

平成 28 年度

地層処分技術調査等事業

(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 29 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 27 年度の成果の概要
4. 今年度の開発目標

II 編 : 今年度の研究内容

5. 取得データの解析
6. 地下水及びガスの採取、分析
7. モニタリング無人計測システム
8. モニタリング技術の体系化

III 編 : 成果のまとめと課題、今後の計画

9. 今年度研究成果のまとめ
10. 今後の課題
11. 次年度の研究計画

内容

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.....	4
(3) 共通技術.....	5
(4) 透水・採水技術.....	5
(5) 検層技術.....	5
(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	10
3. 平成 27 年度の成果の概要.....	11
3.1 データ取得及び解析方法の検討.....	12
3.2 維持、管理手法の検討.....	12
3.3 無人計測システムの概念設計.....	13
4. 今年度の開発目標.....	13
4.1 概論.....	15
4.1.1 孔内モニタリングシステムの保守、管理.....	15
4.1.2 計測データの取得及び解析.....	15
4.1.3 地下水及びガスの採取、分析.....	15
4.1.4 モニタリング無人計測システム.....	15
4.1.5 開発の審議・検討.....	15
4.2 孔内モニタリングシステムの保守、管理.....	16
4.2.1 モニタリングシステムの点検.....	16
4.2.2 モニタリングシステムの改良.....	16
4.3 計測データの取得及び解析.....	16
4.3.1 データ取得.....	16
4.3.2 解析方法の検討.....	16
4.3.3 解析結果及び考察.....	17
4.4 地下水及びガスの採取、分析.....	17
4.4.1 地下水採取方法.....	17
4.4.2 ガス採取方法.....	17
4.4.3 分析項目及び分析方法.....	17
4.4.4 分析結果及び考察.....	17
4.5 モニタリング無人計測システム.....	17
4.5.1 概要.....	17
4.5.2 システム信頼性.....	18
5. 取得データの解析.....	19
5.1 解析方法の検討.....	19

5.1.1	区間圧力データに対する影響要因	19
5.1.2	各影響要因と解析方法	21
5.1.3	BAYTAP-G について	24
5.2	解析結果及び考察	24
6.	地下水及びガスの採取、分析	28
6.1	地下水及びガス採取方法	28
6.2	地下水及びガス採取作業	33
6.3	分析項目及び分析方法	35
6.4	分析結果及び考察	35
7.	モニタリング無人計測システム	49
7.1	信頼性向上検討	49
7.2	電源システム最適化	54
7.2.2	データ通信の信頼性向上検討	61
7.2.3	計測ならびにシステム制御の安定性の改善	62
7.2.4	現地環境計測の改良	63
7.3	システム信頼性評価	66
7.3.1	発電・蓄電容量から見た電源システムの評価	67
7.3.2	通信メカニズムによるデータ取得率への影響	70
7.3.3	計測・システム制御の安定性	91
7.3.4	現地環境計測改良の効果確認	96
7.3.5	クラウドサーバーのデータ取得率に基づくシステム信頼性	107
7.4	システムの最適化	109
7.4.1	システムの設計	109
7.4.2	システムの設置・運用	112
8.	モニタリング技術の体系化	116
8.1	モニタリングシステムの概要	116
8.2	モニタリングシステムの構成	118
8.3	モニタリングシステムの実施手順	122
8.3.1	観測区間（裸孔区間）の選定	123
8.3.2	ケーシングロッド拡張	124
8.3.3	ケーシングロッド切断	125

8.3.4	ケーシングロッド引上げ.....	126
8.3.5	モニタリング装置の設置と計測の開始.....	127
8.3.6	地上システムの保守・管理.....	128
8.3.7	孔内システムの保守・管理.....	128
8.4	取得データの解析.....	130
8.5	地下水及びガスの採取.....	131
8.6	分析・測定項目及び分析・測定方法.....	136
8.7	モニタリング無人計測システム.....	138
8.7.1	モニタリング無人計測システムの概要と基本構成.....	138
8.7.2	発電システム.....	139
8.7.3	蓄電池.....	144
8.7.4	データロガー.....	145
8.7.5	通信システム.....	148
8.7.6	遠隔監視・制御機能.....	150
8.7.7	ウェブカメラ.....	152
8.7.8	システム制御.....	153
8.7.9	筐体等.....	157
8.7.10	複数の調査孔のモニタリング.....	157
9.	今年度研究成果のまとめ.....	160
9.1	孔内モニタリングシステムの保守、管理.....	160
9.2	計測データの取得及び解析.....	160
9.3	地下水及びガスの採取、分析.....	161
9.4	モニタリング無人計測システム.....	162
9.5	モニタリング技術の体系化.....	162
10.	今後の課題.....	162
10.1	孔内モニタリングシステムの保守、管理.....	162
10.2	計測データの取得及び解析.....	163
10.3	地下水及びガスの採取、分析.....	163
10.4	モニタリング無人計測システム.....	164
10.5	モニタリング技術の体系化.....	164
11.	次年度の研究計画.....	165

11.1 次年度計画の概要.....	165
11.2 廃孔及び原状復旧.....	165
11.3 モニタリングデータ収集・解析.....	165
11.4 モニタリングの体系化.....	165
11.5 開発の審議・検討.....	165

図表目次

図 5.1-1	平成 28 年度取得データ.....	19
図 5.1-2	区間圧力データに対する影響要因.....	20
図 5.1-3	各観測区間水位と稚内における潮位.....	21
図 5.1-4	各観測区間水位と近隣 3 箇所の降水量.....	22
図 5.1-5	区間①水位と各種データとのクロスプロット.....	23
図 5.1-6	区間②水位と各種データとのクロスプロット.....	23
図 5.1-7	区間③水位と各種データとのクロスプロット.....	24
図 5.2-1	BAYTAP-G による解析結果（観測区間①全体）.....	25
図 5.2-2	BAYTAP-G による解析結果（観測区間①詳細）.....	26
図 5.2-3	BAYTAP-G による解析結果（観測区間②全体）.....	26
図 5.2-4	BAYTAP-G による解析結果（観測区間②詳細）.....	27
図 5.2-5	BAYTAP-G による解析結果（観測区間③全体）.....	27
図 5.2-6	BAYTAP-G による解析結果（観測区間③詳細）.....	28
図 6.1-1	チューブドラム.....	29
図 6.1-2	ポンプコントロールユニット.....	29
図 6.1-3	ダブルバルブポンプ作動原理.....	30
図 6.1-4	サンプラー.....	32
図 6.1-5	ウィンチ.....	32
図 6.1-6	クランプ止め装置.....	32
図 6.1-7	フロースルー型サンプラー断面図.....	32
図 6.4-1	予備排水に伴う蛍光染料濃度の変化.....	40
図 6.4-2	ヘキサダイアグラム.....	42
図 6.4-3	パイパーダイアグラム.....	42
図 6.4-4	水素酸素同位体比.....	43
図 6.4-5	希ガスの分析結果の比較.....	45
図 6.4-6	pH-Eh 図.....	46
図 7.1-1	無人計測システム システム構成図.....	49
図 7.1-2	システム配線系統図.....	50
図 7.1-3	ケース A 及びケース A 内部.....	51
図 7.1-4	ケース B 及びケース B 内部.....	52

図 7.1-5	ケース C 及びケース C 内部.....	52
図 7.1-6	ケース D 及びケース D 内部.....	53
図 7.1-7	ケース E 及びケース E 内部.....	53
図 7.1-8	ケース F 及びケース F 内部.....	54
図 7.2-1	電源システム変更概要	56
図 7.2-2	NC からクラウドサーバーへの Ping 成功率	58
図 7.2-3	上位通信フロー概略図（動作時間は衛星通信時）	59
図 7.2-4	システム停止直前のバッテリー電圧.....	60
図 7.2-5	ローカル通信における MGB からの送信タイミングの概念図	62
図 7.2-6	積雪量測定結果ばらつき例（2016/2/4 6:00~18:00）	63
図 7.2-7	過去のサンプリング結果に対する積雪量の算出処理	64
図 7.2-8	カメラ解像度設定毎の画像イメージ	65
図 7.2-9	低解像度ネットワークカメラ画像	66
図 7.3-1	気象庁データからの発電予測と発電実績比較	67
図 7.3-2	無人計測システムで実測した気象データからの発電予測と発電実績比較.....	68
図 7.3-3	発電実績と消費実績の推移	68
図 7.3-4	システム電源の電圧変動と発電状況（2016 年 9 月~2016 年 12 月）	69
図 7.3-5	日射量変動（2016 年 9 月~2016 年 12 月）	69
図 7.3-6	パッカー圧力センサーへの供給電源電圧変動	70
図 7.3-7	時刻別上位通信成功率グラフ.....	84
図 7.3-8	月別上位通信成功率グラフ	85
図 7.3-9	MGB 別上位通信データ取得率.....	89
図 7.3-10	MGB 別ローカル通信データ取得率.....	90
図 7.3-11	MGB 別ローカル通信データ取得率（MGB_1A、MGB_2A を除く）	90
図 7.3-12	micro SD 内データ取得率グラフ.....	91
図 7.3-13	MGB1A カードスロット分解前後.....	92
図 7.3-14	MGB2A カードスロット分解前後.....	92
図 7.3-15	MGB1A カードスロット接点部拡大図.....	93
図 7.3-16	MGB2A カードスロット接点部拡大図.....	93
図 7.3-17	micro SD 接点部(MGB1A).....	94
図 7.3-18	micro SD 接点部(MGB2A).....	94

図 7.3-19	ケース F 内結露	95
図 7.3-20	アルゴリズム変更前の積雪量の挙動 (2016 年 2 月)	97
図 7.3-21	アルゴリズム変更後の積雪量の挙動 (2017 年 2 月)	97
図 7.3-22	積雪量の異常挙動判定処理結果	98
図 7.3-23	アルゴリズム変更後の異常高値発生状況	99
図 7.3-24	現地画像 (2016/12/7 8:57 及び 9:57)	99
図 7.3-25	アルゴリズム変更前の異常高値発生状況	100
図 7.3-26	風速・積雪量測定結果 (2017/1/9~2017/1/10)	101
図 7.3-27	積雪量測定点画像 (2017/1/9 07:56)	101
図 7.3-28	積雪量測定点画像 (2017/1/10 9:56)	102
図 7.3-29	積雪量 (2017/2/7 8:00-10:15)	103
図 7.3-30	積雪状況 (2017/2/7)	103
図 7.3-31	積雪量 (2017/1/10-2017/2/10)	104
図 7.3-32	積雪断面図 (2017/2/7)	105
図 7.3-33	ウェブカメラ解像度比較① (左:低解像度、右:高解像度)	106
図 7.3-34	ウェブカメラ解像度比較② (左:低解像度、右:高解像度)	106
図 7.3-35	送信エラー例	106
図 7.3-36	無人計測システムのデータ取得率の変化	108
図 7.4-1	最適化筐体設計例	110
図 7.4-2	複数測定ポイント対応システム構成図	111
図 7.4-3	太陽光パネル傾斜角別発電電力グラフ	113
図 7.4-4	設置角評価用太陽光パネルへの積雪	114
図 7.4-5	アンテナ指向性の差異	115
図 8.1-1	モニタリングシステム概要図	117
図 8.2-1	計測システム構成例 (HMD-1 孔据付時)	120
図 8.2-2	計測システム構成例	121
図 8.3-1	モニタリングシステム設置手順	122
図 8.3-2	火工品ツールス	124
図 8.3-3	電動カッターによる切断作業	125
図 8.4-1	区間圧力データに対する影響要因	130
図 8.5-1	チューブドラム	132

図 8.5-2	ポンプコントロールユニット.....	132
図 8.5-3	ダブルバルブポンプ作動原理.....	133
図 8.5-4	サンプラー.....	135
図 8.5-5	ウィンチ.....	135
図 8.5-6	クランプ止め装置.....	135
図 8.5-7	フロースルー型サンプラー断面図.....	135
図 8.6-1	フローセルによる物理パラメーター測定.....	137
図 8.7-1	モニタリング無人計測システム概念図.....	139
図 8.7-2	賦存エネルギーの推定.....	142
図 8.7-3	蓄電池構成例（HCD-3 孔向けシステムの場合）	145
図 8.7-4	HCD-3 孔向け無人計測システム用システムバッテリー	145
図 8.7-5	データロガー機能ブロック図.....	147
図 8.7-6	3G/4G 通信キャリア別サービス提供エリア	148
図 8.7-7	クラウドサーバーメニュー画面.....	151
図 8.7-8	計測データ表示（現在データ）	151
図 8.7-9	計測データ表示（トレンド）	152
図 8.7-10	ウェブカメラ画像（左：低解像度、右：高解像度）	153
図 8.7-11	ウェブカメラによる積雪量測定.....	153
図 8.7-12	構成機器の動作タイミングチャート.....	155
図 8.7-13	システム制御フロー.....	156
図 8.7-14	筐体設計例.....	157
図 8.7-15	複数測定ポイント対応システム構成図.....	158
図 8.7-16	ローカル通信モジュール.....	159

表 2.2-1	全体研究計画.....	11
表 4.1-1	「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 6.1-1	ダブルバルブポンプ仕様.....	29
表 6.1-2	サンプラーの仕様.....	31
表 6.2-1	平成 28 年度採水実績.....	33
表 6.3-1	分析方法.....	35
表 6.4-1	物理化学パラメーター.....	36
表 6.4-2	水質, 同位体分析データ一覧.....	37
表 6.4-3	希ガス分析データ一覧.....	38
表 6.4-4	一般ガス分析データ一覧.....	39
表 6.4-5	トリチウム濃度とコンタミ率.....	41
表 6.4-6	物理化学パラメーター.....	44
表 7.2-1	バッテリー消耗時の計測可否一覧.....	57
表 7.3-1	信頼性向上検討用改造・調整時期.....	66
表 7.3-2	2016 年 2 月上位通信実績.....	72
表 7.3-3	2016 年 3 月上位通信実績.....	73
表 7.3-4	2016 年 4 月上位通信実績.....	73
表 7.3-5	2016 年 5 月上位通信実績.....	75
表 7.3-6	2016 年 6 月上位通信実績.....	76
表 7.3-7	2016 年 7 月上位通信実績.....	77
表 7.3-8	2016 年 8 月上位通信実績.....	78
表 7.3-9	2016 年 9 月上位通信実績.....	79
表 7.3-10	2016 年 10 月上位通信実績.....	80
表 7.3-11	2016 年 11 月上位通信実績.....	81
表 7.3-12	2016 年 12 月上位通信実績.....	82
表 7.3-13	2017 年 1 月上位通信実績.....	83
表 7.3-14	時刻別上位通信成功率.....	84
表 7.3-15	月別上位通信成功率.....	84
表 7.3-16	取得データ数集計結果 (MGB_1A).....	86
表 7.3-17	取得データ数集計結果 (MGB_2A).....	86

表 7.3-18	取得データ数集計結果 (MGB_1B)	87
表 7.3-19	取得データ数集計結果 (MGB_1D)	87
表 7.3-20	取得データ数集計結果 (MGB_2D)	87
表 7.3-21	取得データ数集計結果 (MGB_3D)	87
表 7.3-22	取得データ数集計結果 (MGB_4D)	88
表 7.3-23	取得データ数集計結果 (MGB_5D)	88
表 7.3-24	取得データ数集計結果 (MGB_1F)	88
表 7.3-25	micro SD 内データ取得率	91
表 7.3-26	micro SD 内データ取得率 (期間別)	96
表 7.3-27	積雪計ばらつき除去アルゴリズム機能試験結果	96
表 7.3-28	無人計測システムのデータ取得率	107
表 7.3-29	システムの改造・改修後のデータ取得率	108
表 7.4-1	ローカル通信モジュール	112
表 7.4-2	豊富町日射量予測 (NEDO HP より抜粋)	112
表 7.4-3	太陽光パネル傾斜角別発電電力 (HCD-3 孔)	113
表 8.1-1	モニタリングシステムの概要	116
表 8.3-1	DECT ツールの仕様	126
表 8.5-1	ダブルバルブポンプ仕様	131
表 8.5-2	サンプラーの仕様	134
表 8.6-1	分析・測定項目及び採取方法	137
表 8.6-2	分析方法	138
表 8.7-1	全国 8 箇所の賦存エネルギー推定結果	141
表 8.7-2	HCD-3 孔向け無人計測システムの予想消費電力	143
表 8.7-3	HCD-3 孔向け無人計測システム発電機	143
表 8.7-4	豊富町日射量予測 (NEDO HP より抜粋)	144
表 8.7-5	モニタリング計測システム計測点仕様例	146
表 8.7-6	3G 通信装置	149
表 8.7-7	衛星通信装置比較	150
表 11.5-1	「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 (予定)	166

I 編 : 概要、経緯、開発目標

1. 目的
2. 研究開発の経緯
3. 平成 27 年度の成果の概要
4. 今年度の開発目標

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、断層破砕帯のような崩壊層や破砕帯、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広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、掘削した孔井内での地質・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、調査に関する機器開発を行い、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。孔内計測技術の関しては、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：声問層及び硬質頁岩：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实

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、拡張装置、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押し込み補助装置（ポンプインシステム）、④水平偏距掘削に必要な冶具の開発を行った。

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ー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)断層破砕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箇所深度区間において掘削時計測を行い、断層破砕帯の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、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－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、バインプレート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 $1^{\circ}\sim 1.27^{\circ}/10\text{m}$ 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 $0.5^{\circ}/10\text{m}$ で水平偏距掘削を実施した。最終方位は $SE39.43^{\circ}$ (計画方位 $SE40.82^{\circ}$)、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 区間で声問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（逸泥個所を除く）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、地表からの天水の浸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、これに先駆けて掘削・調査用に設営されていた地上設備を地元、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概念設計及び運用
 - ・体系化

なお、2016年度に十分な計測期間や採水間隔を確保する観点から、当該年度に予定していた廃孔を含む地上設備の撤去を2017年度に延期するよう、全体計画を見直した。全体計画を表2.2-1に示す。

表 2.2-1 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27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27年度は平成26年度に引き続き、継続して間隙水圧を計測した。

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。各区間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 区間のうち区間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、今年度は以下の項目を実施した。

- ・ (1) データの取得及びデータの解析方法の検討
- ・ (2) モニタリングシステムの維持・管理手法の検討
- ・ (3) 無人計測システムの概念設計

3.1 データ取得及び解析方法の検討

今年度は、昨年度末に 3 区間において開始した間隙水圧計測に関するデータ、すなわち区間間隙水圧、パッカー圧、ミニパッカー圧及び地上における気象データを回収する下。また、間隙水圧挙動のベースラインを想定する目的で、間隙水圧データの解析方法の検討を行った。

データはリグ撤去による中断期間を除いて欠測することがなく、センサー類及び地上観測装置については問題なく動作していることを確認した。しかし、ミニパッカー圧力の低下により遮水性能が欠如したため、一部区間圧力データに異常が認められる。

取得された間隙水圧データには、周辺の環境ノイズが含まれている。環境ノイズの要因としては、地球潮汐、大気圧及び降水が想定できる。これらの影響因子の排除方法について検討した結果、区間圧力データに対する大気圧及び潮汐の影響については BAYTAP-G を用い方法が有効であることを提示した。これらを取り除いた間隙水圧データに基づき、降水との関係を検討することとした。降水パターンは地域により大きく異なるといわれており、上幌延サイト近傍にアメダスデータがないことから、次年度以降サイトにおいて降水、降雪量を計測する必要があることが判明した。

3.2 維持、管理手法の検討

本モニタリングシステムの維持、管理方法について、動作チェック方法、孔内設備の維持、

管理方法及び地上設備の維持、管理方法にわけて検討した。

動作チェック方法のうちマルチパッカーシステムの動作チェック方法については、パッカー圧力のモニタリングにより実施することとし、センサー類、地上装置については地上での動作確認が可能である。

維持、管理方法については、孔内システムの検査には一旦システムを回収し、抜き取り検査等を実施する方法が考えられるが、過年度に実施した検査結果では著しく品質が劣化する等認められておらず、通常使用の範囲では問題ないと考えられる。スタンドパイプ内設備及び地上設備の維持、管理については、データ監視及び定期的なメンテナンスを行うことで対応可能である。

3.3 無人計測システムの概念設計

高レベル放射性廃棄物処分場の選定調査、特に概要調査では広域での調査を実施する必要があり、電気や通信など長期モニタリングに関わるインフラストラクチャーが整備されていないことが想定される。このため、このような環境においても必要なデータを確実に取得・回収でき、かつ現地での不具合状況を監視できる、無人計測システムの構築が必要となる。

無人計測システムの概念設計に際しては、電力の供給量の確保、消費電力の低減及び通信の確保の観点から検討した。システムは極力小電力とすること、通信は既存の電話回線が不通である可能性を考慮して衛星回線と電話回線をについて検討した。また、地域に数孔のモニタリング孔井が存在するとの仮定のもとに、基地局を設けた孔井との間を無線で繋ぐシステムとした。電力の供給に用いる太陽光及び風力発電は、その地の気象条件に左右されることから、日本全国の気象条件を網羅できるように候補地を挙げ、その上でそれぞれの候補地にあった電力供給システムについてケーススタディを実施した。これらの結果を踏まえて、幌延 HCD-3 孔の環境条件に適合する計測システムの試設計を行い、実運用を開始した。実運用を通して、幌延という過酷環境下における不具合を確認し、これを改良することにより、信頼性の高いシステムの構築を目指した。

4. 今年度の開発目標

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。孔芯制御では先端探知技術を用いて、1° /10m の傾斜制御、水平傾斜の維持及び水平傾斜区間における方位制御の技術を適用した。また、孔内トラブル遭遇時の危機回避手法として、サイドトラックを行い新たな孔跡を掘削することができた。

孔内計測技術の透水・採水技術については、断層帯区間を含む幌延コントロールドリリング 3 号孔(HCD-3 孔)の透水性、間隙圧力計測などにおいての水理地質構造評価への有効性を確認できた。

また、検層技術と物理探査技術及び孔内応力側的技術ではコントロールボーリングへの適用

性を確認した。一方、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、最終年度にはコントロールボーリング孔にあらかじめ構築した手法で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、平成25年度の最後に孔内にマルチパッカーシステムを設置し孔内長期モニタリングを開始したことを受けて、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を構築することとなり、当該年度は、本システムの概念設計を実施した。

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、新たに設定された区間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試設計を行い、運用を開始した。

平成28年度は、平成27年度に引き続き、①間隙水圧データの収集と同データのベースライン評価②地下水の採取と分析による初生地下水の評価及び③実運用を開始した無人計測システムの信頼性評価を行う。

以下に、開発目標と各作業や試験の実施目標をまとめる（別表参照）

別表 平成28年度実施工程

事業項目	平成28年度											
	第1四半期			第2四半期			第3四半期			第4四半期		
孔内モニタリングの保守・管理												
・保守・管理												
計測データの取得および解析												
・データ取得												
・データ解析												
地下水およびガスの採取、分析												
・地下水およびガスの採取												
・分析												
モニタリング無人計測システム												
・システムの運用												
・システムの信頼性評価												
開発の審議・検討												
・検討委員会					★					★		★

4.1 概論

4.1.1 孔内モニタリングシステムの保守、管理

平成 27 年度に引き続き、孔内に設置されたスタンドパイプ式マルチパッカー（SPMP）モニタリングシステムを用いて年間を通して安定した間隙水圧測定ができるようにシステムの保守、管理を定期的に行う。

4.1.2 計測データの取得及び解析

年間を通して孔内の 2 区間の間隙水圧を計測し、これらの結果を地上の計測システムにより収集する。取得された間隙水圧データに影響のある、気圧、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、年間の間隙水圧ベースラインを評価する。

4.1.3 地下水及びガスの採取、分析

地下水の水質のベースラインを評価する目的で、孔内における 3 計測区間のうち、透水性が最も高い観測区間③（208.7～209.7m）のスタンドパイプ内でサンプリング装置を降下させ、原位置での採水（溶存ガスを含む）を実施する。採取した水及びガス試料の化学分析を実施する。

4.1.4 モニタリング無人計測システム

平成 27 年度に運用を開始した地上における無人でスタンドアロンな電源、通信、計測システムの電源、通信、計測の運用状況に基づき、種々の改良を加えて信頼性の向上を図るとともにその信頼性を評価する。

4.1.5 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。

今年度は検討委員会を以下の 3 回開催する計画である。

- ・ 第 1 回検討委員会 平成 28 年 7 月中旬 今年度研究計画審議
- ・ 第 2 回検討委員会 平成 28 年 12 月中旬 中間成果の審議
- ・ 第 3 回検討委員会 平成 29 年 3 月上旬 最終成果の審議

表 4.1-1 に検討委員会の委員一覧を示す。

表 4.1-1 「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

4.2 孔内モニタリングシステムの保守、管理

4.2.1 モニタリングシステムの点検

無人計測システム導入により常時データを確認する体制が整ったため、データ異常確認時に現地においてモニタリングシステムの点検を実施する。

4.2.2 モニタリングシステムの改良

ミニパッカーの給圧システムなど、モニタリングシステムに定常的な異常が生じた段階で改良を実施する。

4.3 計測データの取得及び解析

4.3.1 データ取得

無人計測システムからの通信により以下の項目を観測し、データを取得する。

- ・間隙水圧：3 区間
- ・パッカー圧：3 組
- ・大気圧
- ・外気温
- ・降雨量（降雪量）

4.3.2 解析方法の検討

間隙水圧及び地下水水質のベースライン把握を目的として、得られたデータ（間隙水圧及び

地下水水質)のうち間隙水圧についてはその影響因子(地球潮汐、大気圧及び降水量)との関連を考慮して、これらの影響を除いた間隙水圧プロファイルを求める。

4.3.3 解析結果及び考察

間隙水圧に影響を及ぼす影響を除いた間隙水圧プロファイルを間隙水圧のベースラインと評価した上で、その妥当性を周辺の他のモニタリングデータと比較検証する。

4.4 地下水及びガスの採取、分析

4.4.1 地下水採取方法

地下水化学のベースラインを評価する目的で、間隙水圧観測3区間のうち透水性の高い区間①(208.7~209.2m)において原位置サンプラーを用いて、溶存ガス分析を目的とした採水を実施する。なお、採水に先立ち観測区間の孔内水を地下水と置換する。地下水への置換については、区間が被圧しているため湧水状況を確認し、①ミニパッカーをはずして湧水させる、②ダブルバルブポンプによる揚水のうちいずれかを選択する。なお自然湧水もしくはダブルバルブポンプにより揚水した水を一般水質や同位体分析用に採取する。採取した地下水の一般水質分析、酸素・水素同位体分析、溶存ガス(^3He)による年代測定などを行う。

水質などの時間変化を確認するため、年2回実施する。

4.4.2 ガス採取方法

揚水もしくは湧水後にスタンドパイプが地下水と置換したと判断された時点で、原位置サンプラーにより、地下水年代測定用の溶存ガスを採取する。その他の溶存ガスについては、湧水もしくは揚水時に孔口においてガス置換法により採取する。

4.4.3 分析項目及び分析方法

湧水もしくは揚水時に採取した地下水の一般水質、酸素・水素同位体、トリチウム、ラドンなどの分析を実施する。また湧水もしくは揚水時に孔口においてフローセルを用いて、pH、溶存酸素濃度、電気伝導度及び酸化還元電位を計測する。原位置サンプラーにより採取された溶存ガスを用いて($^3\text{He}/^4\text{He}$)による年代測定などを行う。

4.4.4 分析結果及び考察

水質については、過去に実施した水質分析結果を含めた経時的な挙動について検討し、地下水水質のベールラインについて検討するとともに、地下水年代値の妥当性について検討する。

4.5 モニタリング無人計測システム

4.5.1 概要

平成27年度に過酷環境である上幌延地区において実運用を開始した無人計測システム

は、当該年度では通信系のトラブルに端を発し、電力の消耗や停電によるデータ保存の不備などが顕在化してきた。そのため、平成 28 年度は、これらのトラブルを解消するために、改良を施し信頼性を向上させる。

4.5.2 システム信頼性

運用状況を確認した上で、以下の項目について信頼性の評価を行う。

- ・電源：当初想定した電力を供給しているか、電力に不足はないか、不足する場合電力供給の不足化、電力使用量の増大かなどの観点から信頼性をチェックする。
- ・通信：通信が常時確保されているか、データは送信されているか、遠隔地からの指令が実行されているかなどの観点からチェックする。
- ・計測：孔内及び地上の計測データが収集できているか等の観点から信頼性をチェックする。
なお、システムに異常が見つかった場合は、その原因を探り、対策を講じる。

II 編：今年度の研究内容

- 5. 取得データの解析
- 6. 地下水及びガスの採取、分析
- 7. モニタリング無人計測システム
- 8. モニタリング技術の体系化

5. 取得データの解析

5.1 解析方法の検討

解析を行うにあたり、今年度取得したデータを図 5.1-1 にまとめる。

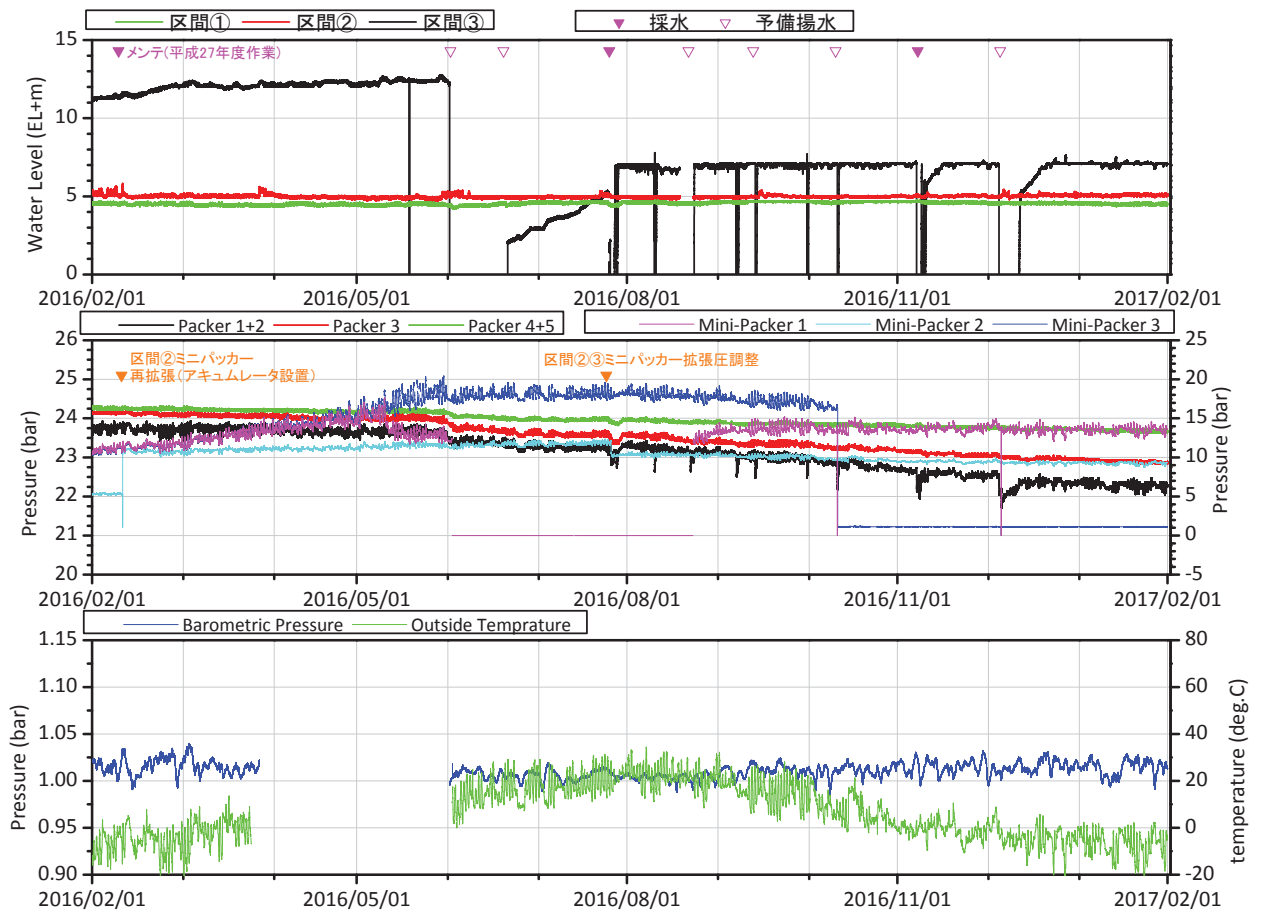


図 5.1-1 平成 28 年度取得データ

5.1.1 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 5.1-2)。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。

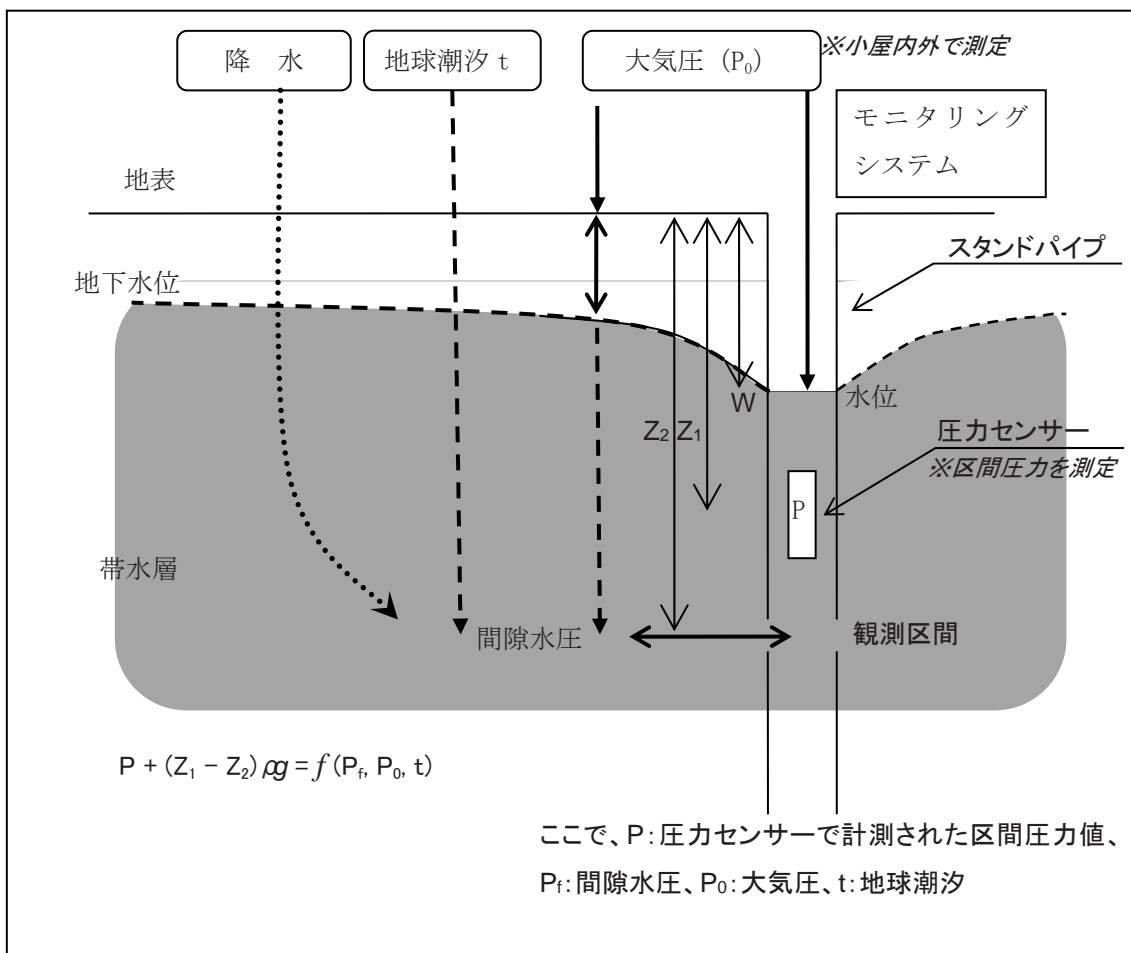


図 5.1-2 区間圧力データに対する影響要因

5.1.2 各影響要因と解析方法

(1) 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。

(2) 潮汐による影響

図 5.1-3 に各観測区間水位と稚内における潮位を示す。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。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。

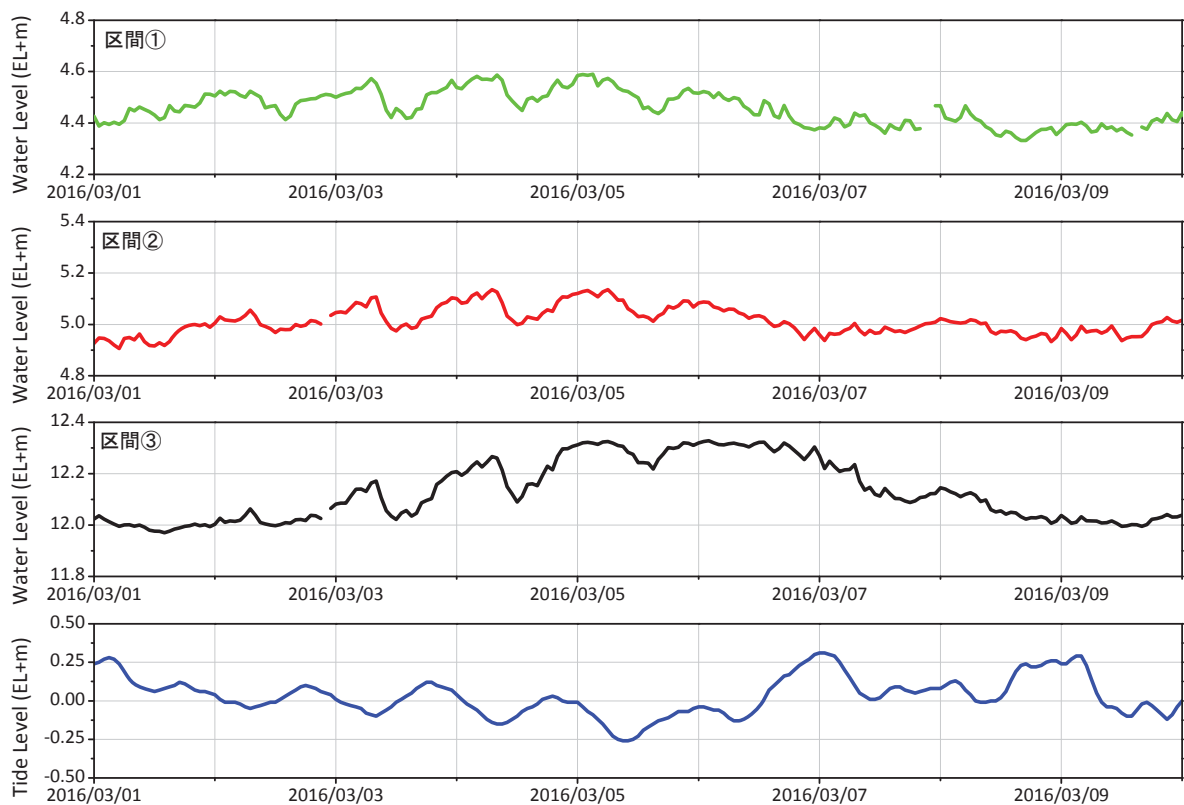


図 5.1-3 各観測区間水位と稚内における潮位

(3) 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 5.1-4）。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。

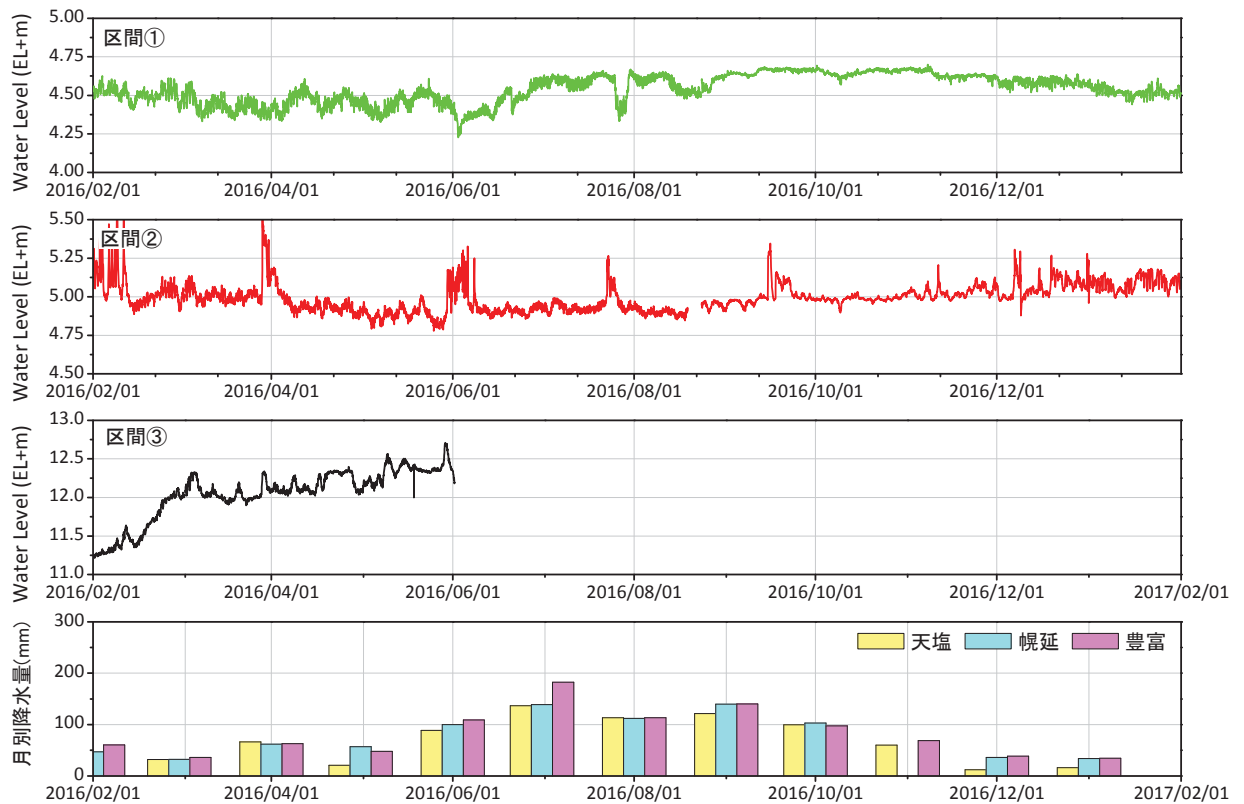


図 5.1-4 各観測区間水位と近隣3箇所の降水量

(4) その他の要因による影響

各区間圧力（ここでは水位変換値）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 5.1-5～図 5.1-7）。

区間②において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る。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る。

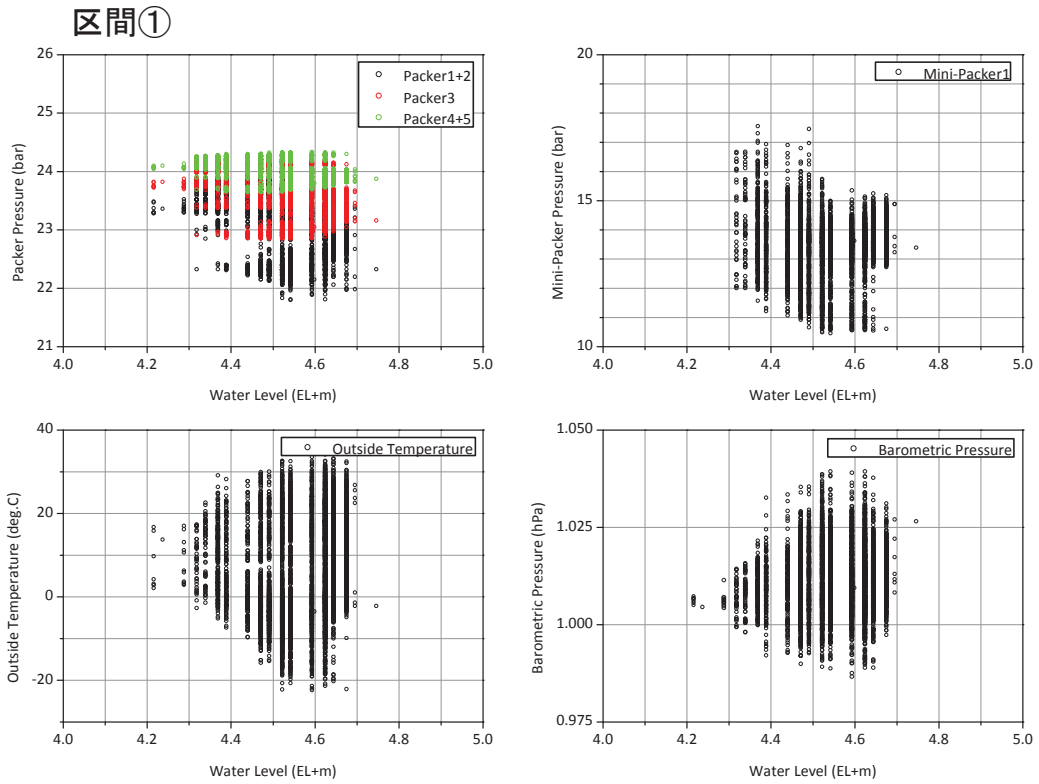


図 5.1-5 区間①水位と各種データとのクロスプロット

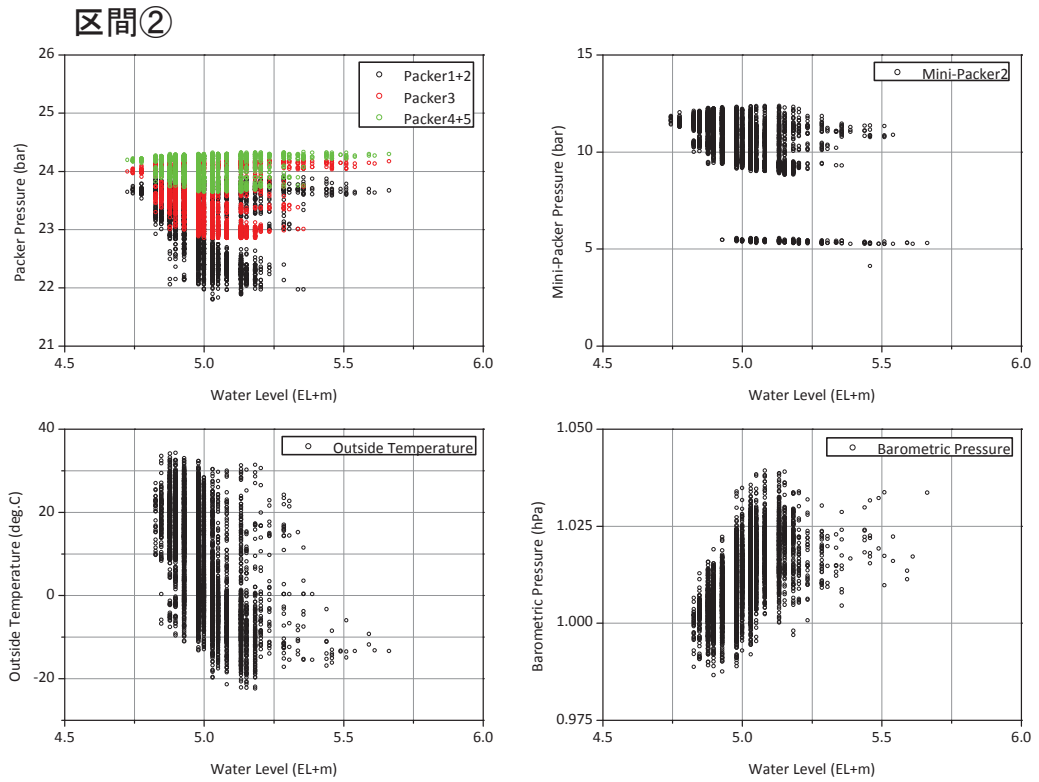


図 5.1-6 区間②水位と各種データとのクロスプロット

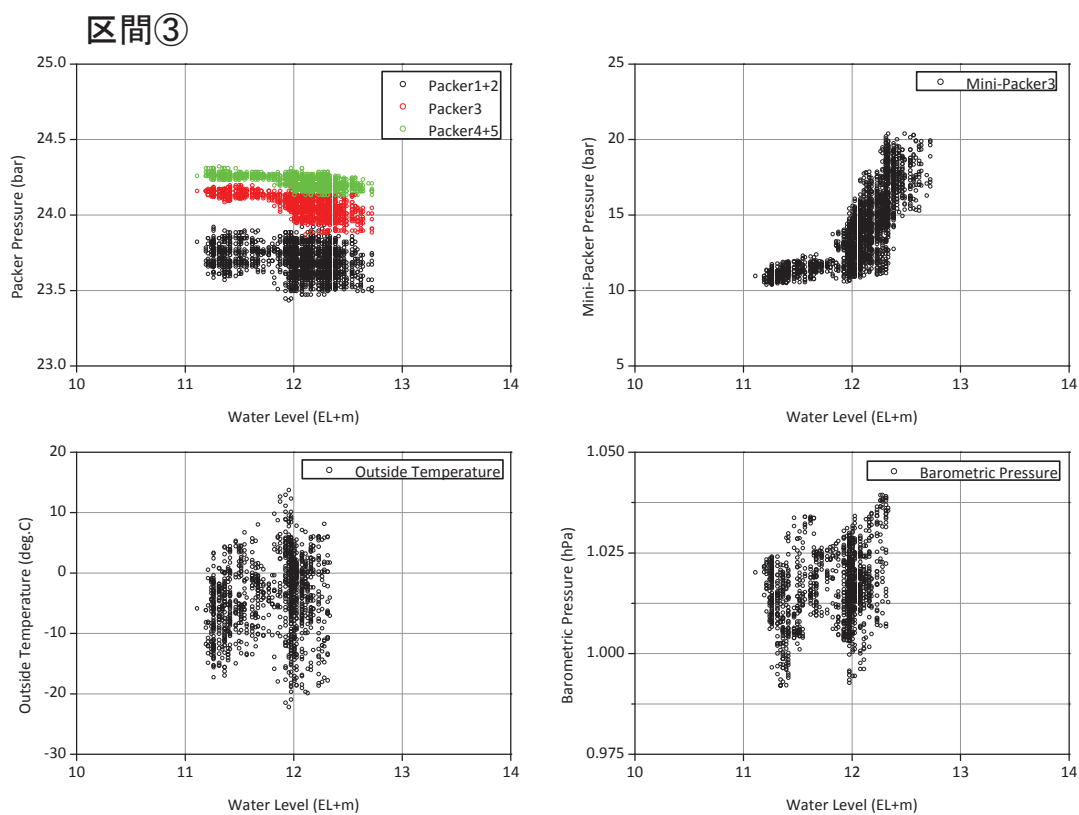


図 5.1-7 区間③水位と各種データとのクロスプロット

5.1.3 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

5.2 解析結果及び考察

区間①及び②の解析対象期間は 2016/2/1～2017/1/31 とし、区間③は採水作業のため

2016/6/1 からミニパッカーを解除しており区間水位の計測を行っていないため、解析対象期間は2016/2/1～2016/6/1 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 5.2-1～図 5.2-6 に示す。図 5.2-2、図 5.2-4 及び図 5.2-6 から、各区間水位から潮汐成分が除去されたことがわかる。

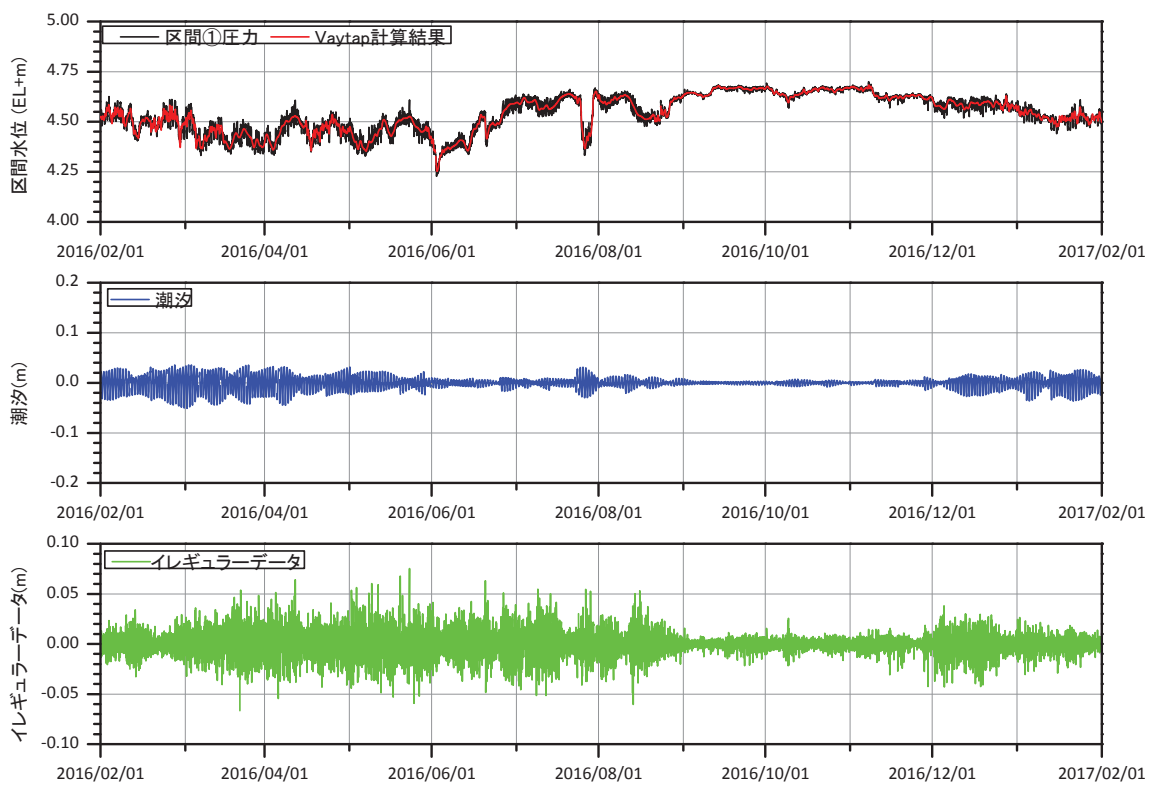


図 5.2-1 BAYTAP-G による解析結果（観測区間①全体）

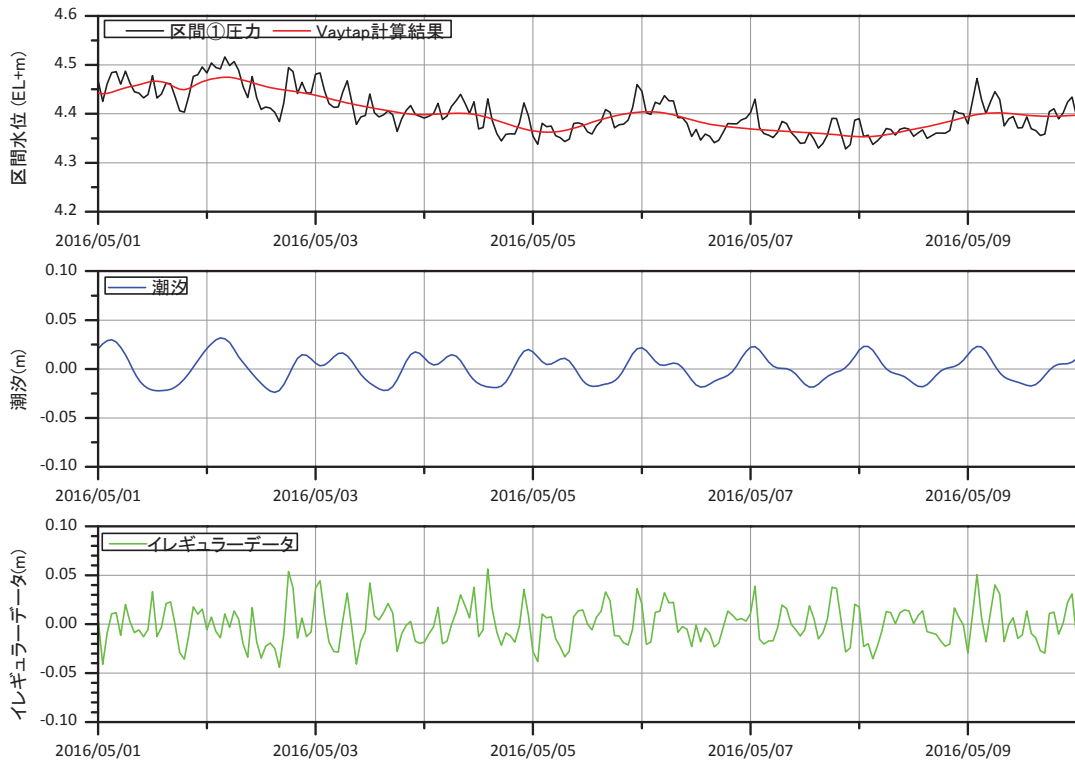


図 5.2-2 BAYTAP-G による解析結果（観測区間①詳細）

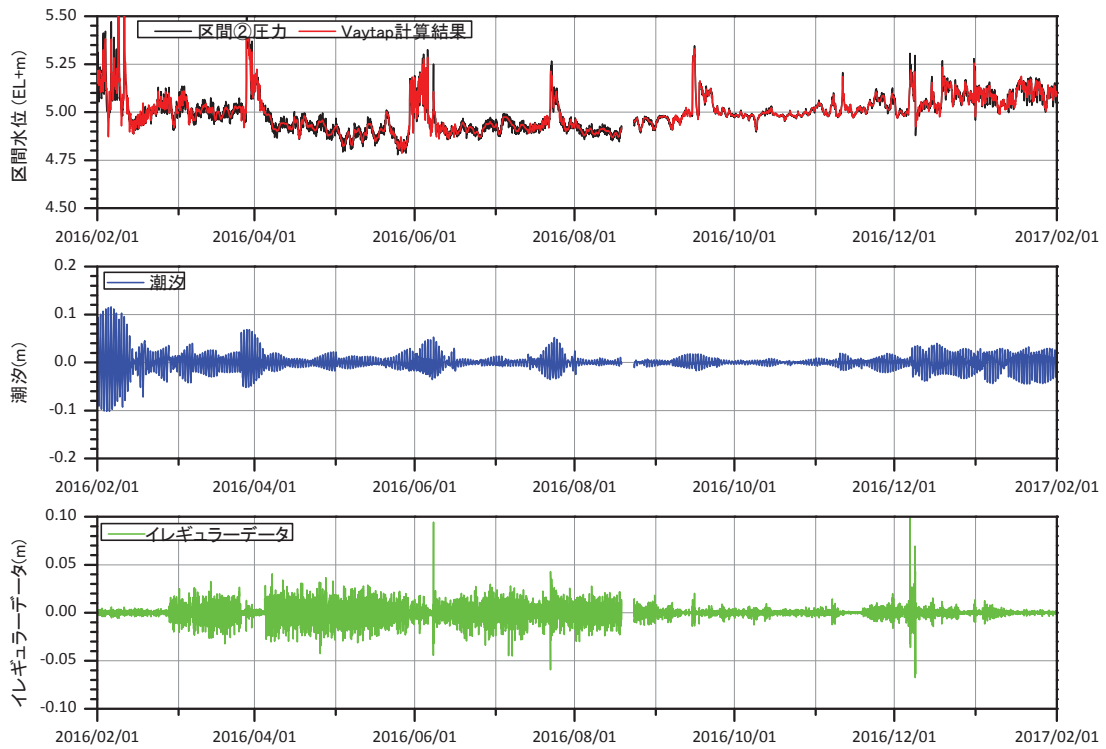


図 5.2-3 BAYTAP-G による解析結果（観測区間②全体）

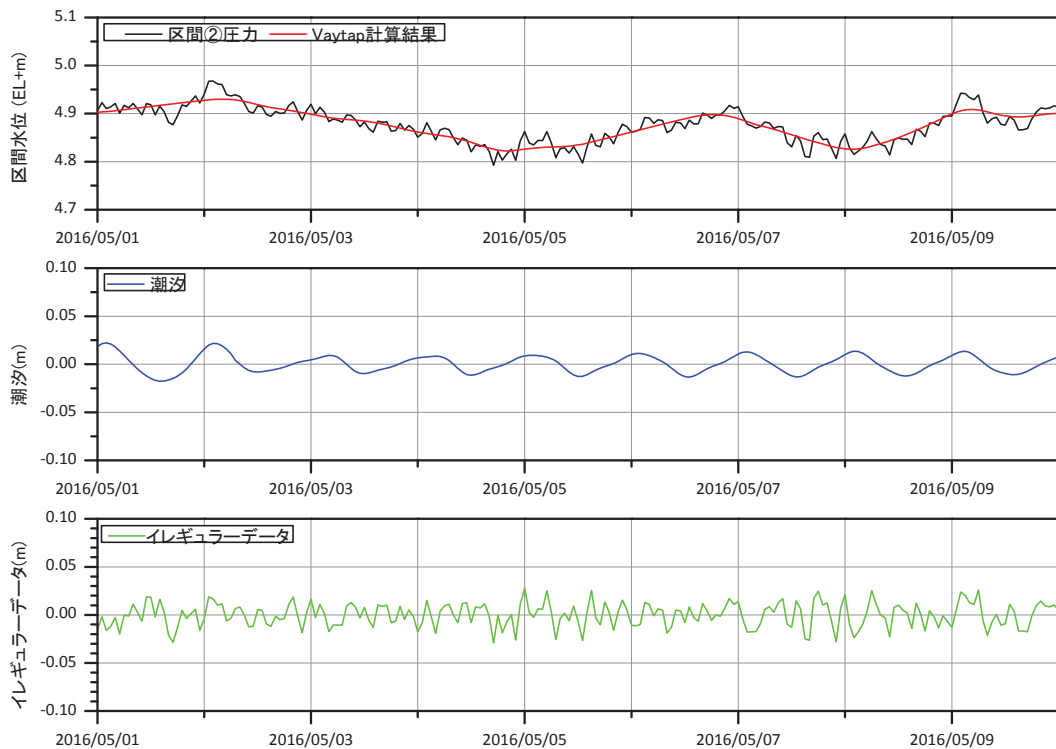


図 5.2-4 BAYTAP-G による解析結果 (観測区間②詳細)

