

宮古島市天然ガス資源利活用実施計画書

平成 29 年 3 月

宮古島市

宮古島市天然ガス資源利活用実施計画書

Page

第1章 実施計画策定に向けて	1
1. 事業の背景と目的	1
2. 事業構成	2
3. 事業経過	3
3.1 温排水の環境影響調査	3
3.1.1 各種法令手続（鉱業法・鉱山保安法・温泉法）	3
3.1.2 環境影響調査	3
3.1.3 生産試験	3
3.2 委員会	3
3.2.1 委員会構成	3
3.2.2 委員会開催	3
3.2.3 ワーキンググループ設置	5
3.2.4 事業化検討調査	5
3.2.5 先進地視察	5
第2章 宮古R-1号井利活用に向けての取組み	6
1. 事業概要	6
2. 生産試験の実施（各種試験）	6
2.1 連続揚水試験	6
2.2.1 揚水について	7
2.2.2 水溶性天然ガスと気液分離方法	7
2.2.3 計測内容	8
(1)揚水（排水）状況	9
①揚水量	9
②排水濁度（浮遊物質）	10
③産出ガス量	11
④GST（ガスセパレータータンク）ガス圧力	12
⑤産出ガス温度	12
⑥GST水位	13
⑦井戸元温度	14
⑧坑口圧力	14
⑨坑井内アニュラス圧力	14
⑩坑井内水位計	15
⑪水中ポンプ稼働状況	15
⑫管理室内温度	15
2.2.4 計測値の保存	15
2.2.5 警報管理	17
2.2.6 遠隔監視（モバイルVPN）	17

2.2.7 電源の確保	19
2.2.8 水中モーターポンプ	21
2.3 試験結果	25
2.3.1 予備揚水試験	25
2.3.2 段階揚水試験	25
2.3.3 連続揚水試験	27
2.3.4 水位回復試験	29
2.4 まとめ	30
第3章水溶性天然ガス資源利活用の可能性	31
1. 事業概要	31
2. 事業化可能性の検討	31
2.1 事業化検討に向けての視察	31
(1) 視察の概要	31
① 目的	31
② 視察場所	31
(2) 視察結果	32
① 伊東屋（植物工場）	32
② パソナ本部ビル（アーバンファーム）	33
③ SPA ラクーア	35
④ 東京都交通局（CNGバス）	37
⑤ おがわ温泉花和楽の湯	39
⑥ アドバイザーとの意見交換	41
2.2 水溶性天然ガス資源利用の検討	42
2.2.1 水溶性天然ガス資源の農業利用	42
(1) 宮古島市における農業利用への期待	42
① マンゴー栽培	42
② 葉物野菜栽培	42
(2) 農業利用イメージ（検討当初）	43
① 水溶性天然ガス資源の利活用概要（検討当初）	43
② 期待される効果（検討当初）	43
(3) 宮古 R-1 号井の利活用イメージ（検討結果）	44
① 水溶性天然ガス資源の利活用概要（検討結果）	44
② 期待される効果（検討結果）	44
(4) 農業利用の商業化へ向けたステップ	45
(5) 農業利用展開スケジュール（案）	45
(6) 農業利用の課題	45
(7) 農業利用のまとめ	46
2.2.2 水溶性天然ガス資源の温泉水利用	46
(1) 温浴マーケットの動向	46

①成熟期を迎えた温浴市場	46
②温泉の鈍化	47
③サウナの進化	48
④温浴マーケットの動向の整理	50
(2)宮古 R-1 号井周辺における温浴施設開発の概要	51
①ロケーション（位置図）	51
②アクセス	56
③マーケット	56
④宮古島内における既存施設	58
(3)温浴施設開発の方向性	58
①現状認識	58
②基本戦略（案）	59
③温浴事業成功のポイント	59
④開発の方向性（案）	60
⑤モデル事例（他地区）	61
2.2.3 まとめ	66
2.3 宮古島市全域における水溶性天然ガス資源利活用（案）	68
2.3.1 陸上養殖（温泉水）	68
2.3.2 宮古 R-1 号井を活用した陸上養殖の可能性（温泉水）	69
2.3.3 宅配事業（温泉水）	75
(1)先進地調査	75
(2)宮古島市での可能性の検討	75
(3)宮古島市における温泉需要調査	76
2.3.4 圧縮天然ガス：CNG（水溶性天然ガス）	78
2.4 水溶性天然ガス利用に伴う鉱業権について	79
(1)試掘権の期限	79
(2)鉱業権を念頭に置いた H29 年度事業	83
(3)採掘権設定後の水溶性天然ガス利用について	84
①利用	84
②課題	84
第 4 章 水溶性天然ガス資源開発・利活用実施計画	85
1. 基本方針	85
2. 実施計画	85
(1)平成 29 年度事業内容	86
(2)平成 30 年度事業内容	87
3. 総括	88

別紙

別紙 1. 宮古島市天然ガス資源利活用実施計画（10 ヶ年計画案）

別紙 2. 委員名簿

別添報告書

- ・天然ガス生産試験に係る環境影響調査（宮古島市内）業務報告書
- ・宮古 R-1 における付随ガス及び水の分析報告書
- ・宮古 R-1 号井の揚湯試験時に採取されたスケール及び揚砂分析報告書

第1章 実施計画策定に向けて

1. 事業の背景と目的

我が国は、エネルギー源の中心となっている化石燃料の大半を海外からの輸入に頼っているという根本的な脆弱性を抱えており、エネルギーを巡る国内外の状況の変化に大きな影響を受けやすい構造となっている。

沖縄県は、沖縄本島、宮古島市、八重山とその周辺を含む多くの島々からなる唯一の島嶼県であることから、それゆえに地形的な問題や需要規模の制約による構造的な不利性を有しており、エネルギーの供給源のほとんどを石炭や石油などの化石燃料に依存している。

沖縄県は、平成 22 年度に「沖縄県エネルギービジョン」を策定し、沖縄県は石油依存度の低減、エネルギー源の多用化及びにおける再生エネルギー等の導入やエネルギー自給率の向上に向けて、沖縄県をはじめ市町村、事業者、県民が一体となって積極的に推進を図るための基本目標を掲げ取り組んできたが、平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災および東京電力福島第一発電所事故により、根本的にエネルギー政策の見直しとなった。

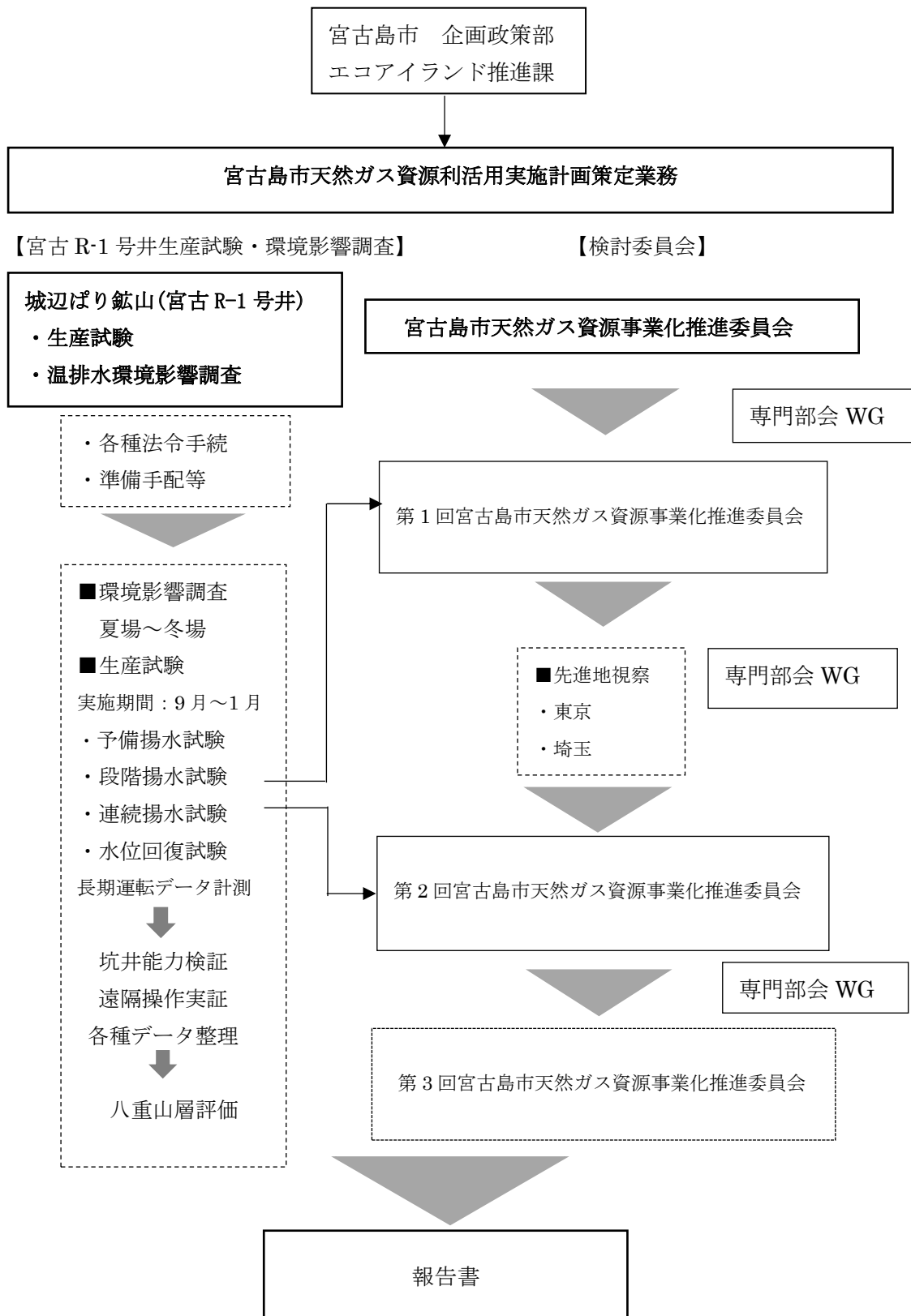
平成 24 年 7 月の再生エネルギーの固定買取制度導入など、エネルギーを取り巻く環境が大きく変化してきたことを受け、防災と減災の観点を加え、平成 25 年、これまで掲げてきた基本目標の実現に向け、地域の特色を踏まえた行動計画「沖縄県エネルギービジョン・アクションプラン」を策定した。実現に向けての再生エネルギー等の導入モデルとして、水溶性天然ガスへの燃料転換が位置づけられている。

