

平成 29 年度

高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する

技術開発事業

(岩盤中地下水移行評価確証技術開発)

-ボーリング調査技術の確証-

報 告 書

平成 30 年 3 月

一般財団法人 電力中央研究所

目 次

I 編 : 概要、経緯、開発目標

1. 目的
2. 研究開発の経緯
3. 平成 28 年度の成果の概要
4. 本年度の開発目標

II 編 : 本年度の研究内容

5. 廃孔及び原形復旧
6. モニタリングデータ収集・解析
7. モニタリング技術の体系化

III 編 : 成果のまとめと課題

8. 本年度研究成果のまとめ
9. 今後の課題

1. 目的	1
2. 研究開発の経緯.....	2
2.1 これまで（2000-2013 年度）の研究成果の概要	2
2.1.1 研究開発概要.....	2
2.1.2 研究成果.....	3
(1) 孔曲げ掘削関連技術.....	4
(2) 先端探知技術.....	5
(3) 共通技術.....	5
(4) 透水・採水技術.....	5
(5) 検層技術.....	6
(6) 孔内応力・力学統合測定技術.....	6
(7) 孔内モニタリング技術.....	7
(8) 弾性波トモグラフィ.....	7
2.2 ボーリング調査技術の確立（2014-2017 年度）の目標と全体計画	11

3. 平成 28 年度の成果の概要	12
4. 本年度の開発目標と実施概要.....	15
4.1 開発目標.....	15
4.2 実施概要.....	15
4.2.1 廃孔及び原形復旧.....	15
4.2.2 モニタリングデータ収集・解析.....	16
4.2.3 モニタリング技術の体系化.....	16
4.2.4 開発の審議・検討.....	16
4.2.5 実施工程.....	17
5. 廃孔及び原形復旧.....	18
5.1 無人計測システム撤去.....	19
5.1.1 無人計測システムの概要.....	19
5.1.2 各発電停止・バッテリー取り外し.....	20
5.1.3 屋外ケース（ケース A, ケース F）取り外し.....	24
5.1.4 発電機、検証設備及び設置用構造物分解.....	29
5.1.5 既存小屋上 太陽光パネル取り外し.....	30
5.1.6 風力・太陽光ポール、太陽光検証ポール アンカ部解体.....	31
5.1.7 風力・太陽光ポール、太陽光検証ポール ポール解体・分別.....	32
5.1.8 既存小屋ケース ケース C, D, G の配線分離.....	35
5.1.9 屋外配線除去・分別、及び、配管・構造体解体・分別.....	36
5.1.10 各ケース分解・廃棄物処分.....	40
5.2 モニタリングシステム回収.....	42
5.2.1 モニタリングシステムの概要.....	42
5.2.2 回収方法.....	47
5.2.3 モニタリングシステムの回収.....	52
5.3 廃孔.....	61
5.3.1 既存孔の概要及び廃孔用主要機材.....	61
5.3.2 HCD-3 孔廃孔.....	67
5.3.3 HMD-1 孔廃孔.....	74
5.3.4 作業実績.....	79
5.4 コンクリート基礎・アスファルト舗装撤去.....	79

5.4.1	コンクリート基礎撤去.....	79
5.4.2	アスファルト舗装撤去.....	87
5.4.3	埋戻し・整地.....	92
6.	モニタリングデータ収集・解析.....	94
6.1	無人計測システムデータ回収.....	94
6.1.1	無人計測システムのデータ回収.....	94
6.1.2	取得データ数の集計.....	96
6.1.3	モニタリング無人計測システムの信頼性.....	110
6.2	モニタリングデータ解析.....	111
6.2.1	取得データ.....	111
6.2.2	区間圧力データに対する影響要因.....	114
6.2.3	各影響要因と解析方法.....	115
6.2.4	解析結果.....	118
7.	モニタリング技術の体系化.....	120
7.1	モニタリングシステム.....	120
7.1.1	モニタリングシステムの概要.....	120
7.1.2	モニタリングシステムの構成.....	123
7.1.3	モニタリングシステムの実施手順.....	127
7.1.4	観測区間（裸孔区間）の選定.....	128
7.1.5	ケーシングロッド拡張.....	129
7.1.6	ケーシングロッド切断.....	130
7.1.7	ケーシングロッド引上げ.....	131
7.1.8	モニタリング装置の設置と計測の開始.....	132
7.1.9	地上システムの保守・管理.....	133
7.1.10	孔内システムの保守・管理.....	133
7.2	取得データの解析.....	135
7.2.1	影響要因について.....	135
7.2.2	BAYTAP-Gについて.....	135
7.3	地下水及びガスの採取.....	136
7.3.1	ダブルバルブポンプによる採取.....	136
7.3.2	原位置サンプラーによる採取.....	139

7.3.3	予備排水.....	141
7.4	分析・測定項目及び分析・測定方法.....	141
7.4.1	採取方法.....	141
7.4.2	分析方法.....	142
7.5	モニタリングシステムの回収.....	143
7.5.1	パッカーの収縮手順.....	143
7.5.2	モニタリングシステムの引上げ.....	144
7.6	モニタリング無人計測システム.....	145
7.6.1	モニタリング無人計測システムの概要と基本構成.....	145
7.6.2	発電システム.....	146
7.6.3	蓄電池.....	150
7.6.4	データロガー.....	151
7.6.5	通信システム.....	154
7.6.6	遠隔監視・制御機能.....	156
7.6.7	ウェブカメラ.....	158
7.6.8	システム制御.....	159
7.6.9	筐体等.....	163
7.6.10	複数の調査孔のモニタリング.....	163
8.	本年度研究成果のまとめ.....	166
8.1	無人計測システム撤去.....	166
8.1.1	無人計測システム構成機器の劣化状況.....	166
8.1.2	無人計測システムの信頼性評価.....	166
8.2	モニタリングシステム回収.....	168
8.2.1	パッカー収縮作業.....	168
8.2.2	モニタリングシステム回収作業.....	168
8.3	廃孔.....	168
8.3.1	HMD-1 孔.....	168
8.3.2	HCD-3 孔.....	168
8.3.3	コンクリート基礎・アスファルト舗装撤去.....	168
8.3.4	埋戻し・整地.....	169
8.4	モニタリングデータ解析.....	169

8.5 モニタリング技術の体系化.....	169
9. 今後の課題.....	169
9.1 モニタリング無人計測システム.....	169
9.2 モニタリングシステムの回収.....	170
9.3 モニタリング技術の体系化.....	170

図表目次

図 5.1.1-1 無人計測システム構成図.....	19
図 5.1.1-2 無人計測システム撤去作業前全景.....	20
図 5.1.2-1 各発電停止・バッテリー取り外し作業フロー.....	21
図 5.1.2-2 ケース B 充電器周辺.....	22
図 5.1.2-3 MGB_1B 周辺.....	22
図 5.1.2-4 バッテリー周辺.....	23
図 5.1.2-5 電源変換基板.....	23
図 5.1.2-6 電力センサー基板.....	23
図 5.1.2-7 ケース B ルーバ（左：左側面ルーバ／右：右側面ルーバ）.....	24
図 5.1.2-8 ケース B 蓋パッキン.....	24
図 5.1.3-1 屋外ケース（ケース A, ケース F）取り外し作業フロー.....	24
図 5.1.3-2 MGB_1A（左）及び MGB_2A（右）.....	25
図 5.1.3-3 ケース A 電源変換基板.....	25
図 5.1.3-4 ケース A 外装.....	26
図 5.1.3-5 ケース F 内結露.....	26
図 5.1.3-6 バッテリー部腐食状況.....	27
図 5.1.3-7 ケース F 電力センサー（左）、MGB_1F（右）.....	27
図 5.1.3-8 MGB_1F 内部基板外観.....	28
図 5.1.3-9 ケース F 扉.....	28
図 5.1.4-1 ポール・アンカワイヤ取り外し、ポール倒し作業フロー.....	29
図 5.1.4-2 風力・太陽光ポール（ポール倒し作業後）.....	30
図 5.1.4-3 太陽光検証ポール（ポール倒し作業後）.....	30
図 5.1.5-1 既存小屋上 太陽光パネル取り外し作業フロー.....	31
図 5.1.5-2 既存小屋上部（太陽光パネルのみ取り外し後）.....	31
図 5.1.6-1 風力・太陽光ポール、太陽光検証ポール、蓄電池アンカー部解体作業フロー.....	32
図 5.1.7-1 風力・太陽光ポール、太陽光検証ポール解体・分別 作業フロー.....	32
図 5.1.7-2 風力発電機.....	33
図 5.1.7-3 太陽光パネル.....	33
図 5.1.7-4 設置角検証用太陽光パネル.....	34
図 5.1.7-5 設置角検証用太陽光パネル配線.....	34

図 5.1.8-1 既存小屋内ケース C, D, G の配線分離 作業フロー	35
図 5.1.8-2 NC 基板 (部品実装面)	36
図 5.1.8-3 NC 基板 (はんだ面)	36
図 5.1.9-1 屋外配線除去・分別、配管・構造物解体・分別作業フロー	37
図 5.1.9-2 ステンレス設備外装 (代表: 太陽光設置角検証用)	38
図 5.1.9-3 雨量計	38
図 5.1.9-4 積雪計	39
図 5.1.9-5 日射計	39
図 5.1.9-6 風向風速計	39
図 5.1.9-7 WEB カメラ	40
図 5.1.10-1 各ケース分解作業フロー	40
図 5.1.10-2 無人計測システム廃棄設備仮置き状況	41
図 5.1.10-3 無人計測システム撤去作業完了後の全景	41
図 5.2.1-1 モニタリングシステム概念図	43
図 5.2.1-2 モニタリングシステム設置状況	44
図 5.2.2-1 ボーリングマシン (D 2 - K (Ⅲ) 92 型) 外観	47
図 5.2.2-2 回収作業概略図	48
図 5.2.2-3 パッカー収縮作業手順	50
図 5.2.2-4 モニタリングシステム回収作業手順	51
図 5.2.3-1 モニタリングシステム回収前状況	54
図 5.2.3-2 回収したミニパッカーと圧力センサー	54
図 5.2.3-3 パッカー収縮作業状況①	55
図 5.2.3-4 パッカー収縮作業状況②	55
図 5.2.3-5 回収したパッカー拡張水①	55
図 5.2.3-6 回収したパッカー拡張水②	56
図 5.2.3-7 モニタリングシステム回収状況 (全景)	56
図 5.2.3-8 モニタリングシステム回収状況①	56
図 5.2.3-9 モニタリングシステム回収状況②	57
図 5.2.3-10 モニタリングシステム回収状況③	57
図 5.2.3-11 立ち上げ管回収状況	57
図 5.2.3-12 立ち上げ管回収後の坑口状況	58

図 5.2.3-13	モニタリングシステム回収状況（パッカー⑤強引）	58
図 5.2.3-14	パッカー回収状況	58
図 5.2.3-15	回収したパッカー（パッカー⑤）	59
図 5.2.3-16	回収したパッカー（パッカー④）	59
図 5.2.3-17	回収したパッカー（パッカー③）	59
図 5.2.3-18	回収したパッカー（パッカー②）	60
図 5.2.3-19	回収したパッカー（パッカー①）	60
図 5.2.3-20	パッカー変形部（パッカー②）	60
図 5.2.3-21	回収したモニタリングシステム	61
図 5.3.1-1	HCD-3 孔概要図	62
図 5.3.1-2	HMD-1 孔概要図	63
図 5.3.1-3	HCD-3 孔主要機材配置図	64
図 5.3.1-4	HMD-1 孔主要機材配置図	65
図 5.3.2-1	キャリパー検層測定状況	67
図 5.3.2-2	キャリパープローブ	68
図 5.3.2-3	キャリパー検層結果図	69
図 5.3.2-4	プラグパッカー（ニューマチックパッカー）	70
図 5.3.2-5	プラグパッカー設置状況	70
図 5.3.2-6	プラグパッカー拡張状況	70
図 5.3.2-7	高圧セメンチング実施状況（HCD-3 孔）	71
図 5.3.2-8	碎石投入状況	72
図 5.3.2-9	碎石投入完了状況	72
図 5.3.2-10	コンクリートによる埋孔状況	73
図 5.3.2-11	コンクリート打設完了状況	73
図 5.3.2-12	埋め戻し状況	74
図 5.3.2-13	埋め戻し完了状況	74
図 5.3.3-1	セメントスラリー注入状況	75
図 5.3.3-2	追加セメントスラリー注入状況	75
図 5.3.3-3	セメンチング完了状況	76
図 5.3.3-4	掘削状況	76
図 5.3.3-5	掘削土一時仮置き状況	76

図 5.3.3-6 立ち入り禁止措置状況.....	77
図 5.3.3-7 転圧状況.....	77
図 5.3.3-8 鉄板溶接した孔口と型枠設置状況.....	77
図 5.3.3-9 埋め戻し状況.....	78
図 5.3.3-10 HMD-1 孔口コンクリート被覆、埋戻し状況.....	78
図 5.3.3-11 埋め戻し状況（転圧）.....	78
図 5.4.1-1 コンクリート基礎平面配置図.....	81
図 5.4.1-2 実寸調査状況(1).....	82
図 5.4.1-3 実寸調査状況(2).....	82
図 5.4.1-4 コンクリート基礎周辺掘削状況.....	82
図 5.4.1-5 コンクリート基礎厚測定状況.....	83
図 5.4.1-6 コンクリート基礎破碎状況(1).....	83
図 5.4.1-7 コンクリート基礎破碎状況(2).....	84
図 5.4.1-8 セーラー部破碎状況(1).....	84
図 5.4.1-9 セーラー部破碎状況(2).....	84
図 5.4.1-10 セーラー部破碎状況(3).....	85
図 5.4.1-11 セーラー部破碎完了状況.....	85
図 5.4.1-12 コンクリート塊積込状況(1).....	86
図 5.4.1-13 コンクリート塊積込状況(2).....	86
図 5.4.1-14 コンクリート塊積込状況(3).....	86
図 5.4.1-15 産業廃棄物処分場搬入状況.....	87
図 5.4.2-1 切断ライン設置作業状況(1).....	88
図 5.4.2-2 切断ライン設置作業状況(2).....	89
図 5.4.2-3 舗装切断作業状況(1).....	89
図 5.4.2-4 舗装切断作業状況(2).....	89
図 5.4.2-5 舗装厚測定状況(1).....	90
図 5.4.2-6 舗装厚測定状況(2).....	90
図 5.4.2-7 アスファルト塊積込状況.....	91
図 5.4.2-8 アスファルト撤去作業完了状況.....	91
図 5.4.2-9 摺付箇所転圧状況(1).....	91
図 5.4.2-10 摺付箇所転圧状況(2).....	92

図 5.4.3-1 準備作業状況.....	92
図 5.4.3-2 準備作業完了状況.....	93
図 5.4.3-3 埋戻し作業状況.....	93
図 5.4.3-4 転圧作業状況.....	93
図 5.4.3-5 整地作業完了状況(1).....	94
図 5.4.3-6 整地作業完了状況(2).....	94
図 6.1.1-1 無人計測システム機能ブロック図.....	95
図 6.1.2-1 上位通信取得率.....	101
図 6.1.2-2 ローカル通信取得率.....	101
図 6.1.2-3 システム取得率.....	102
図 6.1.2-4 マイクロ SD 保存取得率.....	102
図 6.1.2-5 上位通信成功率.....	108
図 6.1.2-6 Web カメラ画像部分欠損例	109
図 6.2.1-1 観測データ（全期間）	112
図 6.2.1-2 観測データ（平成 29 年度）	113
図 6.2.2-1 区間圧力データに対する影響要因.....	114
図 6.2.3-1 各観測区間水位と稚内における潮位.....	115
図 6.2.3-2 各観測区間水位と近隣 3 箇所の降水量.....	116
図 6.2.3-3 区間①水位と各種データとのクロスプロット.....	117
図 6.2.3-4 区間②水位と各種データとのクロスプロット.....	117
図 6.2.4-1 BAYTAP-G による解析結果（観測区間①全体）	118
図 6.2.4-2 BAYTAP-G による解析結果（観測区間①詳細）	118
図 6.2.4-3 BAYTAP-G による解析結果（観測区間②全体）	119
図 6.2.4-4 BAYTAP-G による解析結果（観測区間②詳細）	119
図 7.1.1-1 モニタリングシステム概要図.....	122
図 7.1.2-1 計測システム構成例（HMD-1 孔据付時）	125
図 7.1.2-2 計測システム構成例.....	126
図 7.1.3-1 モニタリングシステム設置手順.....	127
図 7.1.5-1 火工品ツールズ.....	129
図 7.1.6-1 電動カッターによる切断作業.....	130
図 7.2.1-1 区間圧力データに対する影響要因.....	135

図 7.3.1-1 チューブドラム.....	137
図 7.3.1-2 ポンプコントロールユニット.....	137
図 7.3.1-3 ダブルバルブポンプ作動原理.....	138
図 7.3.2-1 サンプラー.....	139
図 7.3.2-2 ウィンチ.....	140
図 7.3.2-3 クランプ止め装置.....	140
図 7.3.2-4 フロースルー型サンプラー断面図.....	140
図 7.4.1-1 フローセルによる物理パラメーター測定.....	141
図 7.5.1-1 パッカー収縮作業手順 (HCD-3 孔)	144
図 7.6.1-1 モニタリング無人計測システム概念図.....	145
図 7.6.2-1 賦存エネルギーの推定.....	148
図 7.6.3-1 蓄電池構成例 (HCD-3 孔向けシステムの場合)	151
図 7.6.3-2 HCD-3 孔向け無人計測システム用システムバッテリー	151
図 7.6.4-1 データロガー機能ブロック図.....	153
図 7.6.5-1 3G/4G 通信キャリア別サービス提供エリア	154
図 7.6.6-1 クラウドサーバーメニュー画面.....	157
図 7.6.6-2 計測データ表示 (現在データ)	157
図 7.6.6-3 計測データ表示 (トレンド)	158
図 7.6.7-1 ウェブカメラ画像 (左: 低解像度、右: 高解像度)	159
図 7.6.7-2 ウェブカメラによる積雪量測定.....	159
図 7.6.8-1 構成機器の動作タイミングチャート.....	161
図 7.6.8-2 システム制御フロー.....	162
図 7.6.9-1 筐体設計例.....	163
図 7.6.10-1 複数測定ポイント対応システム構成図.....	164
図 7.6.10-2 ローカル通信モジュール.....	165

表 2.1.2-1 全体研究計画.....	12
表 4.2.4-1 「岩盤中物質移行特性評価技術の確証検討委員会」委員一覧.....	16
表 4.2.5-1 平成 29 年度実施工程.....	17
表 4.2.5-2 上幌延現地研究設備撤去・原形復旧作業計画工程表.....	17
表 5.2.1-1 モニタリング装置の概要.....	42
表 5.2.1-2 観測区間一覧表.....	42
表 5.2.1-3 孔内モニタリングシステムケーシングログ（1）.....	45
表 5.2.1-4 孔内モニタリングシステムケーシングログ（2）.....	46
表 5.2.2-1 ボーリングマシン仕様.....	47
表 5.2.3-1 モニタリングシステム回収作業概要.....	52
表 5.3.1-1 HCD-3 孔のケーシングプログラム.....	61
表 5.3.1-2 HMD-1 孔のケーシングプログラム.....	61
表 5.3.1-3 HCD-3 孔主要機材一覧.....	66
表 5.3.1-4 試錐機の仕様.....	66
表 5.3.1-5 HMD-1 孔主要機材一覧.....	67
表 5.3.4-1 作業工程実績.....	79
表 5.4.1-1 コンクリート塊の運搬量.....	80
表 5.4.1-2 コンクリート塊の単位体積重量.....	83
表 5.4.2-1 アスファルト舗装撤去面積・アスファルト塊処分量.....	87
表 5.4.3-1 埋戻し数量.....	92
表 6.1.2-1 MGB_1A データ取得率.....	98
表 6.1.2-2 MGB_2A データ取得率.....	98
表 6.1.2-3 MGB_1B データ取得率.....	98
表 6.1.2-4 MGB_1D データ取得率.....	99
表 6.1.2-5 MGB_2D データ取得率.....	99
表 6.1.2-6 MGB_3D データ取得率.....	99
表 6.1.2-7 MGB_4D データ取得率.....	100
表 6.1.2-8 MGB_5D データ取得率.....	100
表 6.1.2-9 MGB_1F データ取得率.....	100
表 6.1.2-10 上位通信成功率（2017 年 2 月）.....	104

表 6.1.2-11 上位通信成功率 (2017年3月)	105
表 6.1.2-12 上位通信成功率 (2017年4月)	106
表 6.1.2-13 上位通信成功率 (2017年5月)	107
表 6.1.2-14 上位通信成功率	108
表 6.1.3-1 上位通信データ取得率	110
表 6.1.3-2 ローカル通信データ取得率	110
表 6.1.3-3 システムデータ取得率	110
表 6.1.3-4 マイクロ SD 保存データ取得率	111
表 7.1.1-1 モニタリングシステムの概要	121
表 7.1.6-1 DECT ツールの仕様	131
表 7.3.1-1 ダブルバルブポンプ仕様	136
表 7.3.2-1 サンプラーの仕様	139
表 7.4.1-1 分析・測定項目及び採取方法	142
表 7.4.2-1 分析方法	142
表 7.6.2-1 全国8箇所の賦存エネルギー推定結果	147
表 7.6.2-2 HCD-3 孔向け無人計測システムの予想消費電力	149
表 7.6.2-3 HCD-3 孔向け無人計測システム発電機	149
表 7.6.2-4 豊富町日射量予測 (NEDO HP より抜粋)	150
表 7.6.4-1 モニタリング計測システム計測点仕様例	152
表 7.6.5-1 3G 通信装置	155
表 7.6.5-2 衛星通信装置比較	156
表 8.1.2-1 上位通信データ取得率	166
表 8.1.2-2 ローカル通信データ取得率	167
表 8.1.2-3 システムデータ取得率	167
表 8.1.2-4 マイクロ SD 保存データ取得率	167

I 編 : 概要、経緯、開発目標

1. 目的
2. 研究開発の経緯
3. 平成 28 年度の成果の概要
4. 本年度の開発目標

1. 目的

高レベル放射性廃棄物処分などの地下空間利用に際しては、対象とする岩盤の地質、物理、力学、水理、地化学特性を評価することが必要不可欠であり、地下深部のこれらの特性を評価するためには、調査初期にボーリングによる調査を行うこととなっている。ボーリング掘削に際しては、地形や地質条件によってはボーリングの孔跡、すなわち方位や傾斜を自由に制御する必要が生じる。

数少ないボーリング調査による、効率的な調査を実施するために必要な、方位・傾斜を自由に制御する手法は、既存の掘削、主に石油掘削では一般にコアを採取することは行われていない。特に小口径孔におけるコントロールコアリング技術には既存技術がないため、堆積性軟岩を掘削調査するための重要な要素である「フルコア採取」技術と、孔心制御(コントロール)を両立したボーリング技術の確立は不可欠である。また、硬岩と比較して軟岩を地表から低角度で掘削する場合には、孔壁崩壊などの地質要因から発生するトラブルを防ぐために、掘削と同時に孔壁保護のための保護管(ケーシングパイプ)を挿入する必要がある。しかし、ケーシングパイプ挿入後には、孔内検層や孔内における地化学特性などの物性値を測定することが困難となる。このため、コア採取ができるコントロールドリリング掘削技術、及び掘削中の裸孔部を用いた検層や孔内測定技術の開発が急務となっている。また、ボーリングによる調査においては、断層破碎帯のような崩壊層や破碎帯、さらには逸泥層に遭遇する可能性を想定して、対応可能な技術を開発することで、ターゲットとする対象地域の選択の幅を拡げることができると考えられる。そのためにも、掘削が困難な地質条件にも対応可能な工法の検討を進めるとともに、掘削装置、治具、調査機器の高度化を進めることは重要な要素と位置づけられる。

本研究は、高レベル放射性廃棄物処分場の概要調査地区選定、及び精密調査地区選定段階でのボーリング掘削技術、及び孔内における各種調査技術の開発に主眼をおいて実施するものである。すなわち、各段階において地質・地下水調査を行うための効率的なボーリング掘削技術や、掘削した孔井内の地質・地下水調査技術を開発する。特に、①ボーリングの方位・傾斜を自由に制御する技術、②ボーリング先端の 3 次元位置を探知する技術、③原位置雰囲気のコアを採取する技術、④掘削とあわせて検層や測定を可能にする技術、⑤掘削後の孔井内を利用した物理探査技術、⑥掘削後の地下水環境のモニタリング技術などを開発、もしくは高度化し、それらの現地実地盤における適用性を検討するこ

とにより、コントロール掘削及び水理地質調査技術を体系化するものである。

2. 研究開発の経緯

2.1 これまで（2000-2013 年度）の研究成果の概要

コントロール掘削及び調査技術の開発は、2000 年より開始している。この研究開発は大きく 3 つのフェーズに区分して実施されており、フェーズ 1 として 2000 年度～2004 年度（平成 12 年度～平成 16 年度）、フェーズ 2 として 2005 年度～2007 年度（平成 17 年度～平成 19 年度）、フェーズ 3 として 2008 年度～2013 年度（平成 20 年度～平成 25 年度）を設定し、掘削・調査技術の体系化を図ってきた。

2.1.1 研究開発概要

本研究開発は、高レベル放射性廃棄物処分場の地点選定時、特に地表からの調査時点でのボーリング掘削技術と孔内での各種調査技術の開発を主眼としている。個々の掘削、調査に関わる機器開発を行い、総合システム化することにより、コントロール掘削と水理地質特性の調査、評価手法の体系化を目指す。本研究開発の最終目標は、(1) コントロール掘削及び孔内の各種調査に関する機器開発を行い、これらをシステム化すること、(2) 開発したシステムにより堆積性軟岩地域において垂直深度 500m、掘削長 1,000m の孔井を掘削し、その孔井内において各種調査試験を実施すること、(3) 機器開発や現地での適用性の検討を通じて得られた知見をまとめることにより本技術の体系化を図ること、である。

開発目標(1)に関しては、掘削、調査システムを 4 つの要素技術(①孔井曲げ掘削技術、②先端探知技術、③コア採取技術、④孔内計測技術)に区分し、それぞれの要素技術ごとに概念設計した上で 4 つの技術の整合性を確認し、それぞれの要素技術に関する機器開発を行った。孔内計測技術に関しては、掘削時検層、孔内透水試験、孔内採水、孔内応力測定、孔内力学測定、孔内間隙水圧モニタリングについて概念設計を実施した後に機器開発を実施した。これらのうち、特に掘削に関する①～③に関する機器を総合化し、模擬岩盤においてその適用性を確認した。

開発目標(2)に関しては、主として掘削システム及び透水、採水試験の現地適用性検討を目的として、北海道幌延町北進地区に分布する新第三紀の堆積岩（珪藻質泥岩：声間層及び硬質頁岩：稚内層）を対象岩盤として、方向性をコントロールした掘削を孔長約 700m まで実施し、当初想定した孔跡を追跡することができた。その後、より掘削困難な事象として断層破碎帯を設定し、同様の地層中に大曲断層が分布する幌延町上幌延地区においてコントロール掘削及び孔内の各種調査を実施した。事前の調査により断層の分布正常を評価し、これに基づき孔跡を決定し掘削を開始した。想定した孔跡とほぼ同様に、孔長 1000m、深さ 450m で、孔長 750m 以深で水平となる孔井を掘削し、コア回収率はほぼ 100%であった。孔内で各種の特性調査を実施し大曲断層の特性を評価することができた。また、各種特性を調

査した後に、予め構築した手順で、マルチパッカーシステムを孔内に設置し、間隙水圧の長期モニタリングを開始した。

開発目標 (3) に関しては、コントロール掘削、調査技術の体系化を目指して、掘削、調査データの管理システムの構築及び、掘削・調査の手順書作成などを行った。

2.1.2 研究成果

2.1.2.1 掘削・調査システムの概念構築における研究成果

研究開発の大きな流れは、①文献調査、②コントロール掘削・調査の概念構築、③システム化のための要素技術を構成する主要装置の開発・試験、④適用性の確認である。

文献調査として、構成する 4 つの要素技術の現状をレビューするために国内における石油及び金属鉱床分野での文献調査、海外技術の動向を認識するための動向調査を実施し、本研究で適用させるために必要なキー技術の探索を実施した。

また、探索したキー技術を開発・高度化することで実現可能と考えられる「コントロール掘削・調査技術」の概念を構築することで、システム化に向けた 2 つのシステム編成の概念設計ができた。

構築した 2 つのシステム編成は” コントロール掘削を実施するために必要な機能を集めたもの”と” 調査を実施するために必要な機能を集めたもの”に分けた。

前者に該当するものは、先端駆動方式のモーターと掘削時計測装置 (WL-MWD) を併用するリアルタイムコントロール機能に連続コアリングを加えたものである。一方、後者に該当するものは、ワイヤライン方式で原位置測定が可能となる機能を有したものである。

この 2 つを統合化することで完成するコントロールボーリングシステムの体系化を目指すことを決定した。

以下に 2 つのシステム編成を示す。

① ワイヤライン式ケーシング追従型コントロールコアリング検層 (掘削システム)

構成システム：コントロールコアリング工法

ワイヤライン式ケーシング追従工法

ワイヤライン式掘削検層システム

主な機能：堆積性軟岩掘削に必要な孔壁保護機能

ボーリングの孔跡を自由に制御する機能

コア掘削機能

掘削中の裸孔検層機能

② ワイヤライン式孔内原位置測定 (孔内計測システム)

構成システム：ケーシング追従
ワイヤライン式原位置測定システム
主な機能：裸孔部測定機能
ワイヤライン機能
ケーシング内の装置昇降機能

2.1.2.2 主要装置開発に関する研究成果

コントロール掘削技術に必要な要素技術には、「孔井曲げ掘削技術」・「先端探知技術」・「コア採取技術」があり、それぞれを構成するために必要な主要装置の開発を実施した。さらに、掘削技術を統合するために必要な「掘削に必要な共通技術」についての開発も行った。

また、孔内計測技術に必要なキー技術としては、「検層技術」・「透水・採水技術」・「孔内モニタリング技術」・「力学測定技術」・「応力測定技術」、またその後の検討で孔内と地表間での「物理探査技術」があげられた。

(1) 孔曲げ掘削関連技術

掘削関連技術として、孔曲げ掘削技術、コア採取技術に関連する機器の開発を行い、これらと先端探知技術を統合化することにより掘削システムを構築した。

孔曲げ掘削技術に関する開発項目（機器）としては、ダウンホールモーター、拡径装置、ケーシング、ケーシング追従装置、試錐機、コア採取技術に関連する開発項目としては、コアバレル、泥水である。

これらの機器開発に際しては、効率的な開発を目指すとの観点から、既存技術の改良やダウンサイジングを主眼において開発を行った。その都度工場における性能試験を実施し、ほぼ目標の仕様を満たすシステムを構築することができたことを確認した。

孔曲げ掘削技術として、(i)断層帯掘削に必要な技術と(ii)水平孔を掘削するために必要な技術、(iii)長尺掘削に必要な技術及び(iv)コア採取に必要な技術を中心として開発・高度化を実施した。

断層帯掘削に必要な技術として、部分セメンチングを実施するための①セメントプラグの開発、さらに孔壁の崩壊、押し出し及びスライムの沈降に対して安定した圧力環境を維持するための②孔壁整形装置の開発を行った。

水平孔掘削のために必要な装置として、当初使用を検討していた GFRP ロッドに替わり③押込み補助装置（ポンプインシステム）、④水平偏距掘削に必要な治具の開発を行った。

長尺掘削に必要な技術としては、上幌延地区で大曲断層を対象に掘削する孔跡に対応する⑤現有試錐機の能力評価及び改良実施した。

コア採取関連技術開発として、⑥コアリング時のビット先端の泥水圧力低減のための改良及び⑦掘

削情報による適正な掘削管理に関する検討を行った。

これらによって開発・高度化された機器・技術は工場試験や現地での掘削においてその適用性が確認、検証された

(2) 先端探知技術

先端探知技術として、WL-MWD を開発した。測定項目は、方位、傾斜、トルク、ビット加重、孔内圧力などであり、工場試験などで、その性能を確認し、要求仕様を満足する完成度の高い測定装置であることを確認した。現地での掘削中に常時計測を実施し、磁気影響補正方法を含めてその適用性を確認した。磁気影響による方位誤差を生じるために、ジャイロシステムのスポット計測を併用した計測手法を構築した。

(3) 共通技術

掘削・調査システム統合化に必要な共通技術として、①孔内スライムの排除のための装置開発、②通信システムの改善を実施した。

孔内スライムの排除のための装置として、スライムを採取するベアラを試作し、掘削中のスライム回収及び水理試験開始前のスライム排除を目的として試作を行った。

掘削中及び孔内計測中に発生した通信エラーへの対応では、問題点を究明しエラー発生環境を改善する改良を行った。

(4) 透水・採水技術

コントロールボーリングシステムでは第三紀の堆積軟岩を対象とするため泥水による掘削が想定される。このため、泥水存在下で適用可能な透水試験装置や採水装置の開発が最大の課題であった。また、試験は掘削を中断して行うため、ケーシングの抑留を防止し、掘削工程への影響を低減するために短時間での実施が求められた。

フェーズ1では試験区間の掘削泥水でパッカーを拡張するシステムを考案し、送水ラインの除去や、その組み立てによる時間を短縮した。またパッカー拡張のために泥水対応のポンプを開発し、区間における透水試験時や採水時の揚水作業への共用を可能とした。採水装置の開発では掘削水を排除し、採水のタイミングを計るため、採水区間から揚水しながら水質をモニタリングし、区間から泥水が排出され地下水に置換される状況をケミカルセンサーで検知可能とした。

フェーズ2ではフェーズ1で開発した試験区間の掘削泥水でパッカーを拡張するシステムを生かし、コア孔のみならず、拡張孔においても適用可能とした。また、音響によるイメージング装置を開発した。これにより、試験箇所ならびにパッカー拡張箇所の岩盤状況を事前に確認することが可能となった。採水装置の開発では掘削水を排除し、採水のタイミングをより正確に計るため、孔内水に混入されているトレーサーを原位置で計測できるシステムを装置内に設置した。これによって、採水時の掘削

水の混合量が定量的に把握でき、原位置での採水時の泥水の混入が定量的に判断することが可能となった。

フェーズ 3 ではより透水性の低い岩盤での透水試験を可能とするためシリンジポンプを実装したと透水試験ツールを開発した。また、任意の割れ目などを対象に透水試験や採水を行うため、ダブルパッカーの開発を行った

(5) 検層技術

LWD プローブは、開発当初の強度目標値を上方修正し、プローブの圧縮荷重 8000kgf、引張荷重 8000kgf、ねじり 180kgf-m に変更し、強度試験を行い問題ないことを確認した。可動部(電磁波検層及びマイクロ電気検層センサーの搭載部)は、昇降作業時のセンサー部破損の危険性を少なくするため、構造の改良を重ね、昇降時に破壊されないことを確認した。

音波検層、電磁波検層、マイクロ電気検層、自然ガンマ検層については掘削時の適用試験を行い、掘削状態での各種測定を行うことができた。

音波検層は掘削ノイズ音で入力信号が飽和してしまう不具合が生じたが、その後の感度やフィルタ一定数の調整により改善できた。電磁波検層は可動部の構造変更をするため、アンテナ部をさらに小型化し正常に測定できた。マイクロ電気検層は配線部分の断線が起こったが、配線の固定方法を改良し正常に測定できた。自然ガンマ検層は現地適用試験で正常に測定することができ、従来の検層プローブとの比較試験も行い動作に問題が無いことが確認できた。

以上、孔内での掘削動作でプローブは破損せず、各検層種目の動作を現地適用試験で確認でき、WL-LWD サブシステムとして正常に動作することが確認できた。

フェーズ 2 では、フェーズ 1 で試作した WL-LWD サブシステムの高度化を図るため、1)断層破碎帯での動作確認及び掘削時計測の適用性を目標とした現地適用試験、2)長期的測定環境での信頼性向上と可動部の耐久性、信頼性の向上を目標としたシステムの試作・改良、3)データ処理ソフトウェアの試作とデータ解析ソフトウェア(自動読み取りソフトウェア)の検討を目標としたデータ処理ソフトの検討、を行った。

現地適用試験では、2 箇所の深度区間において掘削時計測を行い、断層破碎帯の 20m 区間において連続計測が可能であることを確認した。また、システムの改良では、電気回路予備基板の試作、一部基盤の小型化、地上装置処理能力の向上を行い、耐久性の向上を図るパッド部の基本的な改造案を検討した。さらに、各検層項目のデータ処理ソフトウェアと、電磁波検層のデータ解析ソフトウェア(初動の自動読み取りソフトウェア)を試作し、その実用性を確認した。

(6) 孔内応力・力学統合測定技術

本測定技術は、第 1 フェーズでは孔内応力測定装置、孔内力学測定装置として個別にコントロール

ボーリングに適用する前提で、コントロールボーリングに適用するための要素技術の開発を行った。要素技術の主なものは、孔内力学測定装置では孔壁変形の測定法、拡孔装置の開発など、孔内応力測定装置では亀裂計測センサー、孔内で駆動できる高圧ポンプなどである。

第2フェーズでは両装置を統合化してコントロールボーリングに適用することを目指した。それは、孔内力学装置で用いる孔壁載荷用のパッカーと孔内応力装置で用いるダブルパッカーの1つとの兼用、またそれらの駆動ポンプなどの兼用により、より合理的な測定装置とすることができるためである。さらに、ボーリング孔内での装置の上げ降ろしの時間短縮の効果も見込まれるためである。そして第3フェーズの前半までには、統合化装置を用いて相模原ジオドームで浅孔での機能検証試験を複数回行い、統合化装置として基本的に検証した。なおこの時点の統合化装置はまだコントロールボーリングに適用できず単独で用いるものである。第3フェーズの後半では諸制約から孔内応力測定装置のみをコントロールボーリングに適用することとして開発を行い、2012年度にはコントロールボーリングに必要な送り込み装置やラッチシステムなどの機器も含めて浅孔などで機能を検証した。横須賀地区の旧防空壕を用いた浅孔にて原位置試験を実施し、岩盤応力評価に必要なデータを本装置により取得することができた。

(7) 孔内モニタリング技術

①CP切断技術、②CP荷重の負担方法、③パッカーとCPの接続技術及び④パッカーの形式の4つの開発課題について、それぞれ検討、設計・試作・試験及び、模擬孔での適用性試験を踏まえて適用技術を絞り込み、パッカーシステムとその設置技術の基本設計を確立し、パッカーシステムの設置概念を構築した。

モニタリングシステム設置概念を、開発中であったパッカーシステムに代えてSPMPタイプのシステムを用いるように再構築した。この概念に基づくシステムを設計・試作し、これを模擬孔井と試験用孔井HMD-1孔（掘削長81m、傾斜35°）に設置及び試験運用し、その適用性を確認した。HMD-1孔では、地下水サンプリング（計4回実施）及び水圧データの取得（約2年11か月分）を通じて、その仕様、性能等を確認した。

これらによって、長期間の水圧、水質を観測可能なモニタリングシステム及びその設置方法を開発し、堆積軟岩の実岩盤における傾斜孔での適用性を確認することができた。

本システムについてはHCD-3孔の各種試験が終了した後、孔内深部に複数箇所の計測区間を設置し長期計測（3年程度）を実施し、システムのメンテナンス方策、計測精度の評価に資するためのデータを採取する計画としている。

(8) 弾性波トモグラフィ

コントロールボーリング孔井を利用した、地表ー孔井間のジオメトリによる弾性波トモグラフィ

に関する技術開発を目的に、震源やデータ収録システムに関する検討・製作を行った。そして、現地での適用性を検討するとともに、HCD-3 孔周辺における詳細な地質構造の評価を行うためのデータ取得実験を行った。その結果、バイブレータ震源とハイドロフォンアレイツールとの組み合わせにより、水平区間を含む地表-孔井間のジオメトリで、初動走時トモグラフィのデータ処理・解析に資する品質のデータを取得できる見通しを得た。

2.1.2.3 現地適用性検討に関する研究成果

構築したコントロールボーリング掘削、調査システムの適用性を検討する目的で、北海道幌延町北進地区において、孔長 700m 級の孔井を掘削し、孔内及びコアによる試験を実施した。計画した孔跡とほぼ一致した掘削をすることができた。

2004 年度には 300m 以深で大量の逸泥区間に遭遇したため、逸泥対策を施しながら掘削した。150m 以深ではコア掘削を実施したが、逸泥区間の一部でノンコア掘削となった。2005 年度には、掘削に先立ち前年度までの逸泥区間を限定し、セメンチングによる逸泥対策を実施した後、547m～706m 区間のコントロールコアリング掘削を実施した。最終方位は NE31.36°、傾斜は 64.93°であり、コア採取率は 100%とほぼ当初計画とおりの掘削を実施することができた。掘削時の 406.6～410.6m、530.6～535.6m 区間において WL-LWD を、634.418～636.800m、702.200～706.000m の区間において透水試験・採水を行い、採取したコアの地質観察や各種試験を実施した。

透水試験・採水ツールは北進地区において 2003 年度から 2005 年度の 3 年間で 6 回の原位置試験を行なった。2003 年度から 2004 年度の原位置試験ではシステムのハンドリング及び基本動作とともにポンプの耐久性を確認した。2004 年度からは透水試験ツールと採水ツールによる適用試験を開始し、開発したツールで透水性が得られること、泥水を排除しつつ採水か王であることを検証した。また、これらの実際の試験を通して透水試験・採水の手順を確定した。

上幌延地区の試験では HCD-3 孔において 11 回の透水試験と 2 回の採水を実施した。音響イメージングツールの適用では、孔内の割れ目の判別が可能であり、試験位置の選定に資するが可能であった。原位置トレーサー濃度測定システムの適用では、濁度計測によって清水となるまで実施した場合、検知可能なトレーサーの濃度よりも低下していること、一方、十分に濁度を低下させないで採水した場合は、土粒子により分光光度計によるトレーサー濃度が十分な精度で得られないことが明らかとなった。またシリンジポンプを用いた透水試験では 10^{-11} m/s オーダーの透水性を評価した。以上の開発装置の適用性を確認しつつ、毎回原位置試験では透水試験、採水をフローに沿った手順で実施し、ツールのハンドリング技術及び透水試験、採水技術の向上を果たした。最終段階として、コントロールボーリング孔での一連の透水試験、採水試験によってシステム全体の有効性を検証した。

LWDについては、音波検層では、コア試料による計測値と大局的な整合性はあるが、破碎帯及び節理の検出がほとんどできていない結果となった。電磁波検層は破碎帯及び節理を比誘電率の高い異常部として検出できた。マイクロ電気検層でも、破碎帯及び節理を低比抵抗異常部としてとらえることができた。自然γ線検層は、計測区間での岩種がほぼ均質であったため、岩種の相違による妥当性を評価できなかったが、工場敷地内の試験孔において他社ツール(物理計測製)との対比でその整合性を確認した。

コア観察・試験については、採取されたコアによるコア観察、測定、分析などを実施し、地域の地質、水理、地下水地化学、岩石物性などの特性を評価することができた。

2005年度には、北進地区のコントロール掘削に並行して新たな掘削対象である断層・破碎帯の分布を考慮し、上幌延地区において反射法地震探査を実施し、得られた反射断面より地質構造及び断層の分布位置を推定し、これに基づき掘削孔跡及び掘削候補個所を選定した。2006年度よりHCD-3の掘削を開始した。孔口から掘削長200mまでは傾斜35°沿角のノンコア掘削、200mより740mまでは偏角率1°～1.27°/10mのコントロールコアリング掘削を実施した。740mの孔底での水平(傾斜90°)となったため、その後は水平を維持して掘削し、孔長800mからは、水平を維持して、西に偏角率0.5°/10mで水平偏距掘削を実施した。最終方位はSE39.43°(計画方位SE40.82°)、最終傾斜は84.60°(計画傾斜86.19°)であり、掘削区間のコア採取率は断層を掘削したにも拘らずほぼ100%となった。

掘削時の318.15～335.60m、571～644m区間において掘削中に検層(WL-LWD)を実施した。208.943～210.500m、317.74～328.00m、371.604～400.00m、430.684～489.60m、568.684～631.00m、681.300～690.700m、773.65～800.00m、809.01～840.00m、834.48～880.00m、901.83～950.40m及び942.60～1000.00mの11区間において透水試験をまた一部区間において採水を行い、採取したコアの地質観察や各種試験を実施した。

現地における掘削、調査により得られたデータにより、各々の地区の地質環境特性を評価した。

北進地区においては、掘進長180～200m区間で声間層から稚内層に漸移している。上部から下部にかけて圧密の影響を受けて深部に従い間隙率は若干小さく、密度は若干大きく、弾性波速度は速くなる傾向にある。コア間隙水の水質はNa-Cl型を示しているが、掘進長350m～550mの存在する逸泥区間を境に上部では2000～3000ppm、下部では5000～9000ppmと急激に上昇する。逸泥の原因と想定される割れ目帯はリニアメント分布と地表調査から褶曲を胴切りするWSW-ENE系統の横断断層と推定され、この断層系が本個所の地下水流動を支配している可能性がある。

一方上幌延地区では、深度(掘削長)210mから1000mの区間に28条の断層帯が確認できた。反射法から推定される大曲断層に相当する個所にf3からf14の断層帯が集中することなどから、反射法とコアから推定する断層が整合的であること、コア観察から地下では大曲断層により稚内層同士が接して

いることが確認できた。

岩石コア試料などの透水試験の結果に比べ、孔内試験の結果はいずれも大きな透水性を示しており、これが割れ目に起因すると考えられる。断層内部と断層周辺（逸泥箇所を除く）いずれも低い透水性を示すが、断層内部がその周辺岩盤に比べて若干低い透水性を示すことから、断層内部には角礫や割れ目が多く発達するものの、周辺の断層影響帯の岩盤に比べさらに透水性が低く、粘土化することにより割れ目が閉塞して透水性が低くなっていると推察される。

孔内透水試験時に計測した区間間隙水圧の分布からは、断層の下盤で最大の間隙水圧（水頭で 68m）を示しており、210m の逸泥区間及び孔底に向かって圧力が低減する傾向が認められる。

水質は Na-Cl リッチであり、その濃度は海水のおおよそ 1/4 程度である。全体として濃度の深度依存性は認められない。また、断層の内部や断層を境にした水質の変化は認められない。地下水の地化学特性からは、地下 200m 以深の地下水は、地表からの天水の侵入の影響を大きくは受けていないこと、断層に支配された水の動きを示していないと推察される。

以上から、断層は地下水流動を大きく支配はしていないが、圧力を保持する機能を有していることが推察される

コントロールボーリングでは脆弱な地質においてもコアを採取することができ、これらのコアから堆積岩特有の特性（地質性状、コア間隙水（水質）、コア透水性、物理、力学特性）などを連続的、断続的に効率的に取得することができる。これらのデータ及び孔内で取得されるデータを併せて地域の地質環境特性を評価することができた。

2.1.2.4 掘削・調査の体系化に関する研究成果

(1) 統合化データベース構築

コントロールボーリングで取得される多種多様な掘削・調査データを効率的に一元管理し、統合化を図るためのデータベースシステムについて検討し、データベースの構築とこれに付随するシステムの要素技術の開発を実施した。

現地適用試験において当システムの長期的な運用試験を行った結果、実際の掘削・調査データのデータベース化、ならびにインターネットを利用したデータベースの共有化が可能であり、データベースシステムとしての所定の性能を有することを確認した。ただし、ネットワーク帯域が不足するために、しばしば情報閲覧に支障をきたすことがあった。このため、サーバーを外部サイトに設置し、試験サイトとのデータを随時サーバーに転送し、外部閲覧者は外部のメインサーバーにアクセスすることによりスムーズに閲覧が可能となるとともに、冬季に試験サイトが閉鎖される際にも、データ閲覧が可能となった。

(2) 掘削・調査フローの構築

フェーズ 1 で構築したコントロールボーリングによる体系的な掘削・調査フローをフェーズ 2 及び 3 における掘削・調査の実績を考慮し改良した。また、最終年度にこれまでの実績や知見に基づき、掘削・調査に係るより詳細な作業手順書や基本的な考え方を作成した。

(3) 掘削・調査データの活用

統合化データベースに蓄積される掘削・調査データを掘削管理や調査地点周辺の地質環境特性評価に活用する方法について検討した。

コントロール掘削では、地下の原位置で掘削に係わる各種情報を MWD によって取得しており、通常のコベンショナルな掘削での掘削情報に比べて高品質なデータが取得できる。この観点から、MWD によって取得されたデータの活用を目指して以下の検討を実施した。

①WL-MWD の掘削パラメーターから掘削指標値を求め、コアの物性データとの比較により適用性を検証した。その結果、掘削指標値は岩石強度との間に相関がみられ、指標値となる見通しが得られた。また、地球統計学的手法により掘削・調査データを空間的に統合化し、地質モデルを作成した。事前調査データから作成した初期地質モデルに、原位置で得られる掘削データを反映し、ボーリング孔周辺部の詳細な地質物性分布を与える概要地質モデルを作成した。

②MWD の孔内圧力データなどから逸泥個所を感知し、これにより水理試験区間の設定をサポートするシステムを構築するために、MWD データの解析に着手した。HCD-3 孔井におけるデータ解析を実施したが、これまでに逸泥と MWD データに関連は認められ得ない。MWD データには各種のノイズが想定されることから、これらをフィルタリングして、精度のよいデータに加工し、このデータをもとに再度検討することとした。

(4) 危機管理

断層帯掘削時に遭遇する主な危機として、「孔壁崩壊」、「コア採取率低下」、「逸泥発生」を想定し、危機発生の早期発見と初期回避を実施するため、対応手順の構築を行った。また、初期回避ができず想定危機に遭遇した場合の対応策についても検討し、これらを統合化することにより、危機対応フローを構築した。

