

「再生可能エネルギー熱利用技術開発」

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

平成31年2月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合機構

(委託先) 三菱 UFJ リサーチ & コンサルティング株式会社

目次

I. はじめに	1
1. このガイドンスについて	1
2. ガイドンスの想定利用者および利用方法	1
II. ポテンシャルマップの利用方法	2
1. ポテンシャルマップの概要	2
2. ポテンシャルマップの利用方法	2
3. NEDO プロジェクトにおいて開発されたポテンシャルマップの概要	5
4. 地方自治体等が整備するポテンシャルマップの概要	15
III. 空調熱源設計ツールの利用方法	21
1. LCEM ツールの概要	21
2. NEDO プロジェクトにおいて開発された空調熱源設計ツールの概要	22
IV. 地中熱利用システムの導入フローにおけるポテンシャルマップ・空調熱源設計 ツールの利用場面	23
1. 導入フロー	23
2. 計画段階におけるポテンシャルマップ・空調熱源設計ツールの利用場面	24
3. 設計段階、運用・維持管理段階における空調熱源設計ツールの利用場面	26
V. その他の参考情報	27
1. 地中熱利用システムの概要	27
2. 地中熱利用システム導入検討に際し活用可能なガイドライン	32

I. はじめに

1. このガイダンスについて

我が国の「長期エネルギー需給見通し」に示されている、2030年度での廃熱回収・再生可能エネルギー熱を含む熱利用の導入目標 1,341 万 kL(原油換算)の達成による再生可能エネルギーの利用拡大は、資源の乏しい我が国にとって、エネルギー自給率の向上、化石燃料消費量の削減に寄与し、また地球温暖化対策、環境関連産業育成等の観点から重要となります。更に、最終エネルギー消費の現状においては、熱需要を中心とした非電力での用途が過半数を占めているため、再生可能エネルギー熱を効果的に直接活用する取り組みが重要となっています。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合機構(NEDO)では、再生可能エネルギー熱の直接活用を普及させるべく、導入コスト及び運用コストを削減するための技術開発として、平成 26 年度から平成 30 年度まで「再生可能エネルギー熱利用技術開発」事業を実施いたしました。当該事業では再生可能エネルギー熱利用技術のコスト低減を図るとともに、地中熱利用システムの導入に適した地域の評価を示すポテンシャルマップや、空気熱源を含むすべての熱源に関する空調熱源設計ツール等の評価・設計ツールを合わせて開発しています。

本ガイダンスでは、地中熱利用システムの一般的な導入フローを紹介するとともに、「再生可能エネルギー熱利用技術開発」で開発した評価・設計ツールについて、その特徴や利用方法について概説しました。なお、本ガイダンスは地中熱利用技術のうち、ヒートポンプを利用する方式(クローズドループ方式・オープンループ方式)を対象にしています。

2. ガイダンスの想定利用者および利用方法

本ガイダンスは、地中熱に関する深い知識を持たない読者を対象とし、以下の事項について概要を正しく把握することを目標としております。

- ・ ポテンシャルマップ・空調熱源設計ツールの概要
- ・ 自治体等が公開しているポテンシャルマップの概要
- ・ 大まか導入フローの概要及び導入フローにおけるポテンシャルマップ・空調熱源設計ツール利用場面
- ・ その他の参考情報

本ガイダンスで紹介するツールを利用することで、導入に向けた簡易な検討を実施することができますが、地中熱利用システム導入に向けた詳細検討や設計については、適切な知見を有した専門家が実施する必要があるため、ご留意ください。

II. ポテンシャルマップの利用方法

1. ポテンシャルマップの概要

地中熱利用システムは導入に際して立地の制約が少なく、クローズドループ方式であればどのような場所でも導入できるとされています。しかしシステムの効率は地中熱交換器の熱交換効率に依存し、熱交換効率は地質によって変化します。したがって熱交換効率の高い地質の場合はシステム効率も高くなり、熱交換効率の低い地質の場合はシステム効率も低くなります。また地下水をくみ上げて利用するオープンループ方式の場合は、システム効率がクローズドループ方式よりも高くなる一方、地下水が利用可能である必要があるため導入適地が限られます。このように地中熱利用システムにはいずれの方式にも地質条件に応じた導入適地が存在しています。この地質条件に応じた導入適否や、期待される採熱量の目安を示すのがポテンシャルマップになります。

2. ポテンシャルマップの利用方法

2.1 ポテンシャルマップの選択

ポテンシャルマップは、対象とする地域や方式の異なるものがあるため、目的に合ったマップを選択する必要があります。地中熱利用システムを導入する地域と、採用するシステム方式が決まったら、条件に一致する適切なポテンシャルマップを選択します。この際、マップによってポテンシャルの評価方法が異なる点に留意する必要があります。

2.1.1 対象地域

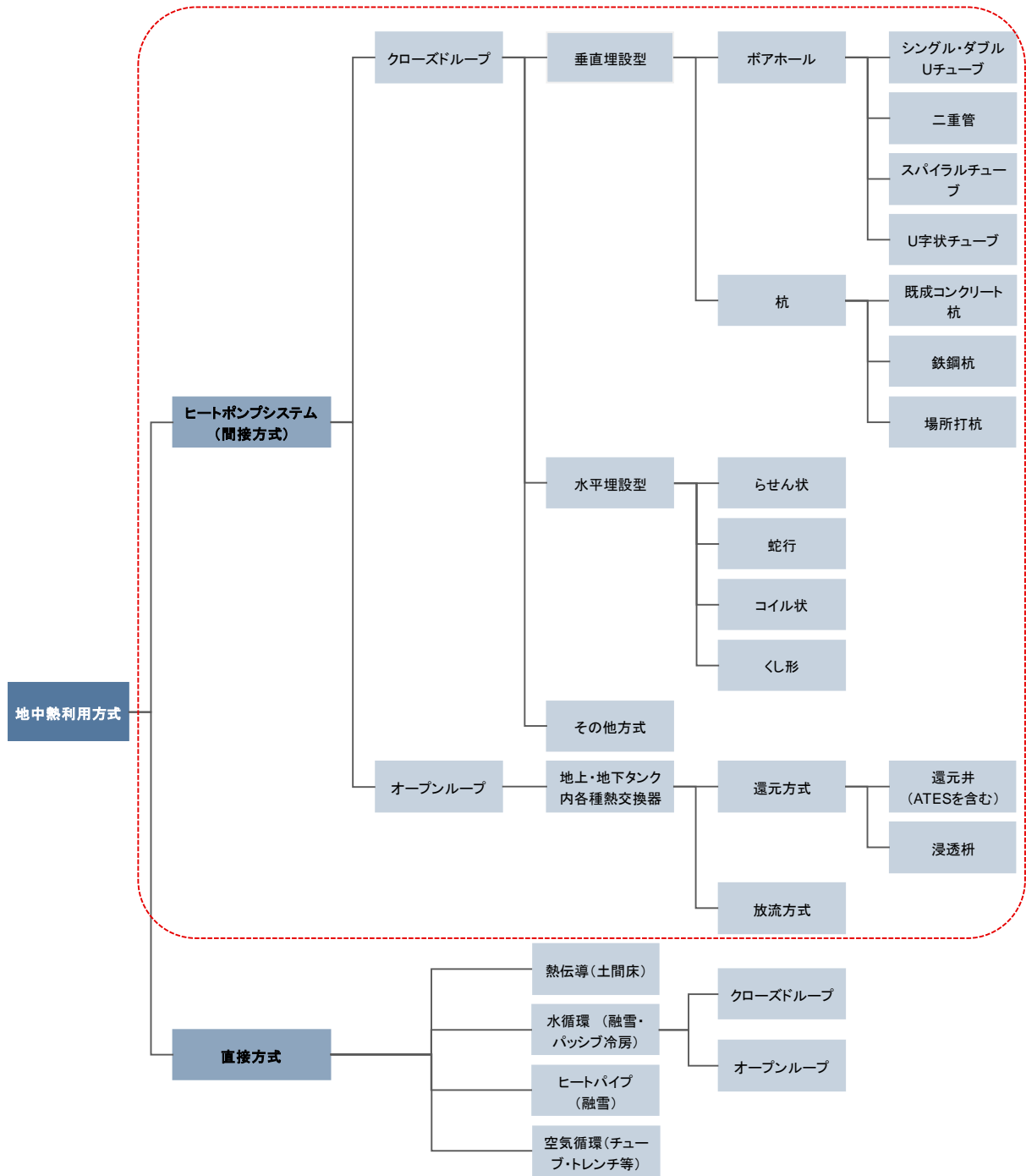
地中熱利用システムを導入する地域を対象に含むポテンシャルマップを選択する必要があります。特定の地域を対象を限定した解像度の高いマップは、細かな地理条件の違いが反映されていると考えられます。

2.1.2 対象とする方式

地中熱利用システムは採熱方式によってクローズドループ方式とオープンループ方式に分けることができます。また、クローズドループ方式はさらに熱交換方式に応じてボアホール方式、杭方式、水平方式といった形で細分化できます（図表 1）。採熱方式が変わると、それに応じて期待される採熱量（ポテンシャル）も変化するため、各マップはいずれかの方式を利用する前提で整備されています。したがって、導入するシステム方式に対応したマップを選択する必要があります¹。

¹ 特殊な採熱方式の場合、適切なポテンシャルマップが存在しない場合もあります。クローズドループ方式の場合は一般的なボアホール方式のマップを利用することで、当該地域の採熱条件が有利であるかの、おおよその目安を知ることができます。

図表 1 地中熱利用方式の分類と本ガイダンスの適用範囲



※赤点線内が本ガイダンスの対象

(出所) 地中熱利用促進協会、全国さく井協会「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 第一巻」(2017年3月)

2.1.3 マップの作成方法

各ポテンシャルマップは対象地域の地質情報をもとに整備されています。ボーリングデータがある地点は実測値を利用できますが、そうでない地点は地質情報を推定することで、ポテンシャルを算出する必要があります。この算出アルゴリズムはマップごとに異なっているため、留意する必要があります。また、マップによっては以下に示す「地下水の影響」、「2次側の熱利用の影響」を考慮してポテンシャルを評価している場合もあるため、適切に把握したうえでマップを利用する必要があります。

✓ 地下水の影響

地下水が豊富にある地域の場合、その移流の影響によって熱交換効率が向上します。ポテンシャルマップによっては、この効果を取り入れてポテンシャルを評価するものがあります。

