



富士山周辺地域における 地下水熱利用の手引き



平成27年3月

静岡県

はじめに

県では、研究機関と企業が連携して取り組むプロジェクト研究として、富士山の豊かな地下水を未来に引き継ぐため、平成 22 年度から 3 年間、富士山周辺の地下水の流動メカニズムの解明や効果的な地下水の保全、持続可能な地下水利用の検討に取り組みました。この研究に取り組む中で、富士山周辺には温度が一定で流速が速い地下水が豊富にあり、休止中のものも含め多数の井戸が存在することが分かりました。

東日本大震災以降、エネルギーを取り巻く環境が大きく変化する中、地球温暖化対策を積極的に進めていくためには、豊富な地下水が持つこれまで未利用であったエネルギーを有効に活用していくことが重要であることから、これらの研究成果を踏まえ、平成 25 年度から地下水を活用した熱交換システムの普及に取り組んできました。

具体的には、企業や市町の協力をいただき、地下水熱ヒートポンプを空調に利用したシステムモデルの設置や見学会の開催のほか、地下水熱のポテンシャルを見える化したマップ作成のための調査を行いました。調査では、実際に富士山周辺の湧水や井戸を使って地下水の温度分布や水位を計測し、地質や地下水流の特徴を踏まえて熱交換量を推計してマップに落とし込みました。さらに、システムモデル設置の経験等を活かし、地下水を活用した熱交換システムの導入に当たっての手順や配慮事項、設置事例等を示した本手引きを作成しました。

このマップや手引きが、地下水を活用した熱交換システムの導入を検討される企業をはじめとする皆さま方に有効に活用され、省エネルギーの実現と自然環境の保全に貢献できるよう期待しております。

最後に、手引き等の作成に当たり、静岡県地下水熱エネルギー利用普及促進協議会のアドバイザーとして御指導いただいた中村様（元静岡大学副学長）、横山様（山形大学名誉教授）、丸井様（産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門総括研究主幹）並びに御協力いただいた会員の皆さま方にこの場をお借りしてお礼申し上げます。

平成 27 年 3 月

静岡県くらし・環境部

目次

第 1 章 地下水熱交換システムの概要 -----	1
1. 地下水熱の利用方法 -----	1
1) ヒートポンプとは -----	1
2) 地中熱の利用方式 -----	3
3) 国内の利用動向 -----	4
4) 富士山周辺地域の特徴を活かした地下水熱利用 -----	5
2. 富士山周辺地域における地下水熱利用の事例紹介 -----	7
1) クローズドループ方式 -----	8
2) オープンループ方式 -----	10
第 2 章 富士山周辺地域での普及に向けて -----	12
1. 富士山周辺地域の地下水の特徴 -----	12
1) 湧水・井戸の分布 -----	12
2) 主要な帯水層と地下水面 -----	13
3) 地下水の涵養源 -----	14
4) 富士山の地下水に特徴的な成分 -----	15
5) 深さ方向の地下水温分布 -----	16
2. 導入適地マップ -----	17
1) 井戸水温度マップ -----	17
2) 湧水温度マップ -----	18
3) 熱交換量マップ -----	19
3. 導入・利用に関する配慮事項 -----	21
1) 地下水熱ヒートポンプシステム導入の流れ -----	21
2) 法律・条例の順守 -----	22
3) 事前評価手法 -----	23
4) 維持管理 -----	24
<参考資料> -----	25

第1章 地下水熱交換システムの概要

1. 地下水熱の利用方法

1) ヒートポンプとは

ヒートポンプは、水を汲み上げるポンプと同じように、熱を汲み上げて活用する装置です。これは、電力等の外部エネルギーで冷媒などの熱媒体を循環させ、低い温度の物体（空気、地盤、地下水等）から採熱し、高い温度の物体（空気、地盤、地下水等）に放熱するような仕組みでできています。私たちの身の周りでは、エアコンや冷蔵庫などにこの技術が活用されています。一般的には、下図に示すように空気との間で熱のやり取りをしています。ヒートポンプのもっとも大きな特徴は、投入するエネルギーの何倍もの熱エネルギーが得られることです。

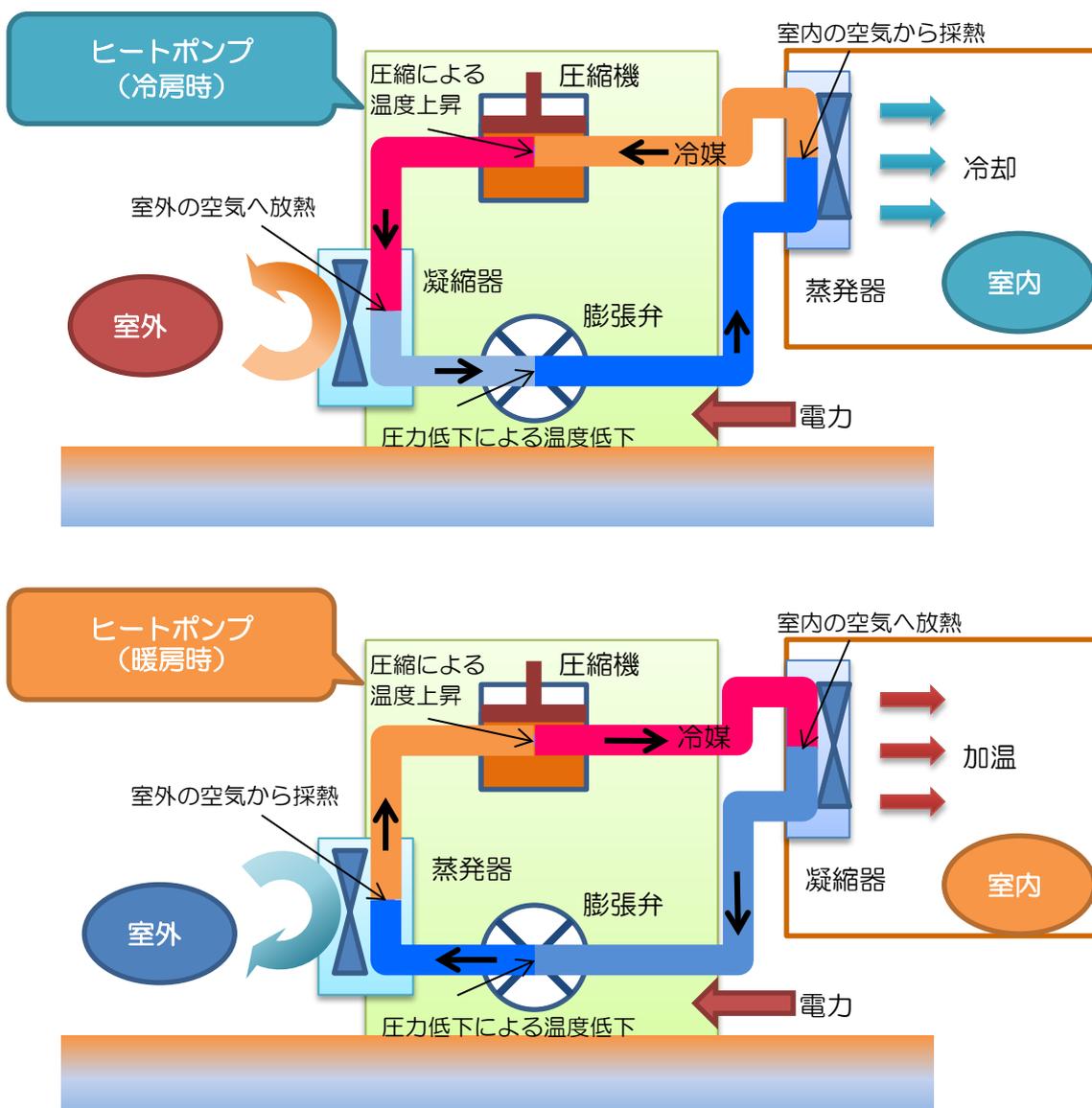


図 1-1 ヒートポンプの概要 (エアコンの例)

地中熱ヒートポンプは、空気の代わりに地盤や地下水との間で熱のやり取りを行う方法です。地中の温度は、年間を通じて変化が小さく、気温と比べて冬は温かく、夏は冷たいため、冬は採熱、夏は放熱する場として利用できます。

外気温と地中の温度差が大きいこと、空気よりも蓄えることのできる熱の量が大きく、熱を伝えやすい地盤や地下水と熱のやり取りをすることで、空気を熱源とするヒートポンプよりも効率的なエネルギー利用が可能になります。

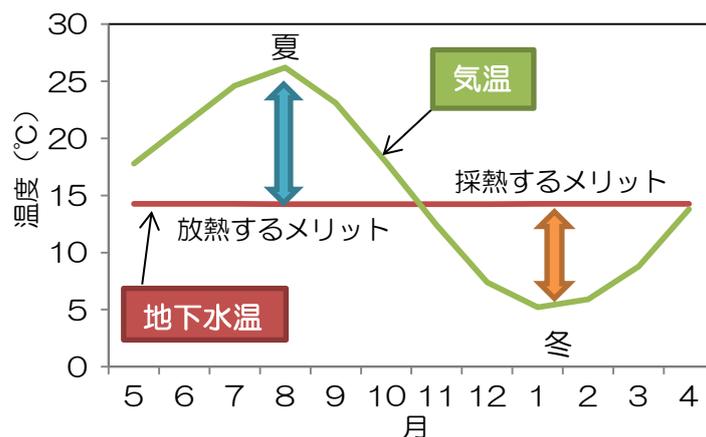


図 1-2 気温と地下水温の年間変動 (富士市内データ)

東京都内のオフィスビルにおける地中熱ヒートポンプの電力消費量の実績では、空気熱源ヒートポンプと比べて、年間 49%の削減が確認されています。また、暖房より冷房の省エネ効果が高く、特に夏場の電力消費量の抑制が期待できます。

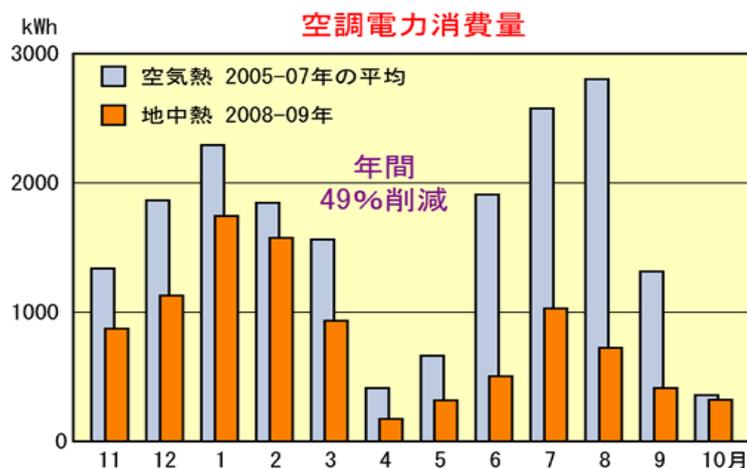


図 1-3 東京都心のオフィスビルにおける空調電力消費量の比較

特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会ホームページより抜粋

また、空気熱源ヒートポンプの冷房と異なり、外気に熱を放出しないので、ヒートアイランド現象の緩和にもつながるとともに、室外機の騒音も抑えられます。

2) 地中熱の利用方式

地中の熱を利用する方法としては、ヒートポンプを用いる方法以外にも、外気を室内に取り込む前に地中を通す空気循環システムや、舗装面や建物の屋根等への地下水の通液や散水による融雪、建築物における土間床（熱伝導）、パイプ中の冷媒の蒸発と凝縮により熱を移動させるヒートパイプなどがありますが、本誌では、ヒートポンプを利用する方式について紹介します。

