

5

平成28年省エネルギー基準（非住宅建築物）  
オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの熱源水温度  
・熱源水ポンプ群合計消費電力計算方法

10

目 次

15	0. 本資料の概要および更新履歴	2
	1. 適用範囲	3
	2. 引用規格	4
	3. 用語の定義	5
	4. 記号及び単位	6
20	5. 評価の流れ	7
	6. 評価のために必要な情報	8
	7. 熱源水ポンプ群合計消費電力の計算方法	10
	8. 熱源水温度の計算方法	11
	附属書A オープンループ方式に関する実態調査	13
25	附属書B 地下水データベースより省エネ地域区分別月別地下水位温度の算定	14
	附属書C 揚水ポンプの平均消費電力の算出方法	16
	附属書D 熱交換器を利用した場合の温度補正值の設定	17
	附属書E 熱交換後の熱源水を井水槽に戻す場合における井水槽温度補正值の設定	18
	附属書F 井水槽の断熱仕様に関する検討	19
30	附属書G 熱源水温度および熱源水ポンプ群合計消費電力の検証及び計算例	20
	附属書H オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの設計妥当性について確認する方法	34
	附属書I オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの熱源水ポンプ群 合計消費電力の計算シートならびに設計の妥当性確認シートについて	38

35

## 0. 本資料の概要および更新履歴

### (1) 本資料の概要

本資料は、非住宅建築物に関する平成28年省エネルギー基準に準拠した一次エネルギー消費量算定法の中で、オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムに関する計算を行う際に必要となる、地中熱ヒートポンプの熱源水温度及び熱源水ポンプ群の合計消費電力を計算する方法について示したものである。

本計算方法では、オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの熱源水温度及び熱源水ポンプ群の合計消費電力を簡易に計算するために、以下の特徴を持つ。

- 1) 熱交換器の有無、井水槽の有無、熱源水を井水槽に戻す・戻さない、によりタイプA～Fに分類し、タイプ毎に計算方法を整理している。
- 2) 地域区分毎に設定した月別地下水温度補正值から揚水温度を算出し、タイプ毎に熱源水温度を計算する。
- 3) 熱源水ポンプ群の定格消費電力からタイプに応じて合計消費電力を算出する。算出した合計消費電力は「熱源水の循環を目的とする独立したポンプの定格消費電力値」として入力することができる。

また、オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの設計について妥当な設計となっているかを確認する手法についてもあわせて示す。

### (2) 更新履歴

- ・ 令和3年4月：本資料を一般公開。

## 1. 適用範囲

本計算方法は、以下に示すオープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの一次エネルギー消費量を算定するにあたって必要となる、地中熱ヒートポンプの熱源水入口温度および、熱源水ポンプ群合計消費電力の計算について適用する。

5

- ・ 空調のみに利用するシステムを対象とする。給湯、融雪、もしくはそれらの複合用途で使用されるシステムは対象外とする。
- ・ オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムを対象とする(図1、2)。ただし、熱源水の還元を揚水と同一の井戸に行うシステムは対象外とする。

10

- ・ オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの熱媒体は、熱源水側が水(不凍液を含む)、需要側が空気(直膨式)もしくは水(不凍液を含む)であること。
- ・ 設計の妥当性を附属書Hに基づき確認していること。

なお、ボアホール方式などのクローズドループ型は本計算方法の対象とはならない(図1)。

15

オープンループ型ヒートポンプシステムを導入する場合には、地域や揚水量によっては、地下水揚水に関する規制(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)の対象になる可能性があるため、地下水の採取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地方自治体に確認する必要がある。また、揚水しようとした地下水に水質汚濁防止法に定められた有害物質が含まれている場合は、排水の河川等の公共用水域への放流や、地下水の還元について地方自治体に確認する必要がある。以上を含め、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(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)に留意して設計するとともに、本計算方法附属書H記載の方法により設計の妥当性を確認すること。

20

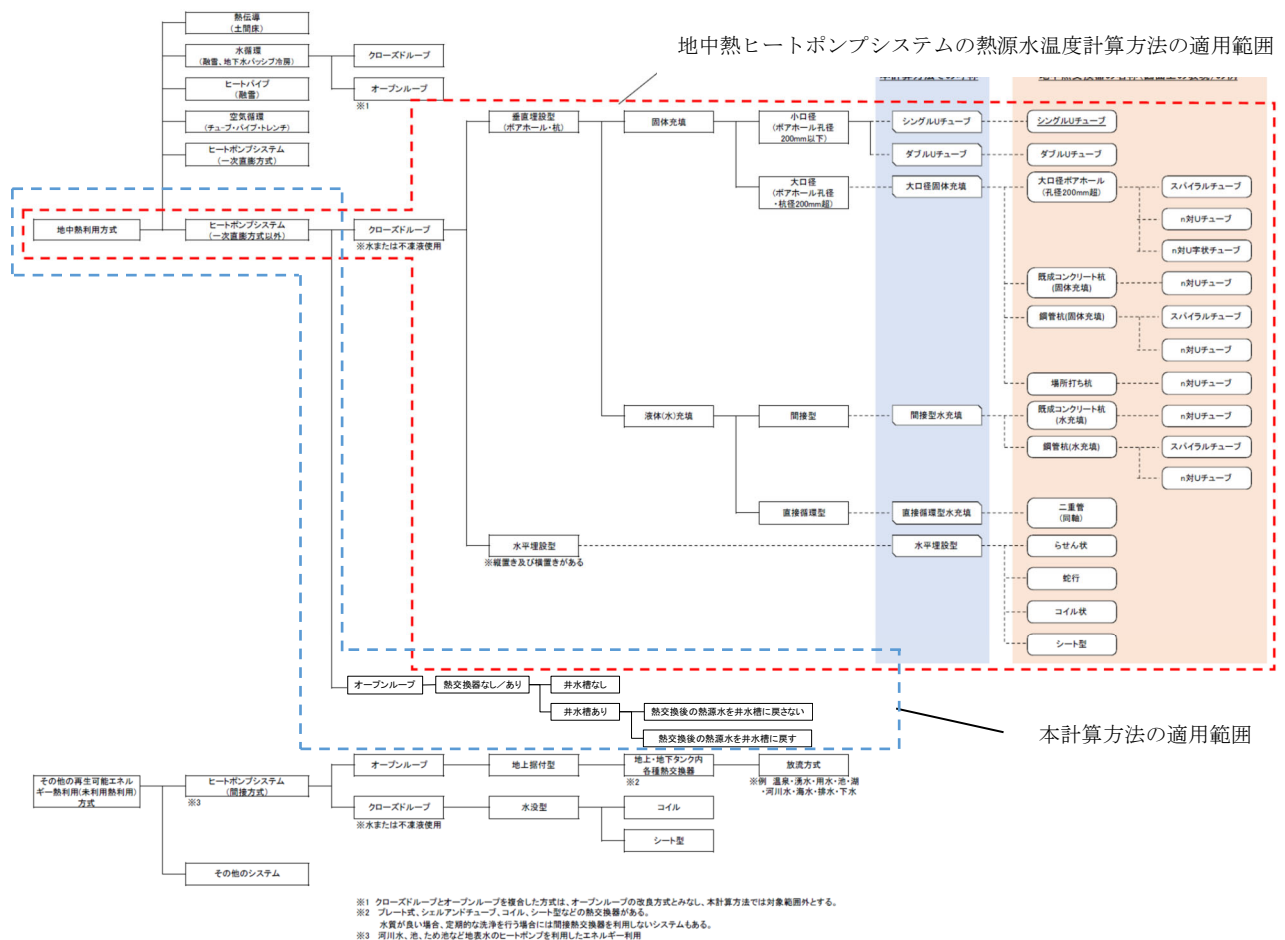


図1 地中熱利用システムの分類 (特定非営利活動法人地中熱利用促進協会資料をもとに作成)

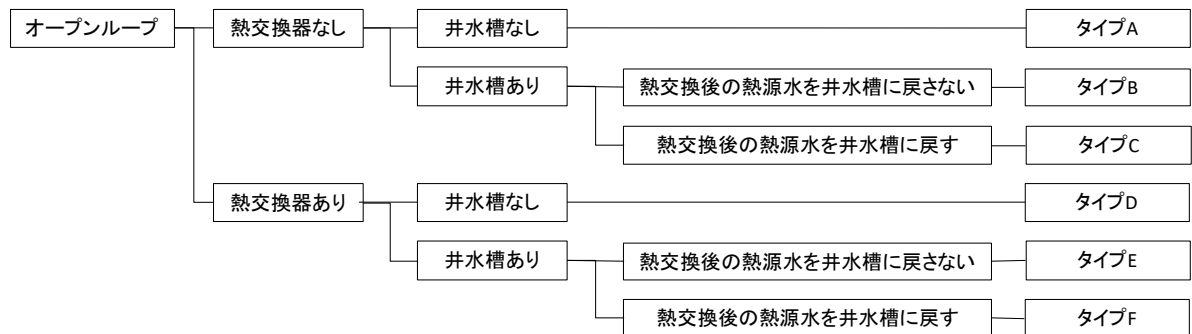


図2 オープンループのタイプ分け

5

## 2. 引用規格

[1] JIS B 8616:2015 パッケージエアコンディショナ

[2] JIS B 8613:1994 ウォーターチリングユニット

10 [3] JRA 4066:2014 ウォーターチリングユニット

[4] 地中熱ヒートポンプシステムの熱源水温度計算方法

[5] 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 (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)

### 3. 用語の定義

#### 3.1 地中熱利用システム

地中の熱エネルギーを、建築物の空調、給湯等に利用するシステム。

5

#### 3.2 クローズドループ型

熱媒を閉鎖された配管系に循環させ、間接的に熱交換する方式をいう。

#### 3.3 ボアホール方式

10 地中熱交換井に地中熱交換器を挿入し、地中から採熱または地中へ放熱する方式をいう。

#### 3.4 オープンループ型

井戸により地下水をくみ上げ、その地下水を直接または間接的に熱交換した水をヒートポンプの熱源水として利用する方式。

15

#### 3.5 地中熱ヒートポンプ

地中熱対応の水冷式ヒートポンプをいう。ヒートポンプサイクル中の熱交換器で水(不凍液を含む)と熱交換して冷温水を供給する水-水ヒートポンプと、空気と熱交換して冷風・温風を供給する水-空気ヒートポンプに分けられる。

20

#### 3.6 熱源水温度

井水から直接的または間接的に採放熱して地中熱ヒートポンプに戻ってくる熱源水(不凍液を含む)の温度。

#### 25 3.7 熱源水ポンプ群

井水を汲み上げる揚水ポンプ、井水槽-熱交換器間、井水槽-ヒートポンプ間、熱交換器-ヒートポンプ間の熱源水ポンプを総称して熱源水ポンプ群と呼ぶ。

#### 4. 記号及び単位

この計算で用いる記号及び単位は表1による。

表1 記号及び単位

記号	意味	単位
$Q_c$	ヒートポンプ定格冷房能力	kW
$Q_h$	ヒートポンプ定格暖房能力	kW
$T_{h,m}, T_{c,m}$	暖房時、冷房時の月平均熱源水温度	°C
$T_0$	年平均外気温	°C
$\Delta T_{0,m}$	月毎の地下水温度補正值	°C
$T_{w,m}$	月平均揚水温度	°C
$T_{w,h}, T_{w,c}$	暖房時、冷房時揚水温度	°C
$T_{wt}$	井水槽温度	°C
$T_{wt,h}, T_{wt,c}$	暖房時、冷房時井水槽温度	°C
$\Delta T_{wt,h}, \Delta T_{wt,c}$	暖房時、冷房時井水槽温度補正值	°C
$\Delta T_{hex,h}, \Delta T_{hex,c}$	暖房時、冷房時熱交換器温度補正值	°C
$T_{1i,h}, T_{1i,c}$	暖房時、冷房時の設計一次側流体入口温度	°C
$T_{1o,h}, T_{1o,c}$	暖房時、冷房時の設計一次側流体出口温度	°C
$T_{2i,h}, T_{2i,c}$	暖房時、冷房時の設計二次側流体入口温度	°C
$T_{2o,h}, T_{2o,c}$	暖房時、冷房時の設計二次側流体出口温度	°C
$\Delta T_{m,h}, \Delta T_{m,c}$	対数平均温度差	°C
$V_0$	揚水ポンプ吐出量	L/min, m <sup>3</sup> /h等
$V_1$	熱源ポンプ1吐出量	L/min, m <sup>3</sup> /h等
$V_2$	熱源ポンプ2吐出量	L/min, m <sup>3</sup> /h等
$W_0$	揚水ポンプ消費電力	kW
$W_1$	熱源ポンプ1消費電力	kW
$W_2$	熱源ポンプ2消費電力	kW
$W'$	熱源水ポンプ群合計消費電力	kW
$W_c$	ヒートポンプ定格冷房消費電力	kW
$W_h$	ヒートポンプ定格暖房消費電力	kW