✓ 2次側の熱利用の影響

2次側の熱利用状況に応じて必要となる熱量は変化します。ポテンシャルマップによっては建物種別に応じた必要熱量を考慮してポテンシャルを評価することがあります。

2.2 ポテンシャルマップの利用

導入対象地域・システム方式にあったポテンシャルマップを選択したら、ポテンシャルを評価します。ポテンシャルを評価する際は、ポテンシャルがどのような形式で表現されているかに留意する必要があります。また、ポテンシャルマップが示すデータの利用方法については、各マップが細かく規定しているため、その点についても確認する必要があります。

2.2.1 ポテンシャルの表示方式

ポテンシャルマップごとに、どのような単位でポテンシャルを表現するかは異なります。単位ごとに数字の意味付けが変わってくるため、正しく把握する必要があります。以下に、代表的なポテンシャルの表示方式を示します。

- ✓ 単位長さ当たりの採熱量（有効熱伝導率）
- ✓ クローズドループを採用した場合の必要熱交換器長
- ✓ 基準点からの相対評価

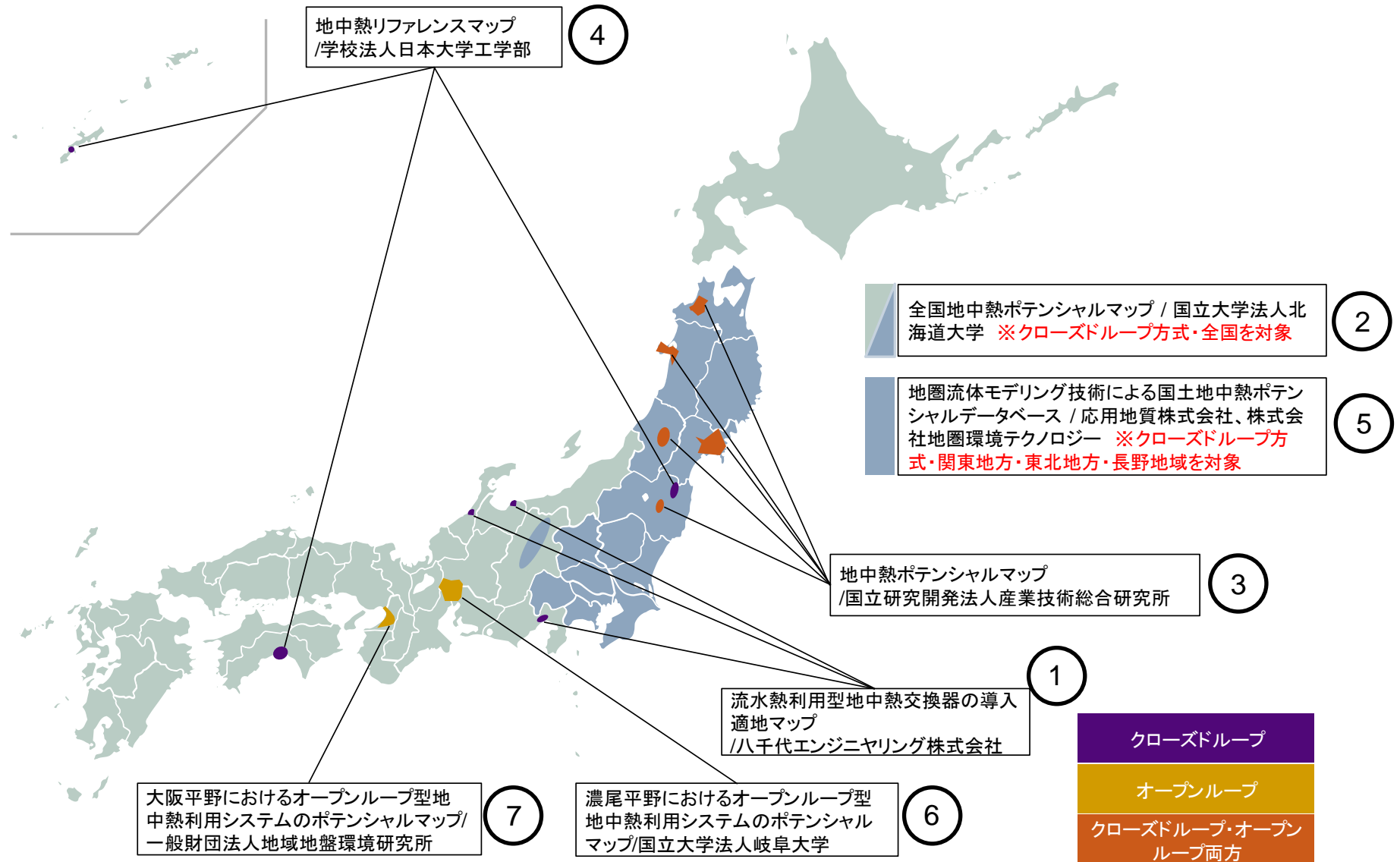
2.2.2 データの利用条件

ポテンシャルマップが示す数字データはあくまで目安を示すものとなります。したがって、特別な但し書きがない限り、詳細設計に用いることはできません。特に業務用途においては別途 TRT 試験を実施することを求めるポテンシャルマップが多いため、各マップが定めるデータの利用条件を正しく確認する必要があります。

3. NEDO プロジェクトにおいて開発されたポテンシャルマップの概要

NEDO「再生可能エネルギー熱利用技術開発」事業においては様々な地域・熱交換方式を対象としたポテンシャルマップを整理しています。次頁以降、その概要を示します。

図表 2 NEDO プロジェクトにおいて開発されたポテンシャルマップの一覧



NEDO 「再生可能エネルギー熱利用技術開発」事業（2014年～2018年）

図表 3 NEDO プロジェクトにおいて開発されたポテンシャルマップの概要

	事業名	事業実施者	対象地域	対象方式	マップ解像度	ポテンシャル表示方法
①	流水熱利用型熱交換器の導入適地マッピング技術の開発	八千代エンジニアリング株式会社	<ul style="list-style-type: none"> 富山県 黒部川扇状地（浅層地下水利用）、 石川県 手取川扇状地七ヶ用水（河川起源農業用水利用） 静岡県 富士市（湧水起源河川水利用） 	<ul style="list-style-type: none"> クローズドループ方式（浅層地下水利用、河川起源農業用水利用、湧水起源河川水利用） 	<ul style="list-style-type: none"> 100m（浅層地下水利用） 130～2,200m（河川起源農業用水利用） 10～240m（湧水起源河川水利用） 	<ul style="list-style-type: none"> 熱交換器 1つ当たりの熱交換量（夏季・冬季）
②	地理地盤情報を活用した設計・性能予測シミュレーションツールの開発とポテンシャル評価手法構築	国立大学法人 北海道大学	<ul style="list-style-type: none"> 日本全国 	<ul style="list-style-type: none"> クローズドループ方式（ボアホール） 	<ul style="list-style-type: none"> 500m グリッド（都市部） 10km グリッド 	<ul style="list-style-type: none"> 必要となる地中熱交換器規模（長さ・本数） 導入効果（SPF、ライフサイクルコスト、CO2 排出削減ポテンシャル）
③	地中熱・地下水熱利用ポテンシャルマップ評価手法の構築	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	<ul style="list-style-type: none"> 青森県 津軽平野 秋田県 秋田平野 宮城県 仙台平野 福島県 郡山盆地 山形県 山形盆地 	<ul style="list-style-type: none"> クローズドループ方式（ボアホール） オープンループ 帯水層蓄熱 	<ul style="list-style-type: none"> 等ポテンシャル線で連続的に表示 	<ul style="list-style-type: none"> 必要となる熱交換器の長さ（ボアホール） 地下水利用・帯水層蓄熱の適否（オープンループ、帯水層蓄熱）
④	浅層地中熱利用向け地中熱リファレンスマップのマッピング技術の開発	学校法人 日本大学工学部	<ul style="list-style-type: none"> 日本全国（デモ版では福島県福島盆地全体、沖縄県那覇市周辺、高知県南国市及び高知市内一部の3地域が対象） 	<ul style="list-style-type: none"> クローズドループ（浅層地中熱利用、ボアホール） ※デモ版では、複数地点で両者を併記している。 	<ul style="list-style-type: none"> ボーリング調査地点が選択可能 	<ul style="list-style-type: none"> 平均採熱能力(W/m：運転期間中に得られる全採熱量を運転期間で割り、算出したもの) 設計採熱能力(W/m：運転期間の採熱量の最低値)
⑤	地圏流体モデリング技術による国土地中熱ポテンシャルデータベースの開発	応用地質株式会社 株式会社地圏環境テクノロジー	<ul style="list-style-type: none"> 関東広域・宮城広域・長野地域（個別地域） 関東-東北地域（地方区分広域の自治体スケール） 	<ul style="list-style-type: none"> クローズドループ方式（ボアホール） 	<ul style="list-style-type: none"> 個別地域：50m グリッド（平野・盆地部） 広域：500m グリッド 	<ul style="list-style-type: none"> 見かけの有効熱伝導率 COP 地中熱交換井の長さ 最大熱交換量（関東広域のみ）
⑥	導入可能性と運用コストに着目したオープンループシステムのポテンシャル評価手法	国立大学法人 岐阜大学	<ul style="list-style-type: none"> 濃尾平野（西は岐阜県垂井町、東は愛知県尾張旭市、北は岐阜県本巣市、南は愛知県知多市の一部を含む範囲） 	<ul style="list-style-type: none"> オープンループ方式 	<ul style="list-style-type: none"> 250m グリッド ※岐阜市付近は 50m グリッド 	<ul style="list-style-type: none"> システム消費電力量の相対値
⑦	大阪市域におけるオープンループによる地下水利用の適用性とポテンシャルの評価	一般財団法人 地域地盤環境研究所	<ul style="list-style-type: none"> 大阪平野 	<ul style="list-style-type: none"> オープンループ方式（帯水層蓄熱） 	<ul style="list-style-type: none"> 500m グリッド 	<ul style="list-style-type: none"> ATES が施工可能な地点かどうかの適否 Dg1 層と Dg2 層の下面深度と層厚、熱源井戸 1組の掘削コスト、観測井戸の掘削コスト、熱源井戸+観測井戸掘削コストの合計

(1) 流水熱利用型熱交換器の導入適地マッピング技術の開発 (八千代エンジニアリング株式会社)

対象地域	富山県 黒部川扇状地(浅層地下水利用)、石川県 手取川扇状地 七ヶ用水(河川起源農業用水利用)、静岡県 富士市(湧水起源河川水利用)
対象方式	クローズドループ方式(浅層地下水利用、河川起源農業用水利用、湧水起源河川水利用)
マップ解像度	100m(浅層地下水利用)、130~2,200m(河川起源農業用水利用)、10~240m(湧水起源河川水利用)
ポテンシャル表示方法	熱交換器1つ当たりの熱交換量(夏季・冬季)

