

平成 26 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 27 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	- 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 -
2.2 ボーリング調査技術の確立（2014-2016 年度）の目標と全体計画	- 11 -
3. 平成 25 年度の成果の概要	- 13 -
3.1 コントロール掘削技術の改良	- 13 -
3.1.1 サイドトラック掘削	- 13 -
3.2 孔内計測技術の開発	- 16 -
3.2.1 透水試験・採水・イメージング装置	- 16 -
3.2.2 孔内応力試験装置	- 16 -
3.3 物理探査技術の開発	- 20 -
3.4 現地適用性評価試験	- 21 -
3.4.1 孔内状況の確認	- 21 -
3.4.2 サイドトラック掘削	- 23 -
3.4.3 孔内透水試験・採水	- 27 -
3.4.4 孔内応力測定	- 27 -
3.4.5 孔内モニタリングシステムの設置	- 32 -
3.5 総合システムの検討	- 34 -
3.5.1 掘削・調査データ統合化システムの運用	- 34 -
3.5.2 掘削・調査支援システムの構築	- 35 -
3.5.3 掘削・調査手順書の構築	- 36 -

4. 本年度の開発目標	- 37 -
4.1 概論	- 37 -
4.1.1 地上設備撤去の概要	- 37 -
4.1.2 孔内長期モニタリングの概要	- 38 -
4.1.3 開発の審議・検討	- 38 -
4.2 地上設備の撤去	- 39 -
4.2.1 現地撤去作業	- 39 -
4.3 孔内長期モニタリング	- 39 -
4.3.1 データ取得および解析方法の検討	- 40 -
4.3.2 維持、管理手法の検討	- 40 -
4.3.3 無人計測システムの概念設計	- 40 -

Ⅱ編：本年度の研究内容

5. 地上設備の撤去

6. 孔内長期モニタリング

5. 地上設備の撤去	- 41 -
5.1 現地撤去作業	- 42 -
5.1.1 組立式プレハブハウス(現場事務所)の撤去	- 45 -
5.1.2 防寒施設の外装シート取り外しと撤去	- 46 -
5.1.3 防寒施設本体の撤去	- 47 -
5.1.4 掘削資機材の撤去	- 48 -
5.1.5 試錐機・傾斜槽の撤去	- 49 -
5.1.6 孔口養生等	- 49 -
6. 孔内長期モニタリング	- 51 -
6.1 データ取得およびデータ解析方法の検討	- 51 -
6.1.1 データ取得	- 51 -
6.1.2 解析方法の検討	- 60 -

6.2 維持、管理手法の検討	- 63 -
6.2.1 モニタリングシステムの作動チェック方法の検討	- 63 -
6.2.2 孔内設備の維持、管理方法の検討	- 63 -
6.2.3 地上設備の維持、管理方法の検討	- 70 -
6.3 無人計測システムの概念設計	- 71 -
6.3.1 無人計測システムの概要	- 71 -
6.3.2 無人計測システム構成	- 74 -
6.3.3 気象データの調査	- 86 -
6.3.4 発電設備の検討	- 101 -
6.3.5 幌延 HCD-3 孔向け無人計測システムの試設計	- 110 -

Ⅲ編：成果のまとめと課題、今後の計画

7. 本年度研究成果のまとめ

8. 今後の課題

9. 次年度の研究計画

7. 本年度研究成果のまとめ	- 119 -
7.1 地上設備の撤去	- 119 -
7.2 孔内長期モニタリング	- 119 -
7.2.1 データ取得および解析方法の検討	- 120 -
7.2.2 維持、管理手法の検討	- 120 -
7.2.3 無人計測システムの概念設計	- 121 -
8. 今後の課題	- 122 -
8.1 孔内長期モニタリング	- 122 -
8.1.1 データ取得および解析方法の検討	- 122 -
8.1.2 維持、管理手法の検討	- 122 -
8.1.3 無人計測システムの概念設計	- 122 -
9. 次年度の研究計画	- 124 -

9.1 次年度計画の概要	- 124 -
9.2 無人計測システムの設置・運用	- 125 -
9.3 無人計測システムの信頼性評価	- 125 -
9.4 データの取得	- 125 -
9.5 データの解析	- 126 -
9.6 開発の審議・検討	- 126 -

図 一 覧

図 3.4.5-1	適用性試験実施計画位置(左)と実施位置(右)	- 33 -
図 5	試験サイト位置図(北海道幌延町上幌延地区)	- 41 -
図 5.1-1	HCD-3 孔試錐調査設備配置	- 42 -
図 5.1-2	撤去作業の流れと主要な撤去対象品目	- 43 -
図 5.1-3	現場事務所(組立式プレハブハウス)および防寒施設	- 44 -
図 5.1-4	防寒施設内の掘削資機材	- 44 -
図 5.1.1-1	引き込み電柱撤去作業	- 45 -
図 5.1.1-2	現場事務所内資材搬出前	- 45 -
図 5.1.1-3	現場事務所解体ならびに鋼製タンク撤去状況	- 46 -
図 5.1.2-1	外装シート取り外し前と取り外し後	- 46 -
図 5.1.2-2	不要資材(機材倉庫シャッターハウス・敷地内不要物)片付け搬出状況	- 47 -
図 5.1.3-1	試錐ポンプ・掘削用泥水循環デッチライン搬出状況	- 47 -
図 5.1.3-2	防寒施設本体解体作業状況	- 48 -
図 5.1.4-1	試錐機操作盤・掘削用アーマードケーブルウインチ搬出状況	- 48 -
図 5.1.5-1	試錐機本体・マスト基礎鋼解体撤去状況	- 49 -
図 5.1.6-1	孔口部養生状況(養生前と養生後)	- 50 -
図 5.1.6-2	孔口部鋼製蓋設置作業状況およびモニタリング計測システム復旧状況	- 50 -
図 5.1.6-3	地上設備撤去後の試験サイト全景(北海道幌延町上幌延地区)	- 50 -
図 6.1.1-1	孔内長期モニタリング装置概念図	- 52 -
図 6.1.1-2	スタンドパイプ内圧力センサー	- 53 -
図 6.1.1-3	パッカー圧計測センサー	- 54 -
図 6.1.1-4	大気圧センサー	- 54 -
図 6.1.1-5	データロガー	- 55 -
図 6.1.1-6	取得したデータ	- 57 -
図 6.1.1-7	ミニパッカー編成図	- 58 -
図 6.1.1-8	ミニパッカー(遮水部分詳細)	- 59 -
図 6.1.1-9	圧力調整器	- 59 -
図 6.1.2-1	区間圧力データに対する影響要因	- 60 -
図 6.1.2-2	BAYTAP-G 計算結果とスペクトル解析	- 62 -
図 6.2.2-1	パッカー計測箇所	- 64 -

図 6.2.2-2	パッカー性能試験（遮水性能）模式図	- 66 -
図 6.2.2-3	浸透探傷試験および X 線透過試験 試験位置	- 67 -
図 6.3.1-1	無人計測システムの概念図	- 71 -
図 6.3.1-2	無人計測システムの概念設計フロー	- 74 -
図 6.3.2-1	標準スタンドアローンシステム構成図	- 75 -
図 6.3.2-2	複数測定ポイントのシステム構成図	- 76 -
図 6.3.2-3	幌延 HCD-3 孔向けシステム構成図	- 77 -
図 6.3.2-4	衛星通信サービスエリア	- 81 -
図 6.3.2-5	3G/4G 公衆回線サービスエリア	- 83 -
図 6.3.2-6	幌延 HCD-3 孔で使用される圧力センサ仕様	- 86 -
図 6.3.3-1	設置地点別の発電機設備の構成	- 100 -
図 6.3.3-2	月毎の賦存エネルギー（全国 8 ヶ所；2013 年）	- 100 -
図 6.3.4-1	モデル発電機：垂直型風力発電機（シンフォニアテクノロジー社）仕様	- 105 -
図 6.3.4-2	モデル発電機：水平型風力発電機（ゼファー社）仕様	- 106 -
図 6.3.4-3	発電出力とシステム必要電力（北海道：幌延）	- 109 -
図 6.3.5-1	幌延 HCD-3 孔向け発電機 比較資料	- 111 -
図 6.3.5-2	幌延 HCD-3 孔発電量の過不足グラフ	- 112 -
図 6.3.5-3	幌延 HCD-3 孔向け蓄電池の選定	- 113 -
図 6.3.5-4	ハイブリッド発電設備外観図	- 114 -
図 6.3.5-5	データロギング盤外観図	- 115 -
図 6.3.5-6	ハイブリッド発電設備配線系統図	- 115 -
図 6.3.5-7	データロギング盤配線系統図	- 116 -
図 6.3.5-8	幌延 HCD-3 孔周辺基礎配置図	- 117 -
図 6.3.5-9	幌延 HCD-3 孔 無人計測システム設置イメージ	- 118 -

表 一 覧

表 2.2-1	全体研究計画	- 12 -
表 3.2.2-1	通信確認結果一覧	- 17 -
表 3.2.2-2	鋼管試験検証結果一覧	- 18 -
表 3.4.4-1	地上通信機能検証項目	- 27 -
表 3.4.4-2	水圧破碎試験結果一覧	- 28 -
表 3.4.4-3	現地適用性試験の検証結果一覧	- 31 -
表 4-1	平成 26 年度実施工程	- 37 -
表 4.1.3-1	「岩盤中物質移行特性評価技術の検証検討委員会」委員一覧	- 39 -
表 6.1.1-1	設置区間－深度一覧表	- 53 -
表 6.1.1-2	作業日程および作業内容	- 56 -
表 6.2.2-1	試験フェーズについて	- 65 -
表 6.2.2-2	パッカー拡張試験（上部パッカー（No.7））	- 65 -
表 6.2.2-3	パッカー拡張試験（下部パッカー（No.3））	- 65 -
表 6.2.2-4	浸透探傷試験およびX線透過試験試料	- 67 -
表 6.2.2-5	浸透探傷試験結果	- 68 -
表 6.2.2-6	X線透過試験結果	- 69 -
表 6.3.2-1	データロガーの計測点リスト	- 78 -
表 6.3.2-2	データロガーの各社比較	- 79 -
表 6.3.2-3	データ通信端末一覧	- 81 -
表 6.3.2-4	データ通信端末仕様表	- 82 -
表 6.3.2-5	3G/4G 公衆回線各社サービス	- 83 -
表 6.3.2-6	上位通信の利用料金算定表	- 84 -
表 6.3.2-7	電装品リストと消費電力	- 85 -
表 6.3.3-1	気象データ：北海道 幌延町（豊富町）	- 89 -
表 6.3.3-2	気象データ：青森県 むつ市	- 90 -
表 6.3.3-3	気象データ：福島県 広野町	- 91 -
表 6.3.3-4	気象データ：新潟県 柏崎市	- 92 -
表 6.3.3-5	気象データ：静岡県 御前崎市	- 93 -
表 6.3.3-6	気象データ：愛媛県 伊方町（瀬戸町）	- 94 -
表 6.3.3-7	気象データ：鹿児島県 薩摩川内市	- 95 -

表 6.3.3-8	気象データ：沖縄県 石垣島	- 96 -
表 6.3.3-9	気象データからの賦存エネルギーの予測（全国 8ヶ所）	- 98 -
表 6.3.3-10	地域ごとの 1 日当たりの賦存エネルギー（全国 8ヶ所）	- 99 -
表 6.3.4-1	風力発電量の求め方	- 102 -
表 6.3.4-2	太陽光発電量の求め方	- 103 -
表 6.3.4-3	発電設備の規模算出	- 103 -
表 6.3.4-4	風力発電機の製品候補	- 104 -
表 6.3.4-5	シンフォニアテクノロジー社発電機による発電量	- 107 -
表 6.3.4-6	ゼファー社発電機による発電量	- 108 -
表 6.3.4-7	発電量の過不足（北海道：幌延）	- 109 -
表 6.3.4-8	蓄電池種類による比較表	- 110 -
表 6.3.5-1	幌延 HCD-3 孔向け発電機の構成	- 111 -
表 6.3.5-2	幌延 HCD-3 孔発電量の過不足	- 112 -
表 6.3.5-3	幌延 HCD-3 孔向け機器一覧	- 114 -
表 9.1-1	平成 27 年度研究工程	- 125 -
表 9.6-1	「岩盤中地下水移行評価確証技術」検討委員会 委員一覧	- 127 -

I 編：概要、経緯、開発目標

1. 目的
2. 研究開発の経緯
3. 平成 25 年度の成果の概要
4. 本年度の開発目標

1. 目的

高レベル放射性廃棄物処分などの地下空間利用に際しては、対象とする岩盤の地質、物理、力学、水理、地化学特性を評価することが必要不可欠であり、地下深部のこれらの特性を評価するためには、調査初期にボーリングによる調査を計画地になっている。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、およ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、および精密調査地区選定段階でのボーリング掘削技術、およ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ボーリングの方位や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、コントロール掘削およ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

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

2.1.1 研究開発概要

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

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

開発目標(2)に関しては、主として掘削システムおよび透水、採水試験の現地適用性検討を目的として、北海道幌延町北進地区に分布する新第三紀の堆積岩（珪藻質泥岩：声間層および硬質頁岩：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および孔内の各種調査を実施した。事前の調査により断層の分布正常を評価し、これに基づき孔跡を決定し掘削を開始した。想定した孔跡とほぼ同様に、孔長1000m、深さ450mで、孔長750m以深で水平となる孔井を掘削し、コア回収率はほぼ100%であった。孔内で各種の特性調査を実施し大曲断層の特性を評価することができた。また、各種特性を調査した後に、予め構築した手順で、マルチパッカーシステムを孔内に設置し、間隙

水圧の長期モニタリングを開始した。

開発目標 (3) に関しては、コントロール掘削、調査技術の体系化を目指して、掘削、調査データの管理システムの構築および、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およ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および(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、押し出しおよびスライムの沈降に対して安定した圧力環境を維持するための②孔壁整形装置の開発を行った。

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

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

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および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およ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。

掘削中およ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(電磁波検層およびマイクロ電気検層センサの搭載部)は、昇降作業時のセンサ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定数の調整により改善できた。電磁波検層は可動部の構造変更をするため、アンテナ部をさらに小型化し正常に測定できた。マイクロ電気検層は配線部分の断線が起こったが、配線の固定方法を改良し正常に測定できた。自然ガンマ検層は現地適用試験で正常に測定することができ、従来の検層プローブとの比較試験も行い動作に問題が無いことが確認できた。

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

フェーズ2では、フェーズ1で試作した WL-LWD サブシステムの高度化を図るため、1)断層破碎帯での動作確認およ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、断層破碎帯の20m区間において連続計測が可能であることを確認した。また、システムの改良では、電気回路予備基板の試作、一部基盤の小型化、地上装置処理能力の向上を行い、耐久性の向上を図るパッド部の基本的な改造案を検討した。さらに、各検層項目のデータ処理ソフトウェアと、電磁波検層のデータ解析ソフトウェア(初動の自動読み取りソフトウェア)を試作し、その実用性を確認した。

(6) 孔内応力・力学統合測定技術

本測定技術は、第1フェーズでは孔内応力測定装置、孔内力学測定装置として個別にコントロールボーリングに適用する前提で、コントロールボーリングに適用するための要素技術の開発を行った。要素技術の主なものは、孔内力学測定装置では孔壁変形の測定法、拡孔装置の開発など、孔内応力測定装置では亀裂計測センサ、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の接続技術および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・試験および、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、図7.1-1に示す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°）に設置および試験運用し、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）およ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およ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を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、地表一孔井間のジオメトリによる弾性波トモグラフィに関する技術開発を目的に、震源やデータ収録システムに関する検討・製作を行った。そして、現地での適用性を検討するとともに、HCD-3孔周辺における詳細な地質構造の評価を行うためのデータ取得実験を行った。その結果、バイブレータ震源とハイドロフォンアレイツールとの組み合わせにより、水平区間を含む地表一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、孔内およ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 の現位置試験ではシステムのハンドリングおよび基本動作の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が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および透水試験、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、破碎帯およ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およ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、破碎帯およ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および断層の分布位置を推定し、これに基づき掘削孔跡および掘削候補個所を選定した。2006 年度より HCD-3 の掘削を開始した。孔口から掘削長 200m までは傾斜 35° 沿角のノンコア掘削、200m より 740m までは偏角率 1°~1.27°/10m のコントロールコアリング掘削を実施した。740m の孔底での水平(傾斜 90°)となったため、その後は水平を維持して掘削し、孔長 800m からは、水平を維持して、西に偏角率 0.5°/10m で水平偏距掘削を実施した。最終方位は SE39.43° (計画方位 SE40.82°)、最終傾斜は 84.60° (計画傾斜 86.19°) であり、掘削区間のコア採取率は断層を掘削したにも拘らずほぼ 100%となった。

掘削時の 318.15~335.60m、571~644m 区間において掘削中に検層 (WL-LWD) を実施した。208.943~210.500m、317.74~328.00m、371.604~400.00m、430.684~489.60m、568.684~631.00m、681.300~690.700m、773.65~800.00m、809.01~840.00m、834.48~880.00m、901.83~950.40m および 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 の逸泥区間およ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。これらのデータおよ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 および 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、通常のコン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（2014-2016 年度）の目標と全体計画

前述したように、コントロール掘削およ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
 - ・データ取得および解析方法の検討
 - ・維持・管理手法の検討
 - ・無人計測システムの概念設計および運用
 - ・体系化

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)
設備の撤去		⇔ 地上設備		⇔ 廃孔
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	⇔ 概念設計	⇔ 設置	⇔ 運用
	体系化			⇔ 取り纏め

3. 平成 25 年度の成果の概要

3.1 コントロール掘削技術の改良

平成 24 年度のコントロール掘削技術の改良の成果について、検討を行なったサイドトラック掘削手法に関する成果を以下にまとめる。

3.1.1 サイドトラック掘削

サイドトラック掘削手法について、セメント充填方法、セメント材料、サイドトラック掘削時の計画孔跡、およびサイドトラック掘削手順を検討し、必要な試作治具として孔内閉塞用パッカプラグを挙げて、実際に試作した。

以下に各検討で得られた成果を述べる。

3.1.1.1 セメントミルク充填方法の検討

緩傾斜～水平傾斜区間を対象として、セメントミルクを任意の対象区間に充填する方法の検討を行い、以下の手作業手順を考案した。

(1) セメントミルク充填による埋め戻し対象区間下部の閉塞方法

- ① 埋め戻し区間下部の閉塞にパッカプラグ(栓)を用いる。
- ② 埋め戻し区間下部まで降下させた閉塞用パッカプラグを地上から送水して拡張させる。
- ③ 閉塞用パッカプラグの設置に用いた小口径ロッド(注入管)と切り離し可能な構造とする。
- ④ 切り離れた注入管を用いてセメントミルク充填材を注入し、作業効率を向上させる。

(2) セメントミルク充填方法

- ① 注入管を用いてセメントミルク充填材を埋め戻し区間に充填する。
- ② 注入管内に残留するセメントミルク充填材を後押し送水により放出する。
- ③ 注入完了後、セメント頂部より注入管を 50m 程度揚管して、充填材の硬化を待つ。
- ④ 充填材の硬化後、注入管を使用してセメント頂部の位置を確認する。
- ⑤ セメント頂部位置が予定位置に達していることを確認して注入管を引き上げる。

3.1.1.2 セメント材料の検討

セメンチング用充填材として、性能、要求される品質および施工性を検討し、次ページに述べる結果を得た。

- ① 配合選定試験の結果、ベントナイト水溶液中での材齢 3 日で $20\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の強度で流動性の高い配合を選定した。

- ② 流動性確認事前試験では、選定した配合の充填材を約 200L のホッパより内径φ40mm の塩ビ管を通し、流下可能であることを確認した。
- ③ 5分フローの経時変化を測定した結果、練り上がり後、3時間までは250mm以上であり、3時間の可使時間を有していることを確認した。
- ④ 流動性確認試験におけるフレッシュ性状および圧縮強度試験の結果、配合選定試験と同様、かつ目標とする品質を満たす材料であることを確認した。
- ⑤ 水中ポンプによる圧送性を確認した結果、圧送は困難との結論を得た。
- ⑥ ホッパによる打設では、自然流下による作業が可能であるが、配管長が長くなるにつれて流動性が低下するため、流動性向上のための補助機材の使用が不可避との結果を得た。
- ⑦ ベントナイト水溶液中への打設では、自然流下により約 140mm の打設が可能であった。また、打設後の状況ではセルフレベルリング性を有していた。しかし、ベントナイト水溶液に接している部分に関しては、5mm 程度の堆積物および脆弱層が生じた。
- ⑧ ポンプを用いた水平方向の圧送では、長さ 54m の配管長でも十分圧送が可能であった。また、圧送量低下を比例計算した場合、長さ 300m 程度の水平配管長を 1m³/h で圧送可能であると確認できた。
- ⑨ φ75mm 塩ビ管を水で満たした状態の打設では、初期に濁りが認められたが、打設の進行に伴い十分に打設可能であることが確認できた。
- ⑩ φ125mm 塩ビ管をベントナイト水溶液で満たした状態での打設は、水中打設と比べ流動速度が遅くなるとともに、充填不足となる部位が認められた。充填不足に関しては打設速度や機材配置の影響が考えられ、現地施工法により改善できると思われる。

3.1.1.3 サイドトラック掘削による計画孔跡の検討

本年度のサイドトラック掘削技術の現地適用性評価試験においては、埋め戻し方法の検討結果などから、開始位置を掘削長 648m 地点と仮定して、計画孔跡の検討を行った。本検討では、掘削方法についての条件整理、平成 23 年度に実施したジャイロ測定結果を基にした計画軌跡座標の算出を行った。

(1) サイドトラック掘削作業計画

掘削に用いるコアチューブ先端のコアビット種類をコアリング用からノンコアリング用の全断面ビットに変更した場合の掘削能率増加を検討し、掘削作業手順として次ページに述べる作業計画を立案した。

- ① サイドトラック掘削開始直後は埋め戻し効果確認のためコアリング掘削を実施
- ② セメンチング区間から地山に孔心が逸れた段階でノンコアリング掘削を実施
- ③ 掘削長 660m 以深は孔内応力試験装置による水圧破碎試験実施可否判断のためコアリング掘削を実施

(2) サイドトラック掘削の軌跡軌跡計画

軌跡計画は、平成 23 年度に実施したジャイロ測定結果の軌跡座標を用いて設定を行い、掘削長 648m 地点から既存孔井の下方に分岐する計画を作成し、以下の掘削軌跡計画を立案した。

- ① サイドトラック掘削長 648.0m～651.0m：沿角コアリング掘削
- ② サイドトラック掘削長 651.0m～660.0m：沿角ノンコアリング掘削
- ③ サイドトラック掘削長 660.0m～675.0m：沿角コアリング掘削
- ④ サイドトラック掘削長 675.0m～700.0m：1° /10m 増角コアリング掘削

3.1.1.4 サイドトラック掘削手順の検討

サイドトラック掘削手順の検討として、現地適用性評価試験における実作業時における必要な施工方法を検討し、以下の作業手順を計画した。

- ① 孔内閉塞用パッカプラグ(栓)設置のための保護管(NL140 ロッド)降管
- ② 孔内閉塞用パッカプラグ・セメンチング用小口径ロッド(BQ ロッド)降管
- ③ パッカプラグの設置、小口径ロッドとの切り離し
- ④ セメントミルク充填材注入、既存孔井の一部区間埋め戻し
- ⑤ 埋め戻し頂部位置の確認
- ⑥ セメンチング用小口径ロッド(BQ ロッド)全揚管
- ⑦ 保護管(NL140 ロッド)全揚管
- ⑧ セメント端面成形のため、シュービット・NL140 ロッド降管
- ⑨ 埋め戻し区間上部端面成形
- ⑩ シュービット・NL140 ロッド全揚管
- ⑪ 掘削用アウトパイプ・NL140 ロッド降管
- ⑫ 掘削ツールズ組立、ワイヤライン作業(ツールズ降管)
- ⑬ サイドトラック掘削(コアリング掘削)による埋め戻し区間からの偏心状況の確認
- ⑭ サイドトラック掘削(ノンコアリング掘削)による掘削効率の向上(WL 作業の省略)
- ⑮ サイドトラック掘削(コアリング掘削)による試験実施区間の選定

3.1.1.5 サイドトラック掘削に使用する治具の試作

サイドトラック掘削に使用する治具として、孔内閉塞用パッカプラグと同パッカプラグの切り離し用治具を試作し、事前の地上試験を通じて以下の知見を得た。

- ① 注水加圧 1.6MPa で $\phi 152\text{mm}$ の外径に拡張することを確認した
- ② ”テンションピン” による切り離し荷重が 500kgf であることを確認した
- ③ ”左ネジ” 構造により、非常時に切り離しを行う際に必要なトルクは約 18kgf-m であることを確認した。

3.2 孔内計測技術の開発

3.2.1 透水試験・採水・イメージング装置

試験対象の絞り込みを可能にし、効率的な採水を実現するため、従来のシングルパッカーに替ってダブルパッカを改良製作し、室内においてその拡張性能を確認した。ケミカルユニットのうち分光光度計のキャリブレーションカーブを作成し、分光光度計およびケミカルセンサの動作を室内において確認した。また、ダブルパッカの改良製作に伴い、透水試験・採水・イメージング装置の制御に用いるソフトウェアの改良を行なった。

3.2.2 孔内応力試験装置

3.2.2.1 孔内応力試験装置の現地適用性評価試験のための地上試験

(1) ウインチケーブル-スリッピング-ケーブルヘッドの接続と通信確認

孔内応力試験装置専用のアーマードケーブルの孔内側となる端末にはケーブルヘッドを接続し、地上部側となる端末には、中継ボックスおよびスリッピングの配線を行い、孔内応力試験装置と地上部計測機器との間で通信が可能になるように結線、接続作業を行い、その後に通信試験を実施した。

その結果、結線、接続作業は順調に実施することが出来、孔内応力試験装置と地上部計測機器との通信も問題なく行えることが確認できた。

表 3.2.2-1 に通信確認結果一覧を示す。

表 3.2.2-1 通信確認結果一覧

項目	作業・試験内容	結果
ウインチケーブル・スリッピングケーブルヘッドの接続	孔内側ケーブル 端末処理	専用アーマードケーブルの孔内側端末に ケーブルヘッドを取付た。
	地上部 側中継ボックス取付	専用アーマードケーブルのウインチドラムに 地上装置へ配線するための光変換器収納ボックス および光ファイバケーブルの中継ボックスを設置した。
	地上部側 ケーブル端末処理	専用アーマードケーブルの地上部側端末に スリッピング経由で結線を行い、地上部装置と パネルコネクタで連結できるようにした。
通信確認	通電試験	専用アーマードケーブルの地上部側と孔内側の端末処理 実施後に AC100V および AC200V の通電試験を地上部側と 孔内側が通電していることを確認した。
	通信試験	地上部側計測 PC と孔内計測機器の間で RS485 を使った 通信が出来たことを確認した。
	カメラ映像試験	地上部側計測機器で孔内カメラ (8 台) の映像が モニター出来ることを確認した。
	AE 信号試験	地上部側計測機器で AE センサ周辺を打撃すると波形が モニター出来ることを確認した。

(2) 型どりパッカの機能検証

型どりパッカの亀裂痕は、型どり実施後 2 日経過しても亀裂痕を確認することが出来た。ただし、型どり試験後出来るだけ早くパッカを回収できるようにしたほうが、亀裂痕の確認にはより有利である。

したがって、試験後に出来るだけ早く型どりパッカが回収できる現場作業スケジュールを組むようにすることが望ましい。

(3) ケーブルヘッド・ウィークポイント切断荷重検証

ウィークポイント切断荷重として設定した 30kN となる、最適なボルト仕様を検証するために、ボルト破断試験を実施した。

その結果、破断荷重 30kN にもっとも近い値を示したボルトの組み合わせは、M4 10mm 長ボルトを 4 本使用した場合で、最大荷重は 30.3kN であった。従って、ウィークポイント部分には M4 の 10mm 長ボルトを 4 本使用することとした。

(4) ウィークポイント分離箇所の耐圧検証

ケーブルヘッド用の鋼管 (外径 ϕ 114mm) を耐圧試験用鋼管 (内径 ϕ 125mm) 内に挿入し、ウィークポイント部の耐圧性検証を実施した。耐圧試験用鋼管内を水圧で 5MPa まで手動ポンプを用いて加圧し、その後約 1 時間程度子の圧力を保持した。耐圧試験時にはケーブルヘッド鋼管内に漏水感知センサを設置し、水漏れ発生の有無を監視した。

試験時間の間にセンサが反応することは無かった。また、5MPaの圧力を1時間保持した後、ケーブルヘッド鋼管内を目視で観察したが、水滴等を検出することは無かった。

以上のことよりウィークポイント分離箇所は耐圧性を有することを確認した。

(5) ラッチシステムの通水機能検証

NL140 ロッドのラッチケース先端シューに接触する孔内応力試験装置のラッチシステム先端部に通水用の溝を加工した。

その結果、ラッチシュー先端に接触した際にこの溝を通して鋼管内の水が、裸孔部分へ通水することを確認した。

3.2.2.2 現地適用性評価試験のための我孫子地区における鋼管試験

検証試験の結果全ての項目で機能が満足するものであることが確認し、幌延現地試験の適用性があると判断した。

表 3.2.2-2 に鋼管試験検証結果一覧を示す。

表 3.2.2-2 鋼管試験検証結果一覧

項目	検証結果
試験装置の組立・解体	分割した装置を架台に搭載して孔底側から装置を順に組立および解体を行う手順を確認できた
送り込み装置の機能検証	NL140 ロッド内において泥水による送り込みで、装置が鋼管内を推進することを確認した。
型どりパッカの機能検証	鋼管内を泥水で推進した試験装置から回収した型どりパッカに損傷が無いことを確認した。
ラッチシステム機能検証	アウターパイプ内ラッチ溝への試験装置ラッチシステムによる固定と解除の動作を確認した。

(1) 試験装置の組立・解体

試験装置の組立は、幌延の試験サイトにおける現地適用性評価試験を想定して、孔底側からケーブルヘッド側へ順次連結することに問題が無いことを確認できた。配線については各機能毎に通信線、電源線にそれぞれ異なる形状のプラスチックコネクタを取付、カメラおよびAE信号線にも異なる同軸ケーブルと同軸コネクタを使い連結時の配線ミスを起こさないように工夫するとともに簡単に接続出来るように改良を行った。また、試験装置を収納する鋼管のジョイント金具改良を行ったことで昨年度より作業性が向上した。

装置解体は、組立手順とは反対に、装置のヘッド側から孔底側の装置へと順に行い、問題ないことを確認した。解体作業も同様に昨年度より作業性が向上した。

(2) 送り込み装置の機能検証

NL140 ロッド、ラッチ溝付きのアウタパイプを地上の架台の上に水平に連結し、その先端部には孔径φ100mmの試験孔を模擬した鋼管を5m連結した。鋼管の全長は52.5mとした。試験装置の送り込みには実際に幌延の試験サイトにて使用している掘削用泥水と同様の泥水を作成して、これを使用した。

水平孔で推進のための送水流量は約200L/分、送水圧は約0.2～0.4MPa、装置の推進速度は5～6m/分であった。

(3) 型どりパッカの機能検証

型どりパッカを連結した試験装置を、NL140 ロッド鋼管内に挿入して掘削用泥水を使った送り込み試験を実施した。

その結果、型どりパッカ回収時には、熱収縮ゴムチューブ表面には鋼管内の掘削用泥水や油が付着した状態であったが、清水やアルコール等を用いて洗浄することで、汚れは消えて、ほぼ試験前の状態近くまで回復することが分かった。

また、懸念された損傷も見あらず、型どりパッカが有効に機能することを確認出来た。

(4) ラッチシステムの機能検証

試験装置がNL140 ロッド内を推進して、ラッチが固定されることを確認した。固定された装置は、先端部から約700kgfの荷重で押し込んでも解除されなかったことを確認した。

また、ラッチの解除は最大442kgfの荷重を要した。

3.2.2.3 孔内応力試験装置の成果

孔内応力試験装置専用のアーマードケーブルのケーブルウィンチに対して、孔底側のケーブル端末には光変換器、電源供給装置を内蔵した試作したケーブルヘッドを連結し、地上部側のケーブル端末には、スリッピングを介した常時計測可能な配線とウィンチドラムの側面に光変換器および光ファイバーケーブル中継ボックスを設置して、地上部計測機器との接続を行った。そして、これらの接続確認のために孔内応力試験装置を接続して、通信確認を行った。

その結果、アーマードケーブルを介した孔内応力試験装置と地上部計測機器との通信は特に問題はなかった。

したがって、孔内応力試験装置の専用アーマードケーブルを接続して計測制御が実施できることを確認することが出来た。

幌延試験サイトにおける現地適用性評価試験前に、我孫子地区における鋼管試験で、試験装置の組立、解体手順の角に、送り込み装置の機能検証、型どりパッカの機能検証、ラッチシステムの機能検証を実施した。

鋼管試験時には幌延での試験装置の組立、解体の手順を想定して作業を実施した。電源線、信号線

の接続にはプラスチックコネクタや同軸コネクタを使用して作業性の向上を図った。また、試験装置鋼管の連結にもジョイント金具を改良した。

その結果、昨年度より連結作業の効率が向上したことを確認した。

送り込み試験では、幌延現地試験で使用している掘削用泥水と同様の泥水を作成し、現地使用の NL140 ロッドと同ロッド先端部に当たるアウトパイプを地上で水平に 52.5m の長さまで連結して、この鋼管内に試験装置を挿入して作成した掘削用泥水で送り込みを行った。

その結果、試験装置は約 200L/min の送泥量で送泥圧 0.2~0.4MPa で鋼管内を推進し、現地適用性があることを確認した。その際の推進速度は約 5m/min であった。幌延現地送り込みの際の送泥パラメータを得ることが出来た。

型どりパッカは、水圧破碎試験前と試験後の孔壁面を確認するもので、試験装置の下部パッカに熱収縮ゴムチューブを被せて使用する。試験装置が試験孔の鋼管内および裸孔部を推進して試験深度に達するまでにこの熱収縮ゴムを被せた型どりパッカ部分が擦れて摩耗することが懸念された。そこで、パッカの改良を行い、パッカ先端金具部の外径を $\phi 98\text{mm}$ と大きくし、パッカ部分の外径を $\phi 90\text{mm}$ 、パッカ長は 50cm の長さに改良した。この改良パッカを装置に連結して、送り込み試験時に摩耗状況の確認も実施した。その結果、2 日間鋼管内の泥水に留置した状況で、送り込み試験を実施した状況から回収した型どりパッカ部分は、泥水、油による汚れは見られたが、洗浄後の熱収縮ゴムには損傷や目立った擦れは見られなかった。これより型どりパッカを現地で使用しても問題ないことを確認することが出来た。

ラッチシステムの機能検証では、送り込み試験で NL140 ロッドのラッチ先端シューに装置を接触させてラッチの固定、解除を繰り返し実施した。固定確認は装置先端のパッカー部をケーブルヘッド側に押し込みラッチが解除されないことを確認した。また、その際の荷重を計測し、装置の重量以上の荷重で押し込んでも解除されないことを確認した。ラッチの解除確認は、ラッチ固定確認後にケーブルヘッド側から装置を引っ張り、装置が引き抜かれることを確認した。その際の引き抜き荷重は、ケーブルヘッドウィークポイント切断荷重より十分に小さく現地適用性に問題ないことを確認した。

3.3 物理探査技術の開発

平成 22 年度、23 年度および今年度取得されたトモグラフィデータを用いて、HCD-3 孔井周辺の P 波速度構造を求めた。またその速度構造を用いて、平成 17 年度に取得した反射法データ Line1 の再解析を行った。MDRS 処理の適用により、既存処理とくらべて、高精度でより地質解釈が容易な反射断面を得ることができた。本年度の作業により、今後のコントロールボーリング孔井にて実施する弾性波トモグラフィ調査の一連の実施フローを示すことができたと考える。

- ① コントロールボーリング孔井に多連の受振器を設置し、地表での発振により地表一孔井

間トモグラフィデータを取得する。

- ② 現地の制約により、十分な密度で地表－孔井間トモグラフィデータが取得できなかった場合、地表発振－地表受振の屈折法地震探査のような補完データの取得も検討する。
- ③ トモグラフィデータの解析により、反射法地震探査で得られている速度情報を更新し、より精度の高い速度プロファイルを作成する。
- ④ より精度の高い速度プロファイルを参照速度とし、MDRS 法を採用した反射法地震探査データの再解析を実施する。

3.4 現地適用性評価試験

本年度のHCD-3孔で実施する現地適用性評価試験は、サイドトラック掘削による既存孔井からの分岐掘削を主な対象とした。サイドトラック掘削による分岐掘削した新規孔井においては、孔内応力試験装置による水圧破碎試験を実施するための試験区間の選定および試験孔井の拡孔作業を行った。

孔内試験装置の現地適用については、透水試験・採水・イメージング装置と孔内応力試験装置について行い、孔内応力試験装置は選定した試験区間での水圧破碎を目指した。透水試験・採水・イメージング装置は、平成18年度に測定して透水性が高い区間と判断されている箇所へ、新規に開発したダブルパッカを用いて適用性を評価することを目標とした。

孔内モニタリングシステムの設置作業は、これまでに検討した一連の設置作業をHCD-3孔に適用させて、来年度以降の長期モニタリングを実施することを目標とした。

各作業に先立ち、試錐機などの地上設備のメンテナンスおよび点検を実施し、現地作業に対する準備を行なった。さらに、平成24年度の現地適用性評価試験の終了後より、養生期間としていた孔井内の状況確認のために、NL140 ロッドを降下させ試験の実施に対して問題がないことを確認した。

3.4.1 孔内状況の確認

3.4.1.1 現地適用性評価試験開始前の孔内状況確認

幌延試験サイトへの乗込み後、機器関連のメンテナンスなどを実施して、試運転による動作確認を行い、準備作業として孔内状況確認作業を実施した。孔井内状況確認は、NL140 ロッド降下中の30m毎に試錐機で停止状態のNL140 ロッドを引揚げるために必要な初動フィード力を計測することで、孔壁との摩擦抵抗の有無を判断して行なった。孔内状況確認時は、NL140 ロッド先端にφ152mmに加工したコンポジットシュービットを取り付けた。

孔内状況確認作業により、以下の状況を確認した。

- ① 本年度の孔内状況確認作業においてビット荷重が減少傾向を示し、送泥作業を要した地

点は4箇所確認され、それら区間に対して孔内洗浄を実施することで、抵抗の原因は排除できた。

- ② 送泥による洗浄作業中はマッドロギングシステムでの測定を行い、取得したパラメータにより、それぞれの区間でトルクおよび回転数が改善し、孔井内状況を改善できたことを確認できた。
- ③ 孔内洗浄は、掘削長430m～700mまでの区間で孔内抵抗を確認した4箇所に加え、孔内閉塞用パッカプラグの設置箇所となる掘削長751m付近においても実施した。
- ④ 孔内状況確認作業の結果、孔内洗浄の実施により孔内抵抗は排除できたことから、リーミングを必要とする箇所は確認されず、孔内応力試験装置による現地適用試験の実施に問題がないことを確認し孔内状況確認を終了した。

3.4.1.2 孔径検層(キャリパ検層)

孔内モニタリングシステムを構成する部材のうち、ダブルパッカから構成される合計3箇所のモニタリング区間がコントロールボーリング孔井内に設けられる計画であるため、ダブルパッカ拡張区間の孔壁状況(孔径)を把握する事を目的として、孔径(キャリパ)検層を行った。

(1) 区間①：掘削長204.80m～掘削長232.76m間

キャリパ-Xは156.12mm～202.20mm、キャリパ-Yは157.63mm～193.17mmの範囲であり、掘削孔径φ152mmに対して1.03～1.33倍まで孔径拡大していた。

(2) 区間②：掘削長299.80m～掘削長341.62m間

キャリパ-Xは148.28mm～227.16mm、キャリパ-Yは156.84mm～252.76mmの範囲であり、掘削孔径φ152mmに対して最大1.66倍まで孔径が拡大していた。

