

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

目 次

第1章 総則	- 1 -
1.1 背景・目的	- 1 -
1.2 用語の定義	- 2 -
第2章 基本事項	- 4 -
2.1 適用範囲	- 4 -
第3章 計画編	- 5 -
3.1 導入検討	- 5 -
3.2 導入計画	- 5 -
第4章 設計編	- 6 -
4.1 一般事項	- 6 -
4.2 地中熱交換井の算定.....	- 10 -
4.3 必要熱量の算出.....	- 11 -
4.3.1 空調利用の場合.....	- 11 -
4.3.2 給湯利用の場合.....	- 11 -
4.3.3 融雪利用の場合.....	- 11 -
4.4 単位長さ当たりの熱交換量の算出.....	- 12 -
4.4.1 実績値による場合.....	- 12 -
4.4.2 熱応答試験（サーマルレスポンステスト/TRT）による場合.....	- 12 -
4.5 地中熱交換器総延長の算出.....	- 22 -
4.6 地中熱交換井の本数の算出.....	- 23 -
4.7 循環ポンプの算定.....	- 24 -
第5章 施工編	- 25 -
5.1 一般事項	- 25 -
5.2 事前調査	- 25 -
5.3 けい砂等の充てん.....	- 25 -
5.4 試験	- 26 -
5.5 報告書	- 26 -

第6章 維持管理編	- 27 -
6.1 一般事項	- 27 -
6.2 定期点検等及び保守.....	- 27 -
6.2.1 地中熱ヒートポンプ.....	- 27 -
6.2.2 不凍液	- 27 -
第7章 評価編	- 28 -
7.1 目的	- 28 -
7.2 評価方法	- 28 -
7.2.1 運転管理評価.....	- 28 -
7.2.2 エネルギー評価.....	- 31 -
7.2.3 環境評価.....	- 32 -
7.3 計測・計量項目.....	- 33 -
7.4 計測機器の設置と測定.....	- 33 -

第 1 章 総則

1.1 背景・目的

平成 5 年、関係各国は国連のもと大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを究極の目標とする「国連気候変動枠組条約」を採択し、地球温暖化対策に世界全体で取り組んでいくことに合意した。この実現のため、先進国の温室効果ガス排出量について、法的拘束力を持つ数値目標を設定した「京都議定書」が議決され、平成 17 年に発効した。

我が国では、この目標を達成するための「京都議定書目標達成計画」及び政府機関の目標を定めた「政府の実行計画」を策定した。この「政府の実行計画」では平成 22 年度から平成 24 年度までの温室効果ガス総排出量の平均を平成 13 年度比で 8%削減すること、及びそのための様々な対策を定めている。また、平成 25 年度以降も新たな「政府の実行計画」の策定に至るまでの間、現行の「政府実行計画」と同等以上の取組を推進することを地球温暖化対策推進本部において決定している。

これらを踏まえ、省エネルギーとエネルギーの有効活用を推進するとともに、再生可能エネルギーの導入が今後必要とされている。

再生可能エネルギーの一つとして地中熱を利用したヒートポンプが普及しつつあるが、これは太陽光や風力と異なり天候等に左右されないシステムである。「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）（以下、「本ガイドライン」という。）」は、再生可能エネルギーの導入を促進し、地球温暖化対策やヒートアイランド現象の緩和のさらなる推進に資するため、設計手法、施工方法、効果の評価手法についてガイドラインとしてまとめたものである。

1.2 用語の定義

本ガイドラインにおいて用いる用語の定義は、次の通りとする。

(1) 地中熱利用システム

地中の温度は年間を通じてほぼ一定で、その地域の平均気温程度である。地中熱利用システムは、夏季には外気温より低く、冬季には外気温より高いという地中の熱エネルギーを利用するシステムをいう。

(2) 地中熱交換井

地中熱交換器を挿入するため、地下数十から百数十 m に掘さくした垂直孔（井戸）をいう。

(3) 地中熱交換器の分類

クローズド・ループ型とオープン・ループ型があり、クローズド・ループ型は垂直埋設型と水平埋設型に分けられる。

(4) 地中熱交換器の形状

「公共建築工事標準仕様書（機械設備工事編） 第 7 編 さく井設備工事 第 3 章 地中熱交換井設備 第 1 節 機材及び施工 3.1.2 地中熱交換器」による。

(5) 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。

(6) ボアホール方式

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。

(7) 年間熱収支

夏季に地中に放出した熱（放熱量）と冬季に地中から採取した熱（採熱量）を合せたものをいう。

(8) 熱応答試験

サーマルレスポンステスト（TRT）とも言い、地中熱交換井に地中熱交換器を挿入し、実際に熱媒（水）を循環させ、熱媒の温度や地中温度の推移によって地盤の熱特性や熱交換能力を予測する試験をいう。

(9) 代表井

地中熱交換井内の温度を計測するため、地中熱交換器側壁の深度毎に温度計を設置した井戸をいう。熱応答試験を行うために使用した地中熱交換井もこれに該当する。

(10) 観測井

地中熱利用周辺地域の地下水等への変動を観測するための井戸をいう。

(11) 有効熱伝導率

地層を構成する種々の地層の熱伝導率と地層中の帯水層を流れる地下水等の影響を含めた地中熱交換器全体の熱伝導率をいう。

(12) 清水（せいすい）

澄んだきれいな水。一般的に水道水、河川水等をいう。

(13) ベントナイト

モンモリロナイトという鉱物を主成分とする粘土の名称。

(14) けい砂

二酸化ケイ素を主成分とする砂に対する工業原料としての呼称。ケイ酸の含有量と粒度分布によりいくつかの等級に分類される。

(15) 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。二次側に冷温水を供給する間接式（水-水ヒートポンプ）と冷媒を供給する直膨式（水-冷媒ヒートポンプ）に分けられる。

第2章 基本事項

2.1 適用範囲

本ガイドラインは、次の場合に適用するものとする。

- (1) 地中熱利用システムは、空調用、給湯用及び融雪用として利用するものとする。
- (2) 地中熱交換器は、クローズド・ループ型とする。
- (3) 地中熱交換方式は、垂直埋設型のボアホール方式とする。(図2-1 参照)

(オープン・ループ型は地下水等を直接利用することから地方自治体の条例の規制を受ける場合があるため対象外とした。垂直埋設型の基礎杭方式は、地中熱交換量の想定が困難で、施工管理が複雑である。また、水平埋設型は、実証試験段階であるためそれぞれ対象外とした。)

