

環境省

平成 22 年度環境技術実証事業

ヒートアイランド対策技術分野

(地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム)

実証試験結果報告書

《詳細版》

平成 23 年 3 月

- 実証機関 : 特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会
実証単位 : (A) システム全体
実証申請者 : 三菱マテリアルテクノ株式会社
実証対象技術 : 三菱マテリアル株式会社大宮新館における
地中熱利用ヒートポンプ空調システム



ヒートアイランド対策技術分野

実証番号 052 - 1001

第三者機関が実証した
性能を公開しています

実証年度
H 22

www.env.go.jp/policy/etv

本実証試験結果報告書の著作権は、環境省に属します。

目次

実証全体の概要	2
1. 実証対象技術の概要（原理）.....	2
2. 実証試験の概要.....	3
3. 実証試験結果.....	4
本編	10
1. 実証試験の目的及び概要.....	10
1.1 環境技術実証事業の概要.....	10
1.2 実証対象技術の概要.....	10
1.3 実証項目の内容.....	11
2. 実証機関・申請者・実証試験体制.....	12
3. 実証対象技術及び実証試験実施施設について.....	14
3.1 実証対象技術の原理と特徴.....	14
3.2 実証試験実施施設の環境.....	15
3.3 実証対象技術のシステム構成.....	18
3.4 地中熱交換井と地盤状況.....	18
3.5 実証対象技術の特徴・長所を含む参考情報.....	19
4. 実証試験の内容.....	20
4.1 目的.....	20
4.2 実証項目の実証の方法.....	20
4.3 実証単位（A）の測定機器について.....	21
4.4 実証試験実施施設の測定時の運用条件.....	22
4.5 実証単位（A）システム全体の実証項目の実施日程.....	23
4.6 実証項目の算出方法.....	23
4.7 実証単位（C）の実証項目における特例措置の適用検討.....	25
5. 実証単位（A）システム全体の実証試験の結果.....	26
5.1 実証試験結果（システム全体の実証項目）.....	26
5.2 実証試験期間の各種項目の日ごとのデータの経時変化.....	28
5.3 実証試験期間の冷房試験代表日測定項目のグラフ.....	31
5.4 実証試験期間の暖房試験代表日測定項目のグラフ.....	33
6. 実証単位（C）地中熱交換部の実証試験結果【実証項目】.....	36
6.1 地中熱交換部全体の実証項目の代替データ.....	36
6.2 熱媒循環部（U字管）の実証項目（性能を証明する書類の写しからの転用）.....	38
6.3 熱媒の実証項目.....	41
7. 考察.....	42
7.1 COPの値について.....	42
7.2 空気熱源ヒートポンプ空調と併用していることについて.....	42
8. 実証試験の品質管理・監査.....	43
8.1 品質管理システムのあらまし.....	43
8.2 試験とデータの品質管理.....	43
8.3 実証試験の立会い.....	43
8.4 品質管理の及び監査の内容.....	44
付録	45
1. 代替の地質データ.....	46
三菱マテリアル株式会社大宮新棟及び加工技術センター改修工事（地下熱利用設備工事） サーマルレスポンス試験報告書.....	46
2. 性能を証明する書類の写し.....	61
2.1 地中熱交換システム用パイプU ポリパイのカタログ.....	61
2.2 地中熱交換システム用パイプU ポリパイの製品仕様書.....	63
2.3 地中熱交換システム用パイプU ポリパイの脆化温度.....	65
2.4 地中熱交換システム用パイプU ポリパイの性能についての品質表示.....	66

実証全体の概要

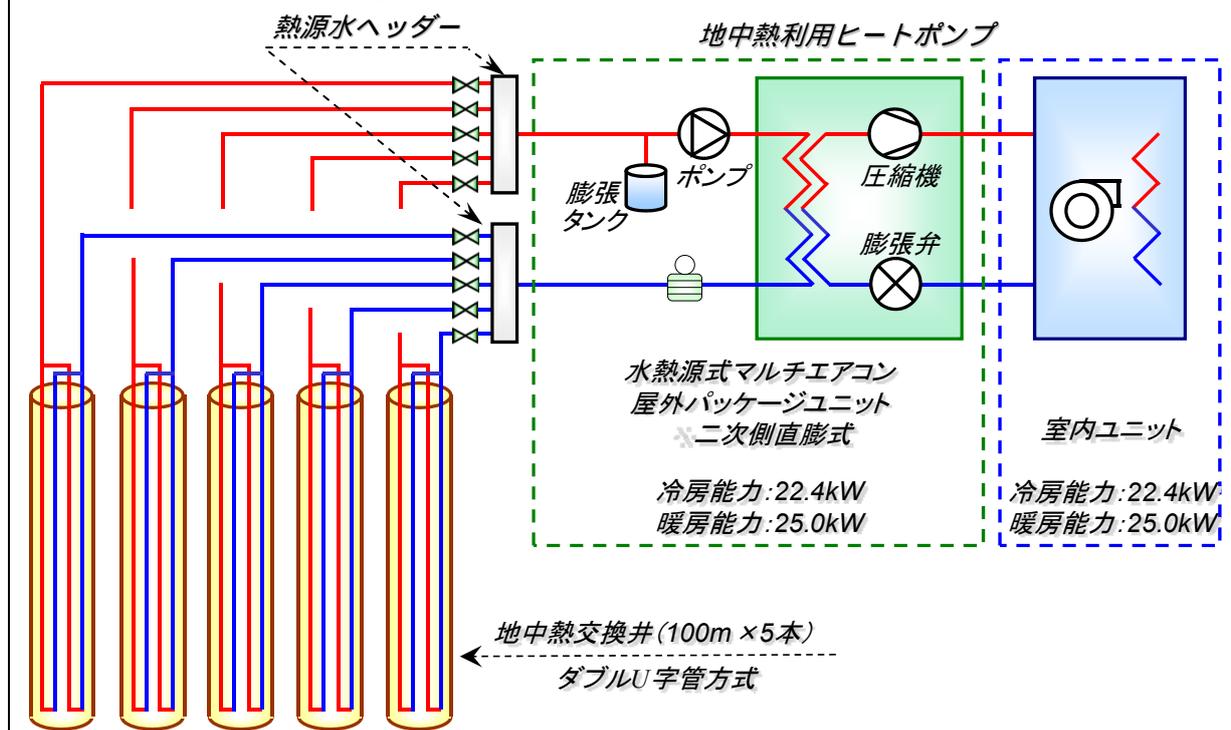
実証対象技術	三菱マテリアル株式会社大宮新館における地中熱利用ヒートポンプ空調システム
実証申請者	三菱マテリアルテクノ株式会社
実証単位	(A) システム全体
実証機関	特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会
実証試験期間	平成 22 年 7 月 30 日 ~ 平成 23 年 2 月 2 日

1. 実証対象技術の概要 (原理)

一般に地中熱利用ヒートポンプ空調システムは、地中を熱源として利用し、夏は地中に熱を放出し、冬は地中から熱を取って冷房や暖房に利用するシステムである。外気を熱源とする空気熱源ヒートポンプ空調システム (一般のエアコン) と比べると、地中の温度は外気の温度より夏は冷たく冬は暖かいので、外気を熱源とするよりも効率よく冷暖房ができる。また外気に冷房廃熱を排出しないので、ヒートアイランド現象の抑制効果が期待される。

この地中熱利用ヒートポンプ空調システムは、三菱マテリアル株式会社大宮新館の一部の空調を、空気熱源ヒートポンプ空調機とともに分担しているものである。

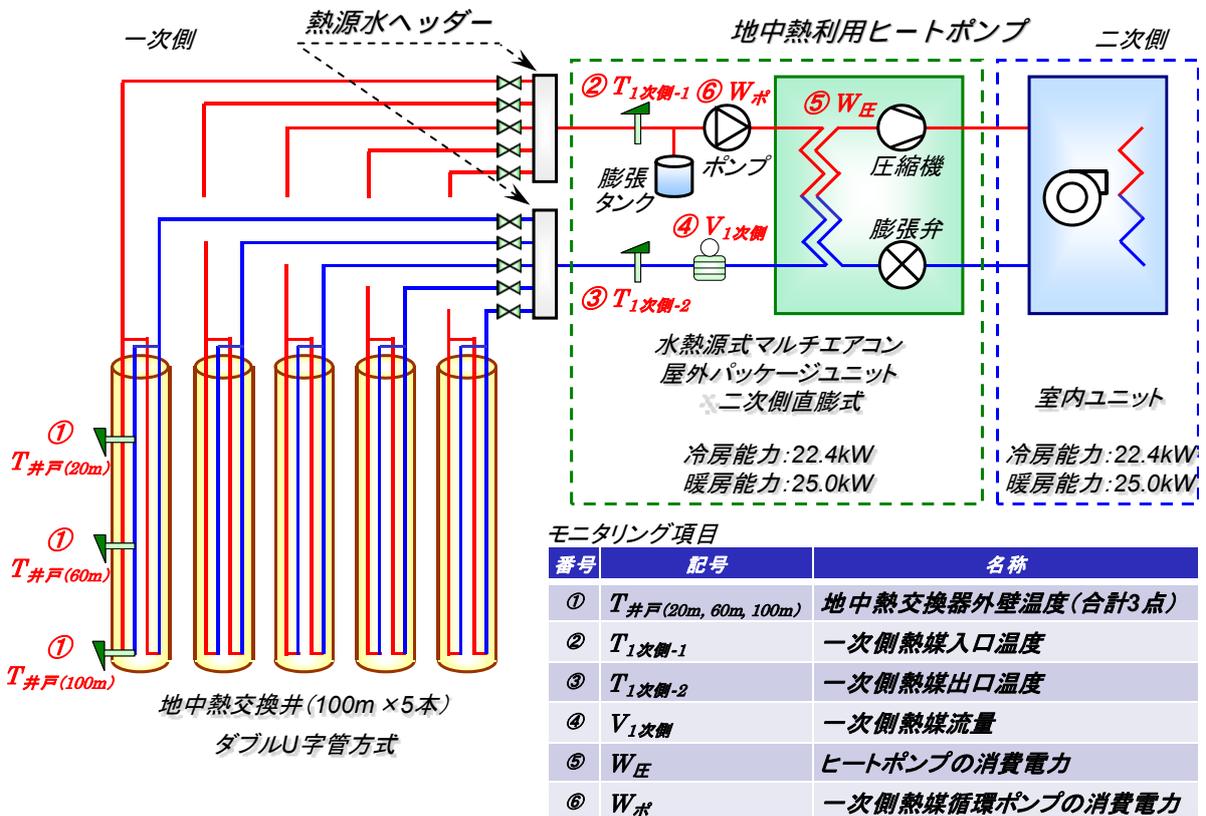
- ・地中熱交換井：深さ 100m のボアホールが 5 本で、それぞれダブル U 字管を設置している。
- ・熱媒は 5 本の熱交換井から出たものが熱源水ヘッダーでまとめられ、地中熱利用ヒートポンプに送られる。地中熱利用ヒートポンプで冷却または昇温された冷媒は室内ユニットに送られて冷暖房に用いられる直膨式である。
- ・夏期は地中熱利用ヒートポンプで冷媒を冷却することにより生じる排熱を熱媒 (清水) を通じて地中熱交換器で放熱し、冷却した冷媒により冷房を行う。
- ・冬期は熱媒 (清水) を通じて地中熱を採取し地中熱利用ヒートポンプで冷媒を加熱し、加熱した冷媒により暖房を行う。



2. 実証試験の概要

2.1 実証試験時のシステム全体構成

大宮新館の空調を分担している空気熱源ヒートポンプ空調機は実証試験時にも稼働しているが、実証試験では地中熱利用ヒートポンプシステムに関する部分だけを測定した。測定した熱量などは地中熱利用ヒートポンプシステムのみで完結している。下図は、地中熱利用ヒートポンプシステムだけを示す。



2.2 システム全体の測定項目

システム全体の測定項目を下の表に示す。(~ の番号は、上図のモニタリング項目と同じ。) 測定項目	測定機器	測定点数	備考
地中熱交換器外壁温度 (深度 20m、60m、100m)	測温抵抗体	3	測定間隔: 1分毎
一次側熱媒入口温度	測温抵抗体	1	測定間隔: 1分毎
一次側熱媒出口温度	測温抵抗体	1	測定間隔: 1分毎
一次側熱媒流量	電磁流量計	1	測定間隔: 1分毎
ヒートポンプの消費電力	積算電力量計	1	測定間隔: 1分毎
一次側循環ポンプの消費電力	積算電力量計	1	測定間隔: 1分毎
	合計	8	

2.3 実証試験の環境

実証試験実施施設および地中熱交換井の概要を下表に示す。

施設概要	施設名：三菱マテリアル株式会社 大宮新館 施設住所：埼玉県さいたま市大宮区北袋町 1-297 施設の用途：事務所
施設の規模 及び 空調方式	延床面積：21,837.20m ² 階数：地下2階，地上7階 構造：S造 主熱源：空気熱源ヒートポンプ空調システム (一部に地中熱源ヒートポンプ空調システムを利用) 空調方式：中央制御
空調対象施設 の特徴	空調対象施設の特徴として、建物全体の主要な空調システムは、ビル用マルチエアコンタイプの空気熱源ヒートポンプ空調機で、その熱容量は、1~2階吹抜け部分(床面積約450m ²)のうち、約300m ² 程度の分を負担している。対して、ここに設置したビル用マルチエアコンタイプの地中熱利用ヒートポンプシステムの熱容量は、約150m ² 程度(約1/3)を負担している。
地中熱交換井	深度および本数：100m×5本 孔径：179mm(リングビット外径にて明記) 地中熱交換器：25A ダブルU字管(材質：高密度ポリエチレン管「PE100」 製品名：地中熱交換システム用パイプ U-ポリパイ(株式会社イノアック住環境 製造) 形式：GUP-25A110、長さ：100m、外径：34mm、内径：27mm 充填材：いわき珪砂2号(ただし、孔口から約10m深度までモルタル充填)

3. 実証試験結果

3.1 システム全体の实証項目

項目		結果	条件・備考
必須項目	a. 冷房期間のシステムエネルギー効率[] *1	3.74	冷房試験期間：平成22年7月18日～平成22年9月26日
	b. 冷房期間のシステム消費電力[kW]	3.98	
	c. 冷房期間の地中への排熱量[kW] *1	17.69	
任意項目	d. 冷房・暖房期間のシステムエネルギー効率*1	3.92	
	e. 暖房期間のシステム消費電力[kW]	5.30	暖房試験期間：平成22年10月2日～平成23年2月2日
	f. 暖房期間の地中からの採熱量[kW]	17.53	
その他の項目	測定期間(冷房期間)の稼働率(%)	18.6	
	測定期間(暖房期間)の稼働率(%)	11.0	
	冷房期間のシステムの部分負荷率平均値(%)	66.5	
	暖房期間のシステムの部分負荷率平均値(%)	86.7	

*1：技術の性能の高さはシステムエネルギー効率で評価され、地中への排熱量が当該技術の性能の高さを必ずしもしめすものでない。ヒートアイランド抑制に関する性能は、「冷房期間のシステムエネルギー効率」及び「冷房期間の地中への排熱量」の両値の総合で評価される。

3.2 地中熱交換部全体の实証項目【代替の地質データ】

この実証項目は、既存データの活用が認められているが、大宮新館での既存のサーマルレスポンス試験の条件は実証試験要領の条件を一部満たさないため、実証試験要領の定める「代替の地質データ」として示す。

項目	結果	備考
a. 地中熱交換井の熱抵抗 [K/(W/m)]	0.103	詳細版本編 6 . 6.1(3) (詳細版本編 36 ~ 37 ページ) にて「代替の地質データ」を用いて算出した内容を記載。
b. 土壌部分の熱伝導率 [W/(m・K)]	2.60	「代替の地質データ」(詳細版付録 60 ページ) から転記

3.3 熱媒循環部(U字管)の实証項目 (性能を証明する書類の写しからの転用)

本実証項目は、熱媒循環部 (U字管) の性能を証明する書類を確認することで実証を代用する項目である。各実証項目の実証内容は、熱媒循環部の製造・販売事業者の株式会社イノアック住環境による地中熱交換システム用パイプ U-ポリパイのカタログ等の関係資料を確認し、引用した。引用した資料は、詳細版付録 61 ~ 69 ページ参照。

実証項目	結果																							
c. 流量範囲	<p>本実証対象技術では呼び径 25A を使用しており、水を流した場合の適正流量は、下限は 5L/min、上限は 50L/min である。適正流量の上限値及び下限値の考え方については、表 6-6 (詳細版本編 38 ページ) 参照。また、参考として U-ポリパイの流量線図を下記に示す。</p>																							
d. 熱伝導性	熱伝導率： 0.38W/(m・K)																							
e. 耐熱性	<p>『U-ポリパイ』の温度別最大使用圧力は下表の通りである。</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">呼び径 25A</th> <th colspan="5">連続安全使用温度範囲</th> <th colspan="2">年間 1,500 時間以内</th> </tr> <tr> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> <th>50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>最大使用圧力 (MPa)</td> <td>1.51</td> <td>1.41</td> <td>1.32</td> <td>1.21</td> <td>1.12</td> <td>1.01</td> <td>0.92</td> </tr> </tbody> </table> <p>この製品の連続安全使用温度範囲は - 20 ~ 40 である。ただし、50 迄の温度での運転が上記圧力以下で、且つ年間 1,500 時間以内であれば、50 迄の使用が可能である。</p>	呼び径 25A	連続安全使用温度範囲					年間 1,500 時間以内		20	25	30	35	40	45	50	最大使用圧力 (MPa)	1.51	1.41	1.32	1.21	1.12	1.01	0.92
呼び径 25A	連続安全使用温度範囲					年間 1,500 時間以内																		
	20	25	30	35	40	45	50																	
最大使用圧力 (MPa)	1.51	1.41	1.32	1.21	1.12	1.01	0.92																	

下表に記載の内容は、株式会社イノアック住環境による地中熱交換システム用パイプ U-ポリパイの関係資料を確認し、引用した。引用した資料は、詳細版付録 65 ~ 69 ページ参照。

実証項目	結 果																								
f. 脆化温度	脆化温度： < - 70																								
g. 耐腐食性 (耐薬品性)	耐薬品性の一例 (温度 20)																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">酸</th> <th colspan="2">アルカリ</th> <th colspan="2">ガス</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>塩酸</td> <td>35%</td> <td>アンモニア水溶液</td> <td></td> <td>亜硫酸ガス</td> <td></td> </tr> <tr> <td>硫酸</td> <td>65%</td> <td>苛性ソーダ</td> <td></td> <td>炭酸ガス</td> <td></td> </tr> <tr> <td>硝酸</td> <td>25%</td> <td>水酸化カルシウム</td> <td></td> <td>一酸化炭素</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	酸		アルカリ		ガス		塩酸	35%	アンモニア水溶液		亜硫酸ガス		硫酸	65%	苛性ソーダ		炭酸ガス		硝酸	25%	水酸化カルシウム		一酸化炭素	
	酸		アルカリ		ガス																				
	塩酸	35%	アンモニア水溶液		亜硫酸ガス																				
硫酸	65%	苛性ソーダ		炭酸ガス																					
硝酸	25%	水酸化カルシウム		一酸化炭素																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">塩類</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>重クロム酸カリウム</td> <td>10%</td> <td>過マンガン酸カリウム</td> <td></td> <td>硫安</td> <td></td> </tr> <tr> <td>塩化第二鉄</td> <td>60%</td> <td>塩化バリウム</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>過酸化水素</td> <td>30% 90%</td> <td>炭酸カリウム</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	塩類						重クロム酸カリウム	10%	過マンガン酸カリウム		硫安		塩化第二鉄	60%	塩化バリウム				過酸化水素	30% 90%	炭酸カリウム				
塩類																									
重クロム酸カリウム	10%	過マンガン酸カリウム		硫安																					
塩化第二鉄	60%	塩化バリウム																							
過酸化水素	30% 90%	炭酸カリウム																							
	備考： 1 . この表は ISO/TR10358* 1 に基づいたものである。 2 . 印は耐薬品性があることを示している。																								
h. 寿命	<p>ISO 9080 に規定される、材料の長期耐久性の試験方法により、管が 20 で 50 年間の使用に耐えうる周方向応力 (フープストレス： 管の断面にかかる円周方向の応力) が 10MPa 以上である材料である。</p> <p style="text-align: center;">第三世代高密度ポリエチレンのクリープ曲線</p>																								

* 1 : Plastics pipes and fittings-Combined chemical-resistance classification table.

なお、本熱媒循環部の実証項目の実証内容の性能の証明の担保として、その製品の製造事業者の品質管理システムを確認した。熱媒循環部の製造企業である株式会社イノアック住環境は、ISO9001:2008 及び ISO140001:2004 を取得していることを確認した。

3.4 熱媒の実証項目（性能を証明する書類の写しからの転用）

本実証対象技術で使用した熱媒は水である。以下に水の 20 における物性値を示す。

実証項目	結 果
i. 腐食性	なし
j. 粘性	0.001002 [Pa・s] ^{*1}
k. 比熱	4.18 [J/g・K] ^{*1}
l. 引火性	なし
m. 毒性	なし
n. 生分解性/残留性	なし

*1：これらの値は、理科年表（丸善株式会社出版事業部 平成 22 年度版）による。

なお、代替の地質データとして示したサーマルレスポンス試験では、水の 20 の熱容量を 4,174 [kJ/m³・K]として計算している。

4 . 実証対象技術の設置状況写真



5 . 参考情報

本ページに示された情報は、全て実証申請者が自らの責任において申請したものであり、環境省及び実証機関は、内容に関して一切の責任を負いません。

実証対象技術の概要（参考情報）

項 目	実証申請者 記入欄	
製品名	三菱マテリアル株式会社大宮新館における地中熱利用ヒートポンプ空調システム	
製造（販売）企業名	三菱マテリアルテクノ株式会社	
連絡先	TEL / FAX	03-3221-2471 / 03-3221-2472
	Web アドレス	http://www.mmtec.co.jp
	E-mail	ishikami@mmc.co.jp
設置条件	<ul style="list-style-type: none"> ・地中熱交換井設置工事時に、ボーリングマシンやプラント設備の設置スペースが必要。 ・地中熱交換井の間隔は通常、4～5m 程度。 ・地中熱交換井の設置は、道路下やエントランス、植栽箇所近辺（ただし、根入れスペースは不可）でも可能。 	
メンテナンスの必要性・コスト・耐候性・製品寿命等	<ul style="list-style-type: none"> ・孔井内地中熱交換器および土中埋設横引き配管には、50 年の使用に耐えうる高密度ポリエチレン管を使用しており、メンテナンスフリー。 ・地中熱源ヒートポンプは、水回路、制御盤含め屋外パッケージユニット化しており、1 箇所でもメンテナンス対応可。参考までに、圧縮機の保全周期は、一般的な空冷および水冷チリングユニットと同様に、全密閉型で 20,000 時間（法定耐用年数より）。 	
施工性	<ul style="list-style-type: none"> ・熱源水配管にヘッダー方式を採用しているため、1 本 1 本確実にエア抜きを行うことができ、万が一のトラブル時には、1 孔井ずつを確実に閉塞可能。 ・地中熱源ヒートポンプの屋外パッケージユニット化により、機械室設置スペースと屋内配管が不要となり、現地施工の短縮が可能。 	
技術上の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ソニックドリル工法（特殊振動工法）による清水掘削後、25A ダブル U チューブと珪砂充填により地中熱交換井を構築。 ・熱源水配管は、土中埋設部を EF 継手による電気融着とし、ヘッダー方式を採用。 ・地中熱源ヒートポンプは、水 - 空気ヒートポンプ（二次側直膨式）を採用し、本体と水回路および制御盤を含め屋外パッケージユニット化。 ・循環媒体には清水を使用し（ブライン未使用）、万が一の漏水時に安全性を確保。 	
コスト概算	一式 22,500 千円（直接工事費）	

その他実証申請者からの情報（参考情報）

本施設は、関東地域での地中熱利用システム見学の場として活用されており、地中熱源ヒートポンプユニット、熱源水ヘッダー、空調スペース、紹介パネル等を見学することができます。

本編

1．実証試験の目的及び概要

1.1 環境技術実証事業の概要

(1) 環境技術実証事業の目的と定義

環境技術実証事業の目的と本事業の「実証」の定義は、「平成 22 年度 環境技術実証事業 実施要領」*1に次のように定められている。

『環境技術実証事業は、既に適用可能な段階にありながら、環境保全効果等についての客観的な評価が行われていないために普及が進んでいない先進的環境技術について、その環境保全効果を第三者が客観的に実証することにより、環境技術実証の手法・体制の確立を図るとともに、環境技術の普及を促進し、環境保全と環境産業の発展に資することを目的とする。

