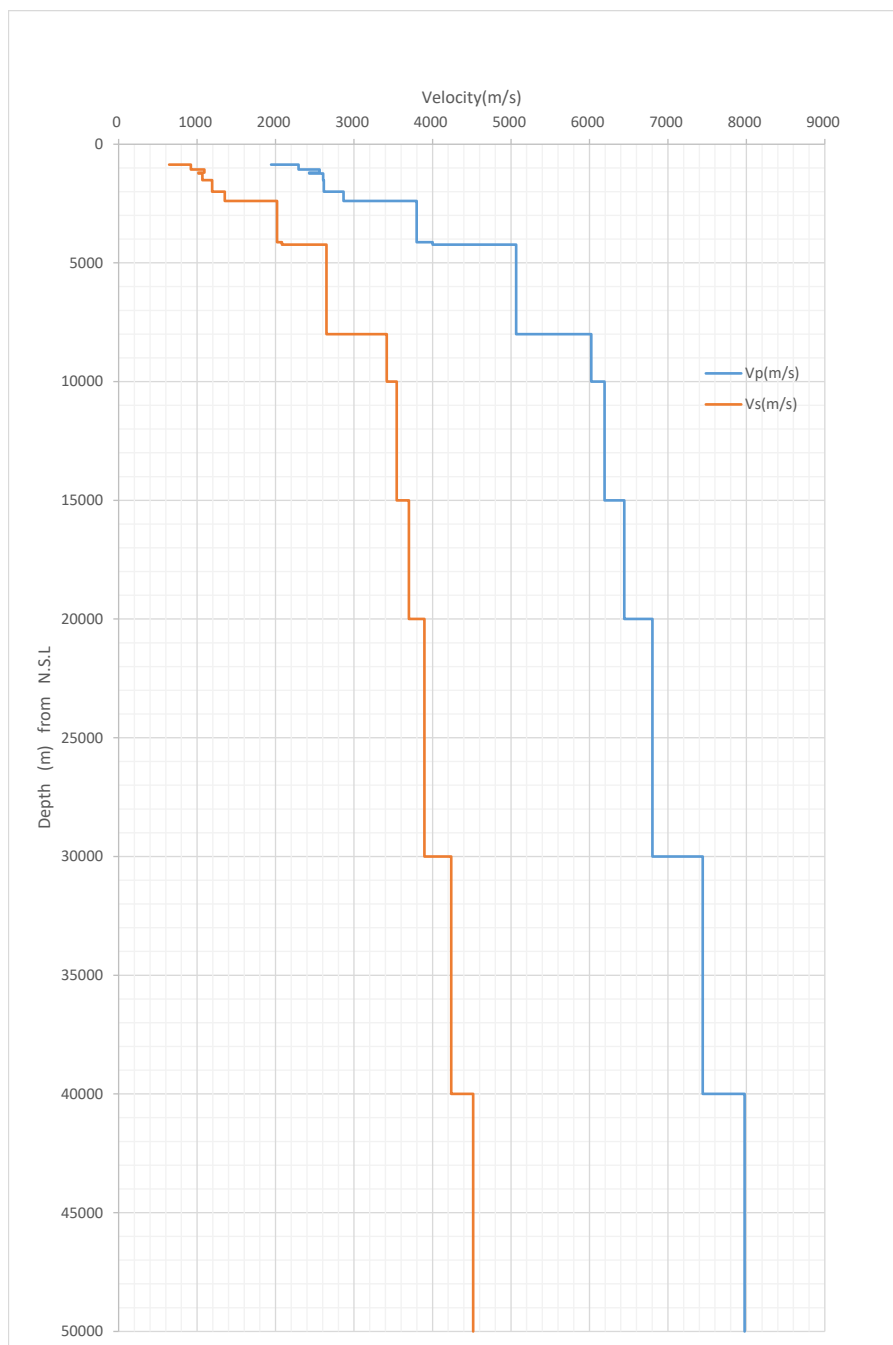
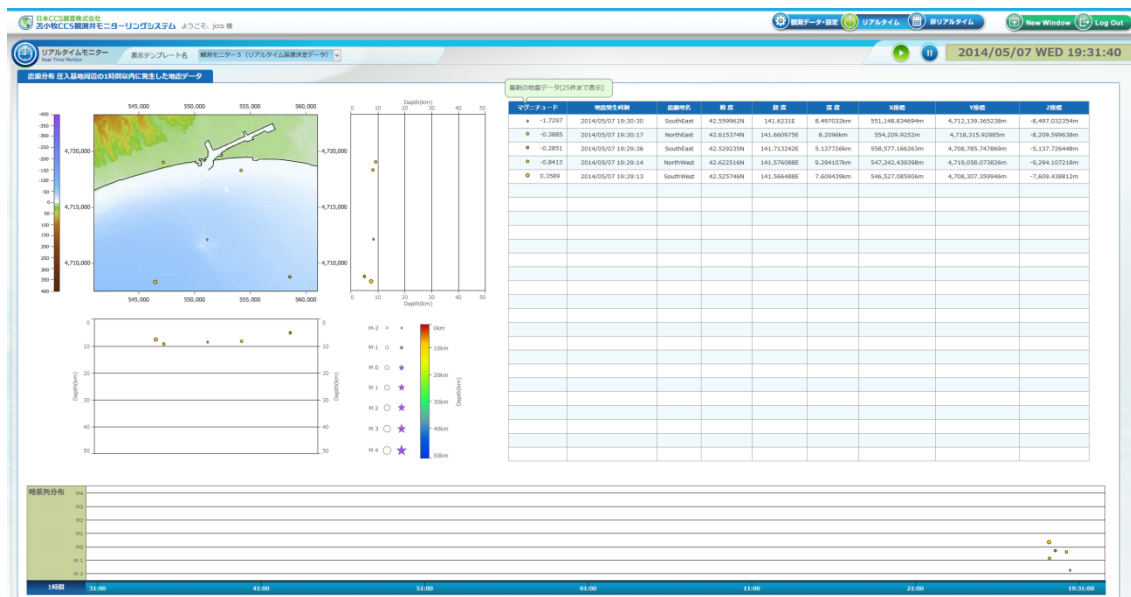


図 4.5-11 振源・震源決定用一次元速度構造モデル

(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）に設置した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。

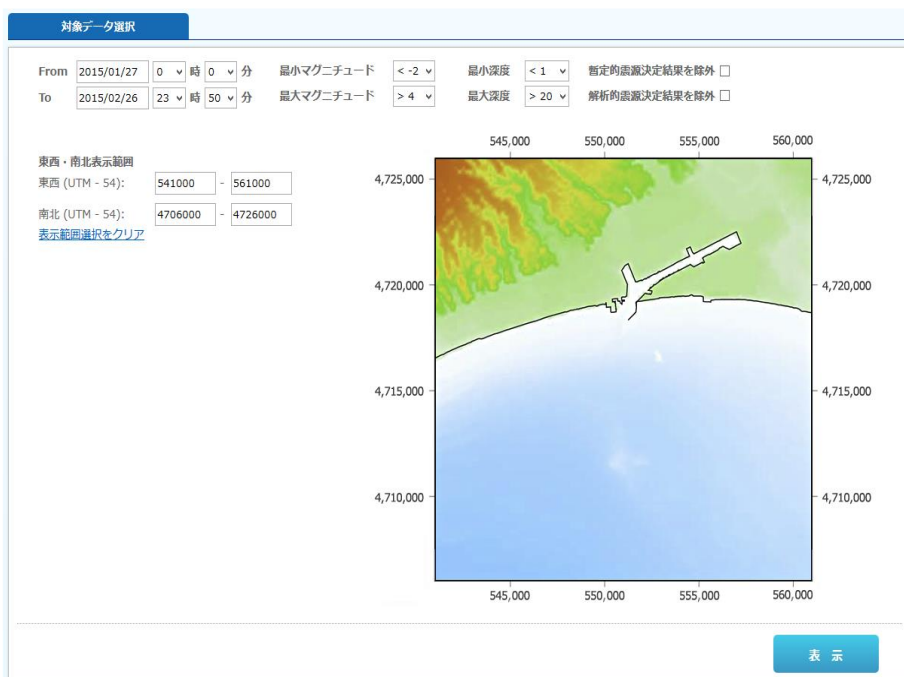
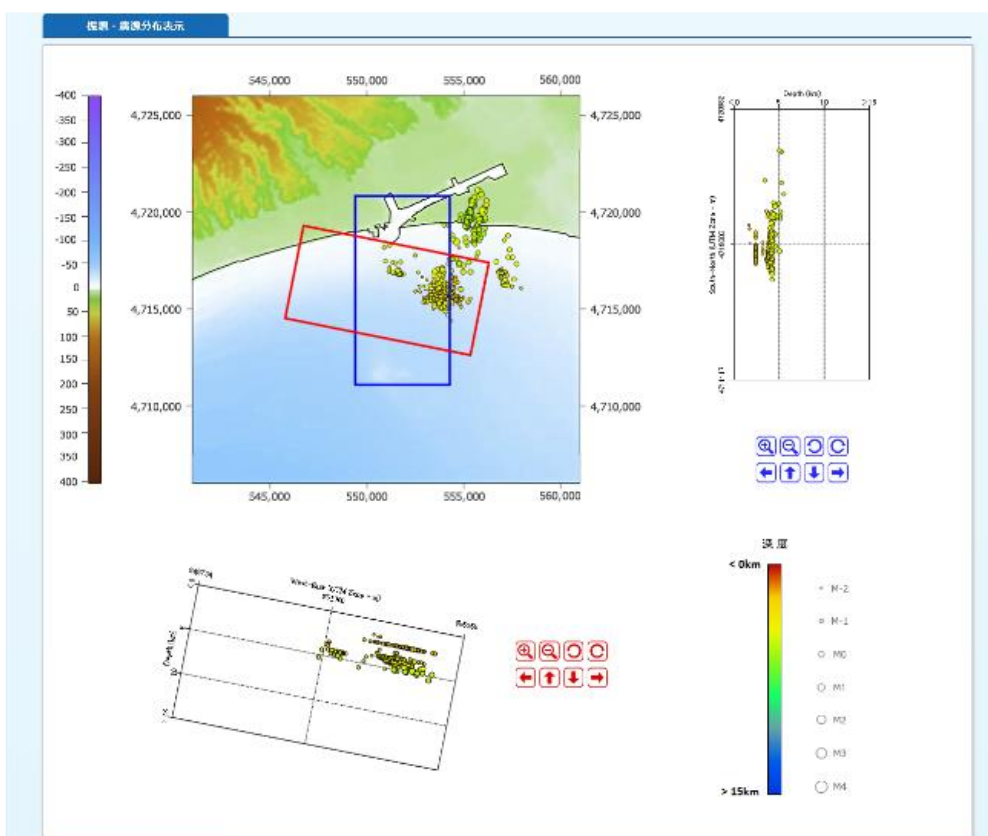


図 4.5-13 振源・震源検索条件設定画面



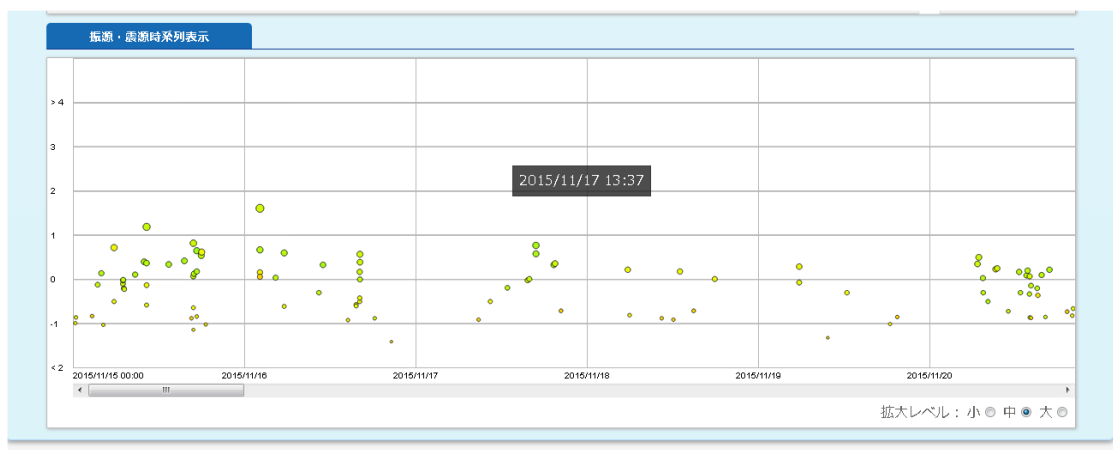
注) 平面図上の赤の矩形範囲の断面図を平面図の下に、青の矩形範囲の断面図を平面図の右に表示する。各断面図には、それぞれに矩形の範囲に存在する振源・震源データを表示する。矩形は拡大、縮小、回転、移動が可能である。

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 次 >>

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

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

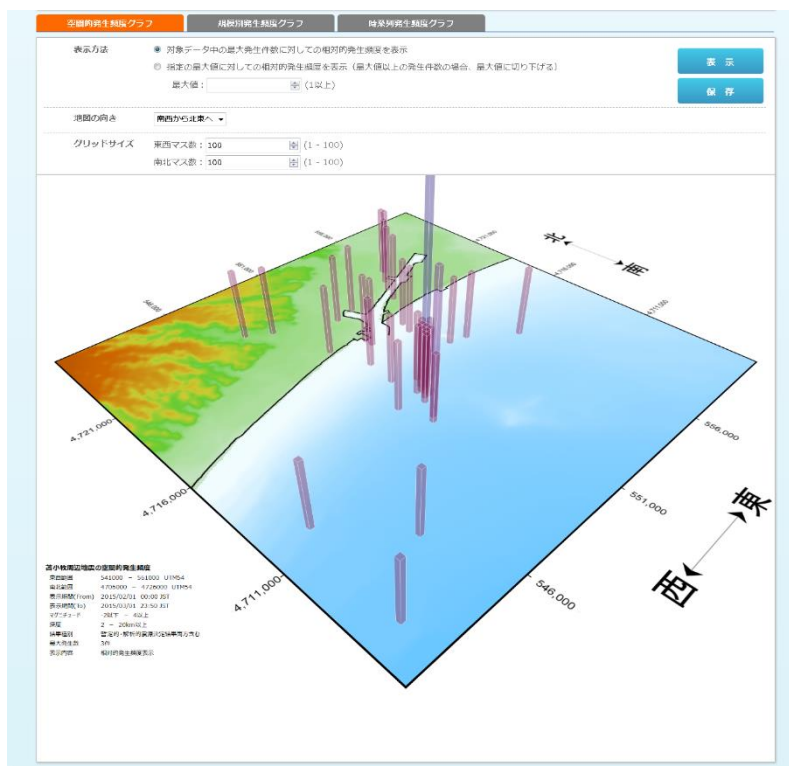


図 4.5-17 空間的発生頻度分布の表示例（仮データを使用）

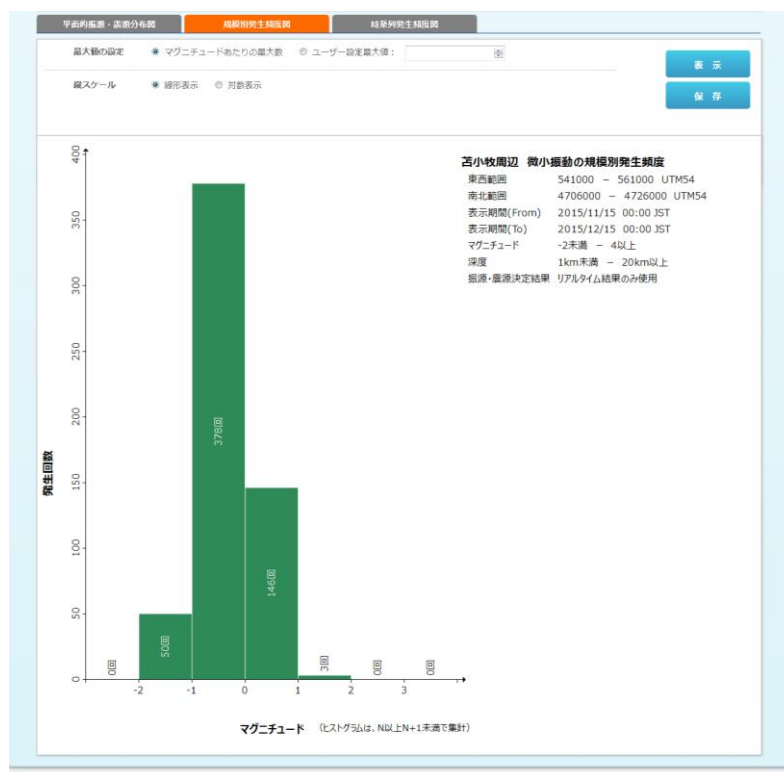


図 4.5-18 規模別発生頻度分布の表示例（仮データを使用）

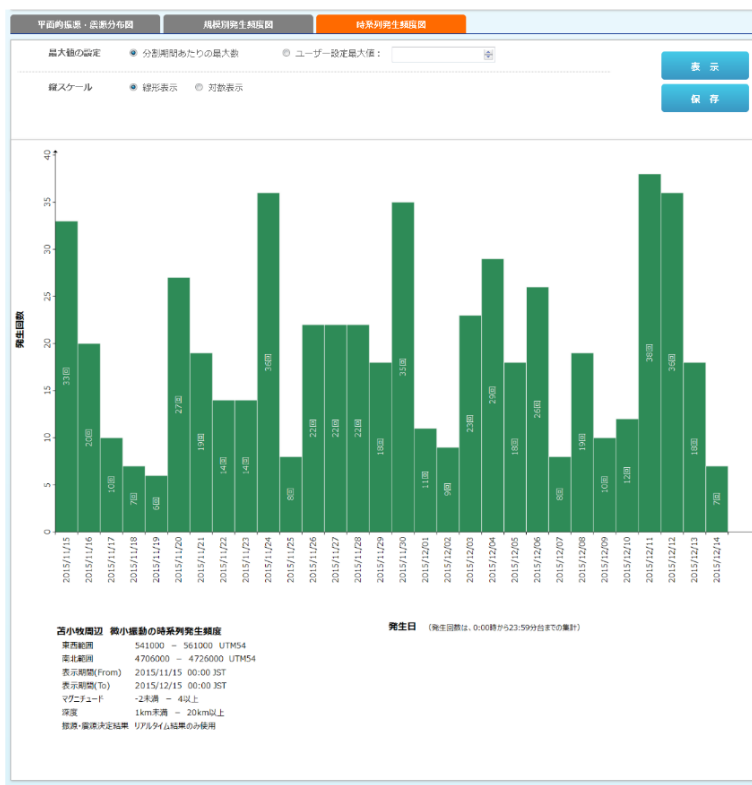


図 4.5-19 時系列発生頻度分析結果図（仮データを使用）

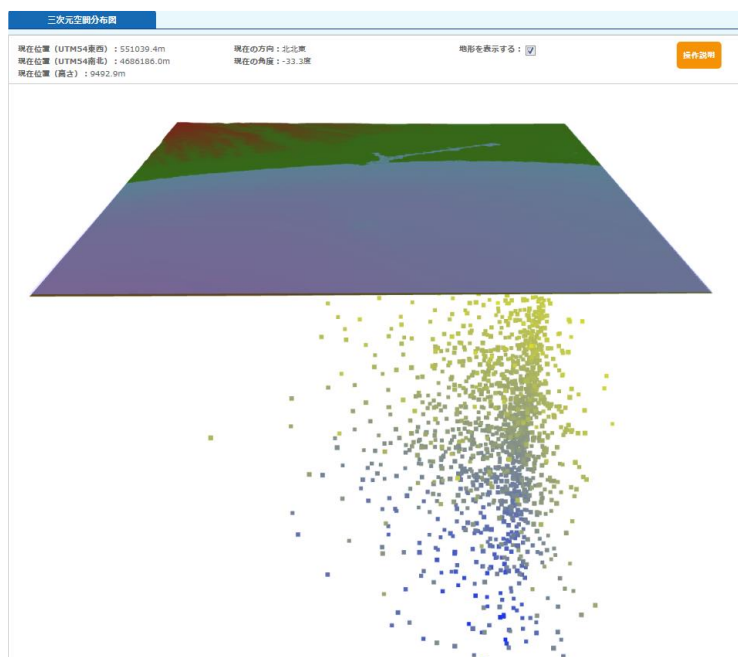


図 4.5-20 振源・震源の三次元分布の表示例（仮データを使用）

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（2020年4月～2021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、13日、20日、27日	10月	5日、12日、19日、26日
5月	7日、11日、18日、25日、31日	11月	2日、9日、16日、24日、30日
6月	8日、15日、22日、29日	12月	3日、7日、14日、21日、28日
7月	6日、13日、20日、27日	1月	4日、13日、18日、25日
8月	3日、11日、17日、24日、31日	2月	1日、8日、15日、22日
9月	7日、14日、23日、28日	3月	1日、8日、15日、22日、29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、2020年度は、新型コロナウイルス感染症対策への配慮もあり、6月29～30日、7月29～30日、8月26～28日、9月28～29日、10月26日、11月26～27日、12月21～22日、2月1～2日、2月16日、3月9日、3月16～17日および3月27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	テープ管理番号	テープバーコードラベル番号	作業日
OBC	2020年01月01日～2020年02月29日	#010072	#000090	2020年04月14日
	2020年03月01日～2020年04月30日	#010073	#000091	2020年05月13日
	2020年05月01日～2020年06月30日	#010076	#000094	2020年09月15日
	2020年07月01日～2020年08月31日	#010078	#000096	2020年11月10日
	2020年09月01日～2020年10月31日	#010080	#000098	2021年01月07日
	2020年11月01日～2020年02月28日	#010081	#000099	2021年02月10日
	2021年01月01日～2021年02月28日	#010082	#000100	2021年03月10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01月01日～2020年02月29日	#010074	#000092	2020年07月17日
	2020年03月01日～2020年04月30日	#010075	#000093	2020年08月14日
	2020年05月01日～2020年06月30日	#010077	#000095	2020年10月08日
	2020年07月01日～2020年08月31日	#010079	#000097	2020年12月08日

(4) 週報の作成

総合モニタリングシステムが有する週報作成機能を利用して週報を作成（出力）した。表 4.5-11 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"> 対象期間 表示規模 振源・震源分布図と断面図（東西と南北）
微小振動と自然地震観測リスト	<ul style="list-style-type: none"> 対象期間 表示規模 期間中に発生した微小振動と自然地震のリスト（発生時刻、マグニチュード、振源・震源）
欠測状況	<ul style="list-style-type: none"> 対象期間 期間中の欠測状況（観測種別、欠測期間）

苫小牧 CCS実証試験 モニタリング測定状況 週報

期間 2020年 5月31日 - 6月6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（01日に計1件発生）
	FBG(温度・圧力5)	正常観測
	圧力1-4	正常観測
	DTS	正常観測
OB-2	地震観測	欠測あり（01日に計1件発生）
	FBG(温度・圧力5)	正常観測
	圧力1-4	正常観測
	DTS	正常観測
OB-3	地震観測	欠測あり（01日に計1件発生）
	FBG(温度・圧力5)	正常観測
	圧力1-4	正常観測
	DTS	欠測あり（31日に計1件発生）
圧入井温度・圧力		正常観測
圧入井圧入量情報		正常観測
圧入井圧入操業情報		正常観測

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 2020年 5月31日 - 6月6日

観測機器		開始	終了
OB-1	地震観測	2020/06/01 09:27	2020/06/01 11:25
OB-2	地震観測	2020/06/01 18:02	2020/06/01 18:06
OB-3	地震観測	2020/06/01 18:08	2020/06/01 18:12
OB-3	DTS	2020/05/31 20:51	2020/05/31 21:01

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		
<u>期間</u>		2020年 05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：4、欠測時間：計 465 分間	
陸上設置地震計	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計 1 分間	
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：1、欠測件数：1、欠測時間：計 20 分間
	FBG（温度・圧力 5）	欠測発生日数：4、欠測件数：5、欠測時間：計 5 分間
	圧力 1-4	欠測発生日数：5、欠測件数：7、欠測時間：計 7 分間
	DTS	欠測発生日数：7、欠測件数：11、欠測時間：計 110 分間
OB-2	地震観測	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計 3 分間
	FBG（温度・圧力 5）	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計 1 分間
	圧力 1-4	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計 1 分間
	DTS	正常観測
OB-3	地震観測	欠測発生日数：1、欠測件数：1、欠測時間：計 3 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 3 分間
	圧力 1-4	欠測発生日数：5、欠測件数：5、欠測時間：計 5 分間
	DTS	欠測発生日数：7、欠測件数：8、欠測時間：計 80 分間
圧入井温度・圧力	正常観測	
圧入井圧入量	正常観測	
圧入井圧入操作情報	正常観測	

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

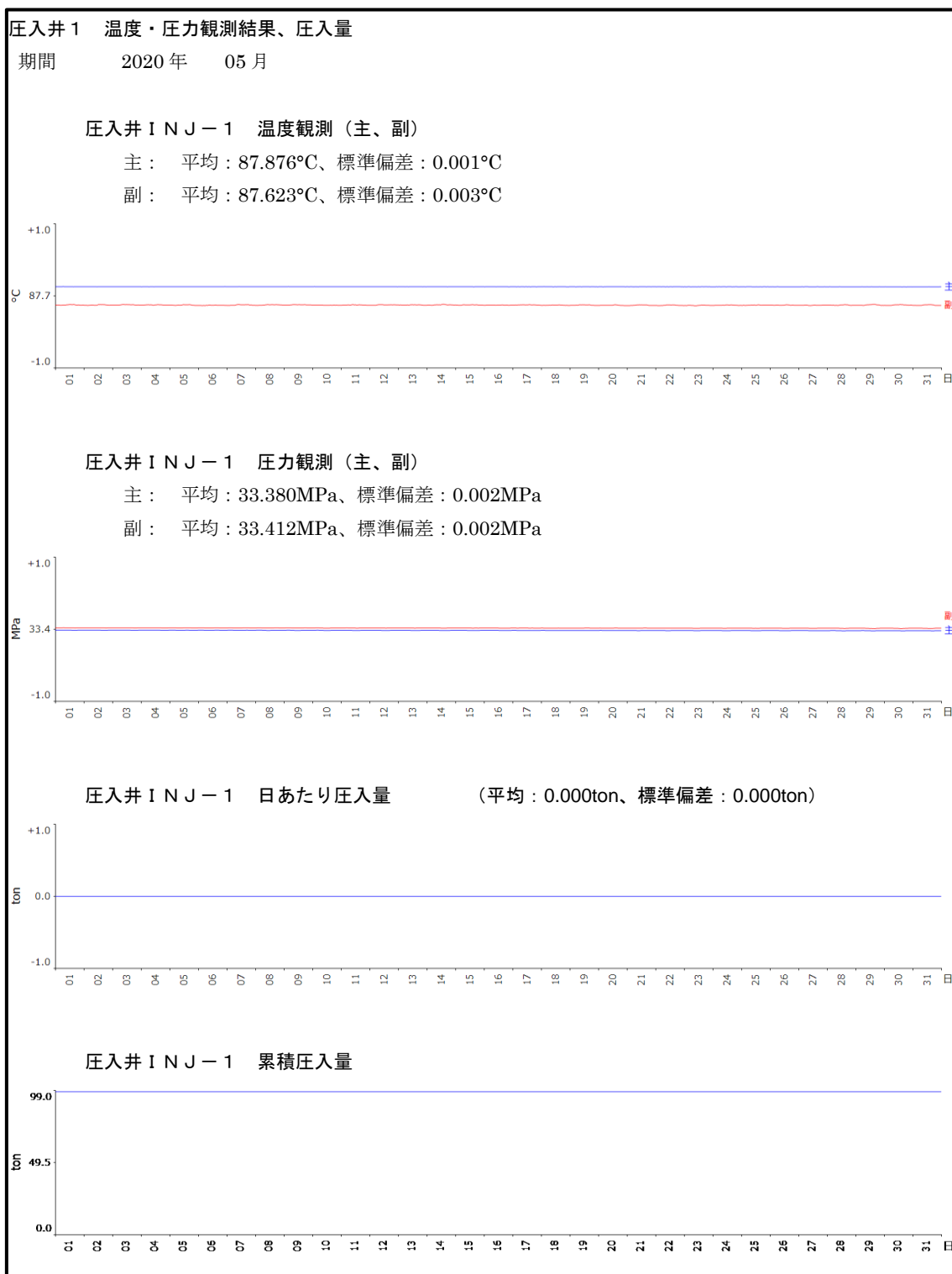


図 4.5-25 (2) 坑底温度・圧力、日あたりの圧入量および累積圧入量の経時グラフの例

(6) OBS データの登録

2020年度に3回（2020年6月、9月および2021年2月）実施したOBS交換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1月10日10:45～2020年6月26日12:05	2020年7月15日
	OBS-2	2020年1月11日12:14～2020年6月27日09:20	2020年7月15日
	OBS-3	2020年1月08日09:32～2020年6月24日09:54	2020年7月16日
	OBS-4	2020年1月07日09:34～2020年6月23日11:57	2020年7月14日
第2回	OBS-1	2020年6月26日12:10～2020年9月22日10:48	2020年10月05日
	OBS-2	2020年6月27日08:11～2020年9月20日12:05	2020年9月25日
	OBS-3	2020年6月24日09:55～2020年9月21日11:08	2020年10月05日
	OBS-4	2020年6月23日10:04～2020年9月26日11:09	2020年9月25日
第3回	OBS-1	2020年9月22日10:49～2020年2月15日10:53	2021年3月22日
	OBS-2	2020年9月20日10:25～2020年2月27日10:42	2021年3月24日
	OBS-3	2020年9月24日09:12～2020年2月22日10:29	2021年3月23日
	OBS-4	2020年9月21日09:34～2020年2月26日09:19	2021年3月22日

(7) その他

総合モニタリングシステムは、2020年度、安定して稼働しており、定期的な遠隔監視および現地保守点検以外、障害等の不具合は発生しなかった。

ただし、総合モニタリングシステムの安定な運用を目的に、以下の検討と整理を実施した。

① 圧入井温度圧力データ取得システムの堅牢化の検討

2016年の圧入開始当初より、DCS（Distributed Control System）は、圧入井温度圧力データをデータ入出力専用PC（以下、圧入井データ入出力PC）から取得している。これは、圧入井データロガーとDCSの通信方式が物理的にも論理的にも異なっているため、圧入井データ入出力PCによって圧入井温度圧力データを変換し、DCSにデータを送信したことによる。しかし、圧入井データ入出力PCは総合モニタリングシステムの一部であり、総合モニタリングシステム側に不具合が生じると、DCSが圧入井温度圧力データを取得できなくなる。

このため、2020年度に、圧入井データシステムを堅牢化する改善手段を検討した。

検討結果として得られた改善策は、図 4.5-26 に示すように、Modbus データ変換器を用いて圧入井データロガーからの圧入井データを両者に振り分けるものである。