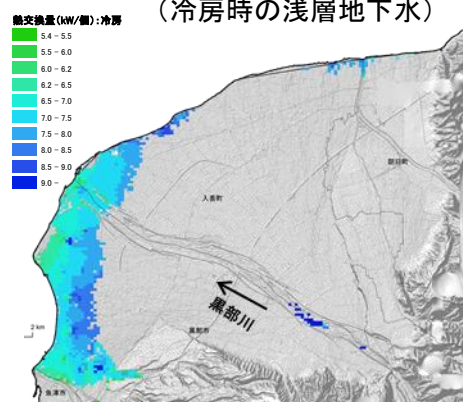
八千代エンジニアリング株式会社は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合機構(NEDO)の委託研究の一環として、流水熱利用型熱交換器の導入適地マッピング技術開発を実施しています。流水熱利用型熱交換器とは、浅層地下水(地下水が地表から3m以内にある)が流れる地盤や農業用水等の水路から採熱をするシート状の熱交換器(Gカーペット※1)で、Uチューブを使用する既存の地中熱システムと比較してコンパクト・低コストといった特徴を有しています。流水熱利用型熱交換器は導入適地が浅層地盤や水路など、既存の地中熱利用システムでは利用しない場所への適用を想定しています。そのため、参照可能な既存の導入適地マップが存在しないことから、当該熱交換器を適用可能な導入適地マップを整備しました。

流水熱利用型熱交換器の具体的な熱源としては、①浅層地下水、②河川起源農業用水、③湧水起源河川水などが挙げられます。八千代エンジニアリング株式会社が実施したNEDO事業においては、それぞれの利用方式について、1か所ずつ対象モデル地域を選定し、導入適地マップを作成しています。

図表 4 流水熱利用型熱交換器の設置イメージ※2
(左) 浅層地下水 (右) 農業用水



図表 5 導入適地マップの作成例
(冷房時の浅層地下水)



※1 Gカーペット: ポリエチレンの細管がシート状に配列され、大きさは5.6m×0.9m

※2 浅層地盤には、Gカーペット2枚を丸めて透水性のフレコンバッグに収納し、空隙に珪砂を充てんしたものを埋設します。水路には、Gカーペット1枚を水路の底または側壁(写真は底)に直接設置します。

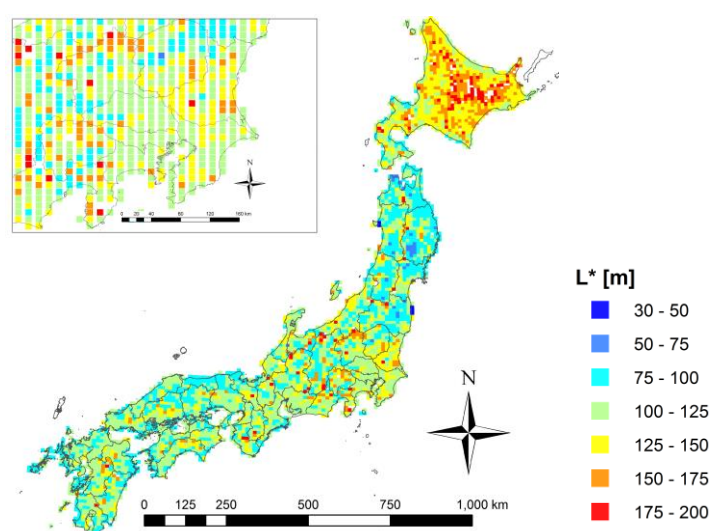
(2) 地理地盤情報を活用した設計・性能予測シミュレーションツールの開発とポテンシャル評価手法構築 (国立大学法人北海道大学)

対象地域	日本全国
対象方式	クローズドループ方式 (ボアホール)
マップ解像度	500m グリッド (都市部)、10km グリッド
ポテンシャル表示方法	必要となる地中熱交換器規模 (長さ・本数)、導入効果 (SPF、ライフサイクルコスト、CO ₂ 排出削減ポテンシャル)

北海道大学では全国の地中熱利用システム導入環境とユーザーが求める指標に基づいてポテンシャルを評価する技術を開発し、全国地中熱ポテンシャルマップとして取りまとめました。

地中熱ヒートポンプシステムの導入に際しては、地盤によって必要な熱交換器長が変化します。しかしながら、地中熱交換器を埋設する深度 100 m 付近までは従来、地質資料として用いてきたコアサンプリングボーリングでは情報が不足します。北海道大学では、井戸データも併せて解析に用いることで深部地盤情報を補うとともに、地質の分布を確率として推定し物性値変換する手法を開発しました。また Ground Club を用いることで地中熱ヒートポンプシステムシミュレーションの高速計算が可能であり、これにより必要地中熱交換器規模の全国評価を実現しました。必要地中熱交換器規模は、必要温度条件と目標性能条件に基づき算定し、ポテンシャルマップは代表的な建物 (住宅・非住宅)・条件 (期間平均成績係数やCO₂ 排出削減量等) で示しますが、各ユーザーの任意条件に対して地中熱交換器規模を見積る回帰推定 (ダイレクト推定) も可能となります。

図表 6 目標性能条件 $SPF^2 = 4$ に必要な地中熱交換器規模 (単管長さ) の例 (戸建住宅)



² 季節性能係数 (SPF : Seasonal Performance Factor) とはヒートポンプの性能指標の一つで、年間を通じたシステム効率の平均値を示します。

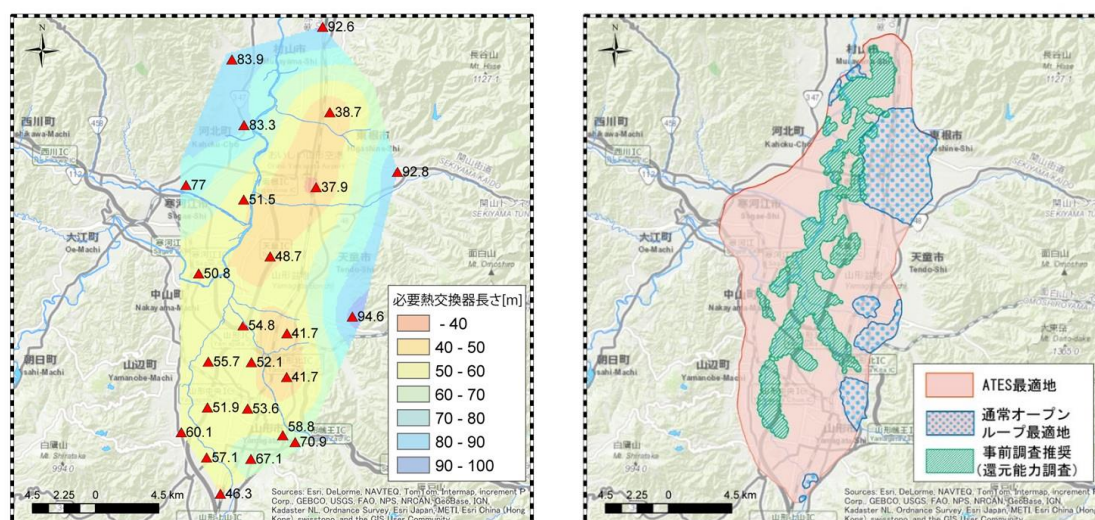
(3) 地中熱・地下水熱利用ポテンシャルマップ評価手法の構築 (国立研究開発法人産業技術総合研究所)

対象地域	青森県 津軽平野、秋田県 秋田平野、宮城県 仙台平野、福島県 郡山盆地、山形県 山形盆地
対象方式	クローズドループ方式（ボアホール）、オープンループ、帯水層蓄熱
マップ解像度	等ポテンシャル線で連続的に表示
ポテンシャル表示方法	必要となる熱交換器の長さ（ボアホール）、地下水利用・帯水層蓄熱の適否（オープンループ、帯水層蓄熱）

日本は、海洋プレートの沈み込み帯に位置することから、安定大陸に位置する欧米諸国に比べて、地質構造が複雑で、特に第四系層（約 260 万年前から現代までにおける人類の出現や氷河におおわれた時代の地層）が厚く堆積している地域が多いことが特徴です。第四系層の地質は砂・礫・泥などで構成されており、その熱伝導率は岩盤の 4~5 割程度となっています。一方、第四系層の透水係数は高く、優良な帯水層を形成していることが多いため、地下水の流れが活発であれば、熱の移流効果によって見かけの熱伝導率が高くなり、地中熱利用に適してきます。このため、日本では、地下水流動を考慮することにより、効率の良い地中熱利用システムの設計が可能になります。

このような背景を踏まえ、産業技術総合研究所は東北各県主要地域を対象に地下水流動の効果を考慮した地中熱ポテンシャルマップを作成しました。マップはクローズドループ、オープンループ、帯水層蓄熱（ATES : Aquifer Thermal Energy Storage）の 3 方式を整理しています。

図表 7 (左) クローズドループのポテンシャルマップの例、
(右) オープンループ・ATES のポテンシャルマップの例



(4) 浅層地中熱利用向け地中熱リファレンスマップのマップング技術の開発 (学校法人日本大学工学部)

対象地域	日本全国（デモ版では福島県福島盆地全体、沖縄県那覇市周辺、高知県南国市及び高知市内一部の3地域が対象）
対象方式	クローズドループ方式（浅層地中熱利用、ボアホール） ※デモ版では、複数地点で両者を併記している。
マップ解像度	ボーリング調査地点が選択可能
ポテンシャル表示方法	平均採熱能力(W/m：運転期間中に得られる全採熱量を運転期間で割り、算出したもの)、設計採熱能力（W/m：運転期間の採熱量の最低値）

■リンク先

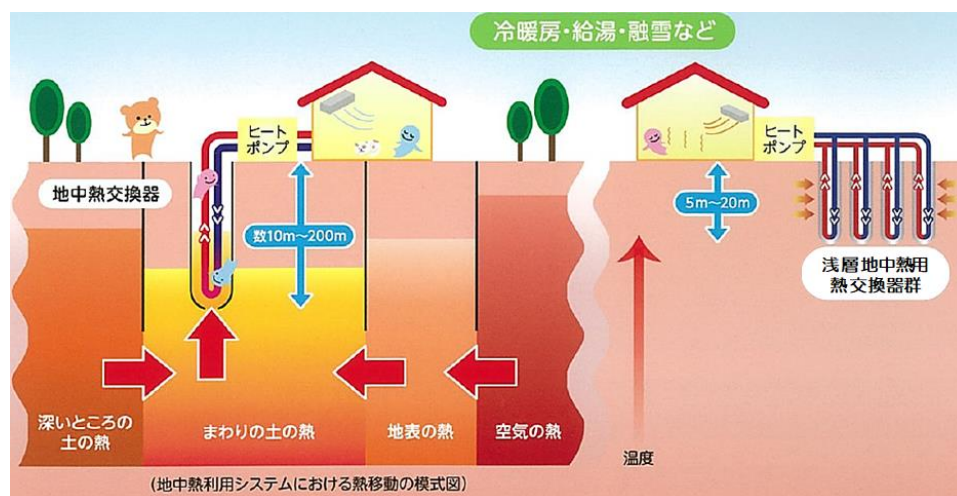
https://www.google.com/maps/d/viewer?ll=32.91070430894476%2C133.04288966527633&z=6&mid=1F2PjGPbNLxXQhpXkCC90_xmMOS71mf4e

