

第 47 回試錐研究会

講 演 資 料 集

開催日：平成 21 年 2 月 19 日(木)

会 場：札幌サンプラザ (2F 金枝の間)

(札幌市北区北 24 条西 5 丁目)

第 47 回試錐研究会プログラム

主 催 北海道立地質研究所
協 賛 北海道地質調査業協会
社団法人 全国鑿井協会北海道支部
日 時 平成 21 年 2 月 19 日(木) 13:00~17:55
会 場 札幌サンプラザ 2F「金枝の間」
札幌市北区北 24 条西 5 丁目 Tel. 011-758-3111

◆開会のあいさつ (13:00~13:05)

北海道立地質研究所 所長 藤本 和徳

◆一般講演 (13:05~17:50)

- ・可燃性天然ガスの安全対策について 北海道 鈴木力喜雄
- ・温泉付随ガス対策用水中モーターポンプの開発と実証化試験
-『深井戸用ガス対策水中ポンプ開発概要』-
グランドフォスポンプ株式会社 吉村 秀雄・神谷 文貴
- 『新篠津村 2 号井での実証化試験結果』-
北海道立地質研究所 高橋 徹哉
中央開発株式会社 三浦 正人
- ・懸濁気泡水を用いた高品質ボーリング工法の紹介

休憩 (14:20~14:50)

(特別展示) 古い鳥瞰図に描かれた北海道の温泉地

- ・洞爺湖有珠山ジオパークの取組について - 減災と人づくり・地域振興 - 壮瞥町 田鍋 敏也
- ・洞爺湖温泉における省エネ型温泉給湯施設の再構築について
爺湖温泉利用協同組合 四宮 博
- ・北海道の温泉放出熱量と地熱利用の実態
北海道立地質研究所 鈴木 隆広

休憩 (16:05~16:35)

(特別展示) 古い鳥瞰図に描かれた北海道の温泉地

- ・地盤資料の GIS 化について 応用地質株式会社 谷地 武晴
- ・音響波を用いた高精度な地盤の可視化 JFE シビル株式会社 榊原 淳一
- ・寒冷条件に対応した次世代型汚染土壌修復技術の開発
~未利用資源を熱源とした加速型バイオレメディエーション~
明治コンサルタント株式会社 平本 弘

◆閉会のあいさつ (17:50~17:55)

北海道地質調査業協会 理事 佐藤 謙司

懇親会 (主催:試錐研究会懇親会実行委員会)

時 間 18:00~20:00
会 場 札幌サンプラザ 2F「玉葉の間」

目次

■ガス・ボーリング関連 (p1～44)

可燃性天然ガスの安全対策について-----	p01
温泉付随ガス対策用水中モーターポンプの開発と実証化試験-----	p19
-『深井戸用ガス対策水中ポンプ開発概要』-----	p19
-『新篠津村2号井での実証化試験結果』-----	p21
懸濁気泡水を用いた高品質ボーリング工法の紹介-----	p35

■サミット関連 (p45～74)

洞爺湖有珠山ジオパークの取組についてー減災と人づくり・地域振興-----	p45
洞爺湖温泉における省エネ型温泉給湯施設の再構築について-----	p57
北海道の温泉放出熱量と地熱利用の実態-----	p65

■地盤・環境関連 (p75～100)

地盤資料のGIS化について-----	p75
音響波を用いた高精度な地盤の可視化-----	p83
寒冷条件に対応した次世代型汚染土壌修復技術の開発～未利用資源を熱源とした加速型 バイオレメディエーション～ -----	p91

講 演

可燃性天然ガスの安全対策について

北海道

鈴木 力喜雄

可燃性天然ガスの安全対策について

北海道保健福祉部保健医療局医務薬務課

可燃性天然ガスの安全対策

温泉採取に伴い発生する可燃性天然ガスによる災害の防止に関する技術上の基準

可燃性天然ガス発生設備とは

- ・温泉井戸
- ・ガス分離設備(形態にとらわれずガスを一定濃度未満まで分離する設備) ■ ガスセパレータ、貯湯槽等)
- ・温泉井戸又はガス分離設備からの可燃性天然ガスの排出口

ここからの説明で設置すべき設備又は実施すべき措置で「経過措置あり」とされている事項は、改正法施行の際(平成20年10月1日)現に温泉源から温泉を採取している場合で、温泉採取業の許可申請の時点(申請期限は平成21年3月31日まで)で必要な設備等(ハード系)が整備されていないときには、平成22年3月31日までに技術上の基準に適合させなければならないというものです。

なお、「経過措置あり」のうち、「★経過措置あり」の事項は、平成22年3月31日までに適合させなければならない災害防止の基準のうち「重要な変更の許可申請」が必要なものです。

温泉採取業の許可後に災害防止上重要な設備等を技術上の基準に適合させようとする場合は、設備等を変更する前にあらかじめ保健所に「温泉の採取のための施設等の変更許可申請書」を提出して許可を受けた後に工事に着手しなければならないので、事前に御相談ください。

①可燃性天然ガス発生設備が 屋外にある場合の対策

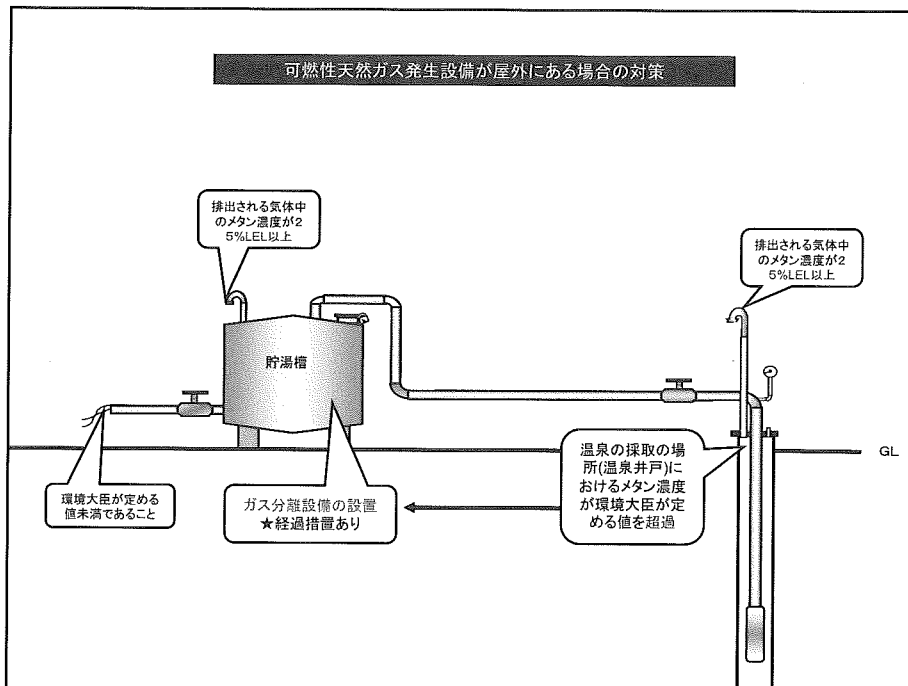
(規則第6条の3第1項)

改正法施行日(平成20年10月1日)以降の可燃性天然ガス発生設備の原則屋内設置禁止!!

改正法施行以降の可燃性天然ガス発生設備の屋外から屋内への移設禁止!!

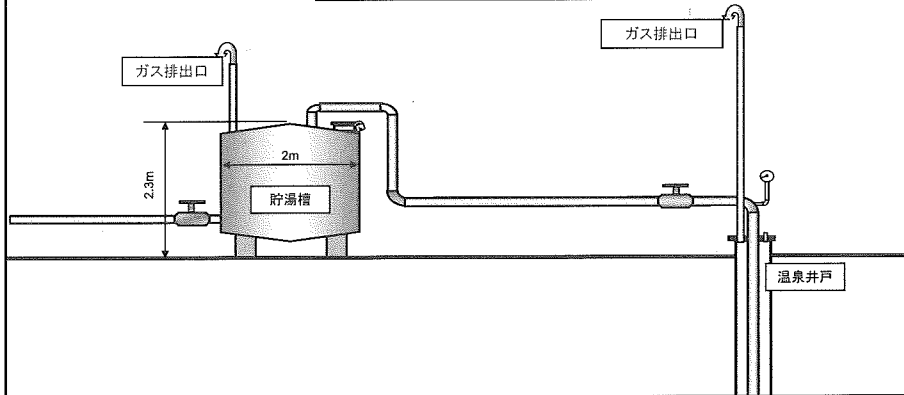
(改正法施行前に屋内に移設した場合は、可燃性天然ガス発生設備が屋内にある場合の対策が適用されます。)

温泉井戸(動力が装置されているものを除く。)が屋外にあり、かつ、温泉水を屋内又は貯水槽に引き込まない場合は、以下の災害防止基準を適用しない。



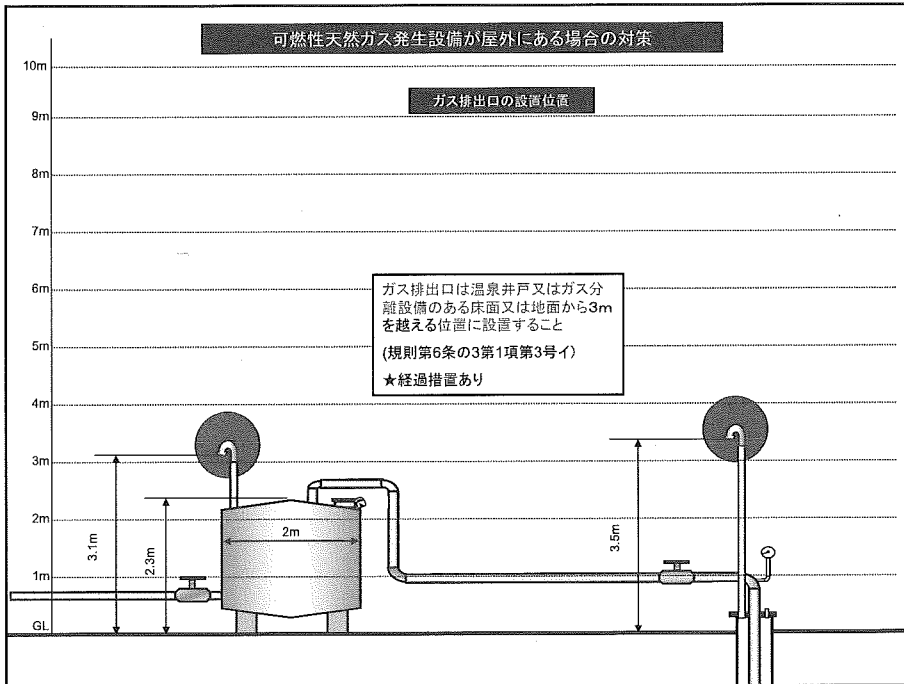
可燃性天然ガス発生設備が屋外にある場合の対策

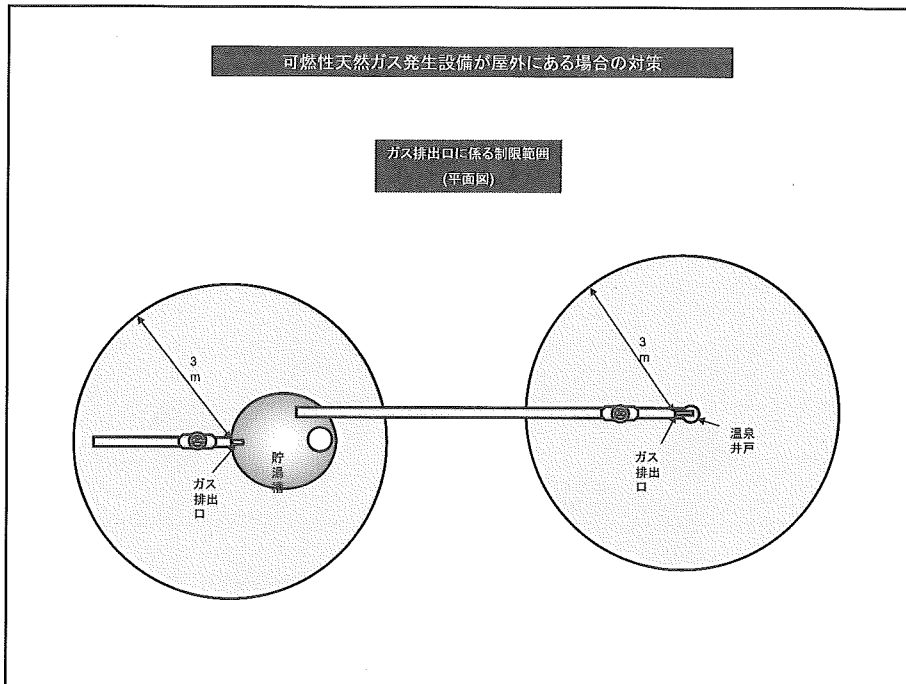
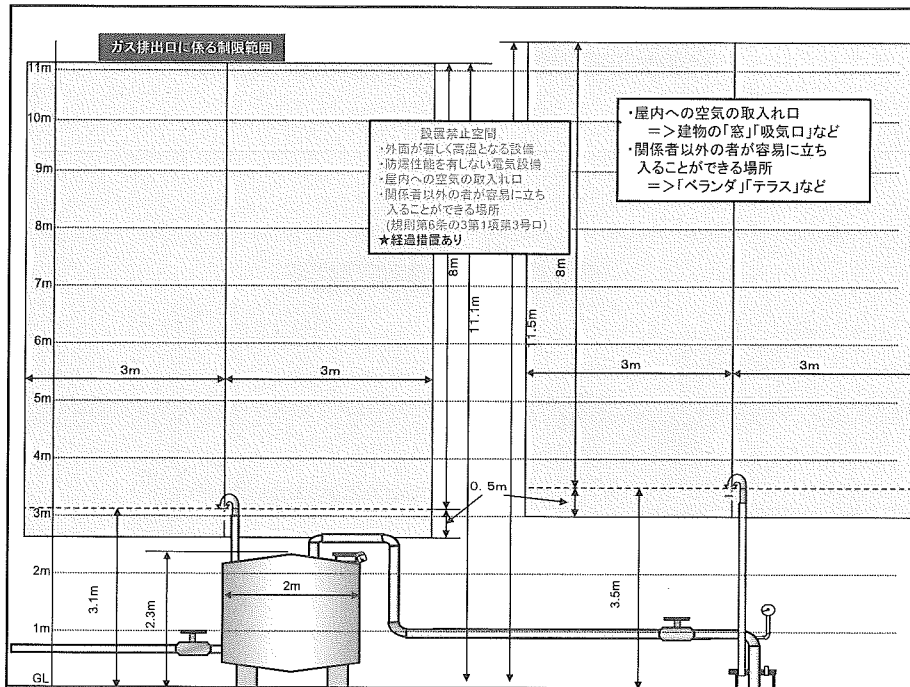
貯湯槽をガス分離設備とした場合の例

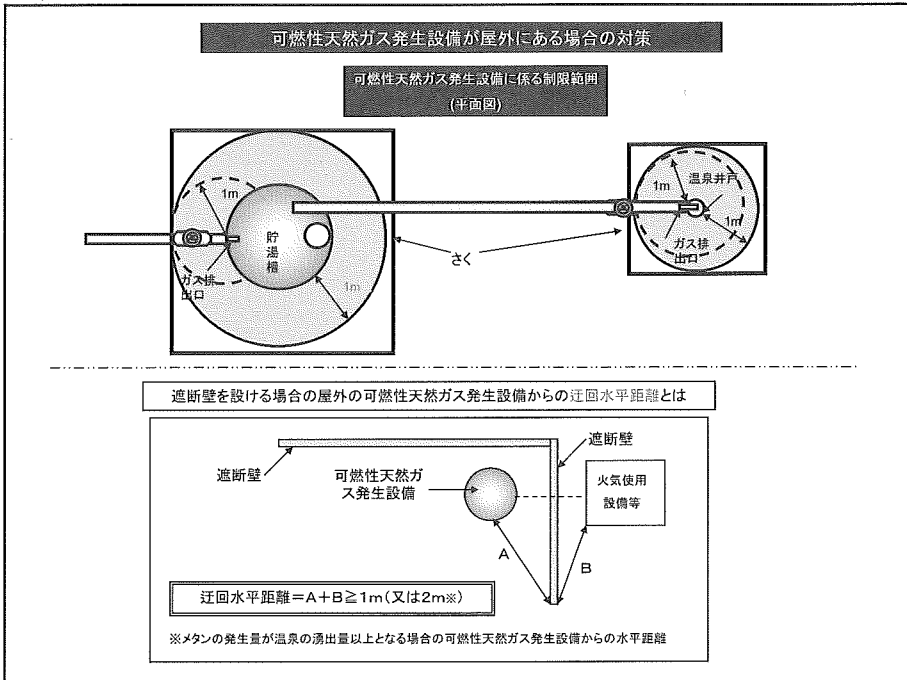
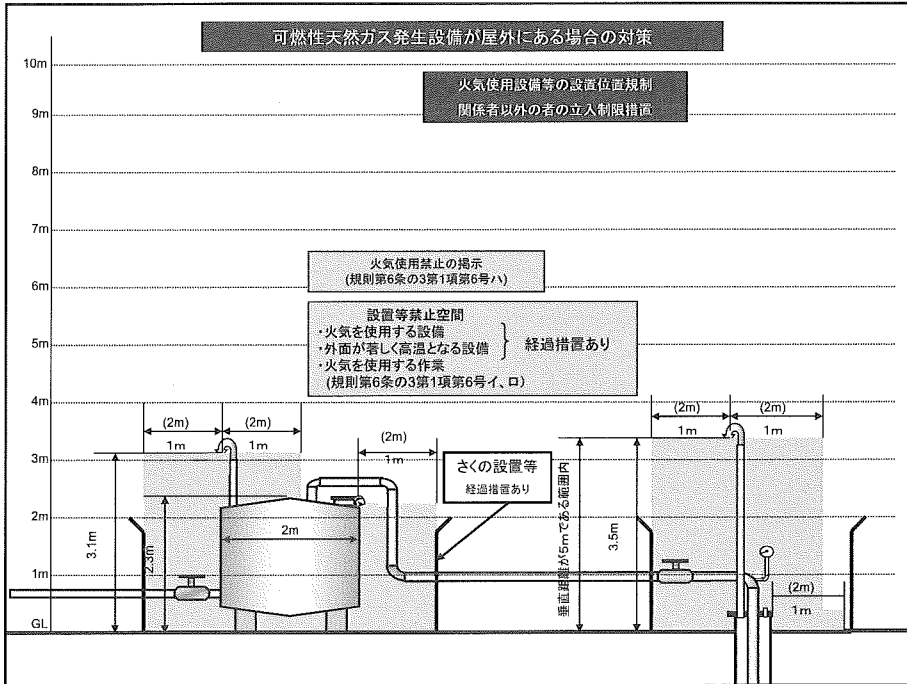


可燃性天然ガス発生設備が屋外にある場合の対策

ガス排出口の設置位置







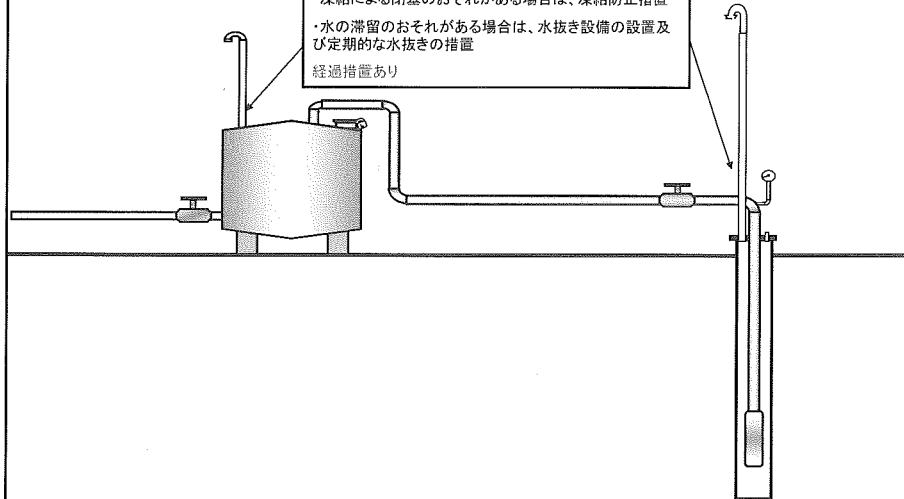
可燃性天然ガス発生設備が屋外にある場合の対策

配管の閉塞防止措置

温泉井戸からガス排出口までの配管及びガス分離設備からガス排出口までの配管の閉塞防止措置

- ・凍結による閉塞のおそれがある場合は、凍結防止措置
- ・水の滞留のおそれがある場合は、水抜き設備の設置及び定期的な水抜き措置

経過措置あり

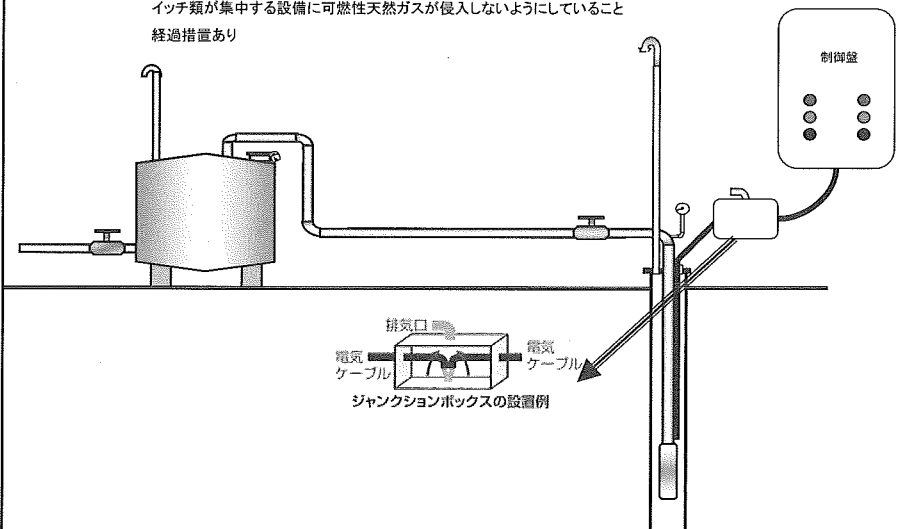


可燃性天然ガス発生設備が屋外にある場合の対策

制御盤等へのガス侵入防止措置

可燃性天然ガス発生設備に設置された電気設備と制御盤その他のスイッチ類が集中する設備との間の配線に接続箱を設置することその他の方法により、制御盤その他のスイッチ類が集中する設備に可燃性天然ガスが侵入しないようにしていること

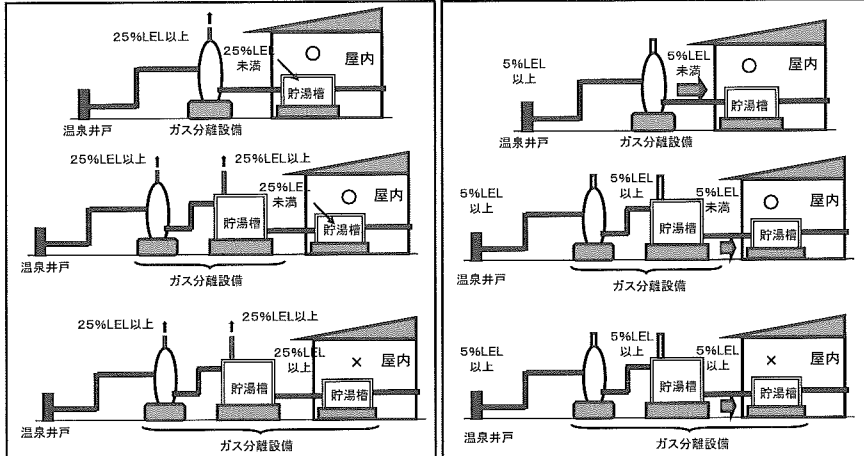
経過措置あり



新規施設における温泉採取・貯蔵設備の屋外設置規制について

ポイント ★屋内では、貯湯槽内といえども、メタンガス濃度を25%LEL以上にしない。

≒屋内に5%LEL(ヘッドスペース法による測定値)以上のメタンガスを含む温泉水を入れない。



※表示されている濃度は、槽内空気濃度測定法で測定した値である。

※表示されている濃度は、温泉水中に含まれるメタン濃度をヘッドスペース法で測定した値である。

可燃性天然ガス発生設備が屋外にある場合の対策

採取時災害防止規程の作成・備付け

次の採取時災害防止規程を作成し、温泉を採取する場所に備え付けておかなければなりません。

- 1 災害防止措置の実施体制(安全担当者の選任を含む。)に関すること。
- 2 災害の防止のための点検項目及び方法に関すること。
- 3 災害その他の非常の場合に実施すべき措置に関すること 等

施設・設備の点検管理

- 1 毎月(温泉の採取を行わない月を除く。)1回以上、ガス分離設備の内部の水位計及び可燃性天然ガス発生設備の以上の有無を目視により点検すること。
- 2 1の点検の作業の結果を記録し、その記録を2年間保存すること。
- 3 可燃性天然ガスによる災害の防止に関する規程(採取時災害防止規程)を作成し、これを温泉の採取の場所に備えていること。
- 4 災害その他の非常時の場合には、採取時災害防止規程に従って必要な措置を行うこと。

②可燃性天然ガス発生設備が 屋内にある場合の対策

(規則第6条の3第3項)

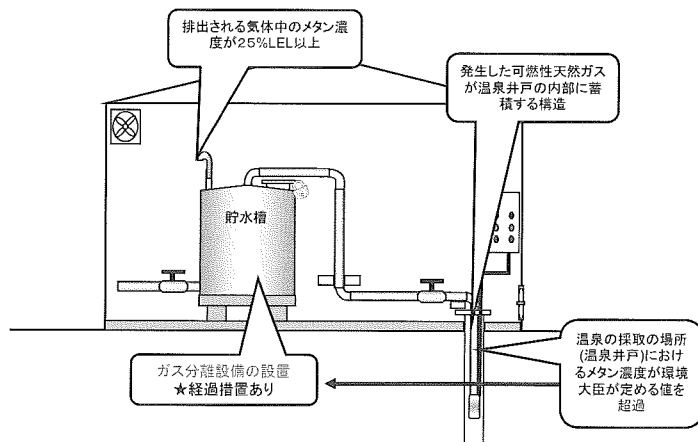
改正法施行日以降、温泉井戸は、多雪又は寒冷の気象条件により屋外に設置することが適当でない場合において、地上にあり、かつ、人が通常出入りしない場所に設置するときに除き、屋内に設置することはできません。

また、ガス分離設備を屋内に設置することはできません。

可燃性天然ガス発生設備が屋内にある場合の対策

ガス分離設備の設置

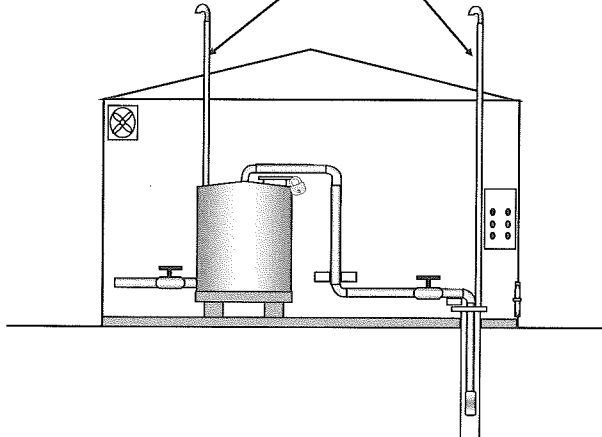
改正温泉法の施行の際現に温泉井戸又は
ガス分離設備(貯湯槽)を屋内に設置しているケース



可燃性天然ガス発生設備が屋内にある場合の対策

配管の閉塞防止措置

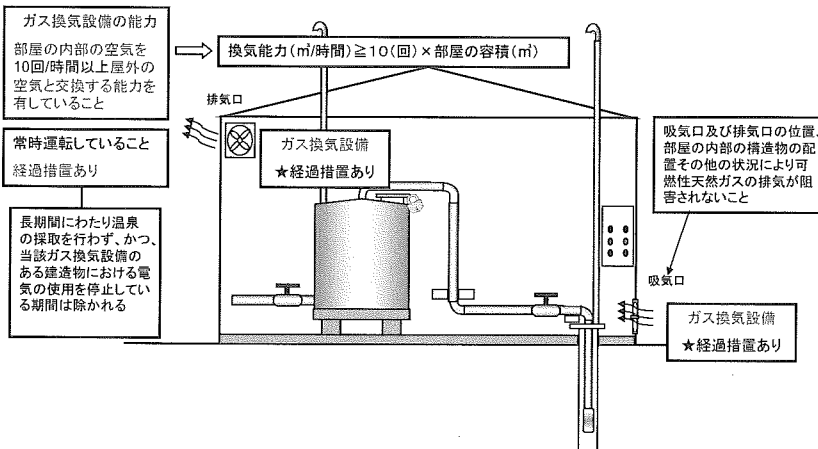
温泉井戸からガス排出口までの配管及びガス分離設備からガス排出口までの配管の閉塞防止措置
 ・凍結による閉塞のおそれがある場合は、凍結防止措置
 ・水の滞留のおそれがある場合は、水抜き設備の設置及び定期的な水抜きの措置
 経過措置あり

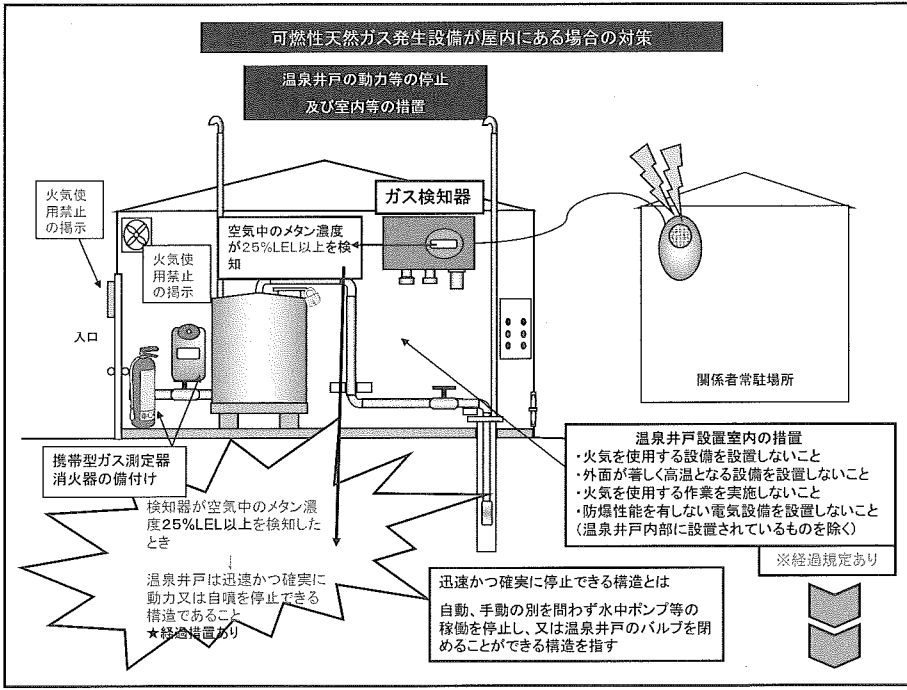
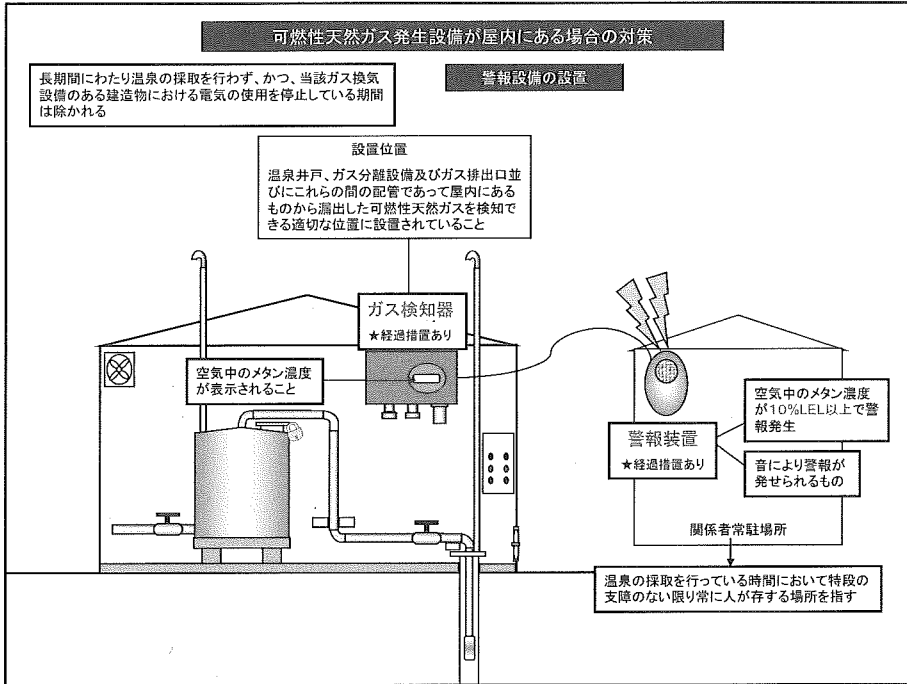


可燃性天然ガス発生設備が屋内にある場合の対策

ガス換気設備の設置

ガス換気設備：以下の要件を備えた可燃性天然ガスを含む空気を屋外の空気と交換するための設備







温泉井戸設置室内の措置の経過規定

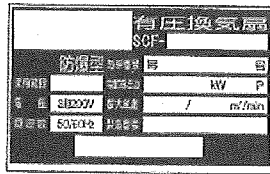
温泉井戸設置室内の措置

- ・火気を使用する設備を設置しないこと
- ・外面が著しく高温となる設備を設置しないこと
- ・火気を使用する作業を実施しないこと
- ・防爆性能を有しない電気設備を設置しないこと
(温泉井戸内部に設置されているものを除く)

改正法の施行日現在、火気使用設備等(ボイラーなど)を設置している場合は火気使用設備等を廃止するまでは適用されませんが、廃止するまでの間は、次の措置を講じなければなりません。

●検知器が25%LEL以上を検知したときは、火気使用設備等は自動的に停止される構造であること

★ガス検知器を火気使用設備等の付近に設置すること



防爆型換気扇の銘板の一例

改正法の施行日現在、屋内に設置されている防爆性能を有しない電気設備のある温泉を採取するための施設については、適用されませんが、次のいずれかに掲げる措置を講じなければなりません。