2.2 ボーリング調査技術の確立（2014-2017 年度）の目標と全体計画

前述したように、コントロール掘削及び調査技術の研究開発はおおよそ 2013 年度までに終了した。本設定期間では、2013 年度に孔内に設置したマルチパッカーシステムによる長期モニタリングを実施し、コントロール掘削孔における長期モニタリング技術の体系化を目指す。また、掘削・調査用に設営されていた地上設備ならびに研究終了後のボーリング調査孔等の研究設備を地元、地権者との約束に

基づく期日までに安全に撤去し原形復旧する。

本技術開発においては、以下の 2 項目を実施する。

- (1) 地上設備の撤去（廃孔を含む）
- (2) 孔内長期モニタリング
 - ・データ取得及び解析方法の検討
 - ・維持・管理手法の検討
 - ・無人計測システムの設計・製作・設置及び運用
 - ・体系化

全体計画を表 2.1.2-1 に示す。

表 2.1.2-1 全体研究計画

		2014 (H26)	2015 (H27)	2016 (H28)	2017 (H29)
設備の設置・撤去		⇔ 地上設備撤去			⇔ 廃孔・撤去
孔内長期モニタリング	データ取得 解析方法検討	←—————→			
	維持・管理手法の 検討	⇔	⇔	⇔	
	無人計測システム	⇔ 設計・製作・設置	⇔	⇔ 運用	
	体系化				⇔ 取り纏め

3. 平成 28 年度の成果の概要

平成 25 年度にコントロール掘削孔井 HCD-3 孔井に設置したマルチパッカーによる孔内長期モニタリング装置により間隙水圧の計測を開始した。平成 26 年度から平成 28 年度は間隙水圧を継続して計測した。コントロール掘削孔井 HCD-3 孔における孔内長期モニタリング装置、いわゆるスタンドパイプマルチパッカー型のモニタリング装置では、ダブルパッカーにより区切られた観測区間は地上まで立ち上げた中空のパイプ（スタンドパイプ）と連結されており、区間の間隙水圧と平衡となるスタンドパイプ内の水位を計測することにより区間の間隙水圧を換算することができる。HCD-3 孔では、孔長約 200～260m の間に 3 つの計測区間（区間①：249.45～257.45m、区間②：210.95～215.95m、区間③：

208.45～209.95m)を設定した。各区分ともに水頭が地上より数m高く、スタンドパイプより湧水するために、スタンドパイプの上部にミニパッカーを設置して遮水し、ミニパッカーの直下に圧力センサーを設置して間隙水圧を測定している。

平成27年度からはさらに地下水水質のベースラインを把握する目的で、間隙水圧測定用に設定した3区分のうち区分③において、地下水及び溶存希ガスの採取、分析を開始した。採取された地下水の一般水質及び酸素、水素同位体比については徐々に原位置地下水の水質に近づいているものの、掘削水影響の指標となるトレーサー濃度がほぼ掘削水と同程度の濃度を示しており、未だ掘削水の影響が残っていると判断した。上記の作業を実施することにより各種の知見を得ることができ、それに基づきコントロール掘削井を利用した孔内長期モニタリングの体系化を目指し、平成28年度は以下の項目を実施した。

- ① 孔内モニタリングシステムの保守、管理
- ② 計測データの取得及びデータの解析
- ③ 地下水及びガスの採取・分析
- ④ モニタリング無人計測システムの運用とそのシステムの信頼性評価
- ⑤ モニタリング技術の体系化

(1) 孔内モニタリングシステムの保守、管理

現地での採水作業に併せて孔内モニタリングシステムの保守、管理作業を2回実施した。

マルチパッカーはパッカー加圧ラインが地上まで通っており、ライン内圧力を圧力計及び圧力センサーにより計測している。現地入場時に圧力計による指示値を確認し、データロガーからデータ回収後に圧力センサーによる指示値を確認した。長期的なトレンド及び気温変化に起因すると考えられる日変化が確認されたが、一定圧力を保っており遮水性能に問題ないことを確認した。

平成26年度に認められたミニパッカー圧力の低下については、翌年度区分ごとに独立した加圧ラインに切り替えるとともに、圧力低下が大きい区分については加圧媒体を窒素ガスから不凍液に切り替え、さらに継続的に圧力をコントロールするための加圧ラインへのアキュムレータの取り付けによる改修を実施したことにより平成28年度は安定した圧力を保持することができた。

(2) 計測データの取得及び解析

計測対象は(1)観測区分①の圧力、(2)観測区分②の圧力、(3)観測区分③の圧力、(4)パッカー1及び2の圧力、(5)パッカー3の圧力、(6)パッカー4及び5の圧力、(7)大気圧、(8)観測小屋内温度、(9)外気温である。計測データは3G回線(電話回線)によって転送されたデータを外部サーバー上でダウンロードすることにより取得した。

取得された区分圧力(間隙水圧)に対する外部からの影響要因について検討した。

本システムでは各スタンドパイプにミニパッカーを設置しており、直接的な大気圧の影響は遮断している。そのため大気圧による影響はないと考えられ、各区間水位と大気圧のクロスプロットからも影響を受けていないことが明らかであった。観測データに潮汐の影響が表れている箇所が見られ、解析によりその影響を取り除くことが望ましいと考え、BAYTAP-G による解析を実施し、区間圧力から潮汐成分を除去することができた。

降水による各観測区間水位への影響について検討するため、近隣3箇所（天塩、幌延、豊富）で観測されているアメダスデータと各観測区間水位を比較した。その結果、降水による区間水位への明確な影響はないと考えられた。

区間②における区間間隙圧はミニパッカー圧力との相関及び大気圧との逆相関の傾向がみられた。区間②ではミニパッカーに微細な漏えいが起こっており、その対策としてアキュムレータを接続している。アキュムレータは観測小屋内に設置し、窒素ガスを充てんしているため、外気温の影響を受けて変動し、これがミニパッカーに作用するとともに区間圧力に影響を与えていると考えられた。

(3) 地下水及びガスの採取・分析

地下水水質については、ボーリング掘削時に採水、分析を実施することが一般的であるが、掘削水の影響が懸念されることにより、長期的に水質をモニタリングすることにより掘削水の影響を極力除いた初期的な水質を評価することが望まれる。

地下水及び溶存ガスの採取は掘削時に逸泥が確認された区間③において2回（2016年7月及び11月）実施した。平成27年度の結果、採取された地下水のトレーサー濃度からは掘削泥水の影響が大きいことが明らかとなっていたため、平成28年度は月に一度予備排水を行い、掘削泥水の影響を極力排除した。揚水量は予備排水と採水を含めて約250リットル以上であった。

採取した地下水のいくつかの水質データは前年度と同様に、ボーリング掘削時に採取したコアから得られた水質や希ガス濃度に近い値を示し幌延地域の深部地下水の特徴を有していた。一方、揚水した結果、トレーサー濃度は徐々に低減したものの、トレーサー濃度から計算される掘削泥水の混入率は最終的に50%以上であり、地盤内に大量の掘削泥水が混入したことが推測された。掘削水の循環利用により地下水の水質に近く、かつ蛍光染料濃度の高い泥水ができる可能性が示唆されたが掘削中の泥水の分析値がないことから、その妥当性を確認することはできなかった。

(4) モニタリング無人計測システムの運用とそのシステムの信頼性評価

平成27年10月からモニタリング無人計測システムのプロトタイプを上幌延地区に設置し、このシステムの運用を継続した。システム設置当初から半年間のシステム運用におけるデータ取得率（計測データのうちクラウドサーバー上で確認できるデータの割合）は80%未満にとどまり、電源、通信、システム制御などに課題があることが明らかとなった。

平成 28 年度はシステム構成機器のハードウェア及びソフトウェアの改造を行うとともに、データ取得率を指標とした改造効果の確認、評価を行った。具体的には、電源、通信、計測・システム制御、環境計測の 4 つの系に分けて調査検討を行い、必要なハードウェアとソフトウェアを実装してその効果を検証した。上位通信及びローカル通信の再送信機能の付与及び計測系電源を優先させた電源システムの改造等の対策を施した結果、クラウドサーバー上でのデータ取得率がほぼ 100%となり、実運用に差し支えないレベルの信頼性を備えた無人計測システムとなることが実証された。

(5) モニタリング技術の体系化

平成 25 年度にマルチパッカーシステムを孔内に設置して以来の各種データの採取、評価を含めた各種作業の知見に基づき、手順書を作成した。

4. 本年度の開発目標と実施概要

4.1 開発目標

平成 24 年度までに掘削長 1,000m までのコントロールボーリングを掘削し、垂直深度で約 440m の位置において水平傾斜延長約 260m 区間の孔跡軌跡を達成できた。モニタリング技術については HMD-1 孔や地上試験における評価でコントロールボーリングへの適用性を確認した手法で、平成 25 年 2 月にコントロールボーリング孔にマルチパッカーシステムを設置し、孔内における長期モニタリングを開始した。平成 25 年度までで上幌延地区におけるコントロール掘削及び孔内での調査が終了したことを受けて、平成 26 年度には地上設備を撤去し、孔内間隙水圧の本格的な長期モニタリングを開始した。また、概要調査時の長期モニタリングの現地環境を考慮し、電気や通信などのインフラストラクチャーがない箇所でも長期的に安定したデータ取得を目的とした無人計測システムの概念設計を行った。

平成 27 年度は、平成 26 年度に引き続き孔内間隙水圧の長期モニタリングを実施するとともに、モニタリング区間③より地下水採取と分析を開始した。また、無人計測システムのプロトタイプを製作し、上幌延地区にて運用を開始した。平成 28 年度は、平成 27 年度に引き続き、間隙水圧データの収集と同データのベースライン評価、地下水の採取と分析による初生地下水の評価をおこなうとともに運用中の無人計測システムの改造を行いそのシステムの信頼性評価を行った。

平成 29 年度はこれまでの技術開発・実証試験のために掘削した上幌延地区のボーリング孔を廃孔し、原形に復旧する。孔内の間隙水圧計測は原形復旧作業着手時までに行い、データ解析を行う。また、これまでの計測結果ならびに廃孔作業で得られた知見を加えてモニタリング技術の体系化を行う。

4.2 実施概要

4.2.1 廃孔及び原形復旧

北海道上幌延地区の試験施設を撤去し、現状に復旧する。撤去作業は記録として整理する。

具体的な作業は無人計測システムの撤去、ボーリング孔内のモニタリングシステムの回収、ボーリング孔の廃孔、基礎コンクリート及び進入道路舗装の撤去、埋戻し・整地である。

4.2.2 モニタリングデータ収集・解析

無人計測システムの micro SD ならびにネットワークコンピューター (NC) 内に記録されていた平成 29 年 2 月からモニタリング無人計測システム撤去時までのデータを回収し、クラウドサーバー上のデータ取得率等と比較して無人計測システムの信頼性を評価する。

回収したデータは、間隙水圧データに影響のある、気圧、気温、降雨量、潮汐などのデータに基づきノイズを除去することにより、ベースの間隙水圧挙動を評価する。

4.2.3 モニタリング技術の体系化

これまでの間隙水圧のモニタリングならびに廃孔及び原形復旧作業を通して得られた新たな知見を昨年度作成した手順書に追加し、コントロールボーリングに適用可能なモニタリングシステムの構築、維持管理、データ解析を含むモニタリング技術の体系化を行う。

4.2.4 開発の審議・検討

本研究実施にあたっては、学識経験者からなる「岩盤中地下水移行評価確証技術検討委員会」を設けて、研究計画や研究内容について審議・検討を行った上で、意見等をその都度、反映させて研究を遂行させる計画である。表 4.2.4-1 に検討委員会の委員一覧を示す。

表 4.2.4-1 「岩盤中物質移行特性評価技術の確証検討委員会」委員一覧

委員区分	委員名	所属
委員長	西垣 誠	国立大学法人 岡山大学 名誉教授 (大学院 環境生命科学研究科 特任教授)
委員	五十嵐 敏文	国立大学法人 北海道大学大学院 工学研究科 環境循環システム部門地圏物質移動学研究室 教授
委員	佐々木 泰	日本原燃株式会社 開発設計部長
委員	嶋田 純	国立大学法人 熊本大学 名誉教授 (大学院 自然科学研究科複合新領域科 特任教授)
委員	吉田 英一	国立大学法人 名古屋大学博物館 教授

本年度は研究の各段階を以下の 2 回の検討委員会で審議する。

- ・ 平成 29 年 7 月中旬 本年度の研究計画と中間成果の審議
- ・ 平成 30 年 3 月上旬 最終成果の審議

Ⅱ編：本年度の研究内容

5. 廃孔及び原形復旧
6. モニタリングデータ収集・解析
7. モニタリング技術の体系化

5. 廃孔及び原形復旧

上幌延地区の2本のコントロールボーリング孔（HMD-1及びHCD-3）は農業振興地域の整備に関する法律で指定される農用地に設置されており、開発許可期限の平成29年6月30日までに農地利用に支障のないように原形復旧することが定められている。このため、表4.2.5-2の計画工程にしたがって、平成29年5月から6月にかけて以下に示す無人計測システム（地上設備）の撤去、HCD-3孔内のモニタリングシステムの回収、廃孔（HMD-1孔及びHCD-3孔の孔井埋戻し）、基礎・舗装の撤去、設備撤去後の埋戻し・整地を行い、技術開発・調査を開始する前の農用地の状態に復元した。各作業概要は(1)から(5)のとおりである。

(1) 無人計測システム撤去

撤去作業開始前にmicro SDならびにNC内に収納されているモニタリングデータの回収を行い、発電機停止措置及びバッテリー接続解除を行い、実証用のモニタリング無人計測システム機器ならびに設置用構造物を分解し、適正に廃棄処分する。各機器、機材の状態確認を撤去・分解時に行う。

(2) モニタリングシステム回収

HCD-3孔に設置されているモニタリングシステムを回収する。また、観測小屋等モニタリング関連設備を適正に廃棄処分する。

(3) 廃孔

鉱山保安法施行規則第25条第2号に規定する「坑外における鉱物の採取による崩壊または土砂流出、石油の流出、汚濁水流出等の鉱害を防止するための措置」に定められた措置事例の「石油・構造的天然ガス井に関わる措置」に準じて、HMD-1孔及びHCD-3孔の廃坑措置（孔井埋め戻し）を行う。発生した廃棄物は適正に廃棄処分する。

(4) コンクリート基礎・アスファルト舗装撤去

コントロールボーリング掘削時に設置したコンクリート基礎ならびにHCD-3孔のセーラー及び蓋を撤去する。サイト内進入路のアスファルト舗装を撤去する。発生した廃棄物は適正に処分する。

(5) 埋戻し・整地

農用地としての利用に支障のないように設備撤去後の凹凸地の埋戻し及び整地を行う。

5.1 無人計測システム撤去

5.1.1 無人計測システムの概要

実証用の無人かつスタンドアロンな電源、通信、計測システム（モニタリング無人計測システム）を現地に構築し、平成27年10月から運用を開始した。システムの機器構成を図5.1.1-1に、無人計測システム撤去作業前全景を図5.1.1-2に示す。

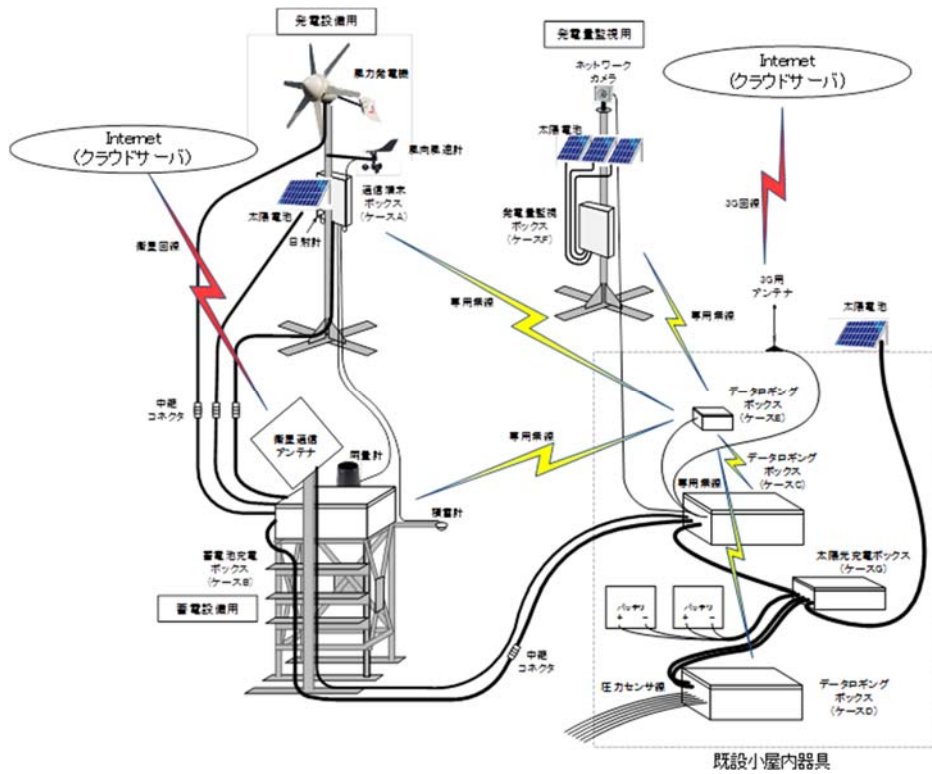


図 5.1.1-1 無人計測システム構成図



図 5.1.1-2 無人計測システム撤去作業前全景

上幌延現地研究設備撤去・原形復旧作業計画工程表（表 4.2.5-2 上幌延現地研究設備撤去・原形復旧作業計画工程表）に従い、発電機停止措置及びバッテリー接続解除を行い、システム機器ならびに設置用構造物を分解し、適正に廃棄処分した。

撤去に際しては無人計測システムを構成する各機器、機材の劣化状態を確認した。

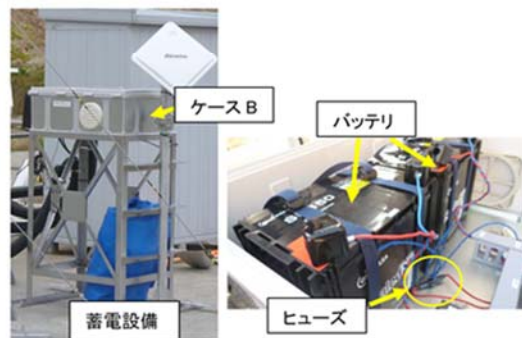
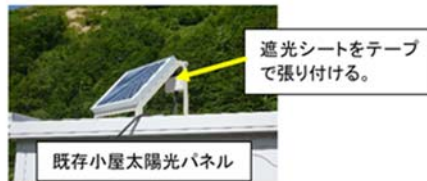
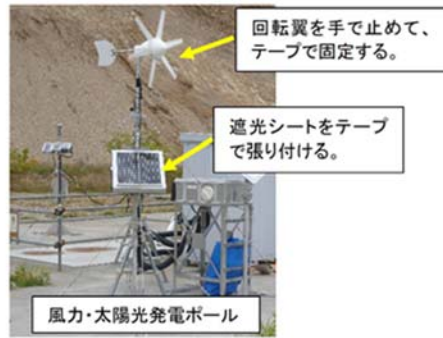
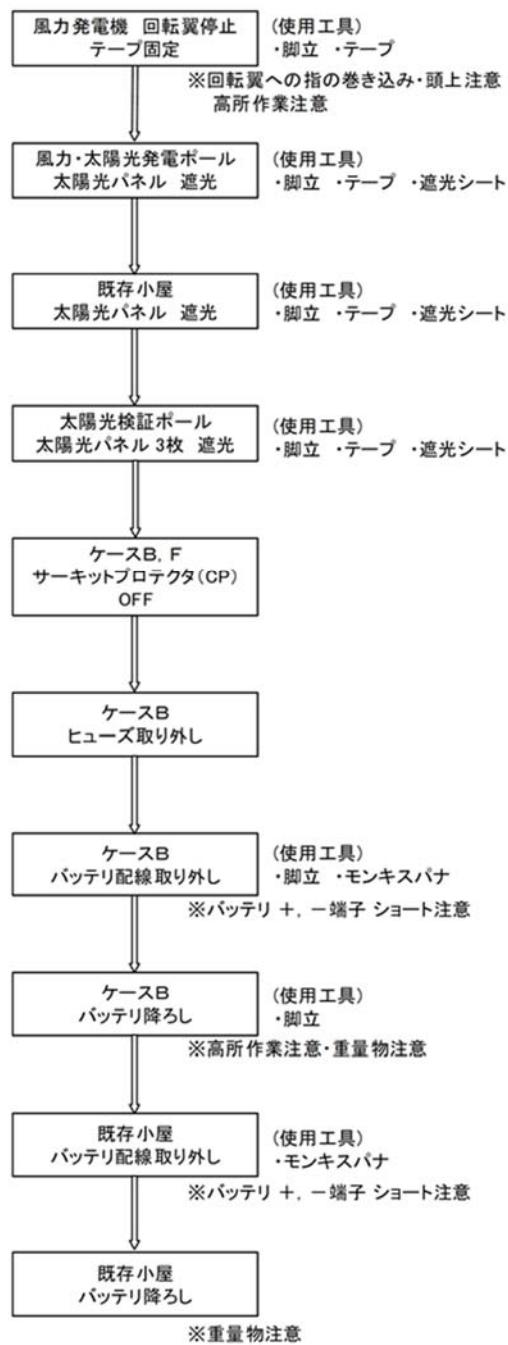
無人計測システムの撤去作業項目を以下に示す。

- ① 各発電停止・バッテリー取り外し
- ② 屋外ケース（ケース A, ケース F）取り外し
- ③ 発電機、検証設備及び設置用構造物分解
 - ・ 風力・太陽光、太陽光検証ポール、アンカワイヤ取り外し、ポール倒し
 - ・ 既存小屋上 太陽光パネル取り外し
 - ・ 風力・太陽光ポール、太陽光検証ポール アンカ部解体
 - ・ 風力・太陽光ポール、太陽光検証ポール ポール解体・分別
 - ・ 既存小屋ケース ケース C, D, G の配線分離
 - ・ 屋外配線除去・分別
 - ・ 配管・構造物解体・分別
- ④ ケース分解・廃棄物処分

5.1.2 各発電停止・バッテリー取り外し

図 5.1.2-1 に示す作業フローに従い作業を実施した。

①各発電停止・バッテリー取り外し



分別は、配線、電気部品、ユニット、板金、プラスチックケースおよび部品に分ける。

図 5.1.2-1 各発電停止・バッテリー取り外し作業フロー

※ケース B 状態確認結果

ルーバから侵入する外気（湿気）の影響確認とバッテリー充電時の硫化ガス発生や充電液の影響による腐食などがないか確認を行ったが、腐食等は確認されなかった。システム運用に障害を及ぼすほどではないが、他のケースに比べて、ケース底面に塵埃が多く見られた。メンテナンス時にケース上面を開ける構造であることから、塵埃が侵入しやすくなっているものと考えられる。

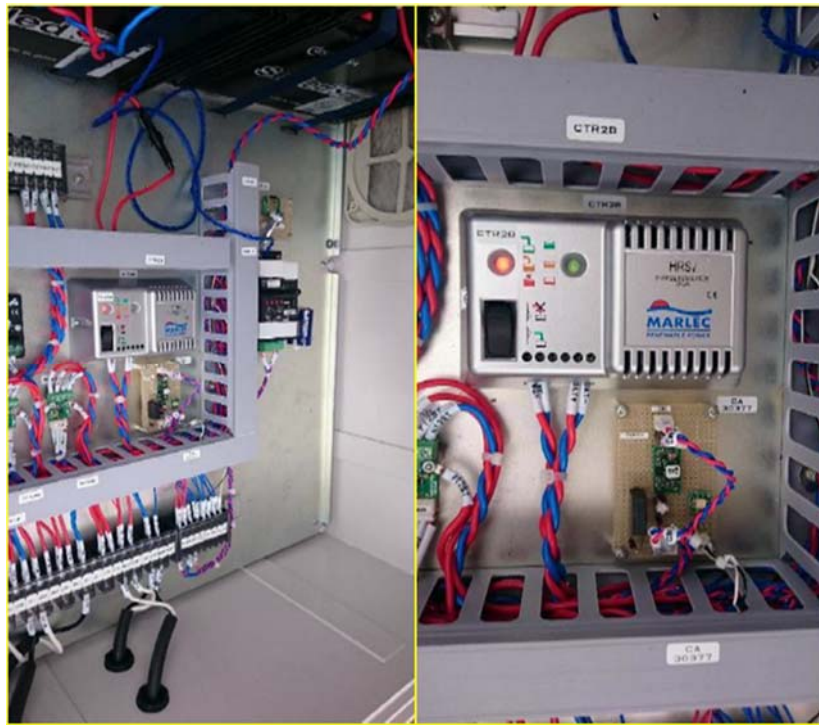


図 5.1.2-2 ケース B 充電器周辺



図 5.1.2-3 MGB_1B 周辺



図 5.1.2-4 バッテリー周辺

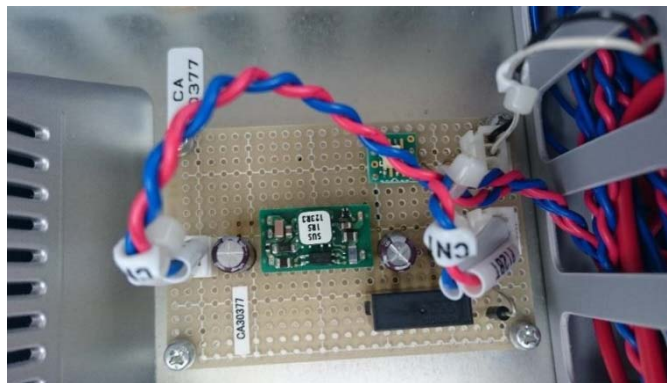


図 5.1.2-5 電源変換基板



図 5.1.2-6 電力センサー基板

ケース外装については、蓋パッキンが裂けていることを確認した。冬季、氷点下での作業時に凍結した状態の蓋を開けたことが原因と考えられる。ただし、前述のとおり腐食などは確認されておらず、パッキン損傷部からの湿気等の侵入の影響は見られなかった。



図 5.1.2-7 ケース B ルーバ (左:左側面ルーバ/右:右側面ルーバ)



図 5.1.2-8 ケース B 蓋パッキン

5.1.3 屋外ケース (ケース A, ケース F) 取り外し

図 5.1.3-1 に示すフローに従い作業を実施した。

②屋外ケース取り外し(ケースA, ケースF)

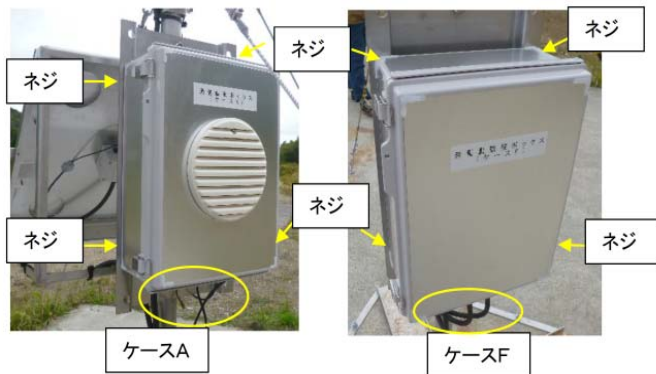
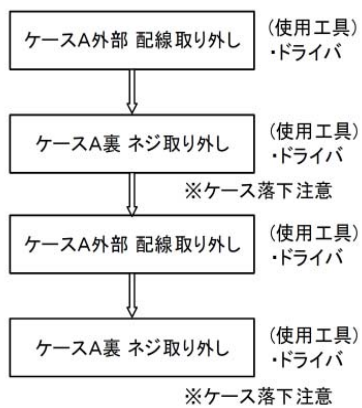


図 5.1.3-1 屋外ケース (ケース A, ケース F) 取り外し作業フロー

※ケース A 状態確認結果

ルーバから侵入する外気（湿気）の影響を中心に確認を行ったが、内部機器に腐食等の発生は確認されなかった。また、ケース自体にも劣化や破損等は見られなかった。



図 5.1.3-2 MGB_1A (左) 及び MGB_2A (右)

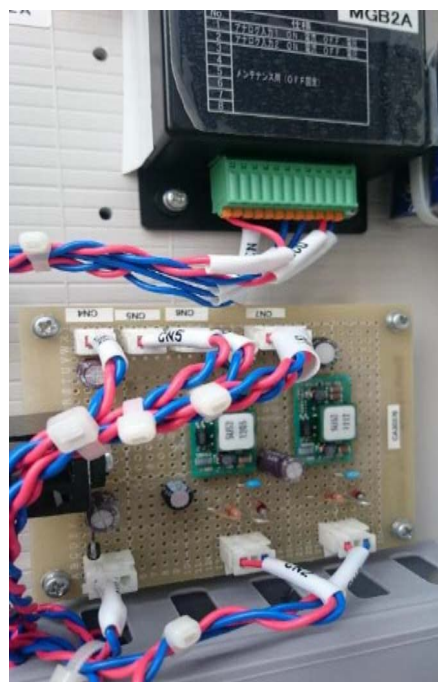


図 5.1.3-3 ケース A 電源変換基板



図 5.1.3-4 ケース A 外装

※ケース F 状態確認結果

ケース F については、昨年度の作業中にケーブル部からの水侵入が原因と考えられる結露の発生を確認している。ケース F 内に接続されるケーブルの逆端の接続箱は、冬季、雪中に埋もれた状態になり、水分と長時間直接的に接した状態になる。接続箱のケーブル侵入口にはコーキング処理を行っていたものの、わずかな隙間からケーブルを伝って徐々に水分が侵入したものと考えられる。昨年度の結露発見時にケーブル侵入口への水侵入対策の強化や内部の拭き取り等を行ったが、侵入した水分を完全に除去できなかったため、撤去作業時の確認においても結露の発生が確認された。今回の調査においてバッテリー部に腐食が発生していることを確認されたが、ケース F にはルーバが付いていないことから、上記の水侵入が原因と考えられる。

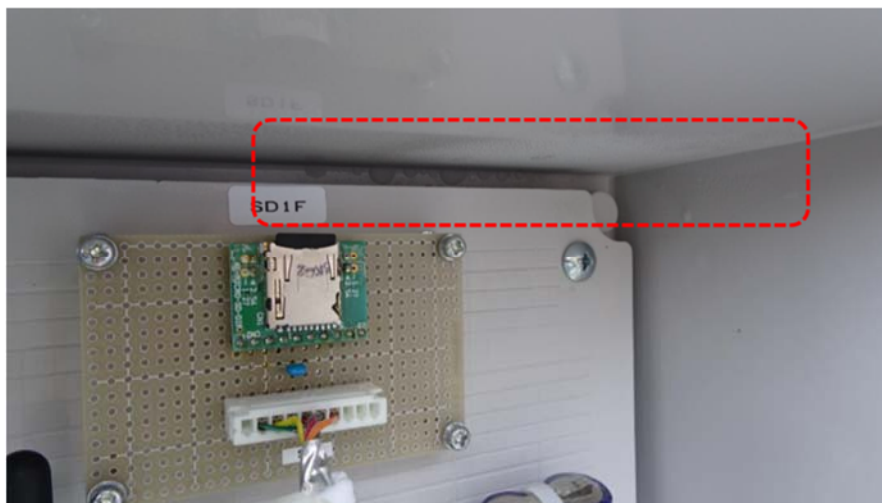


図 5.1.3-5 ケース F 内結露



図 5.1.3-6 バッテリー部腐食状況

ケースF内のMGB内部基板を含むその他の機器及びケース自体には腐食・損傷は確認されなかった。

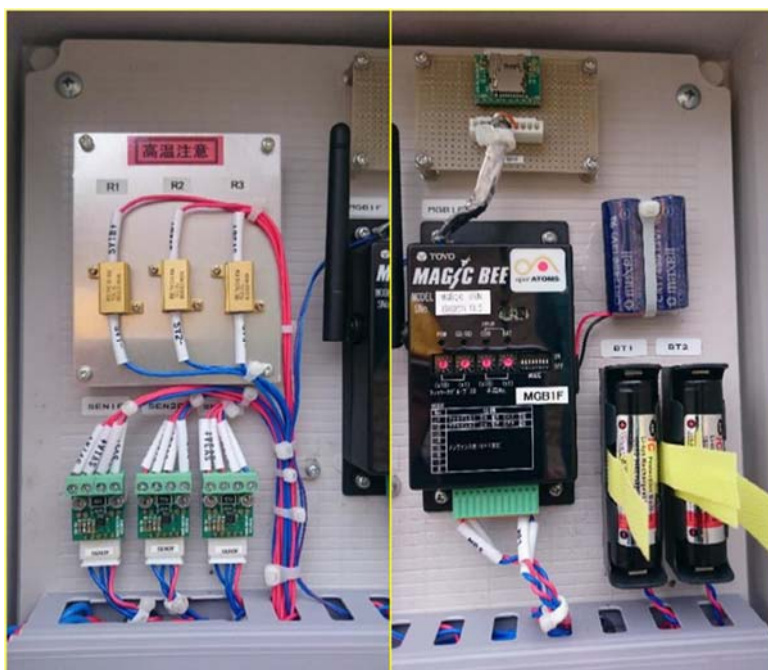


図 5.1.3-7 ケースF電力センサー（左）、MGB_1F（右）

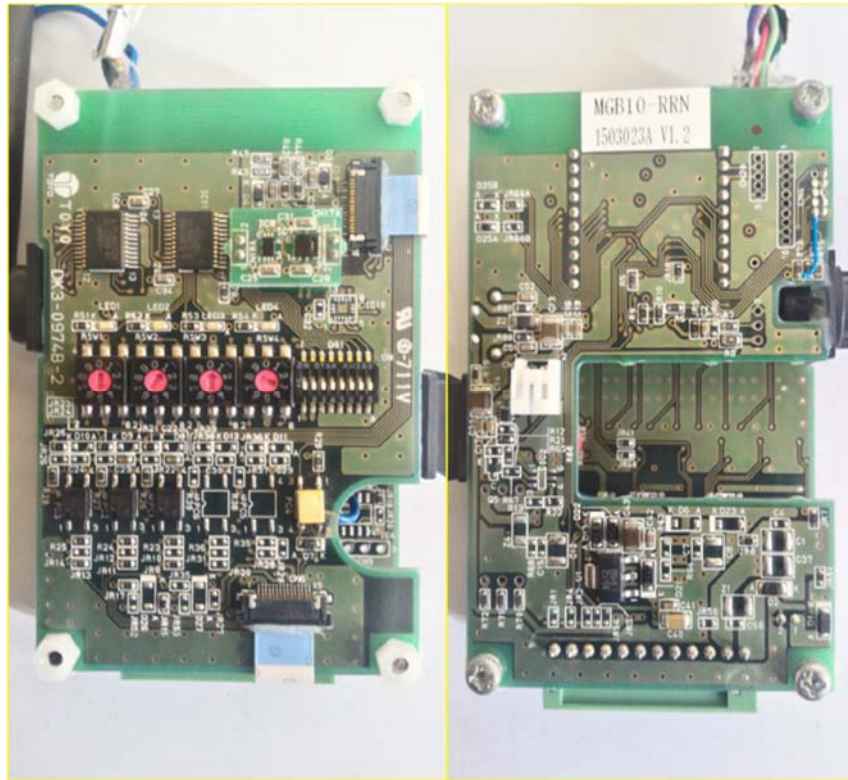


図 5.1.3-8 MGB_1F 内部基板外観

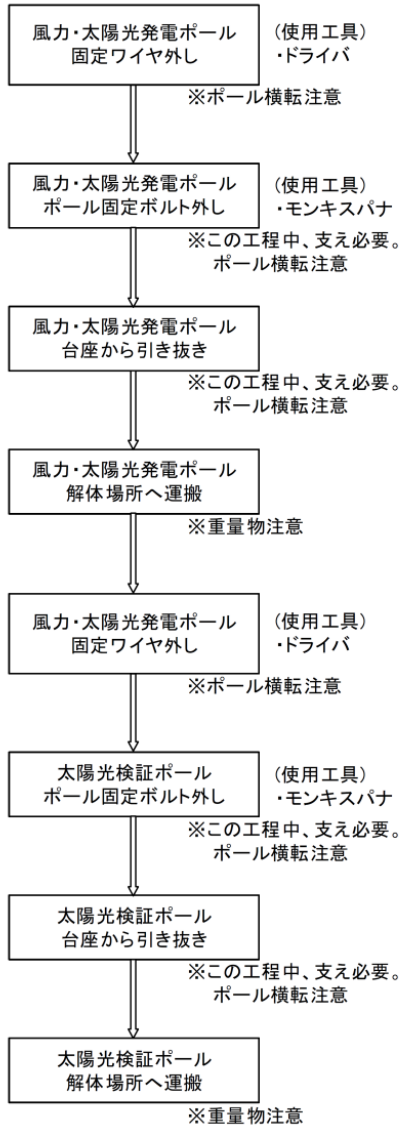


図 5.1.3-9 ケースF扉

5.1.4 発電機、検証設備及び設置用構造物分解

風力・太陽光、太陽光検証ポール・アンカワイヤ取り外し、ポール倒し作業を図 5.1.4-1 に示すフローに従い実施した。

③風力・太陽光、太陽光検証ポール アンカワイヤ取り外し、ポール倒し



風力・太陽光発電ポール

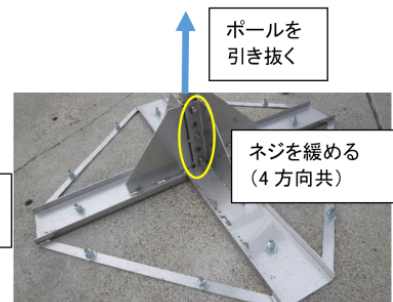


太陽光検証ポール



ワイヤはココを緩めて外す。

風力・太陽光発電ポール
太陽光検証ポール 共通



ポールを引き抜く

ネジを緩める
(4方向共)

風力・太陽光発電ポール
太陽光検証ポール 共通

図 5.1.4-1 ポール・アンカワイヤ取り外し、ポール倒し作業フロー



図 5.1.4-2 風力・太陽光ポール（ポール倒し作業後）



図 5.1.4-3 太陽光検証ポール（ポール倒し作業後）

5.1.5 既存小屋上 太陽光パネル取り外し

図 5.1.5-1 に示すフローに従い作業を実施した。

パネル架台は接着剤で固定しており取り外しが不可能なため、パネルのみを取り外すこととし、架台は小屋と併せて廃棄した。

④既存小屋上 太陽光パネル取り外し

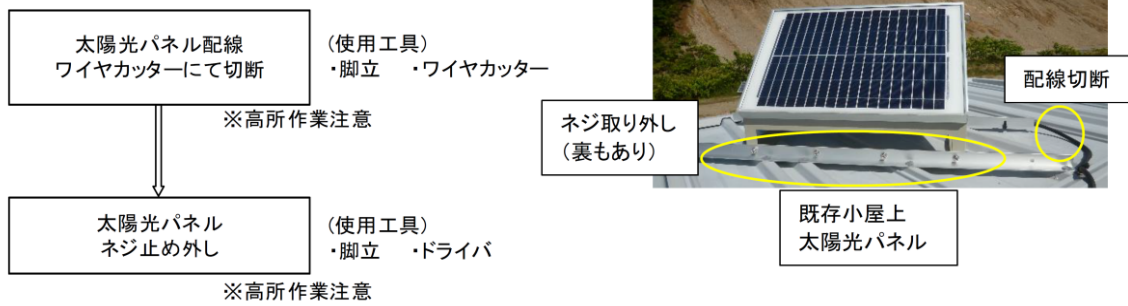


図 5.1.5-1 既存小屋上 太陽光パネル取り外し作業フロー



図 5.1.5-2 既存小屋上部 (太陽光パネルのみ取り外し後)

5.1.6 風力・太陽光ポール、太陽光検証ポール アンカ部解体

図 5.1.6-1 に示すフローに従い作業を実施した。

⑤風力・太陽光ポール, 太陽光検証ポール, 蓄電池
アンカ部解体

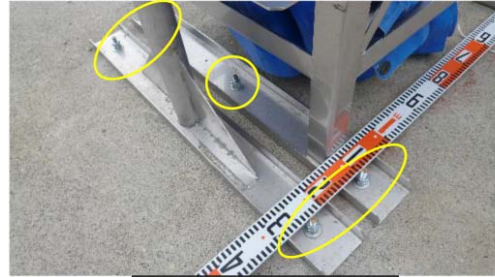
各ポール、蓄電池
アンカナット取り外し

(使用工具)
・モンキスパナ

※アンカボルトの処理は、そのままのため
突出部にツマヅキ注意。



風力・太陽光発電ポール
太陽光検証ポール 共通



風力・太陽光発電ポール
太陽光検証ポール 共通

図 5.1.6-1 風力・太陽光ポール、太陽光検証ポール、蓄電池アンカー部解体作業フロー

5.1.7 風力・太陽光ポール、太陽光検証ポール ポール解体・分別

図 5.1.7-1 に示すフローに従い作業を実施した。

⑥風力・太陽光ポール, 太陽光検証ポール
解体・分別

各ポール 配線固定用
インシュロック切断
テーピング・コーキング切断

(使用工具)
・ニッパー ・カッターナイフ

※刃物取扱注意

各ユニット取り外し

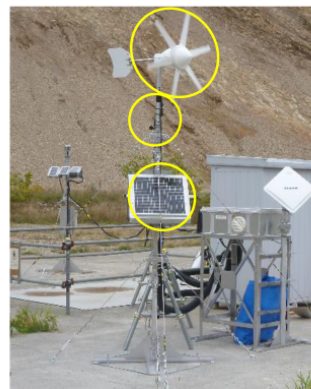
(使用工具)
・モンキスパナ ・ドライバ

※重量物注意

ポール部材取り外し

(使用工具)
・モンキスパナ ・ドライバ

※重量物注意



風力・太陽光発電ポール



太陽光検証ポール

図 5.1.7-1 風力・太陽光ポール、太陽光検証ポール解体・分別 作業フロー

※風力発電機・太陽光パネル状態確認結果

風力発電機のボディ及び羽部に損傷・腐食はなかったが、回転翼のガラス繊維が少し見える状態になっており、樹脂表面がわずかに風化していると考えられる。



図 5.1.7-2 風力発電機

太陽光パネルの本体及びフレームに損傷・腐食は見られなかった。



図 5.1.7-3 太陽光パネル

太陽光設置角検証用のパネル本体及びフレームに損傷・腐食は見られなかったが、太陽光パネルに一体化している配線に変色があり、多少の劣化が確認された。



図 5.1.7-4 設置角検証用太陽光パネル

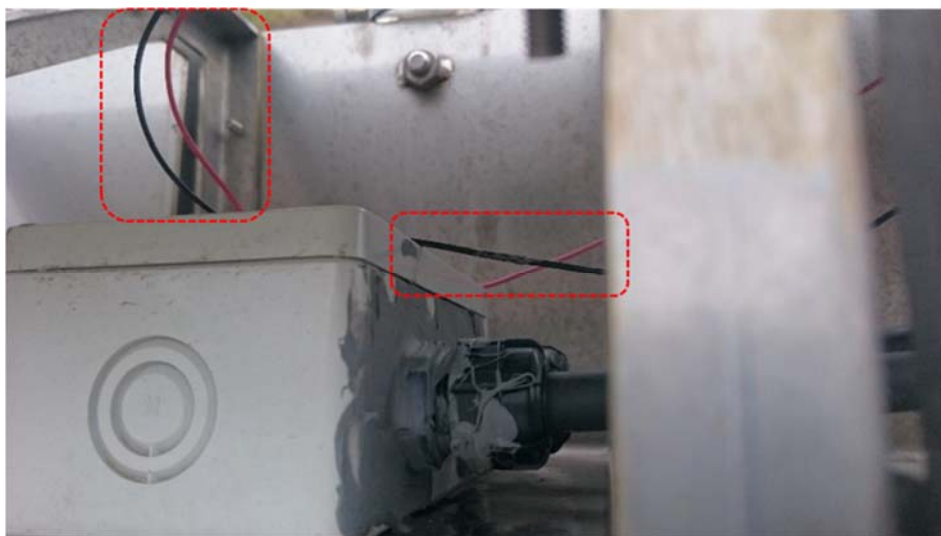
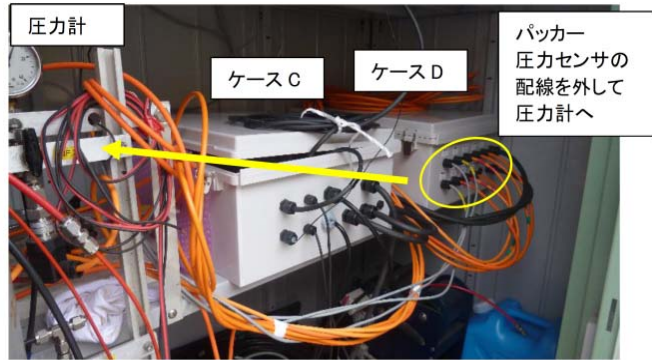
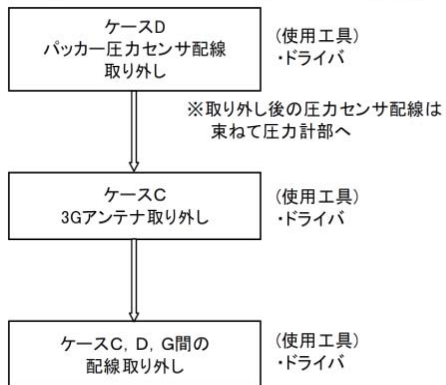


図 5.1.7-5 設置角検証用太陽光パネル配線

5.1.8 既存小屋ケース ケース C, D, G の配線分離

⑦既存小屋ケース ケースC, D, Gの配線分離



に示すフローに従い作業を実施した。

⑦既存小屋ケース ケースC, D, Gの配線分離

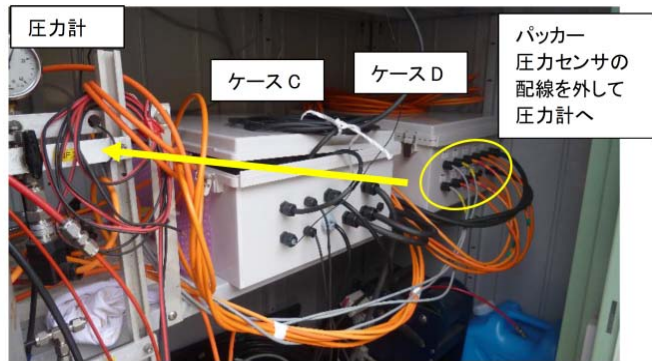
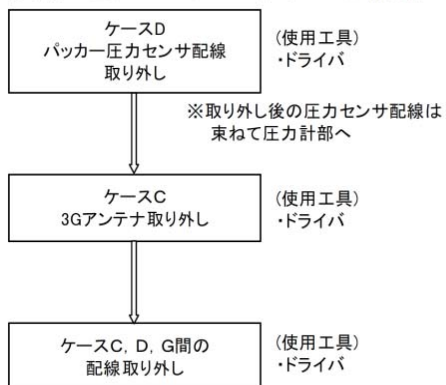


