

# 地中熱ヒートポンプの省エネルギー性能評価手法の拡充

環境研究グループ 主任研究員 西澤 繁毅

## I はじめに

地中熱ヒートポンプを利用した空調システムについては、平成28年から非住宅建築物の省エネルギー基準において評価が可能となっている。地中熱ヒートポンプシステムの一次エネルギー消費量算定法は、地中熱ヒートポンプならびにポンプ等補機の機器特性のモデル化と、地中熱交換器から戻ってくる熱源水温度(地中熱ヒートポンプの性能を左右する)を予測するモデルから成るが、対象となる地中熱交換器が、小口径ボアホールに埋設したUチューブ(シングル、ダブル)と地表近くを掘削したトレンチに設置する水平埋設型であり、比較的小規模な熱交換器に限られていた。

地中熱交換器には、他に、鋼管杭やコンクリート杭、孔径の大きなボアホールを利用したものもあり、それらを利用した地中熱ヒートポンプシステムについても一次エネルギー消

費量を評価できることが望まれていた。本報は、対象となる地中熱交換器のモデル化の概要と、検証結果について示すものである。

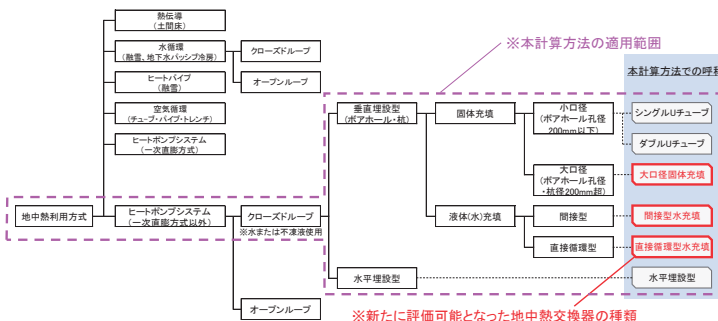


図1 地中熱利用システムの分類と適用範囲

※新たに評価可能となった地中熱交換器

本計算方法における地中熱交換器の分類	シングルUチューブ	ダブルUチューブ	大口径固体充填	間接型水充填	直接循環型水充填
充填材	---	---	珪砂、豆砂利、コンクリート等(固形)	水等(液体)	---
第一級交換器中のUパイプ径	114以下	114以下	114以下	---	熱交換器中の交換水と直接交換
ボアホール径長比	200以下	---	200以上	---	---

地中熱交換器の分類	シングルUチューブ	ダブルUチューブ	スバウルチューブ	U字状チューブ	鋼管コンクリート杭	鋼管杭	埋設型鋼管杭	鋼管コンクリート杭	鋼管杭	二重管
名称	ボアホール	ボアホール	ボアホール	ボアホール	鋼管コンクリート杭	鋼管杭	埋設型鋼管杭	鋼管コンクリート杭	鋼管杭	ボアホール
水質制限(例)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
垂直埋設断面(例)										
材料	高密度ポリエチレンUチューブ	高密度ポリエチレンUチューブ	高密度ポリエチレンUチューブ	高密度ポリエチレンUチューブ	鋼管	鋼管	鋼管	鋼管	鋼管	鋼管
孔径	114mm	114mm	114mm	114mm	114mm	114mm	114mm	114mm	114mm	114mm
径長比	200以下	---	200以上	---	---	---	---	---	---	---

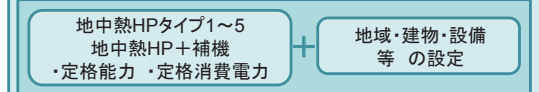
※114径：一つの地中熱交換器の中の管長を越す管長をここでは「114径」と呼ぶ。例えばシングルUチューブでは、地上から地中熱交換器に入浴管に当たる配管は114径であることから「114径」となる。このときに水平断面では2つの配管断面が重なることになる。