地中熱ヒートポンプは、地中との熱のやり取りの方法によって、クローズドループ方式、オープンループ方式に分けられます。

(1) クローズドループ方式

井戸を掘ってその中に熱交換用のパイプを通して熱媒体（不凍液や水が使われます）を地中に循環させることにより、間接的に地下水や地盤と熱のやり取りを行う方式です。地下水位が低い地域や、地下水を汲み上げることが規制されている地域でもこの方式が利用できます。

(2) オープンループ方式

地下水を汲み上げてヒートポンプ内に引き込み、熱をやり取りする方式です。使用後の地下水は地上で放流したり地中に還元したりします。地下水と直接熱交換できるので効率が高くなりますが、地下水を必要量汲み上げなければなりません。

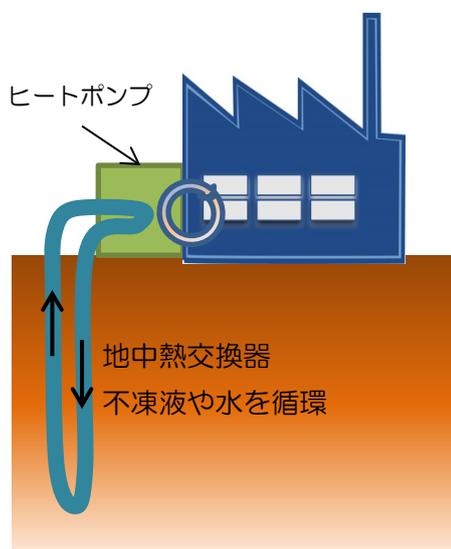


図 1-4 クローズドループ方式

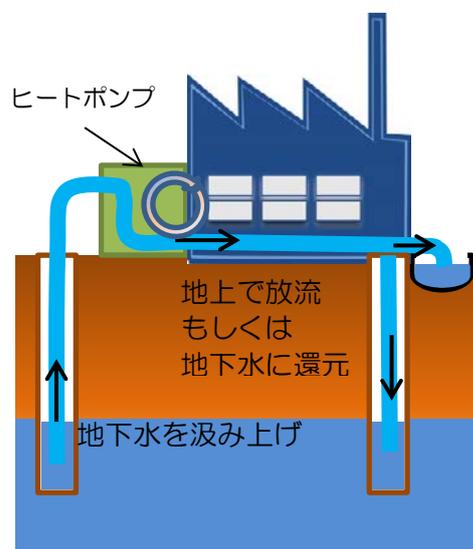


図 1-5 オープンループ方式

3) 国内の利用動向

欧米諸国や中国と比べて、わが国では地中熱ヒートポンプの普及が遅れています。その要因としては、地中熱利用自体の認知度が低いこと、先進諸国に比べて地中熱交換井の掘削にかかるコストが高いことなどが挙げられます。しかし近年、国の補助金制度が充実しつつあること、東日本大震災以降、再生可能エネルギーへの関心が高まったことなどから、わが国でも急速に普及が進んでいます。環境省の調査によると、2013年末には全国で1,513件の設置が確認されており、そのうち約86%がクローズドループ方式となっています。

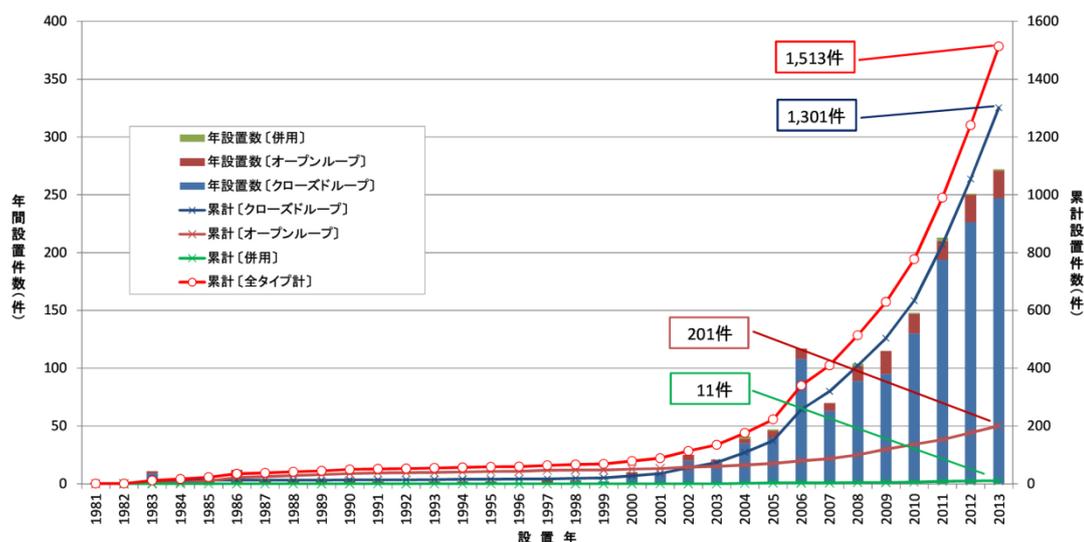


図 1-6 地中熱ヒートポンプシステムの年間及び累計設置件数（2013 年末）

環境省報道発表資料 地中熱利用ヒートポンプシステムの設置状況調査結果
（平成 27 年 1 月 27 日）より抜粋

導入箇所は、住宅が 42%と最も多く、次いで学校、医療機関などの公共性の高い施設（19%）、事務所・店舗（17%）となっています。地域別にみると、北海道が 426 件と最も多く、東京近郊の都市圏や、岩手県、秋田県、青森県などが続いており、寒い地域やエネルギー消費場所が密集している地域で設置が進んでいることがわかります。なお、静岡県では 14 件の設置が確認されています。

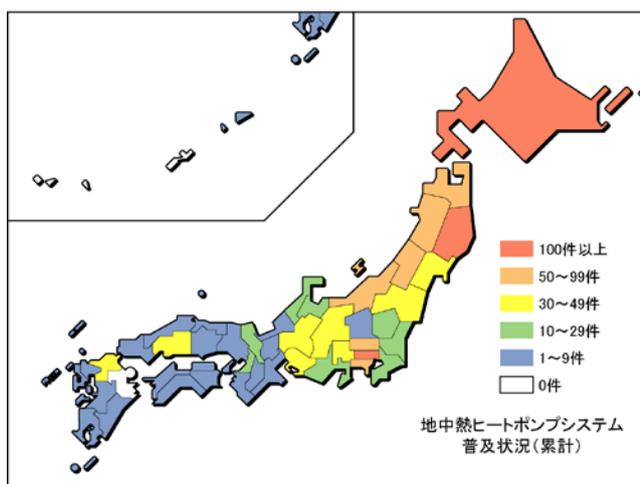


図 1-7 都道府県別設置状況(2013 年末)

環境省報道発表資料 地中熱利用ヒートポンプシステムの設置状況調査結果（平成 27 年 1 月 27 日）より抜粋

4) 富士山周辺地域の特徴を活かした地下水熱利用

富士山の地下水には、水量が豊富で流動速度が速いという特徴があります。このような条件では、熱交換が効率よく進むと考えられることから、従来のクローズドループ方式による地中熱交換井において、掘削深度が浅く済む可能性があり、初期コストの低減が見込まれます。

さらに近年、この地域では地下水保全の観点から事業所における節水行動が進むなどして、使用していない大口径の井戸が増えてきています。これらの使われなくなった井戸をそのまま有効活用すれば掘削コストは必要なくなり、ヒートポンプシステムを導入しやすくなると考えられます。また、揚水して各用途に使用している地下水に関しても、地上部の配管や貯水槽内の水と熱交換できる可能性もあります。

そこで、富士山周辺地域の地下水流動と利用形態の特徴を活かした地下水熱の利用方法として、「直接浸水型地下水熱交換システム」と「地下水のカスケード利用」について紹介します。

(1) 直接浸水型地下水熱交換システム

富士山周辺地域には休止中も含めて大口径の井戸が多いことから、既存の井戸を使って熱交換用のパイプを直接地下水に浸す、クローズドループ方式の「直接浸水型地下水熱交換システム」の導入検討が有効と考えられます。この方法は、既存井戸を利用することで、掘削を伴う従来の地中熱ヒートポンプシステムに比べて初期コストを大幅に削減できるというメリットがあります。

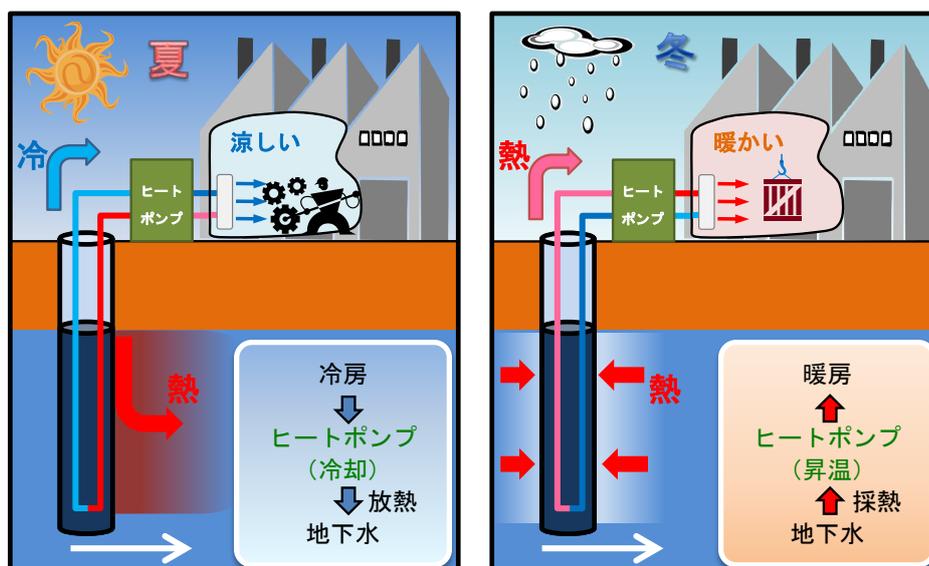


図 1-8 直接浸水型地下水熱交換システムのイメージ

(2) 地下水のカスケード利用

地下水を有効に使うためには、汲み上げた地下水を次から次へと別用途に活用することが望めます。このような利用法は、「階段状に連続して流れ落ちる小滝」という意味から、「カスケード利用」と呼ばれています。

雪国では、道路の雪を溶かすために消雪パイプを使って地下水を散水しています。この地下水を散水する前に、ヒートパイプや通液放熱管により、無散水方式で住宅の屋根や駐車場の雪を溶かしてから、パイプで道路に散水して消雪するという、従来の利用範囲を何倍にも広げる方法が試されています。これは地下水熱を2段階でカスケード利用した例です。



写真 1-1 地下水のカスケード利用例（山形県舟形町）

富士山周辺地域の事業所では、多くの地下水が揚水されていますが、製造工程で使用される地下水では、一定の水温が必要ではない場合もあります。そのような場合に、まず地下水から熱エネルギーを取り出した後、洗浄等の用途に利用する方法や、目的の用途で使用した後、放流する前に熱エネルギーを取り出す方法などにより、工夫次第で地下水系統から何倍ものエネルギーを獲得することができます。