沖縄県が実施した平成 23 年度の反射法地震探査、平成 24 年～同 26 年度の試掘調査事業、平成 27 年度の試掘井(那覇 R-1 号井:はいさい鉦山/奥武山運動公園内)の生産試験とヨウ素資源調査までの一連の沖縄県事業は、アクションプランと連動する事業であるといえる。

本市では、試掘調査事業の結果を受け、平成 26 年度には宮古島市における水溶性天然ガス資源の利活用検討委員会を発足させた。平成 27 年度には試掘井(宮古 R-1 号井)の利活用及び宮古島市全域に向けての取組を想定した「宮古島市天然ガス資源利活用推進計画書」を策定した。

本事業では、試掘調査事業で確認できなかった坑井能力の限界を確認するため生産試験を実施し、宮古 R-1 号井の能力を把握により事業化に向けての方向性を示すことを第一とした。同時に同資源を活用した事業化の可能性を探り、宮古島市全域を対象とした広域展開に向け実施計画策定の検討を行った。

2. 事業構成



3. 事業経過

3.1 温排水の環境影響調査

試掘井(宮古 R-1 号井)生産試験による排水の環境への影響を把握することを目的に温排水影響調査を実施した。詳しくは「天然ガス生産試験に係る環境影響調査 業務報告書」で示す。

3.1.1 各種法令手続（鉱業法、鉱山保安法、温泉法）

宮古 R-1 号井の生産試験による温排水の環境影響調査をするにあたり、那覇産業保安監督事務所と相談し、鉱業法と温泉法の責任分界点を明確にし、保安体制の変更及び強化を実施した。

3.1.2 環境影響調査（一般財団法人沖縄環境科学センターで実施）

宮古 R-1 号井において、5 ヶ月以上継続したかん水の汲み出しを行い、夏場から冬場にかけて、温排水を保良川ビーチへ放流した際の環境への影響及びその変化を調査する。調査は、宮古 R-1 号井の揚水前、揚水中、揚水後にかん水のサンプリング及び生物への影響調査を実施した。

平成 28 年 08 月 16 日	事前調査
平成 28 年 10 月 1 日～2 日	生産量増期（サンプリング、生物への影響調査）
平成 28 年 10 月 27 日	生産期

3.1.3 生産試験

平成 28 年 08 月 30 日～31 日	予備揚水試験
平成 28 年 09 月 01 日	段階揚水試験
平成 28 年 09 月 02 日～平成 29 年 1 月 31 日	連続揚水試験

3.2 委員会

3.2.1 委員会構成

今年度は事業化に向け、実施計画及び 10 ヶ年計画を検討するため委員を昨年度の 20 人から島内委員を主体に 10 人とし、新たにアドバイザーを入れた構成とした。（別紙 2 参照）

3.2.2 委員会開催

第 1 回宮古島市天然ガス資源利活用事業化推進検討委員会
日時：平成 28 年 10 月 7 日（金）14：00～16：00
場所：宮古島市役所 平良庁舎 6 階会議室

- 議題：1) 宮古 R-1 号井生産試験等中間報告（段階揚水試験）
- ・温泉需要調査(状況報告)
- 2) 段階試験を踏まえた宮古 R-1 号井実用化の可能性
- ・宮古 R-1 号井利活用案（宮古島市産天然ガスの CNG 利用）
 - ・宮古 R-1 号井利活用案（農業利用）
 - ・宮古 R-1 号井利活用案（温浴施設利用）
 - ・新たな展開に向けた取組の検討

第 2 回宮古島市天然ガス資源利活用事業化推進検討委員会

日時：平成 28 年 12 月 5 日（月）9：30～12：00

場所：宮古島市役所 平良庁舎 2 階会議室

議事：1) 報告

- ・第 1 回検討委員会議事録報告
 - ・視察報告
- 2) 宮古 R-1 号井生産試験中間報告（連続揚水試験）
- 3) 宮古 R-1 号井実用化に向けての検討
- ・農業利活用案に関して
 - ・温浴施設利活用案に関して
 - ・水産業（陸上養殖）の可能性
- 4) 広域展開に向けての取組と課題
- 5) 実施計画策定内容の検討
- 6) その他（意見交換）

第 3 回宮古島市天然ガス資源利活用事業化推進検討委員会

日時：平成 29 年 2 月 15 日（木）14：00～17：00

場所：宮古島市役所 平良庁舎 6 階会議室

議事：1) 第 2 回検討委員会議事録要旨説明

平成 28 年度事業報告

- ・生産試験報告
 - ・環境影響調査報告
 - ・宮古 R-1 号井利活用報告
 - ①天然ガス
 - ②農業利用
 - ③温泉利用
 - ④陸上養殖利用
 - ・実施計画（案）
 - ・今年度事業まとめ
- 2) 質疑
- 3) 総括

3.2.3 ワーキンググループ設置

宮古 R-1 号井の利活用(事業化)に向け、委員会への提案等を含め委員会を円滑に推進させることを目的に、アドバイザーを主体にしたワーキンググループを設置し、必要に応じ調査・検討・協議を行った。

次の2利活用を基本テーマとして実施した。

- ・温泉利用(新たな温浴施設の利活用)
- ・農業利用(地域資源を活用した新たな農業の利活用)

平成28年7月20日:アドバイザー候補者との意見交換

平成28年9月13日~15日:アドバイザーの宮古島市現地調査

平成29年9月29日:ワーキング(アドバイザーからの提案を要請)

平成29年1月12日:ワーキング(生産試験結果を踏まえた対応の検討)

3.2.4 事業化検討調査

- ・温泉宅配事業に向けた調査実施

平成28年12月02日:栃木県 温泉屋訪問

- ・沖縄県実施の温泉アンケート調査結果を基に、宮古島市における温泉需要調査実施

平成28年9月27日:県事業のアンケート調査で反応の良かった施設訪問

①ホテル:2件

②病院:2件

- ・宮古 R-1 号井かん水(温泉水)活用による陸上養殖の可能性調査(実証を含む)を実施

平成28年10月21日:沖縄県3試掘井温泉分析表送付1次スクリーニング依頼

平成28年11月04日:1次スクリーニング結果報告

平成28年11月04日:2次スクリーニング及び3次スクリーニング等の依頼

平成28年12月01日:栃木県(株)夢創造を訪問(トラフグの実証現場視察)

平成28年12月28日:宮古 R-1 号井かん水(温泉水)活用による海産魚種「トラフグ」
養殖可能性飼育試験及び3次スクリーニング最終報告

3.2.5 先進地視察

今年度の先進地視察は、当初千葉県自治体と企業による水溶性天然ガス資源の活用状況を視察する予定であったが、エコアイランド推進課との調整により、宮古 R-1 号井の利活用に向けた施設を対象とすることに変更し、第1回委員会及びアドバイザーの意見を参考に計画し実施した。

平成28年11月09日~11日(東京・埼玉近郊施設の視察及びアドバイザーとの会議)

第2章 宮古 R-1 号井利活用に向けての取組み

1. 事業概要

本事業は、宮古 R-1 号井の生産試験により、坑井能力の限界値を確認することで、実用・事業化に向けこれまで検討してきた利活用案の実現に向け方向性を示すことを目的とする。また、利活用に伴う温泉水が保良川ビーチへ影響を及ぼさないか、環境影響調査を実施した。本項では、生産試験の状況を示し、環境影響調査は専門機関への外注により実施したため参考資料として付記する。

2. 生産試験の実施（各種試験）

2.1 連続揚水試験

今回の調査を実施するにあたりまず関係法令の手續に着手した。関係する法令として水質汚濁防止法、鉱業法、鉱山保安法、温泉法、保安林の手續などが考えられた。手續に関しては沖縄県商工労働部産業政策課、沖縄県宮古保健所、内閣府沖縄総合事務局経済産業部環境資源課、那覇産業保安監督事務所、沖縄県農林水産部宮古農林水産振興センターと相談の上、手續を進めた。今回の試験を実施するにあたり、那覇産業保安監督事務所指導の下、責任分界点を設定し、鉱山保安法と温泉法の責任分界点を明確に設定した。それに伴い現況調査後に城辺ぱり鉱山の保安規程の改定を実施。鉱山内は水質汚濁防止法を遵守。責任分界点を設けたため、責任分界点後は温泉法での対応となった。また宮古 R-1 号井の今後の利活用を鑑み、動力の装置許可を得る源泉の適正揚水量を把握して、適切な動力選定を行い、温泉資源の保護を図ることも念頭に試験を実施した。



責任分界点①



責任分界点②

2.2.1 揚水について

宮古 R-1 号井(以下、井戸と称す)の揚水をそのまま保良川ビーチ(海域)に放流するときの環境に対する影響を調査した。井戸からの揚水は、井戸内に水中ポンプを設置して地下水を汲み上げる方法とした。井戸は静水位で地表より 43m 程度で、掘削時の評価データより、今回設置した水中ポンプの能力(揚程 60m、最大揚程時揚水量 1150 l /分)から、水中ポンプは地下 204.7m に設置した。揚水量の調整は井戸元に仕切弁(ゲート弁)とは別に手動の流量調節弁(ボール弁)を設けた。これは井戸からの揚水に混じる砂分で弁体を摩耗することが懸念されるため、揚水中は仕切弁を全開にした。本井戸は安定的に産出できることから、手動で揚水量調節することは容易であり、自動調節は不要であった。