熱交換井の掘削費用が高いために地中熱利用システムの導入普及が障害となっていることから、地中熱利用において比較的浅い地層を利用した浅層地中熱利用によって導入コストを抑えることができます。しかしながら、浅い地下の地中温度は一定ではありません。そこで日本大学工学部では、その温度分布を考慮し、地質条件による採熱期待値や熱交換器長さによる採熱量の違いを把握するために地中熱リファレンスマップを開発しました。

通常のポテンシャルマップでは地下構造等の条件を考慮して予想される採熱量が地図上に表示されますが、地中熱リファレンスマップは任意の地点で地中熱交換器を導入した際に最低限保証できる採熱量を計算することで、設計時に利用しやすくなっています。また、地中熱交換器の長さや運用する時期などの設定を自由に変えて採熱計算ができることも本リファレンスマップの特徴です。

図表 8 地中熱利用イメージ図

(左：一般的な地中熱利用イメージ、右：浅層地中熱利用イメージ)



出所：日本大学工学部再生可能エネルギー研究室 技術資料「浅層地中熱利用マルチ熱供給システム」

(5) 地圏流体モデリング技術による国土地中熱ポテンシャルデータベースの開発 (応用地質株式会社、株式会社地圏環境テクノロジー)

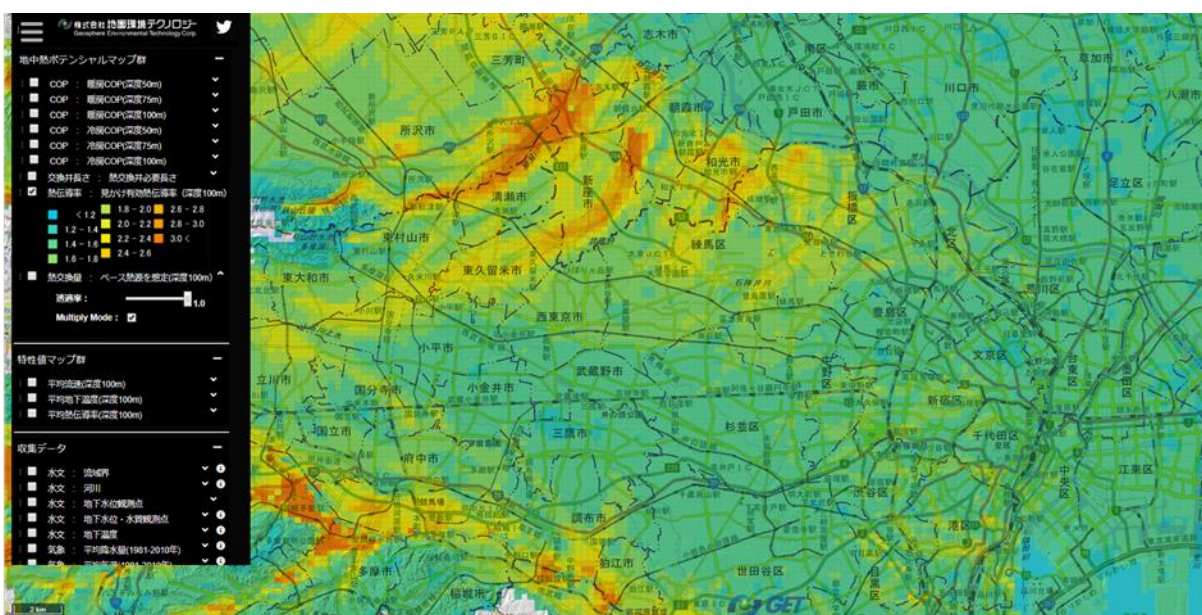
対象地域	関東広域・宮城広域・長野地域（個別地域）、関東-東北地域（地方区分広域の自治体スケール）
対象方式	クローズドループ方式（ボアホール）
マップ解像度	個別地域：50mグリッド（平野・盆地部）、広域：500mグリッド
ポテンシャル表示方法	見かけの有効熱伝導率、COP、地中熱交換器の長さ、最大熱交換量（関東広域のみ）

地中熱利用の熱交換能力は地下水流動、地盤の熱物性、地下温度に大きく影響されるため、これらの情報を十分に考慮することでより精緻な地中熱利用ポテンシャルの評価が可能になります。そこで応用地質株式会社と株式会社地圏環境テクノロジーは実際のボーリングデータなどを利用して解像度の高い地質構造モデルを構築し、地上と地下を一体化し、水・熱の移動を考慮した「地圏流体シミュレーション」を行うことで地中熱ポテンシャルを評価する手法を開発しました。

地下水の移流効果をシミュレーションするために必要な地下の地質構造のモデル化を応用地質株式会社が担当しており、その地質構造モデルを用いた「地圏流体シミュレーション」を株式会社地圏環境テクノロジーが担当しています。

本マップは、開発した手法を用いて評価した地中熱ポテンシャルを示すものです。地下水移流効果を反映した見かけの有効熱伝導率マップと、地中熱の利用用途や建物用途などを考慮した地中熱ポテンシャル各種派生マップとがあり、それぞれ用途に応じて利用できます。

図表 9 見かけの有効熱伝導率マップ



(6) 導入可能性と運用コストに着目したオープンループシステムのポテンシャル評価手法 (国立大学法人岐阜大学)

対象地域	濃尾平野 (西は岐阜県垂井町、東は愛知県尾張旭市、北は岐阜県本巣市、南は愛知県知多市の一部を含む範囲)
対象方式	オープンループ方式
マップ解像度	250m グリッド (岐阜市付近は 50m グリッド)
ポテンシャル表示方法	システム消費電力量の相対値

■リンク先 <http://openloopgifu.jp/>

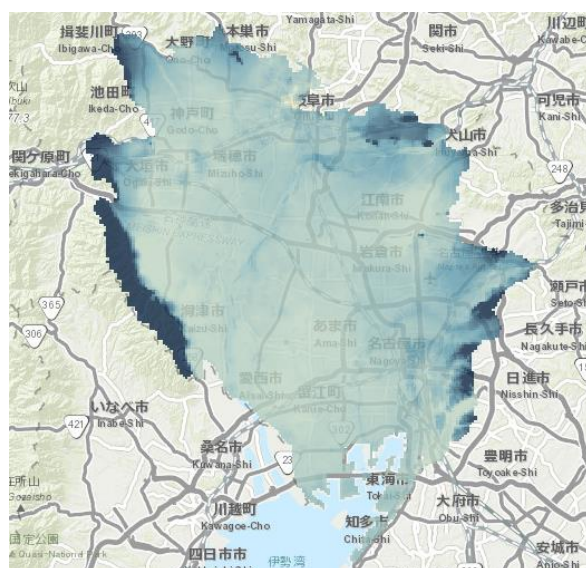
国立大学法人岐阜大学はこれまで国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合機構 (NEDO) の委託研究の一環として、濃尾平野におけるオープンループ型地中熱利用システムのポテンシャル評価手法を開発し、ポテンシャルマップを整備しています。

濃尾平野では、これまでオープンループ型地中熱利用システムのためのポテンシャルマップが整備されてこなかったため、今回の委託研究の中で初めて本格的に整備されました。

本マップでは、地中熱利用システムの消費電力量によってポテンシャルを評価します。オープンループ方式の消費電力量はヒートポンプ、地下水くみ上げポンプによって決まり、本事業においてはそれぞれの消費電力量の計算に使用するパラメータとして地下水温と地下水位を用いています。地下水温のマッピングのために、マップ作成対象地域の一部である岐阜市に所在する観測井において水温調査を行いました。また、地下水温や地下水位と消費電力量の関係を実証実験システムにおけるモニタリング結果から求めることにより、マップの精度を高めています。

なお、本マップはユーザビリティを考慮し、誰もが閲覧できかつ簡単に操作できる Arc GIS Online 上で公開されています。

図表 10 ポテンシャルマップ (病院_年間消費電力量比_%)



(7) 大阪市域におけるオープンループによる地下水利用の適用性とポテンシャルの評価 (一般財団法人地域地盤環境研究所)

対象地域	大阪平野
対象方式	オープンループ方式 (帯水層蓄熱)
マップ解像度	500m グリッド
ポテンシャル表示方法	ATES が施工可能な地点かどうかの適否、Dg1 層と Dg2 層の下面深度と層厚、熱源井戸 1 組の掘削コスト、観測井戸の掘削コスト、熱源井戸 + 観測井戸掘削コストの合計

一般財団法人地域地盤環境研究所は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合機構 (NEDO) の委託研究の一環として、大阪平野における帯水層蓄熱型オープンループ地中熱利用システム (ATES : Aquifer Thermal Energy Storage) のポテンシャルマップを整備しています。

大阪平野では表層付近に軟弱な沖積粘土層 (Ma13 層) が厚く分布しています。この Ma13 層の下位に分布する砂礫層 (Dg1 層) の地下水位が低下すると、Ma13 層が圧縮して地盤沈下を引き起こす危険性があります。よって、ATES 運用の際には Dg1 より深部に分布し、軟弱な粘土層と接していない砂礫層 (Dg2 や Dg3) の地下水を利用することが望ましく、NEDO の委託研究の中でこれらの分布状況を正確に地図上に整理しています。

また、深さ方向の地層情報を整備したため、本ポテンシャルマップを活用することで、掘削深度を予め予測することができます。これにより、井戸の整備コストを見積もることができます。

図表 11 ポテンシャルマップ画面 (全景)