## 5. 評価の流れ

評価の流れを図3に示す。

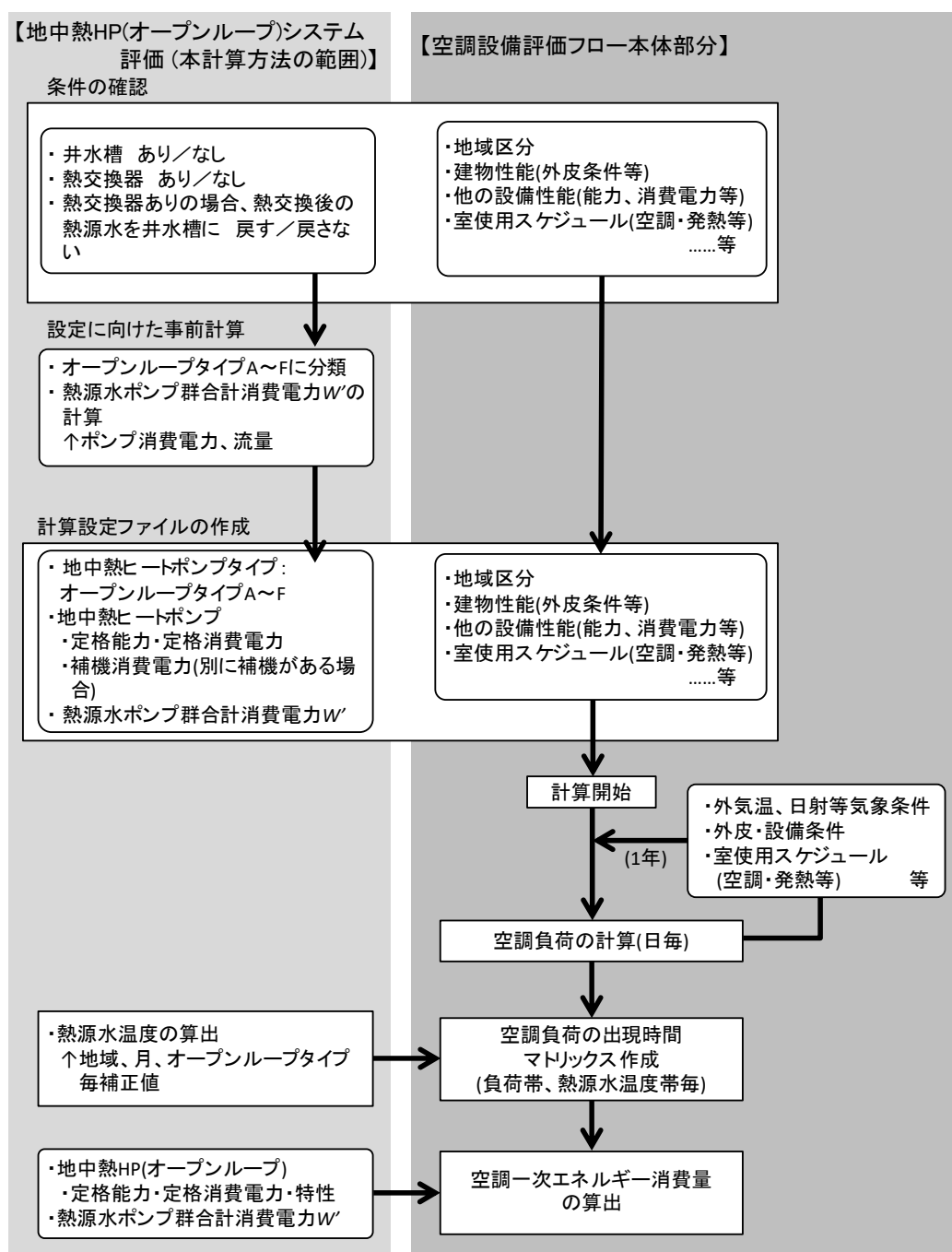


図3 評価の流れ

図3は、平成28年省エネルギー基準に準拠した非住宅建築物の一次エネルギー消費量算定法におけるオープンループ型地中熱ヒートポンプシステムを含めた空調設備の一次エネルギー消費量評価のフローを示している。左側に本計算方法で対象とするオープンループ型地中熱ヒートポンプ評価に関する部分の、右側に空調設備評価の本体部分のフローを示している。

オープンループ地中熱ヒートポンプを評価するにあたっては、井水槽の有無、熱交換器の有無、熱交換器ありの場合の熱交換後の熱源水の処理について、本計算方法6.の記載に応じてタイプ分けを行い、本計算方法7.に示した計算式によって求めた熱源水ポンプ群合計消費電力を入力情報とする。熱源水温度は、タイプに応じて本計算方法8.に示した計算式によって求められ、その熱源水温度に対応した性能値を用いて地中熱ヒートポンプ使用時における一次エネルギー消費量の算出が行われる。

6. 評価のために必要な情報

本計算方法のもとオープンループ型地中熱ヒートポンプシステムを評価する際に必要となる情報は以下の通りである(表2)。

10

表2 オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムを評価する際に必要となる情報	
①	地域区分
②	オープンループ型のタイプ(タイプA～F)
③	地中熱ヒートポンプのJIS定格時の冷暖房能力、消費電力
④	揚水ポンプの仕様(流量、消費電力)
⑤	熱源水ポンプ1の仕様(流量、消費電力)(タイプB～F)
⑥	熱源水ポンプ2の仕様(消費電力)(タイプE, F)

① 地域区分  
建設地の地域区分を確認する。

15

② オープンループ型のタイプの分類  
本計算方法では、熱交換器の有無、井水槽の有無、井水槽がある場合に熱交換後の熱源水を井水槽に戻す・戻さない、の組み合わせにより、図4および表3の6タイプ(タイプA～F)に分類される。

20

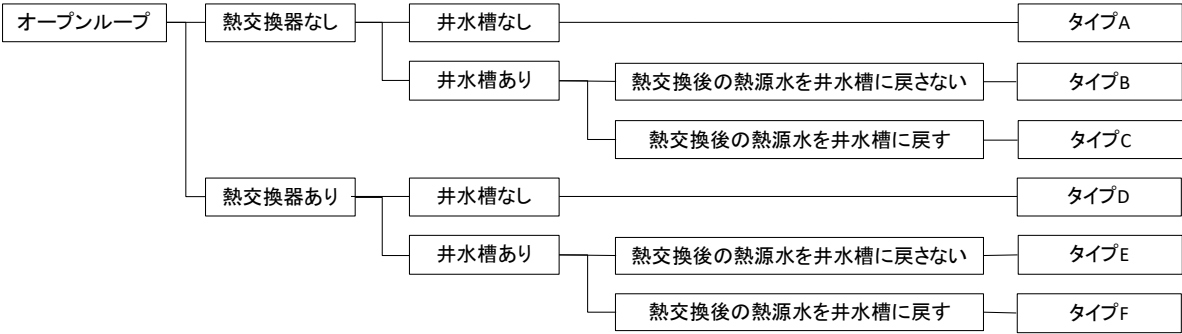


図4 オープンループのタイプ分け(図2の再掲)



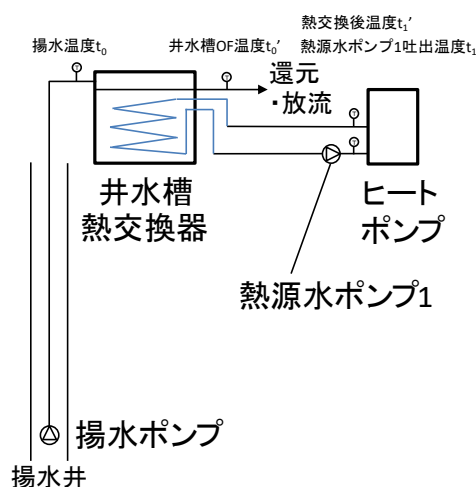
表3 オープンループ方式の分類

種類	A 熱交換器なし、井水槽なし	B 熱交換器なし、井水槽あり(熱交換後の熱源水を井水槽に戻さない場合)
フロー図		
熱源水ポンプ群 合計消費電力	$W' = W_0$	$W' = (V_1/V_0)W_0 + W_1$
井水槽 温度補正值	0	0
熱交換器 温度補正值	0	0

種類	C 熱交換器なし、井水槽あり(熱交換後の熱源水を井水槽に戻す場合)	D 熱交換器あり、井水槽なし
フロー図		
熱源水ポンプ群 合計消費電力	$W' = (V_1/V_0)W_0 + W_1$	$W' = W_0 + W_1$
井水槽 温度補正值	$\Delta T_{wt}$	0
熱交換器 温度補正值	0	$\Delta T_{hex}$

種類	E 熱交換器あり、井水槽あり(熱交換後の熱源水を井水槽に戻さない場合)	F 熱交換器あり、井水槽あり(熱交換後の熱源水を井水槽に戻す場合)
フロー図		
熱源水ポンプ群 合計消費電力	$W' = (V_1/V_0)W_0 + W_1 + W_2$	$W' = (V_1/V_0)W_0 + W_1 + W_2$
井水槽 温度補正值	0	$\Delta T_{wt}$
熱交換器 温度補正值	$\Delta T_{hex}$	$\Delta T_{hex}$

井水槽の中に投げ込み式熱交換器が設置されている場合は、井水槽を含めた全体を熱交換器とみなしてタイプDと判断する(図5)。



5 図5 投げ込み式熱交換器を利用する場合

### ③ 地中熱ヒートポンプのJIS定格時の冷暖房能力、消費電力

10 水-空気ヒートポンプについては、「JIS B 8616:2015パッケージエアコンディショナ」における定格条件(冷却時:空気入口温度27°CDB、19°CWB、冷却水(熱源水)入口温度30°C、出口温度35°C、加熱時:空気入口温度20°CDB、冷却水(熱源水)入口温度20°C)における定格能力(暖房時、冷房時)、定格消費電力(暖房時、冷房時)が必要である。

15 水-水ヒートポンプについては、「JIS B 8613:1994ウォーターチリングユニット」、または、「JRA4066:2014 ウォーターチリングユニット」における定格条件(冷却時:冷水入口温度12°C、出口温度7°C、冷却水入口温度30°C、出口温度35°C、加熱時:温水入口温度40°C、出口温度45°C、冷却水(熱源水)入口温度15°C、出口温度7°C)における定格能力(暖房時、冷房時)、定格消費電力(暖房時、冷房時)が必要である。

なお、本計算方法における定格消費電力(暖房時、冷房時)には、補機分を除いた値が示されている場合は、その値を使用することができる。

20 ④ 揚水ポンプの仕様(流量、消費電力)

⑤ 熱源水ポンプ1の仕様(流量、消費電力)

⑥ 熱源水ポンプ2の仕様(消費電力)

タイプA~Fに対応して入力が必要となる揚水ポンプ、熱源水ポンプ1の流量、消費電力、熱源水ポンプ2の消費電力を確認する。

25

## 7. 熱源水ポンプ群合計消費電力の計算方法

各タイプの熱源水ポンプ群合計消費電力の計算方法を示す(計算式の導出については、「附属書C 揚水ポンプの平均消費電力の算出方法」を参照)。

#### 7.1 タイプA 熱交換器なし、井水槽なし

タイプAでは揚水ポンプのみの設置となることから、熱源水ポンプ群合計消費電力 $W'$ [kW]は揚水ポンプの消費電力に等しくなる(式1a)。

$$5 \quad W' = W_0 \quad (1a)$$

#### 7.2 タイプB 熱交換器なし、井水槽あり（熱交換後の熱源水を井水槽に戻さない場合）

井水槽があるタイプBでは、揚水ポンプの稼働時間は、熱源水ポンプ1の稼働時間に流量比 $V_1/V_0$ をかけた時間となることから、熱源水ポンプ群合計消費電力 $W'$ は式1bで求まる。

$$10 \quad W' = (V_1/V_0)W_0 + W_1 \quad (1b)$$

#### 7.3 タイプC 熱交換器なし、井水槽あり（熱交換後の熱源水を井水槽に戻す場合）

タイプCでは、タイプBと同様に熱源水ポンプ群合計消費電力 $W'$ が計算される(式1c)。

$$15 \quad W' = (V_1/V_0)W_0 + W_1 \quad (1c)$$

#### 7.4 タイプD 熱交換器あり、井水槽なし

タイプDでは、揚水ポンプと熱源水ポンプ1の稼働時間が同じになることから、熱源水ポンプ群合計消費電力 $W'$ は式1dで求まる。

$$20 \quad W' = W_0 + W_1 \quad (1d)$$

#### 7.5 タイプE 熱交換器あり、井水槽あり（熱交換後の熱源水を井水槽に戻さない場合）

井水槽があるタイプEでは、揚水ポンプの稼働時間は、熱源水ポンプ1、熱源水ポンプ2の稼働時間に流量比 $V_1/V_0$ をかけた時間となることから、熱源水ポンプ群合計消費電力 $W'$ は式1eで求まる。

$$25 \quad W' = (V_1/V_0)W_0 + W_1 + W_2 \quad (1e)$$

#### 7.6 タイプF 熱交換器あり、井水槽あり（熱交換後の熱源水を井水槽に戻す場合）

タイプFでは、タイプEと同様に熱源水ポンプ群合計消費電力 $W'$ が計算される(式1f)。

$$30 \quad W' = (V_1/V_0)W_0 + W_1 + W_2 \quad (1f)$$

### 8. 熱源水温度の計算方法

暖房運転時および冷房運転時の月平均熱源水温度 $T_{h,m}$ 、 $T_{c,m}$  [°C]は、地域区分毎に計算した揚水温度の月平均値 $T_{w,m}$  [°C]に井水槽、熱交換器に関する補正を行い式2a、2bで求める。なお、時刻別、日別の空調時の熱源水温度には、該当する月における月平均熱源水温度を用いることとする。

$$35 \quad T_{h,m} = T_{w,m} + \Delta T_{wt,h} + \Delta T_{hex,h} \quad (2a)$$

$$T_{c,m} = T_{w,m} + \Delta T_{wt,c} + \Delta T_{hex,c} \quad (2b)$$

なお、式 2a、2b ではポンプの発熱や配管からの熱損失等による影響は無視できるほど小さいとしている。

## 8.1 揚水温度の計算

年平均外気温 $T_0$  [°C]に月別の地下水温度補正值 $\Delta T_{0,m}$  [°C]を加えることで、月平均揚水温度 $T_{w,m}$  [°C]を計算する(式3)。

$$T_{w,m} = T_0 + \Delta T_{0,m} \quad (3)$$

- 5 月別の地下水温度補正值 $\Delta T_{0,m}$  [°C]、年平均外気温は地域区分毎に表4の値を用いることとする(地下水温度補正值の導出については、「附属書B 地下水データベースより省エネ地域区分別月別地下水位温度の算定」を参照)。

表4 月別地下水温度補正值 $\Delta T_{0,m}$

地域区分	地下水温度補正值[°C]												年平均外気温[°C]
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
1地域	+4.0	+3.9	+4.2	+4.6	+4.9	+5.1	+5.2	+5.4	+5.0	+4.7	+4.3	+4.2	5.8
2地域	+1.9	+1.8	+2.0	+2.3	+2.5	+2.6	+2.6	+2.7	+2.5	+2.3	+2.1	+2.0	7.5
3地域	+1.3	+1.0	+1.4	+1.9	+2.3	+2.5	+2.8	+3.0	+2.6	+2.2	+1.8	+1.5	10.2
4地域	+0.6	+0.2	+0.8	+1.5	+2.1	+2.5	+2.9	+3.3	+2.7	+2.1	+1.5	+1.1	11.6
5地域	+0.1	-0.3	+0.4	+1.2	+1.9	+2.0	+2.1	+2.2	+1.8	+1.4	+1.0	+0.6	13.3
6地域	+1.5	+1.3	+1.7	+2.0	+2.4	+2.7	+3.1	+3.4	+2.9	+2.4	+1.9	+1.7	15.7
7地域	+1.7	+1.4	+1.7	+2.0	+2.3	+2.6	+3.0	+3.3	+3.0	+2.6	+2.3	+2.0	17.4
8地域	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22.7

10

## 8.2 井水槽温度補正值(附属書E)

熱交換後の熱源水を井水槽に戻す場合(タイプC, F)に適用する井水槽温度補正值は、暖房時で-4°C、冷房時で+6°Cとする(式4a)。井水槽を設置しない、または、熱交換後の熱源水を井水槽に戻さないその他のタイプ(タイプA, B, D, E)では補正值は0°Cである(式4b)。

$$15 \quad \Delta T_{wt,h} = -4 \text{ [°C]}, \quad \Delta T_{wt,c} = 6 \text{ [°C]} \quad (\text{タイプC, F}) \quad (4a)$$

$$\Delta T_{wt,h} = \Delta T_{wt,c} = 0 \text{ [°C]} \quad (\text{タイプA, B, D, E}) \quad (4b)$$