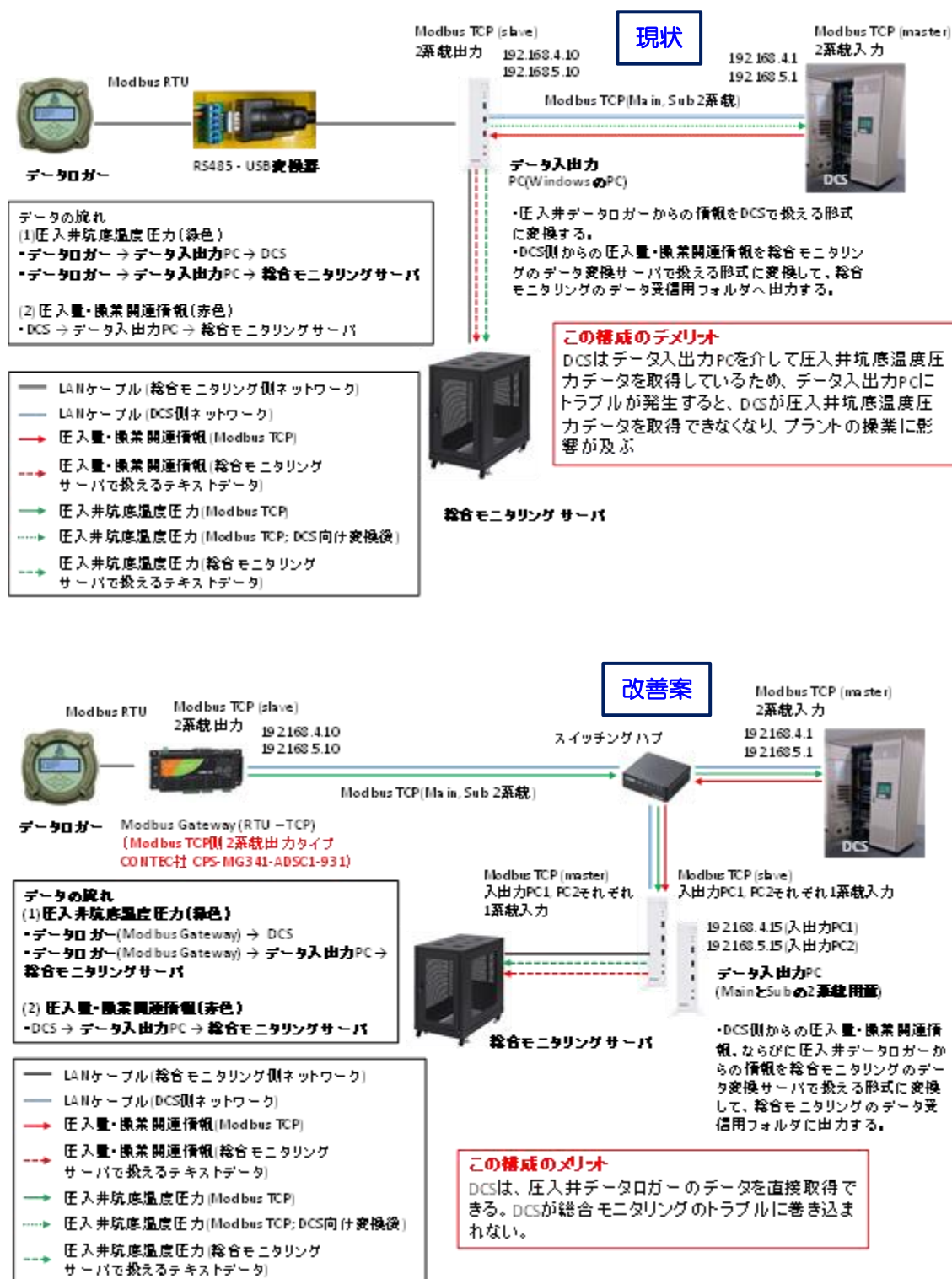


図 4.5-26 圧入井温度圧力データ取得システムの堅牢化手段

選定した Modbus データ変換器を用い、PC を送信先とした仮想テストを実施し、圧入井データロガーからの圧入井データを DCS と総合モニタリングシステムに振り分けることができることを確認した。ただし、DCS 側のレジスタ設定を、表 4.5-14 に示すように、変更する必要があることが判明した。

2020 年度末時点では、DCS 側のレジスタ設定工事を伴うため、導入は実施していない。

表 4.5-14 圧入井データ取得システムの堅牢化に伴う DCS レジスタ変更設定

No.	機能コード	PLC	信号名称 (赤色文字は総合モニタリングでの呼称)	レンジ下限	レンジ上限	単位	データ下限	データ上限	データタイプ	ワード反転
		MODBUSアドレス								
1	A	48225	淹ノ上層圧入井(苫小牧W-1号井)坑内温度 (DWL-W1TMP1)	-20.0	50.0	℃	-200	500	16ビット符号付き整数	無
2	A	48226	淹ノ上層圧入井(苫小牧W-1号井)坑内圧力 (DWL-W1PRS1)	0.0	70.0	MPa	0	700	16ビット符号付き整数	無
3	A	48227	淹ノ上層圧入井(苫小牧W-1号井)坑口温度	-20.0	50.0	℃	0	500	16ビット符号付き整数	無
4	A	48228	淹ノ上層圧入井(苫小牧W-1号井)坑口圧力	0.0	70.0	MPa	0	700	16ビット符号付き整数	無
5	A	48229	淹ノ上層圧入井(苫小牧W-1号井)坑口圧力(外圧)	0.0	70.0	MPa	0	700	16ビット符号付き整数	無
6	A	48230	萌別層圧入井(苫小牧W-2号井)坑内温度 (DWL-W2TMP1)	-20.0	50.0	℃	-200	500	16ビット符号付き整数	無
7	A	48231	萌別層圧入井(苫小牧W-2号井)坑内圧力 (DWL-W2PRS1)	0.0	70.0	MPa	0	700	16ビット符号付き整数	無
8	A	48232	萌別層圧入井(苫小牧W-2号井)坑口温度	-20.0	50.0	℃	-200	500	16ビット符号付き整数	無
9	A	48233	萌別層圧入井(苫小牧W-2号井)坑口圧力	0.0	70.0	MPa	0	700	16ビット符号付き整数	無
10	A	48234	萌別層圧入井(苫小牧W-2号井)坑口圧力(外圧)	0.0	70.0	MPa	0	700	16ビット符号付き整数	無

② データ伝送漏れ対策の検討

総合モニタリングシステムが各観測施設からのデータを取り込むに当たっては、下記の2段階において、データを伝送する必要がある。

- 1) 各観測設備→総合モニタリングシステム受信用フォルダ
伝送遅れの確認のため、約2日分のデータを保持している。
- 2) 総合モニタリングシステム受信用フォルダ→同データ取り込み用監視フォルダ
監視フォルダにコピーされたフォーマットを随時チェックして、問題がなければ、総合モニタリングシステムにデータをコピーする。

1)は、通信速度の問題と考えられる。例えば、現在の苫小牧 CCS 実証試験センターと観測井 OB-1 と OB-3 の間は、敷設当時に光回線を利用できなかったため、ADSL 回線を用いてデータ通信を実施している。しかし、地震計のデータはファイルサイズが大きく、しばしば伝送漏れが生じ、人手によって欠測を補完することが必要になっている。このため、実用施設において光回線を敷設することも念頭に、観測井 OB-1 (30 km まで) と OB-3 (15 km まで) の間を光回線で通信するとしたときの月額費用を検討した。

通信の速度と量が保証される帯域保証専用線 (1 Gbps)、帯域保証専用線 (450 Mbps) および公衆光回線上で帯域確保 (400 Mbps) は、月額数百万円の経費が発生するため、導入は難しい。このため、ベストエフォート型の公衆回線を利用するのが現

実的であり、光回線の敷設工事が難しい地域では、公衆携帯電話回線の複数利用が現実的な選択肢になると考えられ、いずれも月額数万円の経費に収まることが分かった。

2)は、ある観測設備のコピーを実施中に、他の観測設備のコピーを始めるというデータの輻輳が原因の一つと考えられる。これを解消するため、2)のデータ取り込み間隔の調整機能を追加するとともに、2)のデータの再取り込みを実施する機能を付加し、定期処理と重ならない毎日4:30に処理を実行することを試みた。その実績（2020年4月1日から2021年2月2日）を表4.5-15に示す。取り込みエラー件数と再取り込み成功数を比べると、ある程度、規模が小さい伝送漏れには効果が認められた。

表 4.5-15 データ伝送遅れ再取り込み機能の稼働実績

データ種別	取り込みエラー検出件数	自動再取り込み成功件数	自動再取り込み失敗件数
OBC	50	40	10
OB1地震計	497	416	81
OB2地震計	2	2	0
OB3地震計	333462	33931	299531
陸上地震計	38	15	23
OBS有線デジタル	0	0	0
OB1FBG	6	3	3
OB2FBG	1	1	0
OB3FBG	2	2	0
OB1圧力計	2	2	0
OB2圧力計	1	0	1
OB3圧力計	0	0	0
OB1DTS	0	0	0
OB2DTS	0	0	0
OB3DTS	0	0	0
圧入井坑底温度圧力計	0	0	0

③ PPS26 温度圧力センサの追加対応

2020年10月にOB-1、OB-2、OB-3の各観測井に温度圧力計（PPS26）を追加したことから、総合モニタリングシステムのデータ取り込み機能に当該センサからのデータを追加する機能を付加した。これによって、PPS26センサの観測データはFBGセンサと同様のフォーマットで総合モニタリングシステムのデータ受信用フォルダにコピーされ、データベースのSensorsテーブルのSensorDataTypeカラムとFileFormatIDカラムにPPS26センサの温度圧力計情報が登録される。ただし、PPS26センサは設置深度がFBGセンサと半導体センサより深いため、PPS26センサで観測された温度圧力計のデータは、総合モニタリングシステムでの表示およびデータ公開システムでの公開の対象外としている。

④ 圧入井温度圧力データのノイズに係る検討

圧入井坑底温度圧力データのうち、圧力データに連続したスパイク状のノイズが混入することが2017年度から認められている。確認されたノイズは、圧力センサの精度、フルスケール10,000 psiの±0.03%、±3 psi=±20.684 kPa=±0.020684 MPaの範囲内であるものの、図4.5-27に示すように、明らかに異なるシグナルが混入していると判断された。

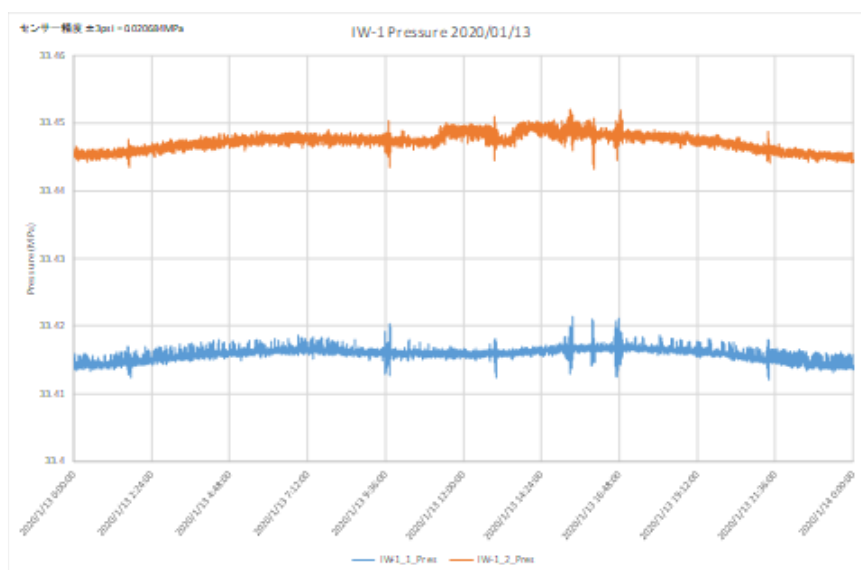


図 4.5-27 圧入井坑底圧力データのノイズ混入例

2020年度は、データロガーから回収したデータは、データロガーからセンサまでの電気回路の全体の抵抗であるループ抵抗が記録されているため、圧力データとループ抵抗に着目して、ノイズが見られた下記の期間について、圧力データを確認した。グラフの一部には、苫小牧西港の天文潮位を緑線で示している。

- 1) 2020年5月25日0:00～5月26日0:00
- 2) 2020年7月14日0:00～7月16日0:00
- 3) 2021年1月15日0:00～1月16日0:00
- 4) 2021年2月3日0:00～2月4日0:00

1)は、図4.5-28に示すように、全体的には約1日周期の潮汐変化を示す中で、連続したスパイクノイズが認められる。フランクリンジャパン社による落雷状況からは、2020年5月25日は北海道周辺で午前中に落雷が多発しており、北海道電力の停電情報には、苫小牧市内で雷の影響による停電が発生していることが記載されており、落雷を伴う悪天候によって引き起こされたノイズと推測される。

ただし、ループ抵抗は安定しており、電気回路自体に影響が及ぶような状況ではなかったと考えられる。

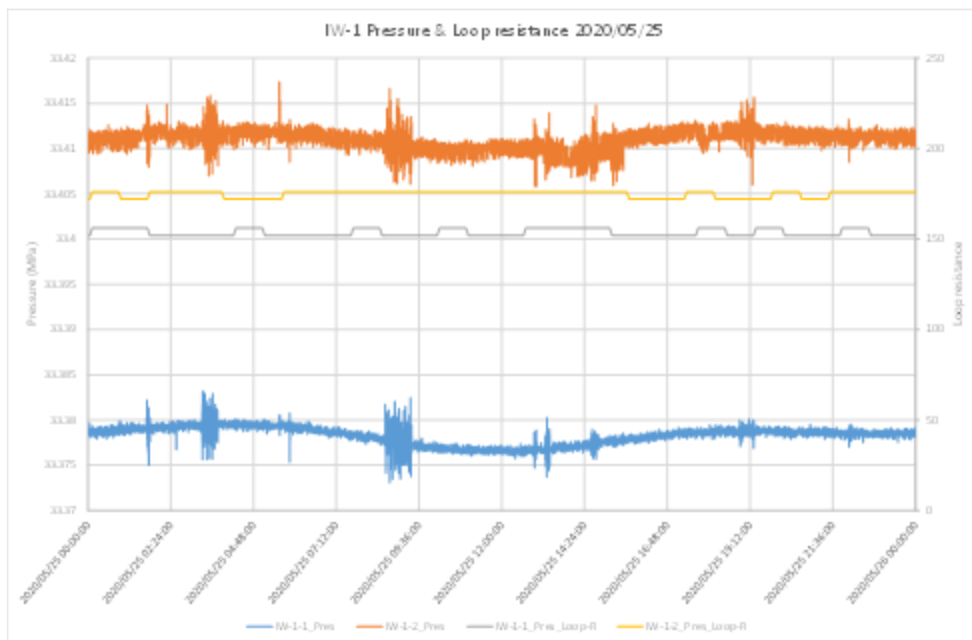


図 4.5-28 (1) 2020/5/25 の圧力とループ抵抗 (IW-1)

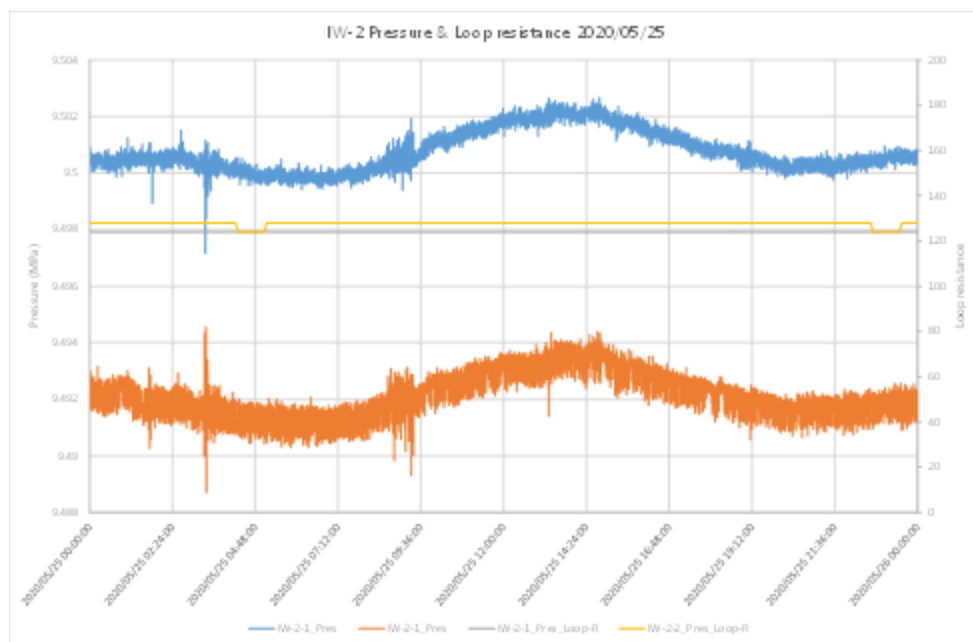


図 4.5-28 (2) 2020/5/25 の圧力とループ抵抗 (IW-2)

2)は、図 4.5-29 に示すように、全体的には約 1 日周期の潮汐変化を示す中で、散発的にスパイクノイズが認められる。ノイズと関連する落雷状況は確認されていない。7 月 14 日 9:00 頃の IW-1 センサ 1 と IW-2 センサ 1 の圧力データが急上昇したときに、ループ抵抗が急変していることが確認された。他のスパイクノイズではループ抵抗の変化は確認されていないが、何らかの原因によって電気回路自体が影響を受けた可能性がある。

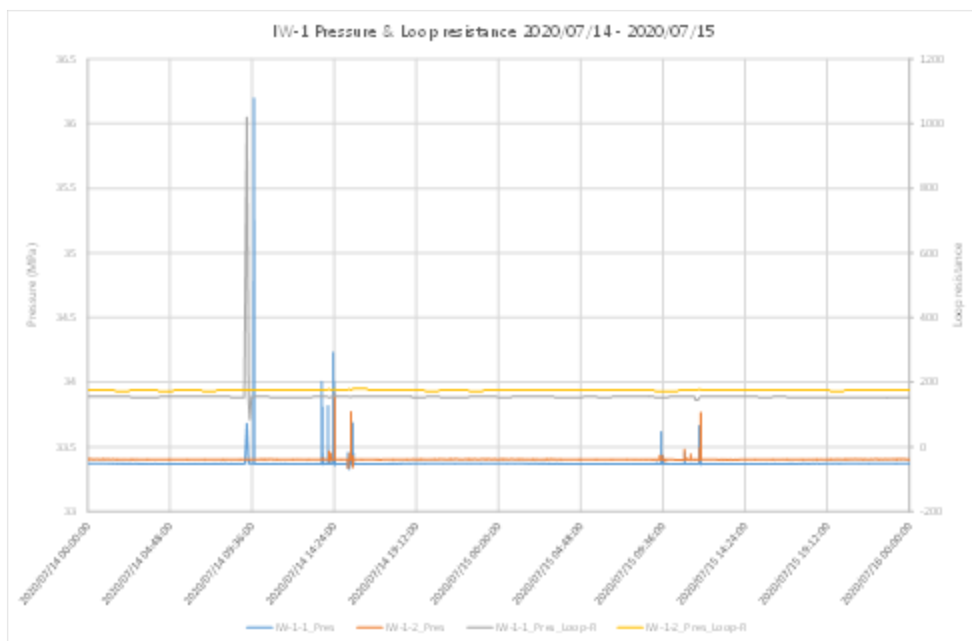


図 4.5-29 (1) 2020/7/14~7/15 の圧力とループ抵抗 (IW-1)

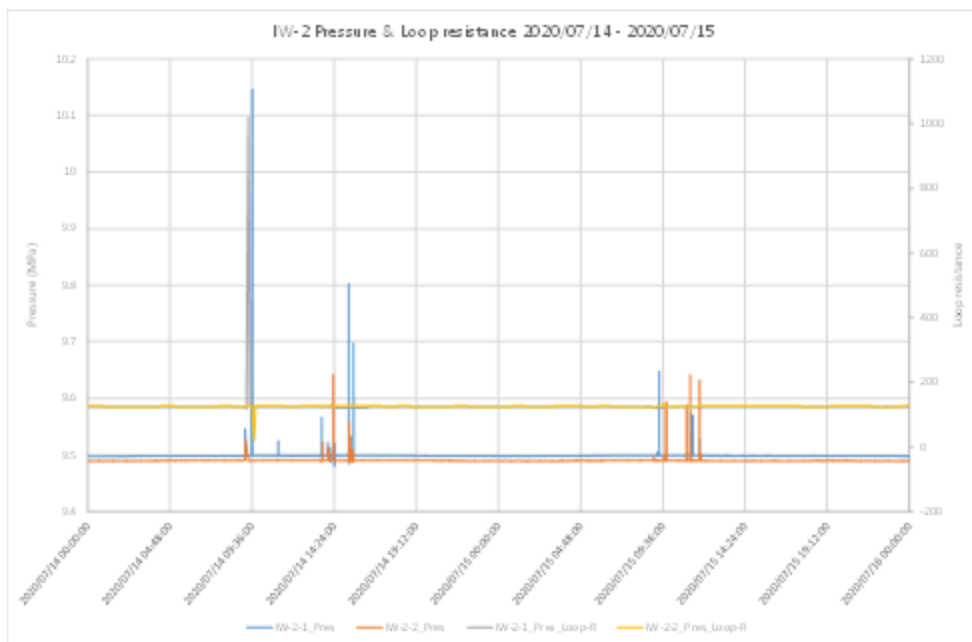


図 4.5-29 (2) 2020/7/14~7/15 の圧力とループ抵抗 (IW-2)

3)は、図 4.5-30 に示すように、全体的には約 1 日周期の潮汐変化を示す中で、12 時間以上にわたって最大 1 MPa 程度のノイズが繰り返して認められたものである。ノイズと関連する落雷状況は確認されていない。ノイズが生じた時間帯にループ抵抗が若干変化しており、何らかの原因によって電気回路自体が影響を受けた可能性がある。

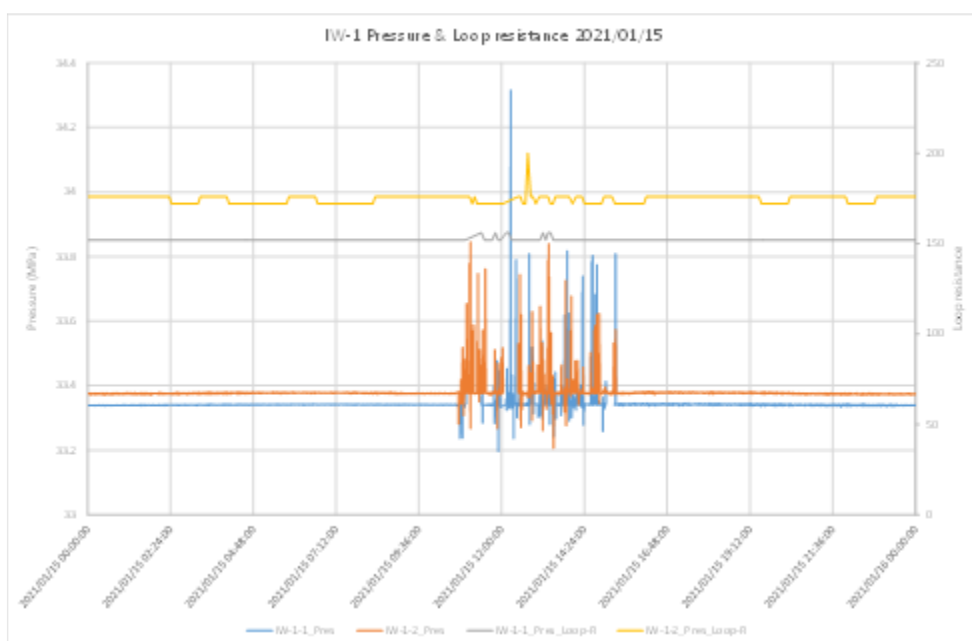


図 4.5-30 (1) 2021/1/15 の圧力とループ抵抗 (IW-1)

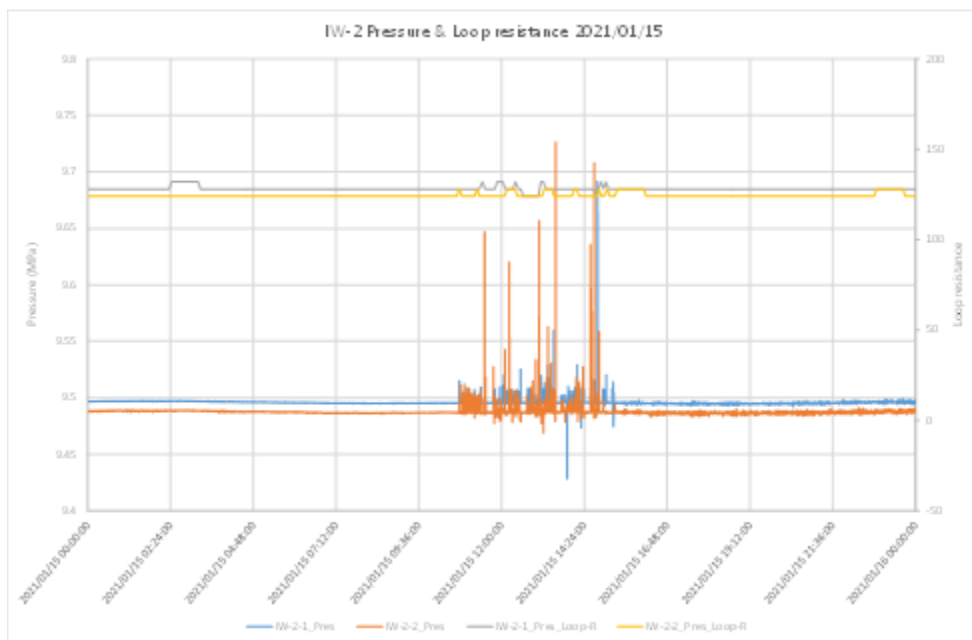


図 4.5-30 (2) 2021/1/15 の圧力とループ抵抗 (IW-2)

4)は、図 4.5-31 に示すように、総合モニタリングシステムに記録されたデータに、2月3日 17:11~17:17 にかけて3回、Dead 値が入っていたものである。ノイズと関連する落雷状況とループ抵抗の変化は確認されていない。データ入出力 PC との間の通信に Dead 値を発生させる要因があると考えられる。

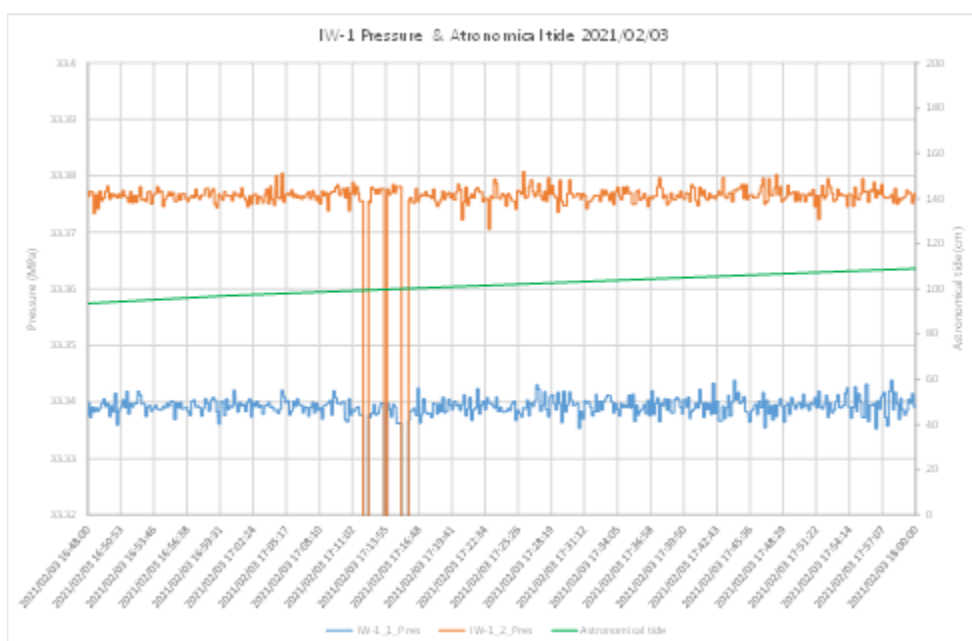


図 4.5-31 (1) 2021/2/3 16:48~18:00 の圧力 (IW-1)

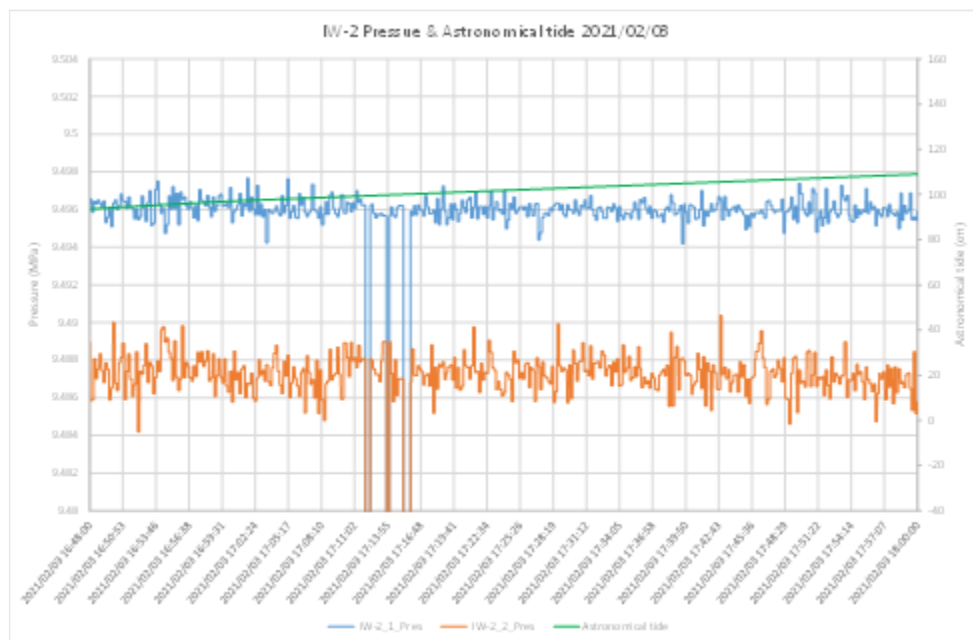


図 4.5-31 (2) 2021/2/3 16:48～18:00 の圧力 (IW-2)

4.5.3 圧入井データロガー等の保守

圧入井内に設置されている圧入井温度・圧力センサで取得された温度・圧力データは、図 4.5-32 に示すように温度・圧力センサ～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。

2020 年度は、2020 年 8 月 27～28 日、2021 年 3 月 16～17 日の 2 回、井戸元から圧入井データロガーの間を中心に点検を実施した。点検作業の様子を図 4.5-33 に示す。結線部には汚れや錆等は認められず、正常に稼働していることが確認された。