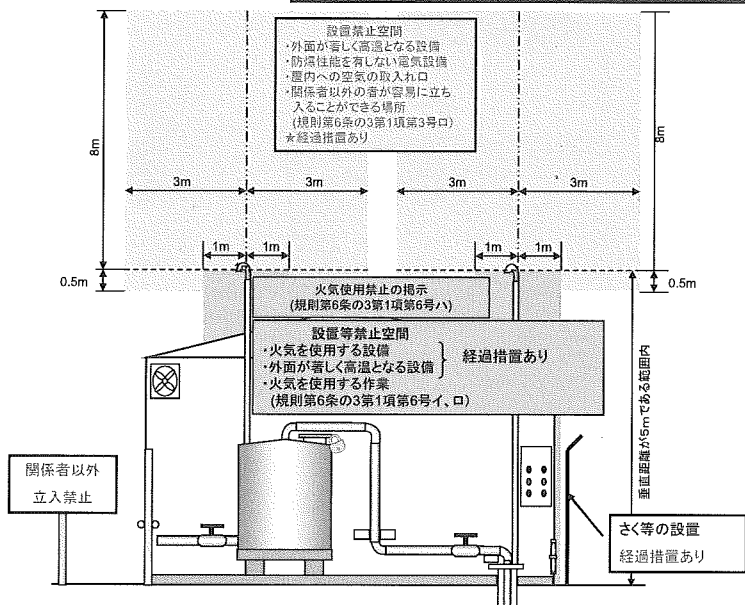
★温泉井戸は、検知器が25%LEL以上を検知した場合において、迅速かつ確実に温泉の採取のための動力又は温泉の自噴を停止できる構造であること。

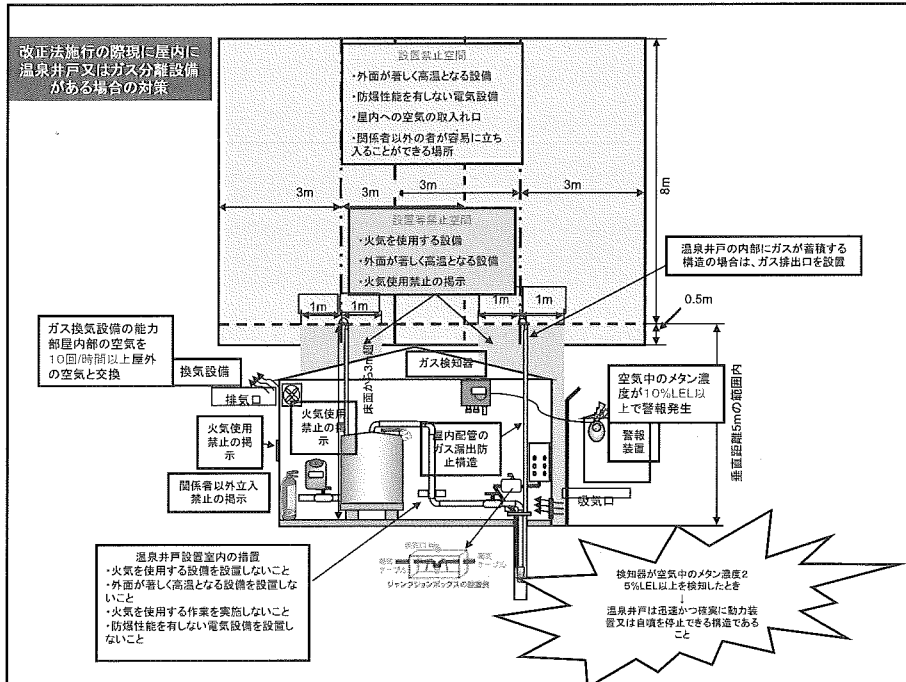
★ガス換気設備が防爆性能を有し、かつ、●検知器が25%LEL以上を検知したときに、温泉井戸が設置された部屋のすべての電気設備(防爆性能を有する電気設備を除く)への電気の供給を自動的に停止する構造であること

※ ★印の事項は、重要な変更の許可申請が必要なものです。

可燃性天然ガス発生設備が屋内にある場合の対策

関係者以外の者の室内への立入制限及びガス排出口に係る制限範囲





可燃性天然ガス発生設備が屋内にある場合の対策

採取時災害防止規程の作成・備付け

次の採取時災害防止規程を作成し、温泉を採取する場所に備え付けておかなければなりません。

- 1 災害防止措置の実施体制(安全担当者の選任を含む。)に関すること。
- 2 災害の防止のための点検項目及び方法に関すること。
- 3 災害その他の非常の場合に実施すべき措置に関すること 等

施設・設備の点検管理

- 1 毎日(気候条件等により点検の作業が不可能な日又は温泉の採取を行わず、かつ、関係者が温泉の採取若しくは利用を行う場所にいない日を除く。)1回以上、次に掲げる点検の作業を行うこと。
 - イ 温泉井戸の周辺の空気中のメタンの濃度を携帯型の可燃性ガス測定器を用いて測定すること。
 - ロ 温泉井戸及びガス換気設備の異常の有無を目視により点検すること。
- 2 次に掲げる事項を記録し、その記録を2年間保存すること。
 - イ 規則第6条の3第3項第5号に規定する警報設備による警報の作動の状況
 - ロ 1に規定する点検の作業の結果
- 3 災害その他の非常時の場合には、採取時災害防止規程に従って必要な措置を行うこと。

③可燃性天然ガス発生設備(温泉井戸のみ)が地下ピットにある場合の対策

(規則附則第4条第2項)

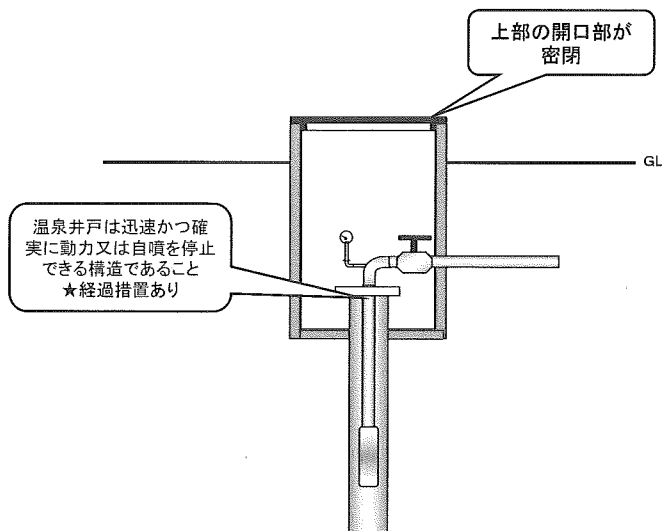
本対策は、改正法の施行の際現に地下ピットに温泉井戸のみを設置している場合に限られること。これ以外のものは可燃性天然ガス発生設備が屋内にある場合の対策が適用されること。

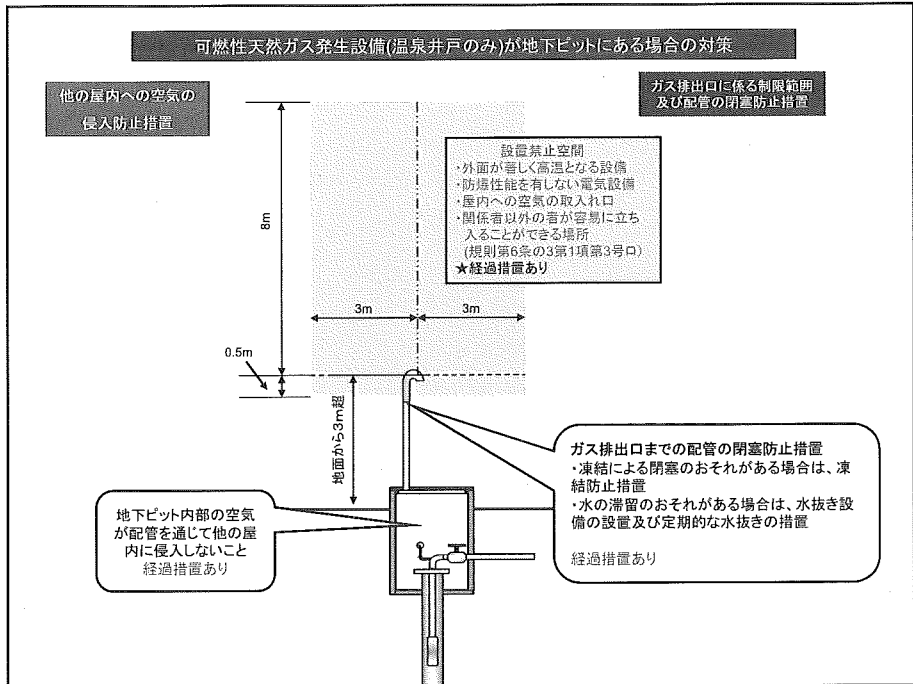
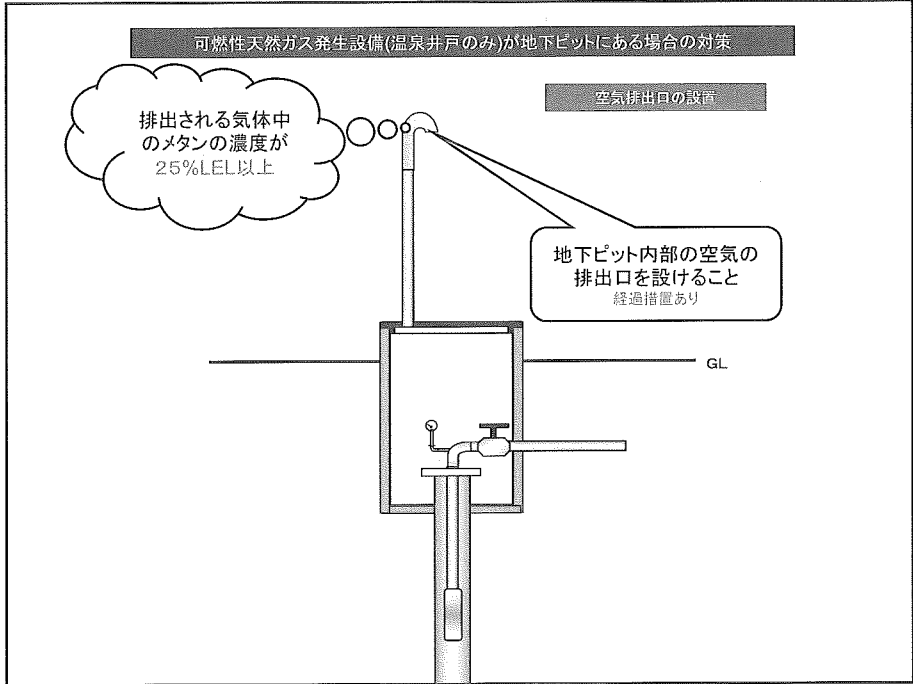
地下ピットとは

専ら温泉井戸を設置することを目的とした、通常人が出入りしない地下に埋設された施設で、上部にのみ屋外に面する開口部があり、かつ、当該開口部が堅固なふたで密閉されているものをいう。

可燃性天然ガス発生設備(温泉井戸のみ)が地下ピットにある場合の対策

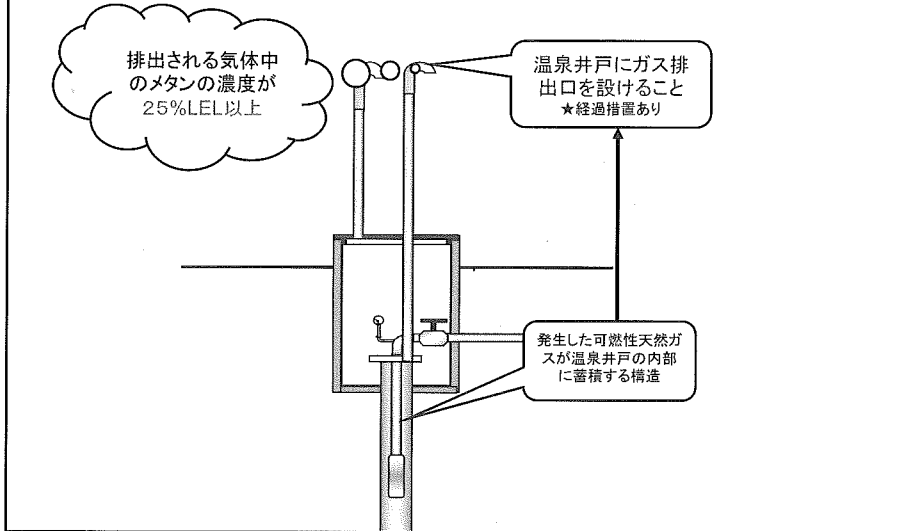
温泉井戸の停止構造





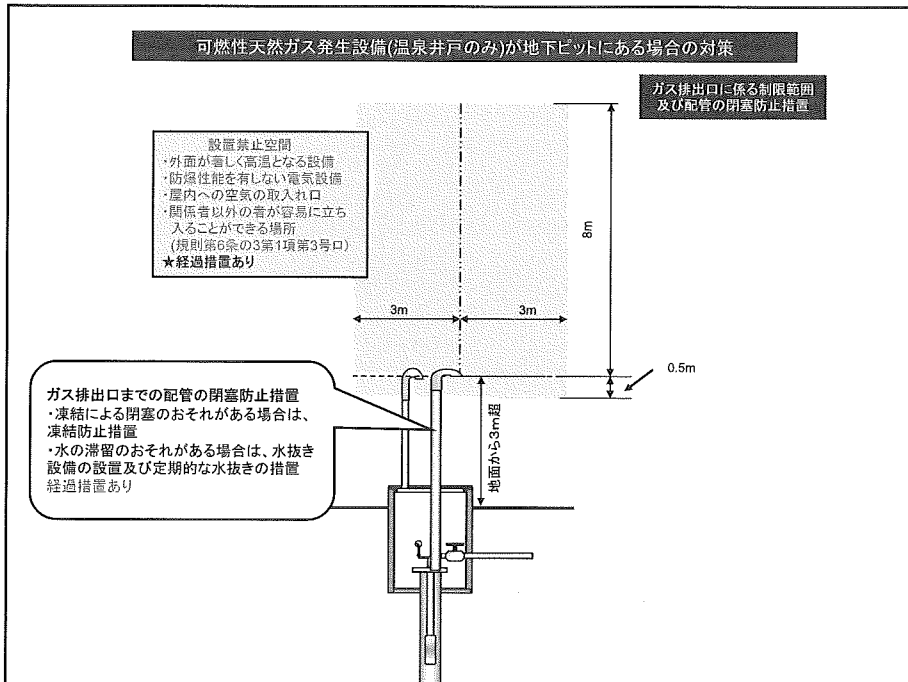
可燃性天然ガス発生設備(温泉井戸のみ)が地下ビットにある場合の対策

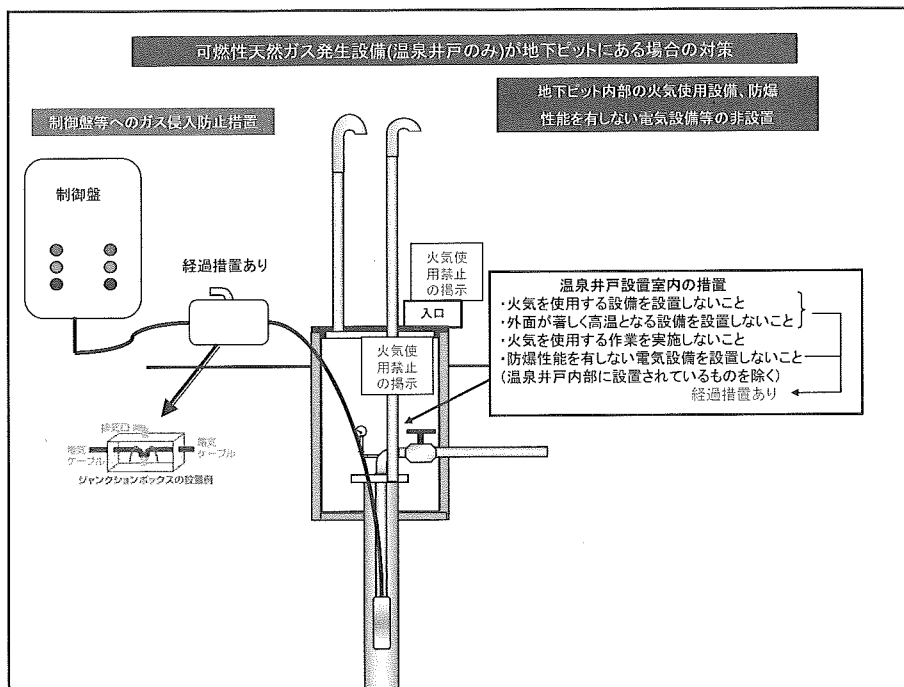
温泉井戸からのガス排出口の設置



可燃性天然ガス発生設備(温泉井戸のみ)が地下ビットにある場合の対策

ガス排出口に係る制限範囲及び配管の閉塞防止措置



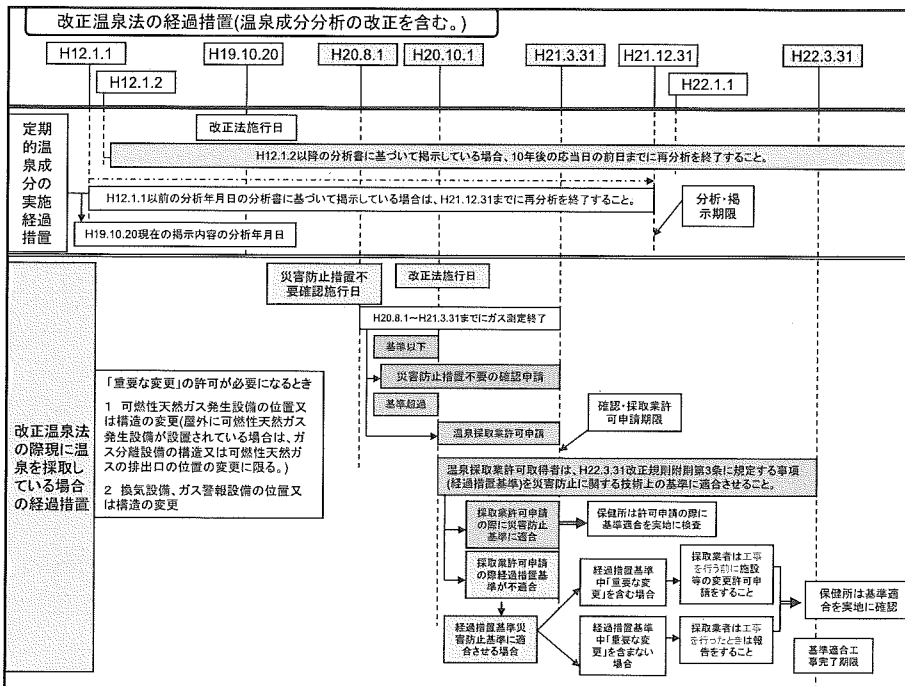
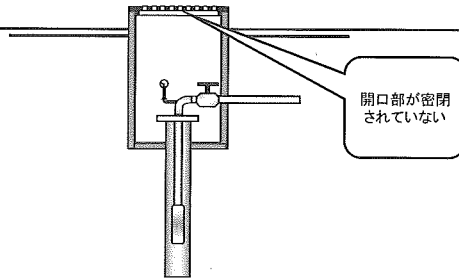


- 可燃性天然ガス発生設備(温泉井戸のみ)が地下ピットにある場合の対策**
- 採取時災害防止規程の作成・備付け**
- 次の採取時災害防止規程を作成し、温泉を採取する場所に備え付けておかなければなりません。
- 1 災害防止措置の実施体制(安全担当者の選任を含む。)に関すること。
 - 2 災害の防止のための点検項目及び方法に関すること。
 - 3 災害その他の非常の場合に実施すべき措置に関すること 等
- 施設・設備の点検管理**
- 1 毎月(温泉の採取を行わない月を除く。)1回以上、温泉井戸、地下ピットの内部の空気の排出口及びガス排出口の異常の有無を目視により点検すること。
 - 2 1に規定する点検の作業の結果を記録し、その記録を2年間保存すること。
 - 3 災害その他の非常時の場合には、採取時災害防止規程に従って必要な措置を行うこと。

④温泉井戸が開放型地下ピットにある場合の対策

(規則附則第4条第3項)

改正法の施行の際現に温泉を採取している場合であって、専ら温泉井戸を設置することを目的とした、通常人が出入りしない地下に埋設された施設(上部にのみ屋外に面する開口部があり、かつ、当該開口部が密閉されていないものに限る。)については、「①可燃性天然ガス発生設備が屋外にある場合の対策」が適用されるが、「さくを設置その他の方法により、関係者以外の者の立入りを制限すること」は適用されない。



講 演

温泉付随ガス対策用水中モーターポンプの開発 と実証化試験

—『深井戸用ガス対策水中ポンプ開発概要』—

—『新篠津村 2 号井での実証化試験結果』—

グランドフォスポンプ 株式会社 吉村 秀雄・神谷 文貴

北海道立地質研究所 高橋 徹哉

温泉付随ガス対策用水中モーターポンプの開発と実証化試験

— 『深井戸用ガス対策水中ポンプ開発概要』 —

グルンドフォスポンプ株式会社 ○吉村 秀雄
神谷 文貴

1. 計画開始まで

近年、深井戸水中モーターポンプによる温泉の汲み上げが一般的になっている中、様々なトラブルの事例も報告されています。その一つとして、温泉に含まれる気泡（ガス）の影響によりポンプの安定した運転ができなくなったり、時には揚湯不能に陥ったりする”ガスロック”という現象があります。ポンプの使用者は、突然揚湯不能になってしまうこのリスクを軽減したいと常々考えており、弊社顧客からの要求も日々増加してきましたので、デンマーク本社での開発を始めました。

2. デンマーク本社での開発

開発は日本市場の要求とグルンドフォス日本で考える基本的なコンセプトをベースに、デンマーク本社の設計技術者により進められました。

a) 基本コンセプト

- 既存の深井戸水中モーターポンプに組み込むことが可能な形状で部品を開発する。
- 部品は吸込み口とポンプ部の間に取り付け、気泡を含む流体がポンプ部へ浸入する前に気体のみをポンプ外部へ排出する。
- 排出の機構は遠心力による気水分離を使用する。

b) 開発

- 流体のシミュレーションにより、個々部品（ケーシング、セパレーティングプレート、スターリングインペラ）の設計を行いサンプルの製作を実施。
- ラボでの実験を繰り返しながら個々部品を修正。実験は1気圧下で行いコンプレッサーの圧縮空気をポンプ内部に送り込み、気体流量計で投入気体量を測定しながら流量・揚程を測定し、諸々のデータを収集。
- スターリングインペラは外形、ベーンの角度、向き等を修正し、セパレータは流体と空気の通る穴の形状、サイズ、角度を修正しながら分離の効率が良いものの組み合わせでプロトタイプを製作した。

c) 構造

- ・ ポンプ吸込み口のすぐ上部に流体と気体を分離するセパレーションシステム（右図のA～D）を組み込む。
- ・ A-アジャストメントケーシング、B-セパレーティングプレート、C-ケーシング、D-スターリングインペラ。最下部に取り付けてあるスターリングインペラによりケーシング内の流体をかき混ぜる。
- ・ スターリングインペラでかき混ぜられた気泡を含む流体は、遠心力により液体と気体が右図の様に分離し、B-セパレーティングプレートで液体はポンプ部へ送られ、気体はポンプの外部へ排出される。この、ケーシング内部の状態はコップの中でかき混ぜた液体の様になる。

3. プロトタイプ実機の設置

- ・ このような実験等を踏まえ、当社ではプロトタイプのガス対策用水中モーターポンプを試作しました。現在、北海道立地質研究所との共同研究により、北海道石狩管内にある温泉井戸に本機を設置し、性能や耐久性に関する実証化試験を実施中であります。詳細に関しては、この後、北海道立地質研究所から報告があります。

※特許等の関係上、図面を掲載できませんがご了承ください。

温泉付随ガス対策用水中モーターポンプの開発と実証化試験

－『新篠津村 2 号泉源での実証化試験結果』－

北海道立地質研究所 高橋 徹哉

I. はじめに

温泉に付随するガスの多くはメタンガス (CH_4)、炭酸ガス (CO_2) および窒素ガス (N_2) で占められ、温泉水が貯留する地質や湧出機構を反映して、ガス量や組成比も様々である(高橋, 2008)。

現在、温泉井の多くは大深度掘削化が進み、動力揚湯(水中モーターポンプ)が主流となっており、温泉井の中には付随するガス量が多く、揚湯障害(水中モーターポンプのガスロック)が発生する事例も多く報告されている。こうしたガス対策のため、水中モーターポンプの設置深度を増大させることや水中モーターポンプにガス対策装置(ガスジャケットと呼ばれる)の装備などで対応している。

一方、2007年6月、東京都渋谷区で発生した温泉に付随する可燃性ガスの爆発事故を契機に、温泉に付随する可燃性ガス対策の強化が検討され、2008年10月からは、災害の防止を追加した温泉法に改正された。温泉井の安全管理利用のために、これまで以上にガス対策用水中モーターポンプや汽水分離装置(ガスセパレーター)の性能向上が重要となってきている。

グルンドフォスポンプ(株)は、2006年以降、ガスを多く含んだ温泉井における揚湯障害のリスクを軽減するための新たな深井戸用ガス対策水中モーターポンプの開発を手掛けてきている。自社工場内の装置による試験では、空気の投入量に対するガス分離能力(空気量)の測定は行えず、空気の投入量による揚程の変化を測定できるだけであった。このため、付随ガス量が多く、実際に稼働している温泉井での実証化試験によりデータを取得し、改良を進める必要があるとの判断から、地質研究所に対して実証化試験が可能な温泉井の選定等も含めた共同研究の要請があった。

地質研究所では、民間企業等との共同研究規定に基づき、グルンドフォスポンプ(株)が進める高性能な深井戸用ガス対策水中モーターポンプの製品開発や改良を支援することで、温泉井への適用や温泉資源の安定確保と温泉井の安全管理に貢献でき、北海道が行う温泉行政においても、動力許可申請等の許認可の際には、科学的なデータとして活用が期待できると判断し、共同研究を受諾して、石狩管内新篠津村 2 号において、実証化試験を実施している。

本発表では、共同研究の概要、これまでの実証化試験の観測結果および試験用ガス対策水中モーターポンプのガス分離性能について紹介する。

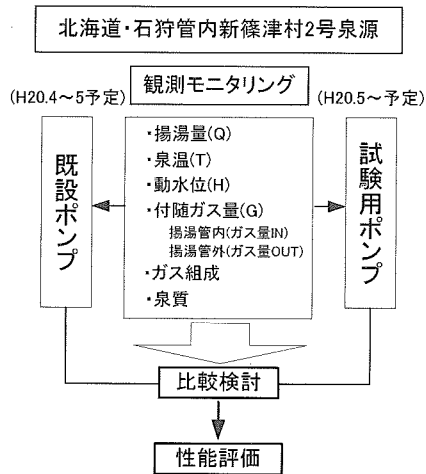
II. 研究概要

今回の実証化試験にあわせて設計および製作したガス対策水中モーターポンプは、付随ガスと温泉水の気液混合流体をポンプサクシオン部から吸い込み、遠心力によりガス(気体)を分離して、ポンプ本体に浸入する前に、ポンプの外側に排出する機構となっており、付随ガスの少ない温泉水を揚湯するものである。本共同研究の主目的は、実際の稼働している温泉井を用いて、ガスの分離状況を明らかにすることで、その性能を検証することである。

共同研究の内容と分担の概要は、以下に示したとおりであり、研究フローを第 1 図に示した。

1. 試験用水中モーターポンプの設計および製作、設置等(グルンドフォスポンプ(株))
2. 長期揚湯実証化試験(試験場所:北海道 新篠津村 2 号泉源)(地質研究所)
 2. 1 既設水中モーターポンプの観測モニタリング(揚湯状況)

2. 2 試験用水中モーターポンプの観測モニタリング（揚湯状況）
3. データ解析と性能評価（地質研究所）



第1図 研究フロー図

今回の共同研究のために選定し、実証化試験を実施した温泉井は、北海道石狩支庁管内にある新篠津村2号泉源で、1号泉源の代替井として、2002年に新篠津村が掘削した泉源で、現在は約400ℓ/分、温度44℃を水中モーターポンプで揚湯し、2つの温泉施設で通年利用している。温泉水には大量のガス（メタンガス）が付随する。

掘削当時の報告書（上山試錘工業㈱、2002）によれば、掘削深度は1566mである。水中モーターポンプによる揚湯試験では、440ℓ/分の一定量揚湯において、動水位-41.20m（静水位：G.L-12.40m）、温度46.3℃、同時に付随するガス量347ℓ/分（日量：約500m³）を確認している。付随するガスはメタンガス（CH₄）が90.8%を占める可燃性ガスであり、段階試験結果から得られたガス水比の値は0.7～0.9の範囲を示している。また、北海道薬剤師会公衆衛生検査センターによる泉質分析結果（2005.9.20）によれば、揚湯量470ℓ/分、泉温45.8℃、pH6.8でT.S.M（蒸発残留物総量）は30.27g/kgであり、ナトリウム-塩化物強塩泉（Na-Cl）に分類されている。温泉の貯留形態は深層熱水型および化石海水型に分類される。

実証化試験は、2008年4月9日に開始して、現在（2009年2月）も継続中で、既設および試験用水中モーターポンプの性能比較を行うため、試験用水中モーター設置前・設置後の2回に分けて観測モニタリングを実施した。

Ⅲ. 試験結果

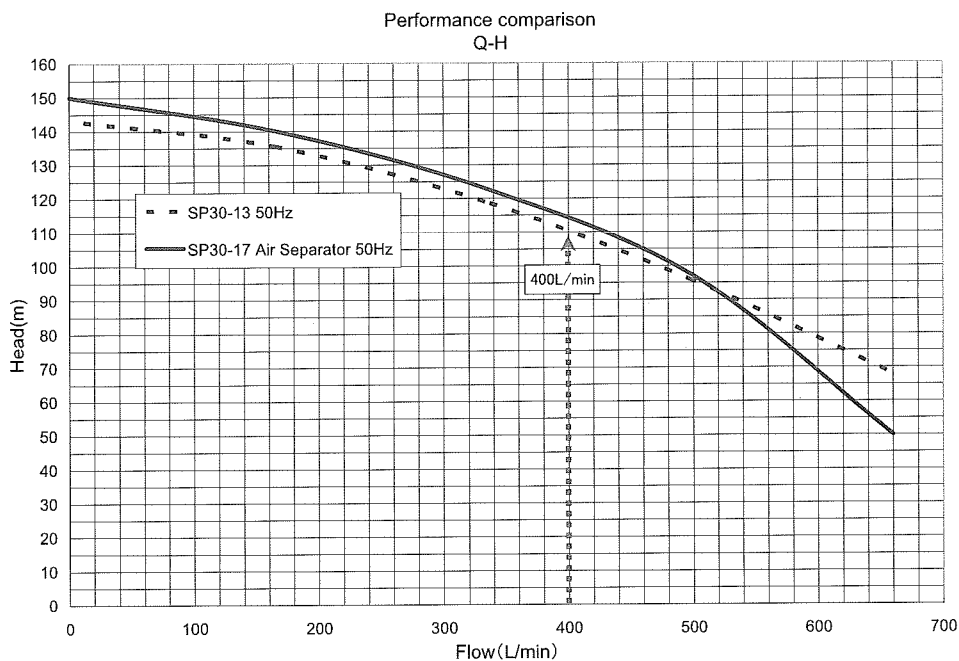
Ⅲ. 1 実証化試験の概要

実証化試験では、2008年4月9日から2008年5月21日まで、温泉井でそれまで使用されていた既設の水中モーターポンプ（非ガス対策用）の揚湯状況（揚湯量、泉温、付随ガス量等）を連続観測した。2008年5月21日には、温泉施設の定期的な水中モーターポンプのメンテナンスにあわせて、試験用に製作したガス対策用水中モーターポンプを設置して、同様な連続観測を行った。実証化試験に使用した各水中モーターポンプの仕様を第1表に、性能特性図を第2図に示した。第2図に

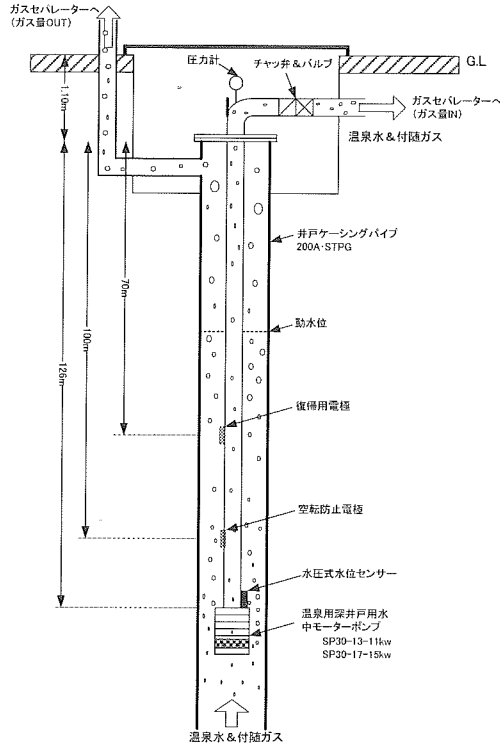
示したように、今回の実証化試験では、ほぼ同じ能力を有する水中モーターポンプを利用することで、それぞれの付随ガスに対する分離性能を比較した。水中モーターポンプの設置深度は、同一深度（G.L-129m）で、揚湯量も同量で約 400 ㎥/分である。水中モーターポンプの設置模式図を第 3 図に、温泉利用系統図（泉源～利用施設まで）および観測状況を第 4 図に示した。