(3) 区間③：掘削長413.80m～掘削長450.08m間

キャリパ-Xは149.84mm～206.56mm、キャリパ-Yは164.78mm～229.47mmの範囲であり、掘削孔径φ152mmに対して最大1.51倍まで孔径が拡大していた。

(4) 追加区間A：掘削長353.95m～掘削長391.80m間

キャリパ-Xは164.09mm～256.54mm、キャリパ-Yは144.04mm～257.88mmの範囲であり、掘削孔径φ152mmに対して最大1.70倍まで孔径が拡大していた。検層結果では、キャリパ-Yに対してキャリパ-Xの値が1.2倍程度大きく計測されていることから、掘削孔径が楕円形の形状をしていることが考えられた。

(5) 追加区間B：掘削長230.80m～掘削長300.00m間

キャリパ-Xは159.63mm～291.20mm、キャリパ-Yは155.70mm～309.18mmの範囲であり、掘削孔径φ152mmに対して最大2.03倍まで孔径が拡大していた。

3.4.2 サイドトラック掘削

サイドトラック掘削技術の現地適用性評価試験として、既存の掘削装置や地上設備を使用して、昨年度までに掘削済みの既存孔井の一部区間を埋め戻した後に、実際に分岐した新規孔井を掘削した。

3.4.2.1 既存孔閉塞用パッカプラグの設置

以下にパッカプラグ設置作業の成果を示す。

(1) 孔内閉塞用パッカプラグ設置のための保護管(NL140 ロッド)降管

- ① 孔内閉塞用パッカプラグの降管時に孔壁と接触して損傷することを避けるため、掘削長 600.80m 地点まで NL140 ロッドを保護管として降管挿入した。
- ② 保護管の先端には NL140 ロッドのブランクシュー(長さ 0.30m)を取り付け、先端周縁部にはコンポジットを溶着し、降下時における崩壊物等の浚渫を可能とした。
- ③ 孔内閉塞用パッカプラグの設置に用いる BQ ロッドの保持のため、口元立上り管を 8"管から 16"管へサイズ変更した。
- ④ 保護管頭部に NL140 ロッドの外テーパ管・スタビライザ管を接続し、落下防止を施した。

(2) 孔内閉塞用パッカプラグとセメントミルク打設用 BQ ロッド降管

- ① 孔内閉塞用パッカプラグをセメントミルク打設用の BQ ロッドに接続して降管した。
- ② 降管作業は BQ ロッドを 250 本接続し、接続 10 本毎に BQ ロッド管内へ清水を補水することで浮力を抑えるように対処した。
- ③ 降管作業は、孔内閉塞用パッカプラグの先端位置が掘削長 750.60m 地点であることを残尺検尺により確認して終了した。

(3) 孔内閉塞用パッカプラグの設置と切り離し

- ① 降管した BQ ロッド頭部に孔内閉塞用パッカプラグ加圧用の配管を取り付け、同パッカプラグの拡張作業を開始した。
- ② 注水加圧は試錐ポンプを用いて行い、3.0MPa まで加圧した段階で注水を停止し、BQ ロッドを上下動させることで、パッカプラグが孔壁に密着固定されていることを確認した。
- ③ 孔内閉塞用パッカプラグと BQ ロッドの切り離し作業では、試錐機のフィードを用いて BQ ロッドを引き上げることで、荷重量の計測から約 550kgf の引っ張り力によってテンションピンが切断されたことを確認した。
- ④ テンションピン切断後の状況確認として、BQ ロッド先端の開放によって BQ ロッド管内の水位が低下することを確認した。

3.4.2.2 セメントミルク充填材注入

以下にセメントミルク充填材の注入作業による知見を述べる。

(1) モルタルポンプでの注入作業

- ① セメントミルク充填材の練上げ開始 6 分経過後にモルタルポンプによる注入を開始した。
- ② 注入開始直後の注入速度は 15.0L/分で安定し、練上げ速度 18.3L/分以下であったことから、モルタルポンプでの注入を継続して実施した。
- ③ 注入速度は 57 分後に 14.4L/分、78 分後に 13.8L/分、93 分後に 13.2L/分に低下し、練上げ開始 93 分後に注入管(BQ ロッド)の先端から充填材が埋め戻し区間へ吐出したと判断した。
- ④ 注入速度は経過時間により低下したが、108 分後に 12.0L/分、120 分後に 10.5 L/分、135 分後に 9.0 L/分まで低下し、150 分後に全量を BQ ロッド管内へ圧送完了した。
- ⑤ BQ ロッド管内への圧送終了後、後押しプラグを投入し、198 分後に試錐ポンプを用いた後押し水の送水を開始したが、送水直後にポンプ圧力が上昇し、送水不能な状態となった。
- ⑥ 練上げ開始から 396 分後、後押し水を 614L 分を送水した段階で、送水圧力が 60ksc まで増加したため、BQ ロッド管内に約 580L の充填材が残留した段階で後押し送水を中止し、BQ ロッド先端を掘削長 600m 地点まで引き上げて、埋め戻し作業を終了した。

(2) 硬化したセメント頂部位置の確認

- ① セメントミルク充填材の注入が終了し、硬化したセメント頂部位置を確認するため、注入翌日に BQ ロッドの降管作業を行い、BQ ロッドの残尺確認により、セメント頂部位置は掘削長 645.29m と確認した。
- ② 上記①によるセメント頂部確認後、NL140 ロッドの降管作業により硬化したセメント頂部位置の再確認を実施した結果、掘削長 644.68m にてセメント頂部を確認した。
- ③ 当初計画であった掘削長 650m 地点より浅所まで硬化セメントが立ち上がっていることを確認したためセメントミルク充填材による埋め戻し作業を終了した。

(3) BQ ロッドと NL140 ロッドの全揚管

- ① セメントミルク充填材の注入に使用した BQ ロッドの揚管作業において、BQ ロッド管内状況を確認しながら揚管作業を行った結果、BQ ロッド総数 216 本中 117 本分の管内に硬化したセメントミルク充填材の残留を確認した。
- ② BQ ロッド管内容量 117 本分はセメントミルク充填材の 582L 分に相当し、試錐ポンプによる後押し送水によって後押しできなかった数量と一致することが判明した。

(4) 端面成形作業

サイドトラック掘削を実施するために、硬化したセメント頂部の成形作業として、φ152mm コンポ

ジットシュービットを孔井内に降下して、リーミング作業を実施した。

- ① φ152mm コンポジットシュービットを用いた孔内洗浄時には、掘削長 637.5m～掘削長 641.0m 間に大きな抵抗や残留物等は確認されなかった。
- ② 洗浄終了後、引き続きコンポジットシュービットを降下させ、硬化したセメント頂部位置の再確認を行った結果、掘削長 644.68m にて頂部を確認した。
- ③ 端面成形のためのリーミング作業は掘削長 640m 地点より開始し、マッドロギングパラメータにより掘削長 644.7m 付近からビット荷重が増加し始めたことから、シュービットが硬化セメント頂部位置に到達したと判断した。
- ④ 端面成形のためのリーミング作業で、コンポジットシュービットが全断面に到達したと考えられる掘削長 645.3m 地点は硬化セメント頂部位置である掘削長 644.7m から 0.6m 下方であるが、当該位置における孔井の傾斜角度が 78° であり、推定されるセメント頂部の水平方向の長さが約 0.7cm 程度と算出されるため、セメント頂部位置とほぼ一致する結果と考えられる。

3.4.2.3 サイドトラック掘削作業

サイドトラック掘削は平成 25 年 12 月 1 日～12 月 6 日の期間に、掘削長 648.00m～掘削長 663.65m の間で実施した。掘削区間別のコアリング、ノンコアリング掘削別の内訳は、以下のとおりとなった。

- ・ 区間 1(コアリング掘削) : 掘削長 648.00m～掘削長 653.80m
- ・ 区間 2(ノンコアリング掘削) : 掘削長 653.80m～掘削長 656.00m
- ・ 区間 3(コアリング掘削) : 掘削長 656.00m～掘削長 663.65m

以下に各区間の掘削作業状況により得られた成果を示す。

(1) 区間 1

- ① 最初のコアリング実施区間である掘削長 648.00m～掘削長 651.00m で採取したボーリングコアではセメントは確認できず、全て稚内層の泥岩コアが回収された。
- ② コアビットのみで掘削を行っている掘削長 648.00m～掘削長 651.60m 間までと比べ、掘削長 651.60m 以降ではビット荷重とトルクの値が大きくなり、方位と傾斜のばらつき具合も、同掘削長以深では安定したため、既存孔井からの分岐掘削が行えていると判断した。

(2) 区間 2

- ① 掘削状況では、想定した掘削能率を得ることができず、掘削速度がコアリング掘削で得られた 0.5～0.6m/h より悪化したため、ノンコアリング掘削作業は掘削長 656.00m 地点で中止とした。
- ② 当該区間の掘削では、ビット荷重が 500kgf 程度増加し、孔井の傾斜は WL-MWD が新規掘削した分岐孔井に近づいた掘削長 655.4m 付近より 78.8° 前後を維持したことから、サイ

ドトラック掘削が沿角で掘削されていると判断した。

(3) 区間3

- ① 掘削長 656.0m 地点からコアリング掘削を再開し、採取したボーリングコアの割れ目の確認を通じて、孔内応力試験装置による水圧破碎試験実施に資する情報提供を行った。
- ② 掘削状況は、ダウンホールモータのベント角度は 0.39° とし、掘削時のツールフェイス角度を $180^\circ \sim 195^\circ$ の範囲となるように設定した。
- ③ 掘削長 659.00m～掘削長 662.0m 間において、ビット荷重が高い値を示し、掘進速度も前後区間と比較して $0.1 \sim 0.2\text{m/h}$ 程度低下したことから、コアビットに問題が生じている可能性が想定された。このため、掘削ツールを回収してコアビットの点検を行った結果、ビットを構成するダイヤモンドのうち、外周部のチップが欠けている箇所を複数箇所確認したため、コアビットを交換した結果、掘削状況は改善した。
- ④ 孔井傾斜と方位の値については、ほぼ同じ値を維持して掘削できたことから、サイドトラック掘削による沿角掘削が得られていると判断した。

(4) 孔跡軌跡実績

- ① WL-MWD の計測結果では、サイドトラック掘削を実施した掘削長 648.0m～掘削長 663.6m の区間で、ほぼ沿角の傾斜角度で分岐孔井を掘削した。
- ② 既存孔井との乖離距離は、掘削長 651.0m 地点で掘削孔径程度 ($\phi 152\text{mm}$) の乖離距離となり、掘削長 663.6m 地点で 0.90m と孔径の約 6 倍の乖離距離となった。
- ③ ジャイロ計測は掘削長 654.6m までを測定し、WL-MWD で得た傾斜角度同様に、ほぼ沿角での掘削ができていたことが確認できた。乖離距離は掘削長 654.6m 地点で 0.28m であった。

3.4.2.4 孔内応力試験装置による水圧破碎試験実施のための試験区間拡孔

サイドトラック掘削により採取されたボーリングコアの亀裂状況を把握した上で、孔内応力試験装置による水圧破碎試験の実施可否判断を行い、試験実施が可能と判断された時点で、試験区間の形成作業として $\phi 89\text{mm}$ のコアリング孔を $\phi 100\text{mm}$ へと拡孔作業を行った。

- ① 試験区間の選定が終了した時点で、コアリング孔 ($\phi 89\text{mm}$) の拡孔作業 ($\phi 100\text{mm}$) を行った。
- ② 拡孔作業はコア孔入り口から、水圧破碎試験実施時の先端位置となる掘削長 662.845m よりも 25cm 程度孔底側となる掘削長 663.100m まで行った。
- ③ 拡孔作業では、既存のコア孔に沿う形で拡孔掘削を行える”パイロッドガイド”を取り付けた専用ビットを新たに製作、用いることで試験孔を形成することができた

3.4.3 孔内透水試験・採水

上幌延現地適用サイトの HCD-3 において透水試験・採水・イメージング装置を用いた原位置試験を実施し、適用性の検討を行った。試験区間として、掘進長 208.5～209.7m を対象とした。改良製作したダブルパッカを適用して水理試験を行なった結果、圧力測定データからパッカによる止水性を確認し、ダブルパッカの適用性を確認した。

水理試験の結果、間隙水圧は平成 18 年度測定時よりも 5m 程度高く、ほぼ静水圧であった。また、透水試験の結果、平成 18 年度測定時よりも透水係数が 100 分の 1 程度となっていた。これらのことから、7 年間で割れ目の透水性が低下していることが明らかとなった。

総揚水量 73L の揚水を実施し、デッドボリュームの約 4 倍揚水した後採水を行なった。採水中の水質モニタリングの結果から、平成 18 年度測定時と同等の水質であると判断された。これにより、ケミカルユニットの適用性を確認した。

3.4.4 孔内応力測定

3.4.4.1 幌延における孔内応力試験装置の地上での通信機能検証

孔内応力試験装置と同試験装置専用のアーマードケーブルとを接続して、地上部計測装置と孔内計測装置間での通信確認を行った。

表 3.4.4-1 に地上通信機能検証項目を示す。

表 3.4.4-1 地上通信機能検証項目

確認項目	内容	結果
通信	地上部 PC から孔内計測機器の制御、RS485-光ファイバー-RS485 通信、圧力、方位、傾斜、ポンプモータの作動	通信、動作 OK
カメラ	孔内カメラの画像、LED 点灯	確認 OK
AE	AE センサ波形	確認 OK

3.4.4.2 横須賀地区での孔内応力試験装置の現地適用性試験

横須賀現地試験は、試験孔内に水圧を掛けて実施した。現地適用性試験の各検証項目についてはこのように孔内水圧は2つの異なる条件(低水圧(0.5MPa)と幌延450m深度相当(4.5MPa))でそれぞれ試験を実施した。低水圧0.5MPaでは、典型的な水圧破碎データの取得を行い、幌延深度相当の4.5MPaでは高圧下での装置動作の検証を実施した。水圧破碎試験の試験深度は、注水区間深度が5.75m～6.5mで、試験前後の型どり区間深度は6.0m～6.5mである。

(1) 水圧破碎試験位置の試験前孔壁確認

試験前型どり試験は、試験孔内圧 0.5MPa の状況下で実施した。型どり熱収縮ゴムチューブを展開して観察した結果、既存の亀裂痕は見られなかった。

(2) 孔内応力試験装置の機能検証試験

孔内低水圧条件 (0.5MPa) での水圧破碎試験結果の圧力時間曲線から読みとった値の各平均値を用いて平面内応力を算出した結果、最大主応力値 (SH) は 1.3MPa、最小主応力値 (Sh) は 1.0MPa と評価した。

孔内高水圧状況下での試験は、低水圧条件下で作成した亀裂を進展させた可能性が高く、注水による圧力上昇は孔内水圧 4.5MPa にプラス 0.3MPa の上昇が観測された。幌延現地試験相当の高圧条件下で試験装置は作動し圧力、流量データを取得することが出来た。

(3) 水圧破碎試験位置の試験後孔壁確認

水圧破碎試験後の亀裂の型どり結果より、最大主応力の方向は孔口側から見て左側に約 52° 傾いていた。

(4) 平面内応力値の評価

最大主応力値は 1.3MPa で、最小主応力値は 1.0MPa で最大主応力の方向は孔口から見て約 52° 左に落ちる方向であった。

表 3.4.4-2 に水圧破碎試験結果一覧を示す。

表 3.4.4-2 水圧破碎試験結果一覧

試験深度	中心深度	破碎圧	亀裂再開口	亀裂閉口圧	最大主応力	最小主応力	SH 方向 (孔口から見て)
		Pb (MPa)	Pr (MPa)	Ps (MPa)	SH (MPa)	Sh (MPa)	
5.75m~6.5m	6.12m	6.7					
			0.9	1			
			0.8	0.9			
平均値		6.7	0.85	0.95	1.3	1.0	52° 左落ち

(5) 検証結果のまとめ

横須賀地区で実施した現地適用性試験の検証結果を以下に記す。

a. ラッチ機能

先端シューを付けた NL140 ロッドを試験孔に挿入し、試験装置を NL140 ロッドのラッチ溝に固定させて、試験深度まで送り込んだ。そして、孔内に送水して水圧をかけた。孔内加圧したが、試験装置は動かずに静止した状態を保持した。この結果より高圧下でもラッチ固定が機能していることを確認した。ラッチ解除については、各試験後に、試験装置にバンドを掛けてこのバンド

を引っ張り装置が引き出されたことでラッチ解除が機能していることを確認した。

b. 孔内応力試験装置～地上間の通信・制御

試験孔内への加圧前から試験装置と地上部 PC との間で通信を開始して、装置を試験深度まで押し込み、孔内水圧を 4.5MPa まで加圧した後、通信遮断やデータの欠如など無く計測できた。試験前型どりの試験、水圧破碎試験、試験後型どりの試験で各パラメータ(圧力、流量、方位、傾斜等)の計測とポンプの制御が可能であり試験を実施できたことから高圧下でも通信・制御が機能していることを確認した。

c. 傾斜と軸回転の計測機能

試験深度到達から継続して孔内加圧後まで傾斜、軸回転が正常に計測出来ていて、試験前型どりの水圧破碎試験、試験後型どりの傾斜計の計測値は 0° を示していることで高圧下でも正常に機能していることを確認した。

d. 水圧破碎の圧力計測機能

孔内加圧後に注水区間計測の圧力センサが加圧した孔内圧と同様の値を示した。また、水圧破碎試験では、注水圧は常に孔内水圧以上の値を示し、注水開始で注水圧が上昇し、亀裂を作成することができた。注水圧はブレークダウン時に約 7MPa と妥当な値を示し、圧力低下時も孔内圧を下回る値は示さなかったので圧力計測機能は高圧下でも機能していることを確認した。

e. 水圧破碎の流量計測機能

事前にポンプモータ用電源電圧の設定電圧でポンプモータを駆動させて吐出した流量の計測値と、試験時の同電圧での流量値との計測値が同様の値を示しているので高圧下で機能することを確認した。

f. パッカの圧力計測機能

試験装置を試験深度に送り込み、孔内加圧することで、パッカ圧も同様に上昇することを確認した。そして、水圧破碎試験では、注水区間の圧力上昇に伴いパッカ圧も上昇すること、そしてブレークダウンを起こして亀裂が作成できたので高圧下でパッカの圧力を計測する機能があることを確認した。

g. 亀裂計測機能-AE

水圧破碎試験時に岩盤からの有意な AE は観測されなかったが、注水時の水の流れに伴うと思われる波形を計測した。試験後の試験装置回収後に AE センサ部を打撃して AE 波形が計測できることから、AE 計測は正常に機能していたので、高圧下で機能していることを確認した。

h. 亀裂計測機能-孔内カメラ

セメント被覆孔での水圧破碎試験では、岩盤と比較して亀裂開口幅が小さかったためか、モニター画面で亀裂が観察されなかった。

試験後の試験装置回収後に、孔外でカメラの映像を確認できたので高圧下でもカメラ機能自体は有効に機能していることを確認した。

i. 耐圧機能(各ユニット間、パッカ部、ラッチユニット)

孔内加圧 4.5MPa の状況で試験を実施し、その際通信の遮断無く計測が可能であった。試験装置回収後に装置内に水漏れが無いことを確認し、高圧下で耐圧性を有することを確認した。

j. パッカ加圧・除圧

試験孔内に試験装置を挿入し試験深度に送り込んだ後に、孔内加圧の状況でパッカを加圧し、パッカ圧の初期値が孔内圧相当であることを確認した。それから、パッカポンプを作動させてパッカ圧が上昇することを確認した。また、型どり試験で型どり熱収縮ゴムチューブの孔壁面状況の痕および除圧後に装置が回収できることで除圧が機能していることを確認した。以上のことから高圧下でパッカの加圧・除圧が可能であることを確認した。

k. 加圧送水

試験孔内加圧状況下で注水圧の値が孔内加圧未満の値にならずに、注水ポンプを作動させると圧力が上昇することから、高圧下で加圧送水が可能であることを確認した。

l. 亀裂型どり

試験孔内加圧状況下で水圧破碎試験後の亀裂型どりを実施して、型どり熱収縮ゴムチューブに亀裂痕が読みとれたので、高圧下で亀裂型どりが可能であることを確認した。

m. 水圧破碎データの評価(Pb、Pr、Ps)

試験孔内加圧状況下で、水圧破碎を行い、圧力-時間曲線から、ブレイクダウンプレッシャー(Pb)、リオープニングプレッシャー(Pr)、シャットインプレッシャー(Ps)が読みとることが出来た。なお、この読みとりデータを用いて模擬的に2次元応力を評価した。

3.4.4.3 孔内応力試験装置の現地適用性試験の成果

試作した孔内応力試験装置を昨年度(2012年度)は幌延現地 HCD-3 孔において、櫓で組立を行い、掘削用アーマードケーブルを使って、掘削長約 500m まで送り込みを行い、回収することができた。送り込みでは、地上部計測機器と通信して方位傾斜測定および圧力測定しながら地上部でモニタリングして試験孔内の推進状況を把握することができた。その後実施した横須賀現地試験では、ラッチシステムの機能検証と計測と通信および耐圧機能検証と水圧破碎試験を実施し有効に機能することを確認した。

今年度は、幌延現地の地上部で試験装置を組み立て、応力専用アーマードケーブルに接続して、通信の確認を行い、地上部計測機器と通信と計測制御が可能であることを確認した。

幌延現地試験の代替として横須賀現地で試験を実施した。

横須賀現地試験では、幌延現地試験で実施予定であった表中の各検証項目について水圧を加圧した

状態で試験を行った。

その結果、水圧の掛かった状態で、孔内応力試験装置はポンプを作動させて、注水加圧し圧力、流量を計測することが出来、水圧破碎試験装置として有効に機能することを確認した。

表 3. 4. 4-3 に現地適用性試験の検証結果一覧を示す。

表 3. 4. 4-3 現地適用性試験の検証結果一覧

現地適用性試験の検証項目	2012年度 我孫子 (地上)	幌延 約500m	横須賀 (浅部)	2013年度 我孫子等 (地上)	幌延 約400m	横須賀 水圧下
■コントロールボーリングシステムへの適用						
櫓での組立～立上げ～降下開始		○			○	
鋼管曲率への適用性		○		○		
水平孔での送込み機能	○	○		○		
ラッチ機能	△		○	○		○
■計測と通信						
孔内応力試験装置～地上間の通信・制御		○	○		○ 地上	○
傾斜と軸回転の計測機能		○	○		○ 地上	○
水圧破碎の圧力計測機能		○	○		○ 地上	○
水圧破碎の流量計測機能			○		○ 地上	○
パッカーの圧力計測機能			○		○ 地上	○
亀裂計測機能-AE			○		○ 地上	○
亀裂計測機能-孔内カメラ			○		○ 地上	○
■耐圧機能						
耐圧機能-各ユニット間		○	○	○		○
耐圧機能-パッカー一部		○	○	○		○
耐圧機能-ラッチユニット部			○	○	× (破損箇所)	○
■水圧破碎試験						
パッカー加圧・除圧			○			○
加圧送水			○			○
亀裂型どり			○	○		○
水圧破碎データの評価(Pb,Pr,Ps)			○			○

3.4.5 孔内モニタリングシステムの設置

昨年度までに確立された技術および既存技術の適用性評価や各作業手法を構築するために、北海道幌延町のコントロールボーリング孔井(HCD-3 孔)にて「火薬による拡管～ケーシング(NL140 ロッド)切断～観測区間確保～孔内モニタリングシステムの設置、試験運用」までの一連の孔内モニタリングシステム適用に際し、その設置作業を実施した。

実施した適用性試験項目を以下に示す。

- ① 火薬による拡管試験
- ② ケーシング(NL140 ロッド)切断試験
- ③ BHTV による拡管部の管径計測
- ④ 孔内モニタリングシステムの設置、データ取得

3.4.5.1 観測区間の設定

北海道幌延町のコントロールボーリング孔井(HCD-3 孔)のどの位置に観測区間を設定するかを採取したコア状況および孔径検層結果を基に検討した結果、下記に示す3観測区間を決定した。

- ・観測区間③：掘削長 208.7m～掘削長 209.7m(透水割れ目を対象)
- ・観測区間②：掘削長 211.2m～掘削長 215.7m(断層帯を対象)
- ・観測区間①：掘削長 249.7m～掘削長 257.2m(主断層の上盤側の健全な稚内層を対象)

観測区間が、上記のように決定したため、各適用試験実施深度を決定したが、掘削径が設計値(ϕ 152mm)より拡大していたため、NL140 ロッド保持耐力の不足が起こり、最終的に6箇所で拡管試験を実施した。

図 3.4.5-1 に適用性試験実施計画位置(左)と実施位置(右)を示す。

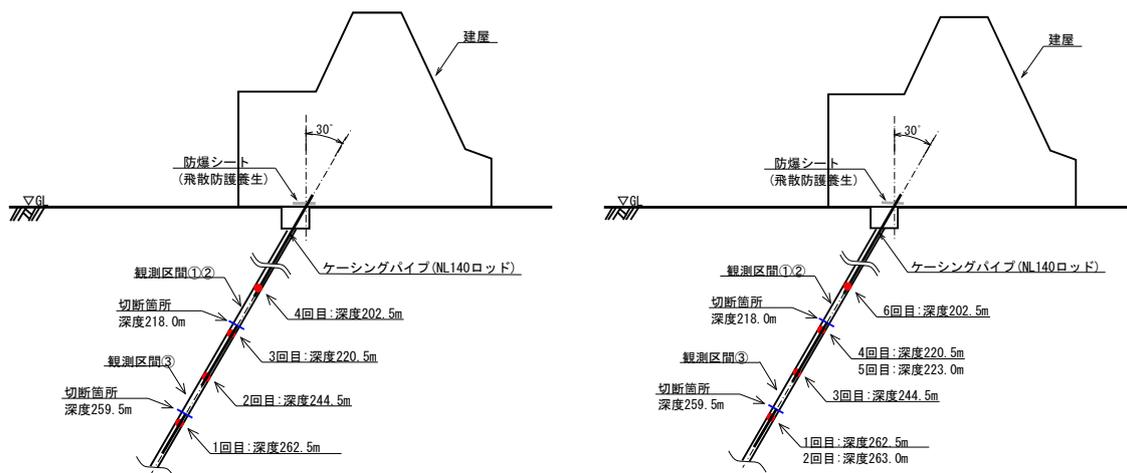


図 3.4.5-1 適用性試験実施計画位置(左)と実施位置(右)

3.4.5.2 火薬による拡管試験

2013年度の研究成果を以下にまとめる。

- ① PBX6201 を使用した場合、薬量 100 g 程度で目標とする拡管径が得られることを確認した。
- ② 装薬治具はショックアブソーバーを装着することで、損傷等は認められなかった。
- ③ 拡管時の耐力として、掘削径が設計値(ϕ 152mm)より拡大していたため、耐力の不足が見受けられた。
- ④ 装薬カプセルとホルダー接続部の残滓については、全て回収された。

3.4.5.3 ケーシング(NL140 ロッド)切断試験

2013年度の研究成果を以下にまとめる。

- ① 電動式カッターによる NL140 ロッド切断は、切断時間(カッターを所定深度設置から切断終了まで約 20 分)の短さ、切断面のきれいさから非常に有効であることを確認した。
- ② 切断作業時の情報を地上のモニター画面で確認でき、切断状況の把握が容易であることを確認した。

3.4.5.4 BHTV による拡管部の管径計測

2013年度の研究成果を以下にまとめる。

- ① BHTV 検層データから NL140 ロッド拡管部の内径および外径の把握が精度良くできることを確認した。
- ② 拡管部の形状を 3 次元表示することで、視覚的に判り易くなることを確認した。

3.4.5.5 孔内モニタリングシステムの設置およびデータ取得

2013年度の研究成果を以下にまとめる。

- ① 北海道幌延町に掘削した実孔井(HCD-3孔)に3区間設置および試験運用し、水圧データの取得(約2週間分)を通じて、その仕様、性能等を確認した。

3.5 総合システムの検討

3.5.1 掘削・調査データ統合化システムの運用

幌延町の現地適用性評価試験サイトにおける掘削作業・孔内試験実施時には様々なデータが取得される。また、採取されたボーリングコアを用いた室内試験からは岩盤の物性値や地化学データが取得される。これらの多種多様な取得データを一元的に管理、提供することを目的として「掘削・調査データ統合化システム」を過年度までに開発、運用してきた。

今年度も「掘削・調査データ統合化システム」の通年運用を目標として同システムの現地適用性試験を通じて同システムの適用性評価をおこなった。

以下にその結果の概要を記す。

3.5.1.1 掘削・調査データ統合化システムの運用

幌延町の現地適用性評価試験サイトにおける現地作業開始に合わせて、「掘削・調査データ統合化システム」を構成している“データ登録用PC”を新たに現場事務所内に設置してシステムの運用をおこなった。

現地作業の実施期間中において「掘削・調査データ統合化システム」は大きなトラブルもなく稼働し、全ての現地作業が終了した時点で現場事務所内に設置されていた“データ登録用PC”を含む全ての機器の撤去をおこなった。

なお、「掘削・調査データ統合化システム」は継続して稼働中である。

3.5.1.2 運用中における不具合

「掘削・調査データ統合化システム」の運用期間中に発生した不具合としては以下の3例である。

- ・ “作業進捗速報”の配信エラー(平成25年10月30日に発生)
- ・ “作業進捗速報”の配信エラー(平成25年12月11日に発生)
- ・ 深度プロファイルのコア室内試験のグラフ表示エラー

このうち、“作業進捗速報”の配信エラーに関しては、外部レンタルサーバ業者でシステムメンテナンスの実施直後に不具合が発生しており、原因究明をおこなった上で対策も実施済みである。

3.5.2 掘削・調査支援システムの構築

掘削情報の活用による透水・採水試験の実施区間の合理的選定や掘削中のトラブル回避を目的として、掘削データから逸水現象を検出する方法について検討した結果、以下の知見が得られた。

- ① 生の掘削データと深度サンプリングされたデータを比較した結果、1cm 毎のサンプリングによる影響はほとんどみられないが、10cm 毎のサンプリングでは失われる情報量が多く、急激なデータ変動を十分表現できていないことから、逸水の検知には不利であることが分かった。
- ② 掘削データには様々な要因による変動が含まれていることから、データ解析技術を用いて、逸水の判断の妨げとなるノイズの変動を取り除く方法について検討した。その結果、掘削中断時に多く見られる極大・極小値の除去や、ホワイトノイズの除去を行うことで、データ本来の変動が明確になり、逸水に伴うデータの傾向変化の検出に有効であることが分かった。
- ③ WL-MWD の外圧データは、HCD-1・2 孔の複数の逸水箇所でも明確に減少していることが確認され、WL-MWD の外圧データから逸水による孔内圧力の低下を判断することが可能であることが分かった。一方、HCD-3 孔で生じた少量の逸水については顕著な外圧低下は確認できなかったことから、小規模な逸水を外圧から検知するのは難しいと考えられる。
- ④ HCD-1・2 孔の逸水箇所では泥水検層の排水量は明瞭な低下傾向を示し、逸水に伴う泥水の減少に対応していることから、逸水の有力な判断指標となることが分かった。また、HCD-3 孔でも逸水区間で排水量の低下が確認されたが、排水量の表現方法が HCD-1・2 孔と異なるため、逸水の評価が難しくなることが分かった。
- ⑤ HCD-1・2 孔では逸水に伴い、泥水の温度低下がみられたことから、逸水の監視項目となり得る可能性がある。
- ⑥ これ以外の計測項目に関しては、逸水との関連性がない、もしくは、逸水との対応は一部みられるものの、逸水のない場合の変動が大きく、逸水の判断指標としては適さないことが確認された。
- ⑦ 掘削中に外圧や排水量等の掘削データをモニタリングし、掘削トラブルの原因や水理試験の対象となる逸水を予測するためには、a. できるだけ早い段階で逸水を予測できること b. 逸水、またはその前兆現象をデータから容易に判断できること c. リアルタイムにモニタリングできること が要件となる。今回の検討で用いたデータ解析技術は、これらの要件を満たすと考えられるが、逸水の判断基準の定量化や可視化方法については高度化の余地がある。

3.5.3 掘削・調査手順書の構築

本事業における平成12年度から平成25年度まで行ってきたコントロール掘削、調査技術に関する技術開発に関して、各年度の受託報告書やフェーズ毎の総合報告書とは異なり、開発技術の現地適用性検討として実施してきた掘削、調査によって得られた知見に基づき、実運用する際の手順などの基本的な考え方を「掘削・調査手順書」としてとりまとめを行った。

本手順書は、大きく以下に示す5つの章立てから構成されている。

- ・第Ⅰ章 はじめに
- ・第Ⅱ章 精密調査地区選定段階の概要調査
- ・第Ⅲ章 概要調査におけるコントロール掘削、調査
- ・第Ⅳ章 掘削・調査の手順
- ・第Ⅴ章 掘削・調査結果の評価

本事業で開発を進めてきた掘削・調査の各技術については、他分野における掘削、調査にも適用可能であり、本手順書は基本的には概要調査などの掘削、調査計画の立案に資するものであり、このような観点から、本書は対象読者として、実際にサイト選定調査を実施する技術者や管理者を想定しているものの、他の分野での適用を視野に入れて記述した。

4. 本年度の開発目標

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、水平傾斜の維持およ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ける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および孔内応力側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およ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、本年度は地上設備の撤去と孔内長期モニタリングを実施する。

以下に、開発目標と各作業や試験の実施目標をまとめる（表 4-1 参照）。

表 4-1 平成 26 年度実施工程

事業項目	平成 26 年度			
	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期
(2)－① 地上設備の撤去				
・ 現地撤去作業	■	■		
(2)－② 孔内長期モニタリング				
・ データ取得	■	■	■	■
・ 取得データの解析・評価				■
・ 無人計測システムの概念設計				■

4.1 概論

4.1.1 地上設備撤去の概要

コントロール掘削および調査に関しては、その大部分が平成 25 年度に終了したため、掘削や調査に

必要な地上設備を撤去することになる。これまでに掘削、調査を実施してきた上幌延地区に関しては、農業委員会および地権者との契約で、平成 26 年 6 月末までに地上設備を撤去することになっている。

このような状況を受けて、26 年 6 月末までに地上設備を安全に撤去する。また、孔内長期モニタリングを継続して実施できるように孔口周辺を養生する。

4.1.2 孔内長期モニタリングの概要

全体目標である、孔内長期モニタリング技術の体系化を図るために、初年度である今年度は、昨年度に開始した間隙水圧の計測を継続実施するとともに、来年度以降効率的に研究開発を実施できるように机上検討を中心に実施する。実施項目は以下のとおりである。

- (1) データ取得および解析方法の検討
- (2) 維持、管理手法の検討
- (3) 無人計測システムの概念設計

4.1.3 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。

本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 26 年 10 月上旬 本年度研究計画審議
- ・ 第 2 回検討委員会 平成 26 年 12 月上旬 中間成果の審議
- ・ 第 3 回検討委員会 平成 27 年 2 月下旬 最終成果の審議

表 4.1.3-1 に検討委員会の委員一覧を示す。

表 4.1.3-1 「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	岡山大学大学院 環境生命科学研究科 教授
委員	五十嵐 敏文	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 部長
委員	嶋田 純	熊本大学大学院 自然科学研究科複合新領域科学専攻(理学専攻兼任) 水文学研究室 教授
委員	吉田 英一	名古屋大学博物館 教授

4.2 地上設備の撤去

4.2.1 現地撤去作業

平成 18 年以降コントロール掘削および孔内調査を実施している幌延町上幌延地区は、農地を転用して工事を実施するために、農業委員会の許可を必要とする。このため全体計画に沿って、農地転用手続きを進めており、この期限を平成 26 年 6 月末と定めた。また、地権者とも、これを踏まえて当該月までに地上設備を撤去する約束を結んでいる。このような状況を踏まえて、地上設備の撤去は平成 26 年 6 月末日までに完了することとした。

上幌延地区では、冬季の防寒対策のために掘削リグをハウジング内に納めている。このため、地上には以下の設備を安全に撤去する必要がある。

- ・防寒施設（ハウジング）：防寒施設本体と外装シート
- ・現場事務所：組み立て式プレハブハウス
- ・掘削資機材：ケーシングパイプやウインチなど
- ・掘削リグ：専用のスラントリグ

また、地上設備を撤去した後も、孔内に設置したマルチパッカーシステムによる孔内長期モニタリングを継続して実施することから、孔口の養生も必要となる。

4.3 孔内長期モニタリング

コントロールボーリング孔井を用いた長期モニタリングの体系化を図るために、昨年度 HCD-3 孔井にマルチパッカーにより構築した 3 区間において間隙水圧を年間通して継続観測するとともに、次

年度以降効率的な作業実施を目的として机上検討を実施する。

以下に実施する項目とその開発目標を示す。

4.3.1 データ取得および解析方法の検討

バッカーにより構築された計測 3 区間の間隙水圧データを年間を通して、連続して取得する。

間隙水圧は周辺環境の諸因子の影響を受けている。このためこれらの影響を取り除いた間隙水圧プロファイルのベースラインを評価するために、影響因子の抽出やこれらの影響除去方法について、事前検討を実施する。

4.3.2 維持、管理手法の検討

年間を通して間隙水圧を計測することにより、データ取得の実績を蓄積し、これを踏まえて孔内および地上設備の維持、管理方法について、特にデータの信頼性の観点などから検討する。

4.3.3 無人計測システムの概念設計

概要調査および精密調査時にこのシステムを利用する場合、電機や通信などのインフラストラクチャがない場合を想定し、無人計測システムを利用してモニタリングを行う予定である。

このために、事前に以下の項目について検討を行い、実際の設置、実運用に備える。

- ・ 気象データの調査と賦存エネルギー予測
- ・ システム構成
- ・ 自立式電源設備
- ・ 通信方法の検討
- ・ 紙幌延地域での最適システムの検討

Ⅱ編：本年度の研究内容

5. 地上設備の撤去
6. 孔内長期モニタリング

5. 地上設備の撤去

調査段階での地表からの調査に資するため、堆積軟岩を対象としたボーリング技術高度化開発に向けたコントロールボーリング技術とコントロールされたボーリング孔における地質環境の総合的調査技術の確立を目指して北海道幌延町上幌延地区の試験サイト（図 5）においてボーリング掘削を行ってきた。各種特性調査技術の現地適用性確認を平成 25 年度に完了したため、試験サイトの地上設備（掘削資機材、防寒施設（リグ用ハウジング）、計測及び管理用プレハブなど）の撤去を行った。モニタリング計測は引き続き継続するため、ボーリング孔とその周辺のコンクリート基礎は残置した。

