

第33回試錐研究会

講演資料集

期 日：平成7年3月10日(金)

会 場：ホテルポールスター札幌(2Fポールスターホール)
(札幌市中央区北4条西6丁目)

第33回 試錐研究会

■ プログラム ■

主 催 北海道立地下資源調査所

協 賛 北海道地質調査業協会
(社)全国鑿井協会北海道支部

日 時 平成7年3月10日(金)
10時～17時

場 所 ホテル ポールスター札幌 2F ポールスターホール
(札幌市中央区北4西6丁目 Tel.011-241-9111)

あいさつ

北海道立地下資源調査所長 早川福利

特別講演

“帯水層蓄熱利用と地下水人工涵養”

山形大学 工学部

教授 梅宮弘道

昼 食 (12:00～13:00)

講演

1. 北海道リハビリーにおける帯水層利用の現状

北海道大学工学部 中村 真人

2. 温泉熱利用と建築設備

アド・エンジニアリング(株) 平川 恵司
下田 一隆

3. 道内市町村の地熱・温泉ボーリング

北海道立地下資源調査所 藤本 和徳

4. 知内町の地熱ボーリング

北海道立地下資源調査所 鈴木 隆広

5. 北部北海道オホーツク沿岸の温泉資源について

北海道立地下資源調査所 松波 武雄

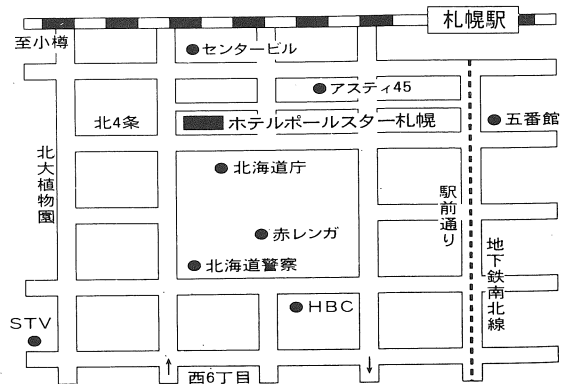
あいさつ

北海道地質調査業協会理事長 齋藤 昌之

懇親会

ホテル ポールスター札幌

(17:30~19:30)



講演

1. 北海道リハビリーにおける帯水層利用の現状

北海道大学工学部 中村真人

2. 温泉熱利用と建築設備

アド・エンジニアリング(株) 平川恵司
下田一隆

3. 道内市町村の地熱・温泉ボーリング

北海道立地下資源調査所 藤本和徳

4. 知内町の地熱ボーリング

北海道立地下資源調査所 鈴木隆広

5. 北部北海道オホーツク沿岸の温泉資源について

北海道立地下資源調査所 松波武雄

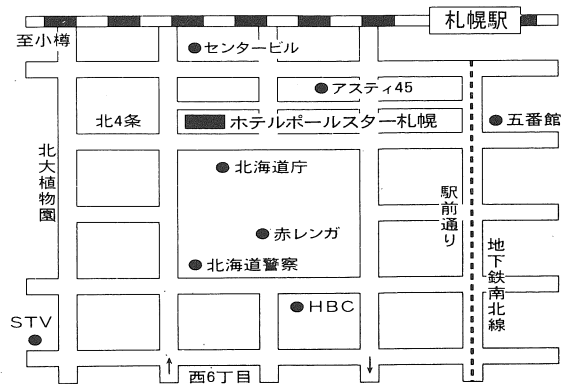
あいさつ

北海道地質調査業協会理事長 斎藤昌之

懇親会

ホテル ポールスター札幌

(17:30~19:30)



特 別 講 演

帯水層蓄熱利用と地下水人工涵養

梅宮 弘道 (山形大学 工学部 機械システム工学科)

(1) ~ (9)

1 地下帯水層とその蓄熱利用

自然界の帯水層

大地を地表から掘り下げていくと、帯状の地層が現れる。地表近くは表土、腐植土、その下が粘土、砂礫また粘土というぐあいに帯状模様が延々地下数百メートル続く。この断面模様は、河川の氾濫により形造られたものである。水で満たされた砂礫の帯状地層を帯水層、その水を地下水と呼んでいる。地下水は太古から、貴重な飲料水源で井戸水の得られる地域に集落が発展してきた。現在の都市もその起源をたどれば井戸水の容易に得られる地域から発生している。逆に云えば民家の密集地域では、ほぼ間違いなく帯水層が存在する。

帯水層は、最近、飲料水源としての価値に加えて、巨大な蓄熱槽としても利用できるようになった。すなわち、井戸は、水を汲み上げるだけでなく、逆に注入することもできる。逆に、水がよく出る井戸は、大量の水を容易に注入することができる。それは、温水を注入する場合も同じである。図-1に示すように、注入された温水が砂礫の空隙をゆっくり流れ、温水と砂礫間の熱の

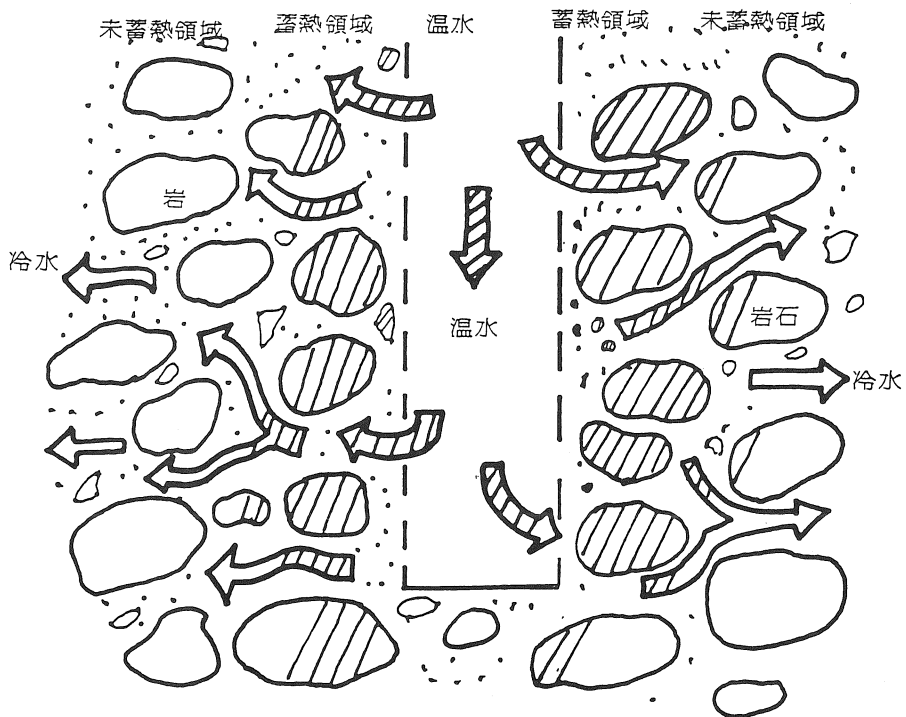


図-1 帯水層蓄熱機構

やり取りで、温水の熱エネルギーが砂礫に移り、水自体は冷えて遠方に流れ去る。逆に、井戸から水を汲み上げると周囲から地下水が押し寄せ、温かい砂礫を通過する段階で熱を受取り、温水として汲み上げられる。自然地下水の流れが無ければ岩石蓄熱と全く同じ機構である。

自然流の無い帯水層を使用すれば、(1)蓄熱容量が巨大である。(2)自然対流による熱損失が少ない。(3)熱の注入・取り出しが簡単である。(4)蓄熱規模が大きくなるほど有利になる。等の理由から夏のエネルギーを冬に、冬の冷熱を夏に使用する季節蓄熱が可能である。

人工帯水層 近年、土木機械の大型化に伴い、国内でも土地の造成が盛んである。例えば、図-2は、山形県新庄市福田工業団地の造成であるが、山あり谷ありの地形を平坦にして団地を造成することから、旧窪地の帯水層がその上に盛土され、断熱と同時に熱容量が増大することから蓄熱可能な帯水層に生まれ変わる。いわゆる造成地帯水層の活用が見込まれている。

造成地帯水層の場合は、

- (1)地表から帯水層まで、せいぜい10～20m で、井戸掘削費用がかさまない。
- (2)旧、地形図より、帯水層の位置・深度を正確に読み取る事が出来る。
- (3)帯水層の蓄熱規模は、比較的小さい。

等の特徴があり、今後その開発利用が見込まれる分野である。

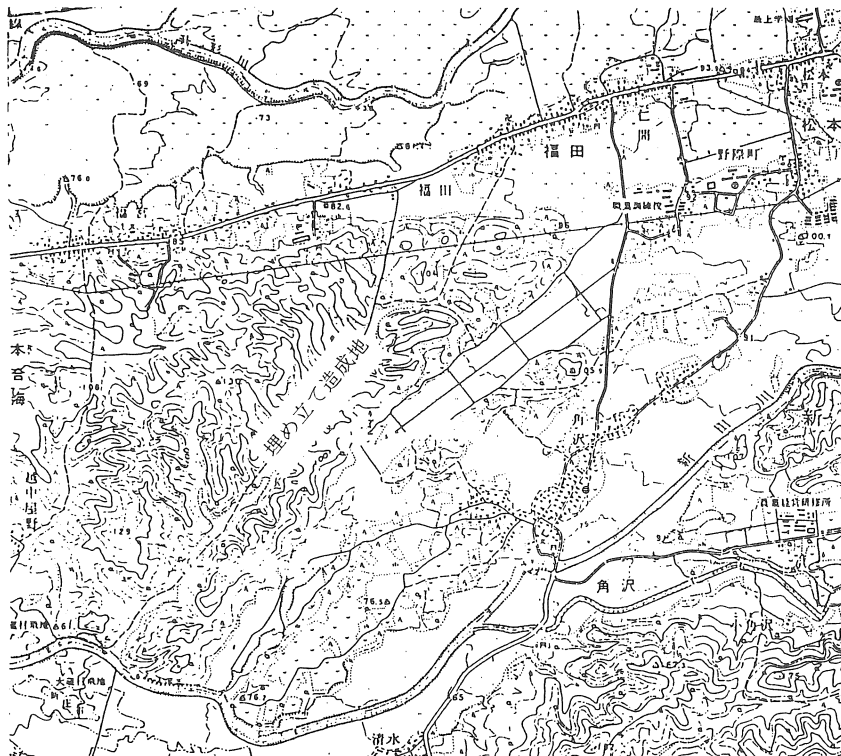


図-2 造成帯水層

帯水層蓄熱利用システム

帯水層蓄熱利用システムにおいて、まず第一に注意しなければならないことは、水資源を損なわぬよう、つまり、帯水層を汚さないで使用することである。そのためには、地上の熱利用部分は、大気にさらさず、密閉回路を採るべきである。従って、基本的に、帯水層蓄熱利用システムは、図-3 に示すように、2本井戸を備えたa)同一帯水層・静止蓄熱、b)異層帯水層・静止蓄熱、c)流動帯水層・流動蓄熱が考えられる。

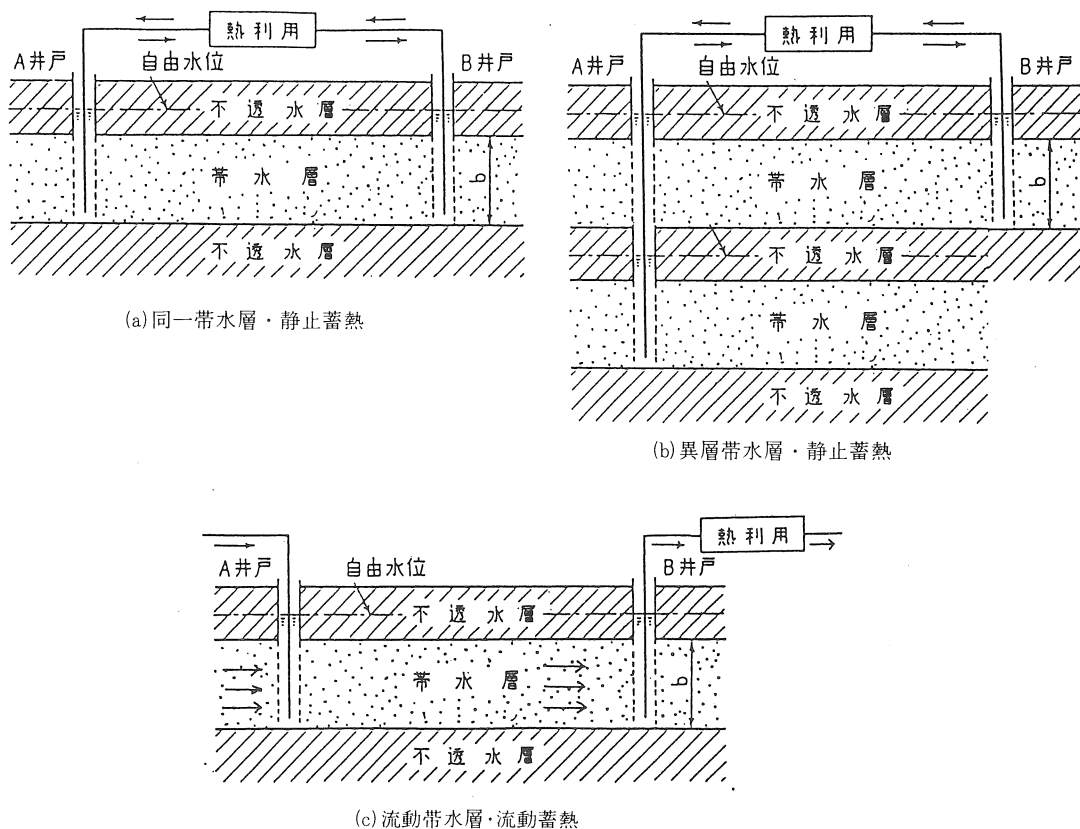


図-3 帯水層蓄熱システムの原理図

蓄熱利用システムは、一方の井戸から水を汲み上げ、熱利用したあと各種排熱で極力温度を上げ、他方の井戸から帯水層に注入する。熱回収は半年後、流れを反転して、利用する。2本の井戸を、一方を冷熱蓄熱井、他方を温熱蓄熱井として使用すれば、年間を通じて、活用することが出来る。

留意事項としては、

- 1) 熱源は、冷房排熱・発電排熱・工場排熱・ゴミ焼却排熱・自然エネルギーなどの排熱を取り込む。
- 2) しかも、同一設備で、夏も冬も使用し、設備投資の回収率を高める工夫が必要である。
- 3) システムのエネルギー効率を上げるためには、ポンプ動力を最小に絞ること、すなわち、回路抵抗を最小にする工夫が大切である。その意味からも注入は、重力による自然注入が望ましい。
- 4) 蓄熱井の最高効率範囲で運転する。

熱回収率

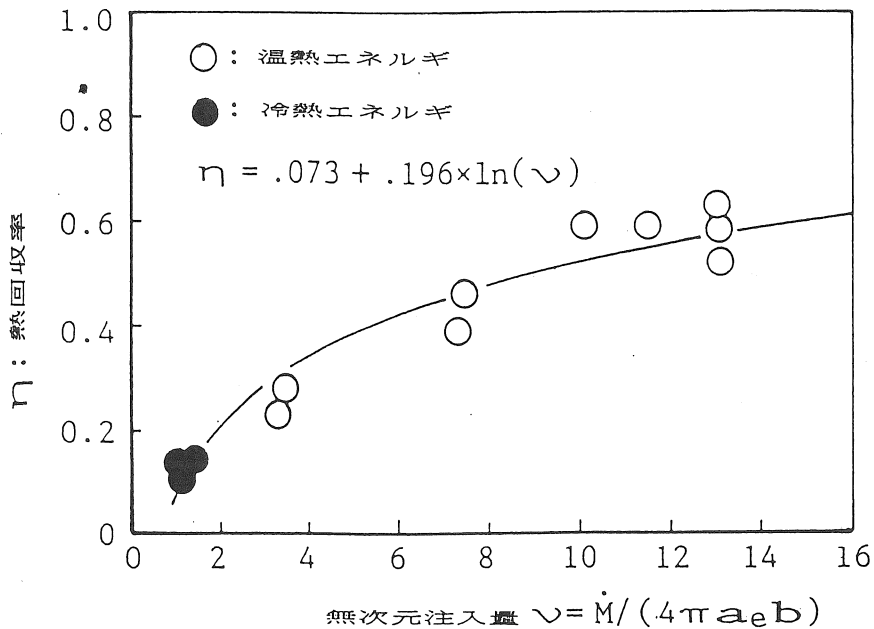
帯水層蓄熱法において最も重要な特性は、蓄熱利用システムの熱回収率である。熱回収率 η は、注入した水量と同じ水量を汲み上げた時点で、次のように定義される。

$$\eta = (\text{汲み上げ回収した熱エネルギー}) / (\text{注入熱エネルギー}) \dots (1)$$

熱回収率 η は、帯水層の特性と、熱利用システムの運転方法で変化する。

山形大学の帯水層蓄熱利用システム（ソーラ・アクイファ）で、過去9サイクルの熱回収率を実測し、整理した結果を図-4に示す。それは、無次元注入量 $\nu = M / (a_e b)$ の増加関数である。ここで、 M 、 a_e 、 b は、それぞれ注入量(m^3/s)、帯水層見掛け温度伝導率(m^2/s)、帯水層厚さ(m)である。同図で、温熱蓄熱は、○で、冷熱蓄熱は●で示すが、それぞれ図-5に示すような異なる蓄熱井のデータである。場所が異なり帯水層厚さ、帯水層見掛け温度伝導率が異なるために、同一水量 M にも拘らず無次元注入量 ν が大幅に変わる。しかしながら、両者は、ほぼ、同一曲線に乗り、無次元注入量 ν が12~14で、熱回収率 η は、60%に達する。

次節以後、帯水層蓄熱システムをどのように設計するか？その工法も含めて設計手順を整理する。



- \dot{M} [m^3/s] : 注入量
 a_e [m^2/s] : 帯水層見掛け温度伝導率
 $b=30$ [m] : 帯水層厚さ

図 -4 熱回収率と無次元注入量

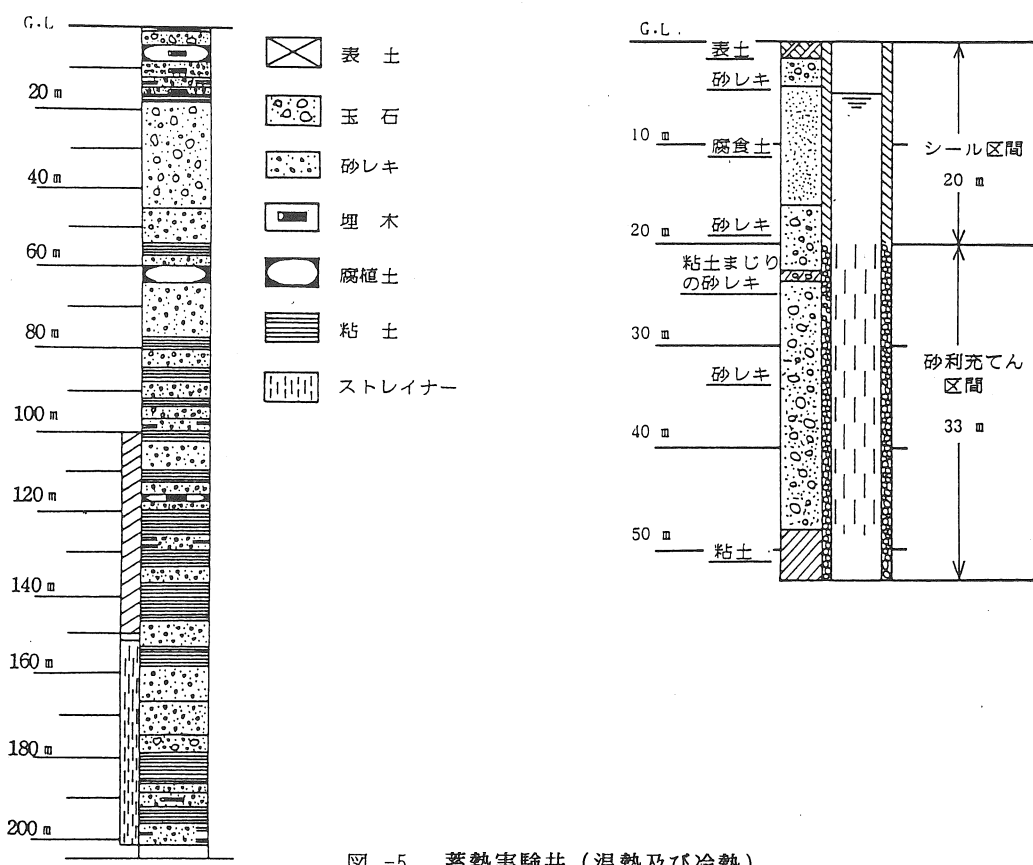


図 -5 蓄熱実験井 (温熱及び冷熱)

2 帯水層の数理解析と物理定数の測定法

透水係数 K 及び貯留係数 S 帯水層内の地下水の移動は図-6に示すように水頭勾配 $\partial h / \partial s$ に沿う極めてゆっくりした流れである。それは、ダルシー流として次のように表現される。

$$f_s = -K(\partial h / \partial s) \quad \dots (2)$$

ここで、 f_s : 流束 ($m^3 / (m^2 s)$) K : 透水係数 (m/s)

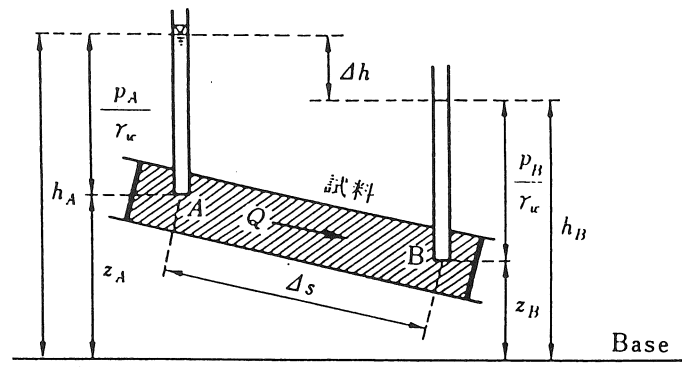


図 -6 ダルシー流

地下水の流れ易さは、砂粒の寸法、形状、充填状況、空隙の割合とそのつながりかた、などで様々変化するが、余りに複雑なため、その特性をひとまとめにして透水係数で表現する。

帯水層は図-7に示すように、地下水水面がどこに存在するかで、被圧帯水層と不圧帯水層とに分けられる。前者は、水位が帯水層より高い位置をしめるものであり、場合に依っては地表から吹き出すのに対し、後者は帯水層内部に水面のあるものを区別している。帯水層は地下水の出入りにともない膨張あるいは収縮する連続体として取り扱う。その度合を表すのに貯留係数 S という概念を導入し、以下の様に定義する。

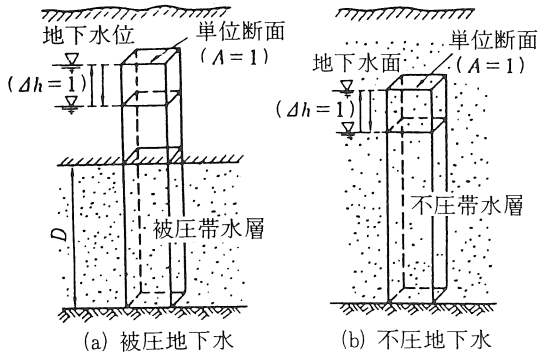


図-7 被圧帯水層・不圧帯水層

及びそれらの貯留係数

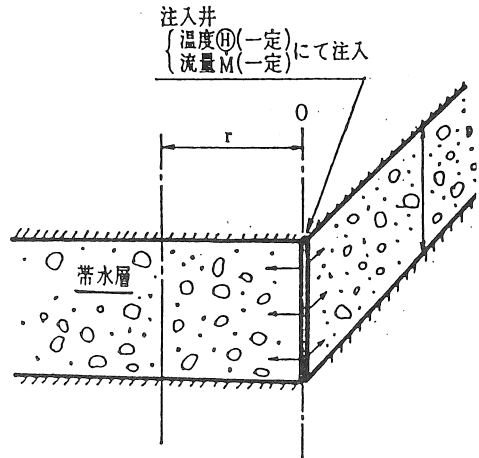


図-8 帯水層モデル

貯留係数 S =帯水層の表面に垂直な水頭の単位(1m)低下によって単位面積 A (m^2)から排出される水量 ΔM (m^3) ($m^3/(m^2 \cdot m)$)(3)

帯水層の上に乗る不透水層により、地下水が加圧されている場合、すなわち自然水位が帯水層より上にあるような被圧地下水の場合、帯水層の圧縮率を κ (1/m) (ここでは、圧力を水頭で表しているので m^2/N ではなく、1/m) とすると、

$$S = b\kappa \quad \text{ここで、} b: \text{帯水層厚さ。} \quad \dots\dots(4)$$

井戸汲み上げ水量 M と水位変化 ε の関係 実際の帯水層は、地層が複雑に入り組んでおり、そのままでは解析が困難である。解析を容易にするため帯水層を図8に示すような地層にモデル化する。

- 1) 帯水層は上下を不透水層に挟まれた厚さ b の水平平板である。
- 2) 注入井から帯水層への流れは、注入井を中心とした放射状ダルシー流である。
- 3) 上下の不透水層への熱損失は無い。
- 4) 注入井の井戸半径は、無限に小さい。

このような平行平板帯水層で、自然水位 H (m)、厚さ b (m)、透水係数 K (m/s)、貯留係数 S (-)の帯水層で、井戸から半径 r (m)の円筒面を想定し、その面を通過する水量 M (m^3/s)と、その地点における水頭 h (m)との関係を整理すると次のようになる。

$$\varepsilon = MW(\lambda)/(4\pi bK) \quad \dots\dots(5)$$

ここで

$\varepsilon = H-h$: 水位低下量

$$W(\lambda) = \int_{\lambda}^{\infty} (\exp(-\lambda)/\lambda) d\lambda : \text{井戸関数}$$

$$\lambda = r^2 S / (4tT)$$

$$T = bK : \text{透水量係数}(m^2/s)$$

透水量係数 T の測定法 (Jacob法) 井戸関数 $W(\lambda)$ は、 $\lambda < 1$ で次のように展開することが出来る。

$$W(\lambda) = -0.5772 - \ln \lambda - \lambda^2 / (2 \cdot 2!) + \dots\dots\dots$$

$\lambda < 0.02$ の範囲では、右辺第2項までで近似できるから、整理すると

$$\varepsilon = M(4\pi bK)^{-1} (-0.5772 - \ln((r^2 S)(4Tt)^{-1}))$$

Jacob の回復法による透水量係数 T の測定は、上式において、 $M = \text{const}$ の条件で t_p 時間揚水後、時刻 t の自然水位への回復 ε を測定することにより算出される。

$$\varepsilon(t) = M(4\pi T)^{-1} \ln(t(t-t_p)^{-1}) \quad \text{at } t > t_p \quad \dots\dots(6)$$

揚水停止後、時刻 t_1, t_2 の水位低下量をそれぞれ $\varepsilon(t_1), \varepsilon(t_2)$ とすると、

$$\varepsilon(t_1) - \varepsilon(t_2) = Q(4\pi T)^{-1} \ln(t_1(t_1-t_p)^{-1} t_2^{-1}(t_2-t_p)) \quad \dots\dots(7)$$

よって

$$T = M(4\pi(\varepsilon(t_1) - \varepsilon(t_2)))^{-1} \ln(t_1(t_1-t_p)^{-1} t_2^{-1}(t_2-t_p)) \quad \dots\dots(8)$$

ステップ注入による温度場・注入停止後の温度場の解析⁽¹⁰⁾

帯水層蓄熱では、地下水自然流による熱の散逸も含めた熱伝導損失を避けることは出来ない。したがって帯水層蓄熱能力の評価は、非定常熱伝導問題に帰着される。ここでは、先の水位変化から帯水層透水量係数 T を測定する方法を誘導したのと同様、帯水層にステップ状に温水（または冷水）が注入される場合、注入停止後の温度変化を解析し、その結果を利用して井戸周りの見掛け温度伝導率 a_e の測定法を誘導する。ここで云う見掛け温度伝導率とは、地下水自然流による熱輸送も組み込んで表現した帯水層の温度伝導率である。

ステップ注入による温度場 はじめ、帯水層温度が一様に $\theta=0$ に保持され、時刻 $t=-T_0$ (s)より、井戸 $r=0$ から一定温度 Θ (°C)の水を一定流量 M (m^3/s)で注入する。 t 時間後($-T_0 < t < 0$)の温度 θ (°C)は、次のようになる。

$$\theta = \Theta (1 - \Gamma(\nu))^{-1} \cdot \int_0^X e^{-u} u^{\nu-1} du \quad \dots (9)$$

ここで $x = r^2 / (4a_s t)$ $\nu = M(C\rho)_w / (4\pi b \lambda_s)$

注入温水は帯水層内をトコロテンのように、若干その先端温度分布を崩しながらも、ほぼステップ状に、帯水層の奥に押し込まれて行く。注入温度 Θ が到達する平均半径 r_h では、温度分布が非対称になることから、 $\partial^2 \theta / \partial r^2 = 0$ より、

$$r_h = (6a_s T_0)^{1/2} \quad \dots (10)$$

ステップ注入停止後の温度場 T_0 時間注入してそれ以降注入を停止、自然放置する。時刻 t ($0 < t < T_0$)の温度 θ は、次のようになり数値計算ができる。

$$\theta = 2\Theta r_c^{-2} \sum \exp(-a_e \alpha_n^2 t r_c^{-2}) \cdot J_0(r \alpha_n) (\alpha_n J_1^2(r \alpha_n))^{-1} \int_0^{X_0} r \theta_0 J_0(r \alpha_n) dr$$

ここで $\dots (11)$

$\alpha_n: J_0(\alpha) = 0$ の n 番目の根

$a_e = a_s + a_r$: 帯水層見掛け温度伝導率

a_s : 砂礫水充填層の温度伝導率

a_r : 帯水層の自然流温度伝導率成分 $a_r = (C\rho)_w / (C\rho)_a \cdot (\nabla \theta / \nabla^2 \theta) \cdot f$

f : 地下水自然流束(m/s)

$$X_0 = r_c^2 / (4a_s T_0) \quad \dots (12)$$

r_c : 温度影響半径

$$\theta_0 = \Theta (1 - \Gamma(\nu))^{-1} \cdot \int_0^{X_0} e^{-u} u^{\nu-1} du$$

$$\nu = M(C\rho_w) / (4\pi b \lambda_s) \quad \dots (13)$$

添え字は、e:見掛けの値 s:砂礫水充填層 w:水 を表す。

帯水層見掛け温度伝導率の測定法

式(9)～(13)の数値解析結果を用いた帯水層見掛け温度伝導率の測定手順を図-9 に示す。以下に同図に従い説明を加える。

- 1) 井戸柱状図から、帯水層厚さ b (m) を求め、更に砂礫と水からなる充填層の密度 ρ_s (kg/m³)、比熱 C_s (J/(kg·°C))、熱伝導率 λ_s (W/(m·°C))、温度伝導率 $a_s = \lambda_s / (C\rho_s)$ (m²/s) の概算値をテーブルから求める。
- 2) $\nu = M(C\rho_w) / (4\pi b \lambda_s)$ で与えられる無次元注入量 ν が、最適値 2.03 近傍 になるよう、注入量 M および ν を定める。数値計算結果によると、上記範囲 で測定精度が最高になる。
- 3) 井戸から帯水層内に時刻 $t = -T_0$ より、時刻 $t = 0$ まで、一定温度 Θ の水を一定流量 M で注入する。注入温度 Θ は、温度測定精度の関係から、自然地下水温度 + 10°C を目安とする。
- 4) 注入停止後、 $t = 0$ から $t = T_0$ までの井戸内温度変化 θ を測定し、無次元温度の時間変化 $\Psi = \theta / \Theta$ を求める。
- 5) 無次元時間 $t^* = t / T_0$ と、無次元温度 Ψ の自然対数 $\ln \Psi$ のグラフをかき、 $0.5 < t^* < 1.0$ の時間範囲で $\ln \Psi - t^*$ を直線近似し、その勾配 γ を求める。

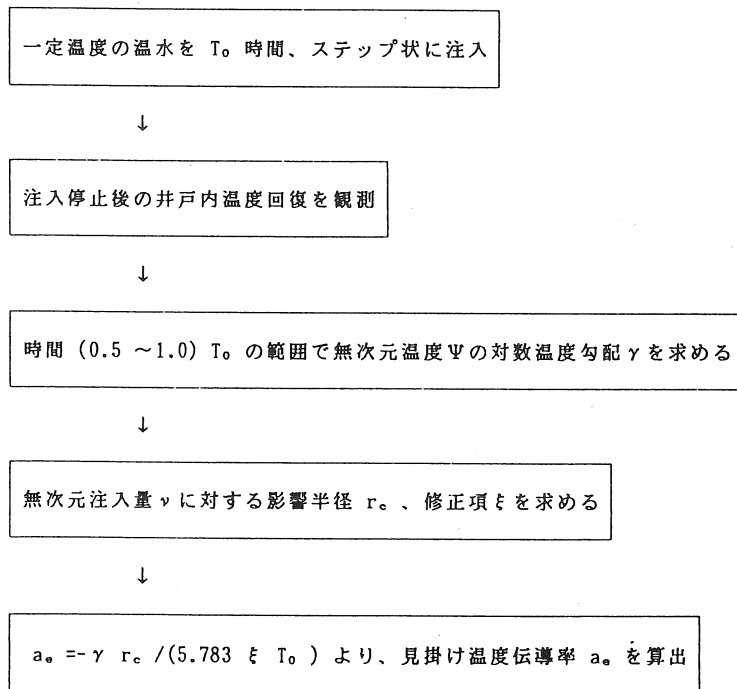


図 -9 帯水層見掛け温度伝導率の測定手順

6) 無次元注入量 ν と、図-10 から勾配比 ξ を、また図-11から x_0 を求め、 $r_c = 2(2T_0 a_s x_0)^{1/2}$ より最大温度影響範囲 r_c を定める。これらのグラフは、式(11)(9)の数値計算結果をまとめたものである。

7) $a_e = -\gamma r_c^2 / (5.783 \xi T_0)$ より、帯水層見掛け温度伝導率 a_e を求める。

8) 2)~7)を繰り返し、帯水層見掛け温度伝導率 a_e の収束値を求める。

室内模型実験によると帯水層見掛け温度伝導率 a_e は、自然地下水流速の増加により、図-12のように急激に増加する。たとえば、自然地下水流速が、 3×10^{-6} m/秒 (180m/年) で、帯水層温度伝導率が10倍、すなわち、静止帯水層に較べ10倍冷え易くなる事を、示している。

