

地中熱利用にあたってのガイドライン

環境省水・大気環境局

はじめに

我が国では、あらゆる分野での省エネルギーとエネルギーの有効利用を推進するとともに、再生可能エネルギーの導入が今後のエネルギー利用の柱の一つとして注目を集めています。太陽光や風力と並び大気中の熱その他自然界に存在する熱（地中熱など）が再生可能エネルギー源と定義され、東日本大震災で生じた原子力発電所の事故を契機に、その役割は一層高まっています。

政府が平成 23 年 11 月にとりまとめた「エネルギー需給安定行動計画」の中の「エネルギー規制・制度改革アクションプラン」には、熱エネルギーの有効利用を推進するため、地下水熱等の未利用エネルギーの活用ルールの整備が位置づけられました。

地中熱を利用したヒートポンプ自体は、空気熱利用に用いるヒートポンプ同様に確立された技術です。地中熱ヒートポンプは、再生可能エネルギー源の中でも、「太陽光や風力と異なり天候や地域に左右されない安定性」、「空気熱利用と異なり大気中へ排熱を出さない」、「省エネルギーでCO₂の排出量を削減できる」などのメリットを有し、ヒートアイランド現象の緩和や地球温暖化対策への効果が期待されています。また、高い省エネルギー性や環境負荷低減効果から、海外では普及が進んでおり、国内での認知度向上や普及促進を一層図っていく必要があります。

一方、我が国は、“環境資源を利用する際は長期的な負荷蓄積に伴う潜在的风险に留意すべき”との教訓を、地下水過剰揚水に伴う地盤沈下から学びました。

地中熱利用では、適切な調査・設計・施工及び運転管理が行われていることで、これまで問題は生じていませんが、普及が進みつつあるクローズドループ方式の場合、年間設置件数が 50 台を超えたのはここ 5 年ほどのことで、その累計設置件数は 500 台弱であり、長期間利用したときの環境影響等については未解明の部分が多いと言えます。また、これまで経験していないような大規模な施設への導入に伴う地盤環境への影響等については、その実態は把握されていないのが現状です。不適切な設計あるいは不適切な運転を行うと地盤中に熱負荷が蓄積し、熱利用効率の低下、更には、地下水・地盤環境に影響を及ぼす可能性があり、そのような影響の定量評価や因果関係の研究が進められています。

そこで本ガイドラインでは、環境共有資源である地下水・地盤環境の持続可能な利用を行うと共に地中熱利用の普及促進を図ることを目的に、現在得られている知見・研究に基づいて、地中熱利用ヒートポンプのメリットとともに、想定される地下水・地盤環境に影響を及ぼす可能性と技術の導入における留意点を提示し、熱利用効率の維持や地下水・地盤環境の保全に資するモニタリング方法等についての基本的な考え方を整理しました。

本ガイドラインが、今後の地中熱利用の普及・拡大によって得られる地下水・地盤環境への潜在的な影響の定量的な評価、コスト低減技術等の新たな知見や情報に基づいて、適宜、更新・改訂されることをご理解の上で利用され、地中熱利用普及の一助となることを期待しています。

最後に、本ガイドラインの作成にあたっては、クールシティ推進事業検討会（座長：田中 正 筑波大学名誉教授）の委員の方々からご指導・ご助言をいただき、ここに改めてお礼申し上げます。

目 次

序 ～本ガイドラインの適用範囲と構成～	1
1. 地中熱利用ヒートポンプの概要	2
1.1 地中熱利用ヒートポンプの仕組み	2
1.2 主な地中熱利用方式	3
1.3 用途	4
2. 地中熱利用ヒートポンプによる省エネ効果等および事例紹介	6
2.1 省エネルギー効果	6
2.2 CO ₂ 排出削減効果	10
2.3 省コスト効果	11
2.4 ヒートアイランド現象の緩和効果	15
3. 地中熱利用ヒートポンプの導入・利用に関する配慮事項	16
3.1 地中熱利用ヒートポンプの導入条件	16
3.2 地中熱利用ヒートポンプの導入および利用における留意点	20
3.3 地中熱利用ヒートポンプにかかるコスト	29
4. 地下水・地盤環境への影響項目とモニタリング方法	32
4.1 どのような影響が考えられるか	34
4.2 モニタリング項目と方法	37
4.3 モニタリングの実例	52
5. モニタリングデータの将来的な活用について	54
参考資料	

序 ～本ガイドラインの適用範囲と構成～

(1) 適用範囲

本ガイドラインは、地中熱利用に関する手法のうち、地中熱利用ヒートポンプを用いた手法を対象に解説しています。地中熱利用ヒートポンプ以外の方式（例：地下水散水方式、空気循環方式、地熱利用等）は、本ガイドラインでは対象外としています。このガイドラインは、まとまった単位で地中熱利用ヒートポンプの導入を予定している事業者を対象として想定しています（個別住宅への単体設置は対象としていません）。

(2) ガイドラインの構成

1 章、2 章では地中熱利用ヒートポンプの技術やメリットの概要を記載しています。

3 章以降で、地下水・地盤環境への影響を生じることなく普及促進を図る観点から、地中熱利用ヒートポンプの方式選定や技術の導入における留意点、可能性のある地下水・地盤環境への影響項目とモニタリング方法について記載しています。

各章の概要は以下の通りです。

1. 地中熱利用ヒートポンプの概要

地中熱利用ヒートポンプの仕組み、主な地中熱利用方式、地中熱の利用用途についての概要を記載しています。

2. 地中熱利用ヒートポンプによる省エネ効果等および事例紹介

従来の冷暖房や給湯などの方式と比べた場合の省エネ効果、CO₂排出削減効果、省コスト効果、ヒートアイランド現象の緩和効果について記載しています。効果は、環境省が実施した実証事業やその他の事例・試算例を踏まえ、現状の目安として示したものです。

3. 地中熱利用ヒートポンプの導入・利用に関する配慮事項

導入場所での条件に適した地中熱利用ヒートポンプの利用方式の考え方、導入・利用における留意点、チェック・モニタリング項目等について記載しています。

4. 地下水・地盤環境への影響項目とモニタリング方法

地中熱利用ヒートポンプを用いることにより周辺の地下水・地盤環境に及ぼす可能性のある影響項目、システムそのものや周辺環境をモニタリングする項目と方法、実証事業におけるモニタリングの実例等を記載しています。

5. モニタリングデータの将来的な活用について

今後の地中熱利用ヒートポンプ技術の普及・発展のため、モニタリングデータを適切に蓄積・管理していくことの必要性を記載しています。

1. 地中熱利用ヒートポンプの概要

1.1 地中熱利用ヒートポンプの仕組み

(1) ヒートポンプの「熱を移動する」仕組み

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）に伝える装置です。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ます。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異なりますが、技術的には同じものです。図示した以外に、蒸発器または凝縮器の部分を地中に配管して直接熱交換を行う直膨式のヒートポンプもあります。

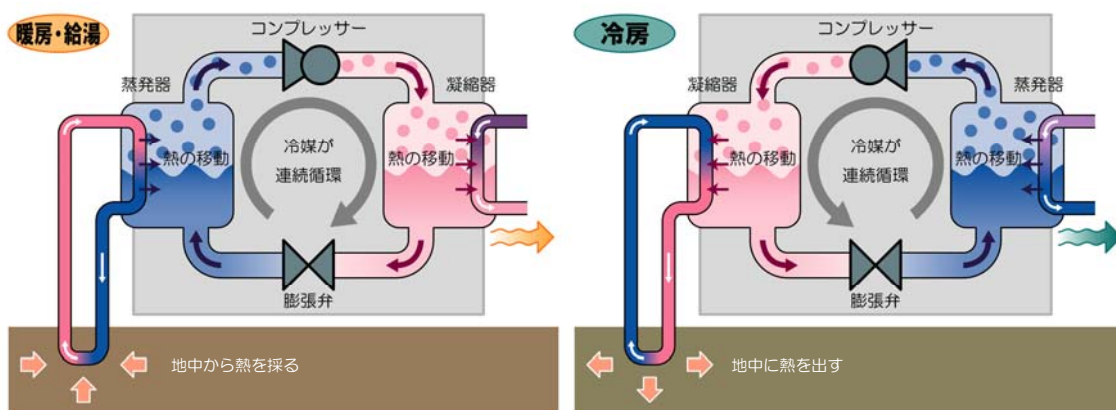


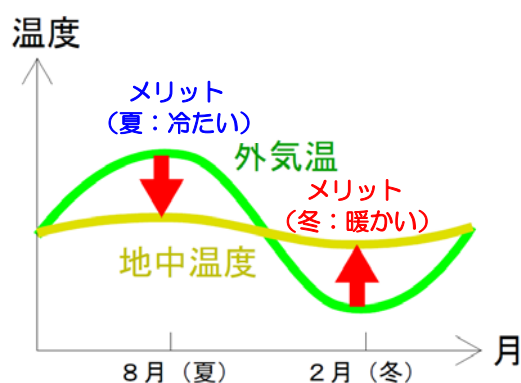
図 1-1 ヒートポンプで地中と熱をやりとりする仕組み

(2) 地中熱の利用

地中の温度は外気温に比べると年間を通して変化が小さいため、夏は冷熱源、冬は温熱源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、空気よりも熱容量の大きな地下水や地盤と熱をやりとりすることにより、空気を熱源とするエアコンや冷蔵庫よりも効率的（10～25%程度）にエネルギーを利用できます（図 2-1）。

また、空気を熱源とするエアコンの冷房とは異なり、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貢献できます。



1.2 主な地中熱利用方式

地中熱利用ヒートポンプ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ます。なお、地中熱利用方式にはヒートポンプを用いない方式もあります。

(1) クローズドループ方式

熱媒体を地中に循環させて地下水や地盤と熱のやり取りを行います。

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。

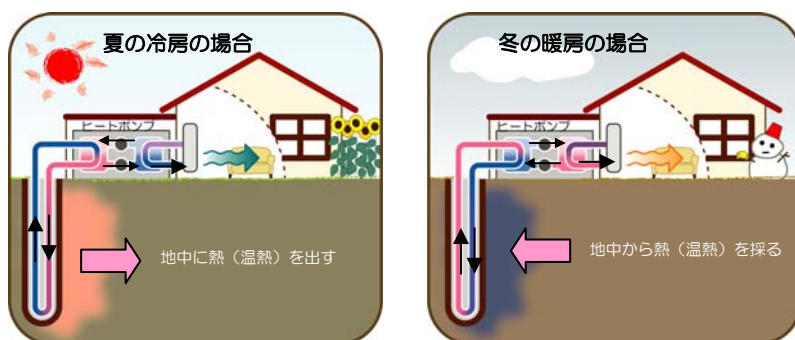


図 1-2 クローズドループ方式の概要図

(2) オープンループ方式

揚水した地下水と熱をやり取りし、地下水を地中に戻す（還元する）または地上で放流します。

熱容量が大きい地下水を利用できることから熱効率は高い反面、地中への地下水還元が困難な場合や、揚水規制のある地域では採用できない場合があります。

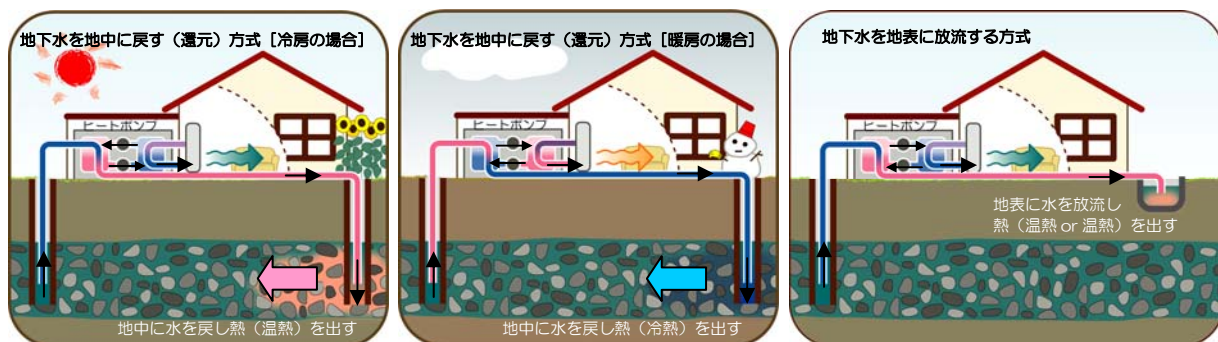


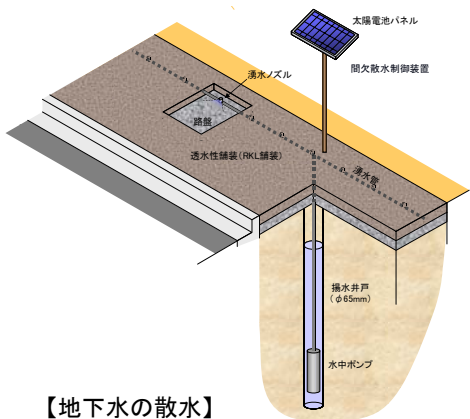
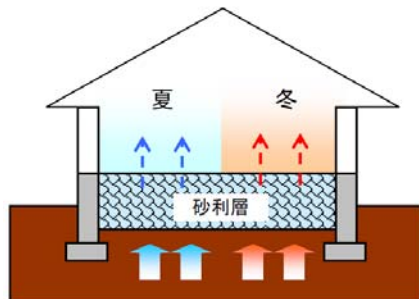
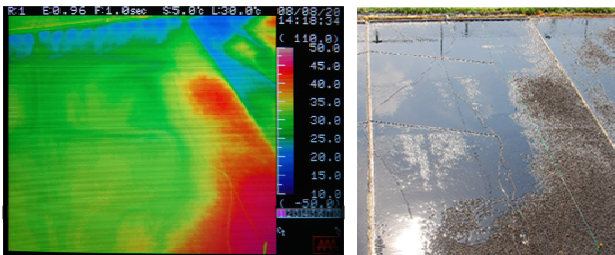
図 1-3 オープンループ方式の概要図

(3) ヒートポンプを用いない方式

舗装面や建物壁面への地下水の散水や、建築物における土間床（熱伝導）なども地中熱利用のひとつの形式です。また、「地中熱利用」に似た言葉に「地熱利用」がありますが、「地熱利用」は地球内部から発生するエネルギーを、熱水または水蒸気の形で取り出して利用するものです。本ガイドラインでは、ヒートポンプを用いないこれらの方式は、対象外としています。

【地下水の散水】
冬は気温よりも暖かい地下水で雪を溶かし、夏は気温よりも冷たい地下水で路面を冷やします。

【熱伝導】
床下に敷き詰めた砂利層に地中熱を蓄熱し、床上の温度を夏は冷やし、冬は暖めます。



【地下水の散水】

図 1-4 ヒートポンプを用いない方式の一例

1.3 用途

地中熱は、国内では主に住宅・事務所・公共施設等での冷暖房・給湯や道路融雪に利用されていますが、その他に工場、学校、店舗、農業施設（温室など）等にも幅広く利用されています（図 1-5）。

海外では日本に比べて地中熱利用ヒートポンプ普及が進んでいますが、国内の設置件数も近年急速に増加しています（図 1-6）。

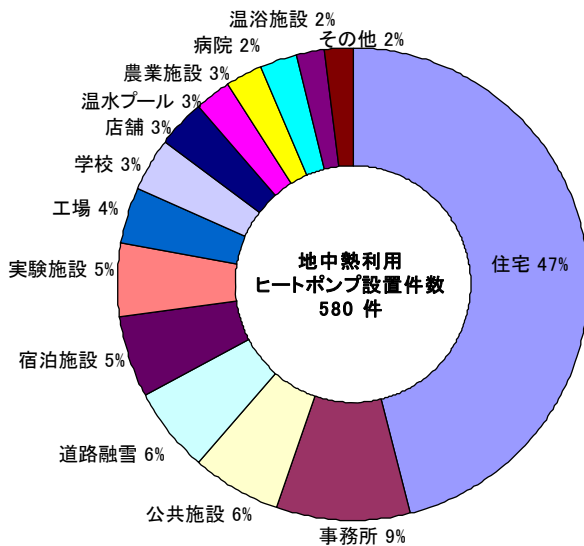


図 1-5 国内でのヒートポンプを用いた地中熱の利用用途¹

¹ 環境省パンフレット「地下水・地中熱利用施設の概況について」平成 22 年 12 月，及びその元データより作成

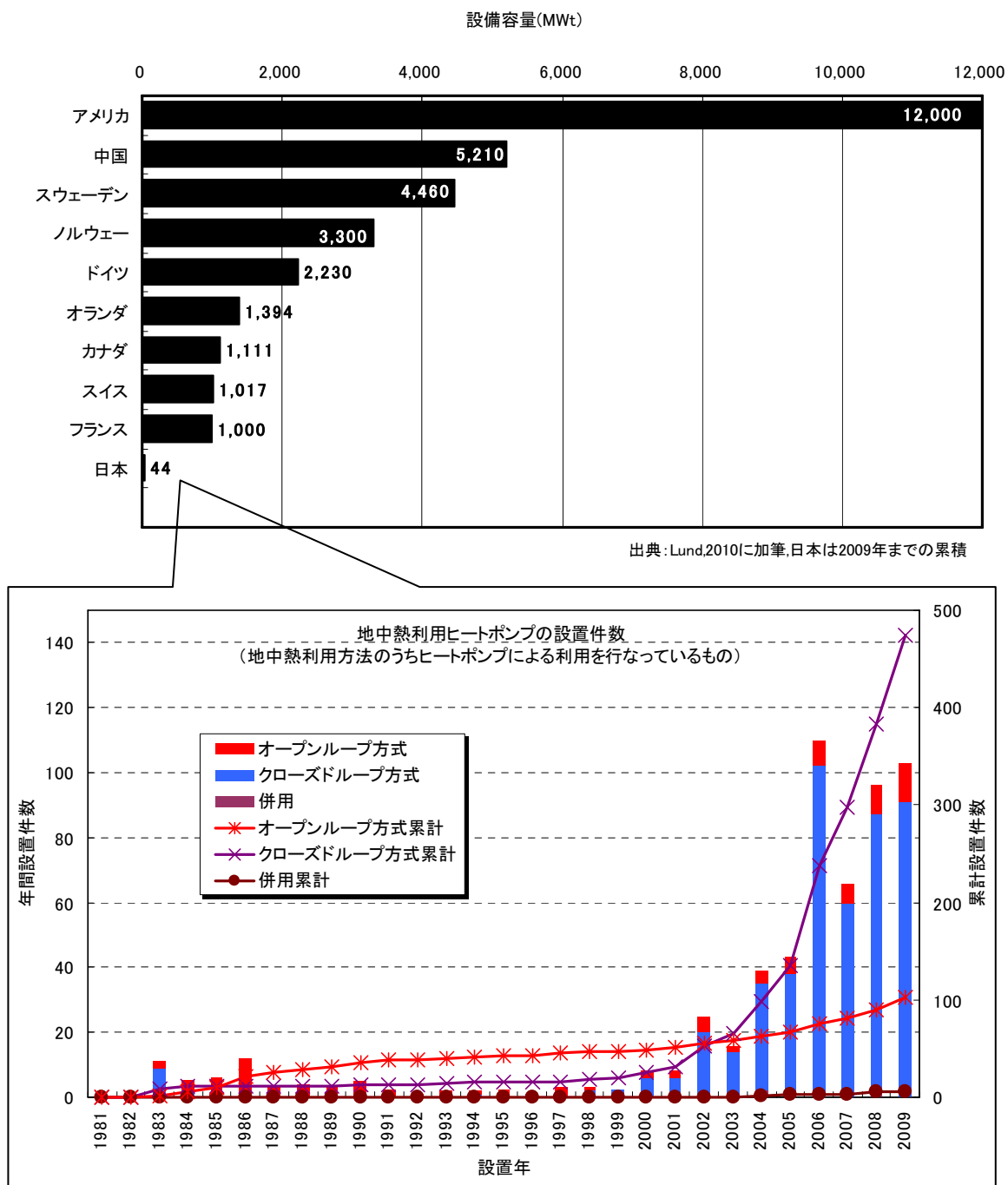


図 1-6 地中熱利用ヒートポンプ設備容量 (国内外) 及び国内設置件数

(下段の国内の内訳は環境省資料。上段の海外との比較グラフは普及したヒートポンプの設備容量で表現したものであり、設置件数とは異なる。)