		住所によるコスト比較	住所によるコスト比較	住所によるコスト比較
		住所から検索	住所から検索	郵便番号から検索
コスト比較表				
郵便番号		サイト1	サイト2	サイト3
郵便番号(地名)		-	-	5360000 大阪府城東区古市
住所		大阪府 大阪府 生野区	大阪府 生野区	
		板敷1丁目	會野野2丁目	
		1番地	1番地	
Dg1層	下面深度 (m)	40.3	10.4	14.2
	層厚 (m)	12.2	4.3	4.8
Dg2層	下面深度 (m)	96.1	10.4	14.2
	層厚 (m)	13.2	0	0
ATES		適用範囲	適用範囲外	適用範囲外
熱源井戸掘削(掘削・掘削)				
井戸径(mm)		800	800	800
(掘削+配管)単価(千円/m)		180	180	180
熱源井設置費用(千円)		23,796	3,744	5,112
観測井戸(Dg1層)				
(掘削+仕上り)単価(千円/m)		100	100	100
観測井戸(Dg1層)設置費用(千円)		4,030	1,040	1,420
観測井戸(Dg2層)				
(掘削+仕上り)単価(千円/m)		100	100	100
観測井戸(Dg2層)設置費用(千円)		6,610	1,040	1,420
初期導入コスト(熱源井戸+観測井戸)		34,436 (千円)	5,824 (千円)	7,952 (千円)



4. 地方自治体等が整備するポテンシャルマップの概要

地中熱利用システムの導入に積極的な自治体等によっては、独自にポテンシャルマップを整備しているところがあります。本項では、ホームページなどで情報を発信している自治体等について、公開しているポテンシャルマップの概要を整理しました。

図表 12 整理対象としたポテンシャルマップ

作成主体	名称	対象地域	公開方法
青森県、弘前大学	青森県地中熱・温泉熱利用ポテンシャル調査事業 地熱ポテンシャルマップ	青森県全市町村	報告書で公開
黒石市	黒石市地中熱利用ポテンシャル調査事業 地熱ポテンシャルマップ	黒石市	報告書で公開
群馬県	群馬県（平野部）地盤情報	館林・邑楽台地、藪塚面、大間々面、桐原面、利根川低地、前橋台地、藤岡台地、高崎台地	Webで公開
栃木県	栃木県地中熱交換量マップ	栃木県全域	報告書で公開
埼玉県	地中熱ポテンシャルマップ（地中熱採熱予測図）	埼玉県全域	Webで公開
東京都	東京地中熱ポテンシャルマップ	東京都全域	Webで公開
神奈川県	神奈川県地中熱ポテンシャルマップ（有効熱伝導率、地下水状況）	神奈川県全域	Webで公開
山梨県地中熱利用推進協議会	山梨県郡内地域 総合地中熱マップ	甲府盆地	Webで公開
静岡県	珪砂充填型ポテンシャルマップ、水井戸利用型ポテンシャルマップ	安倍川下流域	報告書で公開
静岡県	熱交換量マップ（地盤熱、水井戸）	富士山周辺地域	報告書で公開
諏訪市	諏訪市地中熱利用潜在量マップ	諏訪市全域	報告書で公開
大阪市	大阪市帯水層蓄熱情報マップ	大阪市全域	Webで公開

※各マップの詳細については、作成主体にお問い合わせください。

(1) 青森県地熱ポテンシャルマップ（青森県）

対象地域	青森県
対象方式	クローズドループ方式
マップ解像度	記載なし
ポテンシャル表示方法	有効熱伝導率
マップの形式	pdf ファイル
マップの概要	40 地点で熱応答試験を実施して有効熱伝導率を測定するとともに、青森県内の地熱、温泉、地下水等の情報から、それ以外の場所における有効熱伝導率を推定しています。熱応答試験は 10m の鉄鋼杭、50m の井水の 2 種類を実施しています。

(出所) 青森県「青森県地中熱・温泉熱利用ポテンシャル調査事業報告書」(2011 年 3 月)

(2) 黒石市地熱ポテンシャルマップ（青森県）

対象地域	青森県黒石市
対象方式	クローズドループ方式（ボアホール）
マップ解像度	記載なし
ポテンシャル表示方法	有効熱伝導率
マップの形式	pdf ファイル
マップの概要	20 地点で熱応答試験を実施して有効熱伝導率を測定するとともに、青森県内の地熱、温泉、地下水等の情報から、それ以外の場所における有効熱伝導率を推定しています。熱応答試験は 10m の鉄鋼杭、50m の井水の 2 種類を実施しています。

(出所) 黒石市「黒石市地中熱利用ポテンシャル調査事業報告書」(2011 年 3 月)

(3) 群馬県地中熱ポテンシャルマップ（群馬県）

対象地域	館林・邑楽台地、蕨塚面、大間々面、桐原面、利根川低地、前橋台地、藤岡台地、高崎台地
対象方式	クローズドループ方式（ボアホール）
マップ解像度	250m (モデルデータは 50m 間隔で作成)
ポテンシャル表示方法	地質情報、地下水情報
マップの形式	Web アプリケーション (Web ブラウザで操作)
マップの概要	群馬県内のボーリングデータを参考に、地盤の熱物性と地下水に関する情報を推定しています。マップではこれらの情報が公開されており、地質ごとの平均的な有効熱伝導率をかけ合わせることで熱伝導率を推定します。一部地域では熱伝導率が実測され、公開されています。

(出所) 群馬県ウェブサイト「群馬県（平野部）地盤情報の利用について」<http://www.pref.gunma.jp/07/b0100043.html> (2019 年 2 月アクセス)

(4) 栃木県地中熱交換量マップ（栃木県）

対象地域	栃木県（平野部を対象）
対象方式	クローズドループ方式
マップ解像度	1km
ポテンシャル表示方法	熱交換井単位長さあたりの熱交換量
マップの形式	pdf ファイル
マップの概要	栃木県宇都宮市の戸建住宅（延床面積 120m ² ）を想定した熱負荷条件の下、地中熱計算ソフト「Ground Club」により地中熱利用ヒートポンプシステムを空調に導入した場合の地中熱交換量を予測計算しています。

（出所）栃木県ウェブページ「地中熱交換量マップを作成しました！」 <http://www.pref.tochigi.lg.jp/d01/eco/kankyoun/ondanka/tityuunetsu.html>（2019年2月アクセス）

(5) 埼玉県地中熱ポテンシャルマップ（埼玉県）

対象地域	埼玉県
対象方式	クローズドループ方式（ボアホール）
マップ解像度	市町村ごとに平均値を表示
ポテンシャル表示方法	2400時間稼働した際の平均採熱量
マップの形式	マップの画像ファイル
マップの概要	埼玉県内のボーリングデータ（土質、地下水位）を基に作成したものであり、一般住宅への導入を想定した条件で 1m あたりの期待採熱量の目安を示しています。

（出所）埼玉県ウェブページ「地中熱ポテンシャルマップ」 <https://www.pref.saitama.lg.jp/a0503/energy/reene/reene-tityu-pot.html>（2019年2月アクセス）

(6) 神奈川県地中熱ポテンシャルマップ（神奈川県）

対象地域	神奈川県
対象方式	クローズドループ方式（ボアホール）
マップ解像度	250m（主要区画については 125m）
ポテンシャル表示方法	有効熱伝導率、地中熱交換器の必要本数
マップの形式	マップの画像ファイル
マップの概要	神奈川県内の代表 100 地点において地中熱交換機長さ 100m を再現したモデルによる TRT シミュレーションを実施し、見かけの有効熱伝導率を算出しています。合わせて、30m・100m の地中熱交換器が何本必要になるかを試算したマップも公開しています。

（出所）神奈川県ウェブページ「神奈川県 有効熱伝導率マップ」 <http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/p1128604.html>（2019年2月アクセス）

(7) 東京地中熱ポテンシャルマップ（東京都）

対象地域	東京都
対象方式	クローズドループ方式（ボアホール、基礎杭）
マップ解像度	50m(区部)、250m（都下）
ポテンシャル表示方法	有効熱伝導率、建物種別毎の採熱管長さ、建物種別毎の採放熱量
マップの形式	Web アプリケーション（Web ブラウザで操作）
マップの概要	約 20,000 本のボーリングデータ（「東京の地盤（GIS 版）」（東京都土木技術支援・人材育成センター）の柱状図データ）を基に地層モデルを作成し、東京都内の土質区分分布を想定するとともに、地下水流動解析によりメッシュごとの地下水流量の分布を検討し、熱移流を考慮したポテンシャルマップを作成しています。また、住宅や非住宅（小規模施設、大規模商業施設等）といった建物種別に応じたポテンシャルマップを整備している点も特徴となります。

（出所）東京都ホームページ「東京地中熱ポテンシャルマップ」<http://www3.kankyo.metro.tokyo.jp/index2.html>（2019 年 2 月アクセス）

(8) 安倍川下流域（静岡地域）における地下熱利用適地マップ（静岡県）

対象地域	安倍川下流域（静岡地域）
対象方式	クローズドループ方式（ボアホール）
マップ解像度	記載なし
ポテンシャル表示方法	平均熱交換量（kW/100m）
マップの形式	pdf ファイル
マップの概要	安倍川下流域の三次元地下地質モデルを作成し、現地調査で得た地下水流動パターンや温度分布を反映した広域地下水流動・熱輸送解析を行い、クローズドループ方式を使用した場合の熱交換量を評価しています。

（出所）静岡県「（安倍川下流域（静岡地域）における地下熱利用適地マップ」（2018 年 3 月）

(9) 富士山周辺地域における地下水熱利用適地マップ（静岡県）

対象地域	富士山周辺地域
対象方式	オープンループ方式、クローズドループ方式
マップ解像度	記載なし
ポテンシャル表示方法	地下水温度（オープンループ）、熱交換量（クローズドループ）
マップの形式	pdf ファイル
マップの概要	実際に富士山周辺の湧水や井戸を使って地下水の温度分布や水位を計測し、地質や地下水流の特徴をふまえて熱交換量を推計しています。ポテンシャル種別としては地下水温度（オープンループ方式を想定）、熱交換量（クローズドループ方式を想定）、水井戸熱交換量（休止中の井戸に熱交換パイプを浸け込む「直接浸水型地下水熱交換システム」を想定）の3種類が整備されています。

（出所）静岡県「富士山周辺地域における地下水熱利用適地マップ」（2015年3月）

(10) 諏訪市地中熱利用潜在量マップ（長野県）

対象地域	長野県諏訪市
対象方式	クローズドループ方式（ボアホール）
マップ解像度	100m
ポテンシャル表示方法	有効熱伝導率（深さ100m、50m、15mそれぞれについて作成）
マップの形式	pdf ファイル
マップの概要	「その場所でどれだけ効率的に地中熱を利用できるか＝地中熱利用潜在量」について、熱交換量を指標に用いて評価し、市内平坦部(標高約800m以下)で地中熱利用潜在量マップを作成しています。

（出所）諏訪市ウェブサイト「諏訪市地中熱利用潜在量マップについて」<https://www.city.suwa.lg.jp/www/info/detail.jsp?id=7668>（2019年2月アクセス）