図2 クローズドループ・垂直埋設型の分類

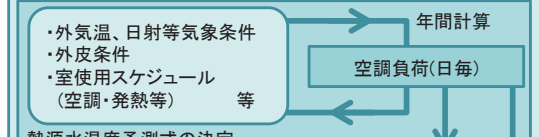
## 設計した地中熱交換器の熱交換能力に対応したタイプ選択

- ・相当熱交換器長 $L'$ [m]の計算:  $L'=L/l$
  - ・ダブルUチューブ:  $l=1.3957 \lambda^{0.481}$
  - ・シングルUチューブ:  $l=1.8144 \lambda^{0.481}$
  - ・水平埋設方式:  $l=1.6939 \lambda^{0.439}$
  - ・大口径固体充填:
    - $l=(-0.5953 d + 1.2344) \lambda^{(0.0475d-0.2383)}$  ( $d < 0.6m$ )
    - $l=(-0.2606 d + 1.0246) \lambda^{(0.0613d-0.2943)}$  ( $d \geq 0.6m$ )
  - ・間接型水充填:  $l=(-0.881 d + 1.6275) \lambda^{(0.055d-0.6618)}$
  - ・直接循環型水充填:  $l=(-1.0518 d + 1.9231) \lambda^{(0.2325d-0.6564)}$
- $L$ : 熱交換器長[m],  $\lambda$ : 有効熱伝導率[W/m],  
 $d$ : 地中熱交換器断面の直径に係る寸法[m]
- ・設計最大熱交換量 $H$ [W]の計算
  - ・ $H = \text{MAX}[q_{H1} - e_{H1}, q_{C1} + e_{C1}]$
  - $q_{H1}, q_{C1}$ : 暖冷房定格能力[kW],  $e_{H1}, e_{C1}$ : 暖冷房定格消費電力[kW]
  - ・相当最大熱交換能力 $Q$ [W/m]によるタイプ分け
  - ・ $Q' = 1000 \times H/L'$
  - 地中熱交換器の熱交換能力により→タイプ1~5に分類
  - タイプ1:  $Q' < 30$ , ..., タイプ5:  $Q' \geq 90$ [W/m]

## Webプログラムへの入力



## Webプログラムで計算



## 熱源水温度予測式の決定

- ・日積算空調負荷の期間最大値 $Q_{Ht}, Q_{Ct}$  [kWh]の抽出
- ・比 $R_Q$ の算出 →  $R_Q = (|Q_{Ct}| - |Q_{Ht}|) / (|Q_{Ct}| + |Q_{Ht}|)$
- ① 暖房期、冷房期、年間平均外気温 $[\text{C}]$ :  
 $\theta_{oa,H,ave}, \theta_{oa,C,ave}, \theta_{oa,ave}$  ← 地域区分(1~8地域)で決定
- ② 期間平均還水温度と年間平均外気温の差 $[\text{C}]$ :  
 $\theta_{w,H}, \theta_{w,C} \rightarrow \theta_{w,C} = a \times R_Q + b$
- ③ 熱源水温度予測式の傾き $k_{Ht}, k_{Ct}$ :  $k = c \times R_Q + d$
- 暖房時、冷房時熱源水温度 $\theta_{w,H,d}, \theta_{w,C,d}$   $[\text{C}]$ の予測式:  
 $\rightarrow \theta_{w,H,d} = k_{Ht} \times (\theta_{oa,d} - \theta_{oa,H,ave}) + (\theta_{oa,ave} + \theta_{w,H})$   
 $\rightarrow \theta_{w,C,d} = k_{Ct} \times (\theta_{oa,d} - \theta_{oa,C,ave}) + (\theta_{oa,ave} + \theta_{w,C})$

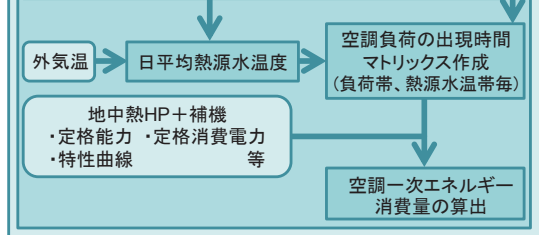


図3 地中熱 HP システムの評価フロー

## II 地中熱ヒートポンプシステム評価の拡充

図1に地中熱利用システムの分類と本評価手法の適用範囲を示す。この度の拡充により垂直埋設型の熱交換器のうち「大口径固体充填」「間接型水充填」「直接循環型水充填」の3分類が評価対象に追加され、クローズドループの地中熱交換器をもつ地中熱ヒートポンプシステムのすべてを評価可能となった。この3分類には、基礎杭を利用した熱交換器、大口径ボアホールに埋設した熱交換器の多様な方法が含まれており(図2)、熱的な特性の違い及び審査時の確認の簡便さを考慮してグルーピングされている。

3分類の熱交換器を含めた評価フローを図3に示す。熱交換器3分類に対応して追加した相当熱交換器長換算係数 $l$ の計算式を適用することで、それぞれの熱交換性能を反映することが可能となっており、以降の熱交換器の長さ( $L$ )を有効熱伝導率 $\lambda=2.0[W/(mK)]$ の地盤に設置したダブルUチューブに相当する長さ(相当熱交換器長 $L'$ )に変換して熱源水温度を予測するモデルを適用するのはこれまでと変わっていない。

