

吉岡町地中熱利用可能性調査 報告書（概要版）

平成 26 年 2 月
吉岡町

1. 地中熱と利用システムの種類

地中熱とは、昼夜間又は季節間の温度変化の小さい地中の熱的特性を活用したエネルギーのことをいいます。

地中熱は地熱の一部ともいえますが、利用の仕方から見ると、火山に近い場所にある高温のエネルギーを発電等に利用する地熱と、足もとにある恒温のエネルギーを温熱・冷熱として利用する地中熱とは、似て非なるものです。

現代人が忘れてしている地中熱ですが、古代人は生活の中で冬温かく夏涼しい地中熱を竪穴住居などに利用していました。

足元地下に眠っている天候などに左右されることのない再生可能エネルギーである「地中熱」の温度は、関東圏では昼夜を問わず 1 年を通して $16\sim 17^{\circ}\text{C}$ と安定しています。

したがって、暑い夏には 30°C を超える外気温から温度を下げるより、 $16\sim 17^{\circ}\text{C}$ の地中熱を利用すれば冷房に要するエネルギーは少なくて済みますし、寒い冬には 0°C 前後の外気温から温度を上げるよりも、 $16\sim 17^{\circ}\text{C}$ の地中熱を利用すれば暖房に要するエネルギーも少なくて済むことになります。これが地中熱利用の優位性なのです。



図 1 地中熱を利用した竪穴住居

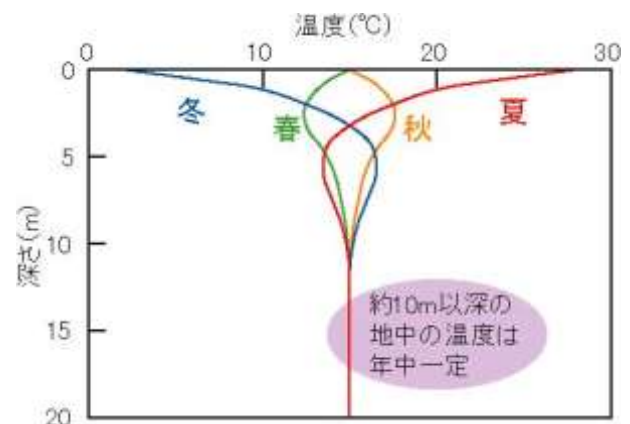
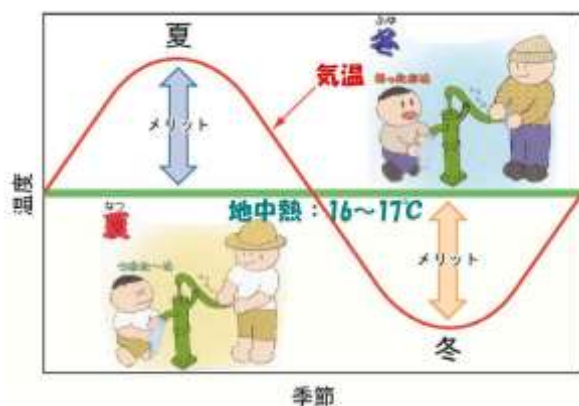


図 2 地中温度は年中一定

1-1 地中熱交換器の方式

大地と熱を交換する方法は数種類あり、最も普及しているものは熱を温度の低い所から高い所に移動させる機械であるヒートポンプを利用した冷暖房・給湯システムです。家庭のエアコンや冷蔵庫もこの技術を用いて空気との間で熱をやりとりしており、地中熱利用ヒートポンプとは地中との間で熱交換を行う点で異なっていますが、技術的には同じものとなります。

地中熱利用ヒートポンプシステムには、地中にパイプをループ状に挿入しその中で不凍液等を循環させるクローズドループ方式と、地下水の熱を直接利用するオープンループ方式があります。

一般に利用されているクローズドループ方式は、「Uチューブ」と呼ばれるU字型の採放熱パイプを地中に挿入し、中に水や不凍液を満たして循環させ熱交換を行います。オープンループ方式に比べて熱交換の効率は低いものの、地下水を揚水しないため、揚水規制のある地域でも導入可能です。

