

# 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(1)



国立研究開発法人 建築研究所 環境研究グループ 主任研究員 西澤 繁毅

## はじめに

平成28年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た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、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チューブと地表面近くを掘削したトレンチに設置する水平埋設型に限られていた(図1)。

地中熱交換器には、他に鋼管杭やコンクリート杭を利用するものもあり(図2)、それら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。ここでは、拡充の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した。

なお、本方法は、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量計算法において利用可能となっている(<http://www.kenken.go.jp/becc>)。

## 地中熱HP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適用範囲を、図2に垂直埋設型熱交換器の分類を示す。この度の拡充により、基礎杭や大口径ボアホールに設置された熱交換器を、新たに「大口径固体充填」「間接型水充填」「直接循環型水充填」の3分類で評価できるように整理した。この3分類は、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いる。

図3に更新した評価フローを示す。3分類の熱交換性能を反映するための相当熱交換器長換算係数 $\lambda$ の計算式を追加している。

図4に追加した3種類の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)を示す。直径 $d=600mm$ では、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いる。

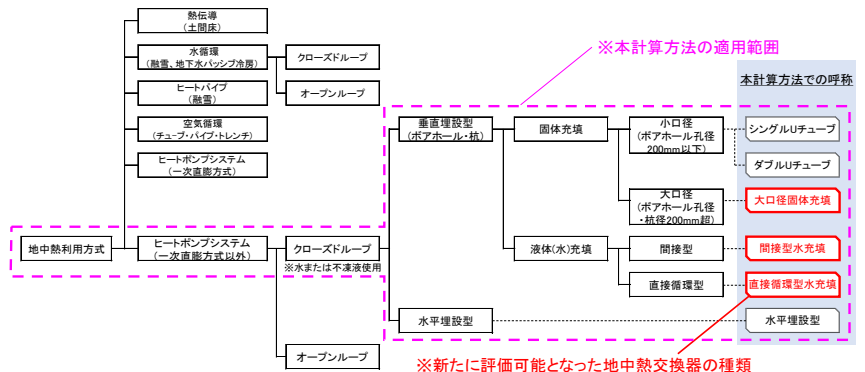


図1 地中熱利用システムの分類と適用範囲

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	ボアホール径	ボアホール径	ボアホール径	ボアホール径	ボアホール径	ボアホール径	ボアホール径	ボアホール径	ボアホール径
第一級評価対象中のバリエーション	1バリエーション	2バリエーション以上	2バリエーション以上	2バリエーション以上	1バリエーション以上	1バリエーション以上	1バリエーション以上	1バリエーション以上	1バリエーション以上	1バリエーション以上
ボアホール径の範囲	200mm以下		200mm超		200mm超		200mm超		200mm超	

名称	シングルUチューブ		ダブルUチューブ		スババルUチューブ		U字状Uチューブ		既設コンクリート杭		鋼管杭		場所打ち杭		既設コンクリート杭		鋼管杭		二重管	
	ボアホール	ボアホール	ボアホール	ボアホール	ボアホール	ボアホール	ボアホール	ボアホール	杭径	杭径	杭径	杭径	杭径	杭径	杭径	杭径	杭径	杭径	杭径	ボアホール
水平断面図(例)																				
垂直断面図(例)																				
材質	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)	鉄	鉄	鉄	鉄	鉄	鉄	鉄	鉄	鉄	鉄	鉄	鉄	鉄	鉄	鉄	鉄
口径・径	口径100~200mm	口径100~200mm	口径100~200mm	口径100~200mm	径200mm以上	径200mm以上	径200mm以上	径200mm以上	径200mm以上	径200mm以上	径200mm以上	径200mm以上	径200mm以上	径200mm以上	径200mm以上	径200mm以上	径200mm以上	径200mm以上	径200mm以上	径200mm以下
充填材	水	水	水	水	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	水
循環方式	水循環	水循環	水循環	水循環	水循環	水循環	水循環	水循環	水循環	水循環	水循環	水循環	水循環	水循環	水循環	水循環	水循環	水循環	水循環	水

※図2は、一つの地中熱交換器の中の熱媒を循環させる構造をここではバリエーションと呼ぶ。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り地表面に長管配管は1層であることからバリエーションとなる。このときに水平断面図でバリエーションを区別する必要がある。

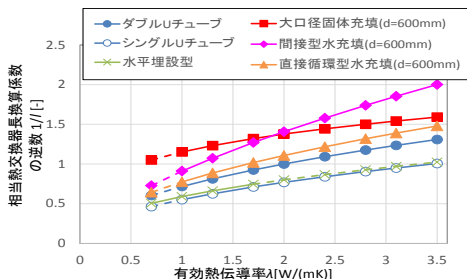


図4 6分類の熱交換能力

図2 クローズドループ・垂直埋設型の分類

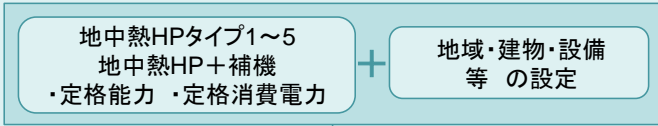
# 地中熱ヒートポンプの省エネルギー性能評価手法の拡充(2)