帯水層蓄熱を行う目安としては、見掛け温度伝導率の値が $(1.0 \sim 3.0) \times 10^{-6}$ (m^2/s) 程度であれば、地下水の流速は、微少である。すなわち、帯水層蓄熱が可能と判断される。

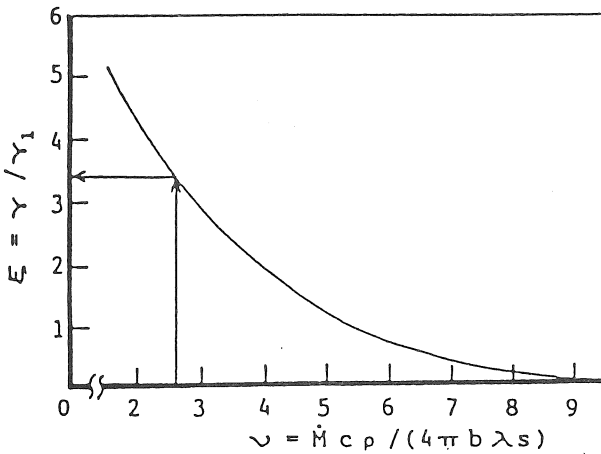


図 -10 無次元注入量と勾配比の関係

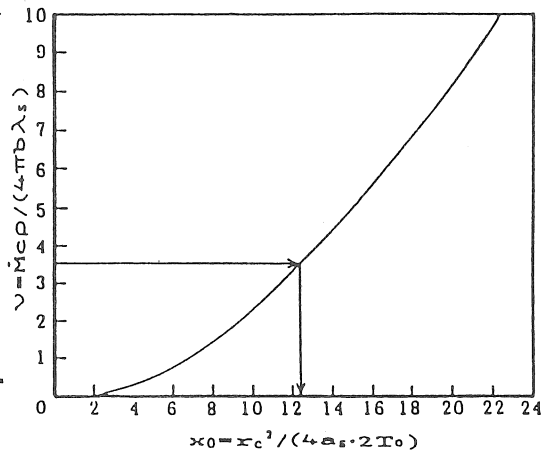


図 -11 無次元注入量と無次元温度到達半径

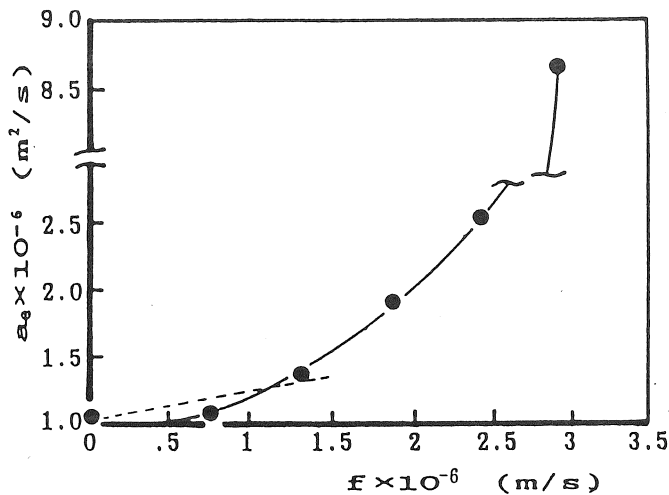


図 -12 帯水層見掛け温度伝導率と地下水流速の関係

3 蓄熱適正地の選定⁽¹⁰⁾

蓄熱可能な帯水層の所在を的確に予測することは、極めて難しい問題であり、決定的手法は未だ完成されていない。しかしながら、熱回収率を支配する最も大きな要因は、自然地下水の流速であることから、流れていない帯水層を捜す方向で蓄熱適正地を大まかに選定することは可能である。過去の経験を整理すると蓄熱適正地選定法は、図-13のようになる。

1. 次選定—概況選定—

1) 平坦地 地下構造は、一般に地表に平行しており、帯水層もその例に漏れない。自然地下水の速度は、帯水層の傾斜に支配されることから、まず、地表勾配の緩やかな地域を選定することが第一である。図-14に示すように、粘土層の不透水層が上流で開口し、下流で閉じる場合が多いことから、特に扇状地の下流域が有望である。

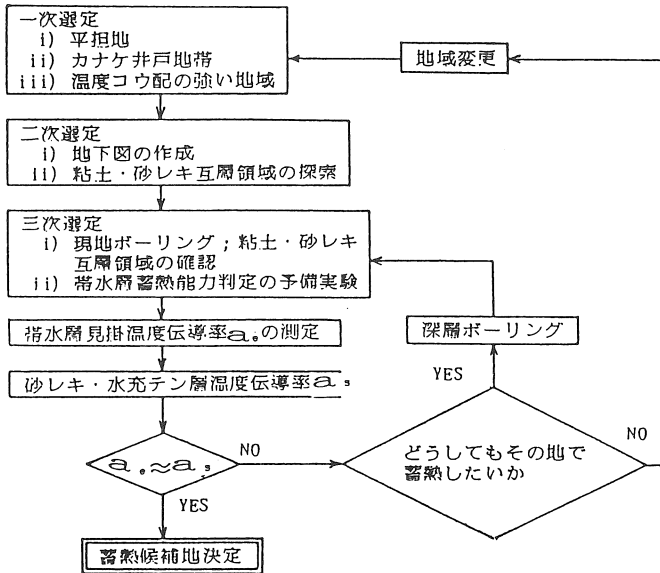


図-13 帯水層蓄熱適正地の選定手順

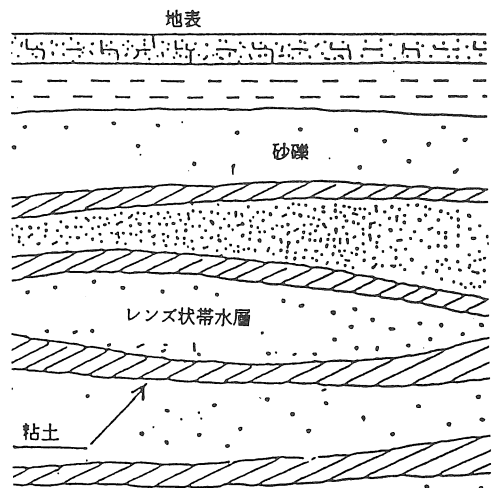


図-14 砂礫・粘土の互層地層

2) 硬水地域 候補地付近の水質を調査し、水質硬度の高い地域であれば、蓄熱能力の高い帯水層が得られる可能性が高い。なぜなら、このような地域では、流れの無い、いわゆる停滞性地下水である場合が多いからである。また、後に述べるように、硬水地域では、蓄熱井周りにコロイド状物質が成長し、一種の地下ダムを造ることから、熱回収率が高くなる。

3) 地温勾配の強い地域 これも2)と同様、停滞性地下水が得られる場合が多い。

2次選定ー井戸柱状図による選定ー

1)一次選定で挙げられた数カ所の候補地について、既存井戸のデータを集める。井戸を掘る際、日本の大部分の市町村では、井戸掘削業者に柱状図の届出義務を課しているので、これらの柱状図を集め、その地域の地下図を作成する。一例として山形県米沢市の市街地で得られた地下図を図-15に示す。

2)地下図より、不透水層が閉じている地域、例えば図-12のs65,s22 地点で深度10~30m近傍が候補地として挙げられる。あるいは、粘土層と砂礫層が深さ 方向に交互に現れる地域、例えば同図のN146の深度100mより深い部分は、その 下流で粘土層が閉じている可能性が高いことから、蓄熱適正地として挙げられる。

しかしながら実際は？という、柱状図は提出されるものの、それには若干信憑性に欠けるきらいがある。なぜならば、柱状図は掘削作業を行いながら、その地形、掘削抵抗、採取した掘削層、掘削後の電気検層図などを総合して、かなり個人的主観を込めながら作図しているからである。従って、個人差が極端に現れる悩みが残り、全幅の信頼を置くことは出来ないのが現状である。作業員に対する更に厳しい資格試験の導入など、対策が急がれる問題である。

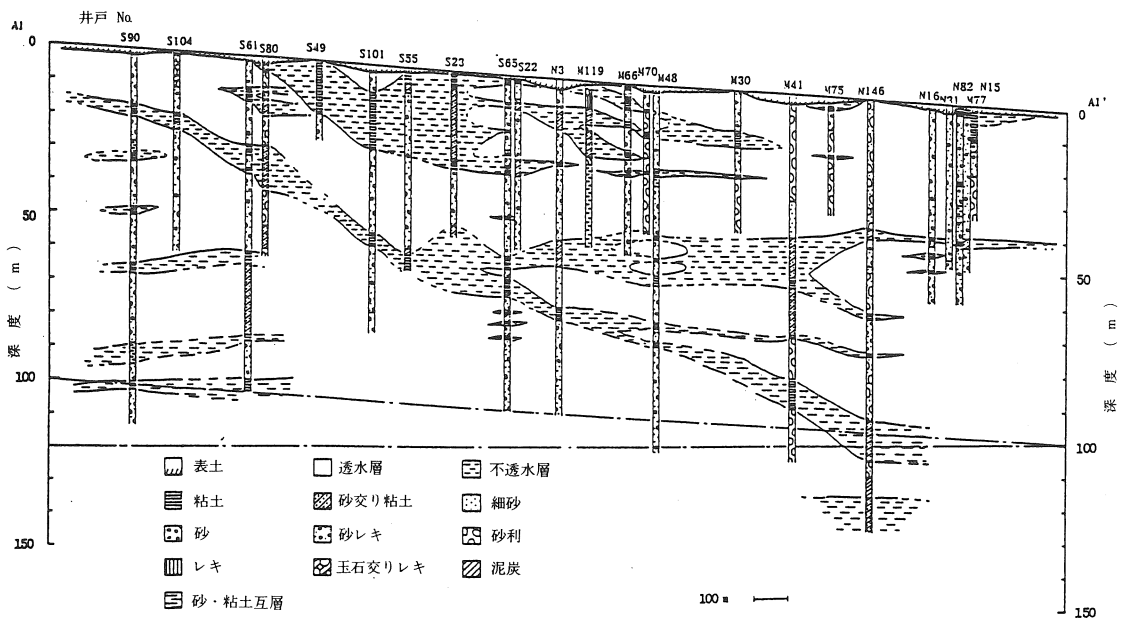


図 -15 米沢市街地の地下図

3 次選定—帯水層温度伝導率による選定—

1)二次候補地で小口径のボーリング及び電気検層を行い、正確な地質柱状図を作る。同図より、粘土層と砂礫層が幾重にも重なっている互層領域を探し、蓄熱領域を判断する。なぜならば粘土と砂礫の互層領域では、その下流で砂礫層が粘土層で包み込まれている可能性が高いからである。

2)蓄熱能力の有無を一層明確にするために、帯水層の見掛け温度伝導率を測定する。自然流が流れていれば、それは 10^{-5} (m^2/s)以上の大きな値となり、流れていなければ砂礫水充填層に近い値、 10^{-6} (m^2/s)程度を示すことから、見掛け温度伝導率 a_0 の大小で蓄熱能力を判断することが出来る。

なお、見掛け温度伝導率の測定に先だって、帯水層内の蓄熱領域を確認する予備実験を行った方がより確実である。すなわち、温度一定の温水をステップ状に注入しながら、井戸深さ方向の温度分布を測定する。蓄熱領域は、ほぼ同じ温度を示すことから、どの程度の深さの帯水層に注入されるか？電気検層図および温度分布から判断することが出来る。そして、温度伝導率測定に当たっては、注入層のほぼ中央の深さに熱電対を設置して、温度変化を観測する。

4 蓄熱井の構造

蓄熱井の場所と使用する帯水層が確定したら、次は蓄熱井の建設である。蓄熱井の構造は図-16に示すように、基本的には一般井戸と変わらない。注意事項および作業手順を整理すると以下のようになる。

1)ボーリング口径を極力大きく（ケーシング管の2倍以上）取る。

2)十分な逆洗圧力の確保

ストレーナは、自然水位より10m以上、極力深い領域に設け、逆洗圧力勾配が30(kPa/m)以上を達成できるようにする。蓄熱井では十分な逆洗勾配をかけてストレーナ周囲に発生する目詰まりの破壊・洗浄作業を定期的に行うことが、最も重要である。

3)玉砂利ストレーナ

堀削孔とケーシングの空間のストレーナ領域に玉砂利を充填し砂止めをして帯水層の崩壊を防ぐ。

4)セメントシーリング

蓄熱領域は、上下不透水層に挟まれた帯水層である。上部不透水層とケーシングの間は、注入温水が漏れないようにしっかりとセメントでシーリングを行う。まず、玉砂利から1~3mの厚さになるように、濃いベントナイト層で目止めをした後、セメントを1~3mの厚さに注入・急速固化させる。その後、地表面までセメントあるいは、コンクリートを流し込む。これは、蓄熱帯水層と他の帯水層とを遮断すると同時に、ケーシングからの熱損失を押さえる断熱施工をも兼ねている。

5)揚水管の断熱

水中ポンプの逆止弁を取り外し、1本の管で揚水・注入を行うのが経済的である。揚水管外面は、発泡ウレタンのような断熱材で断熱する。

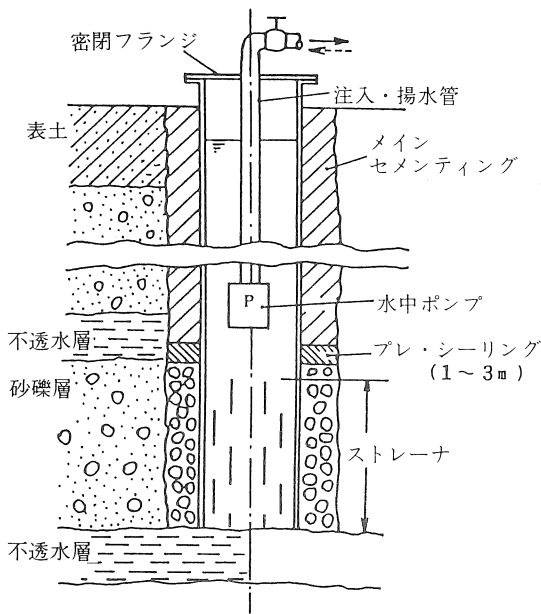
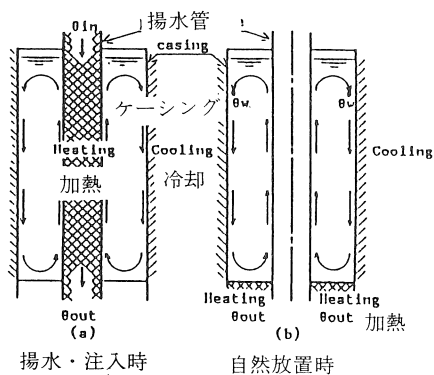


図 -16 蓄熱井戸構造



図 -18 揚水管の断熱作業



揚水・注入時

自然放置時

図 -17 蓄熱井の熱サイフォン

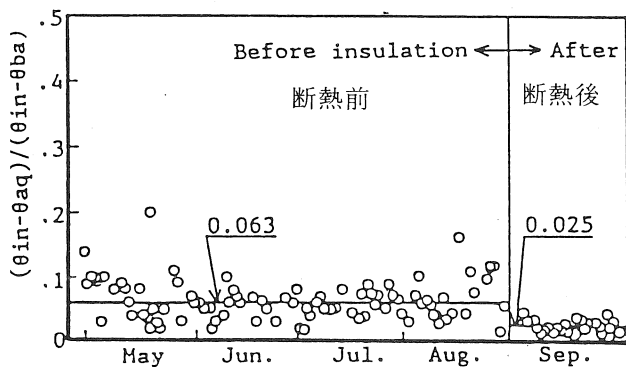


図 -19 揚水管の断熱効果

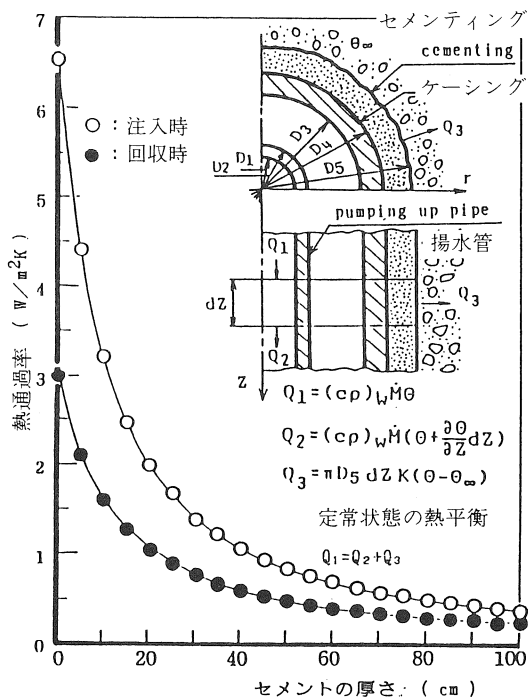


図 -20 ケーシング周りのセメンティング

これら4)5)の施工は、ケーシングを通した熱損失を押さえるための工法である。すなわち、地下水は一般に、50mより浅い帯水層をかなりの速度で流れていることが多い。図-17 に示すように、ケーシングの浅い部分は冷たい自然流に洗われる一方、注入・揚水時には、主に揚水管が、自然放置時には、井戸底部の蓄熱領域がそれぞれ熱源となり、ケーシング内部に熱サイフォン現象が現れる。最終的には揚水管とケーシング部分の熱通過率を小さくしない限り、ケーシングを通して浅層地下水流に絶え間の無い熱の流れ、すなわち熱損失が生じる。図-18 に示すように、試験的に揚水管を厚さ35mm の発泡ウレタン材で断熱してみた結果を図-19 に示す。この様な簡単な断熱施工により、熱損失を2/5に押さえることが出来る。また、ケーシング外面のセメントシーリングの断熱効果を概算し、図-20 に示す。図より、20cmの厚さにコンクリートを流し込む事により、熱通過率が1/3 に減少することがわかる。

5 蓄熱井の規模及び運転計画

注入・揚水量の最大値 M_{max} 、蓄熱井本数 n_w 及びケーシング半径 r_i は、以下の手順でその概略値を把握する。

- 1) 試験井戸の透水量係数 T 、帯水層厚さ b から帯水層の透水係数 $K=T/b$ を算定。
- 2) 式(10)より温度影響半径 $r_c=(2T\theta_a s x_0)^{1/2}$ から、水位影響半径 $r_\infty=2r_c$ を、推算。
- 3) 最大注入量 M_{max} の把握

注入水位が地表面まで上がって来たとき、注入量は最大になる。

半径 r_i のケーシングを使用するとしたとき、

$$\begin{aligned} r=r_\infty & \text{ で自然水位 } h=H, \\ r=r_i & \text{ で } h=0 \text{ であるから,} \end{aligned}$$

$$M_{max}=2\pi TH/\ln(r_\infty/r_i)$$

- 4) 蓄熱井 1 本当たりの最大蓄熱量 Q_{max} の推算 注入水は、押し込み流れであるから式(10)より、
注入温度到達半径 $r_h=(6a_s T_\theta)^{1/2}$ より、

$$Q_{max}=6\pi \lambda_s b T_\theta \Theta$$

- 5) 冬期需要熱量を Q_d とするとき、蓄熱井本数 n_w の決定

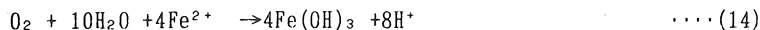
$$Q_d < 0.6n_w Q_{max}: n_w > Q_d / (0.6Q_{max}) \text{ より } n_w \text{ を定め、}$$

- 6) 蓄熱井半径 r_i の決定

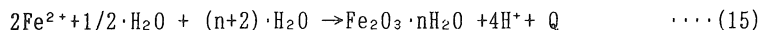
$$Q_d < 0.6n_w (C\rho)_w (2\pi TH/\ln(r_\infty/r_i)) \Theta \text{ より } r_i \text{ を定める。}$$

6 蓄熱利用システムと鉄コロイドダムの造成⁽¹¹⁾~ (16)

鉄コロイドダム 鉄イオンを含む水を帯水層に注入すると、帯水層内の溶存酸素と反応し、次式のように、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ コロイドを形成する。



また、ガリオネラなどの鉄バクテリアの活動でも次式のような鉄イオンの酸化作用がある。



これら、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ や $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{nH}_2\text{O}$ は、図-21 の顕微鏡写真に示すように、帯水層砂礫表面に成長し、やがて空隙をコロイド状物質が閉鎖する。したがって、鉄コロイドの成長に伴って、帯水層の透水係数は、次第に低下する。一方、鉄コロイドの機械的強度は、きわめて弱い。ガラスビーズ充填層を用いた室内実験によると、30(kPa/m) 程度の圧力勾配を加える事により、ほぼ100%の鉄コロイドが破壊・微細化されて流出する。

したがって、井戸から帯水層に鉄イオンを含む水を注入し続けると、図-22(a) に示すように、鉄コロイドが帯水層の井戸まわりに成長し、透水係数を低下させる。いわゆる井戸の目詰まり現象を引き起こす。

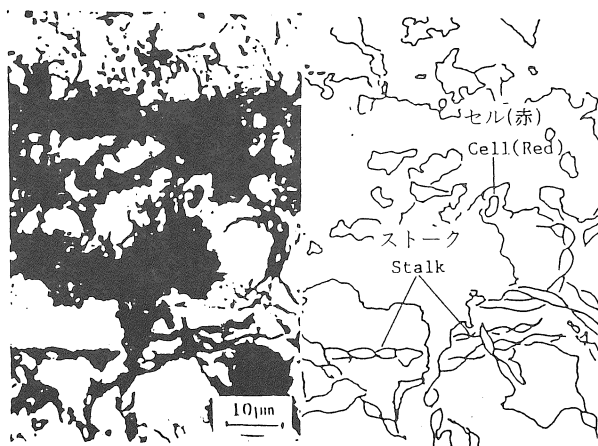


図 -21 鉄コロイドの顕微鏡写真

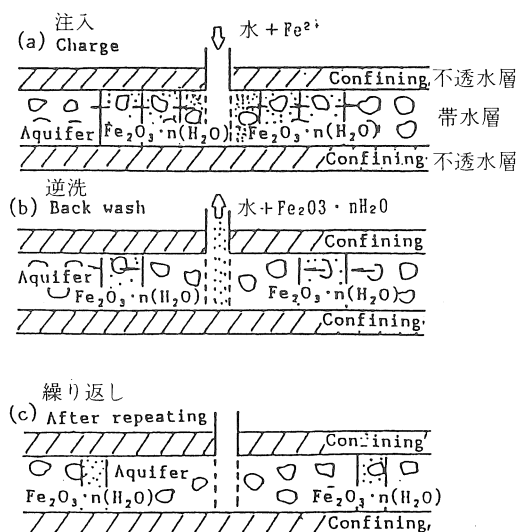


図 -22 鉄コロイドダムの形成モデル

ここで、井戸から揚水し、水の流れを逆転させると、図-22(b) に示すように、目詰まり部分には、強い逆水頭勾配が現れることから、鉄コロイドが破壊・除去されて、透水係数が初期値に回復する。一方、井戸から離れた地点では、水頭勾配がゆるやかなために、鉄コロイドは、そのまま取り残される。このような、注入井戸から揚水して目詰まり物質を除去し、透水係数を回復する操作を逆洗と呼ぶ。注入・逆洗をを繰り返すことにより、図-22(c) に示すように、井戸遠方に透水性の悪い鉄コロイドがドーナツ状に成長し、一種のダム働きをする。

帯水層見掛け温度伝導率の経年変化

鉄コロイドダムが形成されると、蓄熱領域内部の自然対流が抑制されるのと同時に、自然地下水流がそれを迂回して流れる。

室内模型帯水層で、第一鉄イオン水を用いて鉄コロイドダムを造成し、注入井まわりの見掛け温度伝導率を、地下水流速を変化させながら測定した結果を

図-23 に示す。横座標は自然地下水流速、縦座標は、見掛け温度伝導率である。○印は、コロイドダム造成前の地下水流速に対する見掛け温度伝導率の測定値であり、●印は、鉄コロイドダム造成後の測定値である。同図に、野外実験場の蓄熱井見掛け温度伝導率の測定例を示す。△印は、逆洗後（コロイドダムの破壊後）、▲印は逆洗前（コロイドダムの形成後）の測定値である。同図より、

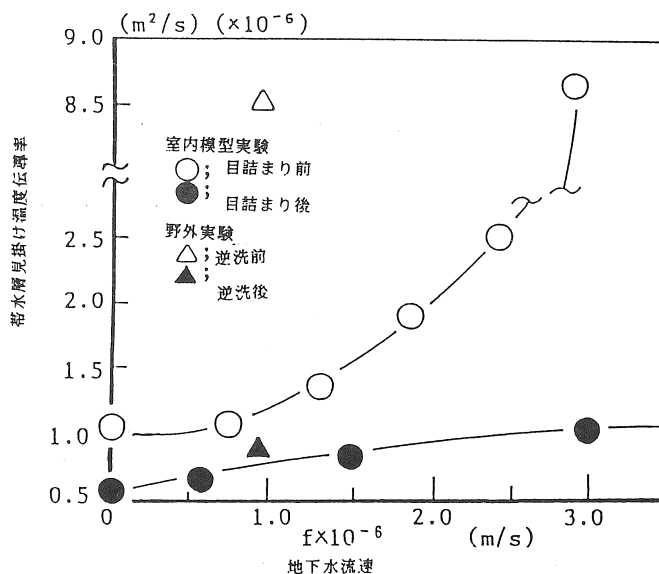


図 -23 帯水層見掛け温度伝導率と地下水流速の関係

帯水層の見掛け温度伝導率 a_e は、鉄コロイドダムが形成された後では、自然地下水流速の影響を受けることなく、静止帯水層の値を維持する事が読み取れる。図-24 に山形大学ソーラアクイファ蓄熱井の見掛け温度伝導率の経年変化を示す。測定は、注入時間 T_0 を夏期注入時間（4ヶ月約 10^7 s）とし、10～11月の自然放置期間の井戸内温度降下曲線から、見掛け温度伝導率を求めたものである。蓄熱実験開始後、5年目で、鉄コロイドダムの形成をうかがわせる。

他方、鉄コロイドの比抵抗値は砂礫層に較べると桁違いに小さいので、多量に鉄コロイドを含む砂礫層は電気探査でその存在を測定することができる。同所、蓄熱井周囲を電気探査で調査した結果、図-25 のような電気伝導率変化の分布であった。蓄熱井を中心として半径20m程度の鉄コロイドダムが形成され、蓄熱能力を向上させている。

以上の事実は、自然地下水流のある帯水層であっても、鉄イオン水の注入と逆洗操作の繰り返しにより、人工的に鉄コロイドダムを形成し、その蓄熱能力を改善することが出来ることを示唆している。

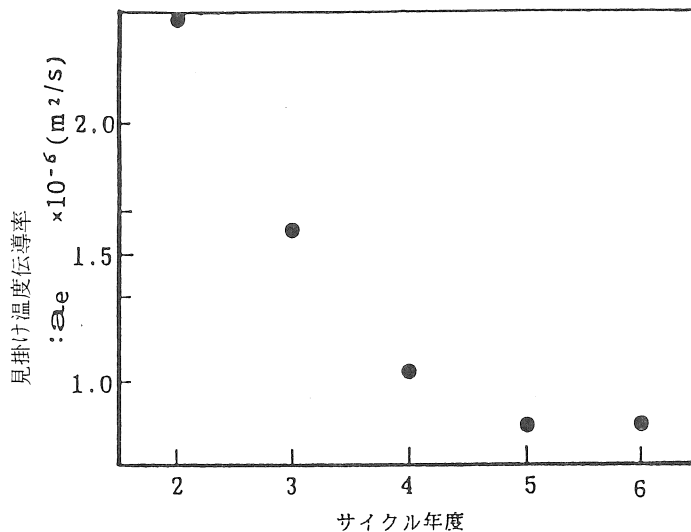
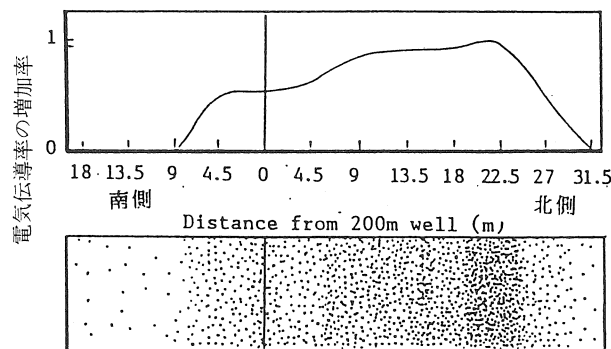


図 -24 見掛け温度伝導率経年変化

(山大ソーラアクイファ200m蓄熱井)



鉄コロイドの分布

図 -25 鉄コロイド分布

(山大ソーラアクイファ200m蓄熱井)

帯水層バイオフィルター⁽¹⁶⁾

逆洗で得られる鉄コロイドの顕微鏡観察によると、多孔質の塊が認められ、この物質が帯水層砂礫層の空隙に成長し、それを充填していることが推測される。しかも、このような多孔質層厚さが、半径20mにも成長するのであるから、視点を変えれば、大規模なフィルターとして機能する。更に、井戸内部にハロゲンランプあるいは太陽光を導入すれば、光を好む藻類がストレーナ近傍でフェルト状に繁殖し、注入水に酸素を供給する。図-26 に、実験室で光照射した充填層入口の目詰まり成分となる藻類の顕微鏡写真を示す。緑藻、藍藻そして珪藻が主である。特に珪藻は、図-27 に示すように、充填層内部にまで侵入し繁殖する。したがって、注入井は、ストレーナ近傍で、好気性微生物、帯水層深部で嫌気性微生物が繁殖して、一種のバイオフィルタが形成される。著者らは、これを、帯水層バイオフィルターと呼んでいる。室内模型実験によると、帯水層バイオフィルターの浄化作用は、図-28 に示すように、細菌をふくめ 0.1 μ m 程度の微粒子であれば、その除去が可能である。

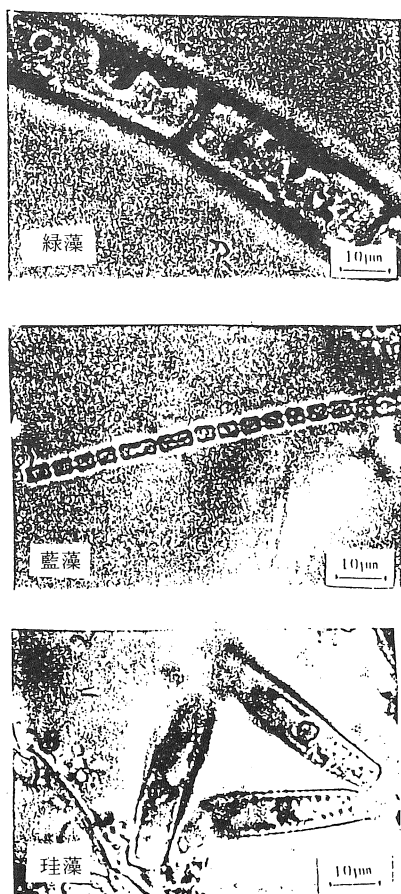


図-26 顕微鏡写真
(光照射充填層入り口近傍の緑藻、
藍藻、珪藻)

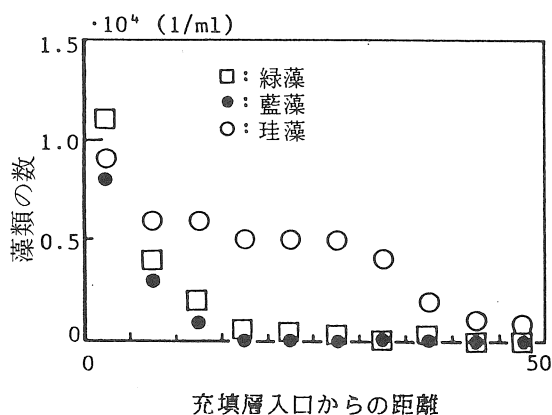


図-27 深さ方向の藻類分布 (光照射充填層)

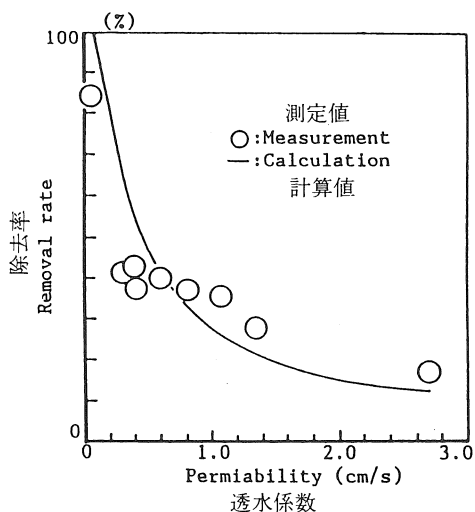


図-28 鉄コロイドによる微粒子の除去

固体微粒子の捕獲のほかに、微生物の増殖と消化作用により、水に混じっている有機物の除去作用も図-29 に示すように、目詰まりが進行して透水係数が初期値の1%以下になると極めて顕著である。透水係数が1/100に減少すれば、注入水量を確保するためには、フィルター面積を100倍に増加させなければならないが、これは、鉄イオン水の注入・逆洗を繰り返し、コロイドダム半径をケーシング半径の100倍にまで拡張することを意味している。ちなみに、直径300mmのケーシングを用いる場合、コロイドダム半径を15m以上に成長させて、使用を開始すれば、注入水の浄化をしながら帯水層蓄熱利用が可能であることを示唆するものである。

従って、自然エネルギーの利用に目を向ければ、図-30 に示すように、河川水を水源として地下水を涵養しながら、河川を大型ソーラーコレクターとして、夏の熱を冬に、また冬の熱を夏に活用する地下水の人工涵養と自然エネルギーの蓄熱利用システムも考えられる。

