

地熱利用ヒートポンプシステム

＜地中熱利用と温泉排湯利用＞

ゼネラルヒートポンプ工業(株) 柴 芳郎
Yoshirou Shiba

1. はじめに

地熱の形態は大きく分けると発電と熱利用に分かれる。

地熱発電はマグマによって高温となった地下からボーリングにより水蒸気を取り出してタービンを回すことにより電気を得る方法である。地熱発電はCO₂をほとんど排出しない理想的な自然エネルギーであるが、コスト、安定性、法律、住民感情等の問題があり、日本における温泉利用全電源に対する地熱発電の割合は現在0.2%程度と、あまり普及が進んでいないが、近年の石油価格高騰により見直しが進められている。

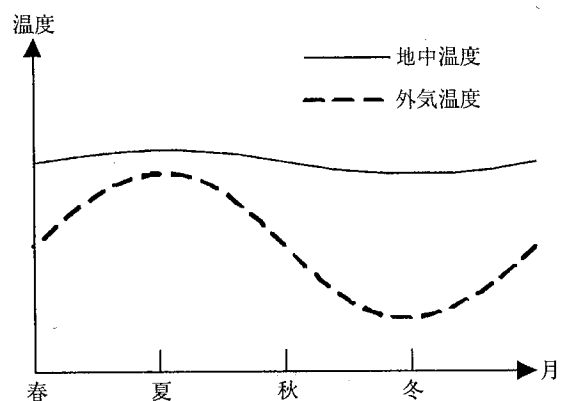
一方、熱利用についてはさらに熱水利用と地中熱利用に分かれる。

熱水利用で最もよく用いられるのは浴用の温泉であり、熱水と熱交換することにより給湯、暖房、プール加熱、融雪なども行われている。また、使用後の浴用の温泉（温泉排湯）をヒートポンプの熱源として利用することも可能である。

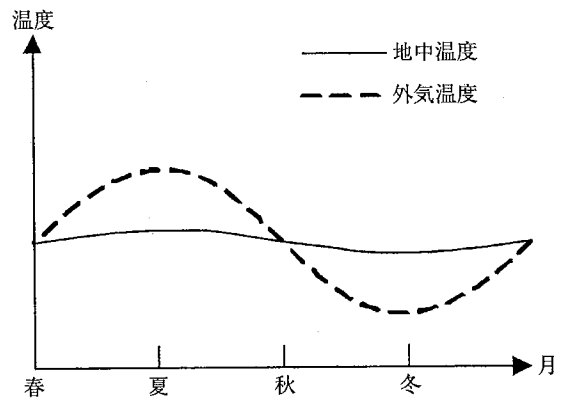
一方、地中熱は後述の地中熱交換器を通して水またはブラインを地中と熱交換する間接方式であり、高温のマグマの熱伝導または高温の地下水（温泉）の影響を受ける場合は高温となる（第1図）が、それらの影響を受けない場合は外気に比べて熱容量的に安定している熱溜としての役割をする（第2図）。地中熱は融雪やフリークーリング用として用いられる場合もあるが、近年は水冷式ヒートポンプの冷却水・熱源水として用いられることが増えてきている。

また、マグマの影響を受けない井水を利用する場合は直接方式と呼ばれ、さまざまな用途の冷却水として利用されており、水冷式ヒートポンプの冷却水・熱源水として用いられることもある。