2. 地中熱利用ヒートポンプによる省エネ効果等および事例紹介

2.1 省エネルギー効果

地中熱利用ヒートポンプを導入すると、冷暖房などの熱を交換するシステムが高効率化し、省エネルギーの効果が得られます。これは、地中熱の温度が通年で安定しており、地中熱と外気との夏冬の温度差があること、また、熱源温度が同じ場合でも、同じ容積の空気に対して水は約 3500 倍の熱を蓄える、つまり小さな容量でより多くの熱を蓄えること等によります。このことから、地中熱ヒートポンプは熱効率が高く、従来のエアコン等で用いられてきた空気熱源ヒートポンプと同等以上の成績係数（COP）²が期待できます。

例えば、地中熱利用ヒートポンプは空気熱源ヒートポンプに比較して消費電力を 1/3 程度削減できると言われており、東京電力管内のピーク時間帯において全エアコンの消費電力 1,000 万 kW のうち 330 万 kW を節約できます³。また、排熱を外気に放出しないためヒートアイランド現象の緩和効果も期待されます³。これにより仮に都内のオフィスビル街区の気温を 1℃下げることができれば 170 万 kW の節約ができ、両者の効果によって夏のピーク負荷を 500 万 kW 低減させることが可能と試算されています³。

また、環境省が平成 18～22 年度に実施した「クールシティ推進事業（地下水等活用型・地中熱利用型）」（以下「実証事業」という。）のうち、クローズドループ方式（温室利用を除く）では従来の冷暖房方式に比べて約 10～30%程度、オープンループ方式では、事例は少ないものの 20～30%程度の省エネルギー効果がありました（図 2-1、表 2-1）。本ガイドラインでは、一次エネルギー削減効果を省エネルギー効果としています。

施設規模（冷暖房床面積またはヒートポンプ出力）と省エネルギー効果の対応をみると、施設規模に関わらず、空気熱源ヒートポンプに対して 10～25%、灯油ボイラー等に対して 30%程度の効果が期待されるとの結果が得られています（図 2-1）。

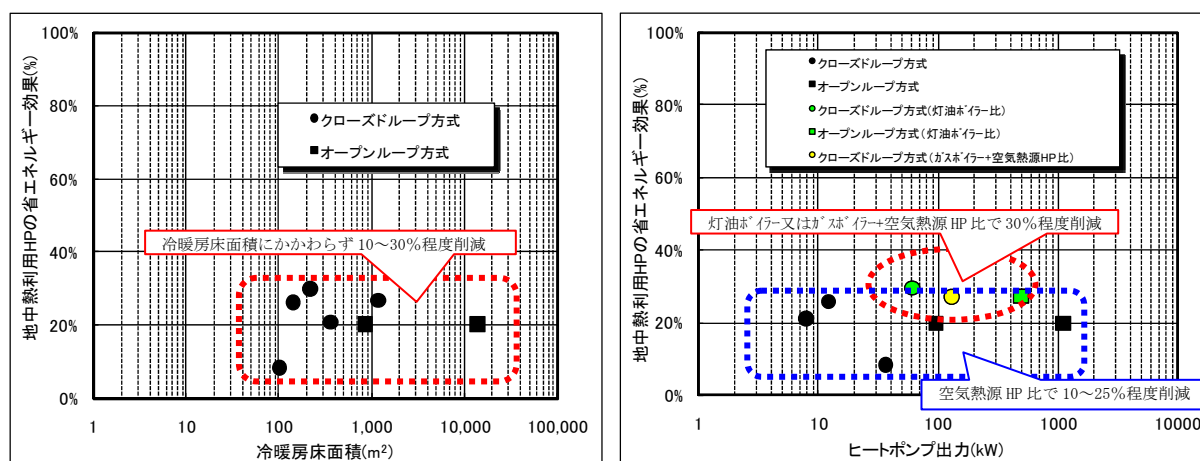


図 2-1 省エネルギー効果の目安

² 成績係数 (Coefficient Of Performance) : エアコン、冷凍機などのエネルギー消費効率を表す指標の一つで、消費エネルギー (kW) に対する施される冷房能力 (kW)、または暖房能力 (kW) の比率として計算される無次元の数値。この数値が大きければ、定格条件におけるエネルギー消費効率がよいと言える。(公益社団法人 日本冷凍空調学会ホームページより)

³ 日本地熱学会地中熱利用技術専門部会、電力ピーク負荷低減のための地中熱利用ヒートポンプの導入促進の提言、平成 23 年 4 月 6 日、日本地熱学会、<http://www.soc.nii.ac.jp/grsj/proposal/proposal110405b.html>、(参照 2012-02-08)

表 2-1 実証事業等での省エネルギー効果事例（太字の事業名は実証事業）

種別	事業名等(地域)	利用形態	冷房	暖房	給湯	他	HP ^{注3} 出力 ^{注4} (kW)	冷暖房等面積 (m ²)	省エネ効果	CO ₂ 削減量 ^{注5} (t-CO ₂ /年)
クローズドループ	地中熱利用冷暖房システム稼働に伴う地盤環境・地下環境への影響評価(福岡県福岡市)	住宅	●	●			12	140	26%	—
	地中放熱による土壌内生態系への影響調査(青森県弘前市)	融雪				●	8	370 (道路)	21% (2.86GJ 削減)	0.3 (21%削減)
	岩手県環境保健研究センター地中熱利用ヒートポンプ冷暖房システム実証事業(岩手県盛岡市)	オフィス	●	●			62	222	29.7% (62.7GJ 削減)	7.6 (52.7%削減)
	東北大学青葉山新キャンパスへの地中熱利用ヒートポンプシステム導入の原位置実証事業(宮城県仙台市)	オフィス	●	●			4	145	—	6.1
	大規模の垂直型地中熱交換器群をもつ地中熱ヒートポンプ冷暖房システムにおける地盤温度環境変化の評価業務(北海道赤平市)	温室	●	●			648	5,400 (温室)	—	270 (28%削減)
	大阪府立国際児童文学館地中熱ヒートポンプシステム実証事業(大阪府吹田市)	オフィス	●	●			21.7～ 36.2	約 100	8.2% (4.4GJ 削減)	0.3 (約 8.2%削減)
	地下水欠如地域における地中熱ヒートポンプシステム実証事業(神奈川県横浜市)	プール	●	●		●	131	1,200	27% (310GJ 削減)	17.05 (31.5%削減)
	地中熱利用ヒートポンプシステム過負荷運転実証試験(栃木県芳賀町)	オフィス	●	●			2,4,12	90	—	—
	都心での地中熱利用 ^{注1} (東京都千代田区)	オフィス	●	●			63	303	49% 冷房時は 69%	—
	戸建て住宅の実施例 ^{注2} (北海道富良野市)	住宅		●			6.2	129	約 30% (約 10GJ 削減)	1.9 (50%削減)
オープンループ	大型施設での地下水揚水型冷房機器の長期稼働に伴う地下水・地盤環境への影響評価事業(岐阜県岐阜市)	オフィス	●				1,124	14,000	20～50% (26.0GJ 削減)	26 (20%削減)
	立科温泉 権現の湯 地下水利用ヒートポンプシステム実証事業(長野県立科町)	温泉施設		●	●	●	165.6× 2	—	27.4% (1,263.4GJ 削減)	141.8 (45.6%削減)
	帯水層蓄熱による地下水利用ヒートポンプ冷暖房システム実証事業(山形県山形市)	オフィス	●	●	●	●	90～ 100	840	20% (126GJ 削減)	6.1 (20%削減)

注 1：出典：応用地質，第 51 巻，第 6 号，P. 265-272，2011

注 2：出典：北海道大学地中熱利用システム工学講座 著，地中熱ヒートポンプシステム，オーム社，平成 19 年 9 月，p. 122

注 3：ヒートポンプの略記

注 4：冷房、暖房、給湯、加熱で出力が異なる場合は、出力の大きい方を記載した。

注 5：CO₂削減量は以下の CO₂排出量原単位を用いて算定している。

(クローズドループ)

青森県弘前市での実証事業：0.378 kg-CO₂/kWh岩手県盛岡市での実証事業：0.41 kg-CO₂/kWh、2.5 t-CO₂/灯油消費量(kL)宮城県仙台市での実証事業：0.44 kg-CO₂/kWh北海道赤平市の実証事業：0.517 kg-CO₂/kWh（北海道電力 2007 年度実績より）、2.489 t-CO₂/灯油消費量(kL)大阪府吹田市の実証事業：0.555 kg-CO₂/kWh（地球温暖化対策推進法施行令より）神奈川県横浜市での実証事業：0.425 kg-CO₂/kWh、2.08 kg-CO₂/都市ガス消費量(m³)

(オープンループ)

岐阜県岐阜市の実証事業：過年度報告書及び検討会資料には未記載

長野県立科町の実証事業：0.41 kg-CO₂/kWh、2.5 t-CO₂/灯油消費量(kL)山形県山形市での実証事業：0.469 kg-CO₂/kWh（東北電力の実排出係数(2008 年度実績)より）、2.49 t-CO₂/灯油消費量(kL)、2.08 t-CO₂/ガス消費量(1,000Nm³)

更に利用形態別にみたところ、例えば家庭でのエネルギー消費は、1世帯あたりで約 39 G J（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 22G J）を占めています。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 2～7G J）程度、全体では 6～17%程度削減できると期待できます。

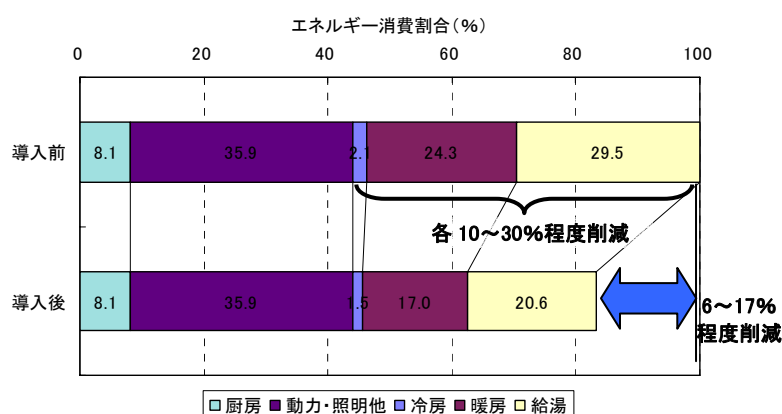


図 2-2 家庭における地中熱利用ヒートポンプ導入による省エネ効果の試算例⁴

一方、オフィスビルでのエネルギー消費は、冷温水機などの熱源（31.1%）、空調機などの熱搬送（12%）、給湯（0.8%）でビル全体の約 44%を占めています⁵。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、エネルギー消費を 4～13%程度低減できると期待できます（図 2-3）。

また、業務用のエネルギー消費を、暖房、冷房、給湯、厨房、動力・照明の 5 用途別に延べ床面積当たりのエネルギー消費原単位でみた場合、冷暖房・給湯は空調機器の省エネ化やビルの断熱対策が進んだことなどから減少傾向ですが、それでも全体の 42%を占めています（図 2-4）。エネルギー消費原単位の合計としては横ばい傾向にあるため、さらなる省エネ化には動力・照明の省エネ化はもちろん必要ですが、建物の断熱強化や冷暖房効率の向上なども必要です。冷暖房・給湯を従来方式から地中熱ヒートポンプに切り替えれば、冷暖房・給湯の消費エネルギーを導入前の 10～30%程度削減して、業務用のエネルギー消費原単位全体に占める割合を 29～38%程度に低減できると期待できます。

⁴ （財）日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧」、資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」をもとに、世帯当たりの消費エネルギー（2008 年度）に対する地中熱ヒートポンプの省エネ効果（対象：冷房、暖房、給湯）を従来比 30%削減として作成

⁵ （財）省エネルギーセンター「オフィスビルの省エネルギー」より、レントラブル比（一般オフィス面積／当該オフィスビルの延床面積）60%以上（熱源有）のテナントビルの場合のエネルギー消費の比率

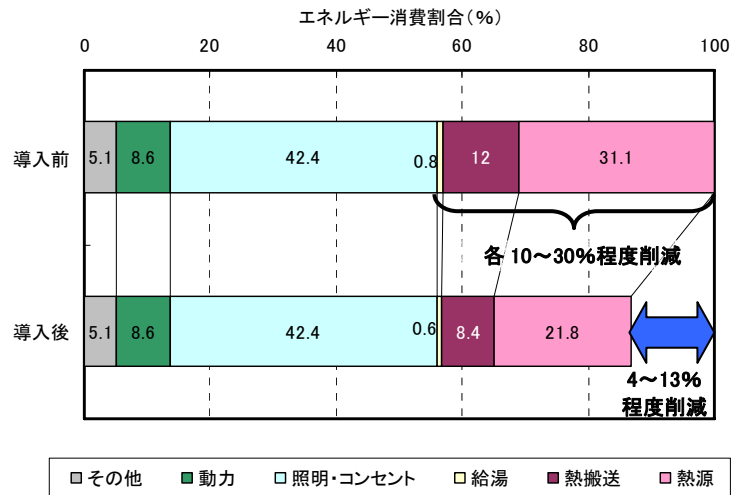


図 2-3 オフィスビルにおける地中熱利用ヒートポンプ導入による省エネ効果の試算例⁶

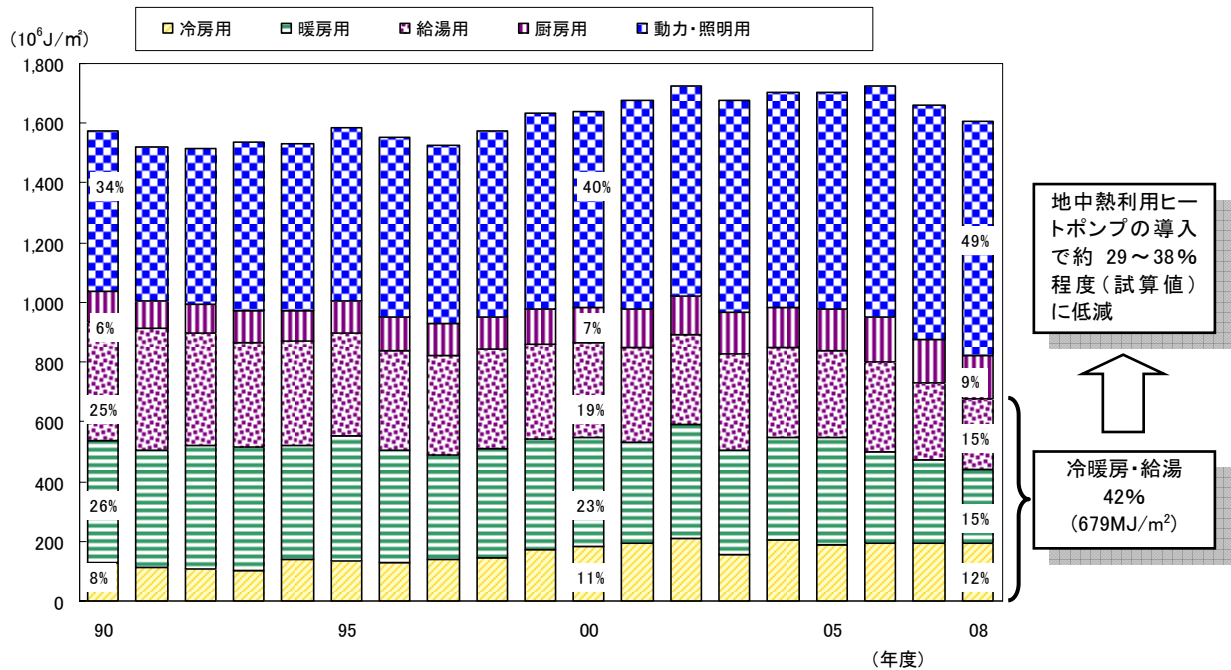


図 2-4 業務用エネルギー消費原単位の推移⁷

⁶ (財)省エネルギーセンター、「オフィスビルの省エネルギー」より。オフィスビルの用途別エネルギー消費割合に、地中熱ヒートポンプの省エネ効果(対象:熱源、熱搬送、給湯)を従来比 30%削減として作成

⁷ 経済産業省「エネルギー白書 2010」第2部 第1章 第2節より

2.2 CO₂排出削減効果

石油やガスを用いた暖房や給湯と比べた場合、地中熱利用ヒートポンプは電力のみで稼働するため、地球温暖化の原因となるCO₂を直接排出しないこと、空気熱源ヒートポンプよりも高効率で消費電力が少ないことから、温室効果ガス（CO₂）の排出削減にも寄与します。

実証事業の例で施設規模（冷暖房床面積）に対するCO₂削減効果の対応をみると、施設規模に関わらず、空気熱源ヒートポンプに対しては20%程度、灯油ボイラー等に対しては30～55%程度のCO₂削減効果が期待されるとの結果が得られています（図 2-6）。

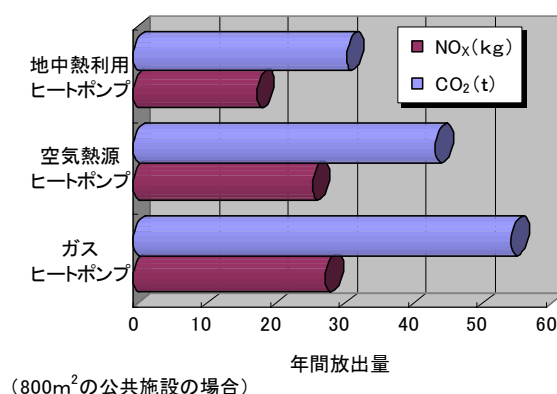


図 2-5 温室効果ガス排出削減効果の例

（出典：地中熱利用促進協会パンフレット）

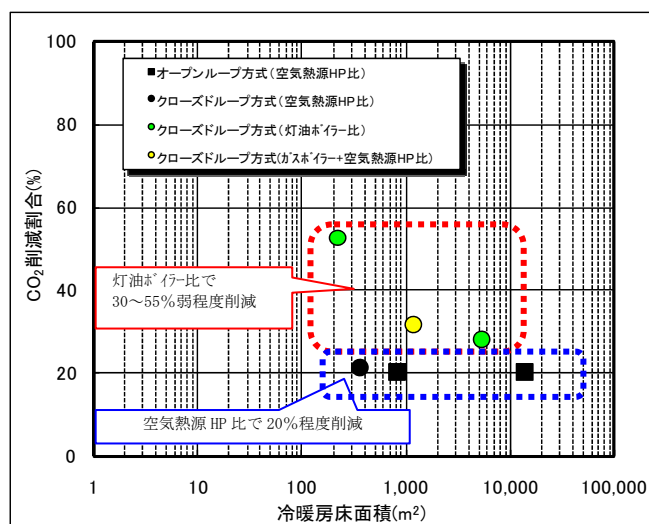


図 2-6 実証事業に基づくCO₂削減効果の目安

2.3 省コスト効果

国内では、近年急速に地中熱利用ヒートポンプの普及が進み始めた段階ですが、現状においても、適切な設計・運用や助成制度の活用により省コスト効果が得られる例があり、今後更に効果の増大が期待されています。

省コスト効果は地中熱利用ヒートポンプの普及に伴うコストダウンによって増大する可能性があり、また、現地条件による幅も大きく一概に単価等を議論できないため、ここでは参考として「オフィス等の冷暖房・給湯」、「戸建住宅の冷暖房・給湯」、「道路融雪」、「ハウス農業(温室)」、「温水プール」における省コスト効果の試算例を紹介します。

ここでは導入による経済的なメリットとして省コスト効果の試算例を紹介していますが、導入に際しての概算費用を把握するために、P. 29 の「3.3 地中熱利用ヒートポンプにかかるコスト」で、ヒートポンプの出力 kW あたりのイニシャルコストの実績や平成 23 年度時点での助成制度を紹介しています。

＜オフィス等の冷暖房・給湯＞

冷暖房面積約 920m²、地中熱利用ヒートポンプ及び空気熱源ヒートポンプの出力 暖房 112.5kW、冷房 100.5kW の場合、年間の冷暖房の運転費が空気熱源ヒートポンプと比べて約 40%程度低減できるとの試算例があります⁸。

この場合、イニシャルコストと 15 年間のランニングコストを合わせても、施工方法の工夫(例：基礎杭を利用した熱交換方式など)や助成制度の活用によってイニシャルコストを低減させることにより、空気熱源ヒートポンプよりも省コストとなります。