掘削時の生産テスト(揚水試験)は 1 週間程度であったが、本試験は 5 ヶ月間に及ぶため、先ずは、予備揚水試験、段階揚水試験の結果から適正揚水量を算出し、その後連続揚水試験を平成 29 年 1 月 31 日まで実施した。

- | | |
|------------------------------------|--------|
| ・平成 28 年 8 月 30 日～31 日 | 予備揚水試験 |
| ・平成 28 年 9 月 01 日 | 段階揚水試験 |
| ・平成 28 年 9 月 02 日～平成 29 年 1 月 31 日 | 連続揚水試験 |

2.2.2 水溶性天然ガスと気液分離方法

宮古 R-1 号井は、八重山層にストレーナーを設置した仕上げの井戸で水溶性天然ガス井である。水溶性天然ガスは、地下での圧力下では地下水(以下、かん水と称す)に天然ガス(メタンガスを主成分とした)が溶存している。これを地上まで揚水すると、大気圧下で容易にかん水と天然ガスが分離する。

井戸に設置した水中ポンプで汲み上げられたかん水は、天然ガスを付随して地表まで運ばれ

る。汲み上げられたかん水は、そのまま地上にあるガスセパレータータンク(以下、GST と称す)に入り、GST 内で天然ガスを分離する。分離した天然ガスは、GST の上部より大気へと放出される。天然ガスは放出される前に計量している。(天然ガスを利用する場合は採掘権が必要、現在は試掘権)

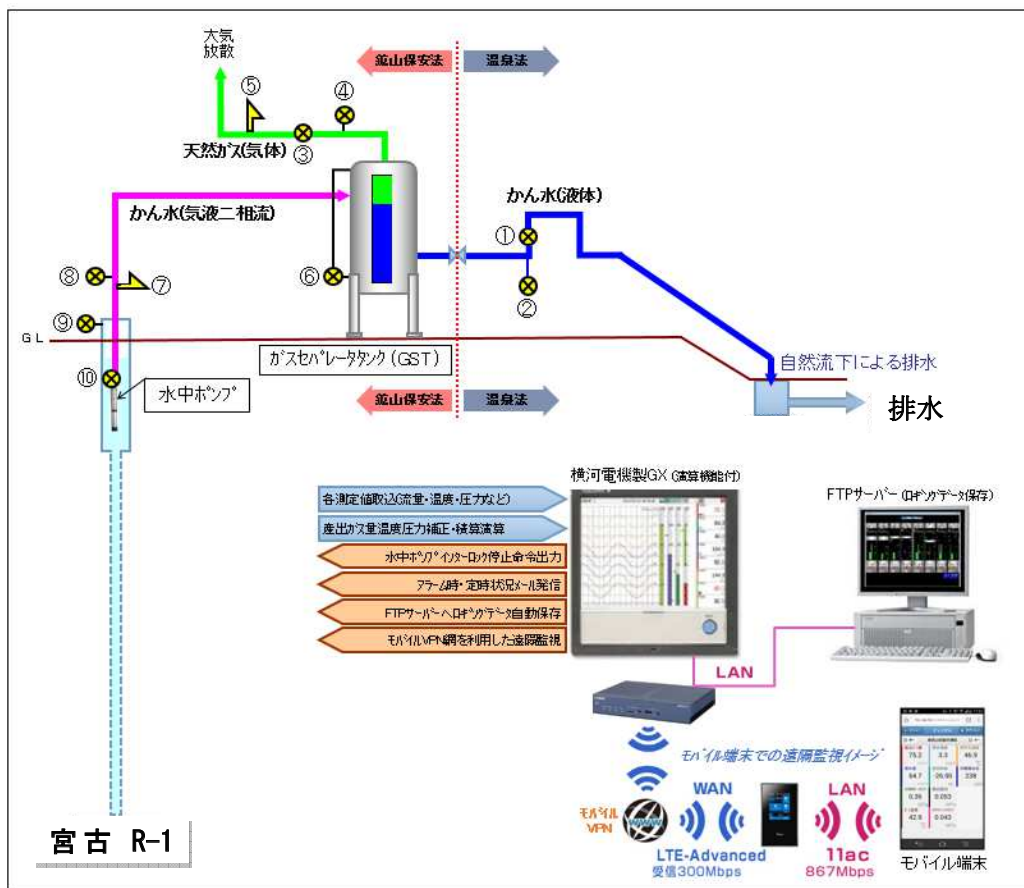
一方、かん水は GST から排水管(仮設のポリパイプ)を經由して保良川ビーチへ放流されるが、動力は使わずに傾斜を利用した自然流下排水をした。かん水は GST の下方から排出されるが、GST 内の水位を排出口より高く保持しないと排水中に天然ガスが混入し、排水先で天然ガスが流入して引火する恐れがある。この対策として GST 下方からの排水管を GST 最低保持水位まで垂直方向に上げ、更にこの排水管頂部に呼吸管を立ち上げ、サイフォンにならないようにし、GST 内の水面を保持できるようにした。また、この垂直方向に上げた配管上には、液相のみ(満水状態)になることから揚水(排水)量を計測する電磁流量計を設置した。ただし、GST 内水位は揚水量に応じて最低保持水面より高く変化する。

2.2.3 計測内容

本試験に必要なデータの他に、本井戸の更なる有効利用のために生産に付随するデータについても計測、記録することとした。また、同データは生産設備の状況把握ができることから、生産設備を無人操業できる仕組みにできるよう考慮した。

本試験にあたり、計測内容については以下の通りである。なお、計測に使用した機器の殆どは、現場設置型で計測値をデジタル表示できるものを使用している。

また、井戸からの天然ガスを付随したかん水は、GST までは鉱山保安法、GST より地下水は温泉法を適用する。鉱山保安法では、特定施設(井戸、GST)における半径 8m 以内の周辺では防爆設備にしなければならないため、計測機器は防爆構造を有するものを選定した。



試験におけるフロー図

(1) 揚水(排水)状況

①揚水量

井戸から揚水されたかん水は全量を GST(ガスセパレータータンク)から排出される。揚水量は電磁流量計にて計測した。電磁流量計を設置する場合、計測する流路は満水状態でなければならないが、前述の通り GST の水位を保持するための排水管(垂直配管)の流れは下から上になっているので、常に満水になっている。

電磁流量計を設置する上下流配管には必要な配管長があり、JIS B7554 (電磁流量計) を参考にし、メーカー推奨の長さが示されており、電磁流量計を縮小管で挟み込むことによって必要直管長は 0d(直管長不要、d は口径の意)とした。すなわち、排水管口径 100A に対し電磁流量計口径は 80A を設置するには縮小管を用いて配管せざるを得ないことを利用している。

電磁流量計には瞬時値計測(kL/H)と積算(kL/パルス)機能があり、双方を計測、記録した。瞬時流量のスケールは、0~100 kL/H とし、ポンプの最大流量とされる 62.5 kL/H(1, 500kL/D)を十分に計測できるようになっている。なお、本試験に用いた電磁流量計は流速が生じれば計測できるので、最小流量の限界はないが、揚水を停止している際に零点がふれないようにするため、スケール 0.3%以下は不感帯とした。積算は、電磁流量計自体が生成し発信するものと記録計(後述 2.2.4 参照)による演算値(瞬時値積算演算)を収集した。お互いの積算値の相違は 0.1%程度である。揚水量積算値のスケールは、1kL/パルスとした。



② 排水濁度(浮遊物質量)

揚水されたかん水は保良川ビーチに排出されるが、試験中は連続的に排水中の濁度(浮遊物質量に相当)を計測した。

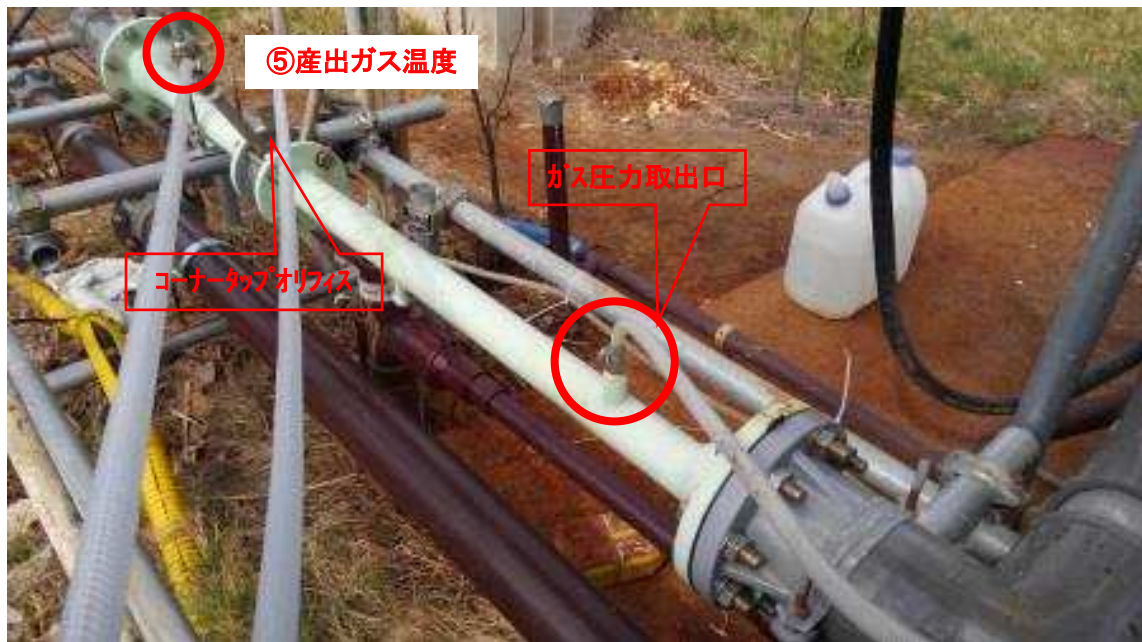
濁度計の仕組みは表面散乱形で測定液面に光を当て、液面からの散乱光を測定し、その散乱光の強さが液中の懸濁物質の濃度に比例することを利用して濁度を知る方法となっている。(メーカーカタログより抜粋)