ここでは、地熱利用ヒートポンプシステムとして地中熱利用と温泉排湯利用について述べる。



第1図 マグマの影響を受ける地中温度



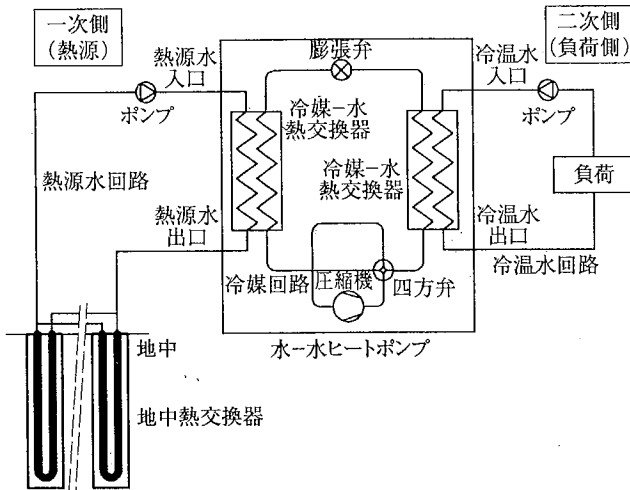
第2図 マグマの影響を受けない地中温度

2. 地中熱利用ヒートポンプシステム

(1) 地中熱対応のヒートポンプ

地中熱利用ヒートポンプシステムは地中熱交換器により土壌と水またはブラインを熱交換し、その水またはブラインを冷却水・熱源水として利用するシステムである。そのとき、ヒートポンプとしては冷却水・熱源水が使われるので水冷式ヒートポンプが用いられる。水冷式ヒートポンプとしては冷温水を供給するヒ

ートポンプチラー（第3図）や、冷風・温風を供給するエアコンやビル用マルチなどの直膨式ヒートポンプ（第4図）が用いられる。なお、ゼネラルヒートポンプ工業㈱において地中熱対応のヒートポンプは2006年度までで大小多種多様であるが約70件の納入事例がある。

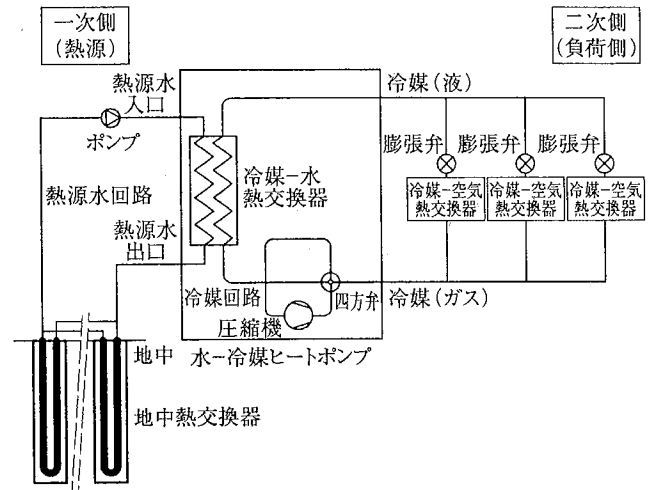


第3図 ヒートポンプチラーによる地中熱利用ヒートポンプシステム

(2) 地中熱交換器
地中熱交換器は垂直型と水平型のものがあるが、垂直型の方が土地が狭い日本の事情に合致している。第1表に垂直型地中熱交換器の種類を示す。

垂直型地中熱交換器は大きく分けて

- ボアホール方式
- 杭方式



第4図 直膨式ヒートポンプによる地中熱利用ヒートポンプシステム

第1表 垂直型地中熱交換器の種類

名称	シングル Uチューブ	ダブル Uチューブ	二重管	杭二重管	杭+ Uチューブ	現場施工杭 (場所打ち杭)
方式	ボアホール方式			杭方式		
断面図						
立面図						
材質	ポリエチレン、銅、ステンレス		外管： スチール、 コンクリート 内管： ポリエチレン、 塩ビ、スチール	杭： スチール、 コンクリート 内管： ポリエチレン、 スチール	杭： スチール、 コンクリート 内管： ポリエチレン、 銅、スチール、 ステンレス	杭： 鉄筋コンクリート Uチューブ： ポリエチレン
流体	水、不凍液、冷媒		水、不凍液		水、不凍液、冷媒	
封入	管外：土、グラウト材 ^{注)}		なし		グラウト材 ^{注)} 、水	コンクリート