## 8.3 熱交換器を利用した場合の温度補正值(附属書D)

熱交換器で熱交換する場合(タイプD, E, F)の補正值(熱交換器温度補正值)は、暖房時で-2°C、冷房時で+3°Cとする(式5a)。熱交換器を設置しない場合(タイプA, B, C)には補正值は0°Cとなる(式5b)。

- 20

$$\Delta T_{hex,h} = -2 \text{ [°C]}, \quad \Delta T_{hex,c} = 3 \text{ [°C]} \quad (\text{タイプD, E, F}) \quad (5a)$$

$$\Delta T_{hex,h} = \Delta T_{hex,c} = 0 \text{ [°C]} \quad (\text{タイプA, B, C}) \quad (5b)$$

## 附属書A オープンループ方式に関する実態調査

本附属書では、非営利活動法人地中熱利用促進協会が実施したオープンループ方式に関する実態調査の結果について示す。この調査は、事前のヒアリングから検討したオープンループ方式の分類案について、どれだけ実績があるかを尋ねたものである。調査の結果、表A1のように熱交換器の有無、井水槽の有無、熱交換後の熱源水を井水槽に戻す／戻さないで分類された6方式についてそれぞれ実績があることが確認された。この6方式は、本計算方法において規定したオープンループ方式タイプA～Fに該当するものである。

10

表A1 オープンループ方式の実績に関する回答結果

回答	回答数	割合
①熱交換器なし、井水槽なし	26	14%
②熱交換器あり、井水槽なし	62	32%
③熱交換器なし、井水槽あり(熱交換後の熱源水を井水槽に戻さない)	31	16%
④熱交換器あり、井水槽あり(熱交換後の熱源水を井水槽に戻さない)	28	15%
⑤熱交換器なし、井水槽あり(熱交換後の熱源水を井水槽に戻す場合)	6	3%
⑥熱交換器あり、井水槽あり(熱交換後の熱源水を井水槽に戻す場合)	31	16%
⑦上記以外	8	4%
⑧不明	41	
回答なし	57	
計(回答①～⑦)		192

## 附属書B 地下水データベースより省エネ地域区分別月別地下水位温度の算定

地下水技術協会(2002)『地下水水質年表』および地中熱利用促進協会で収集した井戸深度30m以深のデータより、省エネ地域区分ごとに、2月、5月、8月、11月の平均地下水温度を求めた結果を表B1に示す。

表B1 地域別平均地下水温

地域区分	月別平均地下水温[°C]					データ数	近傍気象データにおける 年平均温度の 平均値[°C]
	2月	5月	8月	11月	年平均値		
1地域	10.1	11.1	11.6	10.5	10.5	17	6.2
2地域	10.7	11.4	11.6	11.0	11.4	13	8.9
3地域	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	4	10.6
4地域	12.5	14.4	15.6	13.8	14.7	29	12.3
5地域	13.9	16.1	16.4	15.2	15.5	41	14.2
6地域	17.4	18.5	19.5	18.0	18.2	116	16.1
7地域	18.4	19.3	20.3	19.3	19.4	12	17.0
8地域	-	-	-	-	22.5	1	22.6
平均値	15.3	17.0	17.6	16.3	16.4	233	14.1

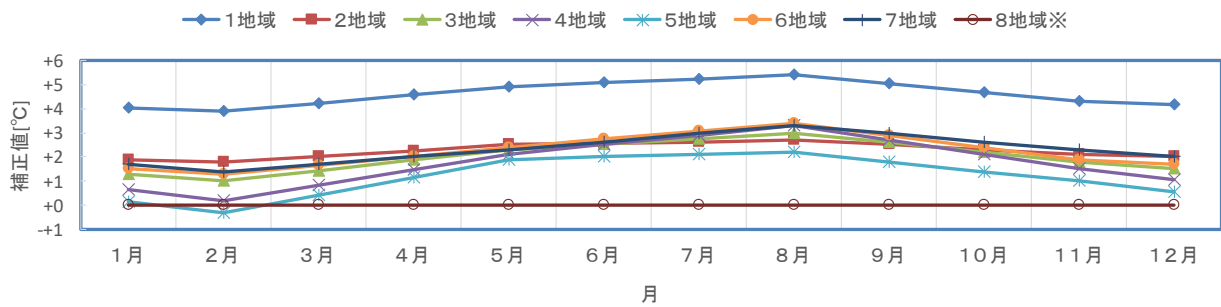
注)「3地域」は4～8月のデータのみ。「8地域」はすべて1回/年の測定なので季節変化情報なし。

- 10 表B1より、2月、5月、8月、11月の平均地下水温・年平均気温を求め、各月の値を按分して求めると、月別平均地下水温・年平均気温の推移は表B2および図B1のようになる。月別平均地下水温・年間平均外気温は年平均気温から月別平均地下水温を求めるための補正值(地下水温度補正值)として、本文表4に転記している。ただし、3地域についてはデータ数が少なく月別のデータが十分でないため、2地域と4地域の中間値として定めた。また、表B2の年間平均外気温はデータ収集サイトの最寄りの観測地点におけるアメダスデータに基づいており、本文表4の値とは異なっている(本文表4記載の年平均外気温は、一次エネルギー消費量算定法で使用している気象データにおける年平均外気温であり、計算にあたっては本文表4記載の値を適用する)。
- 15

表B2 月別地下水温度補正值 $\Delta T_{0,m}$ 

地域 区分	地下水温度補正值[°C]												近傍気象データにお ける年平均温度の 平均値[°C]
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
1地域	+4.0	+3.9	+4.2	+4.6	+4.9	+5.1	+5.2	+5.4	+5.0	+4.7	+4.3	+4.2	6.2
2地域	+1.9	+1.8	+2.0	+2.3	+2.5	+2.6	+2.6	+2.7	+2.5	+2.3	+2.1	+2.0	8.9
3地域	+1.3	+1.0	+1.4	+1.9	+2.3	+2.5	+2.8	+3.0	+2.6	+2.2	+1.8	+1.5	10.6
4地域	+0.6	+0.2	+0.8	+1.5	+2.1	+2.5	+2.9	+3.3	+2.7	+2.1	+1.5	+1.1	12.3
5地域	+0.1	-0.3	+0.4	+1.2	+1.9	+2.0	+2.1	+2.2	+1.8	+1.4	+1.0	+0.6	14.2
6地域	+1.5	+1.3	+1.7	+2.0	+2.4	+2.7	+3.1	+3.4	+2.9	+2.4	+1.9	+1.7	16.1
7地域	+1.7	+1.4	+1.7	+2.0	+2.3	+2.6	+3.0	+3.3	+3.0	+2.6	+2.3	+2.0	17.0
8地域※	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22.6

※ 8地域は月別の実測データがなく、年平均地下水温度一年間平均外気温がほぼ0のため、月別平均地下水温度一年間平均外気温はすべて0とした



図B1 月別平均地下水温度一年間平均外気温の推移

## 附属書C 揚水ポンプの平均消費電力の算出方法

本文に示したタイプA、Dの式1a、1dについては自明として、残りのタイプについて以下に示す。

### 5 (1) 熱交換後の熱源水を井水槽に戻さないタイプB、タイプE

揚水ポンプは井水槽の水位によりON/OFFする。一日の揚水ポンプの運転時間を $t_0$  [s]、熱源ポンプの運転時間を $t_1$  [s]とすると、一日の揚水ポンプの積算流量と熱源ポンプ1による積算流量は等しい( $V_0 t_0 = V_1 t_1$ )ことから、揚水ポンプと熱源ポンプ1の流量比は、揚水ポンプと熱源ポンプ1の運転時間比の逆数と等しくなる(式3)。

$$10 \quad V_1/V_0 = t_0/t_1 \quad (3)$$

熱源ポンプ1の運転時間に対して揚水ポンプの運転時間は $t_0/t_1$ 倍となるため、平均消費電力 $W'$ は、

$$W' = (t_0/t_1)W_0 + W_1 = (V_1/V_0)W_0 + W_1 \quad (4)$$

となる。

熱源ポンプが2台となるタイプEでは、2台目の熱源ポンプ(添え字2)の消費電力を式4に加えることで、  
15 平均消費電力 $W'$ は求まる(式5)。

$$W' = (V_1/V_0)W_0 + W_1 + W_2 \quad (5)$$

### (2) 熱交換後の熱源水を井水槽に戻すタイプC、タイプF

熱交換後の熱源水を井水槽に戻す場合は、一日の揚水ポンプの積算流量 $V_0 t_0$ に対して、熱源ポンプ1による積算流量 $V_1 t_1$ が1～2倍の範囲で設計されることを本計算方法では想定しており、式6が成り立つ。  
20

$$nV_0 t_0 = V_1 t_1, \quad n = 1 \sim 2 \quad (6)$$

ここで、揚水ポンプの消費電力としては安全側となる $n = 1$ を採用することになると、熱交換後の熱源水を井水槽に戻すタイプC、タイプFの式は、熱交換後の熱源水を井水槽に戻さないタイプB、タイプEと同じ計算式となる。



## 附属書D 熱交換器を利用した場合の温度補正值の設定

本計算方法では、熱交換器で熱交換する場合(タイプD,E,F)の補正值(熱交換器温度補正值)は、暖房時で-2℃としている。これは、暖房時に4℃差で設計し平均負荷率を50%と想定したことによる。

$$5 \quad \Delta T_{hex,h} = T_{2o,h} - T_{1i,h} = -2 [^{\circ}\text{C}] \quad (1)$$

また、冷房時は+3℃としている。これは、ヒートポンプの冷房時放熱量／暖房時採熱量=1.5とし、暖房時の2℃差の1.5倍としたことによる(式2)。

$$\Delta T_{hex,c} = T_{2o,c} - T_{1i,c} = 3 [^{\circ}\text{C}] \quad (2)$$

10 ここで、冷房時放熱量／暖房時採熱量=1.5については、「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)」の地中熱交換器総延長の算出で示されている標準冷房COP=5、標準暖房COP=3.5および、一般的なビル用マルチの1呼称馬力当たりの冷房能力2.8kW、暖房能力3.15kWで、以下のように計算することで算出される。

冷房時放熱量／暖房時採熱量

$$= \{ \text{冷房能力} \times (\text{冷房COP} + 1) / \text{冷房COP} \} / \{ \text{暖房能力} \times (\text{暖房COP} - 1) / \text{暖房COP} \}$$

$$15 \quad = \{ 2.8 \times (5 + 1) / 5 \} / \{ 3.15 \times (3.5 - 1) / 3.5 \}$$

$$\div 1.5$$

## 附属書E 熱交換後の熱源水を井水槽に戻す場合における井水槽温度補正值の設定

本計算方法では、熱交換後の熱源水を井水槽に戻す場合(タイプC、タイプF)の、揚水ポンプの流量  $V_0 t_0 [\text{m}^3]$  に対する熱源ポンプ1による流量  $V_1 t_1 [\text{m}^3]$  の比  $n$  が1~2となる範囲で設計されることを想定している(  $n V_0 t_0 = V_1 t_1$  )。

ここでは安全側として  $t_0 = t_1$  を想定し、井水槽温度  $T_{wt} [^\circ\text{C}]$ 、熱源水利用温度差  $\Delta T [^\circ\text{C}]$  が安定している状態で考えると、井水槽における流入流出に関する熱収支式として式1が成り立つ。式1を井水槽温度  $T_{wt} [^\circ\text{C}]$  について解くと式2を得る。

$$c\rho V_0 T_w + c\rho n V_0 (T_{wt} + \Delta T) = c\rho n V_0 T_{wt} + c\rho V_0 T_{wt} \quad (1)$$

$$T_{wt} = T_w + n\Delta T \quad (2)$$

式2は、揚水温度から熱源水利用温度差  $\Delta T [^\circ\text{C}]$  の  $n$  倍シフトした温度に井水槽温度が収束することを表している。本計算方法では、附属書Dに示したように、熱源水利用温度差を暖房時に  $-2^\circ\text{C}$ 、冷房時に  $+3^\circ\text{C}$  としていることから、井水槽温度補正值については安全側の設定となる  $n = 2$  を採用することとし、暖房時に  $-4^\circ\text{C}$ 、冷房時に  $+6^\circ\text{C}$  とする(本文の式4a)。

## 附属書F 井水槽の断熱仕様に関する検討

附属書Hには、井水槽の断熱に関する仕様について以下のように規定されている。

- 5 外気に開放された空間に設置された井水槽を使用する場合は、熱伝導抵抗(=断熱材の厚さ／断熱材の熱伝導率)が $1.1 \text{ m}^2\text{K/W}$  以上となる断熱材が井水槽全面に施されていること(通気口、点検口、センサー差込口等断熱施工が困難な箇所を除く)。

上記で規定された熱伝導抵抗値に関して検討した経緯を以下に記す。

10

タンクの熱通過率(熱貫流率) $K[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ は、以下の式で求めるものとする。

$$K = \frac{1}{1/\alpha_{in} + \sum_{i=1}^n (l_i/\lambda_i) + 1/\alpha_{out}} \quad (1)$$

ここで、井水槽内側(水側)熱伝達率 $\alpha_{in}$ (= $233 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )、井水槽外側(空気側)熱伝達率 $\alpha_{out}$ (= $23.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )、材料 $i$ の厚さ $l_i$  [m]、熱伝導率 $\lambda_i$  [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ]である。

15

FRPと25mmの硬質発泡ポリウレタンフォームのサンドイッチ構造のタンクを想定し、外気温 $0^\circ\text{C}$ (一定値)、タンク内初期水温 $20^\circ\text{C}$ 、水の出入りなしとした場合の温度推移を、計算条件とともに表F1に示す。

表F1 FRPタンクの水温変化

経過時間 [h]	0	24	48	72	96	120	144	168
経過温度 [ $^\circ\text{C}$ ]	20	18.4	17.0	15.6	14.4	13.3	12.2	11.3

20

【設定条件】タンク形状：幅 $2.5 \text{ m}$ ×奥行 $4 \text{ m}$ ×高さ $1.5 \text{ m}$ 、FRP厚さ： $2.5 \text{ mm}$ 、FRP熱伝導率： $0.233 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 、硬質発泡ポリウレタンフォーム厚さ： $25 \text{ mm}$ 、硬質発泡ポリウレタンフォーム熱伝導率： $0.021 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 、放熱安全率： $1.3$ 。この条件の熱貫流率は $K=0.794 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 、熱伝導抵抗は、 $R=1/\lambda=1.19 \text{ m}^2\text{K/W}$ 。