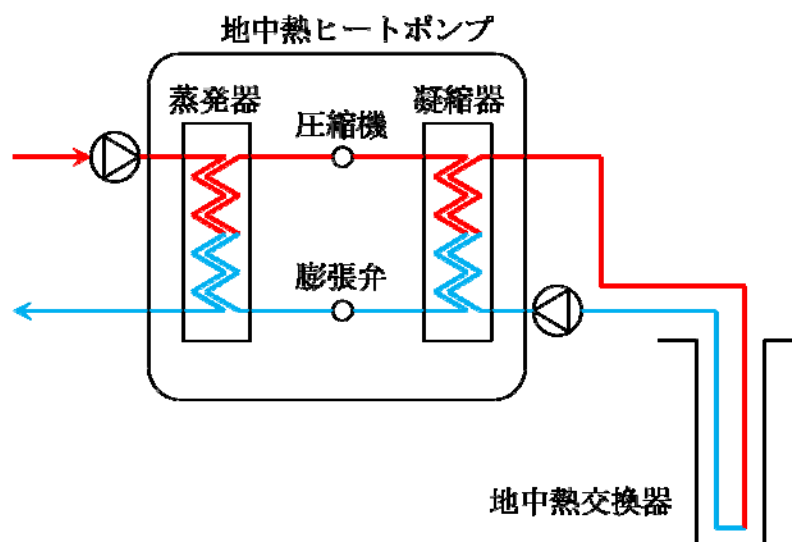


図2-1 ボアホール方式のシステム図（冷房時の場合）

第3章 計画編

3.1 導入検討

地中熱利用システムの導入にあたっては、施設の規模、敷地状況、熱需要等を考慮し、環境負荷低減に有効と考えられる場合に採用を検討する。

3.2 導入計画

地中熱利用システムの導入検討手順を図3-1に示す。

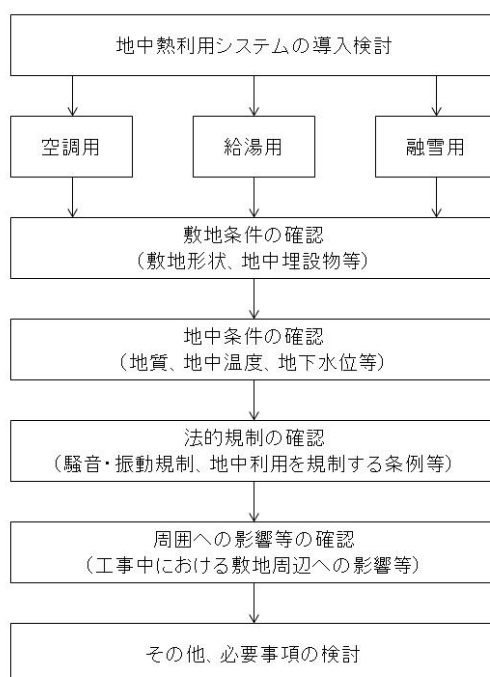


図3-1 地中熱利用システムの導入検討手順

第4章 設計編

4.1 一般事項

- (1) 冷房時における地中への放熱量と暖房時における地中からの採熱量の年間熱収支に留意する。

なお、放熱量と採熱量が著しく異なる場合は、地中温度の回復が十分に行われず、必要とする熱交換量が得られないことが懸念されるため、地中熱ヒートポンプ稼働時間、熱媒温度等の運転条件を考慮する。
- (2) 地中熱交換井の掘さく工法は、設置場所の施工条件、周囲状況並びに地層、地下水流動等の地質条件を考慮して表 4-1 により決定する。
- (3) 地中熱交換井の掘さく間隔は、孔芯間隔で 4m 以上（5m を標準）とする。
- (4) 地中熱交換器の配管方式は、ヘッダー方式、直列方式及び並列方式（リバースリターン方式）の 3 つの方式がある。本ガイドラインでは、原則としてヘッダー方式*1 とする。（図 4-1、図 4-2 参照）
- (5) 地中熱交換器の形状は、地中熱交換量の増加（シングル U チューブ型の 20～30% 増）が見込めるダブル U チューブ型を検討する。
- (6) 地中熱交換器からヘッダーまで*2 は、原則として呼び径 25 とする。また、配管材料は、高密度ポリエチレン管（PE100）で SDR（SDR＝管の外径/管の肉厚）が 11 以下のものとし、JIS K 6762（水道用ポリエチレン二層管）の熱安定性、内圧クリープを満足したものとする。
- (7) ヘッダーから地中熱ヒートポンプまで*3 の屋外埋設部分の配管材料は、「公共建築工事標準仕様書（機械設備工事編）」で規定されたポリエチレン管とし、原則として保温を行わない。（ヘッダーピット内を除く。）ただし、屋外露出又は寒冷地等における凍結防止対策として保温を行う場合は、特記する。
- (8) 地中熱交換器に使用する熱媒は、原則として水とする。ただし、寒冷地等における凍結防止対策として不凍液の使用を検討する場合は、機器に対する影響、安全性及び環境性等を考慮し、表 4-3 により決定する。
- (9) 循環ポンプは、熱源水の凍結を防止するために、タイマー等による強制運転を検討する。

注 *1 地中熱交換器からヘッダーまで 1 組ずつ単独に導いているためエア抜きを確実に行うことができ、また、地中熱交換器に万が一トラブルが発生した場合にでも対処できるためヘッダー方式とした。

*2 「地中熱交換器からヘッダーまで」とは、図 4-1 の①の範囲とする。

*3 「ヘッダーから地中熱ヒートポンプまで」とは、図 4-1 の②の範囲とする。

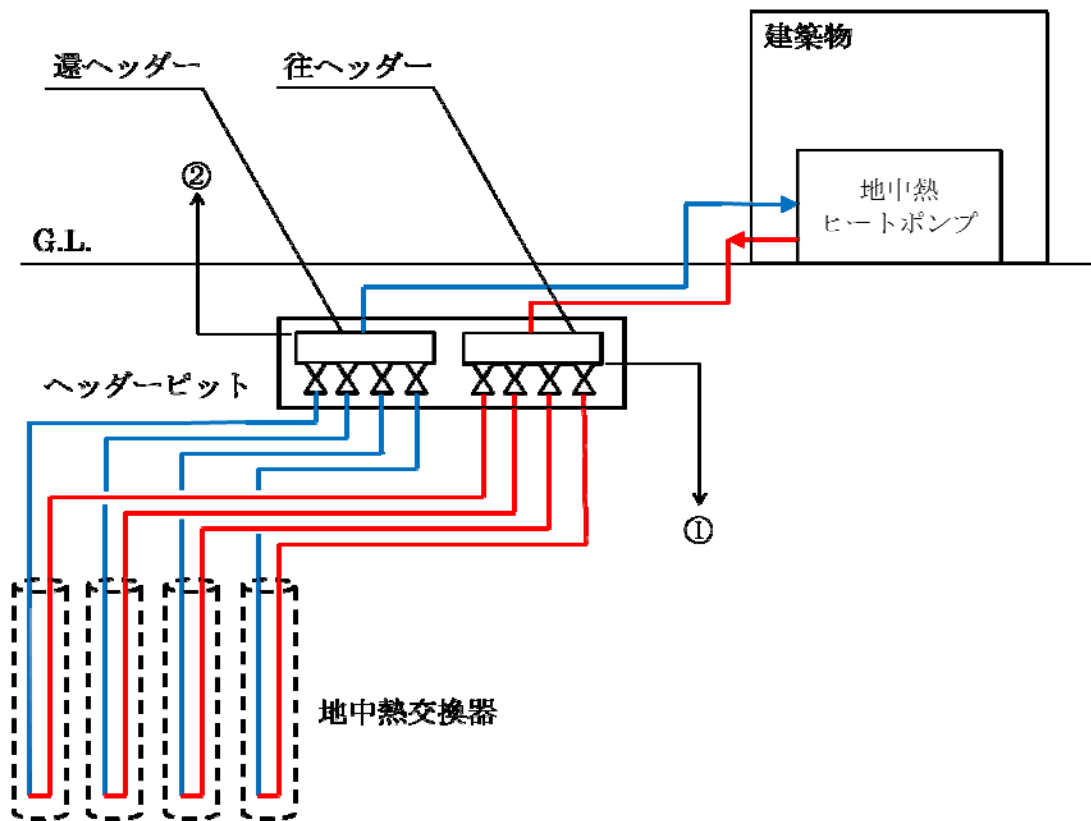


図 4-1 ヘッダー方式（冷房時の場合）

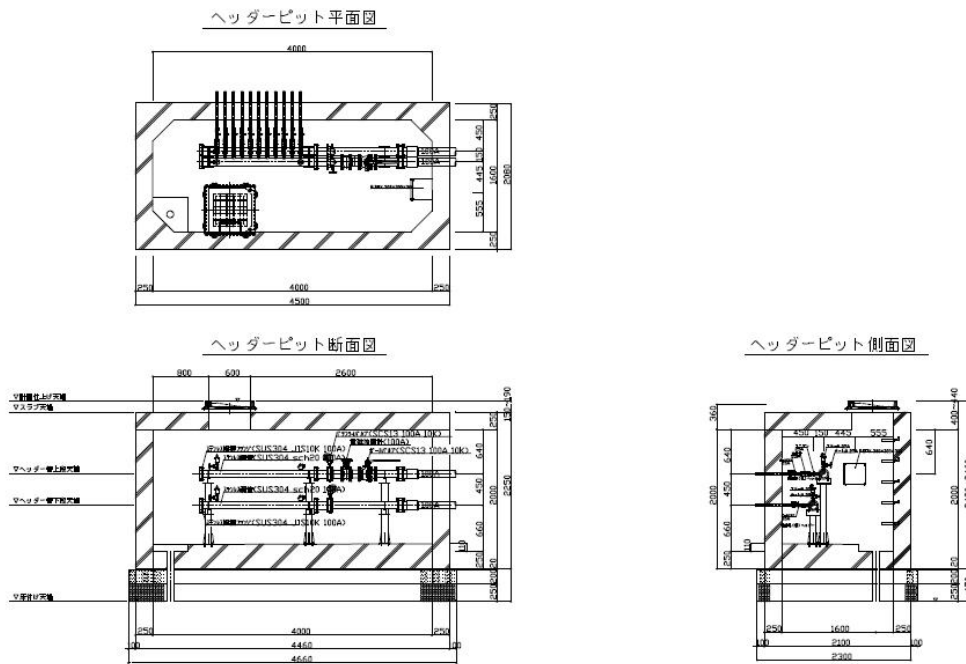


図 4-2 ヘッダーピット詳細図（参考）

表 4-1 掘さく工法の分類と特徴

工 法 項 目	回転振動式	ロータリー式	ダウンザホール ハンマ式	ロータリー パーカッション式		
	一重管・二重管*1	一重管	一重管	一重管	二重管	
工法の概要	ロッドの回転と振動により掘り進む。金属打撃音がないので、パーカッション式より低騒音で、高速。自走式で、複数の削孔が容易である。振動による掘さくであるため一重管の場合は硬い層にあたると掘さくが困難である。	ビット(刃)を取り付けたボーリングロッドの回転により削孔する。先端から掘さく流体が噴出、スライムを搬出する。全地質に適応だが施工日数が多くなる。	ロッドの先端に取り付けたエア－ハンマーによりビットに打撃を与え、掘り進む。先端にハンマーがついているため打撃力のロスがなく、エア－の圧力(0.7MPa～2.4MPa)により軟岩から硬岩まで掘さく可能であるが軟弱層については不向きである。	ロッドの回転と打撃によって掘り進む。ロータリー式より掘さく速度が大きい。自走式のマシンが普及し、複数の削孔が容易である。騒音は大きいが全地質に対応可能である。		
搬入・仮設	○	△(周辺機材多い)	○	○		
複数孔の施工	◎	△	◎	◎		
施工面積	80～100m ²					
プラント面積*2	100～150m ²					
その他必要面積*2	資材置場、車両スペースを確保					
必要最大運搬車両	20t トレーラー	11t トラック	20t トレーラー	13t トレーラー		
発電機	要					
掘さく流体*3	要	要	不要	要		
掘さく径*4	100～180φ	100～300φ	100～180φ	100～180φ		
掘さく深さ(GL-)	50～150m	50～200m	50～150m	50～150m		
排泥処理	要					
作業人員	4～5名					
騒音*5	85dB 以下					
100m×10本当たり 延べ施工日数*6	40～60日	90日程度	40～60日	40～60日		
100m当たり地中熱 交換井施工日数	3～5日	5～7日	3～5日	3～5日		
地 質	粘 土	○	○	△	△	◎
	砂・砂れき	◎	○	○	○	◎
	玉 石	△	△	○	△	◎
	軟 岩	○	△	◎	○	◎
	硬 岩	×	△	◎	△	△

