

「地中熱利用にあたっての ガイドライン（第4版）」 要約版

令和6年3月

環境省 水・大気環境局

環境管理課 環境汚染対策室

- 「地中熱利用にあたってのガイドライン（第4版）」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いながら地中熱利用の普及促進を図ることを目的として、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・地盤環境への影響の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たものです。
- 本要約版は、ガイドラインの主な内容を章ごとに抽出し、地中熱利用に取り組む地方公共団体などの担当者を対象に地中熱利用に関する情報を利用しやすく整理したものです。

本ガイドラインの目次

序 ～本ガイドラインの適用範囲と構成～

1. 地中熱利用ヒートポンプの概要

- 1.1 地中熱利用の種類
- 1.2 地中熱利用ヒートポンプの仕組み
- 1.3 地中熱の普及状況

2. 地中熱利用ヒートポンプシステムによる省エネルギー効果等

- 2.1 省エネルギー効果の試算
- 2.2 CO₂排出量削減効果の試算
- 2.3 省コスト効果の試算
- 2.4 ヒートアイランド現象の緩和効果の試算
- 2.5 ZEBおよびZEHへの地中熱導入事例

3. 地中熱利用ヒートポンプシステムに関する配慮事項

- 3.1 導入における条件
- 3.2 導入および利用における留意点
- 3.3 導入における工夫

4. 地中熱利用による効果・影響とモニタリング方法

- 4.1 モニタリングの必要性
- 4.2 考えられる環境影響
- 4.3 モニタリング項目と方法
- 4.4 モニタリング機器の設定・配置等
- 4.5 モニタリングデータの確認・取り扱い方法

5. 地中熱利用に関する新技術等の紹介

- 5.1 地中蓄熱に関する技術
- 5.2 分析・解析ツール
- 5.3 その他の新技術に関する技術開発・実証事業

おわりに

参考資料

- 地中熱関連用語集
- 地中熱利用ヒートポンプシステムの事例データ集
- モニタリングデータによる地盤温度影響解析等
- 地中熱利用による地下微生物への影響評価事例
- 地中熱利用ヒートポンプシステムにおけるパッケージ化の推進
- 地下水に関する規制
- 水質に関する規制
- その他関連法規
- 関連するガイドライン等
- 検討委員会メンバー

● 適用範囲

本ガイドラインは、地中熱利用に関する方式のうち、主に地中熱利用ヒートポンプシステムを用いた手法を対象に解説しています。

● ガイドラインの構成

本ガイドラインは、第1章から第5章及び参考資料で構成されています。

第1章 地中熱利用ヒートポンプの概要

- ・ 地中熱利用の種類
- ・ 地中熱利用ヒートポンプの仕組み
- ・ 地中熱利用の方式別・都道府県別・施設別の普及状況

第2章 地中熱利用ヒートポンプシステムによる省エネルギー効果等

- ・ 従来の冷暖房や給湯などの方式と比べた場合の省エネルギー効果の試算、CO2排出量削減効果の試算、省コスト効果の試算、ヒートアイランド現象の緩和効果の試算
- ・ ZEB・ZEHの導入事例

第3章 地中熱利用ヒートポンプシステムに関する配慮事項

- ・ 地中熱利用ヒートポンプシステムを導入する際の条件、留意点、工夫など

第4章 地中熱利用による効果・影響とモニタリング方法

- ・ モニタリングの必要性、考えられる環境影響
- ・ モニタリング項目と方法、モニタリング機器の選定・配置等の事例

第5章 地中熱利用に関する新技術等の紹介

- ・ 地中熱利用の導入を検討する際に参考となる技術情報
- ・ 地中蓄熱の追記、分析・解析ツール等の充実

参考資料

- ・ 地中熱関連用語集
- ・ 補助事業の主な成果
- ・ 地下微生物への影響評価事例
- ・ 地下水・水質に関する規制
- ・ 関連するガイドライン名等の充実
- ・ パッケージ化の推進

- 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、地中熱利用ヒートポンプは空気を熱源とするより効率的にエネルギーを利用できる。(図-1参照)
- 地中熱利用とは、地中を熱源として空調・給湯・融雪等に利用することをいい、さまざまな種類がある。(図-2参照)
- ヒートポンプは低い温度の物体（空気、水、地中等）から熱を奪い、高い温度の物体（空気、水、地中等）に伝える装置である。

図-1. 外気温と地中温度の季節変化

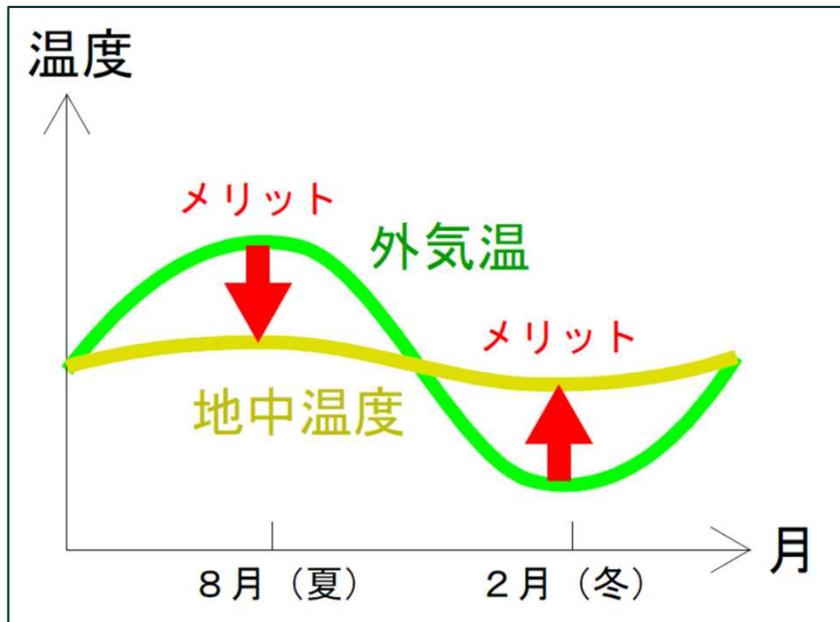
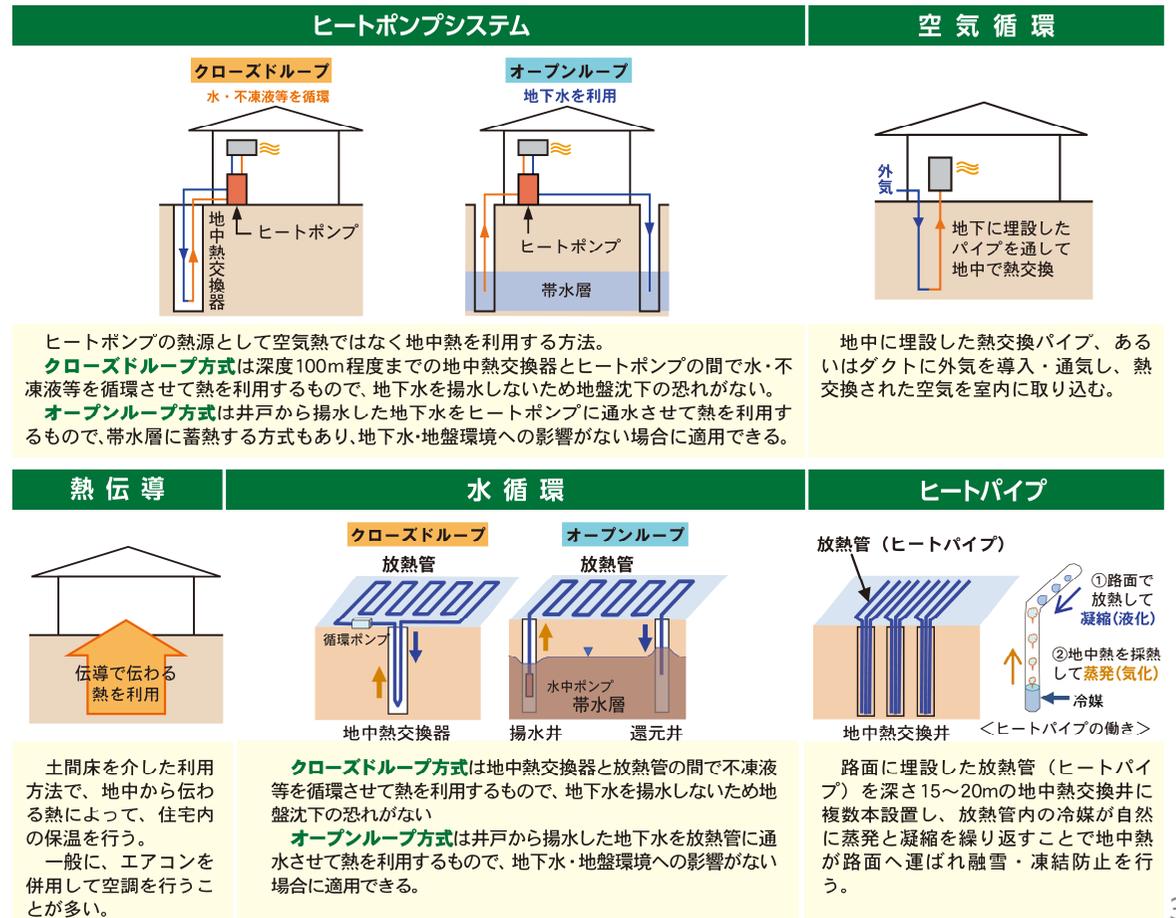


図-2. 地中熱利用の種類



～地中熱利用ヒートポンプの仕組み～

- 地中熱利用ヒートポンプシステムには**クローズドループ方式**と**オープンループ方式**がある。(図-3参照)
- **クローズドループ方式**は、地中に埋設した熱交換器（地中熱交換器）に**水や不凍液などを循環**させ、地上のヒートポンプとの間で熱交換を行う。
- **オープンループ方式**は、**地下水を汲み上げて**地上のヒートポンプで熱交換を行う。
- 地中熱利用ヒートポンプシステムは、一次側システム、熱源機器、二次側システムの総称である。(図-4参照)

図-3. 地中熱利用方式の分類

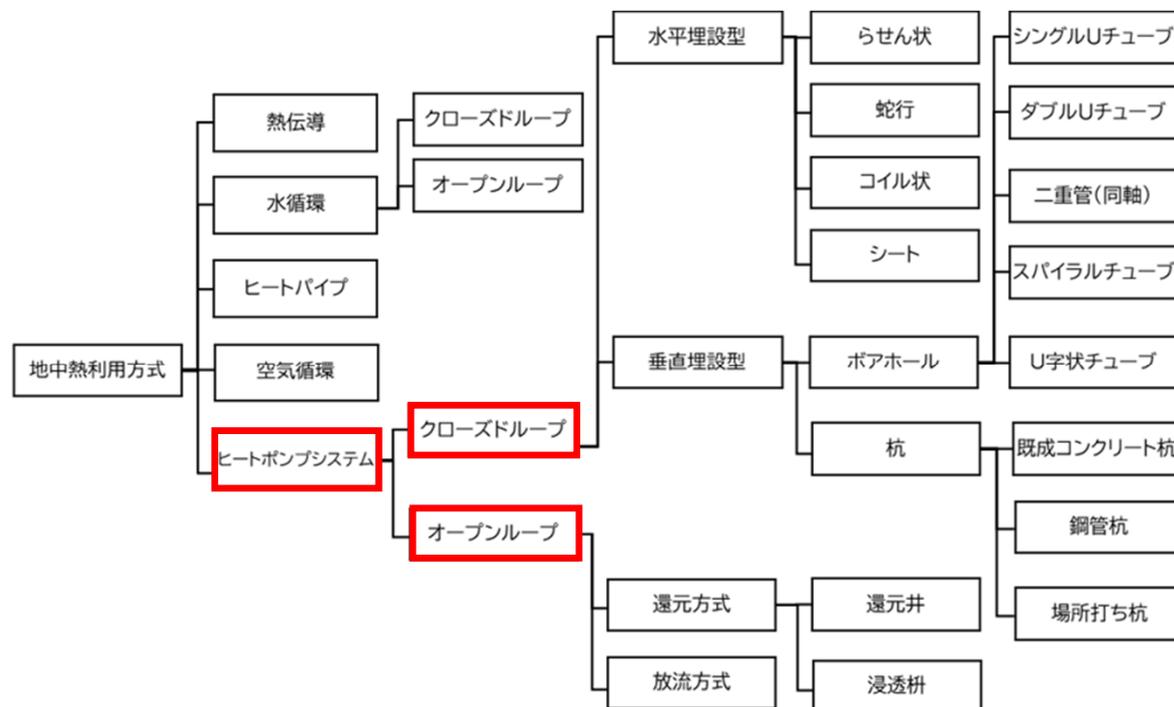
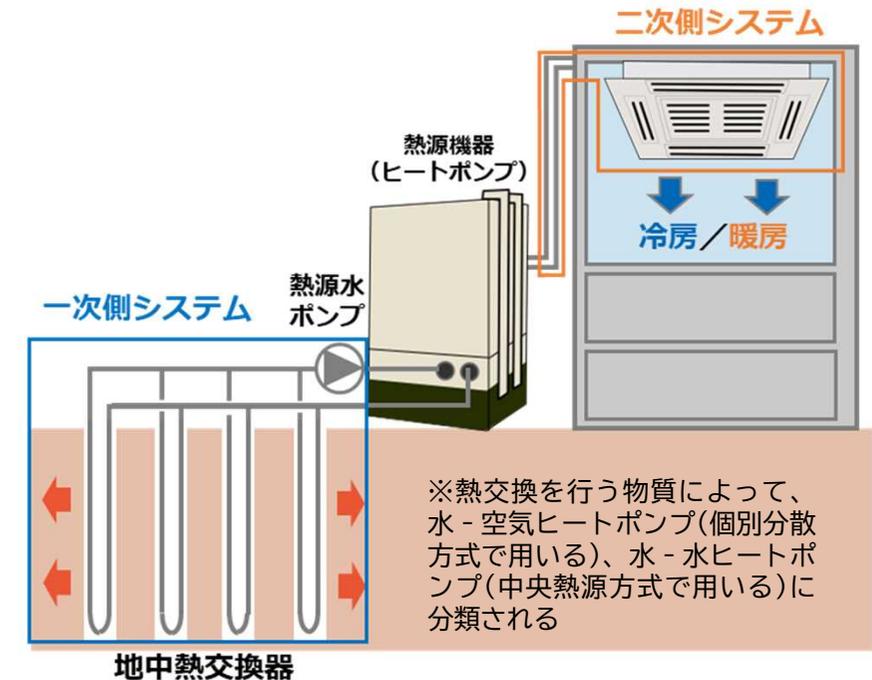


図-4. 地中熱利用ヒートポンプシステム
(クローズドループ方式の例)



一次側システム：熱媒体（水、不凍液など）を介して地中との間で採放熱を行う

二次側システム：熱源機器で生成した冷温熱を用いて建物等の空調を行う

- 地中熱利用ヒートポンプの国内年間設置件数は2013年のピーク時から減少したが、年間約100件程度で推移している。(図-5参照)
- 海外では日本に比べ地中熱利用ヒートポンプの導入が進んでいる。(図-6参照)
- 都道府県別の累計設置件数は北海道が多く、北海道を除くと東日本（中部地方を含む）で多く、西日本で少ない傾向がある。(図-7参照)
- 施設別の累計設置件数は戸建住宅が最も多く、次いで事務所となっている。(図-8参照)