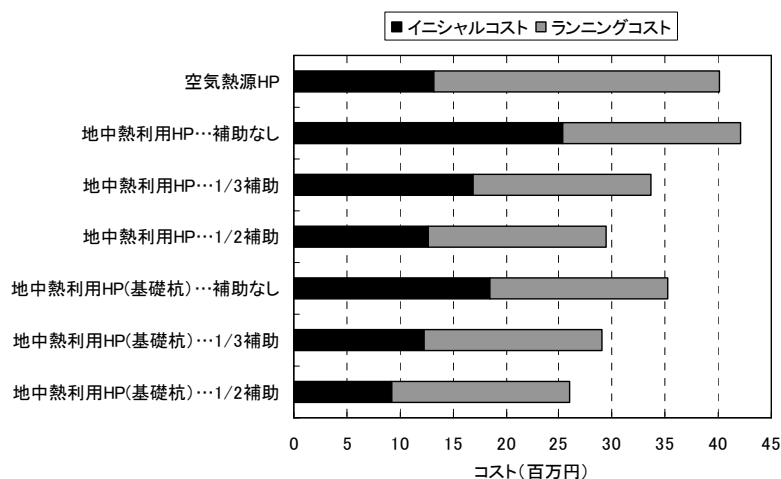


図 2-7 公共施設での冷暖房における省コスト効果の試算例⁸

また、給食センターの床暖房（約 1,300m²）に用いると、ランニングコストで LP ガスボイラーと比べて約 85%、電気と比べて約 60%、A 重油ボイラーと比べて約 45%の省コスト効果があり、イニシャルコストと 15 年間のランニングコストを合わせても、助成制度を活用すれば電気よりも安価で、A 重油ボイラーと同程度になるとの試算例もあります⁹。（図 2-8）

⁸ 青森県地中熱利用推進ビジョン、2008 年 2 月、青森県、p. 60-64

⁹ 地中熱利用融雪・暖房システム詳細ビジョン報告書、平成 19 年 3 月、倶知安町、p. 51-63

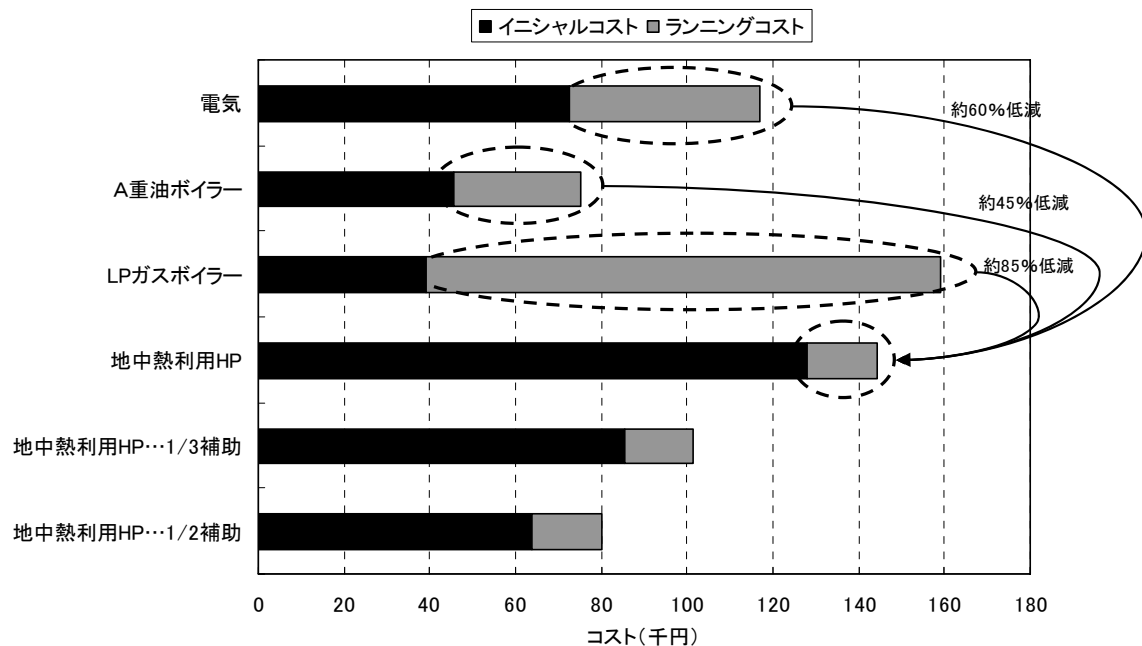


図 2-8 給食センターでの床暖房（暖房面積 約 1,300m²）における省コスト効果の試算例⁹

<戸建住宅の冷暖房・給湯>

冷暖房面積約 130m² の戸建住宅の冷暖房・給湯の場合、ランニングコストで 30～50%、イニシャルと 20 年間のランニングコストを合わせると 10%程度の省コスト効果が得られるとの試算例があります⁸。

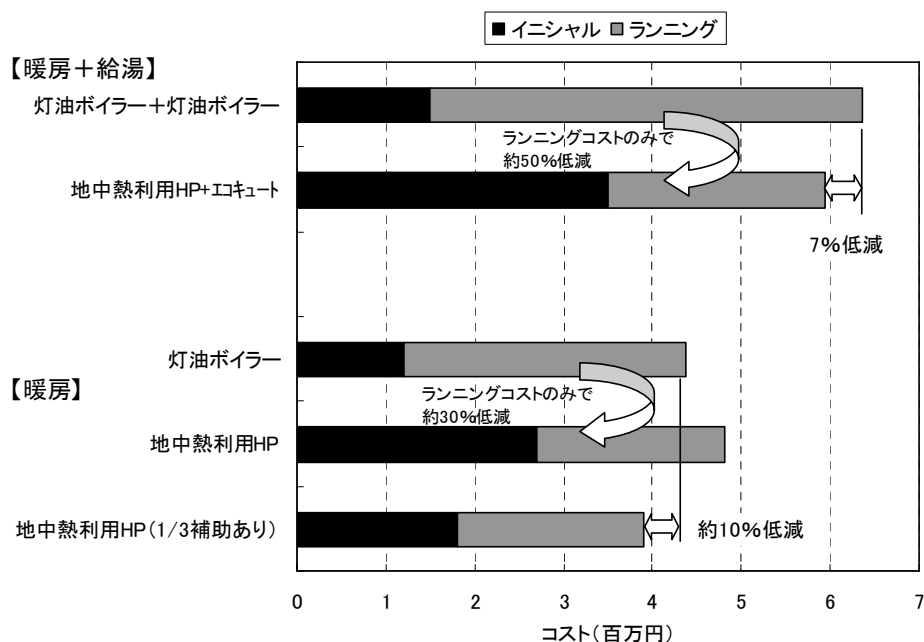


図 2-9 戸建住宅の冷暖房・給湯における省コスト効果の試算例⁸

<道路融雪>

融雪面積約 400m²程度のランニングコストでは、電熱線方式に比べて約 80%の省コストになり^{10, 11}、イニシャルコストと 20 年間のランニングコストを合わせると、電熱線方式に比べて 20%程度¹⁰、ガスボイラーに比べて 30%程度、石油ボイラーに比べると 45%程度の省コスト効果が得られるとの試算があります¹¹。

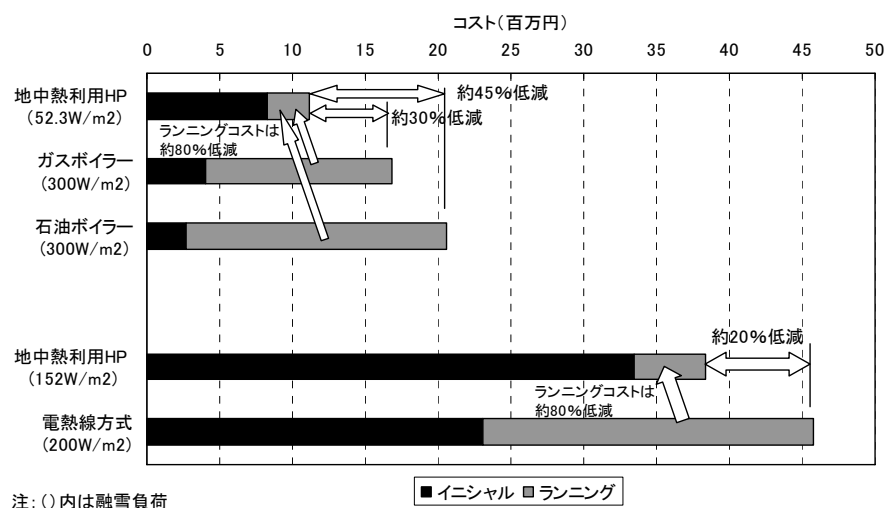


図 2-10 道路融雪の省コスト効果の試算例（融雪面積 約 400m²）

また、融雪面積 1,650m²、2,200m²（双方とも融雪負荷 300W/m²）のランニングコストでは、電熱線方式に比べては約 70%の省コストになり⁹、イニシャルコストと 20 年間のランニングコストを合わせると、イニシャルコストが高いため電熱線方式に比べると 10～20%程度コストアップするものの、助成制度の活用により 20～35%程度の省コスト効果が得られるとの試算もあります⁹。（図 2-11）

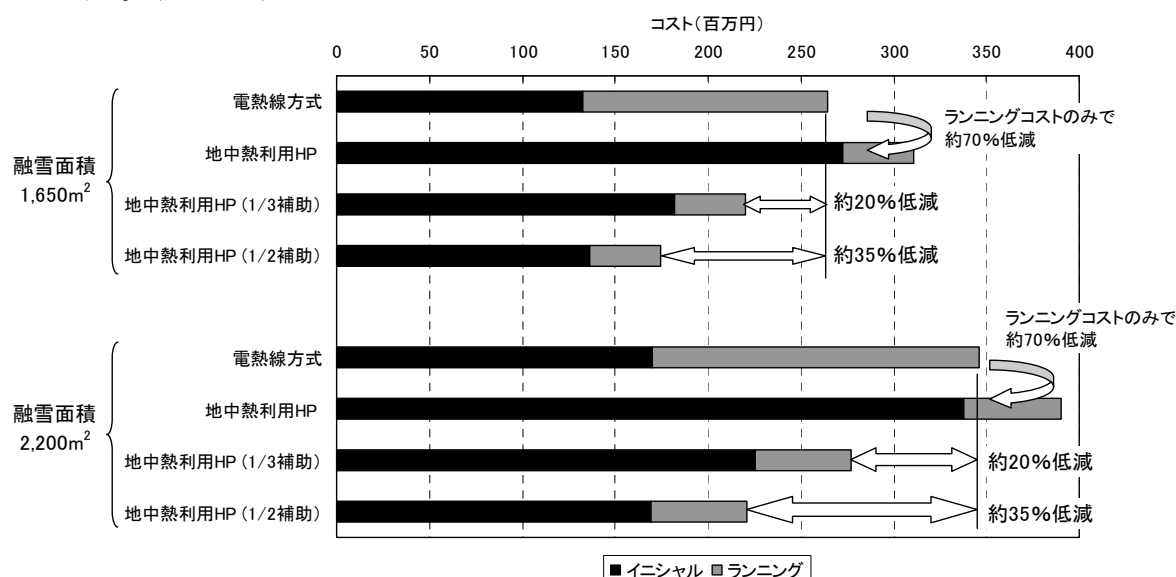


図 2-11 道路融雪の省コスト効果の試算例（融雪負荷 300W/m²）⁹

¹⁰ 青森県地中熱利用推進ビジョン、2008年2月、青森県、P.76のイニシャルとランニングのコストを用いて試算

¹¹ 省エネ・新エネマッチング会、2010年3月10日、㈱日伸テクノ提供資料のイニシャルとランニングのコストを用いて試算

<ハウス農業（温室）>

オープンループ方式の地中熱利用ヒートポンプ 152kW で、ハウス面積 990m² の暖房の年間ランニングコストを試算したところ、灯油ボイラーでの暖房に比べてランニングコストが約 79%低減するとの報告があります¹⁰。

この試算では、既設の灯油ボイラーの一部を地中熱利用ヒートポンプのシステムに切り替えるためのイニシャルコストが 26.2 百万円程度かかりますが、イニシャルコストと 20 年分のランニングコストを合わせると、既設の灯油ボイラーの 20 年分のランニングコストと比較して約 20% の省コスト効果があります¹⁰。

<温水プール>

「地下水の流動がほとんどない地域における実証事業（実施場所：神奈川県横浜市）」の結果では、25m×5 コースのプールの加温、プール室・更衣室・ロビーの暖房、遊戯室（合計 約 1,200m²）の冷暖房に、地中熱利用ヒートポンプ（暖房能力 131kW、冷房能力 116kW、プール加熱能力 175kW）または従来システム（空気熱源ヒートポンプ（暖房能力 162kW、冷房能力 160kW）＋ガスボイラー（加熱能力 186kW、燃費 19.0m³/h））を用いた場合のランニングコストを比較すると、11 ヶ月間（4/1～2/23）の電気料金とガス料金の合計と比べて約 58%の省コスト効果が得られました¹²。

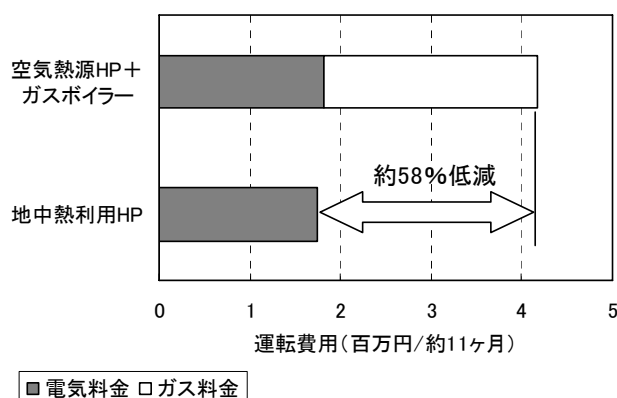


図 2-12 温水プールの場合の省コスト効果（運転費用）の試算例

¹² 平成 21 年度 地下水等活用型・地中熱利用型ヒートアイランド対策評価業務 報告書, 平成 22 年 3 月, 株式会社建設技術研究所, p. 95, 地下水欠如地域における地中熱ヒートポンプシステム実証事業のシステム運転費より

2.4 ヒートアイランド現象の緩和効果

夏期に冷房利用している実証事業の事例では、冷暖房の床面積 1m^2 当たりで $0.1\sim 0.2\text{GJ}$ （原油換算で約 $4\sim 7\text{l}$ 、電力換算で約 $28\sim 56\text{kWh}$ ）程度の人工排熱を削減できました（図 2-13）。

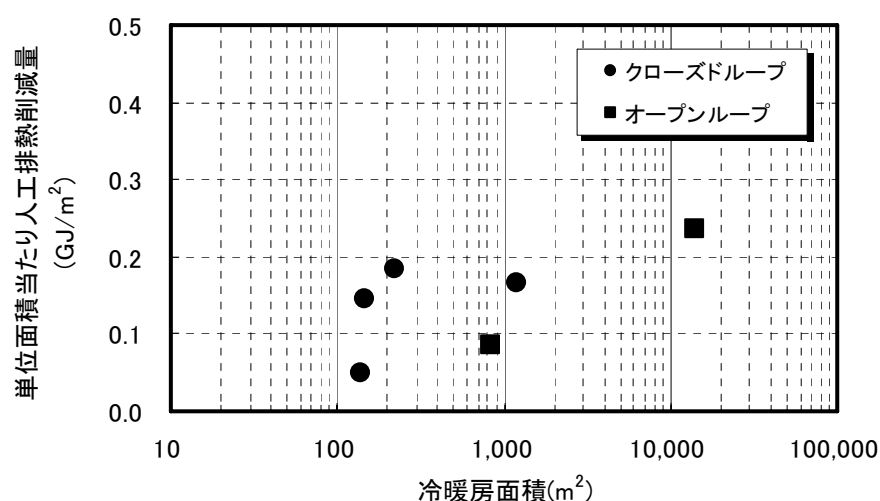


図 2-13 実証事業での人工排熱削減量（単位面積当たり）の例

地中熱利用ヒートポンプは夏には排熱を外気に放出しないため、ヒートアイランド現象の緩和が期待され、都内のオフィスビル街区を地中熱利用ヒートポンプに置き換えた場合、最高気温で 1.2°C 程度、住宅街では 0.3°C 程度の気温低減効果が期待できるとの試算があります¹³。

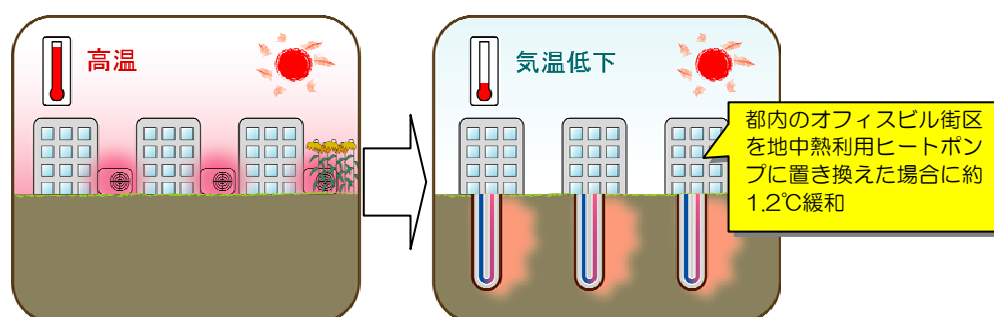


図 2-14 ヒートアイランド現象の緩和効果の試算例

他の方法で気温を 1°C 下げるには、例えば、打ち水等の散水の場合は $6\text{mm}/\text{日} \cdot \text{m}^2$ の水が必要と試算されています¹⁴。 $10,000\text{m}^2$ （ 100m 四方）の街区でも 1 日 60m^3 の水が必要となり、更に新たな散水・給水用の施設整備とエネルギーが必要となることを考えれば、地中熱利用ヒートポンプの普及促進は、ヒートアイランド現象の緩和に有効な対策の一つと考えられます。

¹³ 玄地裕、ヒートアイランドの緩和方策－地域熱供給システム，地盤蓄熱，地下ヒートシンク－、エネルギー・資源 22(4)，306-310，2001-07-05

¹⁴ 平野勇二郎，一ノ瀬俊明，井村秀文，白木洋平（2009）打ち水によるヒートアイランド緩和効果のシミュレーション評価，水工学論文集，53，307-312

3. 地中熱利用ヒートポンプの導入・利用に関する配慮事項

地中熱利用ヒートポンプは空気中への排熱削減やエネルギー消費の削減など、様々な点で環境保全に寄与しますが、一方で地中への熱負荷を伴う点には留意する必要があります。

地中熱利用ヒートポンプは北欧などの海外で多数の実績があり、これまで地中への排熱などによる大きな環境影響や事故などの報告例はなく、ほぼ安全に使用できています。

しかし、今後、国内の市街地が高度に密集している地域での普及や、商業ビル・再開発区域における大規模な地中熱利用が進むと、狭い範囲に地中への熱負荷が集中する可能性があります。

このため大規模に施設を設置し地中熱利用を図る地域、また、小規模でも高い密度で設置される地域については、地中の熱環境の変化や近隣の地下水・地中熱利用への影響に適切に配慮することが求められます。

また、効率のよい熱利用を持続するためにも、過度な熱負荷を蓄積することなく、地下水・地盤環境が保全されている状況が重要であり、「地下水・地盤環境の保全」と「熱利用効率の維持」の視点から、導入に適した利用方式の考え方や利用規模に応じて留意点、チェック・モニタリング項目等について示します。

3.1 地中熱利用ヒートポンプの導入条件

「地下水・地盤環境の保全」や「熱利用効率の維持」の視点による適切な利用方式の選定には、主に「地中熱利用ヒートポンプの規模」、「年間の熱利用方法想定」、「利用可能な深さ(概ね 0～-100m)での地下水の有無」に留意する必要があります(図 3-1)。