排水中の濁度が規制値以上となった場合は、直ちに水中ポンプを自動停止して揚水(排水)を抑制する機能を設けた。濁度のスケールは、0~200mg/Lとした。



②濁度計

井戸生産状況の計測



③産出ガス量

水溶性天然ガス井から揚水するとかん水と共に天然ガスが付随して産出される。天然ガスは GST で分離され大気放出されるが、放出手前で産出ガス量を計測する。

計測には、JIS M8010(天然ガス計量方法)に基づき、絞り機構(コーナータップオリフィス)

流量計を採用し、オリフィスプレートは四分円オリフィスを用いた。四分円オリフィスの特徴として、低圧流体でも計測範囲を大きく取ることができる。オリフィスの、スケール最大流量時のオリフィス上下流の差圧(ΔP)を2000Paとし、この差圧を差圧計にて計測する。

ガス量(気体)は、標準状態(0°C、1atm)として補正をする。ガス計量管上にガス圧力(GSTガス圧力に相当)、ガス温度を連続計測、記録しながら温度圧力補正をした。補正演算は記録計(後述3-2-4参照)の演算機能を利用して計算プログラムを製作した。また演算から得られた標準状態のガス量から積算演算についても行った。産出ガス量のスケールは0~150Nm³/H、積算は1Nm³/パルスとした。

産出ガス量は井戸が猛噴した際に即時に瞬時値が上昇することから、その場合には井戸を抑制するため、水中ポンプを自動停止する。

④GST(ガスセパレータータンク)ガス圧力

GSTタンク上部から配管された産出ガス計量管に取り付けた。産出されたガスは大気へと放出されるため、産出ガス量によるが、大気圧に若干圧力が上乘せされた圧力になる。計測する圧力は微圧であり、大気圧との比較することで正確に計測できるため、差圧計を使用した。ガス放出異常の発見や前述の産出ガス圧力補正に利用している。

⑤産出ガス温度

産出ガス量の温度補正に利用するため、測温抵抗体(Pt100 Ω)をガス計量管に挿入して計測した。また、この温度は簡易的ではあるが、GST内の温度傾向を知ることができる。

⑥GST 水位

計測には差圧計を用い、GST 下部(液相下部/高压側)と GST 上部(気相上部/低压側)との差圧から水位を換算した。かん水比重は概ね 1.02 とした。

主に操業の安全管理を目的として計測しており、揚水されたかん水の不慮の外部流出を監視、管理する。かん水は GST で天然ガス分離後に排出されるが、排水には動力を用いずに国場川まで自然流下させていた。排水管が閉塞、井戸が猛噴した場合には、GST 内水位が上昇して、タンク上部の天然ガス放出口からかん水が噴き出してしまう恐れがある。かん水には海水程度の塩分が含まれていることから、外部に流出すると塩害を引き起こす場合がある。

そのため、GST 水位レベルが異常上昇した場合には、直ちに水中ポンプを自動停止することとした。スケールは、GST 高さに合わせ 0~400cm とした。零点はタンク底部鏡板の溶接線とした。





⑦井戸元温度

水中ポンプで揚水されたかん水(天然ガスとの気液二相流)の温度を地上設備である井戸元装置に温度計(測温抵抗体)を挿入して計測した。井戸元に温度計を設置したのは、揚水直後が外気温の影響を最も受けづらいためである。

井戸元温度の計測は、揚水(排水)温度の管理は元より、地下水温は深度が大きくなるにつれ水温が上昇する傾向(温度勾配)があるので、急激な温度変化があると坑井内に異状があったり、採取する層別割合が変わったりしたことが早期に発見できる。地下での採取層から安定して揚水できている場合は、温度変化はほぼ見られない。温度のスケールは、0～100℃とした。

⑧坑口圧力

水中ポンプで揚水する際、ポンプの吐出し量と地上井戸元設備の坑口圧力は反比例の関係にある。すなわち、ポンプの最大吐出し量のとき坑口圧力はほぼ大気圧と同等となる。(実際にはGSTまでの入口高さ分の水頭圧力がある)

ポンプの最大吐出し量のとき坑口圧力の関係は、前述「2.2.1 揚水について」に記載した。

坑口圧力に変化があった場合は、揚水状況にもよるが、水中ポンプの故障であったり、井戸が猛噴したりといった異常を知ることができる。また、段階揚水試験等の圧力記録に役立つ。圧力計は地上井戸元設備の揚水管に取り付け、そのスケールは、0～2MPaとした。

⑨坑井内アニュラス圧力

アニュラスとは、坑井内に降下されているパイプ(水中ポンプと接続した揚水管)と坑壁(ケー

シング)とが作っている環状の間隙をいう。すなわち、坑井内での揚水管外側のことを示す。

地下で溶存していた天然ガスが坑井内で遊離して、水中ポンプで汲み上げられずアニュラス部に蓄積されると、圧力は徐々に高まっていく。アニュラス部の圧力が高くなると、水中ポンプにかかる水頭圧力が見かけ高くなることに相当しており、水中ポンプの揚程に影響し、汲み上げ量が低下してしまう。

対策として、地上井戸元(アニュラス部)から GST(気相部/ほぼ大気圧)まで圧力を逃がすためのチュービングをしている。

圧力計は地上井戸元(アニュラス部)に取り付け、そのスケールは、0~2MPa とした。

⑩坑井内水位計

坑井内の水位を計測するため、投込圧力式水位計を水中ポンプの付近の揚水管に取り付け、地上まで信号ケーブルを通した。

坑井内水位は揚水量に応じて変化する。試験前の坑井内静水位は約 47m であったが、揚水量を増加していくと水位(動水位)は下がる。

水中ポンプの最大揚水時に水中ポンプ設置位置よりも水位が低下してしまうと、揚水できなくなったり、水中ポンプ本体の故障を招くことにもなるため、常時、坑井内水位を計測して安全な揚水状況を監視した。また、揚水中の坑井内異常(抗壁損壊、異常出砂、ストレーナー閉塞等)を知るためにも計測・監視していた。

水位は水頭圧力から換算する。設置位置を深度 GL-194.7m とし、地表(GL)を零となるように計測した。

⑪水中ポンプ稼働状況

水中ポンプの運転状況(運転/停止のデジタル信号)を動力盤から記録計(後述 2.2.4 参照)に取り込んだ。

《付属》

⑫管理室内温度

管理室内には、計測に関わる機器やデータを保存するためのパソコン(FTP サーバー)、事務機器、水中ポンプの動力盤等の高温多湿が苦手の機器があり、試験現場の立地条件も鑑み、管理室内は常時空調を利かせた。空調機器の不具合があった場合には計測が中断してしまう恐れがあるため、管理室内温度を常時計測した。

2.2.4 計測値の保存

上述で計測された瞬時値や積算値は、演算機能を有する液晶表示型チャートレスレコーダー(以下、GX と称す)で記録した。試験現場は基本的に無人操業なため、計測値を自動的に且つ効率的に記録する必要がある。画面表示は 1 秒更新としたが、記録間隔は 1 分毎とした。画面表示の間隔は、GX の演算周期に依存しており、演算は 1 秒間隔で行われる。記録間隔については、1 秒周期から用意されているが、1 日分に費やすデータ量は大きくなってしまい、メモリー容量

を逼迫する恐れがある。試験した井戸は、比較的安定した産出挙動を示すことから、1 分間隔で取り込むことにした。このときの1日分のデータ量は、300kB 弱(グループ化による重複保存あり)となる。

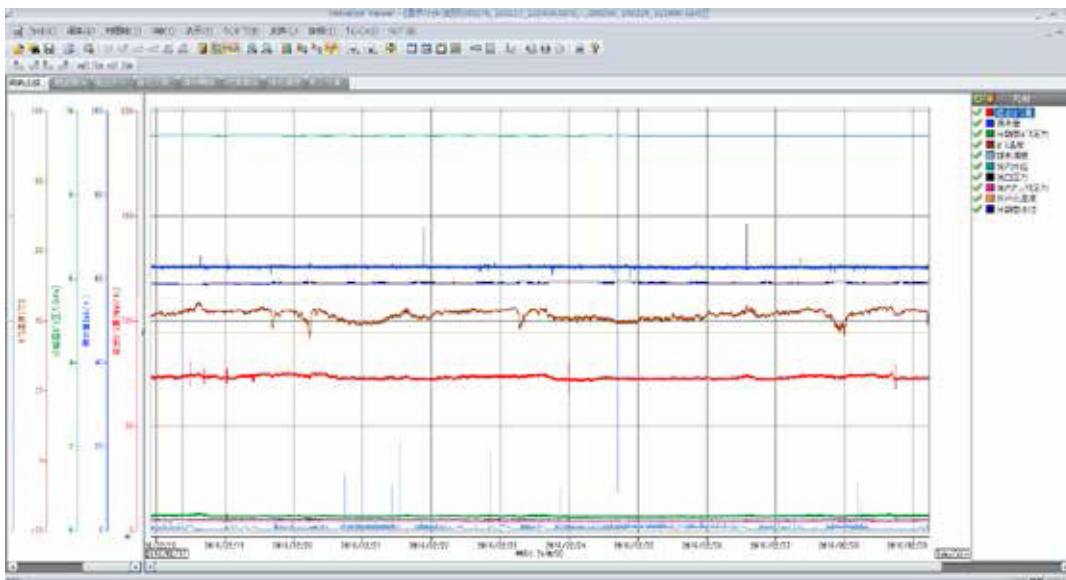
また、計測値はグループ化(計測値は10 タグまで)することができ、GX の表示器上でデータを確認する場合に見やすくすることができる。一つの計測値は複数のグループに属することもできる。