25

以上の検討では1日経過後の水温変化は $1.6^\circ\text{C}$ と小さくなく、加えて実際の運用時には井水の流入があることから水温の変化はさらに小さくなる。外気に開放した空間に井水槽を設置する場合には、断熱を施すことで井水槽温度の安定を図れることから、硬質発泡ポリウレタンフォーム $25 \text{ mm}$ で断熱する上記条件を適用し、熱伝導抵抗 $1.1 \text{ m}^2\text{K/W}$  以上の断熱材を施すこととして規定した。

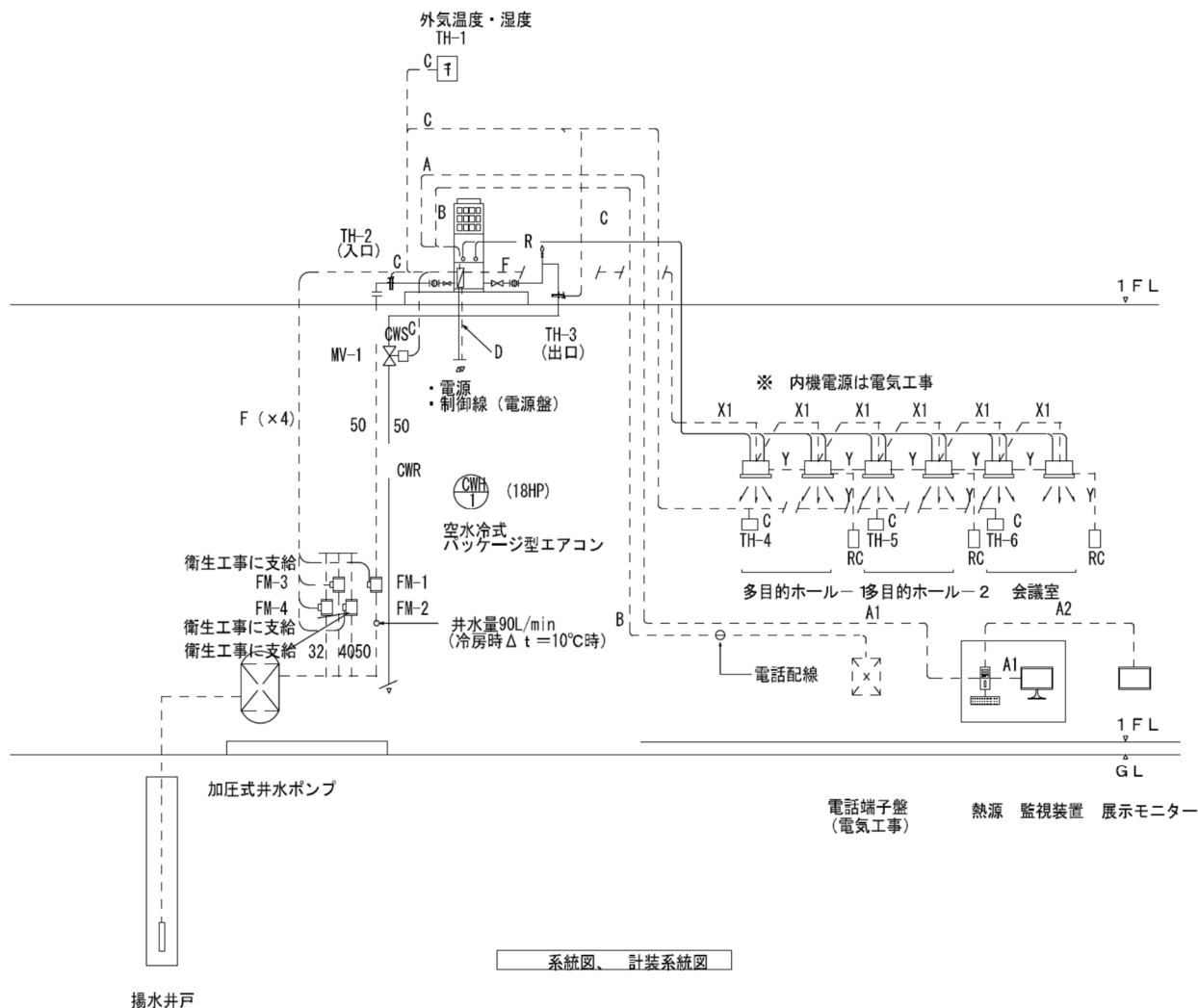
30

なお、地下ピット等の外気に開放されていない空間に設置する井水槽については、井水槽温度と周辺温度の差が大きくなることから、断熱に関する規定は設けないこととする。

## 附属書G 熱源水温度および熱源水ポンプ群合計消費電力の検証及び計算例

(1)～(4)に検証の事例を、(5)に本計算方法による計算例を示す。

- 5 (1) K小学校に設置したオープンループ型地中熱ヒートポンプシステムにおける検証  
システムの概要は以下の通りである。
- ・オープンループ方式：タイプA(熱交換器なし、井水槽なし)
  - ・件名：K小学校
  - ・場所：岐阜県大垣市
- 10
- ・地域区分：5地域
  - ・地中熱ヒートポンプ：空水冷式ビル用マルチ 冷房能力50.4 kW 暖房能力56.5 kW (検証では水冷モード運転時のみのデータを使用した)
  - ・熱源ポンプ群：揚水ポンプ 65φ 30 m 3.7 kW インバータ仕様 揚水量350 L/min (空調用主体であるが、雑用水としても利用。雑用水の利用が少ないとして、揚水ポンプの消費電力は雑用水の利用も含めたままで評価)
- 15
- ・システム系統図：図G1
  - ・年間平均外気温：16.5 °C(大垣市2016年気象庁)
  - ・計測期間：2016年1～12月



図G1 K小学校 地下水利用ヒートポンプシステム系統図

表G1 K小学校2016年2月データ

2016年2月データ	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月
	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日
ポンプ電力(kW) 定格値	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
ポンプ電力(kW) 計測値(稼働時平均)								3.0		2.5			2.0	2.0	
外気温度(°C) 平均	6.8	6.3	14.5	14.4	14.7	17.5	16.4	15.0	16.2	16.0	16.4	11.8	10.2	10.1	
井水温度(°C) HP入口 平均								16.4		16.0			15.6	15.6	
井水温度(°C) HP出口 平均								16.3		15.9			15.6	15.6	

火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月			平均値	MAX	MIN
16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日			
3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7				3.7	3.7
2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0				3.0	2.0
10.5	3.9	6.0	8.2	8.0	8.2	7.1	8.9	6.0	4.8	4.5	6.0	9.4	7.4			10.4	17.5	3.9
	15.3	15.4	15.4	15.3		15.4	15.4		15.2	15.3	15.3		15.3			15.5	16.4	15.2
	14.5	14.3	14.4	14.6		14.5	14.5		14.3	14.4	14.5		14.3			14.8	16.3	14.3

表G2 K小学校2016年6月データ

2016年6月データ	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水
ポンプ電力(kW) 定格値	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
ポンプ電力(kW) 計測値(稼働時平均)	2.0						2.2	2.4	2.0	2.3		2.0	2.3	1.7	
外気温度(℃) 平均	20.5	20.3	21.5	21.8	21.1	22.3	21.6	23.5	24.1	25.1	25.6	23.9	22.0	24.5	25.8
井水温度(℃) HP入口 平均	16.7						15.8	16.0	15.9	16.1		15.8	15.9	16.2	
井水温度(℃) HP出口 平均	16.9						15.2	16.4	16.3	16.6		15.7	16.6	16.8	

木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	平均値	MAX	MIN
16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日			
3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7		3.7	3.7
	2.2	2.1	2.0					2.0	1.7		1.5		1.0			2.4	1.0
24.7	24.7	23.1	21.6	23.8	22.5	25.6	25.4	22.9	22.9	23.6	24.4	21.3	23.0	24.7	23.2	25.8	20.3
	16.0	15.7	15.9					16.1	16.0		16.8		16.8		16.1	16.8	15.7
	16.6	16.1	16.4					16.4	16.4		17.3		17.1		16.4	17.3	15.2

5 表G1、表G2に代表月として2月と6月のポンプ電力と井水温度(=ヒートポンプ入口温度)の検証結果を示す。

揚水ポンプ電力は2月、6月ともにそれぞれの日の計測値がポンプ定格値を下回っており安全側の評価となっていることがわかる。

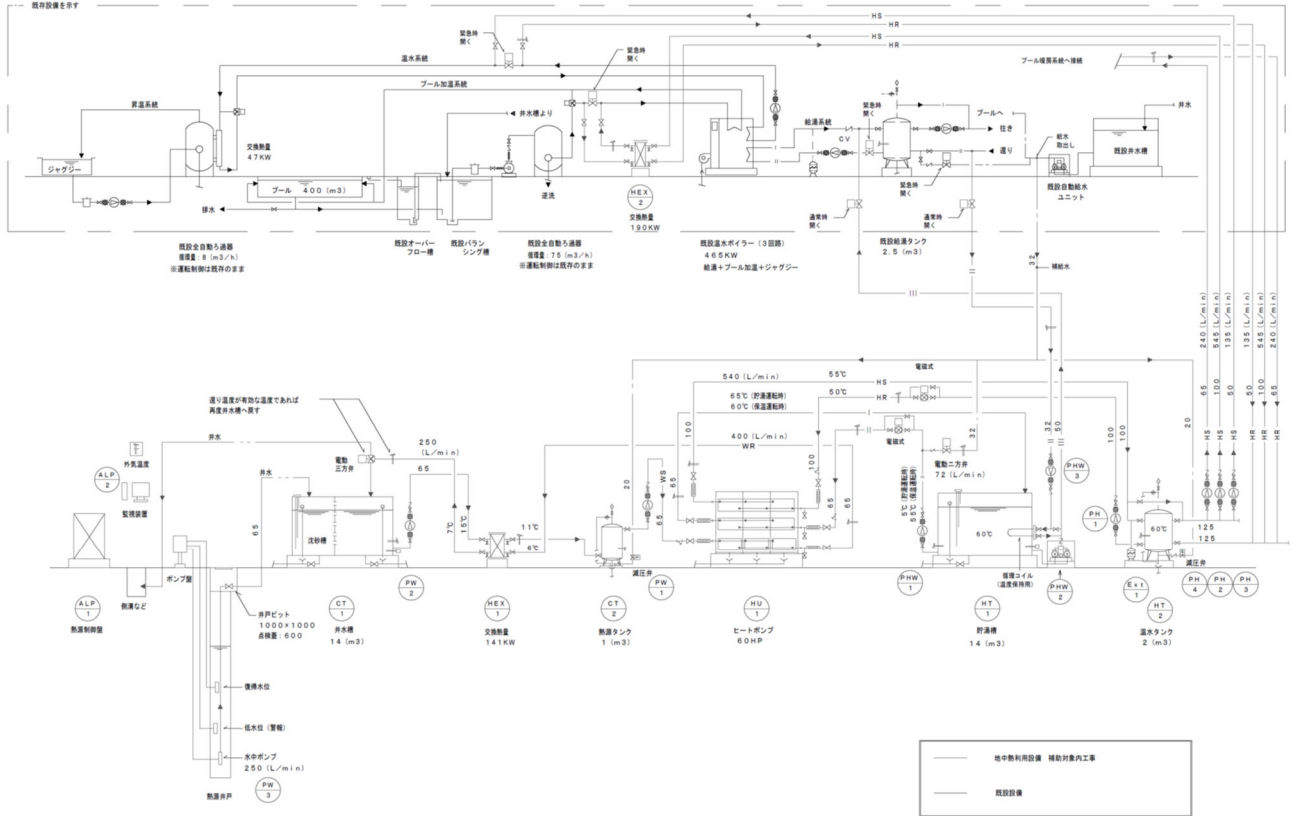
また、本文の表4より、2月の井水温度補正値は-0.3℃、6月の井水温度補正は+2.0℃である。2月では、  
10 井水温度計測値は15.2～16.4℃であったが、タイプAの熱源水温度予測値は年平均外気温+地下水温度補正値であることから $16.5 + (-0.3) = 16.2$ ℃と算出され、妥当な温度が計算できているといえる。6月では、井水温度計測値が15.7～16.8℃であるが、熱源水温度を同様に計算すると $16.5 + 2.0 = 18.5$ ℃となり2℃ほど高い結果となっている。冷房に対して安全側であるとともに、許容できる範囲の推計になっていることを確認した。

15

## (2) スポーツ施設に設置したオープンループ型地中熱ヒートポンプシステムにおける検証

システムの概要は以下の通りである。

- ・オープンループ方式：タイプEおよびFの併用方式(熱交換器あり、井水槽あり(熱交換後の熱源水を井水槽に戻さない場合と戻す場合を切り替えられる))。実際には、ほぼ熱源水を井水槽に戻さないタイプEとして運用されている状況。
- ・件名：某スポーツ施設
- ・場所：栃木県真岡市
- ・地域区分：5地域
- ・地中熱ヒートポンプ：水冷式ヒートポンプチラー 暖房能力189.6kW、給湯能力176.0kW
- 25 ・熱源ポンプ群：揚水ポンプ: 65φ, 60m, 3.7kW, 250L/min、熱源水ポンプ1: 0.75kW, 250L/min、熱源水ポンプ2: 0.75kW, 250L/min
- ・システム系統図：図G2
- ・井水槽：14m<sup>3</sup>
- ・計測期間：2017年1月～12月
- 30 ・年間平均外気温：14.4℃(現地での測定値)
- ・このスポーツ施設では地中熱ヒートポンプシステムは、給湯とプール加温の目的で使用されている。



図G2 某スポーツ施設 システム系統図

表G3 某スポーツ施設 1月データ

1月	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日	最大	最小	平均
熱源ポンプ3台の電力量合計(kWh)設計値	52.0	50.7	48.9	103.4	101.4	111.2	109.2	49.8	111.3	109.4	110.9	106.8	114.0	111.3	83.6	110.7	114.8	110.8	111.6	113.4	109.4	52.9	111.5	112.7	102.8	110.2	114.7	113.1	83.9	97.6	99.8			
熱源ポンプ3台の電力量合計(kWh)実測値	47.2	46.3	44.4	53.7	60.7	60.5	56.2	46.4	57.8	58.9	59.2	62.7	61.9	55.4	53.4	57.1	62.9	58.4	57.7	58.2	58.6	43.8	59.0	61.3	52.9	58.8	63.2	63.7	53.9	58.1	60.0	63.7	43.8	56.5
誤差の割合	0.91	0.91	0.91	0.52	0.60	0.54	0.51	0.93	0.52	0.54	0.53	0.59	0.54	0.50	0.64	0.52	0.55	0.53	0.52	0.51	0.54	0.83	0.53	0.54	0.51	0.53	0.55	0.56	0.64	0.60	0.60			平均