図4に有効熱伝導率と相当熱交換器長換算係数の逆数( $\lambda=2.0[W/(mK)]$ )におけるダブルUチューブの熱交換能力を1とした時の倍率を意味する)の関係を示す。追加された3分類の熱交換器については、直径 $d$ の値にもよるが、ほぼダブルUチューブより大きな熱交換能力をもつモデル化がなされており、 $d=600mm$ での「大口径固体充填」ではダブルUチューブの1.2~2倍程度の熱交換能力を有すると評価される。

## III 熱源水温度予測モデルの検証

図3の熱交換器3分類に対応して追加した相当熱交換器長換算係数 $l$ の計算式を適用した熱源水温度予測モデルの妥当性を検証するために、実測データと比較検証を行った。ただし、実測と予測モデル構築に想定した状況に乖離がある場合には、その状況自体により熱源水温度の算定値が乖離することが容易に予想されることから、予測モデル構築に使用した「地中熱源ヒートポンプシステム性能予測プログラム」Ground Clubを介して、①実測状況下にあわせたGround Clubでの計算値と実測値の比較、②実測に近い空調使用パターン・気象条件下でGround Clubでの計算値と熱源水モデル予測値の比較と二段階での検証とした。

PHC杭(内部に水充填。間接熱交換)の検討を図5に示す。測定された熱源水温度の空調稼働時の日平均値はGround Clubの計算によりよく再現されており(図5 ①)、予測モデルによる算定もGround Clubでの推移とほぼ合致しており、一次エネ

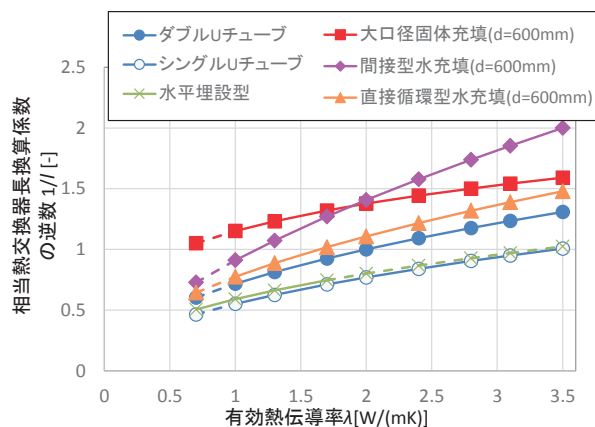
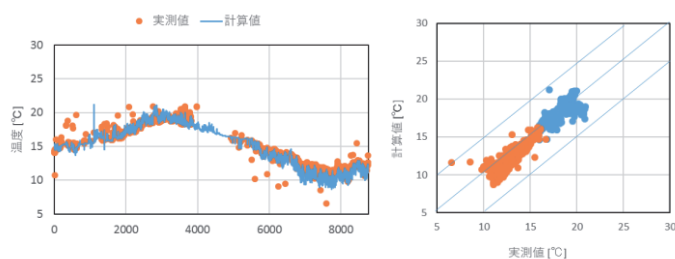
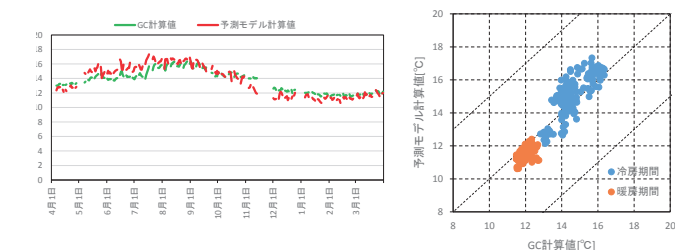


図4 地中熱交換器6分類の熱交換能力



①実測とGround Clubでの計算による熱源水温度の比較



②Ground Clubと予測モデルによる熱源水温度の比較

図5 PHC杭における熱源水温度予測モデルの検証

ルギー消費量計算における熱源水予測モデルとしては妥当なモデルとなっていることが分かる(図5 ②)。

## IV まとめ

対象とする地中熱交換器の範囲を拡大した地中熱ヒートポンプシステムの省エネルギー性能評価手法について示した。

本報で示した地中熱ヒートポンプシステムの評価方法は、平成29年10月より建築物省エネルギー基準における一次エネルギー消費表計算法において利用可能となっている。

## 参考文献

- ・ 地中熱ヒートポンプの評価方法(タイプの判別方法), [http://www.kenken.go.jp/becc/documents/building/Definitions/GroundSourceHP\\_20171010.zip](http://www.kenken.go.jp/becc/documents/building/Definitions/GroundSourceHP_20171010.zip) (「建築物のエネルギー消費性能に関する技術情報」サイト内, 2018年2月現在)