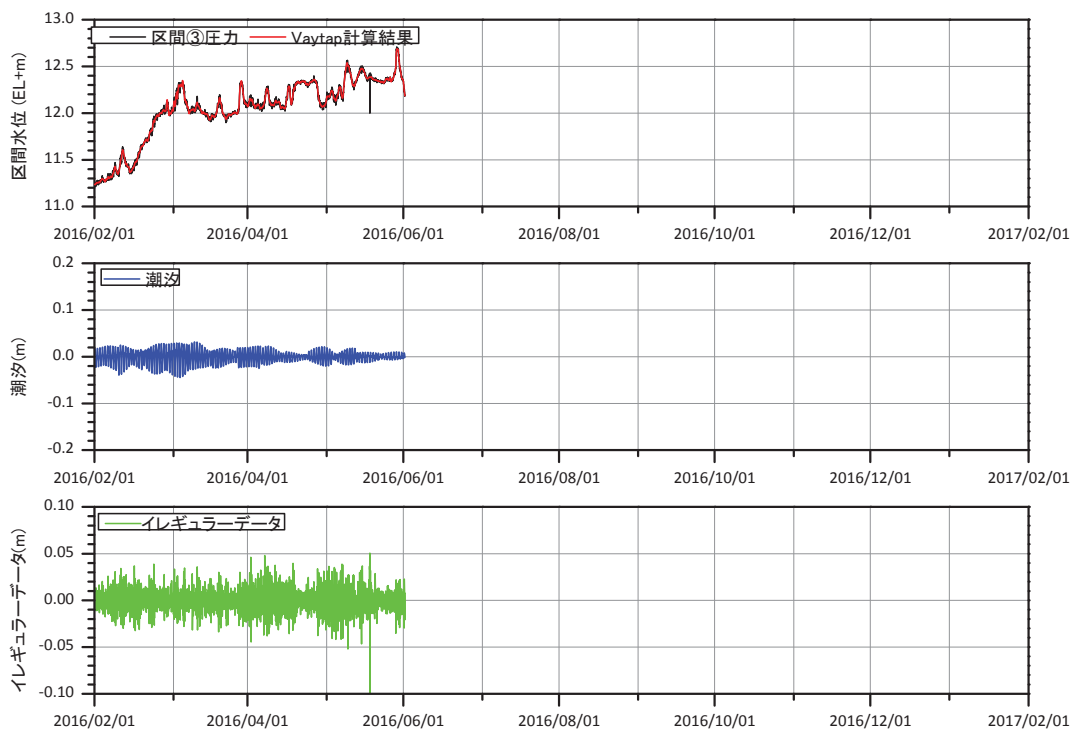


図 5.2-5 BAYTAP-G による解析結果 (観測区間③全体)

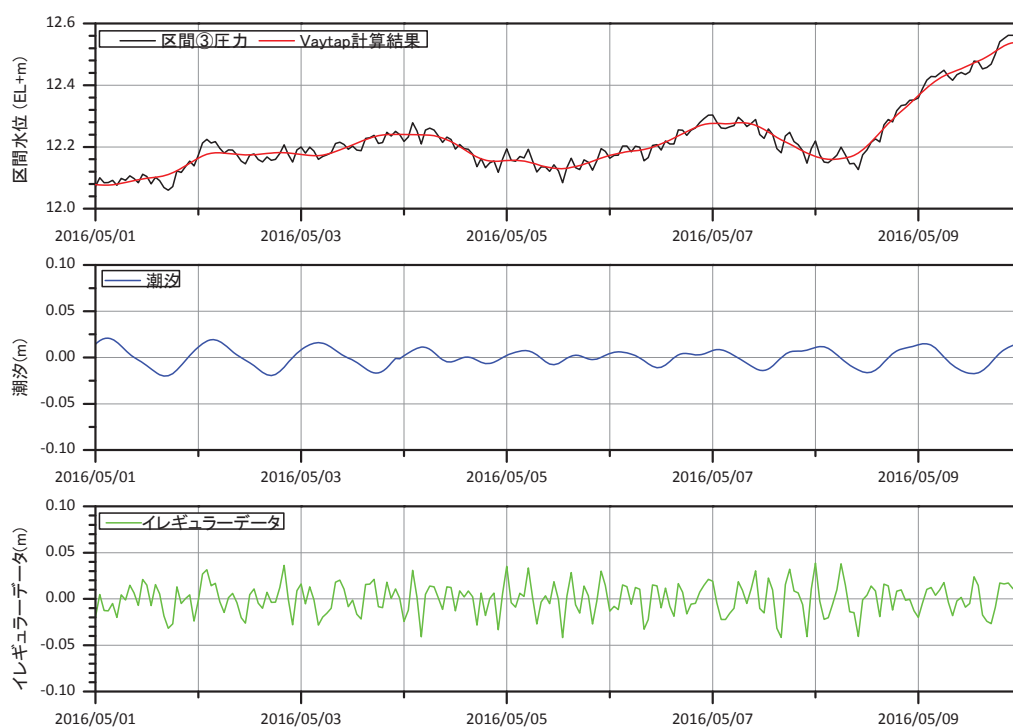


図 5.2-6 BAYTAP-G による解析結果（観測区間③詳細）

6. 地下水及びガスの採取、分析

2015 年度の採水結果では蛍光染料濃度が 80～100%を示したことから、予備排水が不十分であったと考えられた。そこで今年度は予備排水の回数を増やし、蛍光染料を適宜採水して予備排水の進捗を確認した。また、昨年度同様に 2 度の採水を行い、水質の妥当性について掘削時に圧縮抽水等で得られたデータを比較対象に検討を行った。本章では年 2 回の採水を本採水と呼び、予備排水と蛍光染料測定のための採水と区別する。

6.1 地下水及びガス採取方法

地下水の採取は下記に示す 2 種類の方法により実施した。

(1) ダブルバルブポンプによる採取

表 6.1-1 にダブルバルブポンプの仕様を、図 6.1-1 及び図 6.1-2 にチューブドラムとポンプコントロールユニットの外観を示す。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 6.1-3 に作動原理を示す。

このダブルバルブポンプを使用して揚水し、地下水を採取するとともに、水上置換によってガスを採取した。

表 6.1-1 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 6.1-1 チューブドラム



図 6.1-2 ポンプコントロールユニット

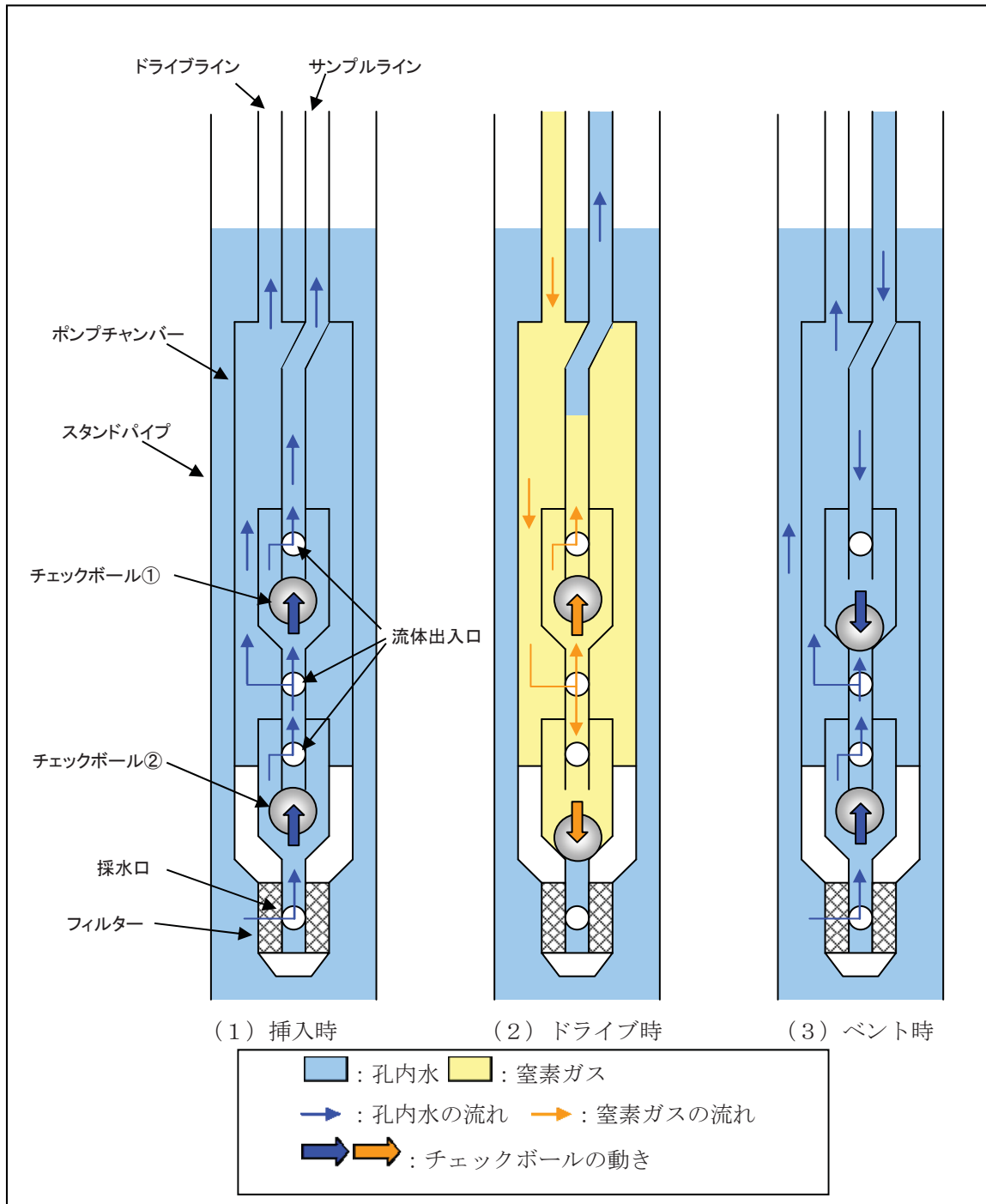


図 6.1-3 ダブルバルブポンプ作動原理

(2) サンプラーによる採取

溶存希ガスによる年代測定のために、原位置サンプラーにより原位置圧力を保持した地下水を採取した。

表 6.1-2 にサンプラーの仕様を、図 6.1-4 から図 6.1-6 に使用機器の写真を示す。本サンプラーはフロースルー式（図 6.1-7 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、原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 6.1-2 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 6.1-4 サンプラー



図 6.1-5 ウィンチ

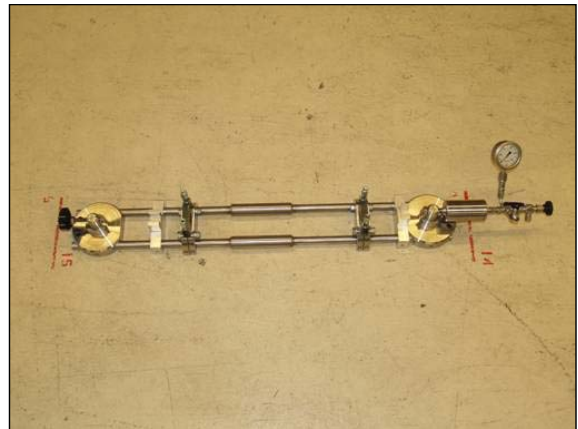


図 6.1-6 クランプ止め装置

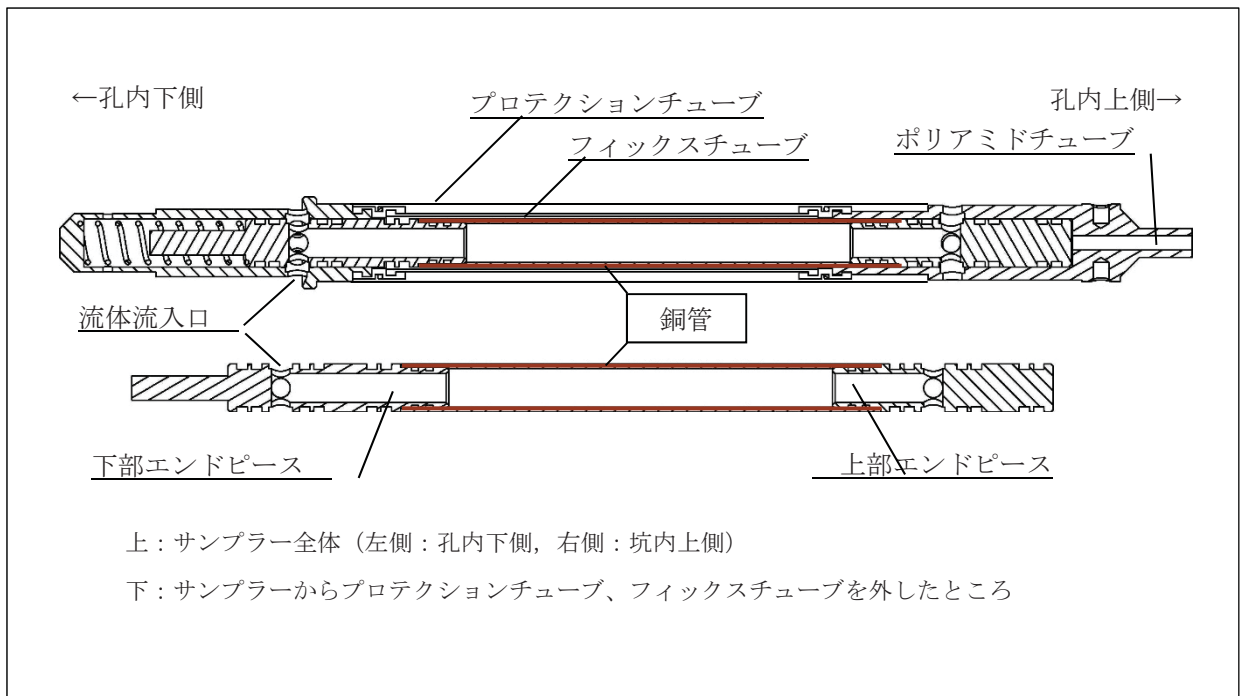


図 6.1-7 フロースルー型サンプラー断面図

6.2 地下水及びガス採取作業

今年度は予備排水作業を7回、本採水作業を2回実施した。表 6.2-1 に作業実績を示す。

表 6.2-1 平成 28 年度採水実績

	作業開始日時	排水量(L) (排水・採水)	作業内容	備 考
第1回 予備排水	2016/6/1 3:45 PM 2016/6/2 10:00 AM	0 20	湧水量測定・湧水採取 湧水量測定・採水	
第2回 予備排水	2016/6/20 3:40 PM 2016/6/21 9:00 AM	20 0	湧水量測定・採水 湧水量測定	
第1回 採水	2016/7/25 4:00 PM 2016/7/26 8:40 AM 2016/7/27 8:20 AM 2016/7/28 8:20 AM	20 20 14 5	水位測定・深度測定 排水・採水・フローセル・水位測定 排水・採水・希ガス採取 採水	採水5Lを含む
第3回 予備排水	2016/8/22 3:10 PM 2016/8/23 11:30 AM	20 20	排水 排水・採水・水位測定	
第4回 予備排水	2016/9/13 3:50 PM	20	排水・採水	
第5回 予備排水	2016/10/11 2:50 PM	20	排水・採水	
第2回 採水	2016/11/7 2:40 PM 2016/11/8 8:40 AM 2016/11/9 8:50 AM 2016/11/10 8:30 AM	18 20 5 0	排水 採水・採ガス・フローセル フローセル・希ガス採取 希ガス採取	採水を含む 採水5Lを含む
第6回 予備排水	2016/12/5 2:45 PM 2016/12/6 10:00 AM	11 22	排水 排水・採水	前日からの累計排水量25L後に50,250,500ml採水
第7回 予備排水	2017/2/6 3:39PM 2017/2/7 2:07PM	11 23	排水 排水・採水	前日からの累計排水量20L後に採水ボトル6本採水 累計排水量31L後に2L+1Lの2本採水

本採水の採取期日，採取項目，採取方法，を以下の（1）～（5）に記す。

（1）2015 年第 1 回本採水

期日	採取項目
2015/8/5	希ガス
2015/8/6	揚水採水（一般水質，微量元素，同位体，蛍光染料），物理化学パラメータ一測定

（2）2015 年第 2 回本採水

期日	採取項目
2015/11/24	一般ガス
2015/11/25	揚水採水（一般水質，微量元素，同位体，蛍光染料），物理化学パラメータ一測定
2015/11/26	希ガス採水

(3) 2016 年第 1 回本採水

期日	採取項目
2016/7/26	一般ガス, オルトフェナントロリン, アンモニア, 溶存硫化水素, 物理化学パラメーター測定
2016/7/27	揚水採水 (一般水質, 微量元素, 同位体, 蛍光染料), 希ガス

(4) 2016 年第 2 回本採水

期日	採取項目
2016/11/8	一般ガス, 硫化水素ガス
2016/11/9	揚水採水 (一般水質, 微量元素, 同位体, 蛍光染料), オルトフェナントロリン, アンモニア, 溶存硫化水素, 物理化学パラメーター測定, 希ガス
2016/11/10	希ガス

(5) 採取項目と採取方法

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プ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プ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じて測定, 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。

6.3 分析項目及び分析方法

分析方法を表 6.3-1 に記す。

表 6.3-1 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
δD, δO	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

6.4 分析結果及び考察

6.4.1 結果

本研究で得られたデータ及び、比較対象に利用する掘削時の圧縮抽水データと掘削泥水の原水、2013年度に実施した原位置採水データを表 6.4-1 から表 6.4-4 に纏める。

表 6.4-1 物理化学パラメーター

2015年度第1回測定:2015/08/06

採取項目	データ	単位	水温(°C)	観察
pH	8.15	-	26.7	安定
ORP	-262	mV (Ag/AgCl)	26.6	下がり傾向
DO	0.07	mg/L	26.3	フローセルで測定。ガスが吹くたびに値が上がる。ただし、ORPが一貫して緩やかな下がり傾向であったため、たぶんDOはゼロと考えられる。
EC	1.378	S/m	28.5	ATC25。最後に少し下がった。ポンプの都合上、引けば引くほど前の水が取られるはずなので、ひとつ手前(11:15)の1.395S/mのほうが良いかもしれない。

2015年度第2回測定:2015/11/25

採取項目	データ	単位	水温(°C)	観察
pH	8.46	-	2.3	すぐ決まる。安定。
ORP	-124	mV (Ag/AgCl)	2.5	徐々に上昇
DO	0.00	mg/L	3.4	フローセルで測定。すぐ決まる。時々わずかに上昇してたが、脱ガスの泡が付着する問題と思われる。
EC	1.394	S/m	3.5	ATC25。すぐ決まる。途中で若干上下していたがほぼ安定。

2016年度第1回測定:2016/07/26

採取項目	データ	単位	水温(°C)	観察
pH	8.3	-	22.8	すぐ決まる。安定。
ORP	-245	mV (Ag/AgCl)	23.0	徐々に下降する感じだが、極めて遅く、ほとんど安定に見える。
DO	0.00	mg/L	22.5	フローセルではガスが入ると値が動くので、100mlアイボイ中で測定。
EC	1.301	S/m	23.3	これまでどおりATC25、2%、バケツ測定。触るとわずかに動くが、ほぼ安定。

2016年度第2回測定:2016/11/09

採取項目	データ	単位	水温(°C)	観察
pH	7.84	-	4.7	ガスが増えるとpHが若干下がる傾向にある。ガスを入れないように工夫して何とか安定。
ORP	-173	mV (Ag/AgCl)	4.4	緩やかに下がり傾向
DO	0.00	mg/L	4.2	フローセルではガスが入ると値が動くので、100mlアイボイ中で測定。
EC	1.670	S/m	3.1	ほぼ安定、バケツ測定。

ID	m depth	代表深度 depth	Elevation	Formation	Sampling date	Temp °C (flowcell)	Temp °C (in situ)	pH flowcell	pH in situ	pH Lab	ORP mV Ag/AgCl	ORP mV SHE	DO mg/L	EC mS/cm (20℃換算)	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	Alkalinity pH8.3 meq/L	TIC mg/L	TC mg/L	HCO ₃ mg/L	CO ₂	TOC	NPOC	Br		
ID	m depth	代表深度 depth	Elevation	Formation	Sampling date	Temp °C (flowcell)	Temp °C (in situ)	pH flowcell	pH in situ	pH Lab	ORP mV Ag/AgCl	ORP mV SHE	DO mg/L	EC mS/cm (20℃換算)	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	Alkalinity pH8.3 meq/L	TIC mg/L	TC mg/L	HCO ₃ mg/L	CO ₂	TOC	NPOC	Br		
海水(本号浮層)																														
HC03-200m	-202	-202	0	Wakkanai																				122.038				57.1		
HC03-250m	-256	-256	-197.5	Wakkanai																								7.78		
HC03-300m	-288	-288	-192.6	Wakkanai																								7.80		
HC03-350m	-350	-350	-225.8	Wakkanai																								11.59		
HC03-400m	-403	-403	-264.2	Wakkanai																								4.69		
HC03-450m	-450	-450	-302	Wakkanai																								18.39		
HC03-500m	-501	-501	-329.9	Wakkanai																								20.16		
HC03-550m	-553	-553	-360	Wakkanai																								17.868		
HC03-600m	-601	-601	-396.8	Wakkanai																								23.66		
HC03-650m	-651	-651	-408.6	Wakkanai																								21.8		
HC03-700m	-702	-702	-414.6	Wakkanai																									26.281	
HC03-750m	-750	-750	-415.6	Wakkanai																									157.9	
HC03-800m	-800	-800	-416.3	Wakkanai																									198.5	
HC03-825m	-824	-824	-416.6	Wakkanai																									32.74	
HC03-850m	-856	-856	-416.6	Wakkanai																									35.25	
HC03-875m	-877	-877	-416.5	Kotoni																									150.3	
兵庫水戸																													40.75	
13R1314	-0392	-16.18	-877	Wakkanai	2016/11/23-24					6.92																			42.46	
209.70	-209.70	-209.70	-209.1	Wakkanai	水質・物P2015/7/6			8.15	6.98	8.1	-59																		0.27	
209.85	-209.85	-209.85	-209.2	Wakkanai	水質・物P2015/7/25			8.66	7.2	8.2	-72																			9.8
209.95	-209.95	-209.95	-209.2	Wakkanai	物Pと一般ガス水質2016/07/26、水質2016/07/27			8.30	7.2	8.4	-88	0.07	0.00	30.8	3.20	9.02	6.19	49.39	19.39	0.70				1890					0.27	
209.45	-209.45	-209.45	-209.2	Wakkanai	物Pと一般ガス水質2016/11/08、物P2016/11/09			8.30	7.84	8.4	-37	0.00	0.00	3000	23	19	21	3500	<1	40.1	1.4	420	519	2540					160	
209.85	-209.85	-209.85	-209.2	Wakkanai	一般ガスと水質2016/11/08、物P2016/11/09	4.7		7.84	7.6	7.6	-173	0.00	0.00	1670	3900	25	51	26	4400	<1	45.5	486	555	2310					110	
HC03-2016.1	-209.45	-209.45	-209.95	Wakkanai		0.777		0.844	0.014	0.086	0.5906	0.000168743	<0.002	0.3476	0.5926	<0.002	0.0069	0.060	<0.002	0.021	11	<0.5	14	<0.005					16	
HC03-2016.2	-208.45	-208.45	-208.95	Wakkanai		5.3	2.1	0.261	<0.005	0.030	0.675	<0.002	2.264	0.897	<0.002	0.034	0.024	0.024	0.024	1.3	<0.5	17	0.014	84	<25	2.0	2.9	0.9		

として添加したナフチオン酸ナトリウム。初期添加濃度は20mg L⁻¹。

Borehole	ID	m abgl	代表深度.abgl	Elevation	Formation	Samplig date	⁴ He	³ He/ ⁴ He	T-Ne	⁴ He/Ne	Ne補正 ⁴ He
							ccSTP/gw		ccSTP/gw		
	Ozima&Podsek (2002)	-	0	0	-	-	4.90E-08	1.40E-06	2.25E-07	0.22	-
HCD-3	HCD3-200m	-202	-202	-147.5	Wakkanai		5.36E-06	2.09E-07	8.04E-08	66.71	1.33E-05
HCD-3	HCD3-250m	-256	-256	-192.6	Wakkanai		3.29E-06	2.38E-07	1.28E-07	25.62	5.12E-06
HCD-3	HCD3-300m	-298	-298	-225.8	Wakkanai		2.66E-06	1.92E-07	7.43E-08	35.81	7.16E-06
HCD-3	HCD3-350m	-350	-350	-264.2	Wakkanai		3.07E-06	1.68E-07	8.41E-08	36.45	7.29E-06
HCD-3	HCD3-360m	-362	-362	-272.5	Wakkanai		4.49E-06	1.79E-07	1.51E-07	29.82	5.96E-06
HCD-3	HCD3-400m	-403	-403	-299.9	Wakkanai		1.83E-05	1.15E-06	3.62E-05	0.50	7.88E-06
HCD-3	HCD3-450m	-450	-450	-328.6	Wakkanai		2.32E-06	1.49E-07	2.89E-08	80.34	1.61E-05
HCD-3	HCD3-500m	-501	-501	-356.1	Wakkanai		7.28E-06	1.35E-07	2.31E-08	315.85	6.32E-05
HCD-3	HCD3-550m	-553	-553	-379.7	Wakkanai		6.38E-06	1.36E-07	6.29E-08	101.39	2.03E-05
HCD-3	HCD3-600m	-601	-601	-396.8	Wakkanai		1.02E-06	1.79E-07	4.54E-08	22.55	4.51E-06
HCD-3	HCD3-650m	-651	-651	-408.6	Wakkanai		1.16E-06	1.45E-07	4.83E-08	24.10	4.82E-06
HCD-3	HCD3-700m	-702	-702	-414.6	Wakkanai		7.46E-06	1.52E-07	3.30E-08	225.63	4.51E-05
HCD-3	HCD3-750m	-750	-750	-415.6	Wakkanai		2.63E-06	1.91E-07	1.02E-07	25.73	5.15E-06
HCD-3	HCD3-800m	-800	-800	-416.3	Wakkanai		7.51E-06	1.60E-07	3.10E-08	242.56	4.85E-05
HCD-3	HCD3-825m	-824	-824	-416.6	Wakkanai		-	-	-	-	-
HCD-3	HCD3-850m	-856	-856	-416.6	漸移帯		-	-	-	-	-
HCD-3	HCD3-875m	-877	-877	-416.5	Koitoi		-	-	-	-	-
浜里水井戸	浜里水井戸	-0.332	-16.18	-	-		6.59E-08	1.70E-06	2.76E-07	0.24	4.41E-08
HCD-3	13R1314	-208.50	-209.70	-	Wakkanai	2013/1/23-24	-	-	-	-	-
HCD-3	HCD-3_2015_1	-208.45	-209.95	-	Wakkanai	2015/8/5採取	1.22E-06	1.43E-06	3.98E-06	0.31	3.56E-07
		-208.45	-209.95	-	Wakkanai	2015/8/5採取	2.12E-06	1.79E-07	2.43E-08	86.95	2.03E-05
		-208.45	-209.95	-	Wakkanai	2015/11/25採取	1.730E-6	9.496E-7	4.245E-6	0.41	5.65E-07
HCD-3	HCD-3_2015_2	-208.45	-209.95	-	Wakkanai	2015/11/26採取	1.062E-6	1.577E-7	4.988E-8	21.29	4.26E-06
		-208.45	-209.95	-	Wakkanai	2015/11/26採取	9.898E-7	1.902E-7	5.279E-8	18.75	3.75E-06
		-208.45	-209.95	-	Wakkanai	HCD-3_2016_1_1 (2016/07/27採取)	3.914E-6	2.264E-7	2.480E-8	157.84	3.16E-05
HCD-3	HCD-3_2016_1	-208.45	-209.95	-	Wakkanai	HCD-3_2016_1_2 (2016/07/27採取)	2.139E-6	1.728E-7	9.840E-8	21.74	4.35E-06
		-208.45	-209.95	-	Wakkanai	HCD-3_2016_1_4 (2016/07/27採取)	1.765E-6	1.966E-7	1.319E-7	13.38	2.68E-06
		-208.45	-209.95	-	Wakkanai	HCD-3_2016_2_3 (2016/11/09採取)	2.900E-4	1.313E-6	9.776E-4	0.30	-
HCD-3	HCD-3_2016_2	-208.45	-209.95	-	Wakkanai	HCD-3_2016_2_4 (2016/11/10採取)	1.585E-3	1.196E-6	5.195E-3	0.31	-
		-208.45	-209.95	-	Wakkanai	HCD-3_2016_2_5 (2016/11/10採取)	2.733E-2	1.285E-6	7.915E-2	0.35	-

015_1, HCD-3_2015_2 共に水質・同位体は-89m, HCD-3_2016_1 は-90m。希ガスは HCD-3_2015_1 は 1 本目-200m, 2 本目-205m, HCD-3_2015_2 は 1 本目-49.5m, 2 本目-68.0m, 3 本目-68.8m。HCD-3_2016_1 は 187.9m, HCD-3_2016_1_4 は 193.72m。採取の水がほとんど取れていないことが分かった。

ガス組成分析値 (vol.%, TCD(O ₂ , N ₂ , CO ₂)/-0.2vol% DL0.01vol%, FID(C1-C6)/-0.01vol% DL0.001vol%)													δ ¹³ C(‰): uncertainty +/- 0		
採取期日	O ₂	N ₂	C1	C2	C3	i-C4	n-C4	i-C5	n-C5	n-C6	CO ₂	C1	C2	C	
Average (n=3)	2015/11/24	0.31	2.47	96.61	0.004	0.0003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.61	-44.6	-27.8	-11	
Average (n=4)	2016/8/3	0.19	2.26	96.61	0.007	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.93	-45.2	-28.1	-	
Average (n=3)	2016/11/8	0.15	1.69	92.52	0.008	0.0010	0.000	0.000	0.000	0.000	5.63	-44.9	-29.9	-	
	2015/11/24	20.8	79.1	0.001	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.07	-	-	-	
	2016/11/8	19.8	80.2	0.001	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.06	-	-	-	

採取期日 H₂S (vppm)

Average (n=3) 2015/11/24 <0.1

(1) 蛍光染料濃度の変化

本孔で地下水に混入している外部要因の水は、掘削泥水と孔内洗浄水及び SPMP システム設置時に導入された清水である。これらには蛍光染料（ナフチオン酸）が 20mg/L となるように添加されている。いずれの水も同じ蛍光染料を使っていることから地下水に混合している外部要因の水が泥水か清水かの区別がつかない。予備排水を進めたことにより低下しているものの、11 月採水の段階で 53%の混入率を示している。

2016 年 6 月以降、ほぼ毎月予備排水を行い、蛍光染料の測定を行った。その結果を図 6.4-1 に示す。なお、保管していた試料を一度に測り直したため、各採水ごとに分析を行った結果とは若干異なる値を示しているが、実質的に同じ値を示している。図 6.4-1 では 2016 年 7 月 27 日の採水までは 80%超で概ね安定した値を示しているが、翌日（2016 年 7 月 28 日）までの排水で大きく値が低下しており、2016 年 9 月 13 日の採水以降は 2017 年 2 月の採水まで概ね 60%程度で推移している。

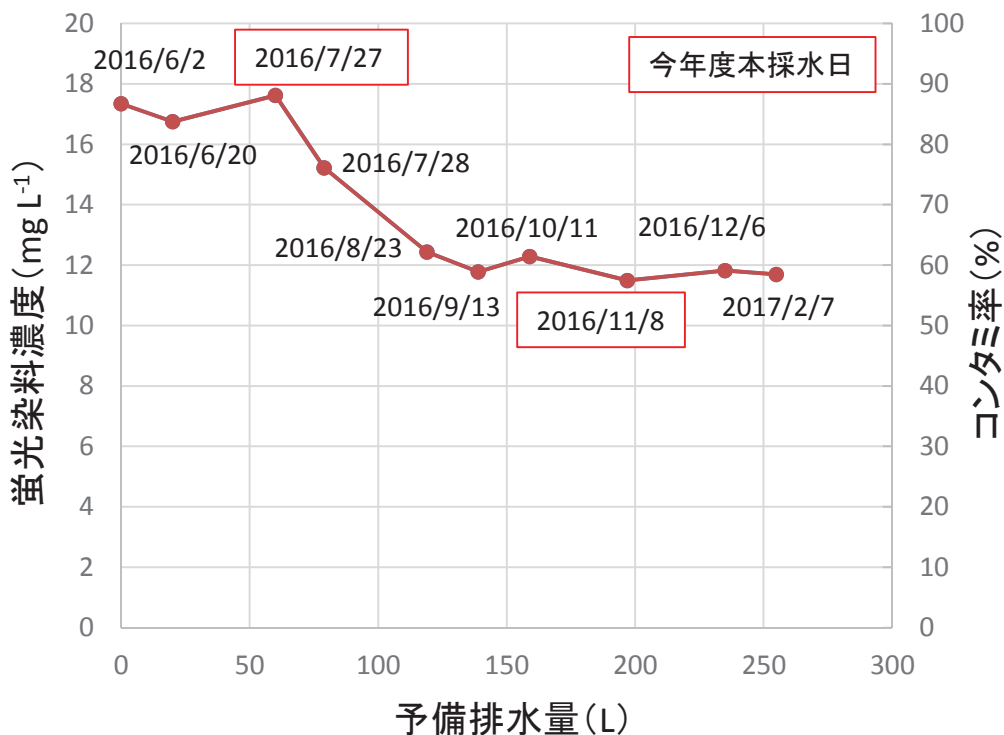


図 6.4-1 予備排水に伴う蛍光染料濃度の変化

(2) トリチウム

幌延地域の稚内層の地下水はこれまでの He 年代測定の結果から百万年オーダーの地下水年代があると考えられている（中田・長谷川，2009）。このことからトリチウム（半減期 12.3 年）が検出されるといことは、若い水が混入しているものと考えられる。混入している若い水としては、掘削水に

用いられた浜里水井戸の水（3.18TU）ならびに孔の洗浄や SPMP システムの設置に用いられた清水（浜里水井戸の水）と考えられる。これが仮に約 10 年前の掘削時（2006 年～2007 年）に混入したと仮定してトリチウム濃度の補正をして混合率を算出すると、32～47%となる。

2015 年度及び、2016 年度 7 月の採水までは 0.59～0.85TU の濃度でトリチウムが検出されていたが、11 月採水では <0.17（TU，測定値 <0.02BqL⁻¹ を換算）であった。仮に 0.17TU 検出されていたとして、10 年前に換算すると混合率は 9.3%となる。蛍光染料から算出した混合率とは合わないが、急激に変化する状況は蛍光染料測定の場合と同じである。

表 6.4-5 トリチウム濃度とコンタミ率

	³ H (TU)	³ Hによるコンタミ率 (%) *	蛍光染料によるコンタミ率 (%)
浜里水井戸 (掘削水の原水)	3.18	-	-
13R1314	0.76	42	3
HCD-3_2015_1	0.59	32	102
HCD-3_2015_2	0.85	47	83
HCD-3_2016_1	0.59	32	84
HCD-3_2016_2	<0.17	9.3	53

*トリチウムは掘削時だけでなく、孔内洗浄、SPMPシステム設置時にも混入するが、トリチウムはすべて掘削時(10年前)に入ったものと仮定し、変更した分を減算してコンタミ率を算出。

(3) 一般水質

ヘキサダイアグラム（図 6.4-2）とパイパーダイアグラム（図 6.4-3）を示す。参考のため、2013 年度に原位置で採取した 13R1314 も示している。圧縮抽水に基づく分析値は、アルカリ度（もしくは重炭酸濃度）及び硫酸濃度の信頼性が低い。それは、圧縮抽水で得られる試料量が少ないことからアルカリ度測定を行っていない場合があることや、岩石にカルサイトとパイライトが含まれる場合、大気に触れて酸化されたパイライトから溶出する硫酸が地下水由来の硫酸と混合することや、硫酸により酸性となった間隙水がカルサイトを溶解して重炭酸を生成することによる。今回示した 200m（abg1）及び 250m（abg1）の圧縮抽水ではアルカリ度測定が行われていないため、主要溶存イオンの電荷バランスから HCO₃ 濃度を求めているが、上述した理由のほかに、電荷バランスの差し引きで求められた値であるため、正しい値かどうかは不明であり、あくまで仮の値である。

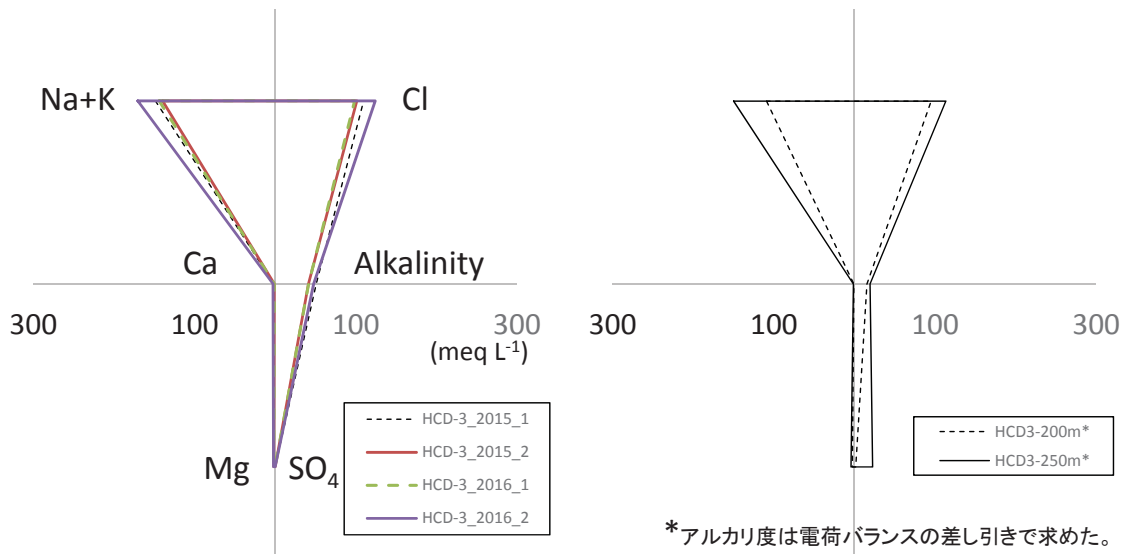


図 6.4-2 ヘキサダイアグラム

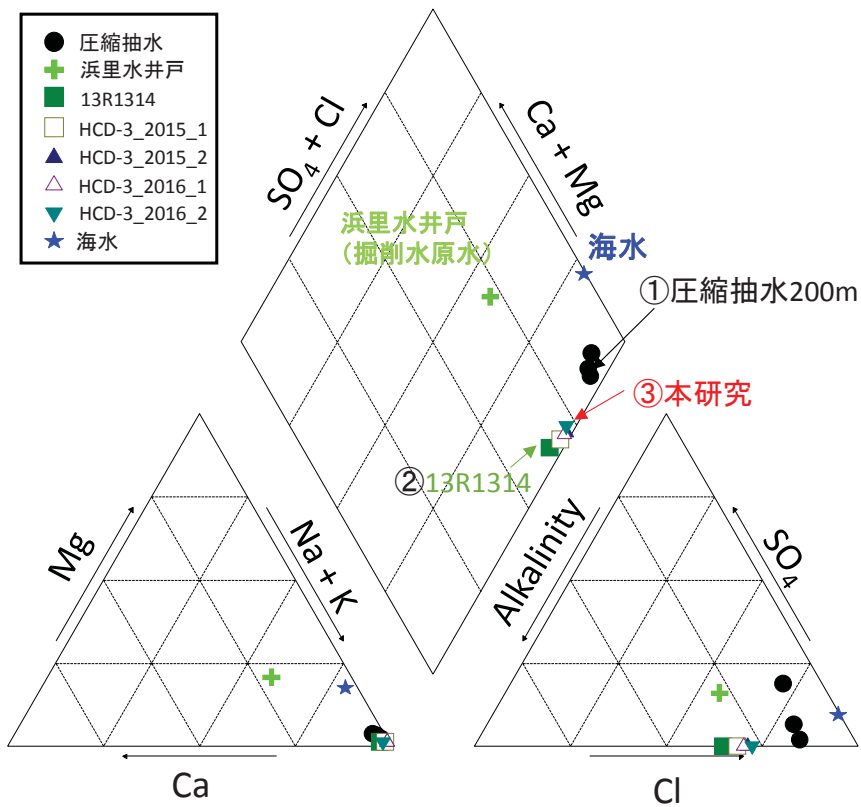


図 6.4-3 パイパーダイアグラム

(4) 水素酸素同位体比

水素酸素同位体比及び水素同位体比と Cl イオン濃度との比較を図 6.4-4 に示す。今年度得られた地下水については、同深度で得られた圧縮抽水の値とほとんど同じ値を示している。

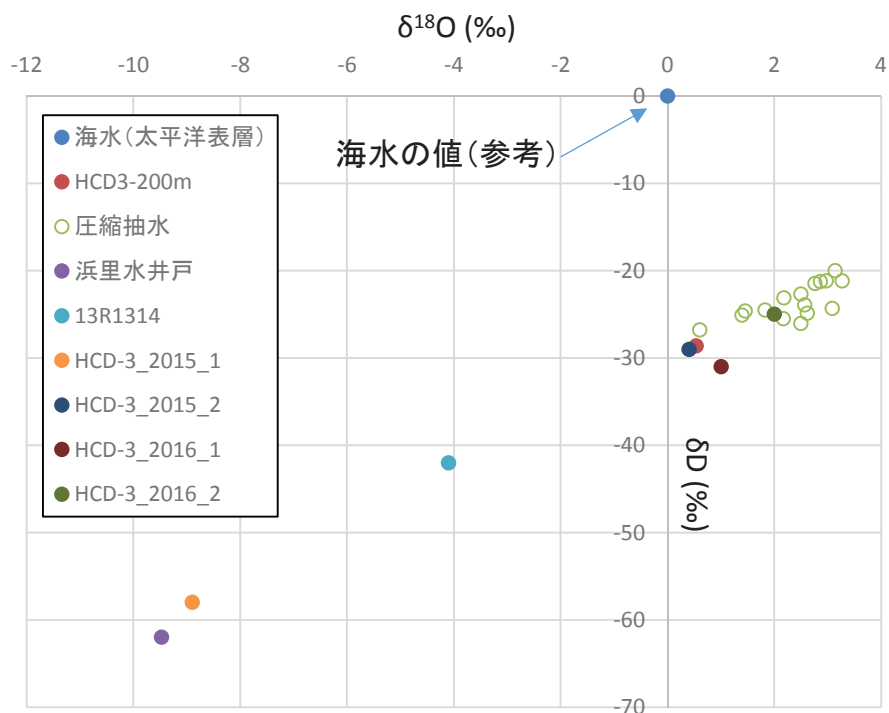


図 6.4-4 水素酸素同位体比

(5) 微量元素

幌延の地下水は高いホウ素濃度が特徴的である。本採水で得られた地下水も海水の十倍以上の高いホウ素濃度を示している。掘削水に用いられた浜里水井戸のホウ素濃度は 0.04 mg/L であることから、高いホウ素濃度は原位置の地下水に由来しているものと考えることができる。ただし、掘削泥剤に含まれていたホウ素濃度が不明なため、原位置の地下水のものとは断定することはできないことを注記しておく。

(6) 一般ガス

採水毎のガスの構成の変化は概ね小さいが、二酸化炭素の同位体比が大きく変化している。また、最後の採水であった HCD-3_2016_2 の採水データは CO₂ 濃度が高くなっている。予備排水中の一般ガスの濃度、同位体比の変化を測定した事例は見当たらないが、予備排水に従い、大きく変化する可能性のあることが分かった。特に CO₂ の同位体比がマイナスからプラスに転じるという大きな変化をしていることから、予備排水が不十分な状態であれば誤った解釈をする可能性がある。

(7) 物理化学パラメーター

pH と ORP はフローセルにて測定を行った。流速は概略での測定であるが概ね 100ml/min 以下となるようにした。DO は溶存ガスが電極面に当たると値が大きく動くため、密閉性の高いフローセルでは

正確な測定ができなかった。そこで、100ml のプラスチックボトルに地下水を導入し、底まで電極を挿入し、ボトルを斜めにしてガスが速やかに抜けるようにして測定した。EC はフローセルを通過した水をプラスチックビーカーに導入し、大気開放下かつ、緩やかな流れの中で測定した。表 1 に示した結果を改めて表 6.4-6 に示す。なお、ORP は読み取り値 (Ag/AgCl) から SHE 基準に換算している。

表 6.4-6 物理化学パラメーター

計測日	2015/8/6	2015/11/25	2016/7/26	2016/11/9
pH	8.15	8.46	8.3	7.84
ORP (mV SHE)	-57	98	-37	47
DO (mg L ⁻¹)	0.07	0.00	0.00	0.00
EC (S m ⁻¹)	1.378	1.394	1.301	1.670

それぞれの測定値の増減について一定の傾向は見られない。表 6.4-1 の観察で示したとおり、pH はフローセルで測定し、安定した値を示した。ORP は各測定とも安定値まで到達していない。DO はおそらく計測を通じてゼロである。また、EC は安定値である。

(8) 炭素同位体比と塩素同位体比

放射性炭素 (¹⁴C) は 5.1pMC であった。これまでの He 蓄積法による年代評価では、百万年オーダーの年代となることから、半減期が 5730 年である ¹⁴C は減衰し、検出限界以下となっているはずである。すなわち、5.1pMC は掘削水、洗浄水等からのコンタミネーションと考えられる。

放射性塩素 (³⁶Cl) は、2.9±0.9 という値であった。今回採水を行った HCD-3 の 200m 付近の地層は稚内層である。中田と長谷川 (2009) によると、稚内層の地下水の ³⁶Cl 放射平衡値は 8.1±3.3 である。また、HCD-3 孔の掘削時に圧縮抽水により 200m 付近から採取された ³⁶Cl の分析値は 8 弱の値であることから、今回得られた 2.9±0.9 という値は本来の原位置の値と比べて低いものと考えられる。

(9) 希ガス

希ガスデータの深度分布を図 6.4-5 に示す。図中には今年度得られたデータのほかに、岩石コアを用いた希ガス採取による He, Ne のデータ (中田ほか, 2006 ; 中田・長谷川, 2009) を示す。

2016/7/27 に採取した結果はこれまでのデータと概ね変わらない。一方で、2016/11/09-10 で採取したものは大きく異なる値を示し、分析後に差し引きで求める試料の重量から地下水がほとんど取れていないことが分かった。

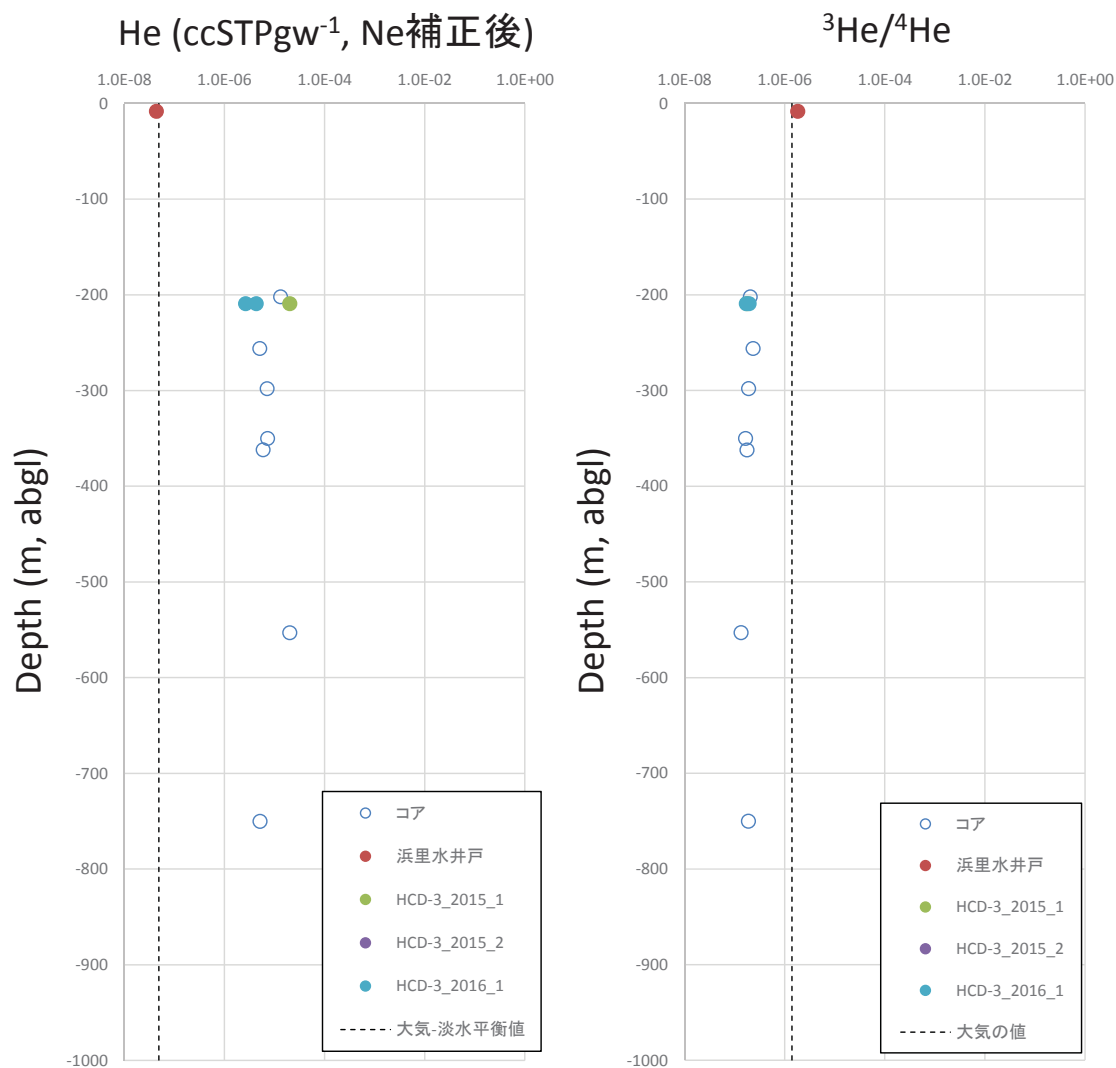


図 6.4-5 希ガスの分析結果の比較

6.4.2 考察

(1) 水質

採水深度は-208.45～-209.95m (abgl) である。掘削時に採取された圧縮抽水の値 (200m, 250m, 共に abgl) が正しいとするならば, Na+K (meq L⁻¹) と Cl (meq L⁻¹) は 2015 年からの採水を通じて概ね正しい値を示している。蛍光染料濃度から, コンタミネーションが浜里水井戸を由来とする掘削泥水や洗浄水等であれば, 蛍光染料濃度と Cl 濃度 (岩石水相互作用を起こしにくい) は反比例関係となるはずである。反比例関係とならない可能性としては掘削泥水の循環利用が挙げられる。掘削泥水は作成後, 粘度や蛍光染料等を適宜調整しながら暫く循環利用されるため, 循環すればするほど, 地下水が混合する。十分に地下水が混合した状態で掘削を行ってれば, 蛍光染料濃度が高く, かつ原位置の地下水の水質に近い泥水が得られることになる。このことは掘削水を掘削中に定期的に採取分析していれば確認することができるが, 本孔ではそのデータが残っていないため, 確認することがで

きない。δD、δOの関係においても、蛍光染料濃度が高い段階から圧縮抽水と同程度の値を示しており、その原因はCl濃度等と同じ理由が考えられる。

(2) pH及びORPについて

pH-Eh ダイアグラムに本研究で得られた実測値を図 6.4-6 にプロットした。硫酸とジャロサイトの平衡に近いあたりにプロットされる。しかしながら、水質分析値では硫酸は検出されておらず、硫酸とジャロサイトの平衡というはおかしい。掘削水等で乱れた環境が回復している途上の見かけ上の値であるか、もしくはフローセルでの測定が上手く行っていないことが考えられる。少なくとも今回のORP値が十分に安定値に到達していない状態であったことは正しい値を示さない原因のひとつである。ORP値の取得には十分な時間をかける必要がある。

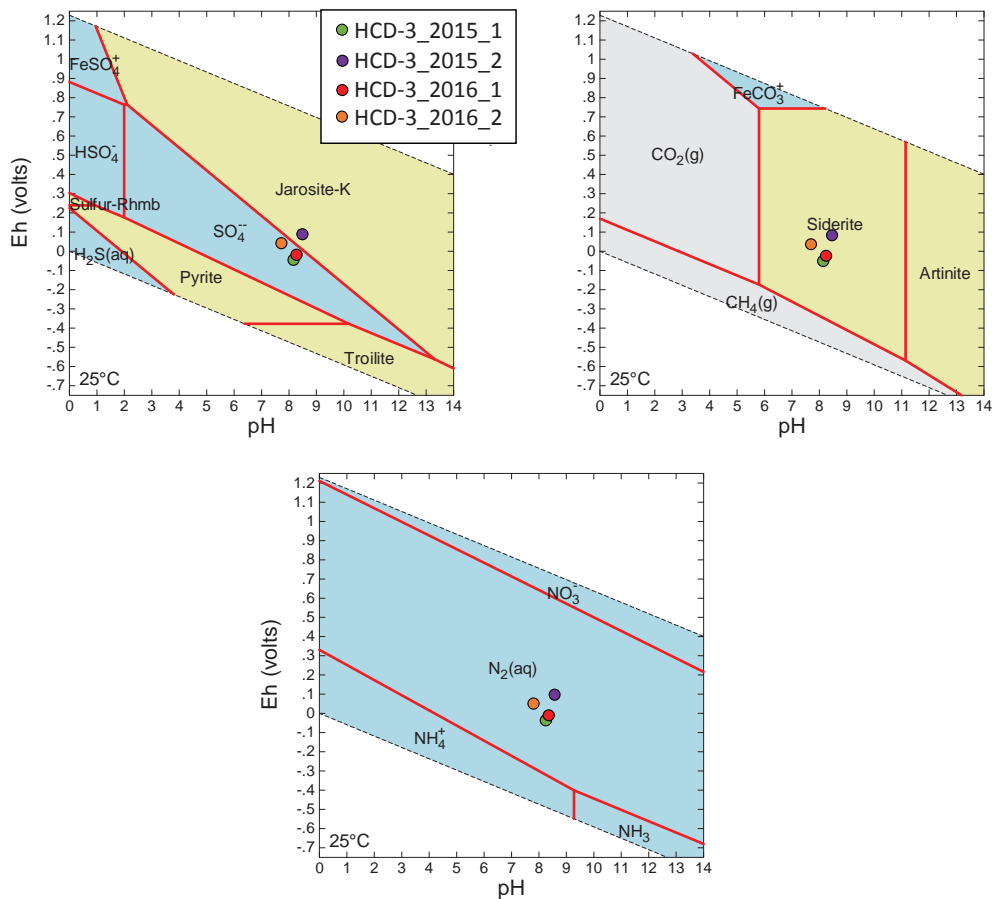


図 6.4-6 pH-Eh 図

(3) 微量元素

種々の微量元素を測定した中で、Li と B がある。この2つは岩石が熱水作用を受けたときに溶出することが知られており、岩石や熱水が冷えた後も、沈殿等を起こすことなく地下水に溶存する。そ

の中でも Li 濃度は有馬型の深部流体の有無の判定に用いられている（風早ほか，2014）。

最後の採水であった HCD-3_2016_2 において，Li 濃度（mg/L）の Cl 濃度（mg/L）の商は，0.00015 であった。風早ほか（2014）で定義されている有馬型の深部流体は Li/Cl は 0.001 以上とされている。本研究で得られた水は酸素同位体比がプラスの値を持ち（図 6.4-4），ホウ素濃度が高いことから，熱水系の履歴を持つ水であると考えられるが，Li/Cl からは，有馬型の深部熱水ではないということが言える。ただし，先述した水質の考察のとおり，本研究で得られた地下水は高い蛍光染料を持つことから，今回測定した Li，B 及び Cl はあくまで仮に正しいとした値であることに留意が必要である。

（4）希ガス

掘削時に採取したコアから得られた He 濃度やヘリウム同位体比と本研究で得られたそれらは概ね同じ値を示す。掘削水混合率から言えば同じ程度の値が得られることはない。特に，水質の考察において示したような，地下水に近い組成を持つ掘削泥水で掘削を行ったとしても，泥水の循環利用では泥水は一旦大気に曝されるため，希ガスの濃度が原位置の地下水と同程度になることは考えがたい。

6.4.3 まとめ

今年度得られた地下水は昨年度と同様に，幌延地域の深部地下水の特徴を持っていた。得られたデータのうちのいくつかの水質データは掘削時に得られたコアから得られた水質や希ガス濃度に近い値を示した。その一方で，蛍光染料濃度は高いことからコンタミネーションしていることが明らかであった。掘削水の循環利用により，地下水の水質に近く蛍光染料濃度の高い泥水ができる可能性が示唆されるが，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ができない。掘削時の品質管理の必要性が改めて明らかになった。原位置の確からしい水質を得るためには，十分な予備排水が必要なのは言うまでもないが，さらに孔に加わった人工的な操作の履歴を記録しておくことが重要である。

参考文献

- 電力中央研究所 (2007) : 平成 18 年度地層処分技術調査等 (地下水年代測定技術調査) 報告書, 経済産業省, 平成 19 年 3 月.
- 電力中央研究所 (2008) : 平成 19 年度地層処分技術調査等委託費 (地層処分共通技術調査: 岩盤中地下水移行評価技術高度化開発) - 地下水年代測定技術調査 - 報告書, 経済産業省, 平成 20 年 3 月.
- 電力中央研究所 (2009) : 平成 20 年度地層処分技術調査等委託費 (地層処分共通技術調査: 岩盤中地下水移行評価技術高度化開発) - 地下水年代測定技術調査 - 報告書, 経済産業省, 平成 21 年 3 月.
- 電力中央研究所 (2010) : 平成 21 年度地層処分技術調査等委託費 (地層処分共通技術調査: 岩盤中地下水移行評価技術高度化開発) - 地下水年代測定技術調査 - 報告書, 経済産業省, 平成 22 年 3 月.
- 電力中央研究所 (2011) : 平成 22 年度地層処分技術調査等委託費 (地層処分共通技術調査: 岩盤中地下水移行評価技術高度化開発) - 地下水年代測定技術調査 - 報告書, 経済産業省, 平成 23 年 3 月.
- 電力中央研究所 (2014) : 平成 25 年度地層処分技術調査等事業 (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 - 成果報告書, 経済産業省, 平成 26 年 3 月.
- 風早ほか (2014) : 西南日本におけるスラブ起源深部流体の分布と特徴, 日本水文科学会誌, 44, 3-16.
- 国立天文台 (2006) : 理科年表机上版, 第 79 冊, 丸善, 1022p.
- 中田弘太郎, 長谷川琢磨, 東原知広 (2006) : 地下水年代測定評価技術の開発 (その 1) - 地下水年代測定のためのコア間隙水中希ガス抽出技術の確立と適用 -, 電力中央研究所研究報告, N05065.
- 中田弘太郎, 大山隆弘, 東原知広, 長谷川琢磨, 橘川貴史 (2007) : 地下水年代測定評価技術の開発 (その 6) - 低透水性岩盤における地下水抽出法の提案 -, 電力中央研究所研究報告, N07012.
- 中田弘太郎・長谷川琢磨 (2009) : 地下水年代測定評価技術の開発 (その 10) - 北海道幌延地域における ^4He ・ ^{36}Cl 法適用の試み -, 電力中央研究所研究報告, N09027.
- Ozima, M. and Podosek, F.A. (2002): Noble gas geochemistry 2nd edition, Cambridge University Press, 286p.