一方、オープンループ方式は熱交換する循環水に地下水を利用するもので、水質によっては追加設備が必要となるほかメンテナンスの問題や揚水規制による制約などもありますが、比熱の高い地下水が熱を運ぶため熱交換能力は高く効率的です。

ヒートポンプの熱源として利用
温度調節が可能で汎用性が高い

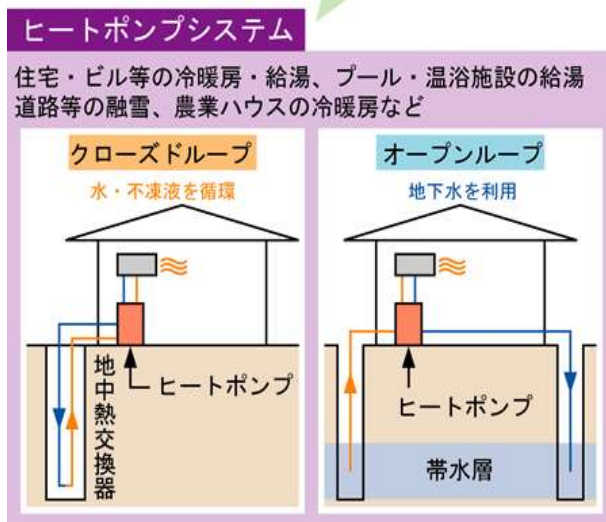
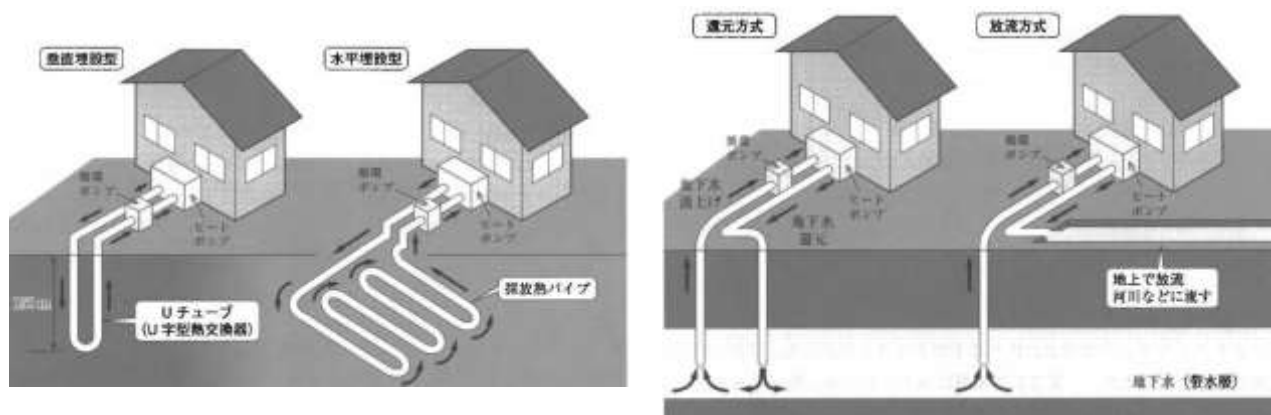


図3 ヒートポンプシステムのイメージ



クローズドループ方式

オープンループ方式

図4 地中交換器の概要

クローズドループ方式とオープンループ方式の長短概要は下表のとおりです。

		クローズドループ方式	オープンループ方式
地中熱交換器コスト		高い（ボーリング費用が初期コストの1/2～1/3）	低い（初期費用対効果では、クローズドループ方式の1/5～1/10）
施工場所		全国どこでも可能。	地下水豊富な扇状地・火山山麓・平野・盆地などに適している。
冷暖房面積		地中熱交換器数は多く、施工面積に比例する。	地下水揚水孔の施工数は少なくて済む。
条例・通達規制		考慮不要	自治体の地下水規制や放流条件に留意。
地下水水質		考慮不要	水質により地表熱交換器を要する。
補助金対象	経産省	○	○
	環境省	推奨	
	群馬県	○	○
メンテナンス		ほぼメンテナンスフリー （機械はメーカーによる）	地下水による目詰まり・配管障害などに留意。（定期点検が必要）