凡例 ◎：容易 ○：標準 △：やや劣る ×：劣る

注 *1 一重管式は、岩盤層のような強固な地盤の場合に採用する。また、二重管式は、孔壁保護のために外側に鋼管製のケーシングを挿入するものであり、砂れき層のような軟弱地盤の場合に採用する。

*2 プラント機材や資材としては次のようなものである。

プラント機材：掘さくポンプ、泥水処理設備、タンク（掘さく水循環槽、貯水槽等）、発電機（必要な場合）、
圧縮機（必要な場合）等

資材：掘さくロッド、Uチューブ、充てん材（けい砂等）等

*3 掘さく流体は、一般的に清水又はベントナイト泥水が使用される。ベントナイト泥水を使用する場合は、ベントナイトの低い熱伝導率や地下水流れの遮断により熱交換能力の低下が懸念されるため注意する。

*4 地中熱交換器の形状と掘さく径を、表 4-2 に示す。

表 4-2 地中熱交換器の形状と掘さく径

配管呼び径	地中熱交換器の形状	掘さく径
25、30*7	シングルUチューブ	100φ（一重管）～160φ（二重管）
	ダブルUチューブ	130φ（一重管）～180φ（二重管）

*5 騒音値は敷地境界線での値であり、規制地域での時間及び区域の区分による規制基準によることとし、適切な防音措置を講じる。

*6 施工準備から撤去・後片付けまでの日数である。

*7 呼び径 30 は、25 と比べて配管の表面積が増えることによって地中熱交換量の増加が見込めるが、掘さく径が大きくなることを考慮し検討する。

表 4-3 不凍液の主な特性

種 類		特 性	腐食性 (金属)	粘性	引火性	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	酢酸カリウムなど		△	○	○	○	○

注 * 化学物質排出把握管理促進法（PRTR 法）が平成 22 年 4 月に改正されたことにより、エチレングリコールが第 1 種指定物質から除外された点を考慮した。

4.2 地中熱交換井の算定

地中熱交換井の算定手順は、図 4-3 による。

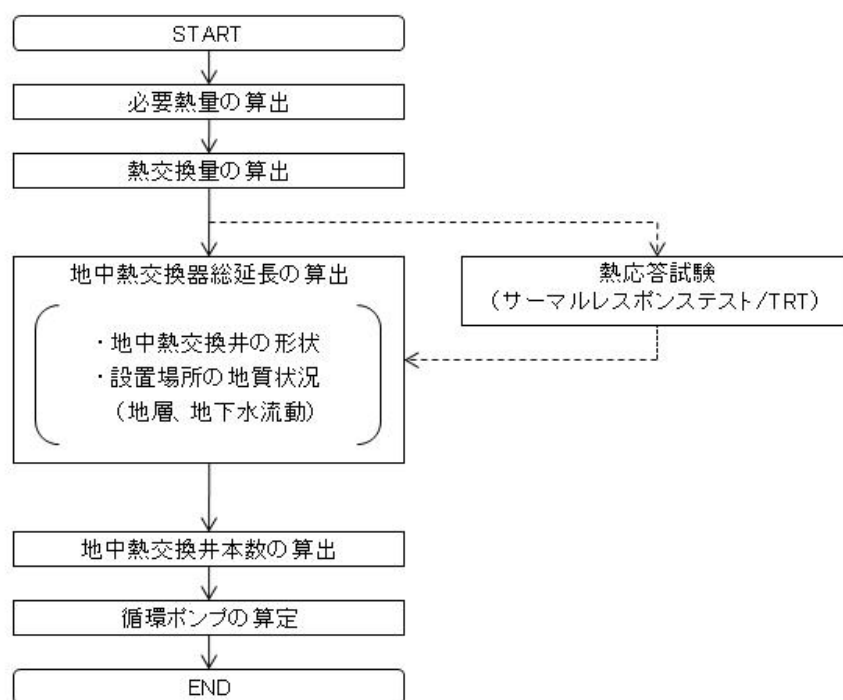


図 4-3 地中熱交換井の算定手順

4.3 必要熱量の算出

4.3.1 空調利用の場合

- (1) 冷房負荷 q_m [W] の算出方法は、「建築設備設計基準 第4編 空気調和設備 第1章 熱負荷計算 第2節 冷房負荷計算」による。
- (2) 暖房負荷 q_h [W] の算出方法は、「建築設備設計基準 第4編 空気調和設備 第1章 熱負荷計算 第3節 暖房負荷計算」による。

4.3.2 給湯利用の場合

給湯量 Q [L/min] の算出方法は、「建築設備設計基準 第5編 給排水衛生設備 第3章 給湯設備 第2節 湯沸器等」の当該事項による。

4.3.3 融雪利用の場合

温水パイプ発熱量 Q [W] の算出方法は、「建築設備設計基準 第7編 共通編 第7章 寒冷地及び多雪地対策 第3節 融雪装置」の当該事項による。

$$Q = A (q_o + q_d)$$

ここに、 Q : 温水パイプ発熱量 [W]

A : 所要面積 [m²]

q_o : 融雪負荷 [W/m²]

q_d : 下部放熱量 [W/m²] (≒ (0.2~0.3) · q_o)

4.4 単位長さ当たりの熱交換量の算出

単位長さ当たりの熱交換量の算出には、実績値による場合と熱応答試験（サーマルレスポンステスト/TRT）による場合がある。

4.4.1 実績値による場合

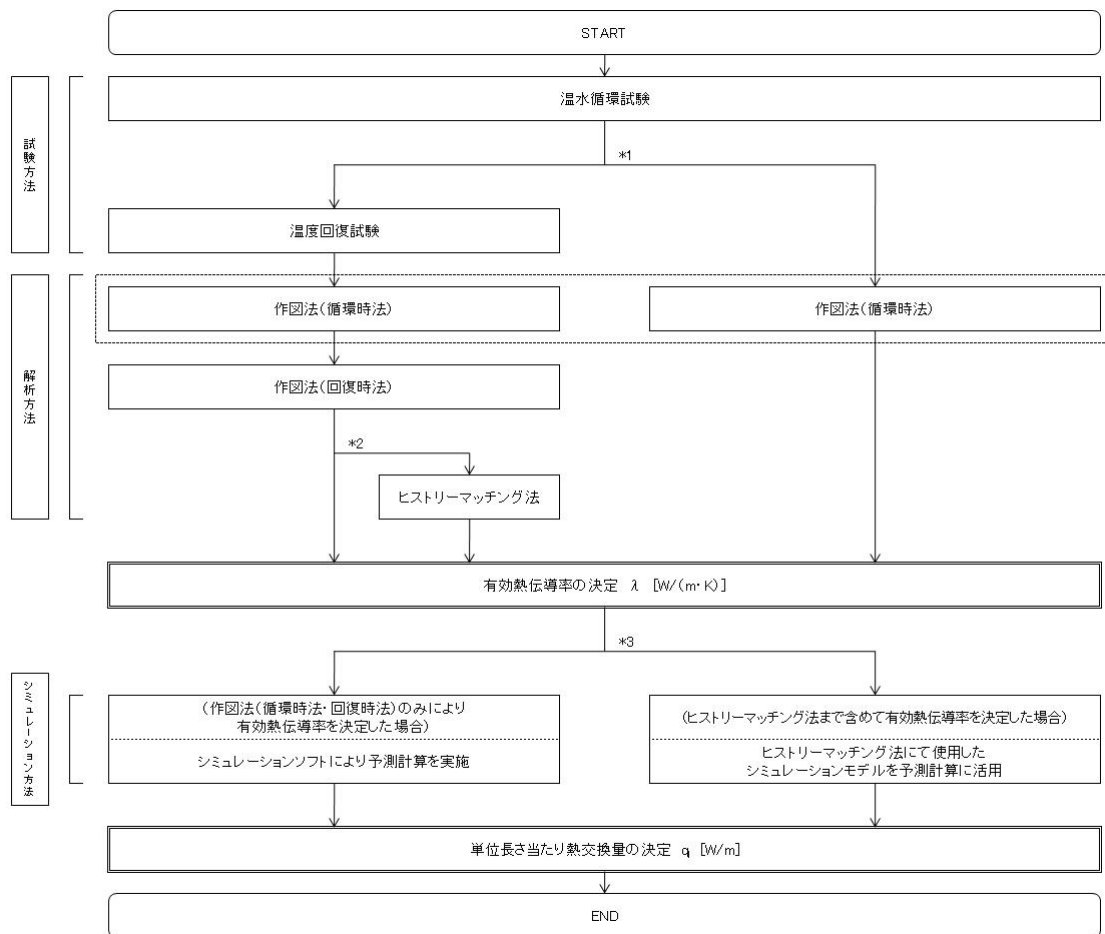
q_1 : 単位長さ当たりの熱交換量 [W/m] (= 60、標準)
(= 50~70、一般事務庁舎（空調利用）の場合（平日 8 時間、冷房時 3 か月、暖房時 4 か月）)
(= 30~40、上記以外の場合)

4.4.2 熱応答試験（サーマルレスポンステスト/TRT）による場合

熱応答試験は、実際の地中熱交換器に熱媒（水）を循環させ、熱媒の温度や地中温度の推移によって地盤の熱特性や熱交換能力を予測するために行う。

作図法（循環時法）、作図法（回復時法）及びヒストリーマッチング法の二つ以上の解析方法を用いて有効熱伝導率 λ [W/ (m · K)] を決定し、シミュレーションソフトを用いて単位長さ当たりの熱交換量 q_1 [W/m] を決定する。

