

吉岡町地中熱利用可能性調査 報告書

平成 26 年 2 月
吉岡町

目次

はじめに.....	1
1. 地中熱利用可能性調査の概要.....	1
1-1 調査目的.....	1
1-2 調査項目及び作業工程.....	1
2. 地中熱利用システムの種類.....	3
2-1 クローズドループ方式.....	4
2-2 オープンループ方式.....	5
2-3 井戸を利用した地中熱システム.....	7
2-4 群馬県緑の分権改革推進事業（地中熱利用）の概要.....	7
2-4-① 熱応答試験（サーマルレスポンステスト）.....	8
2-4-② 利用可能量.....	9
2-4-③ 地中熱ヒートポンプシステム.....	10
2-5 群馬県外・県内のヒートポンプによる地中熱活用例.....	12
2-5-① 群馬県外の活用例.....	13
2-5-② 群馬県内の活用例.....	17
3. 吉岡町の自然条件.....	19
3-1 気候.....	19
3-2 地形・地質・地下水.....	20
4. 基本調査.....	23
4-1 調査場所の選定経過.....	23
4-2 調査概要と結果.....	26
4-2-① 試験孔.....	26
4-2-② 揚水試験.....	31
4-2-③ 地下水検層（水位・水温・水質・流向流速計測）.....	35
4-2-④ 地盤調査.....	41
5. 地中熱利用可能性検討.....	43
5-1 採放熱量の検討.....	43
5-2 浅部地下水.....	43
5-3 中深部地下水.....	43
6. 吉岡町における地中熱利用の展望.....	44
6-1 導入プランの提案.....	44
6-1-① 公共施設への導入.....	44
6-1-② 一般住宅等・小規模施設への導入.....	48
6-1-③ 農業用施設への導入.....	53
6-2 地下水の規制と地下水保全対策.....	54

7 補助・支援制度.....	55
7-1 地中熱利用単独で申請できる導入支援の補助金.....	55
7-1-① 経済産業省.....	55
7-1-② 環境省.....	56
7-1-③ 群馬県.....	56
用語解説.....	57
参考引用資料.....	59

はじめに

群馬県では、地中熱利用が環境性に優れる当県に適した空調システムであることが平成 22 年度の調査により検証されたとして、それ以降群馬県地中熱利用システム導入モデル支援事業などの補助事業により地中熱利用の普及促進を図っている。

吉岡町は、榛名山の南東の山麓と利根川地域に展開している標高 100～900 メートルの傾斜地であり地下水も豊富であることから、再生可能エネルギーである地中熱を効果的に活用できると想定されるが、県の調査範囲から外れてしまっていたため客観的なデータは存在していない。

本調査では、今後恒常化する電力不足と猛暑対策として地中熱の供給源である地下水資源（水量・熱量・水質）についてのボーリング調査を実施し、節電・省エネ効果が高いとされる地中熱利用の可能性を調査し、導入を検討する際の基礎資料を得ることを目的とする。

1. 地中熱利用可能性調査の概要

1-1 調査目的

本業務では、吉岡町の地形・地質・地下水等の自然特性を活かし、地中熱を利用するシステムの中でも費用対効果が高く環境保全に配慮した形式であるオープンループ型地中熱利用システムの可能性調査・評価を実施するとともに、地中熱利用の啓発を目的とした現地説明会などの開催も検討する。

また、調査結果を踏まえ吉岡町に適した地中熱利用方式の提案と、公共施設や一般住宅、農業用施設などに地中熱を導入した場合の費用対効果などの提案も行うこととする。

1-2 調査項目及び作業工程

本契約にかかわる履行期間中の調査項目及び作業工程の概要は下表のとおりである。

① 試験孔作孔

掘削口径：150mm

深度：50m

仕上げ：ケーシング 100A（ストレーナ加工 25m）

② 揚水試験

洗浄：2 日程度

段階揚水試験：1 時間×5 段階

連続揚水試験：10 時間以上

水質分析：冷凍空調機器用水質ガイドライン（JRA-GL-20-1994：（社）日本冷凍空調工業会）

③ 地下水検層（流向流速計測）

④ 地盤調査

⑤ 報告書作成 一式

⑥ その他 現地説明会などの開催

なお、委託調査は地中熱利用システム利用の研究開発をおこなっている、特定非営利法人北関東産官学研究会専門部会である地中熱利用研究会（会長：鶴飼恵三）が実施した。

調査項目		7月				8月				9月					10月				11月				12月					1月				2月						
大項目	細項目	8日	15日	22日	29日	5日	12日	19日	26日	2日	9日	16日	23日	30日	7日	14日	21日	28日	4日	11日	18日	25日	2日	9日	16日	23日	30日	6日	13日	20日	27日	3日	10日	17日	24日			
契約・協議等	打合せ・報告会	○	○	○	○	○	○	○	○					○		○					○					○												
	既存資料収集・調査適地検討	←→																																				
(1)基本調査	①試験孔掘削																																					
	準備・積み込み							○																														
	搬入・仮設							◀																														
	掘削							↔																														
	仕上げ(ケーシング)							○																														
	②揚水試験																																					
	孔内洗浄								↔																													
	階揚水試験								○																													
	連続揚水試験								○																													
	採水・水質分析								←→																													
	③地下水検層																																					
	温度検証									○																												
	流向・流速計測									○																												
④地盤調査																																						
町内浅井戸調査									○																													
水位・温度計測								○					○														○											
(2)地中熱利用可能性検討	①地中熱利用に関する課題等整理																																					
	②地中熱利用導入プラン検討																																					
(3)報告書作成																																						

表 1 吉岡町地中熱利用可能性調査業務の工程実績表

2. 地中熱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であり、地熱とは地球がもっている熱エネルギーのことをいう。

地中熱は地熱の一部ともいえるが、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、似て非なるものである。

現代人が忘れていた地中熱だが、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た。足元地下に眠っている天候に左右されない再生可能エネルギーの「地中熱」の温度は、関東圏では昼夜を問わず1年を通して16～17℃である。

したがって、暑い夏には30℃を超える外気温から温度を下げるより、16～17℃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む。また、寒い冬には0℃前後の外気温から温度を上げるよりも、16～17℃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。これが地中熱利用の優位性である。



図 1 地中熱を利用した竪穴住居

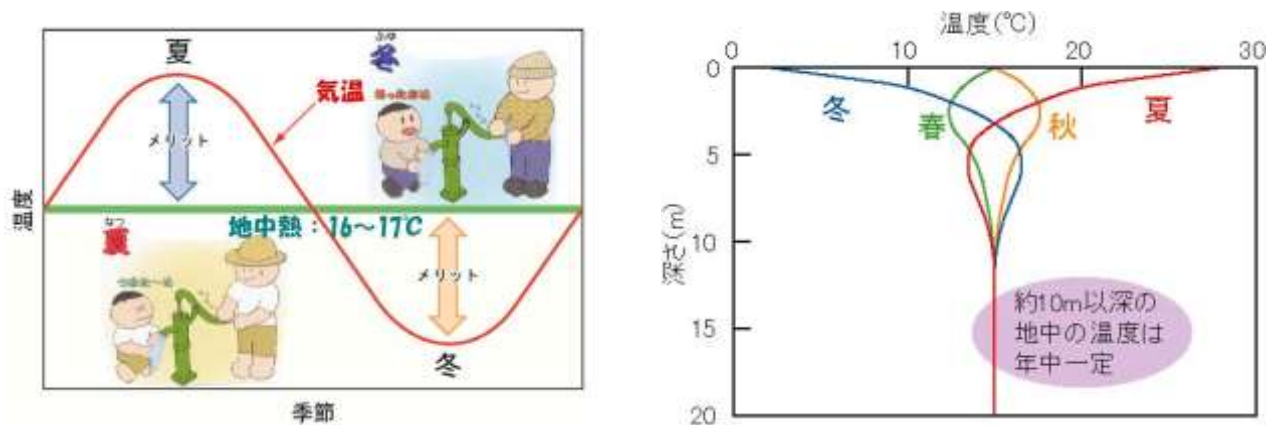


図 2 地中温度は年中一定

地中熱利用は、冬季間に大量の石炭や灯油を消費していた寒冷地で、この地下の熱を補助エネルギーとして利用され始めた。当初は、空気循環・水循環・熱伝導・ヒートパイプにより、直接、路面の融雪や凍結防止に利用していた。その後、ヒートポンプシステムによる省エネ効果の高い地中熱利用が促進され、暖房のみならず冷房の空調目的として関東圏や中部圏にも普及されつつある。

ヒートポンプとは、水や不凍液等の熱媒体を循環させて高い温度の物体（空気、水、地中等）から熱を奪い、低い温度の物体（空気、水、地中等）に伝える装置のことであり、家庭のエアコンや冷蔵庫は

一般的にこの技術を用いて空気との間で熱をやりとりしている。地中熱利用ヒートポンプは地中との間で熱交換を行う点は異なっているが、技術的には同じものである。空調を目的とした地中熱利用システムは技術的に確立されており、数種類ある方式の中でもヒートポンプシステムが最も普及している理由は以下のとおりである。

- 全国何所でも何時でも施工が可能
- 安定的利用
- 省エネルギーと大きな節電効果
- CO₂排出量の削減
- ヒートアイランド現象抑制

2-1 クローズドループ方式

地中熱利用ヒートポンプシステムは地中との熱のやりとりの方法によって、クローズドループ方式、オープンループ方式に分けられる。

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する。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ある。水や不凍液は「循環水」と呼ばれ、外気に触れないように密閉状態になっている。Uチューブは2本の高密度ポリエチレン管をU字型の継ぎ手で繋いだもので一体化している。クローズドループ方式は地中への埋設方法により、さらに「垂直埋設型」と「水平埋設型」に分かれている。

垂直埋設型は、文字通り垂直に100～150mほど掘り下げた掘削孔にUチューブを挿入して熱交換するシステムである。このシステムでは深く掘り下げなければならず、施工費に影響が出やすいのが特徴である。そこで、新たに掘削しなくても済むように、建物の基礎杭と組み合わせて埋設する工法なども開発されている。また、挿入したUチューブの一部が地下水の流れる帯水層に入れば、水とも熱交換できるので効率がより高まる。

水平埋設型は敷地を深さ1.5mほど掘り下げ、そこに採放熱パイプを水平方向にループ状に設置するので通常の土木工事で行えるため、施工コストを抑えることができる。ただし、必要な熱量を確保するためにはかなり広い面積が必要になる。

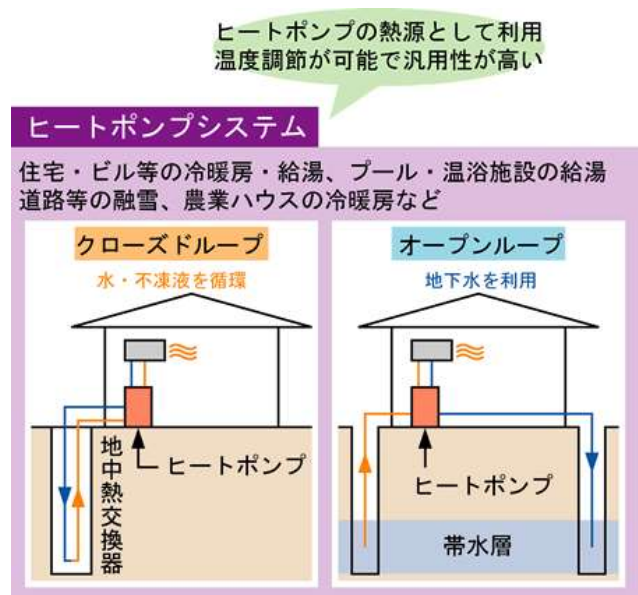


図3 ヒートポンプシステムのイメージ

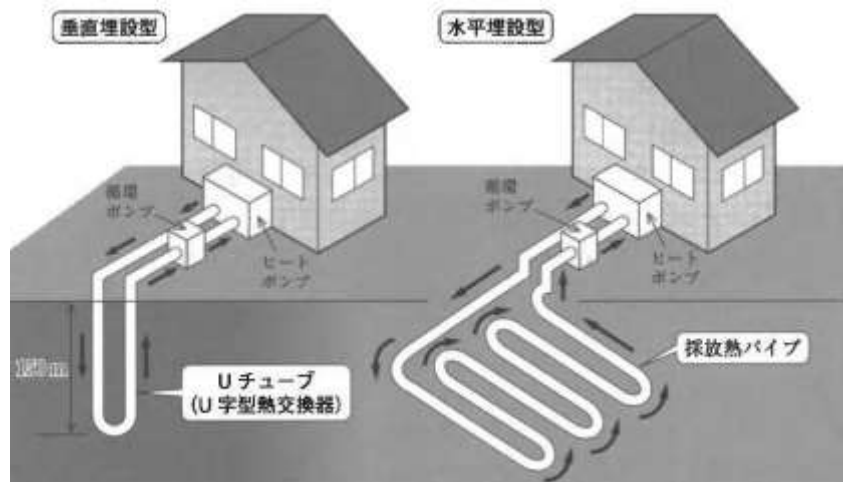


図 4 クローズドループ方式の概要

2-2 オープンループ方式

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。この方式は定期的なメンテナンスが必要であったり水質によっては追加設備も必要となるが、地下水も地中熱と同じように1年を通じて温度変化が少なく、比熱の高い地下水が熱を運ぶため熱交換能力も高く効率的である。

このオープンループ方式も揚水後の地下水の処理方法により二つに分かれており、熱交換後の地下水を再び地中に戻す方式を還元方式、地中ではなく地表で放流する方式を放流方式という。

地下水の利用は地盤沈下などの原因になるため、都道府県の条例で汲上げを規定している地域もあり、また、地上に地下水を放流する場合は地下水利用にみなされ、使用料を徴収されることもある。

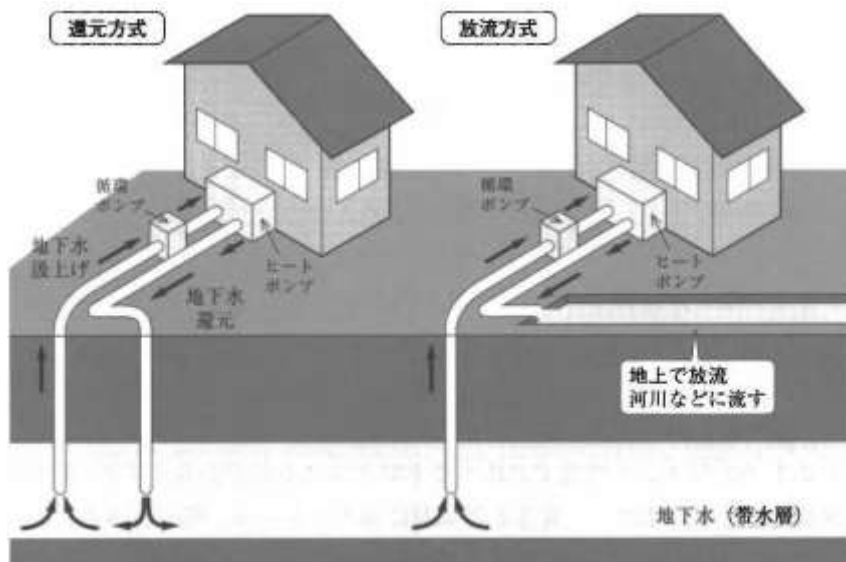


図 5 オープンループ方式の概要

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る。(環境省資料、2012)。

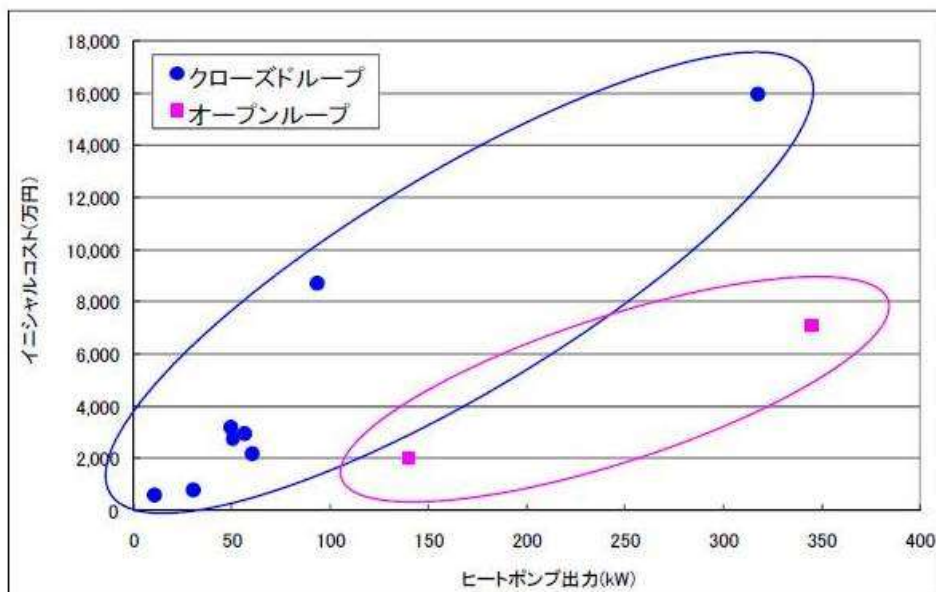


図 6 ヒートポンプ出力あたりのイニシャルコスト事例（環境省 2012）

当該資料におけるオープンループ方式事例は少ないが、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いる。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（交互揚水還元孔、20m×4本）の採放熱量は70kWである。

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ある。

		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。（水平式は広い用地を要す）	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。（定期点検を要す）

表 2 クローズドループ方式とオープンループ方式の特徴

2-3 井戸を利用した地中熱システム

地中熱利用の節電効果やCO₂削減効果は実証されているにもかかわらず、普及促進が思うように進んでいない。その理由としては、知名度の低さと、空気熱源のシステムに比べて掘削費等を含めた初期費用が高いこと、埋設方式によっては広い面積の確保の難しさ（クローズドループ方式）や、地下水の揚水や放流についての規制（オープンループ方式）なども考えられる。

近年では、初期費用を安くする試みの一つとして、新たに採熱坑をボーリングするのではなく庭散水や洗車等の雑用水として時々僅かに利用されているに過ぎなかった既設井戸を有効活用する取り組みも始まった。

過去、暑い夏には冷たい井戸水でスイカやビールを冷やし、寒い冬には温かい井戸水が炊事・洗面・洗濯等で重宝されていたが、冷蔵庫や瞬間湯沸かし器、ボイラー設備などが普及してから井戸の水を積極的に生活に利用する家庭は減少している。この井戸を活用する取り組みは、各家庭に残る既設井戸を今までの水資源目的に加えて地中熱冷暖房システムの採放熱源として再評価するものである。

また、既設井戸がない場所では電柱を立てる土木工事車（建柱車）を用いて、深度10m程度の孔で地下水を時々利用する簡易型地中熱システムの実証実験も進められつつある。



図 7 建柱車による地中熱交換器施工

2-4 群馬県緑の分権改革推進事業（地中熱利用）の概要

総務省では、クリーンエネルギー等の地域資源を把握し、最大限活用することにより、地域の活性化、絆の再生を図り、「分散自立型・地産地消型社会」、「地域の自給力と創富力を高める地域主権型社会」への転換を目指す「緑の分権改革」を平成21年度より推進することとなった。

平成23年度「緑の分権改革推進事業」において、群馬県は自給力と創富力を高めるためクリーンエネルギーである地中熱の利用可能性についての調査の一環として、地中熱ヒートポンプシステムの設計に必要な地盤データの整備、地中熱利用可能量を把握するとともに、標準的な地域に地中熱ヒートポンプシステムを導入し実証試験を行い、地中熱利用を進めるにあたり必要な基本的データを取得した。また、群馬県で地中熱利用を普及させるにあたり考慮すべき事項について、群馬県版標準モデルとして考察した。

調査項目は以下の通りであった。

(1) 地中熱利用可能量調査

① 地中熱利用システムの設計に必要な地盤データの整備

地中熱利用システムの設計に必要な地質（特に礫層）の深度分布、地下水位、地下温度の分布図を作成し、ウェブ上で公開する。

※群馬県庁 HP 内のマッピングぐんま（地盤情報）では、地中熱利用の促進を目的として整備された基礎データを現在公開。

② 地中熱利用可能量の把握

文献調査、サーマル・レスポンス試験（熱応答試験）等から地中熱の熱交換量や面的利用可能量を求め、二酸化炭素削減量を算出する。

(2) 熱効率実証調査

住宅等小規模施設（10～20kW 程度）に地中熱専用ヒートポンプを設置し、冷暖房運転実績データを収集する。

2-4-① 熱応答試験(サーマルレスポンステスト)

地中熱の利用可能量の算定においても、また、地中熱システムの設計においても基礎となる地層の熱伝導率のデータを、地中熱利用が期待される県央部～県東部において、熱応答試験により取得した。測定は本事業の実証試験サイトである県央部玉村町和田邸の75mのボアホールAで行い、地層全体の熱伝導率として $1.41\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ （作図法）が得られた。

地層毎に見ると熱伝導率の値は $0.6\sim 2.9\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ の範囲で変化しており、深度27m付近に地下水流動によると考えられる高熱伝導率のゾーンがある。