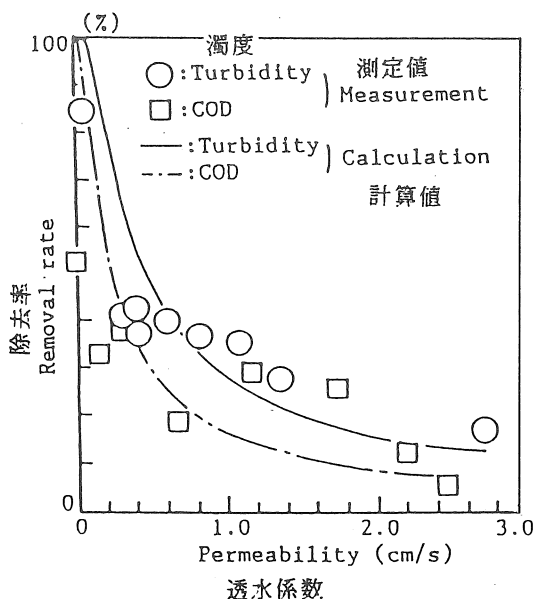


図-29 帯水層バイオフィルタのCOD除去

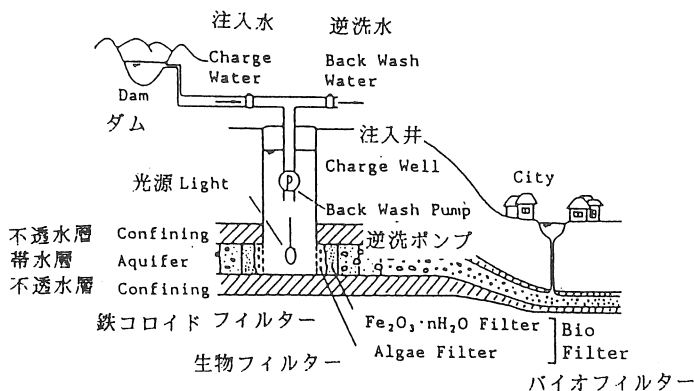


図-30 地下水の人工涵養と自然エネルギーの蓄熱利用

蓄熱井の運転計画

半径 r_i の蓄熱井が必要本数 n_w だけ建設された後、その運転計画を整理する。

- 1)連続揚水を行い、水位降下を来たさない安全揚水量 M_s を確認。
- 2)熱回収率 η を60%と見込んで、無次元注入量 ν の決定。

山形大学のソーラアクイファの実験値、図-4を用いると無次元注入量 $\nu=14$ が得られる。

- 3)注入量 M (m^3/s)の算出

$\nu=M/(4\pi a_w b)$ より、注入量 M を算出

安全注入量 M_s と比較。

$M < M_s$ である事を確認。

- 4)鉄コロイドダムの形成

時間的余裕があれば、蓄熱行程に入る前に、鉄コロイドダムを造成する。

注入水の鉄イオン濃度は、1~2ppm。鉄イオンの供給は、多数の鉄板を電極とした電気分解器を注入直前の回路に挿入するのが簡便である。水流に平行に置いた鉄板電極間距離をほぼ2mmとし、約0.2Vの直流電圧を印加するだけで良い。イオン濃度は、鉄板電極枚数及び印加電圧で調整する。注入継続に伴い、注入井水位が上昇、やがて、オーバーフロする。この時点で、注入停止。逆洗ポンプを作動させて、ストレーナ近傍の鉄コロイド除去・透水係数の回復を図る。再び、注入操作を継続する。ほぼ、100回の逆洗操作で、半径20m程度の鉄コロイドダムが造成される。

時間的余裕が無い場合、蓄熱利用をしながら、時間をかけてゆっくり造成する。この場合、鉄イオン濃度を、0.1~0.2ppm程度として、逆洗周期を2週間程度とすれば、約5年間で造成を完了する。

7 山形大学ソーラ・アクイファ

最後に国内の帯水層蓄利用システムの実施例として、図-31に、山形大学の自然熱利用を目指したソーラ・アクイファの回路及び地層図を示す。システムは、深さ、50mの西井戸(冷熱井)①と200m井戸(温熱井)⑧を、多数の伝熱管で、直列・並列接続したものである。

夏期回路(6月~9月) 夏期の温熱注入は、西井戸①より、蓄熱冷水(10~12℃)を揚水し、河川バヨネット型熱交換器②、地下水利用実験棟③、機械工場④、融雪道路を兼ねた道路型コレクター⑤、融雪屋根を兼ねた屋根型コレクター⑥を通し、最後に都市ゴミ焼却所を模擬した廃タイヤボイラー⑦で加温して200m井戸⑧に注入する。通水量 M は、 $2.5 \times 10^{-3}(m^3/s)$ 、温熱井⑧に対する無次元注入量 $\nu=12$ である。

自然放置期間(10月~11月)

冬期回路(12月~3月) 冬期は流れを反転し、200m井戸⑧より揚水した25~21℃の微温水を実験棟③、機械工場④の床暖房に利用し、その後、融雪道路⑤、融雪屋根⑥を通し、最後に河川バヨネット型熱交換器②に通水し、冬の河川水で極力温度を下げて、西井戸①に注入する。通水量 M は、 $2.5 \times 10^{-3}(m^3/s)$ 、無次元注入量は、西井戸①の見掛け温度伝導率が自然地下水流の存在で温熱蓄熱井⑧の10倍ほど大きいことから $\nu=1.2$ である。

自然放置期間(4月~5月)

温熱回収率は、図-4に示すように、60%を達成している。

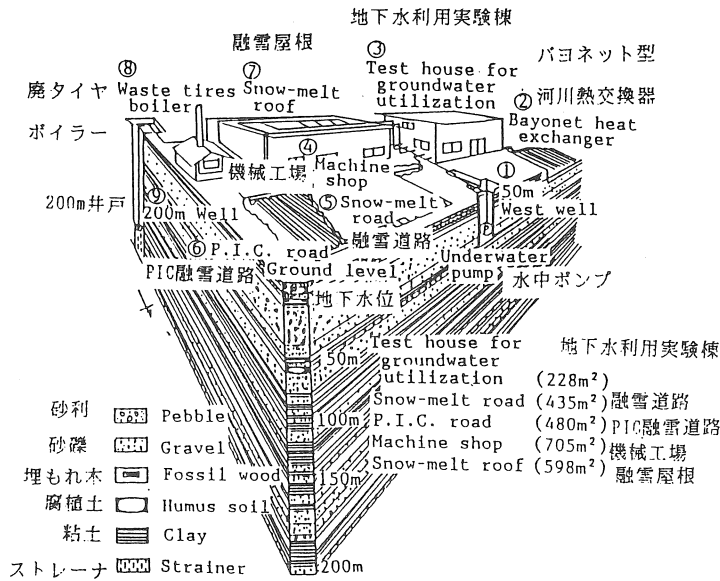


図 -31 山形大学ソーラアキュファ

参考例として、このシステムのエネルギー効率を整理し、表-1に示す。連続通水型の各種ソーラーコレクタの基本性能と、米沢市における代表的な年度の気象データを基にして、夏期注入温度を種々設定したシミュレーション結果である。表より、以下の事項が読み取ることが出来る。

- 1) 温熱注入量は、注入温度が低いほど増加する。これは200m蓄熱井の自然温度、16℃を温熱の基準温度としていることによる。
- 2) 冷房利用熱は、大幅な変化が無い。地域特性から、冷房需要が少ないことによる。
- 3) 注入水量は、注入温度が低いほど増加し、無次元注入量 ν を増加させる。
- 4) 従って、熱回収率は、注入温度が低いほど向上する。
- 5) 冬期回収熱量は、注入温度が低いほど多い。これは、熱回収率と同じである。
- 6) 暖房・融雪熱量は、注入温度が低いほど多い。融雪は、温度5℃以上で利用価値が有ることから、水量が多いほど融雪熱が増大する。
- 7) 従って、融雪需要の強い地域特性から、注入温度が低いほど年間利用熱（冷房＋暖房・融雪熱量）は増大する。
- 8) システム運転に要する年間電力消費量は、注入温度が低いほど、増大する。
- 9) 単純成績係数 \equiv （利用熱量）／（必要電力の単純熱換算）は、注入温度が増大するほど増加する。システムが自然エネルギーを熱源としていることから、注入温度が高いほど、注入水量が減少し、ポンプ動力が減少するからである。

- 10) 総合成績係数 \equiv (利用熱量)/(必要電力の発電効率を加味した熱換算)は、1を越える。注入温度が高いほど大きい。注入温度25℃で、1.93を達成する。
- 11) 残雪深日 \equiv 残雪深(cm)x日数(day)は、融雪能力を表す。注入温度が低いほど小さく、融雪能力が高い。注入水温度が25℃で、13.4(cm・day)を示し、雪障害は来さない。

以上、総合すると、米沢地区で自然エネルギーを熱源とする帯水層蓄熱システムでは、注入温度は、25℃近傍が適切である。各種ソーラ・コレクターに気泡が入らぬよう密閉回路を心がけ、ポンプ動力の削減が最大の課題である。

表 -1 運転シミュレーション(山形大学ソーラアクイファ)

1) 注入水設定温度 [℃]	20	25	30	35	40
2) 温熱量 [GJ]	2,074	2,067	1,925	1,777	1,623
3) 夏期利用熱(冷房) [GJ]	237	220	199	188	181
4) 注水量 [m ³]	55,562	41,825	32,278	26,566	22,306
5) 熱回収率 [%]	71.3	64.6	58.5	54.0	49.9
6) 冬期回収熱量 [GJ]	1,479	1,336	1,127	959	809
7) 冬期利用熱(暖房・融雪熱量) [GJ]	3,723	3,152	2,712	2,414	2,162
8) 年間利用熱 [GJ]	3,389	3,372	2,912	2,602	2,343
9) 年間消費電力 [GJ]	793	584	466	366	305
10) 単純成績係数 [-]	4.27	5.78	6.24	7.11	7.69
11) 総合成績係数 [-]	1.42	1.93	2.08	2.37	2.56
12) 残雪深日 [cm・day]	10.3	13.4	25.5	44.0	97.3

引用文献

- (1) 植野三男・小室秀一・新形俊治、地熱回収の基礎研究、昭和47年度山形大学工学部精密工学科卒業論文
- (2) Field experiments of solar energy storage and thermal use of aquifer
Proc.of 18th International Energy Conversion Engineering Conference vol-4(1983)1779
- (3) The direct utilization of the aquifer seasonal energy storage method for the space heating and snow-melting, Proc.of 21th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, vol-2(1986)689
- (4) 蓄熱地下水直接通水による冷暖房の研究、太陽エネルギー、13-4(1987)10
- (5) 地下帯水層蓄熱法の野外実験―熱回収率向上と経済評価、機械学会論文集、54-497(1988)178
- (6) 地下帯水層蓄熱法を併用した雪国のコ・ジェネレーション、
機械学会論文集B,55-520(1989)3794

- (7)無雪道路の熱設計に関する研究、機械学会論文集B,56-532(1990)3860
- (8)地下帯水層蓄熱システムの最適運転に関する研究、機械学会論文集B,57-534(1991)683
- (9)蓄熱地下水を熱源とした冷・暖房の研究(快適性を根拠とした熱ふく射設計)、
機械学会論文集 B,58-556(1992)3748
- (10)地下帯水層蓄熱法における蓄熱適正地の選定法、機械学会論文集B、54-507(1988)3272
- (11)地下帯水層蓄熱法におけるコロイドダム工法、機械学会論文集B、54-507(1988)10
- (12)Increment of the thermal recovery factor of the aquifer thermal energy storage
method-The construction of the colloidal dam in the aquifer,Proc.of the first KSME-
JSME Thermal and Fluids Engineering Conference,vol-1(1988)271
- (13)地下帯水層蓄熱法における鉄バクテリアの影響ーコロイドダム効果の野外検証、
機械学会論文集B、55-520(1989)3803
- (14)地下帯水層蓄熱法の基礎研究(蓄熱帯水層における鉄コロイドダムの検証) 、
機械学会論文集B,57-542(1991)3543
- (15)地下帯水層蓄熱法の基礎研究(鉄バクテリアの観察とバイオフィルタ効果)、
機械学会論文集B,58-556(1992)3754
- (16)地下帯水層流動蓄熱法の基礎研究(帯水層バイオフィルタの野外検証)、
機械学会論文集B,59-568(1993)3945

講

演

1. 北海道リハビリーにおける帯水層利用の現状

北海道大学工学部
中村真人

1. はじめに

人間・環境・エネルギーの立場から、経済成長と地球環境保護の両立を計るうえで、省エネルギー対策や非化石燃料の導入は有効かつ重要な課題であり、その一つとして未利用エネルギーの活用が考えられる。

未利用エネルギーは排熱系と自然系の大きく2つに分けられる。排熱系としてはごみ焼却場や下水処理場などの都市施設、地下鉄や冷凍倉庫などの特殊施設、冷暖房や照明などの建物内や木屑、古タイヤなどの建物外の未利用エネルギーが挙げられる。自然系としては河川水や海水などの水系、帯水層や土壌などの大地系、太陽光、風力などの未利用エネルギーが挙げられる。

これらの未利用エネルギーのなかで長期蓄熱に適しているものとして帯水層蓄熱、土壌蓄熱、岩洞蓄熱、槽蓄熱などが考えられる。このうち最も可能性のあるのは帯水層蓄熱である。ただし、どこにでも存在するのではないので、地域が限定されるという欠点がある。

夏に温排水を貯えて、冬に利用する温熱専用方式と、夏には温排水、冬には冷排水を貯えて利用する温熱と冷熱の兼用方式がある。本施設の特徴は実験用施設ではなく、実際に使用している施設であるということ、冬の温熱利用のみを対象にしていることである。

本施設はクリーニング工場を有することから、地下水を多量に汲上げ、温水を多量に消費する。そのため、地下の地質や帯水層の存在場所があら

かじめ推定できたことと、多量の温水をいかに安く製造するかが大きな課題であったことが、帯水層利用の動機と背景になっている。

温熱専用方式あるいは温熱・冷熱兼用方式のいずれにせよ、帯水層内の水はほぼ静止していて十分な容量があることと上下方向への熱損失が少ないことが必要である。

2. 施設概要

帯水層井戸を有する北海道リハビリーは、札幌市の南東約16km離れた石狩平野南部の札

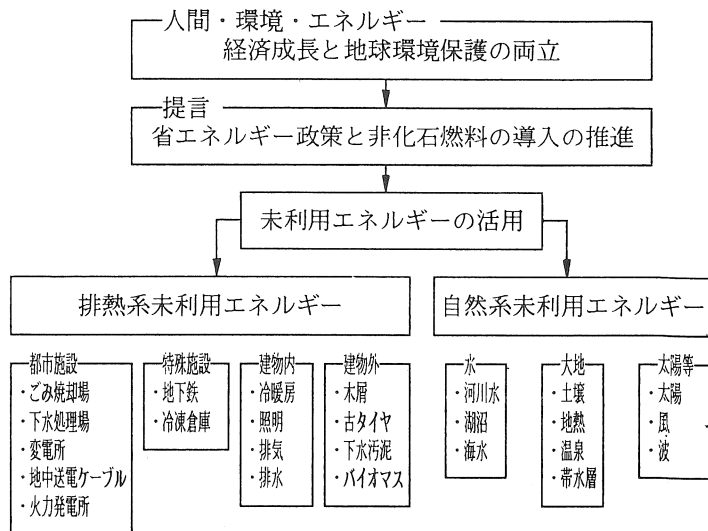


図1 研究の背景

幌郡広島町にある。本施設は約260名の身障者と約200名の健常者からなる授産施設であり、洗濯工場と印刷工場ならびに宿泊施設をもっている。図2に施設の建物および井戸の配置図を示す。建物の

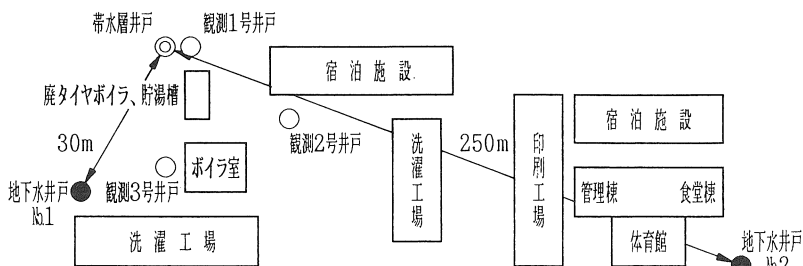


図2 建物および各種井戸の配置

延べ床面積は約11500㎡である。ボイラー室の横に帯水層井戸が掘られている。帯水層は93～97mの深さに存在するものと思われる。その周囲に観測井戸が3本掘られている。水の使用量は一日約600㎡であり、地下水井戸No.1から約200㎡/日、No.2から400㎡/日を揚水している。2本の地下水井戸は図2に示すように、帯水層井戸からそれぞれ30m、250m離れている。深さはそれぞれ160mと180mであり、十分深いことから帯水層と直接つながっていないものと思われる。

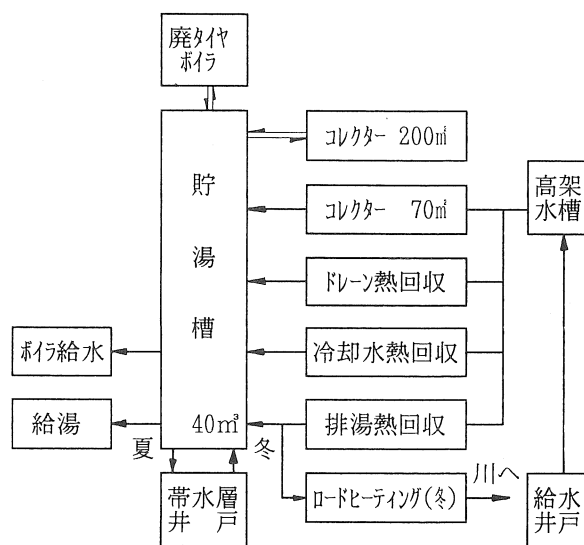


図3 装置の概要

洗濯用の給湯の使用量は一日約250㎡である。その温水は廃タイヤボイラ、太陽熱コレクター、洗濯排湯な

どからの回収熱量および帯水層からの汲上熱量によって賄われており、石油などの化石燃料は一切使用されていない。図3に給湯熱源の系統を、表1に装置の仕様を示す。温水は各種熱源を経由して40㎡の貯湯槽に集められ、廃タイヤボイラで60℃まで昇温され、洗濯工場に供給される。太陽熱コレクターは一般的な循環式が200㎡、簡易の給水予熱用が70㎡である。ドレン熱回収は洗濯用の蒸気の復水熱交換器で回収される。冷却水熱回収はドライ機を冷却するための水に地下にあるスパイラルコイルで熱交換を行うものである。排湯熱回収も同種のコイルを用いて熱回収される。

温水の一部は洗濯工場だけでなく、暖房と洗濯用の蒸気をつくるための重油焚ボイラーへの補給と身障者用道路融雪のために使われる。地下水は高架水槽に揚水され、3種類の廃熱回収用の熱交換器および太陽熱コレクターを並列に流して貯湯槽に流入する。貯湯槽の温水は廃タイヤボイラによってさらに昇温される。

帯水層への流入口は貯湯槽上部のオーバーフロー管付近にあり、夏の太陽熱コレクターなどから得られる余剰な温水が注入される。帯水層はオーバーフローの貯湯槽の役割も担っている。

表1 装置の仕様

	種類	内容	備考
熱源側	廃タイヤボイラ	BT-2型 伝熱面積 6.7㎡ タイヤ焼却能力 48~50kg/h 有効発熱量 180,000kcal/h	昭和56年設置 1日約70本のタイヤを焼却 9時~17時運転
	太陽熱コレクター	一般型 194㎡ 簡易型 70㎡	一般型(循環型) 1~12月 簡易型、給水予熱用 4~11月
	冷却水熱回収装置	スパイラルコイル	ドライ機冷却、貫流ボイラの廃品
	ドレイン熱回収装置	ドレイン熱交換器	洗濯用蒸気のドレイン
	洗濯排湯熱回収装置	スパイラルコイル 長さ360m×12台	貫流ボイラの廃品利用 そのうち3台は道路融雪用
	帯水層井戸	150A鋼管、深さ95m 揚水ポンプ 210ℓ/min, 5.5kw	夏期注入、冬期汲上げ 5,000~15,000㎡/年
供給側	洗濯排湯	水量約250㎡/日、水温60℃	すべて石油以外の熱源
	蒸気ボイラ用給水予熱	洗濯用蒸気重油ボイラの補給水予熱	洗濯用蒸気と暖房用蒸気は重油ボイラ
	道路融雪	長さ310m、幅1.7m	身障者車椅子用
その他	重油焚蒸気ボイラ	日立 蒸発量 5t/h 伝熱面積 81.8㎡ ハコダテ 蒸発量 5t/h 伝熱面積 80.7㎡	洗濯用蒸気、暖房用蒸気

3. 帯水層井戸の概要

帯水層井戸の構造、地質柱状図および電気検層図を図4に示す。比抵抗の曲線が帯水層の深さ95mのところできていることが分かる。その幅はおおよそ4m前後とみられる。ただし、上下の層は砂質粘土と砂の互層であり、帯水層との境界が明確に分離されているとは限らない。帯水層井戸は直径150Aの鋼管であり、40mmφの注入管、50mmφの汲上げ管および水中ポンプから構成されている。帯水層位置には20mの範囲でストレーナを取り付けている。温水は深さ44mの注入管から自然落下式で帯水層に注入される。自然注入による最大水量はおおよそ120ℓ/分とみられ、それ以上注入すると水位の上昇が止まらなくなる。一日の注入量は平均50㎡である。帯水層内の水の汲上げは揚水ポンプにて行う。一日の揚水量は平均40㎡である。なお、自然水位は時間帯や季節によって異なるが、おおよそ40mである。

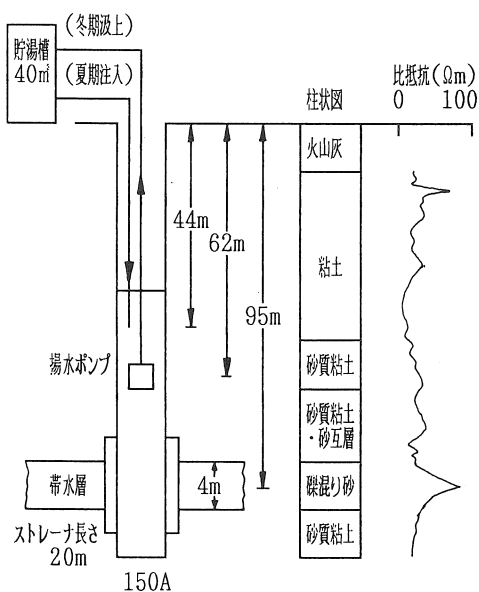


図4 帯水層井戸の概要

本施設の特徴は次のとおりである。

(1) 帯水層の位置が100m前後で深い。欧米の帯水層の深さは比較的浅く、10数mの場合が多いが、わが国では地盤構造および島国の特性から一般に深くなると言われている。

(2) 注入温度が40～50℃と比較的高い。帯水層内の熱損失を少なくし、蓄熱効率を高め、さらにはストレナーナの目詰まり防止のために注入温度をできるだけ低いことが望ましいと言われている。しかし、上記の欠点がなければ注入温度を高くすればするほど汲上げ時の利用価値が高くなることは言うまでもない。本施設においては50℃以上の温度で注入しても、よい結果が得られている。

(3) 注入と汲上げを複数の井戸で同時に行う循環方式ではなく、帯水層井戸は1本だけである。一本の井戸が夏には注入井、冬には汲上げ井の役割を担う。

(4) 目詰まり防止のため、一日に一回は逆洗を行っている。例えば、夏の場合一日50m³を注入し、朝に5～7m³を汲上っている。冬の場合はその逆である。したがって、短期的な地下蓄熱タンクの役割をも持っていることになる。

4. 水量、温度および熱量の測定結果

4. 1 帯水層の注入、汲上水量および温度降下

表2に1982年から1994年の約12年間にわたる期間別の注入水量、汲上水量、注入温度および汲上げ温度を示す。注入量、汲上げ量、注入平均温度および汲上げ温度はサイクルによって一定していない。システムの増改築に伴って温水の温度および流入量が変わったためである。第1、第2サイクルは予備試験の段階であり、注入量は3800～5300m³、注入平均温度は60～63℃である。第3サイクル以降の注入量は9000～15000m³、注入温度は38～

表2 期間別の注入・汲上げの水量および温度

サイクル	期間	月数	注入量 (m ³)	汲上量 (m ³)	汲上量 / 注入量	注入平均温度 (℃)	汲上温度 (℃)
第1	1982.05-1982.11	7(夏期)	5300	300	0.735	60.0	41.2⇒24.5
	1982.12-1983.05	6(冬期)	852	4200			
第2	1983.06-1983.10	5(夏期)	3873	1605	0.848	63.0	44.4⇒30.4
	1983.11-1984.01	3(冬期)	780	2340			
第3	1984.02-1984.10	9(夏期)	15459	1550	0.706	38.7	32.8⇒26.9
	1984.11-1985.04	6(冬期)	1492	10421			
第4	1985.05-1985.11	7(夏期)	10538	1236	0.897	43.2	32.5⇒30.0
	1985.12-1986.03	4(冬期)	693	8835			
第5	1986.04-1986.10	7(夏期)	14402	1405	0.561	46.9	45.2⇒32.5
	1986.11-1987.04	6(冬期)	475	6948			
第6	1987.05-1987.11	7(夏期)	9061	631	0.653	46.8	42.4⇒37.2
	1987.12-1988.03	4(冬期)	95	5344			
第7	1988.04-1988.10	7(夏期)	9361	441	0.653	46.1	43.1⇒36.7
	1988.11-1989.03	5(冬期)	273	5848			
第8	1989.04-1989.10	7(夏期)	9166	283	0.717	46.1	31 ⇒ 27
	1989.11-1990.04	6(冬期)	833	6888			
第9	1990.05-1990.11	7(夏期)	5014	1739	1.712	54.8	46 ⇒ 37
	1990.12-1991.05	6(冬期)	1912	10116			
第10	1991.06-1991.10	5(夏期)	6462	2927	1.868	46	40
	1991.11-1993.06	20	13945	35202			
第11	1993.07-1994.12	18	27848	12575	0.452	50	47

白抜きは予測値

45℃である。汲上水量は注入量よりも一般に少なく、その比率はサイクルによって異なるが56～90％である。汲上げ温度が貯湯槽の温度まで下がれば、汲上を中止するという運転を行っているためである。また、第9サイクル以降はシステムの増改築などにより、1年間1サイクルという運転は行われておらず、注入および汲上の期間も明確に分かれていない。注入水量は5000～28000m³、注入水温は予測値も含めて約50℃である。なお、井戸の逆洗を行うために、注入期間においても1日1回は汲上を行っており、逆に汲上期間においては注入を1日1回行っている。その比率は第3～第8サイクルにおいて約8％である。

注入水量、汲上水量、注入温度および汲上温度の経時変化を図5に示す。実線が注入水の温度、破線が汲上水の温度である。注入が終了した直後に汲上を開始するが、その交替直後に第1、第2、第4サイクルにおいて汲上げ温度はステップ上に急激に下がる。第5サイクル以降は連続的に変化し、その後日数とともに徐々に降下している。その降下温度差はサイクルによって異なる。安定した運転状態が得られる第8サイクルについて具体的な数値を挙げると、注入量は9166m³、汲上げ量は6888m³、注入量に対する汲上げ量の比率は0.72、注入温度の平均値は約46.1℃、汲上直後の初期温度は約31℃、6ヵ月後の終了時の汲上水温は27℃、その間の温度降下は僅か4℃である。帯水層からの汲上げ温度が貯湯槽と同じ27℃の段階で打ち切られているが、まだ、汲上能力があることを示している。

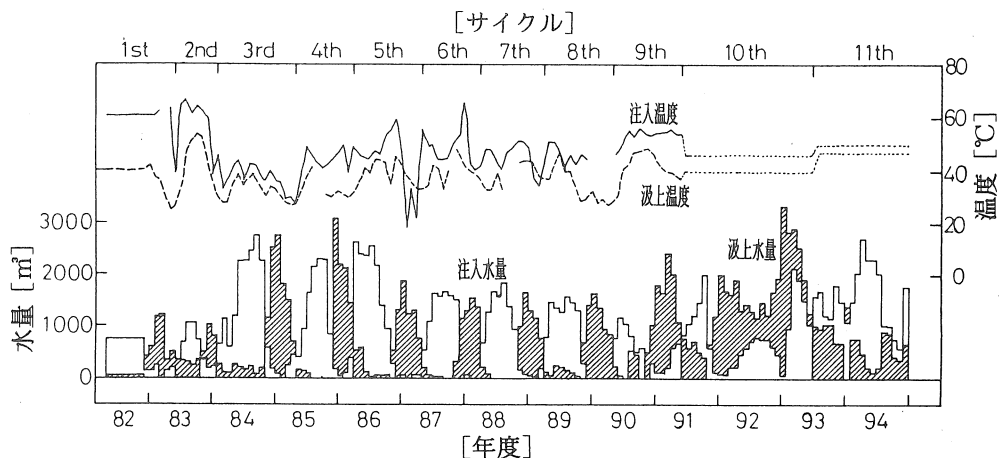


図5 注入、汲上げの水量および温度の経時変化

4. 2 注入熱量、汲上熱量および熱回収率

表3にサイクル毎の注入熱量、汲上熱量および熱回収率を示す。また、図6に月別の熱量および積算熱回収率を示す。本施設では、地下水を廃タイヤボイラあるいは排熱交換器によって加熱し、帯水層に注入していることから、熱量は自然地下水の温度を基準にして次の式から求めた。

$$\text{熱量} = \Sigma \text{水量} \times (\text{水温} - \text{自然地下水温度})$$

式中の水量および水温は毎日の測定値を用いた。

表より、注入熱量は注入量や注入温度と同じく、サイクルによって異なり、220～1030 Gcalの範囲にある。また、汲上熱量もサイクルによって異なり、90～1030 Gcalの幅にある。しかし、熱回収率に注目すると、第5および第8サイクルを除いて年々上昇する傾向にあ

り、1年目の31.7%から最終年の152.3%に増加している。第9および第10サイクルは汲上熱量が注入熱量よりも多く、100%を超えている。熱回収率は次式から求めた。

$$\text{熱回収率} = \frac{\text{冬期と夏期の汲上熱量の合計}}{\text{夏期の注入熱量の合計}}$$

積算熱回収率は注入期間には若干低下するものの上昇する傾向にある。各サイクルの熱回収率は汲上水量と注入量の比率に影響されている。第9および第10サイクルが100%以上と他のサイクルよりも高くなっているのは、注入量に対する汲上水量の比率が1.7と高いこと、また、第5サイクルが40.7%と低くなっているのは、汲上水量比が0.56と少ないことに起因するものと推察される。初年度からの積算熱回収率は第10サイクル終了時において64.7%であり、注入量の約6割以上が回収されたことになる。なお、いまのところ帯水層井戸の目詰まりは起こっていない。

表3 期間別の熱量および熱回収率

サイクル	月数	注入熱量 (Gcal)	汲上熱量 (Gcal)	熱回収率 (%)	積算熱回収率 (%)
第1	13	286.1	90.7	31.7	31.7
第2	8	223.1	107.4	48.1	38.9
第3	15	428.4	210.6	49.2	43.6
第4	11	341.9	184.7	54.0	46.4
第5	13	505.0	205.8	40.7	44.8
第6	11	309.4	160.5	51.9	45.8
第7	12	324.3	172.4	53.2	46.8
第8	13	312.4	132.4	42.4	46.3
第9	13	288.3	332.1	115.2	52.9
第10	25	673.4	1029.5	152.9	71.1
第11	18	1030.4	427.6	41.5	64.7

白抜きは予測値

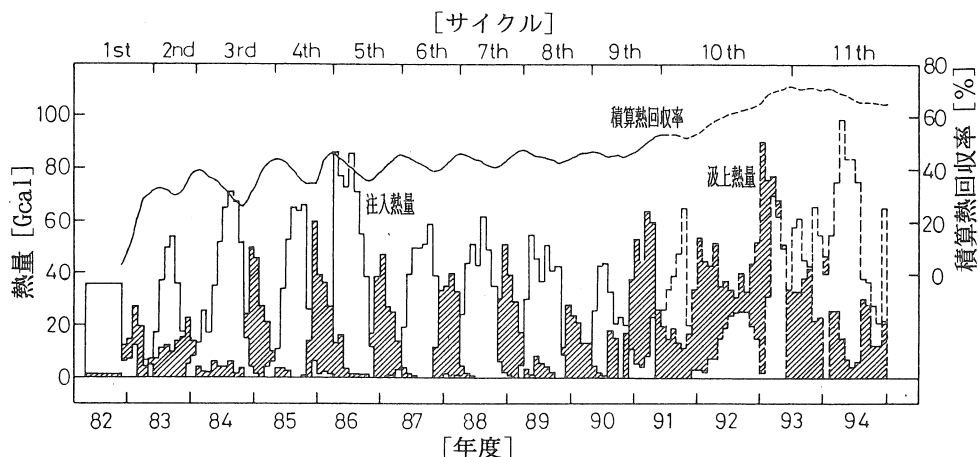


図6 月別の熱量および積算熱回収率

4. 3 帯水層井戸と観測井戸の温度と水位の時間変化

1985年10月27日から28日にかけての帯水層井戸および観測井戸における水位と温度変化の測定を行った。図7にその結果を示す。ここで、帯水層井戸および観測井戸の配置は図8に示すとおりである。観測1号井戸は帯水層井戸から3m、2号井戸は31m、3号井戸は23m離れた位置にある。温度観測点は95mの深さである。

一日の注入量は85m³であり、9時から18時まで注入を行った。注入温度の最高は約50℃、平均は45℃である。帯水層井戸の温度については、注入時間帯においては注入温度の変化に近い温度を示す。注入停止後は徐々に降下して、翌日には30℃にまで下がる。停止中の

温度降下は約15℃である。温度降下は帯水層の熱散逸および注入管からの熱損失などによるものである。帯水層井戸の水位は初め40mであったが、注入直後から徐々に上昇し、2～3時間後には27mまで上昇する。その後わずかに上昇する傾向にあり、15時には25mにまでになる。注入を停止した後は逆に2時間ほどで初めの40mまで下がり、以降は40mを維持する。

3m離れた観測1号井戸の温度は注入の有無によらず34℃で一定である。この周辺温度が帯水層内の汲上げ温度を支配していると言える。水位はほぼ帯水層井戸に追随するが、注入区間では2m程度低くなっている。停止区間では両者は一致し40mになる。

31m離れた観測2号井戸の温度は約11℃で一定しており、自然温度にほぼ一致する。また、水位にには変化はみられない。観測3号井戸についても同じことが言える。

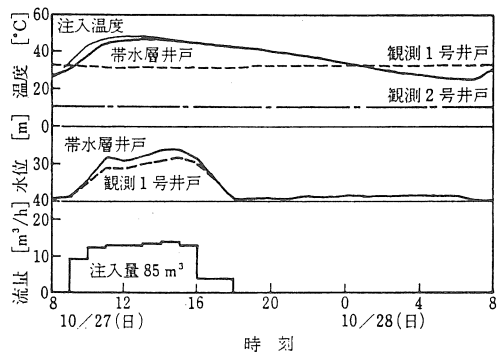


図7 温度、水位および流量の時間変化 (1985年10月26日～27日)