7. モニタリング無人計測システム

7.1 信頼性向上検討

孔内モニタリング計測を無人かつスタンドアロンな電源、通信で行うモニタリング無人計測システム（以下、「本システム」という）を平成 27 年 10 月に現地に構築し、運用を開始した。本システムのシステム構成図ならびにシステム配線系統図をそれぞれ図 7.1-1、図 7.1-2 に示す。

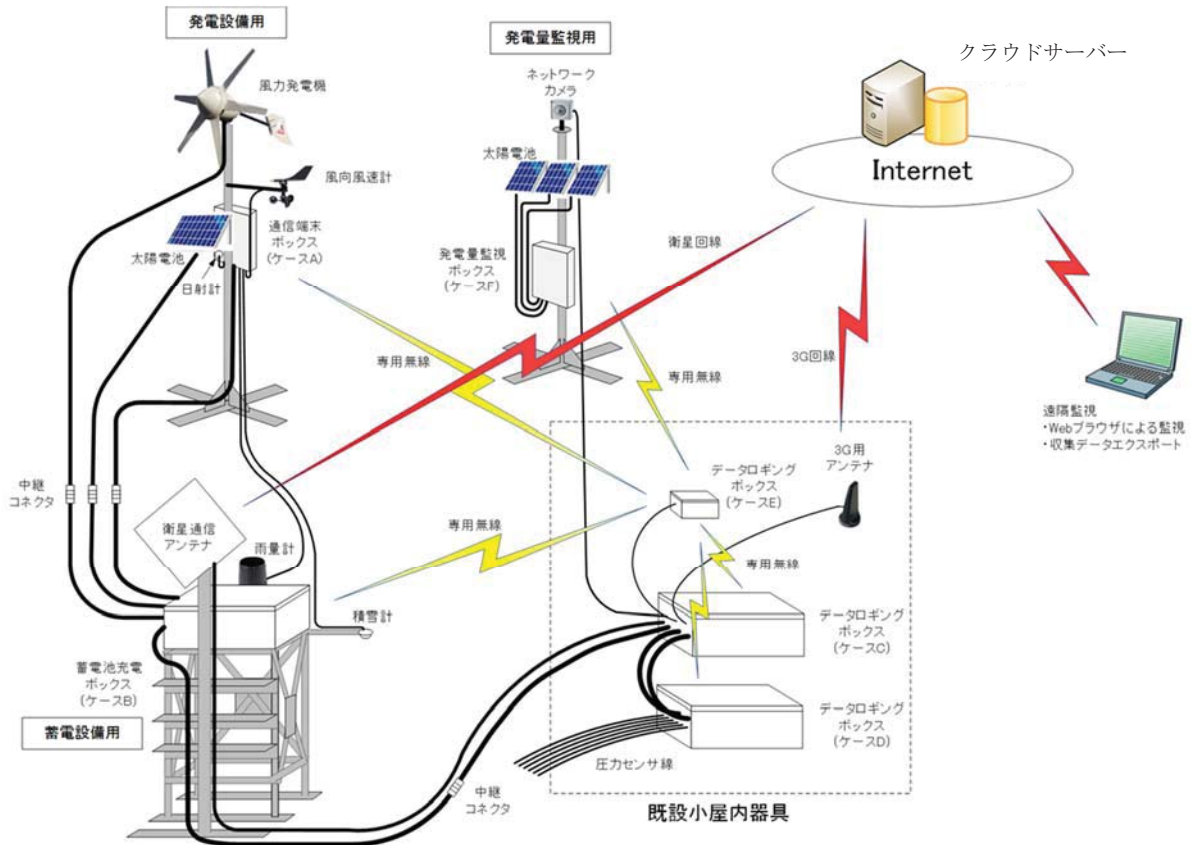


図 7.1-1 無人計測システム システム構成図

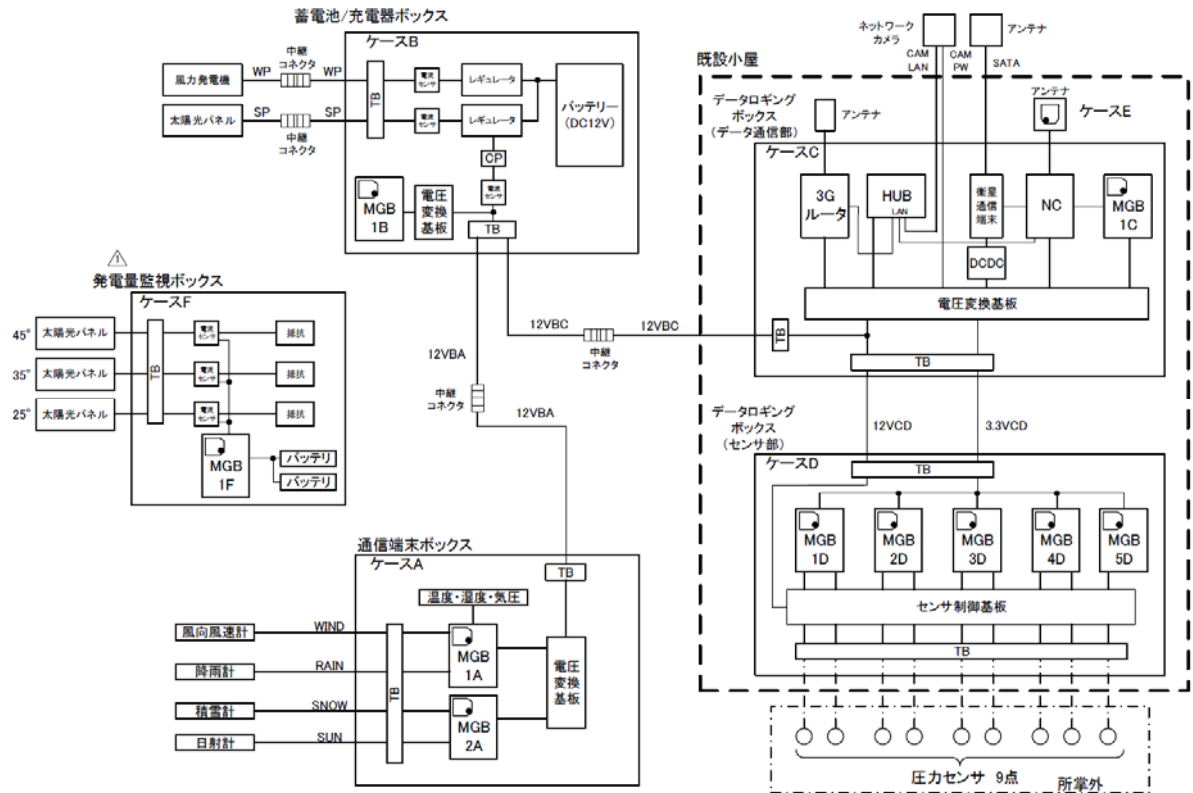


図 7.1-2 システム配線系統図

本システムを構成する主要な機器ならびにデータ通信の役割は以下のとおりである。

NC : ネットワークコンピュータの略

現地システムの各機器間のローカル通信の親局

ケース C 内に設置

MGB : マジックビー (MGB) の略

本システムにおけるデータロガーで、ローカル通信の子局の役割も果たす

ケース A, B, D, F 内に 9 機の MGB が配置されており、各 MGB は 1 分に 1 回、計測データを取得し、MGB 上の micro SD (micro SD) に保存するとともに無線通信によりケース C 内の NC に計測データを転送する

MGB_1A : 気象系データ用のデータロガー

MGB_1B : 電源系データ用のデータロガー

MGB_1D : 区間圧力 2、3 用のデータロガー

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

MGB_2A : 積雪量のデータロガー

MGB_2D : 区間圧力 1、パッカー1、2 用のデータロガー

- MGB_3D : パッカー3、4、5用のデータロガー
- MGB_4D : ミニパッカー3、2用のデータロガー
- MGB_5D : ミニパッカー1用のデータロガー
- 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）
- クラウド : 無人計測システムの計測データを保管・管理するクラウドサーバー
- 上位通信 : NC-クラウド間の通信
- NCに集められた計測データを、Internetを介してクラウドに転送する
- 観測局から現地システムへの遠隔制御命令をクラウド経由で送信することも可能
- 本システム運用では1時間周期*で通信を行うことを基本とした（※遠隔制御によって通信周期の変更可能）
- ローカル通信 : MGB-NC間の通信
- MGBはケースA、B、D、F内に格納されており、無線通信によりケースC内のNCに計測データを転送している
- 本評価においては1時間周期で通信し、1時間分の計測データを送信

本システム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 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（ネットワークコンピュータ）に集積される。各MGBは計測用のセンサーとともにケース（A、B、D、F）に収められている。NC側のローカル通信モジュールはケースE内に設置され、ケースC内のNCと有線接続されている。



図 7.1-3 ケース A 及びケース A 内部



図 7.1-4 ケース B 及びケース B 内部

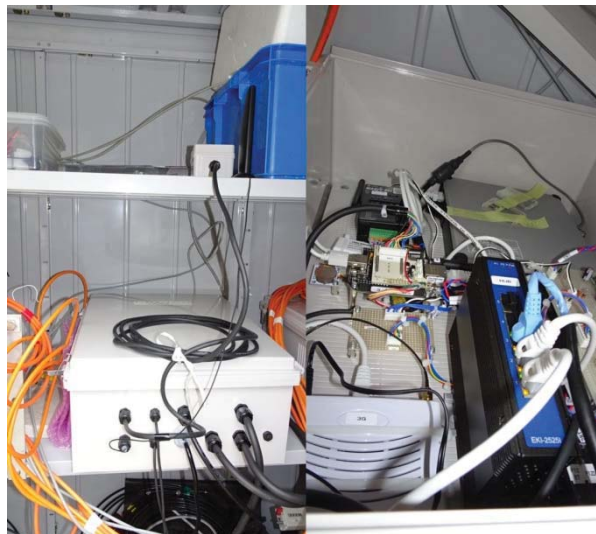


図 7.1-5 ケース C 及びケース C 内部



図 7.1-6 ケース D 及びケース D 内部



図 7.1-7 ケース E 及びケース E 内部



図 7.1-8 ケース F 及びケース F 内部

今年度の本システムの運用では、NC は 1 時間に 1 度の間欠運転を行い、間欠運転動作中に NC と MGB から構築されるローカル通信ネットワークを介して各 MGB からデータを受信し、上位通信を用いてクラウドサーバーにデータ送信した。NC の間欠運転動作中に複数の計測用 MGB から NC へのデータ転送を順次行うため、各 MGB にはそれぞれの送信タイミングを設定して NC とのローカル通信を行うように制御した。

上位通信は衛星通信と 3G 通信の二つが利用可能な構成となっているが、本システムの設置環境においては衛星通信の品質が著しく悪いため、今年度の調査では 3G 通信を使用した。上位通信を介して集積された計測データは、遠隔地からクラウドサーバーにアクセスすることで閲覧・ダウンロードを行うことができる。また、遠隔地から NC の運転周期などを制御することもできる。

平成 27 年度に本システムの運用を半年間行った結果、電力、通信、システム制御、現地環境計測における本システム上の課題が明らかになった。今年度は本システムの信頼性を向上させるためそれら課題への対応をはかり、本システム全体の信頼性を評価した。以下、昨年度の調査を通して明らかとなった各課題とそれらへの対応方法についてまとめる。

7.2 電源システム最適化

平成 27 年度におけるモニタリング無人計測システム運用において、消費電力の変動が少ない 3G 通信+間欠動作ではバッテリー電圧不足が発生しなかった。一方、通信不良時に消費電力が大きくなる衛星通信使用時にはバッテリー電圧不足によるシステム異常が発生し、電源システムの課題となっていた。

この課題対応としてバッテリー容量を増加させることで電圧低下によるトラブルの発生を緩和さ

せることが考えられたが、通信不良時には日射量や風速などの周辺環境に応じて消費電力増加量と発電・蓄電量のバランスが崩れ、バッテリー容量の増加のみでは不十分となることが懸念された。

モニタリング無人計測システムは通信系と計測系の二つのシステムに分けて構成されていることから、計測データ保全を優先させた計測系の動作を安定させるための電源システム改良を行うこととした。改良点は通信系・計測系の電源分離とシステムの状態に応じた衛星通信機器の省電力化制御の追加である。

①通信系・計測系の電源分離

(着目点)

通信系と計測系の電源を分離して計測系の電源を優先確保することにより計測動作の信頼性を向上させる。電源システムの変更概要を図 7.2-1 示す。

(具体的な対策)

圧力センサーを計測している MGB(MGB)の電源をメインバッテリーから分離し、別途用意するバッテリー(以下、サブバッテリー)から供給することが可能な構成とする。サブバッテリーには新たに増設する太陽光パネルを接続し、蓄電を行う。バッテリー容量は3ヶ月間蓄電がない場合でも十分な容量とし、新たに用意するボックス(ケースG)に充放電コントローラーと専用ユニバーサル基板を収容する。また、ケースC(メインバッテリー)からの12Vと相互ダイオード接続[※]することによりメインバッテリーからの電源供給も行うことができる構成とする。

圧力センサーへの電源供給はスイッチによりメインバッテリーとサブバッテリーに切り替え可能とする。通常運用時にはメインバッテリーからの電源供給を主とし、メインバッテリーの電圧低下時にサブバッテリーからの電源供給に切り替わるようにする。

※相互ダイオード接続：計測用の電源を確保するため、サブバッテリーから通信系には電源供給が行われないようにダイオードにより供給方向を固定する接続方法

(構成)

(a) ボックス(ケースG)

- ・型式 : BCAP304012G
- ・寸法 : 300 (W) × 400 (D) × 121 (H)
- ・取付方法 : 既設観測小屋内に設置
- ・収容機器 : 充放電コントローラー
専用ユニバーサル基板
- ・数量 : 1

(b) サブバッテリー

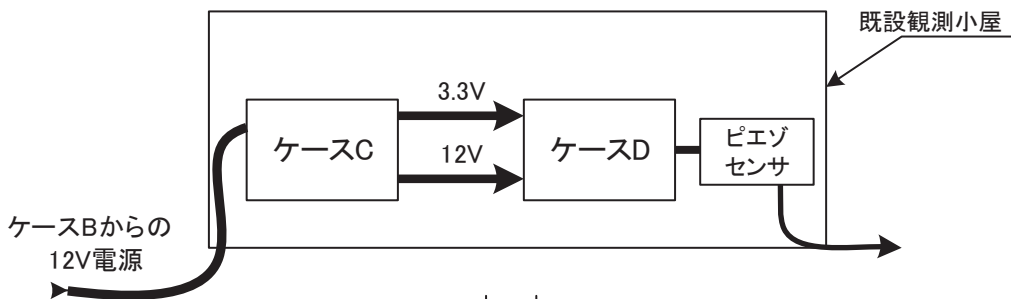
- ・型式 : SEB-65 (メーカー : GS ユアサ)

- ・電池仕様 : DC12V 65Ah
- ・数量 : 2

(c) 外装

- ・ハードウェア : 太陽電池取付金具
: 太陽光パネル
(メーカー: 電菱、型式: DB020-12、発電容量: 20W)
- ・取付方法 : 既設小屋上に設置
- ・概算寸法(mm) : 600 (W) × 500 (D) × 500 (H)

(変更前)



(変更後)

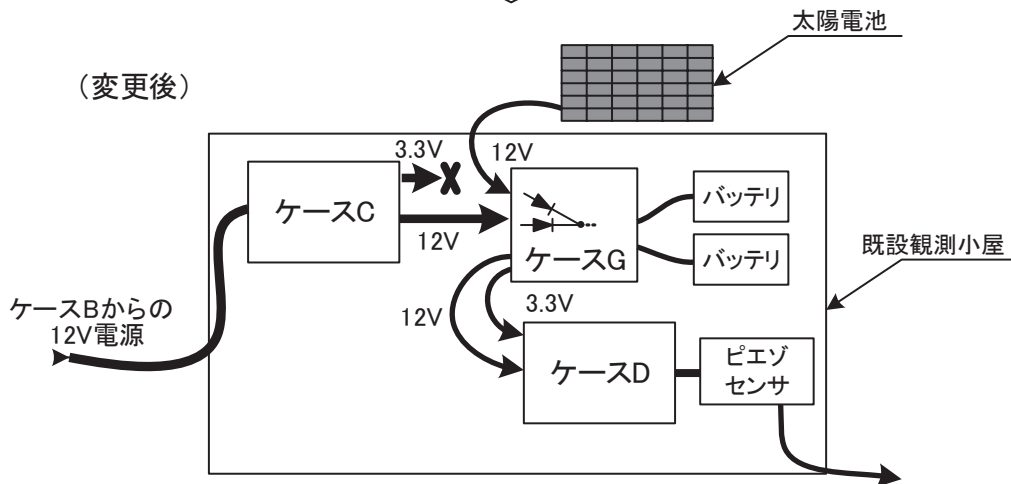


図 7.2-1 電源システム変更概要

この改良によるメインバッテリーならびにサブバッテリー消費時の計測可否を整理して表 7.2-1 に示す。本対策により MGB1D~MGB5D の圧力センサーデータが欠損となっていた条件（メインバッテリーが消耗）でもサブバッテリーにより計測が可能となる。

表 7.2-1 バッテリー消費時の計測可否一覧

機器名	計測データ名	電源分離改造後		電源分離改造前
		メインバッテリー 消費時 (サブバッテリー+ MGB 内電池)	メインバッテリー、 サブバッテリー 消費時 (MGB 内電池のみ)	メインバッテリー 消費時 (MGB 内電池のみ)
MGB1A	気温、湿度	○	○	○
	風向、風速	× ※1	× ※1	× ※1
	気圧	○	○	○
	雨量	○	○	○
	日射量	× ※1	× ※1	× ※1
MGB2A	積雪量	× ※1	× ※1	× ※1
MGB1B	太陽光発電電力	○	○	○
	風力発電電力	○	○	○
	消費電力	○	○	○
	蓄電池温度	× ※1	× ※1	× ※1
MGB1D	区間圧力 1、2	○	× ※2	× ※2
MGB2D	区間圧力 3、 パッカー 1 & 2	○	× ※2	× ※2
MGB3D	パッカー 3、4 & 5	○	× ※2	× ※2
MGB4D	ミニパッカー 1、2	○	× ※2	× ※2
MGB5D	ミニパッカー 3	○	× ※2	× ※2
MGB1F	太陽光発電電力 (25° /35° /45°)	○	○	○

※1：メインバッテリーからのみ 12V、5V、3.3V を受給して計測を行っている。サブバッテリー及び MGB 内電池 (3.3V) からは受給していない。

※2：メインバッテリー及びサブバッテリーから 12V を受給して計測を行っており、両バッテリーが消費した場合には計測不可。MGB 内電池 (3.3V) から受給していない。

②システムの状況に応じた衛星通信機器の省電力化制御の追加

NC のソフトウェアを変更し、電力消費量の多い衛星通信時を対象に以下の省電力化対策を行う。

3G 通信時にはバッテリー電圧不足を起こすような電源消費がないため当初の制御方法のままとした。

(a) 衛星通信機器の通信不良時の対策

上位通信では、NC からクラウドサーバーの IP アドレスに対して Ping^{*}送信を行い、クラウドサーバーが Ping を受信できた場合に NC に対して応答を送信しているが、クラウドサーバーが Ping を受信できなかった場合は、NC に対して応答がないため、ここで接続状況を確認できる。図 7.2-2 に 2015 年 11 月～2016 年 5 月までの NC からクラウドサーバーへの Ping の成功率を示す。図を見ると衛星通信時の Ping の成功率が低くなっている。Ping に失敗した場合、計測データの送信にも失敗する確率が高いので電力消費の大きい衛星通信における通信

失敗では無駄な電力消費が発生する。そのため、衛星通信における Ping に失敗した場合は衛星通信機器の電源を OFF にすることがシステムの省電力化に有効であると考えられた。

※Ping : IP ネットワークの目的の PC やサーバーから返事が返ってくる時間などを測定するプログラム

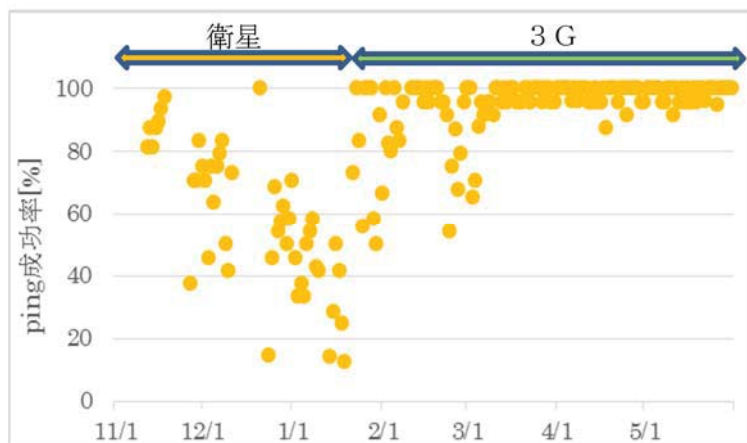


図 7.2-2 NC からクラウドサーバーへの Ping 成功率

このため、衛星通信において Ping に失敗した場合にはその上位通信処理（衛星通信処理）を中断し、衛星通信機器の電源を OFF にする制御をおこなう上位通信フロー（図 7.2-3 参照）にすることとした。この制御における間欠 60 分周期時における衛星通信機器の動作時間は以下のとおりとなる。

〈従来〉

Ping の成功失敗に関わらず、7 分間動作。

〈改良〉

Ping 成功時は、7 分間動作。

Ping 失敗時は、2 分間動作。

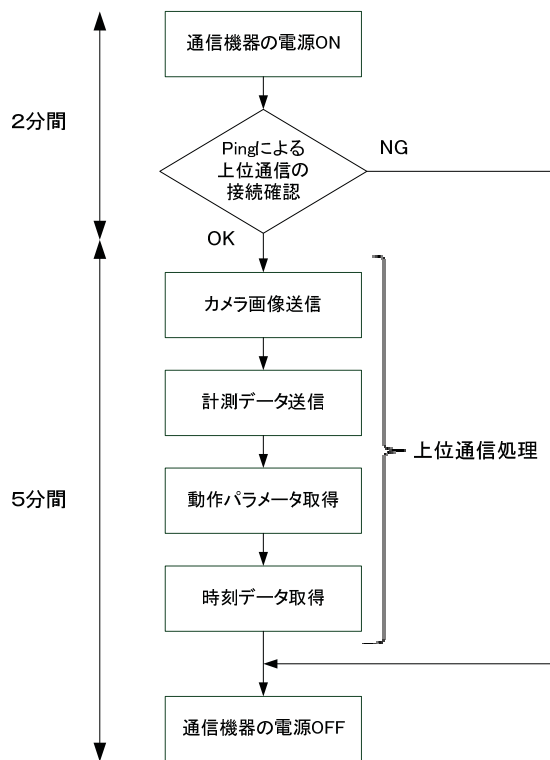


図 7.2-3 上位通信フロー概略図（動作時間は衛星通信時）

(b) バッテリー低電圧時の衛星通信機器の対策

平成 27 年度にはバッテリー電圧低下に伴うシステム停止が発生した。2016 年 1 月 10 日から 2016 年 1 月 11 日におけるシステム停止直前のバッテリー電圧（消費電圧）の変化を図 7.2-4 に示す。1 時間周期の衛星通信機器起動において一時的に 500mV 程度の電圧降下が発生し、システム待機時のバッテリー電圧が時間経過とともに徐々に低下している様子が確認できる。システム待機時のバッテリー電圧が 11225mV を下回った場合、データの更新が行われなくなり、システム停止に至ることがわかった。



図 7.2-4 システム停止直前のバッテリー電圧

本事象の対策として衛星通信機器の起動時に前回起動時のバッテリー電圧の計測結果を用いて低電圧の判定を行い、バッテリー電圧が低電圧閾値以下の場合には衛星通信機器の電源を ON しないように NC のプログラムを変更した。この対策による NC の動作は以下のとおりである。

〈低電圧閾値以下の場合〉

- ・衛星通信機器の電源を ON しない。
- ・カメラ画像を取得後、カメラ及び HUB の電源を OFF し、シャットダウン時間まで待機。
- ・各 MGB が送信した計測データは NC 内に蓄積する。

〈充電されて、低電圧閾値を超える場合〉

- ・衛星通信機器の電源を ON する。
- ・カメラ画像を取得後、カメラ及び HUB の電源を OFF する。
- ・上位通信への接続を Ping で確認後、カメラ画像を送信する。
- ・各 MGB が送信した計測データを送信し、NC 内に未送信の計測データがあれば再送信*を行う。（※再送信処理については、7.2.2 データ通信の信頼性向上検討を参照）
- ・動作パラメーター、時刻データを取得し、シャットダウン時間まで待機する。

低電圧閾値については、システム停止直前のバッテリー電圧（図 7.2-4）の実績をもとに 5% 程度余裕を持たせた 11800mV に設定した。

7.2.2 データ通信の信頼性向上検討

平成 27 年度の調査では衛星通信を用いた上位通信の成功率は 56.2%であった。比較的安定した通信ができる 3G 通信を用いた場合でも上位通信の成功率は 75.2%であった。また、各 MGB の micro SD 内の計測データと NC 内の計測データの比較から、ローカル通信も失敗することが確認された。これらの上位通信とローカル通信の失敗がクラウドにデータがあがらない原因となっていた。

このため、データ通信の信頼性向上をはかるため以下の (1) から (4) の改造を実施することとした。

(1) 上位通信（衛星／3G）の接続不良時における再送信機能

上位通信の成功率は天候や周囲地形などの設置環境に依存するのでクラウドへのデータアップロード率を改善するため上位通信機器の接続不良等による未送信データを再送信する機能を 2016 年 6 月に追加し、以下のプロセスでデータ再送を行うよう NC のソフトウェアを変更した。

- ・最新データは毎回必ず送信
- ・未送信データがある場合は最も古い未送信データから送信を行う
- ・1 回の通信における未送信データの送信データ数は 1 回分*とする

※未送信データの送信数を多く設定すると未送信データが多数生じた場合に通信時間が長期化する。長期化に対応するためにはシステム電源を大きくする必要がある。現行のシステムの電源を有効に生かすため、未送信データ数を今回は 1 回分（1 時間分の計測データ）とした。

(2) ローカル通信（各 MGB-NC 間通信）の接続不良時における再送信機能

MGB のソフトウェアを変更し、ローカル通信が接続不良となった場合に未送信データを以下のとおり再送信する機能を追加した。

- ・最新データは毎回必ず送信
- ・未送信データがある場合は、最も古い未送信データから送信を行う。
- ・1 回の通信における未送信データの送信データ数は 1 回分*とする

※ローカル通信の未送信データの再送信については上位通信と同様にシステム電源を考慮する必要がある。また、通信時間の長期化に伴い他の MGB の送信タイミングと重畳し、ローカル通信が失敗する可能性が高くなる。このため、上位通信と同様に未送信データの送信データ数を 1 回分に設定した。

(3) ローカル通信の送信タイミング調整

モニタリング無人計測システムのローカル通信では 10 台の MGB から NC に計測データが送られる。各 MGB の送信タイミングが重ならないようそれぞれ 15 秒ずつずれるように送信タイミングを設定して昨年度は運用していたが、今回はタイミングを 20 秒ずつずれるように MGB のソフトウェアを変更することとした。これは各 MGB の送信のタイムラグに余裕を持たせることにより各 MGB

の送信が重なりにくくなり、ローカル通信を失敗する確率が低くなると考えたからである。60分周期の間欠運転モードにおける送信タイミングは以下のとおりなる。

(従来) 各 MGB の送信タイミングを 15 秒ずらして、1 分間に 3 台ずつ送信

(改良) 各 MGB の送信タイミングを 20 秒ずらして、1 分間に 2 台ずつ送信

調整前と調整後のローカル通信における MGB からの送信タイミングの概念図を図 7.2-5 に示す。

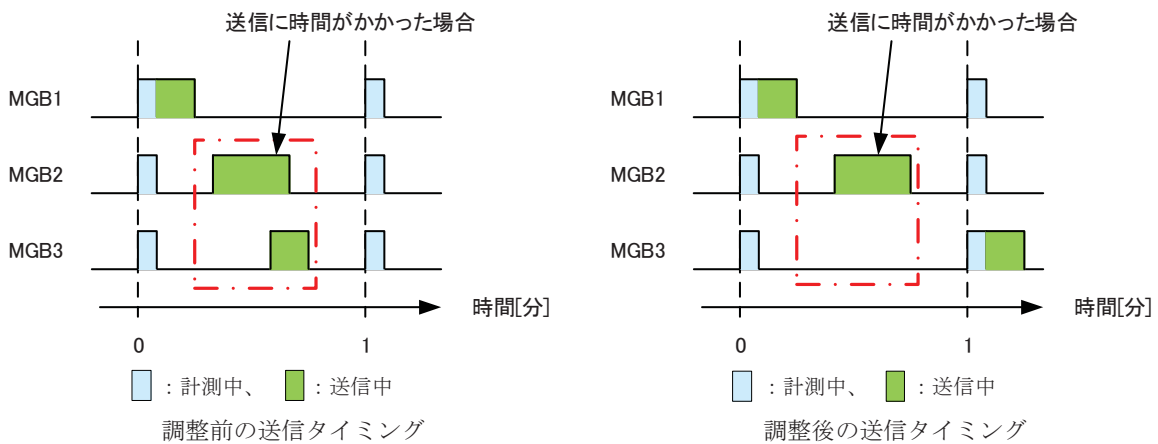


図 7.2-5 ローカル通信における MGB からの送信タイミングの概念図

(4) 衛星通信機器と 3G ルーターの遠隔切替機能追加

モニタリング無人計測システムの運用開始当初は 3G 通信が安定していなかったため、上位通信には衛星通信を用いていた。運用開始後、現地の 3G 通信が安定してきたので、観測局の PC から通信状態の良い上位通信を選択できるように、衛星通信機器と 3G 通信のルーターの切り替えができるソフトウェアを NC 及びクラウドサーバーに組み込んだ。

7.2.3 計測ならびにシステム制御の安定性の改善

昨年度使用した MGB を工場に持ち帰り調べた結果、MGB を低電圧で運用した場合 micro SD のデータが破損することが判明した。micro SD 内には計測データだけでなくデータアクセスを制御するシステムデータも保存されており、システムデータが破損した場合にはシステム制御の異常を引き起こす場合がある。

計測ならびにシステム制御の安定性が低下した原因の一つとして、電源電圧が低下した状況で現地システムを運用したことで MGB 内の micro SD のデータが壊れたことが考えられた。このため、micro SD 内の計測データ及びデータシステムの破損を防ぐ対策として MGB のソフトウェアを変更し、

micro SD の使用電圧下限値 (2.7V) 以下での MGB から micro SD へのアクセスを禁止することとした。

7.2.4 現地環境計測の改良

(1) 積雪量計測

積雪計には超音波式の測定器を用いている。超音波式積雪計は超音波が雪面で反射して送受波器に戻るまでの時間を計測し、温度による音速補正を行い、送受波器から雪面までの距離を求めるもので、以下の特性を有している。

- ・積雪面が水平でない場合、音波の反射が送受波器に届かないことがある。
- ・新雪面の下に密度の高い従来雪面がある場合、音波が新雪面を突き抜けて従来雪面をとらえてしまう。
- ・強風時に音波が流され計測できないことがある。
- ・測定原理から、積雪量を計測できない不感帯がある（採用した積雪計は 0 から 190mm が不感帯となっている）。

昨年度の積雪量計測値は大きなばらつきを示した。積雪量測定のはらつき例を図 7.2-6 に示す。計測を行った時間帯の積雪量は 425mm から 460mm の測定値だけでなく、降雪量ゼロを連続して示したり、スパイク状に示したりしている。

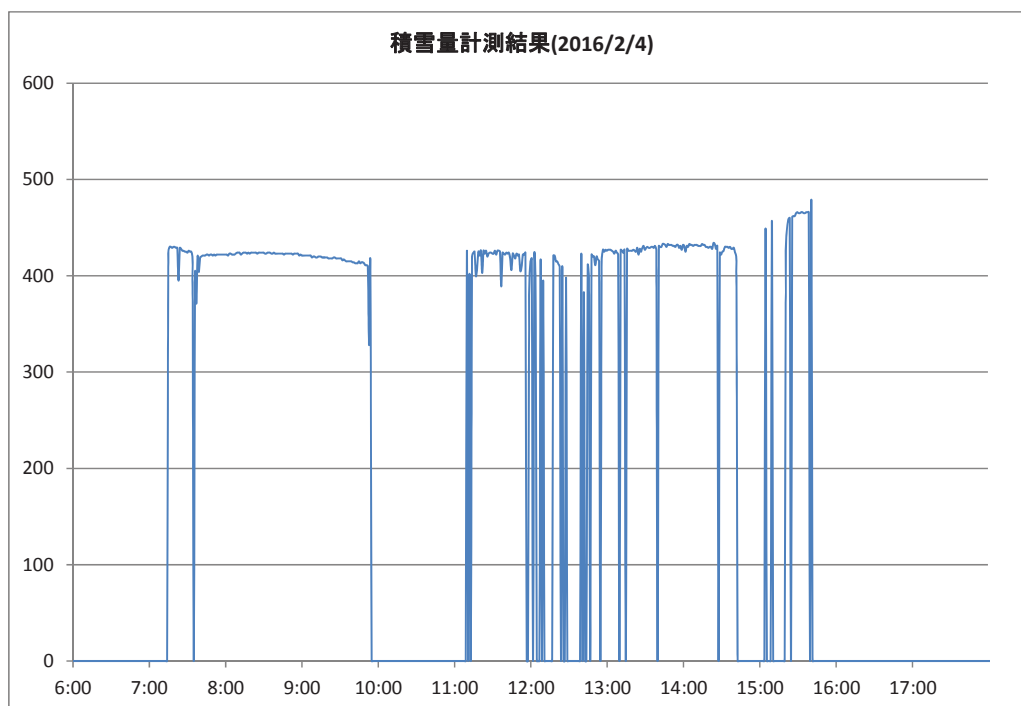


図 7.2-6 積雪量測定結果ばらつき例 (2016/2/4 6:00~18:00)

今年度は積雪計の特性に配慮して、以下のとおり積雪量のデータ取得アルゴリズムを変更することとした。

《積雪量のデータ取得アルゴリズムの変更内容》

実装した積雪量データ取得方法は、毎分のサンプリングに対する処理と直近 10 回分のサンプリング結果を用いた出力処理からなっている。

1) 毎分のサンプリング処理

毎分の計測タイミングにおいて、100msec 毎に 10 回の計測を行い、以下に基づきサンプリング結果とする。

- ・ 10 回サンプリングのデータが全て 0mm のときは、計測データを 0mm とする。
- ・ 上記に該当しない場合、10 回サンプリングのうち、0mm のデータ、最大値、最小値を除外した残りのデータの平均値を計測データとする。ただし、除外した結果、データ点数が 1 点以下の場
合については、前回のサンプリング結果を今回のサンプリング結果とする。

2) 直近のサンプリング結果を用いた処理

- ・ 直近 10 回の計測データにおいて、0mm の計測データが継続した場合には、積雪量を 0mm とする。
- ・ 直近 10 回の計測データにおいて、0mm 以外の計測データがあった場合には、0mm 以外の計測データの平均値を算出し、その結果を今回の積雪量とする。

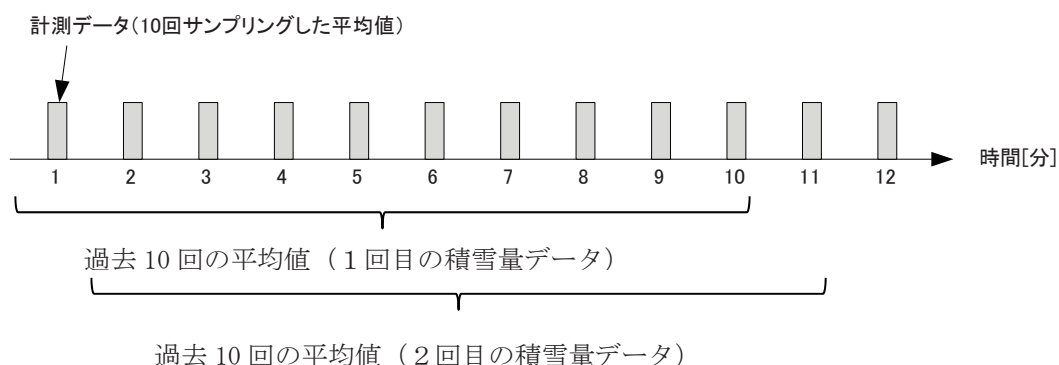


図 7.2-7 過去のサンプリング結果に対する積雪量の算出処理

(2) カメラ画像

現地環境の監視や防犯用にネットワークカメラを設置している。ネットワークカメラは解像度を三段階に変更して画質を高・中・低に設定できる。ネットワークカメラ画像の解像度設定イメージを図 7.2-8 に示す。

- 低画質 [平成 27 年度のシステム運用当初に用いた画質]



- 中画質



- 高画質



図 7.2-8 カメラ解像度設定毎の画像イメージ

平成 27 年度の調査では通信負荷を考慮して低解像度での運用を行ったが、低解像度では現地の積雪状況などの詳細な状況を確認することができずモニター方法として不十分であった。（参照：図 7.2-9 低解像度ネットワークカメラ画像）



図 7.2-9 低解像度ネットワークカメラ画像

通信データの負荷量と解像度のトレードオフから運用方法が課題となっていたが、平成 28 年 1 月以降から 3G 通信が安定して動作するようになったことから、平成 28 年 2 月以降は高解像度設定で運用し現地環境のモニタリング性能を評価することとした。

7.3 システム信頼性評価

昨年度提起された課題対応をはかるため、今年度は表 7.3-1 に示す日程にて現地における本システムの改造・調整を実施した。各改造・調整によるシステム信頼性向上効果は改造・調整のタイミング前後の各種データの取得率の変化に着目して評価した。

表 7.3-1 信頼性向上検討用改造・調整時期

対応年月日	MGB	NC	その他
2016/6/1～ 6/3	①電源電圧 2.7V 未満 micro SD 書込み禁止機能追加	①上位通信再送信機能追加	
2016/8/22～ 8/24	①ローカル通信再送信機能追加 ②ローカル通信送信タイミング調整 ③積雪量計測アルゴリズム変更	①ローカル通信再送信機能対応追加 ②ローカル通信送信タイミング調整対応追加 ③衛星/3G 通信切替機能追加 ④システム状況に応じた衛星通信 OFF 機能追加 ⑤カメラ高解像度設定対応	①圧力センサー電源分離 ＋太陽光外装装置追加
2016/12/5～ 12/7	①micro SD、micro SD カードスロット交換 ②MGB 時刻ずれ発生時ローカル通信接続機能追加		
2017/2/6～2/8			①積雪計動作確認

7.3.1 発電・蓄電容量から見た電源システムの評価

図 7.3-1 及び図 7.3-2 に風力及び太陽光の発電実績を示す。

昨年度の評価において、

- ・豊富町の気象観測所データ（気象庁データ）を用いて行った発電量予測と実際の発電量は、豊富町と上幌延の気象条件等の違いから差が生じること、
- ・システムでの気象データ測定結果と発電実績の関係は妥当であること、

が確認されており、今年度の発電実績においても同様の傾向が確認できた。

図 7.3-3 に発電実績と消費実績の推移を示す。昨年度の実績から 3G 通信の使用時には現行の発電システムで電力供給を満足することが推定できていた。推定とおり、3G 通信の運用を開始した平成 28 年 1 月以降 9 月までの期間において発電実績が消費実績を上回っていることが確認できる。平成 28 年 10 月、11 月に発電実績が消費実績を下回っているが 12 月には再び消費実績を上回っており、バッテリーの蓄電容量も含めシステムの発電・蓄電に関する問題は発生しなかったと考えられる。

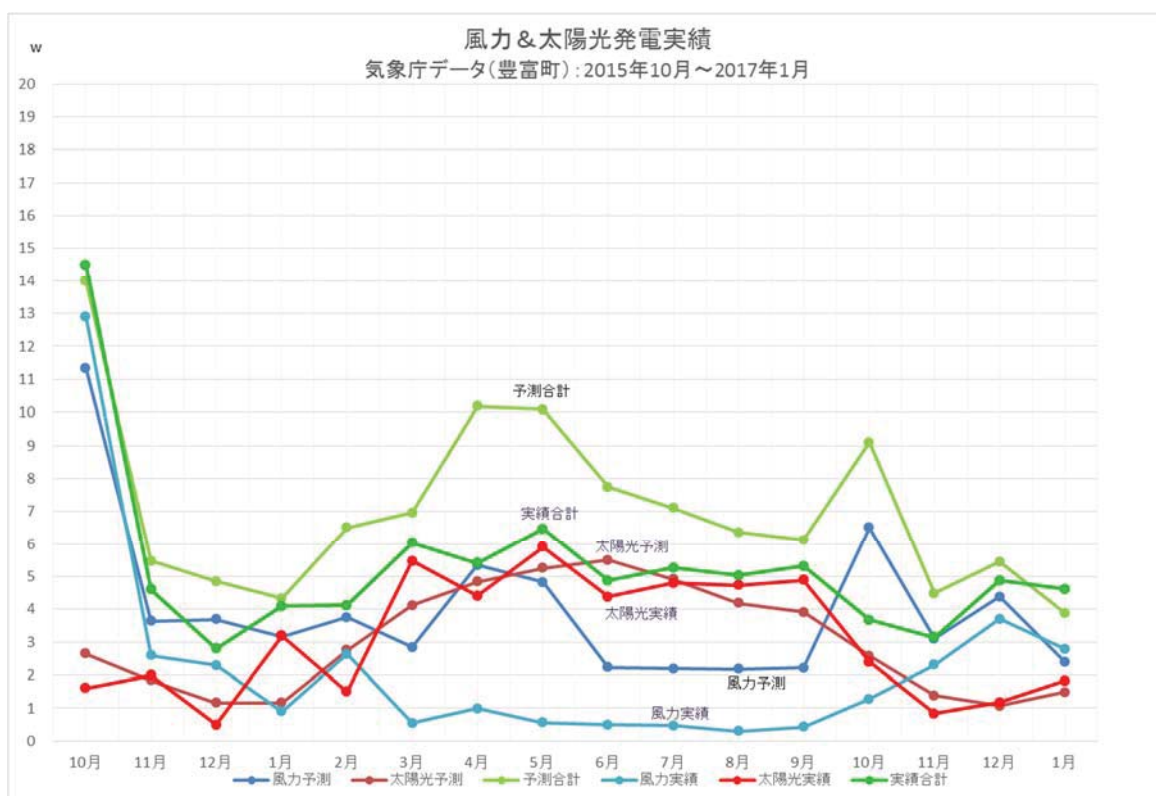


図 7.3-1 気象庁データからの発電予測と発電実績比較

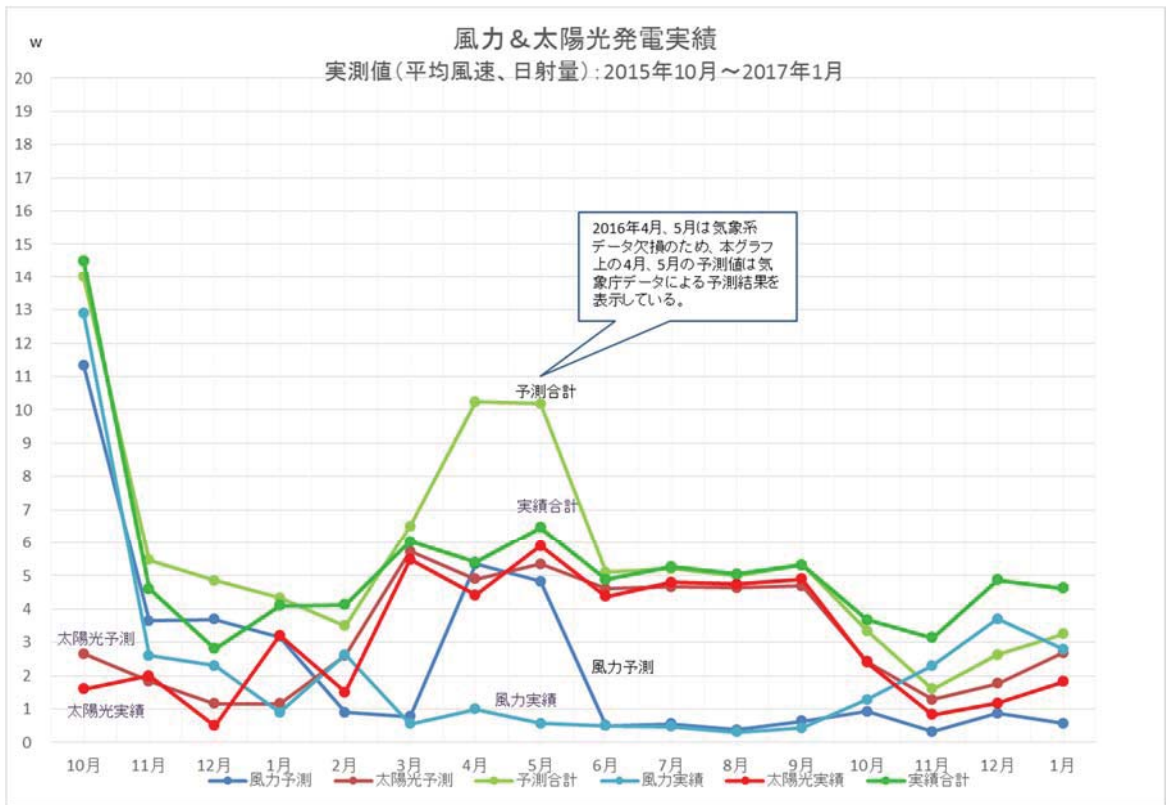


図 7.3-2 無人計測システムで実測した気象データからの発電予測と発電実績比較

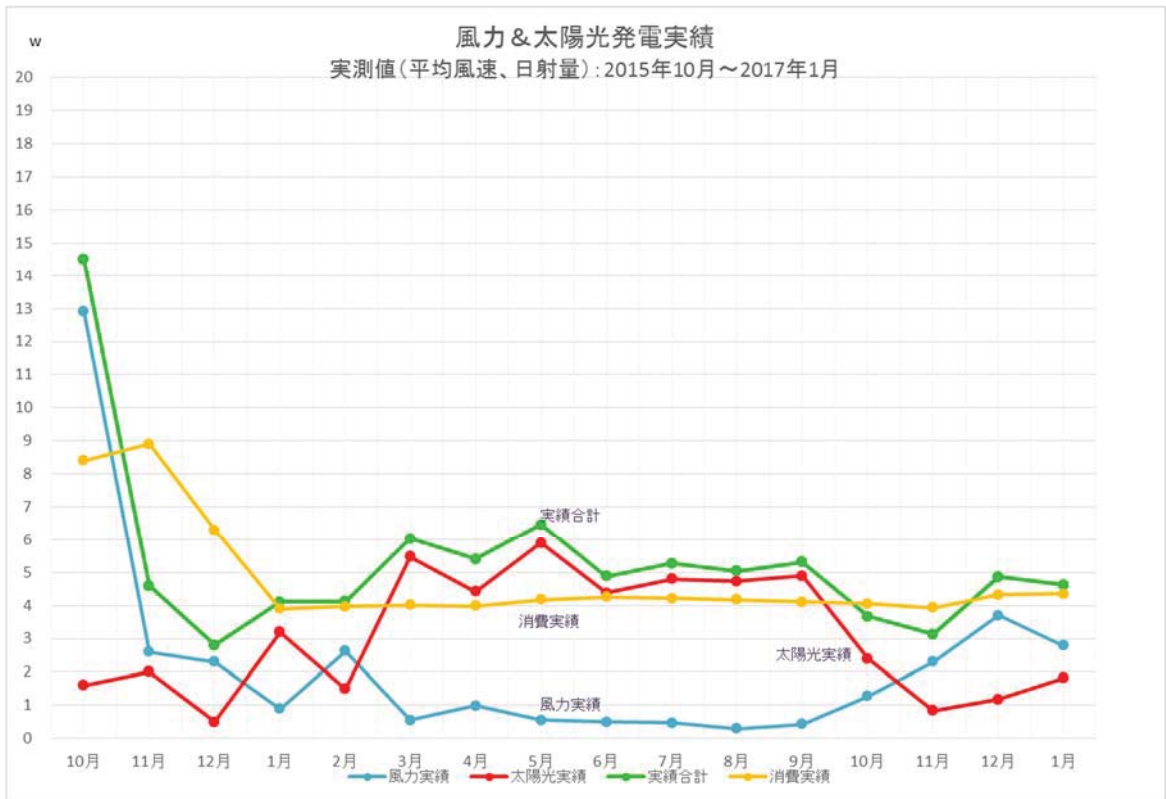


図 7.3-3 発電実績と消費実績の推移

計測系の電源分離後の H28 年 9 月から 12 月のシステム電源の電圧変動と発電状況ならびに日射量変動を図 7.3-4 及び図 7.3-5 に示す。

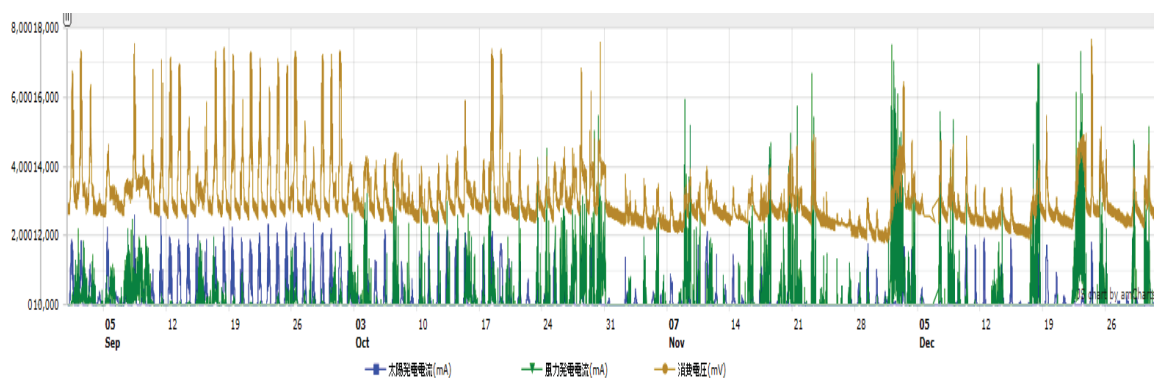


図 7.3-4 システム電源の電圧変動と発電状況（2016 年 9 月～2016 年 12 月）

システム電源電圧（図 7.3-4 中、消費電圧と表記）は風力発電及び太陽光発電により最低でも 12V 近辺を供給できていることがわかる。11 月以降、日射量の低下や積雪による影響で太陽光発電量が低下している（図 7.3-5）がこの期間においても風力発電により電源電圧は最低でも 12V 近辺を保持できている。

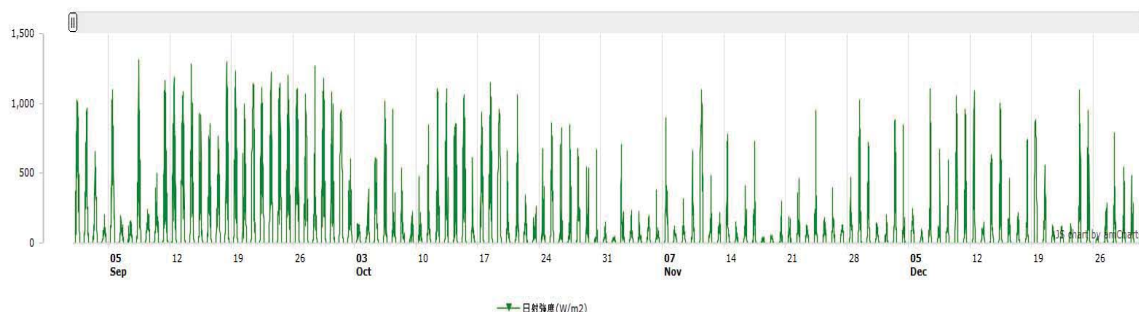


図 7.3-5 日射量変動（2016 年 9 月～2016 年 12 月）

7.2.2 データ通信の信頼性向上検討の項に記したとおり、システム電源（メインバッテリー）はサブバッテリーと相互接続しており、システム電源側の電源低下時には電源供給源をサブバッテリーに切り替えられる運用を行っている。図 7.3-4 に示すとおりシステム電源が十分な電圧を供給できることから、この期間の運用においてサブバッテリーは使用されていなかったものと考えられる。

図 7.3-6 はパッカー圧力センサーへの供給電源電圧の変動を示している。太陽光発電時は供給電源電圧が太陽光発電の影響で変動してしまうため、図 7.3-6 は毎週日曜日の 0:00:00 の電圧値をグラフ化したものである。図 7.3-4 に示すシステム電源の消費電圧変動と近似した挙動を示していることから、パッカー圧力センサーへの電源供給がシステム電源から行われていると推測される。