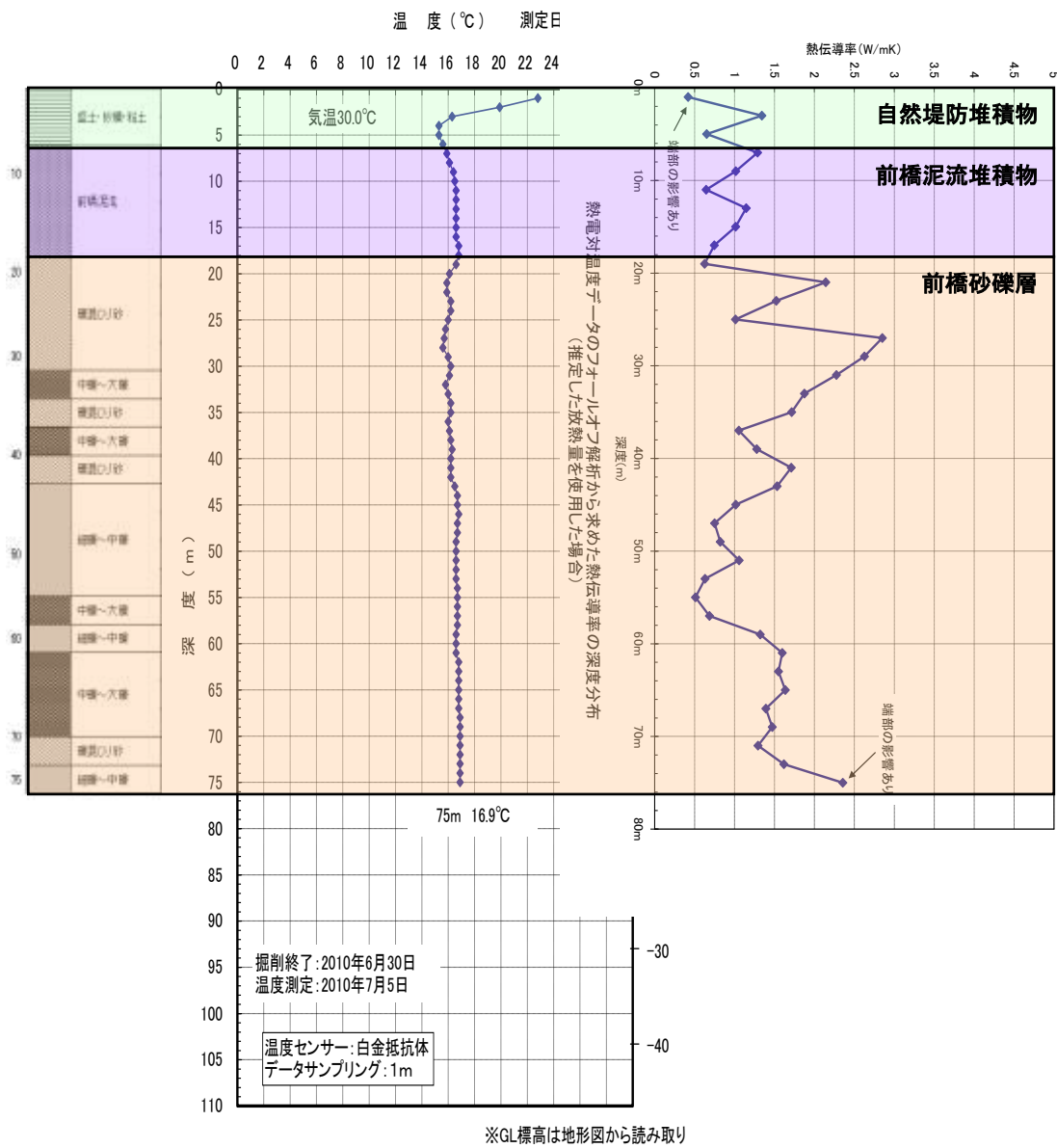


図 8 定常状態の地温と各層の熱伝導率

(引用：平成 22 年度群馬県緑の分権改革推進事業（地中熱利用）調査等業務）

2-4-② 利用可能量

群馬県県央部～県東部の地表に分布する地質から期待される採放熱量と、住宅や建築物に対して必要となる暖冷房需要（暖冷房負荷）とを比較することにより、地中熱利用のポテンシャル評価を行い、地中熱利用可能量を求めた。評価解析方法は、大谷具幸・河地浩平(2010)「自然条件と社会条件を考慮した地中熱利用のポテンシャル評価におけるデータ処理の手順」に準拠した。結果として対象地区の全ての住宅に地中熱を導入する場合の利用可能量は年間 19PJ*となり、灯油を代替した場合の二酸化炭素削減量は年間 23 万 t と算定された。

2-4-③ 地中熱ヒートポンプシステム

地中熱利用の普及に伴い、高い利用頻度が期待される県中部から県東部までの中から、緑の分権改革推進事業と同時期に地中熱ヒートポンプを住宅に導入した玉村町民間住宅を実証試験のサイトとして、小規模住宅施設での住宅用地中熱利用システムの熱効率の測定を行った。



地中熱交換井の施工（ソニックドリル）



一次側ヘッダーとヒートポンプ（右）

図 9 実証サイトを提供した住宅の施工

住宅は軽量鉄骨地上2階建(延べ床面積 184.14 m²)で深度 75m×2 孔の地中熱交換器をもち、4室(85.5 m²)にファンコイルユニット(サンポット社製:FCU-191)を置き、10kW のヒートポンプ(サンポット社製:GSHP-1001)による地中熱利用システムの冷暖房である。

夏季(平成 22 年 7 月 23 日～平成 22 年 10 月 14 日)の冷房運転と冬季(平成 22 年 10 月 15 日～平成 23 年 1 月 31 日)の暖房運転時に上記の計測を実施した。実証試験においては、利用する地中熱交換器の本数を調整したり、また室内を循環する冷温水の温度を調整したり、いくつかの条件で運転状況の把握を行った。定格に近い条件での運転による冷房期間および暖房期間でのシステム COP は、それぞれ 4.4、3.0 と、地中熱利用システムが環境性に優れた冷暖房設備であることを示すデータが得られた。

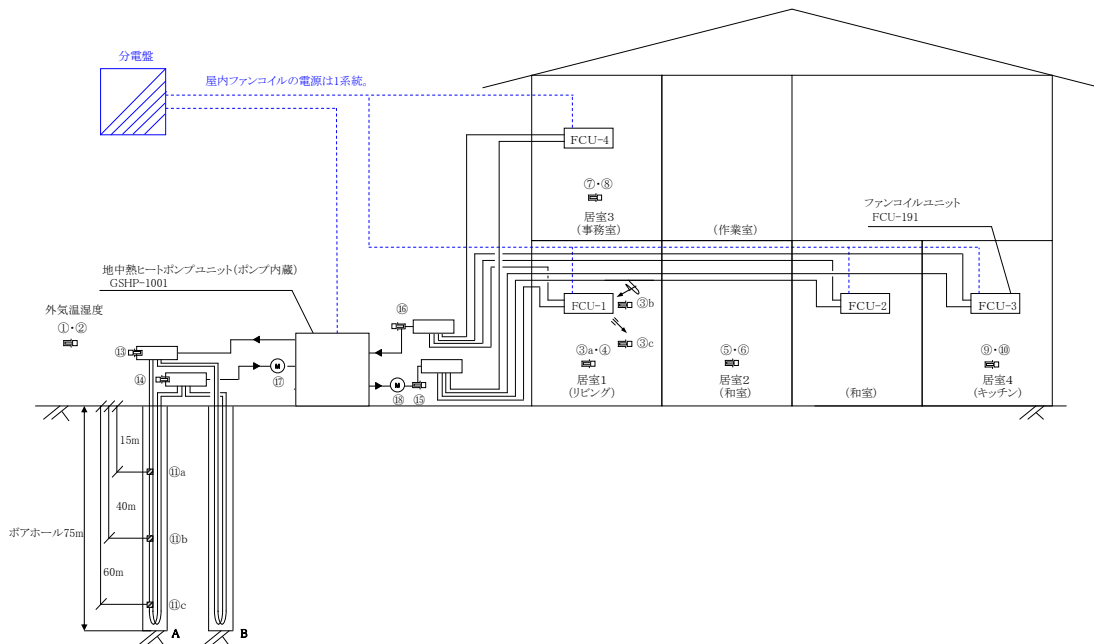


図 10 実証戸建て住宅の地中熱システム

以上の調査結果に基づいて地中熱利用の普及促進について、次のような方向性が群馬県緑の分権改革推進事業（地中熱利用）調査等業務において示されている。

1. 群馬県県央部～県東部の地表に分布する地質から期待される採放熱量と、住宅や建築物に対して必要となる暖冷房需要（暖冷房負荷）とを比較することにより、地中熱利用のポテンシャル評価を行い、地中熱利用可能量を求めた。評価解析方法は、大谷具幸・河地浩平(2010)「自然条件と社会条件を考慮した地中熱利用のポテンシャル評価におけるデータ処理の手順」に準拠した。結果として対象地区の全ての住宅に地中熱を導入する場合の利用可能量は年間 19PJ となり、灯油を代替した場合の二酸化炭素削減量は年間 23 万 t と算定された。
2. 冷房期間および暖房期間でのシステム COP は、それぞれ 4.4、3.0 と、地中熱利用が環境性に優れていることを示すデータが得られた。
3. 地中熱ヒートポンプシステムは様々な施設に設置されているが、標準的なケースとして群馬県の気候や地質・地下水及び土地利用等の状況を考慮した導入モデルを検討した。群馬県は地中熱の利用が緒に就いたばかりの段階にあるので、地中熱ヒートポンプを導入する場合、当面はクローズド型が中心となるものと考えられる。一方、市街地のある県央部～県東部には、地下水の豊富な扇状地が発達しており、オープン型の立地条件を備えている地域が広く存在することから、将来においては合理的な地下水管理や地下環境保全の合意形成を行う中で地中熱利用効率がより高いオープン型の導入を検討することが望ましい。

2-5 群馬県外・県内のヒートポンプによる地中熱活用例

国内における地中熱利用システムの導入例は 2010 年以降に急速に伸びており、対象としては住宅、事務所、公共施設、学校などである。しかしながら、地中熱システムが石炭・灯油に代わる補助暖房として普及した北海道・北東北の普及は進んでいるが、群馬県内の普及数は未だに 10 件余りである。

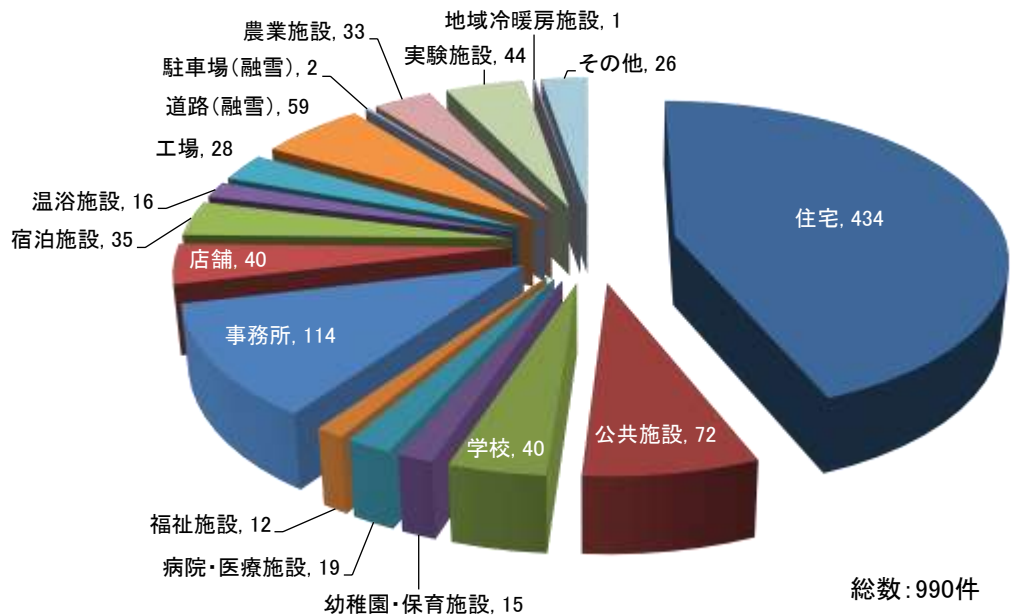
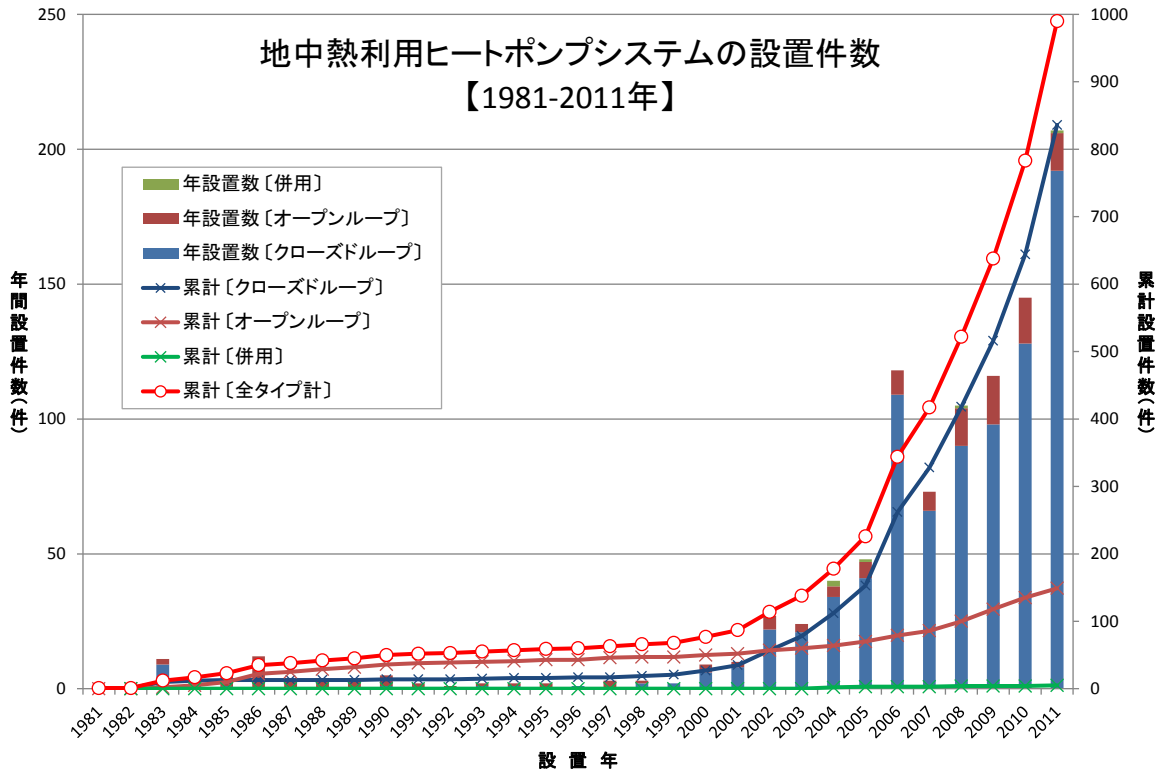


図 11 地中熱システムの普及状況 (環境省、2012)

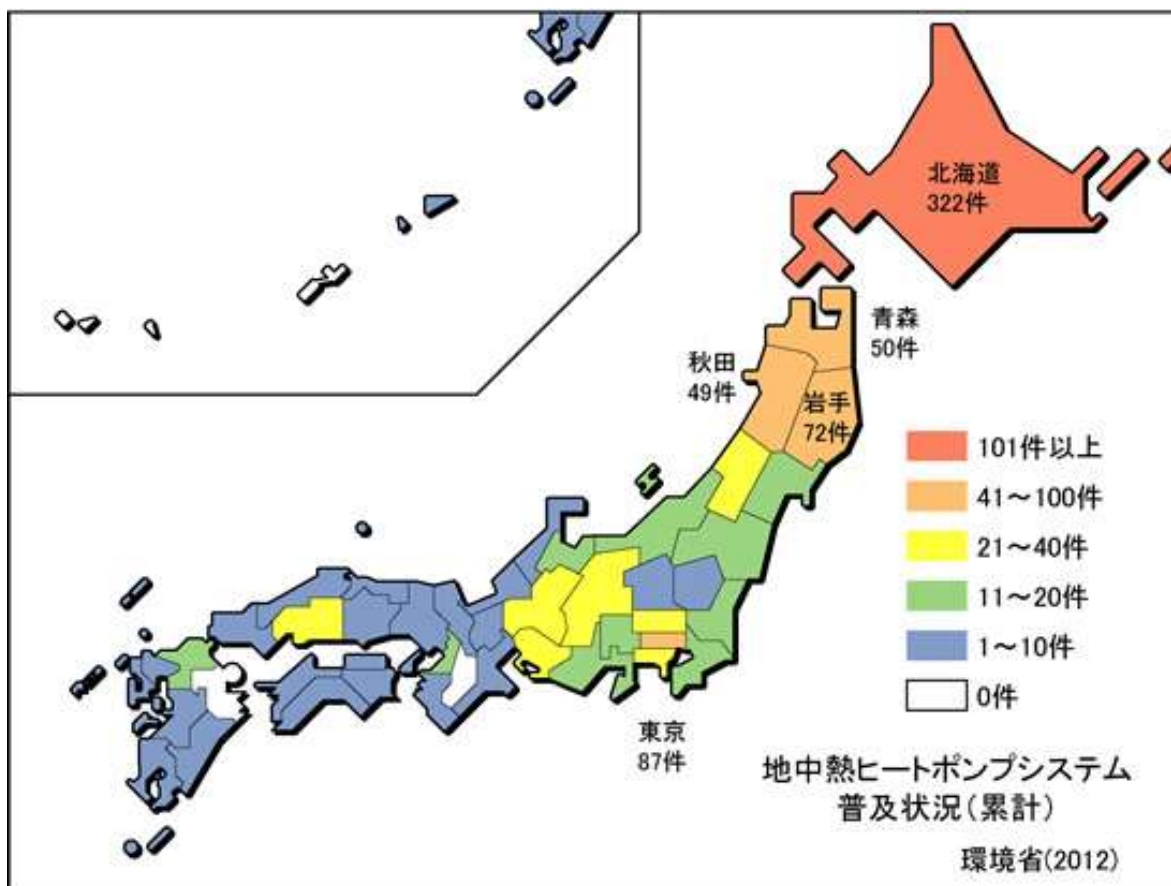


図 12 地中熱システムの普及状況 (環境省、2012)

2-5-① 群馬県外の活用例

- 東京大学「理想の教育棟」(2011年)

熱交換器：クローズドループ方式 (Uチューブ、100m×10本、50kW)

オープンループ方式 (交互揚水還元揚水孔、20m×4本、70kW)

地中熱利用ヒートポンプ 120kW

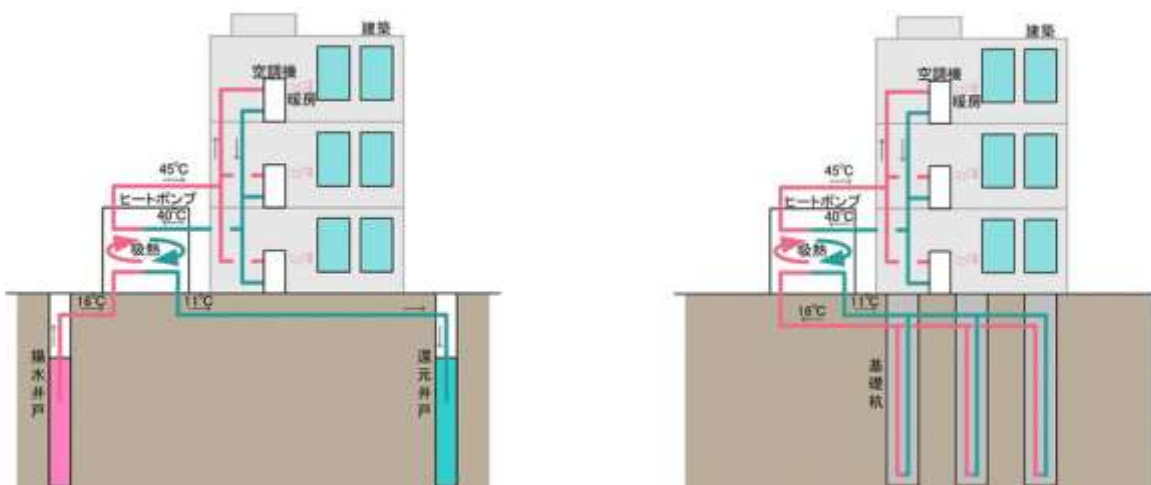


図 13 東京大学「理想の教育棟」のオープンループ方式とクローズドループ方式

- 信州大学工学部 (2012年)
 - 対象床面積 1,000 m²当りの年間空調負荷 (関東地方を想定 (開発システム 冷房 17.4 MWh 暖房 7.6MWh))
 - ・ 25.1MWh/年
 - ・ 従来システム
 - ・ 冷房 29.6MWh
 - ・ 暖房 13.0MWh
 - ・ 42.6 MWh/年