図-5. 地中熱利用ヒートポンプの年間設置件数

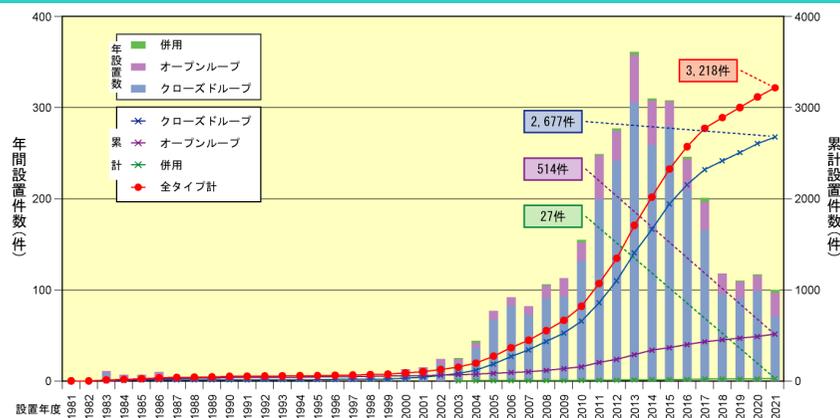


図-7. 地中熱利用ヒートポンプの都道府県別の累計設置件数

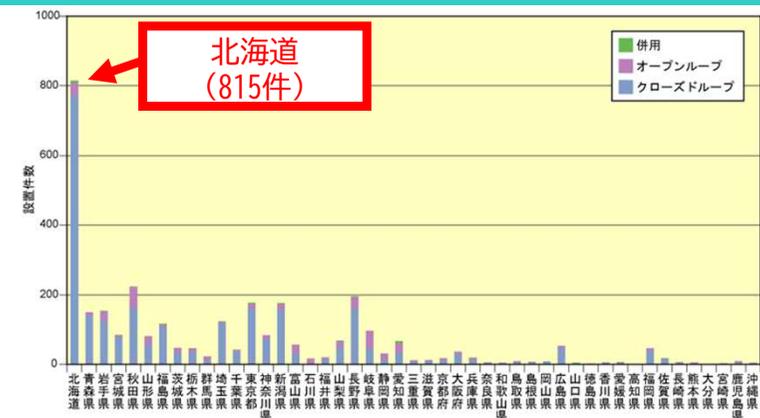


図-6. 地中熱利用ヒートポンプの国別累計設備容量

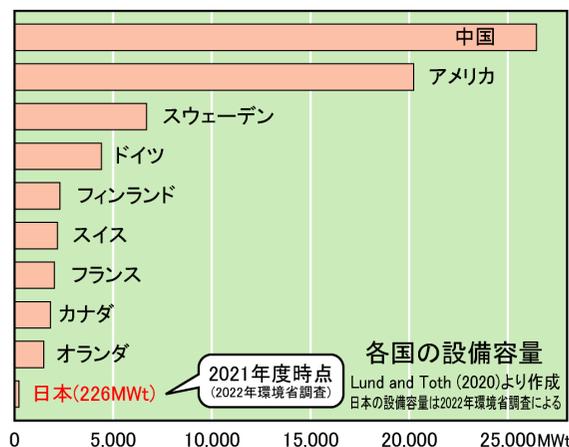
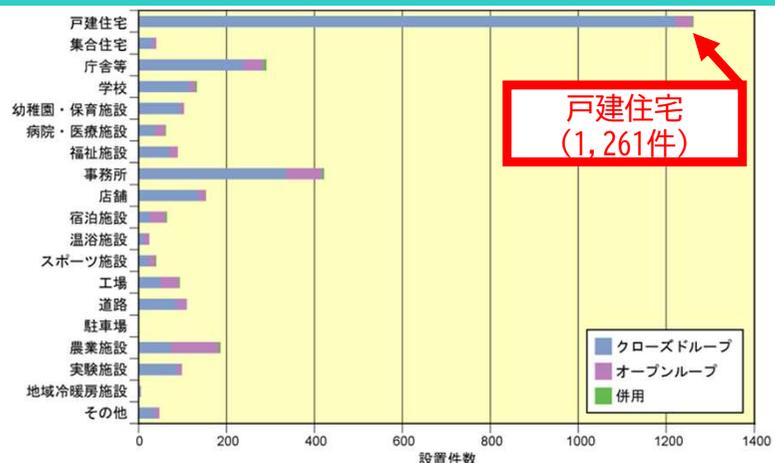


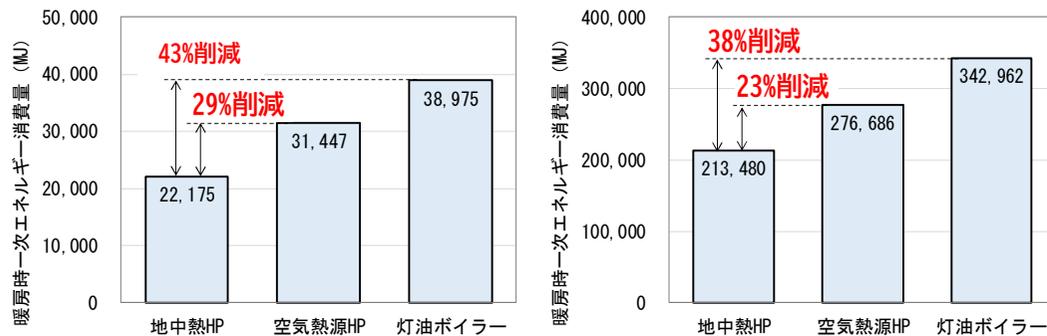
図-8. 地中熱利用ヒートポンプの施設別の累計設置件数



第2章 地中熱利用ヒートポンプシステムによる省エネルギー効果等 ガイドラインpp.12-23 ～省エネルギー効果の試算、CO₂排出量削減効果の試算～

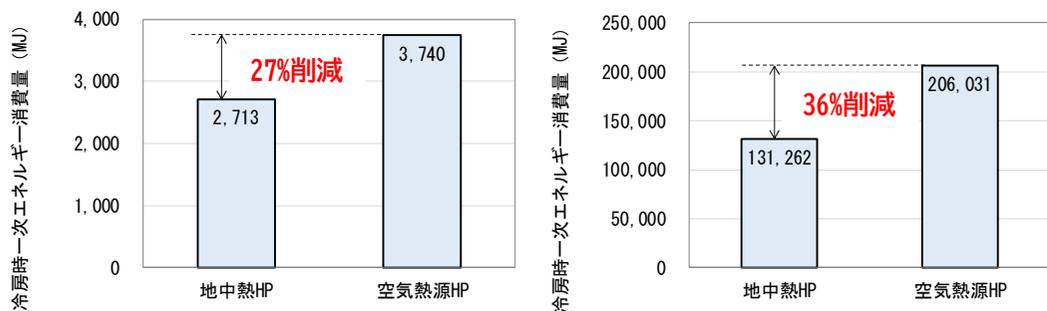
- 地中熱利用ヒートポンプシステムを導入すると、熱を交換するシステムが高効率化し、**エネルギー（電気や灯油）消費量、CO₂排出量を削減**することができる。
- **エネルギー消費量**に関して、空気熱源ヒートポンプに比べて**23～36%**、灯油ボイラーに比べて**38～43%**削減することができる。（図-9参照）
- **CO₂排出量**に関して、空気熱源ヒートポンプに比べて**23～36%**、灯油ボイラーに比べて**52～56%**削減することができる。（図-10参照）

図-9. 省エネルギー効果



暖房時の省エネルギー効果
(ヒートポンプ定格能力20 kW未満)

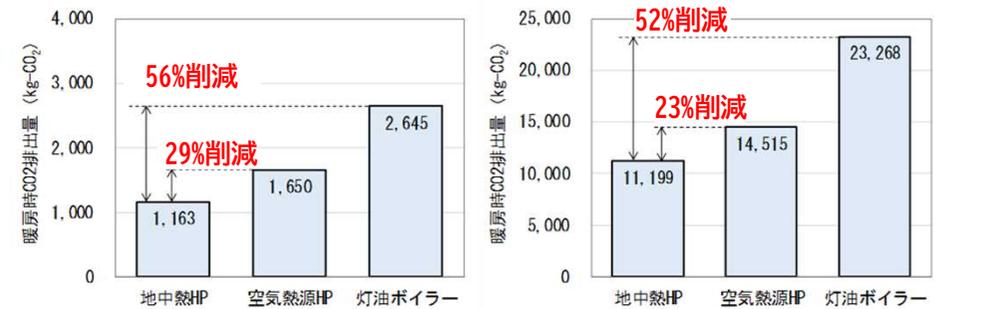
暖房時の省エネルギー効果
(ヒートポンプ定格能力20 kW以上)



冷房時の省エネルギー効果
(ヒートポンプ定格能力20 kW未満)

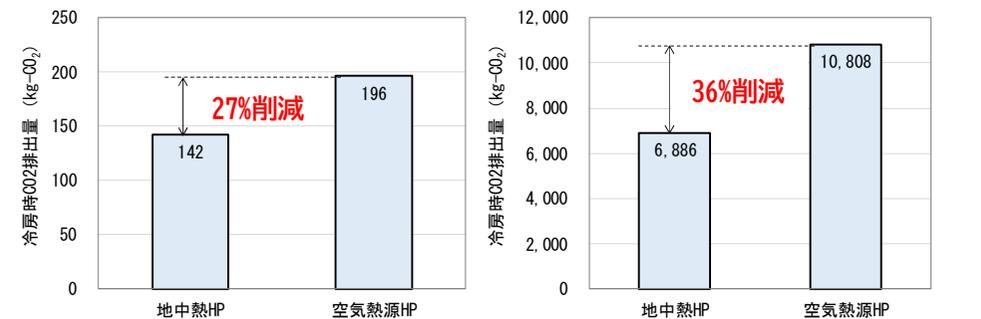
冷房時の省エネルギー効果
(ヒートポンプ定格能力20 kW以上)

図-10. CO₂排出量削減効果



暖房時CO₂排出量削減効果
(ヒートポンプ定格能力20 kW未満)

暖房時CO₂排出量削減効果
(ヒートポンプ定格能力20 kW以上)



冷房時CO₂排出量削減効果
(ヒートポンプ定格能力20 kW未満)

冷房時CO₂排出量削減効果
(ヒートポンプ定格能力20 kW以上)

第2章 地中熱利用ヒートポンプシステムによる省エネルギー効果等 ガイドラインpp.24-30 ～省コスト効果の試算～

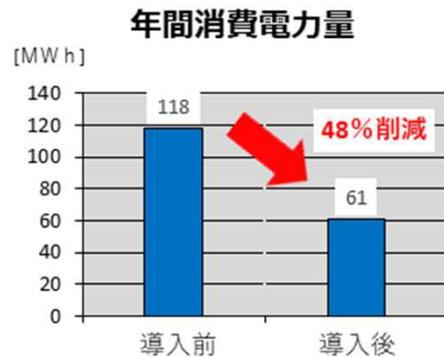
- 地中熱利用ヒートポンプシステムは適切な設計がされていれば多くの場合、**省コスト効果**が得られる。
- 地中熱利用ヒートポンプシステムの導入による省コスト効果は、特に従前設備と比較して**ランニングコストが削減**されることによって得られる。

図-11. 空気熱源ヒートポンプとクローズドループ方式のランニングコストの比較

クローズドループ方式（ヒートポンプ定格能力106 kW）の導入事例

単位：年当たり

1年間あたり（2019年4月～2020年3月）	消費電力量	一次エネルギー消費量	電気使用料金
導入前（電気PH+空気熱源HP）	118.3 MWh	1,179 GJ	3,096千円
導入後（地中熱利用HP）	61.0 MWh	608 GJ	1,521千円
年間削減量	57.3 MWh	571 GJ	1,575千円
年間削減率	48%	48%	51%



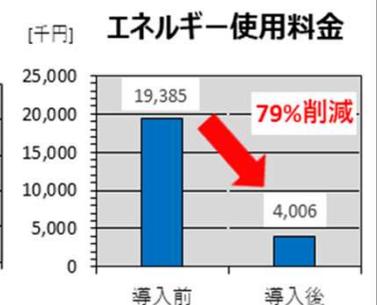
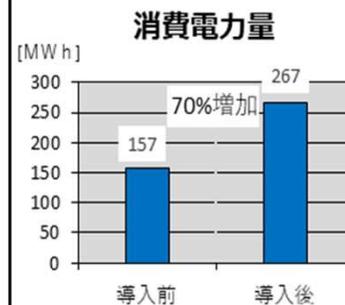
※1 導入前の値は、導入後のデータを基に推計した。
 ※2 電気PH：電気パネルヒーターの略
 ※3 HP：ヒートポンプの略
 ※4 電力使用量単価：17.35 円/kWh
 基本料金：1263.6 円/kWとしている。

図-12. 化石燃料を使用する設備とオープンループ方式のランニングコストの比較

オープンループ方式（ヒートポンプ定格能力101.7 kW）の導入事例

単位：年当たり

1年間あたり（2018年4月～2019年3月）	消費電力量	消費LPG量	一次エネルギー消費量	エネルギー使用料金
導入前（ガスボイラー+空気熱源HP）	157.4 MWh	47.3 t	3,943 GJ	19,385千円
導入後（地中熱利用HP）	267.0 MWh	0 t	2,662 GJ	4,006千円
年間削減量	-109.7 MWh	47.3 t	1,281 GJ	15,379千円
年間削減率	-70%	100%	32%	79%



※1 導入前の値は、導入後のデータを基に推計したものである。
 ※2 HP：ヒートポンプの略
 ※3 電力使用量単価：15 円/kWh、ガス使用量単価：360 円/kgとしている。

第2章 地中熱利用ヒートポンプシステムによる省エネルギー効果等 ガイドラインpp.24-30 ~省コスト効果の試算~

- 地中熱利用ヒートポンプシステムはイニシャルコストが他の設備と比べて高いものの、ランニングコストが低くなることによって**長期的にはトータルコストを低減できる**可能性がある。
- 施工方法の工夫や助成制度に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になる可能性がある。

図-13. 寒冷地の戸建住宅の冷暖房や給湯における省コスト効果の試算例

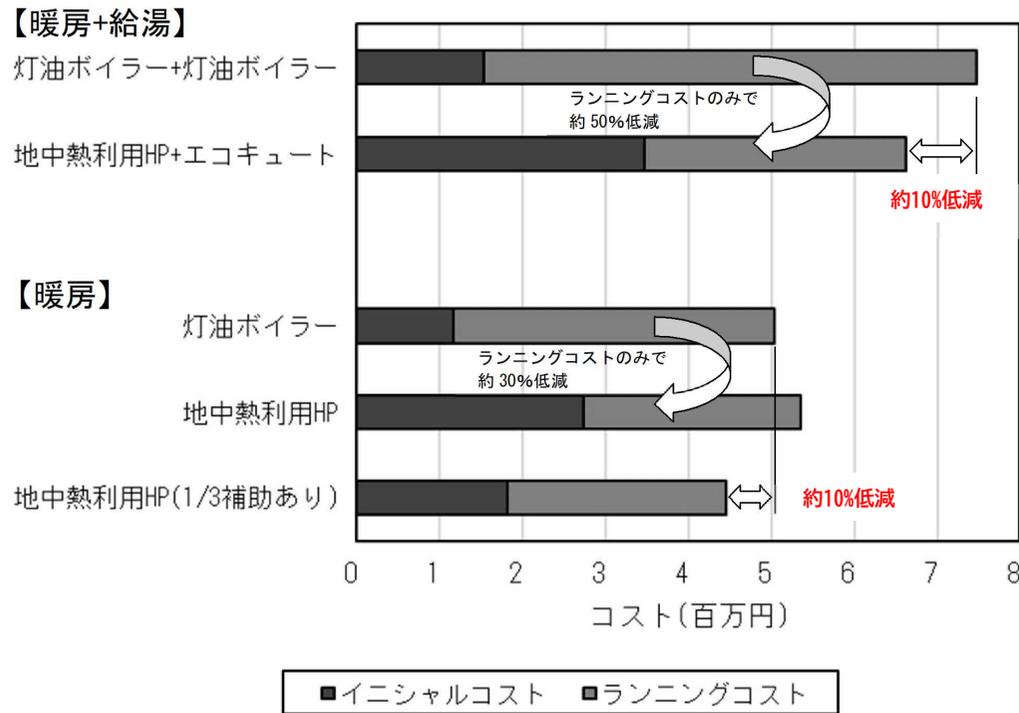
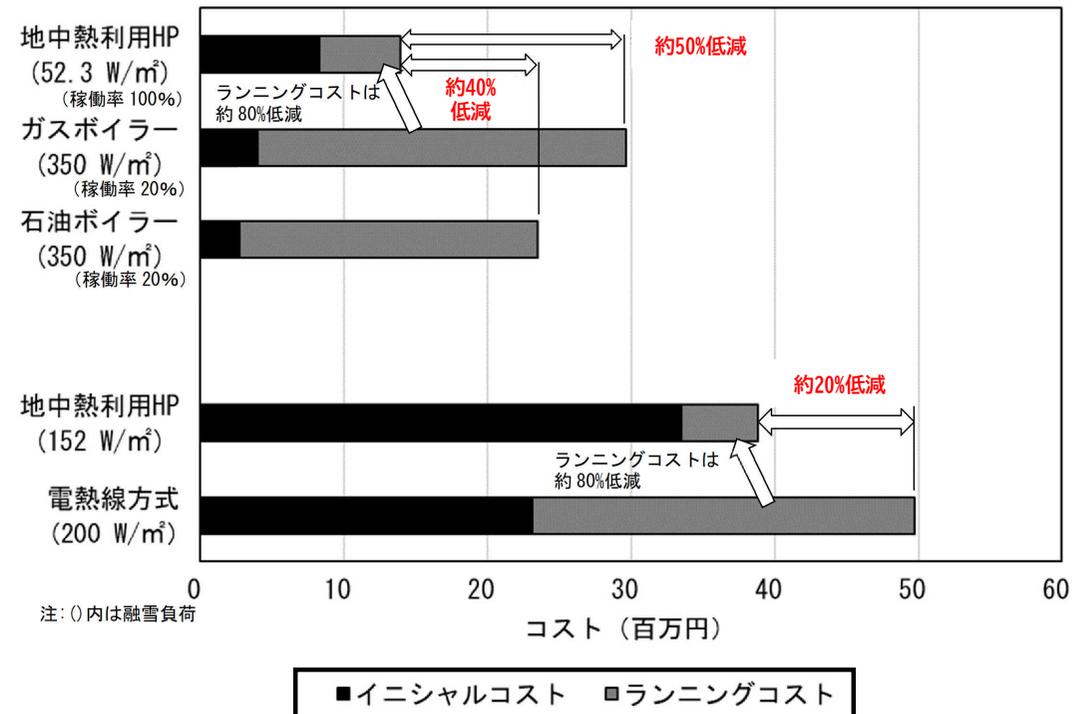