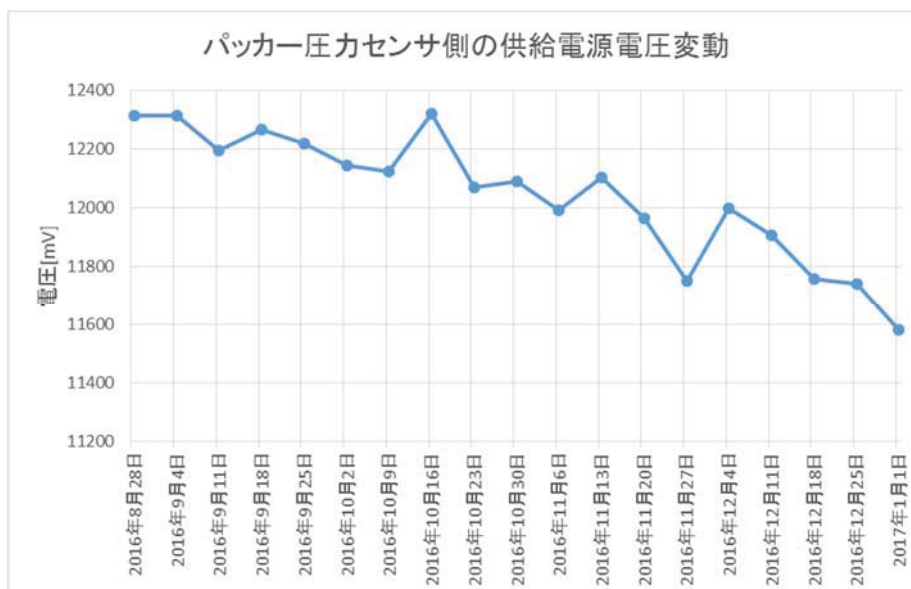


図 7.3-6 パッカー圧力センサーへの供給電源電圧変動

このため、サブバッテリーの充放電や負荷特性等を検証することはできなかったが、12/5～12/7に行った現地作業時にはサブバッテリー電圧が 12.63V と満充電状態にあることが確認されている。

システム電源側の電圧が低下した場合でも重要な測定項目の欠測が生じないようにサブバッテリーによる計測系のバックアップを確保しておくことは電源給電信頼性を確保する上で大切であることが実証された。

7.3.2 通信メカニズムによるデータ取得率への影響

平成 28 年 2 月から平成 29 年 1 月までの毎正時の上位通信の成功・失敗を整理した結果を表 7.3-2 から表 7.3-13 に示す。表中、通信の成否は成功：1（緑）／失敗：0（赤）で表示されている。上位通信の成功／失敗は、クラウド上の Web カメラ画像の有／無によって判定した。この判定法を用いたのは、Web カメラ画像のデータ送信は上位通信回線直後に行われるため、その送信処理が他の要因によって阻害されにくく、Web カメラ画像の有／無が通信の成功/失敗とほぼ等しくなるためである。表の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を、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）を示している。

表 7.3-14 及び図 7.3-7 に時刻ごとの上位通信の成功率、表 7.3-15 及び図 7.3-8 に月ごとの上位通信の成功率をまとめた。本システムが設置されている幌延町は北緯 45 度と比較的高緯度にあるため、通信衛星方向の仰角が低く、衛星アンテナ方向の山などの障害物の影響を受けやすいことが前年度の衛星通信の運用でわかった。このため、2016 年 2 月からは通信成功の高い 3G 通信を上位通信手段として本システムを運用してきた。それにもかかわらず、3G 通信でも頻繁に上位通信が失敗してい

ることをこれらの図表は示している。

時刻別にみると1時から8時までの成功率は90%前後と他の時間帯に比べて低くなっている。月別では、厳寒期かつ降雪期となる1月、2月の成功率が90%を下回っている。本システムは上位通信が失敗しても次回以降の上位通信でデータを再送する機能を2016年6月に追加したので、上位通信の失敗がそのままデータ送信の失敗につながるものではないが、データ再送信における通信量負担を減らす観点からも上位通信の成功率を高めた方がよいものと考えられる。システム運用を1年余りしかしていないので時刻別、月別に上位通信の成功率が変動する原因を明確にすることができなかった。本システムを設置する際にはそのサイトにおける時間的な上位通信成功率の変動に留意する必要があることをこれらの結果は示している。

表 7.3-2 2016 年 2 月上位通信実績

	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		
2016/2/1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	15	9	62.500%	
2016/2/2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%	
2016/2/3	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	15	9	62.500%	
2016/2/4	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	16	8	66.667%	
2016/2/5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	21	3	87.500%	
2016/2/6	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20	4	83.333%	
2016/2/7	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	16	8	66.667%		
2016/2/8	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%		
2016/2/9	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	12	6	66.667%		
2016/2/10	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	21	3	87.500%		
2016/2/11	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%		
2016/2/12	1	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%		
2016/2/13	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	19	5	79.167%		
2016/2/14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	23	1	95.833%		
2016/2/15	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	21	3	87.500%		
2016/2/16	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%		
2016/2/17	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%		
2016/2/18	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%		
2016/2/19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%		
2016/2/20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	22	2	91.667%		
2016/2/21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	21	3	87.500%		
2016/2/22	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	20	4	83.333%		
2016/2/23	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	19	5	79.167%		
2016/2/24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	10	14	41.667%		
2016/2/25	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	15	9	62.500%		
2016/2/26	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	17	7	70.833%		
2016/2/27	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	13	11	54.167%		
2016/2/28	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	18	6	75.000%		
2016/2/29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	20	4	83.333%		
2016年2月合計																								201	20	79.741%			

表 7.3-3 2016 年 3 月上位通信実績

	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
2016/3/1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/3/2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	22	2	91.667%
2016/3/3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	10	58.333%
2016/3/4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	15	9	62.500%
2016/3/5	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18	6	75.000%
2016/3/6	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	21	3	87.500%
2016/3/7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	20	4	83.333%
2016/3/8	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/3/9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	22	2	91.667%
2016/3/10	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	20	4	83.333%
2016/3/11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/3/12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/3/13	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	20	4	83.333%
2016/3/14	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%
2016/3/15	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%
2016/3/16	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%
2016/3/17	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%
2016/3/18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/3/19	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/3/20	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%
2016/3/21	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%
2016/3/22	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%
2016/3/23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%
2016/3/24	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%
2016/3/25	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%
2016/3/26	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%
2016/3/27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/3/28	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%
2016/3/29	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%
2016/3/30	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%
2016/3/31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	21	3	87.500%
	2016年3月合計																								216	3	90.726%

表 7.3-4 2016 年 4 月上位通信実績

	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
2016/4/1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/4/2	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%
2016/4/3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/4/4	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%
2016/4/5	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%
2016/4/6	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%
2016/4/7	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%
2016/4/8	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%
2016/4/9	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%
2016/4/10	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%
2016/4/11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/4/12	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/4/13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%
2016/4/14	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%
2016/4/15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/4/16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	21	3	87.500%
2016/4/17	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/4/18	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	19	5	79.167%
2016/4/19	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%
2016/4/20	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%
2016/4/21	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%
2016/4/22	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/4/23	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%
2016/4/24	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%
2016/4/25	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	19	5	79.167%
2016/4/26	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%
2016/4/27	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%
2016/4/28	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%
2016/4/29	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%
2016/4/30	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
	2016年4月合計																										
																									22	2	95.139%

表 7.3-5 2016 年 5 月上位通信実績

	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
2016/5/1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/5/2	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%
2016/5/3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/5/4	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%
2016/5/5	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%
2016/5/6	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%
2016/5/7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/5/8	1	0	0	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%
2016/5/9	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%
2016/5/10	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%
2016/5/11	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	20	4	83.333%
2016/5/12	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%
2016/5/13	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%
2016/5/14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/5/15	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/5/16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/5/17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	22	2	91.667%
2016/5/18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/5/19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/5/20	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%
2016/5/21	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%
2016/5/22	0	0	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%
2016/5/23	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%
2016/5/24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/5/25	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%
2016/5/26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/5/27	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%
2016/5/28	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%
2016/5/29	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%
2016/5/30	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%
2016/5/31	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%
	2016年5月合計																								240	4	96.102%

表 7.3-6 2016 年 6 月上位通信実績

	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	
2016/6/1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20	4	83.333%
2016/6/2	1	1	1	1	1	1	1	1	1																	15	0	100.000%
2016/6/3	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	24	0	100.000%
2016/6/4	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	24	0	100.000%
2016/6/5	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	20	4	83.333%
2016/6/6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/6/7	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%
2016/6/8	0	0	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%
2016/6/9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/6/10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	19	5	79.167%
2016/6/11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	22	2	91.667%
2016/6/12	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%
2016/6/13	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%
2016/6/14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/6/15	1	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%
2016/6/16	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	24	0	100.000%
2016/6/17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/6/18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/6/19	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%
2016/6/20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/6/21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/6/22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/6/23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/6/24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%
2016/6/25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	22	2	91.667%
2016/6/26	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	5	79.167%
2016/6/27	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%
2016/6/28	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%
2016/6/29	1	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%
2016/6/30	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
																										2016年6月合計		93.750%

表 7.3-7 2016 年 7 月上位通信実績

	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
2016/7/1	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%
2016/7/2	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%
2016/7/3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/7/4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/7/5	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%
2016/7/6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	20	4	83.333%
2016/7/7	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	19	5	79.167%
2016/7/8	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	21	3	87.500%
2016/7/9	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%
2016/7/10	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%
2016/7/11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	21	3	87.500%
2016/7/12	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%
2016/7/13	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/7/14	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%
2016/7/15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/7/16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/7/17	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%
2016/7/18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/7/19	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/7/20	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%
2016/7/21	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	19	5	79.167%
2016/7/22	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%
2016/7/23	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%
2016/7/24	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%
2016/7/25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/7/26	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/7/27	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%
2016/7/28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/7/29	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%
2016/7/30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/7/31	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
	2016年7月合計																								244	22	94.758%

表 7.3-8 2016 年 8 月上位通信実績

	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
2016/8/1	1	0	0	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%
2016/8/2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	21	3	87.500%
2016/8/3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/8/4	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	22	2	91.667%
2016/8/5	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	19	5	79.167%
2016/8/6	0	0	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%
2016/8/7	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%
2016/8/8	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%
2016/8/9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	22	2	91.667%
2016/8/10	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%
2016/8/11	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	5	79.167%
2016/8/12	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%
2016/8/13	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%
2016/8/14	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%
2016/8/15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/8/16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/8/17	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%
2016/8/18	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/8/19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/8/20	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%
2016/8/21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/8/22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/8/23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	15	9	62.500%
2016/8/24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	13	45.833%
2016/8/25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	23	1	95.833%
2016/8/26	1	0	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%
2016/8/27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	20	4	83.333%
2016/8/28	1	0	0	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%
2016/8/29	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%
2016/8/30	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/8/31	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%
	2016年8月合計																							202	13	91.129%	

表 7.3-9 2016 年 9 月上位通信実績

	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
2016/9/1	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%
2016/9/2	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%
2016/9/3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/9/4	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%
2016/9/5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/9/6	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%
2016/9/7	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%
2016/9/8	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/9/9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/9/10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	22	2	91.667%
2016/9/11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/9/12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/9/13	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%
2016/9/14	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	18	6	75.000%
2016/9/15	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/9/16	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20	4	83.333%
2016/9/17	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%
2016/9/18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/9/19	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	20	4	83.333%
2016/9/20	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%
2016/9/21	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	21	3	87.500%
2016/9/22	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%
2016/9/23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/9/24	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	19	5	79.167%
2016/9/25	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%
2016/9/26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/9/27	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%
2016/9/28	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%
2016/9/29	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/9/30	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
	2016年9月合計																								240	24	94.167%

表 7.3-10 2016 年 10 月上位通信実績

	2016年10月																								成功回数	失敗回数	成功率
	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			
2016/10/1	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%
2016/10/2	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%
2016/10/3	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%	
2016/10/4	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%	
2016/10/5	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%	
2016/10/6	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%	
2016/10/7	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%	
2016/10/8	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%	
2016/10/9	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%	
2016/10/10	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	20	4	83.333%	
2016/10/11	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%	
2016/10/12	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%	
2016/10/13	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2016/10/14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	22	2	91.667%	
2016/10/15	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%	
2016/10/16	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%	
2016/10/17	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%	
2016/10/18	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	22	2	91.667%	
2016/10/19	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%	
2016/10/20	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%	
2016/10/21	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%	
2016/10/22	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%	
2016/10/23	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%	
2016/10/24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%	
2016/10/25	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%	
2016/10/26	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%	
2016/10/27	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%	
2016/10/28	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	21	3	87.500%	
2016/10/29	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%	
2016/10/30	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%	
2016/10/31	1	0	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%	
2016年10月合計																								261	10	95.430%	

表 7.3-11 2016 年 11 月上位通信実績

	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
2016/11/1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/11/2	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	22	2	91.667%
2016/11/3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/11/4	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%
2016/11/5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%
2016/11/6	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%
2016/11/7	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20	4	83.333%
2016/11/8	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/11/9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%
2016/11/10	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	21	3	87.500%
2016/11/11	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%
2016/11/12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/11/13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/11/14	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	21	3	87.500%
2016/11/15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/11/16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/11/17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/11/18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/11/19	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%
2016/11/20	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	20	4	83.333%
2016/11/21	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	21	3	87.500%
2016/11/22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%
2016/11/23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	21	3	87.500%
2016/11/24	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20	4	83.333%
2016/11/25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	20	4	83.333%
2016/11/26	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%
2016/11/27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%
2016/11/28	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%
2016/11/29	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%
2016/11/30	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	20	4	83.333%
	2016年11月合計																								20	4	92.917%

表 7.3-12 2016 年 12 月上位通信実績

	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	
2016/12/1	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%	
2016/12/2	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	21	3	87.500%	
2016/12/3	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%	
2016/12/4	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%	
2016/12/5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	22	2	91.667%	
2016/12/6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	20	4	83.333%	
2016/12/7	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%	
2016/12/8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	23	1	95.833%	
2016/12/9	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%	
2016/12/10	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%	
2016/12/11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%	
2016/12/12	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%	
2016/12/13	1	1	0	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%	
2016/12/14	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%	
2016/12/15	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	19	5	79.167%	
2016/12/16	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%	
2016/12/17	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%	
2016/12/18	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%	
2016/12/19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	22	2	91.667%	
2016/12/20	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%	
2016/12/21	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%	
2016/12/22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	0	100.000%	
2016/12/23	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%	
2016/12/24	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	17	7	70.833%	
2016/12/25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	22	2	91.667%	
2016/12/26	1	0	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%	
2016/12/27	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	20	4	83.333%	
2016/12/28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	15	9	62.500%	
2016/12/29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2016/12/30	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%	
2016/12/31	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%	
																									2016年12月合計			92.070%

表 7.3-13 2017年1月上位通信実績

	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
2017/1/1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	23	1	95.833%
2017/1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	21	3	87.500%
2017/1/3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%	
2017/1/4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/1/5	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	20	4	83.333%	
2017/1/6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/1/7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/1/8	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%	
2017/1/9	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/1/10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	23	1	95.833%	
2017/1/11	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	20	4	83.333%	
2017/1/12	1	1	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%	
2017/1/13	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	3	87.500%	
2017/1/14	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	19	5	79.167%	
2017/1/15	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%	
2017/1/16	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%	
2017/1/17	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%	
2017/1/18	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%	
2017/1/19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	22	2	91.667%	
2017/1/20	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	22	2	91.667%	
2017/1/21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	13	11	54.167%	
2017/1/22	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%	
2017/1/23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	19	5	79.167%	
2017/1/24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	13	11	54.167%	
2017/1/25	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%	
2017/1/26	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22	2	91.667%	
2017/1/27	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%	
2017/1/28	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%	
2017/1/29	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%	
2017/1/30	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20	4	83.333%	
2017/1/31	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1月合計		89.247%

表 7.3-14 時刻別上位通信成功率

	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	341	325	332	325	333	325	331	328	326	334	349	343	344	334	335	340	341	340	343	351	346	340	332	343
失敗回数	25	41	34	41	33	41	35	38	40	30	15	21	20	30	29	25	24	25	23	15	20	26	34	23
成功率(%)	93.2	88.8	90.7	88.8	91	88.8	90.4	89.6	89.1	91.8	95.9	94.2	94.5	91.8	92	93.2	93.4	93.2	93.7	95.9	94.5	92.9	90.7	93.7

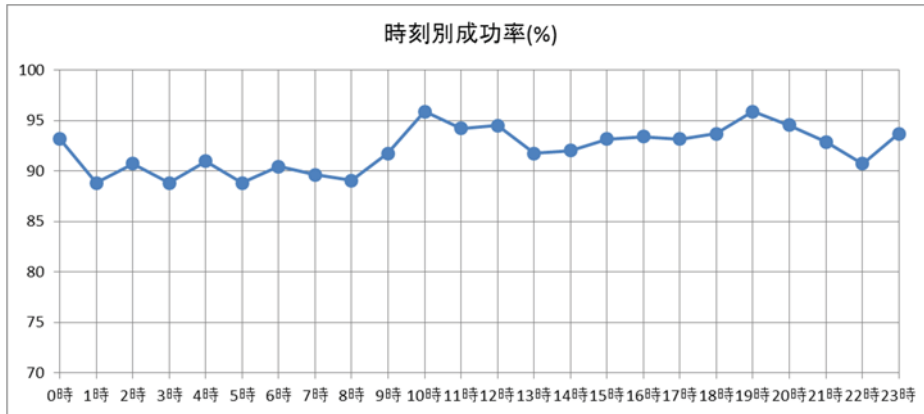


図 7.3-7 時刻別上位通信成功率グラフ

表 7.3-15 月別上位通信成功率

年月	成功率の平均値[%]
2016年2月	79.741
2016年3月	90.726
2016年4月	95.139
2016年5月	96.102
2016年6月	93.750
2016年7月	94.758
2016年8月	91.129
2016年9月	94.167
2016年10月	95.430
2016年11月	92.917
2016年12月	92.070
2017年1月	89.247

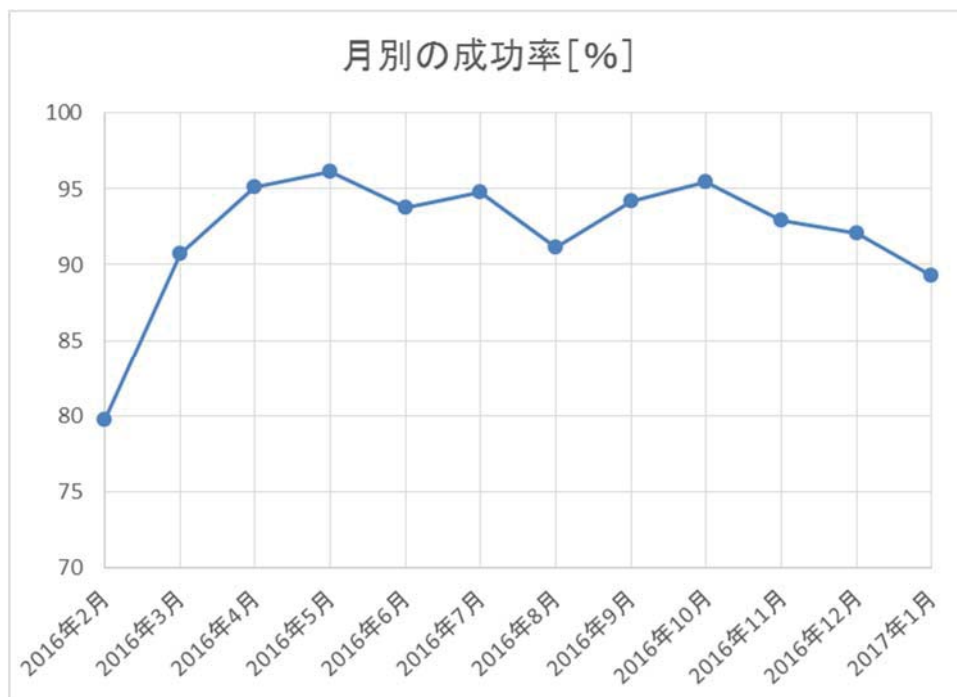


図 7.3-8 月別上位通信成功率グラフ

取得データ数の集計結果を表 7.3-16 から表 7.3-24 に示す。表中の各項目は以下のとおりである。なお、上位通信として衛星通信を用いていた 2015 年 10 月から 2016 年 1 月まではクラウドデータ数と NC 内データ数を計測していないので表中ブランク（グレーで網掛）としている。

測定回数 … 点検作業などシステム運用を停止していた時間を除いた各月の理論上の測定回数

クラウドデータ数 … NC からクラウド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

上位通信の欠損回数 … NC 内データのうち、クラウドに転送されなかったデータ数

(= NC 内データ数 - クラウドデータ数)

上位通信の取得率 … NC からクラウドへのデータ転送の成功率（下式により算出）

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

ローカル通信の欠損回数 … MGB から NC に転送されなかったデータ数

(= 測定回数 - NC 内データ数)

ローカル通信の取得率 … MGB から NC へのデータ転送の成功率（下式により算出）

$$\text{取得率}[\%] = \frac{\text{NC 内データ数}}{\text{測定回数}} \times 100$$

測定回数は理論上の測定回数である。無人計測システムでは1分毎にデータ測定を行っており、1日の測定回数は $24 \times 60 = 1440$ となる。データの計測動作ならびにデータ送信に異常がなければMGBのmicro SD、NC及びクラウドに記録されるデータ数は測定回数に等しくなる。

上位通信では通信回線の接続後にMGB毎にNCとクラウドサーバーへのデータ転送処理が同時に行われる。回線の接続状態が保持されていても、通信品質が悪い場合、MGB単位でクラウドサーバーへの転送処理が失敗することがあるのでMGB毎に上位通信の欠損回数を集計した。ここではNC内データ数に対するクラウドデータ数を上位通信におけるデータ取得率（NCからクラウドサーバーへ転送されたデータの比率）と定義し、上位通信の安定性を評価することとした。

MGBは1分毎に計測データをmicro SDに保存する計測動作を繰り返し、1時間毎にNCとローカル通信接続を行い、micro SDの保存データを転送している。したがって、ローカル通信におけるMGBからNCのデータ取得率（転送率）はmicro SD内データ数に対するNC内データ数となる。7.3.3 計測・システム制御の安定性の項に記したように、MGBの計測動作は安定しており測定回数とmicro SD内データ数はほぼ等しいことから、ここでは測定回数に対するNC内データ数をローカル通信におけるデータ取得率と定義し、ローカル通信の安定性を評価することとした。

表 7.3-16 取得データ数集計結果 (MGB_1A)

開始期間	終了期間	MGB_1A(大気圧・雨量・日射量・風向・風速・湿度・温度)						
		測定回数	クラウドデータ数	NC内データ数	上位通信		ローカル通信	
					欠損回数	取得率[%]	欠損回数	取得率[%]
2015年10月	2015/10/1 00:00	2015/10/31 23:59	44640				20827	31.4
2015年11月	2015/11/1 00:00	2015/11/30 23:59	43200				24273	43.8
2015年12月	2015/12/1 00:00	2015/12/31 23:59	44640				14853	66.7
2016年1月	2016/1/1 00:00	2016/1/31 23:59	44640				1417	96.8
2016年2月	2016/2/1 00:00	2016/2/29 23:59	38880	35689	38707	3018	173	99.6
2016年3月	2016/3/1 00:00	2016/3/31 23:59	44640	37879	39841	2162	4799	99.2
2016年4月	2016/4/1 00:00	2016/4/30 23:59	43200	0	0	0	43200	0.0
2016年5月	2016/5/1 00:00	2016/5/31 23:59	44640	0	0	0	44640	0.0
2016年6月	2016/6/1 00:00	2016/6/30 23:59	38880	38748	38748	0	132	99.7
2016年7月	2016/7/1 00:00	2016/7/31 23:59	44640	44470	44470	0	170	99.6
2016年8月	2016/8/1 00:00	2016/8/31 23:59	41760	41640	41700	60	60	99.9
2016年9月	2016/9/1 00:00	2016/9/30 23:59	43200	43073	43073	0	127	99.7
2016年10月	2016/10/1 00:00	2016/10/31 23:59	44640	44494	44494	0	146	99.7
2016年11月	2016/11/1 00:00	2016/11/30 23:59	43200	43194	43194	0	6	100.0
2016年12月	2016/12/1 00:00	2016/12/31 23:59	40320	40313	40313	0	7	100.0
2017年1月	2017/1/1 00:00	2017/1/31 23:59	44640	44577	44637	60	63	99.8

表 7.3-17 取得データ数集計結果 (MGB_2A)

開始期間	終了期間	MGB_2A(積雪量)						
		測定回数	クラウドデータ数	NC内データ数	上位通信		ローカル通信	
					欠損回数	取得率[%]	欠損回数	取得率[%]
2015年10月	2015/10/1 00:00	2015/10/31 23:59	44640				31800	28.8
2015年11月	2015/11/1 00:00	2015/11/30 23:59	43200				28613	33.8
2015年12月	2015/12/1 00:00	2015/12/31 23:59	44640				30921	30.7
2016年1月	2016/1/1 00:00	2016/1/31 23:59	44640				23086	48.3
2016年2月	2016/2/1 00:00	2016/2/29 23:59	38880	26646	26946	300	11934	69.3
2016年3月	2016/3/1 00:00	2016/3/31 23:59	44640	0	0	0	44640	0.0
2016年4月	2016/4/1 00:00	2016/4/30 23:59	43200	0	0	0	43200	0.0
2016年5月	2016/5/1 00:00	2016/5/31 23:59	44640	0	0	0	44640	0.0
2016年6月	2016/6/1 00:00	2016/6/30 23:59	38880	38763	38763	0	117	99.7
2016年7月	2016/7/1 00:00	2016/7/31 23:59	44640	44601	44601	0	39	99.9
2016年8月	2016/8/1 00:00	2016/8/31 23:59	41760	41593	41593	0	167	99.6
2016年9月	2016/9/1 00:00	2016/9/30 23:59	43200	43169	43169	0	34	99.9
2016年10月	2016/10/1 00:00	2016/10/31 23:59	44640	43171	43171	0	1468	96.7
2016年11月	2016/11/1 00:00	2016/11/30 23:59	43200	42379	42379	0	821	98.1
2016年12月	2016/12/1 00:00	2016/12/31 23:59	40320	40319	40319	0	1	100.0
2017年1月	2017/1/1 00:00	2017/1/31 23:59	44640	44580	44640	60	60	99.9

表 7.3-22 取得データ数集計結果 (MGB_4D)

	開始期間	終了期間	MGB_4D(ミニバックカー1・ミニバックカー2)						
			測定回数	クラウドデータ数	NC内データ数	上位通信		ローカル通信	
						欠損回数	取得率[%]	欠損回数	取得率[%]
2015年10月	2015/10/1 00:00	2015/10/31 23:59	44640					203	99.5
2015年11月	2015/11/1 00:00	2015/11/30 23:59	43200					10579	75.5
2015年12月	2015/12/1 00:00	2015/12/31 23:59	44640					14851	68.7
2016年1月	2016/1/1 00:00	2016/1/31 23:59	44640					1282	97.2
2016年2月	2016/2/1 00:00	2016/2/14 23:59	38880	36140	37936	1796	95.4	944	97.6
2016年3月	2016/3/1 00:00	2016/3/31 23:59	44640	40882	42480	1498	96.9	2180	95.2
2016年4月	2016/4/1 00:00	2016/4/30 23:59	43200	38275	39175	900	97.9	4025	90.7
2016年5月	2016/5/1 00:00	2016/5/31 23:59	44640	38578	39258	680	98.5	5382	87.8
2016年6月	2016/6/1 00:00	2016/6/30 23:59	38880	37342	37342	0	100.0	1538	96.0
2016年7月	2016/7/1 00:00	2016/7/31 23:59	44640	42466	42466	0	100.0	2174	95.1
2016年8月	2016/8/1 00:00	2016/8/31 23:59	41760	40829	40829	0	100.0	931	97.8
2016年9月	2016/9/1 00:00	2016/9/30 23:59	43200	43200	43200	0	100.0	0	100.0
2016年10月	2016/10/1 00:00	2016/10/31 23:59	44640	44580	44640	60	99.9	60	99.9
2016年11月	2016/11/1 00:00	2016/11/30 23:59	43200	43072	43132	60	99.9	128	99.7
2016年12月	2016/12/1 00:00	2016/12/31 23:59	40320	40071	40191	120	99.7	249	99.4
2017年1月	2017/1/1 00:00	2017/1/31 23:59	44640	44337	44577	240	99.5	303	99.3

表 7.3-23 取得データ数集計結果 (MGB_5D)

	開始期間	終了期間	MGB_5D(ミニバックカー3)						
			測定回数	クラウドデータ数	NC内データ数	上位通信		ローカル通信	
						欠損回数	取得率[%]	欠損回数	取得率[%]
2015年10月	2015/10/1 00:00	2015/10/31 23:59	44640					223	99.5
2015年11月	2015/11/1 00:00	2015/11/30 23:59	43200					10600	75.5
2015年12月	2015/12/1 00:00	2015/12/31 23:59	44640					14854	68.7
2016年1月	2016/1/1 00:00	2016/1/31 23:59	44640					1178	97.4
2016年2月	2016/2/1 00:00	2016/2/14 23:59	38880	35975	38073	2098	94.6	807	97.9
2016年3月	2016/3/1 00:00	2016/3/31 23:59	44640	41730	42889	1259	97.2	1851	96.3
2016年4月	2016/4/1 00:00	2016/4/30 23:59	43200	40040	40702	662	98.5	2498	94.2
2016年5月	2016/5/1 00:00	2016/5/31 23:59	44640	40728	41409	681	98.5	3231	92.8
2016年6月	2016/6/1 00:00	2016/6/30 23:59	38880	36751	36751	0	100.0	2129	94.5
2016年7月	2016/7/1 00:00	2016/7/31 23:59	44640	41677	41677	0	100.0	2863	93.4
2016年8月	2016/8/1 00:00	2016/8/31 23:59	41760	40537	40537	0	100.0	1223	97.1
2016年9月	2016/9/1 00:00	2016/9/30 23:59	43200	43077	43197	120	99.7	123	99.7
2016年10月	2016/10/1 00:00	2016/10/31 23:59	44640	44640	44640	0	100.0	0	100.0
2016年11月	2016/11/1 00:00	2016/11/30 23:59	43200	43138	43198	60	99.9	64	99.9
2016年12月	2016/12/1 00:00	2016/12/31 23:59	40320	40316	40316	0	100.0	4	100.0
2017年1月	2017/1/1 00:00	2017/1/31 23:59	44640	44447	44587	120	99.7	193	99.6

表 7.3-24 取得データ数集計結果 (MGB_1F)

	開始期間	終了期間	MGB_1F(太陽電池R1~R3発電電圧・発電電流)						
			測定回数	クラウドデータ数	NC内データ数	上位通信		ローカル通信	
						欠損回数	取得率[%]	欠損回数	取得率[%]
2015年10月	2015/10/1 00:00	2015/10/31 23:59	44640					14608	67.3
2015年11月	2015/11/1 00:00	2015/11/30 23:59	43200					25773	40.3
2015年12月	2015/12/1 00:00	2015/12/31 23:59	44640					30935	30.7
2016年1月	2016/1/1 00:00	2016/1/31 23:59	44640					1282	97.1
2016年2月	2016/2/1 00:00	2016/2/14 23:59	38880	33882	35508	1624	95.8	3374	91.3
2016年3月	2016/3/1 00:00	2016/3/31 23:59	44640	35907	39888	3961	91.1	4772	89.3
2016年4月	2016/4/1 00:00	2016/4/30 23:59	43200	37385	38283	898	97.9	4917	88.6
2016年5月	2016/5/1 00:00	2016/5/31 23:59	44640	38431	39109	678	98.5	5531	87.6
2016年6月	2016/6/1 00:00	2016/6/30 23:59	38880	33369	33369	0	100.0	5511	85.8
2016年7月	2016/7/1 00:00	2016/7/31 23:59	44640	37817	37817	0	100.0	6823	84.7
2016年8月	2016/8/1 00:00	2016/8/31 23:59	41760	37525	37585	60	99.9	4175	90.0
2016年9月	2016/9/1 00:00	2016/9/30 23:59	43200	43200	43200	0	100.0	0	100.0
2016年10月	2016/10/1 00:00	2016/10/31 23:59	44640	44640	44640	0	100.0	0	100.0
2016年11月	2016/11/1 00:00	2016/11/30 23:59	43200	43117	43117	0	100.0	83	99.8
2016年12月	2016/12/1 00:00	2016/12/31 23:59	40320	40047	40227	180	99.6	273	98.3
2017年1月	2017/1/1 00:00	2017/1/31 23:59	44640	44495	44615	120	99.7	145	99.7

図 7.3-9 は 2016 年 2 月以降の上位通信における MGB ごとのデータ転送の成功率を月別に示している。上位通信の取得率は上位通信の再送信機能を実装した 2016 年 6 月以降に大幅に改善し、上位通信での欠損発生が 1%未満に抑えられている。

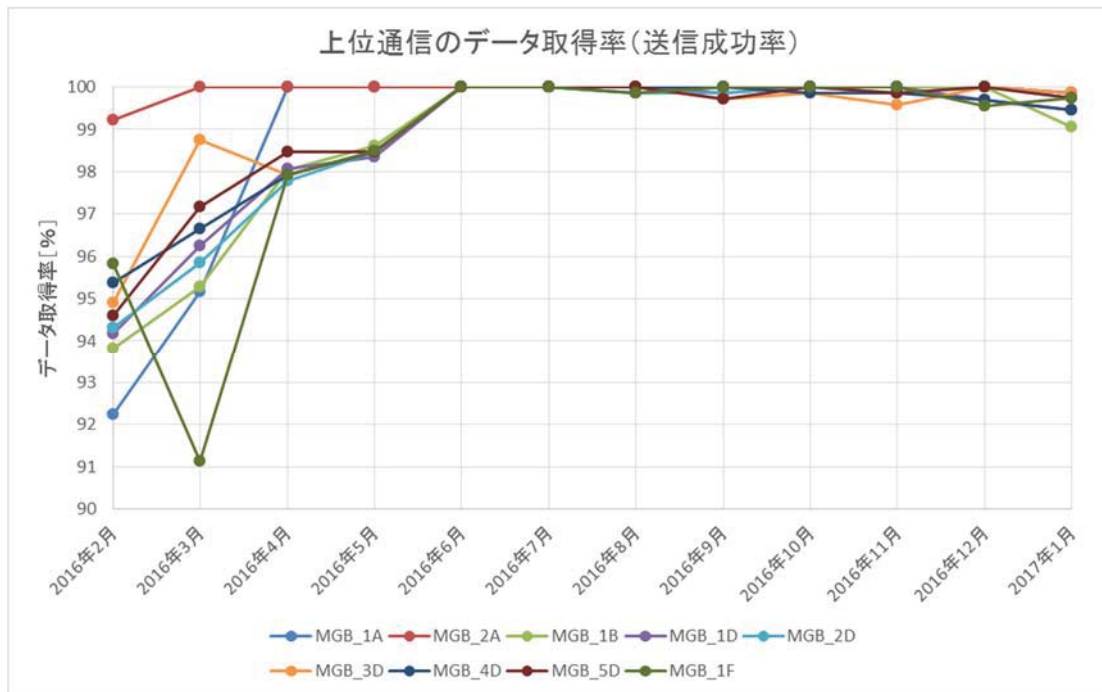


図 7. 3-9 MGB 別上位通信データ取得率

図 7. 3-10 はローカル通信の月別のデータ取得率を示している。2016 年 3 月から 5 月における MGB_1A、及び、MGB_2A のデータ取得の失敗（データ取得率 0%）は、ケース A 内の電源基板のトラブルによりデータ計測自体が行われなかったことが原因となっている。ローカル通信の再送信機能による取得率の改善を確認するため、MGB_1A、MGB_2A のデータを除いたグラフを図 7. 3-11 に示す。ローカル通信の取得率は 2016 年 9 月以降から大幅に改善されており、8 月下旬の現地改造にて実装したローカル通信の再送信機能の効果が表れたものと考えられる。

これらの結果は、今年度の実装した上位通信接続不良時のデータ再送信機能ならびに MGB と NC 間のローカル通信接続不良時のデータ再送信機能がデータ通信の信頼性向上策として非常に有効であることを示すものといえる。

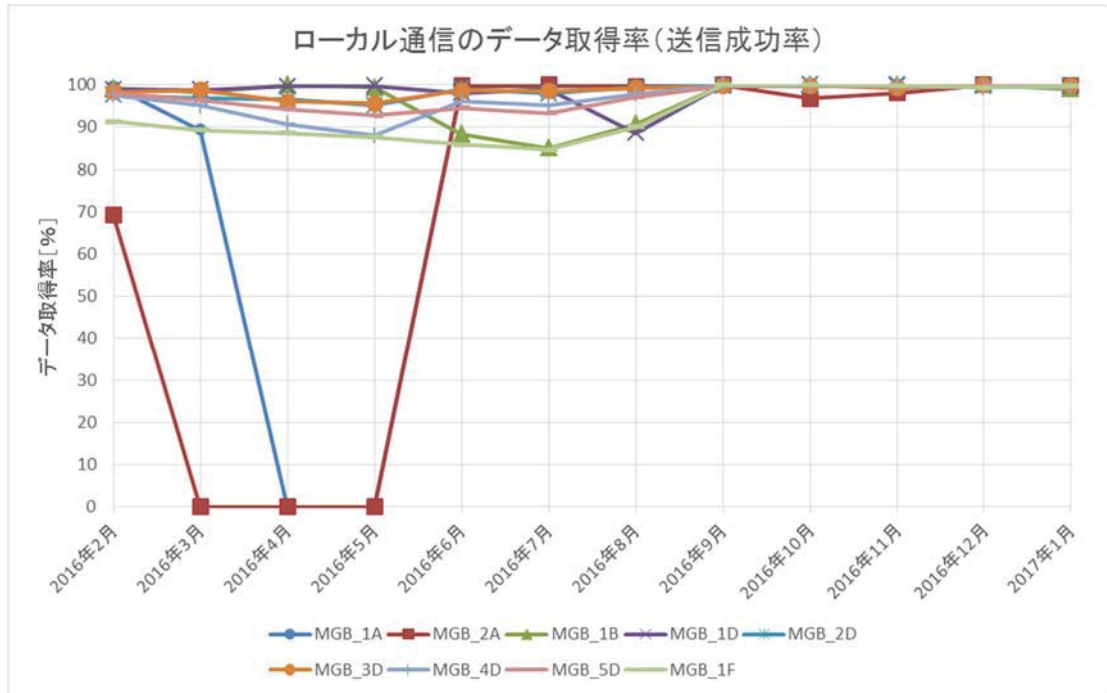


図 7.3-10 MGB 別ローカル通信データ取得率

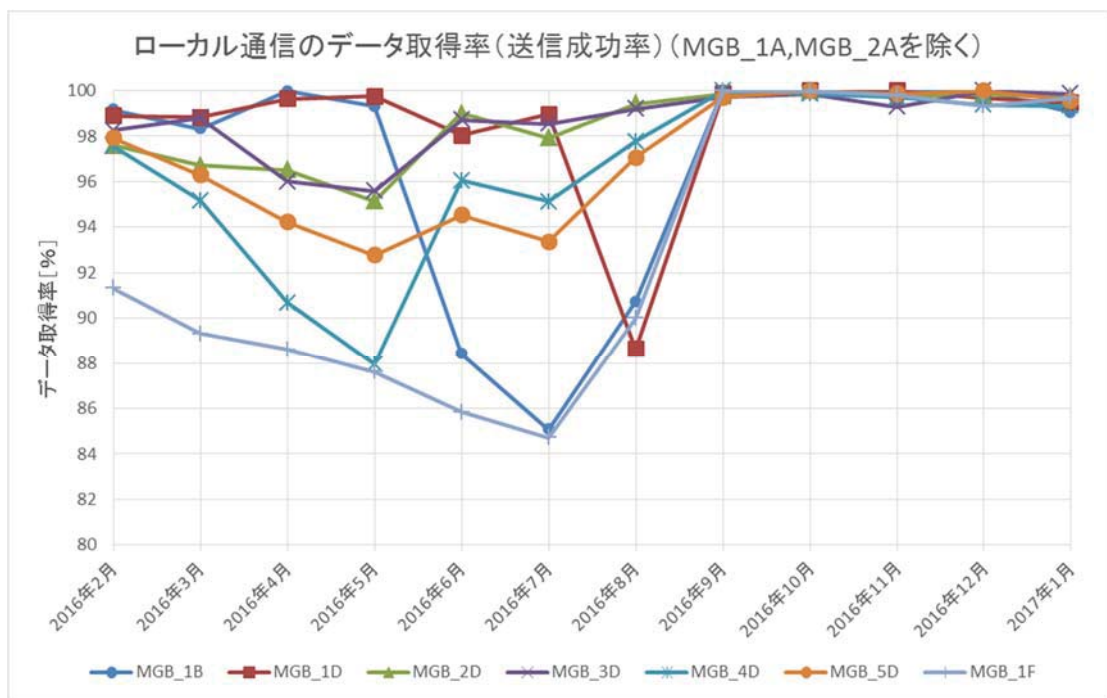


図 7.3-11 MGB 別ローカル通信データ取得率 (MGB_1A、MGB_2A を除く)

7.3.3 計測・システム制御の安定性

2016年2月以降の月別の各MGBのmicro SDへのデータ取り込み率（micro SD内データ取得率）を表7.3-25及び図7.3-12に示す。micro SD内データはMGBが計測を行った際に保存されたデータであり、各MGBの計測動作の成功率を示している。ただし、計測動作が成功してもその後にmicro SDの破損等でデータが破壊された場合はデータ回収ができなかったものとして取得率に反映されない。

MGB_1Fについては、2016年6月～8月の間にmicro SDのデータ破損が発生したため、実際の測定回数が確認できなくなっている。また、2016年3月～5月にケース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、この期間のMGB_1A及びMGB_2Aのデータ取得率は0になっている。

表 7.3-25 micro SD内データ取得率

データ取得率[%]	2016年2月	2016年3月	2016年4月	2016年5月	2016年6月	2016年7月	2016年8月	2016年9月	2016年10月	2016年11月	2016年12月	2017年1月
MGB_1A	0.000	0.000	0.000	0.000	100.000	100.000	99.998	99.799	99.702	100.000	100.000	100.000
MGB_2A	89.920	0.000	0.000	0.000	100.000	100.000	100.000	99.995	99.162	99.734	99.998	100.000
MGB_1B	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
MGB_1D	99.997	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	97.732	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
MGB_2D	99.969	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
MGB_3D	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
MGB_4D	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
MGB_5D	99.992	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
MGB_1F	99.997	100.000	100.000	100.000	0.000	0.000	25.862	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
全MGB	85.542	77.778	77.778	77.778	88.889	88.889	91.510	99.977	99.874	99.970	100.000	100.000
MGA_1A2A1F以外	89.893	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	99.822	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

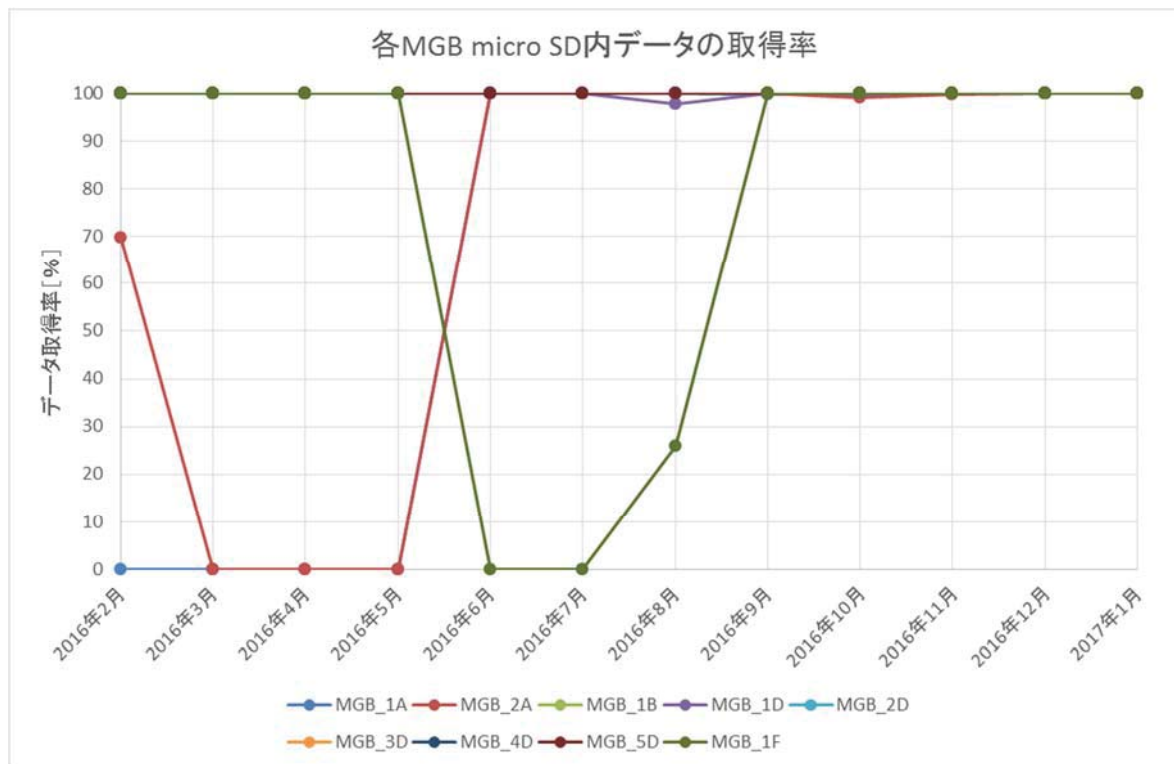


図 7.3-12 micro SD内データ取得率グラフ

低電圧時の micro SD へのアクセス禁止制御（MGB への供給電圧が 2.7V 未満となった場合に micro SD への書き込みを禁止する対策）を 2016 年 8 月下旬の現地改造時に実装した。9 月以降にも MGB1A、MGB2A の micro SD にデータ欠損が発生したため供給電圧を確認したが、MGB への供給電圧は仕様範囲内となっていた。12 月上旬に micro SD、及び、SD カードスロット基板の交換を行ったところ欠損が発生しなくなったため、回収した micro SD、及び、SD カードスロットを分解して調べた結果、SD カードスロットの接点周辺に塵埃の付着が多数確認された（図 7.3-13 から図 7.3-18）。micro SD 側には特に異常が認められなかったため、SD カードスロット側の接触不良により micro SD へのアクセス障害が発生したものと考えらる。

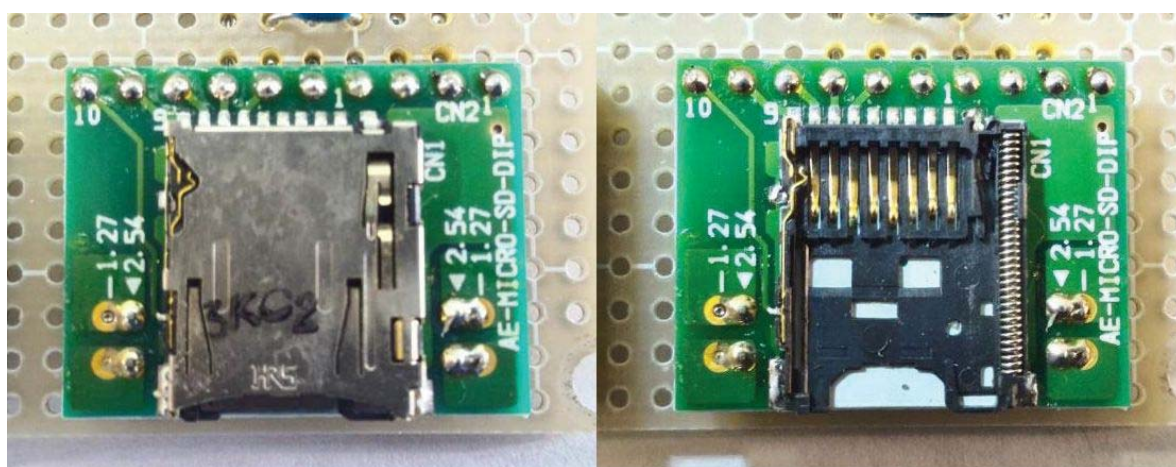


図 7.3-13 MGB1A カードスロット分解前後

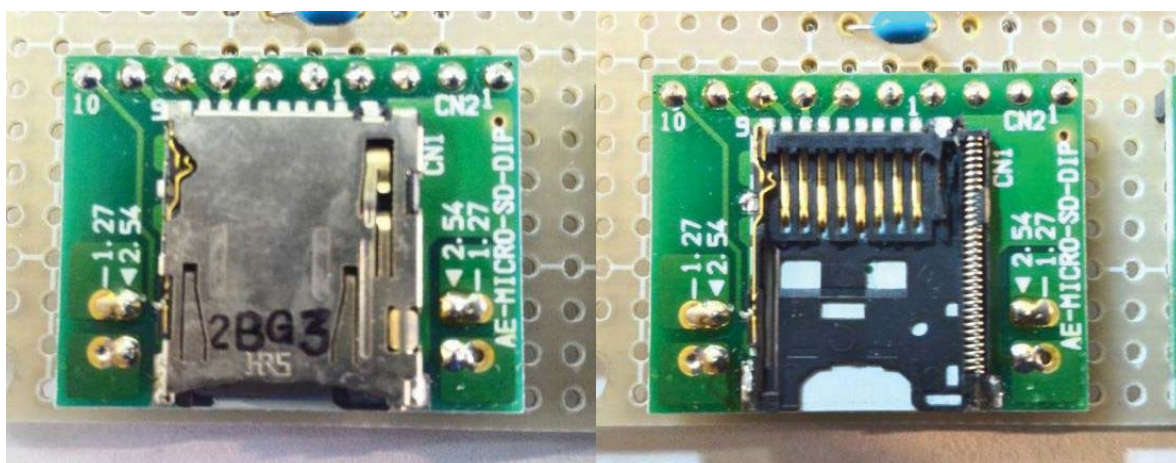


図 7.3-14 MGB2A カードスロット分解前後

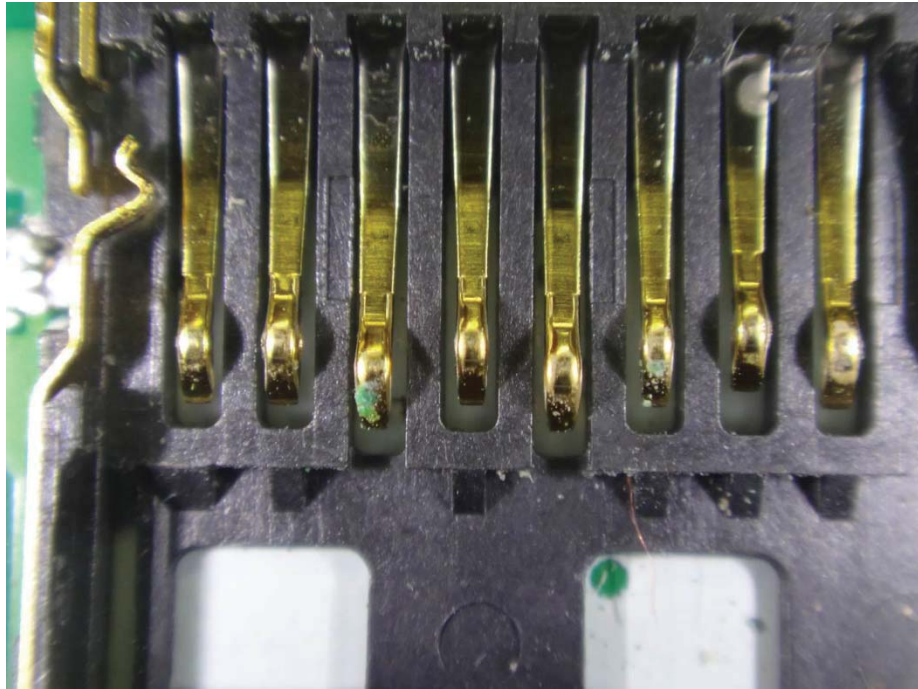


図 7.3-15 MGB1A カードスロット接点部拡大図

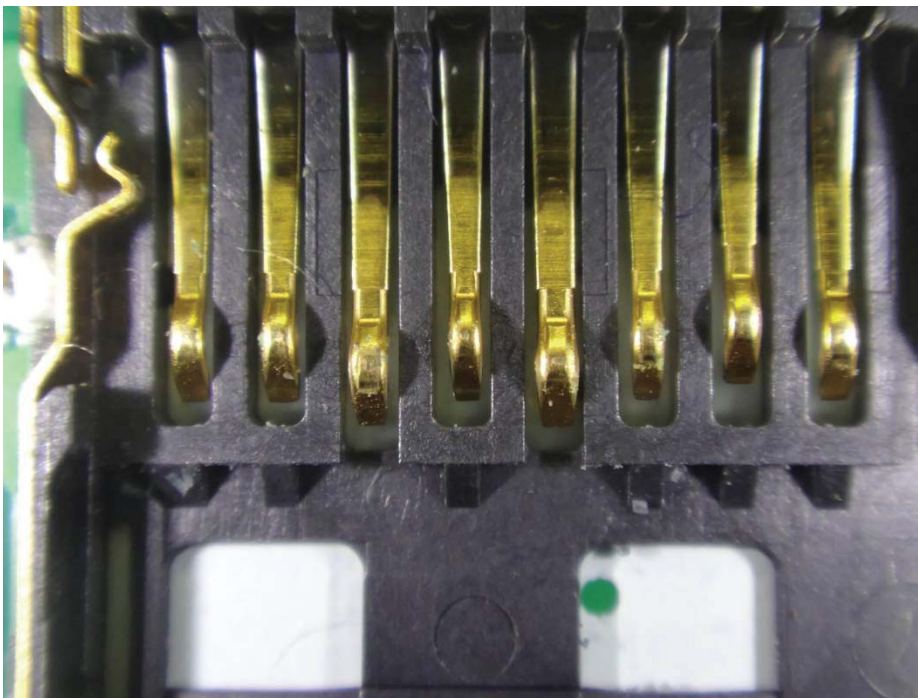


図 7.3-16 MGB2A カードスロット接点部拡大図



図 7.3-17 micro SD 接点部 (MGB1A)



図 7.3-18 micro SD 接点部 (MGB2A)

micro SD 内データ取得率を低下させていたその他の要因を調査した結果を以下にまとめる。

① MGB_1A、及び、MGB_2A (2016年2月～5月)

ケース A 内の電源基板トラブルにより MGB 用電池が消耗しデータ保存が行えなくなった。

② MGB_1F (2016年6月～8月)

ケース F 内に結露が発生し（図 7.3-19）、この影響で micro SD のデータが破損した。



図 7.3-19 ケース F 内結露

③ MGB_1D（2016 年 8 月）

MGB_1D の時刻データが異常値となったことでデータと実際の時刻の関連が不明となり、この間の保存データが無効となった。

MGB に関する信頼性向上対策として平成 27 年度調査の最終状態（2016 年 2 月）以降におこなった改造は低電圧時の micro SD へのアクセス禁止制御の追加（2016 年 6 月）とその他ハードウェアの改修（2016 年 8 月）及び MGB_1A、MGB_2A、MGB_1F の micro SD カードとスロット交換（2016 年 12 月）である（表 7.3-1）。これら対策の効果を見るため micro SD 内データ取得率を 2016 年 2 月～2016 年 8 月、2016 年 9 月～2016 年 11 月及び 2016 年 12 月～2017 年 1 月の期間に分けて整理した（表 7.3-26）。この表には平成 27 年度の最終調査から平成 28 年度の最終調査までの micro SD 内データ取得率（2016 年 2 月から 2017 年 1 月）の平均値も参考として載せてある。

MGB_1A、MGB_2A、MGB_1F を除くと 2016 年 2 月から 2017 年 1 月までの全期間を通した micro SD 内データ取得率は 99.968%であった。micro SD アクセス禁止制御の追加とその他ハードウェアの改修以降の 2016 年 9 月からは、MGB_1A と MGB_2A を除いた MGB で micro SD 内データ取得率は 100%となっている。micro SD カードとスロット交換後の 2016 年 12 月からは MGB_1A と MGB_2A も micro SD 内データ取得率がほぼ 100%となった。なお、8 月以降に MGB への供給電圧が低下する状況が生じなかつ

たため、低電圧制御の改造効果はこの表に反映されていない。

今年度行った改造以前から MGB の micro SD 内へのデータ取り込みは安定して行われているといえる。しかしながら、micro SD への供給電圧低下や結露・塵埃等への環境耐用性が低い可能性があることから、これら環境影響から micro SD を保護するようなハードウェア構成あるいは筐体設計が必要であると考えられる。

表 7.3-26 micro SD 内データ取得率（期間別）

データ取得率[%]	2016年2月 ～2016年8月	2016年9月 ～2016年11月	2016年12月 ～2017年1月	2016年2月 ～2017年1月
MGB_1A	42.857	99.834	100.000	66.625
MGB_2A	52.846	99.630	99.999	72.401
MGB_1B	100.000	100.000	100.000	100.000
MGB_1D	99.676	100.000	100.000	99.811
MGB_2D	99.996	100.000	100.000	99.997
MGB_3D	100.000	100.000	100.000	100.000
MGB_4D	100.000	100.000	100.000	100.000
MGB_5D	99.999	100.000	100.000	99.999
MGB_1F	60.837	100.000	100.000	77.155
全MGB	84.023	99.940	100.000	90.665
MGA_1A,2A,1F以外	99.945	100.000	100.000	99.968

7.3.4 現地環境計測改良の効果確認

ばらつき除去アルゴリズムの機能試験の結果を表 7.3-27 に示す。この試験では、前回値データを 450mm として各条件のサンプリング結果が得られた場合の処理結果を示している。表中の黄色の網掛データは、各条件における 0mm、最大値、最小値を除去した結果で、平均値処理の対象となるデータを示している。

表 7.3-27 積雪計ばらつき除去アルゴリズム機能試験結果

No	測定条件	サンプリングバッファ									計測データ	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8		9
1	全て0mmの場合	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1点データがある場合	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500	450(前回値)
3	2点データがある場合	0	0	0	0	0	0	0	0	400	500	450(前回値)
4	3点データがある場合	0	0	0	0	0	0	0	300	400	500	450(前回値)
5	4点データがある場合	0	0	0	0	0	0	200	300	400	500	350
6	5点データがある場合	0	0	0	0	0	100	200	300	400	500	300