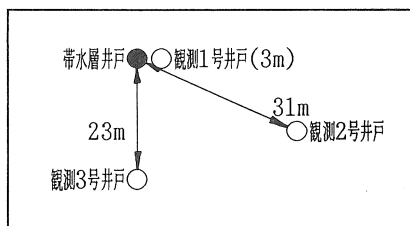


図8 観測井戸の配置

5. 給水量および熱量の内訳

1985年12月1日～1986年3月31日の冬期の給湯用給水量の内訳を図9に、給湯用の熱量比率を図10に示す。給水量は各機器に取り付けた流量計13台によって計測した。冬期88日間の総給水量は20550tonである。給水は各種熱交換器を経て、貯湯槽に補給される。給水内訳は帯水層からの汲上水量が最も多く41%を占めている。次いで、冷却水熱回収交換器30%、ドレン熱回収交換器16%、排湯熱交換器13%となっている。帯水層からの汲上量が給湯の最大の水源になっている。

給湯用の熱源比率は廃タイヤボイラによる加熱量が全体の44%を占めている。残りの56%の内訳は冷却水熱回収分が25%、

帯水層汲上げ分が19%、ドレン熱回収分が10%である。給水量内訳と同様に帯水層の熱回収分がかなりの割合を担っている。また、熱量比率で大きな割合を占めている廃タイヤボイラは1993年9月以降、活性炭製造プラントの建設に伴う温水供給により、運転されていない。

排湯熱回収13%	冷却水熱回収30%	ドレン熱回収16%	帯水層汲上げ41%
----------	-----------	-----------	-----------

1985.12～1986.3(230ton/日)

図9 冬期の水量内訳

排湯熱回収2%	廃タイヤボイラ44%	冷却水熱回収25%	ドレン熱回収10%	帯水層汲上げ19%
---------	------------	-----------	-----------	-----------

1985.12～1986.3(8.7Gcal/日)

図10 冬期の熱量内訳

6. 水質検査

1982年3月から1994年1月までの延べ12回にわたり水質検査結果を行った。表4に一般の水質検査結果を示す。検査項目は(亜)硝酸性窒素、塩素イオン、過マンガン酸カリウム、銅、鉄、マンガン、亜鉛、PH、臭気、色度および濁度の11項目である。すべての項

表4 一般水質検査結果

検査年月日 検査項目(基準値)	1982年 3月26日 検査水 注入水		1983年 3月19日 4月19日 汲上水 汲上水		1984年 7月18日 汲上水	1986年 5月7日 汲上水 注入水		1987年 6月12日 汲上水 注入水		1988年 1月28日 汲上水 注入水	
	(重)陽酸性窒素 (10mg/ℓ以下)	0.02	*	0.00	0.00	0.34	0.22	0.20	0.11	0.00	0.21
塩素イオン (200mg/ℓ以下)	4.0	14.0	4.9	5.3	5.7	6.7	6.4	6.9	8.4	6.4	6.7
過マンガン酸カリウム(10mg/ℓ以下)	6.5	*	5.0	6.7	2.5	2.1	1.8	5.4	3.2	2.7	4.0
銅 (1.0mg/ℓ以下)	*	*	*	*	0.01	0.01	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
鉄 (0.3mg/ℓ以下)	0.09	0.05	0.22	0.12	0.24	0.31	0.15	0.22	0.079	0.100	0.072
マンガン (0.3mg/ℓ以下)	0.06	0.12	0.05	0.05	0.01	0.04	0.02	0.037	0.030	0.035	0.037
亜鉛 (1.0mg/ℓ以下)	*	*	*	*	0.131	0.104	0.053	0.069	0.043	0.054	0.085
PH (5.6~8.6)	7.6	8.3	7.6	7.6	7.2	7.9	7.8	7.8	7.9	7.8	7.8
臭気 (異常でないこと)	地下水臭	*	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
色度 (5度以下)	6	*	7	8	5	2	2	2	2	3	3
濁度 (2度以下)	1	*	1	1	0	1	0	0	0	0	1

目の濃度はほとんど変わらない。ただし、汲上げ後の鉄の含有量は注入前に比べて若干高くなっているが、これは配管からの溶け出しによるものと思われる。表中の括弧内の数値は飲料水用の基準値であり、洗濯用水としてはまったく支障がないものと思われる。

表5は重金属などの健康阻害項目に関する水質検査結果である。検査項目は鉛、六価クロム、カドミウム、ヒ素、フッ素、カルシウム、マグネシウム、カリウム、シアンイオン、リン酸イオン、ナトリウム、塩素イオンM-アルカリ度および電気伝導度の15項目である。表中の括弧内の数値は許容値であるが、いずれの項目も不検出あるいはそれ以下であり、特に問題はないといえる。

表5 健康阻害項目水質検査結果

検査年月日 検査項目(基準値)	1983年 8月23日 汲上水	1984年 7月18日 汲上水	1986年 5月7日 汲上水	1987年 6月12日 汲上水	1988年 1月28日 汲上水	1994年 1月29日 汲上水
鉛 (0.1mg/ℓ以下)	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
六価クロム (0.05mg/ℓ以下)	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
カドミウム (0.01mg/ℓ以下)	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
ヒ素 (0.05mg/ℓ以下)	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
フッ素 (0.8mg/ℓ以下)	不検出	不検出	0.4	0.069	0.075	不検出
カルシウム (mg/ℓ)	11	13.6	18.6	16.5	16.6	11.7
マグネシウム (mg/ℓ)	7.3	8.3	8.0	7.1	7.99	4.94
カリウム (mg/ℓ)	5.9	4.6	4.2	5.3	5.8	4.82
シアンイオン (検出されないこと)	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
リン酸イオン (mg/ℓ)	0.5	0.56	0.47	0.35	0.26	0.91
ナトリウム (mg/ℓ)	10.0	11.0	9.5	10.0	10.3	11.5
塩素イオン (200mg/ℓ以下)	6.9	5.7	6.7	6.9	6.4	6.11
硫酸イオン (mg/ℓ)	2.6	6.3	不検出	3.4	0.37	2.03
M-アルカリ度 (CaCO ₃ mg/ℓ)	69	84	82.7	89.1	90.2	123
電気伝導度 (μS/cm)	165	210	195	180	180	169

表中の括弧内の数値は許容値であるが、いずれの項目も不検出あるいはそれ以下であり、特に問題はないといえる。

8. おわりに

12年間にわたる測定から得られた主な結果は次のとおりである。

- (1) 積算熱回収率は上昇傾向にある。第10サイクル終了時で約65%に達している。
- (2) 回収時における温度降下は比較的少ない。第8サイクルにおいて汲上温度は11月で約31℃、4月で約27℃であり、6箇月間の温度降下は約4℃である。
- (3) 帯水層井戸の目詰まりは今のところ起こっていない。

謝辞

本研究の測定にあたり、北海道リハビリーおよび北海道立地下資源調査所に協力を頂いた。また、山形大学梅宮弘道教授には丁寧なご教示を賜った。ここに、謝意を表します。なお、本報告は「帯水層の蓄熱効果に関する長期測定とその考察」（落藤澄・中村真人・長野克則・池永義啓・小端武治、空気調和・衛生工学会論文集、No. 50, 1992年10月）の論文より一部抜粋し、加筆してまとめ直したものである。

2. 温泉熱利用と建築設備

アド・エンジニアリング株式会社 平川 恵司
下田 一隆

はじめに

温泉ブームは、バブル経済時と比較すると僅かに下ったが、毎日のマスコミ報道にみられる様に、根強い人気を保っている。この人気の秘密は、安価で手軽に利用できる施設づくりにある様に思える。形態は従来の湯治場型のものからプール・サウナ・エステ等を取り込んだクワ的要素のものに移行してきている。

当社は、今年で会社創立10周年を迎え、一般建築設備設計の他に、温泉に関連する施設づくりにも力を注いできた。この10年間で、官庁・民間物件を問わず多くの実績をつくらせていただいたことは、今日ここに参加されている多くの方々の御指導の賜物でありこの場をかりて厚く御礼申し上げます。

温泉熱利用の設計をする場合に、特に気をつけていることは『温泉及び地下水は生き物である』ということで、生き物である以上貴重で寿命があり大事に扱わなくてはなりません。あまくみると湯量の減少・温度低下・スケールの発生等々のしっぺ返しを受けます。計画の段階で慎重を期しながら施設完成後の維持管理が本当に重要になります。ある町村の例で、保養センターが出来たおかげで医療費が少なくなったと言う話を聞きましたがすばらしいことだと思います。温泉は生き物だから新たな創造をするのかも知れません。

温泉施設設計の立場より、基本視点及び設計事例を紹介させていただきます。

1. 温泉と法律

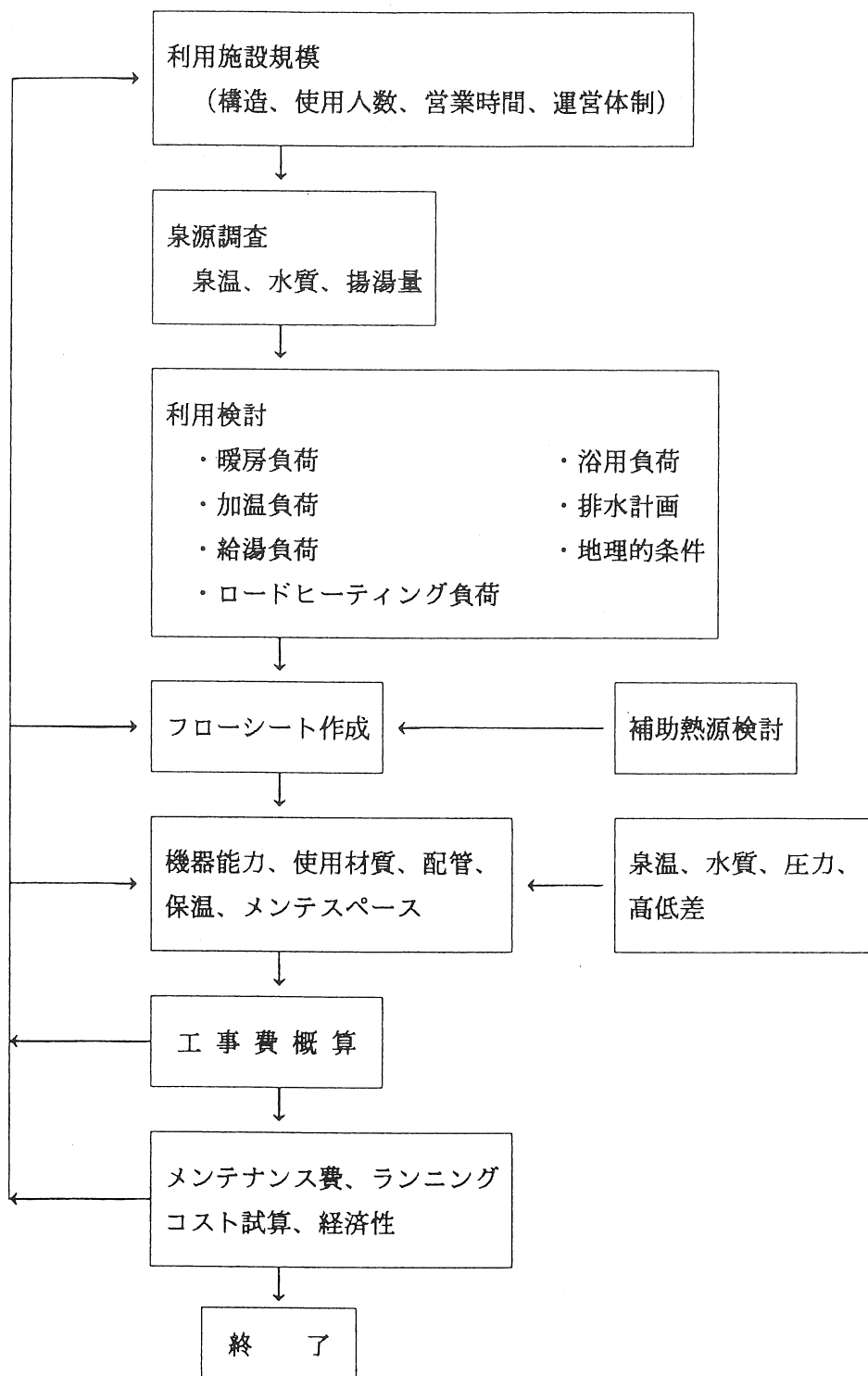
(1) 温泉関連

- 温泉法 ～ 温泉を保護し、その利用の適正を図り、公共の福祉施設の増進に寄与する。
 - イ) 掘削許可
 - ロ) 許可の取消し
 - ハ) 動力装置の設置
- 二) 温泉の利用
- ホ) 地域の指定
- ヘ) 温泉・温泉源の意義
- 温泉法施工令
- 温泉法施工規則
- 温泉法施工細則 } 申請方法について、詳しく述べられている
- 北海道温泉保護対策要綱 温泉保護とその地域
- 保護地域等における規制
 問い合わせ窓口各地域の保健所 → 道

(2) 建築関連

- 建築基準法 ～ ふれられていない。
 温泉を利用した場合は建築設備になる。
 建築設備とは、建築に設ける電気ガス・給水・排水・換気・暖房・冷房・消火・排煙若しくは汚物処理の設備、又は、煙突・昇降機若しくは避雷針をいう。
 即ち、温泉を浴用・暖房・換気等に利用した場合には、建築関連の法規に抵触する。
- 公衆浴場法 ～ 水質 (保健所)
- 下水道法 ～ 水質・水温 (各市町村)
- ビル管理法 ～ 室内環境 (保健所)
- 水質汚濁防止法 ～ 放流水質 (保健所)
- 河川法 ～ 河川作工物 (国・道・市町村)
- 道路法 ～ 道路横断 (国・道・市町村)

2. 基本設計フローシート



3. 温泉熱利用温度

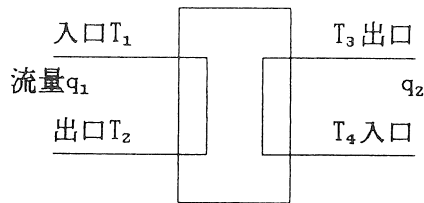
用途	目的温度	温泉熱利用最低目安温度					
		100℃	80℃	60℃	40℃	20℃	0℃
吸収式冷凍機	熱源水 80～95℃		○ 85℃				
空調機	空気温 30℃				○ 50℃		
一般暖房	室温 15～25℃				○ 50℃		
床暖房	室温 18～22℃					○ 35℃	
給湯加温	水温 45～60℃				○ 50℃		
浴用	水温 40～45℃				43℃	25℃	
					○	○	
プール加温	水温 27～30℃				35℃		
					○		
ヒートポンプ	熱源水 10℃以上						15℃
							○
ロードヒーティング	路面 3～5℃						15℃
							○

温泉熱の有効利用はエネルギーの法則により、湯量・水質を念頭に入れ、装置として利用する温度の高いものより順次利用していくということになる。

施設の熱負荷特性は、季節・時間的に変動するものであり、バックアップの熱源対応が確立されているならば、浴用利用は、再加熱で一時的にまかなう位の発想が必要と思われる。

4. 設計上よく使用する概略値

直接暖房	120Kcal/hm ²	(外断熱、RC造)
”	40~60Kcal/hm ²	(内断熱、RC造)
換気負荷	25Kcal/hm ²	(一般居室)
床暖房	60~80Kcal/hm ²	
給湯量	60~80ℓ/人	(公衆浴場)
”	150~200ℓ/人	(ホテル・旅館)
”	150~200ℓ/人	(病院・老健施設)
”	8~12ℓ/人	(事務室)
浴槽加湯温	500~600Kcal/hm ²	(内風呂、冬)
”	2500~3000Kcal/hm ²	(露天風呂、冬)
浴槽回過回数	2~3回/h	
プール加温	250~300Kcal/hm ²	(内プール、冬)
”	1000~2500Kcal/hm ²	(外プール、冬)
プール回過回数	6~8回/日	
ロードヒーティング	200~250Kcal/hm ²	
熱交換器	プレート式の場合	



$$T_1 - T_3 > 5 \quad q_1 / q_2 < 3$$

$$T_2 - T_4 > 5 \quad q_2 / q_1 < 3$$

材質 配管・バルブ関係は、極力樹脂性のもを選ぶ

5. 事例紹介

ここでは、公共施設の集中によって高度な熱利用を行なっている東藻琴村、低温の温泉と自噴の温泉を有効に保養センターとディサービスで利用している戸井町、旅館や一般住宅に温泉を供給する事業を行なっている壮瞥町、各種公共施設で利用した温泉廃湯を使用して大規模な歩道ヒーティングを行なっている小清水町の事例を紹介します。

(1) 東藻琴村

□施設概要

平成2年度に掘削した泉源、ナトリウム-塩化物泉、52.3℃、565ℓ/minを用いて、平成3年度に既設の役場庁舎・消防署・多目的改善センターの暖房、既設海洋センタープールの加温及び暖房、新築の特別養護老人ホーム・ディサービスセンターの暖房・給湯・浴用及びロードヒーティングに利用した。さらに、平成6年度には、生涯学習センターの暖房及びロードヒーティングに利用し、平成7年度には、老人福祉センターの暖房・給湯・浴用及びロードヒーティングに利用される予定である。

(なお、施設概要詳細については下表参照、温泉熱利用については、フローシート参照)

東藻琴村利用施設概要表

施設名	規模及び構造	温泉熱利用状況
役場庁舎、消防署、多目的改善センター (既設)	RC造(内断熱) 2階建 延床面積≒3,854㎡ ボイラー施設有	中間期及び日中の暖房 熱交換器 180,000Kcal/h
海洋センタープール (既設)	鉄骨ビニール被覆 延床面積≒874㎡ 大人プール 325㎡ 小人プール 60㎡ ボイラー施設有	5～10月プール利用 プール加温、プール室内暖房 熱交換器 100,000Kcal/h×2基 冬期間は、プール凍結防止のため加温。一部暖房利用

施設名	規模及び構造	温泉熱利用状況
特別養護老人ホーム (既設)	RC造平屋(外断熱) 延床面積≒2,652m ² 定員 54名 日帰り 40名 職員 15名 ボイラー施設有	床暖房、給湯加温 浴用≒10m ³ ロードヒーティング 熱交換器 180,000Kcal/h " 225,000Kcal/h " 105,000Kcal/h " 38,400Kcal/h
生涯学習センター (既設)	RC造2階建(内断熱) 延床面積≒990m ² ボイラー施設なし	床暖房、ファンコン暖房 ロードヒーティング 熱交換器 216,000Kcal/h " 12,000Kcal/h
老人福祉センター (建設中)	RC造平屋(外断熱) 延床面積 1,150m ² ボイラー施設有	床暖房、給湯加温、浴用、 ロードヒーティング 熱交換器 225,000Kcal/h(概) " 20,000Kcal/h(概)

□設計上のポイント

多くの施設の熱利用を有効に行なうためには、それぞれの負荷に必要な温度レベルに合わせて温泉を供給する必要がある。そのため、温泉の配管を高温と低温の2系統とした。パネルヒーターやファンコンベクターは、高温系統を使用し(利用後は、低温系統へ供給)、床暖房やプール加温、給湯の補給水加温の利用には低温系統を使用した。ロードヒーティングには、それぞれの施設で熱利用した温泉の廃湯を利用しているが、更なる熱利用のため、廃湯系統を新設中である。

送水ポンプは、4台設置して末端の廃湯温度による台数制御を行ない、省電力及び省温泉につとめている。

□利用状況

平成7年2月2日に調査した結果をフローシートに示す。送湯ポンプは2台運転で、特別養護老人ホームでの温泉廃湯温度は39℃、最終廃湯温度は4℃であった。生涯学習センターの床暖房送水温度は48℃、床面温度は38.3℃、室温は23.4℃であった。また、特別養護老人ホームの床暖房送水温度は44℃、床面温度32.2℃、室温は23.6℃であった。39℃の廃湯温度は少し高いようだが、当日は役場庁舎・消防署・多目的改善センターの暖房をボイラーで行っていたのと、特別養護老人ホーム・ディサービスの給湯補給水加温負荷がかかっていなかったためと思われる。

この施設群は、熱利用的には直列的につながっているため、各施設ごとに負荷が変化し、下流では温泉送水温度がかなり変動すると思われる。その変動を吸収するにはバッファ的な温度別水槽・蓄熱槽を設置し、電動弁を使って送水温度による温泉の振り分けを行なう等各種方法が考えられるが、コスト対効果の点や管理・メンテナンスの点や泉源の流量や温度の将来的な変動への対応も含め、方法を決定する必要がある。

(2) 戸井町

□施設概要

平成4年度に掘削した泉源、単純泉（低張性弱アルカリ性温泉）38.5℃、300ℓ/min（自噴25℃、50ℓ/min）を用いて、平成5年度に保養センター（ふれあい遊湯館）1033㎡とディサービスセンター556㎡の暖房・給湯加温・浴用に利用している。（温泉熱利用については、フローシート参照）

□設計上のポイント

浴用がメインの施設で若干低めの温泉温度をいかに生かすかという点と、自噴をどう生かすかという点が設計上のポイントであった。浴用については、汙過循環による加温を行ない、泉質が単純泉であるので給湯も温泉を加温して使用した。暖房については、低めの温度でも利用できる床暖房を主とし、補助的にボイラー熱源によるパネルヒーターや加熱コイルを使用している。また、床暖房系統にも

温泉熱で足りない場合のみバックアップが入るようにしている。

また、床暖房用温泉ポンプは、熱交換器出口の温度によるインバーター制御をし省電力及び省温泉につとめている。

自噴については、泉源に専用水槽を設けて貯水し、施設の雑用水として利用した。

□利用状況

この施設は、平成6年5月にオープンしたばかりで、データ等はまだ収集中である。

保養センターの方では利用者数が10万人を突破し、関係者も喜んでいる。デイサービスの方もかなり利用され、町の医療費削減に貢献しているようである。

戸井町では、この付近一帯を「町民ふれあいの里」として、事業展開する予定でオートキャンプ場・公園・露天風呂の新設や、温泉廃湯を利用した園芸ハウスも検討中である。

(3) 壮瞥町

□施設概要

壮瞥町蟠溪地区は、温泉組合によって管理される温泉引湯設備により、旅館・保養所・共同浴場・個人住宅へ温泉を供給していたが、平成2年度に新泉源がボーリングされ、また、管理主体が温泉組合から壮瞥町に移行するのを機に、現設備を新設することとなった。新設備の概要は、平成2年度泉源・組合泉源・国有泉源・河川泉源の4つの泉源より送水し、新設ミックスタンク40m³に貯湯し、そこから、常時循環ループ方式でポンプで圧送し、各需要家へ供給する。(フローシート参照)なお、需要家は、旅館等が7戸・一般住戸が20戸、配管総延長は1926mである。

□設計上のポイント

以前の設備では、末端の需要家への供給温度が低下したり、ピーク時には一部で供給圧力の低下がみられていた。また、各需要家の利用も主に浴用のため（一部は暖房にも利用している）、需要の変動も大きいと予想される。

そこで、末端の送水温度を65℃以上に設定し、管路での温度低下と送水量のくり返し計算を行ない、ミックスタンク送水温度71℃、最低循環水量150ℓ/minと決定した。また、枝管の長い管路には電磁弁を設け、管路内温度が低下した場合に放流させ、最低送水温度65℃をクリアさせた。また、需要の変動に対応するため、主送水ポンプを返りの流量による比例インバーター制御をかけ、最低循環量を確保するとともに、省電力にもつとめている。

各送水ポンプは、それぞれ2台設置し、故障時には警報を出して自動的切替わる制御をかけている。

ミックスタンクの水位制御並びに温度制御は、水位低下時に各泉源ポンプが同時に送水するようにし、その混合温度が71℃以上になるように各ポンプ流量を調整した。また、温度低下時には、高温泉源よりの供給をうける制御をした。

警報は、町所有のふれあいセンター管理室に集中させ、そこで各ポンプの運転監視、並びに主管の送水量（往・返り）、送水温度（往・返り）、ミックスタンクのレベル表示及び記録を行なっている。

□利用状況

平成6年度より供給を開始したが、今のところ順調に運転されている。

また、温泉浴用施設の誘致にも成功している。

平成7年2月7日に調査した結果は、送水量：行き384ℓ/min、返り169ℓ/min、送水温度：行き82.5℃、返り80.5℃であった。送水温度が高いのは、温度の低い河川泉源系統のオン・オフの周期が予想以上に長く、凍結のため使用不可能となったためである。

温泉系統の凍結は、初めてであった。対策としては、凍結防止用電気ヒーター（サーモ付）を入れる必要がある。

また、管路の温度低下については、予想最大値で2.5℃を下回って2℃となっている。主送水ポンプのインバーター制御の効果は、電力料金からみると制御なしの場合より約33%減となった。

また、管理者からは、ミックスタンのレベル表示の評価が高かった。事前に対策を打つことが出来、かつ、過去の追跡調査も行なえるとのことであった。

(4) 小清水町

□施設概要

昭和56年度よりNa1泉源（ナトリウム塩化物泉）54.2℃、353ℓ/minを用いて、多目的センター1242㎡の暖房、農業者トレーニングセンター1655㎡の暖房、温泉浴場（風呂16㎡）の浴用、町営プール375㎡の加温及び一般浴場への供給に利用してきた。平成3年度にNa2泉源（ナトリウム塩化物泉）51.8℃、670ℓ/minのボーリングに成功し、平成6年度より、温泉浴場を建て替え温泉保養施設「ふれあいセンター」2910㎡の暖房・給湯・浴用と揚湯量の低下したNa1泉源のバックアップに利用している。同時期に周辺道路の整備が行なわれるのを機に、温泉廃湯を利用した歩道ヒーティングを行なっている。

なお、温泉廃湯はトレーニングセンターとふれあいセンターの2ヶ所より供給し、歩道ヒーティング面積は2568㎡である。

□設計上のポイント

ここでは、温泉廃湯利用のロードヒーティングにしぼって述べる。当初は、試験的に計画されたものだったので、いかに安く行なうかがポイントであった。そのため、温泉廃湯を熱交換しないでそのまま使用し、管種は安いポリエチレン管を使用して歩道下に埋設し、ポンプ圧送し、末端でそのまま放流することとした。温泉水を直接流すので、バルブ・ヘッダー等は耐腐食性を考えて樹脂性とし、配管は清掃できるように簡単に着脱可能とし、腐食しやすい継手部分は、簡単に交換できるようU字側溝内に設置した、布設ピッチは250mmである。

□利用状況

かなりの部分は、満足しうる状態であった。

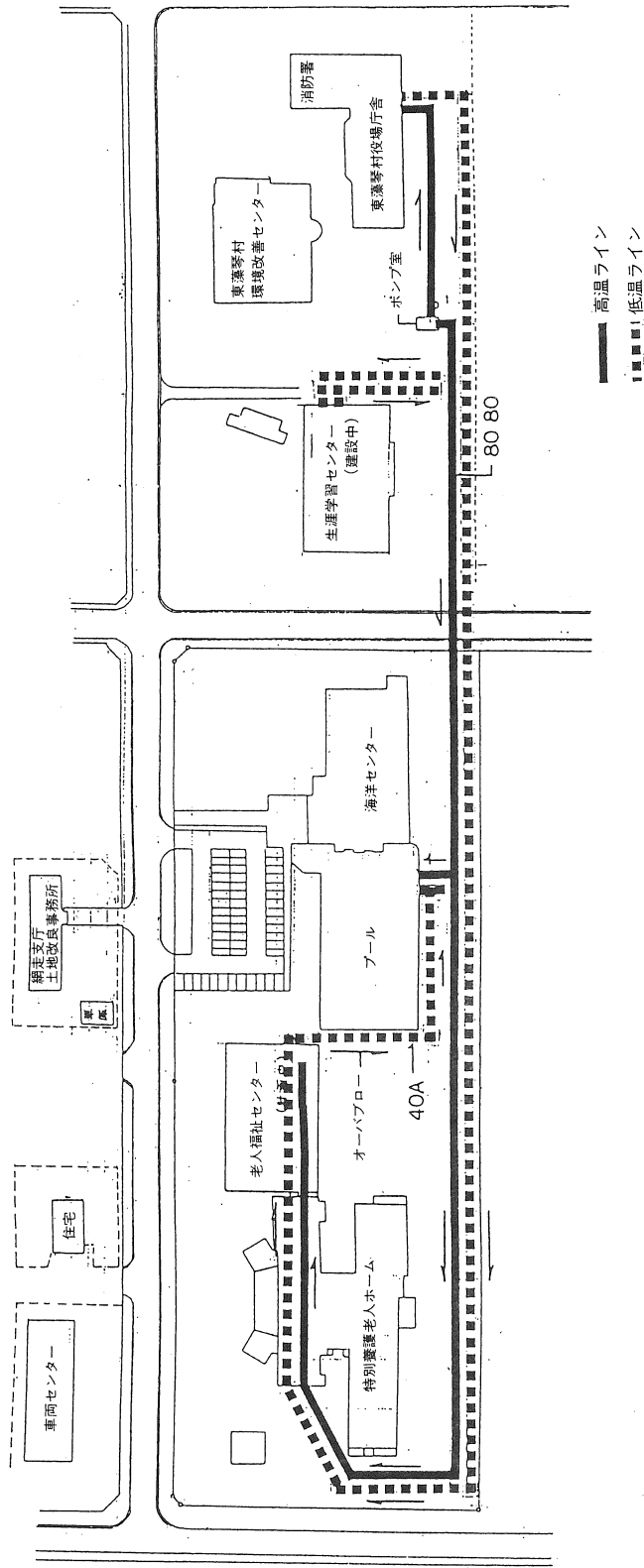
温泉排湯温度は、始発が38～42℃、末端では16.4℃であった。

(詳細は、別紙グラフ参照) 以上より、ロードヒーティングへの熱供給量は平均で220Kcal/hm²となった。

おわりに

講演の機会を与えてくださった、北海道立地下資源調査所・北海道地質調査業協会・(社)全国さく井協会北海道支部並びに関係市町村の各位に厚く御礼申し上げます。

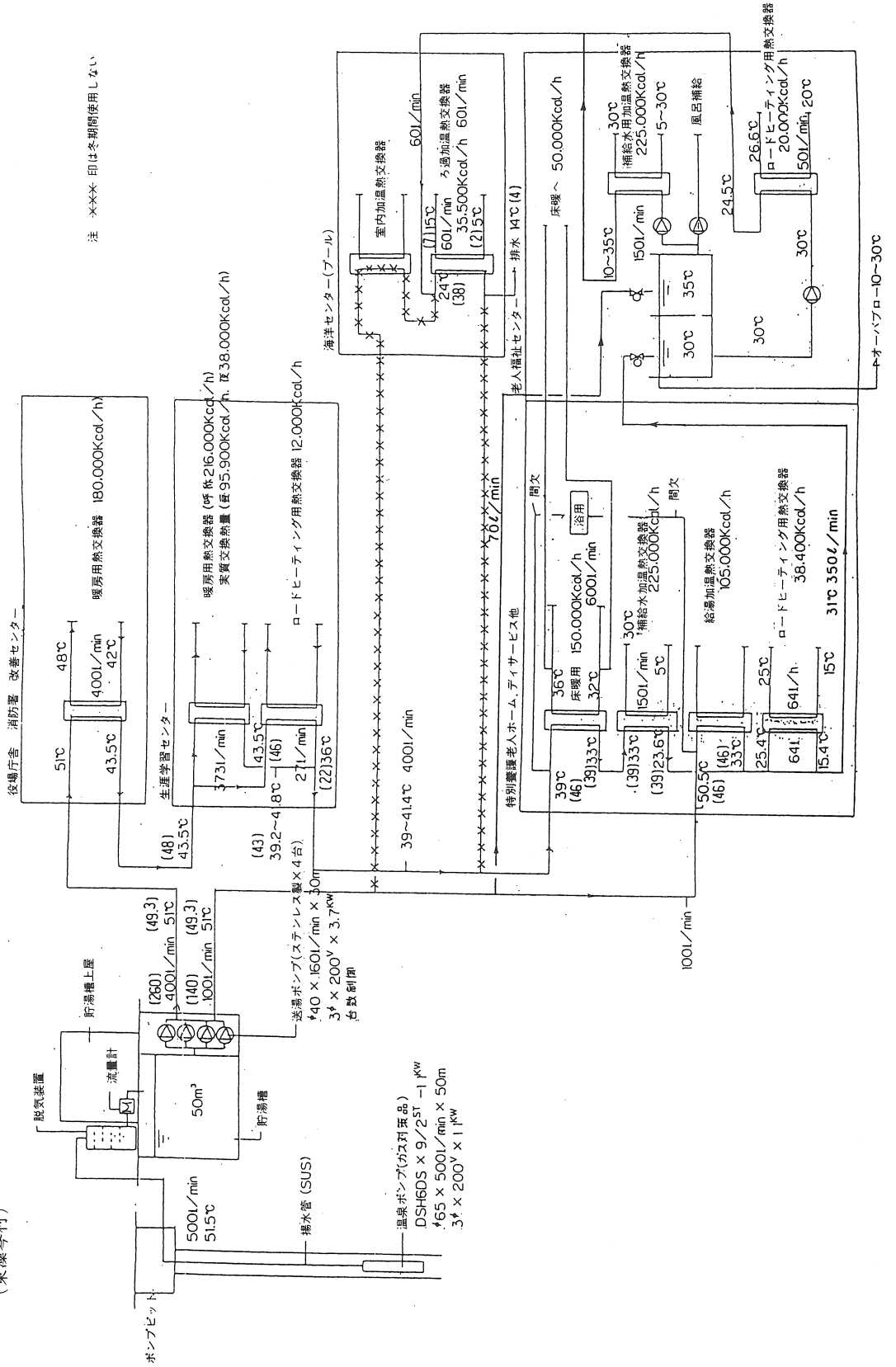
温泉熱高壓系リ用配管ルート(東藻琴村)