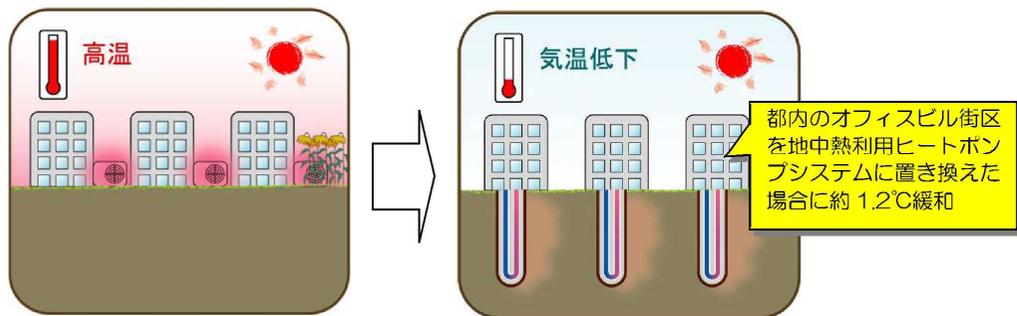
図-14. 融雪道路の省コスト効果の試算例 (融雪面積400 m²)



第2章 地中熱利用ヒートポンプシステムによる省エネルギー効果等 ガイドラインpp.31-32 ～ヒートアイランド現象の緩和効果の試算～

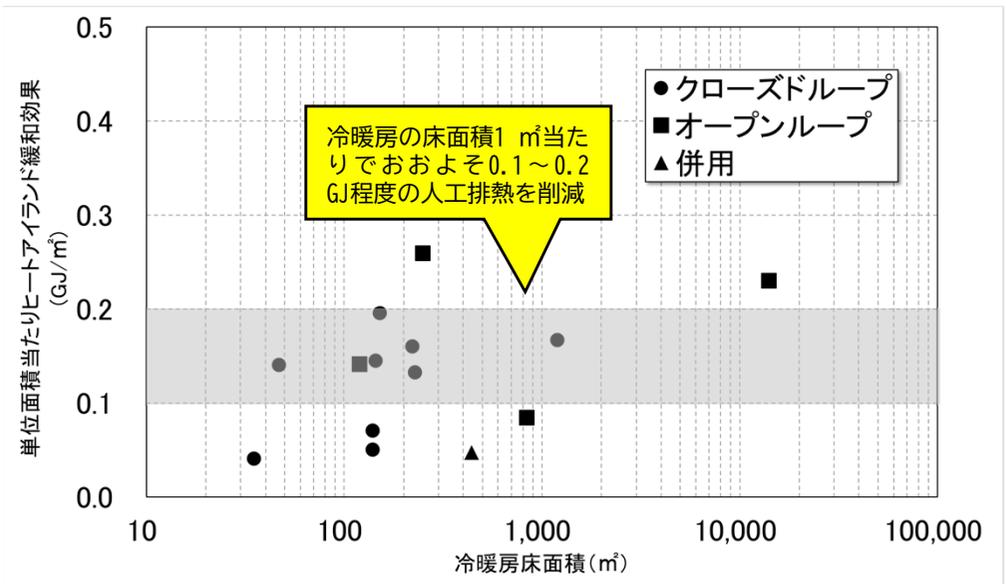
- 地中熱利用ヒートポンプは、夏には排熱を外気に放出しないため、ヒートアイランド現象の緩和が期待される。(図-17参照)

図-15. ヒートアイランド現象の緩和効果の試算例



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かえた場合、最高気温で1.2℃程度、住宅街では0.3℃程度の気温低減効果が期待できる。

図-16. クールシティ推進事業およびETV事業での人工排熱削減量（単位面積当たり）の例



夏季に冷房利用しているクールシティ推進事業の事例では、冷暖房の床面積1 m²当たりでおおよそ0.1～0.2 GJ（原油換算で約3～5 L、電力換算で約28～56 kWh）程度の人工排熱を削減できた。

第2章 地中熱利用ヒートポンプシステムによる省エネルギー効果等 ガイドラインpp.32-43 ～ZEBおよびZEHへの地中熱導入事例～

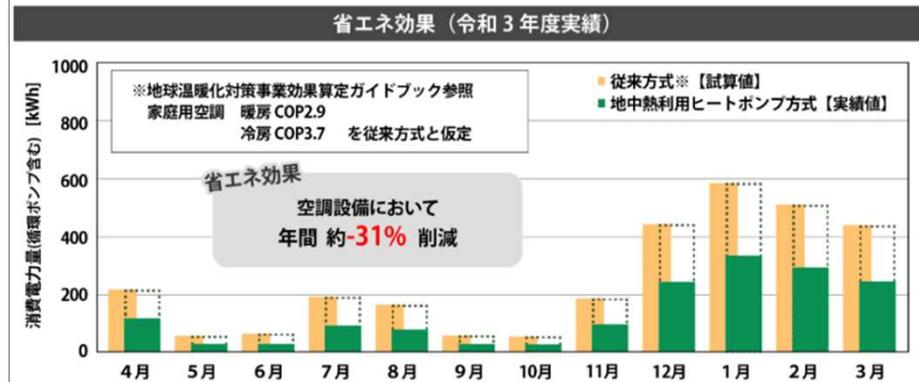
- ZEB・ZEHは省エネルギーと創エネルギーによって**建物で消費する年間の一次エネルギーの収支を正味でゼロ**とすることを目指した建物や住宅を指す。
- 地中熱は通年で安定して利用できるため、他熱源との併用・断熱性能が高い建物と組み合わせることで、地中熱利用を取り入れたZEB・ZEHの普及が期待される。

事例-1. ZEBにおける地中熱利用の事例紹介

施設名（所在地）	ダイダン株式会社北海道支店 「エネフィス北海道」 （北海道札幌市）	特徴など
地中熱の用途	空調、融雪	
地中熱利用設備概要	地中熱利用ヒートポンプ （暖房37.7 kW） アースチューブ、ヒートパイプ	
エネルギー消費量削減率	空調設備において、55%削減（設計値）	
ZEBへの登録年度	2020年度	
省エネルギーと創エネルギーの関係	<p>創エネルギー率 (%)</p> <p>一次エネルギー削減率 (%) (創エネ・その他含まず)</p> <p>出典：一般財団法人環境共創イニシアチブHP</p>	
<p>太陽光パネル、ハイサイドライト、リモビス (クラウド型自動制御システム)、デザイン梁 (タスク&アンビエント照明+明るさ感設計)、バイオフィリックデザイン、クリマチェア (イス型タスク空調)、クリマR (床染み出し空調方式+床放射空調方式)、外断熱工法、融雪システム (地中熱利用)、ヒートパイプ、V2Bスタンド、BCP盤、蓄電池、地中熱ヒートポンプ、アースチューブ、ポアホール型深熱管、防雪フード、給水確保システム (貯水機能付き給水機)、有機EL照明、コージェネレーション設備、空調機</p> <p>□：地中熱利用箇所</p>		
<ul style="list-style-type: none"> ・ クローズドループ方式を採用し、長さ100 mの地中熱交換器10本から採熱している。ヒートポンプは排熱回収機能も併せ持っており施設の排熱を有効活用している。また中間期と夏季の間はフリークーリングで運転を行っている。 ・ 外気をアースチューブで予冷や予熱して屋内に取り込むことで、熱負荷を下げている。 ・ 融雪用の4本の地中熱交換器とヒートパイプで、建物周囲の融雪を行っている。 		

事例-2. ZEHにおける地中熱利用の事例紹介

施設名（所在地）	個人宅（岩手県花巻市）	特徴など
地中熱の用途	空調	
設備概要	地中熱利用ヒートポンプ 10 kW×1台	
エネルギー消費量削減率	空調設備において、 31%削減（2021年度実績）	
特徴など		



- ・ 100 mの地中熱交換器1本で採排熱し、輻射パネルやファンコイルユニットを用いて木造2階建て住宅の全館冷暖房に使用している。
- ・ 建物の断熱性能を高め、外皮における熱損失を低減させることにより年間を通して高いエネルギー消費効率での稼働を可能とした。

設備概要

間仕切り効果も兼ねた冷温水ふく射パネル

吹き抜けも効果的に冷暖房

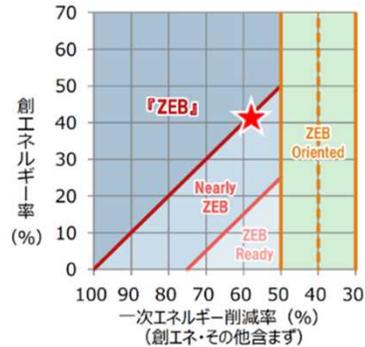
吹き抜けも効果的に冷暖房

出典：株式会社長府製作所提供資料

事例-3～7. ZEBにおける地中熱利用の事例紹介

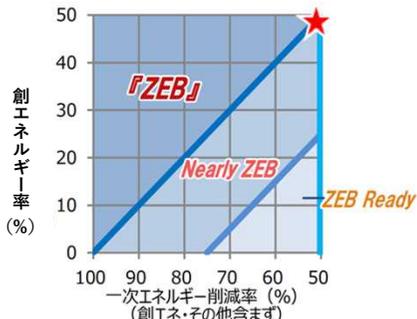
施設名（所在地）	日本環境科学株式会社 JESC-ZEB棟 （山形県山形市）
地中熱の用途	空調、給湯、融雪
エネルギー消費量削減率	空調設備において、53%削減（設計値）
ZEBへの登録年度	2021年度

外観と、省エネルギーと創エネルギーの関係



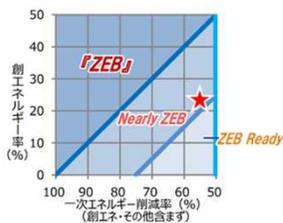
施設名（所在地）	前田建設工業株式会社 新技術研究所 （茨城県取手市）
地中熱の用途	空調
エネルギー消費量削減率	空調設備において、51%削減（設計値）
ZEBへの登録年度	2018年度

外観と、省エネルギーと創エネルギーの関係



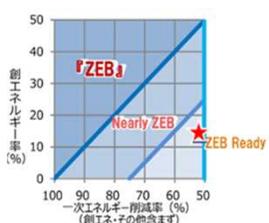
施設名（所在地）	開成町庁舎（神奈川県開成町）
地中熱の用途	空調、換気
エネルギー消費量削減率	空調設備において、48%削減（設計値）
ZEBへの登録年度	2018年度

外観と、省エネルギーと創エネルギーの関係



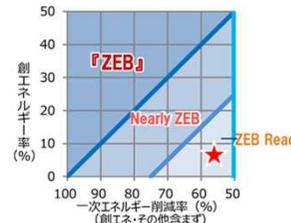
施設名（所在地）	ダイダン株式会社九州支社 「エネフィス九州」（福岡県福岡市）
地中熱の用途	空調、換気
エネルギー消費量削減率	空調設備において、45%削減（設計値）
ZEBへの登録年度	2017年度

外観と、省エネルギーと創エネルギーの関係



施設名（所在地）	愛知学院大学名城公園キャンパス事務棟 （愛知県名古屋市中区）
地中熱の用途	換気
エネルギー消費量削減率	空調設備において、58%削減（設計値）
ZEBへの登録年度	2018年度

外観と、省エネルギーと創エネルギーの関係



～導入における条件、導入および利用における留意点～

- 狭い範囲に地中への熱負荷が集中することを防ぎ、効率のよい熱利用を持続するためには、地中温度を大きく変化させることなく、地下水・地盤環境が保全されている状況が重要なため、「**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法を選定する必要がある。
- 利用方式を選定する際には、表-1の選択肢から当てはまる組み合わせを選び、該当する利用方式を確認する。(表-1参照)
- 設計する際には、**気候条件**、**地中条件**、**エネルギー関係**の事前調査と確認を行う。(図-17参照)

表-1. 適用できる地中熱利用ヒートポンプシステムの方式

年間の熱利用	地下水利用	地中熱利用 HP 方式	
		クローズドループ方式	オープンループ方式
A 冷暖房 (年間熱収支が バランス)	A 不可	◎	—
	B 可能	◎※1	○※1,3
B 冷房・暖房に 偏り または 給湯・温水	A 不可	◎	—
	B 可能	◎※1,2	○※1,2,3
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(4)	・地下水の水質 ・地下水揚水に関する規制 ・定期点検 ・還元井等の設置 ⇒詳細は 3.2(5)

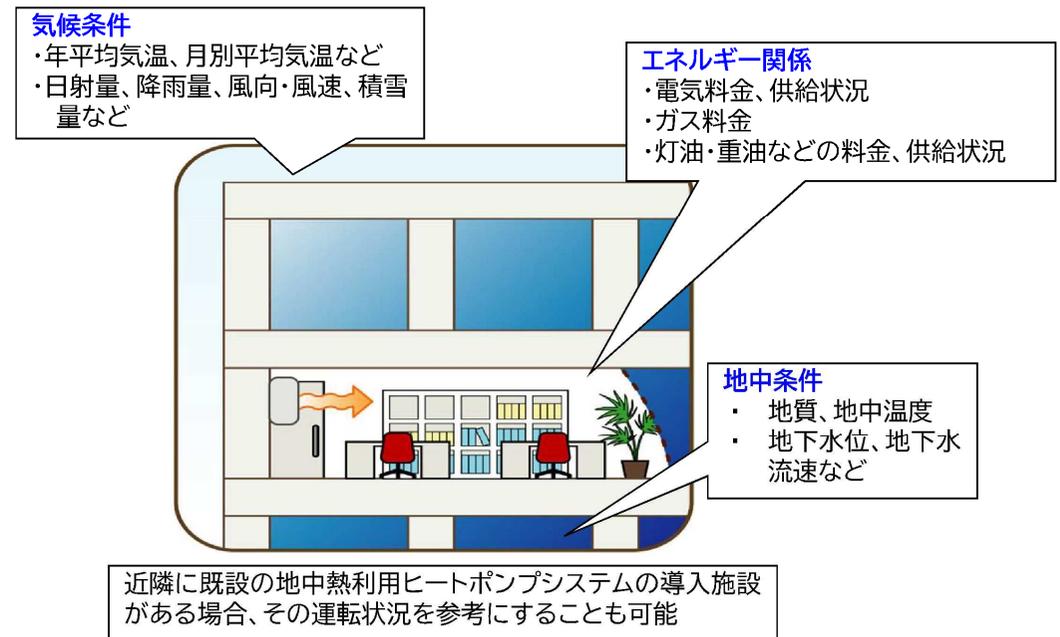
◎:適用可能
 ○:適用可能、ただし揚水した地下水を元の帯水層に戻す必要あり
 —:適用不可能(地下水を利用できないため)

※1 熱交換量が多い場合や隣地との境界付近に地中熱交換器を設置する場合などは、周辺の地中熱利用における熱交換効率の低下や、地下水・地盤環境への影響の可能性に留意する必要がある。

※2 熱交換量が大きくない場合であっても、年間熱収支に偏りがある場合は、周辺の地中熱利用における熱交換効率の低下や、地下水・地盤環境への影響等を長期的に生じる可能性に留意する必要がある。

※3 クローズドループ方式が地中の熱利用であるのに対してオープンループ方式は地下水利用に該当するため、国・自治体における揚水規制等の地下水利用に関わる法令等を遵守し、周辺の地下水利用への影響等に留意する必要がある。

図-17. 設計時の調査事項



地中条件の事前調査や確認の際、既に公開されているデータベースを活用することで、その地点における採熱量のポテンシャルや地盤情報を得ることができ、最適なシステム設計やコスト低減のため重要である。

- 地中条件の事前調査や確認の際、**既に公開されているデータベース**を活用することで、その地点における採熱量のポテンシャルや地盤情報を得ることができ、最適なシステム設計やコストダウンにつながる。