熱応答試験の解析手順は、図 4-4 による。



注 *1 簡易的に有効熱伝導率 λ [W/(m·K)]を算出する場合（通常は、精度の低下が懸念されるため選択しない。）

*2 作図法は、熱量一定に基づくため、片対数グラフ作成時に、明確な直線部が得られない場合は、温水循環試験を再度実施するか、歴史マッチング法により有効熱伝導率の決定を行う。

*3 解析方法で歴史マッチング法を選択した場合

図 4-4 熱応答試験の解析手順

(1) 試験方法は、次による。

① 温水循環試験 (図 4-5 参照)

ヒーター*1によって加熱された水を地中熱交換器内に循環させて、地中熱交換器の循環水の出入口温度や流量*2等をモニタリングする。

なお、モニタリング時間は、連続 60 時間以上とする。

注 *1 ヒーターの加熱量は、単位長さ当たりの熱交換量が 30W/m～70W/m となるように決定する。

*2 循環流量は、シングル U チューブの場合は約 10L/min、ダブル U チューブの場合は約 20L/min とする。

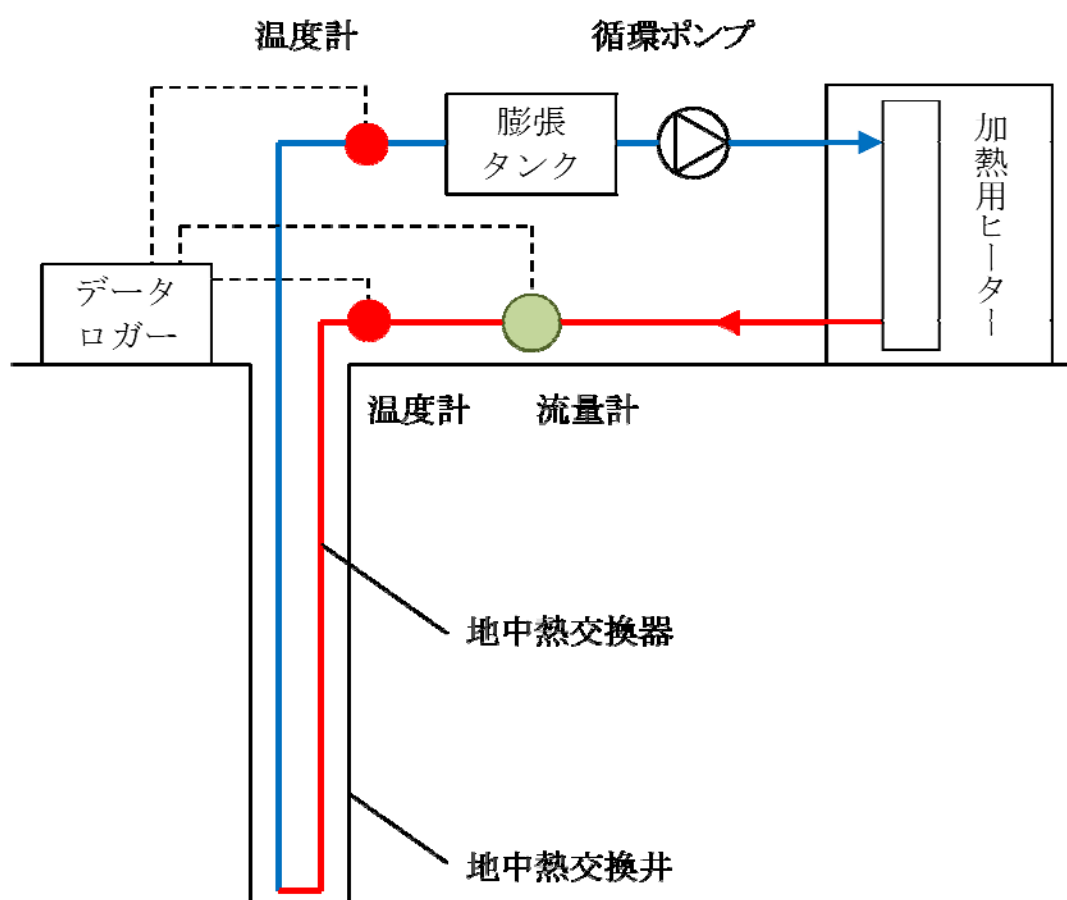


図 4-5 温水循環試験の概要図

② 温度回復試験

温水循環試験終了後に地中熱交換井内の地中熱交換器側壁に事前に設置した温度計により地中熱交換井内の温度回復状況をモニタリングする。

なお、モニタリング時間は、連続 72 時間以上とする。

(2) 解析方法は、作図法（循環時法）、作図法（回復時法）及びヒストリーマッチング法とし、二つ以上の方法を用いて有効熱伝導率 λ [W/(m・K)]を決定する。

土壌・岩盤の有効熱伝導率と熱容量の参考値を表 4-4 に示す。

表 4-4 土壌・岩盤の有効熱伝導率と熱容量

	有効熱伝導率[W/(m・K)]		熱容量[MJ/(m ³ ・K)]	
	飽和*1	不飽和*2	飽和	不飽和
砂	1.53	1.19	3.03	2.15
砂れき	2.0			
シルト	1.44			
粘土	1.27	0.92	3.13	2.14
火山灰	1.18	0.90	3.05	2.01
泥炭	1.22	0.88	3.20	2.07
ローム層	1.0	0.72		
岩（重量）	3.1			
岩（軽量）	1.4			
花崗岩	3.5			

出典：「地中熱ヒートポンプシステム 北海道大学 地中熱利用システム工学講座」より

注 *1 飽和とは、地下水位以深をいう。

*2 不飽和とは、地下水位以浅^{いせん}をいう。

① 作図法（循環時法）

温水循環試験中の地中熱交換器出入口温度の平均値にケルビンの線源理論を適用し、経時変化曲線の傾きから地層の有効熱伝導率を推定する手法。

解析方法（理論）

ケルビンの線源理論によると、ある無限固体内に位置する無限長さの線熱源から一定熱量 q が発生するとき、ある任意の径方向位置における温度変化が求められる。これは、ある均一な土壌内に地中熱交換器が埋設され、その表面に一定の熱量が流入するときの温度応答として置き換えて考えることができる。特に、フーリエ数と呼ばれる無次元時間が十分に大きな範囲では、式（1）のように、温度 T は経過時間 t の関数である自然対数を用いて表される。 q が一定のとき、 m' 、 b は定数となり、さらに m' は q と熱伝導率 λ を用いて、式（2）で表される。

$$T = m' \cdot \ln (t) + b \quad (1)$$

$$m' = \frac{q}{4 \pi \lambda} \quad (2)$$

式（1）において

$$m' = \frac{m}{\ln (10)} \quad (3)$$

とすると、自然対数が常用対数に変換され、式（4）となる。

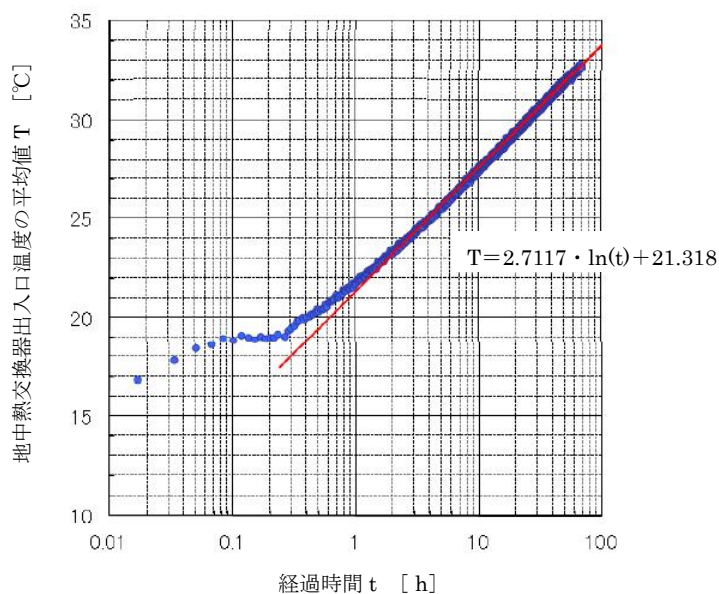
$$T = m \cdot \log (t) + b \quad (4)$$

式（2）及び式（3）より、熱伝導率 λ は、式（5）に示すように q と m の値を用いて表される。

$$\lambda = \frac{0.183 \cdot q}{m} \quad (5)$$

解析方法（具体例）

【手順1】 温水循環試験結果を基に、経過時間 t [h] の対数を横軸、地中熱交換器出入口温度の平均値 T [°C] を縦軸にとり、片対数グラフを作成する。



【手順2】 片対数グラフの近似直線を汎用表計算ソフト等から求め、傾き m' を決定する。

$$T = 2.7117 \cdot \ln(t) + 21.318$$

ここで、 $T = m' \cdot \ln(t) + b$ より

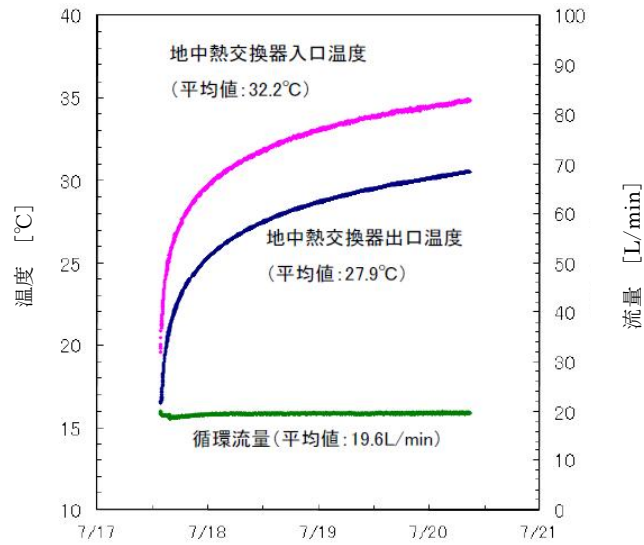
$$m' = 2.7117$$

【手順3】 自然対数を常用対数に変換し、 m を求める。

$$m' = \frac{m}{\ln(10)} \text{ より}$$

$$\begin{aligned} m &= m' \cdot \ln(10) \\ &= 2.7117 \times 2.30258 = 6.24 \end{aligned}$$