※前回値データは、450mm固定。

機能試験で得られた計測データは以下に示すアルゴリズム（7.2.4 現地環境計測の改良の項参照）に基づき出力されたものとなっている。

- ・各条件における 0mm、最大値、最小値を除去した結果、2 個以上のデータがある場合は平均値を出力
 - ・それ以外の場合は前回値（450mm）を出力
 - ・すべて 0mm だった場合は 0mm を出力

積雪計のばらつき除去アルゴリズムの効果を確認するため、アルゴリズム変更前後の積雪量の実

際の取得データを図 7.3-20 及び図 7.3-21 に示す。アルゴリズムの変更により、図 7.3-20 に示すようなスパイク上にゼロの計測値を示す挙動が無くなっている。この図で、0mm～190mm の間にデータが存在しないのは積雪計の不感帯が 190mm となっていることによる（7.2.4 現地環境計測の改良 7.2.4 (1) 積雪量計測の項参照）。しかしながら、積雪量の計測値は 200mm から 400mm の間でばらつきを示しており、アルゴリズムの変更により計測値のばらつきを抑制できたとはいえない。

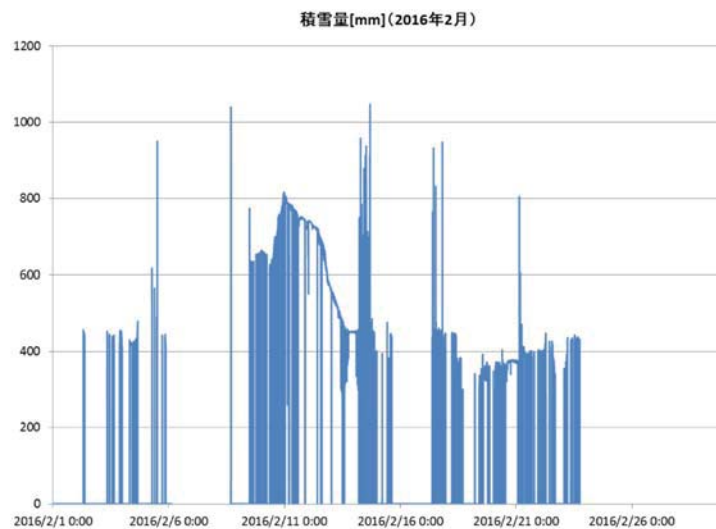


図 7.3-20 アルゴリズム変更前の積雪量の挙動（2016年2月）

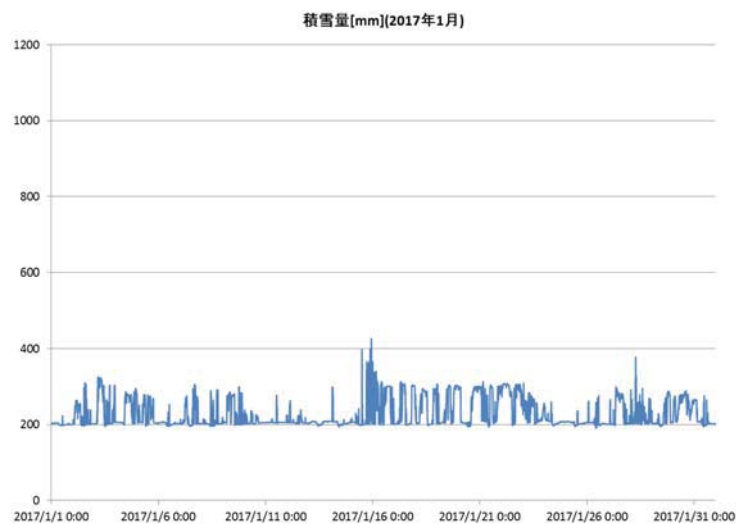


図 7.3-21 アルゴリズム変更後の積雪量の挙動（2017年2月）

図 7.3-22 は 2016/12/2～2016/12/3 の積雪計のばらつき除去アルゴリズムに基づいて得られた積雪データ出力結果（判定処理前）と、さらに積雪計の特性からの異常挙動判定処理を実施した後の出

力結果（判定処理後）である。積雪計の特性からの異常挙動判定処理を実施した後の出力結果はデータのばらつきが抑えられている。

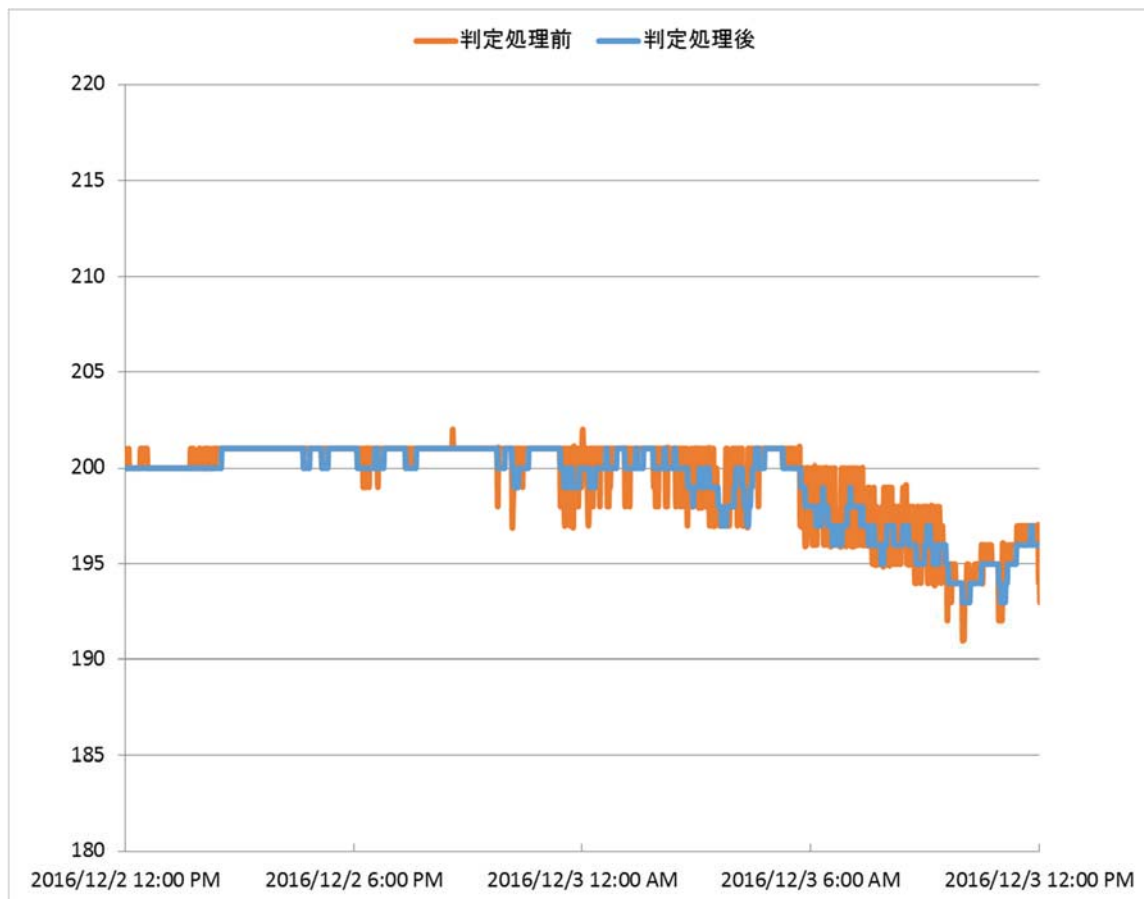


図 7.3-22 積雪量の異常挙動判定処理結果

実装したアルゴリズムでばらつきが除去できないことから、本調査で使用した積雪計のばらつきには以下のパターンがあると考えられた。

(a) 異常高値

実際の積雪量よりも明らかに高い値を積雪計が出力することがある。

図 7.3-23 は現地作業を行った 2016/12/7 の積雪量を示している。9:06 から 9:08 にかけてスパイク状に 633mm から 346mm の高値を示しているが、図 7.3-24 の現地画像からは積雪が 300mm にも達していないことがわかる。

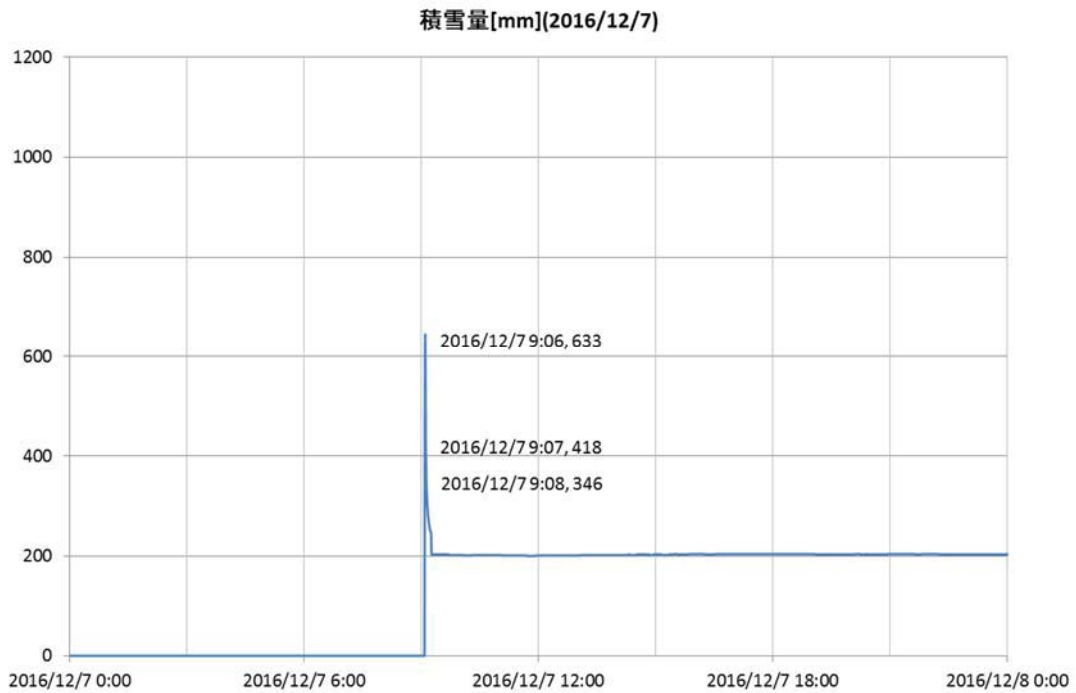


図 7.3-23 アルゴリズム変更後の異常高値発生状況



図 7.3-24 現地画像 (2016/12/7 8:57 及び 9:57)

アルゴリズム変更に伴い、変更前の図 7.3-25 に示すような積雪量が連続してスパイク状に高い値を出力する状況はなくなったが、散発的に異常高値を示す状況を改善することはできなかった。

測定器の特性から発生するばらつきの除去アルゴリズムでは、毎分実施される 100usec (マイクロ秒) 毎の 10 回の測定結果のうち最大値・最小値を除去することで散発的に発生する異常高値を除去することを期待していたが、アルゴリズムの変更後も除去されていないことから 10 回の測定の中で複数回の異常高値を計測しているものと考えられる。すなわち、異常高値を測定する状況は数百 usec 単位で継続しており、この状況に対応できる計測手順・アルゴリズムが新たに必要と

なることを示唆している。

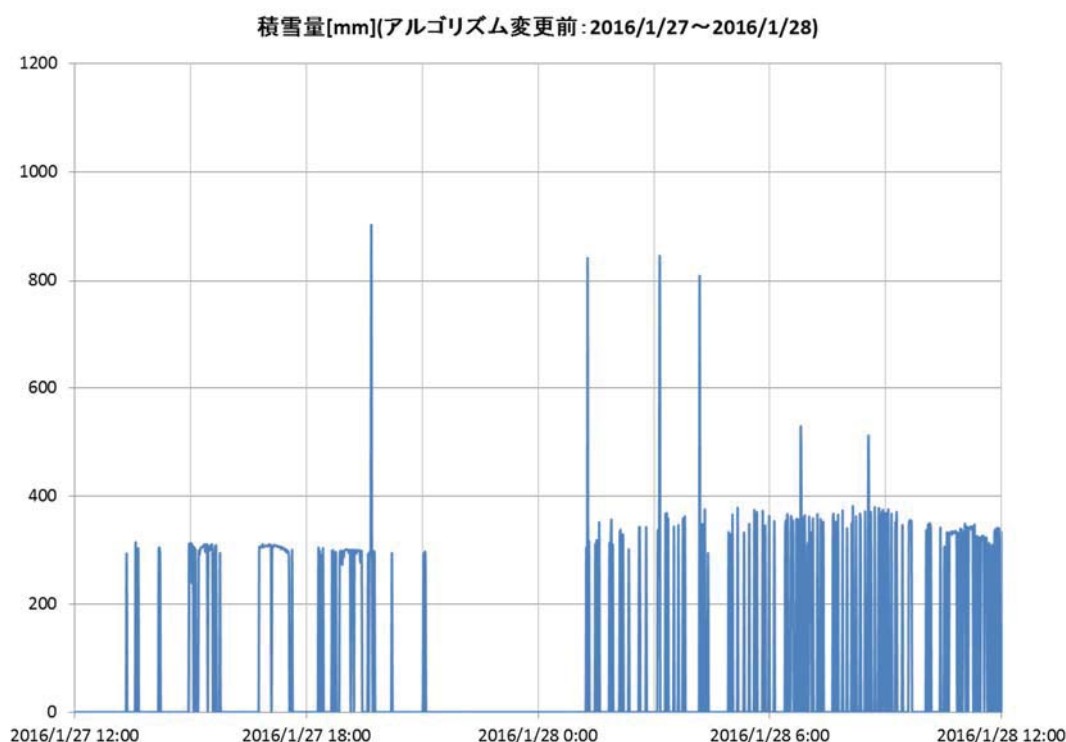


図 7.3-25 アルゴリズム変更前の異常高値発生状況

(b) 風の影響による積雪状況の変化

積雪計の設置位置は既設測定小屋とケース B 設置用の架台との間に挟まれており、強風が発生した際に測定点周辺の積雪面が削られたり吹き溜まりが生じたりすることがある。

図 7.3-26 に風速と積雪量の計測結果を示す。2017 年の 1 月 9 日の積雪量（赤い線で表示）は比較的長い時間 300mm 付近を計測値として表示していたが、風速が大きくなり始めた 19:00 以降、積雪量が 300mm 付近を示すことがなくなった。図 7.3-27 は 2017/1/9 7:56 のウェブカメラ画像である。積雪量計測用標尺を見ると、この時の積雪量は 284mm となっている。図 7.3-28 は 2017/1/10 9:56 のウェブカメラ画像で、この時の積雪量計測用標尺では 203mm の積雪量であることが読み取れる。図 7.3-27 と図 7.3-28 の画像を比較すると周辺の積雪量に大きな差はないが、2017/1/10 は積雪計の下（積雪量の測定点）が前日より削られていることがわかる。

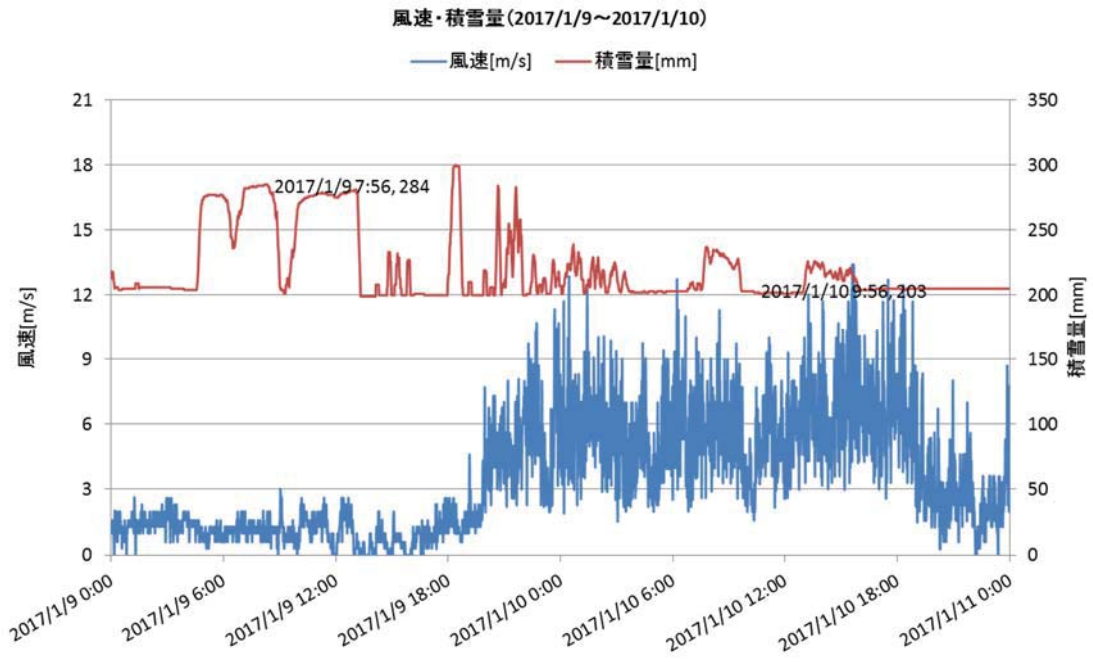


図 7.3-26 風速・積雪量測定結果 (2017/1/9~2017/1/10)



図 7.3-27 積雪量測定点画像 (2017/1/9 07:56)



図 7.3-28 積雪量測定点画像 (2017/1/10 9:56)

(c) 積雪計の特性によるばらつき状況

図 7.3-29 は現地作業を行っていた 2017 年 2 月 7 日の 8:00 から 10:30 の積雪量の測定結果を示している。8:00 の時点では 380mm 程度の積雪量を計測していたが、その後 9:20 頃までに計測値が 220mm まで低下し、さらに 9:30 まで急激に 390mm まで戻るような挙動を示している。当時、現地に降雪や強風もなかったにもかかわらず積雪計がこのような挙動変化を示した原因は確認できなかった。

図 7.3-30 は、2/7 の 8:25 と 10:02 に積雪計の測定点付近を撮影した画像である。両者の積雪状態にほとんど差がない。一方、図 7.3-29 では積雪量がそれぞれ 299mm と 393mm と計測されており、両者に 100mm 程度の差が生じている。

このような事象が生じた原因として、採用した積雪計の特性（積雪計が雪面の先端を正確に測定できていない）に由来する可能性が考えられる。

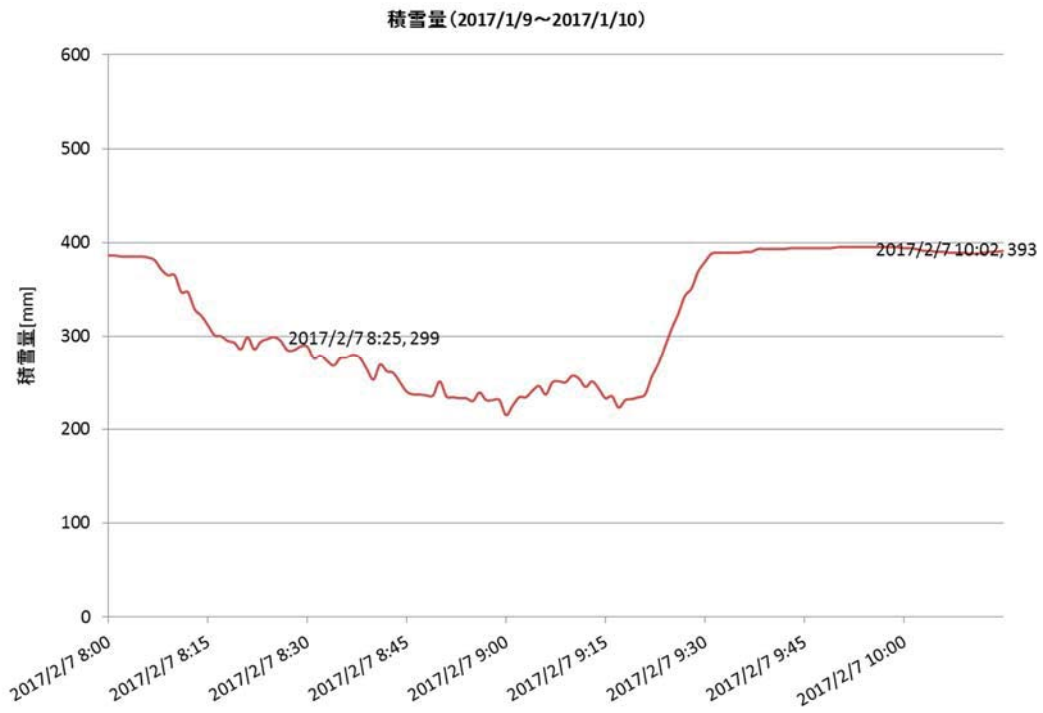


图 7.3-29 积雪量 (2017/2/7 8:00-10:15)



图 7.3-30 积雪状况 (2017/2/7)

また、図 7.3-31 を見ると、積雪量の測定結果が約 200mm、約 300mm、約 400mm に集中し、その間をステップ的に変化しているように見える。積雪面の断面(図 7.3-32)を確認したところ、210mm、320mm に凍結した氷状の層があった。超音波式積雪計では密度の低い層を透過してしまうという特性から、比較的密度の高い氷状の層を測定していると考えられる。

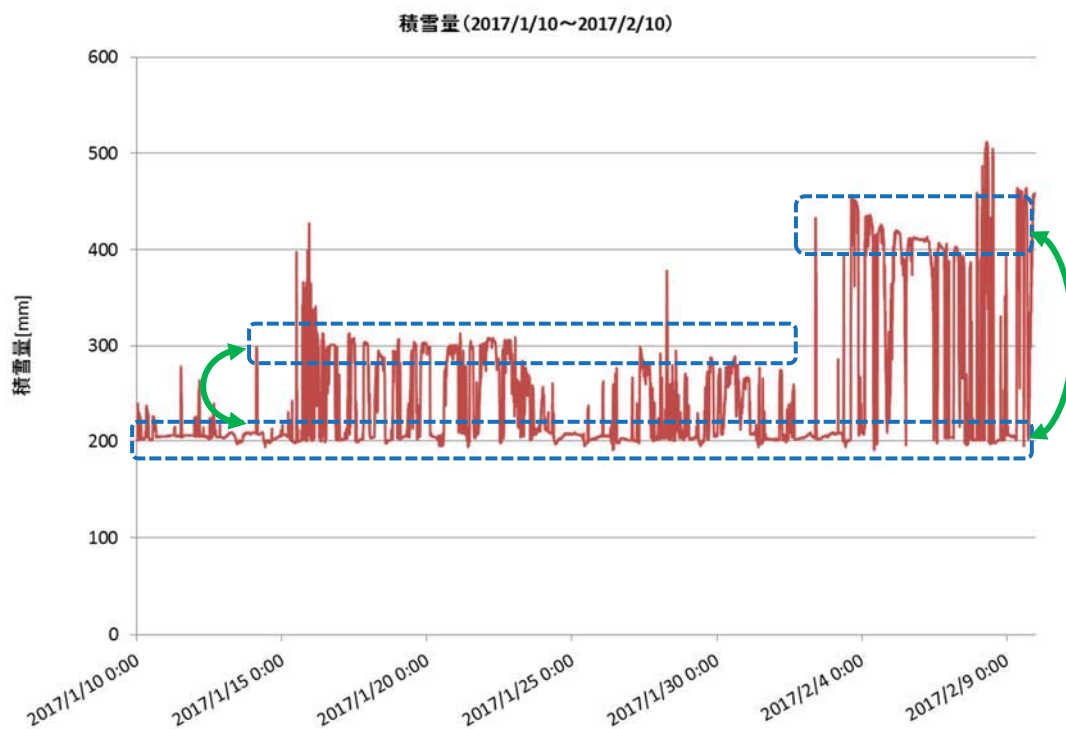


図 7.3-31 積雪量 (2017/1/10-2017/2/10)

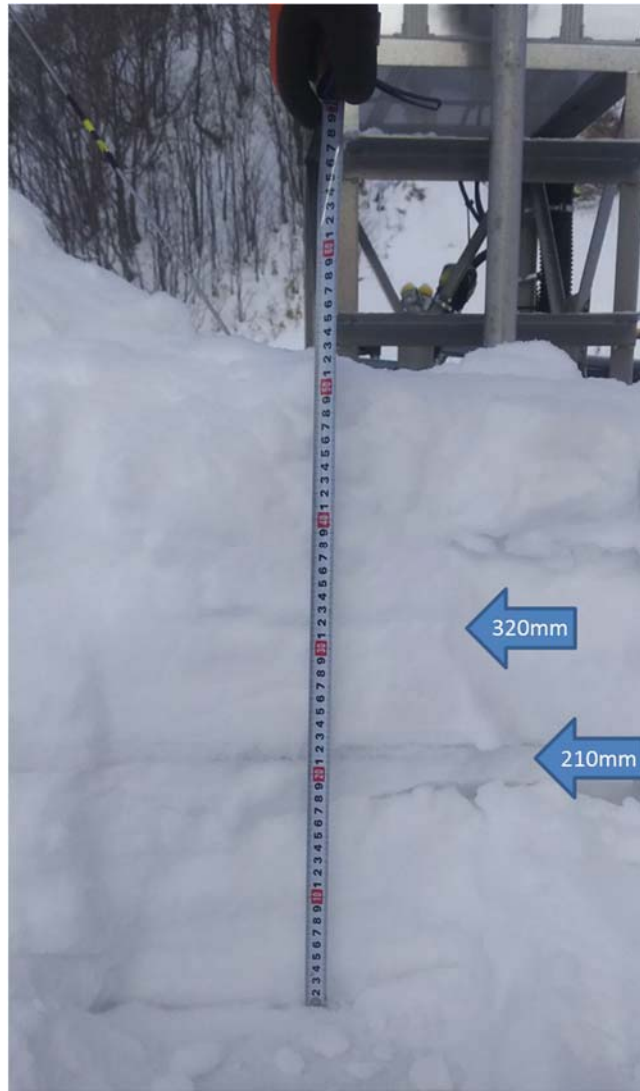


図 7.3-32 積雪断面図 (2017/2/7)

(d) カメラ画像の高解像度化

低解像度設定時と高解像度設定時の画像を図 7.3-33、図 7.3-34 に示す。高解像度設定にすることで現地状況をより詳細に確認することができるが、通信負荷が大きくなるため送信途中でのエラー発生 (図 7.3-35) や通信費用の増大が課題となる。遠隔操作などによって解像度設定を切り替える仕組みが必要である。



図 7.3-33 ウェブカメラ解像度比較①（左：低解像度、右：高解像度）



図 7.3-34 ウェブカメラ解像度比較②（左：低解像度、右：高解像度）



図 7.3-35 送信エラー例

7.3.5 クラウドサーバーのデータ取得率に基づくシステム信頼性

昨年度の半年間の本システム運用の結果、本システムの信頼性を向上させるために明らかとなった課題対応をはかるため、システムの改造・改修を6/1～6/3と8/22～24ならびに12/5～7に実施した。これらシステム改造・改修とシステム点検の都度、現地のNC及び各MGBのmicro SD内のデータを回収し、上位通信ならびにローカル通信におけるそれぞれのデータ取得率を評価した（7.3.2 通信メカニズムによるデータ取得率への影響の項参照）。

ここでは計測データのうち、現地からクラウドサーバーに送られる正味のデータ数の割合（データ回収による欠測データの補完をしない場合のデータ取得率）がシステム改造によりどのように向上したかについて整理する。

データ取得率を以下のとおり定義し、MGB毎の月別のクラウドサーバーのデータ取得率を整理して表7.3-28、図7.3-36に示す。

データ取得率 … クラウドサーバーへの正味のデータ転送の成功率（下式により算出）

$$\text{データ取得率}[\%] = \frac{\text{クラウドデータ数}}{\text{測定回数}} \times 100$$

クラウドデータ数 … 計測地点からクラウドに転送されたデータ数

測定回数 … 点検作業などシステム運用を停止していた時間を除いた各月の理論上の測定回数

表 7.3-28 無人計測システムのデータ取得率

システムの欠測率(現地でのデータ回収を含まない)

データ取得率[%]	2016年2月	2016年3月	2016年4月	2016年5月	2016年6月	2016年7月	2016年8月	2016年9月	2016年10月	2016年11月	2016年12月	2017年1月
MGB 1A	91.793	84.406	0.000	0.000	99.660	99.619	99.713	99.706	99.673	99.986	99.983	99.724
MGB 2A	68.534	0.000	0.000	0.000	99.699	99.913	99.600	99.921	96.709	98.100	99.998	99.731
MGB 1B	92.991	93.607	98.023	97.930	88.408	85.065	90.723	100.000	99.996	99.954	99.995	98.109
MGB 1D	93.061	95.067	97.704	98.109	98.032	98.952	88.825	99.722	99.998	99.991	99.385	98.918
MGB 2D	91.903	92.558	94.294	93.631	99.012	97.926	99.282	99.722	100.000	99.574	99.841	99.460
MGB 3D	93.158	97.556	93.914	94.061	98.711	98.542	99.210	99.444	99.731	98.880	99.998	99.724
MGB 4D	92.953	91.806	88.600	86.420	96.044	95.130	97.771	100.000	99.731	99.565	99.085	98.784
MGB 5D	92.528	93.481	92.685	91.237	94.524	93.362	97.071	99.438	100.000	99.713	99.990	99.299
MGB 1F	87.145	80.437	86.539	86.091	85.826	84.716	89.859	100.000	100.000	99.808	98.876	99.406
全MGB	89.341	80.991	72.418	71.942	95.546	94.803	95.761	99.773	99.538	99.508	99.683	99.240
MGA 1A2A以外	91.963	92.073	93.108	92.497	94.365	93.385	94.649	99.761	99.922	99.641	99.586	99.100

※データ回収を含めた場合の取得率は、micro SDのデータ取得率に等しい。

平成28年度の第1回目の改造・改修ではケースAの電源基板交換によるMGB単体機能の信頼性改善を行うとともに、上位通信再送信機能を組み込んだ。これに伴い、MGB_1A及びMGB_2Aからのデータ取得率が回復したが、その他MGBからのデータ取得率は85%から100%となっており、大きな改善は見られなかった。

第2回目の改造・改修ではローカル通信の再送信機能の組み込み、圧力計測系電源の分離等の改造を行った。これに伴い、MGB_2Aを除くその他のMGBからのデータ取得率は100%近くまで改善した。

第3回目の改造・改修ではMGB_1A及びMGB_2Aのmicro SDとスロット基板を交換したのみで、各

MGB からのデータ取得率は 100%付近で安定している。

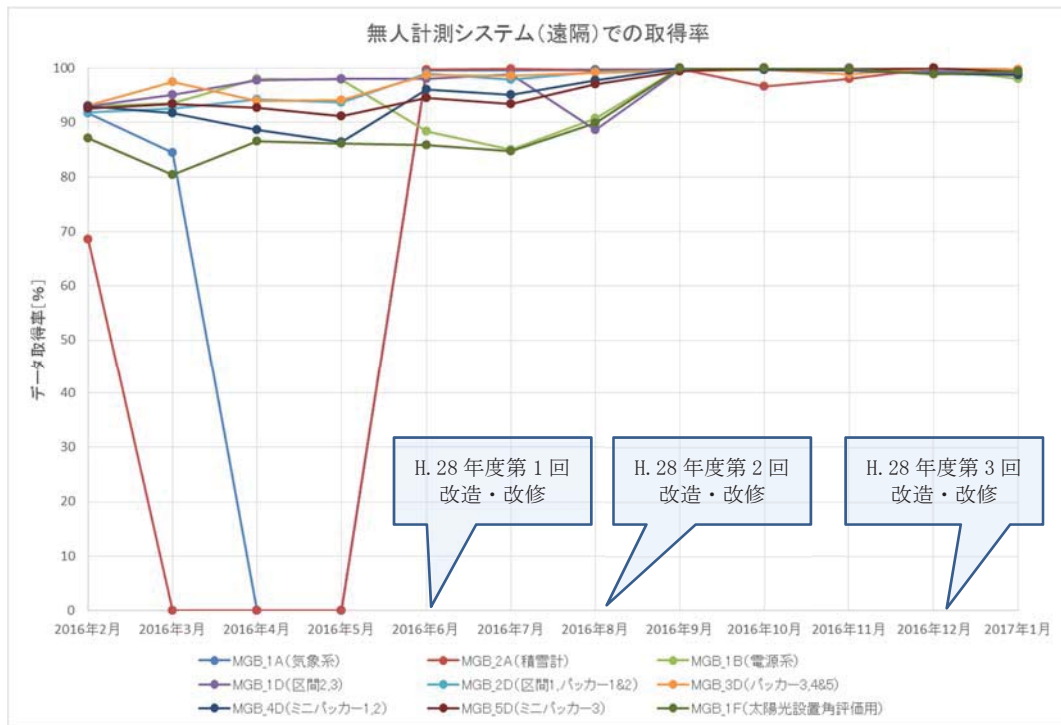


図 7.3-36 無人計測システムのデータ取得率の変化

システムの改造・改修を3回に分けて行ったが、これら改造・改修がデータ取得率にどのように変化を与えたかを見るため、各改造・改修作業後のデータ取得率をMGB毎に整理した(表7.3-29)。この表から、第2回目のシステム改造・回収がMGB全体のデータ取得率を押し上げたことがわかる

表 7.3-29 システムの改造・改修後のデータ取得率

改造・改修	第1回実施後	第2回実施後	第3回実施後	参考 1	参考 2
データ取得率[%]	ケースA電源基板改修 上位通信 再送信機能追加 (6月~8月)	ローカル通信 再送信機能追加 ※H28年度改造完了 (9月~11月)	micro SD交換 ※2016年12月メンテナ ンス後 (12月~2017年1月)	H28年度調査通算 (2016年2月~ 2017年11月)	H27年度 最終状態 (2月~5月)
MGB_1A	99.663	99.787	99.847	80.723	42.815
MGB_2A	99.815	98.226	99.858	71.231	15.725
MGB_1B	87.989	99.983	99.004	95.460	95.707
MGB_1D	95.224	99.905	99.140	97.352	96.069
MGB_2D	98.763	99.768	99.641	97.270	96.455
MGB_3D	98.817	99.356	99.854	97.760	94.730
MGB_4D	96.294	99.765	98.927	95.465	89.855
MGB_5D	94.959	99.720	99.627	96.121	95.222
MGB_1F	86.774	99.937	99.155	91.588	84.970
全MGB	95.366	99.605	99.450	91.441	79.061

第1回目では全MGBのデータ取得率が95.366%であったのに対し、第2回目以降はこれが99.605%、99.450%となっている。昨年度、本システム設置後に改造・調整を行っても79.061%のデータ取得率にとどまり、計測データの20%以上がクラウドサーバーで確認できない状況であった。今回のシステム改造・改修を通して99%以上のデータ取得率となり、システム運用上問題ないレベルの信頼性を確保できたものと評価できる。

7.4 システムの最適化

7.4.1 システムの設計

昨年度以降の信頼性調査の結果から、省電力化をはかった無人計測システムの設計全般に関してシステムの安定動作を保証するために留意すべき事項を以下にまとめる。

(1) 電源

風力発電機、太陽光発電機はシステムの消費電力（予測）を賄えるよう設計する。発電量予測に用いた気象データの測定地点と設置地点の気象条件の差から予想発生電力に誤差が発生することを理解し、誤差を考慮した発電システムを設計することに留意する。また、本システムは計測データを欠損なく取得することを優先させなくてはならない。このため、設計では計測系とシステム系の電源を分け、計測系の電源を優先的に保つように留意する。

HCD-3 孔におけるシステム構成では気象観測のMGBとパッカー圧力等の計測系のMGBが物理的に離れていたことから気象観測のデータロガーに計測系の電源が使用できなかった。システム機器配置計画段階で、データロガー及び計測用各種センサーへの給電が計測系電源から行われる配置になるように留意する。

(2) 通信

上位通信は、設置地点における通信品質や通信速度の事前調査を十分行い、通信方式を選択する。

上位通信ならびにローカル通信は、通信失敗時に再送信機能を持たせるように設計する。

(3) 計測及びシステム制御

MGBは毎分計測を行い、計測データをMGB毎のメモリ媒体（micro SDなど）に保存する。保存したデータはNCの間欠運転周期ごとに、NCへ一括転送する。

NCは間欠運転を基本とし、上位通信によってクラウドへデータを転送する。間欠運転周期、運転モード（連続運転）、通信方式などは、状況に応じて遠隔制御によって変更できるようにする。

システムの稼働時間を短くし低消費電力で運用するため、NCとMGBの計測・通信のタイミングを設定し、割り当てられた時間内でそれぞれの処理が実行されるように設計する。

(4) 筐体

図 7.4-1 に示すような設置しやすくコンパクトな筐体設計を行う。

各構造物や機器については、供用中の高温/低温、積雪、強風などの過酷環境を想定して機器を選定し設置する。

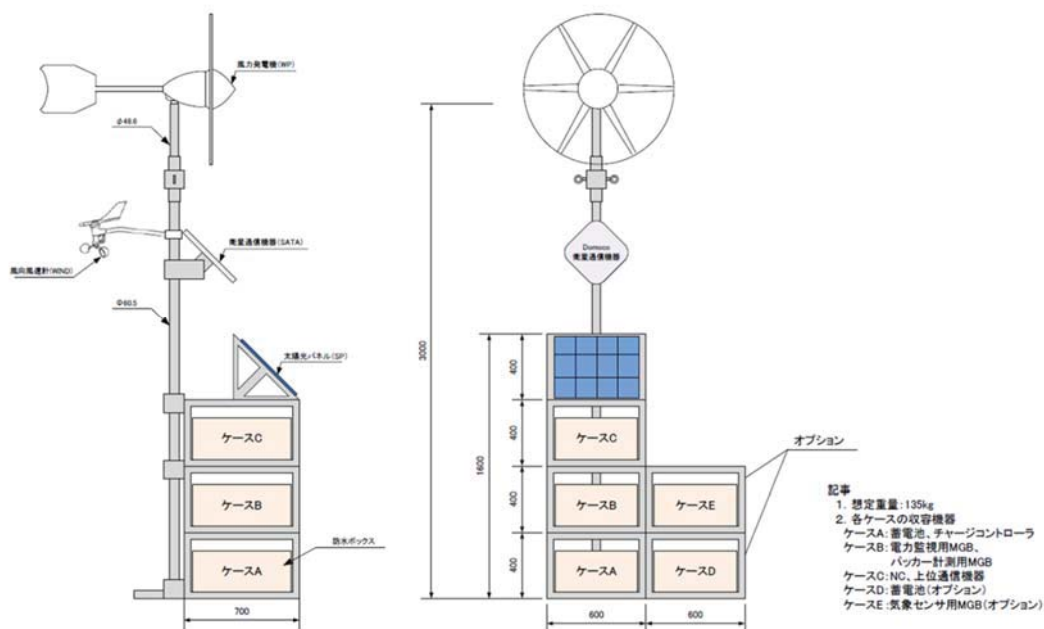


図 7.4-1 最適化筐体設計例

(5) 複数の調査孔のモニタリング

概要調査地点では複数の測定ポイント（ボーリング孔）でモニタリングを同時に実施する場合が考えられる。本システムは、測定ポイント局を追加することで複数の測定ポイントの無人計測を実現できる。複数の測定ポイントに対応するシステムの構成図を図 7.4-2 に示す。図中、本局は本調査において HCD-3 孔に設置したシステムと同様のシステムであり、本局に割り当てられた各測定ポイントのデータを計測する。

追加測定ポイント局は上位通信設備を持たないことを除いて本局のシステムと同一構成で、発電システム、バッテリー、NC、MGB および各計測用センサー類から構成される。追加測定ポイント局では割り当てられた測定ポイントのデータを測定し、MGB から NC ヘデータを集約するとともに、測定ポイント局の NC から本局の NC へローカル通信で計測データを送信する。本局の NC は自局の計測データとともに他の測定ポイント局のデータも併せて集約し、上位通信にてクラウドサーバーヘデータを送信する。

各測定ポイント局から本局へのデータ送信は直接行うほかに、別の測定ポイント局や中継局を経由して送信を行うこともできるように設計する。また通信の中継局が停止した場合は、他の通

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たせるように設計する。

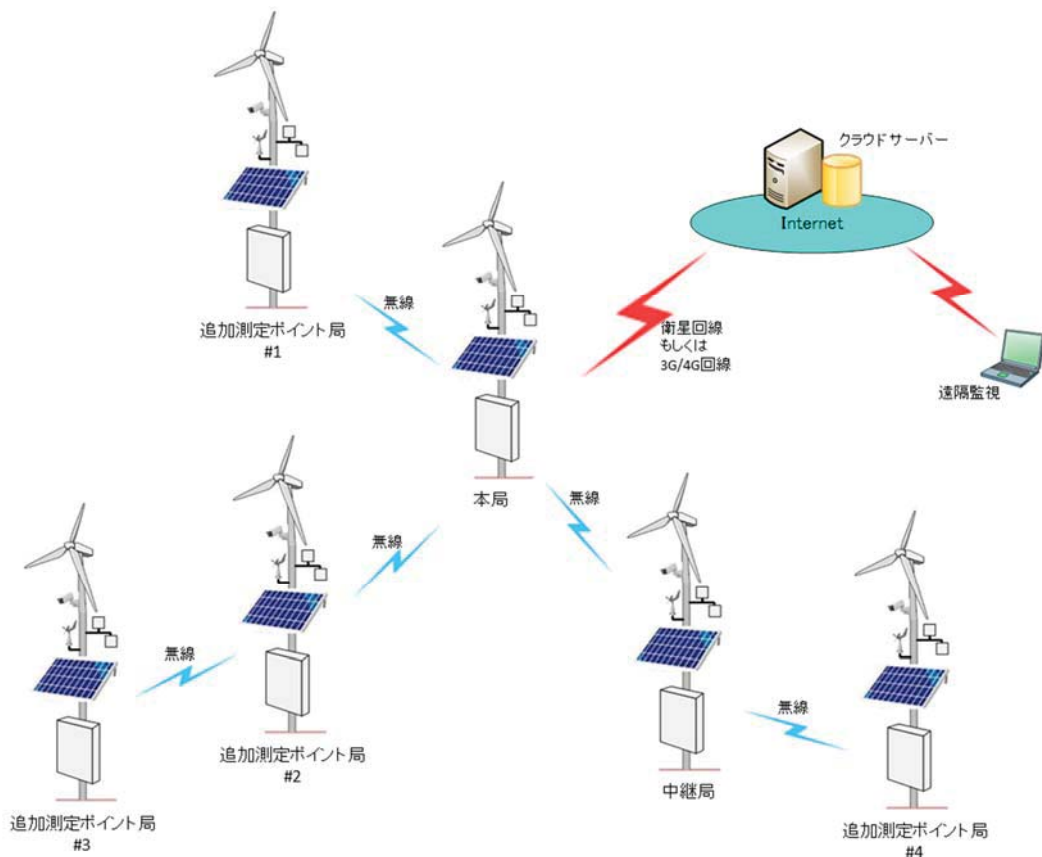


図 7.4-2 複数測定ポイント対応システム構成図


本局の設計では、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、それに伴う電源系の強化が必要となる。

追加測定ポイント局の設計では、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と、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ことに留意する。また、電源系の設計でも、自局の計測に関する処理だけではなく中継処理についても考慮して設計する。

本システムで使用したローカル通信モジュール (表 7.4-1) 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、障害物で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。

表 7.4-1 ローカル通信モジュール

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	

7.4.2 システムの設置・運用

無人計測システムを設置・運用する場合の留意事項を以下にまとめる。

(1) 太陽光パネル設置角度

幌延町の北に隣接する豊富町の日射量予測値（NEDO 推奨値）を表 7.4-2 に示す。これによると傾斜角が 30° の時に年間平均で最も大きな発電電力を得られると判断できる。

表 7.4-2 豊富町日射量予測（NEDO HP より抜粋）

方角: 南	[単位: kWh/m ² ・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

太陽光パネルの設置傾斜角評価用に、45°、35°、25°の傾斜角で設置した太陽光パネルの発電電力の実測値を表 7.4-3 および図 7.4-3 に示す。これによると年間平均で、傾斜角 45° が最も大きな発電電力が得られる結果となっている。

実測値では夏季には傾斜角 25° の発電電力が大きくなり、冬季には傾斜角 45° が大きくなっている。これは太陽高度と関係するが、図 7.4-4 に見られるように太陽光パネル上に積もった雪は傾斜角が急であるほうが落雪しやすい傾向も関係するように思われる。

冬季に降雪が見られない地域では日射量予測に基づく推奨角度に太陽光パネルを設置し、冬季に降雪が見られる地域でかつ冬季の太陽光発電電力を期待する場合は推奨角度よりも急傾斜となるように太陽光パネルを設置することも検討することが望ましい。

表 7.4-3 太陽光パネル傾斜角別発電電力 (HCD-3 孔)

月	発電電力[W]		
	45°	35°	25°
2016年2月	0.0379	0.0266	0.0179
2016年3月	0.3727	0.3249	0.2945
2016年4月	0.2586	0.2530	0.2510
2016年5月	0.3919	0.4041	0.4206
2016年6月	0.2691	0.2849	0.3054
2016年7月	0.3182	0.3337	0.3546
2016年8月	0.3369	0.3405	0.3478
2016年9月	0.3312	0.3151	0.3022
2016年10月	0.1313	0.1167	0.1050
2016年11月	0.0282	0.0207	0.0176
2016年12月	0.0448	0.0332	0.0263
2017年1月	0.0831	0.0568	0.0517
平均	0.2170	0.2092	0.2079

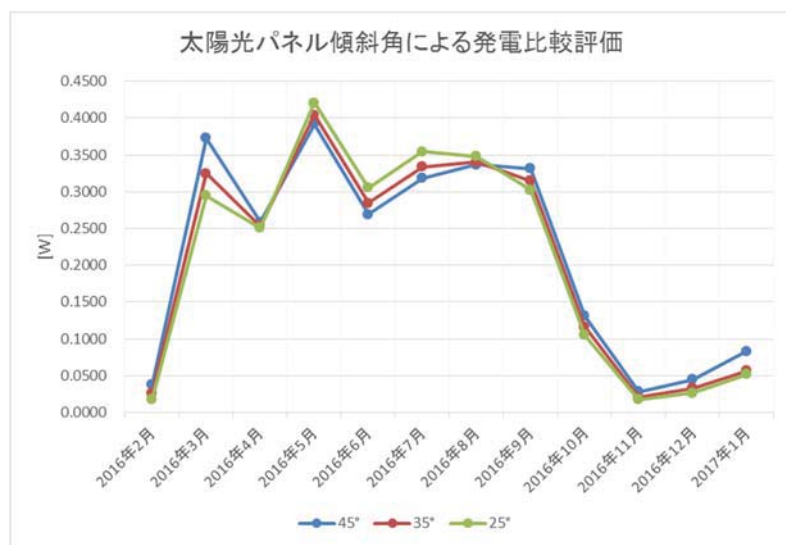


図 7.4-3 太陽光パネル傾斜角別発電電力グラフ



図 7.4-4 設置角評価用太陽光パネルへの積雪

(2) 衛星通信感度

平成 27 年度の信頼性調査において、衛星通信が安定せず上位通信の失敗の頻発や通信時間の長期化による電力消費の増加といった不具合が発生した。平成 28 年度の調査においては 3G 通信を用いることで安定した上位通信を行うことができた。ここでは 3G 通信が使用できない地域でも運用可能なシステムを構築するため、本調査で発生した衛星通信不良の原因解析結果を衛星通信使用時の留意事項としてまとめる。

本システムで使用した衛星通信機器はアンテナを本体に内蔵していたが、機器本体を観測小屋内に設置したため、屋外用アンテナを用いた。設計時点では内蔵アンテナと屋外用アンテナの受信感度に大きな差はないと想定していたが、通信不安定の原因調査を現地で行った結果、内蔵アンテナ使用時のほうが高感度で運用できることがわかった。屋外用アンテナ使用時の感度不良原因を調査した結果、以下が確認できた。

- ・ アンテナケーブルによる電波減衰

屋外用アンテナと衛星通信機器本体の接続時に衛星通信機器本体での受信レベルがアンテナ端に比べて 5dB 減衰していることが分かった。屋外用アンテナと通信機器本体を接続するアンテナケーブルによる受信電波の減衰が想定以上に大きかった。

- ・ アンテナの指向性の違い

図 7.4-5 に示すように、屋外用アンテナは内蔵アンテナに比べて指向性が狭くなっている。通信衛星とアンテナ間に障害物がない場合、指向性を狭くすることで他の妨害波が受信信号に混ざることがないため受信信号の品質は向上する。

本システムを設置したサイトの南方向には山があり、この影響で通信衛星からの電波をダイレクトに受信することが困難になっていた可能性がある。したがって、直接波以外の回折波や反射波に対する受信感度の高い内蔵アンテナのほうが有利であったと考えられる。

<指向性の差異 イメージ図>

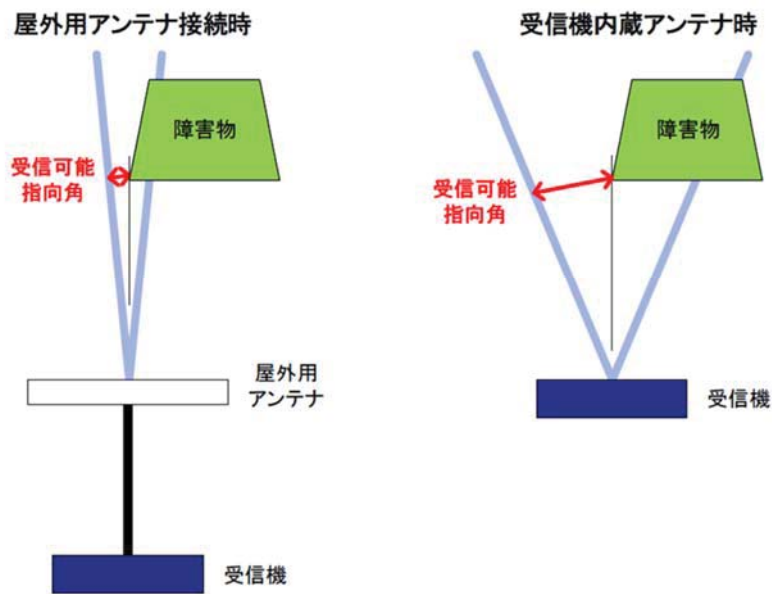


図 7.4-5 アンテナ指向性の差異

このように、衛星通信を利用する場合、アンテナケーブルによる信号レベルの減衰に留意するとともに通信衛星からの電波強度をアンテナ設置地点で事前に確認しておくことが通信品質を確保するために大切である。通信衛星方向に障害物がある場合は、指向性の広い内蔵アンテナを使用することも検討する。

(3) 現地環境計測（積雪、カメラ制御）

積雪計については、7.3.4 現地環境計測改良の効果確認に記したとおり、計測アルゴリズムの改良を行ったものの安定的に計測結果を得ることができなかった。一方でウェブカメラを高解像度に設定変更して現地環境のモニタリング性能を向上させた結果、カメラ画像による積雪量の把握が可能であることが確認できた。

ウェブカメラを高解像度で運用する場合、データサイズの増加により通信負荷が増加し、1時間に1度しか撮影（計測）できないなどの課題が生じる。このため、ウェブカメラの解像度設定変更や任意タイミングでの撮影などの制御を遠隔監視装置側から実行できるような機能が必要となる。

8. モニタリング技術の体系化

8.1 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 8.1-1 及び図 8.1-1 のとおりである。

表 8.1-1 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φ76.1mm、内径φ70.9mm、標準長 3m/本 パッカー：収縮時外径φ110mm、内径φ70.9mm スタンドパイプ：外径φ23mm、内径φ21mm、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

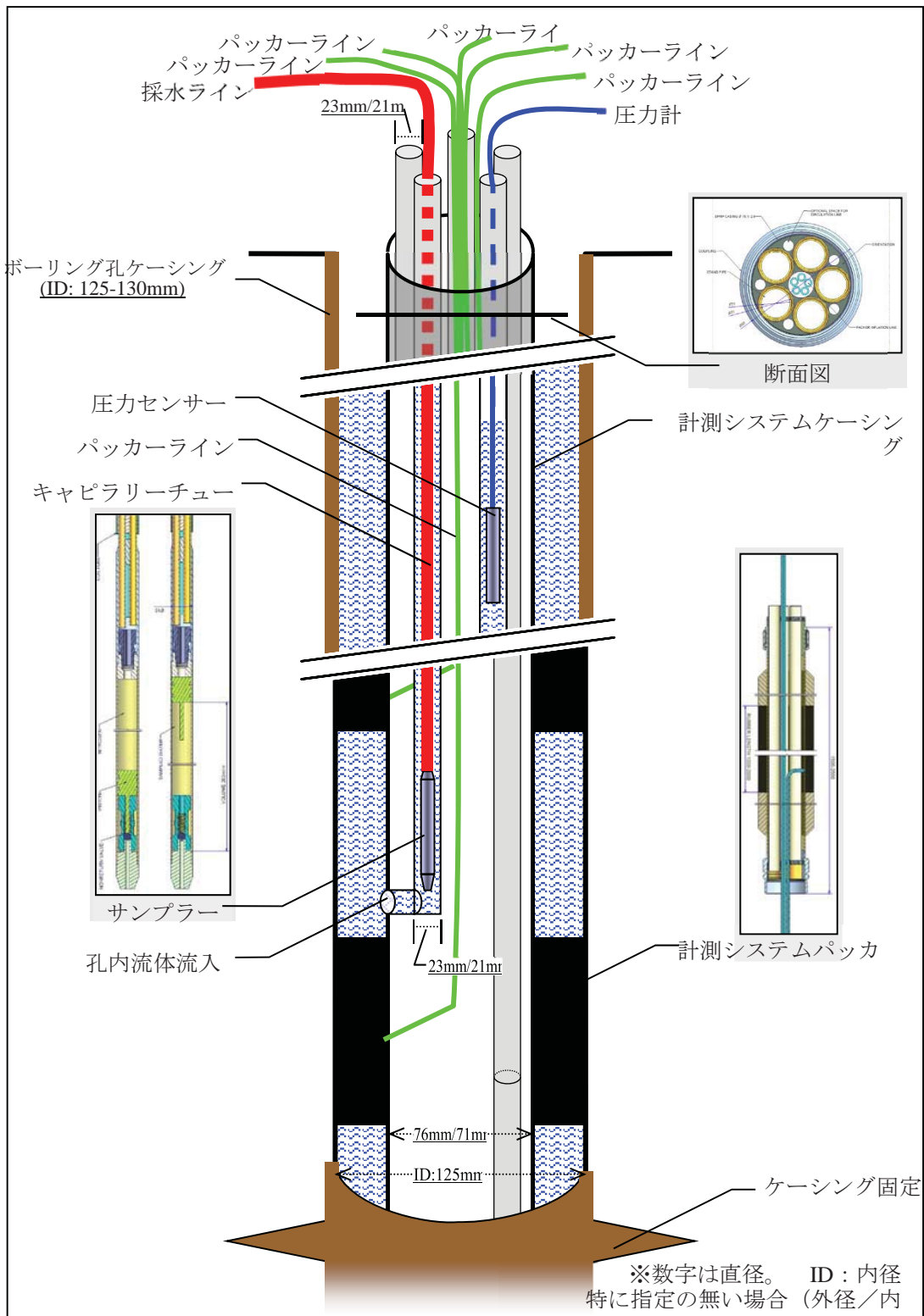


図 8.1-1 モニタリングシステム概要図

8.2 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) スタンドパイプ内に設置機器

- 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一例を図 8.2-1、図 8.2-2 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 ϕ 16.5mm、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。

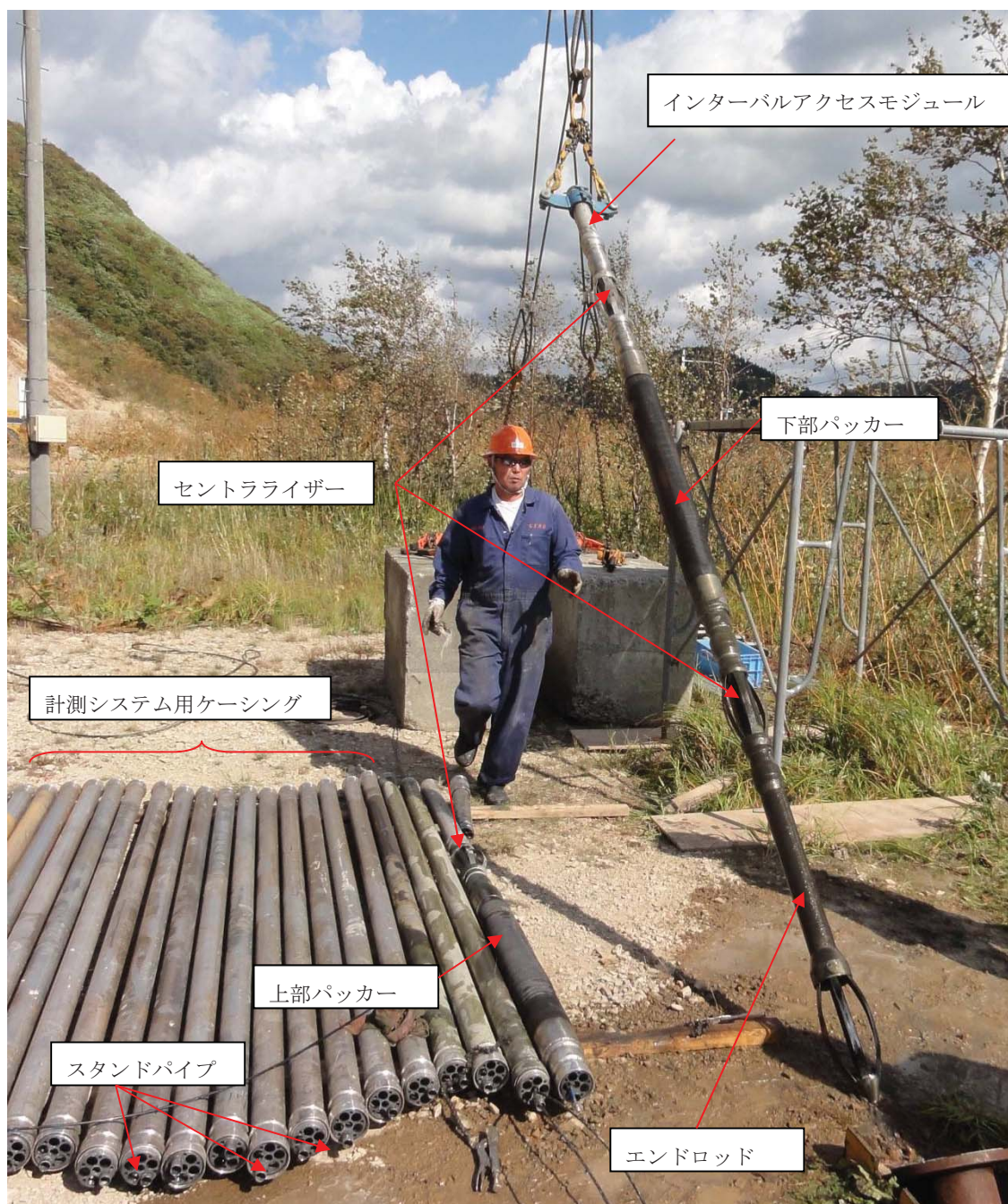


図 8.2-1 計測システム構成例 (HMD-1 孔据付時)