表 1 クローズドループ方式とオープンループ方式の特徴

1-2 両方式の費用対効果と特徴

地中熱利用ヒートポンプの出力規模とイニシャルコストについて比較した場合、クローズドループ方式で出力 kW あたり概ね 25～60 万円程度、オープンループ方式で出力 kW あたり概ね 10～30 万円程度となっています。（環境省資料、2012）。

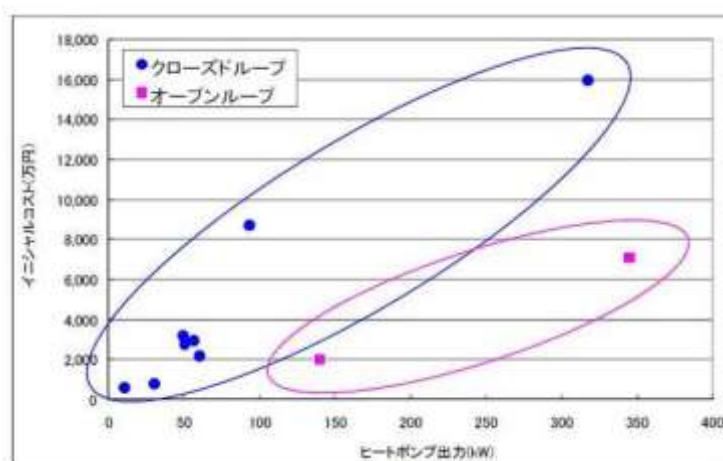


図 5 ヒートポンプ出力あたりのイニシャルコスト事例（環境省 2012）

また、本資料によると、同じ敷地内で施工した東京大学「理想の教育棟」（2011 年）による熱交換器採放熱量について両方式の差異が得られており、クローズドループ方式（Uチューブ、100m×10 本）の採放熱量 50kW に対して、オープンループ方式（交互揚水還元井戸、20m×4 本）の採放熱量は 70kW となっています。

2 基本調査

本調査にかかる試験孔がそのまま導入の際の採熱孔に利用できることから、吉岡町内における地中熱利用システムの試験孔削孔対象施設の中で改修更新が迫っている、埋立表土が薄い、安定的な地下水が確保可能、オープンループ方式の地中熱利用システムの計画施工が比較的容易などの視点から、文化センター北側の駐車場で調査を実施することとしました。

2-1 試験孔の施工と揚水試験

試験孔の概要は下表のとおりです。

掘削仕様

掘削口径	150mm
仕上口径	100mm
深度	51.3m
ケーシング	PVCφ100mm、無孔管 27.70m
	有孔管（ストレーナ）：23.70m

調査結果（地質）

0~0.5m	埋土
~1.9m	砂混じり粘土
~8.5m	粘土混じり砂礫
~9.6m	砂・礫混じり粘土
~17.2m	砂礫・礫混じり砂
~22.3m	軽石混じり砂礫
~51.3m	砂礫・玉石混じり砂礫・粘土混じり砂礫

揚水試験

連続揚水量	毎分 80L 以上 ※水位回復が極めて早いため、試験孔から日揚水量（半日揚水、半日停止）毎分 100L 程度揚水しても地中熱利用に大きな支障はないと考えられる。
水温・水位	水温：16.3℃ 水位：-33.080m（8月28日） 水位：-32.805m（9月30日） 水温：16.1～16.2℃ 水位：-33.150m（12月24日）

温度検層・流向流速計測

温度構造特徴	地下 15mまで外気温の影響が認められる。深度 15m以層の地温は 17℃から温度変化が少なくなり深度 49mでも 16.7℃までしか低下しない。
	49m以深の 2mで 1℃の低下が認められ、水温の低い優勢な地下水流（帯水層）があるものと推察できる。
流向・流速	深さ 39m地点 流向：南西→北東 流速：0.026cm/分（37.4cm/日）以上
	深さ 43m地点 流向：東→西 流速：0.009cm/分（13.0cm/日）以上