(11) 大阪市帯水層蓄熱情報マップ（大阪市）

対象地域	大阪市
対象方式	オープンループ方式（帯水層蓄熱）
マップ解像度	250m
ポテンシャル表示方法	建物敷地面積（建ぺい対象面積）を利用対象面積とした場合の帯水層蓄熱の利用可能熱量
マップの形式	Web アプリケーション（Web ブラウザで操作）
マップの概要	熱交換方式をオープンループ方式還元型とし、熱源井戸を、井戸間の空きエリアを考慮しない最密配置で設置したうえで、全帯水層（第1～4帯水層）からの揚水可能量を全て利用した場合の単位面積当たり利用可能熱量を示しています。

（出所）大阪市ウェブサイト「帯水層蓄熱利用の普及に向けた国家戦略特区の規制緩和提案を行います」
<http://www.city.osaka.lg.jp/kankyo/page/0000443776.html>（2019年2月アクセス）

(12) 山梨県郡内地域総合地中熱マップ（山梨県）

対象地域	甲府盆地
対象方式	特定の方式を明記せず
マップ解像度	約 2km
ポテンシャル表示方法	相対的なポテンシャルを「高い」「普通」「低い」の3段階で表示
マップの形式	マップの画像ファイル
マップの概要	地盤情報に基づいた相対的な地中熱利用ポテンシャルがマップ形式で整理されています。

（出所）山梨県地中熱利用推進協議会「地中熱ヒートポンプ一般利用状況」
<http://www.ygha.jp/%E5%9C%B0%E4%B8%AD%E7%86%B1%E3%83%92%E3%83%BC%E3%83%88%E3%83%9D%E3%83%B3%E3%83%97-%E4%B8%80%E8%88%AC%E5%88%A9%E7%94%A8%E7%8A%B6%E6%B3%81.html>（2019年2月アクセス）

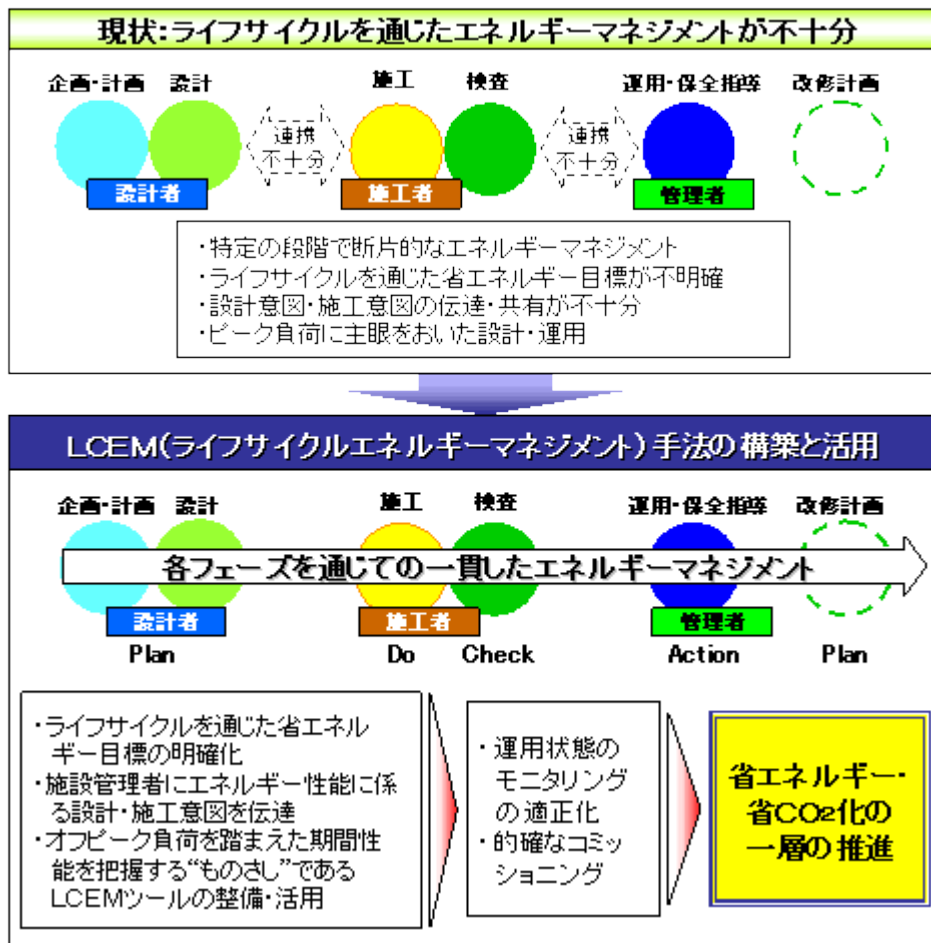
III. 空調熱源設計ツールの利用方法

1. LCEM ツールの概要

国土交通省は、建築物のライフサイクルの各段階における省エネ性能を効果的に分析・評価する手法として「ライフサイクルエネルギーマネジメント手法（LCEM手法）」を開発し、その実現のために空調設備機器・システムのシミュレーションツールを公開しています。

LCEM ツールは、個々の建物毎に、様々な条件下で、空調システムの年間エネルギー消費量を簡易にシミュレーションするものです。具体的には、機器オブジェクトを連結させることで空調システムを構築することができます。当該ツールを活用することにより、設計段階の空調システムの検討、施工・施設運用段階のエネルギー性能評価及び運用改善を検討し、省エネルギー・省CO2化を図ることができます。

図表 13 LCEM 手法の概要



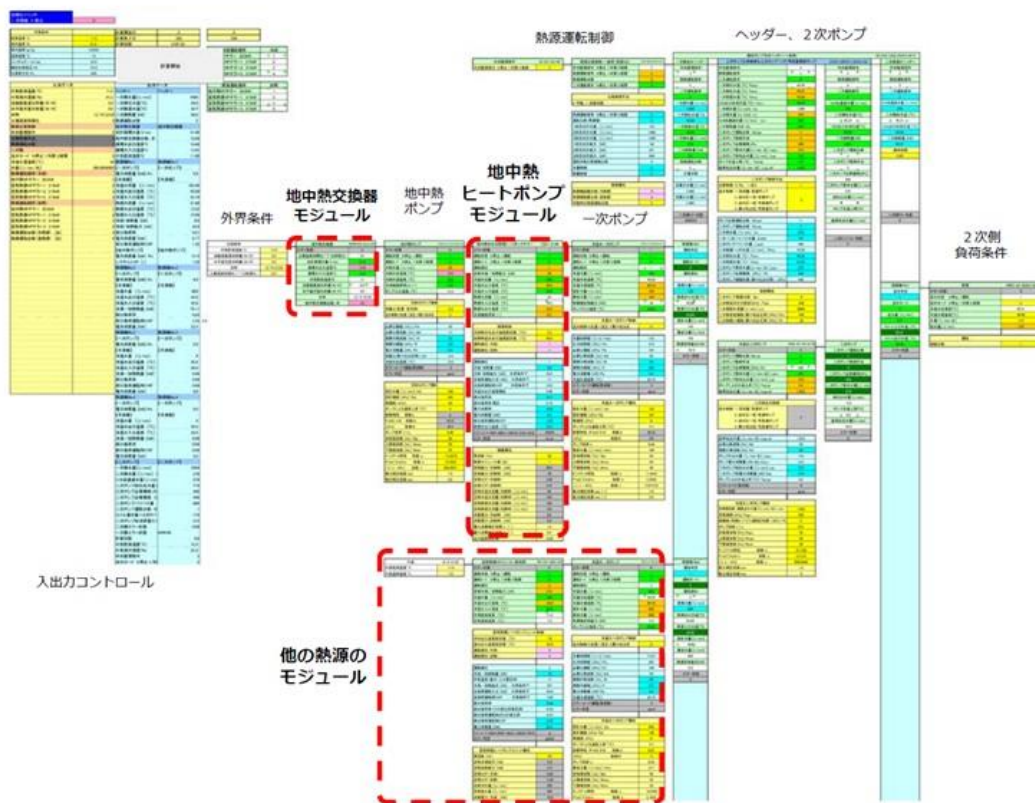
(出所) 国土交通省ウェブページ「ライフサイクルエネルギーマネジメント（LCEM）」 ” http://www.mlit.go.jp/gobuild/sesaku_lcem_lcem.html” (2019年2月アクセス)

2. NEDO プロジェクトにおいて開発された空調熱源設計ツールの概要

株式会社日建設計総合研究所、公立大学法人名古屋市立大学は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合機構（NEDO）の委託研究の一環として、地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステムシミュレーションの開発を実施しています。これまで地中熱ヒートポンプの導入効果を検討するために設計者が簡単に利用できるツールが少なく、また設計建物に導入される全ての空調熱源システムを組み込んだシステムシミュレーションはほとんどありませんでした。一方、システムシミュレーションを実施せずに地中熱ヒートポンプを導入・運用した場合、過剰な設備容量での導入、不適切な運転によりイニシャルコスト・ランニングコストの上昇につながってしまう可能性があります。そこで、地中熱利用ヒートポンプの導入効果を検討が可能で、かつ設計建物に導入される全ての空調熱源システムを組み込んだシステムシミュレーションツールを開発しました³。

本ツールは、国土交通省官庁営繕部が作成・公表するライフサイクルエネルギーマネジメント（LCEM）ツールのモジュール（オブジェクト）であり、地中熱ヒートポンプモジュールと地中熱交換器モジュールから構成されます。これらを LCEM の既存モジュールと組み合わせることで、地中熱利用システムを含むトータルシステムのシミュレーションを実施することができます。