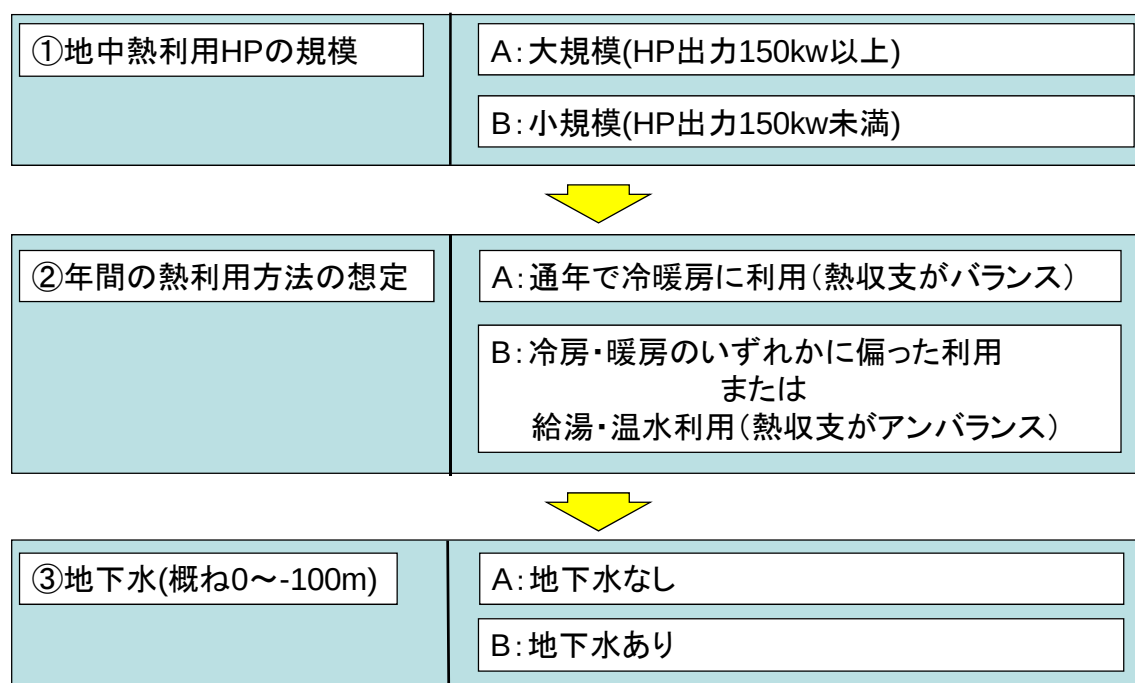


図 3-1 地中熱利用ヒートポンプ利用方式の選定フロー

なお本ガイドラインでは、地中熱利用ヒートポンプの規模の区分については、環境省が実施した実証事業においてほとんどが 150kW の範囲内の施設であり、これらにおいて大きな環境影響の変化が見られなかったことから、「出力規模 150kW を目安」としました。

これは普及状況を考慮した現時点での目安であり、出力規模 150kW は、住宅用を除く導入実績の上位約 25%に相当します。また、概ね空調床面積 1,000m²に相当します。(図 3-2、図 3-3)

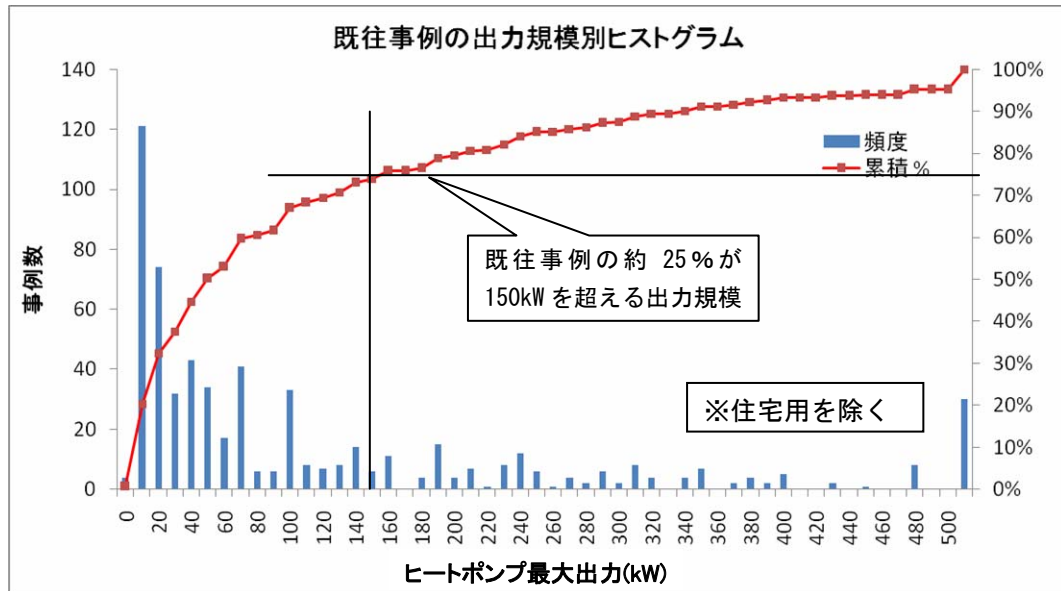


図 3-2 既往事例の出力規模別ヒストグラム¹⁵

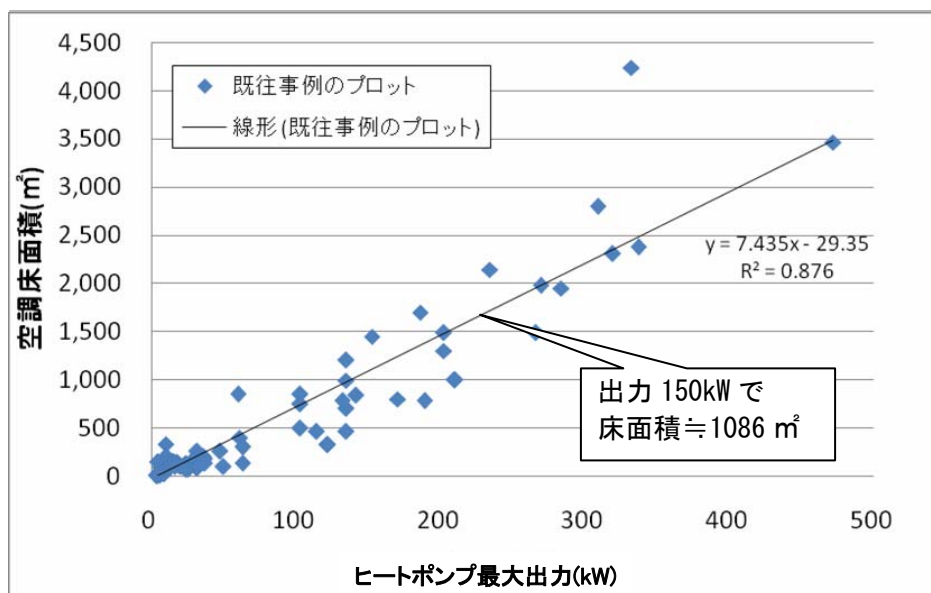


図 3-3 ヒートポンプ最大出力と空調床面積の関係¹⁵

¹⁵ 「平成 22 年度 地中熱等活用施設の設置状況及び施工状況調査業務」における調査データより

利用方式を選定する際は、表 3-1 の選択肢から当てはまる組合せを選び、該当する利用方式を確認します。

ただし、利用方式や設置地域の条件（熱交換量、地下水水質、揚水規制など）によっては「熱影響に留意する必要」や「運転に影響する可能性」があり、これを考慮した適切な施設設計や運転管理が必要です。

表 3-1 適用できる地中熱ヒートポンプの方式

① 規模・ 地域	② 年間の 熱利用	③ 地下水 の有無	地中熱 HP 利用方式		
			クローズドループ 方式	オープンループ 方式・還元型	オープンループ 方式放流型
A 大規模	A 冷暖房	A なし	○		
		B あり	○	○	■
	B 冷房・暖 房に偏り または 給湯・温水	A なし	□		
		B あり	●□	●□	□■
B 小規模	A 冷暖房	A なし	○		
		B あり	○	○	■
	B 冷房・暖 房に偏り または 給湯・温水	A なし	□		
		B あり	□	□	■
各利用方式の 適用上の留意点			・熱交換量 ・定期点検 ・熱媒体種類 ・凍結 ⇒詳細は 3.2(3)	・地下水の水質 ・地下水揚水に関する規制 ・定期点検 ・還元井の設置 ⇒詳細は 3.2(4)	・地下水の水質 ・地下水揚水に関する規制 ・定期点検 ・放流先の排水基準等 ⇒詳細は 3.2(4)

①～③、A Bは図 3-1 に対応

- | |
|--|
| <p>○：適用可能</p> <p>●：適用可能、ただし近隣他者への熱影響に留意する必要あり</p> <p>□：適用可能、ただし熱収支が偏ることにより運転に影響する可能性あり</p> <p>■：適用可能、ただし地下水位の低下により運転に影響する可能性あり</p> |
|--|

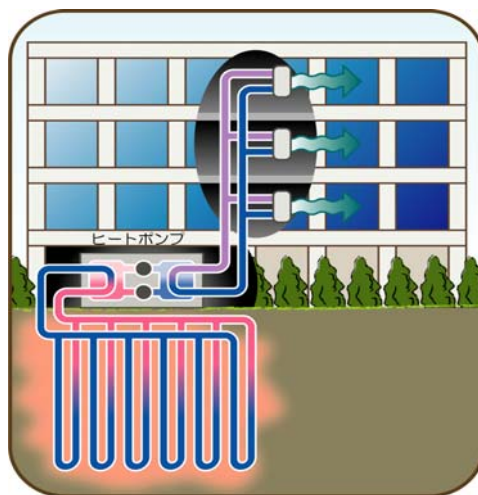
例えば次の例のうち、例1では地下水の有無の点からクローズドループ方式が選定されます。また、例2ではクローズドループ方式、オープンループ方式・還元型、オープンループ方式・放流型の各方式が選定対象になり、地下水の揚水や放流の可否などの条件を考慮して選びます。

例1：A(大規模)－A(通年冷暖房利用)－A(地下水なし)

⇒ 採用方式：クローズドループ方式

利用可能な深さ(概ね 0～-100m)に地下水がない地域では、クローズドループ方式を採用することとなります。

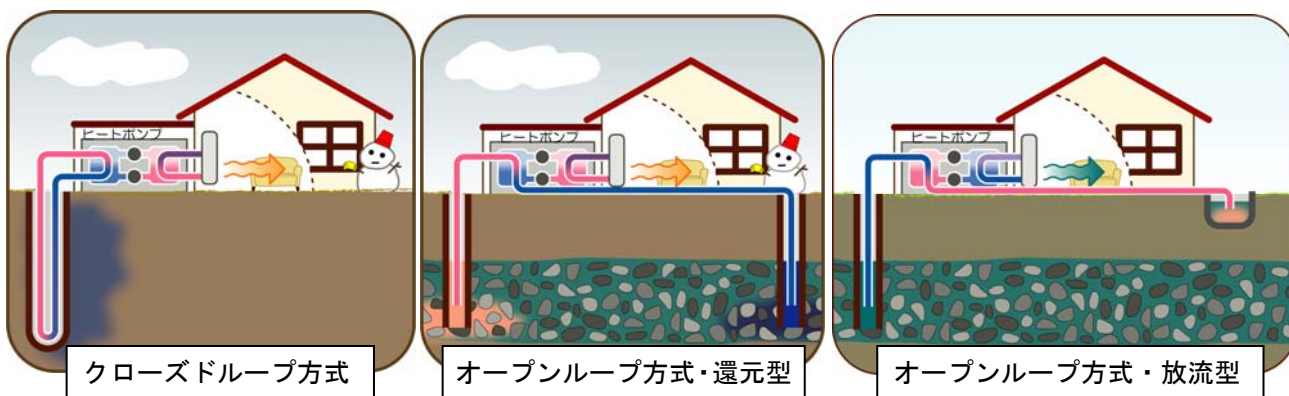
通年で冷房・暖房の両方に使用する場合、地下水の流速が遅い場所では、『夏期に温熱を蓄熱し冬期に暖房使用⇔冬期に冷熱を蓄熱し夏期に冷房使用』といった蓄熱型の運転も可能であり、より高い熱効率で地中熱利用を図ることができ、また長期的な熱収支バランスの悪化を防ぐことにもなります。



クローズドループ方式

例2：B(小規模)－B(暖房主体)－B(地下水あり)

⇒ 採用方式：クローズドループ方式、オープンループ方式・還元型、
オープンループ方式・放流型のいずれも可



利用可能な深さに地下水がある場合、クローズドループ方式、オープンループ方式・還元型、オープンループ方式・放流型のいずれの方式も適用対象となります。

クローズドループ方式またはオープンループ方式・還元型を採用する場合は、冷房・暖房いずれかに偏った利用で地下の熱収支に偏りが生じ、熱負荷の蓄積が大きくなると、ヒートポンプの運転効率悪化や周辺への影響が生じる場合があります。

また、オープンループ方式・放流型の採用については、地下水の必要量、公共用水域や下水道への放流の可否・要件、揚水規制などを踏まえて適用可能性を判断する必要があります。

3.2 地中熱利用ヒートポンプの導入および利用における留意点

地中熱利用ヒートポンプを持続的に良好な熱効率で利用するためには、建物に合った設備規模の設定や導入前の基礎調査、運転管理への留意が必要となります。本ガイドラインではこれらについて、概要を紹介します。

なお、地中熱ヒートポンプ設備の設計や施工管理、運転管理等の詳細は、実績の多いクローズドループ方式について以下のマニュアル等に紹介されています。

オープンループ方式について特化したマニュアル等は現時点で発行されていませんが、地下水地盤情報の取得や事前調査等、以下のマニュアルを一部参考にすることができます。

- ・ 北海道大学地中熱利用システム工学講座著、地中熱ヒートポンプシステム、オーム社
- ・ 特定非営利活動法人地中熱利用促進協会編、ボアホール型地中熱交換器利用地中熱ヒートポンプシステム施工管理マニュアル、オーム社(平成 24 年 9 月発行予定)

(1) 設計時の調査

地中熱利用ヒートポンプ施設の設計にあたり、必要に応じて以下のような項目の事前調査・確認を行います。

- ・ **気候条件**：冷暖房を使用する期間や冷暖房温度等、通年の空調使用状況の推定のため、気温や日射量等の気候条件を調査します。
- ・ **地中条件**：場の条件に適した地中熱利用形態や規模を選定するため、地質や地中温度、地下水の有無、地下水汚染の有無等を調査します。
- ・ **エネルギー関係**：地中熱利用ヒートポンプとの経済性の比較のため、当該地域で一般的に用いられるエネルギー項目(電気、ガス、灯油等)について調査します。

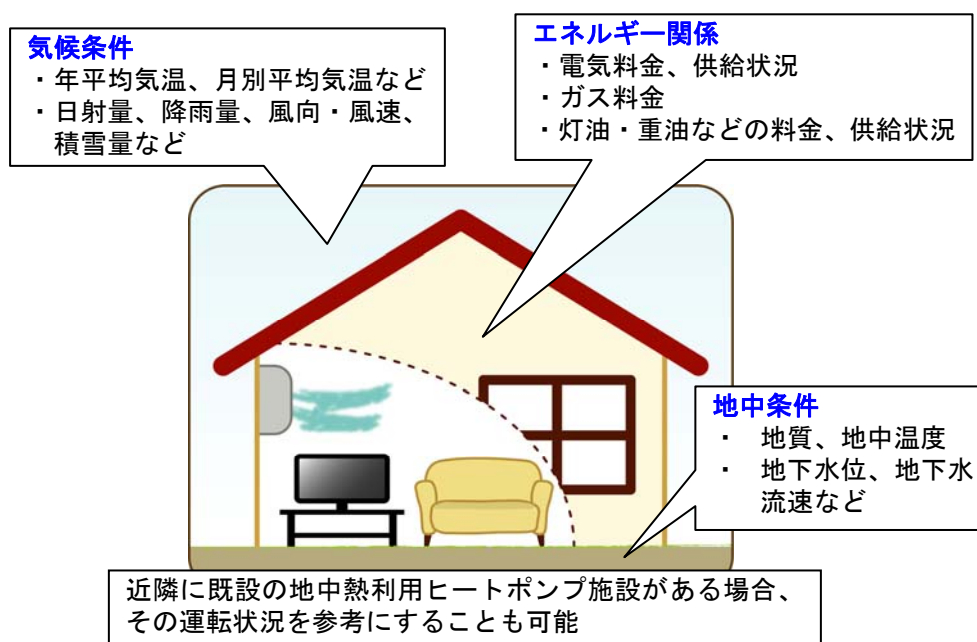


図 3-4 設計時の調査事項

(2) 適切な設備規模の設定

建物設計時には以下の項目等を影響因子とする空調負荷計算を行い、必要な冷暖房出力を算出します。

空調負荷計算は地中熱利用の有無に関わらず行われますが、地中熱利用ヒートポンプ設備の必要規模についても、空調負荷計算の結果を基に設定します。

- ・ **建物条件**：空調対象部分の延床面積、建物の断熱性能、空調設備の利用条件、内部の熱生産、窓等の外部からの熱負荷
- ・ **気候条件**：気温、日射量等（「(1)設計時の調査」に同じ）

クローズドループ方式の場合、地下水の有無や地盤の種類（熱特性）により、熱交換井の深さ当たりでどれだけ熱交換できるかが異なるため、熱交換器を適切な規模に設計するための事前調査として熱応答試験を実施する場合があります（熱応答試験の概要は「(3) クローズドループ方式の留意点」を参照）。

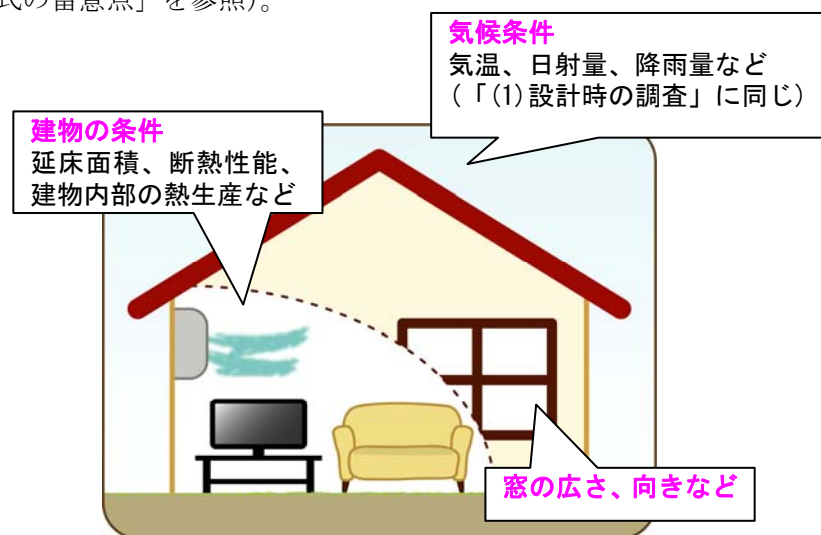


図 3-5 必要な冷暖房能力に影響する各項目

(3) クローズドループ方式の留意点

1) 熱交換量

熱交換井深さ 1m 当たりの可能熱交換量は、報告によると 40w/m 程度とされていますが¹⁶、実際は大きな幅があり、地質構成、地下水の有無、熱交換器のサイズ、U チューブの素材、熱交換井の充てん剤の有無・素材、温度条件等に左右されます。

出力規模に応じた必要な熱交換井の深さを定めるため、対象地点における可能熱交換量を把握する方法として、熱応答試験(サーマルレスポンステスト)があります。

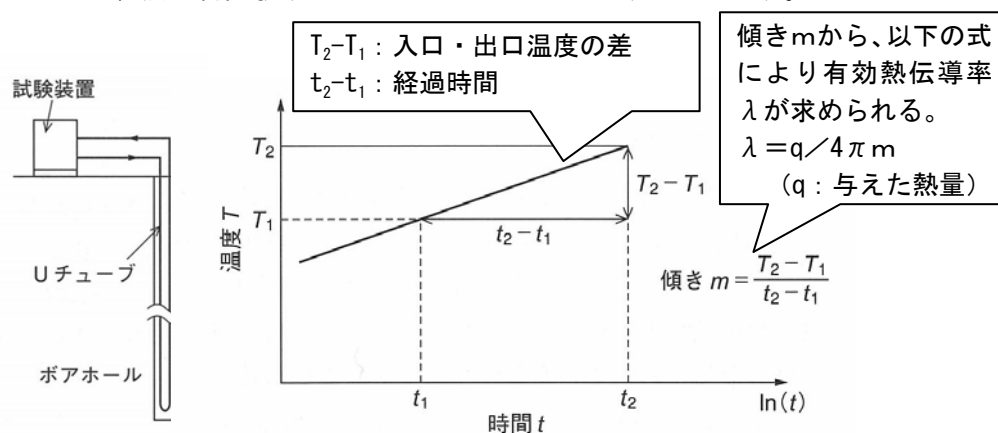


図 3-6 熱応答試験の実施方法¹⁶

熱応答試験は、地中に実際に熱媒体を循環させ、その温度変化から地盤の熱特性を推定する方法です。熱応答試験を実施するためには、試験孔の掘削が必要ですが、適切なシステム設計のために地盤の熱特性を把握したい場合や、大規模施設の建設時に何本の熱交換井が必要かを予め調査する場合等に有効です。