注) グラウト材：コンクリート、ペントナイト、珪砂、豆砂利等

があり、ボアホール方式は地中熱交換器を設置するために空き地にボーリングを行う方式であり、杭方式は建物の基礎杭と地中熱交換器を兼用する方式である。

ボアホール方式には

- シングルUチューブ
- ダブルUチューブ
- 二重管

がある。Uチューブとは高密度ポリエチレンパイプ2本の先端部をU字接続したものである。シングルUチューブ方式は1本のボアホールに1セットのUチューブを入れる方式であり、ダブルUチューブ方式は1本のボアホールに2セットのUチューブを入れる方式であり、二重管方式は鋼管またはコンクリート管を外管として、内管をその内部に設ける方式である。単位長さ当たりの採熱量は

シングルUチューブ<ダブルUチューブ<二重管とされているが、コスト、施工、メンテナンスを考慮して選択する必要がある。

杭方式には

- 杭二重管
- 杭+Uチューブ
- 現場施工杭（場所打ち杭）

がある。杭二重管はボアホール方式の二重管方式と同様に鋼管またはコンクリート管を外管として、その内側に内管を設ける方式であるが、基礎杭として兼用することが異なる。杭+Uチューブ方式は鋼管またはコンクリート管を外管として、中部にUチューブを用いる方式である。現場施工杭（場所打ち杭）方式は、工場または現場において鉄筋かごの外周または内周にUチューブ等の配管を行い掘削孔に挿入し、その後コンクリート打設を行うという方式である。

杭方式はボアホール方式に比べて、新たに掘削する必要がないためにコストダウンを図ることができる。

(3) 地中熱利用ヒートポンプシステムの利用方法

① 冷暖房

地中熱利用ヒートポンプシステムで最も利用されている用途が冷暖房である。

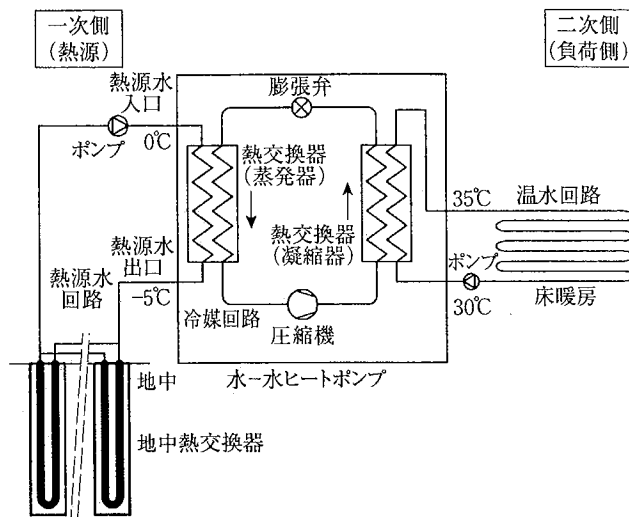
ヒートポンプチャラーによる冷暖房の場合は、地中熱対応水冷式ヒートポンプチャラーにて冷温水を生成し、その冷温水を二次側へポンプで送り、ファンコイルまたはエアハンドリングユニットで冷風・温風を室内へ送る。