電力使用削減量 : 1,000 m²当り (17.5MWh/年)
 原油削減量 : 1,000 m²当り (4.4kL/年)

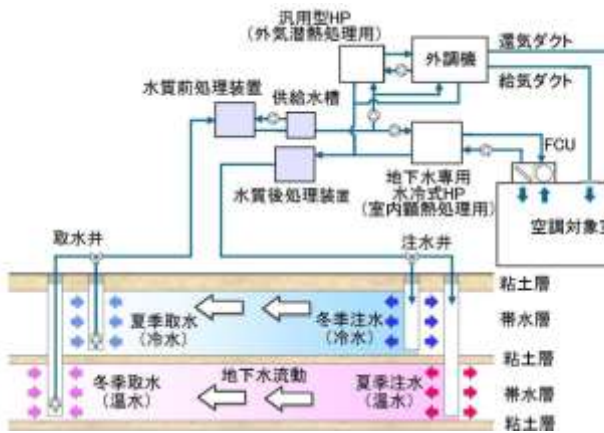


図 14 信州大学工学部のオープンループ方式地中熱システム

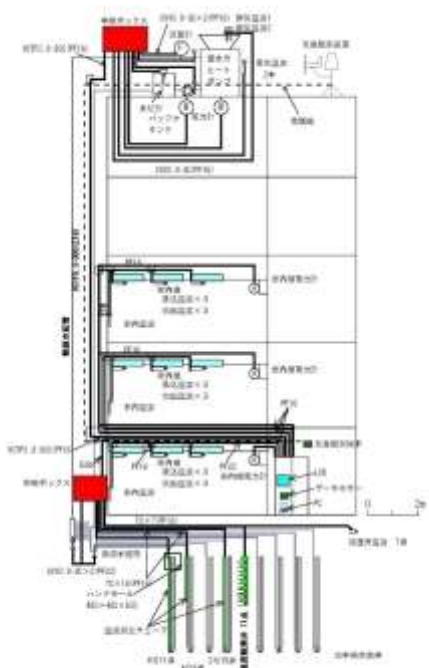
- IKEA 福岡新宮ストア (2012年)
 - 延床面積 : 31,661 m² (2フロア構成)
 - 地中熱源能力 : 約 500kW、150RT
 - *再生可能エネルギーの使用割合はおよそ 30%
 - 熱源杭の本数 : 100mの長さの杭 70本 (IKEA JAPAN NEWS 2011.4.19)



図 15 IKEA 福岡新宮ストアの地中熱システム



- 笹田ビル (2008年)



- 1階から3階までのオフィス階の空調
各階の床面積：約 100 m²
- 空水冷ヒートポンプ：10馬力×2台
地中熱には水冷を利用
- 地中熱交換器：ボーリング孔 75m×8本（ダブルUチューブ）
- 地中熱システム前後の消費電力の比較
年間 49%削減、夏期（6-9月）69%削減
事務所（テナントビル）利用で使用時間帯が出勤・退社が一定しているため、地中熱システム導入前後の消費電力比較で省エネ効果が明確である。

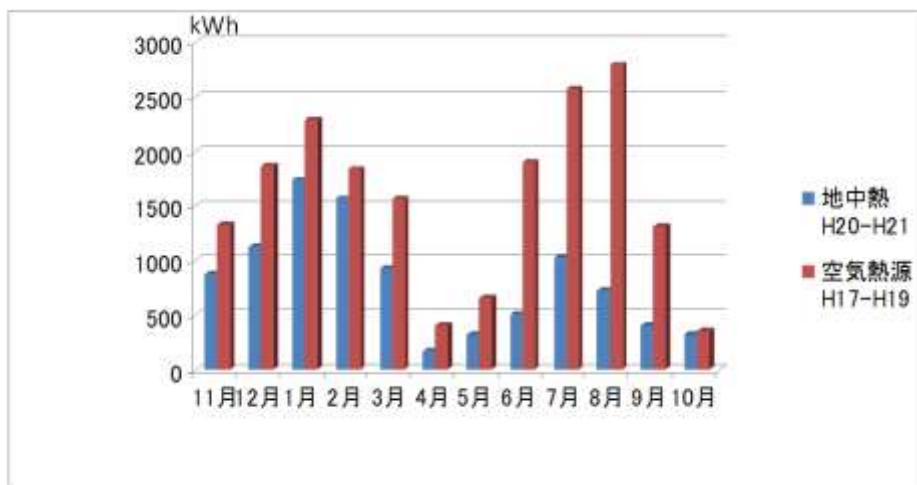


図 16 笹田ビルの地中熱システムと消費電力比較

- 映寿会みらい病院 (2008年)

敷地面積：10,500 m²、延べ床面積：3,000 m²

熱交換器：オープンループ還元方式（揚水孔：φ200mm、還元孔：φ300mm 計2本）

地中熱利用ヒートポンプ：冷房 210kW、暖房・給湯：236kW

循環水：冷温水

省エネ効果：導入前と比較して CO₂37%削減（296tonCO₂削減）、原油換算で約 21%削減（96KL削減）

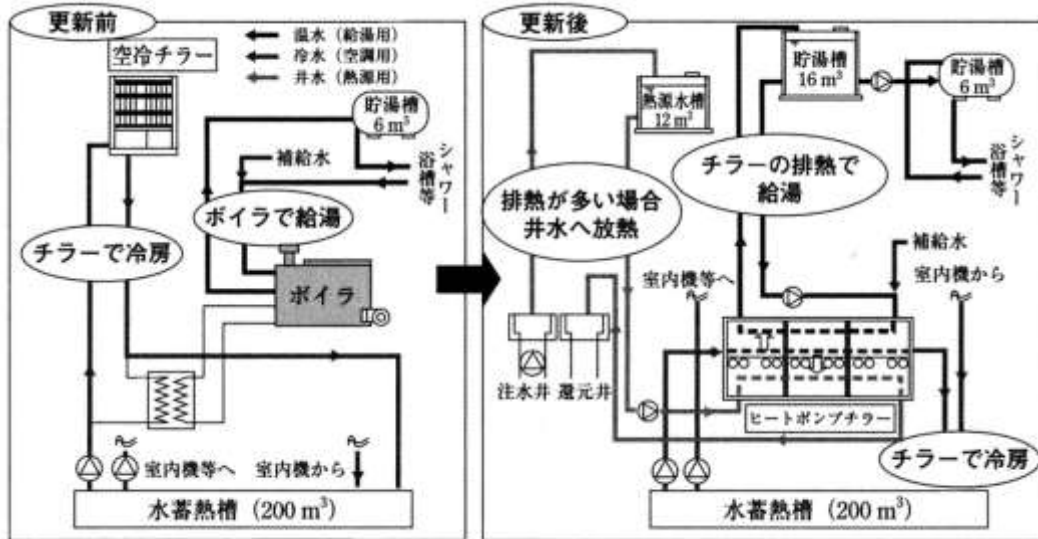


図 17 地中熱利用のシステム (左導入前、右導入後)

● 東京スカイツリー (2012年)

地中熱交換方式	項目	内容
基礎杭利用方式 (現場打ち杭利用)	基礎杭利用本数	6本(杭径:1,900~2,200mm Φ 杭長:18.6m チューブ長:15.6m)、Uチューブ 10対方式
	採放熱量	基礎杭1本あたり最大冷熱:300W/m、温熱:235W/m
ボアホール方式	ボアホール本数	21本(179mm Φ × 120m) ダブルUチューブ方式
	採放熱量	ボアホール1本あたり最大冷熱:48W/m、温熱:40W/m
	充填材	珪砂

地中熱活用で東京スカイツリー地区全体の約1%の省エネであるが、同規模の従来型の熱源システムに比べて48%エネルギー効率として優れている。

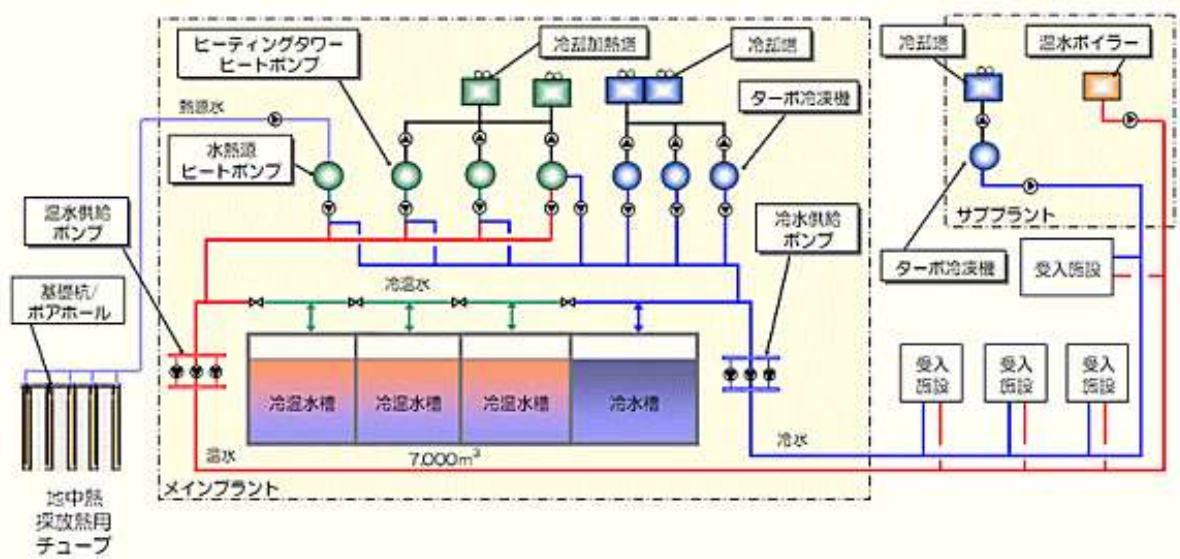


図 18 東京スカイツリー地区の地中熱利用を含む地域冷暖房システム

2-5-② 群馬県内の活用例

群馬県内には地中熱利用システムの普及促進のため、各種の地中熱利用システム（クローズドループ方式、オープンループ方式、既設井戸利用）が公開されている。また、公開されていないが地下水熱利用の地域冷暖房システムや工場内冷暖房システムが稼働している。

表 3 公開地中熱システム

地中熱システム	地中熱交換器	場所・見学問合せ・担当者
	<ul style="list-style-type: none"> ● クローズドループ方式 ● 垂直埋設型（75m×2孔） ● 戸建て住宅（リフォーム） ● 冷暖房面積4室（85.5㎡） ● 冷暖房能力10kW 	<ul style="list-style-type: none"> ● 群馬県佐波郡玉村町下之宮 ● 地水環境コンサル ● 電話：0270-64-0216 ● E-mail：n.wada@ecgg-llc.jp ● 和田 信彦
	<ul style="list-style-type: none"> ● クローズドループ方式 ● 垂直埋設型（50m×3孔） ● 冷媒直膨式循環 ● 事務所（リフォーム） 	<ul style="list-style-type: none"> ● 群馬県みどり市大間々町 ● 群馬電機株式会社 ● 電話：0277-73-2417 ● E-mail：ueno@gunmadenki.co.jp ● 上野 文雄
	<ul style="list-style-type: none"> ● オープンループ方式 ● 地下水還元型（7m×2孔） ● 事務所 	<ul style="list-style-type: none"> ● 群馬県館林市北成島町 ● 関根工業有限会社 ● 電話：0276-74-7331 ● E-mail：t-matsuzaki@sekine-yk.co.jp ● 松崎 隆
	<ul style="list-style-type: none"> ● オープンループ方式 ● 地下水還元型（20m、14m） ● 事務所 	<ul style="list-style-type: none"> ● 群馬県みどり市笠懸町阿左美 ● 株式会社アタゴ製作所 ● 電話：0277-76-4411 ● E-mail：uenishi@atago-mfg.co.jp ● 上西 正久
	<ul style="list-style-type: none"> ● クローズドループ方式 ● 垂直埋設型（50m×2孔） ● 一次側不凍液ブライン循環・二次側冷媒循環 ● 事務所（5kW/4kW） 	<ul style="list-style-type: none"> ● 群馬県伊勢崎市境下湊名 ● 積水化学工業株式会社群馬工場 ● 0270-76-3726 ● E-mail：suzuki059@sekisui.com ● 鈴木 剛史
	<ul style="list-style-type: none"> ● クローズドループ方式 ● 井戸内熱交換器（6.5m） ● 一次側不凍液ブライン循環・二次側冷媒循環 ● 事務所（18㎡） ● 暖房/冷房能力5kW/4kW 	<ul style="list-style-type: none"> ● 群馬県佐波郡玉村町芥田 ● 玉村町再生可能エネルギー研究会事務所（楸プレミアム・エナジー） ● 電話：0270-65-9334 ● 鈴木 敏夫

● 地下水熱利用地域冷暖房システム（高崎市内）

高崎熱供給センター（東京電力(株)高崎営業所構内）

加熱能力	534,000kcal/h
揚水井・還水井	（兼用・切替方式） 2本
規模	口径400mm×深さ120m
蓄熱槽	冷水槽 390k
冷温水槽（1）	700k
冷温水槽（2）	200k

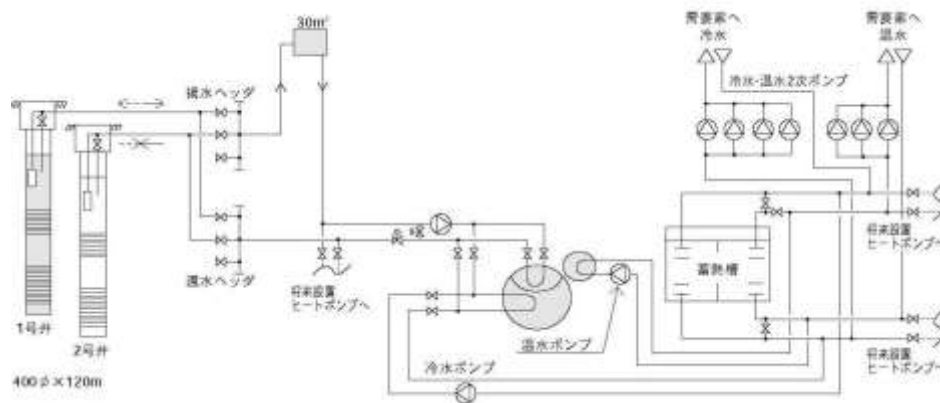


図 19 地下水熱利用地域冷暖房システム

● 開放型熱交換器を使用した地下水利用システム（伊勢崎市内）

施工年月（2013年12月）

循環水	温度	35	℃	開放型熱交換器を通して
	流量	100	L/min	
地下水	温度	17	℃	地下水揚水孔 25m×2
	流量	200	L/min	
熱性能		61.4	kW	

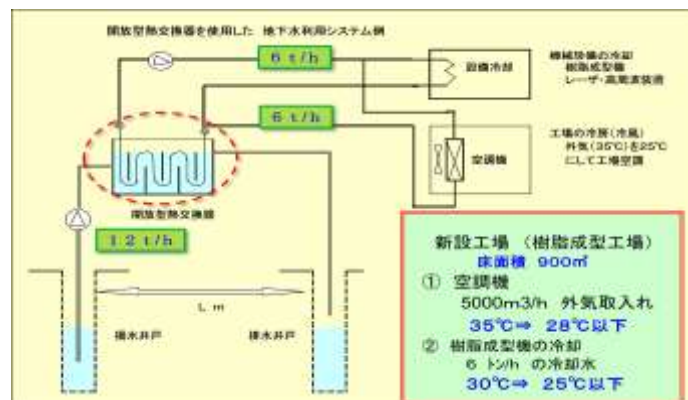


図 20 地下水利用の工場冷暖房システム

3. 吉岡町の自然条件

3-1 気候

地中熱ヒートポンプシステムの導入にあたっては、その地域の気候及び地質の状況を考慮する必要がある。冷暖房の対象となる施設の熱負荷の算定が、システムの導入にあたって重要であることは言うまでもないことであるが、地中熱利用の場合、地中で熱交換を行うので、その地域の浅い部分の地質がもう一つ考慮すべき大きな要素となっている。

群馬県の平野部の前橋では、年平均気温は14.6℃、夏の平均最高気温31.3℃（8月）、冬の平均最低気温-0.8℃（1月）と30℃程度の寒暖差があり、これを東京における気温（年平均気温16.3度、平均最高気温31.1℃（8月）、平均最低気温2.5℃（1月））と比較すると、夏の気温がほぼ同等である一方、冬の気温で大きな差が出ている。ここでも、「夏暑く、冬寒い」群馬県の特徴が顕著に出現している。

地点名	平均気温(℃)		
	1年の日平均気温	8月の日最高気温	1月の日最低気温
藤原	8.9	27.4	-6.7
みなかみ	10.3	28.4	-4.6
沼田	11.6	29.9	-4.8
中之条	11.9	30.2	-5.0
草津	7.4	24.0	-7.9
田代	7.2	24.2	-9.0
桐生	14.3	31.3	-1.9
前橋	14.6	31.3	-0.8
上里見	13.6	30.8	-2.8
西野牧	12.0	29.4	-3.9
館林	14.9	32.3	-1.1
神流	11.9	29.7	-4.5

統計期間：1981～2010（伊勢崎のみ1998～2010）

表 4 群馬県内各地の平均気温

省エネ法による暖房需要を示す地域区分で、東京がIVb（暖房度日が1,500以上2,000度日未満）であるのに対して、前橋はIVa（暖房度日が2,000以上2,500度日未満）、吉岡町はIII（暖房度日が2,500度日以上）である。前橋および吉岡は関東平野南部に位置する東京と比較して暖房需要は大きい。

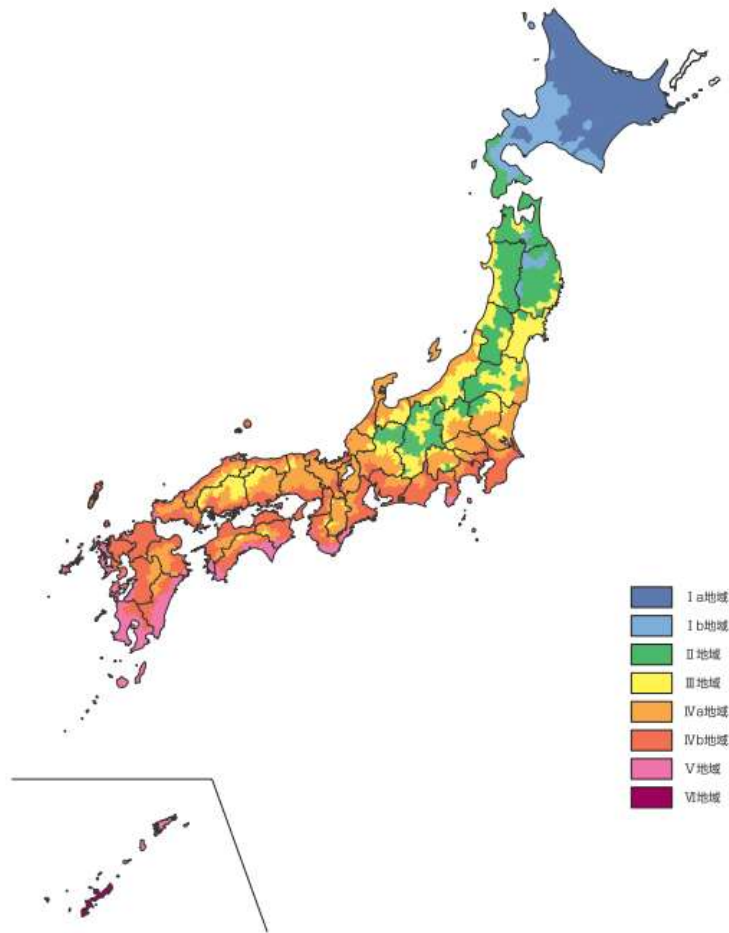


図 21 住宅事業建築主の判断基準における地域区分

地域区分の境界線は全国のアメダス観測地点 842 箇所で測定された温度のデータを利用して暖房度日（D18-18）を算出し、等高線を作図することにより地域区分が決められた。地域区分は市町村界単位で表現されている。なお、暖房度日（D18-18）とは、一日平均気温が 18℃を下回る日数において、すべて住宅全体の室温を 18℃になるよう暖房するものとして暖房度日を 1 年間集計した度数のこと。

3-2 地形・地質・地下水

吉岡町は、榛名山南東の山麓と利根川左岸地域に位置し、標高 100～900 メートルの傾斜地である。

榛名火山本体は安山岩質の溶岩と火砕岩からなる榛名火山噴出物が下部に分布し、南東山麓斜面には主として同質の火砕流堆積物や降下軽石堆積物からなる榛名山麓堆積物（成層火砕岩層）が上部に広く分布する。また、一部には山麓南部には有機質粘土やシルトからなる薄い沼沢堆積物を挟み、山麓南部には泥流堆積物（前橋泥流層）が分布する。