本実証事業において「実証」とは、環境技術の開発者でも利用者でもない第三者機関が、環境技術の環境保全効果、副次的な環境影響、その他環境の観点から重要な性能（以下、「環境保全効果等」という。）を試験等に基づき客観的なデータとして示すことをいう。

「実証」とは、一定の判断基準を設けて、この基準に対する適合性を判定する「認証」とは異なるものである。』

(2) 本実証試験の仕様

本実証試験は、「環境技術実証事業 ヒートアイランド対策技術分野（地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム）実証試験要領（第 2 版）」*2に基づいて実施されたものである。

1.2 実証対象技術の概要

本実証試験の対象とする地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システムとは、地中熱及び地下水熱、下水熱等を熱源とし、ヒートポンプによって効率的に暖冷房を行うシステム全般のことである。当該システムは、多層的な技術の組み合わせで構成されており、図1-1のとおり階層的に分類される。

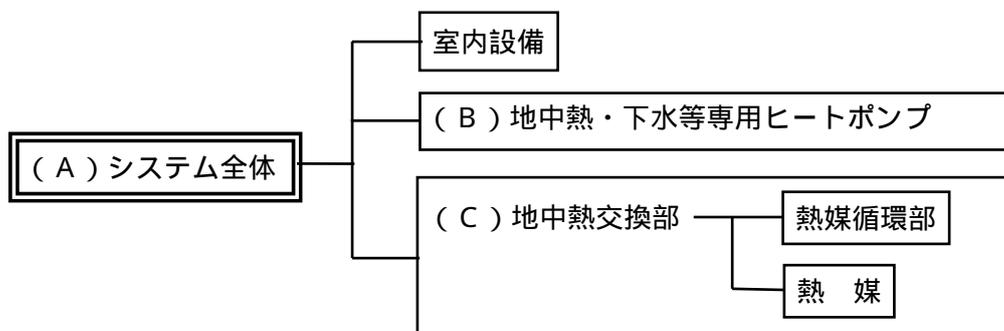


図 1-1 実証対象技術の全体像

本報告書はこれらの階層的技術のうち、実証単位「(A) システム全体」に関する報告書である。「(A) システム全体」は「地中熱交換部からヒートポンプまでを含めた、当システムに関わる技術全体。」と実証試験要領（第 2 版）に定義されている。

* 1 : 環境省 平成 22 年 4 月 『平成 22 年度 環境技術実証事業 実施要領』

http://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/intro/yoryo_h22.pdf

* 2 : 環境省 水・大気環境局 平成 22 年 5 月 18 日 『環境技術実証事業 ヒートアイランド対策技術分野（地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム）実証試験要領（第 2 版）』

http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=17387&hou_id=12495

1.3 実証項目の内容

実証単位 (A) の実証項目は、表 1-1 のとおりシステム全体及び実証単位 (C) で構成される。

実証単位 (C) の地中熱交換部全体の実証項目については、サーマルレスポンス試験 (TRT) を実施し、その測定データから算出する。しかし、システム全体として施設が完成している場合、実証試験でサーマルレスポンス試験を行うことができない。そのため、実証試験要領 (第 2 版) 7 ページの【(5) 既存データ活用の特例措置】を満たすか検討した上で、既存の測定結果を適用することになっている。

また、実証単位 (C) の熱媒循環部及び熱媒の実証項目については、性能を証明する書類の写しを確認する項目である。この実証項目は、性能の証明の担保として、その製造・販売事業者の品質管理システム等を確認する。

表 1-1 実証単位 (A) の実証項目

実証項目		項目	内容
システム全体	必須項目	a. 冷房期間のシステムエネルギー効率	冷房期間における平均 COP ^{*1}
		b. 冷房期間のシステム消費電力	冷房期間内の稼働時間における平均値
		c. 冷房期間の地中への排熱量	冷房期間内の稼働時間における平均値
	任意項目	d. 冷房・暖房期間のシステムエネルギー効率	冷房・暖房期間において算出した APF ^{*2}
		e. 暖房期間のシステム消費電力	暖房期間内の稼働時間における平均値
		f. 暖房期間の地中からの採熱量	暖房期間内の稼働時間における平均値
実証単位 (C) 地中熱交換部	地中熱交換部全体	a. 熱交換井の熱抵抗	熱抵抗値 [K/(W/m)]
		b. 土壌部分の熱伝導率	熱伝導率 [W/(m・K)]
	熱媒循環部	c. 流量範囲	適正流量 (上限と下限) [cm ³ /s]
		d. 熱伝導性	素材の熱伝導率 [W/(m・K)]
		e. 耐熱性	
		f. 脆化温度	脆化温度 []
		g. 耐腐食性	
		h. 寿命	
	熱媒	i. 腐食性	
		j. 粘性	粘性率 [Pa・s]
		k. 比熱	[J/(kg・K)]
		l. 引火性	
		m. 毒性	
		n. 生分解性 / 残留性	

* 1 : COP (Coefficient Of Performance) は、エネルギー効率。投入エネルギーに対する生成熱量の比率のことである。同じ性能の単体のヒートポンプにおいても外気温度と室内温度によって値が異なる。この値のみが当該技術の性能の高さを必ずしも示すものでない。ヒートアイランド抑制に関する性能は、「冷房期間のシステムエネルギー効率 (COP)」及び「冷房期間の地中への排熱量 (平均値)」の両値の総合で評価される。

* 2 : APF Annual Performance Factor の略。COP の年間平均値を表す。本試験では、厳密な年間平均値ではなく、実証試験期間 (7 ~ 8 ヶ月程度) の平均値として定義している。

2. 実証機関・申請者・実証試験体制

実証試験に参加する組織は、図 2-1 に示すとおりである。また、実証試験参加者とその責任分掌は、表 2-1 に示すとおりである。

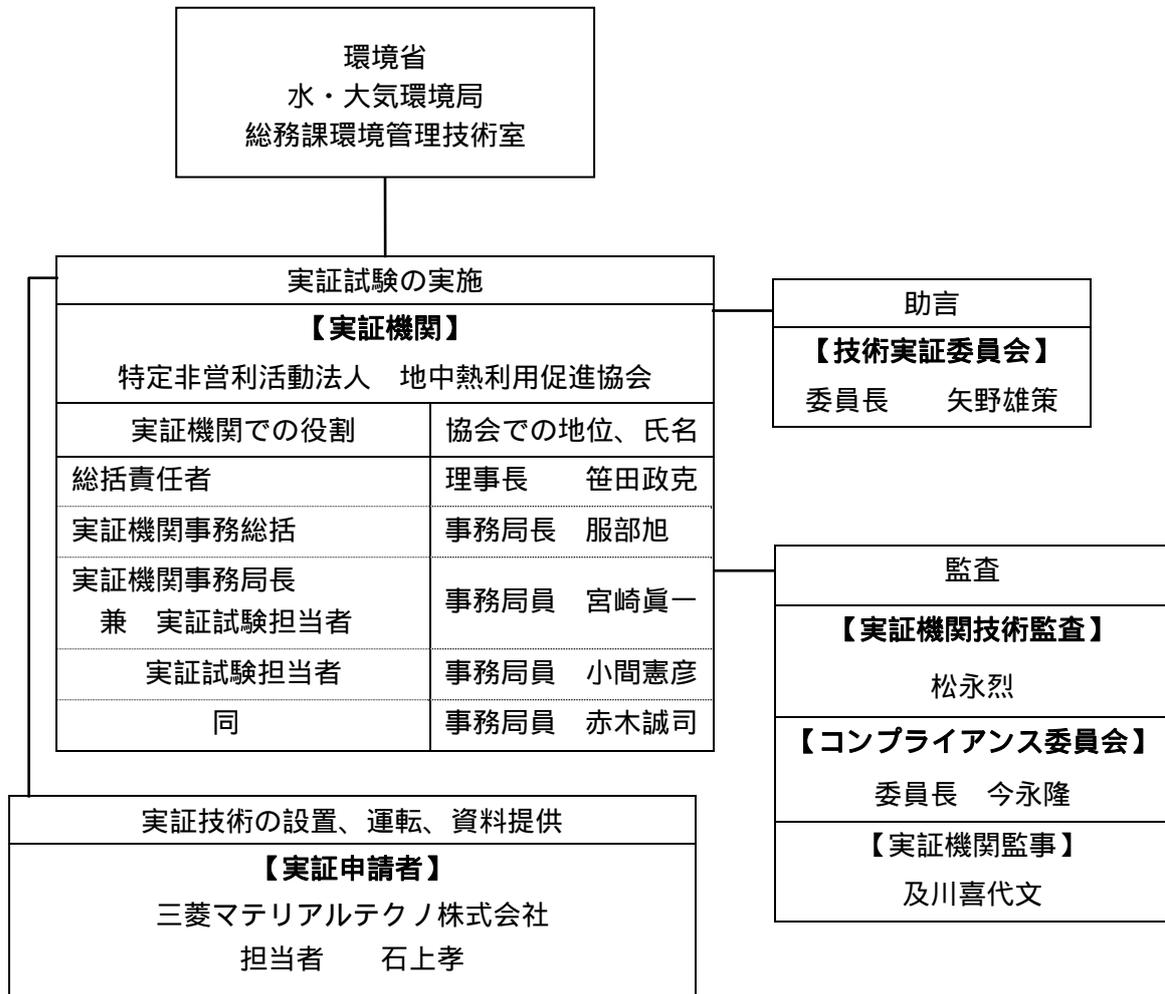


図 2-1 実証試験体制

表 2-1 実証試験参加機関、責任分掌

区分	実証試験参加機関	責任分掌	参加者
実証機関	特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会	実証試験の運営管理	笹田政克 服部旭 宮崎眞一 小間憲彦 赤木誠司
		実証対象技術の公募・審査	
		技術実証委員会の設置・運営	
		品質管理システムの構築	
		実証試験計画の策定	
		実証試験の実施・運営	
		実証試験データ・情報の管理	
		実証試験結果報告書の作成	
		その他実証試験要領で定められた業務	
		技術実証委員会の設置・運営補助	
		内部監査の総括	松永烈*1
		実証試験データの検証	
		適法性及び公平性の確認	コンプライアンス委員会
実証申請者	三菱マテリアルテクノ株式会社	実証機関への必要な情報提供と協力	石上孝
		実証対象製品の準備と関連資料の提供	
		費用負担及び責任をもって 実証対象製品の運搬等を実施	
		既存の性能データの提供	
		実証試験報告書の作成における協力	

*1：独立行政法人産業技術総合研究所 つくばセンター次長

3 . 実証対象技術及び実証試験実施施設について

3.1 実証対象技術の原理と特徴

(1) 原理と概要

本地中熱利用ヒートポンプ空調システムは、図 3-1 及び図 3-3 (詳細版本編 16 ページ) に示すように、三菱マテリアル株式会社大宮新館の 1~2 階吹抜けのエントランスホール (受付、ラウンジ) とコーポレートショールームの空調を、空気熱源ヒートポンプ空調機 (通常のエアコン) と共に分担しているものである。地中熱交換井は、大宮新館のエントランスの外に掘削されており、深さ 100m の坑井が 5 本で、それぞれダブルU字管を設置している。熱媒は、5 本の熱交換井から出たものが熱源水ヘッダーでまとめられ、地中熱利用ヒートポンプ (水熱源式マルチエアコン屋外パッケージユニット) に送られる。地中熱利用ヒートポンプで冷却または昇温された冷媒は室内ユニットに送られて冷暖房に用いられる直膨式である。

夏期は地中熱利用ヒートポンプで冷媒を冷却することにより生じる排熱を熱媒 (清水) を通じて地中熱交換器で放熱し、冷却した冷媒により冷房を行う。冬期は熱媒 (清水) を通じて地中熱を採取し、地中熱利用ヒートポンプで冷媒を加温し、加温した冷媒により暖房を行う。

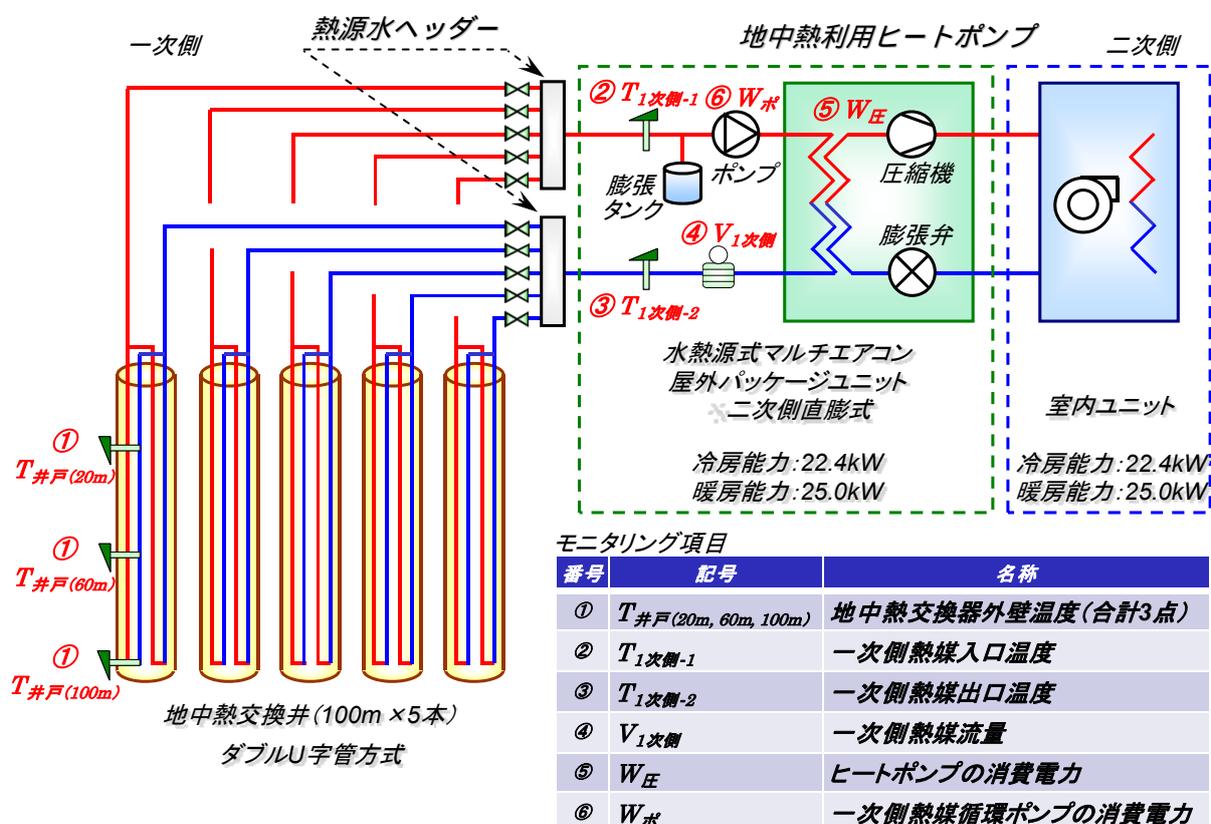


図 3-1 本実証対象技術の原理と概要

(2) 実証対象技術の特徴

本実証対象技術の特徴は次のとおりである。なお、本実証対象技術のシステム構成及び各部の仕様については、表 3-2 (詳細版本編 18 ページ) に示す。

1) 地中熱交換井について

- ・掘削手法には特殊振動工法を採用した。
- ・掘削工事に使用する掘削流体は、地層の熱交換効率に悪影響を与えない清水掘削を実施している (ベントナイト泥水を掘削流体として使用すると、地層の熱交換率が悪くなると言われている。)
- ・地中熱交換器には 25A ダブルU字管を使用している。

- ・充填材に一般の砂より熱伝導率が高い珪砂を使用している。
- ・一次側の熱媒には清水を使用し、漏水時の安全性を確保している。

2) 熱源水配管について

- ・土中埋設部横引き配管は、すべて EF 継手による電気融着配管を実施している。
- ・エア抜き及び万が一のトラブルを考慮し、1 系統ずつ確実に閉塞できるヘッダー方式を採用している。なお、「ヘッダー方式」とは、図 3-1（詳細版本編 14 ページ）に示すように、地中熱交換器の熱媒循環部（U 字管）からの複数の配管を、地中熱交換部への行き側・戻り側にそれぞれ分け、熱源水ヘッダーで行き側配管と戻り側配管でまとめる方式である。

3) 地中熱利用ヒートポンプについて

- ・大宮新館に設置した地中熱利用ヒートポンプシステムは、二次側（利用側：室内ユニット側）を冷媒循環とした方式（直膨式）で、ヒートポンプユニットと熱源水循環ポンプ（一次側循環ポンプ）を一つの屋外式パッケージユニットに収納した、「水熱源式マルチエアコン屋外パッケージユニット」として製作されたものである。二次側に直膨式を採用した理由は、建物全体の空調システムに合わせたことによる。このパッケージユニットは、ヒートポンプ、一次側循環ポンプ、膨張タンク、水回路及び制御盤がパッケージとなっているもので、三菱マテリアルテクノ株式会社、三菱電機冷熱プラント株式会社及び三菱電機株式会社の共同開発の製品・システムである。

3.2 実証試験実施施設の環境

実証試験実施施設の概要を表 3-1 に、その所在地を図 3-2（詳細版本編 16 ページ）に、実証試験実施施設の配置図を図 3-3（詳細版本編 16 ページ）に、実証試験実証施設内及び施工時の参考写真を図 3-4（詳細版本編 17 ページ）に示す。

表 3-1 実証試験実施施設の概要

施設概要	施設名 三菱マテリアル株式会社 大宮新館 施設住所 : 埼玉県さいたま市大宮区北袋町 1-297 施設の用途: 事務所
施設の規模及び空調方式	延床面積: 21,837.20m ² 階数: 地下 2 階、地上 7 階 構造: S 造 主熱源: 空気熱源ヒートポンプ空調システム (一部に地中熱源ヒートポンプ空調システムを利用) 空調方式: 中央制御
本システムの空調対象(部屋)	部屋の用途: エントランスホール(ラウンジ及び受付)とコーポレートショールーム 階: 1~2 階 吹抜け 床面積: 約 450m ² (地中熱空調は約 150m ² 分) 地中熱利用空調システムは図 2-1 に示す通り、主にコーポレートショールームに利用している。受付及びラウンジが、2 階の天井高さまで吹抜けとなっている。
空調対象施設の特徴	空調対象施設の特徴として、建物全体の主要な空調システムは、ビル用マルチエアコンタイプの空気熱源ヒートポンプ空調機で、その熱容量は、1~2 階吹抜け部分(床面積約 450 m ²)のうち、約 300 m ² 程度の分を負担している。対して、ここに設置したビル用マルチエアコンタイプの地中熱利用ヒートポンプシステムの熱容量は、約 150 m ² 程度(約 1/3)を負担している。

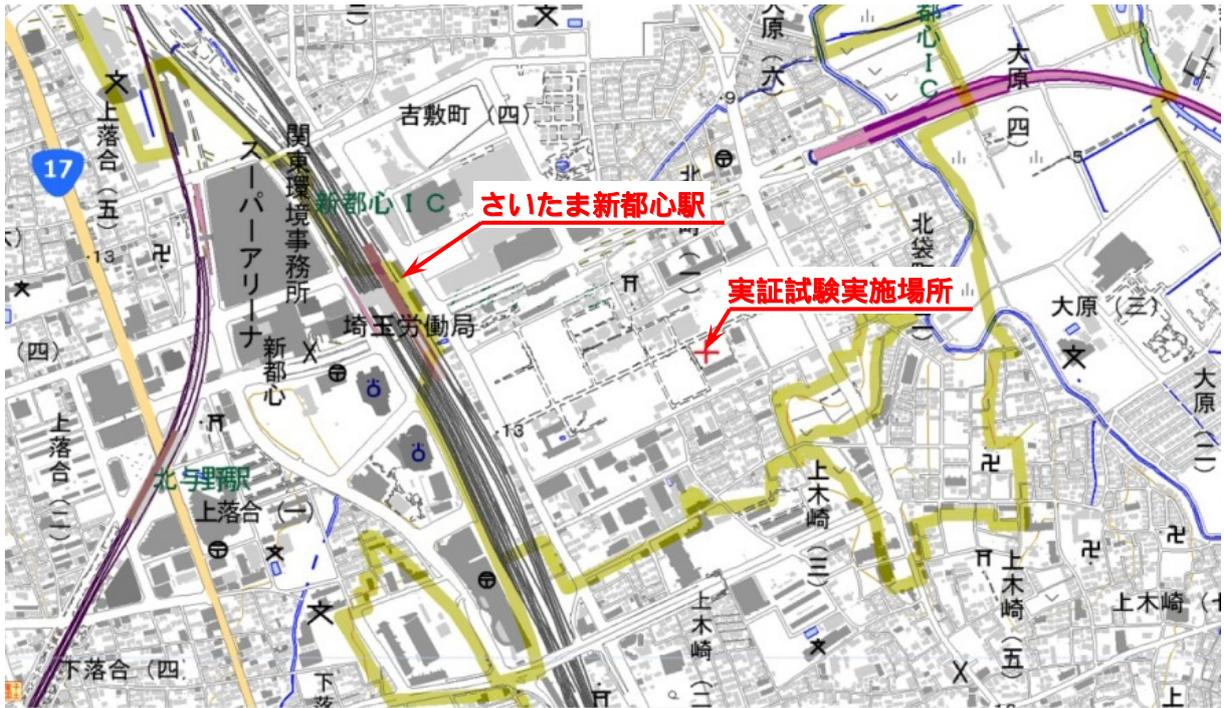


図 3-2 実証試験実施施設の所在地

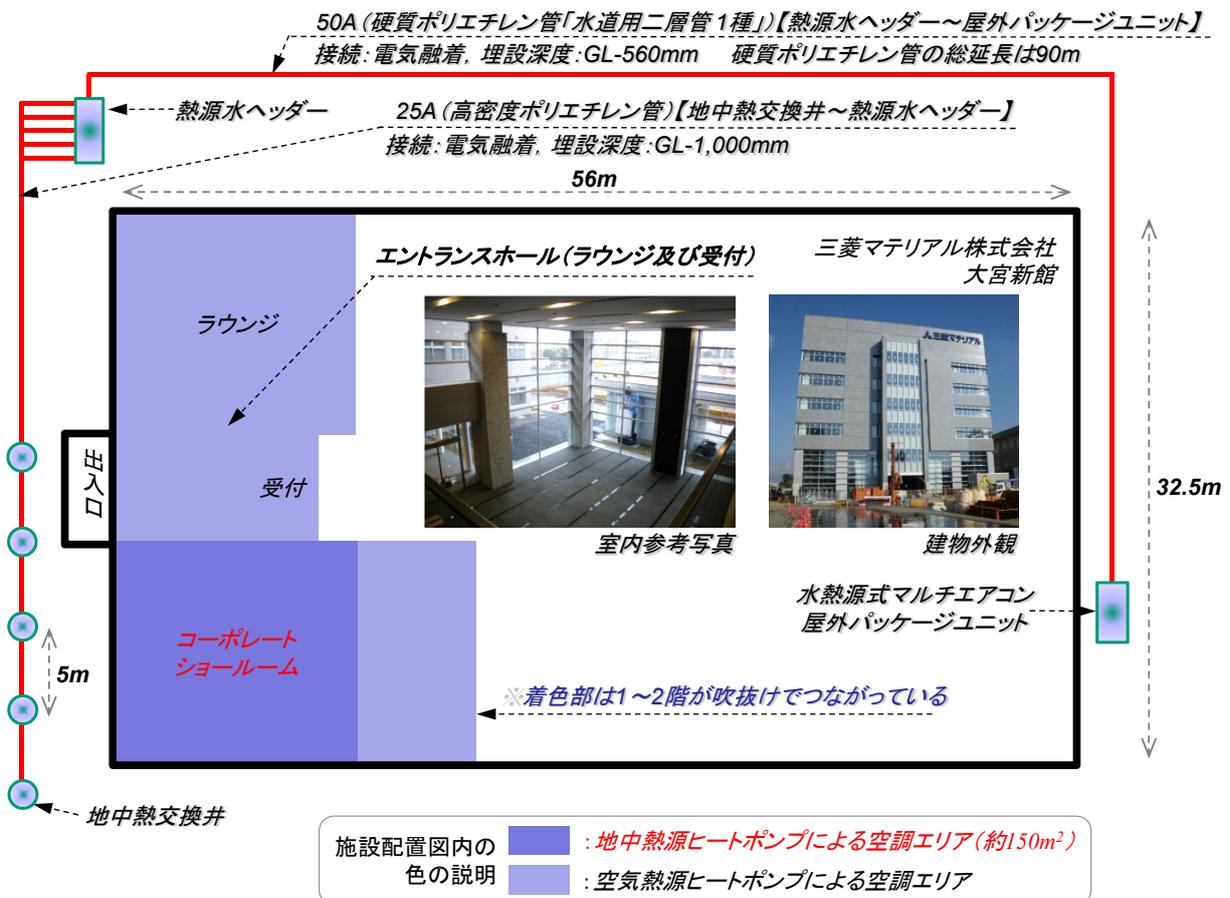


図 3-3 実証試験実施施設 (三菱マテリアル株式会社大宮新館) の施設配置図



図 3-4 実証試験実証施設内の参考写真

3.3 実証対象技術のシステム構成

実証対象技術のシステムは主に、地中熱交換井、地中熱利用ヒートポンプ、循環ポンプ、室内機で構成されている。実証対象技術のシステム構成及び仕様を表 3-2 に示す。

表 3-2 実証対象技術のシステム構成及び仕様

地中熱交換井	<ul style="list-style-type: none"> ・深度および本数：100m×5本 ・孔径：179mm（リングビット外径にて明記） ・地中熱交換器：25A ダブルU字管（材質：高密度ポリエチレン管「PE100」 製品名：地中熱交換システム用パイプ U-ポリパイ（株式会社イノアック住環境 製造） 形式：GUP-25A110、長さ：100m、外径 34mm、内径：27mm） ・充填材：いわき珪砂 2号（ただし、孔口から約 10m 深度までモルタル充填）
地中熱利用ヒートポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ・製品名：水熱源ヒートポンプ式パッケージエアコン熱源ユニット（シティマルチ WY Eeco シリーズ）（三菱電機株式会社 製造） ・形式：PQHY-P224SCM-E ・冷房能力：22.4kW、消費電力：4.16kW（定格値） ・暖房能力：25.0kW、消費電力：4.34kW（定格値） ・台数：1台 ・制御構成：インバータ制御 ・冷媒：R410A
室内機	<ul style="list-style-type: none"> ・製品名：パッケージエアコンディショナー 空冷ヒートポンプ式セパレート形 室内ユニット（三菱電機株式会社 製造） ・形式：PFFY-P224RM-E1 ・冷房能力：22.4kW、消費電力：1.23kW（定格値） ・暖房能力：25.0kW、消費電力：1.23kW（定格値） ・台数：1台 ・送風量：64m³/min（強）
一次側循環ポンプ ^{*1}	<ul style="list-style-type: none"> ・製品名：エバラ LPD 型ラインポンプ（株式会社荏原製作所 製造） ・形式：40LPD51.5A ・出力：1.5kW ・吐出し量：0.25m³/min、全揚程：20.2m
熱媒の種類と形式	<ul style="list-style-type: none"> ・一次側：清水 ・二次側：冷媒（R410A）で直膨式