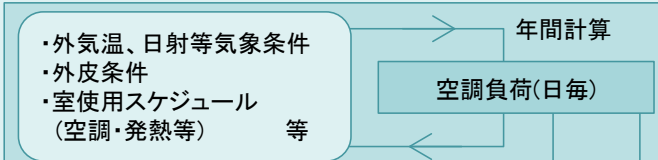
設計した地中熱交換器の熱交換能力に対応したタイプ選択

- ・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:
    - $l=(-0.5953d+1.2344)\lambda^{(0.0475d-0.2383)}$  ( $d<0.6m$ )
    - $l=(-0.2606d+1.0246)\lambda^{(0.0613d-0.2943)}$  ( $d\geq 0.6m$ )
  - ・間接型水充填:  $l=(-0.881d+1.6275)\lambda^{(0.055d-0.6618)}$
  - ・直接循環型水充填:  $l=(-1.0518d+1.9231)\lambda^{(0.2325d-0.6564)}$
- $L$ : 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
  - ・ $H=MAX[q_H - e_H, q_C + e_C]$
  - $q_H, q_C$ : 暖冷房定格能力[kW],  $e_H, e_C$ : 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

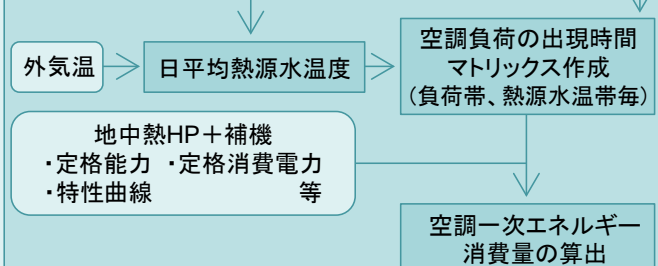


Webプログラムで計算



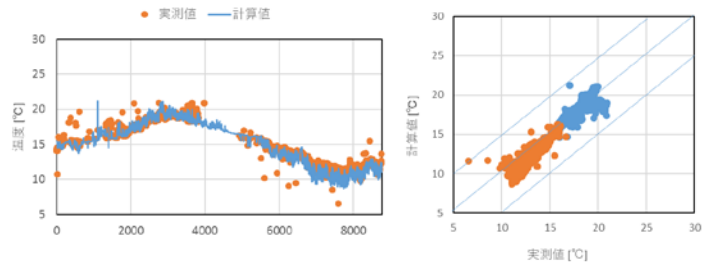
熱源水温度予測式の決定

- ・日積算空調負荷の期間最大値 $Q_H, Q_C$  [kWh]の抽出
- ・比 $R_Q$ の算出→ $R_Q=(|Q_C|-|Q_H|)/(|Q_C|+|Q_H|)$
- 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 $[\text{C}]$ :  
 $\theta'_{w,H}, \theta'_{w,C} \rightarrow \theta'_w = a \times R_Q + b$
- ③熱源水温度予測式の傾き $k_H, k_C$ :  $k = c \times R_Q + d$
- 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:  
 → $\theta_{w,H,d} = k_H \times (\theta_{oa,d} - \theta_{oa,H,ave}) + (\theta_{oa,ave} + \theta'_{w,H})$   
 → $\theta_{w,C,d} = k_C \times (\theta_{oa,d} - \theta_{oa,C,ave}) + (\theta_{oa,ave} + \theta'_{w,C})$

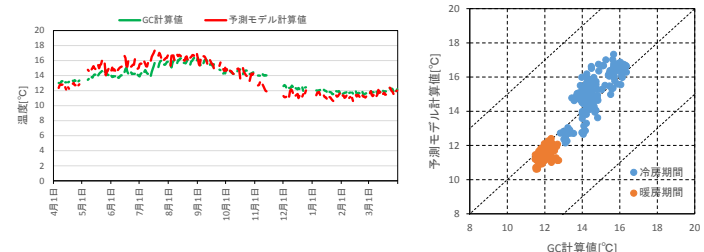


## 熱源水温度予測モデルの検証

図3の追加3分類の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した。検証は、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での計算値とモデルによる予測値の比較と二段階で行った。PHC杭(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5①)、予測モデルによる算定もGround Clubでの推移とほぼ合致する結果が得られている(図5②)。一次エネルギー消費量計算における熱源水温度予測モデルとしては妥当なモデル化となっていることが分かる(図5②)。



①実測とGround Clubの比較



②Ground Clubと予測モデルの比較

図5 PHC杭におけるモデルの検証

図3 地中熱HPシステムの評価フロー