【手順4】 経過時間毎に熱交換量 q_i [W/m] を算出し、その平均値を熱交換量 q [W/m] とする。（この例では、循環試験時間は 67 時間で計測間隔は 1 分であるので、 $67[\text{h}] \times 60[\text{min}] = 4,020$ 個の計測点がある。）



$$q_i = \frac{L_i \cdot C \cdot \rho \cdot \Delta t_i \cdot 10^3}{60 \cdot D}$$

ここに、 Δt_i : ある時間における地中熱交換器出入口温度差 [°C]

L_i : ある時間における循環流量 [L/min]

C : 水の比熱 [kJ/(kg·K)] (=4.19)

ρ : 水の密度 [kg/L] (=1.0)

D : 地中熱交換器長さ [m]

$$q = \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_{4,020}}{4,020}$$

$$= 56.5$$

(参考) それぞれの平均値で熱交換量を算出した場合

$$q = \frac{19.6[\text{L/min}] \times 4.19[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})] \times 1.0[\text{kg/L}] \times (32.2 - 27.9)[\text{°C}]}{60 \times 104.3[\text{m}]} \approx 0.05643[\text{kW/m}] = 56.4[\text{W/m}]$$

【手順 5】有効熱伝導率 λ [W/(m·K)] を算出する。

$$\lambda = \frac{0.183 \cdot q}{m}$$

$$= \frac{0.183 \times 56.5}{6.24} = 1.66$$

② 作図法（回復時法）

温水循環試験終了後の地層内温度挙動にケルビンの線源理論を適用し、経時変化曲線の傾きから地層の有効熱伝導率を推定する手法。

解析方法（理論）

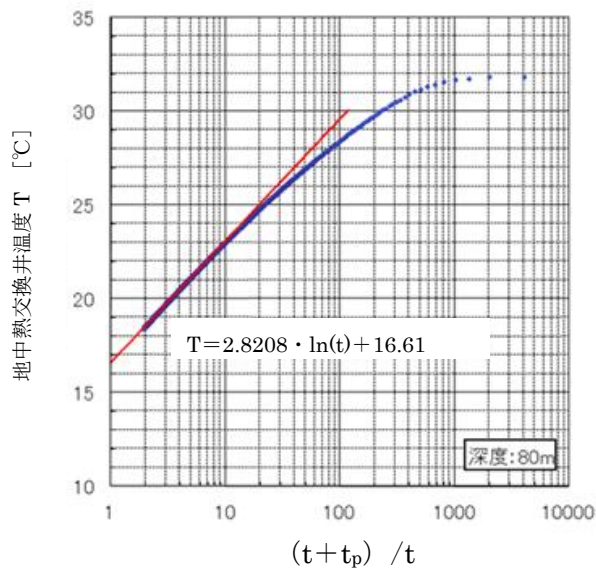
循環時法と同様に、ケルビンの線源理論を適用し、熱媒体の総循環時間を t_p とすると、初期地層温度 T_i と循環終了後時間 t 経過後の温度 T_s の関係は、式（6）で表される。

$$T_s - T_i = m \cdot \log \frac{t + t_p}{t} \quad (6)$$

ここで、 m は、式（4）中の m と同一である。以降については、循環時法と同様に式（5）式より、熱伝導率 λ を算出する。

解析方法（具体例）

【手順1】 温度回復試験結果を基に、温度計を設置した深度毎に、ホーナー時間 $(t + t_p)$ / t の対数を横軸、地中熱交換井温度 T [°C] を縦軸にとり、片対数グラフを作成する。（この例では、深度 80m 付近とした。）



【手順2】 片対数グラフの近似直線を汎用表計算ソフト等から求め、傾き m' を決定する。

$$T = 2.8208 \cdot \ln(t) + 16.61$$

ここで、 $T = m' \cdot \ln(t) + b$ より

$$m' = 2.8208$$

【手順3】自然対数を常用対数に変換し、 m を求める。

$$m' = \frac{m}{\ln(10)} \text{ より}$$

$$m = m' \cdot \ln(10)$$

$$= 2.8208 \times 2.30258 = 6.50$$

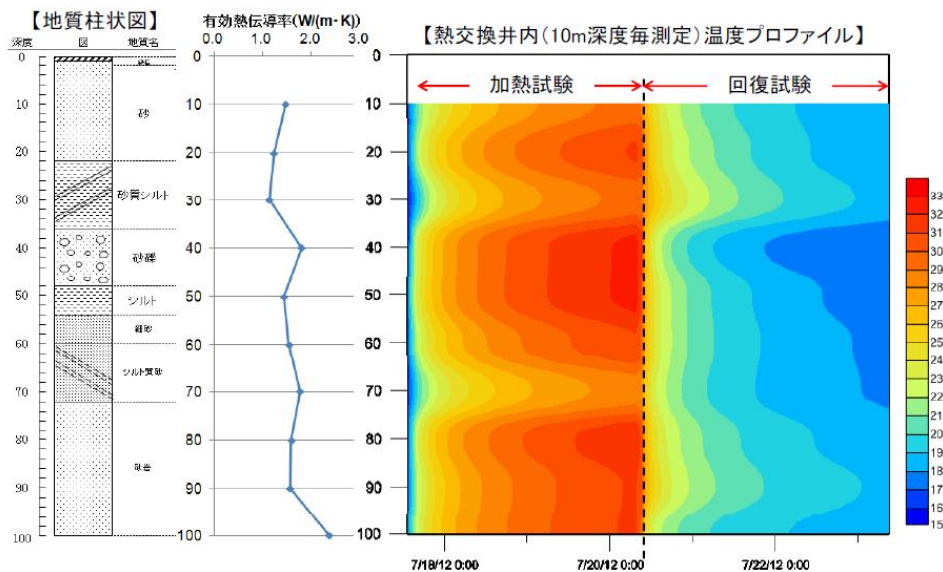
【手順4】有効熱伝導率 λ [W/(m・K)]を算出する。

$$\lambda = \frac{0.183 \cdot q}{m}$$

$$= \frac{0.183 \times 56.5}{6.50} = 1.59$$

【手順5】深度毎に有効熱伝導率を算出し、その平均値を有効熱伝導率 λ [W/(m・K)]とする。

【手順6】深度毎の温度回復データを用いて、地中熱交換井の有効熱伝導率の深度分布を推定する。(この例では、10m 毎に温度計を設置した。)



注 測定深度間は、直線近似で補正した。

③ ヒストリーマッチング法

温水循環試験中の地中熱交換器入口温度を入力値とし、地層の有効熱伝導率等をマッチングパラメータとして、解析解に基づく数値シミュレーションモデルを用いて地中熱交換器出口温度を予測し、計算値と実測値とのマッチングにより地層の有効熱伝導率を推定する手法。

(3) シミュレーション方法は、以下によることとし、単位長さ当たりの熱交換量 q_1 [W/m] を決定する。

① 作図法（循環時法・回復時法）のみにより有効熱伝導率を決定した場合

作図法にて推定された地層の有効熱伝導率に基づき、市販されているシミュレーションソフトにより予測計算を行う。また、建物の負荷計算を日本の主要都市の気象データベースから自動的に行い、ヒートポンプの仕様については、定格 COP を指定するなどして、システム全体の運転シミュレーション性能予測を行うことができる。

② ヒストリーマッチング法まで含めて有効熱伝導率を決定した場合

ヒストリーマッチングにて構築したシミュレーションモデルを用いて、ヒートポンプの性能に基づく地中熱交換量や冷暖房負荷に基づく稼働条件を設定することで、運転形態に応じた予測計算を行い、熱媒体の温度変動幅より地中熱源容量の最適化を図ることができる。

4.5 地中熱交換器総延長の算出

地中熱交換器総延長* (L) は、冷房時の地中熱交換器総延長 (L_c) と暖房時の地中熱交換器総延長 (L_h) の最大値とする。

(1) 冷房時の場合

$$\begin{aligned} Q_c &= q_m + Q_p \\ &= q_m + \frac{q_m}{\text{COP}} = q_m \cdot \frac{\text{COP} + 1}{\text{COP}} \end{aligned}$$

また、 $Q_c = L_c \cdot q_l$ であるから

$$L_c = \frac{q_m \cdot \frac{\text{COP} + 1}{\text{COP}}}{q_l}$$

ここに、 Q_c : 地中への放熱量 [W]
 q_m : 時刻別冷房全熱負荷の集計値の最大値 [W]
 Q_p : 地中熱ヒートポンプの動力 [W]
COP : 地中熱ヒートポンプの成績係数 (=4~6 (冷房)、5 (標準))
 q_l : 「4.4 単位長さ当たりの熱交換量の算出」にて算出した
単位長さ当たりの熱交換量 [W/m]