図 5.1.8-1 既存小屋内ケース C, D, G の配線分離 作業フロー

※ケース C, D, G 等状態確認結果

ケース C 内に設置した NC 基板上の部品、パターン、はんだ付け部分に損傷・腐食は見られなかった。

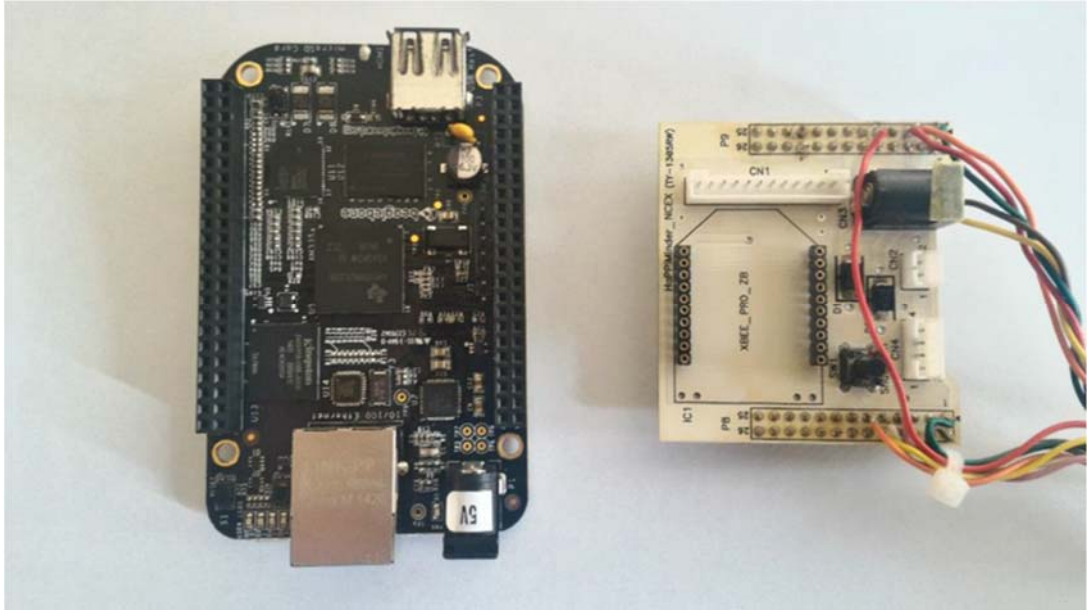


図 5.1.8-2 NC 基板（部品実装面）

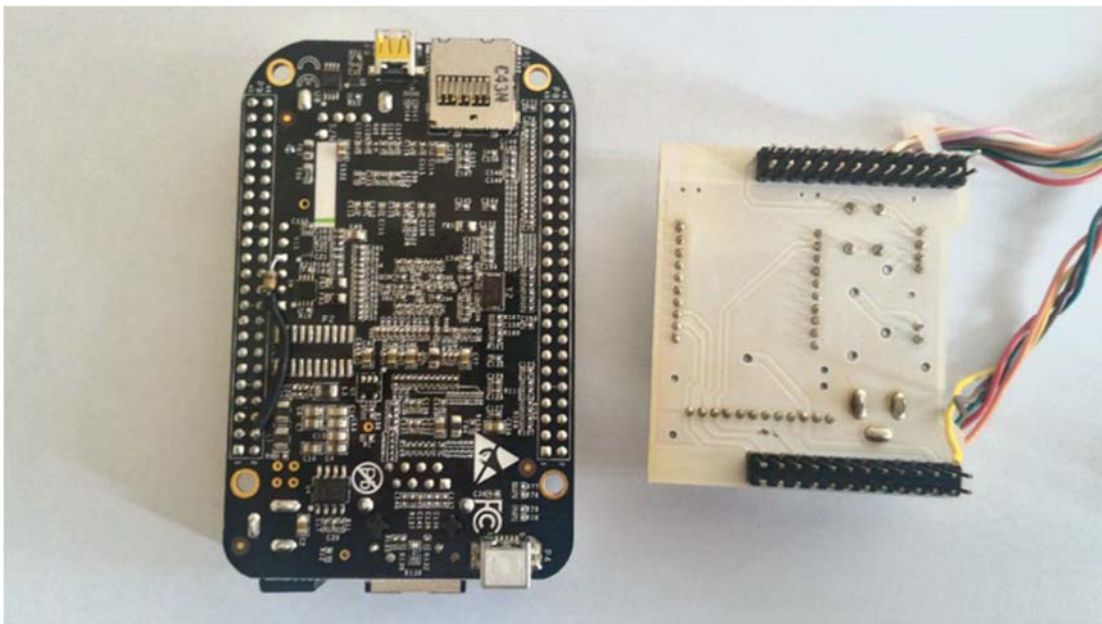


図 5.1.8-3 NC 基板（はんだ面）

小屋内設置に設置されていたその他機器にも劣化等は確認されなかった。

5.1.9 屋外配線除去・分別、及び、配管・構造体解体・分別

図 5.1.9-1 に示すフローに従い作業を実施した。

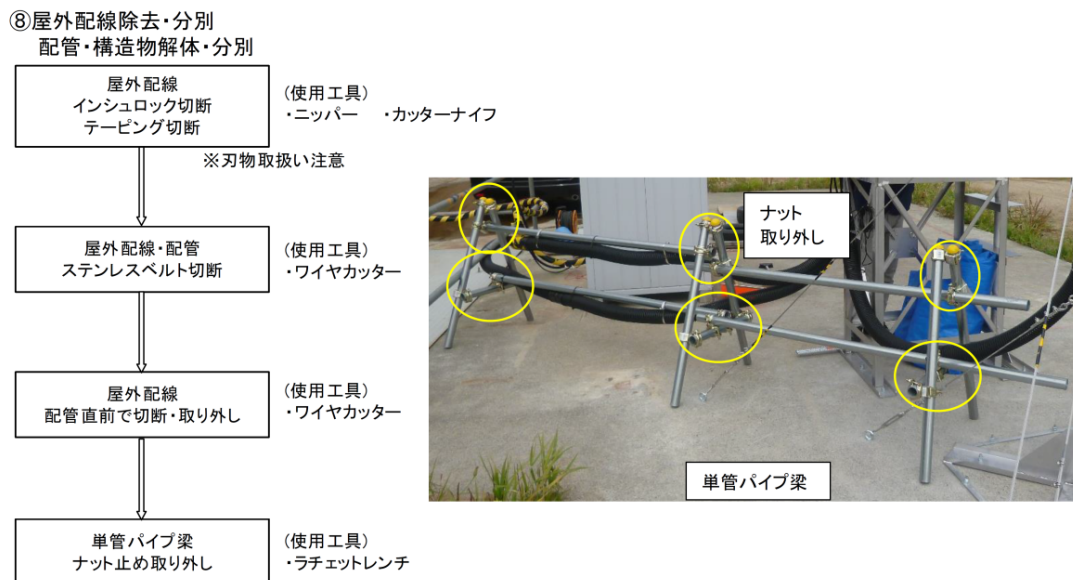


図 5.1.9-1 屋外配線除去・分別、配管・構造物解体・分別作業フロー

※ステンレス設備外装状態確認結果 (図 5.1.9-2 から図 5.1.9-7 参照)

屋外構造物はステンレス製であるが、切断や穴開け等の加工部を中心にサビの発生が見られた。穴あけ加工したネジ穴からネジを取り外して確認を行ったところ、ネジ穴周辺の表面にのみサビが認められた。加工時の熱によって不動態被膜が破壊され、加工箇所の周辺部分だけサビが出やすくなっていたと考えられる。高い耐食性が要求される場合は加工後に不動態処理を施す必要があるが、上幌延地区のように海から離れており耐食性への要求が高くない場合にはステンレスではなく、スチール製外装に屋外用塗装を施すだけでも問題ないと考えられる。

その他の機器についての確認結果を以下に示す。

※雨量計

樹脂部に白濁化が見られるが、割れ等の損傷は確認されなかった。

※積雪計

本体及び配線に損傷はなし。

※日射計

本体及び配線に損傷はなし。

※風向風速計

本体及び配線に損傷はなかったが、付け根部分のネジに腐食の発生を確認した。

※WEB カメラ

本体及び配線に損傷はなし。



図 5.1.9-2 ステンレス設備外装（代表：太陽光設置角検証用）

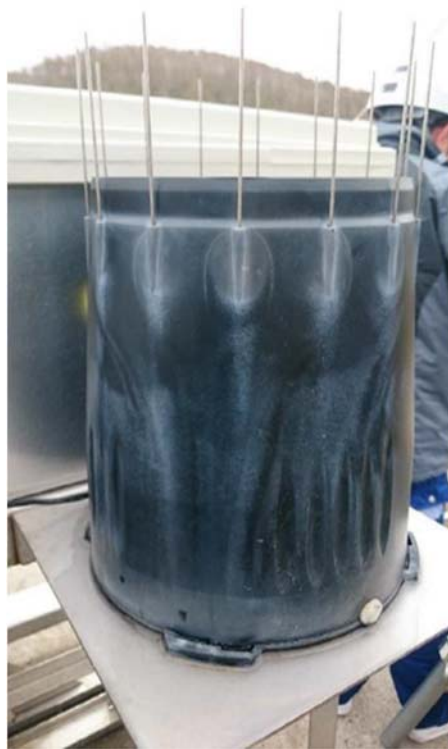


図 5.1.9-3 雨量計



図 5.1.9-4 積雪計



図 5.1.9-5 日射計

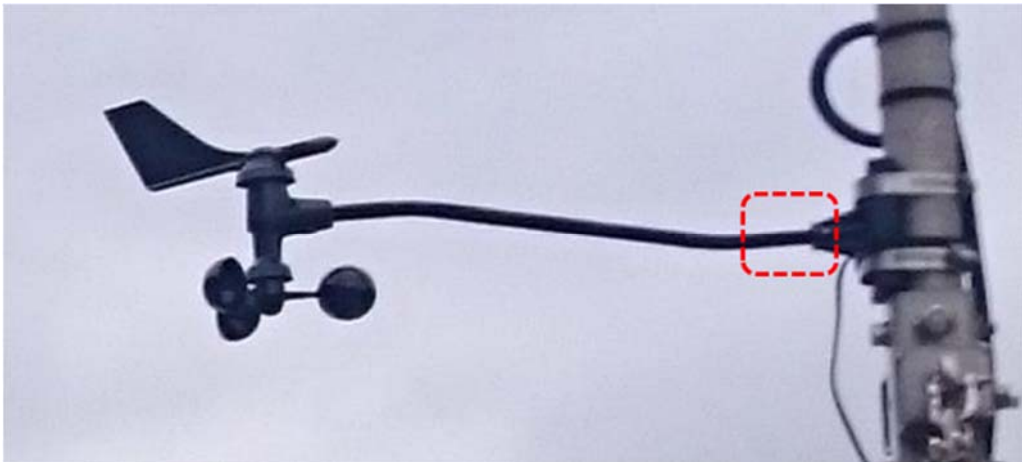


図 5.1.9-6 風向風速計



図 5.1.9-7 WEB カメラ

5.1.10 各ケース分解・廃棄物処分

図 5.1.10-1 に示すフローに従い作業を実施した。

⑨各ケース 分解・分別

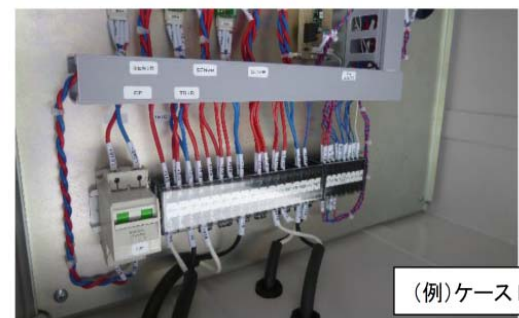
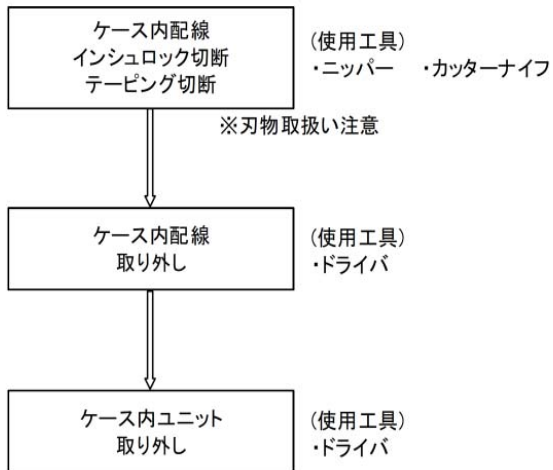


図 5.1.10-1 各ケース分解作業フロー

無人計測システム撤去作業で発生した廃棄設備は廃棄物の種類ごとに分別し、一か所に仮置きし、まとめて適正に産業廃棄物処理を行った。



図 5.1.10-2 無人計測システム廃棄設備仮置き状況



図 5.1.10-3 無人計測システム撤去作業完了後の全景

5.2 モニタリングシステム回収

5.2.1 モニタリングシステムの概要

モニタリング装置の概要を表 5.2.1-1 に、観測区間一覧表を表 5.2.1-2 に、モニタリングシステム概念図を図 5.2.1-1 に、モニタリングシステム設置状況を図 5.2.1-2 に、モニタリング装置ケーシングログを表 5.2.1-3 と表 5.2.1-4 に示す。

表 5.2.1-1 モニタリング装置の概要

形式	SPMP (Stand-Pipe Multi-Packer system)
観測・採水区間数	5 点 (最大)
観測・採水項目	孔内流体の圧力測定
	孔内流体の採水 (サンプラー, 孔内ポンプ) サンプラー: 原位置圧力を保持した流体の採取 孔内ポンプ: 連続的な流体の採取
	透水試験 (揚水試験, 注水試験)
装置外径	ケーシング: 76.1mm/70.9mm (外径/内径) パッカー: 110mm/70.9mm (収縮時: 外径/内径)
スタンドパイプ径	23mm/21mm (外径/内径)
遮水方法	観測区間の上下に配置された 1 組 (2 個) のゴム製パッカー
メンテナンス性	孔内装置には可動部がなく、圧力センサーや採水装置は、地上に取り出して個別にメンテナンスが可能のため、長期的な維持費用を低減可能。
塩水への対応	耐腐食性の高い材質を選択

表 5.2.1-2 観測区間一覧表

区間名	位置	深度(m)	区間長(m)	スタンドパイプ	圧力センサー	ケーシングプログラム	上端(m)	下端(m)
区間③	最浅	208.45 ~ 209.95	1.5	SP3	P3 (GL- 9.705m)	Packer 5	207.20	208.70
						Interval3		
区間②	中間	210.95 ~ 215.95	5.0	SP2	P2 (GL- 9.705m)	Packer 4	209.70	211.20
						Interval2		
						Packer 3	215.70	217.20
区間①	最深	249.45 ~ 257.45	8.0	SP1	P1 (GL- 9.705m)	Packer 2	248.20	249.70
						Interval1		
						Packer 1	257.20	258.70

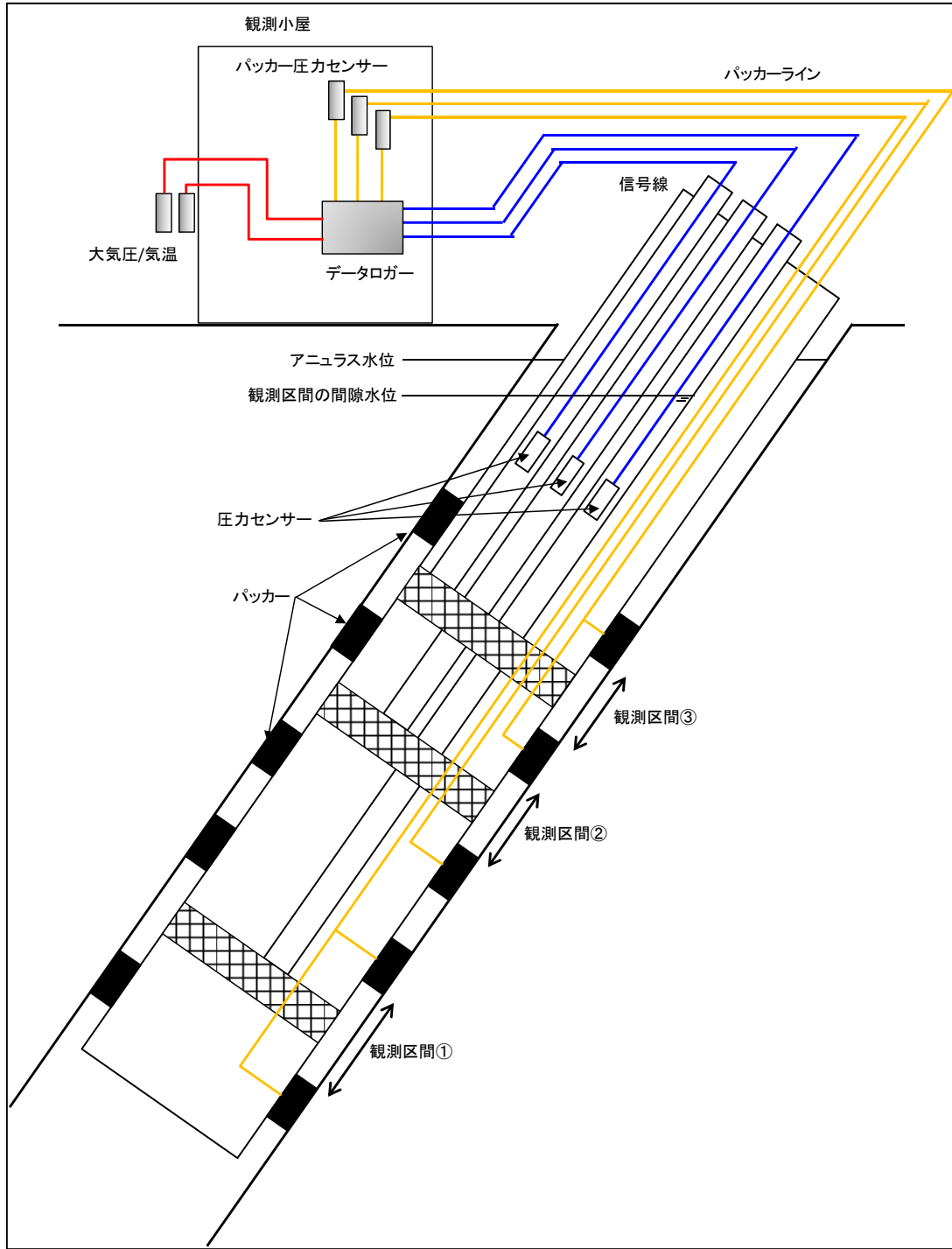
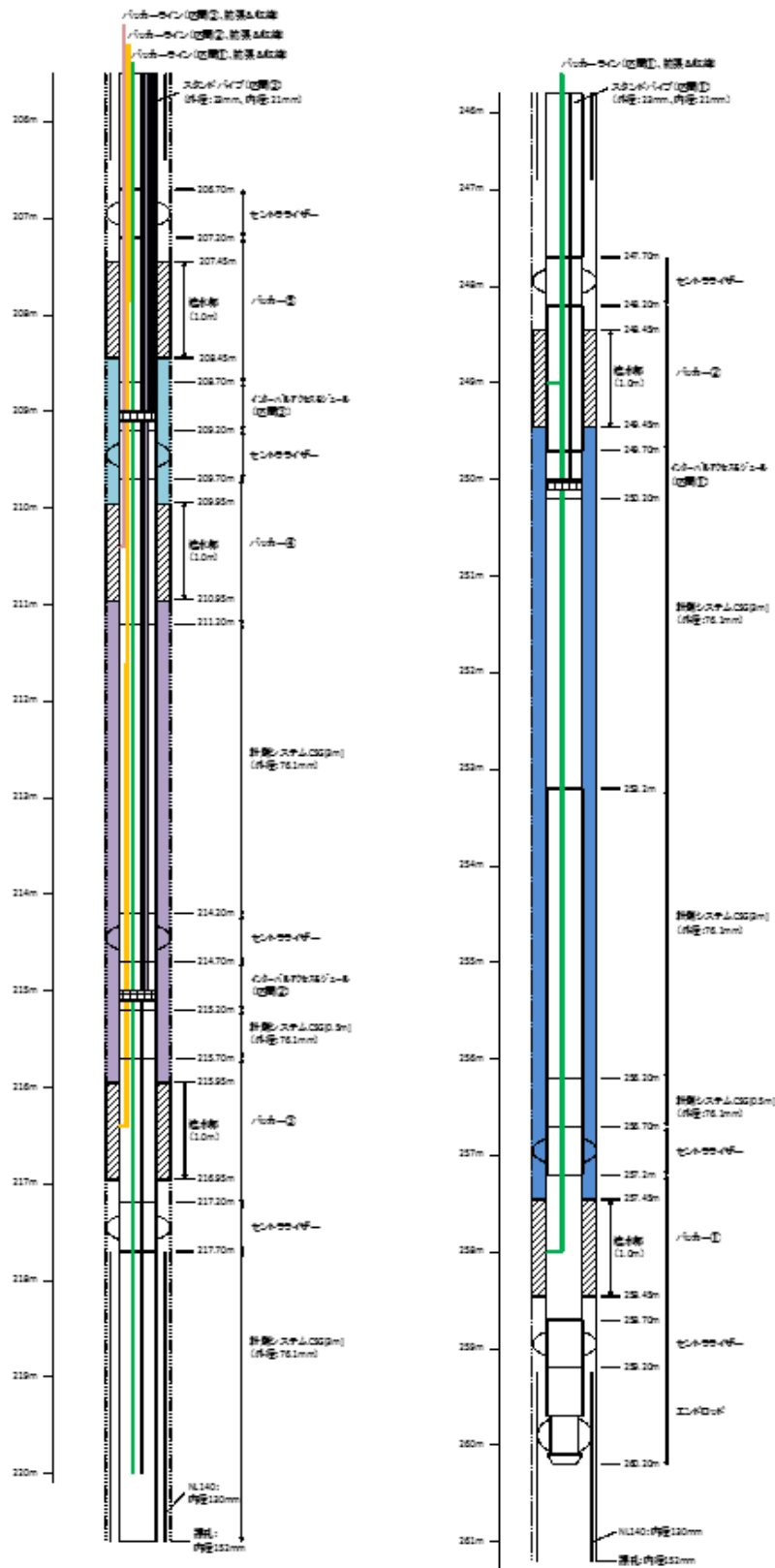


図 5.2.1-1 モニタリングシステム概念図



※深度は全て、孔井に沿った掘進長(m)

図 5.2.1-2 モニタリングシステム設置状況

表 5.2.1-3 孔内モニタリングシステムケーシングログ (1)

No.	Item	Calc. Depth(m)		Length (m)	SPMP Casing				PKR 1.5	INT 0.5	E.R. 1	Stand Pipe				Pipes
		TOP	BOTTOM		3	1	0.5	0.5CR				3	1.5	1	0.5	
1	End Rod w/CR	259.2	260.2	1							1					0
2	CSG(0.5m)+CR	258.7	259.2	0.5				1								0
3	Packer 1	257.2	258.7	1.5					1							0
4	CSG(0.5m)+CR	256.7	257.2	0.5				1								0
5	CSG(3m)	253.7	256.7	3	1											0
6	CSG(3m)	250.7	253.7	3	1											0
7	Interval 1	250.2	250.7	0.5						1						0
8	CSG(0.5m)+CR	249.7	250.2	0.5				1							1	1
9	Packer 2	248.2	249.7	1.5					1				1			1
10	CSG(0.5m)+CR	247.7	248.2	0.5				1							1	1
11	CSG(3m)	244.7	247.7	3	1							1				1
12	CSG(3m)	241.7	244.7	3	1							1				1
13	CSG(3m)	238.7	241.7	3	1							1				1
14	CSG(3m)	235.7	238.7	3	1							1				1
15	CSG(3m)	232.7	235.7	3	1							1				1
16	CSG(3m)	229.7	232.7	3	1							1				1
17	CSG(3m)	226.7	229.7	3	1							1				1
18	CSG(3m)	223.7	226.7	3	1							1				1
19	CSG(3m)	220.7	223.7	3	1							1				1
20	CSG(3m)	217.7	220.7	3	1							1				1
21	CSG(0.5m)+CR	217.2	217.7	0.5				1							1	1
22	Packer 3	215.7	217.2	1.5					1				1			1
23	CSG(0.5m)+CR	215.2	215.7	0.5				1							1	1
24	Interval 2	214.7	215.2	0.5						1					1	1
25	CSG(3m)	211.7	214.7	3	1							2				2
26	CSG(0.5m)+CR	211.2	211.7	0.5				1							2	2
27	Packer 4	209.7	211.2	1.5					1				2			2
28	CSG(0.5m)+CR	209.2	209.7	0.5				1							2	2
29	Interval 3	208.7	209.2	0.5						1					2	2
30	Packer 5	207.2	208.7	1.5					1				3			3
31	CSG(0.5m)+CR	206.7	207.2	0.5				1							3	3
32	CSG(3m)	203.7	206.7	3	1							3				3
33	CSG(3m)	200.7	203.7	3	1							3				3
34	CSG(3m)	197.7	200.7	3	1							3				3
35	CSG(3m)	194.7	197.7	3	1							3				3
36	CSG(3m)	191.7	194.7	3	1							3				3
37	CSG(3m)	188.7	191.7	3	1							3				3
38	CSG(3m)	185.7	188.7	3	1							3				3
39	CSG(3m)	182.7	185.7	3	1							3				3
40	CSG(3m)	179.7	182.7	3	1							3				3
41	CSG(3m)	176.7	179.7	3	1							3				3
42	CSG(3m)	173.7	176.7	3	1							3				3
43	CSG(3m)	170.7	173.7	3	1							3				3
44	CSG(3m)	167.7	170.7	3	1							3				3
45	CSG(3m)	164.7	167.7	3	1							3				3
46	CSG(3m)	161.7	164.7	3	1							3				3
47	CSG(3m)	158.7	161.7	3	1							3				3
48	CSG(3m)	155.7	158.7	3	1							3				3
49	CSG(3m)	152.7	155.7	3	1							3				3
50	CSG(3m)	149.7	152.7	3	1							3				3

表 5.2.1-4 孔内モニタリングシステムケーシングログ (2)

No.	Item	Calc. Depth(m)		Length (m)	SPMP Casing				PKR	INT	E.R.	Stand Pipe				Pipes
		TOP	BOTTOM		3	1	0.5	0.5CR	1.5	0.5	1	3	1.5	1	0.5	
51	CSG(3m)	146.7	149.7	3	1							3				3
52	CSG(3m)	143.7	146.7	3	1							3				3
53	CSG(3m)	140.7	143.7	3	1							3				3
54	CSG(3m)	137.7	140.7	3	1							3				3
55	CSG(3m)	134.7	137.7	3	1							3				3
56	CSG(3m)	131.7	134.7	3	1							3				3
57	CSG(3m)	128.7	131.7	3	1							3				3
58	CSG(3m)	125.7	128.7	3	1							3				3
59	CSG(3m)	122.7	125.7	3	1							3				3
60	CSG(3m)	119.7	122.7	3	1							3				3
61	CSG(3m)	116.7	119.7	3	1							3				3
62	CSG(3m)	113.7	116.7	3	1							3				3
63	CSG(3m)	110.7	113.7	3	1							3				3
64	CSG(3m)	107.7	110.7	3	1							3				3
65	CSG(3m)	104.7	107.7	3	1							3				3
66	CSG(3m)	101.7	104.7	3	1							3				3
67	CSG(3m)	98.7	101.7	3	1							3				3
68	CSG(3m)	95.7	98.7	3	1							3				3
69	CSG(3m)	92.7	95.7	3	1							3				3
70	CSG(3m)	89.7	92.7	3	1							3				3
71	CSG(3m)	86.7	89.7	3	1							3				3
72	CSG(3m)	83.7	86.7	3	1							3				3
73	CSG(3m)	80.7	83.7	3	1							3				3
74	CSG(3m)	77.7	80.7	3	1							3				3
75	CSG(3m)	74.7	77.7	3	1							3				3
76	CSG(3m)	71.7	74.7	3	1							3				3
77	CSG(3m)	68.7	71.7	3	1							3				3
78	CSG(3m)	65.7	68.7	3	1							3				3
79	CSG(3m)	62.7	65.7	3	1							3				3
80	CSG(3m)	59.7	62.7	3	1							3				3
81	CSG(3m)	56.7	59.7	3	1							3				3
82	CSG(3m)	53.7	56.7	3	1							3				3
83	CSG(3m)	50.7	53.7	3	1							3				3
84	CSG(3m)	47.7	50.7	3	1							3				3
85	CSG(3m)	44.7	47.7	3	1							3				3
86	CSG(3m)	41.7	44.7	3	1							3				3
87	CSG(3m)	38.7	41.7	3	1							3				3
88	CSG(3m)	35.7	38.7	3	1							3				3
89	CSG(3m)	32.7	35.7	3	1							3				3
90	CSG(3m)	29.7	32.7	3	1							3				3
91	CSG(3m)	26.7	29.7	3	1							3				3
92	CSG(3m)	23.7	26.7	3	1							3				3
93	CSG(3m)	20.7	23.7	3	1							3				3
94	CSG(3m)	17.7	20.7	3	1							3				3
95	CSG(3m)	14.7	17.7	3	1							3				3
96	CSG(3m)	11.7	14.7	3	1							3				3
97	CSG(3m)	8.7	11.7	3	1							3				3
98	CSG(3m)	5.7	8.7	3	1							3				3
99	CSG(3m)	2.7	5.7	3	1							3				3
100	CSG(3m)	-0.3	2.7	3	1							3				3

5.2.2 回収方法

(1) 使用機器

回収作業はボーリングマシンを使用した。ボーリングマシンの仕様を表 5.2.2-1 に、ボーリングマシンの外観を図 5.2.2-1 に示す。ボーリングマシンによるストロークは 0.4m であり、システムケーシング（最長 3m）を回収するためには、ストローク毎にスライド装置の位置を変える必要がある。システムケーシングは接続部でのみ、スリッププレートを用いて荷重を保持する仕組みとなっているため、スライド位置を変える際は、システムケーシングに接続したボーリングロッドをクレーンで保持した。回収作業概略図を図 5.2.2-2 に示す。

表 5.2.2-1 ボーリングマシン仕様

機 種		D2-K(Ⅱ)92	D2-K(Ⅲ)92
スピンドル	内 径 mm	92	
	回 転 数 rpm	(A)60:180:355:65(R) (B)30: 90:170:35(R)	17:50:95:18(R)
	最 大 ト ル ク kN・m	(A)1.18{120kgf・m} (B)2.35{240kgf・m}	3.09{315kgf・m}
	ス ト ロ ー ク mm	500	
	給 進 力 kN	22.1{2250kgf}	
	引 抜 力 kN	29.5{3010kgf}	
スライド装置 mm		油圧式ストローク 400	
所 要 動 力		7.5kW/4P、12~15PS/1800rpm	5.5kW/4P、12PS/1800rpm
機体寸法(L×W×H) mm		1800×870×1620	1835×870×1620
機 体 質 量 kg		700	820



図 5.2.2-1 ボーリングマシン(D2-K(Ⅲ)92型)外観

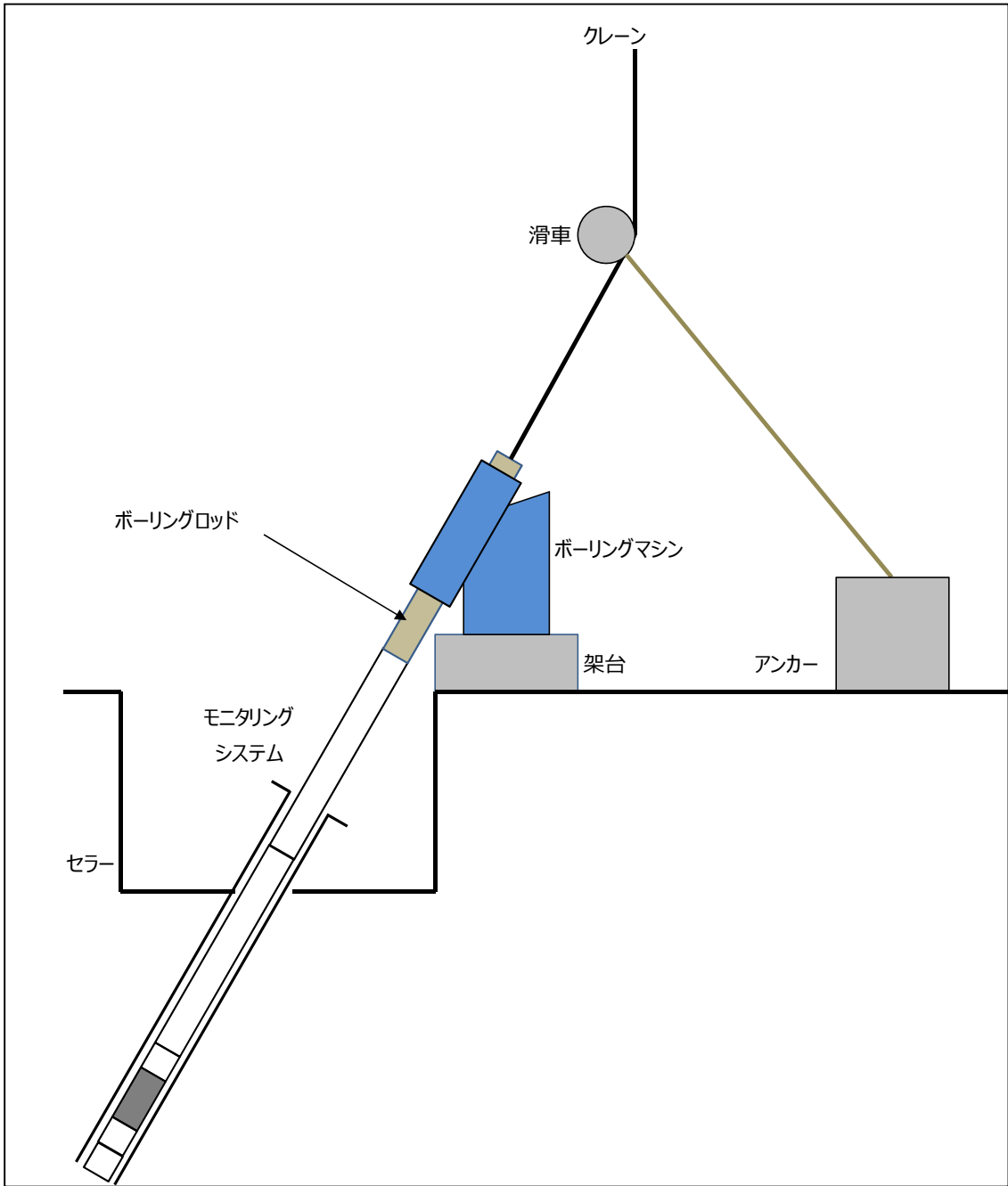


図 5.2.2-2 回収作業概略図

(2) 回収方法

モニタリングシステムはパッカーにより観測区間を区切っているため、回収作業前にパッカーの収縮を行う必要がある。モニタリングシステムを安全に回収するためには、パッカーが NL140 ロッドの内径 (130mm) に対して 10mm 程度のクリアランスが確保できる程度 (120mm) まで収縮している必要がある。

ここで、パッカー収縮時に回収するパッカー拡張水の最低量を計算するために、パッカー2基を深度200m付近に設置し、1対のパッカー拡張/収縮ラインを接続する場合を仮定する。設置前のパッカー外径は110mmであり、これが仮に160mmまで拡張した場合、単純な容量計算を行うとパッカー2基で約210の拡張水が必要となる。また、拡張・収縮ラインも拡張水で満たされるため、設置深度200mに対して2.80の拡張水が必要になり、パッカー拡張に必要な拡張水(約210)との合計は23.80となる。その後、120mmまでパッカーを収縮した場合、排出される拡張水は15.60となり、入れた分の73%に相当する。拡張径や設置深度によって差が出ること及びパッカー内部にのみ拡張水が残留する場合も考えられるため、安全を見て80%回収を基準とした。なお、設置時に使用したパッカー拡張水は、パッカーライン(区間①、パッカー①②)：340、パッカーライン(区間②、パッカー③)：140、パッカーライン(区間③、パッカー④⑤)：220である。

HMD-1孔における設置・回収試験時はパッカーにバーストディスク(設定圧力以上に加圧するとライン外と導通する)を取り付けていたが、HCD-3への設置時には使用していない。バーストディスクを作動させることで、パッカーの収縮が確実に実施できるという利点はあるが、HMD-1孔における回収作業の際には収縮ラインの使用によりパッカーを問題なく収縮できたためバーストディスクは作動させなかったこと、一度動作させるとパッカーラインとして機能しなくなりパッカーの再拡張は不可能となること、作動させた場合はパッカー拡張水の回収量を把握できなくなること、設置時もしくは長期計測中に誤作動を起こした場合はシステムの回収が必要になること等の理由により設置しなかった。そのため、パッカー収縮作業は圧力の解放及び窒素ガス圧入によるパッカー拡張水の回収により実施することとした。

図 5.2.2-3 にパッカー収縮作業手順を示す。パッカーの収縮を確認した後、モニタリングシステムの回収に移行する。図 5.2.2-4 にモニタリングシステム回収作業手順を示す。

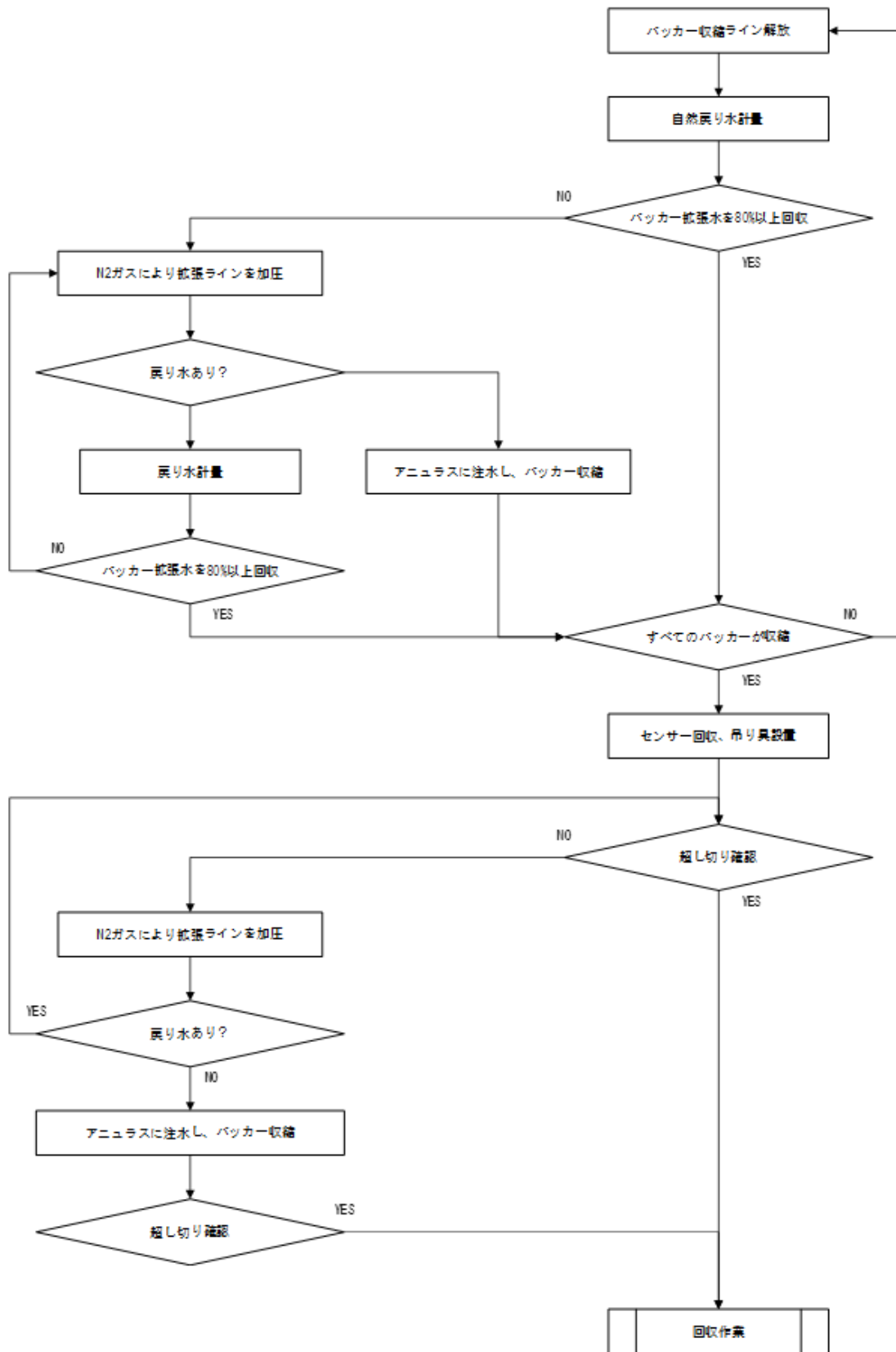


図 5.2.2-3 パッカー収縮作業手順

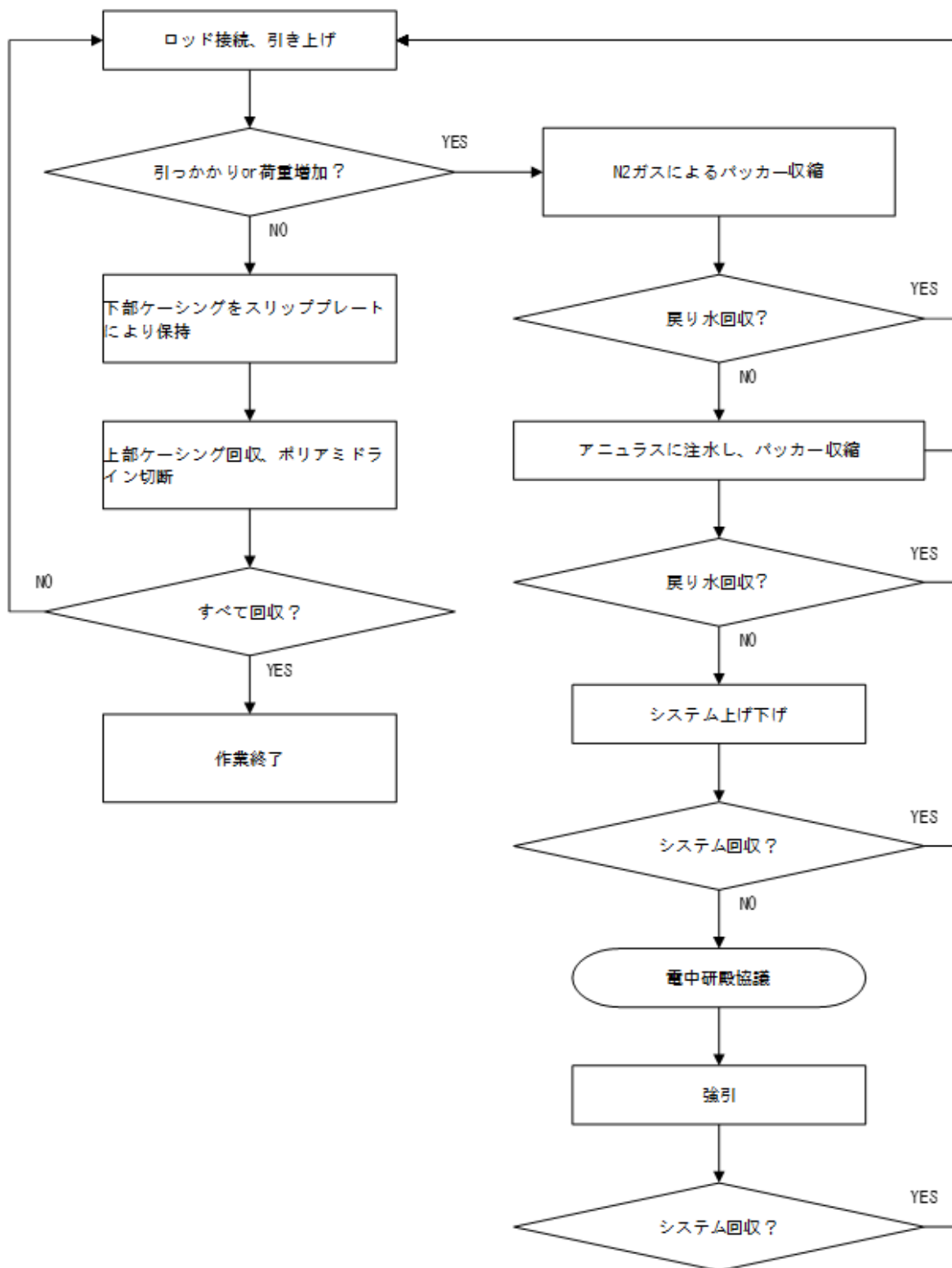


図 5.2.2-4 モニタリングシステム回収作業手順

5.2.3 モニタリングシステムの回収

モニタリングシステム回収作業の概要を時系列に従って表 5.2.3-1 に示す。

表 5.2.3-1 モニタリングシステム回収作業概要

日付	曜日	作業内容
平成29年5月15日	月	入場、現地打合せ
5月16日	火	機材搬入・据付け モニタリングシステム回収準備 ミニパッカー収縮 ミニパッカー・圧力センサー回収
5月17日	水	パッカー収縮
5月18日	木	システム回収（越し切り確認）
5月19日	金	システム回収（越し切り確認、1/100本回収終了、CSG立ち上げ管回収）
5月20日	土	システム回収（回収作業）
5月21日	日	（現場休日）
5月22日	月	システム回収（回収作業、2/100本回収終了）
5月23日	火	システム回収（回収作業、22/100本回収終了）
5月24日	水	システム回収（回収作業、58/100本回収終了）
5月25日	木	システム回収（回収作業、100/100本回収終了）
5月26日	金	回収資材洗浄・梱包
5月27日	土	回収資材梱包・養生
5月28日	日	現地離場

(1) パッカー収縮作業

平成 29 年 5 月 16 日にスタンドパイプ内に設置していたミニパッカーを収縮し、ミニパッカー及び圧力センサーを回収した。回収時は特に引っ掛かりもなく、問題なく回収した。図 5.2.3-1 にモニタリングシステム回収前状況を、図 5.2.3-2 に回収したミニパッカーと圧力センサーを示す。

平成 29 年 5 月 17 日にパッカー収縮作業を実施した。最初に区間③（パッカー④⑤）の収縮ラインを解放し、自然戻り水を計測したが、ほとんど回収されなかった。そのため、窒素ガスによりパッカー拡張ラインを加圧した。この時点で戻り水を確認したが、窒素ガスによりパッカーが拡張したため、窒素ガスによる加圧を中断し、窒素ガスを排出した。この間、区間②（パッカー③）の収縮作業、次いで区間①（パッカー①②）の収縮作業を実施した。各区間において、窒素ガスの圧入によるパッカー拡張

水の回収と窒素ガスにより拡張したパッカーの収縮を交互に実施し、パッカー拡張水の回収を行った。その結果、区間①では 29.70 (87%)、区間②では 14.00 (100%)、区間③では 21.80 (最初の収縮作業：20.80、再拡張・収縮作業：1.00) (99%) のパッカー拡張水を回収した。図 5.2.3-3 から図 5.2.3-6 にパッカー収縮作業状況及び回収したパッカー拡張水を示す。

すべての区間におけるパッカー拡張水を 80%以上回収した後、モニタリングシステムの回収作業に移行した。

(2) モニタリングシステム回収作業

平成 29 年 5 月 18 日から 5 月 25 日にわたり、図 5.2.2-4 の手順に従ってモニタリングシステムの回収作業を実施した。モニタリングシステムの自重と NL140 ロッドとの摩擦力を考慮すると約 2t の引上げ力でモニタリングシステムを回収できる計画であった。このため、4t の引上げ能力を有するボーリングマシンと補助クレーンの組合せで最初の引き揚げ作業を行った。4t の引上げ力を掛けても越し切り出来なかったため、チェーンブロックを併用することにより越し切りを確認した。その後、モニタリングシステムを 1.89m 引き揚げたところで荷重が増加したため、ボーリングマシンとチェーンブロックを併用して荷重 4.5 t まで掛けたが引き揚げることが出来なかった。同深度は、パッカー⑤が裸孔部から NL140 ロッド内に入る箇所当たるため、パッカー⑤のラバー部分が NL140 ロッドの切断部に引っ掛かった可能性が考えられた。このため、図 5.2.2-3 の作業手順に従い、一旦パッカーを再拡張・再収縮させてパッカー拡張水をさらに回収してから再度強引を行うこととした。再収縮に際して約 10 のパッカー拡張水を回収した。これにより区間③ (パッカー④⑤) から 21.80 (99%) のパッカー拡張水を回収したことになった。チェーンブロックを大型の 5t 吊に交換し、ボーリングマシンとの併用で再度強引した結果、荷重 9 t 超で引き揚げることができた (図 5.2.3-13)。

その後も、パッカーが裸孔部から NL140 ロッド内に入る箇所で大きな荷重増加が見られたが、都度、チェーンブロックを併用して強引することによりモニタリングシステムの回収を行い、すべてのシステムケーシング及びパッカー、インターバルアクセスモジュールを回収することができた。図 5.2.3-7 から図 5.2.3-10 にモニタリングシステム回収状況を、図 5.2.3-11 及び図 5.2.3-12 に立ち上げ管回収状況及び回収後の坑口状況を、図 5.2.3-14 にパッカー回収状況を、図 5.2.3-15 から図 5.2.3-20 に回収したパッカーを、図 5.2.3-21 に回収したモニタリングシステムを示す。

回収したパッカーは真円に戻っていなかった。平成 20 年度に HMD-1 孔からモニタリングシステムを回収した際にも回収したパッカーは真円に戻っていなかった。原因としては、パッカーが拡張限界に近い真円でない孔内に長期間にわたり同じ形状で保持されていたこと、35° の斜孔であるため自重の影響でパッカーが均一に収縮できなかったことなどにより扁平が生じたと考えられる。パッカー拡張前の口径に戻すためにパッカー拡張水を 80%以上回収することを目標としていたが、斜孔におけるパ

ッカーは均一に収縮しないことを前提にパッカー拡張水はできるだけ回収することが望ましい。



図 5.2.3-1 モニタリングシステム回収前状況



図 5.2.3-2 回収したミニパッカーと圧力センサー



図 5.2.3-3 パッカー収縮作業状況①



図 5.2.3-4 パッカー収縮作業状況②



図 5.2.3-5 回収したパッカー拡張水①



図 5.2.3-6 回収したパッカー拡張水②



図 5.2.3-7 モニタリングシステム回収状況（全景）

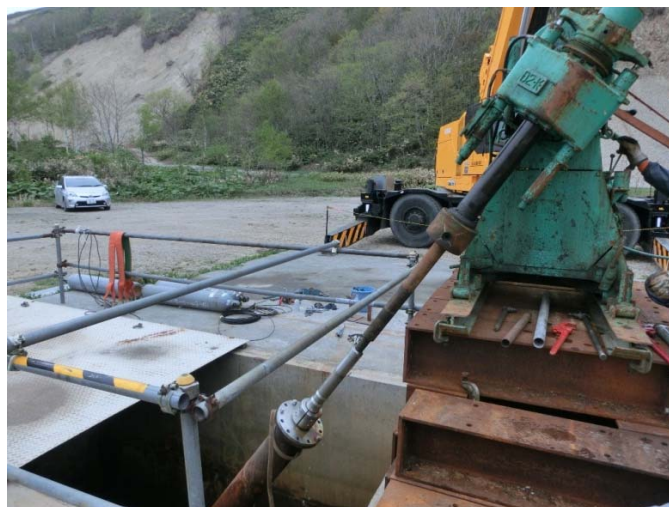


図 5.2.3-8 モニタリングシステム回収状況①



図 5.2.3-9 モニタリングシステム回収状況②



図 5.2.3-10 モニタリングシステム回収状況③



図 5.2.3-11 立ち上げ管回収状況



図 5.2.3-12 立ち上げ管回収後の坑口状況



図 5.2.3-13 モニタリングシステム回収状況（パッカー⑤強引）



図 5.2.3-14 パッカー回収状況



図 5.2.3-15 回収したパッカー (パッカー⑤)