2) 熱媒体

地中との熱交換を行う熱媒体は、以下の項目に留意し、必要な性状を満たす素材を選定する必要があります。

使いやすさ：価格、入手の難易、不燃性、腐食耐性、低粘性など

熱的特性：比熱、熱伝導率、凍結温度、熱安定性など

環境影響：毒性がない、生分解性など

熱媒体には様々な素材がありますが、腐食耐性、不燃性から、国内ではエチレングリコール、プロピレングリコールが広く用いられています。

これらのうち、エチレングリコールは人体に対して毒性があるため、漏えいリスクの観点から海外では法的規制や使用の制限がある国もあります。また、プロピレングリコールは生物に対し無害ですが、エチレングリコールよりも高価格であることや、低温になると粘性が高くなるといった面もあります。

また、冷房運転が主体の場合、熱媒体として水を使用することもあります。

¹⁶ 北海道大学地中熱利用システム工学講座著、地中熱ヒートポンプシステム、オーム社、p. 54, p. 93, p. 98

表 3-2 熱媒体の性状¹⁶

		腐食耐性 (金属)	低粘性	不燃性	低毒性 (対人)	環 境 (分解 性)
塩 類 系	塩化カルシウムなど	×	○	○	○	○
アルコール系	エタノールなど	○	○	×	○	△
グリコール系	エチレングリコール	○	△	△	×	△
	プロピレングリコール	○	△	△	○	△
有機酸塩系	酢酸カリウムなど	△	○	○	○	○

凡例：○：適用可，△：設備や周辺の条件により適用可，×：適用不可

3) 凍結

暖房時においては、地中から過度に採熱してしまうと地盤温度が低下し、**土中の温度が0℃以下となり、凍結**を引き起こす可能性があります。

これを防ぐには、熱媒体が0℃以下とならないような適切な設計・運用や、過度な連続暖房運転を避けることが重要です。

また、熱交換井からの横引き配管部分では、凍結してしまうと地面の隆起(凍上)が発生する可能性があります、断熱材で覆う等の措置が必要な場合があります。

4) 定期点検項目

以下の項目を定期的・継続的に確認することが、熱効率を持続的に低下させることなく運用するためには有効です。

熱媒体温度：設計上の温度と大きく異なる温度になっていないことを確認します。

熱媒体循環量：設計上の循環量と大きく異なっていないことを確認します。また、熱媒体温度と循環量により、地中への放熱量を把握することもできます。

機械・電気設備の定期点検：熱媒体循環ポンプやヒートポンプ設備の定期点検を行います。

特に大規模な施設では、運転に支障が生じた場合の損失が大きくなるため、定期的な点検管理や点検システムにより熱効率を維持することは有効です。また、それは同時に地下水・地盤環境の保全にも寄与します。

(4) オープンループ方式の留意点

1) 地下水に関する規制

オープンループ方式では地下水をくみ上げて使用するため、地域や揚水量によっては、地下水揚水に関する規制(工業用水法、ビル用水法、地方公共団体の条例等)の対象となる可能性があります。揚水規制がある地域では、揚水の可否、運用条件、許可申請手続き等を確認する必要があります。

また、揚水しようとした地下水に有害物質が含まれている場合には特に注意が必要です。水質汚濁防止法では、平成 24 年 3 月末現在¹⁷、ひ素、鉛等の 26 項目の有害物質が定められており、これらを含む地下水を揚水した場合、水質汚濁防止法に定める排水基準以上のものを河川等の公共用水域に放流しないようにする必要があります。また、地下に還元する場合にも、有害物質が検出された地下水を還元しないようにする必要があります。

オープンループ方式の適用可能な条件として、主に 3 つの場合が想定されます。設計時に定めた必要揚水量や地下水水質から、どの条件で利用が可能かを確認する必要があります。

表 3-3 地下水利用が可能な場合

利用条件	利用に向けて留意すること
揚水規制の対象地域外	公共用水域等への排水基準の順守
揚水規制の対象地域であるが、規制範囲内の規模	規制範囲内（揚水量、ストレーナー位置、吐出口断面積等）で取水すること 公共用水域等への排水基準の順守
揚水規制の対象地域であるが、水質基準に適合する水質の地下水を還元	上記に加え、 確実に還元できる還元井と水質基準の順守

2) 可能揚水量の確認

地下水位の大幅な低下を生じない範囲での可能揚水量について、以下の①～③の試験等により確認できます。

① 段階揚水試験

揚水量を段階的に増加させながら、揚水量と地下水位の低下の関係を調査し、最大揚水量を算出します。

② 連続揚水試験

段階揚水試験の結果に基づく最大揚水量を連続的に揚水し、地下水位が安定することを確認します。

③ 回復試験

揚水を停止後、水位の回復状況の確認をします。

¹⁷ 平成 24 年 4 月以降に 2 項目が追加される予定。

3) 設備の腐食・スケール生成の防止

オープンループ方式においては、地下水をヒートポンプの熱媒体として直接使用する利用方式もあり、この場合は、地下水質に起因する配管等の設備の腐食やスケール生成を防止するために以下の水質基準に適合する必要があります。

表 3-4 地下水を熱媒体として直接使用する場合の冷却水・冷水・温水・補給水の水質基準値¹⁸

項 目		冷 却 水 系			冷 水 系		温 水 系				傾向	
		循 環 水		一過式			低位中温水系		高位中温水系			
		循環水	補給水	一過式	循環水 (20℃以下)	補給水	循環水 (20～60℃)	補給水	循環水 (60～90℃)	補給水	腐食	スケール 生成
基準値項目	p H (25.0℃)	6.5～8.2	6.0～8.0	6.8～8.0	6.8～8.0	6.8～8.0	7.0～8.0	7.0～8.0	7.0～8.0	7.0～8.0	○	○
	電気伝導率 (mS / m)	80 以下	30 以下	40 以下	40 以下	30 以下	30 以下	30 以下	30 以下	30 以下	○	○
	塩化物イオン (mg / l)	200 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	30 以下	30 以下	○	
	硫酸イオン (mg / l)	200 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	30 以下	30 以下	○	
	Mアルカリ度 (mg / l)	100 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下		○
	全硬度 (mg / l)	200 以下	70 以下	70 以下	70 以下	70 以下	70 以下	70 以下	70 以下	70 以下		○
	カルシウム硬度 (mg / l)	150 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下		○
	イオン状シリカ (mg / l)	50 以下	30 以下	30 以下	30 以下	30 以下	30 以下	30 以下	30 以下	30 以下		○
参考項目	鉄 (mg / l)	1.0 以下	0.3 以下	1.0 以下	1.0 以下	0.3 以下	1.0 以下	0.3 以下	1.0 以下	0.3 以下	○	○
	銅 (mg / l)	0.3 以下	0.1 以下	1.0 以下	1.0 以下	0.1 以下	1.0 以下	0.1 以下	1.0 以下	0.1 以下	○	
	硫化物イオン (mg / l)	検出されないこと	検出されないこと	検出されないこと	検出されないこと	検出されないこと	検出されないこと	検出されないこと	検出されないこと	検出されないこと	○	
	アンモニウムイオン (mg / l)	1.0 以下	0.1 以下	1.0 以下	1.0 以下	0.1 以下	0.3 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	○	
	残留塩素 (mg / l)	0.3 以下	0.3 以下	0.3 以下	0.3 以下	0.3 以下	0.25 以下	0.3 以下	0.1 以下	0.3 以下	○	
	遊離炭酸 (mg / l)	4.0 以下	4.0 以下	4.0 以下	4.0 以下	4.0 以下	0.4 以下	0.4 以下	0.4 以下	4.0 以下	○	
	安定度指数	6.0～7.0	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○

- 1) 項目の名称とその用語の定義及び単位はJIS K 0101による。
- 2) 欄内の○印は腐蝕又はスケール生成傾向に関する因子であることを示す。
- 3) 温度が高い場合 (40℃以上) には一般的に腐食性が著しく、特に鉄鋼材料が何の保護被膜もなしに水と直接触れるようになっていた時は防食薬剤の添加、脱気処理など有効な防食対策を施すことが望ましい。
- 4) 密閉冷却塔を使用する冷却水系において、閉回路循環水及びその補給水は温水系の、散布水及びその補給水は循環式冷却水系の、それぞれの水質基準による。
- 5) 供給・補給される源水は、水道水 (上水)、工業用水及び地下水とし、純水、中水、軟水処理水などは除く。
- 6) 上記15項目は腐食及びスケール障害の代表的な因子を示したものである。

¹⁸ 冷凍空調機器用水質ガイドライン、JRA-GL02:1994 社団法人日本冷凍空調工業会

4) 還元井

使用後の水を地下へ還元する場合、還元井はできるだけ全水量の還元を目標に、以下に留意して設置します¹⁹。

- ・ **配置**：還元された水が揚水井へ戻り、熱効率を低下させることのないよう、距離を離します。
- ・ **井戸本数**：確実に還元するために必要な井戸本数とします。一般的には揚水井 1 本に対し複数本の還元井が必要となります。
- ・ **構造**：対象の帯水層へ還元できるよう正しいケーシングの位置に調整します。また、目詰まりの防止のためフィルターを設置するなど、適切な構造とします。
- ・ **維持管理**：目詰まり防止のため、過大な圧力をかけない注入や、必要に応じた逆洗浄等を行います。

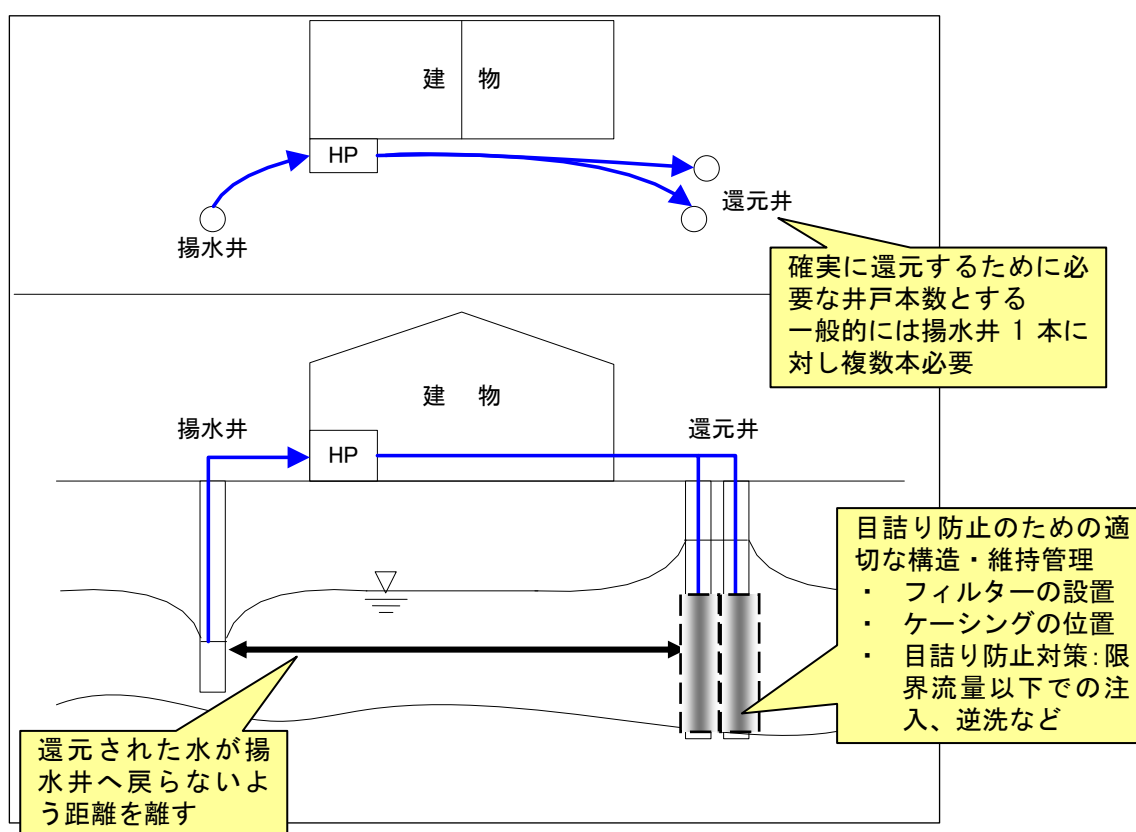


図 3-7 還元井戸に関する留意事項

¹⁹ 遠藤、還元井の技術課題、『地中熱利用ヒートポンプシンポジウム』講演資料
<http://www.geohpaj.org/information/doc/endo.pdf>

5) 利用後の地下水の放流

利用後の水を公共用水域へ放流する場合は、放流先によって満たすべき水質基準が異なり、基準を超えた水質の場合は処理を行う必要があります。

満たすべき主な水質基準としては以下のものが挙げられますが、まずは排水の許可や条件等について放流先水域等の管理者(行政機関)への確認が必要です。

【下水道へ放流する場合】

- ・ 水質基準：下水道法
- ・ 50m³/日以上 of 汚水(地下水)を排出する作業所は届け出が必要

【河川、海、池等へ放流する場合】

- ・ 水質汚濁防止法のほか、放流先を所管する各都道府県や市町村で定められた基準に従う

【地下へ還元する場合】

- ・ 水質汚濁防止法のほか、各都道府県や市町村で定められた基準に従う

一般的には、熱利用による地下水の水質の変化は小さく、オープンループ方式・放流型として実施した実証事業においても、利用前後で有意な水質変化は見られませんでした²⁰(図 3-8)。

ただし、地下水に含まれる自然由来の重金属類等が放流水質基準を超える可能性もあるため、事前に地下水水質をチェックし、放流先の行政機関に満たすべき基準を確認する必要があります。

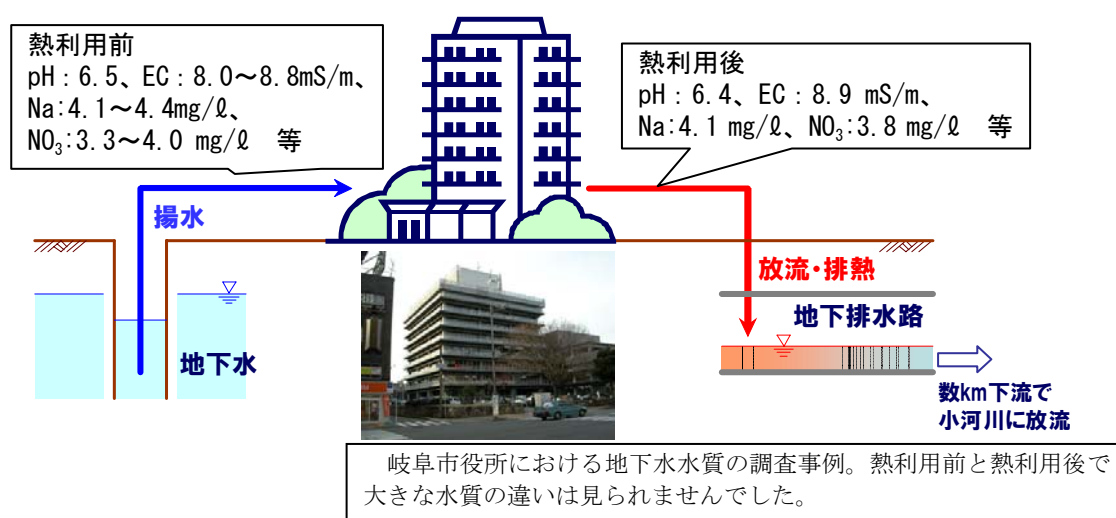


図 3-8 熱利用前後の地下水質の調査事例

²⁰ H19 地下水等活用型・地中熱利用型ヒートアイランド対策評価業務報告書、環境省 地下水・地盤環境室

6) 定期点検項目

定期的・継続的に以下の項目を確認することが、熱効率を低下させることなく持続的に運用するために有効です。

揚水(放流)量：設計上の揚水(放流)量を大きく超える水量でないことを確認します。

地下水位：地下水位が導入前と比べて同程度で維持されていること、または稼働時に低下していても揚水停止後に速やかに回復することを確認します。

放流(還元)温度：設計上の放流温度と大きく異ならないことを確認します。

機械・電気設備の定期点検：揚水ポンプやヒートポンプ設備の定期点検を行います。

特に大規模な施設では、運転に支障が生じた場合の損失が大きくなるため、定期的な点検管理や点検システムにより熱効率を維持することは有効です。また、それは同時に地下水・地盤環境の保全にも寄与します。

3.3 地中熱利用ヒートポンプにかかるコスト

(1) イニシャルコストとランニングコスト

地中熱利用ヒートポンプ設備の導入においては、熱交換井の掘削に費用がかかるため、通常の冷暖房システムよりもイニシャルコストが高くなる傾向があります。

一方で、熱源となる燃料や電力が不要であること、基本的にメンテナンスフリーで耐用年数も長いことから、他の冷暖房設備に比べランニングコストが低減できます。

設備導入に関して様々な助成制度もあり、これを活用することにより他の冷暖房システムに比べて全体のコストを抑えることができます。

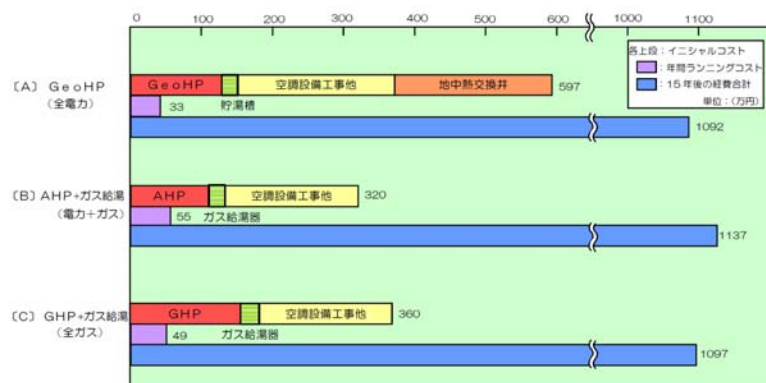


図 3-9 戸別住宅の冷暖房・給湯コストの比較例(助成金を含まない比較)²¹

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の対応は、事例によって幅はあるものの、実証事業者のヒアリングによるとクローズドループ方式では出力 kW あたり概ね 25～60 万円程度、オープンループ方式では出力 kW あたり概ね 10～30 万円程度となっています。

ただし、イニシャルコストは普及状況や新たな技術の開発によって年々低下しており、また地域の地下水地盤条件や発注形態等によっても大きく変わります。

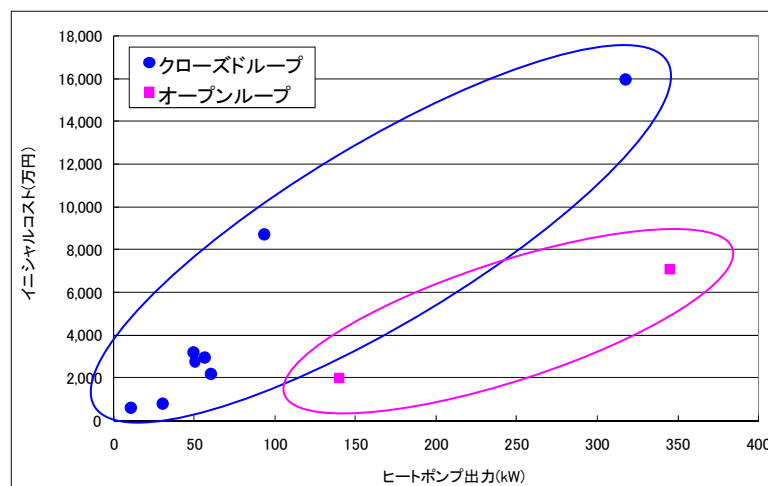


図 3-10 ヒートポンプ出力あたりのイニシャルコストの事例

(設備事業者へのヒアリングによる)