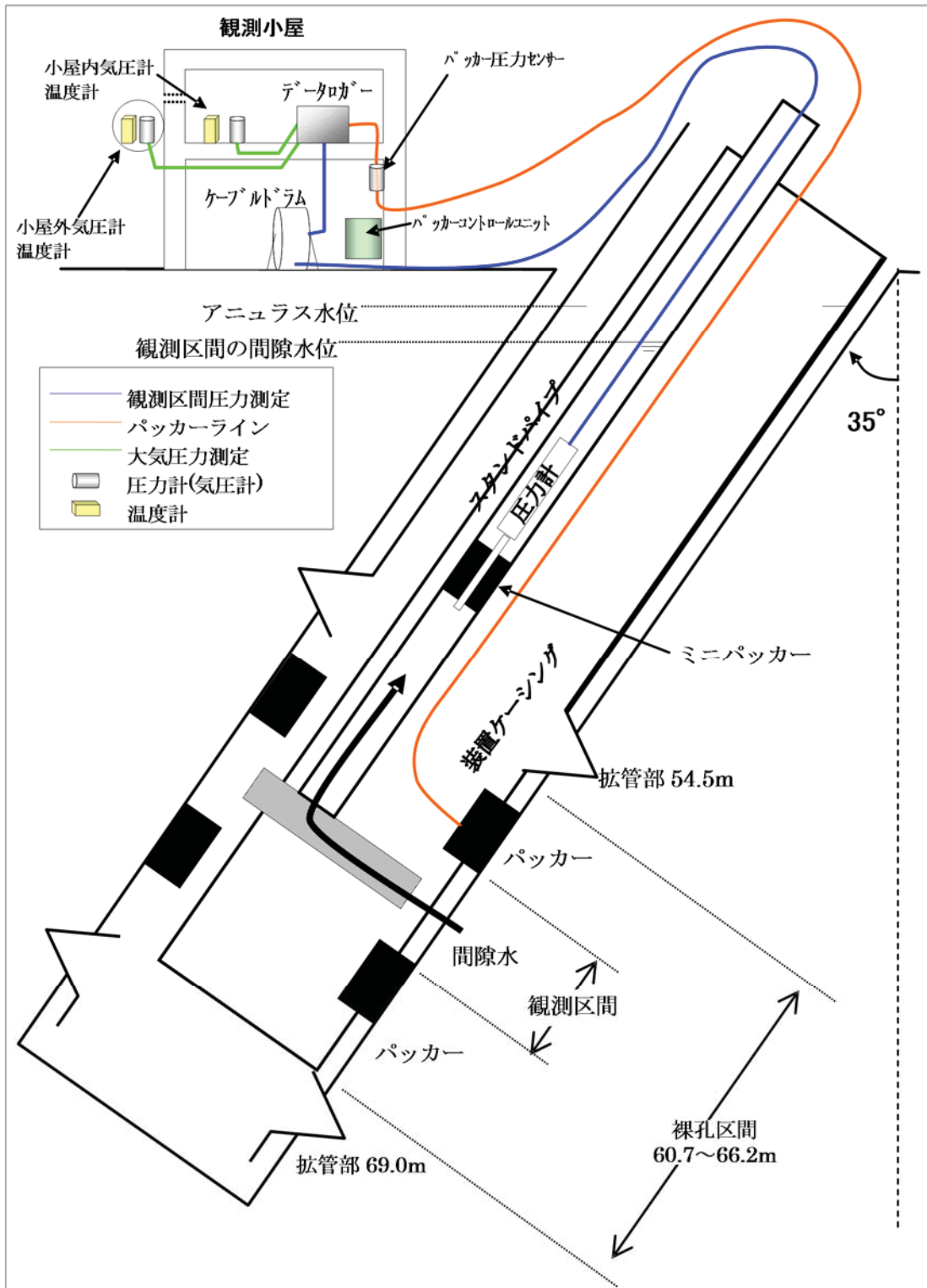


図 8.2-2 計測システム構成例

8.3 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 8.3-1 を標準とする。

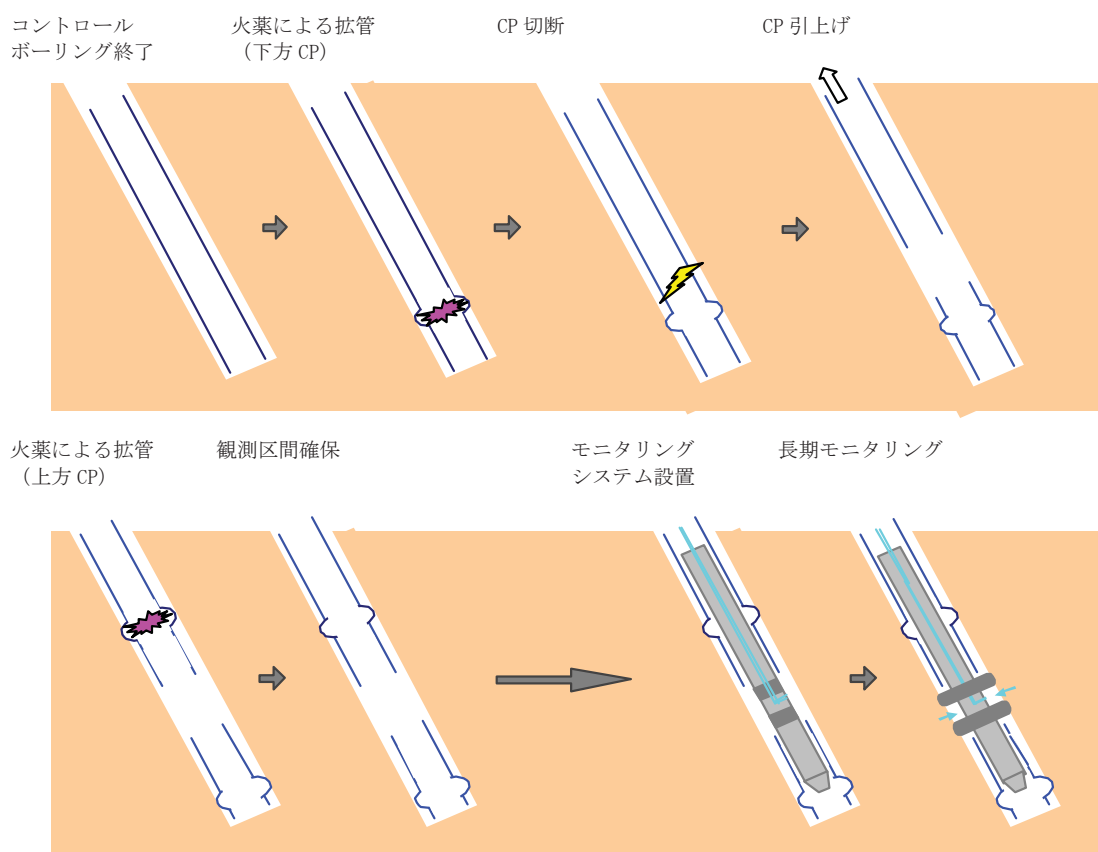


図 8.3-1 モニタリングシステム設置手順

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張し周辺地盤に食い込ませることにより作成する（拡張作業）。

拡張作業が終了した後、拡張状況を 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。

下方の拡張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、観測区間上方の拡張作業、拡張の状況確認を行う。

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。

8.3.1 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。

8.3.2 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

拡張に使用する火工品ツールの編成を図 8.3-2 に示す。

ツール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。

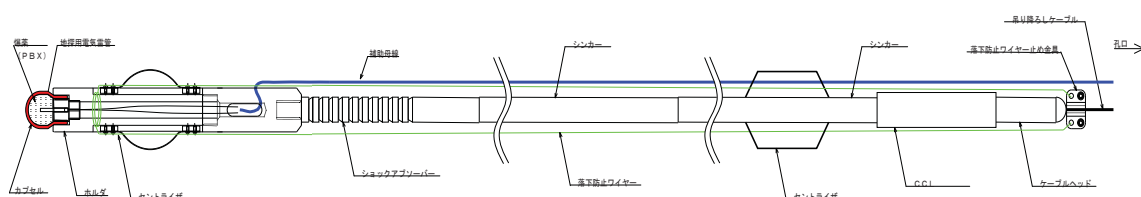


図 8.3-2 火工品ツール

(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。

8.3.3 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 8.3-3 に、また仕様は表 8.3-1 のとおりである。

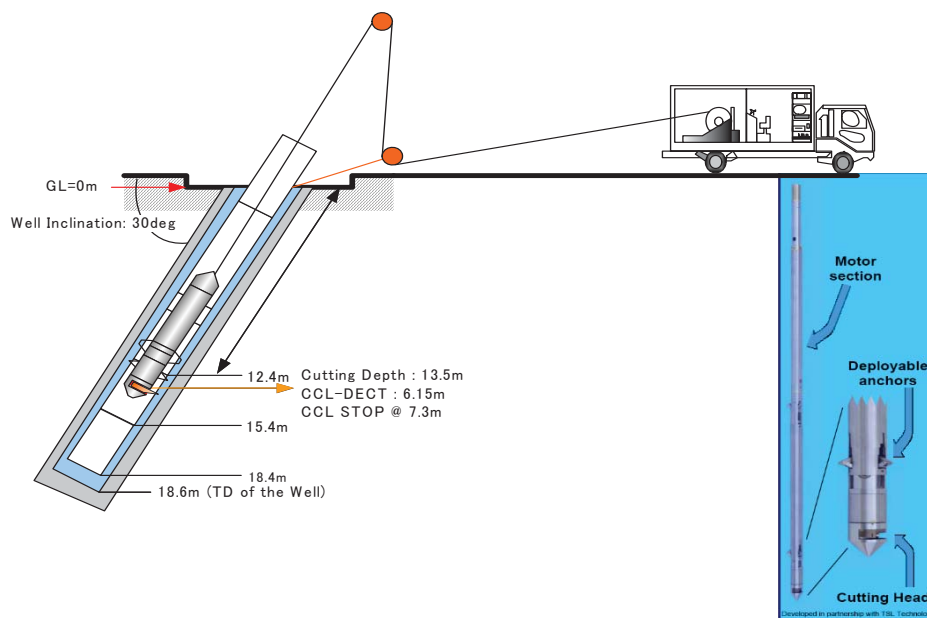


図 8.3-3 電動カッターによる切断作業

表 8.3-1 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

8.3.4 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、掘削で使用する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。

8.3.5 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。

8.3.6 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。

8.3.7 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。

8.4 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。

(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 8.4-1 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。

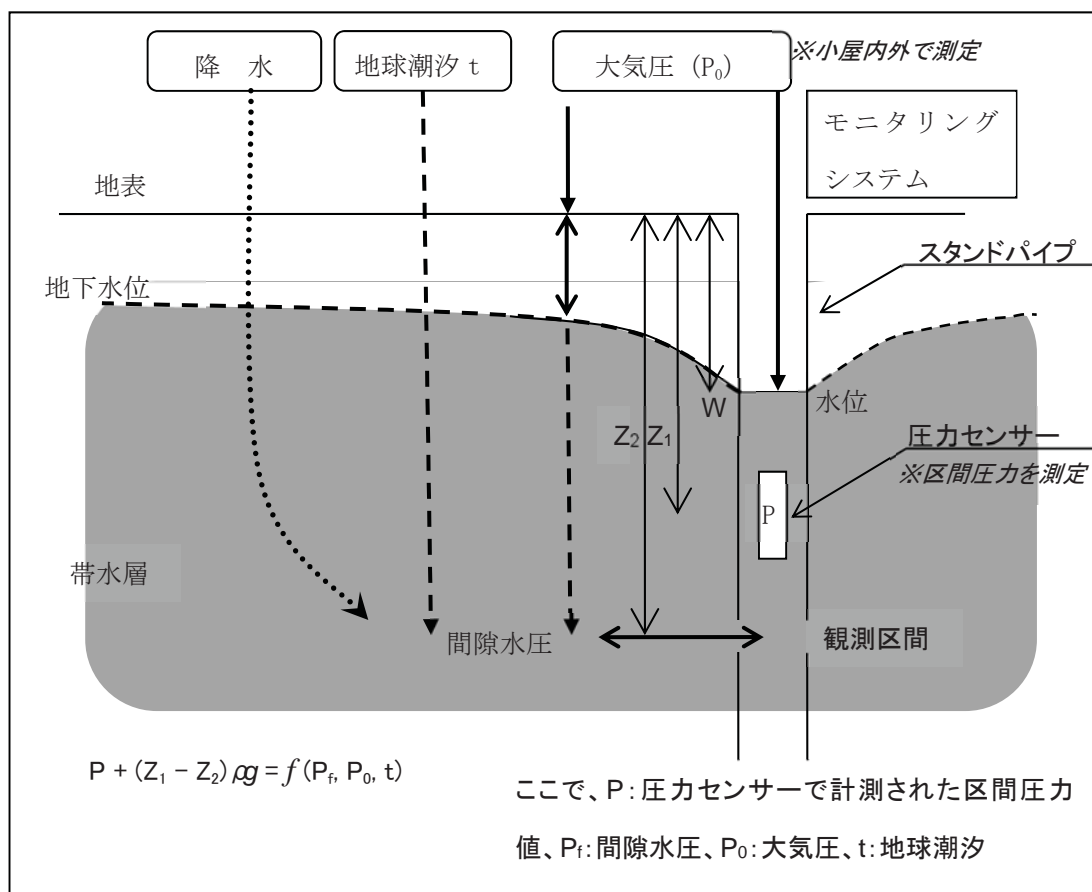


図 8.4-1 区間圧力データに対する影響要因

(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

8.5 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。

(1) ダブルバルブポンプによる採取

表 8.5-1 にダブルバルブポンプの仕様を、図 8.5-1 及び図 8.5-2 にダブルバルブポンプ外観を示す。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 8.5-3 に作動原理を示す。

表 8.5-1 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 8.5-1 チューブドラム



図 8.5-2 ポンプコントロールユニット

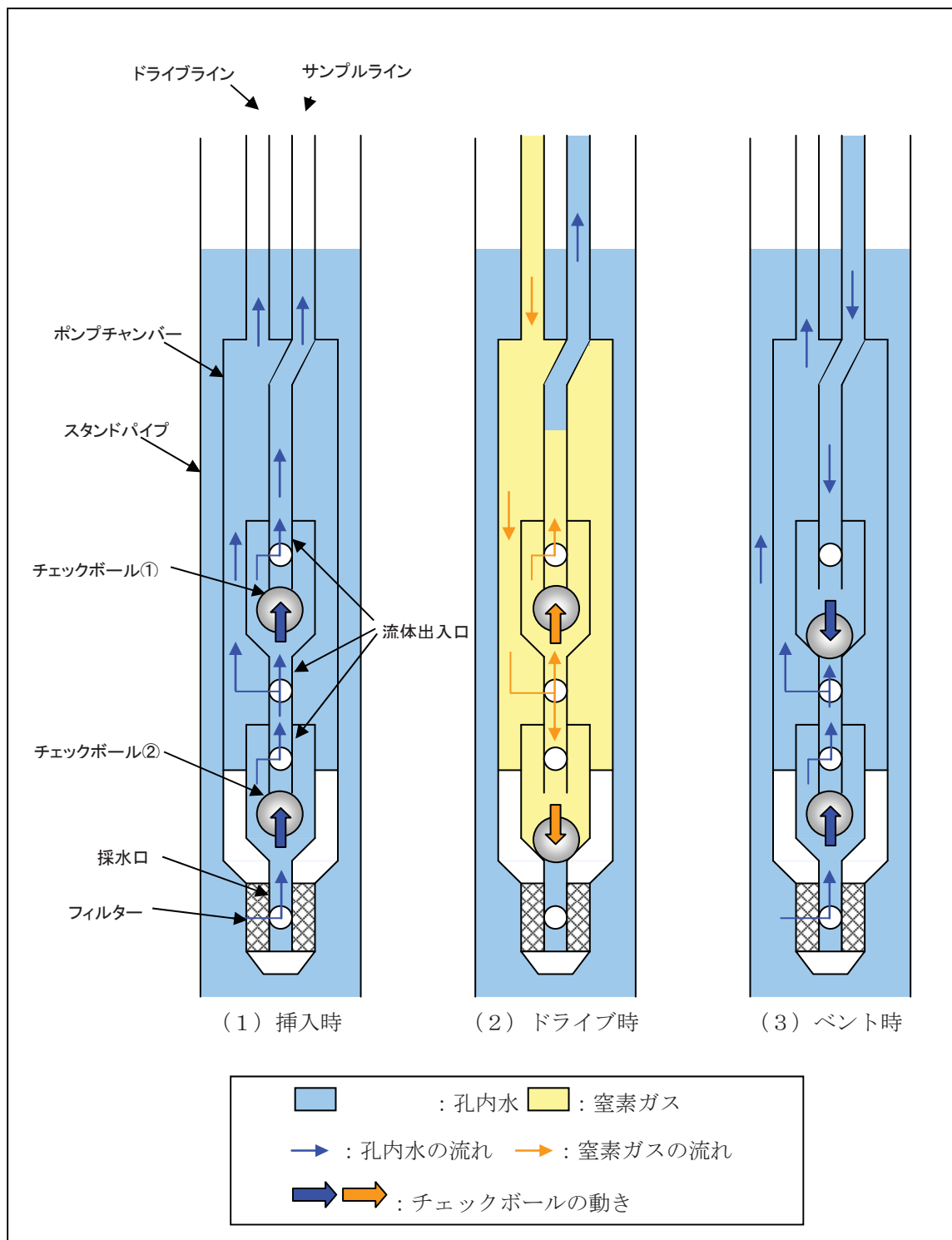


図 8.5-3 ダブルバルブポンプ作動原理

(2) 原位置サンプラーによる採取

表 8.5-2 にサンプラーの仕様を、図 8.5-4 から図 8.5-6 に機器写真を示す。本サンプラーはフロースルー式（

図 8.5-7 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 8.5-2 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, ニードルバルブ 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 8.5-4 サンプラー



図 8.5-5 ウィンチ

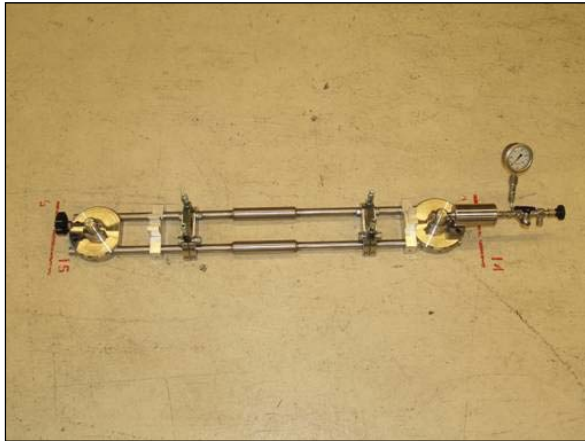


図 8.5-6 クランプ止め装置

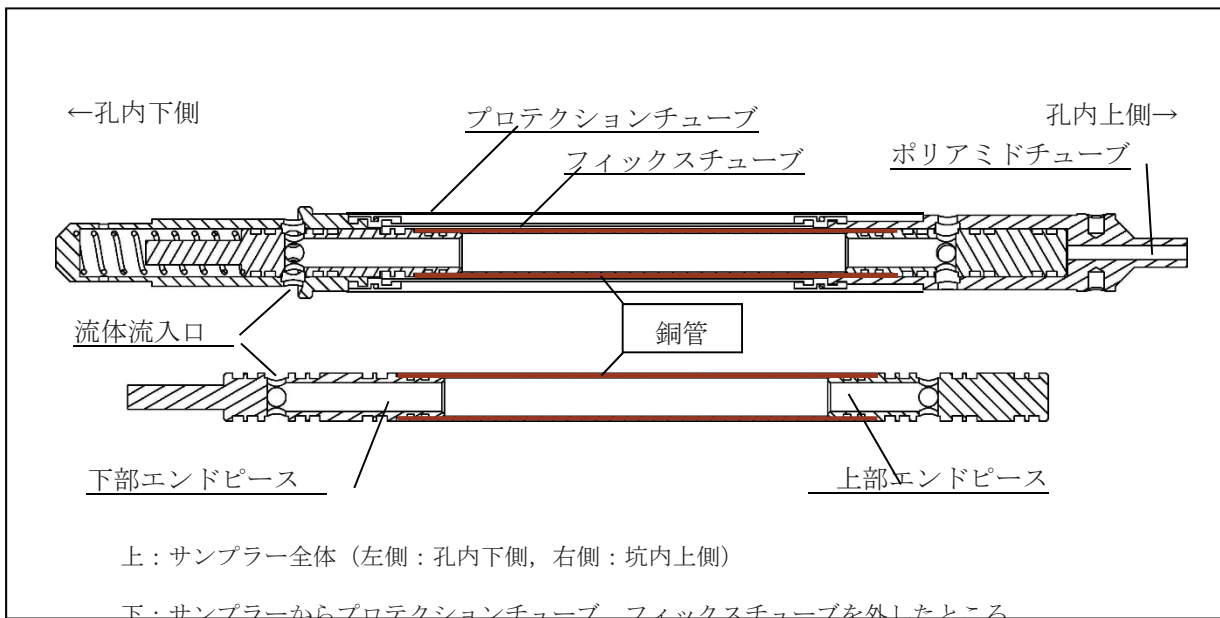


図 8.5-7 フロースルー型サンプラー断面図

(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。

8.6 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。ここでは、本研究において実施した分析、測定項目及び採取方法を表 8.6-1 に、分析方法を表 8.6-2 に示す。

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ため、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 8.6-1）。

表 8.6-1 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プ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プ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。



図 8.6-1 フローセルによる物理パラメータ測定

表 8.6-2 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
δD, δO	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

8.7 モニタリング無人計測システム

8.7.1 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 8.7-1)。

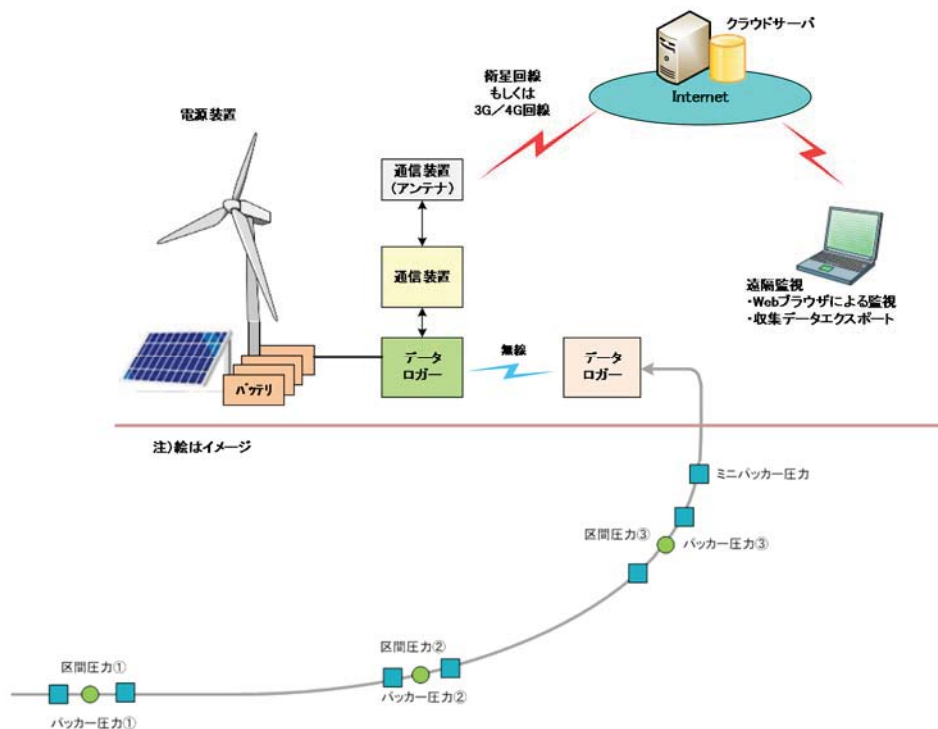


図 8.7-1 モニタリング無人計測システム概念図

8.7.2 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=1.185kg/m³(25℃)

T1 : 気体の温度[℃] ←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

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

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算出方法

太陽光の賦存エネルギー = 日射量 ←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 8.7-1 に示す。また、表 8.7-1 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 8.7-2 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 8.7-1 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

	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 29.5 °C 平均 6.4 °C 最低 -22.5 °C	33.7 °C 9.7 °C -16.4 °C	34.8 °C 13.1 °C -6.1 °C	35.6 °C 13.4 °C -6.7 °C	33.4 °C 16.7 °C -1.7 °C	32.7 °C 16.1 °C -1.9 °C	35.7 °C 17.1 °C -3.8 °C	34.4 °C 24.4 °C 11.3 °C
風速	年間 25.4 m/s 最大 14.4 m/s	15.0 m/s	13.8 m/s	26.2 m/s	38.1 m/s	20.1 m/s	13.7 m/s	53.1 m/s
降雨量	3.2 m/s	2.6 m/s	1.5 m/s	2.3 m/s	4.9 m/s	4.4 m/s	1.9 m/s	5.4 m/s
降雪量	年間 970.4 mm 年間 736.8 mm 最深 98.0 mm	1242.5 mm 476.5 mm 92.5 mm	1640.0 mm mm mm	2438.9 mm 310.3 mm 55.6 mm	2096.8 mm 0.0 mm 0.0 mm	1557.2 mm 0.0 mm 0.0 mm	2269.1 mm 0.0 mm 0.0 mm	21300 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
雷	年間				18.0			21.6

* 気象データは気象庁HP(日射データはNEDOのHP)より入手

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

■ 賦存エネルギー

(2013年)	北海道			青森県			福島県			新潟県			静岡県			愛媛県			鹿児島県			沖縄県											
	風速 m/s	気温 °C	風力 kWh/m ² ・day	風速 m/s	気温 °C	風力 kWh/m ² ・day	風速 m/s	気温 °C	風力 kWh/m ² ・day	風速 m/s	気温 °C	風力 kWh/m ² ・day	風速 m/s	気温 °C	風力 kWh/m ² ・day	風速 m/s	気温 °C	風力 kWh/m ² ・day	風速 m/s	気温 °C	風力 kWh/m ² ・day	風速 m/s	気温 °C	風力 kWh/m ² ・day									
月	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	
1	4.0	-7.2	0.93	2.24	3.0	-2.2	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	
2	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	
3	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	
4	3.8	7.5	0.76	4.62	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	
5	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	0.09	4.68	3.7	21.7	0.67	4.65	3.5	22.9	0.56	4.56	1.9	23.4	0.09	3.99	5.1	29.2	1.70	5.65	
6	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	
7	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	
8	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	
9	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	
10	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	
11	4.0	-1.7	0.92	0.88	2.7	24.0	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	
12	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	
平均																																	

《計算式》
 * 風力のエネルギー密度 = 1/2 x 空気密度(δ1) x 風速³
 * 空気密度(δ1) = δ0 x 273.2 / (273.2 + T1) x (101.3 + P1) / 101.3
 δ0 : 気体の基準密度 : 1.185kg/m³(25°C)
 T1 : 気体の温度 °C → 月毎の気温を参照
 273 : 絶対温度
 P1 : 標準大気圧
 101.3 : 標準大気圧

* 風力の賦存エネルギー = 風力のエネルギー密度 x 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)

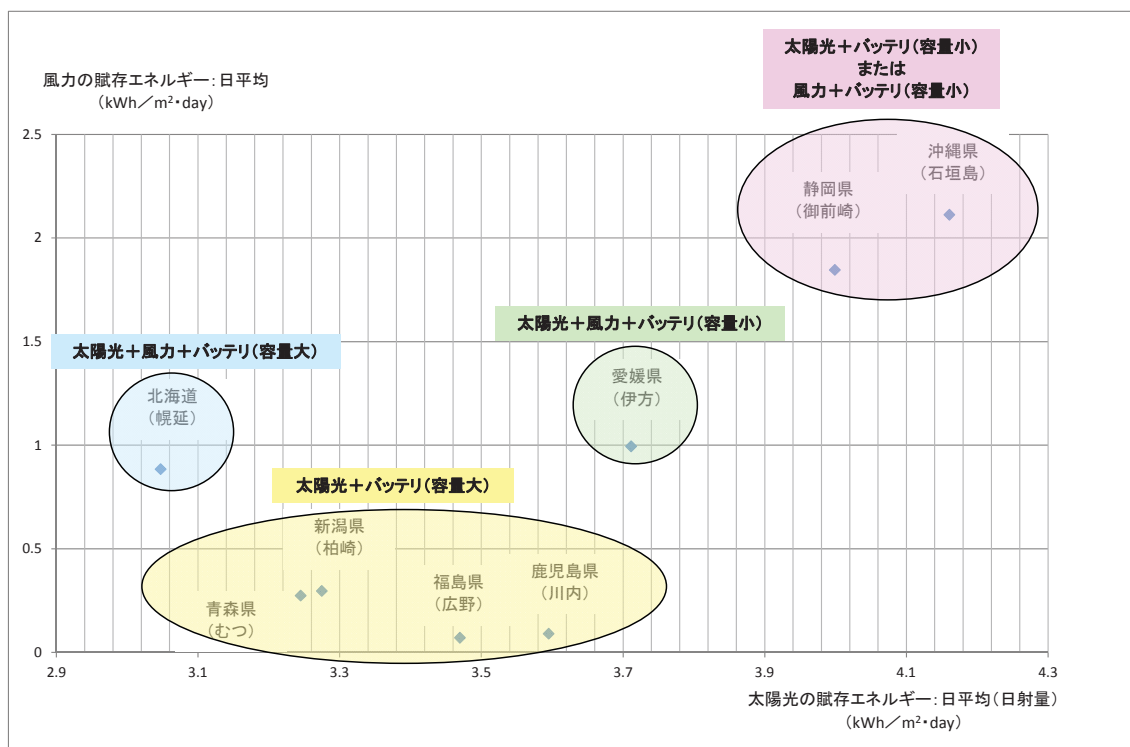


図 8.7-2 賦存エネルギーの推定

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

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

空気密度 : 1.185kg/m³(25°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 8.7-2 に示す。HCD-3 孔向け無人計測システムでは表 8.7-2 に示す電力の供給が可能な表 8.7-3 に示す発電機を選定した。

表 8.7-2 HCD-3 孔向け無人計測システムの予想消費電力

機器	メーカー	型式	概要		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	通信監視装置との通信
3G/4Gルータ	ゼネテック	HSPA-450C	0	2.40	0.00	1	2.40	2.40	通信監視装置との通信
ネットワークコンピュータ	四国産研	新型iPC	1	2.25	2.25	1	2.25	2.25	Web機能監視制御コントローラ
HUB	アドバンテック	EK-252SI-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
信号交換 & 通信ユニット	東洋電機	MGB10-RRN1	2	0.008	0.02	2	0.008	0.02	降雨・雨量・風向・風速・気圧・日射量
信号交換 & 通信ユニット	東洋電機	MGB10-RRN1	1	0.008	0.01	1	0.008	0.01	気圧電力・消費電力
信号交換 & 通信ユニット	東洋電機	MGB10-RRN1	5	0.008	0.04	5	0.008	0.04	区間圧力・バクカー圧力・ミニバクカー圧力
信号交換 & 通信ユニット	東洋電機	MGB10-RRN1	1	0.008	0.01	1	0.008	0.01	タイムキーパー
圧力センサ	KELLER	PAA-22S	3	0.30	0.90	3	0.30	0.90	ミニバクカー圧力
圧力センサ	KELLER	PAA-23S	3	0.30	0.90	3	0.30	0.90	バクカー圧力
圧力センサ	KELLER	PAA-23S	3	0.30	0.90	3	0.30	0.90	区間圧力
降雨センサ	Davis	#0752	1	0.00	0.00	1	0.00	0.00	
雨量センサ	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	#07911	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(MGBTk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→1.2V(センサ用電源)
消費電力			連続運転	26.29	連続運転	15.79	15.79	W	
				630.90		378.90	Wh・day		
			間欠運転	4.43	間欠運転	3.64	3.64	W	
				106.34		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 8.7-3 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 8.7-4 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 8.7-4 豊富町日射量予測（NEDO HP より抜粋）

方角: 南		[単位: kWh/m ² ・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

8.7.3 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耗時のみ使用する。

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耗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、計測動作に関与し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。

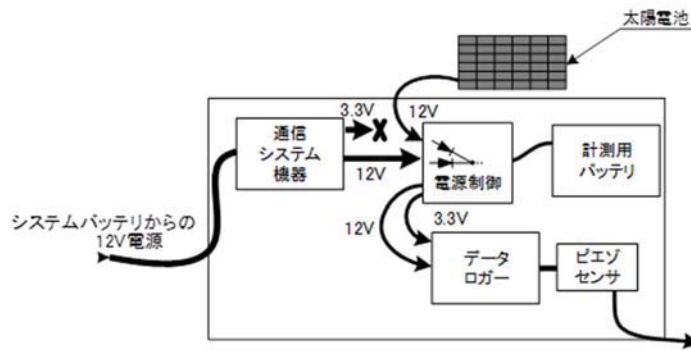


図 8.7-3 蓄電池構成例 (HCD-3 孔向けシステムの場合)

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。

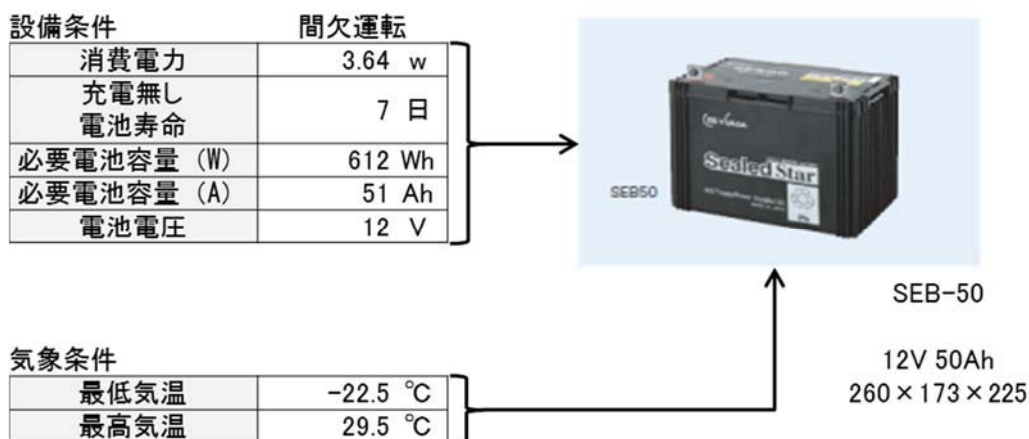


図 8.7-4 HCD-3 孔向け無人計測システム用システムバッテリー

8.7.4 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IV. 4-4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 8.7-5 モニタリング計測システム計測点仕様例

No.	計測内容	測定範囲	根拠	
			計測点	仕様
1	圧力	4-20mA/0-10V	既存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°C~60°C	気象データ:最低気温	幌延 -22.5°C
			:最高気温	川内市 +35.7°C
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 8.7-5 に示す。

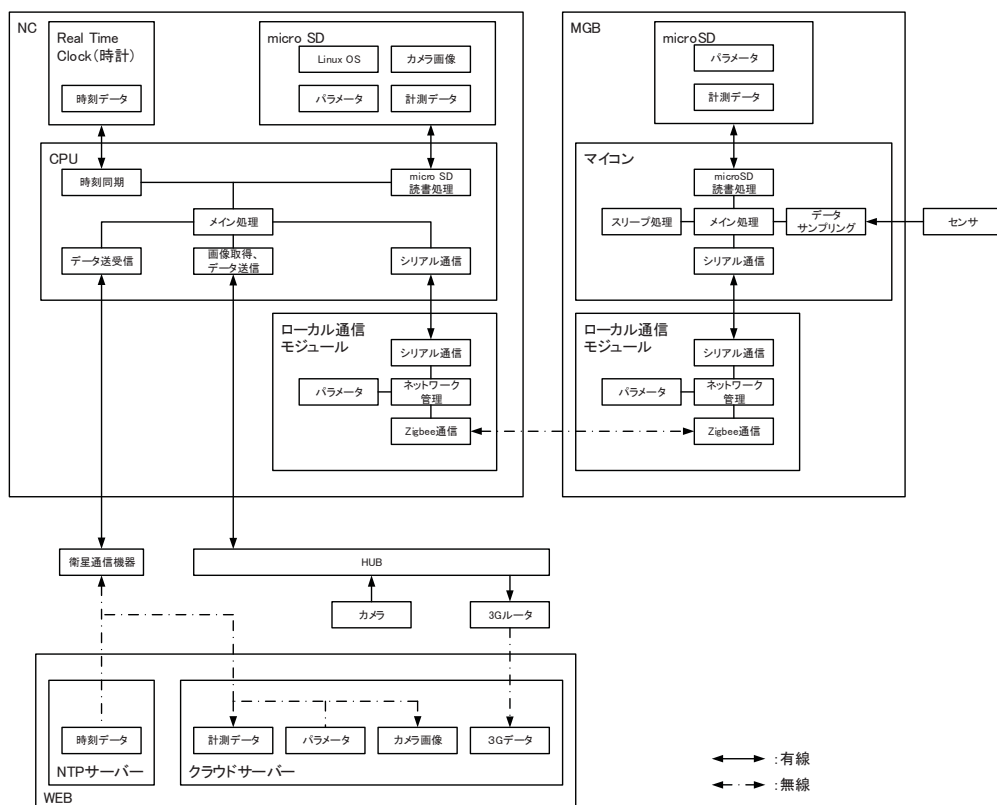


図 8.7-5 データロガー機能ブロック図

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。

8.7.5 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機器価格・通信料が低廉である 3G/4G 通信を基本とし、サービスが無い地域については衛星通信を選択することを基本とする。

(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 8.7-6 に示す。

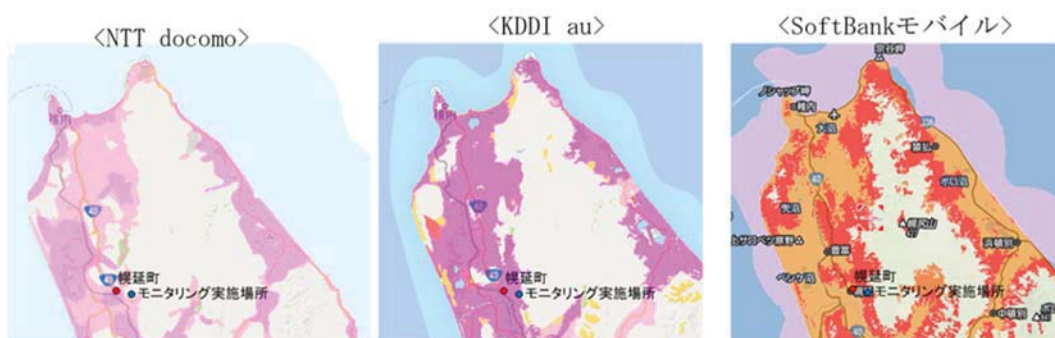


図 8.7-6 3G/4G 通信キャリア別サービス提供エリア

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 8.7-6 のような一般汎用品を採用した。

表 8.7-6 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 8.7-7 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 8.7-7 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 パケット通信	1.2W 13.1W	38W
使用温度範囲	-20°C～+60°C	-25°C～+55°C
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		

8.7.6 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 8.7-7 から図 8.7-9 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。

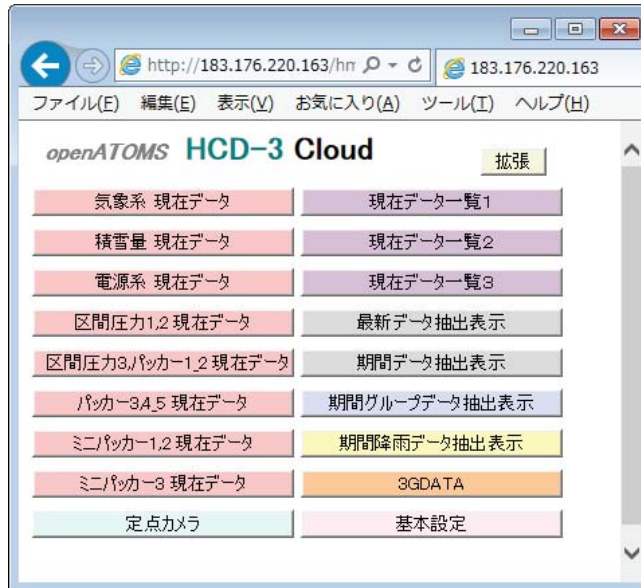


図 8.7-7 クラウドサーバーメニュー画面

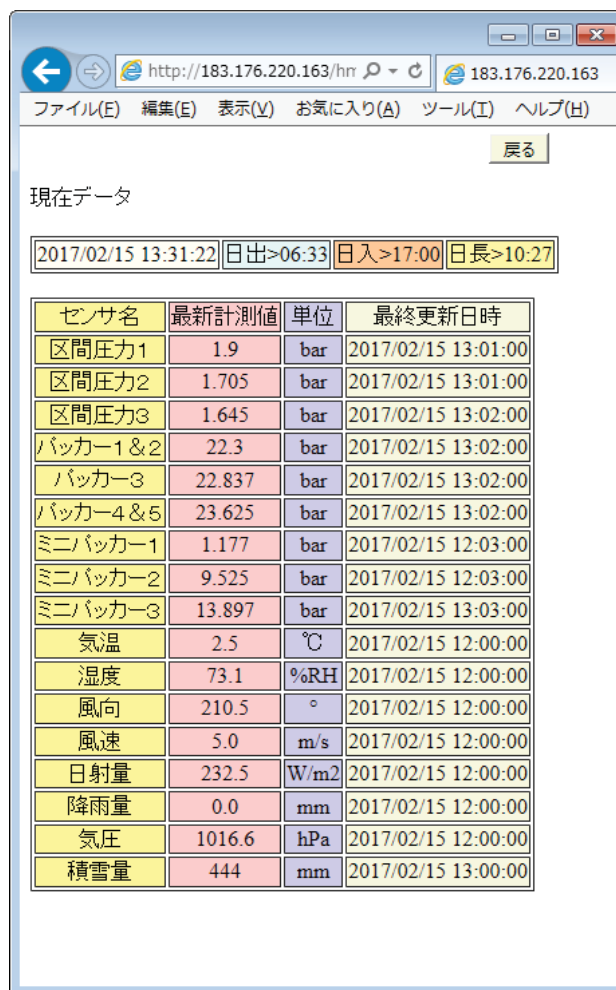


図 8.7-8 計測データ表示（現在データ）

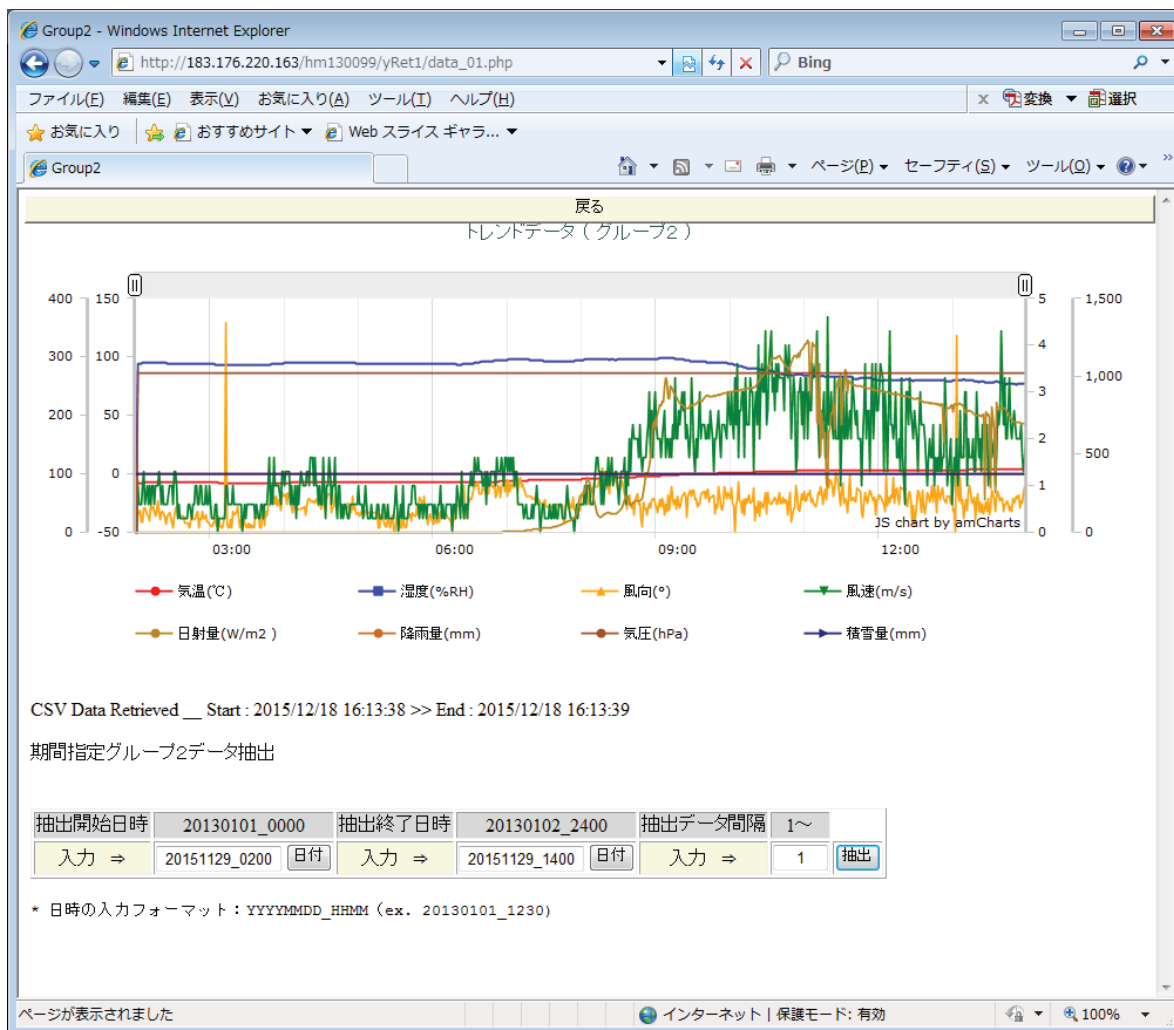


図 8.7-9 計測データ表示 (トレンド)

8.7.7 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 8.7-10 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 8.7-11 ウェブカメラによる積雪量測定

8.7.8 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 8.7-12 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くずれると 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 8.7.3 蓄電池の項に記したような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 8.7-13 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。

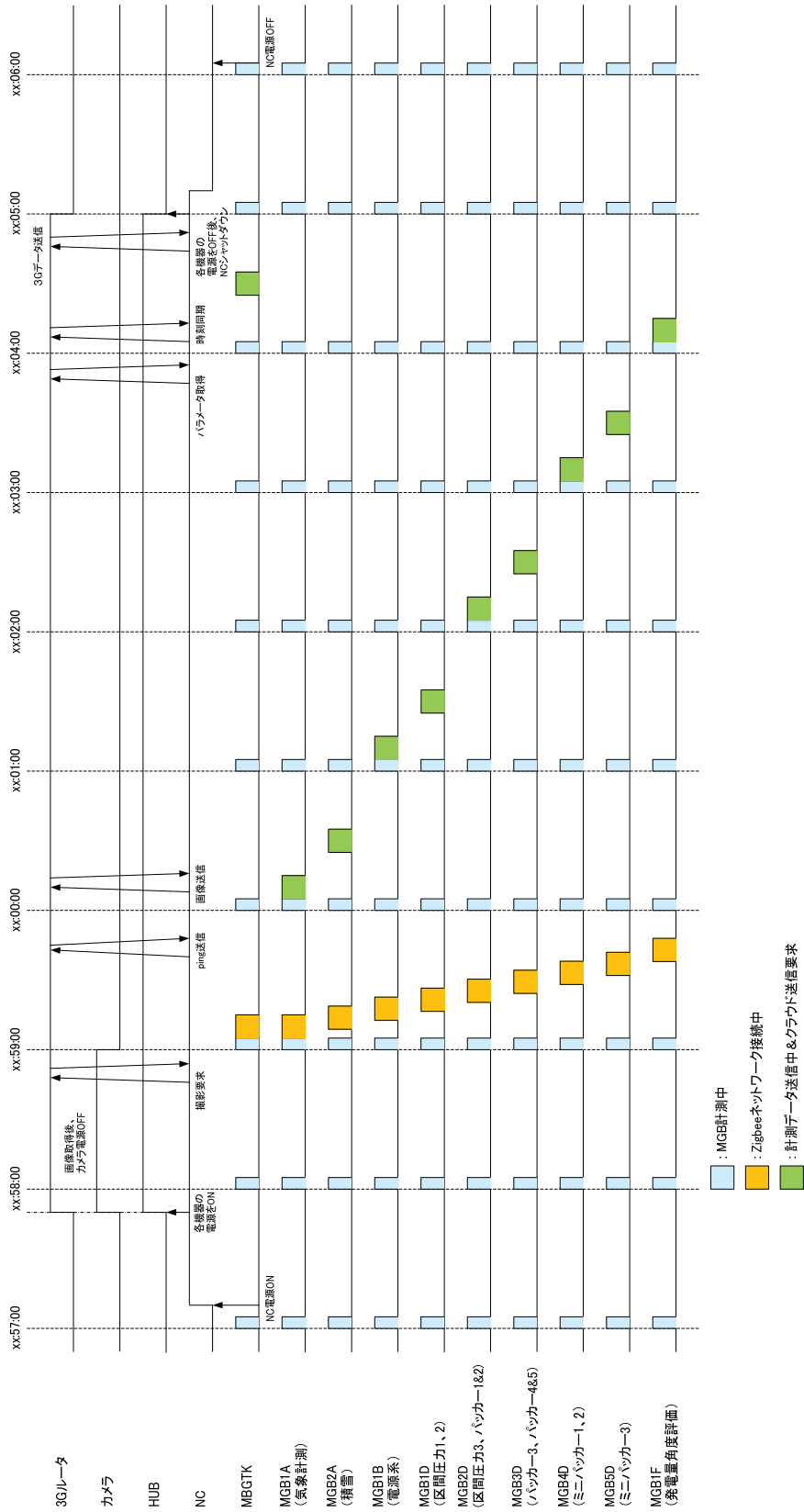
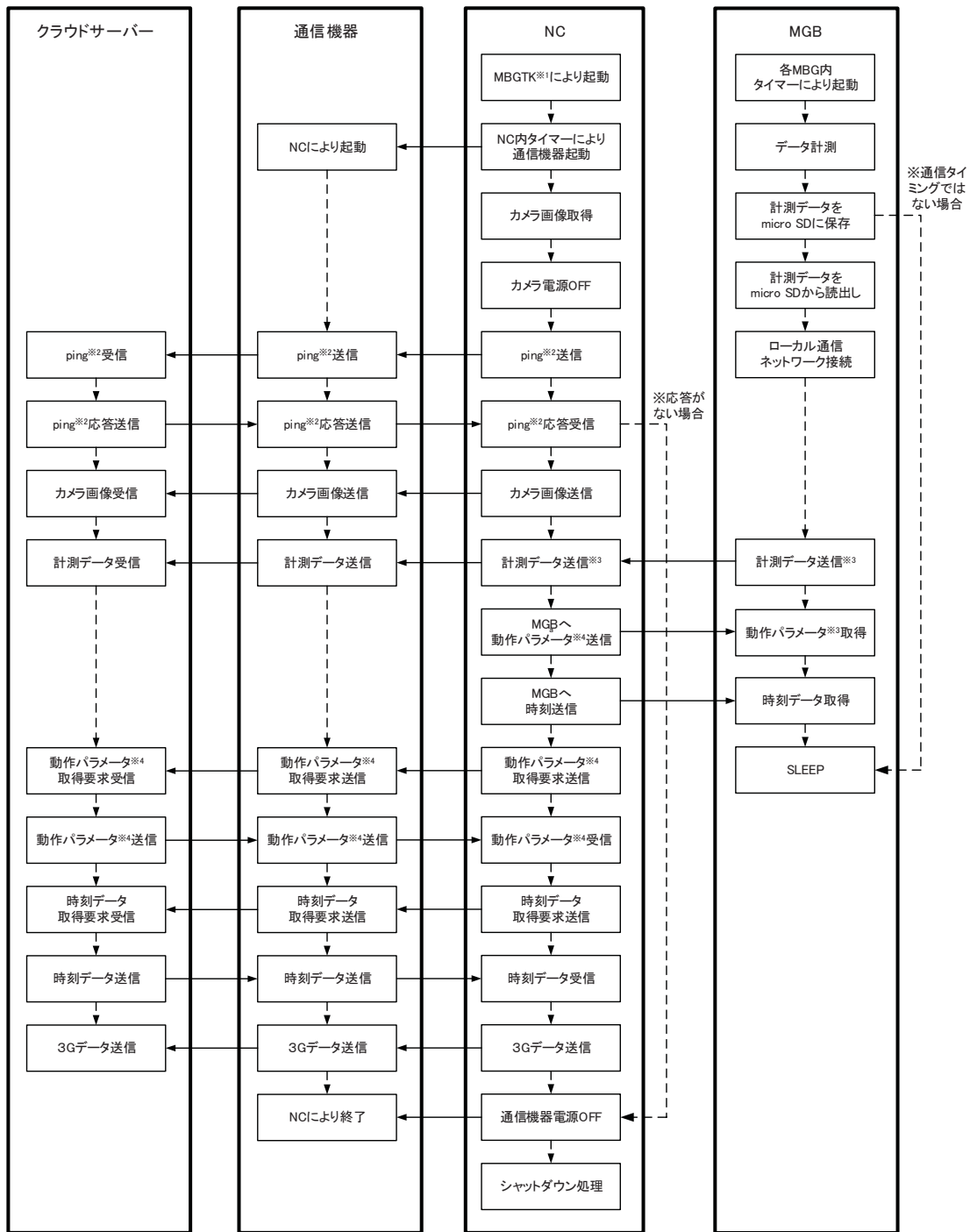


図 8.7-12 構成機器の動作タイミングチャート



- ※1. NCI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 8.7-13 システム制御フロー

8.7.9 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。

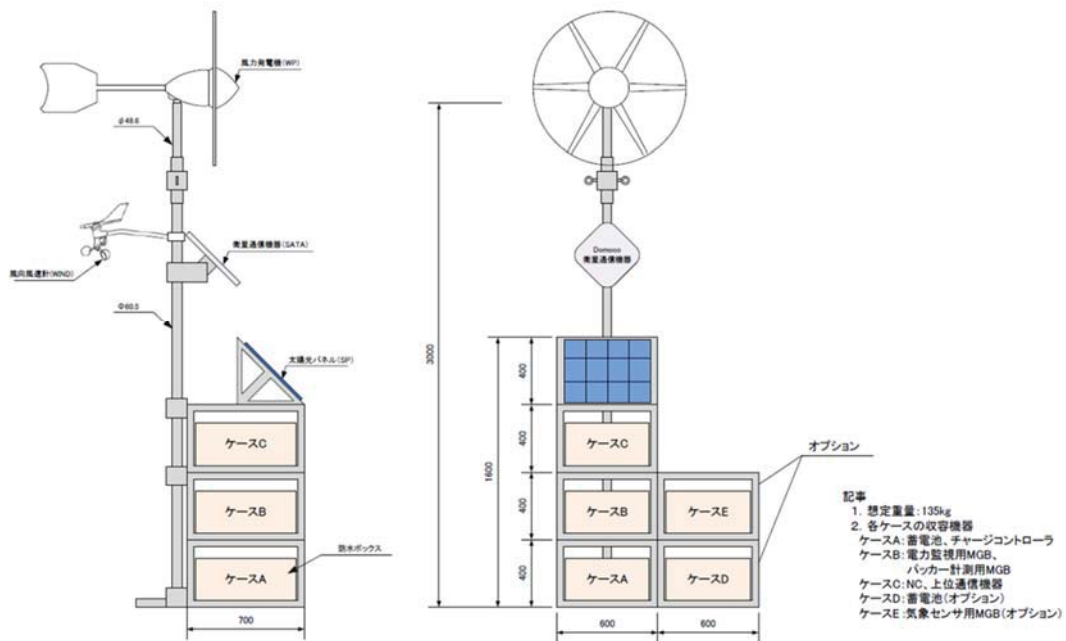


図 8.7-14 筐体設計例

8.7.10 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 8.7-15 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。