第 1 表 各水中モーターポンプ仕様

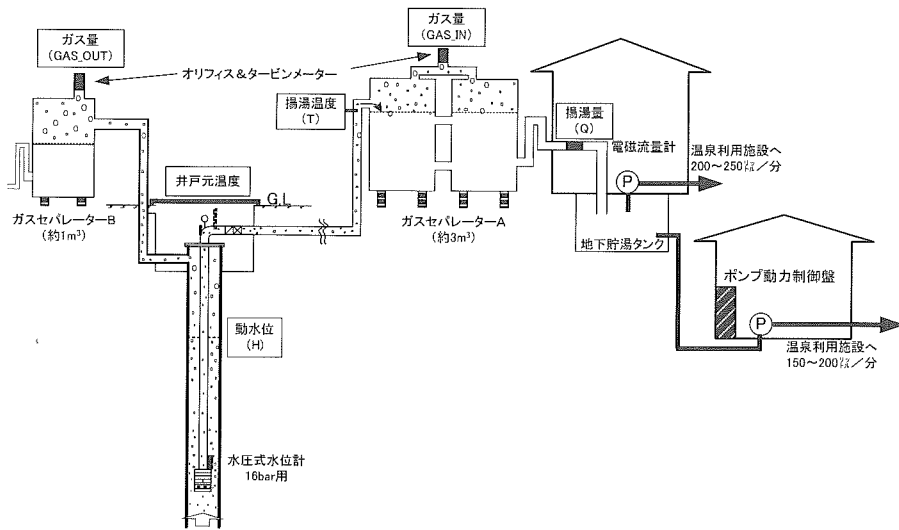
水中モーターポンプ型式	井戸径 (mm)	ポンプ口径 (mm)	出力 (KW)	段数	要目①		要目②		要目③	
					吐油量 (㎥/分)	全揚程 (m)	吐油量 (㎥/分)	全揚程 (m)	吐油量 (㎥/分)	全揚程 (m)
SP30-13 (既存)	150	65	11	13	333	120	400	110	660	50
SP30-17 (試験用ガス対策)	150	65	15	17	333	124	400	114	660	48



第 2 図 性能特性図



第3図 水中モーターポンプ設置模式図



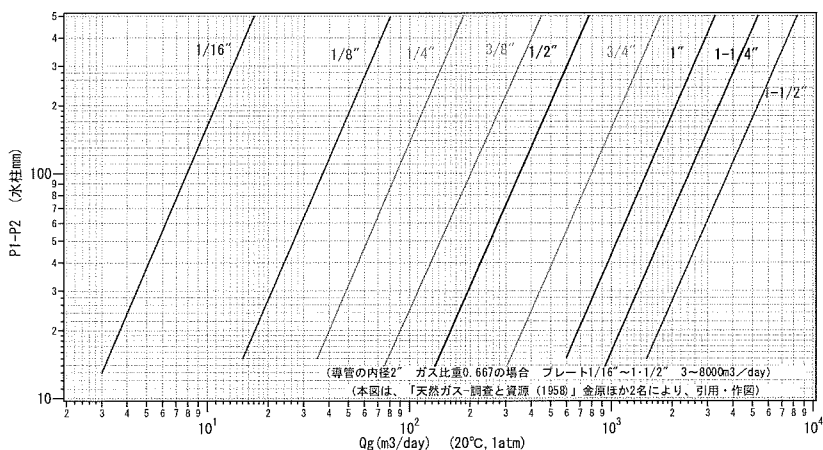
第4図 温泉利用系統および観測概況図

実証化試験期間中の計測状況を第4図に、観測に使用した主要計測機材および計測条件等を第2表に示した。ガス分離の性能評価を行うには、付随ガス量の計測が重要であるため、今回の試験では、

オリフィスウェルテスターと軸流タービン式流量計（以下、タービンメーター）を併用して、ガス量 IN（水中モーターポンプにより温泉水とともに揚湯管内を通じて地上に汲み上げられるガス量）とガス量 OUT（水中モーターポンプで汲み上げられず、また、水中モーターポンプから分離・排出され、泉源内部に貯留し、揚湯管外側を上昇して地上に排出されるガス量）の計測を行った。オリフィスウェルテスターの観測で得られた差圧はガス量換算図表（第 5 図）を基に算出したが、今回の解析では、ガスの比重や温度の補正を行ってはいない。タービンメーターは機械式でガス比重に依存せず、直接的にガス流量を測定できる利点がある。しかし、付随ガスは湿潤（WET）状態で排出されるため、観測中、時々不具合が生じた。特に、8月下旬以降には、泉源内部（揚湯管外側）では温泉水を伴うガスリフト状態となり、ガス量 OUT では、タービンメーターによる測定が困難となり、新たにガスセパレーターBを設置して、オリフィスウェルテスターによるガス量測定だけとし、併せて温泉水の排水対策を実施した（第 4 図）。ガス量計測では、こうしたトラブル等があったために、観測データの回収および観測機材等の保守・点検は月に 2 回程度の頻度で行った。

第 2 表 計測機材と計測条件

計測項目	観測機材	仕様	計測条件およびロガー	計測間隔 (min)
揚湯温度 (T)	東産電器製 シーエ型温度補償体	Pt100Ω 精度±1.0℃ 直流電圧出力	1-5DCV 0~100℃ HIOKI製 電圧ロガー データミニ 3639-05	10
井戸水温度 (T.2)	HIOKI製 シーエ型温度センサー	測定範囲 -40~120℃	直接温度記録 HIOKI製 温度ロガー データミニ 3633	10
貯水位 (W)	衛日高システム製 OG-III 温泉井戸用探込式 水位センサー	15bar(154m)用 使用温度範囲 0~80℃ 精度:±0.5%FS	供給電源: DC24V 0~153.3m 0~5DCV HIOKI製 電圧ロガー データミニ 3634-05	10
揚湯量 (Q)	株式会社 MTG15A 2線式電磁流量計 JIS防滴型	口径 JIS10K 100mm 出力: アナログ 4~20mA 精度: ±0.5%FS 温度範囲: -20~125℃	供給電源: DC24V 0~800パルス/分 1~5DCV HIOKI製 電圧ロガー データミニ 3634-05	10
ガス量 IN (Gas_IN)	愛知時計電機製 タービンメーター TBZ60	軸流タービン方式 JIS10K 40A 流量範囲: 0~80m ³ /h 出力信号: オープンコレクターハルス 瞬時および積算流量	単位ハルス: 100L/P 信号線ユニットによりハルス数計測 HIOKI製 ハルスロガー データミニ 3639	5
	地質研究所自作製 オリフィスウェルテスター (開放型オリフィス流量計)	50A用 流量範囲: 2~8000m ³ /h プレート: 1/16" ~ 1-1/2" (9種別) 差圧測定範囲: 10~500mmH ₂ O 圧力センサー取り付け型	補ハルコム製アンプ内蔵圧力センサー VPRH-AE-50PaW 供給電源: DC24V 4~20mA 0~5kPa HIOKI製 電圧ロガー データミニ 3634	5,10
ガス量 OUT (Gas_OUT)	愛知時計電機製 タービンメーター TBX30/ TBX100	軸流タービン方式 JIS10K 40A/50A 流量範囲: 0~30 (0~150m ³ /h) 出力信号: オープンコレクターハルス 瞬時および積算流量	単位ハルス: 10L/P, 100L/P 信号線ユニットによりハルス数計測 HIOKI製 ハルスロガー データミニ 3639	5
	地質研究所自作製 オリフィスウェルテスター (開放型オリフィス流量計)	50A用 流量範囲: 2~8000m ³ /h プレート: 1/16" ~ 1-1/2" (9種別) 差圧測定範囲: 10~500mmH ₂ O 圧力センサー取り付け型	補ハルコム製アンプ内蔵圧力センサー VPRH-AE-50PaW 供給電源: DC24V 4~20mA 0~5kPa HIOKI製 電圧ロガー データミニ 3634	5,10



第 5 図 オリフィスウェルテスターにおけるガス量算出図表

Ⅲ. 2 泉質分析およびガス分析

実証化試験を実施するにあたり、試験用水中モーターポンプの設置前と設置後における泉質やガス組成比の変化の有無を確認するため、それぞれ分析を行った。分析結果を第3表および第4表に示した。

新篠津村2号泉源は、蒸発残留物総量 (T.S.M) が、30g/kg を超える強塩泉 (Na-Cl) である。第3表および第4表を見ると、主要溶存成分総量は約 25000~29000mg/kg の範囲内の値を、メタンガス組成比は約 91~94% の範囲内の値を示し、いずれも試験用水中モーターポンプ設置前後では、顕著な変化は確認されない。つまり、実証化試験の期間中においては、泉質およびガス組成は安定した状況にあったことがわかる。このことは、試験用水中モーターポンプの設置では、温泉に付随するガスの排出経路を変化させただけであり、泉質やガス組成に影響を与えるものではないことがわかる。

第3表 泉質分析結果

採取年月日	分析機関	温度 (°C)	pH	R-pH	EC (S/m)	Na (mg/kg)	NH ₄ (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Cl (mg/kg)	SO ₄ (mg/kg)	HCO ₃ (mg/kg)	F-CO ₂ (mg/kg)	*主要8成分総量 (mg/kg)
H13.9.20	薬剤師会	45.8	6.8	7.31	=	9650	26.8	223.6	232.9	917.5	17530	1.9	202.9	51.9	28836
H20.4.9	地質研	44.2	7.1	=	4.32	9149	=	212.3	224.5	781.4	17547	—	210.1	19.3	28144
H20.5.20	地質研	40.9	7.0	7.19	4.15	8495	25.6	218.4	230.1	649.4	14943	—	251.6	24.2	24837
H20.5.31	地質研	43.4	6.8	7.22	4.11	8620	26.4	219.4	227.9	648.8	15277	—	250.4	19.3	25289
H20.9.30	地質研	43.2	6.8	7.01	3.92	8805	25.6	219.2	232.5	643.6	15617	—	261.1	20.4	25824

*SO₄を除く

第4表 ガス分析結果

分析年月日	項目	2002/9/20		2008/4/9		2008/5/20		2008/5/31		平均値
		分析値	補正值	分析値	補正值	分析値	補正值	分析値	補正值	
	酸素O ₂	vol%	0.39		6.14		7.53		7.52	
	メタンCH ₄	〃	88	90.82	64.46	90.71	60.39	93.65	59.26	91.83
	窒素N ₂	〃	9.61	8.42	28.74	8.35	30.93	4.56	32.16	6.52
	炭酸ガスCO ₂	〃	0.7	0.72	0.67	0.94	1.15	1.79	1.06	1.65
	エタンC ₂ H ₆	〃	0.03	0.04						
	その他	〃	1.27							
			100	100	100.01	100	100	100	100	100

補正值: 空気補正值

Ⅲ. 3 試験経過と結果

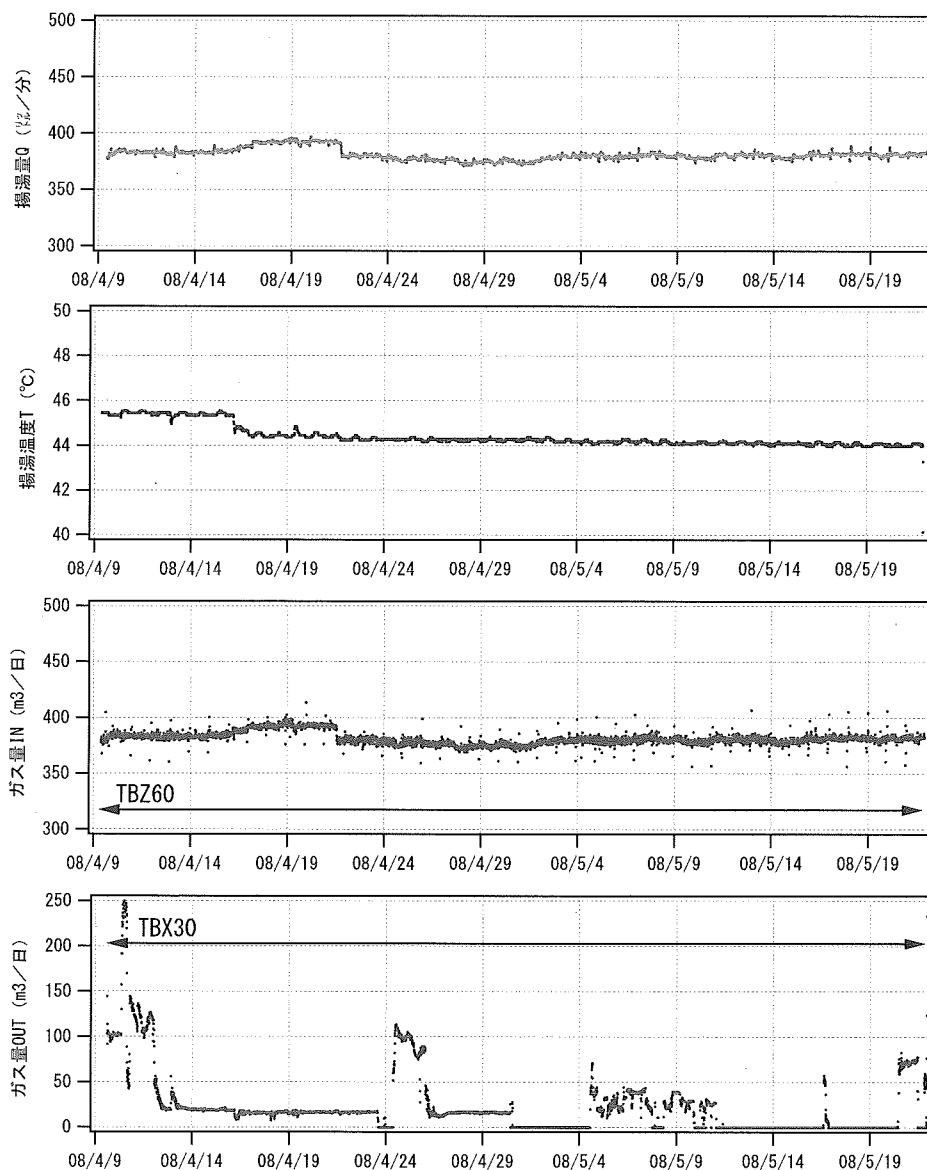
Ⅲ. 3. 1 既設水中モーターポンプ

既設の水中モーターポンプの連続観測は、2008年4月9日~5月21日までの延べ43日間行った。観測項目は、揚湯量 (Q)、揚湯温度 (T)、ガス量 IN (Gas_in)、ガス量 OUT (Gas_out) で、動水位は既設の水位計の不具合で計測することができなかった。

観測結果 (第6図) をまとめると以下のとおりである。

- ① 揚湯量は、大きな変動はなく、380~390 ㎥/分で安定した傾向を示した。
- ② 揚湯温度は、5月9日以降、44.0℃で安定した傾向を示した。
- ③ 動水位は既設の水圧式水位計の不具合で計測できなかった。
- ④ ガス量 IN は、小さな変動を伴うが、約 380~390 m³/日で安定した傾向を示した。
- ⑤ ガス量測定機器の不具合により、ガス量 OUT は安定した計測が行えなかった。正常に観測できている短期間でのデータから、ガス量 OUT の計測値は、約 100~120m³/日と推定された。
- ⑥ 揚湯量とガス総量 (ガス量 OUT、ガス量 IN) から得られたガス水比は、0.85~0.93 である。この比率は、泉源開発当時の揚湯試験結果の数値 (0.69~0.89) に比べると僅かに高い値を示す。これは、揚湯試験時においては、今回の観測のようにガス OUT 量が計測されていないことが要因のひとつと推定される。

- ⑦ 既存の水中モーターポンプは、設置深度が G.L-129m にあり、揚湯量が約 380~390 ℓ/分時には、5 月 21 日以降の動水位観測結果より、約 40~43m で、ポンプサクシオン部での水柱圧力は約 86~89m (9.6~9.9 気圧) の状態にあると推定される。この状況下では、ガス量 IN は 380~390m³/日で、付随するガス量全体 (480~510m³/日) の 75~81%は温泉水とともに揚湯され (ガス IN)、残りの 19~25%がガス OUT の状態となって排出されている (ガス量 IN > ガス量 OUT)。



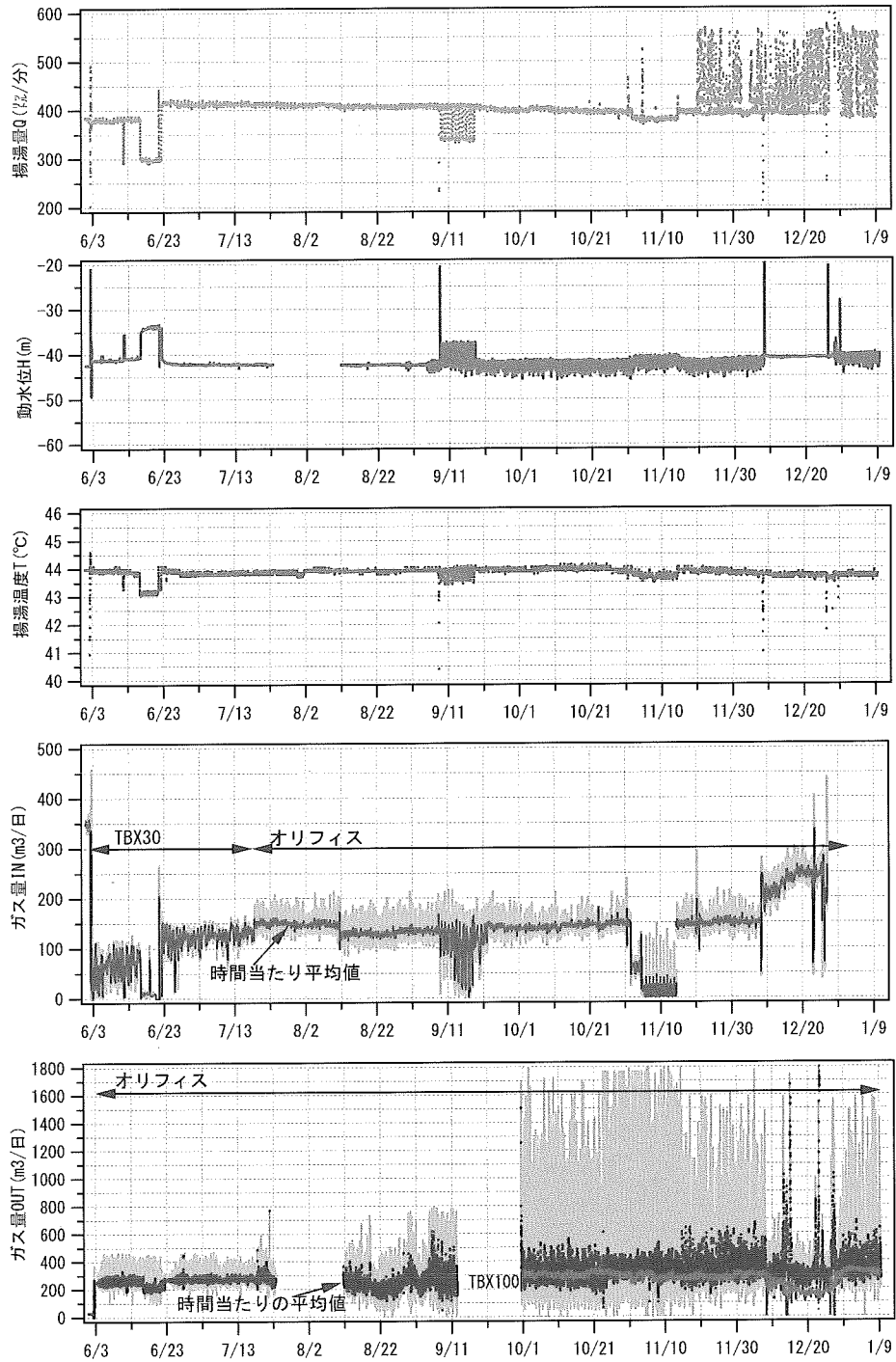
第 6 図 既設水中モーターポンプ観測結果 (08/04/09~08/05/20)

Ⅲ. 3. 2 試験用ガス対策水中モーターポンプ

試験用ガス対策水中モーターポンプの連続観測は、2008年5月21～2009年1月9日（現在も観測中）まで、約8ヶ月間行った。観測項目は、不具合のあった圧力式水位計の点検・修理し、再使用が可能と判断されたため、新たに動水位（H）の観測を追加した。観測期間中、温泉施設の清掃や休館およびガス分離装置の実験等により、一時的に揚湯の停止や揚湯量の減量を行っているが、それに伴う観測機材等の不具合は生じていない。

観測結果（第7図）をまとめると以下のとおりである。

- ① 揚湯量は、10～20ℓ/分の変動幅を示しながら、約380～410ℓ/分で推移している。11月20日以降は、電磁流量計の不具合によると考えられる大きな変動が見られる。
- ② 揚湯温度は、約44℃で安定傾向を示している。
- ③ 動水位は、約41～43mで推移しているが、9月4日以降には、ガス量OUTの影響を受けて、約40～46mの範囲内で顕著な変動を示している。
- ④ ガス量INの観測測定値には変動が見られるが、平均値（1時間平均値）で見ると、約130～150m³/日で推移している。12月9日～12月29日では、ガス量INには増加傾向が、反対にガス量OUTには減少傾向が見られ、その原因として、セパレータータンクBにおけるガス排出口の凍結等により閉塞気味になった可能性が考えられる。
- ⑤ ガス量OUTの観測測定値には、ガス量IN以上の大きな変動が見られるが、平均値（1時間平均値）で見ると、約200～500m³/日で推移している。本報告の中では、ガス量OUTを約280～350m³/日とする。
- ⑥ 揚湯量とガス総量（ガス量OUT、ガス量IN）から得られるガス水比（G/W）は、0.70～0.91である。この比率は、既存の水中モーターポンプの結果（0.85～0.93）や泉源開発当時の結果（0.69～0.89）とも整合的である。これまで示した既存の水中モーターポンプの結果に比べ、僅かに数値が小さい。これは、ガス量OUTの変動により、誤差が大きくなり、全体としてガス量OUTが少なく計測された可能性がある。
- ⑦ 試験用の水中モーターポンプは、設置深度がG.L.129mにあり、揚湯量が380～410ℓ/分時には、動水位は約41～43mで、ポンプサクション部での水柱圧力は約86～88m（9.6～9.8気圧）の状態にある。この状況下では、ガス量INは130～150m³/日で、付随するガス量全体（410～500m³/日）の26～37%は温泉水とともに揚湯され（ガス量IN）、残りの63～74%はガス量OUTの状態となって排出されている（ガス量IN<ガス量OUT）。



第7図 試験用水中モーターポンプ観測結果 (08/06/01~09/01/09)

IV. 性能評価

地下深部から温泉水に付随して上昇してくるガスは、減圧に伴いある深度に達すると気化し、膨張する。水中モーターポンプの揚湯障害（ガスロック）は、泉源内部におけるガスの状態（液体～気液混合～気体状態）によって発生すると考えられる。このため、ポンプサククション部では、“ガスが少ない状態”あるいは“ガス体積が小さな状態”、すなわち、できるだけ圧力が高い状態で揚湯できるように、水中モーターポンプの設置深度を通常（付随ガスがない状態での適正な設置深度）よりも深くする対策が行われている。付随ガス量（ここではメタンガス）は、温泉水への溶解度（40℃で2.4%）、温度・圧力の影響を受けるが、ここではその影響の度合いが大きな圧力に着目して検討を行う。

既存の水中モーターポンプの観測結果より、揚湯量 380～390 ㍈/分（547～562 m³/日）で、ガス総量（ガス量 IN+ガス量 OUT）は、480～510 m³/日であり、得られるガス水比（G/W）は、変化幅を考慮して、0.85～0.93 と算出された。一方、試験用の水中モーターポンプの観測結果からは、揚湯量 380～410 ㍈/分（547～590 m³/日）で、ガス総量は、410～500 m³/日であり、得られるガス水比は、変化幅を考慮して、0.70～0.91 と算出された。開発当時の揚湯試験結果から得られたガス水比は、0.69～0.89 となっており、今回の観測により得られた結果とも整合的である。

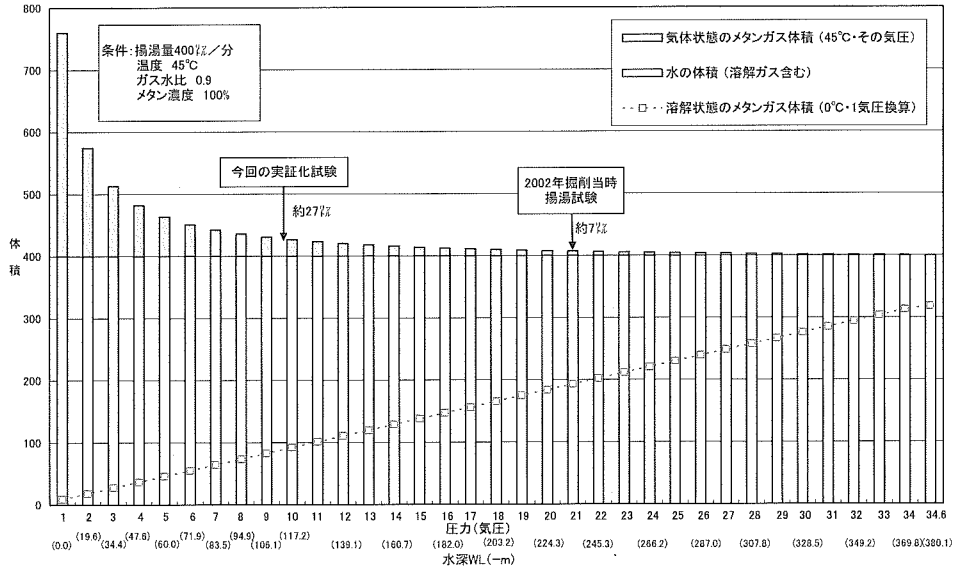
以上の結果から、本泉源における揚湯量を 400 ㍈/分、ガス水比を 0.9、便宜的にメタンガス濃度を 100%（実際は約 90%）、温度を 45℃と条件設定し、泉源内における付随ガスの状態を推察してみる。

藤本（2005）と同様な解析方法により、本泉源の気圧に対する温泉水の体積とメタンガスの体積の関係およびメタンガスの溶解する体積の関係を第 8 図に示した。この場合、本泉源の全てのメタンガスが溶解する気圧は 34.6 気圧であるが、気体状態で存在するメタンガスの体積を考慮した比重から、その水深（WL）は、約 G.L-380m と計算される。つまり、水中モーターポンプ揚湯により地下深部から上昇してきた温泉水に溶解していたメタンガスは、約 G.L-392.5m（WL-380.1 に静水位 G.L-12.4m を加えた深度）で気体になりはじめ、さらに上昇して減圧・膨張することで、その気体の体積は加速度的に増加する。

上記に示した開発当時の揚湯試験時では、水中モーターポンプの設置深度（G.L-246m）と動水位（水圧式水位計による計測値 G.L-43m）の関係から、水中モーターポンプのサククション部では、約 21 気圧の状態にあり、気体状態のメタンガス体積は温泉水 400 ㍈に対して、約 7 ㍈程度であったと推察できる。

次に、今回の実証化試験中の状態を見てみる。水中モーターポンプの設置深度は G.L-129m で、揚湯量約 400 ㍈/分における動水位は約 G.L-42m にある。水中モーターポンプのサククション部では、約 9.7 気圧（WL-約 115m）に相当する。つまり、水中モーターポンプ設置深度付近では、全てのメタンガスが溶解することなく、気液混合状態（液体>気体）にあり、その割合は、第 8 図から温泉水 400 ㍈に対して約 27 ㍈（27/427=6.3%）のメタンガスが気体として存在していると推定される。

試験用水中モーターポンプは、工場での性能試験（大気圧下条件）では、約 400 ㍈/分の揚水量に対して、20 ㍈/分の注入空気量、つまり 4.76%（20/420）の空気量（ガス量）の割合では揚程の変化無し（ガスロックがない状態）に運転できることを確認しているが、約 42 ㍈/分の注入空気量（9.5%）では、約 40m の揚程の低下を確認している。設備上、さらに注入空気量を増やし、ガスロックが発生する空気量までは把握してはいないが、ガス量が約 5%以上になっていけば、ガスロックが発生する可能性が高まることを示している。しかし、今回の実証化試験の揚湯条件下（約 6.3%のガス量割合）では、顕著な揚程の低下（=揚湯量の減少）は確認されなかった。



第8図 気圧に対する温泉水とメタンガスの体積の関係及びメタンガスの溶解量

次に、実証化試験を行った試験用水中モーターポンプによるガスの分離効果を検討してみる。付随ガスの総量（大気圧下で計測されたガス量 IN とガス量 OUT の合計）の内、水中モーターポンプサクション部において温泉水と一緒に吸引されないガス量および水中モーターポンプから分離・排出されたガス量（ガス量 OUT）の割合をガス分離比として算出し、ガス分離能力の指標として性能評価を行う。つまり、この比率が高くなれば、試験用水中モーターポンプにより、ガス分離能力が向上したことを示しており、今回の実証化試験で観測したガス量 OUT の増加を意味する。

実証化試験に使用したそれぞれの中モーターポンプは第1表および第3図に示したように、羽根の段数や動力に違いはあるが、ほぼ同じ揚湯性能を持っている。また、実証化試験は、観測期間には違いがあるが、ほぼ同一条件下で実施している。この結果に基づき性能評価を行った。

観測結果より得られた実証化試験の結果を第5表に示し、性能評価を行った。

この結果、ガス対策が施されていない既存の水中モーターポンプでは、ガス分離比が 0.20~0.24 の値であるのに対して、試験用ガス対策水中モーターポンプは、0.56~0.85 の数値を示した。このことから、試験用ガス対策水中モーターポンプは、この数値の増加分、つまり、約 40~60%はガス量 OUT の増加となっており、明らかにガス分離の効果が表れた結果である。

第5表 ガス分離性能評価

ポンプ仕様		実証化試験結果									
ポンプ型式	動力 (kw)	段数	全揚程 (m)	吐出力 (%/分)	揚湯量 (m ³ /day) ①	揚湯温度 (°C) ②	ガス量IN (m ³ /day) ③	ガス量OUT (m ³ /day) ④	総量 (m ³ /day) ⑤=③+④	ガス水比 (G/W) ⑥=⑤/①	ガス分離比 ④/⑤
SP30-13 (既存)	11	13	110	400	547~562 +(380~390)	44.0~44.5	380~390	100~120	480~510	0.85~0.93	0.20~0.24
SP30-17 (試作用ガス対策)	15	17	114	400	547~590 +(390~410)	43.7~44.0	130~150	280~350	410~500	0.70~0.91	0.56~0.85

IV. まとめ

これまで述べた試験結果のまとめと今後の検討課題を以下に示す。

- ① 試験用ガス対策水中モーターポンプは、既存の同一機種相当の水中モーターポンプと比較すると、明らかにガス分離能力が優れており、本源泉の揚湯条件下ではその能力は約2倍以上であることが確認された。
- ② 水中モーターポンプによるガス分離能力は、ポンプサクション部のガスの状態（気泡の大きさ）やガスの割合に大きく左右されることが考えられる。実証化試験を行った試験用ガス対策水中モーターポンプでは、工場での試験において、約5%以下のガス割合で揚程の低下は確認されていない。約6%のガス割合と推定される今回の実証化試験においても、顕著な揚程の低下は確認されなかった。今後は、さらにガス割合の大きな条件下での実証化試験を行うべきと考える。
- ③ 実証化試験では、利用温泉施設が営業中であるため、水中モーターポンプの設置深度を約G.L-129mに固定した試験のみであった。今後は設置深度や揚湯量を段階的に変化させた試験により性能評価を行い、どのような条件下になれば、揚湯障害（ガスロック）が発生するかも確認・検証していく必要があると考える。
- ④ 試験用水中モーターポンプでは、従来の水中モーターポンプに比べガス分離能力が向上したことにより、ガス量OUTが増加し、揚湯管外側では、分離したガスの影響によって、温泉水を伴うガスリフト状況が発生した。このため、動水位や源泉元からのガス排出（ガス量OUT）に変動が見られ、不安定な状況が生じることがあった。
- ⑤ ガスが付随する温泉井では、ガスセパレーターにより汽水分離を行った後で、温泉を利用している場合が多い。既存の水中モーターポンプに比べ、試験用ガス対策水中モーターポンプでは、これまで以上に、井戸元から直接ガスを分離・排出することが可能になるため、ガスセパレーターの小型化やガスセパレーターのガス分離能力の負荷の軽減化により、地上設備のコスト削減を図れる可能性がある。
- ⑥ 温泉法の改正により、可燃性ガスが付随する温泉井には、ガスセパレーターの設置等の安全対策が義務づけられており、今後、ガス対策用水中モーターポンプの設置することで、これまで以上にガスの安全対策にも貢献できる可能性がある。
- ⑦ 今回の実証化試験では、まだ耐久性は確認していない。今後、設置した試験用水中モーターポンプを引き揚げ・回収した後は、工場にて水中モーターポンプ内部の状態確認（点検）や再度の性能試験を実施して、どの程度の能力低下が生じたか、あるいは、まだどの程度の期間であれば使用可能であったかを比較検討する必要があると考える。

V. おわりに

今回の実証化試験では、試験用の水中モーターポンプが、従来の水中モーターポンプに比べガス分離能力が優れており、ガス対策効果を発揮していることが確認できた。このことは、従来に比べ、井戸元から直接ガスを分離し、大気中に排出するため、ガスセパレーターや貯湯タンクに流入するガスを量を少なくでき、温泉利用施設での安全管理面での負担軽減につながる可能性を示唆している。実際に稼働している温泉井を利用して、ガス分離能力の評価を行えたことは非常に有益で、今後、他の温泉井のガス対策を検討する上でも、大いに参考になると考える。

ガスが付随する温泉井の多くは、ガスロックによる揚湯障害を避けるため水中モーターポンプを深く設置することで対応してきている。しかし、設置深度を深くすれば、その分だけ揚湯管や動力ケーブルのインシヤルコストやポンプメンテナンス等のコストの増大、さらには温泉水の過剰揚湯を誘発

する可能性も秘めている。最近では、環境省における温泉資源の保護に関するガイドラインづくりも進められており、温泉資源の適正利用と保護の観点からも、動力許可申請の審査においては、過剰揚湯とならない適正なガス対策用ポンプ機種の選定や設置深度が求められている。

今回の試験用水中モーターポンプは、ガス対策のために既存の水中モーターポンプと同様な揚湯性能を得るために羽根の段数や動力が大きくなっており、従来に比べランニングコストが増大することを意味しており、コストの比較検討も今後の課題であるとする。

また、実証化試験においては、稼働している温泉施設の泉源を利用したため、水中モーターポンプの設置深度や揚湯量を変える試験は実施できなかったが、今後は、水中モーターポンプの機種、設置深度、揚湯量等を様々に変えたパターンでの実証化試験や炭酸ガス等の可燃性ガス以外が付随する温泉井での実証化試験を数多く実施していくことで、様々な温泉井に対応できる低価格・高性能で耐久性のあるガス対策用水中モーターポンプの製品開発と改良が望まれる。

なお、本共同研究を実施するにあたり、新篠津村役場および温泉利用施設関係者にはご理解とご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献・資料