本試験では次のようにグループ化した。

- a. 試験全計測値(管理室内温度除く)：上述①～⑩
- b. 揚水量・産出ガス量積算値(演算値)：上述①、③の積算演算値
- c. 揚水状況：上述①、②及び参考として⑦、⑩
- d. 産出ガス状況：上述③、④、⑤
- e. 坑井状況：上述⑦～⑩及び参考として①、②
- f. 水中ポンプ運転状況(ポンプ稼働、インターロック停止条件)

試験現場(沖縄県宮古島市内)で得た計測記録については、1日毎にファイル化してメモリーに保存され、遠隔地からVPNネットワークを介してダウンロードできるようにしているため、計測間隔によるデータ蓄積量は通信費にも影響する。なお、「2.2.6 遠隔監視(VPN)」にて、ネットワークについては後述する。

1日毎の保存データは効率的に圧縮しファイル化され、当該ファイルはパソコンを用いて専用のビューワーソフト(GX メーカーHPより無償ダウンロード可能。以下、ビューワーと称す)にて表示・閲覧をする。以下にビューワーの表示例を示す。



ビューワーソフトの主な機能として、

- ①データ変換・・・一般的な表計算ソフトであるマイクロソフト社製エクセルで取り扱えるようにデータ形式を変換することができる。
- ②ファイル接続・・・1日毎に生成された計測ファイルを接続することができる。

③データ表示・・・上図のような波形表示、サーキュラ(円形チャート)表示、デジタル(計測値羅列表)表示が用意されており、場合に合った表示が可能である。

また、GX には演算機能がある。今回の試験にあたり演算したのは、揚水量・産出ガス量積算値及び産出ガス量を標準状態にするための温度圧力補正である。積算演算は、計測した瞬時値(1秒毎)をGX演算で蓄積することと、電磁流量計(フィールド計器)のようにそれ自身が積算パルスを生成し発信するオン・オフ信号をアナログ積算する。産出ガス量は絞り機構(コーナータップオリフィス)流量計について温度圧力補正演算をするが、オリフィス、補正用温度・圧力の仕様に変更があった場合には、基準となるパラメーターを再設定することで容易に変更することができるようにプログラムを設計した。本試験では、現にオリフィスプレートを変更したが、現地にて特別なパラメーター産出計算をせずに設定変更を行っている。

2.2.5 警報管理

GXに取り込んだ計測値には、上下限警報を設定することができる。運転に異常を来した場合は、直ちに水中ポンプを停止して、警報を担当者(遠隔地含む)へ知らせる必要がある。

警報については、排水濁度上限(排水規制)、GST 水位上限(排水不良等)、坑井内アニュラス圧力上限(水中ポンプ過負荷)、産出ガス量上限(井戸の猛烈自噴)を設定した。

これらの条件(インターロック停止条件)のいずれかが成立した場合には、直ちに水中ポンプを自動停止してリスク拡大を抑制する。

インターロック停止条件ではなく、遠方から任意に水中ポンプを停止する機能も構築した。操作方法は、担当者の持つ携帯電話から後述のモバイルVPNを介して停止することができる。なお、誤操作防止のため直ちに停止することなく、取り消しができるように時間猶予を持たせた。

水中ポンプが停止すると、担当者(2名)の携帯電話にEメールで知らせる。また、停止した原因についても付記される。

2.2.6 遠隔監視 (モバイルVPN)

試験現場は基本的に無人操業となっているため、遠方からでも監視、管理ができるようになっていることが望ましい。そこで近年のネットワークインフラを利用した方法を採用した。

計測値を記録するGXはネットワーク対応となっている。GXはLANポートが標準装備されており、GXのネットワーク機能のうち、本試験で利用したものは以下の通りである。

- ①計測中のデータをパソコン上のWebブラウザや携帯端末(スマートフォン、iPhone/iPad等のネットワークに接続できる機器で閲覧できる
- ②GXの設定(警報設定値の変更等)ができる
- ③異常時、定刻のEメール通知ができる(別途メールアカウントが必要)
- ④外部FTP(ファイル転送用)サーバーに計測データを保存できる

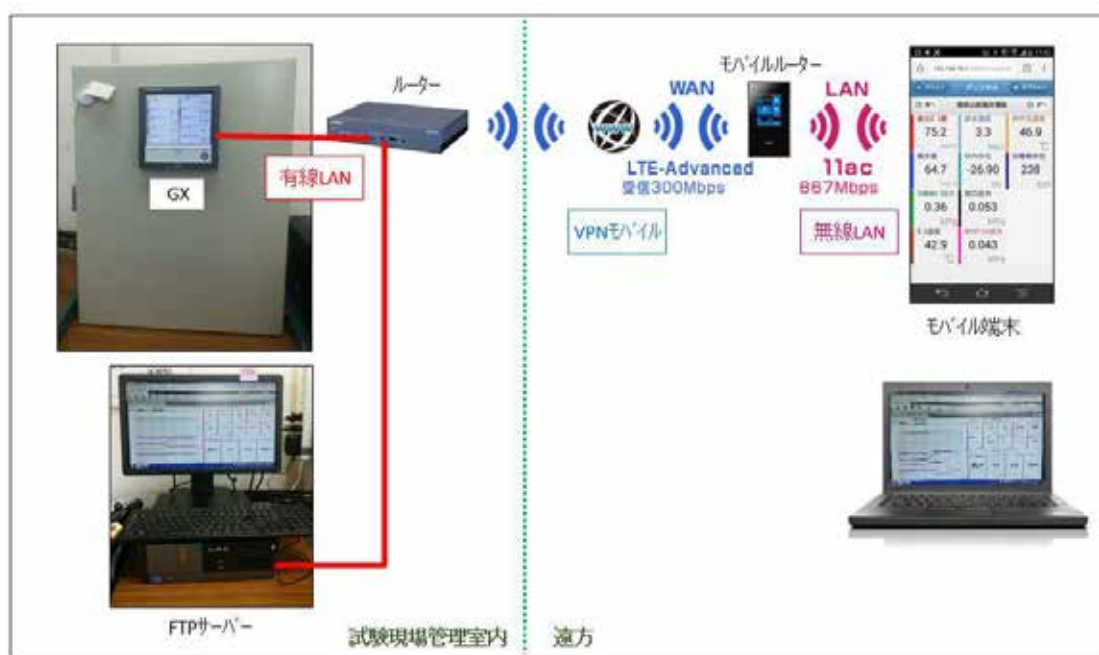
これらの機能を遠方でも利用するには、インターネット網を介して独自のネットワークを構

築することが不可欠である。仮想プライベートネットワーク (VPN) を構築し、そこに携帯端末からでも接続 (VPN モバイル) できるようにした安価でセキュリティの高いネットワークを構築した。

試験現場管理室内では有線 LAN を用いてネットワークを構築したがネットワーク環境が思わしくないため、ルーター (通信機器) の WAN 側接続に携帯電話回線が利用できるようにした。

遠方からの監視については、担当者 (現地を含め 4 名) がどこにいても状況を把握できるようにモバイルルーター (携帯電話会社提供のネットワークを利用できる携帯通信機器) で通信を行い、各自のモバイル端末をモバイルルーターに接続して監視できるようにした。モバイルルーターに無線 LAN を利用して各端末を接続して利用することができる。また、モバイルルーター 1 台で接続許可された複数の端末を接続することが可能である。

下図に VPN モバイルを用いたネットワークのイメージを示す。



このネットワーク構築により携帯電話の利用可能地域ならどこでも試験現場の状況について、モバイル端末を利用して監視することができるようになった。

モバイル端末でリアルタイムに監視できる内容は、計測値の瞬時値 (デジタル表示とバーグラフ表示) と 2 時間分のトレンドグラフ (波形表示) である。警報域に達した計測値の表示は、黒色から赤色に変化する。過去の計測値を閲覧したい場合は、モバイル端末ではできないので、無線 LAN と接続できるパソコンで VPN モバイルに接続する。試験現場に設置した FTP サーバーに接続して 1 日毎に生成されたファイルをダウンロードして、ビューワーで閲覧する。なお、FTP サーバーについては特別なサーバー PC を用意せず、汎用 PC にブラウザソフトの FTP サービスを利用して簡単に構築した。

試験現場に異常 (停電検知を含める) があつた場合には、GX が異常を検知して遠方にいる担当者 2 名の携帯電話に E メールで知らせる。VPN モバイルに異常があつた場合にはプロバイダーから E メールで知らせがある。また、異常が無くとも定時に GX に現況を E メールにて知らせる

ようにできるので、同担当者に毎日 2 回(7 時、19 時)に定刻通知を行った。なお、E メール配信機能(メールサーバー機能)は GX に標準装備されているが、別途メールアカウントが必要になる。

試験現場が停電すると、揚水用の水中ポンプが停止して試験が中断される。この場合、計測機器や通信機器も合わせて停止してしまうと状況が分からなくなってしまうため、UPS(無停電電源装置/容量 500VA)を用意した。約 2 時間程度の停電に対応できる。なお、試験中も 1 度、台風による停電が発生した。

2.2.7 電源の確保

試験現場における電源については、沖縄電力(株)から臨時電力として 200V と 100V で受電し、AC200/400V の昇圧トランス(水中ポンプ付帯機器)を用いた。