2. 富士山周辺地域における地下水熱利用の事例紹介

静岡県内では、沼津市にある東芝機械株式会社沼津工場内において、年間約 33 万 t の地下水を汲み上げ、オープンループ方式の大型密閉ターボ冷凍機（冷房 1,266 kW、暖房 1,583kW）を使った空調運転を行っています。重油焚き吸収冷温水機を使用して同程度の空調を行った場合と比較すると、コストが 63%、二酸化炭素排出量が 73.5%削減でき、経済面でも環境面でも優れた施設となっています。

ここでは、前頁で取り上げた、直接浸水型及びカスケード利用型の地下水熱交換システムについて、富士山周辺地域のモデル的な事例を紹介します。

静岡県では、地下水熱交換システムの普及を広くはかっていくため、平成 25 年度にシステムモデルを 2 台設置しました。このモデルはクローズドループ方式で、空調能力は 15 畳程度の部屋に対応した家庭用エアコンと同程度のものです。設置場所は富士市内の五條製紙株式会社と富士宮市のお宮横丁内飲食店店舗です。

また、五條製紙株式会社と御殿場市の株式会社岡村製作所では、平成 26 年度にオープンループ方式のカスケード利用型地下水熱交換システムを導入しています。これらはいずれも工夫を凝らした地下水熱活用方法となっています。

なお、以降ではヒートポンプの省エネ性能を示す指標として、成績係数（COP）を用いています。この指標は、エアコンの採熱・放熱量の、消費する電力量に対する割合を示しており、数値が大きいほど省エネ性能が高いことを示します。

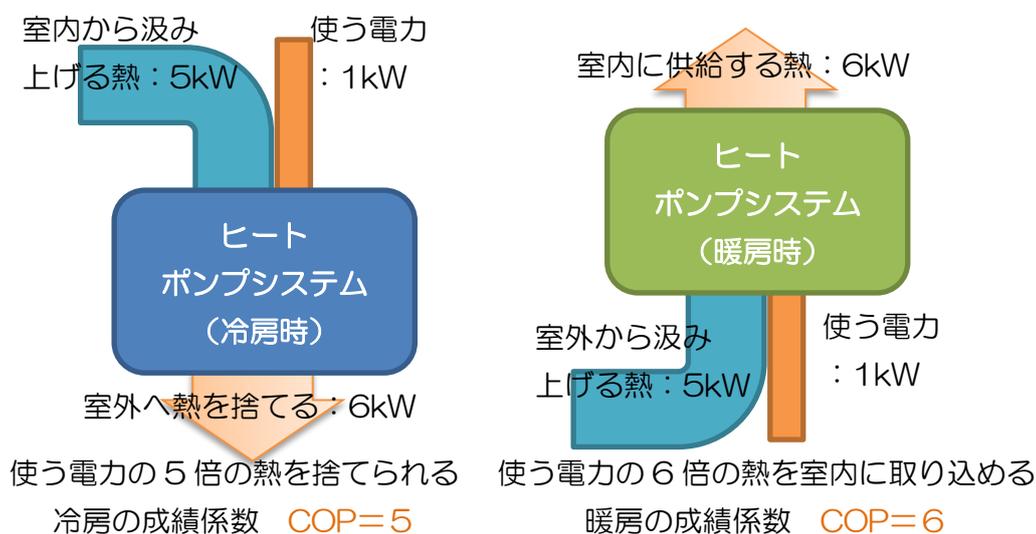


図 1-9 成績係数 (COP) の概念図

1) クローズドループ方式

(1) 五條製紙株式会社（直接浸水型）：富士市

排水処理場内の自噴井戸に熱交換器を設置し、湧き出した地下水と熱交換するシステムです。自噴井戸のため、熱交換器は一般的な地中熱ヒートポンプシステムで使われるようなUチューブではなく、ラジエータタイプのものです。循環液（不凍液）の配管が90mもあり、ヒートポンプ設置場所が熱源である自噴井戸から離れていますが、COPが夏季の冷房運転で5.7、冬期の暖房運転で5.5と計算され、同じ能力の空気熱源のエアコン（冷房時COP：3.2、暖房COP：3.6）と比べてエネルギー効率の良いシステムとなっています。

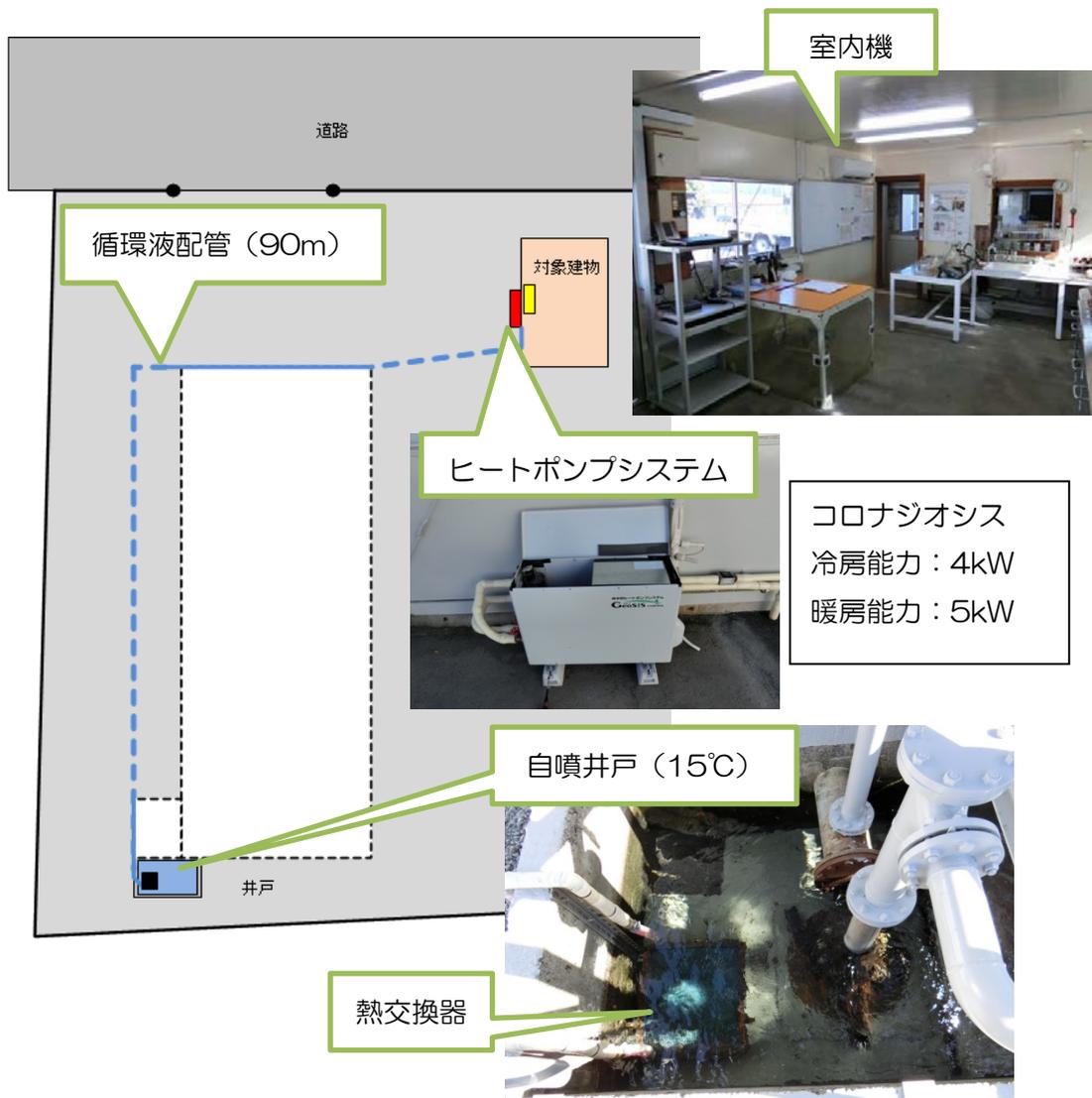


図 1-10 五條製紙株式会社の直接浸水型地下水熱交換システムの概要

(2) お宮横丁（カスケード利用型）：富士宮市

浅間大社前のお宮横丁内にある、地下水を使った手洗い所からの放流水をピットに導いて熱交換するカスケード利用型システムです。ピットにはラジエータタイプの熱交換器を設置しています。導入流量が8L/分と少なく、配管経路を流れる過程で温度変化が生じるものの、COPが夏季の冷房運転で8.7、冬期の暖房運転で5.1と計算され、同じ能力の空気熱源のエアコン（冷房時COP：3.2、暖房COP：3.6）と比べてエネルギー効率の良いシステムとなっています。

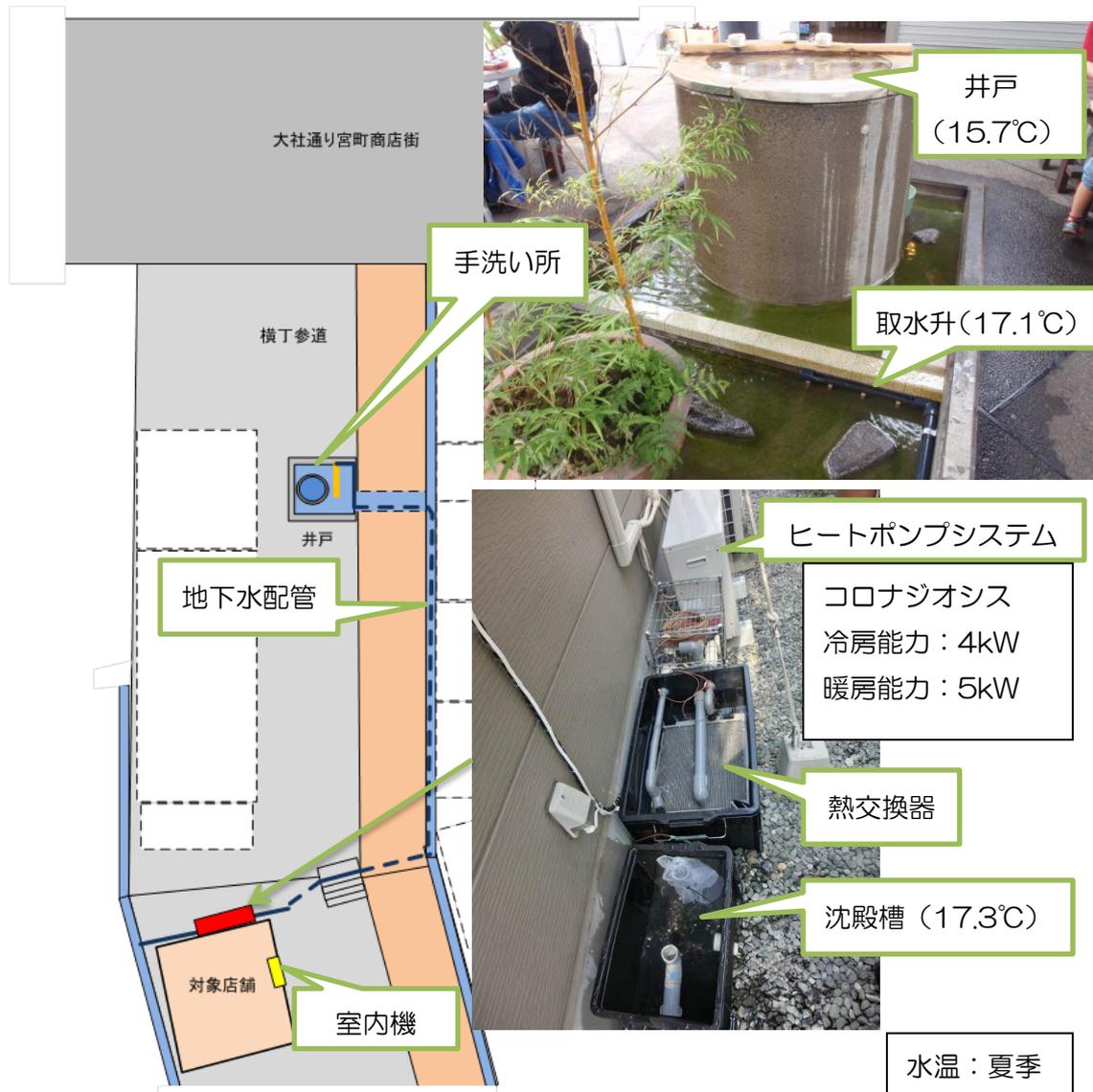


図 1-11 お宮横丁のカスケード利用型熱交換システムの概要

2) オープンループ方式

(1) 五條製紙株式会社（カスケード利用型）：富士市

工場内では以前から製紙・紙加工工程で地下水を使用していました。この地下水を有効利用するため、環境省の補助金を活用し、既設の空冷式パッケージエアコンをオープンループ方式の水冷式ヒートポンプシステム（冷房時 COP：5.2、暖房時 COP：3.8）に変更しました。このシステムは、熱交換後の地下水を仕上加工用に再利用する、カスケード利用型になっています。このシステムの導入により、冷暖房時の消費電力を30%以上削減できます。