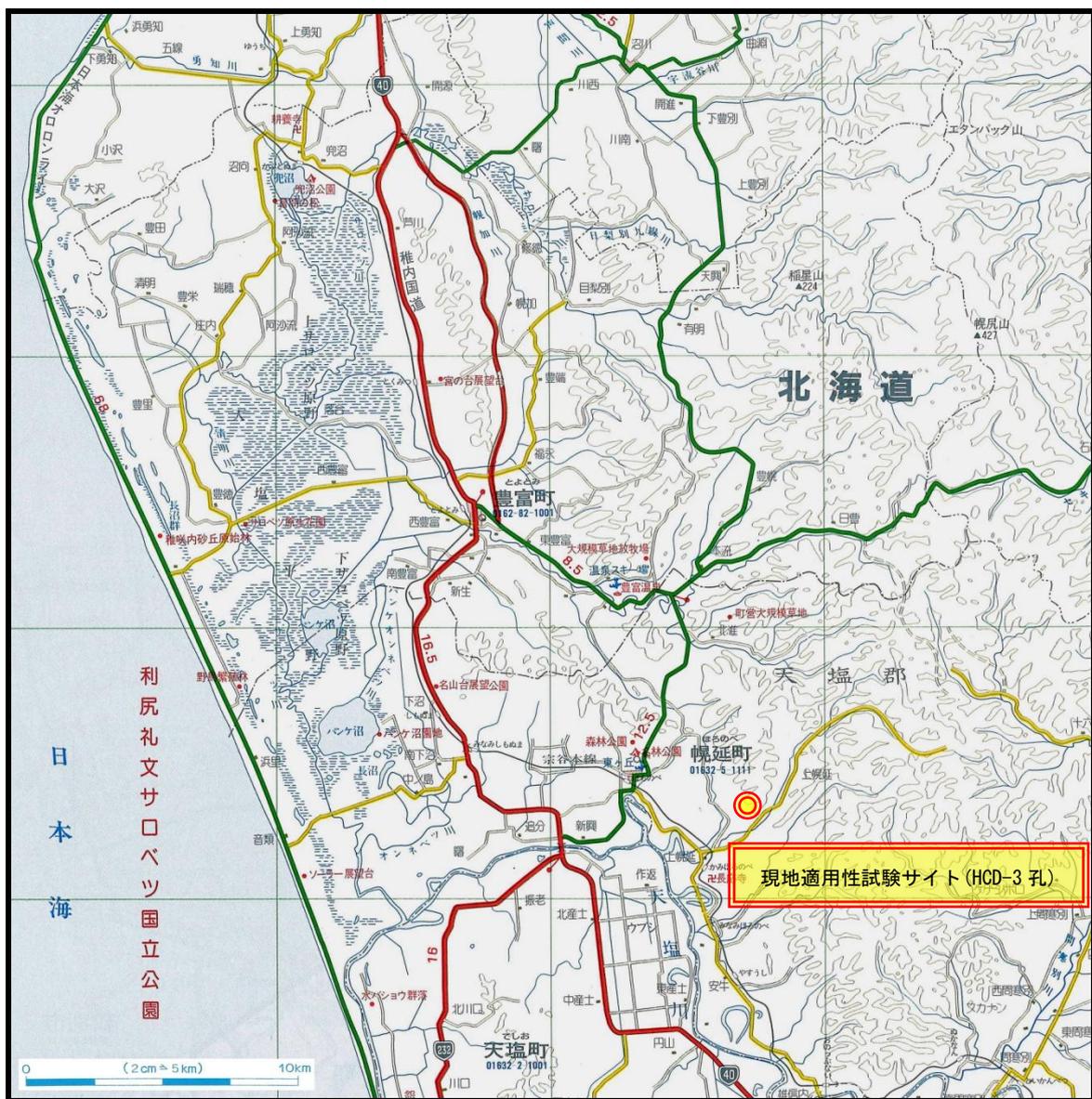


図 5 試験サイト位置図（北海道幌延町上幌延地区）

5.1 現地撤去作業

北海道幌延町上幌延地区の試験サイトのコントロールボーリング孔井(HCD-3)において、平成25年度までに孔曲げ掘削技術の現地適用性評価試験と孔井内における各種特性調査技術の現地適用性評価試験が行われてきた。平成25年度に長期間にわたる孔内水圧変化の計測を目的とした「孔内モニタリングシステム」が設置され、計測が始まった。HCD-3孔のボーリング掘削および孔内調査はこれをもって終了した。

試験サイトは農業振興地域の整備に関する法律が指定する農用地区域内にあることから、幌延町から開発行為許可を受けて試験調査（ボーリング掘削および孔内調査）を行ってきた。許可条件として試験調査が完了した段階ですみやかに地上設備の撤去を行うことになっていたことからHCD-3孔の掘削、調査に用いた地上設備を平成26年6月末日までに撤去した。地上設備の配置は図5.1-1に示すとおりである。

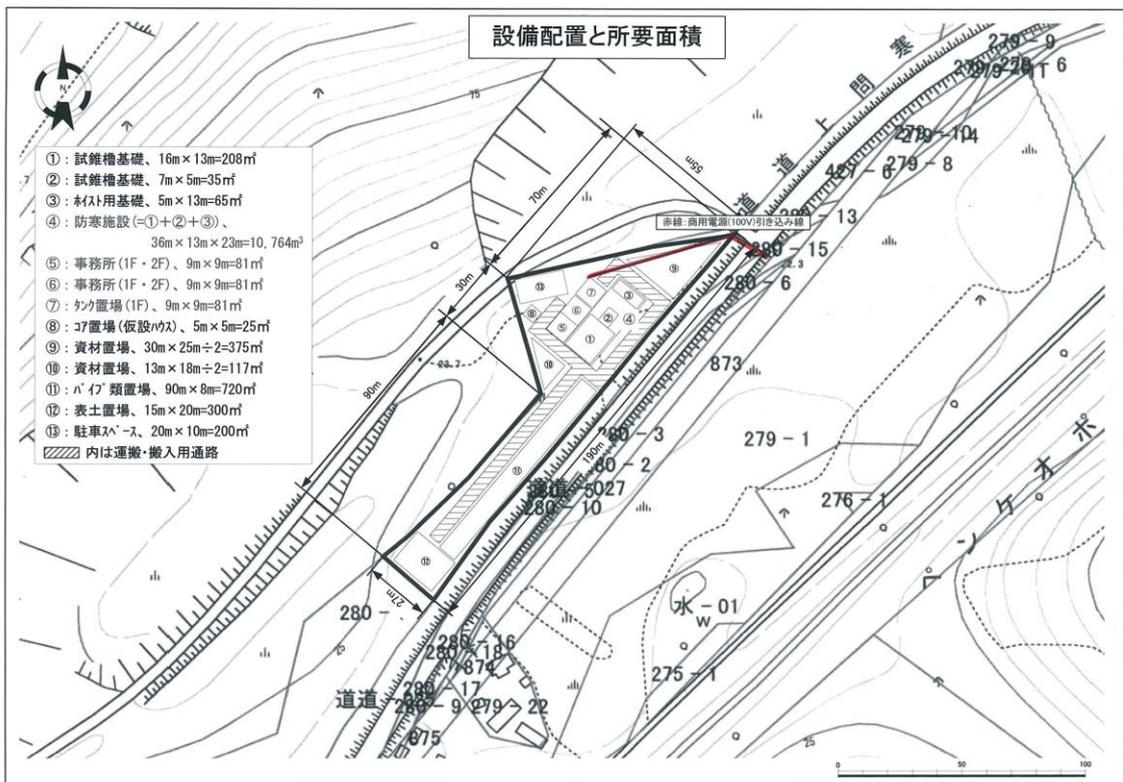


図 5.1-1 HCD-3 孔試験調査設備配置

現場事務所として使用していた組立式プレハブハウスから撤去作業を開始し、順次防寒施設、防寒施設内機材を解体撤去していった。撤去作業のフローならびに撤去対象品目は図5.1-2に示すとおり

である。

HCD-3 孔の口元部、口元部のコンクリート製の大型枡(セーラ) ならびに防寒施設本体基礎コンクリートと試錐機の基礎コンクリートは孔内モニタリング計測を継続するため残置した。

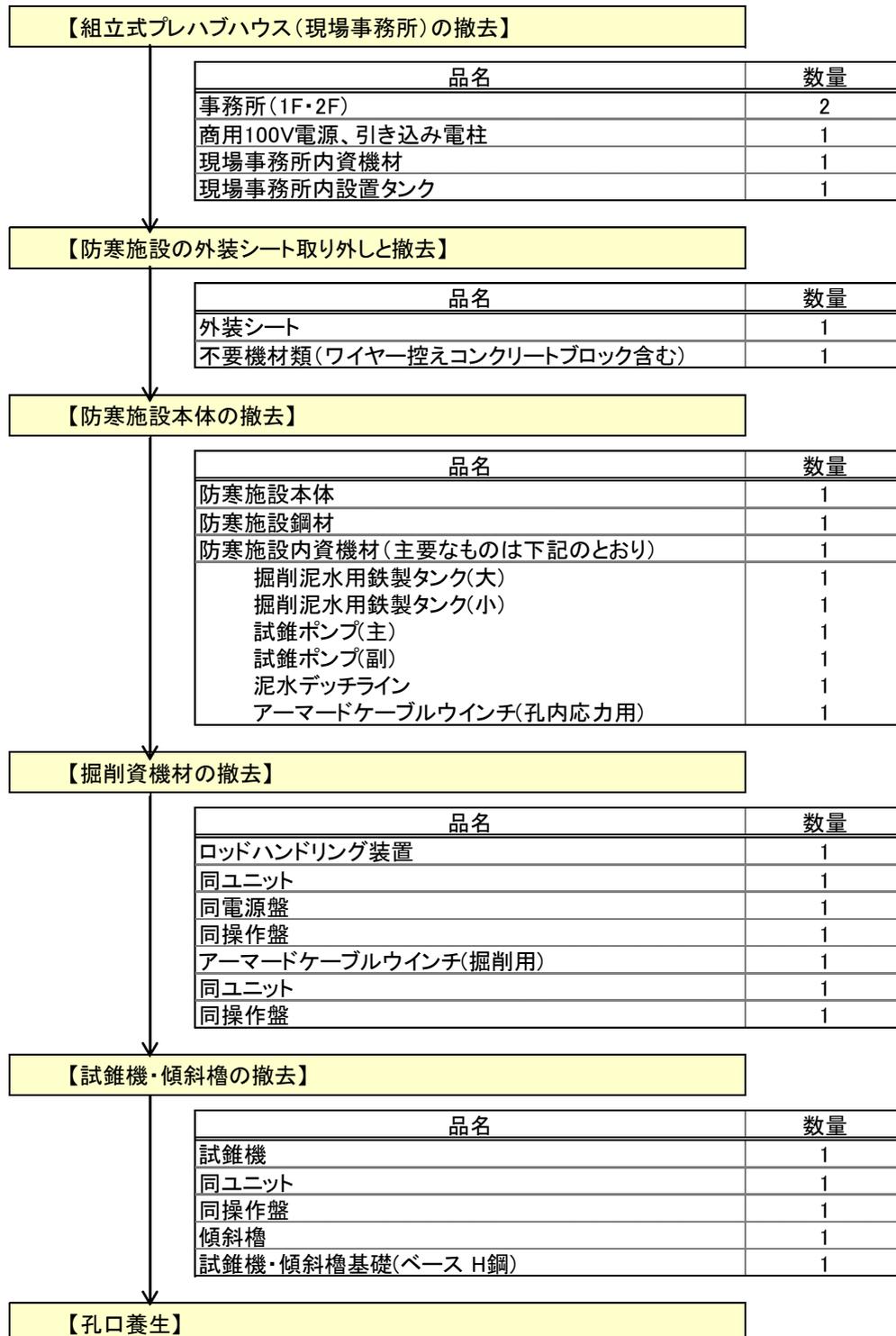


図 5.1-2 撤去作業の流れと主要な撤去対象品目

これら設備の撤去前の状況は図 5.1-3、図 5.1-4 に示すとおりである。現地で実施した各撤去作業内容を以下に記す。



図 5.1-3 現場事務所（組立式プレハブハウス）および防寒施設



図 5.1-4 防寒施設内の掘削資機材

5.1.1 組立式プレハブハウス(現場事務所)の撤去

防寒施設の撤去に先立ち、隣接するプレハブ構造の現場事務所の解体を以下の手順に沿って行った。

①商用 100V 電源、引き込み電柱の撤去

商用電源(100V)の引き込み線と引き込み電柱の取り外し、撤去作業。



図 5.1.1-1 引き込み電柱撤去作業

②現場事務所内資機材の搬出

現場事務所内に保管されている掘削用機材や計測用機器、保安用具等の資機材の撤去・搬出。



図 5.1.1-2 現場事務所内資材搬出前

③現場事務所の撤去

掘削用清水貯留用の鋼製タンクの撤去・搬出および現場事務所の解体・撤去作業。



図 5.1.1-3 現場事務所解体ならびに鋼製タンク撤去状況

5.1.2 防寒施設の外装シート取り外しと撤去

荒天時や夜間作業における良好な作業環境の確保や掘削資機材を保護するために設置した防寒施設（仮設構造物）を覆う外装シートの撤去を以下の手順で行った。

①外装シート固定物の取り外し

外装シート本体を固定している” 栈木” や” 垂木” ならびに電気・通信配線や掘削用機材などの付帯物の取り外し

②外装シートの取り外し

防寒施設全体を覆っている外装シートの取り外し。



図 5.1.2-1 外装シート取り外し前と取り外し後

③不要機材類の取り外しと撤去

外装シートの取り外し後、防寒施設の構成部材（鋼材）に取り付けられている滑車やワイヤケーブル、照明設備などの不要機材の取り外しならびに作業敷地内の不要物の撤去・搬出。



図 5.1.2-2 不要資材（機材倉庫シャッターハウス・敷地内不要物）片付け搬出状況

5.1.3 防寒施設本体の撤去

防寒施設本体を構成している鋼材の解体・撤去を以下の手順で行った。

①防寒施設内資機材の撤去・搬出

防寒施設内に保管されている掘削用機材、計測用機器、保安用具等の資機材の撤去・搬出。

撤去・搬出を行った主要資機材は以下のとおりである。

- ・掘削泥水用タンク
- ・試錐ポンプ
- ・掘削用泥水循環デッチライン
- ・「孔内応力試験装置」専用アーマードケーブルウインチ



図 5.1.3-1 試錐ポンプ・掘削用泥水循環デッチライン搬出状況

②防寒施設本体の解体

防寒施設本体を構成している H 鋼・アングル鋼・ターンバックル・すじかいなどの鋼製部材の解体。



図 5.1.3-2 防寒施設本体解体作業状況

③鋼製部材の搬出・廃棄

解体した鋼製部材の搬出・廃棄処理（産業廃棄物）。

5.1.4 掘削資機材の撤去

過年度までの現地適用性評価試験において使用した下記の掘削用機材とこれらに付帯する資材の撤去・搬出。

- ・ (NL140 ロッド)ハンドリング装置(保持装置)
- ・ 試錐機操作盤
- ・ 掘削用アーマードケーブルウインチ
- ・ 同上装置油圧ユニット・操作盤



図 5.1.4-1 試錐機操作盤・掘削用アーマードケーブルウインチ搬出状況

5.1.5 試錐機・傾斜槽の撤去

過年度までのコントロールボーリング掘削作業や孔井を使用した各種の現地適用性評価試験において使用した試錐機本体と傾斜槽、およびこれらに付随する以下の掘削機材の解体・撤去・搬出・廃棄処理（産業廃棄物）。

- ・ 試錐機
- ・ 同上油圧ユニット・操作盤
- ・ 試錐機マスト(傾斜槽)
- ・ 試錐機・試錐機マスト基礎鋼

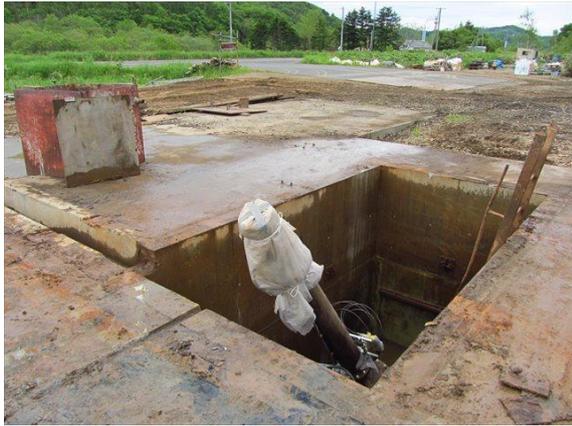


図 5.1.5-1 試錐機本体・マスト基礎鋼解体撤去状況

5.1.6 孔口養生等

防寒施設の解体後に開口部として残るセーラに転落防止用の柵（単管パイプ）と屋根（合板）をかけて養生するとともに基礎コンクリート表面に固定されていたボルトなどの突起物を取り除いた。

撤去作業完了に合わせて、撤去作業期間中計測を中断していたモニタリング計測システムを復旧すると同時に養生の屋根を撤去し鋼製蓋を設置した。



養生前



養生後

図 5.1.6-1 孔口部養生状況（養生前と養生後）



図 5.1.6-2 孔口部鋼製蓋設置作業状況およびモニタリング計測システム復旧状況



図 5.1.6-3 地上設備撤去後の試験サイト全景（北海道幌延町上幌延地区）

6. 孔内長期モニタリング

6.1 データ取得およびデータ解析方法の検討

6.1.1 データ取得

6.1.1.1 取得対象データ

(1) 孔内長期モニタリング装置概要

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は、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ある。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、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しているために、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。

一方、原位置の地下水を採取する際には、ミニパッカーとセンサーなどを地上に回収し、スタンドパイプ内の孔内水（一般的には作業時に地表水が混入している）を何らかの方法により排除し、その後スタンドパイプ内に流入した地下水を専用の原位置サンプリングツールにより採取する。

装置概念図を図 6.1.1-1 に、観測区間を表 6.1.1-1 に示す。

(2) 取得対象データ

本システムにおいて取得対象となるデータを以下に示す。

- 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 および 2 の圧力
- ⑤パッカー3 の圧力
- ⑥パッカー4 および 5 の圧力
- ⑦ミニパッカーの圧力
- ⑧大気圧

⑨観測小屋内温度

⑩外気温

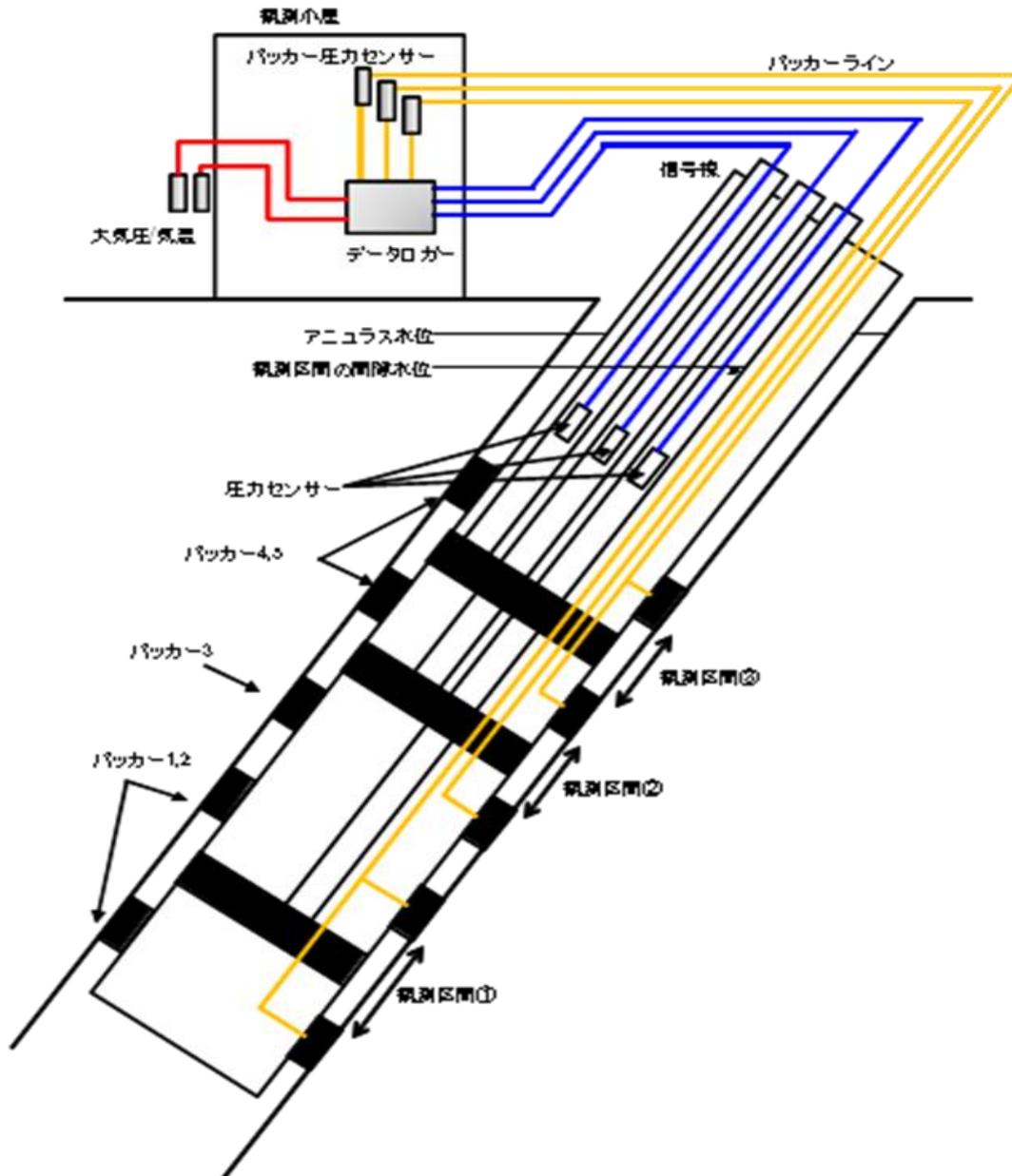


図 6. 1. 1-1 孔内長期モニタリング装置概念図

表 6.1.1-1 設置区間－深度一覧表

深度	位置	区間長 (m)	スタンドパイプ	圧力センサー	ケーシング プログラム	上端(m)	下端(m)	区間名
208.45 ～ 209.95	最浅	1.5	SP3	P3 (GL-9.705m)	Packer 5	207.2	208.7	区間③
					Interval 3			
210.95 ～ 215.95	中間	5	SP2	P2 (GL-9.705m)	Packer 4	209.7	211.2	区間②
					Interval 2			
249.45 ～ 257.45	最深	8	SP1	P1 (GL-9.705m)	Packer 3	215.7	217.2	区間①
					Interval 1			
					Packer 2	248.2	249.7	
					Packer 1	257.2	258.7	

6.1.1.2 データ取得方法

本システムでは下記のセンサー及びデータロガーによりデータの取得を行っている。

(1) スタンドパイプ内圧力センサー

項目	仕様	備考
方式	PAA, ピエゾレジスティブ	絶対圧
出力	4-20 mA	
外径	16 mm	
レンジ	0 - 10 bar	
線形性	0.025 %FS	
分解能	0.002 %FS	
重量	4.5 kg	ケーブル (90m) 含む
全長	0.12 m	



図 6.1.1-2 スタンドパイプ内圧力センサー

(2) パッカー圧力計測センサー

項目	仕様	備考
方式	PAA, ピエゾレジスティブ	絶対圧
出力	4-20 mA	
外径	22 mm	
レンジ	0 - 50 bar	
線形性	0.05 %FS	
重量	0.5 kg	ケーブル (5m) 含む
全長	0.12 m	



図 6.1.1-3 パッカー圧計測センサー

(3) 大気圧センサー

項目	仕様	備考
方式	PAA, ピエゾレジスティブ	絶対圧
出力	4-20 mA	
外径	22 mm	
レンジ	0.85 - 1.15 bar	
線形性	0.06 %FS	
重量	0.5 kg	ケーブル (5m) 含む
全長	0.12 m	



図 6.1.1-4 大気圧センサー

(4) 大気圧センサー

項目	仕様	備考
名称	SDL (Solexperts Data Logger)	
寸法	0.22 × 0.12 × 0.09 m	
入力信号	0-2.5V (5V, 10V), 0-20mA	
分解能	16bit	
記憶容量	100,000 データ	
チャンネル数	11	
測定間隔	>1 分	
電源	6V (単一乾電池×4)	



図 6.1.1-5 データロガー

6.1.1.3 データの回収

本装置は昨年度 HCD-3 孔に設置したが、本年度は掘削リグ等の撤去作業が行われたため、撤去作業中は地表装置を一旦回収し、撤去作業後に地表装置の再設置を実施した。その後は定期的にデータ回収およびバッテリー交換を実施した。以下にデータ取得期間を示す。

- ①2014/2/20～2014/6/2 (昨年度設置時から掘削リグ撤去前)
- ②2014/6/25～2015/3/5 (掘削リグ撤去後から最終メンテナンスまで)

表 6.1.1-2 に作業日程と作業内容を、図 6.1.1-6 に取得したデータを示す。

表 6. 1. 1-2 作業日程および作業内容

No.	期間		作業内容
	自	至	
No. 1	2014/6/1	2014/6/4	<ul style="list-style-type: none"> ・データ回収 ・データロガー結線取り外し、回収 ・パッカーライン、圧力計測ライン養生
No. 2	2014/6/23	2014/6/26	<ul style="list-style-type: none"> ・データロガー再接続 ・パッカーライン、圧力計測ラインを観測小屋に引き込み ・パッカー圧力調整器切り離し ・計測再開
No. 3	2014/7/22	2014/7/23	<ul style="list-style-type: none"> ・現地計測状況確認
No. 4	2014/11/5	2014/11/7	<ul style="list-style-type: none"> ・データ回収、バッテリー交換
No. 5	2014/12/9	2014/12/10	<ul style="list-style-type: none"> ・ミニパッカー圧力計、データロガー取り付け
No. 6	2015/2/4	2015/2/5	<ul style="list-style-type: none"> ・データ回収、バッテリー交換 ・ミニパッカー再加圧
No. 7	2015/3/5	2015/3/6	<ul style="list-style-type: none"> ・データ回収、バッテリー交換 ・ミニパッカー再加圧

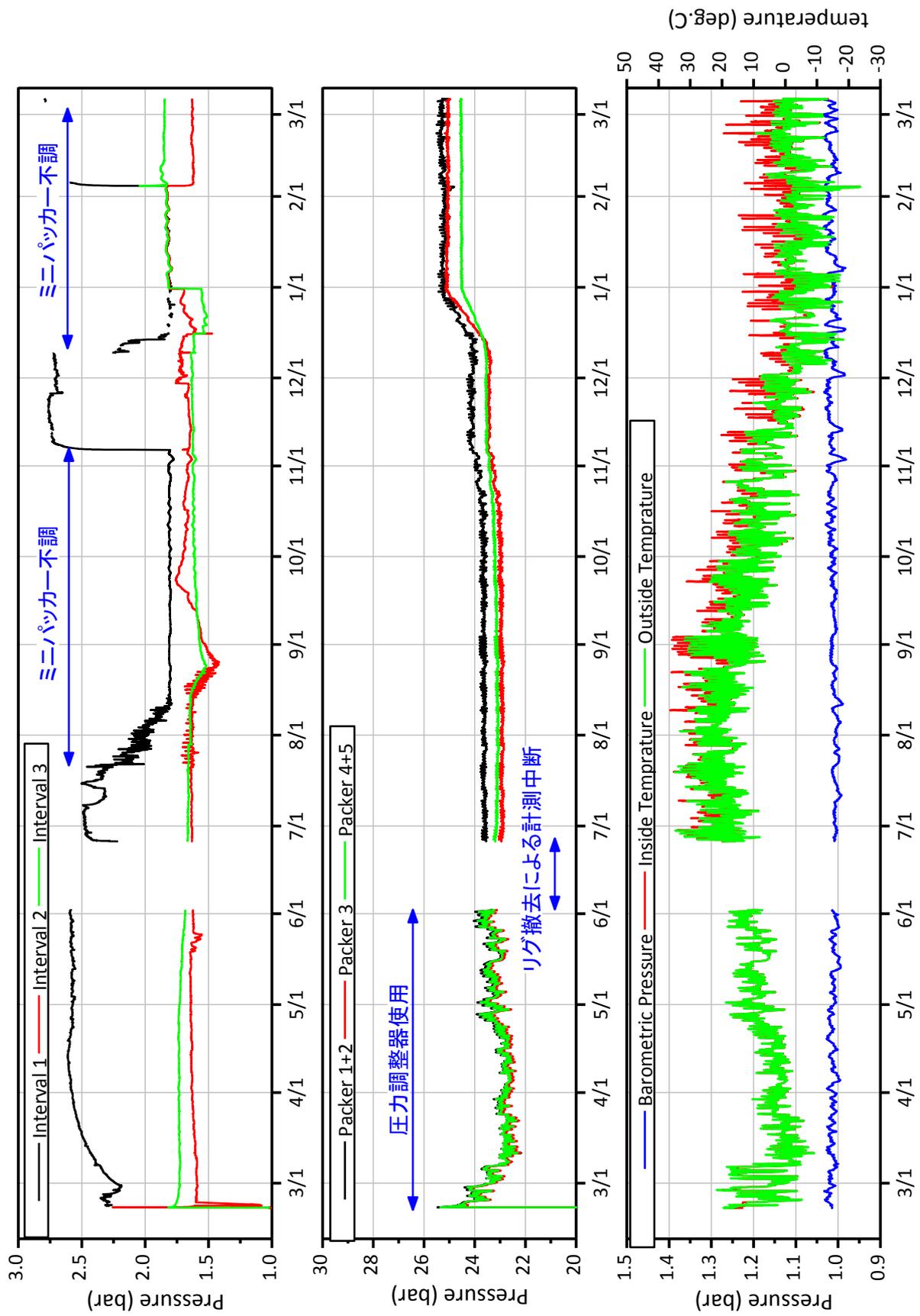


図 6.1.1-6 取得したデータ

6.1.1.4 取得データについて

3 箇所の観測区間では、システム設置後湧水が観測されたため、遮水の目的でスタンドパイプ内にミニパッカーを設置している。ミニパッカーは図 6.1.1-7 および図 6.1.1-8 のように構成され、窒素ガスによりパッカーを拡張させることでスタンドパイプ内を遮水するものである。設置当初は問題なく動作していたが、2014 年 7 月頃より観測区間①の圧力が低下し、ミニパッカー圧も低下していたため、2014 年 7 月に実施したメンテナンス時にミニパッカーの再加圧を行った。再加圧後は徐々に観測区間①の圧力が低下していき、2014 年 8 月半ば以降には 1.8bar 程度で安定した。この圧力はスタンドパイプ内の水被り圧と同値で、ミニパッカーによる遮水性能が低下したことでスタンドパイプ内水位が上昇し、スタンドパイプ頭部より湧水していると推定された。そのため、2014 年 11 月のメンテナンス時にミニパッカーを再加圧するとともに地上接続部分の再締付けを行ったが、2015 年 2 月のメンテナンス時にデータ回収した際にはミニパッカー圧力が低下しており遮水性能が保たれていなかったことがわかった。これについては、次年度のメンテナンス時にミニパッカーを回収点検するとともに、状況によっては修理もしくは改良も視野に入れて対応する予定である。

本装置では圧力調整器（アキュムレータ、図 6.1.1-9 参照）を設置し、パッカー圧力が一定となるように常時調整できるようにしていたが、外気温の影響によりパッカー圧力が変動することがある。これは過年度に実施した HMD-1 孔へのシステムの設置時に明らかとなっており、圧力調整器とパッカーラインを切り離すことによりその影響が低減されることがわかっている。そのため、リグ撤去後に圧力調整器とパッカーラインを切り離した。

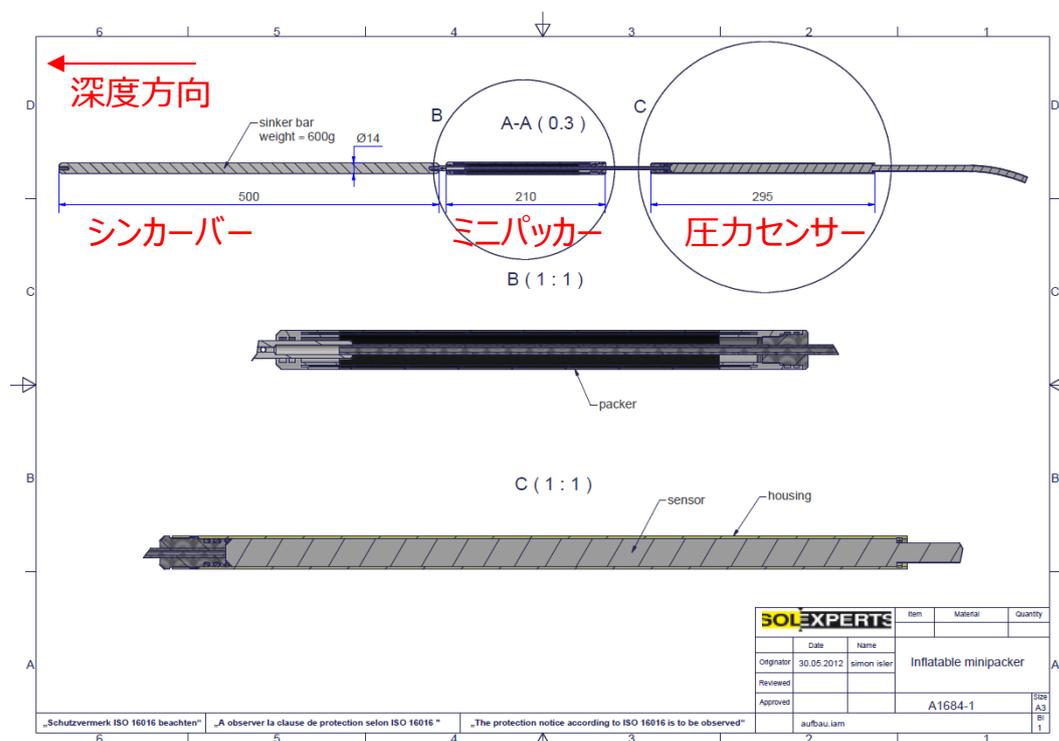


図 6.1.1-7 ミニパッカー編成図

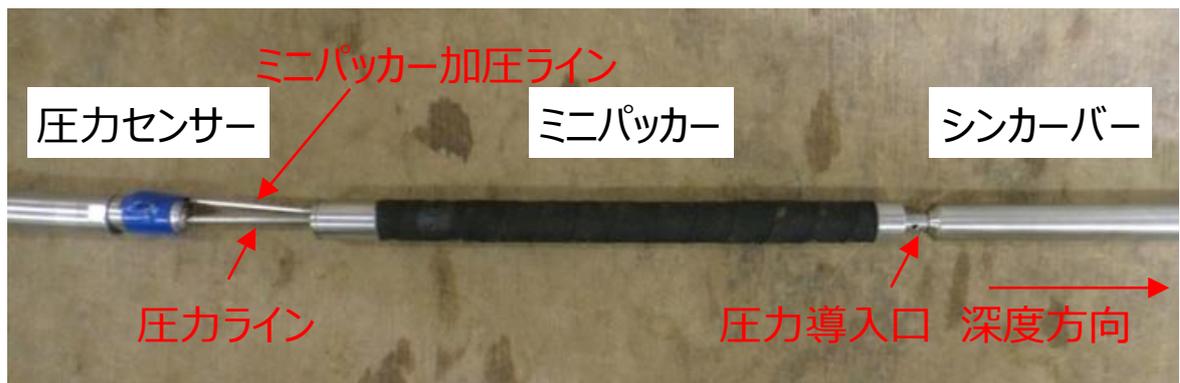


図 6. 1. 1-8 ミニパッカー（遮水部分詳細）



図 6. 1. 1-9 圧力調整器

6.1.2 解析方法の検討

6.1.2.1 区間圧力データに対する影響要因

本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。間隙水圧の変動の要因として、大気圧、潮汐および降水などが考えられる（図 6.1.2-1 参照）。

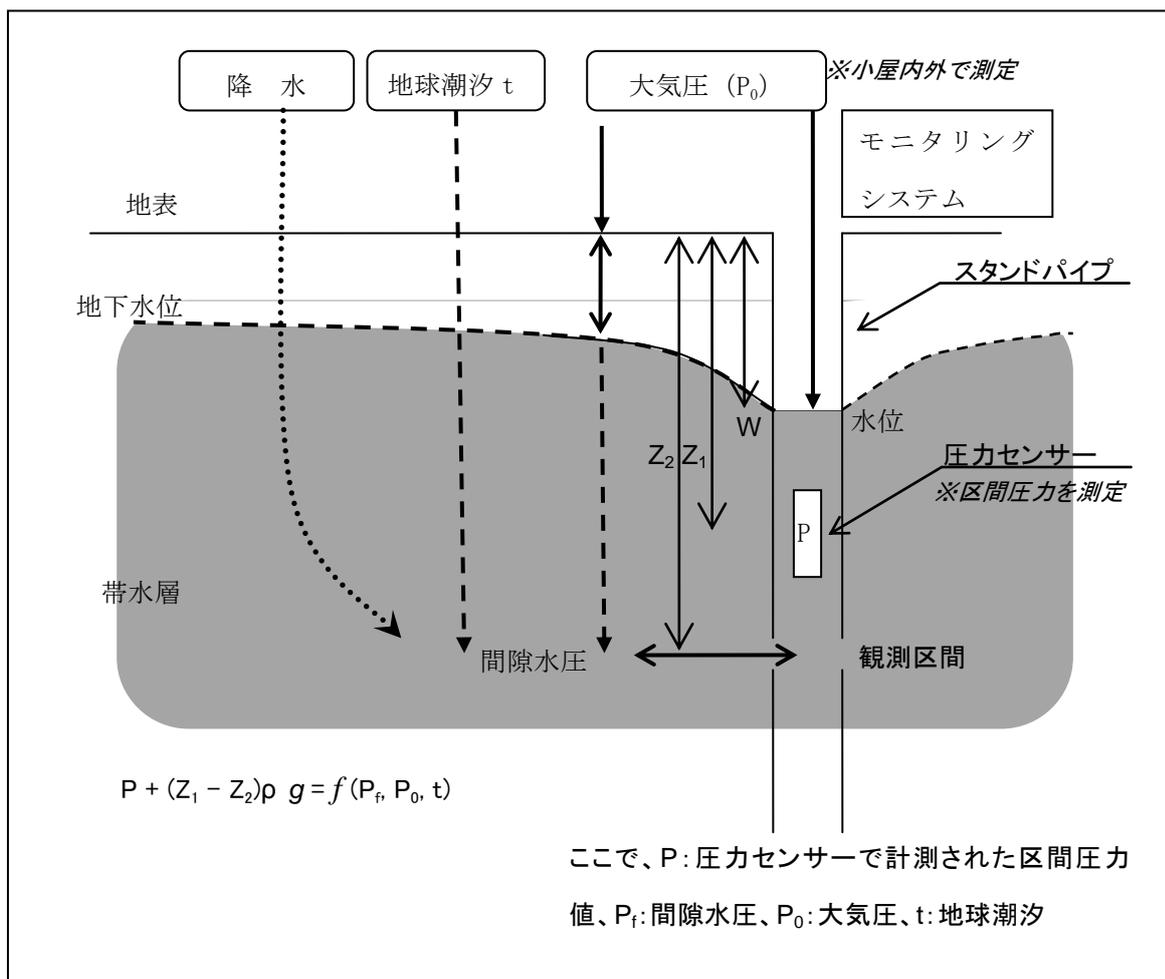


図 6.1.2-1 区間圧力データに対する影響要因

6.1.2.2 各影響要因と解析方法

(1) 大気圧による影響

本システムは、スタンドパイプ内に設置した水圧センサーによりスタンドパイプ内の水位を測定している。このとき、通常はスタンドパイプ内水位面に作用する大気圧の影響を受けることになるが、HCD-3 孔の観測区間は湧水しており（水位が地表面より高い）、これを遮水するた

めにスタンドパイプ内にミニパッカーを設置している。そのため、スタンドパイプ内水位面に直接作用する大気圧は無視できる。

ただし、地表面に作用し、間隙水圧そのものに作用する大気圧については考慮する必要がある。これについては、BAYTAP-G等の解析プログラムにより影響を除去することが可能である。

(2) 潮汐による影響

今年度の計測結果からは明確な潮汐が観測されていないが、近隣孔井では潮汐が確認されているため、必要に応じてBAYTAP-G等によりその影響を除去する。

(3) 降水による影響

降水による間隙水圧への影響についてはアメダスデータ等を参照し、長期的にその影響について考察する必要がある。HCD-3孔付近のアメダスデータがないため、別途用意するか近隣のアメダスデータを参照することが考えられる。

6.1.2.3 BAYTAP-Gについて

BAYTAP-G (Baysian Tidal Analysis Program - Grouping Model, Ishiguro et al., 1981; Tamura et al., 1991) 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。本プログラムには、地設、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 トレンドおよ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

本システムで得られるデータの解析では、区間圧力データを入力データとし、並行データとして大気圧データを与えて、区間圧力データを「トレンド」、「潮汐変動」、「大気圧変動」、「ノイズ」に分離する。

$$(\text{区間圧力データ}) = (\text{トレンド}) + (\text{潮汐}) + (\text{大気圧変動}) + (\text{ノイズ})$$

HMD-1 孔の計測データを使用した解析（図 6.1.2-2 参照）では、区間圧力データから、潮汐の影響と考えられる 1cycle/日および 2cycle/日のピークが取り除かれ、「トレンド」データには、それらのピークが現れないことが示されており、BAYTAP-G による潮汐の影響の除去は効果があると考えられる。