直膨方式の場合は、二次側配管は冷媒配管となり、専用の室内機により冷暖房を行う。直膨方式のマルチエアコンは室内機個別に温度設定が可能であり、スリ

ーウェイ（3WAY）方式の場合は冷房・暖房同時運転が可能である。

② 床暖房

床暖房の場合は温水専用のヒートポンプが用いられる（第5図）。



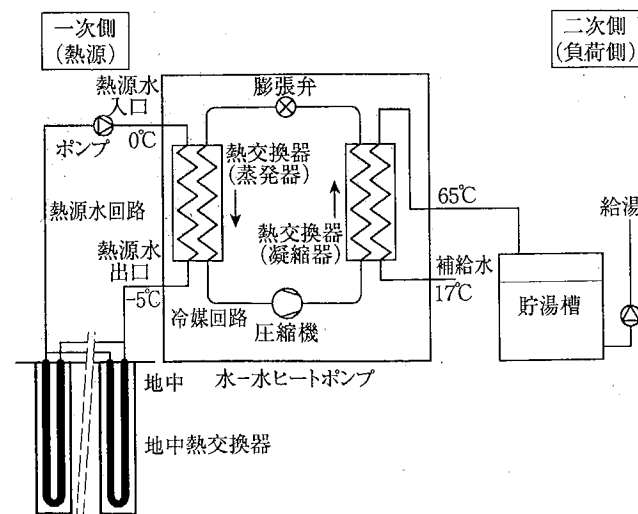
第5図 地中熱ヒートポンプによる床暖房利用

高気密・高断熱住宅と床暖房を採用し、地中熱ヒートポンプにより床暖房への供給温水温度を低く設定することにより、暖房で使用する温度よりも低い温度となり、ヒートポンプのエネルギー使用効率が高くなる。

③ 給湯

地中熱ヒートポンプで給湯を行う場合は床暖房と同様に温水専用の水冷式ヒートポンプが用いられる（第6図）。

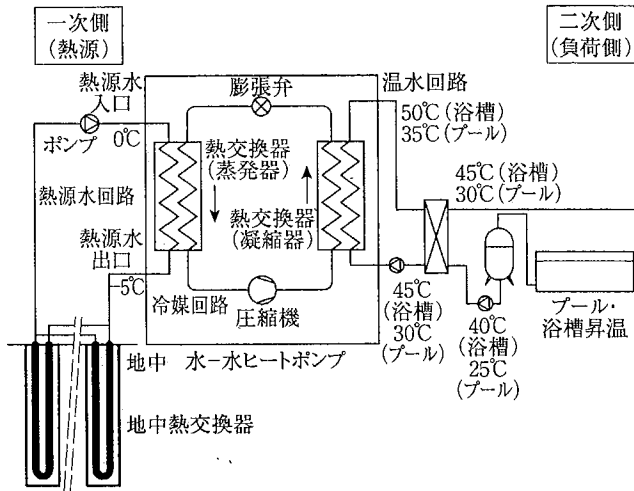
補給水から比較的大きな温度差により直接昇温する瞬間給湯と、5℃差程度で徐々に温度を上げてゆく循環給湯の2つの方式がある。



第6図 地中熱ヒートポンプによる給湯利用

④ プール加熱・浴槽加熱

地中熱ヒートポンプでプール加熱・浴槽加熱を行う場合は床暖房、給湯と同様に水-水方式の温水専用の地中熱対応水冷式ヒートポンプが用いられる(第7図)。



第7図 地中熱ヒートポンプによるプール・浴槽昇温利用

プール水は塩素注入やろ過が必要なため、ヒートポンプによる直接加熱はせず分解洗浄が可能な水-水熱交換器を介して加熱が行われる。

浴槽水も温泉成分の影響があるため、プール加熱と同様にヒートポンプによる直接加熱は行わずに分解洗浄が可能な水-水熱交換器を介して加熱を行う。

⑤ 融雪

温水式融雪の場合、外気温度や降雪量等の設計条件で、融雪への必要供給温度が決まるが、地中熱交換器や井水だけでは供給温度が不足している場合はヒートポンプを組み合わせることにより、必要供給温度を達成できる。