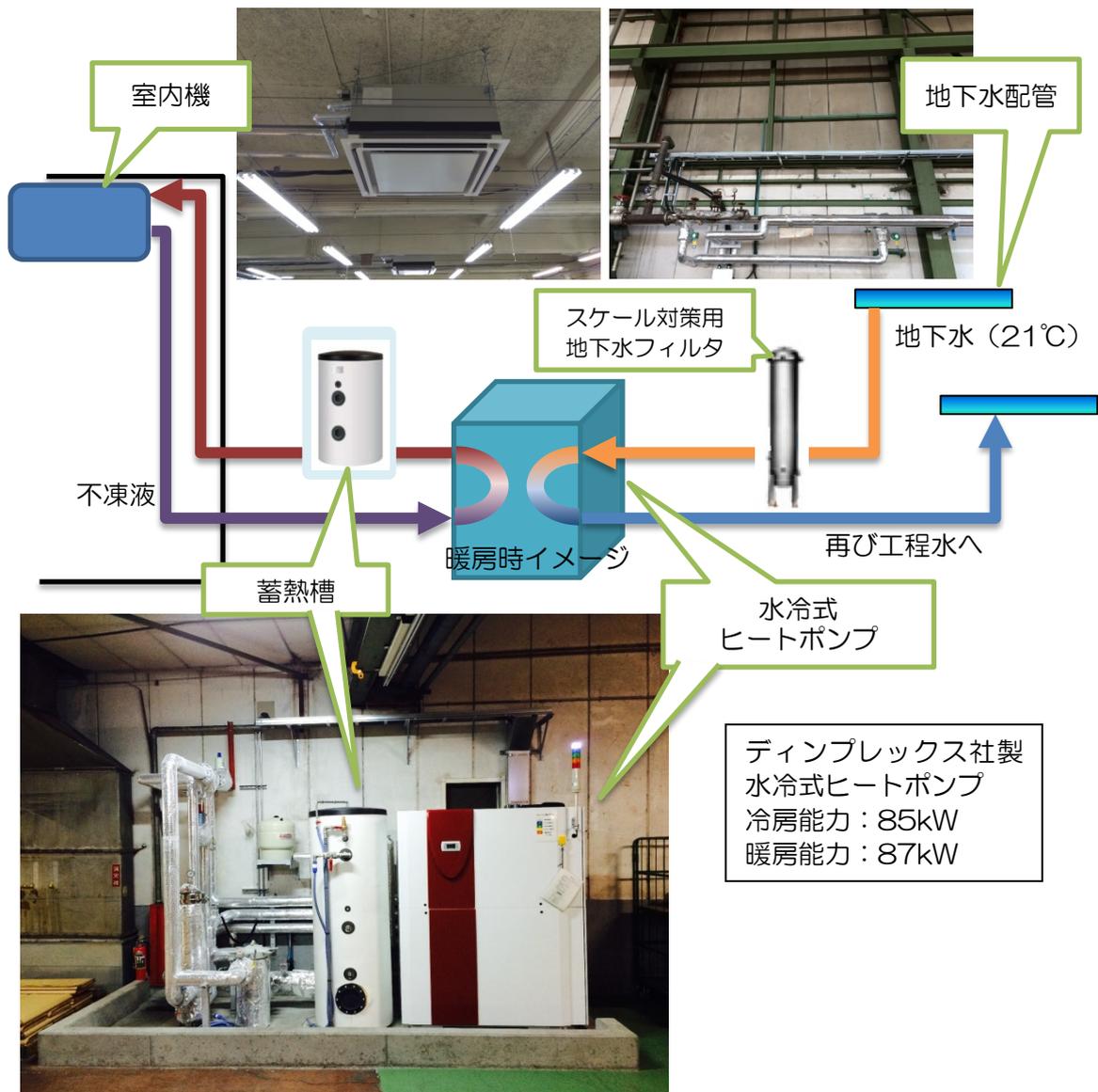


図 1-12 五條製紙株式会社のカスケード利用型熱交換システムの概要

(2) 株式会社岡村製作所（カスケード利用型）：御殿場市

オフィス等の金属棚を製作する工場内の粉体塗装室では、常時空気熱利用エアコンで冷房運転をしていました。エアコンの更新時期を迎えたことで、井戸水（50～110t/日）を利用したオープンループ型の水冷式エアコン（冷房のみ、COP：4.58）に変更しました。それにより、使用電力量及びランニングコストが半減し、さらに、室内機を従来为天吊り型から床置のダクト型に変更したことで、フィルター清掃、交換が容易になりました。それだけではなく、ヒートポンプで15℃から30℃に昇温された地下水を、最終水洗の前処理槽に供給しています。温水を使うことで製品の乾きがよくなり、液化天然ガス（LNG）を使用している水切乾燥炉の設定を165℃から155℃に下げることができました。

以上の電気代、メンテナンス代、LNG代の削減効果により、初期投資額を約2.9年で回収する予定です。

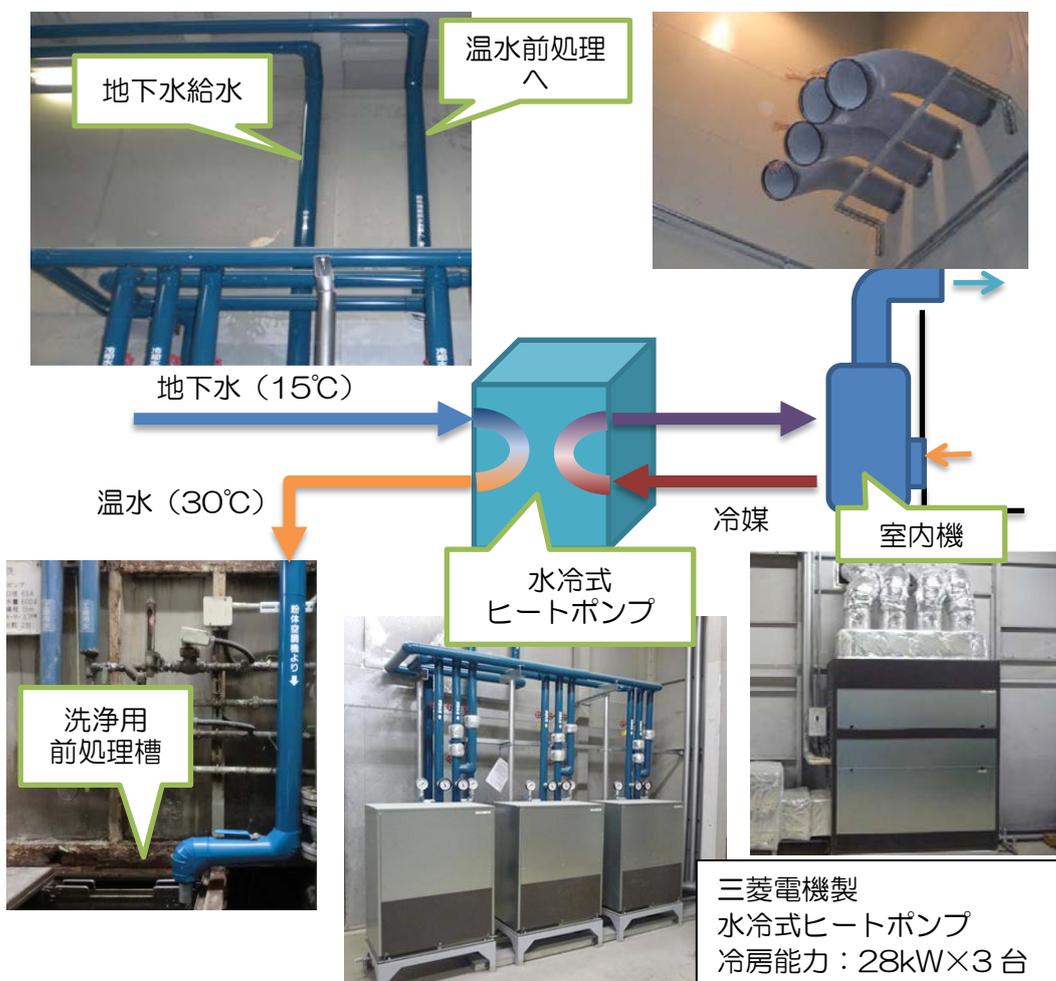


図 1-13 株式会社岡村製作所のカスケード利用型熱交換システムの概要

2) 主要な帯水層と地下水面

富士山は3層構造（最近の研究では4層構造）になっています。現在の富士山（新富士火山）の下には透水性の低い古富士火山が存在するため、透水性に富む新富士火山が主な地下水を溜める帯水層となり、かつ地下水の流れる流路にもなっていると考えられています。そのため、三島楽寿園小浜池、柿田川、富士宮浅間大社湧玉池、白糸の滝、猪之頭湧水など古くから有名で規模の大きな湧水は、新富士火山の溶岩流の末端から湧き出しています。

地下水の流れやすさや地下水面までの深さは、熱交換システムを設置する際に重要な意味をもってきます。地下水の流れがある場合、地中での熱交換において、地盤との熱伝導だけでなく、地下水流によって熱が運ばれる移流効果も加わるためです。この効果によって、より効率的に熱交換が進むことで、熱交換井の長さを短くしたり、本数を減らすことが可能になります。