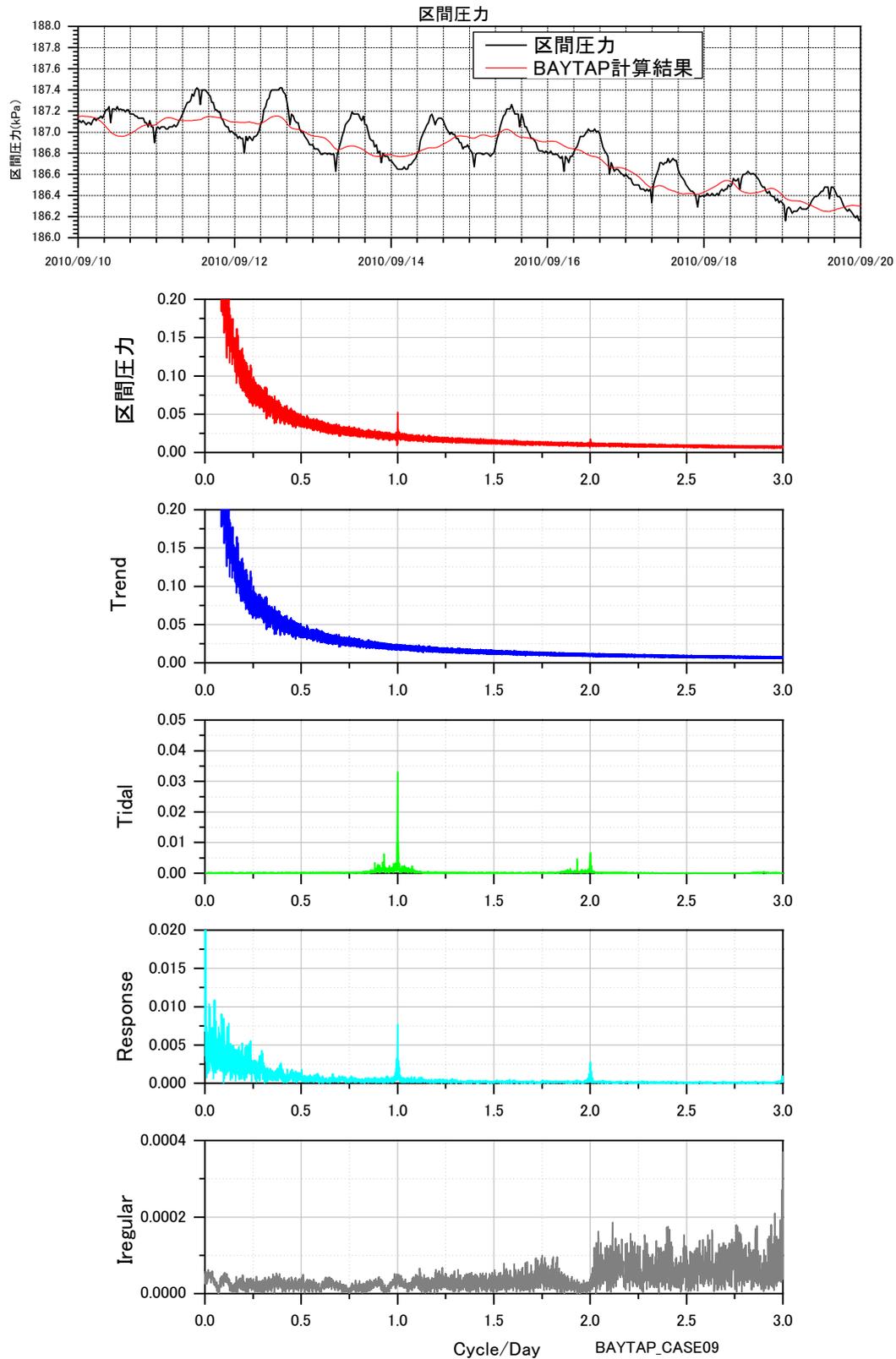


図 6.1.2-2 BAYTAP-G 計算結果とスペクトル解析

6.2 維持、管理手法の検討

6.2.1 モニタリングシステムの作動チェック方法の検討

6.2.1.1 マルチパッカーの作動状況の確認方法

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センサーにより計測し、地上のデータロガーに記録している。この圧力データを監視することでパッカーの作動状況の確認を行うことができる。

なお、本システムの設置当初は圧力調整器（アキュムレータ）を設置し、パッカー圧力が一定となるように常時調整できるようにしていたが、圧力調整器自身が地上の温度変化による影響を受けることが判明したため、地上装置の再設置時にこれを取り外した。その結果パッカー圧力への気温の影響は低減している。

6.2.1.2 圧力センサーの作動状況の確認方法

スタンドパイプ内の圧力センサーはデータロガーに接続されており、データロガーに記録されたデータを見ることにより作動状況の確認を行うことができる。

本システムはスタンドパイプ方式を採用しているため、圧力センサーに不具合があった場合は、スタンドパイプから回収し、整備もしくは交換を行うことが可能である。

6.2.1.3 データロガーの作動状況の確認方法

データロガーは 6V 電源により稼働し、100,000 データの記録が可能なものであり、定期的（3～4 ヶ月/回）にデータ回収およびバッテリー交換を行うことで継続的にデータ取得が可能である。しかしながら、データロガーは現地の観測小屋内に設置されており、その都度現地で PC 接続を行いデータ回収しないとデータロガーの作動状況を確認できない。

また、マルチパッカーならびに圧力センサーも回収データを見るまではその作動状況が明らかにならない。したがって、離れた場所からこれら機器の作動状況を常時確認するためにはデータ通信ならびにそのための電源供給システムを検討する必要がある。

6.2.2 孔内設備の維持、管理方法の検討

6.2.2.1 孔内設備（孔内設置部）の維持、管理方法の検討

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、各部の検査を実施する

ことが確実な方法と考えられる。しかし、この方法はシステム回収時の抑留や回収後の孔壁の崩壊等のリスクを伴う。そのため、通常時は各種計測データおよび地表からの目視による管理を行うことが現実的である。

データロガーに収録しているパッカー圧力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ことが想定される。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通常、観測区間圧力が変化したと判断することが妥当である。しかしながら、既存き裂の開口、クラックの形成など孔壁の異常に起因するパッカーの遮水効果の低下による場合も考えられる。このように、観測区間圧力変化の要因には特定することが難しい要素がまぎれていることがあるため、これら要素も可能性の一つとして圧力変化の傾向を吟味する必要がある。

HCD-3 孔へのシステム設置前に HMD-1 孔において孔内設備の設置・回収試験を実施しており、回収後にパッカーおよ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なかった。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。

以下、過年度に実施した HMD-1 孔における各部の検査方法および検査結果についてまとめる。

(1) パッカー

① 拡張性能

パッカーの拡張・収縮を 2 回繰り返す、パッカー遮水部の 5 か所の断面で拡張前、拡張後、収縮後の外径 (X-Y, 2 方向) を計測した。図 6.2.2-1 に計測箇所を、表 6.2.2-1 に試験フェーズを、表 6.2.2-2 および表 6.2.2-3 に計測結果を示す。

試験の結果、拡張前と、拡張-収縮後のパッカーの外径は、ほぼ変わらないことが示された。

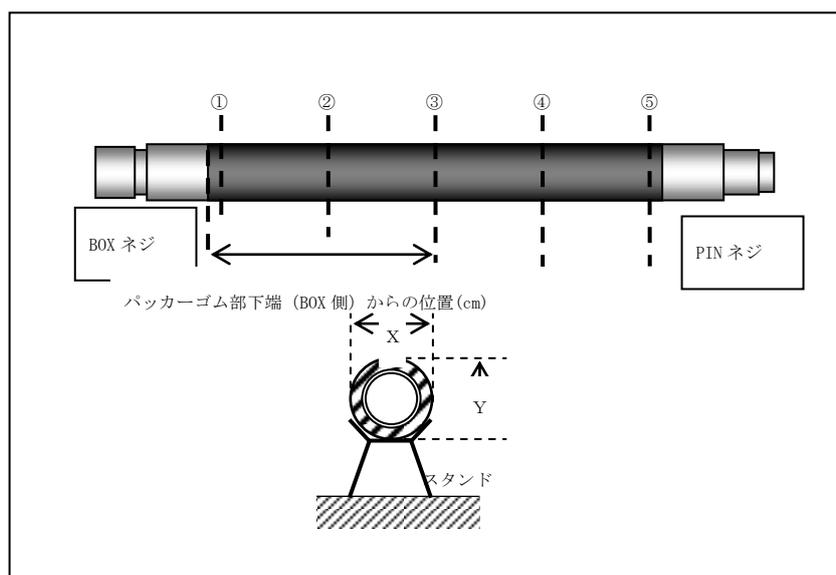


図 6.2.2-1 パッカー計測箇所

表 6.2.2-1 試験フェーズについて

試験フェーズ	
A	パッカーラインに加圧注水する前
B	パッカーラインに加圧注水し、パッカーゴムの中央部 (③) の外径が 160mm に達した際
C	パッカーラインを開放し、パッカーをゴムの弾性と大気圧のみで収縮させた状態
D	再度、パッカーラインに加圧注水し、パッカーゴムの中央部 (③) の外径が 160mm に達した際
E	パッカーラインを開放し、パッカーをゴムの弾性と大気圧のみで収縮させた状態

表 6.2.2-2 パッカー拡張試験 (上部パッカー (No. 7))

試験 フェーズ	計測位置	①	②	③	④	⑤
		(4cm)	(27cm)	(52cm)	(76cm)	(97cm)
A	Y	115	115	114	115	113
	X	114	116	115	115	114
B	Y	122	155	161	149	119
	X	123	154	160	149	120
C	Y	116	117	116	116	114
	X	114	116	116	115	115
D	Y	121	154	161	150	118
	X	120	153	160	149	120
E	Y	116	116	116	115	113
	X	113	116	116	115	114

表 6.2.2-3 パッカー拡張試験 (下部パッカー (No. 3))

試験 フェーズ	計測位置	①	②	③	④	⑤
		(4cm)	(21cm)	(48cm)	(76cm)	(97cm)
A	Y	117	118	119	120	116
	X	115	115	116	116	114
B	Y	123	145	160	152	122
	X	123	147	160	151	120
C	Y	117	119	118	118	116
	X	115	115	114	117	114
D	Y	123	145	160	152	121
	X	124	145	159	149	121
E	Y	114	117	117	116	115
	X	114	115	114	115	113

②遮水試験

図 6.2.2-2 に示すように、鋼管内にパッカーを設置し拡張させる。このとき、パッカーで遮られた一方は水で満たし、パッカー拡張後に水圧（1MPa）をかけこれを維持する。この状態で一晩放置し、水の漏えいがないことを確認した。

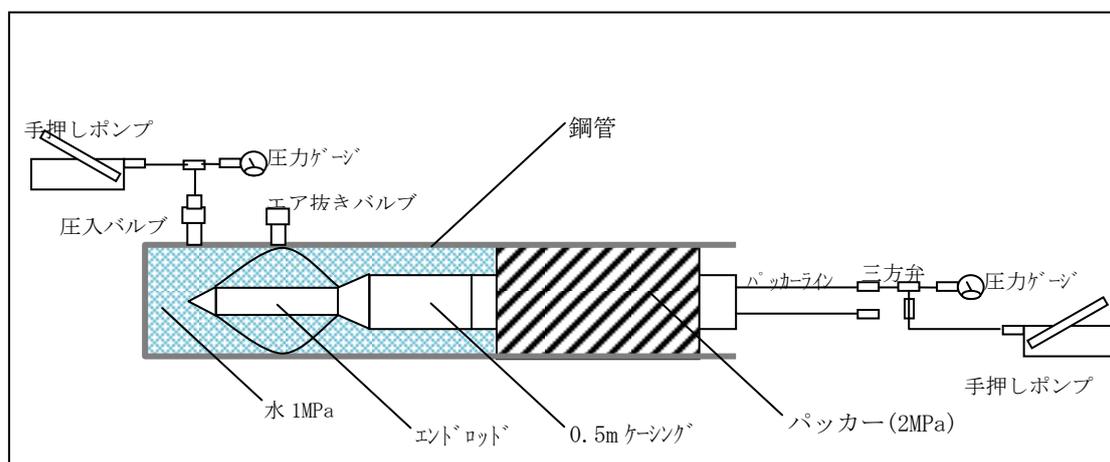


図 6.2.2-2 パッカー性能試験（遮水性能）模式図

(2) 装置ケーシング

①浸透探傷試験およびX線透過試験

装置ケーシングおよびインターバルアクセスモジュールの溶接部に対し、浸透探傷試験およびX線透過試験を実施した。試験対象は回収した機材と比較用として未使用の機材とした。表 6.2.2-5 に試験対象とした試料を、図 6.2.2-3 に試験位置を、表 6.2.2-6 に浸透探傷試験結果を、表 6.2.2-7 にX線透過試験結果を示す。

浸透探傷試験では全ての試料で傷は認められなかった。X線透過試験では溶け込み不足やブローホールが認められた試料が多くあったが、これらは設置中にできたものでなく製造過程でできたものと判断され、製造過程を見直すことで改善できるものである。

表 6.2.2-4 浸透探傷試験およびX線透過試験試料

試料 No.	製品名	幌延 HMD-1 接続番号	溶接位置	
2	装置ケーシング(50cm)	No.2	1	ピン側
			2	BOX側
5	インターバルアクセスモジュール	No.5	1	ピン側
12	装置ケーシング(3m)	未使用	1	ピン側
			2	BOX側
27	装置ケーシング(3m)	No.27	1	ピン側
			2	BOX側

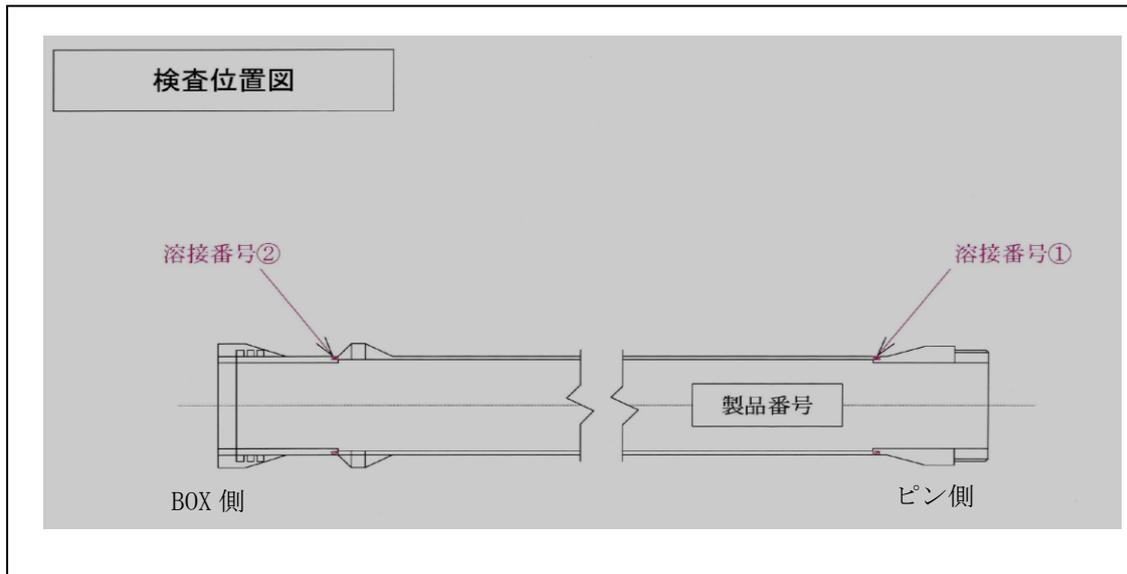


図 6.2.2-3 浸透探傷試験およびX線透過試験 試験位置

表 6. 2. 2-5 浸透探傷試験結果

浸 透 探 傷 検 査 記 録

工 事 名 称	装置ケーシング																																															
検 査 年 月 日	平成22年10月21日																																															
検 査 技 術 者	手代森 智																																															
検 査 実 施 箇 所	<input type="checkbox"/> 全数 <input type="checkbox"/> 20% <input type="checkbox"/> 10% <input checked="" type="checkbox"/> 客先指定箇所																																															
前 処 理 方 法	<input checked="" type="checkbox"/> ワイヤーブラシ仕上げ <input type="checkbox"/> ワイヤーホイール仕上げ <input type="checkbox"/> Gr(#)仕上げ																																															
検 査 条 件	探傷方法	<input checked="" type="checkbox"/> 染色浸透探傷法 <input type="checkbox"/> 蛍光浸透探傷法 紫外線装置名:																																														
	浸透方法	<input checked="" type="checkbox"/> 刷毛塗り法 <input type="checkbox"/> スプレー法 <input type="checkbox"/> 浸漬法 <input type="checkbox"/>																																														
	除去方法	<input checked="" type="checkbox"/> 溶剤除去 <input type="checkbox"/> 水洗浄																																														
	現像方法	<input checked="" type="checkbox"/> 速乾式 <input type="checkbox"/> 湿式 <input type="checkbox"/> 乾式																																														
	試験体温度	19 °C																																														
	浸透時間	10分以上			現像時間	10分以上																																										
探 傷 剤	浸 透 液	品 名	R-1A(NT)SP	製造会社	栄進化学(株)社製	ロットNo.	9D270																																									
	洗 浄 液	品 名	R-1M(NT)SP	製造会社	栄進化学(株)社製	ロットNo.	10H491																																									
	現 像 液	品 名	R-1S(NT)SP	製造会社	栄進化学(株)社製	ロットNo.	10F581																																									
適 用 規 格	<input checked="" type="checkbox"/> JIS-Z2343 (2001) <input type="checkbox"/>																																															
検 査 結 果	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>製品番号</th> <th>溶接位置</th> <th>検出指示模様種別</th> <th>使用の有無</th> <th>備 考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">No.2</td> <td>1</td> <td>Ni</td> <td>使用後</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Ni</td> <td>使用後</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">No.5</td> <td>1</td> <td>Ni</td> <td>使用後</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Ni</td> <td>未使用</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">No.12</td> <td>1</td> <td>Ni</td> <td>未使用</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Ni</td> <td>未使用</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">No.27</td> <td>1</td> <td>Ni</td> <td>使用後</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Ni</td> <td>使用後</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"> 浸透指示模様の記号 In:独立(Independence) Su:連続(Successively) Di:分散(Dispersion) Ni:浸透指示模様は認められず(Non Indication) </p>							製品番号	溶接位置	検出指示模様種別	使用の有無	備 考	No.2	1	Ni	使用後		2	Ni	使用後		No.5	1	Ni	使用後		2	Ni	未使用		No.12	1	Ni	未使用		2	Ni	未使用		No.27	1	Ni	使用後		2	Ni	使用後	
製品番号	溶接位置	検出指示模様種別	使用の有無	備 考																																												
No.2	1	Ni	使用後																																													
	2	Ni	使用後																																													
No.5	1	Ni	使用後																																													
	2	Ni	未使用																																													
No.12	1	Ni	未使用																																													
	2	Ni	未使用																																													
No.27	1	Ni	使用後																																													
	2	Ni	使用後																																													

6.2.2.2 孔内設備（スタンドパイプ内）の維持、管理方法の検討

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、ミニパッカーとも回収が可能であることから圧力センサーは年1回程度の間隔で較正試験を行うことが望ましい。その際は、ポンプ等による加圧を行い、較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、拡張時の動作およ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、ミニパッカーもライン内圧力をデータロガーに記録しており、所要の封圧機能を発揮しているか判断することが可能である。これら孔内設備に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、機材の発注・手配の期間を短縮して連続計測に与える影響を最小限にするためには、バックアップ機材を準備しておくことが必要である。

6.2.3 地上設備の維持、管理方法の検討

6.2.3.1 地上設備（圧力ライン）の維持、管理方法の検討

圧力ラインは、地上部でバルブ、圧力計および圧力センサーと接続されており、これらの不具合は圧力センサーの取得値およ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およ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。

6.2.3.2 地上設備（計測システム）の維持、管理方法の検討

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前述のスタンドパイプ内圧力センサーと同様に定期的に性能試験を行うことが望ましい。

6.3 無人計測システムの概念設計

孔内長期モニタリングにおいてモニタリングシステムがどのような環境下に設置されるか不明であるため、どのような環境下であってもデータ回収が可能であるシステムについて検討を行う必要がある。このため、電源、通信システムの検討を行い、観測データを遠隔で回収するシステムの概念設計を行った。概念設計においてはシステムに影響を及ぼす自然環境条件を列挙し、それぞれの条件におけるケーススタディを行うとともに、幌延 HCD-3 孔の自然環境条件に適合する計測システムの試設計を行った。

6.3.1 無人計測システムの概要

電源、通信のインフラがない箇所、寒冷地で日照の少ない過酷な条件においてもスタンドアローンの状態で電源と通信を確保した効率的な無人のモニタリングデータ観測・通信システムの概念図は図 6.3.1-1 のとおりである。

無人計測システムを構成する主な装置は下記のとおりである。

- ・電源装置：太陽光/風力ハイブリット型+バッテリー
- ・通信装置：公衆回線または衛星回線通信機
- ・データロガー（データ出入力装置）

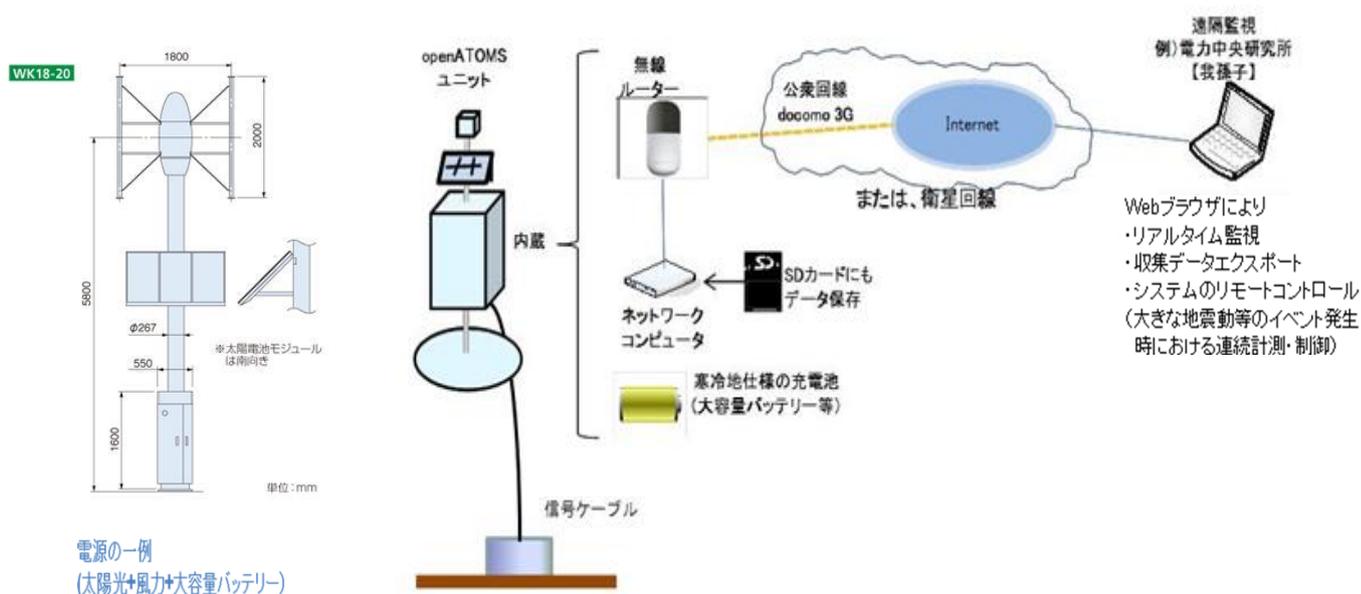


図 6.3.1-1 無人計測システムの概念図

6.3.1.1 検討項目

システムに影響を及ぼす気象等の自然環境条件を列挙し、それぞれの条件に応じたシステム構成のケーススタディを行った。これに基づきシステム構成に影響を及ぼす自然環境特性を分類し、各特性に応じたシステムを例示するとともに幌延 HCD-3 孔の自然環境条件に適合するモニタリング計測に対応できる計測システムを提示する。

検討した主な項目は下記のとおりである。

- ① 気象等の自然環境条件
- ② 電源装置：太陽光&風力ハイブリッド型+寒冷地仕様大容量バッテリー
- ③ 通信装置：公衆回線または衛星回線通信機
- ④ データロガー（プロセス入出力装置）
- ⑤ 装置コスト、メンテナンス費用

6.3.1.2 無人計測システムの設計条件

無人計測システムの設計条件を以下に示す。

(1) 機能

孔内に設置された複数の圧力センサのデータを監視、記録、通信する機能を有する。

(2) 計測項目

1) 孔内圧力

- ① 区間圧力（最大 5 区間）
- ② パッカー圧力（最大 5 セット）
- ③ ミニパッカー圧力（最大 5 セット）

2) 計測環境情報

- ① 温度、湿度
- ② 風向、風速
- ③ 日射量
- ④ 降雨量
- ⑤ 積雪量
- ⑥ 気圧

3) 設備監視情報

- ① 発電電圧（太陽光、風力）
- ② 蓄電池電圧
- ③ 設備の周囲画像

(3) 機能上の要求仕様

- ① 計測間隔：1分とし、監視データの1年分を記録可能とする
- ② 設備周囲画像：データについては通信周期毎に撮影するものとする。
- ③ 通信周期：標準10分とし、発電状況に応じて10分単位で最長1時間まで変更できるものとする。遠隔でも設定可能とする。
- ④ 通信手段：3G/4Gを基本とし、そのサービスエリア外であれば衛星通信とする。
- ⑤ 電源：一般電力の供給のできないサイトを想定し、太陽光、風力をその手段とする。太陽光、風力のどちらを使うか、ハイブリッドにするかは、設置環境により選択するものとする。

6.3.1.3 無人計測システムの概念設計フロー

無人計測システムの概念設計は以下の手順に従い実施した。

・無人計測システム構成の検討

無人計測システムとして必要なコンポーネントを選定し、標準的な“スタンドアローン構成”と幌延に適合する“幌延HCD-3孔向け構成”の2パターンを設定した。

・システム全体の消費電力の算定

システムを構成する各コンポーネントに何を採用するかを検討し、具体的な機器仕様を定めた上、各コンポーネントの消費電力を算出し、それぞれの積算値から無人計測システム全体の消費電力を求めた。

・地域別の賦存エネルギー*と電気エネルギーの算出

電力インフラの無い地点へ無人計測システムを設置する場合、自然エネルギーから電気エネルギーを得る必要がある。モデルケースとして、設置地点には気象条件が異なる日本国内の複数地域を選定し、その地域の気象データより、設置地点が有する賦存エネルギーを算出した。

賦存エネルギーをもとに、風力発電および太陽光発電により電気エネルギーとして得られる電力量を算出した。

※:賦存エネルギー:天然資源が持つ利用の可否に関係なく理論上算出されるエネルギー量の事。電気エネルギーに変換する前の自然界に存在する素のエネルギー量。

- 電源の組合せの検討

年間を通じて安定して無人計測システムを稼働するために必要な風力発電と太陽光発電ならびに蓄電の組合せを検討し、地域別にその標準的な仕様を整理した。

- 幌延 HCD-3 孔向け無人計測システムの試設計

地域別の標準的な仕様をベースに、幌延 HCD-3 孔に適合する無人計測システムの具体的な外寸法や基本回路を提示した。

無人計測システムの概念設計フローを図 6.3.1-2 に示す。

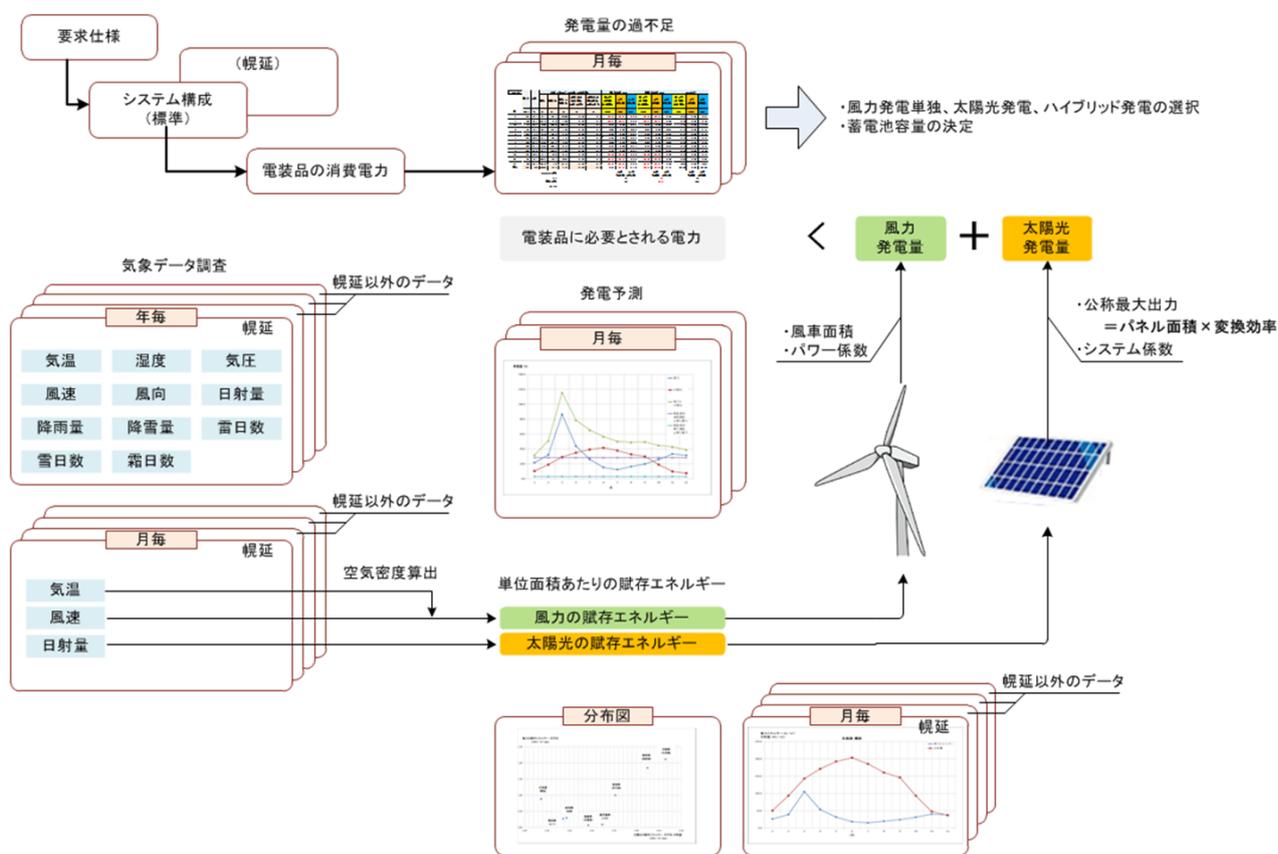


図 6.3.1-2 無人計測システムの概念設計フロー

6.3.2 無人計測システム構成

無人計測システムに導入するコンポーネントの構成を検討し、システム全体として必要な消費電力を算出した。

6.3.2.1 無人計測システム構成図

標準のスタンドアローン構成と幌延 HCD-3 孔向けシステム構成を以下に示す。

(1) 標準スタンドアロンシステム構成

標準の無人計測システムは次の機器により構成される。

① データロガー

- ・ 孔内に設置された圧力センサの状態を計測し記録する。

② 上位通信

- ・ 計測した圧力センサのデータを遠隔監視装置に送る。

③ 発電機

- ・ 設置された地域の賦存エネルギーを利用して発電する。
- ・ 風力発電と太陽光発電を想定する。
- ・ 発電量の不足を補う蓄電池を組み合わせる。

④ 環境センサ

- ・ 孔内に設置された圧力センサ以外に、無人計測システムが設置された場所の環境測定を行い遠隔監視地点においても現場の設備稼働状態および周辺環境状態を検知することができる。

標準スタンドアロンシステム構成を図 6. 3. 2-1 に示す。

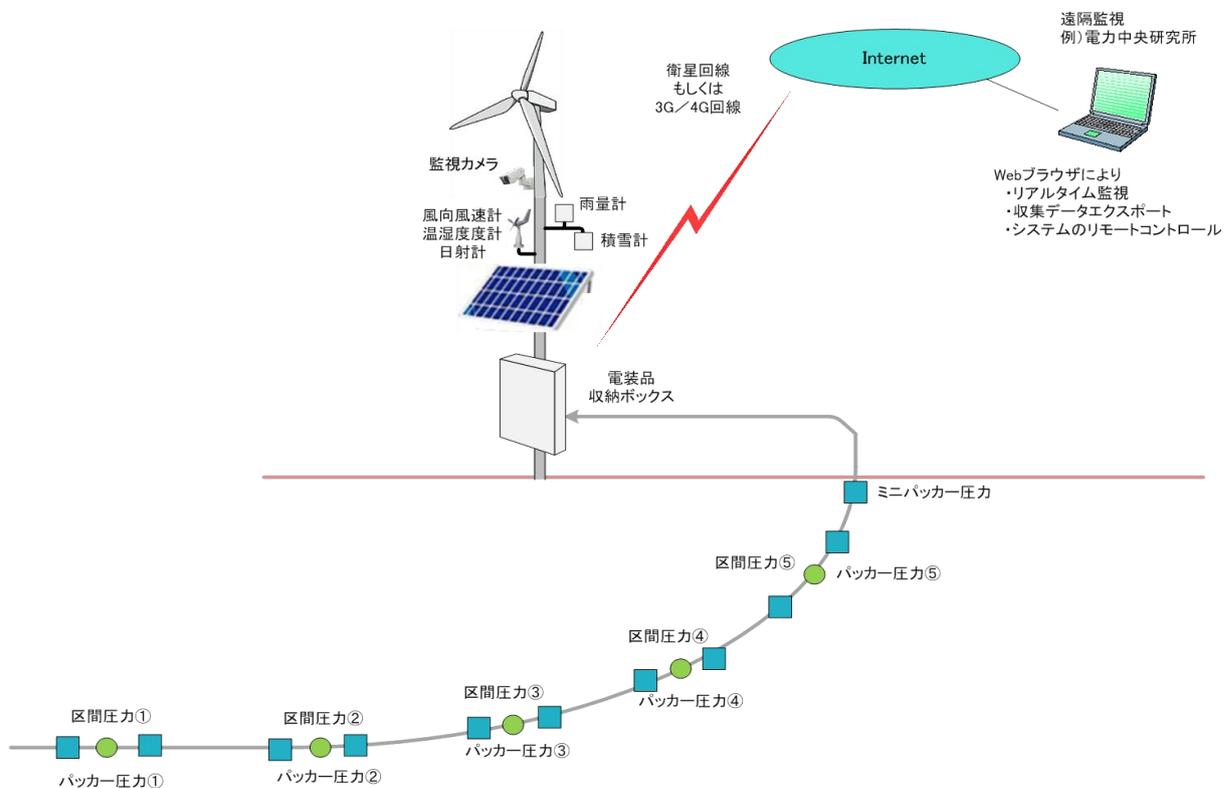


図 6. 3. 2-1 標準スタンドアロンシステム構成図

また、複数の調査孔を同時に測定する必要がある場合、測定ポイント局を追加することで柔軟に対応可能なシステムとする。

複数の測定ポイント局を構成する為のシステムへの要求仕様を以下に示す。

- ・各測定ポイント局は同一設計とし、各装置には発電装置、データロガーなど自局機能の他に他局とのルーティング機能を有し、自らが信号中継器を兼ねる機能を持つこと。
- ・測定ポイント局間は無線通信で接続すること。現場でのケーブル工事が不要な構成とすること。
- ・中継局が停止した場合でも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有すること。

複数の測定ポイントの場合のシステム構成を図 6. 3. 2-2 に示す。

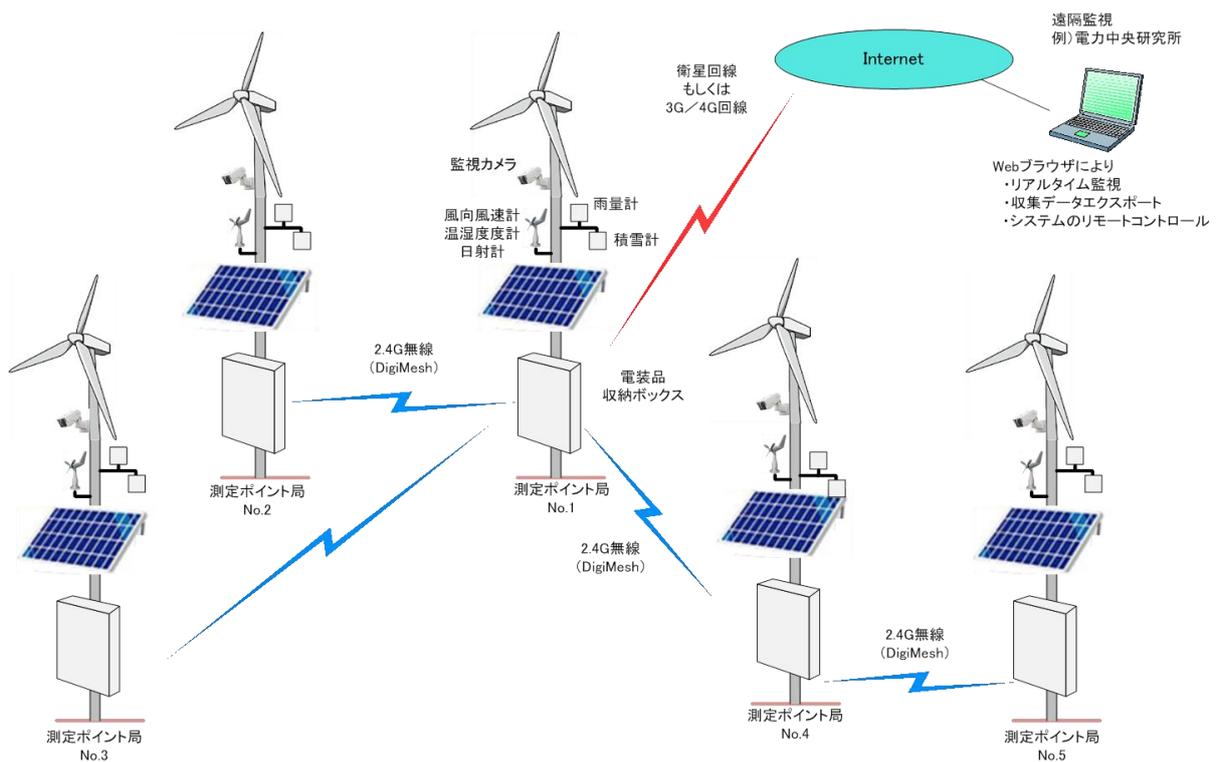


図 6. 3. 2-2 複数測定ポイントのシステム構成図

(2) 幌延 HCD-3 孔向けシステム構成

幌延 HCD-3 孔については現場に既設の小屋があることから、その中に設置するデータロギング盤と外に設置するハイブリッド発電設備の構成とするのが最適と考えられる。