昇圧トランスは事務所横の改造した冷凍用コンテナ内に設置した。

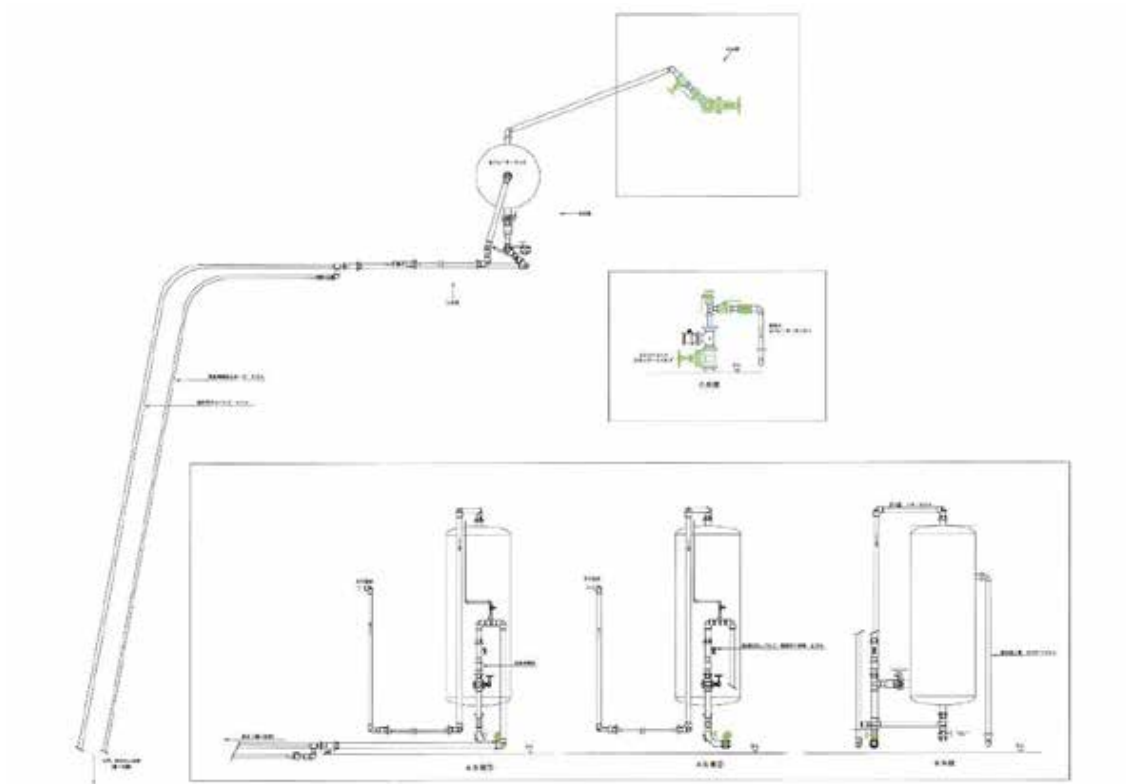
また、計測、通信及び事務機器等用の電灯電源(AC100V)、エアコン用の動力電源(AC200V)も配線した。電源配線工事については、宮古島市内の外注業者により施工した。



昇圧トランス



電力量計は、AC200V 及び 100V について現場内の一号柱に設置した。



セパレーター設置図

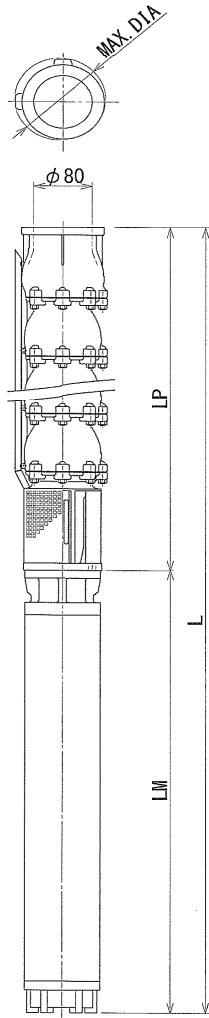
2.2.8 水中モーターポンプ

今回各種試験に用いた水中モーターポンプはおかもとポンプ株式会社の型式 OPDSH6J-80-18.5-6 である。全揚程は 60m、揚水量は 1,150L/min、電動機出力 18.5kW、周波数 60Hz、電圧 400V、電流 37.2A、回転数 $3,465\text{min}^{-1}$ 、段数 6 となっている。

仕 様 書
SPECIFICATIONS

名 称 深井戸用水中モータポンプ
DESCRIPTION SUBMERSIBLE MOTOR PUMP FOR DEEP WELL

APPLICATION : OPDSH6J-80-18.5



仕 様
SPECIFICATIONS

型 式 PUMP MODEL	OPDSH6J-80-18.5-6	
全 揚 程 TOTAL HEAD	60	(m)
揚 水 量 CAPACITY	1150	(L/min)
電動機出力 MOTOR OUTPUT	18.5	(kW)
周 波 数 FREQUENCY	60	(Hz)
電 圧 VOLTAGE	400	(V)
電 流 CURRENT	37.2	(A)
回 転 数 REV. SPEED	3465	(min ⁻¹)
段 数 STAGES	6	

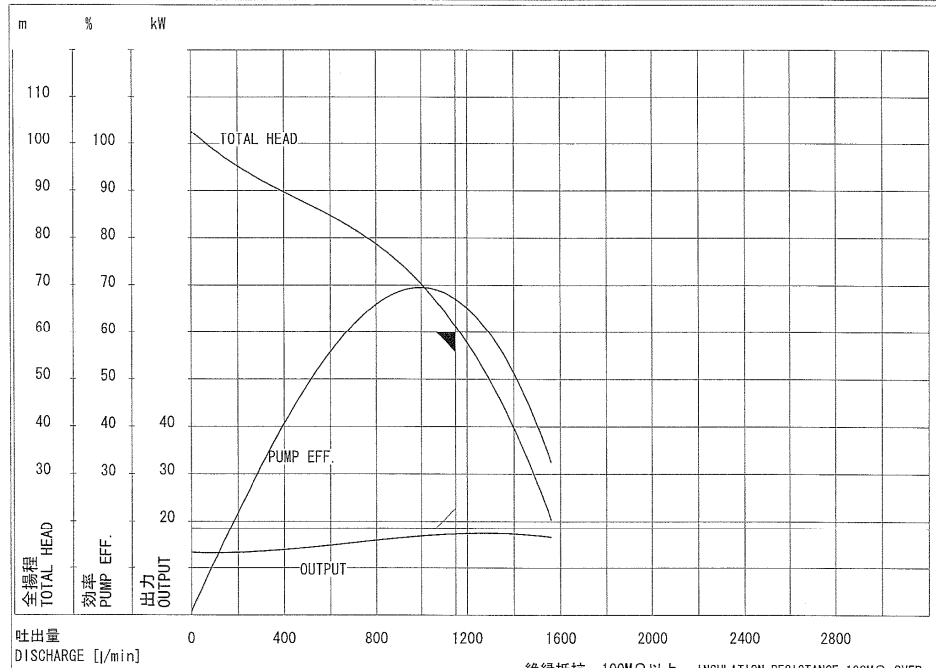
寸 法
DIMENSIONS

吐出口径 DISCHARGE DIA.		80	(mm)
ポンプ長さ PUMP LENGTH	LP	1120	(mm)
モータ長さ MOTOR LENGTH	LM	940	(mm)
全 長 TOTAL LENGTH	L	2060	(mm)
最大外径 MAXIMUM DIA.	MAX. DIA.	143	(φ mm)
質 量 MASS		135	(kg)

水中モーターポンプ仕様書 (株式会社おかもとポンプ製)

ポンプ試験成績表 PUMP PERFORMANCE TEST RECORDS

項 番 ITEM	揚程 HEAD			吐出量 CAPACITY		電動機 ELECTRIC MOTOR			効 率 PUMP EFF. (%)
	圧力計 DISCHARGE HEAD (m)	測点高差 MEASURING POINTS (m)	全揚程 TOTAL HEAD (m)	堰上の深さ NOTCH READING ()	吐出量 DISCHARGE VOLUME (l/min)	電圧 VOLTAGE (V)	電流 CURRENT (A)	軸動力 OUTPUT (kW)	
1	101.4	1.0	102.4	---	0.0	400.2	27.6	13.42	0.0
2	99.1	1.0	100.1	---	69.5	400.1	27.0	13.07	8.6
3	88.9	1.0	90.0	---	411.5	400.0	28.1	13.74	44.0
4	78.8	1.0	80.1	---	729.0	400.2	31.3	15.66	60.8
5	68.6	1.0	70.2	---	1008.4	400.0	33.6	16.97	68.0
6	58.4	1.0	60.1	---	1169.8	400.0	34.0	17.18	66.7
7	48.1	1.0	50.0	---	1294.1	400.1	34.1	17.20	61.3
8	38.0	1.0	40.1	---	1398.6	400.0	33.9	17.11	53.4
9	17.9	1.0	20.2	---	1559.6	400.2	33.1	16.67	30.8



計測方法 MEASURING METHOD 80A流量計 80A WATER METER 流量計 WATER METER 90°三角堰 90° TRIANGULAR 1000m/m四角堰 1000m/m SQUARE WEIR

電動機要目 DRIVER RATING	相 PHASE	電圧 VOLTAGE (V)	電流 CURRENT (A)	周波数 FREQUENCY (Hz)	回転数 REV. SPEED (min ⁻¹)	出力 OUTPUT (kW)	製造所 MOTOR MAKER	型式 MOTOR MODEL	製造番号 MOTOR SERIAL NO.
	3	400	37.2	60	3465	18.5	FRANKLIN	HI-TEMP90 400-50/61	5A19-06-06150A

ポンプ要目 PUMP SPEC	口径 DISCHARGE (mm)	出力 OUTPUT (kW)	全揚程 TOTAL HEAD (m)	揚水量 CAPACITY (l/min)	ポンプ型式 PUMP MODEL		製作番号 WORK NO.
要求規格 REQUIRED SPEC	80	18.50	60.0	1150.0	OPDSH6J-80-18.5-6		615373
試験成績 TEST RESULT	80	17.18	60.1	1169.8	試験係 TESTED BY	小林 KOBAYASI	検査係 CHECKED BY
							御立会人 APPROVED BY