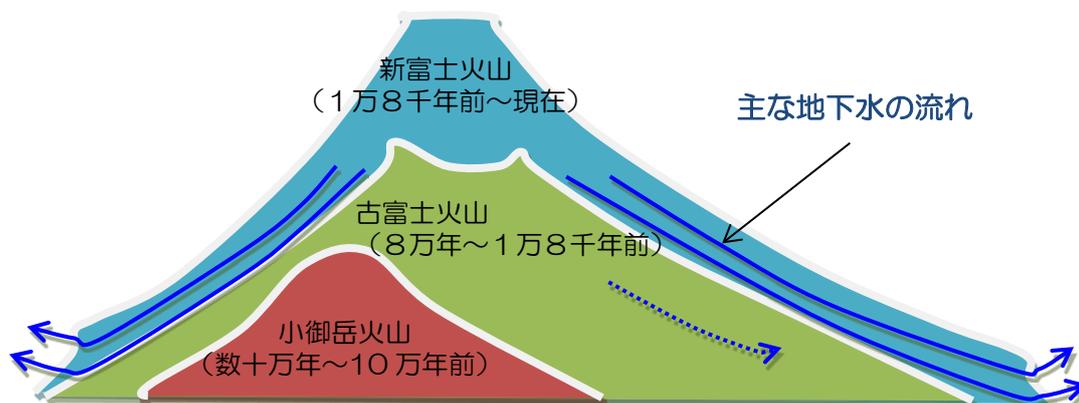


図 2-2 溶岩中の地下水の流れの模式図

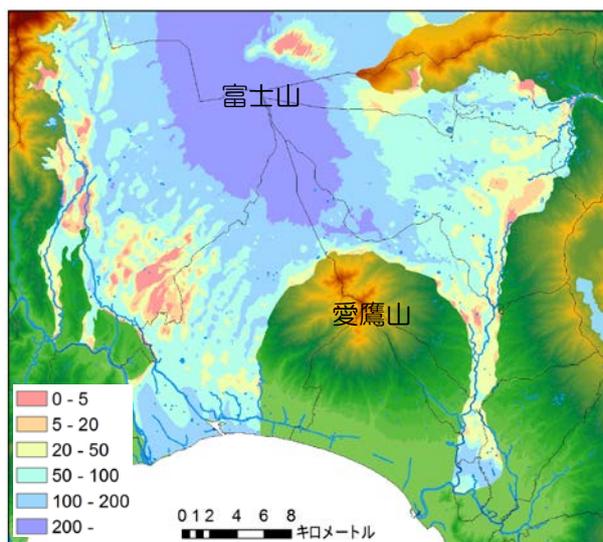


図 2-3 新富士火山の厚さ

透水性の高い溶岩流の層厚 (m) で御殿場市付近は御殿場泥流層を含む。沿岸部は沖積層が被覆している。

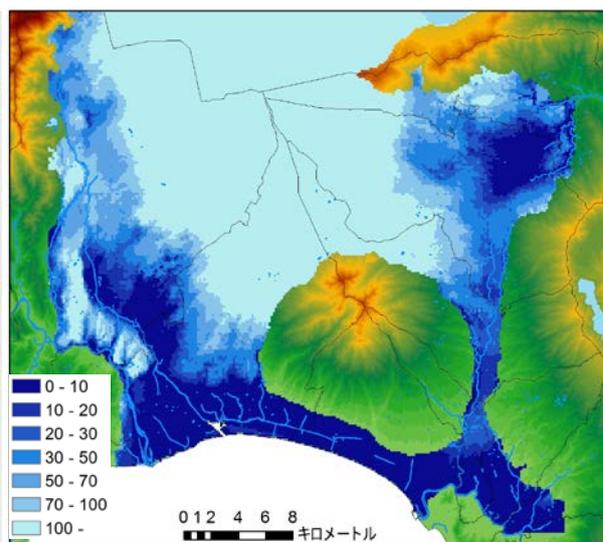
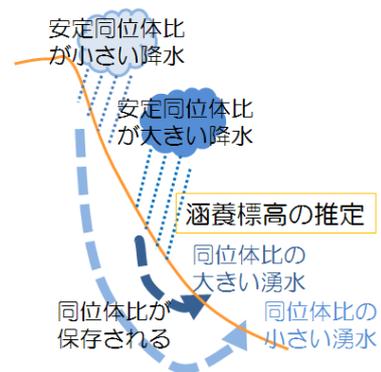


図 2-4 地下水面までの深さ

地表面から地下水面までの距離 (m) を示す。

3) 地下水の涵養源

水分子には酸素原子が一つ含まれていますが、酸素原子には中性子の数により複数の同位体が存在します。そのうち、質量数 16、17、18 のものが安定同位体 (^{16}O 、 ^{17}O 、 ^{18}O と表します) で、数値が大きいほど「重い酸素」となります。酸素の安定同位体比は、 ^{16}O に対する ^{18}O の割合 (千分率、‰) で表します。水の酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) は、標準 (海水) との差で表し、降水の場合は一般的にはマイナスの値となります。さらに、標高が高い地点での降水ほど小さな値になる性質があります。



湧水や井戸水の $\delta^{18}\text{O}$ 値には、涵養源となった降水の特徴が保存されています。そのため、湧水や井戸水の $\delta^{18}\text{O}$ 値を調べることで、どの標高で降った雨かを推定することができます。富士山麓では、東麓、西麓で最も $\delta^{18}\text{O}$ 値が小さく、次いで南麓や三島市近辺の三島湧水群の順となっています。これらの $\delta^{18}\text{O}$ 値から主な涵養源を試算すると、おおよそ標高 1,000 から 1,800m 程度と推測できました。一方、富士山南西麓の標高 500m あたりの湧水の主な涵養源は 1,000m 以下と推定されます。このことから、富士山麓の地下水の流れには、高標高の降水は地下深くを通過して低標高で湧き出し、中標高の降水は地下の浅い部分を通して近くで湧き出すといった、階層構造が存在すると考えられます。また、三島湧水群の主な涵養源は 1,000~

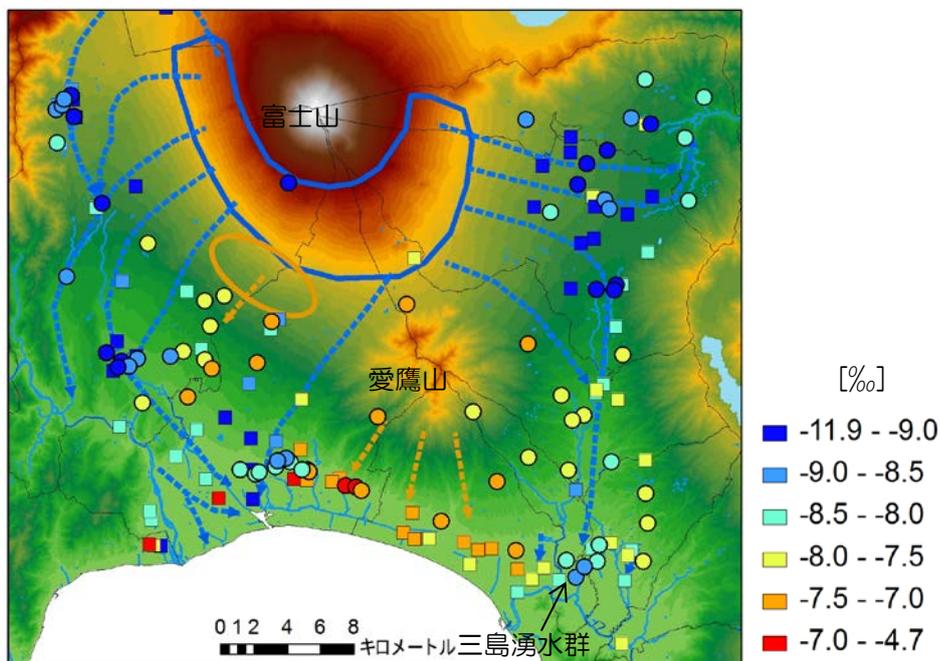


図 2-5 酸素安定同位体比の分布

矢印：地下水流向 (別途シミュレーション結果も考慮)

○ ○：主な涵養源

○：湧水

□：井戸 (自噴・揚水)

1,300m と試算できましたが、この地域では富士山系、愛鷹山系、箱根山系の三系統の地下水が混合していると推定されるため、富士山系の地下水の涵養源は試算値よりも高いことが考えられます。愛鷹山系の地下水の $\delta^{18}\text{O}$ 値は大きく、主な涵養源は800m 以下と推定されました。

4) 富士山の地下水に特徴的な成分

富士山の地下水に特徴的な成分として、バナジウムがよく知られています。実際に地下水のバナジウム濃度を富士山とそれ以外の山系で比較すると、富士山の方が高濃度に含まれていることがよく分かります。バナジウム濃度と同様の地域特性を示す成分として、リン、ヒ素などもあります。

バナジウム濃度には、 $\delta^{18}\text{O}$ 値と負の相関 ($\delta^{18}\text{O}$ 値が小さいと成分濃度が高くなる) がみられます。このことから、高い標高で涵養された地下水が、富士山の溶岩と長期間接触しながら流れてくることによって、溶岩中のバナジウムが地下水に溶出してくるものと考えられます。三島湧水群のバナジウム濃度は愛鷹山、箱根山系の湧水よりも高く、新富士火山の溶岩流（三島溶岩流）を流路にして富士山の地下水が三島湧水群に流れてきていることが分かります。同じ富士山系でも涵養域の標高が比較的低い南西麓の湧水では、同地域の井戸水と比べてもバナジウム濃度が低く、地下を流れる時間の短い地下水が湧出していることがうかがえます。