図-18. 日本における地中熱ポテンシャルマップ等の整備状況

潜在的な地中熱の利用可能性を示したマップ

マップ対象地域	マップ名 (掲載先 URL)	出所	公表年
日本全域	再生可能エネルギー情報提供システム「REPOS」 (https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/gis.html?energy=geothermal)	環境省	令和2年 (2020年)
日本全域	CO ₂ 排出量削減ポテンシャルマップ(戸建住宅相当) ^{注1}	北海道大学	令和元年 (2019年)
日本全域	必要地中熱交換器長さマップ(戸建住宅相当) ^{注2}	北海道大学	令和2年 (2020年)
日本全域	必要地中熱交換器長さ・本数マップ(事務所相当) ^{注3}	北海道大学	令和3年 (2021年)
青森県 全域	有効熱伝導率マップ、地下水の自然水位マップ (青森県地中熱・温泉熱利用ポテンシャル調査事業報告書)	青森県 弘前大学	平成23年 (2011年)

※環境省 地中熱利用にあたってのガイドライン(第4版) pp. 50-51
(<https://www.env.go.jp/content/000122999.pdf>)

図-19. 水文環境図の例

地下水温情報等

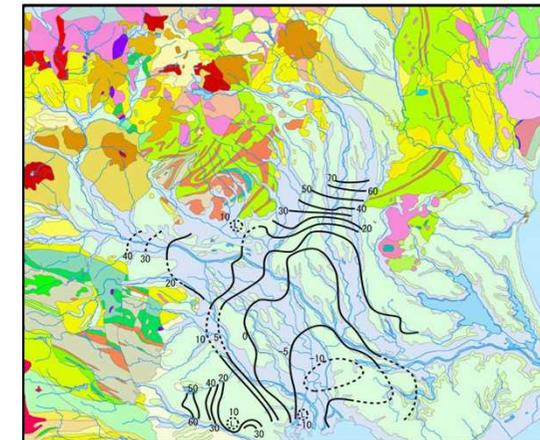


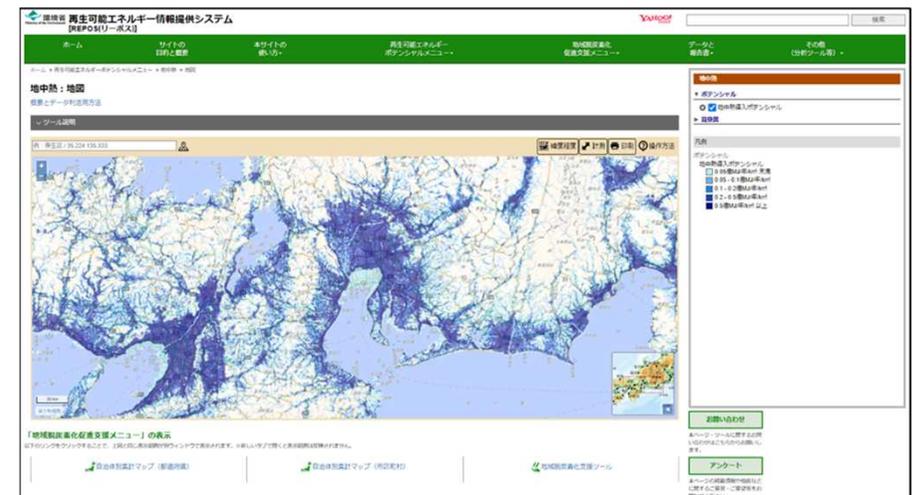
図-20. 国土地盤情報検索サイト「KuniJiban」の例

既往のボーリングデータ



図-21. 再生可能エネルギー情報提供システム「REPOS」の例

地中熱導入ポテンシャル



- 建物設計時には、**建物条件**、**気候条件**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する。(図-22参照)
- 空調方式には、**個別分散方式**と**中央熱源方式**（セントラル空調方式）がある。(図-23参照)
- **個別分散方式**は各部屋、系統毎に空調機を設置し、各々の空調機で稼働を制御することができる方式。(小規模建物の採用が多い)
- **中央熱源方式**は機械室など1カ所に設置された熱源機器で建物全体の空調を集中管理で制御することができる方式。(大規模建物の採用が多い)

図-22. 必要な冷暖房能力に影響する各項目

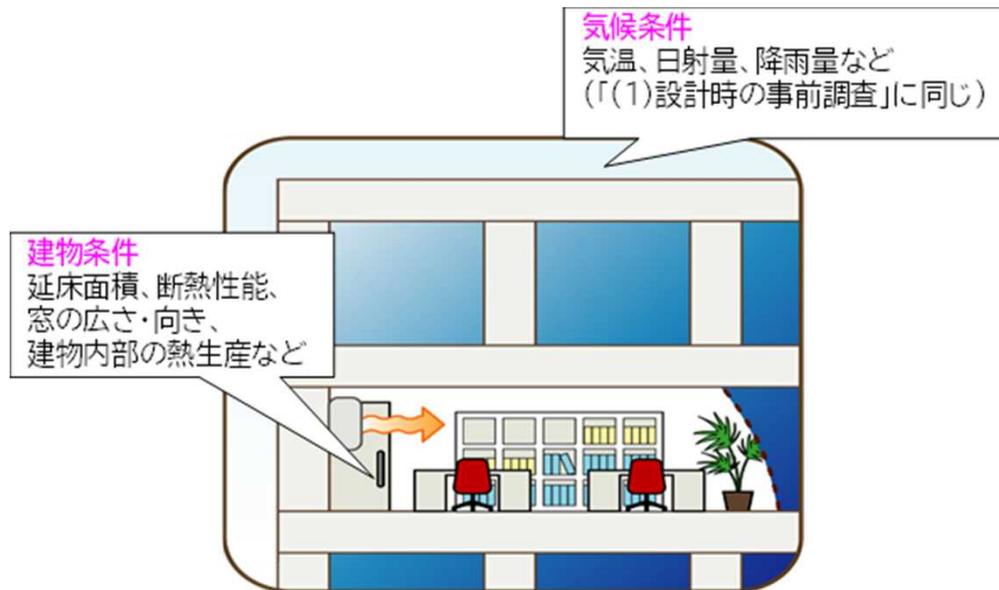
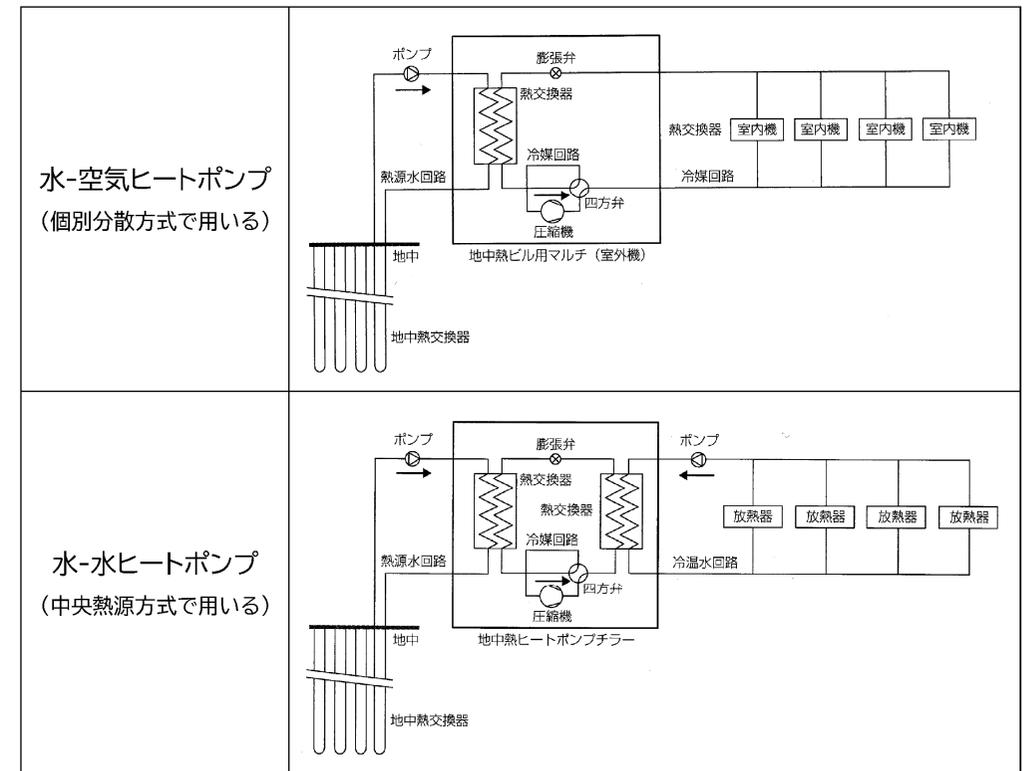
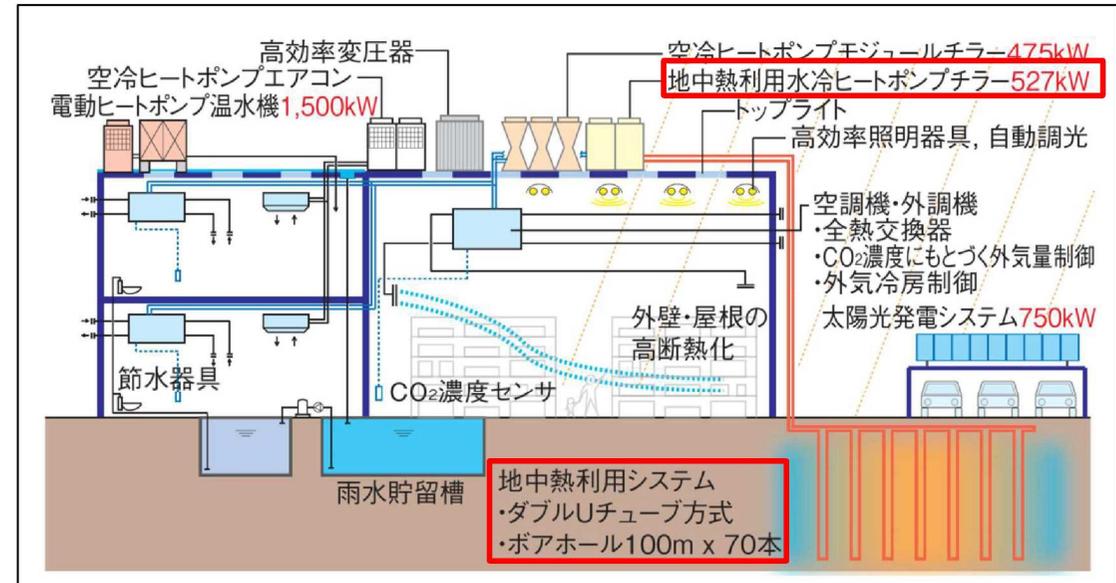


図-23. 一次側システムと二次側システムの構成例の模式図



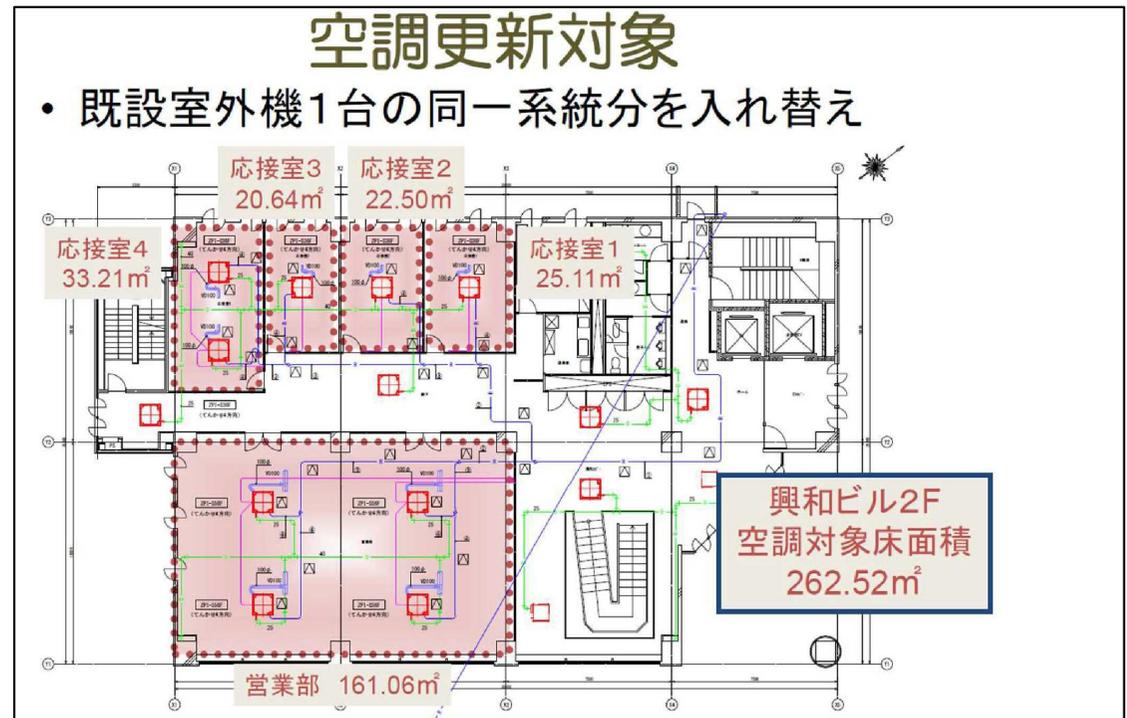
事例-8. 中央熱源方式を採用している事例

①施設名(所在地)	IKEA 福岡新宮 (福岡県糟屋郡新宮町)
②地中熱の用途	空調
③地中熱利用設備概要	地中熱利用ヒートポンプ(水-水ヒートポンプ)1台 (冷房 527 kW / 暖房 530 kW)
④エネルギー消費量削減率	44% (2014 年度実績)
⑤竣工年	2012 年



事例-9. 個別分散方式を採用している事例

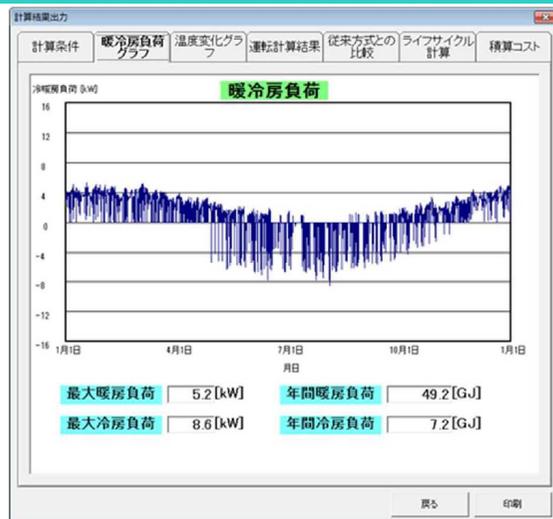
①所在地	興和ビル (新潟県新潟市)
②地中熱の用途	冷暖房、融雪
③地中熱利用設備概要	地中熱利用ヒートポンプ(水-空気ヒートポンプ)1台 (冷房 40 kW / 暖房 45 kW)
④エネルギー消費量削減率	52% (2013 年度実績)
⑤竣工年	2012 年



- 設備導入時には利用用途の想定や、建物側の熱負荷に留意して一次側システムを適切に設計することが重要。
- 運転管理では、採熱量などの計画値を上回る運転は行わないように留意する。
- 運用時のモニタリングやEMS（エネルギーマネジメントシステム）等を用いた運転管理が求められる。