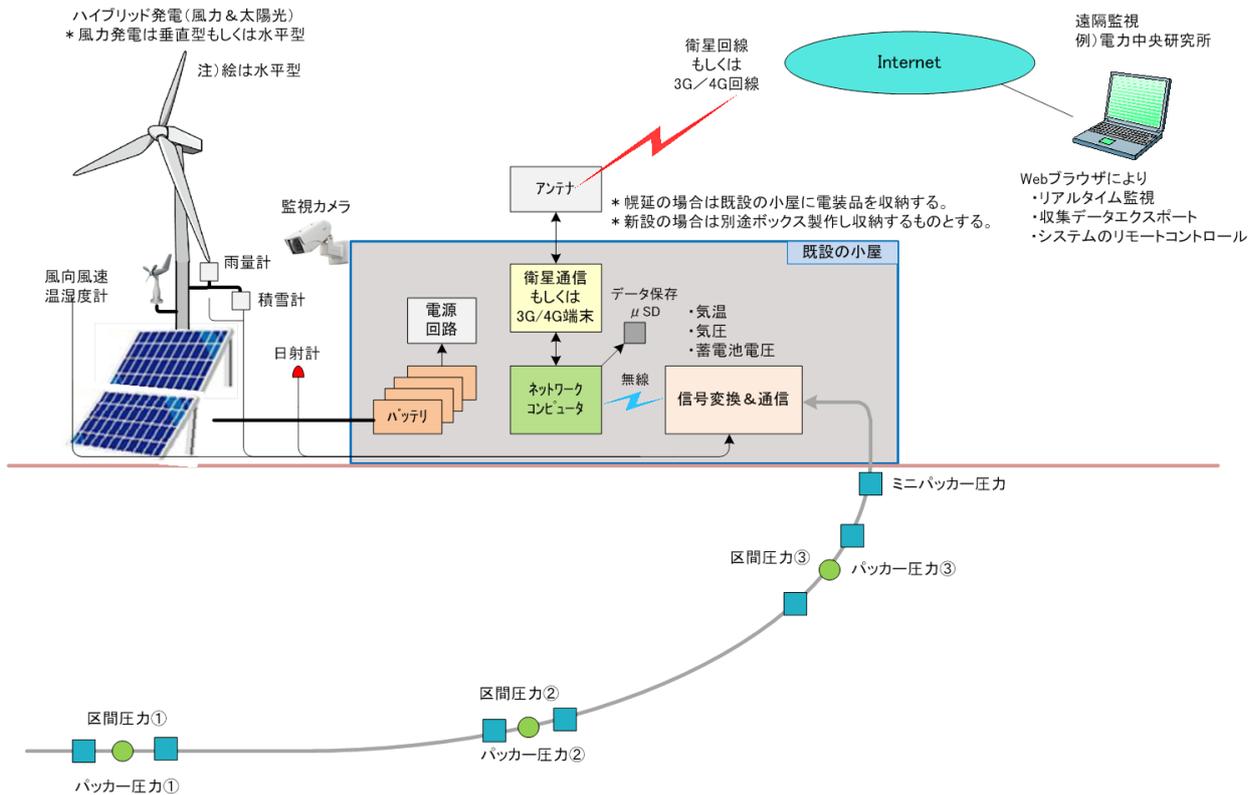
また、監視する区間圧力等は①～③のとおりである。その他の監視内容は標準と同一とする。

①区間圧力：3 区間

②パッカー圧力：3 区間

③ミニパッカー圧力

幌延 HCD-3 孔向けシステム構成を図 6. 3. 2-3 に示す。



6. 3. 2. 2 データロガーの検討

無人計測システムに使用するデータロガーの要求仕様を以下に示すとおり定義し、要求仕様を満たす可能性のある市販の機器の調査を行った。

データロガーに求められる要求仕様の内、計測点仕様を表 6. 3. 2-1 に示す。

表 6.3.2-1 データロガーの計測点リスト

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

その他の要求仕様として以下を配慮する。

- ①システム全体で低い消費電力で連続稼動すること。
- ②システム全体の消費電力を動的に制御できること。
 - ・消費電力を少なくするために、計測する時だけデータロガーの電源及びセンサの電源を ON にする機能を持つ。
 - ・上位通信機能も必要なときにだけ電源を ON にして消費電力を少なくすることができる。
- ③上位通信（衛星通信もしくは 3G/4G）との通信機能を持つこと。
- ④複数の測定ポイント（調査孔）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ネットワークを有すること。かつ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。
- ⑤センサネットワークと上位通信手段とのインターフェースが容易なこと。

これらの要求仕様を満足するデータロガーを市場に存在する製品より選定した。

【結果】

すべての要求仕様を満たすデータロガーは、openATOMS “MAGIC・BEE（東洋電機製）であった。データロガーの各社比較を表 6.3.2-2 に示す。

表 6.3.2-2 データロガーの各社比較

■ データロガーの各社比較		新島技術社		キャンベル サイエティズ/セック		ティアンボディ		日置		既設		東京電機		
仕様	要求仕様	GR-24H	LR8410	LR8511	LR8512	GR-1000	LR8410	LR8511	LR8512	openATOMS NO.	openATOMS NO.	openATOMS NO.	openATOMS NO.	
測定対象	11点(電圧・電圧) : 1点(電圧・電圧) : 2点(電圧・電圧) : 3点(電圧・電圧) : 4点(電圧・電圧) : 5点(電圧・電圧) : 6点(電圧・電圧) : 7点(電圧・電圧) : 8点(電圧・電圧) : 9点(電圧・電圧) : 10点(電圧・電圧)	電圧 ±10000V	電圧 ±8000mV	電圧 ±10000V	電圧 ±10000V	電圧 ±10000V	電圧 ±10000V	電圧 ±10000V	電圧 ±10000V	*	*	*	*	
測定レンジ	電圧 : 0~10V 電圧 : 0~10V	電圧 ±10000V	電圧 ±8000mV	電圧 ±10000V	電圧 ±10000V	電圧 ±10000V	電圧 ±10000V	電圧 ±10000V	電圧 ±10000V	*	*	*	*	
記録期間	1~60分	1~60分	0.01秒~30分	1~60分	1~60分	1~60分	0.01秒~30分	1~60分	0.1~30秒	10秒~60分	10秒~60分	10秒~60分	10秒~60分	
データ記録容量	μSD, SDの記録媒体に依存	120,000個/1ch	約1分30秒	2GB	2GB	2GB	2GB							
拡張性	拡張可能	最大4台16ch	最大4台16ch	最大4台16ch	最大4台16ch	最大4台16ch	最大4台16ch	最大4台16ch	最大4台16ch	*	*	*	*	
通信インターフェース	標準通信端末、3C/4Cルーラーに接続可能	USB	RS-232C	RIS-232C/RS-485	RIS-232C/RS-485	LAN, USB	LAN, USB	LAN, USB	LAN, USB	LAN, USB, LAN	LAN, USB, LAN	LAN, USB, LAN	LAN, USB, LAN	
送信時間	必要	約1分30秒	約1分30秒	約1分30秒	約1分30秒	約1分30秒	約1分30秒	約1分30秒	約1分30秒	約1分30秒	約1分30秒	約1分30秒	約1分30秒	
外部メモリ	必要	SDカード	SDカード	SDカード	SDカード	SDカード	SDカード	SDカード	SDカード	μSDカード	μSDカード	μSDカード	μSDカード	
電源	電池駆動 DC12V	単3アルカリ電池 x 2	単3アルカリ電池 x 2	単3アルカリ電池 x 2	単3アルカリ電池 x 2	単3アルカリ電池 x 2	単3アルカリ電池 x 2	単3アルカリ電池 x 2	単3アルカリ電池 x 2	単3アルカリ電池 x 2	単3アルカリ電池 x 2	単3アルカリ電池 x 2	単3アルカリ電池 x 2	
消費電力	エネルギーハーベスタに依存	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	
消費電力	エネルギーハーベスタに依存	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	約10mA	
電池寿命	エネルギーハーベスタに依存	約10日	約10日	約10日	約10日	約10日	約10日	約10日	約10日	約10日	約10日	約10日	約10日	
センサー駆動	DC12V(圧力センサー)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
本体寸法(単位:mm)	必要	120Hx75Wx32D	230Lx102Wx61H	240Wx34Hx155D	240Wx34Hx155D	230Lx102Wx61H	230Lx102Wx61H	230Lx102Wx61H	230Lx102Wx61H	55W x 90H x 30D	55W x 90H x 30D	55W x 90H x 30D	55W x 90H x 30D	
動作環境	必要	-25~+50°C(標準) -55~+85°C(ATタイプ)	-25~+50°C(標準) -55~+85°C(ATタイプ)	-10°C~+45°C	-10°C~+45°C	-10°C~+45°C	-10°C~+45°C	-10°C~+45°C	-10°C~+45°C	-20°C~+60°C	-20°C~+60°C	-20°C~+60°C	-20°C~+60°C	
無線	必要	x	x	x	x	x	x	x	x	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth	
送信距離	必要	x	x	x	x	x	x	x	x	30m	30m	30m	30m	
標準送信機	必要	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
価格	必要	37,000	289,000	320,000	320,000	220,000	220,000	110,000	40,000	120,000	120,000	120,000	40,000	
総合評価	①チャンネル数が不足 ②内蔵温度センサー ③測定レンジが狭い ④3C/4C対応不可 ⑤別途機器が必要	①チャンネル数が不足 ②内蔵温度センサー ③測定レンジが狭い ④3C/4C対応不可 ⑤別途機器が必要	①5点(電圧) ②電圧/3C, 4C対応不可 ③別途機器が必要 ④外部センサー駆動 ⑤外部センサー駆動	①NO.1号、MAGIC-BEE 9点でシステム構成可能 ②センサー数が多機能、オールインワンフレキシブル ③センサー駆動電源、3C/4C電源にLANで接続可能 ④センサー駆動電源の制御を行い、省電力を確保 ⑤センサー電源(MAGIC-BEE)が無線で、設置が容易	①NO.1号、MAGIC-BEE 9点でシステム構成可能 ②センサー数が多機能、オールインワンフレキシブル ③センサー駆動電源、3C/4C電源にLANで接続可能 ④センサー駆動電源の制御を行い、省電力を確保 ⑤センサー電源(MAGIC-BEE)が無線で、設置が容易	①NO.1号、MAGIC-BEE 9点でシステム構成可能 ②センサー数が多機能、オールインワンフレキシブル ③センサー駆動電源、3C/4C電源にLANで接続可能 ④センサー駆動電源の制御を行い、省電力を確保 ⑤センサー電源(MAGIC-BEE)が無線で、設置が容易	①NO.1号、MAGIC-BEE 9点でシステム構成可能 ②センサー数が多機能、オールインワンフレキシブル ③センサー駆動電源、3C/4C電源にLANで接続可能 ④センサー駆動電源の制御を行い、省電力を確保 ⑤センサー電源(MAGIC-BEE)が無線で、設置が容易							

6.3.2.3 データ通信の検討

遠隔監視装置への上位通信手段として衛星通信、3G/4G のサービスの調査を行い、機器の選定を行った。

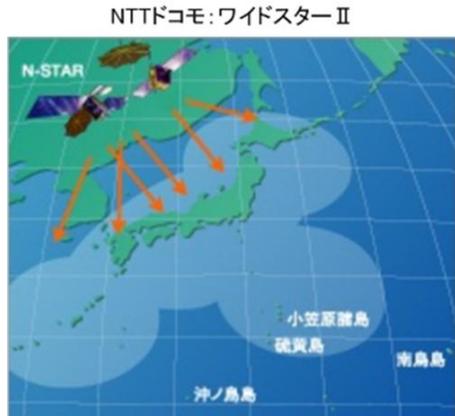
選定を行った手順を以下に示す。

- ①3G/4G 公衆回線および衛星通信サービスは国内で提供されている下記のサービス会社から選定する。
 - ・3G/4G 公衆回線：NTT docomo、KDDI au、SoftBank モバイル
 - ・衛星通信サービス：NTT docomo ワイドスターⅡ、KDDI インマルサット
- ②幌延地区の3G/4G 公衆回線は、どのキャリアもサービスエリアと圏外の境界にあるが衛星通信はNTT Docomo、KDDI のいずれも通信可能となっている。
- ③上位通信手段は機器価格、通信料が低廉である3G/4G を基本として、サービスが無い地域については衛星通信を選択する。ただし、幌延のケースでは、3G/4G 公衆回線と衛星通信どちらも利用可能とし、通信環境/性能評価を行える構成とする。
- ④キャリアの選定は3G/4G は全国のサービスエリアのカバー率が高いNTT docomo を基本として地域毎に調査し適切なキャリアを選択する。
- ⑤衛星通信については、消費電力が少なく、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NTT docomo のワイドスターⅡとする。
- ⑥利用料金の目安を算出する。

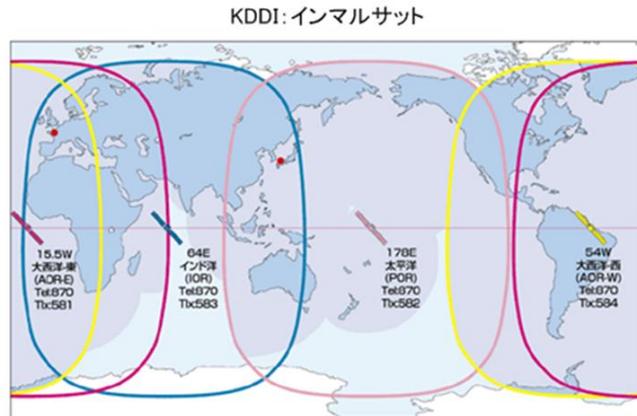
(1) 日本における衛星通信サービス

NTT docomo ワイドスターⅡは国内専用サービスである。KDDI インマルサットは全世界がサービスエリアとなっている。

無人計測システムの設置地点は日本国内に限定されるので、どちらのサービスでもサービスエリアとしては問題ない。



日本全体



地球全体

図 6.3.2-4 衛星通信サービスエリア

各社の端末を調査した結果を表 6.3.2-3 に示す。

無人計測システムでは音声通話は不要であるため、データ通信用端末から選定した結果、表中矢印で示す二つの機種がデータ通信用端末の候補としてあげられた。

表 6.3.2-3 データ通信端末一覧

サービス名	インマルサット		ワイドスターⅡ	イリジウム		スラヤ	
	IsatPhone Pro	EXPLORER500 (B-GANサービス用端末)		Iridium 955	Iridium Extreme	SoftBank 201TH	Thuraya XT
携帯電話機写真							
国内取扱会社	KDDI 日本デジコム JSATモバイルコミュニケーションズ		NTTドコモ	KDDI		ソフトバンクモバイル	日本デジコム
衛星区分	静止衛星		静止衛星	衛星コンステレーション	衛星コンステレーション	静止衛星	静止衛星
衛星数	3~4機(*)		2機	66機	66機	3機	3機
電話	○		○	○	○	○	○
FAX	x	○	△	x	x	○	○
データ通信(可否)	△	○	○	○(ダイヤルアップ)	○(ダイヤルアップ)	○(ダイヤルアップ)	○(ダイヤルアップ)
通信速度(上り)	2.4kbps	448kbps	144kbps	2.4kbps	2.4kbps	9.6kbps	9.6kbps
同(下り)	2.4kbps	464kbps	384kbps	2.4kbps	2.4kbps	9.6kbps	9.6kbps
連続通話時間	8時間程度	2時間程度	2時間程度	4時間程度	4時間程度	6時間	6時間
連続待受時間	100時間程度	36時間	26時間程度	30時間程度	30時間程度	80時間程度	80時間程度
通話区分	国際通話		国内通話	国際通話	国際通話	国際通話	国際通話
電話機価格	89,800円(セット価格)	399,000円	オープン価格	238,000円	オープン価格	オープン価格	【レンタル扱い】
月額基本料金	4,900円	4,400円	5,145円~ 15,750円	5,000円 ~6,000円	5,000円 ~6,000円	4,900円(2年契約) / 9,800円(2年契約なし)	
通話料金 (回線費用/分あたり)	160円	約100円	95.4円 ~189円	105円~120円	105円~120円	160円	

二つのデータ通信用端末の仕様を比較した結果を表 6.3.2-4 に示す。

通信速度は KDDI が優勢であるが、NTT docomo でも必要十分な速度である。

消費電力は NTT docomo が低消費電力であり、無人計測システムに適合すると考えられる。

表 6.3.2-4 データ通信端末仕様表

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	上り:最大448kbps
	下り:最大384kbps	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℃～+60℃	-25℃～+55℃
サイズ(奥行×幅×高さ)	197mm×180mm×39mm	218mm×217mm×52mm
重量(電池を含む)	1.3kg	1.5kg
価格(税込)	369,075円	399,000円
写真		

【結果】

上位通信の内、衛星通信はNTT docomoのワイドスターⅡがデータ通信端末機能を備え、かつ消費電力が少ない機種として絞り込まれた。

(2) 3G/4G 公衆回線サービスの調査

キャリアとしてNTT docomo、KDDI au、SoftBank モバイルの3社はいずれも3G/4G 公衆回線サービスを全国で展開しているが、サービスエリアのカバー率が高いのはNTT docomoであった。

北海道幌延町HCD-3孔地点を例に各社のサービスエリア内にあるかを調査した。モニタリング実施場所は3社ともにサービス提供エリアとの境界にあることが分かる。現場調査の結果でも携帯電話の電波が入りにくい場所であることが確認できた。したがって、幌延HCD-3孔向けのシステムにおいては安定した通信を確保する為に、3G/4G 公衆回線だけでなく衛星通信設備も併用することが望ましいと考えられた。

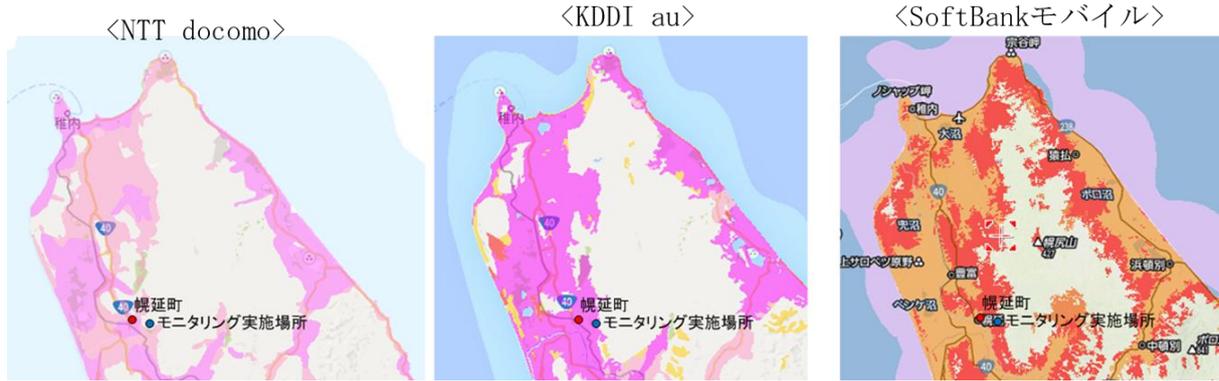


図 6.3.2-5 3G/4G 公衆回線サービスエリア

表 6.3.2-5 3G/4G 公衆回線各社サービス

キャリア	サービス	
	3G	4G
NTT docomo	FOMA (フォーマ)	Xi (クロッシィ)
KDDI au	CDMA 1X WIN	4G LTE
SoftBankモバイル	SoftBank 3G	4G LTE (iPhone5用) 4G (Androidスマホ用)

【結果】

上位通信の内、3G/4G 公衆回線については NTT docomo を代表例として料金等の試算を行う。

(3) 上位通信の利用料金

NTT docomo FOMA(3G)とワイドスターⅡ(衛星)の各サービスを利用した場合の月額利用料金を試算した。

【条件】

- ・通信データ量として、圧力センサ、環境センサ、映像のデータ量を表 6.3.2-6 の【パケット量】のとおりとする。
- ・通信周期として、センサデータは 10 分に 1 回、映像データは 1 時間に 1 回送信する。
- ・月額利用料金とは、基本料金・パケット通信料・プロバイダ料 (3G のみ) の合算である。

【結果】

上位通信に関わる費用としては、初期費用としての通信機器代・初期登録代の他、毎月以下の利用料金が発生することを見込んでおく必要があると試算された。

- ・ FOMA (3G) : ¥13,766/月
- ・ ワイドスター : ¥25,411/月

表 6.3.2-6 上位通信の利用料金算定表

【パケット量】				
	圧力センサ	環境センサ	計	映像
センサ数(個)	11	10	21	1
1点当たりのサイズ(byte)	2	2	4	32 k
データ数(個)	10	10	20	
合計サイズ(byte)	220	200	420	
1パケットのサイズ(byte)	128	128	128	
パケット数	1.7	1.6	3.3	256

【利用料金】							
	月額基本料金	パケット料金	パケット料金／通信	パケット料金／月	プロバイダ料	月額合計	条件
NTT docomo FOMA	¥3,010	¥0.05	¥0.16	¥732	¥500	¥4,242	センサデータのみ10分に1回送信
			¥12.80	¥9,523		¥9,523	映像データを1時間に1回送信
						¥13,766	合計
NTT docomo ワイドスターⅡ	¥4,900	¥0.10	¥0.33	¥1,465		¥6,365	センサデータのみ10分に1回送信
			¥25.60	¥19,046		¥19,046	映像データを1時間に1回送信
						¥25,411	合計

6.3.2.4 無人計測システムの消費電力予測

データロガー、上位通信手段、圧力センサ、その他の環境センサの消費電力を調査しシステム全体の消費電力を算出した。

【手順、条件】

- ①無人計測システムに関わる各コンポーネントを選定し、各コンポーネントの消費電力を調査する。
- ②各コンポーネントの消費電力を合算し、システム全体の消費電力を算出する。
- ③システム動作条件として以下を設定した。
 - ・ 上位通信手段として、衛星通信と 3G/4G の 2 パターンについて消費電力を算出する。
 - ・ 連続運転と間欠運転（通信間隔：10分）の両方の消費電力を算出する。
 - ・ 間欠運転の運転パターンは、センサからのデータ取得を1分周期、上位通信を10分周期で動作する。

無人計測システム（標準）を構成する電装品と消費電力を表 6.3.2-7 に示す。

表 6. 3. 2-7 電装品リストと消費電力

機器	メーカー	型式	衛星		3G/4G		備考		
			数量	消費電力 (w) 計	数量	消費電力 (w) 計			
衛星通信端末	NTT docomo	ワイドスターII	1	13.1	13.10	0	13.1	0.00	遠隔監視装置との通信
3G/4Gルータ	ゼネテック	HSPA-450C	0	5.0	0.00	1	5.0	5.00	遠隔監視装置との通信
ネットワークコンピュータ	四国総研	新型NC	1	2.0	2.00	1	2.0	2.00	Web機能搭載コントローラ
ネットワークカメラ	パナソニック	BB-SW175A	1	5.2	5.20	1	5.2	5.20	Webカラーカメラ
信号変換&通信ユニット	東洋電機	MGB10-ER	5	0.4	2.05	5	0.4	2.05	パッカー、区間圧力
信号変換&通信ユニット	東洋電機	MGB10-ER	1	0.4	0.41	1	0.4	0.41	ミニパッカー圧力、気圧・室内温度
信号変換&通信ユニット	東洋電機	MGB10-ER	2	0.4	0.82	2	0.4	0.82	降雨・積雪量・風向・風速・外気温
信号変換&通信ユニット	東洋電機	MGB10-ER	1	0.4	0.41	1	0.4	0.41	日射量、バッテリー、タイムキーパー
圧力センサ	KELLER	PAA-22S	1	0.30	0.30	1	0.30	0.30	ミニパッカー圧力
圧力センサ	KELLER	PAA-23S	5	0.30	1.50	5	0.30	1.50	パッカー圧力 5区間
圧力センサ	KELLER	PAA-23S	5	0.30	1.50	5	0.30	1.50	区間圧力 5区間
降雨センサ	Davis	#07852	1	0.00	0.00	1	0.00	0.00	
積雪量センサ	オーミック電子	OM7-1S	1	0.60	0.60	1	0.60	0.60	
風向・風速計	大田計器	No.30-T	1	0.22	0.22	1	0.22	0.22	
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	SESP212	1	0.00	0.00	1	0.00	0.00	

消費電力	連続運転	28.11 w	20.01 w
		0.67 kWh・day	0.48 kWh・day
消費電力	間欠運転	2.81 w	2.00 w
		0.07 kWh・day	0.05 kWh・day

* 間欠運転の条件
 通信周期 10 分周期
 センサ動作周期 1 分周期

【結果】

衛星通信機器は他のコンポーネント比で機器の消費電力が 1 桁大きく、システム全体の消費電力に大きく影響する。しかしながら間欠運転することで全体の消費電力を 1/10 に大きく引き下げられることが分かった。

無人計測システムは外部電源のない地点に設置されることを想定し自立式の発電装置を持たせるが、自然エネルギーを元にした発電方式を想定しており、大きな発電量は期待できない。したがって、実運用におけるシステム全体の消費電力は低く抑えるためには間欠運転を基本動作としてシステムを設計することが合理的である。

(消費電力算出結果)

- ・衛星通信・連続運転のケース： 28.11 W
- ・衛星通信・間欠運転のケース： 2.81 W
- ・3G/4G 通信・連続運転のケース： 20.01 W
- ・3G/4G 通信・間欠運転のケース： 2.00 W

【用語の定義】

連続運転：機器の電源が常に供給されている運転条件であり、以下の動作をとる。

センサ駆動電源を常に ON させて、常時測定データを収集する。

上位通信装置（衛星通信端末や 3G/4G 端末）の電源を常に ON させて、常に遠隔監視

装置との通信を行う。

間欠運転：システム全体の消費電力を抑える為、機器の電源をある一定周期で ON/OFF させる運転条件であり、以下の動作をとる。

- ・センサ駆動電源を 1 分に 1 回の周期で ON させて、1 分毎に測定データを収集する。
- ・上位通信装置（衛星通信端末や 3G/4G 端末）の電源を 10 分に 1 回 ON させて、10 分毎に遠隔監視装置との通信を行う。

なお、測定地点にて大きな地震等のイベントが発生した場合、遠隔監視装置側から現場システムをリモートコントロールにより運転モードを連続運転に切り替える事も可能とする。

参考用として、幌延 HCD-3 孔で使用されているセンサ類を図 6.3.2-6 に示す。いずれのセンサも一般的な出力信号であり、データロガーとしての openATOMS に入力可能なものである。

Ch	観測項目	測定範囲	センサ型式	出力	センサ電源電圧	備考
1	データロガバッテリー電圧					
2	データロガ内部温度	-23°C~+77°C	Pt-100			
3	コア室気温	-23°C~+77°C	Pt-100			
4	コア室気圧	0.85kPa~1.15kPa	PAA-23	DC4~20mA	DC12V	二線式
5	区間①(最浅)圧力、P3	0bar~10bar	PAA-36XS	DC4~20mA	DC12V	二線式
6	区間②(中間)圧力、P2	0bar~10bar	PAA-36XS	DC4~20mA	DC12V	二線式
7	区間③(最深)圧力、P1	0bar~10bar	PAA-36XS	DC4~20mA	DC12V	二線式
8	パッカー4&5(最浅)圧力	0bar~50bar	PAA-23S	DC4~20mA	DC12V	二線式
9	パッカー3(中間)圧力	0bar~50bar	PAA-23S	DC4~20mA	DC12V	二線式
10	パッカー1&2(最深)圧力	0bar~50bar	PAA-23S	DC4~20mA	DC12V	二線式

 <p>SERIE 36 X S (SIRETTO-LINE)</p>	 <p>Series 23</p>	 <p>Series 23 S</p>
--	---	--

図 6.3.2-6 幌延 HCD-3 孔で使用される圧力センサ仕様

6.3.3 気象データの調査

スタンドアローン無人計測システムを構成する電源には風力や太陽光の自然エネルギーを期待している。これら自然エネルギーの分布は場所ごとに異なる。したがって、システムの電源構成も設置場所によって異なるはずである。システムに組み込む電源構成の設置場所による変化を調べるため、日

本国内の複数地点を用いてケーススタディを行った。ケーススタディでは地点の気象データから、その地点における風力発電および太陽光発電で電気エネルギーを得る為の賦存エネルギー量を算定した。

6.3.3.1 無人計測システム設置地点の選定と各地点の気象データ

(1) 調査地点の選定条件

日本国内の特徴的な気象条件を有する地点として気象庁の気象データがある地点を計 8 箇所選定した。

特徴的な気象条件としては、緯度の高低／太平洋側・日本海側気候／降雪地域・温暖地域などを考慮した。

(2) 選定した調査地点

選定条件から以下の 8 カ所を選定し、各地点の気象データを気象庁のデータベースから抽出した。

- ①北海道 幌延町（豊富）
- ②青森県 むつ市
- ③福島県 双葉郡広野町
- ④新潟県 柏崎市
- ⑤静岡県 御前崎市
- ⑥愛媛県 伊方町（瀬戸）
- ⑦鹿児島県 薩摩川内市
- ⑧沖縄県 石垣島

(3) 気象データの調査

調査する気象データは以下とした。

- ①気圧（現地、海面）
- ②降水量（合計、最大、1 時間、10 分）
- ③気温（最高、最低、平均：日平均、日最高、日最低）
- ④湿度（平均、最低）
- ⑤風速（平均、最大風速、瞬間最大風速）
- ⑥日照時間・日射量
- ⑦降雪（合計、日合計、最深積雪）
- ⑧その他大気現象（雲量、雪日数、霧日数、雷日数）

- ・幌延町と伊方町の場合、気象庁のホームページに気象データが無かったため、それぞれ近隣の豊富町と旧瀬戸町の気象データを参考にした。
- ・気象データは年毎のデータ（過去 10 年間の平均）と月毎（2013 年）のデータを抽出した。

【気象データの出典元】

気象データ：国土交通省 気象庁 HP <http://www.data.jma.go.jp/>

日射量データ：独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) HP
<http://app7.infoc.nedo.go.jp/>

(4) 各地点気象データ

各地点の気象データを表 6.3.3-1～表 6.3.3-8 に示す。

表 6.3.3-1 気象データ：北海道 幌延町（豊富町）

* 気象データは気象庁HP(日射データはNEDOのHP)より入手

■ 気象データ
北海道：幌延町（豊富）
【年毎の気象データ】

年	気圧(hPa)		降水量(mm)		気温(°C)			湿度(%)		風向・風速(m/s)			日照		全天日射量(MJ/m2)		雪(寒候年・cm)		大気現象			
	現地	海面	合計	最大	平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最大	最大瞬間	日照時間	平均	降雪	最深積雪	霧日数	雪日数	雷日数			
	平均	平均	日	1時間	10分間	日平均	日最高	日最低	平均	最高	最低	平均	最大	最大瞬間	時間	平均	降雪	合計	日合計の最大	平均	(寒候年)	
2004			1,079	83	36	7.1	11.0	2.8	28.3	-19.4	2.5	11.0			1,305.7		782	48	135.0			
2005			937	51	13	6.4	10.4	2.1	29.5	-22.5	2.3	9.0			1,318.8		718	20	114.0			
2006			1,163	71	36	6.6	10.3	2.5	30.8	-23.6	2.3	9.0			1,231.4		839	30	93.0			
2007			766	70	22	6.5	10.5	2.2	29.1	-19.2	2.4	12.0			1,425.3		712	36	87.0			
2008			641	29	15	7	6.3	10.4	1.8	29.0	-25.0	3.8	15.0		1,609.7		684	21	81.0			
2009			908	57	20	6.2	10.1	1.9	29.4	-19.0	3.8	15.8	21.8	14.8	1,449.7		616	22	87.0			
2010			1,168	87	47	6.8	10.5	2.7	29.3	-20.1	4.0	19.7	27.2	13.9	1,390.8		780	26	104.0			
2011			1,134	62	30	6.2	9.9	2.0	28.1	-24.7	3.8	15.7	25.0	14.7	1,470.8		694	34	72.0			
2012			1,014	99	44	5.9	9.8	1.5	30.7	-27.1	3.6	19.7	29.0	14.6	1,464.5		767	32	118.0			
2013			895	47	33	6.3	10.1	2.2	30.6	-24.2	3.9	16.8	23.9	13.1	1,331.5		827	49	109.0			
平均			970	65	29	6.4	10.3	2.2	29.5	-22.5	3.2	14.4	25.4	14.2	1,421.5		736.8	32.6	98.0			

【月毎の気象データ】

2013年	気圧(hPa)		降水量(mm)		気温(°C)			湿度(%)		風向・風速(m/s)			日照		全天日射量(MJ/m2)		雪(寒候年・cm)		大気現象			
	現地	海面	合計	最大	平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最大	最大瞬間	日照時間	平均	降雪	最深積雪	霧日数	雪日数	雷日数			
	平均	平均	日	1時間	10分間	日平均	日最高	日最低	平均	最高	最低	平均	最大	最大瞬間	時間	平均	降雪	合計	日合計の最大	平均	(寒候年)	
1			70	18	4	-7.8	-4.9	-12.4	0.9	-24.2	3.5	13.3	20.8	68.3		217	43	109				
2			22	3	2	-7.2	-3.5	-13.4	4.4	-21.5	4.0	15.5	21.8	79.4		135	17	92				
3			28	4	2	-2.5	0.6	-6.6	7.6	-18.9	5.6	16.8	23.4	97.3		140	49	102				
4			56	16	3	3.7	6.4	0.8	13.8	-4.4	4.5	12.5	21.3	153.6		26	5	45				
5			24	9	4	1.7	3.9	22.9	-1.1	7.5	3.8	11.4	17.6	121.5		0	0	0				
6			31	16	5	14.1	18.9	9.8	27.5	3.5	3.2	9.1	15.2	167.8		0	0	0				
7			33	15	11	19.9	25.3	15.8	30.2	9.8	3.0	10.3	16.0	159.8		0	0	0				
8			194	47	33	14	19.9	23.7	16.8	30.6	10.9	3.3	11.2	18.1	228.9		0	0	0			
9			120	43	28	10	16.0	20.2	11.5	24.1	3.8	3.5	15.0	23.9	158.6		0	0	0			
10			109	38	7	5	10.1	14.6	4.8	22.1	-1.6	3.8	13.9	20.6	132.2		0	0	0			
11			137	23	7	4	3.6	7.3	-0.4	14.8	-9.4	4.1	15.0	23.9	56.1		25	14	12			
12			73	12	5	2	-1.7	0.6	-4.8	5.3	-11.5	4.0	11.2	19.4	23.0		134	23	40			

表 6.3.3-2 気象データ：青森県 むつ市

* 気象データは気象庁HP(日射データはNEDOのHP)より入手

■ 気象データ
青森県：むつ市
【年毎の気象データ】

年	気圧(hPa)		降水量(mm)		気温(°C)			湿度(%)			風向・風速(m/s)			日照	全天日射量			雪(寒候年・cm)			雲量			大気現象			
	現地	海面	合計	最大	日最高	日最低	最高	最低	平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最大瞬間	風速	時間	(MJ/m2)	平均	降雪	日合計の最大	最深積雪	平均	雪日数	霧日数	雷日数	
	平均	平均	10分間	1時間	日平均	日平均	日平均	日平均	日平均	日平均	日平均	日平均	日平均	日平均	日平均	日平均	(h)	平均	合計	合計	日合計の最大	平均	(寒候年)				
2004	1012.8	1013.4	1,545	86	10.4	14.7	6.1	32.6	-11.3	76.0	17.0	2.7	14.9	31.8	1650.8	581	32	79	97	28							
2005	1011.5	1012.1	1,377	95	14	12	9.4	31.6	-14.0	78.0	17.0	2.6	15.4	29.3	1555.6	496	24	71	108	13							
2006	1013.2	1013.8	1,366	98	9.4	13.5	5.4	33.1	-12.4	79.0	23.0	2.5	13.8	27.8	1551.9	455	27	73	110	16							
2007	1012.8	1013.4	1,449	109	10.1	14.3	5.8	33.4	-7.9	78.0	23.0	2.5	12	27.2	1614.7	167	15	19	91	14							
2008	1013.2	1013.8	979	71	9.8	14.0	5.6	29.6	-12.2	79.0	13.0	2.5	12.7	23.3	1512.9	267	14	21	97	28							
2009	1012.2	1012.8	1,630	100	7	9.8	14.1	5.4	29.3	-9.5	79.0	15.0	2.6	15.4	1599.7	311	21	30	94	24							
2010	1012.8	1013.4	1,696	76	27	13	10.2	14.3	6.2	34.5	-15.2	80.0	23.0	2.6	14.2	1431.4	529	30	74	110	22						
2011	1012.5	1013.1	1,251	53	15	9	10.5	14.7	6.2	32.6	-12.0	79.0	21.0	2.6	14.0	1539.9	462	22	70	101	35						
2012	1012.6	1013.2	1,134	55	37	17	9.7	13.6	5.4	34.7	-17.8	78.0	20.0	2.6	15.5	1514.5	582	44	108	132	61						
2013	1011.6	1012.2	1,351	104	30	19	9.7	13.8	5.4	32.7	-15.0	77.0	23.0	2.6	14.4	1491.3	371	30	77	144	32						
平均	1012.1	1012.7	1,243	79	33	18	9.7	13.7	5.4	33.7	-16.4	77.5	21.5	2.6	15.0	1502.9	477	37	92.5	138	46.5						

【月毎の気象データ】

2013年	気圧(hPa)		降水量(mm)		気温(°C)			湿度(%)			風向・風速(m/s)			日照	全天日射量			雪(寒候年・cm)			雲量			大気現象			
	現地	海面	合計	最大	日最高	日最低	最高	最低	平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最大瞬間	風速	時間	(MJ/m2)	平均	降雪	日合計の最大	最深積雪	平均	雪日数	霧日数	雷日数	
	平均	平均	10分間	1時間	日平均	日平均	日平均	日平均	日平均	日平均	日平均	日平均	日平均	日平均	日平均	日平均	(h)	平均	合計	合計	日合計の最大	平均	(寒候年)				
1	1015.3	1015.9	64	14	-2.9	0.2	-7.0	3.9	-13.2	72.0	40.0	2.5	10.5	18.8	80.8	122	21	41	30	4							
2	1014.4	1015.0	99	14	-2.2	0.8	-6.6	8.4	-15.0	75.0	40.0	3	11.5	21.8	64.5	153	30	77	27	11							
3	1011.1	1011.7	73	16	4	2	1.8	5.6	-2	15.2	-6.4	69.0	32.0	3.5	14.4	112.6	47	11	60	28	0						
4	1008.5	1009.1	94	22	6	2	7.1	11.8	29	17.1	-1.5	69.0	23.0	3.4	12.0	17.3			15	3							
5	1011.3	1011.9	71	28	6	1	10.9	16.3	6.5	24.6	-1.3	79.0	28.0	2.5	7.7	137	164.2		3	2							
6	1010.1	1010.7	18	11	9	3	16.3	21.2	12.6	26.9	8.2	84.0	41.0	2.3	6.9	11.4	193.4		0	5							
7	1008.3	1008.8	67	20	8	3	20.2	24.0	17.1	28.8	11.4	88.0	46.0	2.2	6.1	228.9	115.7		0	3							
8	1005.6	1006.1	270	88	30	19	23.1	27.7	18.5	32.7	13.4	83.0	41.0	2.1	7.9	162	171.2		0	2							
9	1014.4	1015.0	179	104	21	8	19.2	23.9	13.9	30.2	5.5	79.0	30.0	2.1	10.0	181	161.9		0	1							
10	1017.6	1018.2	240	85	10	3	13.6	17.7	8.9	23.4	1.3	80.0	39.0	2.4	11.3	21.3	85.8		0	1							
11	1012.5	1013.1	102	30	7	4	6.8	11.3	1.6	17.5	-3.5	73.0	36.0	2.8	12.9	24.1	103.6		5	4	3			13	0		
12	1010.4	1011.0	77	11.5	3	1	2.4	5.3	-1	10.6	-7.1	73	35	2.7	10.3	21.3	64.6		52	14	1.5			28	0		

表 6.3.3-3 気象データ：福島県 広野町

* 気象データは気象庁HP(日射データはNEDOのHP)より入手

■気象データ
福島県：広野町
【年毎の気象データ】

年	気圧(hPa)		降水量(mm)			気温(°C)			湿度(%)			風向・風速(m/s)			日照	全天日射量	雪(寒候年・cm)			大気現象				
	現地	海面	合計	最大	日	1時間	10分間	平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最大	最大瞬間	時間	(MJ/m ²)	降雪	日合計	最深	平均	霧日数	雷日数	
	平均	平均						日平均	日最低	日最高			風速	風速	風速	(h)	平均	合計	の最大			(寒候年)		
2004			1,559	211	35			13.3	17.9	8.9	33.6	-5.2	1.5	14.0		1944.4								
2005			1,303	89	34			12.6	16.7	8.7	34.9	-6.1	1.6	12.0		1834.0								
2006			2,438	265	39			13.1	17.1	9.3	32.5	-6.9	1.4	13.0		1647.4								
2007			1,655	182	32			13.6	17.7	9.5	37.0	-3.7	1.3	13.0		1917.2								
2008			1,536	135	37			12.9	17.1	9.0	34.2	-5.3	1.2	12.0		1770.7								
2009			1,821	158	38			13.2	17.4	9.1	32.9	-3.6	1.5	13.0	23.6	1782.2								
2010			1,899	120	26			13.3	17.6	9.3	35.9	-7.8	1.5	15.6	29.0	1947.1								
2011			1,366	191	37			13.6	18.1	9.6	35.6	-6.7	1.4	13.3	28.6	1947.9								
2012			1,637	135	52			12.7	16.9	8.8	35.6	-8.3	1.5	15.8	27.5	2016.9								
2013			1,388	127	68			13.1	17.3	9.0	35.5	-6.9	1.6	16.4	33.7	2046.9								
平均			1,640	161	40			13.1	17.4	9.1	34.8	-6.1	1.5	13.8	28.5	1885.5								