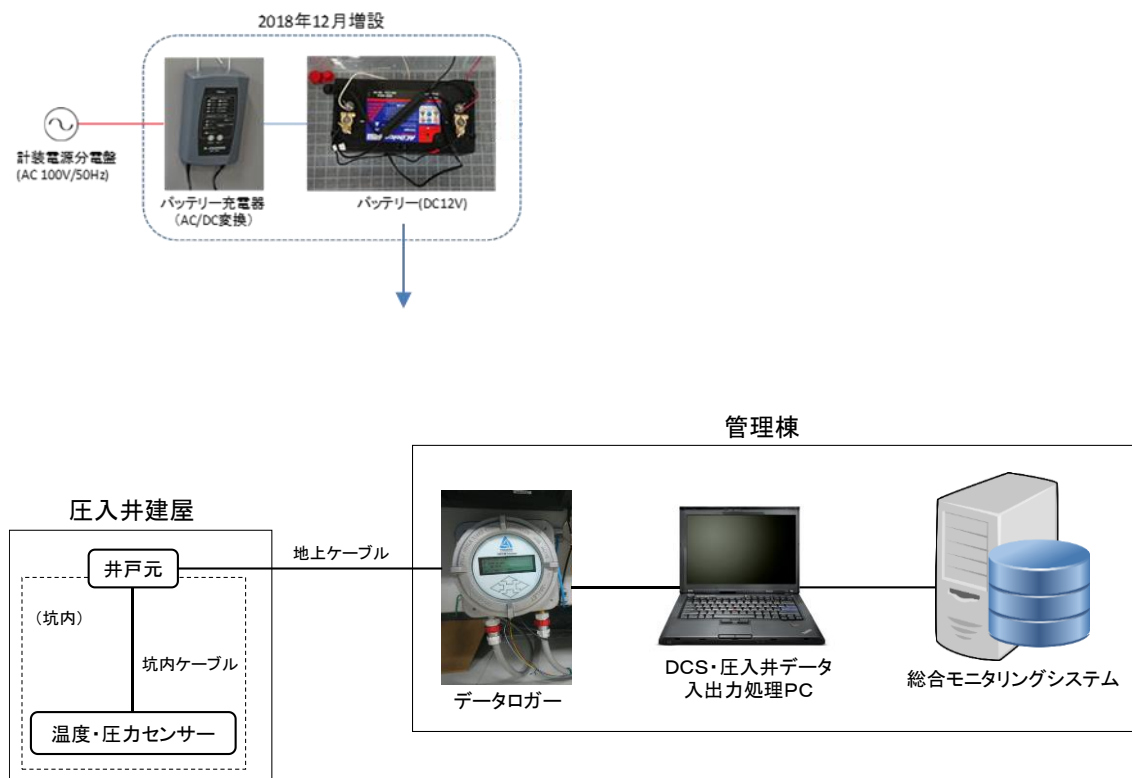


図 4.5-32 圧入井温度・圧力データの伝送概念



図 4.5-33 圧入井データロガーの点検作業の様子

4.6 微小振動・自然地震モニタリング

2019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、2020年4月1日～2021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

2019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纏めた。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、4箇月ごとに実施する独立型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。

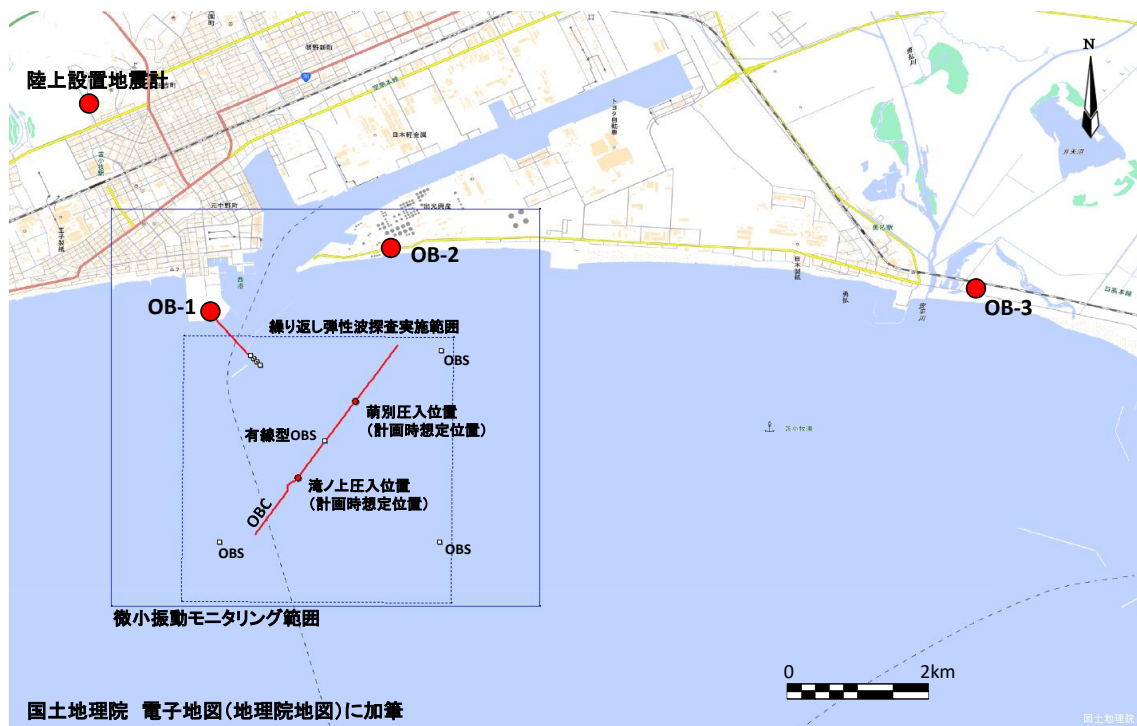


図 4.6-1 微小振動モニタリング対象範囲

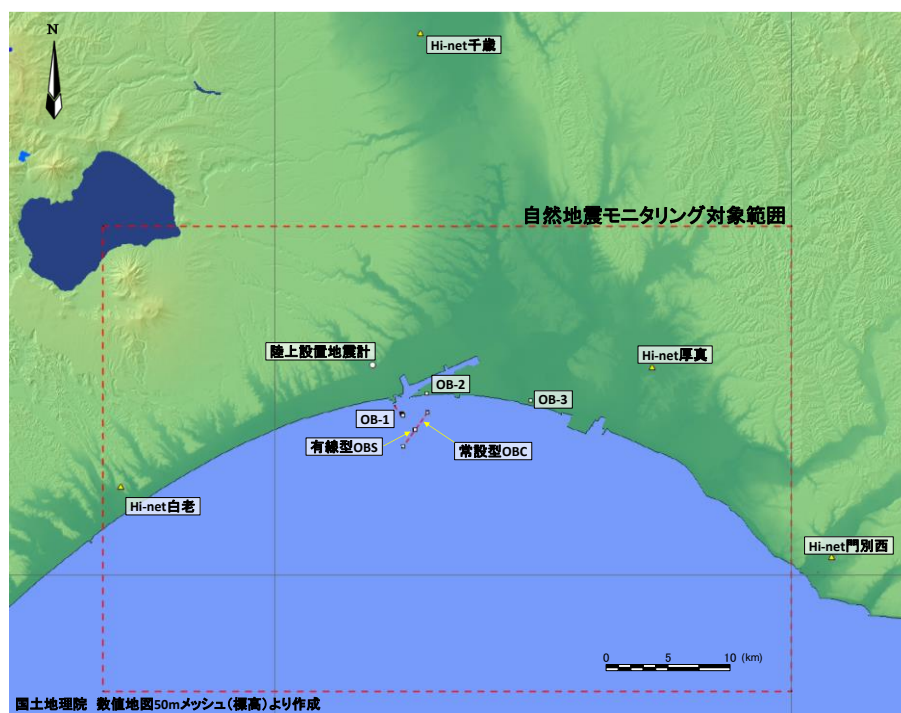


図 4.6-2 自然地震モニタリング対象範囲

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纏めた。図 4.6-3 (1)～(12)に本事業期間中（2020年4月～2020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) 2020年4月1日～2021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
4/1～4/4	0	7	
4/5～4/11	0	8	OB-3 付近を震央とする 1 件のイベントを検知
4/12～4/18	0	11	
4/19～4/25	0	11	
4/26～5/2	0	10	
5/3～5/9	0	11	
5/10～5/16	0	5	
5/17～5/23	0	7	
5/24～5/30	0	13	OB-3 付近を震央とする 2 件のイベントを検知
5/31～6/6	0	16	OB-3 付近を震央とする 1 件のイベントを検知
6/7～6/13	0	13	
6/14～6/20	0	10	OB-3 付近を震央とする 1 件のイベントを検知
6/21～6/27	0	14	
6/28～7/4	0	16	OB-3 付近を震央とする 1 件のイベントを検知
7/5～7/11	0	7	
7/12～7/18	0	7	繰り返し弾性波探査実施中
7/19～7/25	0	5	繰り返し弾性波探査実施中
7/26～8/1	0	16	繰り返し弾性波探査実施中

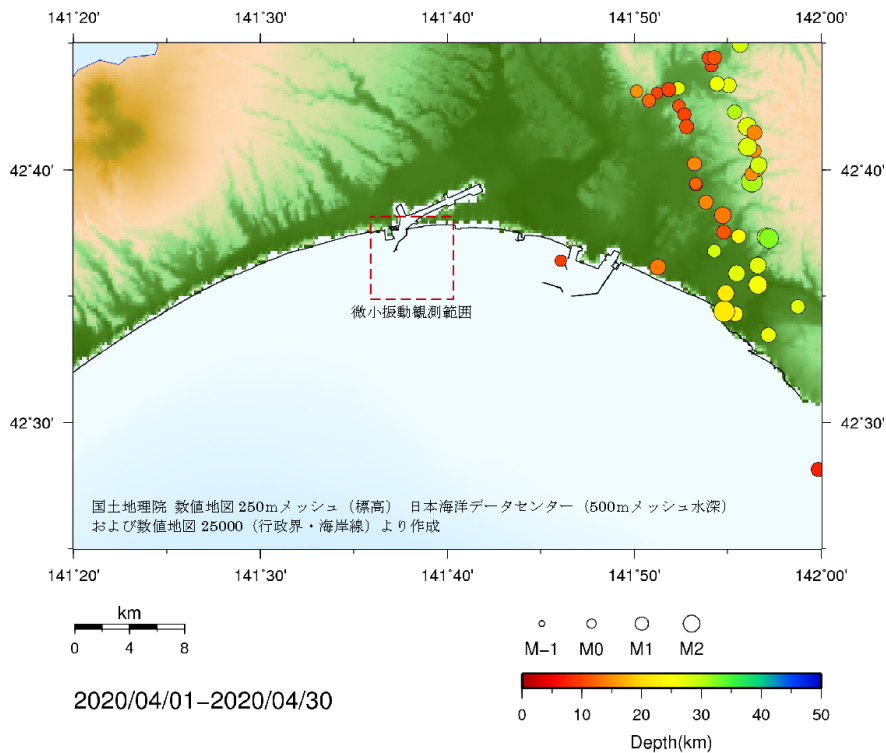
表 4.6-1 (2) 2020年4月1日～2021年3月31日のモニタリング結果（2/3）

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
8/2～8/8	0	12	繰り返し弾性波探査実施中
8/9～8/15	0	3	繰り返し弾性波探査実施中
8/16～8/22	0	5	OB-3 付近を震央とする1件のイベントを検知
8/23～8/29	0	5	
8/30～9/5	0	6	
9/6～9/12	0	3	
9/13～9/19	0	8	
9/20～9/26	1	22	9/24 11:53:15 頃、微小振動モニタリング範囲内で1件のイベントを検知（推定深度 5.86km、M0.59）
9/27～10/3	0	43	
10/4～10/10	0	18	観測井 OB-3 メンテナンス作業中
10/11～10/17	0	25	観測井 OB-2 メンテナンス作業中
10/18～10/24	0	20	観測井 OB-1 メンテナンス作業中
10/25～10/31	0	18	観測井 OB-1 メンテナンス作業中
11/1～11/7	0	3	
11/8～11/14	0	13	OB-3 付近を震央とする2件のイベントを検知
11/15～11/21	0	8	
11/23～11/28	0	6	
11/29～12/5	0	6	

表 4.6-1 (3) 2020年4月1日～2021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
12/6~12/12	0	10	
12/13~12/19	0	6	
12/20~12/26	0	9	OB-3 付近を震央とする 1 件のイベントを検知
12/27~1/2	0	12	
1/3~1/9	0	17	苫小牧西港付近を震央とする 1 件のイベントを検知
1/10~1/16	0	8	OB-3 付近を震央とする 1 件のイベントを検知
1/17~1/23	0	8	
1/24~1/30	0	13	OB-3 付近を震央とする 4 件のイベントを検知
1/31~2/6	0	8	OB-3 付近を震央とする 6 件のイベントを検知
2/7~2/13	0	6	
2/14~2/20	0	9	
2/21~2/27	0	6	
2/28~3/6	0	8	
3/7~3/13	0	13	
3/14~3/20	0	11	
3/21~3/27	0	19	
3/28~3/31	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 2020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

(2020年4月1日~4月30日、深度 50km 以浅、マグニチュード-0.5 以上)

分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	44	
範囲外	111	

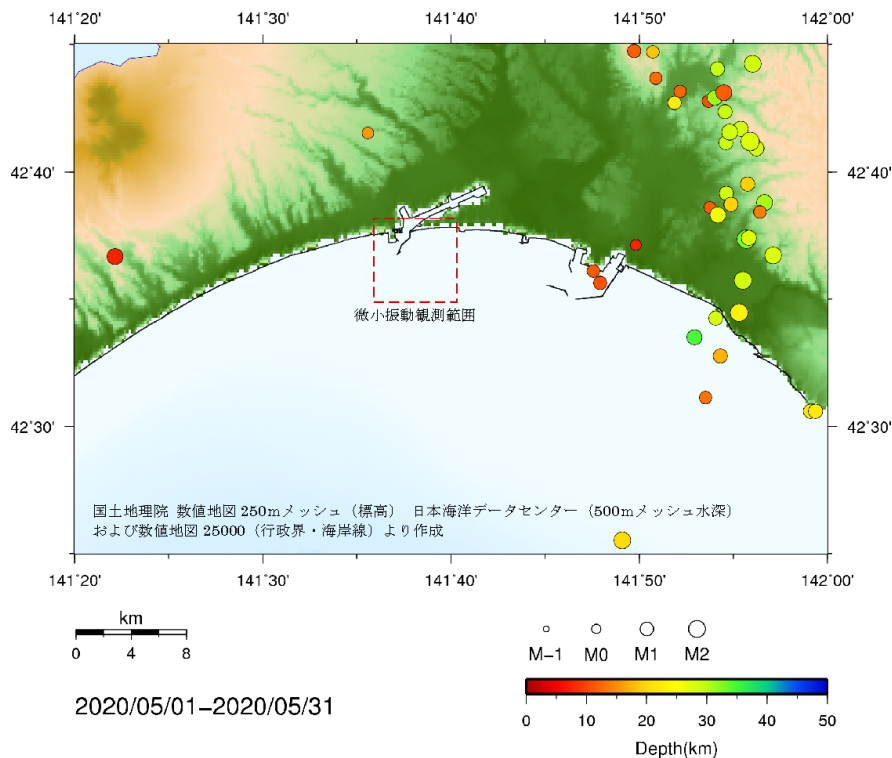
特記事項

- 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。
- 当月はマグニチュード-0.5 未満のイベントを検知しなかった。

図 4.6-3 (1) モニタリング結果月報 (2020 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 2020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

（2020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	40	
範囲外	130	

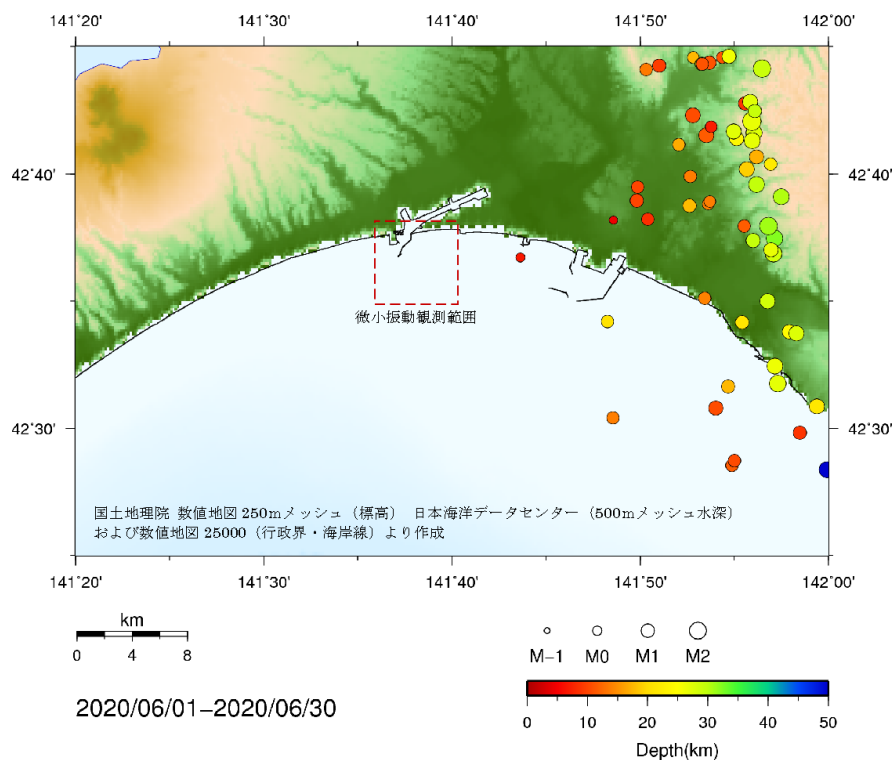
特記事項

- 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。
- 当月はマグニチュード・0.5 未満のイベントを検知しなかった。

図 4.6-3 (2) モニタリング結果月報（2020 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 2020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

(2020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	57	
範囲外	141	

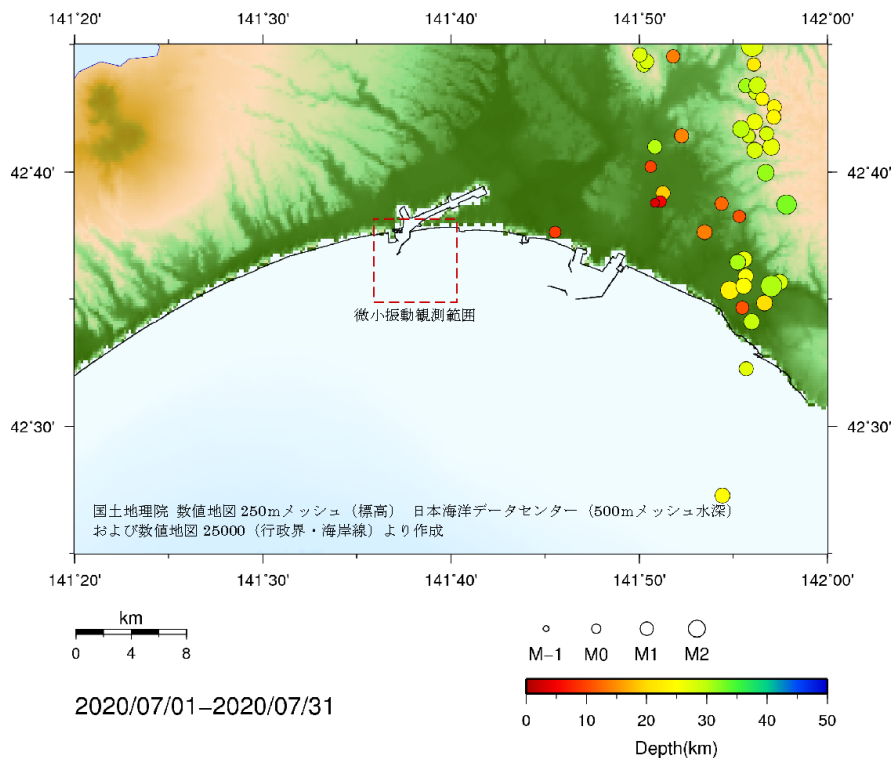
特記事項

- 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。
- マグニチュード-0.5 未満の検知イベントを、参考イベントとして末尾に示した。

図 4.6-3 (3) モニタリング結果月報 (2020 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 2020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

(2020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	163	

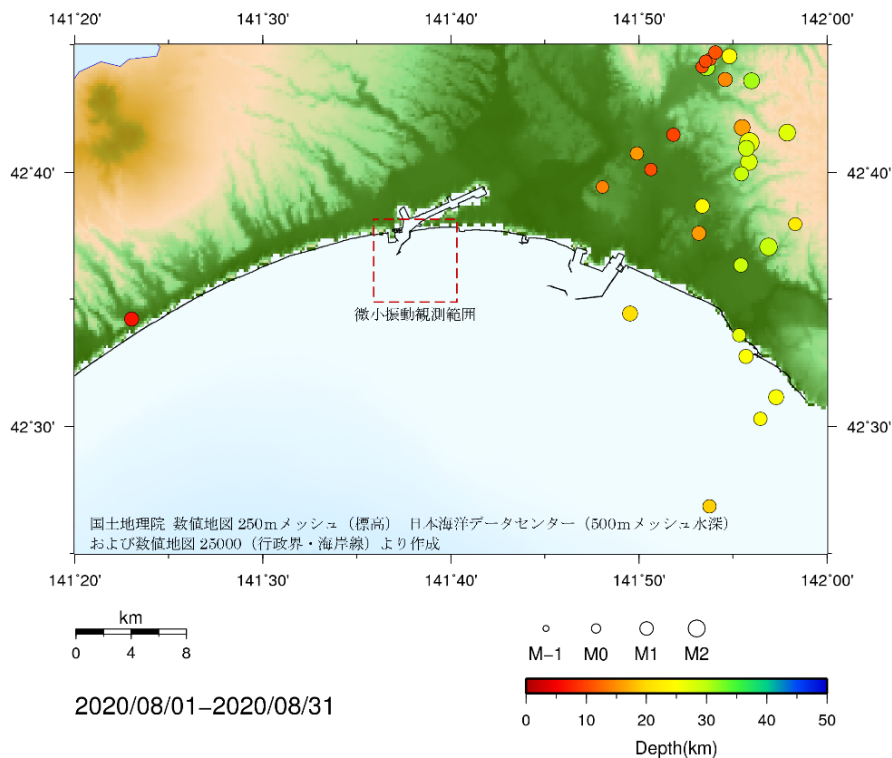
特記事項

- 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。
- 当月はマグニチュード・0.5 未満のイベントを検知しなかった。

図 4.6-3 (4) モニタリング結果月報 (2020 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 2020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

（2020年8月1日~8月31日、深度 50km 以浅、マグニチュード・0.5 以上）

分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	30	
範囲外	127	

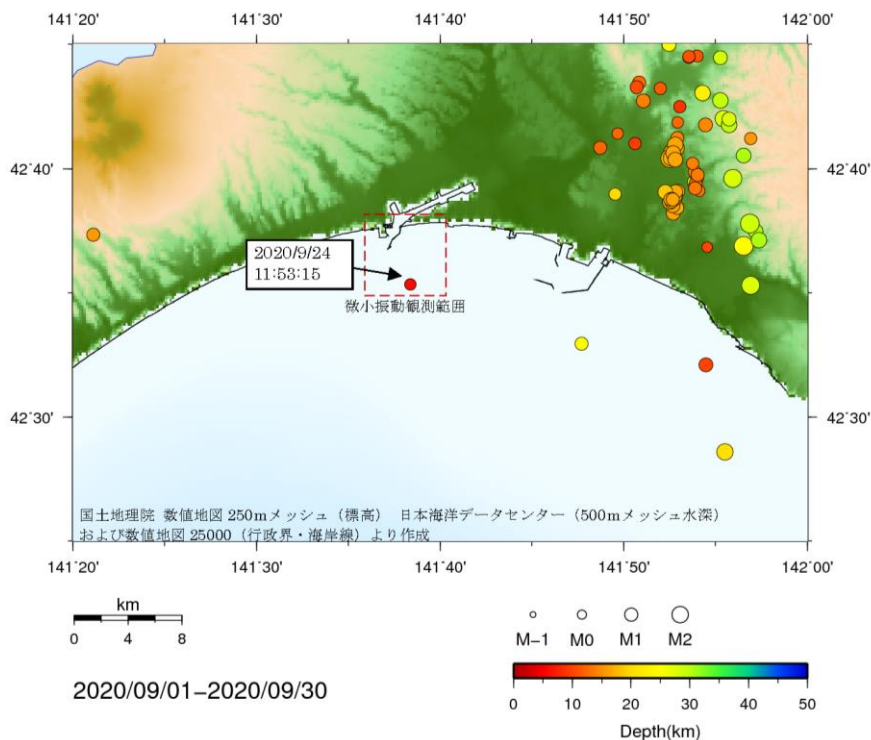
特記事項

- 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。
- 当月はマグニチュード・0.5 未満のイベントを検知しなかった。

図 4.6-3 (5) モニタリング結果月報（2020 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 2020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

（2020年9月1日~9月30日、深度 50km 以浅、マグニチュード・0.5 以上）

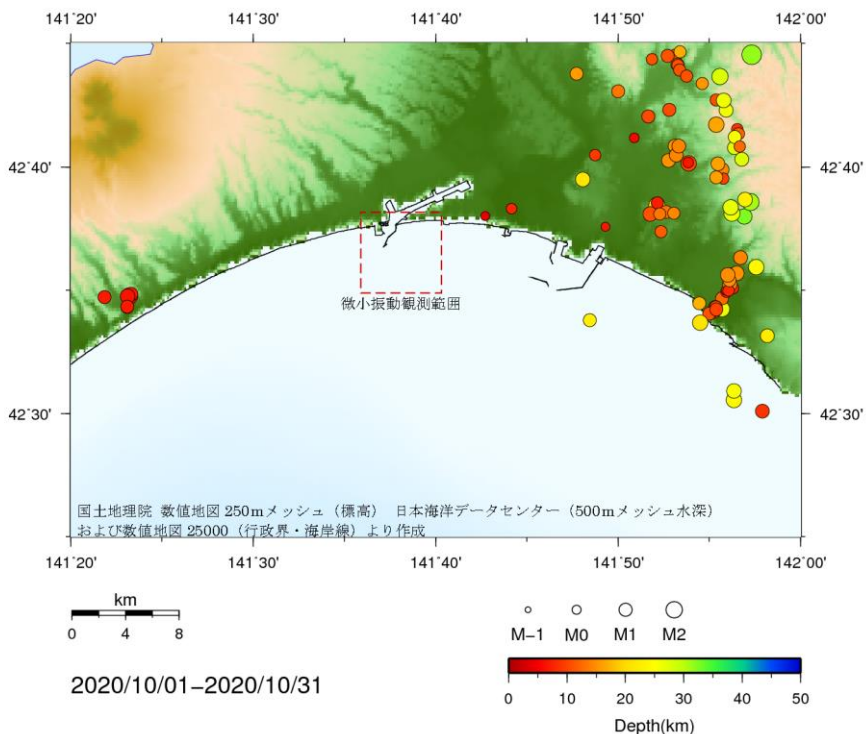
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	1	
自然地震観測範囲内	72	
範囲外	125	

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。
- 当月はマグニチュード・0.5 未満のイベントを検知しなかった。
- 9/24 11:53 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 5.86km、マグニチュードは 0.59 と推定された。

図 4.6-3 (6) モニタリング結果月報（2020 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 2020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

（2020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	85	
範囲外	153	

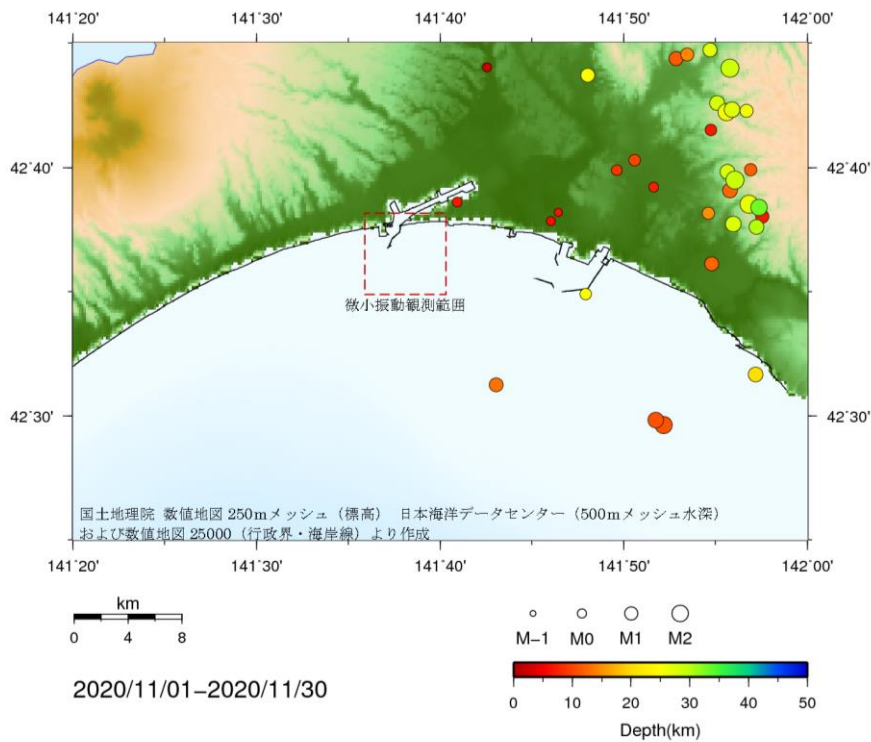
特記事項

- 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。
- マグニチュード・0.5 未満の検知イベントを、参考イベントとして末尾に示した。
- 10/5 8:53～10/10 15:26 の間 OB-3 坑井内地震計メンテナンスのため欠測。
- 10/12 8:45～10/16 15:48 の間 OB-2 坑井内地震計メンテナンスのため欠測。
- 10/19 8:31～10/25 17:45, 10/26 8:18～10/26 8:56, 10/26 10:06～10/27 14:38 の間 OB-1 坑井内地震計メンテナンスのため欠測。

図 4.6-3 (7) モニタリング結果月報（2020 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 2020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

（2020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）

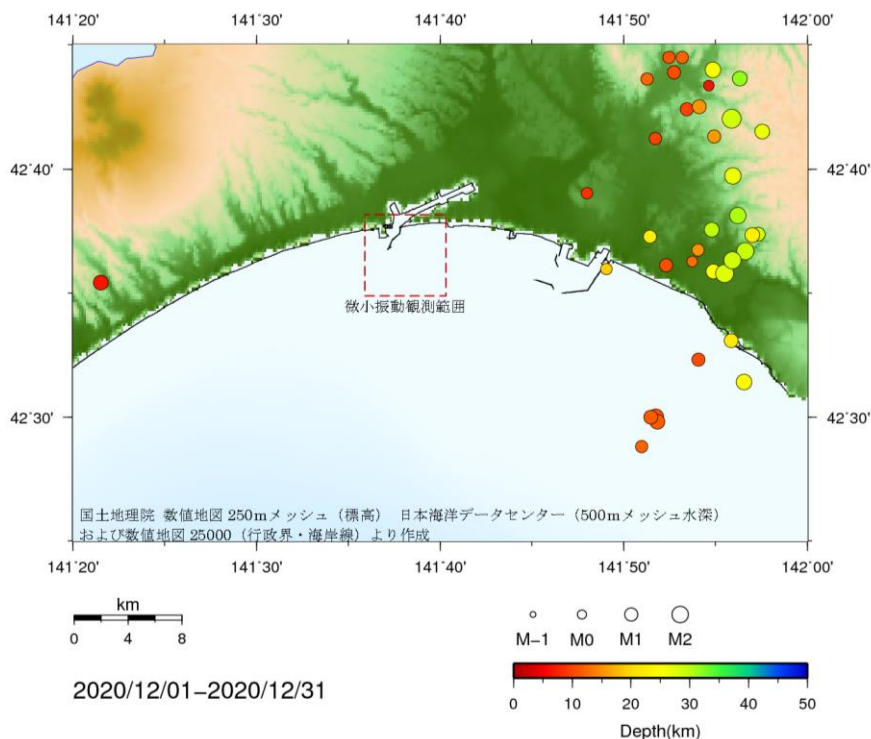
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	33	
範囲外	183	

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。
- 当月はマグニチュード・0.5 未満のイベントを検知しなかった。

図 4.6-3 (8) モニタリング結果月報（2020 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 2020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