図 5.2.3-16 回収したパッカー (パッカー④)



図 5.2.3-17 回収したパッカー (パッカー③)



図 5.2.3-18 回収したパッカー (パッカー②)



図 5.2.3-19 回収したパッカー (パッカー①)



図 5.2.3-20 パッカー変形部 (パッカー②)



図 5.2.3-21 回収したモニタリングシステム

5.3 廃孔

5.3.1 既存孔の概要及び廃孔用主要機材

表 5.3.1-1 及び表 5.3.1-2 に HCD-3 孔と HMD-1 孔のケーシングプログラムを示す。

表 5.3.1-1 HCD-3 孔のケーシングプログラム

段	ケーシング	ケーシングサイズ (mm)	設置区間 (m)
1	口元保護管	OD:362.0 / ID:	0 ~ 8.50
2	14" SGP	OD:355.5 / ID:339.8	0 ~ 8.50
3	12" STPG	OD:318.5 / ID:297.9	0 ~ 20.00
4	10" STPG	OD:267.4 / ID:248.8	0 ~ 52.16
5	8" STPG	OD:216.3 / ID:199.9	0 ~ 195.00
6	7" 仮ケーシング	OD:177.8 / ID:157.8	0 ~ 194.70
7	NL140 ロッド		0 ~ 206.00
7a	NL140 ロッド		218.00 ~ 247.50

表 5.3.1-2 HMD-1 孔のケーシングプログラム

段	ケーシング	ケーシングサイズ (mm)	設置区間 (m)
1	8" SGP	OD:216.3 / ID:199.9	0 ~ 10.60
2	6" SGP	OD:165.2 / ID:155.2	0 ~ 10.60
3	NL140 ロッド		0 ~ 60.70
3a	NL140 ロッド		66.2 ~ 81.00

HCD-3 孔及び HMD-1 孔の概要図を図 5.3.1-1 と図 5.3.1-2 に示す。

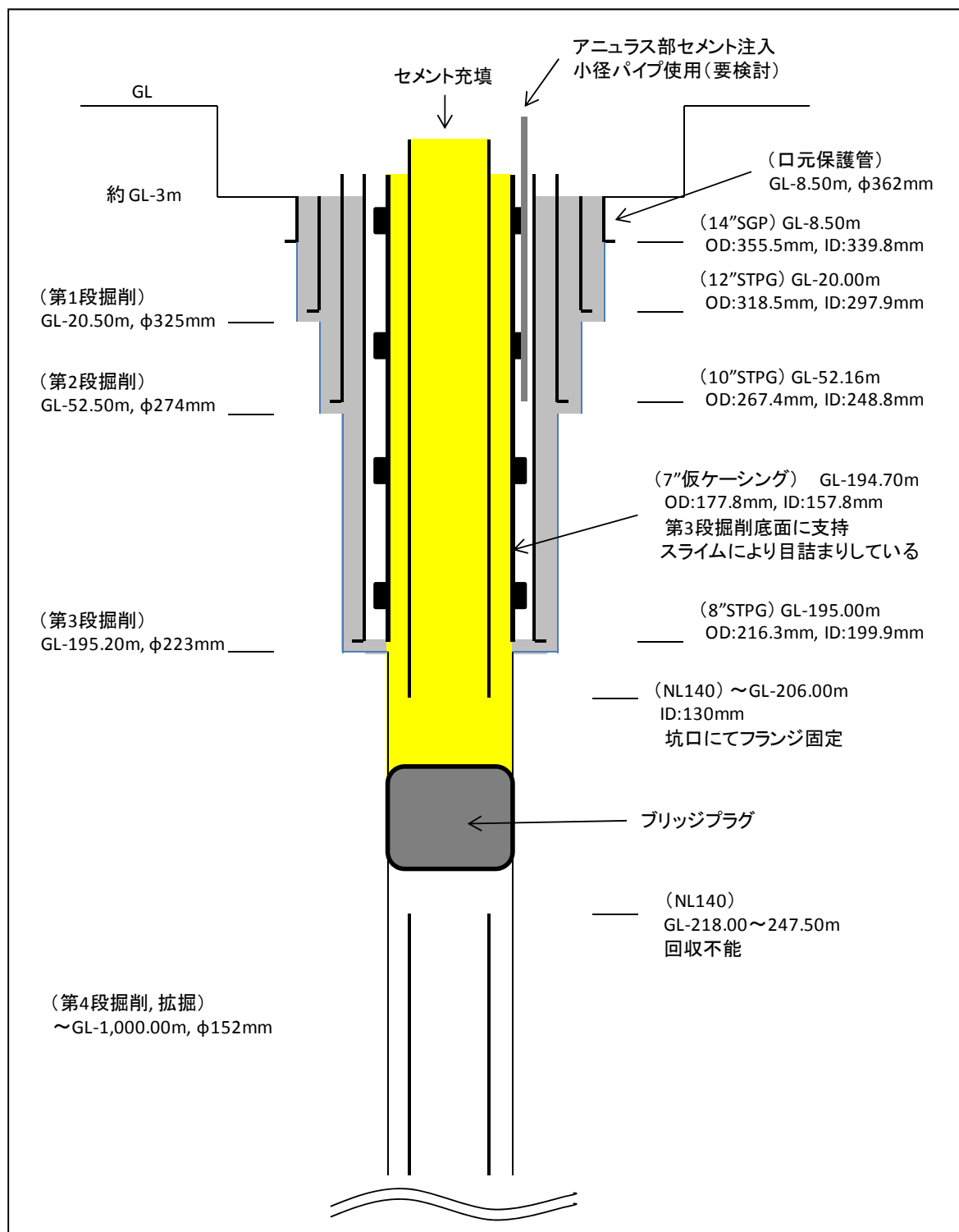


図 5.3.1-1 HCD-3 孔概要図

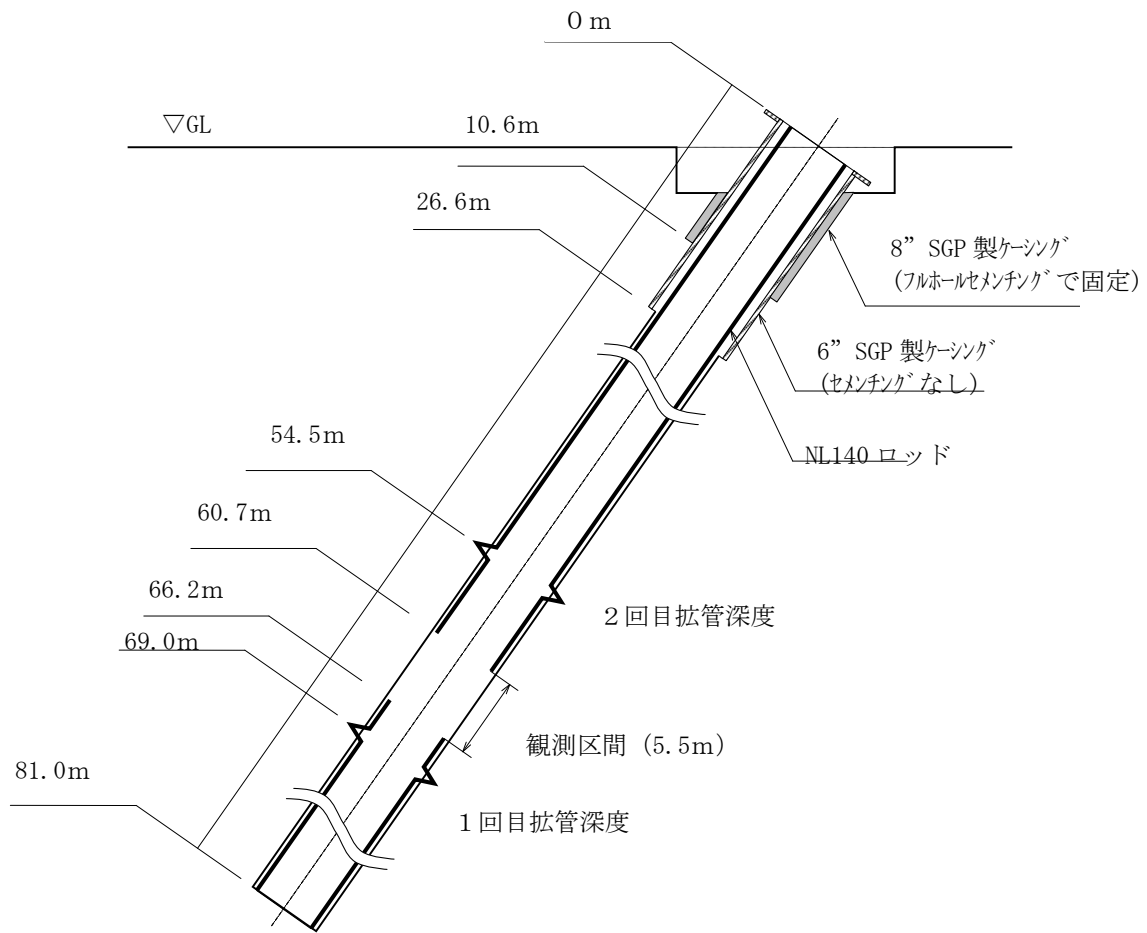


図 5.3.1-2 HMD-1 孔概要図

HCD-3 孔及び HMD-1 孔の主要機材配置図を図 5.3.1-3 と図 5.3.1-4 に示す。

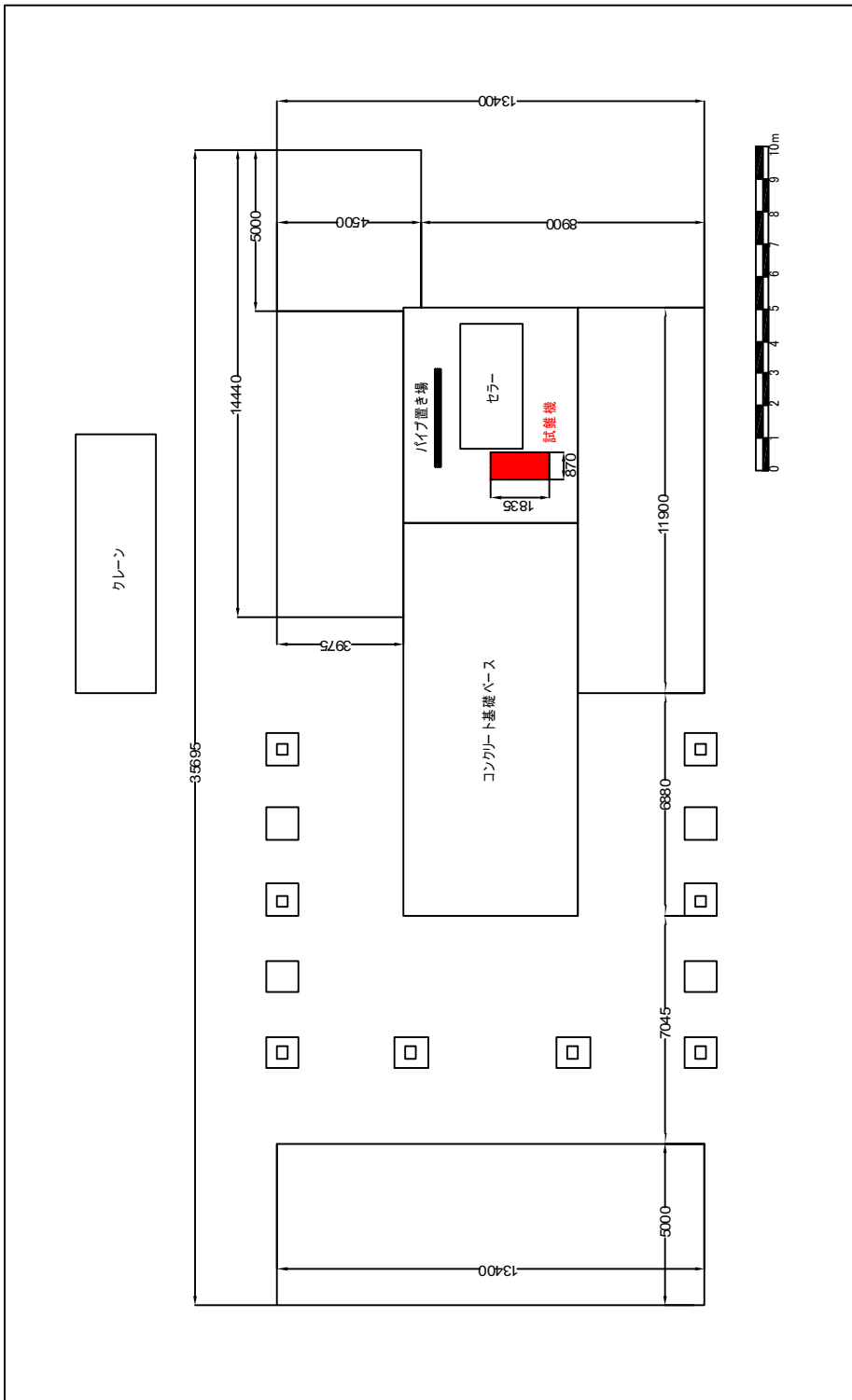


図 5.3.1-3 HCD-3 孔主要機材配置図

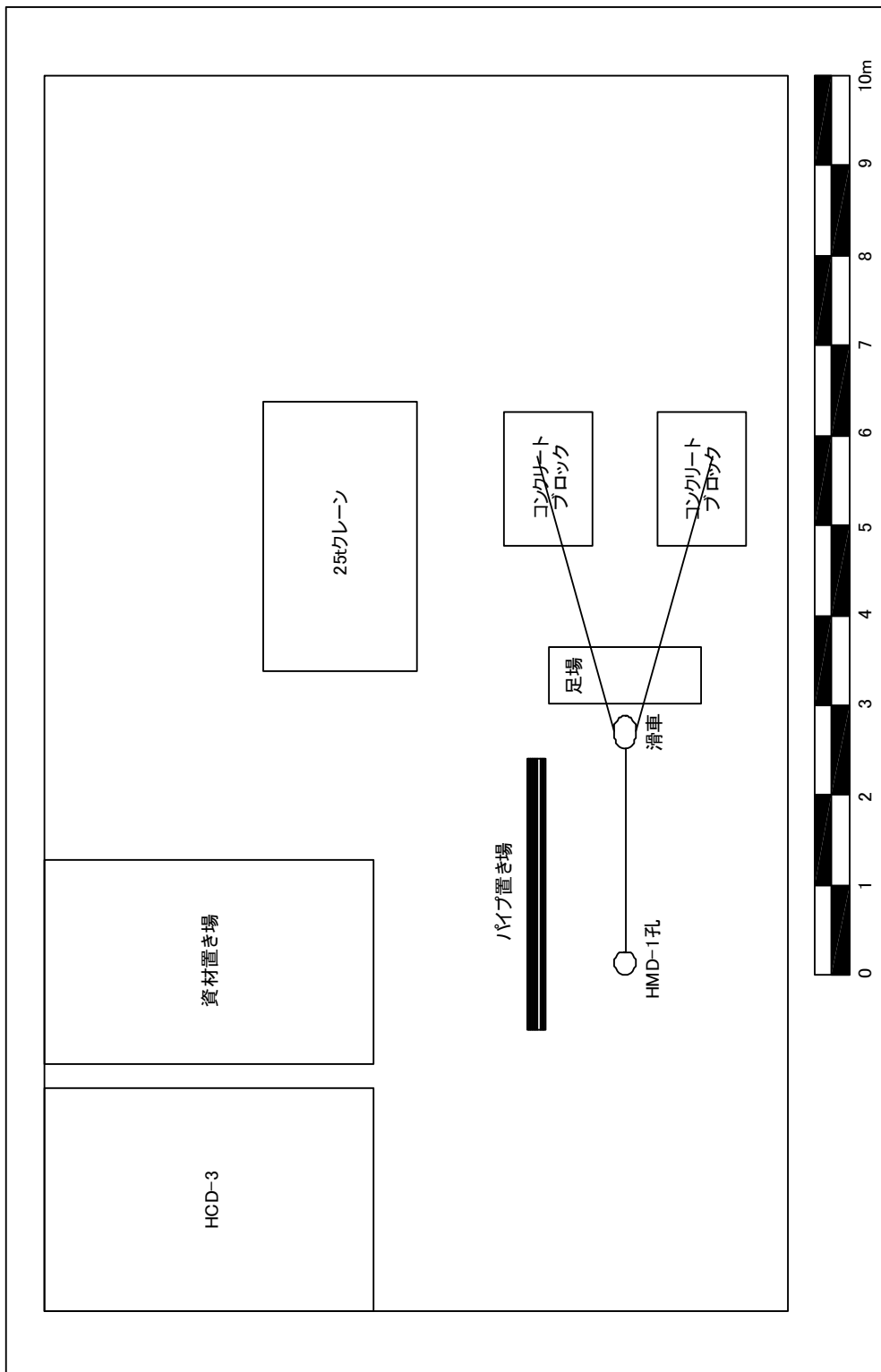


図 5.3.1-4 HMD-1 孔主要機材配置図

HCD-3 孔の廃孔に使用した主要機材を表 5.3.1-3 に示す。試錐機はモニタリングシステムの回収に使用したもの（図 5.2.2-1 参照）を流用している。また、HMD-1 の廃孔に使用した主要機材を表 5.3.1-5 に示す。

表 5.3.1-3 HCD-3 孔主要機材一覧

	名 称	仕 様	数 量
1	クレーン車	25 t クラス	1 台
2	試錐機	D2-K(Ⅲ)92 型	1 台
3	小径パイプ	各 種	必要本数
4	ミキサー	セメンチング用	1 台
5	ポンプ	セメンチング用	1 台
6	タンク類	セメンチング用	1 基
7	ハンドリングツール	ホイストチングスイベル	1 式
8		ロッドホルダー	1 式
9	4t ユニック車	運搬用	1 台

表 5.3.1-4 試錐機の仕様

機 種		D2-K(Ⅱ)92	D2-K(Ⅲ)92
スピンドル	内 径 mm	92	
	回 転 数 rpm	(A)60:180:355:65(R) (B)30: 90:170:35(R)	17:50:95:18(R)
	最大トルク kN・m	(A)1.18 [120kgf・m] (B)2.35 [240kgf・m]	3.09 [315kgf・m]
	ストローク mm	500	
	給 進 力 kN	22.1 [2250kgf]	
	引 抜 力 kN	29.5 [3010kgf]	
スライド装置 mm		油圧式ストローク 400	
所要動力		7.5kW/4P、12~15PS/1800rpm	5.5kW/4P、12PS/1800rpm
機体寸法(L×W×H) mm		1800×870×1620	1835×870×1620
機体質量 kg		700	820

表 5.3.1-5 HMD-1 孔主要機材一覧

	名 称	仕 様	数 量
1	クレーン車	25 tクラス	1台
2	小径パイプ	各 種	必要本数
3	ミキサー	セメンチング用	1台
4	ポンプ	セメンチング用	1台
5	タンク類	セメンチング用	1基
6	ハンドリングツール	ホイストチングスイベル	1式
7		ロッドホルダー	1式
8	4t ユニック車	運搬用	1台

5.3.2 HCD-3 孔廃孔

孔内の第3段掘削深度までは7"仮ケーシングが挿入されているが、すでにスライムなどにより目詰まりしており、回収は不能な状況にあった。

廃孔方法は、NL140 ロッドの下端 (GL-206.00m) から下位の NL140 ロッド上端 (GL-218.00m) 間の裸孔部 (φ152mm) にパッカーによるブリッジプラグ (プラグパッカー) を設置し、その上位の孔内のフルホールセメンチングを行った。廃孔の作業状況を下記に示す。

(1) キャリパー検層

孔内状況の把握及びプラグパッカーの設置位置を決定するためキャリパー検層を行った。



図 5.3.2-1 キャリパー検層測定状況



図 5.3.2-2 キャリパープローブ

キャリパー検層の結果、孔内裸孔部分の内径は概ね $\phi 166\text{mm}$ ～ $\phi 167\text{mm}$ の値を確認し、埋孔用プラグパッカーが安全に通過することを確認した。プラグパッカーは裸孔部上部の深度 207.5m に設置することとした。キャリパー検層結果を図 5.3.2-3 に示す。

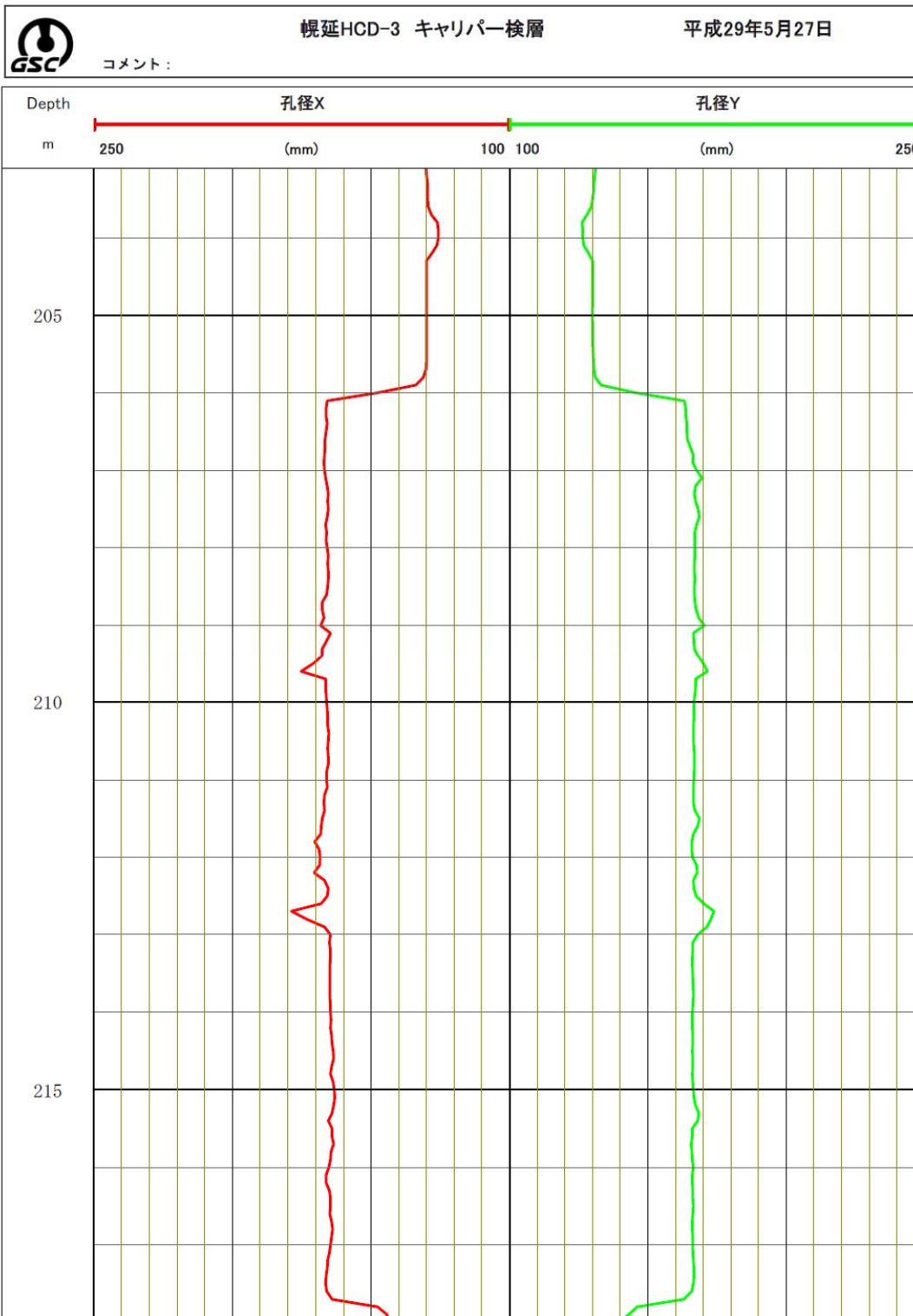


図 5.3.2-3 キャリパー検層結果図

(2) プラグパッカー設置

廃孔用のプラグパッカーにはニューマチックパッカーを使用した。プラグパッカーを所定の深度（深度 207.5m：裸孔部上部）に設置後、拡張した。プラグパッカーの降下作業は小径の JIS $\phi 40.5\text{mm}$ のパイプを使用し、パッカーの拡張圧力をパッカーの降下深度（水圧）に合わせて常に 0.11MPa（パッカー径 120mm）を保つようにきめ細かな送ガスを行いながらパッカー降下を行った。拡張には窒素ガスを使用した。



図 5.3.2-4 プラグパッカー（ニューマチックパッカー）



図 5.3.2-5 プラグパッカー設置状況



図 5.3.2-6 プラグパッカー拡張状況

(3) セメンチング

パッカー編成の設置後パッカー圧を保持保ちながら1回目のセメンチング（スラリー量 1400ℓ）を行った。翌日セメンチング後の孔口を確認したところ、孔口からの湧水は認められず、1回目のセメンチングは成功したと判断した。

引き続き2回目のセメンチングを行うため、グラウトチューブを挿入しようとしたが、パッカー降下用小径ロッドと前回のグラウトチューブに挿入を阻止されてグラウトチューブの挿入ができなかった。支障となっている小径ロッドとグラウトチューブを引き上げられる範囲で引き上げるためには保持しているパッカーラインの送圧を停止して行わなければならない、セメント硬化を確実にするため1回目のセメンチングの養生期間を2日確保し、2回目のセメンチング作業を行った。2回目のセメンチングでは800ℓ（比重：1.80）のセメントスラリーを送入し、NL140 ロッド下端から裸孔部及びNL140 ロッド外側アニュラス部を充填し、孔口まで地上回帰したことを確認した。

セメントスラリー硬化待機後、セメントスラリー送パイプを降下させ、セメントスラリー頭部深度 30mを確認し、3回目のセメンチングを行った。スラリー400ℓを送入し、地上回帰を確認した。3回目のセメンチングでは7” ケーシングパイプと外側の8” STPG ケーシング間のアニュラスへのセメンチングも行うため、孔口上部を200Aサイズの鉄蓋フランジで完全に閉塞し、孔口装置のドリリングスプールからアニュラス部へ2.0MPaの高圧セメンチングを行った。孔内よりオーバーフローしたセメントスラリーは汚泥として産廃処理を行った。



図 5.3.2-7 高圧セメンチング実施状況（HCD-3 孔）

(4) セーラー内処理

セメンチング完了後、セーラー内に40mm切込碎石を充填し、人力により作業床を整正した。切込碎

石の仕上がり高さは、ケーシングが取外された孔口が埋らないように、フランジの天端から 0.20m 程度低くした。



図 5.3.2-8 碎石投入状況



図 5.3.2-9 碎石投入完了状況

既設フランジの上部からケーシングが撤去された後に、孔口が 0.3m 以上コンクリートで被覆される高さまで、被覆コンクリートを打設した（打設量：2.5m³）。

- ・コンクリートの品質規格

配合設計：18-12-20 (N)

スランプ：12cm

空気量：4.5±1.5%

- ・現場試験の測定値

スランプ：11cm (12cm±2.5cm)・・・OK

空気量：4.7%(4.5±1.5%)・・・OK

コンクリート温度：14℃



図 5.3.2-10 コンクリートによる埋孔状況



図 5.3.2-11 コンクリート打設完了状況

コンクリート養生後（1日）、0.8m³級バックホウを使用してコンクリート基礎の天端までを、整地に用いる現地で採取される軟岩で埋め戻した（埋め戻し量：7m³）。



図 5.3.2-12 埋め戻し状況



図 5.3.2-13 埋め戻し完了状況

5.3.3 HMD-1 孔廃孔

(1) セメンチング作業

HMD-1 孔は NL140 ロッド（ケーシング）が孔内で固定され回収不能であることから、NL140 ロッド内のフルホールセメンチングを行った。計画段階では孔口から 4～5 m 離れた箇所にコンクリートブロック等のウエイトを設置し、クレーン車（25 t クラス）を使用してセメンチングを行う予定であったが、小径パイプが軽量であることから人力によりパイプを挿入し、セメンチングを行った。

本孔の深度 60.7 m から 66.2 m の区間（区間長 5.50 m）が裸孔となっている。また、裸孔を構築するため深度 69.0 m と深度 54.5 m には NL140 ロッドが拡張されている。孔口から降下した小径パイプは裸孔の上下端部ならびに拡張部で引っかかるおそれがあったため、小径パイプ挿入時に下げ負荷が掛かった場合は、上下にゆっくり管動（掘削作業等でケーシングセメンチングの際、セメントスラリーを圧送する前に、挿入したケーシングパイプ全体を孔内で上下に動かすこと）させながら小径パイプを挿

入することとした。小径パイプ挿入は深度 54.0m付近で負荷が掛かり、スライム等の停滞が考えられたため、小径パイプの先端が目詰まりしない様、数m引き揚げて小径パイプを孔口で固定した。

セメントスラリー注入前に小径パイプ内に先行水（清水）を送り、導通を確認後、1回目のセメントスラリー注入を行った。1回目は深度 5m までのセメンチングとし、注入したセメントスラリー量は 1,170ℓであった。

翌日、1回目のセメンチング硬化状況を確認したところ、セメント頭部が深度 45mまで立ち上がっていた。セメントスラリーが深度 5m まで回帰しなかった原因としては、ブリージングによるセメントスラリーの沈下だけではなく、アニュラス部及び地層内の亀裂への逸水が考えられた。

2回目のセメンチングは深度 45m分の容量に相当する 700ℓのセメントスラリー注入を行い、セメントスラリーの地上回帰を確認後、完了した。

また、既存の NL140 ロッドと 6 インチ SGP 製ケーシングのアニュラス部には、セメントが充填しないと考えられたため、孔口からアニュラス部へセメントスラリーを追加注入した。



図 5.3.3-1 セメントスラリー注入状況



図 5.3.3-2 追加セメントスラリー注入状況



図 5.3.3-3 セメンチング完了状況

(2) 孔口処理作業

孔口周辺を 0.8m³ 級のバックホウを使用して、切土法面の安全勾配 (1 : 0.5) を確認しながら深さ 2.5m まで掘削した。掘削完了後、NL140 ロッド及び6 インチ SGP 製ケーシングを切断し、6 インチ SGP 製ケーシングに鉄板を溶接した。



図 5.3.3-4 掘削状況



図 5.3.3-5 掘削土一時仮置き状況

掘削土は掘削箇所周辺に一時仮置きした。開口部の周辺はトラロープによる仮囲いを施し、第三者の立入を禁止した。



図 5.3.3-6 立ち入り禁止措置状況

掘削床を水平に保つために転圧機（プレート）を使用して整正を行った。



図 5.3.3-7 転圧状況

切断された孔口の高さは、掘削床から 0.2m 程度の高さであるため、孔口をセメントスラリーで被覆するために、高さ 0.5m 以上の型枠を製作した。その後、セメントスラリーを打設した。



図 5.3.3-8 鉄板溶接した孔口と型枠設置状況

原形に復旧するため、孔口周辺の埋戻し作業は 0.8m³級バックホウ、小型振動ローラ及びタンピング

ランマーを使用して 20cm 毎の層状転圧を行い、最終的な仕上り高さが周辺の現況地盤と段差や不陸が無いように整正した。



図 5.3.3-9 埋め戻し状況



図 5.3.3-10 HMD-1 孔口コンクリート被覆、埋戻し状況



図 5.3.3-11 埋め戻し状況（転圧）

5.3.4 作業実績

HMD-3 各孔及びHMD-1 で実施した作業工程の実績を表 5.3.4-1 に示す。

表 5.3.4-1 作業工程実績

月日	曜日	項目	内容	
5月16日	火	機材搬入設営	HCD-3	機材荷降ろし
5月17日	水	機材搬入設営	HCD-3	マシン振え付け
5月18日	木	機材搬入設営	HCD-3	マシン振え付け・鋼材移動
5月19日	金	機材搬入設営	HCD-3	マシン振え付け
5月20日	土	回収	HCD-3	マシン整備・ロッド回収
5月21日	日	休工		
5月22日	月	回収	HCD-3	ロッド回収
5月23日	火	回収	HCD-3	ロッド回収
5月24日	水	回収	HCD-3	ロッド回収
5月25日	木	回収	HCD-3	ロッド回収
5月26日	金	埋孔	HMD-1	セメンチング
5月27日	土	埋孔	HMD-1	セメンチング(追加)
5月28日	日	休工		
5月29日	月	埋孔	HCD-3	パッカー挿入・加圧
5月30日	火	埋孔	HCD-3	パッカー挿入・加圧・セメンチング①回目
5月31日	水	埋孔	HCD-3	パッカー、挿入用φ40.5ロッド切り離し
6月1日	木	埋孔	HCD-3	パッカー、挿入用φ40.5ロッド再挿入・セメンチング②回目
6月2日	金	埋孔	HCD-3	大雨・強風のため、クレーン作業は危険と判断し、作業を中止
6月3日	土	埋孔	HCD-3	パッカーの効き状態確認
6月4日	日	休工		
6月5日	月	埋孔	HCD-3	パッカーφ40.5ロッド全揚管・セメンチング③回目
6月6日	火	埋孔	HCD-3	パッカー再挿入(パッカー径を保持しながら降管)
6月7日	水	埋孔	HCD-3	セメンチング③回目のセメント頭部確認
6月8日	木	埋孔	HCD-3	セメンチング③回目のセメント頭部確認、水運搬、セメンチング④回目
6月9日	金	埋孔	HCD-3	セメンチング④回目のセメント頭部確認、孔口上部にフランジ取り付け、セメンチング⑤回目
6月10日	土	埋孔	HCD-3	セラー内の汚泥処理(バキューム車による産廃処理)、その後、セラー内に砕石充填
6月11日	日	休工		
6月12日	月	解体撤去		セラー内の砕石上部にモルタル充填・養生。 プラント解体・撤去 HMD-1 孔口処理 型枠取り外し、埋め戻し、原状復旧、完了
6月13日	火	解体撤去		孔口処理: セラー内モルタル上部に砕石充填(GL面まで) 機材撤去、山留め材撤去
6月14日	水	解体撤去		セラー保護カバー撤去
6月15日	木	解体撤去		細部解体、機材撤去準備、
6月16日	金	解体撤去		コンクリートブロック、発電機・ミキサー撤去、コンクリートガラ撤去
6月17日	土	休工		
6月18日	日	休工		
6月19日	月	解体撤去		アスファルト舗装撤去
6月20日	火	解体撤去		事務所用ハウス、資材ハウス撤去、作業終了

5.4 コンクリート基礎・アスファルト舗装撤去

5.4.1 コンクリート基礎撤去

撤去するコンクリート基礎の平面配置図を図 5.4.1-1 に示す。

(1) 作業計画

- ・コンクリート塊は無筋コンクリート、鉄筋コンクリートに分別して処分する。
- ・コンクリート塊の運搬数量については表 5.4.1-1 のとおりである。

表 5.4.1-1 コンクリート塊の運搬量

産業廃棄物の種類	当初計画	施工実績	増減
無筋コンクリート	58.5m ³	27.8m ³	-30.7m ³
鉄筋コンクリート	61.3m ³	118.5m ³	57.2m ³
合計	119.8m ³	146.3m ³	26.5m ³

増加した 26.5m³については、コンクリート基礎下部の均しコンクリートの体積と想定される。

(2) 作業における課題

- ①当初無筋コンクリートに指定されていた AA2、AA3、AA4、AA5、AA6 にはアンカーボルト等の金属（鉄）の混入があることがわかった。
- ②過積載による運搬を防止するための、コンクリート塊の積込み量を計画する必要があった。
- ③工事箇所から処分場までの運搬距離が長く、運搬車両のサイクルが制限されるため交通災害へのリスクが懸念された。

(3) 作業における課題への対応

- ①AA2～AA6 については、破碎作業を行った後のコンクリート塊の断面を確認して、アンカーボルト等の混入がある場合は「鉄筋コンクリート」として処分した。このため、鉄筋コンクリートとしての処分量が当初計画より増大した。
- ②撤去範囲ごとに算出されたコンクリート基礎の体積から総重量を算出し、10t ダンプトラック 1 台分の積載量（8t 程度）になるように運搬台数を設定した。
- ③工事箇所から処分場までの往復が 1.5 時間程度であるため、各運搬車両に午前 2 回、午後 2 回の運搬サイクルを設定し、運転手に過重な負担が掛からないように運搬した。

(4) 作業内容

① 実寸調査

コンクリート基礎の周辺を掘削する前に、延長・幅等の寸法を測定して設計寸法との相違を確認した。コンクリート基礎の寸法に設計値との差はなかった。

凡例

	コンクリート層 1:0.33
	コンクリート層 1:0.33
	コンクリート層 1:0.33

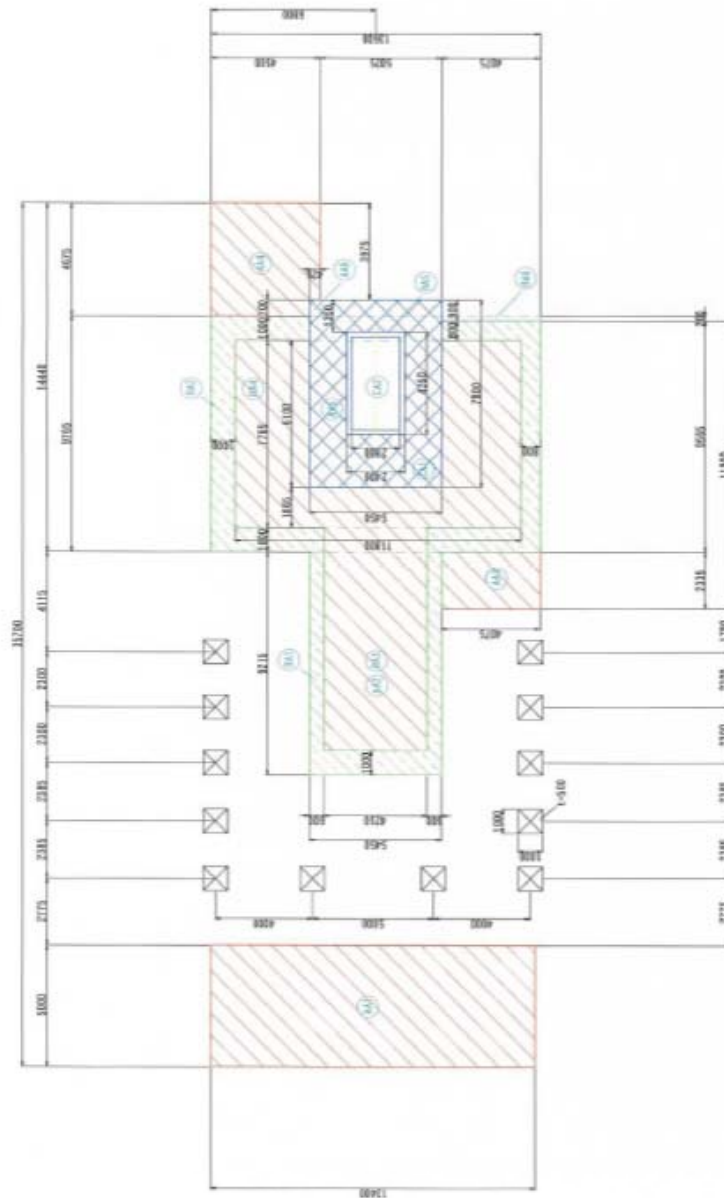


図 5.4.1-1 コンクリート基礎平面配置図



図 5.4.1-2 実寸調査状況(1)



図 5.4.1-3 実寸調査状況(2)

② 基礎周辺掘削

破碎したコンクリート基礎に土砂が混入しないように破碎作業前には 0.8m³ 級バックホウを使用してコンクリート基礎の周囲を掘削した。コンクリート基礎の周囲を掘削した後にコンクリートの厚さを測定して設計寸法との相違を確認した。コンクリート基礎の厚さについても設計値との差はなかった。



図 5.4.1-4 コンクリート基礎周辺掘削状況



図 5.4.1-5 コンクリート基礎厚測定状況

③コンクリート基礎破碎

コンクリート基礎の破碎作業には 0.8m³級バックホウ（油圧ブレーカ仕様）を使用した。

無筋コンクリートと鉄筋コンクリートには、単位体積重量の相違があることから運搬車両 1 台分の積載量（体積）に差があるため無筋、鉄筋が混入しないように、平面図に示された範囲ごとに破碎作業を行った。

表 5.4.1-2 コンクリート塊の単位体積重量

コンクリートの種類	単位体積重量
無筋コンクリート	2.35t/m ³
鉄筋コンクリート	2.50t/m ³



図 5.4.1-6 コンクリート基礎破碎状況(1)



図 5.4.1-7 コンクリート基礎破砕状況(2)



図 5.4.1-8 セーラー部破砕状況(1)



図 5.4.1-9 セーラー部破砕状況(2)



図 5.4.1-10 セーラー部破碎状況 (3)



図 5.4.1-11 セーラー部破碎完了状況

④コンクリート塊積込・運搬

コンクリート塊の10t ダンプトラックへ積込みは、0.8m³級バックホウを使用した。過積載による運搬を防止するため、積み込み範囲ごとに8t程度の積み込み量の目安をバックホウのオペレーターに伝えた。

ダンプトラックの運転手には積込まれたコンクリート塊が、無筋または鉄筋であることを伝えて運搬先の「藤コンクリート産業廃棄物処分場」で適切な分別処理を行った。



図 5.4.1-12 コンクリート塊積込状況(1)



図 5.4.1-13 コンクリート塊積込状況(2)



図 5.4.1-14 コンクリート塊積込状況(3)



図 5.4.1-15 産業廃棄物処分場搬入状況

5.4.2 アスファルト舗装撤去

(1) 作業計画

アスファルト舗装の撤去面積とアスファルト塊の処分数量について表 3.4.2-1 に示す。

表 5.4.2-1 アスファルト舗装撤去面積・アスファルト塊処分量

アスファルト舗装	当初予定	施工数量	増減
撤去面積	140.0m ²	100.8m ²	-39.2m ²
厚さ	0.08m	0.08m 程度	—
アスファルト塊の処 分数量	11.2m ³	8.5m ³	-2.7m ³

※施工数量の 8.5m³は「産業廃棄物管理票」による

(2) 作業における課題

- ①アスファルト舗装が撤去された箇所は、既設舗装版と周辺地盤との境に 8cm 程度の段差が生じるため、碎石または土砂等で摺付け範囲を施工する必要がある。
- ②過積載による運搬を防止するための、アスファルト塊の積込み量を計画する必要がある。
- ③工事箇所から処分場までの運搬距離が長く、運搬車両のサイクルが制限されるため交通災害へのリスクが懸念された。

(3) 作業における課題への対応

①アスファルト舗装が撤去された箇所は 2～3m 程度の摺付け区間を設けて段差を解消することとした。撤去箇所の埋戻しと周辺地盤の摺付けには現地採取した軟岩を使用した。

②想定されるアスファルト塊の搬出量は以下のとおりである。

施工面積 $100.8\text{m}^2 \times$ 厚さ $0.08\text{m} = 8.1\text{m}^3$

アスファルト塊の単位体積重量は $2.35\text{t}/\text{m}^3$ であるため搬出重量は以下のとおりとなる。

アスファルト塊搬出重量： $8.1\text{m}^3 \times 2.35\text{t}/\text{m}^3 = 19.0\text{t}$

10t ダンプトラック 1 台分の積載量 (8t 程度) を考慮した重量に分割した場合、

$19.0\text{t}/8.0\text{t} = 2.4$ 台となるため、撤去した舗装版は 3 分割に破砕してダンプトラックに積込むこととした。

③工事箇所から処分場までの往復が 1.5 時間程度であるため、各運搬車両に午前 2 回、午後 2 回の運搬サイクルを設定することで、無理な運転による交通災害を防止した。

(4) 撤去作業

①現地マーキング

舗装表面に切断ラインを設定してマーキングラインを引き、施工前には地権者にラインの位置を確認して頂いた。



図 5.4.2-1 切断ライン設置作業状況 (1)



図 5.4.2-2 切断ライン設置作業状況(2)

②舗装切断

舗装カッターを使用して舗装版をマーキングに沿って切断した。

切断後は清掃作業を行い、切断した舗装の断面で舗装版の厚さを測定した。



図 5.4.2-3 舗装切断作業状況(1)



図 5.4.2-4 舗装切断作業状況(2)



図 5.4.2-5 舗装厚測定状況(1)



図 5.4.2-6 舗装厚測定状況(2)

③舗装破碎・積込・運搬

アスファルト塊の破碎とダンプトラックへ積込みは、0.8m³級バックホウを使用した。

バックホウのオペレーターには、舗装版を3分割に破碎してダンプトラックに積込むことを指示した。

アスファルト塊は「藤コンクリート産業廃棄物処分場」に運搬して処分した。

摺付け範囲を施工したことで、アスファルト舗装撤去箇所周辺の段差が解消することが出来た。

また過積載による運搬がされることがなく、アスファルト塊は適切に処分場へ搬出され、運搬車両による交通災害を防止することが出来た。



図 5.4.2-7 アスファルト塊積込状況



図 5.4.2-8 アスファルト撤去作業完了状況



図 5.4.2-9 摺付箇所転圧状況(1)



図 5.4.2-10 摺付箇所転圧状況 (2)

5.4.3 埋戻し・整地

(1) 作業計画

埋戻し材料については当初は40mm切込砕石を使用する予定であったが、「農用地として支障のないように原形復旧する」ことが今回の作業目的であることから、現地採取した材料（軟岩）を使用した。

表 5.4.3-1 埋戻し数量

埋戻し材料	当初予定	施工数量	増減
40mm 切込砕石	120.0m ³	6.0m ³	-114.0m ³
軟岩（現地採取）	0.0m ³	184.3m ³	184.3m ³
合計	120.0m ³	190.3m ³	70.3m ³

(2) 埋戻し・整地作業

①準備作業

0.8m³級バックホウを使用し、コンクリート基礎とアスファルト舗装を撤去した箇所に残る小さなコンクリート塊とアスファルト塊を目視で確認しながら収集して処分した。



図 5.4.3-1 準備作業状況



図 5.4.3-2 準備作業完了状況

②埋戻し

埋戻し材料は現地で採取した軟岩を使用した。0.8m³級バックホウを使用して1層の仕上り厚さが20cm以下になるように材料を敷均し、締固めは小型振動ローラを使用して層状転圧を行った。



図 5.4.3-3 埋戻し作業状況



図 5.4.3-4 転圧作業状況

③整地

コンクリート基礎の埋戻し箇所の整地作業は、0.8m³級バックホウを使用して補足材を敷均した後にクローラで整地して不陸整正を行った。



図 5.4.3-5 整地作業完了状況(1)



図 5.4.3-6 整地作業完了状況(2)

6. モニタリングデータ収集・解析

6.1 無人計測システムデータ回収

6.1.1 無人計測システムのデータ回収

無人計測システムの機能ブロック図を図 6.1.1-1 に示す。

図中の MGB は、本システムにおいて用いているデータロガー「マジックビー」の略称であり、本システムではデータ計測やシステム制御に 10 個の MGB を用いている。データ計測用の MGB は 1 分に 1 回データを計測し、各 MGB に接続されたマイクロ SD にデータを保存する。また、データ計測用の各 MGB を以下のように呼称する。

- MGB_1A : 気象系データ用のデータロガー (ケース A 内に設置)
- MGB_1B : 電源系データ用のデータロガー (ケース B 内に設置)
- MGB_2A : 積雪量のデータロガー (ケース A 内に設置)
- MGB_1D : 区間圧力 2、3 用のデータロガー (ケース D 内に設置)
- MGB_2D : 区間圧力 1、パッカー1、2 用のデータロガー (ケース D 内に設置)
- MGB_3D : パッカー3、4、5 用のデータロガー (ケース D 内に設置)
- MGB_4D : ミニパッカー1、2 用のデータロガー (ケース D 内に設置)
- MGB_5D : ミニパッカー3 用のデータロガー (ケース D 内に設置)
- MGB_1F : 太陽光パネル設置角度別発電量評価用のデータロガー (ケース F 内に設置)

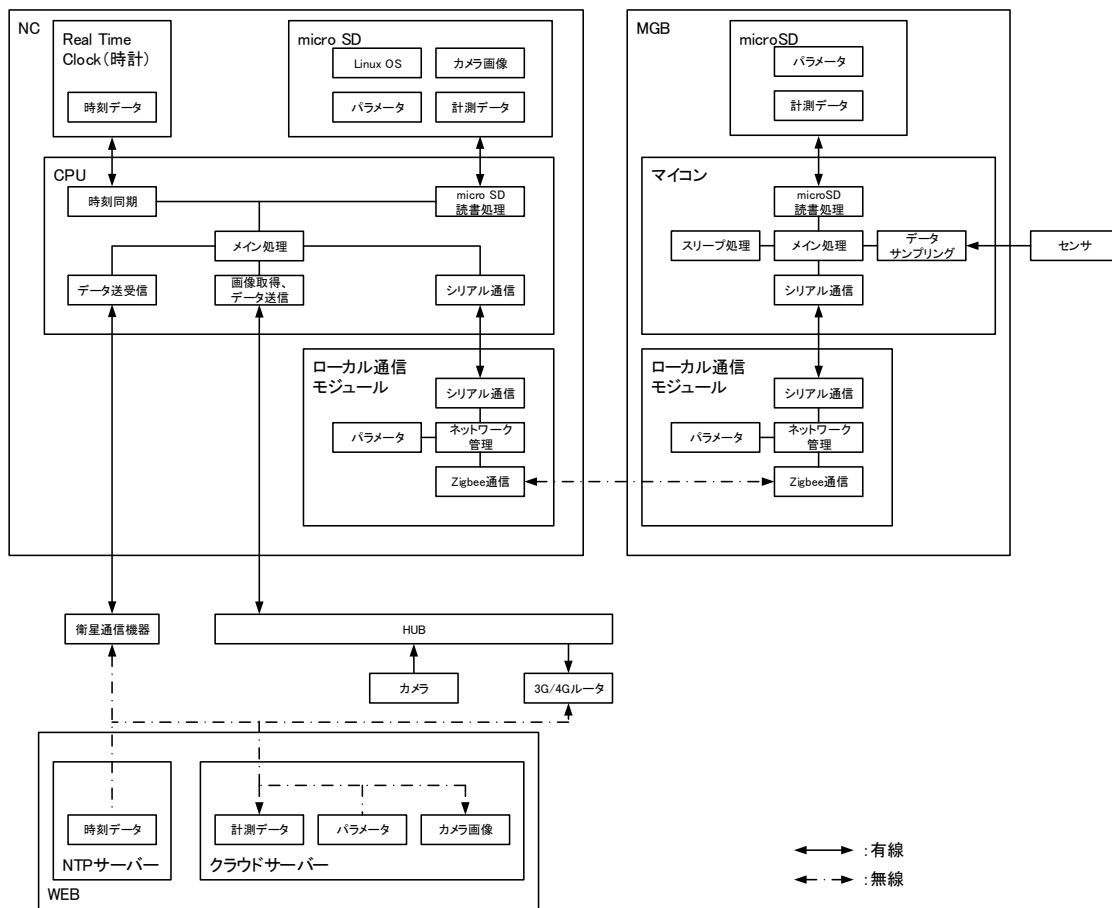


図 6.1.1-1 無人計測システム機能ブロック図

本システムでは計測対象が分散して設置されており、MGB で計測されたデータは低消費電力通信規格である Zigbee を使用した無線センサネットワーク (ローカル通信) を介して、NC (ネットワークコン