【月毎の気象データ】

2013年	気圧(hPa)		降水量(mm)			気温(°C)			湿度(%)			風向・風速(m/s)			日照	全天日射量	雪(寒候年・cm)			大気現象				
	現地	海面	合計	最大	日	1時間	10分間	平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最大	最大瞬間	時間	(MJ/m ²)	降雪	日合計	最深	平均	霧日数	雷日数	
	平均	平均						日平均	日最低	日最高			風速	風速	風速	(h)	平均	合計	の最大			(寒候年)		
1			46	29	6			1.9	6.8	-2.5	13.1	-5.6	1.6	11.6	20.0	198.8								
2			25	8	5			2.5	7.1	-2.0	16.0	-6.9	2.1	11.8	23.0	175.4								
3			15	6	3			7.9	13.0	2.7	23.0	-2.1	2.5	16.3	33.7	201.0								
4			279	112	68			10.6	15.1	6.1	21.9	-0.8	2.1	16.4	31.8	176.3								
5			49	18	7			14.1	18.8	10.0	24.4	1.9	1.7	7.2	16.5	246.3								
6			114	60	41			17.9	21.1	15.2	26.5	8.1	0.9	5.1	9.8	118.0								
7			164	43	20			21.9	25.4	19.3	34.0	16.3	1.0	5.5	10.7	100.5								
8			96	36	25			24.9	28.9	21.6	35.5	16.9	1.1	5.7	10.9	228.9								
9			141	36	22			21.3	25.2	17.4	30.4	10.5	1.0	8.0	17.2	162.2								
10			388	127	37			17.0	20.7	13.5	28.0	7.2	1.2	11.4	26.7	114.3								
11			19	7	6			10.6	15.6	5.3	23.3	-0.5	1.7	9.2	19.9	172.8								
12			54	36	4			6.0	10.2	1.8	16.2	-2.3	2.0	13.6	26.4	161.3								

表 6.3.3-4 気象データ：新潟県 柏崎市

* 気象データは気象庁HP(日射データはNEDOのHP)より入手

■気象データ
新潟県：柏崎市
【年毎の気象データ】

年	気圧(hPa)		降水量(mm)		気温(°C)			湿度(%)		風向・風速(m/s)			日照		雪(寒候年・cm)			雲量			大気現象					
	現地	海面	合計	最大	日最高	日最低	最高	最低	平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最大瞬間風速	風速	時間	全天日射量(MJ/m ²)	降雪	日合計の最大	平均	最深積雪	雪日数	霧日数	雷日数	
2004					14.1	18.6	9.8	36.7	-7.4	2.1	12.0			2.1	12.0	1550.0	240	36	43.0							
2005			2,533	121	32	13.1	17.2	9.2	34.7	-7.3	2.3	11.0		2.3	11.0	1291.4	434	43	68.0							
2006			2,364	89	38	13.0	17.2	9.0	37.5	-9.4	2.0	16.0		2.0	16.0	1376.3	461	40	53.0							
2007			2,140	87	52	13.6	17.8	9.6	36.7	-4.2	2.1	11.0		2.1	11.0	1441.2	53	23	22.0							
2008			2,309	81	39	11	13.5	17.8	9.4	33.8	-4.4	2.2	10.7	20.2	1641.6	250	24	34.0								
2009			2,165	66	24	13	13.4	17.8	9.3	35.5	-6.2	2.2	11.5	21.6	1514.5	138	20	19.0								
2010			2,775	60	41	17	13.7	18.0	9.8	34.5	-6.1	2.4	13.6	30.5	1562.2	427	66	105.0								
2011			2,490	73	38	16	13.2	17.5	9.2	36.7	-6.1	2.5	11.2	24.4	1613.6	278	29	67.0								
2012			2,542	70	29	11	13.1	17.3	9.1	35.1	-8.8	2.5	15.2	32.5	1618.2	514	35	111.0								
2013			2,707	103	44	17	13.4	17.7	9.4	34.3	-7.4	2.6	13.9	27.7	1599.0	308	25	34.0								
平均			2,439	100	37	14	13.4	17.7	9.4	35.6	-6.7	2.3	12.6	26.2	1520.8	310.3	34.1	55.6								

【月毎の気象データ】

2013年	気圧(hPa)		降水量(mm)		気温(°C)			湿度(%)		風向・風速(m/s)			日照		雪(寒候年・cm)			雲量			大気現象					
	現地	海面	合計	最大	日最高	日最低	最高	最低	平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最大瞬間風速	風速	時間	全天日射量(MJ/m ²)	降雪	日合計の最大	平均	最深積雪	雪日数	霧日数	雷日数	
1			250.5	49	9	3	1.8	5.0	-1.0	9.9	-6.4	3.4	10.8	22.8	50.7	138	25	34								
2			163	22	6	2	1.6	4.8	-1.8	12.7	-7.4	3.4	11.1	22.0	43.3	117	23	28								
3			103	38	11	3	5.7	11.7	0.5	22.6	-4.7	2.8	10.2	19.1	119.5	0	0	0								
4			132	33	7	3	9.8	14.6	4.6	24.3	1.4	3.1	13.9	27.7	163.6	0	0	0								
5			54	23	10	3	15.4	20.4	10.5	28.3	3.0	2.2	7.7	14.9	235.1	0	0	0								
6			154	103	17	4	21.2	25.3	17.3	32.8	12.3	1.9	8.5	13.5	219.2	0	0	0								
7			286	57	44	17	24.9	29.0	21.8	32.5	17.4	2.1	8.4	17.5	127.9	0	0	0								
8			253	53	36	16	26.2	30.5	22.3	34.3	19.2	1.9	9.0	19.1	228.9	0	0	0								
9			226	88	30	17	21.5	26.6	17.1	31.1	10.0	1.9	10.3	17.9	180.2	0	0	0								
10			218	53	12	6	17.6	21.9	13.6	33.8	7.1	2.2	12.6	25.3	119.9	0	0	0								
11			504	95	18	6	9.7	14.5	5.5	20.9	2.4	3.1	10.7	22.3	88.1	0	0	0								
12			366	43	8	4	5.2	8.5	2.2	14.1	-0.3	3.6	11.0	21.8	38.7	12	7	8								

表 6.3.3-5 気象データ：静岡県 御前崎市

* 気象データは気象庁HP(日射データはNEDOのHP)より入手

■ 気象データ
静岡県・御前崎市
【年毎の気象データ】

年	気圧(hPa)		降水量(mm)			気温(°C)			湿度(%)			風向・風速(m/s)			日照		全天日射量			雪(寒候年・cm)			雲量			大気現象		
	現地	海面	合計	最大	1時間	平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最小	最大	最大瞬間	時間	(MJ/m ²)	平均	降雪	日合計の最大	最深積雪	平均	霧日数	雪日数	雷日数				
	平均	平均	10分間	日	10分間	日平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最小	最大	最大瞬間	(h)	平均	合計	合計	日合計		平均	(寒候年)						
2004	1008.8	1014.3	2,581	360	89	17.5	29.9	14.3	36.7	-1.9	71.0	13.0	51.0	50.0	2382.4	15.1	0	0	0	0	6.1	4	17	20				
2005	1007.4	1012.9	1,777	161	34	16.1	19.6	13.0	31.4	-2.1	71.0	19.0	5.1	24.7	45.7	2373.2	15.2	0	0	0	0	6.1	2	22	18			
2006	1008.1	1013.7	2,235	190	52	16.4	19.6	13.3	33.0	-2.5	75.0	17.0	4.7	17.7	32.8	2003.9	13.7	0	0	0	6.6	4	51	21				
2007	1008.1	1013.7	1,958	192	46	16.7	20.4	13.9	33.5	0.6	74.0	17.0	4.8	20.9	37.9	2252.4	14.9	0	0	0	6.3	3	17	25				
2008	1008.1	1013.7	1,762	110	49	16.8	20.1	13.7	36.4	-2.7	75.0	17.0	4.7	19.6	30.9	2286.8	14.9	0	0	0	6.5	1	11	18				
2009	1007.6	1013.2	2,182	117	35	11.6	20.1	13.7	31.8	-0.4	73.0	17.0	4.7	20.1	31.4	2137.3	14.5	0	0	0	6.5	0	39	15				
2010	1008.6	1014.2	2,391	123	44	14.4	16.9	20.2	33.1	-0.9	74.0	21.0	4.9	19.1	33.0	2310.7	16.5	0	0	0	6.5	3	9	9				
2011	1008.4	1014.0	1,980	160	38	13.3	16.4	19.8	33.3	31.4	-2.4	71.0	18.0	4.9	29.7	45.1	2339.7						10	6	20			
2012	1007.9	1013.5	2,309	198	55	16.3	19.9	13.3	32.0	-3.1	71.0	15.0	4.9	27.1	41.4	2374.2						10	7	11	11			
2013	1007.7	1013.2	1,794	106	51	24	16.8	20.3	35.5	-1.7	71.0	17.0	5	23.0	32.8	2496.9						7	11	11	11			
平均	1008.1	1013.6	2,097	171	49	16.7	20.1	13.6	33.4	-1.7	72.6	17.1	4.88	22.9	38.1	2295.8	15.0	0	0	0	6.4	4	22	18	18			

【月毎の気象データ】

2013年	気圧(hPa)		降水量(mm)			気温(°C)			湿度(%)			風向・風速(m/s)			日照		全天日射量			雪(寒候年・cm)			雲量			大気現象		
	現地	海面	合計	最大	1時間	平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最小	最大	最大瞬間	時間	(MJ/m ²)	平均	降雪	日合計の最大	最深積雪	平均	霧日数	雪日数	雷日数				
	平均	平均	10分間	日	10分間	日平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最小	最大	最大瞬間	(h)	平均	合計	合計	日合計		平均	(寒候年)						
1	1011.8	1017.6	67	48	7	6.0	10.2	2.3	14.4	-1.4	56.0	17.0	6	15.0	24.2	238.5						0	0	0	0			
2	1011.8	1017.6	90	21	5	6.6	10.4	2.7	16.1	-1.7	59.0	17.0	6.1	14.6	23.5	179.6						6	0	0	0			
3	1008.2	1013.8	61	25	20	11.2	16.5	7.6	22.9	0.9	63.0	23.0	5.5	17.0	25.6	210.5						0	0	0	0			
4	1005.3	1010.8	293	92	27	9	15.1	19.0	10.7	22.2	4.5	64.0	22.0	6.1	18.0	29.2	227.7						0	0	0			
5	1007.1	1012.5	161	100	17	5	18.7	22.2	15.2	24.9	8.6	75.0	29.0	4.1	13.0	19.9	257.8						0	2	0			
6	1004	1009.4	237	70	21	5	21.7	24.6	19.7	28.7	16.6	86.0	54.0	3.7	13.6	20.7	116.7						0	0	0			
7	1003.6	1009	28	11	5	4	25.4	28.6	23.4	33.7	20.2	87.0	51.0	4.4	11.2	228.9	208.0						0	6	0			
8	1002.3	1007.6	30	12	12	6	27.9	31.3	25.3	35.1	20.9	84.0	53.0	3.5	10.0	15.4	268.8						0	2	0			
9	1008.2	1013.6	243	69	51	24	25.2	28.3	22.5	31.0	18.3	78.0	34.0	4	23.0	32.8	222.6						0	1	0			
10	1010.4	1015.9	372	108	26	7	21.1	23.9	18.5	28.6	11.8	77.0	31.0	4.6	17.8	30.4	159.6						0	0	0			
11	1010.7	1016.4	173	47	27	14	13.4	17.0	9.9	22.5	3.2	66.0	25.0	5.3	16.2	22.9	196.0						0	0	0			
12	1008.8	1014.5	42	17	11	5	8.2	11.8	4.5	16.1	0.4	60	24	6.2	14.8	22.6	211.1						0	0	0			

表 6.3.3-6 気象データ：愛媛県 伊方町（瀬戸町）

* 気象データは気象庁HP(日射データはNEDOのHP)より入手

■ 気象データ
愛媛県・伊方町（瀬戸）
【年毎の気象データ】

年	気圧(hPa)		降水量(mm)		気温(°C)			湿度(%)		風向・風速(m/s)			日照		雪(寒候年・cm)			大気現象		
	現地	海面	合計	最大	平均	最高	最低	最高	最低	平均	最大瞬間	最大瞬間	時間	日照	降雪	最深積雪	平均	雪日数	霧日数	雷日数
	平均	平均	日	1時間	10分間	日最高	日最低	日最高	日最低	平均	風速	風速	(h)	(MJ/m ²)	合計	日合計の最大		(寒候年)		
2004			1,630	145	40	16.7	19.5	14.3	32.4	-4.2	4.6	43.0	2047.4							
2005			1,188	85	42	15.8	18.7	13.4	32.3	-3.7	4.6	32.0	1915.3							
2006			1,940	110	29	16.0	18.6	13.8	32.9	-0.3	4.4	32.0	1762.7							
2007			1,370	130	32	16.6	19.3	14.4	33.1	0.1	4.3	30.0	2106.7							
2008			1,578	56	50	16.0	18.5	13.8	34.3	0.0	4.3	19.0	1989.4							
2009			1,324	106	27	16.1	18.9	13.9	31.7	-1.3	4.4	26.3	32.8	2028.9						
2010			1,430	108	38	16.2	19.0	13.8	33.1	-2.0	4.7	26.5	32.6	1992.7						
2011			1,702	108	31	15.8	18.3	13.6	31.3	-3.7	4.5	22.7	29.8	1876.2						
2012			1,896	103	53	15.5	18.2	13.3	31.6	-3.2	4.5	25.5	33.1	1854.4						
2013			1,516	122	25	16.0	18.8	13.6	34.3	-1.1	4.1	23.3	31.4	2107.1						
平均			1,557	107	37	16.1	18.8	13.8	32.7	-1.9	4.4	28.0	31.9	1968.1						

【月毎の気象データ】

2013年	気圧(hPa)		降水量(mm)		気温(°C)			湿度(%)		風向・風速(m/s)			日照		雪(寒候年・cm)			大気現象		
	現地	海面	合計	最大	平均	最高	最低	最高	最低	平均	最大瞬間	最大瞬間	時間	(MJ/m ²)	降雪	最深積雪	平均	雪日数	霧日数	雷日数
	平均	平均	日	1時間	10分間	日最高	日最低	日最高	日最低	平均	風速	風速	(h)		合計	日合計の最大		(寒候年)		
1			67	24	6	2	5.8	8.1	3.5	12.9	-0.6	3.8	13.4	21.9	124.5					
2			119	25	8	3	6.8	9.0	4.5	15.2	-1.1	4.3	16.6	21.4	125.0					
3			93	25	16	11	10.6	13.8	7.6	21.9	3.1	4.3	23.3	28.9	195.4					
4			106	31	11	4	12.7	16.2	9.8	22.1	5.9	4.8	21.2	27.6	220.1					
5			60	26	6	3	17.9	21.6	14.8	25.5	8.9	4.6	18.5	24.6	253.4					
6			251	66	21	6	20.7	23.7	18.6	28.2	14.7	3.5	13.4	17.2	107.8					
7			91	47	16	9	25.8	29.3	23.6	33.2	18.7	5.0	16.9	21.2	228.6					
8			70	25	11	6	27.1	30.5	24.6	34.3	20.7	4.2	19.4	25.3	228.9					
9			214	78	25	10	22.9	25.8	20.8	29.7	18.0	3.3	11.4	22.5	206.4					
10			321	122	20	8	19.5	21.7	17.6	27.7	12.9	3.2	23.3	31.4	146.0					
11			61	18	11	7	13.5	15.8	11.2	21.1	3.6	4.3	22.8	30.2	131.4					
12			66	23	5	2	8.2	10.1	6.3	14.1	0.8	4.2	16.2	24.3	102.0					

表 6.3.3-7 気象データ：鹿児島県 薩摩川内市

* 気象データは気象庁HP(日射データはNEDOのHP)より入手

■ 気象データ
鹿児島県：薩摩川内市
【年毎の気象データ】

年	気圧(hPa)		降水量(mm)			気温(°C)			湿度(%)			風向・風速(m/s)			日照		全天日射量(MJ/m ²)			雪(寒候年・cm)			大気現象		
	現地	海面	合計	最大	日	平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最小	最大	平均	最大瞬間	時間	平均	降雪	最深積雪	平均	雪日数	霧日数	雷日数		
	平均	平均	10分間	1時間	1時間	日平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最小	最大	平均	最大瞬間	(h)	平均	合計	日合計の最大	(寒候年)					
2004					59	17.6	23.0	12.9	36.5	-3.3				2.0	23.0	1864.3									
2005					53	16.8	21.9	12.5	35.3	-3.1				1.9	15.0	1649.1									
2006					45	17.5	22.6	13.2	36.4	-3.9				2.0	19.0	1652.8									
2007					57	17.7	22.8	13.0	35.7	-4.0				1.9	12.0	1826.2									
2008					76	18	22.1	12.6	35.9	-4.4				1.8	11.1	1784.7									
2009					45	22	17.2	22.6	12.6	35.2	-2.5			1.8	9.3	174	1870.0								
2010					69	21	17.2	22.1	13.0	35.6	-3.0			1.9	11.5	21.2	1697.6								
2011					30	17	16.6	21.5	12.3	34.7	-3.5			1.9	11.2	18.7	1690.6								
2012					62	19	16.3	21.3	12.1	34.9	-5.6			1.9	12.7	25.2	1632.4								
2013					34	11	17.0	22.3	12.4	36.8	-4.2			1.9	12.3	19.2	1978.0								
平均					53	18	17.1	22.2	12.7	35.7	-3.8			1.9	13.7	20.1	1764.6								

【月毎の気象データ】

2013年	気圧(hPa)		降水量(mm)			気温(°C)			湿度(%)			風向・風速(m/s)			日照		全天日射量(MJ/m ²)			大気現象			
	現地	海面	合計	最大	日	平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最小	最大	平均	最大瞬間	時間	平均	降雪	最深積雪	平均	雪日数	霧日数	雷日数
	平均	平均	10分間	1時間	1時間	日平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最小	最大	平均	最大瞬間	(h)	平均	合計	日合計の最大	(寒候年)			
1			67.5	35	13	5	5.6	11.1	0.7	19.0	-4.2			1.6	7.6	14.8	137.5						
2			207	63	18	9	7.9	12.9	2.8	21.7	-2.0			1.8	7.2	13.9	135.1						
3			103	31	13	7	11.8	17.9	6.1	23.7	-0.3			1.9	9.1	15.4	163.2						
4			134	39	12	8	14.5	19.9	8.9	26.2	2.6			2.4	11.6	19.1	204.0						
5			81	44	12	4	19.6	25.6	14.4	30.4	7.2			2.0	8.3	16.3	219.8						
6			394	85	34	10	23.4	27.1	20.6	31.5	16.8			1.9	12.3	19.2	64.7						
7			19	5	4	3	28.0	32.3	24.6	34.8	22.2			2.1	7.0	14.6	199.8						
8			186	61	22	9	24.5	33.5	24.7	36.8	20.4			2.1	6.9	12.9	228.9						
9			260	80	28	11	28.8	30.5	19.8	33.3	14.7			1.7	7.8	17.8	219.7						
10			108	38	12	7	20.3	26.2	15.4	31.9	8.0			1.7	8.6	16.5	185.4						
11			181	39	23	10	12.6	18.0	7.9	25.6	1.2			1.5	7.0	13.8	123.1						
12			122	33	11	3	7.1	12.2	2.8	16.6	-1.2			1.6	7.9	16.9	96.8						

表 6.3.3-8 気象データ：沖縄県 石垣島

* 気象データは気象庁HP(日射データはNEDOのHP)より入手

■気象データ
沖縄県・石垣島

【年毎の気象データ】

年	気圧(hPa)		降水量(mm)		気温(°C)			湿度(%)		風向・風速(m/s)		日照		全天日射量(MJ/m ²)		雪(寒候年・cm)		大気現象			
	現地	海面	合計	最大	平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最大	最大瞬間	時間	降雪	降雪	最深積雪	平均	雪日数	霧日数	雷日数	
	平均	平均	10分間	1時間	日平均	日最低	日最高	日平均	日最低	風速	風速	(h)	平均	合計	日合計の最大		(寒候年)				
2004	1012.1	1013.1	1,890	204	19	26.9	22.0	34.1	10.5	71.0	31.0	5.3	34.3	56.0	1947.5	16.0		6.9	0	0	12
2005	1012.3	1013.6	2,329	205	71	21	24.1	26.8	9.7	75.0	32.0	5.6	34.1	59.1	1725.6	14.7		7.2	0	0	22
2006	1011.8	1013.1	1,906	139	58	18	24.6	27.3	22.5	35.3	11.2	76.0	33.0	5.2	48.2	67.0	1635.5	15.0	7.5	0	27
2007	1011.7	1013.0	2,270	234	56	21	24.8	27.5	22.8	34.8	11.8	73.0	36.0	5.5	37.2	59.6	1759.0	15.6	7.3	0	24
2008	1012.2	1013.5	2,331	191	85	22	24.5	27.2	22.3	34.1	12.1	74.0	33.0	5.2	30.6	46.6	1795.3	15.4	7.3	0	27
2009	1011.2	1012.9	1,689	142	54	19	24.6	27.4	22.5	35.1	11.0	73.0	27.0	5.3	26.9	40.6	1984.1	17.2	6.9	0	26
2010	1011.9	1013.6	2,807	242	94	23	24.6	27.2	22.5	34.2	11.3	76.0	36.0	5.3	33.6	52.1	1719.5	15.1	7.7	0	24
2011	1011.7	1013.5	1,850	229	64	20	24.1	26.7	22.1	34.3	10.2	75.0	35.0	5.3	25.8	40.4	1585.7	14.7	7.9	0	15
2012	1010.6	1012.3	2,070	314	62	29	24.3	26.9	22.3	33.5	12.5	78.0	37.0	5.6	32.8	50.6	1618.7	14.8	7.8	0	18
2013	1011.6	1013.3	2,161	255	94	33	24.5	27.3	22.4	34.5	12.5	78.0	38.0	5.4	41.1	59.0	1831.1	15.5	7.4	0	21
平均	1011.7	1013.2	2,130	215	70	22	24.4	27.1	22.3	34.4	11.3	74.9	33.8	5.37	34.5	53.1	1760.2	15.4	7.4	0	21.6

【月毎の気象データ】

2013年	気圧(hPa)		降水量(mm)		気温(°C)			湿度(%)		風向・風速(m/s)		日照		全天日射量(MJ/m ²)		雪(寒候年・cm)		大気現象			
	現地	海面	合計	最大	平均	日最高	日最低	最高	最低	平均	最大	最大瞬間	時間	降雪	降雪	最深積雪	平均	雪日数	霧日数	雷日数	
	平均	平均	10分間	1時間	日平均	日最高	日最低	日平均	日最低	風速	風速	(h)	平均	合計	日合計の最大		(寒候年)				
1	1018.4	1020.2	72	35	26	15	18.7	21.6	16.3	25.6	12.5	74.0	38.0	5.6	15.5	23.8	96.1	10.1		0	0
2	1017.4	1019.1	91	56	35	10	21.2	24.0	19.1	26.7	15.9	78.0	50.0	5.6	12.0	18.2	114.7	13		0	0
3	1014.5	1016.3	377	255	94	33	22.0	24.9	19.6	28.3	14.2	77.0	41.0	4.9	16.3	24.1	133.0	14.8		0	4
4	1011.6	1013.3	202	61	49	19	22.3	24.8	20.1	28.3	14.5	80.0	44.0	4.6	15.6	22.9	73.7	12.4		0	5
5	1008.5	1010.2	114	57	28	14	26.0	28.8	24.0	32.1	17.4	82.0	51.0	4.3	10.8	18.4	144.8	17.9		0	2
6	1005.7	1007.4	309	178	72	15	29.2	32.0	27.2	33.1	23.8	82.0	53.0	5.1	13.5	19.5	220.9	22.1		0	5
7	1007.7	1009.4	220	111	59	12	29.5	32.1	27.6	33.9	24.9	79.0	54.0	5.8	41.1	228.9	283.5	24.3		0	2
8	1005.1	1006.8	201	59	38	16	29.7	32.5	27.5	34.5	25.0	80.0	55.0	5.6	19.5	28.7	224.4	20.4		0	1
9	1007.5	1009.2	62	16	16	7	28.5	31.7	26.3	33.4	24.1	78.0	49.0	5.2	14.7	21.0	208.4	19.8		0	1
10	1009.7	1011.4	92	25	11	8	25.7	28.6	23.7	32.6	19.5	73.0	39.0	6.7	23.7	34.0	159.3	14.4		0	0
11	1016.5	1018.2	95	58	23	9	22.6	25.1	20.7	29.0	13.2	75.0	40.0	5.5	12.5	19.8	111.2	10.9		0	1
12	1016.7	1018.4	329	74	25	12	18.7	20.9	16.7	25.6	13.4	74	41	5.7	12.9	18.0	61.1	6.3		0	0

6.3.3.2 気象データからの賦存エネルギー予測

気象データより各地点の賦存エネルギーを算定した。

(1) 電力の調達手段

電源インフラのない場所で無人計測システムを稼働する為には、設置場所周囲の自然環境から賦存エネルギーを得て電力に変換し、本システム用の電源とする必要がある。

電力を得る為に利用する賦存エネルギーは、設置地点（地域）のどこでも利用することが可能な“太陽光”と“風力”とした。

(2) 賦存エネルギーの算定手順

- ①無人計測システムの設置地点（地域）の賦存エネルギーを気象データから算定する。関係する気象データは日射量、風速、気温である。
- ②賦存エネルギーの算出は太陽光、風力とする。直近の2013年のデータを使用し、月毎・年平均で算出する。
- ③賦存エネルギーの単位は太陽光、風力ともに $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ とする。2つのエネルギー量の比較を容易にするため単位を揃える。

【計算式】

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

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

$\delta 0$: 気体の基準密度 : $1.185 \text{kg}/\text{m}^3$ (25°C)

$T1$: 気体の温度 $^\circ\text{C}$ → 月毎の気温を参照

絶対温度 : 273.2°C

標準大気圧 : 101.3

$P1$: 気体の圧力 kPa → 0 として計算”

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

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

(3) 各地点の賦存エネルギー予測

地点 8ヶ所について、風力・太陽光それぞれの賦存エネルギーの月毎および年平均値の算出結果を表 6.3.3-9 に、1日当たりの賦存エネルギーを表 6.3.3-10 に示す。

表 6.3.3-9 気象データからの賦存エネルギーの予測 (全国 8 ヶ所)

■ 気象データ

※ 気象データは気象庁 HP (日射データは NEDO の HP) より入手

北海道	青森県	福島県	新潟県	愛媛県	鹿児島県	沖縄県
(2004年～2013年) 平均	むつ市	広野町	柏崎市	伊方町(瀬戸)	薩摩川内市	石垣島
気温						
最高	33.7 °C	34.8 °C	35.6 °C	32.7 °C	35.7 °C	34.4 °C
平均	9.7 °C	13.1 °C	13.4 °C	16.1 °C	17.1 °C	24.4 °C
最低	-22.5 °C	-16.4 °C	-6.7 °C	-1.7 °C	-3.8 °C	11.3 °C
風速						
瞬間	28.5 m/s	28.5 m/s	26.2 m/s	31.9 m/s	20.1 m/s	53.1 m/s
最大	15.0 m/s	13.8 m/s	12.6 m/s	28.0 m/s	13.7 m/s	34.5 m/s
平均	2.6 m/s	1.5 m/s	2.3 m/s	4.4 m/s	1.9 m/s	5.4 m/s
年間	1242.5 mm	1640.0 mm	2438.9 mm	1557.2 mm	2269.1 mm	2130.0 mm
年間	476.5 mm	mm	310.3 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm
年間	92.5 mm	mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm
年間	1,113 kWh/m ²	1,267 kWh/m ²	1,197.8 kWh/m ²	1,357 kWh/m ²	1,314 kWh/m ²	1,522 kWh/m ²
雷			180			216

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

■ 賦存エネルギー

(2013年)

月	賦存エネルギー															
	風速	風力														
月	m/s	kWh/m ² ・day														
1	3.5	-7.8	0.63	1.21	2.5	-2.9	0.22	1.46	1.6	1.9	0.06	2.35	3.4	1.8	0.56	1.34
2	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
3	5.6	-2.5	2.52	3.43	3.5	1.8	0.61	3.41	2.5	7.9	0.22	3.64	2.8	5.7	0.31	3.06
4	4.5	3.7	1.28	4.11	3.4	7.1	0.54	4.48	2.1	10.6	0.13	4.44	3.1	9.8	0.41	4.43
5	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
6	3.2	14.1	0.44	4.88	2.3	16.3	0.16	4.85	0.9	17.9	0.01	4.24	1.9	21.2	0.09	4.88
7	3.0	19.9	0.36	4.45	2.2	20.2	0.14	4.26	1.0	21.9	0.01	4.26	2.1	24.9	0.12	4.69
8	3.3	19.9	0.48	3.85	2.1	23.1	0.12	4.02	1.1	24.9	0.02	4.46	1.9	26.2	0.09	4.94
9	3.5	16.0	0.58	3.51	2.1	19.2	0.12	3.44	1.0	21.3	0.01	3.29	1.9	21.5	0.09	3.50
10	3.8	10.1	0.75	2.24	2.4	13.6	0.19	2.83	1.2	17.0	0.02	2.80	2.2	17.6	0.14	2.72
11	4.1	3.6	0.97	1.15	2.8	6.8	0.30	1.71	1.7	10.6	0.07	2.29	3.1	9.7	0.41	1.72
12	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
平均	3.9	6.3	0.88	3.05	2.6	9.7	0.27	3.25	1.6	13.1	0.07	3.47	2.6	13.4	0.30	3.28

《計算式》

- * 風力のエネルギー密度 = $1/2 \times \text{空気密度}(\delta) \times \text{風速}^3$
- * 空気の密度 $(\delta) = \delta_0 \times 273.2 / (273.2 + T) \times (101.3 + P) / 101.3$
- δ_0 : 気体の基準密度: 1.185 kg/m³(25°C)
- T : 気体の温度 °C → 月毎の気温を参照
- 273 : 絶対温度
- 101.3 : 標準気圧
- P : 気体の圧力 kPa → 0 として計算
- * 風力の賦存エネルギー = 風力のエネルギー密度 × 24時間
- * 太陽光の賦存エネルギー = 日射量(NEDOの日射量データベースを参照)

表 6.3.3-10 地域ごとの1日当たりの賦存エネルギー（全国8ヶ所）

地域	風力賦存エネルギー kWh/m ² ・day	太陽光賦存エネルギー kWh/m ² ・day
北海道：幌延町（豊富）	0.88	3.05
青森県：むつ市	0.27	3.25
福島県：広野町	0.07	3.47
新潟県：柏崎市	0.30	3.28
静岡県：御前崎市	1.85	4.00
愛媛県：伊方町（瀬戸）	0.99	3.71
鹿児島県：薩摩川内市	0.09	3.60
沖縄県：石垣島	2.11	4.16

《計算式》

* 風力賦存エネルギー（日平均） = 風力エネルギー密度 × 24

* 太陽光賦存エネルギー（日平均） = 日射量

表 6.3.3-10 を図示したものが図 6.3.3-1 である。本図から、設置地点の太陽光、風力の賦存エネルギーをもとに、太陽光／風力／太陽光＋風力のハイブリッドおよびバッテリー容量の大小に関する概略の組合せを推定することができる。

北海道（幌延）は太陽光、風力ともに少ないながらも発電可能な賦存エネルギーを有しており、適用する発電設備としては“太陽光＋風力のハイブリッド”に加えて大容量のバッテリーを組み合わせる必要があることが推定できる。青森県（むつ）、新潟県（柏崎）、福島県（広野）および鹿児島県（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”の組合せが望ましいと推定できる。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多いことから発電設備としては“太陽光＋小容量バッテリー”または“風力＋小容量バッテリー”で十分な電力が得られるものと推定できる。

8 地点の月毎の太陽光・風力それぞれの賦存エネルギーを図 6.3.3-2 に示す。太陽光は季節的な日射量変化がどの地点でも表れている。これに対して風力は季節的な変化が大きな地点と小さい地点があることがわかる。システムの電源の実施設計を行う際は、このような地点固有の気象特性に配慮することが重要である。

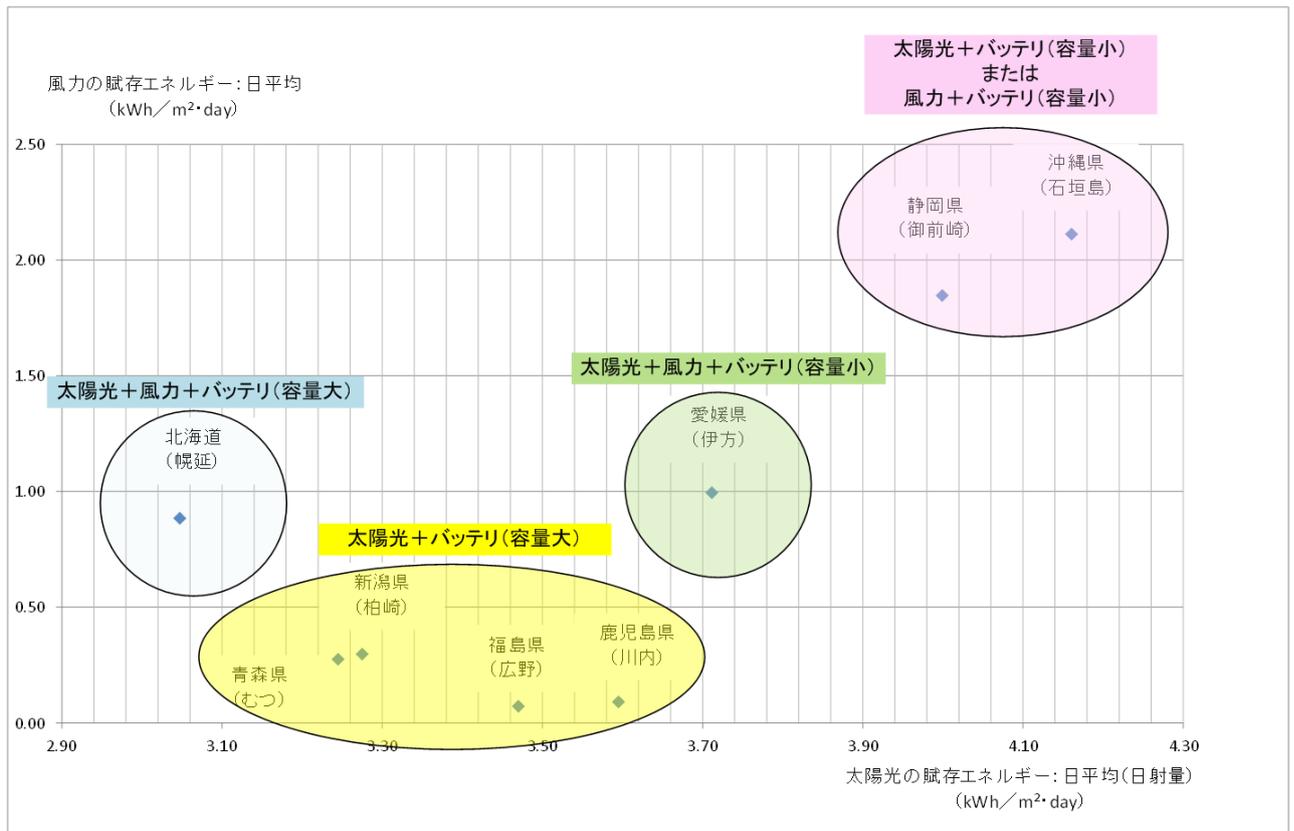


図 6. 3. 3-1 設置地点別の発電機設備の構成

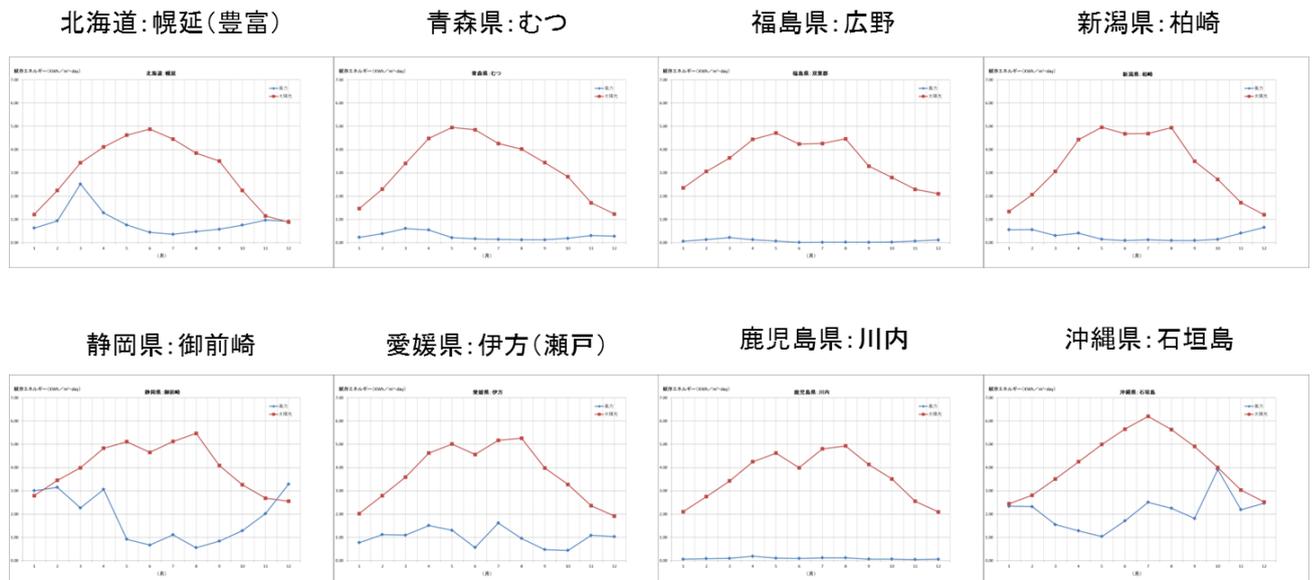


図 6. 3. 3-2 月毎の賦存エネルギー (全国 8ヶ所 ; 2013 年)

6.3.4 発電設備の検討

6.3.4.1 発電設備選定条件

電装品の消費電力からどの程度の発電設備が必要とされるか検討を行った。それぞれのパラメータは次のとおりとする。

【通信】

- ・衛星通信利用
- ・3G/4G 利用

【運転条件】

- ・連続運転
- ・間欠運転（計測周期 1 分、通信周期 10 分）

【発電設備】

- ・風力発電（水平軸、垂直軸）
- ・太陽光発電（結晶、薄膜）

上記のパラメータでそれぞれの発電設備の規模（風力：羽の面積、太陽光：パネルの面積）を算定した。

6.3.4.2 発電に必要な容量

(1) 計算式

①風力発電の場合の計算式

$$\begin{aligned} \bullet \text{発電量 (kWh/m}^2 \cdot \text{day)} &= 1/2 \times \text{空気密度 (kg/m}^3) \times \text{風速 (m/s)}^3 \times \text{受風} \\ &\quad \text{面積 (m}^2) \times \text{パワー係数} \\ &= \text{賦存エネルギー} \times \text{受風面積 (m}^2) \times \text{パワー係数} \end{aligned}$$

$$\bullet \text{必要面積 (m}^2) = \text{必要電力量} \div \text{発電量}$$

風力発電	パワー係数		備考
	%		
<水平軸風車>	40		プロペラ型
<垂直軸風車>	30		ジャイロミル型

②太陽光発電の場合の計算式

- 発電量 (kWh/m²・day) = 日射量 (kWh/m²) × 太陽電池容量 (kWh) × システム出力係数
 - = 賦存エネルギー × 太陽電池容量 (kWh) × システム出力係数
 - = 賦存エネルギー × 変換効率 × 受光面積 (m²) × システム出力係数
-
- 必要面積 (m²) = 必要電力量 ÷ 発電量