利根川に沿う自然堤防は、榛名山麓から供給された火山岩礫や砂礫（前橋砂礫層）が構成される。

また、火砕岩と火砕流堆積物や降下軽石堆積物は、比較的径の大きい砂礫で構成されるため一般に地下水は極めて豊富である。

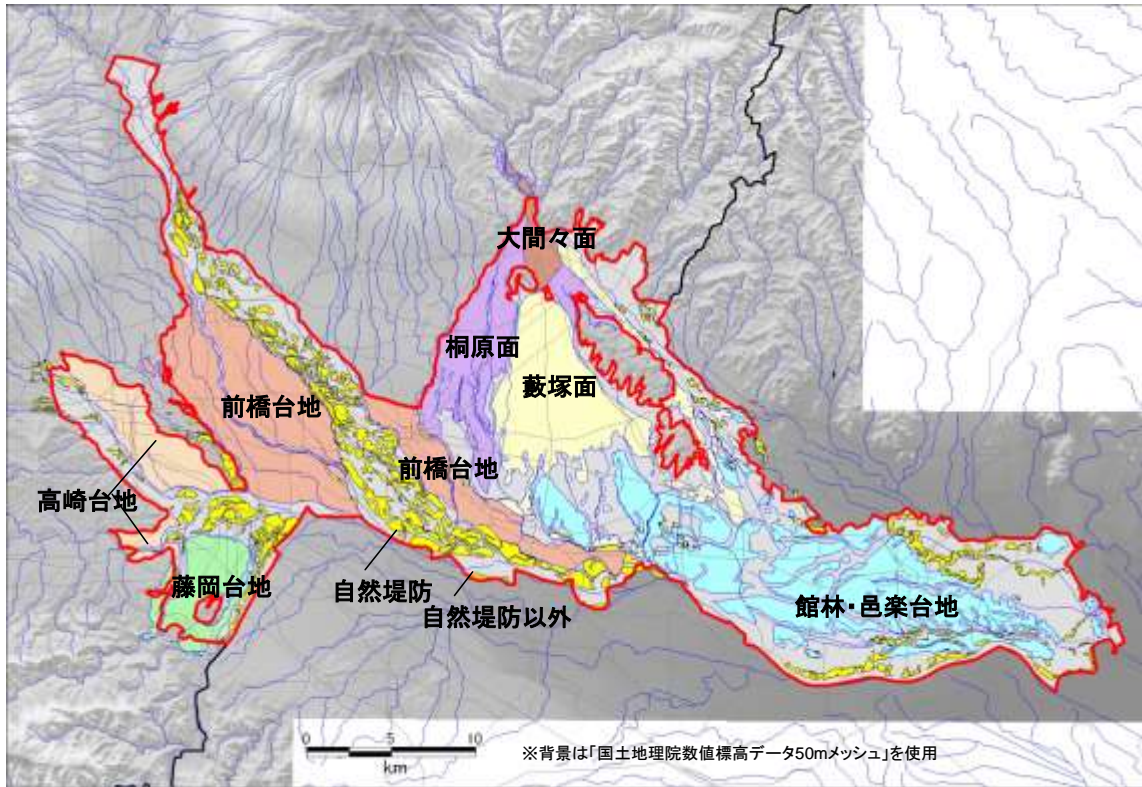


図 22 地盤モデル作成用地形面区分図

(引用：平成 22 年度群馬県緑の分権改革推進事業（地中熱利用）調査等業務)

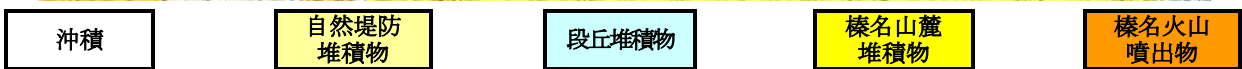
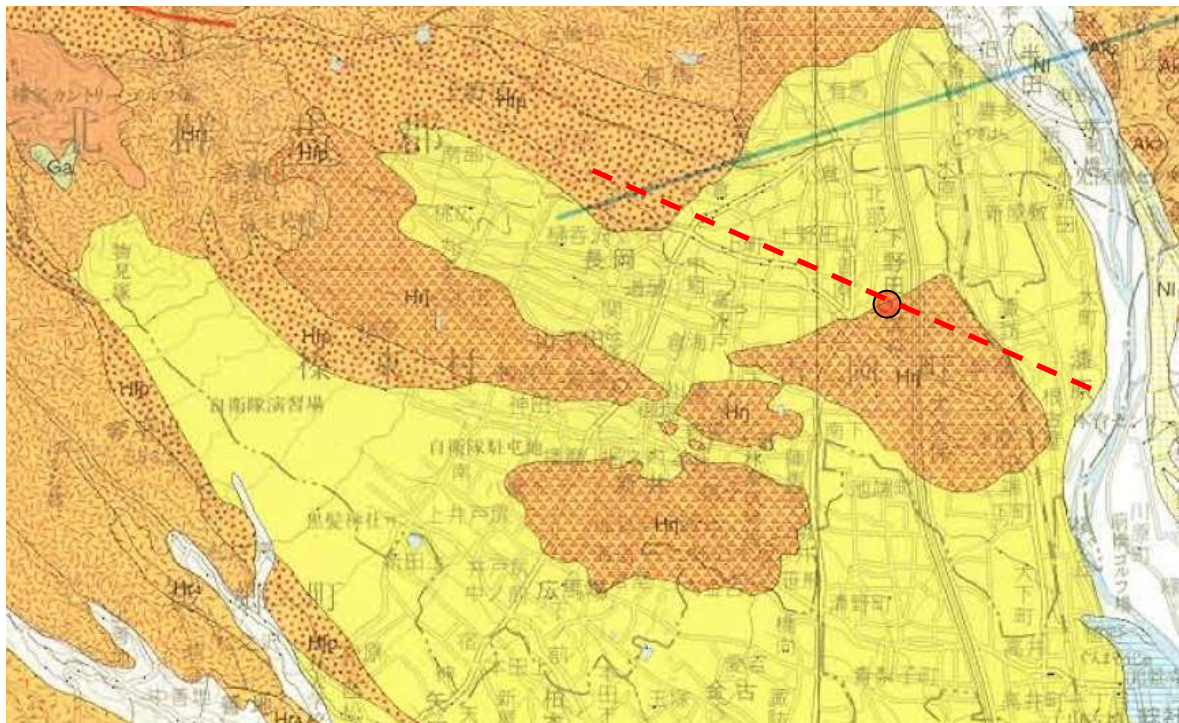


図 23 吉岡町実証調査位置（地質図：群馬県地質図作成委員会 1999）

(●：試験孔 ---：図 26 断面位置図)

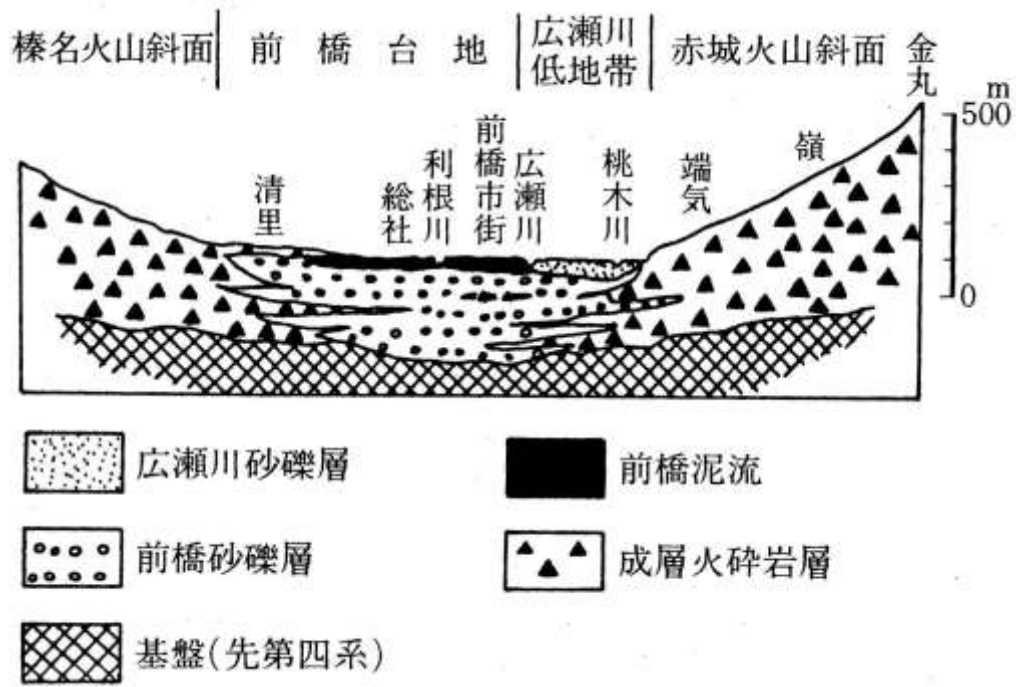


図 24 前橋周辺の地質断面 (新井、1971)

※榛名火山斜面の成層火砕岩層は、地質図の榛名火山噴出物に該当する。

4. 基本調査

4-1 調査場所の選定経過

本調査にかかる試験孔をそのまま導入の際の揚水孔に利用することを想定し、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として、役場、コミュニティセンター、保健センター、文化センターの4箇所を一次選定した。

次に、これらの各施設に関する空調の状況、空調設備の更新状況などの緊急性と問題点、地中熱利用の地盤地質・地下水について評価をおこなった。

その結果、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た。



図 25 試験孔位置図 (○)

対象施設	空調の状況	空調設備の更新状況	問題点	地盤地質・地下水	評価・特記
役場	ボイラー方式 全館冷暖房 製図室・電算室・防災無線室は、個別空調の設備あり。 ファンコイルユニット 77 台（冷房能力 232kW、暖房能力 375 kW） パネルヒータ 23 台	【4年目】 昭和 63 年に設置したボイラーの入れ替えを平成 21 年度に実施。 ただし、ボイラー以外の機器は当初のまま。	以前、議会事務局がなかなか冷えないとの声あり。 床暖房の配管腐食による漏水の発生あり。	吉岡川に沿って改修があるため、河道側に一部 10m前後の埋土あり。 沖積：砂礫・礫混じり火山灰 10m以内、埋土の厚い場所では層厚は数m程度 洪積：砂礫・中砂 沖積・洪積共に地下水は豊富	改修更新は不要。 河道に近接位置では地下水の揚水量にやや安定を欠く可能性がある。 同施設周囲でも水質・水温がやや異なる可能性がある。 オープンループ方式の地中熱システムの計画施工が可能。
コミュニティセンター	ボイラー方式 全館冷暖房（上下水道課を除く） 防衛の補助事業により設置 水道事業が企業会計のため、ボイラーによる空調システムは上下水道課には導入されていない。よって、上下水道課の事務室は、個別にエアコンが設置されている。（設置年月日は平成 14 年頃）	【31年目】 昭和 57 年に設置したボイラーを現在も使用している。（必要に応じて修理を実施）	今のところ問題はないが、ボイラーの年式が古いため、突然修理不能になる可能性がある。	吉岡川に沿って改修があるため、河道側に一部 10m前後の埋土あり。 沖積：砂礫・礫混じり火山灰 10m以内、埋土の厚い場所では層厚は数m程度 洪積：砂礫・中砂 沖積・洪積共に地下水は豊富	改修更新の検討時期 河道に近接位置では地下水の揚水量にやや安定を欠く可能性がある。 同施設周囲でも水質・水温がやや異なる可能性がある。 オープンループ方式の地中熱システムの計画施工が可能。
保健センター	マルチエアコン室外機 4 台（冷房能力 168kW、暖房能力 188kW） マルチエアコン同室内機 25 台（冷房能力 176kW、暖房能力 198kW） パネルヒータ 5 台（暖房能力 5kW）	【10年目】 平成 15 年 5 月から運用	特に問題はない。	吉岡川に沿って改修があるため、河道側に一部 10m前後の埋土あり。 沖積：砂礫・礫混じり火山灰 10m以内、埋土の厚い場所では層厚は数m程度 洪積：砂礫・中砂 沖積・洪積共に地下水は豊富	改修更新の時期でない 河道に近接位置では地下水の揚水量にやや安定を欠く可能性がある 同施設周囲でも水質・水温がやや異なる可能性がある。 オープンループ方式の地中熱システムの計画施工が可能。

文化センター	<p>空冷ヒートポンプ式(チラーユニット)4台(冷房能力760kW、暖房能力675kW)</p> <p>エアハンドリングユニット6台(冷房能力546kW、暖房能力406kW)</p> <p>ファンコイルユニット38台</p> <p>ホール棟と学習等を分けて、冷暖房を行っており、それぞれ空冷ヒートポンプ方式とエアハンドリングユニットによる併用運転を行っている。</p> <p>ホール棟：大ホール・視聴覚室・文化センター事務室・ロビー</p> <p>学習：図書館・学校教育室・2階研修室、2階和室</p>	<p>【17年目】</p> <p>平成8年5月から運用</p>	<p>学習棟の空調機器に問題あり。</p> <p>図書館利用中は2階の学習室などの冷暖房の効が悪くなるとい現象が発生する。</p>	<p>吉岡川河道から離れているため、埋立表土は厚くても1.2m以内。</p> <p>地下水面1.7~4.55m</p> <p>沖積：砂礫・礫混じり火山灰</p> <p>が10m未満、下部に一部腐植土を挟む</p> <p>洪積：砂礫・中砂</p> <p>沖積・洪積共に地下水は豊富</p>	<p>改修更新が迫っている。</p> <p>埋立表土が薄い。</p> <p>安定的な地下水が確保可能。</p> <p>オープンループ方式の地中熱システムの計画施工が比較的容易。</p>
--------	---	--	---	---	--

表 5 調査場所選定に関わる対象施設

4-2 調査概要と結果

4-2-① 試験孔

○試験孔削孔

試験孔掘削は下記の機器装置で施工した。

ボーリング機械	利根製移動式 Super-Probe 8000
泥水ポンプ	鉦研工業製 MG-25 型
掘削仕様	口径 150mm
深度	51.3m
ケーシング	PVC φ 100mm、無孔管 27.70m
	有孔管（ストレーナ）：23.70m
	ねじ切り接続

○掘削・仕上げ方法

掘削は下記の方法で施工した。

掘削方法	ロータリー工法
孔内岩砕排除	ノンコア泥水排除
泥水岩砕処理	専門業者委託
孔壁処理	2号珪砂・砂利充填
表層遮水処理	遮水材（3.5～3.2m）
表面処理	円形鉄板装着（駐車場平面）

○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

揚水試験に先立って濁水排除をおこない、送水循環により孔内洗浄をおこなった。作業前に毎日地下水位を計測したところ、洗浄前に-1.6mであったが洗浄後は-33m以深である。

8月26日（月）	洗浄前：-1.6m
8月27日（火）	段階揚水試験前：-33.29m
8月28日（水）	連続揚水試験前：-33.08m

孔内洗浄前後の地下水位

孔内洗浄前後の地下水位が大きく変化した現象は、榛名山麓の地形断面と地下水概要図で示すように、浅部地下水と中深部地下水と上下に帯水層があることによる。榛名山麓堆積物の一部には有機質粘土やシルトからなる薄い沼沢堆積物を挟むことから、8.5～9.6mの礫混じり粘土層の上部は浅部地下水（帯水層）となっている。榛名山麓に下部に分布する榛名火山噴出物の火砕岩が中深部地下水（帯水層）を形成している。

当初の洗浄前に計測した地下水位-1.6mは浅部地下水の水面で、洗浄後の地下水位は中深部地下水の水面である。試験孔はケーシング保護と透水性を確保する目的として、孔壁間隙に珪砂・砂利を充填している。したがって、浅部地下水が孔壁充填した珪砂砂利を常時流下しているため、試験孔内の地下水位は中深部地下水面になったものである。

下野田内の最寄り既存浅井戸の調査も実施したが、地下水面は-2.53mと-2.15mであり、このことから榛名山麓堆積物中にも地下水流があることがわかる（表8）。

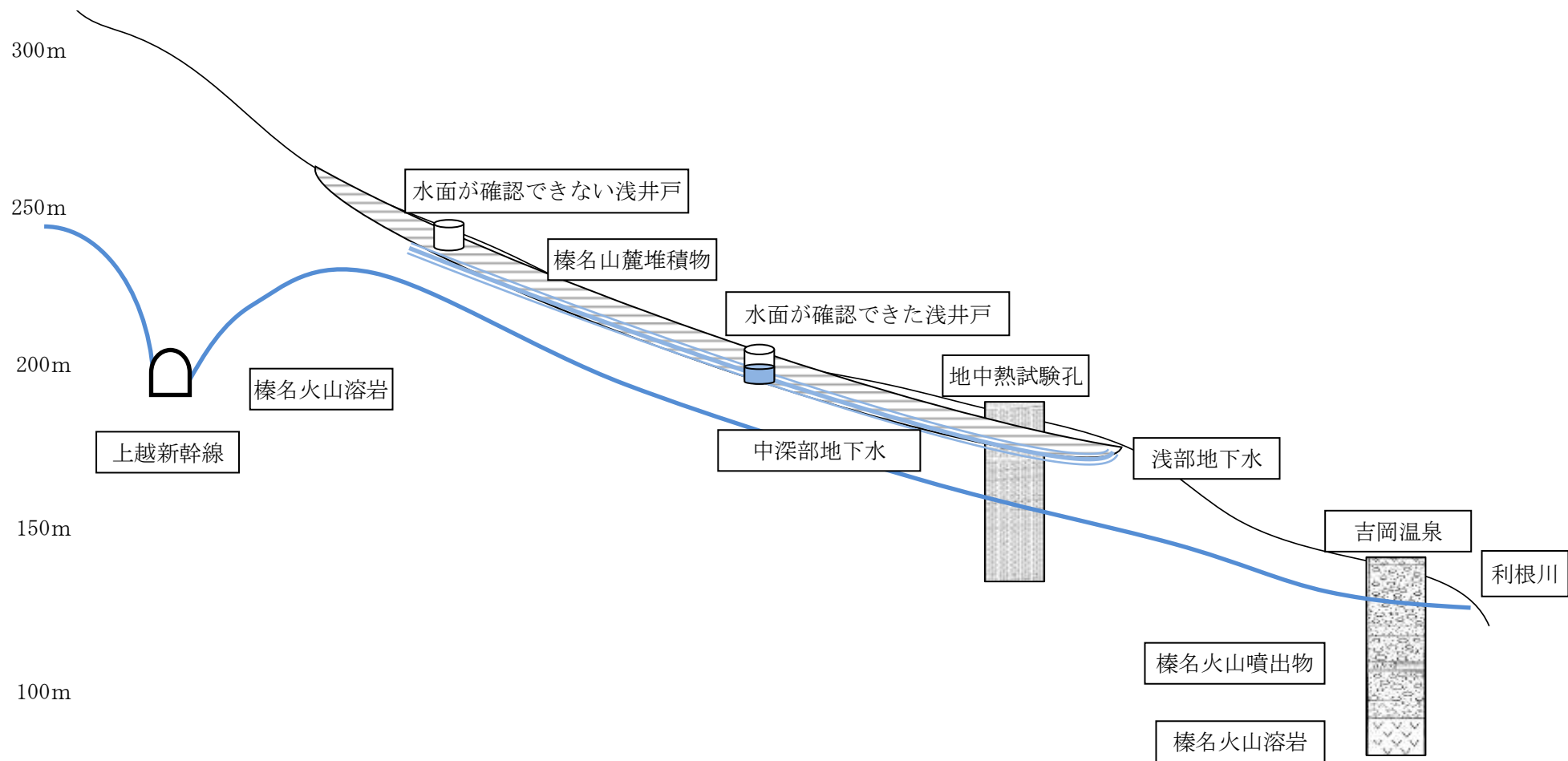


図 26 榛名山麓の地形断面と地下水概要

標尺 (m)	層高 (m)	層厚 (m)	柱状図	土質区分	色調	相対密度	相対観度	記事
1	0.00	0.50		埋土・粘性土				
2	1.40	1.90		砂混じり粘土				
3				粘土混じり砂				
4				砂				
5				砂				
6				砂				
7				砂				
8	6.60	8.50		砂				
9	0.60	9.10		埋土・粘性土				
10	0.60	9.70		砂混じり粘土				
11	1.70	11.40		砂				
12				砂				
13	1.90	13.30		砂				
14				砂				
15	2.50	15.80		砂				
16	0.80	16.60		砂				
17	0.70	17.30		砂				
18				砂				
19				砂				
20				砂				
21				砂				
22	5.10	22.40		砂				
23				砂				
24				砂				
25				砂				
26	4.30	26.70		砂				
27				砂				
28				砂				
29				砂				
30	4.30	31.00		埋土・粘性土				
31				埋土・粘性土				
32				埋土・粘性土				
33				埋土・粘性土				
34				埋土・粘性土				
35				埋土・粘性土				
36	5.70	36.70		埋土・粘性土				
37				埋土・粘性土				
38				埋土・粘性土				
39				埋土・粘性土				
40				埋土・粘性土				
41				埋土・粘性土				
42				埋土・粘性土				
43				埋土・粘性土				
44				埋土・粘性土				
45				埋土・粘性土				
46				埋土・粘性土				
47				埋土・粘性土				
48				埋土・粘性土				
49	13.10	49.80		埋土・粘性土				
50				埋土・粘性土				
51	4.00	53.80		埋土・粘性土				
52				埋土・粘性土				