ポンプ試験成績表 (株式会社おかもとポンプ製)



水中モーターポンプ設置



水位センサー設置

2.3 試験結果

2.3.1 予備揚水試験

孔内洗浄の後、揚水を行い、揚水量と揚水水位の関係を確認することを目的として実施されるものであるが、今回は平成 26 年度天然ガス資源活用促進に向けた試掘調査事業時に揚水試験を実施している。そのため、その際のデータも考慮しながらの予備揚水試験となった。坑口圧力、揚水量、水位及びセパレーター水位を確認しながらの試験を平成 27 年 8 月 30 日及び 8 月 31 日に実施した。その結果を元に平成 28 年 9 月 1 日に段階揚水試験を実施した。

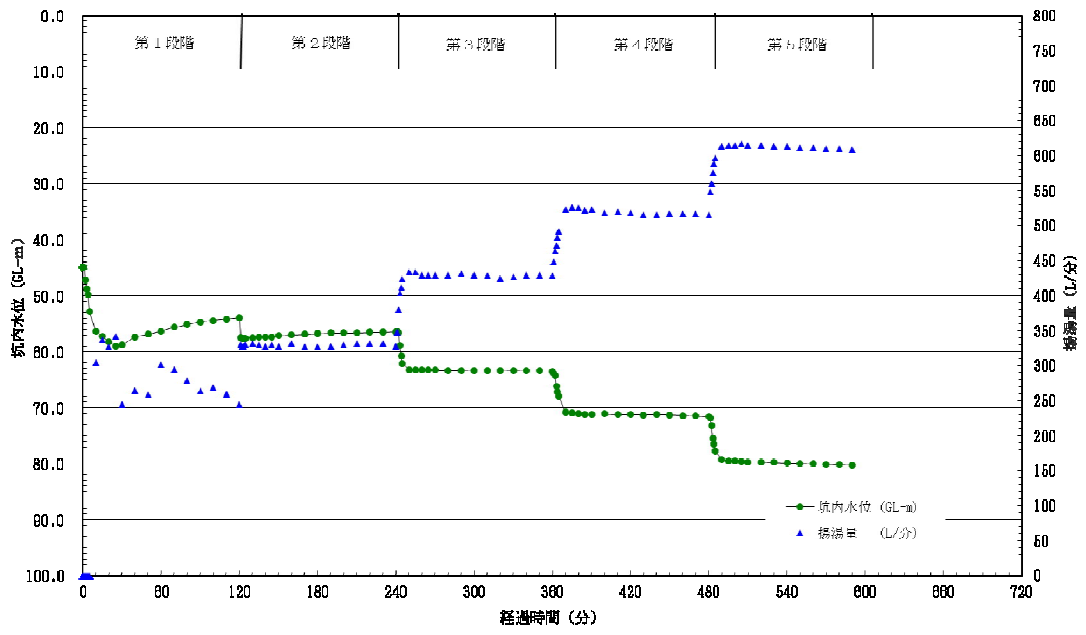
2.3.2 段階揚水試験

次の方法により実施した。

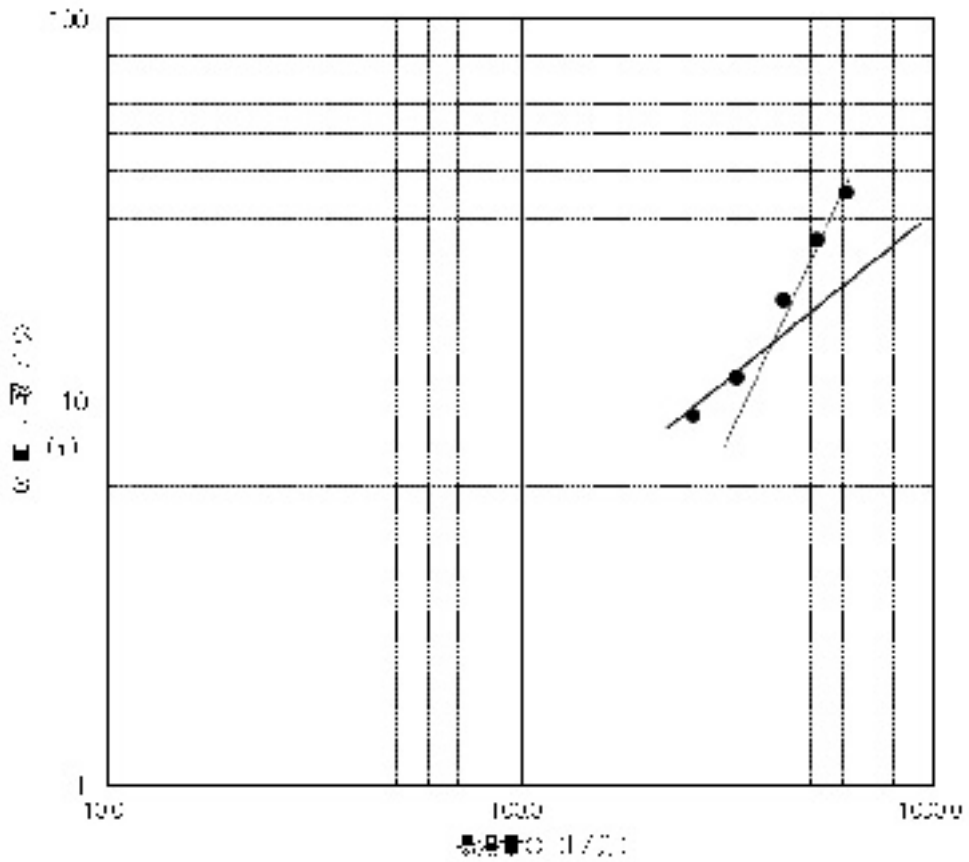
- ① 自然水位（揚水していない状態での水位）を測定する。
 - ア 自噴していない源泉の場合 温泉水頭が地表下に位置しているため、その水位を測定し自然水位とする。
 - イ 自噴している源泉の場合 自噴状態の泉温及びゆゆう出量を測定する。測定後、湧出口を高くしていくと自噴量が減少し、ある高さになると全く停止する。このときの高さを自然水位とする。
- ② 揚水量を、利用計画に基づいた必要揚水量等を含む 5 段階以上に分け、各段階の揚水量で継続して揚水しながら、動水位及び泉温を測定する。試験時間は、各段階 1 時間以上、又は動水位が安定するまで（目安として水位 低下速度が 1 時間に 0.1m 以下となるまで）の時間とする。
- ③ 揚水量と水位下降量の関係を両対数グラフに記録し、傾きが 1 以上となる屈曲点を限界揚水量とし、適正揚水量（限界揚水量の 80% 以下）を設定する。なお、設定した揚水量では限界揚水量が見いだせない場合は、段階揚水試験の最大揚水量を超えない範囲で適正揚水量を設定することとする。

平成 28 年 9 月 1 日に段階揚水試験を実施

300kL/d、450kL/d、600kL/d、750kL/d、バルブ全開の 5 段階を各 120 分以上で実施



段階揚水試験結果



水位降下量 (S) と揚湯量 (Q) のグラフ

2.3.3 連続揚水試験

次の方法により実施した。

段階揚水試験により設定した適正揚水量で連続して揚水し、動水位及び泉温を測定する。試験時間は、通常水位が安定化するまでを基本とし、測定値が安定していれば、適正揚水量は適切であると判断するが今回は平成28年9月2日から平成29年1月31日まで連続揚水試験を実施した。