図-24. 地中熱利用システムシミュレーションソフト Ground Clubによる計算例

暖冷房負荷の計算グラフ



温度変化のグラフ

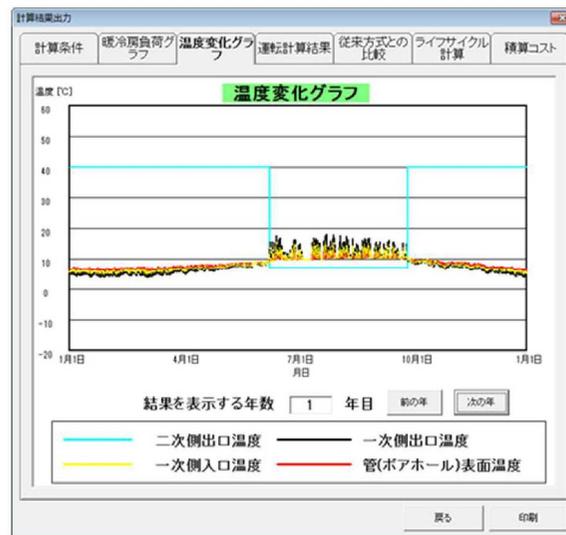


図-25. 地中熱利用ヒートポンプシステムのEMS表示例



～導入および利用における留意点～

- ツールを使用すると、システムの設計やシミュレーション、システムを導入した建物において省エネルギー性能等を把握することができる。

図-26. Ground Clubの操作画面及び計算例

地中熱交換器の長さの決定、年間性能予測、環境性評価を把握



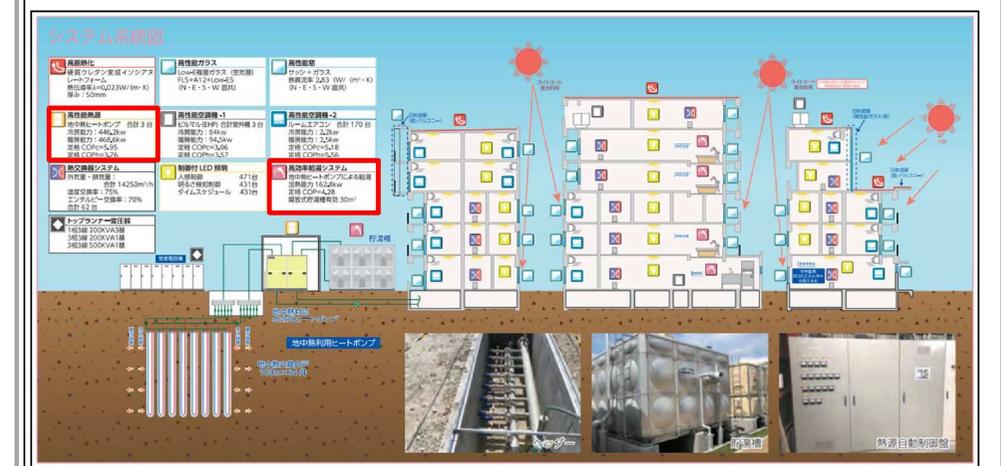
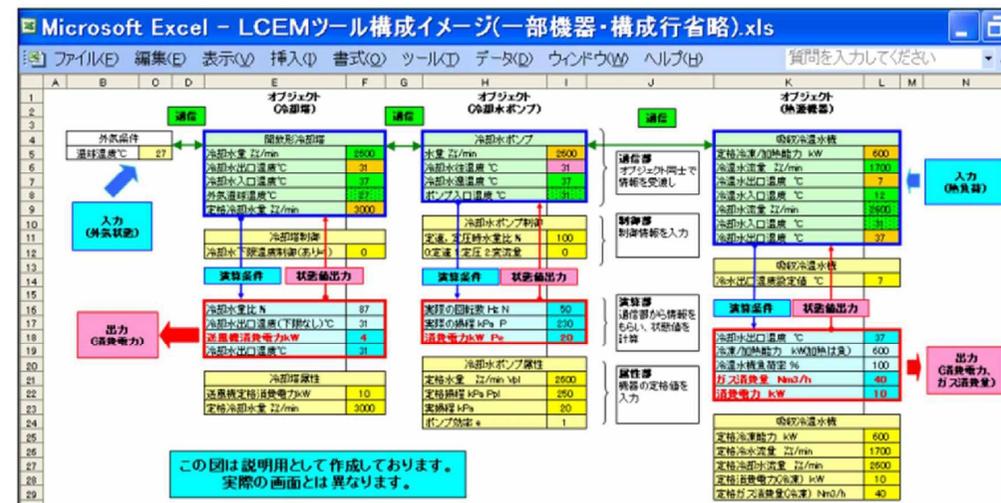
事例-11. WEBPROを活用して地中熱利用ヒートポンプシステムの設計を行った事例 (右)

地中熱を空調利用した建物物全体の省エネルギー基準への適合性の判断

①施設名(所在地)	オー・ド・エクラ(宮城県仙台市)
②地中熱の用途	空調、給湯
③地中熱利用設備概要	地中熱利用ヒートポンプ 3台 (冷房 446 kW / 暖房 468 kw)
④エネルギー消費量削減率	52% (設計値)
⑤竣工年	2018年
⑥特徴など	

図-27. LCEMツールの構成イメージ

設計段階：機器性能の予測、地中の温度変化の予測
 運営時：エネルギー性能の検証、運用改善の効果検証



<地下水環境への影響>

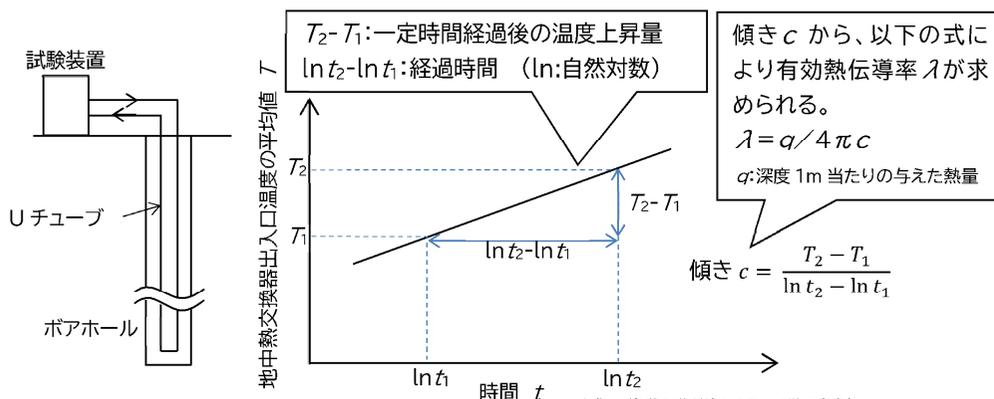
- 複数の帯水層を貫通させて地中熱交換器あるいは井戸を設置する場合、異なる帯水層の地下水が混じりあい、周辺の地下水質環境に影響を与える可能性がある。
- 異なる帯水層を流れる地下水の流動量と水収支が変化し、地下水と繋がる河川や海岸などの流出先にその影響が及ぶ可能性がある。
- 異なる帯水層では、地下水中の溶存成分や酸化還元電位が異なる場合があるため、pHや温度や酸化還元電位の変化に伴い生成物（水酸化鉄や酸化鉄等）が生じる可能性があり、ストレーナーの目詰まりにつながる。

<井戸や採熱孔の仕上げ方>

- 複数の帯水層を貫通して地中熱交換器あるいは井戸を設置する場合は、各帯水層に止水を行うか、帯水層と非帯水層との境界部に遮水材を施工する必要がある。
- 遮水方法にはベントナイトペレット方式やパッカー方式がある。
- ベントナイトペレット方式は、難透水層部に遮水材（ベントナイトやセメントミルク等）を充填する。
- 沿岸部では地下水が塩水化している場合があり、一般に用いられる遮水材では十分に膨潤しないが、近年、塩水内での遮水に有効な改良型遮水材の開発が進んでいる。
- パッカー方式は、パッカーに拡張媒体を注入するチューブを接続し、ロッドを連結してボーリング孔内に設置するものが一般的。
- パッカー方式を採用する際は、材料の選定、品質管理をはじめとした施工後の劣化調査を含めた長期的な止水性の管理に留意する。

- 出力規模に応じた必要な地中熱交換器長を定めるため、対象地点における地盤の有効熱伝導率（地下水流れがある場合には見掛け熱伝導率）とボアホール熱抵抗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：TRT）**がある。（図-28参照）
- 地中との熱交換を行う熱媒体は、**使いやすさ、熱的特性、環境影響**に留意し、必要な性状を満たす素材を選ぶ必要がある。（図-29参照）
- クローズドループ方式における**地中熱交換器の隔離距離**について、**安全側で考えると6 m以上、少なくとも4 mは確保**することが望ましい。
- 寒冷地では冬季に地盤の凍結が発生する恐れがあるため、**地中の温度が継続的に0℃以下に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**。また、凍結防止を施す必要がある。
- 地中熱交換器を新設する際は、規格や品質などを示した図書等の納品書類は保管するようにする。
- 地中熱利用ヒートポンプシステムを撤去する場合は、関係者間で地中熱交換器の再利用等について協議する。

図-28. 熱応答試験の実施方法



出典：北海道大学環境システム工学研究室編、
地中熱ヒートポンプシステム(改訂2版)、オーム社、2020。

熱応答試験：地中熱交換器等を用いて地中に熱を与え、循環水等の温度変化から地盤の有効熱伝導率等を推定する方法

図-29. 熱媒体の性状

種類		腐食耐性 (金属)	粘性	不燃性	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

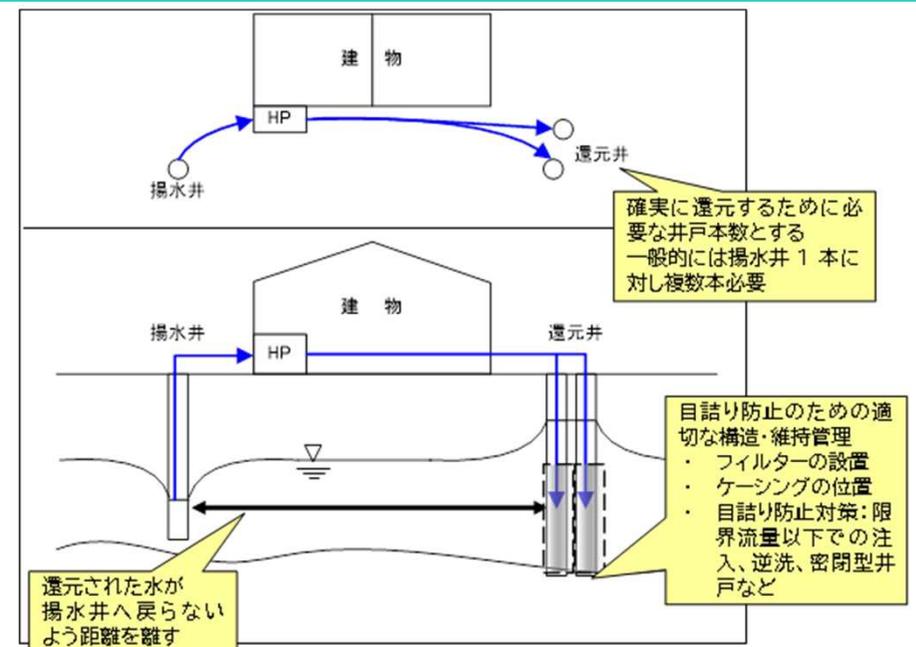
～導入および利用における留意点～

- オープンループ方式では、地下水に関する揚水規制（工業用水法、建築物用地下水の採取の規制に関する法律（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る。
- 地下水位の大幅な低下を生じない範囲での可能揚水量は、①段階揚水試験、②連続揚水試験、③回復試験の試験等で確認できる。
- 地下水を利用する場合は条例、水質汚濁、地盤環境への影響を留意する。（表-2参照）
- オープンループ方式において、地下水をヒートポンプの熱媒体として直接使用する場合、地下水水質に起因する配管等の腐食やスケール生成を防止するための水質基準に適合する必要がある。
- 地下水の利用にあたり、熱利用後の地下水の全水量を元の帯水層に還元することを目標に、配置、井戸本数、構造、維持管理に留意する。（図-30参照）
- 利用した地下水を下水道や公共用水域等へ放流する際は、放流先の自治体が定める基準を満たす必要がある。

表-2. 地下水利用が可能な場合

利用地域	利用に向けて留意すること
揚水規制の対象地域外	<ul style="list-style-type: none"> ・ 公共用水域等への排水の水質
揚水規制の対象地域	<ul style="list-style-type: none"> ・ 規制範囲内（揚水量、ストレーナー位置、吐出口断面積等）での地下水の採取 ・ 公共用水域等への排水の水質 ・ 確実に還元できる還元井

図-30. 還元井戸に関する留意事項



- コスト低減に関する技術として、基礎杭の活用、既存井戸の活用、地中熱交換器の浅層設置、地中熱交換器内の配管（Uチューブ）の工夫がある。
- 各種制度を利用することで運用の工夫によるコスト低減または早期のコスト回収を図ることができる。

図-31. 地中熱交換用の配管を杭の外周に垂直に配置する方法の例

別途地中熱交換器を設置する場合に比べてイニシャルコストを低減

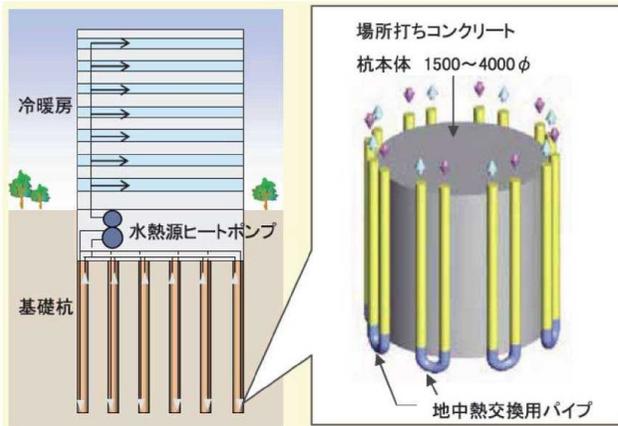


図-32. 地中熱交換用の配管を杭の内部にらせん状に配置する例

熱媒体の循環距離を長くしより効率的に採熱を行う

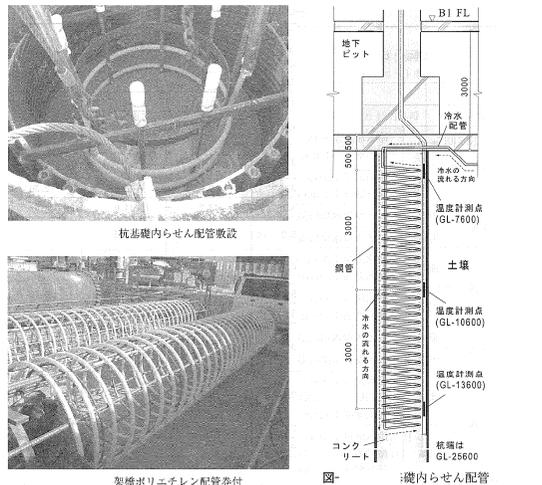


図-33. 既存井戸の転用のイメージ

井戸の掘削コストを低減

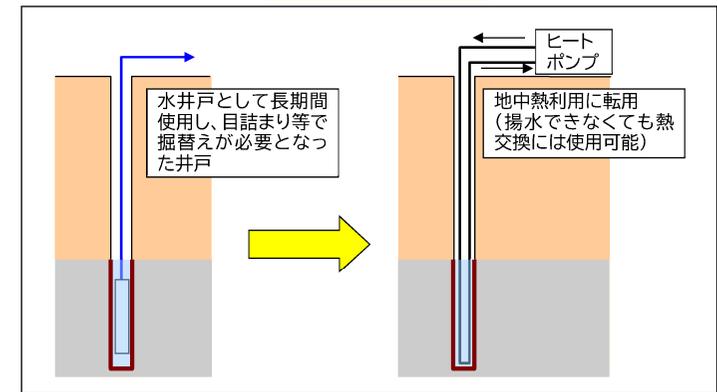


図-35. 地中熱交換器の工夫例

地中熱交換器の延長を低減

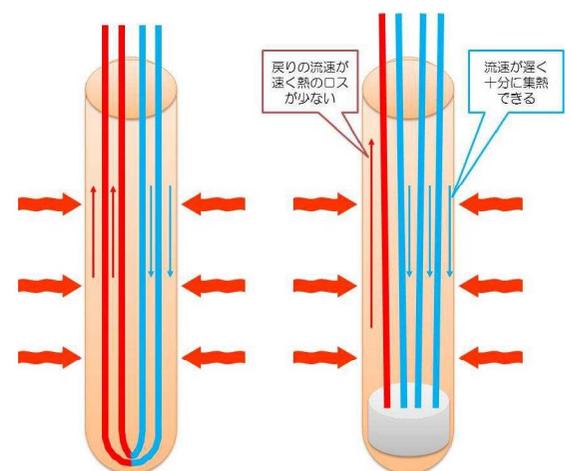
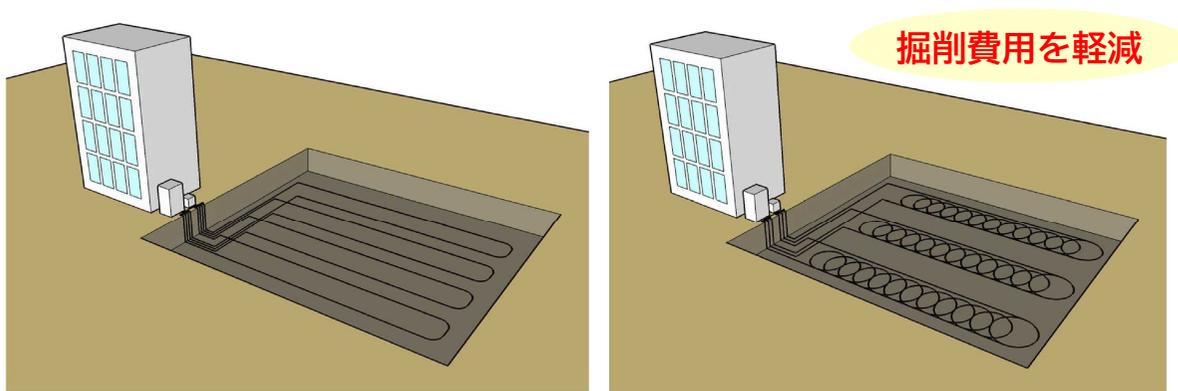