（2020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）

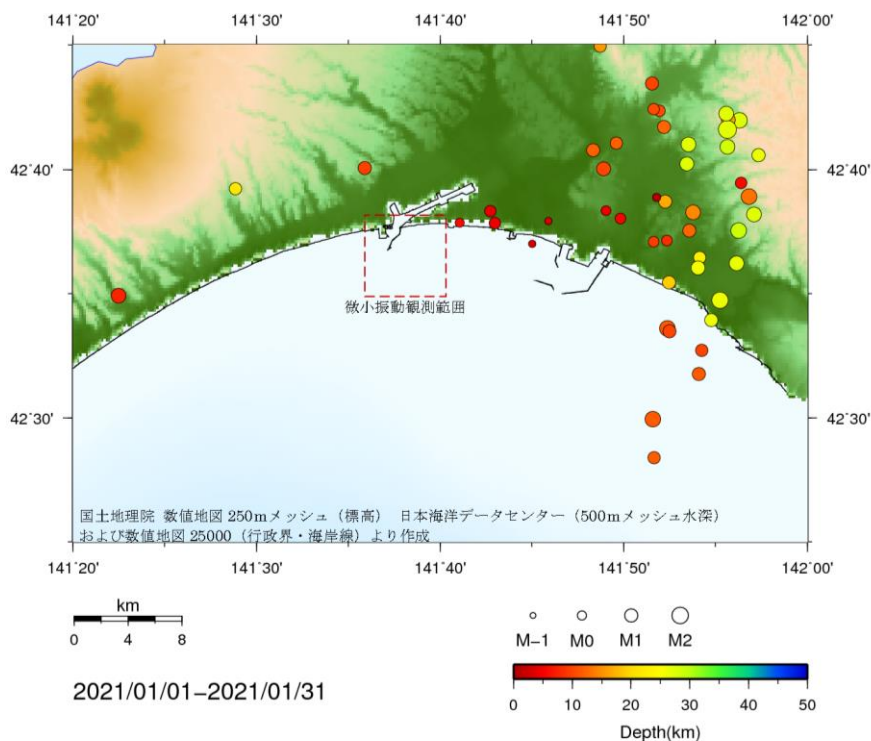
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	36	
範囲外	168	

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。
- 当月はマグニチュード・0.5 未満のイベントを検知しなかった。

図 4.6-3 (9) モニタリング結果月報（2020 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 2021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

（2021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	48	
範囲外	167	

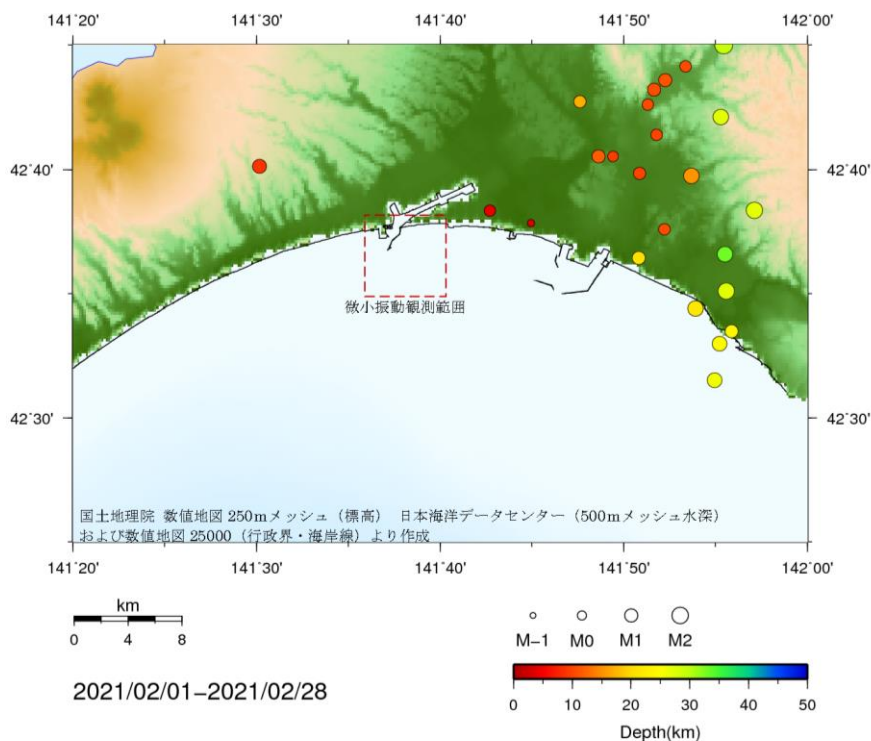
特記事項

- 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。
- マグニチュード・0.5 未満の検知イベントを、参考イベントとして末尾に示した。

図 4.6-3 (10) モニタリング結果月報（2021 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 2021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

（2021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）

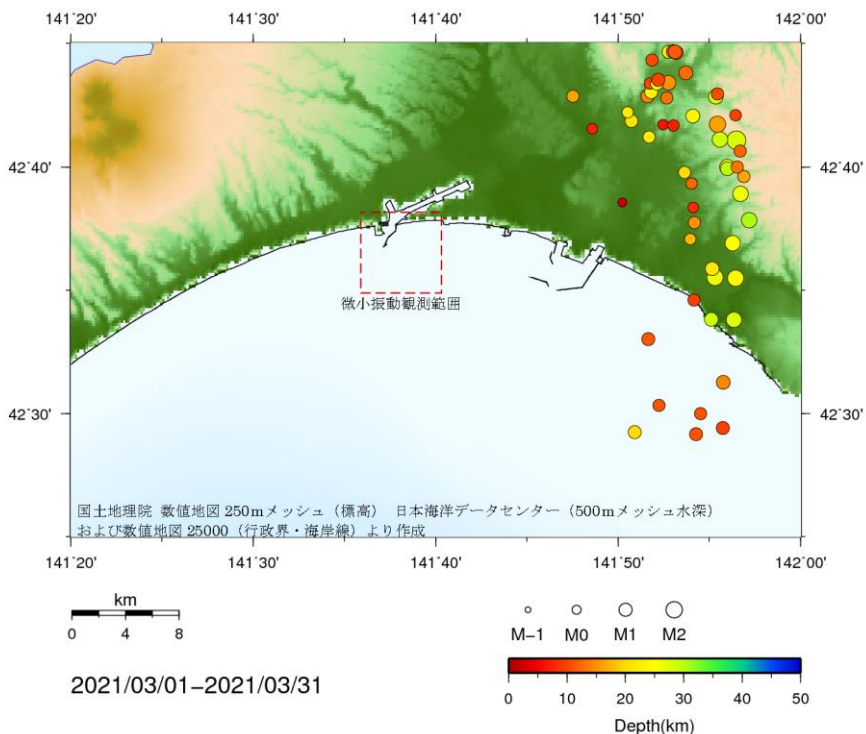
分類	数	備考
微小振動観測範囲内	0	
自然地震観測範囲内	24	
範囲外	116	

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。
- 当月はマグニチュード・0.5 未満のイベントを検知しなかった。

図 4.6-3 (11) モニタリング結果月報（2021 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 2021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

(2021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	54	
範囲外	186	

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。
- 当月はマグニチュード・0.5 未満のイベントを検知しなかった。

図 4.6-3 (12) モニタリング結果月報 (2021 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。

2020 年度は下記の 3 回の OBS 交換作業を行っており（詳細は 4.4 節に記載）、ここで回収された独立型 OBS のデータを加えて、4.6.2 で取り纏めた振源および震源を再推定した。

- 1) 第 1 回交換作業：2020 年 6 月 22 日～6 月 27 日
- 2) 第 2 回交換作業：2020 年 9 月 15 日～9 月 24 日
- 3) 第 3 回交換作業：2021 年 2 月 15 日～2 月 27 日

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 6 月の第 1 回交換作業から 9 月の第 2 回交換作業までの約 3 箇月（2020 年 6 月 23 日から 2020 年 9 月 19 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。

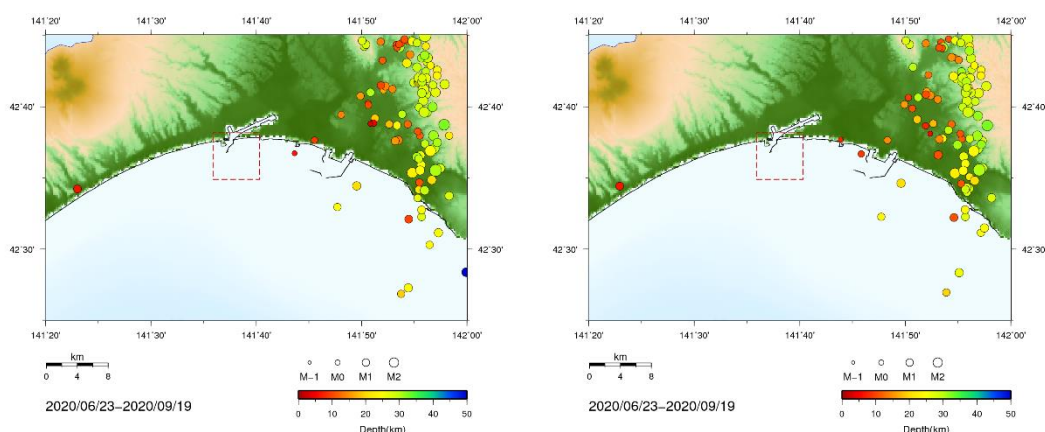


図 4.6-4 独立型 OBS データを用いた再推定結果

(2020 年 6 月 23 日から 2020 年 9 月 19 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 2020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（2020年4月1日～2021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50 km以浅に震源が推定されたイベントの震源分布図を示し、次のようにまとめた。

- 1) 気象庁 206 件に対して実証試験では 576 件のイベントを検知した。
- 2) 微小振動モニタリング範囲内において 1 件のイベント（2020年9月24日11時53分15秒頃、推定深度5.86 km、推定マグニチュード0.59）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) 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。
- 4) 実証試験にて推定された余震震源は、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、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。
- 5) 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。

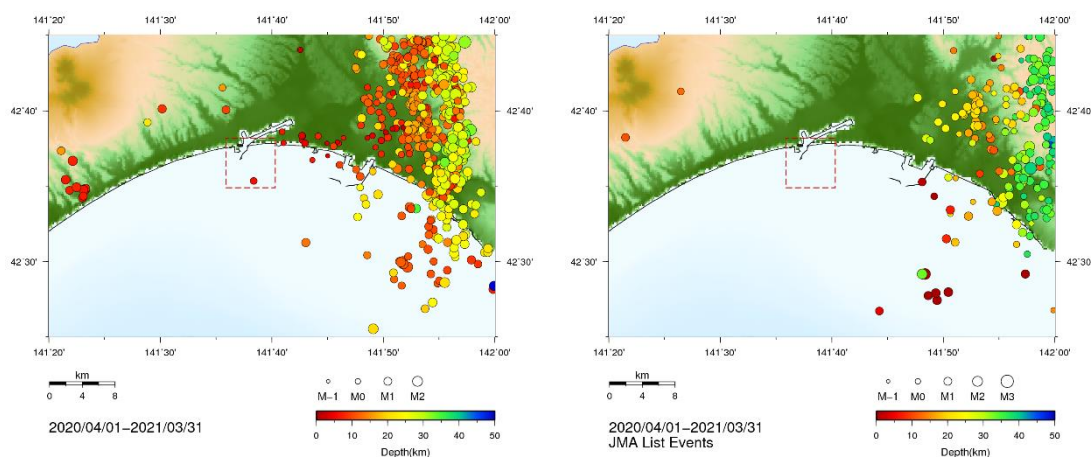


図 4.6-6 2020年度期間中に自然地震モニタリング範囲内で検知した振源・震源分布

（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（第5回モニター調査）

繰り返し弾性波探査の第5回モニター調査（以下、「本調査」と称する。）として、三次元弾性波探査（以下、「三次元調査」と称する。）および常設型OBCによる二次元弾性波探査（以下、「二次元調査」と称する。）を実施した。

取得したデータに対して標準的な反射法データ処理を行い、マイグレーション時間ボリュームおよびマイグレーション時間断面を作成した。また、本調査で取得する記録に加えて、2009年に取得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。）、2013年度に取得した二次元弾性波探査ベースライン調査（以下、「二次元ベースライン調査」と称する。）、および第1回から第4回までのモニター調査を併用し、二酸化炭素貯留分布域推定を目的とした差分抽出処理を実施した。

4.7.1 調査概要および調査測線

本調査の海上作業は2020年7月11日から同年8月8日までの29日間に実施した。図4.7-1に調査測線図を示す。三次元調査では、南北方向10本の受振測線および東西方向27本の発振測線を設定した。萌別層貯留層の想定二酸化炭素分布域周辺を十分に含めるよう、三次元ベースライン調査の一部を拡張した領域で実施した。二次元調査は、萌別層貯留層を対象とする平行測線配置に対して実施した。受振測線は常設型OBCのみを使用した。

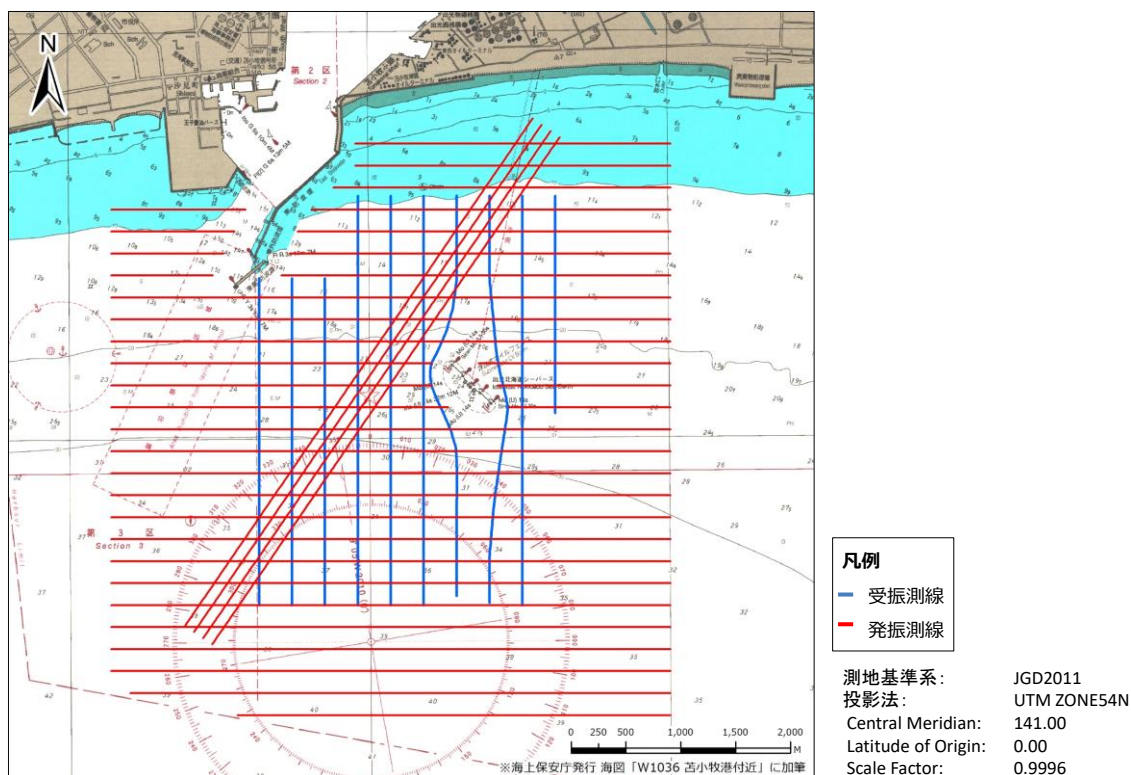


図 4.7-1 調査測線図

(1) 三次元調査

図 4.7-2 に三次元調査の受発振測線位置図を示す。データ取得は、受振測線を 3 または 4 測線ずつの三区域（パッチ）に分割し、パッチ毎に東から実施した。

① 受振測線（南北方向、西から R02～R11）

三次元ベースライン調査の受振測線 10 本（南北方向）のうち R02～R04 と同一の 3.0 km 測線および R05～R10 について各測線を北側に 0.75 km 延長した 3.75 km 測線に加えて、2017 年度に実施された第 2 回モニター調査の R11 の北側 1.25 km 区間を北側に 0.75 km 延長した 2.0 km 測線の受振測線を 300 m 間隔で設定した。R08 および R09 はシーバースとの安全距離（100 m 以上）を確保して、ベースライン調査時の敷設時と同位置に敷設した。R02～R04 の 3 測線、R05～R08 の 4 測線、R08～R11 の 4 測線（R08 は重複する）を、それぞれパッチ 1、パッチ 2、パッチ 3 とした。

② 発振測線（東西方向、北から S00～S26）

三次元ベースライン調査の発振測線 26 本（S01～S26）に北側に 1 本の測線（S00）を追加し全 27 測線とした。発振測線の間隔は等しく 200 m である。発振範囲は、受振測線範囲に対して東西方向のオフセット約 1.0 km を確保する範囲である。シーバース近傍で

は、50 m 以上の安全距離を確保した。各エアガン深度の制限から、大型発振船による発振作業は水深 10 m 以上の海域のみで行い、水深 10 m 未満の海域では、小型発振船による発振作業を行った。

(2) 二次元調査

図 4.7-3 に二次元調査の受発振測線位置図を示す。二次元調査では、萌別層貯留層を対象とする平行測線配置に対して実施した。受振測線として、同測線配置に沿って埋設されている常設型 OBC（Ocean Bottom Cable、海底受振ケーブル）を使用した。

① 受振測線

OBC1：常設型 OBC による受振測線

② 発振測線

- 1) MS20-01：受振測線 OBC1 の直上を通る 5.6 km 区間
- 2) MS20-02：MS20-01 に平行し、同発振測線の北西側 100 m に位置する 5.6 km 区間
- 3) MS20-03：MS20-01 に平行し、同発振測線の北西側 200 m に位置する 5.6 km 区間
- 4) MS20-04：MS20-01 に並行し、同発振測線の北西側 300 m に位置する 5.6 km 区間

エアガン深度の制限から、大型発振船による発振作業は水深 10 m 以上の海域のみで行った。小型発振船による発振作業は、大型発振船での作業が不適な水深 10 m 未満の領域で行った。各測線の発振航行は大小の発振船でそれぞれ 2 回以上実施した。

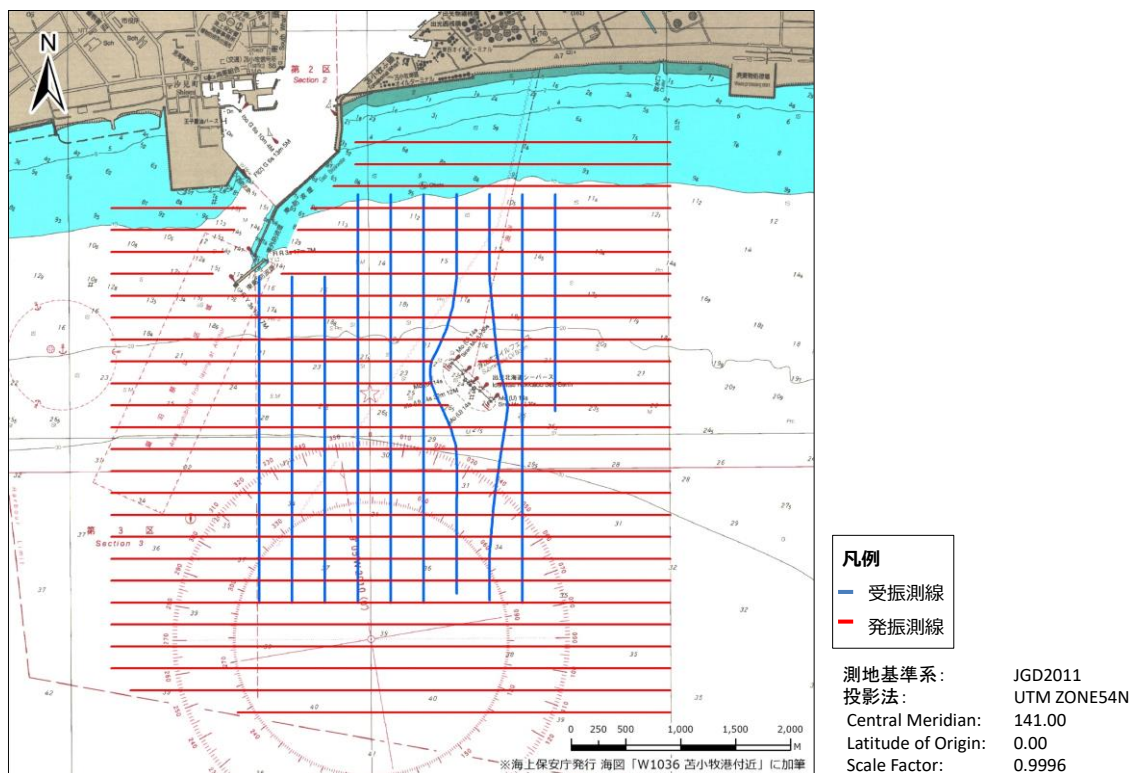


図 4.7-2 受発振測線位置図（三次元調査）

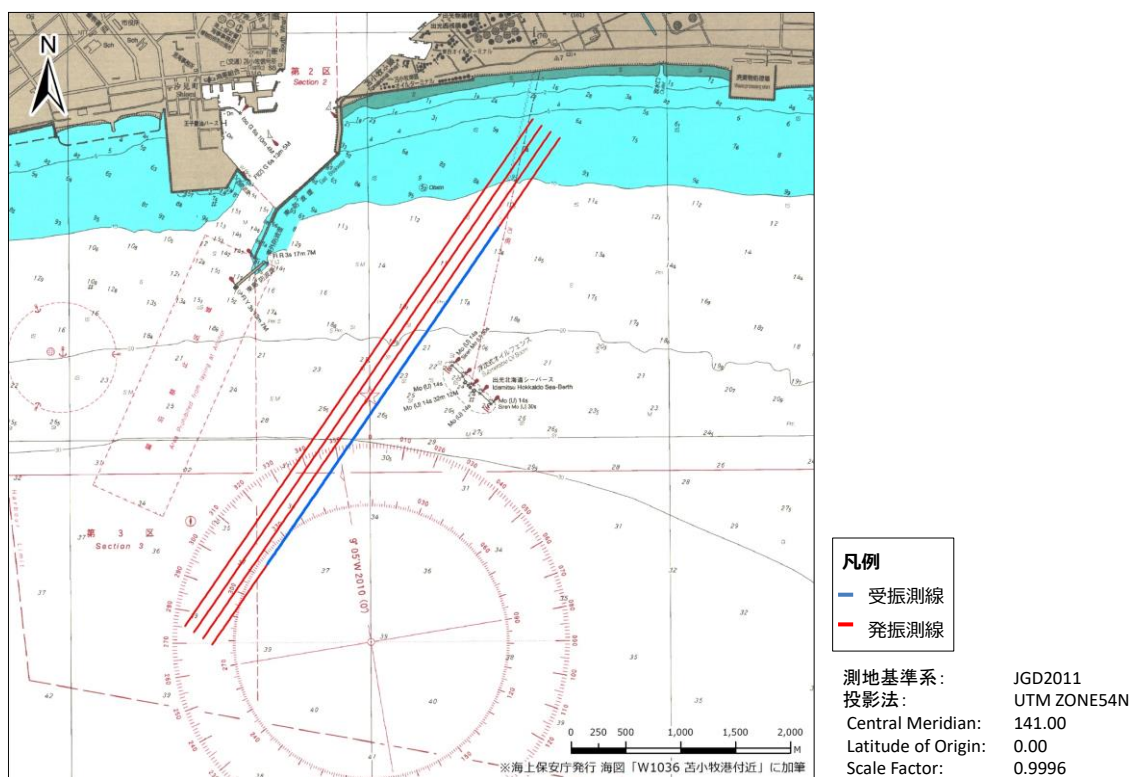


図 4.7-3 受発振測線位置図（二次元調査）

4.7.2 作業実施内容

(1) 作業工程

作業工程を表 4.7-1 に、現場作業写真を図 4.7-4 (1)～(5)にそれぞれ示した。なお、本調査では、以下 4 隻の船舶を使用した。併せて地元漁業協同組合より監視船を 2 隻/d（午前 1 隻・午後 1 隻）傭船した。

- 1) ケーブル船「第八海工丸」（以下、「ケーブル船」と称する。）

OBC の敷設、揚収作業を行った。

- 2) 観測船「第十英祥丸」（以下、「観測船」と称する。）

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

- 3) 大型発振船「第七海工丸」（以下、「大型発振船」と称する。）

水深 10 m 以深において、発振作業を行った。

- 4) 小型発振船「ゆめとび」（以下、「小型発振船」と称する。）

水深 10 m 以浅の浅海域において、発振作業を行った。

OBC の音響測位を行った。

表 4.7-1 (1) 作業工程（1/2）

	作業内容	受振範囲	備考
7/8	動員、作業場開設		
7/9	OBC 積込		
7/10	OBC 積込、海域予察		
7/11	小型発振船、観測船艙装 R08 敷設、揚収		受振点位置基準外のため R08 揚収
7/12	R08 再敷設、音響測位 R10 敷設、音響測位		前日に揚収した R08 再敷設
7/13	R09、R11 敷設、音響測位 R10 揚収、再敷設 観測船固定（アンカー）		受振点位置基準外のため R10 揚収、再敷設
7/14	R10 音響測位 二次元調査発振作業 三次元調査発振作業	パッチ3	二次元調査発振作業開始 パッチ3発振作業開始
7/15	三次元調査発振作業	パッチ3	
7/16	三次元調査発振作業	パッチ3	
7/17	三次元調査発振作業 R08、R09 音響測位	パッチ3	
7/18	R08 揚収、再敷設、音響測位 三次元調査発振作業 観測船アンカー解除	パッチ3	ケーブル不具合のため R08 揚収、再敷設
7/19	観測船固定（アンカー） 三次元調査発振作業 R08 揚収、R05 敷設 R10、R11 音響測位	パッチ3	パッチ3発振作業完了 パッチ2へ展開移動
7/20	R09 揚収、R06 敷設 R05 音響測位		
7/21	R10、R11 揚収、R07 敷設 R06 音響測位		
7/22	荒天待機（終日）		
7/23	R08 敷設、音響測位 観測船固定（アンカー） 三次元調査発振作業	パッチ2	パッチ2発振作業開始
7/24	三次元調査発振作業	パッチ2	
7/25	三次元調査発振作業	パッチ2	
7/26	三次元調査発振作業	パッチ2	
7/27	三次元調査発振作業 観測船アンカー解除	パッチ2	海況悪化のため観測船帰港
7/28	観測船固定（アンカー） 三次元調査観測作業 観測船アンカー解除 R07 音響測位	パッチ2	パッチ2発振作業完了

表 4.7-1 (2) 作業工程（2/2）

	作業内容	受振範囲	備考
7/29	R05、R06、R08 音響測位 R07、R06 揚収、R03 敷設		
7/30	R03 音響測位 R07 揚収、R02 敷設		
7/31	R05 揚収、R04 敷設 R02、R04 音響測位		
8/1	二次元調査発振作業 R04 揚収、再敷設、音響測位 観測船固定（アンカー） 三次元調査発振作業	パッチ1	受振点位置基準外のため R10 揚収、再敷設 パッチ1発振作業開始
8/2	三次元調査発振作業	パッチ1	
8/3	三次元調査発振作業 観測船アンカー解除	パッチ1	海況悪化のため観測船帰港
8/4	荒天待機（終日）	パッチ1	
8/5	観測船固定（アンカー） 三次元調査発振作業 二次元調査発振作業 R03 音響測位	パッチ1	
8/6	二次元調査発振作業 R02、R04 音響測位 R03 揚収、再敷設、音響測位 三次元調査発振作業 観測船アンカー解除	パッチ3	二次元調査発振作業完了 ケーブル不具合のため R08 揚収、再敷設 全発振作業完了
8/7	小型発振船、観測船解装		
8/8	R02、R03、R04 揚収		全海上作業完了
8/9	OBC 陸揚げ		
8/10	機材整理		
8/11	復員		



ケーブル船（第八海工丸）



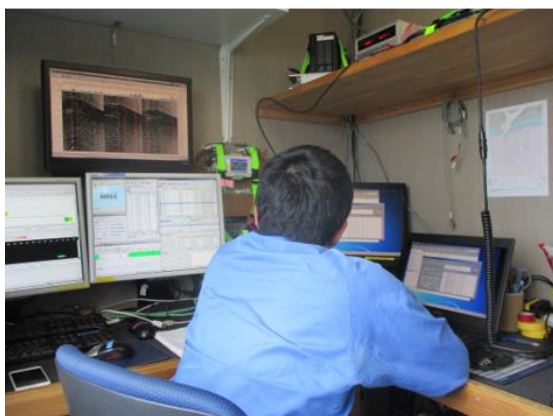
観測船（第十英祥丸）



大型発振船（第七海工丸）



小型発振船（ゆめとび）

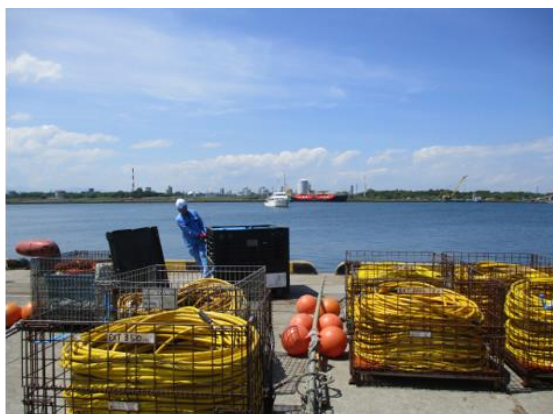


観測室



操舵室（第八海工丸）

図 4.7-4 (1) 現場作業写真（調査船舶）



ケーブル積込作業



ケーブル敷設作業



ケーブル引き込み作業



エアガン降下作業



エアガン発振作業



ケーブル揚収作業

図 4.7-4 (2) 現場作業写真（作業風景）

(2) 作業内容

① OBC 敷設作業

設置回収型 OBC の敷設に先立ち、予定海域の測深および予察を行い、漁具等の障害物の有無を確認した。設置回収型 OBC の敷設作業では、航法装置により誘導されるケーブル

ル敷設作業船が計画測線上を航行し、船尾から OBC を海中に投下することにより、予定位置に OBC を敷設した。

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

1) 測線方向

測線両端の受振点位置が予定位置に対して±10 m の範囲にあること

2) 測線直交方向

各受振点位置が予定位置に対して±25 m の範囲にあること

OBC 敷設作業は 1 測線ごとに行い、OBC 敷設後直ちに音響測位（後述③）を実施し、各受振点位置を計測するとともに予定位置からの偏倚を求めた。受振点位置の偏倚が上記基準を満たさない場合は、原則として OBC を一旦揚収し、再敷設した。

② 発振作業

航法装置により誘導される発振作業船が計画測線上を航行し、発振作業を行った。受振点位置と同様に、発振位置精度に関して下記 1)~3)の基準を設定し、これを目安として発振作業を行った。また、二次元調査では、測線直交方向の発振点偏倚を抑制するため、二次元ベースライン調査と同様、同一発振測線を発振作業船が複数回（2 回以上）航行し、重複記録を取得した。

1) 測線方向

各発振点位置が予定位置に対して±5 m の範囲にあること

2) 測線直交方向（三次元弾性波探査）

各発振点位置が予定位置に対して±25 m の範囲にあること

③ 海上測量作業

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

OBC の敷設および発振作業船の誘導には、小型航法システム CHiPS2 を用いた。同システムでは、GPS 受信機による位置データ、ジャイロコンパスの方位データ、測深器の水深データ等を毎秒取り込み、船舶と測線の位置関係を表示する。作業船の操船係はこの表示を見ながら操船し、作業船を計画測線に誘導した。

発振位置は、発振時の GPS 測位位置（GPS 受信アンテナ位置）およびジャイロコンパ

スの方位データを用いて算出した。

受振器位置は、OBC 敷設後に音響測位により決定した。音響測位は、OBC に一定間隔で取り付けられた音響受信装置（トランスポンダ）と作業船に取り付けた音響発信機（トランスデューサー）の間で音波による距離測定を行い、各トランスポンダの位置を測定するものである。なお、測位作業は OBC 敷設直後と敷設期間中の 2 回実施した。