コンピュータ)に集積される。NCに集積されたデータは、上位通信(衛星通信、または、3G/4G通信)を介してクラウドサーバーに転送されるが、通信や無人計測システム自身に不具合が発生した場合、クラウドサーバーにデータが転送されない場合がある。データ取得状況の解析を行うため、撤去作業に先立って、各MGBに接続されたマイクロSD及びNC内に保存された計測データの回収を行った。

6.1.2 取得データ数の集計

現地MGB及びNCからの回収データを含めた取得データ数の集計結果を

表 6.1.2-1 から

表 6.1.2-9 に示す。表中の各項目は以下の通り定義される。

測定点…各月の理論上の測定回数(1分単位で測定した場合の測定回数)

クラウドデータ数…NCからクラウドサーバーに転送されたデータ数

NC内データ数…MGBからNCに転送されたデータ数

上位通信欠損回数…NC内データのうち、クラウドサーバーに転送されなかったデータ数

上位通信取得率…NCからクラウドサーバーへのデータ転送の成功率(下式により算出)

$$\text{上位通信取得率}[\%] = \frac{\text{クラウドデータ数}}{\text{NC内データ数}} \times 100$$

ローカル通信欠損回数…測定点のうち、NCに転送されなかったデータ数

ローカル通信取得率…MGBからNCへのデータ転送の成功率(下式により算出)

$$\text{ローカル通信取得率}[\%] = \frac{\text{NC内データ数}}{\text{測定点}} \times 100$$

システム欠損回数…測定点のうち、クラウドサーバーに転送されなかったデータ数

システム取得率…ローカル通信及び上位通信を介したクラウドサーバーへのデータ転送の成功率(下式により算出)

$$\text{システム取得率}[\%] = \frac{\text{クラウドデータ数}}{\text{測定点}} \times 100$$

マイクロSD保存欠損回数…測定点のうち、マイクロSDに保存されなかったデータ数

マイクロSD保存取得率…マイクロSDへのデータ保存の成功率(下式により算出)

$$\text{マイクロSD保存取得率}[\%] = 100 - \frac{\text{マイクロSD保存欠損回数}}{\text{測定点}} \times 100$$

上位通信では、通信回線の接続後、MGB毎に転送処理が行われる。回線の接続状態は保持されていて

も、通信品質が悪い場合、MGB 単位で転送処理が失敗することがあるため MGB 毎に集計を行っている。同様に、ローカル通信についても MGB 毎の集計を行っているが、これは MGB 毎に NC との通信接続を行うためである。また、欠損回数と取得率の算出には表中の測定点を用いている。表中の測定点は理論上の測定回数であり、MGB に不具合等が発生し測定が行われなくなった場合などにおいて実際の測定回数と一致しなくなる懸念があるが、MGB 内データを確認したところ、2016 年 2 月から 2017 年 5 月までの期間において、マイクロ SD にトラブルがあった MGB_1A、MGB_1B、MGB_1F 以外の MGB のマイクロ SD 上に理論上の測定回数のほぼ 100%のデータが保存されていた。マイクロ SD 上にデータが保存されているということは測定が実行されたことを示しており、実際の測定回数と理論上の測定回数との差が小さいことから、取得状況の確認においては大きな影響はないと考えて理論上の測定回数を用いて評価を行っている。表中の 2015 年 10 月～2017 年 1 月のデータは昨年度まで実施された無人計測システムの信頼性調査における解析結果である。この期間においては、以下各トラブルの影響により該当期間の解析結果に異常が現れている。

① 2015 年 10 月～2016 年 1 月

衛星通信の不調やこれに伴うバッテリー消費増などの影響により、システムを安定的に運用できない状態であったことから上位通信の評価対象外としている。

② 2016 年 3 月～5 月

ケース A 内の電源基板にトラブルが発生し計測自体が実施できなかったため、MGB_1A の 2016 年 4 月と 2016 年 5 月、及び、MGB_2A の 2016 年 3 月～5 月の間、データ取得数が 0 になっている。表中では、上記期間の取得率が上位通信で 100%とローカル通信で 0%となっているが、測定自体が行われておらず、この期間の取得率は無効なデータとなっている。

③ 2016 年 6 月～8 月

MGB_1F のマイクロ SD のデータ破損が発生した。クラウドサーバーにデータが転送されていることから、測定処理実施後にデータが破損したと考えられるが、実際の測定回数が確認できなくなっている。

図 6.1.2-1 上位通信取得率を、図 6.1.2-2 にローカル通信取得率を、図 6.1.2-3 にシステム取得率を、図 6.1.2-4 にマイクロ SD 保存取得率を示す。(図中、2015 年 10 月～2017 年 1 月のデータは昨年度までに実施された無人計測システムの信頼性調査における解析結果を示す。)

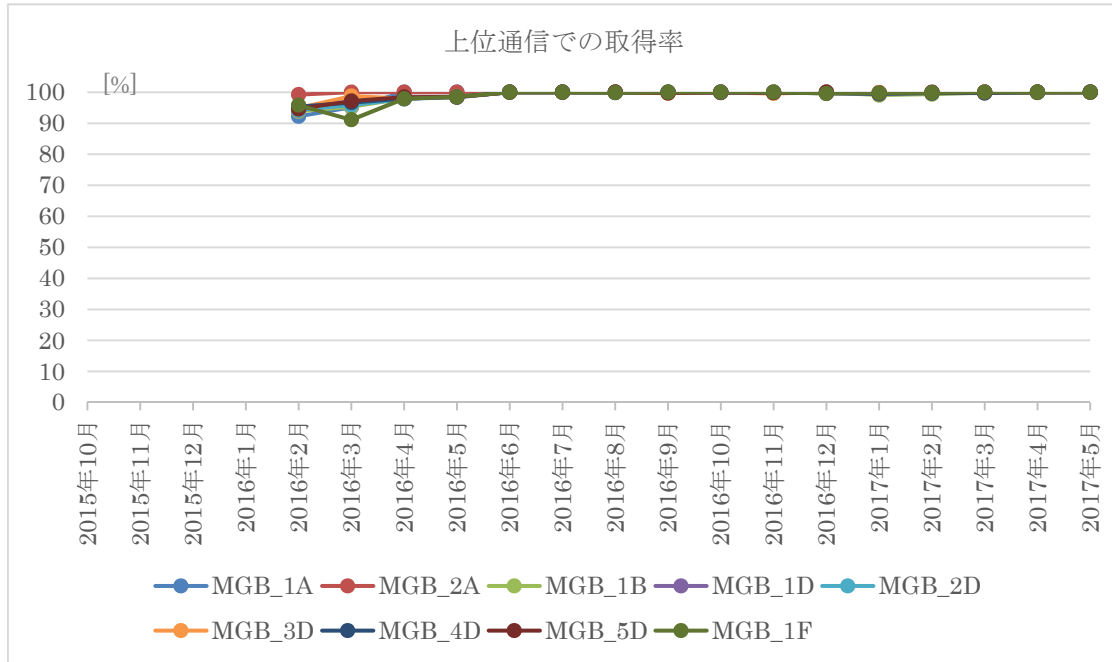


図 6.1.2-1 上位通信取得率

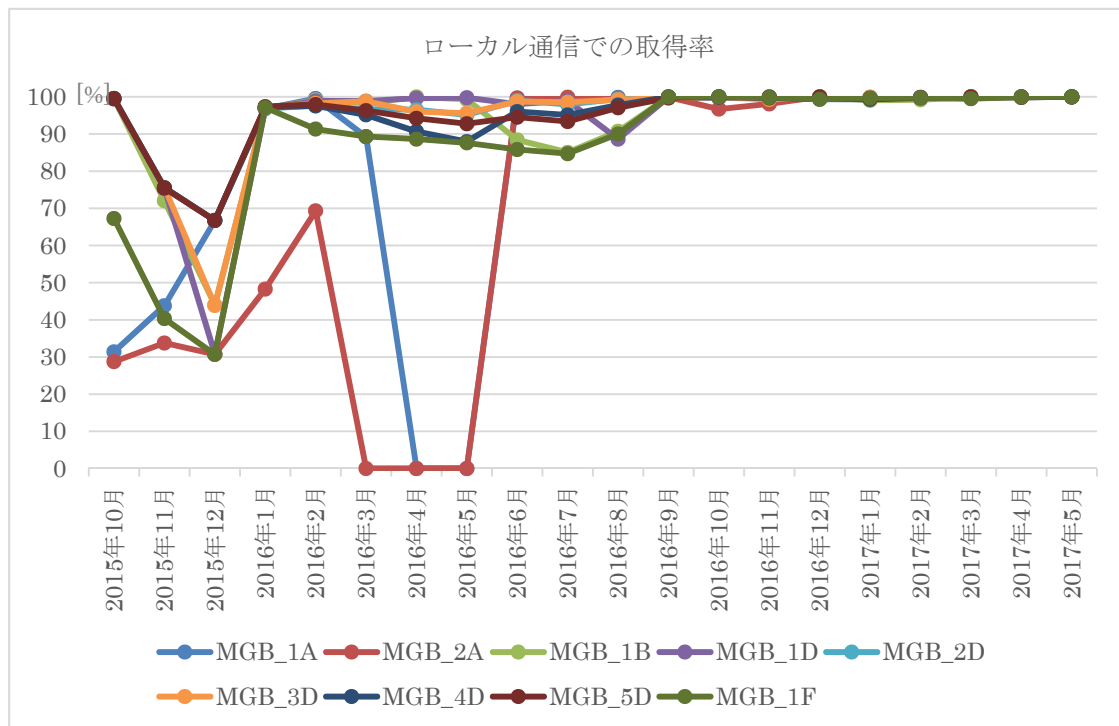


図 6.1.2-2 ローカル通信取得率

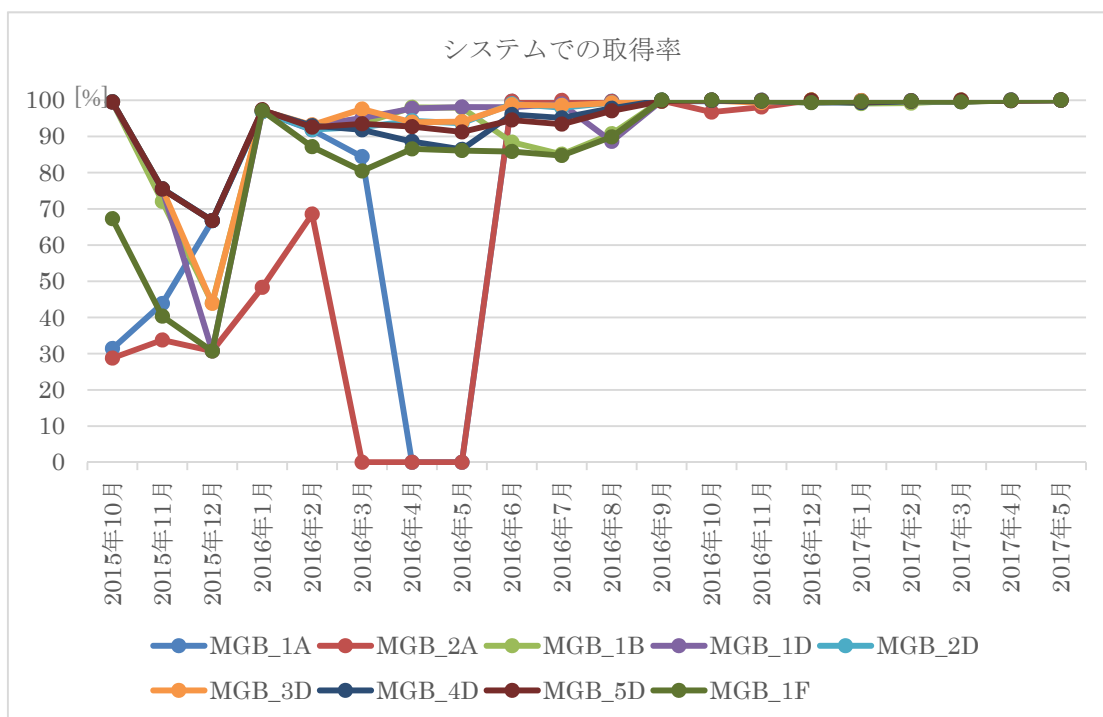


図 6.1.2-3 システム取得率

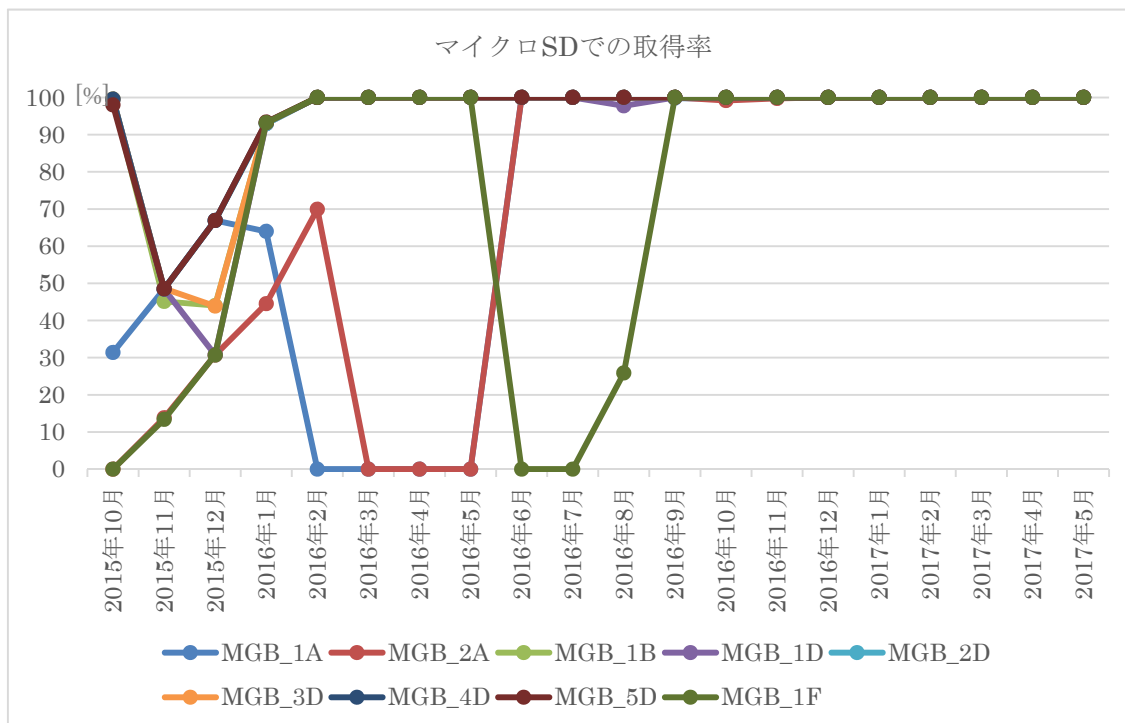


図 6.1.2-4 マイクロSD保取得率

昨年度の信頼性評価と同様に上位通信の成功率についての解析結果を示す。

表 6.1.2-10 から表 6.1.2-14 に上位通信成功率（2017年2月～5月）を示す。これらの表は正時毎の上位通信について成功：1（緑）／失敗：0（赤）で通信の成否をまとめたものである。成功／失敗の判定は、クラウド上の Web カメラ画像の有／無によって判定している。これは、Web カメラ画像の送信が上位通信回線直後に実施されるため他の要因によって送信処理が阻害されにくいことから、通信の成功率とほぼ等しくなるためである。表中、右端に日毎の成功率、右下に各月の成功率を記載している。また、黄色のセルは現地作業日、灰色のセルは NC 停止状態（上位通信自体が実行されなかった状態）であることを示している。

表 6.1.2-14 及び図 6.1.2-5 に月ごとの成功率をまとめた。2016年2月までは衛星通信等のキャリアとしての評価を行っていたため成功率が低くなっているが、2016年3月以降、現地環境にて通信品質が良好なキャリアに固定したことで成功率が安定している。それでも、全期間を通して100%上位通信が成功する期間がないことが確認できる。本システムは送信失敗したデータを再送信する機能を有しており、再送信機能が重要であることが確認できる結果となった。

表 6.1.2-10 上位通信成功率 (2017年2月)

	0時	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時	成功回数	失敗回数	成功率
2017/2/1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2017/2/2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2017/2/3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	5	79.167%
2017/2/4	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	19	5	79.167%
2017/2/5	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16	8	66.667%
2017/2/6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2017/2/7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	23	1	95.833%
2017/2/8	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2017/2/9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2017/2/10	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	18	6	75.000%
2017/2/11	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%
2017/2/12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2017/2/13	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	21	3	87.500%
2017/2/14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	23	1	95.833%
2017/2/15	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2017/2/16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	23	1	95.833%
2017/2/17	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2017/2/18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2017/2/19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2017/2/20	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	22	2	91.667%
2017/2/21	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	20	4	83.333%
2017/2/22	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	20	4	83.333%
2017/2/23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2017/2/24	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2017/2/25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2017/2/26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2017/2/27	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18	6	75.000%
2017/2/28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	22	2	91.667%
																									2017年2月合計		90.476%

表 6.1.2-11 上位通信成功率 (2017 年 3 月)

	0時	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時	成功回数	失敗回数	成功率		
2017/3/1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	21	3	87.500%	
2017/3/2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	24	0	100.000%
2017/3/3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	24	0	100.000%
2017/3/4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	24	0	100.000%
2017/3/5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	24	0	100.000%
2017/3/6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	24	0	100.000%
2017/3/7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/3/8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/3/9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%	
2017/3/10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%	
2017/3/11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	23	1	95.833%	
2017/3/12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%	
2017/3/13	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/3/14	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	22	2	91.667%	
2017/3/15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/3/16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/3/17	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%		
2017/3/18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%		
2017/3/19	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%		
2017/3/20	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%		
2017/3/21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%		
2017/3/22	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%		
2017/3/23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%		
2017/3/24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%		
2017/3/25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%		
2017/3/26	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%		
2017/3/27	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%		
2017/3/28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%		
2017/3/29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%		
2017/3/30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%		
2017/3/31	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%		
	2017年3月合計																								231	1	95.968%		

表 6.1.2-12 上位通信成功率 (2017 年 4 月)

	0時	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時	成功回数	失敗回数	成功率	
2017/4/1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	21	3	87.500%
2017/4/2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%
2017/4/3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/4/4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%	
2017/4/5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%	
2017/4/6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	23	1	95.833%	
2017/4/7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/4/8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	22	2	91.667%	
2017/4/9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%	
2017/4/10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%	
2017/4/11	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/4/12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/4/13	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%	
2017/4/14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	23	1	95.833%	
2017/4/15	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	22	2	91.667%	
2017/4/16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/4/17	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/4/18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	22	2	91.667%	
2017/4/19	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/4/20	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/4/21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%	
2017/4/22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%	
2017/4/23	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	19	5	79.167%	
2017/4/24	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%	
2017/4/25	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%	
2017/4/26	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/4/27	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/4/28	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/4/29	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%	
2017/4/30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%	
2017年4月合計																									217	17	93.899%	

表 6.1.2-13 上位通信成功率 (2017 年 5 月)

	0時	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時	成功回数	失敗回数	成功率
2017/5/1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	22	2	91.667%
2017/5/2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2017/5/3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	21	3	87.500%
2017/5/4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2017/5/5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2017/5/6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2017/5/7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2017/5/8	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	1	92.857%
																									2017年5月合計		94.940%

表 6.1.2-14 上位通信成功率

年月	上位通信成功率 [%]
2015年10月	64.7
2015年11月	72.4
2015年12月	55.4
2016年1月	45.6
2016年2月	79.7
2016年3月	90.7
2016年4月	95.1
2016年5月	96.1
2016年6月	93.8
2016年7月	94.8
2016年8月	91.1
2016年9月	94.2
2016年10月	95.4
2016年11月	92.9
2016年12月	92.1
2017年1月	89.2
2017年2月	90.5
2017年3月	96.0
2017年4月	93.9
2017年5月	94.9

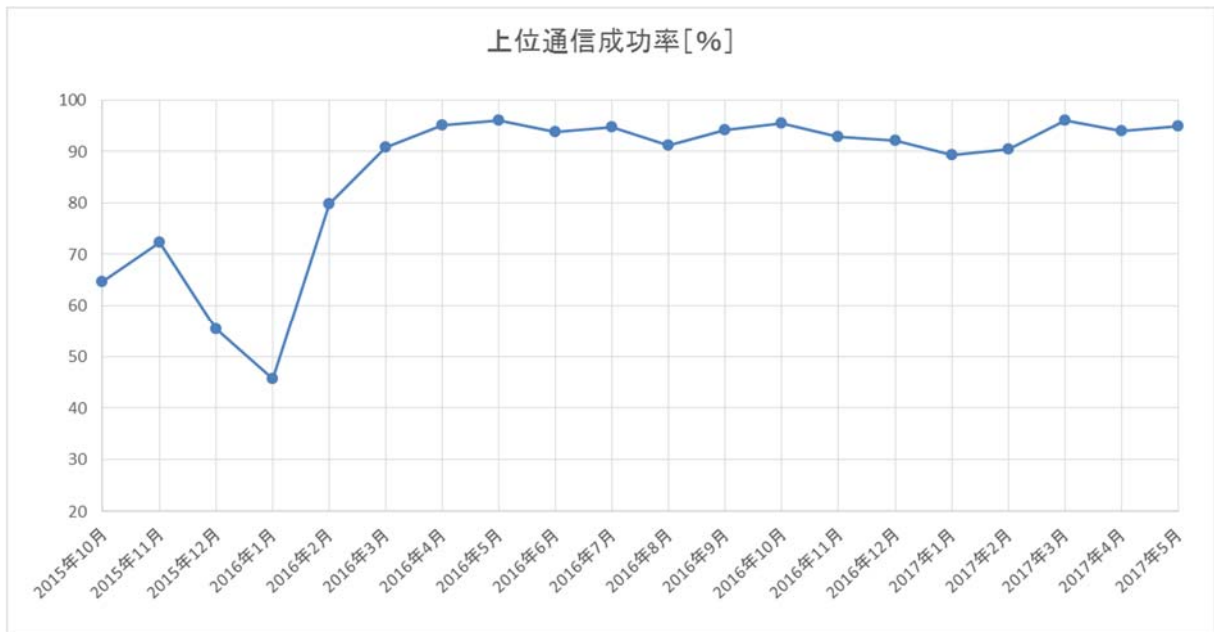


图 6.1.2-5 上位通信成功率

また、Web カメラで撮影した画像の中に図 6.1.2-6 のように下側が欠損している画像があり、発生メカニズムの解析を行った。



図 6.1.2-6 Web カメラ画像部分欠損例

現地 NC から回収した画像データとクラウドに送信された画像データを比較したところ、両者のデータは同一であることが確認された。このことから、NC に送信された時点で画像の部分的な欠損は発生していることが分かる。

Web カメラは撮影した画像を規定の解像度に圧縮し NC に送信するまでを固定された起動時間内で実行する仕組みとなっているが、NC への画像送信が Web カメラの起動時間内に完了しなかった場合は部分欠損が発生する。上幌延地区のシステムでは Web カメラは NC と有線接続されているため一定時間で通信が行われることから、圧縮処理の時間の変動が原因と考えられる。

Web カメラについては、信頼性評価の途中で解像度設定を大きくするなどの設定変更を行っており、この設定変更以降、圧縮処理時間が長期化し部分欠損が増えている。この問題に対しては、撮影画像サイズを考慮して Web カメラの起動時間を調整することで部分欠損を回避できることが確認出来た。

6.1.3 モニタリング無人計測システムの信頼性

平成28年度の信頼性調査時（システム改造終了後）とそれ以降の各種データ取得率を表6.1.3-1から表6.1.3-4に示す。データ再送信機能追加の改造以降も各種データ取得率はほぼ100パーセント近くで安定していることがあらためて確認できた。

表 6.1.3-1 上位通信データ取得率

データ取得率[%]	H28年度 信頼性調査時 (改造終了～2017年1月)	信頼性調査終了以降 (2017年2月以降)
MGB 1A	99.965	99.873
MGB 2A	99.982	99.956
MGB 1B	99.877	99.734
MGB 1D	99.877	99.912
MGB 2D	99.912	99.956
MGB 3D	99.877	99.911
MGB 4D	99.859	99.823
MGB 5D	99.912	100.000
MGB 1F	99.895	99.956
全MGB	99.906	99.902

表 6.1.3-2 ローカル通信データ取得率

データ取得率[%]	H28年度 信頼性調査時 (改造終了～2017年1月)	信頼性調査終了以降 (2017年2月以降)
MGB 1A	99.838	99.850
MGB 2A	98.896	99.953
MGB 1B	99.793	99.685
MGB 1D	99.798	99.912
MGB 2D	99.829	99.952
MGB 3D	99.746	99.911
MGB 4D	99.657	99.770
MGB 5D	99.822	99.888
MGB 1F	99.768	99.752
全MGB	99.683	99.853

表 6.1.3-3 システムデータ取得率

データ取得率[%]	H28年度 信頼性調査時 (改造終了～2017年1月)	信頼性調査終了以降 (2017年2月以降)
MGB 1A	99.811	99.723
MGB 2A	98.868	99.908
MGB 1B	99.598	99.419
MGB 1D	99.604	99.824
MGB 2D	99.718	99.908
MGB 3D	99.552	99.822
MGB 4D	99.435	99.593
MGB 5D	99.683	99.888
MGB 1F	99.629	99.707
全MGB	99.544	99.755

表 6.1.3-4 マイクロ SD 保存データ取得率

データ取得率[%]	H28年度 信頼性調査時 (改造終了～2017年1月)	信頼性調査終了以降 (2017年2月以降)
MGB 1A	99.900	100.000
MGB 2A	99.778	100.000
MGB 1B	100.000	100.000
MGB 1D	100.000	100.000
MGB 2D	100.000	100.000
MGB 3D	100.000	100.000
MGB 4D	100.000	100.000
MGB 5D	100.000	100.000
MGB 1F	100.000	100.000
全MGB	99.964	100.000

6.2 モニタリングデータ解析

6.2.1 取得データ

モニタリングシステムは平成 26 年 2 月に設置し、データ取得を開始した。その後、平成 27 年 10 月から無人計測システムに移行し、引き続きデータ取得を実施した。これまでに取得した観測データを図 6.2.1-1 に、平成 29 年度に取得した観測データを図 6.2.1-2 に示す。なお、区間③は平成 28 年 6 月から採水作業を実施するために常時ミニパッカーを解除しており、スタンドパイプ上部から湧水していた。そのため、グラフ上の計測水位はスタンドパイプ上部までの水位を示す。

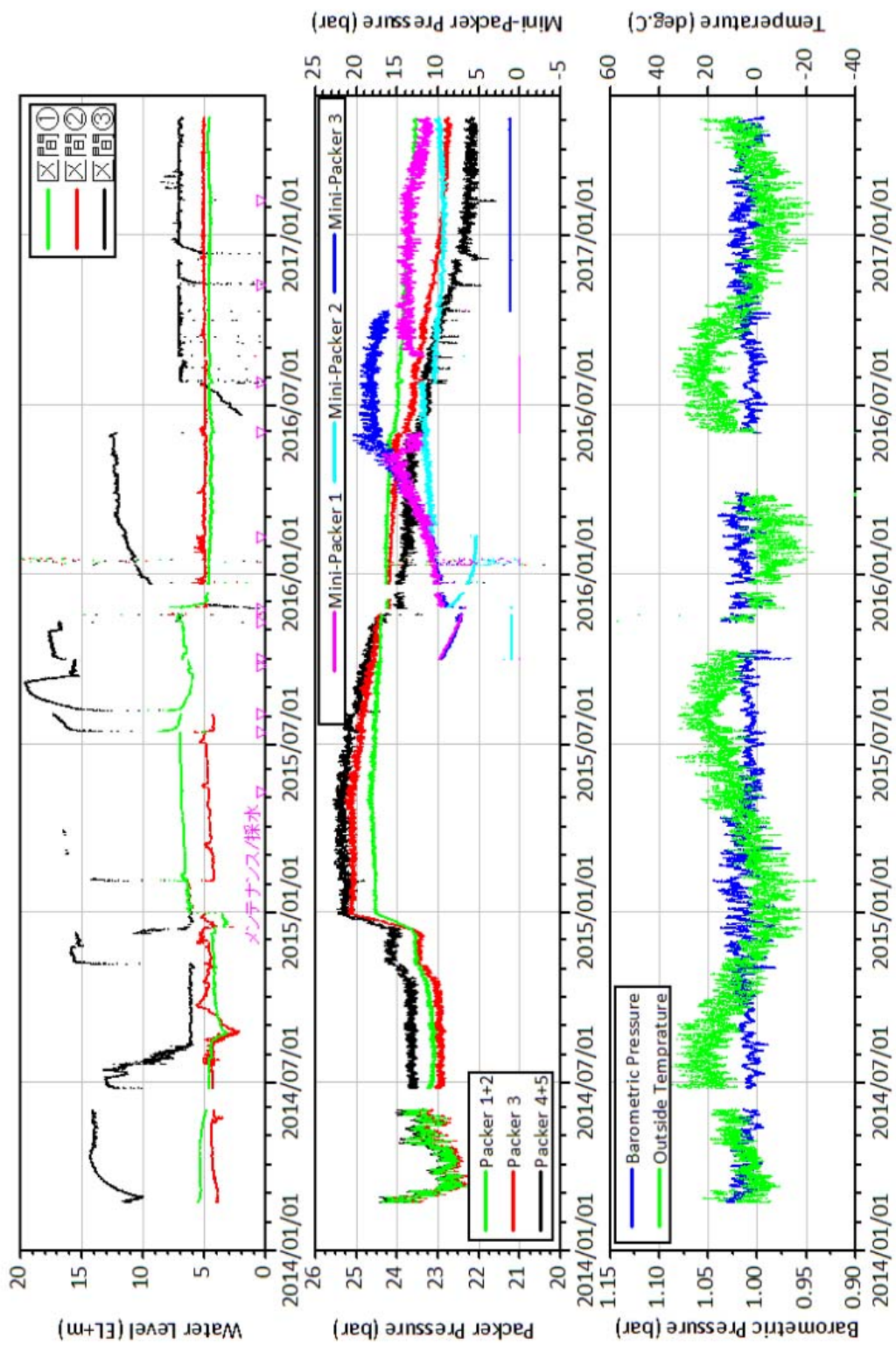


図 6.2.1-1 観測データ (全期間)

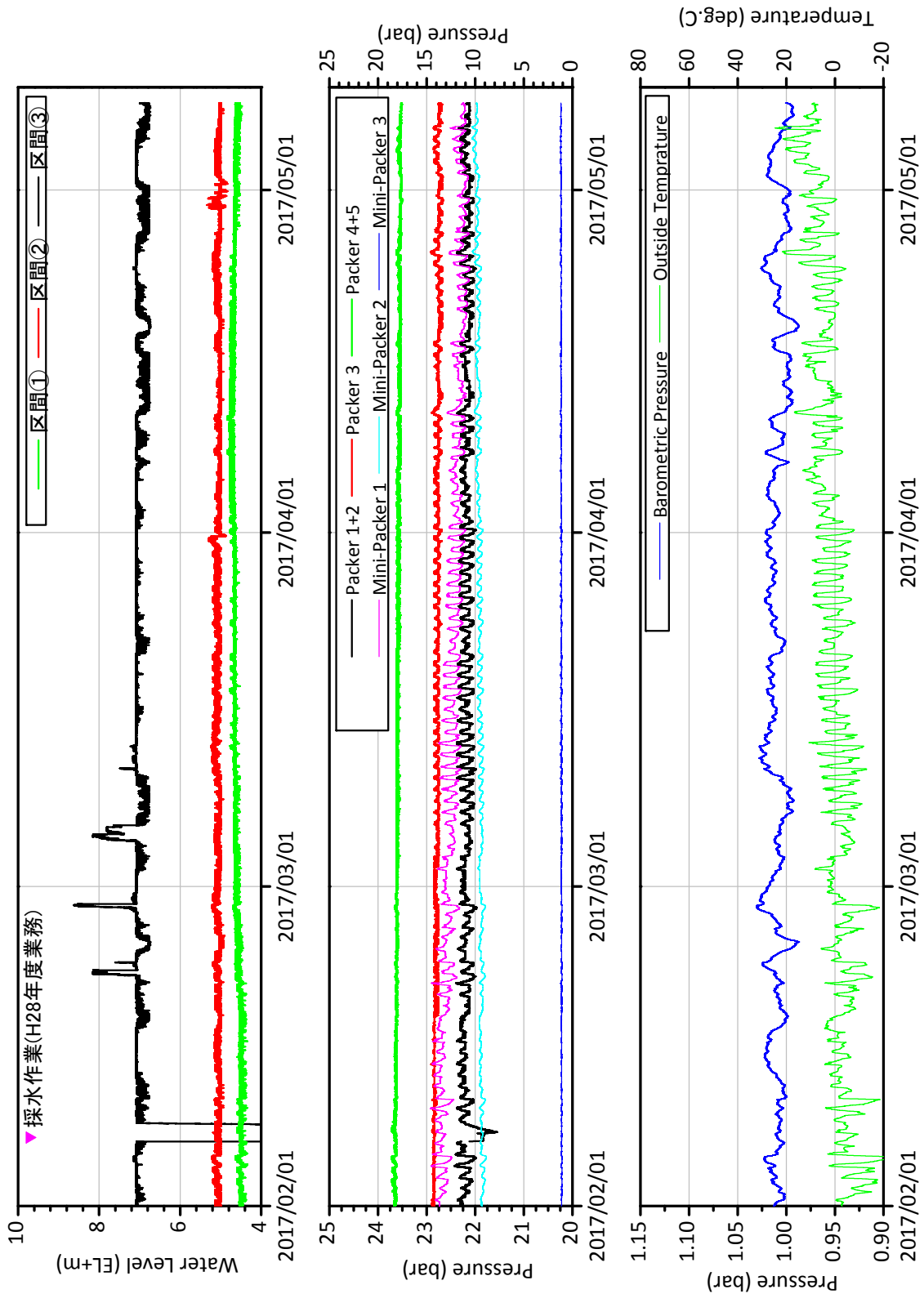


図 6.2.1-2 観測データ (平成 29 年度)

6.2.2 区間圧力データに対する影響要因

本モニタリングシステムは、地下の間隙水圧の変動に連動したスタンドパイプ内の水圧変動を測定しているため、変動の要因としては大気圧、潮汐、降水などが挙げられる（図 6.2.2-1 参照）。また、本システムでは各観測区間をパッカーにより遮水しているが、パッカー圧力の変動に伴い計測圧力が変化する可能性も示唆されている。さらに、各観測区間はミニパッカーにより遮水され、大気圧の影響を受けないようにしているが、ミニパッカー自体の圧力変化により計測圧力が変化する可能性も考えられる。

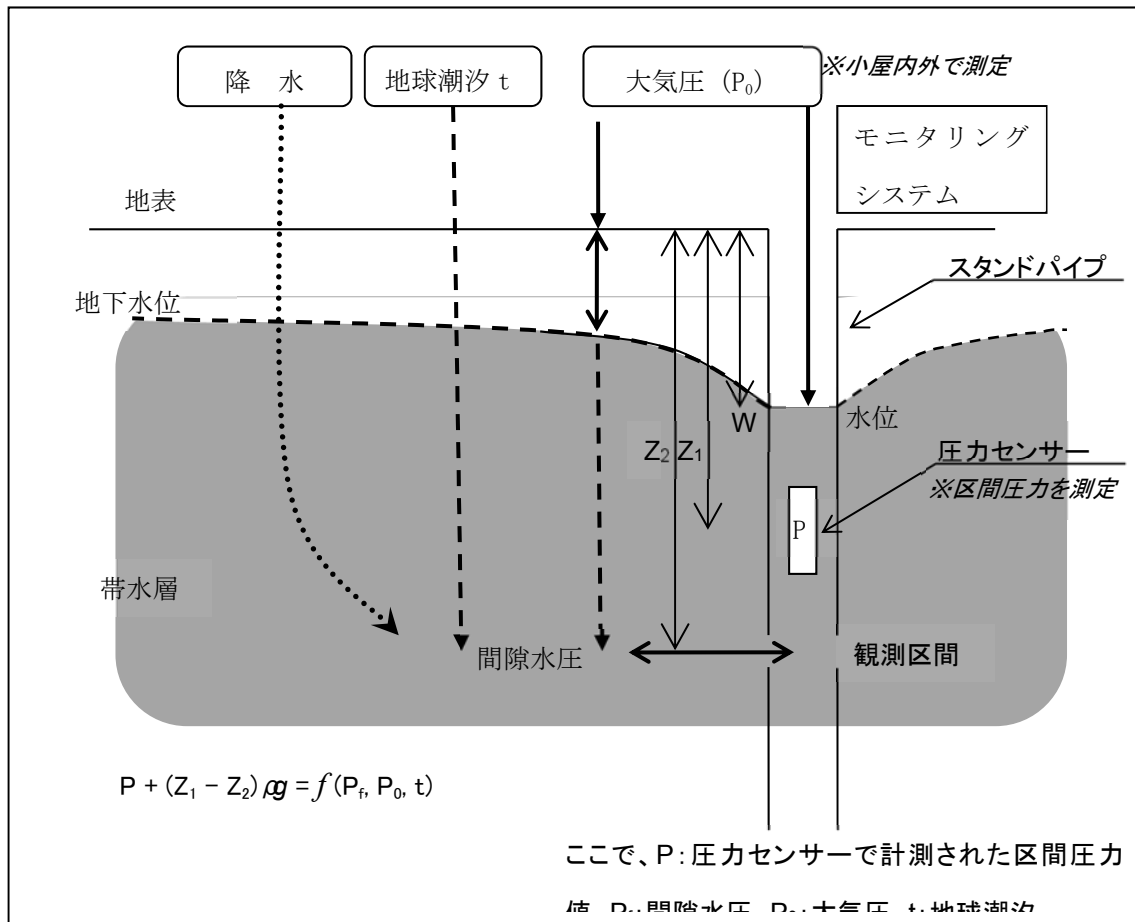


図 6.2.2-1 区間圧力データに対する影響要因

6.2.3 各影響要因と解析方法

・大気圧による影響

本システムでは各スタンドパイプにミニパッカーを設置しており、直接的な大気圧の影響は遮断している。そのため大気圧による影響はないと考えられる。

・潮汐による影響

図 6.2.3-1 に各観測区間水位と稚内における潮位を示す。区間①及び②において、潮汐の影響が表れている箇所が見られ、解析によりその影響を取り除くことが望ましいと考えられる。区間③については、常時湧水状態であったため、解析対象から除外する。解析には潮汐解析プログラムとして実績のある BAYTAP-G (Baysian Tidal Analysis Program - Grouping Model, Ishiguro et al., 1981; Tamura et al., 1991) を使用する。

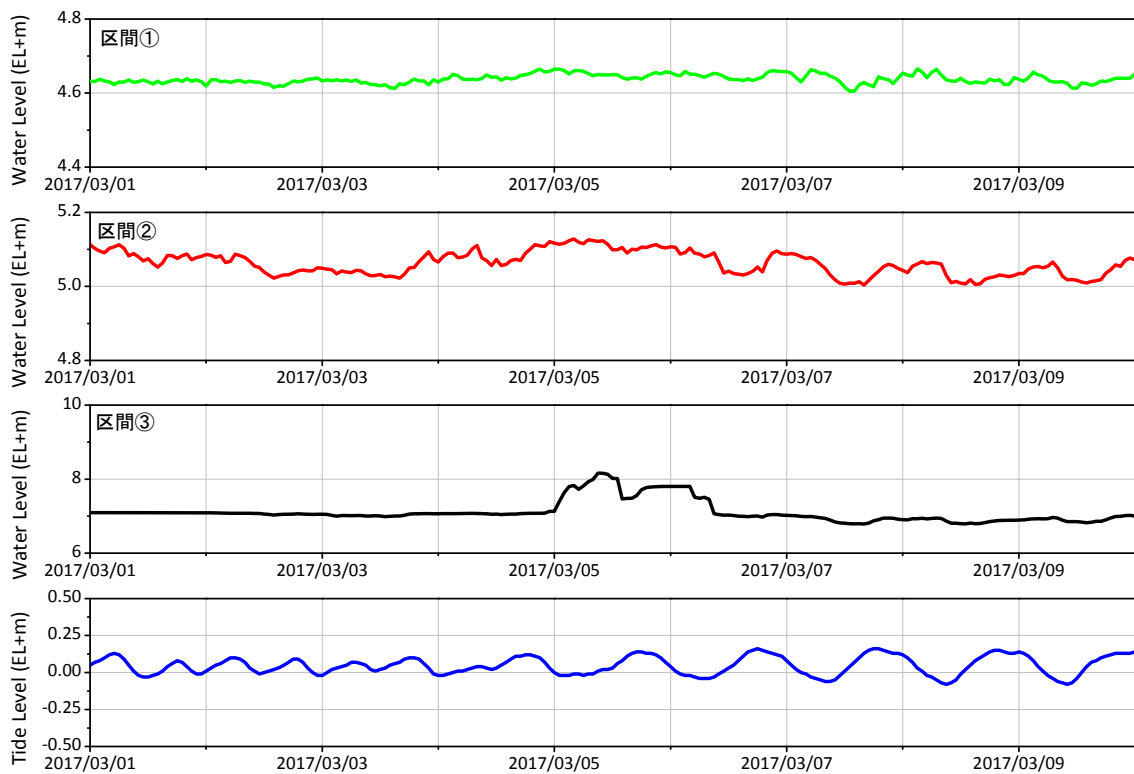


図 6.2.3-1 各観測区間水位と稚内における潮位

- ・降水による影響

降水による各観測区間水位への影響について検討するため、近隣3箇所（天塩、幌延、豊富）で観測されているアメダスデータと各観測区間水位を比較した（図 6.2.3-2 参照）。その結果、降水による区間水位への明確な影響はないと考えられる。

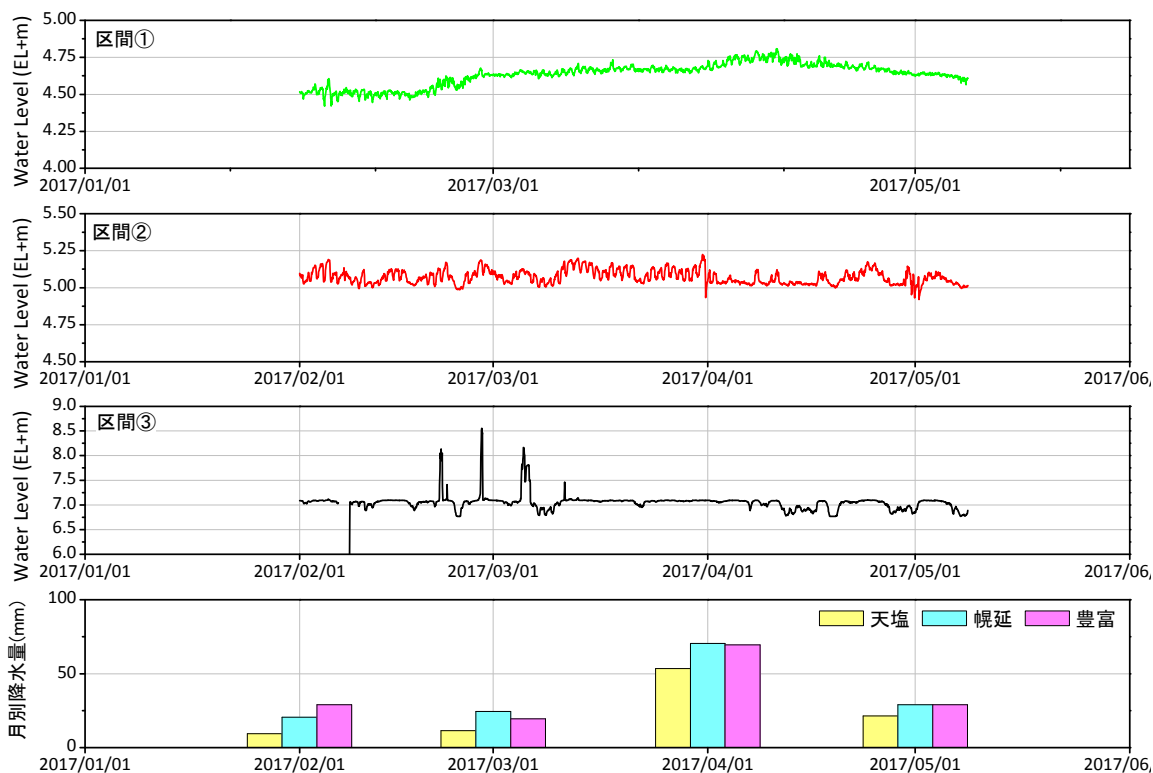


図 6.2.3-2 各観測区間水位と近隣3箇所の降水量

- ・その他の要因による影響

区間①及び②の観測区間水位とパッカー圧力、ミニパッカー圧力、気温及び大気圧のクロスプロットをとり、その影響について検討した（図 6.2.3-3 から図 6.2.3-4 参照）。

区間①においてミニパッカー圧力との逆相関の傾向がみられる。これはミニパッカー拡張ラインの地上部分が気温の影響を受けていることに起因していると考えられる。

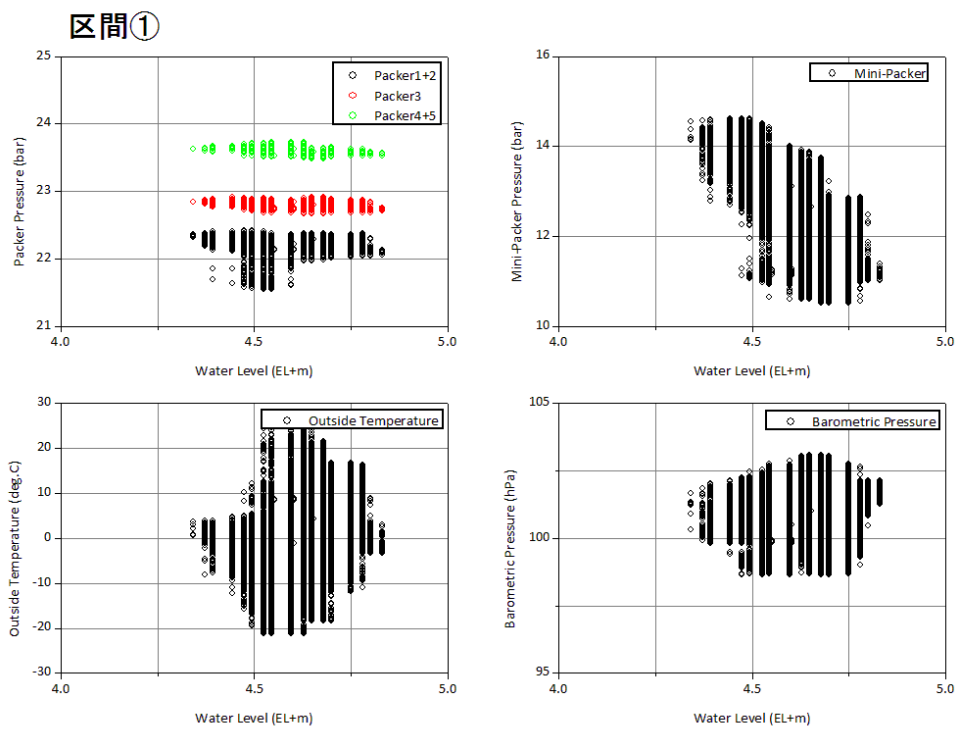


図 6.2.3-3 区間①水位と各種データとのクロスプロット

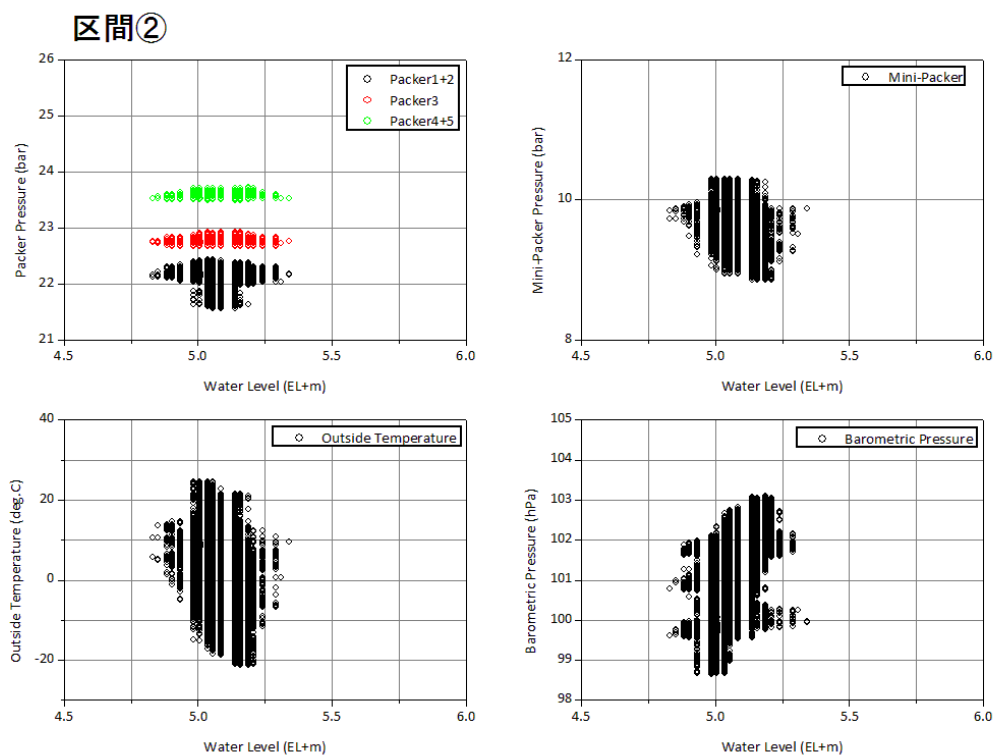


図 6.2.3-4 区間②水位と各種データとのクロスプロット

6.2.4 解析結果

解析は区間①及び②を対象とし、対象期間は2017/2/1～2017/5/8とした。解析では、BAYTAP-Gを用いて各区間水位から潮汐成分の除去を行った。解析結果を図6.2.4-1から図6.2.4-4に示す。図