ポンプの定格出力  
 揚水ポンプ(W<sub>0</sub>): 3.7kW  
 熱源ポンプ1(W<sub>1</sub>): 0.75kW  
 熱源ポンプ2(W<sub>2</sub>): 0.75kW  
 合計(W): 5.2kW

タイプEの熱交換器あり、井水槽あり(熱交換後の熱源水を井水槽に戻さない場合)の3台合計のポンプ容量(W')は  
 $W' = (V_1/V_0) \times W_0 + W_1 + W_2$  より  
 $V_0 = \text{揚水量}(\text{m}^3/\text{日})$ : 250  
 $V_1 = \text{吐出力}(\text{m}^3/\text{日})$ : 250  
 $W' = (250/250) \times 3.7 + 0.75 + 0.75 = 5.2\text{kW}$   
 熱源水ポンプ群合計消費電力(W'): 5.2kW

表G4 某スポーツ施設 7月データ

7月	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日	最大	最小	平均
熱源ポンプ3台の電力量合計(kWh)設計値	79.4	52.0	82.9	82.5	81.1	75.8	70.6	63.2	43.4	83.4	79.6	59.8	73.1	75.7	70.5	54.1	72.5	80.6	76.4	69.1	65.7	61.1	47.9	82.4	80.5	78.3	75.7	93.9	69.1	47.8	78.3			
熱源ポンプ3台の電力量合計(kWh)実測値	52.3	42.9	67.6	60.5	59.6	53.5	54.1	48.9	36.2	62.5	61.8	48.5	60.2	60.2	57.2	47.2	57.1	64.4	61.1	51.3	51.9	48.1	40.5	61.8	60.2	59.0	56.4	61.7	53.8	36.6	61.7	67.6	36.2	54.8
誤差の割合	0.66	0.83	0.82	0.73	0.73	0.70	0.77	0.77	0.83	0.75	0.78	0.81	0.82	0.79	0.81	0.87	0.79	0.80	0.80	0.74	0.79	0.79	0.85	0.75	0.75	0.75	0.75	0.66	0.78	0.77	0.79			平均

ポンプの定格出力  
 揚水ポンプ(W<sub>0</sub>): 3.7kW  
 熱源ポンプ1(W<sub>1</sub>): 0.75kW  
 熱源ポンプ2(W<sub>2</sub>): 0.75kW  
 合計(W): 5.2kW

タイプEの熱交換器あり、井水槽あり(熱交換後の熱源水を井水槽に戻さない場合)の3台合計のポンプ容量(W')は  
 $W' = (V_1/V_0) \times W_0 + W_1 + W_2$  より  
 $V_0 = \text{揚水量}(\text{m}^3/\text{日})$ : 250  
 $V_1 = \text{吐出力}(\text{m}^3/\text{日})$ : 250  
 $W' = (250/250) \times 3.7 + 0.75 + 0.75 = 5.2\text{kW}$   
 熱源水ポンプ群合計消費電力(W'): 5.2kW

表G5 熱源水温度についてタイプEとして計算した場合と測定値との差

タイプEとして計算した場合

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
年平均外気温	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4
地下水温度補正值	+0.1	-0.3	+0.4	+1.2	+1.9	+2.0	+2.1	+2.2	+1.8	+1.4	+1.0	+0.6
月平均揚水温度	14.5	14.1	14.8	15.6	16.3	16.4	16.5	16.6	16.2	15.8	15.4	15.0
井水槽温度補正值	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
井水槽温度	14.5	14.1	14.8	15.6	16.3	16.4	16.5	16.6	16.2	15.8	15.4	15.0
井水槽温度(測定値)	16.8	16.8	16.9	17.1	17.3	17.4	17.9	17.7	17.4	17.1	16.8	16.7
井水槽温度 想定と測定の差	-2.3	-2.7	-2.1	-1.5	-1.0	-1.0	-1.4	-1.1	-1.2	-1.3	-1.4	-1.7
熱交換器温度補正值	-2.0	-2.0	-2.0	+3.0	+3.0	+3.0	+3.0	+3.0	+3.0	+3.0	+3.0	-2.0
想定熱交二次出口温度	12.5	12.1	12.8	18.6	19.3	19.4	19.5	19.6	19.2	18.8	18.4	13.0
熱交二次出口温度(測定値)	12.9	12.9	12.9	13	13.1	13.1	13.2	13.1	13.1	12.9	12.9	12.8
熱交二次出口温度 想定と測定の差	-0.4	-0.8	-0.1	+5.6	+6.2	+6.3	+6.3	+6.5	+6.1	+5.9	+5.5	+0.2

単位:℃

5

表G6 熱源水温度についてタイプFとして計算した場合と測定値の差

タイプFとして計算した場合

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
年平均外気温	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4
地下水温度補正值	+0.1	-0.3	+0.4	+1.2	+1.9	+2.0	+2.1	+2.2	+1.8	+1.4	+1.0	+0.6
月平均揚水温度	14.5	14.1	14.8	15.6	16.3	16.4	16.5	16.6	16.2	15.8	15.4	15.0
井水槽温度補正值	-4.0	-4.0	-4.0	+6.0	+6.0	+6.0	+6.0	+6.0	+6.0	+6.0	+6.0	-4.0
井水槽温度	10.5	10.1	10.8	21.6	22.3	22.4	22.5	22.6	22.2	21.8	21.4	11.0
井水槽温度(測定値)	16.8	16.8	16.9	17.1	17.3	17.4	17.9	17.7	17.4	17.1	16.8	16.7
井水槽温度 想定と測定の差	-6.3	-6.7	-6.1	+4.5	+5.0	+5.0	+4.6	+4.9	+4.8	+4.7	+4.6	-5.7
熱交換器温度補正值	-2.0	-2.0	-2.0	+3.0	+3.0	+3.0	+3.0	+3.0	+3.0	+3.0	+3.0	-2.0
想定熱交二次出口温度	8.5	8.1	8.8	24.6	25.3	25.4	25.5	25.6	25.2	24.8	24.4	9.0
熱交二次出口温度(測定値)	12.9	12.9	12.9	13	13.1	13.1	13.2	13.1	13.1	12.9	12.9	12.8
熱交二次出口温度 想定と測定の差	-4.4	-4.8	-4.1	+11.6	+12.2	+12.3	+12.3	+12.5	+12.1	+11.9	+11.5	-3.8

単位:℃

代表月として1月と7月の熱源水ポンプ群合計消費電力の検証結果を表G3、表G4に示す。本文の式1e、1fを用いて計算した熱源ポンプ群の消費電力の一日の積算値と実際の計測値を比較した結果、計測値はすべて計算値を下回っており安全側の評価となっていることが確認される。

- 10 熱源水温度(表G5、G6)については、このスポーツ施設では地中熱ヒートポンプを給湯とプール加温の目的で使っていることから年間を通して揚水温度予測値より低く推移しており、空調による使用を対象としている本計算方法による予測値とは異なる推移を示す結果となった。また、井水槽温度測定値が揚水温度予測値とほぼ等しくなっていることから、熱源水を井水槽に戻さないタイプEとしてほぼ運用されていることが確認される。

15

- (3) 松本市の工場の管理棟に設置したタイプEのオープンループ型地中熱ヒートポンプシステムにおける温度検証

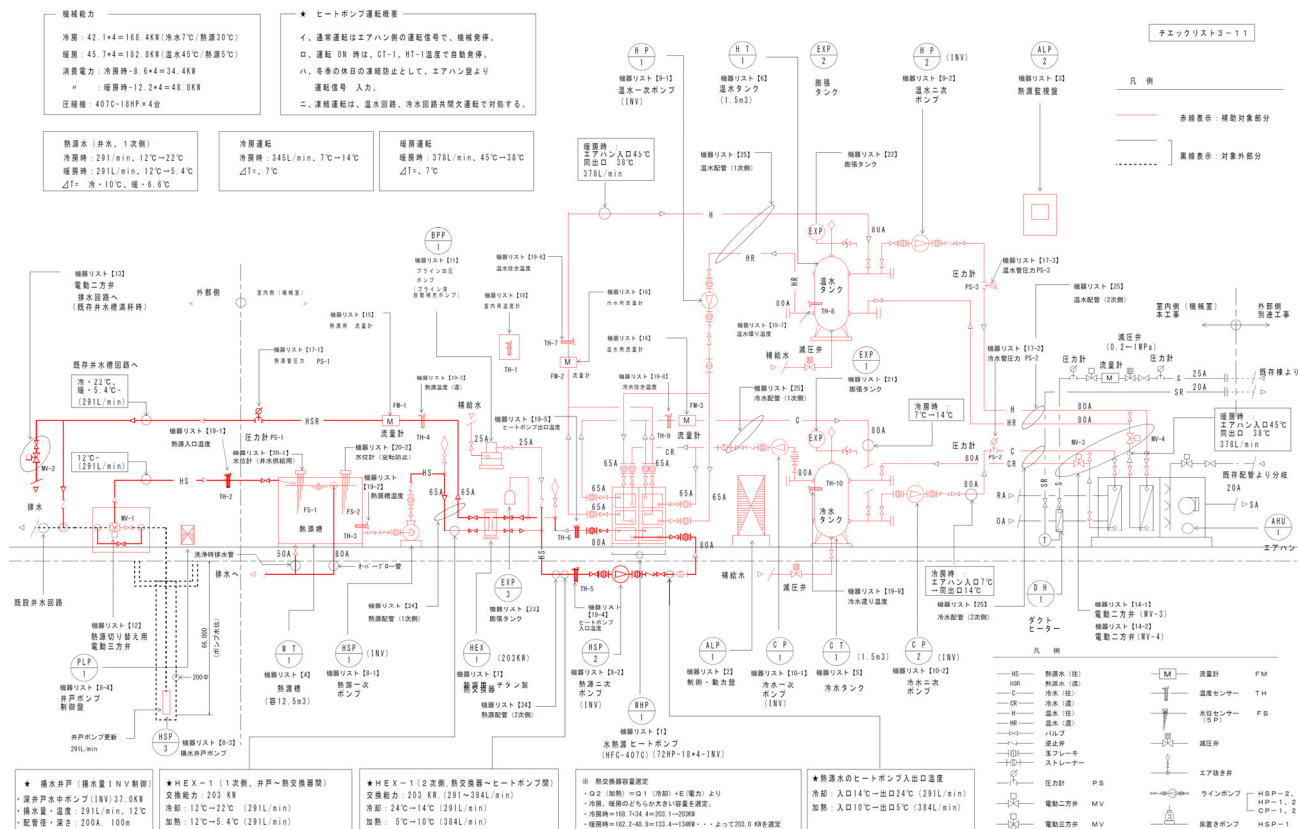
システムの概要は以下の通りである。

- ・オープンループ方式：タイプE(熱交換器あり、井水槽あり(熱交換後の熱源水を井水槽に戻さない場合))
- ・件名：Y電機M事業所
- ・場所：長野県松本市

20



- ・地域区分：3地域
  - ・地中熱ヒートポンプ：水冷式ヒートポンプチラー 冷房能力168.74 kW、暖房能力182.2kW
  - ・熱源ポンプ群：揚水ポンプについては既存の揚水ポンプを利用のため消費電力は計測していない(メッキ工場の洗浄用で利用)、熱源水ポンプ1: 1.5kW 290L/min、熱源水ポンプ2: 1.5kW 290L/min
- 5
- ・システム系統図：図G3
  - ・井水槽：11.25m<sup>3</sup>
  - ・計測期間：2018年4月～2019年3月
  - ・年間平均外気温：13.2℃(松本市2018年気象庁)



図G3 Y電機M事業所 システム系統図

表G7 熱源水温度についてタイプEとして計算した場合と測定値の差

タイプEとして計算した場合

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	備考
年平均外気温	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	
地下水温度補正值	+1.3	+1.0	+1.4	+1.9	+2.3	+2.5	+2.8	+3.0	+2.6	+2.2	+1.8	+1.5	
井水温度	14.5	14.2	14.6	15.1	15.5	15.7	16.0	16.2	15.8	15.4	15.0	14.7	
井水槽温度補正值	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
井水槽温度	14.5	14.2	14.6	15.1	15.5	15.7	16.0	16.2	15.8	15.4	15.0	14.7	
井水槽温度(測定値)	13.4	13.3	13.4	(※1)	14.3	13.6	13.7	13.6	13.5	13.5	13.4	13.4	
井水槽温度 想定と測定値の差	-1.1	-0.9	-1.2	(※1)	-1.2	-2.1	-2.3	-2.6	-2.3	-1.9	-1.6	-1.3	±5℃以内
熱交換器温度補正值	-2	-2	-2	-2	+3	+3	+3	+3	+3	+3	-2	-2	
想定熱交二次出口温度	12.5	12.2	12.6	13.1	18.5	18.7	19.0	19.2	18.8	18.4	13.0	12.7	
熱交二次出口温度(測定値)	9.1	9.2	9.6	(※1)	18.5	17.9	19.0	18.6	17.9	15.0	9.7	8.9	
熱交二次出口温度 想定と測定値の差	-3.4	-3.0	-3.0	(※1)	±0	-0.8	±0	-0.6	-0.9	-3.4	-3.3	-3.8	±5℃以内

※1:ヒートポンプ稼働なし

単位:℃

表G7に、地中熱ヒートポンプ熱源水入口温度(=熱交換器二次側出口温度)の本計算方法による計算値と実測値との比較を示す。表G7はタイプEの計算方法を適用した結果である。年平均外気温から地下水温度補正、熱交換器温度補正を用いて計算した熱源水温度計算により、井水槽温度と熱交二次出口温度の測定値を計算値と比較したところ $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内となっており、妥当な温度が推定できていると言える。

5

(4) 岐阜市の工場の管理棟に設置したタイプF方式のオープンループ型地中熱ヒートポンプシステムにおける温度検証

システムの概要は以下の通りである。

10

・オープンループ方式：タイプF(熱交換器あり、井水槽あり(熱交換後の熱源水を井水槽に戻す場合))

・件名：T工業ターミナル棟

・場所：岐阜県岐阜市

・地域区分：6地域

・地中熱ヒートポンプ：水冷式ヒートポンプチラー 冷房能力50.4 kW、暖房能力56.5 kW

15

・熱源ポンプ群：揚水ポンプ 既存の揚水ポンプを利用のため消費電力を計測していない(什器工場の洗浄用で利用)、熱源水ポンプ1: 0.75kW 170L/min、熱源水ポンプ2: 0.75kW 130L/min

・システム系統図：図G4

・井水槽容量：既設のため図面記載なし

・計測期間：2017年4月～2018年3月

・年間平均外気温：15.9 $^{\circ}\text{C}$ (岐阜市2017年気象庁)