(3) データ取得仕様

受振仕様、発振仕様、記録仕様および測地諸元を以下に示す。

① 受振仕様

1) 三次元調査

- ・ケーブル長 : 3,000 m/測線 (R02~R04)
3,750 m/測線 (R05~R10)
2,000 m/測線 (R11)
- ・受振測線数 : 10 測線
- ・受振測線間隔 : 300 m 間隔
- ・受振点間隔 : 25 m
- ・成分 : 4 成分 (3 成分加速度型ジオフォンおよびハイドロフォン)
- ・受振器数/点 : 1 個
- ・受振周波数 : 0~400 Hz (ジオフォン)
3~1,600 Hz (ハイドロフォン)
- ・受振点数 : 120 点/測線 (R02~R04)
150 点/測線 (R05~R10)
80 点/測線 (R11)
- ・チャンネル数 : 5,360 ch. (4 成分×1340 点)

2) 二次元調査

- ・ケーブル長 : 3,600 m
- ・受振点間隔 : 50 m
- ・受振点数 : 72 点
- ・成分 : 4 成分 (3 成分速度型ジオフォンおよびハイドロフォン)
- ・チャンネル数 : 288 ch. (4 成分×72 地点)

② 発振仕様

- ・ 振源 : エアガン（大型および小型）
- ・ 容量 : 1,520 cu.in.（大型エアガン）
480 cu.in.（小型エアガン）
- ・ 圧力 : 2,000 psi
- ・ 発振深度 : 6 m（大型エアガン）
3 m（小型エアガン；二次元調査）
2 m（小型エアガン；三次元調査）
- ・ 発振測線長 : 2,500～4,800 m（三次元調査）
5,600 m（二次元調査）
- ・ 発振測線数 : 27 測線（三次元調査）
4 測線（二次元調査）
- ・ 発振測線間隔 : 200 m（三次元調査）
100 m（二次元調査）
- ・ 発振点間隔 : 25 m

③ 記録仕様

1) 設置型 OBC

- ・ データ収録装置 : デジタルテレメトリシステム（SeaRay）
- ・ 展開方法 : 全受振点による固定展開
- ・ 記録チャンネル数 : 5,360 ch.（三次元調査）
- ・ サンプリング間隔 : 2 ms
- ・ 記録長 : 8 s（三次元調査）
- ・ 低域遮断周波数 : Out
- ・ 高域遮断周波数 : 200 Hz
- ・ プリアンプゲイン（ハイドロフォンのみ） :
12 dB（三次元調査）
- ・ デシメーションフィルタ : Minimum Phase
- ・ 記録形式 : SEG-D

2) 常設型 OBC

- ・ データ収録装置 : デジタルテレメトリシステム（GeoRes-OBC）
- ・ 展開方法 : 全受振点による固定展開

- ・記録チャンネル数 : 288 ch.
- ・サンプリング間隔 : 2 ms
- ・記録長 : 連続観測
- ・デシメーションフィルタ : Zero Phase
- ・記録形式 : SEG-D

④ 測地諸元

- ・準拠楕円体 : WGS84
- ・長半径 : 6,378,137.000 m
- ・短半径 : 6,356,752.314 m
- ・投影法 : Universal Transverse Mercator (UTM 図法)
- ・系番号 : 54
- ・座標原点 緯度 : 00°00'00.000" N
- ・座標原点 経度 : 141°00'00.000" E
- ・縮尺係数 : 0.9996
- ・北方加数 : 0.0 m
- ・東方加数 : 500,000.0 m

(4) 主要機材

① 海上探査用機器

- ・データ収録装置 : Sercel SeaRay-OBC
- ・受振器 : 3Hz Hydrophone SH-001
: 0~400Hz DSU-428 (3成分加速度計)
- ・エアガン制御装置 : RTS Hot Shot ガンコントローラー
- ・エアガン : BOLT 1900LLX Air Gun (1,520 cu.in.)
: BOLT 2800LLX Two-Cluster Air Gun (480 cu.in.)
- ・エアコンプレッサー : NCA-14-172-DSD (500 SCFM)
: 三和鉄工所 4S200A (175 SCFM)
: 三和鉄工所 4S50A-15M-P45 (70 SCFM)
: 加地テック WH-3A-ZZE (35 SCFM)
- ・無線制御装置 : INOVA SHOT PRO II
- ・無線機 : VHF (169.09 MHz, 149.49 MHz) 10W、5W、1W

② 海上測量機器

- ・ DGPS 受信機 : ニコン・トリンプル SPS855、SPS751MAX
- ・ 測深器 : KONGSBERG EA600 EchoSounder
- ・ 小型航法システム : JGI CHiPS2
- ・ 音響測位システム : SonarDyne Acoustic Positioning System
- ・ GPS ジャイロ : Hemispher Vector V113 GPS Compass

4.7.3 データ取得結果

(1) 作業実績

本調査の各調査測線の作業実績を表 4.7-2 および表 4.7-3 に示す。

(2) 取得データの品質

図 4.7-5 (1)～(4)に、本調査で取得した発振記録例を示す。時折、自然地震や大型船舶による一過性ノイズの混入が認められるものの、おおむね良好な品質の記録が得られた。

4.7-2 三次元調査エアガン発振作業実績

受振測線 受振点数/測線長	発振測線/発振点数							
	大型エアガン				小型エアガン			
R02:120 点/3,000 m R03:120 点/3,000 m R04:120 点/3,000 m	S01	82	S11	168	S21	191	S00	102
	S02	95	S12	170	S22	191	S01	20
	S03	155	S13	191	S23	191	S02	39
	S04	169	S14	191	S24	191	S03	13
	S05	168	S15	191	S25	184	S11	9
	S06	167	S16	191	S26	145		
	S07	191	S17	191				
	S08	191	S18	191				
	S09	191	S19	191				
	S10	175	S20	191				
	合計 4,543 点				合計 183 点			
R05:150 点/3,750 m R06:150 点/3,750 m R07:150 点/3,750 m R08: 50 点/1,250 m	S01	82	S11	162	S21	191	S00	102
	S02	95	S12	170	S22	191	S01	20
	S03	155	S13	191	S23	191	S02	39
	S04	169	S14	191	S24	191	S03	13
	S05	168	S15	191	S25	184	S05	3
	S06	167	S16	191	S26	145	S11	9
	S07	191	S17	191				
	S08	191	S18	191				
	S09	191	S19	191				
	S10	175	S20	191				
	合計 4,537 点				合計 186 点			
R08:150 点/3,750 m R09:150 点/3,750 m R10:150 点/3,750 m R11: 80 点/2,000 m	S01	96	S11	173	S21	205	S00	116
	S02	109	S12	184	S22	205	S01	20
	S03	169	S13	205	S23	205	S02	39
	S04	183	S14	205	S24	205	S03	13
	S05	182	S15	205	S25	198	S11	9
	S06	181	S16	205	S26	159		
	S07	205	S17	205				
	S08	205	S18	205				
	S09	205	S19	205				
	S10	189	S20	205				
	合計 4,898 点				合計 197 点			

表 4.7-3 二次元調査エアガン発振作業実績

受振測線 受振点数/測線長	発振測線/発振回数			
	大型エアガン		小型エアガン	
OBC1:72 点/3,600m	MS20-01	186 × 3 回	MS20-01	39 × 2 回
	MS20-02	186 × 4 回	MS20-02	39 × 2 回
	MS20-03	186 × 3 回	MS20-03	39 × 2 回
	MS20-04	186 × 3 回	MS20-04	39 × 2 回
		合計 2,406 点		合計 312 点

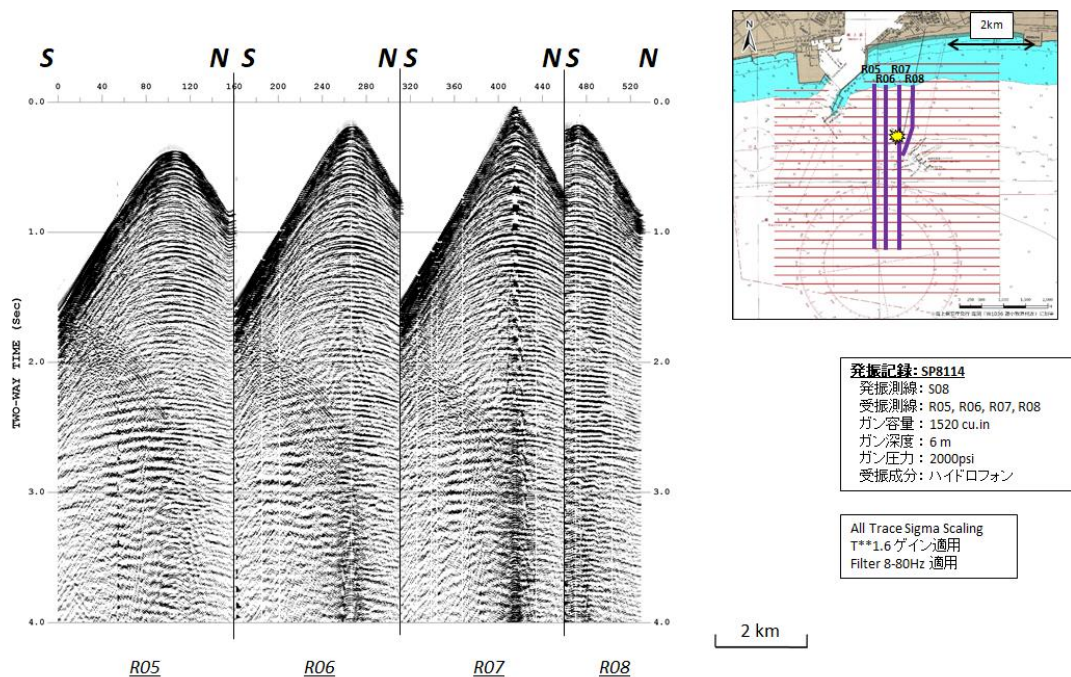


図 4.7-5 (1) 発振記録例 S08 SP8114 大型エアガン ハイドロフォン

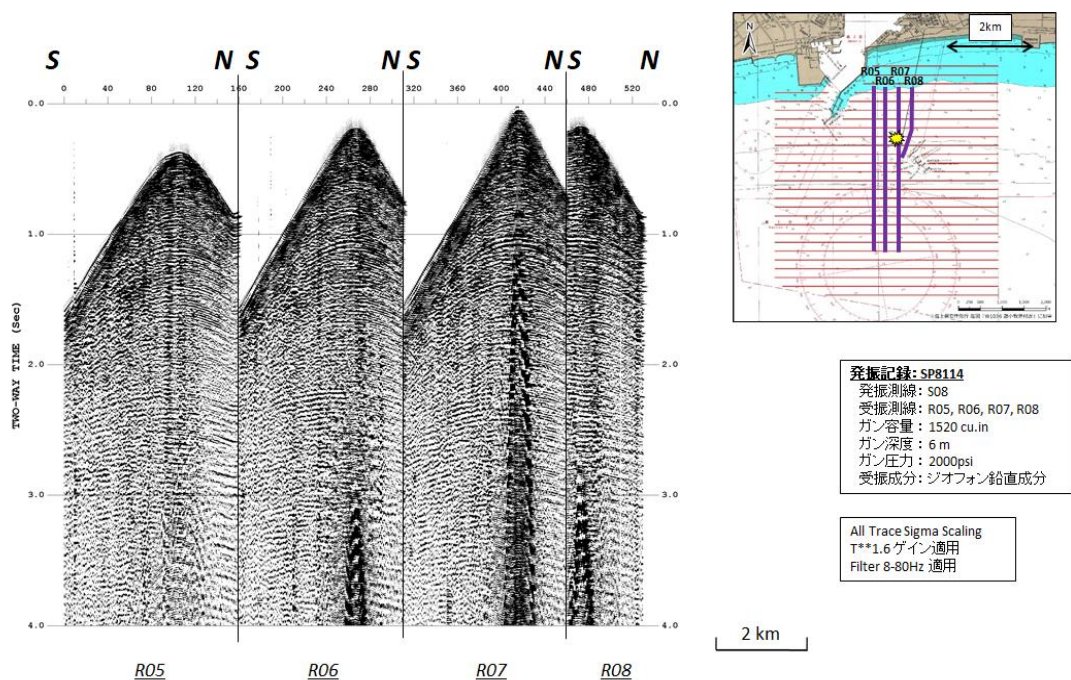


図 4.7-5 (2) 発振記録例 S08 SP8114 大型エアガン ジオフォン鉛直成分

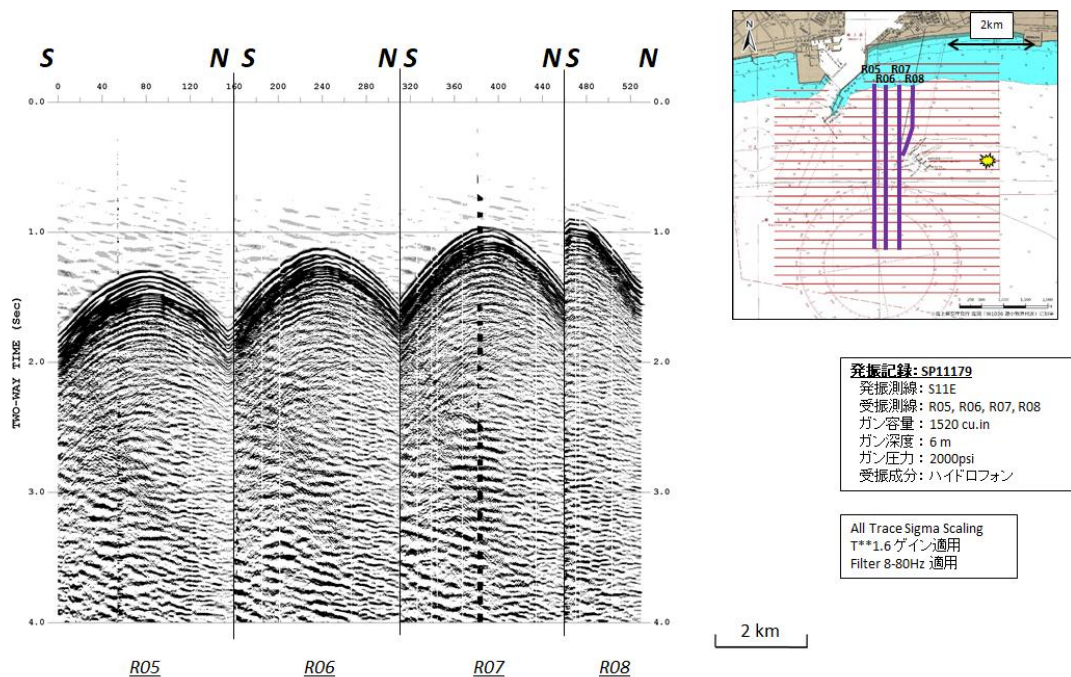


図 4.7-5 (3) 発振記録例 S11 SP11179 ハイドロフォン（地震混入例）

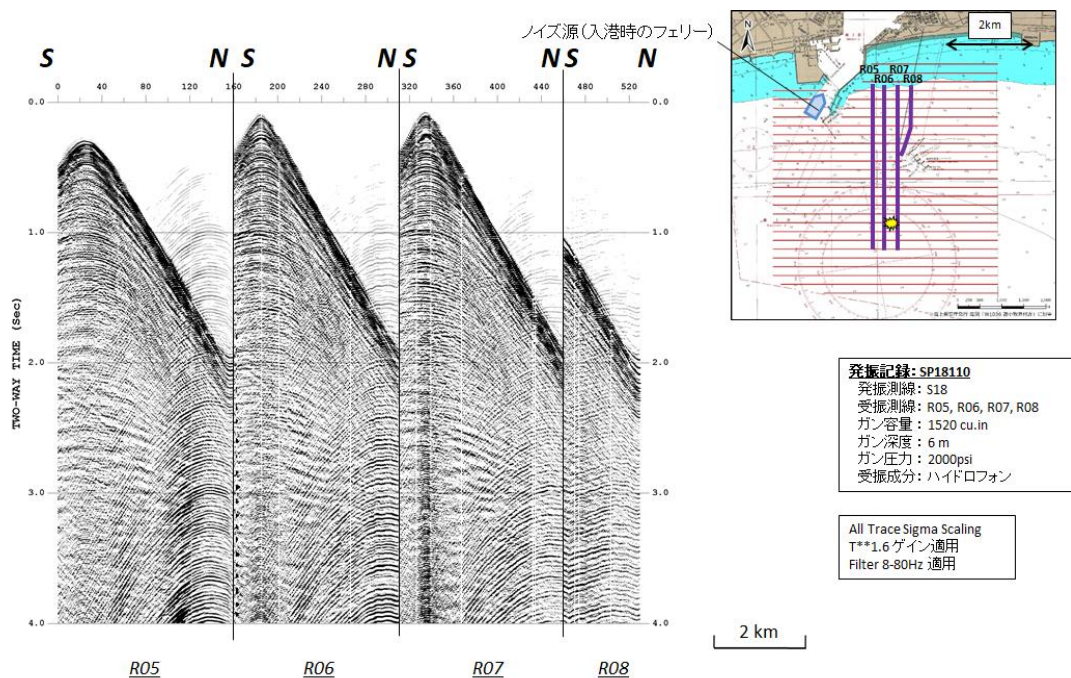


図 4.7-5 (4) 発振記録例 S18 SP18110 ハイドロフォン（船舶ノイズ混入例）

4.7.4 差分抽出処理

(1) 二次元データ処理結果

図 4.7-8 に示すフローに従って、二次元反射法データ処理を実施した。図 4.7-9 にデータ処理に用いた重合測線を示す。

二次元データ処理では、1本の受振測線に対して複数の発振測線を設定しているため、これらを組み合わせることにより、複数の重合測線上で反射法断面を得ることができる。各重合測線について、二次元調査記録、二次元ベースライン調査記録および両者の差分記録の反射法断面を作成した。差分記録の作成には、両記録で共通して存在する受振点、発振点の組み合わせのデータのみを用いた。

図 4.7-10 に、各重合測線について、二次元ベースライン調査記録、二次元調査記録、および差分記録の鉛直断面図を示した。二次元ベースライン調査記録と二次元調査記録を比較すると、どちらも同程度の品質を有しており、また、差分記録上では、いずれの重合測線においても、萌別層砂岩層上面深度付近（往復走時約 1 s に対応）に明瞭な振幅異常が認められ、二酸化炭素の圧入に伴い地下の物性が変化したことを示している。

図 4.7-11 に、重合測線 MC-D の鉛直断面の拡大図および各重合測線の差分記録の振幅変化の水平分布を示す。鉛直断面図は、図 4.7-10 と同様で、二次元ベースライン調査記録、二次元調査記録、および両者の差分記録を示した。振幅変化の水平分布は、差分記録に対してトレース毎に RMS 振幅を計算し、各重合測線上のトレース位置に平面表示したものである。圧入により貯留層内の地震波速度が変化すれば、弾性波の振幅値が変化するため、RMS 振幅は定性的に貯留層内の物性変化の程度に対応すると考えられる。同図には萌別層圧入井坑跡の平面投影位置をあわせて示した。RMS 振幅の計算に用いた時間ウィンドウは、萌別層に相当する深度として、鉛直断面上で顕著な変化を生じている 0.97 s から 1.05 s までとした。本調査の差分抽出処理結果では、差分記録の鉛直断面上で明瞭な振幅変化を確認することができ、また水平分布上ではおおむね圧入井坑跡を中心として RMS 振幅の大きい領域が分布しており、二酸化炭素が圧入井から周囲に浸透していることが確認できる。

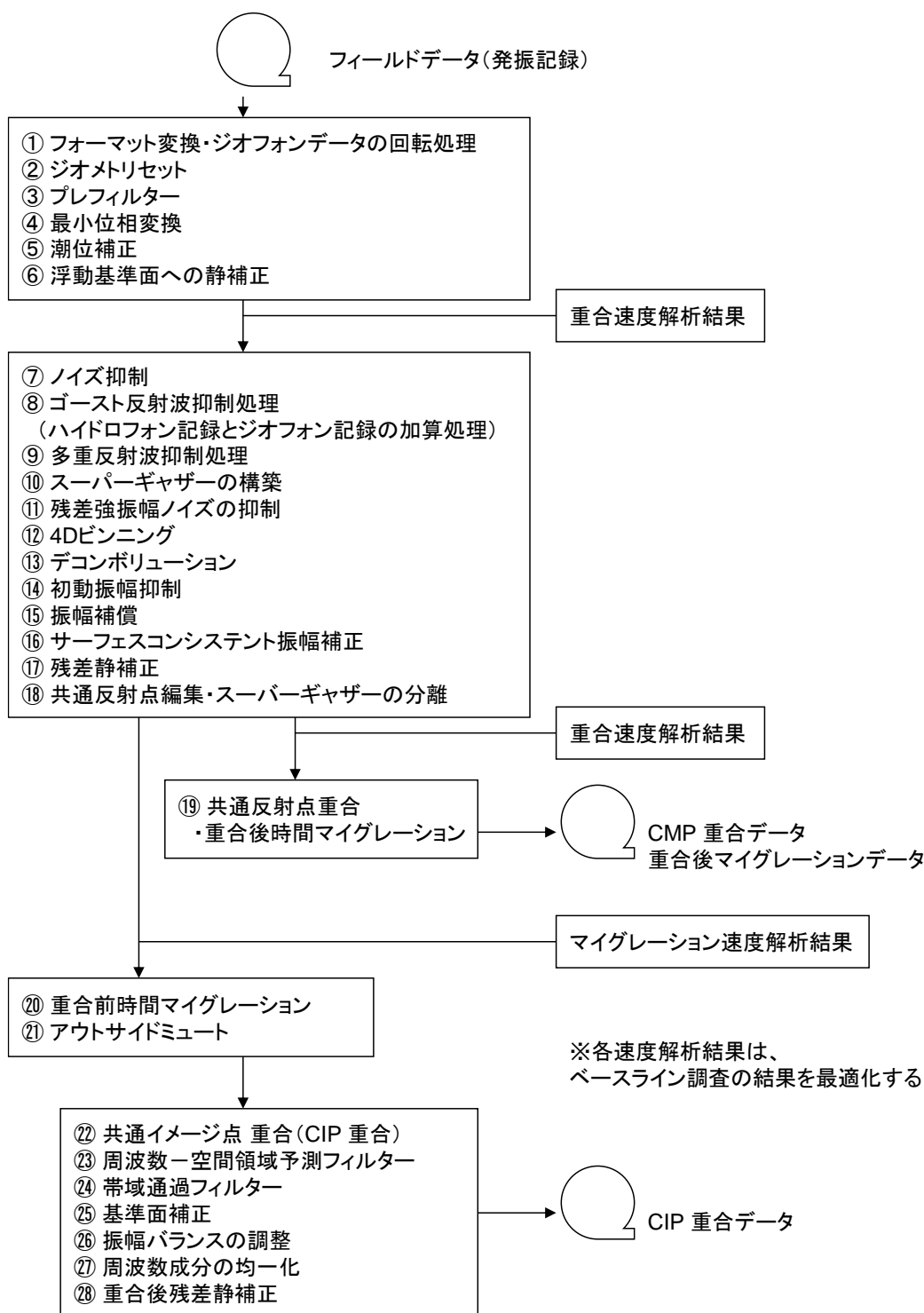


図 4.7-8 二次元反射法データ処理フロー

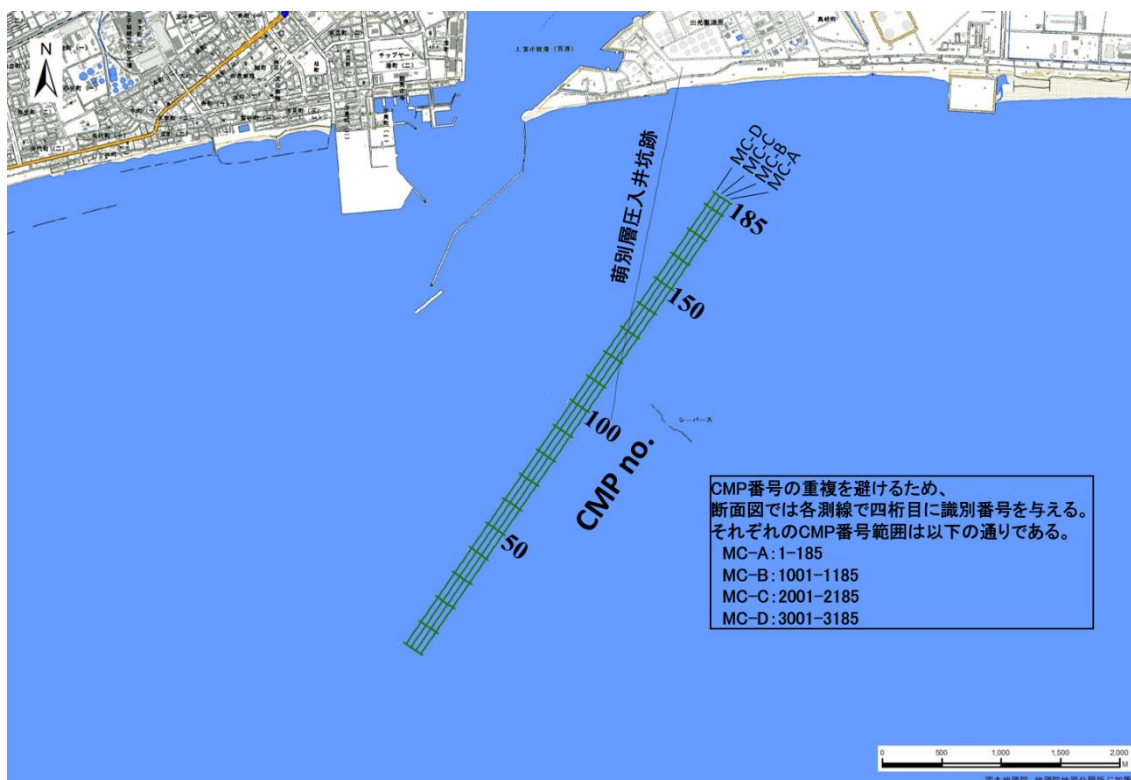
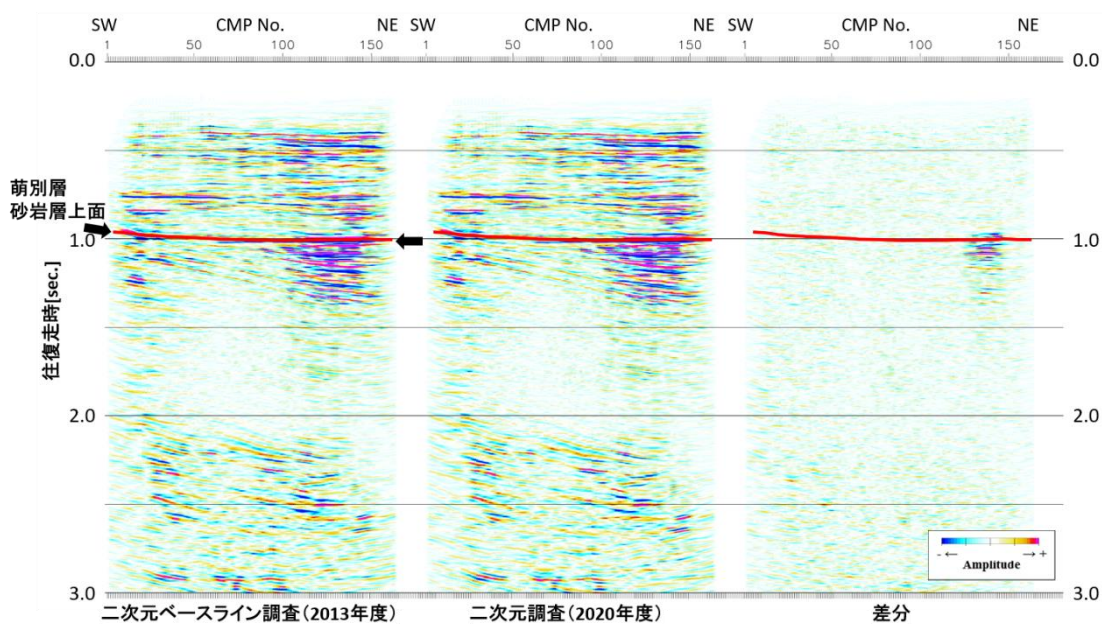


図 4.7-9 重合測線図（二次元調査）



4.7-10 (1) 二次元データ処理結果（MC-A）

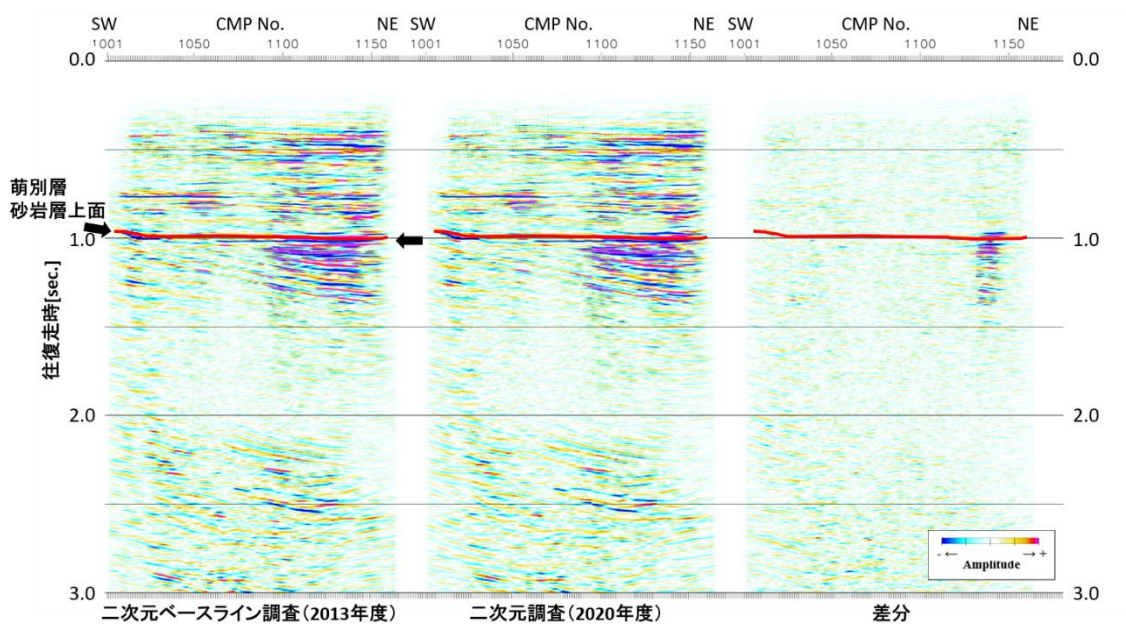


図 4.7-10 (2) 二次元データ処理結果 (MC-B)