図-34. 地中熱交換器の水平設置のイメージ



水平式地中熱交換器

コイル型水平式地中熱交換器

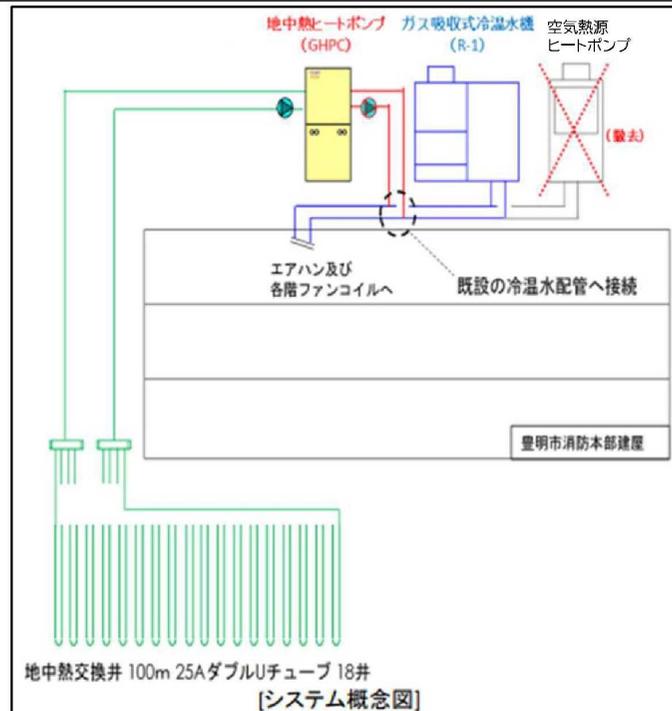
従来のダブルUチューブ

分岐管型の地中熱交換器

- 既存建物の空調設備等を地中熱利用設備に置き換えた事例もある。（事例-12, 13参照）
- 地中熱利用普及促進のための**助成制度**が設けられており、環境省が実施する助成制度は環境省HPより確認できる。

事例-12. 既存建物の改修による地中熱利用事例(1)

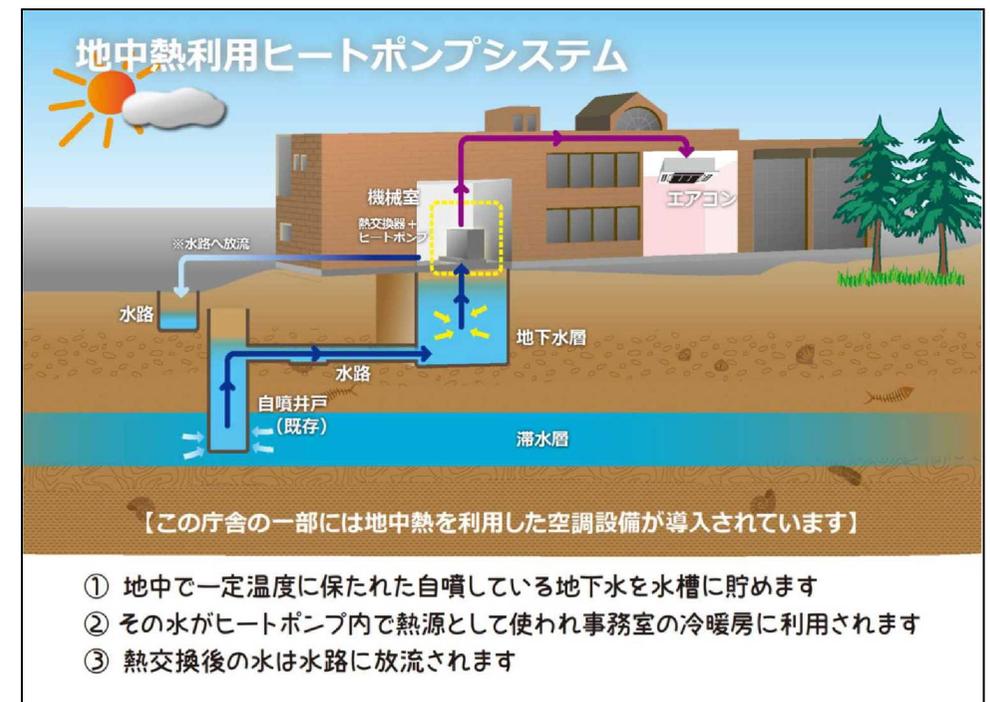
①施設名(所在地)	尾三消防本部 豊明消防署（愛知県豊明市）
②地中熱の用途	空調
③地中熱利用設備概要	地中熱利用ヒートポンプ（冷房 90.6 kW / 暖房 99.0 kW）
④エネルギー消費量削減率	54%（2016年度実績）
⑤特徴など	



- ・ 既設のガス焚き吸収式冷温水発生機2基のうち1基と空気熱源ヒートポンプを撤去し、地中熱利用ヒートポンプを設置。
- ・ 熱源水循環ポンプおよび冷温水ポンプにインバータ制御を導入した。併せて運転の改善を行った。

事例-13. 既存建物の改修による地中熱利用事例(2)

①施設名(所在地)	中央市庁舎（山梨県中央市）
②地中熱の用途	空調
③地中熱利用設備概要	地中熱利用ヒートポンプ（冷房 56.0 kW / 暖房 63.0 kW）×2台
④エネルギー消費量削減率	24%（2020年度実績）
⑤特徴など	



- ・ 執務エリアの約620.9 m²を対象として、既設設備の中央熱源方式から個別分散方式の地中熱利用ヒートポンプに置き換えた。
- ・ 既設庁舎で利用していた自噴井戸を活用。

～モニタリングの必要性、考えられる環境影響～

- 地下水・地盤環境に大きな影響を与えず効率よく運転するために、**モニタリング**の実施が重要。
- モニタリングは、「**環境効果**」、「**環境負荷**」、「**環境影響**」の3つの観点で行う。(表-3参照)
- これまでの導入事例や実証試験で大きな環境影響は報告されていないが、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るため、留意する必要がある。

表-3.3つの観点について

環境効果	省エネルギー効果やCO ₂ 排出量削減効果、ヒートアイランド緩和効果等の環境への効果
環境負荷	地下水・地盤環境に与える負荷であり、運転効率を落とさない持続的な運用に役立てる
環境影響	地下水・地盤温度、地下水質等の地下水・地盤環境に与える影響

図-36. クローズドループ方式の地下水・地盤環境への影響項目

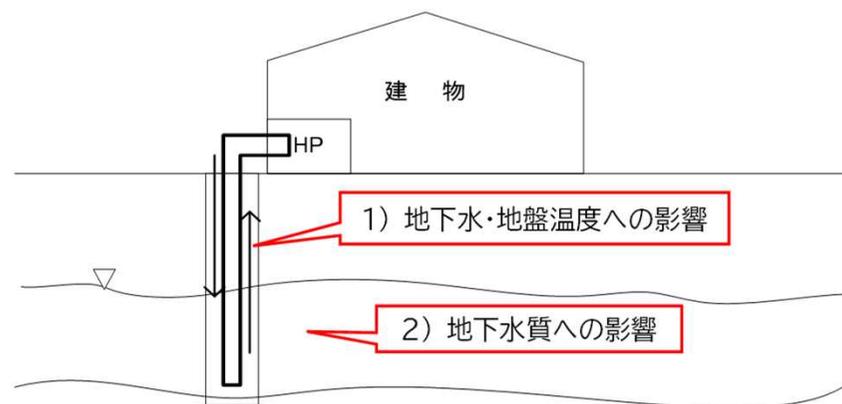
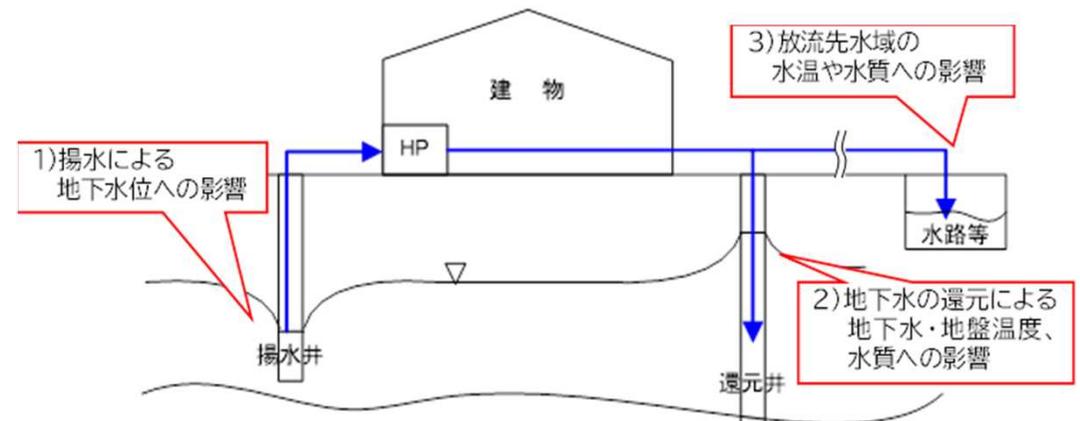


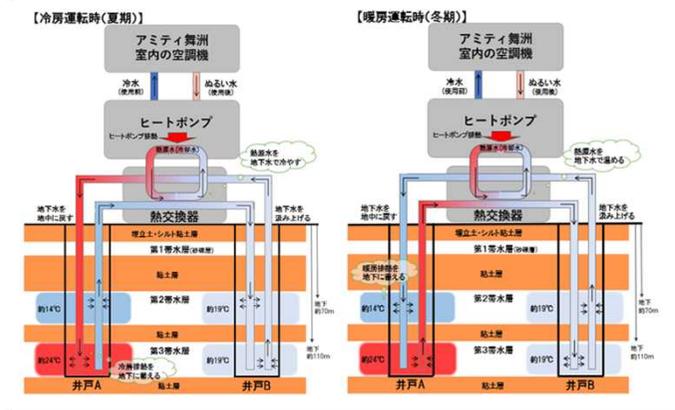
図-37. オープンループ方式の地下水・地盤環境への影響項目



- 地中は熱伝導率が小さく熱容量が大きいいため温度が変化しにくい。また、水の比熱は他の物質より大きいいため蓄熱量が大きい。これらの特性によって、地下にある程度の期間熱を蓄える蓄熱が可能。
- 蓄熱には主に、帯水層蓄熱方式 (ATES)、ボアホールによる蓄熱方式 (BTES)、水タンクによる蓄熱方式、ピットによる蓄熱方式がある。

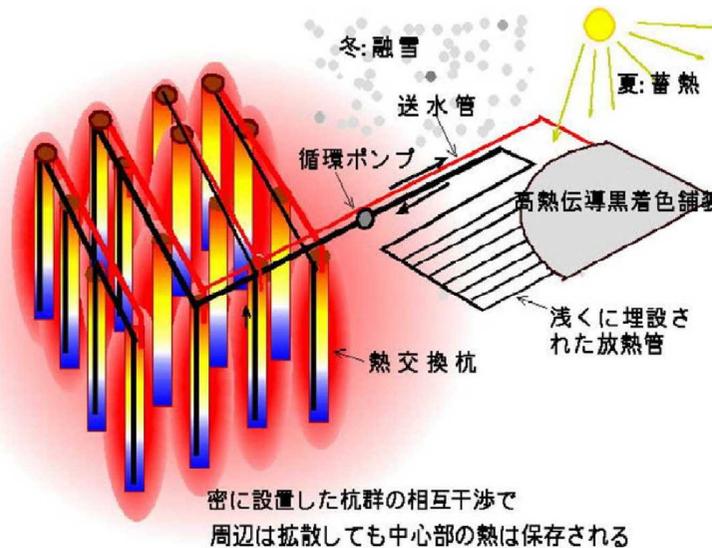
事例-14. 異なる帯水層を用いたATES

施設名(所在地)	アミティ舞洲 (大阪府大阪市)
地中熱の用途	空調
エネルギー消費量削減率	42% (設計値)
竣工年	2020年
地下水利用熱源システムの概念図	



ATESは、揚水井と還元井を夏季と冬季で切り替えることにより、地下の帯水層の温水塊と冷水塊をつくり蓄熱を行う方式

事例-15. 群杭による季節間蓄熱の概念



密に設置した杭群の相互干渉で周辺は拡散しても中心部の熱は保存される

事例-16. 基礎杭を用いた地中蓄熱の概念図

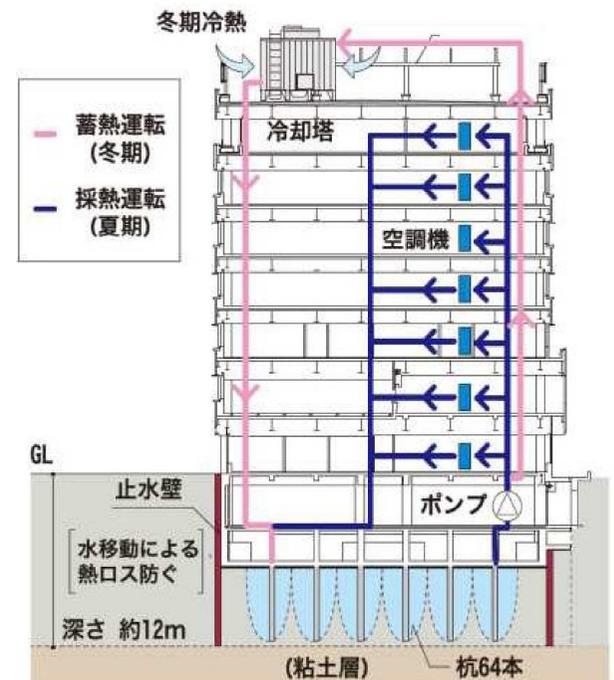


表-5. 地中蓄熱における留意点

利用面からの評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地下水の流速が速い場合、温水塊や冷水塊が移動することを想定しシステムを設計する必要がある ・ 気象条件やそれに対応する温熱と冷熱の需要バランスによっても蓄熱効率が左右される ・ 蓄熱の初期段階では地中に注入した熱を回収できる割合が低く、安定的に利用できるようになるまでは時間を要することがある
蓄熱による地盤影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地下水の流動や水温の変化に伴って地盤環境における化学的、生物学的なリスクが生じる可能性がある ・ 地盤の温度変化による影響が地中熱交換器周辺に限定された範囲で起こり得る可能性がある

- 分析・解析ツールによって、地盤熱特性を詳細かつ適正に把握でき、効率的かつ効果的な施設設計や運用に役立つ。

図-42. TCP/TRT機器ユニット

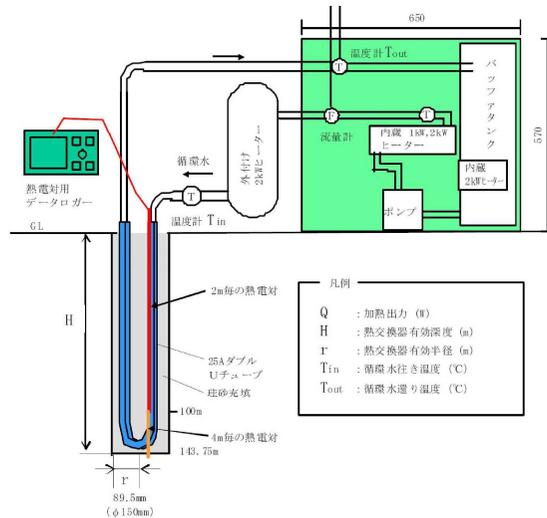
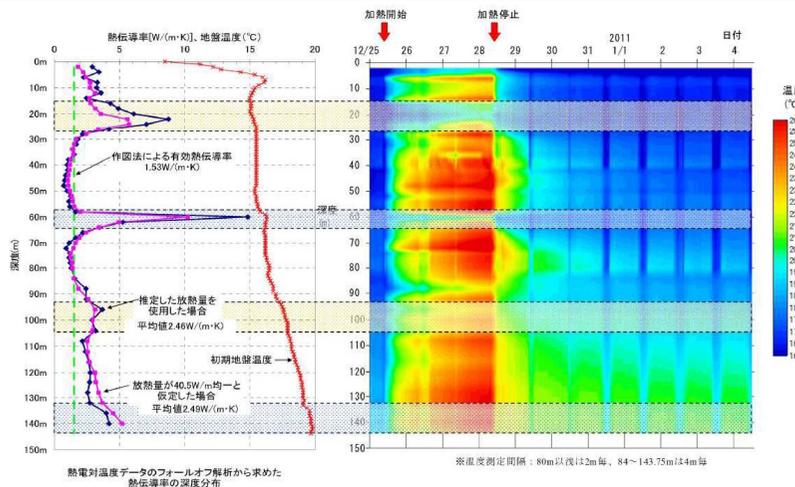
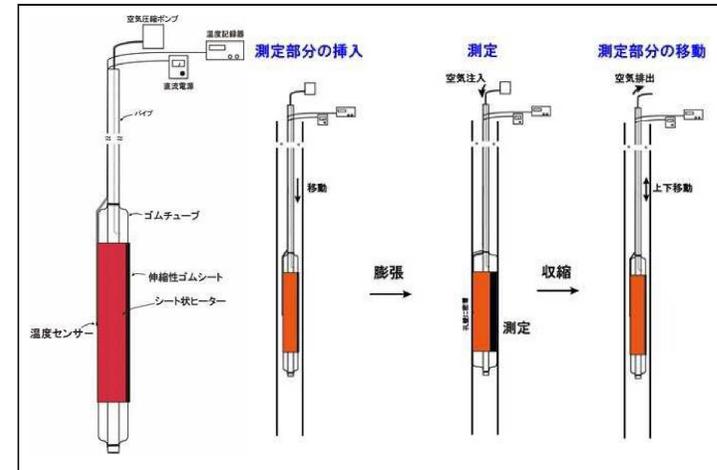