- 金原均二・本島公司・石和田靖章（1958）：天然ガス—調査と資源—。朝倉書店
- 国立天文台編（2004）：気体の水に対する溶解度。理科年表
- 新篠津村（2002）：しんしのつ温泉2号井掘削工事報告書（上山試錘工業㈱）
- 石油技術協会（1963）：石油鉱業便覧
- 高橋徹哉（2008）：北海道における温泉付随ガスの現状と課題。第46回試錘研究会講演資料集
- 福田 理・永田松三（1978）：宮崎県南那阿郡北郷 R1 号井自噴す よみがえった日南ガス田。地質ニュース No290
- 藤本和徳・高橋徹哉・鈴木隆広・柴田智郎（2005）：メタンガスを伴う温泉井での揚湯温度。北海道立地質研究所報告 No76
- 横山英二・松波武雄（1998）：北海道の温泉付随ガス。地下資源調査所報告 No69

講 演

懸濁気泡水を用いた高品質ボーリング工法の紹介

中央開発株式会社

三浦 正人

懸濁気泡水を用いた高品質ボーリング工法の紹介

中央開発株式会社

三浦 正人

紹介する工法

- ・ 改良型清水堀コアサンプリングシステム工法
(略称 IFCS工法: Improved Fresh-Water Core Sampling System)
- ・ 無菌無酸素高品質ボーリング工法
(略称 ALBS工法: Non-Micro-organisms & Air-Less Water Boring System)

改良型清水掘コアサンプリングシステム工法

(略称 IFCS工法: Improved Fresh-Water Core Sampling System)

- ・砂礫層, 破碎帯, 地すべり層等から緩みが少なく, 細粒分流出のない高品質コアの採取
- ・良質なボーリング孔壁の作成

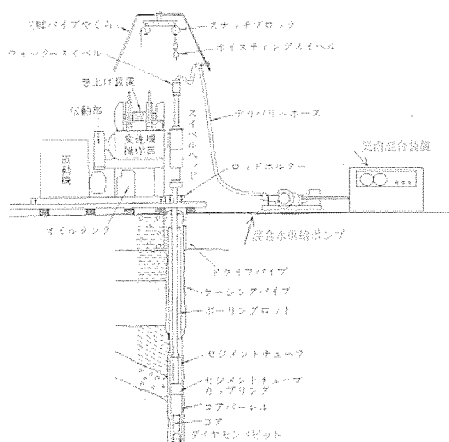


地質・地下水調査等における精度の向上

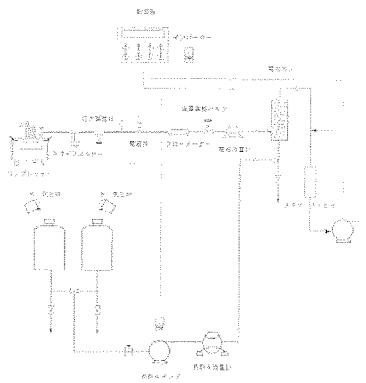
IFCS工法の特徴

- ・ 圧縮空気あるいは窒素・アルゴンガスにより調製した微細な気泡(懸濁気泡)水を掘削流体として用いるコアサンプリングシステム
- ・ 微圧送水(水:空気=1:1~5)により深度500m程度までの風化帯、破碎帯などの自然状態での高品質コアサンプリングが可能
- ・ 従来の普通工法清水掘削に近い掘進速度(1m/時間)を実現
- ・ 幅広い掘削口径($\phi 66 \sim \phi 115\text{mm}$)に対応

IFCS工法構成概要図



ボーリング概要図



自動発泡装置

ボーリング工法比較表

項目	従来型優質気泡サンプリングシステム	清水堀	IFCS	
対象地層等の特色	地下水位直下 未固結土層	やや問題あり	やや問題あり	問題なし
	地下水豊富砂礫土層	やや問題あり	やや問題あり	問題なし
	塩水性未固結岩・砂礫土層	やや問題あり	やや問題あり	問題なし
	地下水豊富固結岩破砕帯	やや問題あり	やや問題あり	問題なし*1
	掘削可能深度	～100m程度	～1000m程度	清水堀に準ずる
	掘進速度	1日に約2m	1時間に1m程度	1時間に1m弱
	摩擦抵抗低減性	良好	小さい	良好
	ビット冷却	硬質(加圧)気泡による	清水	清水堀に準ずる
	スライム	硬質(加圧)気泡で排除	(高速)過水で排除	懸濁気泡で自動排除
	コアと孔壁に対する掘削水の流入やコアの緩み	有り	有り	無し(微圧送水のため)*2
掘削機	掘削機適応性	ロータリー式	ロータリー式及びロータリーパーカッション	清水堀に準ずる*3
	斜掘	やや問題あり	問題なし	問題なし
	ビット径	～116mm	～116mm	清水堀に準ずる
発泡装置等	発泡装置	高圧空気中に界面活性剤送入・発泡・送気	-	清水中界面活性剤で懸濁気泡形成・微圧送水
	界面活性剤	カルボン酸系	-	強電解質系
	金属石蝕の形成	有	-	問題なし
	塩水・硬水の使用	問題あり	問題なし	問題なし*4
	毒性・微生物分解难易	問題なし	-	問題なし

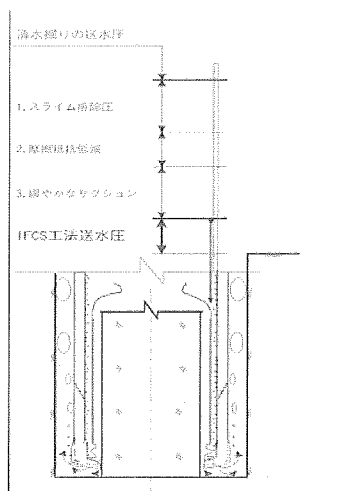
*1 実績: 都府県水系沢筋、中生界ジュラ系八海層群泥質頁岩、116mm斜掘、掘進長32mと36mでコアの回収率はいずれも95%以上

*2 実績: 上記試験では、いずれも0.4kg/l/cm²で掘削、コアの緩み無し(送水圧が間隙水とバランス)

*3 実績: ロータリーパーカッションでは、掘進速度は大、採取されたコアは力学・水理試験に不適合

*4 実績: 海水を使用した発泡試験済、淡水の使用実績有

IFCSの低圧送水原理と効果



I. 掘削用気泡水調製・掘進工程

- ①微粒化不活性ガスを使用した懸濁気泡水形成
- ②懸濁気泡を含む潤滑性清水による微圧送水
- ③部分溶解気泡泥でのビット洗浄による掘進の円滑化
- ④気泡水によるスライム排除と孔内洗浄

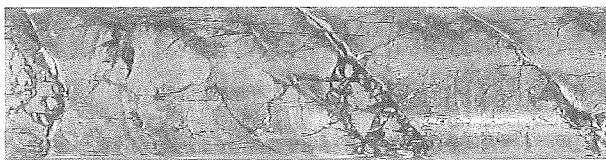
II. 効果

- ⑤通常の清水(泥水)掘に比較して送水圧・量低減
- ⑥コアや孔壁に不必要な加圧or負圧がなく、微細組織流失や構造かく乱がないため、破碎帯や強風化帯の自然状態でのコア採取が可能
- ⑦高品質コア採取と良質ボーリング孔形成が可能
- ⑧地下水量や水質(硬水、塩水)などの地下環境に柔軟に適応

IFCSによるコア採取事例



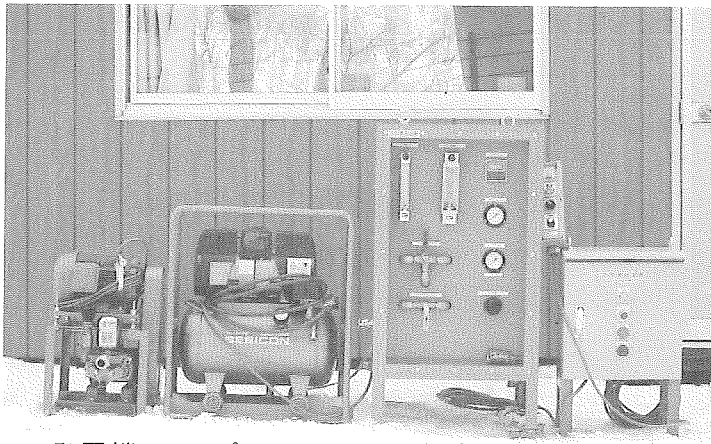
(3)改良型清水掘コアサンプリング(IFCS工法)例 採取コア(掘進長 36.0~36.3m)
掘削外周面光沢と破碎構造、微細粒子保存が見られる。送水圧 0.4 気圧。



(4)改良型清水掘コアサンプリング(IFCS工法)例 採取コア(掘進長 36.3~36.6m)
破碎構造保存、地下水流通による酸化鉄沈着が見られる。

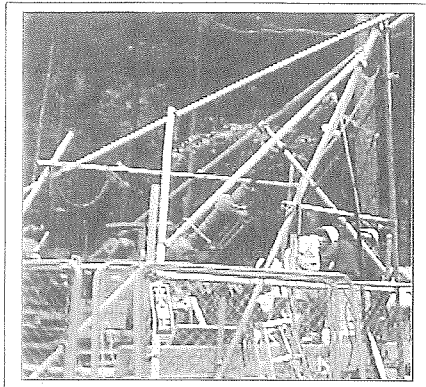
写真 ジュラ紀八溝層群系頁泥岩 那珂川水系。沢筋に向けφ116mm、40°斜め掘り。
1m 弱のコアを約1時間で採取。操作性は、地下水流通部も清水掘り並であった。

IFCS機器構成写真

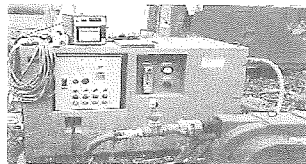


発電機 コンプレッサー 発泡装置 操作盤

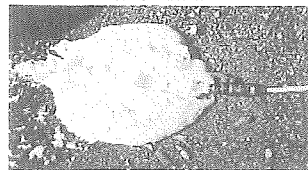
IFCS使用状況・試験写真



(4) 掘進状況写真



(5) 懸濁気泡発生装置



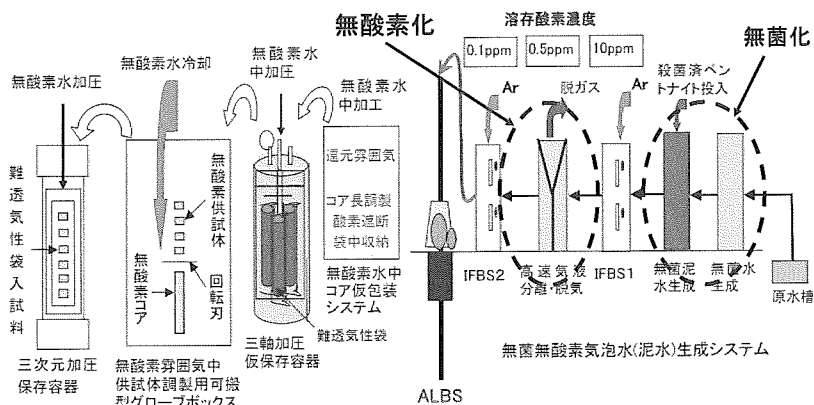
(6) 海水使用発泡試験

改良型清水堀コアサンプリングシステム工法

(略称 IFCS工法: Improved Fresh-Water Core Sampling System)

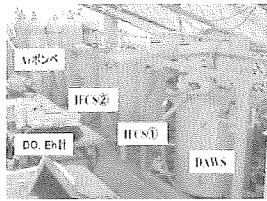
- ・ ALBS工法は、懸濁気泡水サンプリングシステム (IFCS)により調製した掘削水を無酸素状態で使用し(ALCS)、さらに無菌化した掘削システム
- ・ 泥水掘削を行う場合は放射線殺菌したベントナイトを添加
- ・ ALBSにより採取したコアは無酸素環境中で取扱い、加工、保管が可能
- ・ 地質学、地球科学、力学、水理学分野における分析や試験に有用

ALBS(無菌無酸素システム)概要図



地下水を原水として無菌水を生成するため、無酸素化システム (ALCS)と懸濁気泡水システム(IFCS)を分離・管理できる。

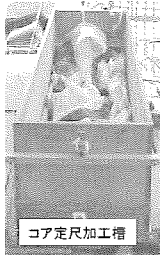
無酸素コア採取システム主要機材



ALGS構成主要機器



コア加工用無酸素雰囲気グローブボックス



コア定尺加工槽



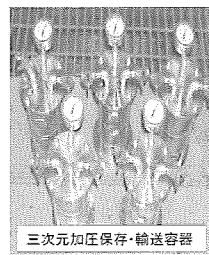
カッター付グローブBOX



水質分析計



密閉型採水器

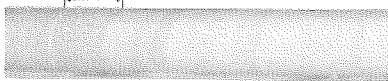


三次元加圧保存・輸送容器

無酸素コア加工・輸送用機材及び地下水採水装置

無菌・無酸素ボーリングコア採取事例

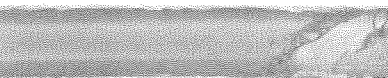
中粒凝灰岩、固結度が低い



ビニルスリーブを使用したNQのALBSIにより深度302mで採取した中粒凝灰岩及び細粒凝灰岩互層のコア。中粒部は固結度が低く、通常のボーリング工法では流失しやすい。



ビニルスリーブを使用したNQのALBSIにより深度308mで採取した粗粒凝灰岩のコア。φ数mmの軽石粒子が多く、極めて固結度が低いため、通常工法ではコア採取が困難。



ビニルスリーブを使用したNQのALBSIにより深度315mで採取した珪質ノジュールを含む細粒凝灰岩及び硬質泥岩コア。岩片化した接合部も自然状態で採取されています。

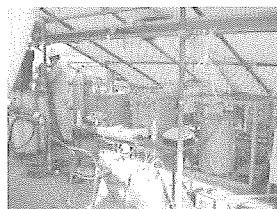
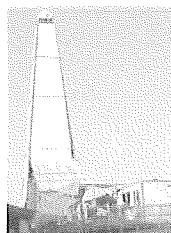


ビニルスリーブを使用したNQのALGSにより深度360mで採取した新第三系角礫凝灰岩層φ50mmコア。中粒角礫を含む未～半固結の風化物を挟む「ミニ断層構造」が自然状態で採取されています。



ビニルスリーブを使用したALGSにより深度130mで採取した角礫凝灰岩を含む新第三系砂質泥岩コア。微細な堆積構造がそのままの自然状態で採取されています。

ALBS現場記録写真



無菌無酸素システム

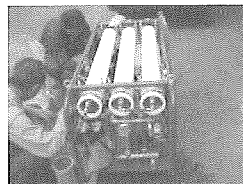
無酸素コア回収作業



IFCS装置



無酸素コア運搬保管容器



無菌無酸素コア運搬

課 題

- 現場管理者及びボーリングオペレーターへ操作法に関する事前・現場教育が必要
- 大深度での気泡水発生・掘進条件等に関する技術蓄積が必要
- 泥水を使用したIFCS工法の開発

講 演

洞爺湖有珠山ジオパークの取組について — 減災と人づくり・地域振興 —

壮警町役場

田鍋 敏也

洞爺湖有珠山ジオパークの取組について

－ 減災と人づくり・地域振興－

有珠郡壮瞥町 総務課長 田鍋 敏也

1 はじめに

有珠山は、支笏洞爺国立公園内に位置し、伊達市、虻田町（現洞爺湖町）、壮瞥町の3自治体にまたがる標高 737mの世界有数の活動型火山である。周辺には、約5万人が居住し、北海道を代表する観光地で約700万人（うち宿泊者数は90万人）が訪れる地域である。

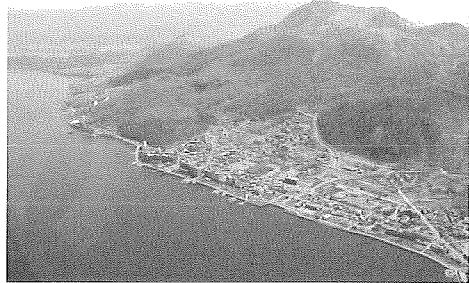
2000年3月31日午後1時7分、22年振りに噴火。西山麓の国道近くに火口が開く噴火であったが死傷者はゼロであった。これは、過去の噴火体験で得た教訓と、有珠山の特性を見抜き、予知と地域防災に活かそうとする研究者の存在等があったからである。

この教訓を防災・減災と人づくり、地域振興に役立てる取組として、エコミュージアム構想とジオパーク（世界地質遺産）づくりが推進されている。

2 有珠山の噴火史と地域事情

有珠火山は洞爺カルデラ形成後、その南壁に約2万年前に生成された新しい火山で、7、8千年前に山体崩壊があり、南麓から噴火湾にかけて無数の流れ山を残した。1663年に噴火を再開した後は、2000年までに9回の噴火歴がある。

1977年噴火当時、この地域では防災論議、イコール危険情報・マイナスイメージという拒絶の風土であった。観光資源が火山に由来するという認識も薄く温泉と景観の陰に「噴火・災害」が潜在することを軽視していた。



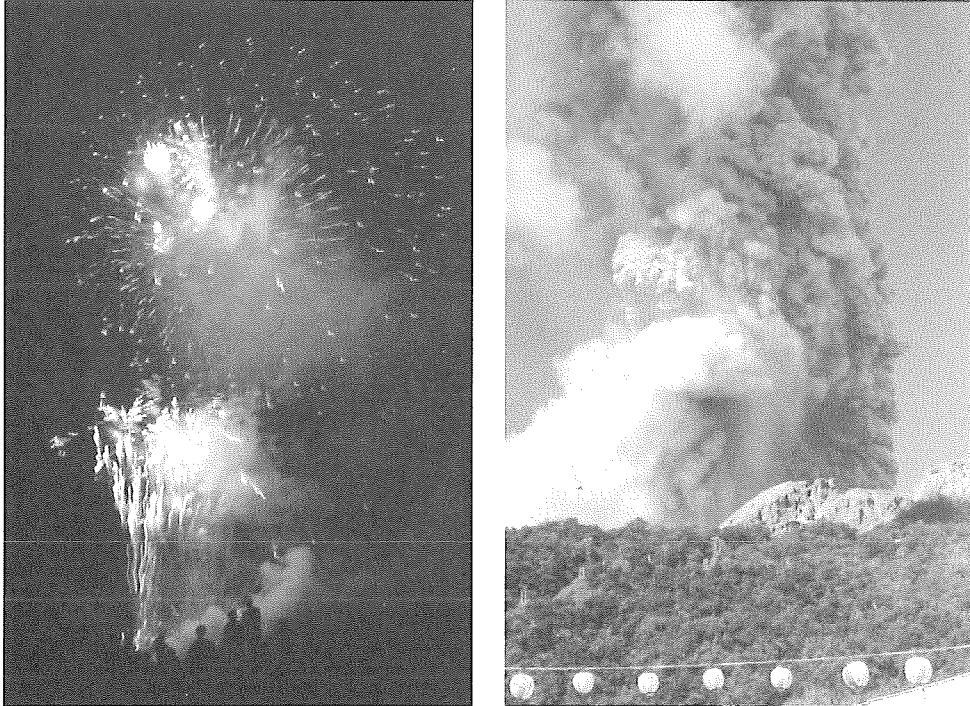
現在の有珠山と洞爺湖温泉街（山頂から2kmに市街地が形成）

噴火年代	噴火地点	前兆地震	主要活動状況・災害	休止期間
寛文3(1663)年	山頂	3日前から	家屋埋没・焼失、火砕サージ、死者5、小有珠ドーム生成	数千年?
*先明和噴火	?	?	不詳	40年?
明和5(1769)年	山頂	前兆地震あり	火砕流、家屋焼失	70年?
文政5(1822)年	山頂	3日前から	火砕流、死者103、不詳者多数、オガリ山生成、集落移転	52年
嘉永6(1853)年	山頂	10日前から	火砕流、大有珠ドーム生成、住民避難	31年
明治43 (1910)年	北山麓	6日前から	水蒸気爆発、地殻変動、明治新山（四十三山）生成 火口45個、死者1（熱泥流＝立入規制無視）、降灰被害	57年
昭和18～20 (1943～45)年	東山麓	半年前から	火砕サージ、地殻変動、村落壊滅、昭和新山生成、火口7個 死者1（乳幼児；降灰窒息、消化器疾患）、噴出物被害	33年
昭和52～53 (1977～78)年	山頂	32時間前から	低温火砕サージ、地殻変動、有珠新山生成、噴出物被害 死者2（行方不明1）＝土石流、I・4・A・N・銀沼火口	32年
平成12 (2000)年	西山麓	4日前から	地殻変動、西山山麓新山隆起、低温火砕サージ、熱泥流 西山山麓火口群・金比羅火口群、噴出物被害	22年

有珠山噴火史概要 2000年噴火後のトレンチ調査で、1663-1769年噴火の噴出物の間に有珠山由来の堆積物が確認され「先明和噴火」とされた。

1977年の噴火の前夜(8月6日)、壮瞥町は火山性地震が発生している中で、昭和新山爆発再現花火大会を実施した。

これは、昭和新山(1943年から1945年)の生成時、前兆地震の発生から半年間噴火しなかったという経験訓からの判断であり、山麓には、強烈な揺れを感じながらも5万人が花火を楽しんでいた。幸いにして噴火は翌朝(8月7日)午前9時12分という観光客の少ない時間に起こり、初動における犠牲者は出さずに済んだ。



噴火の前夜行われた昭和新山火まつり(写真左)と1977年8月7日有珠山噴火(右) 三松三朗氏撮影

しかし、一歩間違えば大惨事を招いたことは疑う余地がない。この噴火の4年前、科学者が北海道の依頼により有珠山を調査し、噴火に備える必要性を報告していたにもかかわらず、その情報は周辺地域で共有されず、全く無防備な状態で噴火を迎えたのである。

このときの反省が、平時の啓発事業を開始する出発点(原点)となった。

2.2 緊急対応に役立った平穏期の取組 I

1977年噴火の後遺症から次第に立直りだした頃、一転して大地動乱の時代に入り、国内外で大規模災害が次々に起き、人々はTVを通し疑似体験をする事となった。特に1991年雲仙普賢岳火砕流災害の43名の犠牲(6月3日)により火砕流の怖さを思い知らされた。

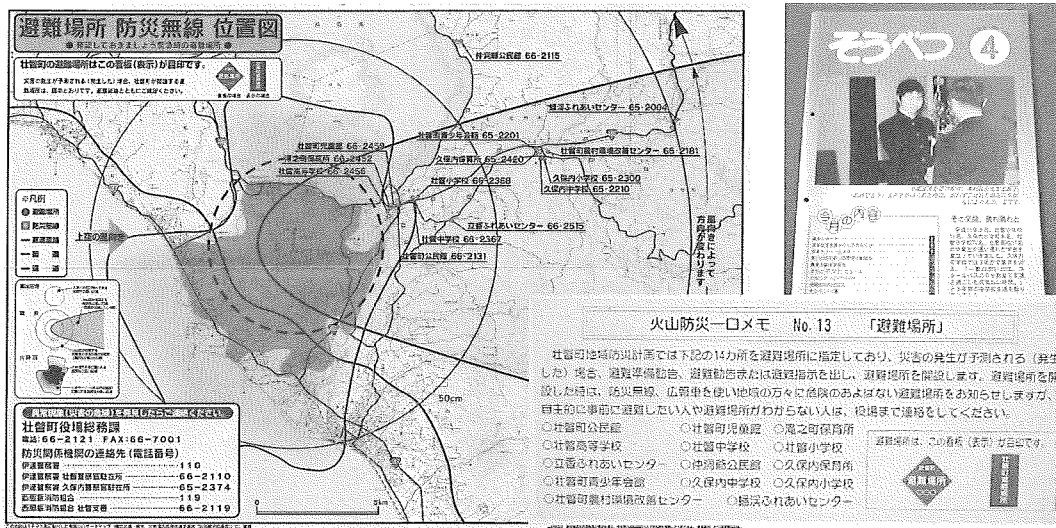
1993年から95年にかけて昭和新山生成50周年記念事業を地域の有志の手によって開催

することになり、中心事業として、人口僅か 3,500 人の壮瞥町が「昭和新山生成 50 周年記念国際火山ワークショップ」(1995 年)を開催した。同時期に防災マップが発刊され周辺全戸に配布された。



「火山防災マップ(1995 年発刊)」(左)と国際火山ワークショップ

さらに、1997 年には壮瞥町地域防災計画の見直しと避難所サイン(看板)整備にあわせ、避難経路、避難場所を明示した壮瞥町独自の防災マップ「災害に備えて」を発刊、全戸配付を行うとともに、毎月発行している町広報誌にコラム形式で火山防災一ロメモを継続的に掲載するなど、積極的に行政情報の提供につとめたところである。



「災害に備えて(壮瞥町 1998 年発刊)」(左)と町広報誌に毎月掲載していた「火山防災一ロメモ」

2.3 緊急対応に役立った平穏期の取組Ⅱ－恵まれていた学習環境－

2000年の噴火は、迅速な避難が行われ、人的な被害は全くなかった。この背景には、有珠山の麓に北海道大学有珠火山観測所があり研究者が現場に常駐していたことと、自然環境や火山防災に造詣の深い地域リーダー三松正夫記念館長三松三朗氏の存在がある。

火山を理解する具体的な事業としては、1983年から毎年継続実施している、「子ども郷土史講座（町教委主催）」や、「昭和新山・有珠山登山会」等があげられる。

身近に存在する、活火山の懐（フィールド）に出かけ、地球の体温、息吹を感じながら、自然の恵みと一時期の災害について有識者からコメントをもらうものであり、「楽しい自然体験」を通して「地域の災害環境を学ぶ」スタイルで継続した事業になっている。

有珠山に関する情報の共有と専門家と行政、住民間での信頼関係も構築されていたため、迅速な措置と事前避難が行われたのである。

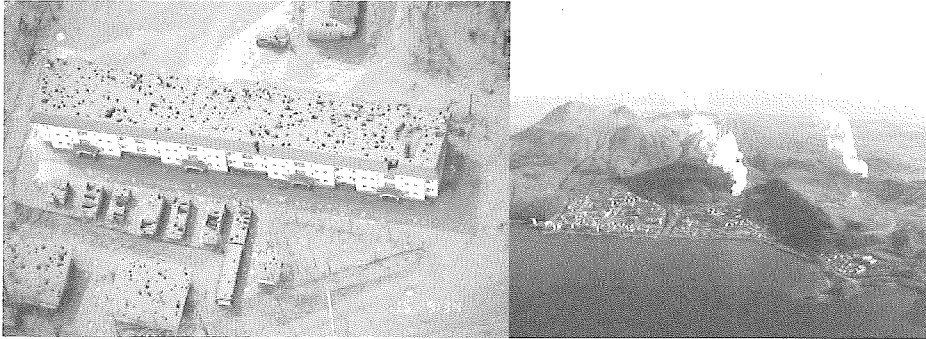


1983年から毎年継続開催している「子ども郷土史講座（壮瞥町教育委員会主催）」
上 有珠山学習会（岡田弘北大教授（当時・現在、壮瞥町防災アドバイザー）案内）
下 同 昭和新山登山学習会（三松三朗氏案内） 2講座参加者はのべ1,500人

3 2000年有珠山噴火と対応

2000年3月31日、有珠山は西山西麓から噴火をはじめ、翌4月1日には、北西山麓でも火口群を形成した。活動は、3月27日の火山性地震開始当初から、気象庁、北海道大学有珠火山観測所がキャッチし、地元の行政機関へ情報が伝達され、28日に災害対策本部を立ちあげ、29日、11時10分の緊急火山情報を受けて、3市町は専門家の助言を得ながら避難勧告を発令、避難誘導、避難所の開設を行うなど迅速な対応が行われ、住民も敏速に行動し、噴火前には1万人余りの避難が完了していた。

事前避難のおかげで道内有数の温泉街近くに多数の新火口が開き、噴石が民家を蜂の巣状に打ち抜く等にも関わらず、一人の死傷者も出さずに済んだ。



左 噴石や泥流で被災した金比羅山麓火口に近い住宅 北海道大学 岡田弘教授（当時）撮影
右 有珠山と金比羅・西山山麓火口 2000.4.8 同 宇井忠英教授（当時）撮影

3.2 緊急時の対応

(1) ハザードマップの役割と避難勧告・指示

火山活動は地下で起こる現象であり、その予測は難しく、行政判断は困難を極める中で、科学的知見を集積したハザードマップと専門家の助言は、避難措置を行うにあたって重要な判断材料となり、また、住民への説明材料ともなった。

避難措置は、専門家のアドバイスとハザードマップを基本として、自主避難の呼びかけ、避難勧告・指示と段階を経て行われた。3月31日午後1時7分の最初の噴火は、西山山麓に位置していたことから、避難指示区域の拡大がザードマップをもとに決定された。

(2) 避難所の開設

雲仙普賢岳の災害対応に学び、長期化する避難生活を念頭におき、各避難所の収容定数を見直した（1人当たり1.6㎡）。避難勧告前に十分な準備時間を取り、地域のコミュニティ単位（町内会）を崩さず、さらにハザードマップをベースに避難所が罹災することがないように避難先を指定した。

1977年噴火で長期の避難生活経験者が多数存在していたため、避難所では「自治会」組織がいち早く立ち上がり、自主管理、自主運営が行われた。このような対応は、小さな自治体だからできたことであるが、限られた町職員を他の業務に割くことができた。

(3) 危険評価と避難解除

有珠山の噴火活動は活発であったが、一方で、火口から遠方に位置する避難住民の一時帰宅や避難指示解除の検討が始まった。

火山噴火予知連絡会有珠部会と北海道大学専門家により、危険区域の評価が行われ、その見解を根拠として行政がカテゴリー区分を設定し「一時帰宅」を実施した。

(4) 観光再開と安全確保の指針

有珠山の活動は消長を繰り返していたが、5月以降順次避難指示区域を解除した。北海道でも有数の観光地であり、観光再開にあたっては、専門家のアドバイスを得て、安全確保に関する「ガイドライン」を策定し観光客向け「有珠火山情報マップ」を発刊した。

3.3 火山活動状況と対策状況

北海道がまとめた対策の状況は次のとおり。

「平成12年（2000年）有珠山噴火」火山活動状況及び対策状況

平成13年11月現在 北海道

(1) 火山活動の状況

平成12年3月27日 8時以降 火山性地震が増え始める。
[火山観測情報第1号発表（3月28日0時50分）]
3月31日 13時07分 最初の噴火（西山西麓、噴煙3,500m）
4月1日 2時50分頃 噴火（西山西麓）
5月28日（予知連） マグマの供給は停止、マグマの活動は終息と判断
なお火口付近では引き続き注意が必要

(2) 災害対策体制の整備

① 国

3月29日 11時10分 災害対策関係省庁連絡会議開催
11時30分 有珠山関係省庁局長級会議開催 関係省庁担当官の派遣
3月31日 14時00分 関係閣僚会議
14時30分 有珠山噴火非常災害対策本部設置（本部長国土庁長官）
現地対策本部設置（平成12年8月11日廃止）（本部長国土総括政務次官）
6月28日 有珠山噴火非常災害対策本部廃止
有珠山噴火災害復旧・復興対策会議設置（議長 防災担当大臣）

② 北海道

3月28日 3時00分 有珠山火山活動災害対策連絡本部設置（本部長 知事）
地方連絡本部設置（胆振支庁、東京事務所）
3月29日 10時30分 有珠山火山活動北海道災害対策本部設置（本部長 知事）
地方本部設置（胆振支庁、東京事務所）
地方連絡本部設置（石狩・渡島・檜山・後志支庁）
18時45分 現地対策本部設置（本部長；副知事 副本部長；胆振支庁長）
10月27日 現地対策本部及び各地方本部廃止（石狩・渡島・檜山・後志支庁）

③ 市町

3月28日 8時30分 壮瞥町災害対策本部設置
28日 9時30分 伊達市災害対策本部設置
28日 17時30分 虻田町災害対策本部設置

④ 有珠山現地連絡調整会議 平成12年3月29日～31日 6回開催

- ・構成団体 4 1 機関（国の機関、地元自治体、関係機関）
- ・議 長 国土庁審議官、北海道副知事
- ⑤ 有珠山噴火非常災害現地対策本部合同会議 平成 12 年 3 月 31 日～8 月 11 日 61 回開催
- ・構成団体 4 1 機関（国の機関、地元自治体、関係機関）
- ・議 長 国土庁審議官、北海道副知事

(3) 災害応急対策

- ① 住民避難 災害救助法の適用 平成 12 年 3 月 29 日 伊達市、虻田町、壮瞥町
○ 避難状況の推移

市 町 村 名		H12. 3. 29	3. 31	4. 13	5. 12	7. 28	H13. 6. 20
虻田町	世帯	1, 891	4, 453	3, 612	3, 186	202	0
	人数	3, 894	9, 935	7, 943	6, 929	378	0
壮瞥町	世帯	198	198	176	0	0	0
	人数	408	408	347	0	0	0
伊達市	世帯	2, 048	2, 223	0	0	0	0
	人数	4, 924	5, 472	0	0	0	0
計	世帯	4, 137	6, 874	3, 788	3, 186	202	0
	人数	9, 226	15, 815	8, 290	6, 929	378	0
備 考	指示発出	最大指示	伊達解除	壮瞥解除			虻田解除

② 主な住民支援

- 避難所の設置（平成 12 年 8 月 27 日閉所）
34カ所（3市5町村）・入所者数 5, 974人（平成 12 年 4 月 13 日最大）
- 応急仮設住宅等の設置・確保
応急仮設住宅 733戸 応急公営住宅 359戸 民間住宅 31戸
入居状況 623戸 1, 456人（平成 13 年 10 月 23 日現在）
（※ 入居ピーク（平成 12 年 8 月 1 日） 832戸 2, 005人）
- 災害関連公営住宅の整備（整備中）
・災害復旧 124戸 ・災害公住 24戸
- 情報提供 行政ニュースの発行（避難所に配布）
・避難指示地区の映像情報提供（ヘリ撮影、避難所に映像配信）
- 被災者生活再建支援法の適用 適用月日 平成 12 年 3 月 31 日
・公示月日 平成 12 年 4 月 19 日（区域：虻田町）
平成 12 年 7 月 28 日（区域：長期避難世帯）
平成 12 年 10 月 24 日（区域：北海道）
- 生活資金の貸付
・生活福祉資金の特例貸付、被災者援護特別資金の貸付、災害援護資金の貸付
・生活支援事業補助金の創設
- 医療支援・心のケア
・保健医療救護センターの設置 ・保健婦の配置（避難所）
・一般医療救護班、歯科保健班、精神保健班の派遣
- 動物（ペット）の保護 動物救護センターの設置
- 困りごと相談 「はまなす隊」（女性警察官）の派遣
- 一時帰宅等 ・一時帰宅 短時間帰宅、日中帰宅の実施（平成 12 年 4 月 8 日～）
・湖上視察 洞爺湖温泉地区、遊覧船を活用（平成 12 年 4 月 18 日）