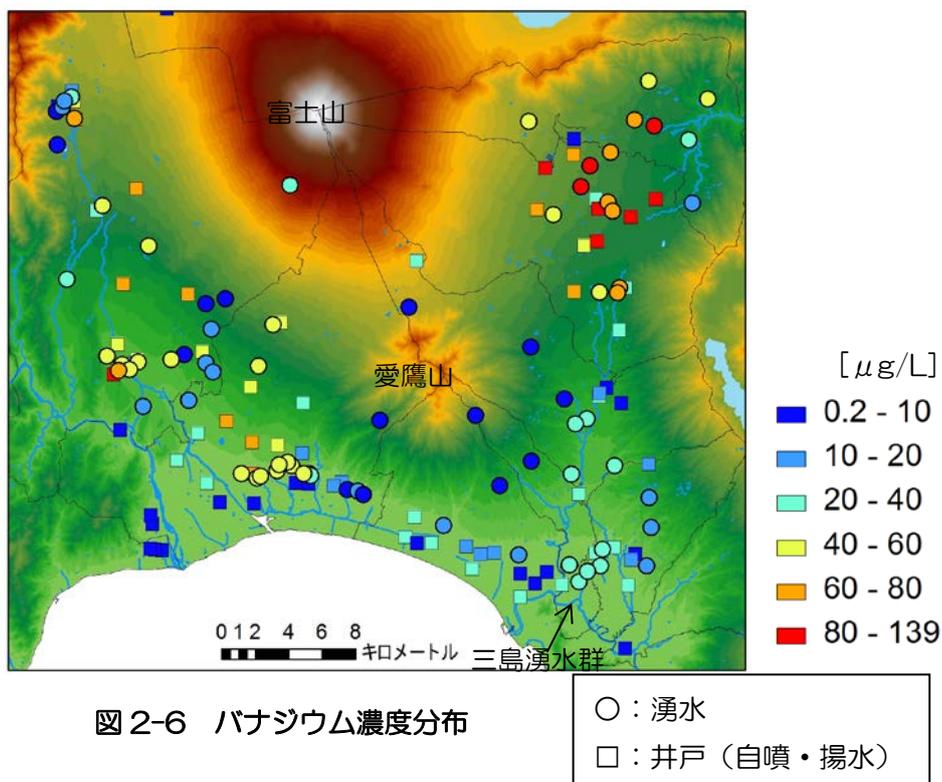
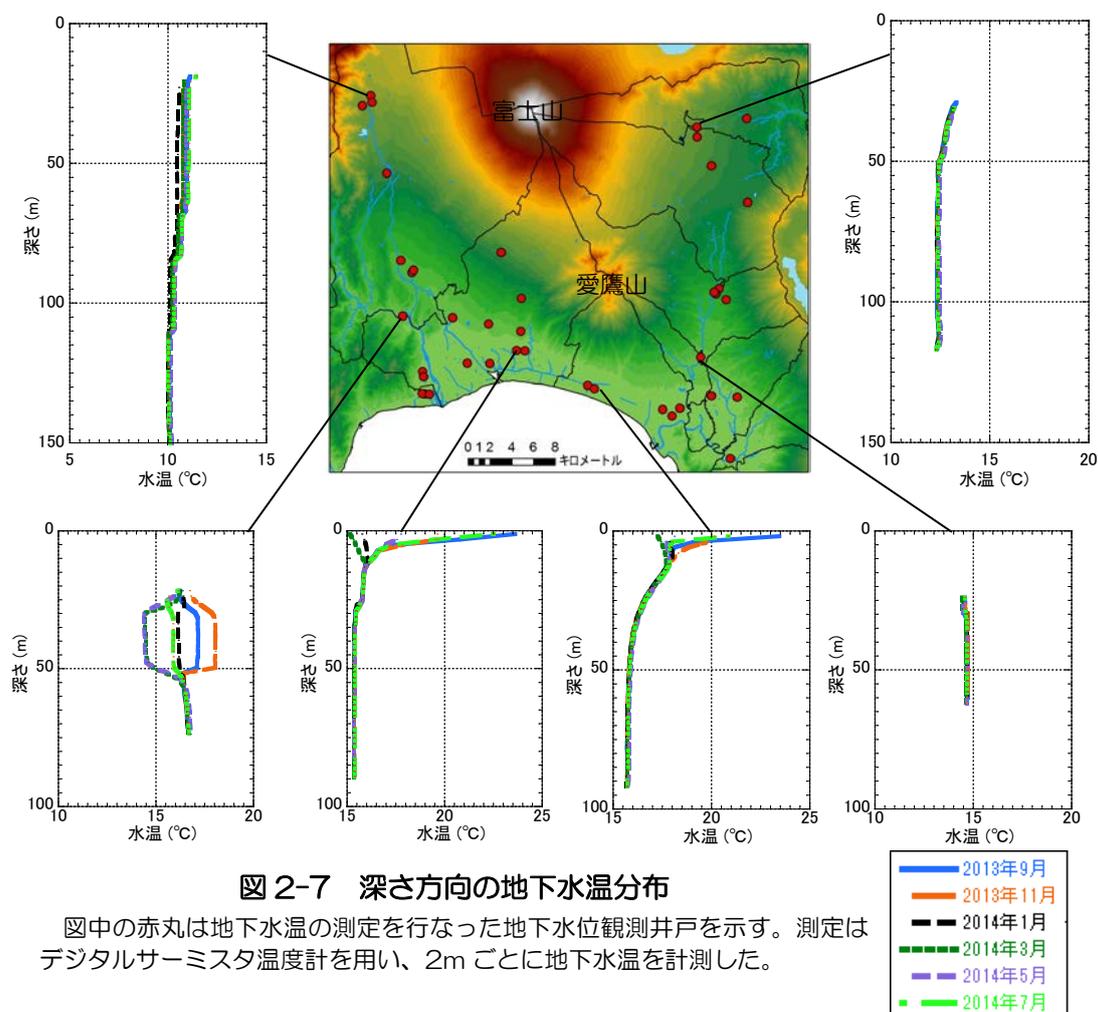


図 2-6 バナジウム濃度分布

5) 深さ方向の地下水温分布

通常、地中の温度は、地表付近では気温の影響を受けて変化しますが、10m程度深くなるとほぼ年中一定（平均気温と同程度）となります。また、深さ100m程度になると、地球内部の熱の影響により、さらに温度が2~4℃程度上昇することが知られています。

しかし、富士山周辺地域にある地下水位観測井戸を対象として、深さ方向に地下水温を測定したところ、ほとんどの井戸においてほぼ一定か、やや低下する傾向がみられました。地下水の $\delta^{18}\text{O}$ 値や溶存成分の特徴（P.14, 15）から、この地域の地下水は高標高の場所で涵養されていることが分かりますが、気温の低い高標高の降水が、地熱の影響をさほど受けず、低温を保持しながら地中深くを流れてくることで、特有な地下水温分布になると考えられます。これは、水量が豊富で流れが速いという富士山の地下水の特徴によるものです。一方、富士川に近い井戸（下図左下グラフ）では、河川水温度の季節変化の影響を受けて地下水温が変動していました。



2. 導入適地マップ

地下水熱交換システムを導入するにあたって、地下水熱のポテンシャルを評価しておくことは、初期コストの低減や環境に適した利用設計、効率的な運用に役立ちます。富士山周辺地域で地下水熱の利用を促進していくため、参考情報となる地下水温度マップと熱交換量マップを作成しました。

1) 井戸水温度マップ

揚水後の地下水熱を利用する場合、熱交換するのに十分な揚水量の確保とともに、井戸水自体の温度情報が重要となります。富士山周辺地域では、北部で井戸水の温度が低く、特に富士宮市の猪之頭地区では 10℃程度となっています。一方、駿河湾沿岸の平野部や富士川右岸地域では水温が 15℃以上で高くなっていますが、富士市街地の潤井川より東側では、富士山麓で涵養された地下水が直接流下してくるため、比較的水温が低くなっています。

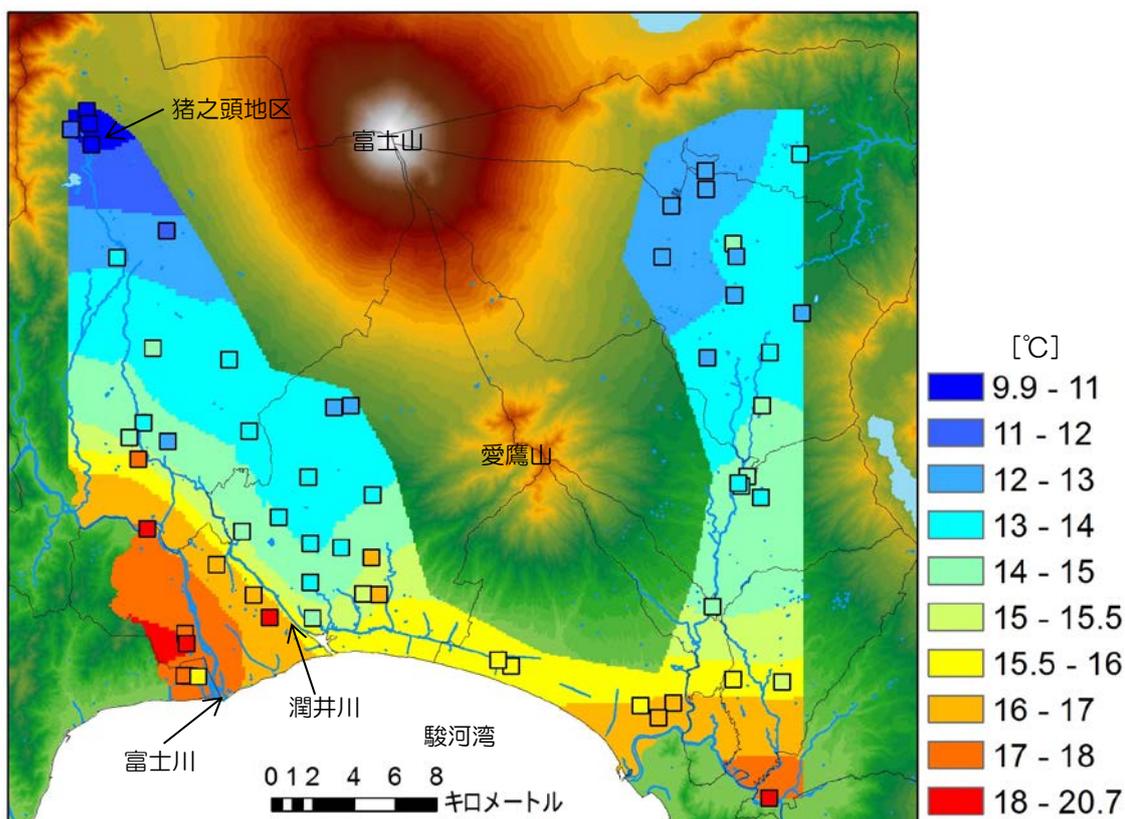


図 2-8 井戸水温度マップ

井戸水は揚水井戸と地下水位観測井の 2 種類で測定した。揚水井戸はポンプアップ時の水温、地下水位観測井はストレーナ位置（井戸管の穴が開いている部分で、主として地下水帯水層に位置する）の温度を示す。

2) 湧水温度マップ

富士山周辺地域には身近なところに湧水や自噴井戸が多く存在しています。これらは地下水が地上に出てきたものであり、水温や水量も安定していることから、P.8で紹介したような、直接浸水型地下水熱交換システムの設置に適した条件となっています。水に一定の流れがあれば、高効率な熱交換が期待できます。

井戸水温度と同様に、御殿場市、小山町や富士宮市において、標高が高い地域で涵養された地下水が湧き出している地域で温度が低くなっています。富士市街地の水温も低くなっていますが、涵養源が比較的低標高にある富士山南西部の山麓の湧水や、自噴井戸が多い愛鷹山南麓では水温が高くなっています。また、富士山の地下水が到達している三島湧水群では、周囲の箱根山や愛鷹山の湧水と比べて、若干水温が低くなっています。