20

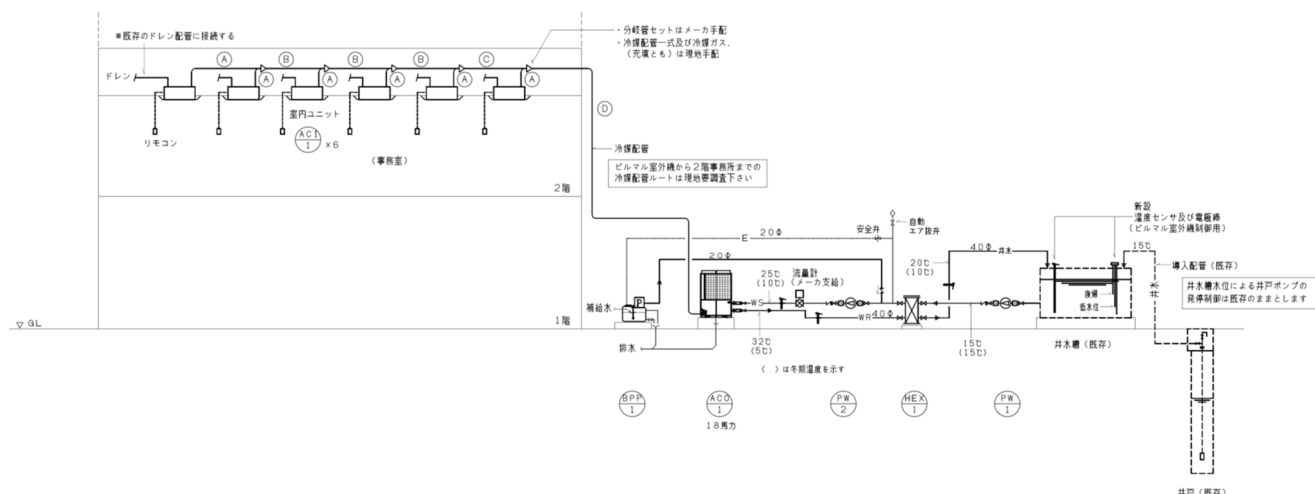


図 G4 T 工業ターミナル棟 システム系統図

25

表 G8 熱源水温度についてタイプ F として計算した場合と測定値の差

タイプFとして計算した場合

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	備考
年平均外気温	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	
地下水温度補正值	+1.5	+1.3	+1.7	+2.0	+2.4	+2.7	+3.1	+3.4	+2.9	+2.4	+1.9	+1.7	
井水温度	17.4	17.2	17.6	17.9	18.3	18.6	19.0	19.3	18.8	18.3	17.8	17.6	
井水槽温度補正值	-4	-4	-4	-4	+6	+6	+6	+6	+6	+6	-4	-4	
井水槽温度	13.4	13.2	13.6	13.9	24.3	24.6	25.0	25.3	24.8	24.3	13.8	13.6	
井水槽温度(測定値)	13.4	14.3	15.6	16.0	19.2	20.0	23.3	23.1	20.0	17.7	15.0	13.8	
井水槽温度 想定と測定の差	+0.0	+1.1	+2.0	+2.1	-5.1	-4.6	-1.7	-2.2	-4.8	-6.6	+1.2	+0.2	±5℃以内または安全側
熱交換器温度補正值	-2	-2	-2	-2	+3	+3	+3	+3	+3	+3	-2	-2	
想定熱交二次出口温度	11.4	11.2	11.6	11.9	27.3	27.6	28.0	28.3	27.8	27.3	11.8	11.6	
熱交二次出口温度(測定値)	10.4	11.5	13.6	14.3	22.0	23.2	27.2	27.5	22.5	17.9	12.7	11.2	
熱交二次出口温度 想定と測定の差	-1.0	+0.3	+2.0	+2.4	-5.3	-4.4	-0.8	-0.8	-5.3	-9.4	+0.9	-0.4	±5℃以内または安全側

単位:℃

- 5 表G8に、地中熱ヒートポンプ熱源水入口温度(=熱交換器二次側出口温度)の本計算方法による計算値と実測値との比較を示す。表G8はタイプFの計算方法を適用した結果である。年平均外気温から地下水温度補正、井水槽温度補正、熱交換器温度補正を用いて計算した熱源水温度計算により、井水槽温度と熱交二次出口温度の測定値を計算値と比較したところ、±5℃以内または安全側であったため、妥当な温度が推定できていると言える(負荷の少ない5月、9月、10月で安全側となった)。

(5) 本計算方法による計算例

以下にオープンループ方式のタイプA～Fにおける熱源水ポンプ群合計消費電力、熱交換器熱源水温度差および月別の熱源水温度の計算例を示す

5 a) タイプAの場合

表G7 タイプAの場合の条件および計算結果

オープンループタイプ				タイプA
ポンプ	揚水ポンプ	定格消費電力	$W_0$	1.5 kW
		定格流量	$V_0$	L/min
	熱源ポンプ1	定格消費電力	$W_1$	kW
		定格流量	$V_1$	L/min
	熱源ポンプ2	定格消費電力	$W_2$	kW
	熱源水ポンプ群合計消費電力		$W'$	1.5 kW

10

表G8 タイプAの熱源水温度の計算例(5地域)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
年平均外気温	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
地下水温度補正	+0.1	-0.3	+0.4	+1.2	+1.9	+2.0	+2.1	+2.2	+1.8	+1.4	+1.0	+0.6
井水温度	13.4	13.0	13.7	14.5	15.2	15.3	15.4	15.5	15.1	14.7	14.3	13.9
冷房時井水槽温度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
暖房時井水槽温度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
冷房時熱源水温度	-	-	-	14.5	15.2	15.3	15.4	15.5	15.1	14.7	14.3	-
暖房時熱源水温度	13.4	13.0	13.7	-	-	-	-	-	-	-	-	13.9

b) タイプBの場合

表G9 タイプBの場合の条件および計算結果

オープンループタイプ				タイプB	
ポンプ	揚水ポンプ	定格消費電力	$W_0$	1.5	kW
		定格流量	$V_0$	100	L/min
	熱源ポンプ1	定格消費電力	$W_1$	0.4	kW
		定格流量	$V_1$	100	L/min
	熱源ポンプ2	定格消費電力	$W_2$		kW
	熱源水ポンプ群合計消費電力		$W'$	1.9	kW

5

表G10 タイプBの熱源水温度の計算例(5地域)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
年平均外気温	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
地下水温度補正	+0.1	-0.3	+0.4	+1.2	+1.9	+2.0	+2.1	+2.2	+1.8	+1.4	+1.0	+0.6
井水温度	13.4	13.0	13.7	14.5	15.2	15.3	15.4	15.5	15.1	14.7	14.3	13.9
冷房時井水槽温度	-	-	-	14.5	15.2	15.3	15.4	15.5	15.1	14.7	14.3	-
暖房時井水槽温度	13.4	13.0	13.7	-	-	-	-	-	-	-	-	13.9
冷房時熱源水温度	-	-	-	14.5	15.2	15.3	15.4	15.5	15.1	14.7	14.3	-
暖房時熱源水温度	13.4	13.0	13.7	-	-	-	-	-	-	-	-	13.9

c) タイプCの場合

表G11 タイプCの場合の条件および計算結果

オープンループタイプ				タイプC	
ポンプ	揚水ポンプ	定格消費電力	$W_0$	0.75	kW
		定格流量	$V_0$	50	L/min
	熱源ポンプ1	定格消費電力	$W_1$	0.4	kW
		定格流量	$V_1$	100	L/min
	熱源ポンプ2	定格消費電力	$W_2$		kW
	熱源水ポンプ群合計消費電力		$W'$	1.9	kW

5

表G12 タイプCの熱源水温度の計算例(5地域)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
年平均外気温	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
地下水温度補正	+0.1	-0.3	+0.4	+1.2	+1.9	+2.0	+2.1	+2.2	+1.8	+1.4	+1.0	+0.6
井水温度	13.4	13.0	13.7	14.5	15.2	15.3	15.4	15.5	15.1	14.7	14.3	13.9
冷房時井水槽温度	-	-	-	20.5	21.2	21.3	21.4	21.5	21.1	20.7	20.3	-
暖房時井水槽温度	9.4	9.0	9.7	-	-	-	-	-	-	-	-	9.9
冷房時熱源水温度	-	-	-	20.5	21.2	21.3	21.4	21.5	21.1	20.7	20.3	-
暖房時熱源水温度	9.4	9.0	9.7	-	-	-	-	-	-	-	-	9.9

d) タイプDの場合

表G13 タイプDの場合の条件および計算結果

オープンループタイプ				タイプD	
ポンプ	揚水ポンプ	定格消費電力	$W_0$	1.5	kW
		定格流量	$V_0$		L/min
	熱源ポンプ1	定格消費電力	$W_1$	0.4	kW
		定格流量	$V_1$		L/min
	熱源ポンプ2	定格消費電力	$W_2$		kW
	熱源水ポンプ群合計消費電力		$W'$	1.9	kW

5

表G14 タイプDの熱源水温度の計算例(5地域)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
年平均外気温	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
地下水温度補正	+0.1	-0.3	+0.4	+1.2	+1.9	+2.0	+2.1	+2.2	+1.8	+1.4	+1.0	+0.6
井水温度	13.4	13.0	13.7	14.5	15.2	15.3	15.4	15.5	15.1	14.7	14.3	13.9
冷房時井水槽温度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
暖房時井水槽温度	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
冷房時熱源水温度	-	-	-	17.5	18.2	18.3	18.4	18.5	18.1	17.7	17.3	-
暖房時熱源水温度	11.4	11.0	11.7	-	-	-	-	-	-	-	-	11.9

e) タイプEの場合

表G15 タイプEの場合の条件および計算結果

オープンループタイプ				タイプE	
ポンプ	揚水ポンプ	定格消費電力	$W_0$	1.5	kW
		定格流量	$V_0$	100	L/min
	熱源ポンプ1	定格消費電力	$W_1$	0.4	kW
		定格流量	$V_1$	100	L/min
	熱源ポンプ2	定格消費電力	$W_2$	0.4	kW
	熱源水ポンプ群合計消費電力		$W'$	2.3	kW

5

表G16 タイプEの熱源水温度の計算例(5地域)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
年平均外気温	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
地下水温度補正	+0.1	-0.3	+0.4	+1.2	+1.9	+2.0	+2.1	+2.2	+1.8	+1.4	+1.0	+0.6
井水温度	13.4	13.0	13.7	14.5	15.2	15.3	15.4	15.5	15.1	14.7	14.3	13.9
冷房時井水槽温度	-	-	-	14.5	15.2	15.3	15.4	15.5	15.1	14.7	14.3	-
暖房時井水槽温度	13.4	13.0	13.7	-	-	-	-	-	-	-	-	13.9
冷房時熱源水温度	-	-	-	17.5	18.2	18.3	18.4	18.5	18.1	17.7	17.3	-
暖房時熱源水温度	11.4	11.0	11.7	-	-	-	-	-	-	-	-	11.9



f) タイプFの場合

表G17 タイプFの場合の条件および計算結果

オープンループタイプ				タイプF	
ポンプ	揚水ポンプ	定格消費電力	$W_0$	0.75	kW
		定格流量	$V_0$	50	L/min
	熱源ポンプ1	定格消費電力	$W_1$	0.4	kW
		定格流量	$V_1$	100	L/min
	熱源ポンプ2	定格消費電力	$W_2$	0.4	kW
	熱源水ポンプ群合計消費電力		$W'$	2.3	kW

5

表G18 タイプFの熱源水温度の計算例(5地域)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
年平均外気温	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
地下水温度補正	+0.1	-0.3	+0.4	+1.2	+1.9	+2.0	+2.1	+2.2	+1.8	+1.4	+1.0	+0.6
井水温度	13.4	13.0	13.7	14.5	15.2	15.3	15.4	15.5	15.1	14.7	14.3	13.9
冷房時井水槽温度	-	-	-	20.5	21.2	21.3	21.4	21.5	21.1	20.7	20.3	-
暖房時井水槽温度	9.4	9.0	9.7	-	-	-	-	-	-	-	-	9.9
冷房時熱源水温度	-	-	-	23.5	24.2	24.3	24.4	24.5	24.1	23.7	23.3	-
暖房時熱源水温度	7.4	7	7.7	-	-	-	-	-	-	-	-	7.9

10

## 附属書H オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの 設計妥当性について確認する方法

5 本計算方法を適用するにあたり、オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムについて設計の妥当性を確認する方法を以下に記す。

### (1) 必要熱源水量に関する計算

暖房期、冷房期の必要熱源水量 $V_h$ 、 $V_c$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]は下記の式で求める。

$$V_h = \frac{Q_h - W_h}{c\rho\Delta T_h} \quad (1a)$$

10 
$$V_c = \frac{Q_c + W_c}{c\rho\Delta T_c} \quad (1b)$$

ここで、地中熱ヒートポンプの暖房定格能力 $Q_h$  [ $\text{kW}$ ]、暖房定格消費電力 $W_h$  [ $\text{kW}$ ]、冷房定格能力 $Q_c$  [ $\text{kW}$ ]、冷房定格消費電力 $W_c$  [ $\text{kW}$ ]、地下水比熱 $c$  ( $= 4.19 \text{ kJ}/(\text{kgK})$ )、地下水密度 $\rho$  ( $= 1.0 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$ )である。

$\Delta T_h$ 、 $\Delta T_c$ は暖房期、冷房期における利用温度差であり、タイプA、B、Cでは地中熱ヒートポンプの熱源水温度出入口の設計温度差、タイプD、E、Fでは熱交換器の一次側(井戸側)の設計利用温度差をとる。

15 井水槽を設けないタイプA、Dでは、必要熱源水量 $V_{MAX}$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (暖房期、冷房期の必要熱源水量 $V_h$ 、 $V_c$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]の大きい方の値(式2))が、設計揚水量 $V_w$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]以下となるようにする必要がある(式3)。

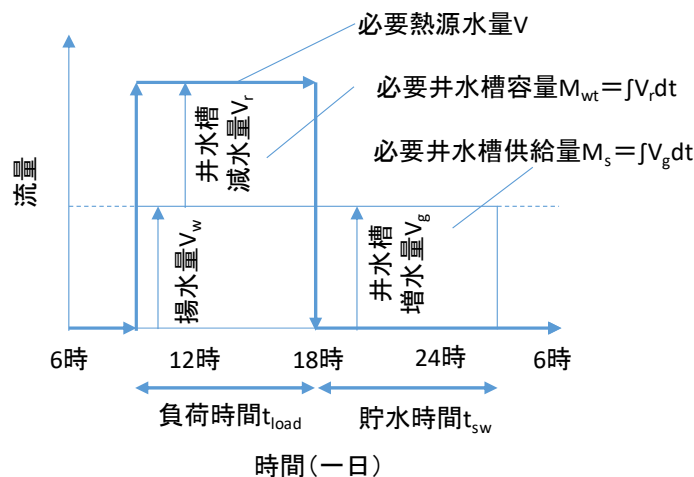
$$V_{MAX} = \text{MAX}[V_h, V_c] \quad (2)$$

$$V_w \geq V_{MAX} \quad (3)$$

20 必要熱源水量 $V_{MAX}$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]が設計揚水量 $V_w$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]を上回る場合には井水槽を設けることになる(タイプB、C、E、F)。