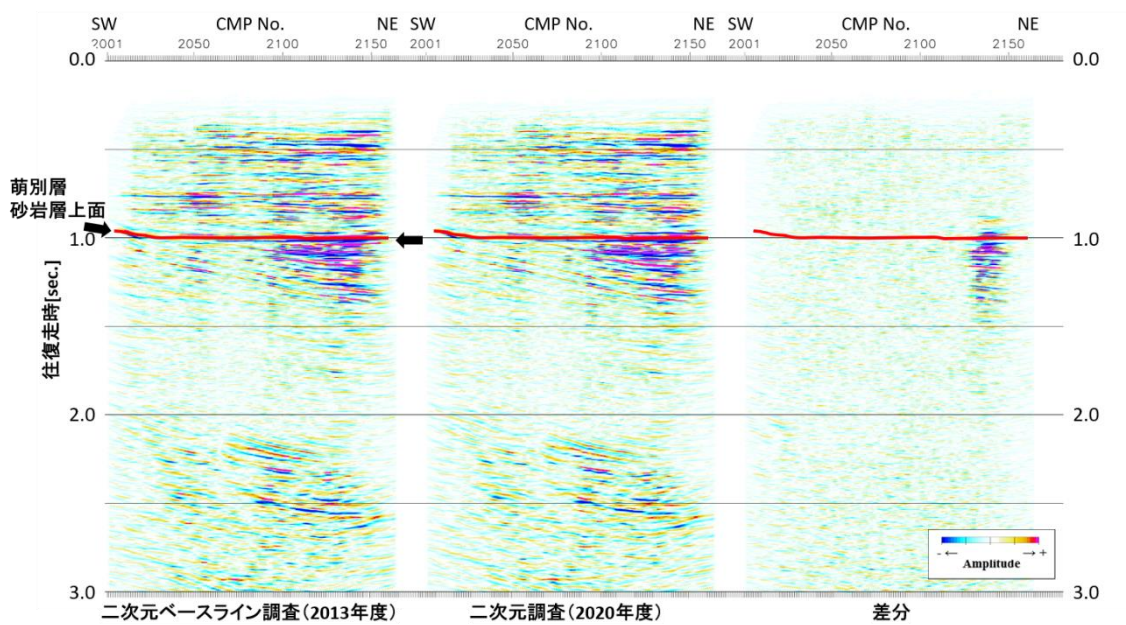


図 4.7-10 (3) 二次元データ処理結果 (MC-C)

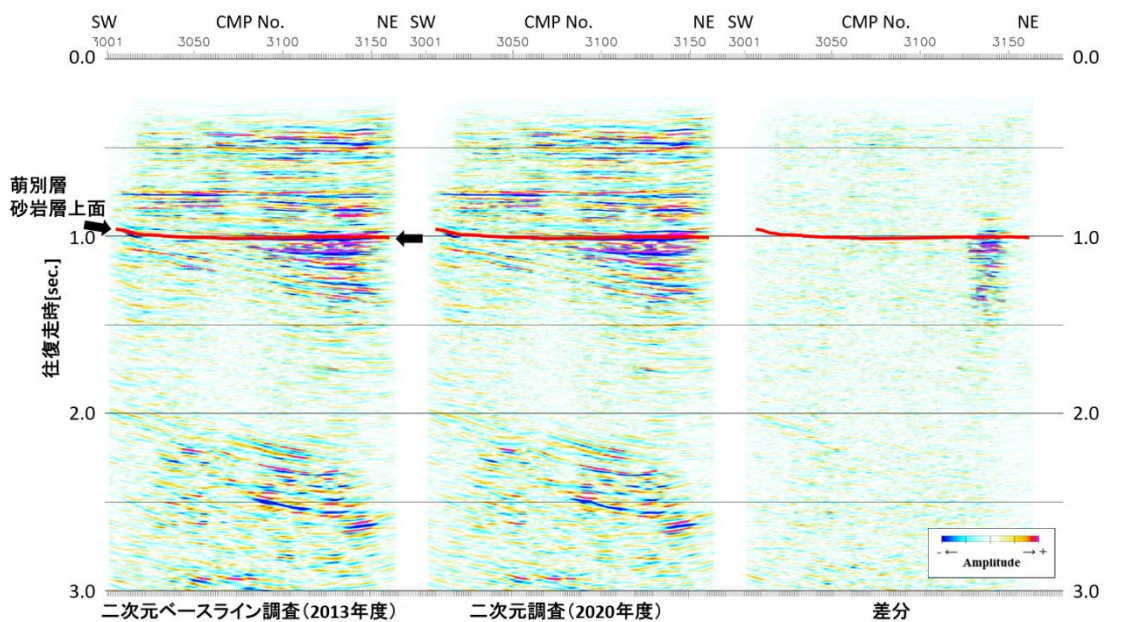


図 4.7-10 (4) 二次元データ処理結果 (MC-D)

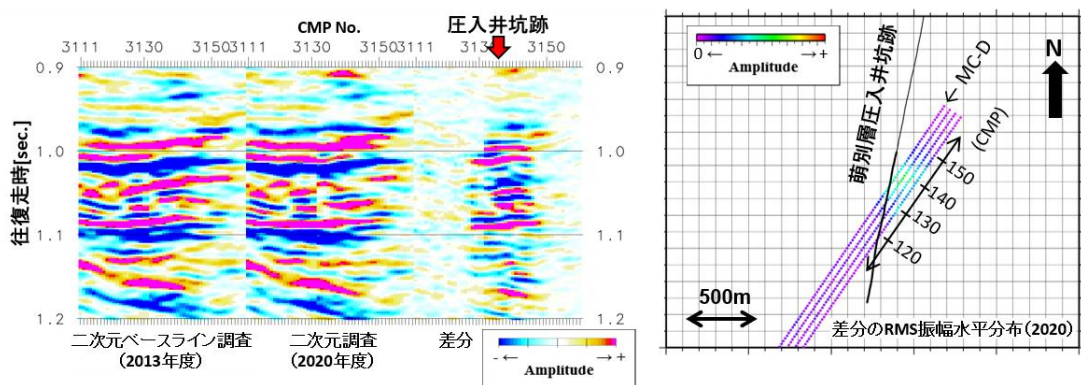


図 4.7-11 二次元データ処理結果 (MC-D および差分の RMS 振幅水平分布)

(2) 三次元データ処理結果

図 4.7-12 に示すフローに従って、三次元反射法データ処理を実施した。図 4.7-13 にデータ処理に用いた重合測線を示す。

三次元データ処理では、三次元ベースライン調査範囲の外側も評価するために、第 2 回モニター調査および第 3 回モニター調査のうち三次元ベースライン調査と重複しない領域で取得されたデータを三次元ベースライン調査に統合し（以下、「三次元統合ベースライン調査」と称する。）、各モニター調査記録、三次元統合ベースライン調査記録および両者の差分記録の反射法ボリュームを作成した。差分記録の作成には、両記録で共通して存在する受振点、発振点の組み合わせのデータのみを用いた。

図 4.7-14 に、三次元統合ベースライン調査記録、三次元調査記録、および差分記録の例として、反射法ボリュームの南北および東西鉛直断面図を示す。三次元統合ベースライン調査記録と三次元調査記録を比較すると、どちらも同程度の品質を有しており、また、差分記録上では、萌別層砂岩層上面深度付近（往復走時約 1 s に対応）に明瞭な振幅異常が認められ、二酸化炭素の圧入に伴い地下の物性が変化したことを示している。

図 4.7-15 に、第 2 回～第 4 回モニター調査（2017～2019 年度）と三次元調査（2020 年度）それぞれの差分抽出処理結果の比較として、東西鉛直断面の拡大図および差分記録の振幅変化の水平分布を示す。水平分布は前節と同様に差分記録の RMS 振幅とした。いずれのモニター調査記録においても、往復走時約 1.02 s において三次元統合ベースライン調査記録上にない反射面が認められ、差分記録上で明瞭な振幅異常を確認できる。2017 年度（約 6 万 t 圧入時点）と 2018 年度（約 20 万 t 圧入時点）の処理結果を比較すると、2018 年度の方がやや深部まで変化が及んでおり、圧入量が増えたことにより速度低下が顕著になったものと考えられる。一方で、2018 年度以降、2019 年度（圧入停止後約 2 箇月）と 2020 年度（圧入停止後約 8 箇月）の処理結果を比較すると、圧入量が増えたにもかかわらず顕著な変化は確認できず、これは二酸化炭素の飽和率が大きくなるに従い弾性波の速度低下が緩やかになったことを示唆している。

図 4.7-16 に、本調査による差分抽出処理結果と 30 万 t の貯留層シミュレーション結果との比較として、南北鉛直断面の拡大図と差分記録の RMS 振幅水平分布を示す。鉛直断面上で連続する往復走時約 0.97 s から同 1.05 s の振幅異常を圧入による影響であると考えると、二酸化炭素は萌別層砂岩層最上部（往復走時約 1.0 s から同 1.05 s）、およびその直上の萌別層泥岩層最下部に狭在する砂岩層内（往復走時約 0.97 s から同 1.0 s）に貯留されていると判断できる。なお、各モニター調査記録では、下方進行波が二酸化炭素貯留領域で上方に反射し見かけ上減衰すること、二酸化炭素貯留領域で地震波速度が低下し下

位の反射面の時間が遅れることにより、三次元統合ベースライン調査記録との差分に偽像が生じる。本データ処理結果においては、上述した貯留領域と連続性がなく、かつ貯留層シミュレーション結果において認められない往復走時約 1.06 s や同 1.1 s の振幅異常が該当し、これらは下部の地層に物性変化が生じたことを示すものではない。よって、圧入した二酸化炭素は貯留層の上部付近に限定して存在しており、鉛直断面上で新たな亀裂等による漏洩経路の存在は確認されていないことから貯留層区間外への漏出等は生じていないと考えられる。また、差分記録の RMS 振幅水平分布は、シミュレーションにより予想される二酸化炭素飽和率の分布範囲と整合的な結果を示しており、圧入した二酸化炭素が想定通りに貯留層内に存在していると考えられる。

以上のことから本調査結果は、圧入した二酸化炭素が想定通りに貯留層内に存在しており、想定範囲を超えて二酸化炭素が拡散する等の異常は生じていないことを示している。

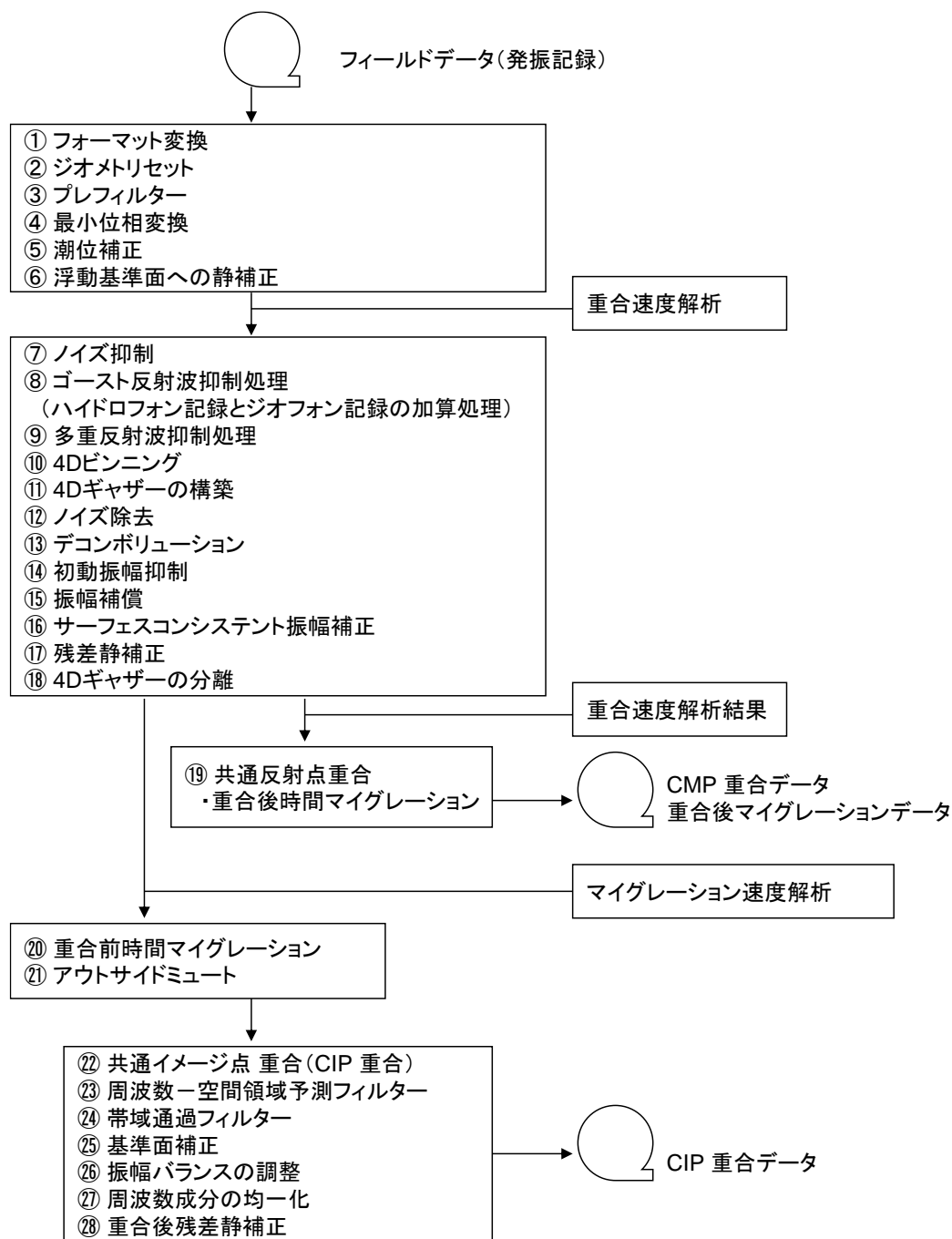


図 4.7-12 三次元反射法データ処理フロー



図 4.7-13 重合測線図（三次元調査）

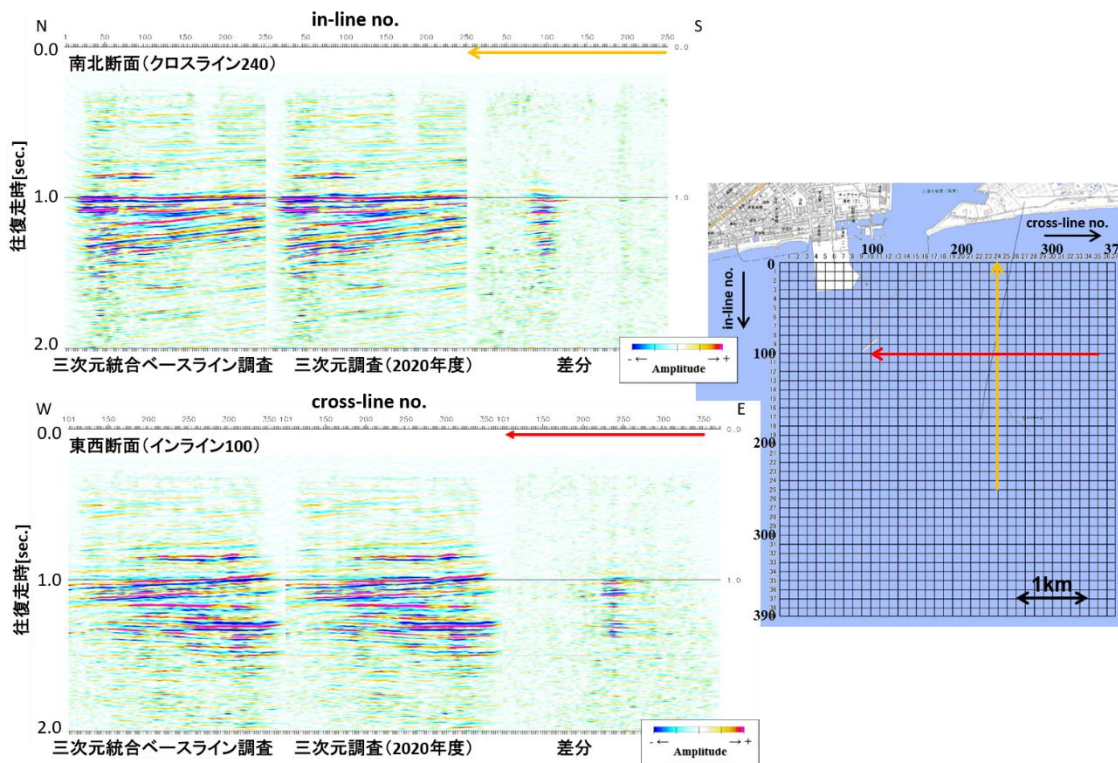


図 4.7-14 三次元データ処理結果（鉛直断面）

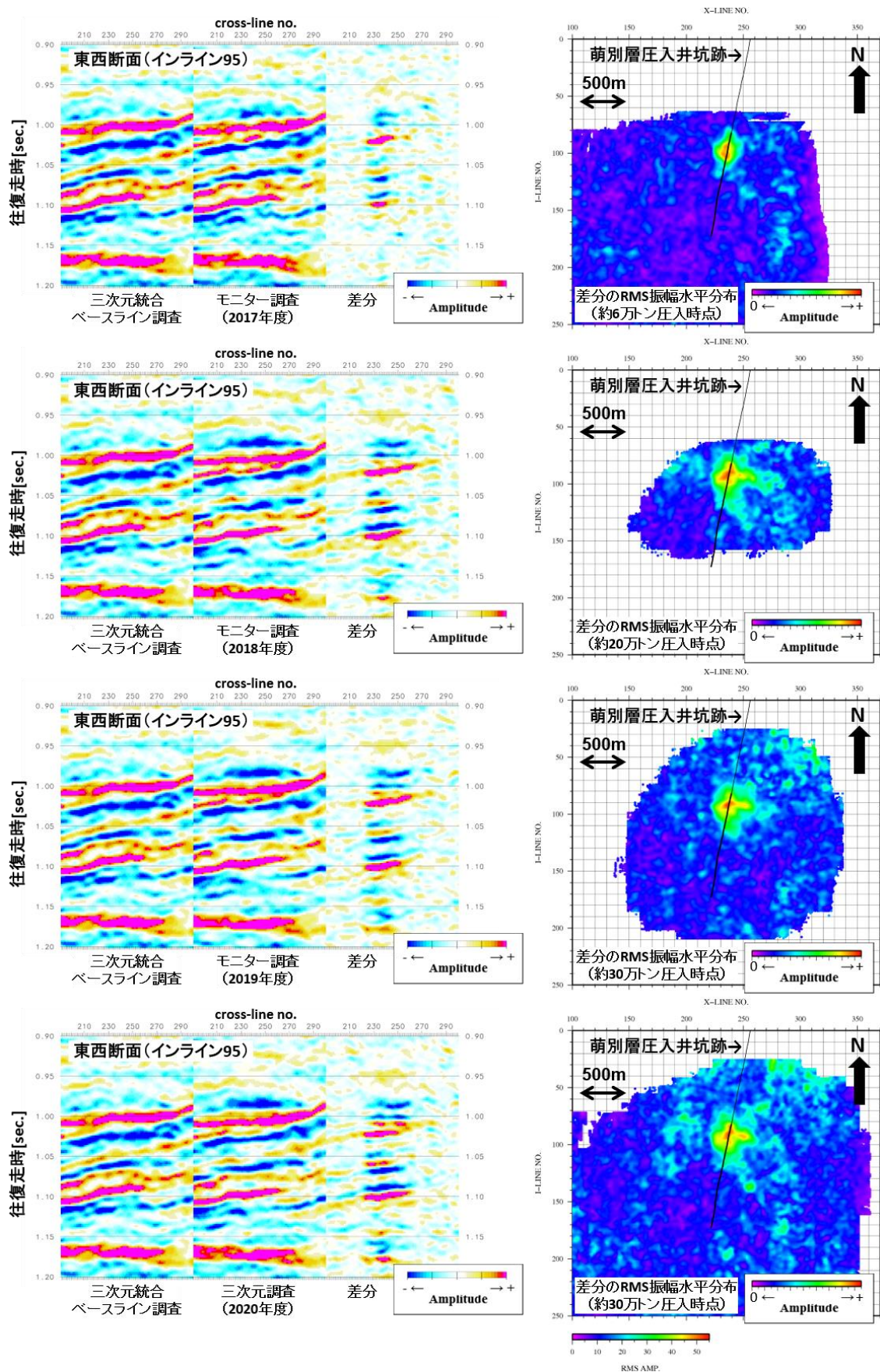


図 4.7-15 三次元データ処理結果（第2回から第5回の比較）

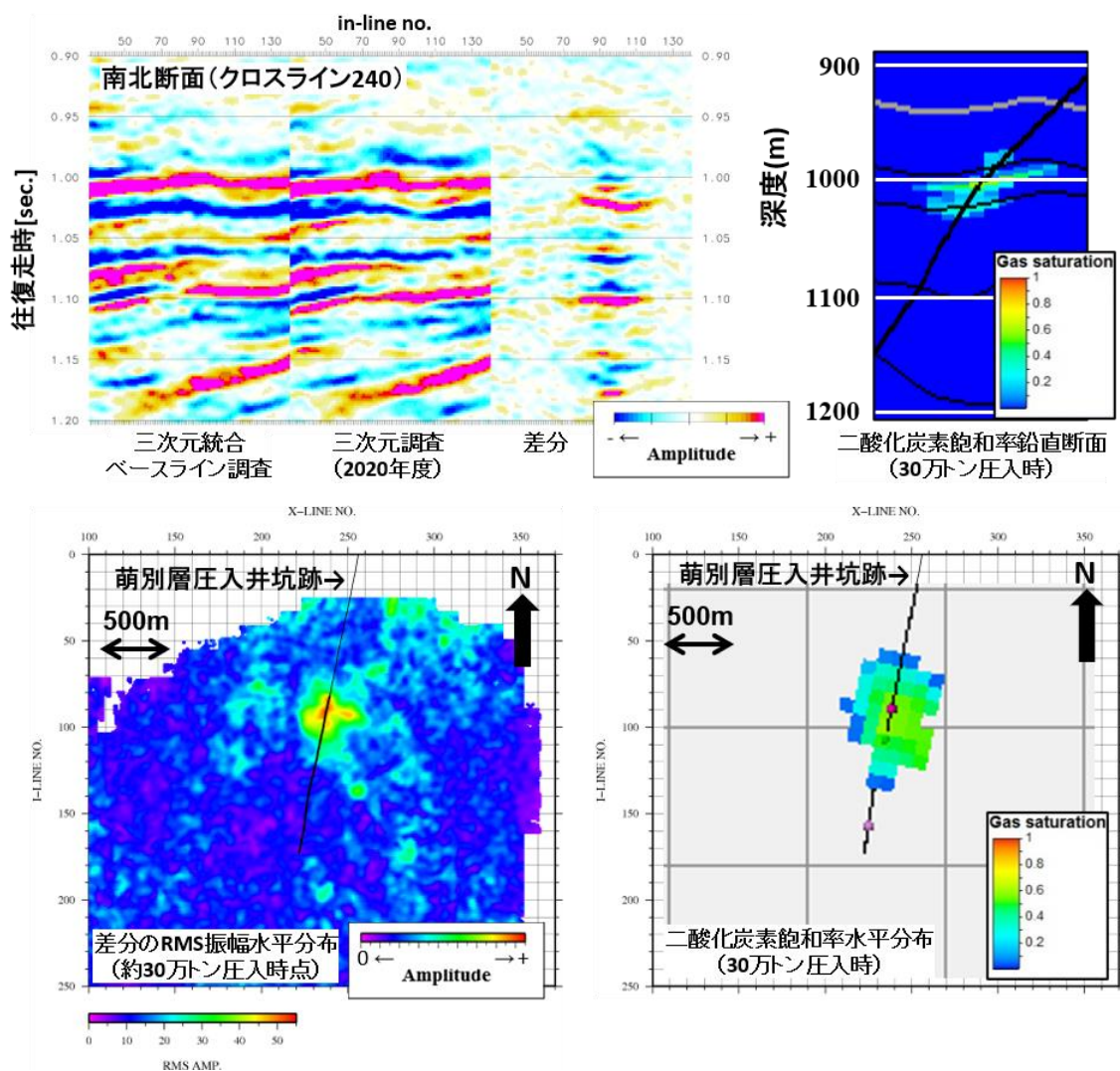


図 4.7-16 三次元データ処理結果と貯留層シミュレーション結果との比較

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、2020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、2020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）、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。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。

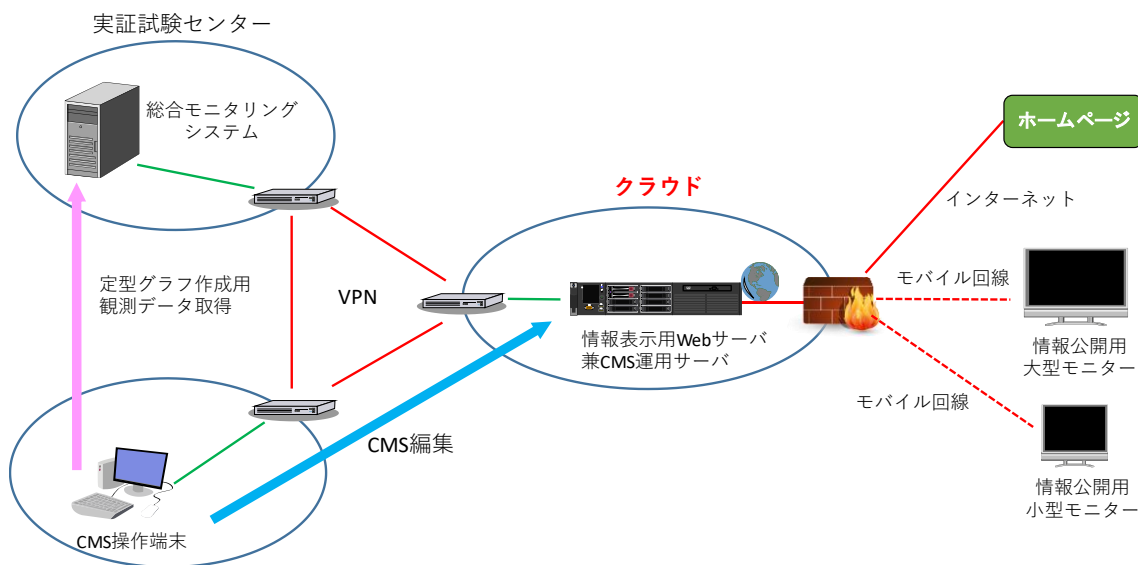


図 4.8-1 情報公開システムのシステム構成概念図

表 4.8-1 情報公開用機器の仕様

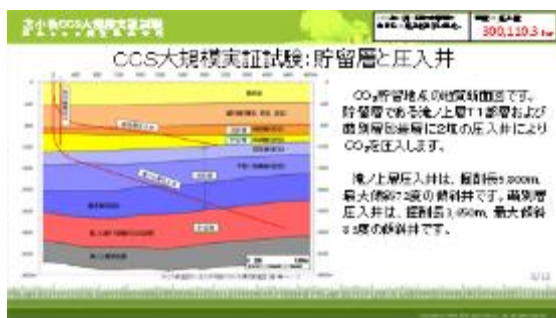
セット名	機器	機種（メーカー）	仕様
大型モニターセット	PC	Endeavor ST11E (EPSON)	Windows 10 Pro 64 bit Core™ i3-4100M (2.5 GHz) RAM : 4 GB HDD : 250 GB
	モニター	REAL LCD-40ML7 (三菱電機)	40 インチ Full HD (1920 px×1080 px)
	ディスプレイスタンド	DSS-M32V3 (エス・ディ・エス)	W:600 mm×H:1317 mm×D:630 mm
小型モニターセット	PC	Endeavor ST11E (EPSON)	Windows 10 Pro 64 bit Core™ i3-4100M (2.5 GHz) RAM : 4 GB HDD : 250 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) 公開用画面

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、2020 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)に公開用画面の例を示す。

表 4.8-2 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 ₂) 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 ₂ 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 ₂ 分離回収装置および圧縮装置
画面 12	二酸化炭素 (CO ₂) 圧入量実績 <ul style="list-style-type: none"> 前日の CO₂ 圧入量（圧入停止中は「圧入停止中」と前日までの累積圧入量） 前月の圧入実績と当該月の圧入計画 圧入開始から前月までの累積 CO₂ 圧入量のグラフ
画面 13	苫小牧実証試験モニタリングネットワーク
画面 14	苫小牧市で観測された直近の有感地震 <ul style="list-style-type: none"> 当該地震の震央位置図（平面図） 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 地震情報（気象庁発表）
画面 15	苫小牧市周辺の自然地震発生状況 <ul style="list-style-type: none"> 直近 1 箇月間に発生した自然地震の震源分布 2001～2010 年の 10 年間に発生した自然地震の震源分布
画面 16	圧入地点周辺で観測された微小振動 <ul style="list-style-type: none"> 直近 6 箇月の間に検出された微小振動の分布平面図 圧入中に観測された微小振動の平面分布 圧入前 12 箇月間に観測された微小振動の平面分布 2015 年 2 月 1 日以降の微小振動の検出数（週単位）の時系列グラフ
画面 17	各坑井で観測された 1 箇月間の圧力の時系列グラフ
画面 18	各坑井で観測された 1 箇月間の温度の時系列グラフ
画面 19	圧入地点周辺の二酸化炭素 (CO ₂) 濃度（季節観測）



画面 9



画面 10



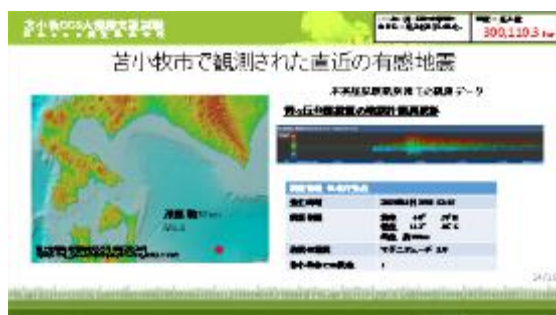
画面 11



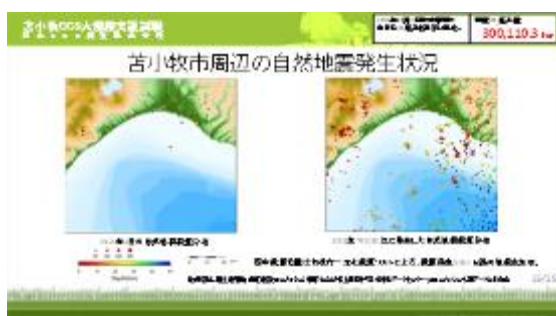
画面 12



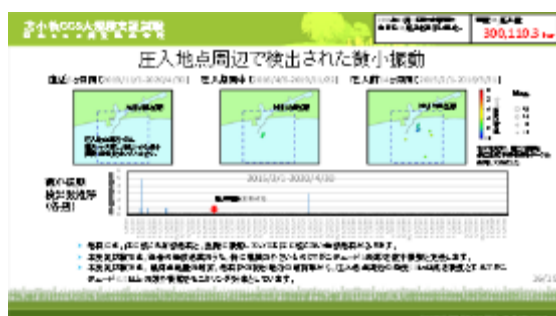
画面 13



画面 14



画面 15



画面 16

図 4.8-2 (2) 公開用画面（画面 9～16）



画面 17



画面 18



画面 19

図 4.8-2 (3) 公開用画面（画面 17～19）

(2) 公開用画面の更新

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。画面 1、画面 12、画面 14～画面 19 の 2020 年度の更新の実績を以下に示す。

表 4.8-3 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	原則毎日更新
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）～8）した。掲載した画面を図 4.8-3 に示す。

- 1) 苫小牧におけるCCS大規模実証試験 30万トン圧入時点報告書（総括報告書）の公表（2020年6月1日更新）
- 2) 西港フェリーターミナルパネル展開催（2020年9月8日更新）
- 3) 苫小牧CCUS・カーボンリサイクル促進協議会への改組（2020年10月9日更新）
- 4) Japan-Asia CCUS Forum 2020 のオンライン開催（2020年10月9日更新）
- 5) ビジネス EXPO 出展（2020年11月19日更新）