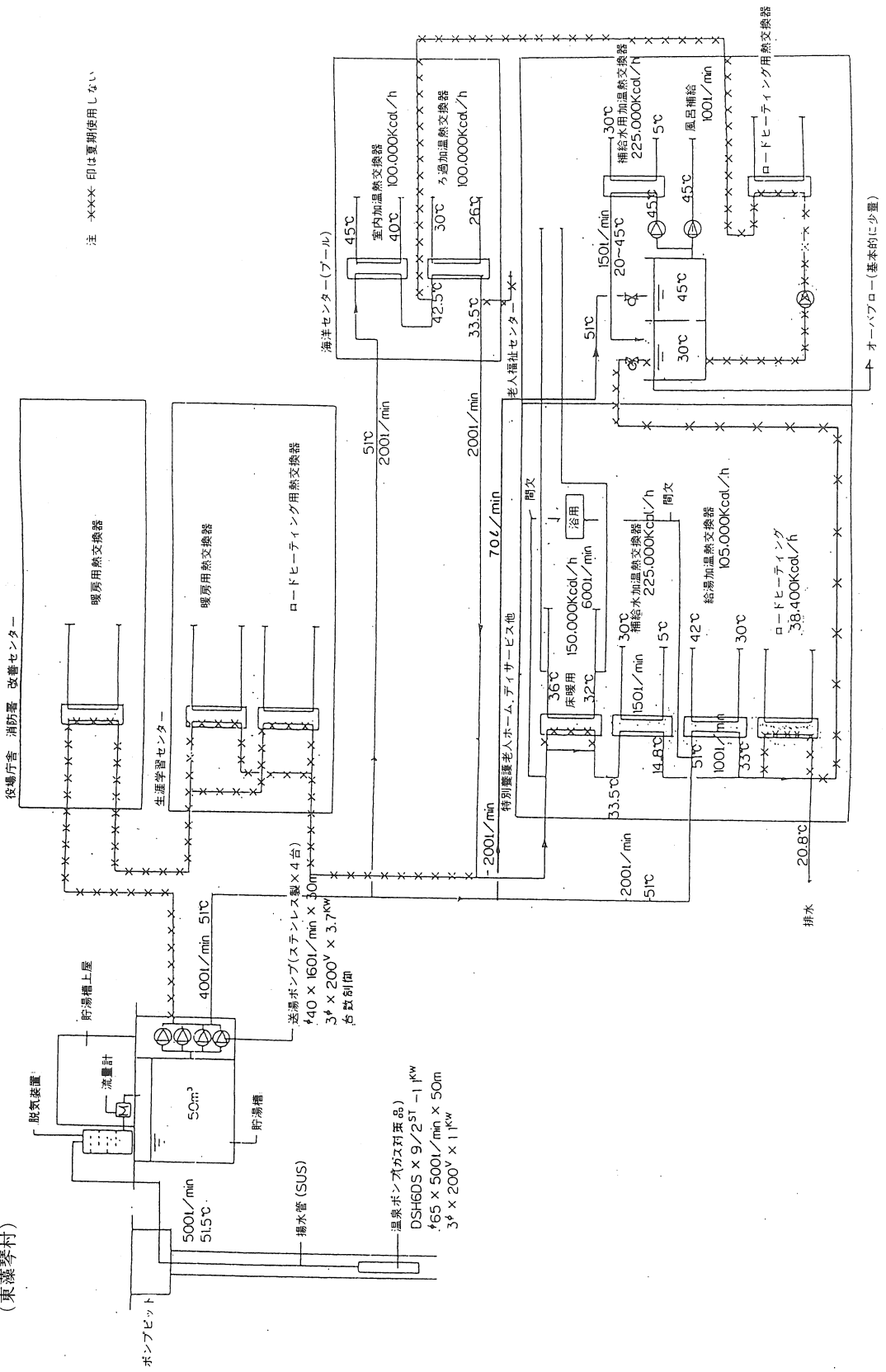
S 1 / 2000

源泉熱高度利用フロースト (冬期)

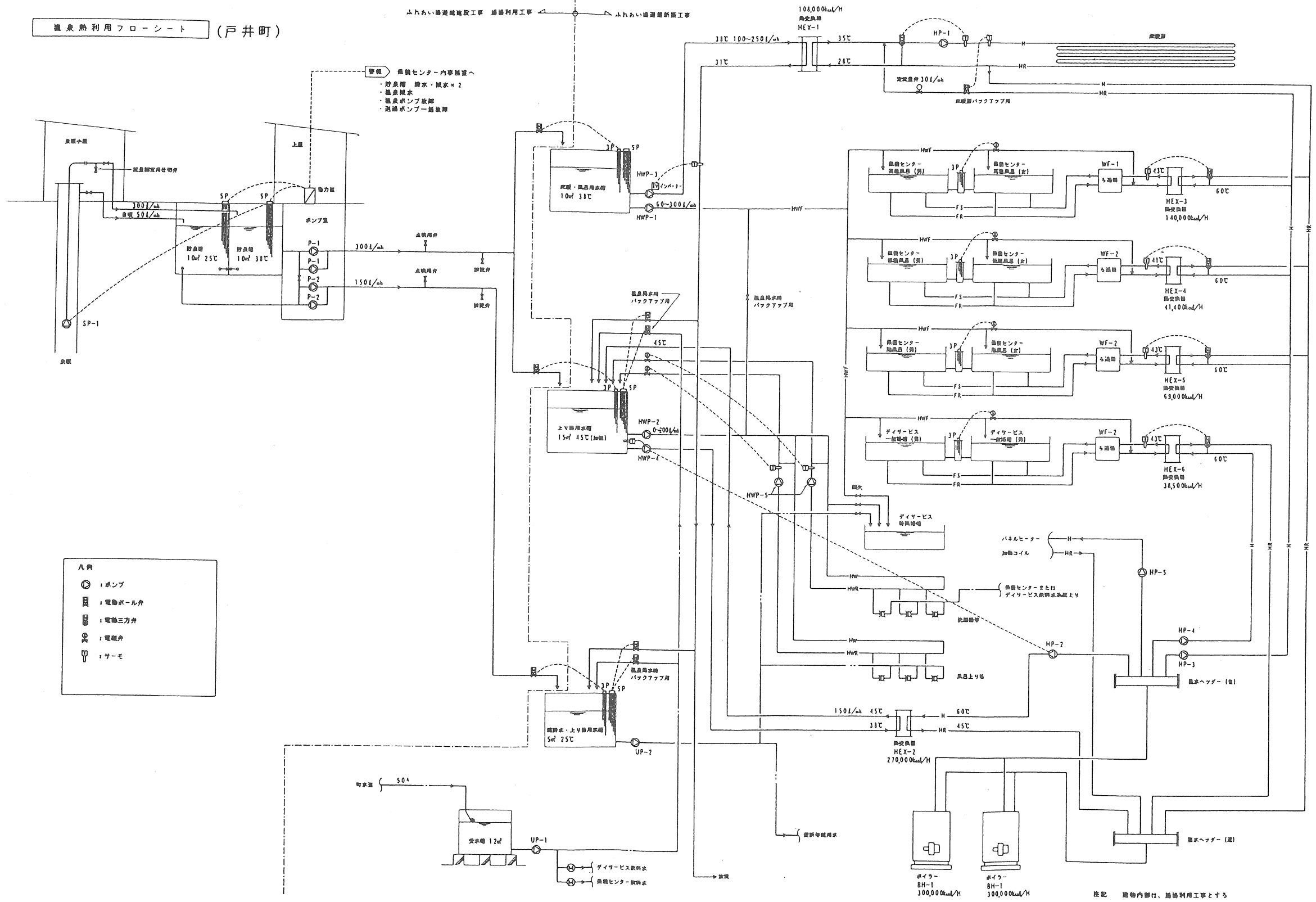
(東藻琴村)



温泉熱高度利用フローシート (夏期) (東藻琴村)

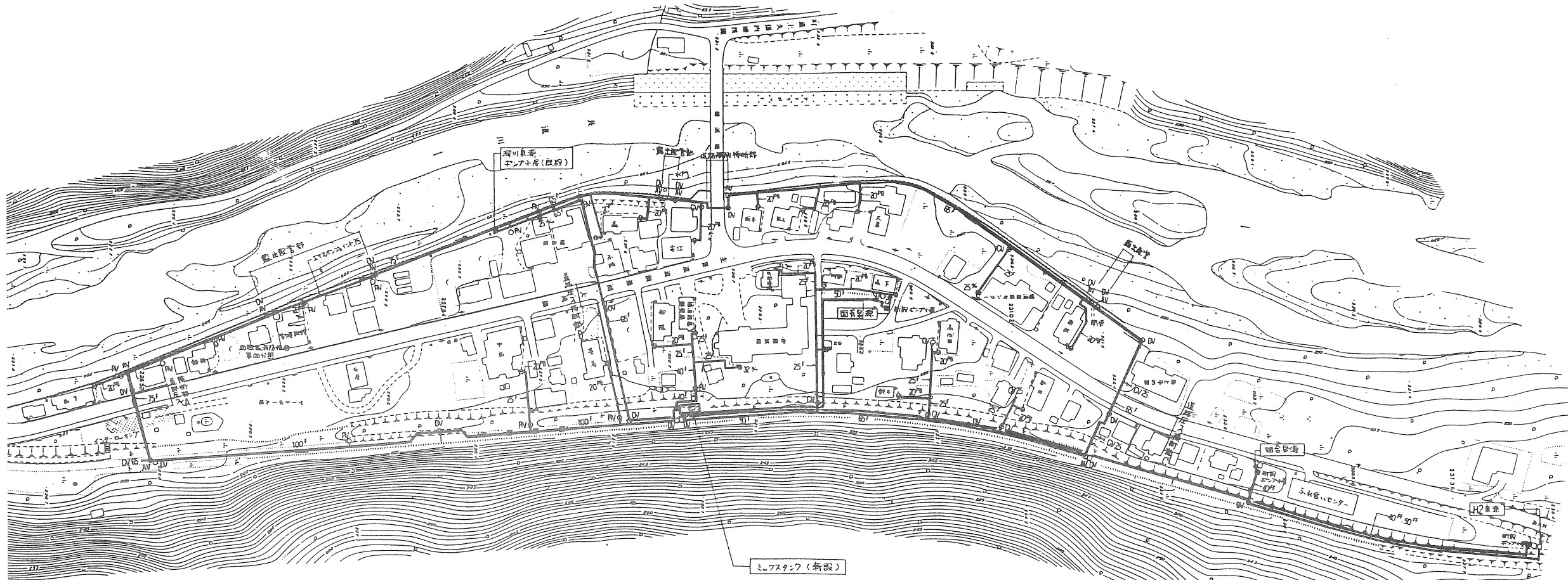


温泉熱利用フローシート (戸井町)



- 凡例
- : ポンプ
 - : 電動ボール弁
 - : 電動三方弁
 - : 電動弁
 - : サーモ

壮瞥町温泉配管図 S=1/2000



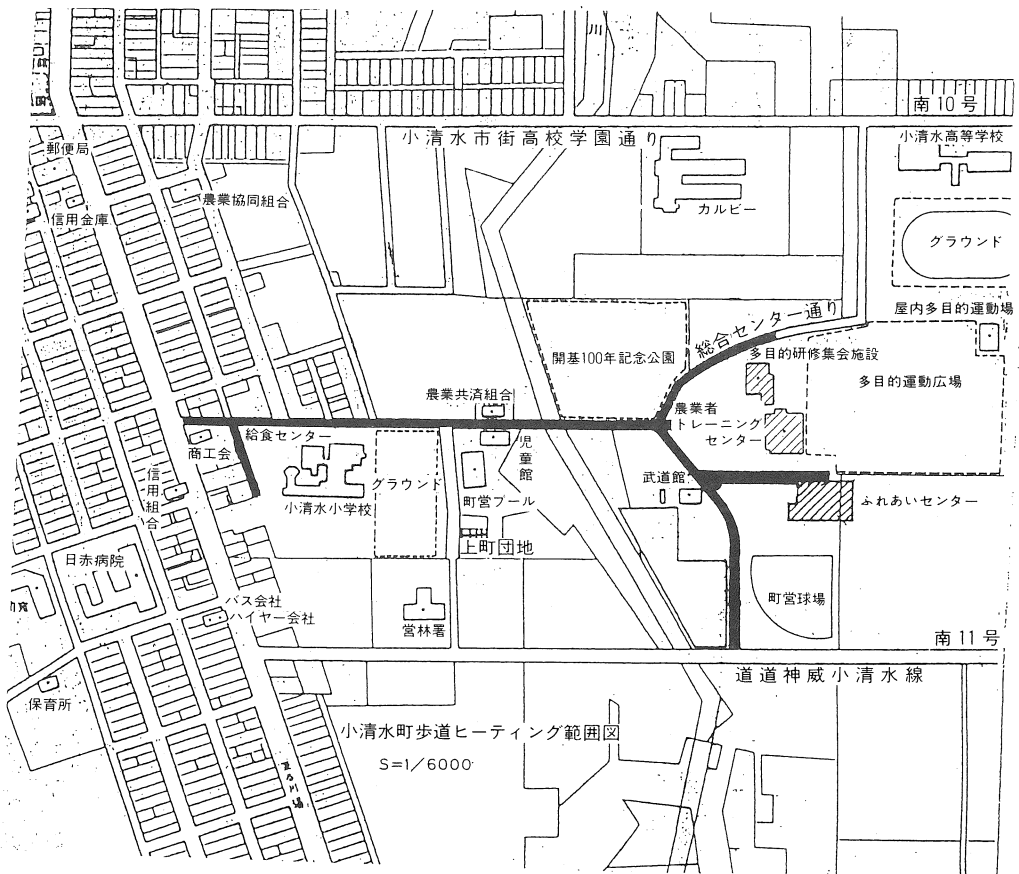
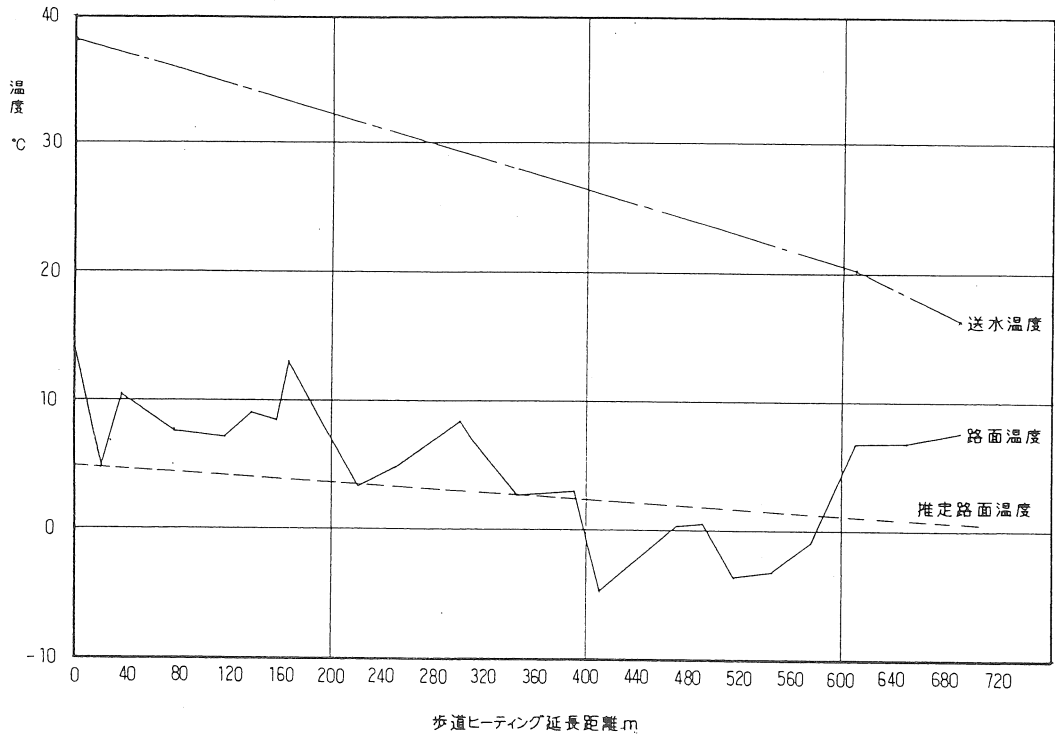
凡例

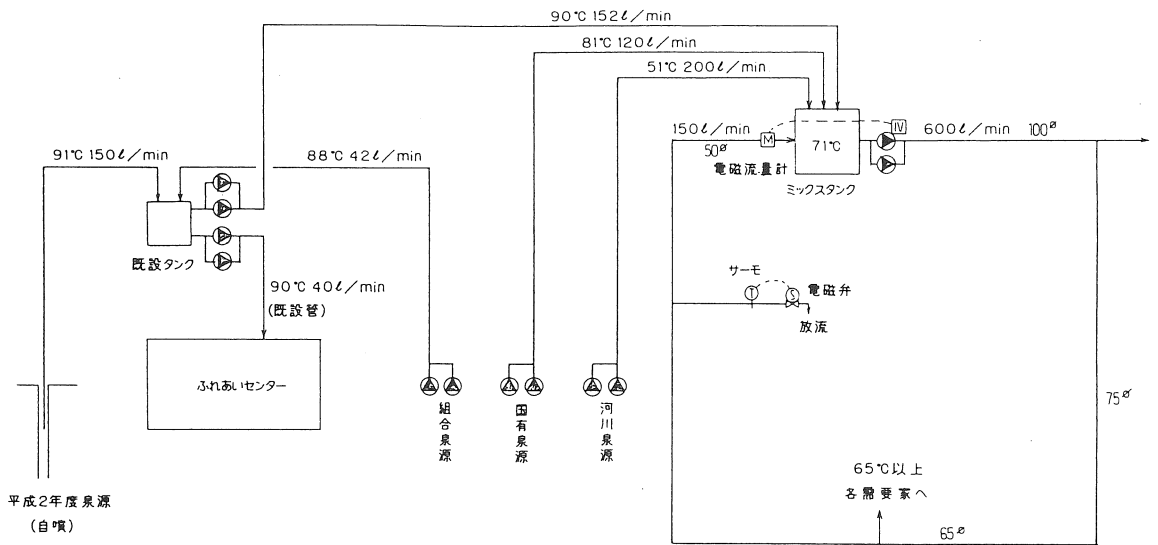
配管F: 富士パイプ 7000
 F: 富士パイプ 7100
 P: 富士ポリブデンパイプ

⊕: 新設湯水メーター(層測式・リチウム電池式)及び指示計
 特記ひき温水メーターは13mmとする

○DV: 排泥弁
 ○SV: 電磁弁
 ○RV: 減圧弁
 ○AV: 自動空気抜弁
 ○QV: 止水弁

小清水町歩道ヒーティング
トレーニングセンター起点





社管町温泉供給フローシート

3. 道内市町村の地熱・温泉ボーリング

— 地域エネルギー開発利用施設整備事業 —

(昭和55年度～平成5年度)

北海道立地下資源調査所 藤本和徳

I. 地域エネルギー開発利用施設整備事業の概要

北海道では、昭和54年度から地域に密着したエネルギーの有効活用を推進し、石油代替エネルギーの開発導入を図るため、北海道市町村振興補助金により、太陽熱・風力等を利用する施設を設置する市町村に対し助成を開始した。

昭和55年度には、同補助金に地域エネルギー開発振興事業費補助を別枠として設け、補助対象を地熱・天然ガスのボーリングやその他の地域エネルギーの開発利用事業にまで拡大した。

この事業は、平成5年度で15年目を迎え、この間、208の補助対象事業が実施されている。事業内容をボーリング・地熱利用・その他に分類し、年度別事業数を第1表に示した。なお、昭和61年度と平成2年度は、内訳を合計したものに比べ事業数が少ない。これは、昭和61年度はボーリング2本で1事業(熊石町)、平成2年度はボーリングから地熱利用までを一連の1事業(八雲町:ボーリングは補助対象外であるが、一連事業ということ

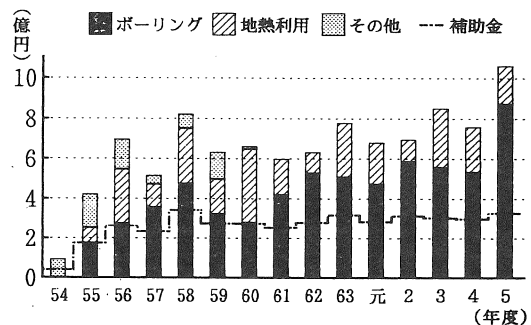
第1表 年度別事業数

	事業数	ボーリング	地熱利用	その他
昭和54年度	7	-	-	7
55	16	6	2	8
56	19	8	4	7
57	16	9	4	3
58	19	10	6	3
59	12	6	2	4
60	12	6	5	1
61	12	10	3	0
62	13	10	3	0
63	15	11	4	0
平成元年度	15	9	6	0
2	14	11	4	0
3	13	8	5	0
4	11	7	4	0
5	14	11	3	0
合計	208	122	55	33

でとりあげた。)としているものが、それぞれ1事業あるためである。

ボーリングに関しては年間6～11事業、地熱利用に関しては年間2～6事業が実施されている。それぞれの事業数の年間平均は9および4であり、両者を合わせたこれまでの事業数は177に及び全体の約85%に達している。なかでも、昭和61年度以降は100%が地熱ボーリング事業と地熱利用施設整備事業である。

地熱利用施設への補助対象には、ボーリングにより開発された泉源から利用施設までの引湯工事や揚湯ポンプ・貯湯タンク・熱交換器等の設備が該当する。平成5年度までの55事業のうち約7割の40事業は、本補助対象事業のボーリングにより開発された地熱水の利用であり、ほとんどが泉源開発の1～2年後に利用施設の工事に着手している。



第1図 年度別事業費

補助金は市町村の財政力により事業費の2分の1または3分の1以内が直接補助され

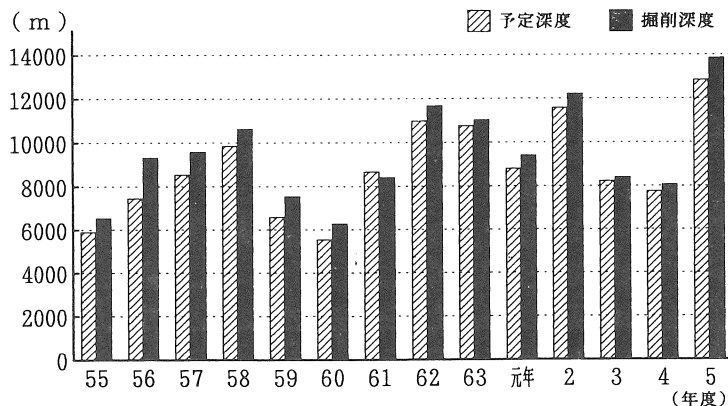
限度額は500万円以上5,000万円以内である。事業費と補助金の額を年度別に第1図に示した。これによると、ボーリングに関する事業費が徐々に増加している傾向がみられる。15年間で総事業費は99.7億円に達している。このうち補助金は40.2億円であり、総事業費の約40%をしめている。事業内容別にみると、ボーリングが64.0億円、地熱利用が28.9億円、その他が6.8億円であり、ボーリングと地熱利用で全体の約93%に及んでいる。ただし、ボーリングの額は掘削計画時点での事業費であり、計画変更で掘削深度が増加しているものがあるため、実際の事業費はこの額を上回っている。

II. ボーリング探査

昭和55年度から平成5年度までの14年間にボーリングは122本実施されている。ただし、昭和63年度の熊石町泉源は2本掘削(68-1, 68-2)されているが、非常に隣接している泉源のため1本としてカウントした。これを市町村数でみると、87市町村で実施されており、このうち2本以上のボーリングは26市町村で実施されている。道内212市町村のうち、ボーリングにより泉源を開発している自治体は約120市町村あるため、本事業により泉源を開発した市町村数は泉源を有する市町村数の70%以上に及んでいる。

ボーリングの対象は、昭和55年度の遠別町及び58年度と61年度の豊富町の3井が天然ガスであり、残り119井が地熱である。

第2図に予定深度(掘削前に予定した掘削深度)と掘削深度(実際に掘削した深度)の年



第2図 年度別掘削深度

度別の総計を示した。年度毎の変化は掘削本数に対応しており、1本あたりの掘削深度が深くなった傾向はみられない。掘削深度の年度別総計は昭和61年度を除くすべてで予定深度を上回っている。これまで14年間の掘削深度の合計は133.56kmであり、予定深度を9.34km超えている。増掘は掘削予定深度に達したが明らかな地熱水の兆候が無く、さらに掘削することで地熱水の開発の可能性がより高くなると判断できる場合、市町村の合意のもとに行っている。全坑井の約3分の1は増掘しているが、なかには予定深度より浅くで掘削を終了している坑井が8井ある。これは、(1)予定深度に達する前に必要とする地熱水が確認された、(2)地熱水の胚胎が困難と判断される地層に予定深度より浅くで到達した、(3)崩壊や大量の逸泥でそれ以上掘削ができなくなったためである。

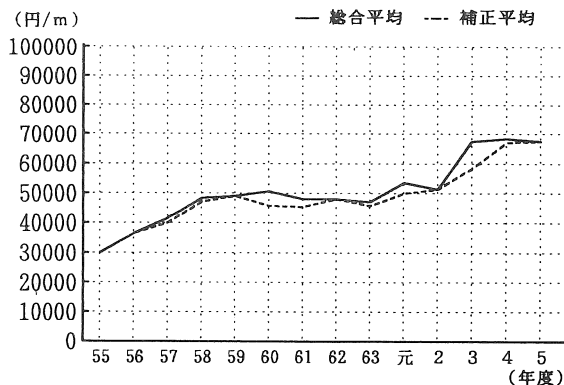
掘削深度が1000m以上の坑井は全体の80%にあたる98井あり、このうち、1500mを超

える坑井は23井に及んでいる。最も深い坑井の深度は、平成4年度に更別村で掘削した1717mである。掘削深度が1000mを超える坑井が多いのは、掘削場所が従来からの温泉地ではなく新たに開発された地域が多いためである。このような地域では浅部から高温の地下温度を期待できるものは少なく、一般に地下温度が45～50℃となる深度1000m以上を掘削深度の目安としている。

1000m以上掘削している坑井の仕上げ管(ケーシング)挿入深度は、ほとんどが、第1段階を深度100～200m、第2段階を深度300～500m、第3段階を孔底までとしている。なかには、浅部の出水や崩壊のため、第1段階より浅くにもう1段階挿入しているもの、第3段階挿入後に増掘し、第4段階を挿入しているものもある。

仕上げ管にはほとんどがガス管を使用しており、そのサイズは第1、第2、第3段階の順に8インチ、6インチ、4インチのもの(タイプ1)と、10インチ、8インチ、6インチのもの(タイプ2)がある。年度別にタイプをみると、昭和62年度までは全てがタイプ1であったが、昭和63年度に1坑井(乙部町泉源：67)でタイプ2が採用され、平成元年度以降はタイプ2が主流となっている。タイプ2は大型設備を必要とするが、(1)増掘への対応が容易である、(2)泥水やセメンチングでは対策が難しい坑井内の崩壊対策にケーシングを挿入できる、(3)ピットライフの延びにより工期を短縮できる、(4)揚湯ポンプの出し入れ等の井戸のメンテナンス工事が容易であるなどの利点がある。

各年度の掘削計画時点での事業費の総計を掘削予定深度の総計で除した1mあたりの掘削費(掘削単価)の年度別平均を第3図に示した。総合平均とはその年度に掘削したすべての坑井を対象にし、補正平均とは掘削単価が10万円を超える坑井を除いたものを対象にした。10万円を超える坑井は、掘削を困難とする要因となる高温・逸泥・硬岩などの対策を必要とするものであり、羅臼町湯の



第3図 年度別平均掘削単価

沢、上川町白水沢、虻田町洞爺湖温泉等を含め8井存在する。掘削単価は、昭和55年で3万円であったものが平成5年度では2倍以上の6.7万円である。この間、昭和58年度から63年度までは、ほぼ一定の約5万円で推移し、平成元年度から4年度までは上昇に転じている。昭和62年から平成3年は景気拡張の時期であったと言われており、掘削単価の上昇は、景気動向に遅れて影響を受ける傾向がみられる。

III. 泉源の利用状況

III-1 泉源評価

第2表に年度別の利用と未利用の泉源数を示した。未利用泉源は、利用計画のある泉源(計画)、利用可能だが未利用な泉源(可能)、利用不適な泉源(不適)に分類した。

利用不適な泉源とは湧出量が著しく少ない坑井である。この他、かつて利用していた

が湧出量が減少し利用できなくなった幕別町泉源(5)、島牧村泉源(7)、歌登町泉源(56)の3泉源も含めた。

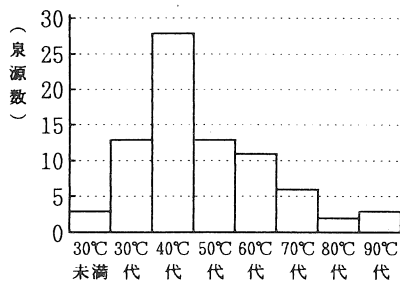
利用可能な未利用泉源とは、必要とする温度あるいは量が得られなかったり、動水位が非常に低い坑井である。このなかには、量が多いが温度が低い新十津川町泉源(33)や、温度は高いが量が少ない羅臼町泉源(44)のように他の地域では利用される可能性のある泉源が含まれている。また、かつて利用していた七飯町泉源(17)や、塩分濃度が高く河川への排水に問題があるため利用を検討中の早来町泉源(91)も含まれている。

利用計画の泉源は比較的新しく開発されたものであり、特に平成5年度に開発された泉源が多く、計画が具体的に決定しているものから構想段階のものまでである。

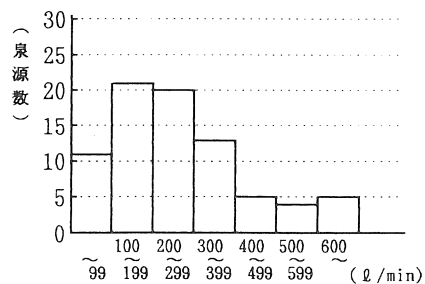
利用している泉源と利用計画のある泉源の数を合わせると90であり、ボーリングにより成果が得られたものは全体の75%を占めているといえる。また、ボーリングを行ったが当初から利用不適な泉源は15あり、全体の12%を占めている。

第2表 年度別利用・未利用泉源数

	泉源数	未利用泉源数			
		利用泉源数	計画	可能	不適
昭和55年度	6	5	0	0	1
56	8	4	0	2	2
57	9	6	0	2	1
58	10	4	0	3	3
59	6	5	0	1	0
60	6	4	0	2	0
61	10	6	1	1	2
62	10	7	1	0	2
63	11	8	0	0	3
平成元年度	9	8	0	1	0
2	11	8	1	1	1
3	8	6	1	1	0
4	7	7	0	0	0
5	11	1	7	0	3
合計	122	79	11	14	18

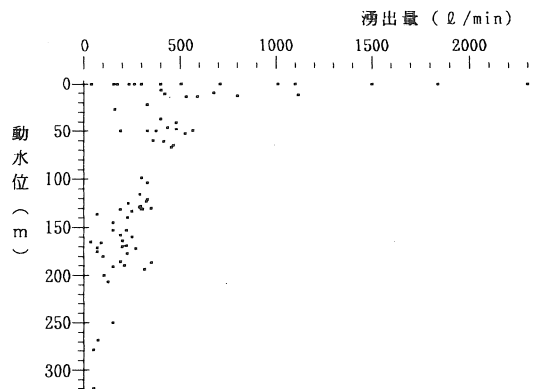


第4図 湧出温度の頻度分布



第5図 湧出量の頻度分布

利用している79各泉源の湧出温度と湧出量の値(平成6年調査時の値)を用いて、第4図に湧出温度の頻度分布、第5図に湧出量の頻度分布を示した。湧出温度は40°C代が最も多く全体の35%を占めている。湧出量は100 l/min以上300 l/min未満で全体の53%を占めている。79泉源から湧出した温泉を集湯したとすると、53.2°Cで20,874 l/minになり、平均湧出量は約260 l/minとなる。



第6図 動水位と湧出量

79泉源のそれぞれの動水位(基準：地表面)と湧出量の値(掘削終了時の値)をプロット

し第6図に示した。湧出量の多い泉源は自噴井に多く、動水位の低い泉源は湧出量が少ない傾向がみられる。動水位はほとんどが-200m以浅であり、-200m以深のものはわずか6泉源と全体の8%に過ぎない。動水位の平均は-120mであり、最も低い動水位は松前町泉源(107)の-320mである。また、自噴井は16泉源で全体の20%を占めている。

Ⅲ-2 エネルギー量評価

泉源の利用状況は、浴用だけに利用しているもの、暖房と浴用に利用、野菜栽培ハウスの加温に利用、融雪に利用しているものなど様々である。そこで、利用形態を、浴用、暖房、農業、水産、プール、融雪の6形態に分類し、利用している泉源数、施設数、面積で表現できるものはその総計を第3表に示した。また、施設数と施設面積は全道の値も示した。ただし、浴用の施設数に関しては保養センターや老人ホーム等の公共施設に限定した。この他、各施設の設備容量と石油代替量の合計も示し、この値を用いて平均稼働率を求めた。設備容量は、施設への地熱水の入口温度と出口温度の差、流量から熱量を求めMWt(メガワット)で表示した。石油代替量は設備容量と利用時間から年間の熱量を求め石油に換算した。

第3表 利用形態別施設規模の集計

	泉源数	施設数(全道)	施設面積(全道) [㎡]	設備容量 [MWt]	石油代替量 [kℓ/年]	平均稼働率 (%)
浴用	67	79 (150)				
暖房 (個人以外) (個人)	34	87 (60(221) 28(950))	{ 75419 840 }	5.08 { 5.02 0.06 }	3332 { 3291 41 }	56
農業 (土機以外) (土幌)	14	18 (17(60) 1(3))	{ 20140 (152000) 19800 (60000) }	2.41 { 2.12 0.29 }	2002 { 1724 278 }	71
水産 (規模大) (規模小)	4	7 (4(9) 3(26))		4.41 { 3.78 0.63 }	3713 { 3145 568 }	72
プール	11	11 (23)		2.17	1226	48
融雪	11	13 (46)	4904 (33000)	0.59	257	37
合計	79			14.66	10530	61

※ 石油の発熱量は8570kcal/ℓ、ボイラー効率は0.75とする。

利用形態別泉源数の和と合計とが一致しないのは、一泉源で複数の形態に利用されているものもあるためである。浴用は利用泉源の8割以上で利用されており、地方自治体が観光・保養・福祉面の充実に力を注いでいることがうかがえる。浴用利用は地熱の直接利用には含めないが、地域振興という意味では大きな成果をあげている。

暖房利用は直接利用のなかで施設数が最も多く、利用泉源の4割以上で実施されている。農業や水産などの産業利用とは異なるため普及しやすい利用形態といえる。形態別の特徴としては水産と融雪が目立つ。水産利用は施設数が少ないにもかかわらず石油代替量が多い。地熱による水産利用は比較的低温利用であるが、常時多量の海水や淡水を昇温することから設備容量は大きく、大きな熱量を必要とすると考えられる。融雪利用は施設数の割に設備容量が小さく、融雪面積の小さな施設が多いことが解る。