ヒートポンプで融雪を行う場合は床暖房、給湯、プール加熱・浴槽加熱と同様に水-水方式の温水専用の地中熱対応水冷式ヒートポンプが用いられる。

融雪は床暖房とほとんど同じ形態をとるが、温水を循環させる温度は床暖房よりも低くなる。

⑥ 工場プロセス・農業・養殖等

上記利用のほかにも工場プロセス、農業、養殖などで冷却や加熱が必要な場合は、地中熱ヒートポンプを利用することが可能である。

(4) 地中熱ヒートポンプの利点

ヒートポンプは熱源と利用する温度の温度差が大きいほど圧縮機の動力が大きくなる。空冷ヒートポンプに対する地中熱ヒートポンプの利点は、地中温度と外

気温の温度差で決まる。つまり、ヒートポンプの暖房、給湯などの加熱利用の場合は熱源温度が高いほどよく、冷房などの冷却利用の場合は熱源温度が低いほど良い。

また、空冷ヒートポンプによる暖房や給湯などの加熱利用の場合、冬季外気温が約5℃未満になるときは、フロスト・デフロストが発生するのでヒートポンプ性能が低下するが、地中熱ヒートポンプはそれがないため機器容量を小さくすることが可能である。

地中温度がマグマの影響を受けない場合、地中熱温度は年間を通して年平均外気温程度で一定になることから、外気温に比べて夏は低く、冬は高いために、地中熱を熱源としたヒートポンプシステムで冷暖房システムを構築すると外気を熱源とする空冷ヒートポンプに比べて高い効率を実現することが可能である(第2図)。

一方、地中温度がマグマの影響を受ける場合、年間を通して外気に比べて地中温度が高い場合がある(第1図)。この場合はヒートポンプの加熱利用が有利となるため、冷房負荷がほとんどない寒冷地の暖房利用や、給湯、床暖房、プール加温、浴槽加温等に有利となる。温泉排湯を熱源として利用する場合も同様である。また、夏季の冷房については冷房・給湯同時運転が可能な排熱回収機能付きのヒートポンプを用いることにより、夏季においても高効率運転が可能である。

ただし、空冷ヒートポンプや他熱源方式(ボイラー、吸収式冷温水器、GHP、KHP等)に比べると、地中熱交換器等の設備費用が高いため地中熱ヒートポンプシステムはイニシャルコスト増となるが、そのイニシャル差分を燃費でカバーできるかどうかを検討する必要がある。

また、地中熱交換器の容量が不足すると空冷ヒートポンプに対するランニングコストや環境コストメリットが少なくなるため、地中熱交換器の容量選定には十分注意を払う必要がある。

3. 温泉排湯利用ヒートポンプシステム

浴用として温泉が用いられる場合、掛け流しや循環濾過のどちらについても温泉を補給する必要があるため、補給した量から蒸発した分を除いた量が排湯となる。温泉排湯は通常川に放流するが、雨水、下水として放流する場合もある。

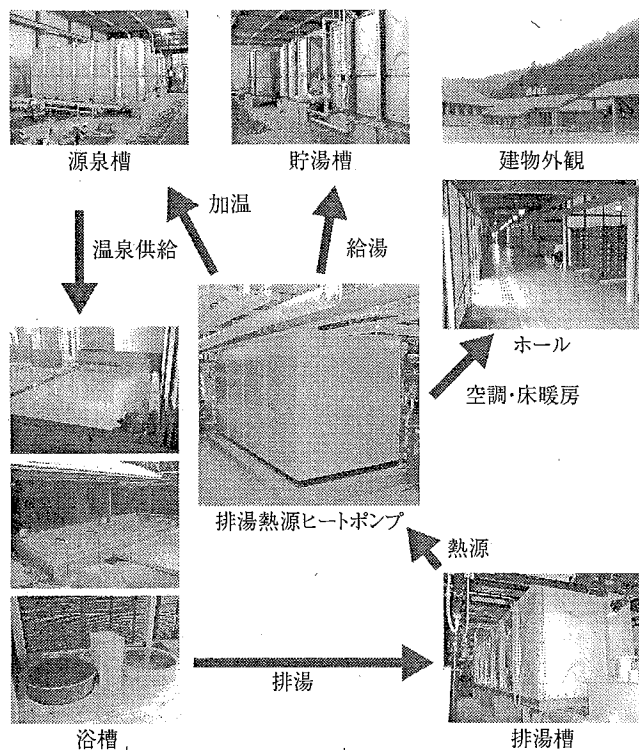
一部の温泉地帯では温泉排湯を融雪用に用いているところがあり、また、一部の温泉旅館では給湯用給水