太陽光発電	変換効率	システム出力係数	備考
	%	%	
<結晶>	14.4	80	
<薄膜>	10.6	80	

風力発電量と太陽光発電量の求め方を表 6.3.4-1 と表 6.3.4-2 に示す。

表 6.3.4-1 風力発電量の求め方

$$\text{発電量(kWh)} = \frac{1}{2} \times \text{空気密度(kg/m}^3\text{)} \times \text{風速(m/s)}^3 \times \text{受風面積(m}^2\text{)} \times \text{パワー係数}$$

* デイメンジョンは $W = \text{J/s} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$

用語	定義	単位	パラメータ
空気密度	1立方メートルの空気が有する質量	kg/m ³	温度・気圧
	<空気密度の求め方> $\text{空気密度}(\rho) = \rho_0 \times 273.2 / (273.2 + T1) \times (101.3 + P1) / 101.3$ ρ_0 : 気体の基準密度 : 1.293kg/m ³ $T1$: 気体の温度 °C $P1$: 気体の圧力 kPa 空気密度ρ は日本の平地(1気圧、気温15°C)で、平均値1.225kg/m ³		
風速	地上約10メートルの高さにおける10分間の平均風速を表す。 <風速の求め方> 1. 気象庁の過去の気象データベースにアクセスする。 http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php 2. 都道府県、地点を選択する。 3. 年毎、月毎の風速を参照する。	m/s	地域、季節
受風面積	風車が風を受ける面積	m ²	風車の種類、大きさ
	<水平軸風車> ・羽根の長さを直径とする円の面積 <垂直軸風車> ・風車の直径 × 翼の高さ		
パワー計数	風車の受風面積から得られる風のパワーを基準にして、風車から取り出せるパワーとの割合を示す。	0~1	風車の種類
	<水平軸風車> 0.40 プロペラ型 <垂直軸風車> 0.30 ジャイロミル型		

表 6.3.4-2 太陽光発電量の求め方



$$\text{発電量(kWh)} = \text{日射量(kWh/m}^2\text{)} \times \text{太陽電池容量(kWh/at日射量1kWh/m}^2\text{)} \times \text{システム出力係数}$$

注) デイメンジョンが合わないのは太陽電池容量の実際の単位がkWh/at日射量1kWh/m²の為

用語	定義	単位	パラメータ
日射量	単位面積当たりに単位時間に太陽から入射する放射エネルギー	kWh/m ²	地域、季節
	<日射量の求め方> 1. NEDOの日射量データベースにアクセスする。 http://app7.infoc.nedo.go.jp/ 2. 年間月別日射量データベース(MONSOLA-11)を選択する。 3. 「エリア」「地点」を選択し、グラフを表示する。 4. 「データ一覧表」を表示する。 5. 設置する方位角 傾斜角に基づいて、日射量を参照する。		
太陽電池容量	太陽電池パネルの公称最大出力の総和	kWh	太陽電池の種類、数
	・日射量が1kWh/m ² の時の発電量kWhを表す。 ・公称最大出力 = 変換効率 × パネル面積		
システム出力係数	温度による変換効率の損失率	0~1	太陽電池の種類、季節
	<太陽電池の種類による影響> ・太陽電池パネルの最大出力温度係数(%/°C)に依存する。 ・シリコン単結晶:0.45%/°C、化合物薄膜(CIS):0.30%/°C <季節(温度)による影響> ・ 夏: 0.8 春秋: 0.85 冬: 0.9		

(2) 発電機に必要な規模

北海道：幌延を例に上位通信形態として“衛星通信利用”と“3G/4G 利用”それぞれについて“連続運転”と“間欠運転”のパターンでの必要電力量とこれに対する風力・太陽光の賦存エネルギーから必要電力量を得るに必要な風力・太陽光各発電設備の規模を算出した。

結果を表 6.3.4-3 に示す。

表 6.3.4-3 発電設備の規模算出

■発電設備の規模の検討 (北海道:幌延)		賦存エネルギー kWh/m ² ・day		発電量 kWh/m ² ・day							
		風力	太陽光	風力				太陽光			
				水平軸	垂直軸	結晶	薄膜				
		0.88	3.05	0.35	0.27	0.35	0.26				
通信形態	運転条件	消費電力 W	必要電力量 kWh・day	必要面積 m ²	直径 m	必要面積 m ²	直径 長さ1m仮定 m	必要面積 m ²	辺の長さ m	必要面積	辺の長さ
衛星通信利用	連続運転	28.11	0.675	1.91	1.56	2.54	1.80	1.92	1.39	2.61	1.62
	間欠運転	2.81	0.067	0.19	0.49	0.25	0.57	0.19	0.44	0.26	0.51
3G/4G利用	連続運転	20.01	0.480	1.36	1.32	1.81	1.52	1.37	1.17	1.86	1.36
	間欠運転	2.00	0.048	0.14	0.42	0.18	0.48	0.14	0.37	0.19	0.43

風力発電により必要な電力量を供給する場合、風力発電機に求められる羽の面積から発電機の概略の大きさが推定できる。連続運転の場合、衛星通信・3G/4G 通信ともに風力発電では、水平軸（プロペラ型）で最大直径 1.56m が必要となる。垂直軸（ジャイロミル型）では最大直径 1.80m が必要となる。同様に太陽光発電により必要な電力量を供給する場合には、太陽光発電パネルとして、薄膜タイプで最大 1 辺の長さが 1.62m 必要となる。

間欠運転の場合には必要電力量が連続運転に比べて約十分の一となり、必要な発電設備規模も小さくすることができる。

(3) 発電機製品の選定

発電設備規模の検討結果をもとに、市販されている風力発電機の中から発電量予測に使用するモデル発電機を選定を行った。

北海道：幌延に適合する風力発電機の候補として調査した製品およびそれらの仕様は表 6.3.4-4 に示すとおりである。この表に掲げた製品候補から、太陽光発電と組み合わせたハイブリット発電の親和性および市場からの調達容易性を考慮して、種類（垂直型と水平型）の異なる風力発電機をそれぞれ一機種ずつ選定した。

表 6.3.4-4 風力発電機の製品候補

*一般社団法人 日本小形風力発電協会の会員企業

メーカー	風力発電										太陽光		その他		
	種類	型式	ブレード直径 mm	ブレード長さ mm	カットイン周速 m/s	カットアウト周速 m/s	最大風速 m/s	定格出力 W	定格出力風速 m/s	パワー係数 25℃	種類	公称最大出力 W	蓄電池容量 kWh	使用温度	備考
ゼファー	水平	Z-1000-250	1800		2.5			742	11.0	33.29%	薄膜	120	5.04		検討用
ニッコー	水平	NWG-1K	2000		2.5			1000	12.0	31.11%					
CNOパワーソリューションズ	垂直	DM-00-300	1200	1200	2.5			300	12.0	20.35%					
FUJITAビジネスパートナーズ	垂直	DS-700	1930	1600	3	15	60	700	12.0	22.14%	多結晶	130	2.64		
		DS-300	1240	1060	3	15	60	300	13.5	15.66%	多結晶	130	2.64		街灯用
エネルギープロダクト	垂直	ENEPRO-500	2000	1500	2	21	60	450	10.0	25.32%					

*その他企業

シンフォニアテクノロジー	垂直	WK18-20	1800	2000	2	14	60	1070	13.0	22.83%	結晶	255	2.40	-10~40℃	検討用
		WK-10-12	1000	1200	2.5	12.5	60	300	12	24.42%					

$$\text{発電量 (kWh)} = 1/2 \times \text{空気密度 (kg/m}^3\text{)} \times \text{風速 (m/s)}^3 \times \text{受風面積 (m}^2\text{)} \times \text{パワー係数}$$

空気密度 (25℃) 1.185

選定した機種は、シンフォニアテクノロジー社製のWK18-20（垂直型）とゼファー社製のZ-1000-250（水平型）である。各機種の仕様は図 6.3.4-1 ならびに図 6.3.4-2 に示すとおりである。

■モデル発電機:垂直型風力発電機(シンフォニアテクノロジー社)

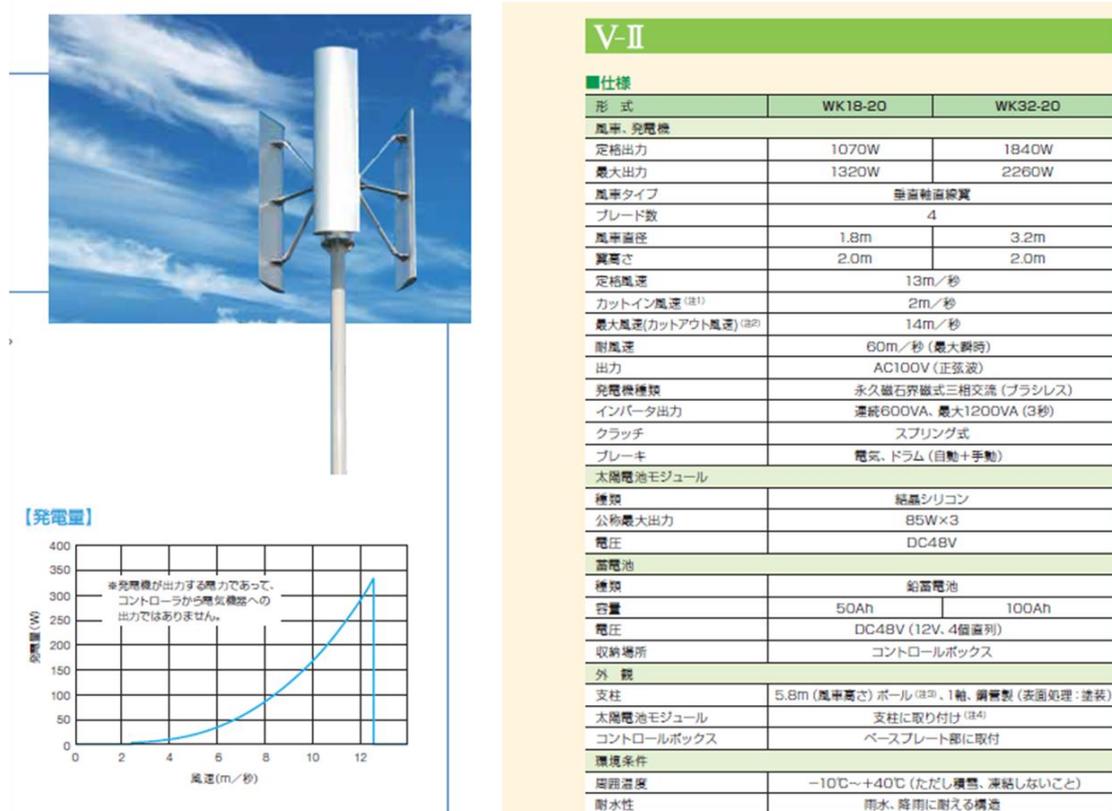


図 6.3.4-1 モデル発電機：垂直型風力発電機（シンフォニアテクノロジー社）仕様

■モデル発電機：水平型風力発電機（ゼファー社）

ゼファー株式会社：エアドルフィンGTO	
品番	Z-1000-250
風車タイプ	水平軸プロペラ式、アップウィンド型
ロータ直径	1800mm
質量	20kg
ブレード数	3枚
カットイン風速	2.5m/s
定格出力	585W ※風速11m/s時



■風力発電機仕様

*ゼファー株式会社のHPより抜粋

ゼファー株式会社：エアドルフィンGTO	
品番	Z-1000-250
風車タイプ	水平軸プロペラ式、アップウィンド型
ロータ直径	1800mm
質量	20kg
ブレード数	3枚
ブレード材質	炭素繊維織布
ボディ素材	アルミダイキャスト
制御方式	1. パワーアシストシステム 2. 最大出力マネジメント 3. 回転数制御 4. 安全制御 5. 通信機能
保護回路	過電力、過回転、過電圧、高温
カットイン風速	2.5m/s
定格出力	585W ※1
風車DC出力	1.1kW (12.5m/s時)、742W (11m/s時)
最大出力回転数	1,280rpm
定格出力電圧	DC260V
通信出力方式	RS-485

■太陽電池仕様

SM-100	
概要	薄膜系太陽電池
最大出力動作電圧	32.4V
概要定格出力	60W
外形寸法	641(W)×1235(L)×35(D)mm
重量	8.5 kg

図 6. 3. 4-2 モデル発電機：水平型風力発電機（ゼファー社）仕様

6.3.4.3 発電量の算定

全国8ヶ所について求めた賦存エネルギー(表6.3.3-9)をもとにモデル発電機として選定した“シンフォニアテクノロジー社”と“ゼファー社”の2機種による発電量(Wh)を算定した。

また、算定した発電量(Wh)より各設置地点における発電設備の組合せ、すなわち“風力のみ”、“太陽光のみ”、“風力+太陽光”の組合せに対する月別の発電量の過不足を調査した。

(1) モデル発電機による発電量

① シンフォニアテクノロジー社発電機による発電量

表 6.3.4-5 シンフォニアテクノロジー社発電機による発電量

2013年 月	北海道 幌延(豊寛)						青森県 むつ市						福島県 双葉郡(広野)						新潟県 柏崎市					
	気温 ℃	風速 m/s	日射 kWh/m ² ・day	風力 wh	太陽光 wh	計	気温 ℃	風速 m/s	日射 kWh/m ² ・day	風力 wh	太陽光 wh	計	気温 ℃	風速 m/s	日射 kWh/m ² ・day	風力 wh	太陽光 wh	計	気温 ℃	風速 m/s	日射 kWh/m ² ・day	風力 wh	太陽光 wh	計
1	-7.8	35	1.21	21.5	11.9	33.4	-2.9	2.5	1.46	7.7	14.1	21.8	1.9	1.6	2.35	2.0	22.2	24.2	1.8	3.4	1.34	19.0	12.7	31.7
2	-7.2	4.0	2.24	32.0	22.0	54.0	-2.2	3.0	2.90	13.2	22.1	35.4	2.5	2.1	3.06	4.5	28.8	33.3	1.6	3.4	2.06	19.0	19.5	38.5
3	-2.5	5.6	3.43	66.2	33.0	119.2	1.8	3.5	3.41	20.7	32.2	53.0	7.9	2.5	3.64	7.4	33.5	40.9	5.7	2.8	3.06	10.5	28.4	38.9
4	3.7	4.5	4.11	43.7	38.5	82.3	7.1	3.4	4.48	18.6	41.4	60.0	10.6	2.1	4.44	4.3	40.4	44.7	9.8	3.1	4.43	14.0	40.4	54.4
5	7.5	3.8	4.62	26.0	42.6	68.6	10.9	2.5	4.95	7.3	45.0	52.3	14.1	1.7	4.71	2.3	42.2	44.4	15.4	2.2	4.96	4.9	44.1	49.0
6	14.1	3.2	4.88	15.2	43.7	58.8	16.3	2.3	4.85	5.6	43.0	48.5	17.9	0.9	4.24	0.3	37.3	37.6	21.2	1.9	4.68	3.1	40.5	43.6
7	19.9	3.0	4.45	12.2	38.8	51.0	20.2	2.2	4.26	4.8	37.1	41.9	21.9	1.0	4.26	0.5	36.8	37.2	24.9	2.1	4.69	4.1	39.9	44.0
8	19.9	3.3	3.85	16.3	33.5	49.8	23.1	2.1	4.02	4.2	34.5	38.6	24.9	1.1	4.46	0.6	37.9	38.5	26.2	1.9	4.94	3.0	41.7	44.8
9	16.0	3.5	3.51	19.7	31.1	50.8	19.2	2.1	3.44	4.2	30.1	34.3	21.3	1.0	3.29	0.5	28.5	28.9	21.5	1.9	3.50	3.1	30.3	33.3
10	10.1	3.8	2.24	25.7	20.4	46.2	13.6	2.4	2.83	6.4	25.4	31.8	17.0	1.2	2.80	0.8	24.7	25.5	17.6	2.2	2.72	4.9	23.9	26.8
11	3.6	4.1	1.15	33.1	10.8	43.9	6.8	2.8	1.71	10.4	15.8	26.2	10.6	1.7	2.29	2.3	20.8	23.1	9.7	3.1	1.72	14.0	15.7	29.7
12	-1.7	4.0	0.88	31.3	8.4	39.8	2.4	2.7	1.23	9.5	11.6	21.1	6.0	2.0	2.10	3.8	19.5	23.3	5.2	3.6	1.20	22.3	11.2	33.4
平均	6.3	3.9	3.0	30.2	27.9	58.1	9.7	2.6	3.2	9.4	29.3	38.7	13.1	1.6	3.5	2.4	31.0	33.5	13.4	2.6	3.3	10.2	29.0	39.2

■ 必要電力以下 ■ 必要電力以上、二倍以下 ■ 必要電力の二倍以上

2013年 月	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 ℃	風速 m/s	日射 kWh/m ² ・day	風力 wh	太陽光 wh	計	気温 ℃	風速 m/s	日射 kWh/m ² ・day	風力 wh	太陽光 wh	計	気温 ℃	風速 m/s	日射 kWh/m ² ・day	風力 wh	太陽光 wh	計	気温 ℃	風速 m/s	日射 kWh/m ² ・day	風力 wh	太陽光 wh	計
1	6.0	6.0	2.79	108.1	27.5	135.6	3.8	3.8	2.02	27.0	19.5	46.5	5.6	1.6	2.10	2.0	19.8	21.8	18.7	5.6	2.44	84.8	23.1	107.9
2	6.6	6.1	3.45	113.4	33.9	147.3	4.1	4.3	2.79	39.0	26.8	65.8	7.9	1.8	2.75	2.8	25.9	28.7	21.2	5.6	2.81	84.9	26.6	111.5
3	12.2	5.5	3.99	81.7	38.4	120.1	9.5	4.3	3.59	38.4	33.9	72.4	11.8	1.9	3.42	3.2	31.5	34.7	22.0	4.9	3.51	56.0	32.6	88.7
4	15.1	6.1	4.83	108.9	45.3	154.2	12.4	4.8	4.62	52.4	42.7	95.1	14.5	2.4	4.25	6.5	38.6	45.1	22.3	4.6	4.25	45.7	38.8	84.5
5	18.7	4.1	5.11	32.6	47.1	79.7	17.6	4.6	5.01	45.5	45.5	91.0	19.6	2.0	4.62	3.7	41.3	45.0	26.0	4.3	4.99	36.6	44.4	81.0
6	21.7	3.7	4.65	23.4	41.6	65.0	22.9	3.5	4.56	19.7	40.4	60.1	23.4	1.9	3.99	3.1	35.1	38.2	29.2	5.1	5.65	59.9	48.9	108.8
7	25.4	4.4	5.12	38.6	44.6	83.2	27.3	5.0	5.17	56.6	45.0	101.6	28.0	2.1	4.80	4.2	41.4	45.6	29.5	5.8	6.20	87.0	52.7	139.7
8	27.9	3.5	5.47	19.4	47.6	67.1	28.3	4.2	5.26	33.2	45.1	78.3	28.5	2.1	4.93	4.1	41.9	46.1	29.7	5.6	5.63	77.9	47.6	125.5
9	25.2	4.0	4.09	29.4	36.3	65.7	23.6	3.3	3.88	16.3	34.8	51.1	24.8	1.7	4.13	2.2	35.7	38.0	28.5	5.2	4.90	63.4	42.4	105.7
10	21.1	4.6	3.26	45.6	29.7	75.4	19.6	3.2	3.27	15.2	29.3	44.5	20.3	1.7	3.51	2.2	31.0	33.2	25.7	6.7	4.00	137.4	35.2	172.6
11	13.4	5.3	2.68	71.5	25.1	96.6	11.8	4.3	2.36	37.7	21.8	59.6	12.6	1.5	2.55	1.6	23.2	24.8	22.6	5.5	3.08	78.1	27.7	105.8
12	8.2	6.2	2.55	116.6	24.5	141.1	6.7	4.2	1.91	35.7	18.0	53.7	7.1	1.6	2.09	1.9	19.4	21.4	18.7	5.7	2.52	88.4	23.5	111.9
平均	16.8	5.0	4.0	65.8	36.8	102.6	15.6	4.1	3.7	34.7	33.6	68.3	17.0	1.9	3.6	3.1	32.1	35.2	24.5	5.4	4.2	75.0	37.0	112.0

■ 必要電力以下 ■ 必要電力以上、二倍以下 ■ 必要電力の二倍以上

【発電機条件】

風力発電機	ブレード直径: 18 m	ブレード長さ: 20 m	パワー係数: 22.8%
太陽電池	公称最大出力: 255 w	ステム計数係数: 80%	温度係数: 0.485%

必要電力	必要電力量	バッテリー余裕	*バッテリー容量 24 kWh	
連続運転	26.11 w	674.58 wh		4 日
間欠運転	2.81 w	67.46 wh		36 日

②ゼファー社発電機による発電量

表 6.3.4-6 ゼファー社発電機による発電量

2013年	北海道 幌延(豊葎)						青森県 むつ市						福島県 双葉郡(広野)						新潟県 柏崎市					
	気温 ℃	風速 m/s	日射 kWh/m ² ・day	風力 wh	太陽光 wh	計	気温 ℃	風速 m/s	日射 kWh/m ² ・day	風力 wh	太陽光 wh	計	気温 ℃	風速 m/s	日射 kWh/m ² ・day	風力 wh	太陽光 wh	計	気温 ℃	風速 m/s	日射 kWh/m ² ・day	風力 wh	太陽光 wh	計
1	-7.8	35	1.21	21.9	5.6	27.6	-2.9	25	1.46	7.9	6.6	14.5	1.9	1.6	2.35	2.0	105	12.5	1.8	3.4	1.34	19.4	6.0	25.4
2	-7.2	4.0	2.24	32.7	10.4	43.0	-2.2	3.0	2.30	13.5	10.4	23.9	2.5	2.1	3.06	4.6	13.6	18.1	1.6	3.4	2.06	19.4	9.2	28.6
3	-2.5	5.6	3.43	88.1	15.5	103.7	1.8	3.5	3.41	21.2	15.2	36.4	7.9	2.5	3.64	7.6	15.8	23.3	5.7	2.8	3.06	10.7	13.4	24.1
4	3.7	4.5	4.11	44.7	18.1	62.8	7.1	3.4	4.48	19.1	19.5	38.5	10.6	2.1	4.44	4.4	19.0	23.4	9.8	3.1	4.43	14.3	19.0	33.3
5	7.5	3.8	4.62	26.6	20.0	46.6	10.9	2.5	4.95	7.5	21.2	28.6	14.1	1.7	4.71	2.3	19.8	22.2	15.4	2.2	4.96	5.0	20.8	25.8
6	14.1	3.2	4.88	15.5	20.6	36.0	16.3	2.3	4.85	5.7	20.2	25.9	17.9	0.9	4.24	0.3	17.5	17.9	21.2	1.9	4.68	3.2	19.1	22.2
7	19.9	3.0	4.45	12.5	18.2	30.8	20.2	2.2	4.26	4.9	17.4	22.4	21.9	1.0	4.26	0.5	17.3	17.8	24.9	2.1	4.69	4.2	18.8	23.0
8	19.9	3.3	3.85	16.7	15.8	32.4	23.1	2.1	4.02	4.2	16.2	20.5	24.9	1.1	4.46	0.6	17.8	19.5	26.2	1.9	4.94	3.1	19.6	22.8
9	16.0	3.5	3.51	20.1	14.7	34.8	19.2	2.1	3.44	4.3	14.1	18.5	21.3	1.0	3.29	0.5	13.4	13.9	21.5	1.9	3.50	3.2	14.2	17.4
10	10.1	3.8	2.24	26.3	9.6	35.9	13.6	2.4	2.83	6.5	11.9	18.5	17.0	1.2	2.80	0.8	11.6	12.4	17.6	2.2	2.72	5.0	11.3	16.2
11	3.6	4.1	1.15	33.8	5.1	38.9	6.8	2.8	1.71	10.7	7.4	18.1	10.6	1.7	2.29	2.4	9.8	12.2	9.7	3.1	1.72	14.3	7.4	21.1
12	-1.7	4.0	0.88	32.0	4.0	36.0	2.4	2.7	1.23	9.7	5.5	15.2	6.0	2.0	2.10	3.9	9.2	13.1	5.2	3.6	1.20	22.8	5.3	28.0
平均	6.3	3.9	3.0	30.9	13.1	44.1	9.7	2.6	3.2	9.6	13.8	23.4	13.1	1.6	3.5	2.5	14.6	17.1	13.4	2.6	3.3	10.4	13.7	24.0

■ 必要電力以下 ■ 必要電力以上、二倍以下 ■ 必要電力の二倍以上

2013年	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 ℃	風速 m/s	日射 kWh/m ² ・day	風力 wh	太陽光 wh	計	気温 ℃	風速 m/s	日射 kWh/m ² ・day	風力 wh	太陽光 wh	計	気温 ℃	風速 m/s	日射 kWh/m ² ・day	風力 wh	太陽光 wh	計	気温 ℃	風速 m/s	日射 kWh/m ² ・day	風力 wh	太陽光 wh	計
1	6.0	6.0	2.79	110.6	12.9	123.5	3.8	3.8	2.02	27.6	9.2	36.8	5.6	1.6	2.10	2.0	9.3	11.4	18.7	5.6	2.44	86.8	10.9	97.6
2	6.6	6.1	3.45	115.9	16.0	131.9	4.1	4.3	2.79	39.9	12.6	52.5	7.9	1.8	2.75	2.9	12.2	15.1	21.2	5.6	2.61	86.8	12.5	99.3
3	12.2	5.5	3.99	83.5	18.1	101.6	9.5	4.3	3.59	39.3	16.0	55.3	11.8	1.9	3.42	3.3	14.8	18.1	22.0	4.9	3.51	57.3	15.4	72.7
4	15.1	6.1	4.83	111.4	21.3	132.7	12.4	4.8	4.62	53.6	20.1	73.7	14.5	2.4	4.25	6.6	18.2	24.8	22.3	4.6	4.25	46.7	18.3	65.0
5	18.7	4.1	5.11	33.4	22.2	55.5	17.6	4.6	5.01	46.5	21.4	68.0	19.6	2.0	4.62	3.8	19.5	23.2	26.0	4.3	4.99	37.4	20.9	58.3
6	21.7	3.7	4.65	24.0	19.6	43.5	22.9	3.5	4.56	20.1	19.0	39.1	23.4	1.9	3.99	3.2	16.5	19.7	29.2	5.1	5.65	61.2	23.0	84.2
7	25.4	4.4	5.12	39.5	21.0	60.5	27.3	5.0	5.17	57.9	21.2	79.0	28.0	2.1	4.80	4.3	19.5	23.6	29.5	5.8	6.20	88.9	24.8	113.7
8	27.9	3.5	5.47	19.9	22.4	42.3	28.3	4.2	5.26	34.0	21.2	55.2	28.5	2.1	4.93	4.2	19.7	24.0	29.7	5.6	5.63	79.7	22.4	102.1
9	25.2	4.0	4.09	30.1	17.1	47.1	23.6	3.3	3.98	16.7	16.4	33.1	24.8	1.7	4.13	2.3	16.8	19.1	28.5	5.2	4.90	64.8	19.9	84.8
10	21.1	4.6	3.26	46.7	14.0	60.7	19.6	3.2	3.27	15.5	13.8	29.3	20.3	1.7	3.51	2.3	14.6	16.9	25.7	6.7	4.00	140.5	16.6	157.1
11	13.4	5.3	2.68	73.1	11.8	84.9	11.8	4.3	2.36	38.6	10.3	48.9	12.6	1.5	2.55	1.6	10.9	12.5	22.6	5.5	3.03	79.9	13.0	82.9
12	8.2	6.2	2.55	119.3	11.5	130.8	6.7	4.2	1.91	36.5	8.5	45.0	7.1	1.6	2.08	2.0	9.1	11.1	18.7	5.7	2.52	90.4	11.0	101.4
平均	16.8	5.0	4.0	67.3	17.3	84.6	15.6	4.1	3.7	35.5	15.8	51.3	17.0	1.9	3.6	3.2	15.1	18.3	24.5	5.4	4.2	76.7	17.4	94.1

■ 必要電力以下 ■ 必要電力以上、二倍以下 ■ 必要電力の二倍以上

【発電機条件】

風力発電機	ブレード直径:	18 m	ブレード長さ:		パワー係数:	33.00%
太陽電池	公称最大出力:	120 w	ステム計数係数:	80%	温度係数:	0.465%

	必要電力	必要電力量	バッテリー余裕	*バッテリー容量	504 kWh
連続運転	2811 w	67458 wh	7 日		
間欠運転	2.61 w	67.46 wh	75 日		

(2) 発電量の過不足

北海道：幌延を例に、シンフォニアテクノロジー社発電機を用いた場合の無人計測システムが必要とする電力量に対する発電量の過不足について試算した。シンフォニアテクノロジー社発電機で試算した理由は、カットイン風力（発電開始風力）が低い垂直型風車でありゼファー社に比較して風力発電効率が高いためである。

衛星通信を用いて無人計測システムを連続運転した場合の月別の電力量の過不足の試算結果は表 6.3.4-7 に示すとおりである。また、風力と太陽光の月別に期待できる発電出力(W)と無人計測システムに必要な電力(W)を図 6.3.4-3 に示す。

北海道：幌延の場合、風力と太陽光それぞれ単体では衛星通信連続運転に必要な電力供給ができないが、風力+太陽光のハイブリッドであれば年間通じて連続運転が可能であることが推測できる。

表 6.3.4-7 発電量の過不足（北海道：幌延）

(2013年)	風速	気温	発電エネルギー(任意の発電機)					風力発電のみ			太陽光発電のみ			ハイブリッド		
			風力	太陽光	風力&太陽光	衛星通信連続運転に必要な電力	衛星通信間欠運転に必要な電力	過不足電力量連続運転	不足電力量	余剰電力量	過不足電力量連続運転	不足電力量	余剰電力量	過不足電力量連続運転	不足電力量	余剰電力量
			W	W	W	W	W	kwh	kwh	kwh	kwh	kwh	kwh	kwh	kwh	kwh
月	m/s	°C														
1	3.5	-7.8	21.5	11.9	33.4	28.11	2.81	-4.94	-4.94	0.00	-12.04	-12.04	0.00	3.93	0.00	3.93
2	4.0	-7.2	32.0	22.0	54.0	28.11	2.81	2.59	0.00	2.59	-4.10	-4.10	0.00	17.39	0.00	17.39
3	5.6	-2.5	86.2	33.0	119.2	28.11	2.81	43.22	0.00	43.22	3.67	0.00	3.67	67.80	0.00	67.80
4	4.5	3.7	43.7	38.5	82.3	28.11	2.81	11.24	0.00	11.24	7.51	0.00	7.51	39.00	0.00	39.00
5	3.8	7.5	26.0	42.6	68.6	28.11	2.81	-1.59	-1.59	0.00	10.78	0.00	10.78	30.11	0.00	30.11
6	3.2	14.1	15.2	43.7	58.8	28.11	2.81	-9.33	-9.33	0.00	11.21	0.00	11.21	22.12	0.00	22.12
7	3.0	19.9	12.2	38.8	51.0	28.11	2.81	-11.81	-11.81	0.00	7.93	0.00	7.93	17.03	0.00	17.03
8	3.3	19.9	16.3	33.5	49.8	28.11	2.81	-8.79	-8.79	0.00	4.04	0.00	4.04	16.16	0.00	16.16
9	3.5	16.0	19.7	31.1	50.8	28.11	2.81	-6.06	-6.06	0.00	2.18	0.00	2.18	16.36	0.00	16.36
10	3.8	10.1	25.7	20.4	46.2	28.11	2.81	-1.77	-1.77	0.00	-5.72	-5.72	0.00	13.42	0.00	13.42
11	4.1	3.6	33.1	10.8	43.9	28.11	2.81	3.58	0.00	3.58	-12.47	-12.47	0.00	11.35	0.00	11.35
12	4.0	-1.7	31.3	8.4	39.8	28.11	2.81	2.39	0.00	2.39	-14.63	-14.63	0.00	8.68	0.00	8.68
平均	3.9	6.3	30.2	27.9	58.1	28.11	2.81	18.75	-44.28	63.03	-1.63	-48.96	47.32	263.34	0.00	263.34

システム係数 80%
温度係数 0.485%

必要蓄電量 < 余剰電力量 OK
必要蓄電量 > 余剰電力量 NG

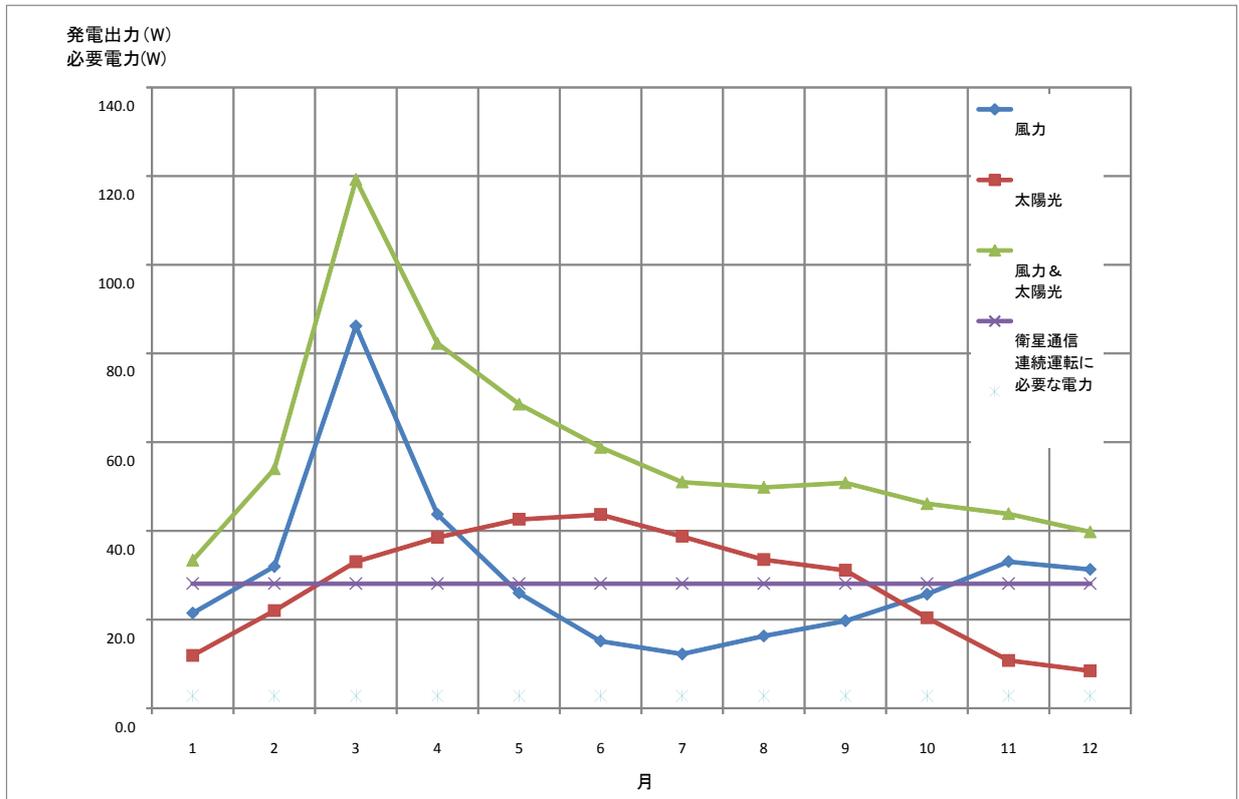


図 6.3.4-3 発電出力とシステム必要電力（北海道：幌延）

6.3.4.4 蓄電池の検討

無人計測システムに適した蓄電池を選定するため、実用化されている代表的な鉛電池、ニッケル水素電池、リチウム電池の3種類を比較検討した。

表 6.3.4-8 蓄電池種類による比較表

	種類		
	鉛電池	ニッケル水素電池	リチウム電池
コンパクト化 エネルギー密度 Wh/Kg	△ 35	○ 60	◎ 200
コスト 円/kWh	5万円	10万円	20万円
安全性	◎	○	△
寿命	17年	5～7年	6～10年
動作温度範囲	-25℃～55℃	-20℃～40℃	-20℃～60℃

*出展元:蓄電池戦略「平成24年7月 経済産業省 蓄電池戦略プロジェクトチーム」
(一部加筆)

【結果】

北海道：幌延を対象とした無人計測システムではとくに大容量の蓄電を必要としないと判断されることから、利用実績、信頼性の観点から鉛電池を採用することが適切である。

6.3.5 幌延 HCD-3 孔向け無人計測システムの試設計

これまでの検討の結果を踏まえて北海道：幌延（幌延 HCD-3 孔）向けの無人計測システムに適用するシステムを試設計した。

システムの運転モードを間欠運転（間欠運転：センサへの電源供給を 1 分毎、上位通信間隔を 10 分毎に行う運転モード）としても計測データ解析上問題は生じないと考えられるため、発電設備をコンパクト化できる間欠運転を設計条件とした。

試設計では発電機の選定を行い、無人計測システムの外観（サイズ）と配線系統図を提示した。

6.3.5.1 発電機の選定

幌延 HCD-3 孔向け無人計測システムの運転モードは間欠運転を基本とし、大きな地震動等のイベント発生時には遠隔監視局から連続計測・制御できる必要最小限の容量を備えた発電機と蓄電池を選定した。

間欠運転によるシステム運用に適合する市販の風力発電機、太陽電池および蓄電池の構成を示すと、表 6.3.5-1 のとおりとなる。

表 6.3.5-1 幌延 HCD-3 孔向け発電機の構成

コンポ	メーカー・型式	容量	サイズ	備考
風力発電機	MARLEC WTR-504	25W	ローター径 510mm	
太陽電池	京セラ KC-125TJ	32W	パネル 517*512*17mm	
蓄電池	GS ユアサ EB-50	12V 50Ah	260*173*225mm 1 個	電池寿命 9 日を想定

連続運転するケース（シンフォニアテクノロジー社ハイブリッド発電機と蓄電池の組合せ）と間欠運転のケースの発電機システム構成を図 6.3.5-1 に示す。間欠運転では必要電力消費量が連続運転の約十分の一であるため、発電機構成がコンパクトになっている。