図 3-3（本編 16 ページ）に示すとおり、本技術の特殊条件として、地中熱交換井と地中熱利用ヒートポンプまでの距離が離れている。熱原水ヘッダーから地中熱利用ヒートポンプまでは 50A のポリエチレンパイプを地中埋設配管しており、その長さは約 90m である。

3.4 地中熱交換井と地盤状況

地中温度の稼働前実測値が、深度約 20m で 17.5℃、深度約 60m で 15.1℃、深度約 100m で 15.2℃であった。施工中観測値の参考水位は、4～5m である。

地質状況の資料は特にない。

3.5 実証対象技術の特徴・長所を含む参考情報

本ページに示された情報は、全て実証申請者が自らの責任において申請したものであり、環境省及び実証機関は、内容に関して一切の責任を負いません。

実証対象技術の概要（参考情報）

項目	実証申請者 記入欄	
製品名	三菱マテリアル株式会社大宮新館における地中熱利用ヒートポンプ空調システム	
製造（販売）企業名	三菱マテリアルテクノ株式会社	
連絡先	TEL / FAX	03-3221-2471 / 03-3221-2472
	Web アドレス	http://www.mmtec.co.jp
	E-mail	ishikami@mmc.co.jp
設置条件	<ul style="list-style-type: none"> ・地中熱交換井設置工事時に、ボーリングマシンやプラント設備の設置スペースが必要。 ・地中熱交換井の間隔は通常、4～5m 程度。 ・地中熱交換井の設置は、道路下やエントランス、植栽箇所近辺（ただし、根入れスペースは不可）でも可能。 	
メンテナンスの必要性・コスト・耐候性・製品寿命等	<ul style="list-style-type: none"> ・孔井内地中熱交換器および土中埋設横引き配管には、50 年の使用に耐えうる高密度ポリエチレン管を使用しており、メンテナンスフリー。 ・地中熱源ヒートポンプは、水回路、制御盤含め屋外パッケージユニット化しており、1 箇所までメンテナンス対応可。参考までに、圧縮機の保全周期は、一般的な空冷および水冷チリングユニットと同様に、全密閉型で 20,000 時間（法定耐用年数より）。 	
施工性	<ul style="list-style-type: none"> ・熱源水配管にヘッダー方式を採用しているため、1 本 1 本確実にエア抜きを行うことができ、万が一のトラブル時には、1 孔井ずつを確実に閉塞可能。 ・地中熱源ヒートポンプの屋外パッケージユニット化により、機械室設置スペースと屋内配管が不要となり、現地施工の短縮が可能。 	
技術上の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ソニックドリル工法（特殊振動工法）による清水掘削後、25A ダブル U チューブと珪砂充填により地中熱交換井を構築。 ・熱源水配管は、土中埋設部を EF 継手による電気融着とし、ヘッダー方式を採用。 ・地中熱源ヒートポンプは、水 - 空気ヒートポンプ（二次側直膨式）を採用し、本体と水回路および制御盤を含め屋外パッケージユニット化。 ・循環媒体には清水を使用し（ブライン未使用）、万が一の漏水時に安全性を確保。 	
コスト概算	一式 22,500 千円（直接工事費）	

その他実証申請者からの情報（参考情報）

本施設は、関東地域での地中熱利用システム見学の間として活用されており、地中熱源ヒートポンプユニット、熱源水ヘッダー、空調スペース、紹介パネル等を見学することができます。

4．実証試験の内容

4.1 目的

実証単位（A）のシステム全体として、実使用状態の建物で地中熱を利用した冷暖房を行い、実証項目である【冷房期間のシステムエネルギー効率（COP）】、【冷房期間のシステム消費電力】、【冷房期間の地中への排熱量】を求め、地中熱を利用した冷暖房システムの省エネ効果や夏期のヒートアイランド抑止効果を検証する。

また実証単位（C）の実証項目は、【地中熱交換部全体の実証項目】、【熱媒循環部の実証項目】、【熱媒の実証項目】に分かれている。【地中熱交換部全体の実証項目】はサーマルレスポンス試験によって、地中との熱交換効率を実証するものである。【熱媒循環部の実証項目】と【熱媒の実証項目】は地中との熱交換率に影響する要素の性質を実証するものである。

4.2 実証項目の実証の方法

(1) システム全体の実証項目

本実証項目は、地中熱利用ヒートポンプの一次側の熱媒の温度、流量、ならびにヒートポンプや一次側循環ポンプの消費電力を測定し、実証試験要領に定められた方法によって算出した。

(2) 実証単位（C）の実証項目【地中熱交換部全体】

本実証項目は、地中熱交換部全体のサーマルレスポンス試験を行い、測定されたデータから算出する項目であるが、システム全体として施設がすでに完成し運転しているため、地下の熱的状況が乱されていない状態での試験を原則とするサーマルレスポンス試験を本実証試験で改めて行うことができなかった。しかし、本実証対象技術では、既存のサーマルレスポンス試験の測定結果とその報告書が、存在している。そこで、実証試験要領（第2版）の7ページ【(5) 既存データ活用の特例措置】の条件を確認したが、本測定結果は、条件の一部を満たしていない。そのため、同実証試験要領の表3注記（ ）（15ページ）に従い、本既存データを「代替の地質データ」として扱うことにした。既存データ活用の特例措置についての検討詳細は、詳細版本編4．4.7（詳細版本編25ページ）に示す。

(3) 実証単位（C）の実証項目【熱媒循環部及び熱媒】

性能を証明する書類の写しを提出する項目であるので、それらの書類によって性能を示した。性能の証明の担保として、それらの製造事業者の品質管理システムを確認し、提出書類を転用した。なお、実証単位（C）の実証項目の結果詳細は、詳細版本編6．6.2～6.3（詳細版本編38～41ページ）に記載する。

4.3 実証単位 (A) の測定機器について

(1) 測定機器の配置

実証単位 (A) (システム全体) の測定機器の配置を図 4-1 に示す。

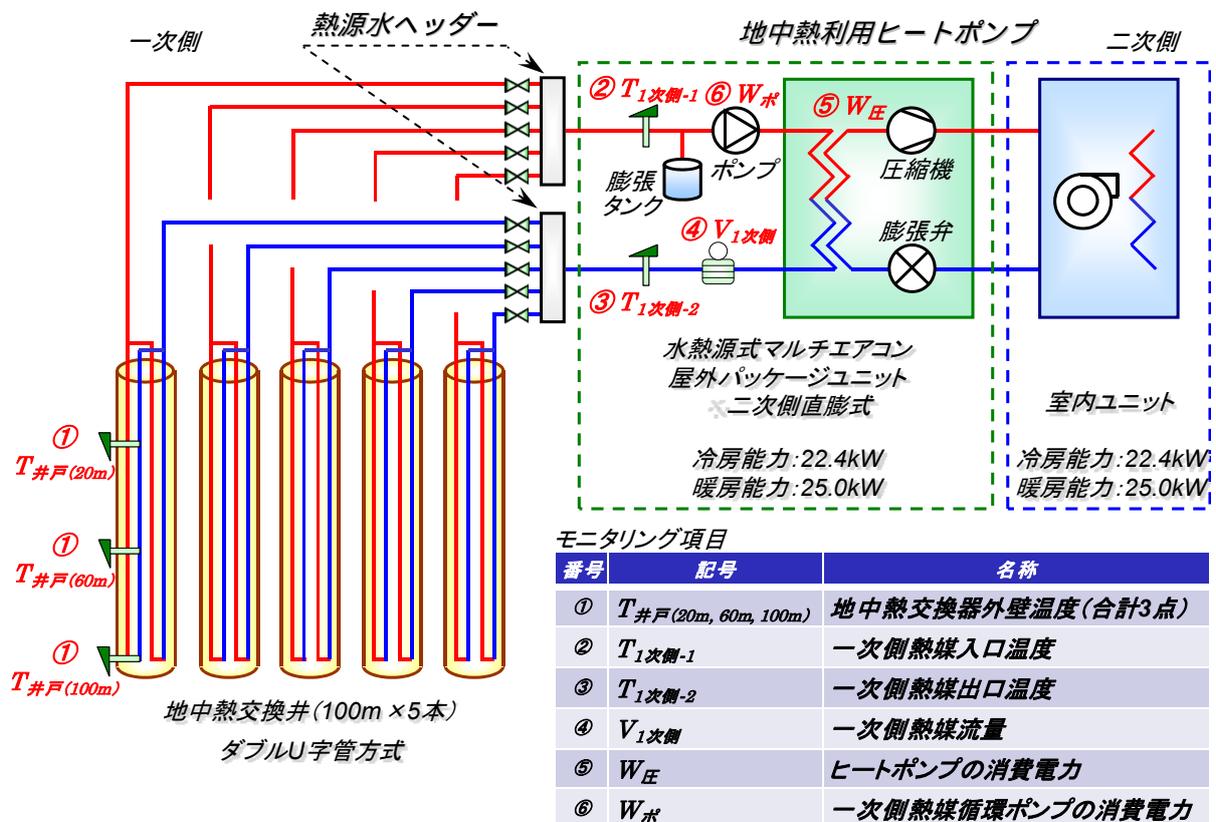


図 4-1 実証試験実施施設の測定機器の配置図

(2) 測定項目と測定機器

システム全体の測定項目を表 4-1 に示す。(~ の番号は、図 4-1 の同番号に対応する。)

表 4-1 システム全体の測定項目

測定項目	測定機器	測定点数	備考
地中熱交換器外壁温度 (深度 20m、60m、100m)	測温抵抗体	3	測定間隔: 1 分毎
一次側熱媒入口温度	測温抵抗体	1	測定間隔: 1 分毎
一次側熱媒出口温度	測温抵抗体	1	測定間隔: 1 分毎
一次側熱媒流量	電磁流量計	1	測定間隔: 1 分毎
ヒートポンプの消費電力	積算電力量計	1	測定間隔: 1 分毎
一次側循環ポンプの消費電力	積算電力量計	1	測定間隔: 1 分毎
	合計	8	

(3) 本実証試験に使用した測定機器、記録装置

本実証試験に使用した測定機器、記録装置を表 4-2 に示す。

表 4-2 測定機器、記録装置

温度センサー	<ul style="list-style-type: none"> ・製品名：水中投入形（防水形）測温抵抗体（クラス B） （株式会社チノー 製造） ・形式：R902-31 ・精度：±0.3
データロガー	<ul style="list-style-type: none"> ・製品名：グラフィックレコーダ（株式会社チノー 製造） ・形式：KR2000 ・精度：±0.1%
流量計	<ul style="list-style-type: none"> ・製品名：電磁流量計（東京計装株式会社 製造） ・形式：EGM1010C ・精度：±0.5%
電力計	<ul style="list-style-type: none"> ・製品名：電子式電力量計（三菱電機株式会社 製造） ・形式：M8UM-S33R ・精度：±2.0%

(4) 測定機器の精度について

測定機器のうち電力計の精度は、実証試験要領の規定を満たしていない。しかし、次のような理由からそのまま使用することが、平成 22 年 7 月 21 日開催の第二回技術実証委員会で承認された。

電力計の精度は±2.0%であり、実証試験要領の規定する±0.5%の精度を満たしていない。しかし、次の 2 点の精度を総合すれば、実証試験要領が意図する精度を満たしていると考えられた。

- 1) この電力計の精度は JIS B 8613 の規定する積算電力計の精度（±1%）の 1/2 である。
- 2) 温度センサーの精度は±0.3 で規定の±0.5 の約 2 倍の精度である。

その他の測定機器の精度は実証試験要領の規定を満たしていることを確認した。

4.4 実証試験実施施設の測定時の運用条件

実証試験実施施設の空調システムの運用状況を表 4-3 に示す。実証試験実施施設の空調システムは、表 3-1（詳細版本編 15 ページ）及び図 3-3（詳細版本編 16 ページ）に示されているビル用マルチエアコンタイプの空気熱源ヒートポンプ空調機及び本実証試験の対象のビル用マルチエアコンタイプの地中熱利用ヒートポンプシステムを併用しており、双方の設定温度は同じ温度である。

表 4-3 実証試験実施施設の空調システムの運用状況

実証試験時の使用状況	<ul style="list-style-type: none"> ・運転モード：冷暖房切替運転 ・空調の運転時間 <ol style="list-style-type: none"> a. 冷房期間：原則的に月曜から金曜の朝 7 時から夕方 7 時。 b. 暖房期間：原則的に月曜から金曜の朝 7 時から夕方 7 時。 ・制御方法：中央制御 ・設定温度：冷房時 28℃，暖房時 20℃（リモコンにて設定）
その他、実証試験時における留意事項	<ul style="list-style-type: none"> ・設備の緊急停止の有無：なし ・通常と異なる運転の有無：なし ・測定不可の期間：なし

4.5 実証単位（A）システム全体の实証項目の実施日程

実証試験実施日程は、以下のとおりである。なお、冷房試験期間及び暖房試験期間を表 4-4 に示す。なお、本報告書の実証項目名の記載で、「冷房期間」及び「暖房期間」との記載があるが、これらは『冷房期間中の実証試験期間』及び『暖房期間中の実証試験期間』という意味で、【冷房試験期間】及び【暖房試験期間】を便宜上記載を簡略化している。

実証試験期間：平成 22 年 7 月 18 日～平成 23 年 2 月 2 日
 { ・冷房試験期間：平成 22 年 7 月 18 日～平成 22 年 9 月 26 日 (71 日間)
 { ・暖房試験期間：平成 22 年 10 月 26 日～平成 23 年 2 月 2 日 (100 日間)

表 4-4 実証単位（A）システム全体の实証試験の実施日程

項目	平成 22 年							平成 23 年			
	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	
冷暖房試験期間		冷房試験期間				暖房試験期間					

4.6 実証項目の算出方法

実証項目である【冷房期間のシステムエネルギー効率(COP)】、【冷房期間のシステム消費電力】、【冷房期間の地中への排熱量】の算出は、実証試験要領(第 2 版) 20 ページの【(4) 実証項目の算出】に従った。実証項目を算出するための中間的項目の計算結果は、表 5-2 (詳細版本編 27 ページ) に示す。表 5-2 で算出した項目の計算方法については、これより説明する。

表 5-2 の欄幅が狭く、各項目の計算方法をそのまま記載できない。そこで、計算方法を分かり易くするために、 \square 、 \square 、 $()$ 、 $()$ 等の記号を用いて式を示した。表 5-2 に記載の項目の名称を 項目 のようにフォントを説明文と異なるものを用い、区別した。

(1) 測定及びシステム稼働の期間、日数、時間

- 1) \square は、冷房試験期間中及び暖房試験期間中の測定日数である。
- 2) \square は、 $\square \times 24$ 時間である。
- 3) \square は、ヒートポンプが動いていた時間の合計(実測値)である。
- 4) \square は、 $\square \div \square$ である。

(2) 消費電力量

消費電力量にはヒートポンプの消費電力量、一次側循環ポンプの消費電力量がある。表 5-2 ではそれぞれの消費電力量を \square 、 \square とした。この呼称は、詳細版本編 4.4.6(5) (詳細版本編 24 ページ) までの説明文でも同様である。

1) 期間中の総和

\square は、ヒートポンプの消費電力量の測定期間中の総和、及び一次側循環ポンプの消費電力量の測定期間中の総和である。

\square 、 \square は、それぞれ電力量計で測定した実測値である。

$\square + \square$ は、 \square と \square の消費電力量の期間中の総和で、 $\square = \square + \square$ である。

2) 時間平均値

\square は、測定期間中の消費電力量の平均値である。

ヒートポンプ()の時間平均値 は、 = ÷ である。

一次側循環ポンプ()の時間平均値 は、 = ÷ である。

(3) 熱量（計算式は実証試験要領（第2版）22ページ【直膨式の場合】より）

1) 二次側冷暖房生成熱量の期間中の総和 は、下記の計算式で求めた。

$$\text{測定期間中の生成熱量の総和 [Wh]} = \sum_{\text{試験期間}} \left(|T_{1\text{次側-1}} - T_{1\text{次側-2}}| \cdot V_{1\text{次側}} \cdot c \cdot \rho + W_{\text{圧}} \right)$$

なお、本実証対象技術では二次側は直膨式のため直接二次側生成熱量の測定ができないので、一次側の測定値を用いて二次側冷暖房生成熱量を算出することとなっている。

$T_{1\text{次側-1}}$: 一次側（熱源側）熱媒入口温度（実測値）

$T_{1\text{次側-2}}$: 一次側（熱源側）熱媒出口温度（実測値）

$V_{1\text{次側}}$: 一次（熱源側）側熱媒流量（実績値）

c : 熱媒の比熱 [J/(kg・K)]

ρ : 熱媒の比重 [g/cm³]

$W_{\text{圧}}$: ヒートポンプ内の圧縮機の消費電力（実測値）

2) 二次側冷暖房生成熱量の時間平均値 は、 = ÷ である。

3) 冷房期間中の地中への排熱量の期間中の総和 は、下記の計算式で求められる。

$$= \sum_{\text{冷房期間}} \left(|T_{1\text{次側-1}} - T_{1\text{次側-2}}| \cdot V_{1\text{次側}} \cdot c \cdot \rho \right)$$

そして、 $T_{1\text{次側-1}}$ 、 $T_{1\text{次側-2}}$ 、 $V_{1\text{次側}}$ の実測値と c 、 ρ の値から算出する。

4) 冷房期間中の地中への排熱量の時間平均値 は、 = ÷ である。

5) 暖房期間中の地中からの採熱量の期間中の総和 は、下記の計算式で求められる。

$$= \sum_{\text{暖房期間}} \left(|T_{1\text{次側-1}} - T_{1\text{次側-2}}| \cdot V_{1\text{次側}} \cdot c \cdot \rho \right)$$

そして、 $T_{1\text{次側-1}}$ 、 $T_{1\text{次側-2}}$ 、 $V_{1\text{次側}}$ の実測値と c 、 ρ の値から算出する。

6) 暖房期間の地中からの採熱量の時間平均値 は、 = ÷ である。

(4) 部分負荷率（実証試験要領（第2版）17ページ 部分負荷率の算出方法より）

$$\text{部分負荷率} (\%) = 100 \times \frac{\text{システムにおける生成熱量 (W)}}{\text{システムにおける定格能力 (W)}}$$

冷房期間の部分負荷率は、 ÷ () である。

暖房期間の部分負荷率は、 ÷ () である。

なお、部分負荷率の計算に用いた定格能力は次のとおり。

冷房能力() = 22.4kW、 暖房能力() = 25.0kW

(5) エネルギー効率

1) COP の期間平均値 (APF)

ヒートポンプ単独の COP の期間平均値で、 = ÷ である。

2) システム COP の期間平均値 (APF)

ヒートポンプと一次側循環ポンプを含むシステム COP の期間平均値で、 = ÷ である。

4.7 実証単位（C）の実証項目における特例措置の適用検討

(1) 検討の目的

本実証試験の実証単位（A）では実証単位（C）の地中熱交換部全体の実証項目としてサーマルレスポンス試験を行うことが定められていると同時に、既存データがある場合には、それを活用する特例措置も定められている。ここでは、これらの規定の適用について検討した。

検討対象は、「三菱マテリアル株式会社大宮新棟及び加工技術センター改修工事（地下熱利用設備工事）サーマルレスポンス試験報告書」及びその測定結果である。

(2) 地中熱交換井でのサーマルレスポンス試験について

三菱マテリアル株式会社大宮新館における本実証対象技術の設置とその当時のサーマルレスポンス試験（TRT）の経緯は次のとおりである。

- 1) システムの設置工事：平成 21 年から 22 年
- 2) 熱交換井のサーマルレスポンス試験：平成 21 年 12 月 2 日～12 月 7 日（実施者及び報告書作成者は、本実証対象技術の実証申請者である三菱マテリアルテクノ株式会社。）
- 3) 試運転調整：平成 22 年 2 月 24 日から開始
- 4) 竣工：平成 22 年 4 月上旬（その後実稼動）

(3) 検討前の事前確認

既存の測定結果及びその報告書のそれぞれの内容の証明の担保として、既存のサーマルレスポンス試験の実施者（報告書の作成者）の品質管理システム等を確認し、下記に示す。

- ・ ISO 14001:2004。
- ・ ISO9001:1999 登録番号：JQA-QM3962

このサーマルレスポンス試験を行ったのは、申請者（三菱マテリアルテクノ株式会社）の資源・エネルギー事業部である。申請者の資源・エネルギー部は、多くの TRT の経験を有しており、その実施した TRT は信頼できるものと考えられる。

(4) 「既存データ活用の特例措置」の適用の判断

- 1) 実証単位（C）の【地中熱交換部全体の実証項目】は、地中熱交換部全体のサーマルレスポンス試験を行い、測定されたデータから算出する項目である。しかし空調システム全体として施設がすでに完成しており、4 月から運転をしているため、サーマルレスポンス試験の前提となっている運転開始前の地層の熱的状況が乱されていない状態での試験を本実証試験で改めて行うことができない。
- 2) 実証試験要領（第 2 版）7 ページに【(5) 既存データ活用の特例措置】があるが、平成 21 年 12 月に実施されたサーマルレスポンス試験の報告書（「代替の地質データ」、詳細版付録 46～60 ページ）を確認すると、同実証試験要領の条件の一部を満たしていない。実証試験要領の条件を満たしていない項目は 2 点ある。
試験開始前の地中熱交換井の温度測定は、同実証試験要領では 2m 毎となっているが、既存のサーマルレスポンス試験の報告書では、3 箇所のための測定で約 40m 毎である。
電気ヒーター消費電力の測定をしていない。

(5) 対応

実証試験要領（第 2 版）の表 3 注記（ ）（15 ページ）には、「当該項目の実証が難しい場合は、施工箇所の周辺の地質データを提出することで代替できることとする。」という規定がある。