図 27 試験孔柱状図

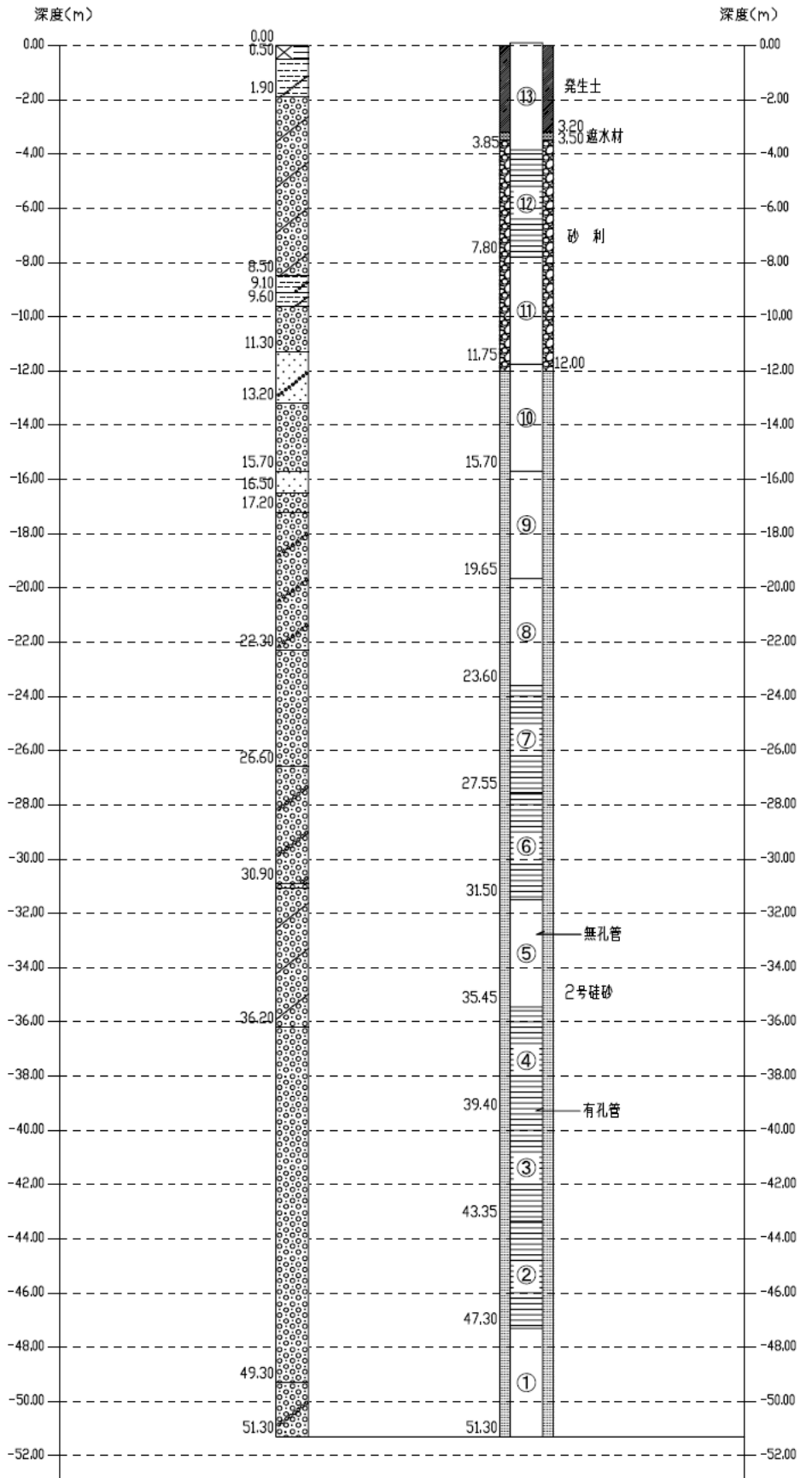


図 28 ケーシング状況

4-2-② 揚水試験

地下水による安定的な採放熱量を評価するために、段階揚水試験と連続揚水試験をおこなった。

①段階揚水試験

各段階は揚水量 16～100L/分で各 60 分間おこなった。

段階	時間	揚水量		揚水水位 (m)	水位降下 S(m)	比湧出量 (m ³ /d/m)
		Q(l/min)	(m ³ /day)			
開始前	8:20	0.0	0.0	32.9	—	—
第1段階	8:30～9:30	16.0	23.0	33.6	0.7	31.6
第2段階	9:30～10:30	47.0	67.7	35.4	2.5	26.6
第3段階	10:30～11:30	60.0	86.4	36.5	3.6	23.7
第4段階	11:30～12:30	81.0	116.6	38.5	5.6	20.9
第5段階	12:30～13:30	100.0	144.0	40.5	7.6	18.9
揚水停止後	13:30～14:30	0.0		33.0		

表 6 段階揚水試験

第5段階揚水停止後に水位の上昇状況（回復）計測をおこなった結果、停止後5分間で7.32m、10分間で7.36mと水位回復が極めて早いことが判明した。

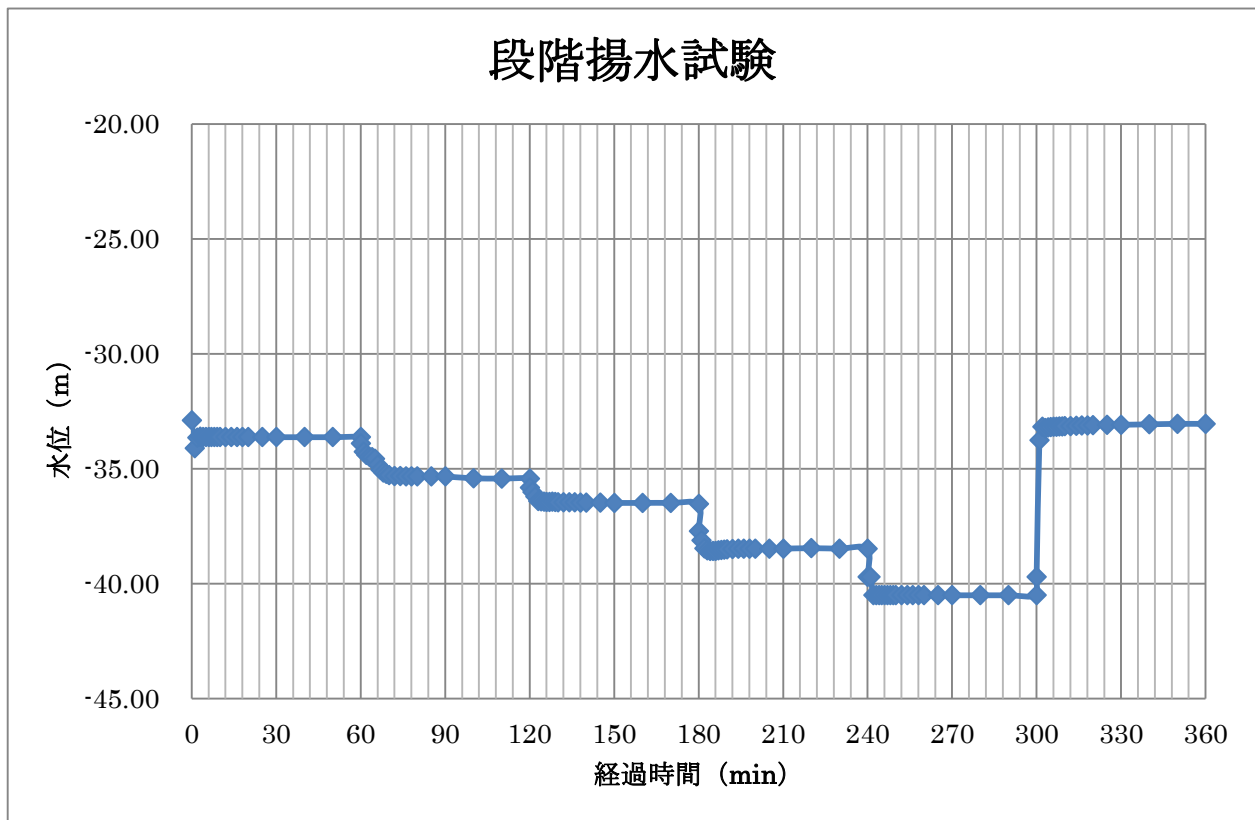


図 29 段階揚水試験グラフ

揚水量を増加するにしたがって比湧出量（揚水量（Q）/水位降下量（S）、m³/d/m）は、31.6～18.9と低下するが、比湧出量が極端に低下する屈曲点は明瞭でない。

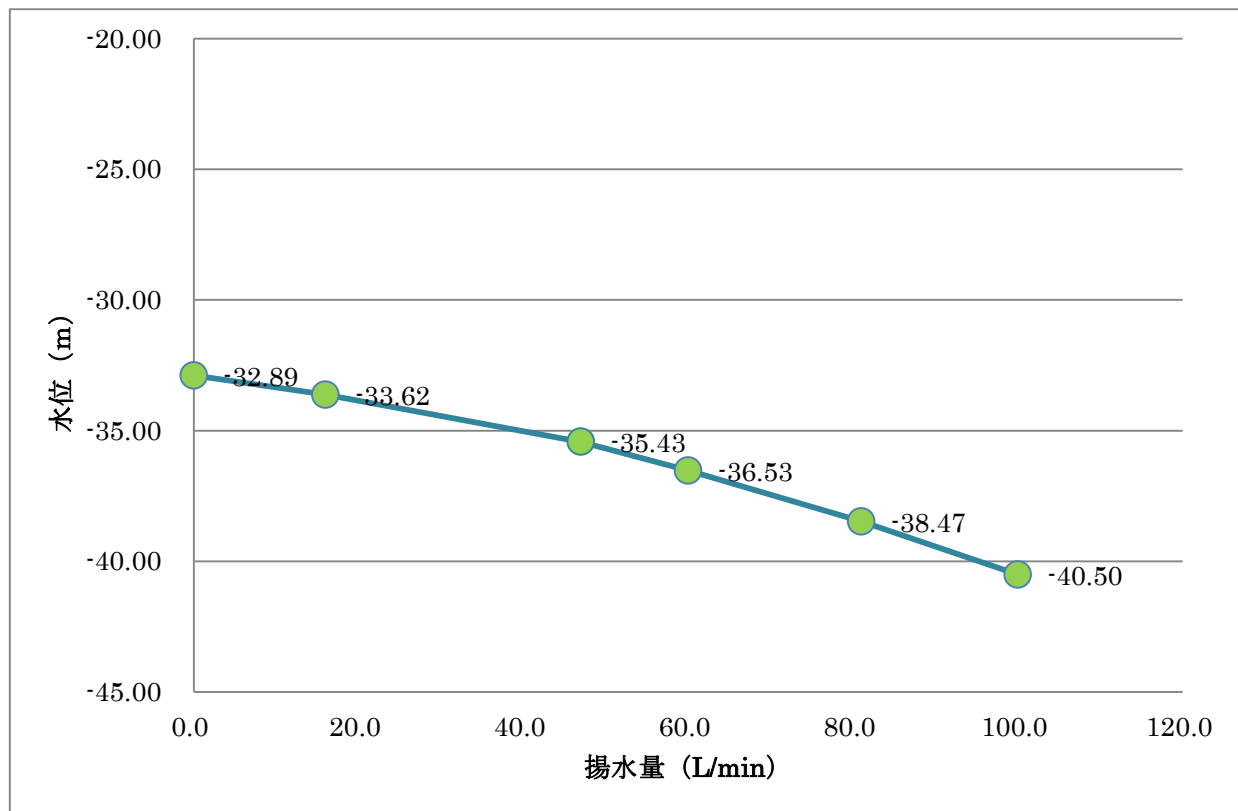


図 30 揚水量 (Q) -水位降下 (S)

②連続揚水試験：8時間＋水位回復2時間

連続揚水量	毎分 80L 以上
水温	16.3℃ (8月28日) 16.1℃ (GL-35m、12月24日) 16.2℃ (Gl-45m、12月24日)
水位	-33.080m (8月28日) -32.805m (9月30日) -33.150m (12月24日)

水位回復は極めて早いため、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。

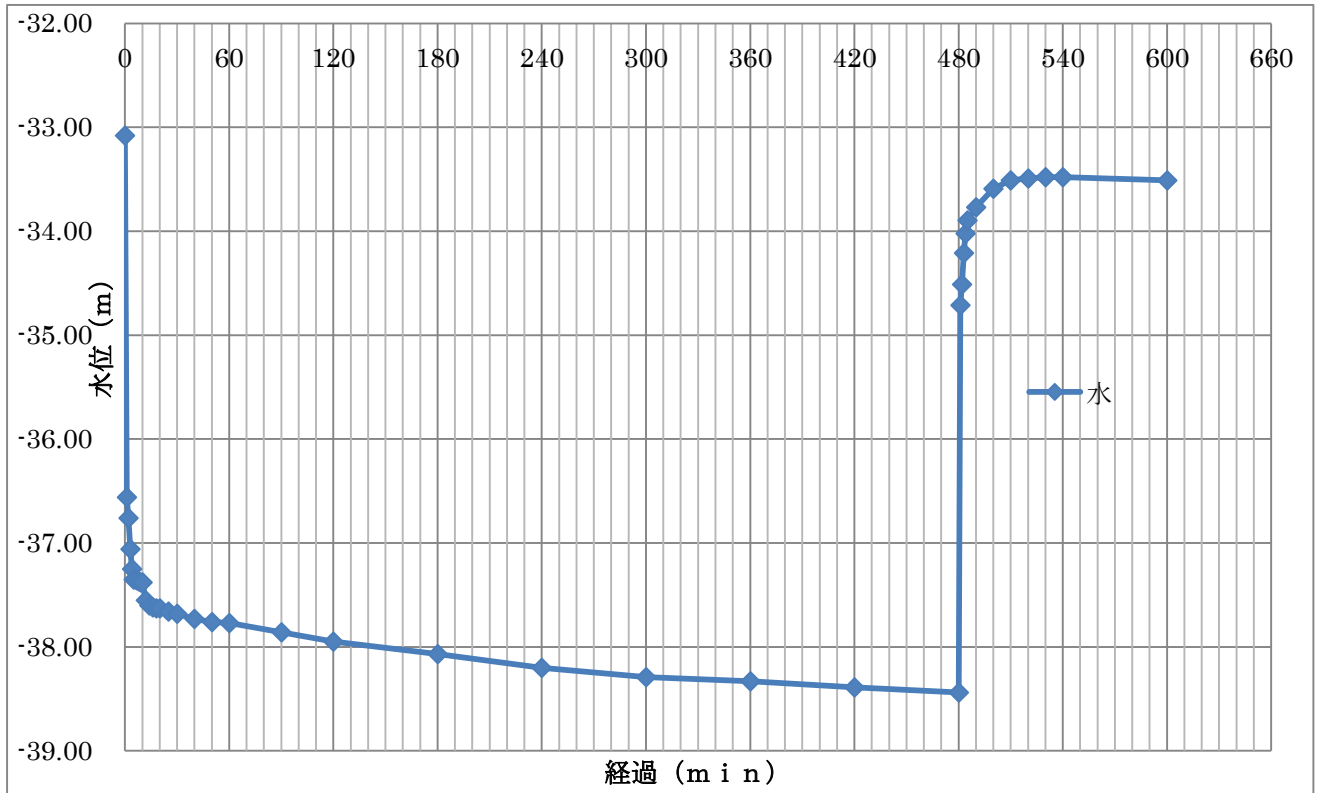


図 31 定量連続揚水試験グラフ

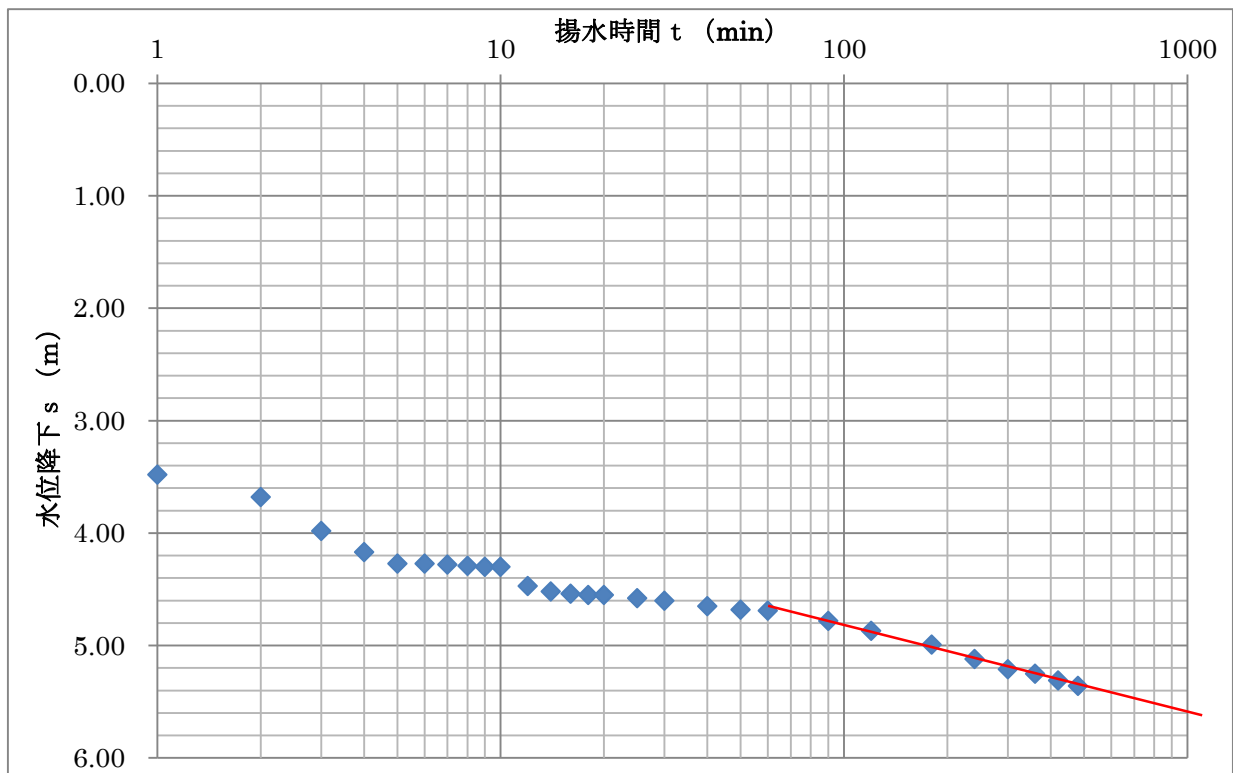


図 32 水位降下量と揚水時間

連続揚水試験の結果で得られた揚水時間 100 分以降の直線部で、ヤコブの直線解析法を用いて下記式で簡易に透水係数を求めた。

T	透水量係数 (m ³ /d/m) = 0.183 · Q/Δ s
k	透水係数 (cm/sec) = T/H
Q	揚水量 (m ³ /d、115.2 m ³ /d、80 L/min)
Δ s	単位水位降下量 (m、0.8m)
H	帯水層厚 (m、ストレーナ厚 11.85m)

その結果、T (透水量係数は 26.4 (m³/d)、透水係数 k は 2.6×10E-3 (cm/sec) であった。

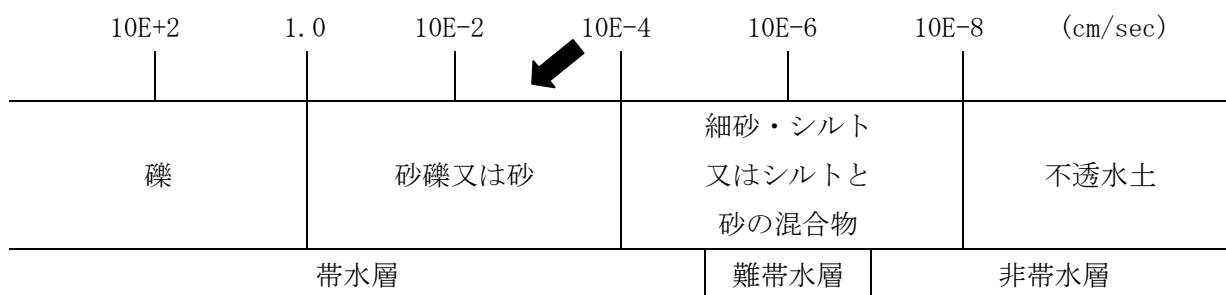


図 33 帯水層区分

被圧地下水を採水層とする取水揚水孔の透水係数は一般的に 10E-1~10E-4cm/sec とされており、また、水理解析で得られた透水係数は 2.6×10⁻³cm/sec により、試験孔の中深部帯水層は比較的優良な帯水層であることが判明した。

4-2-③ 地下水検層（水位・水温・水質・流向流速計測）

（1）温度検層

地中の温度分布を把握するため試験孔内で、1/1000℃の分解能を有する高分解能温度検層（HPTL-1000型）の温度を計測した。流向流速計測によって孔内温度が攪乱されないように、降下速度が等速度になるように調整しながらゆっくり降下させて測定をおこなった。