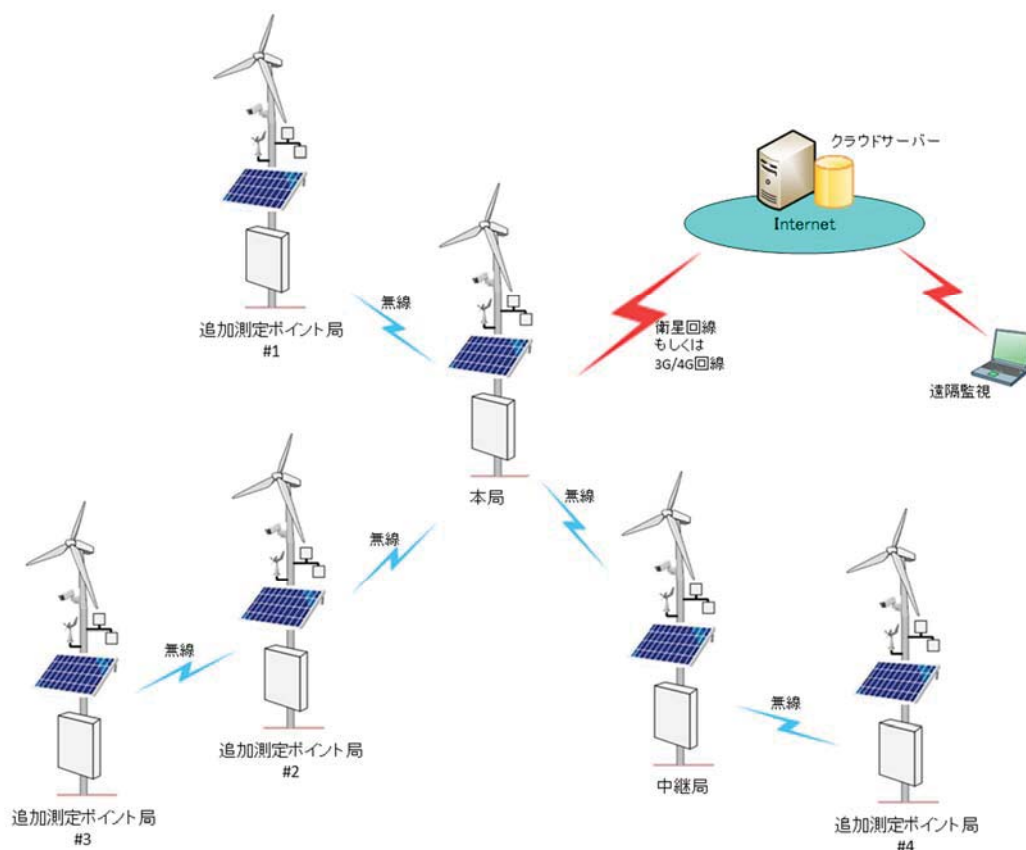


図 8.7-15 複数測定ポイント対応システム構成図

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 8.7-16）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 8.7-16 ローカル通信モジュール

Ⅲ編：成果のまとめと課題、今後の計画

9. 今年度研究成果のまとめ
10. 今後の課題
11. 次年度の研究計画

9. 今年度研究成果のまとめ

9.1 孔内モニタリングシステムの保守、管理

本年度は、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、管理作業を年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。

一昨年度に認められたミニパッカー圧力の低下については、昨年度区間ごとに独立した加圧ラインに切り替え、圧力低下が大きい区間については、加圧媒体を窒素ガスから不凍液に切り替え、さらに加圧ラインにアキュムレータを取り付け、継続的に圧力をコントロールすることにした。このような改修を実施した目、今年度は安定した圧力を保持することができた。

9.2 計測データの取得及び解析

計測対象は(1)観測区間①の圧力、(2)観測区間②の圧力、(3)観測区間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。

計測したデータは衛星通信（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。

取得された区間圧力(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る。

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る。

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る。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る。

9.3 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。

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。昨年度の結果、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、今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うえで、試料採取を行った。今年度は予備排水と採水を含めて約250リットル以上を揚水し、トレーサー濃度は徐々に低減したが、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も50%以上と、地盤内に大量の掘削泥水が混入したことが推測された。

水質・同位体分析用試料はダブルバルブポンプをスタンドパイプ内の-89m深度までポンプを降下させて揚水を行い、地上で採取した。希ガス分析用の採水はサンプラーを専用のポリアミド管につないで所定深度まで降下させた後、原位置でバルブを閉じて採取した。遊離ガスは、ダブルバルブポンプにより強制的に揚水し、地上において水上置換によって採取した。

一般水質に関しては、パイパーダイアグラム及びシュティフダイアグラムにより検討した結果、採取された2回の地下水HCD-3_2016_1及びHCD-3_2016_2は昨年度と同様に海水、化石海水、温泉等に分類された。また、同深度から採取されたコアの圧縮抽水の分析結果とほぼ同様の値を示す。水素酸素同位体比及び水素同位体比とClイオン濃度との比較をした結果、今年度得られた地下水については、同深度で得られた圧縮抽水の値とほとんど同じ値を示している。なお、酸素・水素同位体の分析結果や水質から推定される塩濃度と試料中に含まれるトレーサー濃度との関係が不整合である。

希ガスサンプラーにより採取した希ガスの分析の結果、掘削時に採取したコアから得られたHe濃度やヘリウム同位体比と本研究で得られたそれらは概ね同じ値を示す。掘削水混合率から言えば同じ程度の値が得られることはない。特に、水質の考察において示したような、地下水に近い組成を持つ掘削泥水で掘削を行ったとしても、泥水の循環利用では泥水は一旦大気に曝されるため、希ガスの濃度が原位置の地下水と同程度になることは考えがたい。

今年度得られた地下水は昨年度と同様に、幌延地域の深部地下水の特徴を持っていた。得られた

データのうちのいくつかの水質データは掘削時に得られたコアから得られた水質や希ガス濃度に近い値を示した。その一方で、蛍光染料濃度は高いことからコンタミネーションしていることが明らかであった。掘削水の循環利用により、地下水の水質に近く蛍光染料濃度の高い泥水ができる可能性が示唆されるが、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ができない。

9.4 モニタリング無人計測システム

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北海道幌延町に設置し、運用を開始した。半年間のシステム運用を通して、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は 80%未滿にとどまった。データ取得率が低かった原因として、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。

これらの課題対応をはかるため、今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。

その結果、上位通信接続不良時のデータ再送信機能ならびに MGB と NC 間のローカル通信接続不良時のデータ再送信機能を付与することが本システムの信頼性を確保する上で非常に有効であることが確認できた。また、データシステム電源側の電圧が低下した場合でもサブバッテリーによる計測系のバックアップを確保しておくことが電源給電信頼性を確保する上で大切であることが認識できた。

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。

9.5 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。

10. 今後の課題

10.1 孔内モニタリングシステムの保守、管理

孔内モニタリングシステムの保守点検項目としては、間隙水圧、区間設定用パッカー圧、ミニパッカー圧、大気圧などである。これらの点検に際してパッカー圧については当初設定した圧力に対しての低減状況を目安に、また間隙水圧に関しては、通常とは異なる挙動を目安にシステムの不具合をチェックすることで行ってきた。しかしながら、本システムでは計測区間が区間設定用パッカーによ

り完全に閉塞されているか否かを確認する方法がない。今後計測区間の圧力漏れを確認するための手法について検討する必要がある。

10.2 計測データの取得及び解析

本研究では、長期モニタリング項目として間隙水圧と地下水水質の2項目を対象とした。当初、同一区間で両項目を実施したが、地下水採取に際しては、一度ミニパッカーを外してスタンドパイプから揚水する必要があり、安定した間隙水圧測定を妨げることとなる。また、今回判明したように地盤中に大量の掘削泥水が侵入している場合には、採水に先駆けて大量な予備排水を実施する必要が生じ、同一区間での間隙水圧測定が困難となることが判明した。今後、区間設定に際しては、このような観点も考慮する必要がある。

10.3 地下水及びガスの採取、分析

地下水及び地下ガスの採取、分析に関しては昨年度から本年度にかけて以下の課題が明らかとなった。

(1) 掘削泥水の影響

昨年度の実績として、採取した地下水には掘削泥水に添加したトレーサーの影響が大きく残っていた。そのために、本年度は年に2回の採水とは別に、月に1回予備的な排水を行い掘削泥水の影響を排除することとした。地下水の採取と同様に、ダブルバルブポンプにより予備排水をしたが、300リットル以上排水しても、未だに掘削泥水の影響（トレーサの混入）が50%近い値を示しており、地盤中に大量の掘削泥水が侵入していると推察された。このため、掘削泥水の影響を排除するためには以下の2つの手法について検討する必要がある。

①大量の予備排水

今年度まではダブルバルブポンプにより排水をしたが、このシステムではスタンドパイプの水位をコントロールすることができず、スタンドパイプ内の水位がダブルバルブの位置まで低下すると、地下水の押さえがなくなり窒素ガスが一気に大気に開放されてしまう。この様に、本システムでは有人によるコントロールが必要で長期に排水することが困難であり、無人による長期的な排水を可能にする別のシステムが必要となる。

②地盤中への掘削泥水侵入の阻止

コントロール掘削システムでは、ダウンホールツールの一部であるダウンホールモーターを回転させるために、通常の掘削に比べて高い圧力で掘削泥水を圧入している。このために、掘削泥水が地盤に侵入する可能性が高くなる。一方、地盤中の間隙水圧は必ずしも水頭圧分布をするわけではなく、間隙圧が周りより高く、大きく被圧している区間となる場合もある。この様な区間で

は、孔内に向かって地下水が流入する計異なるため、掘削中でも掘削泥水の侵入が少なくなる可能性がある。このような区間では、掘削泥水の影響を低く抑えられる可能性があり、今後このような観点での地下水水質モニタリングの区間設定を行うことを検討する必要がある。

(2) 地下水水質と掘削泥水混入率との齟齬

コントロール掘削に用いる水は浜里の浅層井戸から供給されており、基本的には地表水であり、円濃度はほぼ 0 に近い値を示し、酸素水素同位体は雨水に近い値を示す。これに対して、原位置地下水に近い値を示すものとして圧縮抽水されたコア間隙水の水質は深度により若干異なるものの海水の 1/3 程度の値を示し、酸素水素同位体比についても周辺の化石海水に近い値を示している。今年度の水質分析の結果は、ほぼ原位置地下水に近い値を示しているものの、掘削泥水の混入率が未だ 50%近い値を示しており、齟齬が生じている。

この原因としては、掘削中の泥水に孔内からの地下水が流入し、掘削泥水の水質が原位置地下水の水質に近づいたことと推察される。これまでは掘削泥水に添加されたトレーサー濃度は現場で管理しモニタリングしていたが、今後はこれに加え、定期的な掘削泥水の水質モニタリングを実施し、掘削泥水の品質管理を行う必要がある。

10.4 モニタリング無人計測システム

モニタリング計測の主要な対象である圧力（区間圧力、パッカー圧力）ならびに気象データ（大気圧、気温）については連続して無人計測を行えることが実証された。

一方、超音波式積雪計を用いて積雪量を測定しているが、積雪データ取得率がシステム全体のデータ取得率を損ねていることも明らかとなった。超音波式積雪計を用いて積雪量を測定する場合、異常高値の発生に対応した計測手順・アルゴリズムが必要となることが明らかとなったが、積雪量や雨量などの気象データ取得については専門性が要求され、信頼性を満たした計測が行えているか十分吟味する必要がある。

10.5 モニタリング技術の体系化

体系化に当たっては、担当者のこれまでの経験や本研究で実施した結果得られた知見に基づき、手順書という形で取りまとめ、各実施項目に対する基本的な考え方やその手順などを示した。しかしながら、これまでの研究では解決できない課題が残っており、これについてはその方策を含めて手順書に盛り込んだ。今後さらなる知見などを踏まえて順次修正していく必要がある。

11. 次年度の研究計画

11.1 次年度計画の概要

地層処分の調査段階でのボーリング掘削技術及びその孔内での各種調査技術の開発を実施する。次年度は、これまでに調査を実施したボーリング孔の廃孔及び現地復旧を行う。孔内での間隙水圧計測は現地復旧作業開始まで行い、これまでの計測結果と合わせてモニタリングの体系化を行う。

11.2 廃孔及び原状復旧

上幌延地区における現地試験サイトの原状復旧を実施する。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除去等の原状復旧作業を行う。

11.3 モニタリングデータ収集・解析

モニタリングシステムでの回収作業までのモニタリングデータを収集する。収集データは、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。

11.4 モニタリングの体系化

これまでの観測で実施した間隙水圧のモニタリング及び採水・分析結果から、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の体系化（とりまとめ）を行う

11.5 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。

来年度も今年度に引き続き検討委員会を以下の3回開催する計画である。

第1回検討委員会 平成29年7月下旬 今年度研究計画審議

第2回検討委員会 平成29年12月上旬 中間成果の審議

第3回検討委員会 平成30年2月下旬 最終成果の審議

表 11.5-1 に検討委員会の委員一覧（予定）を示す。

表 11.5-1 「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（予定）

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

Appendix

【海外での情報収集】

コントロール掘削および調査技術に関する情報発信および関連研究者や技術者からの情報収集のために、以下のような会議に出席し、研究発表とその質疑応答、その後に情報交換した。

1. 35th IGC (International Geological Congress) での発表

2016年8月27日～9月4日に南アフリカ、ケープタウンで第35回 IGC が開催された。本会議は地質学の国際的な会議であり、4年に1回開催される。本会議の Engineering Geology のセッションで、以下の2編の報告を行い、関連する研究者や技術者と意見交換を行った。

①口頭発表：Development of Technology for Directional Drilling - Results of Drilling and Survey in the Borehole -(参照-1、2)

②ポスター発表：Development of Technology for Directional Drilling - Long-term Monitoring and Automatic Data Acquisition System - (参照-3、4)

①の発表については以下のような質疑応答を行った。

・ コアバレルの長さについて

Q: コアバレルの長さとその使用目的は

A: コアバレルは1m、2mおよび3mを使用している。孔井を積極的に曲げる際には短いコアバレルを、安定した方向性を保つため、また効率よく掘削するためには長いコアバレルを使用し、それぞれを使い分けている。

・ 孔井の曲げについて

Q: どのように孔井を曲げるのか、またどのように方向性をコントロールするのか

A: ダウンホールモーターに付属するベントサブの曲げ角を調整することで曲率を変化させている。曲げの方向については、ダウンホールツールズとして方向性を確認するためのMWDがあり、これによりツールフェースを合わせることにより制御している。

・ 掘進率について

Q: ROP はどれ位か

A: 掘進率は、条件によって異なるが、最大で15m/日である。

②の発表についてはモニタリングシステムの機器仕様に関する質問があり、モニタリングシステムのケーシング、パッカー、スタンドパイプの寸法・材料及び無人計測システムのデータロガー・ローカル通信機能を担うMGBの仕様を説明した。

2. Review Workshop での意見交換

IGC 参加の帰路に、スイスの放射性廃棄物処分の実施主体である NAGRA（放射性廃棄物管理共同組合）との共同でコントロール掘削に関するワークショップを開催し、情報交換を行った。

日時：2016 年 9 月 5 日

場所：スイス、ベッティンゲン NAGRA 本部会議室

ワークショップを効率的に進めるために、会議に先立ち質問状（Questionnaire：参照-5）のやり取りを行い、それぞれの情報を共有するとともに、会議での議論の的を絞った。

会議では、NAGRA サイドからは、スイスの放射性廃棄物処分の背景やスケジュール、グリムゼルテストサイト（GTS）での実験概要（参照-6）と NAGRA が実施している掘削技術とその適用例について紹介があった。その後、電中研サイドからコントロール掘削技術と調査技術（参照-7）に関して紹介し、質疑応答及び意見交換を行った。

主な議事（参照-8）は以下の通りである。

【スイスのセクトラルプランに関して】

Q: スイスでは処分スケジュールは、現在は 2nd ステージと認識しているが、この段階でボーリング調査は実施されるのか

A: 第 2 ステージの後半にボーリング調査が予定されており、予定では 2019 年の初めまでには開始される予定である。調査地は 5～15 平方キロ程度で、ここで 7-8 本のボーリング調査を実施する。処分候補岩体のオパリナス粘土（頁岩）の厚さは 100m 程度で、候補地の 300～1000m の範囲の地下に分布する。このため、掘削は 800～1500m 程度の深さとなる予定である。

Q: 傾斜掘りやコントロール掘削を考慮していないか

A: 基本的には鉛直掘削であるが、場合によっては 45 度程度までの傾斜掘りを考慮する。現状ではコントロール掘削は考えていない。

Q: 掘削された孔内では、どのような調査や検層を実施するのか

A: NAGRA としては、地点の地質構造、堆積構造、岩石学、地球物理、水理地質、工学、地化学的な情報を収集したい。このためにコアを採取し、コア記載を行うとともに、孔内においても上述の目的で各種の調査を行う予定である。

Q: 第 2 段階でのボーリング調査に向けての技術開発などの準備は

A: 調査の対象となる地質は、オパリナス粘土（けつがん）で、これらの初物性はすでに調査済みである。掘削は基本的には、標準的なワイアライン方式のコアバレルを用いて行う。ケーシングプログラムに関しては、これまでに掘削実績に基づいた知見により計画する。基本的なケーシングプログラムは、ベンケンでの掘削時の例を参考することになる。

【NAGRA での掘削技術について】

Q:鉛直掘削が主流となるとのことだが、傾斜性は掘削しないのか

A:対象となる岩体が比較的浅い場合には、傾斜掘りをするとビットに荷重をかけることが困難となる。NAGRA の目的は 100mm 程度の大口径のコアサンプルを確実に採取することにある。

Q:なぜ、大きな孔径のコアが必要となるのか

A:大きなコアを採取することは一般的には良質なコアを採取することにつながる。また、地化学的にはトリミングのための余裕が必要であり、地質の観察もしやすくなり、力学手にも方向性の違うコアをトリムすることができる。

Q:孔内での調査区間の決定方法は

A:目的によるし、現在その目的について議論している。調査のタイプやその地質状況で、テスト区間の長さも制限を受ける。最終的には、安全評価に必要なだけのデータセットを確保する観点から決定されると考える。

Q:傾斜井を掘削する主目的は

A:処分場では、断層の存在が重要である。通常断層は高角であるので、これに効率よく交差させるために傾斜掘削を考慮する。

【電中研のコントロール掘削について】

Q:ケーシングにはセメンティングしないのか

A:裸孔での地下水水質モニタリングを目的としたために、特別な裸孔区間を設置する技術開発を実施した。

Q:本技術開発の売り込み先はどこか。高レベル放射性廃棄物処分の分野のみなのか。

A:本技術は HLW のみならず、他の分野にも応用できると考えている。現状では NUMO への技術移転に着手できていないので、他の分野へ適用することで、技術継承や技術者を育成して、NUMO への技術移転に備える。

C:コアを採取することは、堆積岩では特に重要であり、コアサンプルからいろいろな情報を取得することができる。その観点からは、より大きなコアをとることを進める。

C:本技術の対象岩盤は堆積軟岩であるが、地質に依存しない全地質型に方向性を変化させる必要がある。以前 JAEA の瑞浪地点において、この掘削技術と同様のアンダーリーマー(ウイングビットタイプの拡径装置)を使用した掘削について JAEA と協議したことがあったが、一番の課題はアンダーリーマーの能力であったと記憶している。今後、アンダーリーマーの能力を高めることにより、全地質型で、より効率良い掘削ができると考える。

Development of Technology for Directional Drilling - Results of Drilling and Survey in the Borehole -

Kiho, K.¹, Miyakawa, K.¹, Hase, K.² and Sunaga, T.²

¹Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), Abiko JAPAN, kiho@criepi.denken.or.jp.

²Sumiko Resources Exploration & Development

During high-level waste (HLW) disposal site selection, borehole measurement and logging to investigate the hydro-geological and geo-mechanical conditions of the host rocks is a very important way to examine the potential of the disposal candidates. In Japan, attention is being given to Neogene soft sedimentary rock as the host rock for HLW disposal. In particular, the soft sedimentary rock in coastal areas is thought to be one of the best candidates, because there is little driving force from underground water.

Directional drilling is supposed to be efficient under limited topographic and geological conditions, and the Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI) has been conducting a project on directional drilling and logging/measurement technologies since 2000.

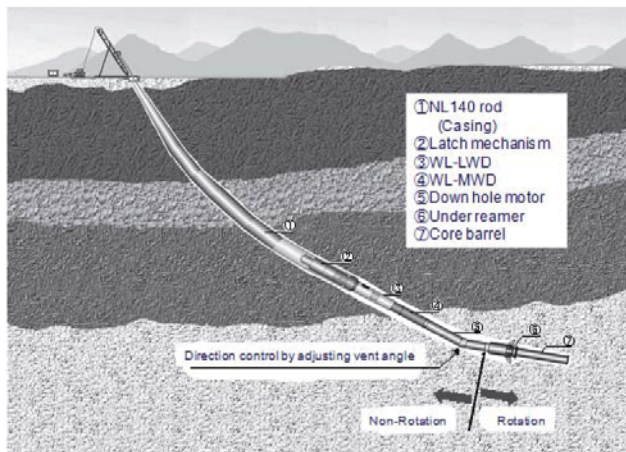


Figure 1: Conceptual Design of Directional Drilling System

borehole trace was planned to perpendicularly intersect the fault zone in 2005. Considering the planned trace, a 1000-m-long borehole was drilled to a depth of 450 m. From 750 m to the bottom (1000 m), the borehole was horizontal. The total core recovery was 99.8%, even though it was drilled in the fault zone. The geological, hydrological, geo-mechanical, geophysical, and geochemical data were collected using borehole logging/measurement/survey and core logging/measurement/analysis, and the Omagari fault was characterized.

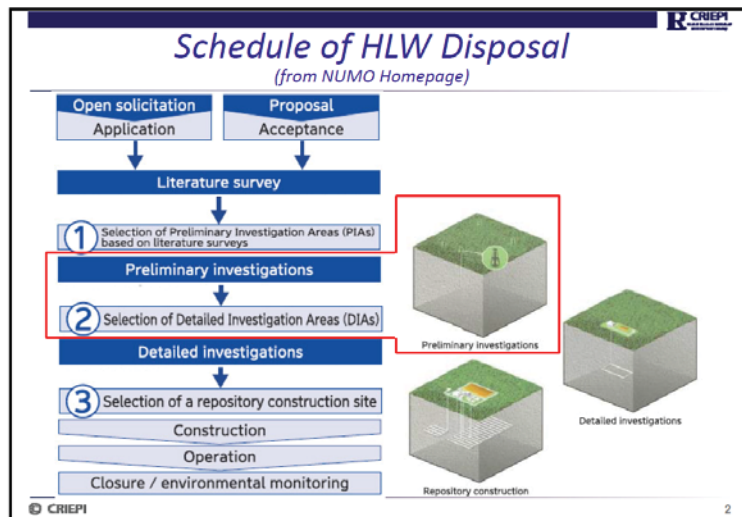
After conducting all the work in the borehole, a steel pipe was inserted into the borehole to case the wall. Open hole sections for long-term monitoring were constructed considering the hydro-geological conditions throughout the hole. Then, the monitoring system was inserted and set up to obtain the initial conditions of the groundwater pressure and water chemistry in 2014.


References:

- [1] Kiho K et al. (2011) 16th Pacific Basin Nuclear Conference, P16P1395
- [2] Fukasawa H (1985) Jour. Geol. Soc. Japan, 91, 12, 833-849
- [3] Ishii E et al. (2006) Jour. Geol. Soc. Japan, 112, 5, 301-314

Basic directional drilling system was developed [1] and the system was applied to the Neogene normal sedimentary rock [2] at the Hokushin area of the Horonobe town in Hokkaido. The borehole was drilled to the 700 m long and the applicability of the system was confirmed until 2004.

After conducting a seismic reflection survey for the Omagari fault [3] distribution at the Kami-Horonobe area in the town of Horonobe, a drilling site was selected, and a






Objectives

To develop directional drilling system until selection of areas for detailed investigation will start.

- to control the direction and inclination in order to drill boreholes under the limited topographic condition, such as coastal area.
- to collect core samples while drilling
- to enable the logging and measurements in the borehole.

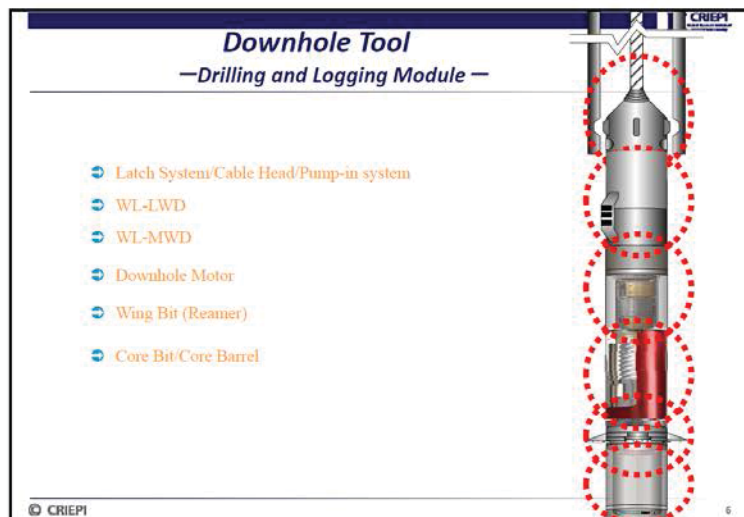
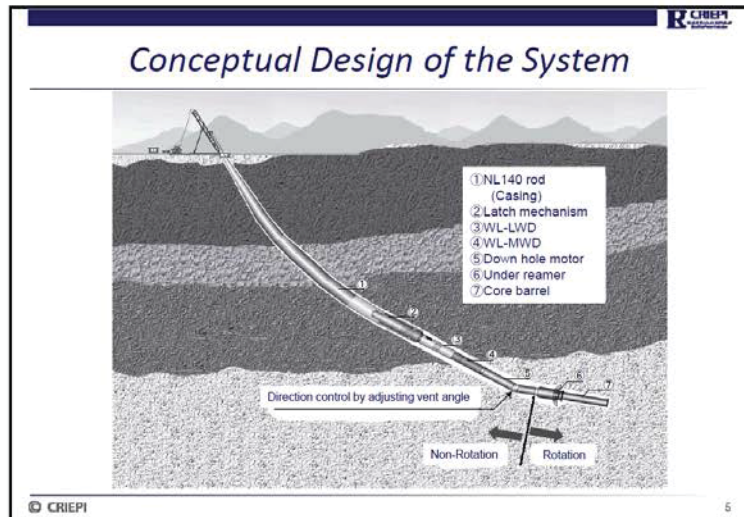
© CRIEPI
3

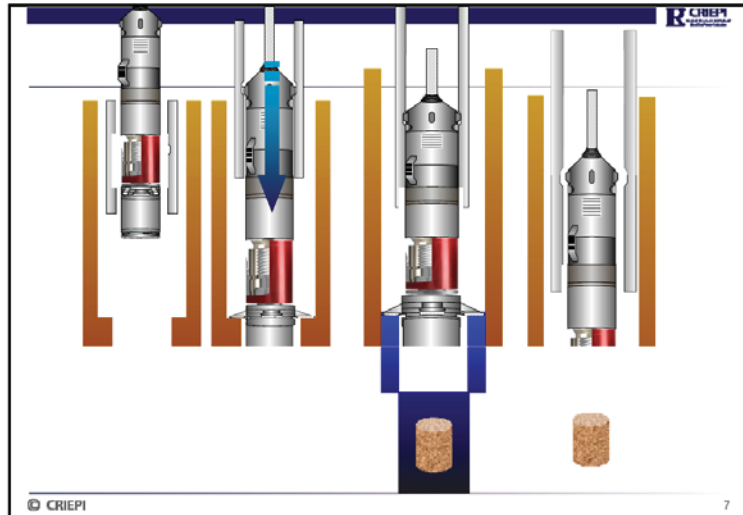


Goals

- To develop the technology for the directional drilling of 1000 m long and 500 m deep in the Neogene soft sedimentary rock at the coastal area.
- To collect full core sample while drilling considering the measurements using core sample is very useful for the soft sedimentary rock.
- To make the hole as slim as possible considering the safety handling and cost performance.
- To make several measurements and loggings possible while drilling and monitoring after drilling.

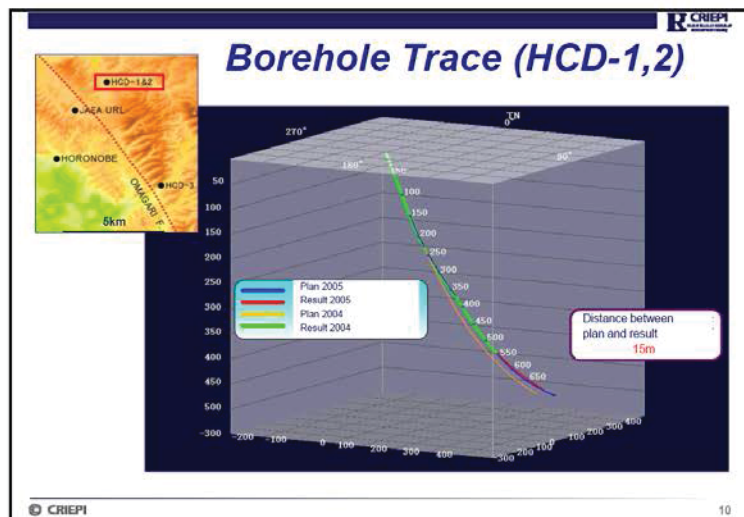
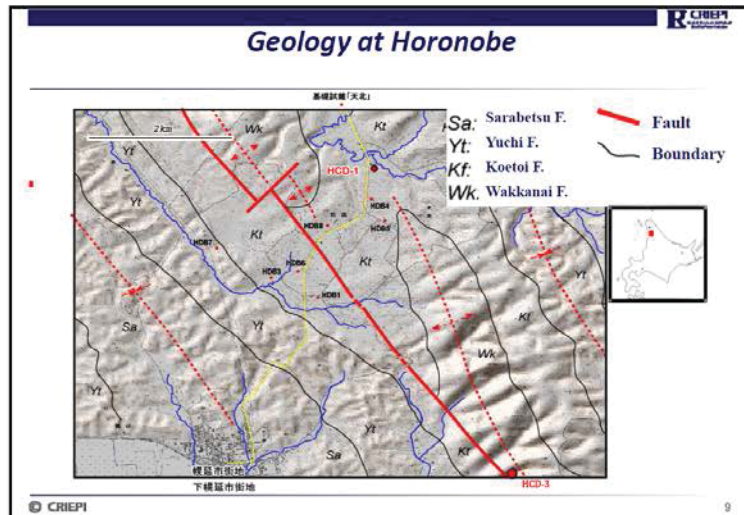
© CRIEPI
4

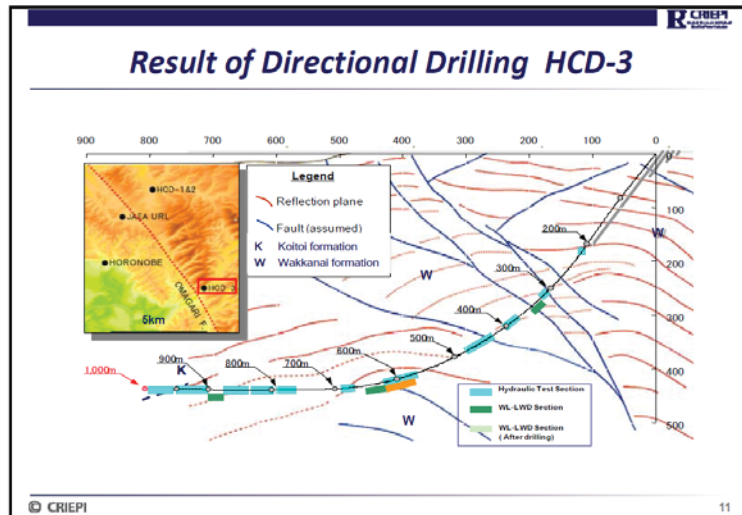




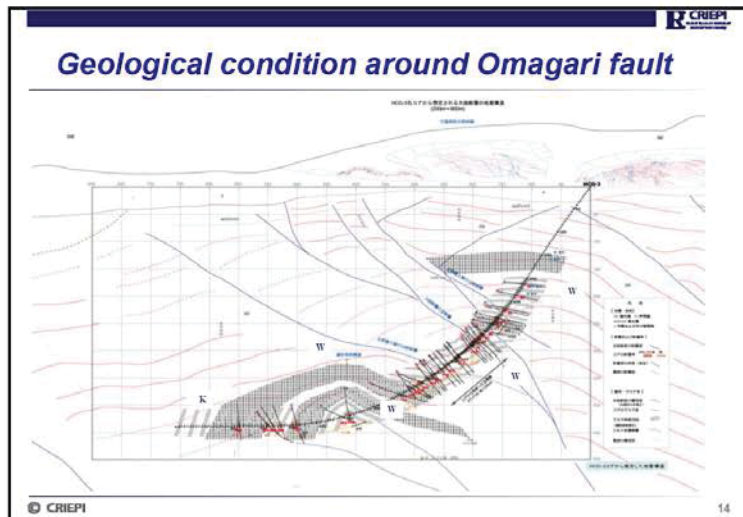
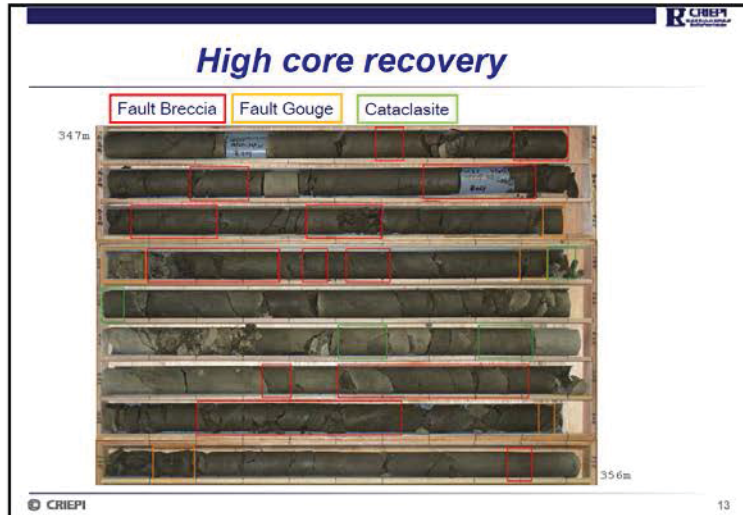
Project Schedule of directional Drilling


Technology/Year	Phase 1		Phase 2			Phase 3				
	2000-2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
(1) Drilling (Bending, MWD, Coring)	Development and System up		Improvement			Practical Realization				
(2) Measurement and Logging (LWD, Permeability, Water sampling, mechanical and stress measurement)	Development and System up		Improvement			Practical Realization				
(3) Monitoring	Conceptual		Detail Design and			Practical Realization				
(4) Physical Exploration (Sonic Tomography)						System up		Practical Realization		
(5) Verification of Applicability (In situ Drilling and measurement)	Hokushin site in Horonobe					kumihoronobe site in Horonobe				
(6) Systematization						Recommended procedure Application Expansion				





- ### Characteristics
- (1) Directional drilling in soft sedimentary rocks.
 - (2) High core recovery
 Rotational driving force located above core barrel >>> Less wobbling than conventional drilling
 WL-MWD >>> real time drilling information
 - (3) Small borehole diameter >>> existing survey tools can be diverted
 - (4) Exhaustive survey >>> Survey covers most geological characteristics necessary for site selection.
- © CRIEPI 12





Conclusion

- * In 2000, CRIEPI started the project to develop the directional drilling and survey system. This project was done under contracts awarded from the METI.
- * Drilling and survey system which can control direction and inclination of borehole and enable exhaustive survey necessary for site selection was developed.
- * As a collaboration research with JAEA, CRIEPI drilled two boreholes, HCD1&2 at the Hokushin site and HCD-3 at the Kami-Horonobe site, and conducted various surveys at the Horonobe site to estimate the applicability of the system until 2013.
- * The applicability of drilling and survey system was verified.

© CRIEPI 15





© CRIEPI 16

Development of Technology for Directional Drilling – Long-term Monitoring and Automatic Data Acquisition System -

Shidai A., Kiho K., Tomioka Y.¹, Matsumura S.², Kato M.³ and Saito Y.⁴

¹Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), Abiko, Japan; shidai@criepi.denken.or.jp

²KUMAGAI GUMI CO., LTD. Tokyo, Japan

³Geothermal Energy Research & Development Co. (GERD), Ltd. Tokyo, Japan

⁴Tokyo Electric Power Services Co., Ltd. (TEPSCO), Tokyo, Japan

In Japan, there are three stages of site-selection for the deep geological disposal of HLW. Literature surveys, followed by preliminary investigations (PIs) and finally, detailed investigations (DIs) are carried out in successive selection stages. Underground survey facilities are constructed in the final selection stage. Geological, environmental and radiological conditions might be affected by the construction of these underground survey facilities and the final repository. It is necessary to obtain the initial-state conditions of pore water pressure and water chemistry through long-term monitoring of boreholes during the PIs in order to estimate the influence on geological, environmental and radiological conditions by the construction of underground facilities and the final repository [1].

Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI) has been conducting a project for the directional drilling and measurement/logging technologies to survey hydro-geological condition at the PI stage [2]. 1000m length borehole was drilled by directional drilling technology in order to verify the drilling technology in Hokkaido. Long-term monitoring to clarify pore water pressure and water chemistry in the drilled borehole was also developed. We set measurement intervals on a hanging wall side of a main fracture and started the measurement of pore water pressure in 2014. We also started ground water sampling for water chemistry and groundwater dating in 2015.

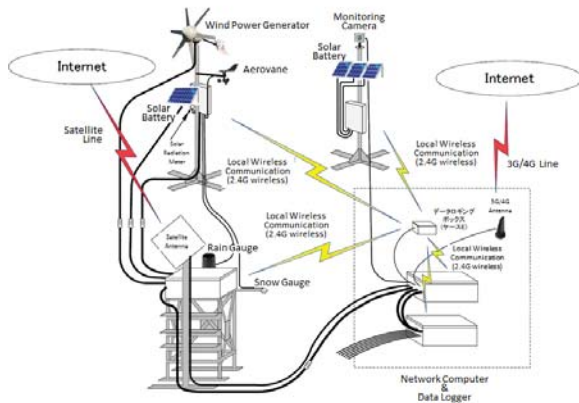


Figure 1: Configuration Diagram of Automatic Data Acquisition System

Long-term monitoring for several boreholes will be achieved in vast areas where power supply and/or communication networks are not available at the PI stage. Thus, we have been developing an automatic data acquisition system for long-term monitoring, which enables us to access data remotely [3]. The monitoring system is an automatic data acquisition system that performs long-term monitoring of pore water pressure. As for this

system, the power is supplied from solar photovoltaic generation and/or wind on a local commercial communication network service. Power generation and data communication is secured through a satellite line or 3G/4G line. Real-time consecutive monitoring is possible by remote control at the time of the event outbreak such as a big earthquake. Simultaneous monitoring is also possible by creating local wireless network for each survey point.

References:

- [1] Kurikami et al. (2010) Published by Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO)
- [2] Kiho et al. (2015) 8th Asian Rock Mechanics Symposium, RW2-6
- [3] Shidai et al. (2016) WM2016 CONFERENCE, 16079

Development of Technology for Directional Drilling - Long-term Monitoring and Automatic Data Acquisition System -

Shidai A., Kiho K., Tomioka Y.¹, Matsumura S.², Kato M.³ and Saito Y.⁴



¹Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), Abiko, Japan; shidai@criepi.denken.or.jp

²KUMAGAI GUMI CO., LTD. Tokyo, Japan

³Geothermal Energy Research & Development Co. (GERD), Ltd. Tokyo, Japan

⁴Tokyo Electric Power Services Co., Ltd. (TEPSCO), Tokyo, Japan

ABSTRACT

In Japan, there are three stages of site-selection for the deep geological disposal of HLW. Literature surveys, followed by preliminary investigations (PIs) and finally, detailed investigations (DIs) are carried out in successive selection stages. Underground survey facilities are constructed in the final selection stage. Geological, environmental and radiological conditions might be affected by the construction of these underground survey facilities and the final repository. It is necessary to obtain the initial-state conditions of pore water pressure and water chemistry through long-term monitoring of boreholes during the PIs in order to estimate the influence on geological, environmental and radiological conditions by the construction of underground facilities and the final repository [1].

Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI) has been conducting a project for the directional drilling and measurement/logging technologies to survey hydro-geological condition at the PI stage [2]. 1000m length borehole was drilled by directional drilling technology in order to verify the drilling technology in Hokkaido. Long-term monitoring to clarify pore water pressure and water chemistry in the drilled borehole was also developed. Long-term monitoring for several boreholes will be achieved in vast areas where power supply and/or communication networks are not available at the PI stage. Thus, we have been developing an automatic data acquisition system for long-term monitoring, which enables us to access data remotely [3]. The monitoring system is an automatic data acquisition system that performs long-term monitoring of pore water pressure.

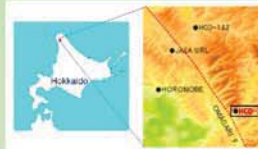


Fig.1 Location of the borehole (HCD-3)

As for this system, the power is supplied from solar photovoltaic generation and/or wind on a local commercial communication network service. Power generation and data communication is secured through a satellite line or 3G/4G line. Real-time consecutive monitoring is possible by remote control at the time of the event outbreak such as a big earthquake. Simultaneous monitoring is also possible by creating local wireless network for each survey point.

OBJECTIVES

Establishment of long term monitoring technologies in the borehole at the PI stage of site selection for HLW disposal.

OUTLINE OF THE BOREHOLE (HCD-3)

Since 2000, CRIEPI has been conducting a project on the development of directional drilling and measurement/logging technologies [2]. In FY2006, we began applying these technologies to the Ounagari fault, distributed at the Kani-Horonobe area in Horonobe-town, Hokkaido (site no. HCD-3). The borehole (HCD-3) was drilled 1000m long in the sedimentary rock layers by directional drilling technology from 2006 to 2013. The borehole intersects the Ounagari fault distributed in the northern Hokkaido.

In 2014, considering the hydro-geological conditions along the borehole, the SPMP (Stand Pipe Multi Packer) monitoring system was installed in the borehole and we began to measure the pore water pressure at three monitoring intervals on the hanging wall side of main fracture at lengths of 249.45-257.45 m (interval 1), 210.95-215.95 m (interval 2), and 208.45-209.95 m (interval 3). Interval 1 is in the intact Wakkanai formation and interval 3 is in the permeable fracture.

Ground water sampling for water chemistry and groundwater dating was also started at No. 3 monitoring interval in 2015.

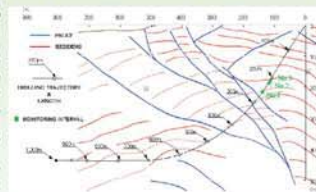


Fig.2 Directional Drilling Trajectory

OUTLINE OF THE MONITORING DEVICES

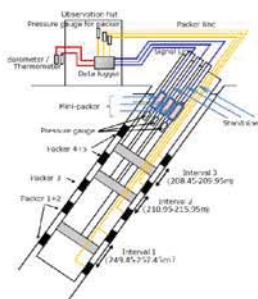


Fig.3 Standpipe Multi Packer System (SPMP) at HCD-3

PORE WATER PRESSURE

In the SPMP monitoring device, pore water pressure can be calculated using hydraulic head in the stand pipe measured by pressure sensor located beyond the water head. In Horonobe, artesian pressure was confirmed at each measuring section, so the mini-packer is set in the stand pipe and water pressure is measured by the pressure gauge located beneath the mini-packer.

The pore water pressure measurement of three intervals was started in February 22nd 2014.

The outline of the devices of the Standpipe Multi Packer System (SPMP) is shown in Fig.3. Since the packers are installed directly on the borehole wall between the casing pipes, the measurement intervals have no annulus. Thus, it is possible to ignore the effect of cement included in the annulus on the groundwater quality.

SPMP, which is easy to maintain during the monitoring, has been proven to perform satisfactorily for an inclined borehole. Kiho et al[4] improved SPMP partially such that it was compatible with the processed casing pipe and devised a groundwater sampler that could pass through a standpipe with an inner diameter of 21 mm. SPMP was installed on February 22, 2014 at HCD-3, and we started the measurement of pore water pressure of three intervals and water sampling was carried out twice in 2015.

The pore water pressure of interval 3 is higher than those of intervals 1 and 2. The pore water pressure of interval 3 is observed unstable due to water uplift for water sampling. The data lack of interval 2 is observed due to the failure and repair of mini-packer and the data of all intervals are intermittently missed due to the failure of the automatic data acquisition system (Fig.4).

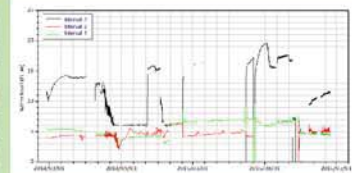


Fig.4 Measurement result of pore water pressure

WATER CHEMISTRY

The groundwater collected during drilling or shortly after drilling is supposed to be affected by the drilling mud. We check the possibility to get the base line of water chemistry, so to speak initial ground water chemistry by performing multiple ground water collections and analyses for a long term. In 2015, as a first year, we started to collect two water samples, No.2015_1 (collected in August) and No.2015_2 (collected in November) by uplifting ground water using double valve pump from the interval 3.

As the results of comparing with existing data, EW200 (Extracted Water from rock core of 200m deep) and 13R1314 (ground water collected at 210m deep by in-situ sampler in the aftermath of drilling), water chemistry of two samples collected in 2015 is almost same as EW200 rather than 13R1314, both samples is supposed to show the water chemistry with little affection of drilling mud (Fig.5). On the other hand, Oxygen and hydrogen isotope of No. 2015_2 is closer to EW200 than those of No.2015_1 (Fig.6).

These results show the water chemistry of collected samples comes closer the base line of initial ground water chemistry.

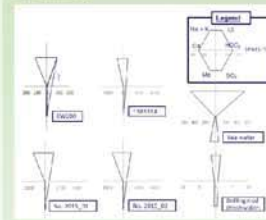


Fig.5 Water quality analysis results



Fig.6 Hydrogen and carbon isotope ratio

AUTOMATIC DATA ACQUISITION SYSTEM

We assume that long term monitoring for several boreholes will be achieved in vast areas where power supply and/or communication networks are not available at the PI stage. Thus, we have been developing an automatic data acquisition system for long term monitoring (Fig.7).

The power is supplied from solar photovoltaic generation and/or wind power generation and data communication is secured through a satellite line or 3G/4G line. The environmental information such as wind direction, wind speed, solar radiation, rainfall and snowfall, as well as the information about the peripheral equipment such as battery voltage and ambient image, are to be measured or monitored.

Real-time consecutive monitoring is possible by remote control at the time of the event outbreak such as a big earthquake. Simultaneous monitoring is also possible by creating local wireless network for each survey point (Fig.8).



Fig.7 Basic stand-alone data acquisition system at HCD-3



Fig.8 Simultaneous monitoring in vast areas

ACKNOWLEDGEMENTS

The research and development for this study are funded by the Agency for Natural Resources and Energy, a subsidiary of the Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) and have been carried out as a program for the systematization of the controlled drilling technology and measurement method used in boreholes. In situ drilling and surveying were conducted in collaboration with the Horonobe Underground Research Center of the Japan Atomic Energy Agency (JAEA). The authors would like to thank them for their cooperation.

REFERENCES

- [1] Kikukami et al. (2010) Published by Nuclear Waste Management Organization of Japan, NUMO-TR-10-01 (written in Japanese with English abstract)
- [2] Kiho et al. (2015) Proceedings of 8th Asian Rock Mechanics Symposium, RW2-6
- [3] Shidai et al. (2016) WM2016 CONFERENCE, 16079
- [4] Kiho et al. (2011) Proceedings of Japan Society of Engineering Geology, (written in Japanese with English title)

August 08, 2016

Review workshop

Kenzo KIH0
CRIEPI

Objective of this visit

Since 2000, Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI) has been developing technology of directional drilling (called Controlled Drilling) which is not affected by geological and geometrical confinement of the site in order to contribute to High Level Waste (HLW) management, especially to efficient site selection for final repository.

Most part of development of drilling and survey technology was completed successfully by 2013. Only long term monitoring technology is still under developing and it will be finished in 2017.

At the moment, in order to achieve the practical use of directional drilling technology, I am going to make a consortium or organization to conduct directional drilling for the civil engineering area.

We will visit NAGRA for having a meeting;

- (1) To review the directional drilling technology CRIEPI has been developing.
- (2) To collect the information about current status of Sectoral plan and drilling technology used for the site selection in Switzerland.

CRIEPI's directional drilling for HLW management

Please refer the PDF file attached

1. Background and Objectives

In Japan before construction of the final repository, three selection stages are planned and at the second stage we will start field survey such as geological survey, geophysical exploration and drilling in order to construct hydro-geological model of the candidate sites.

At limited topographical condition such as coastal area, directional drilling which can control azimuth and inclination of the borehole might be efficient comparing with conventional vertical drilling. In addition in order to construct hydro-geological

model, geological, hydraulic and geochemical survey in the borehole is required.

In consideration for above background, we have been developing technology of the directional drilling which can control the direction of the bore hole and survey the hydro-geological condition in its borehole.

2. Outline of directional drilling

This drilling system is composed of DHA (Down Hole Assembly), casing pipe following the DHA in order to case the borehole wall protecting borehole wall collapse, and the armored cable with inserting apparatus which can push down and pull up the down hole tools easily and can transmit the data of the DHA by the telemetry line installed inside the armored cable.

From the bottom, the DHA is composed of drilling bit and core barrel, reamer, down hole motor, WL-MWD and WL-LWD. And also, at the connection part between the down hole tools and Casing pipe, there is a latch coupling which can fix them, and seal connection part to refrain from leaking out of the mud water.

The mud water flow down inside the casing pipe and also inside LWD and LWD, and can rotate the down hole motor, then most of them flow up to the surface through the annulus, the aperture between the borehole wall and casing pipe.

The tools for drilling can be pulled up to the surface by using cable in each 3m to collect core sample, and if the test is necessary, the drilling tools will be changed to the testing tools.

When a kind of measurement/logging is judged to conduct at a specific depth based on the data from rock core, mud log, WL-MWD and WL-LWD, we stop drilling and change the DHA from drilling assembly to measurement assembly to carry out the measurement. Measurement assemblies are composed of permeability testing/water sampling composition and borehole pressure meter/stress measurement composition.

Using permeability testing/water sampling composition, we can measure the permeability and collect underground water at the separated open hole section, also we can observe the borehole wall condition such as fracture and joint during measuring.

This system is based on the wire line, but conventional wire line method can't insert the drilling and measurement assembly in the gently sloping or horizontal hole. The water pressure inserting apparatus (so called pump-in system) which can insert the DHA by using pressure of mud water was developed.

3. Characteristics of the system

- (1) Rotation system, sub-structure for vending hole and MWD (Measurement while

drilling) which can obtain the real time information of azimuth and inclination of the hole are set up at the head of the drilling system and casing pipe follows these tools. This enables accurate direction control and stable case of the borehole. Considering relationship between length and diameter of the down-hole tools and inner diameter of the casing pipe, curvature of this system is up to 1.5 degree per 10m and 1.0 degree per 10 meter is adopted for usual drilling.

(2) Comparing with conventional drilling system which torque is transferred from surface to underground through drill pipe, the motor of this system is located immediately above the core barrel, so there is little wobbling of the drill bit. Drilling information such as mud pressure, temperature, weight on bit and torque can be obtained in real-time by the MWD. Core recovery of this system is very high because there is little wobbling of the drill bit and real time drilling information makes optimum drilling possible.

(3) The overall geological setting can be estimated by the geological, hydraulic, geochemical, geo-mechanical information obtained by LWD, MWD, permeability test, water sampling, stress measurement and analysis/measurement of core samples.

4. Issue of the system

(1) Drilling rate(ROP: Rate of Penetration)

Maximum drilling day rate with coring is 15m. We need increase day rate more than 25m to win a competitive battle with conventional drilling.

We recognize the most contributing factor of low drilling rate is under reamer (wing bit).

(2) Devolution of technology and know-how

We completed main part of technology development and application to the site by 2013. At the moment NUMO has no plan to conduct a directional drilling project being ahead of site selection.

Questionnaire

It is necessary to share the information of drilling and survey for having an effective discussion in a short time when we visit you. For this reason I will ask you the outline of the drilling and survey technology you use.

Please answer as much as you can and send back to me no later than August 22.

Also, if you have any documents or articles used for the workshop please let me know the reference or send them to us.

Current status of Sectoral plan

From the sectoral plan, I recognize you are in the second stage of site selection. The second selection stage excludes field survey, but you will start the field survey such as geological survey and drilling at the third selection stage, if necessary.

We would like to know the current status of the Sectoral plan and planned schedule of site selection especially 3rd stage and the next stage, as follows;

Drilling and survey plan for the third selection stage and the next stage.

In the site selection process Switzerland currently is in the 2nd of 3 stages. The end of the 2nd stage is marked by the decision of the Swiss parliament approving the selection of potential repository sites proposed by Nagra. Nagra has submitted all relevant documentation for the 2nd stage of the site selection process. It is now down to external experts and the authorities to review these documents. Currently the decision by the Swiss parliament is envisaged for the end of 2018.

Because of the many authorities involved in the approval process for the deep boreholes and the anticipated long approval times, Nagra will submit the first drilling applications in September 2016. It is the current understanding that the authorities will not approve Nagra's deep boreholes before the parliamentary approval of the 2nd stage of the site selection process. All in all, Nagra currently envisages to start drilling by the beginning of 2019.

How wide is the candidate site?

The candidate repository sites are located in northern Switzerland. Their size varies from approx. 50km² to 65km². The most suitable potential repository fields within those repository sites measure (e.g. for high level waste) are approx. 5km² to 15km². Figures and a more detailed description can be found on Nagra's homepage <http://www.nagra.ch/en/hlwsitingregions.htm>

How many boreholes do you plan and how deep is each borehole?

The current exploration concept foresees the option for 7-8 deep boreholes per repository site. In the sites to be investigated, the approx. 100m thick layer of Opalinus Clay can be found in a depth range between approx. 300m to 1000m below ground. The boreholes are aimed to investigate the stratigraphic sequence relevant for the geological repository, which also includes sections below the future repository level, therefore most boreholes will reach a vertical depth between approx. 800m to 1500m below ground.

How deep is the repository located?

Nagra is of the opinion that a repository for high-level waste in the Opalinus Clay should be constructed no deeper than 700 meters and a repository for low- and intermediate-level waste no deeper than 600 meters.

Do you have any plan to conduct inclined or directional drilling during site selection?

Many boreholes will be as vertical as possible, some boreholes will be inclined (up to 45° from vertical); currently no directional boreholes are planned.

How is the relationship between depths of repository and borehole?

The depth of a repository and the boreholes correlate, unless a special target (e.g. such as a fault zone) has to be investigated.

How long will you conduct each drilling?

Including the site preparation and construction, the actual drilling operation and all the borehole measurements each borehole will take several months until completion. Up to 3 boreholes might be executed simultaneously. After completion, selected boreholes might be equipped with a long-term monitoring system measuring water pressure and temperature for many years to decades.

What kind of logging and borehole survey do you plan to conduct?

Nagra is mainly interested in structural, sedimentological, petrophysical, geophysical, hydrogeological, geochemical and geomechanical information. Therefore most borehole sections are cored, documented, conditioned and sent for detailed investigations to laboratories. Within the borehole itself Nagra conducts geophysical measurements (such as e.g. wire line logging and vertical seismic profiling), hydrogeological measurements (especially permeability testing and partially also fluid logging as well as water and gas sampling) and geomechanical measurements (such as e.g. stress measurements with mini frac method)

Drilling technology

Could you inform us about drilling technique you are using or you will develop/use

for coming site selection.

1. Geology targeted (geological era, physical properties)

The target host rock is the Opalinus clay. Detailed rock properties can be found in e. g. :

NTB 02-05 Project Opalinus Clay: Safety report. Demonstration of disposal feasibility for spent fuel, vitrified high-level waste and long-lived intermediate-level waste (Entsorgungsnachweis). Nagra Technical Report NTB 02-05, Wettingen, 2002.

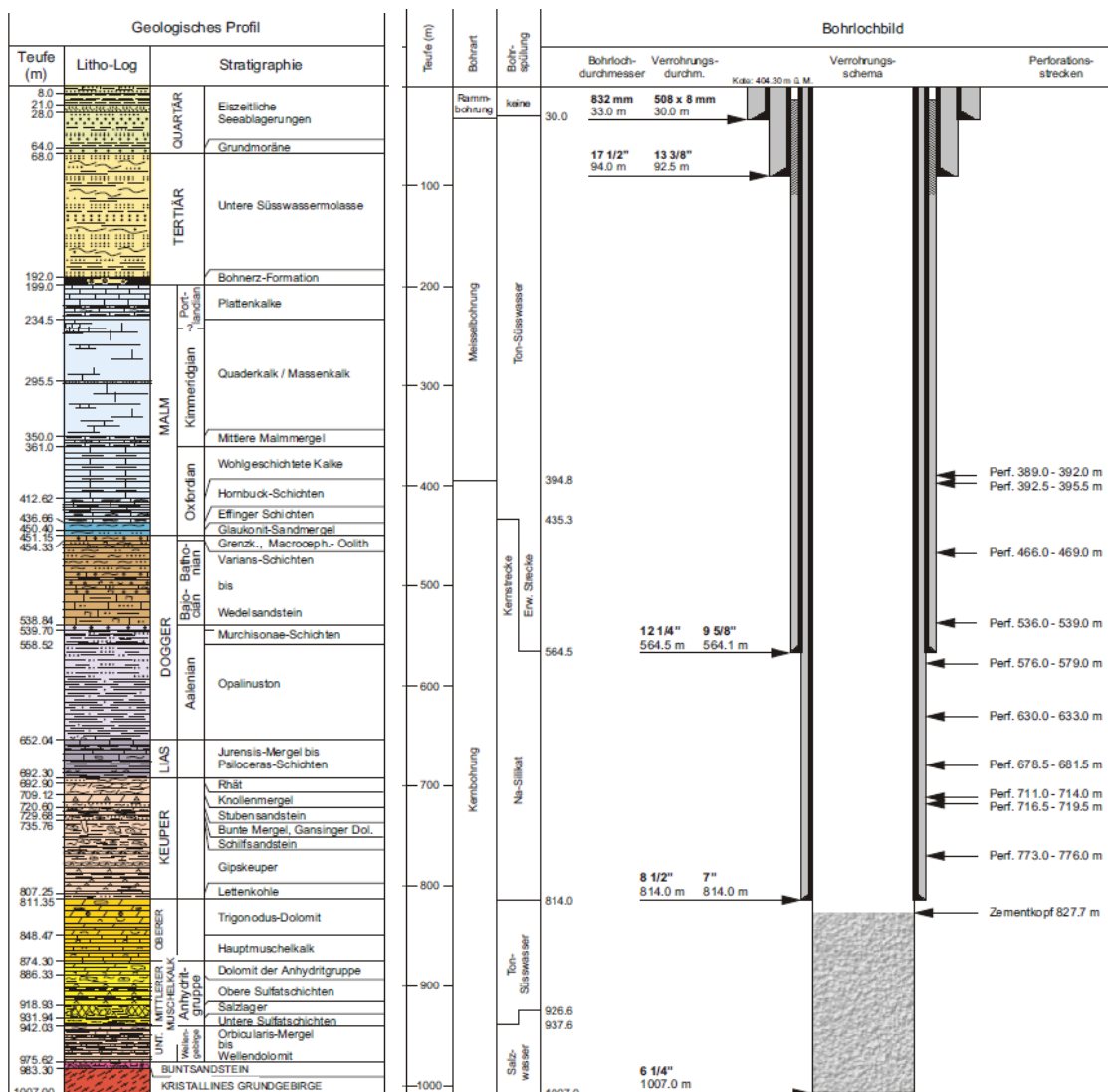
<http://www.nagra.ch/en/cat/publikationen/technicalreports-ntbs/ntbs-2001-2013/downloadcentre.htm>

2. Drilling assembly (vertical hole and inclined hole)

In the cored sections Nagra's contractors will use standard wire line core barrel equipment for drilling.