図-43. 熱伝導率の深度分布の評価例



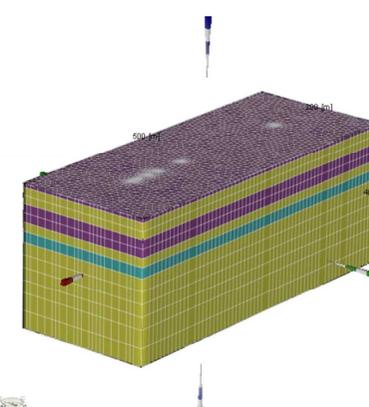
熱応答試験より詳細な評価方法で、地下水流動のある深度や深度別の熱交換性能を把握することができるため、地中熱交換井の掘削深度などの最適設計に有用

図-44. パッカー方式による有効熱伝導率測定方法

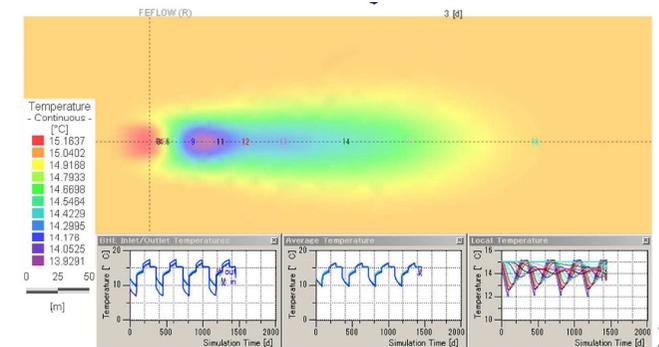


従来方法より簡易化を図った熱応答試験（開発中）

図-45. FEFLOWによる解析モデルおよびシミュレーション結果の表示例



周辺地盤環境への影響を評価するためのツールで、長期間にわたる地盤や地下水の温度変化や影響範囲を試算することが可能



- 環境省

地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事業

(CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業)

目的：地球温暖化対策、及び、地域の活性化と脱炭素社会の同時達成を行うことで、「地域循環共生圏」の構成と「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」で掲げる早期の脱炭素社会の実現に貢献すること

- NEDO

技術開発プロジェクト

目的：コストダウンを目的とした地中熱利用技術およびシステムの開発、並びに各種再生可能エネルギー熱の利用について、蓄熱利用等を含むトータルシステムの高効率化や規格化、評価技術の高精度化等に取り組むことで、再生可能エネルギー熱利用の普及拡大に貢献すること

- 環境省

環境技術実証（ETV）事業

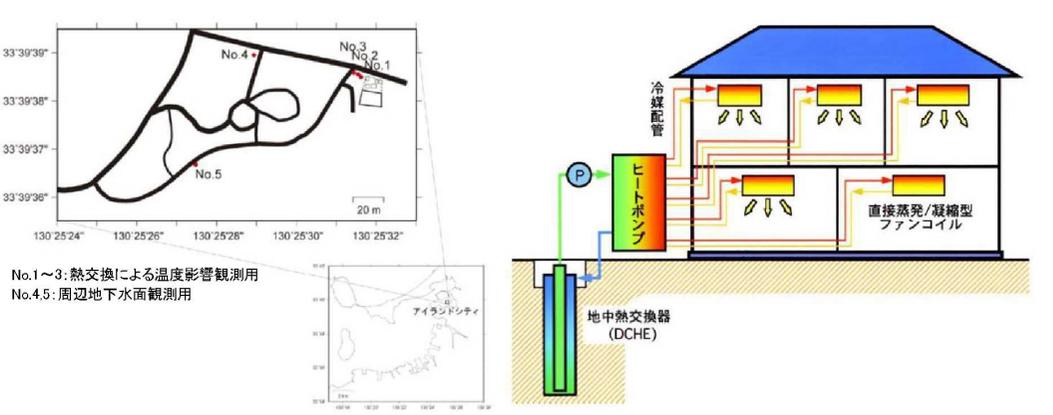
目的：既に実用化された先進的環境技術の環境保全効果、副次的な環境影響、その他環境の観点から重要な性能（「環境保全効果等」）を第三者が客観的に実証することにより、環境技術の利用者による技術の購入、導入等の際に、環境保全効果等を容易に比較および検討し、適正な選択を可能にし、もって環境技術の普及を促進し、環境保全に寄与し、中小企業の育成も含めた環境産業の発展に資すること

～地中熱利用ヒートポンプシステムの事例データ集～

<システムの概要、モニタリングに基づくCO₂排出量削減効果の紹介事例>

- 平成18～22年度に実施された「クールシティ推進事業[地下水等活用型・地中熱利用型]実証事業」：9事例
- 平成28～令和2年度に実施された「再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業」の一部事例：3事例
- 環境技術実証（ETV）事業のうち、地中熱利用システム技術区分として令和3年度実証認定の事業：1事例
- 特定非営利活動法人地中熱利用促進協会のホームページにおいて公表中の事例集：13事例

クールシティ推進事業の事例概要紹介の例

<p>実証事業名</p>	<p>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</p>
<p>事業の主な目的</p>	<p>地中温度変化の範囲および経年累積影響を調査しました。</p>
<p>施設の概要等</p>	<p>【名称】九州大学地中熱利用住宅用冷暖房システム(実験用レンガ造住宅) 【冷暖房面積】140 m² 【ヒートポンプ規模】冷暖房 12 kW(4室対応 8 kW+1室対応 4 kW)</p>  <p>建物施設と観測井の配置図および施設概要図</p>
<p>事業の主な成果</p>	<p>実測値：温度観測井が地下水の流れの上流側に位置しているため、ほとんど温度の変化は見られませんでした。 シミュレーション：下流側の温度変化を予測すると、3 mの地点で冷暖房時ともに2℃の変化が起きましたが10 m離れるとほとんど影響が見られない結果でした。実証事業のシステムでは冷暖房による温度変化は休止期間でも回復せず年間を通じた温度変化の累積は最大0.4℃の温度変化であると予測されました。</p>

～モニタリングデータによる地盤温度影響解析等～

- 環境省が実施した補助事業で得られたクローズドループ方式についてのモニタリングデータを活用し、「地下水・地盤環境への影響分析（環境影響）」の観点から解析した結果の紹介。
- 採熱による稼働効率への影響についての解析。
- ヒートポンプ入口温度が低くなるほど、成績係数（COP）が低下する。



※地盤温度は、地中熱交換井地盤温度(5 深度測定)の平均値。

図 R 3-1 暖房利用が中心の小規模施設の地盤温度とヒートポンプ入口温度変化

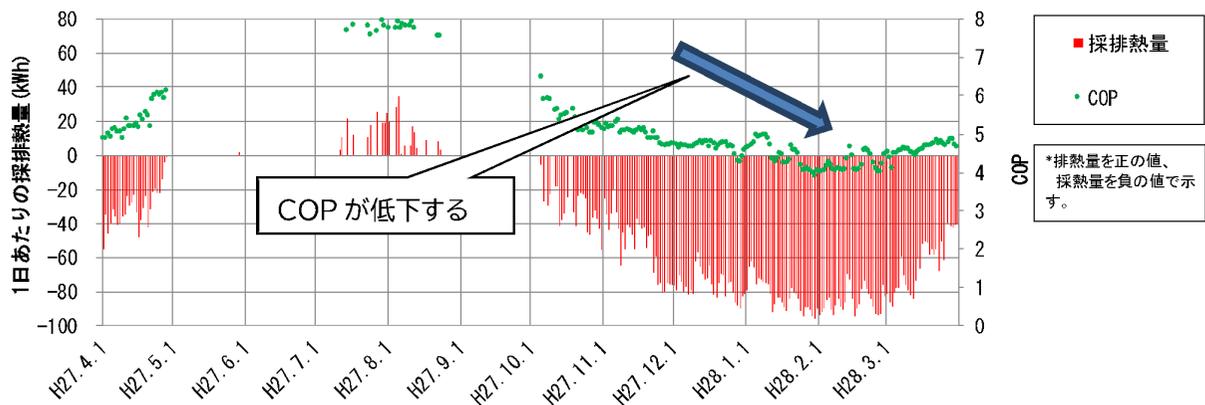
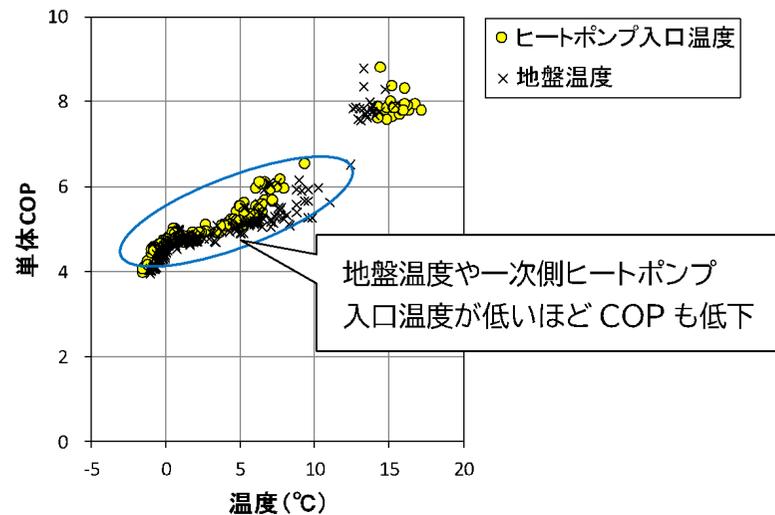


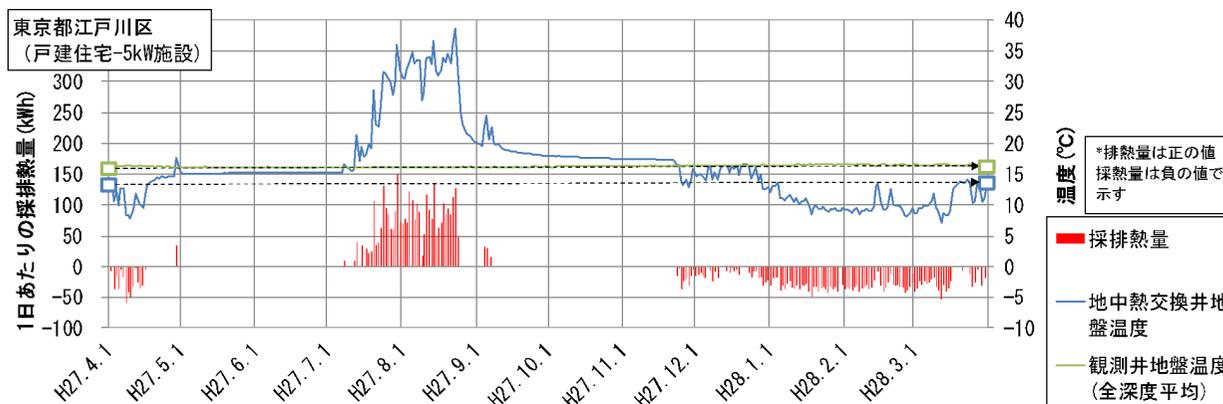
図 R 3-2 暖房利用が中心の小規模施設での採排熱量と COP 変化事例



図R3-3 暖房利用が中心の小規模施設での COPと地盤温度およびHP入口温度との関係

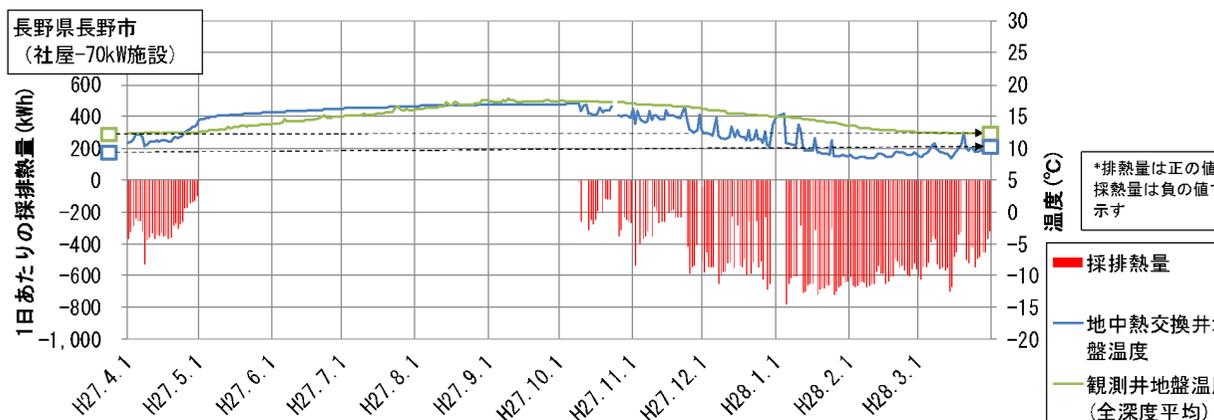
～モニタリングデータによる地盤温度影響解析等～

- 設備稼働による地盤温度への影響についての解析。
- 稼働による温度影響を受けず、年間を通して一定で推移。(図R3-4)
- 採熱時に大きく温度影響を受ける状況は見られなかった。(図R3-5)



※観測井地盤温度は、5深度（地下10～30 mで5 m間隔）で測定された温度の平均値。

図 R 3-4 小規模施設(東京都江戸川区:冷暖房)での採排熱量と地盤温度変化



※観測井地盤温度は、6深度（地下2.5, 10, 20, 30, 40m）で測定された温度の平均値。

図 R 3-5 中規模施設(長野県長野市:暖房のみ)での採排熱量と地盤温度変化

～モニタリングデータによる地盤温度影響解析等～

- 長期的な稼働による地盤温度への影響についての解析。
- 小規模施設（北海道札幌市の戸建住宅、暖房中心の稼働）を対象に、地盤温度変化の空間的な広がり、その将来予測のシミュレーションした事例。
- 小規模施設では、暖房中心に稼働しても、その熱影響範囲は地中熱交換器周辺に限られ（図R3-6）、長期的な温度変化はわずかである。（図R3-7）