・車上視察 火口周辺地区、装甲車の活用（平成12年6月27・29日、7月12日）

③ 主な産業・雇用対策

○ 農業対策

- ・営農技術対策の公表及び営農技術対策本部による技術指導・営農相談
- ・家畜の移動、飼料の無償提供 ・災害融資利子補給補助制度の創設
- ・災害復旧事業による農地・農業用施設の復旧
- ・有珠山地域農業復興支援対策事業による地域農業の復興

○ 漁業対策

- ・ホタテ養殖管理作業への支援 ・災害対策制度資金の活用
- ・災害融資利子補給補助制度の創設

○ 中小企業対策

- ・特別経営相談室の開設 ・特別中小企業金融・雇用相談室の開設
- ・中小企業振興資金（災害）の融資 ・特別資金利子等補給補助制度の創設
- ・中小企業返済対策特別資金制度の創設

○ 観光対策

- ・観光関連対策連絡会議の開催
- ・「ガンバル・フンバル北海道キャンペーン」の実施など観光客誘致への支援

○ 雇用対策

- ・臨時急急的な就労機会の創出（緊急地域雇用特別対策推進事業の活用）
- ・雇用開発奨励補助制度の創設

④ 教育対策

- 道立高校の仮設校舎の整備 ○ 義務教育における教員の加配措置
- 移動図書館車の巡回 ○ 移動理科教室（サイエンスカー）の開設
- リフレッシュ応援隊の派遣 ○ 児童生徒の心のケア活動

⑤ インフラ対策

- 長万部と札幌・苫小牧間の迂回路の確保（道道の国道 230 号への昇格）
- 道道の降灰除去 ○ 漁港の復旧
- 板谷川、西山川の降灰除去等 ○ 治山施設の復旧

(4) 被災市町村 伊達市、虻田町、壮瞥町、洞爺村（平成13年7月20日現在）

- 住家被害 全壊 119 棟 半壊 355 棟 一部破損 376 棟 計 850 棟
- 非住家被害 全壊 12 棟 半壊 11 棟
- 土木被害 道路、橋梁、河川、砂防施設、漁港 59箇所（道・市町村分）
- 農業被害 農地・農業用施設、農作物、家畜、営農施設 89戸、33件
- 水産被害 共同漁業施設 1件
- 林業被害 林地 36.06ヘクタール 治山施設 6ヶ所
- 衛生被害 水道 1件 病院・一般廃棄物処理施設 9件
- 下水道 45ヶ所
- 文教施設 小学校 3件 中学校 2件 高校 1件 給食センター 1件
- 社教施設 8件 ○ 福祉施設 公立 3件 法人立 3件
- 都市施設 公園 2件 ○ 堆積土砂排除 1件（市街地）
- 商工被害 商業 65件 工業 11件 その他 68件

（被害総額 259億6千300万円）

※道央自動車道、国道等の被害については、含まれていない。

③ 激甚災害の指定

- 政令公布 平成13年3月14日（閣議決定：平成13年3月9日）
- 激甚災害 平成12年の有珠山噴火による災害で虻田郡虻田町の区域に係るもの
- 適用措置 法第3条、第4条並びに第24条第1項、第3項及び第4項の措置

4 復興計画－街づくり－

(1) 公共施設等の移転と道路交通ネットワーク

2000年の噴火は、極めて小さな活動だったが、西胆振消防本部や多くの公共施設が被災したことから、ハザードマップを基礎とした土地利用を復興計画に位置付け小学校や病院等を移転、整備した。

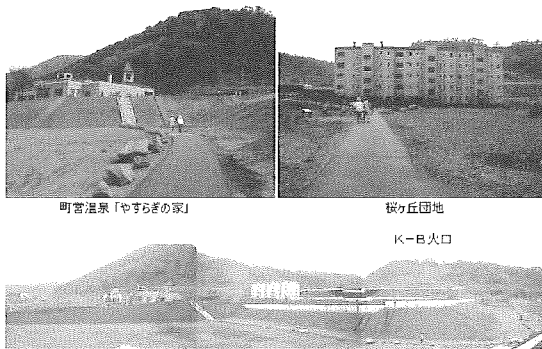
壮瞥町においても消防支署の移転、道の駅整備等災害に強い街づくりを推進している。

2000年の噴火で寸断された国道の新ルートは専門家の意見により決定された。一方、次の噴火時、北海道の動脈であるJR、高速道路、国道37号等の寸断に備え、洞爺湖の東側迂回ルート（一部新設）が検討されている。

(2) 砂防事業と洞爺湖周辺地域エコミュージアム

火山との共生の歴史を次世代へ伝承し、火山を資源として活用する洞爺湖周辺地域エコミュージアムが推進されている。

災害の爪跡を保存し学ぶ自然博物館として整備する構想(2002.6公表)に基づき、住民ワークショップ等の議論を踏まえ、砂防事業の整備にあわせ敷地内に被災した団地、温泉施設、流失した橋等が遺構として保存されている。



砂防事業と連携して整備された 自然の驚異と活きた火山を歩いて・見て学ぶことができる散策路

これらエコミュージアム施設を活用したガイド事業により減災効果が期待されている。

現在、エコミュージアムを世界地質遺産（ジオパーク）として、ユネスコが支援する世界ジオパークネットワークの認証を得べく連携した取組を行っている。

5 エコミュージアムと「洞爺湖有珠山ジオパーク」

エコミュージアムは地域を丸ごと「博物館」と見立て、自然、農場・山林・漁場や集落、遺跡などを展示品とみなし、住民参加型でつくりあげる新しいタイプの野外博物館である。

(1) エコミュージアムは3つのエリア、地域の魅力を発信

洞爺湖周辺地域では2000年3月有珠山噴火により大きな被害を受けた洞爺湖周辺地域の早期復興のため、二階俊博北海道開発庁長官（当時）の私的諮問機関、北海道活性化懇談会（座長瀬島龍三氏）の提言を受けて、地元の市町村が中心となり検討を行った。

エコミュージアム構想は「火の山」・「北の大地の歴史」にふれる自然博物館として、3つのエリア「火山の恵み（遺構）」「大地の恵みと文化」「先人の歴史と海の恵み」で構成されている。地域にある資源を活用して、次世代を担う子どもたちや来訪者に向け、地域の歴史伝承、人づくりなどを行い、観光振興、地域防災力の向上を目指すものである。

(2) 多くの機関が連携して推進

エコミュージアムは、洞爺湖周辺1市3町の首長と胆振支庁長、室蘭開発建設部長などの機関で構成する「洞爺湖周辺地域エコミュージアム推進協議会（会長 山中漢壮警町長）」を中心に推進されている。



関係機関が連携して推進されている「洞爺湖周辺エコミュージアム」

(3) 国内初のジオパーク認証に向けた取組

ユネスコは、「ジオパーク」という新しい枠組みをつくり、地質遺産や学術的価値のある遺跡等の保存、研究とそれら資源を活用した持続可能な地域づくりを支援している。ジオパークの目的はエコミュージアムの取組と共通するものであり、2007年11月、推進協議会は日本初のジオパークの認証に向け取組むことを決定し、さまざまな事業を行っている。

◆ 2008年1月18日 講演会

「ジオパークとエコミュージアム」

－伊達市防災センター

講師 環境省北海道地方環境事務所

所長 浅野能昭 氏

知床博物館館長 中川元 氏

産業技術総合研究所

地質調査総合センター

統括主幹 渡辺真人 氏



2008年6月2日には、認証申請を行うにあたり、地質遺産、文化遺産、自然遺産等の遺産価値について、地質、火山、観光の専門家の観点から検討を行うため「洞爺湖有珠山ジオパーク科学検討委員会」も設置された(右表)。

7月18日には、委員の協力を得て作成した、「申請書」を日本ジオパーク委員会に提出し、委員会の審査を経て、10月20日、洞爺湖有珠山地域が国内候補に選定された。

洞爺湖有珠山ジオパーク科学検討委員会

役職	氏名	所属/機関名等
委員長	岡田 弘	北海道大学 名誉教授 環境防災総合政策研究機構 北海道支部 理事
委員	宇井 忠英	北海道大学 名誉教授 環境防災総合政策研究機構 関西支部 専務理事
委員	大島 直行	伊達市噴火高文化研究所 所長
委員	大島 弘光	北海道大学大学院 理学研究科附属 地震火山研究観測センター 准教授
委員	勝井 義雄	北海道大学 名誉教授
委員	後藤 芳彦	室蘭工業大学 環境防災工学講座 准教授
委員	敷田 麻実	北海道大学観光学高等研究センター 観光連携研究部門 教授
委員	露崎 史朗	北海道大学院地球環境科学研究院 統合環境科学部門地球環境化評価分野 准教授
委員	中川 光弘	北海道大学大学院 理学研究科 自然科学学部門地球惑星システム科学分野 教授
委員	廣瀬 亘	北海道立地質研究所 地域地質部表層地質科 研究職員
委員	三松 三朗	三松正夫記念館 館長

※北海道立地質研究所はジオパーク推進を専門的立場で支援

(4) サミット開催後の地域振興としてジオパークを推進

有珠山噴火後、洞爺湖周辺の観光入り込みはほぼ噴火前の水準に戻っているが、修学旅行生の回復は50%に満たない。

北海道洞爺湖サミット開催の好機を活かし、国際観光地として飛躍するため、洞爺湖圏の資源を活用した新たなツーリズムのモデルを示すためにエコミュージアム・ジオツアーが旅行社により企画され、札幌圏から73名が参加、好評を得た(写真)。

ジオパークは、知的好奇心の強い団塊の世代をはじめとする国内、道内観光客や修学旅行生を誘致するため、サミット後の地域振興の大きな柱として期待が寄せられている。



左 好評だった学術解説付き「エコミュージアム・ジオツアー」(2008年6月7日~8日)

右 2008年10月20日世界ジオパークの国内候補地選定を伝える北海道新聞記事(2008.10.21 朝刊)

6 噴火の再来に備えた減災と連携による人づくり・地域振興

有珠山は将来必ず噴火する。2000年の噴火では、住民避難などより広域な対応が必要であったことなどを踏まえ、有珠火山防災会議協議会（会長 菊谷秀吉 伊達市長）に豊浦町や陸上自衛隊等4機関を加え、2006年7月28日、火山防災サミット in いぶりの開催時に、豊浦町において伊達市、豊浦町、壮瞥町及び洞爺湖町で防災協定を締結した。

ジオパークの枠組みもこの4市町である。

北海道胆振支庁が提唱し導入された「洞爺湖有珠火山マイスター」制度による第一期マイスターが2008年10月5日に誕生するなど、エコミュージアム、ジオパークを支える人づくりも関係機関の連携のもとで行われている。



左 協定を締結した伊達・洞爺湖・豊浦・壮瞥の4首長
右上 専門家による防災機関職員向け有珠山学習会
右下 初代「火山マイスター」に認定された6名



災害を軽減する出発点は、自然を理解することである。有珠山に関する知識を日頃から周辺住民が理解（共有）していたこと、地元には火山の専門家が存在し、関係機関の連携と強力なサポートがあったことなどから2000年の有珠山噴火では事前避難につながった。

エコミュージアムとジオパークの取組は、1977年噴火以来、有珠山で継続されてきた「専門家と自然を楽しみながら火山、自然を学習する」仕組みを次世代に伝え、人づくり、地域（観光）振興につなげていく重要な役割もある。今後も関係機関、専門家、住民、企業と行政がスクラムを組んで他地域にないユニークな施策として推進してまいりたい。

< 壮瞥町役場総務課 >

〒052-0101 有珠郡壮瞥町字滝之町 287 番地 7 TEL 0142-66-2121 FAX 66-7001

ホームページ 壮瞥町：<http://www.town.sobetsu.lg.jp/> → **【エコミュージアム構想】**

有珠山の火山防災：<http://www9.plala.or.jp/usuvolcano/>

講 演

洞爺湖温泉における省エネ型温泉給湯施設 の再構築について

洞爺湖温泉利用協同組合

四宮 博

洞爺湖温泉における省エネ型温泉給湯施設の再構築について

洞爺湖温泉利用協同組合 四宮 博

はじめに

洞爺湖温泉は、明治43年に有珠山の側火山である四十三山の噴火活動により誕生し、火山が織りなす風光明媚によって観光地として発展してきた。現在は年間約300万人もの観光客が訪れる北海道有数の観光リゾートとなっている。

洞爺湖温泉は、昭和52年と平成12年の2度の有珠山の噴火による被害を受けた。特に平成12年の噴火は記憶に新しく、噴火口が温泉街の間近と言うこともあり、源泉や配湯管など温泉施設に多大な被害を被った。そこで、洞爺湖温泉利用協同組合としては火山との共生をはかるため、地盤変動に耐えうる温泉給湯施設への改善を行うとともに、これまで洞爺湖温泉では温泉の温度低下が現われ、給湯事業に支障をきたすことがあったことから、温泉の利用方法を抜本的に見直し、源泉の監視強化等、資源を有効的に活用することに取り組んできた。

その一環としてこの度、更に温泉の有効利用をはかるため、温泉の排水熱（温泉排水専用下水熱）を活用した省エネ型昇温施設を整備した。本報告ではその概要を報告する。

1. NEDO 民生部門等地球温暖化対策実証モデル評価FS事業(可能性調査)の概要

洞爺湖温泉（温泉供給量約1500 t/min、年間約76万m³）は、平成12年3月の有珠山噴火後高温となった源泉温度が徐々に低下し、平成14年以降は重油による加温を余儀なくされている。

温泉街では、各ホテルへ配湯された温泉水が、浴用利用後、下水配管（温泉排水専用管）に排水されている。利用可能な未利用エネルギーがあるのかどうか検討を行った。温泉供給から排水までのフローは、図1の通りである。

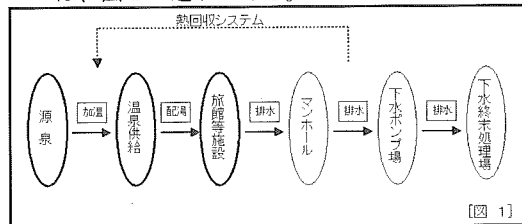


図1 源泉～終末処理までの温泉の流れ

この調査は、NEDO 民生部門等地球温暖化対策実証モデル評価FS事業(可能性調査)で実施をした。検討委員会は、半澤北海道工業大学建築学科教授を委員長とし、産学官の10名の委員で構成された。その検討内容は次の通りである。

1. 12本の源泉の混合温度は低下傾向にあり、平成18年時で約39℃である。今後、さらに低下する事を見込み、35℃と33℃の温度にて評価をした。

II. 温泉排水の成分・温度・流量は、採熱予定排水管マンホールにて実測した。外気温度と排水温度の年間推移では、外気温度がマイナスになっても排水温度は約35℃と安定している（図2）。

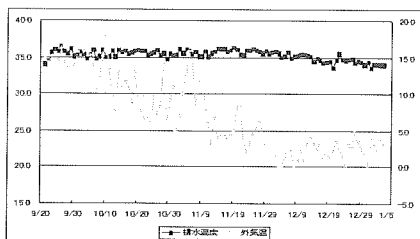


図2 2008年9月20日～2009年1月5日の外気温・排水温度

図3は、温泉排水の毎時データ、図4は、温泉排水の日量データを示す。温泉排水は、ほぼ変化なく（毎時約100m³前後）、（日量平均約2000m³）である。

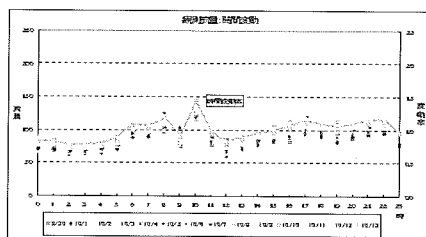


図3 2008年10月5日の毎時排水量

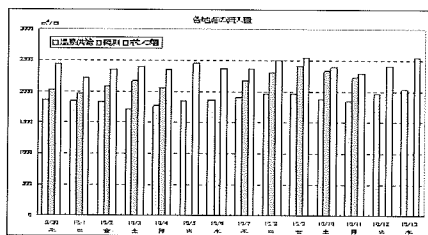


図4 2008年9月30日～10月13日の排水日量

III. 温泉排水熱源ヒートポンプシステムと主要機器は、長期安定運転確保などから「間接加熱方式：温泉水とヒートポンプの間に熱交換器を設置」とし、ヒートポンプ機器は、安定運転の観点から複数台設置とした。

IV. 排熱回収システムは、既存の排水管へ影響を与えないために、採熱用専用マンホールを新たに設置し、水中ポンプにて採熱することとした。

V. 熱源水配管は、採熱温泉排水マンホールから、温泉供給施設まで、距離約1,000m高低差約30mあることから、この間の輸送動力低減と配管劣化防止を図るため、清水閉回路とした。

VI. 省エネルギー効果（原油換算）23～28%、CO₂排出削減率37～45%と試算した。

2. 実証化試験

本事業は洞爺湖町下水配管（温泉排水専用管）から既存の下水機能に影響を与えずに、温泉排水の保有する熱エネルギーを高効率ヒートポンプで回収し、温泉水の加温エネルギーに利用することにより、省エネルギー（原油消費削減）を図ることを目的とした。

本事業の導入設備は、①温泉排水からの採熱設備、②その熱を輸送する設備、③熱源機であるヒートポンプ設備の3つに分けられる。

2-1. システムの概要

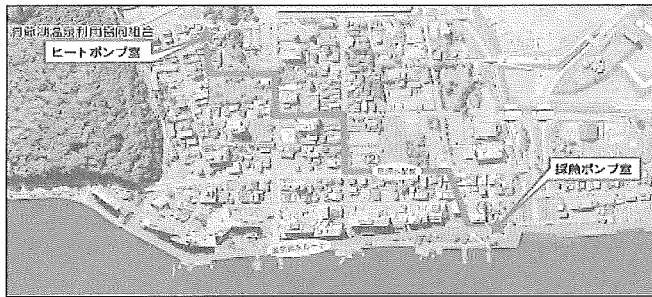


図5 ヒートポンプシステムの全体図

図5にヒートポンプシステム全体図を、図6にシステムの概要図を、表1にヒートポンプシステムの機器仕様を示す。

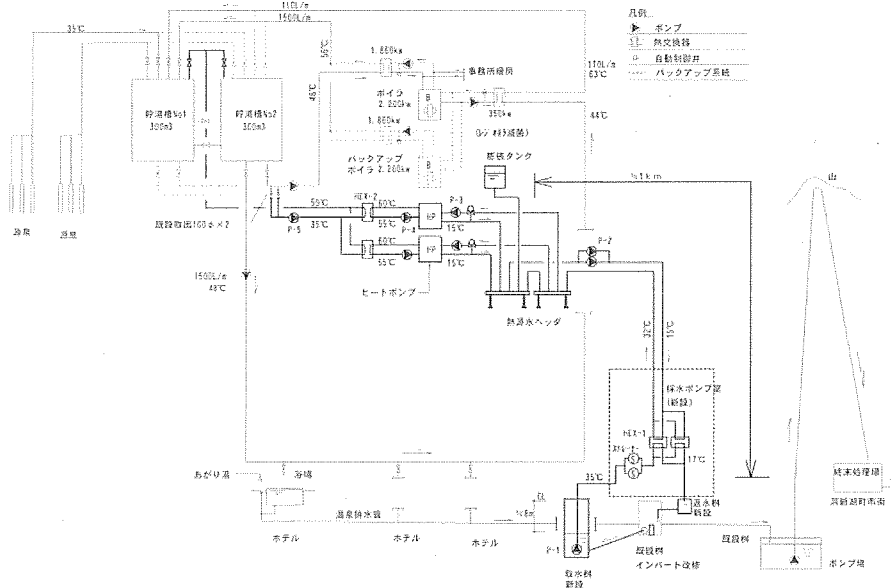


図6 システム概要

①「採熱設備」(既存設備の有効利用、図5参照) 既存の下水管の横に新たに採水用マンホールを設け排水を貯水し、水中ポンプで排水を汲上げ、ヘアーキャッチャー・自動ストレーナで異物を除去した後、採熱装置(図7)で排水から熱を奪う。奪った熱は清水を温める(15°C→32°C)。

表1 ヒートポンプシステムの機器仕様

	機器名称	仕 様	動力 (kW)	数量	メーカー 型式
ヒ ー ト ポ ン プ シ ス テ ム	ヒートポンプ 冷凍機 HP	スクリー式モジュール型 加熱能力 : 925kW 熱 源 水 : 24℃ → 15℃ 温 水 : 55℃ → 60℃ 冷 媒 : R134a	400V 275kW	2	荏原冷熱システム㈱ RHSCW200ME4
	熱源水2次ポンプ (P-3)	渦巻ポンプ メカニカルシール型 80Φ×62Φ/1030h×100kPa	400V 3.7kW	2	荏原製作所
	温水1次ポンプ (P-4)	渦巻ポンプ メカニカルシール型 125Φ×100Φ/2625h×150kPa	400V 11kW	2	荏原製作所
	温水2次ポンプ (P-5)	渦巻ポンプ メカニカルシール型 150Φ×125Φ/1900h×200kPa	400V 15kW	2	小松製作所
	熱交換器 (HEX2)	プレート型 SUS316製 交換熱量 925kW 1次温水 60℃→55℃ 2次温水 48℃→55℃		2	アルファラバー
熱 源 水 シ ス テ ム	採熱ポンプ (P-1)	水中汚水排水ポンプ 羽根車 80Φ/1067h×180kPa	200V 7.5kW	2	荏原製作所
	熱源水1次ポンプ (P-2)	渦巻ポンプメカニカルシール型 80Φ×62Φ/567h×290kPa	400V 7.5kW	2	荏原製作所
	熱交換器 (HEX2)	プレート型 SUS316製 交換熱量 671kW 1次温水 35℃→17℃ 2次温水 15℃→32℃		2	アルファラバー

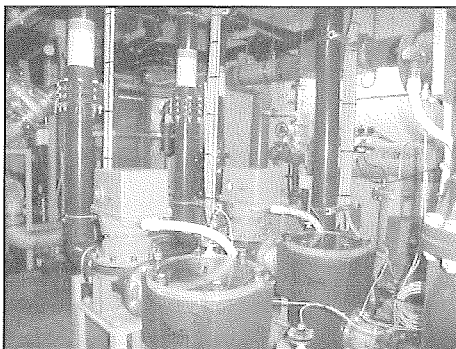


図7 採熱設備設置状況

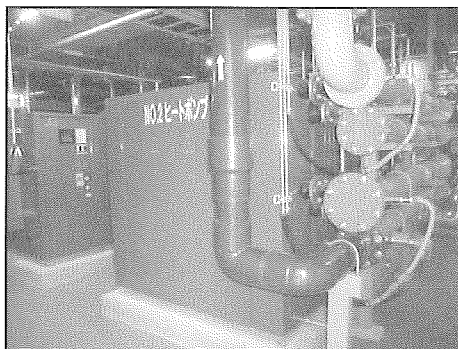


図8 ヒートポンプ設置状況

- ②「熱輸送設備」(閉サイクル方式) 温められた清水は、約 1km 離れたヒートポンプへ動力軽減のため閉サイクル方式で圧送する(図5)。
- ③「ヒートポンプ設備」(間接利用方式) 温められた清水を熱源として利用し、源泉からの温泉を加温、温泉水の温度を(55℃~60℃)にする(図8)。

2-2. 測定実績

表1に示したヒートポンプシステム機器に観測用電力計・測温抵抗体・流量計を設置し、リアルタイム監視を行い、測定実績やヒートポンプシステムの月間・年間の省エネルギー量及び省エネルギー率の算出を行う(表2参照)。

表2 2008年11月のヒートポンプシステム成績等

ヒートポンプシステム設備 2008年11月分													
日	時	電力計	測温抵抗体	流量計	電力計	測温抵抗体	流量計	電力計	測温抵抗体	流量計	電力計	測温抵抗体	流量計
1	0	315	4.09	2.01	81,024.22	11,832.59	2,644.34	25.19	5.8744	7,027.24	2,005.03	41.53	21,452.52
1	1	317	4.06	2.02	82,505.31	11,555.29	2,615.55	26.09	5,621.93	7,482.77	1,911.18	37,420.01	43,338.43
1	2	316	4.17	2.07	81,352.32	11,522.25	2,522.15	30.71	4,606.19	6,193.29	4,331.00	3,022	34,451.09
1	3	321	4.11	2.04	81,823.32	11,824.61	2,624.49	29.25	4,656.69	6,119.26	4,139.26	3,194	33,500.91
1	4	320	4.13	2.07	82,433.01	11,859.32	2,644.51	30.72	4,622.21	6,221.26	4,121.26	3,554	34,553.27
1	5	317	4.17	2.07	84,907.19	12,124.44	2,794.49	30.80	4,121.26	6,221.26	4,263.72	3,022	37,977.62
1	6	318	4.01	2.04	82,101.18	12,532.33	2,824.13	31.94	4,219.26	6,219.26	4,154.18	3,022	33,333.33
1	7	303	3.95	2.02	63,874.08	12,888.21	2,743.22	30.45	4,333.54	6,793.26	4,474.72	3,022	37,403.23
1	8	314	3.97	2.07	87,271.31	12,544.73	4,237.60	32.54	4,333.54	6,793.26	4,727.00	3,244	42,103.23
1	9	301	4.01	2.01	82,071.42	12,621.33	4,620.71	30.21	4,220.26	6,219.26	4,219.26	3,244	32,103.23
1	10	411	4.25	2.03	19,009.18	9,919.22	2,532.15	30.43	5,462.11	6,221.26	5,412	33,102.27	33,166.26
1	11	422	4.42	2.05	65,202.44	14,770.47	6,192.92	41.62	4,234.03	17,267.42	6,021.27	6,847	33,916.18
1	12	419	4.21	2.07	82,403.28	14,714.44	3,964.13	41.98	4,149.26	6,221.26	3,922.26	3,774	43,722.26
1	13	412	4.20	2.01	82,403.28	12,222.12	2,215.05	30.05	4,644.26	6,221.26	3,533	48,464.13	49,323.26
1	14	410	4.21	2.02	82,113.02	12,133.27	2,619.29	30.02	4,029.26	6,421.04	3,410	3,722	49,744.27
1	15	412	4.23	2.03	81,767.78	12,222.25	2,442.07	29.67	4,024.22	6,421.04	3,410	3,722	49,744.27
1	16	414	4.42	2.05	79,274.78	12,532.60	2,564.22	40.29	3,919.27	6,221.26	3,546.68	3,772	41,142.26
1	17	380	4.27	2.09	77,402.92	11,704.24	4,152.01	29.50	3,781.26	6,193.44	4,474.34	3,412	34,433.28
1	18	344	4.41	2.19	81,913.25	12,929.27	4,011.17	31.44	4,024.22	6,221.26	3,412	41,142.26	41,142.26
1	19	352	4.44	2.24	81,924.54	12,449.10	4,011.17	30.11	4,024.22	6,221.26	3,412	41,142.26	41,142.26
1	20	349	4.31	2.21	84,297.11	14,832.4	4,211.4	32.2	4,207.2	6,922.27	3,513	3,412	41,142.26
1	21	349	4.31	2.19	81,348.68	12,532.6	4,011.17	31.44	4,024.22	6,221.26	3,412	41,142.26	41,142.26
1	22	349	4.24	2.21	84,422.9	14,747.2	4,211.4	31.9	4,207.2	6,922.27	3,513	3,412	41,142.26
1	23	347	4.21	2.21	81,701.6	14,292.6	4,011.17	31.9	4,207.2	6,922.27	3,513	3,412	41,142.26
1	24	345	4.25	2.21	82,122.7	14,292.6	4,011.17	31.9	4,207.2	6,922.27	3,513	3,412	41,142.26
1	25	352	4.29	2.11	84,002.6	12,929.27	4,011.17	31.9	4,207.2	6,922.27	3,513	3,412	41,142.26
1	26	342	4.24	2.19	81,212.2	12,844.4	4,011.17	31.9	4,207.2	6,922.27	3,513	3,412	41,142.26
1	27	353	4.34	2.21	84,422.9	14,747.2	4,211.4	31.9	4,207.2	6,922.27	3,513	3,412	41,142.26
1	28	351	4.31	2.21	84,422.9	14,747.2	4,211.4	31.9	4,207.2	6,922.27	3,513	3,412	41,142.26
1	29	349	4.25	2.14	85,013.29	15,922.23	7,044.19	31.47	4,700.00	16,491.62	5,724.64	3,513	41,142.26
1	30	349	4.25	2.14	85,013.29	15,922.23	7,044.19	31.47	4,700.00	16,491.62	5,724.64	3,513	41,142.26
1	31	355	4.25	2.17	81,111.11	13,949.29	11,792.26	31.1	125,462.4	213,854.4	140,241.7	34.4	1,509,024.9

① [成績係数算出] ヒートポンプ及びシステム全体としての成績係数(COP)は、平成 20 年 11 月分実績では、HP1ヒートポンプ(2~4台ランダム運転)のCOP 3.55、HP2ヒートポンプ(2~4台ランダム運転)のCOP 4.25 でシステム全体のCOPは 3.18 である。全体システムはボイラーのCOP 0.8の約4倍で非常に効率が良い。

② [エネルギー削減量及び削減率算出] ヒートポンプシステムとしてのエネルギー消費量及び発生熱量をもとにした重油ボイラー使用想定時のエネルギー消費量を算出し、重油ボイラー使用想定時のエネルギー消費量からの削減量及び削減率は、平成 20 年 11 月分実績での削減量は 1,393,278.8MJ・削減率は 35.3%である。

③ [二酸化炭素削減量及び削減率] ヒートポンプシステムとしての二酸化炭素排出量、及び発生熱量をもとにした重油ボイラー使用想定時の二酸化炭素を算出し、重油ボイラー使用想定時の二酸化炭素排出量からの削減量及び削減率は、平成 20 年 11 月分実績での削減量は 148.241kgCO₂、削減率は 54.2%である。

2-3. ヒートポンプシステムの運転状況

設備運用のポイントとなる洞爺湖町下水（温泉排水）からの熱回収状況（採熱機器観測データ及びヒートポンプ機器観測データ（2次側熱量）を図9に示す。採熱ポンプ室温度測定結果（採熱熱交換器の熱交換状況）で午前10時前後には大量に浴槽から排水されるため下水管の汚れが混入することから、採熱熱交換器等のメンテナンスの時間帯とし排水を直接排水管に戻す。一時的に採熱温度が低下するが、それ以外の時間帯は、ヒートポンプ一次熱源としての温度は運転に支障が生じることはなく、安定した成績係数(COP)を示す。なお、ヒートポンプの台数制御により、深夜電力を使い蓄熱運転（22時HP1手動で増→8時HP1手動で減稼働状況）を行うことにより、より効率的な運転が可能となる。

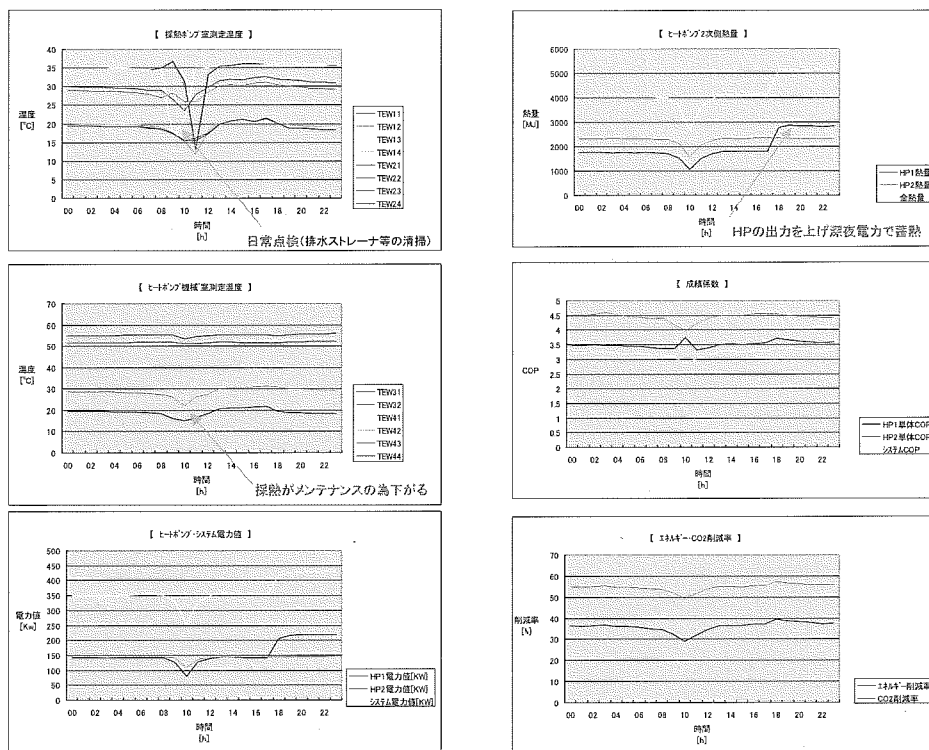


図9 2008年11月20日の採熱機器及びヒートポンプ機器の24時間観測データ

2-4. 成果のまとめ

図10に過去3年間の温泉使用量①、外気温度（月平均）②、重油使用量③、温泉供給温度④、重油使用量（仮定量含む）⑤、源泉混合温度⑥、HP 重油換算使用量⑦状況を示す。

一般的に、夏期間は気温が高くなるため、温泉使用量①は少くなり、それに伴い加温用の重油使用量③は減少する。一方、冬期間は零下が続き温泉使用量①が増え、加温量（重油使用量③）が増加する。これまで温泉使用量①と重油使用量③反比例関係にあったが、平成20年2月以降はその関係は見られない。

重油ボイラーから電気式ヒートポンプへの加温システムの変更により、平成20年 2 月以降の重油使用量⑤は仮定値とし、ヒートポンプの電力量を重油換算し、3 月以降は計画値と比較した。年間省エネ率（予測値）は 30.4 %と計画より 2.1 %上回り、平成20年 11 月までの省エネ実績値は 32.6 %と予定以上の成果が得られた。

ヒートポンプシステム稼働と同時に温泉給湯温度を 2℃高く（50℃）供給し相互影響を実証したところ、温泉使用量は 9 %削減できたが、供給温度を上げることによる温泉使用料金の約8%減収とデメリットも発生した。

平成 20 年度は異常に重油価格が高騰し、この事業における経済効果は 50 %以上は見込めるが、今後重油価格は下がり傾向になるとともに電力価格は上がることが予想されるため、このヒートポンプシステムの効率（成績係数等）を維持する管理マニュアルの策定が必要と考える。