温度検層によって下記のようなことが把握できた。

- 地下浅部の地層で気温の影響を受ける深度
実施日は9月6日（金）の最高気温は25.7℃（前橋）であった。猛暑日の連続であった8月の平均最高気温31.3℃（前橋）の影響があり地表の孔内温度（地温）は20℃を超え、地下15mまで外気温の影響が認められる。15mの地温17℃から温度変化は少なくなり深度49mで16.7℃までしか低下しない。
- 地中温度分布による熱的・水理的構造の解明1
7.5～8.5mで孔内温度（地温）が17.9～18.0℃でほぼ一定しているのは、上部ストレーナ（3.85～7.80m）から榛名山麓堆積物（浅部帯水層）の地下水が孔内に流下している証しである。
- 地中温度分布による熱的・水理的構造の解明2
15m（地温17℃）以深から温度変化は少なく、深度49mで16.7℃までしか低下しない。しかし、深度51mの地温は15.7℃であり、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。
- 地層の変化、割れ目の検出、特に湧水部分や地温の変化を把握
8時間続揚水試験の終了直前に採取した地下水温度は16.2℃であったが、温度検層で把握された水理的構造から地下水はほぼ49m以深から揚水されたものである。
なお、温度検層により孔内水位のGL33.05mが検証される。

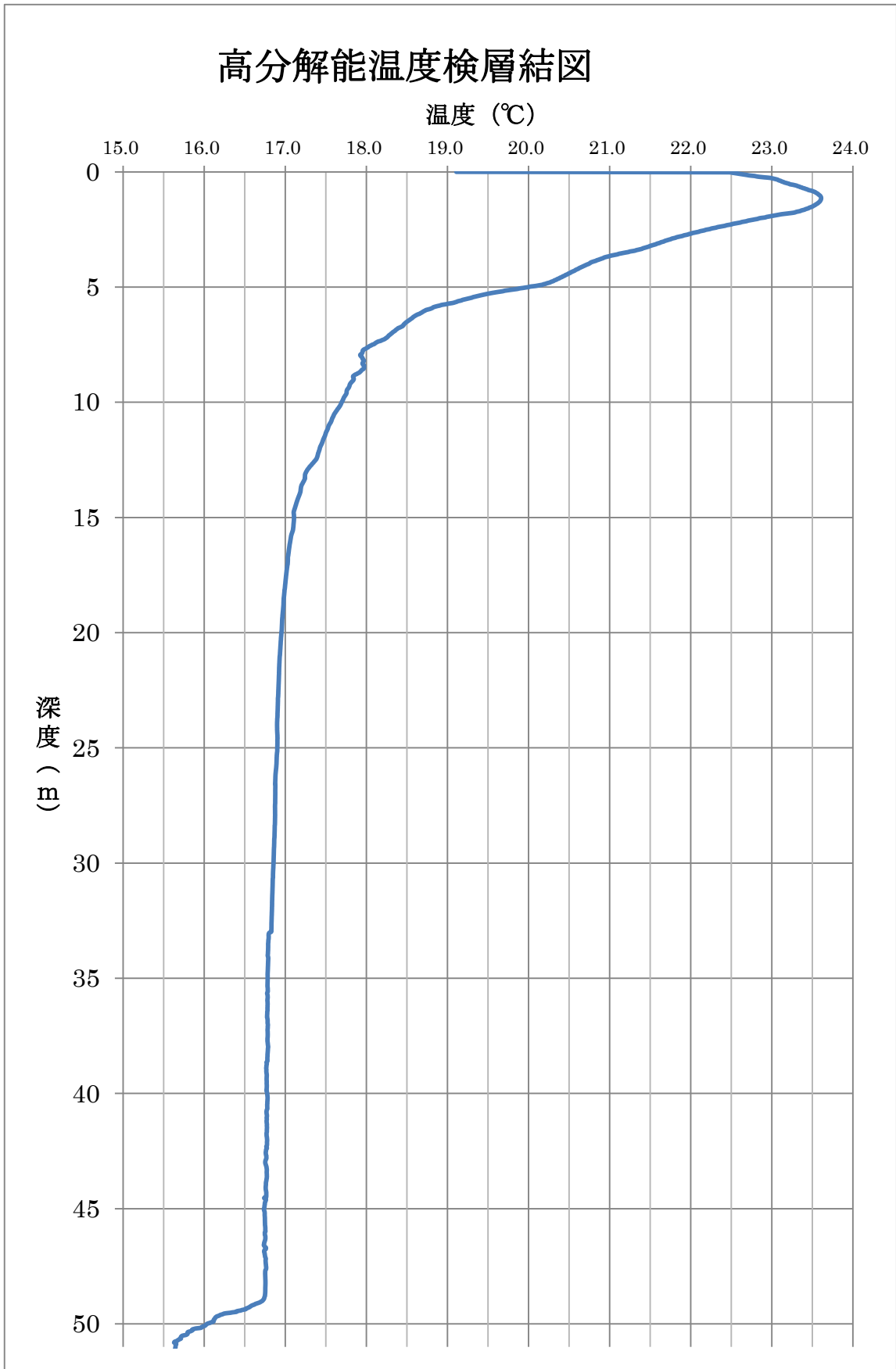


图 34 高分解能温度検層図

高分解能温度検層結果図

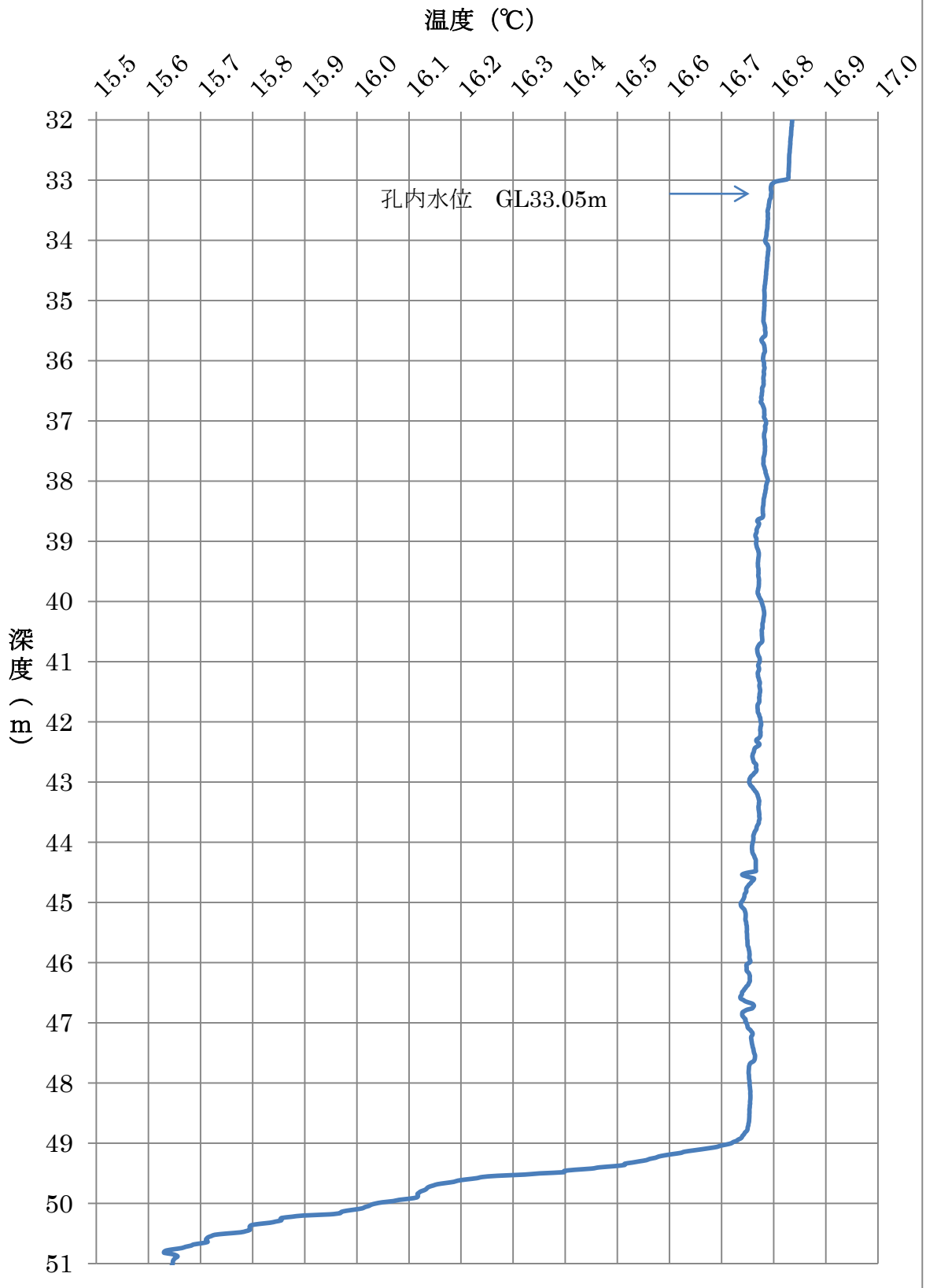


図 35 高分解能温度検層図 (地下水面下)

(2) 水質分析

冷凍空調機器用水質ガイドライン（JRA-GL-20-1994：(社)日本冷凍空調工業会）に基づいて水質分析をおこなった。

表 7 冷水の水質（基準）ガイドライン

項目		分析値	基準値（冷却水系）			傾向	
深度		50m	一過性	循環式		腐食	スケール生成
採水日		8月28日		補給水	循環水		
採取時水温 [°C]		16.2°C					
基準項目	pH (25°C)	7.2 (24.8°C)	6.0~8.0	6.8~8.0	6.5~8.2	○	○
	電気伝導率[mS/m] (25°C)	38.6	40 以下	30 以下	80 以下	○	○
	塩化物イオン[mg/L]	16	50 以下	50 以下	200 以下	○	
	硫酸イオン[mg/L]	62	50 以下	50 以下	200 以下	○	
	酸消費量 (pH4.8) [mg/L]	100	50 以下	50 以下	100 以下		○
	全硬度[mg/L]	150	70 以下	70 以下	200 以下		○
	カルシウム硬度[mg/L]	100	50 以下	50 以下	150 以下		○
	イオン状シリカ[mg/L]	40	30 以下	30 以下	50 以下		○
参考項目	鉄[mg/L]	1.0	1.0 以下	0.3 以下	1.0 以下	○	○
	銅[mg/L]	0.05 未満	0.1 以下	0.1 以下	0.3 以下	○	
	硫化物イオン[mg/L]	不検出	不検出	不検出	不検出	○	
	アンモニウムイオン [mg/L]	0.5	1.0 以下	0.1 以下	1.0 以下	○	
	残留塩素[mg/L]	0.1 未満	0.3 以下	0.3 以下	0.3 以下	○	
	遊離炭素[mg/L]	17	4.0 以下	4.0 以下	4.0 以下	○	
	安定度指数	8.7	—	—	6.0~7.0	○	○

基準値（冷却水系、一過性）で照合すると、基準項目では硫酸イオン、酸消費量、全硬度、カルシウム硬度、イオン状シリカで基準不適合である。

したがって、腐食やスケール生成の障害を避けるために地下水を直接ヒートポンプ等の冷凍空調機器で利用するのではなく、熱交換器を介して利用することが必要となる。

(3) 流向流速計測

地下水の温度・流向・流速を計測するプローブ(写真)は、ステンレス製で全長が500mm、下から100mmの部分が測定部分になっている。プローブの中心には1本の円柱状の発熱体があり、その周囲には同心円状に配置された16個のサーミスタによって温度を検出する構造になっている。発熱体とサーミスタの間には平均粒径0.6mmのガラスビーズがつめてあり、周囲は穿孔金属板によっておおわれている。このため周囲を流れる水は同時にプローブ内を通過する仕組みになっている。



図 36 流向流速計測状況

このプローブは構造が簡単で強度が高く、周囲の地層から隔絶されているために、その熱伝導率や熱容量などの熱的物性の影響が少ない。また測定可能な流速の範囲は極めて広くさらに安価に製作できるという特徴を持っている。水が流動していない場合は中央の鉛直加熱円柱周囲の温度分布は軸対称になる。しかし水平方向に水が流れる場合は、図のように上流側で検出される温度は低く、逆に下流側で検出される温度は高くなる(下図)。この原理を利用して検出された最大・最小を示す温度プローブ位置から流向を、温度分布のゆがみの大きさから速度を求めることができる。定常状態に達する時間は流速に依存し、低流速では長く、高流速では短くなる。しかし、10-3mm/s程度でも30分でほぼ温度分布は定常となる。

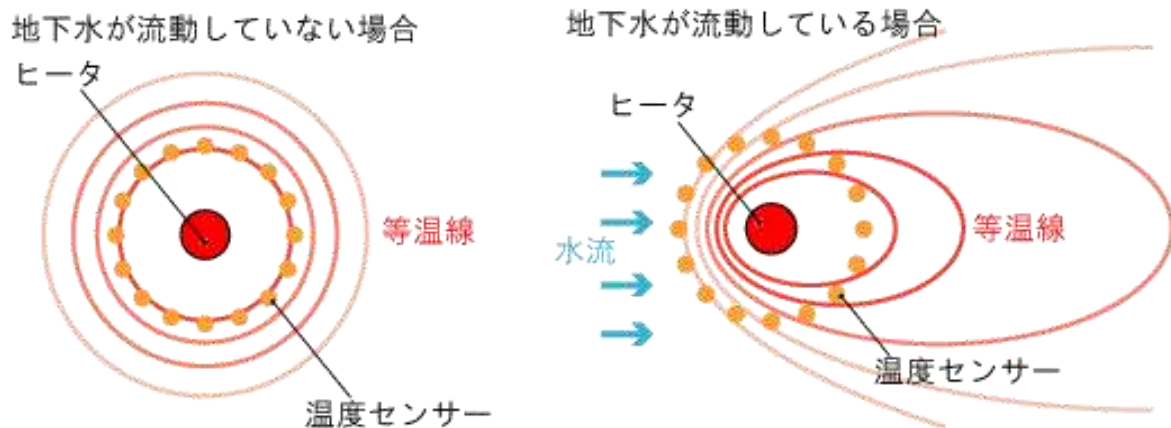


図 37 孔内の流向流速計測概念

深度 39m および深度 43m で計測したところ、下表の流向・流速であった。

深度	流向	流速
39m	南西→北東	0.026cm/分 (37.4cm/日) 以上
43m	東→西	0.009cm/分 (13.0cm/日) 以上

流向流速測定内訳(抜粋)		1	2	3	4	5
9月8日		14:20(開始*)	14:30	14:45	15:00	15:10(終了)
		N	N	N	N	N
測定深度(管口GL-m)		39.00	39.00	39.00	39.00	39.00
流向(度)		240.4	37.9	37.9	30.5	38.1
流速(cm/min)		0.000	0.019	0.025	0.025	0.020
水位(GL-m)**		33.05	33.05	33.05	33.05	33.05
9月8日		16:38(開始*)	16:55	17:10	17:25	17:38(終了)
		N	N	N	N	N
測定深度(管口GL-m)		43.00	43.00	43.00	43.00	43.00
流向(度)		49.7	273.4	268.5	259.5	253.9
流速(cm/min)		0.001	0.007	0.008	0.009	0.008
水位(GL-m)**		33.05	33.05	33.05	33.05	33.05

図 38 流向流速計測結果

深度 39m の地下水流向は南西→北東であり榛名山麓の傾斜方向と概ね一致し、流速は 0.026cm/分 (37.4cm/日) 以上であった。深度 43m の地下水流向方向は東→西であるが揚水孔周辺に存在する石礫の影響で局所的に流向が反転しているものと考えられ、地下水流速も 0.009cm/分 (13.0cm/日) と小さいことがその証左と考えられる。

4-2-④ 地盤調査

地盤調査として12月11～12日に、榛名山麓に展開する吉岡町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）調査を実施した。No. 3とNo. 6はかつて生活用水に利用していたということであったが、調査時は地下水面が確認できなかった。

	井戸口径 【m】	初期水深【m】 (井戸底) *	初期水面 【m】	揚水量 【l/m】	水温(気温) 【℃】	透水係数 【m/s】
No.1 下野田 A	0.8	1.10 (3.63) *	-2.53	9.58	16.6 (9.1) 18.3 (32.6)	1.664×10^{-4}
No.2 下野田 B (流量変更後)	0.6	0.31 (2.46) *	-2.15	4.02	12.9 18.6 (32.6)	
	0.6	0.20 (2.46) *	-2.26	0.78	12.9	4.171×10^{-5}
No.3 北下 A	0.8	(1.99)	井戸水面確認できず			
No.4 南下 B	0.8	0.66 (4.13) *	-3.47	3.63	12.0	2.234×10^{-4}
No.5 南下 C	0.9	2.695 (5.41) *	-2.715	3.81	15.5	5.471×10^{-4}
No.6 小倉 A	0.9	(9.40)	井戸水面確認できず			
No.7 漆原 A	0.9	5.40 (9.39) *	-3.99	4.29	13.8 (7.4)	1.873×10^{-3}
No.8 大久保 A	0.9	6.90 (11.16) *	-4.26	4.05	17.1 (8.2)	9.758×10^{-6}
No.9 大久保 B	1.15	2.57 (5.04) *	-2.47	4.23	14.7 (7.8)	5.254×10^{-5}

*地表面から井戸底までの距離および水面までの距離

- ①No. 7の井戸はコンクリート造り、その他の井戸は石積みである。
- ②No. 2の井戸は水量が少なかったため揚水量を減らす操作を行った（流量変更後）。
- ③No. 1 下野田 A と No. 2 下野田 B は夏期の9月3日に水温を計測した。

表 8 調査した町内浅井戸特性

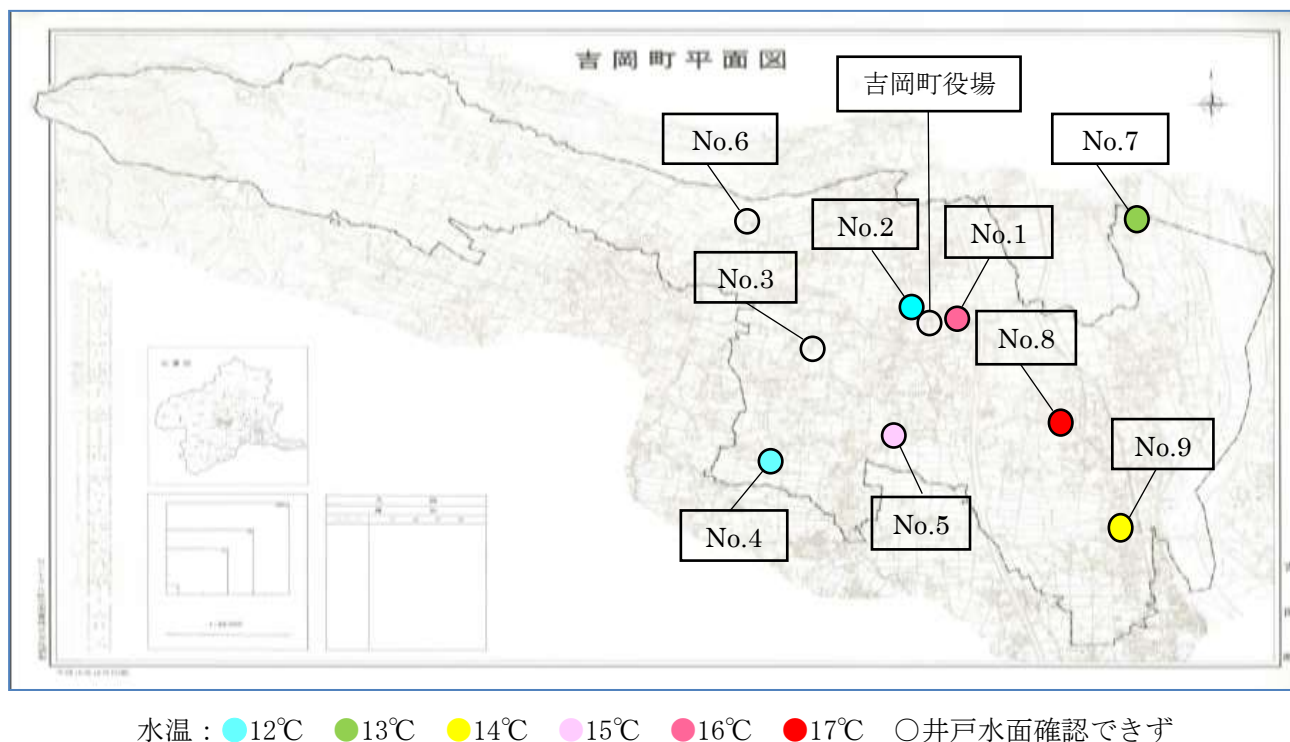


図 39 浅井戸位置と水温

所有者の方の話によると以前よりも井戸の水位は低下しているということであったが、今回の調査では吉岡町に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された。

ただし、調査を行った井戸や地域によって水量や透水係数にばらつきが出た。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。

調査した井戸の多くが現在使用されていなかったことから、井戸底に泥が堆積し、鉛直方向から湧き出る水量が制限されていることもあり得る。そのため地中熱利用の検討に際しては、より正確な透水係数と揚水量を得るため、井戸洗いの後1時間以上の揚水試験をする必要があると考えられる。