3. Casing program

The casing program will be designed according to the experience with the given geological conditions and checked with calculations based on formation properties such as pore pressure, frac pressure, formation strength etc. A typical casing scheme might look like the one applied at the Benken borehole:



4. Well planning in case of inclined well (KOP (kick off point), deviation, build up rate and dogleg)

This is not foreseen; if needed the kick off point will most likely be in the stable Malm Limestone Formation

5. ROP (Rate of penetration)

Nagra typically cores in deep boreholes with approx. 0.5m/h to max. 2.0m/h

6. Time schedule

The start of drilling of the first deep boreholes is foreseen for the beginning of 2019; the drilling campaign is envisaged to be completed within approx. 3 to 5 years.

7. Presence or absence of coring, Coring method if presence

Coring with standard wire line core barrel; less relevant sections (such as the quaternary) might not be cored.

8. Mud type (OBD (Oil Based Mud) or WBM (Water Based Mud))

Nagra drilled borehole Benken in the 1990s with sodium silicate mud. The ideal mud type for the future campaign will be assessed in the coming months. Drilling 100 m Opalinus Clay with OBM will most likely not be the preferred option, not only for cost but also for environmental and HSE reasons. Moreover, because of the over- and underlying aquifers the authorities most likely will not allow drilling with OBM.

9. Drilling parameter (What kind parameter, How often obtained, Resolution)

Usually an independent company measures electronically the following drilling parameters: depth, rate of penetration, weight on bit, hock load, rotation, torque, pump parameters, mud pressure, tank / bit filling levels, selected mud properties, wind speed, etc. Measurement frequency depends on the parameter and typically varies between 10 measurements in one second to one measurement in 10 seconds.

Borehole survey and operation in well

1. Logging items, measurement items

Usually all of Nagra's borehole sections are logged, not only caliper and deviation as well as temperature and salinity, but also natural (and spectral) gamma ray, resistivity, (full-wave) sonic and acoustic borehole wall image as well as mostly also gamma-gamma-density and neutron-porosity, etc. Finally with cement bond logs the properties of the cemented casing are checked.

2. Presence or absence of monitoring, well alignment and monitoring item if presence

After completion, selected boreholes might be equipped with a long-term monitoring system measuring water pressure and temperature for many years to decades. Currently multi-packer-systems with down- and / or up-hole sensors are foreseen.

3. Presence or absence of specific operation in the well, Outline of operation if presence (Objective, procedure)

For the long-term monitoring systems, the cemented casing typically is perforated with explosives in order to allow a flow path from the formation into the measurement interval.


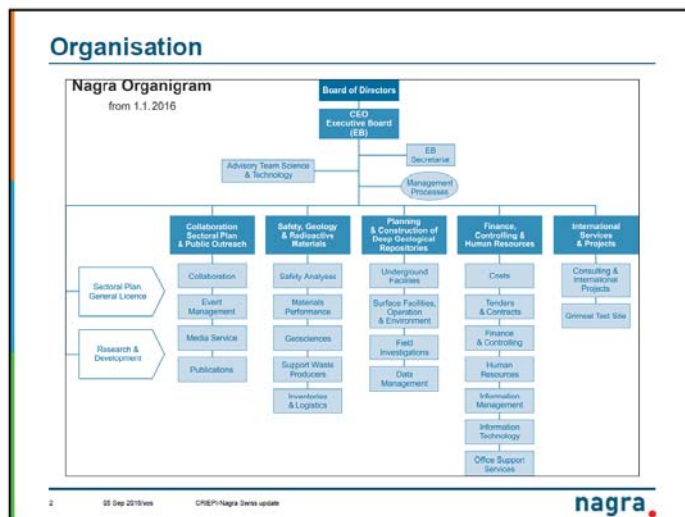
Review of our technology

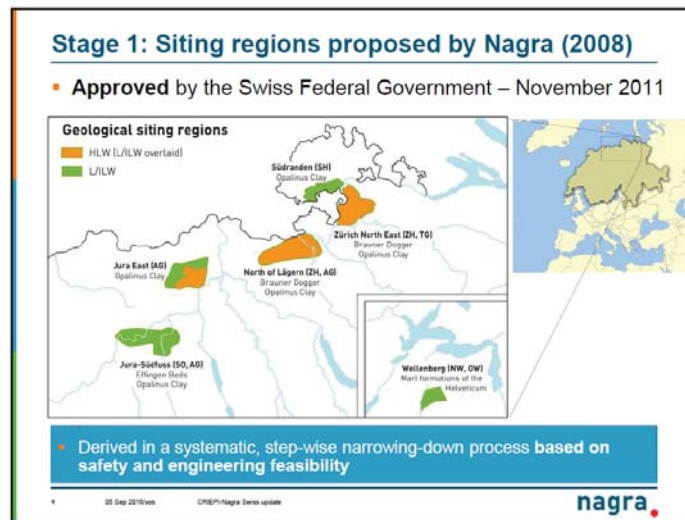
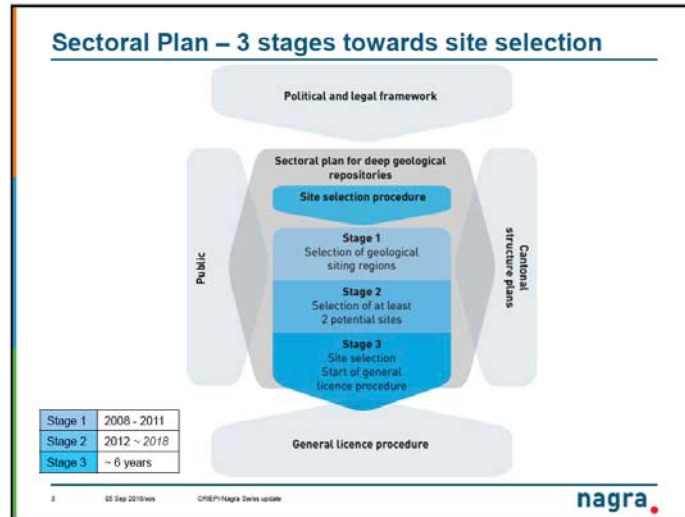
I will send an articles introducing directional drilling CRIEPI has been developing.

If you have any comments or questions, please inform us before hand.

Radioactive Waste Management in Switzerland – Update on site Selection Process and RD&D activities

CRIEPI-Nagra meeting, Wettingen, 5 September 2016
Messrs. K. Kiho, A. Shidai
Stratis Vomvoris, Head ISP



Stage 2: Select at least 2 Sites

05 Sep 2019/ves CNEP/nagra Swiss update

Evaluation of siting regions – Qualitative criteria

- Based on **decision-relevant features and indicators** defined by ENSI regarding the following aspects
 - Effectiveness of the geological barrier
 - Long-term stability of the geological barrier
 - Explorability and ease of characterisation of the geological barrier in the siting region
 - Engineering feasibility of a deep geological repository

- Does a siting region display **“clear disadvantages”** compared to other regions? (= evaluation results lower than “suitable”)

Decision-relevant Features (DLW)

Region	Very suitable	Suitable	Limited suitability	Less suitable
Zürich Nordost	2	1	0	0
Nordost Lägern	1	1	1	1
Jura Ost	1	1	0	0

Decision-relevant Features (IL/ILW)

Region	Very suitable	Suitable	Limited suitability	Less suitable
Solothurn	1	1	1	0
Zürich Nordost	1	1	0	0
Nordost Lägern	1	1	0	1
Jura Ost	1	1	0	0
Jura Nordwest	1	1	1	0
Winterthur	0	0	2	1

Very suitable

Suitable

Limited suitability

Less suitable

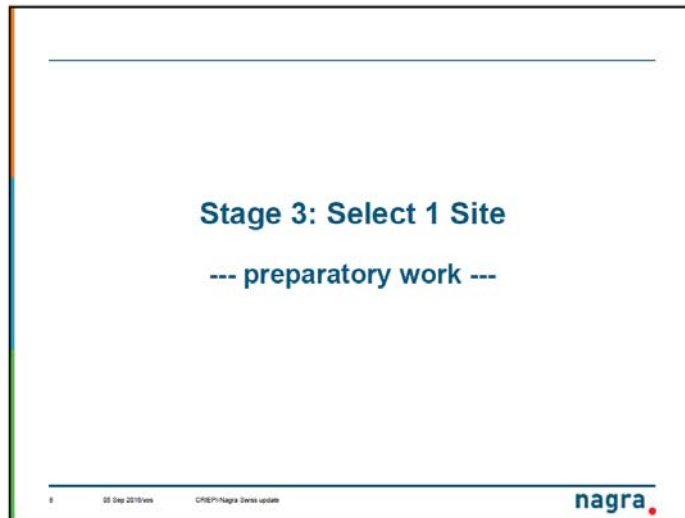
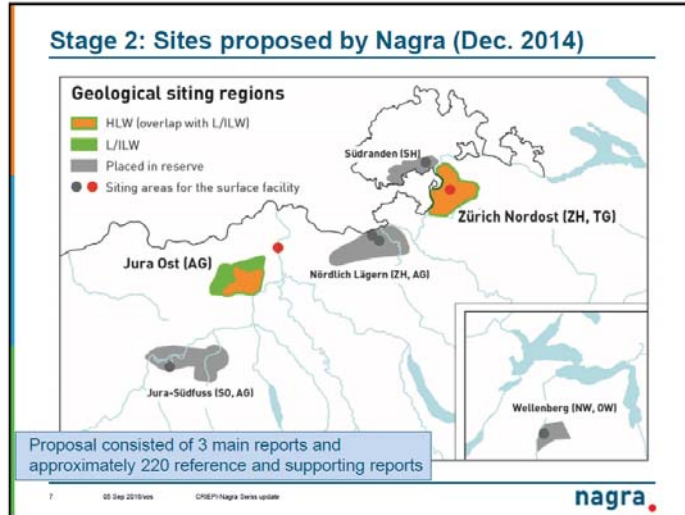
Very suitable

Suitable


Limited suitability

Less suitable


05 Sep 2019/ves CNEP/nagra Swiss update



3D-seismic campaigns: Interpretation underway



Jura Ost
October 2015 – February 2016
96 km²




Zürich Nordost
February 2016
21 km²

High degree of acceptance

- 2,189 landowners contacted
- 98% of the landowners gave permission for seismic measurements on their ground

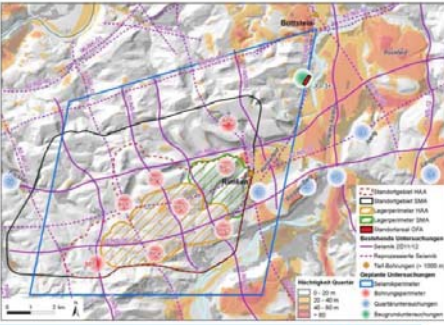
05 Sep 2015/rev CHSE/PI/Nagra Swiss update




Planned drilling campaigns (deep boreholes)

- Approximately 8 drilling permit applications per site for Stage 3 will be submitted (as requested by Nuclear Energy legislation)
- Borehole locations defined in collaboration with the cantons, the communities and the landowners

Example - Jura Ost



05 Sep 2015/rev CHSE/PI/Nagra Swiss update



Current status of Sectoral plan process (1/2)

- Review of Nagra's proposals for Stage 3 underway at ENSI

Geological siting regions

- HLW overlap with L/LW
- L/LW
- Placed in reserve
- Siting areas for the surface facility

- In September 2015 request for supplementary information concerning the indicator → **Depth with respect to engineering feasibility**
 - Relevant for the evaluation of the siting region Nördlich Lägern (~ 900 m)
- Additional documentation submitted to ENSI in July 2016

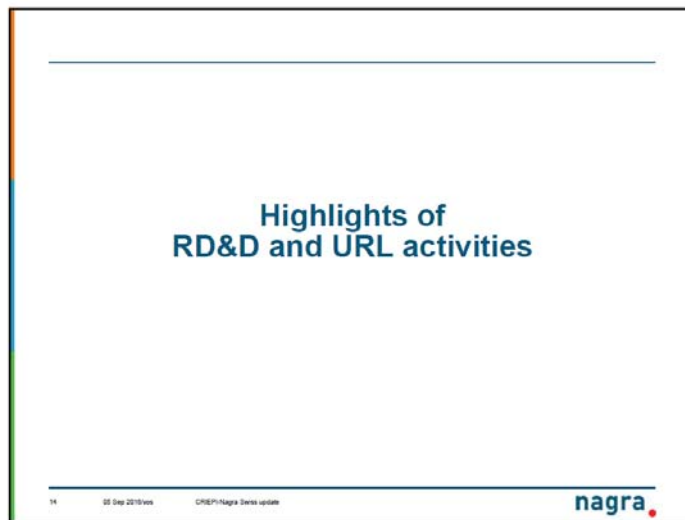
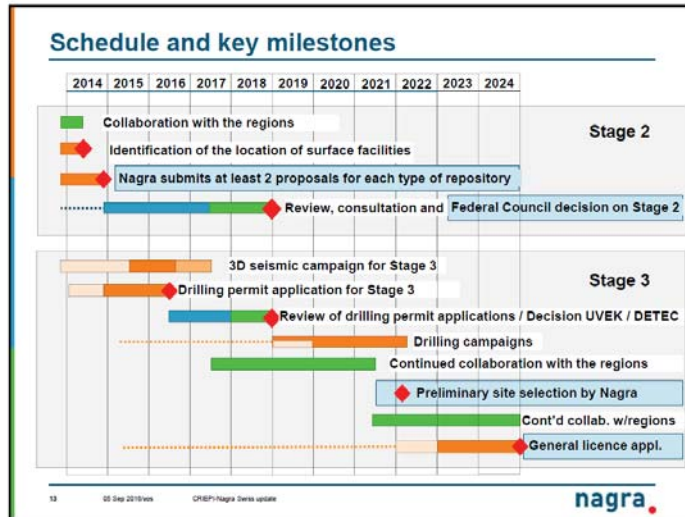
11 05 Sep 2015/rev CNEP/Nagra Swiss update **nagra**

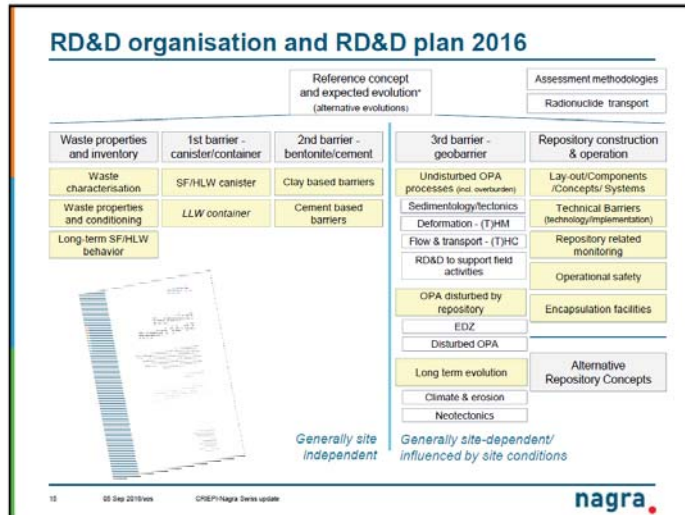
Current status of Sectoral Plan process (2/2)

- In February 2016, report by cantonal expert groups:
 - Generally supportive, but call for further investigations to be carried out in the Nördlich Lägern region
- In order to avoid delays in case the government concludes the region should undergo further investigation, Nagra has started **planning the investigations for Nördlich Lägern**, i.e.
 - prepared an exploration concept for Stage 3, including a 3D seismic campaign
 - is evaluating potential sites for deep boreholes
 - submitted a preliminary report for the EIA



3D-seismics planned for Winter 2016/2017

12 05 Sep 2015/rev CNEP/Nagra Swiss update **nagra**









LLW – Start of the gas generation experiments

- Long term quantification of gas generation from organic substances in the LLW containers at Zwiilag – setup in 2015

- Contributing to reducing the uncertainties regarding the gas source term
- In 2016 – verification of setup and monitoring

16 02 Sep 2015/rev CR&D/Nagra Swiss update **nagra**

RD&D for alternatives and optimisation: Canister

Reference concept: Carbon steel canisters – 14 cm wall thickness



Additional alternatives:
Copper canister with cast iron insert (Posiva, SKB)



Alternative: Copper-coated steel (with NWMO)




Load tests




17 05 Sep 2019/rev CH&P/Nagra Swiss update **nagra**

Research at underground rock laboratories


Owned by the Canton of Jura
Operated by swisstopo
In operation since 1996




Owned and operated by Nagra
In operation since 1984




Mont Terri Project




Opalinus Clay



Grimsel Test Site



Crystalline rock



18 05 Sep 2019/rev CH&P/Nagra Swiss update **nagra**

Highlights of demonstration experiments

FEBEX – Excavation after 18 years

FE – Full scale emplacement experiment

Start heating in February 2015
Temperature distribution bentonite outer surface (fiber optic)

GAST – Gas transport through bentonite/sand barriers

In-situ emplacement machine

19 05 Sep 2015/rev. CRN/PI/Nagra Swiss update **nagra**

Grimsel Test Site - Partner Organisations

- 21 partner organisations from 12 countries & EU

ANDRA	(France)
CIEMAT	(Spain)
CRIEPI	(Japan)
BMW/KIT	(Germany)
BGR	(Germany)
ENRESA	(Spain)
ETHZ	(Switzerland)
HYRL	(Finland)
JAEA	(Japan)
KAERI	(Korea)
KORAD	(Korea)
NAGRA	(Switzerland)
NRI	(Czech Republic)
NUMO	(Japan)
NWMO	(Canada)
Obayashi	(Japan)
POSIVA	(Finland)
RWM	(UK)
SURAO	(Czech Republic)
SKB	(Sweden)
USDOE	(USA)

20 05 Sep 2015/rev. CRN/PI/Nagra Swiss update **nagra**

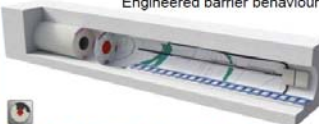
Grimsel Test Site - Status of Experiments

Project	-> 2016	-> 2018 and onwards
LCS / JGP	Long-term Cement Studies	
FEDEX-DP	Full-scale HLW EBS Experiment – Dismantling	
GMT-SB/C	Interface sampling	
CFM* / LTD*	Colloid Formation and Migration / Long Term Diffusion	
TEM / LSP (MODERN I/II)	Test and Evaluation of Monitoring Techniques / Low-pH Shotcrete Plug experiment	
ISC	In-situ Stimulation and Circulation Test	
GAST	Gas Permeable Seal Test // Includes also FORGE Mock-up Excavation	
LASMO	Large scale Monitoring	
MaCoTe	Material Corrosion Test	
EBS Lab (BELLT, ...)	Verification and calibration of tools for interpreting data from EBS studies (Bentonite Long-term Load Test)	
¹⁴ Cement*	planning and implementation	
HotBENT	planning and implementation	
New Ideas	In discussion	


21 02 Sep 2016/rev CHSE/FN/Nagra Swiss update *Use of radionuclides in the in-situ experiments* **nagra**








Febex Excavation (1:1 scale test) after 18 yrs

Engineered barrier behaviour



Analysis of over 1,200 samples through more than 20 international laboratories in 2016



22 02 Sep 2016/rev CHSE/FN/Nagra Swiss update **nagra**

New projects

23 05 Sep 2019/rev CHSE/FH nagra Swiss update **nagra**

HotBENT - Test EBS at temperatures >150°C

Modules as of partners indications

Concept & Planning discussions

The diagram shows a 3D perspective of the HotBENT test setup, which is a long, narrow, rectangular container with a central cylindrical component. Below this, five options for testing are presented as a series of colored boxes, each representing a different material and temperature range:

- Option 1:** Wyoming Concrete, Steel A, 125...175°C
- Option 2:** FEBEX Wyoming bentonite, Copper, Concrete high pH, 200...°C
- Option 3:** Wyoming FEBEX bentonite, Steel, Concrete high pH, 200...°C
- Option 4:** Czech bentonite, Steel, Concrete low pH, 150...200°C
- Option 5:** Japanese bentonite, stable water chemistry, Carbon cast iron steel, Concrete low pH, 200°C

Not to scale

24 05 Sep 2019/rev CHSE/FH nagra Swiss update **nagra**

Objectives of the ¹⁴Cement project

Study role of cement in C-14 retardation

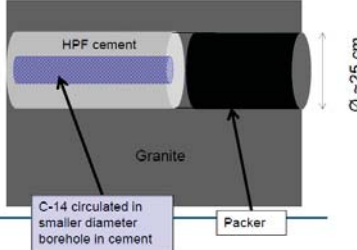
- Transport and sorption of C-14 in naturally aged cement in a water conducting feature

Main objectives

- Upscale to URL scale the sorption of C-14 on cementitious material measured in the laboratory
- Improve prediction capability of models for interactions of C-14 and cementitious materials
- Consolidate results with laboratory experiments

Monitor/analyse

- Input concentration decrease rate
- Tracer and C-14 concentrations in surrounding monitoring boreholes
- Post-mortem diffusion profiles of C-14 in cement




25 05 Sep 2016/rev CNEP/Nagra Swiss update

Training course on seismic exploration for DGR

Topics

- Theory and application of 2D and 3D seismic survey design methods
- Environmental impact assessment
- Field visits to observe ongoing acquisition
- Seismic processing and interpretation (Nagra case study)
- Use of geophysical borehole data, VSP and depth calibration
- GIS database: usage for communication, permitting and survey QC



Course Details:

- 5-day block, November 2016 – January 2017
- Maximum 8 participants/course
- Combination with 3D seismic data acquisition in Nördlich Lägern (NL)

25 05 Sep 2016/rev CNEP/Nagra Swiss update

nagra

GTS Summer School 2017

In-situ Testing and hydraulic Characterisation

Aims:


- URL specific knowledge transfer
- Use of state-of-the-art techniques of rock characterisation and documentation
- Gain of hands-on experience

Topics:

- Core handling & documentation
- Single-hole hydraulic testing (packer tests)
- Borehole logging

Course Details:

- 5 days, July or August 2017
- Maximum 12 participants



27 05 Sep 2016/rev C/NEP/nagra Swiss update

nagra



Thank you
for your interest

nagra

AN 17-141 / Appendix B

Review Workshop, 5th September, 2016, NAGRA Wettingen, Switzerland

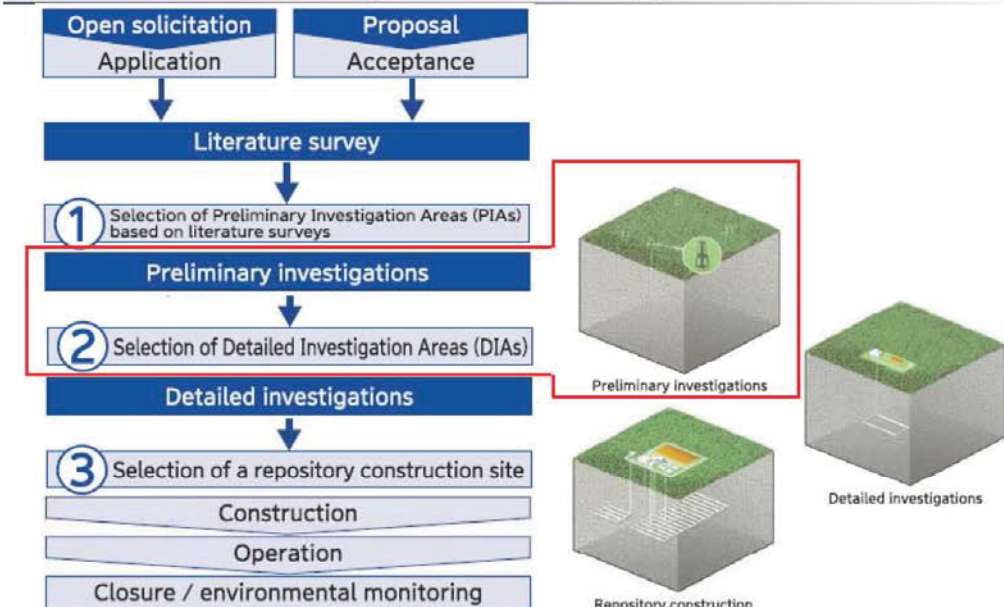
Directional Drilling System - Outline of the System and its Application for Omagari Fault in Hokkaido-

Kenzo KIHO, Akira SHIDAI
Central Research Institute of Electric Power Industry

 CRIEPI

Schedule of HLW Disposal

(from NUMO Homepage)



The flowchart illustrates the schedule of HLW disposal, starting with 'Open solicitation Application' and 'Proposal Acceptance', leading to 'Literature survey'. It then proceeds through three numbered steps: 1) 'Selection of Preliminary Investigation Areas (PIAs) based on literature surveys', 2) 'Selection of Detailed Investigation Areas (DIAs)', and 3) 'Selection of a repository construction site'. The final stages are 'Construction', 'Operation', and 'Closure / environmental monitoring'. To the right, three 3D block diagrams illustrate the progression: 'Preliminary Investigations' (a block with a small green area), 'Detailed investigations' (a block with a larger green area), and 'Repository construction' (a block with a full green area and a structure).

© CRIEPI 2

Objectives

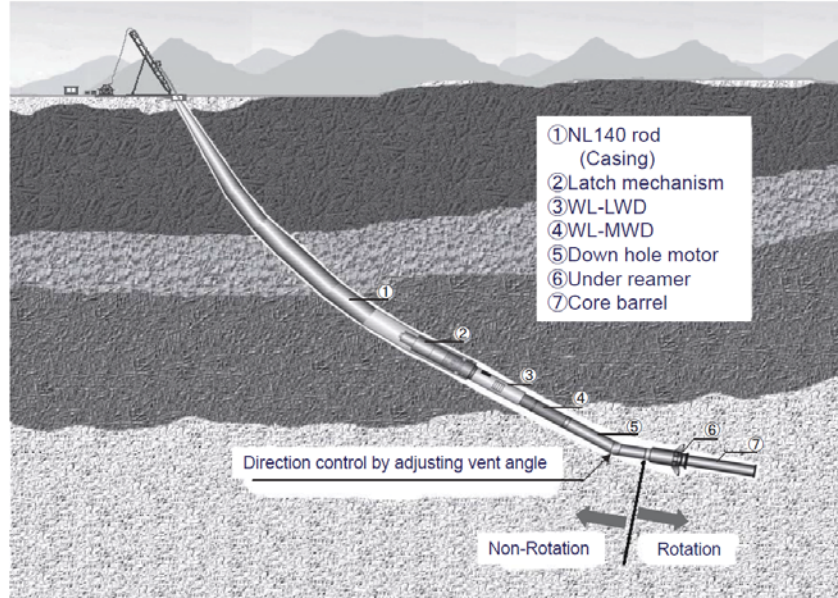
To develop directional drilling system until selection of areas for detailed investigation will start.

- to control the direction and inclination in order to drill boreholes under the limited topographic condition, such as coastal area.
- to collect core samples while drilling
- to enable the logging and measurements in the borehole.

Goals

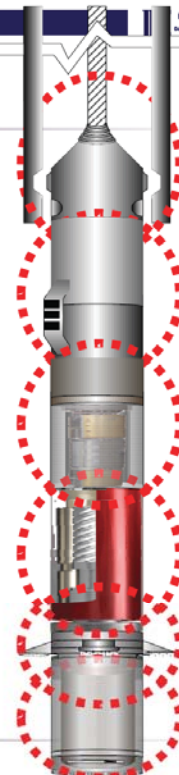
- To develop the technology for the directional drilling of 1000 m long and 500 m deep in the Neogene soft sedimentary rock at the coastal area.
- To collect full core sample while drilling considering the measurements using core sample is very useful for the soft sedimentary rock.
- To make the hole as slim as possible considering the safety handling and cost performance.
- To make several measurements and loggings possible while drilling and monitoring after drilling.

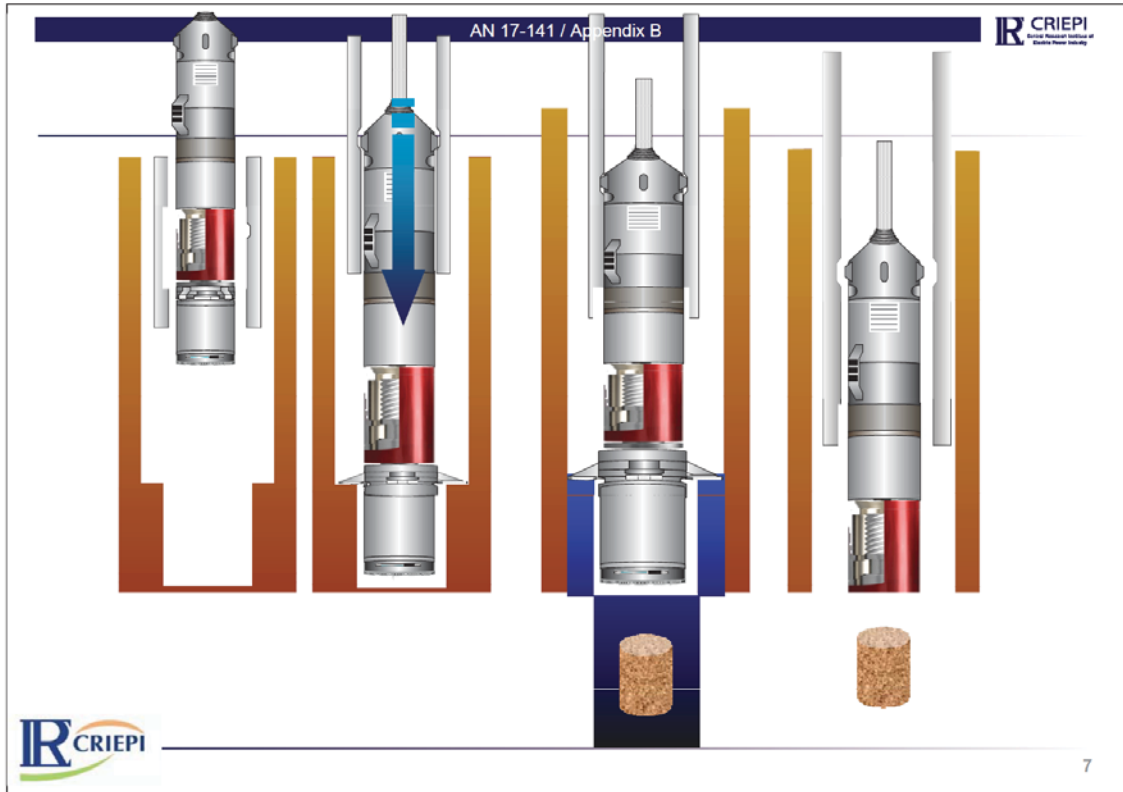
Conceptual Design of the System



Downhole Tool —Drilling and Logging Module—

- Latch System/Cable Head/Pump-in system
- WL-LWD
- WL-MWD
- Downhole Motor
- Wing Bit (Reamer)
- Core Bit/Core Barrel





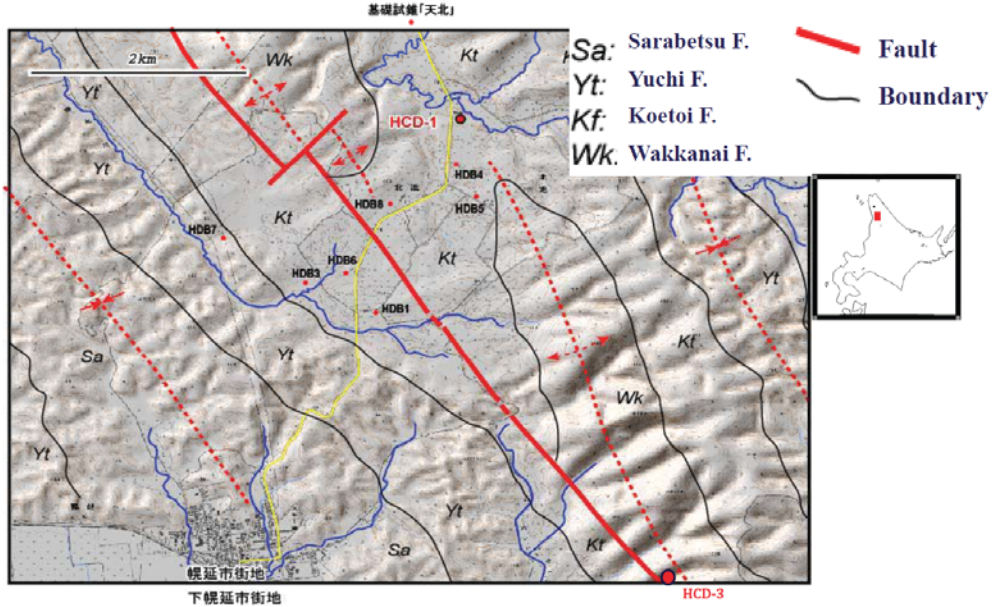
Project Schedule of directional Drilling

Technology/Year	Phase 1		Phase 2			Phase 3				
	2000-2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
(1) Drilling (Bending, MWD, Coring)	Development and System up	Improvement				Practical Realization				
(2) Measurement and Logging (LWD, Permeability, Water sampling, mechanical and stress measurement)	Development and System up	Improvement				Practical Realization				
(3) Monitoring		Conceptual		Detail Design and		Practical Realization				
(4) Physical Exploration (Sonic Tomography)					System up		Practical Realization			
(5) Verification of Applicability (In-situ Drilling and measurement)	Hokushin site in Horonobe			kamihoronobe site in Horonobe						
(6) Systematization						Recommended procedure				
						Application Expansion				

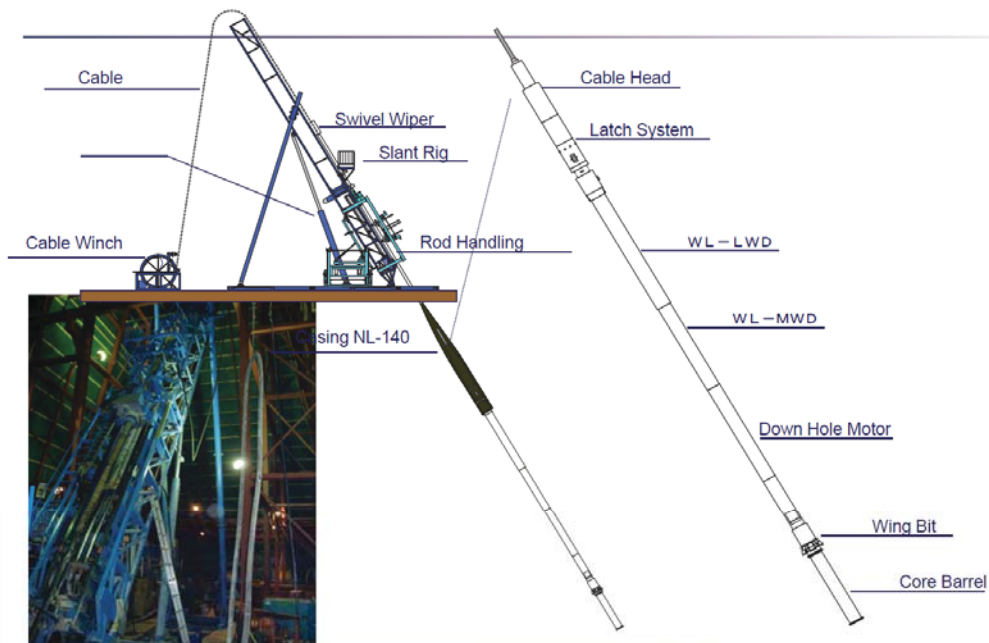
© CRIEPI

8

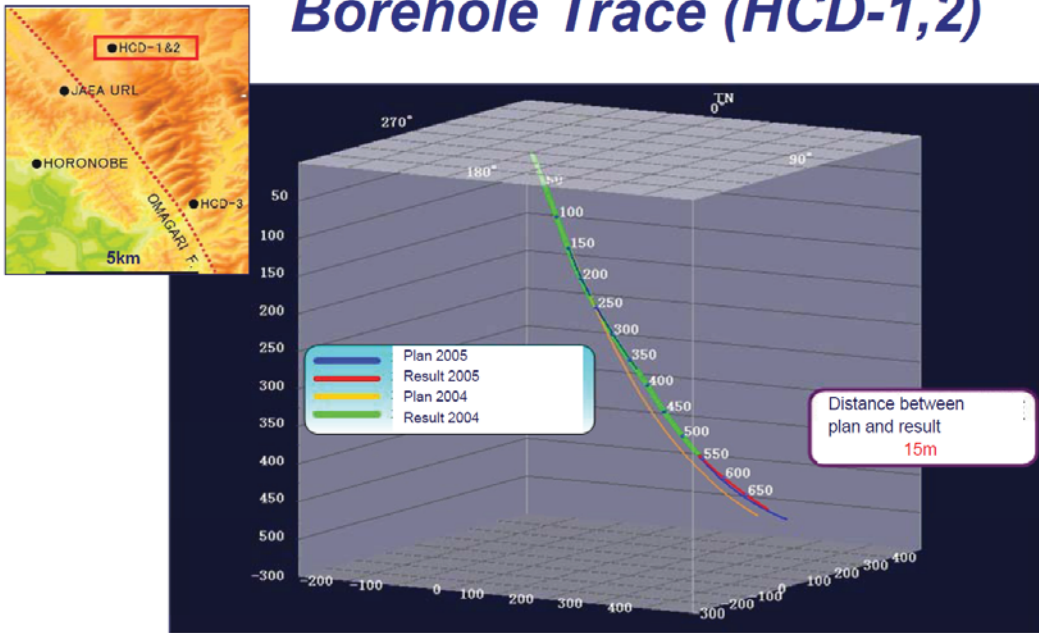
Geology at Horonobe



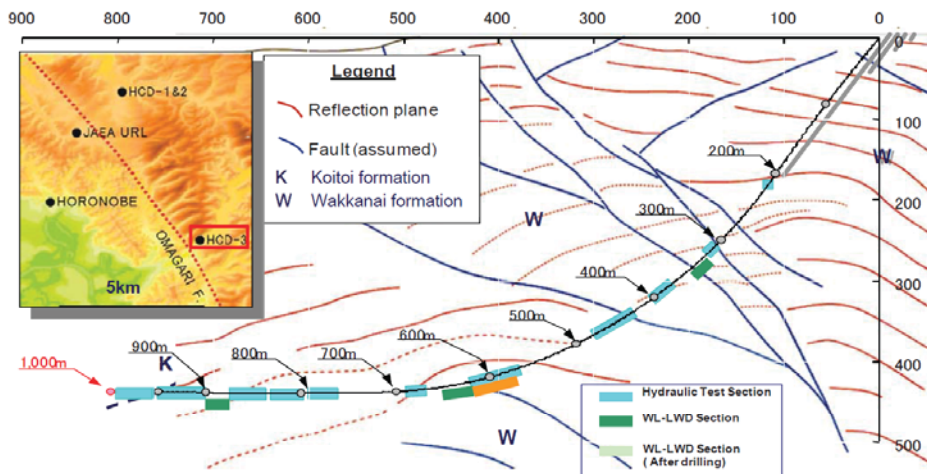
Outline of the Drilling System



Borehole Trace (HCD-1,2)



Result of Directional Drilling HCD-3



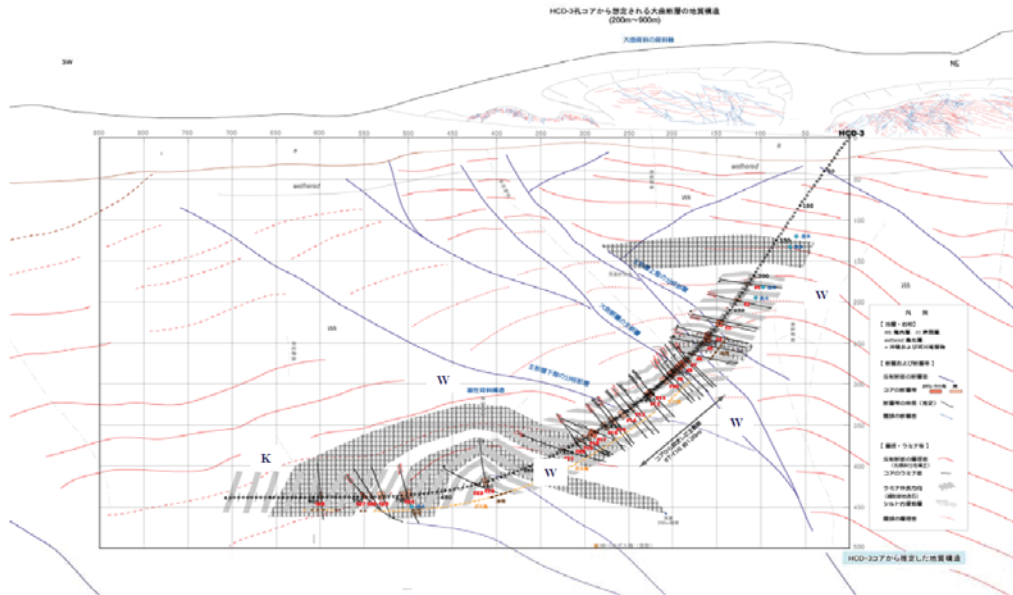
Characteristics

- (1) Directional drilling in soft sedimentary rocks.
- (2) High core recovery
 Rotational driving force located above core barrel >>> Less wobbling than conventional drilling
 WL-MWD >>> real time drilling information
- (3) Small borehole diameter >>> existing survey tools can be diverted
- (4) Exhaustive survey >>> Survey covers most geological characteristics necessary for site selection.

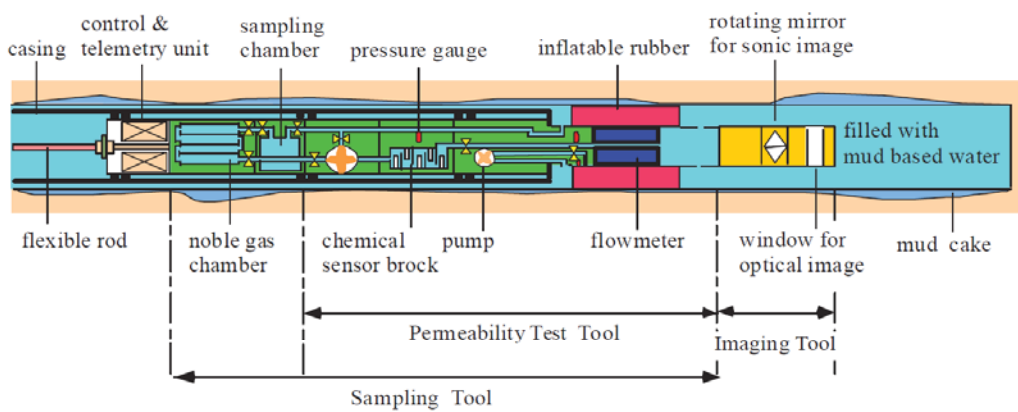
High core recovery



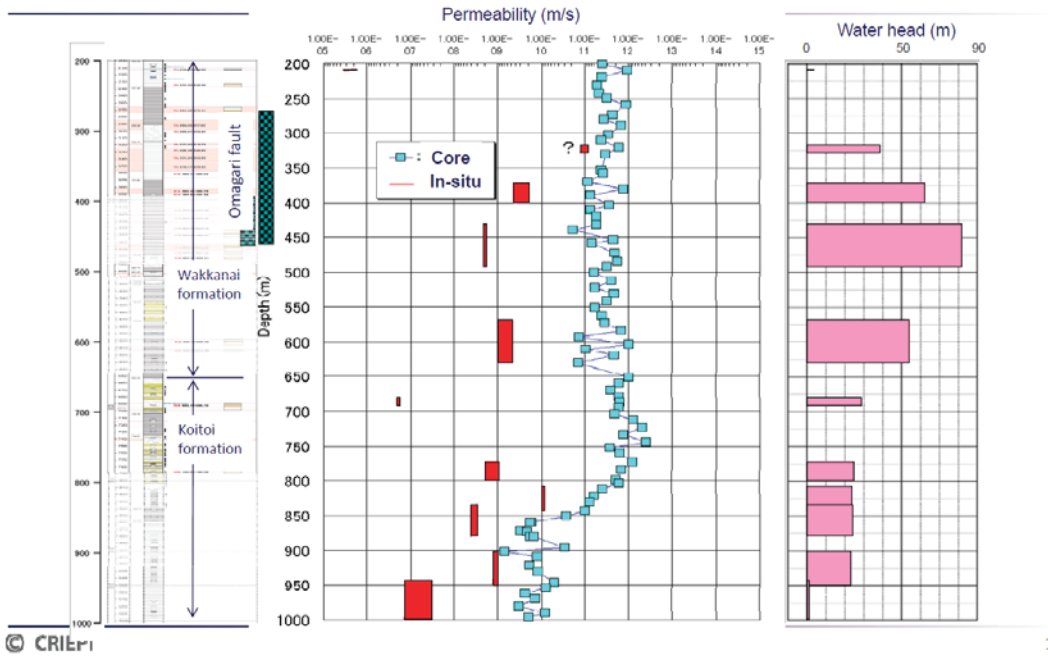
Geological condition around Omagari fault



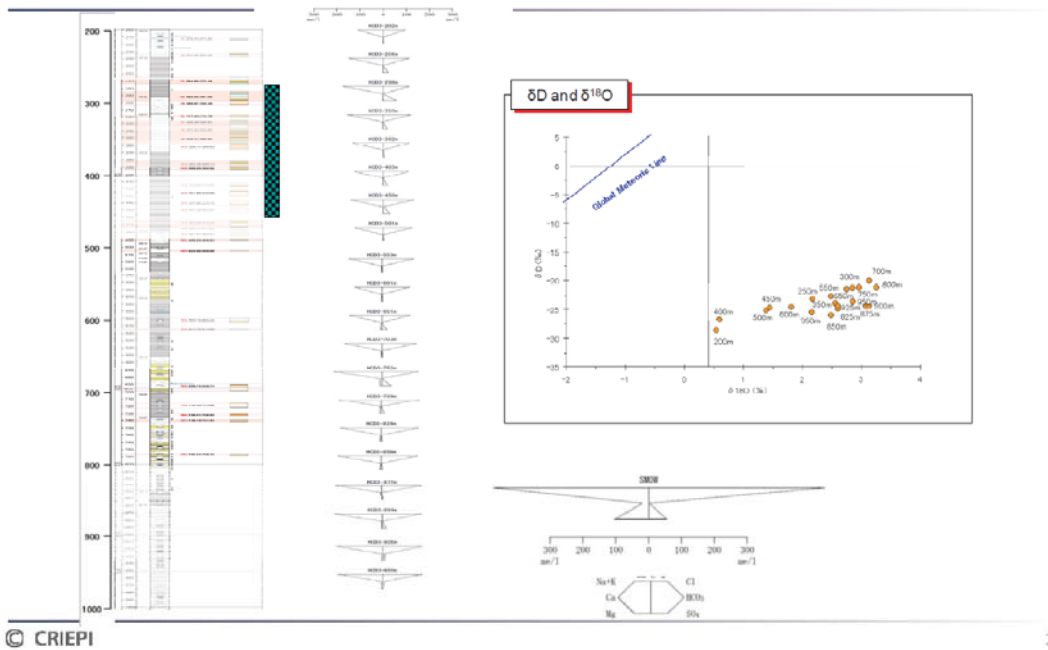
Conceptual design of imaging, permeability test and water sampling composition



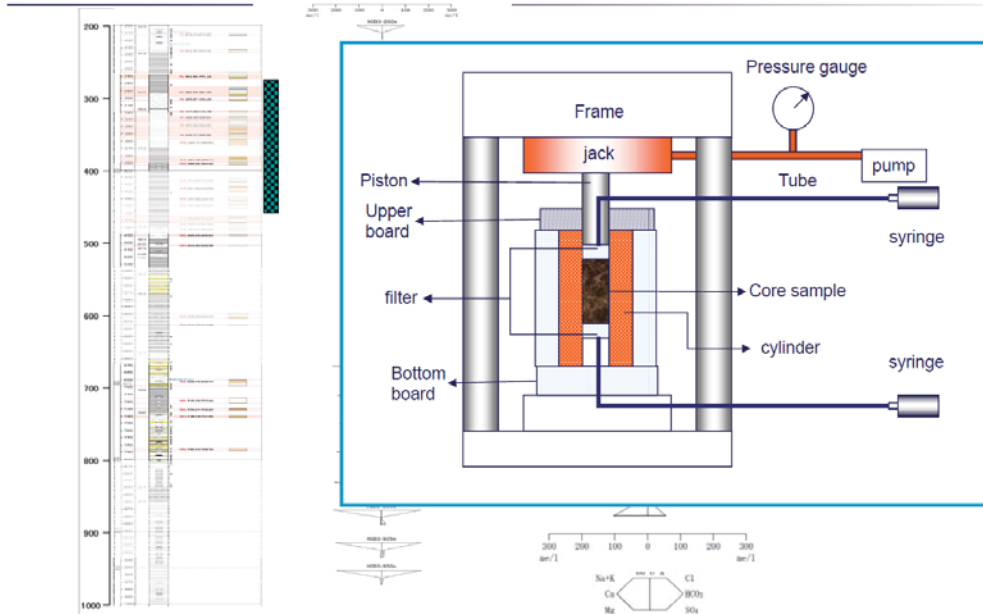
Hydrological Characteristics



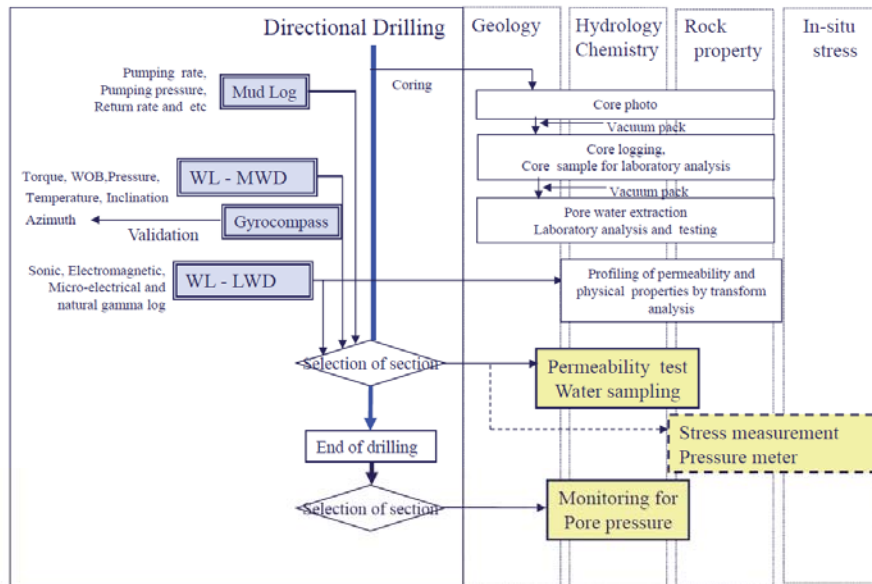
Chemical Characteristics



Chemical Characteristics



Exhaustive survey



Conclusion

- * In 2000, CRIEPI started the project to develop the directional drilling and survey system. This project was done under contracts awarded from the METI.
- * Drilling and survey system which can control direction and inclination of borehole and enable exhaustive survey necessary for site selection was developed.
- * As a collaboration research with JAEA, CRIEPI drilled two boreholes, HCD1&2 at the Hokushin site and HCD-3 at the Kami-Horonobe site, and conducted various surveys at the Horonobe site to estimate the applicability of the system until 2013.
- * The applicability of drilling and survey system was verified.





Q dWlrqddFrrshudwlyh#
 fru#kh#3 lvsrvdc#:#
 Udgrdfwlyh# dvwh#
 K dugvwdvvh# 6#
 8763# hwlgj hq#
 Vz ljhudqg#
 Whc# .74#B9#6:#4#4#
 Id{# .74#B9#6:#5#:#
 z z z lqjjudfk#

P hhwlqj#P hp r#

Controlled drilling technology and its application in site investigations

Date: 5th September 2016

Place: Nagra Wettingen offices

Participants: **CRIEPI:** K. Kiho, A. Shidai

Nagra: A. Martin, B. Frieg (from 16:00), H.R.Mueller (from 16:30), and H. Madritsch (from 16:30) and S. Vomvoris

Targets:

- Discuss and provide technical feedback on CRIEPI's controlled drilling technology and its application in site characterization
- Provide CRIEPI with an update on the planned drilling within Nagra's site selection programme

Appendix A	<p>Current status and update of Nagra's site selection (focusing on technical activities)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nagra is moving more from an RD&D organisation to a license application organisation • Staff members increased by 15%. • The deep boreholes need to include the aquifer below the planned repository depth and therefore go to the base of the Mesozoic sedimentary sequence. The depths are typically 1500m – 2000m. It cannot be excluded that authorities request an even deeper borehole. 	Stratis
Appendix B	<p>An overview of some of the drilling challenges at Nagra</p> <p><i>Discussion/Questions</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Gas shut-in tool 	Bernd

	<ul style="list-style-type: none"> • Need to have reserve casing. • For long-term monitoring, space is limited. • For Nagra, if drilling is started vertical first then inclined this is difficult because the target formation is shallow and there would not be enough weight on the bit. Our aim is to get 100 mm core from the target formation. • Why is the core diameter so big? • We want to do geochemical investigation so need adequate thickness of core, we try to do subsampling in different direction for geomechanical testing, it is easier to see & map discontinuities and generally speaking the core quality is higher. • The area of interest extends above and below the host rock e.g. because of confining units of Opaliuns clay adding to the potential effective containment zone and adjacent aquifers. • Concerning the testing interval in the borehole, how do you decide the number of sections? • By having fixed aims in advance. We then have a working programme. The types of tests and the geology limits the length of the intervals. The working programme is defined by the geodataset you want to provide to the safety assessors. • In the initial stage, Japan needs to be flexible. E.g. in the case of Yokosuka, it was found that formations were at different depths to what was expected before drilling. • In Schlattigen, the geological information was very very precise so it was easy to set the testing intervals and drilling directions. • The main purpose of the 3D seismic investigation is to support the static geological model of the siting regions particularly to detect geological structures and facies changes. We need the boreholes to do the final depth calibration and to correlate measured seismic properties with e.g. lithological and / or structural changes of the rock. • What is the purpose of inclined drilling? 	
--	---	--

	<ul style="list-style-type: none"> • We need to characterize and therefore intersect potentially existing sub-seismic faults and fractures; since most fractures are expected to be vertical based on field observations, a good mixture between vertical and inclined boreholes is considered to clarify the existence or non-existence of such fracture systems. If fractures are existant we also want to test their properties (such as permeability, sealing). • In Wellenberg, the borehole drilling was needed to confirm what the seismic reflectors were from the seismic investigations. • What caused the 'moving' reflectors in Wellenberg? • Only 2D-seismics were carried out in Wellenberg. The investigation approach turned out to be poorly suited for this siting region (very complex 3D geology, strong surface relief increasing processing issues etc.) resulting in comparatively great interpretation uncertainties. The comparatively difficult geological exploration and characterization of the Wellenberg siting region was of the reason to reject it in the course of SGT-E2. 	
Appendix C	<p>Current status of CRIEPI's controlled drilling technology</p> <p><i>Discussion/Questions</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • A larger diameter borehole as possible is better for testing and for using standard industrial equipment. • If you have hard calcareous rocks, how do you do the under-reaming? This is normally a tricky operation. • Drilling rate 10 – 12 m (max 20 m). • Project was started in 2000 and funded by METI and tested in the Horonobe area to verify it's feasibility. • Borehole was inclined 30 degrees to begin with; inclination at bottom was horicontal. The borehole was designed to intersect the Omagari Fault. • First 200 m was drilled using a conventional drilling system. • Did you cement the casing? 	Kenzo

	<ul style="list-style-type: none"> • No we used explosives to fix the casing before cutting. • At Yokosuka, it is not possible to test directional drilling because it is difficult to get permission for drilling beyond the Yokosuka site and under the sea. • Logging (LWD) and monitoring while drilling (MWD) information is transferred by cable (and not e.g. the fluid). • Why do you not stack the wings? • We will try to improve this as the next optimisation. • When you flap the wings, do they not get stopped e.g. by debris blocking them? • No. • Where will you try to sell this system? In high level waste? • Not just high level waste but other industries too. • When you ship the system, what do you have to ship? How many containers? • We hope that NUMO will use this system but it requires much training. I tried to make a consortium consisting of Japanese companies. 	
17:15 – 18:00	<p>Discussion</p> <ul style="list-style-type: none"> • Geophysical logging with the typically available tools is standard. • Testing in deep boreholes at Nagra will verify that our host rock is a diffusion dominated domain. We most probably also test the adjacent aquifers. Additionally gas testing especially also for the host rock is in discussion. Finally many boreholes will be instrumented with a long-term pressure monitoring system. • We plan do to stress measurements with the mini-frac method; additionally we analyse borehole 	All

	<p>breakouts and different geophysical logging results.</p> <ul style="list-style-type: none">• We also reconstruct paleo-stress conditions by mapping and analysing discontinuities on the core in detail.• Cores are not only mapped but also sampled and shipped off for geomechanical and especially also geochemical lab analyses.	
--	--	--