(2) 暖房時の場合

$$\begin{aligned} Q_h &= q_h - Q_p \\ &= q_h - \frac{q_h}{\text{COP}} = q_h \cdot \frac{\text{COP} - 1}{\text{COP}} \end{aligned}$$

また、 $Q_h = L_h \cdot q_l$ であるから

$$L_h = \frac{q_h \cdot \frac{\text{COP} - 1}{\text{COP}}}{q_l}$$

ここに、 Q_h : 地中からの採熱量 [W]
 q_h : 暖房負荷の集計値 [W]
 Q_p : 地中熱ヒートポンプの動力 [W]
COP : 地中熱ヒートポンプの成績係数 (=3~4 (暖房)、3.5 (標準))
 q_l : 「4.4 単位長さ当たりの熱交換量の算出」にて算出した
単位長さ当たりの熱交換量 [W/m]

注 * 地中熱交換器総延長には、横引き配管は含まない。

4.6 地中熱交換井の本数の算出

地中熱交換井の本数の算出方法は、次による。

$$N = \frac{L}{D}$$

ここに、 N : 地中熱交換井の本数*1 [本]

D : 地中熱交換器 1 本当たりの長さ [m/本] (=50~150、100*2 (標準))

注 *1 小数点は切り上げ、整数とする。

*2 地中熱交換井 1 本の掘さくに要する施工日数、掘さく機のロッドの引抜き作業(時間が経過すると土圧(動圧)によりロッドが引き抜けなくなる)、経済性を考慮し、決定した。

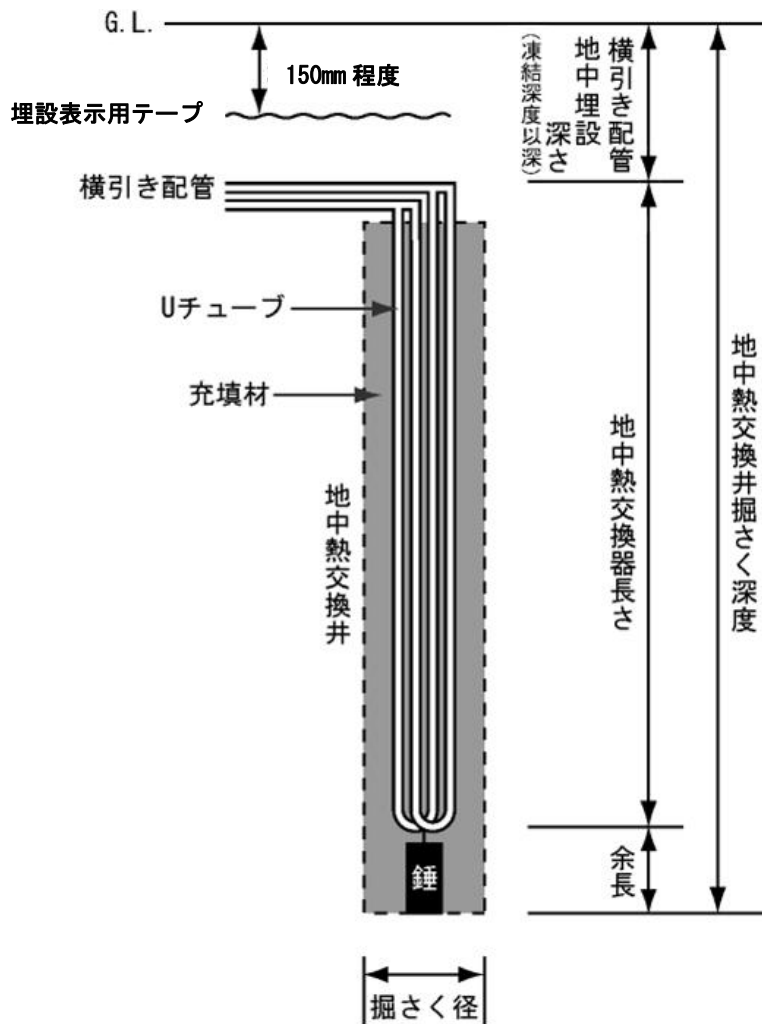


図 4-6 地中熱交換井詳細図

4.7 循環ポンプの算定

「建築設備設計基準 第4編 空気調和設備 第2章 空調機器 第12節 ポンプ」の当該事項によるほか、次による。

(1) 一次側（地中熱交換器側）循環ポンプ

一次側（地中熱交換器側）循環ポンプの熱源水量は、冷房時の熱源水量と暖房時の熱源水量の最大値とする。

① 冷房時の場合

$$L_{c1} = \frac{14.3 \cdot Q_c}{\Delta t}$$

ここに、 L_{c1} : 冷房時の熱源水量 [L/min]
 Q_c : 地中への放熱量 [W]
 Δt : 地中熱ヒートポンプの一次側出入口温度差 [°C] (=5)

② 暖房時の場合

$$L_{h1} = \frac{14.3 \cdot Q_h}{\Delta t}$$

ここに、 L_{h1} : 暖房時の熱源水量 [L/min]
 Q_h : 地中からの採熱量 [W]
 Δt : 地中熱ヒートポンプの一次側出入口温度差 [°C] (=5)

(2) 二次側（負荷側）循環ポンプ（間接式の場合）

二次側（負荷側）循環ポンプの冷温水量は、冷房時の冷水量と暖房時の温水量の最大値とし、冷温水量の算定は、「建築設備設計基準 第4編 空気調和設備 第2章 空調機器 第2節 冷熱源機器及び第4節 温熱源機器」の当該事項による。

第5章 施工編

5.1 一般事項

- (1) 掘さく中の汚泥及び排水は、関係法令に従い適切な処理を行う。
- (2) 掘さく後、地中熱交換器の挿入前に行う掘さく孔の洗浄は、原則として清水にて行う。
- (3) 代表井による熱応答試験を行う場合で、所要熱量を確認した場合は、速やかに監督職員に報告し、指示を受ける。
- (4) 監督職員の立会いを受ける場合は、次による。ただし、同一工法の場合で監督職員の承諾を受けた場合は省略することができる。
 - ① 掘さく完了後の深度確認
 - ② 地中熱交換器の挿入を行う場合
 - ③ けい砂等の充てんを行う場合
- (5) 地中熱交換器の横引き配管の地中埋設深さは、管の上端より 600mm 以上とする。ただし、寒冷地では凍結深度以深とする。
- (6) 地中熱交換井に地中熱交換器（配管）を挿入後、施工を一時休止する場合は、配管内への異物の混入の防止のための措置として、配管端部をエンドキャップ等で閉塞処理し、保護用鉄管で養生した後、埋戻す。また、地中熱交換井の位置が分かるように杭等で表示を行う。（図 5-1、図 5-2 参照）
- (7) 屋外埋設管の分岐及び曲り部には、地中埋設標を設置する。
- (8) 管を埋戻す場合は、土被り 150mm 程度の深さに埋設表示用アルミテープ又はポリエチレンテープ等を埋設する。（図 4-6 参照）

5.2 事前調査

「公共建築工事標準仕様書（機械設備工事編） 第7編 さく井設備工事 第1章 一般事項 第2節 事前調査」の当該事項による。

5.3 けい砂等の充てん

「公共建築工事標準仕様書（機械設備工事編） 第7編 さく井設備工事 第3章 地中熱交換井設備 第1節 機材及び施工」の当該事項によるほか、以下による。

5.4 試験

「公共建築工事標準仕様書（機械設備工事編） 第7編 さく井設備工事 第3章 地中熱交換井設備 第1節 機材及び施工」の当該事項による。

5.5 報告書

「公共建築工事標準仕様書（機械設備工事編） 第7編 さく井設備工事 第3章 地中熱交換井設備 第2節 報告書」の当該事項による。

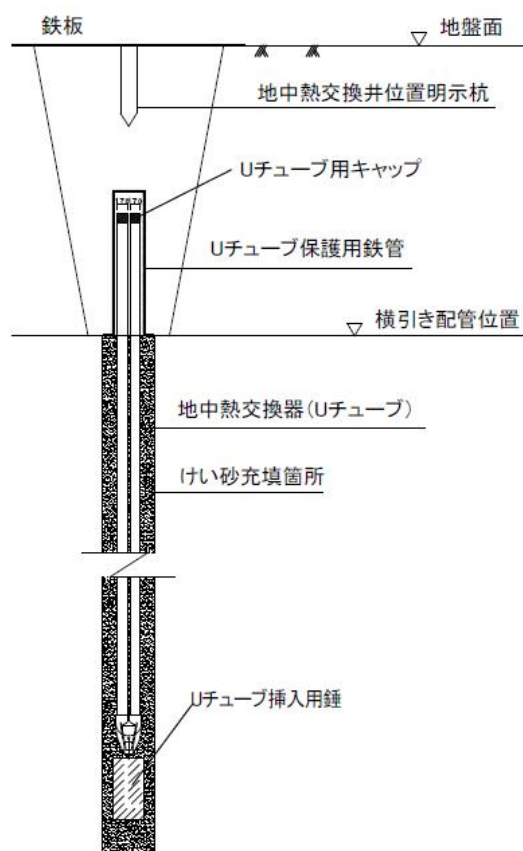


図 5-1 地中熱交換井養生断面図（参考）



図 5-2 保護用鉄管（参考）

第6章 維持管理編

6.1 一般事項

運転・監視及び日常点検・保守については、「建築保全業務共通仕様書」の当該事項によるほか、次項によるものとする。

6.2 定期点検等及び保守

6.2.1 地中熱ヒートポンプ

「建築保全業務共通仕様書 第2編 定期点検等及び保守 第4章 機械設備 第3節 冷熱源機器」の当該事項による。

6.2.2 不凍液

不凍液を長期間使用すると添加剤が分離し、防錆・防食能力が低下する。一般的には温度が高いほど分解が早く進行するので、性能を確認するために定期的な不凍液の点検を行う必要がある。簡易的な方法としては、不凍液の濃度と pH の測定を1年に1回程度行う。