表 2 基本調査結果の概要

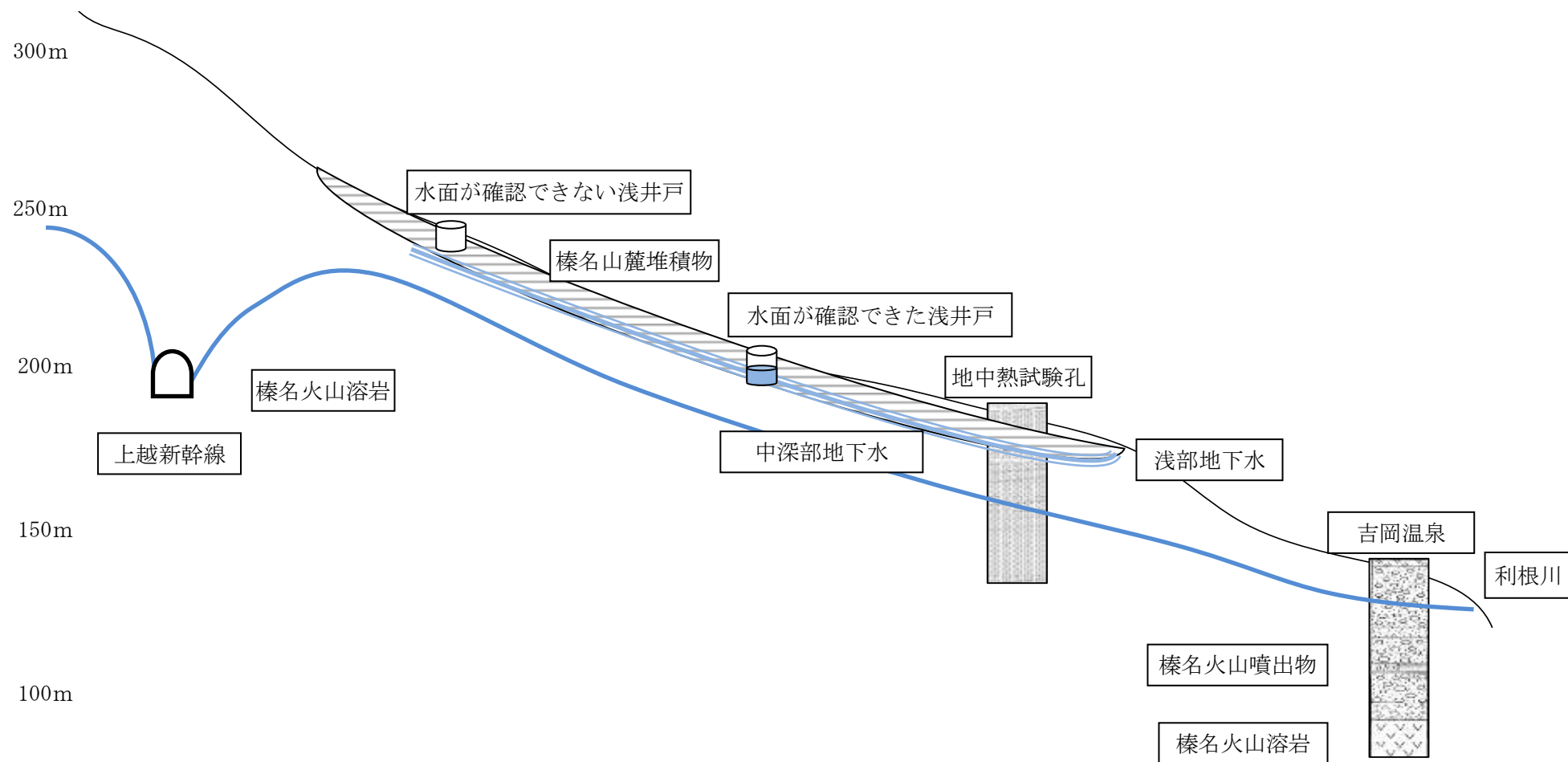
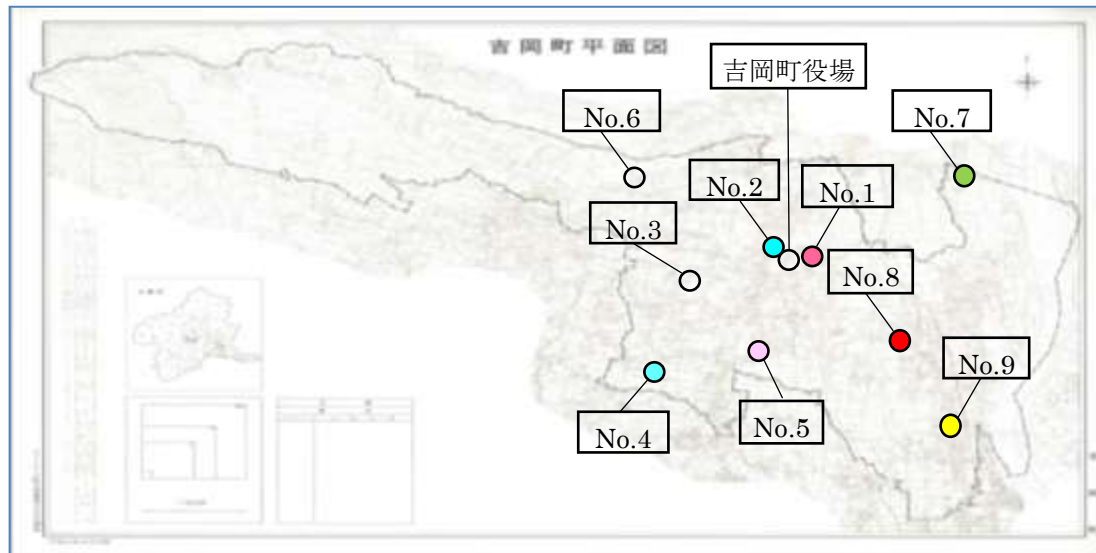