6.2.4-2及び図6.2.4-4から各観測区間水位から潮汐成分が除去されたことがわかる。

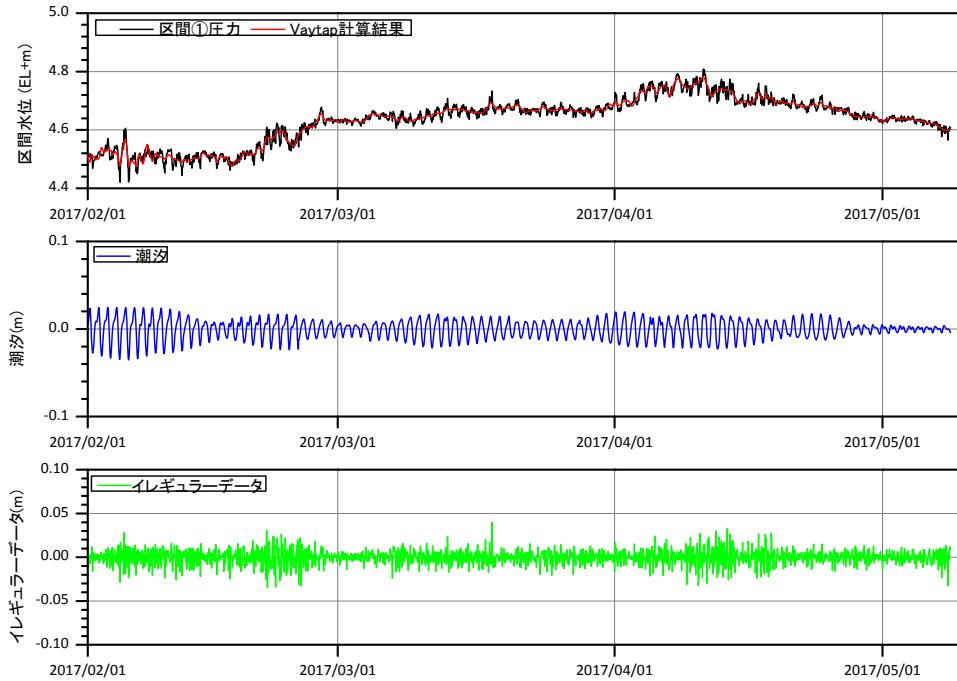


図 6.2.4-1 BAYTAP-Gによる解析結果（観測区間①全体）

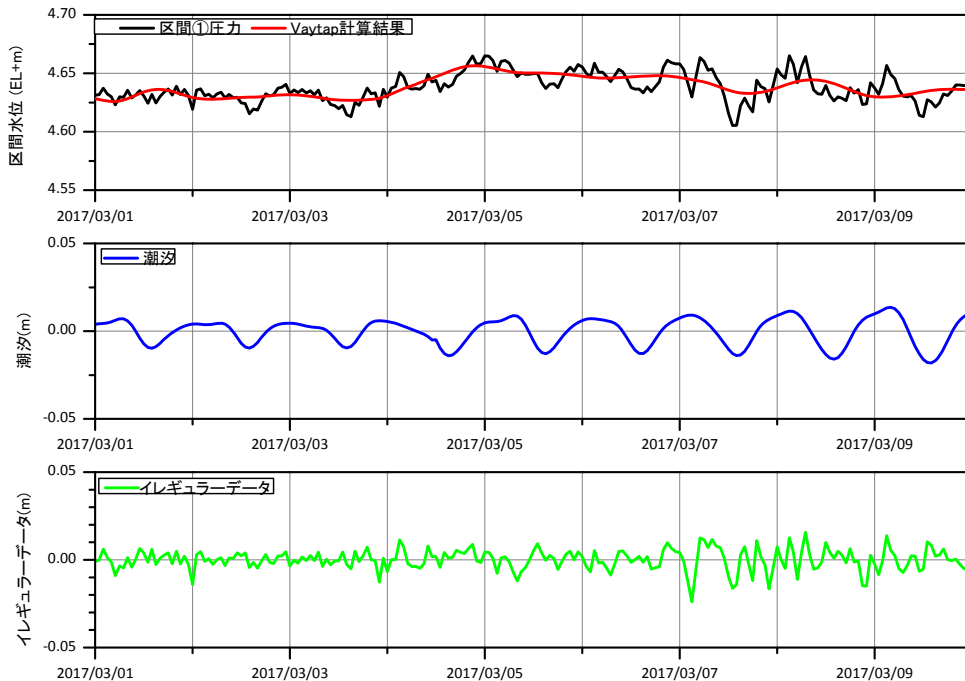


図 6.2.4-2 BAYTAP-Gによる解析結果（観測区間①詳細）

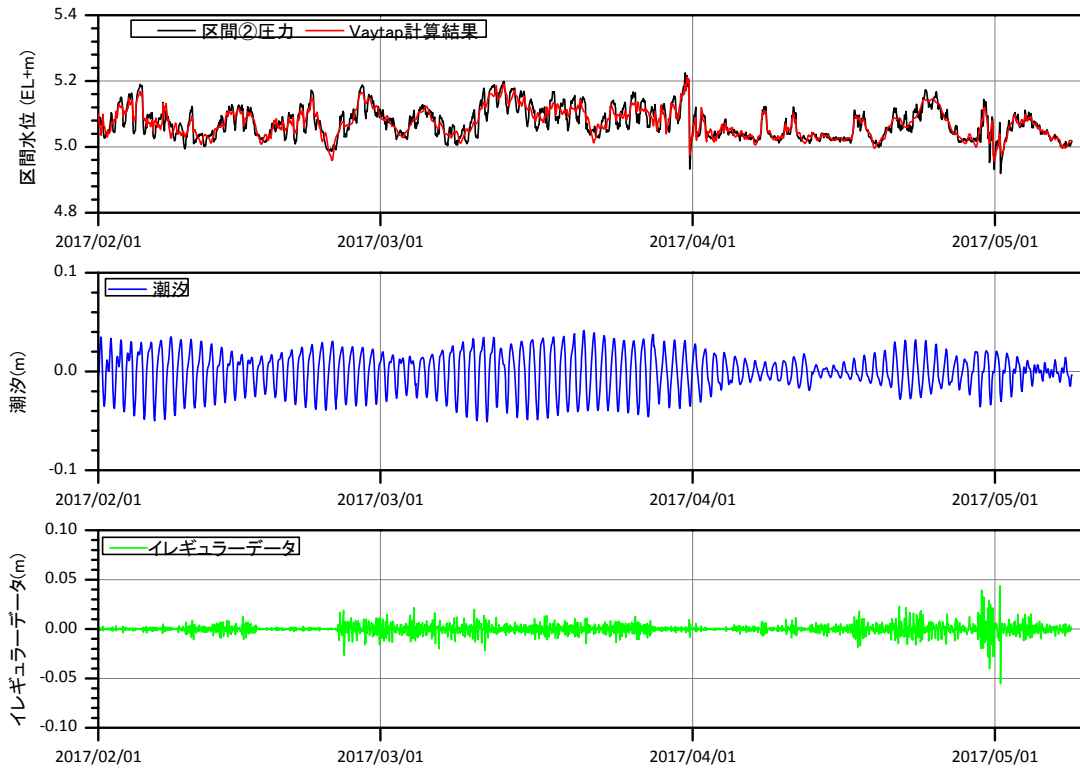


図 6.2.4-3 BAYTAP-G による解析結果 (観測区間②全体)

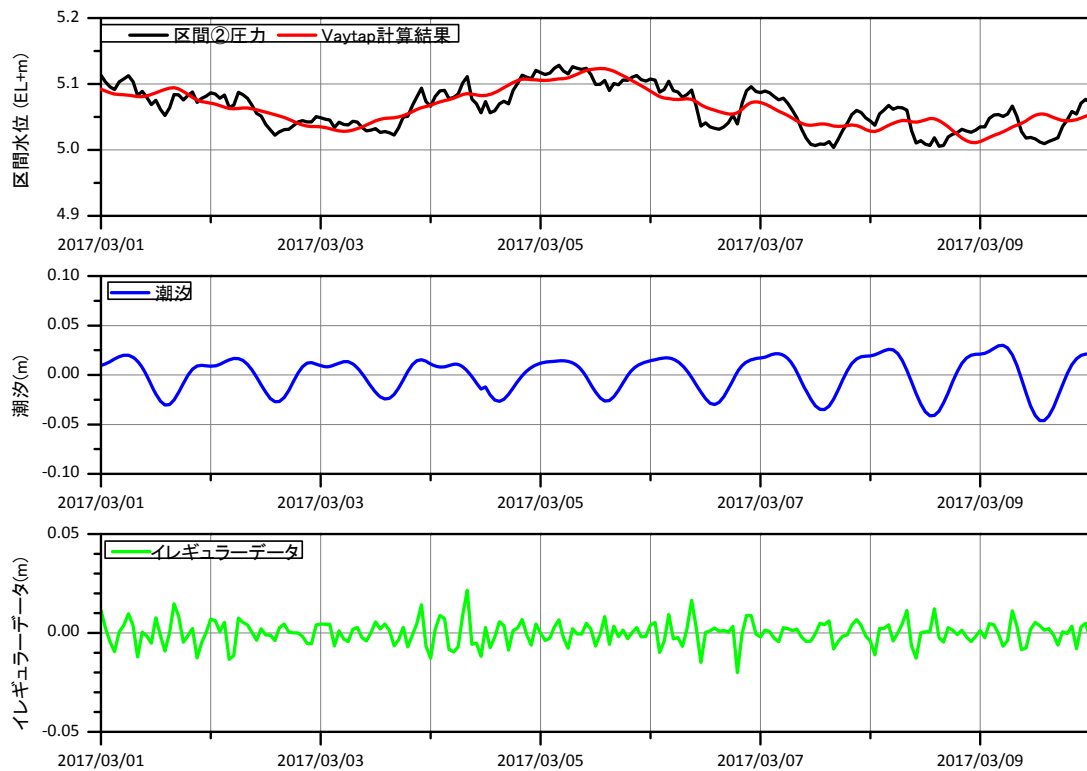


図 6.2.4-4 BAYTAP-G による解析結果 (観測区間②詳細)

7. モニタリング技術の体系化

コントロールボーリングに適用可能なモニタリングシステムの構築、維持管理、データ解析を含むモニタリング技術の体系化をはかるため、平成 28 年度にそれまで行ってきた間隙水圧のモニタリング及び採水・分析を通して各実施項目に対する基本的な考え方やその手順などを手順書の形で取りまとめた。

本年度は、今回実施した廃孔及び原形復旧の作業を通して得られた新たな知見を昨年度の手順書に追記した。

7.1 モニタリングシステム

7.1.1 モニタリングシステムの概要

モニタリングはコントロール掘削完了後のボーリング孔を利用し、孔内圧力を連続計測すること、及び孔内にサンプラーを挿入し、原位置で原位置圧力を保持したまま採水を可能とするシステムである。

モニタリングは①ボーリング孔内への観測区間の設置、②モニタリングシステムの設置、及び③連続計測の各作業を実施する。

(1) 目的

孔内モニタリングは、コントロールボーリングにより掘削されたボーリング孔を利用して、孔内水の採水及び孔内圧力の連続計測を行うことを目的とする。

(2) 適用

モニタリングシステムは、長さ 1000m、深度 500mまでの内径 120mm以上のボーリング孔内に適用する。

モニタリングを実施するためにボーリング孔内に観測区間となる裸孔部分を設ける必要がある。このため、①ボーリング孔に設置されているケーシングパイプを孔内で切断する技術②残存ケーシングパイプの自重を保持するためアンカー部を作成するケーシングパイプ拡管する技術もあわせて実用化した。モニタリングはこのように作成した観測区間（裸孔区間）の上下端にパッカーをかけて孔内水と観測区間を遮断し、原位置の圧力測定ならびに採水を可能としたものである。

システムの概要は表 7.1.1-1 及び図 7.1.1-1 のとおりである。

表 7.1.1-1 モニタリングシステムの概要

形 式	SPMP (Stand-Pipe Multi-Packer system)
観測 (採水) 区間数	最大 5 点
観測項目	孔内圧力 (温度) 測定、孔内流体の採水、透水試験 (揚水・注水)
装置寸法	ケーシング : 外径 ϕ 76.1mm、内径 ϕ 70.9mm、標準長 3m/本 パッカー : 収縮時外径 ϕ 110mm、内径 ϕ 70.9mm スタンドパイプ : 外径 ϕ 23mm、内径 ϕ 21mm、標準長 3m/本
遮水方法	観測区間の上下に配置されたゴム製パッカー
材質	ケーシング、スタンドパイプ : SUS304
その他特記事項	センサー、サンプラー等は容易に地上への引上げ可能

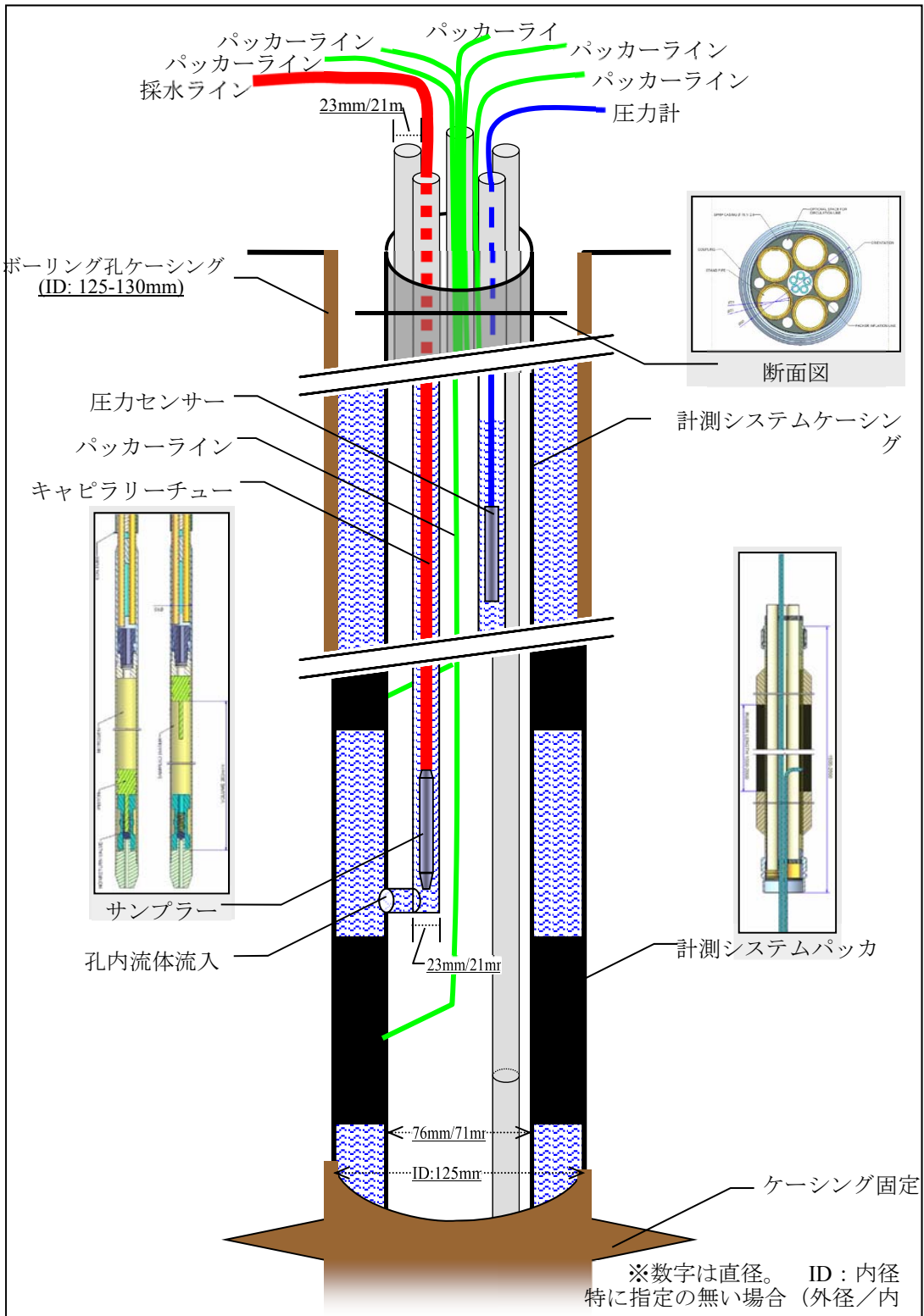


図 7.1.1-1 モニタリングシステム概要図

7.1.2 モニタリングシステムの構成

モニタリングシステムは次の諸装置により構成される

(1) スタンドパイプ内設置機器

- ① スタンドパイプ本体 ② スタンドパイプ内圧力センサー
- ③ スタンドパイプ内ミニパッカー ④ サンプラー（採水時に使用）

(2) 計測システム用ケーシング

- ① ケーシング本体 ② エンドロッド
- ③ インターバルアクセスモジュール
- ④ パッカー ⑤ セントラライザー

(3) 地上機器

- ① データロガー ② パッカーコントロールユニット（パッカー圧力計含む）
- ③ ダブルバルブポンプ ④ その他設備

モニタリングシステムを設置する場合の機器の接続状況の例を図 7.1.2-1 及び図 7.1.2-2 に示す。

モニタリングシステムは孔口部にて計測システム用ケーシング内にスタンドパイプを配置し、それぞれを連結しながら孔内の所定位置まで挿入する。ケーシングならびにスタンドパイプの接合部は2重のOリングにより外部との遮水を図るとともに、接続及び着脱が容易にできる構造としている。

使用材料は、塩分や溶存ガスなどによる腐食の影響を極力少なくするように、金属材料には SUS304 を、パッカーについては天然ゴムをそれぞれ主要材料としている。

(1) スタンドパイプ設置機器

計測システム用ケーシング内にはスタンドパイプ設置用の孔が 5 孔円周状に配置され、中心部にはパッカーライン用の孔が設置されている。スタンドパイプは、計測箇所数分この孔内に配置される。スタンドパイプは標準長 3.0m であり、調整が可能なように 1.5m、1.0m、0.5m の長さを用意してある。

スタンドパイプ内に設置する圧力センサーは PAA 方式の絶対圧計測用の圧力センサーで、測定レンジは 0-1MPa、分解能 0.002%FS であり、主要寸法は外形 ϕ 16mm、長さ 0.12m、重量 4.5kg（ケーブル 90m 含む）である。

圧力センサーの上には、スタンドパイプ内の空気・孔内水と遮断するためにミニパッカーを設置する。ミニパッカーは窒素ガスにより拡張するフィックスエンド方式のゴム製パッカーであり、

収縮時外形φ16.5mm、全長0.22m、有効遮水長0.1mである。

サンプラーはフロースルータイプのサンプラーで、外径φ10mm、長さ0.5m、容積22mlであり、採水深度までスタンドパイプ内を降下させ、原位置水圧のまま流体を採水し、その後サンプラーを地上まで引き上げて回収する。

(2) 計測システム用ケーシング

計測システム用ケーシングは外径φ76.1mm、長さ3m（1m、0.5m用もある）重量15.5kg/3mの鋼管でスタンドパイプ5本設置できるようになっている。ケーシングの接合はスイベル・ナットにより簡単かつ確実に接合・分離が行えるものである。

計測システムを孔内に設置する際には、図IV.7-1に例示したように、先端側からエンドロッド（外径φ76.1mm、長さ1m）、セントラライザー（長さ0.5m）、下部パッカー（長さ1.5m）、セントラライザー、インターバルアクセスモジュール（長さ0.5m）、上部パッカー、セントラライザーの順で各装置を連結し計測部を構成する。

インターバルアクセスモジュールに設けた流体流入孔（φ15mm）を通して流体がスタンドパイプ内に流入することにより採水・圧力計測ができる。

パッカーは裸孔区間において地山孔壁に密着し、所要の水密性を確保する必要があることから、有効遮水長1.0mのフィックスエンド型のパッカーとした。パッカーの拡張にあたっては、水・不凍液・窒素ガスに対応しており、スタンドパイプ中央部にパッカー拡張・収縮ライン（外径φ6mm、ポリアミド製）を配置し地上のパッカーコントロールユニットにて拡張・収縮及びパッカー圧力の監視が可能である。

なお、パッカーは拡張後にも地上に引き揚げて点検が可能ないように収縮できる構造となっている。また、収縮ラインによる収縮が不可能な場合にも収縮・回収が可能となるようバーストディスクを装備している。

(3) 地上機器

観測データ収録のためのデータロガー、パッカーの圧力制御・監視のためのパッカーコントロールユニット、採水・透水試験用各種機器を地上に設置する。

データロガーはサンプリング間隔を1分単位で任意に可変である。商用電源が無い場合でも使用できるよう乾電池による使用も可能である。

また、観測データの解析に供するよう、地上にも気温・気圧が測定できるようセンサーを配置することが望ましい。

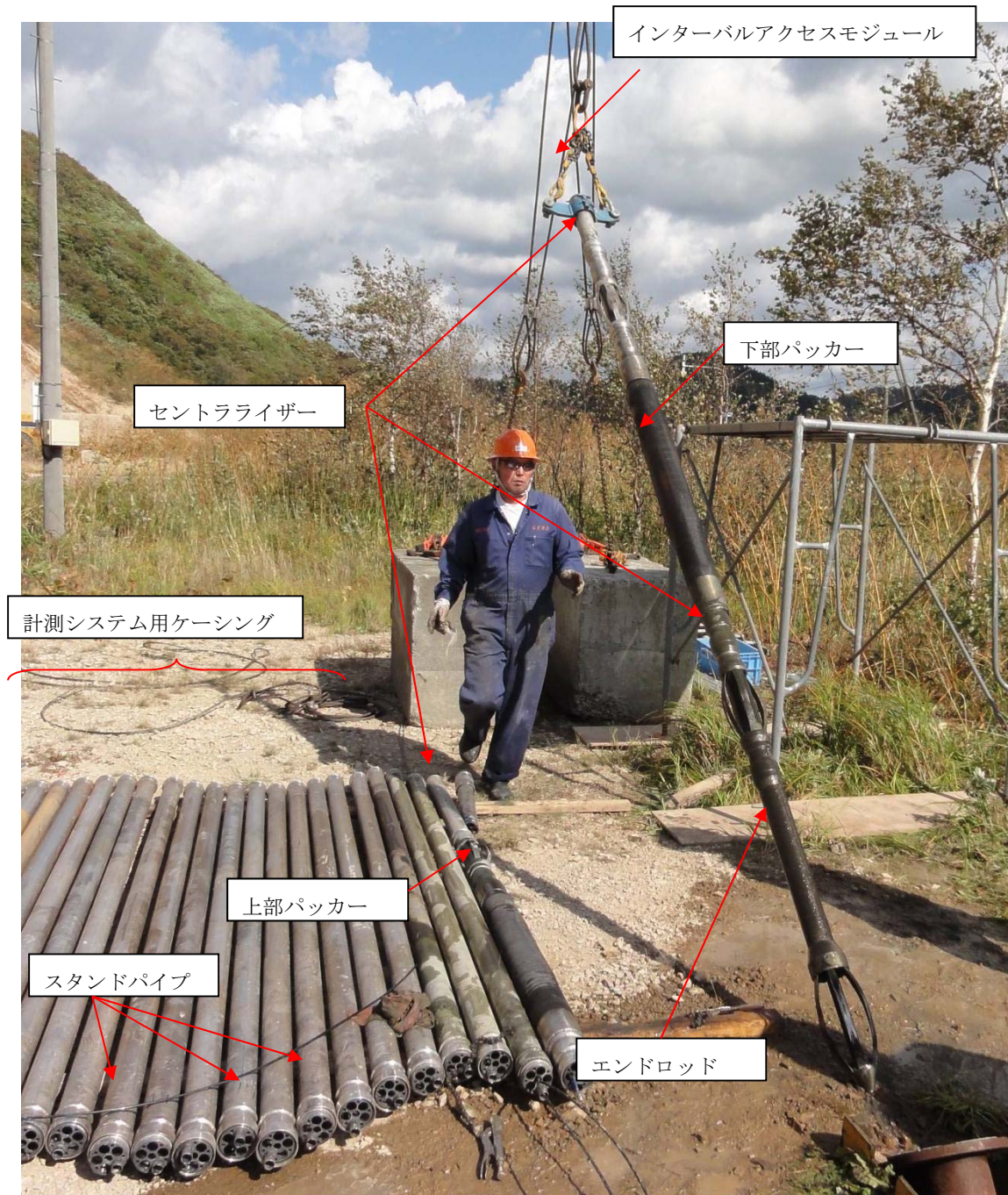


図 7.1.2-1 計測システム構成例 (HMD-1 孔据付時)

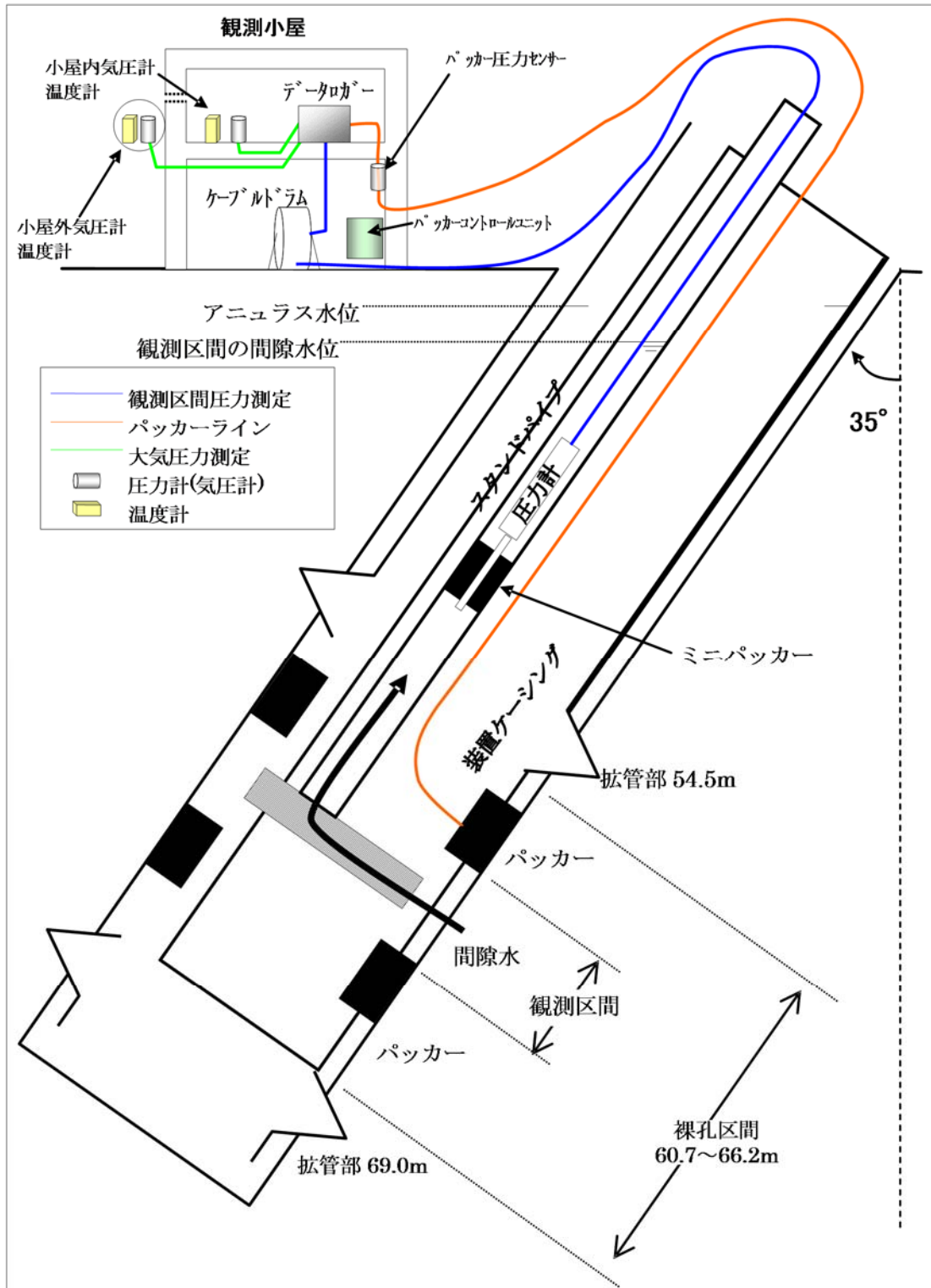


図 7.1.2-2 計測システム構成例

7.1.3 モニタリングシステムの実施手順

モニタリングシステムは次の手順で設置する。

- ① 観測区間（裸孔区間）の決定
- ② 観測区間下部拡管
- ③ ケーシングロッド切断
- ④ ケーシングロッド引き上げ
- ⑤ 観測区間上部拡管
- ⑥ 計測システム挿入・計測の実施
- ⑦ モニタリングシステムの保守・管理

モニタリングシステムの設置手順は図 7.1.3-1 を標準とする。

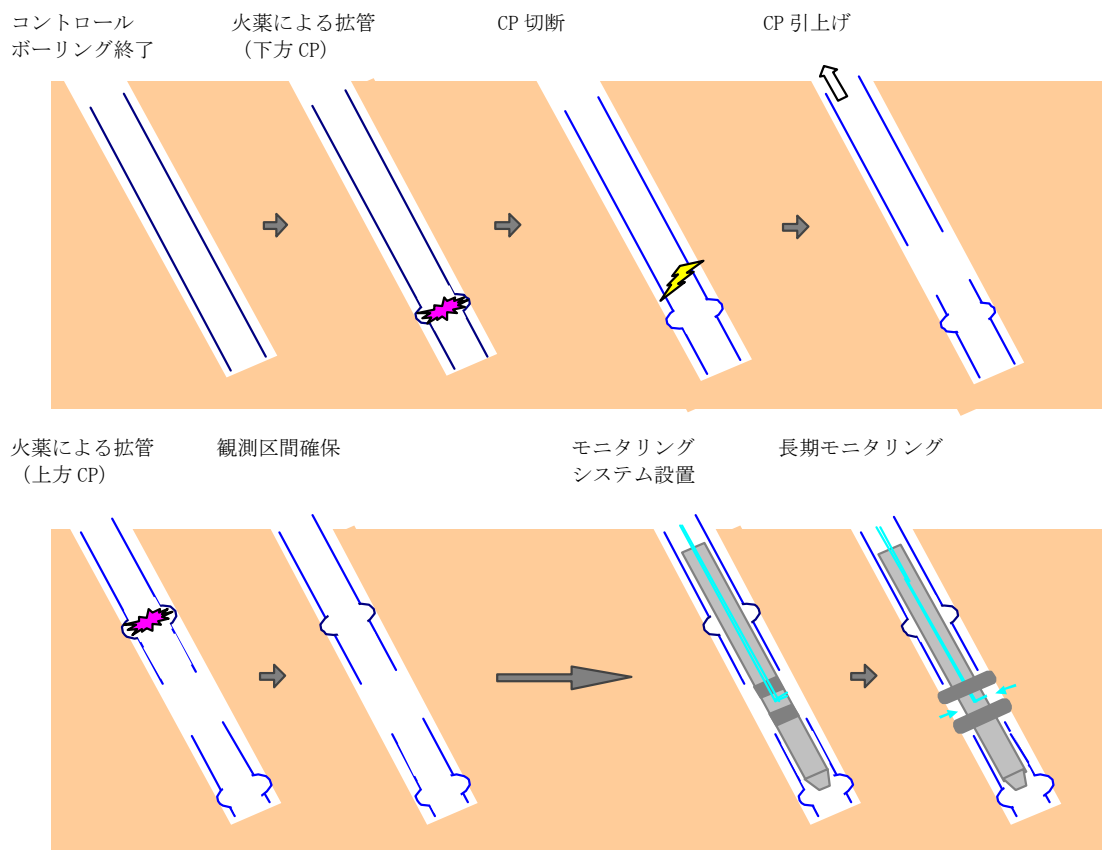


図 7.1.3-1 モニタリングシステム設置手順

ボーリング孔壁を保持するために設置されているケーシングロッドを切断し観測区間（裸孔区間）を作成するために、ケーシングロッドの自重を支える必要がある。このため、観測区間の下方及

び上方にケーシングロッドの自重を保持するためのアンカー部を設置する。アンカー部は火薬によりケーシングロッドを局部的に拡径し周辺地盤に食い込ませることにより作成する（拡管作業）。

拡管作業が終了した後、拡管状況を BHTV（ボアホールテレビュアー）装置等により確認するとともに、ケーシングロッドの引き抜き試験を実施し、自重相当荷重にて変位が観測されないことを確認する。

下方の拡管に引き続き電動カッターによりケーシングロッドを切断する。切断箇所は、電動カッターの次位に CCL を接続し、正確な位置計測を行い確定する。

切断後観測区間長分ケーシングロッドを引き抜き、裸孔区間を作成する。

その後、観測区間上方の拡管作業、拡管の状況確認を行う。

作成した観測区間に計測システムを設置する際には、計測用ケーシングの接続ログを作成し慎重に設置する。エンドロッドを観測区間下部の残存ケーシングロッド内まで降下させ、所定の位置に計測システムが配置された状態で、パッカーを拡張し観測区間の作成を完了させる。

なお、計測用ケーシング挿入時には計測用スタンドパイプを同時に設置する。

計測システム設置後、スタンドパイプ内に窒素ガス・清水を循環させ孔壁維持のための泥水等を地山地下水に置換する。水位回復を待ち、各種実験・長期計測を開始する。

7.1.4 観測区間（裸孔区間）の選定

モニタリング設置にあたっては、計測目的・計測期間を十分検討したうえで、掘削時に得られたデータ、コア情報及び孔内で実施した他の試験データを参考に、長期計測に適した安定した地質部を選定する。

モニタリングシステムは孔内に設置されたケーシングロッドを切断し裸孔区間を設け、その区間にパッカーをかけて観測区間を設けるものである。したがって、長期連続観測期間中に孔壁崩壊のおそれがある箇所はモニタリングシステムの設置を避けることが望ましい。

このため、ボーリング掘削時に得られた掘削データやコア観察から得られる地質状況、孔内透水試験をはじめとする孔井を利用した各種試験結果を参考に、計測計画に一番適合する箇所を選定する。

また長期的に安定した計測を行うためには観測区間に設置するパッカーについても、観測期間中その性能を十分発揮する必要がある。このためには上記地質特性の把握の他に、パッカー設置位置の地質の安定性及び孔壁の仕上がり状況も勘案する必要がある。

パッカー設置位置の孔壁の仕上がり状況は裸孔区間設置した後にボアホールテレビジョン、音響キャリパーなどで確認することとなるため、実際の裸孔区間の設定にあたっては当該箇所がパッカー

設置に不相当となる場合も含めて、多少余裕をもって設定することが望ましい。

モニタリング区間において地下水水質のモニタリングを行う場合には、孔内から地下水を揚水する必要があり、区間の透水性が高い箇所を選ぶ必要がある。さらに掘削泥水による汚染の影響を排除する必要があるが、掘削泥水を圧入して掘削する 경우가多く、地盤中に大量の掘削泥水が混入する可能性が高い。このような場合、予備排水に多くの労力をかける必要があることから、区間の間隙水圧が高い箇所（被圧している箇所）を選ぶことにより、掘削泥水の地盤中への混入を抑えることができる可能性が高い。

7.1.5 ケーシングロッド拡張

ケーシングロッドは、プラスチック爆薬 PBX を使用した発破をケーシングロッド内で行うことにより拡張する。

発破完了後、BHTV（ボアホールテレビュアー）等により拡張寸法、拡張長さを計測し拡張状況を確認する。

また、拡張部分がケーシングロッドの自重を保持できるかどうか確認するために自重相当分の荷重によりケーシングロッドを引き抜き、その変位に異常ないことを確認する。

(1) 発破に用いる火工品ツールズ

拡張に使用する火工品ツールズの編成を図 7.1.5-1 に示す。

ツールズは先端に発破用火薬を設置し、その上方にセントライザー、衝撃吸収用のショックアブソーバー（アルミニウム製）、シンカー、セントライザー、CCL により編成が構成されている。火工品ツールズは CCL 上方でアーマードケーブルに接続され孔内所定位置まで吊下ろされる。

発破用火薬は爆速が速く（8000m/秒以上）取り扱いが容易な PBX を 100 g 使用する。

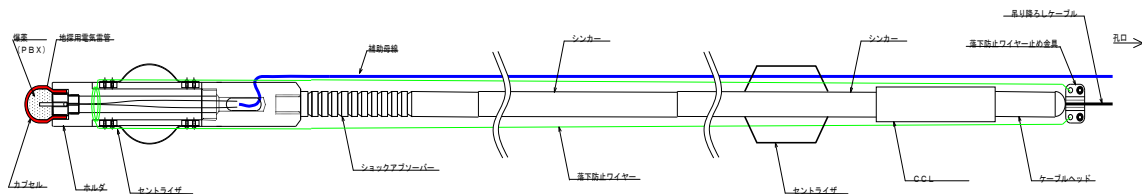


図 7.1.5-1 火工品ツールズ

(2) 拡張の状況確認

拡張箇所はケーシングパイプの自重を確実に保持する必要があり、拡張後にテレビュアー（BHTV）

による形状・寸法の確認、ケーシング引き抜き試験による変位計測により、拡張の状況を確認する。

BHTV はダウンホールツールズに圧電トランスデューサーを搭載したものを孔内に降ろし、トランスデューサーから音波ビームを孔壁に向けて照射し、その反射波強度や音波の伝播時間から孔壁の状況や孔内寸法を計測するものである。

計測により孔径の変化（孔径が掘削径以上かどうか、形状は同心円状かどうか）及び拡張長さ（目標長さ 30 c m程度）を把握する。

ケーシング引き抜き試験は孔口に設置してあるボーリングマシン等引き抜き荷重が計測できる装置を使用してケーシングを引き抜き、その際のケーシングの孔口の変位を計測することにより、荷重～変位曲線を求め、ケーシングロッドの弾性変形以降に異常な変位が発生していないことを確認するものである。

7.1.6 ケーシングロッド切断

ケーシングロッドの切断は電動カッターにより行う。

ケーシングロッドの切断には、切断時に使用する劇薬などによる周辺環境への影響がないこと、切断面がパッカーの設置など切断後の作業に悪影響が無いことを確認した電動カッター（Sondex 社製 DECT : Downhole Electric Cutting Tool）を使用する。

DECT を使用した切断作業の状況は図 7.1.6-1 に、また仕様は表 7.1.6-1 のとおりである。

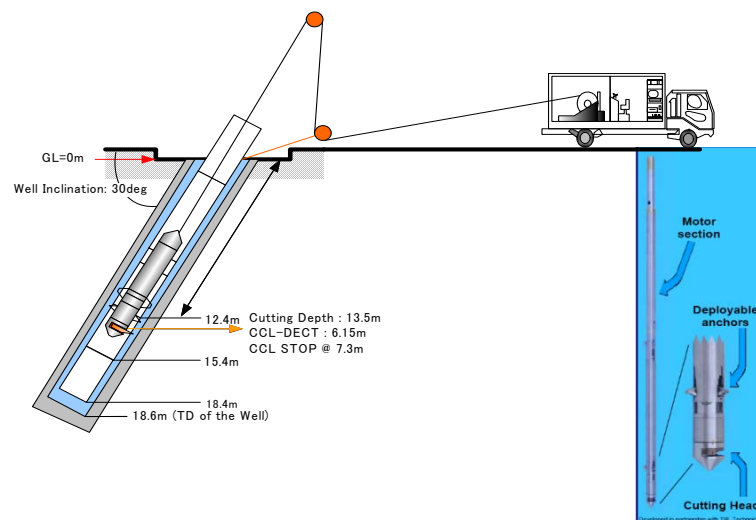


図 7.1.6-1 電動カッターによる切断作業

表 7.1.6-1 DECT ツールの仕様

Current	2A Max (typical 900mA)	
Supply voltage	650V	
アンカリング最小径	2.867”(7.3cm)	
アンカリング最大径	15.2cm	
切断範囲	7.3-12.9cm	
最大肉厚	1.91cm	
耐圧	103MPa	
耐熱	150°C	
最大孔井傾斜	水平孔(セントライザ [®] 2式使用)	
ツール長	6.8m(セントライザ含む)	
ツール径	6.83cm	
ツール重量	108kg	
Current rating of feedthrough	2	Amps
Voltage rating of feedthrough	500	Volt

7.1.7 ケーシングロッド引上げ

観測区間下部のケーシングロッド拡管・切断が終了した後、ケーシングロッドを所定の深度まで引き上げ、裸孔区間を作成する。

ケーシングロッド引上げ時には、常に引上げ荷重を監視するなど、無理な引上げによるケーシングロッド破断を避けるよう作業手順を定めることが望ましい。

ケーシングロッドを所定の深度まで引上げた後、観測区間上部の拡管作業を行う。

観測区間下部のケーシングロッド拡管、切断が終了した後、裸孔区間を作成するためにケーシングロッドを所定の深度まで引上げる。引上げには、掘削で使用した掘削機やクレーンなどを利用する。

ケーシングロッド引上げにあたっては、孔壁とケーシングロッドとの付着・摩擦等によりスムーズな引上げが行えない場合も想定される。このような時に無理な荷重をかけることによるケーシングロッドの孔内での破断や重機の転倒等を防止する必要がある。このため引上げ時には引上げ荷重を常時監視し、ケーシングロッド破断荷重以下での作業を徹底することが必要である。

7.1.8 モニタリング装置の設置と計測の開始

モニタリング装置は次の手順で設置を行い、計測を開始する。

- ①裸孔区間の孔壁の確認
- ②装置ケーシング、スタンドパイプ用ログの作成
- ③装置ケーシング、スタンドパイプ等計測機器の孔内挿入
- ④パッカー拡張
- ⑤スタンドパイプ内水質確認
- ⑥ミニパッカー拡張
- ⑦計測の開始

長期安定した計測を実施するために、特にパッカー設置位置の孔壁の仕上がり状況を調査し、孔壁の凹凸等がパッカー設置に問題が無いことを確認する必要がある。このためボアホールテレビュアー、音響キャリパー等で裸孔区間の孔壁の仕上がり状況を確認することが望ましい。

システムの設置にあたっては、設置位置を検知するためのCCL等の装置が使用できないため、装置ケーシングやスタンドパイプの長さから設置位置を判断することとなる。このため、設置位置から孔口までの装置ケーシングやスタンドパイプのログを作成し、装置の設置位置を正確に把握することが必要である。観測機器の挿入はこのログに従って慎重に実施する。

パッカー拡張にあたっては定格圧力までパッカーを拡張した後、1日程度パッカー内の圧力監視を行い、パッカーの損傷等の有無を確認する。

装置設置後観測区間内を地山地下水に置き換える必要がある。このためスタンドパイプ内に窒素ガスを送り込み既存の孔内水の排水を促進する等の方策を実施する。孔内水が地山地下水に置き換わったかどうかはサンプラーを使用した採水・水質試験を行い適時確認する。

なお計測機器については、孔内測定前に校正試験を行い性能を確認するとともに、計測装置設置後に絶縁抵抗測定等の検査により、機器が正常に動作することを確認する。

7.1.9 地上システムの保守・管理

孔内間隙水圧に関わる孔内モニタリングの地上システムは、①圧力ラインと②計測システムから構成される。これらのシステムの動作を保証するためには定期的にその性能を確認する必要がある。また、想定された値から外れた場合は、都度現地での確認を行い、その原因究明とその対策を行う。

区間間隙水圧、孔内区間設置用パッカー圧、ミニパッカー圧などの圧力ラインは、地上部でバルブ、圧力計及び圧力センサーと接続されており、これらに不具合があった場合は圧力センサーの取得値及び圧力計の指示値により判断できる。その際は各部の締め付け及びバルブのシール性能の確認を行う必要がある。また、これらの箇所について定期的に漏えいの確認を行うことでシステムを維持する。

地上計測システムは、データロガー、パッカー圧力センサー、大気圧センサー、温度センサーにより構成されており、各種圧力センサーは定期的に性能試験を行うのが望ましい。

7.1.10 孔内システムの保守・管理

孔内に設置されたモニタリングシステムのうち計測区間設置用パッカーについては、各種計測データ及び地表からの目視による管理が妥当である。スタンドパイプ内に設置されたミニパッカー及び圧力センサーは年1回程度の性能確認試験を行うことが望ましい。また、連続計測中での不具合は、地上でのモニタリングデータなどからその原因究明と対策を実施する。

(1) 孔内設置部

孔内設備（孔内設置部）の維持・管理方法は、定期的にシステムを回収し、各部の検査（パッカーの拡張試験及び遮水性能試験、装置ケーシングの浸透探傷試験及びX線透過試験等）を実施するのが最善の方法と考えられる。しかし、この方法はシステムを回収する必要があるため、システム回収時の抑留や回収後の坑壁の破壊等のリスクがある。そのため、各種計測データ及び地表からの目視による管理が妥当と考えられる。パッカー圧力はデータロガーに収録しているため、データに異常が見られた場合はパッカーの遮水性能が低下していると考えられる。また、パッカー圧力に異常が見られない状況で、観測区間圧力のトレンドに変化が見られる場合は、観測区間圧力が変化したと考えるのが妥当であるが、坑壁の異常等（既存き裂の開口、クラックの形成）によりパッカーによる遮水効果が低下している場合も考えられる。この場合、不確定な要素が多く特定は困難と考えられるが可能性の一つとして考慮する必要がある。

HCD-3 孔へのシステム設置前に HMD-1 孔での設置・回収試験を実施しており、回収後にパッカー及び装置ケーシング等の検査を実施した。その結果、特に異常は認められていない。また、国内における同一のシステムでは、設置後 10 年以上経過し、現在もなお継続して使用しているが不具合は報告されていない。

(2) スタンドパイプ内

スタンドパイプ内には圧力センサーとミニパッカーが設置されている。圧力センサー、ミニパッカーとも地上への回収が可能であるため、圧力センサーは年 1 回程度の間隔で地上での性能試験を実施するのが望ましい。その際は、ポンプ等による加圧を行い、校正済みの圧力計との計測値を比較する。ミニパッカーは地上で加圧し、拡張時の動作及び漏えい等を確認するとともに必要に応じてシール材を交換する。

連続計測中は、圧力センサーはデータロガーに接続されており、データ解析により圧力センサー自身の不具合かどうか判別することが可能である。また、ミニパッカーは地上に設置している圧力計でライン内圧力を計測している。これはデータ取得をしていないため圧力計を目視することで状況の確認を行う。万が一、不具合があった場合はシステム全体に影響を与えることなく回収・交換が可能であるが、連続計測に与える影響を最小限にするためには、バックアップ機材の準備が必要である。

7.2 取得データの解析

地下水の間隙水圧は種々の要因に影響されている可能性があり、これらの影響を除去した上で、間隙水圧のベースラインを評価する必要がある。

7.2.1 影響要因について

本モニタリングシステムは地下の間隙水圧の変動に連動したスタンドパイプ内の水圧変動を測定しているため、取得データに対する変動の要因としては大気圧、潮汐、降水などが挙げられる(図 7.2.1-1 参照)。したがって、取得データを適切に評価するためには、これらの影響要因を取り除く必要がある。そのための手法として BAYTAP-G に代表される潮汐解析プログラムが挙げられる。