²¹ NEDO、地球熱利用システム 地中熱利用ヒートポンプシステムの特徴と課題、2006

このイニシャルコストを低減する試みとして、採熱井の掘削コストを抑えるための建設時の基礎杭の活用など、様々な技術改良の取り組みが実施されています。

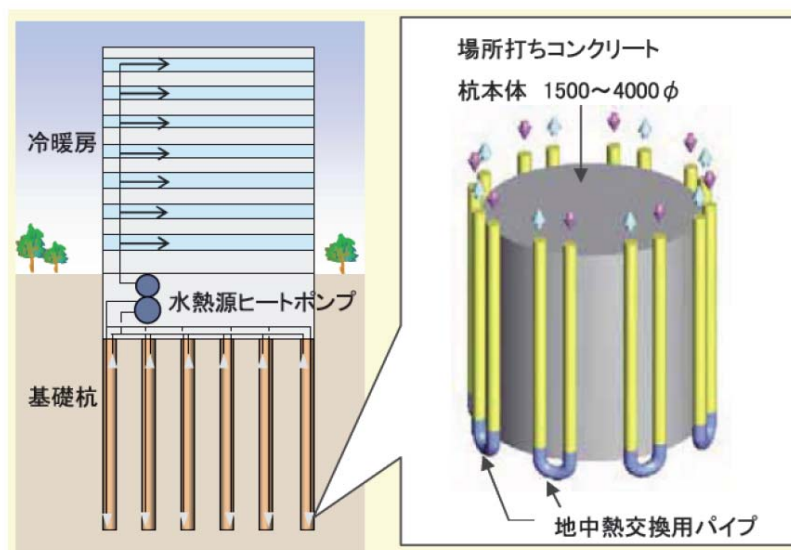


図 3-11 場所打ち基礎杭を利用した低コスト高効率な地中熱交換方式の例²¹

また、長期間消雪に使用され、掘り替えの必要が生じた既往の井戸を地中熱利用に転用することにより掘削コストを低減するといった取り組みも一部で検討されています²²。

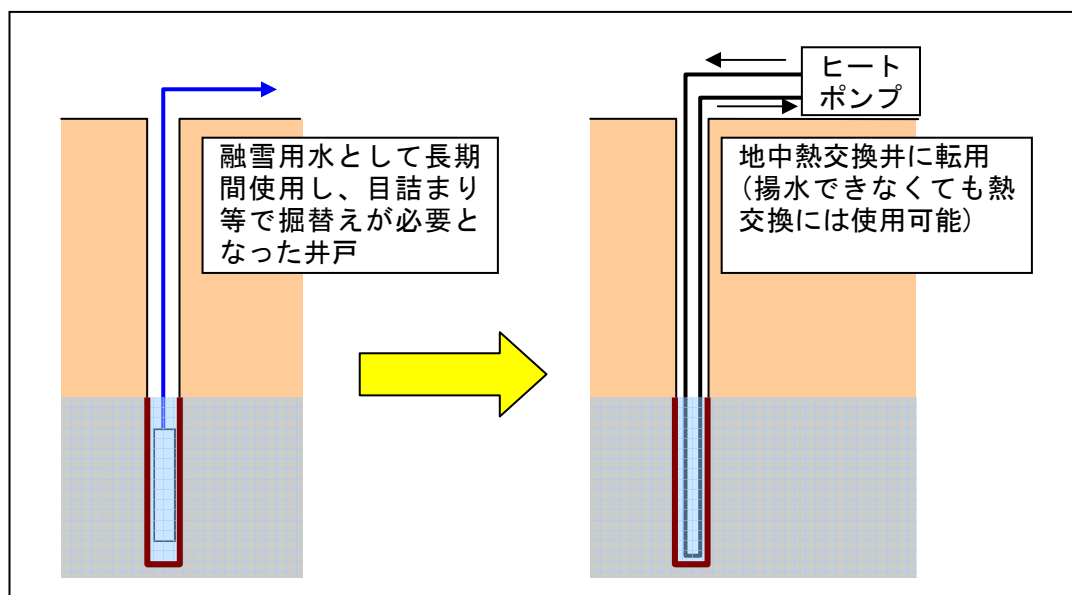


図 3-12 既設井戸の転用のイメージ

²² 小酒ら、新潟県管理の消雪施設における将来更新数の予測、雪氷研究大会発表資料、P1-40. 2011
http://www.jstage.jst.go.jp/article/jcsir/2011/0/172/_pdf/-char/ja/

(2) 助成制度

地中熱利用ヒートポンプの普及のため、様々な団体・地方公共団体で助成制度を設けています。例として、平成 23 年度時点での助成制度を参考資料に紹介します。

4. 地下水・地盤環境への影響項目とモニタリング方法

地中熱利用ヒートポンプの利用にあたり、「運転管理上のメリット」、「地下水・地盤環境への影響分析」、「未解明な環境影響の発現への対応」の観点から、事業者の自主的な判断の基にモニタリングの実施が求められます。

○運転管理上のメリット

地中熱利用ヒートポンプは、オープンループ方式を除き基本的にメンテナンスフリーですが、適切な利用範囲を超え、熱利用対象の地下水・地盤温度に大きな変化をもたらすような運転を継続すると、運転効率の低下につながる可能性があります。運転効率に影響する項目を定期的・継続的にモニタリングすることにより、地下水・地盤環境に過剰な負荷をかけていないかをチェックすることができます。これにより地中熱利用環境を一定に保ち、システムの熱効率を落とさない持続的な運用に役立ちます。

○地下水・地盤環境への影響分析

環境影響は、「環境負荷の発生」⇒「環境状態の変化」⇒「環境影響として発現」の流れで捉えることができます。地中熱利用ヒートポンプによる地下水・地盤環境への影響は「環境負荷の発生」⇒「環境状態の変化」まである程度把握できているものの、「環境影響として発現」する事象の定量化や「環境状態の変化」との因果関係を十分把握できていません（図 4-1）、どの程度の環境負荷があれば、環境の状態が変化し、地下水・地盤環境への影響が生じるのかを明らかにし、安心して普及促進を図るためには、継続的なデータ蓄積・分析が有用です。

このような、地下水・地盤環境に影響を及ぼす可能性がある技術を使用する点から、特に大規模な施設を導入する場合には、モニタリングによりシステムの運転や地下水・地盤環境に関する基礎的データ等を収集・蓄積することが求められます。また、それらのデータを活用していくことが、環境共有資源である地下水・地盤環境の持続可能な利用にも役立ちます。

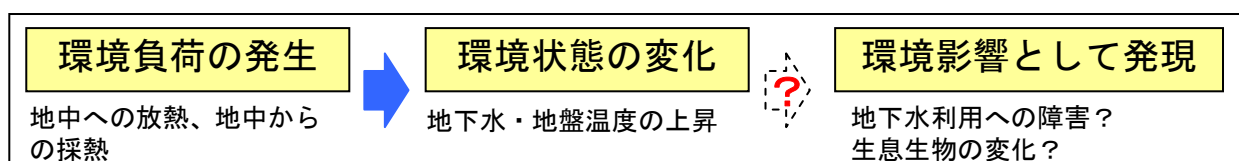


図 4-1 地中熱利用における地下水・地盤環境への影響の段階的な考え方の例

○未解明な環境影響の発現への対応

地下水の過剰な揚水による地盤沈下やフロンガスの使用によるオゾンホールが発生等、利用開始時点では不明だった環境への影響が、広く利用が普及した後で判明した例があります。

地中熱利用ヒートポンプの利用が大きな影響をもたらした例は今のところ報告されていません。例えば、図 4-2 に示すように、熱交換井を 20 本程度設置して、10 年間利用した場合の試算例では、影響が小さなものでした。影響の予兆を捉えたり、また万が一影響が生じた場合の原因究明や対策に備えておく観点からも、特に大規模な施設を導入する場合には、環境共有資源を持続的に利用する観点から、最低限のモニタリングが必要となります。これらのモニタリングにより基礎的データを継続的に取得することが、将来万が一、未解明な事象が発生した場合の調査研究に役立ちます。

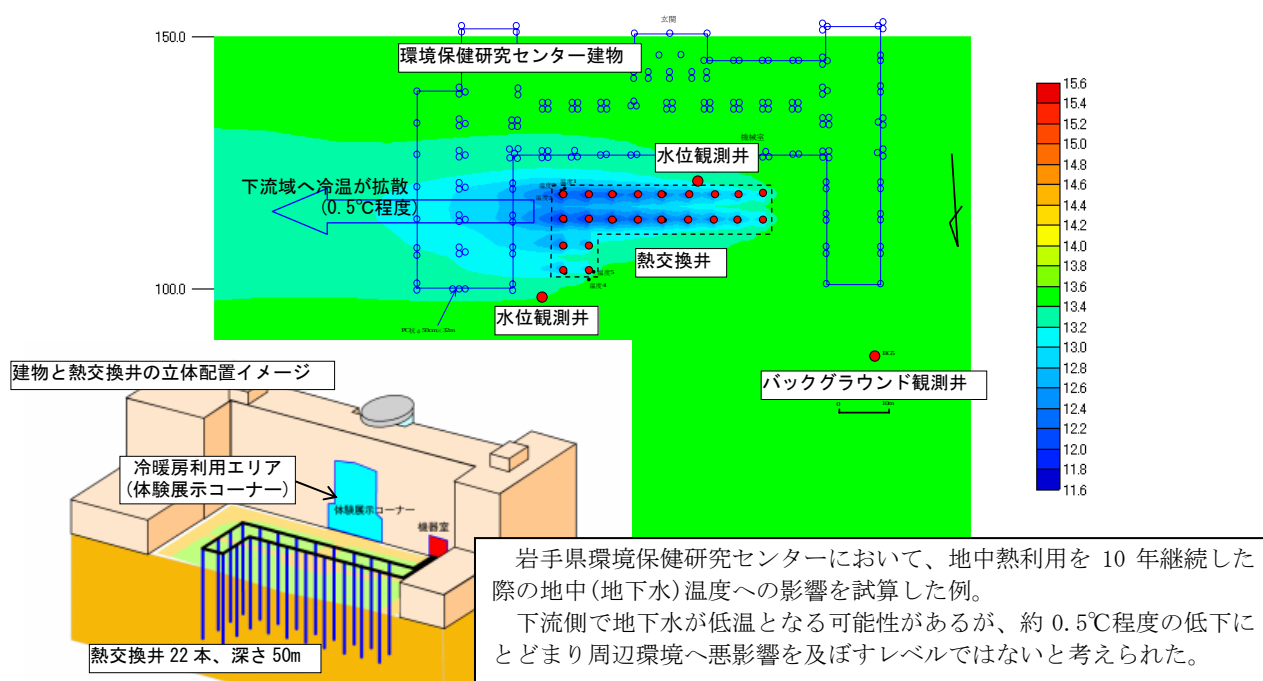


図 4-2 地中熱利用ヒートポンプによる地中 (地下水) 温度への影響の試算例²³

²³ H19 地下水等活用型・地中熱利用型ヒートアイランド対策評価業務報告書、p101、環境省地下水・地盤環境室

4.1 どのような影響が考えられるか

これまでの地中熱利用ヒートポンプの導入事例や実証試験では、大きな環境影響は報告されておらず、適正な規模・運用による利用がなされていれば深刻な環境影響が発生する可能性は小さいと考えられます。

しかしながら、大規模な施設や密集市街地での普及が進んだ場合、現地条件や運用状況により将来的に影響が生じる可能性があります。そのような場合に、各利用方式の負荷により環境に生じうる変化と、それにより発現する可能性がある地下水・地盤環境への影響は、「クローズドループ方式」と「オープンループ方式」とで異なります。

(1) クローズドループ方式

クローズドループ方式においては、地下における熱の移動に関して、主に「地下水・地盤温度への影響」と「地下水質への影響」に留意が必要です。

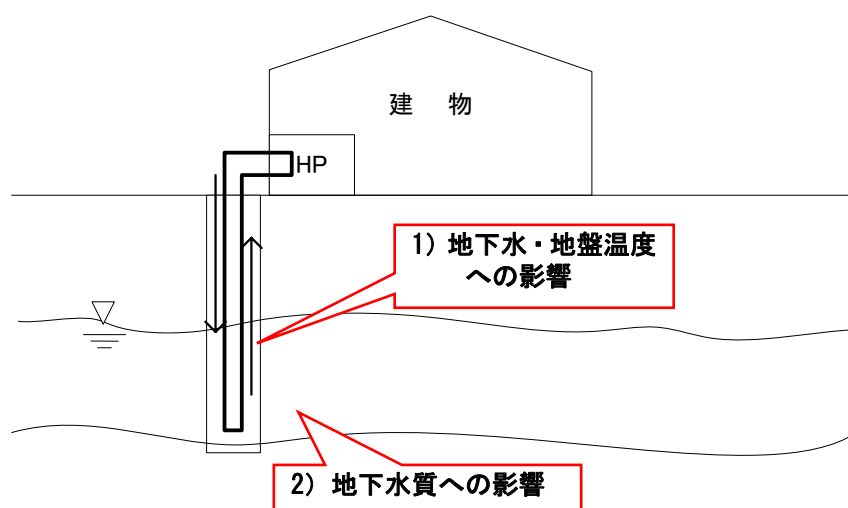


図 4-3 クローズドループ方式の地下水・地盤環境への影響項目

1) 地下水・地盤温度への影響

冬期の暖房使用では地下水・地盤温度は下がり、夏期の冷房使用では上がるため、地下水の流速が大きな場所では下流側へ熱が伝わってしまう可能性があります。

この場合、下流側の熱利用施設の効率低下、農業用水として利用している場合の生育影響、地下水を使用する飲食店・食品産業における製品品質への影響等が考えられます。

実証事業では、地下水の流速が約 300m/年と大きな地域において、ヒートポンプ出力 60kW 程度の施設で暖房主体の運転を 10 年続けた場合を想定したシミュレーションを実施したところ、低温域が下流側約 1.5km の範囲で広がるものの、0.5℃程度の変化にとどまり周辺環境へ影響が生じるレベルではないとの結果になりました。ただし、大規模な施設や複数の施設が集中した場合や、地下水・地盤条件によっては、影響を生じる可能性があることから留意すべき影響項目です。

2) 地下水質への影響

地中熱利用による地下水質への影響に関しては、温度の変化に伴い土壌の重金属等の吸着特性が変化するとの研究報告例もありますが²⁴、可逆的な現象であり、数度の温度変化の範囲であれば重大な影響が生じる可能性は低いと考えられます。

なお、クローズドループ方式では、熱媒体の漏えいによる地下水質への影響に留意する必要があり、使用する熱媒体としては毒性のない分解しやすい溶媒が望ましいといえます。

なお、現時点では知見が十分ではないものの、地下水温や水質の変化による地下の微生物生態系への影響について、今後考慮すべき留意点として研究が始められています。

(2) オープンループ方式

オープンループ方式においては、地下水のくみ上げや放流、還元に関して、主に「揚水による地下水位への影響」、「放流先水域への水温・水質への影響」、「地下水の還元による水温・水質への影響」に留意が必要です。

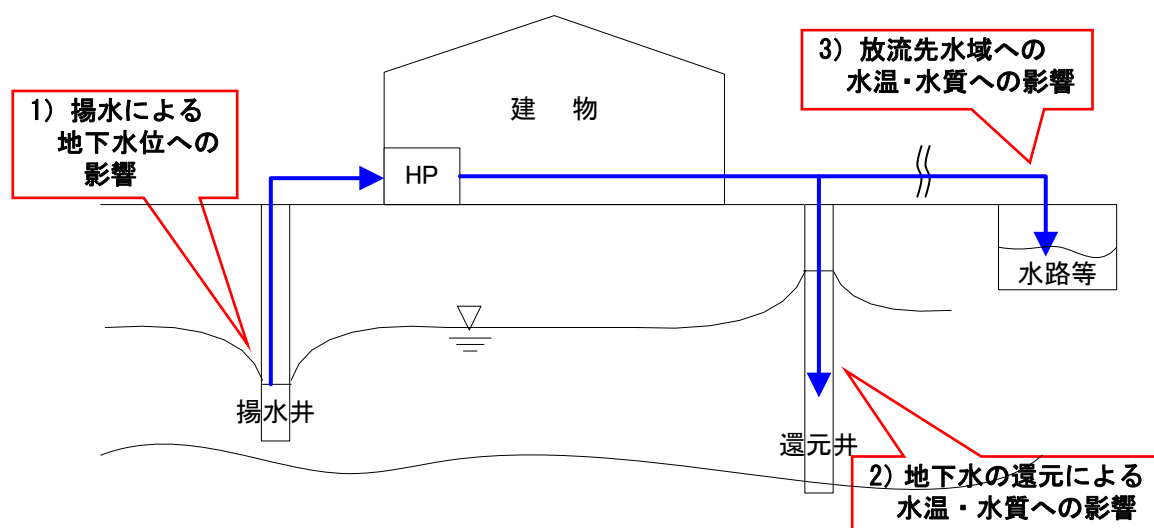


図 4-4 オープンループ方式の地下水・地盤環境への影響項目

1) 揚水による地下水位への影響

オープンループ方式では、地下水をいったん汲み上げ、熱源水として使用するため、可能揚水量を超えた揚水を行うと、井戸周辺で大幅な地下水位の低下を引き起こします。広範囲・長期間にわたり低下すると、周辺井戸利用の妨げになり、地下水・地盤条件によっては地盤沈下を生じる恐れもあります。

2) 地下水の還元による地下水の水温・水質への影響

採熱を行った後の地下水を地下へ還元する場合、還元先の地下水の水温・水質に変化をもたらす場合があります。

²⁴ 例えば、Gupta et al, Immobilization of Pb(II), Cd(II) and Ni(II) ions on kaolinite and montmorillonite surfaces from aqueous medium, Journal of Environmental Management, 2008 等

① 水温

冬期に暖房に用いた地下水は低温に、夏期に冷房に用いた地下水は高温になっているため、地下へ還元することにより、地下水温に変化が生じ、地下水の流速が大きな場所では下流側へ熱が伝わってしまう可能性があります。

この場合、下流側の熱利用施設の効率低下、農業用水として利用している場合の生育影響、地下水を使用する飲食店・食品産業における製品品質への影響等を生じる可能性があります。

実証事業では、地下水の流速が約 2.5m/年と小さい地域において、ヒートポンプ出力 30kW の施設での冷暖房運転を 10 年続けた場合を想定したシミュレーションを実施したところ、地下水温が 1℃以上変化する範囲は井戸から約 40m の範囲にとどまるとの結果になりました。ただし、地下水の流速の大きな地域で大規模な施設や複数の施設が集中した場合や、地下水・地盤条件によっては、影響を生じる可能性があることから留意すべき影響項目です。

② 水質

オープンループ方式でいったん汲み上げて利用した地下水は、空気に触れると地中での状態から水質組成が変化する可能性があります。地下水は一般的に酸素濃度が低く、還元的な状態になっていることが多く、汲み上げて空気に触れることにより酸化されます。これを還元することにより、地下水水質に影響する場合があります。

これを回避するために、空気に触れさせない方法で運用を行っている事例もあります。

なお、現時点では知見が十分ではないものの、地下水温や水質の変化による地下の微生物生態系への影響について、今後考慮すべき留意点として研究が始められています。

3) 放流先水域の水温・水質への影響

個々の施設からの放流量が少量でも、施設が集中している場合や、小規模な水域へ放流する場合に、放流先水域の水温・水質に変化をもたらす可能性があります。

① 水温

冬期に暖房に用いた地下水は低温に、夏期に冷房に用いた地下水は高温になっているため、多量に放流すると放流先の水温に変化をもたらす場合があります。

これにより、生息生物の変化などの生態系への影響や、農業用水路へ放流する場合には農作物の生育への影響等が生じる可能性があります。

② 水質

揚水元と放流先の水質が大きく異なる場合、多量に放流すると放流先の水質組成が変わる場合があり、生態系等への影響が生じる可能性があります。

また、地下水は一般的に酸素濃度が低く、還元的な状態になっていることが多く、汲み上げて空気に触れることにより酸化されます。鉄分やマンガン等の含有量が多い場合はこれが析出し、放流水に着色や濁りを生じる場合があります。

4.2 モニタリング項目と方法

本項では、地中熱利用ヒートポンプにより、どの程度の地下水・地盤環境への負荷（環境負荷の発生）や影響（環境状態の変化）を生じているかを確認するためのモニタリング項目と方法を、「基本項目」と「補足項目」に分類して示します。

「基本項目」：日常の運転管理を主な目的としつつ、同時に「環境負荷の発生」を概略的に把握するための項目

「補足項目」：特に大規模施設において実施することが望ましいものとして、基本項目よりも頻度の高い「環境負荷の発生」の把握と、負荷の結果生じる「環境状態の変化」をできるだけ直接計測することを目的とする項目

施設規模に応じた望ましいモニタリング項目を確認するため、「基本項目」のモニタリングの実施が望ましい施設規模と、「基本項目」に加えて「補足項目」も含めたモニタリングの実施が望ましい施設規模を、モニタリングの目的も考慮して3つに区分します(表 4-1)。