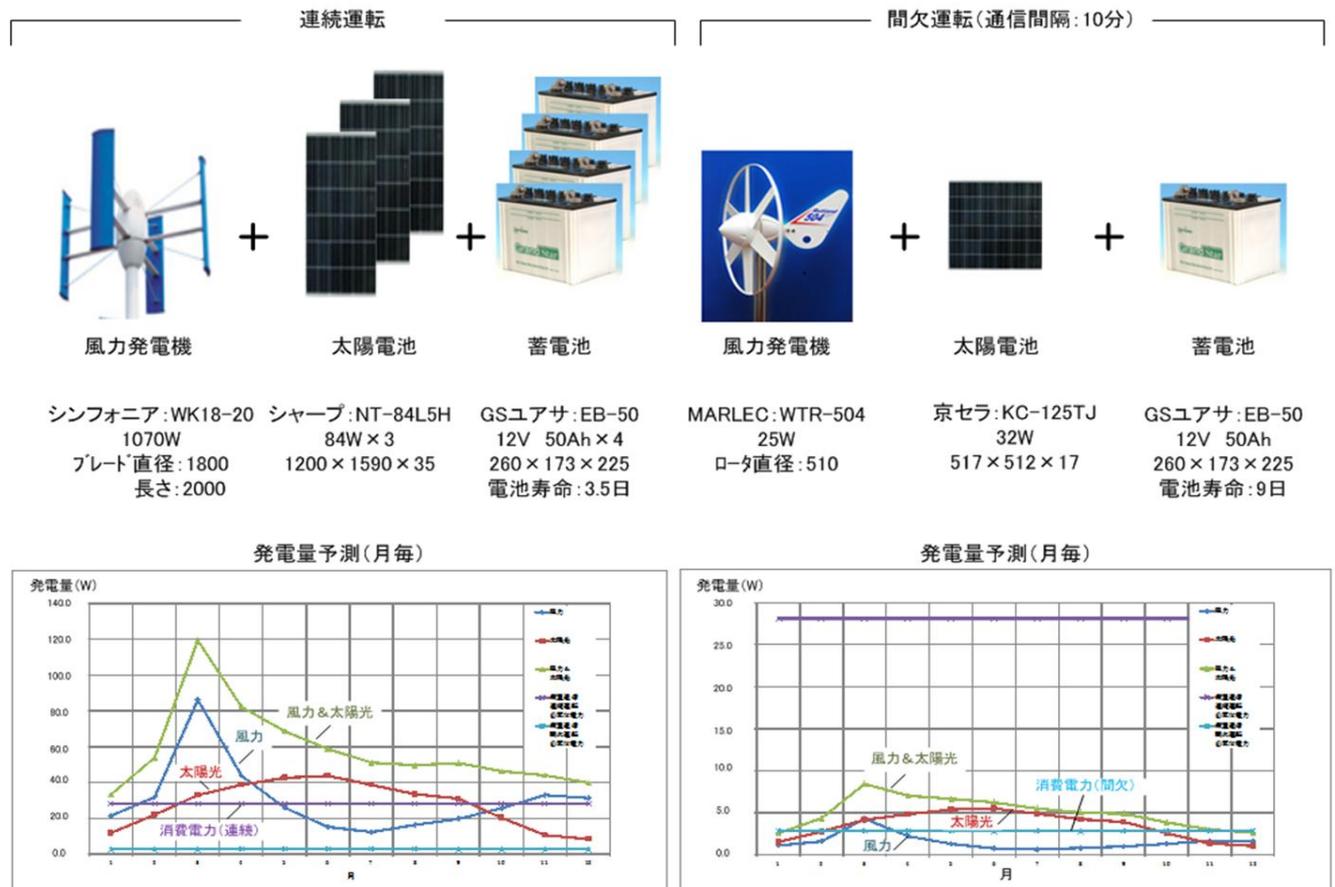


図 6.3.5-1 幌延 HCD-3 孔向け発電機 比較資料

表 6.3.5-2 と図 6.3.5-2 には間欠運転ケースの発電機構成を採用した場合の発電量の過不足を月別に示した。間欠運転ケースでは発電機容量をできるだけ消費電力に近づけているため、冬場の12月と1月の発電量が消費電力より若干下回っている。この期間はバッテリーで補うことでモニタリング計測は可能となるように蓄電池を選定する。

表 6.3.5-2 幌延 HCD-3 孔発電量の過不足

月	風速 m/s	気温 ℃	発電エネルギー(任意の発電機)					風力発電のみ			太陽光発電のみ			ハイブリッド		
			風力	太陽光	風力&太陽光	衛星通信連続運転必要な電力	衛星通信間欠運転必要な電力	過不足電力量連続運転	不足電力量	余剰電力量	過不足電力量連続運転	不足電力量	余剰電力量	過不足電力量連続運転	不足電力量	余剰電力量
			W	W	W	W	W	kwh	kwh	kwh	kwh	kwh	kwh	kwh	kwh	kwh
1	3.5	-7.8	1.1	1.5	2.6	28.11	2.81	-1.30	-1.30	0.00	-0.98	-0.98	0.00	-0.18	-0.18	0.00
2	4.0	-7.2	1.6	2.8	4.4	28.11	2.81	-0.82	-0.82	0.00	-0.03	-0.03	0.00	1.04	0.00	1.04
3	5.6	-2.5	4.3	4.1	8.4	28.11	2.81	1.10	0.00	1.10	0.99	0.00	0.99	4.18	0.00	4.18
4	4.5	3.7	2.2	4.8	7.0	28.11	2.81	-0.46	-0.46	0.00	1.46	0.00	1.46	3.03	0.00	3.03
5	3.8	7.5	1.3	5.3	6.6	28.11	2.81	-1.13	-1.13	0.00	1.89	0.00	1.89	2.85	0.00	2.85
6	3.2	14.1	0.8	5.5	6.2	28.11	2.81	-1.48	-1.48	0.00	1.92	0.00	1.92	2.47	0.00	2.47
7	3.0	19.9	0.6	4.9	5.5	28.11	2.81	-1.64	-1.64	0.00	1.53	0.00	1.53	1.98	0.00	1.98
8	3.3	19.9	0.8	4.2	5.0	28.11	2.81	-1.49	-1.49	0.00	1.04	0.00	1.04	1.64	0.00	1.64
9	3.5	16.0	1.0	3.9	4.9	28.11	2.81	-1.32	-1.32	0.00	0.79	0.00	0.79	1.50	0.00	1.50
10	3.8	10.1	1.3	2.6	3.8	28.11	2.81	-1.14	-1.14	0.00	-0.19	-0.19	0.00	0.77	0.00	0.77
11	4.1	3.6	1.6	1.4	3.0	28.11	2.81	-0.84	-0.84	0.00	-1.05	-1.05	0.00	0.14	0.00	0.14
12	4.0	-1.7	1.6	1.1	2.6	28.11	2.81	-0.93	-0.93	0.00	-1.30	-1.30	0.00	-0.14	-0.14	0.00
平均	3.9	6.3	1.5	3.5	5.0	28.11	2.81	-11.44	-12.54	1.10	6.07	-3.55	9.62	19.25	-0.33	19.58

システム係数

0.8

温度係数

0.485%

必要蓄電電力量 > 余剰電力量

>

NG

必要蓄電電力量 < 余剰電力量

<

OK

必要蓄電電力量 < 余剰電力量

<

OK

メーカー	風力発電									太陽光		その他		
	種類	型式	ブレード直径 mm	ブレード mm 長さ	カットイン 周速 m/s	カットアウト 周速 m/s	最大風速 m/s	定格出力 W	定格出力風速 m/s	ハブ係数 25℃	種類	公称最大出力 W	蓄電池容量 kWh	使用温度
MARLEC	水平	WTR-504	510				25	10.0	20.00%	結晶	32	0.60	-10~40℃	

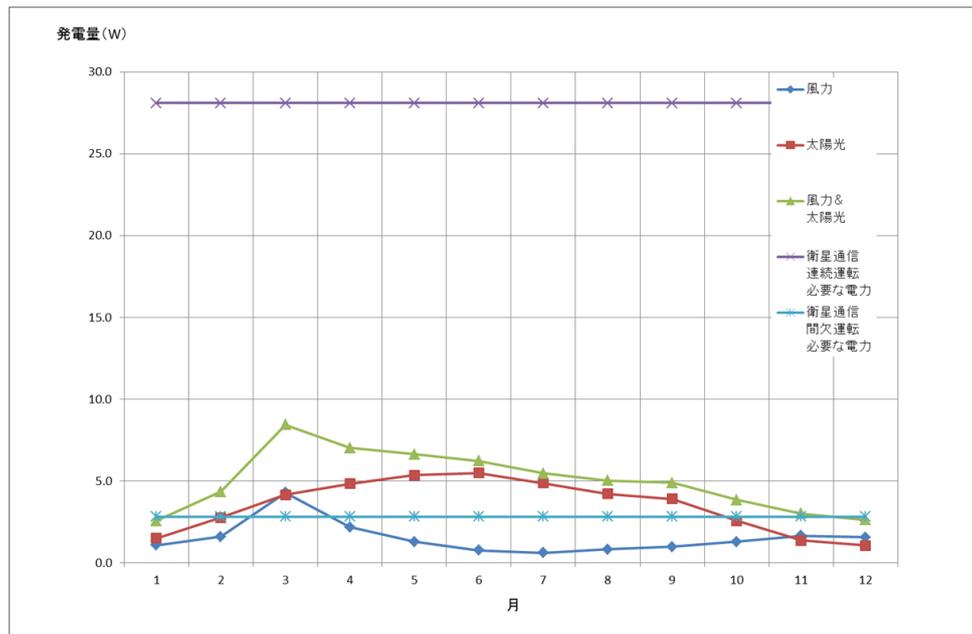


図 6.3.5-2 幌延 HCD-3 孔発電量の過不足グラフ

6.3.5.2 蓄電池の選定

間欠運転で1週間（7日間）充電なしでシステム稼働させることを仮定して蓄電池を選定する。図 6.3.5-3 にはこの条件を満足する鉛蓄電池として 12V 50Ah の鉛電池を示している。参考として同じ容量に近いリチウム電池も示しているが、高いコストに対する蓄電池の設置スペースの削減効果は限られるものと考えられる。

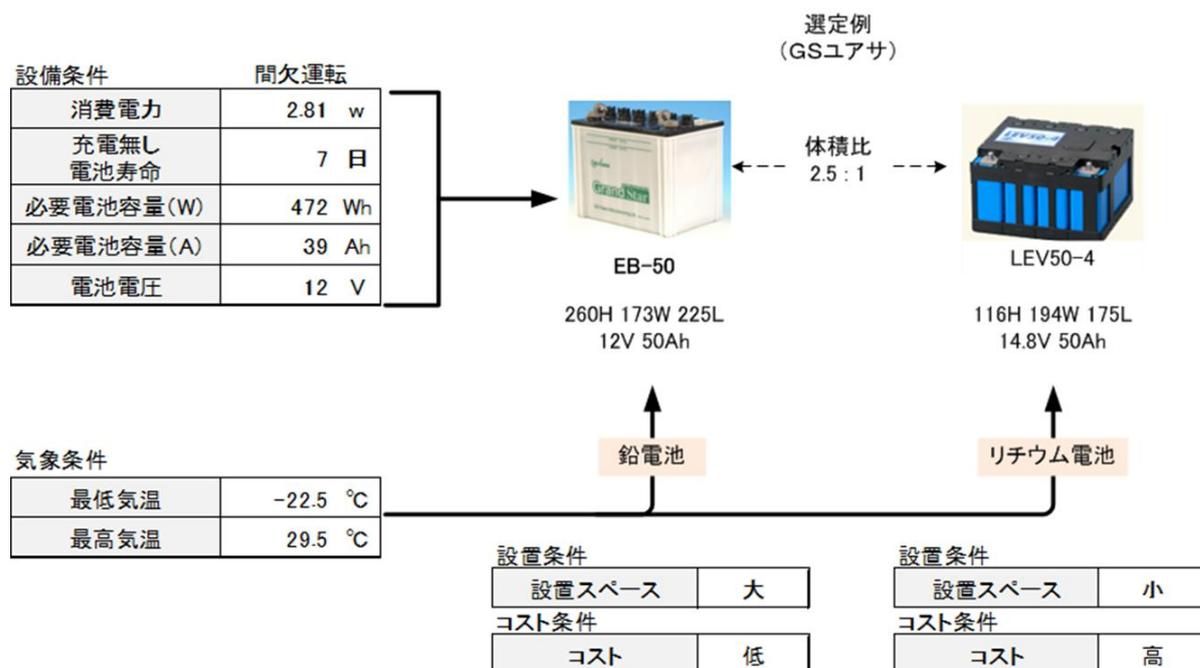


図 6.3.5-3 幌延 HCD-3 孔向け蓄電池の選定

試設計では充電なしのシステム稼働期間を1週間と仮定したが、システム運用に必要な電力供給力を含めてシステム全体の信頼性については実際の運用にて検証を行うことが望ましい。

6.3.5.3 上位通信設備の選定

6.3.2.3 の検討結果を踏まえ、幌延 HCD-3 孔向けの上位通信設備には衛星通信と 3G/4G 公衆回線の 2 つを実装する。

- ・衛星通信：NTT docomo ワイドスター II
- ・3G/4G 公衆回線：NTT docomo FOMA または、Xi（クロッシィ）

6.3.5.4 幌延 HCD-3 向け無人計測システムの試設計結果まとめ

(1) システム構成

システム構成は 6.3.2.1 項「幌延 HCD-3 孔向けシステム構成」で提示したものと同様である。

各機器の要求性能と適合品を表 6.3.5-3 に示す。

表 6. 3. 5-3 幌延 HCD-3 孔向け機器一覧

No.	機器名称	要求性能	適合品の例示
1	ネットワークコンピュータ	<ul style="list-style-type: none"> システムにおける上位コントロールユニットとしての安定性を有し、低消費電力であること。 複数のモニタリング計測ポイントを無線で接続し、システム構成を拡張可能であること。 柔軟に機能のカスタマイズが可能であること。 	openATOMS(東洋電機)
2	信号変換・通信ユニット (データロガー)	<ul style="list-style-type: none"> 各種センサの信号変換を低消費電力で行えること。 運転モードのコントロールが可能であること。 計測点数の増減に柔軟に対応できること。 	openATOMS(東洋電機)
3	衛星通信端末	<ul style="list-style-type: none"> 安定した通信を低消費電力で行えること。 	NTT Docomo ワイドスターⅡ (三菱電機)
4	衛星屋外設置アンテナ	<ul style="list-style-type: none"> 衛星通信端末の適合品 	AAD68096 (三菱電機)
5	公衆回線3G/4Gデータ 通信用ルータ	<ul style="list-style-type: none"> システム立地地点に適合する3G/5G対応の一般汎用品 	HSPA-450C(ゼネテック)
6	ネットワークカメラ	<ul style="list-style-type: none"> システム立地地点の環境下で安定して作動する汎用品 	BB-SW175A(Panasonic)
7	風力発電機	<ul style="list-style-type: none"> システムが必要とする電力量を確保するために必要な発電能力を有すること 実績を有すること 	WTR-504(MARLEC) 25W ローター直径510mm
8	太陽光発電機	<ul style="list-style-type: none"> システムが必要とする電力量を確保するために必要な発電能力を有すること 実績を有すること 	KC-125TJ(京セラ) 32W パネル寸法517×512mm
9	蓄電池	<ul style="list-style-type: none"> システムが必要とする電力量を確保するために必要な蓄電能力を有すること 実績を有すること 	EB-50(GSユアサ) 12V 50Ah
10	発電設備外装	<ul style="list-style-type: none"> 発電・蓄電設備に合わせた専用設計を行う 	-
11	電装品収納箱	<ul style="list-style-type: none"> 電装品に合わせた専用設計を行う 	-

(2) 無人計測システムの外観図、配線図

①ハイブリッド発電設備：外観図

寸法は参考値であり必要最小寸法である。

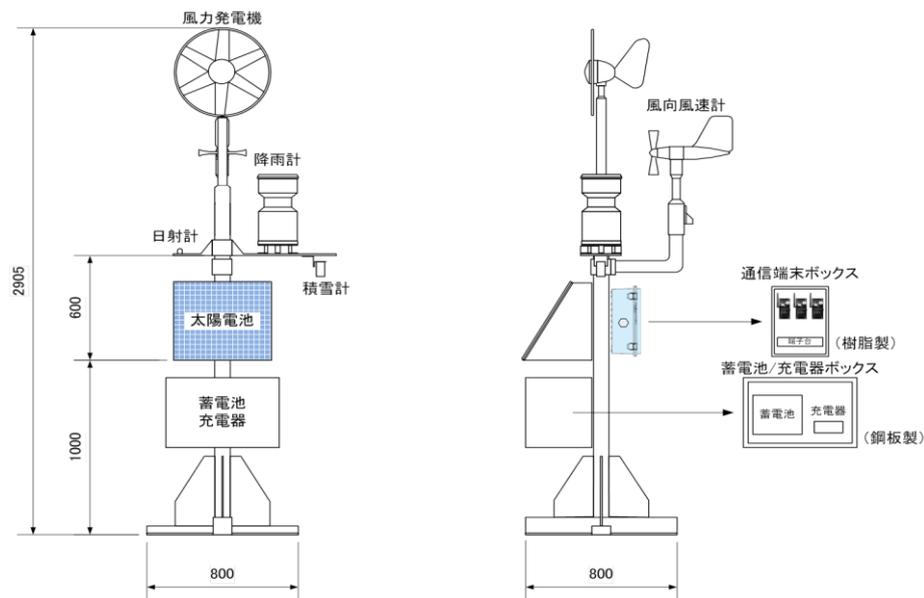


図 6. 3. 5-4 ハイブリッド発電設備外観図

②データロギング盤：外観図

寸法は参考値であり必要最小寸法である。

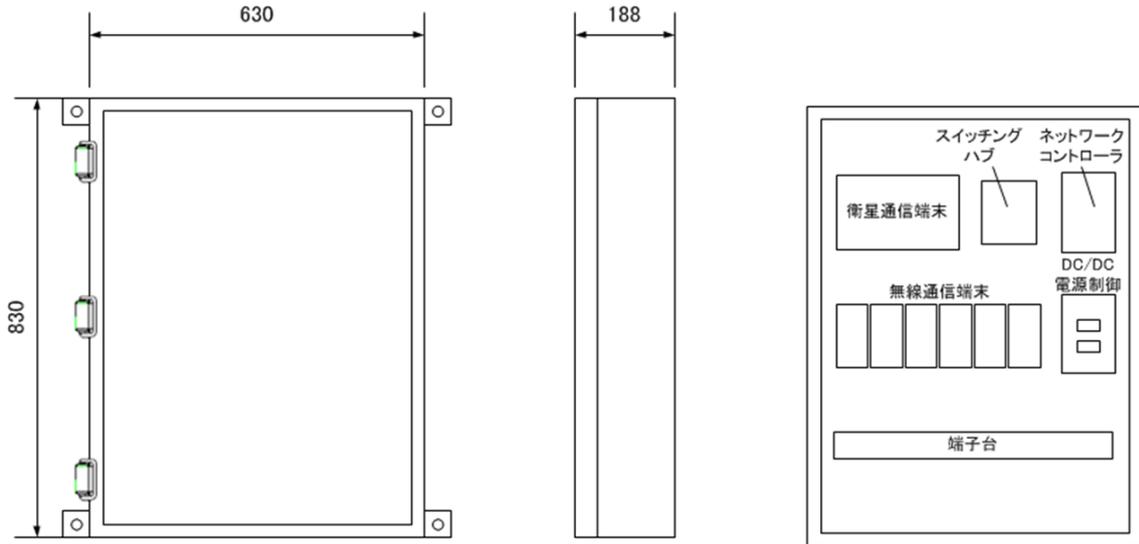


図 6.3.5-5 データロギング盤外観図

③ハイブリッド発電設備：配線系統図

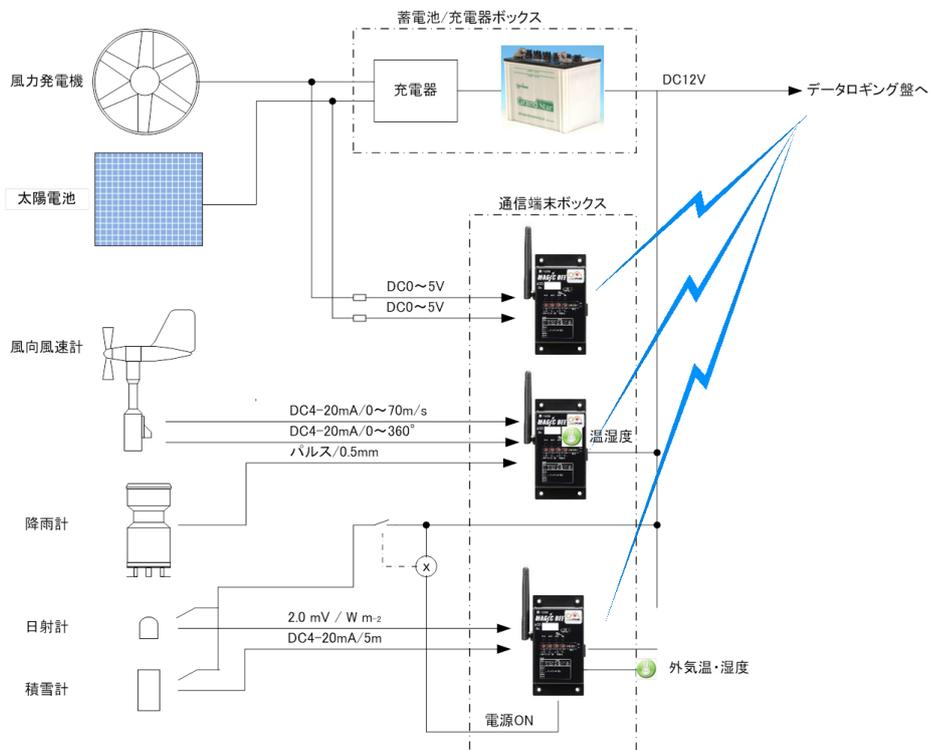


図 6.3.5-6 ハイブリッド発電設備配線系統図

④データロギング盤：配線系統図

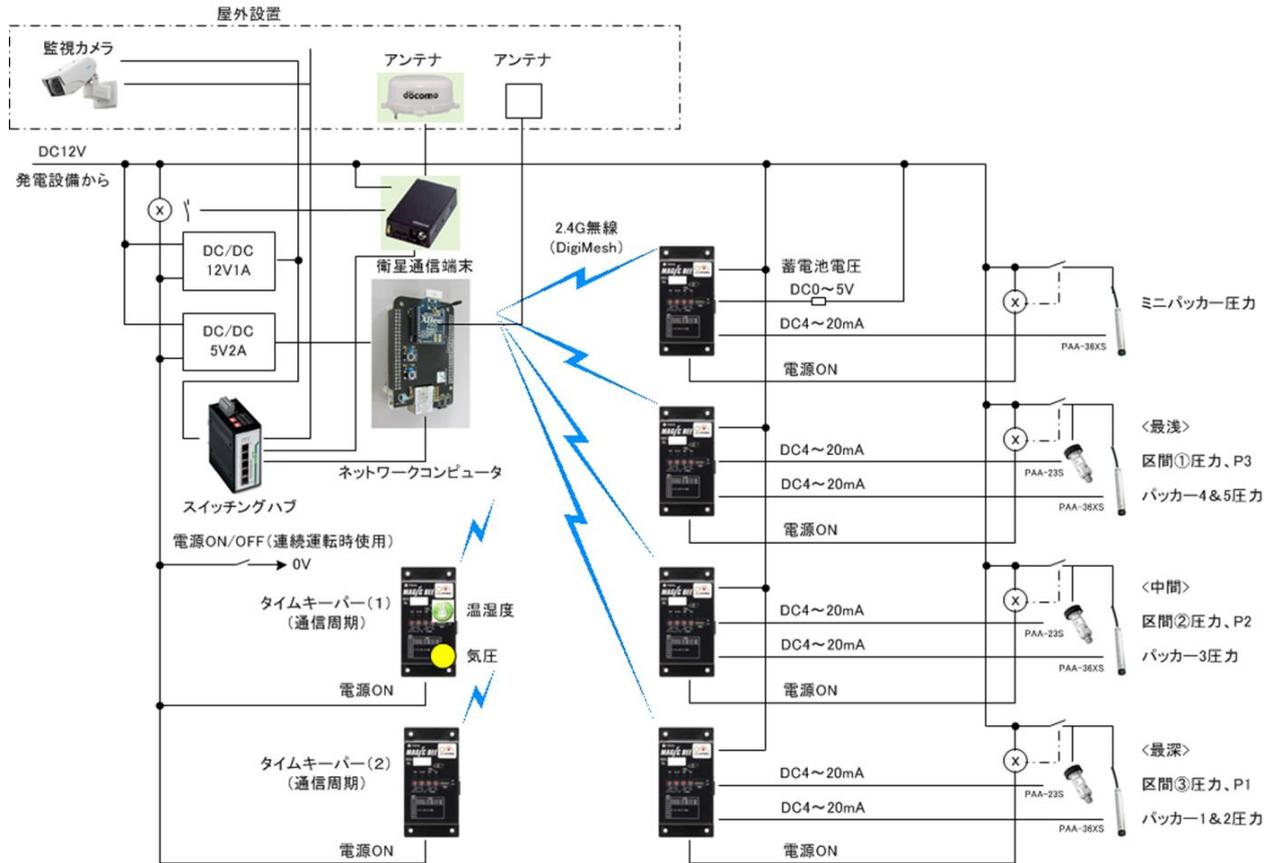


図 6.3.5-7 データロギング盤配線系統図

(3) 幌延 HCD-3 孔現地調査に基づく設置イメージ

①現場調査の目的

幌延 HCD-3 孔における無人計測システムの設置場所、施工方法を検討するため、現地の現況を調査した。

②調査日：2014 年 9 月 8 日

③調査内容と結果

- ・ 観測小屋が設置されており、計測小屋内に現計測システムのデータロガー一式が収納されている。ボーリング孔からの計装配管／計装配線も計測小屋まで引き込まれており、既設の計装配線を流用して、新無人式計測システムのデータロガー部に接続することが望ましい。
- ・ 計測小屋周辺はコントロールボーリングを行った際の地上設備のコンクリート基礎が残置されており、ハイブリッド発電設備を設置するスペースとして適している（図 6.3.5-7 参照）。

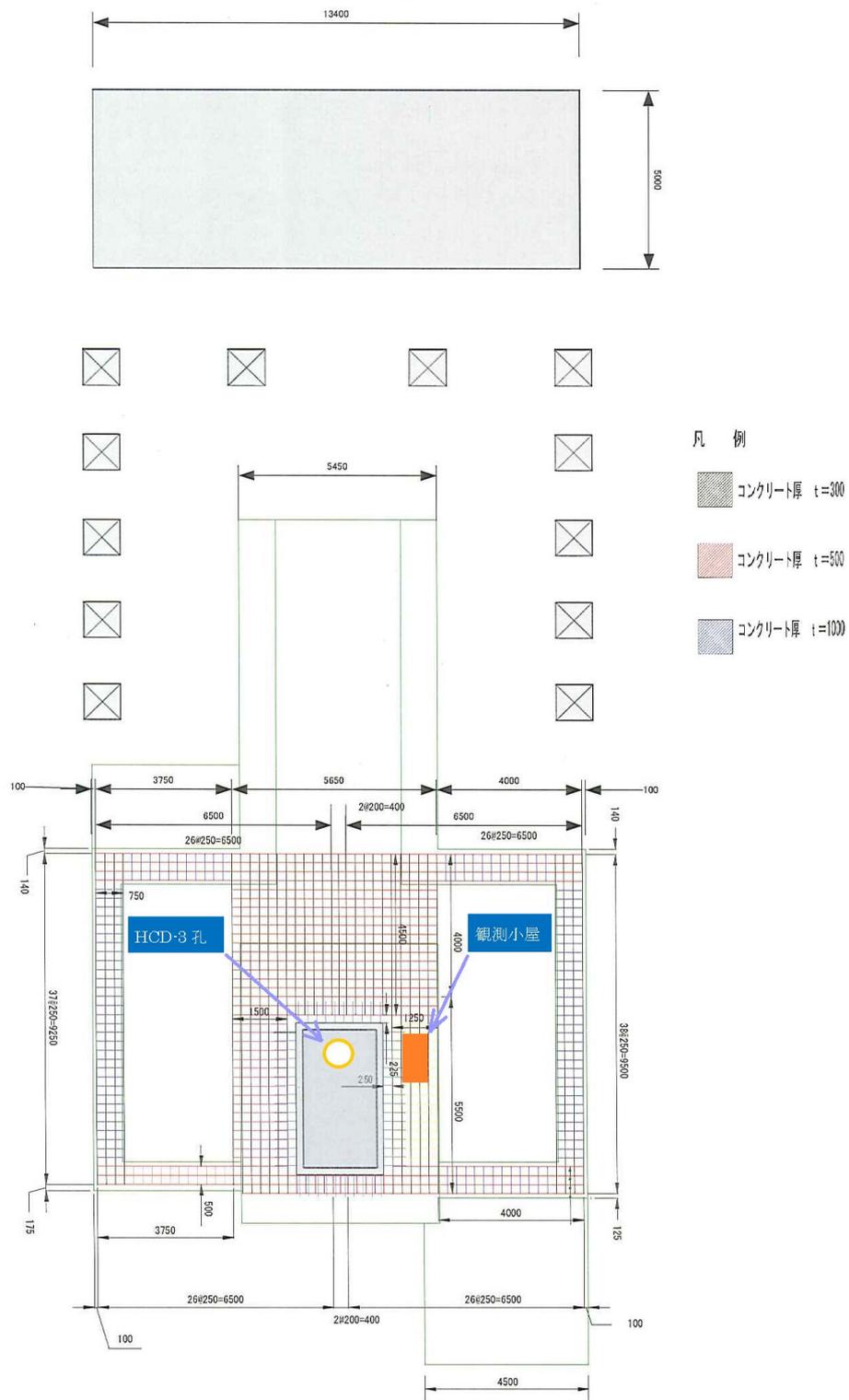
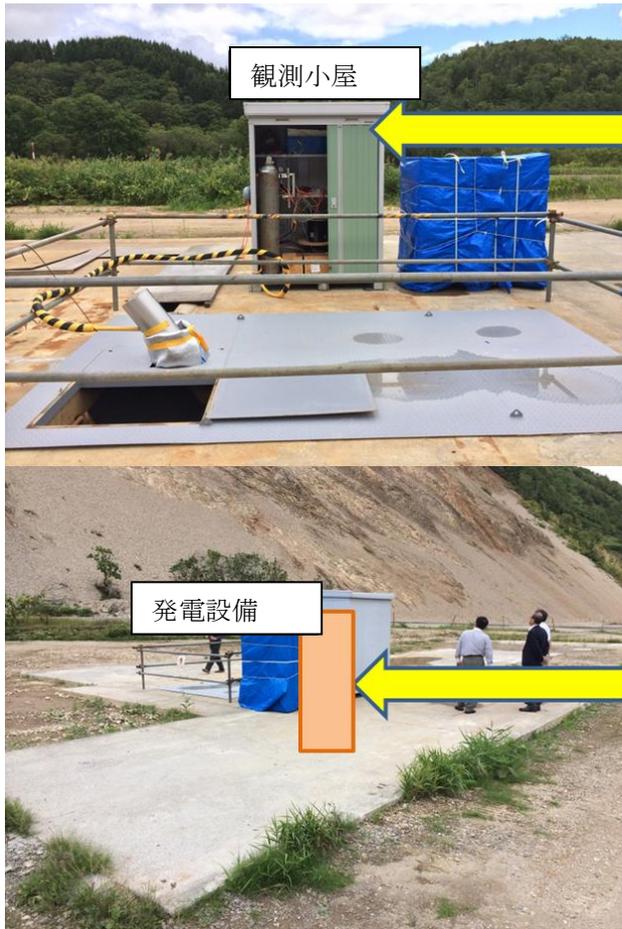


図 6.3.5-8 幌延 HCD-3 孔周辺基礎配置図

図 6.3.5.-9 に幌延 HCD-3 孔 現場への無人計測システム設置のイメージを示す。



観測小屋

観測小屋内にデータロギング盤を設置する。
既設の配線は流用する。

発電設備

観測小屋近傍の鉄筋コンクリート基礎にハイブリッド発電設備をアンカーにて固定する。

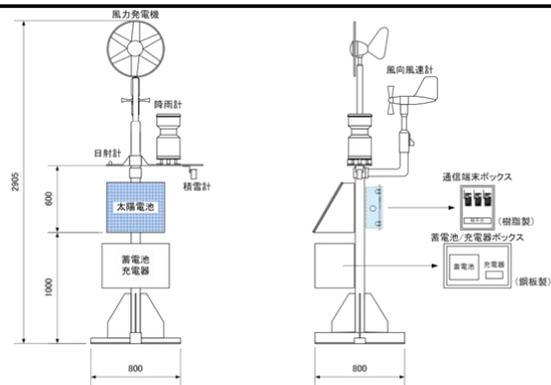


図 6.3.5-9 幌延 HCD-3 孔 無人計測システム設置イメージ

Ⅲ編：成果のまとめと課題、今後の計画

7. 本年度研究成果のまとめ

8. 今後の課題

9. 次年度の研究計画

7. 本年度研究成果のまとめ

7.1 地上設備の撤去

平成 25 年度にコントロールボーリングの現地適用性試験を終了し、試験終了後に設置した長期モニタリングシステムでの間隙水圧の観測を開始した。このため、試験サイトの地上設備（掘削資機材、防寒施設（リグ用ハウジング）、計測及び管理用プレハブなど）の撤去を行った。継続して実施する孔内長期モニタリングのため、ボーリング孔とその周辺のコンクリート基礎は残置し、併せて孔口の養生を行った。

地上設備の撤去は以下の手順により安全に実施した。

①組立式プレハブハウス（現場事務所）の撤去：商用 100V 電源引き込み電柱の撤去、現場事務所内資機材の搬出、現場事務所の撤去

②防寒施設の外装シート取り外しと撤去：外装シート固定物の取り外し、外装シートの取り外し、不要機材類の取り外しと撤去

③防寒施設本体の撤去：防寒施設内資機材の撤去・搬出、防寒施設本体の解体、鋼製部材の搬出・廃棄

④掘削資機材の撤去：(NL140 ロッド)ハンドリング装置、試錐機操作盤、掘削用アーマードケーブルウインチ、ウインチ油圧ユニット・操作盤

⑤試錐機・傾斜櫓の撤去：試錐機、試錐機油圧ユニット・操作盤、試錐機マスト（傾斜櫓）、試錐機・試錐機マスト基礎鋼

⑥孔口養生等：防寒施設の解体後に開口部として残るセーラに転落防止用の柵（単管パイプ）と屋根（合板）をかけて養生し、撤去作業完了に合わせて、撤去作業期間中計測を中断していたモニタリング計測システムを復旧すると同時に養生の屋根を撤去し鋼製蓋を設置した。

7.2 孔内長期モニタリング

昨年度、コントロールボーリングによる上幌延地区での現地適用性検討を終了した。本検討の最後に、コントロール掘削孔井にマルチパッカーによる孔内長期モニタリング装置を設置し、間隙水圧の計測を開始した。

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は、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ある。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①：208.45～209.95m、区間②：210.95～215.95m、区間③：249.45～257.45m）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しているために、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。

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) データの取得およ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

7.2.1 データ取得および解析方法の検討

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、ミニパッカー圧およ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、センサー類およ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、大気圧およ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およ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。

7.2.2 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、管理方法および地上設備の維持、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および地上設備の維持、管理については、データ監視および定期的なメンテナンスを行うことで対応可能である。

7.2.3 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、消費電力の低減およ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および風力発電は、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った。

8. 今後の課題

8.1 孔内長期モニタリング

8.1.1 データ取得および解析方法の検討

(1) 降雨量の計測

区間圧力データに対する降水の影響はデータ解析により除去する必要があるが、HCD-3 孔付近ではアメダス等の降水量が参照できるデータは計測されていない。そのため、既存データを利用する場合は近隣地域（例えば稚内市、豊富町）のデータを参照する必要があるが、HCD-3 孔付近の降水量とは大きく異なることも考えられるため、利用には限度がある。

(2) 降雪量の計測

冬季においては、降雨量の代わりに降雪量のデータが必要となる。降雪を直接測る手法の代替手法として積雪を図る予定であるが、本地点は冬季に風が強く、雪が風に飛ばされて正確な降雪量を計測できない可能性がある。

なお、間隙水圧に影響するのは地下への地表水の浸透であり、冬季は地表付近も0度以下になり融雪による地表水の浸透は考えられず、融雪時の評価が重要と考えられる。このため地表での水分量を評価するための雪の密度分布や、融雪量の径時的な挙動等の評価手法についても改めて検討する必要がある。

8.1.2 維持、管理手法の検討

本システムでは3箇所の観測区間においてシステム設置後湧水が観測されたため、遮水の目的でスタンドパイプ内にミニパッカーを設置している。しかし、ミニパッカーの圧力が低下し、それに伴い遮水性能が低下、スタンドパイプ内水位が上昇し、スタンドパイプ頭部より湧水状態となった。そのため、遮水性能を維持できるようミニパッカーの改良が必要と考えられる。

さらに、現状ではミニパッカーの膨張には1系統のガスラインを用いており、いずれかの部分に不具合が生じたときに3系統ともにその影響を受けること、また、任意の区間で圧力センサーを外して別の作業をする際に、全てのミニパッカーが収縮してしまい他区間のモニタリングに支障が出ること、から各系統を独立させる必要がある。

8.1.3 無人計測システムの概念設計

概念設計は机上のみの検討のため、幌延 HCD-3 孔の試験サイトにおける無人計測システムの信頼性

評価のために以下の項目について検証を行う必要がある。

- ①発生電力量（風力、太陽光）の検証
- ②バッテリーの検証
- ③モニタリングシステムの間欠動作ロジックの安定性検証
- ④その他
 - ・太陽光パネルの最適設置方法としてパネル角度・方向などを現地にて最適化
 - ・風力発電機について冬期の耐久性
 - ・設備周辺を撮影するカメラの有効性

9. 次年度の研究計画

9.1 次年度計画の概要

次年度は3カ年計画の2年目として、以下の項目を実施する。

(1) 無人計測システムの設置・運用

平成26年度に検討した無人計測システムの概念設計に基づき、地上における無人でスタンドアロンな電源、通信、計測システムを構築し、運用を開始する。

(2) 無人計測システムの信頼性評価

平成27年度に導入した無人計測システムを運用することにより、電源、通信、計測の状況に基づきシステムの信頼性を評価する。

(3) データの取得

年間を通して孔内の3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。また、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。採取した水試料の化学分析を実施する。

(4) 取得データの解析

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、ベースの間隙水圧挙動を評価する。

次年度の研究については、今年度と同様に所内に設けた検討委員会において、研究計画、研究成果などについて審議する。

次年度の研究スケジュールを表9.1-1表に示す。

表 9.1-1 平成 27 年度研究工程

実施内容	2015										2016		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
無人計測システムの設置・運用				← 設置								→	
無人計測システムの信頼性評価										←	→		
データの取得	←											→	
				採水・分析						採水・分析			
取得データの解析										←	→		
検討委員会					▲					▲	▲		

9.2 無人計測システムの設置・運用

平成 26 年度に検討した無人計測システムの概念設計に基づき、上幌延サイトに適したシステムの詳細設計を行う。詳細設計に際しては、以下の点を考慮し発電量を見込み、それに沿った発電設備および蓄電池を設置する。

- (1) 計測項目：区間圧力、パッカー圧力、ミニパッカー圧力、気象データ、監視カメラなど
- (2) 計測間隔：基本的には 1 分間隔とする。
- (3) 通信方法、通信間隔：衛星通信、10 分間隔

9.3 無人計測システムの信頼性評価

平成 27 年度に現地に設置した無人計測システムを常時運用し、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：孔内およ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。

9.4 データの取得

無人計測システムを設置するまでは、従前の観測データの取得・回収を行う。データの回収は 3 カ

月に1回を予定(バッテリー及びデータローガの容量より安全側に設定)し、下記の項目を実施する。

- ・データ回収(間隙水圧:3区間、パッカー圧:3組、大気圧、外気温)
- ・バッテリー交換
- ・パッカーおよびミニパッカー圧力の確認および必要な場合には調整
- ・データを確認し、問題があった場合にはセンサーの動作チェック

また、ミニパッカーに関しては、遮水性能を維持できるように改良する。

無人計測システム設置後は、通信によりデータを取得する。

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)においてサンプラーを用いて、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ガスリフト(窒素ガス)による揚水のうちいずれかを選択する。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。

9.5 データの解析

間隙水圧およ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(間隙水圧および地下水水質)のうち間隙水圧についてはその影響因子(地球潮汐、大気圧および降水量)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。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する。

9.6 開発の審議・検討

研究開発にあたっては、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する。

平成27年度は検討委員会を以下のとおり、3回開催する。

- ・ 第1回検討委員会 平成27年8月上旬頃 当年度研究計画審議
- ・ 第2回検討委員会 平成27年12月上旬頃 中間成果の審議
- ・ 第3回検討委員会 平成28年2月下旬頃 最終成果の審議

表9.6-1に検討委員会の委員一覧を示す。

表 9.6-1 「岩盤中地下水移行評価確証技術」検討委員会 委員一覧

委員区分	委員名	所 属
委員長	西垣 誠	岡山大学大学院 環境生命科学研究科 教授
委員	五十嵐 敏文	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 部長
委員	嶋田 純	熊本大学大学院 自然科学研究科複合新領域科学専攻(理学専攻兼任) 水文学研究室 教授
委員	吉田 英一	名古屋大学博物館 教授