図 6 榛名山麓の地形断面と地下水概要

2-2地盤調査（町内浅井戸調査）

榛名山麓の浅部地下水の地中熱利用を検討するため、吉岡町内における既設浅井戸（No.1～No.9）の調査を実施しました。所有者の方の話によると以前と比べると井戸の水位は低下しているということですが、今回の調査では安定した水量が得られる地域が多く存在することが確認できました。



水温：●12℃ ●13℃ ●14℃ ●15℃ ●16℃ ●17℃ ○地下水水面確認できず

図 7 浅井戸位置と水温

- 揚水試験結果でヤコブの直線解析法を用いて簡易に透水係数を求めたところ $1.873 \times 10^{-3} \sim 9.758 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ であるが、大半の既設井戸は試験孔の中深部地下水の透水係数 $2.6 \times 10^{-5} \text{m/sec}$ ($2.6 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$) より優良であった。
- 地下水温は吉岡町役場位置を境に榛名山麓の高い西部で $12 \sim 13^\circ\text{C}$ と低く、山麓裾野の東部で一般に $15 \sim 17^\circ\text{C}$ と高い傾向が認められた。

3吉岡町における地中熱利用の展望

3-1 導入プランの提案

調査の結果、試験孔（口径 100mm、深度 51.3m）からは毎分 100L 程度の日揚水量（半日揚水、半日停止）の利用が可能であり、熱交換器を通して採放熱できる温度差は 7°C 、50kW の採放熱が可能であることが判明しました。

本調査はオープンループ方式の導入の可能性を目的としていたことから、クローズドループ方式検討のための熱応答試験は実施していませんが、平成 23 年度群馬県「緑の分権改革推進事業」で実施された熱応答試験によると、群馬県（玉村町）の地層全体の熱伝導率は $1.41 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ であり、クローズドループ方式であるボアホール 150m（75m×2 孔、ダブルUチューブ）の採放熱量は 10kW でした。