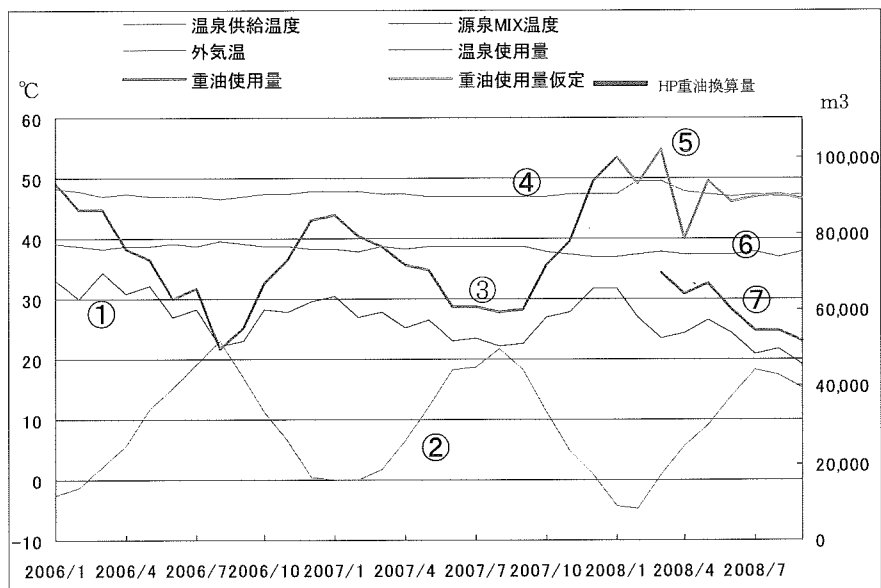


図10 2006年1月～2008年11月の温泉使用量①、外気温度（月平均）②
重油使用量③、温泉供給温度④、重油使用量（仮定量含む）⑤
源泉混合温度⑥、HP 重油換算使用量⑦状況

あとがき

平成20年7月に環境等をテーマに開催された北海道洞爺湖サミットでは、本事業が注目を集め、海外プレスや様々な機関からの視察もあり、環境へ配慮した施設の評価と反響の高さを実感した。今後も観光地の基盤産業である温泉資源を保護するとともに、温泉供給システム稼働のための省エネや環境への負荷軽減を考慮した管理体制を構築し運営していきたい。

謝 辞

本システムの構築につきましては、北海道電力株式会社の技術協力ならびに、様々な助言などを頂いた。また、温泉資源に関し北海道立地質研究所には資料提供を頂いた。ここに記してお礼申し上げます。

文 献

NEDO(2007)：「洞爺湖温泉排熱・湖水を利用した温泉街エネルギー利用効率向上F S 事業」報告書 （洞爺湖温泉利用協同組合）

NEDO(2008)：「洞爺湖町下水配管（温泉排水専用管）からの排熱回収による温泉街エネルギー利用効率向上モデル事業」報告書 （洞爺湖温泉利用協同組合）

講 演

北海道の温泉放出熱量と地熱利用の実態

北海道立地質研究所

鈴木 隆広

北海道の温泉放出熱量と地熱利用の実態

北海道立地質研究所 鈴木隆広

I. はじめに

松波ほか(1999)によると、北海道内の温泉放出熱量は約1100MWであり、全体の放出熱量の約17.5%は自然湧出源泉から、残りの約82.5%はボーリング源泉から湧出しているとされている。約1100MWという放出熱量は、泊原子力発電所の発電量にほぼ相当するが、これには未利用源泉のデータも含まれている。北海道立地下資源調査所(1999)では、利用実態に基づいた潜在エネルギー量を834MW(自然湧出源泉138MW、ボーリング源泉696MW)と見積もっており、そのうちの78MW(約9%)が暖房などの直接利用であると報告している。

最近の原油価格の高騰は、積雪寒冷地である北海道経済に大きな影響を与えている。また、地球温暖化対策として二酸化炭素の放出量削減が叫ばれている中、莫大なエネルギー量を持つ温泉熱の有効利用の推進は、非常に重要な課題である。しかし、1970年代の二度にわたるオイルショック後の原油高騰や供給のひっ迫に対応するために進展した温泉熱の利用促進が、現在はみられていないのが現状である。これは、1970年代の源泉増加数(ボーリング実施数)に対して、現在の源泉増加数が当時の5~6割と少ないことに起因していると考えられる。

このような背景のもと、未利用温泉熱エネルギーの利用促進に向けた調査研究の一環として、北海道全域を対象とした温泉源の現況調査を行った。ここでは、調査して取りまとめた結果について報告する。

II. 全国と北海道の対比

環境省がとりまとめている「都道府県別温泉利用状況調査」によると、平成17年度末現在、全国の温泉地数は3162箇所、源泉数は27866本、湧出量は毎分2761300Lである。また、北海道の温泉地数は251箇所、源泉数は2248本、湧出量は274601L/分であり、全国に対する割合は温泉地数が7.94%、源泉数が8.07%、湧出量が9.94%となっている(表-1)。

表-1 北海道および全国の温泉地数・源泉総数・湧出量

	温泉地数	源泉総数	湧出量 (L/分)		
			自噴	動力	合計
北海道	251	2248	118351	156250	274601
全国	3162	27866	831640	1929660	2761300
北海道/全国 (%)	7.94	8.07	14.23	8.10	9.94

次に源泉の利用・未利用状況についてみてみると、北海道の利用源泉数は1396本、未利用源泉数は852本であり、源泉総数に対する割合は利用源泉が62.10%、未利用源泉が37.90%となっている(表-2)。このように未利用源泉は、総源泉の約4割を占める。この未利用源泉を有効利用することで、新たなローカルエネルギーを生み出すことが可能となるため、利用に向けた方策が必要である。

表-2 北海道および全国の源泉の利用・未利用別内訳

	源泉総数	利用源泉			未利用源泉		
		自噴	動力	合計	自噴	動力	合計
北海道	2248	468	928	1396	388	464	852
全国	27866	5149	13975	19124	2966	5776	8742
北海道/全国 (%)	8.07	9.09	6.64	7.30	13.08	8.03	9.75

Ⅲ. 北海道内での対比

北海道保健福祉部保健医療局医務薬務課が取りまとめている「温泉利用状況調査」によると、平成18年度末現在、源泉数は2252本あり、その14支庁別の内訳は表-3のとおりである。源泉数の割合が総源泉数の10%を超えているのは、上から順に渡島、釧路、胆振、後志であり、これらの4支庁で北海道全体の約62%を占める。しかし、これらの4支庁は総源泉数に対する未利用源泉の割合が約4~5割と高いため、利用している源泉数の順は、渡島、胆振、釧路、上川となる。

表-3 14支庁の源泉の利用・未利用別内訳

支庁	市町村数	源泉数		利用・未利用別							
				利用				未利用			
		割合	本数	割合	計	自噴	動力	割合	計	自噴	動力
石狩	8	7.4	167	71.9	120	26	94	28.1	47	14	33
後志	20	10.2	229	50.2	115	25	90	49.8	114	24	90
空知	23	2.9	65	73.8	48	25	23	26.2	17	11	6
渡島	11	20.5	461	57.3	264	77	187	42.7	197	106	91
檜山	9	1.9	42	64.3	27	10	17	35.7	15	10	5
胆振	10	15.6	351	56.7	199	40	159	43.3	152	81	71
日高	4	0.4	8	100.0	8	2	6	0.0	0	0	0
上川	18	7.3	165	81.8	135	93	42	18.2	30	20	10
留萌	8	0.7	16	75.0	12	8	4	25.0	4	4	0
宗谷	8	0.7	15	93.3	14	7	7	6.7	1	1	0
網走	16	5.6	126	73.8	93	19	74	26.2	33	18	15
十勝	18	8.6	193	62.2	120	54	66	37.8	73	53	20
釧路	6	15.7	353	46.5	164	34	130	53.5	189	57	132
根室	4	2.7	61	72.1	44	25	19	27.9	17	10	7
計	163	100.0	2252	60.5	1363	445	918	39.5	889	409	480

表-4 14支庁の源泉の湧出形態別内訳

支庁	市町村数	源泉数	湧出量 (L/分)					
			利用+未利用			利用		未利用
			総量	自噴	動力	自噴	動力	自噴
石狩	8	167	26090	6925	19165	4989	19165	1936
後志	20	229	15194	3550	11644	2420	11644	1130
空知	23	65	11741	7651	4090	4327	4090	3324
渡島	11	461	53567	26891	26676	26145	26676	746
檜山	9	42	11339	6570	4769	6032	4769	538
胆振	10	351	36007	11446	24561	8057	24561	3389
日高	4	8	840	11	829	11	829	0
上川	18	165	10326	5816	4510	5816	4510	0
留萌	8	16	877	688	189	651	189	37
宗谷	8	15	1235	654	581	595	581	59
網走	16	126	19777	4197	15580	3238	15580	959
十勝	18	193	26065	11935	14130	7502	14130	4433
釧路	6	353	37184	12858	24326	7853	24326	5005
根室	4	61	13259	8120	5139	8120	5139	0
計	163	2252	263501	107312	156189	85756	156189	21556

14 支庁別の温泉湧出量を表-4 に示した。湧出総量が 20000L/分を超えているのは、多い順に渡島、釧路、胆振、石狩、十勝であり、これらの 5 支庁で北海道全体の約 68% を占める。

総湧出量のうちの自噴によるものをみると、多い順に渡島、釧路、十勝、胆振、根室となっている。これらの中で根室を除く 4 支庁は、自噴での湧出量が 10000L/分を超えている。なかでも渡島の 26891L/分は飛びぬけているが、これには森地熱発電所の 20733L/分が含まれているためである。森町濁川地区を除くと、自噴での湧出量が多いのは、登別市登別温泉地区 (6200L/分)、標茶町標茶地区 (5342L/分)、羅臼町湯ノ沢地区 (5220L/分)、今金町奥美利河地区 (4000L/分)、音更町音更地区 (3120L/分)、足寄町雌阿寒温泉地区 (1960L/分)、美唄市盤ノ沢地区 (1920L/分) となっている。

総湧出量のうちの動力によるものをみると、多い順に渡島、胆振、釧路、石狩、網走となっており、自噴の順とは異なっている。動力での湧出量が多いのは、弟子屈町屈斜路地区 (4753L/分)、帯広市帯広地区 (4674L/分)、函館市湯の川地区 (4585L/分)、札幌市定山溪地区 (4026L/分)、白老町北吉原地区 (4000L/分)、釧路市阿寒湖温泉地区 (3940L/分)、標茶町標茶地区 (3820L/分) となっている。

IV. 現況調査

北海道全域で利用されている約 1300 の源泉について、位置情報、湧出状況、利用状況の現地調査を行った。位置情報は可能な限り GPS (GARMIN 社製 etrex VISTA) で位置測量を行い、測量不能な場合は既存資料などの地形図から読み取った。利用状況は、浴用、暖房、農業、水産、プール、融雪の項目別に施設規模等について、聞き取り調査を行った。

調査の対象としたのは、地質研究所で刊行しているボーリングデータ集 (北海道立地下資源調査所：1991；1996、北海道立地質研究所：2000；2008a) や既存資料に掲載されている源泉である。おおむね保健所に登録されている源泉を網羅していると思われるが、道内全ての源泉を網羅しているものではない。ただし、後述の利用状況のとりまとめの際、保健所の資料と突合せを行い、可能な限り利用現況と対比できるようデータを取りまとめた。

V. 温泉放出熱量の算出結果

温泉地域から放出される熱エネルギーは、その地域における全ての温泉湧出口から流出する温泉水が地下から運んでくる熱量と、その地域の地表から空気中へ熱伝導で放出される熱量の総和になる。今回の温泉放出熱量は、前者のみを取り扱った。

現況調査および保健所などへの聞き取り調査から、なるべく直近の各源泉の湧出温度と湧出量を把握し、湧出温度や湧出量が不明な源泉については既存資料の値を用いて温泉の放出熱量を計算した。計算にあたり、平均地下水温度を 10℃として、以下の計算式で求めた。なお、今回示した合計値には、森地熱発電所の放出熱量は含めていない。

$$[\text{湧出温度} - 10 (\text{°C})] \times \text{湧出量 (L/min)} \times 1000 \times 60 \div 860 \quad (\text{熱量単位 : MW})$$

以下からは、各源泉別に温泉放出熱量について述べる。

(1) 全源泉の温泉放出熱量

合計の温泉放出熱量は、松波ほか (1999) よりも 125.6MW 増加している。源泉別にみると、自然湧出が 192.0MW から 142.6MW へと 49.4MW 減少し、ボーリングが 907.5MW から 1082.5MW へと 175.0MW 増加している。

(2) 利用源泉の温泉放出熱量

合計の温泉放出熱量は、北海道立地下資源調査所 (1999) よりも 25.8MW 増加している。源泉別にみると、自然湧出が 138.0MW から 106.3MW へと 31.7MW 減少し、ボーリングが 696.0MW から 753.5MW へと 57.5MW 増加している。

(3) 未利用源泉の温泉放出熱量

この値は (1) の値から (2) の値を減じたものである。未利用源泉の合計温泉放出熱量 365.3MW は、

全泉源の合計温泉放出熱量 1225.1MW の約 3 割を占める。

(4) 浴用利用後の排湯の潜在熱エネルギー量

北海道立地下資源調査所 (1999) では、浴用利用後の排湯から熱回収が提案されており、本調査でもその観点から浴用利用後の排湯の潜在的なエネルギー量を計算した。浴用利用においては、浴槽内の温泉水を清潔かつ適温に保つ必要がある。このためには、常に新しい高温の温泉水を補給する方法 (以下、かけ流し方式)、循環ろ過しながら不足した分の温泉水を補給しながら加温する方法 (以下、循環ろ過方式)、両者を併用する方法 (以下、併用方式) がある。「かけ流し方式」の場合、浴槽の規模にも左右されるが、浴槽内を適温に保つためには源泉元での湧出温度 50℃以上が目安になっている (北海道立地下資源調査所: 1999)。このため、50℃以下で「かけ流し方式」を用いる場合は、常時ボイラー等での加温が必要であり、コスト面を考慮して「循環ろ過方式」もしくは「併用方式」を用いる場合が多い。今回、潜在エネルギー量を計算するにあたり、以下の条件を設定した。

○対象とする源泉は湧出温度が 47℃以上の利用源泉とした

○該当する源泉の全てが「かけ流し方式」で浴用利用していると仮定した

○湧出量の全てが排水されると仮定した

○シャワーやカランの使用量は無視した

○排水される温泉水の温度は 35℃とし、15℃まで熱回収するとした (差温 20℃)

上記の条件で得られた浴用利用後の排湯の潜在熱エネルギー量は 236.6MW (=203,476,000kcal) にもなり、石油の発熱量を 8570kcal/L、ボイラー効率を 0.75 と仮定すれば、236.6MW という値は石油 31600L を燃焼した熱量に相当する。近年の原油価格高騰を考えれば、シャワーやカランなどの上がり湯の加温、ロードヒーティングや融雪等に排湯の熱エネルギーを利用していくことが重要である。

VI. 温泉放出熱量と地質分布

現況調査結果をデータベース化し、データベース中の全 2605 データのうち、地熱発電のための源泉と 10℃以下の源泉、および泉温・湧出量が不明な源泉を除いた 1878 データを基に温泉放出熱量分布図を作成した (図-1)。図の作成には ESRI 社の ArcGIS9.0 を使い、EPS 形式でエクスポートしたものを Adobe Illustrator で再レイアウトして出力した。図の背景には、独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター発行の「20 万分の 1 数値地質図幅集北海道北部および北海道南部」の地質分布データを用いた。

1878 データを自然湧出とボーリング別に利用・未利用に区分 (4 区分) したものをカラーと形別にシンボル化し、自然分類法*で分類した放出熱量を 5 段階の大きさの等級シンボル**で表示した。ボーリングの利用源泉が 1079 点、ボーリングの未利用源泉が 606 点、自然湧出の利用源泉が 158 点、自然湧出の未利用源泉が 35 点である。

温泉放出熱量分布図の特徴をみると、北海道の地質構造と明瞭に対応して分布しているのがわかる。80℃以上の高温温泉水が湧出する地域は、現在も活発に活動を続ける第四系火山岩類の分布域とほぼ一致しており、東部北海道の知床から阿寒に連なる帯状の地域、比較的広いエリアをもつ中央部北海道の大雪山・十勝岳・東大雪地域、比較的狭いエリアながら地熱兆候地が多数ある西部北海道の定山溪・登別・ニセコ・熊石・濁川・鹿部・南茅部・恵山地域である。上記以外で放出熱量が高い地域は、凡例にある 4 種類の地質以外が分布している地域である。東部北海道の斜里平野・根釧原野、中央部北海道の十勝平野・石狩低地帯・苫小牧～白老の平野部、西部地域の大野平野が該当するが、そのほとんどは鮮新世～中新世の堆積岩を主体とする深層熱水型の温泉の分布域でボーリングにより開発された泉源であり、湧出量の多い地域である。一方、基盤岩類である先新第三系の分布域には、温泉源が非常に少ない。

*自然分類法: データ値の自然なグループ化による分類方法で、データ値の変化量が比較的大きい所に境界が自動的に設定される

**等級シンボル: 定量的な値をしきい値でクラス分けしてグループ化する方法で、個々のフィーチャの値を識別することはできない

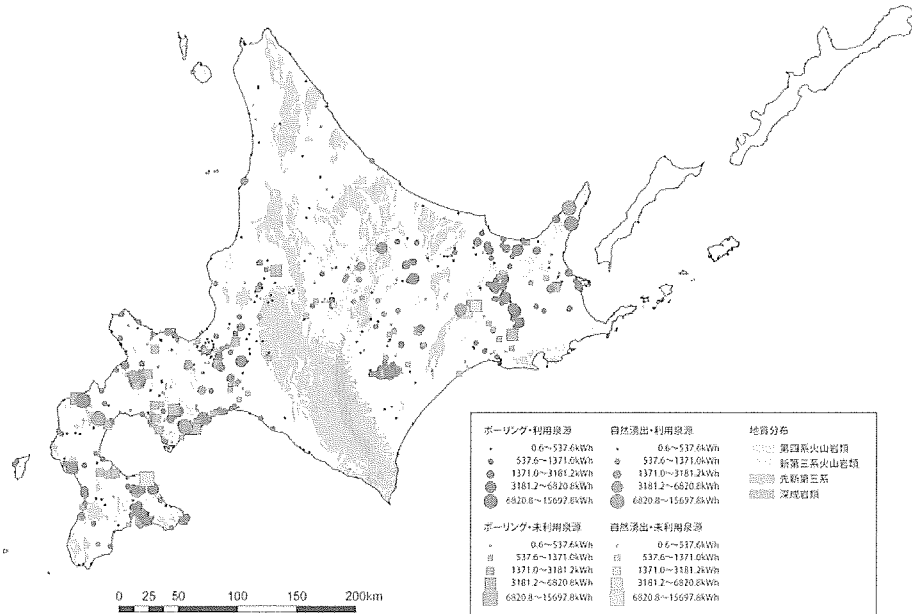


図-1 全源泉の放出熱量

VII. 地熱利用の実態

温泉熱の利用形態を暖房、農業、水産業、プール、融雪に分類して、それぞれの施設規模、設備容量、石油代替量を算出し、北海道立地下資源調査所（1999）との対比を行った。算出にあたり、下記の条件を設定した。

- ①設備容量は、利用温泉の入口・出口温度と利用量から単位時間あたりに使用する熱量を求めるものであるが、これらが求められない場合は、設備規模（A [m²]）と単位熱負荷（q [kcal/m²・h]）の積で求めた。
- ②ボイラー併用、ヒートポンプ利用については、単位熱負荷を計算側の50%、40%として算出した。
- ③石油代替量は、次式から設備の年間使用熱量を石油に換算して求めた。

$$P = (860 \times Q \times h \times d) / (8570 \times 0.75)$$

p [L/年]：石油代替量 Q [kW]：設備容量 h [時間]：1日の利用時間

d [日]：1年間の利用日数 8570 [kcal/L]：石油発熱量 0.75：ボイラー効率

- ④単位稼働率は利用形態別に下表のとおりとした。

	暖房	農業	水産業	プール	融雪
単位熱負荷 [kcal/m ² ・h]	62	150	630	397	100
稼働率 [%]	56	71	100	48	37

- ⑤暖房面積は聞き取り調査によるが、不明なものは以下のとおりとした。
大規模：500 m² 中規模：200 m² 小規模：25 m²
- ⑥融雪面積は聞き取り調査によるが、不明なものは以下のとおりとした。
大規模：200 m² 中規模：100 m² 小規模：20 m²

以下からは、利用形態別に地熱利用の実態について述べる。

(1) 暖房利用

表-5に暖房利用施設数の状況と設備容量・石油代替量を示した。一般家庭以外の温泉利用施設は、ホテル・旅館・公衆浴場等と高齢者福祉施設である。支庁単位でみると一般家庭を除く暖房施設は、日高、宗谷支庁管内にはない。利用施設数は1998年と比較して、渡島、後志、胆振、網走、十勝支庁管内で増加、根室支庁管内は変化が無く、その他の支庁管内では減少している。別荘を含む一般家庭における暖房利用は、胆振、釧路支庁管内でほとんどを占めている。特に胆振支庁管内の1420施設の内1352施設が白老町にあり、釧路支庁管内の139施設の内131施設が弟子屈町にあって、他を圧倒している。総暖房面積は、全道的に1998年と比較して一般家庭利用数が増加しているため、4806㎡増加し、設備容量、石油代替量も増加している。

表-5 暖房利用施設数と設備容量・石油代替量

支庁	年度	一般家庭を除く施設数	一般家庭数	一般家庭を除く面積(㎡)	総面積(㎡)	設備容量(kW)	石油代替量(kL/年)
渡島	1998	30	3		62055	2635	1707
	2007	36	8	51616	52941	2469	1598
檜山	1998	13	0		13483	667	531
	2007	11	0	14823	14823	964	680
後志	1998	10	0		9273	555	362
	2007	11	0	9043	9043	452	296
胆振	1998	32	929		73489	5062	3314
	2007	40	1420	81218	116718	8180	5366
石狩	1998	13	1		72148	3421	2208
	2007	9	0	73875	73875	3255	2140
空知	1998	4	0		2605	122	64
	2007	3	0	3755	3755	142	77
上川	1998	6	0		21607	720	480
	2007	4	0	3132	3132	218	146
留萌	1998	0	0		0	0	0
	2007	1	0	112	112	8	5
網走	1998	34	3		41724	2595	1574
	2007	39	2	45522	45563	2975	1906
十勝	1998	28	4		28381	1328	823
	2007	31	1	21984	22009	1070	689
釧路	1998	90	156		52546	3587	2354
	2007	70	139	37313	41138	2911	1914
根室	1998	30	1		24510	1726	1249
	2007	30	2	24421	24518	1730	1183
総計	1998	290	1097		401821	22418	14666
	2007	285	1572	366814	407627	24378	16000

(2) 農業利用

表-6に農業利用施設数の状況と設備容量・石油代替量を示した。渡島支庁管内の施設数について北海道立地下資源調査所(1999)では、森町濁川地区の2つの組合を除き、全ての自営ハウス利用を1施設として数えたが、今回は、渡島支庁管内全体の利用施設数を47とした。支庁単位でみると日高、留萌、宗谷、上川支庁管内には温泉を利用した農業施設は無い。利用施設数は1998年と比較して、渡島、後志、根室支庁管内で増加が見られる他は減少し、1998年以降、支庁全体で4つ利用施設が無くなったことになる。市町村単位でみると、面積は補助暖房を全く利用しない渡島支庁管内の濁川地区で大幅な増加があるものの、その増加よりも十勝支庁管内の士幌町農協の3つのハウス団地の温泉熱未利用(2

施設は化石燃料による加温、1施設は休止)となった施設の面積の方が大きかったため、全体の面積は6172m²減少している。設備容量が、面積の減少にも関わらず増加した理由は、十勝支庁管内の土幌町農協の3施設は、補助熱源を必要とし、ハウス面積の割に設備容量が小さかったことと、渡島支庁管内の森町濁川地区の施設が、温泉の熱のみの利用であり設備容量が大きかったことによる。

表-6 農業利用施設数と設備容量・石油代替量

支庁	年度	施設数	面積 (m ²)	設備容量 (kW)	石油代替量 (kL/年)
渡島	1998	47	137464	23976	16343
	2007	57	193720	33405	27827
檜山	1998	5	11703	945	783
	2007	1	5067	213	185
後志	1998	0	0	0	0
	2007	4	2194	383	61
胆振	1998	15	41949	7381	5915
	2007	12	38945	6876	5715
石狩	1998	1	10	1	0
	2007	0	0	0	0
空知	1998	3	2842	495	388
	2007	2	1762	307	208
網走	1998	9	6282	979	703
	2007	5	2526	439	357
十勝	1998	10	67476	3928	3502
	2007	4	16586	2894	2373
釧路	1998	2	1132	174	176
	2007	2	890	132	141
根室	1998	3	197	39	32
	2007	4	1193	213	177
総計	1998	56	269055	37918	27842
	2007	91	262883	44862	37044

(3) 水産業利用

表-7に水産業利用施設数の状況と設備容量・石油代替量を示した。支庁単位でみると日高、石狩、空知、留萌、宗谷、十勝支庁管内には温泉を利用した水産業施設は無い。利用施設数は1998年と比較して、渡島、釧路支庁管内で増加、後志支庁管内で変化が無く、檜山、網走支庁管内の利用施設数は減少している。また、1998年に水産業利用施設があった胆振、上川、根室支庁管内の施設は、2007年には無くなっている。全道の温泉利用施設数は20から13に減少したが、渡島支庁管内の利用施設的面積が大幅に増加したことにより総利用面積は、逆に増えている。市町村単位でみると、渡島支庁管内の施設数の増加は、市町村合併による旧熊石町の施設増加によるもので、檜山、釧路支庁管内の利用施設面積の増加は、奥尻町と標茶町の利用施設の新設によるものである。特に、檜山、釧路支庁管内の利用施設は、水温の加温に温泉以外の熱源を全く必要としないため、施設数が減少した割に設備容量や石油代替量が1998年と同程度となっているのが特徴である。

表-7 水産業利用施設数と設備容量・石油代替量

支庁	年度	施設数	面積 (m ²)	設備容量 (kW)	石油代替量 (kL/年)
渡島	1998	2	520	303	184
	2007	4	4136	2802	2583
檜山	1998	8	3876	4218	3259
	2007	3	4908	3252	1852
後志	1998	1	621	286	133
	2007	1	621	286	133
胆振	1998	2	510	374	438
	2007	0	0	0	0
上川	1998	1	576	422	494
	2007	0	0	0	0
網走	1998	4	695	509	334
	2007	3	145	106	98
釧路	1998	1	670	490	573
	2007	2	866	634	742
根室	1998	1	50	37	43
	2007	0	0	0	0
総計	1998	10	7518	6639	5458
	2007	13	10676	7080	5408

(4) プール利用

表-8にプール利用施設数の状況と設備容量・石油代替量を示した。支庁単位でみると、日高、空知、留萌、宗谷支庁管内には温泉を利用したプール施設は無い。利用施設数は1998年と比較して、檜山、石狩支庁管内で増加、後志、十勝、釧路支庁管内で減少している。総面積が減少した理由は、市町村単位でみると、胆振支庁管内の伊達市（旧大滝村）の宿泊施設の新設による増加よりも、渡島支庁管内の八雲町と十勝支庁管内の足寄町の施設未利用による減少が上回ったためである。その結果、設備容量、石油代替量ともに1998年よりもやや減少している。

表-8 プール利用施設数と設備容量・石油代替量

支庁	年度	施設数	面積 (m ²)	設備容量 (kW)	石油代替量 (kL/年)
渡島	1998	2	1075	487	180
	2007	2	530	227	78
檜山	1998	1	313	95	55
	2007	3	528	195	73
後志	1998	2	650	300	262
	2007	1	325	150	175
胆振	1998	4	947	439	305
	2007	4	2271	1051	1100
石狩	1998	0	0	0	0
	2007	1	150	69	81
上川	1998	1	375	173	202
	2007	1	375	173	202
網走	1998	7	2090	947	619
	2007	7	1910	508	247

十勝	1998	5	887	408	387
	2007	4	235	108	31
釧路	1998	4	1076	691	431
	2007	3	1086	541	344
根室	1998	2	803	418	341
	2007	2	689	365	334
総計	1998	28	8216	3958	2782
	2007	28	8099	3387	2665

(5) 融雪利用

表-9に融雪利用施設数の状況と設備容量・石油代替量を示した。支庁単位でみると宗谷，日高支庁管内には温泉を利用した融雪施設は無い。利用施設数は1998年と比較すると，渡島，檜山，後志，石狩，上川，留萌，網走，十勝，釧路，根室支庁管内で増加，胆振支庁管内で減少（面積は増加）している。また，空知支庁管内では利用施設数は1998年と変わらないが，面積は増えている。市町村単位でみると，渡島，胆振，石狩，空知，網走，根室支庁管内で融雪利用している市町村数は1998年と変化無いが，利用施設数で増減がみられる。面積の減少は，釧路支庁管内の弟子屈町道々の融雪面積の縮小，根室支庁管内の羅臼町の国道融雪施設の老朽化による利用休止が大きい。一方，檜山支庁管内の乙部町の町営の福祉保健複合施設の玄関周辺の融雪，後志支庁管内の倶知安町の遊戯施設の駐車場融雪，上川支庁管内の中富良野町の温泉施設の駐車場融雪，留萌支庁管内の苫前町の温泉施設の駐車場融雪，網走支庁管内の小清水町の国道の歩道融雪，十勝支庁管内の音更町と本別町の病院の歩道融雪，鶴居村のホテル駐車場融雪等の新設により，面積が増え，設備容量・石油代替量ともに1998年よりも増加している。

表-9 融雪利用施設数と設備容量・石油代替量

支庁	年度	施設数	面積 (m ²)	設備容量 (kW)	石油代替量 (kL/年)
渡島	1998	6	6690	804	332
	2007	15	7389	886	368
檜山	1998	1	20	2	1
	2007	2	164	19	8
後志	1998	2	615	69	31
	2007	5	4476	518	224
胆振	1998	17	6577	764	329
	2007	15	8317	966	417
石狩	1998	10	17646	1888	817
	2007	13	17780	2067	895
空知	1998	4	3457	202	87
	2007	4	4457	318	137
上川	1998	5	7977	929	402
	2007	6	8547	995	431
留萌	1998	1	520	60	23
	2007	2	1253	145	60
網走	1998	11	4836	559	262
	2007	21	15905	1832	797
十勝	1998	5	1225	96	22
	2007	8	3245	299	129

釧路	1998	2	5162	600	260
	2007	5	4340	506	219
根室	1998	5	10352	1202	543
	2007	7	3800	441	215
総計	1998	69	65077	7175	3109
	2007	103	79673	8992	3900

(6) 総合評価

表-10に全体をまとめた利用形態別の設備容量と石油代替量を示した。全体として石油代替量は、1998年より約1.2倍増加している。温泉利用による石油代替量は、農業利用の占める割合が最も高く、全体の57%を占めている。

北海道経済産業局のホームページによると、燃料油全体の販売量の内、平成19年1月～12月までの灯油、軽油、重油の総販売量は884.585万kL/年である。北海道における地熱直接利用による石油代替量の合計は6.5万kL/年と推定でき、従って、2007年の石油代替効果を算定すると、0.7%と1998年の0.4%（北海道立地下資源調査所：1999）よりも上回っている。

表-10 利用形態別設備容量と石油代替量

利用形態		施設規模				設備容量 (MW)		石油代替量 (kL/年)	
		1998 年		2007 年		1998 年	2007 年	1998 年	2007 年
暖房	一般家庭以外	373204m ²	290 施設	366814m ²	285 施設	22.5	24.4	14600	16000
	一般家庭	28617m ²	1097 戸	40813m ²	1572 戸			(1400)	(1900)
農 業		269055m ²	56 施設	262883m ²	91 施設	37.9	44.9	27800	37000
水産業		7518m ²	20 施設	10676m ²	13 施設	6.6	7.1	5500	5400
プール	大規模	8216m ²	23 施設	8099m ²	17 施設	4.0	3.4	2800	2700
	中規模		5 施設		11 施設				
融 雪		65077m ²	69 箇所	79673m ²	103 箇所	7.2	9.0	3100	3900
合 計						78.2	88.8	53800	65000

謝 辞

本調査を進めるにあたり、源泉所有者ならびに温泉利用者の方々には、源泉の現地調査の際に多大なる協力をいただいた。また、保健福祉部医務薬務課医務グループの温泉担当者、および道内保健所の温泉担当者の方々には、源泉の聞き取り調査の際に多大なる協力をいただいた。ここに記して、深く感謝いたします。

文 献

- 北海道立地下資源調査所（1991）：北海道地熱・温泉ボーリング井データ集および索引図～1990
 北海道立地下資源調査所（1996）：北海道地熱・温泉ボーリング井データ集および索引図 1991～1995
 北海道立地下資源調査所（1999）：北海道の地熱・温泉利用の現状－1998－，63p
 北海道立地質研究所（2001）：北海道地熱・温泉ボーリング井データ集および索引図 1996～2000
 北海道立地質研究所（2008a）：北海道地熱・温泉ボーリング井データ集および索引図（統合版）
 北海道立地質研究所（2008b）：北海道における地熱・温泉利用の現状－2007年版－
 北海道立地質研究所・北海道立衛生研究所・札幌大学（2008）：温泉資源の多目的利活用に向けた複合解析研究，北海道立地質研究所調査研究報告第37号，122p
 松波武雄・鈴木豊重・藤本和徳・川森博史（1999）：北海道の温泉開発リスクの地域性について。北海道立地下資源調査所報告，第70号，p1 - 26。

講 演

地盤資料のGIS化について

応用地質株式会社

谷地 武晴

地盤資料のGIS化について

応用地質株式会社 札幌支社 谷地 武晴

1. はじめに

一部の自治体では過去に実施した地盤調査のデータを収集し、地盤資料集を作成している。これらのデータ集は事業計画作成時の参考資料として活用されている。

この地盤資料集は紙ベース情報のため、データ検索に多大な労力を必要とし、位置関係や地質断面の内容が把握しづらい等の課題があった。

今回、これらの地盤資料集(主に低地帯)の電子化を行うと共に、地理情報システム(GIS)を活用した地盤情報管理システムを作成した。このシステムにより、データ検索の省力化や効率的な地盤情報管理を行い、高い密度の調査計画を行うことが可能となる。本報告ではそのシステムについて紹介する。

2. システムの概要

本システムは、GIS (Geographic Information System:地理情報システム) 上で構築しているものである。システムの基本となる GIS ソフトは MAGIS(マジス) (応用地質株式会社製) を採用している。