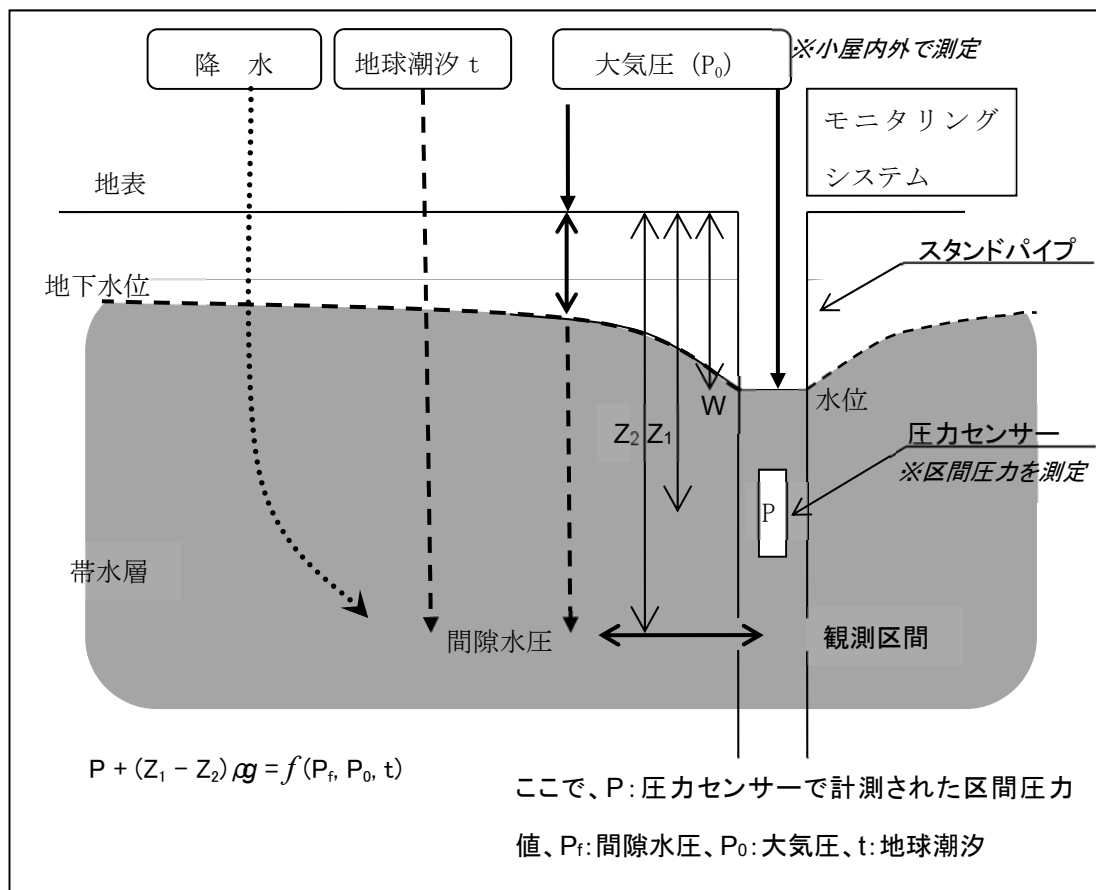


図 7.2.1-1 区間圧力データに対する影響要因

7.2.2 BAYTAP-G について

BAYTAP-G は、統計数理研究所と緯度観測所(現: 大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 国立天文台 水沢 VLBI 観測所)が共同で開発した潮汐解析プログラムで、地球潮汐データの解析を

はじめ、地殻変動連続観測データの解析にも広く使われている。本プログラムは、地殻変動、潮汐解析に Bayesian Model を組み込んだ総合解析プログラムで、以下の機能が備わっている。

- ① 潮汐定数の推定
- ② トレンド及びそのパワースペクトルの見積もり
- ③ 大気圧などの並行観測データとのレスポンスをみる
- ④ 欠測値の補間、ステップ量の推定
- ⑤ 異常値のラフな検出
- ⑥ モデルの良否をみる ABIC の計算

7.3 地下水及びガスの採取

本システムではスタンドパイプ方式を採用しており、スタンドパイプ内に設置した水圧センサー等を回収し、目的に応じた以下の採水用のツールを挿入することで地下水及びガスの採取を行うことが可能である。

- (1) ダブルバルブポンプ
- (2) 原位置サンプラー

地下水採取に当たっては、予備的な排水により掘削泥水による汚染の影響を小さくする。

7.3.1 ダブルバルブポンプによる採取

表 7.3.1-1 にダブルバルブポンプの仕様を、図 7.3.1-1 及び図 7.3.1-2 にダブルバルブポンプ外観（チューブドラムとポンプコントロールユニット）を示す。本ポンプはモーター等の動力を必要としないため、スタンドパイプのような小口径のパイプ内において使用可能で、窒素ガス等により加圧・減圧を交互に行うことで揚水するものである。図 7.3.1-3 に作動原理を示す。

表 7.3.1-1 ダブルバルブポンプ仕様

項目	仕様	備考
外径	16 mm	
材質	ステンレススチール DIN 1.4301	AISI ss304
重量	16 kg	1/4" チューブドラム含む
ポンプ全長	0.3 m	
チューブ全長	350 ft (105 m)	材質：LDPE
流量	可変	
ポンプコントロールユニット タイプ 作動圧力 作動流体 重量	電動（タイマー） 250 psi (1.7 MPa) 窒素ガス 7.5 kg	電源：単3電池×8



図 7.3.1-1 チューブドラム



図 7.3.1-2 ポンプコントロールユニット

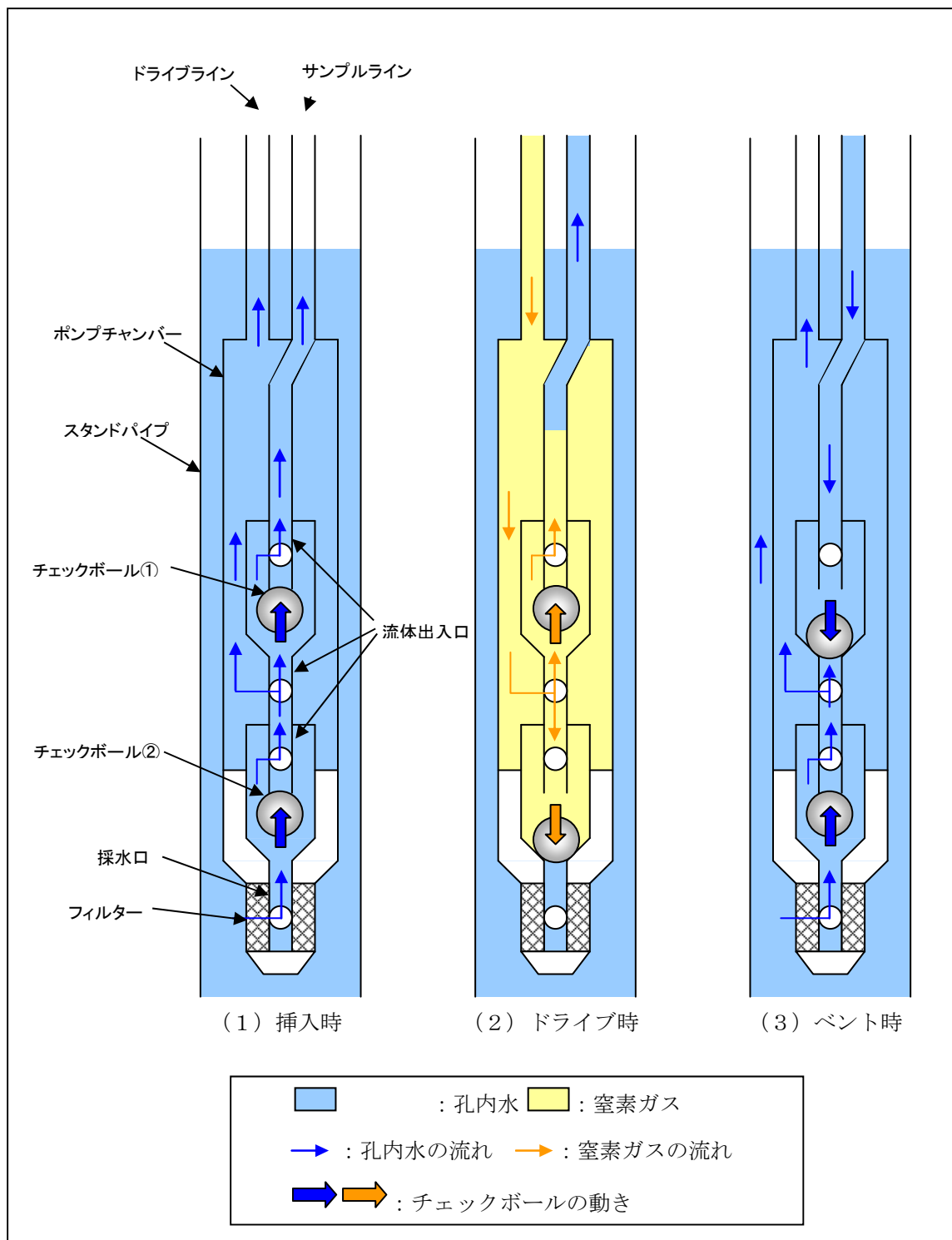


図 7.3.1-3 ダブルバルブポンプ作動原理

7.3.2 原位置サンプラーによる採取

表 7.3.2-1 にサンプラーの仕様を、図 7.3.2-1 から図 7.3.2-3 に機器写真を示す。本サンプラーはフロースルー式(図 7.3.2-4 参照)を採用しており、小口径のパイプ内において適用可能で、現位置における地下水の採取を目的としたものである。HMD-1 孔用に試作したものに対し、深度 600m までの適用を考慮してウィンチ及び加圧ラインを改良した。

表 7.3.2-1 サンプラーの仕様

項目	仕様	備考
フロースルータイプ サンプラー タイプ 外径 銅管 (外径/内径) 全長 容積 材質 重量 全長 チェックバルブ閉鎖圧力	Flow through 18 mm 10 / 8 mm 0.5 m ca. 22 ml ステンレススチール DIN 1.4301 0.5 kg 0.7 m 48 bar + 地層圧	AISI ss304
ウィンチ タイプ 加圧ライン	手動 ステンレススチール、外径 6mm	
クランプ止め装置 材質 全長 固定点間長 バルブ ガスチャンバー容積 ピストン長 圧力ゲージ	ステンレススチール DIN 1.4301 1.15 m 0.79 m 2-way, ニートバルブ 120 ml 全長 : 55mm, 有効長 : 22mm 0-100 bar	AISI ss304 ガスチャンバーの圧力調整



図 7.3.2-1 サンプラー



図 7.3.2-2 ウィンチ

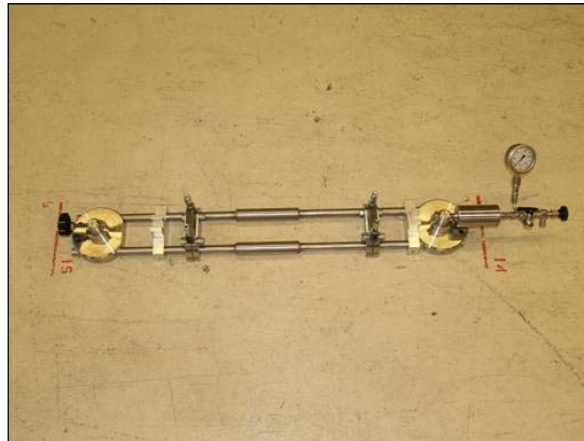
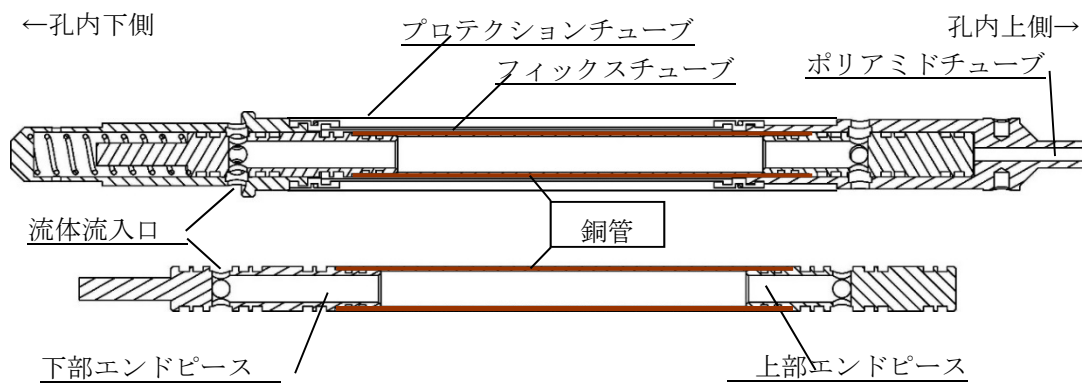


図 7.3.2-3 クランプ止め装置



上：サンプラー全体（左側：孔内下側，右側：坑内上側）

下：サンプラーからプロテクションチューブ、フィックスチューブを外したところ

図 7.3.2-4 フロースルー型サンプラー断面図

7.3.3 予備排水

孔内及び周辺岩盤内の地下水は掘削泥水の影響を受けており、分析に供する水試料は極力掘削泥水の影響を排除する必要がある。掘削泥水にはトレーサーとして蛍光染料が一定濃度添加されているため、採取した地下水のトレーサー濃度を計測することでその影響を評価することができる。併せて、掘削時に取得されたコアから抽出された間隙水の水質分析結果と比較することにより、より詳細な評価が可能となる。

7.4 分析・測定項目及び分析・測定方法

地下水化学は、地化学状態が核種の移行に深く関与することや、地下水の流動や地下水の起源とその将来を予測するための重要な調査項目であるため、多岐にわたる項目を分析、測定する必要がある。

高レベル放射性廃棄物処分に関わる概要調査や初期の精密調査では、地化学特性は重要な調査項目となる。特に、核種の移行は酸化還元状態や水質などに依存することがあり、さらに地下水の滞留状態や地下水流動を評価する際には地下水年代や各種の水質が重要な手掛かりとなる。

7.4.1 採取方法

地下水を地表に揚水する過程での減圧などにより物理化学パラメーターは変化する可能性が高いので、原位置での測定が望ましい。しかしながら、スタンドパイプの直径がφ21mmと非常に細いため既存の測定プローブを挿入することが困難な場合は、揚水した地下水を直接フローセルに導入し、空気に触れない状態で各種物理パラメーター（特にpH、ORP）を計測する（図7.4.1-1）。

本研究において実施した採取方法を表7.4.1-1に示す。



図 7.4.1-1 フローセルによる物理パラメーター測定

表 7.4.1-1 分析・測定項目及び採取方法

項目名	分析対象	採取方法
一般水質	Na, K, Ca, Mg, Cl, SO ₄ , HCO ₃ , アルカリ度, TOC	ダブルバルブポンプで揚水採水。100mlプラスチックボトルに採取。
微量元素	Br, T-Fe, Mn, Li, Cs, Ba, Sr, Se, Cu, Zn, As, Rb, I, F, Si, Al, B	ダブルバルブポンプで揚水採水。100mlプラスチックボトルに採取。分析前に硝酸を添加し、沈殿や器壁への吸着を防止した。
アンモニア	NH ₄ , NO ₂ , NO ₃	ダブルバルブポンプで揚水採水。100mlプラスチックボトルに数個に分けて採取。アンモニア濃度を変化させないため、採取後速やかに冷蔵および冷凍保管した。また、11月の採水においては硫酸を用いてpH2とした試料も作成した。
オルトフェナントロリン	T-Fe, Fe ²⁺	ダブルバルブポンプで揚水採水。大気が混入しないように十分にオーバーフローさせた水に対し現場で速やかに発色処理をした。
溶存硫化水素	H ₂ S ⁰ , HS ⁻ , S ²⁻	ダブルバルブポンプで揚水採水。大気が混入しないように十分にオーバーフローさせた水に対し現場で速やかに発色処理をした。
水素酸素同位体比	δ D, δ ¹⁸ O	ダブルバルブポンプで揚水採水。20mlガラスビンに採取。
トリチウム	³ H	ダブルバルブポンプで揚水採水。1Lプラスチックボトルに採取。
¹⁴ C	¹⁴ C, δ ¹³ C	ダブルバルブポンプで揚水採水。1LPANボトルに採取。11月の採水のみ。
³⁶ Cl	³⁶ Cl/Cl	ダブルバルブポンプで揚水採水。100mlプラスチックボトルに採取。11月の採水のみ。
一般ガス	O ₂ , N ₂ , CO ₂ , CH ₄ , C ₂ ~C ₆ の濃度分析, CO ₂ とC ₁ ~C ₄ の炭素同位体比分析	水上置換法で100ml褐色ガラスバイアル瓶にセブタムラバーをつけて封入。封入後にマイクロシリンジを用いて、塩化ベンザルコニウムを0.2%となるように添加した。
硫化水素ガス	H ₂ Sガス	水上置換法で100ml褐色ガラスバイアル瓶にセブタムラバーをつけて封入。11月の採水のみ。封入後にマイクロシリンジを用いて、塩化ベンザルコニウムを0.2%となるように添加した。
希ガス	T-He, T-Ne, ³ He/ ⁴ He	専用の採水装置を原位置まで降下させて銅管封入。
蛍光染料	4-アミノ-1-ナフタレンスルホン酸ナトリウム四水和物(通称:ナフチオン酸)	ダブルバルブポンプで揚水採水。100ml褐色ガラス瓶に採取。
物理化学パラメータ	温度, pH, ORP, DO, EC	pH, ORP:揚水したものをフローセルに通して測定, DO:溶存ガスの泡が測定に影響を及ぼすため、100mlポリビンに浸してガスを抜きつつ測定(2016年度)。2015年度はフローセルで測定, EC:フローセルを通過した後の水をポリビンに導入して測定。

7.4.2 分析方法

本研究において実施した分析方法を表 7.4.2-1 に示す。

表 7.4.2-1 分析方法

分析・測定項目	手法
DO, EC	ポータブルの計測器で地上にて計測
Na, K, Ca, Mg, Cl, SO ₄ , Br, NH ₄ , NO ₂ , NO ₃	イオンクロマトグラフ法
I	JISK0101よう素抽出吸光光度法
Si	ICP発光分析法
T-Fe, Mn, Li, Cs, Ba, Sr, Se, Cu, Zn, As, Rb, Al, B	ICP質量分析法
F	JISK0102ランタン-アリザリンコンプレキソン吸光光度法
HCO ₃	河川水質試験法(案)II, 燃焼酸化-赤外線分析法
TOC	JISK0102燃焼酸化-赤外線式TOC分析法
δ D, δ O	新実験化学講座(1975)第10巻, 4.6安定同位体比の測定方法
³ H	放射能測定法シリーズ9, トリチウム分析法(平成14年改訂, 文部科学省)電解濃縮法
ナフチオン酸(アミノH酸)	蛍光光度法
He同位体, Ne	中田・長谷川(2009)
一般ガス	GC-IR-MS
硫化水素ガス	GC-ECD
¹⁴ C	パブリング法-加速器質量分析器
δ ¹³ C	IR-MS
³⁶ Cl	加速器質量分析器
アルカリ度	pH4.8滴定法

7.5 モニタリングシステムの回収

モニタリングシステムはパッカーにより観測区間を区切っているため、回収作業前にパッカーの収縮を行う。斜孔からのモニタリングシステム引上げは、クレーンを補助として用いながら、ボーリングマシンにより安全に行うことを基本とする。

モニタリングシステムを安全に回収するためには、パッカーがNL140 ロッドの内径（130mm）に対して 10mm 程度のクリアランスが確保できる程度（120mm）まで収縮している必要がある。効率的に安全にモニタリングシステムを引上げるためには把持機能を有するボーリングマシンを主体に、クレーンを補助として使用することが推奨される。

7.5.1 パッカーの収縮手順

パッカーが所要の径まで収縮するために必要なパッカー拡張水の最低量を計算し、パッカー拡張水の回収量の目安を得る。HCD-3 の実績では 80%の拡張水を回収すれば所要径に収縮するとしたが、実際にはパッカーは不均一に収縮したため、モニタリングシステムの引上げ時に想定以上の引上げ力が必要となった。HMD-1 孔でも同様の事象が見られたことから、パッカー拡張水はできるだけ回収することが望ましい。

HCD-3 孔では当初 80%の拡張水回収を計画したが実際は 87～100%の拡張水を回収した。図 7.5.1-1 に HCD-3 におけるパッカー収縮作業手順を示す。

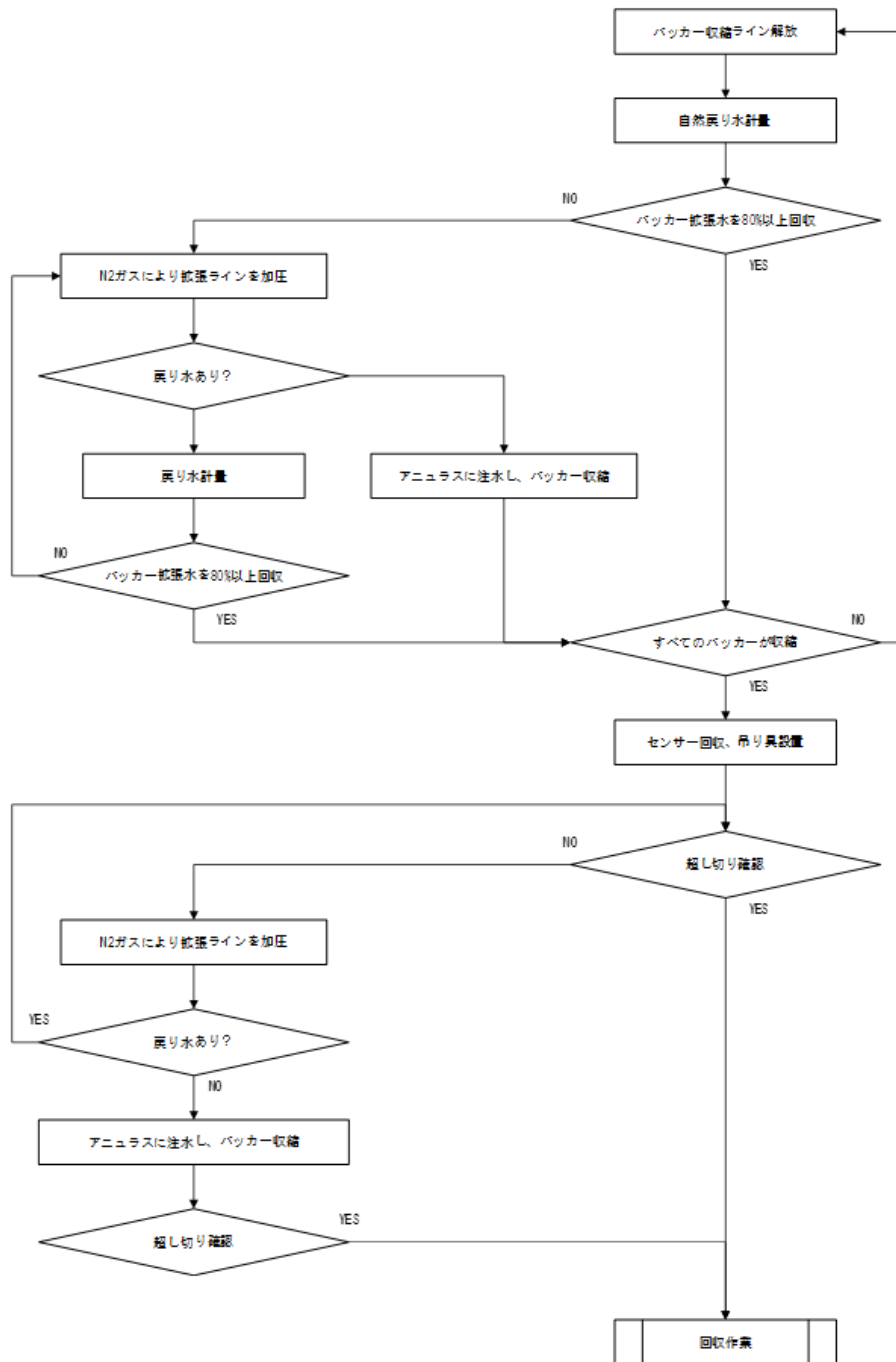


図 7.5.1-1 パッカー収縮作業手順 (HCD-3 孔)

7.5.2 モニタリングシステムの引上げ

パッカーの収縮を確認した後、モニタリングシステムの引上げに移行する。斜孔に設置されたモニタリングシステムの引上げに際しては、ケーシングとの摩擦力も作用するため水平方向にも大きな反力が生じる。このため、ボーリングマシンは引上げ能力に余裕のあるマシンを選定し、しっかりした基

礎あるいは架台に設置する。また、クレーンはモニタリングシステム引上げ時の落下防止として、あるいはボーリングマシンによる引上げの補助として使用するものであり、クレーン単独の強引は厳に避けなければならない。

7.6 モニタリング無人計測システム

7.6.1 モニタリング無人計測システムの概要と基本構成

モニタリング無人計測システムは電源、通信のインフラがない条件においても電源と通信を確保して無人でモニタリング計測を行う低エネルギー消費のシステムである。

本システムは、①発電システム、②蓄電池、③データロガー、④通信システム及び⑤遠隔監視・制御機能より構成される。

モニタリング無人計測システムは、①再生可能エネルギーをベースとした発電システム、②発電した電気を蓄電しシステムに給電する蓄電池、③データ保存を行うデータロガー、④計測データを集約しインターネット経由でサーバーに送信する通信システム及び⑤サーバーを介してデータの閲覧・現地システムの監視・制御を行う遠隔監視・制御機能から構成される低エネルギー消費のシステムである（図 7.6.1-1）。

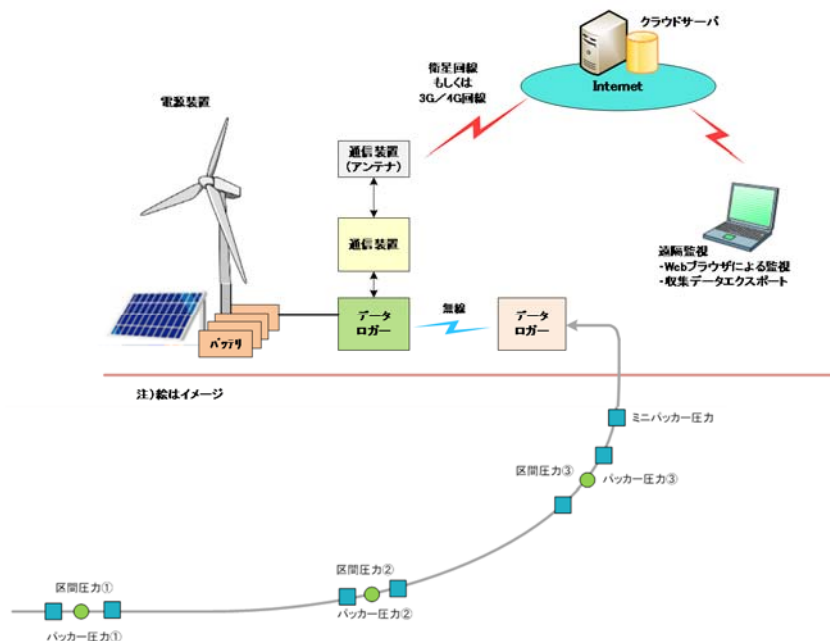


図 7.6.1-1 モニタリング無人計測システム概念図

7.6.2 発電システム

設置場所の環境をもとに、年間を通して現地計測システムが必要とする電力量を確保できる再生可能エネルギーを選定する。

概要調査地点は生活環境から離れていることが想定されることから、モニタリングの無人計測を行う場合は独立した電源と通信を確保する必要がある。その場合、電源にはその地点環境に応じた再生可能エネルギー（風力発電及び太陽光発電の組合せ）を選定することが合理的である。

風力発電及び太陽光発電で得られる電力量（再生可能エネルギー量）は調査地点の気象条件に大きな影響を受ける。調査地点における風力発電及び太陽光発電の最適な組合せを評価するため、周辺の気象データを収集し、賦存エネルギーを下式により算定する。

※風力の賦存エネルギー算出方法

$$\text{空気密度} (\delta 1) = \delta 0 \times 273.2 / (273.2 + T1) \times (101.3 + P1) / 101.3$$

$\delta 0$: 気体の基準密度 = 1.185 kg/m³ (25°C)

T1 : 気体の温度 [°C] ← 月毎の気温を参照

273.2 : 絶対温度

101.3 : 標準大気圧

P1 : 気体の圧力 [kPa] ← 0 として計算

$$\text{風力のエネルギー密度} = 1/2 \times \text{空気密度} (\delta 1) \times \text{風速}^3$$

$$\text{風力の賦存エネルギー} = \text{風力のエネルギー密度} \times 24 \text{ 時間}$$

※太陽光の賦存エネルギー算出方法

$$\text{太陽光の賦存エネルギー} = \text{日射量} \leftarrow \text{例えば、NEDO データベースを参照}$$

全国 8 箇所の賦存エネルギーを推定した結果を表 7.6.2-1 に示す。また、表 7.6.2-1 のデータから 1 日あたりの賦存エネルギーを算出した結果を、図 7.6.2-1 に示す。縦軸を風力賦存エネルギー、横軸を太陽光賦存エネルギーとしており、地点毎の最適な発電設備（太陽光／風力／太陽光＋風力（ハイブリッド））とバッテリー容量の組み合わせが推定できる。

例えば、北海道（幌延）は太陽光、風力はともに低めながら発電は可能な賦存エネルギーを有しているが、特に太陽光は賦存エネルギーが低く、適用する発電設備としては“太陽光＋風力のハイブリッド＋大容量バッテリー”の組合せが必要であると予想される。

青森県（むつ）、新潟県（柏崎）、福島県（広野）及び鹿児島県（川内）では風力の賦存エネルギーが低く風力発電では実用的な発電量が得られない可能性が高く、発電設備としては“太陽光＋大

容量バッテリー “の組合せが考えられる。

一方、静岡県（御前崎）と沖縄県（石垣島）では太陽光・風力共に賦存エネルギーが高く発電設備としては“太陽光+小容量バッテリー”または“風力+小容量バッテリー”でも十分な電力が得られるものと推定できる。

表 7.6.2-1 全国8箇所の賦存エネルギー推定結果

■気象データ (2004年~2013年)平均		* 気象データは気象庁HP(日射データはNEDOのHP)より入手							
		北海道 幌延町(豊富)	青森県 むつ市	福島県 広野町	新潟県 柏崎市	静岡県 御前崎市	愛媛県 伊方町(瀬戸)	鹿児島県 薩摩川内市	沖縄県 石垣島
気温	最高 33.7 °C	29.5 °C	33.7 °C	34.8 °C	35.6 °C	33.4 °C	32.7 °C	35.7 °C	34.4 °C
	平均 13.1 °C	6.4 °C	9.7 °C	13.1 °C	13.4 °C	16.7 °C	16.1 °C	17.1 °C	24.4 °C
	最低 -22.5 °C	-22.5 °C	-16.4 °C	-6.1 °C	-16.4 °C	-1.7 °C	-1.9 °C	-3.8 °C	11.3 °C
風速	瞬間 28.5 m/s	25.4 m/s	28.5 m/s	26.2 m/s	26.2 m/s	38.1 m/s	31.9 m/s	20.1 m/s	53.1 m/s
	最大 14.4 m/s	15.0 m/s	13.8 m/s	12.6 m/s	12.6 m/s	22.9 m/s	28.0 m/s	13.7 m/s	34.5 m/s
	平均 3.2 m/s	2.6 m/s	1.5 m/s	2.3 m/s	2.3 m/s	4.9 m/s	4.4 m/s	1.9 m/s	5.4 m/s
降雨量	年間 970.4 mm	1242.5 mm	1640.0 mm	2438.9 mm	2096.8 mm	2269.1 mm	1557.2 mm	2130.0 mm	0.0 mm
降雪量	年間 736.8 mm	476.5 mm	mm	310.3 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm
最深	98.0 mm	92.5 mm	mm	55.6 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm
日射量	年間 1,113 kWh/m ²	1,186 kWh/m ²	1,267 kWh/m ²	1,197.8 kWh/m ²	1,461 kWh/m ²	1,357 kWh/m ²	1,314 kWh/m ²	1,522 kWh/m ²	21.6
雷	年間			18.0					

* 年間日射量はNEDOの日射量データベースから月毎の日射量 kWh/m²・dayを年換算して算出

■賦存エネルギー

《2013年》		* 年間日射量はNEDOの日射量データベースから月毎の日射量 kWh/m ² ・dayを年換算して算出																														
月	風速 m/s	気温 °C	風力 kWh/m ² -day	太陽光 kWh/m ² -day	風速 m/s	気温 °C	風力 kWh/m ² -day	太陽光 kWh/m ² -day	風速 m/s	気温 °C	風力 kWh/m ² -day	太陽光 kWh/m ² -day	風速 m/s	気温 °C	風力 kWh/m ² -day	太陽光 kWh/m ² -day	風速 m/s	気温 °C	風力 kWh/m ² -day	太陽光 kWh/m ² -day												
1	3.5	-7.8	0.63	1.21	2.5	-2.9	0.22	1.46	1.6	1.9	0.06	2.35	3.4	1.8	0.56	1.34	6.0	6.0	3.01	2.79	3.8	3.8	0.71	2.02	1.6	5.6	0.06	2.10	5.6	18.7	2.34	2.44
2	4.0	-7.2	0.93	2.24	3.0	-2.1	0.39	2.30	2.1	2.5	0.13	3.06	3.4	1.6	0.56	2.06	6.1	6.6	3.15	3.45	4.3	4.1	1.11	2.79	1.8	7.9	0.08	2.75	5.6	21.2	2.32	2.81
3	5.6	-2.5	2.52	3.43	3.5	1.8	0.61	3.41	2.5	7.9	0.22	3.64	2.8	5.7	0.31	3.06	5.5	12.2	2.26	3.99	4.3	9.5	1.09	3.59	1.9	11.8	0.09	3.42	4.9	22.0	1.55	3.51
4	4.5	3.7	1.28	4.11	3.4	7.1	0.54	4.48	2.1	10.6	0.13	4.44	3.1	9.8	0.41	4.43	6.1	15.1	3.06	4.83	4.8	12.4	1.50	4.62	2.4	14.5	0.19	4.25	4.6	22.3	1.28	4.25
5	3.8	7.5	0.76	4.82	2.5	10.9	0.21	4.95	1.7	14.1	0.07	4.71	2.2	15.4	0.14	4.96	4.1	18.7	0.92	5.11	4.6	17.6	1.30	5.01	2.0	19.6	0.11	4.62	4.3	26.0	1.03	4.99
6	3.2	14.1	0.44	4.88	2.3	16.3	0.16	4.85	0.9	17.9	0.01	4.24	1.9	21.2	0.08	4.68	3.7	21.7	0.67	4.65	3.5	22.9	0.36	4.56	1.9	23.4	0.09	3.99	5.1	28.2	1.70	5.65
7	3.0	19.9	0.36	4.45	2.2	20.2	0.14	4.26	1.0	21.9	0.01	4.26	2.1	24.9	0.12	4.69	4.4	25.4	1.11	5.12	5.0	27.3	1.62	5.17	2.1	28.0	0.12	4.80	5.8	29.5	2.50	6.20
8	3.3	19.9	0.48	3.85	2.1	23.1	0.12	4.02	1.1	24.9	0.02	4.46	1.9	26.2	0.09	4.94	3.5	27.9	0.55	5.47	4.2	28.3	0.95	5.26	2.1	28.5	0.12	4.93	5.6	29.7	2.25	5.63
9	3.5	16.0	0.58	3.51	2.1	19.2	0.12	3.44	1.0	21.3	0.01	3.29	1.9	21.5	0.09	3.50	4.0	25.2	0.83	4.09	3.3	23.6	0.47	3.98	1.7	24.8	0.06	4.13	5.2	28.5	1.81	4.90
10	3.8	10.1	0.75	2.24	2.4	13.6	0.19	2.83	1.2	17.0	0.02	2.80	2.2	17.6	0.14	2.72	4.6	21.1	1.28	3.26	3.2	19.6	0.43	3.27	1.7	20.3	0.07	3.51	6.7	25.7	3.91	4.00
11	4.1	3.6	0.97	1.15	2.8	6.8	0.30	1.71	1.7	10.6	0.07	2.29	3.1	9.7	0.41	1.72	5.3	13.4	2.02	2.68	4.3	11.8	1.08	2.36	1.5	12.6	0.05	2.55	5.5	22.6	2.19	3.03
12	4.0	-1.7	0.92	0.88	2.7	2.4	0.28	1.23	2.0	6.0	0.11	2.10	3.6	5.2	0.65	1.20	6.2	8.2	3.29	2.55	4.2	6.7	1.03	1.91	1.6	7.1	0.06	2.09	5.7	18.7	2.46	2.52
平均	3.9	6.3	0.88	3.05	2.6	9.7	0.27	3.25	1.6	13.1	0.07	3.47	2.6	13.4	0.30	3.28	5.0	16.8	1.85	4.00	4.1	15.6	0.99	3.71	1.9	17.0	0.09	3.60	5.4	24.5	2.11	4.16

《計算式》 * 風力のエネルギー密度 = 1/2 × 空気密度(δ) × 風速³

* 空気密度(δ) = 0.0 × 2732 / (273.2 + T1) × (101.3 + P1) / 101.3

δ0 : 気体の基準密度 : 1.185 kg/m³(25°C)

T1 : 気体の温度 °C → 月毎の気温を参照

273 : 絶対温度

101.3 : 標準大気圧

P1 : 気体の圧力 kPa → 0 として計算

* 風力の賦存エネルギー = 風力のエネルギー密度 × 24時間

* 太陽光の賦存エネルギー = 日射量(NEDOの日射量データベースを参照)

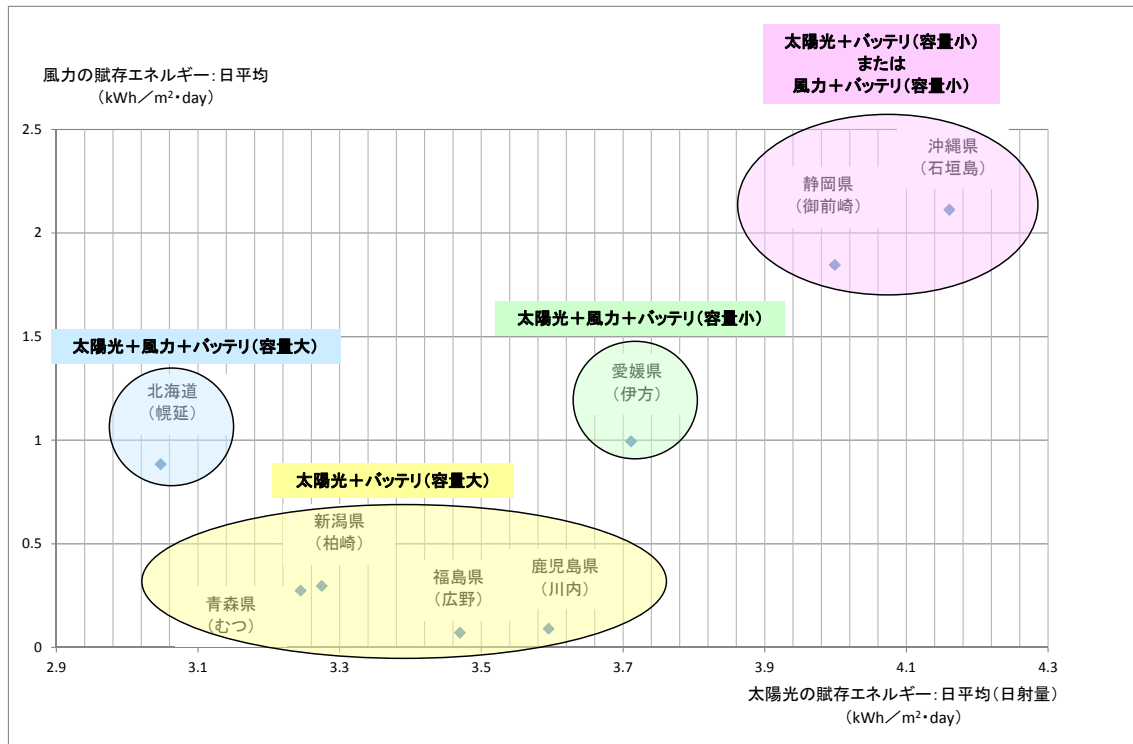


図 7.6.2-1 賦存エネルギーの推定

発電システムの発電量は、調査地点の賦存エネルギーから下式によって算出することができる。

※風力の発電量算出方法

$$\text{発電量[kWh]} = 1/2 \times \text{空気密度[kg/m}^3] \times \text{風速[m/s]}^3 \times \text{風力発電機受風面積[m}^2] \times \text{風力発電機パワー係数}$$

$$\text{空気密度} : 1.185 \text{kg/m}^3 (25^\circ\text{C})$$

※太陽光の発電量算出方法

$$\text{発電量[kWh]} = \text{日射量[kWh/m]} \times \text{太陽電池容量[kWh]} \times \text{太陽電池システム出力係数}$$

北海道幌延町に設置した調査孔 (HCD-3 孔) を対象に無人計測システムの各コンポーネントの消費電力を合算した予想消費電力の一覧表を表 7.6.2-2 に示す。HCD-3 孔向け無人計測システムでは表 7.6.2-2 に示す電力の供給が可能な発電機を選定した (表 7.6.2-3 に発電機仕様を示す)。

表 7.6.2-2 HCD-3 孔向け無人計測システムの予想消費電力

■システムの消費電力

機器	メーカー	型式	電源		3G/4G		備考		
			数量	消費電力 (w)	数量	消費電力 (w)			
衛星通信機器	NTTdocomo	ワイドスターII	1	15.30	15.30	0	15.30	0.00	通信機稼働量との通信
3G/4Gルータ	ゼネテック	HSPA-4500	0	2.40	0.00	1	2.40	2.40	通信機稼働量との通信
ネットワークコンピュータ	四国技研	新型NC	1	2.25	2.25	1	2.25	2.25	Web閲覧監視制御コントローラ
HUB	アドバンテック	EK3-2525I-AE	0	2.40	0.00	1	2.40	2.40	
ネットワークカメラ	パナソニック	BB-SW175A	1	2.58	2.58	1	2.58	2.58	Webカメラカメラ
信号変換&通信ユニット	東洋電機	MGB10-RRN	2	0.008	0.02	2	0.008	0.02	降雨・積雪量・風向・風速・気圧・日射量
信号変換&通信ユニット	東洋電機	MGB10-RRN	1	0.008	0.01	1	0.008	0.01	発電電力・消費電力
信号変換&通信ユニット	東洋電機	MGB10-RRN	5	0.008	0.04	5	0.008	0.04	区間圧力・バック圧力・ミニバック圧力
信号変換&通信ユニット	東洋電機	MGB10-RRN	1	0.008	0.01	1	0.008	0.01	タイムキーパー
圧力センサ	KUBLER	PAA-22S	3	0.30	0.90	3	0.30	0.90	ミニバック圧力
圧力センサ	KUBLER	PAA-23S	3	0.30	0.90	3	0.30	0.90	バック圧力
圧力センサ	KUBLER	PAA-23S	3	0.30	0.90	3	0.30	0.90	区間圧力
降雨センサ	Davis	E07852	1	0.00	0.00	1	0.00	0.00	
積雪センサ	オーミック電子	OMT-1S	1	0.30	0.30	1	0.30	0.30	
風向・風速計	Davis	E07911	1	0.00	0.00	1	0.00	0.00	
気圧センサ	STマイクロ	LPS331AP	1	0.00	0.00	1	0.00	0.00	
日射センサ	Apogee	SE-SP215	1	0.00	0.00	1	0.00	0.00	
DCDCコンバータ	Cosel	SUS3123R3	2	0.03	0.06	2	0.03	0.06	12V→3.3V(MGB用電源)
DCDCコンバータ	Cosel	SUS6123R3C	1	0.60	0.60	1	0.60	0.60	12V→3.3V(MGBT用電源)
DCDCコンバータ	Cosel	SUS31205	1	0.03	0.03	1	0.03	0.03	12V→5V(センサ用電源)
DCDCコンバータ	Cosel	MGS151205	1	1.80	1.80	1	1.80	1.80	12V→5V(NC用電源)
DCDCコンバータ	Cosel	SUS31212	1	0.60	0.60	1	0.60	0.60	12V→12V(センサ用電源)
消費電力				連続運転 630.90	連続運転 26.29		連続運転 15.78 W 378.90 Wh・day		
				間欠運転 106.34	間欠運転 4.43		間欠運転 3.64 W 87.44 Wh・day		
				※間欠運転の条件					
				通信周期	60 分				
				センサ動作周期	1 分				

表 7.6.2-3 HCD-3 孔向け無人計測システム発電機

メーカー	MARLEC
型式	FM910-4
ファースリング機構	側方偏向方式
発電電力	72W(風速10m/s時)
出力電圧	DC12V または DC24V (機種選択指定)
運転開始風速	風速2.0m/s
耐風速強度	風速60m/s
ローター直径	910mm
本体重量	約13.1kg
写真	
メーカー	京セラ
型式	KC32T-02
発電素子	多結晶シリコン
発電電力	32W
最大動作電圧	17.4V
最大動作電流	1.84A
サイズ	517mm×512mm×17mm
本体重量	2.8kg
写真	

太陽光パネルの設置角については、設置個所における日射量予測データ（表 7.6.2-4 に豊富町日射量予測（NEDO HP より抜粋）を例示）の最適角度で設置する。冬季に積雪が予想される場合は、最適角度よりも傾斜が急になるように設置することで落雪を促し積雪の影響を緩和させることを検討することも大切である。

HCD-3 孔においては、通常時（積雪が無い状態）では傾斜角 25 度が最も発電電力が大きかったが、積雪時は傾斜角 45° が最も発電電力が大きくなった。

表 7.6.2-4 豊富町日射量予測（NEDO HP より抜粋）

方角: 南 [単位: kWh/m²・day]

傾斜角	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	月平均
10°	1.37	2.55	3.76	4.3	4.7	4.9	4.49	3.94	3.78	2.52	1.28	0.98	3.214
20°	1.53	2.84	4.04	4.42	4.7	4.85	4.45	3.98	3.97	2.74	1.4	1.07	3.333
30°	1.66	3.08	4.25	4.45	4.6	4.7	4.34	3.94	4.07	2.9	1.5	1.14	3.386
40°	1.77	3.27	4.4	4.4	4.41	4.46	4.13	3.82	4.08	3	1.56	1.2	3.375
50°	1.85	3.4	4.48	4.26	4.14	4.15	3.87	3.63	4	3.03	1.59	1.24	3.303
60°	1.9	3.46	4.47	4.05	3.8	3.78	3.53	3.37	3.83	2.99	1.6	1.26	3.170
70°	1.92	3.47	4.4	3.77	3.39	3.34	3.15	3.05	3.57	2.89	1.56	1.26	2.981
80°	1.9	3.41	4.25	3.41	2.92	2.86	2.71	2.69	3.24	2.71	1.5	1.24	2.737
90°	1.85	3.29	4.02	3	2.44	2.37	2.27	2.28	2.84	2.48	1.41	1.19	2.453

7.6.3 蓄電池

蓄電池はシステムバッテリーと計測用バッテリーの二つに分けて設置する。通常はシステムバッテリーのみでシステム全体をカバーし、計測用バッテリーはシステムバッテリー消費時のみ使用する。

発電システムの発電量の変動をカバーできるように、システムバッテリーは充電なしで1週間はシステム稼働させられる容量を確保する。

長期にわたる天候不順やシステム構成機器の想定以上の電力消費などによりバッテリー電圧が不足する場合に備えて、センサーとデータロガーによる計測動作は最低限継続できるように、蓄電池はシステムバッテリーと計測用バッテリーの二つで構成することが望ましい。

HCD-3 孔向けのシステムでは、通常時は計測処理についてもシステムバッテリーからの給電で動作するが、システムバッテリー消費時は計測用バッテリーからの給電で計測動作を継続させ、計測動作に関わらない通信系の機器には、計測用バッテリーから給電はされない構成とした。

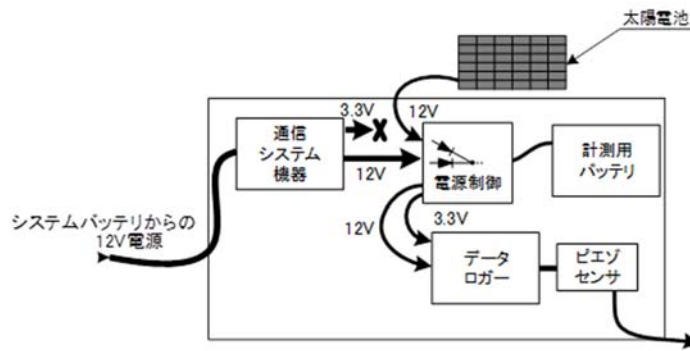


図 7.6.3-1 蓄電池構成例 (HCD-3 孔向けシステムの場合)

システムバッテリーの容量は発電システムによる発電量の変動分をカバーできるだけの容量を確保する。HCD-3 孔向けに採用した 12V 50Ah の鉛電池では、間欠運転の条件で 3G 通信を 1 週間（7 日間）充電なしで行える容量を確保している。

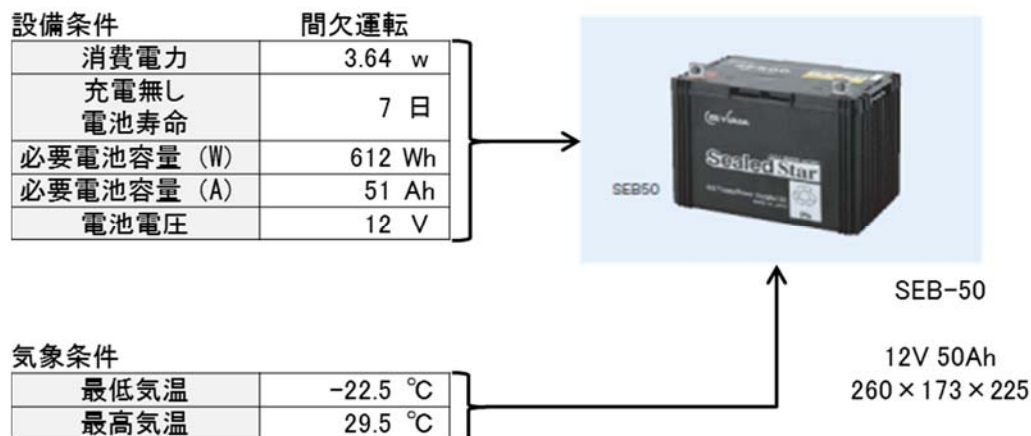


図 7.6.3-2 HCD-3 孔向け無人計測システム用システムバッテリー

7.6.4 データロガー

モニタリング無人計測システムではセンサーネットワークの構築機能を有する低消費電力のデータロガーを採用する。

データロガーは、モニタリング無人計測システムで使用する各種センサーや使用環境に求められる計測点仕様（表 7.6.4-1 に例示）を満足するとともに、計測点の追加や削除などにも容易に対応し