第7章 評価編

7.1 目的

地中熱利用システムを導入することによるエネルギー削減効果及び環境面の評価を目的とする。また、特に大規模な設備を導入する場合には、地下水・地盤環境のモニタリングを行うことを目的として、観測井にて地盤・地下水の温度、水質等の観測を行うことも検討する。

本章では、地中熱利用システムの計測・計量項目を多数例示しているが、それぞれのシステムに必要とされる評価項目に応じて、計測・計量項目を選択する。

7.2 評価方法

7.2.1 運転管理評価

(1) 効率的運転

① 機器負荷率

$$\text{機器負荷率}[\%] = \frac{\text{地中熱ヒートポンプ製造熱量}[\text{kW}]}{\text{地中熱ヒートポンプ定格能力}[\text{kW}]} \times 100$$

② 単体性能

$$\text{単体 COP} = \frac{\text{地中熱ヒートポンプ製造熱量}[\text{kWh}]}{\text{地中熱ヒートポンプ消費電力量}[\text{kWh}]}$$

③ システム性能

$$\text{SCOP}_1 = \frac{\text{地中熱ヒートポンプ製造熱量}[\text{kWh}]}{\text{地中熱ヒートポンプ消費電力量} + \text{補機(一次側)消費電力量}[\text{kWh}]}$$

$$\text{SCOP}_2 = \frac{\text{地中熱ヒートポンプ製造熱量}[\text{kWh}]}{\text{地中熱ヒートポンプ消費電力量} + \text{補機(一次側、二次側)消費電力量}[\text{kWh}]}$$

ここで、地中熱ヒートポンプ製造熱量の算出は、以下による。

i) 二次側が間接式（冷温水）の場合

$$Q = \frac{3,600 \cdot L_2 \cdot C_2 \cdot \rho_2 \cdot \Delta t_2}{60}$$

ii) 二次側が直膨式（冷媒）の場合

$$Q = \frac{3,600 \cdot L_1 \cdot C_1 \cdot \rho_1 \cdot \Delta t_1}{60} \pm^{*1} (\text{地中熱ヒートポンプ消費電力量})^{*2}$$

ここに、 Q : 地中熱ヒートポンプ製造熱量 [kWh]
 Δt_{i*3} : 地中熱ヒートポンプの出入口温度差 [°C]
 L_{i*3} : 循環水量 [L/min]
 C_{i*3} : 比熱 [kJ/(kg・K)] (=4.19、水の場合)
 ρ_{i*3} : 密度 [kg/L] (=1.0、水の場合)

注 *1 冷房期間：「-（マイナス）」、暖房期間：「+（プラス）」を示す。

*2 二次側が直膨式であり、製造熱量が計測出来ない場合の考え方を示す。

*3 添字 i=1 及び 2 は、一次側、二次側を示す。

(参考) 成績係数 (COP) は、使用電力量に対する製造熱量の比であり、その値が大きいほど性能が良いことを示す。地中熱ヒートポンプの場合、1 より大きい値となり、これは使用電力量より製造熱量の方が多く得られることを示す。

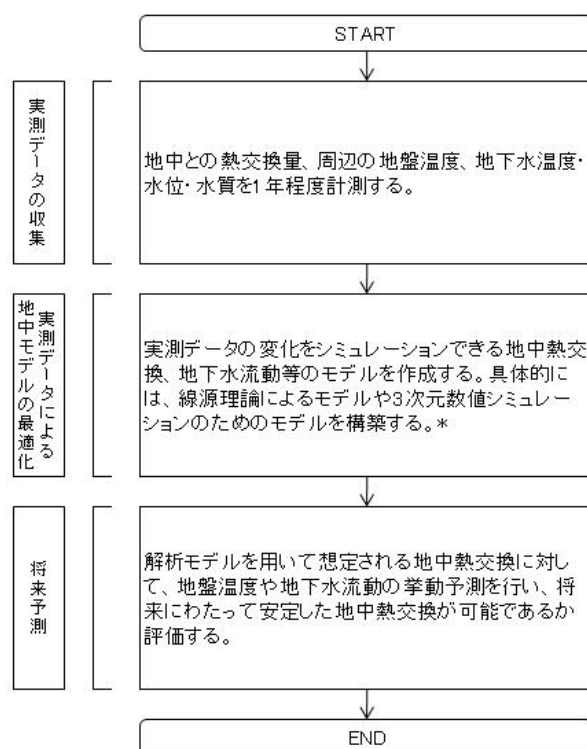
(2) 持続的運転

製造熱量及び地中との熱交換量が周辺の地盤温度、地下水温度・水位・水質に与える影響を把握し、将来を予測することにより、安定した地中熱交換が可能であるか評価する。持続的運転の評価手順は、**図 7-1** による。

また、地中との熱交換量の算出は、以下による。

$$Q = \frac{L \cdot C \cdot \rho \cdot \Delta t}{60}$$

- ここに、
- Q** : 熱交換量 [kW]
 - Δt** : 地中熱ヒートポンプの一次側出入口温度差 [°C]
 - L** : 熱源水量 [L/min]
 - C** : 比熱 [kJ/ (kg · K)] (=4.19、水の場合)
 - ρ** : 密度 [kg/L] (=1.0、水の場合)



注 設計時において、熱交換量 q_1 [W/m] を熱応答試験により算出した場合は、その際に構築したモデルを使用することが出来る。

図 7-1 持続的運転の評価手順

7.2.2 エネルギー評価

(1) 省エネ効果

年間又はある期間（冷房時、暖房時等）の製造熱量に対する使用電力量を同等建物規模の他空調方式の実績値と比較し、省エネ効果を把握する。改修の場合は、改修前の実績値と比較する。

ただし、改修前の熱源機が吸収冷温水機等で主燃料が電気以外の場合は、燃料消費量を一次エネルギー消費量に換算し、比較する。

$$\text{一次エネルギー消費量[MJ]} = \text{燃料消費量} \times \text{各種燃料の一次エネルギー換算係数}$$

表 7-1 各種燃料の一次エネルギー換算係数（参考）

燃料種別	電気	都市ガス(13A)	灯油
燃料単位	kWh	m ³ (N)	L
換算係数	9.97* ¹ [MJ/kWh]	45.0* ² [MJ/ m ³ (N)]	37.0* ³ [MJ/L]

注 *1 昼間買電とする。蓄熱槽等の導入を検討する場合は、9.76[MJ/kWh]（全日平均）とする。

電気の熱量への換算式（二次エネルギー基準）は、下記による。

$$1[\text{kWh}] = 1 \times 10^3[\text{W}] \times (60 \times 60[\text{s}]) = 3.6 \times 10^6[\text{Ws}] = 3.6[\text{MJ}]$$

*2 ガス事業者により異なるので確認する。

*3 「エネルギーの使用の合理化に関する法律」告示 別表6より引用。

(2) 節電効果

製造熱量に対する使用電力（特に最大需要電力）を同等建物規模の他空調方式の実績値と比較し、節電効果を把握する。最大需要電力（ピーク電力）は、30分間における平均使用電力とする。

7.2.3 環境評価

(1) CO₂削減効果

使用電力量とCO₂排出原単位から算出したCO₂排出量を同等建物規模の他空調方式の実績値と比較し、CO₂削減効果を把握する。CO₂排出原単位は、電気事業者別に公表されている値を使用する。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量}[\text{t}\cdot\text{CO}_2] = \text{使用電力量}[\text{kWh}] \times \text{CO}_2 \text{ 排出原単位}[\text{t}\cdot\text{CO}_2/\text{kWh}]$$

(2) ヒートアイランド現象緩和効果

都市部においては、冷房時の地中への放熱はヒートアイランド現象の緩和効果が期待できることから、本ガイドラインでは冷房運転時に一次側で測定した熱量をヒートアイランド現象の緩和効果の値とする。

(3) 地中環境影響評価

「7.2.1 運転管理評価 (2) 持続的運転」と同様に、運用時における地盤温度、地下水温度・水位・水質の測定及び実測データによる地中モデルの最適化、将来予測により周辺地盤の温度変化等を解析する。ただし、現段階では、環境への影響を評価する手法は確立されていない。