平均稼働率をみると、農業利用と水産利用が高く、両利用形態が地熱水の有効的な利

用であることを裏付けている。農業利用は農産物の促成や抑制など育成にかかわるものであり、温度管理に配慮を必要とするため利用期間が長いと考えられる。水産利用は生産する魚介類によって異なり、鮭孵化場やアワビの種苗生産施設では50～65%であるが、テラピアやスッポンの養殖施設では100%である。平均稼働率の最も低いものは融雪利用であり、年間4～5ヵ月の利用である。

集計の結果、地熱の直接利用における年間石油代替量の合計は約1万kℓと推定できる。ここで、北海道における平成5年度の燃料油販売量は1522万kℓ（北海道通商産業統計年鑑 平成6年版：北海道通商産業局監修）であるから、この値を用い、燃料油に対する代替効果を求めると0.07%といえる。ところが、燃料油のなかには化学製品の原料が主な用途となるナフサや内燃機関の燃料が主な用途となる軽油・ガソリン・ジェット燃料のほか潤滑油まで含まれている。地熱でこれらの代替までは不可能であるため、燃料油のなかからこれらを除き、ボイラーや暖房機の燃料が主な用途となる灯油と重油の合計量(885万kℓ)に対する代替効果を求めると0.11%といえる。

つづいて、北海道内の地熱の直接利用による設備容量と石油代替量を、地域エネルギー開発利用施設整備事業の施設数あるいは施設面積とそれらの全道の値から推定し、結果を第4表に示した。各利用形態の考え方は次のとおりである。

暖房利用は施設面積からの推定を考えたが、全道では施設数が多くこの値を確定できないため施設数から推定した。ただし、個人住宅は施設数は多いが規模が小さいため分離して考えた。ちなみに、「北海道の地熱・温泉利用の現状」（北海立道地下資源調査所：1986）によると、全道における地熱水を利用している個人住宅以外の施設の平均面積は1328㎡であり、今回の1257㎡と大差ないことが解る。

農業利用は施設面積から推定した。ただし、全道の地熱利用ハウス面積の約28%を占める規模の大きな士幌町の施設は、ボイラーと併用しているため施設面積の割に設備容量は小さく別に考えた。

水産利用は、施設数から推定した。ただし、規模の違いにより大きな差があるため、規模を大小に分けて考えた。

プール利用は施設数から推定した。ただし、旅館・ホテルの浴用施設に付随する地熱水利用のプールは含めていない。

融雪利用は施設面積から推定した。

この結果、北海道における地熱の直接利用による年間石油代替量は約4.3万kℓと推定できる。燃料油全体に対する代替効果は0.28%、灯油と重油の合計量に対する代替効果は0.49%といえる。また、地域エネルギー開発利用施設整備事業によるエネルギー量は全道の約24%を占めている。合計に対する稼働率は62%であった。

利用されている79泉源が潜在的に保有しているエネルギー量を石油量に換算して第5

第4表 北海道における地熱エネルギーの利用形態別設備容量と石油代替量

	設備容量 [MWt]	石油代替量 [kℓ/年]
暖房 (個人以外) (個人)	20.57 (18.71 2.04)	13513 (12122 1391)
農業 (士幌以外) (士幌)	16.87 (16.00 0.87)	13845 (13011 834)
水産 (規模大) (規模小)	13.96 (8.50 5.46)	11998 (7076 4922)
プール	4.16	2350
融雪	3.97	1729
合計	59.71	43435

※灯油・軽油・重油・潤滑油・揮発油・ナフサ・ジェット燃料の販売量の合計である。

表に示した。地熱利用の形態は地熱水の温度によって左右されるため、各泉源の湧出温度(T)をⅠ～Ⅳの4段階に分け、利用温度幅別に石油換算量を整理した。それぞれの利用温度幅の下限温度の意味は、たとえば、50℃までは建物内の温風暖房、40℃までは建物内の床暖房、30℃までは温風を用いたハウス内の加温やプールへの利用、20℃までは水温20℃程度を適温とする魚介類の養殖や融雪利用などである。稼働率は62%とした。

第5表 利用している79泉源の
潜在保有エネルギー量

利用温度幅	石油換算量 [kℓ/年]			
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
A:50℃まで利用	7663	—	—	—
B:50℃～40℃まで利用	5830	1440	—	—
C:40℃～30℃まで利用	5830	3170	780	—
D:30℃～20℃まで利用	5830	3170	1280	180

Ⅰ: 50℃<T
Ⅱ: 40℃<T≤50℃
Ⅲ: 30℃<T≤40℃
Ⅳ: 20℃<T≤30℃

地熱エネルギーによって石油代替効果をあげるためには低温度まで利用することが望ましい。暖房の場合、建物自体が利用施設であるから建築可能な場所であればどこでも利用可能であるが、農業や水産では地域が限定されてくる。このため、高温の利用形態から低温の利用形態に如何に結び付けるかということ、すなわち多段階利用の促進が地域の課題となる。

また、低温度まで利用するためには浴用についても考えなければならない。浴用は地熱利用のなかで最も件数が多いのは言うまでもなく、浴用施設を核として他の利用に展開しているものも多い。浴用に利用するには45～50℃以上の温度が必要であり、利用後の排湯は35～40℃の温度がある。この排湯は熱交換器を必要とするが、水産養殖、プール、融雪には利用可能な温度である。ところが、浴用利用後の排湯からの熱の回収はほとんど行われていない現状がある。

第5表によると、79泉源全てを20℃まで利用した場合、石油代替量は35,170kℓ/年(Ⅰ-AからⅣ-Dまでの全て)になる。ところが、79泉源のうちの50℃以上の泉源を50℃まで暖房に利用し、その後、浴用に利用して排湯から熱回収はしなかったとする。この場合、79泉源の石油代替量は約2分の1の17,680kℓ/年(Ⅰ-A,Ⅱ-BCD,Ⅲ-CD,Ⅳ-D)になる。仮りに、浴用の排湯温度を40℃とし、20℃まで利用したとする。この場合、回収できる熱量は石油換算で11,660kℓ/年(Ⅰ-CD)となる。

浴用の排湯が利用されない理由としては、大きなスペースを必要とする熱交換器を設置しなければならない面もあるが、汚れた排湯にたいする嫌悪感と捨てられている熱量の大きさに対する認識の薄さもあるのではないと思われる。石油代替エネルギーの導入を積極的に図るためには、浴用利用後の排湯からの熱回収を考慮する必要もあろう。

地熱水の浴用熱利用（汚れた排湯にたいする嫌悪感への対策）

温泉に浸かった時に浴槽から溢れでる温泉をみて、もったいないと思う人と優雅な気持ちで満足感を味わう人がある。どちらの人間が多いかは別としてもったいないと思う人の発想で地熱利用の方法を紹介する。

仮りに、 50°C 、 200 l/min の地熱水が湧出したとする。

浴用と暖房に利用する場合を考える。

比較のため、一般的な地熱利用と浴用熱利用について説明する。

（浴槽規模の決定）

一般に、浴槽は2～3時間で満杯になる注湯量だと浴槽内のお湯が汚れないといわれている。湧出した地熱水の量から逆算すると、浴槽の規模は、

$$200\text{ l/min} \times (120\sim 180\text{min}) = 24\sim 36\text{ m}^3 \approx 30\text{ m}^3$$

浴槽の深さを 0.6m とすると、浴槽の面積は、

$$30\text{ m}^3 \div 0.6 = 50\text{ m}^2$$

50 m^2 の浴槽は例えば、

$$5\text{m} \times 5\text{m} \times 2(\text{男女各}1)$$

この大きさは、公営の温泉として利用する場合は十分な規模である。

（浴槽からの放熱量）

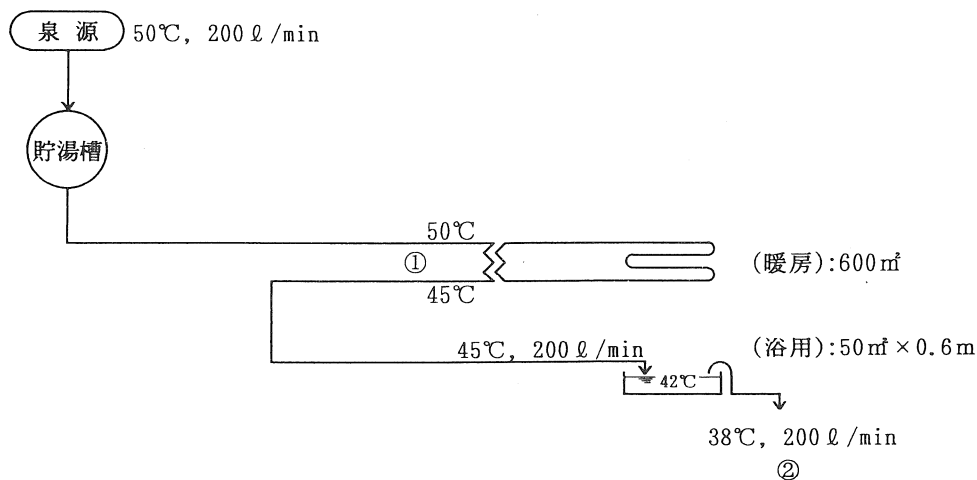
浴槽内を 42°C に保つためには 45°C で注湯する必要があるとする。

すなわち、浴槽内の温度を 42°C に保つために必要な熱量は、

$$(45^{\circ}\text{C} - 42^{\circ}\text{C}) \times 200\text{ l/min} \times 60\text{min} = 36000\text{kcal/h}$$

(1) 一般的な地熱利用

50°C の地熱水を 45°C まで暖房に利用し、2次利用で浴用に利用する。



①暖房に利用できる熱量は、浴槽への注湯温度が 45°C であるため、

$$(50^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}) \times 200\text{ l/min} \times 60\text{min} = 60000\text{kcal/h}$$

1 m^2 の暖房に1時間あたり必要な熱量を 100kcal とすると、

暖房可能な面積は、

$$60000\text{kcal/h} \div 100\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} = 600\text{ m}^2$$

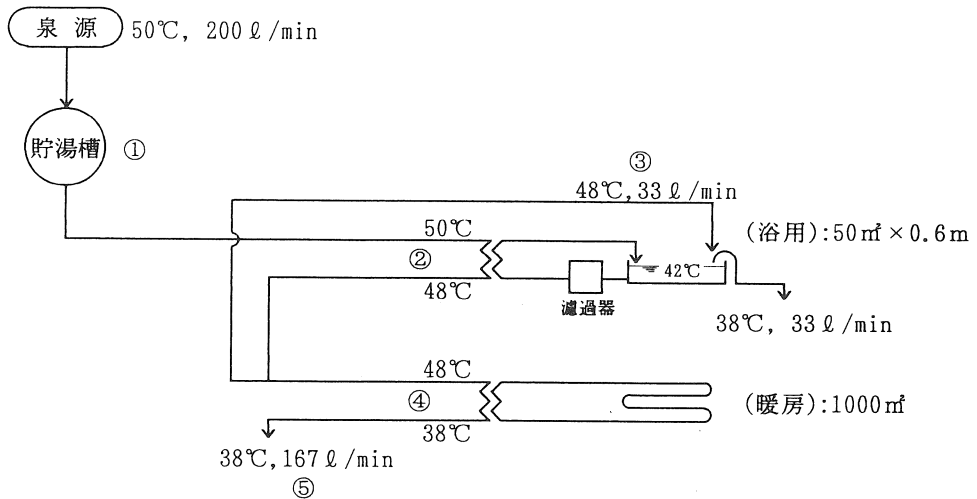
②最終的に、浴槽からオーバーフローした温泉水から熱回収し3次利用をするには、排湯をタンクに貯め、螺旋状円管熱交換器などを用いる方法がある。

この時に熱を保有する流体の状態は、

$$\text{汚れた地熱水: } 38^{\circ}\text{C}、200\text{ l/min}$$

(2) 浴用熱利用

まず、50℃の地熱水で浴槽内を満杯にする。浴槽内の地熱水は濾過循環し、浴槽内の温度を保つために必要な熱量を地熱水から得、次に暖房に利用する。



①夜間（浴槽を掃除し空にしている間）、余剰となる地熱水を貯湯槽に貯め、これを用いて浴槽内を温泉水で満杯にする。

②熱交換器で50℃の地熱水を48℃まで浴槽内の地熱水の加温に用いる。

この時の熱量は、

$$(50^\circ\text{C} - 48^\circ\text{C}) \times 200 \text{ l/min} \times 60\text{min} = 24000\text{kcal/h}$$

③浴槽内の温度を42℃に保つために必要な熱量は36000kcal/hであるから、残りの12000kcal/hは48℃の地熱水の注湯で補う。

この時の注湯量は、

$$(48^\circ\text{C} - 42^\circ\text{C}) \times W \text{ l/min} \times 60\text{min} = 12000\text{kcal/h} \quad \therefore W = 33 \text{ l/min}$$

④従って、残りの48℃、167 l/minの地熱水を38℃まで暖房に用いるとすると、暖房に利用できる熱量は、

$$(48^\circ\text{C} - 38^\circ\text{C}) \times 167 \text{ l/min} \times 60\text{min} = 100200\text{kcal/h}$$

1㎡の暖房に1時間あたり必要な熱量を100kcalとすると、

暖房可能な面積は、

$$100200\text{kcal/h} \div 100\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} = 1000\text{m}^2$$

⑤さらに、3次利用をする時の流体の状態は、

地熱水: 38℃, 167 l/min

汚れた地熱水: 38℃, 33 l/min

(メリット)

- ・ 暖房面積が増加する。
- ・ 3次利用可能に十分な地熱水が得られる。

(デメリット)

- ・ 熱交換器、濾過器、浴用地熱水循環ポンプが必要。
- ・ 浴用地熱水循環ポンプのランニングコストが必要。
- ・ 浴槽からのオーバーフローが少ない。

年度別 地域エネルギー開発振興事業一覧 (1980~1993)

※ 揚湯量、温度は掘削終了時の値である。○は計画中表示。

市町村	泉源番	掘削年(年度)	掘削予定深度(m)	掘削深度(m)	揚湯量(L/分)	温度(℃)	動水位(m)	浴用	暖房	農業	水産	プール	融雪	備考
室蘭市	1	S55	1100	1100.0	300	42.0	131	○				○		
鶴居村	2	"	1300	1650.0	483	45.8	48	○	○			○	○	
小清水町	3	"	1000	1140.0	400	54.0	自噴	○	○			○		
乙部町	4	"	1100	1244.5	166	66.2	自噴	○	○			○		
幕別町	5	"	1100	1105.0	480	45.2	28							廃井
遠別町	6	"	350	350.0	30	25.3	自噴	○						
島牧村	7	S56	620	625.0	53	56.9	自噴							利用不適
洞爺村	8	"	1100	1101.4	189	42.0	158	○						
壮瞥町	9	"	800	1274.0	53	56.8	343							未利用
岩内町	10	"	1000	1004.0	286	65.3	129	○	○					
丸瀬布町	11	"	1000	1300.0	300	45.0	99	○		○				
上富良野町	12	"	1000	1000.0	73	46.2	188							未利用
斜里町	13	"	1000	1460.0	300	42.0	自噴			○		○		
津別町	14	"	1000	1600.0	==	==								利用不適
厚沢部町	15	S57	1200	1206.0	70	36.0	136	○	○					
意山町	16	"	700	1102.0	55	48.0	275							未利用
七飯町	17	"	850	850.0	365	52.0	51							未利用
鹿部町	18	"	1000	1002.0	237	76.0	125	○			○			
北松山町	19	"	1100	1201.0	430	77.5	47	○	○				○	
神意内村	20	"	1200	1204.0	13	33.1	329							利用不適
赤井川村	21	"	1200	1352.0	305	46.0	131	○						
大滝村	22	"	150	201.5	1108	90.7	11	○	○	○				
女満別町	23	"	1200	1500.0	480	53.0	42	○	○					
奥尻町	24	S58	100	122.0	400	63.0	7	○	○					
洞爺村	25	"	1200	1500.0	216	68.0	177	○	○					利用不適
上川町	26	"	1000	1001.0	==	==								
置戸町	27	"	1100	1111.7	34	45.3	165	○						未利用
弟子屈町	28	"	1500	1502.0	48	62.0	240							未利用
標津町	29	"	1200	1400.0	15	38.3	189							利用不適
豊富町	30	"	1000	1001.7	50	?								未利用
七飯町	31	"	1000	1017.0	242	62.5	133	○						
美瑛町	32	"	800	1000.0	8	35.0	382							利用不適
新十津川町	33	"	1000	1002.0	563	34.0	37							未利用
松前町	34	S59	1150	1285.0	70	48.8	175	○	○					
北松山町	35	"	1200	1208.0	192	84.1	186	○	○				○	
泊村	36	"	800	1000.0	125	41.2	207	○						
豊浦町	37	"	1200	1501.4	114	38.8	198							未利用
標茶町	38	"	1300	1502.3	327	54.3	121	○				○		
清里町	39	"	1000	1101.0	1500	48.0	自噴	○	○	○			○	
熊石町	40	S60	1200	1414.0	57	77.2	310							未利用
大成町	41	"	1000	1002.0	220	82.7	153	○			○			
長沼町	42	"	1300	1500.0	1837	50.5	自噴	○	○	○				
島牧村	43	"	400	662.0	150	54.0	191				○			
羅臼町	44	"	200	233.0	?	97.4	自噴							未利用
帯広市	45	"	1500	1502.0	526	44.2	17	○					○	
月形町	46	S61	1000	1002.1	450	37.0	67	○						
豊富町	47	"	1300	1200.0	==	==								利用不適
共和町	48	"	1000	1000.0	290	74.7	116	○						
白糠町	49	"	1500	1505.1	41	22.8	174							未利用
土幌町	50	"	1300	1527.0	90	40.1	166	○	○	○				
夕張市	51	"	1000	703.0	345	40.4	85	○	○					計画中
羅臼町	52	"	200	109.2	400	98.5	自噴	○	○			○	○	
恵山町	53	"	700	702.0	315	58.6	50	○	○					
熊石町	54	"	150	150.0	713	88.0	自噴	○		○	○			
熊石町	55	"	550	550.2	==	==								利用不適
歌登町	56	S62	1000	1205.0	50	17.0								利用不適
阿寒町	57	"	1200	1413.6	330	44.6	104	○	○					
小樽市	58	"	1000	1004.8	198	38.6	164	○						
八雲町	59	"	1000	1061.9	176	53.0	50					○		
ニセコ町	60	"	1000	1000.6	250	62.2	160	○						
上ノ国町	61	"	1000	1000.0	505	41.5	自噴	○						
壮瞥町	62	"	800	801.0	==	==								利用不適
今金町	63	"	1000	1204.7	200	40.1	170	○						
夕張市	64	"	1500	1501.3	140	46.1	121	○						計画中
土幌町	65	"	1500	1540.0	320	42.1	123			○				

市町村	泉番号	掘削年(年度)	掘削予定深度(m)	掘削深度(m)	揚湯量(ℓ/分)	温度(℃)	動水位(m)	浴用	暖房	農業	水産	プール	融雪	備考
長万部町	66	S 63	650	754.0	196	49.5	131	○						
乙部町	67	"	1200	1217.5	420	68.6	14	○		○				
熊石町	68 1	"	30	30.0	155	55.0				○				
熊石町	68 2	"	20	20.0	150	55.5				○				
泊村	69	"	500	502.5	151	49.9	145	○						
秩父別町	70	"	1300	1303.0	103	30.1	180	○						
夕張市	71	"	1300	1331.4	19	19.0	263							利用不適
増毛町	72	"	1000	1000.5	==	==								利用不適
土幌町	73	"	1300	1400.0	350	50.8	130	○						
上土幌町	74	"	1300	1300.0	358	32.0	187		○					
足寄町	75	"	1200	1202.7	255	57.1	自噴		○			○		
芦別市	76	"	1000	1003.6	33	22.6	265							利用不適
鳥牧村	77	H 1	800	687.0	400	65.9	自噴	○						
南幌町	78	"	1500	1500.0	225	45.2	140	○						
深川市	79	"	800	805.5	300	21.3	147							未利用
訓子府町	80	"	1000	1200.3	70	50.3	171	○	○					
虹田町	81	"	150	151.5	293	49.9	128	○						
洞爺村	82	"	1200	1204.2	210	52.3	190			○				
新得町	83	"	1000	1502.0	105	31.0	200	○						
別海町	84	"	1200	1201.0	520	40.0	53	○	○					
標津町	85	"	1200	1201.0	800	46.0	16	○	○					
瀬棚町	86	H 2	1200	1301.5	==	==								利用不適
神恵内村	87	"	1000	1101.0	230	59.4	自噴	○						
八雲町	88	"	150	151.0	325	47.8	22	○	○					
壮瞥町	89	"	300	300.0	150	92.2	自噴	○	○				○	
伊達市	90	"	1200	1210.0	419	56.9	74	○					○	計画中
早来町	91	"	1500	1500.0	300	36.4	121	○						未利用
妹背牛町	92	"	1200	1500.7	353	44.8	60	○						
北麓町	93	"	1200	1202.5	406	42.5	61	○						
陸別町	94	"	1500	1506.0	220	36.1	169							
丸瀬布町	95	"	1200	1309.5	279	45.0	172			○				
東麓琴村	96	"	1200	1200.5	565	52.3	50	○	○			○	○	
小清水町	97	H 3	1200	1200.5	674	51.5	10	○	○				○	
置戸町	98	"	1000	792.5	2300	52.4	自噴	○	○	○				
忠類村	99	"	1200	1206.0	1100	25.5		○						
上川町	100	"	500	474.7	5.4t/h	98.0	自噴	○	○	○		○		計画中
北松山町	101	"	1200	1203.5	70	71.0	268	○	○	○				未利用
大成町	102	"	1000	1002.6	32	50.8	269							
江差町	103	"	1000	1202.5	377	50.7	50	○	○					
大野町	104	"	1200	1360.5	590	76.0	17	○	○					
綴法華村	105	H 4	100	150.9	460	62.7	65	○	○				○	
戸井町	106	"	1300	1502.3	314	38.8	194	○	○					
松前町	107	"	1000	1305.1	43	38.0	320	○	○					
更別村	108	"	1700	1717.0	250	22.5	250	○	○					
旭川市	109	"	1000	1200.0	82	43.1	279	○	○					
豊浦町	110	"	1200	1202.4	400	53.0	37	○	○					
羽幌町	111	"	1500	1043.0	1010	34.2	自噴	○					○	
福島町	112	H 5	1200	1216.2	150	47.1	153	○						利用不適
仁木町	113	"	1200	1501.0	6	29.5	379							計画中
京極町	114	"	1000	1300.0	53	41.1	287	○						計画中
滝川市	115	"	1000	1001.5	548	31.0	17	○				○	○	計画中
鶴川町	116	"	1500	1505.0	455	33.5	87	○	○			○		計画中
厚沢部町	117	"	1200	1500.0	==	==								利用不適
釧路市	118	"	1500	1223.0	600	42.7	74	○	○					計画中
二七〇町	119	"	1000	1306.5	7	44.4	400							利用不適
別海町	120	"	1100	1106.0	542	61.1	21					○		計画中
森町	121	"	1000	1000.0	600	54.6	23	○		○				計画中
洞爺村	122	"	1200	1215.0	203	62.0	179	○	○					計画中

4. 知内町の地熱ボーリング

北海道立地下資源調査所

鈴木隆広

1. はじめに

当所では平成6年度に、試すい探査事業として知内町地熱ボーリング調査を実施した。ここでは、この調査結果を報告し、既存のデータから知内町の地下構造および地質層序について若干の考察を試みる。

知内町管内の温泉は、湯の里地区に道内最古（開湯800年）の知内温泉があり、民間の宿泊施設が営業をしている。知内温泉付近の温泉調査は、昭和48年に当所による物理・化学探査を実施し、その結果を受け昭和49年には深度400mのボーリング調査を実施している（横山ほか1981）。

最近になって知内町では、町総合開発計画策定の中で、知内温泉を除く市街地および近郊での温泉開発の可能性について検討され、平成4年度には開発可能性の調査が当所に依頼された。当所では、電気探査とともに既存資料の再検討を行い、町内で温泉開発可能性が比較的高い地域として町南部域（涌元～小谷石地域）が選定された（松波ほか1992）。

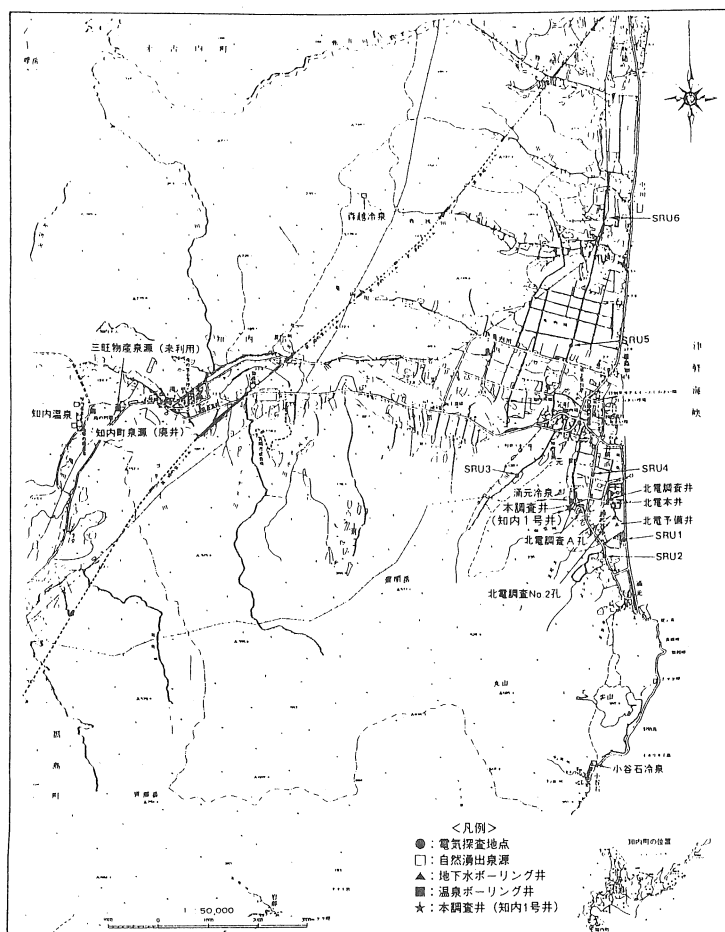
本ボーリング調査では、新泉源の開発とともに以下の項目を重点とした。

- 1) 地質構造を解明する。
- 2) 地温分布を把握する。
- 3) 温泉の賦存状況および湧出状況を把握する。

2. 事前調査概要

先の受託報告を受けて、掘削調査位置として町と協議の上、第1図に示した地点を選定した。調査地点は、知内町市街地から約2km程南方の涌元谷地と呼ばれる地域である。

付近には、涌元冷泉と呼ばれる水井戸（昭和48年掘削）が自噴している。

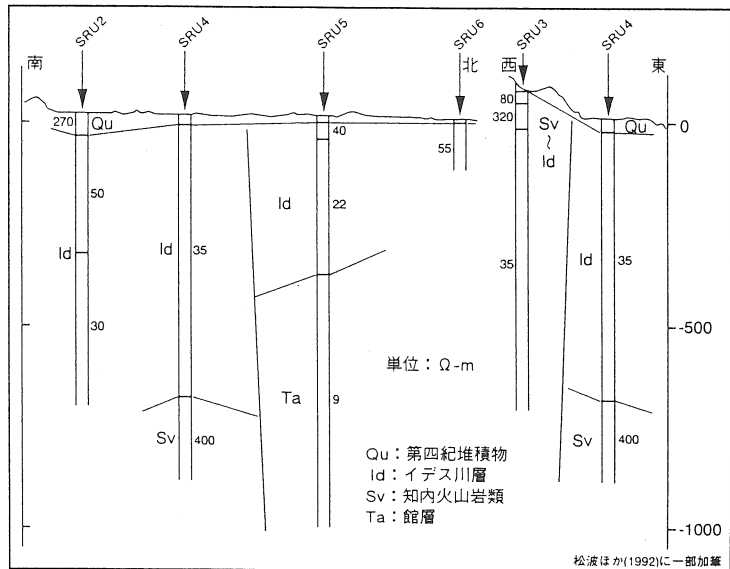


第1図 ボーリング調査位置図

なお、本調査井・涌元冷泉のほかに北海道電力株の本井・予備井・調査井・調査井 No.2および当所で実施した電気探査測点の位置についても第1図に示した。

掘削調査地点を含む範囲で実施された電気探査により推定された地下構造（比抵抗構造）の南北および東西の断面を第2図に示した。その中でSRU-1は、他の6測点の比抵抗構造と比較して著しく異なっており、海岸線に隣接して電線を張ったために海域の影響を受けたと判断した。よって比抵抗構造断面図からは除外している。

松波ほか（1992）の報告では、浅部の高比抵抗層を第四紀堆積物に、中部の中比抵抗層をイデス川層に、深部の高比抵抗層を知内火山岩類に、深部の低比抵抗層を館層にそれぞれ対比している。



第2図 電気探査結果による比抵抗構造断面図

この結果から、従来考えられていたより知内火山岩類が深部まで分布する可能性が推定され、同時にSRU-3とSRU-4の間、SRU-4とSRU-5の間にそれぞれ断層等の存在が推定された。

掘削調査地はSRU-4の近傍に位置し、掘削調査によりSRU-4の比抵抗構造に対比・検証できると推定された。加温を必要としない温泉を開発するには、この地域で推定される地温勾配から深度1000m以上の掘削が必要であるとされた。先の調査結果から泉源開発のターゲットとなる知内火山岩類が、おおよそ700m以深に存在することと合わせれば、温泉の賦存・地温ともに十分な開発可能性があるかと判断し、掘削深度を1000mとした。

3. 掘削調査概要

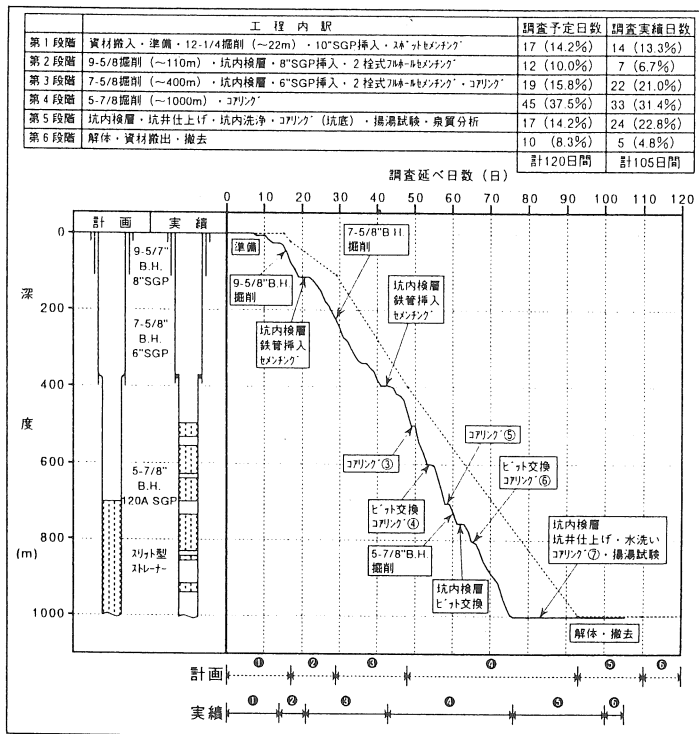
掘削深度を1000mに設定したケーシングプログラムおよび計画工程を実績とともに第3図に示した。図で示されるように、ケーシング計画は22mまで10"SGP、110mまで8"SGP、400mまで6"SGPを挿入して2栓式フルホールセメンチングを施工し、それ以深を120mmSGPアンカー仕上げとし、ストレーナーパイプ長は300mとした。特にこの計画の中では、浅層部における被圧地下水の湧水抑制対策や知内火山岩類に代表される硬質岩を掘削することを考慮し、全工程を120日間とした。

行程実績は第3図に示されるように、第3段階および第5段階で計画予定日数を上回った。その理由は、第3段階は地質が硬質で、さらには深度116m付近の湧水や多数の逸泥対策に時間を割かれたためである。また、第5段階は予備試験を含めた長期間の揚

湯試験を実施したためである。これらを含め、実調査期間は105日間を要した。

掘削調査をまとめて、第4図の総合柱状図として示した。各項目について簡潔に述べる。

1) 坑井地質は、深度8.5mまでが礫や粘土土壌からなる第四紀堆積物、深度98.0mまでが砂岩～砂質シルト岩を主とし軽石凝灰岩・貝化石を挟むイデス川層、深度864.5mまでが火山岩・火砕岩を主とする知内火山岩類、深度916.0mまでが砂質シルト岩、それ以深はシル



第3図 調査工程表とケーシングプログラム

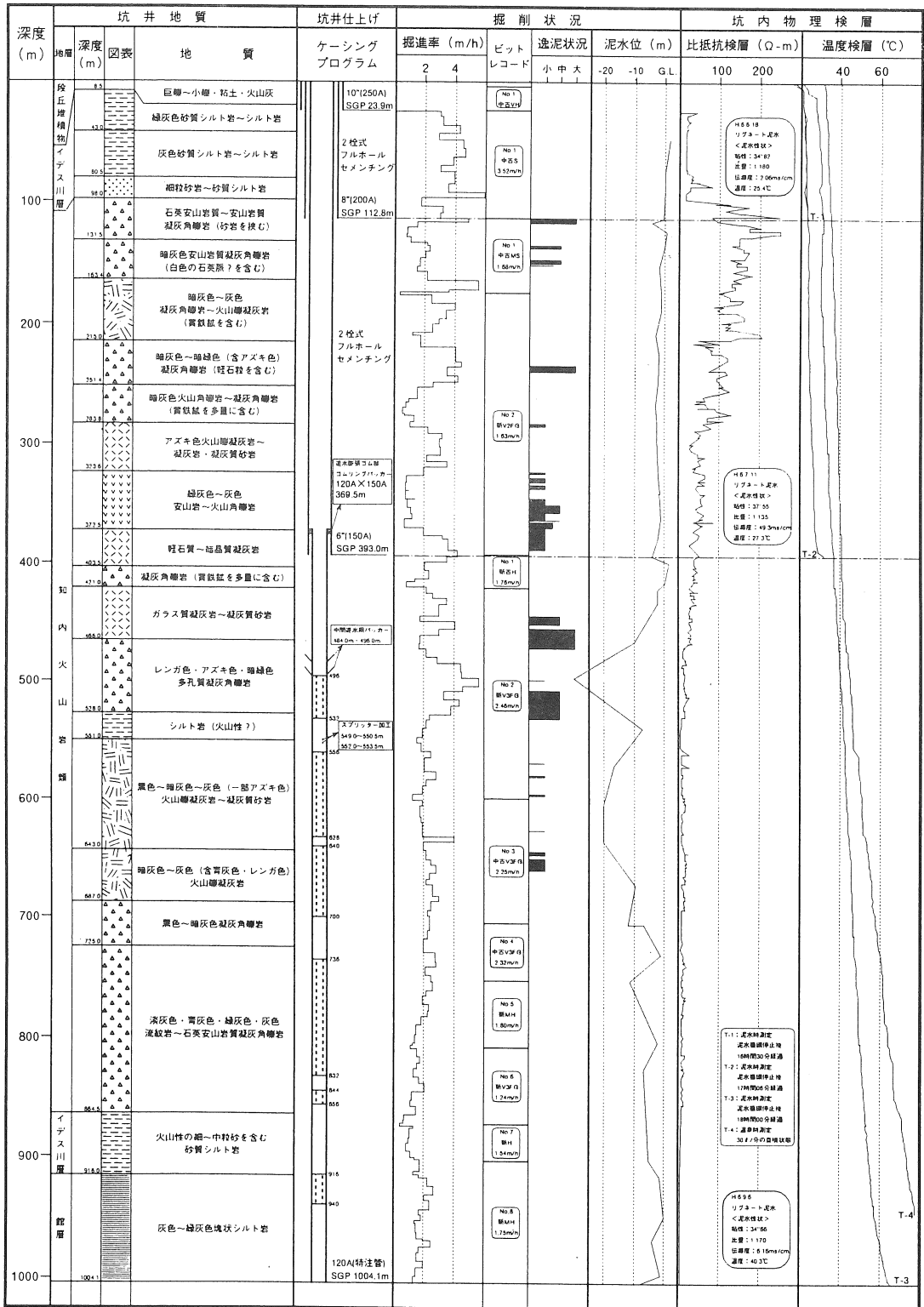
ト岩からなる館層と判断される。このように、総合柱状図上では、知内火山岩類の上位・下位の両方の地質に対してイデス川層としたが、両者は年代・岩相の点から区別できる可能性があると考えた。詳しくは項目6で述べる。