MAGIS の特徴は以下のとおりである。

- ・必要最小限の画面構成、ユーザーインターフェースにより、使い易く、操作が容易である。
 - ・GIS システムとしては負荷の少ないシステムであり、一般的なスペックのコンピュータでも稼動することが可能である。(すばやい地図表示能力等)
 - ・他のソフト等にも対応できるようにデータを構築し、一般的なファイルの属性を採用することによって互換性も保つようになっている。
 - ・ネットワーク(イントラネット)、外付けハードディスク等での運用が可能である。
- これらの特徴を生かし、MAGIS は河川や治山関係等の GIS 業務に採用されている。

MAGIS を用いた本システムは以下の機能を有している。

- ・地図から既存地質調査データの検索。
- ・調査位置に地形図等の投影。
- ・任意の縮尺で地図の表示。
- ・地形図等投影データの表示・非表示の選択。
- ・簡易断面図が作成可能であり、任意測線における断面図作成。
- ・地図、柱状図、断面図の出力。
- ・国土交通省ベースの電子柱状図データ(XML)の追加。
- ・ネットワーク上での閲覧。

3. GISシステムの内容

3.1 データベース作成について

今回、データベース作成のために柱状図集および地質断面資料、地形図、地質図を収集し、既存地質調査データ、地形図、調査地点の位置情報、既存断面図、泥炭層の上下境界面、洪積層上面の等高線図等のデータを電子化した。各作業は次のとおりである。

(1) 地質柱状図のデジタルデータ化

データ形式は国土交通省の電子納品要領（XLM形式）に準じた。

(2) 地形図のデジタルデータ化

地図は1/50,000、1/25,000、1/2,500地形図（数値地図）を用いた。

(3) 調査地点の位置情報のデジタルデータ化

調査地点位置は地図上における図面上に設定。座標は緯度経度を基準とした。

各地点の表示は登録日時+枝番のID番号を基本とし、事業工事名、調査名、ボーリング名、調査位置住所、発注機関名称、孔口標高、総掘進長等の表示を可能とした。（図-2参照）

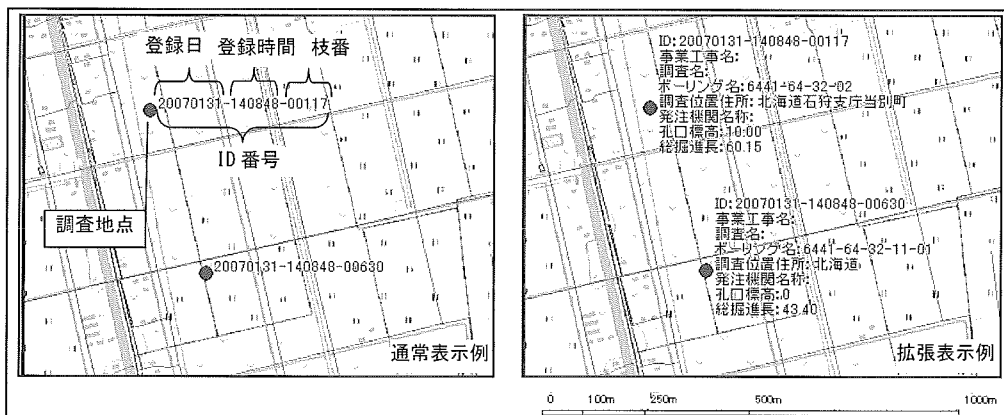


図-2 各地点の表示例

(4) 断面図のデジタルデータ化

既存断面図はメッシュ状に作成されている。断面図の泥炭層、沖積砂質土層、沖積粘性土層、洪積層等の地層境界面の標高データや位置データを抽出しデジタルマッピングを行った。（図-3参照）

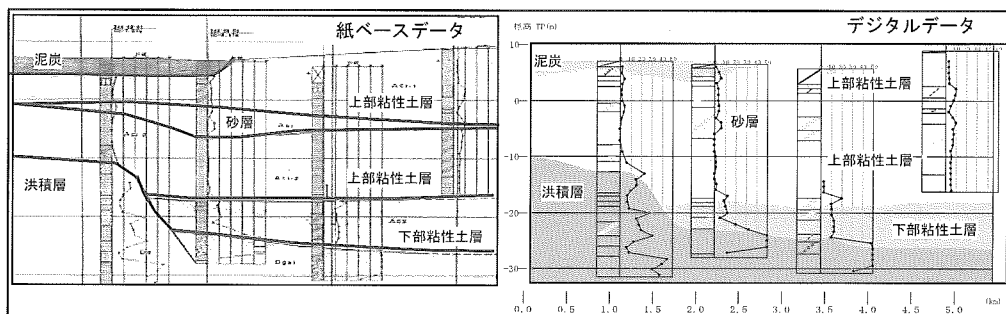


図-3 断面図のデジタルデータ化の例

(5) 泥炭等層厚線図、洪積層上面等高線図作成

等層厚線図、等高線図の作成に関しては各データを3次元の座標として捉え、地形等の特徴を考慮した立体図を作成し、データベースとした(図-4参照)。山地、台地周辺部は境界線を設定し、分布厚を収束させた(図-5参照)。

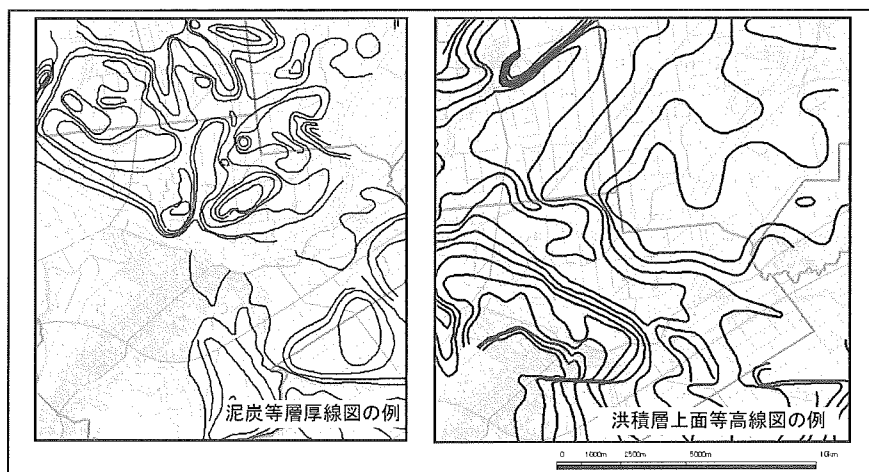


図-4 等厚線図、等高線図の例

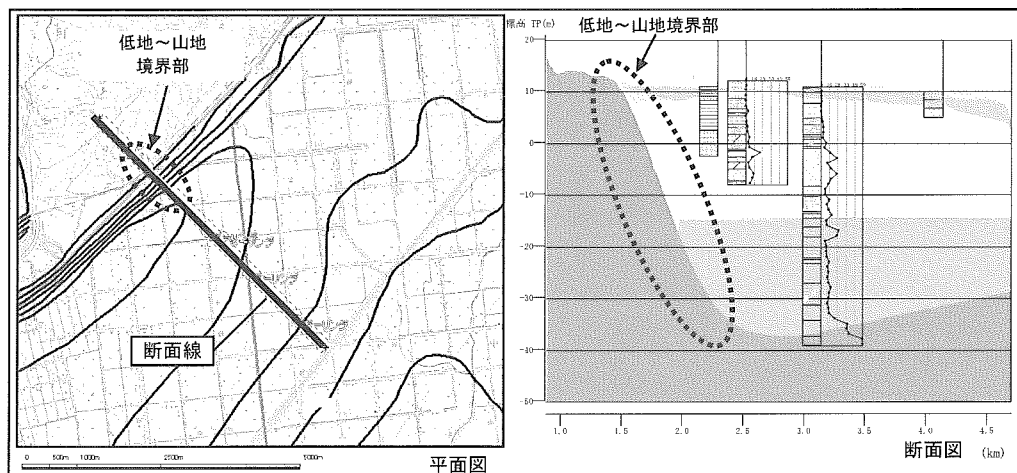


図-5 山地境界部のイメージ

3. 2 システム概要

本システムの概要を以下に述べる。

(1) 動作環境等について

動作環境は次のとおりである。

OS : Microsoft Windows2000/XP

CPU : PentiumIII 650MHz 程度 (PentiumIII 1GHz 推奨)

メモリ : 64MB (128MB 以上推奨)

ハードディスク容量 : 150MB (データ容量は含まず)

ディスプレイ：1024×768(XGA)以上表示可能なもの

プリンタ：A3出力可能なもの(カラープリンタ推奨)

システムのファイルサイズ：600MB弱(地図データ、ボーリングデータ等を除く)

(2) ソフトの機能について

・検索機能

位置検索、画面上の調査地点のデータ選択が可能であり、地点検索時に情報テーブルによる情報表示を行える。検索キーワードによる検索(条件検索)が可能である(図-6参照)。

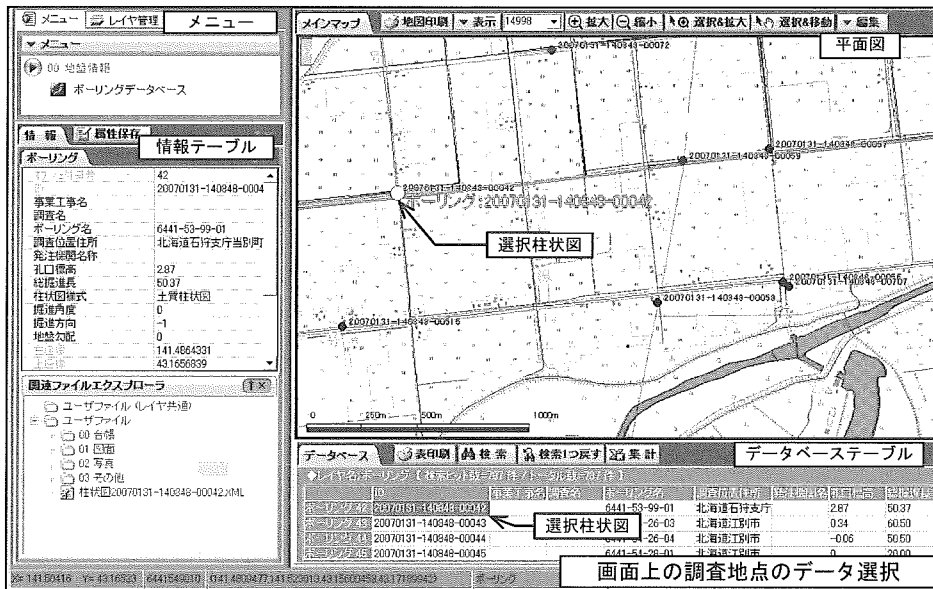


図-6 検索機能の例

・各種平面図の投影

作成した等高線図等(例：泥炭等層厚線図、洪積層上面等高線図)の地図上に投影が可能である(図-7参照)。

各データがレイヤー管理されており、任意表示が可能である。

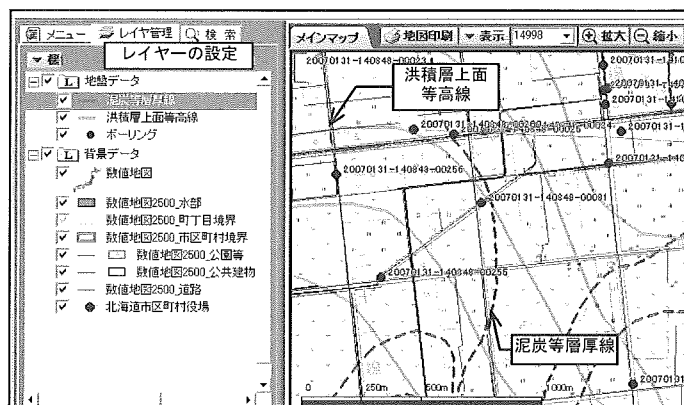


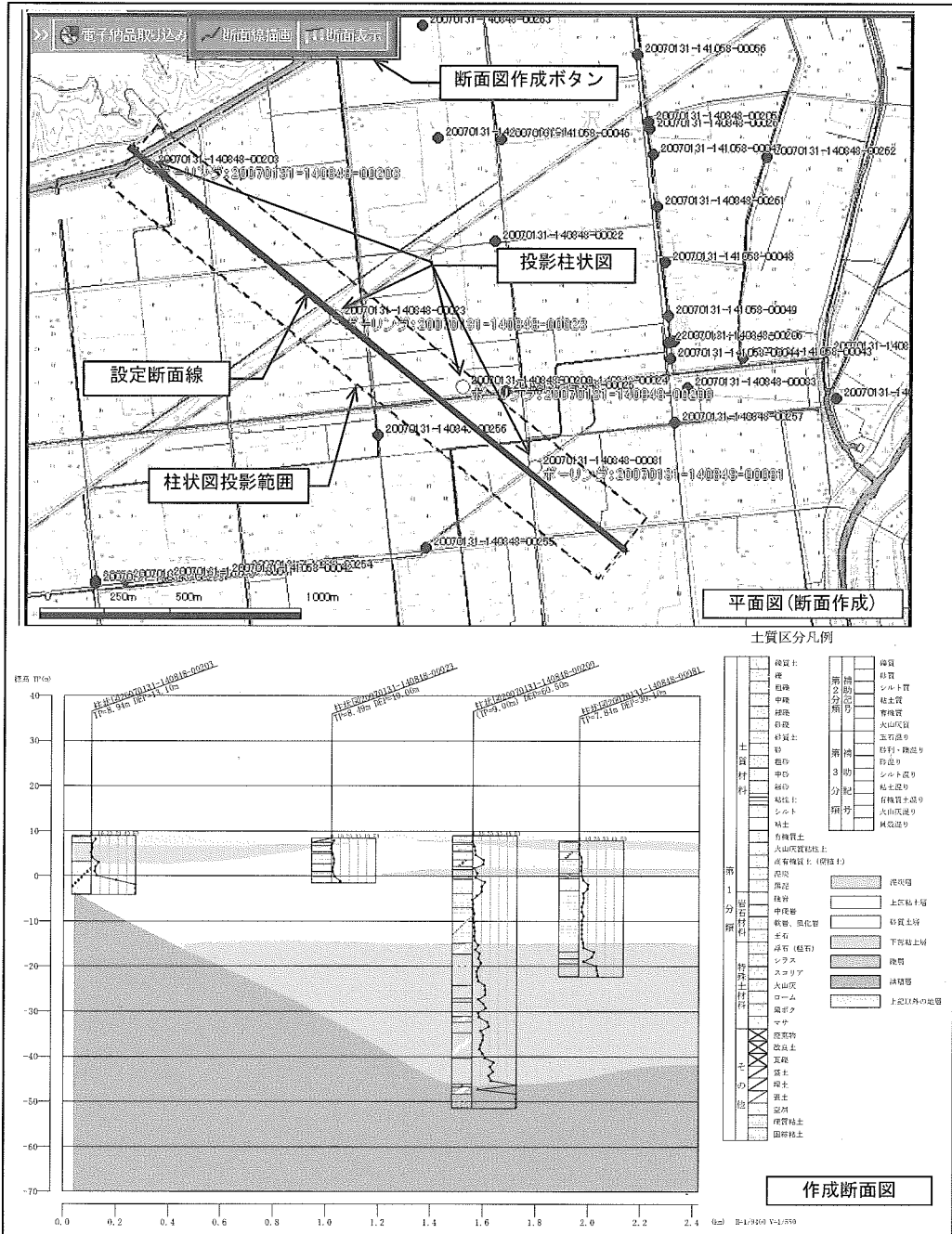
図-7 平面図投影の例

・簡易断面図作成機能

任意断面に対する、断面図描画が可能である（図－8参照）。

断面図作成では断面線に投影される柱状図の範囲を任意に設定できる。

柱状図がない場合でも断面図の作成が可能である。



図－8 簡易断面図作成例

(3) データのアウトプット

平面図、断面図、ボーリングデータはプリンター等への出力が可能である。

ボーリングについては以下の様式での出力が可能である(図-9参照)。

- ・ボーリング柱状図：JACIC、簡易様式にて出力。
- ・オランダ式二重管コーン貫入試験：JIS、簡易様式にて出力。
- ・柱状図等は縦縮尺 1/100、1/200 にて出力、印刷可能。

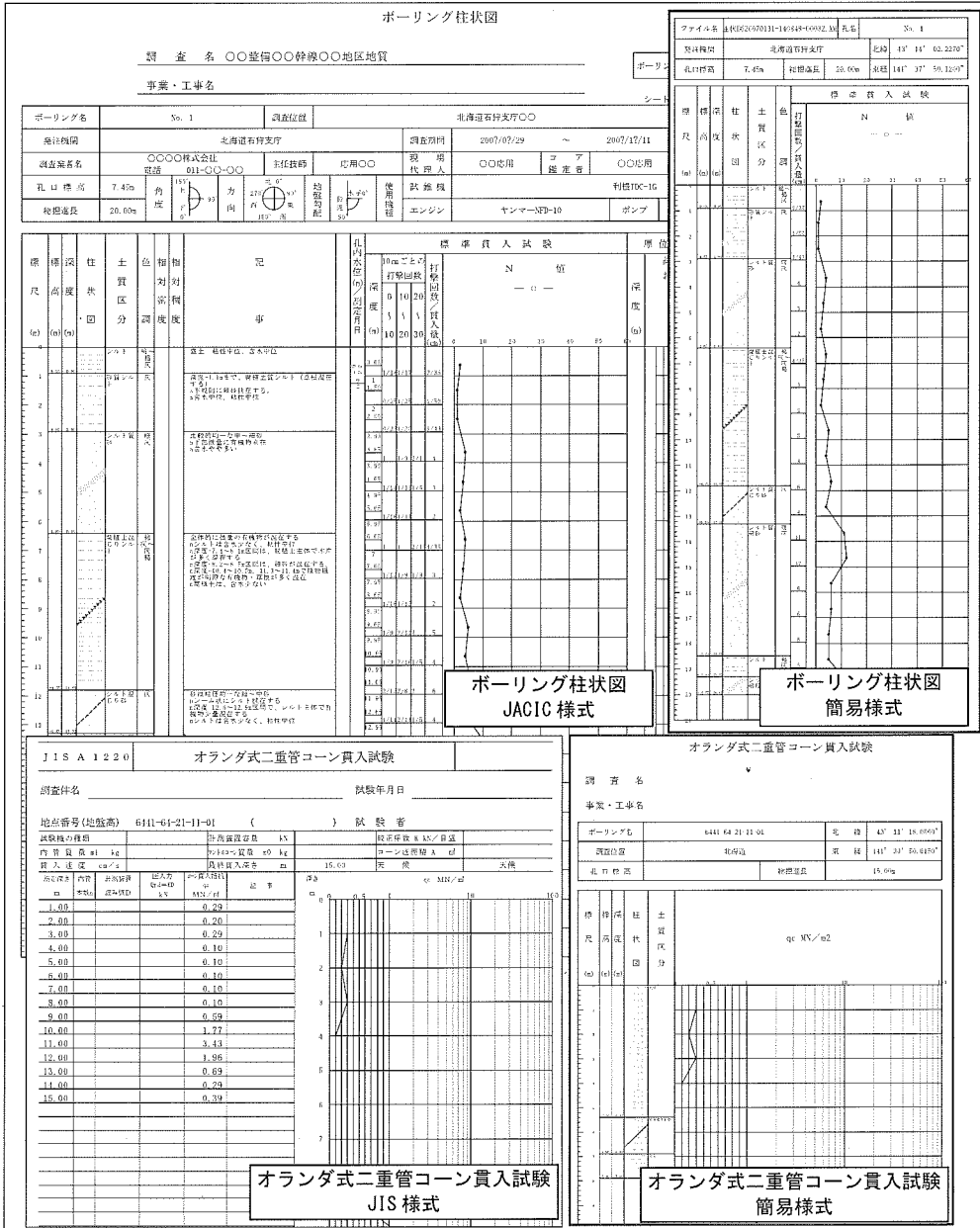


図-9 柱状図データ等のアウトプット例

(4) その他

- ・地盤データの追加機能

柱状図の電子納品データ(XML形式)から位置データを読み取り、自動的に位置データ、柱状データを追加する機能がある。(図-10参照)

この機能により、納品された柱状図データの入力を省力化することができる。

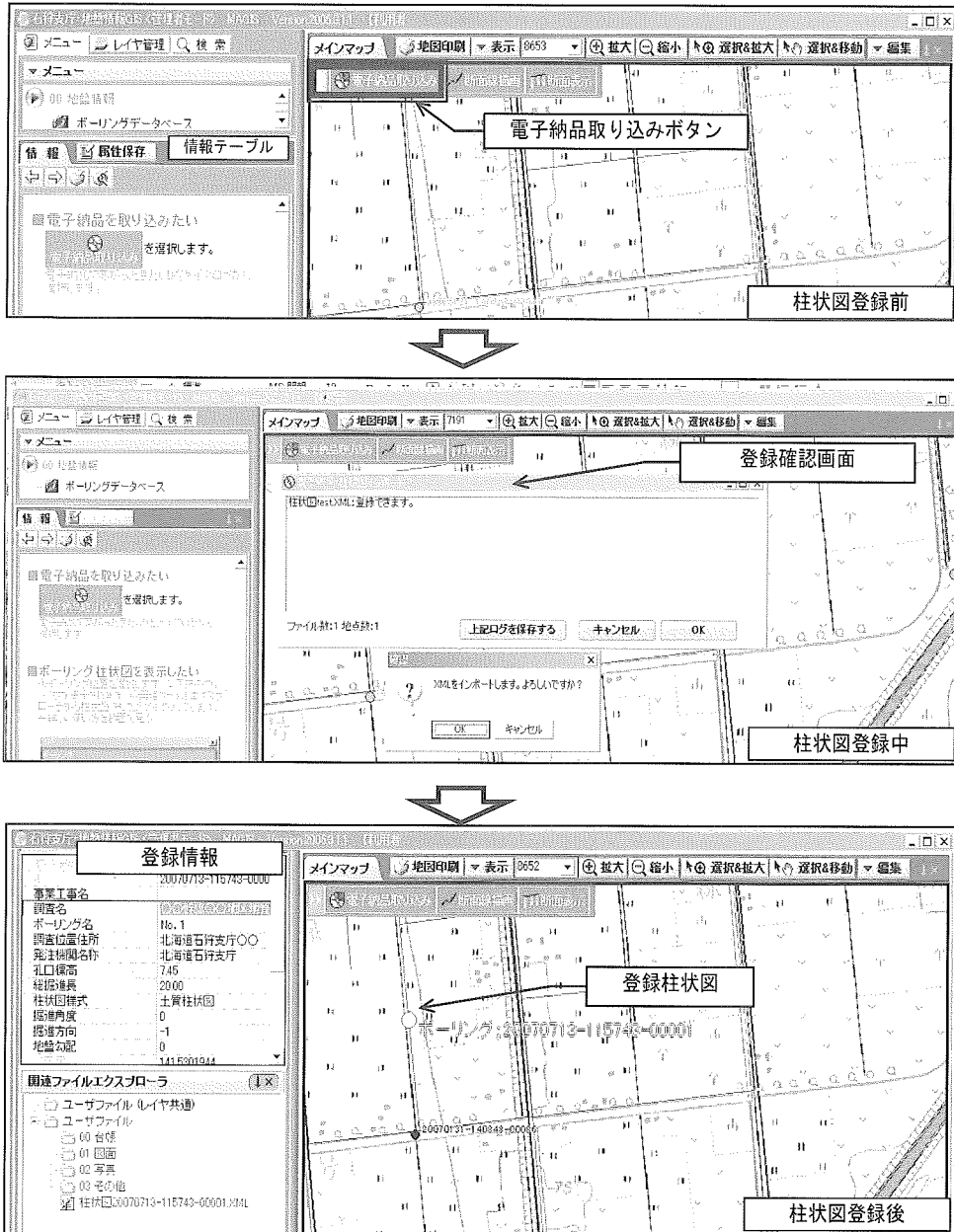


図-10 柱状図(電子納品)の取り込み

・拡張性

追加の入力本数は 50,000 本程度が可能。必要に応じて、写真・画像データ、地質図、土地利用図等の投影が可能である。

4. まとめ

本システムは今までの紙ベース資料検索とは異なり、コンピュータディスプレイ上の位置平面図からボーリング柱状図等の地盤情報検索が可能であり、他の情報との併用により多くの情報を短時間にて得られるシステムである。また、柱状図等の地盤情報データの追加が可能であり、必要に応じて各種データの追加などができる拡張性の高い GIS システムとなっている。

なお、本システムは将来的な電子データ全般の利活用を考えた、汎用的かつ拡張性の高い業務支援 GIS として構築されており、柱状図以外の電子納品の管理・利活用、既存事業の効率的な把握、ライフサイクルコストプランに基づくアセットマネジメント、災害復旧支援、情報公開など多分野への応用・発展がなされていくと考える。

講 演

音響波を用いた高精度な地盤の可視化

JFE シビル株式会社

榊原 淳一

音響波を用いた高精度な地盤の可視化

JFE シビル株式会社 榎原淳一

1. はじめに

地盤情報を正確に把握することは、最近の建設工事において最も重要とされている「安全で効率的な施工」において果たす役割は大きい。この地盤に関わる探査技術の代表的なものとして「ボーリング調査」があげられるが、都市部など地表や地中に既設構造物が存在する場合には非破壊による探査が必要となる。Table.1 はボーリング調査と非破壊探査の代表的な手法に関わる特長と課題をまとめたものであるが、地層の連続性や都市部での計測、分解能、設計への反映など一長一短があることが分る。

物理探査は非破壊で内部を可視化することが可能であるため、例えば、Fig.1 に示すように、ボーリング調査では把握することが難しい、地盤の不陸による基礎杭の杭長不足といった問題を解決することができる。ボーリングなどの破壊による直接的な手法に対して、物理探査は間接的な手法であるため、「可視化による分かりやすさ」という利点があるものの、「設計に必要な精度と計測結果の精度が一致しない場合がある」こと、「計測結果に対するユーザーの解釈が必要な場合がある」といった欠点(楠, 1997)もある。

JFE シビルは 1991 年から高周波数の弾性波を用いた地盤可視化技術について開発を行ってきた。本文はこの地盤可視化技術「音響トモグラフィ地盤探査」の概要と適用例について報告するものである。

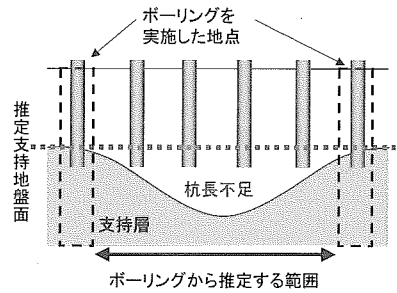


Fig. 1. 地盤の不陸による杭長不足

Table.1. ボーリング調査と非破壊探査の代表的な手法に関わる特長と課題

技術名称	ボーリング	地震探査(反射法)	表面波探査	弾性波トモグラフィ	比抵抗トモグラフィ
取得情報	直接的な地盤情報	地層境界面の2次元分布	深度方向のS波分布	P波速度の2次元分布	比抵抗の2次元分布
探査深度	ボーリング深度に依存	数10m~数100m	20~30m	ボーリング深度に依存	ボーリング深度に依存
調査範囲	数10cm以下	制約なし	制約なし	100m以下	数10m程度
分解能(*1)	数cm	数m	1~数m	数m	1~2m
制約条件	地表構造物等 計測孔の掘削	地表構造物 起振による振動等	地表構造物	計測孔の掘削	計測孔の掘削
課題	地層の連続性を得ることが困難。モニターリングには不適。	都市部では不向き。分解能が低い。取得情報を直接設計等に反映できない。	都市部では不向き。分解能が低い。	都市部では不向き。分解能が低い。取得情報を直接設計等に反映できない。	都市部では不向き。分解能が低い。取得情報を直接設計等に反映できない。

(*1) 地盤中の音速を 1.5km/sec とする

2. 音響トモグラフィ地盤探査とは

JFE シビル(当時は川崎製鉄)はマイアミ大学と共同して、海洋調査などで用いられていた音響波と呼ばれる周波数域の弾性波を用いた探査手法を陸上での地盤調査に適用することに成功した(例えば Yamamoto et al., 1994)。その後、計測機器の小型化や実証実験を重ね、基礎構造物の支持地盤調査への適用を確立してきた(例えば、榎原, 2007)。

本手法は高精度で広範囲の調査を行うことに特長があり、地表構造物の制約を受ける都市部での調査や広範囲の調査が必要な場合に、2本の計測孔間の地盤断面を可視化情報として提供することができる。Fig.2、Table.2 に計測システムと計測システムの基本仕様を、Photo.1

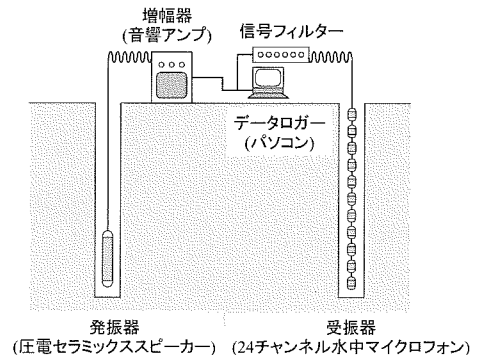


Fig. 2. 計測システム

に発振器と受信器の写真を示す。データロガーとしてアナログ・デジタル変換およびデジタル・アナログ変換ボードを組込んだパソコン、増幅器(音響アンプ)、受振信号フィルター、発振器(圧電セラミックススピーカー)と受振器(24チャンネル水中マイクロフォン)で構成される。パソコンから出力した発振信号を増幅器を介して計測孔に設置したピエゾ型発振器から弾性波として出力する。弾性波は計測孔内の水を介して地中に入射・伝播し、もう一方の計測孔に設置した受振器により電圧信号に変換され、信号フィルターを介してデータロガーにより記録される。疑似ランダム波のような複雑な波形を損失することなく発信するためには、高周波数帯域でも正確な波形出力が可能なピエゾ型震源を用いることが必要である。

Fig.3は従来の地盤探査手法を計測範囲と計測分解能の観点から整理して示したものであるが、従来のボーリング調査や地震探査の計測範囲と分解能は、図中に黒枠で示す「設計に必要な精度と実用的な計測範囲」の領域から若干分離していることが分る。例えば構造物の設計に必要な1m程度の分解能を得るためには、地盤中の弾性波速度が2km/sの場合、発振周波数は2kHz以上が必要となる。一方、物体内部を伝播する波は、「発振周波数の指数関数」に比例した割合で減衰するため、周波数の高い弾性波を用いた場合には実用的な計測距離を得ることができないという問題があった。榊原(2007)が示すように、本手法では疑似ランダム波を発振波として用いることでこの問題を解決している。Fig.4に疑似ランダム波の波形例を示す。連続波を用いることで周波数制御を可能とし、相関関数の計算結果である受信波形から初動走時と初動振幅を得ることができる。得られた受信波形は相関関数計算前の受信記録と比較して極めて高い信号/ノイズ比を持つため(例えば波数4,095で62千倍)、地盤中での減衰が激しく通常では受振波形を讀取ることが出来ないキロヘルツオーダーの音響波を用いた計測を行うことができる。

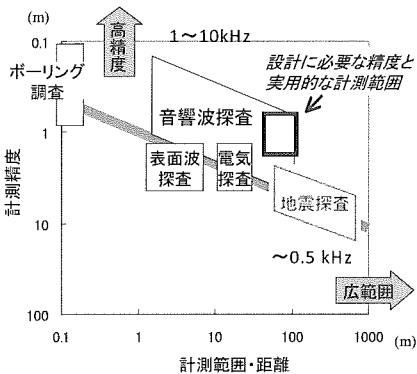


Fig. 3. 計測範囲と計測分解能の関係

Table.2. 計測システムの基本仕様

名称	仕様
発振器	外径44mm, 長さ270mm, 重量4.5kg, 出力130.6dB(入力電圧100V, 発振周波数5kHz), 共振周波数35kHz,
受振器	外径35mm, センサー間隔1m, センサー数24個, 重量11kg, 使用可能帯域1Hz~20kHz(実績), 受振感度 -162 dB re 1V/ μ Pa ^(*) 耐圧深度 200m *)1 μ Paの圧力を受けた際に出力1Vを得るための増幅度
増幅器	出力電圧120V(20kHz以下), 使用可能帯域20Hz~20kHz, 電源AC100V, 消費電力60W, 重量9kg
信号フィルター	ゲイン1倍~100倍, 入出力8チャンネル, バンドパスフィルター帯域200Hz~60kHz, 電源DC \pm 12V
データロガー	入力8チャンネル, 出力1チャンネル, 入力分解能 16bit, 入力・出力電圧 \pm 5V以下



Photo.1. 発振器(左)と受信器(右)

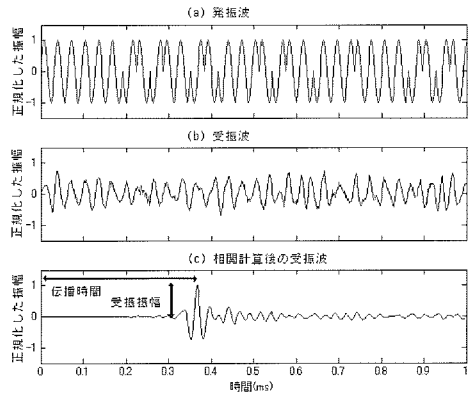


Fig. 4. 疑似ランダム波の例

(a) 発振波, (b) 受振波, (c)相関関数計算後の波形

3. 適用例適用

本手法は官公庁、電力会社、ゼネコンなどから基礎構造物の支持地盤調査、岩盤調査、廃棄物処分場関連の地盤調査など、既に50以上の実績がある。2008年には国交省のNETIS登録も完了しており(登録番号KT-088811-A)、様々な分野での適用が期待されている。本章では基礎構造物の支持地盤調査に関して4つの適用例を示す。

(1) 棧橋建設における基礎杭支持地盤調査

Fig.5、Fig.6に比国マニラ港の棧橋建設基礎支持地盤調査に適用した例、その計測結果として速度分布図を示す。図中には3本の土質柱状図とN値を併せて示してある。地盤中の音速は1,700m/s～1,800m/sであり、ボーリング柱状図との比較から音速1,770m/sの部分に粘土層と砂礫層の境界があることが分った。同図から発振孔付近では砂礫層はGL.-40m程度にあるが受振孔側に向かうに従って砂礫層の上面の深度が浅くなっていき受振孔付近ではGL.-30mの深度にあることが分る。この傾向は土質柱状図とボーリングによる標準貫入試験の結果(N値)とも一致していた。調査結果の検証を行うため、調査後に施工した基礎杭の打設記録と比較を行った。図中に基礎杭の単位長さ当たりの打撃回数を実線で示しているが、白丸で囲んだ打撃回数の増加が始まる深度と速度分布図から得られる粘土層と砂礫層の境界が良く一致しており、本手法によって得られた支持地盤面の位置が正しいことが分る。Photo.2に施工中の棧橋延長部の写真を示す。