上記の調査場所の状況とは熱伝導率や採放熱量など分布する地質や地下水状況が異なるため単純に

比較することはできませんが、榛名山麓に位置する地域の地形・地質・地下水等を総合的に観ると、吉岡町には熱効率の高いオープンループ方式の地中熱利用システムが適しているということができ、また吉岡町には地下水利用に関して特別な規制（群馬県内の地下水規制）がないことから、費用対効果の高いオープンループ方式の積極的導入について検討することが現実的と考えられます。

3-2 公共施設への導入

① 試験孔のみを利用する場合（放流方式）

本調査業務で施工した試験孔（採放熱量 50kW）のみをオープンループ方式（放流方式）で利用した場合、文化センター学習棟の熱負荷量から児童学習室（1 階）と研修室（2 階）の2部屋の冷暖房を地中熱利用に切り換えることが可能となります。

地中熱システムを導入した施設電気使用料は空調式の 1/3～1/2 になるという実績例に基づけば、文化センター学習棟の使用電気料の 10～12.5%（1/8）程度が削減できることになります。

② 試験孔と新設揚水孔利用の場合（還元方式）

本調査業務で施工した試験孔（採放熱量 50kW）と、新たな揚水孔（ $\phi 200\text{mm} \times 70\text{m}$ 、採放熱 100kW）を1孔削孔し、2孔同時にオープンループ方式（還元方式）で利用した場合、文化センター学習棟の1階（図書館、児童学習室、事務室）と2階の研修室と工芸学習室の冷暖房を地中熱利用に切り換えることが可能となります。

また、このケースでは文化センター学習棟の使用電気料の 30～37.5%（3/8）程度が削減できる計算となります。

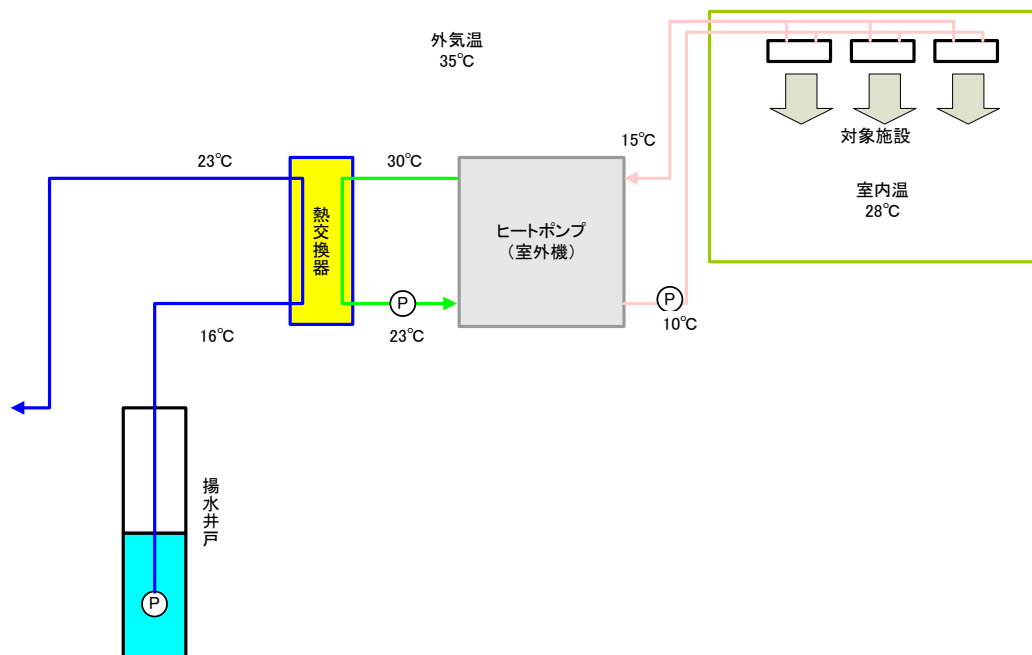


図 8 オープンループ式（地下水利用）地中熱システム概念（冷房期）

3-3 一般住宅等・小規模施設への導入

(1) オープンループ方式

試験孔調査と町内の既設浅井戸による地盤調査の結果、榛名山麓に展開する吉岡町内には榛名山麓堆積物中の浅部地下水と榛名火山噴出物中の中深部地下水があることがわかりました。