て無線ネットワークを柔軟に構築できる機能を有していることが望ましい。

表 7.6.4-1 モニタリング計測システム計測点仕様例

計測内容	測定範囲	根拠		
		既設の圧力センサの出力仕様		4-20mA/0-10V
1 圧力	4-20mA/0-10V	既設の圧力センサの出力仕様		4-20mA/0-10V
2 蓄電池電圧	0~30V	蓄電池電圧		12V/24V
3 気温	-30℃~60℃	気象データ:最低気温	幌延	-22.5℃
		:最高気温	川内市	+35.7℃
4 気圧	850HPa~1050HPa	気象データ:最低気圧	御前崎	1002HPa 瞬間最低気圧のデータなし (台風通過を考慮して850HPa~とする)
		:最高気圧	石垣島	1018HPa 瞬間最高気圧のデータなし
5 風向	0~360度(東西南北)			
6 風速	0~70m/s	気象データ:最大瞬間風速	石垣島	53.1m/s
7 日射量	0~500w/m ²	気象データ:最大日射量	石垣島	6.2kWh・m ² ・day ⇒ 258w/m ²
8 降雨量	0~200mm(時間降雨量)	気象データ:最大降雨量	柏崎市	最大降雨量:2438mm
9 積雪量	0~1500mm	気象データ:最大積雪量	幌延	最大積雪量:980mm

ネットワーク機能についての要求仕様は以下のとおりである。

- ・複数の測定ポイントがある場合に複数のデータロガーを無線接続してデータ収集可能なセンサーネットワーク機能を有すること
- ・データロガー機の増減があっても無線ネットワークを柔軟に構築できること
- ・センサーネットワークと上位通信システムとのインターフェースが容易なこと

また、発電システムで動作をさせることから、データロガーも低消費電力であることが求められる。消費電力に関する要求仕様は以下のとおりである。

- ・システム全体が低消費電力で連続稼働すること
- ・データロガー及びセンサーの電源制御機能を有し、間欠動作で計測が可能であること

HCD-3 孔向けのシステムではこれらの要求仕様を満たすデータロガーとして東洋電機製の MAGIC BEE (MGB) を選定した。データロガーの選定では MGB を含む 5 つのデータロガーが要求仕様に沿ったものとして候補に挙がった。MGB は上位通信システムの電源制御機能を有している。他のデータロガーは上位通信機器との通信に対応しておらず別途機器が必要となる点やセンサーの電源制御機能を有していないなど、シンプルかつ省電力のシステムを構成する上で MGB より優位な評価を得られなかった。

HCD-3 孔向け無人計測システムにおけるネットワークコンピューター(NC)と MGB の機能ブロック図を図 7.6.4-1 に示す。

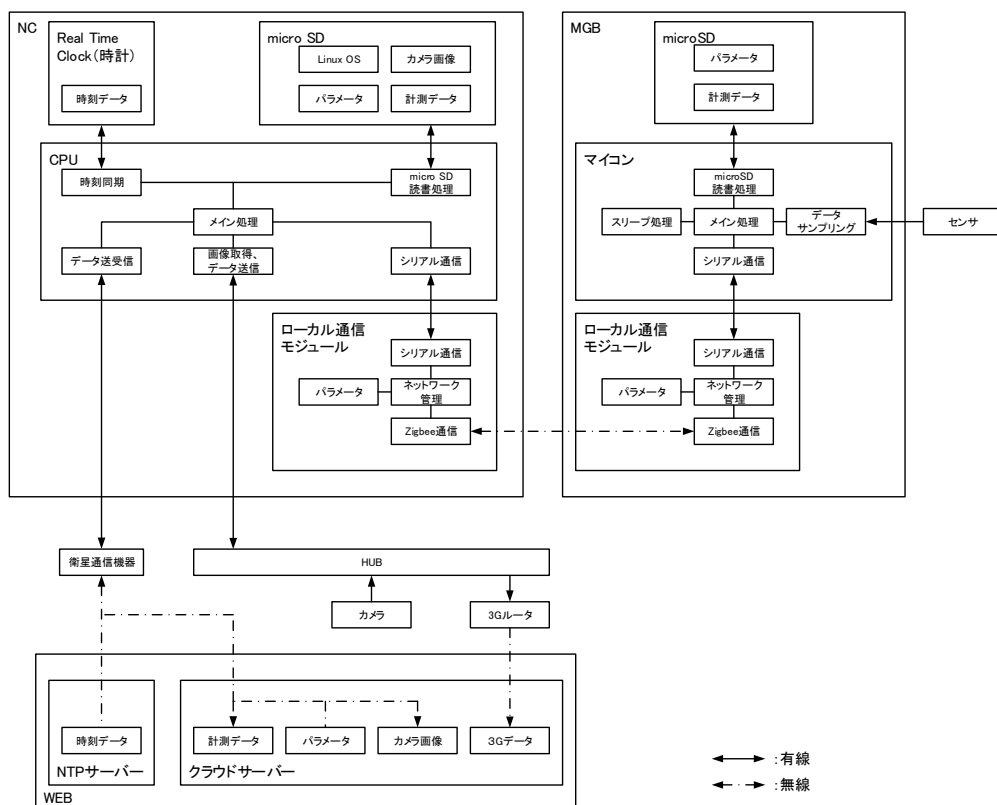


図 7.6.4-1 データロガー機能ブロック図

MGBは1分毎にデータを計測し各MGBに接続されたmicroSDにデータを保存し、1時間毎にローカル通信(センサーネットワーク)を介して1時間分の計測データをNCに送信する。ローカル通信には低消費電力な無線通信規格であるZigBeeを採用している。

NCはシステムの連続運転、間欠運転の全体制御を行い、運転中にローカル通信で各MGBからデータを受信し、さらに上位通信システムを起動しクラウドサーバーに計測データを送信している。

本システムは屋外に設置されることから、周辺温度変化の影響や落雷などの電氣的な外来ノイズを受けやすい。また、バッテリーからの給電は屋内用の安定した電源からの給電とは異なり、発電システムの発電状況や機器の動作状況によって変動することがある。各構成機器はこれらの影響に対して安定して動作することが求められる。

例えば、落雷などの電氣的なノイズに対しては、microSDの有線通信ラインへのシールドディング(電磁波ノイズ対策)やCRC(Cyclic Redundancy Check)などの誤り検出処理の実装を行い通信の信頼性を高めるとともに、エラー発生時にはソフトウェアリセットないしハードウェアリセット等の復旧処理を自発的に行う機能などを実装することが望ましい。

また動作温度等の周辺環境への対応については、機器単位の確認だけでなく個々の周辺部品についても確認を行う必要がある。

7.6.5 通信システム

NC に集約した計測データをクラウドサーバーに送信するための上位通信手段は、設置個所における通信状況に応じて 3G/4G 通信または衛星通信から品質の良い通信手段を採用する。

現地システムからクラウドサーバーへの上位通信手段は現地の通信状態、機器価格・通信料を踏まえて 3G/4G 通信あるいは衛星通信などから選択する。

(1) 3G 通信装置

北海道幌延町 HCD-3 孔付近の 3G/4G 通信の各キャリアのサービス提供エリアを図 7.6.5-1 に示す。

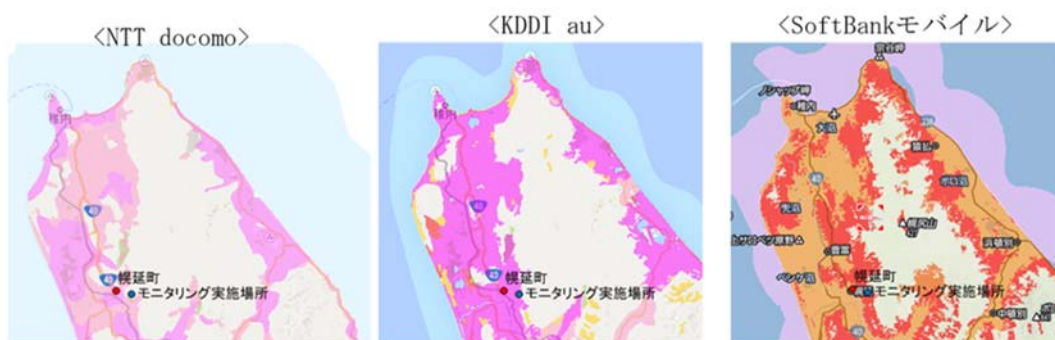


図 7.6.5-1 3G/4G 通信キャリア別サービス提供エリア

HCD-3 孔地点は、各キャリアともにサービス提供エリアとの境界にあり、いずれのキャリアを選んでも通信感度に大きな優位性は得られないものと考えられたが、現地調査を行った結果、受信感度に大きな差があることが判明した。ソフトバンクモバイルが最も良好であった。

3G 通信装置としては、表 7.6.5-1 のような一般汎用品を採用した。

表 7.6.5-1 3G 通信装置

サービス提供	NTTdocomo/ソフトバンクモバイル
機種名	HPSA-450C-JU/JA
サービス	音声+データ通信(パケット)
音声+データ同時利用	不可
通信速度	上り:最大5.7Mbps 下り:最大7.2Mbps
通信外部接続	RJ-45コネクタ
消費電力	待ち受け パケット通信
	15mW 平均5W以下
使用温度範囲	-40°C～+70°C
サイズ(奥行×幅×高さ)	105mm×75mm×25mm
重量	125g
価格(税込)	
写真	

(2) 衛星通信装置

日本における衛星通信サービスとしては、NTT DoCoMo ワイドスター II と KDDI インマルサットがある。表 7.6.5-2 に示すとおり、通信速度は KDDI が優勢であるが、NTT DoCoMo でも HCD-3 孔向けには必要十分な速度であると判断した。

NTT DoCoMo の端末は、KDDI の端末に比べて低消費電力であり、また、車載用としてバッテリー駆動、電源制御の機能を持っている。これらの特徴は無人計測システムに適合すると考えられることから、NTT DoCoMo ワイドスター II を採用した。

NTT DoCoMo ワイドスター II は国内専用サービスであるが、KDDI インマルサットはグローバルサービスとなっている。概要調査地点は日本国内に限定されるので、どちらのサービスを選定しても問題ない。

緯度が高くなるほど通信衛星への仰角が低くなる。特に高緯度で衛星アンテナの方向に山があると電波の送受信感度が大きく低下する場合がある。また、屋外アンテナと内蔵アンテナには指向性等に特性差があり、使用するアンテナによって受信品質に差が出ることがある。このため、衛星通信システムの選定には現地で通信品質の確認を行う必要がある。

表 7.6.5-2 衛星通信装置比較

サービス提供	NTTdocomo	KDDI(日本デジコム)
機種名	ワイドスターⅡ	インマルサットBGAN Explorer500
サービス	音声+データ通信(パケット)	音声+データ通信(パケット)
音声+データ同時利用	不可	可能
通信速度	上り:最大144kbps 下り:最大384kbps	上り:最大448kbps 下り:最大464kbps
通信外部接続	RJ-45コネクタ	イーサネット
消費電力 待ち受け	1.2W	38W
パケット通信	13.1W	
使用温度範囲	-20℃～+60℃	-25℃～+55℃
サイズ(奥行×幅×高さ)	197mm×180mm×39mm	218mm×217mm×52mm
重量(電池を含む)	1.3kg	1.5kg
価格(税込)	369,075円	399,000円
写真		

7.6.6 遠隔監視・制御機能

クラウドサーバー上に集約されたデータを介して現地状況を遠隔監視し、必要に応じて現地システムの動作制御を行う。

HCD-3 孔の遠隔監視におけるデータ表示例を図 7.6.6-1 から図 7.6.6-3 に示す。

HCD-3 孔向けのシステムでは現地システムを遠隔制御する機能として間欠運転の動作周期設定、連続運転モードへの動作モード変更、上位通信方式の変更(衛星/3G)機能を設けた。また、データは CSV 形式でダウンロードできる機能を設けた。クラウドサーバーにアクセスして遠隔監視するが、サーバー上のデータは間欠運転の動作周期でしか更新されない。リアルタイムでの現地状況のモニターが必要となる場合は現地システムを連続運転モードに切り替え、応答性を上げて連続監視する機能を持たせることも検討する。

システムの設置個所は生活環境から離れていることが想定されることから、計測データだけでなくシステムの状態を遠隔監視することが望ましい。また、これにあわせて不具合発生時に構成機器をハードウェア的にリセットするなどの遠隔復旧機能を設けることで、より安定的にシステムを運用することが可能になる。

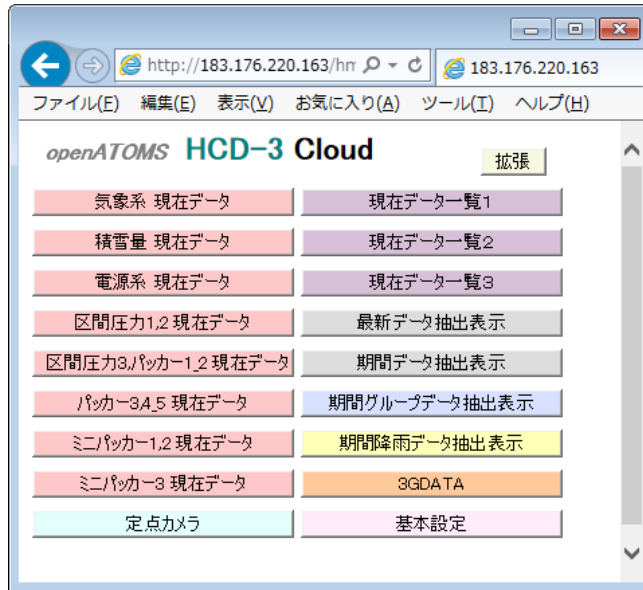


図 7.6.6-1 クラウドサーバーメニュー画面

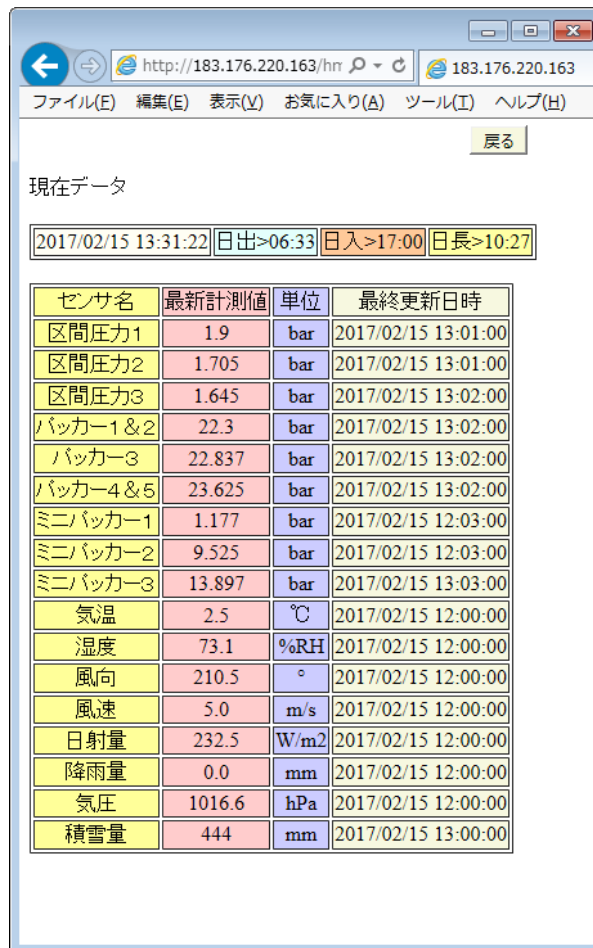


図 7.6.6-2 計測データ表示 (現在データ)

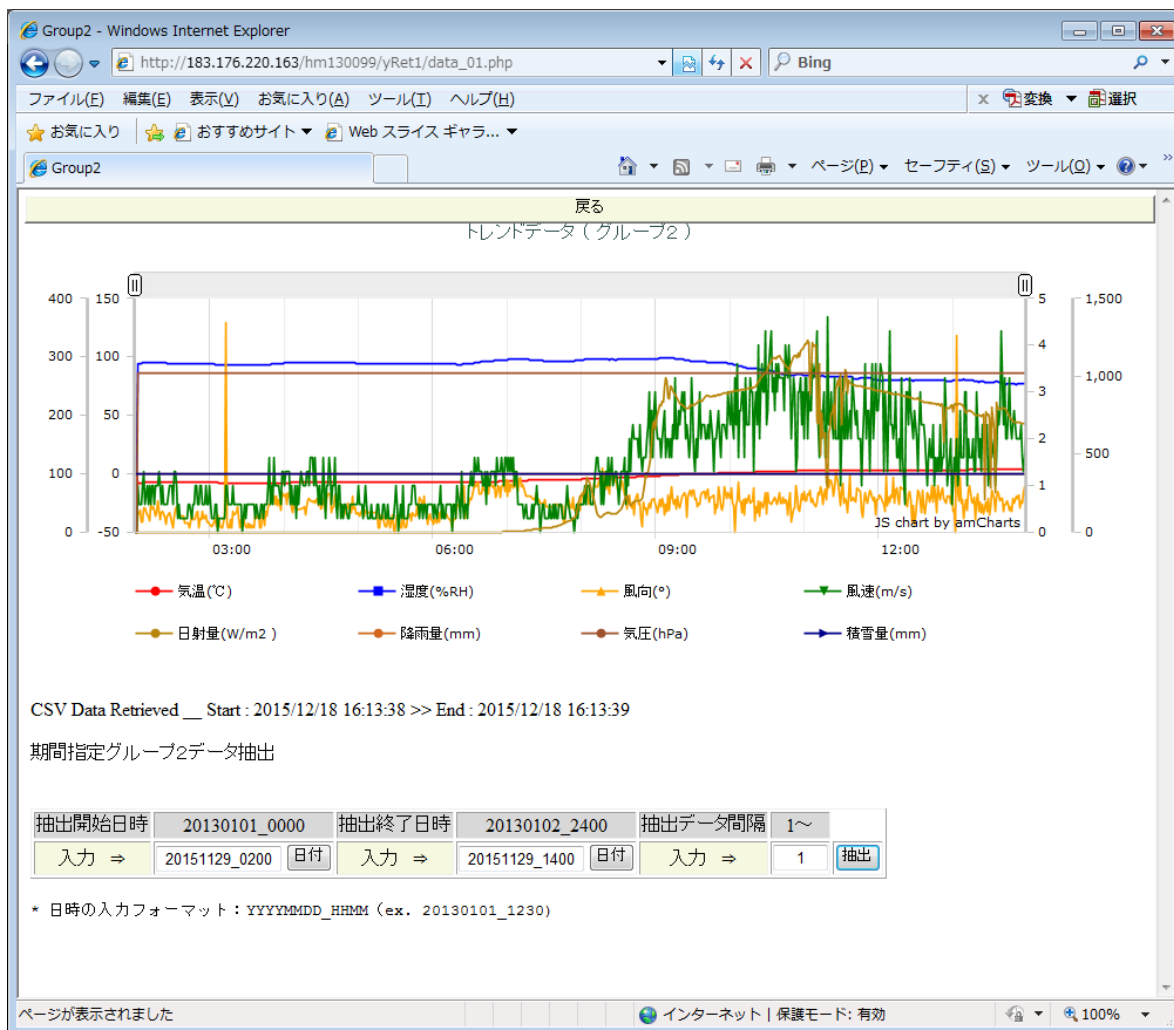


図 7.6.6-3 計測データ表示 (トレンド)

7.6.7 ウェブカメラ

現地環境の監視や防犯用にウェブカメラを設置し、計測データとともにクラウドサーバーへアップロードし現地を遠隔監視する

HCD-3 孔では間欠運転周期ごとにウェブカメラで現地の画像を撮影し、計測データとともにクラウドサーバーへアップロードする機能を設けた。画像データは現状の現地環境を把握する上で非常に有用であった。

画像データは他の計測データに比べデータサイズが大きいため、解像度によっては上位通信の動作時間が長期化するなど消費電力への影響が大きくなることに留意する。現地状況を詳細に把握するためには高解像度の画像が必要となるため、遠隔制御で解像度を変更設定が行えるようにすることが望ましい。



図 7.6.7-1 ウェブカメラ画像（左：低解像度、右：高解像度）

なお、低消費電力かつ高精度の積雪計がないため、積雪量を正確に自動計測することが難しかった。自動計測にはならないが、ウェブカメラの撮影範囲に積雪量計測用標尺を複数設置することにより撮影範囲内の積雪量を面的に正確に把握することは可能である。



図 7.6.7-2 ウェブカメラによる積雪量測定

7.6.8 システム制御

システムの稼働時間を短時間に収め低消費電力化を実現するため、システムの各コンポーネントの動作タイミングを設定し、それぞれに割り当てられた時間内で処理を行うよう制御する。

1年半ほどのHCD-3孔向けのモニタリング無人計測システムの運用を通して、データ取得率が高

いシステムに調整・改良を行った。その中で、システム制御上工夫した事項を以下に記す。

システム構成機器の動作タイミングチャート（3G 通信の事例）を図 7.6.8-1 に示す。衛星通信機器を使用する場合は、図中 3G ルーターの制御チャートを使用する衛星通信機器に合わせて調整すればよい。

NC は間欠動作のタイミングで起動し上位通信の制御を開始する。同時にウェブカメラの撮影処理と各 MGB とのセンサーネットワークを構築しローカル通信を始める。各 MGB からの計測データの送信は 1 分に 2 台が割り当てられており、順次 NC へ送信される。NC は計測データを受信しながら、NC 内の micro SD へのデータ保存と上位通信によるクラウドサーバーへの送信を行い、全 MGB からの計測データをクラウドサーバーに送信した後、上位通信用機器の電源を落とし、自身をシャットダウンする。

NC 及び各 MGB はそれぞれに時刻データを内蔵しており、このデータをもとに動作している。この時刻データが大きすぎると MGB と NC の通信が行えなくなりデータ送信等ができなくなってしまう。このため、間欠周期のタイミングでシステム全体の同期をとるための時刻合わせが行われている。ローカル通信が失敗する場合には、MGB が定期的に NC へアクセスして時刻同期を自ら復旧させる機能を実装させた。

このような時刻ずれや電源不足が発生した場合、ローカル通信あるいは上位通信が行えなくなることでクラウドサーバーへのデータ未送信が発生する。未送信データの発生を防ぐため、各通信に再送信機能を設けた。NC 及び MGB は計測データの送信履歴を管理し、未送信データが生じた場合には最新の計測データとともに、未送信データをクラウドサーバーまたは NC に送信する。ただし、各コンポーネントには動作タイミングが設定されており、この時間内で処理を完了する必要があるため、通常の最新計測データ（間欠周期 1 周期分）の送信に加えて、未送信データがある場合は最も古い未送信データ（間欠周期 1 周期分）のみを送信するようにした。

クラウドサーバー、上位通信機器（3G）、NC、MGB の制御フローチャートを図 7.6.8-2 に示す。この図は上位通信を行う場合の制御フローである。毎分の計測時は MGB のみが計測動作を担い、他の機器は動作しない。

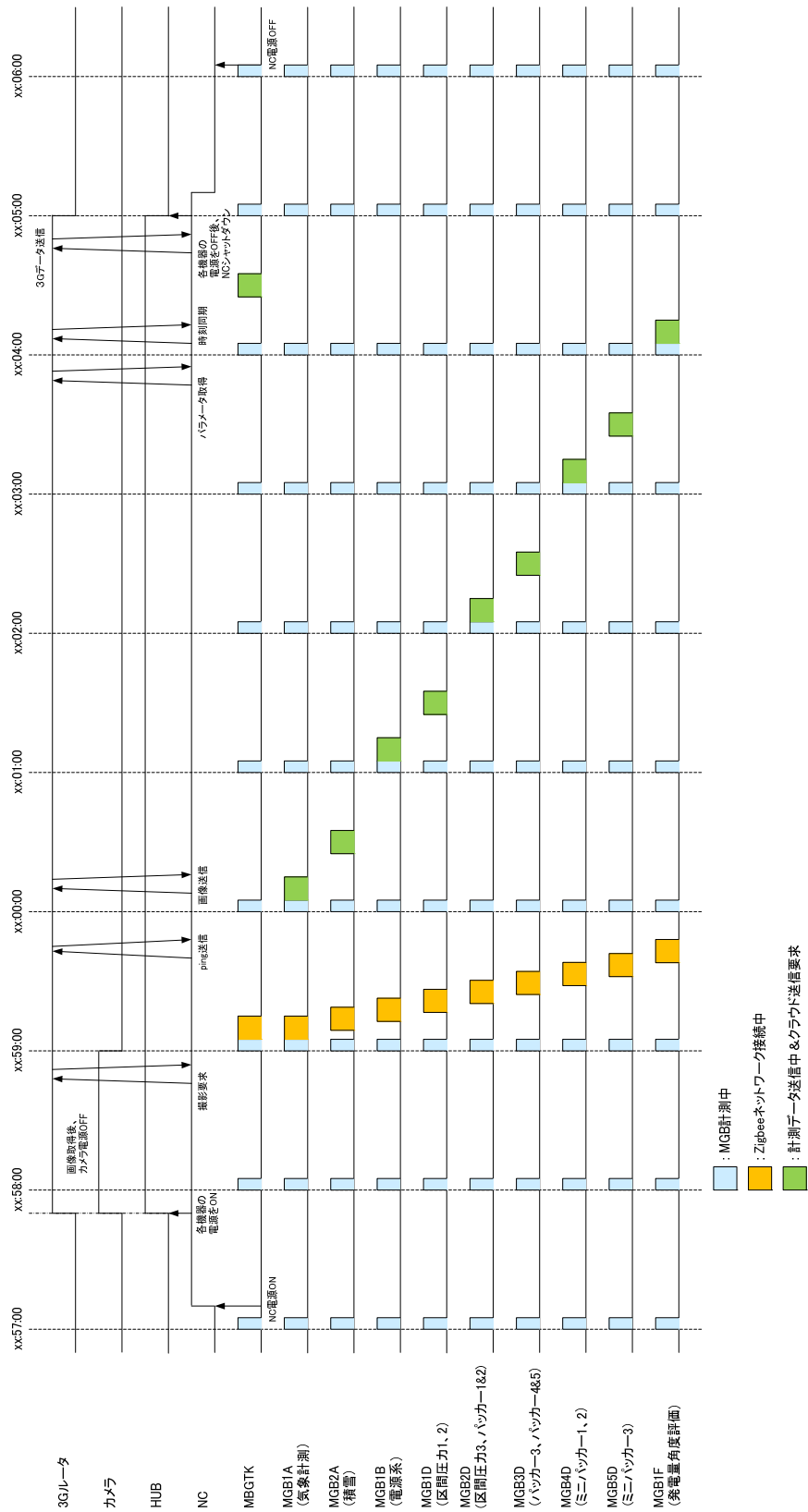
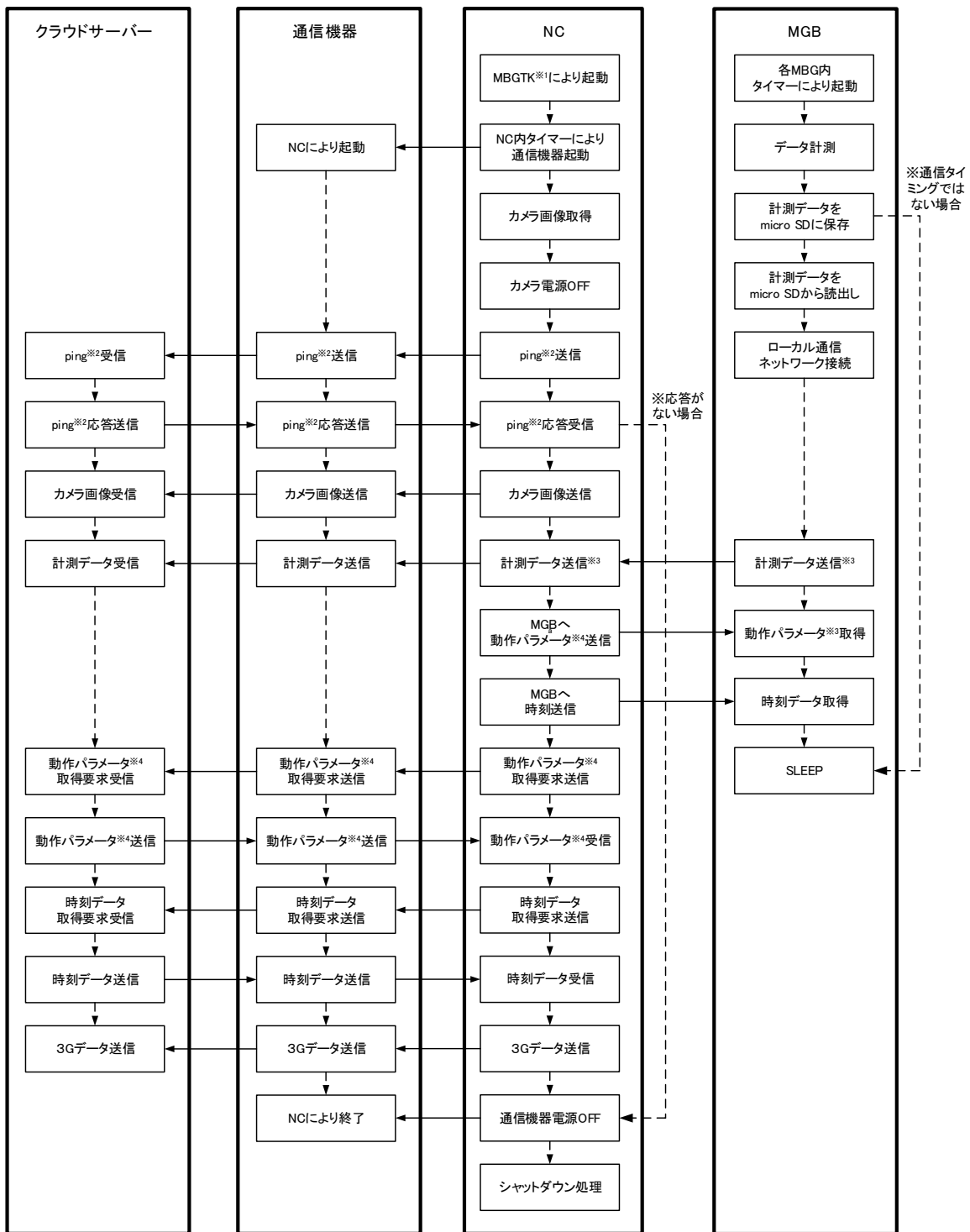


図 7.6.8-1 構成機器の動作タイミングチャート



- ※1. NCは自立起動用のタイマー機能を持っていないため、MGB(MGB TK)を用いて起動する。
- ※2. IPネットワークにおいてデータの到達性を確認するための仕組みであり、上位通信の接続確認に用いている。
- ※3. MGB、NCの送信処理は未送信データの再送信機能を含む。
- ※4. 現地に設置された無人計測システムを遠隔制御するためのパラメータ(コマンド)

図 7.6.8-2 システム制御フロー

7.6.9 筐体等

屋外に設置する筐体（機器の収納ボックス）は現地の気象条件から各機器を保護できるように設計及び設置を行う。

屋外に設置する機器は風雨や積雪による故障を防ぐため、防水ケース内に設置し、ケーブル口などからケース内部へ浸水しないようコーキング処理等を施す。

発電機を含めた各機器を設置するためのフレーム等は必要に応じてステンレス製品を使用するか、防錆用の塗装を施す。

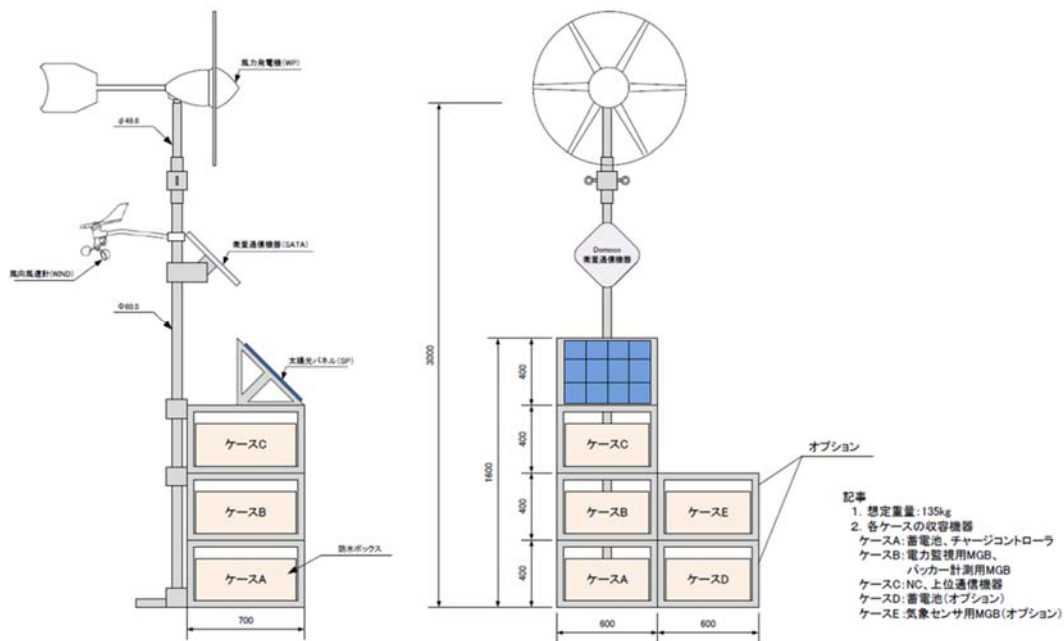


図 7.6.9-1 筐体設計例

7.6.10 複数の調査孔のモニタリング

概要調査対象地内の複数の調査孔に測定ポイント局を設置し、センサーネットワークに参加させることで、モニタリングの無人計測を行うことができる。

測定ポイント局を追加してセンサーネットワークに参加させることで、同一の調査地点で複数の坑道を測定することができる。測定ポイント局の基本構成は発電システム、蓄電バッテリー、データロガーを備え、上位通信機能を持たないことを除いて標準の計測システムと同一構成である。

追加の測定ポイント局は本局の計測システムを中心に構成されるセンサーネットワークにデータ

ロガーのローカル通信機能を用いて無線接続する。測定データをローカル通信で本局に送信し、本局は追加された測定ポイント局のデータを含めた全データを集約してクラウドサーバーへ送信する。

複数測定ポイントシステムのシステム構成図を図 7.6.10-1 に示す。測定ポイント局のセンサーネットワークへの接続は本局と直接無線通信を行うほかに、別の測定ポイント局や中継局を経由して接続を行うことを可能とする。また通信ルート上の測定ポイント局や中継局が停止した場合は、他に通信可能なルートを探し自動的にルーティングし直す機能を持った設計とする。

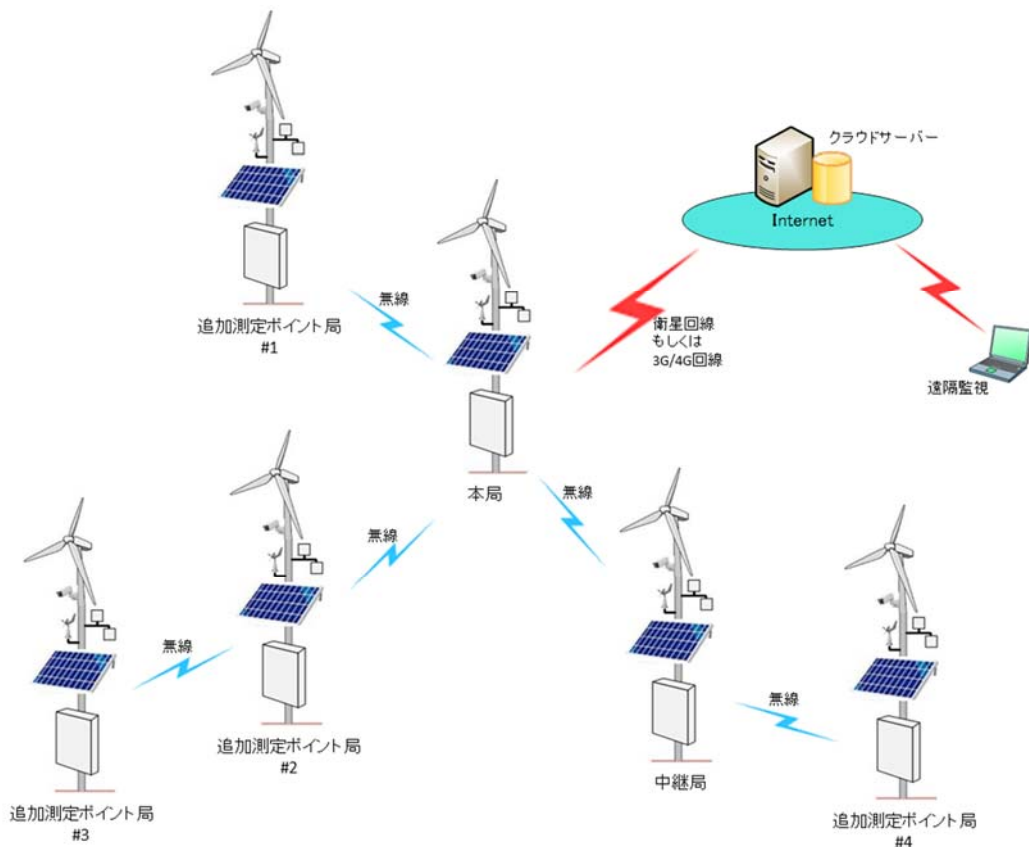


図 7.6.10-1 複数測定ポイント対応システム構成図

本局の基本設計は前項までに示したとおりの設計とする。ただし、追加測定ポイント局からのデータ受信と同データをクラウドサーバーへ送信するための機器の動作時間を考慮して消費電力量の算出を行う必要があり、それに伴う発電システム・蓄電池の強化が必要となる。

追加の測定ポイント局の基本設計は上位通信機能を持たないことを除いて本局の計測システムと同一設計である。発電システム、蓄電バッテリー、データロガー及び遠隔監視・制御機能より構成される。本局における上位通信処理が本局または中継局へのローカル通信に変わること、ならびに他の追加測定ポイント局からの中継局として利用される場合の中継処理に対応する必要がある点で本局と

は制御が異なる。中継ポイントとして使用される可能性がある測定ポイント局については、他の測定ポイントからのデータの送受信を考慮した発電システム、蓄電池、システム制御の設計が必要となる。測定を行わない中継局はセンサーを持たないことを除いて、測定ポイント局と同一設計となる。遠隔監視・制御機能については本局を介して遠隔地からの要求を受信する。

本システムで使用したローカル通信モジュール（図 7.6.10-2）は見通しの良い場所であれば 1.5km まで通信が可能である。通信局間が 1.5km 以上離れている場合は両者の中間地点に中継局を設ける。また、見通しが悪く通信感度が悪化する場合についても同様に中間地点に中継局を設けるか、両者から見通しが良い地点を迂回するように中継局を設ける。複数ポイントの測定システムの信頼性を確保するためには、通信ルートが 1 つしかないような状況を避け、複数のルートで通信可能となるよう中継局を設けることが望ましい。


メーカー	Digi International
型式	XBee-PRO ZB
室内/アーバンレンジ	最大60m
屋外/見通しレンジ	最大1.5km
電源電圧	2.1~3.6V DC
周波数帯域	2.4GHz
RFデータレート	250kbps
写真	

図 7.6.10-2 ローカル通信モジュール

Ⅲ編：成果のまとめと課題

8. 本年度研究成果のまとめ

9. 今後の課題

8. 本年度研究成果のまとめ

本年度は研究終了後の研究設備を地元、地権者との約束に基づく期日までに安全に撤去し原形復旧した。撤去作業等を通して得られた成果を以下にまとめる。

8.1 無人計測システム撤去

8.1.1 無人計測システム構成機器の劣化状況

撤去作業時にシステムの構成機器の状態確認を行った。システム障害を起こすような劣化は確認されなかったが、以下の劣化が確認された。

- ・ケースFバッテリー部の腐食
- ・太陽光設置角検証用パネルに付属したケーブルの劣化
- ・ステンレス設備外装加工部の腐食

8.1.2 無人計測システムの信頼性評価

平成28年度の信頼性調査における各改造終了後の取得率と信頼性調査終了後から撤去までの期間の取得率を表 8.1.2-1 から表 8.1.2-4 にまとめた。上位通信は2016年3月以降、約90～95%の間で推移しており、一定の割合で通信の失敗が発生しているが、各取得率について両期間に大きな差は見られないことから、平成28年度の信頼性向上に向けた改造完了以降、安定して動作していることが確認できた。

表 8.1.2-1 上位通信データ取得率

データ取得率[%]	H28年度 信頼性調査時 (改造終了～2017年1月)	信頼性調査終了以降 (2017年2月以降)
MGB 1A	99.965	99.873
MGB 2A	99.982	99.956
MGB 1B	99.877	99.734
MGB 1D	99.877	99.912
MGB 2D	99.912	99.956
MGB 3D	99.877	99.911
MGB 4D	99.859	99.823
MGB 5D	99.912	100.000
MGB 1F	99.895	99.956
全MGB	99.906	99.902

表 8.1.2-2 ローカル通信データ取得率

データ取得率[%]	H28年度 信頼性調査時 (改造終了～2017年1月)	信頼性調査終了以降 (2017年2月以降)
MGB 1A	99.838	99.850
MGB 2A	98.896	99.953
MGB 1B	99.793	99.685
MGB 1D	99.798	99.912
MGB 2D	99.829	99.952
MGB 3D	99.746	99.911
MGB 4D	99.657	99.770
MGB 5D	99.822	99.888
MGB 1F	99.768	99.752
全MGB	99.683	99.853

表 8.1.2-3 システムデータ取得率

データ取得率[%]	H28年度 信頼性調査時 (改造終了～2017年1月)	信頼性調査終了以降 (2017年2月以降)
MGB 1A	99.811	99.723
MGB 2A	98.868	99.908
MGB 1B	99.598	99.419
MGB 1D	99.604	99.824
MGB 2D	99.718	99.908
MGB 3D	99.552	99.822
MGB 4D	99.435	99.593
MGB 5D	99.683	99.888
MGB 1F	99.629	99.707
全MGB	99.544	99.755

表 8.1.2-4 マイクロ SD 保存データ取得率

データ取得率[%]	H28年度 信頼性調査時 (改造終了～2017年1月)	信頼性調査終了以降 (2017年2月以降)
MGB 1A	99.900	100.000
MGB 2A	99.778	100.000
MGB 1B	100.000	100.000
MGB 1D	100.000	100.000
MGB 2D	100.000	100.000
MGB 3D	100.000	100.000
MGB 4D	100.000	100.000
MGB 5D	100.000	100.000
MGB 1F	100.000	100.000
全MGB	99.964	100.000

8.2 モニタリングシステム回収

8.2.1 パッカー収縮作業

スタンドパイプ内に設置していたミニパッカーを収縮し、ミニパッカー及び圧力センサーを回収した。回収時は特に引っ掛かりもなく、問題なく回収した。また各区間において、窒素ガスの圧入によるパッカー拡張水の回収と窒素ガスにより拡張したパッカーの収縮を交互に実施し、パッカー拡張水の回収を行った。その結果、区間①では 29.7L (87%)、区間②では 14.0L (100%)、区間③では 21.8L (99%) のパッカー拡張水を回収した。

8.2.2 モニタリングシステム回収作業

事前に決定した手順に従ってモニタリングシステムの回収作業を実施した。越し切り時及びパッカーが裸坑部から NL140 ロッド内に入る箇所では荷重の増加が見られたが、強引（ボーリングマシン+チェーンブロック：最大荷重 5.0 t 超の併用）により回収した。この結果、すべてのシステムケーシング及びパッカー、インターバルアクセスモジュールを回収することができた。

8.3 廃孔

8.3.1 HMD-1 孔

本孔は NL140 ロッドが孔内で固定され回収不能であることから、NL140 ロッド内のフルホールセメンチングを行った。また、孔口部は、NL140 ロッド及び 6 インチ SGP 製ケーシングを切断し、6 インチ SGP 製ケーシングに鉄板を溶接し、その上部をセメントスラリーで覆い、土砂で埋設し、原形に復旧した。

8.3.2 HCD-3 孔

本孔はすでにスライムなどにより目詰まりしており、回収は不能な状況にあった。廃孔方法は、NL140 ロッドの下端 (GL-206.00m) から下位の NL140 ロッド上端 (GL-218.00m) 間の裸孔部 ($\phi 152\text{mm}$) にパッカーによるブリッジプラグを設置し、その上位の孔内のフルホールセメンチングを行った。また、孔口部は GL-1.6m 以浅の全てのケーシングを切断し、外側のケーシングには鉄板を溶接し、その上をコンクリートで覆い、さらに軟岩で埋設し、原形に復旧した。残セメント及び孔口から出た孔内水は産業廃棄物として適正に処分した。

8.3.3 コンクリート基礎・アスファルト舗装撤去

コントロールボーリング掘削時に設置したコンクリート基礎ならびに HCD-3 孔のセーラー及び蓋を

撤去し、発生したコンクリート塊等は産業廃棄物として適正に処分した。また、進入路の農用地部分のアスファルト舗装を撤去し、発生したアスファルト塊は産業廃棄物として適正に処分した。

8.3.4 埋戻し・整地

農用地としての利用に支障のないように設備等撤去後の凹地の埋戻し及び整地を行った。埋戻し材料には当初 40mm 切込砕石を使用する予定であったが、「農用地としての支障のないように原形復旧する」ことから、現地採取した軟岩を使用した。

8.4 モニタリングデータ解析

観測区間水位に対する影響要因を検討し、そのうち観測区間水位に影響を与えていると考えられる潮汐変動を対象として、BAYTAP-G を使用してその影響を除去した。

8.5 モニタリング技術の体系化

地上設備の撤去・廃孔の実施を踏まえて新たに得られた知見を昨年度取りまとめた手順書に追加した。

9. 今後の課題

掘削・調査用に掘削・設置したボーリング調査孔・モニタリングシステムならびに地上設備の撤去・原形復旧を通して得られた課題を整理すると以下のとおりである。

9.1 モニタリング無人計測システム

マイクロ SD への計測データがほぼ 100%保存されている一方、ローカル通信・上位通信を通したウェブサーバー上のデータ保存にはわずかながら欠損が発生している。気象条件等の周辺環境によりデータ通信が失敗する場合に備えてデータの再送信処理によるリカバリ制御を追加実装した結果、実運用に支障の無いシステムとなったが、今後同様のシステムを設計・製作する場合は、再送信制御を含め、通信処理についてさらなる改善の余地があると考えられる。また、システムの設計・製作に際しては下記の点について留意する必要がある。

- (1) 積雪が予想される地域に設置する場合、各機器の埋雪に配慮した設計を行う。
- (2) 機器に付属する部品・ケーブルはシステムが設置される屋外環境に適応するものを選定する。
- (3) ステンレス部品を加工する場合は、加工後に不動態化処理を施し、対食性を上げて使用する。

9.2 モニタリングシステムの回収

モニタリングシステムの回収作業ではボーリングマシンによる引上げを基本に計画した。モニタリングシステム（乾燥重量約 2ton）を引き上げる能力を有するボーリングマシンを選定したが、実際の引上げでは越し切り時及びパッカーが裸坑部から NL140 ロッド内に入る箇所では引上げ荷重が増加し、ボーリングマシンの引上げ能力のみでは引上げが不能となった。このため、チェンブロックを併用して強引を行い、モニタリングシステムを回収した。モニタリングシステムの回収に際しては、引上げ荷重の増加に備えて引上げ能力に余裕のあるボーリングマシンを使用することが望ましい。また、ボーリングマシンの足場は強引時の引上げ反力にも配慮したものにならなければならない。

モニタリングシステムの耐腐食性については、システム設計前に同地域の水質分析結果を参照して検討し、金属部品として Titan grade 2 あるいは Nickel alloy 22、樹脂製部品としてニトリルが推奨された。本実証研究では材料の入手し易さ、加工性及び価格を考慮して SS304 及び天然ゴムを使用した。回収したシステムに腐食は見られなかったが、今後別の地域で同システムを長期使用する場合は、同様の検討を行い、材料の選定を行うことが望ましい。

裸孔区間を構築するためのパッカー設置は、パッカーの設計拡張値以上の孔径箇所を避けることはもちろんのこと、極度に扁平な孔径での使用は避けることが望ましい。

パッカー拡張前の口径に戻すためにパッカー拡張水を 80%以上回収することを目標としていたが、斜孔におけるパッカーは均一に収縮しないことを前提にパッカー拡張水はできるだけ回収することが望ましい。

9.3 モニタリング技術の体系化

モニタリング技術の体系化に当たっては、研究担当者のこれまでの経験ならびに本研究で得られた知見に基づき、モニタリングの各実施項目に関する基本的な考え方やその手順を手順書という形で取りまとめた。これまでの研究で解決できない課題についても記載しているので、新たな知見などを踏まえてこの手順書を順次改訂していく必要がある。