### (2) タイプB、Eの井水槽容量に関する計算

利用後の熱源水を井水槽に戻さないタイプB、Eについては井水槽容量について以下の計算を行う。



図H1 タイプB、Eの井水槽容量に関する概念図

暖房期、冷房期に必要な井水槽容量(有効容量)は、必要熱源水量に不足する水量を空調時間にわたり供給できる水量として求めることができ(図H1)、式1で求めた必要熱源水量 $V_h$ 、 $V_c$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]と設計揚水量 $V_w$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]から、下式で求めることができる。

$$M_{wt,h} = \int V_{r,h} dt = V_{r,h} t_{load,h} = (V_h - V_w) t_{load,h} \quad (4a)$$

$$M_{wt,c} = \int V_{r,c} dt = V_{r,c} t_{load,c} = (V_c - V_w) t_{load,c} \quad (4b)$$

ここで、期別の必要容量 $M_{wt,h}$ 、 $M_{wt,c}$  [ $\text{m}^3$ ]、井水槽減水量 $V_{r,h}$ 、 $V_{r,c}$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]、1日あたりの負荷時間(空調が行われる時間) $t_{load,h}$ 、 $t_{load,c}$  [s/day]である。

また、負荷時間終了後、翌日の負荷時間開始時までには井水槽を満水にする必要がある。井水槽への必要供給水量は期別に以下の式で計算する。

$$M_{s,h} = \int V_{g,h} dt = V_w t_{sw,h} \quad (5a)$$

$$M_{s,c} = \int V_{g,c} dt = V_w t_{sw,c} \quad (5b)$$

ここで、期別の必要供給水量 $M_{s,h}$ 、 $M_{s,c}$  [ $\text{m}^3$ ]、井水槽増水量 $V_{g,h}$ 、 $V_{g,c}$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]、貯水時間 $t_{sw,h}$ 、 $t_{sw,c}$  [s/day]である。貯水時間 $t_{sw,h}$ 、 $t_{sw,c}$  [s/day]は、1日のうち負荷時間を引いた時間とする( $t_{sw,h} = 86400 - t_{load,h}$ 、 $t_{sw,c} = 86400 - t_{load,c}$  [s/day])。

以上で計算した井水槽への必要供給水量 $M_{s,h}$ 、 $M_{s,c}$  [ $\text{m}^3$ ]は、必要井水槽容量 $M_{wt,h}$ 、 $M_{wt,c}$  [ $\text{m}^3$ ]以上である必要があり(式6)、設計井水槽容量 $M_{wt}$  [ $\text{m}^3$ ]は、必要井水槽容量 $M_{wt,h}$ 、 $M_{wt,c}$  [ $\text{m}^3$ ]以上である必要がある(式7)。

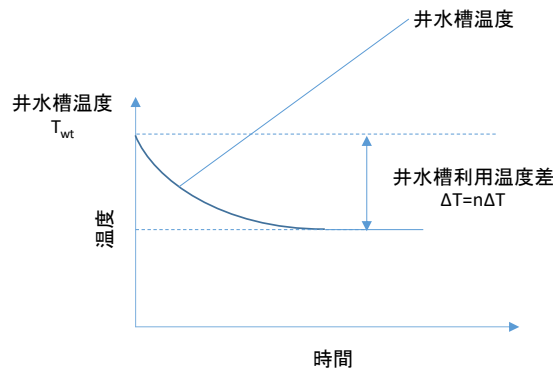
$$M_{s,h} \geq M_{wt,h}, \quad M_{s,c} \geq M_{wt,c} \quad (6)$$

$$M_{wt} \geq M_{wt,h}, \quad M_{wt} \geq M_{wt,c} \quad (7)$$

### (3) タイプC、Fの井水槽に関する計算

利用後の熱源水を井水槽に戻すタイプC、Fについては、必要熱源水量 $V_h$ 、 $V_c$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]と設計揚水量 $V_w$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]の流量比 $V_h/V_w$ 、 $V_c/V_w$ を1～2の範囲にする必要がある。

以下に考え方を示す。



図H2 タイプC、Fの井水槽の到達温度に関する概念図

揚水ポンプを稼働しながら地中熱ヒートポンプが最大能力で運転し、時間が経過すると井水槽温度が一定になる(図H2)。その場合、井水槽に流入、流出する熱量収支が0となることから式8a、8bが成り立つ。

$$T_{w,h} V_w + (T_{wt,h} - \Delta T_h) V_h = T_{wt,h} V_w + T_{wt,h} V_h \quad (8a)$$

$$T_{w,c} V_w + (T_{wt,c} + \Delta T_c) V_c = T_{wt,c} V_w + T_{wt,c} V_c \quad (8b)$$

ここで、設計揚水量 $V_w$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]、期別の必要熱源水量 $V_h$ 、 $V_c$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]、揚水温度 $T_{w,h}$ 、 $T_{w,c}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]、井水槽温度 $T_{wt,h}$ 、 $T_{wt,c}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]である。 $\Delta T_h$ 、 $\Delta T_c$ は暖房期、冷房期における利用温度差であり、タイプCでは地中熱ヒートポンプの熱源水温度出入口の設計温度差、タイプFでは熱交換器の一次側(井戸側)の設計利用温度差をとる。

この場合の井水槽温度は式8a、8bから以下となる。

$$5 \quad T_{wt,h} = T_{w,h} - (V_h/V_w)\Delta T_h \quad (9a)$$

$$T_{wt,c} = T_{w,c} + (V_c/V_w)\Delta T_c \quad (9b)$$

井水槽の温度をある範囲に保つためには、流量比 $V_h/V_w$ 、 $V_c/V_w$ が大きくならないように抑制する必要がある。本計算方法を適用するにあたっては、流量比 $V_h/V_w$ 、 $V_c/V_w$ を1～2の範囲にすることとした。

#### 10 (4) 井水槽の断熱性能に関する計算

外気に開放された空間に設置された井水槽を使用する場合は、熱伝導抵抗(=断熱材の厚さ/断熱材の熱伝導率)が $1.1 \text{ m}^2\text{K/W}$  以上となる断熱材が井水槽全面に施されていること(通気口、点検口、センサー差込口等断熱施工が困難な箇所を除く)を求める(検討の経緯は附属書Fに記載)。

15 外気に開放された空間に設置された井水槽を使用する場合は、断熱材の厚さ $l_{ins}$  [m]、熱伝導率 $\lambda_{ins}$  [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ]から熱伝導抵抗 $R_{ins}$  [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]を式10で計算し、その値が $1.1 \text{ m}^2\text{K/W}$  以上となることを確認する。

$$R_{ins} = l_{ins}/\lambda_{ins} \quad (10)$$

熱伝導率 $\lambda_{ins}$  [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ]は、使用する断熱材に応じて原則として表H1の値を使用することとする。

表H1 断熱材別の熱伝導率一覧表

材料の分類	材料名		熱伝導率 (λ) W/(m・K)	備考
				規格等
発砲プラスチック系断熱材	ビーズ法ポリスチレンフォーム保温板	持号	0.034	JIS A 9511
		1号	0.036	
		2号	0.037	
		3号	0.04	
		4号	0.043	
	押出法ポリスチレンフォーム保温板	1種	0.04	
		2種	0.034	
		3種	0.028	
	硬質ウレタンフォーム保温板	1種1号	0.024	JIS A 9511
		〃 2号	0.024	
		〃 3号	0.026	
		2種1号	0.023	
		〃 2号	0.023	
		〃 3号	0.024	
	吹付硬質ウレタンフォーム (現場発泡品)		0.026	JIS A 9526
	ポリエチレンフォーム	A	0.038	工業会規格
		B	0.042	
	フェノールフォーム保温板	1種1号	0.033	JIS A 9511
		〃 2号	0.03	
		2種1号	0.036	
		〃 2号	0.034	

## (5) 熱交換器の熱交換能力に関する計算

- 5 熱交換器の定格仕様として表される暖房時、冷房時における設計一次側流体入口温度 $T_{1i,h}$ 、 $T_{1i,c}$  [°C]、設計一次側流体出口温度 $T_{1o,h}$ 、 $T_{1o,c}$  [°C]、設計二次側流体入口温度 $T_{2i,h}$ 、 $T_{2i,c}$  [°C]、設計二次側流体出口温度 $T_{2o,h}$ 、 $T_{2o,c}$  [°C]から対数平均温度差 $\Delta T_{m,h}$ 、 $\Delta T_{m,c}$ を求める

$$\Delta T_{m,h} = \begin{cases} T_{1i,h} - T_{2o,h} & (R_{T,h} = (T_{1i,h} - T_{2o,h}) / (T_{1o,h} - T_{2i,h}) = 1) \\ \{(T_{1i,h} - T_{2o,h}) - (T_{1o,h} - T_{2i,h})\} / \ln\{(T_{1i,h} - T_{2o,h}) / (T_{1o,h} - T_{2i,h})\} & (R_{T,h} \neq 1) \end{cases} \quad (11a)$$

$$\Delta T_{m,c} = \begin{cases} T_{2o,c} - T_{1i,c} & (R_{T,c} = (T_{1i,c} - T_{2o,c}) / (T_{1o,c} - T_{2i,c}) = 1) \\ \{(T_{2o,c} - T_{1i,c}) - (T_{2i,c} - T_{1o,c})\} / \ln\{(T_{1i,c} - T_{2o,c}) / (T_{1o,c} - T_{2i,c})\} & (R_{T,c} \neq 1) \end{cases} \quad (11b)$$

10

式11a、式11bで求めた暖房時、冷房時の対数平均温度差 $\Delta T_{m,h}$ 、 $\Delta T_{m,c}$ が、それぞれ6°C以内、9°C以内となっていることを確認する。

15

## 附属書I オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの熱源水ポンプ群 合計消費電力の計算シートならびに設計の妥当性確認シートについて

本文7.の「熱源水ポンプ群合計消費電力の計算方法」に示した計算方法に従って作成した「オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの熱源水ポンプ群合計消費電力計算シート」の例を図I1に示す。また、附属書H「オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの設計妥当性について確認する方法」に示した計算方法に従って作成した「オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの設計チェックシート」の例を図I2に示す。

「オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの熱源水ポンプ群合計消費電力計算シート」は、オープンループのタイプを選択し、タイプ毎に必要な揚水ポンプ、熱源水ポンプの消費電力、定格流量を入力することで、熱源水ポンプ群合計消費電力を簡便に計算することができるExcelシートである。また、「オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの設計チェックシート」はオープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの設計諸元を入力することで、設計の妥当性を簡便に確認することができる構成となっている。諸元を確認できる図面資料等とあわせて両シートを提出することで、審査の簡略化を図ることを意図して作成されたものである。

両シートは、Webサイト「建築物のエネルギー消費性能に関する技術情報(<http://www.kenken.go.jp/becc/>)」内の「平成28年省エネルギー基準に準拠したエネルギー消費性能の評価に関する技術情報(非住宅建築物)(<http://www.kenken.go.jp/becc/building.html>)」「4.参考資料」内で公開されている(2021年4月時点。Webサイトの構成、URL等は今後変更される可能性がある)。なお、計算方法の変更等に伴い確認シートが修正されることがあるため、最新の確認シートを上記サイト内からダウンロードの上、シート上に記載された注意事項ならびに使用に関する最新の説明資料を確認して使用されたい。

### (1) 使用にあたっての注意事項

両シートは、Microsoft社製表計算ソフトExcelが使用するExcelブック形式(拡張子: xlsx)のファイルを構成する個別のシートとして作成されている。Windows版Excel 2016にて作成され、他のVersionでも動作を確認しているが、すべてのVersionで動作を保証するものではない。

両シートを含むxlsxファイルをダウンロードした際に、WindowsおよびExcelのVersionによっては開けない場合がある(「ファイルが破損しているため開くことができません」といった表示が出ることもある)。その場合はコンピュータのセキュリティ設定によりブロックされている可能性が考えられる。Windowsでは、ファイルのプロパティを確認し(ファイルを選択して右クリック→「プロパティ」を選択)、「全般」タブの一番下の「セキュリティ」の項目で「ブロックの解除」ボタンを押すことでファイルを開ける場合がある(但し、自身の責任で実施されたい)。それでも開けない場合は、OSやセキュリティソフト等の設定を各自で確認されたい。

両シートを含むxlsxファイルではマクロ(Excel VBA)は使用していない。ただし、ファイルを開く際には、一般的な対応としてマクロを無効にすることを推奨する。

### (2) 使用方法

両シートの使い方ならびに他の注意事項については、「使い方」シートならびに「【記入例】シート」を確認されたい。

オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの  
熱源水ポンプ群合計消費電力計算シート (Ver.1.0)

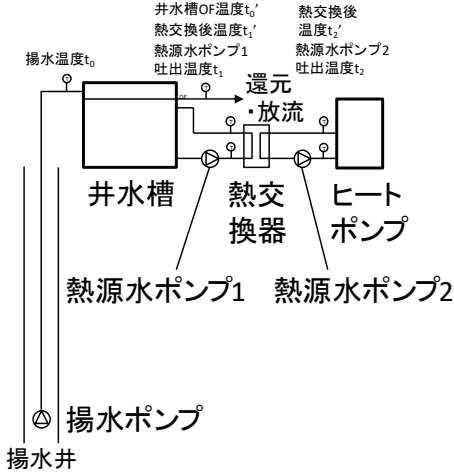
1ページ / 全1ページ

作成日等:	2020/〇/〇
入力者等:	〇〇株式会社 〇〇

建物(等)の名前:	熱源・空調系統:
〇〇事務所	AC01

●入力情報 ※設計したオープンループ型地中熱ヒートポンプシステムについて、各項目の二重線で囲まれた入力欄に入力する。

項目	単位等	入力(選択)	入力(選択)にあたっての注意事項 (注: 記号の下付等が反映されない場合があります)
1) オープンループのタイプ	(選択)	タイプF	※「熱交換器の有無」「井水槽の有無」「熱交換後の熱源水を井水槽に戻すかどうか」により「タイプ」を選択する。選択した「タイプF」は「熱交換器あり」「井水槽あり」「熱交換後の熱源水を井水槽に戻す」で構成される。タイプに応じて、設置されるポンプの性能値を以下に入力する。