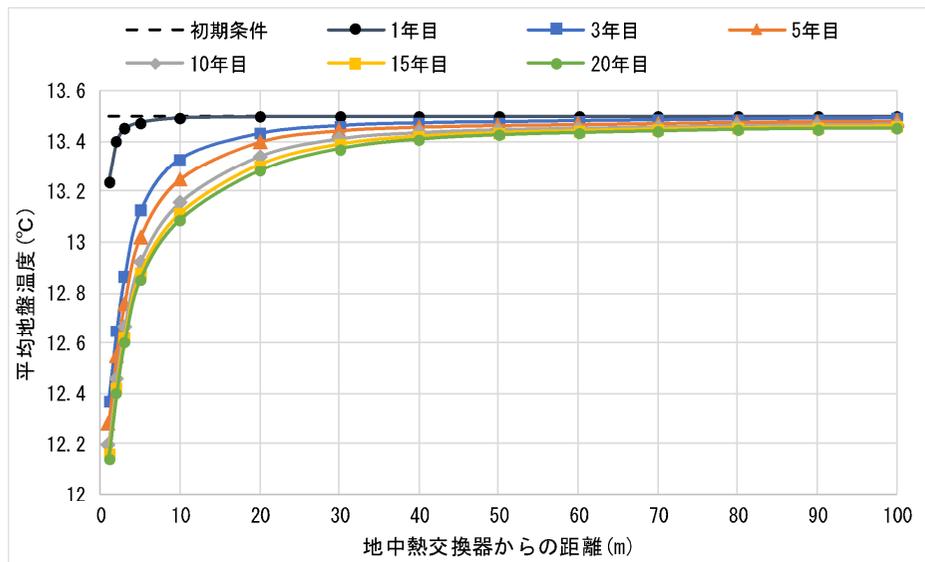


図 R 3-6 シミュレーション結果に基づく地中熱交換器からの距離と平均地盤温度の関係（各年稼働最終日の温度）

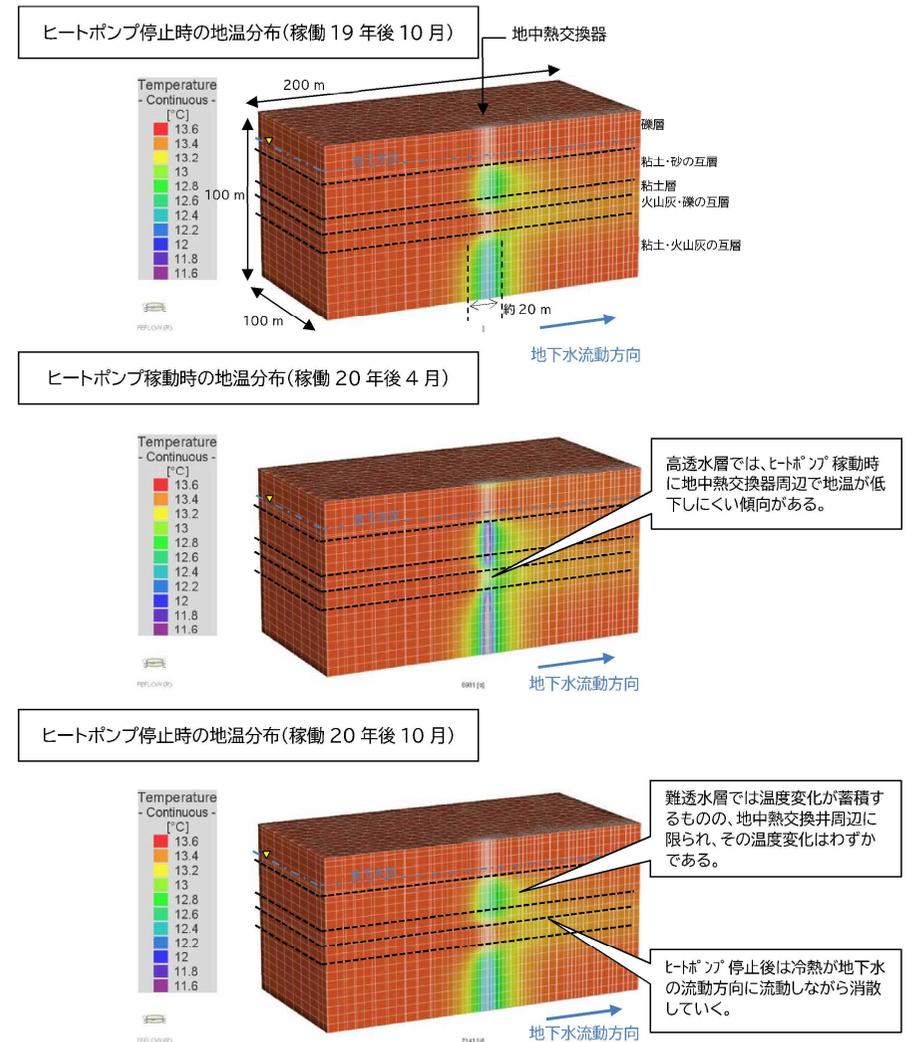


図 R 3-7 シミュレーションモデルによる試算例

～地中熱利用による地下微生物への影響評価事例～

● 環境省「環境配慮型地中熱利用システムの構築実証事業」（2015～2017年度）

目的：地中熱利用が地下の微生物生態系に与える影響について定量的に評価する手法の確立

結果：地中熱利用による地下微生物への影響は確認されなかった

● NEDO「再生可能エネルギー熱利用技術開発」（2014～2018年度）

「高効率帯水層蓄熱システムの開発」

目的：帯水層蓄熱システムによる地下環境に対する運転影響の検討

結果：本事業の運転条件（採水時地下水水温：運転前平均地下水水温 -5°C ～ $+8^{\circ}\text{C}$ ）において、帯水層蓄熱システム稼働による地下環境への影響は認められないことが分かった

● 国立研究開発法人化学技術振興機構「戦略的創造研究推進事業」

「地圏熱エネルギー利用を考慮した地下水管理手法の開発」（2010年10月～2016年3月）

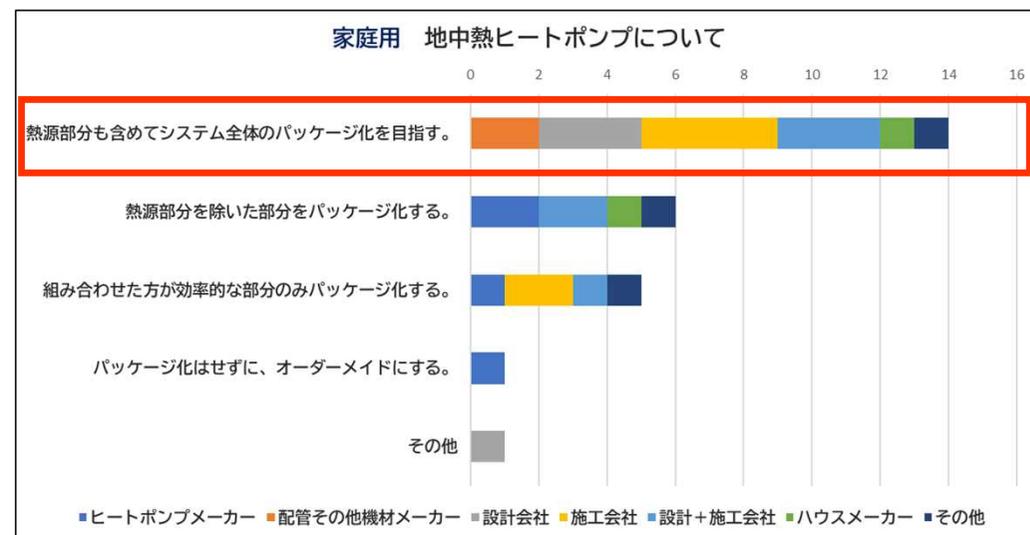
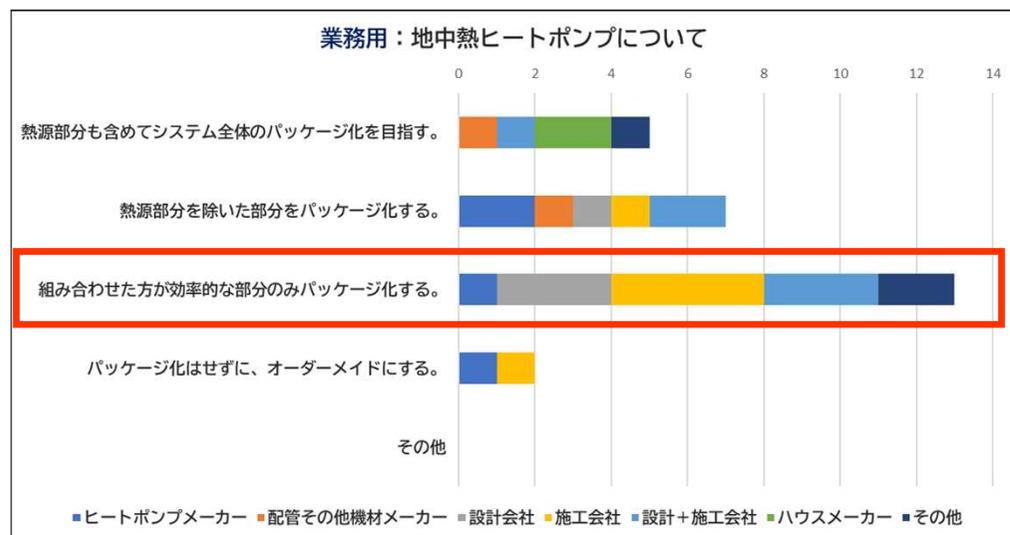
目的：室内試験により地圏熱利用時の地圏の温度変化を再現し、異なる温度環境が微生物叢に与える影響を明らかにする

結果：堆積物中の微生物叢は温度変化にの影響によって変化するが、どのように変化するかは、初期の微生物叢や堆積物に種類によって異なる

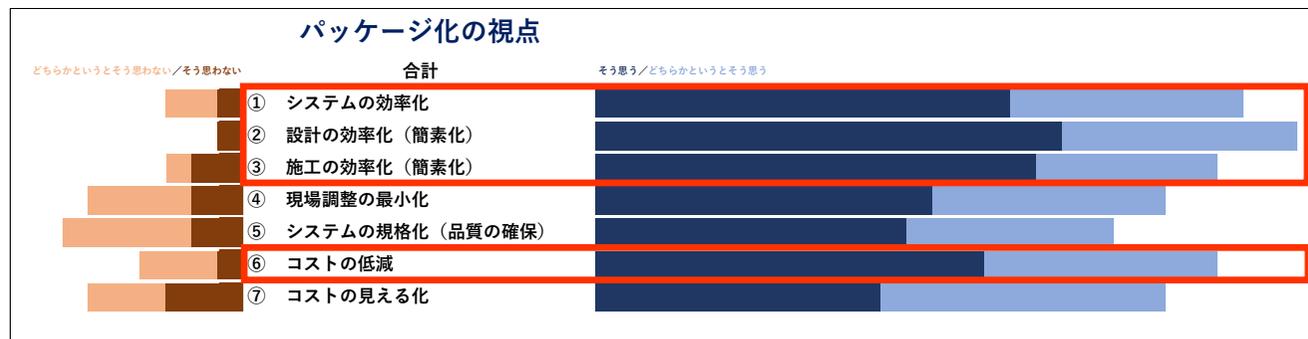
～地中熱利用ヒートポンプシステムにおけるパッケージ化の推進～

- 2022年に環境省において地中熱関連事業者を対象にパッケージ化に関するアンケート調査（回答数29件）を実施した。
- 実際のパッケージ（「システム」及び「ユニット」と呼ばれているもの）として扱える製品はガイドラインに記載されている。

パッケージ化のあるべき姿



パッケージ化の視点



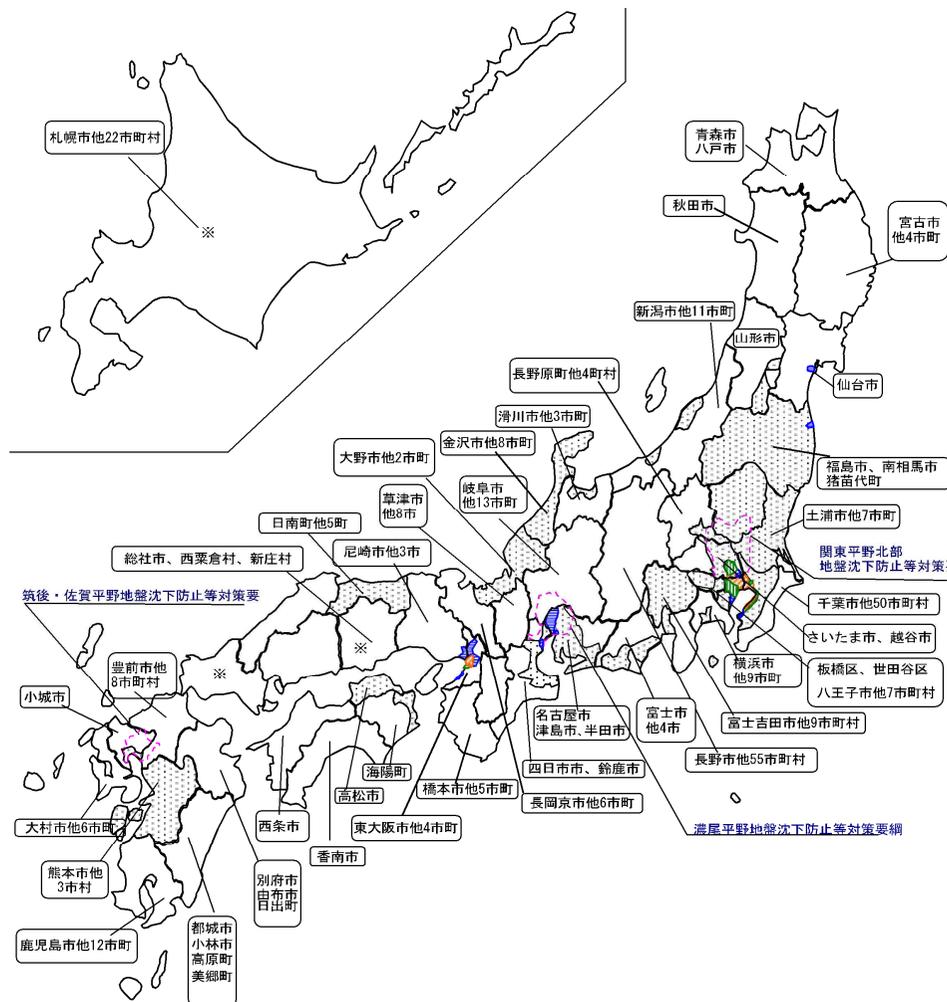
家庭用については、住宅メーカーから「全体をパッケージ化（地中熱利用ヒートポンプ機器及び地中熱交換器の設計・施工・性能保証を含めて一社が対応するという意味）した方が住宅設計者・施主には分かりやすいと思う」という意見があった。

責任範囲（品質保証などの分岐点）の明確化の視点も必要との意見があった。

～地下水・水質に関する規制、その他関連法規～

- 地下水に関する規制には、工業用水法、ビル用水法（建築物用建物地下水の採取の規制に関する法律）、地方公共団体が定める地下水採取に関する条例がある。
- 地盤沈下が著しい地域においては、地盤沈下防止等対策要綱が策定されている。
- 水質に関する規制には、水質汚濁防止法、下水道法がある。
- その他関連法規として、水循環基本法、熱供給事業に関する法令がある。

地下水採取に関する規制等の状況(概略図)



凡 例

- 工業用水法に基づく指定地域（10都府県17地域）
- ビル用水法に基づく指定地域（4都府県4地域）
- 工業用水法、ビル用水法両法に基づく指定地域
- 地盤沈下防止等対策要綱の対象地域（3地域）
- 都道府県の条例・要綱等で定めた地下水採取規制（許可、承認、届出等）地域の範囲
- ※ 都道府県の条例が定められているが、現在規制地域は未指定である
- 市区町村名
- （注） 用水二法の指定地域には、都道府県及び市区町村条例・要綱等による規制地域が一部含まれる。

- 地中熱に関する情報は、**環境省HP**及び**特定非営利活動法人地中熱利用促進協会**のHPの他に、
以下をご参考ください。

関連するガイドライン等	一定加熱・温水循環方式熱応答試験（TRT）技術書 特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会 平成30年8月	官庁施設における地中熱利用システム導入ガイドライン（案） 国土交通省 大臣官房官庁営繕部 設備・環境課 平成25年10月
	建築物のエネルギー消費性能に関する技術情報 国立研究開発法人建築研究所	建築物のエネルギー消費性能計算プログラム（非住宅版）ver. 3.3.2（WEBPRO） 国立研究開発法人建築研究所 令和4年12月
	公共建築工事標準仕様書（令和4年版）機械設備工事編 国土交通省 大臣官房 官庁営繕部 設備・環境課	国土地盤情報検索サイト「Kunijiban」 国土交通省・国立研究開発法人土木研究所 国立研究開発法人港湾空港技術研究所
	再生可能エネルギー等の温室効果ガス削減効果に関するLCAガイドライン 環境省 令和3年7月	再生可能エネルギー情報提供システム（REPOS） 環境省
	地盤沈下監視ガイドラインについて 環境省 平成17年6月	地中熱ヒートポンプシステムオープンループ導入ガイドライン 第1版 特定非営利活動法人地中熱利用促進協会・一般社団法人全国さく井協会 平成29年3月
	地中熱ポテンシャルマップ・空調熱源設計ツール活用のためのガイダンス 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO） 平成31年2月	ライフサイクルエネルギーマネジメント（LCEM） 国土交通省 大臣官房 官庁営繕部
関連する図書等	地中熱ヒートポンプシステム施工管理マニュアル（改訂版） 特定非営利活動法人地中熱利用促進協会編 令和4年10月	地中熱ヒートポンプシステム（改訂2版） 北海道大学環境システム工学研究室編 オーム社 令和2年10月
	事例に学ぶ地中熱利用ヒートポンプシステム 内藤春雄著 オーム社 平成26年12月	地中熱利用ヒートポンプの基本がわかる本 内藤春雄著 オーム社 平成24年10月
	地中熱利用ガイドブック 特定非営利活動法人地中熱利用促進協会著 ※令和5年1月現在、vol. 9まで刊行	地中熱利用技術ハンドブック 特定非営利活動法人地下水・地下熱資源強化活用研究会編 令和2年3月
	設計技術者のためのヒートポンプ空調・給湯システムの実務知識 社団法人建築設備技術者協会編 オーム社 平成22年5月	



<お問合せ>

環境省 水・大気環境局

環境管理課 環境汚染対策室