そこで、この規定に従い、上記(2)に示したサーマルレスポンス試験の測定結果及びその報告書を「代替の地質データ」として扱うことにした。なお、報告書の「三菱マテリアル株式会社大宮新棟及び加工技術センター改修工事（地下熱利用設備工事）サーマルレスポンス試験報告書」は、詳細版付録 46～60 ページに添付した。また、それを元に表 6-4（詳細版本編本編 36 ページ）に示すとおり、実証項目を求めた。

5．実証単位（A）システム全体の実証試験の結果

5.1 実証試験結果（システム全体の実証項目）

実証試験結果として、実証試験要領に定められた実証項目の試験結果を表 5-1 に示す。実証項目の算出過程の数値や示すことが望ましいとされている項目も含めた実証試験結果を総括表として表 5-2（詳細版本編 27 ページ）に示す。

表 5-1 実証項目の試験結果

		項目	試験結果
システム全体の実証項目	必須項目	a. 冷房期間のシステムエネルギー効率（COP）	3.74
		b. 冷房期間のシステム消費電力	3.98 kW
		c. 冷房期間の地中への排熱量	17.69 kW
	任意項目	d. 冷房・暖房期間のシステムエネルギー効率	3.92
		e. 暖房期間のシステム消費電力	5.30 kW
		f. 暖房期間の地中からの採熱量	17.53 kW

表 5-2 実証単位（A）冷暖房試験結果総括表*1

項目		単位	冷房期間	暖房期間	期間全体	計算式	
期間・日数	各試験期間	-	平成 22 年 7 月 18 日 ~ 平成 22 年 9 月 26 日	平成 22 年 10 月 26 日 ~ 平成 23 年 2 月 2 日	-	-	
	各測定期間の日数	日	71	100	171	-	
	測定期間全体の時間	時間	1,704	2,400	4104	= × 24 時間	
	システム稼働時間	時間	316.4	263.8	580.2	実測値	
	システム稼働率	%	18.6	11.0	14.1	= ÷	
消費電力量・消費電力	ヒートポンプ ()	期間中の総和	kWh	881.6	1,092.4	1,974.0	実測値
		時間平均値	kW	2.79	4.14	3.40	= ÷
	一次側循環ポンプ ()	期間中の総和	kWh	377.4	306.6	684.0	実測値
		時間平均値	kW	1.19	1.16	1.18	= ÷
	()+()	期間中の総和	kWh	1,259.0	1,399.0	2,658.0	= +
		時間平均値	kW	3.98 *2	5.30 *2	4.58	= ÷
熱量	二次側冷暖房生成熱量	期間中の総和	kWh	4,714.2	5,717.1	10,431.3	本文*3参照
		時間平均値	kW	14.90	21.68	17.98	= ÷
	冷房期間の地中への排熱量	期間中の総和	kWh	5,595.8	-	5,595.8	本文*3参照
		時間平均値	kW	17.69 *2	-	17.69	= ÷
	暖房期間の地中からの採熱量	期間中の総和	kWh	-	4,624.7	4,624.7	本文*3参照
		時間平均値	kW	-	17.53 *2	17.53	= ÷
部分負荷率	-	%	66.5	86.7	-	÷ () ^{*4} ÷ () ^{*4}	
エネルギー効率	COP の期間平均値 (APF) (ヒートポンプ単独の COP)	-	5.35	5.23	5.28	= ÷	
	システム COP の期間平均値 (APF) (ヒートポンプと一次側循環ポンプを含む COP)	-	3.74 *2	4.09	3.92 *2	= ÷	

*1：項目の名称（例：各測定期間の日数）についての説明及びその計算方法については、詳細版本編 4 . 4.6(1)~(5)（詳細版本編 23~24 ページ）を参照。

*2：**太字下線**の数値は実証項目の必須項目、**太字**の数値は実証項目の任意項目を表す。

*3：詳細版本編 4 . 4.6(3)（詳細版本編 24 ページ）を参照。

*4：部分負荷率の計算に用いた定格能力は次のとおり。
冷房能力()=22.4kW、 暖房能力()=25.0kW

5.2 実証試験期間の各種項目の日ごとのデータの経時変化

実証期間中の各種測定項目及び算出項目の日ごとのデータの経時変化のグラフを以下の図 5-1(1)～(9) (詳細版本編 28～31 ページ) に示す。

温度は一日の平均値、電力及び熱量は一日の積算値と一日の時間平均値を示した。なお、測定データのサンプリング間隔は 1 分である。熱量は、一次側、二次側共、冷房を +、暖房を - とし
 て表示した。

(1) 日積算熱量

- ・一次側熱媒熱量：一次側熱媒熱量の一日の積算値
- ・二次側冷暖房生成熱量：ヒートポンプ生成熱量の一日の積算値

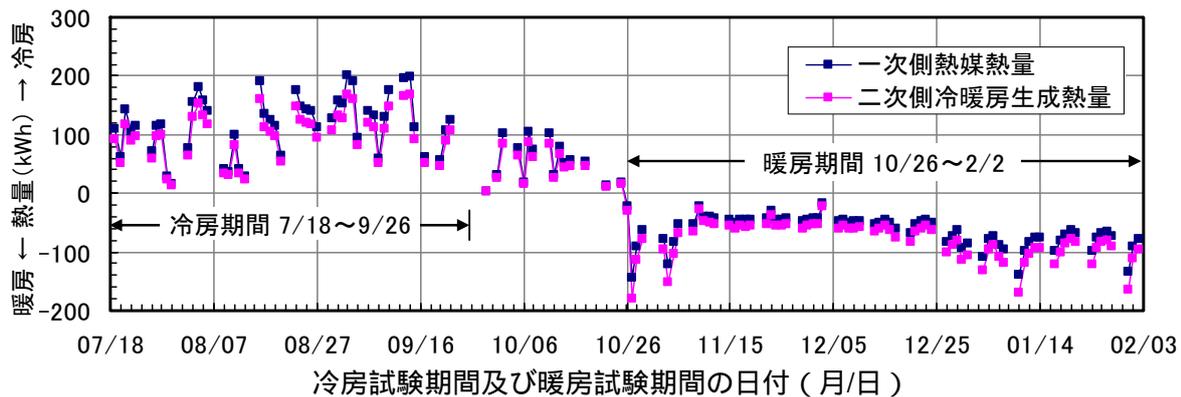


図 5-1(1) 日積算熱量 [kWh]

(2) システム稼働率

- ・ヒートポンプ稼働時間：一日のヒートポンプ稼働時間
- ・ヒートポンプ稼働率^{*1}：(ヒートポンプ稼働時間) ÷ 24 時間

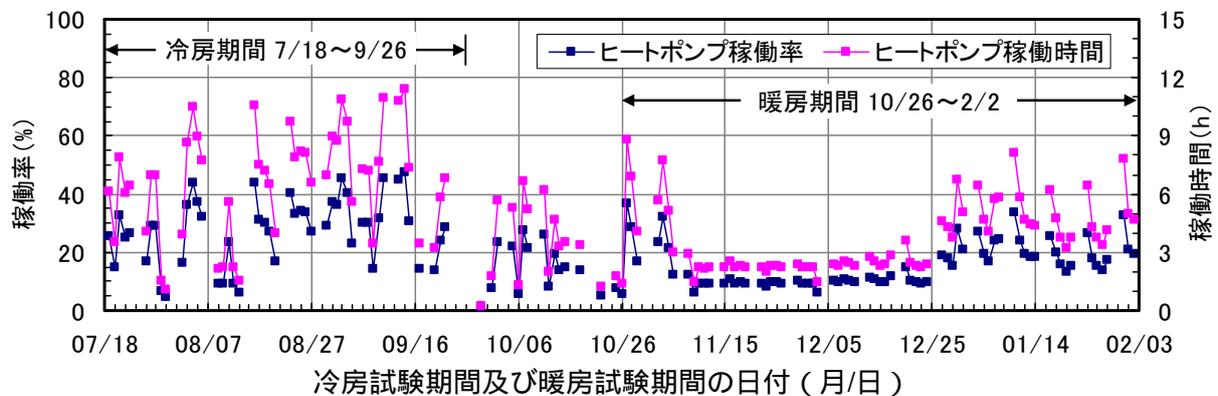


図 5-1(2) システム稼働率

* 1 : 表 5-2 (詳細版本編ページ) の項目では、システム稼働率と記載。

(3) 時間平均熱量

- ・一次側熱媒熱量：ヒートポンプ稼働時の、一次側熱媒熱量の一時間の平均値
- ・二次側冷暖房生成熱量：ヒートポンプ稼働時の、ヒートポンプ生成熱量の一時間の平均値

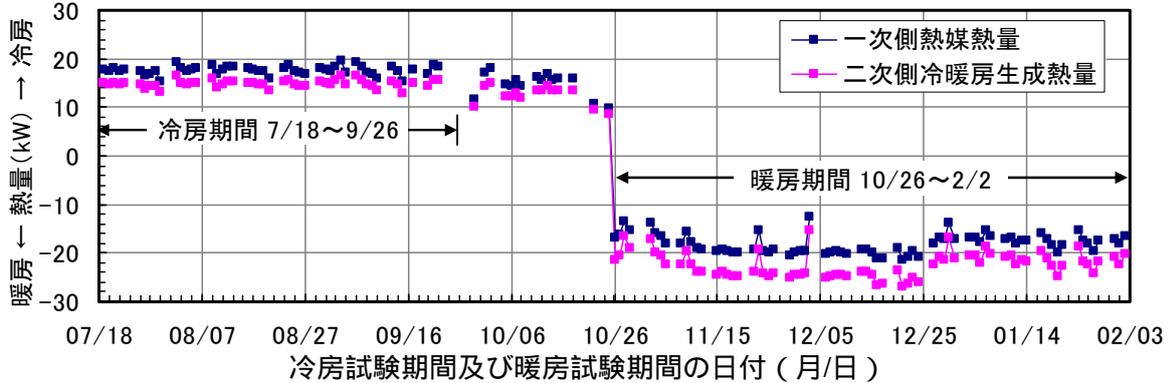


図 5-1(3) 時間平均熱量 [kW]

(4) 部分負荷率

- ・部分負荷率：一日の部分負荷率の平均値
- ・部分負荷率 (%) = 100 × システムにおける生成熱量 (W) / システムにおける定格能力 (W)

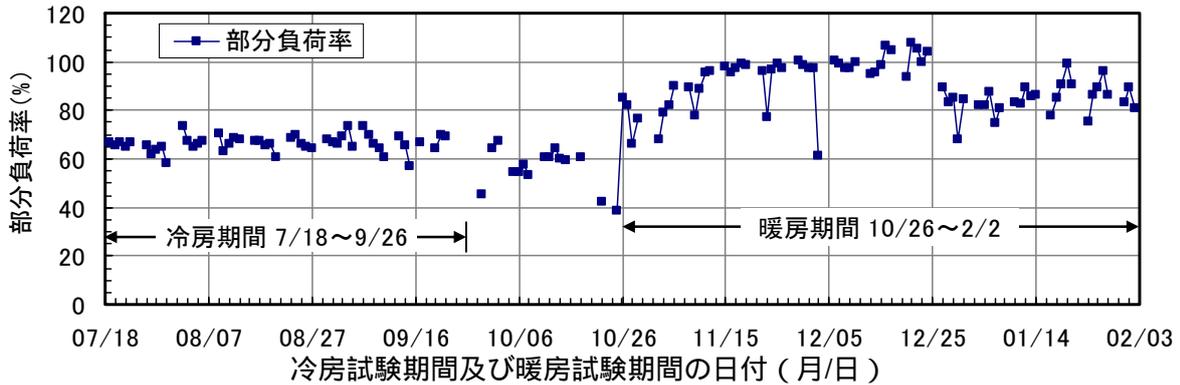


図 5-1(4) 部分負荷率

(5) エネルギー効率 (COP)

- ・ヒートポンプ単独 COP = 一日のヒートポンプ生成熱量 (W) / 一日のヒートポンプ消費電力量 (W)
- ・システム COP (ヒートポンプと一次側循環ポンプを含む) = 一日のヒートポンプ生成熱量 (W) / (一日のヒートポンプ消費電力量 + 一日の一次側循環ポンプ消費電力量) (W)

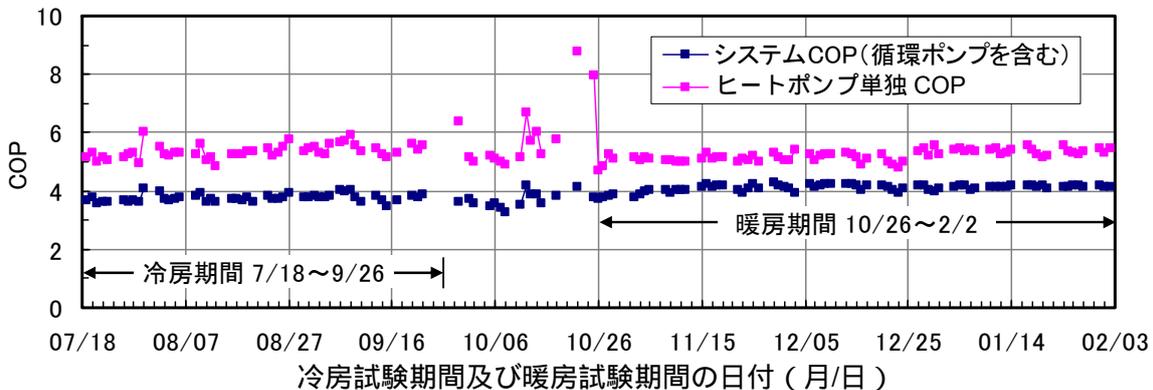


図 5-1(5) エネルギー効率 (COP)

(6) 日消費電力量

- ・ヒートポンプ：一日のヒートポンプ消費電力量
- ・一次側循環ポンプ：一日の一次側循環ポンプ消費電力量

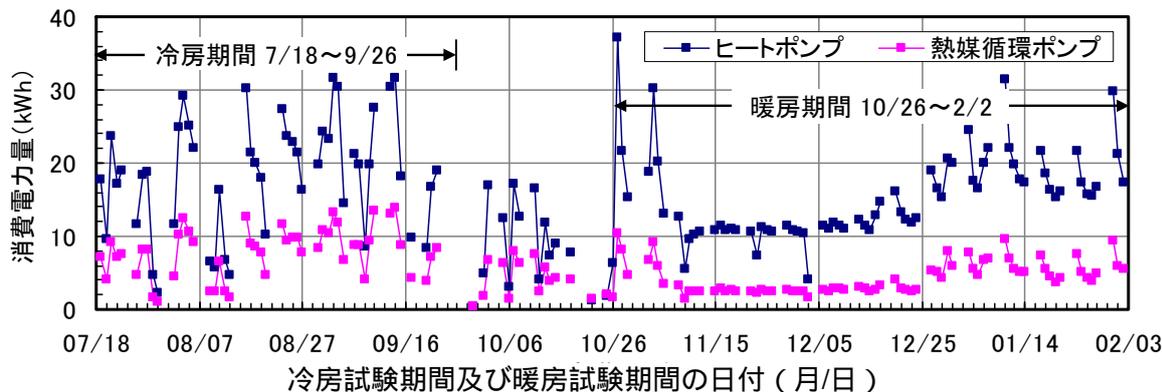


図 5-1(6) 日消費電力量 [kWh]

(7) 時間平均消費電力

- ・ヒートポンプ：一日のヒートポンプ消費電力量 / 一日のヒートポンプ稼働時間
- ・一次側循環ポンプ：一日の一次側循環ポンプ消費電力量 / 一日の一次側循環ポンプ稼働時間

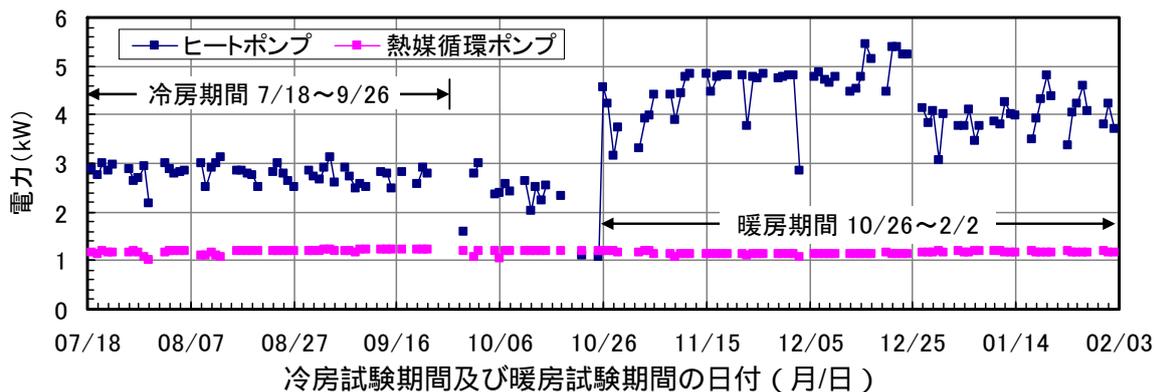


図 5-1(7) 時間平均消費電力 [kW]

(8) 一次側熱媒温度

- ・一次側熱媒出口温度：一次側熱媒のヒートポンプ出口温度の一日の平均値
- ・一次側熱媒入口温度：一次側熱媒のヒートポンプ入口温度の一日の平均値
- ・一次側熱媒入口出口温度差：一次側熱媒のヒートポンプ出口と入口の温度差の一日の平均値

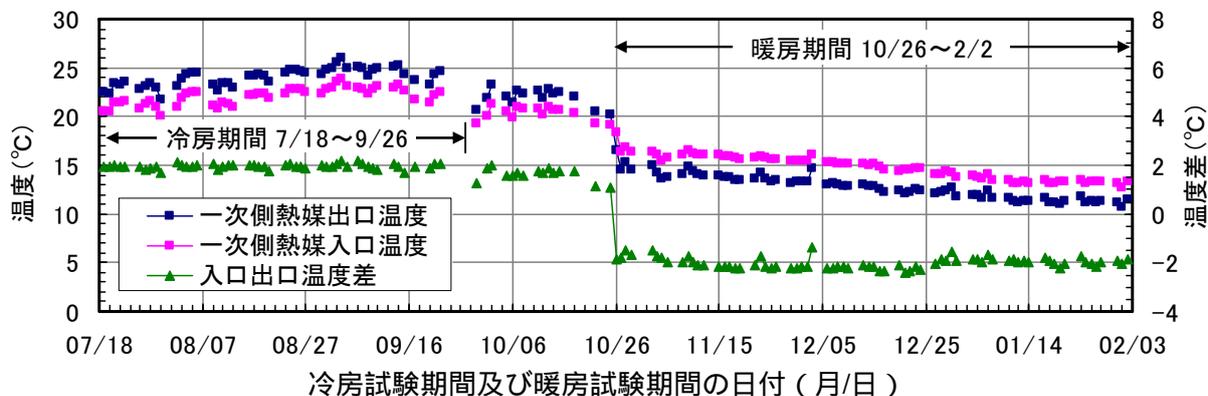


図 5-1(8) 一次側熱媒温度

(9) 外気温

- ・外気温は、気象庁アメダス「さいたま」のデータを利用した。
- ・最高：一日の最高気温
- ・最低：一日の最低気温
- ・日平均：一日の平均気温

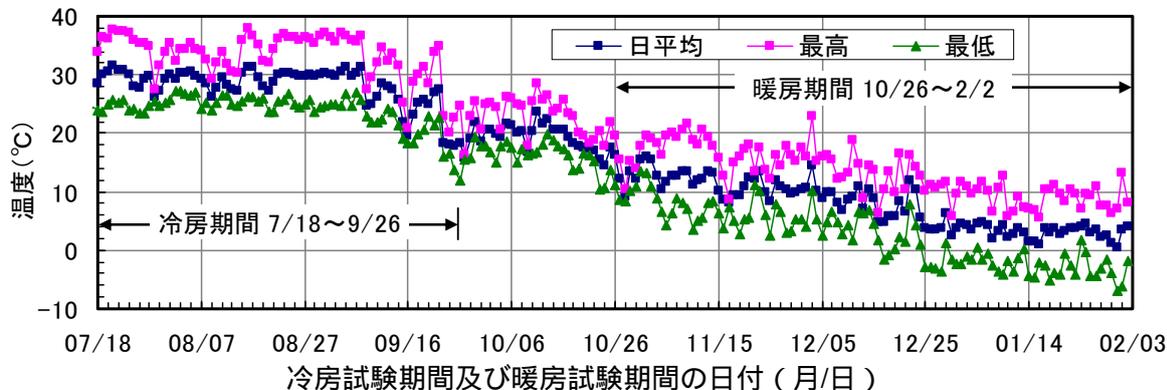


図 5-1(9) 外気温 (アメダス「さいたま」)

5.3 実証試験期間の冷房試験代表日測定項目のグラフ

冷房試験中の代表的と思われる一日として、平成 22 年 8 月 16 日のデータの経時変化を図 5-2(1) ~ (7) (詳細版本編 31 ~ 33 ページ) に示す。本データのサンプリング周期は 1 分である。

(1) 冷房運転代表日 (平成 22 年 8 月 16 日) の熱量

- ・一次側熱媒熱量：一次側熱媒熱量の 1 分毎の計算値
- ・二次側冷房時生成熱量：ヒートポンプ生成熱量の 1 分毎の計算値

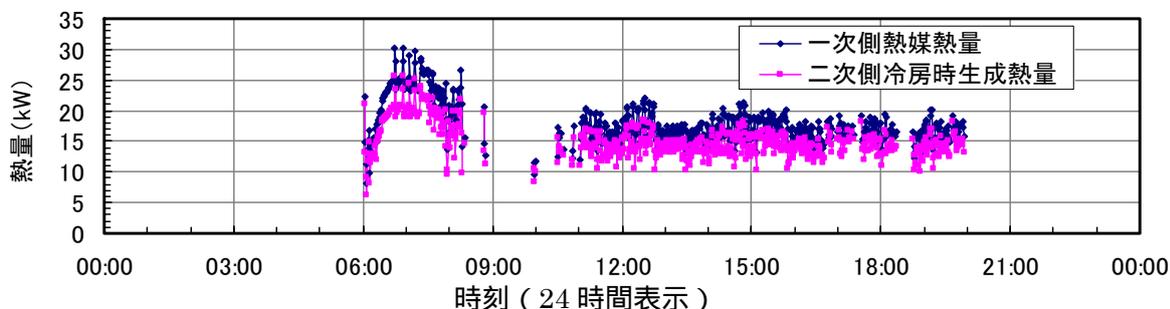


図 5-2(1) 冷房運転代表日 (平成 22 年 8 月 16 日) の熱量 [kW]

(2) 冷房運転代表日 (平成 22 年 8 月 16 日) の部分負荷率

- ・部分負荷率：部分負荷率の 1 分毎の計算値

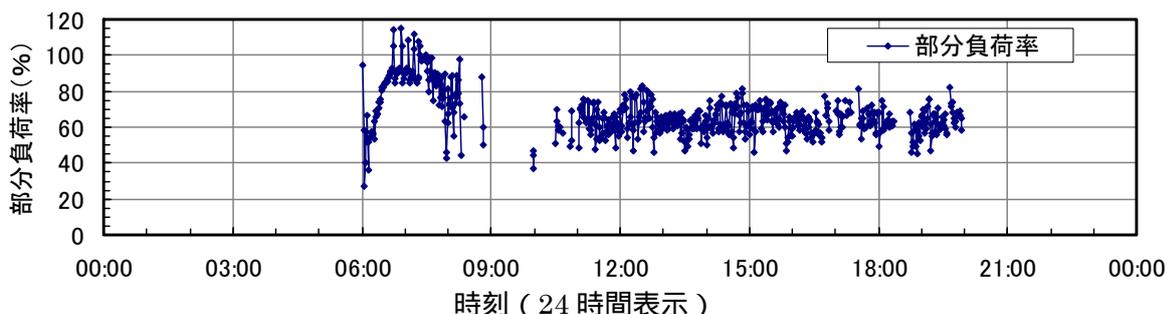


図 5-2(2) 冷房運転代表日 (平成 22 年 8 月 16 日) の部分負荷率

(3) 冷房運転代表日 (平成 22 年 8 月 16 日) の消費電力

- ・ヒートポンプ：ヒートポンプ消費電力の 1 分毎の実測値
- ・一次側循環ポンプ：一次側循環ポンプ消費電力の 1 分毎の実測値

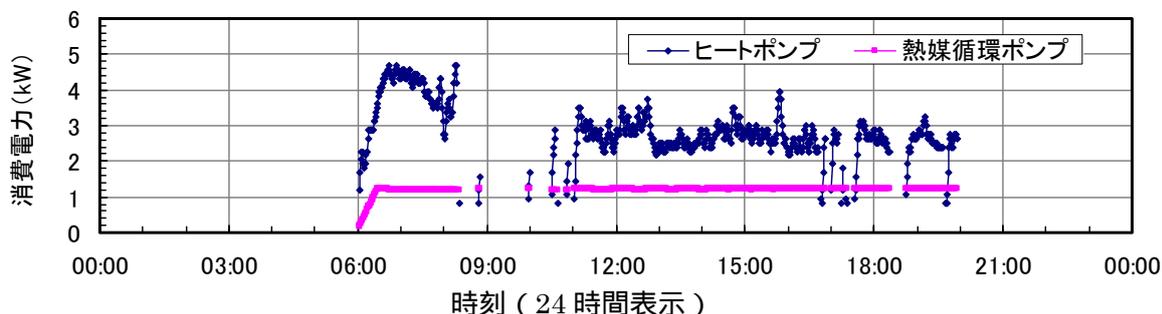


図 5-2(3) 冷房運転代表日 (平成 22 年 8 月 16 日) の消費電力 [kW]