② 画面 2 と画面 3 の更新

画面 2 と画面 3 には、地球温暖化に係る理解促進情報を表示しており、近年の情報を踏まえ、掲載画面を図 4.8-4 のように更新した。



1) (2020年6月1日更新)



2) (2020年9月8日更新)



3) (2020年10月9日更新)



4) (2020年10月9日更新)



5) (2020年11月19日更新)

図 4.8-3 画面1 (What's New) 更新履歴



1) (2021年2月10日更新)



2) (2021年2月10日更新)

図 4.8-4 画面2 と画面3 (地球温暖化理解促進情報) 更新履歴

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、2019年度に累積圧入量30万tを達成して圧入を停止して更新したことから、以降の掲載画面は更新していない。

④ 画面12の更新

画面12には次の1)、2)および3)を表示しており、2019年度に累積圧入量30万tを達成して圧入を停止して更新したことから、以降の掲載画面は更新していない。

- 1) 前日のCO₂圧入量と前日までの累積圧入量。
- 2) 前月の圧入実績と当該月の圧入計画。
- 3) 圧入開始から前月までの累積CO₂圧入量のグラフ。

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、2019年度に累積圧入量30万tを達成して圧入を停止して更新したことから、以降の掲載画面は更新していない。

⑥ 画面14の更新

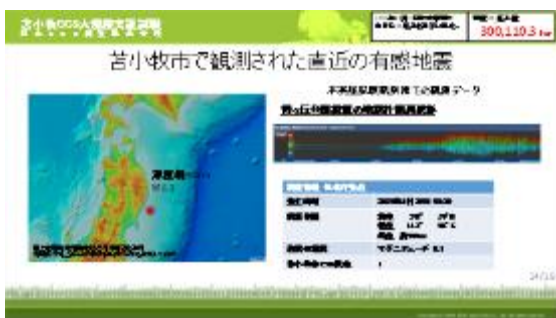
画面14には苫小牧市で観測された直近の有感地震（震度1以上を記録した地震）の震央位置図、陸上設置地震計観測システム（本事業で設置）で取得した観測波形および気象庁発表の地震情報を表示している。新たな有感地震が観測されたときには速やかに地震情報を更新するという方針の下、苫小牧市で観測された有感地震について、画面14を更新した。更新画面を図4.8-5(1)～(3)に示す。



1) (2020年4月1日更新)

2) (2020年4月13日更新)

図4.8-5(1) 画面14更新履歴



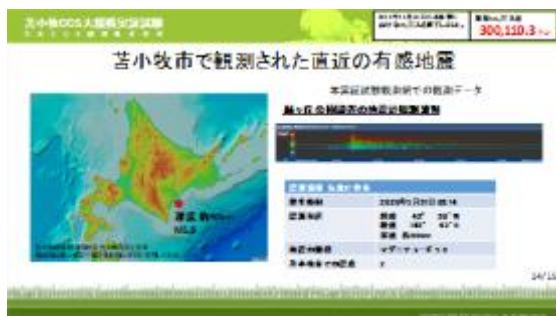
3) (2020年4月20日更新)



4) (2020年4月25日更新)



5) (2020年5月1日更新)



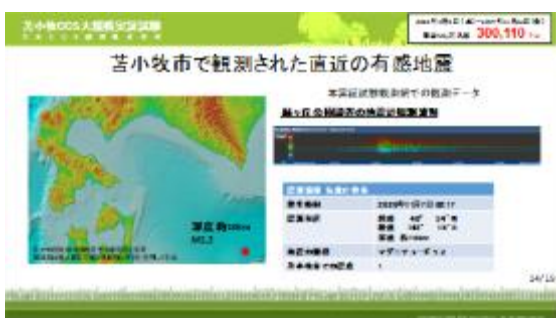
6) (2020年6月1日更新)



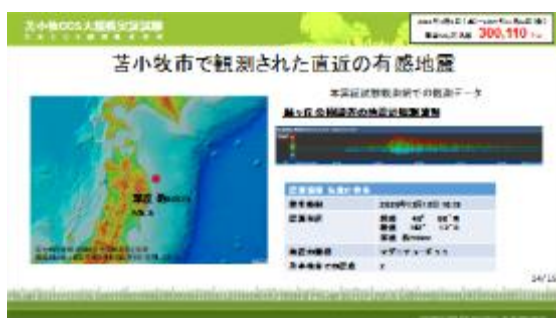
7) (2020年9月14日更新)



8) (2020年11月6日更新)

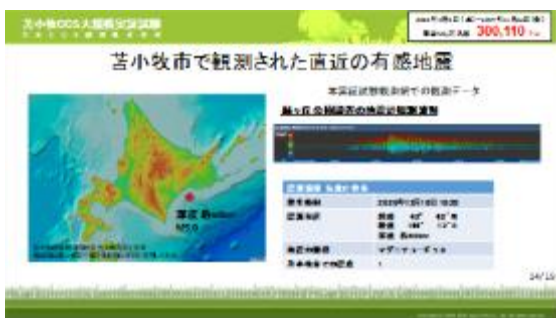


9) (2020年11月7日更新)

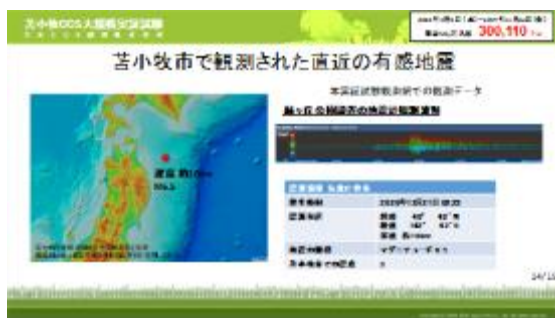


10) (2020年12月14日更新)

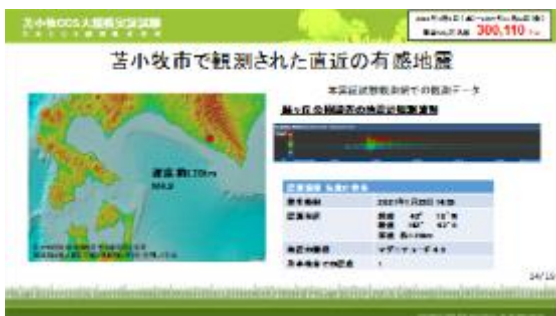
図 4.8-5 (2) 画面 14 更新履歴



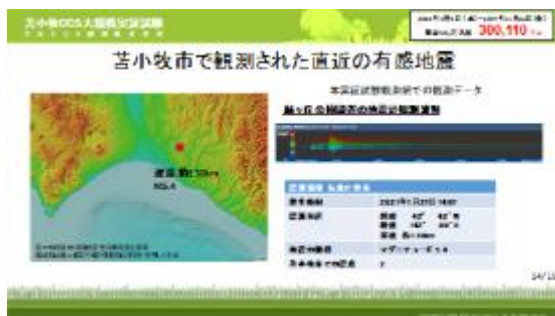
11) (2020年12月16日更新)



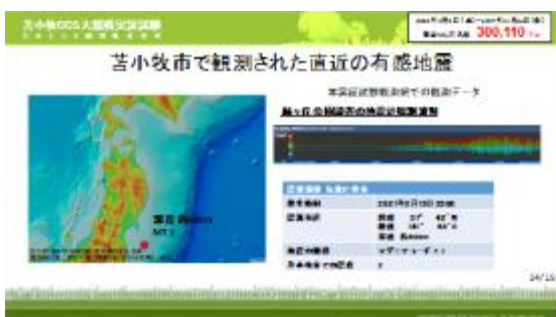
12) (2020年12月21日更新)



13) (2021年1月25日更新)



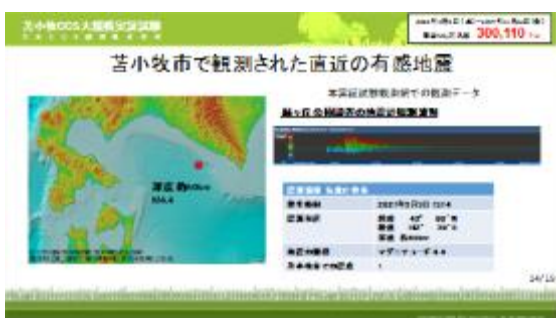
14) (2021年1月28日更新)



15) (2021年2月15日更新)



16) (2021年3月1日更新)



17) (2021年3月5日更新)

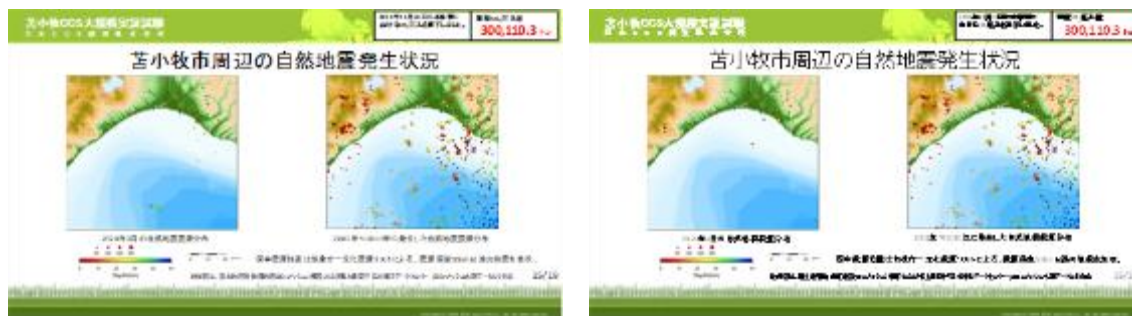


18) (2021年3月22日更新)

図 4.8-5 (3) 画面 14 の更新履歴

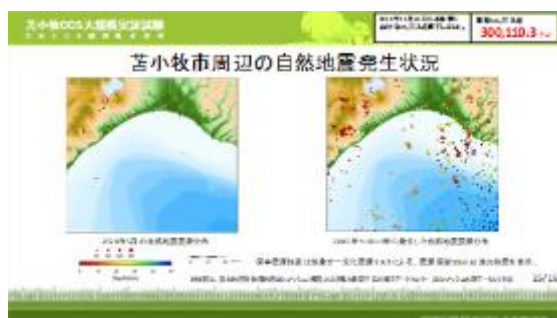
⑦ 画面15の更新

画面15には前月に苫小牧市周辺（CO₂圧入地点を中心とする東西50km×南北38kmの範囲）で発生した自然地震分布を表示しており、翌月の初めに更新した。2020年3月～2021年2月の結果を図4.8-6(1)～(2)に示す。

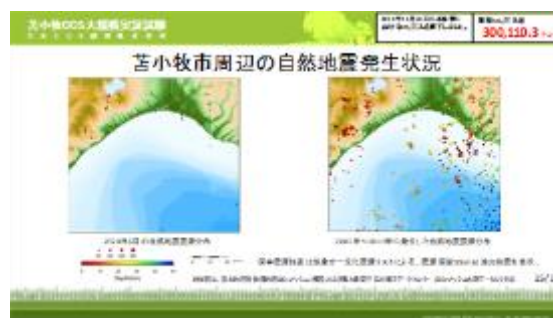


2020年3月の結果

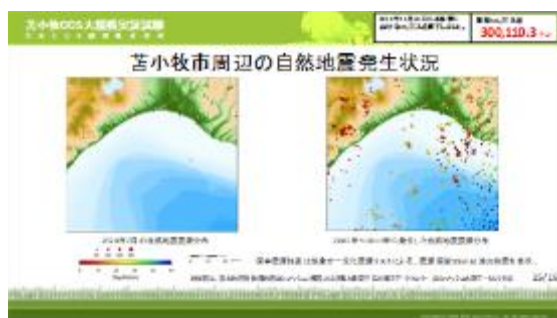
2020年4月の結果



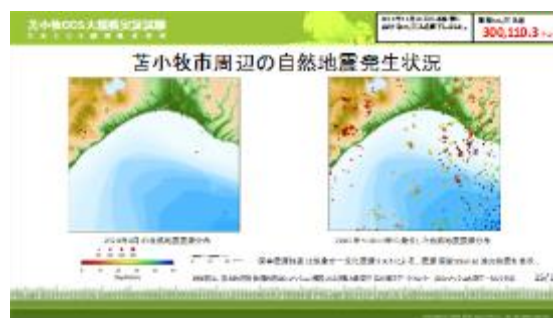
2020年5月の結果



2020年6月の結果

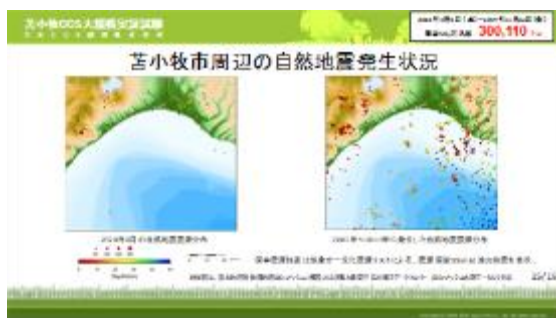


2020年7月の結果

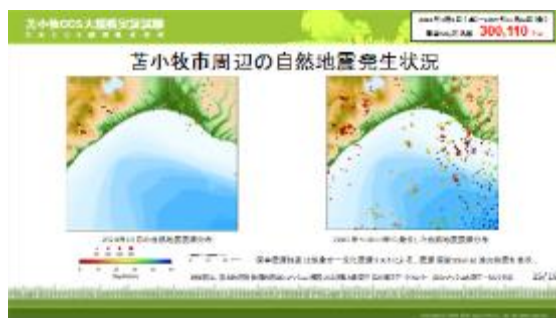


2020年8月の結果

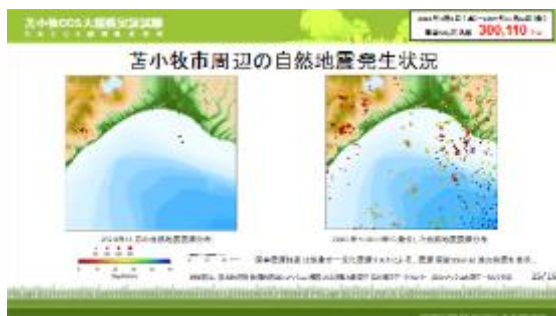
図4.8-6(1) 画面15の更新履歴



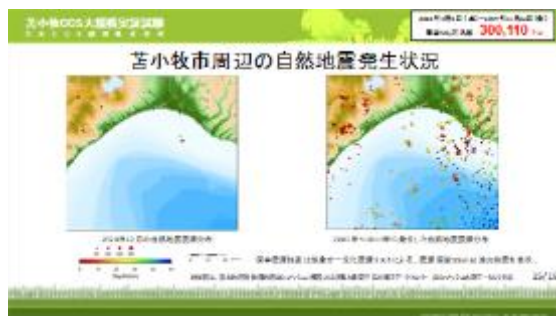
2020年9月の結果



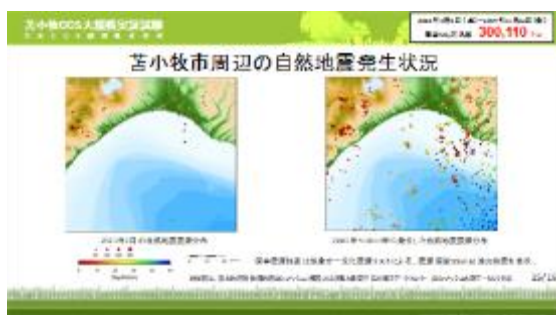
2020年10月の結果



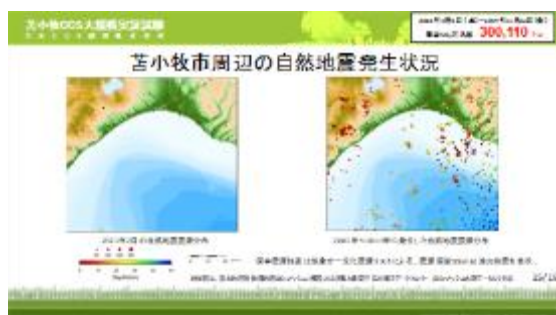
2020年11月の結果



2020年12月の結果



2021年1月の結果

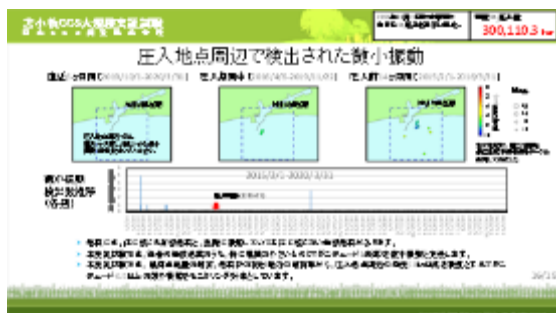


2021年2月の結果

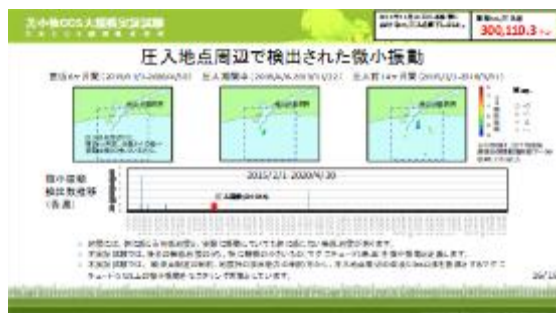
図 4.8-6 (2) 画面 15 の更新履歴

⑧ 画面 16 の更新

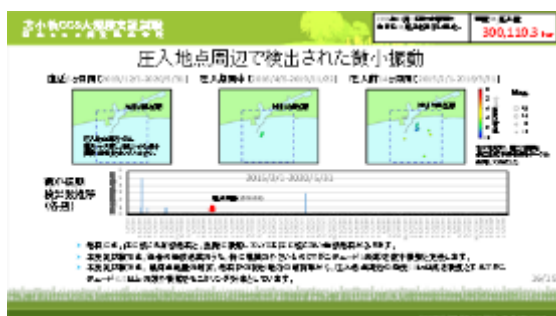
画面 16 は、圧入地点周辺（CO₂ 圧入地点を中心とする東西 6 km×南北 6 km の範囲）で検出された微小振動の分布を月ごとにまとめて表示しており、翌月の初めに更新している。2020 年 3 月～2021 年 2 月の更新画面を図 4.8-7 (1)～(2)に示す。



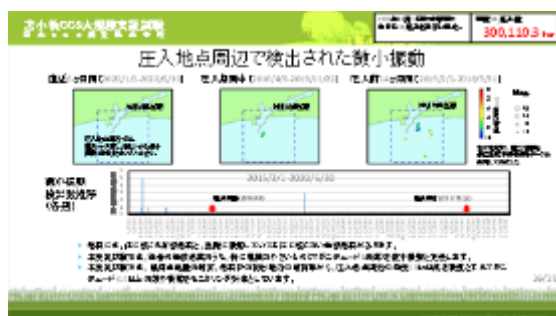
2020 年 3 月末日までの結果



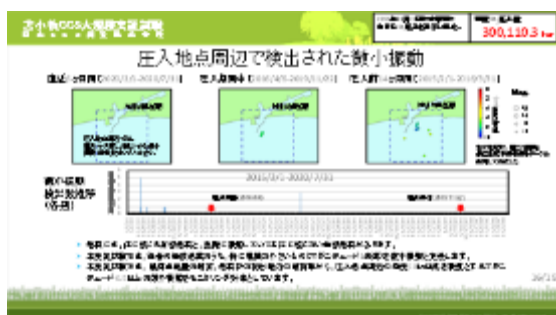
2020 年 4 月末日までの結果



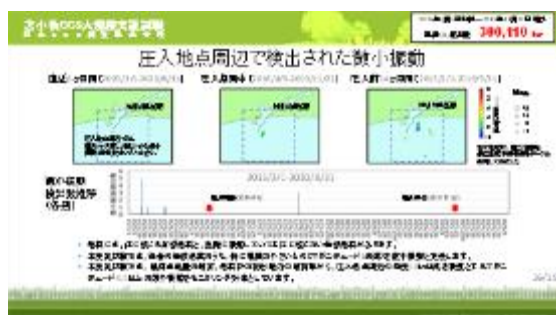
2020 年 5 月末日までの結果



2020 年 6 月末日までの結果

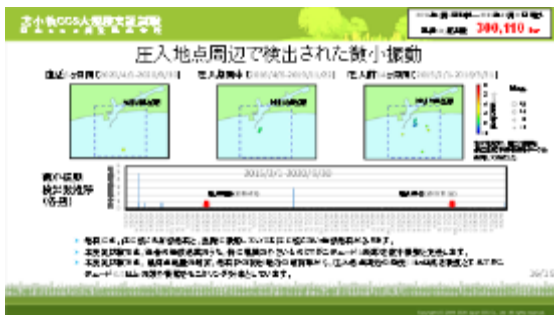


2020 年 7 月末日までの結果

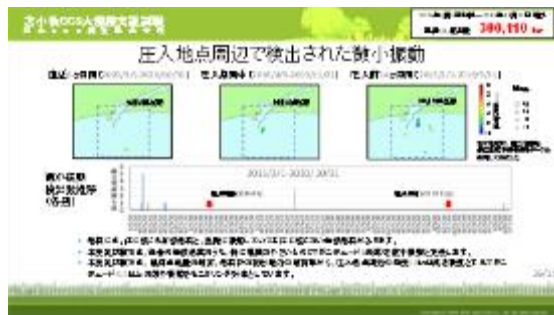


2020 年 8 月末日までの結果

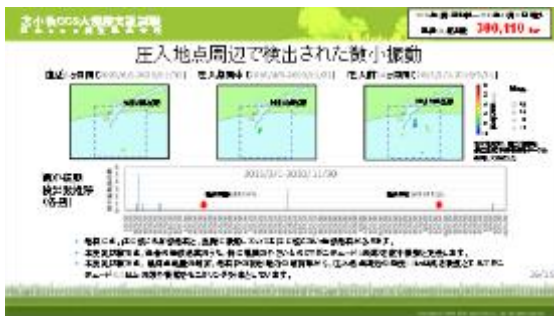
図 4.8-7 (1) 画面 16 の更新履歴



2020年9月末日までの結果



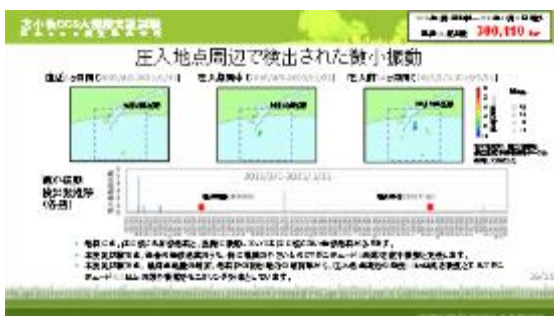
2020年10月末日までの結果



2020年11月末日までの結果



2020年12月末日までの結果



2021年1月末日までの結果



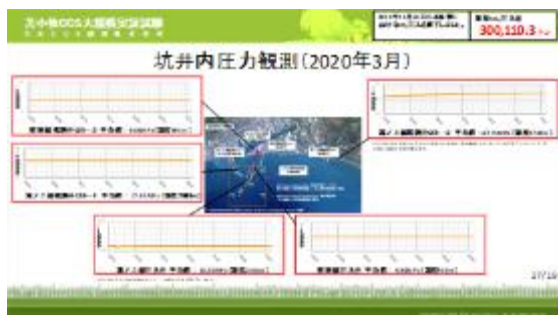
2021年2月末日までの結果

図 4.8-7 (2) 画面 16 の更新履歴

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。

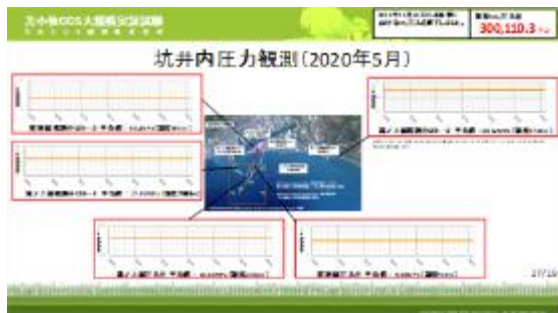
2020年3月～2021年2月の更新画面を図4.8-8(1)～(2)に示す。



2020年3月の結果



2019年4月の結果



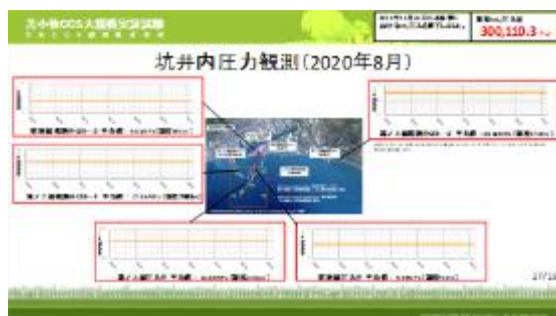
2020年5月の結果



2020年6月の結果



2020年7月の結果

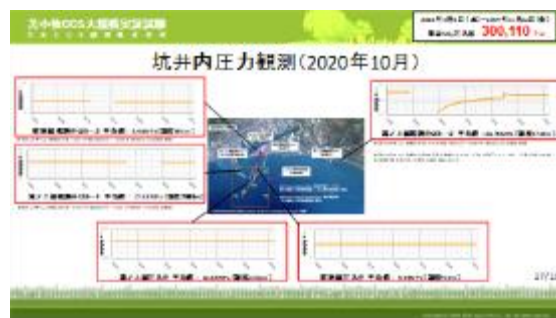


2020年8月の結果

図4.8-8(1) 画面17の更新履歴



2020年9月の結果



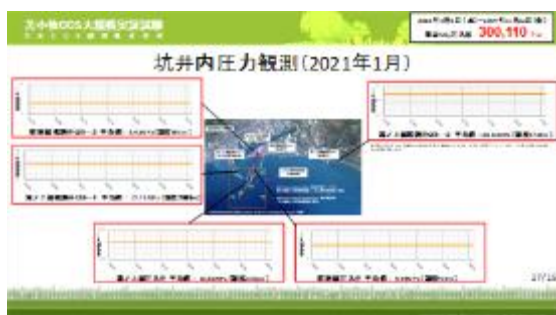
2020年10月の結果



2020年11月の結果



2020年12月の結果



2021年1月の結果



2021年2月の結果

図 4.8-8 (2) 画面 17 の更新履歴

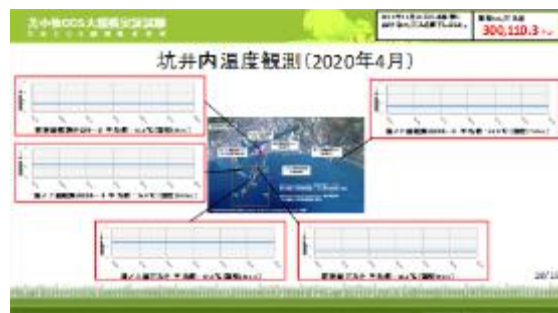
⑩ 画面 18 の更新

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。

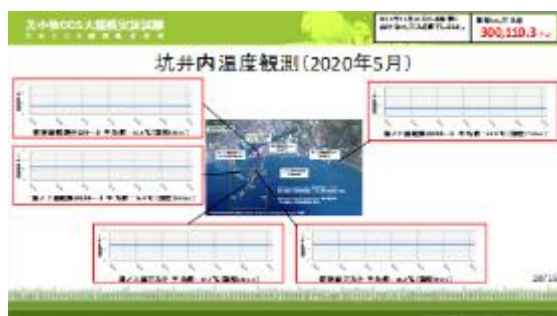
2020年3月～2021年2月の更新画面を図 4.8-9 (1)～(2)に示す。



2020年3月の結果



2020年4月の結果



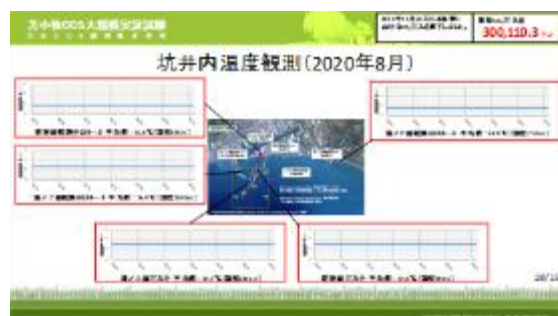
2020年5月の結果



2020年6月の結果



2020年7月の結果



2020年8月の結果

図 4.8-9 (1) 画面 18 の更新履歴



2020年9月の結果



2020年10月の結果



2020年11月の結果



2020年12月の結果



2021年1月の結果



2021年2月の結果

図 4.8-9 (2) 画面 18 の更新履歴

⑪ 画面 19 の更新

画面 19 には圧入地点周辺の二酸化炭素（CO₂）濃度の観測値を表示している。2020年度は、海域調査の進展等により、次の1回更新した。更新画面を図 4.8-10 に示す。

1) 2019年度冬季の観測結果を追記（2020年7月1日更新）



2020年7月1日更新

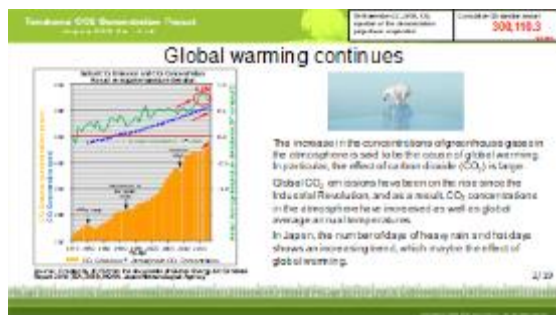
図 4.8-10 画面 19 の更新履歴

(3) 英語版による情報公開

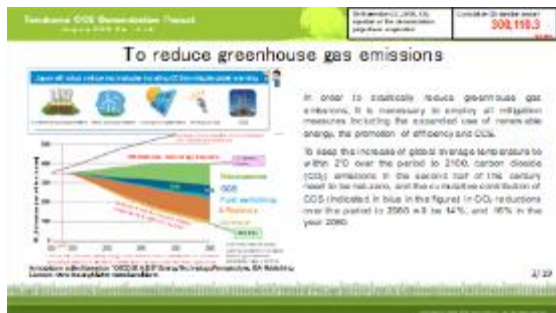
2018年5月31日よりホームページ上での英語版の情報公開画面の運用を開始した。画面の構成および表示内容は日本語版と同じである。