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る。

また、一般に関東圏では冬季間に地下水水位が低い現象は認められるが、調査井戸の No. 3 北下 A と No. 6 小倉 A には地下水水面が確認できなかった。生活用水として通年利用していた井戸水位の低下要因は町内地下を横断する新幹線トンネル建設に伴う恒常的な抜水により、榛名火山噴出物中の地下水水位が低下したためであると考えられる。吉岡町内には浅部地下水を揚水できる既設井戸も多数認められたことは、榛名山麓堆積物の分布と層厚等が地下水水位低下の度合いに大きく影響したものといえる。

5. 地中熱利用可能性検討

5-1 採放熱量の検討

試験孔の揚水回復試験に基づくと、毎分 100L 程度の日揚水量（半日揚水、半日停止）は安定的に利用できると考えられる。また、中深部帯水層の地下水温度は概ね 16℃、既成の熱交換器を通して採放熱できる温度差は 7℃程度である。

したがって、試験孔仕様によるオープンループ方式の採放熱量は次式で得ることができる。

$$100 \text{ (L/min)} \times 60 \text{ (min)} = 6000 \text{ (L/h)} \times 7 \text{ (}^\circ\text{C)} = 42,000 \text{ (kcal/h)}$$

$$42,000 \text{ (kcal/h)} \div 860 \text{ (kcal/h)} \doteq 50\text{kW}$$

$$\text{※}1\text{kW}=860\text{kcal/h}$$

5-2 浅部地下水

浅部井戸調査による短時間の揚水試験では十分に採放熱量を評価することができなかった。ちなみに得られたデータによると、毎分 14L の井戸水を汲み上げた場合、熱交換の温度差 5℃で 5kW の採放熱量が可能である。

$$14 \text{ (L/min)} \times 60 \text{ (min)} = 840 \text{ (L/h)} \times 5 \text{ (}^\circ\text{C)} = 4,200 \text{ (kcal/h)}$$

$$4,200 \text{ (kcal/h)} \div 860 \text{ (kcal/h)} \doteq 5\text{kW}$$

$$\text{※}1\text{kW}=860\text{kcal/h}$$

5-3 中深部地下水

本調査で施工した試験孔と同等の仕様（口径 100mm、深度 50m）では、50kW 程度の採放熱量が確保できることが判明した。また、地下 50m 以深の中深部帯水層に優勢な地下水が存在することが判明したので、仕上げ口径：200mm、仕上げ深度 70m の揚水井 1 本により 100kW の採放熱量を確保することは十分可能であると考えられる。

6. 吉岡町における地中熱利用の展望

6-1 導入プランの提案

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

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ないが、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（玉村町）による地層全体の熱伝導率は 1.41W/(m・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 であった。

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ないが、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（表 13 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であると考えられる。

6-1-① 公共施設への導入

対象施設：吉岡町文化センター

部屋の種類による一般の熱負荷は下表で求められている。

部屋の種類		熱負荷 (W/m ²)
公民館	研修室	233
図書館	閲覧室	143
事務所		99~129
劇場	客室	417
	ロビー	308

表 9 冷暖房熱負荷簡易計算法（空気調和・衛生工学会規格参照）

上記の部屋種類の熱負荷に基づけば、吉岡町図書館と 2 階の公民館研修室（以下、文化センター学習棟という）の冷暖房面積と負荷熱量は下表で求められる。

対象施設		冷暖房面積 (㎡)	熱負荷 (kW)	
1 階	図書室	532	76.1	
	児童学習室	40	9.3	研修室相当
	事務室	64	7.7	100W/㎡
	計	636	93.1	
2 階	研修室	158	36.8	
	視聴覚室	130	30.3	研修室相当
	和室	92	21.4	研修室相当
	工芸学習室	79	18.4	研修室相当
	計	459	106.9	
総計		1,095	200.0	

表 10 文化センター学習棟の冷暖房面積と熱負荷量

試験孔仕様（口径 100mm、深度 50m）で 50kW 程度の採放熱量が確保できることが判明したが、中深部帯水層にはより優勢な地下水が存在するため、100kW の採放熱量は口径 200mm、深度 70m の揚水孔 1 本でまかなえると考えられる。したがって、計算上では深度 70m の揚水孔 2 孔で文化センター学習棟における地中熱利用の冷暖房システムを稼働させることが可能である。地下水規制上、吉岡町では放流方式も可能だが、仮に還元方式を採用するとしても中深部帯水層まで戻す必要はなく、深さ 30m 程度の還元孔を 4 孔程設置することで対応できることとなる。なお、今回の調査では地下水の流向と流速計測も実施していることから、複数施工する際の揚水孔の配列方向や間隔の検討も可能である。

現在の文化センターの冷暖房をオープンループ方式の地中熱利用冷暖房に変更する場合には、揚水孔の新規施工のほか、現状の空冷ヒートポンプ式（チラーユニット）と各部屋のファンコイルを撤去変更しなければならない。参考までに概算で積算した直接施工費（間接費および消費税は除く）は以下のとおりである。

種別	細別	単位	数量	単価	金額
揚水孔施工	φ 200mm×70m	孔	2	2,500,000	5,000,000
還元井	φ 200mm×30m	孔	4	600,000	2,400,000
熱交換器	開放型ステンレス	基	2	6,000,000	12,000,000
空冷式 HP チラー		台	2	23,000,000	46,000,000
制御盤・循環ポンプ		台	2	500,000	1,000,000
ファンコイル		台	38	100,000	3,800,000
その他	場外配管・不凍液等				3,000,000
合計					73,200,000

表 11 オープンループ方式地中熱交換器の直接費

なお、計画に際しては、対象施設（部屋）の実熱負荷やボーリングの仕様、現状配管等の継続利用の可否、採放熱後の地下水の処理方法についての詳細検討が必要である。

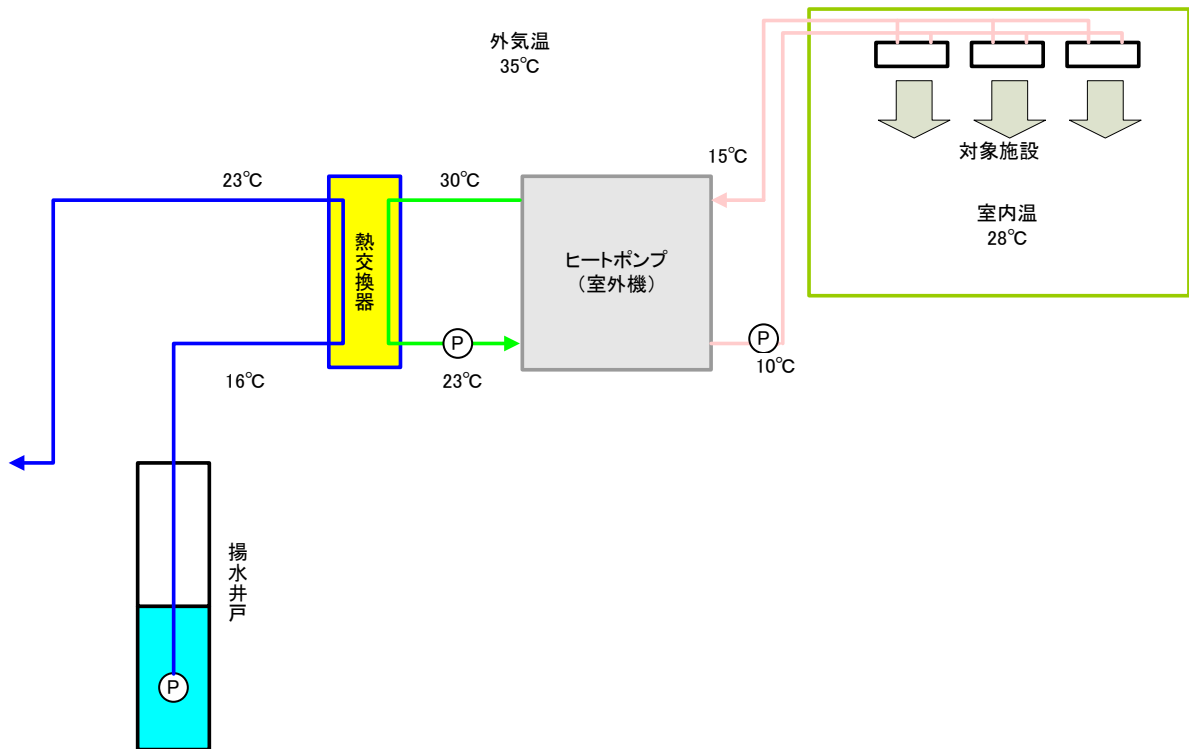


図 40 オープンループ方式（地下水利用）地中熱システム概念（冷房期）

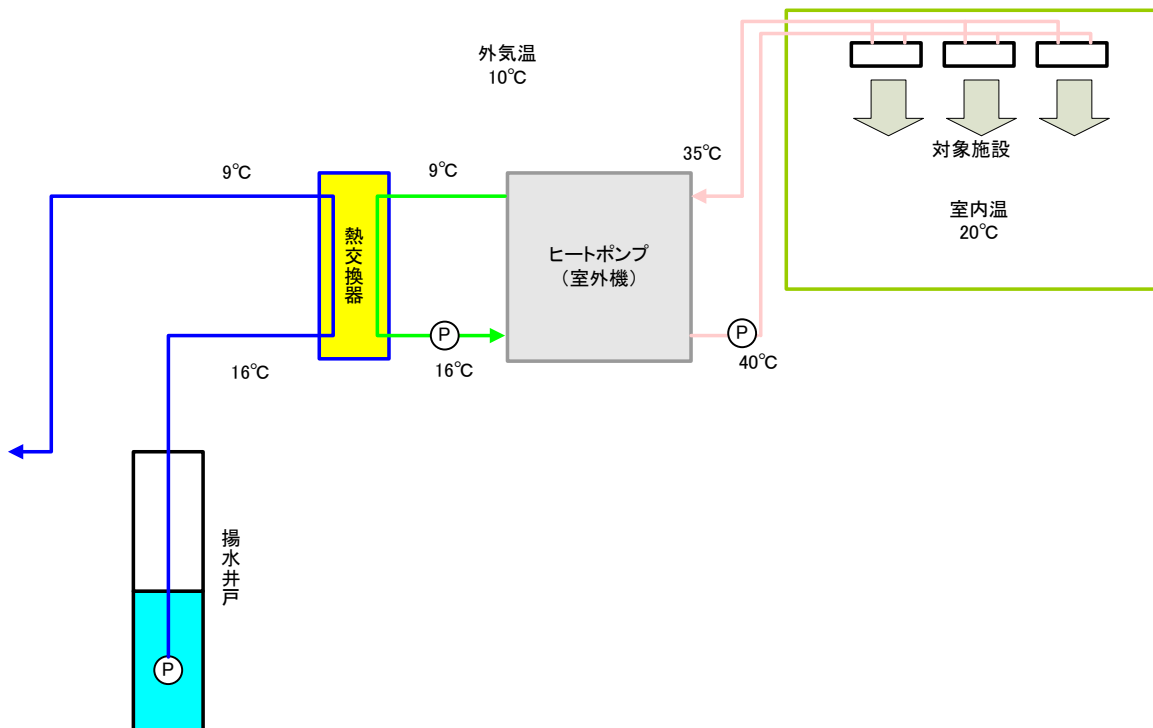


図 41 オープンループ方式（地下水利用）地中熱システム概念（暖房期）

参考までに、クローズドループ方式で文化センター学習棟の総負荷熱量 200kW を検討すると、ボアホール 3,000m (100m×30 孔) が必要になる。深度 100m に及ぶ 30 本もの採熱孔の削孔にかかる費用および、熱交換器 (Uチューブ) の施工だけでも多額の費用を要することになるため、費用対効果から見てもクローズドループ方式の導入は難しいと考えられる。

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である。

なお、群馬県地中熱利用システム導入モデル事業 (1 件 300 万円) を利用した場合の概算事業費は表 12 のとおりである。

種別	細別	単位	数量	単価	金額
熱交換器	開放型ステンレス	基	1	3,000,000	3,000,000
地中熱ヒートポンプ	10Kw×5 連結	台	5	1,000,000	5,000,000
制御盤・循環ポンプ		台	1	500,000	500,000
ファンコイル		台	9	100,000	900,000
その他	場外配管・不凍液等				1,500,000
小計					10,900,000
群馬県補助金	上限 300 万円				▲ 3,000,000
合計					7,900,000

表 12 試験孔利用したオープンループ方式地中熱交換器の直接費

室毎の使用電気量が把握できないため、地中熱利用に変更した場合の電気使用量の削減効果と回収期間等について詳細な比較検討はできない。しかし、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る。

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 (φ200mm×70m、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 階の研修室と工芸室学習室冷暖房を地中熱利用に切り換えることが可能である。

経済産業省の再生可能エネルギー熱利用加速化支援対策事業 (地域再生可能エネルギー熱導入促進事業) を利用した場合の概算事業費は表 13 のとおりである。

またこの場合、前述の実績例に基づけば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る。

種別	細別	単位	数量	単価	金額
揚水孔施工	φ 200mm×70m	孔	1	2,500,000	2,500,000
還元井	φ 200mm×30m	孔	2	600,000	1,200,000
熱交換器	開放型ステンレス	基	1	9,000,000	9,000,000
空冷式 HP チラー	100kw	台	1	23,000,000	23,000,000
空冷式 HP チラー	50kw	台	1	16,000,000	16,000,000
制御盤・循環ポンプ		台	2	500,000	1,000,000
ファンコイル		台	29	100,000	2,900,000
その他	場外配管・不凍液等				3,000,000
小計					58,600,000
経済産業省補助金	一次側の 1/2 補助				▲ 26,350,000
合計					32,250,000

表 13 試験孔と新設揚水孔によるオープンループ方式地中熱交換器の直接費

6-1-② 一般住宅等・小規模施設への導入

電気消費量の多い機器に対してきちんと対策をとることが、省エネ効果を高めるポイントになる。家庭でのエネルギー消費で見ると、1世帯あたりで約 39GJ（2008 年度）となっており、このうち、給湯（29.5%）、暖房（24.3%）、冷房（2.1%）が約 56%（約 22 GJ）を占めている。

これらの空気熱源ヒートポンプによる冷暖房やガスボイラーによる給湯を、地中熱ヒートポンプに切り替えて冷暖房・給湯を行うことにより、冷暖房・給湯の消費エネルギーを 10～30%（約 2～7 GJ）程度、全体では 6～17%程度削減できると期待できる。

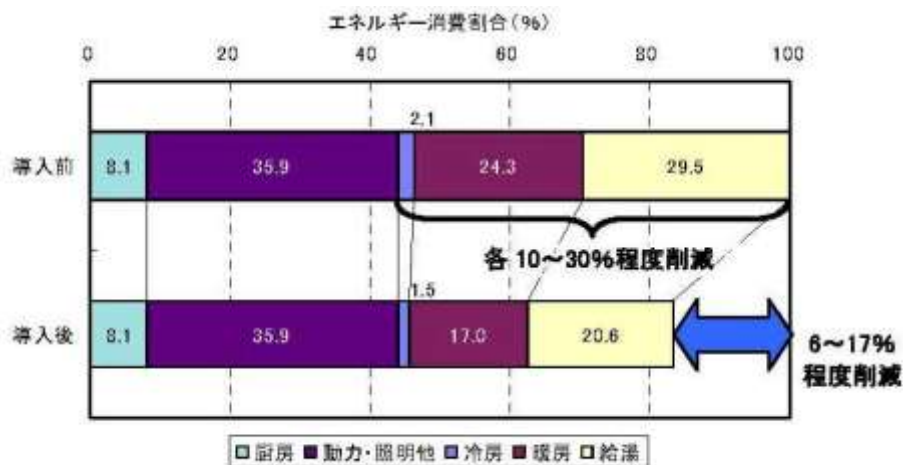


図 42 家庭における地中熱利用ヒートポンプ導入による省エネルギー効果の試算例

家庭における機器別エネルギー消費量の内訳を見ると、電気の約 4 分の 1 は冷暖房エアコンに使われている。それが、夏冷房期のピーク時（午後 2 時）では電気量のおよそ 2 分の 1 も占めることになる。したがって、節電効果・省エネ効果の高い地中熱利用システムを導入することは、消費電力が最大とな

る夏のピークカットに極めて有効である。

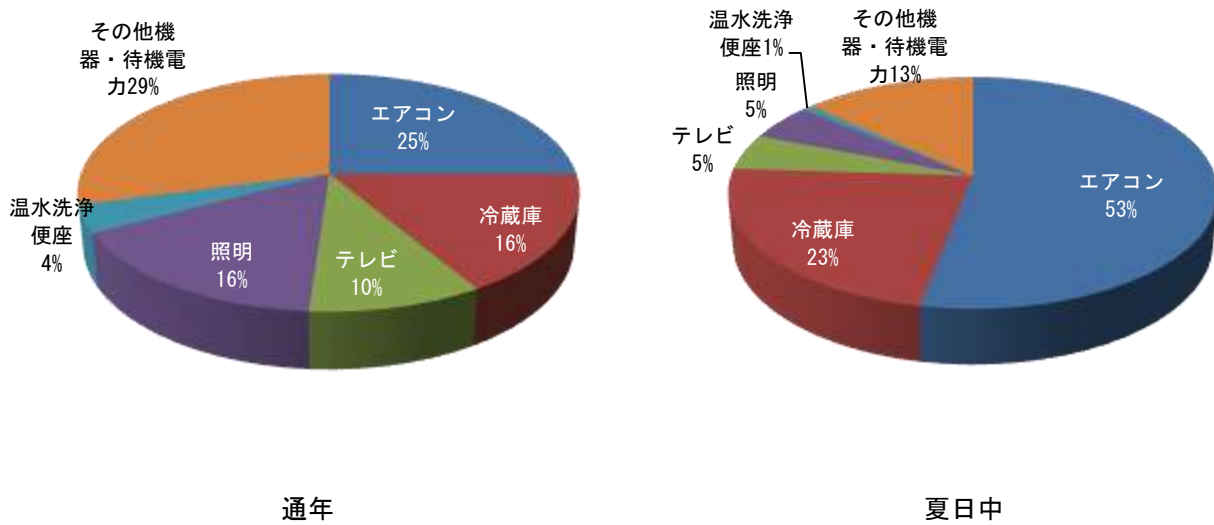


図 43 家庭の電気使用割合

(1) 浅部地下水利用

吉岡町は榛名山麓斜面にあり浅部帯水層は傾斜しているため、試験孔で計測された実流速（37.4cm/日）より流速の早い井戸もあり、水深 3m以上あれば揚水（汲上げ）による熱量と合わせて採放熱量が高い可能性がある。

浅部地下水を利用するためには、新たに 10m 程度の井戸を削孔する方法と既存井戸を利用する方法がある。

新たに建柱車等で浅井戸を削孔し、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。したがって、浅井戸ボーリング（深度 10m程度）により初期コストを押さえた、26 m²（16 畳）程度の広さの部屋を対象とした冷暖房システムの導入が可能となる。

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となる。

	井戸施工	採放熱量	概算
既設井戸利用	—	5～10kW	100～150 万円
浅井戸施工	10m以内	10～15kW	150～200 万円

表 14 小規模オープンループ方式の概算コスト

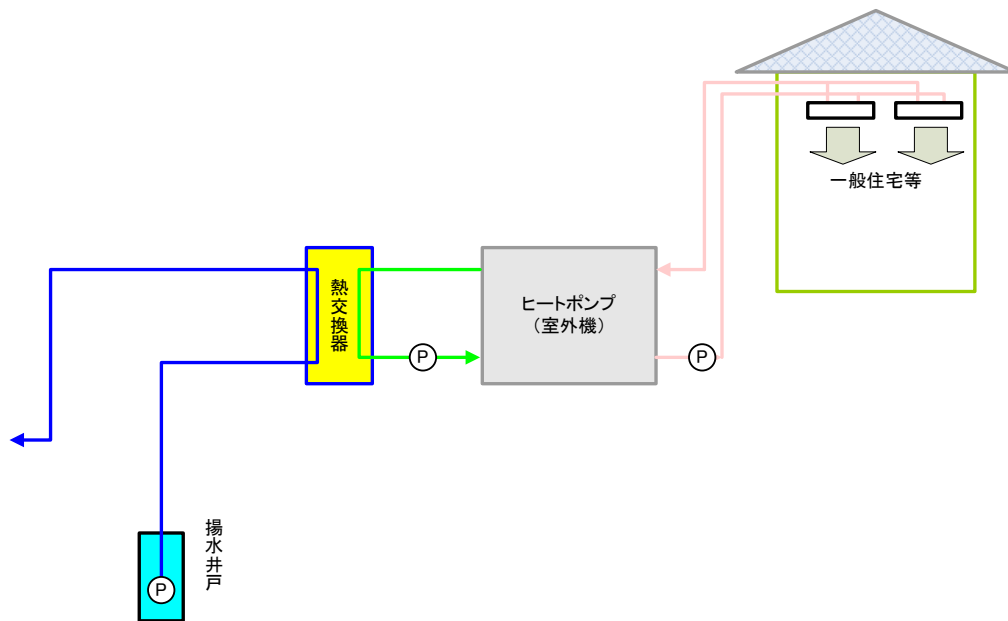


図 44 浅部地下水利用による小規模施設のオープンループ方式例

なお、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の導入も可能である。その井戸水の中に不凍液を満たしたチューブを挿入し循環させるシステムが有効であり、地中熱普及の最大の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ないため、インシヤルコストの削減が可能となる。