(4) 冷房運転代表日 (平成 22 年 8 月 16 日) のエネルギー効率

- ・ヒートポンプ単独 COP：ヒートポンプ COP の 1 分毎の計算値
- ・システム COP (ヒートポンプと一次側循環ポンプを含む)：
ヒートポンプと一次側循環ポンプを含む COP の 1 分毎の計算値

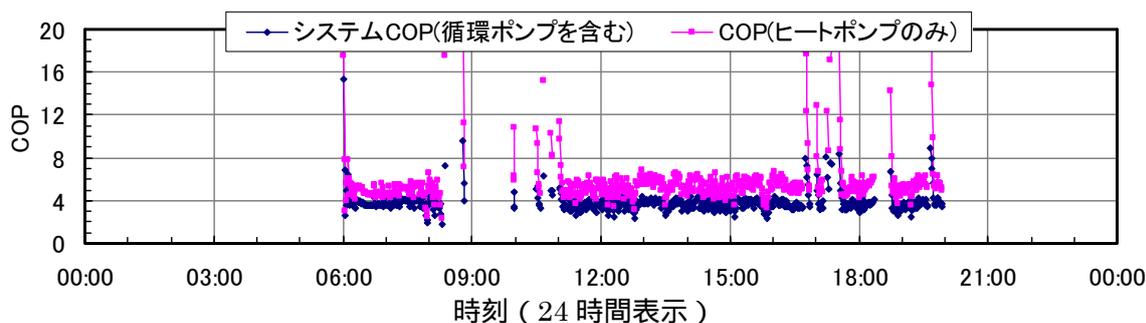


図 5-2(4) 冷房運転代表日 (平成 22 年 8 月 16 日) のエネルギー効率

(5) 冷房運転代表日 (平成 22 年 8 月 16 日) の一次側熱媒流量

- ・一次側熱媒流量：一次側熱媒流量の 1 分毎の実測値

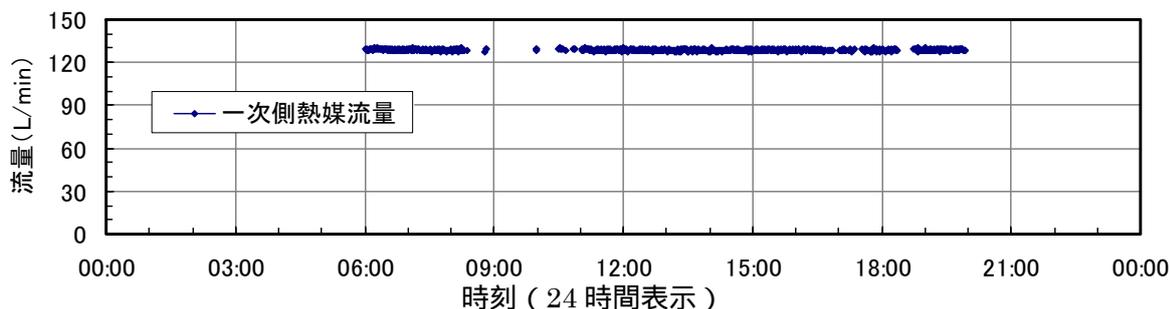


図 5-2(5) 冷房運転代表日 (平成 22 年 8 月 16 日) の一次側熱媒流量

(6) 冷房運転代表日 (平成 22 年 8 月 16 日) の一次側熱媒温度差

- ・一次側熱媒出口温度：一次側熱媒のヒートポンプ出口温度の 1 分毎の実測値
- ・一次側熱媒入口温度：一次側熱媒のヒートポンプ入口温度の 1 分毎の実測値
- ・入口出口温度差：一次側熱媒のヒートポンプ出口と入口の温度差の 1 分毎の計算値

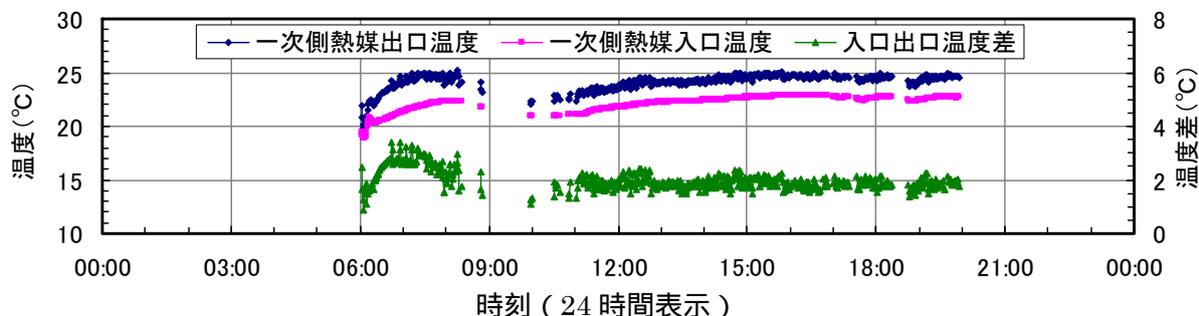


図 5-2(6) 冷房運転代表日 (平成 22 年 8 月 16 日) の一次側熱媒温度差

(7) 冷房運転代表日 (平成 22 年 8 月 16 日) の外気温 (アメダス「さいたま」)

- ・外気温は、気象庁アメダス「さいたま」のデータを利用した。
- ・外気温：一日の外気温の 10 分毎の実測値

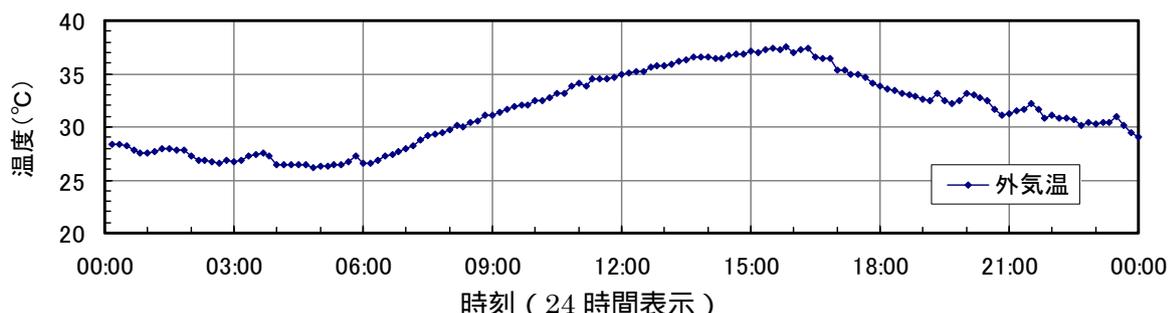


図 5-2(7) 冷房運転代表日 (平成 22 年 8 月 16 日) の外気温 (アメダス「さいたま」)

5.4 実証試験期間の暖房試験代表日測定項目のグラフ

暖房試験中の代表的と思われる 1 日として、平成 23 年 1 月 10 日のデータの経時変化を図 5-3(1) ~ (7) (詳細版本編 ~ ページ) に示す。本データのサンプリング周期は 1 分である。

(1) 暖房運転代表日 (平成 23 年 1 月 10 日) の熱量

- ・一次側熱媒熱量：一次側熱媒熱量の 1 分毎の計算値
- ・二次側暖房時生成熱量：ヒートポンプ生成熱量の 1 分毎の計算値

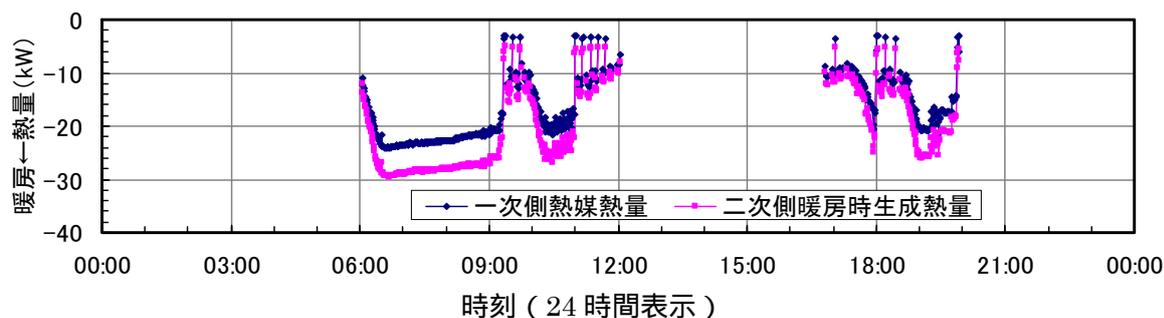


図 5-3(1) 暖房運転代表日 (平成 23 年 1 月 10 日) の熱量 [kW]

(2) 暖房運転代表日 (平成 23 年 1 月 10 日) の部分負荷率

- ・部分負荷率：部分負荷率の 1 分毎の計算値

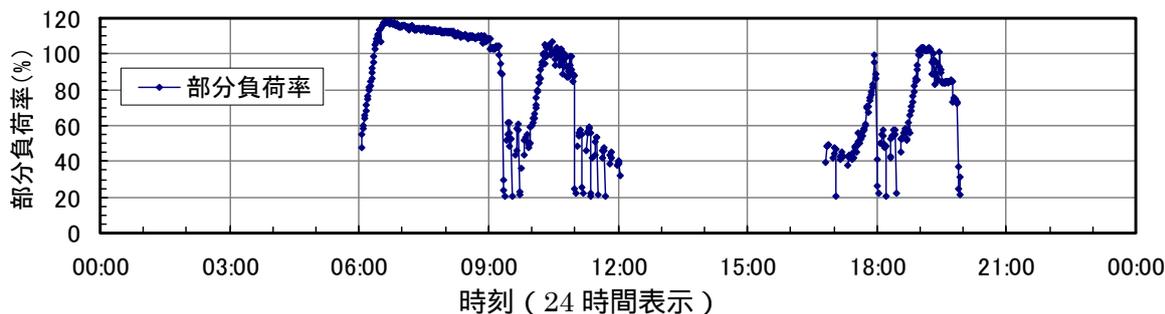


図 5-3(2) 暖房運転代表日 (平成 23 年 1 月 10 日) の部分負荷率

(3) 暖房運転代表日 (平成 23 年 1 月 10 日) の消費電力

- ・ヒートポンプ：ヒートポンプ消費電力の 1 分毎の実測値
- ・一次側循環ポンプ：一次側循環ポンプ消費電力の 1 分毎の実測値

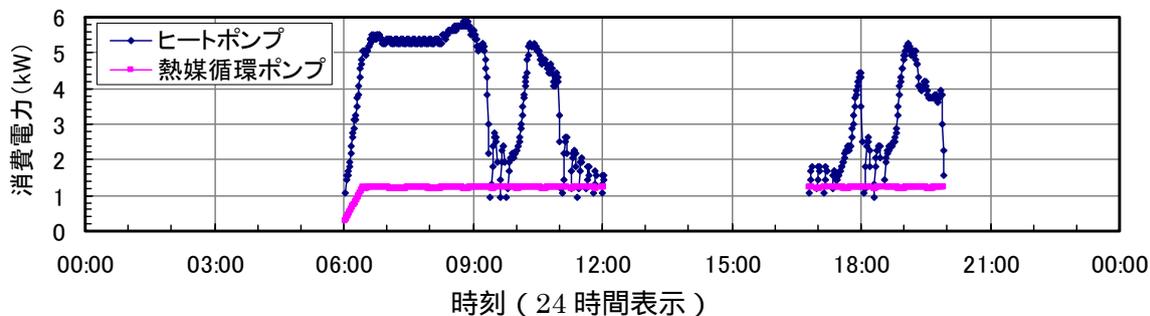


図 5-3(3) 暖房運転代表日 (平成 23 年 1 月 10 日) の消費電力 [kW]

(4) 暖房運転代表日 (平成 23 年 1 月 10 日) のエネルギー効率

- ・ヒートポンプ単独 COP：ヒートポンプ COP の 1 分毎の計算値
- ・システム COP (ヒートポンプと一次側循環ポンプを含む)：ヒートポンプと一次側循環ポンプを含む COP の 1 分毎の計算値

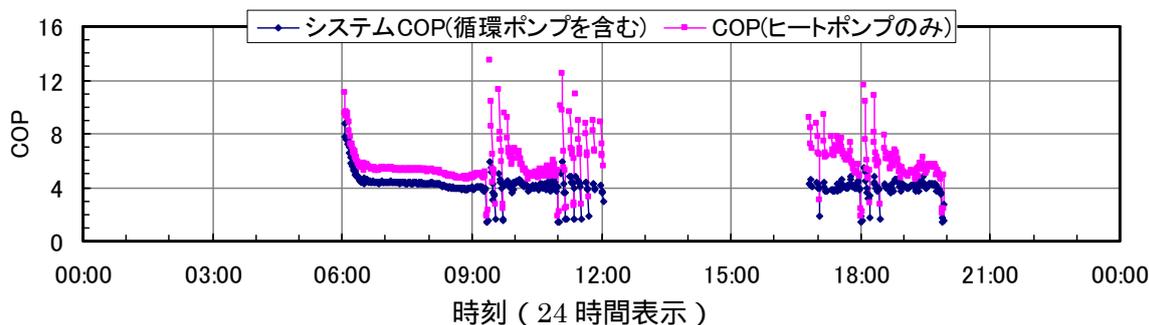


図 5-3(4) 暖房運転代表日 (平成 23 年 1 月 10 日) のエネルギー効率

(5) 暖房運転代表日 (平成 23 年 1 月 10 日) の一次側熱媒流量

- ・ 一次側熱媒流量：一次側熱媒流量の 1 分毎の実測値

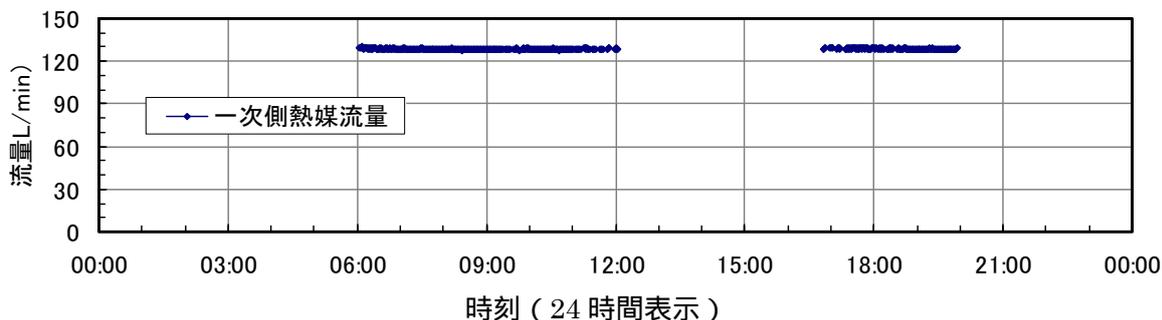


図 5-3(5) 暖房運転代表日 (平成 23 年 1 月 10 日) の一次側熱媒流量

(6) 暖房運転代表日 (平成 23 年 1 月 10 日) 一次側熱媒温度差

- ・ 一次側熱媒出口温度：一次側熱媒のヒートポンプ出口温度の 1 分毎の実測値
- ・ 一次側熱媒入口温度：一次側熱媒のヒートポンプ入口温度の 1 分毎の実測値
- ・ 入口出口温度差：一次側熱媒のヒートポンプ出口と入口の温度差の 1 分毎の計算値

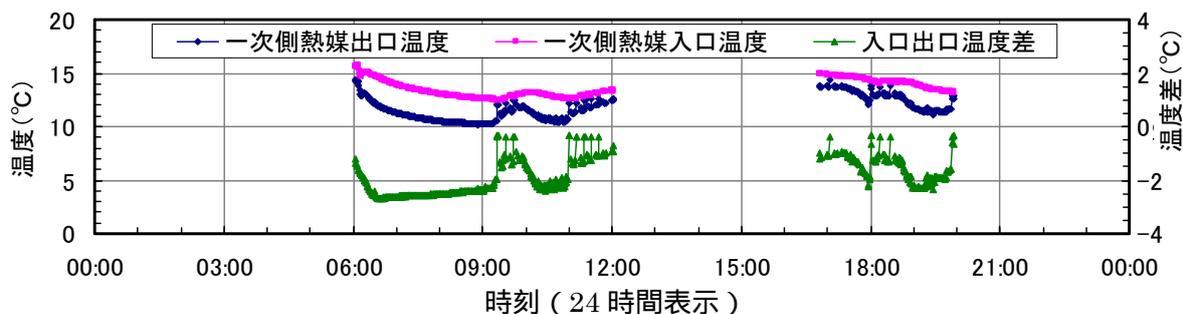


図 5-3(6) 暖房運転代表日 (平成 23 年 1 月 10 日) の一次側熱媒温度

(7) 暖房運転代表日 (平成 23 年 1 月 10 日) の外気温 (アメダス「さいたま」)

- ・ 外気温は、気象庁アメダス「さいたま」のデータを利用した。
- ・ 外気温：一日の外気温の 10 分毎の実測値

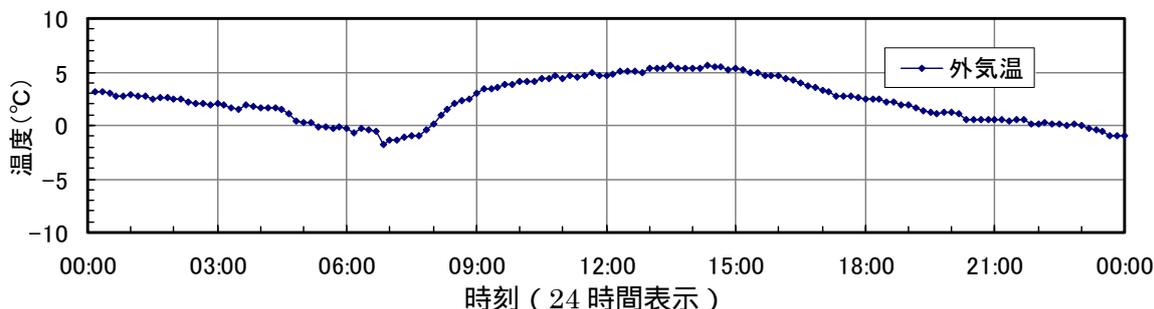


図 5-3(6) 暖房運転代表日 (平成 23 年 1 月 10 日) の外気温 (アメダス「さいたま」)

6．実証単位（C）地中熱交換部の実証試験結果【実証項目】

6.1 地中熱交換部全体の実証項目の代替データ

(1) サーマルレスポンス試験（TRT）の概要

実証試験要領（第2版）の表3注記（ ）（15ページ）に従い、実証単位（C）の地中熱交換部全体の実証項目（サーマルレスポンス試験）は、代替の地質データとして、既存のサーマルレスポンス試験（TRT）の報告書（「代替の地質データ」、詳細版付録46～60ページ）から転載し、表6-4に示す。そして、サーマルレスポンス試験を実施した坑井（孔井）及び実施日程について、概要を表6-1～表6-3に示す。

表 6-1 サーマルレスポンス試験を実施した坑井の概要

試験井（孔井）	・地中熱交換井 No.3 孔（5本の地中熱交換井のうち最も南側の坑井）
坑井仕様	・深度：100m ・孔径：179mm（リングビット外径にて表示）
地中熱交換器	・25A ダブルU字管 [材質：高密度ポリエチレン管「PE100」] ・製品名：地中熱交換システム用パイプ U-ポリパイ （株式会社イノアック住環境 製造） ・形式：GUP-25A110 ・長さ：100m、外径34mm、内径：27mm]
充填材	・いわき珪砂2号（ただし、孔口から約10m深度までモルタル充填）

表 6-2 サーマルレスポンス試験の実施日程

試験期間	平成21年12月2日～平成21年12月7日
------	-----------------------

表 6-3 サーマルレスポンス試験における各測定の実施日程

項目	平成21年12月						
	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日
温水循環試験	—————						
温度回復試験			—————				

(2) 地中熱交換部全体の実証項目

地中熱交換部全体の実証項目として、サーマルレスポンス試験の結果を表6-4に示す。

表 6-4 地中熱交換部全体の実証項目【代替の地質データ】

項目	結果	備考
a. 地中熱交換井の熱抵抗 [K/(W/m)]	0.103	詳細版本編6.6.1(3)（詳細版本編36～37ページ）にて「代替の地質データ」（測定結果とその報告書）を用いて算出した内容を記載。
b. 土壌部分の熱伝導率 [W/(m・K)]	2.60	「代替の地質データ」（詳細版付録60ページ）から転記

(3) 地中熱交換井の熱抵抗の計算

表6-4で算出した「a. 地中熱交換井の熱抵抗」について、「代替の地質データ」を利用した計算内容を示す。地中熱交換井の熱抵抗は、既存のサーマルレスポンス試験（TRT）の測定結

果と算出された熱伝導率を用い、下記に示す実証試験要領 (第 2 版) 29 ページ【(4) b) 地中熱交換性の熱抵抗】に規定の計算式に従い、数値を代入し、地中熱交換井の熱抵抗 R [K/(W/m)] を算出した。

$$T - T_i = \frac{q}{2\pi\lambda} \left(-\ln \frac{r}{2\sqrt{\alpha, t}} - 0.2519 \right) + q \cdot R$$

なお、各パラメータは以下のとおりである。

T : 熱交換器入口温度と出口温度の熱媒の平均温度 [K]

T_i : 熱交換器入口温度と出口温度の熱媒の平均温度 (初期値) [K]

t : 時間 [s]

q : 単位長さ当たりの熱交換量 [W/m]

r : 地中熱交換井中心からの半径 [m]

α : 地層温度伝導率 (熱拡散率) [m²/s]

上記の各パラメータにおいて、計算に用いた数値と出所は次のとおりである。

パラメータ	代入した数値	出所
T	1 分毎の値	サーマルレスポンス試験における 1 分毎の温度の測定値。
T_i	15.5	サーマルレスポンス試験開始前の 2009 年 11 月 26 日に測定した、深度 20m、60m、100m の地層温度の平均値。 各深度の測定値は、20m : 17.1 、60m : 14.7 、100m : 14.8 。
t	60 秒毎の秒数	サーマルレスポンス試験開始からの経過時間 [s]。 例えば 60、120、180・・・という値。
q	1 分毎の値	サーマルレスポンス試験における 1 分毎に算出した単位長さ当たりの熱交換量 [W/m]
r	0.0895	地中熱交換井の中心からの半径 [m]。孔径 179mm の 1/2。
α	8.67×10^{-7}	α は地層温度伝導率 (熱拡散率) [m ² /s] なお、 $\alpha = \lambda / C$ 、 $\lambda = 2.60$ 、 $C = 3.00 \times 10^6$ 。λ は、地層の有効熱伝導率で「代替の地質データ」の詳細版付録 55 ページ参照。C は、地層の熱容量であり、サーマルレスポンス試験測定値をヒストリーマッチング法で解析する際に求められる。「代替の地質データ」の表 3-1 (詳細版付録 60 ページ) 参照。

これらの 1 分毎の数値を $T - T_i = \frac{q}{2\pi\lambda} \left(-\ln \frac{r}{2\sqrt{\alpha, t}} - 0.2519 \right) + q \cdot R$ に代入する。

こうして求められた 1 分毎の熱抵抗 R の値に対し、測定時間 (約 49 時間) での平均値を得る。その結果から熱抵抗 R [mK/W] を算出したものが、実証項目の「a. 地中熱交換井の熱抵抗」R である。その値は、0.103 [K/(W/m)] であった。