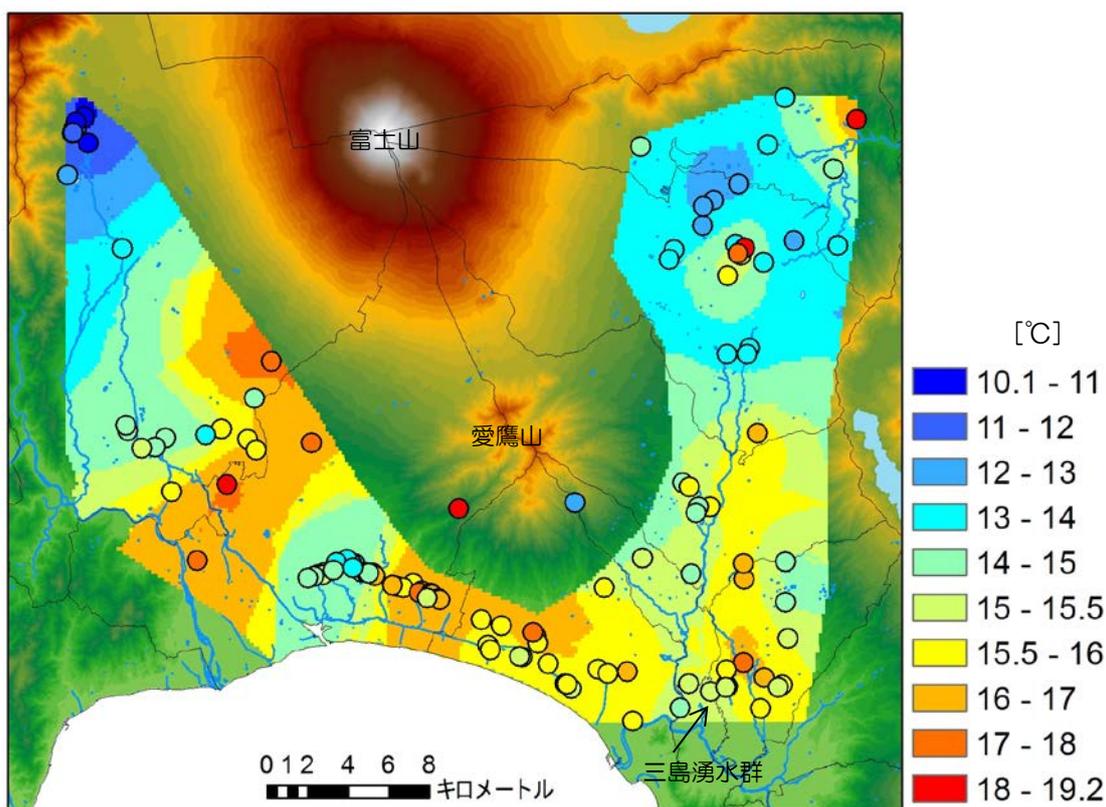


図 2-9 湧水温度マップ

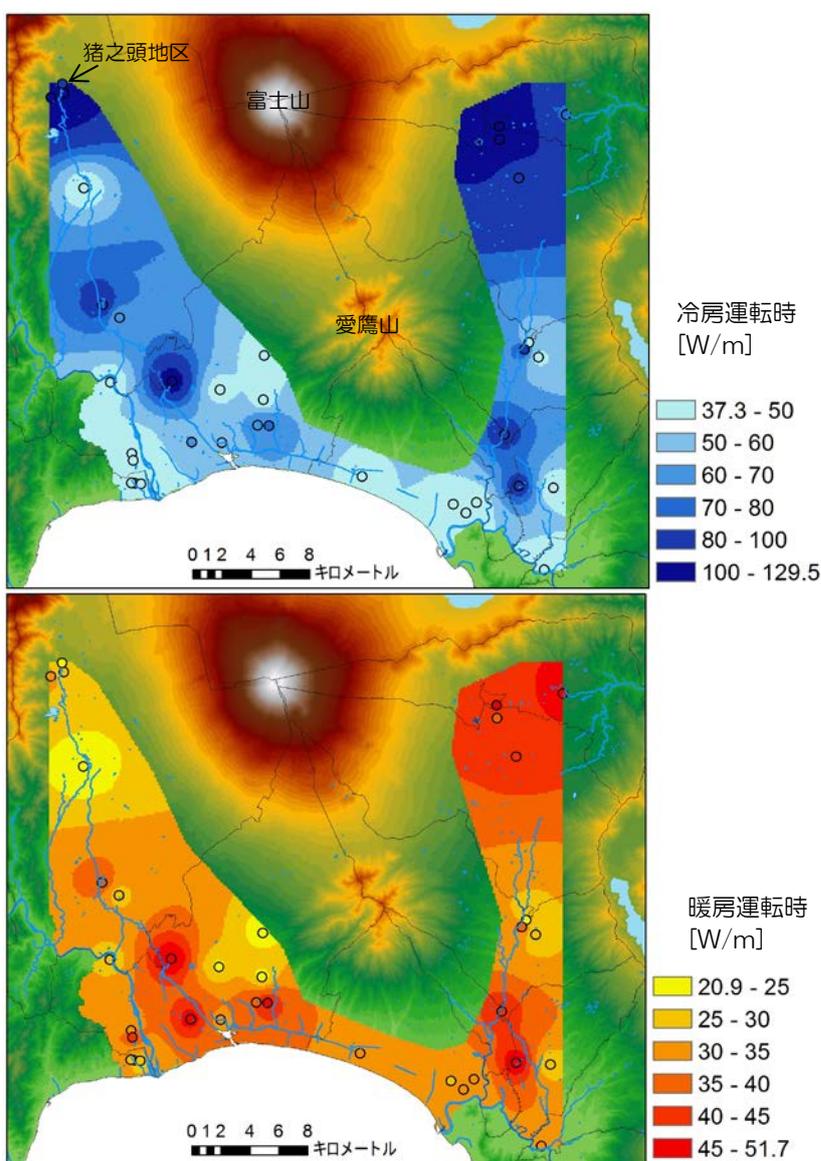
湧水及び小規模な自噴井戸の温度を示す。

3) 熱交換量マップ

(1) 地盤熱交換ポテンシャルマップ

この地域の地質環境や深さ方向の温度分布、地下水勾配を反映させた「熱交換井モデル」を作成し、地盤熱交換ポテンシャルを計算しました。これは、地面に挿入した熱交換パイプの周りを珪砂で充填したタイプで、地下水面より上部の地盤でも熱交換できる、現在最も普及が進んでいるクローズドループ方式を使用した場合の熱交換量を評価しています。富士山周辺地域の地下水は水温が低いため、冷房使用時の方が熱交換量が大きくなるという結果となりました。

地下水位が高く流れも速い、御殿場市や小山町、三島溶岩流末端付近の三



島市と長泉町の市境、富士宮市・富士市の市境などは、冷房、暖房とも熱交換量が大きくなっています。また、富士宮市猪之頭地区は特に冷房使用に適しており、富士市街地は暖房使用時も比較的熱交換量が大きく、バランスの良い冷暖房使用が期待できそうです。

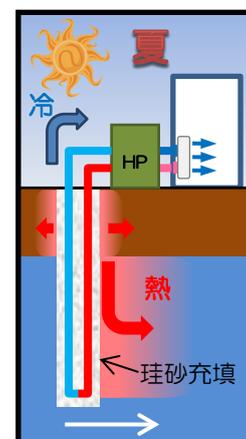


図 2-10 地盤熱交換ポテンシャルマップ

深さ 100m の熱交換井を用いた地盤熱交換システムで、冷暖房運転を 10 年間行った場合の平均熱交換量 (W/m) を示す。

(2) 水井戸熱交換ポテンシャルマップ

前項と同様に「熱交換井モデル」を使用し、休止中の水井戸に熱交換パイプを浸け込む「直接浸水型」を想定して水井戸熱交換ポテンシャルを計算しました。地下水面よりも下で井戸水と直接熱交換することになるため、「地盤熱交換ポテンシャル」と比べて熱交換量は小さくなっています。しかし、地下水面が高い地域では冷房で 30W/m 以上、暖房で 20W/m 以上の熱交換量が確保できるという結果になりました。ここでは、井戸水の流動がないという前提で計算しています。富士山周辺地域の地下水は流れが速く、実際には

井戸の中でも水の流れが生じている可能性が高いため、この推定値よりも大きな熱交換量を得ることができると考えられます。

実際にこのタイプの地下水熱交換システムを設置する場合には、個々の井戸の特性を把握するために、熱応答試験などを実施して事前に可能熱交換量を評価しておく必要があります (P.23 参照)

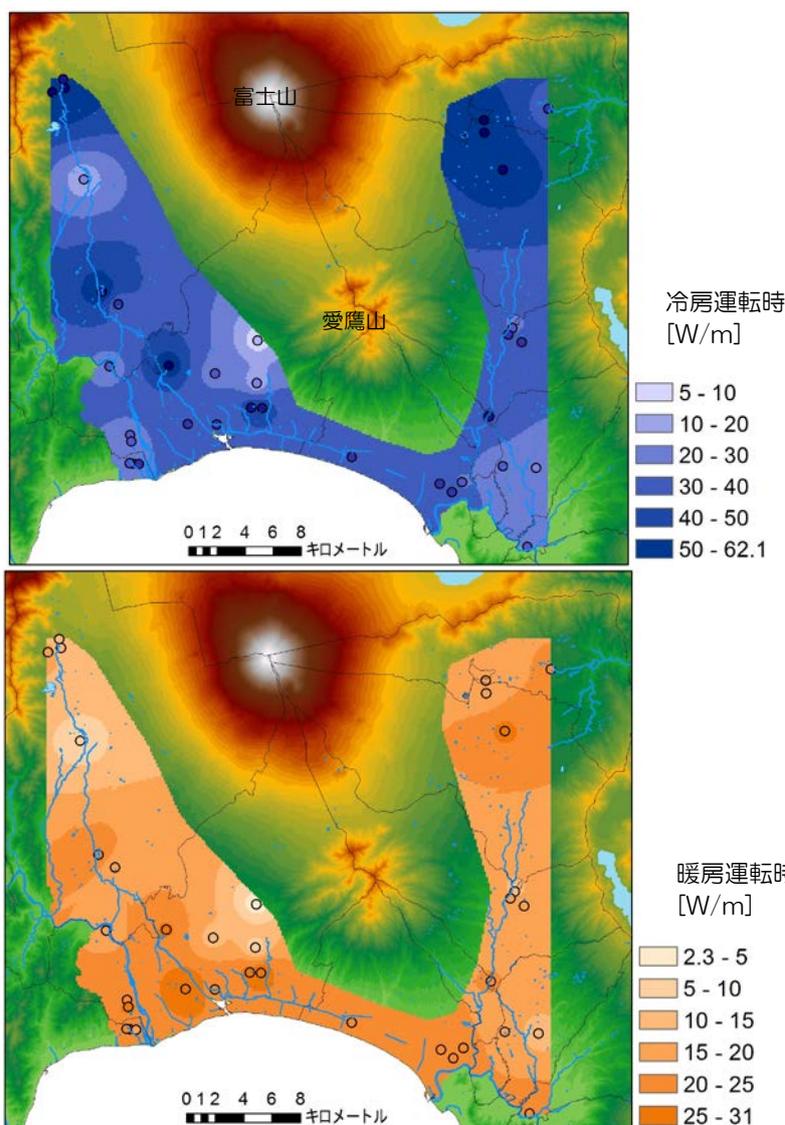
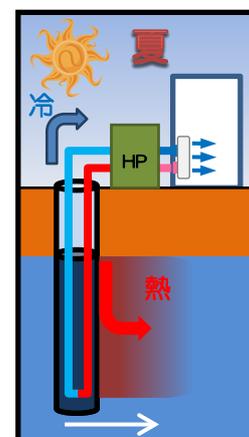


図 2-11 水井戸熱交換ポテンシャルマップ

深さ 100m の水井戸を用いた直接浸水型交換システムで、冷暖房運転を 10 年間行った場合の平均熱交換量 (W/m) を示す。



3. 導入・利用に関する配慮事項

1) 地下水熱ヒートポンプシステム導入の流れ

地下水熱ヒートポンプシステム導入のおおまかな流れを下図に示します。実際の導入時の計画・設計等に関しては通常の冷暖房システムと同じ流れになりますので、特に環境面での配慮に焦点を当てて次頁以降で取り上げています。なお、システムの導入については専門業者に依頼することになりますが、特定非営利活動法人地中熱利用促進協会のホームページに200社近くの会員団体が掲載されており、設計・コンサルタント、設備・施工、エネルギー、メーカー・物品販売、環境等の分野別に紹介されています。その中には、静岡県地下水熱エネルギー利用普及促進協議会の会員企業も含まれていますので、システム導入検討時の参考にしてください。