表 4-1 施設規模等によるモニタリングの実施の区分

モニタリングの実施区分	基本項目		基本項目、補足項目
目的	熱効率の維持		熱効率の維持 地下水・地盤環境の保全
施設規模	ヒートポンプ出力 150kW 以下程度の 建物施設	ヒートポンプ出力 150kW 以上の建物施設 で、通年の冷暖房利用 を行うもの	ヒートポンプ出力 150kW 以上の 建物施設で、冷房・暖房のいずれ かを主体とした運転や給湯主体 の運転等、採放熱のバランスが取 れていない運転を行うもの

施設規模によっては、従来の運転・維持管理における定期点検以上のモニタリングが必要となることもあり、その場合、専用機器の設置や観測・データ管理等の負担も伴います。

一方、モニタリングは「熱利用効率の維持や効率低下時の原因分析・運転調整に役立つ」、「省エネルギー・省コスト効果を確認できる」等のメリットや、更には「具体的な省エネルギー・省コスト効果データに基づき、一層の普及促進のPRに寄与する」面もあることから、積極的な実施を推奨するものです。

なお、地中熱利用ヒートポンプによる地下水温や地下水位、水質の変化を正確に把握するには、地中熱利用ヒートポンプによる影響のない状態(バックグラウンド)と比較し、どの程度の差があるか分析することも重要です。

バックグラウンド用の新たな観測井の設置等の手間やコストが生じますが、周辺へ与える可能性のある影響を正確に把握したい場合は、敷地内の十分離れた場所等で、バックグラウンドの計測を行うことを推奨します。

(1) クローズドループ方式

1) 地下水・地盤温度への影響のモニタリング

① 基本項目

項目	実施時期、頻度	内容	観測位置、配置など
熱媒体温度	定期的に測定	循環している熱媒体の入口・出口温度を定期的に確認します。熱媒体循環システムに温度計を追加する必要があります。	熱媒体循環チューブの熱交換井への入口および出口に配置
熱媒体循環量	定期的に測定	熱媒体の循環量を定期的に確認します。循環ポンプの流量を計測するには、流量計を追加するか、ポンプの消費電力から流量を推定する必要があります。	熱媒体循環チューブに流量計を設置または循環ポンプの電力計を設置

<項目の解説>

○ 熱媒体温度

ヒートポンプの熱媒体の温度を、地中熱交換器の入口部と出口部で計測します。この温度差と後述の熱媒体循環量により、地中への放熱量を把握することができます。

ただし、熱媒体温度は外部からの計測はできないため、計測するには温度計及び、温度値を読み出すシステムを追加する必要があります。

○ 熱媒体循環量

熱媒体チューブに流量計を設置して熱媒体の循環量を計測するか、または、循環ポンプに電力計を設置して消費電力から流量を推定することにより、熱媒体循環量を把握する必要があります。

② 補足項目

項目	実施時期、頻度	内容	観測位置、配置など
熱媒体温度	常時観測	自動計測式の温度計により、循環している熱媒体の入口・出口温度を常時観測します。熱媒体循環システムに温度計を追加する必要があります。	熱媒体循環チューブの熱交換井への入口および出口に配置
熱媒体循環量	常時観測	自動計測式の流量計または電力計により、熱媒体の循環量を常時観測します。	熱媒体循環チューブに自動計測式流量計を設置または循環ポンプの電力計を設置
地下水・地盤温度	定期的に測定	熱交換井に温度計を設置して地下水・地盤の温度変化を定期的に測定	熱交換井 帯水層を中心に深度10～20m 毎程度に設置

<項目の解説>

○ 熱媒体温度

①で示した熱媒体温度について、自記温度計の設置により自動観測を行います。

○ 熱媒体循環量

①で示した熱媒体循環量について、自記流量計の設置により自動観測を行います。

○ 地下水・地盤温度

熱交換井に温度計を設置(帯水層を中心に深度10～20m 毎程度に設置)し、地下水・地盤の温度変化を定期的に測定します。

(参考1) 周辺域の地下水・地盤温度

クローズドループ方式による地下水・地盤温度への影響を直接把握するには、近隣へ大きな温度変化をもたらしていないことを確認するため、熱交換井から離れた敷地境界付近でも地下水や地盤の温度を観測することが有効です。ただし、地下水流動の上流側(影響を受けないバックグラウンドの確認)と下流側(影響の確認)に観測用の井戸を設ける必要があり、地下水の流動方向の確認や観測用井戸の掘削など、他のモニタリング項目に比べ測定の手間や費用が大きくなります。

このため、通常は、熱媒体の状態把握により地下水・地盤温度への影響が過大でないと確認することを想定しています。

項目	実施時期、頻度	内容	観測位置、配置など
周辺域の地下水・地盤温度	定期的に測定	観測井に温度計を設置して地下水・地盤の温度変化を定期的に測定	熱交換井の地下水流動上流側および下流側の敷地境界

(参考2) クローズドループ方式における地下水質のモニタリング

クローズドループ方式における地下水質については、現時点で十分な知見が得られていないため、データを蓄積していくことは重要です。

ただし、熱交換井とは別に採水用の井戸の設置など、大きな手間やコストが発生すること、また地下水温度の変化による水質の影響は軽微かつ可逆的と考えられることから、各施設でモニタリングを行う必要性は低いと考えられます。

(参考3) 測定すべき水質項目

地中熱利用ヒートポンプの導入前に採水用井戸から採水し、関連する水質項目の分析を行う場合、クローズドループ方式では地下水を直接使用しませんが、地下水に関する項目として、表 4-2 に示す水質項目が調査対象として挙げられます。

また使用開始後は、簡易項目として pH、電気伝導率を定期的に計測し、大きな水質の変化がないことを確認し、大きく変動した場合、再調査を行います。

表 4-2 水質分析項目²⁵

水質調査	
分析項目	単位
水温	°C
pH	
電気伝導率	mS/cm
ナトリウムイオン(Na ⁺)	mg/L, me/L
カリウムイオン(K ⁺)	mg/L, me/L
カルシウムイオン(Ca ²⁺)	mg/L, me/L
マグネシウムイオン(Mg ²⁺)	mg/L, me/L
鉄イオン(Fe ²⁺)	mg/L, me/L
マンガンイオン(Mn ²⁺)	mg/L, me/L
アンモニウムイオン(NH ₄ ⁺)	mg/L, me/L
陽イオン合計	me/L
炭酸水素イオン(HCO ₃ ⁻)	mg/L, me/L
塩化物イオン(Cl ⁻)	mg/L, me/L
硝酸イオン(NO ₃ ⁻)	mg/L, me/L
硫酸イオン(SO ₄ ²⁻)	mg/L, me/L
陰イオン合計	me/L
ケイ酸(SiO ₂)	mg/L, mmol/L

項目	時期、頻度	内容	観測位置、配置など
地下水質	導入前に測定	試掘時において、地下水の水質を把握します。	近隣井戸または熱交換井付近に採水用に設けた井戸
地下水質	簡易項目を定期的に測定	簡易に計測できるpH、電気伝導率を定期的に計測し、水質に大きな変動がないことを確認します。	熱交換井付近に採水用に設けた井戸

²⁵ 地盤工学・実務シリーズ 19、地下水流動保全のための環境影響評価と対策 ―調査・設計・施工から管理まで―、p111、社団法人地盤工学会

（参考４）周辺域の地下水水質

クローズドループ方式による地下水水質への影響を直接把握するには、帯水層において大きな水質変化をもたらしていないことを確認するため、熱交換井から離れた敷地境界付近でも地下水水質を観測することが有効です。

ただし、地下水流動の下流側以外（影響を受けないバックグラウンドの確認）と下流側（影響の確認）において観測用の井戸を設ける必要があり、地下水の流動方向の確認や観測用井戸の掘削など、他のモニタリング項目に比べ測定の手間や費用が大きくなります。

このため、近隣井戸や採水用に設けた井戸の調査から、周辺域の地下水水質への影響が生じていないと確認することを想定しています。

項目	時期、頻度	内容	観測位置、配置など
周辺地下水質	簡易項目を定期的に測定	周辺井戸等において、簡易に計測できる電気伝導率およびpHを定期的に計測し、水質に大きな変動がないことを確認します。	熱交換井の地下水流動上流側および下流側の敷地境界

2) モニタリングのシステム

クローズドループ方式では、定期的に測定する基本項目は「熱媒体温度」と「熱媒体循環量」となります。

この2項目は補足項目にも挙げていますが、補足項目として高頻度で行う場合は、自動記録機器の設置による常時観測・記録を行います。

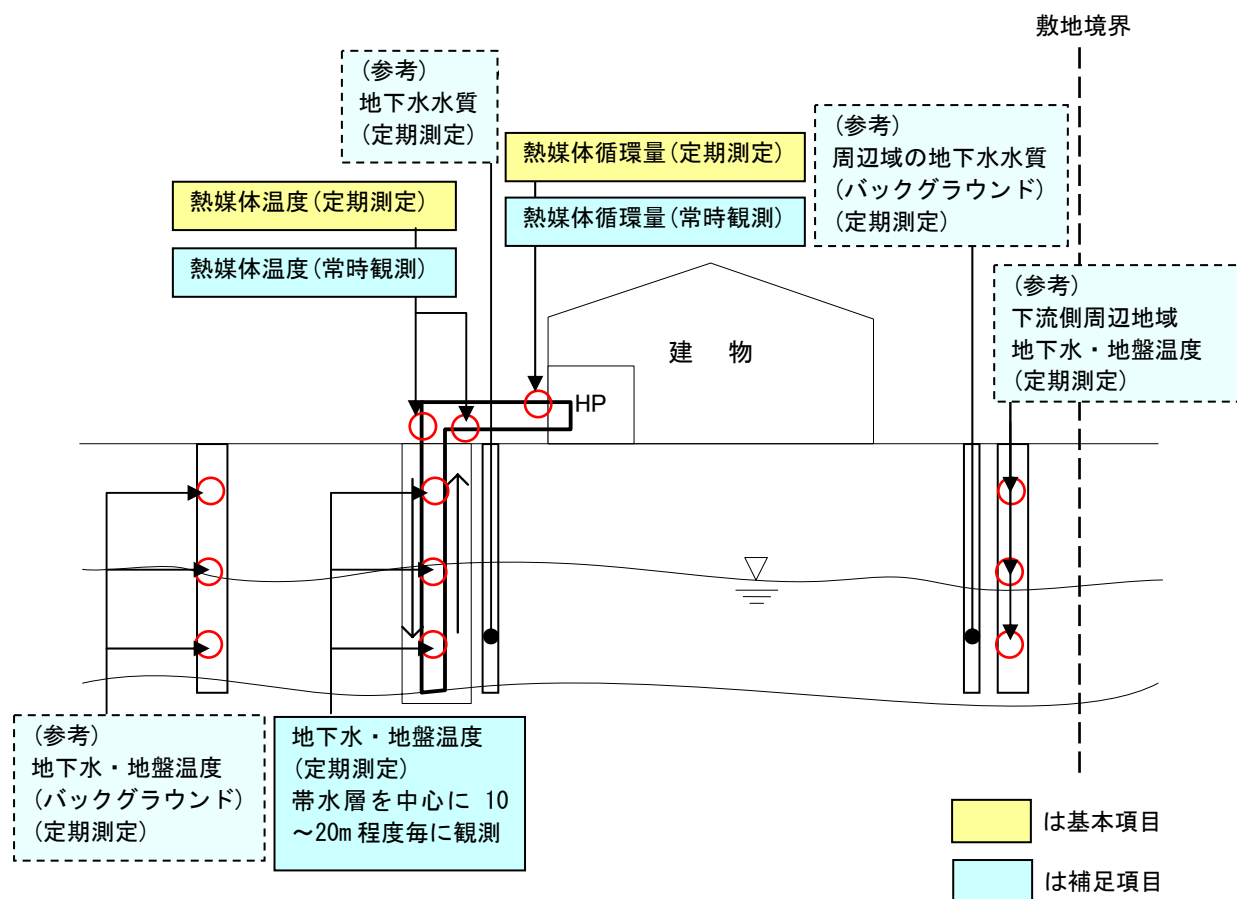


図 4-5 クローズドループ方式のモニタリングイメージ

(2) オープンループ方式

1) 揚水による地下水位低下への影響のモニタリング

① 基本項目

項目	実施時期、頻度	内容	観測位置、配置など
履歴	導入前に確認	対象地域で過去に地下水位低下や地盤沈下が起きていないか、履歴を確認します。また、過去に周辺地域において地下水汚染事故があったか否か、あった場合には対策・処置の状況を確認します。	—
揚水井水位	定期的に測定	揚水井の水位がどの程度変動しているか確認します。 揚水している期間と揚水していない期間のそれぞれで確認し、揚水停止時に速やかに元の地下水位へ戻っていることを確認します。	揚水井において、揚水している帯水層の水位が観測できるように配置

<項目の解説>

○ 履歴

オープンループ方式の導入前に、対象地域近辺の地下水位や地盤の変化、過去の地下水汚染事故の有無を調査します。

地下水利用量や地下水位・地盤変化、地下水水質調査等のデータは、主に地方公共団体の統計資料で確認することができます。統計資料は自治体の資料室で閲覧できるほか、ホームページ上で公開している自治体もあります。

○ 揚水井水位

揚水による地下水位への負荷の蓄積(経年的に徐々に水位低下)や過大な変化(大幅な水位低下)を防ぐため、地下水位を定期的に確認します。地下水位は降雨や季節変動による影響も受けるため本来は連続観測が望ましいものの、定期観測としても、観測時期の天候や季節を考慮すれば変化の傾向を評価することができます。

また、揚水中と揚水停止中のそれぞれの期間で地下水位を計測し、揚水停止中に地下水位が通常時の状態まで回復するか否かを確認することも、持続的に地下水を利用するためには有用です。

② 補足項目

項目	実施時期、頻度	内容	観測位置、配置など
揚水井水位	常時観測	揚水井の水位がどの程度変動しているか確認します。 自動観測機器により、水位を常時観測し、揚水停止時に速やかに元の地下水位へ戻っていることを確認します。	揚水井において、揚水している帯水層の水位が観測できるように配置
周辺地下水位	定期的に測定	近辺の井戸や新たに設けた観測用の井戸で、揚水井と同様に水位観測を行います。	新たに観測用井戸を設ける場合は、他者への影響を把握できるように敷地境界付近へ設置する

<項目の解説>

○ 揚水井水位

①で示した揚水井水位について、自記水位計の設置により自動観測を行います。

○ 周辺地下水位

周辺への影響を確認するため、近辺(敷地内)の井戸の水位を揚水井と同様に観測します。

近辺に井戸がない場合、新たに観測用の井戸を掘削します。

(参考) 地盤沈下

揚水による地盤への影響を直接把握するには、地盤沈下の発生の有無について水準測量等により実測することも有効です。ただし、他のモニタリング項目に比べ測量の実施または沈下計の設置が必要となり、手間や費用が大きくなります。

このため、通常は、揚水井水位や周辺地下水位の状態把握により、地盤沈下を生じるレベルの地下水位低下を周辺域に生じていないと確認することを想定しています。

項目	実施時期、頻度	内容	観測位置、配置など
地盤沈下	定期的に測定 または常時観測	水準測量により地盤沈下の有無を定期的に確認するか、沈下計を用いて常時観測を行います。	揚水井付近および他者への影響を把握できるように敷地境界付近を対象とする

2) 地下水の還元による地下水の水温・水質への影響のモニタリング

① 基本項目

項目	実施時期、頻度	内容	観測位置、配置など
揚水水温	定期的に測定	揚水の水温が設計時に想定した水温から大きく乖離していないか、定期的に確認します。	揚水井
還元水温	定期的に測定	還元水の水温が設計時に想定した水温から大きく乖離していないか、定期的に確認します。	還元井
還元水量	定期的に測定	還元水の水量が設計時に想定した水量から大きく乖離していないか、定期的に確認します。	還元井
還元水質	導入前に測定 簡易項目は定期的に測定	近隣の井戸や試掘時において、汲み上げた地下水に有害物質が含まれていないことを確認します。 また、簡易に計測できる電気伝導率およびpHを定期的に計測し、水質に大きな変動がないことを確認します。	還元井 (導入前測定は近隣井戸や新設井戸)

<項目の解説>

○ 揚水水温

揚水井において、温度計を用いて水温を直接計測します。

○ 還元水温

還元井において、温度計を用いて水温を直接計測します。

○ 還元水量

流量計の設置により流量を計測するほか、還元ポンプに電力計を設置して消費電力から流量の推定を行います。

○ 還元水質

地中熱利用ヒートポンプの導入前に、近隣井戸や新設井戸で地下水質調査を実施します。

水質調査項目としては、設備の腐食・スケール防止に関する項目(p25 「3.2 (4) 3) 設備の腐食・スケール生成の防止」を参照)および、水質汚濁防止法や条例等で定める有害物質等(p27 「3.2 (4) 5) 利用後の地下水の放流」および「参考資料 6. 水質に関する規制」を参照)が対象となります。特に、過去に地下水汚染事故があり、対策を行った後にその地域で地下水利用を行う場合は、十分な確認が必要です。

また、使用開始後も電気伝導率およびpHを定期的に計測し、大きな水質の変化がないことを確認し、大きく変動した場合、再調査を行います。

② 補足項目

項目	実施時期、頻度	内容	観測位置、配置など
揚水水温	常時観測	揚水の水温が設計時に想定した水温から大きく乖離していないか、自動計測式の温度計により常時観測します。	揚水井
還元水温	常時観測	還元水の水温が設計時に想定した水温から大きく乖離していないか、自動計測式の温度計により常時観測します。	還元井
還元水量	常時観測	還元水の水量が設計時に想定した水量から大きく乖離していないか、自動計測式の流量計により常時観測します。	還元井
還元水質	簡易項目を常時観測	簡易に計測できる電気伝導率及びpHを、自動計測式の電気伝導率計およびpH計により常時観測します。	還元井

<項目の解説>

○ 揚水水温

①で示した揚水水温について、自記温度計の設置により自動観測を行います。

○ 還元水温

①で示した還元水温について、自記温度計の設置により自動観測を行います。

○ 還元水量

①で示した還元水量について、自記流量計の設置により自動観測を行います。

○ 還元水質

①で示した還元水質(電気伝導率およびpH)について、自記計測計の設置により自動観測を行い、大きく変動した場合、再調査を行います。

(参考) 還元先地下水の水温・水質

地下水還元による水温・水質への影響を直接把握するには、施設の下流側で水温・水質への影響が発生していないことを確認するため、還元先の帯水層で水温、電気伝導率およびpHを観測し、大きく変動した場合、再調査を行います。ただし、新たな観測用の井戸を設ける必要がある場合、他のモニタリング項目に比べ測定の手間や費用が大きくなります。

このため、通常は、還元水の状態把握により水温・水質への影響が過大でないと確認することを想定しています。

項目	実施時期、頻度	内容	観測位置、配置など
還元先地下水の水温・水質	定期的に測定	地下水放流先の水域の水質について、水温、電気伝導率およびpHを定期的に計測し、水質に大きな変動がないことを確認します。	地下水流動下流側に位置する近隣井戸 新たに観測用井戸を設ける場合は、他者への影響を把握できるように下流側の敷地境界付近へ設置する

3) 放流先水域の水温・水質への影響のモニタリング

① 基本項目

項目	実施時期、頻度	内容	観測位置、配置など
揚水水温	定期的に測定	揚水の水温が設計時に想定した水温から大きく乖離していないか、定期的に確認します。	揚水井
放流水温	定期的に測定	放流水の水温が設計時に想定した水温から大きく乖離していないか、定期的に確認します。	放流地点
放流量	定期的に測定	放流水の水量が設計時に想定した水量から大きく乖離していないか、定期的に確認します。	放流地点
放流水質	導入前に測定 簡易項目は定期的に測定	汲み上げた地下水の水質が水質汚濁防止法や条例に定める排水基準を満たしていることを確認します。 また、簡易に計測できる電気伝導率およびpH を定期的に計測し、水質に大きな変動がないことを確認します。	放流地点 (導入前測定は近隣井戸 や新設井戸)

<項目の解説>

○ 揚水水温

揚水井において、温度計を用いて水温を直接計測します。

○ 放流水温

放流地点において、温度計を用いて水温を直接計測します。

○ 放流量

放流量が少量の場合は、定量の容器が満杯になる時間を計測することにより概ねの流量を把握することができます。

流量が大きい場合は、揚水側を停止した貯水タンクの水位変動や、放流ポンプの消費電力等から流量の推定を行います。

○ 放流水質

地中熱利用ヒートポンプの導入前に、近隣井戸や新設井戸で地下水質調査を実施します。

水質調査項目としては、設備の腐食・スケール防止に関する項目(p25 「3.2 (4) 3) 設備の腐食・スケール生成の防止」を参照)および水質汚濁防止法や条例等で定める有害物質等(p27「3.2 (4) 5) 利用後の地下水の放流」および「参考資料 6. 水質に関する規制」を参照)が対象となります。特に、過去に地下水汚染事故があり、対策を行った後にその地域で地下水利用を行う場合は、十分な確認が必要です。