6.2 熱媒循環部 (U字管) の実証項目 (性能を証明する書類の写しからの転用)

(1) 熱媒循環部の概要

本実証対象技術の熱媒循環部 (U字管) の仕様を表 6-5 に示す。

表 6-5 熱媒循環部 (U字管) の仕様

製品名及び型式	地中熱交換システム用パイプ「U - ポリパイ」GPU-25A110
製造・販売事業者	株式会社イノアック住環境
材質	高密度ポリエチレン材料 (PE-100)
寸法	パイプ外径 34.0mm ± 0.20mm、厚さ 3.5mm ± 0.30mm、近似内径 27mm
設置方式	シングルU字管
設置深度	100m まで挿入

(2) 熱媒循環部の実証内容

本実証項目は、性能を証明する書類を確認することで実証を代用する項目である。各実証項目の実証内容は性能を証明する書類の写しとして、熱媒循環部の製造・販売事業者の株式会社イノアック住環境 による地中熱交換システム用パイプ U-ポリパイのカタログ等の関係資料から引用し、表 6-6 ~ 表 6-9 (詳細版本編 41 ページ) に示す。それらの性能を証明する書類の写しは、詳細版付録 (詳細版本編 ~ ページ) を参照。

なお、実証内容の性能を証明する担保として、確認した内容も記載した。

表 6-6 熱媒循環部の実証項目 (その 1)

実証項目	結 果
c. 流量範囲	<p>実証対象技術では呼び径 25A を使用しており、水を流した場合の適正流量は、下限は 5L/min、上限は 50L/min である。</p> <p>【適正流量の下限値の考え方】 U 字管内で乱流が確保される流量である。乱流となる条件は、レイノルズ数 (Re) > 2300 である。レイノルズ数は流速、管の直径、流体の粘度、流体の密度から算出されるので、Re > 2300 となる流速から適正流量が求められる。</p> <p>【適正流量の上限値の考え方】 省エネ性と騒音防止を考慮して決められる。実証申請者はこの基準として摩擦損失が 100mmAq/m になる流量としている。</p>

表 6-7 熱媒循環部の実証項目 (その 2)

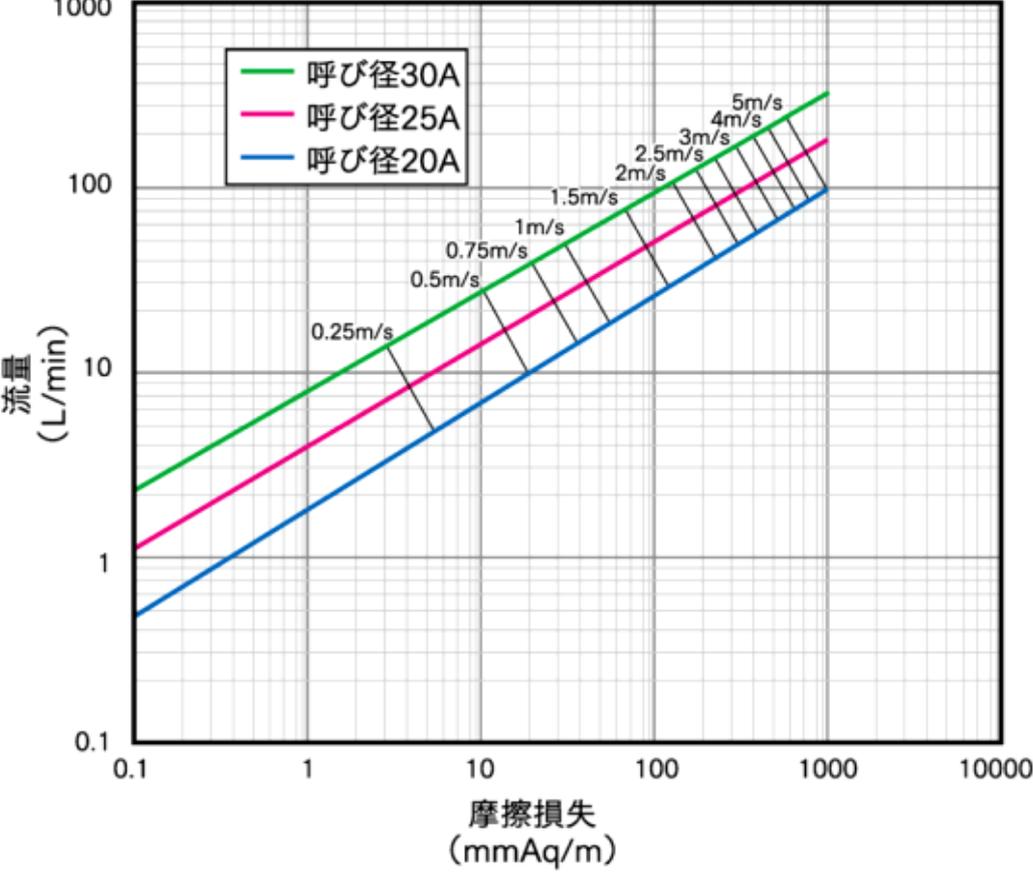
実証項目	結 果																								
c. 流量範囲 (続き)	<p>また、適正流量を求めるために必要な U-ポリパイの流量と流速の関係、及び流量と摩擦損失の関係を表した流量線図を示す。</p> 																								
d. 熱伝導性	熱伝導率： 0.38W/(m・K)																								
e. 耐熱性	<p>『U-ポリパイ』の温度別最大使用圧力は下表の通りである。</p> <table border="1" data-bbox="375 1406 1385 1541"> <thead> <tr> <th data-bbox="375 1406 667 1451">呼び径 25A</th> <th colspan="5" data-bbox="667 1406 1104 1451">連続安全使用温度範囲</th> <th colspan="2" data-bbox="1104 1406 1385 1451">年間 1,500 時間以内</th> </tr> <tr> <th data-bbox="375 1451 667 1496">使用温度</th> <th data-bbox="667 1451 746 1496">20</th> <th data-bbox="746 1451 826 1496">25</th> <th data-bbox="826 1451 906 1496">30</th> <th data-bbox="906 1451 986 1496">35</th> <th data-bbox="986 1451 1066 1496">40</th> <th data-bbox="1104 1451 1184 1496">45</th> <th data-bbox="1184 1451 1385 1496">50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="375 1496 667 1541">最大使用圧力 (MPa)</td> <td data-bbox="667 1496 746 1541">1.51</td> <td data-bbox="746 1496 826 1541">1.41</td> <td data-bbox="826 1496 906 1541">1.32</td> <td data-bbox="906 1496 986 1541">1.21</td> <td data-bbox="986 1496 1066 1541">1.12</td> <td data-bbox="1104 1496 1184 1541">1.01</td> <td data-bbox="1184 1496 1385 1541">0.92</td> </tr> </tbody> </table> <p>この製品の連続安全使用温度範囲は - 20 ~ 40 である。ただし、50 迄の温度での運転が上記圧力以下で、且つ年間 1,500 時間以内であれば、50 迄の使用が可能である。</p>	呼び径 25A	連続安全使用温度範囲					年間 1,500 時間以内		使用温度	20	25	30	35	40	45	50	最大使用圧力 (MPa)	1.51	1.41	1.32	1.21	1.12	1.01	0.92
呼び径 25A	連続安全使用温度範囲					年間 1,500 時間以内																			
使用温度	20	25	30	35	40	45	50																		
最大使用圧力 (MPa)	1.51	1.41	1.32	1.21	1.12	1.01	0.92																		
f. 脆化温度	脆化温度： < - 70																								

表 6-8～表 6-9（詳細版本編 41 ページ）に記載の内容は、株式会社イノアック住環境による地中熱交換システム用パイプ U-ポリパイの関係資料であるが、配水用ポリエチレンパイプシステム協会（POLITEC）*1による「水道配水用ポリエチレン管及び管継手 ご紹介」（平成 12 年 4 月）から引用したものである。その理由としては、国内の水道配水用ポリエチレンパイプは、高密度ポリエチレン材料（PE100）を使用した管であり、U-ポリパイと同材料を使用しているため、この物性値及び性能グラフを使用した。表 6-4～表 6-5 に記載の性能を証明する書類の写しは、詳細版付録 61～69 ページ参照。

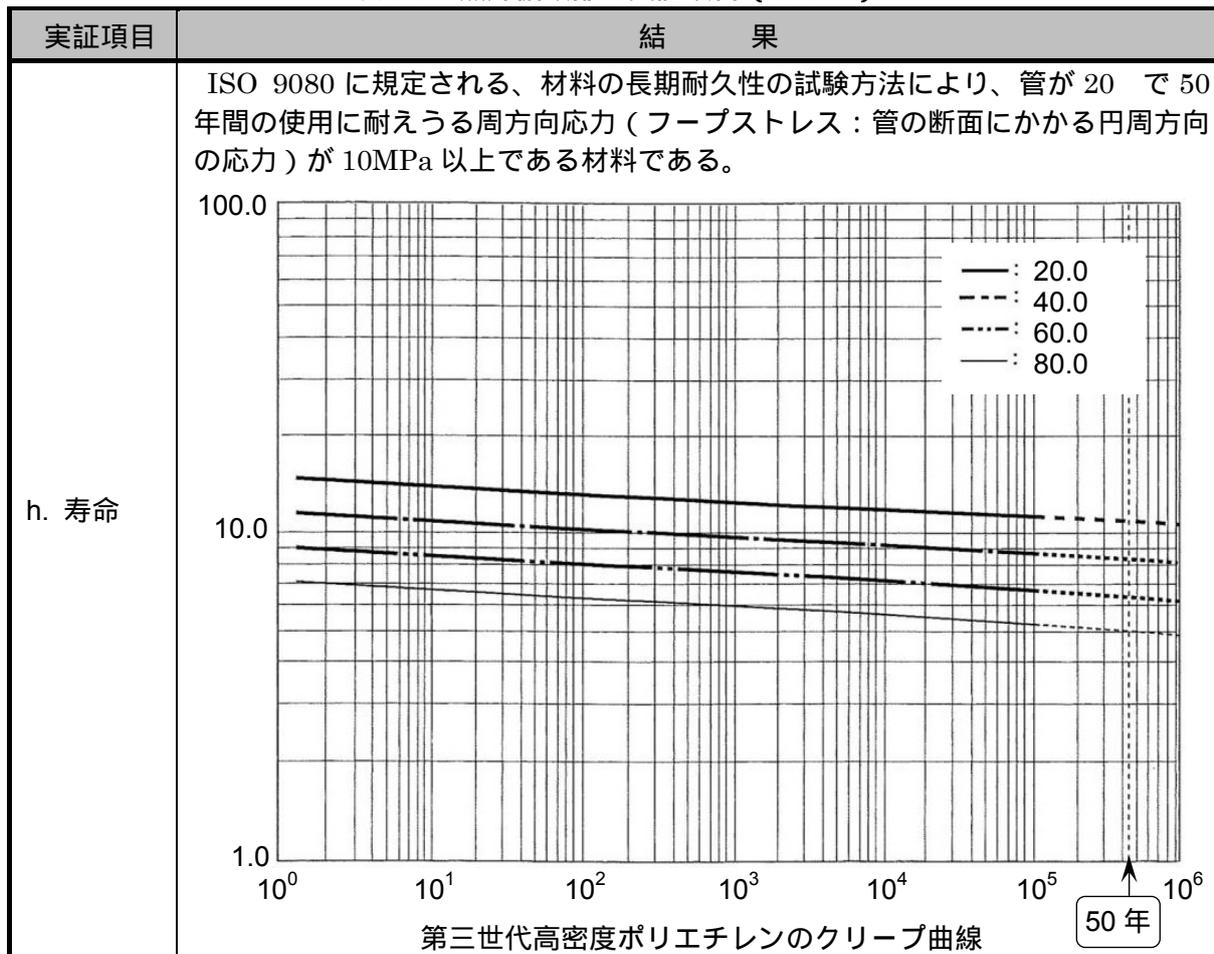
表 6-8 熱媒循環部の実証項目（その 3）

実証項目	結 果					
g. 耐腐食性 (耐薬品性)	耐薬品性の一例（温度 20℃）					
	酸		アルカリ		ガス	
	塩酸 35%		アンモニア水溶液		亜硫酸ガス	
	硫酸 65%		苛性ソーダ		炭酸ガス	
	硝酸 25%		水酸化カルシウム		一酸化炭素	
	塩類					
	重クロム酸カリウム 10%		過マンガン酸カリウム		硫安	
	塩化第二鉄 60%		塩化バリウム			
	過酸化水素 30%	90%	炭酸カリウム			
	備考： 1 . この表は ISO/TR10358*2に基づいたものである。 2 . 印は耐薬品性があることを示している。					

* 1 : 「配水用ポリエチレンパイプシステム協会」(POLITEC) は、「水道用ポリエチレンパイプシステム研究会」と「配水用ポリエチレン管協会」の団体が平成 18 年 4 月に統合した。

* 2 : Plastics pipes and fittings-Combined chemical-resistance classification table.

表 6-9 熱媒循環部の実証項目 (その 4)



なお、表 6-6 (詳細版本編 38 ページ) ~ 表 6-9 に示した実証内容の性能の証明の担保として、その製品の製造・販売事業者の品質管理システムを確認した。熱媒循環部の製造企業である株式会社イノアック住環境は、ISO9001:2008 及び ISO14001:2004 を取得していることを確認した。

6.3 熱媒の実証項目

本実証対象技術で使用した熱媒は水である。以下に水の 20 における物性値を示す。

表 6-10 水の実証項目

実証項目	結 果
i. 腐食性	なし
j. 粘性	0.001002 [Pa · s] ^{* 1}
k. 比熱	4.18 [J / g · K] ^{* 1}
l. 引火性	なし
m. 毒性	なし
n. 生分解性 / 残留性	なし

* 1 : これらの値は、理科年表 (丸善株式会社出版事業部 平成 22 年度版) による。

なお、代替の地質データとして示したサーマルレスポンス試験では、水の 20 の熱容量を 4,174 [kJ / m³ · K] として計算している。

7. 考察

7.1 COP の値について

循環ポンプを含むシステムエネルギー効率は一般に予想される成績よりも若干低い結果となっている。ヒートポンプ単独での COP は製品に期待される値がほぼでているので、システムエネルギー効率が若干低いのは循環ポンプの消費電力量が比較的大きいためと思われる。

循環ポンプの消費電力量が比較的大きい要因は、実証申請者によれば次とおりである。

- 1) 一次側熱媒に水を使用しているため、プレート熱交換器箇所での部分凍結防止と、冬期の熱源水温度低下を抑制する目的で、ヒートポンプ流量の最大値である 120L/min を十分に超える流量を持つ循環ポンプを設置した。
- 2) 図 3-3（本編 16 ページ）に示すとおり、本施設では施設配置の関係上、地中熱交換井からヒートポンプまでの配管距離が長い。そのため配管での揚程が大きくなってしまいうので、能力の大きな循環ポンプを設置してある。なお、この問題に対応するため、実証申請者は今後循環ポンプの交換かインバータ制御の導入を検討している。

7.2 空気熱源ヒートポンプ空調と併用していることについて

本実証対象技術が設置されている場所は、仕切りのない広い一つの空間を地中熱利用ヒートポンプと空気熱源ヒートポンプとを併用して空調しており、地中熱利用ヒートポンプが分担しているのは全体の空調容量の 1/3 程度である。地中熱利用ヒートポンプと空気熱源ヒートポンプの温度設定は同じであるが、全体の空調施設は空気熱源ヒートポンプで中央制御されているため、地中熱利用ヒートポンプの生成熱量は空気熱源ヒートポンプの運転の程度に左右されると推察できる。

本実証試験においては、地中熱利用ヒートポンプと空気熱源ヒートポンプとの併用での条件のもと、生成熱量やエネルギー効率などの測定は、地中熱利用空調システムのみを対象としており、その限りでは適切な測定や解析をしている。従って、対象としている空間を地中熱利用空調システムのみで空調した場合に、エネルギー効率や部分負荷率などがどのような値になるかを示しているものではない。また仮に、対象としている空間を地中熱利用空調システムのみで空調した場合に、エネルギー効率や部分負荷率などが現状よりも良い値になるのか悪い値になるのかは、他の様々な要因もあり、適格な判断をすることができない。

8．実証試験の品質管理・監査

8.1 品質管理システムのあらまし

実証機関（特定非営利活動法人地中熱利用促進協会）が、本実証試験で行った品質管理・監査について記す。

(1) 品質管理の方法

JIS Q 9001 および JIS Q 17025 の趣旨にしたがって品質管理を行った。

(2) 品質管理・監査体制

本実証試験における品質管理・監査体制は、表 8-1 のとおりである。なお、各担当の品質管理及び監査の内容については、表 8-3（詳細版本編 44 ページ）に示す。

表 8-1 実証機関（特定非営利活動法人地中熱利用促進協会）の品質管理・監査体制

品質管理・監査担当	実証機関での役職	氏名
総括責任者	総括責任者	笹田政克
品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一
技術監査	実証機関技術監査	松永烈

8.2 試験とデータの品質管理

本実証対象技術では、実証試験開始前から測定設備が設置されていたが、実証試験開始に当たっては、実証対象技術および測定設備を実証機関の品質管理責任者が点検し、問題のないことを確認した。

また、実証試験中には実証機関の品質管理責任者、実証試験担当者が現地の確認を 3 回行って、試験の品質を確認した。実証試験の測定データは実証試験担当者が確認し、データ整理、解析は申請者の技師が実施して、実証試験担当者が確認をした。

8.3 実証試験の立会い

実証試験の立会・確認は、下記のように行った。実証試験での実証機関（特定非営利活動法人地中熱利用促進協会）の立会・確認者を表 8-2 に示す。

表 8-2 実証試験での実証機関（特定非営利活動法人地中熱利用促進協会）の立会・確認者

立会・確認月日	品質管理担当	実証機関での役職	氏名
平成 22 年 7 月 20 日	品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一
平成 22 年 8 月 2 日	品質管理責任者	実証機関事務局長 実証試験担当者	宮崎眞一 小間憲彦
平成 22 年 9 月 15 日	総括責任者 品質管理責任者	総括責任者 実証機関事務局長 実証試験担当者	笹田政克 宮崎眞一 小間憲彦

8.4 品質管理の及び監査の内容

表 8-1 に示した各担当による品質管理・監査の内容は表 8-3 にまとめて示した。

表 8-3 品質管理及び監査の内容

品質管理 の対象	品質管理		監査	
	責任者	対策実施内容	担当	監査内容
試験方法 の妥当性	品質管理 責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験は実証試験要領の規定にしたがって計画し実施した。 ・上記のことは、実証機関の総括責任者、品質管理責任者、実証試験担当者などが確認をした。 	実証機関総 括責任者及 び実証機関 技術監査	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験計画書の段階に、監査をおこなった。
測定機器 の精度、 測定設備 の妥当性	品質管理 責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・測定機器の精度は実証試験要領にしたがって確認した。 ・実証試験要領の規定と異なる精度の測定機器を使用する場合は、技術実証委員会等の了承を得た。 	実証機関総 括責任者及 び実証機関 技術監査	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験計画書作成の時、及び計画と異なる測定機器での試験を行う際に、監査をおこなった。
データの 吸い上げ	品質管理 責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験のデータの吸い上げは申請者の技師が行った。吸い上げたデータは、実証機関の実証試験担当者が確認した。 	実証機関総 括責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験期間の終了に際して、監査をおこなった。
データの 保管	品質管理 責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・データの保管は、実証機関の品質管理責任者が行った。 	実証機関総 括責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・実証期間中に適宜、監査を行った。
測定のト レーサビ リティ	品質管理 責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・測定機器や測定方法は明瞭に記録しており、測定のトレーサビリティを確保した。 	実証機関総 括責任者と 実証機関技 術監査	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験計画書作成時に監査をおこなった。
データの 検証	品質管理 責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・データの整理・解析は申請者の技師が行い、その結果は実証機関の実証試験担当者が確認を行った。その過程で測定結果が適正であることをチェックした。また実証機関の品質管理責任者はデータ整理・解析の結果を確認して、その適正なことを確認した。 	実証機関総 括責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・試験期間の終了に際して、監査をおこなった。
実証試験 報告書の 妥当性	品質管理 責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験報告書は、実証機関の総括責任者、品質管理責任者が確認した。また技術実証委員会の了承を得た。 	実証機関総 括責任者及 び実証機関 技術監査	<ul style="list-style-type: none"> ・技術実証委員会の資料及び報告書の原稿に対して監査を行った。

付録

付録として付表-1 に示すとおり、資料を添付する。

付表-1 添付資料内容

資料名	資料内容	掲載ページ
代替の地質データ	三菱マテリアル株式会社大宮新棟及び加工技術センター改修工事（地下熱利用設備工事）サーマルレスポンス試験報告書	詳細版付録 46～60 ページ
性能を証明する書類の写し	地中熱交換システム用パイプU ポリパイのカタログ（流量範囲、熱伝導性）	詳細版付録 61～61 ページ
	地中熱交換システム用パイプU ポリパイの製品仕様書（耐腐食性（耐薬品性））	詳細版付録 63～64 ページ
	地中熱交換システム用パイプU ポリパイの脆化温度	詳細版付録 65 ページ
	地中熱交換システム用パイプU ポリパイの性能についての品質表示（耐腐食性（耐薬品性）、寿命）	詳細版付録 66～69 ページ

1. 代替の地質データ

三菱マテリアル(株)大宮新棟及び加工技術センター改修工事

(地下熱利用設備工事)

サーマルレスポンス試験報告書

(試験対象孔井：No. 3 孔)

平成 22 年 2 月

三菱マテリアルテクノ株式会社

目 次

1. サーマルレスポンス試験（TRT）目的	1
2. サーマルレスポンス試験（TRT）結果	1
2.1. TRT 実施手法	1
2.2. TRT 実施結果	3
2.3. TRT 解析手法	5
2.4. TRT 解析結果	6
2.5. TRT 結果のまとめ	8
3. 地中の熱移動シミュレーション結果	9
3.1. 地中の熱移動シミュレーション手法	9
3.2. シミュレーション条件	10
3.3. 地中の熱移動シミュレーション結果	12
4. 結論	13
5. 参考文献リスト	13

1. サーマルレスポンス試験（TRT）目的

サーマルレスポンス試験（以下、TRT と略す）の目的は、地下熱物性値（主に地層の有効熱伝導率）の推定にあります。なお、推定された値が設計時の想定値と大きく異なる場合は、地中の熱移動シミュレーションを実施することで、地中熱交換量や地中熱交換器出入口温度に基づく熱源容量（地中熱交換井本数）の再検証を実施することとします。

2. サーマルレスポンス試験（TRT）結果

2.1. TRT 実施手法

TRT は、図 2-1 に示す TRT 装置により、温水循環試験および温度回復試験より構成されます。それぞれの手法について以下に示します。

◆ 温水循環試験について

図 2-1 の TRT 装置概念図に示す通り、ヒーターによって加熱された温水を地中熱交換器（U チューブ）内に循環し、地中熱交換器流入出温度と循環流量、地中熱交換井内温度をモニタリングします。

◆ 温度回復試験について

図 2-1 の TRT 装置概念図に示す通り、温水循環試験終了後、地中熱交換井内（地中熱交換器外壁）に設置された温度センサー（深度約 20m, 60m, 100m 位置）により、地中の温度回復状況をモニタリングします。

モニタリング項目を以下の表 2-1 に整理します。

表 2-1 モニタリング項目一覧

項目	単位	仕様	備考
地中熱交換器流入温度	℃	測温抵抗体	
地中熱交換器流出温度	℃	測温抵抗体	
循環流量	L/min	電磁流量計	
地中熱交換井温度（深度約 20m 位置）	℃	測温抵抗体	
地中熱交換井温度（深度約 60m 位置）	℃	測温抵抗体	
地中熱交換井温度（深度約 100m 位置）	℃	測温抵抗体	

注記)

TRT 実施手法に関する世界的な統一基準は、これまで国内外を問わず確立されていませんが、Sanner et al., (2005) が世界地熱会議 2005 において発表した“Guidelines for thermal response testing -draft-” が現時点ではもっとも標準的なものといえます（藤井, 2006）。

この Sanner et al., (2005) による指針では, TRT における地中への熱負荷の目安として, 熱伝導率の低い地盤では 30W/m, 熱伝導率の高い地盤では 80W/m を提案しています。本業務における TRT は, 別紙サーマルレスポンス試験手順中の TRT 概念図に示す通り, 定格能力 6kW のヒーターを用いて実施するため, その間となる 60W/m (=6,000W÷100m) にて行います。他にも, 温水循環試験が 2 日以上, モニタリング間隔が 10min 以下を推奨しており, 本業務における TRT はいずれの条件も満たす, 最新の TRT 基準ドラフトに基づき実施しております。