図表 14 トータルシステムを構成するオブジェクト群（構築シート例）



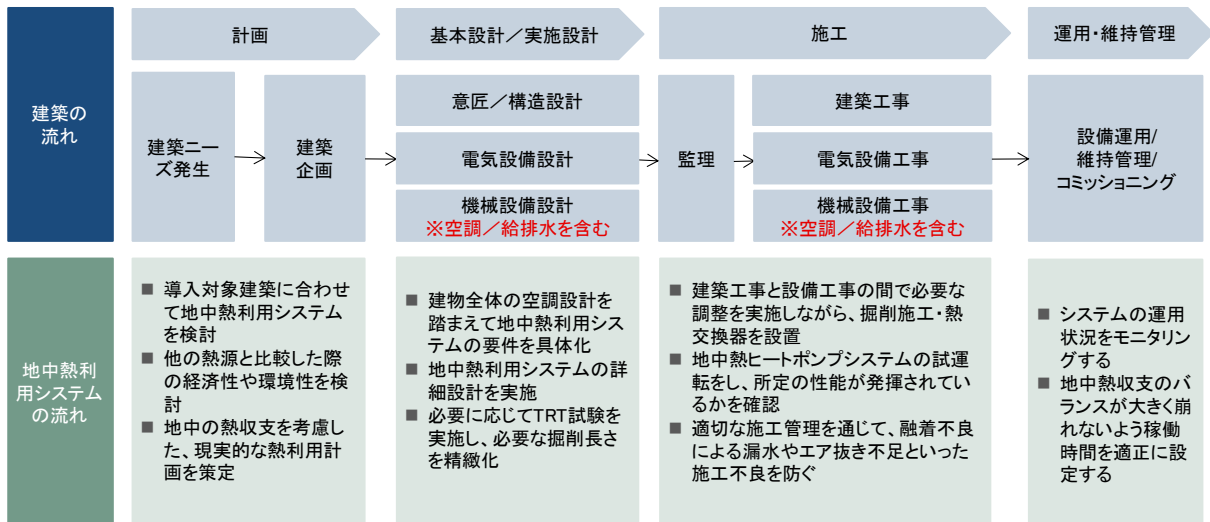
³ マップ公開サイト URL < <http://www.aaaaa.bbbbbb.cccccc.dddddc.jp> >

IV. 地中熱利用システムの導入フローにおけるポテンシャルマップ・空調熱源設計ツールの利用場面

1. 導入フロー

地中熱利用システムは基本的に新築建築に合わせて導入されることが多く、したがって、建築における計画、設計、施工、維持管理という一連のフローに合わせて、地中熱利用システムも導入されていきます。

図表 15 地中熱利用システムの導入フロー



1.1 計画段階

計画段階においては、導入対象建築に合わせた適切な地中熱利用システムを検討します。他の熱源と比較した際の経済性や環境性を検討し、地中の熱収支を考慮した、現実的な熱利用計画を策定します。

1.2 設計段階

設計段階においては、建物全体の空調設計を踏まえて地中熱利用システムの要件を具体化します。必要に応じてTRT試験を実施し、必要な掘削長さを精緻化します。

1.3 施工段階

施工段階では、建築工事と設備工事の間で必要な調整を実施しながら、掘削施工・熱交換器を設置します。また地中熱ヒートポンプシステムの試運転をし、所定の性能が発揮されているかを確認します。

1.4 運用・維持管理段階

運用・維持管理段階においては、システムの運用状況をモニタリングし、地中熱収支のバランスが大きく崩れないよう稼働時間を適正に設定します。

2. 計画段階におけるポテンシャルマップ・空調熱源設計ツールの利用場面

ポテンシャルマップは、地中熱利用システムの導入フローのうち、計画段階において主に活用されます。また空調熱源設計ツールも、計画段階において活用することができます。以下に、計画段階における検討事項の概略とその中でのポテンシャルマップ・空調熱源設計ツールの利用方法を示します。

2.1 導入対象用途の検討

導入対象建築における地中熱利用システムの用途を検討します。住宅用途、業務用途いずれの場合も、空調・給湯のいずれかを地中熱で賄う形になります。また、対象建築の周辺環境を確認し、適用可能なシステム方式（クローズドループ方式・オープンループ方式）を決定します。

クローズドループ方式の場合特別な法規制はないため、基本的にはどのような地域においても導入可能となります。オープンループ方式の場合は地下水利用に関する法規制が存在するため、該当地域で問題なく導入可能かを確認する必要があります（オープンループ方式の詳細な検討方法については、「V. その他の参考情報」で紹介する関連資料も併せて参照してください）。

いずれの方式についても、検討対象地域が導入適地であるかどうかについて、「II. ポテンシャルマップの利用方法」で示すポテンシャルマップを利用して確認することができます。

2.2 地中熱ヒートポンプシステムの導入可能量の検討

導入対象地域の地理的条件とシステム方式から決まる地中熱利用システムの最大導入可能量を検討します。例えばクローズドループ方式の場合、土地面積から最大施工本数が定まり、そこに熱交換器長と熱交換効率を乗じることで、最大熱交換量が定まります。

地中の熱交換効率は、地域ごとに異なっています。代表的な値を利用して検討することも可能ですが、より正確な地盤特性を加味して検討する場合は、「II. ポテンシャルマップの利用方法」で紹介するポテンシャルマップのうち、熱交換効率の目安を示すものを活用することができます（実際の設計段階においては、別途 TRT 試験を実施する必要があります）。

2.3 冷暖房負荷の概算

建物規模から必要となる冷暖房負荷を検討します。冷暖房負荷を簡便に算出する方法としては、「冷暖房負荷簡易計算法」があります。これは、建物の延床面積に最大冷房需要量、最大暖房需要量をかけ合わせることで、冷暖房負荷の最大定格を算出する手法になります。様々な建物種別に応じた原単位が準備されている他、地域特性を加味するための補正係数も用意されているため、各地域の気象条件も反映されます。

2.4 空調ゾーンの検討

冷暖房負荷を考慮し、建物の中のどの部分を地中熱で賄うかを検討します。地中熱利用システムは容量を大きくすれば大きくするほど導入コストが増大します。したがって、コンスタントな熱需要が見込める用途に絞って地中熱を利用し、熱需要のピークは他の熱利用システムで賄うといった運用をするのが理想的です。これにより、地中熱を含めた空調システム全体の仕様を決定します。

2.5 エネルギー消費量・CO2 排出量・ランニングコストの検討

システム構成に合わせたエネルギー消費量・CO2 排出量をシミュレーションします。「III. 空調熱源設計ツールの利用方法」で示す LCEM を利用することで、設備構成や当該地域の気候といった様々な条件下での、空調システムの年間エネルギー消費量や CO2 排出量を簡易にシミュレーションすることができます。これを活用することで、地中熱利用の有無によるエネルギー消費量の変化も可視化できます。また、LCEM で算出されたエネルギー消費量の差分にエネルギーコスト原単位をかけ合わせることで、ランニングコストの削減量も算出することが可能です。

2.5.1 採算性の検討

競合技術とのコスト情報比較を実施する場合は、機器構成に合わせたイニシャルコストとランニングコストを比較します。地中熱利用システムはイニシャルコストが高額であるため、競合技術と比較した際のイニシャルコストの差分が、ランニングコストの差分によってどの程度の期間で回収されるかを概算します。

3. 設計段階、運用・維持管理段階における空調熱源設計ツールの利用場面

空調熱源設計ツールはその名の通り設計段階において主に活用されるほか、コミッショニングの観点から運用・維持管理段階においても活用することが望まれます。以下に、各段階での空調熱源設計ツールの利用方法を示します。

3.1 設計段階

設計段階においては、詳細検討された建物全体の空調設計を踏まえて、LCEM ツールを活用しながら空調システムの稼働状況をシミュレーションします。これにより、計画段階よりもさらに精緻なエネルギー消費量や空調コストを見積もることができます。

3.2 運用・維持管理段階

運用・維持管理段階において、設計当初の性能が正しく発揮されているかを検証する際にも、LCEM ツールを活用することができます。運用状況をモニタリングし、期待されるエネルギー消費量と比較することで、エネルギー性能を評価し、運用改善につなげることができます。

V. その他の参考情報

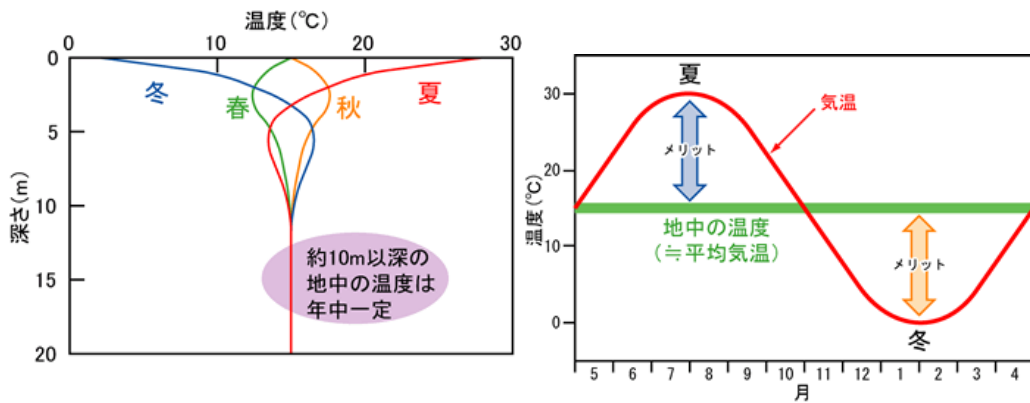
その他の参考情報として、地中熱利用システムの概要、地中熱利用システム導入検討に際し活用可能なガイドラインをそれぞれ取りまとめました。

1. 地中熱利用システムの概要

1.1 地中熱利用の概要

地中熱利用システムは、地下 10m よりも深い領域の熱エネルギーを活用します。地下 10m よりも深い地層は年間を通じて温度の変化が小さく、一般的にその地域の平均気温と同程度になることが知られています。そのため、夏の暑い時期は地中温度が外気温より低くなり、冬の寒い時期は地中温度が外気温よりも高くなります。地中熱利用システムでは、この地中熱の特性を活かして、効率のよい冷房や暖房に利用します。

図表 16 地中熱の季節依存性の模式図（左）、地中熱利用の模式図（右）



(出所) 地中熱利用促進協会ウェブページ「地中熱とは」 <<http://www.geohpaj.org/introduction/index1/howto>> (2019年2月アクセス)

1.2 地中熱利用システムの種類

地中熱利用システムは、地中熱をヒートポンプの熱源に利用する間接方式と、ヒートポンプを利用せずに地中熱をそのまま空調や融雪に利用する直接方式の、2つに大きく分類することができます。ヒートポンプを利用する方式では、地中熱の採熱方法によってさらにオープンループ方式とクローズドループ方式に分類することができます。ヒートポンプを利用しない方式については、熱交換の方法に応じて熱伝導、空気循環、水循環、ヒートパイプの4方式に分類することができます。本ガイドは地中熱利用技術のうち、ヒートポンプを利用する方式（クローズドループ方式・オープンループ方式）を対象としています。

図表 17 地中熱利用の主なシステム形態

分類	ヒートポンプシステム	
	クローズドループ方式	オープンループ方式
模式図		
概要	深度 100m程度までの地中熱交換器に不凍液等を循環させ、ヒートポンプで熱交換させる	井戸から揚水した地下水をヒートポンプで熱交換させる

分類	地中熱直接利用			
	熱伝導	空気循環	水循環	ヒートパイプ
模式図				
概要	熱伝導を通じて伝わる熱をそのまま利用する	空気を循環させるパイプを地中に垂直に埋設したりして熱交換を行う	地中と地表とをパイプで結ぶ単純な水循環システム	熱媒が蒸発と凝縮を繰り返すことで、地中の熱を地上に運ぶ