浅部地下水を利用するためには、新たに 10m 程度の井戸を建柱車等でボーリングをする必要がありますが、オープンループ方式で毎分 14L の浅部地下水を汲み上げた場合、熱交換温度差 5℃により 5kW の採放熱量が確保できる計算となり、26 m² (16 畳) 程度の広さの部屋を対象としたイニシャルコストを抑えた冷暖房システムの導入が可能となります。

ただし、既設浅井戸調査の結果から地下水面が確認できなかった井戸もあったことから、吉岡町内には必ずしも 10m 程度の井戸で浅部地下水を揚水できる地域ばかりではないことも考えられるため、実際の導入に際しては注意が必要です。

中深部地下水を利用するためには、30m～70m程度の井戸を新規に削孔する必要があるボーリング作業に伴う施工費が必要となり、その上でオープンループ方式とクローズドループ方式のどちらを採用するかを選択が必要ですが、イニシャルコストを考えた場合オープンループ方式の採用が現実的です。

オープンループ方式の場合、仮に 50mの採熱孔により 50kW 程度の採放熱量が確保されたとすると、1 孔あたりの地中熱利用冷暖房の対象面積は約 260 m² (約 160 畳) となります。平成 25 年度の吉岡町固定資産概要調書によると吉岡町における 1 世帯あたりの住宅面積は 119.94 m²であることから、1 本の採熱孔から 2 世帯の冷暖房システムに必要な熱量が賄える計算です。

このことから、比較的イニシャルコストが高いといわれる地中熱空調システムも、揚水井を含む熱交換器を数戸で分担施工することにより 1 世帯あたりの単価を抑えること可能となるため、共同地中熱空調システムは吉岡町の地形や地下水の自然特性を活かす取り組みとしては十分検討するに値すると考えられます。

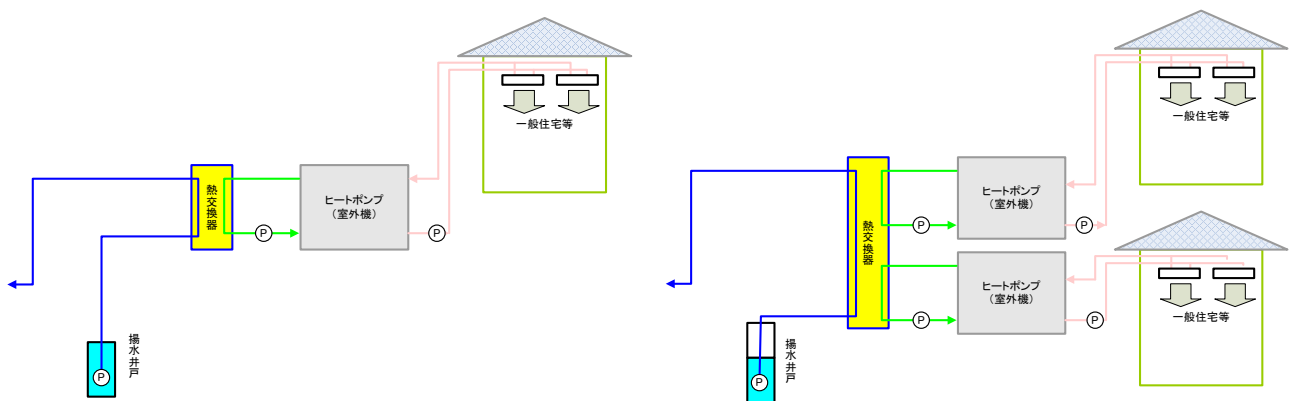


図 9 一般住宅等・小規模施設のオープンループ方式地中熱システム

(2) 既設井戸利用地中熱システム

年間水位が 3m程度と安定して揚水できる既設井戸がある場合は、浅部地下水の地中熱を利用するクローズドループ方式導入の可能性があります。この場合、井戸水の中に不凍液を満たしたチューブを循