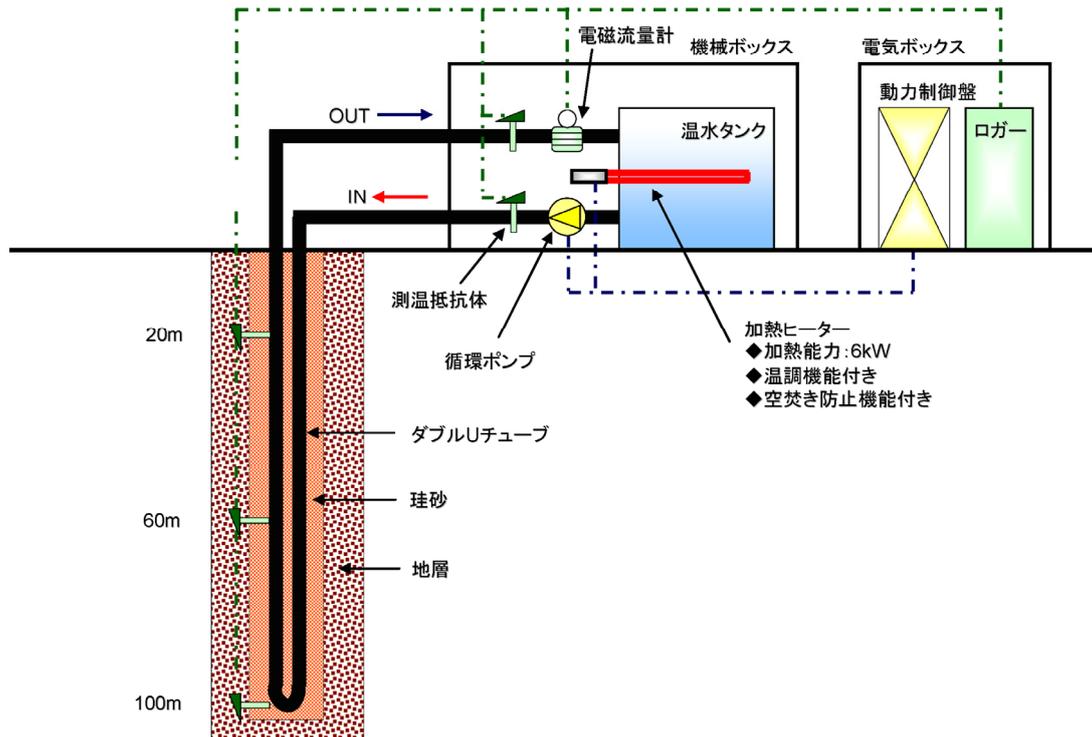


図 2-1 TRT 装置概念図

2.2. TRT 実施結果

No.3 孔井を対象に実施した温水循環試験および温度回復試験期間を、以下の表 2-2 に示します。試験期間は、最新の TRT 基準ドラフト (50 時間以上) に基づき温水循環試験を 50 時間、温度回復試験を 50 時間以上にて実施しました。同様に、モニタリング間隔についても最新の TRT 基準ドラフト (10min 以下) に基づき 1min としております。

表 2-2 試験期間

試験項目	開始	終了	試験期間
温水循環試験	2009/12/02 15:05	2009/12/04 17:09	50 時間
温度回復試験	2009/12/04 17:10	2009/12/07 07:30	62 時間

温水循環試験結果を図 2-2 および図 2-3 に、温度回復試験結果を図 2-4 に示します。図 2-2 より、循環流量は設計値の 20.2L/min (=U チューブ 1 対 10L/min×2 対) でほぼ一定であり、地中熱交換器流入出温度が徐々に上昇するという一般的な温水循環試験傾向を示しています。温度回復試験では、図 2-4 に示す通り、温水循環試験終了後の温度回復状況を良好にモニタリングできたと考えられます。

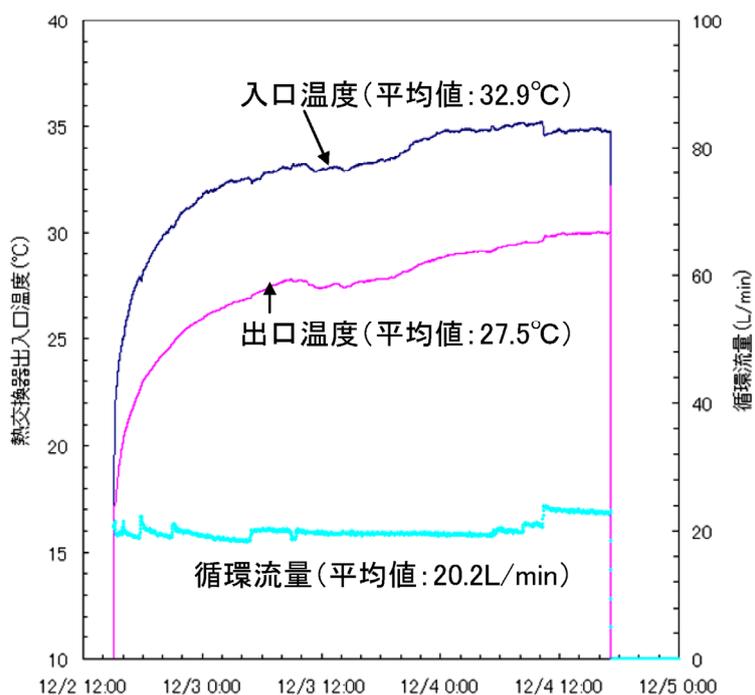


図 2-2 温水循環試験結果 (地中熱交換器流入出温度, 循環流量)

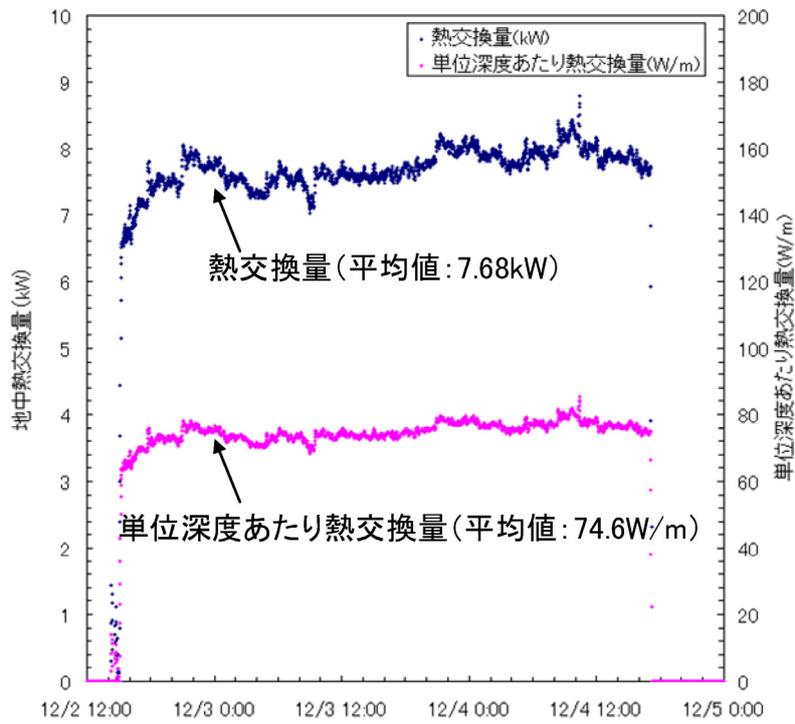


図 2-3 温水循環試験結果 (地中熱交換量)

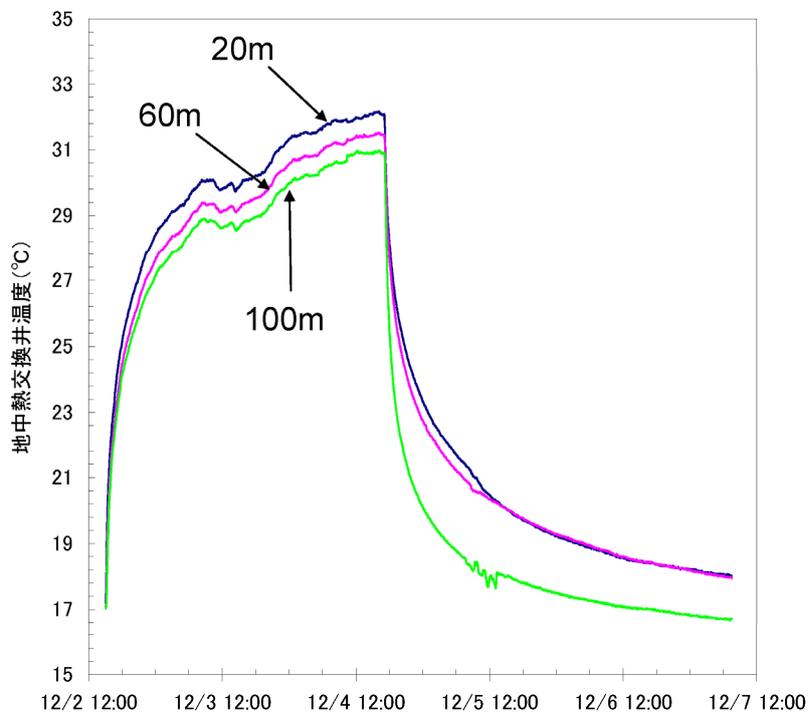


図 2-4 温度回復試験結果 (地中熱交換井温度)

2.3. TRT 解析手法

TRT の代表的な解析法としては、ケルビンの線源関数や円筒型熱源関数（いずれも Ingersoll et al., 1954）に基づく解析的手法、および有限差分法・有限要素法を用いた数値モデルによる解析法があります。数値モデルを用いた解析法は、地層の不均質性・地下水流動・複雑な坑井仕上げなどを扱うことができるという長所を持つ一方、計算時間の大きさ、入力データ・グリッド作成の煩雑さといった短所を持ちます。本調査では、適用が容易であり、かつ TRT の解析においてより広汎に用いられている解析的手法に基づき実施します。

解析的手法には、地中に熱負荷を与えた状態での地中温度の変化率より熱伝導率を推定する作図法、および地層の熱伝導率などをマッチングパラメータとして解析解に基づく熱交換井モデルを用いて熱交換井出口温度を予測し、実測値とのマッチングにより地盤情報を推定するヒストリーマッチング法があります。いずれの手法もケルビンの線源関数や円筒型熱源関数などの解析解を用いて、円筒座標系における熱伝導を仮定し、地層内の熱伝達挙動を計算するものです。それぞれの概要について以下に示します。

① 作図法（循環時法）による解析

⇒ 使用データ：温水循環試験データを使用します。

⇒ 解析手法概要：U チューブ出入口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です。

② 作図法（回復時法）による解析

⇒ 使用データ：温度回復試験データを使用します。

⇒ 解析手法概要：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です。

③ ヒストリーマッチング法による解析

⇒ 使用データ：温水循環試験データを使用します。

⇒ 解析手法概要：地層の有効熱伝導率をマッチングパラメータとして、シミュレーションソフトの数値モデルにより、地中熱交換井温度と熱交換量の計算値と実測値とのフィッティングを行う手法です。

以上の TRT の実施方法および解析手法に関する有効性実証は、後述の参考文献リストに示されています。

2.4. TRT 解析結果

① 作図法 (循環時法) による解析

作図法 (循環時法) における解析結果を図 2-5 に示します。図 2-5 に示す傾き $5.14^{\circ}\text{C}/\text{cycle}$ より、地層の有効熱伝導率は $2.66\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ($=0.183\times 74.7\text{W}/\text{m}\div 5.14^{\circ}\text{C}/\text{cycle}$) と算出されます。

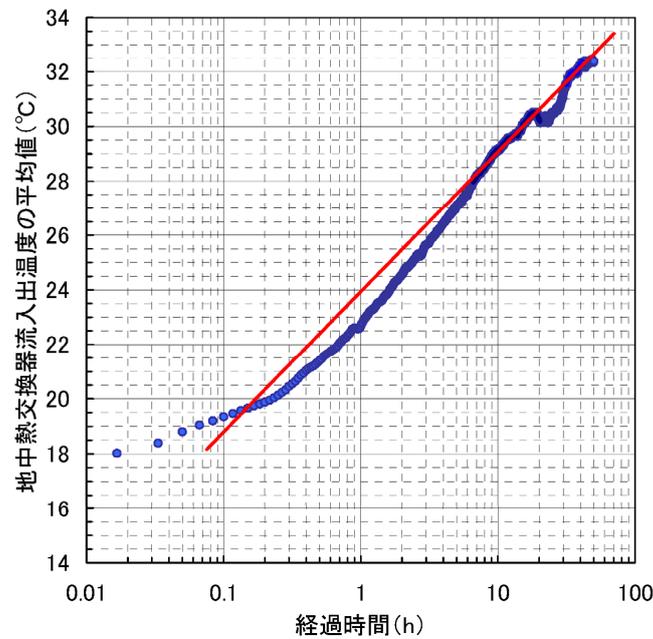


図 2-5 作図法 (循環時法) による解析結果

② 作図法 (回復時法) による解析

作図法 (回復時法) における解析結果を図 2-6～図 2-8 に示します。

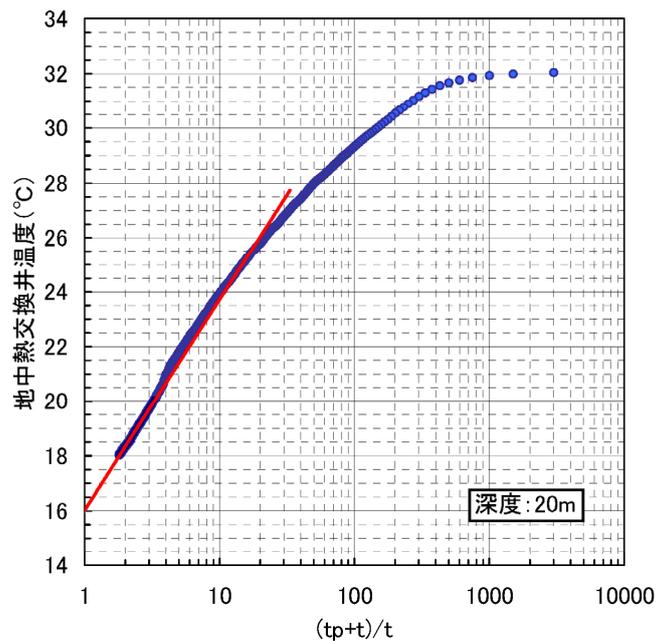


図 2-6 作図法 (回復時法) による解析結果 (深度約 20m について)

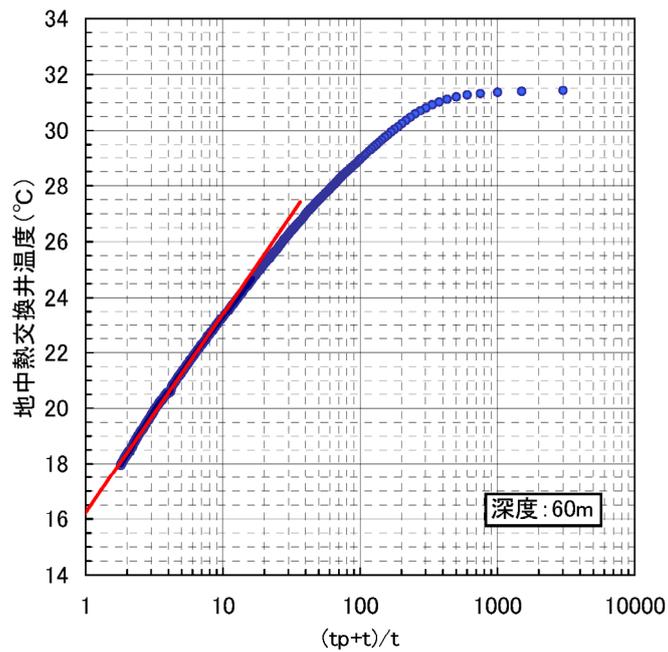


図 2-7 作図法 (回復時法) による解析結果 (深度約 60m について)

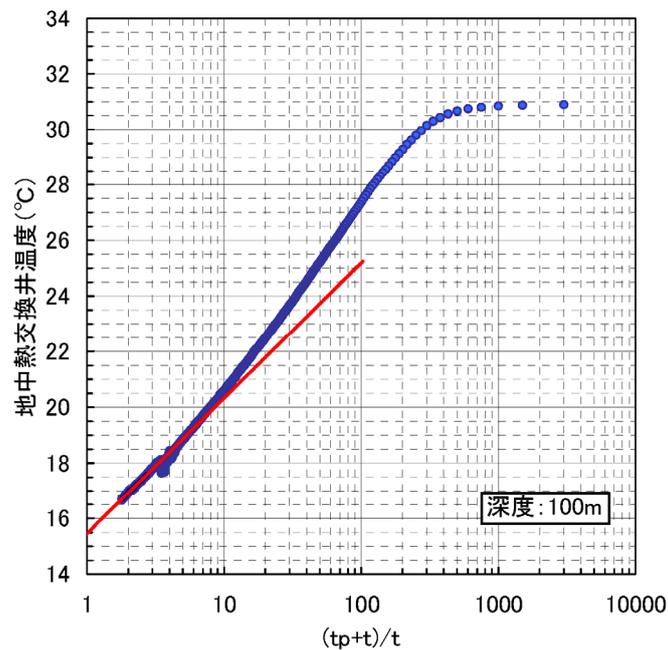


図 2-8 作図法 (回復時法) による解析結果 (深度約 100m について)

図 2-6～図 2-8 に示す傾きより算出される地層の有効熱伝導率について以下に示します。

深度約 20m 位置 : $1.78\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ($=0.183\times 74.7\text{W}/\text{m}\div 7.70^\circ\text{C}/\text{cycle}$)

深度約 60m 位置 : $1.91\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ($=0.183\times 74.7\text{W}/\text{m}\div 7.16^\circ\text{C}/\text{cycle}$)

深度約 100m 位置 : $2.81\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ($=0.183\times 74.7\text{W}/\text{m}\div 4.87^\circ\text{C}/\text{cycle}$)

③ ヒストリーマッチング法による解析

ヒストリーマッチング法におけるマッチング結果を図 2-9 に示します。なお、図 2-9 のマッチング結果は、地層の有効熱伝導率が $2.60\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、地温 15.5°C における解析結果です。本結果は、作図法において算出した値 $1.78\sim 2.81\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ の範囲内にあります。

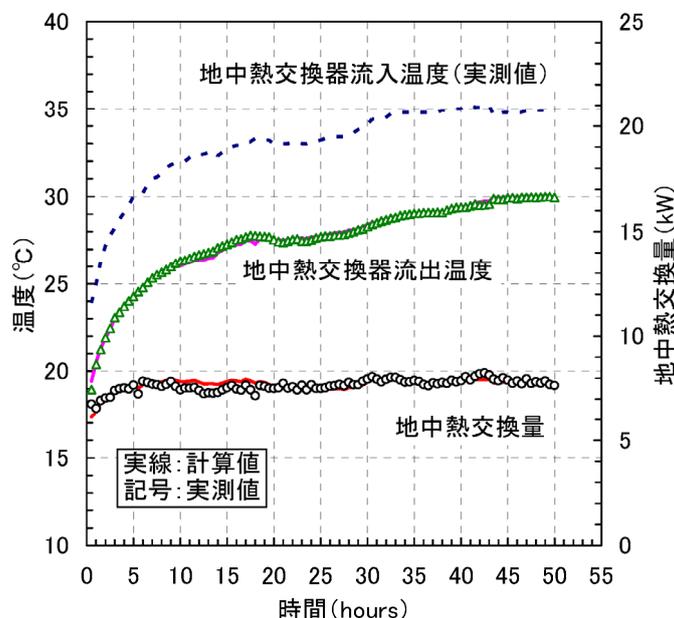


図 2-9 ヒストリーマッチング法による解析結果

2.5. TRT 結果のまとめ

以上より算出された地層の有効熱伝導率について、以下の表 2-3 にまとめます。

表 2-3 地層の有効熱伝導率

解析手法	地層の有効熱伝導率	備考
① 作図法 (循環時法)	$2.66\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	
② 作図法 (回復時法)	$1.78\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	約 20m 位置
作図法 (回復時法)	$1.91\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	約 60m 位置
作図法 (回復時法)	$2.81\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	約 100m 位置
③ ヒストリーマッチング法	$2.60\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	

表 2-3 より、3つの手法により算出された地層の有効熱伝導率は、 $1.78\sim 2.81\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ の値を示しています。ただし、作図法で使用したケルビンの線源関数に比べて、ヒストリーマッチング法で使用した円筒型熱源関数が熱交換量の大きな変化や熱交換井周辺の温度挙動を高精度にあらわすことができることより、以下のシミュレーションには、地層の有効熱伝導率 $2.60\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、地温 15.5°C を使用することとします。

3. 地中の熱移動シミュレーション結果

3.1. 地中の熱移動シミュレーション手法

地層内の熱伝導計算には、ケルビンの線源関数と比べて熱交換量の大きな変化や熱交換井周辺の温度挙動を精度よくあらわすことができる円筒型熱源関数の利用が好ましい (Deerman and Kavanaugh, 1990) とされています。円筒型熱源関数 G は以下の条件下における地層内の熱伝導について導かれた解析解です。

- ・ 熱交換量は時間とともに変化せず、また深度方向に関して一定である。
- ・ 地層は均質である。
- ・ 熱の移動は半径方向のみである。

円筒型熱源関数 G は熱源の中心からの無次元距離 P の点における、フーリエ数 Z に相当す

$$G(Z, P) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{e^{-\beta^2 Z} - 1}{J_1^2(\beta) + Y_1^2(\beta)} [J_0(P\beta)Y_1(\beta) - J_1(\beta)Y_0(P\beta)] \frac{d\beta}{\beta^2} \quad (1)$$

る時間経過後の温度変化を示し、式(1)であらわされます。

$$Z = \alpha_s t / r_o^2 \quad (2)$$

$$P = r / r_o \quad (3)$$

ただし、 J_0 および J_1 は第 1 種ベッセル関数、 Y_0 および Y_1 は第 2 種ベッセル関数です。式(1)であらされる G は数値積分を用いた計算が必要なため、多ステップの計算には大きい計算時間が必要とされます。通常の熱交換井の温度挙動計算は、式(3)において $P=1$ のケースに相当するので、 $P=1$ とした場合の G の近似式を用いることにより、計算時間の大幅な削減が可能となります (Fujii et al., 2003)。以下に Z の範囲に応じた G の近似式を示します。

$$Z < 1 \quad G = 0.1443Z^{0.3374} - 0.0162 \quad (4)$$

$$1 < Z < 100 \quad G = 0.5414Z^{0.0986} - 0.4166 \quad (5)$$

$$100 < Z \quad G = 0.18271 \log_{10} Z + 0.0668 \quad (6)$$

シミュレーションでは、以下の式(8)を用いて熱交換井外壁温度 T_{ro} を計算し、式(8)に基づいて熱媒体平均温度 T_{ave} を求めます。

$$T_i - T_{ro} = \frac{q_{gc}}{1_s L} G(Z, P) \quad (7)$$

$$q_{gc} = (T_{ro} - T_{ave}) h_{eq} / L \quad (8)$$

熱媒体平均温度は入口温度と出口温度の平均値であるため、入口温度を与えることにより出口温度が計算されます。式(8)中の総括熱伝達率 h_{eq} はグラウト材や熱交換器における熱抵抗と熱交換器内の熱媒体と熱交換器との対流熱伝達率より算出します。なお、熱交換量 q_{gc} が一定ではないサーマルレスポンス試験では、式(7)に重ね合わせの原理を適用し熱交換量の変動を考慮します。

以上の解析解シミュレーションモデルに基づき、地中熱交換器周辺の熱移動について計算を実施します。

3.2. シミュレーション条件

シミュレーションにおける地中熱交換井条件および各熱物性値を表 3-1 に、冷暖房稼働条件を表 3-2 に示します。地中熱交換井深度は 100m とし、熱交換器にダブル U チューブ、挿入深度に 100m、充填材に珪砂、熱交換器内循環流体に水を想定しております。シミュレーションは地中熱交換井 1 本を対象に実施し、月別の全負荷運転相当時間には表 3-2 に示す冷暖房稼働条件（想定値）を用いました。

なお、地中熱交換器（U チューブ）内の循環流量は、U チューブ 1 本（シングル）あたり 10L/min とし、地中熱交換井 1 本（ダブル U チューブ）あたり 20L/min としました。また、計算期間は経年変化を把握する目的で 3 年間としております。