すでに玉村町再生可能エネルギー研究会では、既存井戸内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る。

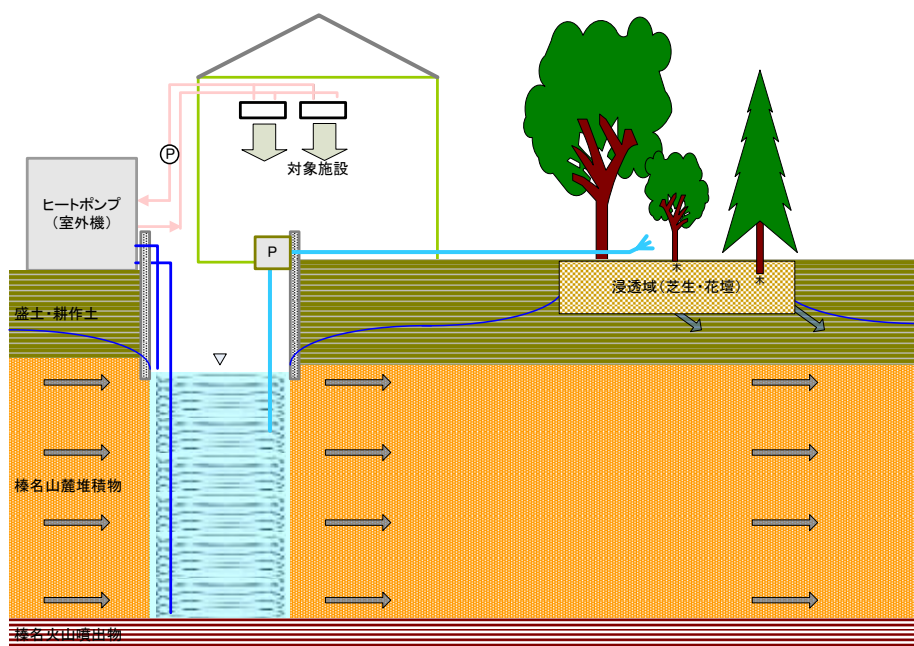


図 45 既設井戸利用のクローズドループ地中熱交換器

(2) 中深部地下水利用

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ことが必要となることからボーリング作業に伴う施工費を要する。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となる。

オープンループ方式の場合は、6-1-①公共施設への導入のところで触れたとおりであるが、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、経済産業省の省エネカタログの目安を当てはめた場合、約260㎡(約160畳)が1孔あたりの地中熱利用冷暖房の対象面積となる。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㎡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となる。

このことから、比較的イニシャルコストが高い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る。

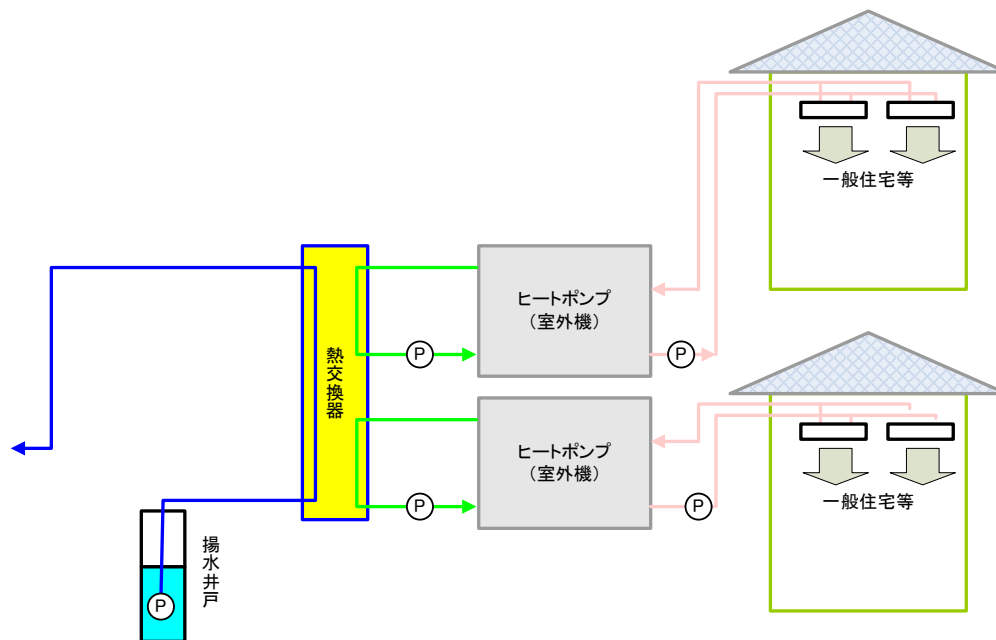


図 46 複数小規模施設の共同オープンループ方式例

クローズドループ方式にはメンテナンスフリー等のメリットはあるが、オープンループ方式と比べて熱交換効率が劣るため同じ採放熱量を得るためには、オープンループ方式の採熱孔よりも多くの孔を削孔する必要が生じる。地中熱普及に先進的地域といえる北海道と導入が始まったばかりの関東(群馬県)では施工関連のコストに差が出ており、平成22年度群馬県緑の分権改革推進事業(地中熱利用)で実証調査を行ったシステムは、初期コストが総額で380万円かかっている。

したがって、深いボーリングを要するクローズドループ方式の地中熱システムは、一般住宅等・小規模施設へ導入するには「削孔に伴う高コスト」という大きな課題があるといえる。

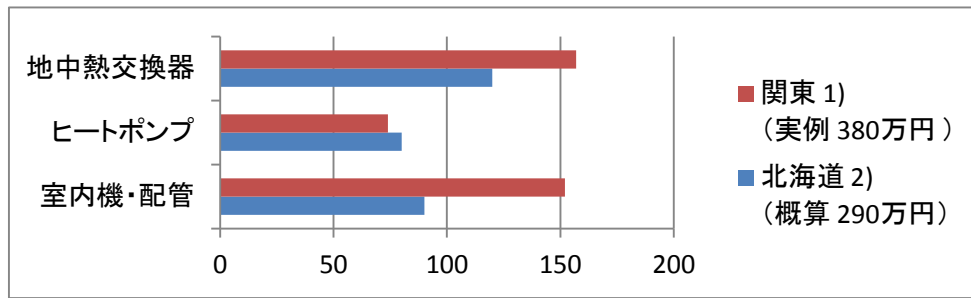


図 47 住宅用 10kW 地中熱ヒートポンプシステムの初期コスト（横軸の単位：万円）
 （引用：平成 22 年度群馬県緑の分権改革推進事業（地中熱利用）調査等業務）

6-1-③ 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だが、円安による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る。地中熱は灯油を燃料とする方式に比べ、燃料費などのランニングコストを大幅に削減でき、またCO₂の排出量も同様に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る。

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の温度を暖めていたが、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る。

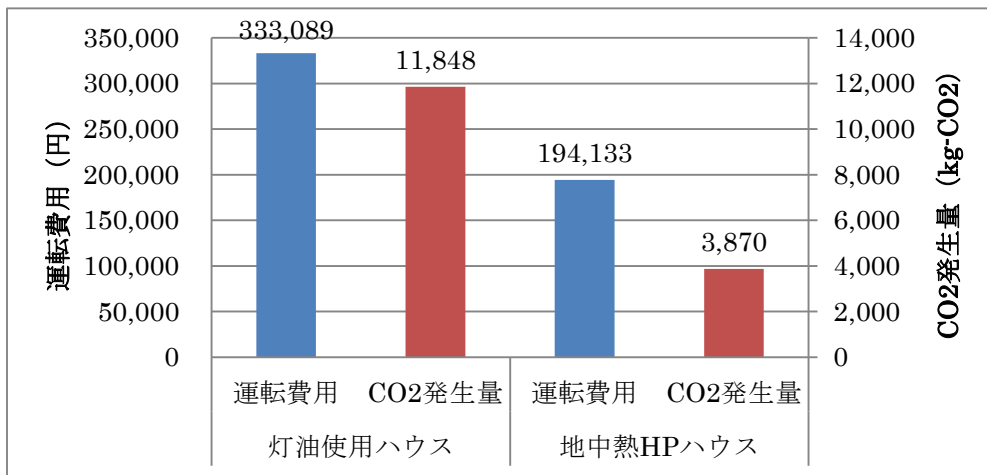


図 48 山梨県の農業用ハウスによる省エネ・CO₂削減効果例



図 49 茨城県園芸研究所の地中熱利用ハウス

6-2 地下水の規制と地下水保全対策

群馬県および県内における地下水の規制と地下水保全対策は下表のとおりである。吉岡町は群馬県生活環境を保全する条例の、地下水の採取の届出を要する地域の指定（平成21年5月29日告示第209号）に当たらない。

都道府県	市町村	条例等の名称	制定	対象井戸	対象用途	規制方法	規制地域	既設の処置	許可基準	措置方法	その他
群馬県		生活環境を保全する条例	平成12.3	吐出口断面積が19c㎡を超えるもの(農業用でストレーナーが地表面下50m以浅のものを除く。)	温泉、可燃性ガスを含む地下水、河川区域内の施設を除く	届出	告示による指定地域	届出	—	—	採取量の報告
	高崎市	公害防止条例	昭和46.12	—	—	—	—	—	—	—	地盤沈下で放置しがたい事態が生じたときの措置請求(市長)
	邑楽町	環境保全条例	昭和51.9	—	工業用、農業用(温泉を除く)	届出	全域	届出	—	勧告	水量・水位測定、報告義務(農業用を除く)
	長野原町	開発事業等の適正化に関する条例	平成3.9	全て	飲用水	申請	町営水道水源より半径500m以内	事前協議	町営水道水源より半径500m以上離れていること	指導	—

地下水の採取の届出を要する地域の指定（平成21年5月29日告示第209号）
 前橋市（旧富士見村、旧大胡町、旧宮城村及び旧粕川村の区域を除く。）、高崎市（旧倉渕村、旧箕郷町、旧群馬町、旧榛名町、旧新町及び旧吉井町の区域を除く。）、伊勢崎市（旧赤堀町の区域を除く。）、太田市、館林市、佐波郡玉村町及び邑楽郡の区域（「旧」を付けた市町村の名称及びその地域は、平成16年4月1日におけるものとする。）

表 15 群馬県内の地下水規制

7 補助・支援制度

7-1 地中熱利用単独で申請できる導入支援の補助金

7-1-① 経済産業省

- [1]平成 25 年度 再生可能エネルギー熱利用加速化支援対策事業
(再生可能エネルギー熱事業者支援対策事業)

補助金申請窓口	一般財団法人 新エネルギー導入促進協議会
補助率	補助対象経費の 3 分の 1 以内
補助限度額	1 件当たり上限額は原則として 10 億円
補助対象	ヒートポンプシステム一次側 (屋内の配管・ファンコイル等二次側は除く)
補助事業対象者	再生可能エネルギー熱利用の設備導入事業を行う民間事業者等

- [2]平成 25 年度 再生可能エネルギー熱利用加速化支援対策事業
(地域再生可能エネルギー熱導入促進事業)

補助金申請窓口	一般財団法人 新エネルギー導入促進協議会
補助率	補助対象経費の 2 分の 1 以内
補助限度額	1 件当たり上限額は原則として 10 億円
補助対象	ヒートポンプシステム一次側 (屋内の配管・ファンコイル等二次側は除く)
補助事業対象者	地方公共団体、非営利民間団体、ほかに「社会システム枠」

※民間医療法人は補助対象経費の 2 分の 1 以内

- [3]平成 25 年度 エネルギー使用合理化事業者支援事業

補助金申請窓口	一般社団法人 環境共創イニシアチブ (SII)
補助率	補助対象経費の 3 分の 1 以内
補助限度額	1 件当たり上限額は 50 億円/年度
補助対象	ヒートポンプシステム一次側 (屋内の配管・ファンコイル等二次側は除く)
補助事業対象者	事業活動を営んでいる法人及び個人事業主

7-1-② 環境省

- [1]平成 25 年度 先進的地中熱利用ヒートポンプシステム導入促進事業
(低炭素価値向上に向けた社会システム構築支援基金)

補助金申請窓口	一般社団法人 低炭素社会創出促進協会 (LCSPA)
補助事業対象者	個人、地方公共団体、民間企業等
補助限度額	300 万円/件
平成 26 年度予算案：地熱・地中熱等の利用による低炭素社会推進事業 ※クローズドループ方式を推奨	

7-1-③ 群馬県

- [1]平成 25 年度 地中熱利用システム導入モデル事業

補助金申請窓口	群馬県企画部新エネルギー推進課
補助事業対象者	地方公共団体、NPO 法人、民間企業等
補助率	補助対象経費の 2 分の 1 以内
補助限度額	300 万円/件 (総額 600 万円)

用語解説

【地中熱エネルギー】

イニシャルコスト：地中熱交換器施工やヒートポンプ等の機器や設備などを導入する際にかかるコスト（費用）のこと。設置費用・導入費用などとも呼ばれ、設置・導入後にかかる費用（ランニングコスト）などは含まない。

サーマルレスポンステスト(熱応答試験、TRT)：実際の地中熱交換器に熱媒を循環させ、循環温度や地中温度の推移によって地盤の熱特性や熱交換能力を予測する手法。

再生可能エネルギー：有限で枯渇の危険性を有する石油・石炭などの化石燃料や原子力と対比して、自然環境の中で繰り返し起こる現象から取り出すエネルギーの総称。具体的には、太陽光や太陽熱、水力（ダム式発電以外の小規模なものを言うことが多い）や風力、バイオマス（持続可能な範囲で利用する場合）、地中熱、地熱、波力、温度差などを利用した自然エネルギーと、廃棄物の焼却熱利用・発電などのリサイクルエネルギーを指す。

エネルギーの種類		発電	熱利用	燃料製造	
太陽エネルギー	太陽光	●			
	太陽熱		●		
風力エネルギー		●			
水力エネルギー（中小水力）		●			
地熱エネルギー		●	●		
地中熱エネルギー			●		
温度差エネルギー	下水		●		
	温泉熱		●		
バイオマスエネルギー	木質	林地残材	●	●	
		製材所廃材	●	●	
		建築廃材	●	●	
		公園・果樹剪定枝	●	●	
	農業	農業残渣	●	●	●
		畜産廃棄物	●	●	
リサイクルエネルギー	廃棄物	下水汚泥	●	●	
		食品残渣	●	●	
		廃食用油			●

再生可能エネルギー

COP：消費電力1kWあたりの冷却・加熱能力を表した値のことで、「Coefficient Of Performance」（成績係数）の頭文字をとって「COP」と略す。COPの大きいものほど省エネ効果は高い。

J（ジュール）とw（ワット）：ジュールは仕事・熱量・エネルギーのSI単位。1ニュートンの力が働い

て、その力の方向に1メートル動かすときの仕事が1ジュールである。また、1秒あたり1ジュールの仕事率が1ワット、GJは $J \times 10^9$

ペタジュール(PJ)：エネルギー、熱量の単位であるジュール(joule、記号：J)の $J \times 10^{15}$ 倍(1千兆倍)をペタジュールという。大きなエネルギーや熱量を表す単位である。

地中熱：おおよそ地下100mより浅い地盤に賦存する温度が数十度以下の低温の熱エネルギーと定義できる。その起源は地表面からの太陽エネルギーと地殻深部からの熱流であるが、火山地帯をのぞくと後者の影響割合は前者に比べて極めて小さい。

地中熱ポテンシャルマップ：地域の地下環境(地下水流速、地下水位、温度など)の情報を基に、潜在的な地中熱利用の可能性(=地中熱ポテンシャル)が高い地域(地中熱利用に適した地域)、低い地域を示した地図。地中熱ポテンシャルマップとは言えないが、群馬県庁HP内のマッピングぐんま(地盤情報)では、地中熱利用の促進を目的として整備された基礎データを現在公開している。

地熱：広くは地球内部に保有される熱の意味に用いられるが、一般には火山や温泉などに由来する発電可能な高温熱をいう。

熱移流：静止している媒体中を熱伝導というのに対して、媒体そのものが動いて熱が移動することをいう。比熱が最も高い地下水を直接利用するオープンループ方式地中熱利用システムは、クローズドループ方式に比較して費用対効果は高い。

熱伝導率・有効熱伝導率：熱移流に対して、静止している媒体中を高温側から低温側に熱が移動する現象を熱伝導という。熱伝導による熱フラックス(単位時間に単位断面積を通過する熱量)は温度勾配に比例し(フーリエの法則)、その比例係数を熱伝導率という。土や岩石の熱伝導率はその構成成分(固相、液相、気相)の体積割合に依存し、体積含水率の増加に伴って大きくなる。不飽和状態では、気相中で潜熱輸送による熱移動が生じるため、見かけ上熱伝導率が大きくなる。潜熱輸送を含めた場合、有効熱伝導率(見かけの熱伝導率)といい、これは温度にも依存する。

ヒートポンプ：「熱を汲み上げる」という意味で、「熱を移動させること」によって熱を取り出して利用するしくみのこと。物質は液体から気体に「気化」する際に周囲から熱を奪い、気体から液体に「凝固」する際には周囲に放熱する。この自然現象を利用して空気熱を効率よく汲み上げ、加熱・冷却することでエネルギーを効率的に利用するシステム。

ヒートアイランド現象：都市部によく発生する局所的な高温の地域のこと。等温線の形状が、海に浮かぶ島の形に似ている。都市部では、木々が少なく、地面がアスファルトに覆われており、エネルギー使用量が多いことなどが原因となっている。ヒートアイランド現象の影響として、大気汚染物質濃度の上昇、生態系のバランスがくずれなどが挙げられる。

比熱：圧力または体積一定の条件で単位質量の物質を単位温度上昇させるのに必要な熱容量。単位は $J/(kg \cdot K)$ など。圧力一定条件のときの比熱を定圧比熱、体積一定条件のときの比熱を定積比熱という。

ランニングコスト：設備や機器などを運用する際にかかる費用のこと。対義語はイニシャルコスト。例えばある設備を導入した際の電気代や消耗する部品のメンテナンス費用などが代表的。

【地質・地下水】

火砕岩：火山噴火にともない噴出した火山灰や火山岩片などが堆積した風成の堆積岩。

山麓堆積物：溶岩・火砕岩が雨や川の営力や重力によって二次的に移動した堆積物。

帯水層：地表面より下にあり利活用可能な水が飽和している粗粒な砂・礫などで構成される地層、地下水の存在状況によって不圧帯水層（家庭の井戸等）と被圧帯水層（大規模な工場等）がある。

地下水還元：揚水利用した地下水を地下に戻すことで、同じ帯水層に戻す方式と、別の帯水層に戻す方式がある。信州大学工学部のオープンループ方式地中熱システムでは、水温が違う帯水層を夏期と冬期で揚水と還元を交互にしている。

透水係数：帯水層を地下水が透過する速度で、一般に礫や砂では透水係数は大きく、粘土ではきわめて小さい。地下水の実流速は地下水面の勾配や帯水層の傾斜によって決まる。

表面水：河川や湖・池・沼・ため池など陸上にある水の総称で、河川に限って表流水という。

溶岩：噴火して流れ出したマグマが固まった火山岩。

揚水試験：井戸の安定的な生産能力（揚水能力）を見る試験。

モニタリング：地下水の状況（水位、水質、水温、地下水流向・流速）を経時的に観測することをいう。一般に“モニタリング”という言葉を用いる場合には、地下水情報を単に取得する作業という意味のみならず、取得したデータに基づいて地下水の客観状況を把握し、状況をコントロールしていくための対策立案を考えることを背景にしている場合が多い。

参考引用資料

- 平成 22 年度群馬県緑の分権改革推進事業（地中熱利用）調査等業務報告書（群馬県、2011）
- 地中熱利用促進地域交流2011群馬（特定非営利活動法人北関東産官学研究会・特定非営利法人地中熱利用促進協会、2011）
- 地中熱の利用（特定非営利活動法人地中熱利用促進協会、2012）
- 平成24年度群馬県地中熱利用システム導入モデル事業「地下水の移流を活用した地熱利用冷暖房機の実用実証事業」（群馬県、2013）
- 平成24年度北関東産官学研究会共同研究事業第1種「地中熱伝導と地下水熱移流を相乗利用する中層地中熱交換の研究開発と製品化」（特定非営利活動法人北関東産官学研究会、2013）
- 地中熱ヒートポンプシステム（環境省、2013）
- 地中熱利用ヒートポンプの基本がわかる本（オーム社、2013）
- 第3回全国地中熱利用促進地域交流 2014 山梨「地中熱利用国の施策と地域活性化」（山梨県地中熱利用促進協議会・特定非営利活動法人地中熱利用促進協会、2014）
- 群馬大学理工学部平成 13 年度卒業論文「吉岡町における地中熱利用の普及」（田島尚哉、2014）