の予熱に利用しているところもあるが、多くはそのまま捨てているのが現状である。

この通常捨てている温泉排湯をヒートポンプの熱源として利用するのが温泉排湯利用ヒートポンプシステムである。ゼネラルヒートポンプ工業(株)は2006年度までに温泉排湯利用のヒートポンプは大小含めて約10件の納入事例がある。

(1) システム概要

温泉排湯利用ヒートポンプシステムの写真によるフロー図を第8図に示す。岐阜県中津川市付知町の日帰り温浴施設「付知峽倉屋温泉おんぼいの湯」は2005年4月にオープンした温泉排湯利用ヒートポンプシステムが採用された施設であり、第8図はその設備の写真を用いている。



第8図 排湯熱源ヒートポンプシステムフロー
(付知峽倉屋温泉おんぼいの湯)

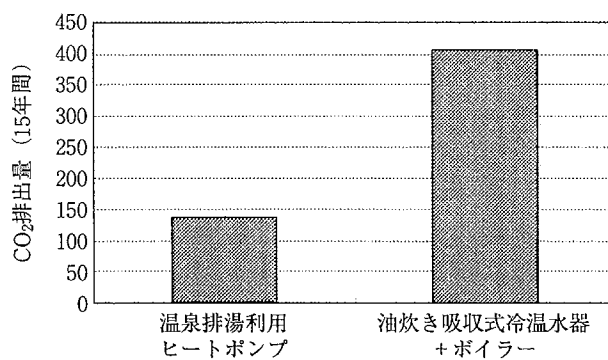
当施設ではろ過器を用いない掛け流し方式が採用されており、源泉の汲み上げ量は毎分180リットルであるが、源泉の温度は約38℃程度であり、浴用として用いるために排湯熱源ヒートポンプにより若干加熱している。掛け流し後の排湯は排湯槽に貯め、プレート式熱交換器を通して排湯熱源ヒートポンプの熱源として利用する。

温泉排湯ヒートポンプは源泉の加熱だけでなく、室内の暖房・床暖房、シャワー・カラン・厨房用などの

給湯も行っている。また、夏季の冷房については排熱回収により給湯や源泉加熱を同時に行うことにより賄っている。

(2) 温泉排湯利用ヒートポンプシステムの利点

従来の温泉施設では油炊きの吸収式冷温水器とボイラーによる熱源システムが多く採用されたが、温泉排湯ヒートポンプシステムを用いることにより、近年の原油価格高騰も手伝って、かなりのランニングコスト削減を図ることができる。また、試算によれば従来方式に比べて当温泉排湯ヒートポンプシステムの二酸化炭素排出量は約1/3なり、大変地球環境に優しいシステムとなっている（第9図）。



第9図 CO₂排出量比較試算結果

ただし、温泉排湯を用いる場合は温泉成分によってスケールや腐食の影響があるため定期的な熱交換器の洗浄やプレートの交換が必要である。

4. おわりに

地中熱や温泉排湯は地熱エネルギーのなかでも未利用エネルギーであり、循環型社会へ向けてのソリューションの1つであり、今後の普及が期待される。

【筆者紹介】

柴 芳郎（昭和47年10月12日生）

ゼネラルヒートポンプ工業(株) 開発部 次長

〒459-8001 名古屋市緑区大高町已新田121

TEL：052-624-6368 FAX：052-624-6095

E-Mail：yoshiro.shiba@zeneral.co.jp

〈主たる業務歴及び資格〉

平成9年4月ゼネラルヒートポンプ工業(株)入社

平成17年3月名古屋大学大学院工学研究科博士課程満期退学

高圧ガス製造保安責任者（第一種冷凍機械）

（会社紹介はp.95参照）