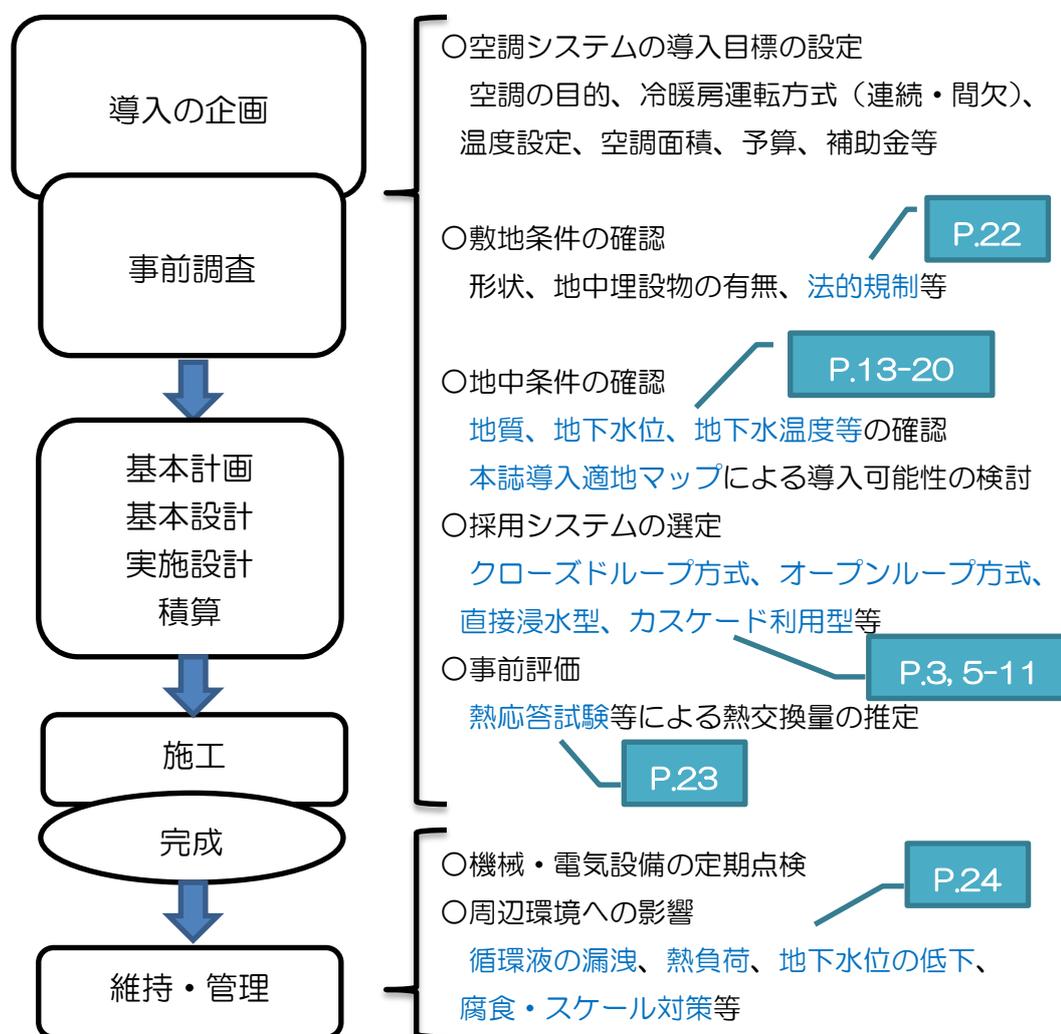


図 2-12 地下水熱ヒートポンプシステム導入のおおまかな流れ

2) 法律・条例等の順守

(1) 地下水の採取に関する配慮

富士山周辺地域では、過度に地下水を利用したために起こった井戸水の塩水化や湧水の枯渇といった経験をふまえて、工業用水への水源転換や「静岡県地下水の採取に関する条例」による岳南地域の揚水規制、黄瀬川流域地下水利用対策協議会等による自主規制など、地下水量を保全するための取り組みが行われています。

揚水設備を設けないクローズドループ方式の地中熱利用に関しては、新規に掘削する場合でも条例や自主規制の対象にはなりません。なお、既に届出がされている井戸において、揚水機を撤去して地中熱（地下水熱）交換井に転換する場合には、廃止届の提出が必要となります。

一方、新たに井戸を掘削し、地下水を採取してオープンループ方式により熱交換を行う場合は、条例や規制の基準と照らし合わせて、届け出ることが必要となります。また、既に揚水している地下水を熱交換用に転用する場合は、井戸の水利用計画の変更の届出が必要になることがあります。

(2) 地下水の放流・地下還元に関する配慮

オープンループ方式等で熱交換した後、地下水を排水する場合は、その放流先によって下水道法や水質汚濁防止法で定められた排水基準があるため、基準や排水方法等について関係機関に確認する必要があります。

水質汚濁防止法において、特定事業場から公共用水域（河川、湖沼、海域やそれらに接続する水路等）へ放流する場合には排水基準が設定されており、さらに、県条例によって鮎沢川水域、狩野川水域、田子の浦水域、奥駿河湾水域でそれぞれ異なる上乘せ排水基準が設定されているので、適用を受ける事業場はそれを守る必要があります。

また、有害物質を含む水の地下浸透は禁止されています。地下水量保全の観点からは、使用後の地下水をもう一度地中に還元する方法は望ましいことですが、地下水を通じて敷地外の井戸に与える影響を考慮して、還元する水質の確認には十分な配慮が必要となります。

地下水で熱交換するのみで特に揚水後に水質に変化を加える行為をしない場合でも、地下水には自然由来の重金属等が含まれている場合がありますので、水質チェック体制の構築が必要です。

3) 事前評価手法

効率のよい地下水熱利用を持続していくためにも、設備規模の適切な設定が重要になります。特にクローズドループ方式を用いて地中で熱交換する場合、地下水の状況や地盤の特性により熱交換量が異なることは P.19,20 の熱交換量マップで示しましたが、実際に設計するときの事前調査として、熱応答試験（TRT: サーマルレスポンステスト）を実施する場合があります。

熱応答試験は、地盤中に設置した熱交換パイプ内に熱負荷を与えた流体（水）を循環し、流体の温度や地中温度の経時変化を計測することで、地盤の熱物性や熱交換能力を推定する試験です。試験結果は熱交換パイプの本数・長さを決定するためのデータとして利用されます。地盤だけでなく、揚水や自噴井戸、湧水など、地上に出た後の地下水についても、水を貯めたピット等に熱交換器を浸水させることで、熱交換能力を確認することができます。

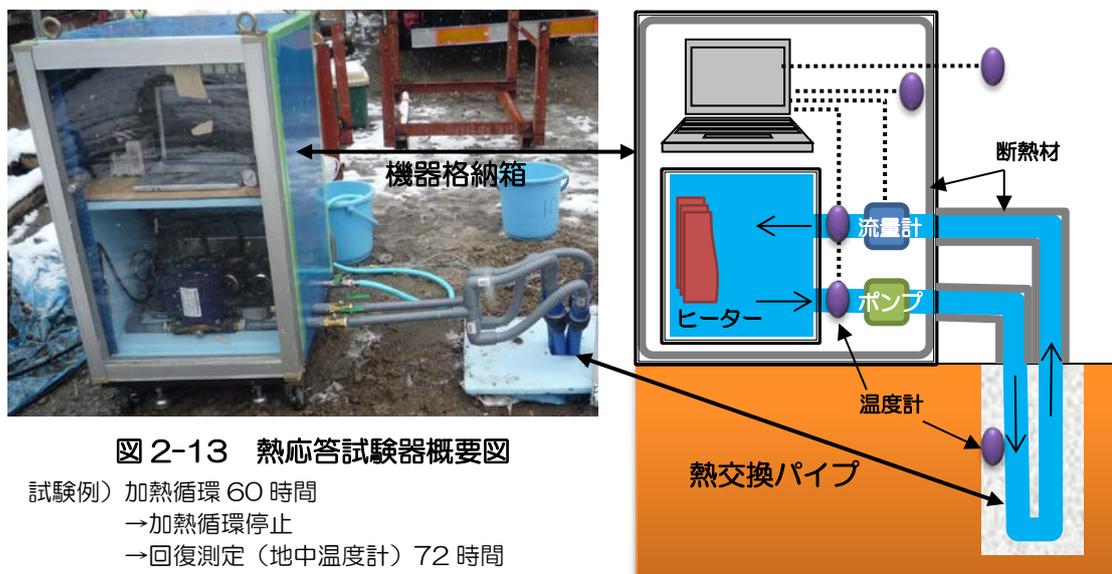


図 2-13 熱応答試験器概要図

試験例) 加熱循環 60 時間
 →加熱循環停止
 →回復測定 (地中温度計) 72 時間



写真 2-1 孔内熱交換能力測定器

直接浸水型地下水熱交換システムの場合、井戸内の地下水の流動状態によって熱交換能力は大きく変化するため、特に流動が起こりやすいストレート区間の熱交換量を正確に把握しておく必要があります。このような既存の水井戸における熱交換能力の評価を目的とした、上下にパッカーがついたプローブ型測定器も作成されています。

4) 維持管理

ヒートポンプシステムの熱効率を低下させることなく持続的に運用するためには、機械・電気設備の定期点検を行うことが重要です。地下水熱利用は、省エネ効果、二酸化炭素排出量削減、ヒートアイランド現象の緩和、景観への配慮など、様々な面で環境保全に寄与していますが、一方で、普段から水質影響や地中・放流先への熱負荷、地下水位低下などには留意しておく必要があります。

表 2-1 システム維持管理における注意点

クローズドループ方式	<p>熱媒体の漏えい</p> <p>熱媒体として腐食耐性や不燃性からエチレングリコールがよく使用されますが、人体に対して毒性があるので、漏えいには注意が必要です。 *対策* 普段から熱媒体の循環量をチェックしておく必要があります。</p>
	<p>熱負荷</p> <p>地中で熱交換を行った場合、熱環境が変化することにより、近隣での地下水・地中熱利用に温度影響が及び可能性があります。また、熱交換パイプ周辺の熱収支バランスがくずれて、熱交換能力が低下する可能性があります。 *対策* 熱媒体の温度をモニタリングしておくことで、熱収支のバランスを評価することができます。また、大規模な熱交換システムを設置する場合には、必要に応じて周辺にモニタリング用の井戸を設置することで、定期的に温度や水質のチェックができます。</p>
オープンループ方式	<p>地下水位の低下</p> <p>地下水の過剰な汲み上げにより地下水位が低下する可能性があります。 *対策* 条例等による規制を順守し、適正量の採水を心がけましょう。</p>
	<p>腐食やスケールの付着</p> <p>富士山周辺地域では pH が高い地下水や、塩水地下水があります。地下水を直接ヒートポンプ内に引き込むことで、配管等に腐食やスケールの付着が起きる可能性があります。 *対策* 使用する地下水は、「冷凍空調器用水質ガイドライン」で示される水質基準に適合する必要があります。また、スケール防止フィルターの設置や定期清掃などの対策が必要となります。</p>

<参考資料>

環境省水・大気環境局「地中熱利用にあたってのガイドライン」H24.3.

<http://www.env.go.jp/press/files/jp/19632.pdf>

横浜市泉区役所総務部区政推進課・特定非営利活動法人地中熱利用促進協会「平成24年度 泉区地中熱利用普及可能性調査報告書」H25.2.

<http://www.city.yokohama.lg.jp/izumi/02suishin/02kikaku/pdf/hokoku-sho-chichu.pdf>

国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課「官庁施設における地中熱利用システム導入ガイドライン（案）」H25.10.

<http://www.mlit.go.jp/common/001016159.pdf>

特定非営利活動法人地中熱利用促進協会ホームページ

<http://www.geohpaj.org/>

環境省ホームページ「地中熱利用ヒートポンプシステムの設置状況調査の結果について（お知らせ）」（平成27年1月27日）

<http://www.env.go.jp/press/100271.html>

一般社団法人日本冷凍庫空調工業会「冷凍空調機器用水質ガイドライン」（JRA-GLO2-1994）

北海道大学地中熱利用システム講座(2007)「地中熱ヒートポンプシステム」オーム社.

内田洋平ほか(2010)地中熱利用適地の選定方法その1 地下水流動・熱輸送解析を用いた地中熱利用適地マップの作成. 日本地熱学会誌, 32, 229-239.

吉岡真弓ほか(2010)地中熱利用適地の選定方法その2 地下水流動・熱輸送解析を用いた熱交換量マップの作成. 日本地熱学会誌, 32, 241-251.