また、使用開始後も電気伝導率およびpH を定期的に計測し、大きな水質の変化がないことを確認し、大きく変動した場合、再調査を行います。

② 補足項目

項目	実施時期、頻度	内容	観測位置、配置など
揚水水温	常時観測	揚水の水温が設計時に想定した水温から大きく乖離していないか、自動計測式の温度計により常時観測します。	揚水井
放流水温	常時観測	放流水の水温が設計時に想定した水温から大きく乖離していないか、自動計測式の温度計により常時観測します。	放流地点
放流量	常時観測	放流水の水量が設計時に想定した水量から大きく乖離していないか、自動計測式の流量計により常時観測します。	放流地点
放流水質	簡易項目を常時観測	簡易に計測できる電気伝導率およびpHを、自動計測式の電気伝導率計およびpH計により常時観測します。	放流地点

<項目の解説>

○ 揚水水温

①で示した揚水水温について、自記温度計の設置により自動観測を行います。

○ 放流水温

①で示した放流水温について、自記温度計の設置により自動観測を行います。

○ 放流量

①で示した放流量について、自記流量計の設置により自動観測を行います。

○ 放流水質

①で示した放流水質(電気伝導率およびpH)について、自動計測器の設置により自動観測を行い、大きく変動した場合、再調査を行います。

4) モニタリングのシステム

モニタリングシステムは、「還元型」と「放流型」で異なります。

① オープンループ方式・還元型

オープンループ方式・還元型では、導入前に確認する基本項目が「履歴」の1項目、定期的に測定する基本項目は「揚水井水位」、「揚水水温」、「還元水温」、「還元水量」、「還元水質」の5項目となります。

基本項目の5項目は補足項目にも挙げていますが、補足項目として高頻度で測定する場合は、自動記録機器の設置による常時観測・記録を行います。

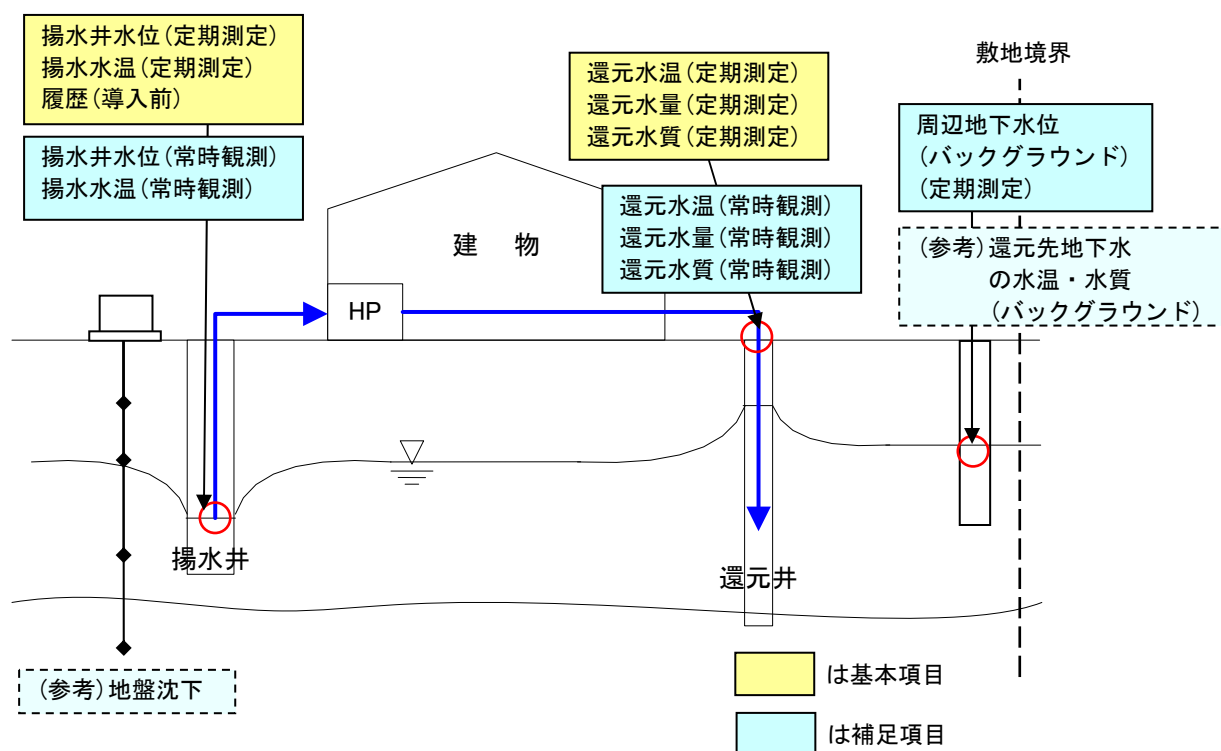


図 4-6 オープンループ方式・還元型のモニタリングイメージ

② オープンループ方式・放流型

オープンループ方式・放流型では、導入前に確認する基本項目が「履歴」の1項目、定期的に測定する基本項目は「揚水井水位」、「揚水水温」、「放流水温」、「放流量」、「放流水質」の5項目となります。

基本項目の5項目は補足項目にも挙げていますが、補足項目として高頻度で測定する場合は、自動記録機器の設置による常時観測・記録を行います。

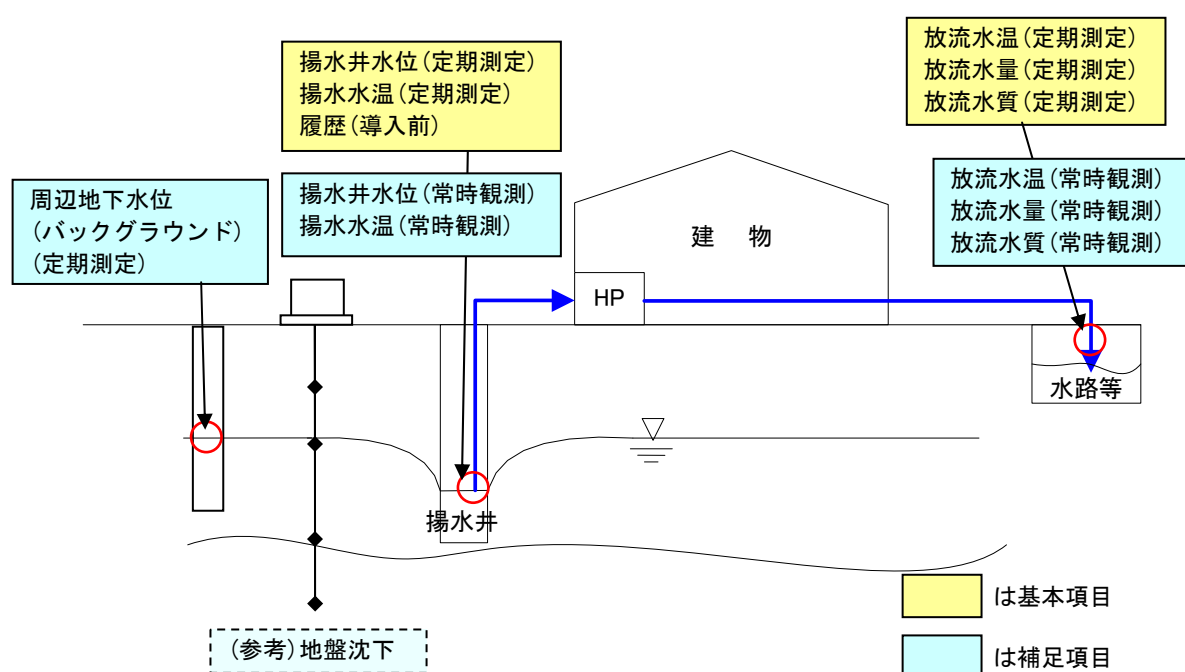


図 4-7 オープンループ方式・放流型のモニタリングイメージ

＜参考＞各利用方式のモニタリング項目と頻度の一覧

表 4-3 クローズドループ方式に関するモニタリング項目および頻度

クローズドループ方式	基本項目		補足項目	
	項目	時期、頻度	項目	時期、頻度
地下水・地盤温度への影響	熱媒体温度	定期的に測定(入口・出口)	熱媒体温度	常時観測(入口・出口)
	熱媒体循環量	定期的に測定	熱媒体循環量	常時観測
	—	—	地下水・地盤温度	定期的に測定
	—	—	(参考)周辺域の地下水・地盤温度	定期的に測定 バックグラウンドも
地下水質への影響	—	—	(参考)地下水質	導入前に測定 簡易項目(pH、EC※)を定期的に測定
	—	—	(参考)周辺域の地下水質	定期的に測定 バックグラウンドも

表 4-4 オープンループ方式に関するモニタリング項目および頻度

オープンループ方式	基本項目		補足項目	
	項目	時期、頻度	項目	時期、頻度
揚水による地下水位への影響	履歴	導入前に確認	—	—
	揚水井水位	定期的に測定	揚水井水位	常時観測
	—	—	周辺地下水位	定期的に測定
	—	—	(参考)地盤沈下	定期的に測定 または常時観測
地下水の還元による水温・水質への影響	揚水水温	定期的に測定	揚水水温	常時観測
	還元水温	定期的に測定	還元水温	常時観測
	還元水量	定期的に測定	還元水量	常時観測
	還元水質	導入前に地下水水質を確認 簡易項目(pH、EC※)は定期的に測定	還元水質	簡易項目(pH、EC※)を常時観測
	—	—	(参考)還元先地下水の水温・水質	定期的に測定
放流先水域の水温・水質への影響	揚水水温	定期的に測定	揚水水温	常時観測
	放流水温	定期的に測定	放流水温	常時観測
	放流量	定期的に測定	放流量	常時観測
	放流水質	導入前に地下水水質を確認 簡易項目(pH、EC※)は定期的に測定	放流水質	簡易項目(pH、EC※)を常時観測

※ EC:電気伝導率

4.3 モニタリングの実例

モニタリングを実施した例として、実証事業の事例を紹介します。

(1) クローズドループ方式のモニタリング事例

実証事業では、クローズドループ方式のシステムにおいて、以下の項目のモニタリングを実施しました。

省エネ効果、CO2 削減効果、地下水・地盤環境への影響等様々な観点から検証を行うため、水質を除く多項目のモニタリングを行いました。これらのうち、前項の基本項目に該当するものは図中◎で示す2項目3箇所です。

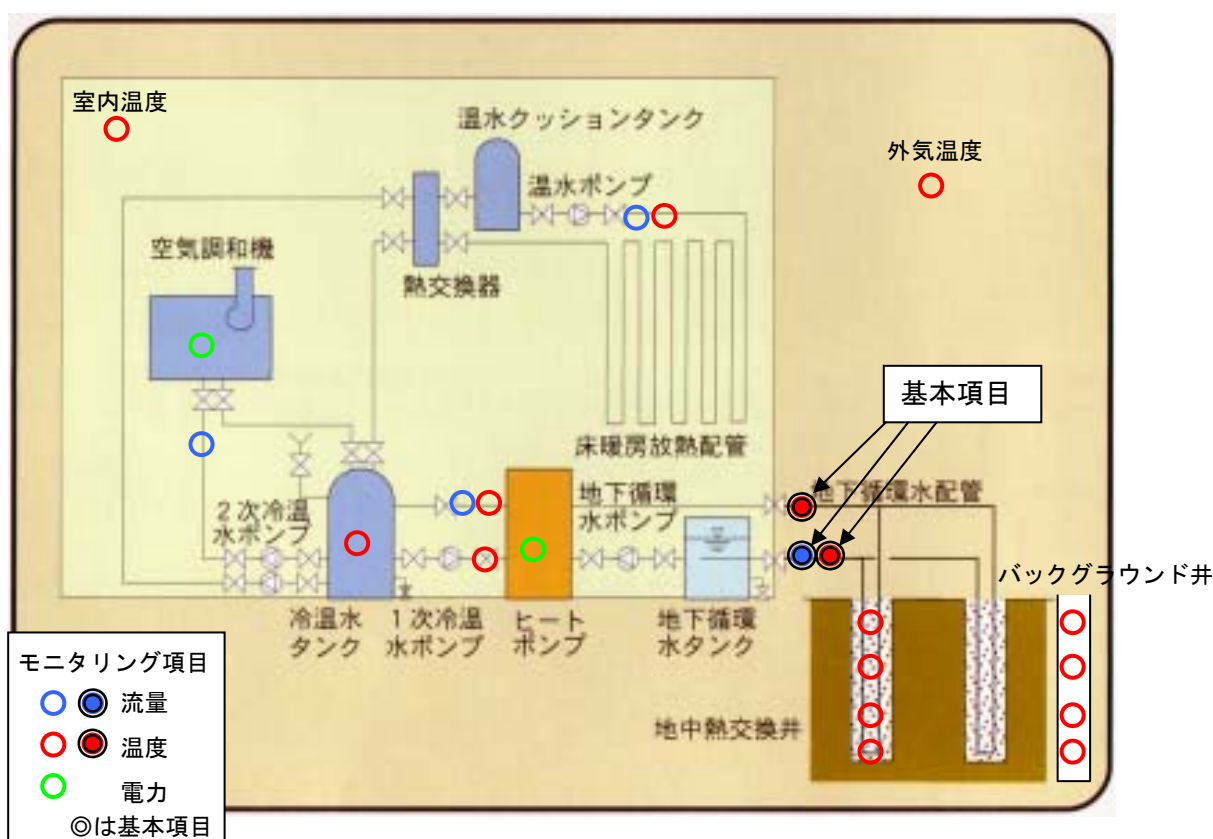


図 4-8 実証事業におけるクローズドループ方式のモニタリング事例²⁶

²⁶ H19 地下水等活用型・地中熱利用型ヒートアイランド対策評価業務報告書、p64、環境省地下水・地盤環境室

(2) オープンループ方式のモニタリング事例

実証事業では、オープンループ方式・還元型のシステムにおいて、以下の項目のモニタリングを実施しました。

省エネ効果、CO2 削減効果、地下水・地盤環境への影響等様々な観点から検証を行うため、多項目のモニタリングを行いました。これらのうち、前項の基本項目に該当するものは図中◎の4項目6箇所です。

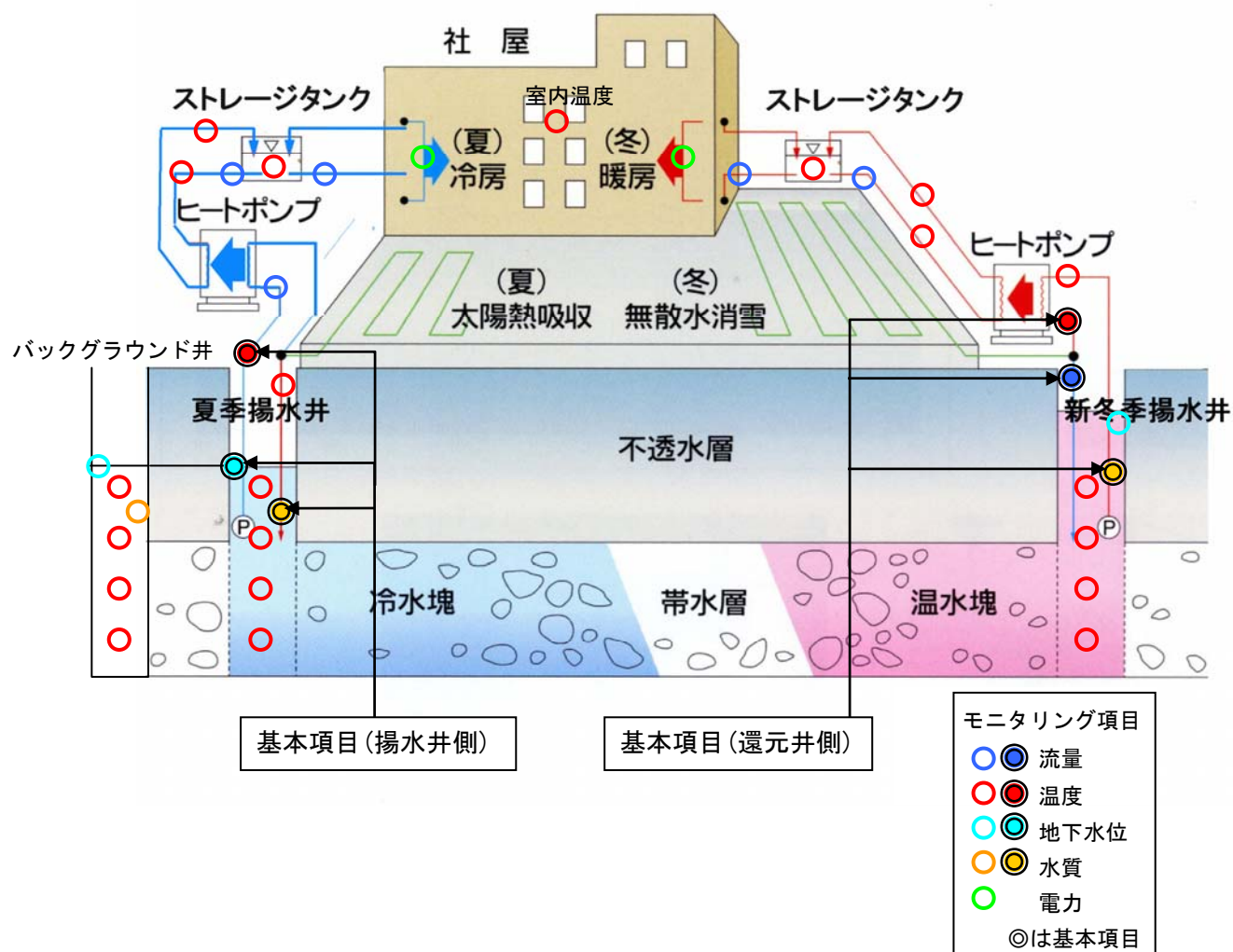


図 4-9 実証事業におけるオープンループ方式・還元型のモニタリング事例²⁷

²⁷ H21 地下水等活用型・地中熱利用型ヒートアイランド対策評価業務報告書、p25、環境省地下水・地盤環境室

5. モニタリングデータの将来的な活用について

地中熱利用ヒートポンプの利用にあたり、地下水・地盤環境の状態を継続的に把握し、その変化を監視するモニタリングは、地盤環境の持続可能な利用に向けて、①継続的な地下水・地盤環境状態の把握、②地下水・地盤環境変化の把握、③地下水・地盤環境への影響の検証の目的を有しています。モニタリングデータを蓄積することには以下のメリットがあります。

○モニタリングデータを継続的に蓄積しておくことにより、例えば空調の効きが悪い時はどのような熱媒体温度になっているかなど、過去の記録を参考にしながらシステムのコントロールができるようになります。

○導入場所の地下水・地盤環境やシステムの規模、利用形態等が異なる各利用者でモニタリングデータを蓄積していくことにより、将来的にそれらのデータを活用し、現時点では明らかとなっていない地中熱利用ヒートポンプ技術の利用による地下水・地盤環境への影響の実態や熱負荷との因果関係等を、より詳しく検証していくことにも役立てることができます。

また、将来的に地中熱利用ヒートポンプの普及が進むことで、より大規模の地中熱利用ヒートポンプ施設の設置や、小規模施設でも狭い範囲に多数集中した設置等これまでに十分な知見が得られていない事例が増えることも考えられ、地下水・地盤環境に影響を及ぼすことなく、地中熱利用ヒートポンプの普及促進を図るためには、上記のような状況も考慮し、地下水・地盤環境への潜在的な影響の定量評価やコスト低減技術等の進展を踏まえて本ガイドラインを更新・改訂することが望ましく、そのためにもモニタリングデータの適切な蓄積・管理・活用が有用です。

活用方法の例としては、モニタリングデータの公開により、大学、民間企業または公的な研究機関で、環境に与える影響の評価や、より効率的で環境に与える負荷の小さな地中熱利用非ヒートポンプシステムの開発が行われ、それらの情報や技術が市場に還元されて更なる普及促進につながることも期待されます。

また、多くの関係者が連携し、モニタリングを実施した取組みをモニタリング事例集として整理し情報を共有化するとともに、モニタリング結果をデータベース化し有効に活用していく仕組み、地下水・地盤環境の状態に変化が生じてきた場合に迅速に対応するための体制の確立について、検討していくことも必要であると考えています。