表 3-1 地中熱交換井条件および各熱物性値

項目	単位	数値／仕様
地中熱交換井		
孔径	m	0.179
掘削深度	m	100
地中熱交換器種類	—	U チューブ
地中熱交換器挿入深度	m	100
U チューブ本数	本	2（ダブル）
U チューブ外径*1	m	0.034
U チューブ内径*1	m	0.027
充填材	—	珪砂
U チューブ内循環流体	—	水
地層の平均初期温度*2	℃	15.5
熱伝導率		
地層*2	W/(m・K)	2.60
充填材（珪砂）*3	W/(m・K)	1.80
U チューブ*1	W/(m・K)	0.38
循環流体（水）*4	W/(m・K)	0.59
熱容量		
地層*2	kJ/(m ³ ・K)	3,000
充填材（珪砂）*3	kJ/(m ³ ・K)	2,552
U チューブ*1	kJ/(m ³ ・K)	2,383
循環流体（水）*4	kJ/(m ³ ・K)	4,174

*1 カタログおよび石上・藤井・糸井（2007）より

*2 現地サーマルレスポンス試験より

*3 藤井・石上・大島（2003）および実測値（熱伝導率について）より

*4 水@20℃の熱物性値

表 3-2 冷暖房稼働条件

月	日数	運転区分	全負荷運転相当時間	
			時間/日	時間
04月	30日	暖房	0.93	27.8
05月	31日	冷房	1.32	40.8
06月	30日	冷房	5.43	163.0
07月	31日	冷房	9.27	287.4
08月	31日	冷房	10.31	319.5
09月	30日	冷房	6.86	205.8
10月	31日	冷房	0.76	23.6
11月	30日	暖房	1.73	51.9
12月	31日	暖房	4.48	138.9
01月	31日	暖房	5.44	168.5
02月	28日	暖房	5.29	148.1
03月	31日	暖房	3.70	114.8
冷房年間運転時間			1,040時間/年	
暖房年間運転時間			650時間/年	

- ※ 年間全負荷運転相当時間：事務所（一般）東京に30%安全率考慮
- ※ 月別負荷比率：事務所（一般）東京を採用
- ※ 参考図書：地域冷暖房技術手引書〈改訂新版〉，天然ガスコージェネレーション計画設計マニュアル 2002

地中熱交換量は、ヒートポンプ容量に基づく熱収支より 60W/m（冷房時）、40W/m（暖房時）とし、地中熱交換器入口温度（ヒートポンプ出口温度）の暖房時の下限と冷房時の上限を、以下の表 3-3 に示す値としております。

表 3-3 地中熱交換器入口温度の暖房時の下限と冷房時の上限

	地中熱交換器入口温度 (ヒートポンプ出口温度)
暖房運転における下限値	5℃以上（凍結防止のため）
冷房運転における上限値	35℃以下（加熱防止のため）

※ 表中の値はすべて指定値

3.3. 地中の熱移動シミュレーション結果

以上の条件に基づき行ったシミュレーション結果を、図 3-1 (地中熱交換器流入温度)、図 3-2 (地中熱交換器流出温度) に示します。図 3-1 より、稼働時間に 30% の安全率を考慮しているにもかかわらず、地中熱交換器入口温度は表 3-3 に示す暖房時における下限値および冷房時における上限値を満たしており、本施工熱源容量 (100m×5 本) でヒートポンプの能力を最大限に発揮できると考えられます。

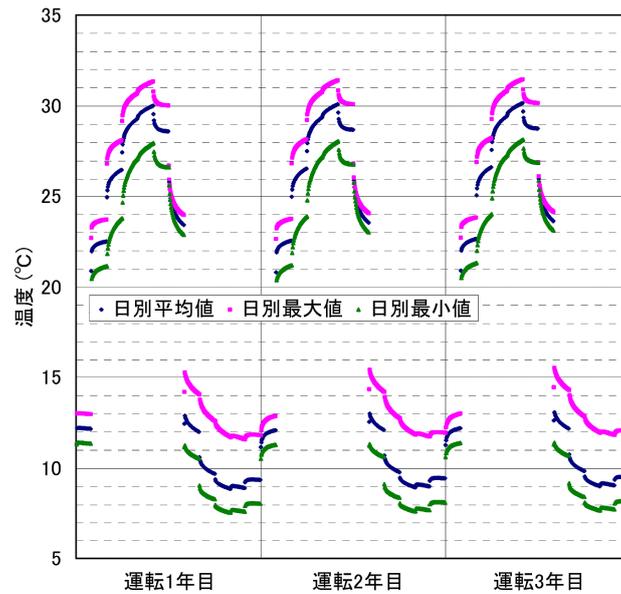


図 3-1 シミュレーション結果 (地中熱交換器流入温度)

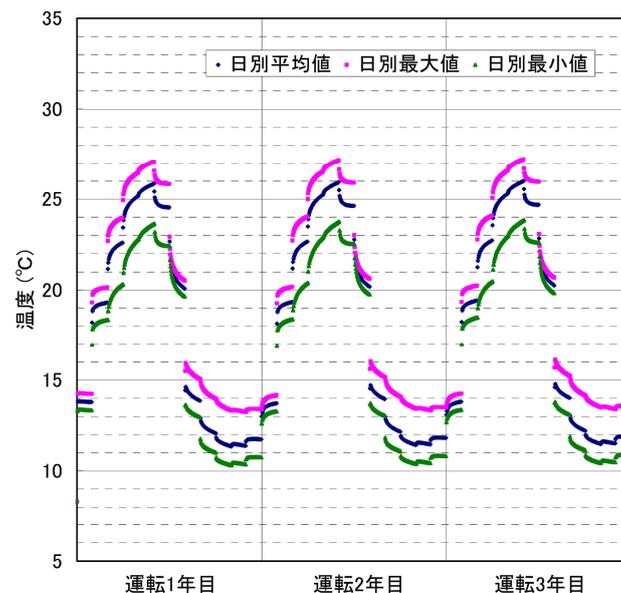


図 3-2 シミュレーション結果 (地中熱交換器流出温度)

4. 結論

No. 3 地中熱交換井を対象に行ったサーマルレスポンス試験結果より、推定された地下熱物性値は以下でした。

- ◆ 地層の有効熱伝導率：2.60 W/(m・K)
- ◆ 代表地温：15.5℃

また、上記値に基づくシミュレーション結果より、地中熱交換器入口温度は設計条件（暖房時の下限値 5℃、冷房時の上限値 35℃）を満足しており、ヒートポンプ能力の熱収支より算出される地中熱交換能力（暖房 40W/m、冷房 60W/m）を十分に発揮できると考えられます。

5. 参考文献リスト

- 1) 藤井光，秋林智：大地結合ヒートポンプシステム熱交換井における温度応答試験解析，資源と素材，2，p.75-80，(2002).
- 2) Takashi Ishikami, Hikari Fujii, Mayumi Kinoshita, Ryuichi Itoi: History Matching of Long-term Performance of a GeoHP System in Shirakami Mountains, Proc. 4th Int. Workshop on Earth Science & Technology, Kyushu Univ., (2006).
- 3) 石上孝，藤井光，糸井龍一：地中熱利用冷暖房・融雪システムにおける垂直型 U 字管熱交換井の運転実績評価，日本地熱学会，Vol.29, No.2, p.91-102, (2007).
- 4) 秋林智，石井学，石上孝，花田征吉，前田秀樹，三浦司：秋田市立山王中学校に建物基礎杭を用いた地中熱利用冷暖房システム，日本地熱学会，Vol.29, No.3, p.151-162, (2007).
- 5) 石上孝，藤井光，糸井龍一：垂直型 U 字管熱交換井における解析解を用いたモデリングの改良，日本地熱学会平成 16 年学術講演会講演要旨集，A09, (2004).
- 6) 藤井光：講座「地中熱利用ヒートポンプシステム」温度応答試験の実施と解析，日本地熱学会誌，第 28 巻，第 2 号，p.245-247, (2006).
- 7) Ingersoll, L.R., Zobel, O.J. and Ingersoll, A.C. (1954) Heat conduction with engineering, geological, and other applications. McGraw-Hill, New York, 325p.
- 8) Sanner, B., Hellström, G., Spitler, J. and Gehlin S. (2005) Thermal Response Test - Current Status and World-Wide Application. Proc. WGC2005, CD, 1-9.
- 9) Deerman, J.D. and Kavanaugh, S.P. (1990) Simulation of vertical U-tube ground-coupled heat pump systems using the cylindrical heat source solution. ASHRAE Transaction, 3472, 287-295.

2．性能を証明する書類の写し

ここでは、熱媒循環部（U字管）の製造・販売事業者である株式会社イノアック住環境による地中熱交換システム用パイプU-ポリパイのカタログ等の関係資料から該当部分を赤枠で囲い、以下に示す。（詳細版付録 61～69 ページ）

2.1 地中熱交換システム用パイプU ポリパイのカタログ



◆耐薬品性能

U-ポリパイの耐薬品性の一例(20℃)

酸	アルカリ	ガス
塩酸 35%	◎ アンモニア水溶液	◎ 亜硫酸ガス
硫酸 60%	◎ 苛性ソーダ	◎ 炭酸ガス
硝酸 25%	◎ 水酸化カルシウム	◎ 一酸化炭素
塩類		
重クロム酸カリウム 10%	◎ 過マンガン酸カリウム	◎ 炭酸カリウム
塩化第二鉄	◎ 塩化バリウム	◎ 硫酸
過酸化水素 30%	◎	

備考: 1. この表はISO/TR10358※1に基づいたものです。
 2. ◎印は耐薬品性があることを示しています。
 ※1 Plastics pipes and fitting-Combined chemical-resistance classification table.

U-ポリパイ(高密度ポリエチレン/PE100)の材料物性

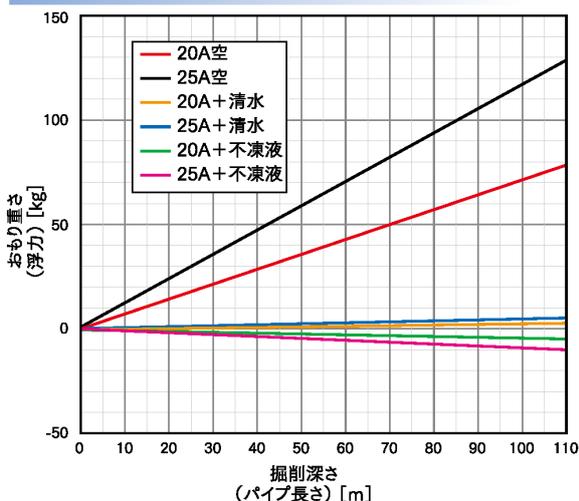
性質	試験方法	単位	値
密度(23℃)	JIS K 7112	kg/m ³	954
引張降伏強度	JIS K 7161	MPa	25
引張破断強度			38
引張破断伸び		%	600以上
引張弾性率(23℃)		MPa	1,300
熱伝導率	DIN 52612	W/m・K	0.38
線膨張係数	JIS K7197	K ⁻¹	1.3×10 ⁻⁴
比熱(23℃)	JIS K7123	kJ/kg・K	1.9

U-ポリパイ挿入時のおもりの選定について

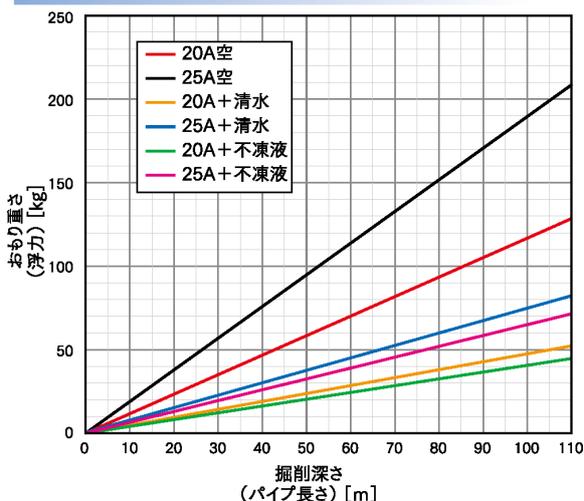
U-ポリパイを掘削坑へ挿入する際の浮力に対するおもりの目安です。
 現場条件により異なりますので参考データとして下さい。

計算結果

掘削坑内が清水で満水の場合

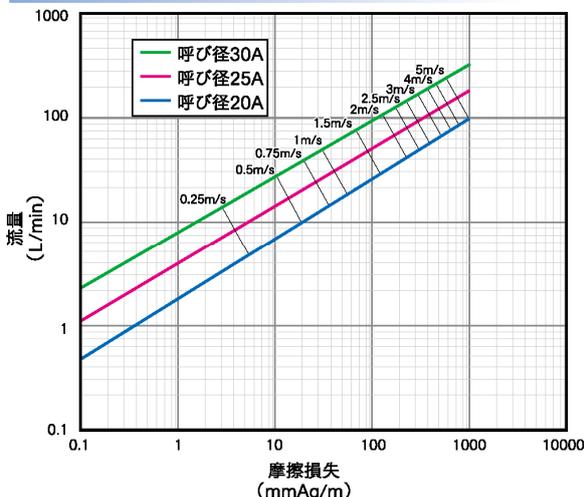


掘削坑内が泥水で満水の場合



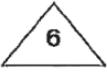
計算条件 清水比重1、泥水比重1.4、不凍液比重1.25、パイプ比重0.96

U-ポリパイ(直管部)の流量線図



2.2 地中熱交換システム用パイプU ポリパイの製品仕様書

1/12

改訂番号	
制定日	2005年8月
改訂日	2011年3月

JT-A-GUP-20A***-R6

製品仕様書

品名 地中熱交換システム用パイプ
「U-ポリパイ」

承認	審査	作成
		

株式会社 イノアック住環境

: 本資料の個人名記載部分は、伏せてある。

1. 適用範囲

この製品仕様書は、地中熱交換システムに使用する管「U-ポリパイ」(以下、製品という。)について適用する。

本仕様書内では製品を構成する管と先端部U字状継手は以下、それぞれ管、継手という。

2. 仕様一覧

製品の仕様を表-1に示す。

△6

表-1 製品仕様

No.	商品記号	商品名	呼び径-長さ
1	GUP-20A***	U-ポリパイ20A-***m巻	20A-***m
2	GUP-20A***-HAN	U-ポリパイ20A-***m巻	20A-***m
3	GUP-25A***	U-ポリパイ25A-***m巻	25A-***m
4	GUP-25A***-HAN	U-ポリパイ25A-***m巻	25A-***m

注1) 上表のNo.2、4は、製品先端部分のU字継手の融着が反対方向になったものをいう。(下図参照)

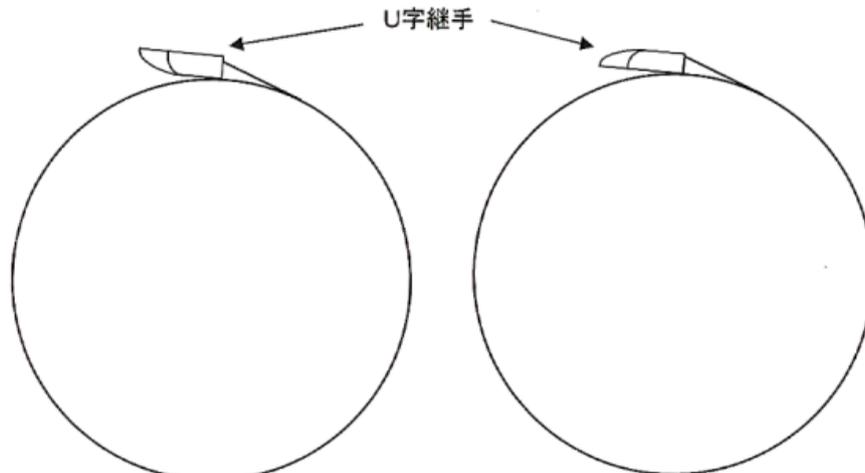


図-1 継手順方向品

図-2 継手反対方向品

3. 使用用途

この製品の連続安全使用温度範囲は-20~40℃です。ただし、50℃迄の温度での運転が、表-3の圧力以下で、かつ、年間1500時間以内であれば、50℃迄の使用が可能です。

△6

表-2 最大使用圧力 単位 MPa

使用温度 呼び径	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃
20A	1.65	1.54	1.44	1.32	1.22
25A	1.51	1.41	1.32	1.21	1.12

表-3 最大使用圧力 単位 MPa

使用温度 呼び径	45℃	50℃
20A	1.11	1.01
25A	1.01	0.92

2.3 地中熱交換システム用パイプU ポリパイの脆化温度

2011年1月
株式会社イノアック住環境



U-ポリパイの脆化温度について

U-ポリパイの脆化温度は下記のとおりです。

性 質	単 位	試験方法	物性値
脆化温度	℃	JIS K 7216	< -70

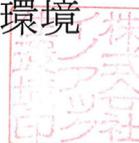
以上

2.4 地中熱交換システム用パイプU ポリパイの性能についての品質表示

株式会社イノアック住環境による関係資料のうち、本資料（詳細版付録 66～69 ページ）は、配水用ポリエチレンパイプシステム協会（POLITEC）*1による「水道配水用ポリエチレン管及び管継手 ご紹介」（平成 12 年 4 月）から引用したものである。その理由としては、国内の水道配水用ポリエチレンパイプは、高密度ポリエチレン材料（PE100）を使用した管であり、U-ポリパイと同材料を使用しているため、この物性値及び性能グラフを使用した。

地中熱交換パイプ『U-ポリパイ』の性能 についての品質表示

株式会社イノアック住環境



*1：「配水用ポリエチレンパイプシステム協会」（POLITEC）は、「水道用ポリエチレンパイプシステム研究会」と「配水用ポリエチレン管協会」の団体が平成 18 年 4 月に統合した。

3

耐食性

- ①酸性土壌、腐食性土壌、塩害地域で優れた耐食性を維持します。
- ②電食の心配がありません。

耐薬品性の一例 (温度20℃)

酸	アルカリ	ガ ス
塩酸 35% ○	アンモニア水溶液 ○	亜硫酸ガス ○
硫酸 60% ○	苛性ソーダ ○	炭酸ガス ○
硝酸 25% ○	水酸化カルシウム ○	一酸化炭素 ○
塩類		
重合クロム酸カリウム 10% ○	過マンガン酸カリウム ○	炭酸カリウム ○
塩化第二鉄 ○	塩化バリウム ○	硫安 ○
過酸化水素 30%、90% ○		

備考1.この表はISO/TR10358*1に基づいたものです。

2.○印は耐薬品性があることを示しています。

4

衛生性

JWWA K 144(水道配水用ポリエチレン管)や厚生省令第15号*2及び厚生省告示第45号*3の浸出(溶出)試験などで、水道管として衛生的であることを確認しています。

検査項目の一例

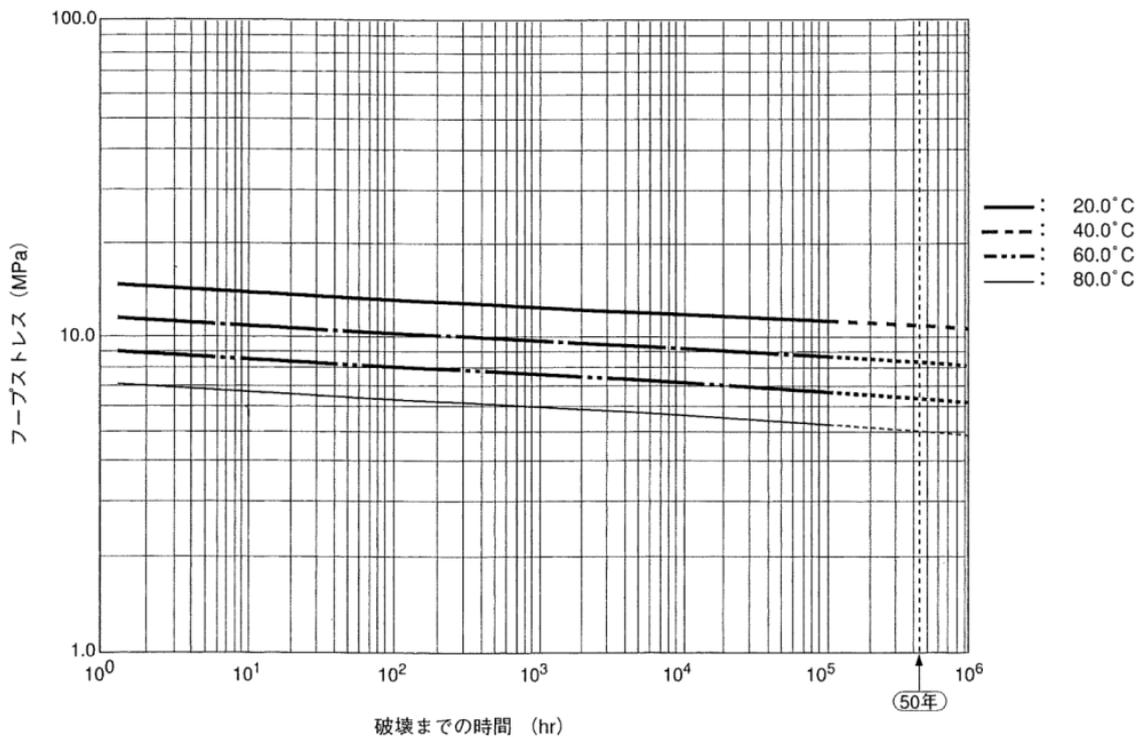
濁度	カドミウム
色度	鉛
過マンガン酸カリウム消費量	その他重金属
残留塩素の減量	
臭気	
味	

* 1 Plastics pipes and fittings-Combined chemical-resistance classification table.

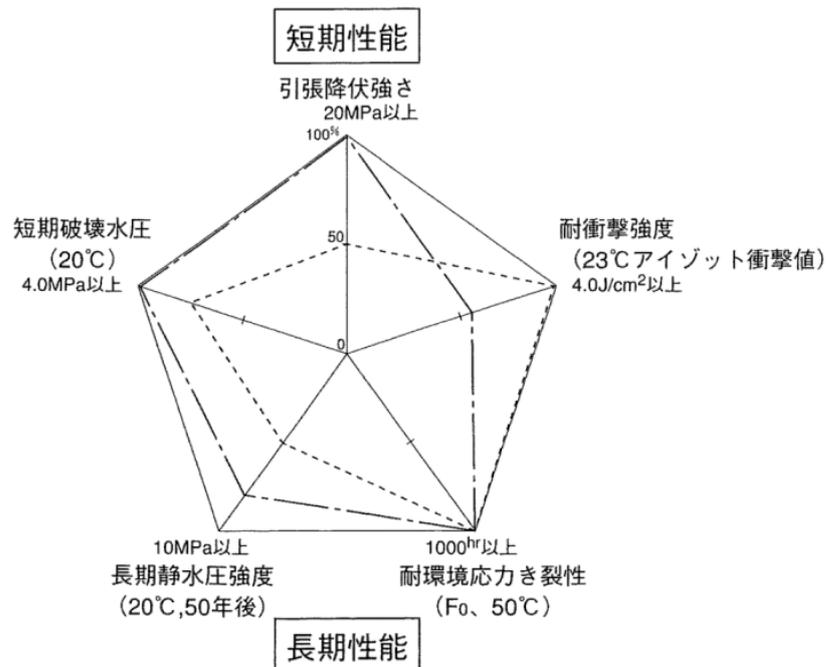
* 2 水道施設の技術的基準を定める省令

* 3 資機材等の材質に関する試験

第三世代高密度ポリエチレンのクリープ曲線



水道用ポリエチレン管の主要性能の比較



凡例

——	水道配水用ポリエチレン管(JWWA K 144)	給水管
----	水道用ポリエチレン二層管・1種(JIS K 6762)	
- · - · -	水道用ポリエチレン二層管・2種(JIS K 6762)	

水道配水用ポリエチレン管及び管継手
ご紹介

初版発行 平成 8年11月
改訂1版 平成 9年 6月
改訂2版 平成10年 2月
改訂3版 平成11年 9月
改訂4版 平成12年 4月
編集発行 水道用ポリエチレンパイプシステム研究会

発行所 水道用ポリエチレンパイプシステム研究会*1
〒104 東京都中央区京橋 3-7-1
(第一生命相互館7階)
電話 03 (3561) 5037 FAX 03 (3561) 5038
Home page <http://www.politec.gr.jp/>

*1 : 「配水用ポリエチレンパイプシステム協会」(POLITEC)は、「水道用ポリエチレンパイプシステム研究会」と「配水用ポリエチレン管協会」の団体が平成 18 年 4 月に統合した。