7.3 計測・計量項目

地中熱利用システムにおける計測・計量項目の一例を表 7-2 に示す。

表 7-2 地中熱利用システム計測・計量項目表

計測・計量項目	計測場所	ヒートポンプ	一次側					二次側				室内環境		観測井		屋外環境					参照データ (詳細は備考による)				
			電力量	出入口水温	熱源水量	電機環流量	熱中熱交換	出入口水温	水量	電機環流量	電室内電機	吹出口水温	室内湿度	室内湿度	温度	水位	水質	外気湿度	相対湿度	(露上露量)		(露上露量)	(露上露量)	風速	
評価項目	計測単位		kWh	℃	L/min	kWh	℃	℃	L/min	kWh	kWh	℃	℃	%	℃	m	pH	℃	%	mm	W/m ²	m/s			
	解像度*1		1.0	1.0	1	1.00	1.0	1.0	1	1.00	1.0	1.0	1	1.0	1.00	-	1.0	1	1	1	1	1			
	計測間隔*2 [min]		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	-	10	10	10	10	10	10		
	データ収集間隔*3 [min]		60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	-	60	60	60	60	60	60		
運転管理評価	効率的運転	機器負荷率 [%] COP	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎	○	○	○	○						△	△	△	△	△	地層の有効熱伝導率 地中熱交換器熱抵抗
	持続的運転	熱交換量 [kW]		◎	◎		○								○	○	△	△		△				地層の有効熱伝導率 地中熱交換器熱抵抗	
エネルギー評価	省エネ効果	使用電力量 [kWh]	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎	○	△	△	△											
	節電効果	使用電力 [kW]	◎	○	○	◎		○	○	◎	○														
環境評価	CO ₂ 削減効果	CO ₂ 排出量 [t-CO ₂]	◎	○	○	◎		○	○	◎	○														
	ヒートアイランド現象緩和効果	熱交換量 (冷却時) [kW]	△	◎	◎	△					△														
	地中環境影響評価	地盤温度、地下水温度・水位・水質		◎	◎		○								○	○	○	△		△				地層の有効熱伝導率 地層の透水性	

凡例 ◎：必要 ○：場合によっては必要 △：評価の計算には直接使用しないが、評価する上で出来れば望ましい

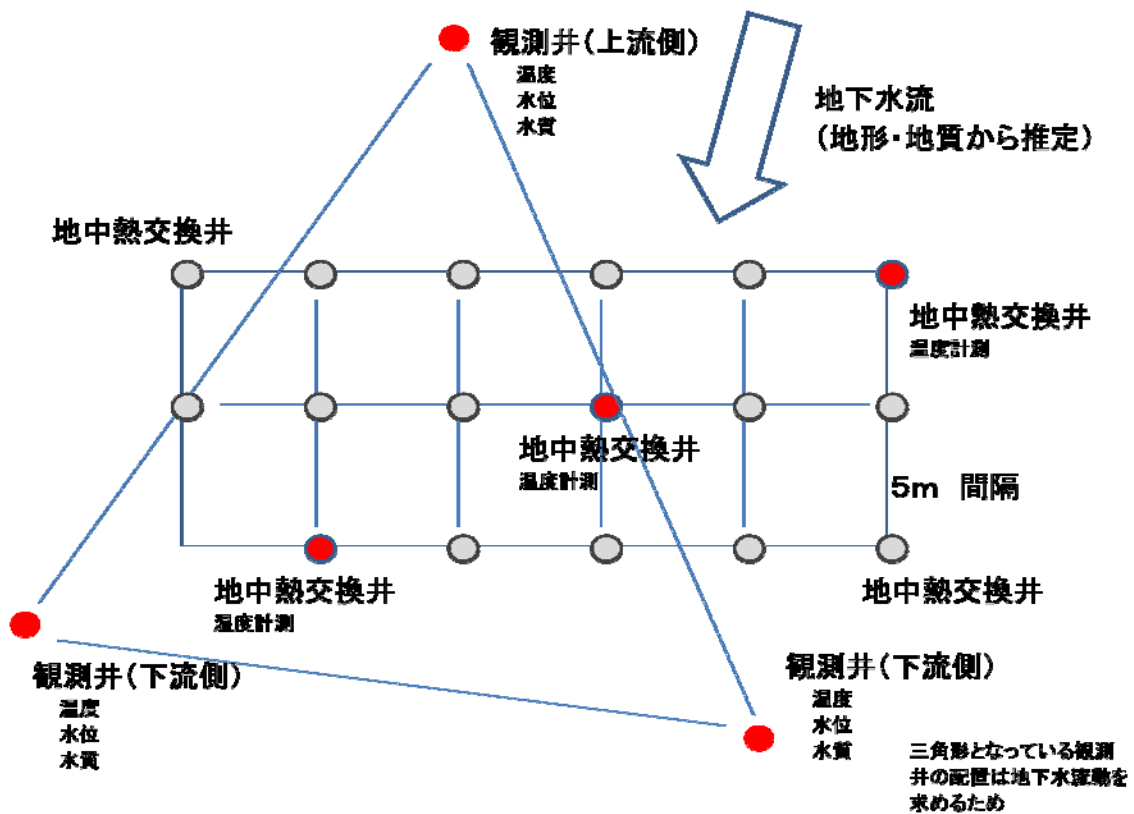
注 *1 解像度とは、必要有効数字とする。

*2 計測間隔とは、データを計測・計量し、蓄積する間隔とする。

*3 データ収集間隔とは、評価検証する際に使用する間隔とする。

7.4 計測機器の設置と測定

- (1) 計測機器は、地中熱利用システムで実際に使用する地中熱交換井（代表井）及び観測井に設置するものとする。（図 7-2、図 7-3 参照）
- (2) 地中熱交換井（代表井）には、温度計を深度 5m 間隔に設置する。
- (3) 観測井は、次による。
 - ① 配管材料は、ビニル管とし、呼び径 50 とする。また、長さは、地中熱交換井と同様とする。
 - ② 温度計を深さ 5m 間隔に設置する。また、水位計を設置する。
- (4) 計測機器の設置場所及び仕様を表 7-3 に示す。



注 赤色部は、計測機器設置井を示す。

図 7-2 地中熱交換井及び観測井配置図 (参考)

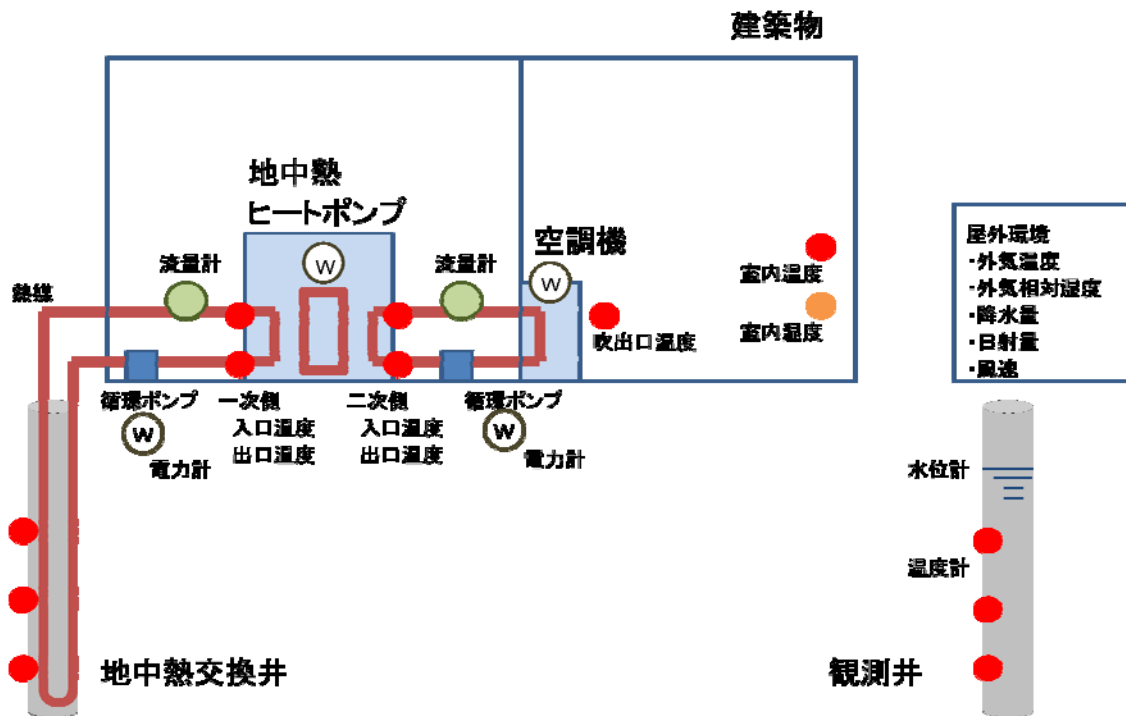


図 7-3 地中熱利用システム計測機器配置図 (参考)

表 7-3 地中熱利用システム計測機器の設置場所及び仕様

計測機器	設置場所	精度	参照規格
消費電力測定	電力計 地中熱ヒートポンプ 循環ポンプ（一次側） 循環ポンプ（二次側） 室内機	±2.0%	JIS B 8613-1994 (ウォータ チリングユニット)
利用熱量測定	温度計 地中熱ヒートポンプ（一次側） 出入口 地中熱ヒートポンプ（二次側） 出入口	$\pm(0.15+0.002 t)^{\circ}\text{C}$	JIS C 1604-1997 クラス A (測温抵抗体)
	流量計 地中熱ヒートポンプ（一次側） 地中熱ヒートポンプ（二次側）	±2.0%	JIS B 8613 (ウォータ チリングユニット)
地下環境測定	温度計 地中熱交換井（深度 5m 間隔） 観測井（深度 5m 間隔）	±1.0°C	JIS C 1602-1995 クラス 2 (熱電対)
室内環境測定	温度計 室内 室内機吹出口	$\pm(0.3+0.005 t)^{\circ}\text{C}$	JIS C 1604-1997 クラス B (測温抵抗体)
	湿度計 室内	±5%	
屋外環境測定	温度計 屋外	±1°C	
	湿度計 屋外	±5%	
	日射量計 屋外（屋上）	±5%	
	降水量計 屋外（屋上）	±1mm	
	風向・風速計 屋外（屋上）	±1m/s	