(出所) 地中熱利用促進協会ウェブサイト(「地中熱利用の概要」<[http://www.geohpaj.org/introduction/index 1 /howto](http://www.geohpaj.org/introduction/index1/howto)> (2019年2月アクセス))

1.2.1 クローズドループ方式

クローズドループ方式では、地中に熱交換器を設置し、その中に熱媒を循環させることで地中熱を取り出します。熱交換器の設置方法によって垂直方式（ボアホール、杭）、水平方式に分類でき、熱交換効率やコストに応じて適切な方式を選択します。またこれらに分類されない、熱交換効率を高める工夫を行った熱交換器も存在しています。

(1) ボアホール方式

ボアホール方式では深さ 100～150m の穴を掘削して、その中に熱交換器を設置します。地中熱利用システムの中では最も一般的な熱交換方式で場所を選ばずに利用することができますが、穴の掘削のためにボーリングマシンを利用するため、設置費用が高額になります。熱交換器には、ユーチューブ（熱伝導率に優れたポリエチレンでできた管）や二重管（外側が金属、内側が樹脂でできた管）等を用います。

(2) 杭方式

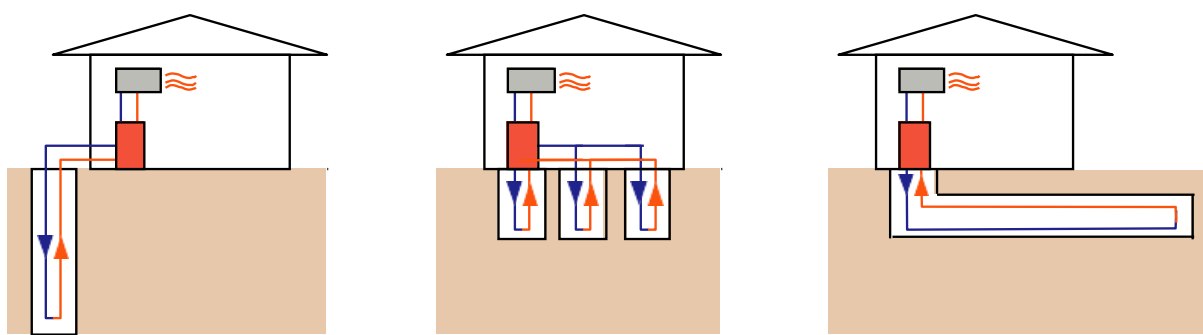
杭方式では、建築の基礎杭と合わせて熱交換器を設置します。これにより熱交換器設置のための追加費用を抑えることができます。建築の杭は地盤強度に応じて鉄鋼杭、場所打杭、既成コンクリート杭などが利用されますが、杭を用いない建築物においては、当該方式を適用することができません。

(3) 水平方式

水平方式では、熱交換器を垂直ではなく水平に設置します。これによりボーリングマシン等の機材が不要となるためコストを抑えることができますが、設置に際しては熱需要を賄うのに十分な深さ・広さの掘削を行う必要があります。

図表 18 クローズドループ型システムの模式図

(左：ボアホール方式、中央：杭方式、右：水平敷設方式)



(出所) 各種資料を基に作成

1.2.2 オープンループ方式

オープンループ方式では、地下水を揚水してそのままヒートポンプの熱源として利用します。熱交換を終えたあとの揚水の処理方法によって①放流方式、②還元方式（還元井型）、③還元方式（浸透枡型）の3通りに分類することができます。

(1) 放流方式

帯水層から揚水した地下水を地下に戻さず、水路などに直接放流します。地下水の放流が下水利用とみなされる地域があり、その場合は下水使用料金を負担する必要があります。

(2) 還元方式（還元井型）

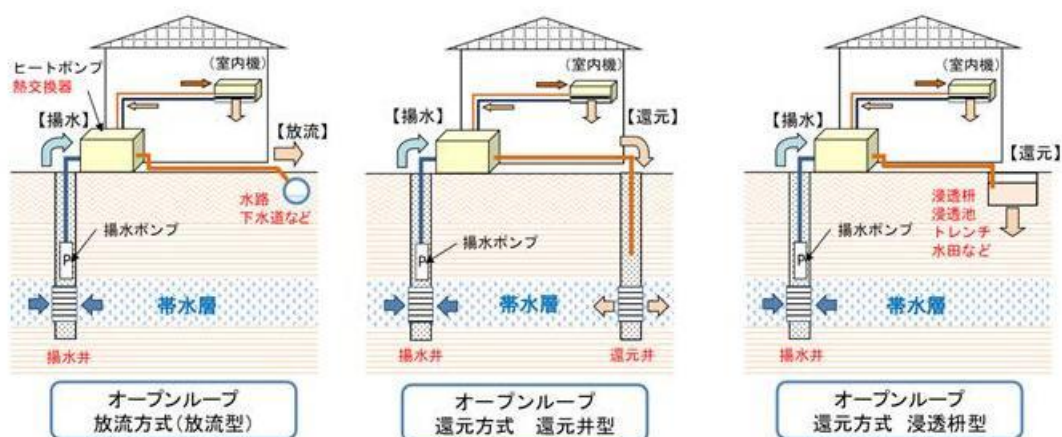
熱交換を終えた地下水を、還元井と呼ばれる井戸から地中に注入して、帯水層に還元します。還元した水による温度変化の影響を考慮する必要がある他、地下水中のスケールにも対策が必要となります。還元した地下水による蓄熱効果を積極的に利用する場合は、帯水層蓄熱（ATES : Aquifer Thermal Energy Storage）と呼ばれます。

(3) 還元方式（浸透枡型）

地表付近に設置した枡などを利用して、地下水を地中に浸透させ、帯水層に還元します。還元井が不要なためコストが下がる一方、水が浸透しやすい地質である必要があります。

図表 19 オープンループ型システムの模式図

（左：放流方式、中央：還元方式（還元井型）、右：還元方式（浸透枡型））



（出所）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「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」（2017年3月）

1.3 システム導入によるメリット

地中熱利用システムを導入することで、エネルギー消費量の削減、CO₂ 排出量の削減、空調・空調費用の削減、ヒートアイランド現象の抑制といったメリットを得ることができます。

(1) エネルギー消費量の削減

地中熱利用システムでは、夏場は空気熱より温度が低く、冬場は空気熱より温度が高い地中熱をヒートポンプの熱源として利用します。ヒートポンプでは熱利用サイクルによって熱源の熱をくみ上げて空調等に利用します。熱をくみ上げる際に必要となるエネルギーは、室内の温度と熱源の温度差が小さいほど、少なく済みます。したがって、地中熱を利用した空調・給湯システムは、空気熱を利用したシステムより必要エネルギーが少なくなります。

(2) CO₂ 排出量の削減

エネルギー消費量の削減に伴い、CO₂ 排出量も合わせて削減されます。寒冷地においては空気熱ヒートポンプシステムの利用が難しいため、空調・給湯の熱源は化石燃料が中心となっています。地中熱利用システムは寒冷地においても利用できるため、特に寒冷地において燃料転換による高い省 CO₂ 効果を期待することができます。

(3) 空調・給湯費用の削減

地中熱利用システムは現在普及途上にあるため、空気熱源利用システムなど競合技術に比べてイニシャルコストが高額となっています。しかしエネルギー効率は競合技術と比べて優れているため、ランニングコスト（空調・給湯費用）は安くなります。そのため、適切な運用をすることで、長期的には省コスト効果を得ることができます。

(4) ヒートアイランド現象の抑制

地中熱利用システムは廃熱を外気に放出しないため、夏場のヒートアイランド現象の緩和につながることを期待されます。

2. 地中熱利用システム導入検討に際し活用可能なガイドライン

地中熱利用システムの導入検討に際しては、官公庁や業界団体が整備する既存のガイドラインが参考となります。本項では、これらガイドラインの概要と入手方法を整理しました。

(1) 国土交通省「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）」

概要	「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)」は、地中熱利用の導入促進によって地球温暖化対策やヒートアイランド現象緩和を推進することを目的として、地中熱利用の設計手法や施工方法、効果の評価手法について取りまとめたガイドラインになります。
適用範囲	当該ガイドラインは空調・給湯・融雪用の地中熱利用ヒートポンプシステムを対象としていて、熱交換器はクローズドループ方式、熱交換方式は垂直埋設型ボアホールを対象としています。
入手方法	本ガイドラインは国土交通省が web ページ (http://www.mlit.go.jp/common/001016159.pdf) で公開しており、誰でも利用可能となっています。

(2) 環境省水・大気環境局「地中熱利用にあたってのガイドライン 改訂増補版」

概要	「地中熱利用にあたってのガイドライン 改訂増補版」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うと共に地中熱利用の普及促進を図ることを目的に、地中熱利用ヒートポンプのメリット、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たガイドラインになります。
適用範囲	当該ガイドラインは空調・給湯・融雪用の地中熱利用ヒートポンプシステムを対象とし、熱交換器はクローズドループ方式、オープンループ方式の双方を対象としています。
入手方法	本ガイドラインは環境省が web ページ (https://www.env.go.jp/press/105282.html) で公開しており、誰でも利用可能となっています。

(3) 地中熱利用促進協会「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」

概要	「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」は、地下水の管理と保全に配慮しながら、オープンループによる地中熱利用を推進することを目的に地中熱利用促進協会が取りまとめたガイドラインになります。
適用範囲	当該ガイドラインは空調・給湯・融雪用の地中熱利用ヒートポンプシステムを対象とし、熱交換器はオープンループ方式、くみ上げた地下水の処理方法は還元方式と放流方式の双方を対象としています。
入手方法	本ガイドラインは地中熱利用促進協会が web ページ (http://www.geohpaj.org/wp/wp-content/uploads/openloop_guide01.pdf) で公開しており、誰でも利用可能となっています。

(4) 地中熱利用促進協会「地中熱ヒートポンプシステム施工マニュアル」

概要	「地中熱ヒートポンプシステム施工マニュアル」は、主にクローズドループ方式を施工する際の一般的な手順や留意点をまとめたマニュアルになります。地中熱利用システムの施工品質向上を目的として、地中熱利用促進協会が取りまとめた。
適用範囲	当該マニュアルは地中熱ヒートポンプシステムの中でもっとも施工件数の多いクローズドループのボアホール方式を取り上げています。
入手方法	本ガイドラインは地中熱利用促進協会が一般の書店や地中熱利用促進協会の web ページ (http://www.geohpaj.org/introduction/index8/book8) を通じて購入することができます。