環させるシステムが有効であり、地中熱普及の最大ネックである地中熱交換器の設置と新たな揚水井の施工が必要ありませんので、事業費の削減が可能となります。

すでに玉村町再生可能エネルギー研究会では、既設井戸に熱交換器を挿入し地中熱ヒートポンプシステム（暖房 5kW/冷房 4kW）による事務所（22.5 m²、約 14 畳）の冷暖房の実証実験も行っています。

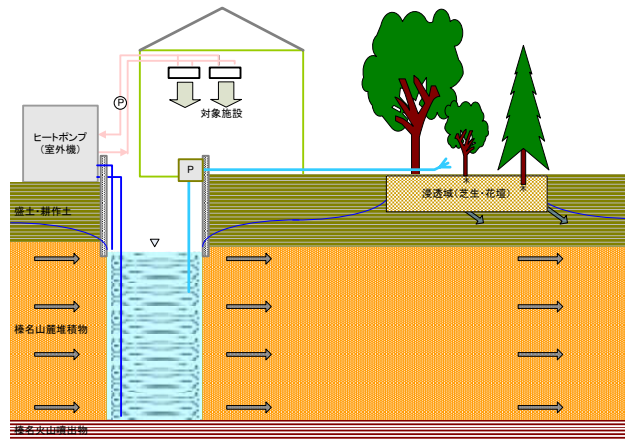


図 10 既設井戸利用のクローズドループ地中熱交換器

3-4 農業用施設への導入

農業用ハウスの暖房は石油やガスの利用が一般的ですが、輸入燃料コストの上昇や CO₂ の排出が焦眉の課題となっています。地中熱は灯油を燃料とする方式に比べ、ランニングコストを大幅に削減でき、また CO₂ の排出量も削減できることから農業用施設への導入も有効であると考えられます。

たとえば、山梨県でトマト栽培に利用しているケースでは、それまで冬期や夜間に灯油を使用して農業用ハウス内を暖めていましたが、これを地中熱利用ヒートポンプシステムに切り替えたところ、従来の農業用ハウスで利用する灯油による加温方式と比較して、ランニングコストが 40%以上減少、CO₂ の発生量は 60%削減されたことが確認されました。

この施設では、地下 100m 程度まで掘削したボアホールに地中熱交換器を設置し、ヒートポンプでつくり出した熱を温風で送ると同時に地中に温水を循環させるパイプを埋設してハウス内の地中暖房もおこなっています。

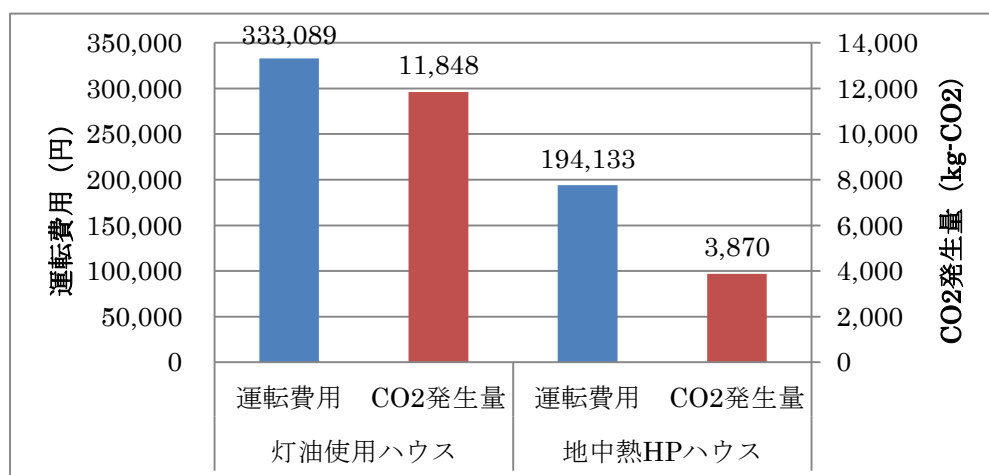


図 11 山梨県の農業用ハウスによる省エネ・CO₂ 削減効果例