2) 掘進率は、掘削工程平均すると1.88m/hの値であった。知内火山岩類中の低掘進率は、溶岩部や黄鉄鉱を含む硬化部に対応する。一方、下部イデス川層の低掘進率は、ビットが地質に適合していなかったためと思われる。

3) 逸泥状況は、深度113mから660m間で大小合わせて計27回確認できた。すべて知内火山岩類内で発生している。なかでも深度236.5m～239.0m間と深度455.0m～472.0m間は顕著であり、それぞれ最大133 l/min・総量5900 l、最大125 l/min・総量10300 l、の逸泥量を記録したが、これらの逸泥には、LCM濃泥水にて対応できた。

また、深度115.7mにおいて、セメント掘りのため泥水を真水に代えて掘削を行ったところ、セメント部分を通過後ポンプを止めるとともに湧水があった。水温21.5℃で約300～400 l/minの湧出量であったが、比重1.12の泥水を送泥したところ逸泥状態となった。この湧水は、涌元冷泉に対応していると考えている。

4) 比抵抗検層の結果、比抵抗値は坑井地質に対応しているが、知内火山岩類が深部に向かって低比抵抗化することについては検討を要する。岩石中の孔隙率・含水塩分濃度・地熱・変質など要因は多々考えられるが、現在のところ決定的なことはよくわかっていない。



第4図 総合柱状図

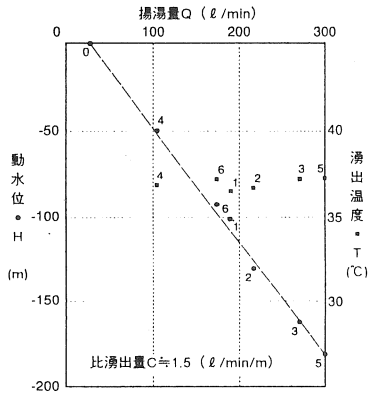
5) 温度検層の結果、坑底で最高温度69.7℃を示し、地温勾配は5.7℃/100mが得られた。この値は、事前調査で予想された5.0℃/100mよりは若干高い値である。

4. 坑井仕上げ・揚湯試験概要

仕上げは、深度444.5～531.7m間の逸泥現象や掘削状況および電気・温度検層の結果から、坑内温度40℃以上を示す深度496m以深に300m分のストレーナーパイプを設置した。6"SGPと120mmSGPの接続・遮水にはゴムリングパッカーを使用し、深度496mと484mには膨張ゴムとシュロ皮の中間遮水パッカーを設置した。

アンカーパイプ設置後、掘管をエアパイプとし、インジェクション深度334mでエアリフト試験を実施したところ、最高温度35.1℃・湧出量120L/minを確認した。動水位はコンプレッサーの圧力変化（18～28kg/cm²）より-55～-150mが得られた。

この結果、泉温がやや低いことから再度温度検層を実施して、パッカーからの漏水や坑内埋設等のトラブルが無いことを確認し、主な湧出箇所が深度496～530mの区間であることを確認した。

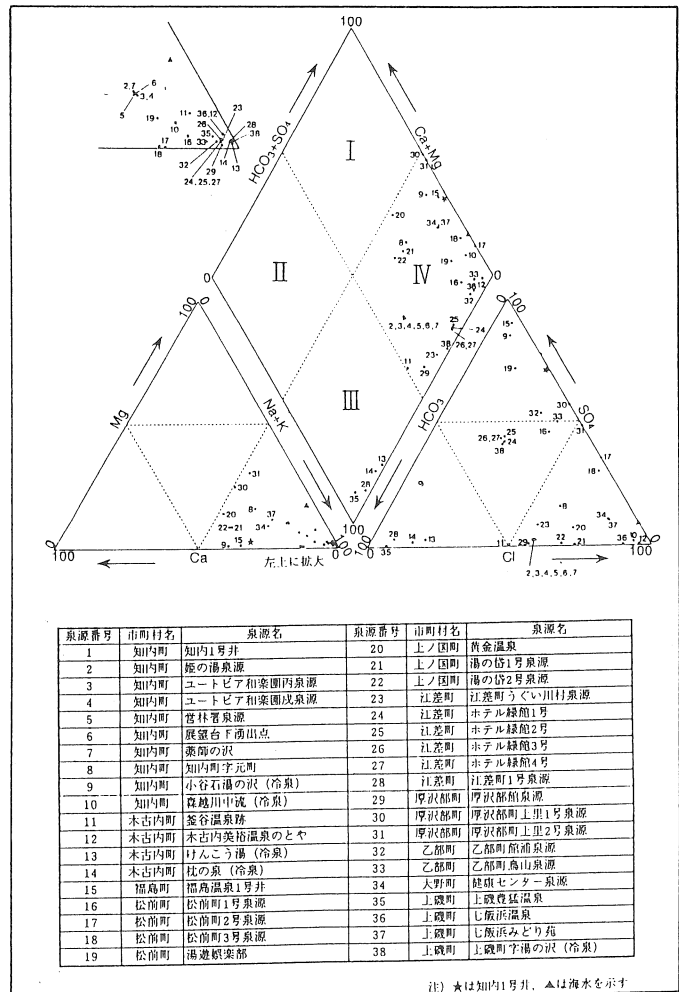


第5図 揚湯特性曲線

陽イオン (mq)	陰イオン (mq)
H ⁺	F ⁻ 0.5
Na ⁺ 924.5	Cl ⁻ 587.5
K ⁺ 37.8	OH ⁻
NH ₄ ⁺ 20	HS ⁻ 0.2
Mg ²⁺ 18.9	S ₂ O ₃ ²⁻ -
Ca ²⁺ 370.3	
Al ³⁺	SO ₄ ²⁻ 2096.0
Mn ²⁺ 0.4	HCO ₃ ⁻ 65.9
Fe ²⁺ 0.6	CO ₃ ²⁻ 0.3
Fe ³⁺	
Zn ²⁺ 0.1	
計 1354.6	計 2750.4
遊離成分 (mq)	溶存物質 (mq)
H ₂ SiO ₃ 107.9	CO ₂ 1.8
HBO ₂ 15.3	H ₂ S 0.0
計 123.2	計 1.8

(1994/10/4 衛生研究所)

第1表 知内1号井泉質分析表



注) ★は知内1号井、▲は海水を示す

第6図 トリリニアダイアグラム

水中モーターポンプ挿入深度を G.L.-221.6m に設定し、6段階の揚湯試験を実施した。この結果を第5図に示した。図に示したように、揚湯量と動水位の関係は、ほぼ直線的で限界揚湯量のポイントが認められない、また揚湯量と泉温の関係は、ほとんど変化が無く 36~37°C 内で安定している。

最大値として泉温 37.3°C・揚湯量 300 l/min・動水位 G.L.-178m を確認した。この結果、比湧出量は約 1.5 l/min/m が得られた。

泉質分析の結果は第1表に示したように、T.S.M. が 4220mg/l で、主に Na・Ca・SO₄・Cl からなる Na・Ca-SO₄・Cl 型の温泉である。

松前半島域の温泉・冷泉のデータと併せて第6図に示すトリリニアダイアグラム上へプロットしたところ、知内温泉地区の泉源群とは異なり、福島町泉源や小谷石冷泉に似ていることがわかった。このような泉質は、渡島半島西部には比較的多く存在する。半島西部を特徴づけるものかも知れない。

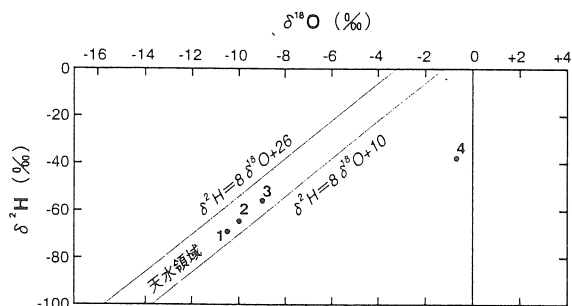
また、本調査で得られた温泉水の起源を探るため、温泉水中の酸素と水素の同位体比の分析を行った。湧出した温泉水の他に知内温泉・小谷石冷泉・森越冷泉の試料も併せて行った。分析結果を第2表および第7図に示した。天水の範囲にプロットされるのは、知内1号井・知内温泉・小谷石冷泉で、森越冷泉は離れた位置にプロットされた。

5. 電気探査結果と地質の対比

ここでは、電気探査結果による比抵抗構造に本ボーリング結果をあわせ地下構造について考察してみる。測定方法は直流法・シュランベルジャー配列とし、水平多層構造を仮定したりニアフィルター法によるカーブフィッティング法を用いている。

解析比抵抗断面では、数 10Ω・m 程度の中比抵抗層が大部分を占めている。先の報告では、この中比抵抗層をイデス川層に対比している。しかしながら、今回のボーリング結果や北電各井の地質データからも明らかなように、実際にはイデス川層は層厚が数 100m 程度の地質である。この矛盾点について要因は色々考えられるが、現在のところ、1) 水平多層構造を仮定したが、実際には知内火山岩類中に変質している部分や指交関係を持つ部分があり、水平多層構造とならない地質構造であった。2) 本調査井の坑内比抵抗検層結果からも明らかなように、知内火山岩類は深部に向かい明確な境界を持たず低比抵抗化している。このため数 10Ω・m 程度の中比抵抗値を示したイデス川層と知内火山岩類中～下部の区別の解析が困難であった。などを考えている。

しかしこれらのことを考慮しても、SRU-4 の最下部の高比抵抗層についての解釈は



第7図 δ²H と δ¹⁸O の関係

試料番号	試料名(泉源名)	δ ² H (‰)	δ ¹⁸ O (‰)
1	知内1号井	-68.8	-10.5
2	知内温泉	-64.3	-10.0
3	小谷石冷泉	-55.7	-9.0
4	森越冷泉	-37.7	-0.7

第2表 同位体分析表

困難であり、よって南北・東西の不連続についても、現段階では決定的なことは言えない。

6. 知内町の地質層序について

本掘削地点近傍には、北海道電力(株)の調査用井戸も含む地下水井が6本分布する。北海道電力(株)の地下浅部の地質データと本調査井のデータおよび今回の調査で得られた知内火山岩類の放射年代を併せて、地質層序について再検討する。

山口(1978)によれば、イデス川層は下位の館層を不整合に覆い、知内火山岩類とは基本的に下位の関係で接し、部分的に指交関係を持つとされている(第8図)。館層は、微化石年代やフィッシュントラック年代から鮮新世との報告(金属鉱業事業団, 1978; 高橋ほか, 1980; 椿原ほか, 1989など)がある。イデス川層の年代は不明であるが、今回の調査で知内火山岩類のK-Ar年代測定し、放

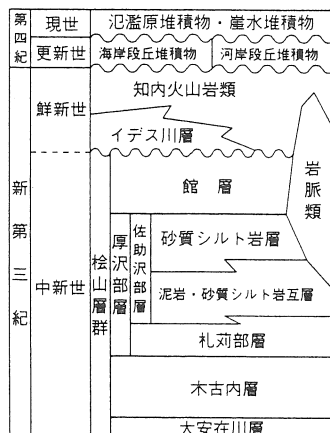
試料採取場所	岩石名	放射年代 (Ma)
コア (339m)	両輝石安山岩	1.75±0.37
コロナイ川中流	両輝石安山岩	2.24±0.12

第3表 放射年代表

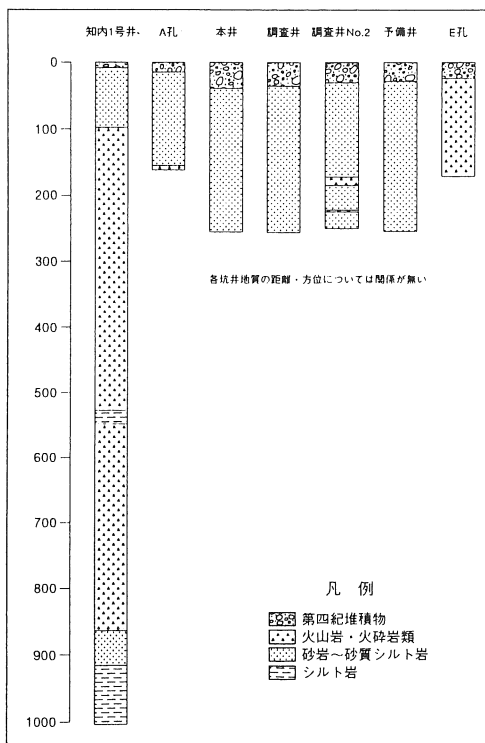
射年代として鮮新世末期～更新世のデータを得た。この結果は山口(1978)の層序に整合的であり、したがってイデス川層は、鮮新世後期の地質となる。分析結果については、第3表に示した。

ところで、今回の掘削結果からも明らかに、涌元地域では知内火山岩類の上位に砂岩～砂質シルト岩を主とする地質が存在している。この地質は、山口(1978)の地質図上に示されている涌元地域のイデス川層に相当し、ほとんどの北電井でも第四紀層の下位に普遍的に出現することから(第9図)、涌元地域の地下に広く分布している可能性が高く、知内火山岩類よりも上位にあることより、更新世頃の堆積物と推定できる。

また、模式地(イデス川流域)周辺のイデス川層は、砂岩～砂質シルト岩を主としシルト岩礫や知内火山岩類由来と思われる火山岩礫・火山性砂・軽石粒を含む岩相であり、坑井地質の下位のイデス川層に対比できる。一方、涌元谷地周辺のイデス川層は、砂岩～砂



第8図 模式柱状図(山口, 1978)



第9図 各井の坑井地質

質シルト岩を主とし礫岩などの粗粒層を含む岩相であり、坑井地質の上位のイデス川層に対比できる。よって岩相の点から両者のイデス川層は、区別することができる。

以上のこと総合的に考えると、少なくとも本調査井においては、イデス川層を岩相・年代の点から区分できる可能性がある。しかし、イデス川層の年代は不明であり決定的なことは言えない。本調査井が深度530~550mにおいて知内火山岩類中にシルト岩を挟むことや北電の調査井No.2孔がイデス川層中に知内火山岩類を挟むことを考慮すれば、現時点ではイデス川層と知内火山岩類を分けて考えるのではなく、一括して取り扱い、知内火山岩類の長期活動による指交関係の堆積物がイデス川層であると考えの方が適当と思われる。

また、各地層については、依然として信頼できる年代資料が乏しい。現在、野外および坑井地質における知内火山岩類の放射年代測定およびイデス川層の微化石分析を進めている。

7. まとめ

知内町の地熱ボーリングについて概要を報告し、地下構造について考察した。調査前の各重点項目についてまとめると

- 1) 地質構造を解明する：知内火山岩類の上下には砂質シルト岩からなる地質が存在し、岩相・年代の点で区別できる可能性があることを示した。しかし、ここでは知内火山岩類とイデス川層を一括して扱い、相対的な上下関係を持たない指交関係の堆積物とした。
- 2) 地温分布を把握する：5.7°C/100mの地温勾配が得られた。
- 3) 温泉の賦存状況を把握する：知内火山岩類は、かなりの亀裂網が発達しており、十分に温泉開発層の対象となることが確認できた。
- 4) 湧出状況を把握する：最高値として動水位G.L.-178mの状態で泉温37.3°C・揚湯量300L/min湧出状況を確認できた。比湧出量は約1.5ℓ/min/mが得られた。

本調査で多くのことが解明されたとはいえ、知内火山岩類の地下分布状況、比抵抗構造断面図で示された構造の東西・南北の不連続、最下部の高比抵抗層の解釈など解明できなかったことも少なくはない。これらは今後解明していく必要がある。

知内火力発電所（北海道電力株）の方々には、貴重な未公表資料を提供して頂いた。(株)ユニオンコンサルタントの山口昇一氏には、多大なる御教示を頂いた。当所和気徹資源地質部長・鈴木豊重主任研究員・松波武雄地域エネルギー科長には、原稿を読んで頂き、多くの助言を頂いた。ここに記して厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 石田正夫・垣見俊弘・平山次郎・湊光男（1975）：5万分の1地質図幅「館地域の地質」。地質調査所
山口昇一（1977）：5万分の1地質図幅「渡島福島地域の地質」。地質調査所
山口昇一（1978）：5万分の1地質図幅「知内地域の地質」。地質調査所
湊光男・垣見俊弘（1979）：5万分の1地質図幅「木古内地域の地質」。地質調査所
久保和也・石田正夫・成田英吉（1983）：5万分の1地質図幅「長万部地域の地質」。地質調査所
湊光男・山口昇一（1974）：地学巡検案内書「北海道松前半島の新第三系の層序と地質構造」。日本

地質学会北海道支部

- 小原常弘・佐藤巖・松下勝秀・早川福利・横山英二・山口久之助・二間瀬冽・国府谷盛明（1966）：
北海道水理地質図No.15“函館”および同説明書。北海道立地下資源調査所
- 横山英二・和気徹・川森博史・二間瀬冽・酒匂純俊・早川福利（1981）：知内町知内温泉調査報告。
地下資源調査所報告No.52。北海道立地下資源調査所
- 松波武雄・若浜洋（1992）：知内町内の温泉開発について。受託調査報告書。北海道立地下資源調査
所
- 北海道立地下資源調査所（1976）：北海道の地熱・温泉（A）西南北海道中部。北海道立地下資源調
査所
- 地徳力（1983a）：北海道南西部、瀬棚層産石灰質超微化石群集について（その1）。地球科学，37，
90-97P
- 地徳力（1983b）：北海道南西部、瀬棚層産石灰質超微化石群集について（その2）。地球科学，37，
119-125P
- 池谷仙之・植松健二（1968）：瀬棚層と黒松内層の関係について。地質学雑誌，74，21-36P
- 地徳力（1984）：北海道南西部、上八雲地域の地質と微化石。地質学雑誌，90，299-309-P
- 奥水達司・山崎淳・加藤誠（1986）：西南北海道渡島半島新生界のフィッション・トラック年代。地
質学雑誌，92，771-778P
- 椿原慎一・長谷川四郎・丸山俊明（1989）：西南北海道黒松内地域の上部新生界。地質学雑誌，95，
423-443P
- 鈴木昭彦（1991）：西南北海道美利河一花石地域の瀬棚層の堆積環境。地質学雑誌，97，329-344P
- 地学団体研究会札幌支部（1981）：北海道の第三紀の構造運動と火成作用。北海道地質構造発達史の
解明をめざすシンポジウム—その3—
- 地学団体研究会札幌支部（1981）：北海道の鮮新一更新世研究の到達点と課題。北海道地質構造発達
史の解明をめざすシンポジウム—その4—
- 地学団体研究会札幌支部（1983）：北海道日本海側に分布する新生代層の諸問題。北海道地質構造発
達史の解明をめざすシンポジウム—その7—
- 地学団体研究会札幌支部（1986）：千島弧・東北日本弧会合部の新世界。地学団体研究会第40回札幌
総会学術シンポジウム
- 正谷清・大倉保（1980）：北海道渡島半島の新第三系生層序。技研所報，23-1号，32-52P
- 高橋清（1980）：北海道、道央・渡島半島地域の新第三系化石放散虫層序。技研所報，23-1号，
53-80P
- 高橋清・一ノ関鉄郎・大倉保・秋葉文雄・村田勇治郎・古田土俊夫（1980）：北海道渡島半島新第三
系微化石層序。技研所報，23-3.4号，142-167P
- 棚井敏雅編（1981）：北海道の新第三系の生層序—研究連絡紙No.1—。北海道大学
- 棚井敏雅編（1981）：北海道の新第三系の生層序—研究連絡紙No.2—。北海道大学
- 棚井敏雅編（1982）：北海道の新第三系の生層序に関する総合研究。北海道大学
- 土隆一編（1979）：日本の新第三系の生層序及び年代層序に関する基本資料。IGCP-114，
NATIONAL WORKING GROUP OF JAPAN
- 加藤誠・勝井義雄・北川芳男・松井愈編（1990）：日本の地質1『北海道地方』。共立出版株式会社
- 山岸宏光（1994）：水中火山岩。北海道大学図書刊行会
- 地学団体研究会（1989）：道南の自然を歩く。北海道大学図書刊行会

5. 北部北海道オホーツク沿岸の温泉資源について

北海道立地下資源調査所 松波 武雄

はじめに

北部北海道では、平成4年(1992)の羽幌町における温泉開発に続き、平成6年(1994)には雄武町による温泉開発が成功した。くしくも北緯44°25'線をはさみ、日本海とオホーツク海の両沿岸に新たな温泉資源が確保された(第1図)。

北部北海道の日本海側の温泉開発は、これまで石油・天然ガスに付随する塩水を対象として新第三系背斜軸部近傍でなされてきた。羽幌町の掘削はむしろ向斜部でなされたことで意義あるものであった。

一方、雄武町を含む北部北海道のオホーツク海側は温泉資源(25℃以上)の空白地域であった。雄武町沢木における泉源開発は、オホーツク沿岸における温泉開発の可能性を開いた点で意義あるものである。

ここでは、雄武町の温泉開発から何がわかったか、北部北海道オホーツク沿岸の温泉資源(熱利用が可能な資源として使用する)開発の可能性は何処まで広がるか、などについて述べることにする。

1. 雄武町のボーリング結果

雄武町では、日の出岬を中心とした地域振興プロジェクトが進められてきた。温泉開発の事前調査(地下資源調査所)では、温泉の成立条件からみてリスクは伴うがボーリングへの移行は否定されないと判断された。町の英断により実施されたボーリングは高温の温泉湧出をもたらした。以下にボーリング結果を、町報告書(上山試錐工業株式会社)に基づき要約して述べる。

1) 坑井地質は、深度195mまで安山岩、195~425m間が安山岩および流紋岩質火砕岩類、425m以深が砂岩・礫岩・泥岩および凝灰岩からなる(第2図)。最上部の安山岩はイナシベツ溶岩(斉藤, 1964)、深度195m以深は上雄武層(鈴木ほか, 1966)に対応すると判断される。いずれも中新統である。上雄武層の傾斜はコアでみる限りはほぼ水平である。当井では先新第三系(基盤岩類)には到達していない。

2) 掘削中顕著な逸泥はみられていないが、坑底における2回の検層間（17h 45m）に24.5mの泥水水位の低下がみられた。

3) 複数の温度検層が実施された。坑内温度は深度とともにほぼ直線的に上昇しており、坑底（1,205m）で69.3℃を記録した。

4) ストレーナは、深度853～1,183m間の中新統の礫岩・砂岩卓越部に設置された。ストレーナ上端の坑内温度は最終検層温度で54℃である。

5) 静水位は-46.7mにあり、揚湯試験の結果から比湧出量1.69ℓ/min/mが得られた。揚湯量216ℓ/min時の動水位は-127.6m、泉温63℃である。

6) 熱水はN₂ガスを主体とする付随ガス（第3図）を伴う（5m³/日程度）。ガス水比は0.017程度である。

7) 得られた熱水は、pH:7.6の弱アルカリ性、蒸発残留物20.26g/ℓのナトリウム-塩化物強食塩泉である（第3図；分析時の泉温は66.2℃）。

II. 雄武町の温泉開発から何がわかったか

当地域のように、地表部にこれといった温泉徴候（温冷泉の湧出・温泉変質帯など）の見られない地域においては、高温の熱水対流系（地下浅部まで高温熱水が上昇するような系）が形成されていることはほとんどない。このため、地下浅部における温泉開発は望めない。しかし、地下深部からの伝導的な熱輸送（熱源）はいたる所に存在することから、地下深部まで流体を供給する場・深部に流体が貯留される場が存在し、それらがある程度以上の透水性をもつならば温泉は存在しうることになる（第4図）。これらの温泉を上昇させる通路は必要ない。上昇通路はボーリングにより人工的に形成される。雄武町日の出岬の地下深部には、このような条件が成立していたことが明らかである。

まず、地表温度を10℃と仮定した場合、4.9℃/100mの比較的高い地温勾配を有している。このため、深度1,000～1,200mで59～69℃の地下温度条件となっている。泉温からみて、熱水は深度1,000m以深からもたらされていると推定される。

得られた熱水組成は海水組成に極めて類似しており（第3図・第5図）、海水が重要な流体の供給源になっていることを示唆している。同位体比分析は目下実施中であるが、この熱水は海水と天水の混合系からなるとみてよいと判断される。海水は明らかに海側から、天水は西方山地からもたらされていると推定される。

ストレーナ区間の地質は、基盤岩礫（泥岩・珪岩・花崗岩類など）からな

る礫岩および砂岩を主とする中新統（上雄武層）である。この地層中に流体を移動・貯留しえる空間は、ポラス・メディアに加え大小さまざまな大きさの亀裂の集合体と推定される。揚湯試験結果（雄武町, 1994）から算定される透水量係数は $1.4 \sim 2.2 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{sec}$ である。掘削中顕著な逸泥現象がみられていないことから、この透水量係数は顕著な亀裂のもつ透水性ではなく、1,000m以深の上雄武層がもつポラス・メディア+亀裂の集合体の透水性をしめしていると推定される。

上雄武層は浅海～陸域の堆積物で、イナシベツ溶岩は陸域の活動とされている（渡辺, 1994など）。このように当地域周辺の中新統は主として陸域環境にある。当地点では基盤岩類は深度1,200m以深に存在する。陸域環境の厚い中新統の発達が天水の深部への供給・貯留に有利に作用していることが示唆される。

III. 温泉開発の可能性はどこまで広がるか

北部北海道のオホーツク海側（内陸部）では、これまで歌登町辺毛内（1,200m；歌登町, 1987）および滝の上町市街（1,300m）で温泉ボーリングが実施されている。これらの地域では残念ながら良好な結果は得られなかった。歌登町の坑井地質は、上雄武層とほぼ同時期と推定される堆積岩類（タチカラウシナイ層）を貫き花崗岩類に至っている（第2図）。一方、滝の上町の坑井地質はいわゆる日高累層群の堆積岩類中を掘さくされている。

雄部町における温泉開発結果からみて、オホーツク沿岸域における温泉開発の可能性はどこまで広がるかについて、先に述べた温泉成立の条件から検討する。

第6図に、北部北海道地域の地温勾配をしめした。当地域の深度-坑内温度関係は、熱水対流系の存在をしめす上昇流型の温度パターンをしめすものではなく、全て深度とともに直線的に温度上昇する。すなわち、当地域の熱構造は深部からの伝導熱によって支配されているといえる。このため、第6図の等地温勾配線は坑底温度と基準温度（地表温度 10°C と仮定）の差から単純に描かれている。北部北海道の地温勾配は、“神居古潭帯”の東縁に沿う $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ の等地温勾配線を境にほぼ2分される。東側はおおむね $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以上、西側は $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以下となる。このうち、枝幸～紋別間は $4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以上の高地温勾配域となっている。このことから、浜頓別以北を除くオホーツク沿岸の深度1,000～1,200m間の地温は、大部分の地域で $50 \sim 60^{\circ}\text{C}$ をうわまわっていることが期待される。したがって、温泉開発が成功するか否かは、上記

の深度において流体の供給と貯留が存在するか否かにかかっている。いうならば、当地域の温泉探査では“地下1,000~1,200mに流体の供給と貯留が可能である地質構造をいかにして把握するか”が重要課題となる。

第7図に北部北海道オホーツク沿岸の地質略図をしめした。当地域の地質は主として基盤岩類（先新第三系および深成岩類）と新第三系から構成される。基盤岩類は西側から空知-エゾ帯・日高帯および常呂帯に3分される（日本の地質『北海道地方』編集委員会,1990）。このうち、日高帯における基盤岩類の露出地域は大きくは3箇所に分離される。これらの基盤岩類分布域に挟まれた地帯が新第三系の分布域となっている。ここでは北から浜頓別地域・枝幸地域・雄武地域および紋別地域とする。このうち、紋別地域の新第三系は南北方向に延びる地溝を形成しているとされている（八幡,1994）。

第8図に、渡辺(1994)および日本の地質『北海道地方』編集委員会(1990)などを基にした各地域の新第三系の模式的層序関係をしめした。当地域の新第三系の特徴は以下のようなものである。

1) 海成堆積物は北端の浜頓別地域に分布するモーペチャン層（稚内層相当層）のみであり、他は浅海～陸成堆積物からなる。

2) 枝幸地域および雄武地域の層序は下位から浅海～陸成堆積物・安山岩・流紋岩・安山岩の組合せ、紋別地域では浅海～陸成堆積物・安山岩・流紋岩（湖沼堆積物）の組合せからなる。

3) 新第三紀の火山活動はほぼ南北の帯状の火山列を形成している。火山岩類の放射年代は、北から南に新しくなる傾向をしめしている（渡辺・山口,1988；渡辺,1994など）。これらの火山岩類の噴出環境は、浅海～陸域の環境にある。特に注目されるのは、オホーツク水系と日本海水系の分水嶺を構成する平坦溶岩（第7図：函岳溶岩・ピヤシリ溶岩など）が、放射年代により従来の鮮新世以降から中～後期中新世と変更された点である。

4) 当地域の新第三系には顕著な褶曲はみられず、後期中新世以降ほとんど変形を受けていない非変形帯として特徴づけられている（宮坂・松井,1986：北部日高基盤台地）。

第9図に河野・古瀬(1989)による重力異常図をしめした。先に述べた新第三系分布域は低重力異常域としてしめされている。しかし、紋別地域は明瞭な低重力異常域をしめしていない。あるいは基盤岩類が浅く分布しているのかもしれない。

以上の地質構成を踏まえ、“流体の供給・貯留”の点から若干の検討を加える。

当地域で温泉となりうる流体は天水と海水（化石海水は新第三系の堆積環

境から困難とみられる)と考えられる。海水が深部で陸域のどこまで入りうるのかは明確にされたものはないが、道内の例(恵山・岩内など)からみて2~3km程度であろうと推定される。したがって、海水が関与する温泉は海岸線に沿う地帯に限定されるであろう。第10図に岡山(1988)の接峰面図をしめした。天水は大局的に第10図の高標高地帯から低標高地帯に向かって流動・集積すると推定される。当地域が後期中新世以降大きな変形をこうむっていないとされることから、上に述べた傾向は長く持続されてきたと推定される。以上のことから、周辺との標高差の大きい地域の海岸域が“流体の供給”の点からみた温泉開発のターゲットとなると考えられる。

ところで、それぞれの地層のもつ透水性は一樣ではない。当地域の基盤岩類・新第三系とも流体の通路の主体は大小さまざまな亀裂(網)であり、新第三系ではポーラス・メディアが加わると推定される。岩相・時代の異なる地層における深度1,000mに至る亀裂網の発達度の度合いの総合的な評価はほとんどなされていない。現状では残念ながら経験的に判断せざるを得ないと思われる。しかし、基盤岩類が新第三系に比べ透水性に乏しいことを示唆するいくつかの例がある。

1) 基盤岩類が地表に露出する地域では、熱水対流系が形成(例えば層雲峡温泉など)されている地域を除いて多量に温泉が湧出することは稀である。

2) ボーリングにより海岸隣接地の基盤岩類から、高濃度塩水(海水起源)がとりだされる事は稀である。

3) 例は少ないが、ボーリングにより基盤岩類(新第三系の下位に分布)から採りだされた熱水の比湧出量は 1.5 l/min/m を越えることは極めて稀である(第1表)。

これらのことから、基盤岩類が地表に広く分布する地域では、海水は基盤岩類に浸透しにくいこと、基盤岩類では天水を深部まで流動させる透水性は乏しいことが推定される。例え深部に温泉を貯留する構造(多くは断層などが想定される)が想定されても、流体の補給にたえる透水性がなければ安定的な温泉開発は望めない。これらの地域における探査の結論は慎重であるべきと考える。地層のもつ透水性を考慮すれば、基盤岩類露出地域での温泉開発の可能性は低くみざるを得ない。当地域が新生代末期の非変動帯とされることは、大規模な亀裂の発達を期待しえないことを示唆しているかもしれない。

一方、当地域の新第三系は浅海~陸域の環境で生成したとされる点は、堆積物にポーラス・メディアとしての役割を期待させるものがある。新第三系が厚く堆積し、それらが粗粒なものであれば、雄武町と同様な温泉開発の可

能性は広がると考えられる。特に、雄武町から枝幸にかけての分水嶺（天水の供給域）が安山岩類から構成されている（第10図）ことは、他地域に比べ天水の補給の点で有効に働いていることが期待される。

以上のことから、北部北海道オホーツク沿岸域での温泉開発は、枝幸地域および雄武地域の海岸域で最も高い可能性をもつと判断される。地溝を形成する紋別地域は、基盤岩類の分布深度を検討する必要があると思われる。一方、浜頓別地域の温泉開発（熱利用可能）の可能性は、地温・構成地質の点から極めて低いと判断せざるを得ない。

あとがき

“道内だけでなく日本国内なら、どの地点で何メートル掘れば、何度のお湯がどのくらい出るかを事前に予測できる”（道新:1994. 3. 25）との見解もあるが、第4図にしめしたように、地表部に温泉徴候をもたない地域における深部温泉開発の可能性は、いわゆる深層熱水資源を除き経験的に判断せざるを得ない部分がまだまだ多いと考えられる。今日お集まりの多くの方々の多年の努力によって積み上げられた実績の中から経験法則を見いだしていくことが、温泉開発の確度を高める近道と考える。積み上げられたデータを皆様方に還元していくことが当所の重要な役割と考え、今後とも尽力するところです。当報告をまとめるにあたって、当所早川福利所長および鈴木豊重主任研究員に有益な助言を頂いた。記してお礼申し上げます。

参考文献

- 地質調査所(1981):20万分の1地質図幅「枝幸」
———(1984a):50万分の1地質図幅「網走」
———(1984b):20万分の1地質図幅「紋別」
———(1990a):50万分の1地質図幅「旭川」
———(1990b):20万分の1地質図幅「名寄」
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。
河野芳輝・古瀬慶博(1989):100万分の1日本列島重力異常図。東京大学出版会
宮坂省吾・松井 愈(1986):中央北海道の新世代末期テクトニクス。地団研専報, No. 31。
日本の地質『北海道地方』編集委員会(1990):日本の地質1, 北海道地方。共

立出版.