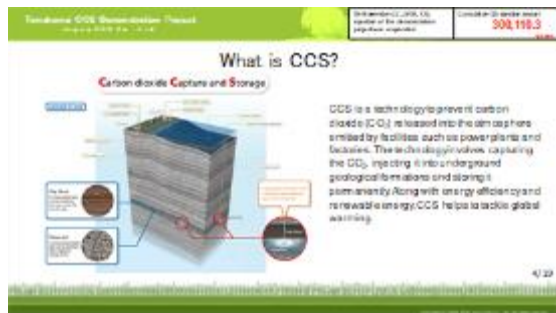
画面 1



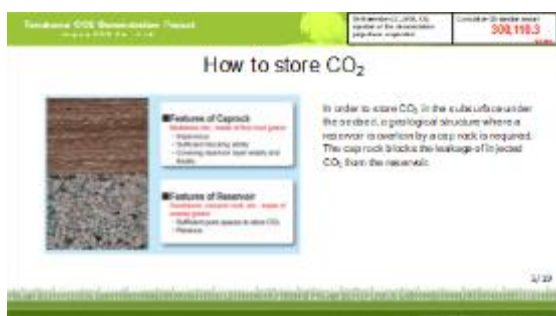
画面 2



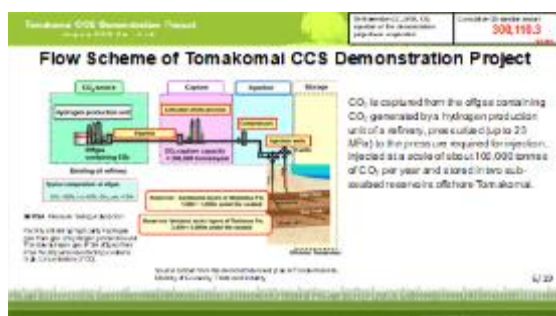
画面 3



画面 4



画面 5



画面 6

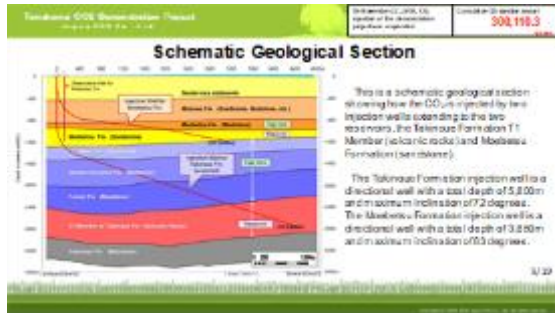
図 4.8-11 (1) 英語版の公開用画面例（画面 1～6）



画面 7



画面 8



画面 9



画面 10



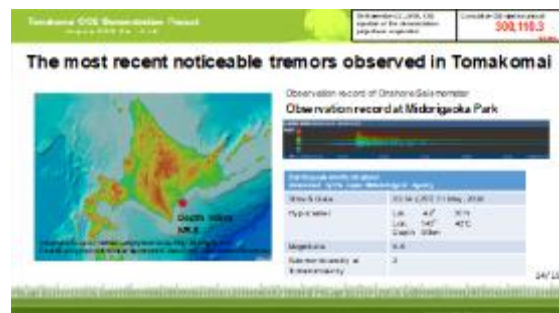
画面 11



画面 12

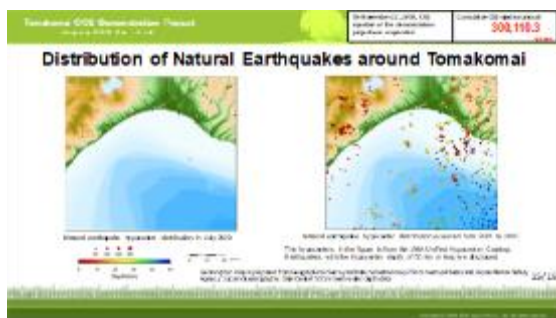


画面 13

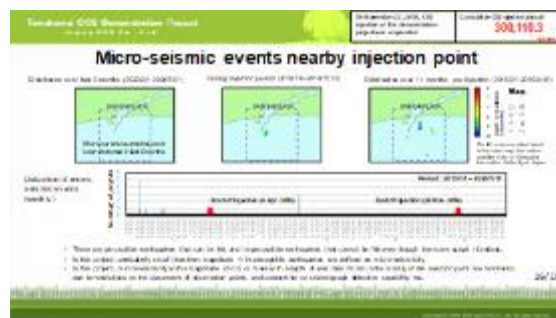


画面 14

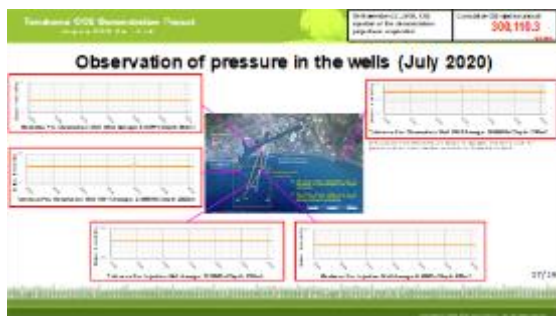
図 4.8-11 (2) 英語版の公開用画面例（画面 7～14）



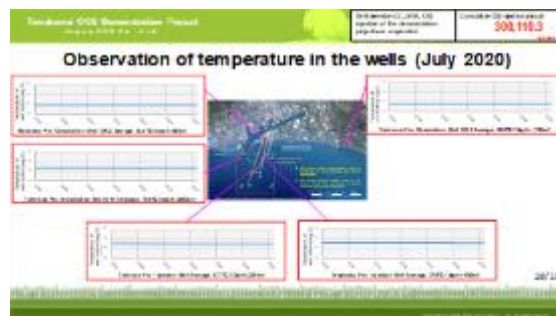
画面 15



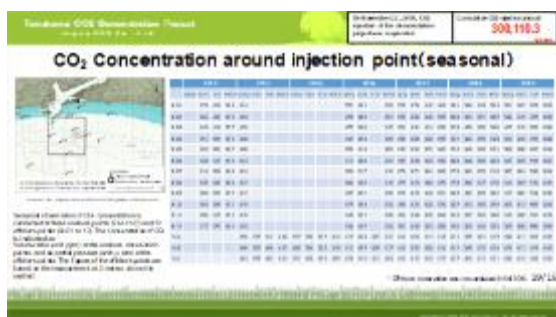
画面 16



画面 17



画面 18



画面 19

図 4.8-11 (3) 英語版の公開用画面例（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 4.8-12 参照）からダウンロードすることができる。



図 4.8-12 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、観測井モニタリング（地震計、圧力計、温度計、DTS）および圧入井（圧力計、温度計）による観測データおよび CO₂ 圧入量等の操業データ（坑井ごとの圧入流量、圧入圧力、圧入温度と CO₂ 濃度）を一般的な Web ブラウザを利用して公開する。

(1) 公開用データの整備

公開用データは、総合モニタリングシステムにおいて1分間単位で管理している統一フォーマットファイルを結合して作成するデータファイル（以下、「公開用ファイル」と称する。）を単位としている。Web ブラウザを利用して公開用ファイルをダウンロードする際の通信速度を 16 Mbps（2 MB/s）、1回のダウンロード時間を 10分程度と想定すると公開用ファイルの大きさの上限の目安は 2 GB 程度となる。一方、地震計観測データの中でチャンネル数が最も多い常設型 OBC の単位時間当たりのデータ量が約 1.5 GB であることから地震計観測データの公開用ファイルの単位を 1時間とした。温度・圧力データと操業データは、取得間隔が 1秒ではあるが 1件あたりの容量が小さく、1日分のデータ（86,400件=60（秒）×60（分）×24（時間））が 2 GB を超えることはないため公開用ファイルの単位を 1日とした。表 4.8-4 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
観測井設置地震計	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) 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。

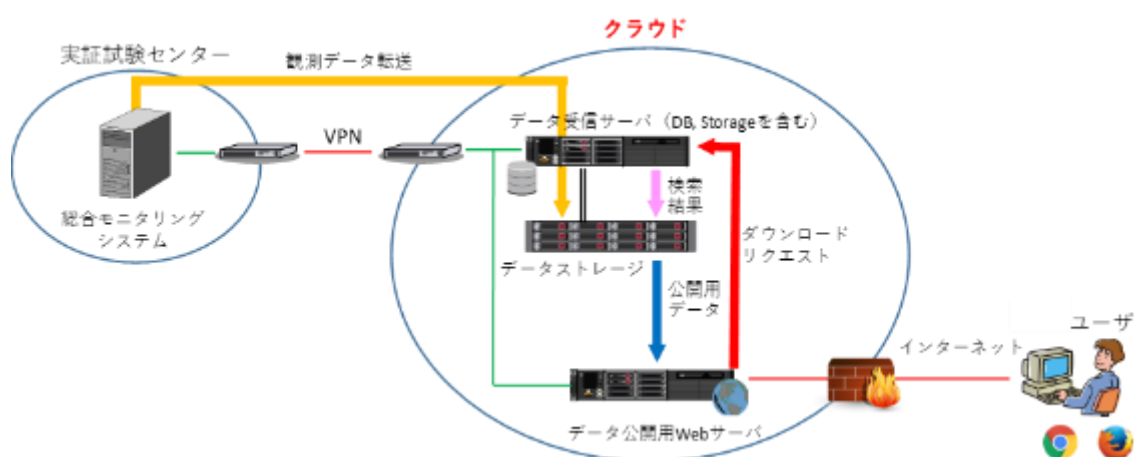


図 4.8-13 データ公開システムのシステム構成概念図

(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。

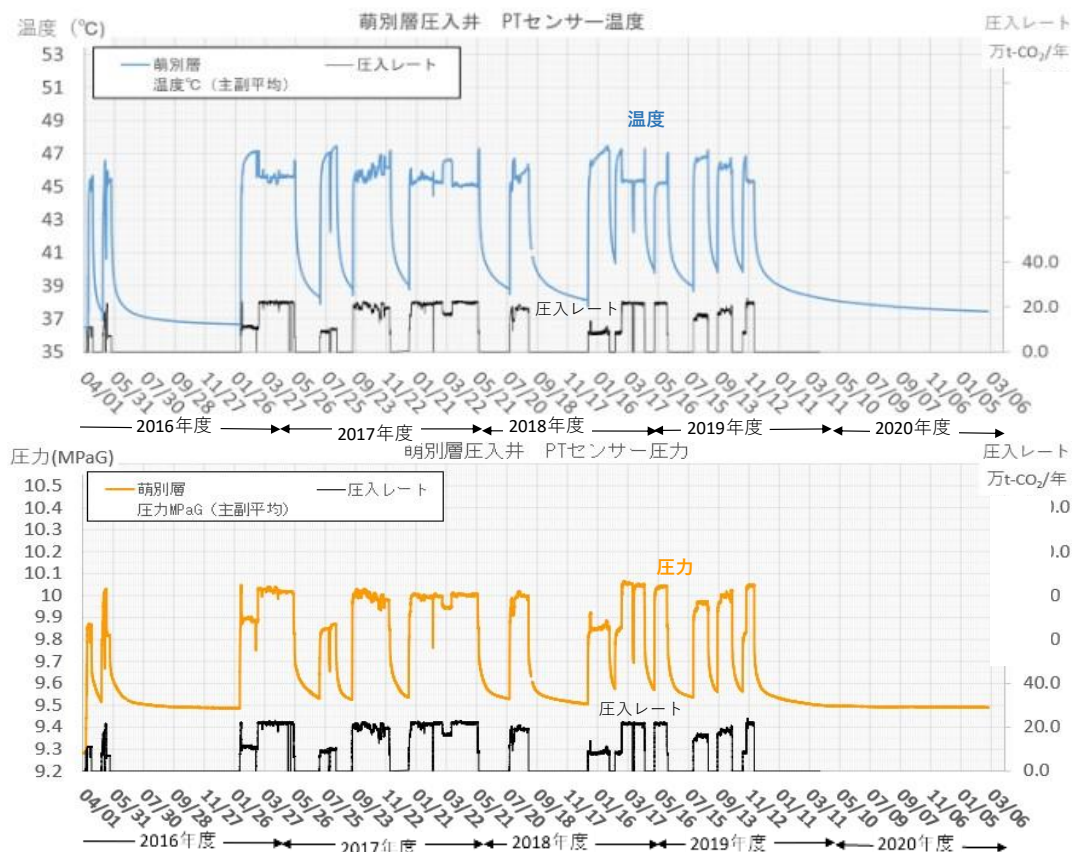
*5) メールアドレスを含む個人情報の入力をユーザ ID 発行の条件としていない。

*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

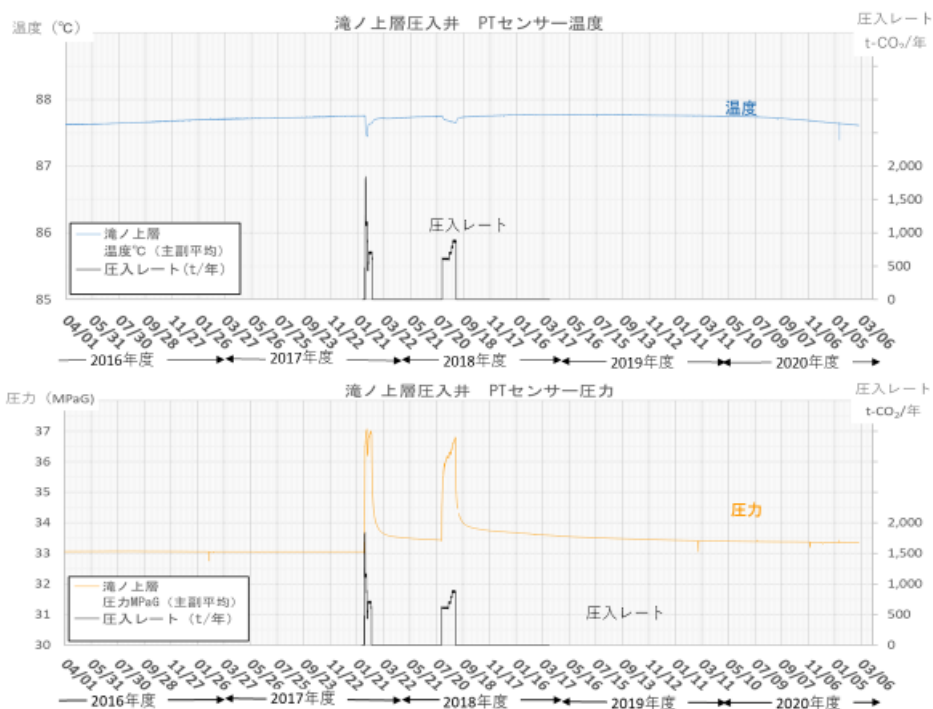
萌別層圧入井（IW-2）および滝ノ上層圧入井（IW-1）の地下に設置した温度圧力センサー（以下、「PTセンサー」と称する。）による温度と圧力のモニタリングの実績を図4.9-1および図4.9-2に示す。

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) 萌別層に圧入を開始した2016年4月から2020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) 苫ノ上層に圧入を実施した2018年2月から9月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”チュービングに設置しており、仕上げ区間の上端よりも掘削深度で 432 m、垂直深度で 52 m ほど浅い位置に設置している。

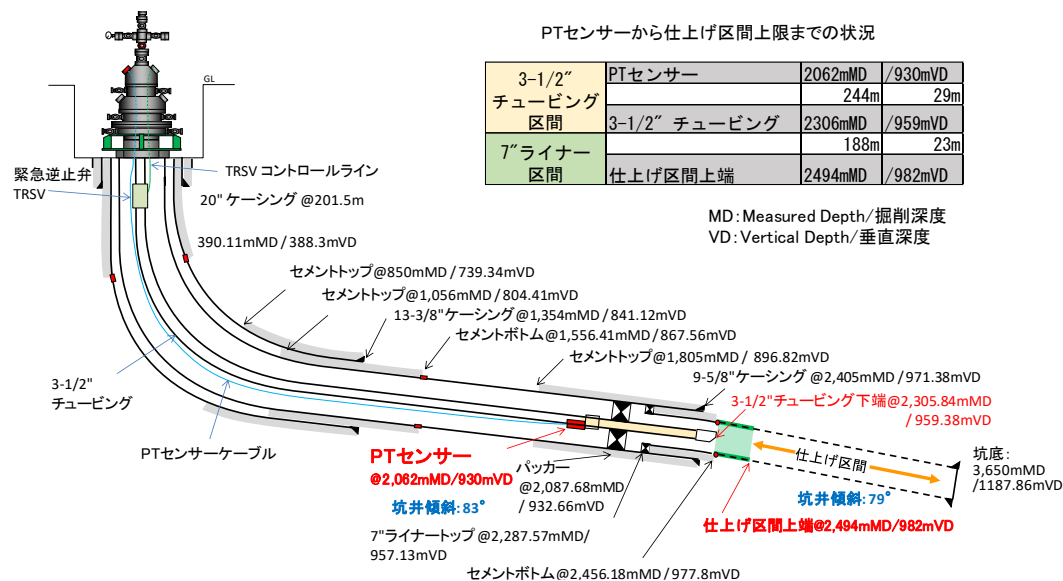


図 4.9-3 IW-2 の坑内に設置した PT センサーの位置

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低下する状況が示されている。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。2021 年 2 月 28 日時点では、坑底圧力が 9.50 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。

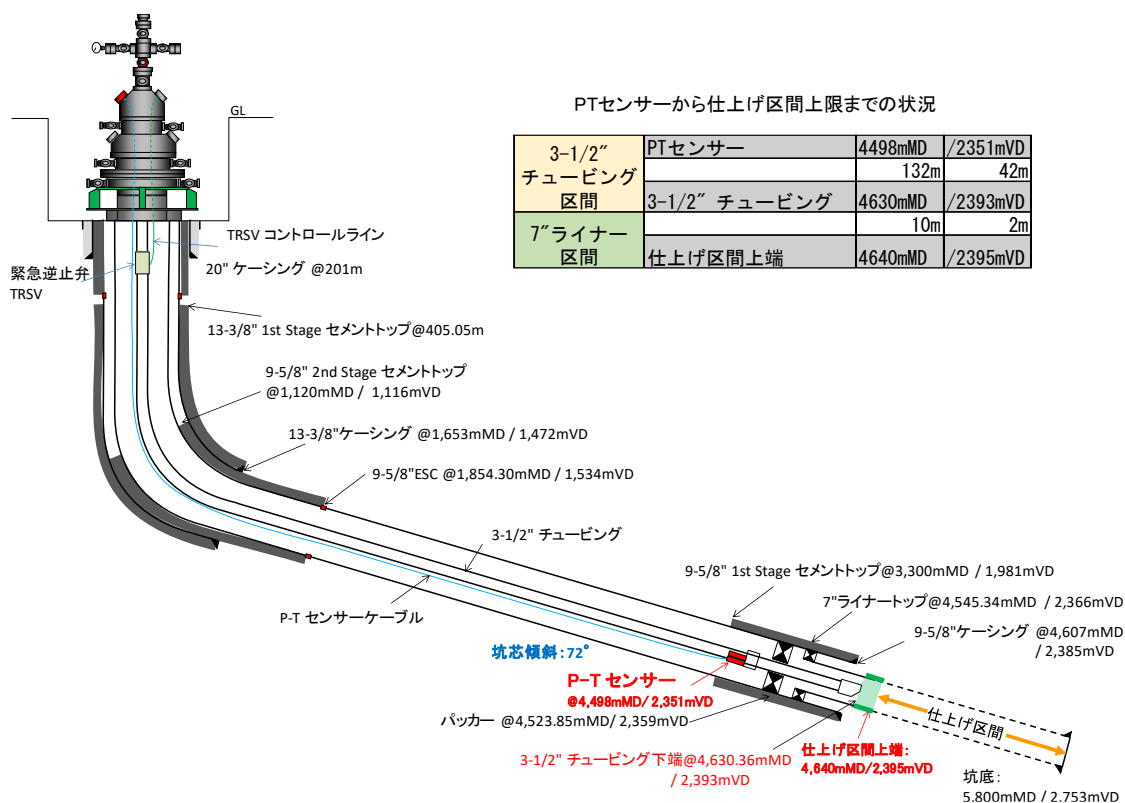


図 4.9-4 IW-1 の坑内に設置した PT センサーの位置

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 オフガス供給元のトラブルにより圧入を停止）まで実施した。圧入上限圧力の設定については、坑内のブラインを CO₂ で置換するまでは 37 MPaG、置換後には 37.5 MPaG とした。温度・圧力ともに、圧入中に上昇し、圧入を停止後は徐々に低下す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 2021 年 2 月 28 日時点で、坑底圧力は 33.35 MPaG まで下がっており、1 年間で 0.05 MPa の微減となっている。また、坑底温度は 37.4℃まで下がっており、1 年間で 1℃程度の低下となっている。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。

4.10 圧入井・観測井の維持管理

4.10.1 圧入井の維持管理

2014～2015年度に掘削・仕上げた2坑の圧入井を用いて2016～2019年度にCO₂の圧入を実施した。2019年11月22日に累計CO₂圧入量30万tを達成し圧入を停止し、2020年度は圧入後モニタリングを継続実施した。2016年度から2020年度までの圧入井の維持管理に関わる作業概要を示す。

(1) 滝ノ上層圧入井 IW-1

① 2019年度までの維持管理作業概要

滝ノ上層圧入井 IW-1 の2016年度から2019年度までの維持管理作業の概要は表4.10-1に示す通りである。

CO₂試験圧入前の2016年11月に坑口装置のマスターバルブのステム部からのブライン漏洩が生じ、ステムのパッキンの増し入れや入れ替え等の処置が成された。CO₂試験圧入後の2019年2月には、同じくステム部からCO₂の微少漏洩があり（計量による漏洩レートは10 L/d以下）ステムのパッキンの入れ替えを行った。同作業中にマスターバルブ内部シールの微少漏洩が確認された。

2020年3月にモニタリング期間中の坑井の安全性確保のため、深度（地盤面高さを0 mとした深度、以下同じ。）55.82 mに設置された坑内緊急遮断弁である TRSV（Tubing Retrievable Safety Valve）上部ランディングニップルへのスリックラインによるプロングプラグタイプの保安プラグの設置を計画した。保安プラグの設置後、引き続き TRSV のフラッパーを閉じ、これらを坑内圧力遮断のためのバリアとして、内部シールの微少漏洩が確認されていたマスターバルブの取り替えを行う予定であった。しかしながら、保安プラグの設置準備作業において、TRSV のフラッパーが閉となるべき状態での坑内圧力の漏洩が大きいことが判明し、ファンクションテスト（コントロールラインへの加圧・脱圧）を繰り返し実施したものの、フラッパーが正常に開閉していることが確認できなかった。チュービング内部に異物等による障害が無く、保安プラグを安全に降下できる状況であることを確認するためには、保安プラグの設置に先立ってゲージカッターをスリックラインにて降下する必要があるが、この際、ゲージカッターが TRSV のフラッパー部を通過する可能性があり、フラッパーが完全に開いていない場合、ゲージカッターは降下できるが、巻き上げ時に、フラッパーにゲージカッターが引っ掛かり回収不能となる可能性がある。このようなリスクは許容できないため、保安プラグの設置とその後予定していたマスターバルブの取り替え作業を中止した。また、2020年3月の作業では、坑口装

置の緊急遮断弁であるSSV（Surface Safety Valve）がサプライエアーを排出しても閉じない状況となっており、メーカーでの整備が必要であることも判明した。

表 4.10-1 滝ノ上層圧入井 IW-1 の 2019 年度までの維持管理作業概要

	圧入井の状況	事象	維持管理作業	備考
2015	2月 掘削作業終了			
2016		11月 MVステム部からの漏洩（ブライン）	11月 パッキン増入	
2017			2月 パッキンセット&パッキン入替	
2018	2月6日～23日 CO ₂ 試験圧入 7月31日～9月1日 CO ₂ 試験圧入			
2019		2月 MVステム部からの微少漏洩（CO ₂ ）	2月 パッキン置換	MV内部シール微少漏洩
2020			3月 保安プラグ設置(中止)	TRSV機能不全の可能性 SSV固着

注) MV:マスターバルブ

② 2020 年度の維持管理作業概要

2020年11月に TRSV 上部ランディングニップルへのプロングプラグタイプの保安プラグの設置を実施した。2020年3月に保安プラグの設置作業を中止した経緯から、保安プラグの設置に先立って降下されるゲージカッターが TRSV のフラッパー部を通過しないような措置を講じた。ゲージカッター上部に外径を大きくしたスタンドオフツールを取り付け、ゲージカッターがフラッパー直上に達した際に、スタンドオフツールが TRSV 上部のランディングニップルに載りそれ以深の降下ができないようにする措置である。

圧力計の点検・校正を年1回実施しており、2020年11月に点検・校正済の圧力計への取り替えを実施した。

1日に1回の日常巡視では、坑口装置状況の目視点検および現場指示計における内外圧の確認を実施し、月1回の定期巡視においては更に坑口装置バルブのパッキン充填状況の確認を実施した。これらの巡視において、坑井健全性に関わる異常は確認されなかった。

(2) 萌別層圧入井 IW-2

① 2019年度までの維持管理作業概要

萌別層圧入井 IW-2 の 2016 年度から 2019 年度までの維持管理作業の概要は表 4.10-2 示す通りである。

2017 年 2 月からの CO₂ 本圧入後、2017 年 3 月に坑口装置のマスターバルブのステム部からの液体の微少漏洩が発見された。その後 CO₂ の微少漏洩が確認され、ステムのパッキンの増し入れの処置が成された。同作業中にマスターバルブ内部シールの微少漏洩が確認された。更に、2017 年 7 月にマスターバルブのステムを取り出しパッキンおよびパッキンセットの入れ替えを行った。この際、パッキンセットを高温仕様から通常温度仕様に変更した。

2018 年 7 月に、内部シールの微少漏洩が確認されていたマスターバルブの取り替えを行った。同作業中に坑口装置の SSV 内部シールの微少漏洩も確認された。

マスターバルブのステム部からのグリス油分の微量押出が生じたため 2019 年 12 月にステムのパッキンの増し入れを行った。同作業において、マスターバルブ内部シールの微少漏洩が確認された。

2020 年 3 月にモニタリング期間中の坑井の安全性確保のため、深度 51.02 m の TRSV 上部ランディングニップルへのスリックラインによるプロングプラグタイプの保安プラグの設置を実施した。保安プラグ設置後、引き続き TRSV のフラッパーを閉じ、これらを坑内圧力遮断のためのバリアとして、内部シールの微少漏洩が確認されていたマスターバルブの取り替えを行った。

表 4.10-2 萌別層圧入井 IW-2 の 2019 年度までの維持管理作業概要

	圧入井の状況	事象	維持管理作業	備考
2015	6月 掘削作業終了			
2016	4月6日～5月24日 CO ₂ 試験圧入			
2017	2月5日～CO ₂ 圧入開始	3月 MVステム部から微少漏洩（液体→CO ₂ ） 12月 MVステム部からの液体滲み	3月 パッキン増入 7月 パッキンセット&パッキン入替	MV内部シール微少漏洩 BPVシールリング坑内に遺留
2018			7月 MV取替	BPVシールリング坑内に遺留 SSV内部シール微少漏洩
2019	11月22日 30万トンCO ₂ 圧入達成	11月 MVステム部からのグリス油分の微量押出	12月 パッキン増入	MV内部シール微少漏洩
2020			3月 保安プラグ設置&MV取替	

注) MV:マスターバルブ、BPV:バックプレッシャーバルブ

② 2020 年度の維持管理作業概要

2020年3月に取り外したマスターバルブの漏洩原因調査を実施し、内部シールの微少漏洩の原因は、弁体とバルブボディ側シート間のメタル-メタルのシール面にできた微少な傷であることが判明した。

圧力計の点検・校正を年1回実施しており、2020年11月に点検・校正済の圧力計への取り替えを実施した。

日に1回の日常巡視と月1回の定期巡視を滝ノ上層IW-1と同様に実施したが、坑井健全性に関わる異常は確認されなかった。

(3) 圧入井建屋・敷地

① 2020 年度の維持管理作業概要

圧入井建屋の滝ノ上層圧入井IW-1圧入ライン入口部の小動物侵入防止用金網に腐食による穴開きが発生したため、ステンレス製（SUS304）金網への張り替えを12月に実施した。

(4) 特記事項

① 坑口装置のマスターバルブのタイプ変更について

圧入井の坑口装置にはAPI基準（Spec.6A）が適用されている。マスターバルブは炭酸ガス腐食環境を考慮した材料（Material Class CC）が選択されており、エキスパンダブルゲートバルブと称されるバルブである。エキスパンダブルゲートバルブは、バルブ全

開・全閉時にセグメントとゲートからなり“くさび”構造となった弁体が広がり、バルブボディ側シートに強固に密着してシールする構造となっている。圧入井仕上げ当初よりその後の萌別層圧入井IW-2坑口装置における2回の取り替えバルブも含め弁体とボディ側シート間のシールはメタル-メタルとなっており、このシールタイプは高温領域（-18～177℃）に対応したものである。

2020年3月に萌別層圧入井IW-2坑口装置より取り外したマスターバルブに対する漏洩原因調査の結果、内部シールの微少漏洩は、メタル-メタルのシール面にできた微小な傷であることが判明した。内部シールの漏洩リスク軽減のため、2021年度に滝ノ上層圧入井IW-1および萌別層圧入井IW-2坑口装置マスターバルブを、通常温度域（-18～121℃）で使用されているシール面が傷つきにくいソフトシール（テフロン）タイプのバルブに取り替える予定である。更に取り替え予定のバルブでは、ステム部からの微少漏洩対策としてのパッキン等の入れ替え作業がより安全に実施できるように、ステムのパッキン部への圧力を遮断するバックシート付のステムを採用する。

② バックプレッシャーバルブのエラストマーシールについて

萌別層圧入井IW-2坑口装置に対する2017年7月のマスターバルブのパッキン等の入れ替え作業、2018年7月のマスターバルブの取り替え作業に、坑内圧力遮断のバリアとして、坑口装置の付属品であるバックプレッシャーバルブをチュービングハンガー内部プロファイルに設置したが、作業後回収したところ、どちらの作業においてもバックプレッシャーバルブのシールリングが破損・落下し消失していた。

坑井内に保安プラグを設置している現況において、坑口装置に対する維持管理作業にてバックプレッシャーバルブを使用し、同様にシールリングが破損・落下し保安プラグ上部に載ってしまった場合、スリックライン機器による保安プラグ回収作業の際の大きな障害となりうる。

シールリングの破損・落下の原因は明らかではないが、可能性の一つとして、CO₂環境下でのシールリングの膨張があげられる。バックプレッシャーバルブはあらかじめリューブリケーター内に格納される。リューブリケーターを坑口装置上部に接続して、坑口装置のバルブを開けることで坑井からCO₂を流入させ、リューブリケーター内の圧力を坑内圧力と同圧とした後、バックプレッシャーバルブを降下させる。この際、バックプレッシャーバルブのシールリングが膨張し、その状態でチュービングハンガー内部プロファイルに捻じ込まれることで破損する可能性があるというものである。これまで使用していたシールリングの材質は「フッ素ゴムの一種」で、CO₂に対してより膨張の生じにくい材質

である水素化ニトリルゴム（HNBR）を採用することにより、破損による坑井内への落下リスクを軽減できる可能性がある。2020年度にHNBRのシールリングの準備を行った。

4.10.2 観測井の維持管理

(1) 2019年度までの坑井維持管理概要

2017年9月～10月に滝ノ上層観測井OB-1、萌別層観測井OB-2および滝ノ上層観測井OB-3の3坑の坑口装置バルブの点検整備を実施した。各バルブのステムパッキンの点検や補給、グリスフィッティングの取り替え、グリス給油等を行った。

(2) 2020年度作業概要

① 防食施工

観測井は設置から6年以上経過しているが坑口装置には防食施工がされておらず錆の進行が著しい状況であった。モニタリングの継続にあたり各観測井坑口装置の健全性を維持するために5月に防食施工を実施した。

② モニタリング機器点検に伴う準備作業

モニタリング機器点検に伴う準備作業として、9月に各観測井のセラー内排水と、滝ノ上層観測井OB-1および滝ノ上層観測井OB-3の作業領域の整備を実施した。また、坑口装置に取り付けられた圧力センサーの取り外し点検に合わせ防食施工部の養生を行った。

③ 坑口装置バルブの点検整備

点検のため坑内のモニタリング機器を地上に回収したタイミングに合わせ、各観測井の坑口装置バルブの点検整備を10月に実施した。各バルブのステムパッキンの点検や補給、グリスフィッティング、パッキンフィッティングスクリューの取り替え、グリス給油等を行った。滝ノ上層観測井OB-3に関しては、腐食が進んでいたゲージバルブ2式を取り替えた。

④ 定期点検

各観測井に対して月1回定期巡視を実施し、坑口装置状況の目視点検、現場指示計における内外圧の確認、坑口装置バルブのパッキン充填状況の確認を実施したが、坑井健全性に関わる異常は確認されなかった。

⑤ 敷地維持管理

不安全箇所の修繕として、滝ノ上層観測井OB-3の坑口セラーのグレーチング上部手摺の撤去と開口部の封鎖を10月に行った。