2) 揚水ポンプに係る入力			※揚水ポンプの性能値を入力する。
2-1) 揚水ポンプの定格消費電力 $W_0$	[kW]	0.75	※揚水ポンプの定格消費電力、定格流量を入力する。有効桁数4桁で四捨五入して入力する。 ※流量の単位は「L/min」「m³/h」「m³/s」から選択できる(ただし、以下で入力する流量は、すべてここで選択した単位で入力すること)。
2-2) 揚水ポンプの定格流量 $V_0$	[L/min]	50	
3) 熱源水ポンプ1に係る入力			※熱源水ポンプ1の性能値を入力する。
3-1) 熱源水ポンプ1の定格消費電力 $W_1$	[kW]	0.4	※熱源水ポンプ1の定格消費電力、定格流量を入力する。有効桁数4桁で四捨五入して入力する。
3-2) 熱源水ポンプ1の定格流量 $V_1$	[L/min]	100	
4) 熱源水ポンプ2に係る入力			※熱源水ポンプ2の性能値を入力する。
4-1) 熱源水ポンプ2の定格消費電力 $W_2$	[kW]	0.4	※熱源水ポンプ2の定格消費電力を入力する。有効桁数4桁で四捨五入して入力する。

●熱源水ポンプ群合計消費電力の計算 ※計算した  $W'$  を熱源水ポンプ群合計消費電力として一次エネルギー消費量計算プログラムに入力する。

項目	単位	計算値	計算式等 (注: 記号の下付等が反映されない場合があります)
熱源水ポンプ群合計消費電力 $W'$	[kW]	2.3	$W' = (V_1 / V_0) \times W_0 + W_1 + W_2$ $= (100 / 50) \times 0.75 + 0.4 + 0.4 = 2.3$ [kW] ※ $W'$ は有効桁数4桁で四捨五入し、有効桁数3桁までで表示する。

【本シートの使用にあたっては、以下の注意事項を確認し、承諾したものとみなします】  
※「二重枠」に囲まれたセルにオープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの諸元を入力することで、熱源水ポンプ群の合計消費電力を計算できます。  
※オープンループのタイプによって入力・計算等が不要なセルはグレーアウトします。また、赤色のセルが出る場合は入力が必要であり、確認してください。  
※本シートは、地中熱ヒートポンプシステムの諸元を確認できる図面資料等と揃えてまとめて提出することで、審査の簡略化を図ることを意図して作成しています。  
※算定結果の正しさを保証するものではありませんので、使用者の責任において使用してください。  
※入力する数値の桁数は、右側の注意事項を確認して入力してください。指定の桁数を超過して入力しても、計算には反映されません。  
※本シートの使用にあたり操作が不要なセルについては、誤操作を防止するために「ロック」をかけています。ロックは「gshp2020」で解除できます。  
解除後にセル内の数式を変更しますと正しい計算ができなくなることがありますので、ご注意ください。

図I1 「オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの熱源水ポンプ群合計消費電力  
計算シート(Ver.1,0)」における記入例

オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの  
設計チェックシート(Ver.1.0)

1ページ / 全2ページ

作成日等: 2020/○/○

入力者等: ○○株式会社 ○○

建物(等)の名前:	熱源・空調系統:
○○事務所	AC01

●入力情報 ※設計したオープンループ型地中熱ヒートポンプシステムについて、各項目の二重線で囲まれた入力欄に入力する。

項目	単位等	入力(選択)	入力(選択)にあたっての注意事項
1) オープンループのタイプ	(選択)	タイプF	※「熱交換器の有無」「井水槽の有無」「熱交換後の熱源水を井水槽に戻すかどうか」により「タイプ」を選択する。選択した「タイプF」は「熱交換器あり」「井水槽あり」「熱交換後の熱源水を井水槽に戻す」である。タイプに応じて以下に必要事項を入力する。
2) 設計揚水量 $V_w$	[L/min]	50	※揚水試験結果に基づいて設定した設計揚水量を有効桁数3桁までで入力する。入力値の単位は熱源水ポンプ群合計消費電力計算シートと同じとすること。
3) 地中熱ヒートポンプに係る入力		暖房時 冷房時	※地中熱ヒートポンプの暖房時、冷房時の仕様をそれぞれ入力する。
3-1) 地中熱ヒートポンプの定格能力 $Q_h, Q_c$	[kW]	31.5 28	※地中熱ヒートポンプの定格性能を入力する。入力値は水-空気ヒートポンプについては、「JIS B 8616:2015 パッケージエアコンディショナ」の定格条件における値を、水-水ヒートポンプについては、「JIS B 8613:1994 ウォーターチリングユニット」または「JRA 4066:2014 ウォーターチリングユニット」の定格条件における値を入力する。小数点以下2桁で四捨五入して入力する。
3-2) 地中熱ヒートポンプの定格消費電力 $W_h, W_c$	[kW]	8 7	
3-3) ヒートポンプ熱源水入口温度 $T_{i,h}, T_{i,c}$	[°C]	16 21	※地中熱ヒートポンプの熱源水入口・出口温度の設計値を入力する。小数点以下2桁を四捨五入して入力する。
3-4) ヒートポンプ熱源水出口温度 $T_{o,h}, T_{o,c}$	[°C]	12 27	
4) ポンプに係る入力			※ポンプの消費電力、流量の定格値を入力する。
4-1) 揚水ポンプの定格消費電力 $W_0$	[kW]	0.75	※揚水ポンプの定格消費電力、定格流量を入力する。有効桁数4桁で四捨五入して入力する。
4-2) 揚水ポンプの定格流量 $V_0$	[L/min]	50	
4-3) 熱源水ポンプ1の定格消費電力 $W_1$	[kW]	0.4	※熱源水ポンプ1の定格消費電力、定格流量を入力する。有効桁数4桁で四捨五入して入力する。
4-4) 熱源水ポンプ1の定格流量 $V_1$	[L/min]	100	
4-5) 熱源水ポンプ2の定格消費電力 $W_2$	[kW]	0.4	※熱源水ポンプ2の定格消費電力を入力する。有効桁数4桁で四捨五入して入力する。
5) 熱交換器に係るパラメータ		暖房時 冷房時	
5-1) 熱交換器設計一次側流体入口温度 $T_{1i,h}, T_{1i,c}$	[°C]	18 18	※熱交換器の一次側流体(井水側)、二次側流体(地中熱ヒートポンプ側)の入口・出口温度の設計値を入力する。小数点以下2桁を四捨五入して入力する。
5-2) 熱交換器設計一次側流体出口温度 $T_{1o,h}, T_{1o,c}$	[°C]	14 24	
5-3) 熱交換器設計二次側流体入口温度 $T_{2i,h}, T_{2i,c}$	[°C]	12 27	
5-4) 熱交換器設計二次側流体出口温度 $T_{2o,h}, T_{2o,c}$	[°C]	16 21	
6) 井水槽に係るパラメータ			※井水槽のパラメータを入力する。
6-3) 外気に開放された空間に設置されている	(選択)	○	※井水槽が外気に開放された空間に設置されている場合には「○」を選択し、以下の井水槽の断熱性能を入力する。
6-4) 井水槽断熱材の厚さ $l_{ins}$	[mm]	50	※有効桁数4桁を四捨五入して井水槽の断熱材厚さを入力する。入力値の単位は「mm」「cm」「m」から選択できる。
6-5) 井水槽断熱材の熱伝導率 $\lambda_{ins}$	[W/(m・K)]	0.04	※井水槽に設置された断熱材の熱伝導率を入力する。有効桁数4桁を四捨五入して入力する。

●設計の妥当性の確認(抄): **OK** ※附属書Hの確認方法に基づいた設計の妥当性を「OK」であることをもって確認する。詳細は2ページ目を参照のこと。

【本シートの使用にあたっては、以下の注意事項を確認し、承諾したものとみなします】

※「二重枠」に囲まれたセルにオープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの諸元を入力することで、設計の妥当性を確認できます。

※オープンループのタイプによって入力・計算等が不要なセルはグレーアウトします。また、赤色のセルが出る場合は入力が必要ありません。確認してください。

※本シートは、地中熱ヒートポンプシステムの諸元を確認できる図面資料等と揃えてまとめて提出することで、審査の簡略化を図ることを意図して作成しています。算定結果の正しさを保証するものではありませんので、使用者の責任において使用してください。

※入力する数値の桁数は、右側の注意事項を確認して入力してください。指定の桁数を超過して入力しても、計算には反映されません。

※本シートの使用にあたり操作が不要なセルについては、誤操作を防止するために「ロック」をかけています。ロックは「gshp2020」で解除できます。解除後にセル内の数式を変更しますと正しい計算ができなくなる場合がありますので、ご注意ください。

図I2-1 「オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの設計チェックシート(Ver.1.0)」

1ページ目の記入例



建物(等)の名前:	熱源・空調系統:
〇〇事務所	AC01

●設計の妥当性の確認				※附属書Hの確認方法に基づき設計の妥当性を確認する。以下の項目がすべて「OK」であることをもって確認する。
項目	確認の結果		妥当性を確認する計算式等 (注: 記号の下付等が反映されない場合がある)	
	暖房時	冷房時		
【タイプC, F】揚水量と熱源水の循環流量のバランスはとれているか	OK	OK	$1 < n_h = 1.68 \leq 2 \rightarrow \text{OK}$ $1 < n_c = 1.67 \leq 2 \rightarrow \text{OK}$	
【タイプB, C, E, F】【井水槽が外気に開放されている空間に設置】井水槽断熱材の熱抵抗は十分か	OK		$R_{ins} = 1.25 \geq 1.1 \text{ [m}^2\text{K/W]} \rightarrow \text{OK}$	
【タイプD, E, F】熱交換器の対数平均温度差が規定の範囲に収まっているか	OK	OK	$\Delta T_{m,h} = 2 \text{ [}^\circ\text{C]} \leq 6 \text{ [}^\circ\text{C]} \rightarrow \text{OK}$ $\Delta T_{m,c} = 3 \text{ [}^\circ\text{C]} \leq 9 \text{ [}^\circ\text{C]} \rightarrow \text{OK}$	

●計算過程				※以下に附属書Hにおける設計の妥当性を確認するための計算の過程が示される。
項目	単位	計算値		計算式等 (注: 記号の下付等が反映されない場合がある)
a) 必要熱源水量の計算		暖房時	冷房時	※地中熱ヒートポンプに必要とされる熱源水量を計算する。
a-1) 熱源水利用温度差 $\Delta T_h, \Delta T_c$	[ $^\circ\text{C}$ ]	4	6	$\Delta T_h = T_{l,i,h} - T_{l,o,h} = 18 - 14 = 4 \text{ [}^\circ\text{C]}$ $\Delta T_c = T_{o,i,c} - T_{l,i,c} = 24 - 18 = 6 \text{ [}^\circ\text{C]}$ ※計算値は小数点以下2桁を四捨五入する。
a-2) 最大熱交換量 $Q_h - W_h, Q_c + W_c$	[kW]	23.5	35	$Q_h - W_h = 31.5 - 8 = 23.5 \text{ [kW]}$ $Q_c + W_c = 28 + 7 = 35 \text{ [kW]}$ ※計算値は小数点以下2桁を四捨五入する。
a-3) 必要熱源水量(冷暖別) $V_h, V_c$	[L/min]	84.1	83.5	$V_h = (Q_h - W_h) / (c_p \Delta T_h) = 23.5 / (4.19 \times 1000 \times 4) \times 60000 = 84.1 \text{ [L/min]}$ $V_c = (Q_c + W_c) / (c_p \Delta T_c) = 35 / (4.19 \times 1000 \times 6) \times 60000 = 83.5 \text{ [L/min]}$ ※計算値は有効桁数4桁を四捨五入する。 ※式中の数値「1000」「60000」は単位変換に用いる係数である。
a-4) 必要熱源水量 $V_{MAX}$	[L/min]	84.1		$V_{max} = \text{MAX}[V_h, V_c] = 84.1 \text{ [L/min]}$
c) 揚水量と熱源水循環流量のバランスに関する計算		暖房時	冷房時	※タイプC, Fでは、揚水量と熱源水循環流量のバランスに関する計算を行う。
c-1) 流量比 $n_h, n_c$	[-]	1.68	1.67	$n_h = V_h / V_w = 84.1 / 50 = 1.68 \text{ [-]}$ $n_c = V_c / V_w = 83.5 / 50 = 1.67 \text{ [-]}$ ※計算値は有効桁数4桁を四捨五入する。
d) 井水槽の断熱材に関する計算	※井水槽が外気に開放されている空間に設置されている場合は、井水槽断熱材の熱伝導抵抗について計算する。			
d-1) 井水槽断熱材の熱伝導抵抗 $R_{ins}$	[ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]	1.25		$R_{ins} = l_{ins} / \lambda_{ins} = (50 / 1000) / 0.04 = 1.25 \text{ [m}^2\text{K/W]}$ ※計算値は有効桁数4桁を四捨五入する。 ※式中の数値「1000」は単位変換に用いる係数である。
e) 熱交換器に関する計算		暖房時	冷房時	※タイプD, E, Fでは、熱交換器の熱交換能力に関して計算する。
e-1) 対数平均温度差 $\Delta T_{m,h}, \Delta T_{m,c}$	[ $^\circ\text{C}$ ]	2	3	$\Delta T_{m,h} = T_{l,i,h} - T_{2,o,h} = 18 - 16 = 2$ $\Delta T_{m,c} = T_{2,o,c} - T_{l,i,c} = 21 - 18 = 3$ ※計算値は小数点以下2桁を四捨五入する。

【本シートの使用にあたっては、以下の注意事項を確認し、承諾したものとみなします】

※「二重枠」に囲まれたセルにオープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの諸元を入力することで、設計の妥当性を確認できます。

※オープンループのタイプによって入力・計算等が不要なセルはグレーアウトします。また、赤色のセルが出る場合は入力が必要ではありません。確認してください。

※本シートは、地中熱ヒートポンプシステムの諸元を確認できる図面資料等と揃えてまとめて提出することで、審査の簡略化を図ることを意図して作成しています。算定結果の正しさを保証するものではありませんので、使用者の責任において使用してください。

※入力する数値の桁数は、右側の注意事項を確認して入力してください。指定の桁数を超過して入力しても、計算には反映されません。

※本シートの使用にあたり操作が不要なセルについては、誤操作を防止するために「ロック」をかけています。ロックは「gshp2020」で解除できます。解除後にセル内の数式を変更しますと正しい計算ができなくなることがありますので、ご注意ください。

図I2-2 「オープンループ型地中熱ヒートポンプシステムの設計チェックシート(Ver.1,0)」

2ページ目の記入例