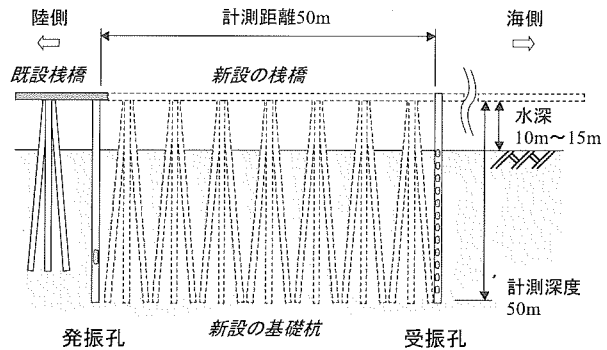


Fig. 5. 比国マニラ港における杭基礎支持地盤調査計測レイアウト

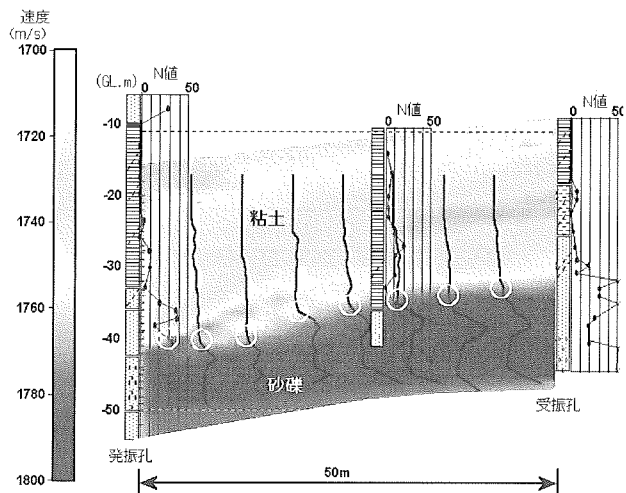


Fig. 6. マニラ港杭基礎支持地盤調査計測結果(速度分布図)

(2) 倉庫建家建設工事における基礎杭支持地盤調査

次に、東京湾沿いの埋立地における基礎支持地盤調査の結果(速度分布)をN値と比較してFig.7に示す。計測深度、計測距離とも65mであった。ボーリング記録からは計画地内で約6mの支持地盤高の差異(白抜き矢印)が認められていたが、ボーリング記録だけでは地盤の不陸を正確に決定することは出来なかったため、当初は支持地盤面をGL.-59mとしていた。トモグラフィの結果、速度分布図のGL.-53m～GL.-59mにおける速度1.5km/sの境界面がボーリング記録によるシルトと細砂の境界と一致した為、これを基にして支持地盤面を2段階(黒塗り矢印)に設定した。このような地層は海



Photo.2. 施工中のマニラ港の棧橋延長部

岸性または河川性の段丘として一般的に見られるものであるが、ボーリング調査の結果からは把握することが難しい地層構造である。この結果、当初の計画に比べてほぼ半数の杭において約6mの高止まりを未然に防ぎ、杭材の無駄と切断等の手間を省くことが出来た。

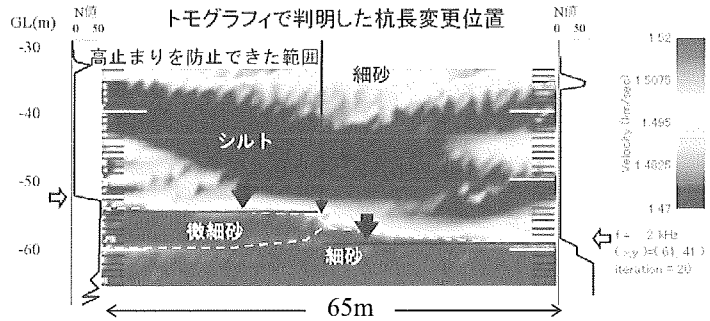


Fig.7. 東京湾での計測例(速度分布図)

(3) 空港立体駐車場建設工事における基礎杭支持地盤調査

中部国際空港のある伊勢湾北部は木曾川や揖斐川などの大河川流域にあり複雑な地層構造をしているため、同空港内に建設された立体駐車場(高さ12.4m、4層5段×2棟、駐車台数1,280台)の基礎工事(杭本数220本)においては杭の高止まり、杭長不足などのリスクが懸念されていた。さらに、空港操業中の施工であることから騒音・振動の少ない既成杭の埋込工法が要求されたため、杭長変更が基本的に不可能な状況にあった。これらの理由から本手法による正確な支持地盤把握を行うことになった。計測は7本のボーリング孔を用いて、孔間距離48mから98mまでの全10断面を延べ5日間で実施した。

(Fig. 8)

結果の1例として、Fig. 9に速度分布図をN値と併せて示す(測線を図中太線で示す)。計測周波数は2kHzであり、これから想定される計測精度は1m以下であった。同図から、「解析結果より求めた速度境界(図中実線)」と「N値が急激に増加している地層境界」が誤差1m以内で一致していることが分かる。解析結果とボーリング調査結果との対比により、GL.-30m付近の支持地盤(固結シルト)とその上部のシルト～細砂の境界を正確に把握することができた。同図からは、ボーリング結果では把握できない断面中央部の大きな段差の存在も読み取れる。杭長設計はこれらの解析結果から作成した推定支持地盤高のコンター図を基に実施した。これをFig. 10(左)に示す。Fig. 10(右)に示す杭の打設深度記録と比較したところ、支持地盤の尾根-谷地形の様子がよく一致していることがわかる。特に、中央部右下の支持地盤が深くなっている領域や中央部上や左側など支持地盤が浅い領域など、ボーリング結果では把握できなかった地層変化も良く一致している。

本手法の効果を定量的に検証するために Fig. 11 のコンター図に基づいて杭長設計を行った。Fig. 12は Fig. 9と同じ断面において検討した例である。ボーリング結果のみからは図中に1点鎖線で示すような直線で支持地盤を想定せざるを得ない。前述したように、現場で採用された埋込工法は継ぎ杭が不可能な工法であり、杭長不足の発生を避けるためにはより安全な設計、すなわち余分な杭長が必要となる。

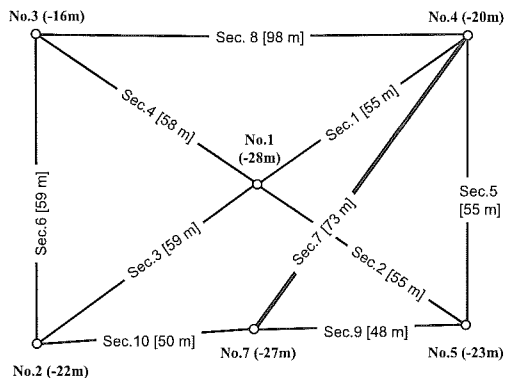


Fig.8. 中部国際空港立体駐車場建設における杭基礎支持地盤調査(計測測線レイアウト)

No.(m)はボーリング孔と支持地盤の出現深度を示す。Sec.[m]は断面番号と計測距離を示す

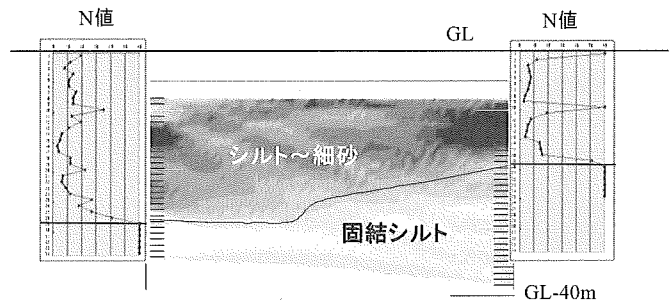


Fig.9. 解析結果(速度分布図)

一方、本手法では複雑な地盤を把握できたため、図中の波線で示す支持地盤面に基づいた効率的な杭長設計を行うことができた。全ての杭について同様の検討を行った結果を Table. 3 に示す。この検討結果では余分な杭長が全体の 14% も発生することになり、杭長の過不足による施工時の手間の増加等も加味すると、ボーリング結果だけに基づいて設計した場合と比較して施工費が約 40% も少なくなることが分かった。杭長不足の際の材料手配などに伴う待機コストを考慮するとさらに余分なコストが増加すると考えられる。さらに、「地盤の見える化」によって顧客や施工者が得ることが出来た「施工に対する安心・安全感」も大きなメリットであったと考えられる。

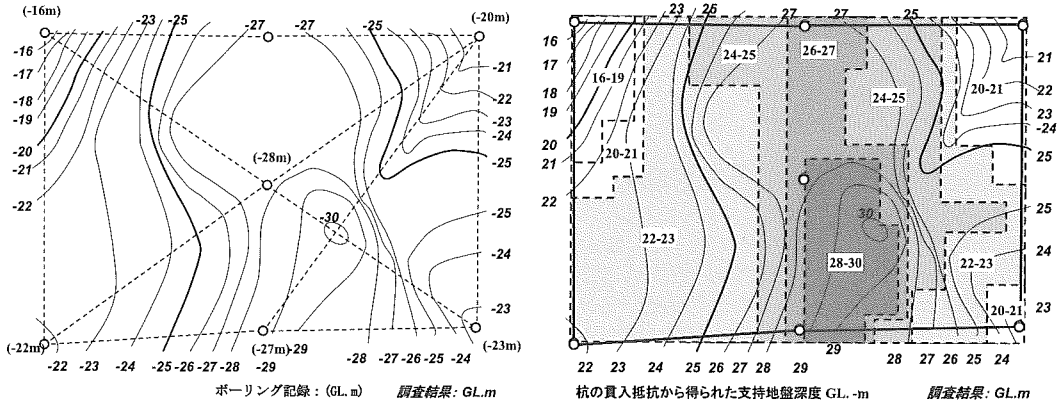


Fig.10. 調査結果から得られた支持地盤深度のコンター図(左)と杭の施工記録との比較(右)
 括弧内の数字はボーリング記録から分る支持地盤の出現深度 網掛け色が濃いほど深い深度を表す

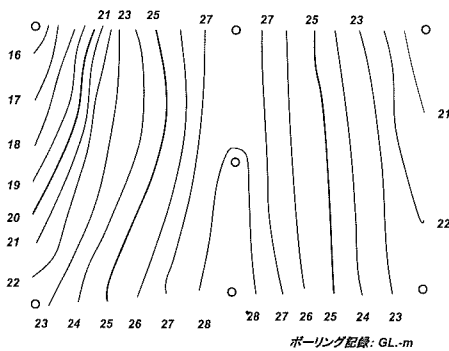


Fig.11. ボーリング結果から推定する支持地盤深度

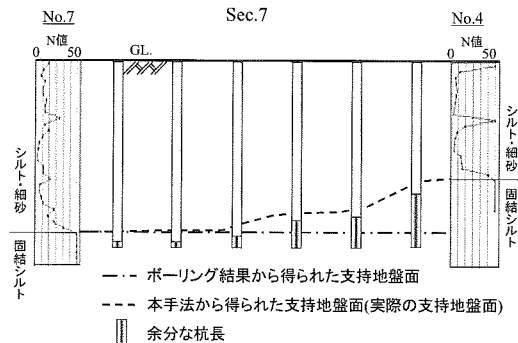


Fig.12. ボーリング結果による杭長設計例と本手法による結果との比較

Table.3. 調査方法による杭数量の比較

	杭長 (m)	杭重量 (t)
ボーリング調査のみ	6,177	918
音響トモグラフィ (実際)	5,295	791
差 :	882	127



Photo.3. 完成した中部空港立体駐車場

(4)倉庫建家建設における基礎杭支持地盤調査(支持層の選択)

天満砂礫層は大阪平野における構造物基礎の支持層としてよく知られている。計画地で実施したボーリング調査の結果から、Fig. 13 に示すように、この天満層は大阪南港付近ではGL. -30m 付近の第1天満層、GL. -60m 以深の第2天満層として存在することがわかった。倉庫建家基礎構造物を設計するにあたり、「基礎杭の支持地盤を第1、第2天満層のどちらとするか?」ということは、施工費と工期に大きな影響を与える極めて重要な問題であった。中間層である第1天満層を支持地盤とするためには、層厚がほぼ全域で10m 以上あることが設計計算から求められていたが、ボーリング調査では連続した層厚の変化を捕まえることができないため、本手法を用いることとなった。Fig. 14 に工事範囲(230m×130m)とボーリング孔配置、トモグラフィ計測測線をそれぞれ細実線、○印、実線矢印で示す。計測深度は50m、平均計測距離は55m であった。

解析結果の例としてNo. 4←No. 5→No. 3 測線 (Fig. 14 中の太矢印線) のP波速度分布図をFig. 15 に示す。同図にはボーリングによるN値の結果を実線で、速度分布とボーリング結果から推定される礫層の上面と下面を点線で示した。同図から、礫層の層厚がほぼ10m 以上あること、支持地盤面(礫層上面)の高低差は2m 以下であることが分かった。全断面において同様の結果を得ることができたため、基礎杭の支持地盤を第1天満層として設計を行い、これに基づいて無事に施工を完了した。

この結果、杭長にして30%の材料・施工費の削減と工期短縮を実現することができ、顧客から大きな評価を得ることができた。従来の探査手法では得ることのできない精度1m という正確な層厚の把握により、効率的な基礎構造物の設計が可能となった良い例であった。

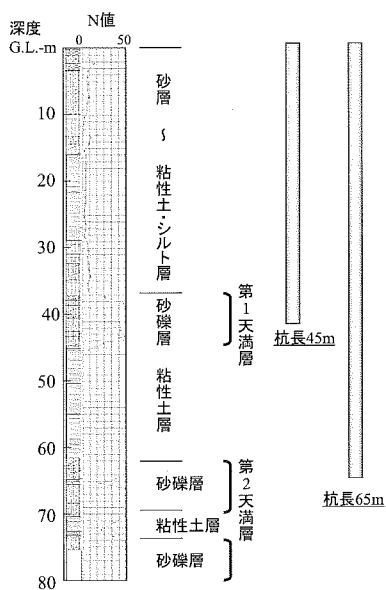


Fig.13. 建設予定地のボーリング調査結果と2 とおりの杭長設計

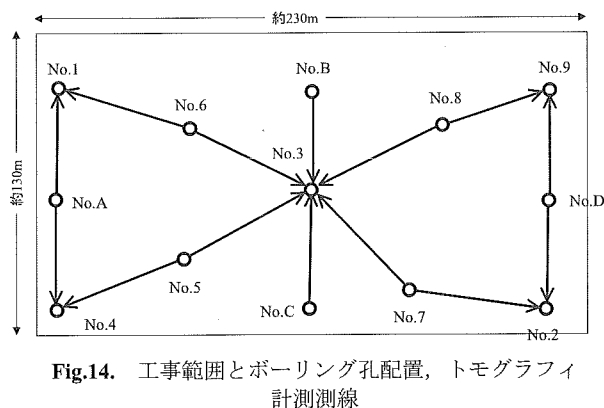


Fig.14. 工事範囲とボーリング孔配置, トモグラフィ計測測線

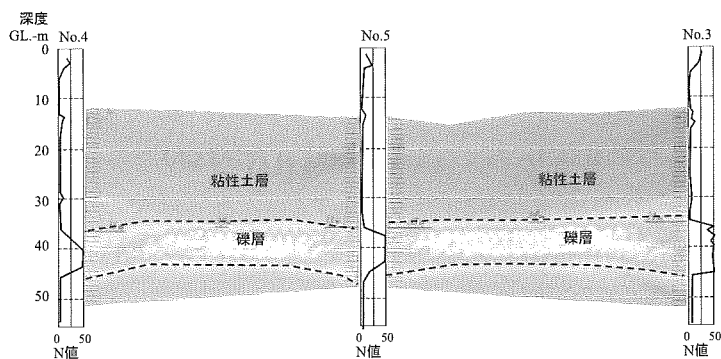


Fig.15. 解析結果の例 (No. 4←No. 5→No. 3 測線の P 波速度分布図)

高周波数の音響波を用いたトモグラフィによる高精度地盤探査法を開発した。本報告で述べた4つの適用例では、本手法の結果と実際の地盤の詳細な比較を行うことで本手法の妥当性を検証し、また、計測結果に基づいて実施した設計によって工費と工期の削減に大きく貢献できたことを示した。

Fig.16 は従来のボーリング調査だけを実施する場合には必要となる「過剰に安全を見込んだ設計」や「追加工事費」が、本手法のような正確な調査を行うことで不要となり、結果として工費全体を削減できることを示している。さらに、効率的な設計の基となる地盤情報を可視化して示すことは、顧客に対して施工に関する安心感を与えることができると考えられる。

参考文献

楠健一郎(1997)：物理探査法の地盤工学における課題と提言，土と基礎，45-9，19-22
 Yamamoto, T.,Nye, T., Kuru, M.,(1994):Porosity, permeability, shear strength: Crosswell tomography below an iron foundry, Geophysics, 5-10, 1530-1541
 榎原淳一 (2007): 音響トモグラフィを用いた高精度地盤探査，土と基礎，55-11，17-19.

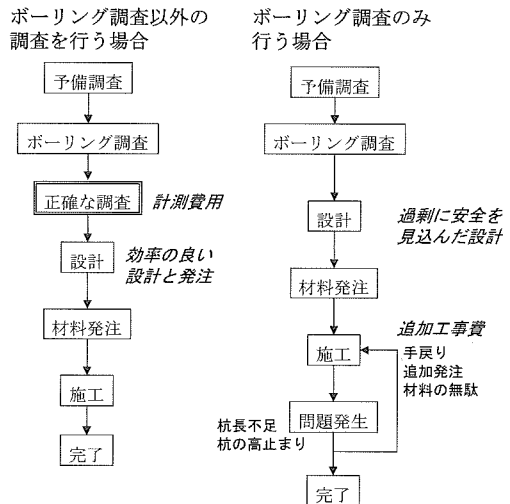


Fig.16. ボーリング調査以外の調査を行う場合とボーリング調査のみを行う場合の比較

講 演

寒冷条件に対応した次世代型汚染土壌修復技術の開発
～未利用資源を熱源とした加速型バイオレメディエーション～

明治コンサルタント株式会社

平本 弘

経済産業省 北海道経済産業局
平成20年度中小企業・ベンチャー挑戦支援事業のうち実用化研究開発事業

寒冷条件に対応した 次世代型汚染土壌修復技術の開発

～未利用資源を熱源とした加速型バイオレメディエーション～

明治コンサルタント株式会社
平本 弘



研究体制

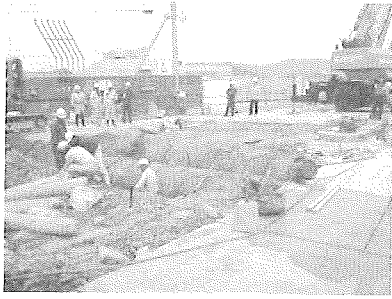
明治コンサルタント株式会社

有限会社エコルネサンス・エンテック

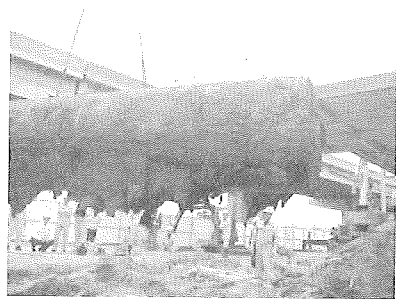
国立大学法人 北海道大学

(独)農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター

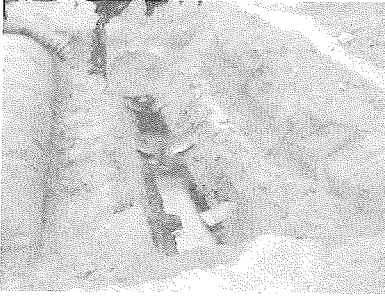




漏えいタンク探索



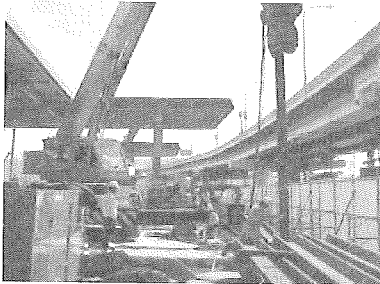
タンク撤去



タンク撤去後の基礎の状況



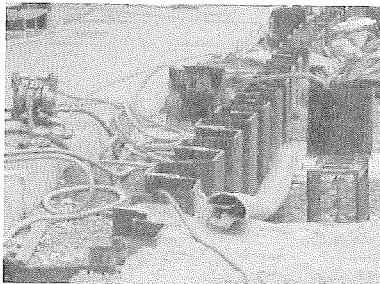
漏えい箇所 φ5mm



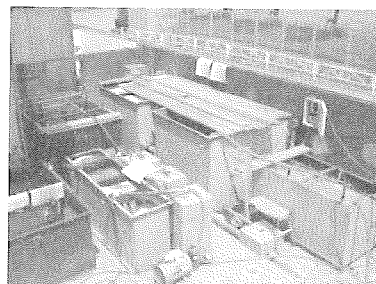
矢板打設



釜場からの油分回収



井戸からの地下水揚水

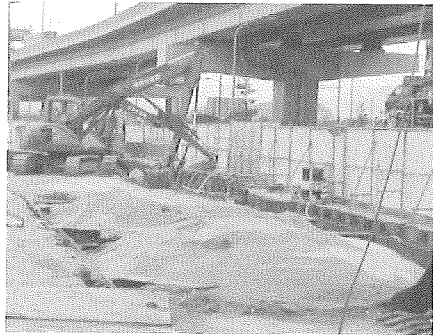


地下水浄化装置運転状況



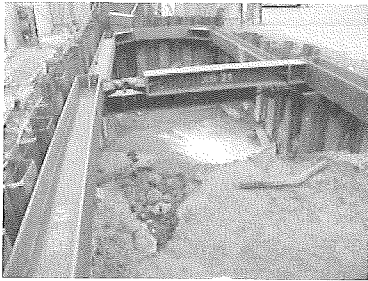


汚染土の掘削除去



良質土による埋め戻し

主な汚染土壌修復工法



土壌掘削除去



従来型バイオレメディエーション(例バイオパイル)



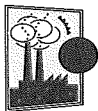
地下水揚水+ガス吸引井戸



地下水揚水+土壌ガス吸引の装置組合

汚染土壌修復工法の長短所

判断要素 工 法	単位費用	期間	営業可否
土壌掘削除去	高	短	休 止
土壌ガス吸引 +地下水揚水処 理	中	中～長	継続可も (設備設置後)
従来型 バイオ レメディエーション	低	長	継続可も (設備設置後)



社会的・経済的・技術的背景

廃業した工場やガソリンスタンド等の土壌汚染問題は・・・

<従前>

不動産売買・土地の再開発に絡み計画性や工程を重視
 ⇒ 高価なるも短期施工・確実な「土壌掘削除去」

<新たな社会問題>

対策費用高額 → 手付かずで放置 → 汚染土地の顕在化／不良
 資産化がクローズアップ

“ブラウンフィールド(BF)”問題 全国で約11兆円(環境省)
 BF化の進む寒冷地



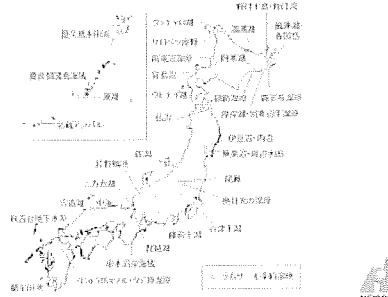
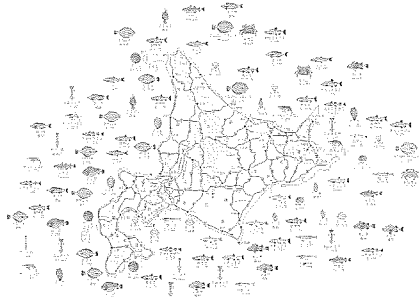
＜本州での常識が通用しない独特の課題の解消に寄与＞

- ① 寒冷地ゆえの低コストバイレメ浄化のハードルの高さ
- ② 広大な敷地ゆえの“土壤汚染”概念の希薄
- ③ 地域資源「産業」「観光地」「自然環境保護区」での汚染
⇒ 健康被害／風評被害 ⇒ 地域経済へ打撃

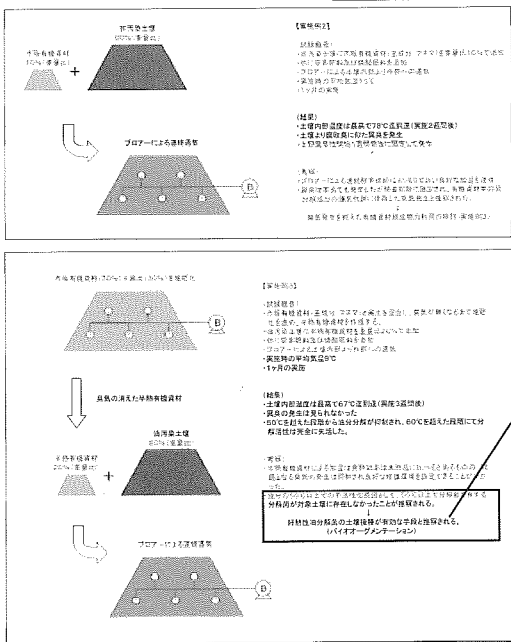
道東: 大型地上タンクから油漏えい 1万m³規模土壤汚染 周辺は水産加工場
寒冷気候のためバイレメ不能⇒数億円かけ従来工法で現在も浄化中

道東: 老舗ホテル地下タンクから油漏えい 下流側漁協と争議 汚染地は現在も
ブラウンフィールド

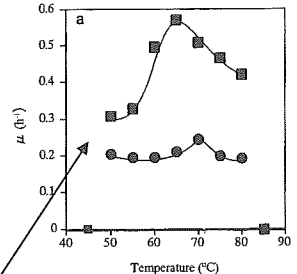
道北: 有名な油混じり温泉 排水下流にはシジミ産地・ラムサール条約エリア存在



研究開発経緯



“加熱型バイレメデーション”
技術の基盤確立完了
次は・・・



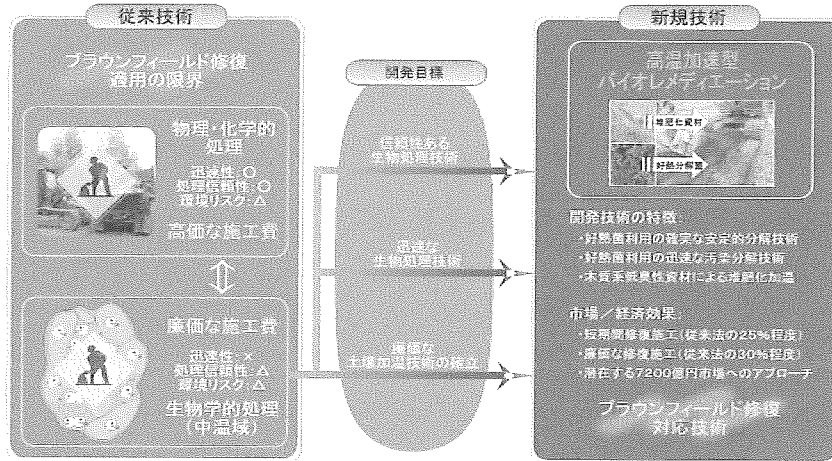
好熱性汚染分解菌の高速代謝機能を活用、廉価で確実な次世代型土壤汚染修復技術へ

“加速型バイレメデーション”

経済産業省 北海道経済産業局

平成20年度中小企業・ベンチャー挑戦支援事業のうち実用化研究開発事業

寒冷条件に対応した次世代型汚染土壌修復技術の開発
～未利用資源を熱源とした加速型バイオレメディエーション～



～未利用資源を熱源とした加速型バイオレメディエーション～

STEP①: 有機資材の入手・選定試験

◎優良資材の一次スクリーニング

- ⇒道内各所での資材入手(収集: ~20試料を目標)
- ⇒選定評価(収集~20検体⇒4検体への絞り)
- ⇒臭気分析、発熱减量分析(外注分析)等を実施

STEP②: 候補資材を用いた堆肥化加熱試験

◎選定有機資材の最終選考

- ⇒堆肥化評価装置“かくやひめ(農畜試式)”の利用(選定1検体に対し4系の評価系+1系の対照区)
- ⇒臭気分析、温度、ガス濃度分析等を実施

STEP③: 汚染土壌を用いた小規模試験

◎適用可能性試験(機能&効果の検証)

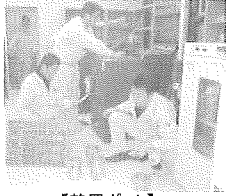
- ⇒堆肥化評価装置“かくやひめ(農畜試式)”の利用
- ⇒堆肥化加熱効果と汚染分解性能、他の検証

STEP④: 汚染土壌を用いた中規模試験

◎低温室を用いた寒冷気候下の実証試験

- ⇒中規模カラム装置を用いた機能&効果検証

研究開発の進捗と今後



【静置ポット】

STEP① 有機資材の入手・選定試験



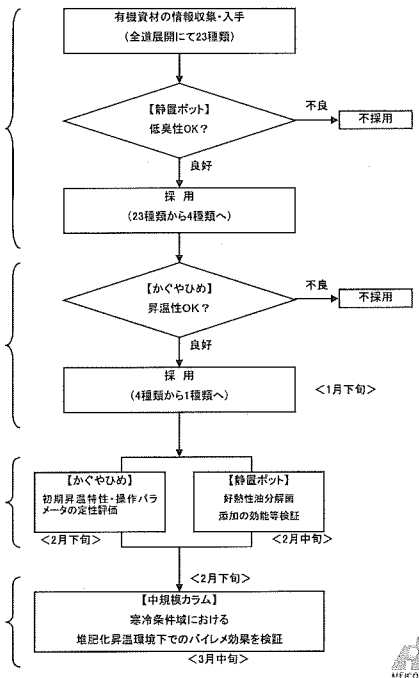
【かぐやひめ】

STEP② 模倣資材を用いた増肥化昇温試験



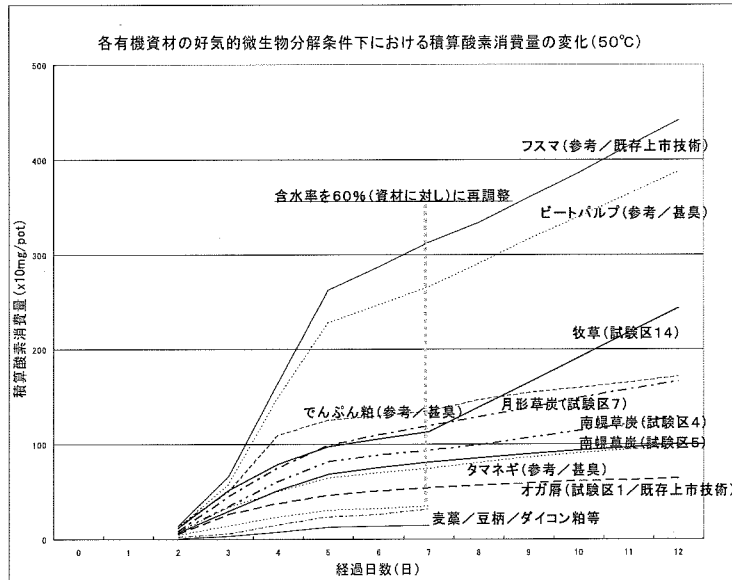
STEP③ 汚染土壌を用いた小規模試験

STEP④ 汚染土壌を用いた中規模試験



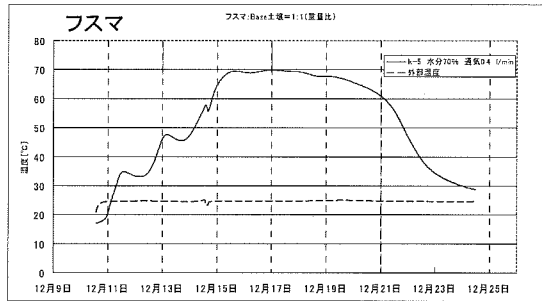
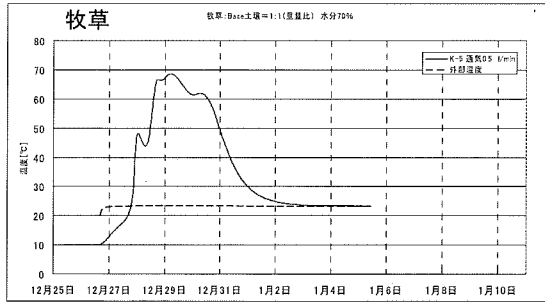
STEP① 有機資材の入手(9月～)・選定試験(～11月)

【静置ポット試験】 嫌氣的・好氣的微生物分解条件下における資材選定 23→ 4種類



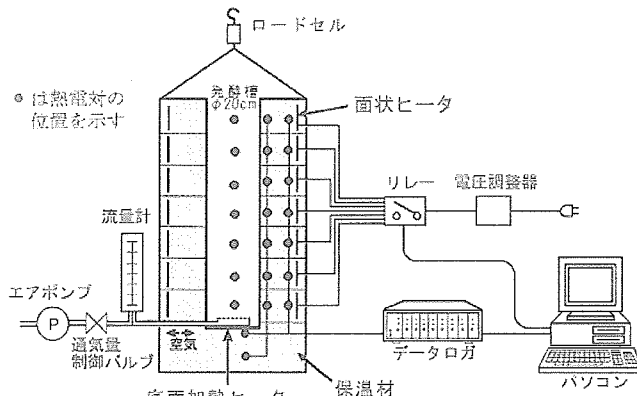
STEP② 候補資材を用いた堆肥化昇温試験(12月~1月中旬現在)

【かぐやひめ試験】



STEP③ 汚染土壌を用いた小規模試験 (~2月下旬)
 【かぐやひめ+静置ポット】

STEP④ 汚染土壌を用いた中規模試験 (~3月中旬)
 【中規模カラム】



中規模カラム装置の概要

今後の課題

1. 利用資材(微生物・有機資材)最適化アプローチ
2. 好熱性分解微生物の安全性評価
3. パイロットスケール実証試験

以上



第 47 回 試錐研究会講演資料集

発 行 平成 21 年 2 月 19 日

編 集 試錐研究会

出 版 北海道立地質研究所

〒060-0819

札幌市北区北 19 条西 12 丁目

電話 011 (747) 2420 (代)

Fax 011 (737) 9071

URL <http://www.gsh.pref.hokkaido.jp/>

印 刷 大同出版紙業株式会社

〒080-0017

帯広市西 7 条南 6 丁目 2 番地

電話 0155 (23) 5107