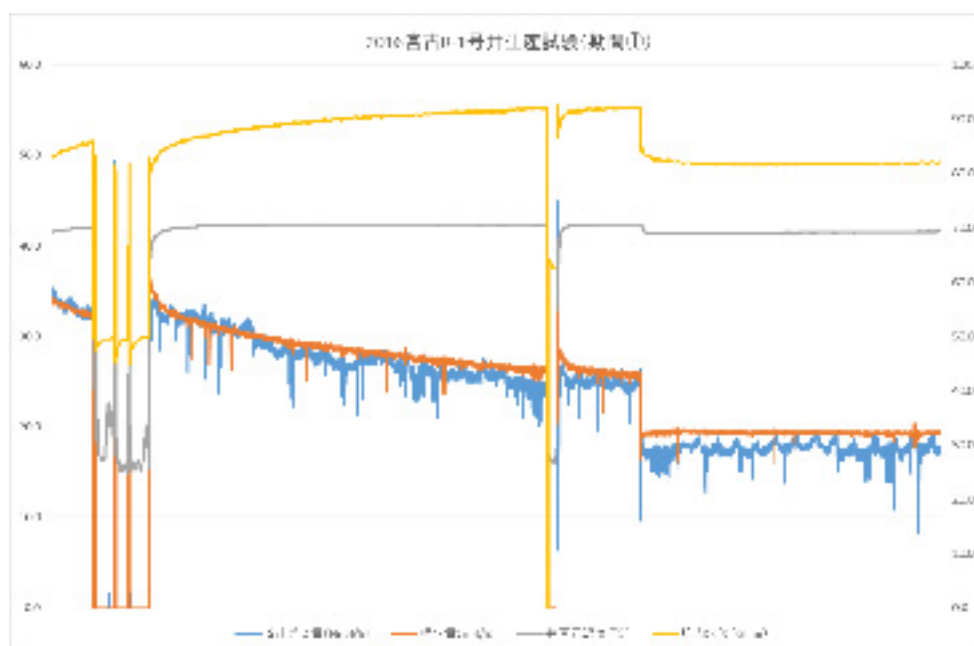
取得データ量の都合で4期間を設定

期間①：平成28年09月02日～10月18日

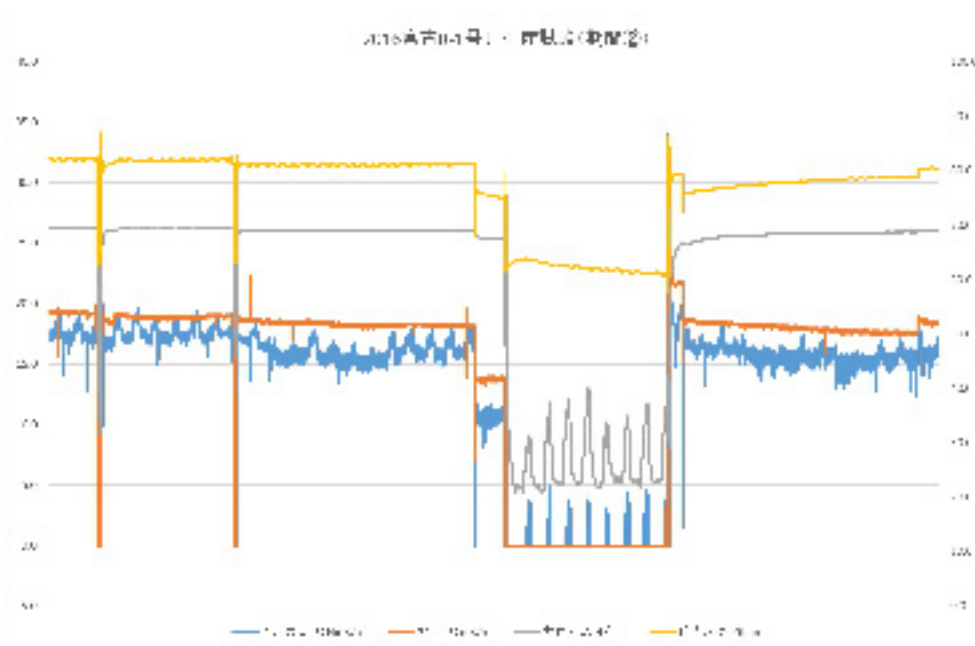
期間②：平成28年10月18日～12月02日

期間③：平成28年12月02日～平成29年1月16日

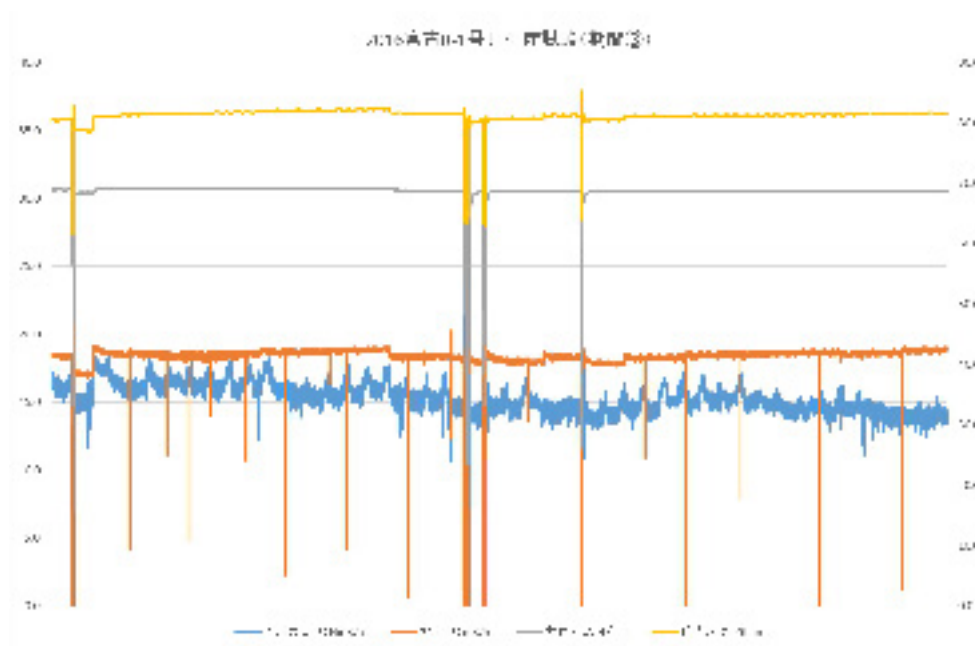
期間④：平成29年01月16日～01月31日



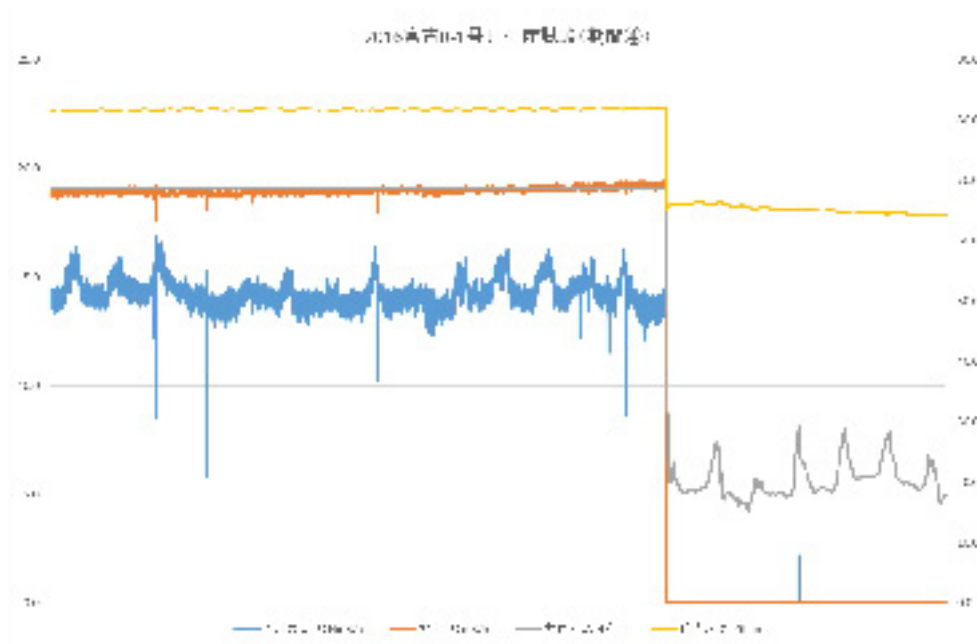
連続揚水試験（期間：①）



連続揚水試験 (期間:②)



連続揚水試験 (期間:③)

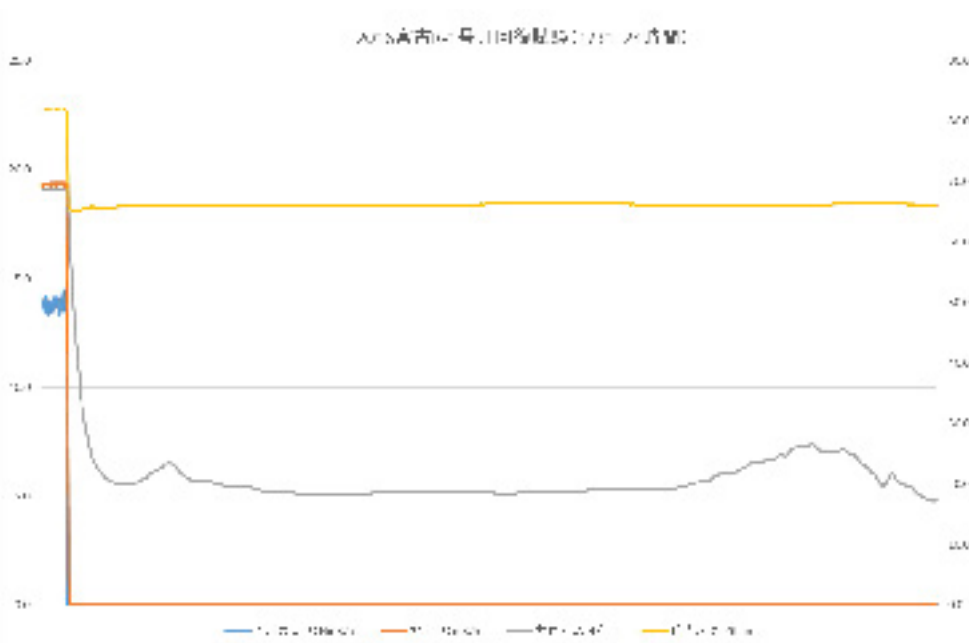


連続揚水試験（期間：④）

2.3.4 水位回復試験

次の方法により実施した。

連続揚水試験の揚水を停止した後、水位の経時的な回復状況を測定する。水位が自然水位まで完全に回復したと判断された時点で終了とする。今回は停止後 24 時間実施。



水位回復試験

回復試験の結果、揚水停止後 5 分程度で GL-66m 程度まで回復しその後安定していたことから自然水位まで 5 分程度で復帰したと考えられる。

2.4 まとめ

今回の試験結果から宮古 R-1 号井で 360m³/d の生産ガス量及び 460KL/d のかん水を安定して連続揚水することができた。その際の水位は GL-約 82m で安定していた。

また、環境影響調査では保良川ビーチの周辺海域においてかん水排出の影響が確認されなかったことから（天然ガス生産試験に係る環境影響調査 業務報告書参照）、宮古 R-1 号井で、今回の生産試験において産出されたガス量及びかん水量で生産を今後も継続していくことは十分に可能であると考えられる。

項目	試験結果	単位
生産ガス量(G)	360	(Nm ³ /d)
限界揚水量	580	(KL/d)
適正揚水量(W)	460	(KL/d)
ガス水比(G/W)	0.78	(G/W)
メタン濃度	56	Vol%
井戸元温度	68	(°C)
運転時水位	82	(GL-m)
掘削深度	2437.14	(GL-m)

※限界揚水量

段階揚水試験で水位降下量 (s) と揚水量 (Q) の関係をグラフにプロットし、折れ曲がり点を生ずる揚水量。ある程度安定して揚水できると思われる限界量。

※適正揚水量

限界揚水量の 60%～80%のこと。

※ガス水比

坑井から産出したガスと水の地表上での容積比のこと。