小川克郎(1987):地熱調査概要.昭和61年度地熱開発技術講習会テキスト.

岡山俊雄(1988):100万分の1日本列島接峰面図.古今書院.

雄武町(1994):平成6年度雄武町地熱エネルギー開発業務報告書(上山試錐工業).

斉藤昌之(1964):5万分の1地質図幅「沢木」および同説明書.北海道立地下資源調査所.

鈴木 守・国府谷盛明・藤原哲夫(1966):5万分の1地質図幅「雄武」および同説明書.北海道立地下資源調査所.

歌登町(1987):昭和62年度歌登町地域エネルギー開発事業ボーリング探査委託業務報告書(千葉ボーリング).

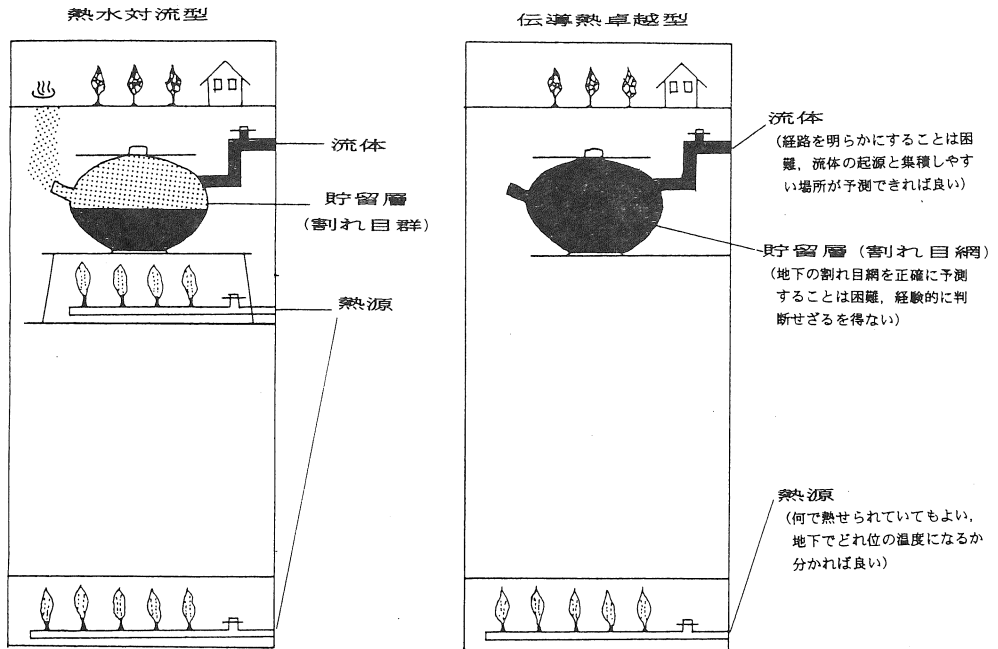
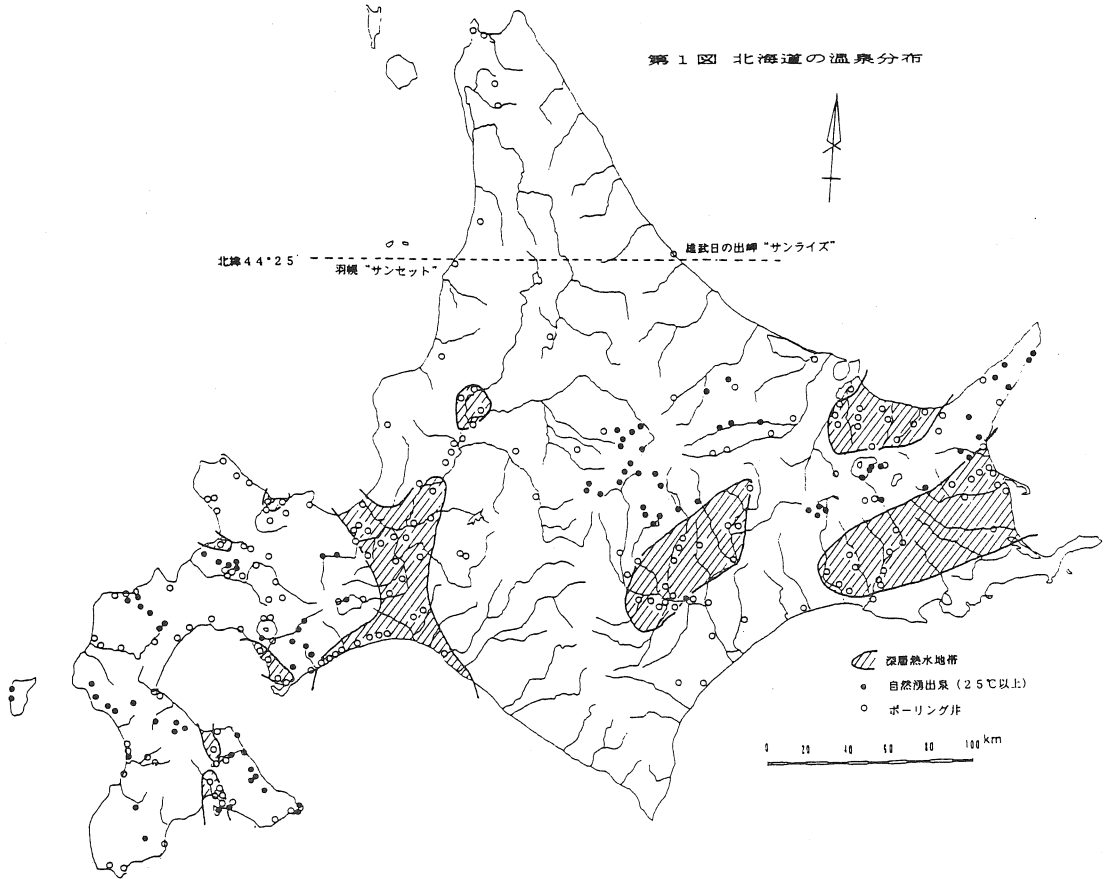
若浜 洋・秋田藤夫・松波武雄(1993):北海道の地下温度勾配図.物理探査学会第89回(平成5年度秋季)学術講演会講演論文集.

渡辺 寧・山口昇一(1988):北部北海道名寄-旭川地域の中新世火山岩のK-Ar年代とその造構場.地球科学, Vol. 42.

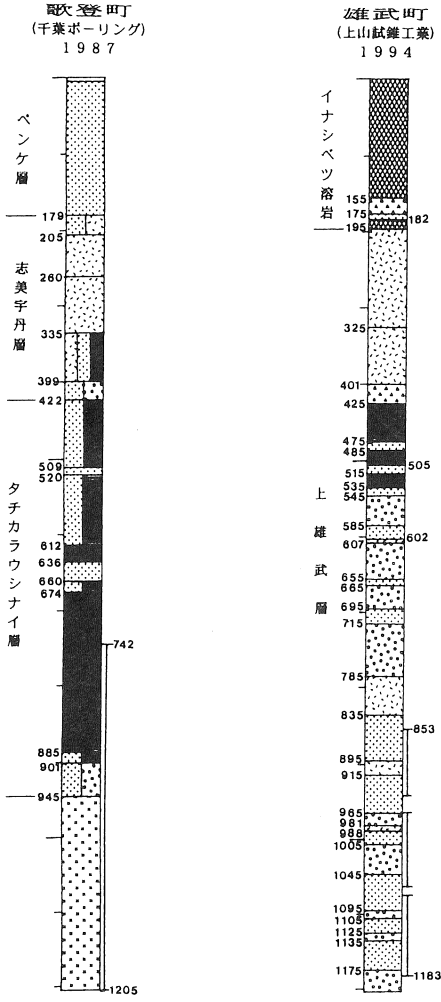
————(1994):北海道北東部の中新世火山活動とテクトニクス-なぜ火山活動は南下したか?-地質ニュース, No. 483.

八幡正弘(1994):紋別-上士幌地溝帯について.日本地質学会第101年学術大会講演要旨.

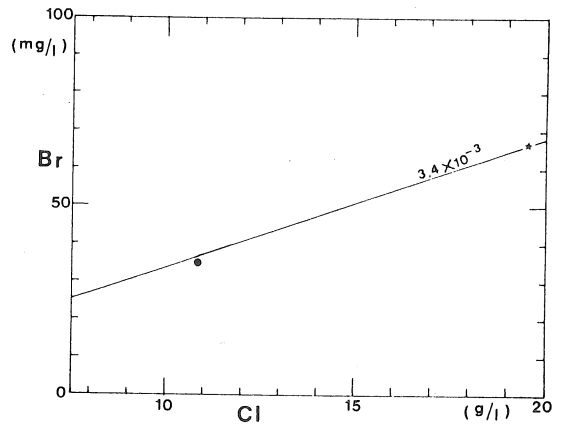
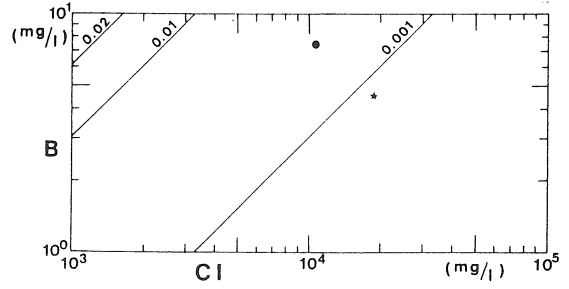
第1図 北海道の温泉分布



第4図 温泉成立の3要素

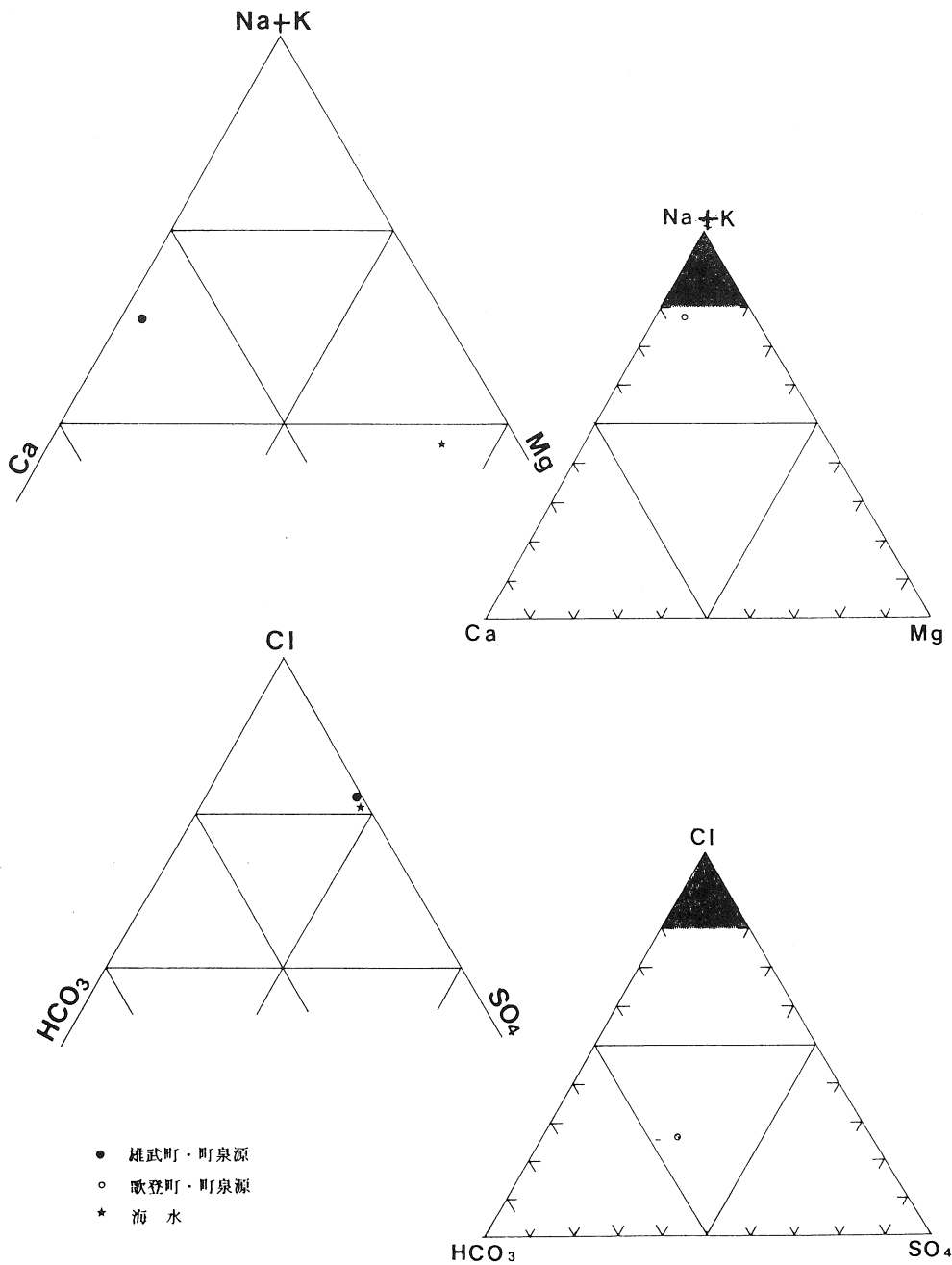


第2図 雄武町・歌登町の坑井地質



● 雄武町泉源 * 海水

第5図 塩素とホウ素・臭素の関係



地点	水温℃	湧出量*	pH	TSM*	Ca*	Mg*	Na*	K*	T.Fe*	Cl*	HCO ₃ *	CO ₃ *	SO ₄ *	Br*	I*	HBO ₂ *	H ₂ SiO ₃ *	F.CO ₂ *	H ₂ S*
雄武町沢木	86.2	200(VP)	7.6	20,280	828.1	28.4	8,546	57.6	2.9	10,858	52.7	0.2	1,431	34.7	1.4	30.5	55.6	7.0	0.0
歌登町辺毛内	19.8	0.4(AL)	7.3	215.3	10.2	2.8	60.3	2.3	8.38	31.2	86.6	0.0	47.7			0.4	**3.3	1.3	

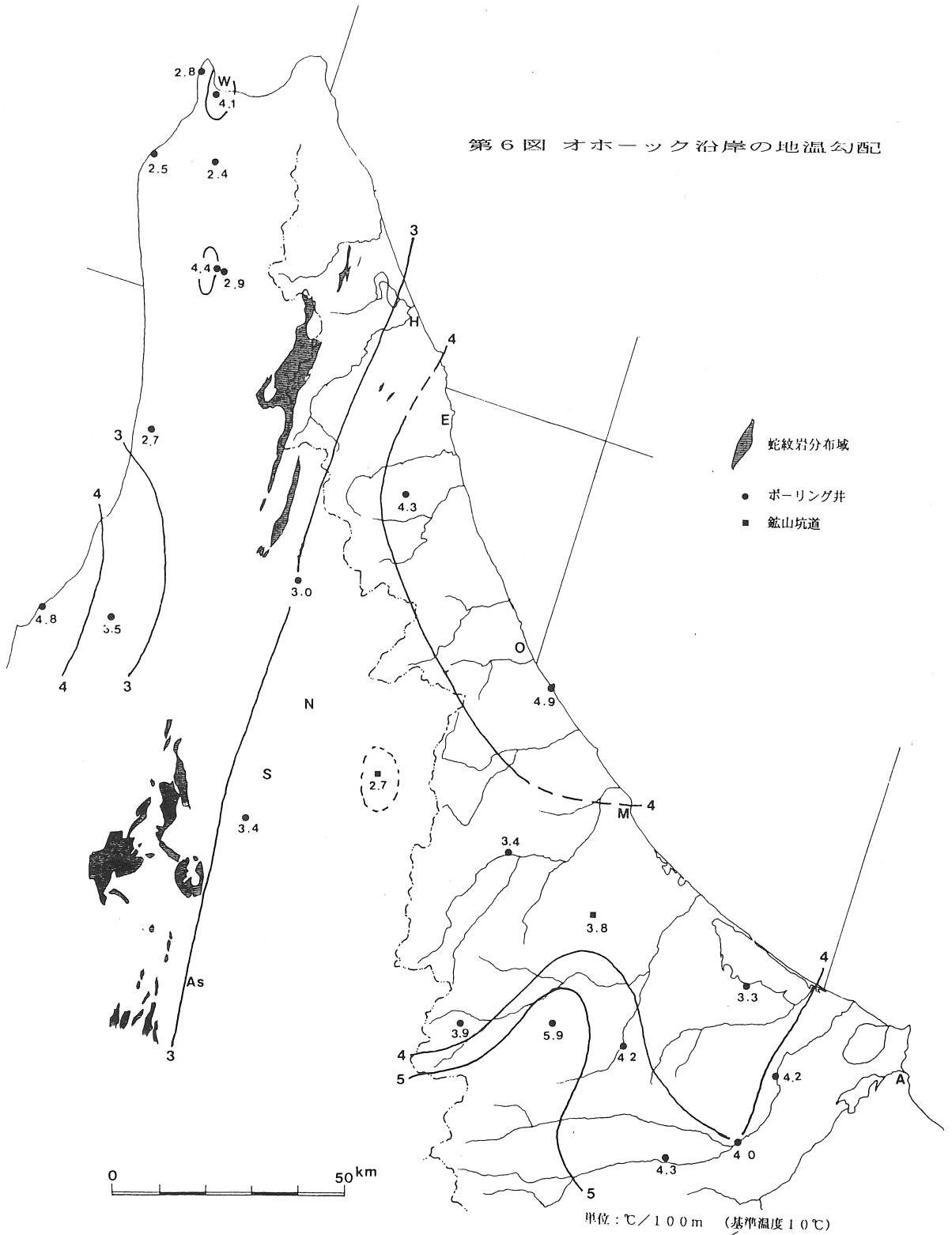
ℓ/min * mg/ℓ ** SiO₂

地点	H ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀
雄武町沢木	0.019	81.00	0.288	6.10	2.17	0.330	0.049	0.028

空気補正 Vol%

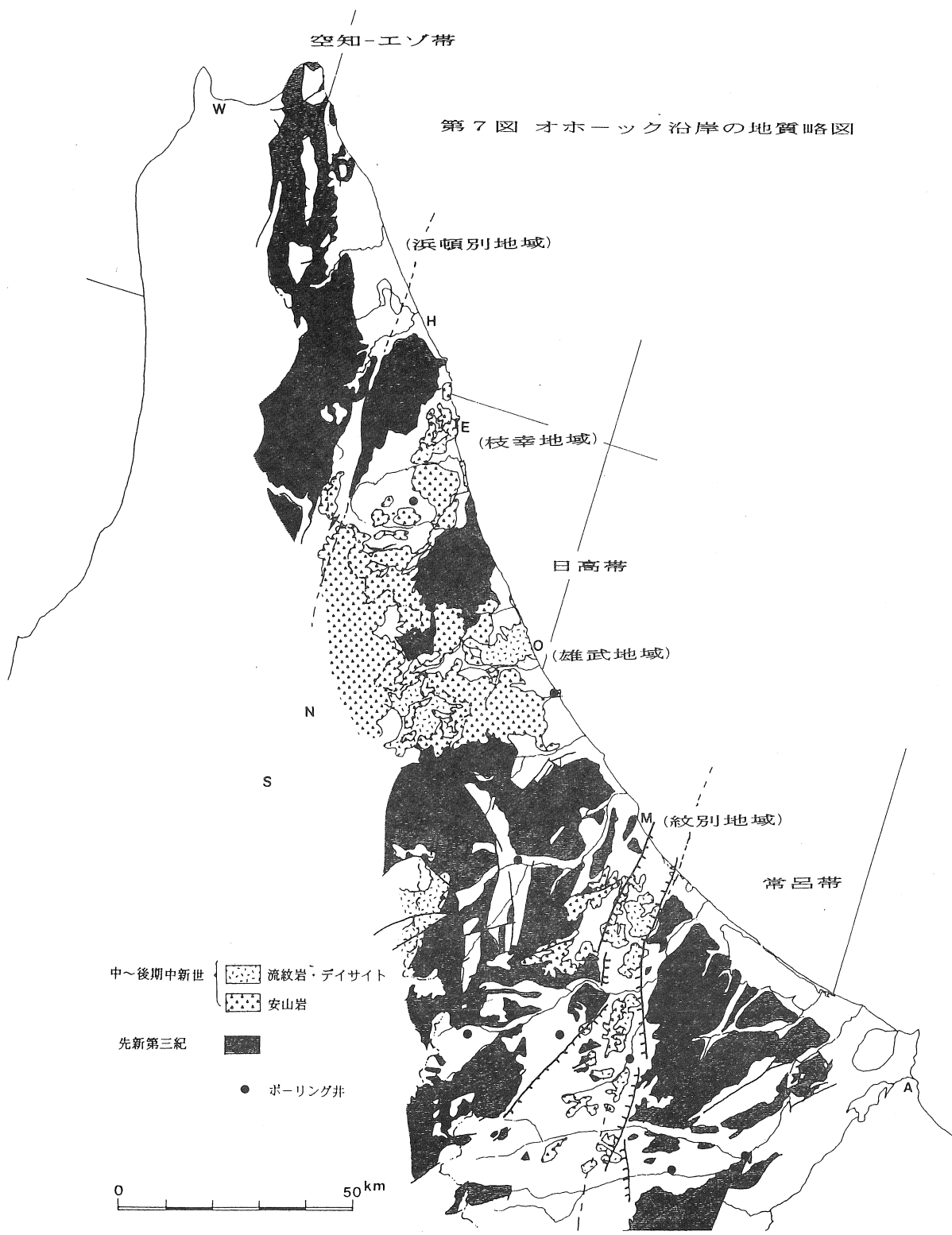
第3図 雄武町の熱水組成

第6図 オホーツク沿岸の地温勾配

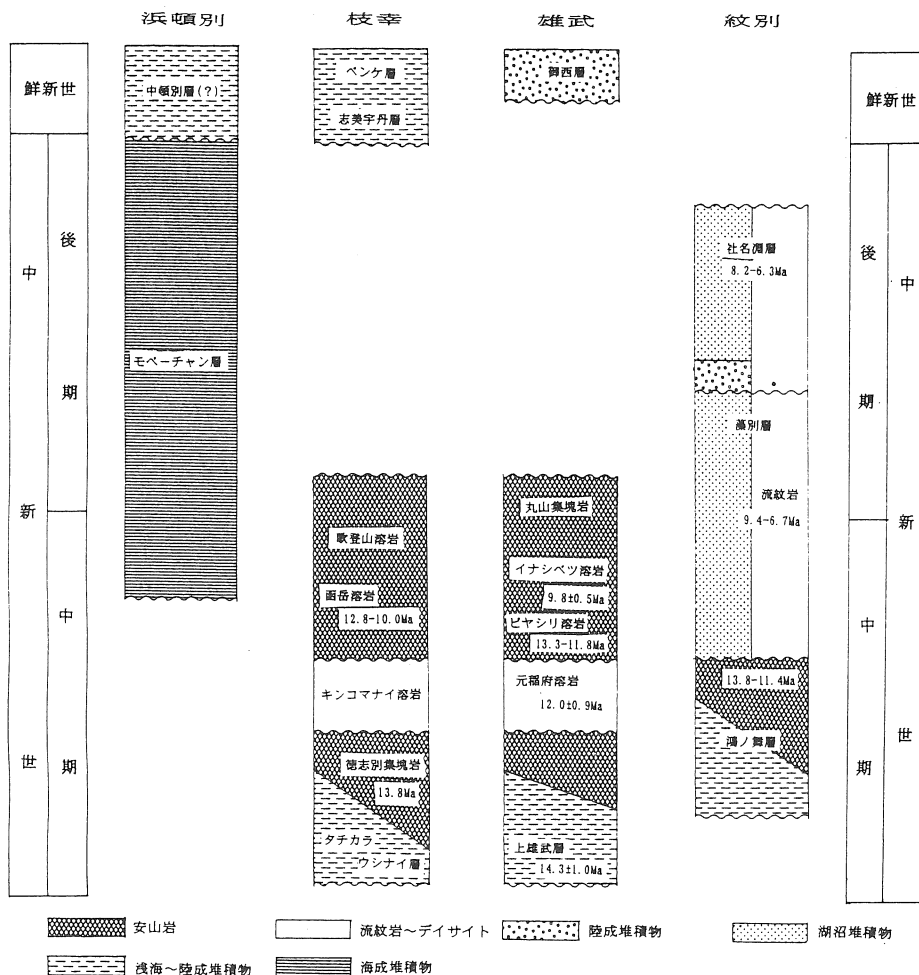


W : 稚内 H : 浜頓別 E : 枝幸 O : 雄武 M : 紋別 A : 網走 N : 名寄 S : 士別 As : 旭川

第7図 オホーツク沿岸の地質略図



W : 稚内 H : 浜頓別 E : 枝幸 O : 雄武 M : 紋別 A : 網走 N : 名寄 S : 士別

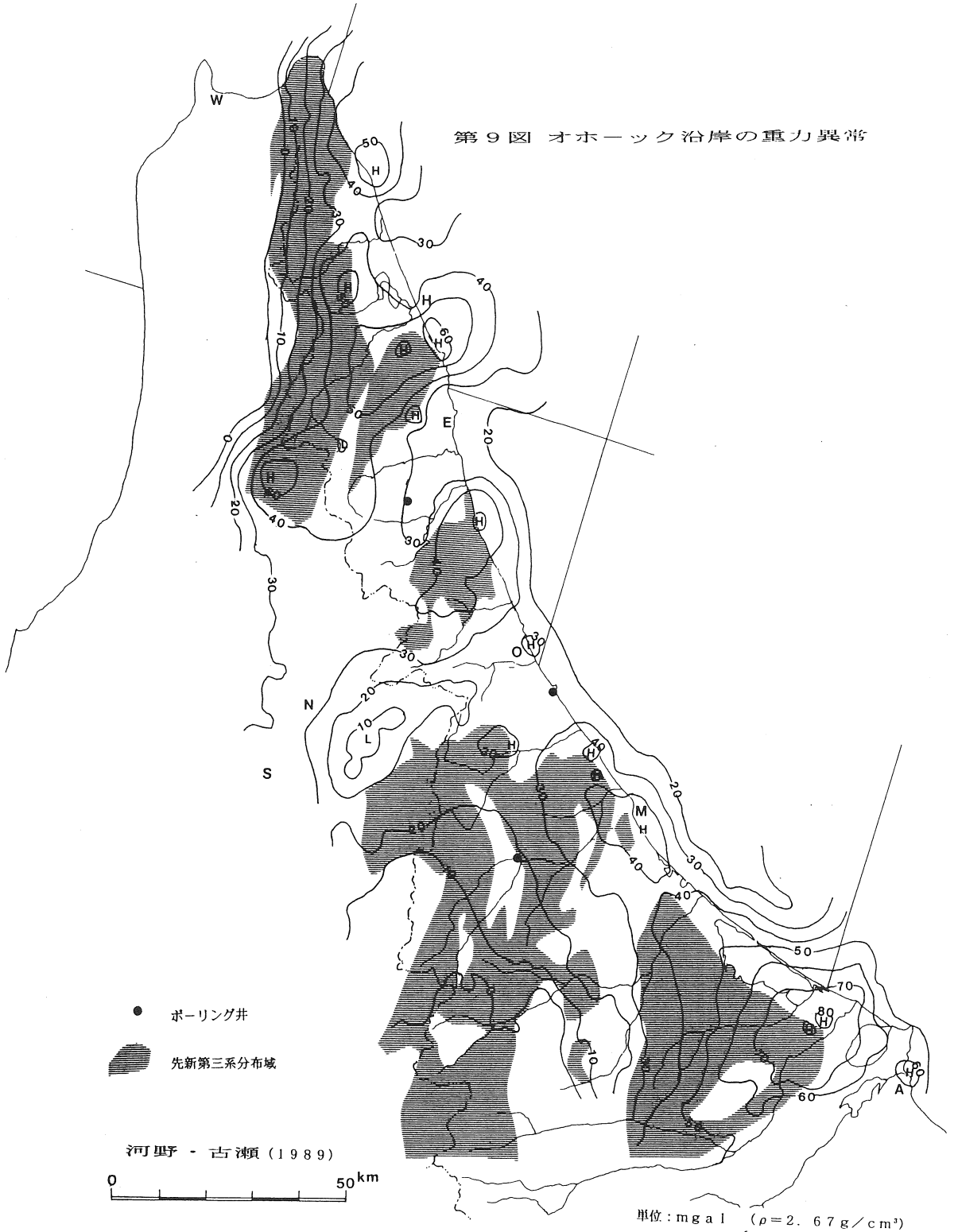


第 8 図 新第三系の模式的地質層序

市町村	所有者	透水量係数	比湧出量	基盤岩類
訓子府町	町泉源	$1.8 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$	0.41 l/min/m	常呂帯
北見市	北見温泉		1.55	常呂帯
北見市	明和工業		1.00	常呂帯
置戸町	鹿の子ダム		0.21	日高帯
新得町	町泉源		0.62	日高帯
平均			0.76	
雄武町	町泉源	$1.4 \sim 2.2 \times 10^{-5}$	1.69	

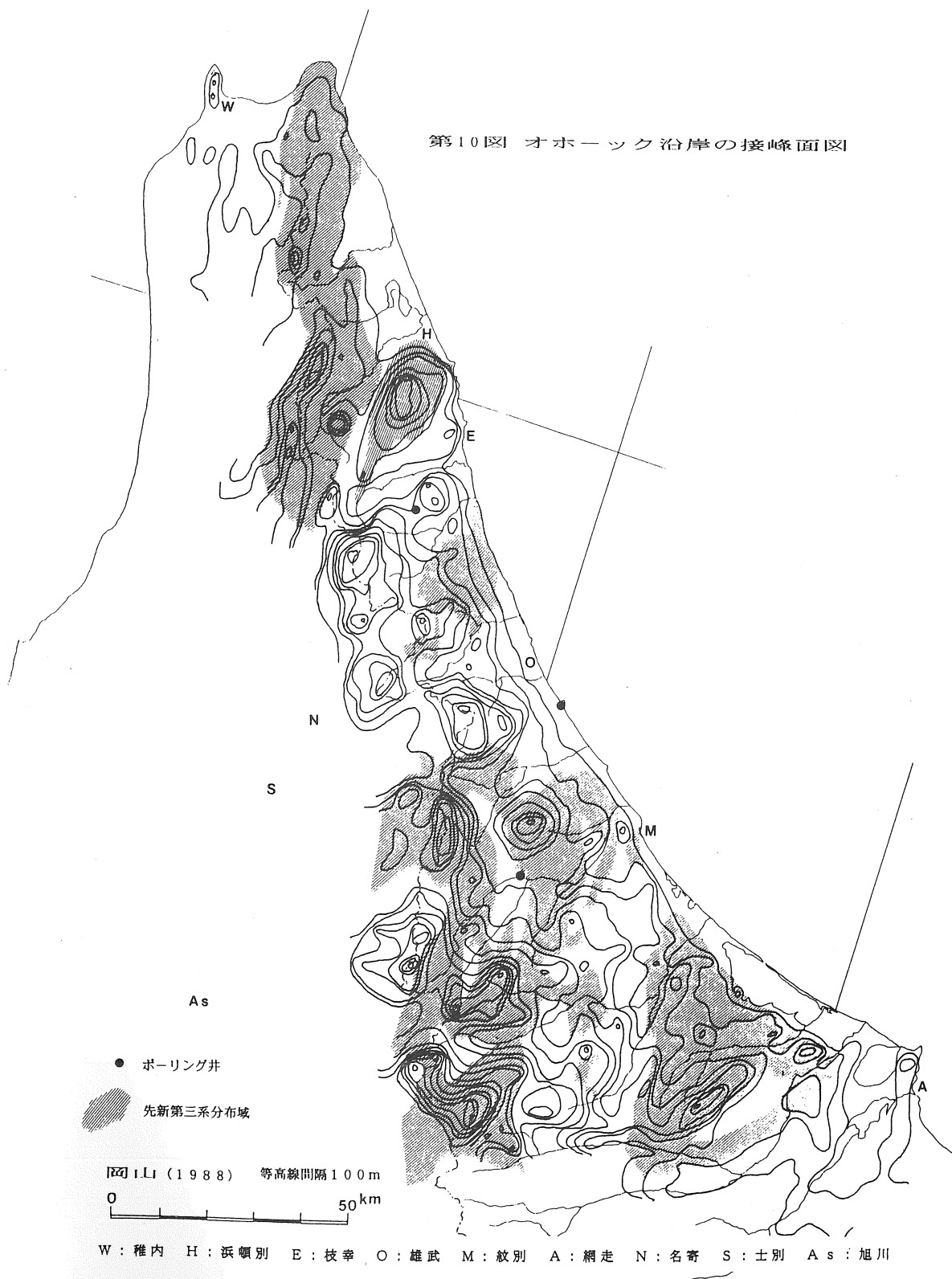
第 1 表 基盤岩類の比湧出量

第9図 オホーック沿岸の重力異常



W: 稚内 H: 浜頓別 E: 枝幸 O: 雄武 M: 紋別 A: 網走 N: 名寄 S: 士別

第10図 オホーツク沿岸の接峰面図



第33回 試錐研究会講演資料集

平成7年3月7日印刷

平成7年3月10日発行

編 集 北海道立地下資源調査所

発行所 試錐研究会

〒060

札幌市北区北19条西12丁目

北海道立地下資源調査所内
